



组合机床及自动化加工装备 设计与实践

游楼弼 冯爱新 薛 伟 编著
周 海 仲 秋 宁献刚



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

组合机床及自动化加工装备 设计与实践

游楼弼 冯爱新 薛 伟 编著
周 海 仲 秋 宁献刚

 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

图书在版编目(CIP)数据

组合机床及自动化加工装备设计与实践 / 游楼弼等
编著. —南京:东南大学出版社,2017.12

ISBN 978-7-5641-7548-1

I.①组…… II.①游… III.①组合机床-设计 IV.
①TG650.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 318808 号

组合机床及自动化加工装备设计与实践

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

印 刷

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 21.75

字 数 523 千字

版 次 2017 年 12 月第 1 版

印 次 2017 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-7548-1

定 价 78.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

序

中华人民共和国自1949年成立后,经过三年的恢复时期,从五十年代初开展了大规模的经济建设,在机械制造工业上,特别是汽车、拖拉机、动力机械、农业机械、工程机械、军工和轻工等行业中的大批量生产企业开始建设,为了提高这些大批量生产企业的生产效率,稳定保证产品质量,引进了高效自动的组合机床技术,并很快地建立了我国自己的组合机床研究设计机构,从事这种高效自动化产品技术的研究开发,建立起我国自己的组合机床通用部件标准,编制了组合机床设计生产的通用标准资料,大力抓了这种高效自动化设备的普及工作,编写组合机床讲义,开办组合机床设计培训班,随之出版了《组合机床设计》和《组合机床的使用和维护》两套书籍,对推广组合机床技术在我国大批量生产企业中的普及使用起到了良好作用。但在60多年的发展中,一直缺少一本组合机床设计使用的基础教材。

江苏恒力组合机床公司原总工程师游楼弼同志,长期从事组合机床的设计、生产和调试的实际工作,生产情况熟悉,设计开发经验丰富,思考深入,他经过多年的艰苦努力,对大量的组合机床设计生产资料进行整理,梳理出脉络,精选典型设计实例完成了本书的原稿;温州大学的两位博士生导师冯爱新教授、薛伟教授以及盐城工学院周海教授,他们多年从事机械制造工艺与装备的教学科研工作,具有扎实的机械制造技术基础和教学经验,对本书内容和章节体系进行了梳理、丰富、调整和完善,共同完成了《组合机床及自动化加工装备设计与实践》一书的正稿。

本书对组合机床及其自动线的组成、特点和优越性作了概述,对组合机床及其自动线的设计程序,设计原理、影响设计主要因素作了详细全面的介绍,本书主题鲜明、结构清晰、材料丰富、语言简洁,本书将成为广大科技人员和青年学生从事组合机床设计开发的良好读本和培训教材。对广大科技人员和青年学生了解和掌握组合机床及其自动线技术,以及设计开发这种高效自动化设备都会起到极好的帮助。

组合机床及其自动线作为公认的高效自动化设备,过去主要是在汽车、拖拉机、动力机械、农机、军工、轻工等传统大批大量生产模式中广泛使用,但随着装备制造技术的发展与科技进步,尤其是新技术的普及,在组合机床行业引进了数控技术、电主轴技术、换刀技术、刀库技术、自动物料输送技术、在线工况检测与控制技术,发展了成系列的数控组合机床通用部件,提高了组合机床及其自动线的柔性化,发展了组合式的柔性制造单元和柔性制造线。现代组合机床也已成为中小批量多品种生产企业提高生产效率、保证产品质量非常有效的手段之一。像转塔式组合机床,自动换箱式组合机床以及用数控组合机床通用部件组成的三坐标加工单元组成的数控组合机床自动线等,都是具有良好柔性,适应多品种生产的高效自动化设备,亦已

成为中小批量多品种生产企业发展生产,提高经济效益的优选设备之一。

历史表明,组合机床及其自动线在我国发展汽车、拖拉机、动力机械、农机、轻工和军工产品中都发挥了良好作用,提高了企业的生产效率和经济效益,组合机床行业已成为机床行业的重要组成部分。路是人走出来的,从继承到超越,从一般到先进,广大组合机床行业科技人员始终刻苦研究,积极开发,使组合机床技术在我国制造业创新发展,转型升级中,加快建设制造强国的征途中发挥更大的作用。《组合机床及自动化加工装备设计与实践》一书的出版也将使更多的组合机床行业和科技工作者以及广大的青年学生更快地掌握组合机床设计技术,共同为组合机床的创新发展做出新的贡献!

原大连组合机床研究所所长
组合机床行业协会会长



2016年11月1日

前言

组合机床及其自动线的研制和推广应用是加速机械工业技术创新的有效途径之一。也是机械工业,特别是汽车、拖拉机、内燃机、电机、机床、仪表、工程机械及军工等生产行业技术改造,促进生产发展的重要设备。

为了学习、交流和推广应用组合机床及其自动线,参阅了许多相关技术资料 and 不少参考文献进行消化吸收,并结合多年工作实践体会,还征求了有关专家们意见,经过整理,完成了《组合机床及自动化加工装备设计与实践》一书的原稿,文章从组合机床基础知识入手,深入浅出,图文并茂,通俗易懂,在此基础上,又和温州大学的两位博士生导师冯爱新教授、薛伟教授以及盐城工学院的周海教授合作,本着“源于理论,回归实践”的理念,按教材的特色和体系,对原稿的章节进行了梳理、丰富、调整和完善,完成了本书的定稿工作,这也是产学研合作的成果,并分别获得了浙江省高校品牌专业建设项目和江苏省高校品牌专业建设项目“机械设计及其自动化 PPZY2015B123”的资助。本书可供广大科技人员、营销人员、工人、干部参考和学习,更适合作为机械类相关专业的大专院校学生学习的辅导教材。但愿能起到抛砖引玉的作用,也为我国组合机床事业不断迎合时代需求而进一步创新发展,使它早日实现为世人公认的现代高端装备制造业的宏伟目标作出自己一点微薄的贡献。同时,也使自己又得到一次再学习的机会。

本书引入了“德国工业 4.0”和“中国制造 2025”新理念,并对柔性制造技术作了详细的介绍,对广大读者加深对组合机床知识理解和向更深层次的思考将起到激励效应,恰到好处。

在这次编写过程中,得到了大连机床集团公司谈武宗高工;组合机床行业协会秘书长刘庆乐高工;东南大学博士生导师汤文成教授;江苏大学博士生导师蔡忆惜教授的热心指导和帮助;江苏恒力组合机床有限公司董事长仲秋高工等一班人为本书的编写工作鼎力相助,还提出了不少建设性建议;江苏大学研究生一拖(洛阳)开创装备公司研究所所长宁献刚高工和盐城工学院省模具智能中心副主任刘军教授级高工,他们分别为本书提供了不少有一定技术含量的素材;江苏高精公司副总工周伯华高工;扬州市组合机床厂厂长杨传希先生、盐城市机械工程学会秘书长刘国民高工等单位的领导、同仁给予大力支持和关心。另外,盐城工学院的徐晓明、徐彤彤、夏斯伟三位老师在本书出版前对本书的原稿进行了整理、修改、编辑,做了大量的具体工作。特别是原大连组合机床研究所所长、组合机床行业协会会长金振华老师为本书写了“序”,并提出了不少宝贵意见,使本书增加了含金量。对以上专家、学者、领导和同仁们的支持和关注,在此一一表示衷心的感谢。

由于本人业务水平有限,尚缺乏广泛的调查研究,所收集的内容还很不成熟、不完善,甚至还可能存在一些错误,恳请同志们批评指正,不胜感谢。

游楼弼

二〇一六年八月



目 录

第一章 组合机床及其自动线概述	1
1.1 数控技术的发展与自动化加工装备的创新	1
1.1.1 历史背景	1
1.1.2 发展方向	1
1.1.3 行业动态	2
1.2 “德国工业 4.0”和“中国制造 2025”战略计划介绍	3
1.2.1 “德国工业 4.0”计划	3
1.2.2 “中国制造 2025”规划	4
1.2.3 工业 4.0 与数控机床智能化技术	4
1.3 机械加工装备	6
1.3.1 通用机床	6
1.3.2 加工中心(MC)	8
1.3.3 专用机床	9
1.3.4 组合机床及其自动线	9
1.4 组合机床的组成及基本配置形式	10
1.4.1 夹具固定式机床	10
1.4.2 夹具移动式机床	11
1.5 组合机床自动线的组成和分类	13
1.5.1 组合机床自动线的组成	13
1.5.2 组合机床自动线的分类和布局	13
第二章 组合机床设计基础	16
2.1 机械加工工艺规程的制定	16
2.1.1 工艺规程选择的因素和依据	16
2.1.2 制定工艺规程程序和方法	16
2.2 机械加工生产流水线的设计	17
2.2.1 什么是生产流水线	17
2.2.2 生产流水线设计程序和方法	18
2.3 组合机床的工艺范围及能达到的加工精度	19
2.3.1 目前组合机床上常用的工艺方法	19
2.3.2 典型加工工艺方法	26

2.4	组合机床切削用量的确定及刀具选择	32
2.4.1	确定工序间余量	32
2.4.2	选择切削用量	33
2.4.3	确定切削力、切削功率、切削扭矩和刀具耐用度	38
2.4.4	选择刀具结构	39
2.5	组合机床设计步骤	40
2.5.1	准备工作阶段	40
2.5.2	制订方案阶段	40
2.5.3	技术设计阶段	40
2.5.4	结构设计阶段	40
第三章	组合机床总体设计	41
3.1	组合机床方案制订的关键问题	41
3.1.1	制订工艺方案时应考虑的一些问题	41
3.1.2	影响组合机床方案制订的主要因素	47
3.1.3	不同方案技术经济分析的一些主要问题	48
3.2	对组合机床配置形式和结构再探讨	49
3.2.1	单工位机床的特点和适应性以及所能达到的精度	49
3.2.2	采用多工位机床应考虑的一些问题	50
3.2.3	中小批生产用组合机床	51
3.2.4	关于柔性制造技术介绍	61
3.3	“三图一卡”的编制	67
3.3.1	被加工零件工序图	67
3.3.2	加工示意图	69
3.3.3	机床总联系尺寸图(机床总图)	72
3.3.4	生产率计算卡的编制	76
3.4	组合机床编号和分组介绍	78
3.4.1	组合(专用)机床及其自动线型号编列	78
3.4.2	组合机床及其自动线的分组	79
3.4.3	组合机床及其自动线设计参考资料名录表	80
3.5	组合机床通用部件及其选择	81
3.5.1	通用部件类型及其标准	81
3.5.2	常用的通用部件	83
3.5.3	通用部件选用的依据和注意点	98
3.6	专用部件的设计	98
3.6.1	专用床身(立柱)设计应考虑的一些问题	98
3.6.2	关于中间底座设计时的注意点	99

3.7 机床的润滑、防护和冷却	99
3.7.1 机床的润滑	99
3.7.2 机床的防护	100
3.7.3 机床的冷却	100
3.8 机床的控制与互锁	101
3.8.1 机床的控制	101
3.8.2 机床的互锁	101
第四章 主轴箱设计	102
4.1 主轴箱概述	102
4.1.1 主轴箱介绍	102
4.1.2 标准主轴箱主要零件的介绍和选取	103
4.2 主轴箱设计	111
4.2.1 标准(钻、镗类)主轴箱设计程序	111
4.2.2 攻丝主轴箱的设计	120
4.2.3 主轴箱的润滑	122
4.3 专用主轴箱的设计	123
4.3.1 刚性主轴的设计	123
4.3.2 刚性镗削主轴箱的设计	129
4.3.3 铣削主轴箱的设计	132
4.4 主轴箱设计软件平台	137
4.4.1 概述	137
4.4.2 系统的组成	138
4.4.3 原始数据输入	138
4.4.4 传动系统设计	140
4.4.5 数据整理模块	140
4.4.6 生成图形	140
第五章 刀具和工具及量检具	141
5.1 组合机床刀具	141
5.1.1 组合机床刀具的特点	141
5.1.2 组合机床常用刀具介绍	141
5.2 组合机床常用工具	172
5.2.1 接杆	172
5.2.2 卡头	177
5.3 组合机床及其自动线常用的量检具	178
5.3.1 测量工具	178
5.3.2 样件和试件	179

5.3.3	组合机床自动线的检测装置	180
第六章	组合机床夹具设计	184
6.1	概述	184
6.1.1	组合机床夹具的组成和分类	184
6.1.2	组合机床夹具设计的特点和关键	187
6.1.3	组合机床夹具设计程序	187
6.1.4	组合机床夹具设计时应注意的一些问题	188
6.2	常用的定位机构	191
6.2.1	平面定位支承元件及其布置	191
6.2.2	辅助支承	193
6.2.3	圆柱定位元件及其结构	194
6.2.4	其他定位方法及定位机构	198
6.3	典型的夹压机构	201
6.3.1	对夹压机构的一些基本要求	201
6.3.2	典型夹压机构介绍	202
6.4	导向装置介绍和应用	215
6.4.1	导向装置概述	215
6.4.2	第一类导向装置	216
6.4.3	第二类导向装置	221
6.5	活动钻模板和托架	232
6.5.1	概述	232
6.5.2	活动钻模板的典型结构	233
6.5.3	设计活动钻模板应注意的问题	238
6.5.4	托架	239
6.6	攻丝靠模装置	239
6.6.1	在组合机床上攻丝的方法	239
6.6.2	攻丝靠模机构	240
6.6.3	活动攻丝模板	243
第七章	组合机床自动线设计概述	247
7.1	自动线设计程序	247
7.1.1	准备工作阶段	247
7.1.2	制订方案阶段	248
7.2	组合机床自动线的总体设计	259
7.2.1	被加工零件工序图和加工示意图绘制的要求	259
7.2.2	组合机床自动线总联系尺寸图的绘制	259
7.2.3	组合机床自动线循环周期表的绘制	262

第八章 组合机床技术应用设计实例	269
8.1 高效精密平面铣削技术的推广和应用	269
8.1.1 项目的来源	269
8.1.2 项目的技术要求	269
8.1.3 方案的制订	270
8.1.4 机床初验收	271
8.1.5 机床整改意见	272
8.1.6 机床终验收	272
8.1.7 小结	272
8.2 汽车前轴孔系加工工艺的优化	272
8.2.1 目前前轴切削加工工艺现状	273
8.2.2 当前行业中解决的方法	274
8.2.3 工艺推广应用	275
8.2.4 小结	276
8.3 发动机机体汽缸孔精镗组合机床关键技术研发与应用	276
8.3.1 项目介绍	276
8.3.2 小结	278
8.4 专用阀盖槽系加工工艺技术方案的论证	279
8.4.1 项目的提出	279
8.4.2 组合机床方案的制订	280
8.4.3 小结	280
8.5 铁路机车制动缸体组合机床自动线的开发	282
8.5.1 项目介绍	282
8.5.2 自动线方案介绍	282
8.5.3 小结	286
8.6 EA111 汽缸体基准铣钻铰数控专机的研制	287
8.6.1 项目背景	287
8.6.2 EA111 汽缸体加工工艺分析	287
8.6.3 专机总体设计	295
8.6.4 工装夹具设计	301
8.6.5 专机主要部件设计	315
8.6.6 专机数控系统设计	326
8.6.7 小结	332
参考文献	333



第一章

组合机床及其自动线概述

1.1 数控技术的发展与自动化加工装备的创新

组合机床及其自动线作为高效自动化加工装备已被世人认可,伴随着数控技术的日益发展,将不断催生各类自动化加工装备的创新。

1.1.1 历史背景

传统的机械加工手段一直是采用万能(通用)机床一刀一序加工,产量上不去,质量欠稳定。随着汽车、拖拉机、内燃机等大批量生产行业产量不断扩大,精度逐步提高,质量更加严格,于是在大批量生产行业相继出现一种新的机床——专用机床。其实,它起源于二次世界大战军工业的发展,出现了镗铣专用机床,目前欧美国家都叫专用机床,但是,自苏联开始至今俄罗斯、中国等国还叫组合机床。

我国的组合机床事业起步于 1956 年的第一台组合机床和 1961 年的第一条组合机床自动线的相继问世;成长于 70 年代东风“二汽”建设时的组合机床大会战;80 年代后,借助国家将汽车产业定位于国民经济支柱产业的契机,使组合机床产业得到快速的发展;进入 21 世纪以数控技术为代表的新技术高速发展的今天,以及以轿车行业为代表的一大批高技术行业的崛起,随着这些行业的产品升级换代步伐的加快,加之国外先进装备的进入,这些因素有力地推动和激励了组合机床和自动线的技术进步,所以它再也不能全部像以前那种传统结构和配置形式出现了,已分步进入向数控化、柔性化、高速化、高精度化、高可靠性、智能化和开放式结构的转型升级的提高阶段。

1.1.2 发展方向

(1) 要提高切削速度,必须使主轴转速、进给率、刀具交换等各种关键部件实现高速化,而主轴的高速化就是使主轴变速不必通过变速箱,而是采用一种将电机直接和主轴连成一体后装入主轴部件中的内装式电动机主轴部件结构。并采用以 32 位微处理器为核心的 CNC 系统,如德国西门子 SINUMER1K840D 系统、日本 FANUC180/200 系统等。日本新潟铁工所的 V240 立式加工中心配上陶瓷刀具,加工一种钢模具只需要 12~13 min,而普通机床需要 9 h,不少国外机床采用上述系统和结构。减少辅助时间,从而提高生产效率,许多设备铣削速度 $v = 1\ 500\ \text{m/min}$, $s_M = 6\ 300\ \text{mm/min}$, 铣 800 mm 长工件才 7.2 s。组合机床高速化不



仅仅是切削速度,定位速度也很重要。当节拍以秒计算时,缩短辅助时间就非常重要了。

(2) 精度太高的零件,如精镗缸孔,精镗缸孔止口铣端面机床目前国内生产经验不足,且稳定性差,需要再攻关,如一汽无锡柴油机厂从德国进口的一台精镗缸孔止口铣端面机床,主轴为电主轴,线速度为 1 500 m/min,带温度及刀具自动补偿装置和自动测量装置,镗出的止口深度公差达 0.005~0.008 mm,国产机床一般才达到 0.03 mm 左右,当然它的造价也昂贵,高达 3 700 万元。山东潍坊柴油机厂的两台奥地利 20 世纪 80 年代生产的缸孔精镗机床至今精度很好,镗出的孔达 H6 左右,表面粗糙度为 $R_a 0.4 \mu\text{m}$ 。南汽依维柯发动机厂从意大利进口的缸盖阀座及导管孔加工机床,其径向圆跳动在 0.01 mm 左右,而国产设备在 0.02 mm 左右。这就要求我们向提高精镗机床自身精度和在线自动测量及自动补偿技术方向去努力,使组合机床逐步向高精度和智能化方向发展。

提高加工精度一般通过减少数控系统的控制误差和采用补偿技术来达到。采用提高数控系统的分辨率使 CNC 控制单位精细化,提高位置检测精度以及位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制方式以达到减少控制系统误差;而补偿技术除了常规的齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具补偿外,对设备热变形误差补偿和空间误差的综合补偿技术已成为研究的热点课题。研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 60%~80%。由于计算机运算速度和主轴转速的较大提高,已开发出具有真正的零跟踪误差的现代数控装置,能满足现代数控机床工作的要求,使机床可以同时进行高进给速度和高精度加工。

(3) 发展小型精密多工位回转工作台式机床,这方面北京北方红旗机械厂搞得很好,南京聚星也在紧追不舍,目前这类厂家还不多。

(4) 开发专能机床,为某些行业一定范围内工件,不需要每台按具体的加工对象专门设计,而一次性设计成通用产品,批量生产,用户每次根据具体工件,配上刀具、夹具,就可以组成加工一定范围内零件的专用高效率机床,如组合铣、电机底座镗专机、铣端面打中心孔专机、桥壳镗车专机、轮毂车、阀门、管件行业专用鼓轮机床、连杆成套设备、曲轴专用数控(车)铣床、活塞裙部异形外圆的加工技术及设备等。

(5) 扩大组合机床应用范围,也可以向非切削加工方向发展,如测量、装配、清洗、试验等附机设备。

(6) 数控化是实现组合机床柔性化的手段,适应较小批量多品种加工的柔性制造单元(FMC)、适应中小批量,较多品种加工的柔性制造系统(FMS)以及适应较大批量较少品种加工的柔性制造线(FML)相继问世,这些借助于模块化数控单元构建的组合机床及其自动线,体现了数控机床专用化,组合机床数控化的方向。

1.1.3 行业动态

围绕行业发展方向和规划目标,业内人士采取多种措施,想方设法提升产品档次。

1. 自主开发

大连组合所率先开发成功缸盖气门阀座与导管孔枪铰机床,径向圆跳动达 0.02 mm 以内。被十多家企业采用,他们为一汽大众研制的加工主轴承盖和凸轮轴轴承盖的两条自动线,大胆采用了夹紧力控制、运输气浮、计算机监控等新技术,效果良好;大连机床厂生产的



缸体三轴精镗机床,镗出的孔精度高于 H7,粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$,位置精度 $<0.03 \text{ mm}$,成为多家发动机厂首选设备;一拖(洛阳)开创装备公司利用偏心镗头技术开发出精镗缸孔及止口机床,解决了用户的关键难题;江苏恒力机床公司为一汽无锡柴油机厂生产的精密数控铣床, $v = 180 \text{ m/min}$, $s_M = 1\ 000 \text{ mm/min}$,平面度稳定在 0.03 mm ,粗糙度 $R_a < 1.6 \mu\text{m}$,不但满足了用户的要求,还实现了“以铣代磨”的新工艺,为行业攻克了大平面精密、高效铣削技术的难关。

2. 引进国外先进技术

在国内通用部件几经升级的基础上,又引进德国许勒·惠勒公司通用部件技术进行消化、吸收,并实现了国产化。安阳二机床厂开发了 SFER 全系列滑台式铣头和 BEP、GEP 系列液压滑套头;扬州组合机床厂开发出 SEME(SEHY)系列机械(液压)滑台以及多种规格、品种数控滑台、KRS 系列十字滑台和 MTM 多轴转塔式动力头等新产品,不仅为自己生产多种组合机床提供了方便,还为行业厂生产可靠、可调、可变的数控化、柔性化组合机床夯实了基础;例如南汽设备厂利用上述国产化的德国部件成功开发出加工新跃进汽车上的差速器壳体内球面数控镗车组合机床;东风“二汽”引进美国康明斯发动机制造技术为行业攻克了连杆加工技术的难关;上海第一机床厂引进英国克劳斯公司专用数控机床及柔性单元技术,为江铃汽车底盘厂生产了 4 台三坐标加工单元和 2 台柔性加工机床,成功地用于该厂加工差速器壳体和后桥壳体生产线上。

3. 开展国际化合作和交流

通过走出去,请进来的方法,和国际知名企业联合设计和合作生产。大连机床厂和德国赫勒·许勒公司合作为上海大众提供了加工缸体、缸盖两条自动线,又与德国洪斯贝尔格公司合作为一汽大众提供了加工变速箱和离合器壳体两条自动线;一汽专机厂与德国爱克斯塞罗公司合作为一汽大众提供了缸体加工自动线。通过合作使设计人员不仅学到了许多新技术,更重要的是使设计思维和观念发生了变化,在新技术应用上有了新的突破,同时也促进了国内合作企业的产品、管理水平上了一个新台阶。

1.2 “德国工业 4.0”和“中国制造 2025”战略计划介绍

当今世界科学技术快速发展势头强劲,随着新一轮科技革命和产业变革大潮的到来,德国率先提出了工业 4.0,即第四次工业革命的高科技战略计划,旨在提升制造业的智能化水平,建立具有适应性,资源效率及人因工程学智慧工厂,在商业流程及价值流程中整合客户及商业伙伴。其技术基础是网络实体及物联网。

1.2.1 “德国工业 4.0”计划

工业 4.0 计划主要分为三大主题:

一是“智能工厂”,重点研究智能化生产系统及过程,以及网络化分布式生产设施的实现;

二是“智能生产”,主要涉及整个企业的生产、物流管理、人机互动以及 3D 技术在工业生产过程中的应用等。该计划特别注重吸引中小企业参与,力图使中小企业成为新一代智



能化生产技术的使用者和受益者,同时也成为先进工业生产技术的创造者和供应者;

三是“智能物流”,主要是通过互联网、物联网、物流网,整合物流资源,充分发挥现有物流资源供应方的效率,而需求方则能够快速获得服务匹配,得到物流支持。

工业 4.0 计划的推出,将加快社会从第三次工业革命的电子信息化时代向第四次工业革命应用物理信息融合系统(CPS)的智能化时代的推进步伐。

中德双方签署的《中德合作行动纲要》,标志着工业 4.0 已进入中德实质性合作的新时代,对于未来的中德经济发展具有重大意义。

1.2.2 “中国制造 2025”规划

中国政府在 2015 年第十二届全国人大第三次会议上郑重提出要实施“中国制造 2025”宏伟规划,这是立足我国转变经济发展方式实际需要,围绕创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展、以人为本的理念,通过努力,争取到 2025 年使我国从制造大国迈入制造强国的行列。

“中国制造 2025”应对新一轮科技革命和产业革命,这场变革是信息技术与制造业的深度融合,是以制造业数字化、网络化、智能化为核心,建立在物联网和务(服务)联网的基础上,同时叠加新能源,新材料等方面的突破而引发的新一轮变革,将给世界范围内的制造业带来深刻影响。“德国工业 4.0”和“中国制造 2025”的核心是“智能化”。

“中国制造 2025”重点发展的十大领域,高端数控机床和机器人列在其中,而组合机床是一种高效自动化设备,随着数控技术的逐步渗透,组合机床正朝着数控化,柔性化、智能化方向的高端装备方向发展。

这一轮新的变革恰与中国进行调结构、补短板加快转变经济发展方式,建设制造强国形成历史性交汇,这对中国包括我们组合机床行业在内的制造业是极大的挑战,同时也是极大的机遇。

1.2.3 工业 4.0 与数控机床智能化技术

1. 智能化数控机床

智能化数控机床是对制造过程能够自己做出决定的数控机床,其可以计算出所使用的切削刀具、主轴、轴承和导轨等的剩余寿命,让使用者清楚其剩余使用时间和替换时间。此外,可以了解制造的整个过程,能够对自己进行监控、诊断和修正在生产过程中出现的各类偏差,可自行分析机床状态、加工状态、环境有关的信息及其他因素,并且能为生产的最优化提供方案,然后自行采取应对措施来保证最优化的加工。

2. 智能化数控机床的特征

- (1) 知晓自身的加工能力/条件,并且能与操作人员交流,共享这些信息;
- (2) 能够自动监测和优化自身的运行状况;
- (3) 可以评定产品/输出的质量;
- (4) 具备自学习与提高的能力;
- (5) 符合通用的标准,机器之间能够无障碍地进行交流。

与普通数控机床的主要区别:智能机床除了具有数控加工功能外,还具有感知、推理、决



策及学习等智能功能。

3. 数控机床智能化技术

根据“工业 4.0”的思路,就是运用人工智能、云计算、大数据与数控机床结合起来,创造出云数控系统、大数据采集,实现产品设计、制造过程和企业管理及服务的智能化,是信息技术与制造技术的深融合与集成,建立起数控机床 CPS 系统。

1) 加工智能化

加工智能化指在整个加工过程中,数控机床追求的加工效率和加工质量方面的智能化。

(1) 虚拟机床加工技术

即采用与实际机床完全相同的虚拟机床(又称软件机床)对零件进行模拟加工。

(2) 数控系统集成的加工智能技术

数控系统具有提高机械加工时加工质量和生产效率的功能。通过全新的运动控制方法,可以计算出最佳表面过渡,保证刀具的移动速度始终处在最佳的范围内。

(3) 自动上下料技术

数控设备与自动上、下料技术相结合,不仅能够极大地节省人工成本,更重要的是能够保证自动加工的顺利进行,保持产品加工的一致性,提高工效。

(4) 3D 防干涉技术

在复合加工机、五面体加工中心、五轴联动机床的操作、加工中,因机床结构复杂、切削加工路径繁复等原因,工具、刀具与被加工件及机床易发生碰撞,威胁加工设备及操作人员的安全。对于这些问题,必须依赖数控机床的 3D 防干涉功能。

(5) 切削参数在线优化技术

切削参数在线优化主要是基于自适应控制技术来实现,自适应控制技术与金属加工专家系统结合起来,通过传感器实时读取正在运行的载荷值,实时计算出最佳进给速率,并自动将机床运行的进给速率调到最佳值,在超载的情况下,自动使机床停机,从而大大提高了生产效率,防止刀具、机床和工件受损。

2) 数控机床的管理智能化

数控机床的管理智能化是指数控机床在生产过程控制中,工、夹具管理等方面中的智能化。

(1) 刀具管理技术

通过刀具管理系统可知晓刀具数量、几何尺寸、在刀库中的位置;能根据刀具的加工时间或加工件数进行刀具使用寿命监控等。

(2) 数控机床的联网技术

数控机床的联网是指机床通过所配装的数控系统与外部的其他控制系统或计算机进行网络连接和网络控制。

(3) 生产状态的智能管理技术

可随时掌握数控机床的生产、使用状况;详细准确地记载机床的运转状况,管理者在办公室或家中甚至在外地也可以通过 Intranet 或 Internet 来全面了解机床近期(一天或一周内)的生产状况(从零件加工的数量、种类到机床主轴的负载情况),为管理者提供了极大的方便。

3) 智能化维护、监控技术

(1) 智能刀具监控技术

在数控加工中实时获得刀具的状态信息(工作正常或磨损、破损)对保证加工质量和提高生产效率至关重要。智能刀具监控技术的核心在于能将刀具使用过程中的信息与数控机床的控制系统进行相互交流。

(2) 主轴振动的监控、抑制技术

切削振动是影响机械产品加工质量和机床切削效率的关键因素之一,同时也是自动化生产的严重障碍,因而必须对加工过程中主轴的振动进行实时监控和调整。

(3) 智能化故障诊断技术

数控机床故障诊断技术对于提高机床运行的可靠性具有重大意义。目前,数控机床故障诊断技术的发展主要集中在智能化故障诊断系统的开发和通信诊断(亦称“远程诊断”)的完善上。

4) 数控机床操作、编程的智能化

数控机床操作、编程的智能化是指数控系统能提供直观且省时的编程和操作功能。数控编程系统的发展方向是 CAD/CAPP/CAM(计算机辅助设计/计算机辅助工艺设计/计算机辅助制造)三者的集成。可以使编程时选择加工对象,确定约束条件,选择刀具、切削工艺参数等操作不必由人工完成,而直接从 CAPP 数据库获得,降低了对数控编程系统使用者的工程素质、工程实践经验的要求,避免了绝大部分的编程错误,提高了编程的准确性和效率。

1.3 机械加工装备

1.3.1 通用机床

1. 定义

专门用于加工一种(或多种)零件上的一道(或多道)工序进行单刀切削的一种标准化、系列化、通用化设备。

2. 分类

通用机床共分 12 种门类,用大写的汉语拼音字母表示机床的类别代号,也是机床型号中的第一位代号。汉语拼音字母一律按机床名称读音。例如车床为 C、钻床为 Z。机床类别及其代号如表 1-1 所示。



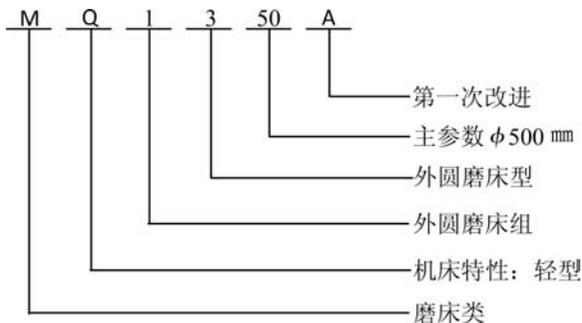
表 1-1 机床类别代号

类别	车床	钻床	镗床	磨床	齿轮 机床	螺纹 机床	铣床	刨床	拉床	电加工 机床	切断 机床	其他 机床
代号	C	Z	T	M	Y	S	X	B	L	D	G	Q
读音	车	钻	镗	磨	牙	丝	铣	刨	拉	电	割	其

3. 型号表示方法

型号表示方法按 JB 1838—1985《金属切削机床型号编制方法》编制。

例如:MQ1350A——最大加工直径为 $\phi 500$ mm 的经过第一次改进的轻型外圆磨床。



4. 特点

(1) 普通机床通常是按标准化、系列化、通用化组织设计,并成批生产,通用化程度高,相对于组合(专用)机床,制造成本低,对中小(微)企业特别适用,投资风险小,见效快。

(2) 普通机床在满足中、小批量生产、新产品试制和技术革新中适应能力强。

(3) 为了满足机械加工中不同工艺的组合和集中,相继推出了许多工艺复合的通用多功能机床,如龙门镗铣机床、铣端面打中心孔机床等。

(4) 为了提高生产率,满足某一特定零件的大批量生产,普通机床也出现了一批具有某种特性系列和专用性系列机床,如多刀半自动机床、液压仿形机床、曲轴车(铣)床、花键铣床等。山东德州机床厂采用斜床身数控车配上专用夹具,满足了曲轴主轴颈和连杆颈粗、精合一加工要求,达到了粗磨的精度;又如沈阳一机开发的 S1-305 曲轴数控铣,工作时曲轴既不转动又不移动,靠铣刀盘在切削位置旋转一周,一次性完成主轴颈和连杆颈的自动加工。

(5) 随着科学技术的不断进步,普通机床的传动、控制系统也发生了深刻的变化,不再完全是传统的机械传动加常规电气控制向液(气)压传动控制和数字控制方向发展。随着数控技术的日益成熟和广泛应用,大批大量的数控机床源源不断推向市场,从而极大地提高了通用机床的自动化水平和对零件的加工精度。

5. 缺点

(1) 通用机床最主要的缺点是单刀切削,对零件是一刀一序加工,生产效率低。

(2) 即使在多刀自(半自)动机床上加工,由于多刀切削,导致切削力增大,从而使工件、刀具、机床发生变形,影响加工精度。

(3) 结构相对简单,工艺水平不高,对企业的技术进步和产品转型升级有一定的制约。

1.3.2 加工中心(MC)

1. 定义

加工中心是一种带有刀库、头(工艺切削)库,并能自动换刀、换头、自动更换工件,实现平面、任意曲面、孔、螺纹等多工序加工,是一种独特的多功能、高精高效、高自动化的现代化复合式加工设备。

2. 类型

加工中心分门别类繁多,从结构和性能上大致划分为:

(1) 立式加工中心,主轴(Z 轴)的空间位置垂直配置,适用于盖板类等一般复杂零件和模具的加工,应用范围广。

(2) 卧式加工中心,主轴(Z 轴)的空间位置水平配置,一般配有容量较大的链式刀库,机床带有自动分度的工作台或配有双工作台,使得零件装卸和加工时间重合,主要适用于箱体类等复杂零件的加工。

(3) (龙)门式加工中心,它又有龙门移动和固定之分,特别是龙门移动式加工中心体积相对庞大。例如江苏恒力机床公司生产的 BMC2500 龙门移动式加工中心 X 轴行程达 21 000 mm,工作台承载能力达 200 t,主要适用于大型床身、机体、结构件等重型机械零件的加工。

(4) 复合式加工中心,以某种工艺基型为基础,借助于不同工艺切削头以及不同结构的刀库等部件的组合,就组成复合式加工中心,它适用于一些特殊、较为复杂的零件多工序的加工,也适用于更换加工对象的场合。例如车铣复合加工中心就是以车削加工中心为基础,借助于不同结构的刀具转塔和铣削头的组合,可以完成车、铣、钻、攻等多工序的加工。

(5) 多轴联动加工中心,其中最典型的五轴联动的五面体加工中心,它特别适用于汽轮机中的大型叶片等空间螺旋曲面零件加工,完成钻、镗、铣、攻等多工序及五面加工。

(6) 专能(用)加工中心,随着组合机床加工中心化,加工中心组合机床化的趋势的发展,相继出现了为某些行业内一些特殊零件量体裁衣定制的专能加工中心,如曲轴(凸轮轴)车铣加工中心,以及适应对板类、盘类、壳体等零件完成多工序加工的专用加工中心等。

3. 特点

(1) 加工精度高,由于加工中心主轴均为电主轴,不仅转速高,自身精度较高,甚至还配有刀具自动测量和自动补偿装置,再加之选用了优质品牌刀具,工作台定位精度达到 0.01 mm 以内,重复定位精度达 0.007 mm 左右,被加工零件精度不少达到了 IT5 级,表面粗糙度达到 $R_a 0.4 \mu\text{m}$;

(2) 生产效率高,由于运动导轨多为滚动直线导轨,不少高档加工中心用直线电动机轴取代常规的滚珠丝杠,快速进给速度最高达到 60 m/min,性能好的电主轴转速最高达 16 000 r/min,如铣削线速度高达 1 500 m/min,刀塔换刀时间最快能达 1 s 以内,生产节拍甚至以秒为单位进行计算。

(3) 高可靠性,由于加工中心上配套的主轴单元、数控系统、滚动功能部件、数控刀架(库)、工艺切削头、数控转台等功能部件都是经过精挑细选的,故加工中心性能稳定,在不同



运行条件下完成多种加工任务,并能够保证零件的加工质量。

(4) 自动化程度高,由于加工中心配备性能可靠的数控系统,加工时可实现自动换刀、换头、换工件,高性能的加工中心还具有信息化、智能化功能,加工中心不仅提供“体力”,也有“头脑”,能够独立地自己管理自己,并与企业的管理系统和人通信。加工过程是在一系列传感器的监视下进行的。

(5) 工序集约、复合加工,特别是一些高档加工中心,在一台加工中心上尽可能加工完毕一个零件的所有工序,同时又能保持加工中心的通用性,能够迅速适应加工对象的改变。也体现了它具有一定的柔性化水平。

(6) 应用范围广、适应能力强,加工中心能适应不同规模、不同品种、不同批量产品的加工要求,它可以单独使用,也可以在生产流水线和自动线上被采用,甚至在柔性制造单元、柔性生产线和柔性制造系统中也得到广泛的使用。

4. 缺点

- (1) 加工中心仍属于单刀切削设备,相对于组合(专用)机床而言,切削效率不高。
- (2) 加工中心在适应成批大量生产中,其使用效果尤其使用寿命不如组合(专用)机床。
- (3) 加工中心虽然功能较多,往往会出现功能得不到充分发挥的情况。

1.3.3 专用机床

1. 定义

专门用于加工一种零件或一种零件上的一道(或几道)工序,采用多刀同时切削的一种高效专用设备。

2. 特点

- (1) 多刀同时加工,生产效率比通用机床效率高,容易实现工作循环的自动化(或半自动化)。
- (2) 适用于一种工件某道(或几道)工序,结构相对简单。

3. 缺点

- (1) 机床设计,专用件多,通用化程度低。
- (2) 单机(件)生产,成本相对高,制造周期长,经济效益不高。
- (3) 不易重新改装,对技术进步和生产发展带来一定制约。

1.3.4 组合机床及其自动线

1. 定义

由预先按标准化、系列化设计制造好的,并经实践验证过的通用部件和一些专用部件组成的加工一种(或几种)零件的一道(或几道)工序的高效机床,叫组合机床。

由组合机床及专用机床、零件输送装置、转位装置、排屑装置等部件(或机构)按照规定的动作顺序和节拍进行自动化工作的流水成套装备叫做自动线。

2. 特点

- (1) 通用化程度高,可达 70%~80%,缩短了设计制造周期,相对于专用机床制造成本

低。按照模块化原理进行设计与制造是它的最基本和最重要的特征。

(2) 按具体加工对象设计,按最合理工艺过程加工,针对性强。

(3) 多刀、多序、多件、多面同时加工,是工序高度集中的最好途径,是提高生产效率的理想设备。莱阳动力机械厂曾做过分析比较,用组合机床加工和原来的通用设备比较,效率提高 6~10 倍左右。

(4) 产品质量稳定,不少组合机床的 CP 值达到 1.33。

(5) 自动化程度高,便于维护、保养。

(6) 自动化程度高的自动线,除机械加工外,尚能进行孔的深度检测,孔的精度自动测量、水平实验、自动装配、自动分组等工序。

(7) 对操作工人的技术水平要求不高,只要不断地将零件放进装料架上,又从卸料架上不断地卸下零件,自动线就能不停地工作。

3. 缺点

(1) 通用部件品种缺口不少,如车削类通用部件,以适应盘类零件加工(齿坯、飞轮、制动鼓、轮毂等)的目前还没有,不少小规格的通用部件尚未很好开发,即使开发出来,生产厂家少,与市场接轨还不够吻合。这在日本、德国等国家以及台湾地区做得比我们好。

(2) 适应多品种、小批量的组合机床尚需进一步开发。

(3) 适应形状、结构特异的零件:如薄壁件、阀门、管件等加工的机床有待进一步开发。

(4) 几十年来,组合机床及其自动线虽然发展较快,但是由于它的局限性和可重构性差,属于刚性结构,满足不了在尽可能保持高生产率特征的同时,能够适应有限的多品种生产的需要,和当今广大用户产品快速更新换代的步伐欠合拍。

(5) 特殊刀具发展滞后:如涂层刀具、金刚石(DIC)刀片、陶瓷刀片、立方氮化硼(CBN)刀片等。

(6) 不少国产液压、电器元件质量欠稳定可靠,对要求高的机床这些元件往往还依赖进口。

(7) 机床辅机质量不尽如人意,冷却、防护、排屑等往往不被人们注意,其实它们的质量的好坏将直接影响机床的正常使用。

1.4 组合机床的组成及基本配置形式

组合机床的组成从广义上讲,它是由通用部件和专用部件及控制系统等部件组成,但是根据它的不同配置形式具体组成部分也各不相同。在下面基本配置形式中详细介绍。

组合机床的配置形式的区别主要是在于夹具运动形式和动力头安置形式的不同。目前主要有以下两大类及其各种基本配置形式:

1.4.1 夹具固定式机床

这类机床上的夹具和被加工零件都是固定不动的,一般为单工位,根据加工所需动力头数量及其安置形式,又可分为下面几种基本配置形式,如图 1-1 所示:

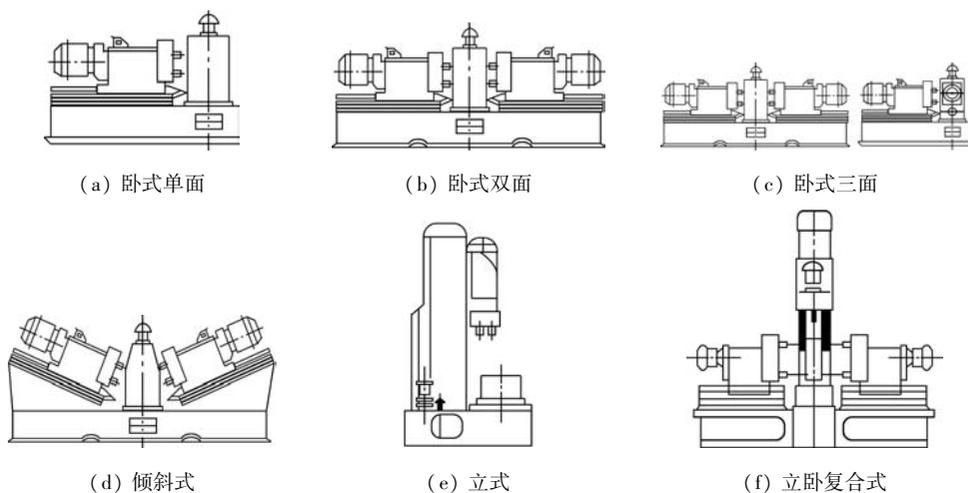


图 1-1 夹具固定式机床配置示意图

1. 卧式

动力头是水平安置的,它又有卧式单面、卧式双面、卧式三面、卧式四面等之分。机床由动力头(箱)、底座、滑台、主轴箱、夹具及控制系统等主要部件组成。

2. 倾斜式

动力头是倾斜一定角度安置的,它有单头(轴)、双头(轴)、多头(轴)之分,机床的组成部分除和卧式机床相同外,增加了专用倾斜式垫块。

3. 立式

动力头是垂直安置的,它又有立式单头(轴)、立式双头(轴)、立式多头(轴)之分。除了增加立柱部件外,其余组成部分和卧式组成部分一样。

4. 复合式

是由以上两种或三种形式组合成的机床。其组成部分也是以上两种或三种配置形式的组成部分的组合,还要增加一个中间底座。

1.4.2 夹具移动式机床

这类机床上的夹具,按照一定的循环间歇移动或回转,一般为多工位,也可以叫做多工位机床,它可以分为下面几种配置形式:

1. 移动工作台机床

这类机床的夹具和工件可做直线往复移动,机床大多为卧式和立式,也有组合成复合式的。如组合铣床、多工位定位销孔钻、扩、铰机床、铣端面打中心孔机床、钻孔、攻丝机床、立式镗缸孔机床等,如图 1-2 所示。它们主要由底(侧底)座、中间底座、滑台、动力箱(头)、主轴箱、夹具及控制系统等部件的不同组合而成。

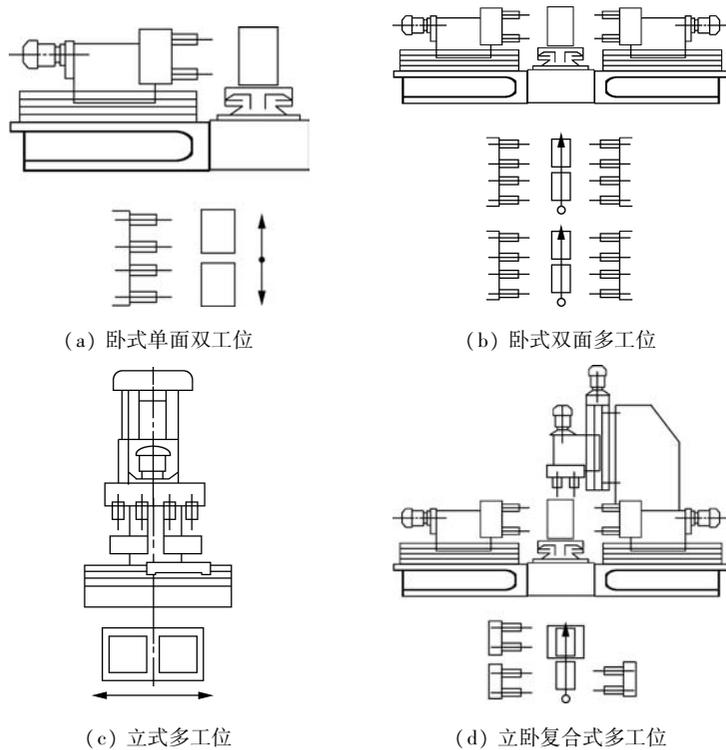


图 1-2 移动工作台机床示意图

2. 回转工作台机床

这类机床的夹具和工件可绕垂直轴线回转,常常在回转工作台的每个工位上都安装一个工件,有立式、卧式或复合式等,如图 1-3 所示:对于图 1-3(a)所示的机床,主要由底座、立柱、动力箱(头)、主轴箱、滑台、回转工作台、夹具及控制系统等部件组成。对于图 1-3(b)所示的机床,主要由侧底座、中间底座、滑台、动力箱(头)、主轴箱、回转台、夹具及控制系统等部件组成。对于图 1-3(c)所示机床,主要由侧底座、立柱、中间底座、滑台、动力箱(头)、主轴箱、回转台、夹具及控制系统等部件组成。

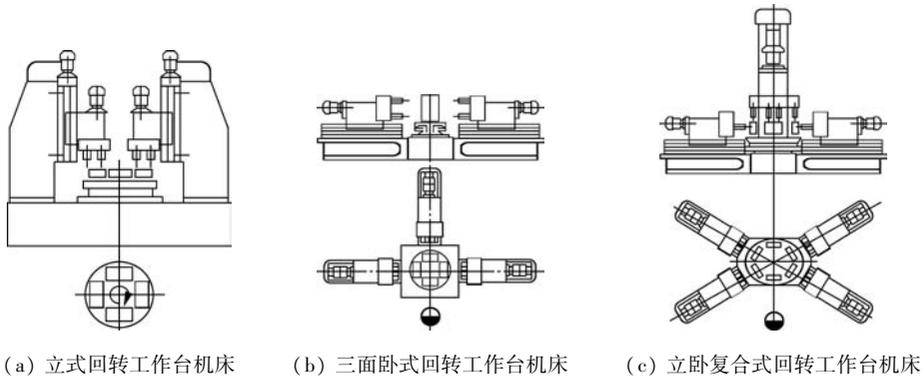


图 1-3 回转工作台机床示意图



3. 中央立柱式机床

这类机床具有直径较大的环形回转工作台,安装动力头的立柱是在环形回转台的中央,一般为复合式,如图 1-4 所示:它主要由侧底座、中央底座、环形回转工作台、立柱(多边形)、滑台、动力箱(头)、主轴箱、夹具及控制系统等部件组成。

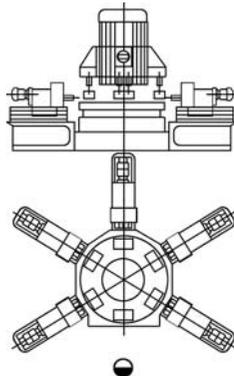
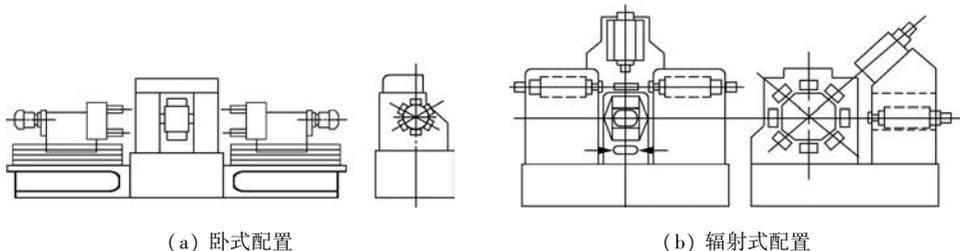


图 1-4 中央立柱式机床示意图

4. 鼓轮式机床

这类机床的夹具和工件可绕水平轴线回转,一般为卧式单面或双面,也有辐射式的,即在垂直于回转轴线的平面内安置动力头,如图 1-5 所示:它的组成部分和以上介绍的组合机床不同点就是采用了回转鼓轮及支架。其余所选的支持部件和动力部件类同。



(a) 卧式配置

(b) 辐射式配置

图 1-5 鼓轮式机床示意图

1.5 组合机床自动线的组成和分类

1.5.1 组合机床自动线的组成

它是由组合机床及专用机床、零件输送装置、转位装置、排屑装置和控制系统等部件(或机构)组成。

1.5.2 组合机床自动线的分类和布局

1. 按零件是否通过机床分类

(1) 通过式:这种自动线加工的零件是从机床的夹具一边进来,加工完了从另一边出去,被自动送到下一台机床进行加工,如图 1-6 所示。

(2) 非通过式:有些零件在加工时,中间需要设置导向,零件不能从夹具中通过,必须将零件从机床的上边安放到夹具中,加工完毕后,零件提升、拉出、回到输送工位,有的零件需要(双)三面同时加工,在自动线中,把零件的输送带放在机床的一侧,机床设有推料装置,先将零件拉进机床夹具中,加工好后再推回到主输送带上去,如图 1-7 所示。

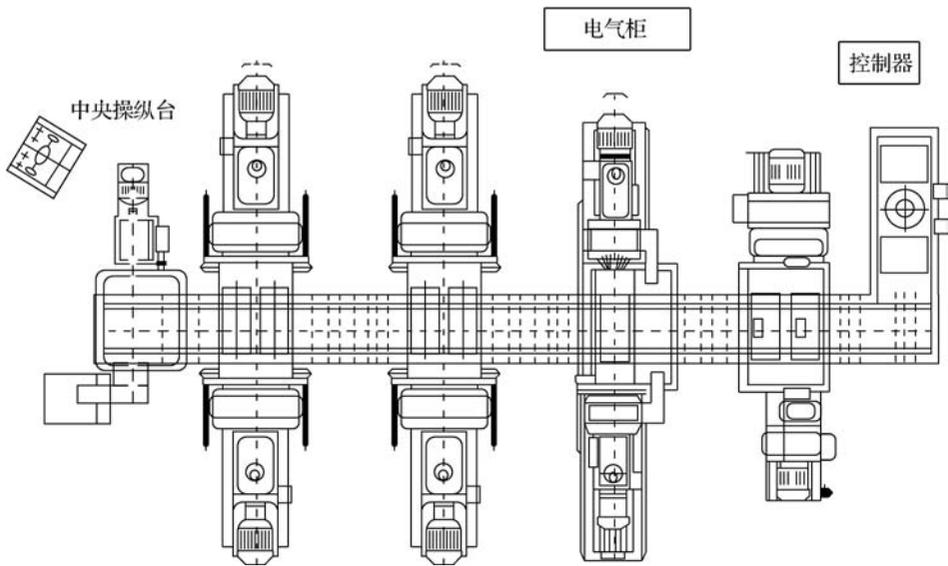


图 1-6 通过式自动线示意图

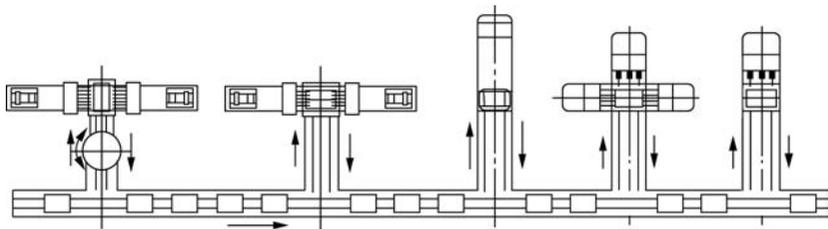


图 1-7 非通过式组合机床自动线示意图

2. 按零件运输方式分类

(1) 直接运输:在运输过程中,零件直接在支撑板上滑动,用于有运输基面的箱体类零件,如图 1-8 所示。

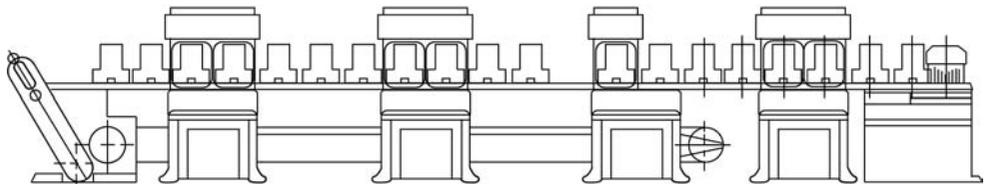


图 1-8 直接运输的自动线示意图

(2) 间接运输:零件没有运输基面,将零件先装在随行夹具上,在运输过程中,由随行夹具在支撑板上滑动。

(3) 悬挂运输:零件加工时,中间要设置导向,采用机械手和小车将零件吊起运输。小车每到一个位置,机械手下降,抓住零件然后机械手上升,小车向前移动一个工位,机械手下降,放下零件,再上升,小车返回原位,待加工完后,零件松开,抬起,动力头退回原位,机械手再下降,重复上述的循环,如图 1-9 所示。

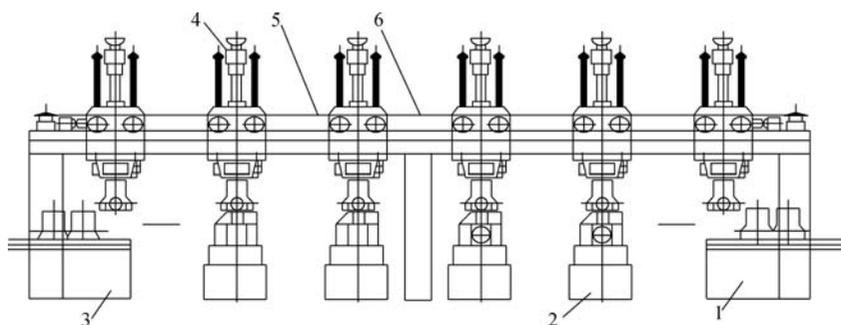


图 1-9 悬挂输送式自动线

1—装料台;2—机床;3—卸料台;4—机械手;5—传动钢丝绳;6—传动装置油缸

(4) 工件升起运输:采用上述的悬挂方式运输,结构比较复杂。零件加工时中间需有导向的零件,可以考虑在夹具上设置升起装置,零件加工完后,将其升起超过中间导向的高度,则可以进行直接运输。

(5) 抬起运输:有色金属零件,为了避免划伤基面,在运输时,将零件抬起 2~3 mm,到加工位置再落下夹紧。

3. 按联接方式分类

(1) 刚性联接:一般由二三个工段组成的较短自动线,在工段之间没有储料库,只设有转位、翻转装置。这种联接形式属于刚性的。

(2) 柔性联接:较大型的自动线,除在工段之间设有转位、翻转装置外,还设有储料库。这种联接形式属于柔性的。

4. 按排列方法分类

(1) 顺序的:一般自动线属顺序排列。

(2) 平行的:为了提高生产率,可以将两条同样工序的自动线平行排列,按照同样的节奏同时进行加工两个以上的零件。

(3) 混合的:顺序与平行混合,为了平衡节拍,生产率低的采用平行排列,生产率高的采用顺序排列。

5. 按布局形式分类

(1) 直线的:几个工段的运输带在一条直线上。

(2) 折线的:几个工段的运输带成折线布局。

(3) 封闭式的:几个工段的运输带成折线而且封闭,装、卸工件在一个地方,可节省一个操作工人,如图 1-10 所示。

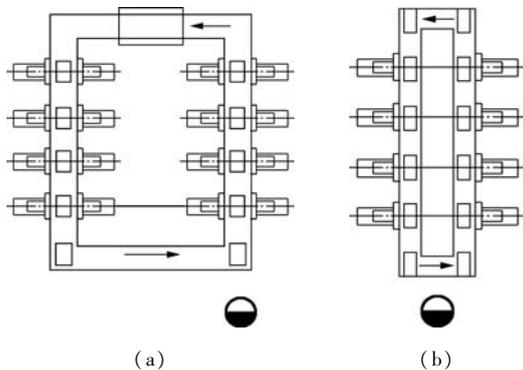


图 1-10 封闭框形随行夹具自动线平面布置示意图

第二章

组合机床设计基础

▶▶ 2.1 机械加工工艺规程的制定

工艺规程就是一系列不同工序的组合,用表格(文字)的形式写成工艺文件,它主要包括工艺过程卡、工序卡、检验卡等,用来指导和组织生产,这就是机械加工工艺规程。

2.1.1 工艺规程选择的因素和依据

(1) 生产规模是决定生产类型的主要因素,生产类型就是人们按照投入的生产批量或生产的连续性分成单件、批量和大批量三种类型。生产规模是设备、工具、机械化和自动化程度的选择依据。

生产纲领就是包括备品和废品在内的该零件的年产量 K ,它与产品年产量 N (N 为台/年)的关系式为:

$$K = N \cdot n \cdot (1 + a\% + b\%) \quad (2-1)$$

式中: n —每台产品的零件数; $a\%$ —备品率; $b\%$ —废品率。

(2) 制造零件所用的坯料或型材的形状、尺寸和精度以及它们的工艺性,是选择加工总余量和加工过程中头几道工序的决定因素。

(3) 零件的表面粗糙度是决定表面上光、精加工工序的类别和次数的主要因素。

(4) 特殊的限制条件,例如企业的设备和用具的条件也是选择工艺规程的因素。

(5) 产品装配图和零件工作图等原始资料是选择工艺规程的主要依据。

(6) 零件材料的特性(如硬度、可加工性、热处理在工艺路线中排列的先后顺序等),它是决定热处理工序和选用设备及切削用量的依据。

(7) 零件的制造精度,包括尺寸公差、形位公差以及零件图上所指定或技术条件中各项条款和补充指定的要求。

2.1.2 制定工艺规程程序和方法

(1) 分析研究产品装配图和零件图,首先要熟悉产品的性能、用途和工作条件,了解零件在产品中所起的作用,找出主要技术要求和关键技术问题,并分析零件结构、工艺性是否好。

(2) 确定各工序的加工余量,选择切削用量,计算工序尺寸及公差,尤其是对生产流水线 and 自动线尤为重要。



- (3) 确定各主要工序的技术要求及检验方法。
- (4) 确定各工序所需设备、刀具、夹具、量具和辅助工具。
- (5) 制定工时定额。
- (6) 拟订工艺路线,填写有关工艺文件。

(7) 熟悉毛坯(分)厂的生产能力和技术水平,并根据产品图纸审查毛坯材料选择及制造方法是否合适,从工艺角度(如定位、夹紧、加工余量及结构工艺性等)对毛坯制造提出要求。

(8) 要掌握工厂现有的生产条件,如设备规格、性能、精度以及刀具、夹具、量具规格和使用情况;工人技术水平;制造专用设备和工艺装备的能力等,使工艺规程制定得切实可行。

(9) 不断了解国内外先进生产技术发展情况,以便在工厂现有条件下,采用先进工艺和先进技术的能力和可能性,不断提高工艺水平,以便制定出先进的工艺规程。

(10) 拟订工艺路线,是制定工艺规程的关键一步,由于生产规模和各企业的具体情况不同,对同一零件的工艺规程的制定,可能提出多种方案,对各方案应进行分析比较,从中确定一个最经济、最安全可靠的方案。

(11) 在一般情况下,工艺规程的拟订必须根据工艺条件和经济条件用逐次修正的方法进行,而不是一成不变。

2.2 机械加工生产流水线的设计

2.2.1 什么是生产流水线

1. 定义

按照拟订的工艺路线,将选定的多台组合(专用)机床、通用机床、加工中心等设备和必要的机构(如上、下料机构,输送机构,转位机构,排屑清洗机构等)或部件有序地排开,按照规定的动作顺序和节拍,在电气系统控制下进行工作的流水成套设备叫生产流水线。

2. 特点

(1) 专业化程度高,在流水线上固定生产一种或几种制品,每个工作场地固定完成一道或几道工序。

(2) 生产有明显的节奏性,按节拍进行生产。

(3) 各工序的工作场地数量与该工序单件工时的比值一致。

(4) 工艺过程封闭,工作场地按工艺顺序排列成链索形式,加工对象在工序间做单向移动。

(5) 加工对象如同流水般地在工序间移动,生产过程具有高度的连续性。

3. 条件

(1) 产品结构和工艺相对稳定,产品结构能够反映现代化科学技术成就并基本定型。

(2) 采用了先进合理的工艺方法、机床设备和工具。

(3) 工艺过程能划分成简单的工序,并能根据工序同期化要求把一些工序分解和合并。

(4) 产品产量要足够大,单位劳动量也较大,以保证流水线各工作场地有足够的负荷。



(5) 厂房建筑和生产面积容许安装流水线的设备、工装和运输传送装置等。

4. 分类

1) 按生产对象数目分

(1) 单一(不变)对象流水线,它只固定生产一种产品(零件),不改制其他产品(零件)。

(2) 多对象流水线,它生产两种或两种以上产品(零件),因为它们在生产中有一个转换方式的问题,因此它又分为可变流水线和成组流水线。

2) 按生产的连续程度分

(1) 连续流水线,即制品被完成一道作业后,立即传递到下一道工序,不停留地被进行顺序作业,直到制成成品。制品一直在被进行加工或传递,没有等待停歇现象。

(2) 间断流水线,从整个流水线来看是连续生产,但在个别工序上因生产能力不平衡或者其他原因,使制品在工序间不能连续移动而产生了间歇时间。

3) 按运输方式分

(1) 按件运输流水线,即一件产品(零件)加工或装配完毕后,立即传送到下道工序,一般采用专用滚道、滑道和运输链进行运输。

(2) 按组运输流水线,即成组产品(零件)由一工作场地运送到下一工作场地,一般采用专用小车或普通工具来完成。

4) 按机械化程度分为自动线、机械化流水线和手工流水线。

2.2.2 生产流水线设计程序和方法

1. 确定流水线的形式和节拍

流水线形式取决于产品(零件)的年产量和劳动量,在全面参考了企业的生产任务和现有条件,对制品结构和工艺稳定性进行综合分析以后,决定流水线的形式。

节拍是流水线的最重要的因素,它表明了流水线的生产速度的快慢或生产率的高低。节拍计算公式如下:

$$\text{流水线节拍} = \frac{\text{计划期有效工作时间}}{\text{计划期产品产量}} \quad (2-2)$$

2. 工序同期化

通过各种可能的技术措施来调整或压缩各工序的单件时间定额,使它们等于流水线节拍或与节拍成整数倍比关系。它是组织连续流水线的必要条件,也是提高设备负荷系数、提高劳动生产率和缩短生产周期的重要方法。

3. 计算设备数量和设备负荷系数

为使制品在流水线上各工序间平行移动,每道工序的设备数目应当是工序时间和流水线节拍之比,即

$$\text{流水线上第某道工序的设备数} = \frac{\text{第某道工序单件时间定额}}{\text{流水线节拍}} \quad (2-3)$$

设备的负荷系数是反映设备负荷情况的指标,其计算公式为:

$$\text{设备负荷系} = \frac{\text{流水线第某道工序设备的数量}}{\text{采用的设备数量}} \quad (2-4)$$



设备负荷系数决定了流水线作业的连续程度,在一般情况下,若这一系数在 0.75~0.85 之间,以考虑采用间断流水线为宜。

4. 计算工人人数

以手工劳动为主的流水线,工人人数按下列公式计算:

$$\text{第某道工序的工人人数} = \frac{\text{采用的设备数量} \times \text{第某道工序每一工作场地同时工作人数} \times \text{每日工作班次}}{\quad} \quad (2-5)$$

整个流水线所需的工人人数就是所有工序人数之和,该种流水线不考虑后备工人。

以设备为主(自动化程度相对高)的流水线,工人人数按下列公式计算:

$$\text{流水线工人总数} = (1 + \text{考虑代替缺勤工人和从流水线替换下来的后备工人的百分比}) \times \text{工序数} \times (\text{采用的设备数量} \times \text{每日工作班次} / \text{第某道工序每个工人的设备看管定额}) \quad (2-6)$$

先进的流水线上配桁架机械手(机器人),工人人数大为减少。

5. 确定流水线节拍的性质和实现节拍的方法

选择节拍的主要依据是工序同期化程度和制品的重量、体积、精度、工艺性等特征。当工序同期化程度很高,工艺性良好,制品的重量、精度和其他技术条件允许严格地按照节拍生产制品时,采用强制性节拍,否则可以采用自由节拍或粗略节拍。

强制性节拍流水线采用分配式传送带、连续式工作传送带、间歇式工作传动带等三种类型的传送带。

自由节拍流水线一般采用连续式运输传送带、滚道、平板运输车、滑道等。

粗略式节拍流水线一般采用滚道、重力滑道、手拖车、叉车、吊车等。

6. 流水线的平面布置

应有利于工人操作方便,制品运动路线最短,流水线互相衔接以及生产面积的充分利用。

流水线的形状:一般有直线形、直角形、开口形、环形和折线形等。

2.3 组合机床的工艺范围及能达到的加工精度

2.3.1 目前组合机床上常用的工艺方法

1. 一般孔加工

对于铸件,在组合机床上一般常采用的工艺过程见表 2-1,一般孔工艺过程实例见表 2-2。

表 2-1 一般常采用的工艺

(单位:mm)

孔径 公差等级	φ40 以下(无底孔)	φ40 以上 (有铸出的毛坯孔)	备注
IT6 以上		粗镗(双刀)、半精镗、精镗;粗镗(双刀)、精镗(双刀)。	用粗精四把镗刀的方案不是很稳定

续表 2-1

公差等级 \ 孔径	$\phi 40$ 以下(无底孔)	$\phi 40$ 以上 (有铸出的毛坯孔)	备注
IT7	加工直径小于 $\phi 16$ 的孔: 钻、 铰或钻、扩、铰。 加工直径大于 $\phi 16$ 的孔: 钻、 扩、铰或钻扩、粗铰、精铰。	镗(双刀)、粗铰、精铰; 扩 (粗镗)、半精镗、精镗; 粗 镗、半精镗、精镗。	
IT8	加工直径小于 $\phi 20$ 的孔: 钻、扩、铰; 钻-铰复合; 钻-镗复合。 加工直径大于 $\phi 20$ 的孔: 钻、扩、铰。	粗镗、精镗; 粗镗、精镗(双刀); 镗(三把刀); 扩、铰、挤。	在加工壁厚不大的情 况下: 粗糙度为 $\sqrt{3.2}$ 或 $\sqrt{1.6}$ 当加工壁厚较薄时: 粗糙度为 $\sqrt{0.8}$
IT9	加工直径小于 $\phi 25$ 的孔: 钻、扩钻、铰。 加工直径大于 $\phi 25$ 的孔: 钻、镗; 钻、镗(双刀); 钻、扩、铰。	扩、铰; 粗镗、精镗。	按加工余量及粗糙度 的要求合理选择
IT10	加工直径小于 $\phi 30$ 的孔: 钻。 加工直径大于 $\phi 30$ 的孔: 钻、 扩或钻、铰。	粗镗; 粗镗、精镗。	在粗糙度要求较高时

表 2-2 一般孔工艺过程实例

加工工艺	孔径	材料	代表零件	加工过程和工作条件	所达到的精度	
					粗糙度	
精镗	$\phi 94.95H6$ $(\begin{smallmatrix} +0.022 \\ 0 \end{smallmatrix})$	铸铁	汽缸体	1. 精镗前经过粗镗和半 精镗。 2. 固定式夹具、导杆多支 点导向。 3. 镗模与夹压支架分开。	粗糙度	$\sqrt{1.6}$
					\bigcirc	0.015—0.02
					H	0.010
					\odot	0.02—0.035
	$\phi 95H6$ $(\begin{smallmatrix} +0.022 \\ 0 \end{smallmatrix})$	巴氏合金	机体	1. 单轴镗床主轴为皮带 传动。 2. 固定式夹具, 多支点 导向。	粗糙度	$\sqrt{0.8}$
					\bigcirc	0.01
					H	
	\odot	0.015				
	$\phi 280H6$ $(\begin{smallmatrix} +0.032 \\ 0 \end{smallmatrix})$	铸铁	后桥壳体	1. 在两台单轴镗床上加 工, 每次 2 把刀。 2. 移动式夹具, 多支点 导向。	粗糙度	$\sqrt{0.8}$
\bigcirc					0.025	
H						
\odot	0.02					

加工工艺	孔径	材料	代表零件	加工过程和工作条件	所达到的精度	
精镗	$\phi 30H6$ $\begin{pmatrix} +1.013 \\ 0 \end{pmatrix}$ $\phi 120H7$ $\begin{pmatrix} +0.34 \\ 0 \end{pmatrix}$	铸铁	变速箱体	1. 工件经过镗(扩)、镗、精镗或在两台机床上镗(双刀)。 2. 最后一把刀余量 0.2 mm (直径上)。 3. 固定夹具, 刀杆前后导向。	粗糙度	$\sqrt{0.8}$
					\bigcirc	0.01—0.02
					H	
					\odot	0.02—0.03
铰孔	$\phi 16H7$ $\begin{pmatrix} +1.011 \\ 1 \end{pmatrix}$ $-\phi 25H7$ $\begin{pmatrix} +0.021 \\ 0 \end{pmatrix}$	铸铁	正时 齿轮室	钻—扩—铰或钻—扩—铰 复合	粗糙度	$\sqrt{1.6}$
					\bigcirc	0.03—0.04
	H					
$\phi 124.9H7$ $\begin{pmatrix} +0.04 \\ 0 \end{pmatrix}$	淬火铸铁 HRC40	缸体	1. 在精铰前经粗镗、半精镗, 用镗刀头加工。 2. 刚性主轴加工时用煤油冷却。	粗糙度	$\sqrt{1.6}$	
				\bigcirc	0.03—0.04	
H						
$\phi 13H8$ — $\phi 18H8$ $\begin{pmatrix} +0.027 \\ 0 \end{pmatrix}$	钢件	连杆	钻、扩、铰或扩、扩、铰。	粗糙度	$\sqrt{1.6}$ — $\sqrt{3.2}$	
扩孔	$\phi 53H10$ $\begin{pmatrix} +0.42 \\ 0 \end{pmatrix}$	钢件	平横臂	1. 孔径粗扩后顺序进行精扩。 2. 立式动力头, 活动钻模板。 3. 扩孔余量在半径上为 1.5 mm。	粗糙度	$\sqrt{6.3}$

2. 常用的孔加工方法

1) 钻孔

钻孔有一般钻孔和钻深孔两种情况。从钻深角度来看, 钻孔深度为 3~4 倍直径的占大多数。钻深孔时, 为了防止切屑堵塞而引起钻头折断, 要采取分级进给的办法, 即在加工过程中钻头定期退出以排除切屑。图 2-1 所示是一般钻孔加工示意图。图 2-2 所示是钻深孔加工示意图, 现在有不少厂家逐步采用枪钻取代分级进给的方法钻深孔。

组合机床上钻孔多数是用标准的麻花钻, 有时也采用扁钻。扁钻多用于加工直径较大的孔, 一般孔径范围在 $\phi 20 \sim \phi 60$ mm。

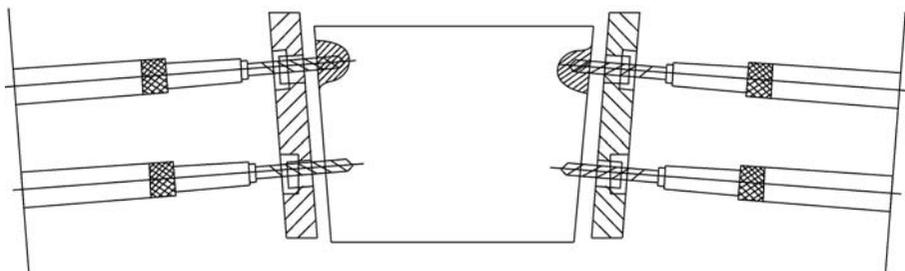


图 2-1 一般钻孔加工示意图

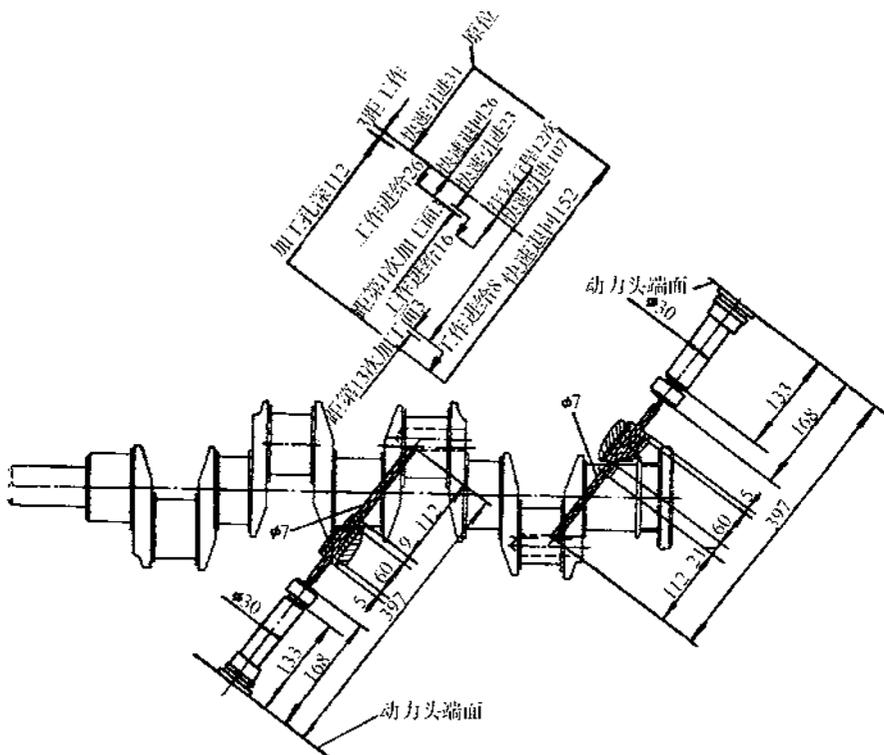


图 2-2 钻深孔加工示意图

钻孔工序大多是扩铰工序前加工底孔及加工螺纹底孔。在铸铁工件上钻孔精度一般可达 11 级,粗糙度为 $\sqrt{12.5}$ 。钻孔位置精度一般可达 ± 0.20 mm。钻孔孔径及位置精度主要取决于导向精度及钻头的刃磨情况。为了提高钻孔孔径及位置精度,要减少导向和钻头间的间隙,严格控制钻头切削刃的摆差,如钻头横刃的刃磨和钻头的倒锥等,使导向适当靠近被加工零件以及严格要求主轴与导向之间的同轴度。这样也可以达到位置精度 ± 0.15 mm。但钻孔也不一定非用导向不可,在钻头直径较大和主轴刚性好时,可以不用导向的刚性钻孔。

2) 扩孔

图 2-3 所示是组合机床用扩孔钻加工的示意图,扩圆柱孔、锥孔、镗窝、倒角、镗平台以及扩球(成形)面等。

扩孔工序多半是精铰或精镗前的粗加工工序。由于扩孔钻有较多的导向刃带,因此其加工精度比钻头高。对一些精度要求不高的孔也可以用扩孔作为最后的完工工序。在铸铁件上扩孔,孔的精度能达到 9~10 级,表面粗糙度为 $\sqrt{6.3}$ 左右,个别情况亦可以达到 8 级精度及 $\sqrt{3.2}$ 的粗糙度,孔的位置精度可以达到 ± 0.1 mm。为了提高扩孔精度,要减小扩孔钻与导向套的径向间隙,并使导向适当靠近加工表面,以及严格要求主轴与导向的同轴度。

在一些薄壁上扩孔或钻孔后扩孔多采用悬臂加工。当位置精度要求较高或扩孔前的底孔质量较差(比如铸孔)以及由于条件限制导向不能靠近工件时,则采取前、后导向进行扩孔。

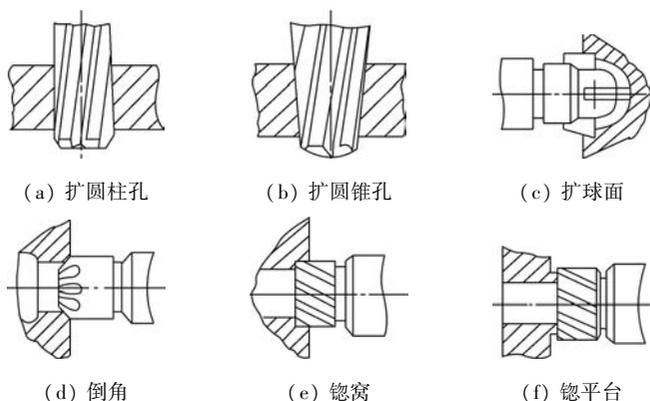


图 2-3 扩孔钻加工示意图

3) 铰孔

可以铰圆柱孔、阶梯孔及锥孔。铰孔直径大多为 40 mm 以下,但也有直径为 40~100 mm 的孔。根据具体工艺条件,精铰孔的精度可达到 7~8 级,粗糙度 $\sqrt{1.6}$ 。加工铸铁件时,在铰刀设计、制造合理,采用良好润滑的情况下,也可达到 $\sqrt{0.8}$ 的粗糙度。但铰钢件时粗糙度一般为 $\sqrt{3.2}$,对于一些直径较小的孔或者铰刀几何参数和润滑选择恰当,亦可达到 $\sqrt{1.6}$ 的粗糙度。铰孔是在精密导向中进行的,可以获得高的位置精度,一般为 $\pm 0.03 \sim \pm 0.05$ mm。为了提高铰孔的加工位置精度,必须严格控制铰刀导向部分和导向套的径向间隙,提高铰孔主轴对导向套的同轴度要求,并使导向适当靠近工件。在导向长度大时,可使铰刀与主轴浮动连接。为了保证同轴度,铰孔加工时还采用前、后导向的方法。

4) 镗孔

当被加工孔直径在 40 mm 以上时,多采用镗削加工方法加工。但当被加工孔较浅时,直径虽在 40 mm 以下,甚至为 10 mm 左右的孔,亦可采用镗削的方法加工。

镗孔可达 6~7 级精度,粗糙度在 $\sqrt{1.6}$ 左右。在加工有色金属(巴氏合金、青铜等),镗刀刃磨合理时,表面粗糙度可达 $\sqrt{0.8} \sim \sqrt{0.4}$ 。孔的位置精度能达到 $\pm 0.025 \sim \pm 0.05$ mm。用一根镗杆镗削几层同心孔系时,孔的同轴度可以保证在 0.015~0.02 mm 的范围内。若分别由两根镗杆从两端加工时,孔的同轴度可以达到 $\pm 0.03 \sim \pm 0.05$ mm。

镗孔分采用导向加工和不用导向的刚性主轴加工两种。大直径深孔,如汽缸体的缸孔,多用刚性主轴加工。一些中等直径单层或多层孔一般都采用导向加工。

在组合机床上加工的箱体是多种多样的,其镗孔的条件各有不同。因此在设计镗孔机床时,要根据加工对象的具体特点进行镗杆导向布置。

3. 提高孔加工精度应注意的一些问题

(1) 对于 6 级及其以上精度的孔,在组合机床上一般不容易达到,都需要采取一系列的特殊措施,如选用小的切削余量,选用精密定位、导向元件,防止夹压变形,提高主运动和进给运动的平稳性,必要时在刀具上采取一些措施,如采用国产优质刀具,必要时选用进口名牌刀具等。

(2) 被加工零件的材料对孔加工所需的工步数有一定的影响,如加工钢件时,比加工铸件困难,工步数目需要适当予以增加,例如 7 级精度的孔,一般不能少于四个工步,此外,加工钢件还应考虑断屑问题,正确使用冷却液及其设备。

(3) 被加工零件为铝合金时,孔径小于 $\phi 25$ mm,用钻、铰两道工序就可达到 7 级精度、粗糙度 $\sqrt{1.6}$ 以上,用钻—扩—铰三道工序加工 $\phi 14 \sim 18$ mm 的孔,粗糙度达 $\sqrt{0.8}$,由此可见,加工小直径铝合金所需的工步比同等精度铸件少,采用同样多工步数所达到的粗糙度可提高一级。但加工孔直径较大的铝合金件所需的工步数则和同等级精度铸件相仿。

总而言之对不同材料的零件和不同具体零件确定工步数也不是千篇一律,具体情况具体分析,具体对待。

(4) 当使用活动钻模板加工一组孔时,假如所有的孔能够在同一台机床上进行加工(如第一工位钻所有孔,第二工位扩所有孔……),这些孔的孔距位置精度可以得到保证。因为在这种情况下,回转工作台的分度误差或移动工作台定位误差不会反映到孔的孔距位置精度上。

(5) 不应该以已加工好的精密孔作为导向去铰端面,也不应再进行孔口倒角、刨槽等工序。

(6) 不应该利用同一个钻模板进行重切削(如铰端面)及精加工(铰孔)。

(7) 如果死挡铁做成球面形状,那么停留在死挡铁上加工的精度会得到提高,在可能情况下如果选用数控功能部件就更好了。

(8) 被加工零件自身的刚度如何,它被夹紧在夹具中是否可靠以及排屑是否顺利;冷却液是否充足对提高加工精度有很大意义。

(9) 特别注意夹具定位面和定位销以及钻模板定位销的清洁,这对提高机床的加工精度有很大作用。

4. 螺纹加工

加工紧固螺纹孔、锥螺纹、外螺纹以及大直径螺纹。在铸铁件上加工螺纹孔可以达到 7~8 级精度。图 2-4 所示是组合机床加工螺纹的典型方法。

螺纹根据其精度、直径等不同,采取不同的工步数,表 2-3 所示为在组合机床上攻制螺孔的典型工艺过程。

表 2-3 螺孔加工典型工艺过程

螺孔类别	工艺过程
一般紧固用螺孔	钻底孔—倒角—攻丝
高精度螺孔	钻底孔—扩底孔至尺寸(修正中心线)—倒角—攻丝(或 I 攻—II 攻)

在攻丝前,最好在孔口先倒角,以便顺利地引进丝锥,保证攻丝深度,如加工螺纹盲孔时,应注意螺纹底孔的深度,一般较螺纹部分深 $4s$ (螺距),以保证丝锥不至于碰着积存在底孔里的切屑,以免折断丝锥,尤其是在立式机床上攻不通孔时更要注意攻丝后切屑的排除。

提高攻制螺纹精度的办法主要是:提高丝锥的精度,加长接杆长度,改善接杆某些结构,以及提高攻丝靠模螺母副的精度。

为了提高丝锥使用寿命,丝锥一般需要适当润滑,加工钢件或铝件,采用硫化液,加工铸件时,可使用 90% 的煤油和 10% 机油的混合液。

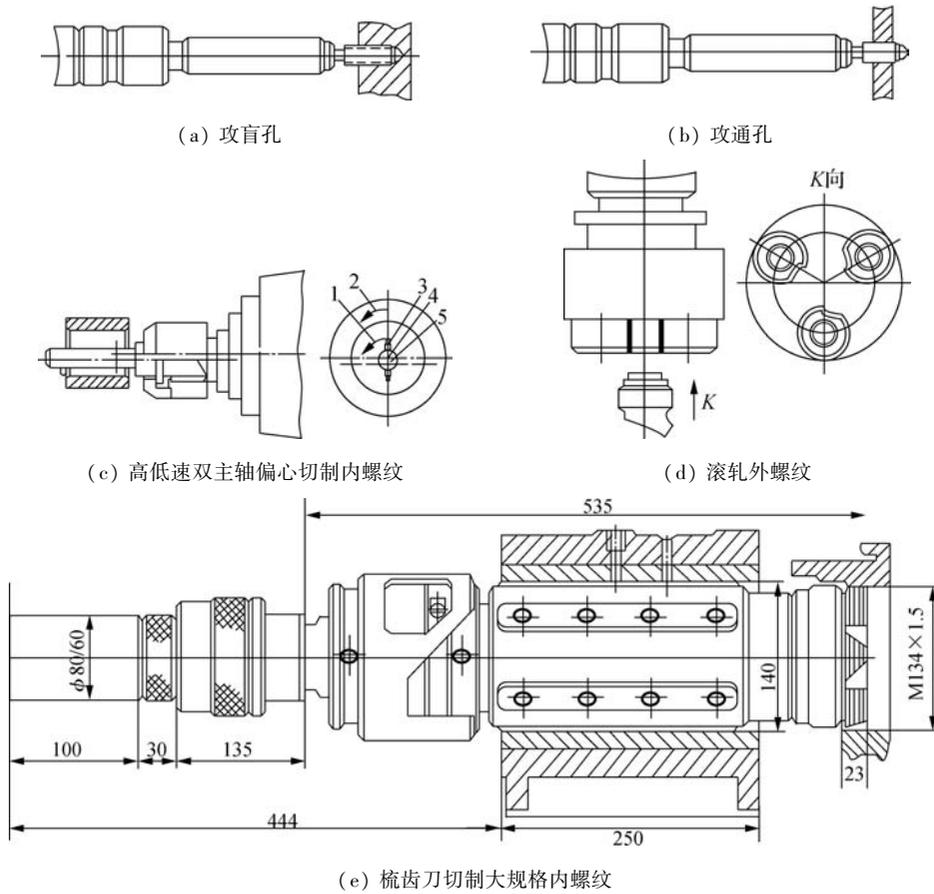


图 2-4 加工螺纹的典型方法

1—高速主轴回转;2—低速主轴回转;3—退刀时刀头让刀位置;4—套筒中心;5—主轴中心

5. 平面加工

在组合机床及其自动线上常用铣削、刮削和车端面的方法进行平面加工,常用的工艺过程如表 2-4 所示。

表 2-4 平面加工常用的工艺过程

平面特点	粗糙度	工艺过程
小孔端面	$\sqrt{12.5} \sim \sqrt{6.3}$	刮削一次
	$\sqrt{3.2} \sim \sqrt{1.6}$	粗刮、精刮
大孔端面	$\sqrt{12.5} \sim \sqrt{6.3}$	车或铣一次
	$\sqrt{3.2} \sim \sqrt{1.6}$	粗、精车或粗精铣
法兰端面	$\sqrt{12.5} \sim \sqrt{6.3}$	车一次
	$\sqrt{3.2} \sim \sqrt{1.6}$	粗、精车
大、小平面	$\sqrt{12.5} \sim \sqrt{6.3}$	铣一次
	$\sqrt{3.2}$	粗精铣,要求高时铣三次



2.3.2 典型加工工艺方法

1. 大直径深孔加工

1) 采用套料或“深孔镗削”的方法

对难加工的钢件采用套料的方法,效果良好,既较少切削加工又节省金属材料。加工直径 130 mm 大孔能套出 $\phi 72$ mm 的棒料。设计制造这种机床时要注意下列问题:

(1) 要合理地设计制造套料刀具,保证能很好地分屑和断屑。套料刀应设计导向键,导向键的直径一般应较加工孔直径小 0.01~0.05 mm。

(2) 合理选择切削用量。一般来说,每转走刀量不宜太大。如套钻直径 130 mm 孔时,比较合适的切削用量一般为: $v=51$ m/min, $s_{\text{转}}=0.1\sim 0.13$ mm/r。加工钢件: $v=60\sim 70$ m/min, $s_{\text{转}}=0.02\sim 0.1$ mm/r,材料硬度高的工件,进给量选小值,硬度低的选大值。加工铸铁件: $v=80\sim 100$ m/min, $s_{\text{转}}=0.04\sim 0.18$ mm/r。

(3) 加工时必须采用流量大、压力高的冷却液。冷却液应严格过滤,保持冷却液的干净。不能有切屑微粒。同时夹具必须有较好的密封,刀具应有良好的导向。

现在不少厂家已采用 U 钻的加工方法。U 钻是一种内冷却外排屑的深孔加工先进刀具,山特维克公司的可乐满 U 钻规格有 $\phi 12.7\sim \phi 68$ mm,在第五章 5.1 节中还将详细介绍关于 U 钻的基本知识。

2) 利用刚性主轴镗削大直径深孔

大直径深孔加工经常采用刚性主轴,用镗削的方法加工,大都为立式的形式,以避免笨重的刚性主轴,因自重下垂对孔加工精度的影响。采用刚性主轴加工时,应注意以下一些问题:

(1) 零件加工的位置精度,刚性主轴加工时,机床的精度包括动力头在导轨上的运动精度以及导轨的磨损。利用刚性主轴加工的孔与定位基准之间的位置精度比利用导向套加工时要低,约在 $\pm(0.1\sim 0.15)$ mm 范围内,从两个方向加工时,孔的同轴度约为 0.1 mm。如果要求的位置精度很高,则必须改变矩形导轨的结构形式,也可采用加长导轨,使导轨尽量接近加工部位来提高机床的加工精度。

(2) 刚性主轴系统,必须有足够的刚性,以避免变形过大或产生振动,影响加工精度。

(3) 为了避免产生振动,应力求减少切削力,尤其是径向切削力。

(4) 采用刚性主轴加工的实例,如图 2-5 所示,为利用刚性主轴加工汽缸体缸孔的加工示意图。在立式动力头上同时装有四根刚性主轴,采用单刀头粗镗缸孔和止口,并倒角。刀具分布力求是切削力平衡,以减少镗杆的变形和振动,利于保证加工精度,由于上、下两孔的孔径相近($\phi 171$ mm 和 $\phi 168$ mm),加工余量较大,所以加工下面孔的刀具,通过上面孔时也进行切削,然后动力头再快速前进,使上、下面的刀具都趋近于待加工表面,再转为工作进给。当镗杆上的球形头碰到夹具上的行程挡铁之后,镗杆继续前进压缩弹簧,在曲线槽控制下倒角,刀块径向移动,即可加工内壁孔上的倒角。镗杆与主轴用较长的锥度定位,由通向主轴箱后盖的螺栓拉紧,从而具有较高的定位精度和联接刚性。

2. 小直径深孔加工

所谓小直径深孔,通常是指直径在 $\phi 20$ mm 以下,孔的长/径比为 6~8 以上,一般采用标



准的或加长的麻花钻加工。

1) 小直径深孔加工,尤其是在钢件上钻孔时,通常存在的主要问题

- (1) 切屑排除困难。造成钻头经常折断;
- (2) 刀具冷却困难。钻头发热严重,降低了钻头的使用寿命;
- (3) 钻孔轴线容易偏斜。由于钻头细长,强度与刚度很弱,特别当钻头刃磨得不对称时,钻孔很易偏斜。

2) 小直径深孔加工应注意的问题

(1) 当钻孔直径在 6~10 mm 以下,无论是在铸铁或是钢件上,一次钻孔深度不宜大于 6~10 倍直径;当钻孔直径在 6~10 mm 以上时,用卧式机床在钢件上钻孔,一次钻孔深度在 6 倍直径时,虽不至于折断钻头,但有剧烈振动,故一次钻深仍不宜大于 6 倍直径,而对于铸铁一次钻孔深度则可达 10 倍以上。

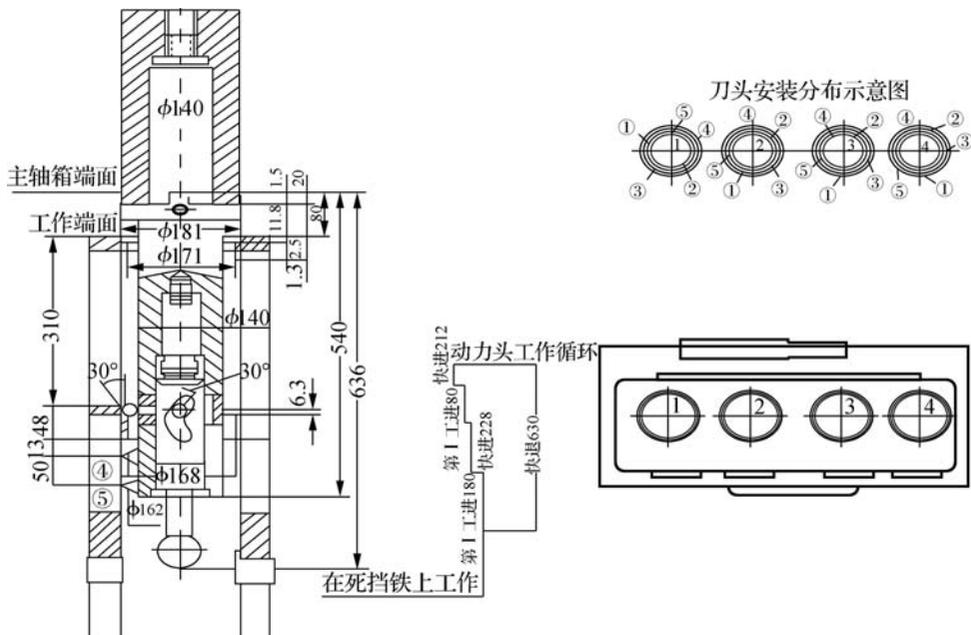


图 2-5 立式镗孔机床加工示意图

(2) 当钻孔深度大于上述推荐数值时,也就是所谓深孔加工,为了解决排屑不畅,保证加工过程的正常进行,推荐采用分级进给的加工方法,如图 2-2 所示。这样钻头在加工过程中,定期退出,既能把切屑排除,又能对钻头喷射冷却液,清除钻头上的切屑,并进行冷却,从而使深孔加工能可靠地进行。

(3) 组合机床上采用麻花钻头按分级进给方法加工深孔时,每次钻削深度一般可按表 2-5 所推荐的范围,尤其是加工钢件小直径深孔时,其每次切削深度更需要按实际加工情况校正确定。一般比加工铸铁件要小。孔愈深,排屑愈困难,每次钻深值则应更小,尤其是长钻头没有螺旋槽的圆柱部分进入孔内时钻深值更要小些。

表 2-5 加工深孔每次钻深值

加工材料	孔深 $\leq 20d$	孔深 $>20d$
铸铁件	$(4\sim 6)d$	$(3\sim 4)d$
钢件	$(1\sim 2)d$	$(0.5\sim 1)d$

注: d ——钻头直径(mm)。

如果需加工的深孔是通孔,则可以从两面进行钻孔。此时相交处会有接不准的台阶。或者虽然不是通孔,但允许将深孔做成梯形时,则可以将此孔分在几个工位或几台机床上进行加工。这样就把深孔变为浅孔加工。也就不需要采取分级进给的方法。为了使钻头易于进入已加工的孔,各阶梯孔之间直径一般逐渐减小 $0.2\sim 0.3$ mm。但这种加工方案一般在设计自动线或流水线时,在不因分段加工而增加机床台数时才能采用。

3) 改善深孔加工条件的措施

(1) 为了排屑方便,小直径深孔加工应当采取卧式机床加工的方案。当钻孔直径较大时,卧式方案加工深孔甚至可以不用分级进给。如加工汽缸体 $\phi 18.4$ mm 主油道深孔,采用一般加长钻头,不用分级进给一次加工孔深 410 mm。

(2) 若加大钻头的螺旋槽角度,就能使钻头排屑方便。如加工汽缸体垂直深油孔,以直径为 14 mm,旋转槽角度为 45° 的钻头,在立式组合机床上一次可加工出 330 mm 的深孔,钻孔过程中能使切屑顺利排出。其钻孔切削用量一般为:钻头转速 $n = 295$ r/min;切削速度 $v = 13$ m/min;每分钟进给量 $s_{分} = 110$ mm/min。

(3) 可采用“中空”的钻头即所谓“枪钻”,加工时冷却液通过钻头的中心冷却孔进入加工空间,使切屑排出,并且可提高冷却效果。组合机床上也已采用枪钻加工深孔,如在卧式组合机床上就用八根直径为 18 mm 的枪钻加工电机转子铁芯上 48 个长为 436 mm 的深孔,效果良好。但枪钻机床价格相对高,一般厂家仍采用常规加工方法,关于枪钻在“刀具与工具”一章中还将介绍。

(4) 为了提高冷却效果,可将工件浸入冷却液中加工。目前在加工曲轴、高压泵体等工件的深孔时,常常采用“水盆”式夹具,是将工件浸在冷却液中进行加工的。

(5) 提高钻头切削刃的对称性,并采用较长的导向,缩小导向距工件的距离(以不妨碍排屑为原则),是提高钻深孔轴线直线性的主要措施。被加工零件表面的不平倾斜,对钻深孔轴线的直线性也有影响。因为刚钻进时一偏,则钻深愈大,偏斜愈大。为此可采取大直径的中心钻在精密导向中预先钻出一个准确的中心导向孔。另外,使工件旋转加工,在一定程度上也能提高深孔的直线性。据一些资料介绍,在采取上述措施后,钻深度为 150 mm、直径为 3.5 mm 的孔,轴线的直线度为 0.4 mm;深度为 440 mm、直径为 5 mm 的深孔,轴线的直线度为 1 mm。

(6) 在钢件上钻深孔时,应设法使其断屑。一般是在钻头的切削刃上磨出断屑槽,另外也可以采用动力头断续进给,即动力头走走停停的办法进行断屑。

(7) 直径小于 10 mm 的小直径深孔加工,还采用过扭矩保护装置,采用过扭矩保护深孔加工方法在单轴加工时最为实用,能可靠地保护钻头,并减少中间退回次数,有利于提高深孔加工的生产效率。



(8) 切削用量递减值的确定。

降低切削速度主要是为了提高刀具寿命;降低进给量是为了减小轴向切削力,它有助于避免钻头的折断和减轻钻削深孔的歪斜。

当孔深不大于其直径 6~8 倍时,通常都是适当降低切削用量,详见表 2-6。

表 2-6 深孔钻削用量递减表

孔深	$3d$	$(3\sim 4)d$	$(4\sim 5)d$	$(5\sim 6)d$	$(6\sim 8)d$
切削速度 v	100%	80%~90%	70%~80%	60%~70%	60%~65%
进给量 s	100%	90%	90%	80%	80%

(9) 孔深大于 6~9 倍时,除采用分级进给外,还采用逐渐递减走刀量,详见表 2-7。

表 2-7 深孔钻削走刀量递减表

孔深	$8d$ 以下	$(8\sim 10)d$	$(10\sim 15)d$	$(15\sim 20)d$	$20d$ 以上
走刀量	100%	70%	60%	50%	30%~40%

3. 止口加工

组合机床可镗削如图 2-6 所示的“止口”。

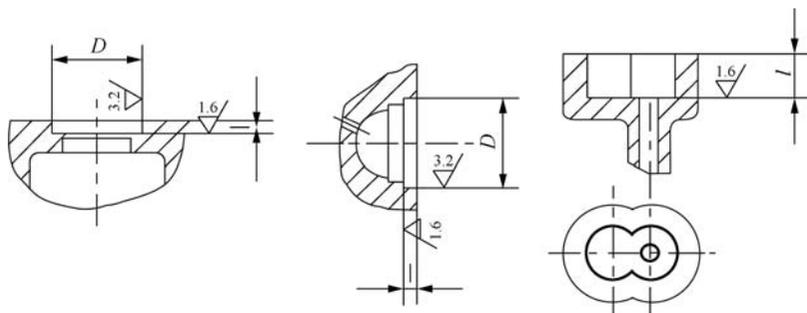


图 2-6 各种止口的典型形状

镗削止口的关键是保证其深度 l 的精度要求。目前汽缸体缸孔止口以及汽缸盖燃烧室止口的深度精度为 0.025~0.08 mm。为了达到这样的精度要求,组合机床是用特殊结构的镗杆,镗杆上钢套端面直接以被加工零件端面定位进行加工。实践证明,只要刀具设计制造调整合理,主轴能分别以工件端面定位,多轴加工止口时,亦可达到很高的深度精度,一般在 0.02~0.05 mm 范围。图 2-7 所示是组合机床加工精密止口的典型方法。随着数控技术的快速发展和在组合机床行业内推广应用,机床的定位精度提高了,而且特殊刀具结构也简化了,届时,止口加工精度可达到 0.01 mm 左右,甚至还会提高。

4. 阶梯孔的加工

阶梯孔有如图 2-8 所示的典型形状。实际中还会有各种不同的组合。应根据具体情况确定加工方案。经常是采用复合刀具,对小直径阶梯孔采用整体复合刀具,对直径较大的阶梯孔就采用组装式复合刀具。采用复合刀具加工阶梯孔,在一次走刀中得到要求的加工形状,可以减少机床工位,节省加工时间,提高生产效率,保证阶梯孔的同轴度。这是组合机

床提高加工精度及工序集中程度的重要措施之一。复合刀具精加工阶梯孔能够达到孔径精度 7 级,表面粗糙度一般为 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 。

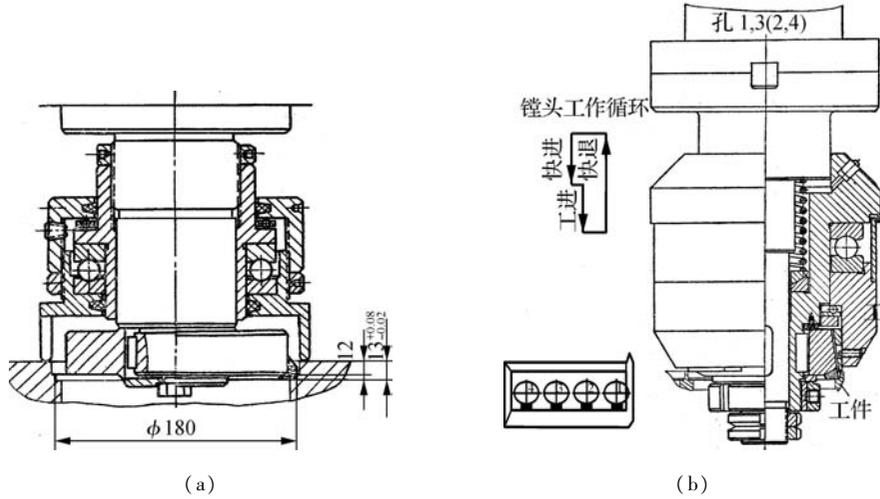


图 2-7 止口加工的典型方法

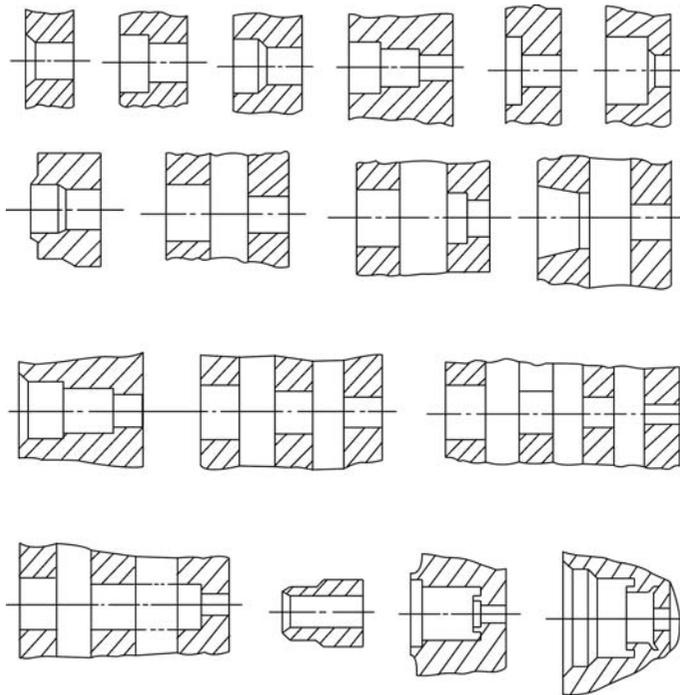


图 2-8 组合机床加工阶梯孔的典型形状



5. 大台阶端面加工

一些有大台阶端面以及镗孔同时要加工端面的工件,在组合机床上就采用镗孔车端面的方法加工。图 2-9 所示是组合机床常加工的台阶端面的典型形状。图 2-10 所示是组合机床镗孔车端面的典型示例。现在也有对应规格标准化、系列化的镗孔车端面动力头可选用。

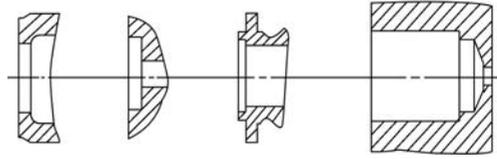


图 2-9 台阶端面的典型形状

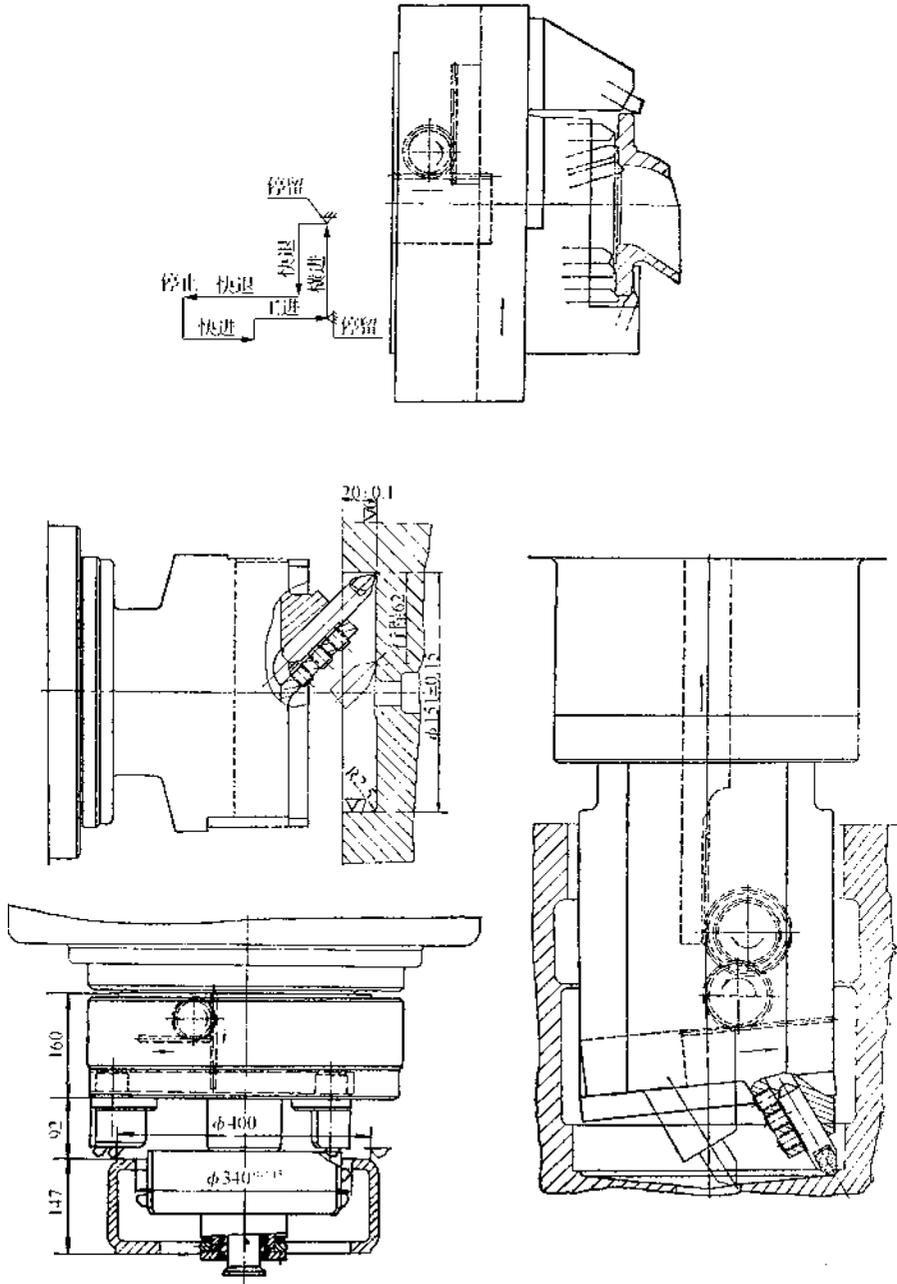


图 2-10 组合机床镗孔车端面的典型示例

6. 沟槽及成形面加工

组合机床上可以加工如图 2-11 所示的沟槽、球面以及孔内端面等。对一些孔内较窄的沟槽或孔内端面,而孔径较大时,可采用带有径向滑动刀块的特殊结构刀杆,借助动力头进给运动实现刀头的径向车削。在孔的直径小,同时加工几个沟槽切削负荷较大时,采用径向进给的特种工具加工就不合适。这时可采用行星铣削的方法来加工。在加工高压泵外体的沟槽图 2-11 中的(8)时,铣刀快速送进工件后,铣刀旋转,工作台带动工件做横向进给和圆周进给运动,共同构成切槽所需的切削运动。加工差速器壳总成的内球面图 2-11 中的(6)时,则采用机械手将球面刀具送进工件,由动力头主轴插入球面刀具带动其旋转并进给实现切削运动。随着数控技术的飞快发展和在机床领域的推广应用后,况且刀具技术也在不断革新,各种非标专用刀具层出不穷,再配上数控技术,加工各种沟槽和成形面,刀具结构就可大大简化,再复杂的沟槽和成形面都可以迎刃而解。

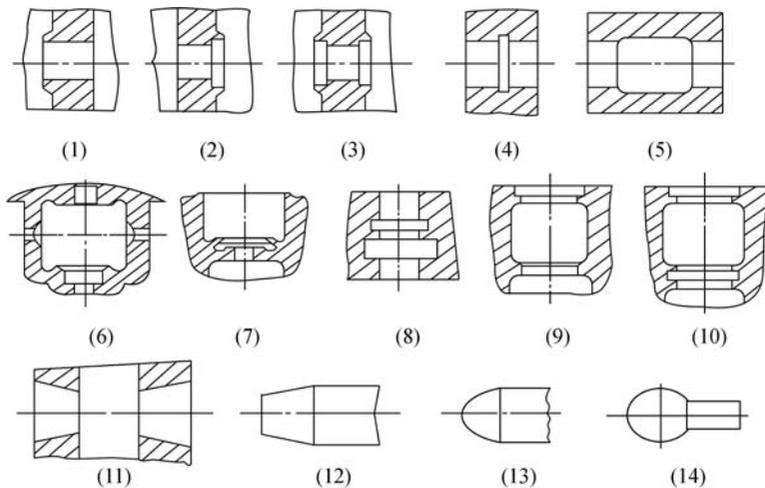


图 2-11 沟槽、球面及内孔端面的典型形状

2.4 组合机床切削用量的确定及刀具选择

2.4.1 确定工序间余量

1. 选择加工余量的原则

- (1) 应尽可能采用较小的加工余量,以求缩短加工时间,降低零件的制造成本;
- (2) 加工余量应能够保证达到图纸上所规定的表面粗糙度和精度;
- (3) 决定加工余量时应考虑到热处理的变形,否则可能会产生废品;
- (4) 决定加工余量应考虑所采用的加工方法和设备,以及加工过程中零件可能发生的变形;
- (5) 决定加工余量时应考虑到被加工零件的大小,零件愈大,则加工余量愈大。

2. 孔加工工序间的余量选择

孔加工时通常采用的工序间余量如表 2-8 所示,可根据孔径大小及工作条件等具体情



况适当选择。例如:一般铰孔孔径小于 30 mm 时取余量 0.2 mm,孔径为 30~60 mm 时,取 0.3 mm,大于 60 mm 时,取 0.4 mm。当零件经过重新安装,有定位误差或在多工位机床上有转位(移位)误差时,应根据具体情况适当增加加工工序间余量。在精、细镗孔时,为了获得较高的精度和粗糙度,余量不得大于 0.5 mm。而粗镗时考虑工件的冷硬层和铸孔偏心,为了使刀具平稳地工作,其余量一般取 4~6 mm。

表 2-8 孔加工常用的工序间余量(在直径上)

单位:mm

工序名称	粗扩	精扩	半精铰	精铰	粗镗	半精镗	精镗
工序间余量	2~4	0.8~1	1~1.5	0.2~0.4	4~6	0.5~0.8	0.2~0.5

2.4.2 选择切削用量

目前组合机床切削用量的选择,主要是参照现场采用切削用量的情况,并根据多年来积累的一些经验数据来进行。由于组合机床有大量刀具同时工作,为了使机床能正常工作,不经常停车换刀,而达到较高的生产率,所选取的切削用量比一般万能机床单刀加工要低一些。可以概括地说:在多轴加工的组合机床上不宜采用最大的切削速度和进给量。但并不是说,在组合机床上尽可能选低一些的切削用量。无论何时都用降低切削用量来改善加工情况的作法是不正确的。比如在铸铁零件上钻孔,如果进给量选得太小,钻头寿命不仅不长,反而会很快磨损,且耗费功率大,并有尖叫声。根据现有组合机床使用情况,多轴加工的切削用量比一般万能机床单刀加工的切削用量约低 30%左右。组合机床切削用量的选择还有一个特点,就是动力滑台工作时每分钟的进给量就是一种,这样所有刀具的每分钟的进给量也是相同的。这个每分钟的进给量应是适用于所有刀具的平均值。但同一个动力头上的每个刀具的转速可以不一样,以便选择较合适的各刀具的每转进给量。以下所推荐的数据与实际会有一定的出入。机床在工作过程中可能需要对切削速度和进给量作一些变动。但实践证明,这些变动是不大的。

1. 钻孔切削用量

表 2-9 所列数值是用高速钢钻头加工铸铁件的切削用量。表 2-10 是用高速钢钻头加工钢件的切削用量。当采用硬质合金钻头时,切削速度一般为 20~30 m/min。在铝和铝合金,以及黄铜和青铜的工件上钻孔,其切削用量可按表 2-11 和表 2-12 选取。

表 2-9 用高速钢钻头加工铸铁件的切削用量

加工直径 d (mm)	HB = 160~200		HB = 200~241		HB = 300~400	
	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)
1~6	16~24	0.07~0.12	10~18	0.05~0.1	5~12	0.03~0.08
6~12		0.12~0.2		0.1~0.18		0.08~0.15
12~22		0.2~0.4		0.18~0.25		0.15~0.20
22~50		0.4~0.8		0.25~0.4		0.20~0.30

表 2-10 用高速钢钻头加工钢件的切削用量 (单位:MPa)

加工直径 d (mm)	$\sigma_b = 520 \sim 700$ (钢 35、45)		$\sigma_b = 700 \sim 900$ (15Cr、20Cr)		$\sigma_b = 1\ 000 \sim 1\ 100$ (合金钢)	
	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)
1~6	18~25	0.05~0.1	12~20	0.05~0.1	8~15	0.03~0.08
6~12		0.1~0.2		0.1~0.2		0.08~0.15
12~22		0.2~0.3		0.2~0.3		0.15~0.25
22~50		0.3~0.6		0.3~0.45		0.25~0.35

表 2-11 加工铝合金的切削用量

加工直径 d (mm)	切削速度 v (m/min)	每转进给量 $s_{\text{转}}$ (mm/r)		
		纯铝	铝合金(长切屑)	铝合金(短切屑)
3~8	20~50	0.03~0.2	0.05~0.25	0.03~0.1
8~25		0.06~0.5	0.1~0.60	0.05~0.15
25~50		0.15~0.8	0.2~1.0	0.08~0.36

表 2-12 加工黄铜及青铜的切削用量

加工直径 d (mm)	黄铜、青铜		硬青铜	
	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)
3~8	60~90	0.06~0.15	25~45	0.05~0.15
8~25		0.15~0.3		0.12~0.25
25~50		0.3~0.75		0.25~0.5

2. 扩孔、铰孔切削用量

表 2-13 是用高速钢扩孔钻加工时的切削用量。表 2-14 是铰孔时的切削用量。

表 2-13 扩孔切削用量

加工直径 d (mm)	铸铁				钢、铸铁				铝、铜			
	扩通孔		铰沉孔		扩通孔		铰沉孔		扩通孔		铰沉孔	
	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)	v (m/min)	$s_{\text{转}}$ (mm/r)
10~15	10 ~ 18	0.15~0.2	8 ~ 12	0.15~0.2	12 ~ 20	0.12~0.2	8 ~ 14	0.08~0.1	30 ~ 40	0.15~0.2	20 ~ 30	0.15~0.2
16~25		0.2~0.25		0.15~0.3		0.2~0.3		0.1~0.15		0.2~0.25		0.15~0.2
26~40		0.25~0.3		0.15~0.3		0.3~0.4		0.15~0.2		0.25~0.3		0.15~0.2
40~60		0.3~0.4		0.15~0.3		0.4~0.5		0.15~0.2		0.3~0.4		0.15~0.2
60~100		0.4~0.6		0.15~0.3		0.5~0.6		0.15~0.2		0.4~0.6		0.15~0.2

当用硬质合金扩孔钻加工铸铁件时速度 $v = 30 \sim 45$ m/min。用硬质合金扩孔钻加工钢件



时速度 $v=35\sim 60\text{ m/min}$ 。

对钢件铰孔要想获得高的粗糙度,除铰刀需保证合理几何形状及冷却液充分的条件外,很重要的一点是合理选择切削用量。一般是速度低一些好,进给量不宜太小。如铰直径为 14 mm 的孔,速度应取 $v=1.5\sim 1.8\text{ m/min}$,而进给量 $s_{\text{转}}=0.4\sim 0.6\text{ mm/r}$ 为宜。用硬质合金铰刀加工铸铁件时,速度一般为 $v=8\sim 10\text{ m/min}$ 。用硬质合金铰刀加工铝件时,速度可以达到 $v=12\sim 20\text{ m/min}$ 的范围。

表 2-14 铰孔切削用量(高速钢铰刀)

加工直径 $d(\text{mm})$	铸铁		钢及合金钢		铝、铜及其合金	
	$v(\text{m/min})$	$s_{\text{转}}(\text{mm/r})$	$v(\text{m/min})$	$s_{\text{转}}(\text{mm/r})$	$v(\text{m/min})$	$s_{\text{转}}(\text{mm/r})$
6~10	2~6	0.3~0.5	1.2~5	0.3~0.4	8~12	0.3~0.5
11~15		0.5~1		0.4~0.5		0.5~1.0
16~25		0.8~1.5		0.4~0.6		0.8~1.5
26~40		0.8~1.5		0.4~0.6		0.8~1.5
41~60		1.2~1.8		0.5~0.6		1.5~2

3. 镗孔切削用量

表 2-15 是镗孔的切削用量。镗孔切削用量的选择与加工精度及刀具材料有很大关系。在精镗 7 级精度、直径为 60~100 mm 的孔时,孔径公差为 0.03~0.035 mm,当孔为 6 级精度时,孔径公差才 0.019~0.022 mm,在刀具材料质量不高,精镗速度选得太高时,镗刀会很快磨损,使孔径超差,而不得不经常停车刃磨、调刀。如加工一个汽缸体曲轴轴承孔的试验表明,用 YG8 加工 $\phi 94.48^{+0.02}$ 孔,当切削速度为 89.4 m/min 时,每刃磨一次才加工 4~5 个工件,当降低到 $v=50\sim 60\text{ m/min}$ 时,在单班制工作的情况下,六天才刃磨一次。一般使用硬质合金镗刀时,较为合适的精镗速度为 70~80 m/min。精镗 8 级精度以下的孔,或者孔径公差较大,只是粗糙度要求高的孔,其切削速度就可以高一些,为 100 m/min 以上。采用高精度的精镗头镗孔时,余量一般较小,直径上不大于 0.2 mm,镗孔切削速度选高一些。对于铸铁件为 100~150 m/min,对于钢件为 150~250 m/min,对于铝合金为 200~400 m/min,对于巴氏合金及铜等为 250~500 m/min。每转进给量 $s_{\text{转}}$ 在 0.03~0.1 mm/r 范围内。

表 2-15 镗孔切削用量

工序	刀具材料	铸铁		钢		铝及其合金	
		$v(\text{m/min})$	$s_{\text{转}}(\text{mm/r})$	$v(\text{m/min})$	$s_{\text{转}}(\text{mm/r})$	$v(\text{m/min})$	$s_{\text{转}}(\text{mm/r})$
粗镗	高速钢	20~25	0.25~0.8	15~30	0.15~0.4	100~150	0.5~1.5
	硬质合金	35~50	0.4~1.5	50~70	0.35~0.7	—	—
半精镗	高速钢	20~35	0.1~0.3	15~50	0.1~0.3	100~200	0.2~0.5
	硬质合金	50~70	0.15~0.45	95~135	0.15~0.45	—	—
精镗	硬质合金	70~90	H ₆ 级 ≤ 0.08 H ₇ 级 0.12~0.15	100~150	0.12~0.15	150~400	0.06~0.1

4. 攻丝切削速度

表 2-16 是用高速钢丝锥攻丝的切削速度。对螺纹加工切削用量的选择就是合理地确定切削速度,而工作进给就是丝锥的导程。

表 2-16 攻丝切削速度

加工材料	铸铁	钢及其合金	铝及其合金
切削速度 v (m/min)	2.5~5	1.5~5	5~15

5. 铣削切削用量

表 2-17 是用硬质合金端铣刀的铣削用量。铣削切削用量的选择与要求的加工粗糙度及其效率有关系。当要求较高铣削粗糙度时,铣削速度应高一些,每齿走刀量应小一些。若生产率要求不高,可以取很小的每齿走刀量,一次铣削 0.5~1 mm 余量的铸件可达到 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 的粗糙度,每齿的走刀量一般为 0.05~0.20 mm/r。

表 2-17 用硬质合金端铣刀的铣削用量

加工材料	工序	铣削深度 (mm)	铣削速度 v (m/min)	每齿走刀量 $s_{\text{齿}}$ (mm/r)
钢 $\sigma_b = 520 \sim 700$ (MPa)	粗	2~4	80~120	0.2~0.4
	精	0.5~1	100~180	0.05~0.20
钢 $\sigma_b = 700 \sim 900$ (MPa)	粗	2~4	60~100	0.2~0.4
	精	0.5~1	90~150	0.05~0.15
钢 $\sigma_b = 1\ 000 \sim 1\ 100$ (MPa)	粗	2~4	40~70	0.1~0.3
	精	0.5~1	60~100	0.05~0.10
铸铁	粗	2~5	50~80	0.2~0.4
	精	0.5~1	80~130	0.05~0.2
铝及其合金	粗	2~5	300~700	0.10~0.4
	精	0.5~1	500~1500	0.05~0.3

6. 在确定切削用量时应注意的问题

(1) 切削用量的选择要尽可能达到合理地利用所有刀具,充分发挥其性能。因为在组合机床上的动力部件上往往同时工作的刀具有多种,比如钻头、铰刀、镗刀、铰钻(加工端面)等。其切削用量各有特点。钻孔应要求较高的速度和较小的每转进给量。而铰孔时则要求低的切削速度和大的每转进给量。对刮端面的工序要求比钻孔更小的进给量。但是组合机床上进给部件的每分钟进给量都是一样的。要使各种刀具能有较合理的切削用量,就是按各类刀具选择较合理的转速及每转进给量,然后进行适当调整,使各种刀具的每分钟进给量尽可能一致,见公式(2-7)就可理解了。就是按多数刀具工作的情况选用一个合适的每分钟进给量工作。当同一个动力部件除有钻、镗外,还有刮面工序,那就应该将刮面安排在动力头工作循环的最后进行,这就可以用二次进给使之按要求的小进给量工作,达到合理的使用刀具。当然,现在有更先进的变频、数控技术的采用,这些问题就可以迎刃而解了。



$$n_1 s_1 = n_2 s_2 = \cdots = n_i s_i = f \quad (2-7)$$

式中: n_1, n_2, \cdots, n_i —主轴转速(r/min); s_1, s_2, \cdots, s_i —主轴进给量(mm/r); f —滑台进给量(mm/min)。

(2) 复合刀具切削用量选择的特点。进给量按符合刀具最小直径选择,切削速度按符合刀具最大直径选择。如钻—铰复合刀具,进给量按钻头选择,切削速度按铰刀选择;扩—铰复合刀具的进给量按扩孔钻选择,切削速度按铰刀选择。而且进给量应按符合刀具小直径选用允许值的上限,切削速度则按符合刀具大直径选用允许值的上限。这样使复合刀具的钻和铰或扩和铰等等能有较合适的切削用量。需要提及的是,由于整体复合刀具常常强度较低,故切削用量应稍为选低一些。

(3) 带有对刀运动镗孔主轴转速的选择。在确定镗孔切削速度时,除考虑要求的加工粗糙度、加工精度、镗刀寿命等问题外,当各镗孔主轴需要对刀时(即在镗杆送进和退出时,镗刀头需处于规定位置),各镗孔主轴的转速一定要相等或者成整数倍。这是组合机床对刀结构设计的需要。

(4) 在选择切削用量时,应注意工件生产批量的影响。在生产率要求不是很高时,就没有必要把切削用量选得很高,以免增加刀具的损耗。就是在大批大量生产中,组合机床需要有很高的生产率,也只是提高那些“限制性”工序刀具的切削用量。对于非限制性工序刀具的切削用量仍然应该采取比较低的。当然,也不应选得太低。只要不低于某极限值,是有助于提高刀具的使用寿命的,也可以减少所需要的切削功率。

在提高“限制性”工序刀具切削用量时,还必须注意不致影响加工精度,也不能使“限制性”刀具的寿命过低。在组合机床上通常要求刀具寿命不低于一个工作班,最少不低于4个小时。

(5) 在选择切削用量时,还必须考虑进给部件的性能。如所选的每分钟进给量一般要高于进给部件允许的最小进给量。这在采用液压驱动的进给部件时更为重要。所选的每分钟进给量一般应较进给部件允许的最小值大50%。因为若选取的进给量低于进给部件允许的最小值,机床就不能正常工作。就是选的进给量等于允许的最小值,由于受温度或其他因素的影响,也不能获得要求的稳定进给,以至影响加工精度。

(6) 在选择切削用量时,使相邻近的主轴转速最好接近以简化主轴箱传动链,同时在选择主轴转速时应注意到导向套允许的线速度的限制。

(7) 应有组织地更换刀具,利用非工作时间更换,对于刀具数量较多的自动线或大型工序复杂的机床,也可以实现强制性换刀,也就是定期加以更换,以减少更换刀具带来的时间损失,以提高机床的生产率。

总之,我们必须从实际出发,首先根据加工精度、加工材料、工作条件和技术要求来进行分析,按照经济地满足加工要求的原则合理地选择切削用量。一般地说,矛盾的主要方面是加工经济性,所以不能说切削用量定得越高越好,或者是越低越好,而应该在满足加工要求的条件下,选合适的切削用量。

以上所介绍的组合机床切削用量为常规的基本参数,随着各种先进刀具和高档机床相继推出,多种高效率的切削参数随之而来,设计人员视具体情况合理选择相关的切削参数。

2.4.3 确定切削力、切削功率、切削扭矩和刀具耐用度

1. 关于切削力、切削功率、切削扭矩和刀具耐用度的确定

对于组合机床的切削力、切削功率、切削扭矩和刀具耐用度确定的方法有查表法、计算法等,现介绍如下:

1) 查表法

大连组合机床研究所编制的《组合机床加工工艺及切削用量》手册,详细地介绍了在钻、扩、铰、镗、攻丝、铣削等各种工艺情况下,采用不同材质的刀具对不同材料的加工对象,根据拟订的加工方法、工艺因素和加工内容,选定切削用量有关的切削参数。根据切削参数,在对应的表中,直接查找到线速度(v)、转速(n)、切削力(P)、切削扭矩(M)和切削功率(N)。

2) 计算法

(1) 用高速钢钻头在灰铸铁上钻孔的计算公式:

$$P = 26Ds^{0.8} \cdot HB^{0.6} \quad (2-8)$$

$$M = 0.01D^{1.9} \cdot s^{0.8} HB^{0.6} \quad (2-9)$$

$$N = \frac{M \cdot v}{716.2 \times 1.36\pi D} \quad (2-10)$$

$$T = \frac{9\ 600D^{0.25}}{vs^{0.55} \cdot HB^{1.2}} \quad (2-11)$$

式中: P —切削力(N); M —切削扭矩(N·m); N —切削功率(kW); T —刀具耐用度(min)。

注:以上公式是以灰铸铁硬度 $HB = 220$ 为基准计算的数据,当硬度不同时,要分别乘以相关的修正系数。

(2) 用高速钢钻头在钢件上钻孔的计算公式:

$$P = 33Ds^{0.7} \cdot \sigma_b^{0.75} \quad (2-12)$$

$$M = 0.016\ 5D^2 \cdot s^{0.8} \sigma_b^{0.7} \quad (2-13)$$

$$N = \frac{M \cdot v}{716.2 \times 1.36\pi D} \quad (2-14)$$

$$T = \frac{245D^{0.4}}{vs^{0.7} \sigma_b^{0.9}} \quad (2-15)$$

式中: P —切削力(N); M —切削扭矩(N·m); N —切削功率(kW); T —刀具耐用度(min)。

注:以上公式是以钢的 $\sigma_b = 550\text{ N/mm}^2$ 为基准计算的数据,当 σ_b 不同时要分别乘以相应的修正系数。

(3) 用硬质合金镗刀加工灰铸铁的计算公式:

$$P_1 = 0.51 \cdot t^{1.2} \cdot s^{0.65} \cdot HB^{1.1} \quad (2-16)$$

$$P_2 = 51.4 \cdot t \cdot s^{0.75} \cdot HB^{0.55} \quad (2-17)$$

$$N = \frac{P_2 v}{60 \times 102} \quad (2-18)$$

$$M = \frac{9\ 550N}{n} \quad (2-19)$$



式中: P_1 —轴向力(N); P_2 —圆周力(N); N —切削功率(kW); v —切削速度(m/min); t —切削深度(mm); s —进给量(mm/r); n —主轴转速(r/min); HB —布氏硬度。

注:对于不同的材料硬度、镗刀的主偏角及刀尖圆角半径的不同,对 P_1 、 P_2 分别乘以相应的修正系数。

(4) 用硬质合金端铣刀切削灰铸铁的计算公式:

$$N = 1.36^{-1} \cdot a \cdot \left(\frac{v}{25.4^3} \right)^{0.75} \quad (\text{辛辛那提经验公式}) \quad (2-20)$$

$$M = \frac{9\,550N}{n} \quad (2-21)$$

$$P = 2 \times \frac{1\,000 M}{D} \quad (2-22)$$

式中: P —主切削力(N); D —刀盘直径(mm); N —铣削功率(kW); M —扭矩(N·m); v —切削速度(m/min); a —系数(灰铸铁、铝: $a=1.00$; 钢: $a=0.5$)。

注:以上仅选了部分计算公式,其实在大连组合机床研究所编制的《组合机床加工工艺及切削用量》手册中可查到更多的计算公式及有关数据和相关的修正系数。

2. 电动机功率的确定和进给力选取

1) 电机功率的确定

每一种规格的动力头都有一定的功率范围,根据已选的切削用量通过查表或计算等方法确定的切削功率及进给功率,选用相应规格的动力头。可按下列公式计算:

$$N_{\text{动}} = \frac{N_{\text{切}} + N_{\text{进}}}{\eta} \quad (2-23)$$

式中: $N_{\text{动}}$ —动力头电机功率; $N_{\text{切}}$ —切削功率; $N_{\text{进}}$ —进给功率; η —传动功率(当主轴箱主轴根数小于15时, η 取0.9;当主轴根数大于15时, η 取0.8)。

2) 进给力的选择

每一型号动力滑台等动力部件,都有最大的进给力,确定的切削进给抗力必须稍小于进给滑台等动力部件的最大进给力。并注意各主轴切削力的合力应处在动力部件结合面的范围内,力求使其处在动力部件结合面的下方。当遇到动力部件的功率和进给力不能满足要求时,若相差不大时,不应轻易选用大一号的动力部件。在不影响生产率的前提下,适当降低切削用量,或将部分孔安排为先后顺序加工,也可将刮削改为车端面等措施;对于液压进给动力部件,增加一个电动机,专门用于进给油泵的驱动。

2.4.4 选择刀具结构

组合机床加工的最大特点是多刀多序同时加工,对刀具及其结构选择非常严格,慎之又慎,一般有以下原则:

(1) 在制定工艺方案时,只要条件允许,满足加工要求,应首先选用普通、标准刀具。

(2) 为了提高工序集中程度,达到更高的加工精度,可采用复合刀具。在采用复合刀具结构时,尽可能多采用组装式复合刀具,整体式复合刀具少采用,但是为了节省工位数和机床台数,或者保证加工精度所必须时才应选用。



(3) 镗刀和铰刀的采用原则是完成大孔和小孔精加工工序,铰刀一般用在小于 $\phi 40$ mm 的孔,铰削工艺多用在多工位回转工作台和鼓轮机床上;加工同轴孔系即使孔径小于 $\phi 40$ mm 的孔,采用刚性较好细镗杆进行镗削为好。因为镗刀制造简单,刃磨方便,精度也能保证。

(4) 选择刀具结构时,还必须认真考虑被加工零件材料的特点,如加工淬火铸铁件和钢件时,可采用多刃铰刀或镗刀头加工,但要可靠地解决单刀镗削时的断屑问题,有利于提高精度和表面粗糙度。

2.5 组合机床设计步骤

2.5.1 准备工作阶段

1. 认真分析,研究零件的特点

了解零件在机器中的作用及与其他零件的关系,了解零件的材料、结构、形状、尺寸大小及其特性;了解要求的加工工艺、工序及精度要求。

2. 调查现场工艺情况

了解该零件的现场加工工艺过程;如零件定位基准及夹压点;现采用的设备、刀具结构及特点、刀具材料及寿命和切削用量;目前能达到的精度及其检验方法和手段。

3. 了解工厂的技术水平

机修及操作工人技术水平、设备能力、厂房结构、起重能力及车间现有设备布置情况。

4. 了解生产纲领

5. 分析国内外有关加工该零件能达到的水平

6. 分析比较并确定是否采用组合机床

2.5.2 制订方案阶段

根据调查的情况,结合组合机床的特点进行分析研究,确定组合机床加工工艺过程(流程),以及组合机床配置和布局形式,并绘制出“三图一卡”即工序图、加工示意图、机床总联系尺寸图和生产率计算卡,然后开始制订初步方案,并经讨论、会审等程序,确定机床的最终方案。

2.5.3 技术设计阶段

设计主要的专用部件,如夹具、主轴箱,特殊的支承部件等。在可能情况下,对于一些难度大、把握性不足的夹具,最好还要做模拟夹具进行试生产,这方面,东风二汽设备厂有许多成功经验。关于主轴箱设计,目前广泛采用大连“宏软”或扬州大学的软件,排齿轮、算坐标,绘制出所有零件图纸,而且还能对主轴箱内关键零件,如部分主轴、传动轴、齿轮进行强度校核。

2.5.4 结构设计阶段

采用 CAD 技术设计机床总图和各部件总图,然后根据总图绘制零件图并编制出厂技术文件,同时还要根据技术、工艺部门的相关程序及要求,做好投产前的各项技术准备工作。

第三章

组合机床总体设计

3.1 组合机床方案制订的关键问题

3.1.1 制订工艺方案时应考虑的一些问题

1. 确定工艺方案的原则

1) 粗、精分开的原则

在大批大量生产中,或对一些精度要求高的零件,尤其要考虑粗、精加工分开,这样有利于消除内应力;减少振动,对精加工机床的精度保持性好。但是,在保证足够精度的前提下,考虑对加工的经济性和机床的利用率,有时往往粗、精加工也可合并。

2) 工序集中的原则

(1) 相同工序适合于集中在同一工位和一台机床上加工,例如箱体上大量的钻孔、攻丝分别集中在多孔钻、攻丝机床上,从而机床和夹具结构简单合理、各具风格。镗孔集中在镗床上,一次安装下完成,有利于保证加工精度,特别是对那些孔系之间有相互位置及精度要求的零件,效果尤为明显。

(2) 大量的钻孔与镗孔最好分开,由于加工直径相差大,其转速相差大,从而使主轴箱传动链复杂化。而且钻孔产生较大的轴向力,使工件有可能产生倾斜,会影响镗孔精度。同时粗镗切削力大,产生振动,有可能会折断钻头。对于铰孔与镗孔也不适宜在一个主轴箱上,因为铰孔线速度低,进给速度快,而镗孔则反之。

2. 工艺基面和夹紧位置的选择

1) 选择工艺基面的原则及注意的问题

(1) 应当尽量选用设计基准作为在组合机床上加工用的定位基面

这样能减少累积误差,有利于保证加工精度。但在某些情况下却必须改用其他面做为定位基面。例如组合机床上经常加工的各种发动机汽缸体,如图 3-1 所示,其顶面 A 为主要安装基准。为了能够比较方便地加工汽缸体的缸孔,必须使 A 面在机床夹具中敞开。加工多层壁上的曲轴轴承孔和凸轮轴孔时,为了方便地安装中间导向,以顶面 A 定位也不适宜,故都改用底面 C 为定位基面,但要对 C 面和 A 面的形位精度提出工艺要求。

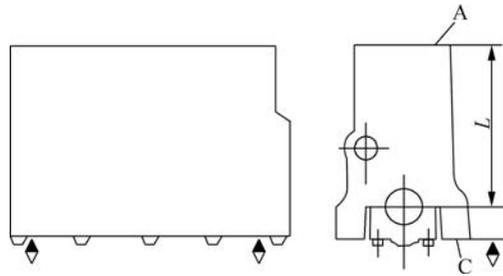


图 3-1 汽缸体定位方法

又如图 3-2(a)所示,为了加工多层壁上的同心孔,应装入中间导向,采用底面(设计基准)定位,零件装卸不方便,中间导向要经常拆卸又要丧失夹具精度。如果采用顶面定位如图 3-2(b)所示,不仅零件装卸方便而且夹具结构简单,且能保持精度,这种定位面的更换也是合理的,但对顶面和底面的形位精度提出工艺要求。

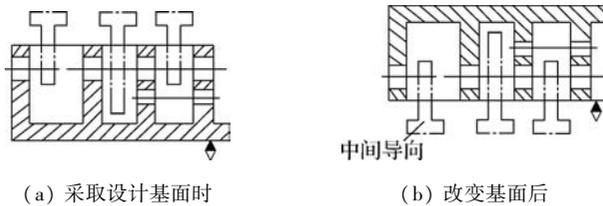


图 3-2 床头箱工艺基面的改变

(2) 力求采取统一基面的原则

统一基面的原则,即在每台机床上采取共同的定位基面来加工工件不同面上的孔,或对同一个面上的孔完成不同的工序。这一原则对加工工序长的箱体件尤为必要。如设计汽缸体流水线时,各台机床上均以“一面两销”定位,这样减少了安装误差,又有利于达到稳定加工精度的目的,机床夹具也通用化了。但在某些情况下,不完全采取统一的基面也是合理的。如图 3-3 所示多轴钻削汽缸体底面上的孔时,巨大的轴向力,使零件离开定位基面,这就需用相当大的夹紧力。如果将定位基准局部更换一下(即采用底面上两个定位销孔和顶面作定位基准),则可以减少夹紧力,提高了加工精度,但必须注意更换定位基面对加工精度的影响。大量的单缸机机体等外形规则的箱体类零件,广泛采用面定位的方法,面定位应以三个面同时定位,其中设计基准为主定位面。不管采用“一面两销”还是“三面定位”的定位方式,如何消除 6 个自由度应慎之又慎。

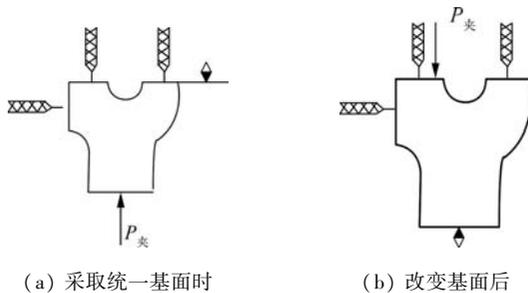


图 3-3 汽缸体工艺基面的局部改变图



(3) 选择定位基面注意的事项

① 选择定位基面应确保工件稳定定位,定位的面应尽量大些,力求采用已加工过的面作为定位基面,在加工精度要求高时,尤其必要,只有在不得已时才采用毛面定位,并且必须选取那些与加工面有一定关系的毛面作为定位面,同时应对定位面处仔细清理平整,切忌选择在铸件或锻件的分型面上,也不要选在有铸孔的地方,因为铸孔孔口上往往有毛刺,会破坏定位精度。

② 为了保证一定的加工精度,定位基面本身应达到一定精度,如在“一面两销”定位方式下,两销孔直径为 12~30 mm,根据零件大小而定,见表 3-1。孔的精度为 H7,两孔中心距公差 $\pm 0.02 \sim \pm 0.1$ mm,定位基面不平度 < 0.1 mm,粗糙度 $\sqrt{3.2}$ 以上。

③ 选择定位基面应考虑夹紧方便,夹具结构简单可靠。

(4) 通常在下列情况下考虑辅助支承

① 当零件刚性不足时,以防较大的切削力和夹紧力,使工件产生变形,影响加工精度。

② 零件定位基面较小,切削力和夹紧力的合力作用线远离定位基面,想增加工艺凸台又不可能,考虑增加辅助支承,提高定位的稳定性。

③ 定位面平面度差或者是毛坯时,采用三点定位又不稳定。

④ 切削力过大的情况。

⑤ 毛坯定位。

表 3-1 零件重量与销孔直径的对应关系表

零件质量(kg)	<20	20~50	50~100	100~200	>200
销孔直径(mm)	$\phi 12$	$\phi 16$	$\phi 20$	$\phi 25$	$\phi 30$

(5) 箱体类零件其他定位方法,有些不规则形状特异的箱体,常采用以下几种定位方法:

① 采用工艺凸台(工艺搭子)如图 3-4 所示。

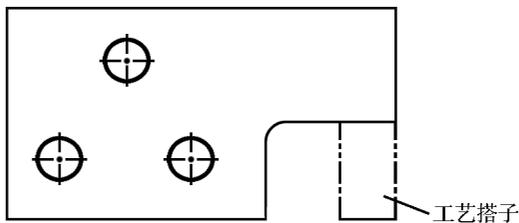


图 3-4 采用工艺搭子示意图

② 采用过渡拖板,把工件先固定在拖板上,然后将拖板按常规方法在夹具中定位。

2) 非箱体零件工艺基面的选择

组合机床上还经常加工曲轴、连杆、半轴、空气压缩机壳、机油泵壳、半轴套管、万向接头、转向器壳、后桥、阀体、轮壳、左右转向节、汽缸套筒以及电机座等畸形零件。其定位基准各式各样,但归纳起来,大致有下述几种定位方法:

(1) 对曲轴、半轴等轴类工件采用以 V 形铁为主要定位元件的定位方法。当采用 V 形铁定位时,对工件定位圆的公差应有要求,同时 V 形铁的角度亦应做得大一些,一般为 $90^\circ \sim$

120°,以提高定位精度。图3-5所示是以V形铁为主要定位元件的定位方法。

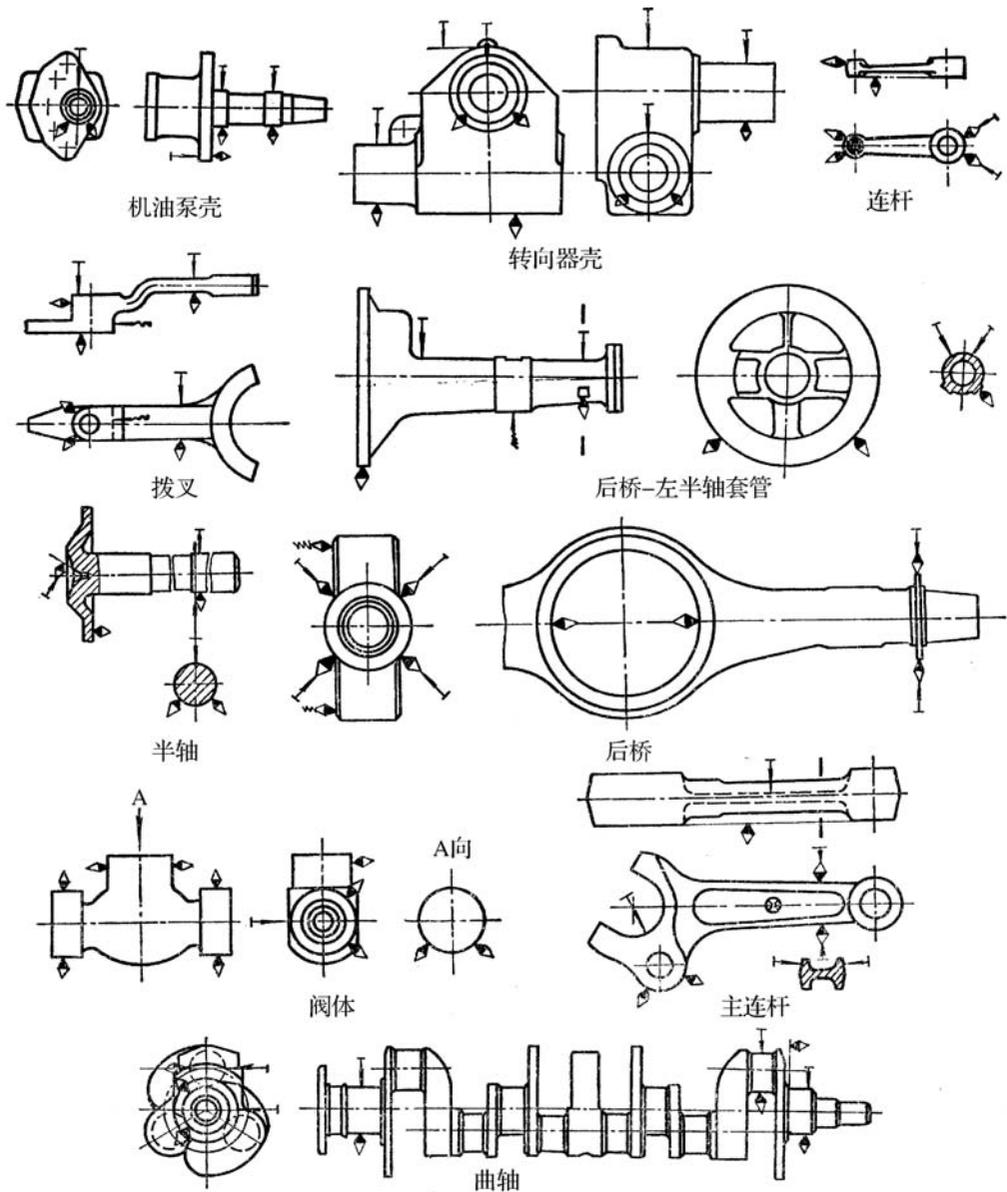


图3-5 以V形铁为主要定位元件的定位方法

(2) 对类似“法兰”的工件采用一个孔(或外圆)和一个平面为主要定位基准的定位方法,当需要时可以用一个孔,一个筋或凸台来限制圆周方向的转动。图3-6所示是这类定位方法的典型示例。

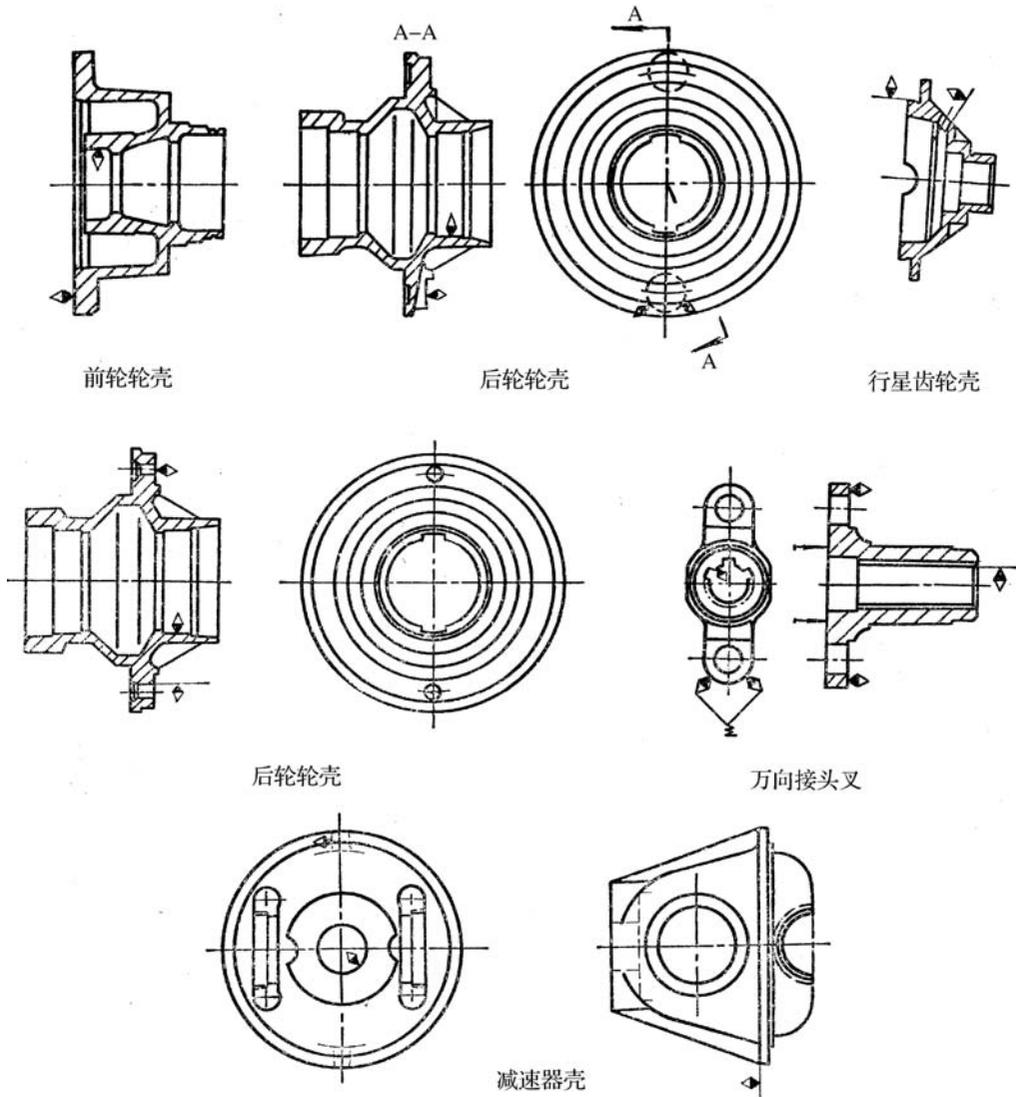


图 3-6 以一个孔(或外圆)和一个平面为主要定位基准的定位方法

(3) 对一些要求壁厚均匀的套筒形工件则采用以外圆自动定心的定位方法。如以毛坯外圆定位的汽缸套、小阀门及管件等工件的定位。图 3-7 所示是自动定心定位方法的示例。

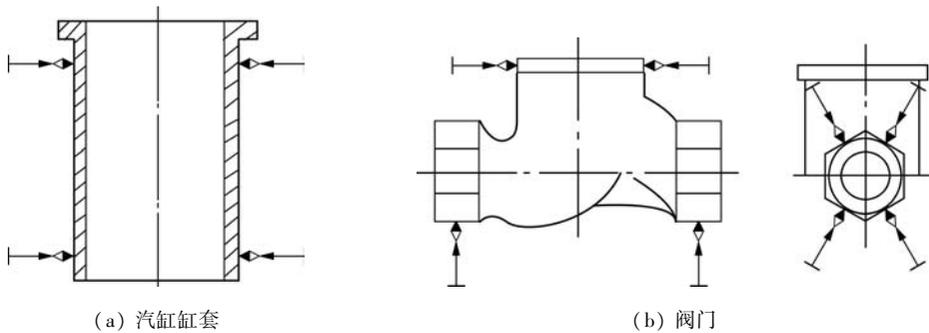


图 3-7 以外圆自动定心的定位方法

(4) 对一些薄壁易变形的工件常以端面及外圆做为定位基准。图 3-8 所示是这种定位方法的典型示例。

上面我们介绍了不同工件应该选择的工艺基面。但由于被加工零件的形状是千变万化的,所以我们应根据工件的具体情况选择恰当的工艺基面。

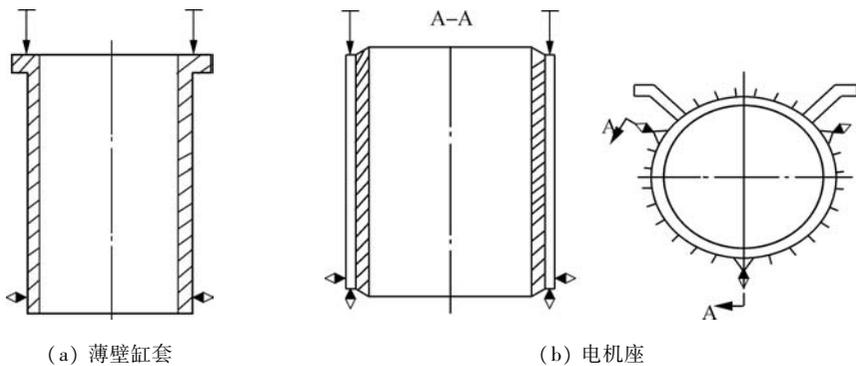


图 3-8 以端面及外圆为基准的定位方法

3) 确定夹压位置应注意的问题

(1) 保证零件夹压后定位稳定,在选择定位基面时,同时要考虑夹压位置,夹压点的布置,应使夹压合力落在定位面之内,力求接近定位平面的中心,一般加工箱体类零件,最好将夹压点放在上面而不放在下面。

(2) 保证零件在夹压时不影响加工精度,应将夹压点放在零件刚性较好的部位,力求靠近零件的筋或壁。

(3) 为了减少变形,还应使夹压点力求对着定位支承点,对刚性差精度要求高的零件,应采用多点夹压,使夹压力均匀分布,也可以采用主要夹压和辅助夹压相结合的方法。

3. 在组合机床上加工的限制

1) 孔间距的限制

(1) 钻、铰 $\phi 10$ mm 以下的孔,最小轴间距为 24 mm。

(2) 采用攻丝模板,在铸铁件上攻 M6 以下的螺孔,最小轴间距为 24 mm,加工 M8 螺孔,最小轴间距,卧式为 28.5 mm,立式为 30.5 mm。



2) 工艺性差的限制

有些零件如图 3-9 所示,中间孔大,且需要加工止口或刮端面,加工时,辅助时间长,考虑是否一定要采用组合机床加工,具体情况,具体对待。

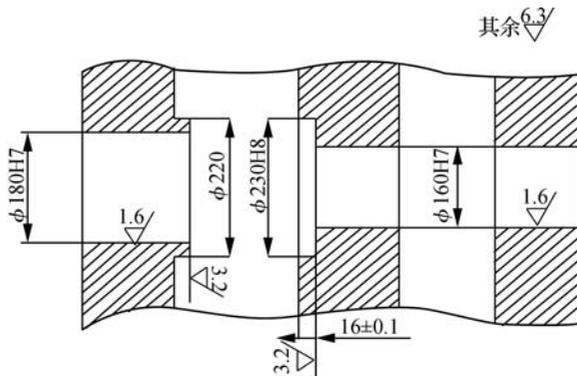


图 3-9 工艺性差的零件

3.1.2 影响组合机床方案制订的主要因素

1. 被加工零件的特点和加工工艺的要求

1) 加工精度

被加工零件的精度对机床方案有很大的影响,应当作为第一要素来考虑,即所采用的方案是否能稳定保证零件的加工精度。

(1) 对于 6~7 级精度的孔,一般需要 3~4 道工序,对中小件零件来讲,宜采用多工位机床;对大件来讲,最好分在几台机床上加工。

(2) 孔的位置精度在 0.05 mm 以内,应考虑在一个工位上对所有孔,同时进行加工,如果孔与定位基准的位置精度在 ± 0.1 mm 以内,不宜采用刚性主轴加工,采用带导向的浮动联结加工。

(3) 对同一轴线上一系列同轴孔,同轴度在 0.05 mm 以内,粗加工时可考虑从两面加工,精加工时,应考虑从一面加工,精加工最好安排在单独一台机床上。

(4) 孔精镗后若不允许有退刀痕时,应采用主轴定位和工件让刀机构。

(5) 加工大端面,不宜采用刮削,功率大、振动大,如有孔时,应采用镗孔车端面或铣削、镗削。

2) 被加工零件特点

(1) 材料和硬度

同样精度的孔,钢件比铸件工序多,例如在钢件上加工 6~7 级孔,宜采用金刚镗或特殊铰刀。加工钢件,断屑是一个值得考虑的因素,可采用多刃镗刀或刀刃上开断屑槽等。材料硬度大于 HRC40 以上应采用硬质合金刀具。

(2) 重量及外形尺寸

对于较重、外形尺寸较大的零件,宜采用单工位机床或工位不多的回转工作台机床,



也可考虑采用直线移动工作台机床。

(3) 刚性的影响

对一些刚性不足的零件,工序不宜过分集中。

(4) 对工艺较为复杂的机体、缸盖、变速箱体等零件,且生产批量较大的,宜采用单工位,多台机床组成的生产流水线或自动线。

(5) 对工序多的小型零件,宜采用多工位机床。

(6) 加工部位的结构形式

对大直径深孔加工,宜在立式机床采用刚性主轴,如镗缸孔等,对同一轴线上的一系列同轴孔,宜采用卧式浮动联接(带导向)镗孔方式,如镗曲轴孔,凸轮轴孔等,粗镗宜采用卧式双面,精镗最好采用卧式单面结构。又如钻阶梯孔时,先钻大孔,后钻小孔。

(7) 工艺基面的特点

工艺基面不好的零件,对于有一定相互位置要求的加工部位,一次安装下完成,对生产率要求高的,需要设计自动线,考虑随行夹具。

2. 生产批量

(1) 批量大,产品相对稳定,考虑采用组合机床。

(2) 批量小,考虑到使用组合机床的经济效果,一方面对那些多规格小批量的同系列产品,采用统一的加工工艺措施,来创造合理使用组合机床的条件。另一方面,要求组合机床结构形式能适应中小批量的生产需要。

3. 机床操作使用性能

使用、操作方便,尤其是装卸零件和排屑的方便、可靠应足够重视。天津帕金斯发动机公司一台由大连亿达日平公司制造的二工位铣端面打中心孔机床,断屑、排屑效果非常好,机床外观大方,且造型得体。

4. 生产现场使用组合机床和有关条件

1) 车间布置情况

(1) 如果车间流水线滚道是穿过机床的,应考虑通过式机床,如果有中间导向,应采取相应措施。

(2) 如果车间面积受限制,尽量考虑立式回转或卧式鼓轮机床。

2) 前后工艺联系情况

零件上机前,毛坯或半成品应有较可靠的工艺基准,以保证加工可靠,达到规定的精度要求,同时也为下道工序创造必要的工艺基准,以保证最终精度要求。

3) 使用厂技术力量及所处的地理位置及自然条件

工厂知名度,传统工艺设备维修条件,温差变化情况,地质地理条件等。

3.1.3 不同方案技术经济分析的一些主要问题

同样的零件,完成同样的工艺内容,可以提出多种不同的方案,在最终确定方案时,应当根据技术经济效果进行分析。



1. 主要指标比较

(1) 负荷率:各种不同方案虽然都能满足生产率的需要,但是机床的负荷率是不同的,如95%、70%、45%、30%等。应当根据具体条件采用适宜的负荷率的机床方案,不是负荷率越高越好。在95%以上偏高,30%左右偏低,一般在70%~90%为宜。

(2) 加工精度:在满足零件加工精度要求的条件下,要求的机床方案,能持久、稳定地保证加工精度。

(3) 自动化程度:自动化程度高是机床的目标,但一味过分追求自动化程度不可取,而应当使自动化程度与机床生产率相匹配,还应考虑到经济效果。

(4) 机床结构复杂程度和通用化程度:结构力求简单,通用化程度要高,外形尺寸尽可能小,重量要轻。

(5) 刀具复杂程度:要考虑用户的技术水平及经济承受能力,还要考虑对刀具的刃磨、调整和更换的方便性。

2. 主要指标评价

(1) 机床所需的工作人员,包括操作工人,辅助人员,技术服务人员等,要充分考虑劳动力成本。

(2) 机床占地面积尽可能要小。

(3) 工艺装备总投资,包括设备、厂房,相应的产品投资等,尽可能回避投资的风险。

(4) 单件工序成本,尽可能压缩,包括工人工资、机床、厂房折旧及工具、刀具、量具的损耗等。

(5) 投资回收期按下面公式计算:

$$X = \frac{M_2 - M_1}{(K_2 - K_1)Q} \quad (3-1)$$

式中: M_1 —原工艺装备投资; M_2 —现工艺装备投资; K_1 —原单件成本; K_2 —现单件成本; Q —生产纲领(件/年);国外 X 为1~2年(最多4年);国内 $X \leq 3 \sim 5$ 年。

3.2 对组合机床配置形式和结构再探讨

3.2.1 单工位机床的特点和适应性以及所能达到的精度

1. 单工位机床的特点和适应性

(1) 各种形式的单工位机床,带有固定式的夹具,通常都安装一个零件,适于大、中型(如箱体类)零件的加工。

(2) 单工位机床采取多刀加工来集中工序。即在单面或多面机床上,利用多轴主轴箱,对一个零件上的许多孔同时平行进行加工,通常对于所有的孔只能加工一次。为了对孔进行多次加工,需要采用几台机床,也可采用可换主轴箱的方法。

(3) 单工位机床由于机动时间与辅助时间不能重合,生产率较低。因此对于工序复杂的大、中型零件,为了完成更多的工序和达到更高的生产率及自动化水平,常采用多台单工

位机床组成的流水线或自动线来加工。

2. 单工位机床所能达到的精度

有关组合机床所能达到的精度在前面第二章的第 2.3 节里已作过介绍,而这里所涉及的精度问题是指组合机床配置形式和结构对加工精度的影响。

这类机床可达到的加工精度最高。对于精加工机床的夹具,其公差一般取被加工零件公差的 $1/3$ 。但对粗加工机床,由于其他因素影响,精度要求也不能很低。这类机床加工时能达到的精度:

(1) 钻孔位置精度:采用固定导向一般能达 ± 0.2 mm。当严格要求主轴与导向的同轴度,减少钻头与导套之间的间隙,导向靠近工件等,可达 ± 0.15 mm。当采用活动钻模板时,钻孔位置精度为 $\pm 0.2 \sim \pm 0.25$ mm。

(2) 铰孔位置精度:采用固定精密导向时,孔间距离和孔的轴线与基面的位置精度可达 $\pm 0.025 \sim \pm 0.05$ mm。

(3) 镗孔同轴度及轴线间平行度:若由一面镗孔,镗杆采用前后或多层精密导向,同轴度可达 $0.015 \sim 0.03$ mm。若由两面镗孔而且是单轴,便于调整主轴位置精度时,同轴度也可达 $0.015 \sim 0.03$ mm。但从二面多轴加工时,孔的同轴度一般为 0.05 mm。镗孔轴线间的平行度,可保持在轴线间距离公差数值范围之内,在调整精确时,也可达 $0.02 \sim 0.05$ mm/800 ~ 1 000 mm。

例如加工箱体类的单工位精镗床,除提高机床原始精度和工件定位基面精度以及减少夹压变形外,主运动可采用皮带传动,以消除主轴振动影响,还设有卸荷机构,起到过扭矩保护作用。进给系统可采用液压增稳系统,即机床快速进给时小直径油缸工作,工进时,则转换为大直径油缸工作,从而获得既稳定又较小的进给量,机床实现了高速低进给量的加工方法,使得切削力非常小,有利于保证加工精度。当然现在国内外还有更先进的精镗头可选,再配上带直线导轨的数控滑台,机床配置更理想了。采用上述一系列措施,保证了箱体最后的加工精度能稳定达到 6 级精度,粗糙度保证在 $\sqrt{0.4}$ 左右。

3.2.2 采用多工位机床应考虑的一些问题

1. 多工位机床的特点和适应性

(1) 各种形式的多工位机床适用于中、小型零件的加工,以满足零件加工时,完成多工序和提高生产率。采用多工位机床,由于能在各个不同工位上对零件进行顺序加工(例如钻、扩、铰),或平行顺序加工(在一个工位上,同时安装几个零件,并顺序在各个工位进行加工),并且能够设置单独的装卸工位,可以使辅助时间与机动时间重合,从而能够提高工序集中程度和机床生产率。

(2) 当工位不超过 2~3 个,生产率又能够满足时,应当选多工位移动工作台式组合机床。因为回转工作台或鼓轮等结构都较移动工作台复杂,成本也高,只有工位超过 4 个以上时才能选取回转工作台式多工位组合机床。

(3) 多工位机床最多工位,通常受到工序合理集中的程度和机床部件制造复杂的限制,不能过多地增加。所以在考虑采用多工位机床时,还应注意现有通用部件的工位。例



如大型回转工作台的工位数:2、3、4、5、6、8、10、12。鼓轮及鼓轮回转定位机构目前尚无通用的。在过去设计中,鼓轮机床的工位数最多到10个。

(4) 在布置工位时,应尽可能把切削负荷大的工位布置得尽量靠近立柱或滑座导轨,以改善动力头的受力情况。

(5) 还应注意回转工作台的直径,鼓轮的回转直径、镗模架、主轴箱等一些大件的外形尺寸,以及进给油缸长度等尺寸的限制,以避免工作不稳定、制造困难和机床结构过于庞大。现有的回转工作台台面最大直径为 $\phi 1600$ mm,主轴箱最大外廓尺寸为 $1\ 250$ mm \times $1\ 000$ mm。

(6) 有些零件既可以用圆周移动零件的多工位机床加工,也可用直线移动零件的自动线加工,但应尽量采取多工位机床加工,因为自动线的造价要比一台多工位机床贵得多。但是也应注意另一方面,由于在圆周移动零件的多工位机床上,受到最多工位数和一台机床工序合理集中程度的限制,所以对于被加工零件的要求比较严格,例如轮廓尺寸不能太大,重量不能太重,加工面数和工序数目不能过多,加工部位的分布要求比较集中,零件具有足够的刚性以及工艺基面适宜等。因此部分工艺复杂,加工部位和工序数多的小零件以及中小型箱体零件,采取各种形式的自动线加工。因为自动线的工位数通常不受限制,可以根据需要完成的全部工序而定。同时在自动线上直线运输零件时,对零件的轮廓尺寸、外形结构和重量大小等一般不受限制。

2. 多工位机床所能达到的精度

在多工位机床上,由于回转工作台转位时有误差和移动工作台移位误差,从而影响加工精度。尽管有时采用夹具固定于同一台面上,用一个大活动钻模板,加工时与夹具定位的方法,其工作台转位或移位的误差,仍然会增大主轴相对导向的轴心偏移和相邻工位加工孔的位置误差。

(1) 钻孔位置精度:在立式多工位机床上,采用统一活动钻模板能达到 ± 0.2 mm。

(2) 精加工孔的位置精度:当在一个工位上同时进行孔的精加工时,其位置精度可达到 ± 0.05 mm。在不同工位上分别进行孔的精加工时,立式回转工作台机床可达到 ± 0.1 mm;移动工作台机床只能达到 ± 0.1 mm以上。

在立式回转工作台机床上,为了达到更高的精度,在精加工工位上采取独自の钻模板,并和夹具很好的定位,有条件时以工件前道工序精加工的孔定位,则更为有利。随着更先进的通用部件的出现,如江苏恒力组合机床有限公司引进日本技术回来消化吸收开发的一种高精度回转工作台,采用的双楔环V形沟槽——钢球分度定位机构,分度精度为 $5''$,重复定位精度为 $5''$,比常规的分度定位机构精度高120%。如果机床选用这种回转工作台,加工精度大大提高了,特别是当今数控技术日益成熟,数控回转工作台和数控移动工作台也相继问世,精度更高的加工要求将成为现实。

3.2.3 中小批生产用组合机床

组合机床在大批量生产中,是提高效率,保证加工质量的有效设备。如果组合机床配置形式,直接用于中小批生产中,不能充分发挥组合机床的作用,所以必须根据中小批生产中生产批量不大的特点,研究最适用的组合机床的品种及其配置形式。

目前在拟订中小批生产用组合机床方案时,通常采取下列两种方法:

一是增加批量。采取多品种加工方法,人为地增加批量,使之接近于大批生产,降低加工成本。同时机床应具有较大的灵活性与可调性,能比较方便地实现多品种加工。

二是集中工序。在满足生产率要求的前提下,尽可能集中更多工序,延长单件工时,这样就可以提高机床的利用率,减少机床台数和设备投资。

1. 多品种加工组合机床

1) 多品种成组加工组合机床

在对工件分类的基础上,将一些工艺相同或相似的工件(其结构和外形相近更好),集中在一台机床上同时进行加工。即一般所谓的多品种“成组加工”,这实际上是一种多品种平行加工的方法。可以同时加工多品种工件而机床不另调整。

图3-10所示是一台多品种成组加工的四工位立式回转工作台机床,可以平行地同时加工万向接头叉和万向接头轴等三种不同的工件。机床夹具装在四工位的回转工作台上,在夹具上安装三个形状不同工艺相同的工件。机床用立式动力头带动六轴主轴箱跨三个加工工位对三个不同工件完成钻孔、倒角和扩孔的加工工序。机床节拍为1.5 min。

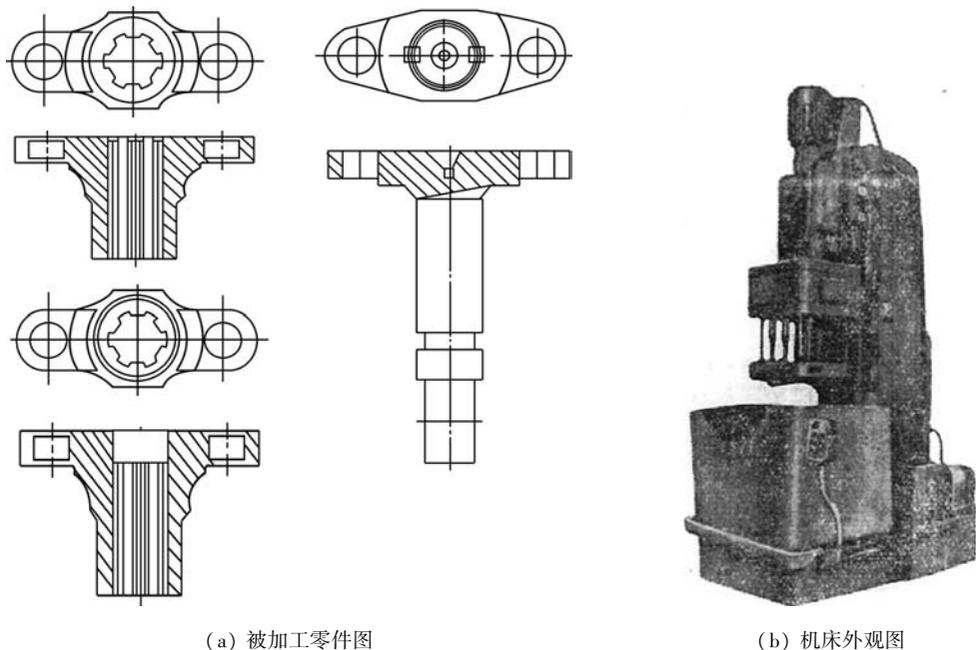


图3-10 多品种成组加工机床

2) 多品种加工可调整组合机床

在一台机床上,先加工好一种工件,然后作适当的调整,再加工另一种工件。并且通常要求在机床上加工的工件品种是已定的。为了减少调整时间,要求工件的结构外形、加工工艺及加工部位的特征尽量一致或者接近。这种多品种顺序加工可调整机床,特别适用于同种类而规格不同的工件(例如不同缸数的汽缸体、汽缸盖;电机座;阀体等工件)的加工。但在很多情况下,尤其是进行多品种工件的钻孔加工时,需要改变加工位置,有时还要改变切



削用量。这时常用可调主轴和备用主轴的方法来实现。

图 3-11 所示是立式三工位移动工作台组合机床。可以完成六缸、四缸及二缸等三种汽缸体的加工。立式动力头具有 2 根刚性主轴,加工二缸汽缸体时,装卸时间与机动时间可以重合,加工四缸或六缸时则不重合。并且需要加工二次或三次才能完成。由于二缸和四缸汽缸体相当于六缸汽缸体的一部分,机床夹具设计时就考虑了安装不同品种的可能。因而在更换品种时,机床不需要调整。

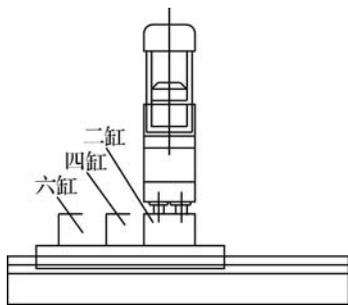


图 3-11 加工三种汽缸体组合机床

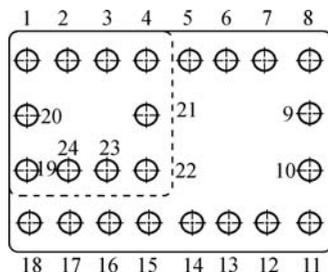


图 3-12 多品种加工的盖板

当工件形状相似,工艺过程完全一样,而大小不同的工件,则可采用备用主轴的方法在一台机床上顺序加工。例如,图 3-12 所示的两种盖板,其上虚线所示是小尺寸盖板。可以在一台 24 轴钻床上加工。加工大盖板时,主轴 1~20 工作,而 21~24 主轴上的刀具卸掉。当换为加工小盖板时,主轴 1~4,19~24 工作,其余主轴空转。

3) 拟订多品种可调整组合机床方案时应注意以下问题:

(1) 被加工零件在结构要素上应力求采取通用化、系列化设计,使各种用途相同的工件,在结构外形、轮廓尺寸、加工工艺以及加工部位等方面,尽量接近或者一致。特别是品种相同,规格不同的工件,更有条件做到这一点。例如各种缸数的汽缸体,统一其缸孔的孔距,孔径大小和长宽尺寸等,就可以使多品种加工机床调整量减少。

(2) 从被加工零件实际情况出发,选用合理的可调方案。当其孔距不一致或加工品种不定时,应采取可调主轴结构。但须注意可调动力头具有一定调整范围的限制。在加工品种一定的情况下,可考虑采取备用主轴或备用动力头的办法,这样可以大大缩短调整时间。

(3) 应当适当的多采用单轴刚性加工的分散配置形式,使机床在结构布局上具有较大的灵活性,便于调整。动力部件可选余地很大,除了大陆产品外,台湾地区的多功能头、日本的速计能头、德国的液压滑套头(现已国产化)都是不错的选择。

(4) 应尽量减少调整环节,特别是保证机床加工精度的主要环节。

(5) 应当慎重分析机床调整是否影响加工精度。若精度要求很高时,一般不宜采取可调整的组合机床。

2. 多工序加工组合机床

1) 换装工件完成多工序加工的组合机床

借助多次安装增加工件的加工面数或工序数,在一台机床上平行加工几个同样的工件,

从而可以完成更多工序,这是中小批生产箱体件加工中经常采用的。

图 3-13 所示是一台加工滤油器壳体的卧式三面钻床,在机床上同时安装三个工件,经过换装顺序完成工件三个面上孔的加工。

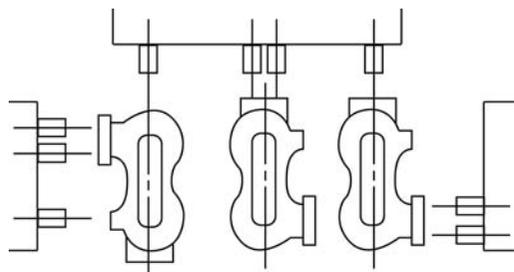


图 3-13 卧式三面加工滤油器壳体钻床

2) 顺序多次加工完成多工序的组合机床

图 3-14 所示为利用回转工作台和回转夹具来顺序加工一个工件多工序的典型示例。图中(a)所示是利用双工位回转工作台对两端加工工序完全相同的箱体件进行多工序加工。工件装在回转工作台上,左动力头钻左端孔,同时配置在十字滑台上的右动力头钻右端孔,接着右动力头对右端进行攻丝;然后工作台逆时针回转 180° ,右动力头对左端孔进行攻丝。图中(b)所示方案,不仅利用回转工作台来改变工件的位置,而且装在工作台上的回转式夹具在动力头退回时,本身也自转一个角度,比如 120° 或者 180° ,从而能够在同一台四工位回转工作台的机床上顺序完成工件两个或三个面上孔的多次加工。这种配置形式适于加工三爪夹盘体、差速器壳体总成等一类工件。

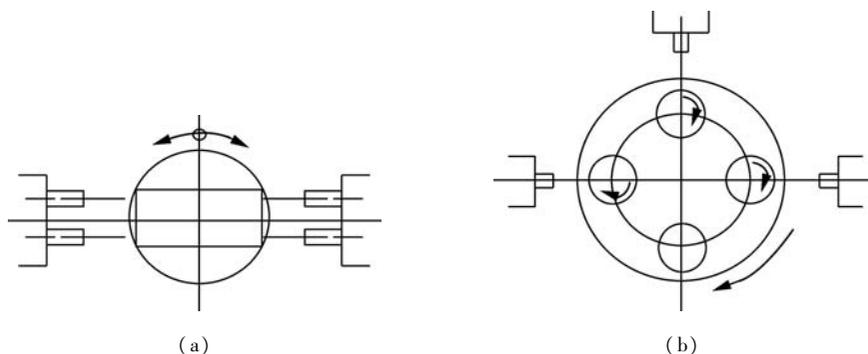


图 3-14 多工序加工典型示例

图 3-15 所示为利用手动换刀来顺序完成半精镗和精镗孔。在一个工位上加工的时候,在另一个工位上装卸工件,并且换装刀杆。甚至还可以采取自动换刀的方法来实现换刀。

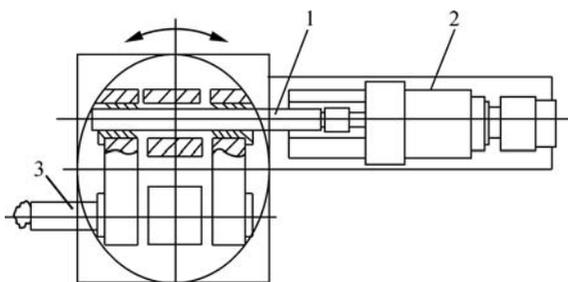


图 3-15 多次换刀加工的机床布局

1—精镗刀杆;2—动力头;3—半精镗刀杆

3) 完成更多工序的组合机床

如果将上述两种方法联合使用,就可能完成更多的工序。图 3-16 所示是大连机床厂为加工 C620-1 车床走刀箱而设计的双面双工位回转工作台组合机床。走刀箱全部孔的加工需要四个工步,如果采用两台机床加工,设备投资太大,经济上不合理。现在工件经两次安装,从而对工件两个面进行四次加工,用一台机床顺序完成钻孔、扩孔、半精镗孔及精镗孔等全部粗精加工工序。

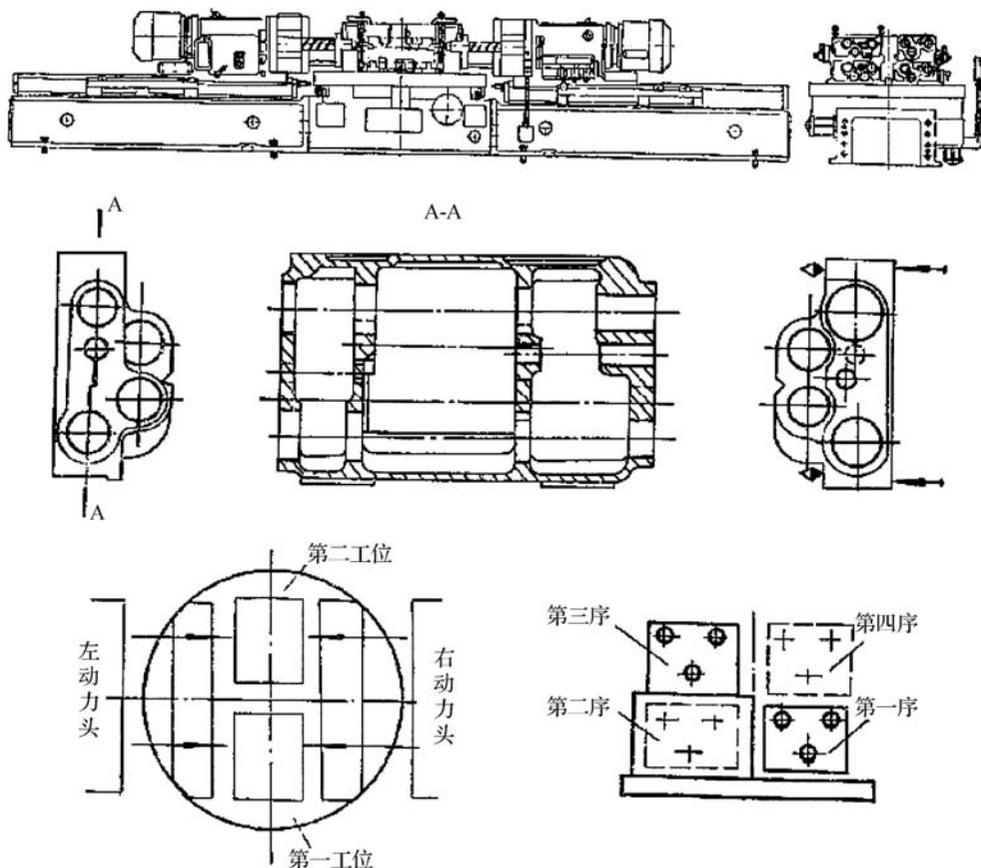


图 3-16 两次安装工件双层夹具回转工作台组合机床

该机床在双工位回转工作台上,安装一个双位上下两层的夹具。在左右动力头的主轴箱上有适应四个位置加工需要的四组刀具。机床工作循环为:将工件安装在第一工位的下层夹具上,启动左右动力头进行第一工序粗加工。当动力头退回原位后,工作台回转 180° 。动力头又前进对工件进行第二工序加工。然后工作台回转原位,将已加工过两次的工作件卸下装到第二工位夹具的上层上,在第一工位夹具的下层装上一个新工件。这时动力头前进对第二工位工件进行第三工序半精加工,而对第一工位上的新工件进行第一工序粗加工。

当工作台又回转 180° 后,就对第一工件进行第四工序精加工,同时第二工位下层刀具对新工件进行第二工序加工。经过四次加工,第一个工件就加工完毕,第二个工件换装到夹具的上层上,在夹具下层上再装上第三个新工件。重复上述循环继续加工。主轴箱上四组刀具同时工作的只有两组,每小时能加工一件。

前面所述是当工件需要从两面进行多工序加工的机床配置方案。但有不少工件只需从一面进行四序加工,比如车床溜板箱的横向孔。这时可以采用立式机床加工,安装工件比较方便,机床占地面积也小。但这种工件外形尺寸较大,不宜采用多工位回转工作台的方案。大连机床厂又设计了如图3-17所示的立式机床顺序完成四序加工。

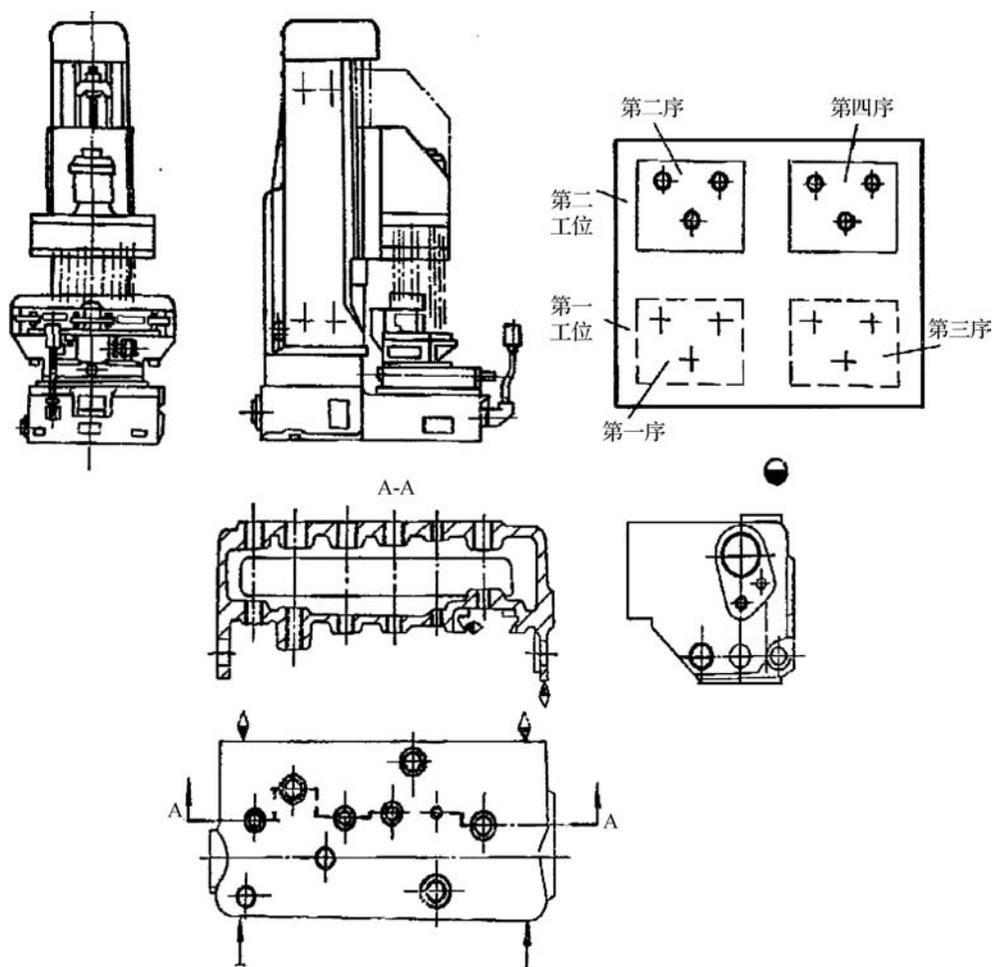


图3-17 两次安装工件移动工作台组合机床



从图中可以看出,机床设有双工位移动工作台,在其上装有双工位夹具。机床按下述顺序工作:先把工件装在夹具的左面位置上,此时工作台处于第一工位,动力头前进完成第一序加工,再将工作台移至第二工位,完成第二序加工。当移动工作台返回第一工位后,将第一个工件换装在夹具右面位置上,在左面装上新工件,动力头前进对第一工件完成第三序加工,对第二工件完成第一序加工。将工作台又移至第二工位,动力头对第一工件完成第四序精加工,对第二个工件完成第二序加工。然后移动工作台返回第一工位,卸下已加工好的工件,将第二个工件安装在夹具右面位置上,在夹具左面位置装上第三个工件。这种机床在主轴箱上也有四组刀具,但同时工作的只有两组,其余两组或者空转,或者不转。用此机床加工溜板箱一类工件,能够保证机床有较高的利用率。

4) 拟订“多工序”机床方案时应注意的问题

“多工序”加工机床大多数是粗精加工合并在一起进行,故拟订方案时首先必须注意由于粗精加工合并是否能保证加工精度。对卧式双层夹具的多工序机床如图 3-16,安排工序时,将粗加工及重切削工序放在下层,精加工及负荷较轻的工序放在上层,对持久保证机床精度有利。在拟订尺寸很大的工件的加工方案时,应当特别注意两次安装是否会使机床过于庞大,操作不便,装卸工件困难。对双层夹具,工件尺寸更不宜太大,因为这时会使主轴箱很高,工作情况不好,装卸工件也不方便。

3. 中小批生产用组合机床的新发展

用多品种加工和多工序加工方法,提高组合机床的利用率,使组合机床在中小批生产中推广使用,取得了一定效果。但按上述两种方法制造的中小批生产用组合机床常常是比较庞大,可变性差,不适于产品更新。此外,局限性也较大,还不能很好地满足中小批生产需要。尽管这样,对面广量大的中低档用户,采用上述方法还是比较现实的。而对一些高档用户,要采用数控柔性技术去开发高端数控和柔性机床来满足他们的需求。

根据中小批生产量大小,目前已经发展了下面两类机床:

1) 带可换主轴箱的组合机床

(1) 带转塔式主轴箱的组合机床可以采用图 3-18 所示的转塔式主轴箱的方案,将几个主轴箱装在回转台上,按需要进行自动转换。这种方案主轴箱数量不能太多,一般不超过六个。带转塔式主轴箱的组合机床有两种配置形式:一种形式如图 3-18(a)所示,是将主轴箱安装在回转工作台上,转塔主轴箱不作进给运动,而被加工零件装在能实现进给运动的滑台上,其夹具亦有不转位和能转位两种。加工时,转塔主轴箱顺序对工件进行粗、精加工,完成一个面的加工后,再对另外一个面进行加工;另一种形式如图 3-18(b)所示,转塔式主轴箱安装在进给滑台上,加工时工件不动,而转塔式主轴箱实现进给运动,顺序对工件进行加工。

从图中可以看到,这种转塔式主轴箱的组合机床,配上回转式夹具,就可以对工件进行多面多工序的加工。机床可以用程序控制系统,使之按规定程序进行自动加工。

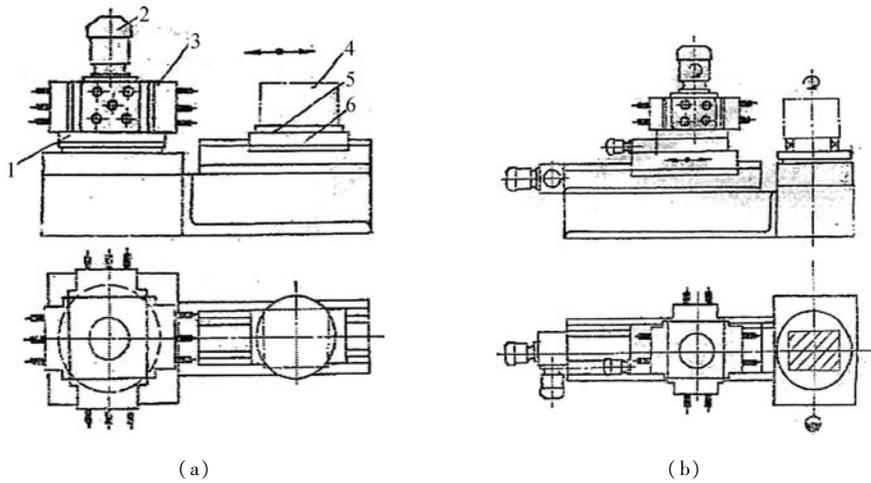


图 3-18 带转塔式主轴箱的组合机床

1—回转工作台;2—主轴电机;3—转塔主轴箱;4—工件;5—转位台;6—进给滑台

(2) 带回转式可换主轴箱的组合机床

当工件有更多的工序要加工,需要比较多的主轴箱时,就可以采用带回转式可换主轴箱的组合机床。图 3-19 所示是采用环形的多轴箱贮存及更换装置。这个装置直接围绕机床立柱进行间歇回转,使要用的多轴箱处于动力头的下方,这种方案使得多轴箱的自动更换比较简单。

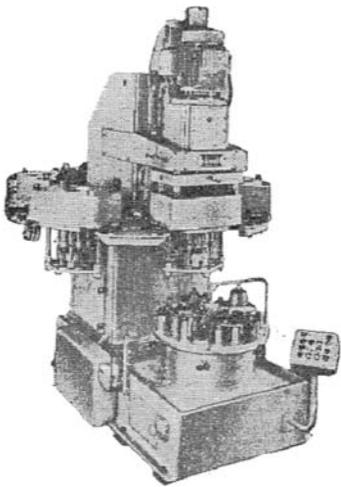


图 3-19 带环形贮存装置的可换多轴箱组合机床

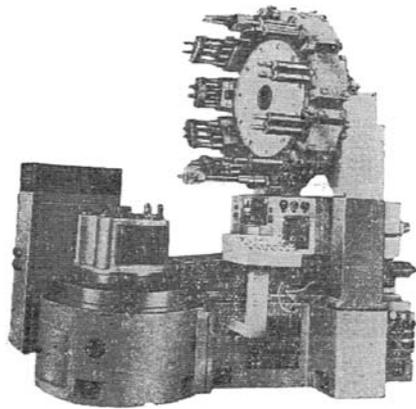


图 3-20 加工增力器体的可换多轴箱组合机床

图 3-20 为对增力器体进行钻孔、扩孔和镗孔的带环形贮存装置的可换多轴箱组合机床,这个装置围绕水平方向进行间歇回转。

(3) 带移动式可换主轴箱的组合机床

当完成一个工件需要更多的主轴箱时,可采用移动式更换主轴箱的方案。这种方法在



卧式和立式机床上都可以采用。

2) 自动换刀的组合机床

组合机床采用自动换刀的办法,使一台机床能完成很多工序,也是使组合机床在中小批甚至单件生产中推广使用的有效方法之一。这类机床加工一些小批量、多工序、高精度的多边形工件尤为适用。

这种自动换刀机床也有多种配置方案,下面介绍几种典型配置形式:

(1) 图 3-21 所示,是江苏高精公司生产的一台带刀库实现自动换刀的数控组合机床。本机床为双面立式配置,数控移动工作台的台体上安装一套液压夹具,夹具通过扳簧面垫块距离和上下体之间圆弧面角度调整,可实现多品种前轴加工。在数控移动工作台的左端配置一个立柱,在其上安装一只立式铣削头,将装有两把两面刃铣刀的刀杆插入铣头的主轴孔中,以完成前轴主销孔的上下两端面的精铣。数控移动工作台的对面安装一只立柱式数控滑台,镗头就安装在滑台上,在立柱的侧面装有一只凸轮式 BT50 刀库,在刀库中,装有四把刀具,用于完成对汽车前轴主销孔车内端面、半精镗、精镗孔和孔口倒角工序。加工时只有一把刀具工作,其余刀具存放在刀库里,当动力头完成一个工作循环,退回原位后,刀库按规定程序自动转位,使相应刀具到位并换刀对准工件进行加工,直至完成全部工序加工后,机床自动停止。这种自动换刀办法,结构比较简单,但刀具数量不宜很多。

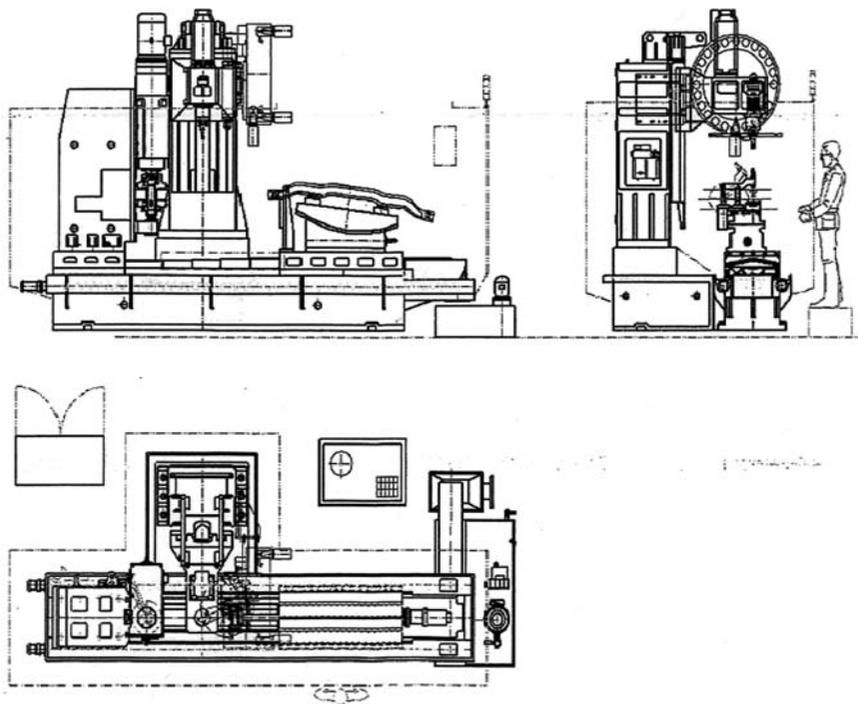


图 3-21 双面立式自动换刀的数控组合机床

当被加工零件工艺比较复杂,刀具数量很多时,则应设有专门的刀具贮存库及自动更换刀具装置。

(2) 图 3-22 所示是另一台自动换刀系统的组合机床。其主要特点是刀具贮存机构设

在动力头上方,并由机械手实现刀具的自动更换。这种机床也用程序控制系统,是机床全自动工作,适用于加工中小批生产中小型箱体件。

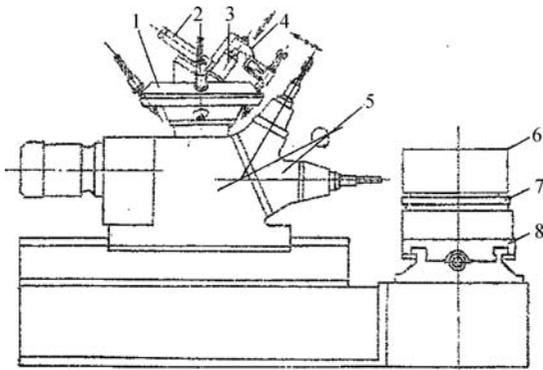


图 3-22 带转塔刀架的组合机床

1—贮刀器;2—送刀油缸;3—拔刀或插刀油缸;4—机械手;5—转塔刀架;6—夹具;7—回转台;8—移动工作台

从图中可以看到,机床的主要部件有:带转塔刀架的动力头,自动换刀机械手 4,移动工作台 8,回转台 7。被加工零件安装在回转台的夹具 6 上,并自动使需加工表面对准动力头进给方向。机床开始加工时,动力头的转塔刀架 5 将第一序所用刀具转至水平位置,并和动力头的驱动轴接通,对工件进行加工。转塔刀架另一倾斜的主轴处于换刀位置。由贮刀器转位,将需用刀具转到换刀位置,机械手 4 将此刀具取出并装在倾斜主轴上。当加工完毕动力头返回时,转塔刀架回转 180°并定位,原来在上方的倾斜主轴就转到水平工作位置,进行下一工序的加工。这种机床再配上一一般铣头或转塔主轴箱,就可以实现更多工序的加工。

3) 发展趋势

上述多种方案的结构提高了机床的可调性和可变性,能比较快地改装,以适应多(新)品种和多工序加工的需要。但这类机床通用化程度低,结构比较复杂,造价偏高,因此要研究适合于中小批量生产的机床结构形式,多功能的通用部件。对于可换主轴箱机床也可改成可换动力头机床,配上头库;对于可换刀机床配上刀库,再配上机械手,使组合机床和加工中心互补兼容。体现了加工中心组合机床化,组合机床加工中心化的理念。例如大连机床厂,近年来先后开发成功适用于复杂的板类、盘类和壳体类等多品种中小批量生产需要的 VD46、VD63 系列卧式和 TH5640 系列立式加工中心,零件一次装夹,自动完成铣、镗、钻、攻丝等多种工序加工;东风二汽设备厂为长安汽车公司设计制造集成的发动机缸盖柔性生产线,满足了多品种加工的需要;江苏恒力机床公司新开发的车铣复合中心已在江西新余钢厂正常投入使用,回转轴(C 轴)的定位精度为 12°,重复定位精度为 8°,满足了用户对各种模具、壳体、机座等大型零件在一次装夹下,完成多孔系、复杂曲面的车、铣、镗、钻、攻丝等多种工艺的加工要求,精度保持性好,性能稳定,用户较为满意。他们在前几年为上海飞机制造厂成功制造了两台加工麦道飞机机翼曲面的数控铣床的基础上,2015 年又为上海飞机制造厂生产加工国产 C919 大型客机垂直尾翼安定面的精加工平台,对工件自动完成找正、夹紧和钻、镗、铰、铣等加工工序,是生产线上唯一的一台替代进口的国产设备;行业中还有不少



厂家为适应组合机床产品转型升级,开发出多种结构独特、配置形式新颖的趋于柔性化的组合机床,从而使组合机床在中小批量生产中获得更广泛的推广使用和升华。

3.2.4 关于柔性制造技术介绍

近年来,随着微电子技术和计算机技术的迅速发展,它的成果在不断地渗透到机械制造领域中,组合机床行业也不例外,组合机床向着数控化、柔性化方向发展是必然趋势。

1. 柔性制造单元(FMC)

柔性制造单元(FMC)是由一台(或两台)自动运行功能的加工中心(MC)为核心,配上自动交换工件的装置(AWC)构成自动运行的小规模FMS。即所谓柔性制造单元(FMC),同时数控系统还增加了自动检测和工况自动监控系统。

FMC属于无人化柔性加工,一般都具有较完善的自动检测和自动监控功能。FMC可以为独立运行的生产设备进行自动加工,也可以作为柔性制造系统FMS中的加工模块。

FMC具有规模小、成本低(相对于FMS)占地面积小、便于扩展等特点。与大规模的FMS相比,投资少,风险小,特别适用于中小企业的多品种小批量生产。FMC技术综合性和复杂性低,规划、设计、认证和运行相对简单,易于实现。一旦成功,就可以获得效益,为下一步扩展提供资金,同时也能培养人才,积累经验,便于掌握FMS的复杂技术,使将来实施FMS更加稳妥。

其实FMC也在不断的扩展,现在的FMC不再是简单或初级的FMS的代名词。它可以具有FMS所具有的加工、制造、运输、控制、协调功能,还可以具有监控、通信、仿真、生产调度管理以至于人工智能功能,在某一具体类型的加工中可以获得更大的柔性。从某种意义上说,FMC就是一台小规模FMS。

国内外不少生产数控机床的工厂纷纷转入FMC的研发和生产,说明当前柔性制造技术的趋势之一是大力发展作为独立生产设备的FMC,大连亿达日平公司通过引进消化吸收日本柔性制造技术,将FMC设备用于无锡柴油机厂等单位的缸体、缸盖生产上;江苏恒力机床公司引进德国弗格兰(Vogtland)公司的柔性制造技术,研制出HPC63型三坐标加工单元,已用在上海通用汽车公司的生产线上,为今后开发柔性制造线(FML)以及柔性制造系统(FMS)奠定了基础。图3-23为托盘搬运式柔性制造单元,图3-24为机器人搬运式柔性制造单元。

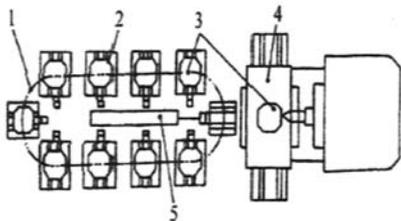


图 3-23 FMC-1 型柔性制造单元

1—环形交换工作台;2—托盘座;3—托盘;
4—加工中心;5—托盘交换装置

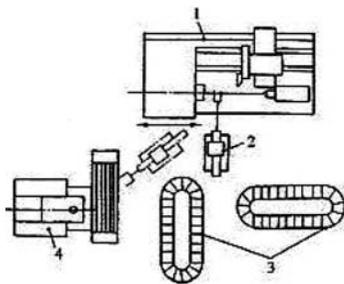


图 3-24 机器人搬运式 FMC

1—车削中心;2—机器人;
3—回转工作台;4—加工中心

2. 柔性制造线(FML)

柔性制造线是组合机床自动线柔性化的产物。它不同于柔性制造系统,其柔性程度稍

低一点,尤其是对控制系统和输送系统方面的柔性要求不是很高。实现柔性化的关键是其基本组成设备——加工单元的柔性。

柔性制造线的组成设备除少量的加工中心(MC)外,大多数用专门研制的三坐标动力部件(三坐标单元,图3-25为以三坐标单元组成的双面组合式加工中心)和可换箱组合机床。工件输送大多数采用托板——滚道系统,少数还保留着传统的非柔性步进输送方式。它适用于较少品种中大批量生产,适用品种范围为2~10种,生产批量在100~1000件以上,年产量可在20000件左右。这种柔性制造线国外已商品化,也是当今使用最广的柔性制造设备。

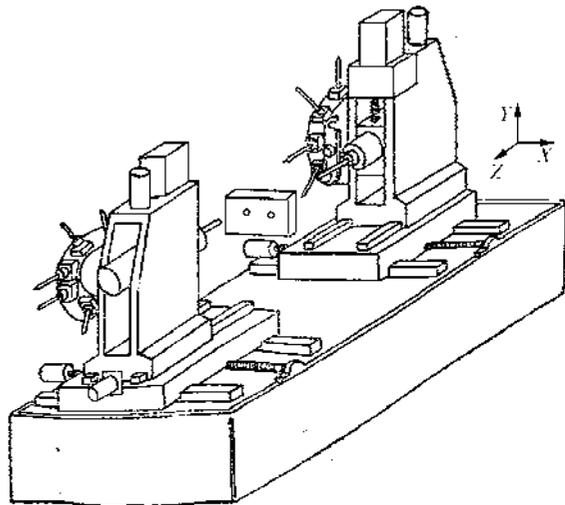


图 3-25 以三坐标单元组成的双面组合式加工中心

由于箱体件是自动线加工的最基本对象,为了提高加工效率,发展了多轴加工的柔性制造线。图3-26所示为德国 Maschinenfabrik Diedesheim 公司开发的用于加工多种不同汽缸头的柔性制造线。它是由11台多轴转塔机床组成,工件用托板输送。

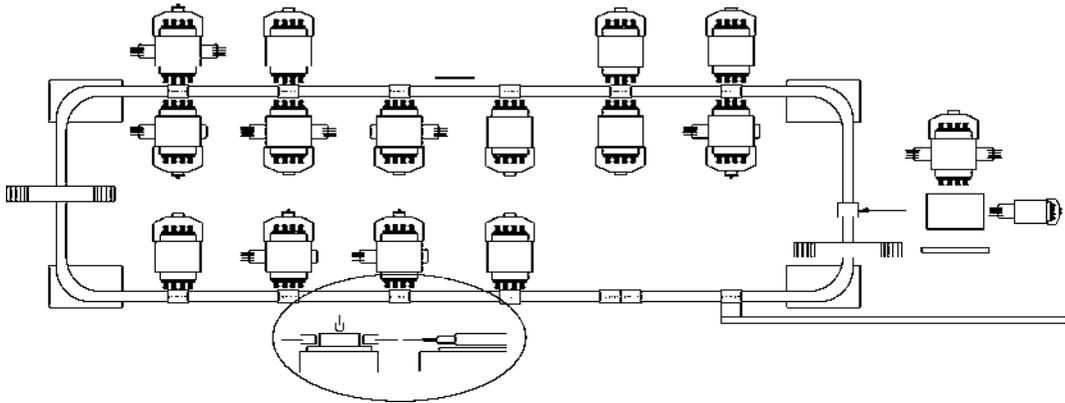


图 3-26 Diedesheim 公司加工汽缸头的柔性线

图3-27所示为该公司用于加工多品种汽缸头及汽缸体的柔性制造线,不同品种工件以随机顺序用随行夹具运输,纵向和横向运输系统间设有分流机构,按规定程序将工件送到相应的加工工位。

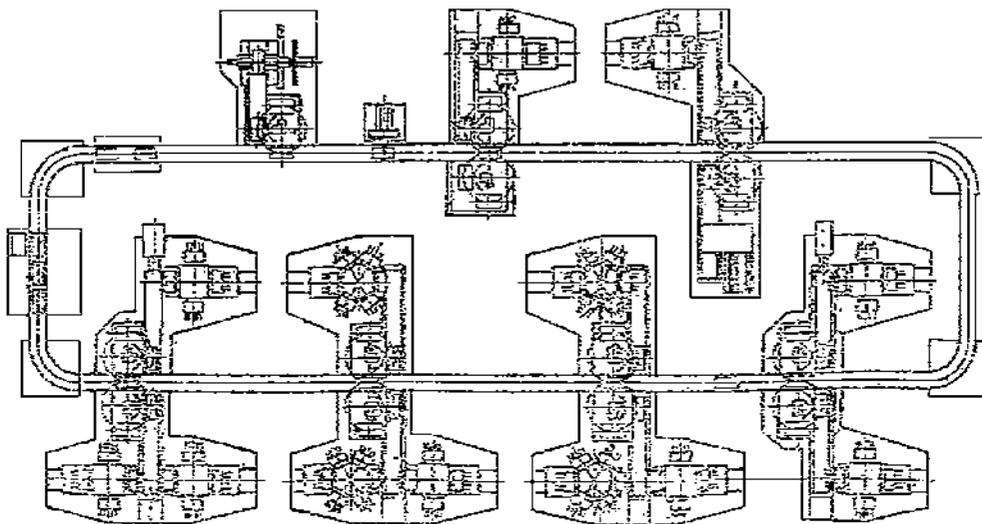


图 3-27 Diedesheim 公司加工汽缸头和汽缸体的柔性线

3. 柔性制造系统(FMS)

1) 概述

柔性制造系统较之柔性制造线具有更高的柔性程度。它不仅是加工单元具有很高柔性,而且是实现了控制系统和工件运输系统的柔性化,是工程变化灵活的自动化系统。柔性制造系统不仅能进行自动化生产,能在不停机情况下在一定范围内完成不同品种工件的交替加工,并具有一定的管理功能。它将高效率、高质量和高柔性集成于一体,成为历史上从未有过的较为理想的机床加工系统。这种系统具有丰富的切削加工机能;工件的搬运贮存机能,大多采用机器人、无人小车、托盘自动交换装置以及存贮仓库等;自动编程,刀具自动交换、刀库自动交换、清洗、切屑自动处理等辅助机能;监视机能,包括机床工作状态监视、自动检测和补正机能、刀具异常监视及机床热变形监视和补正机能等;另外,这种系统还具备生产管理和经营管理的机能。

图 3-28 所示为德国 B&W 公司开发的柔性制造系统,用于加工大众汽车厂的后桥壳体、传动箱壳体(铸铁件和铝合金两种)、曲轴箱体等零件。系统由四台加工中心、一台数控换箱机床、两台组合机床组成。用于完成粗铣、粗镗、多轴钻孔、攻丝、精镗、精铣等多种工序,在两班制生产时,日产 60 件。在加工中心上有能回转 360° 的回转分度工作台和容量为 40 把刀具的刀库,在换箱机床上有能存贮 14 个主轴箱的水平环式存贮库。整个系统用封闭环形驱动滚道联机,有五种不同的随行托板,由驱动滚道自动输送和交换。

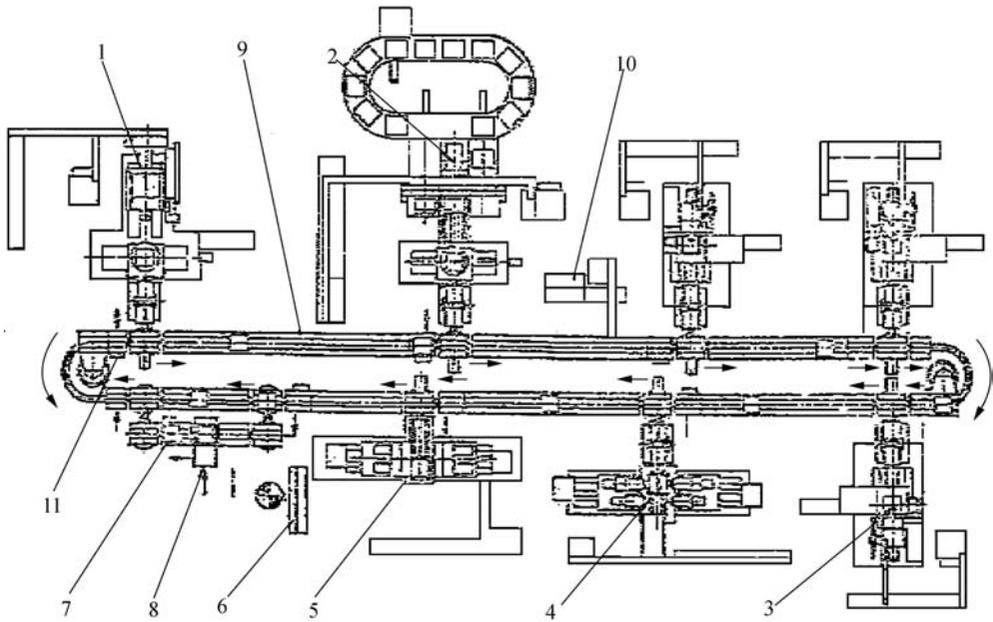


图 3-28 B&W 公司的柔性制造系统

- 1—镗铣加工中心;2—数控换箱机床;3—加工中心;4—加工后桥壳的三面精镗床;
5—加工齿轮箱的二面精镗床;6—中央操纵及监视台;7—装工件托板;8—装卸料工位;
9—环形驱动滚道;10—可编程控制器;11—编码及识别装置

2) 柔性制造系统(FMS)的主要特点

(1) 具有多台制造设备,但这些设备不局限于切削加工设备,也可以是电加工、激光加工、热处理、冲压剪切以及装配、检测等设备,但必须是数控的。FMS 规模差别较大,设备台数有多有少,功能不一,有 5 台以上 10 台以下,也有由 2~4 台设备组成的小规模 FMS。当然只有一台设备的一定是 FMC。FMS 包含了加工、运储及管理 and 计算机控制的三个子系统,并具备信息传输功能,FMS 的组成见表 3-2。

表 3-2 FMS 组成表

组成名称	作用	组成内容
基本部分	加工系统	FMS 的主体部分用于加工工件 加工单元指有自动换刀及换工件功能的数控机床
	运储及管理系统	向加工单元及辅助工作站运送工件、夹具、刀具、工具等 工件运送及管理系统组成:毛坯、半成品、夹具组建的存储仓库、工件托盘、运输小车、工件夹具装卸站、缓冲存储站、刀具运送及管理系统组成:刀具存储库、交换刀具的运送装置、刀具刃磨组装及预调工作站
	计算机控制系统	控制并管理 FMS 的运行 由计算机及其通信网络组成
辅助工作站	选件功能	根据不同的需求,配置不同的辅助工作站,如清洗工作站,监控工作站,在线测量工作站



(2) 由一个物料运输系统将所有设备连接起来,可以进行没有固定加工顺序和无节拍的随机自动制造。

(3) 由计算机对整个系统进行高度自动化的多级控制与管理,当市场需求或设计发生变化时,在 FMS 的设计能力内,系统具有制造一定范围内的多品种、不同批量、不同产量的零件的柔性。

(4) 配有管理信息系统(MIS),能提供刀具和机床利用率报告,提供系统运行状态报告和生产控制计划等。

(5) 具有动态平衡功能,当系统中某台或几台机床发生故障,计算机能进行最佳化调度。绕过故障机床,使生产得以继续,若一旦机床空闲,计算机就分配任务给机床。

(6) 加工成本低,FMS 的生产量在相当大的范围内变化,其生产成本是最低的,它除了一次性投资费用较高外,其他指标都优于常规的生产方案。

3) 柔性制造系统(FMS)的发展趋势

(1) FMS 系统仍将继续发展

FMS 系统在 20 世纪 80 年代末就进入实用阶段。它在解决多品种,小批量生产中较传统的加工技术有明显的优势。现在正向单件和大批量生产方向发展。

从机械制造行业来看,起初用于箱体类零件的机械加工,现在已能完成回转体类零件的车削,磨削和齿轮加工,甚至还能用于拉削工序。除了能完成机械冷、热加工和特种加工等多种工序外,现在还能完成喷漆、注塑和橡胶模制作等工作。从整个制造业生产的产品看,现在的 FMS 已不再局限于机械制造行业的产品加工,还可用于计算机、半导体、木制产品、服装、食品及医药和化工等行业的产品生产,总之,凡采用数控和计算机控制的工序,均可由 FMS 来完成。

(2) FMS 系统配置朝 FMC 方向发展

柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)一样,都能满足多品种,中小批量的柔性制造需要,他们各自都有自己的优势,从投资少、风险小角度考虑,以选 FMC 为妥。FMC 实质上就是一小规模 FMS。FMC 和 FMS 形成了互补、兼容的趋势。

(3) 从(CIMS)的高度考虑 FMS 的规划设计

随着计算机集成制造技术和系统(CIMS)日渐成为制造业的热点,专家、学者们预言 CIMS 是制造业发展的必然趋势,柔性制造系统 FMS 将成为 CIMS 的一个重要组成部分。

尽管 FMS 本身是把加工、运储、控制、测量等硬件集成在一起,形成一个完整的系统,但从一个工厂的角度来讲,它只是其中一部分,如果该工厂不能不断地设计出新产品或设计太慢,再强的加工能力也无用武之地。总之,只有站在工厂全面现代化的高度分析、考虑 FMS 的各种问题,并根据(CIMS)的总体考虑进行 FMS 的规划设计,才能最大限度发挥 FMS 的作用,使整个工厂获得最大的效益,提高它在市场中的竞争能力。

4. 国产 FMS 示例

图 3-29 JCS-FMS-1 是我国的第一条 FMS,由北京机床研究所基于日本 FANUC 公司的 FMS 技术研制而成。图 3-29 为系统总框图,主要由以下四部分组成。

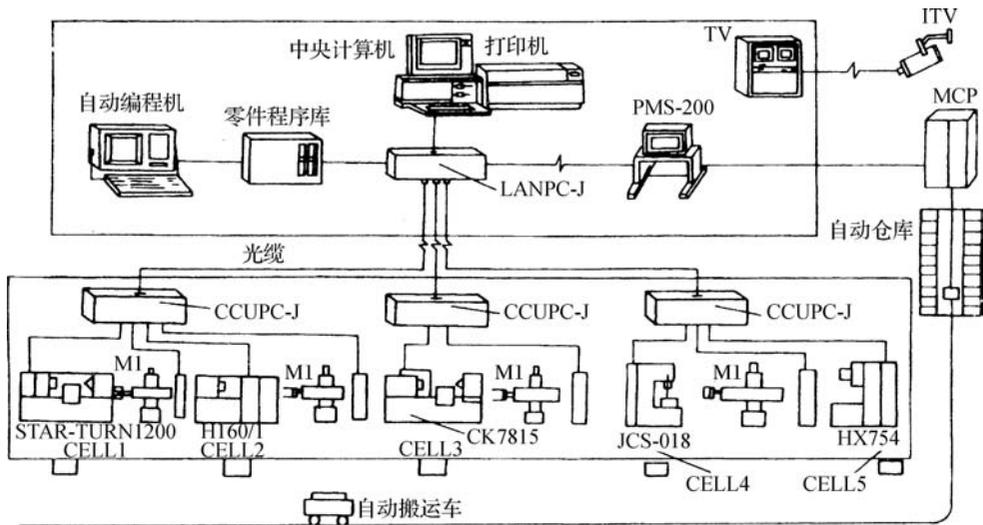


图 3-29 JCS-FMS-1 系统组成框图

1) 加工系统

根据生产纲领及零件工艺分析,确定由 5 台数控机床组成。其中,数控车床 2 台,数控外圆磨床、立式加工中心及卧式加工中心各 1 台。5 台机床采用直线排列,每台机床前设置托盘站 1 个,并由 4 台 M1 型工业机器人分别在机床与托盘站之间进行工件的上、下料搬运(其中两台加工中心合用 1 台工业机器人)。以机床为核心分设 5 个加工单元。

单元 1:由 STAR-TURN1200 数控机床和工业机器人组成。

单元 2:由 HI160/1 数控端面外圆磨床、工业机器人以及中心孔清洗机各 1 台组成。

单元 3:由 CK7815 数控机床、工业机器人以及专用支架与反转装置各 1 台组成。

单元 4:由 JCS-018 立式加工中心、工业机器人以及专用支架与反转、回转定位装置组成。

单元 5:由 HX754 卧式加工中心、工业机器人(与单元 4 合用)以及专用支架与反转、回转定位装置组成。

以上 5 个单元分别与具有多路接口的单元控制器 CCU 连接,每个 CCU 可进行上、下级的数据交换以及对下属设备的协调与监控。

2) 物流系统

机床的托盘站与仓库之间采用一台电缆感应式自动引导小车进行工件的运输。平面仓库具有 15 个工件出入托盘站,它们由物流管理计算机 PMS-200 和控制装置 MCP 进行控制。

3) 中央管理系统

中央计算机承担整个系统的生产计划与作业调度、集中监控以及加工程序管理。工件的加工程序采用日本 FANUC 公司的 P-G 型自动编程机进行自动编程,将编好的零件程序存入程序库,以便加工时调用。

LANPC-J 为局部网络控制器,用以实现计算机与各单元控制器(CCU),输送计算机以



及程序库之间的信息传送与管理,采用光缆作为传输介质。

4) 监控系统

该系统采用具有摄像头 ITV 的工业电视 TV 对 5 个部件进行监视,即监视平面仓库、单元 2、单元 4、单元 5 以及引导小车的运行实况。

JCS-FMS-1 型柔性制造系统运行后带来了一定的经济效益,它的建立对我国柔性制造系统的研究与开发是一个良好的开端。

3.3 “三图一卡”的编制

“三图一卡”是指被加工零件工序图、加工示意图、机床总联系尺寸图和生产率计算卡,俗称“三图一卡”,“三图一卡”是机床设计和验收的依据。

3.3.1 被加工零件工序图

1. 工序图的作用

机床设计和验收的依据。

2. 工序图的内容

(1) 在本机床上加工的部位尺寸(用□标出)、精度和粗糙度以及位置精度。

(2) 在本机床加工前的零件形状,零件的主要外廓尺寸,要着重标明工艺基准以及它所达到的精度要求、夹紧部位,尤其是需要设置中间导向时,工件内部筋的布置和尺寸。

(3) 零件的名称及编号(图号)、材料、硬度、重量以及毛坯精度和加工余量。

3. 工序图的画法

(1) 被加工部位用粗实线,其余用细实线。

(2) 定位基面符号用 \blacklozenge 表示。

(3) 夹紧部位用符号 \blacktriangledown 表示。

(4) 辅助支承用符号 \blacktriangledown 表示。

4. 注意事项

(1) 本机床加工部位的位置尺寸应从定位基面标起,尤其在本机床加工所选的定位基面与设计基面不一致时,还必须对各孔要求的位置尺寸精度进行分析和换算,即把不对称公差尺寸换算成为对称公差尺寸。例如尺寸 $150^{+0.07}$ 应换算成 150.035 ± 0.035 。

(2) 对孔的加工余量要认真分析。

(3) 对精镗机床必须注明是否允许有退刀痕迹以及允许退刀痕的形状(直线或螺旋退刀痕)。

5. 实例

图 3-30 为镗发动机机体曲轴孔 D_1 和凸轮轴孔 D_2 及惰轮轴孔 D_3 的工序图,工件以一面两销定位,顶面压紧。

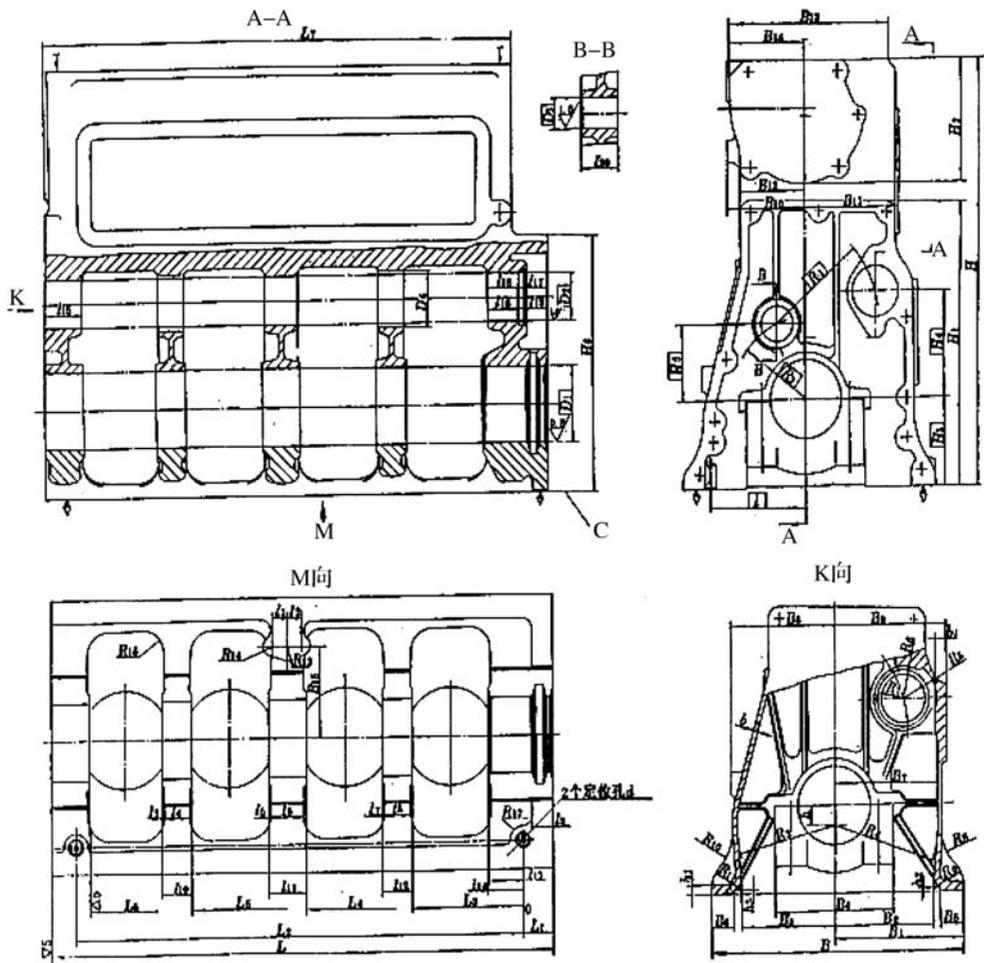


图 3-30 被加工零件工序图

备注	技术条件
1. 加工零件: 名称及编号: 机体 45-1002015, 带上轴瓦; 材料及硬度: HT200 HB=170~240; 质量: 164.5 kg。	1. 机床加工前应保证: (1) 除方框内尺寸外的其余尺寸; (2) C 平面的平面度大于 0.05。
2. 图中符号: ◆—定位基准; ▼—夹压点。	2. 本机床保证: (1) D_1 孔轴线对 C 平面的平行度在全长上不大于 0.1; (2) D_1 孔的圆柱度不大于 0.02; (3) D_1 孔的同轴度不大于 0.015; (4) D_2 孔对 D_1 孔的轴线平行度不大于 0.1; (5) 所有口内尺寸。
3. 加工余量: (1) D_1 及 D_2 孔在直径上为 0.5 mm; (2) D_3 孔在直径上为 0.6 mm。	



3.3.2 加工示意图

1. 加工示意图的作用

它是根据生产率和工序图的要求拟订的机床工艺方案。它是刀、辅具的布置图;是刀具、辅具、夹具、电气、液压、主轴箱等部件设计的重要依据;它又是机床布局和性能的原始要求;还是机床试车前对刀和调整机床的技术文件。加工示意图反映了零件加工过程及加工方法,各工位和刀具布置情况以及机床各有关部分的主要联系尺寸。

2. 加工示意图的内容

- (1) 加工部位结构尺寸、精度及分布情况。
- (2) 刀具、刀杆及其与主轴的连接结构。
- (3) 导向(或攻丝靠模)结构以及大镗杆的托架结构。
- (4) 上述各类结构的联系尺寸、配合尺寸及必要的配合精度。
- (5) 切削用量。
- (6) 工作循环及工作行程。
- (7) 多工位机床的工位区别以及各工位的上述内容。
- (8) 工作对象及加工条件说明。例如工件名称编号、材料硬度、加工余量、冷却润滑以及是否需要让刀等。
- (9) 加工部位的向视图,在向视图上编出孔号(要与主轴编号对应)。

3. 加工示意图的画法

- (1) 除工件非加工部位用细实线画出外,加工部位及其他图形均用粗实线画出。
- (2) 运动部分图形,按刀具加工終了位置画。
- (3) 对一些标准的通用结构,如钻头、接杆、丝锥夹头、浮动卡头及钻、镗主轴悬伸部分等,可以不画剖视,一些专用部件,应该考虑剖视。
- (4) 每一工位、同一面同一主轴箱上结构尺寸相同的主轴,只画一根即可,但必须在主轴上写出编号(与工件上的孔号对应),主轴的分布不受真实距离限制。
- (5) 工位和加工方位应与机床布局相吻合。

4. 联系尺寸按下述原则选取

- (1) 导套离工件端面距离 l_2 参照表 6-7 中规定选。
- (2) 工件端面到主轴箱端面距离,它取决于两个方面:一是主轴箱上的刀具(钻孔时钻头的螺旋槽尾端应离开导套端面 30~50 mm,以便钻头磨损时可以向前调整)、接头、接杆、主轴等结构和相互联系所要求的最小轴向尺寸;二是机床总布局所要求的联系尺寸,两个方面互相制约,取大的尺寸。
- (3) 工作进给长度的确定:一般是根据被加工部位的长度(最大的)与刀具切入备量及切出备量之和。刀具的切入和切出备量,可以参看表 3-3 和表 3-4。

表 3-3 刀具切入备量

端面情况	批量大小	切入值(mm)
加工面		5
毛坯面	大	5
	小	8

表 3-4 刀具切出备量

工序名称	切出值(mm)	备注
钻孔	$5+0.3d$	d —钻头直径
扩孔	7~8 以上	
铰孔	10 以上	
攻丝	$5+l_{\text{切削锥}}$	$l_{\text{切削锥}}$ —部分长度
镗孔	5 以上	

(4) 快速退回长度决定于机床的要求,最低的是刀具部分全部脱离工件,使工件可以取出,回转工作台式组合机床要使刀具离导套有一定距离。

5. 实例

图 3-31 为汽缸体立卧复合式钻孔机床加工示意图。

图 3-32 为传动箱三面攻丝机床加工示意图。

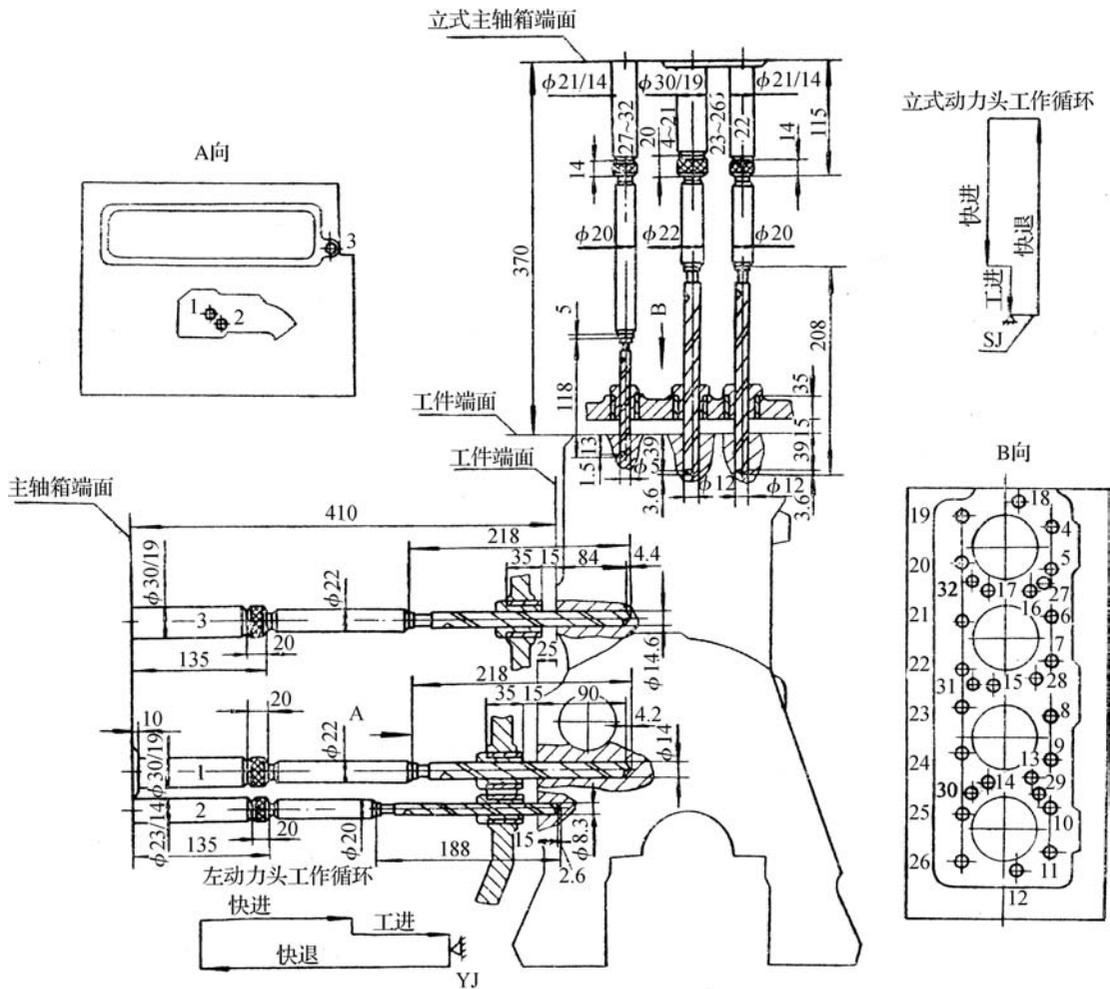


图 3-31 汽缸体立卧复合式钻孔机床加工示意图

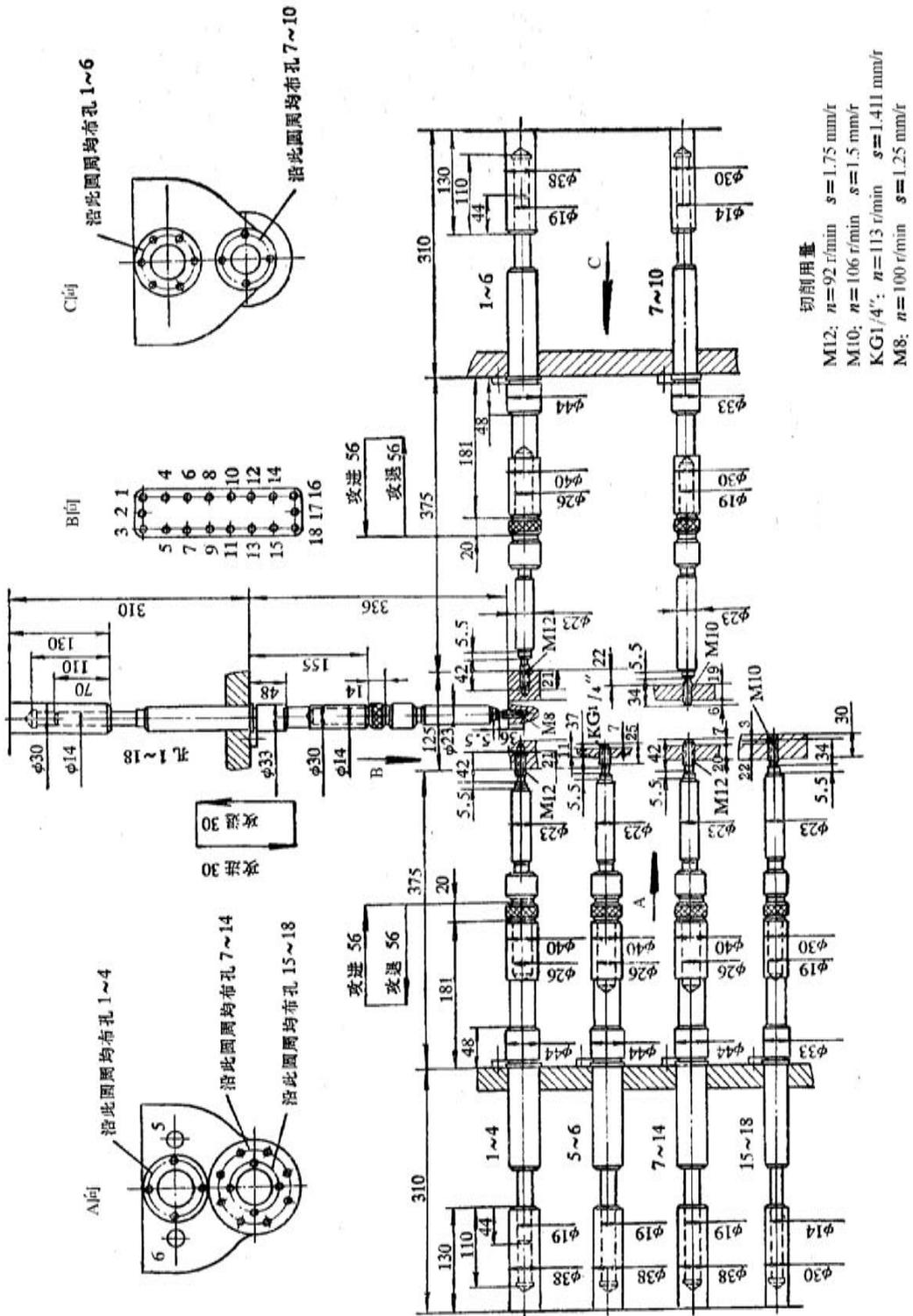


图 3-32 传动箱三面攻丝机床加工示意图

3.3.3 机床总联系尺寸图(机床总图)

1. 机床总图的作用

机床总图表示了机床的形式和布局。同时,确定了各部位的静态联系和运动联系及装料与操作位置,是设计和选用各有关部件的总依据,并且与车间平面布置以及生产方式有着密切的联系。

2. 机床总图的主要内容

- (1) 机床的布局及配置形式。
- (2) 通用部件的型号、规格和数量应标注出来。
- (3) 主要专用部件的轮廓尺寸。
- (4) 工件及各部件间主要联系尺寸及运动尺寸。
- (5) 机床分组、电机功率等。
- (6) 动力头循环图与机床总循环图。

3. 机床总图的画法

只画各部件主要外形及轮廓,内部结构不用剖出。

4. 主要联系尺寸

1) 装料高度

装料高度是指工件安装基面到地面的距离,是根据工件上最低孔位置和通用部件联系尺寸以及车间滚道高度确定。单机(工位)机床为 800~1 060 mm,鼓轮机床一般为 1 200~1 400 mm,自动线一般为 1 060 mm。

2) 确定装料高度的注意点

(1) 最低主轴离主轴箱底面高度一般取大于 100~120 mm,考虑油面高度,防止油从主轴处溢出。

(2) 夹具底座的刚性。实验证明,夹具底座的高度一般为 260~290 mm 为宜,如果高度太低,底座的刚性和强度会减弱,支承块厚度一般为 50~60 mm,中间底座标准高度为 560 mm,这样装料高度约为 880~1 060 mm。

(3) 零件中心线(或基准孔)与机床主轴中心的相对位置一般应重合,但考虑到主轴箱上的主轴的分布均匀性,进给抗力的合力应作用在滑台宽度的中心或主轴箱(动力头)结合面的中心。

(4) 工件端面到主轴箱端面的距离,应不小于加工示意图上所要求的最小距离。同时要考虑动力头处于前端时,主轴箱与夹具的外形轮廓应有一定的间隔以便调整和维修机床。中间底座上除安装夹具外,还要留出一定宽度的沟槽便于排除切屑和冷却液,湿式加工大流量冲屑尤为必要。

(5) 对于立式回转工作台机床,确定回转台中心与立柱距离时,要注意夹具外轮廓不能与立柱干涉。



5. 主要专用部件外形轮廓尺寸的确定

1) 夹具尺寸大小

一般根据零件大小,导向长度、模架的宽度,可以预先确定下来。对于定位、夹压机构比较复杂的情况,应在制订方案阶段画出草图,根据草图,夹具外廓尺寸就可以初步确定下来。

2) 主轴箱尺寸大小

对于一般钻、镗主轴箱,主要是确定主轴箱的宽度和高度。该尺寸根据零件需要加工孔的分布距离,安置齿轮最小距离来确定。如图 3-33 所示,被加工零件有 4 个孔要加工,图中 a 一般取大于或等于 100~120 mm, b 一般取大于或等于 70 mm, 主轴箱尺寸: $B=B_1+2b$; $H=H_1+a+b$, B 为主轴箱宽度, H 为主轴箱高度。主轴箱规格最终应尽可能选标准尺寸的主轴箱。

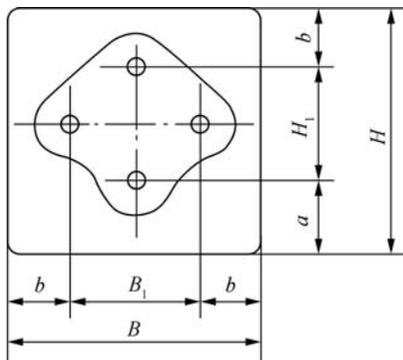


图 3-33 主轴箱尺寸

3) 专用铣头和金刚镗头尺寸

(1) 专用铣头根据刀盘直径和功率确定主轴直径和主轴支承距离,从而确定铣头的外形尺寸。

(2) 金刚镗头根据加工孔径和镗杆悬伸长来确定主轴直径和支承距离,从而确定金刚镗头的外形尺寸,确定时还可参阅有关成熟设计的专用主轴箱等相关技术资料。

6. 实例

图 3-34 为卧式单面机床联系尺寸图;图 3-35 为立式回转工作台机床联系尺寸图。

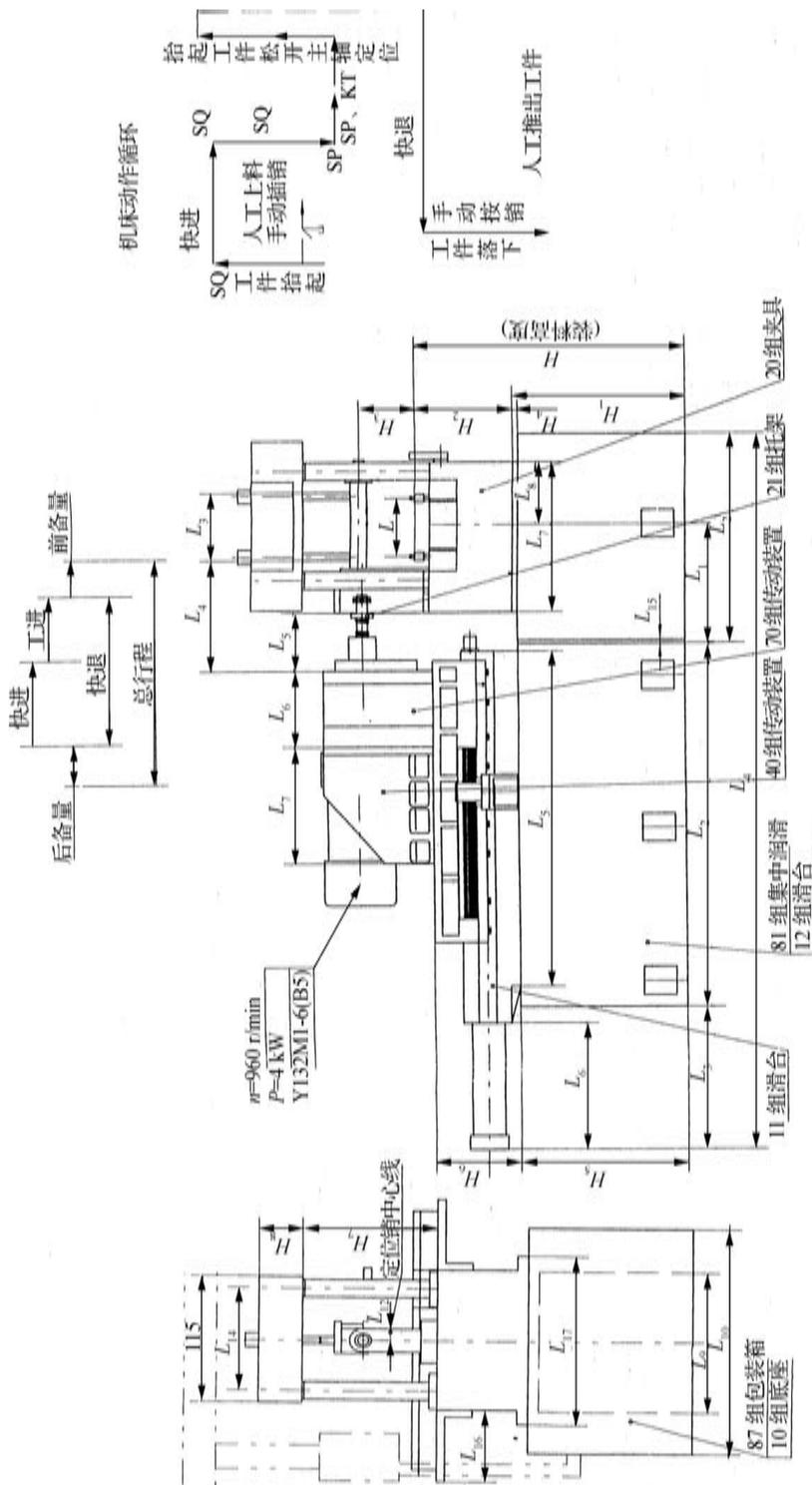


图 3-34 卧式单面机床联系尺寸图

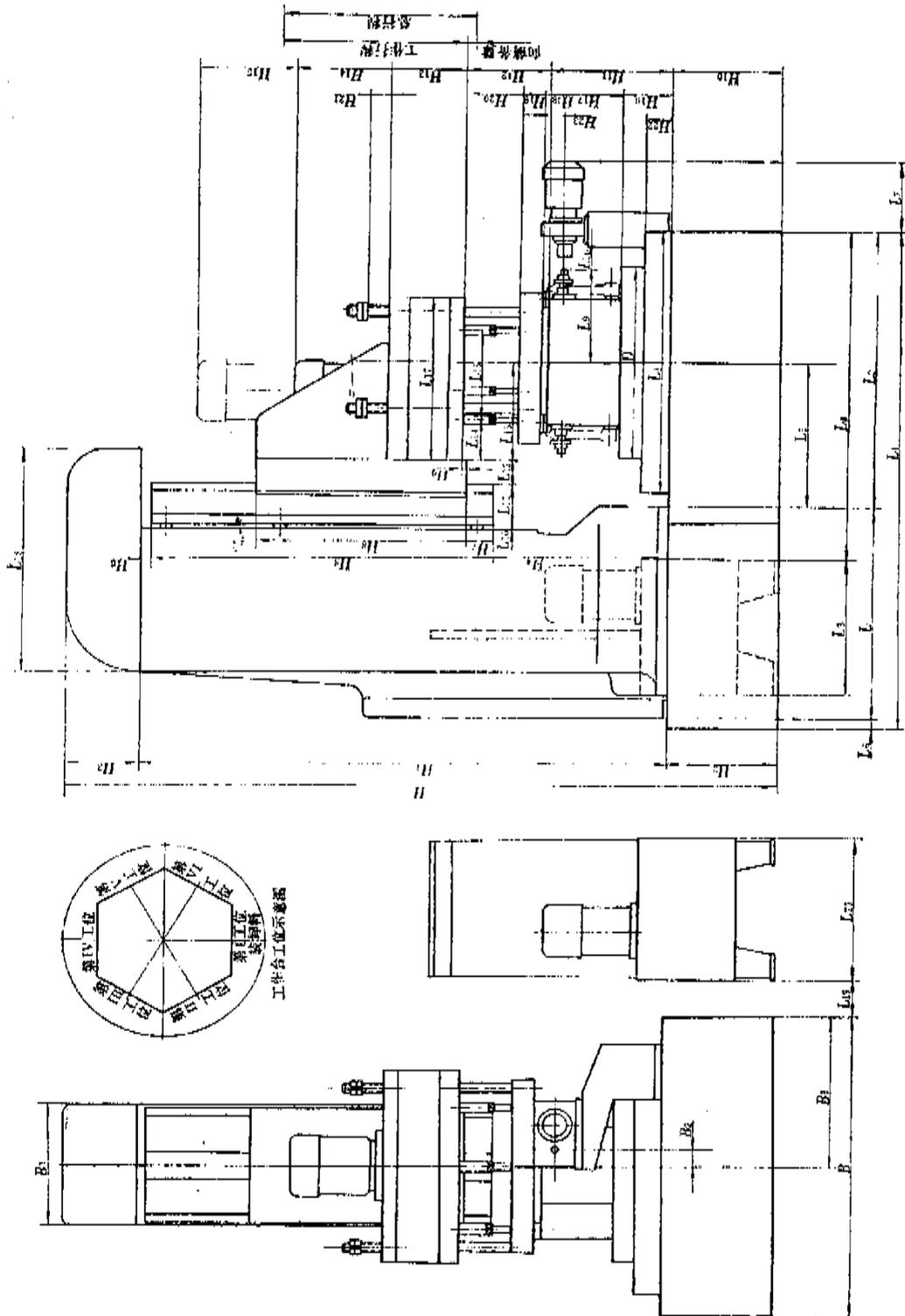


图 3-35 立式回转工作台机床联系尺寸图

3.3.4 生产率计算卡的编制

1. 生产率计算卡的作用

生产率计算卡是反映机床工作循环过程及每一过程所用的时间;切削过程所选择的切削用量;本机床每小时生产率与负荷率关系的表格,同时也反映所设计机床的自动化程度。

2. 计算方法

单件时间(节拍)是指机床加工每个工件的总时间,它等于机动时间和辅助时间之和,首先选取机床上机动时间与辅助时间中最长的那个动力头作为计算基础,加上某些特殊循环的那一些时间。

$$\text{单件时间: } T_{\text{单}} = T_{\text{机}} + T_{\text{辅}} = \frac{L_1}{s_M} + T_{\text{辅}} \quad (\text{min/件}) \quad (3-2)$$

式中: L_1 —加工行程; s_M —每分钟进给量; $T_{\text{辅}} = \text{空行程时间} \left(\frac{L_{\text{空}}}{s_{\text{快}}} \right) + \text{工作台转位时间} + \text{死挡铁停留时间} + \text{装卸工作时间}$ 。

一般 $s_{\text{快}}$ 取 5~6 m/min(机械传动), $s_{\text{快}}$ 取 4~8 m/min(液压传动),死挡铁停留时间,一般取 0.03~0.1 min,回转工作台转位时间,以 $\phi 800$ mm 为例,一般取 0.1 min。

$$\text{机床生产率: } Q = 60/T \quad (\text{件/h})$$

$$\text{机床负荷率: } \eta = Q_1/Q \quad (3-3)$$

式中: Q_1 —使用单位要求的生产率,一般单机 $\eta = 75\% \sim 90\%$;自动线 $\eta = 60\% \sim 70\%$ 。

总之,机床的负荷率应根据零件生产批量的大小和机床的复杂程度等具体情况而定。一般而言,相对复杂的机床,负荷率可取低些。表 3-5 为机床负荷率调查表。零件批量的大小,对机床负荷率影响是很大的,在大批量生产中,往往机床负荷率相对较高,如果负荷率过低,不能发挥组合机床应有的作用,这时在确定机床的形式和布局时,需要采取一些措施,如进行多品种加工或换装工件,以及换刀进行多工序加工等来提高机床负荷率。

表 3-5 机床负荷率表

机床面数	主轴数	负荷率
单面或双面	1—15	0.90
	16—40	0.90~0.86
	41—80	0.86~0.80
三面或四面	1—15	0.89
	16—40	0.89~0.85
	41—80	0.85~0.75



表 3-6 为一六工位鼓轮机床的生产率计算卡。

表 3-6 生产率计算卡

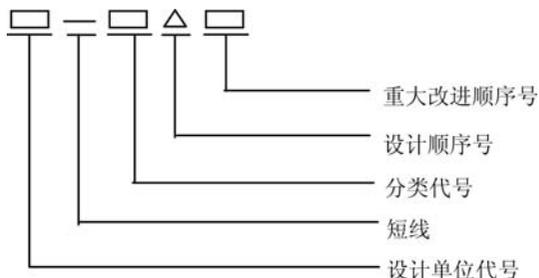
被加工零件	图号						毛坯种类						
	名称	左右接头—转向横拉杆					毛坯重量	kg					
	材料						硬度						
工序名称							工序号						
序号	工步名称	被加工零件数量	加工直径 (mm)	加工长度 (mm)	工作行程 (mm)	切削速度 (m/min)	每分钟转数 (r/min)	进刀量		工时 (min)			
								每转 (mm/min)	每分钟 (mm/min)	机动时间	辅助时间	共计	
	第 I 工位 (装卸工件)	2											
	左动力头 (加工大端)												
	快进				115						0.03		0.03
	第 II 工位 钻孔												
	第一工作进给		φ26	61	72	16.4	200	0.27	54	1.33			1.33
	第二工作进给				13			0.1	20	0.65			0.65
	第 III 工位 扩孔		φ44	48	85	19.3	140	0.386	54				
	第 IV 工位 划平面,倒角												
	第二工作进给		φ70	1	13	26.4	120	0.167	20				
	第 V 工位 复合扩孔		φ46.7/ φ50	54	85	18.9	120	0.386	54				
	第 VI 工位 复合铰孔												
	第一工作进给		φ50.58	40	72	5.55	35	1.54	54				
	第二工作进给		φ47	13	13	5.4	35	0.57	20				
	死挡铁停留									0.05			0.05
	快速后退				200					0.05			0.05
	右动力头 (加工小端)												
	快进				125					0.04			
	第 II 工位 钻孔		φ26	44	75	16.4	200	0.25	50	1.5			
	第 III 工位 钻孔		φ25	40	75	15.7	200	0.25					
	第 IV 工位 (空位)												
	第 V 工位 扩孔		φ28.58	70	75	17.9	200	0.25					
	第 VI 工位 划平面,倒角		φ40	1	75	15.1	120	0.415					
	死挡铁停留									0.05			
	快退				200					0.05			
	鼓轮转位									0.05			0.05
备注									总计		2.16 min		
									单件工时		1.08 min		
									机床生产率		40 件/h		
									机床负荷率		72%		

3.4 组合机床编号和分组介绍

3.4.1 组合(专用)机床及其自动线型号编列

1. 组合机床及其自动线型号编列

(1) 表示方法:



(2) 设计单位代号,组合机床研究所大写汉语拼音首字母“ZHS”表示。若干单位联合设计的,不用单位代号,其短线也应取消。

(3) 分类代号由大写汉语拼音字母组成,见表 3-7。

表 3-7 组合机床分类代号

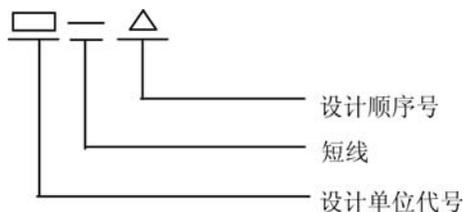
分类	大型组合机床	小型组合机床	组合机床自动线
代号	U	H	UX

(4) 设计顺序号取三位数字,以阿拉伯数字表示。

(5) 当机床的性能及结构布局有重大改进时,在原机床型号后以 A、B、C 大写英文字母顺序选用(I、O 两个字母不许选用),列于型号的尾部,以便区别于原机床型号。

2. 专用机床型号编列

(1) 表示方法:



(2) 设计顺序号取三位数字,以阿拉伯数字表示。

3. 表示方法举例

大连组合机床研究所设计的第 300 台大型组合机床型号为 ZHS-U300,经过一次改进后型号为 ZHS-U300A,经第二次改进后的型号为 ZHS-U300B。

该所设计的第 33 台小型组合机床型号为 ZHS-H033;

该所设计的第 13 条组合机床自动线型号为 ZHS-UX13;



该所设计的第 45 台专用机床型号为 ZHS-045。

4. 组合机床及其自动线的名称

(1) 大型组合机床名称应表明被加工零件名称、加工部位、机床形式(卧、立、倾斜、复合式等)和主要工艺特性。加工部位如一目了然或不易说明时可省略。

例如:汽缸体缸孔立式精镗组合机床。

(2) 组合机床自动线的名称应表明被加工零件的名称和工艺特性。

例如:汽缸体加工组合机床自动线(包括切削加工或附带检验工序)。

连杆综合组合机床自动线(包括切削加工及检验以外的工序)。

3.4.2 组合机床及其自动线的分组

1. 组合机床分组

(1) 组合机床分组,见表 3-8。

表 3-8 组合机床分组表

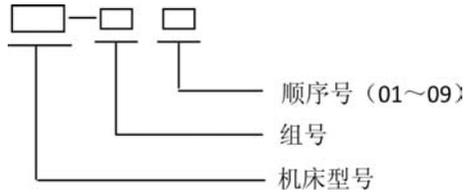
组号	名称	组号	名称
00	说明书	60	刀具
10~19	床身	61	工具
20	夹具	62	量具
21~29	辅助夹具	63~69	辅助工具
30	电气设备	70~79	主轴箱
31~39	辅助电气设备	80~89	冷却、排屑、润滑等
40~49	传动装置	90~99	控制挡铁
50~59	气动、液压设备		

2) 说明书内容,见表 3-9。

表 3-9 说明书内容

组号	名称	组号	名称
0000	说明部分	0005	操纵及润滑指示图
0001	机床总图	0006	机床地平面及地脚螺钉孔位置图
0002	被加工零件工序图	0007	随箱资料清单
0003	加工示意图	0008	机床随行附件清单
0004	生产率计算卡片	0009	电气外购件一览表

3) 组件总图图号表示方法



例如:ZHS-U300-2001。可简写为:U300-2001。

2. 组合机床自动线分组

组合机床自动线的分组与组合机床的分组一样。但由于自动线是由几台单机组成,又包括输送装置、检查仪器和其他设备等,所以为了区别起见,又增加一个分类代号,见表3-10。

表 3-10 组合机床自动线分类代号

分类	机床	输送设备	液压设备	电气设备	检查仪器	其他
代号	C	S	Y	D	J	Q

表示方法举例:ZHS-UX13-C₂-2001;ZHS-UX13-S₁-2001。

3.4.3 组合机床及其自动线设计参考资料名录表

组合机床研究所		标准资料目录	组合机床研究所		标准资料目录
序号	编号	名称	序号	编号	名称
1	ZB00	图样管理	19	T02	通用零件图册(夹具)
2	ZB02	机械制图补充规定	20	T04	自动线图册
3	ZB20	组合机床通用部件质量标准	21	T05	液压零件图册
4	A类	材料类	22	T06	工具图册
5	B类	一般标准	23	T07	小型主轴箱图册
6	C类	传动件	24	T071	主轴箱箱体零件图册
7	D类	电气件	25	T072	主轴箱轴类零件图册
8	F类	风动件	26	T073	主轴箱套类零件图册
9	G类	管 件	27	T074	主轴箱齿轮类零件图册
10	J类	紧固体	28	ZD11-1	“YT”通用部件联系尺寸图册
11	L类	冷却件	29	ZD12-3	机械动力滑台联系尺寸图册
12	Q类	其他件	30	ZD12-4	JT4023-JT4053 机械动力头联系尺寸图册
13	R类	润滑件	31	ZD15	“KT”通用部件联系尺寸图册
14	S类	附件	32	ZD16	“TX”铣头联系尺寸图册
15	Y类	液压件	33	ZD17	TT系列镗孔车端面头联系尺寸图册

续表

组合机床研究所		标准资料目录	组合机床研究所		标准资料目录
序号	编 号	名 称	序号	编 号	名 称
16	Z 类	操作件	34	ZD18	通用部件指导资料图册
17	新 Z1Y 类	液压件(所订标准)	35	ZD25-1	液压设计指导资料图册
18	标准手册		36	ZD27	主轴箱设计指导资料图
组合机床研究所		参考资料目录	组合机床研究所		参考资料目录
1	CK32	自动线排屑机构参考资料图册	10		组合机床电气设计手册
2	CK34	夹具参考图册	11		切削用量参考资料(译捷克文)
3	CK36-1	特种工具参考图册	12		主轴箱一般结构参考图册
4	CK36-2	工具部分参考图册	13		可调主轴结构参考图册
5	CK37	气动扳手参考图册	14		刚性主轴结构参考图册
6	JO ₃ 系列电机	电机联系尺寸	15		铣削主轴结构参考图册
7	22 册	自动线参考图册	16		大型组合机床夹具汇编
8	25 册	机床零件计算	17		大型组合机床加工方法
9	H070	计算齿轮坐标轴线分析	18		切削用量表诺模图

3.5 组合机床通用部件及其选择

3.5.1 通用部件类型及其标准

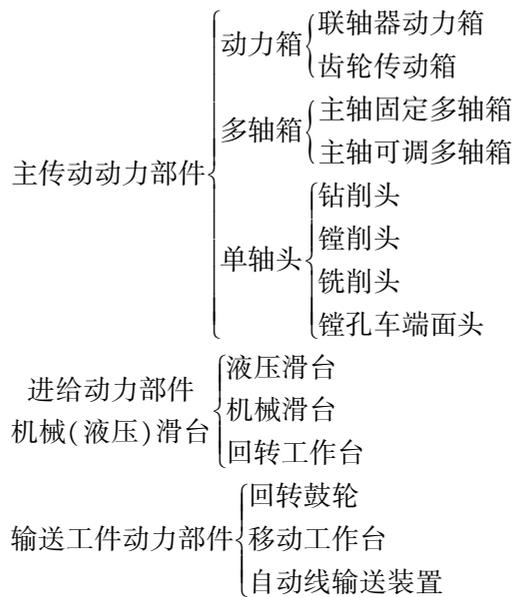
1. 通用部件分类

多年来,由于组合机床及其自动线的迅速发展,催生了它们的基础部件——通用部件推陈出新,更新换代的步伐加快,在 1975 年推出的以它驱式动力部件为主的通用件部件系列取代了 20 世纪 60 年代的以自驱式动力部件为主的通用部件系列产品的基础上,1985 年前后推出了“1”字头系列通用部件,在大力推广“1”字通用部件的同时又引进了德国许勒·惠勒公司通用部件技术进行消化、吸收,使通用部件更充满了生机和活力,它又将推动组合机床及其自动线向更高层次的快速发展。

通用部件尽管品种繁多,但归纳起来,大致分为四大类:

1) 动力部件

动力部件分为三种,一种为主传动动力部件,另一种为进给动力部件,再一种是输送工件动力部件,这三种动力部件主要由以下这些部件组成:



2) 支承部件

支承部件是组合机床及其自动线的基础部件,用以安装动力部件和夹具等。支承部件包括侧底座、中间底座、立柱、立柱底座及各种支架等。

3) 控制部件

控制部件是用来控制组合机床工作循环的,如液压挡铁,电气挡铁、分级进给机构及液压控制装置等,近年来又出现了自动控制、检测等测控装置。

4) 辅助部件

它包括润滑、冷却、排屑、防护、定位、夹紧、转位等通用部件。

2. 通用部件标准简介

通用部件的系列化、通用化、标准化十分重要,通用部件不仅在一个国家应具有完整的标准体系,而且要制定有国际先进水平的系列标准。大连组合机床研究所根据生产需要以及今后生产发展的要求,制定了组合机床通用部件系列型谱以及主要的参数标准,规定了各种通用部件的互换尺寸。GB 3668.1—1983~GB 3668.13—1983《组合机床通用部件》这十三个尺寸标准等效于国际 ISO 相关标准,且列入了国家标准系列,从 1984 年 3 月 1 日实施后,促成了“1”字通用部件的开发成功,同样,1975 年推出的以它驱式动力部件为主的系列通用部件是 JB 1521—1975~JB 1533—1975《组合机床通用部件》十三个行业标准颁布实施后的产物。因不同层次用户的需要,这两代通用部件仍得到广泛的应用,它们的尺寸参数都是以滑台为基础,系列标准中的主要参数是滑台台面的宽度,规格间的公比采用 R10 系列,公比 $\varphi = 1.25$,机床装料高度一般为 850~1 060 mm。

除了尺寸参数标准外,还制定了相应的行业精度系列标准(含精度、质量分等和制造与验收技术条件等标准)。随着技术的不断进步和标准有关年限的要求,这些标准也在不断更新,后序相继推出了一系列新的精度标准取代原有标准。例如 JB/T 3038—2008《组合机床铣削头精度》代替了 JB 3038—1982,JB/T 3038—1993《组合机床铣削头精度》标准等。



3.5.2 常用的通用部件

我国组合机床通用部件规格品种较全,比如“1”字头通用部件共 80 个系列 540 多个规格品种,现将“1”字头通过部件中常用的通用部件介绍如下:

1. 动力滑台

动力滑台根据驱动方式的不同可分为:以液压驱动方式的滑台为液压滑台,以机械驱动方式的滑台为机械滑台。

由于数控技术的发展和被采用,出现了由交流变频电机或交流伺服电机来取代传统的交流三相异步电动机带动齿轮传动箱而派生出数控滑台。

1) 滑台的结构特点和用途

1HYT 系列液压滑台和 1HJT 系列机械滑台是大连组合机床研究所根据国家标准 GB 3668.4—1983《组合机床通用部件——滑台尺寸》(等效于国际标准 ISO 2562—1973《组合机床通用部件——滑台》)设计的新一代通用部件产品。

两种系列滑台均采用铸铁导轨或镶钢导轨,有三种精度等级,分别为普通级。精密级(M)和高精级(G)。动力滑台精度按 JB/T 9889—1999《组合机床滑台精度》标准检验。

1HYT 系列液压滑台、1HJT 系列机械滑台及 NC-1HJTb 系列数控机械滑台是在引进德国许勒·惠勒公司 SEME(SEHY)机械(液压)滑台技术的基础上按跨系列通用的原则设计的,即滑台、滑座等分部件在三个系列间通用,只是进给驱动方式不同。对于不同的使用要求,只要变更滑座后端的进给驱动装置即可。特点是通用化程度高,便于组织生产和管理,有利于提高产品质量,降低成本,缩短生产周期,也便于用户根据需要,更换滑台驱动方式。

动力滑台结构设计合理、刚性好、精度高、性能可靠、外形美观、配置灵活、通用化程度高、用途广泛,是组合机床及其自动线不可缺少的基础动力部件,配上多轴箱或各种切削头,能分别完成钻、扩、铰、镗、铹窝、车端面、铣削、攻丝等工序加工。

2) 1HYT 系列液压滑台和 1HJT 系列机械滑台主要技术性能分别见表 3-11,表 3-12 所示。

表 3-11 液压滑台主要技术性能

滑台型号	台面宽度 (mm)	台面长度 (mm)	行程 (mm)	油缸直径 (mm)	最大进给力 (N)	工进速度 (mm/min)	快速移动速度 (m/min)
1HY25、1HY25M、1HY25G	250	500	250、400	φ50	8 000	32~800	12
1HY32、1HY32M、1HY32G	320	630	400、630	φ63	12 500	20~650	10
1HY40、1HY40M、1HY40G	400	800	400、630、10 00	φ80	20 000	12.5~500	8
1HY50、1HY50M、1HY50G	500	1 000	400、630、1 000	φ100	32 000	10~350	6.3
1HY63、1HY63M、1HY63G	630	1 250	630、1 000	φ125	50 000	6.5~250	5
1HY80、1HY80M、1HY80G	800	1 600	630、1 000	φ160	80 000	4~250	4



表 3-12 机械滑台主要技术性能

滑台型号	台面宽度 (mm)	台面长度 (mm)	行程 (mm)	滚珠丝杠直径×螺距 (mm×mm)	最大进给力 (N)	工进电机功率 (kW)	快速移动速度 (m/min)
1HJT25、1HJT25M、1HHT25G	250	500	250、400	32×8	8 000	1.1	8
1HHT32、1HHT32M、1HHT32G	320	630	400、630	40×8	12 500	1.1	8
1HHT40、1HHT40M、1HHT40G	400	800	400、630、1 000	50×10	20 000	1.1	6.9
1HHT50、1HHT50M、1HHT50G	500	1 000	400、630、1 000	63×10	32 000	1.5	6.9
1HHT63、1HHT63M、1HHT63G	630	1 250	630、1 000	63×12	50 000	2.2	5.9
1HHT80、1HHT80M、1HHT80G	800	1 600	630、1 000	80×12	80 000	3	5.9

3) 1HYT 系列液压滑台和 1HJT 系列机械滑台主要联系尺寸分别见表 3-13、表 3-14 所示。

2. 1TD 系列动力箱

1TD 系列动力箱是大连组合机床研究所根据国家标准 GB 3668.5—1983《组合机床通用部件——动力箱尺寸》(等效于国际标准 ISO 2727—1973《组合机床通用部件——动力箱》)设计的新一代产品,1TD 系列动力箱的精度按 JB/T 9892.1—1999《组合机床动力箱精度》检验。

1) 用途和型式

1TD 系列动力箱安装在液压滑台或机械滑台等进给力部件上,其端面安装多轴箱,用来完成多轴钻孔、扩孔、铰孔、镗端面、镗孔及攻丝等工序。

1TD12~1TD25 小规格动力箱的输出轴有两种传动形式: I 型是轴传动, II 型是端面键传动,并且又根据电动机座号、功率和转速的不同,分为 A 型和 B 型。

1TD32~1TD80 大规格动力箱,没有端面键传动,只有轴传动,并且根据电动机机座号、功率和转速的不同,分为 I 型到 VI 型。

2) 1TD12~1TD25 及 1TD32~1TD80 动力箱联系尺寸参数分别见表 3-15、表 3-16。

3. 工作台

工作台属于输送工件的动力进给部件,种类较多,如回转工作台,移动工作台,回转鼓轮和自动线输送装置等,这里介绍移动工作台中的 1XG 系列铣削工作台,它有三个精度等级:普通级、精密级(M),高精级(G),按专业标准 ZHB 2281《铣削工作台精度》检验精度,而导轨的精度是保证机床加工精度的重要因素之一。

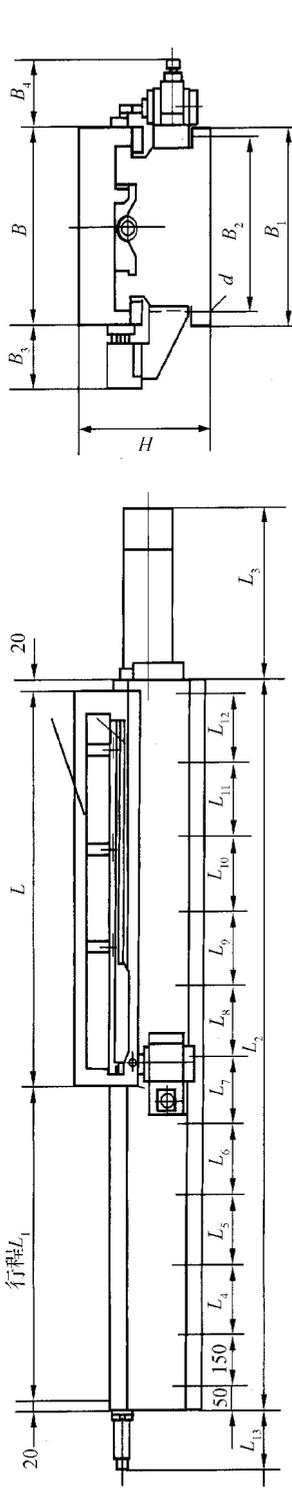
1) 工作台的作用

铣削工作台是铣削组合机床进给力部件,其底座是机床重要支承部件,既承受主切削力,又承受进给力。导轨的刚度和精度,直接影响机床刚度和加工精度。1XG 系列铣削工作台的导轨和底座铸为一体,不仅提高了机床刚度,并且可以使导轨达到较高的加工精度。



表 3-13 液压滑台主要联系尺寸

(单位: mm)

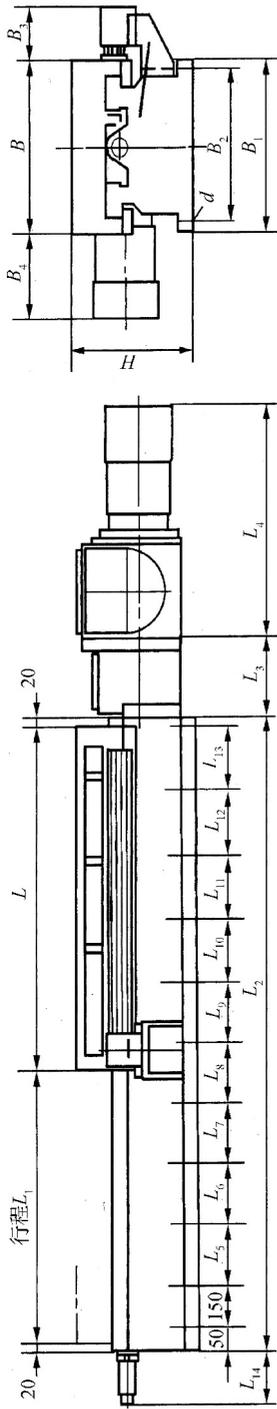


型号	型式	B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	H	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀	L ₁₁	L ₁₂	L ₁₃	d								
1HYT25	I A, I B	250	250	220	127	140	250	500	250	790	125	300									250	40~115	M12							
1HYT25M	II A, II B								400	940	275	150	300													250				
1HYT25G									400	1 070	213	150	250	250													200	40~115	M12	
1HYT32	I A, I B	320	320	280	127	140	280	630	630	1 300	443	150	200	300	200							200								
1HYT32M	II A, II B								400	1 240	115	150	300	300													250			
1HYT32G									630	1 470	345	150	200	300	300													250	40~120	M16
1HYT40	I A, I B	400	400	355	127	140	320	800	1 000	1 840	715	200	250	300	300															
1HYT40M	II A, II B								400	1 440	105	150	300	250													200			
1HYT40G	III A, III B								630	1 670	215	150	200	300	250													200	40~120	M16
1HYT50	I A, I B	500	500	450	127	140	360	1 000	1 000	2 040	585	200	250	300	250															
1HYT50M	II A, II B								630	1 920	115	150	200	300	250															
1HYT50G	III A, III B								1 000	2 290	392	200	250	300	250													250		
1HYT63	I A, I B	630	630	580	127	140	400	1 250	630	1 920	115	150	200	300	250															
1HYT63M	II A, II B								1 000	2 290	392	200	250	300	250															
1HYT63G									630	1 920	115	150	200	300	250													200	45~125	M16
1HYT80	I A, I B	800	800	740	127	140	450	1 600	630	2 270	120	150	200	300	250															
1HYT80M	II A, II B								1 000	2 640	120	200	250	300	250															
1HYT80G									1 000	2 640	120	200	250	300	250													250	45~125	M20

注: 型式内带 A 为铸铁导轨, 带 B 为镶钢导轨。



表 3-14 机械滑台主要联系尺寸

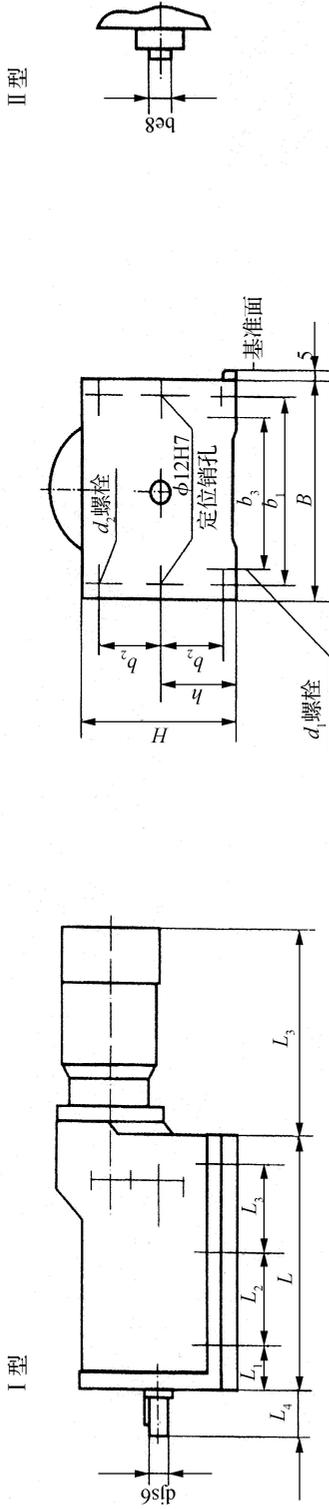


型号	型式	B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	H	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀	L ₁₁	L ₁₂	L ₁₃	L ₁₄	d										
1HJT25	I A, I B	250	250	220	127	238	250	500	250	790	158	518	300									250	40~115	M12									
1HJT25M	II A, II B								400	940				250	300																250		
1HJT25G																																	
1HJT32	I A, I B	320	320	280	127	203	280	630	400	1 070	158	518	150	250	250	250							200	40~115	M12								
1HJT32M	II A, II B								630	1 300				200	300																200		
1HJT32G																																	
1HJT40	I A, I B	400	400	355	127	200	320	800	400	1 240			150	300	300	300							250	40~120	M16								
1HJT40M	II A, II B								630	1 470	182	543		200	300														250				
1HJT40G	III A, III B								1 000	1 840												200	250	300	300	300				250			
1HJT50	I A, I B	500	500	450	127	150	360	1 000	400	1 440			150	300	300	250							200	40~120	M16								
1HJT50M	II A, II B								630	1 670	190	568		300	300														200				
1HJT50G	III A, III B								1 020	2 040												200	250	300	300	250				250			
1HJT63	I A, I B	630	630	580	127	210	400	1 250	630	1 920			150	200	300	300							200	45~125	M16								
1HJT63M	II A, II B								1 000	2 290	210	670.5		300	300														200				
1HJT63G																						200	250	300	300	250				250			
1HJT80	I A, I B	800	800	740	127	145	450	1 600	630	2 270			150	200	300	300							250	45~125	M20								
1HJT80M	II A, II B								1 000	2 640	220	670.5		300	300														250				
1HJT80G														200	250	300	300	300	250			250											

注:形式内带 A 为铸铁导轨,带 B 为镶钢导轨。



表 3-15 ITD12~ITD25 动力箱联系尺寸及参数



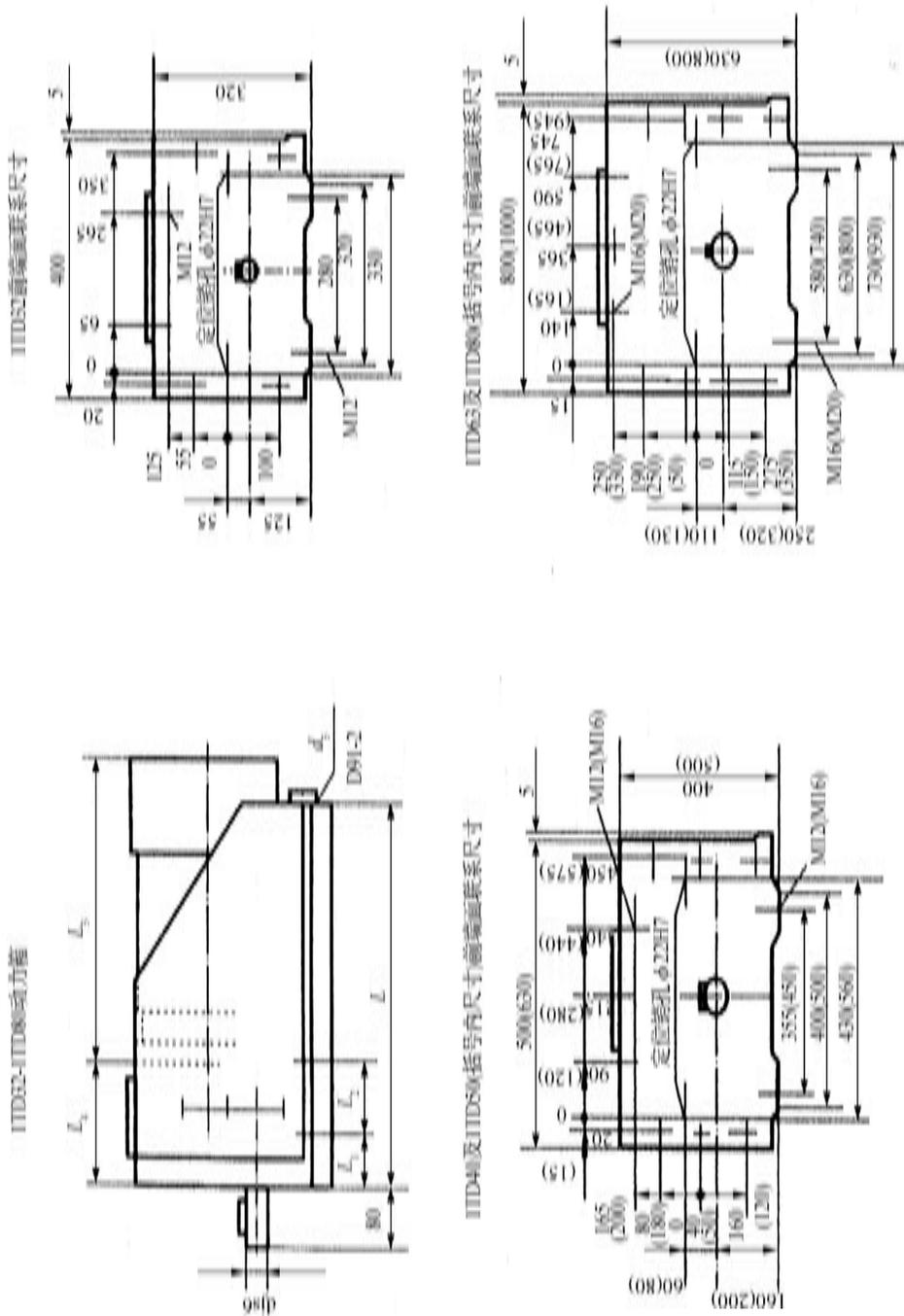
I 型

II 型

产品型号	名义尺寸 (mm)	B (mm)	L (mm)	H (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	b (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	b ₃ (mm)	d (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	h (mm)	型式	配套电机		驱动轴转速 (r/min)	
																		型号	功率 (kW)		转速 (r/min)
ITD12	120	160	160	125	25	50	243	40	8	130	35	100	φ18	M10	M10	63	—	A07124-A3d	0.75	1 400	950
ITD16	160	200	200	160	50	50	363	40	8	170	50	135	φ20	M10	M10	80	I B, II B I A, II A	Y90S-6	0.75	910	600
																		Y90S-4	1.1	1 400	920
ITD20	200	250	250	200	50	75	290	45	12	220	65	170	φ25	M12	M12	100	I A, II A I B, II B	Y90L-6	1.1	910	615
																		Y90L-4	1.5	1 400	950
ITD25	250	320	320	250	50	100	325	45	12	290	90	220	φ30	M12	M12	125	I A, II A I B, II B	Y100L-6	1.5	940	520
																		Y100L1-4	2.2	1 420	785



表 3-16 ITD32~ITD80 动力箱联系尺寸及参数





产品 型号	名义尺寸 (mm)	d (mm)	L (mm)	L ₁ (mm)	n×L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	d ₃	型式	配套电机			输出轴转速 (r/min)
										型号	功率 (kW)	转速 (r/min)	
1TD32	320	φ30	400	50	4×75	320	150	G1"	I	Y100L1-4	2.2	1 430	715
						320							
						340							
						320							
						340							
1TD40	400	φ40	500	50	4×100	395	170	G1"	I	Y132S-4	5.5	1 440	720
						435							
						395							
						435							
						435							
1TD50	500	φ45	630	50	5×100	490	170	G1 1/4"	II	Y132M1-6	4	960	480
						435							
						435							
						490							
						490							
1TD63	630	φ50	800	50	7×100	490	200	G1 1/4"	III	Y160M-6	7.5	970	485
						535							
						560							
						600							
						600							
1TD80	800	φ60	900	75	7×100	600	220	G1 1/4"	IV	Y180L-6	15	970	485
						560							
						600							
						665							
						665							

铣削工作台与 1TX 系列铣削头、1XS 系列床身或 1XL 系列立柱组成铣削组合机床,可用于大走刀强力铣削和高效高精铣削,其效率可适应年产 10~20 万辆汽车生产的要求。

2) 1XG 铣削工作台的特点

(1) 刚性好

导轨与底座铸成一体,是本系列工作台的最大特点,底座采用封闭的箱体结构,并采用了“米”字形斜筋和“V—平”导轨导向等结构,大大提高结构刚性和导向精度,从而保证机床加工精度,提高了机床的抗振性。切削时,建议采用拉切(朝着进给箱方向切割)。1XG63 铣削工作台,大走刀强力铣削功率达到 40 kW 时,仍能保证切削平稳。

(2) 精度高

由于刚性好,易于提高导轨的加工精度,并且工作台台面较长,又是“V”形导轨导向,导向刚性和导轨精度都很高,从而可保证机床的加工精度接近平面磨削的水平。

(3) 效率高

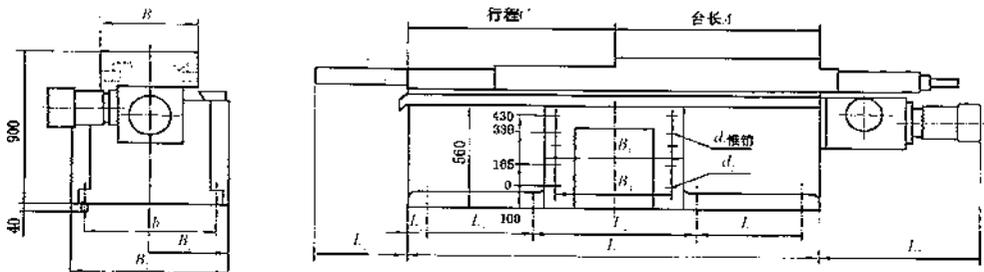
从性能表中可以看出,最大进给速度为 2 500 mm/min。实践证明:当进给速度为 2 080 mm/min 时,进行大走刀强力铣削和高效率高精度铣削,切削性能良好。

(4) 传动效率高

采用双螺母可调传动间隙的滚珠丝杠,由于间隙可调,可保证切削平稳。另外滚珠丝杠的传动效率比 T 型丝杠高一倍,因此节能效果显著。

3) 1XG 系列铣削工作台的联系尺寸及性能参数见表 3-17 所示。

表 3-17 1XG 铣削工作台的联系尺寸及性能参数



产品型号	B (mm)	型别	A (mm)	C (mm)	L (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	L ₅ (mm)	B ₁ (mm)	B ₂ (mm)	B ₃ (mm)	B ₄ (mm)	b (mm)	d ₁ (mm)
1XG40	400	I 型	1 000	1 000	2 000	590	705	70	900	480	600	300	600	550	520	φ16
		II 型	1 600	1 600	3 200					2×540						
1XG50	500	I 型	1 250	1 250	2 500	708	888	80	1 040	650	700	350	700	630	610	φ16
		II 型	2 000	2 000	4 000					2×700						
1XG63	630	I 型	1 600	1 600	3 200	584	888	180	1 120	850	800	400	800	730	705	φ16
		II 型	2 000	2 000	3 980			330		1 100						
1XGc80	800	I 型	1 600	1 600	3 300	679	959	160	1 320	780	1 006	503	1 000	730	905	φ16
		II 型	2 500	2 500	5 100			140		4×425				930		
产品型号	d ₂ (mm)	传动装置		快进功率 (kW)	工进功率 (kW)	快进速度 (m/min)	工进速度 (mm/min)	许用静载荷 (N)	许用切削功率 (kW)	制动器						
1XG40	M20	1XG40-F41		1.5	1.5	7	160~2 000	20 000	11	T3543						
1XG50	M24	1XG63-F41		4	3	7	160~2 000	25 000	22	T3545						
1XG63	M24	1XG63-F41		4	3	9.2	200~2 500	32 000	37	T3545						
1XGc80	M24	1XG63-F41		4	3	9.2	200~2 500	40 000	40	T3545						



4. 工艺切削头(单轴头)

1) 1TZb 系列钻削头

(1) 用途:

1TZb 系列钻削头是大连组合机床研究所根据国家标准 GB 3668.9—1983《组合机床通用部件——主轴部件尺寸》(本标准等效于国际标准 ISO 3590—1976《组合机床通用部件——主轴部件》)规定的名义尺寸、参数、互换尺寸设计的,共六种规格。

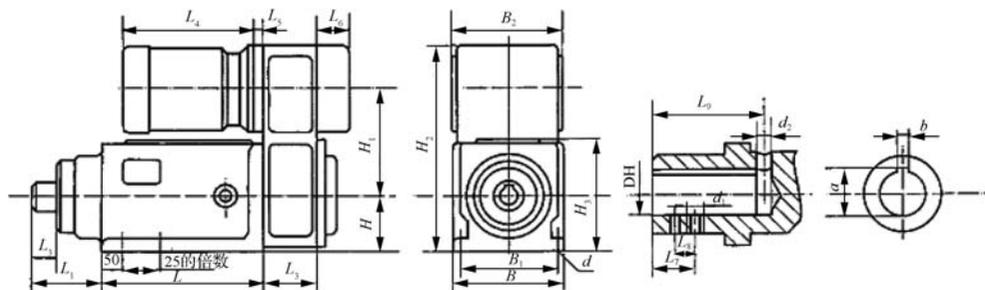
钻削头与同规格的各种传动装置、液压或机械滑台等配套组成组合机床,用以完成对铸铁、钢、有色金属零件的钻孔、扩孔、倒角及铰窝等工艺。

按国家标准 GB 3668.9—1983《主轴部件》规定,配套用的传动装置为钻、镗、铣、攻丝、可调钻孔攻丝五个系列单轴工艺切削头都选用的“跨系列传动装置”。1NG××齿形皮带传动装置用于主轴转速要求高的情况,1NGb××顶置式传动装置用于卧式配置,1NGc××尾置式传动装置用于立式配置,1NGd××手柄变速传动装置用于多品种加工。

1TZb 系列钻削头精度按 JB/T 3040—2011《组合机床钻削头精度》检验。

(2) 1TZb 系列钻削头主轴端部尺寸及性能参数见表 3-18。

表 3-18 1TZb 系列钻削头主轴端部尺寸及性能参数



产品型号	B	L	H	B ₁	B ₂ (mm)		L ₁	L ₂ (mm)		L ₃	L ₄ (mm)		L ₅ (mm)		L ₆ (mm)	L ₇	L ₈	L ₉	H ₁ (mm)	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	皮带	齿轮	(mm)	皮带	齿轮	(mm)	皮带	齿轮	皮带	齿轮	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	皮带	齿轮
1TZb16	160	250	80	135	200	184	125	177	140	50	245	260	20	44.5	37	38	15	85	217	211
1TZb20	200	320	100	170	250	226	160	195	155	60	260	285	20	45	40	45	15	101	238	263.5
1TZb25	250	400	125	220	250	280	160	210	150	66	285	316	22	22	66	45	15	101	283.5	281.3
1TZb32	320	500	160	280	316	283	200	230	180	80	435	435	137	25	92.5	57	20	123	369	353.6

产品型号	H ₂ (mm)		H ₃ (mm)	D(mm)	d(mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	a(mm)	b(mm)	功率(kW)	转速(r/min)n				最大钻孔直径(45钢)(mm)
	皮带	齿轮									皮带	齿轮			
			高速组	低速组											
1TZb16	421	392	169	φ28	4-M10	M8	φ8	29.7	6	1.1	1 000—4 000	250—1 250	100—500	φ16	
1TZb20	453.5	438	213	φ36	6-M12	M8	φ10	37.7	8	1.5	800—3 200	200—1 050	80—400	φ20	
1TZb25	555.5	535	259	φ36	8-M12	M8	φ10	37.7	8	2.2 2.2 3	630—2 500	160—800	100—500	φ25	
1TZb32	674	696.6	325	φ48	8-M12	M10	φ12	50.1	10	3 4 5.5	500—1 600	125—630	80—400	φ32	

1TZb 系列钻削头主轴端部尺寸按国家标准 GB 3668.10—1983《组合机床通用部件——多轴箱主轴端部和可调接杆尺寸》(等效于国际标准 ISO 2905—1974)中规定的主轴端部尺寸。

2) 1TAb 系列镗削头及 1TC 系列镗孔车端面头

(1) 结构、特点和用途

1TAb 系列镗削头及 1TC 系列镗孔车端面头是大连组合机床研究所根据国家标准 GB 3668.9—1983《组合机床通用部件——主轴部件尺寸》(等效于国际标准 ISO 3590—1976《组合机床通用部件——主轴部件》)规定的名义尺寸、参数、互换性尺寸设计的一种新系列通用部件产品,以其良好的性能广泛用于组合机床及其自动线中。

1TAb 系列镗削头主轴轴承结构详见图 4-25 所示,具有刚度好、精度高、调整简单方便等特点,镗削头有两种基本配套形式。其一为与同规格的传动装置配套组成镗削头,再与机械(液压)滑台以及其他部件配套组成镗削组合机床,用以完成对铸铁、钢及有色金属工件的单轴刚性粗精镗孔工序,最高镗孔精度 IT7,被加工表面的最佳粗糙度可达 $R_a 1.6$ 。其二为与同规格附件——单向刀盘或双向刀盘、镗孔车端面刀盘传动装置,以及同规格传动装置配套组成镗孔车端面头,再与液压(机械)滑台以及其他部件配套组成镗孔车端面组合机床,用以完成铸铁、钢及有色金属工件的单轴刚性粗精镗孔、车端面、车外圆、车止口,切槽及倒角等工序,最高镗孔精度 IT7,被加工表面的最佳表面粗糙度可达 $R_a 1.6$ 。

配置 1NG $\times\times$ 齿形皮带传动装置的镗削头或镗车头适用于各种材质工件的半精和精镗孔;配置 1NGb $\times\times$ 顶置式齿轮传动装置适用于机床呈卧式配置时的粗精镗孔;配置 1NGc $\times\times$ 尾置式齿轮传动装置适用于机床呈立式配置时的粗精镗孔,配置 1NGd $\times\times$ 手柄变速传动装置适用于机床呈卧式配置时的多品种工件的粗精镗孔。

1TAb 系列镗削头主轴端部尺寸符合 JB 2521—1979《法兰式车床主轴端部尺寸》。

(2) 精度

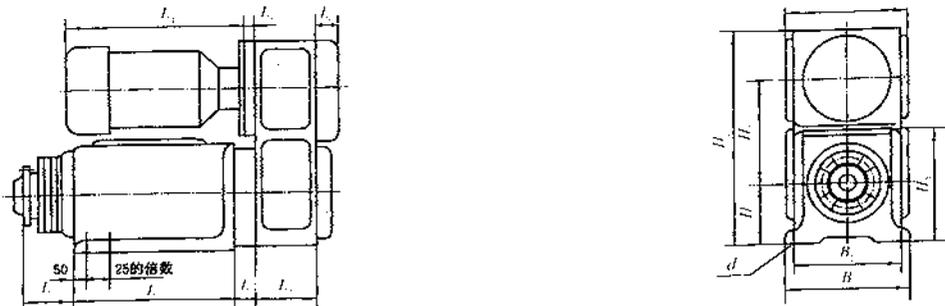
1TAb 系列镗削头及 1TC 系列镗孔车端面头的精度级别现有两种:普通级和精密级(M);

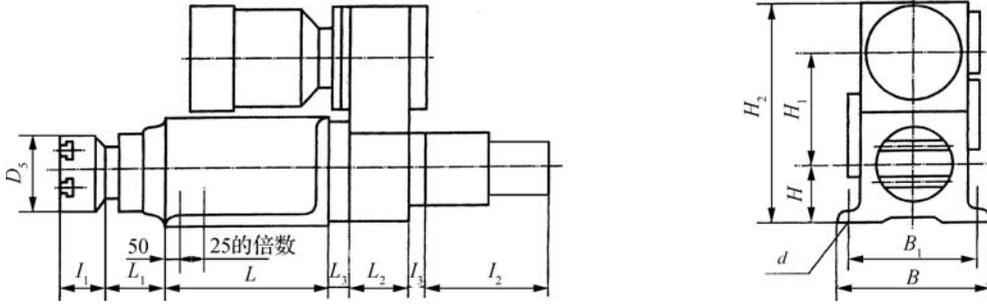
1TAb 系列镗削头精度按 JB/T 3039—2011《组合机床镗削头精度》标准检验;

1TC 系列镗孔车端面头精度按 JB/T 3041—2011《组合机床镗孔车端面头精度》标准检验。

(3) 1TAb 系列镗削头及 1TC 系列镗孔车端面头的联系尺寸及性能参数,见表 3-19。

表 3-19 1TAb 系列镗削头及 1TC 系列镗车头的联系尺寸及性能参数





产品 型号	B (mm)	L (mm)	H (mm)	B ₁ (mm)	B ₂ (mm)			L ₁ (mm)	L ₂ (mm)			L ₃ (mm)	L ₄ (mm)			L ₅ (mm)		L ₆ (mm)		L ₇ (mm)	L ₈ (mm)	L ₉ (mm)
					皮带	齿轮	手柄 变速		皮带	齿轮	手柄 变速		皮带	齿轮	手柄 变速	皮带	齿轮	顶置式 (齿轮)	手柄 变速			
1TAb16 1TC16	160	250	80	135	200	200	—	100	177	140 (207)	—	—	245	260	—	20	44.5 (—)	37	—	70	—	11
1TAb20 1TC20	200	320	100	170	200	226 (224)	—	125	195	155 (217)	—	—	260	285	—	20	45 (—)	40	—	85	25	11
1TAb25 1TC25	250	400	125	220	250	242	—	125	210	150	—	—	285	320	—	22	22	66	—	80	—	14.288
1TAb32 1TC32	320	500	160	280	316	318	374	160	230	180	285	—	435	435	568	—	25	92.5	130	85	15	15.875
1TAb40 1TC40	400	630	200	355	402	392	422	160	260	210	425	110 (116)	535	535	703	100	35	81.5	160	100	70	17.462
1TAb50 1TC50	500	800	250	450	400	472	460	200	315	250	350	—	600	665	845	—	40	100	150	80	70	19.05
1TAb63 1TC63	630	1 000	315	580	—	602 (600)	—	200	—	320 (480)	—	—	—	790 (680)	—	—	203 (—)	143	—	100	80	20.638

产品 型号	刀盘直 径 D ₅ [*] (mm)	I ₁ [*] (mm)	I ₂ [*] (mm)	I ₃ [*] (mm) (齿轮传动)	刀盘 行程 [*] mm	电机功率(kW)			主轴转速(r/min)				
						皮带	齿轮	手柄 变速	皮带	齿轮		手柄变速	
										低速	高速	低速	高速
1TAb16 1TC16	φ125	100	317	—	25	1.1	1.1	—	1 000~4 000	100~500	250~1 250	—	
1TAb20 1TC20	φ160	115	349	—	32	1.5	1.5	—	800~3 200	80~400	200~1 000	—	
1TAb25 1TC25	φ200	140	369	—	40	2.2	2.2 3	—	630~2 500	100~500	160~800	—	
1TAb32 1TC32	φ250	160	398	—	50	—	3 4 5.5	3 4 5.5	500~1 600	80~400	125~630	100~320	200~630
1TAb40 1TC40	φ320	180	414	110 (116)	63	7.5 11	7.5 11	7.5 11	400~1 250	63~320	100~500	80~250	160~500
1TAb50 1TC50	φ400	220	525	—	80	15	15 18.5 22	15 18.5 22	320~1 000	50~250	80~400	63~400	
1TAb63 1TC63							22, 30, 37 (15, 18.5, 22, 30)			40~160 (63~200)	80~320 (160~500)	—	

3) 1TX 系列铣削头

(1) 结构、特点和用途

1TX 系列铣削头是大连组合机床研究所根据国家标准 GB 3668.9—1983《组合机床通用部件——主轴部件尺寸》(等效于国际标准 ISO 3590—1976《组合机床通用部件——主轴部件》)规定的尺寸、参数、互换性尺寸设计的一种新系列通用部件产品,以其高品质广泛应用于组合机床及其自动线中。

本系列铣削头可分别选配四种传动装置。配置 1NG××齿形皮带传动装置,适用于高速铣削,主要用于有色金属的粗精加工;配置 1NGb××顶置式交换齿轮变速的传动装置,属于中低速传动,主要用于钢和铸铁的粗精加工,比较适用于大批量生产的卧式组合机床;配置 1NGc××尾置式交换齿轮变速的传动装置,属于中低速传动,主要用于钢和铸铁的粗精加工,比较适用于大批量生产的立式组合机床;配置 1NGd××手柄变速传动装置,属于中低速传动,主要用于钢和铸铁的粗精加工,比较适用于经常变速的中小批品种加工的组合机床。

本系列铣削头与 1XG 系列铣削工作台及 1HJ 系列机械滑台等进给动力部件配套,可组成各种类型的铣削组合机床,用以完成平面铣削、铣槽、铣扁等工序。

本系列的铣削头分为三个精度等级:普通级、精密级(M)和高精度级(G)。例如:1TX25G 为宽度 250 mm 的高精度级铣削头。在结构上三个精度等级没有区别,只是主要零件及轴承的精度有所区别。图 4-29 为本系列铣削头主轴轴承结构,是目前世界上大多数镗铣床采用的典型结构,具有刚性好、精度好、轴承间隙可调整等特点。

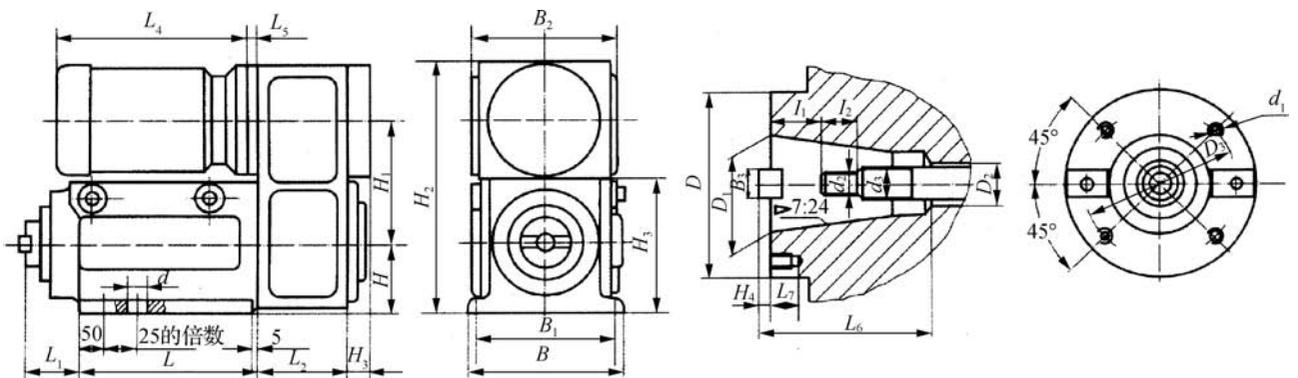
本系列铣削头功率大,可满足大走刀,强力切削及高精度平面铣削的要求。

本系列铣削头齿轮传动全部采用斜齿轮传动,从而传动平稳,噪音低,功率大于 15 kW 的铣头,噪音仅为 80 dB。

(2) 1TX 系列铣削头精度按 JB/T 3038—2011《组合机床铣削头精度》标准检验。

(3) 1TX 系列铣削头联系尺寸及性能参数见表 3-20 所示。

表 3-20 1TX 系列铣削头联系尺寸及性能参数





产品型号	B (mm)	L (mm)	H (mm)	主轴编号	滑套调整量 (mm)	B ₁ (mm)	B ₂ (mm)	B ₃ (mm)	H ₁ (mm)	H _{2max} (mm)	H ₃ (mm)	H ₄ (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L _{4max} (mm)	L ₅ (mm)	L ₆ (mm)
1TX20	200	320	100	40	63	170	226	15.888	225	460	213	8	125	180	30	285	30	100
1TX25	250	400	125	40	63	220	242	15.888	281.3	535	262	8	125	150	66	316	22	100
1TX32	320	500	160	50	80	280	318	26.415	353.6	696.6	327	12.5	160	180	92.5	435	25	140
1TX40	400	630	200	50	80	355	392	25.415	372.6	797.6	404	12.5	160	210	81.5	535	35	140
1TX50	500	800	250	60	100	450	472	25.415	493.3	1 018.3	495	12.5	200	250	100	665	40	220
1TX63	630	1 000	315	60	100	580	602	25.415	576.1	1 141	630	12.5	200	320	143	810	173	220

产品型号	L ₇ (mm)	刀盘直径 (mm)	D(h ₅) (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ ±0.3 (mm)	d (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	I ₁ (mm)	I ₂ (mm)	电机功率 (kW)	主轴转速 (r/min)	
														低速组	高速组
1TX20	18	φ80—φ200	φ88.882	φ44.45	φ17	φ66.7	φ6—φ14	M12	M12	M16	40	26	1.1 1.5	125—630	200—1 000
1TX25	25	φ100—φ250	φ88.882	φ44.45	φ17	φ66.7	φ8—φ14	M12	M12	M16	40	26	2.2 3	100—500	160—800
1TX32	38	φ125—φ320	φ128.570	φ69.85	φ27	φ101.6	φ10—φ14	M16	M16	M24	58	32	3 4 5.5	80—400	125—630
1TX40	38	φ160—φ400	φ128.570	φ69.85	φ27	φ101.6	φ8—φ18	M16	M16	M24	58	32	7.5 11	63—320	100—500
1TX50	37	φ200—φ500	φ221.440	φ107.95	φ35	φ177.8	φ8—φ18	M20	M24	M30	119	45	15 18.5 22	50—250	80—400
1TX63	45	φ250—φ630	φ221.440	φ107.95	φ35	φ177.8	φ8—φ18	M20	M24	M30	119	45	22 30 37	40—160	80—320

注:1. 本产品分为 I 型和 II 型, I 型为手动移动和夹紧滑套; II 型为液压自动移动和夹紧滑套。

2. 主轴转速推荐选用低速组;用户订货须明确完整地提供所需铣削头的规格、精度及所配传动装置的型号、规格、转速、功率等。

5. 支承部件

1) ICC 系列滑台侧底座

ICC 系列侧底座是大连组合机床研究所根据国家标准 GB 3668.6—1983《组合机床通用部件——滑台侧底座尺寸》(等效于国际标准 ISO 2769—1973《组合机床通用部件——滑台侧底座尺寸》)设计的。

侧底座有两种精度等级,普通级和精密级(M),普通级滑台选用普通级侧底座,精密级滑台和高精度级滑台选用精密级侧底座。侧底座按 JB/T 9882—1999《组合机床侧底座精度》检验。

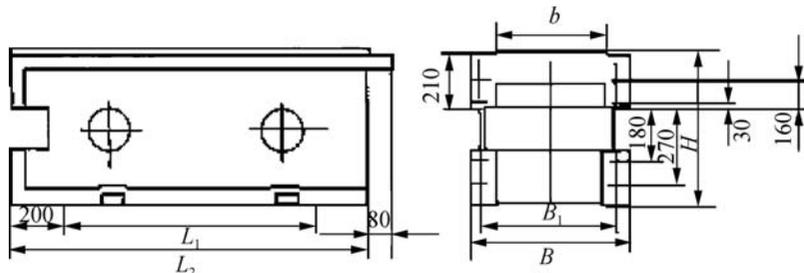
侧底座与滑台的安装用螺钉连接,可以增加滑台与侧底座的连接刚度。滑台与侧底座之间,可以根据机床要求加垫块,以调整主轴中心高。

侧底座与中间底座的连接定位有两种,推荐用键定位,也可以采用锥销定位。

ICC 系列滑台侧底座主要联系尺寸见表 3-21 所示。

表 3-21 ICC 系列滑台侧底座主要联系尺寸

(单位:mm)



型号	配套滑台行程	L_2	L_1	B	B_1	b	h	H	紧固螺钉	H_1	型号	配套滑台行程	L_2	L_1	B	B_1	b	h	H	紧固螺钉	H_1	
1CC251 1CC251M	I	250	900	500	450	395	270	110	560	210	1CC402 1CC402M	III	1 000	1 950	1 550	600	545	420	160	160	M20	280
	II	400	1 050	650				110	560			160	630	I	400	1 550	1 150	700	645	520		110
1CC252 1CC252M	I	250	900	500	520	465	340	110	560	210	1CC501 1CC501M	II	630	1 780	1 380	700	645	520	160	630	M20	280
	II	400	1 050	650				160	630			III	1 000	2 150	1 750							
1CC321 1CC321M	I	400	1 180	780	520	465	340	110	560	210	1CC502 1CC502M	I	400	1 550	1 150	700	645	520	160	630	M20	280
	II	630	1 410	1 010				160	630			II	630	1 780	1 380							
1CC322 1CC322M	I	400	1 180	780	520	465	340	110	560	210	1CC631 1CC631M	III	1 000	2 150	1 750	830	775	650	110	560	M24	210
	II	630	1 410	1 010				160	630			I	400	1 800	1 400							
1CC401 1CC401M	I	400	1 350	950	600	545	420	110	560	210	1CC632 1CC632M	II	630	2 030	1 630	830	775	650	160	630	M24	280
	II	630	1 580	1 180				160	630			III	1 000	2 400	2 000							
	III	1 000	1 950	1 550				160	630			I	400	1 800	1 400							
1CC402 1CC402M	I	400	1 350	950	600	545	420	110	560	210	1CC632 1CC632M	II	630	2 030	1 630	830	775	650	160	630	M24	280
	II	630	1 580	1 180				160	630			III	1 000	2 400	2 000							

2) 1CL 系列立柱

1CL 系列立柱是根据国家标准 GB 3668.7—1983《组合机床通用部件——中间侧底座和立柱尺寸》(等效于国际标准 ISO 2891—1977《组合机床通用部件——中间侧底座和立柱尺寸》)设计的。

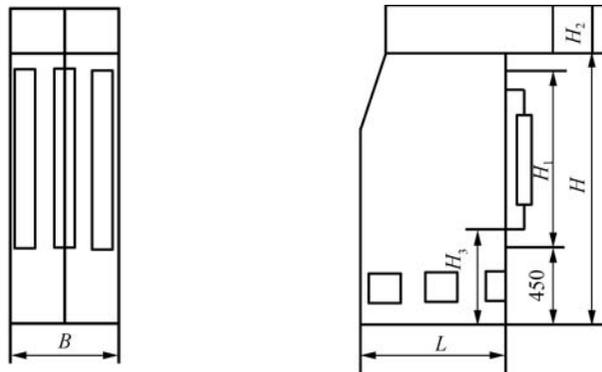
本系列立柱用于安装 1HY 系列液压滑台。

1CL 系列立柱联系尺寸见表 3-22 所示。

立柱有两种精度等级,普通级立柱与普通级液压滑台配套使用,精密级立柱(M)与精密级和高精度级液压滑台配套使用,按 JB/T 9883—1999《组合机床立柱精度》检验。

表 3-22 1CL 系列立柱联系尺寸

(单位:mm)



立柱型号	名义尺寸	B	L	H	H_1	滑台名义尺寸及行程	H_2	H_3
1CL25 1CL25M	250	320	630	1 900	1 150	250	450~800	275
						400	450~650	

续表 3-22

立柱型号	名义尺寸	B	L	H	H ₁	滑台名义尺寸及行程		H ₂	H ₃
1CL32 1CL32M	320	400	710	2 000	1 350	320	400	450~650	325
1CL40 1CL40M	400	500	800	2 420	1 650	400	400	450~860	410
							630	450~630	
1CL50 1CL50M	500	630	900	2 520	1 850	500	400	450~800	435
							630	450~650	
1CL63 1CL63M	630	800	1 000	2 620	2 050	630	630	450~580	460

3) 1CLb 系列立柱

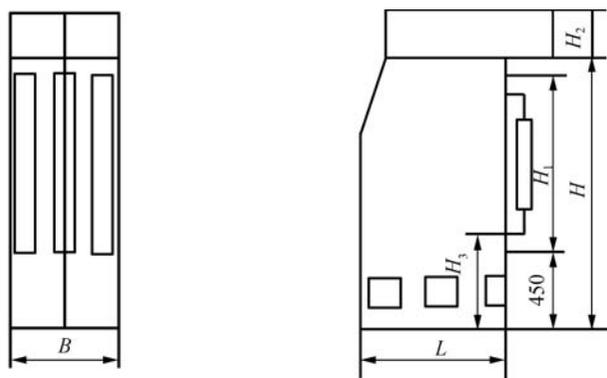
1CLb 系列立柱是根据国家标准 GB 3668.7—1983《组合机床通用部件——中间侧底座和立柱尺寸》(等效于国际标准 ISO 2891—1977《组合机床通用部件——中间侧底座和立柱尺寸》)设计的。

本系列立柱用于安装 1HJ 系列机械滑台。

1CLb 系列立柱联系尺寸见表 3-23 所示。

表 3-23 1CLb 系列立柱联系尺寸

(单位: mm)



立柱型号	名义尺寸	B	L	H	H ₁	滑台名义尺寸及行程		H ₂	H ₃
1CLb25 1CLb25M	250	320	630	1 900	1 150	250	450~800	260	
						400	450~650		
1CLb32 1CLb32M	320	400	710	2 120	1 350	320	400	450~650	330
1CLb40 1CLb40M	400	500	800	2 420	1 650	400	400	450~860	365
							630	450~630	
1CLb50 1CLb50M	500	630	900	2 630	1 850	500	400	450~860	472
							630	450~630	
1CLb63 1CLb63M	630	800	1 000	2 685	2 050	630	400	450~810	620
							630	450~580	

立柱有两种精度等级,普通级立柱与普通级机械滑台配套使用,精密级立柱(M)与精密级和高精度级机械滑台配套使用,按 JB/T 9883—1999《组合机床立柱精度》检验。

3.5.3 通用部件选用的依据和注意点

1. 选用的依据

(1) 根据机床方案和配置形式来确定驱动方式,如机械、液压、数控等。

(2) 动力部件的规格

① 根据进给力,功率及行程,确定动力部件规格。

② 考虑导轨承受的颠覆力矩不能太大,按以下经验公式选取:

$$X_1 \geq \frac{B-200}{2.2} \quad (3-4)$$

$$X_1 \geq \frac{H-200}{1.6} \quad (3-5)$$

式中: X_1 —动力头(滑台)宽度; B —专用主轴箱的宽度; H —专用主轴箱的高度。

2. 注意点

(1) 一般情况下,滑台规格大一号动力头规格。

(2) 精加工时,滑台宽度适当加大,以保证工作时具有足够的稳定性。在这里,要突破一个误区,不要以为所有的精加工机床都做得瘦而小,具体情况具体对待,这方面,成功和失败的案例也较多。

(3) 在保证足够刚性和强度的条件下,机床外形尺寸尽可能小。

▶▶▶ 3.6 专用部件的设计

关于组合机床专用部件的设计主要包括主轴箱、夹具、非标刀具及专用床身(底座)、专用立柱的设计。至于主轴箱、非标刀具及夹具的设计将分别在第四、第五、第六章里介绍,这里主要介绍专用床身(底座)专用立柱等专用部件的设计。

3.6.1 专用床身(立柱)设计应考虑的一些问题

(1) 设计专用床身(立柱)时:一定要严格按照铸件设计标准和相关要求进行设计,如:合理布置加强筋,壁厚尽可能均匀,拔模斜度、窗口裙边的设置、合适的起吊孔等。

(2) 对于体积较大的床身,如长度超过 3 m 以上的,可考虑设计成整体床身,而且高度方向应考虑适当加高,以提高床身的整体刚性。

(3) 必要时,床身可考虑采用焊接件,生产周期相对快,但对热处理要求高。

(4) 对于倾斜式床身,当倾斜角度大于 15° 时,可考虑配置平衡块,倾斜角度小于 15° 可不考虑平衡块,在这种情况下,如果采用液压滑台时,应考虑在液压系统中增加单向反向阀,依靠油缸的压力稳定后退的速度。



3.6.2 关于中间底座设计时的注意点

中间底座大多为专用的,设计时应该注意:

(1) 必须有足够的容屑空间保证切屑的积存,其最小容积不应小于4 h加工下来的切屑量,在结构上还应保证切屑能顺利地向容屑槽中集中。

(2) 对于采用大流量冷却、冲屑机床,中间底座内冷却液储存部分的容积要大于等于冷却泵3~5 min的输出流量,并考虑冷却液滤清沉淀及液池清洗和排液的方便性。

(3) 对于有防护的机床,中间底座设计要考虑安装防护的方便性和可能性。

(4) 对于鼓轮机床的中间底座要考虑安放水平仪的加工平台,以便在装配时调整中间底座及夹具的水平。

(5) 对于采用地沟排屑的机床,中间底座中空部位的设计便于切屑和冷却液顺利的排向地沟的畅通性。

3.7 机床的润滑、防护和冷却

组合机床的动作比较频繁,为了保证各运动部件的正常工作,延长设备的使用寿命,以及可靠地保证加工精度,除了设置必要的防护装置外,还必须正确地设计、合理的选用润滑系统。

3.7.1 机床的润滑

1. 导轨的润滑

组合机床导轨主要是滑动导轨和滚动直线导轨,对于它们的润滑方式也有所不同。

(1) 对于滑动导轨,由于摩擦阻力大,如果润滑不充分会加剧导轨寿命的缩短,必须慎之又慎,根据导轨形式,规格和使用场合的不同等具体情况,一般采用油杯、手(电)动泵,集中润滑装置等不同的润滑方式。

(2) 对于滚动导轨,由于摩擦阻力小,运动速度快,在装配时,导轨内已注入了高级润滑脂,使导轨运动实现了自润滑效果,在导轨的上滑块端部还安装有油杯或油嘴,方便给导轨补充加油。

2. 丝杠副的润滑

丝杠副是机床实现运动的重要部件,对它的润滑要求高,对于T型丝杠大多数采用浸油润滑,也可采用对丝杠螺母定时、定量的注油润滑方法,对于滚珠丝杠,一般也是采用这种定时、定量的注油润滑方法。

3. 传动装置的润滑

传动装置包括动力箱、主轴箱等齿轮传动箱,对于传动链短,传动级数2~3级以下的齿轮箱采用飞溅润滑的方法,也就是通过最底层齿轮的转动,将油池中的润滑油带出飞溅到上层齿轮上或其他润滑点,对于传动链长,传动级数多的齿轮箱,通过油泵抽油送到分配器中,再由分配器经过多路油管分别将润滑油送到各润滑点。

4. 夹具中有关零部件的润滑

在夹具中,如伸缩式定位销,旋转式钩型压板,抬起机构等运动机构根据具体情况选择较合适的润滑方法,如采用压柱式油杯进行稀油润滑,也可以是机构在装配时涂上足够的润滑脂进行干油润滑。

5. 组合机床整机润滑应考虑的一些问题

(1) 从整机角度考虑,目前大多数机床都采用集中润滑装置,将润滑油通过油管先送到可调定量分配器中,再经多路油管送到各润滑部位(点),对于各通用部件它们原采用的润滑设备和润滑方法应通盘考虑,合理调整,平衡分配,以保证机床上每个润滑部位(点)得到充分润滑的同时,也不能重复润滑。

(2) 集中润滑装置还具有回收回流的润滑油的功能,这样避免了润滑油的跑、冒、滴、漏现象,使机床外观更整洁。

(3) 操纵润滑指示图的绘制

由于组合机床的配置形式多种多样,为便于操作工人了解、使用,及时润滑和维修机床的方便,也为了设备管理人员对设备保养情况的检查有据可依,一般每台机床都应绘制操纵润滑指示图,它是机床使用说明书中的一部分。

操纵润滑指示图绘制时,应将机床的操纵部位、润滑点、油箱、容量、油标、润滑装置以及润滑油种类、供油量、加(换)油时间等明确的标示出来。

3.7.2 机床的防护

1. 导轨的防护

对于导轨的防护极其重要,对于干式加工机床,为防止切屑及切屑粉末侵入导轨,一般采用折叠钢板式(伸缩式)防护罩。对于湿式加工机床,也可以采用这种防护罩,但对密封提出严格要求,也可采用革制材质的风琴式防护罩。

2. 丝杠副的防护

有些高档机床除了对导轨提出防护要求外,对丝杠副,尤其是滚珠丝杠副提出防护要求,可采用钢带式防护套,这种防护套在滚珠丝杠生产企业有配套供应。

3. 机床的全防护

现代的组合机床包括各种加工中心,对于这些产品不仅有更高的内在质量要求外,对外观质量也有严格的标准和要求,特别是湿式加工机床,从环保、安全的角度考虑需要安全防护,从外观质量要求考虑,从审美的角度看,对机床的全防护提出了线条流畅,颜色鲜艳,造型得体,密封性好,防护门开、关自如并与控制系统有互锁要求等更高的严格要求。

3.7.3 机床的冷却

1. 对机床冷却系统的要求

(1) 冷却液要充分,确保刀具和工件获得连续充分的冷却。

(2) 冷却管路布置确当,以保证各冷却点冷却充分,为了满足各冷却点对冷却液流量的不同要求,应在管路上设调节开关。

(3) 不同的机床,选择不同配置的冷却装置,例如大流量冲屑机床,要选择压力高,流量



大的冷却装置。

(4) 对于那些采用先进刀具,如内冷外排屑的枪钻、U 钻和外冷内排屑的喷吸钻等高档机床,冷却装置不仅要提供压力高、流量大的冷却液,而且对排出的冷却液在回收过程中,要具备有过滤要求的设施。

2. 冷却液的选择

(1) 加工铸铁时的冷却,可采用苏打水,浓度为 5% 的乳化液,攻丝时可采用煤油,也可采用硫化切削油及混合油等。

(2) 加工钢件时的冷却,镗孔时用浓度 5% 的乳化液,钻孔时采用 7% 的硫化乳化液,扩孔铰孔时采用皂膏配置的 5%~10% 的乳化液,攻丝时采用硫化乳化液,混合油等,铣削时,粗铣可使用石墨化乳化液,精铣时采用 5% 浓度乳化液。

(3) 不同材质的零件,不同的加工工艺方法、不同的刀具选择冷却液也有所不同,要理论联系实际,逐步探索,从而选择最佳冷却液方案。

3.8 机床的控制与互锁

3.8.1 机床的控制

组合机床是由多个动力部件按照严格的顺序和规定的工作循环,完成工件的多工序加工。机床的工作循环及各动力部件之间的严格程序,是借助组合机床的自动控制系统来实现的,根据选用的机床配置形式及通用部件的驱动方式,组合机床的控制系统是由机械、电气、液压、气动等协同动作来实现的。

为了使组合机床各部件协调工作,控制系统的设计正确性、控制元件技术先进程度以及元件质量的好坏是机床可靠性的一个决定性的因素。

3.8.2 机床的互锁

组合机床部件的互锁是用于保证各部件按规定的程序动作,不出现误动作,因此在机床总体设计阶段必须周密分析各动作的互相依赖关系,并设置必要的互锁系统。

为了设置互锁系统,在各部件结构中要增加电气和液压元件以及相应的控制机构,这就要求各部件设计时,恰当地解决控制机构及电气元件的放置,并保证观察、更换、调整的方便性,以及电气走线的通道。

由于各机床的工作循环不一,所以机床的互锁要求不一样,因此必须合理地解决各种机床的互锁要求。

随着现代科学技术日新月异的发展,新一代的液压(气动)元件,数控系统产品不断问世,机床的控制系统再也不全是原来的交流接触(继电器)为主要的传统电气控制方式而向可编程控制器(PLC)以及数控(NC)和计算机控制方向发展,并已成为现实,这种机电整合大大提高了机床控制系统的可靠性,降低了原有控制系统机构的复杂性,使我国的组合机床早日实现高效与柔性的有机统一,不断向智能化、网络化方向发展,去适应第四次工业革命的挑战。

第四章 主轴箱设计

4.1 主轴箱概述

4.1.1 主轴箱介绍

1. 主轴箱的用途

通过按一定速比排布传动齿轮,将动力箱(动力头)上的动力通过主轴箱传递到机床各主轴上,使各主轴获得所要求的转速和转向,从而完成钻、扩、攻、铰、镗以及铰端面(止口)等各种粗、精加工工序。

2. 主轴箱的特点

(1) 主轴箱是组合机床中的重要专用部件,它是按被加工零件上孔的具体位置来布置主轴,而这些孔的尺寸大小,数量的多少,它们之间的相互位置关系都各有差异,针对不同的被加工零件而专门设计。

(2) 每个主轴箱虽然是专用的,但是它们之间也有共同之处,如各种规格的箱体、前后盖、主轴、传动轴、齿轮等,大部分都已经通用化和系列化了,大连组合机床研究所已编制了一套完整的《ZD27 主轴箱设计指导资料》,设计时可直接从中选取,尤其是标准主轴箱,基本上可以不进行专用零件设计。

(3) 工作可靠,主轴箱箱体为整体结构,刚性好,主轴轴承多数采用滚锥轴承,一般为“反置式”配置,即锥轴承小端面对称布置,不仅结构简单而且提高了主轴刚性,同时为轴承的预紧提供了方便。

(4) 性能比较完善,适用范围广,可以根据不同的加工工艺要求,选择主轴结构和轴承结构,最小轴间距可达 24 mm,对于轴间距太小的主轴或传动轴,当配滚针轴承还不可行时,可用青铜轴套取代。

(5) 缺点是箱体上同一根轴,前后安装轴承的孔,需要刮端面,要从两面加工,工艺性差。

3. 主轴箱类型

(1) 通用主轴箱:大量的钻、镗类主轴箱,组成其零件基本上是通用的,也称标准主轴箱。

(2) 刚性主轴箱:主轴在加工时,没有导向,主轴结构是专用的。主要特点是主轴前后支承距离较大,主轴本身刚性较好,轴承的形式及其配置也是多种多样,也称专用主轴箱。

(3) 铣削主轴箱:主要用于铣削加工,其结构也是专用的,轴承结构类似刚性主轴箱。



(4) 带有附加机构的主轴箱:带有行程控制机构以实现螺纹加工,称攻丝主轴箱;带有主轴定位限速机构,以实现主轴准确定位,如镗、铣类加工。

(5) 可调主轴箱:其主轴位置是可以调整改变的,以适应多品种和中小批量生产,缺点是主轴刚性差。

4.1.2 标准主轴箱主要零件的介绍和选取

1. 通用箱体和前后盖

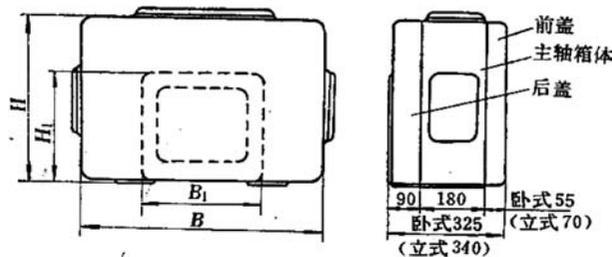
主轴箱箱体材料为 HT200,前、后盖材料为 HT150,由于宽度和高度的不同,各有 14 种规格,具体见表 4-1。不同规格的主轴箱可与不同规格的动力箱相互对应配套。

2. 主轴箱外形轮廓尺寸的确定

主轴箱外形轮廓尺寸的大小主要取决于主轴箱原始依据图和机床的配置形式。在绘制机床联系尺寸时,就应着手确定主轴箱的轮廓尺寸,以保证有足够的传动空间为原则。如图 3-33 所示。具体要求和计算参看第三章 3.3.3 节机床总联系尺寸图中的相关介绍。对于计算出来的主轴箱轮廓尺寸还应适当加以调整,尽量符合表 4-1 中介绍的标准规格的主轴箱尺寸,必要时可考虑非标准尺寸的主轴箱。

表 4-1 通用箱体的系列尺寸

(单位:mm)



序号	箱体尺寸 $B \times H$	动力箱规格					
		25	32	40	50	63	80
		后盖法兰尺寸 $B_1 \times H_1$					
1	400×400	320×249.5					
2	500×500						
3	630×400	320×249.5	400×319.5				
4	630×500						
5	630×630			500×399.5			
6	800×500		400×319.5				
7	800×630				630×499.5		
8	800×800						
9	1 000×500			500×399.5			
10	1 000×630				630×499.5		
11	1 000×800						
12	1 000×1 000						
13	1 250×800				630×499.5	800×499.5	
14	1 250×1 000						1 000×799.5

3. 通用主轴和传动轴

通用主轴按其用途不同,分为钻削类主轴和攻丝类主轴两大类。

1) 通用钻削类主轴

通用钻削类主轴按支承形式的不同,又分为三种结构形式如图 4-1 所示。

(1) 前后支承均为滚锥轴承的主轴——滚锥主轴,轴承布置均为“反置式”它们有长短之分如图 4-1(a)所示。它们的系列参数可参见表 4-2。

(2) 前支承为止推和滚珠轴承、后支承为滚锥轴承的主轴——滚珠主轴,如图 4-1(b)所示,主要用于钻孔,用止推轴承的目的是克服钻孔产生较大的轴向力。

(3) 前后支承均为止推轴承和无内环的滚针轴承的主轴——滚针主轴。主要用于切削负荷轻、轴间距小的场合,如图 4-1(c)所示。

表 4-2 通用钻削类主轴的系列参数

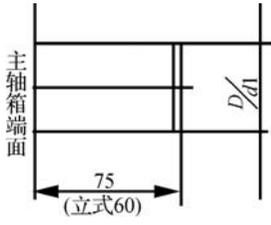
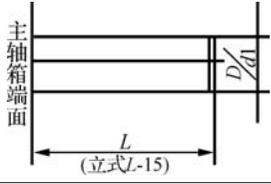
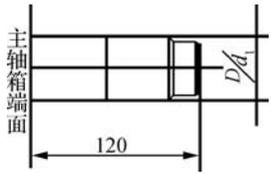
主轴外伸	主轴类型	主轴直径 (mm)							种数	
短主轴(用于与刀具浮动连接的结、扩、铰等工序) 	滚锥短主轴		25	30	35	40	50	60	6	
	滚锥长主轴	20	25	30	35	40	50	60	7	
长主轴(用于与刀具刚性连接的结、扩、铰、倒角、铹平面等工序或攻丝工序) 	滚珠主轴	15	20	25	30	35	40		12	
	滚针主轴	15	20	25	30	35	40		20	
主轴外伸尺寸 (mm)	D/d_1	$\frac{20}{(21)}/14$	30/20	38/26	50/36	50/36	65/44	80/60	90/60	
	L	85	115	115	115	115	135	135	135	
接杆莫氏圆锥号		1	1,2	1,2,3	2,3	2,3	3,4	4,5	4,5	

表 4-3 通用攻丝主轴系列参数

	主轴类型	主轴直径(mm)				种数
	滚锥攻丝主轴	20	25	30		6
	滚针攻丝主轴	15	20			4
	D/d_1 (mm)	24/12	30/14	38/20	50/26	
	攻丝靠模规格代号	1	2	3	4	

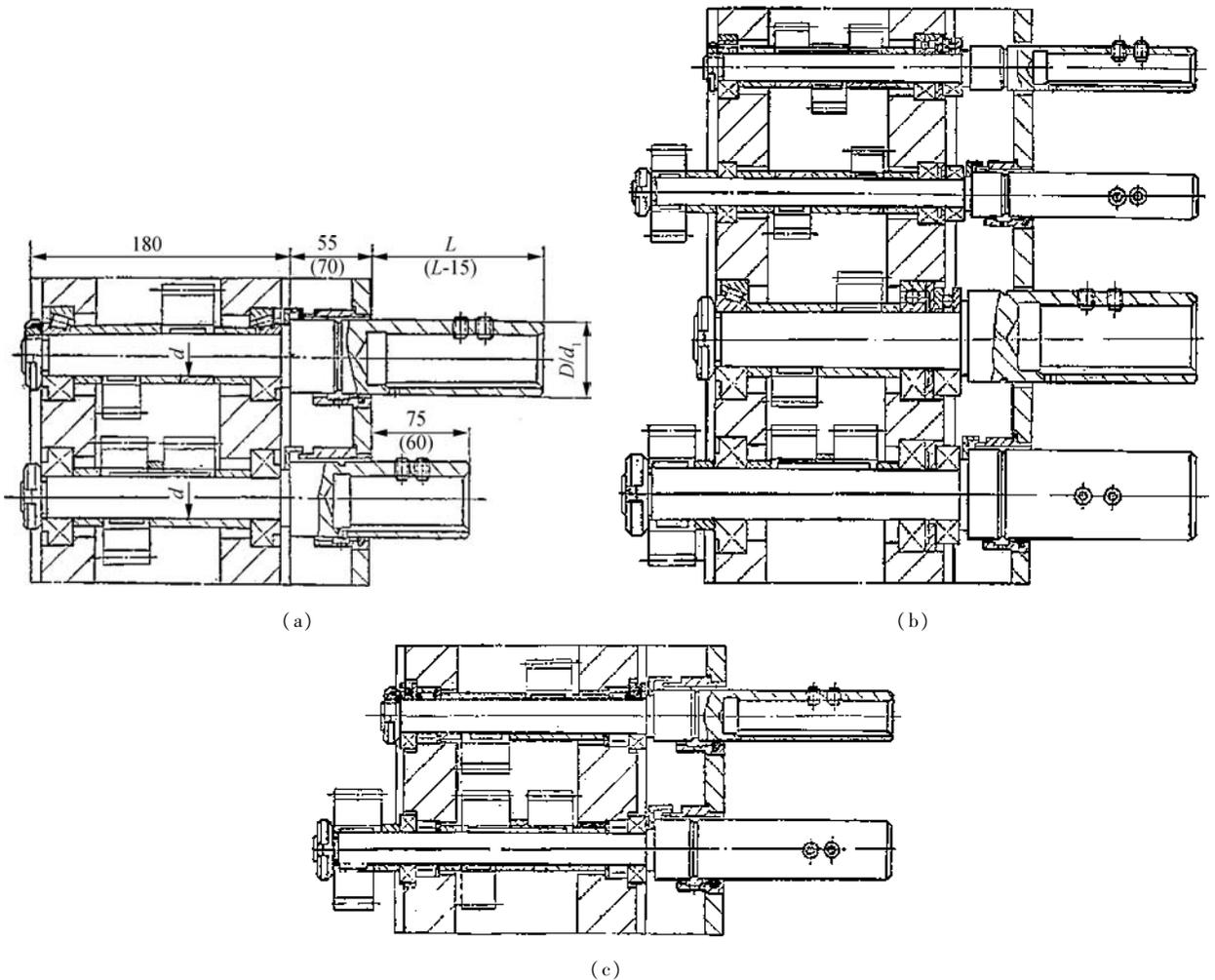


图 4-1 通用钻削类主轴

2) 通用攻丝类主轴

通用攻丝类主轴按支承型式不同,又分为三种形式,如图 4-2 所示,系列参数见表 4-3。

(1) 前后支承均为滚锥轴承的主轴——滚锥攻丝主轴。轴承布置均为“反置式”,如图 4-2(a)所示。

(2) 前后支承均为止推轴承和无内环的滚针轴承的主轴——滚针攻丝主轴,如图 4-2

(b)所示。

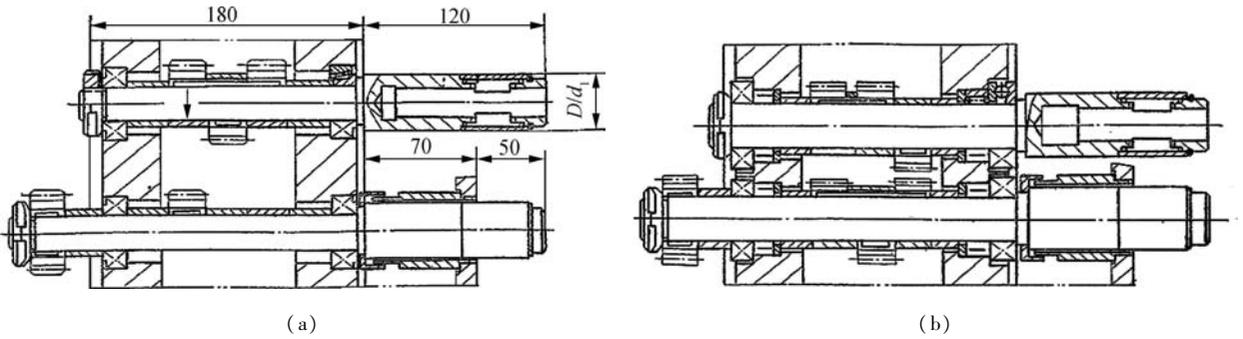


图 4-2 通用攻丝主轴

3) 通用传动轴

通用传动轴,按其用途和支承形式的不同,分为如图 4-3 所示(a) 滚锥传动轴,(b) 滚针传动轴,(c) 埋头传动轴,(d) 手柄轴,(e) 油泵传动轴和(f) 攻丝用蜗杆轴六种。其系列参数见表 4-4。

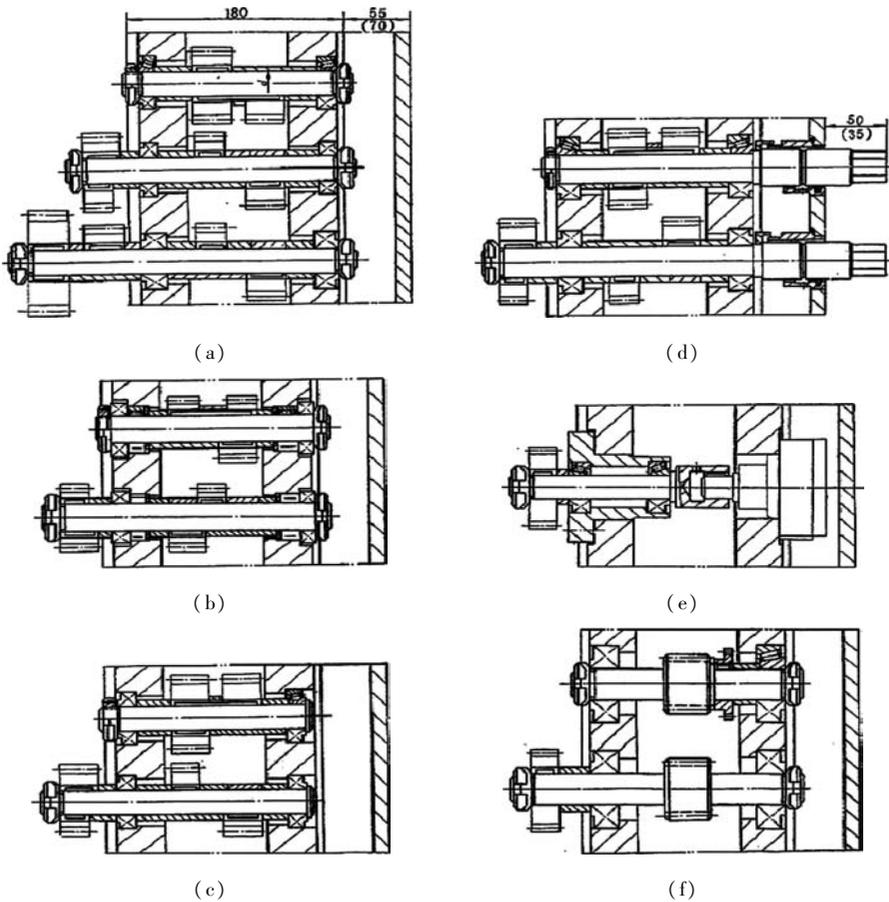


图 4-3 通用传动轴



表 4-4 通用传动轴的系列参数

传动轴类型	传动轴直径(mm)							种数	传动轴类型	传动轴直径(mm)						种数
	20	25	30	35	40	50	60			17	手柄轴	30	40	50	6	
滚锥传动轴	20	25	30	35	40	50	60	17	手柄轴			30	40	50	6	
滚针传动轴	20	25	30		40			8	油泵传动轴	20					1	
埋头传动轴		25	30	35	40			8	攻丝用蜗杆轴	25					2	

以上各种规格和结构类型的主轴和转动轴在 ZD27-21~39 中可直接查找到。

4. 齿轮计算和选用

1) 通用齿轮介绍

主轴箱用的通用齿轮,有传动齿轮、动力箱齿轮和电机齿轮三种。三种齿轮的材料一般为 45 号钢,齿部进行高频淬火, G52。

通用齿轮的采用系列参数见表 4-5。

表 4-5 通用齿轮的系列参数

齿轮种类	宽度(mm)	齿数	模数(mm)	孔径(mm)	数量
传动齿轮	24	16~50 连续	2, 2.5, 3	15, 20, 25, 35, 40	395
	32	16~70(16~50 连续, 50~70 仅有偶数齿)	2, 2.5, 3, 4	25, 30, 35, 40, 50, 60	597
动力箱齿轮	84(A 型)	21~26	3, 4	25, 30, 40, 50	40
	44(B 型)				
电机齿轮	79	21~26	3	8, 22, 28, 32, 38	20

动力箱齿轮有 A、B 两型,宽度分别为 84 mm 和 44 mm。当采用 90 mm 厚的后盖时,动力箱齿轮要选用 A 型;而采用 50 mm 厚的后盖时,动力箱齿轮要选用 B 型。

以上各规格品种的齿轮可在 ZD27-41~43 中查找到。

2) 齿轮模数的确定

根据经验公式可确定模数:

$$m > (30 \sim 32) \sqrt[3]{N/Z \cdot n} \quad (4-1)$$

式中: m —齿轮模数; N —传动功率(kW); n —小齿轮转速(r/min); Z —一对啮合齿轮中的小齿轮齿数。

主轴箱传动齿轮模数大致为 2、2.5、3、4 四种。

3) 关于变位齿轮的简便计算

在主轴箱中有大量的传动齿轮,但绝大多数为标准正齿轮,其几何尺寸的计算在许多机械设计手册中都有所介绍,也可在 ZD27-41 齿轮综合表中直接找到。但是对于出现的变位齿轮,其几何尺寸计算相对复杂,这里介绍的为简便计算方法。

(1) 总变位量 $\Delta A_{\text{总}}$ 的计算与分配原则

总变量 $\Delta A_{\text{总}}$ 按下式计算:

$$\Delta A_{\text{总}} = A_{\text{实}} - A = \pm \xi_{\text{总}} m \quad (4-2)$$

式中： $\Delta A_{\text{总}}$ —总变位量； $A_{\text{实}}$ —齿轮的实际中心距； A —齿轮的标准中心距； $\xi_{\text{总}}$ —总变位系数； m —模数。

总变位量 $\Delta A_{\text{总}}$ 须根据传动情况，并参照表 4-6“齿轮的极限变位系数 $\xi_{\text{限}}$ ”或图 4-4“齿轮变位界限图”进行分配。若 $\Delta A_{\text{总}}$ 不超出啮合副中一个齿轮的变位极限时，则可使一个也可以使两个齿轮为变位齿轮；若 $\Delta A_{\text{总}}$ 超出了—个齿轮的变位极限时，就必须把 $\Delta A_{\text{总}}$ 分配到两个齿轮上。倘若 $\Delta A_{\text{总}}$ 超出了两个齿轮的变位极限之和的话，就应改变齿轮几何参数，比如改变齿数、模数等。

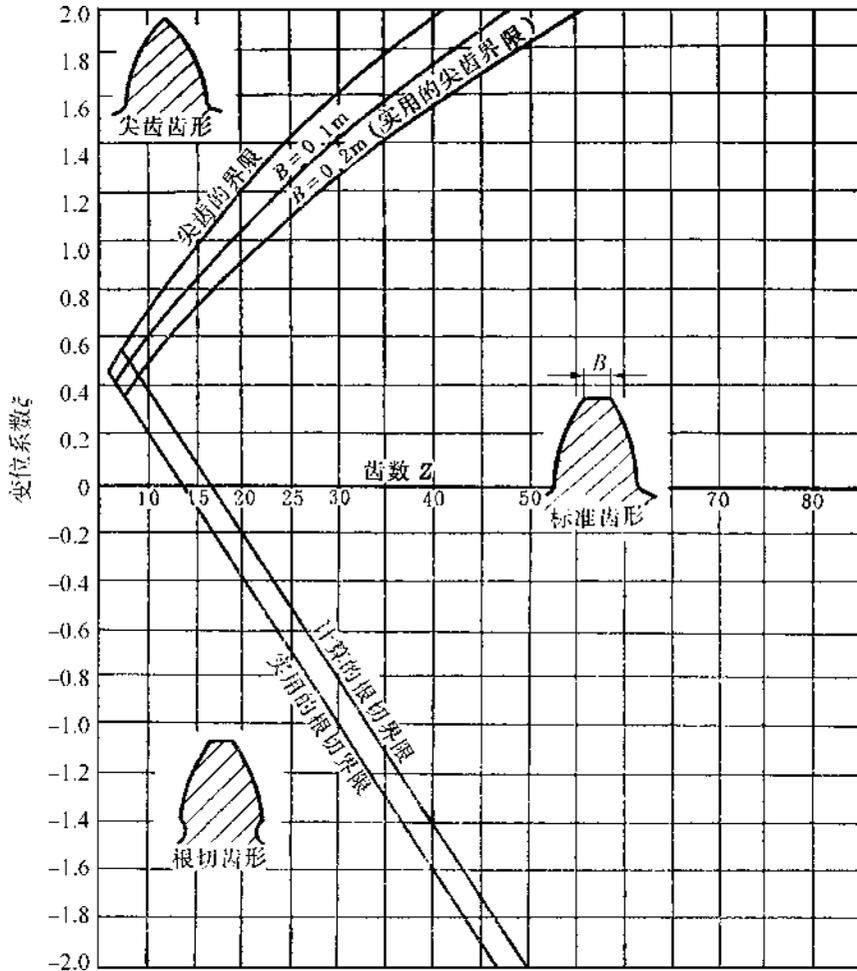


图 4-4 齿轮变位界限图

在齿轮变位界限图上，纵坐标表示变位系数 ξ ，横坐标表示齿轮的齿数 Z 。横坐标轴以上的曲线，表示变位齿轮顶厚 B 变尖的程度，其中 $B=0.2m$ 的一条曲线是实用的尖齿界限。在计算的根切界限以下，齿的根部将产生根切。在实际应用中，少量的根切还是允许的，但不能超出实用的根切界限。

(2) 变位齿轮的几何尺寸计算。齿顶圆经验公式如下：

$$D_{\text{顶}} = m(z+2) \pm 2\Delta A \quad \text{或} \quad D_{\text{顶}} = D \pm 2\xi m \quad (4-3)$$



式中: $D_{\text{顶}}$ —变位齿轮齿顶圆直径; D —标准齿轮齿顶圆; m —模数; z —齿数; ξ —变位系数; σ —齿顶高降低系数; ΔA —变位量。

公法线长经验公式如下:

$$L_{\text{实}} = L + 0.684\Delta A \quad (\text{压力角 } \alpha = 20^\circ) \quad (4-4)$$

式中: $L_{\text{实}}$ —变位齿轮公法线长; L —标准齿轮公法线长。

表 4-6 齿轮的极限变位系数 $\xi_{\text{限}}$

齿数 $\xi_{\text{限}}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
$+\xi_{\text{限}}$	0.4	0.6	0.8	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
$-\xi_{\text{限}}$	-	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3

(3) 实例

一对啮合齿轮模数 $m=3$, 小齿轮齿数 $z_1=25$, 大齿轮齿数 $z_2=32$, 压力角 $\alpha=20^\circ$, 则标准中心距 A 为:

$$A = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} = \frac{3 \times (25 + 32)}{2} = 85.5 \text{ mm}$$

假设通过排齿轮算坐标得出实际中心距 $A_{\text{实}} = 85.15 \text{ mm}$, 则

$$\Delta A_{\text{总}} = A_{\text{实}} - A = 85.15 - 85.5 = -0.35$$

$$\xi = \Delta A_{\text{总}} \div m = -0.35 \div 3 = -0.117$$

对照表 4-6, 变位系数不超出极限变位系数, 可使大齿轮为变位齿轮。其齿顶圆直径为:

$$D_{\text{顶}} = m(z+2) \pm 2\Delta A_{\text{总}} = 3 \times (32+2) - 2 \times 0.35 = 101.3 \text{ mm}$$

公法线长为:

$$L_{\text{实}} = L \pm 0.684\Delta A_{\text{总}} = 32.34 - 0.24 = 32.10 \text{ mm}$$

假设通过排齿轮算坐标得出的实际中心距为 82.5 mm , 则

$$\Delta A_{\text{总}} = A_{\text{实}} - A = 82.5 - 85.5 = -3$$

$$\xi = \Delta A_{\text{总}} \div m = (-3) \div 3 = -1.0$$

对照表 4-6 变位系数已接近极限变位系数, 则考虑将变位量分配到两个齿轮上, 小齿轮变位量为 $\Delta A_1 = -1 \text{ mm}$, 大齿轮变位量为 $\Delta A_2 = -2 \text{ mm}$ 。

$$D_{\text{顶1}} = m(z+2) \pm 2\Delta A_1 = 3(25+2) - 2 = 79 \text{ mm}$$

$$D_{\text{顶2}} = m(z+2) \pm 2\Delta A_2 = 3(32+2) - 4 = 98 \text{ mm}$$

$$L_{\text{实1}} = L_1 \pm 0.684\Delta A_1 = 23.192 - 0.684 = 22.508 \text{ mm}$$

$$L_{\text{实2}} = L_2 \pm 0.684\Delta A_2 = 32.342 - 1.368 = 30.974 \text{ mm}$$

5. 主轴直径的确定

1) 钻削类主轴直径的确定

确定主轴直径时, 首先要根据切削用量, 在大连组合机床研究所编制的《组合机床设计手册》(1988 年版) 中的 ZD-7~15 部分, 查切削力表可查得 M_0 , 然后根据手册中提供的材

料修改系数 K 计算扭矩 M , 其计算公式如下:

$$M = M_0 \cdot K (N \cdot m) \quad (4-5)$$

根据计算出来的扭矩 M , 在表 4-7 中可以对应查找到轴的直径。根据经验, 钻孔主轴的直径 d 和被加工的孔径 D 有表 4-8 所示的关系, 在该表中, 也可大致地确定钻孔主轴的直径。还可以根据第二章 2.4.3 节中计算扭矩的相关公式进行扭矩的计算, 然后将计算出来的扭矩数据代入表 4-7 中的公式 $d = B \cdot \sqrt[4]{M/10}$ 中去, 可计算出主轴直径。

表 4-7 轴能承受的扭矩 (N·m)

允许扭矩转角(φ) ($^\circ$)/m)				计算依据 $d = B \cdot \sqrt[4]{\frac{M}{10}}$
	1/4	1/2	1	
轴径 d (mm)				
10	0.35	0.69	1.40	式中: d ——轴的直径(mm); M ——轴所传递的扭矩(N·m); B ——系数。 B 值如下:
15	1.75	3.50	7.10	
20	5.50	11.00	23.00	
25	13.50	27.00	55.00	
30	28.00	56.00	114.00	
40	89.00	178.00	360.00	
50	217.00	434.00	880.00	
60	450.00	900.00		
70	830.00	1 670.00		
90	2 270.00	4 550.00		
100	3 460.00			
110	5 070.00			
120	7 180.00			
130	9 890.00			
140	13 300.00			
150	17 500.00			

注: 允许扭转角(φ)的适用对象, 推荐如下: 刚性主轴, 取 $\varphi = 1/4$; 非刚性主轴, 取 $\varphi = 1/2$; 传动轴, 取 $\varphi = 1$ 。

表 4-8 d 与 D 关系表

D (mm)	9~13	13~16	16~19	19 以上
d/D	1.3	1.2	1.1	1

2) 攻丝类主轴直径的确定

攻丝主轴的直径 d 和螺纹外径 D 与扭矩 M 的一一对应关系在表 4-9 中已表示出, 它们符合 $d = 6.2 \cdot \sqrt[4]{\frac{M}{10}}$, 如果知道了 M , 就可以应用该公式计算出螺纹外径 D ; 还可以在大连组合机床研究所编制的《组合机床设计手册》(1988 年版) 中的 ZD16~17 部分切削力表中查到 M_0 , 然后根据手册中提供的材料修正系数 K 计算出扭矩 M , 计算公式如下:

$$M = 3K \cdot M_0 (N \cdot m) \quad (4-6)$$

根据计算出来的 M , 在表 4-9 中可对应查找到主轴直径。



表 4-9 攻丝主轴直径的确定

被加工材料	铸铁		钢		计算依据
	扭矩 (N·m)	主轴直径 (mm)	扭矩 (N·m)	主轴直径 (mm)	
M3	0.32	8	0.44	10	$d = 6.2 \cdot \sqrt[4]{\frac{M}{10}}$ 加工铸铁 $M = 0.195D^{1.4}t^{1.5} (\text{N} \cdot \text{m})$ 加工钢 $M = 0.27D^{1.4}t^{1.5} (\text{N} \cdot \text{m})$ 式中: d —主轴直径(mm); M —扭矩(N·m); D —螺纹外径(mm); t —螺距(mm)。
M4	0.80	10	1.10	12	
M5	1.34	12	1.85	15	
M6	2.40	15	3.30	15	
M8	5.00	17	7.00	20	
M10	9.00	20	12.50	20	
M12	14.60	25	20.30	25	
M14	22.20	25	30.70	25	
M16	26.70	25	37.00	30	
M18	44.10	30	61.00	30	
M20	51.10	30	70.70	35	
M22	58.40	30	80.80	35	
M24	86.70	35	120.00	40	
M27	102.00	35	142.00	40	
M30	149.00	40	207.00	45	

4.2 主轴箱设计

4.2.1 标准(钻、镗类)主轴箱设计程序

1. 原始依据图的设计

根据“三图一卡”中的被加零件工序图绘制出一张主轴箱设计的原始依据图。

1) 原始依据图设计注意点

(1) 要按照一定比例,把主轴中心位置(实际上就是指被加工零件上孔的中心位置)一一对应地布置在平面图上。

(2) 这里特别强调的是:对于卧式机床,纵坐标方向位置不变,横坐标(正常是 X 方向坐标)的位置与被加工零件工序图上对应位置刚好相反(面对着主轴箱正前方看),否则设计出来的主轴箱将会报废,见图 4-5(a)和 4-5(b)(图中相关参数从略)。而对于立式机床,则纵坐标(正常是 Y 方向的坐标)的位置与被加工零件工序图上对应位置刚好相反(面对着主轴箱正上方),横坐标方向位置不变。

2) 原始依据图的主要内容

- (1) 所有的主轴位置;
- (2) 主轴转速和方向;
- (3) 各主轴承担的工序内容及其外伸长度;
- (4) 主轴箱外形尺寸及相关联系尺寸(在原始依据图的基础上);
- (5) 动力箱型号(含电机功率)。

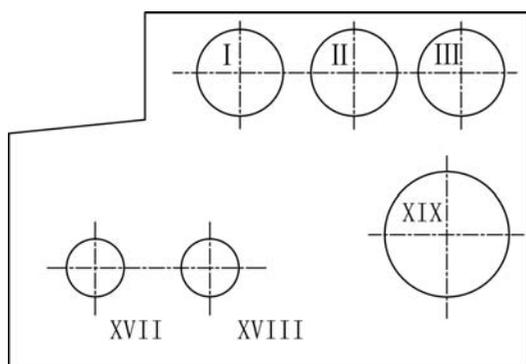


图 4-5(a) 溜板箱加工工序图(简图)

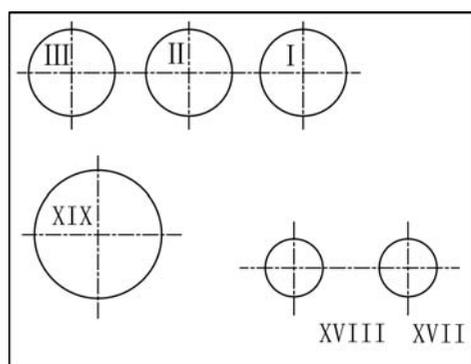


图 4-5(b) 主轴箱设计原始依据图(简图)

2. 传动系统的设计与计算

传动系统的设计与计算,是主轴箱设计的核心所在,也就是我们通常所说的“排齿轮、算坐标”。对于初学者来说,一开始往往会束手无策,但是只要设计过几次,在设计过程中找窍门、摸规律,就很容易掌握主轴箱的设计要领。

1) 传动系统设计的一般要求

(1) 传动设计一开始,在已确定了主轴直径和结构的基础上,首先要检查一下相邻主轴的轴间距,对于小于表 4-10 中推荐的数值的轴间距,应考虑将相邻的主轴剔除出去,另行安排到其他主轴箱中。

(2) 确定主轴转速参数时,不仅要有理论依据,更要结合用户实际生产现状和工艺要求。主要是根据刀具的材质和种类,合理地选择切削参数来确定主轴的转速。

(3) 在同一主轴箱中,所有的主轴转向必须一致,否则机床将无法工作。

(4) 在保证主轴的强度、刚度、转速和转向要求的前提下,力求使传动轴和齿轮为最少。应尽量用一根传动轴带动多根主轴;当齿轮啮合中心距不符合标准时,可采用齿轮变位的方法来凑中心距;但变位齿轮的品种不能过多,同时,传动轴带动过多的轴,还要考虑它的承载能力和过多的变位齿轮。

(5) 在保证有足够强度的前提下,主轴、传动轴和齿轮的规格要尽可能少,以减少各类零件的品种。

(6) 通常应避免通过主轴带动主轴,否则将增加主动主轴的负荷,必要时可采取空套(不带键)过桥齿轮的办法。

(7) 最佳传动比为 1~1.5,但允许采用到 3~3.5,尽可能不超过 4。

(8) 粗加工主轴上的齿轮,应尽可能靠近前支承,以减少主轴的扭转变形,粗、精传动路线最好分开。

(9) 刚性镗削主轴上的齿轮,其分度圆直径要尽可能大于被加工孔径的直径,以减轻振动,提高传动的平稳性。

(10) 齿轮在传动过程中,应尽量按降速布置,避免升速传动,必要时,升速最好放在传

动系统的最末一或二级,以减少功率耗损。

(11) 排齿轮时,尽可能将齿轮排在主轴箱体内的 I、II、III 排上,前盖和后盖内尽可能不排或少排齿轮,否则给齿轮的润滑带来困难,小型主轴箱利用本身齿轮飞溅润滑,大型主轴箱要考虑增加油泵润滑。

(12) 齿轮排好后,还要在合适位置增加一手柄轴,以便调整刀具。

表 4-10 通用主轴的最小轴间距

(单位:mm)

主轴直径	20	25	30	35	40	50	60
20	48						
25	50.5	53					
30	55.5	58	63				
35	60.5	63	68	73			
40	64.5	67	72	77	81		
50	69.5	72	77	82	86	91	
60	79.5	82	87	92	96	101	111

滚珠主轴

主轴直径	15	20	25	30	35	40
15	36					
20	39.5	43				
25	44.5	48	53			
30	49.5	53	58	63		
35	54.5	58	63	68	73	
40	58.5	62	67	72	77	81

滚针主轴

主轴直径	主轴箱型式	主轴直径					
		15	20	25	30	35	40
15	卧	24					
	立	24					
20	卧	32	35.5				
	立	32.5	38.5				
25	卧	35.5	39	42.5			
	立	36	42	45.5			
30	卧	40.5	46.5	50	52.5		
	立	41.5	48.5	52	58.5		
35	卧	45.5	51.5	55	57.5	62.5	
	立	45.5	51.5	55	58.5	62.5	
40	卧	48.5	54.5	58	60.5	65.5	68.5
	立	50	57	60.5	57	67	75.5

攻丝主轴							
主轴直径	主轴箱型式	主轴直径					攻丝靠模规格代号
		15	20	25	30	35	
15	卧式	28.5/33					1
	立式	28.5/33					
20	卧式	32/33	35.5/35.5				2
	立式	32/33	36.5/38.5				
25	卧式	41/39.5	44/39.5	53/46			3
	立式	41/39.5	44/42	53/46			
30	卧式	46/47	49/47	58/53.5	63/61		4
	立式	46/47	49/48.5	58/53.5	63/61		
35	卧式	47	51.5	55	61	62.5	4
	立式	47	51.5	55	61	62.5	

2) 齿轮传动路线设计的具体方法

(1) 当主轴数量较少,而且分布空间较散时,可从驱动轴经过一对或几对齿轮降速直接传到主轴上。

图 4-6 为两根主轴的主轴箱传动线路图,箱体轮廓尺寸 $B \times H = 600 \times 400$ mm。图 4-6 (a) 中 1、2 为主轴,转速 $n_{主} = 320$ r/min,0 为驱动轴,转数 $n_{驱} = 500$ r/min。这个主轴箱的齿轮传动路线的设计是符合主轴数量较少,分布空间较散原则的。图 4-6 (b) 是根据这个原则设计的传动路线的两种方案。

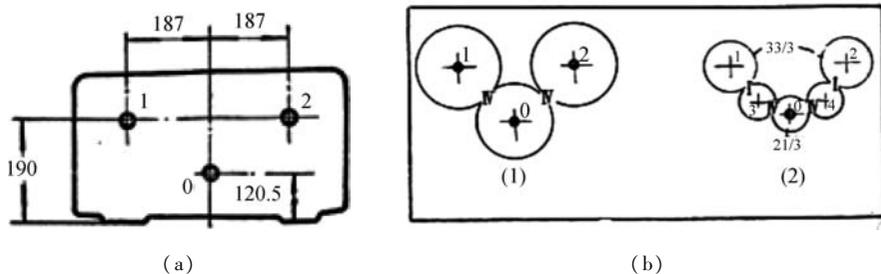


图 4-6 两根主轴的主轴箱传动路线图

方案 1:由驱动轴经过一对齿轮降速直接传到主轴 1 和 2 上。这时驱动轴上的齿轮节圆直径达 150 mm,超过了动力箱用齿轮的标准规定,所以这个方案是不够合理的。

方案 2:由驱动轴经过两对齿轮降速直接传到主轴 1 和 2 上。根据动力箱用齿轮的标准规定 $z = 21 \sim 24$ 。因为主轴转数 $n_{主}$ 小于驱动主轴数 $n_{驱}$ 是降速,所以驱动轴上应取较小的齿轮。假定取 $z = 21, m = 3$,这时主轴上的传动齿轮由下式决定:

$$\frac{z_{主}}{z_{驱}} = \frac{n_{驱}}{n_{主}}, \quad z_{主} = \frac{z_{驱} \cdot n_{驱}}{n_{主}} \quad (4-7)$$

将已知值代入上式得：

$$z_{\text{主}} = \frac{21 \times 500}{320} = 33$$

这个方案是比较合理的。

(2) 当主轴数量较多,而且分布较密集时,则应该先从主轴传动着手,选取不同的传动轴,用传动轴分别传动几根主轴,最后与驱动轴相连接。生产中常遇到的主轴分布情况,可归纳为图 4-7(a)所示的几种情况。图 4-7(b)所示为几种圆周分布主轴的传动实例。

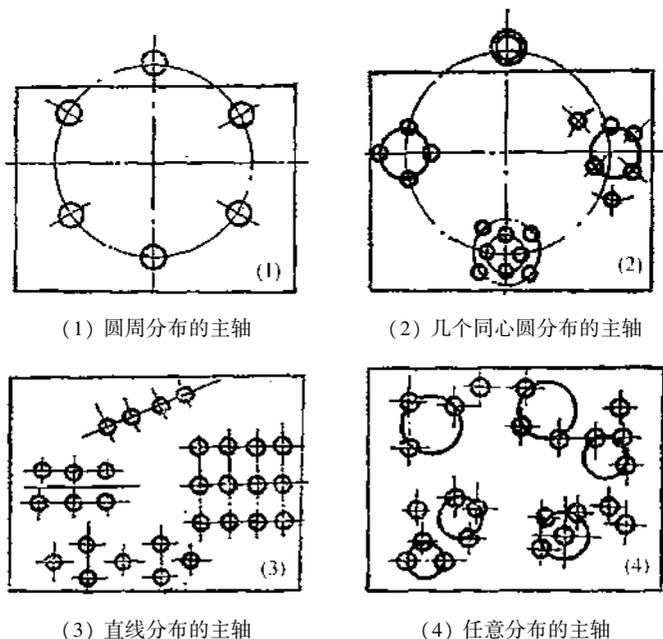


图 4-7(a) 主轴的典型分布型式

对于直线分布的主轴,可以采用一根传动轴同时传动几根主轴;或者选它们的近似圆的圆心,在圆心的位置上布置传动轴同时传动几根主轴。这时中心距可能会产生误差,经常采用齿轮变位的办法来解决。图 4-7(c)所示为几种直线分布主轴的传动实例。

对于任意分布的主轴,可以根据任意三点为一个圆的原则,在圆心位置上布置传动轴同时传动三根主轴;或者与直线分布的主轴一样,用一根传动轴同时传动几根主轴。图 4-7(d)为一根传动轴带三根主轴的传动实例,图 4-7(e)为一根主轴带四根主轴的传动实例。

图 4-8 为一车床溜板箱镗孔主轴箱齿轮排列平面示意图,虽然是 6 根主轴的(I、II、III、XVII、XVIII、XIX 为主轴),仅用 4 根传动轴(0、IV、V、VI 为传动轴)完成了该主轴箱的齿轮排列,体现了用最少的传动轴带动更多的主轴的原则,况且后面的设计、计算工作量大为减少。

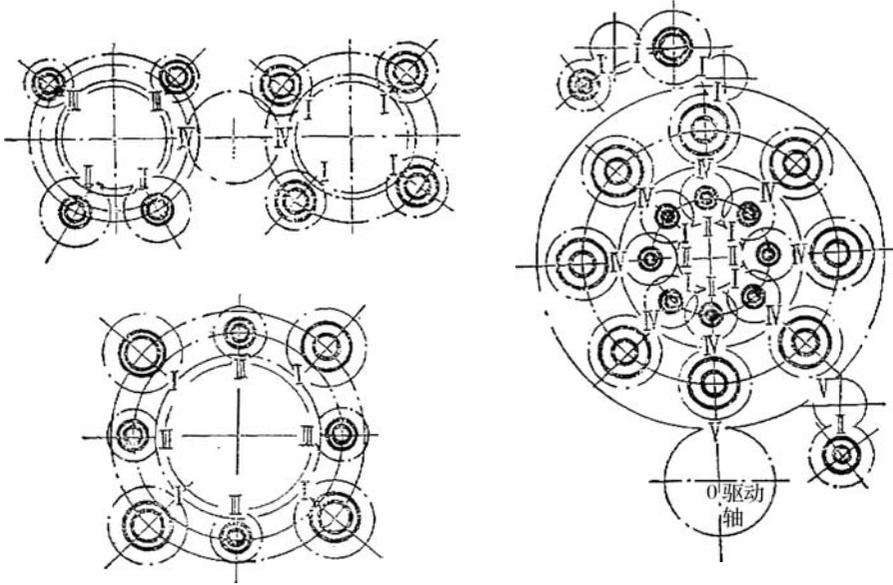


图 4-7(b) 圆周分布主轴的齿轮排列

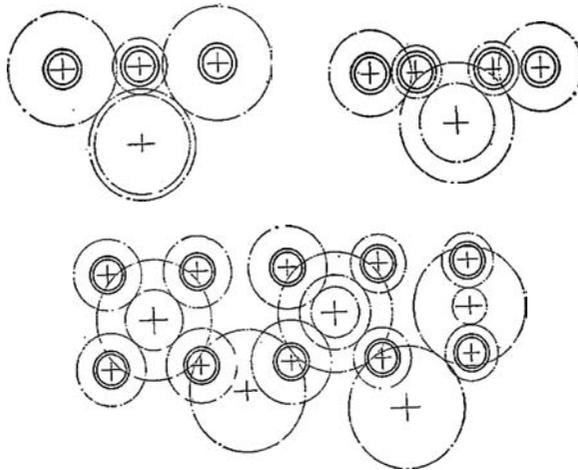


图 4-7(c) 直线分布主轴的齿轮排列

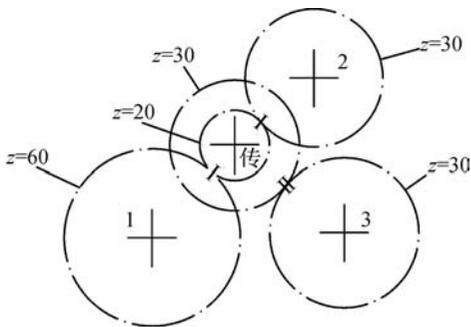


图 4-7(d) 一根传动轴带三根主轴传动图

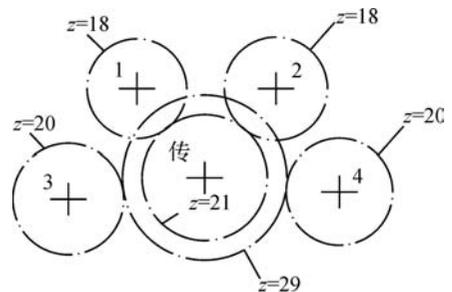


图 4-7(e) 一根传动轴带四根主轴传动图

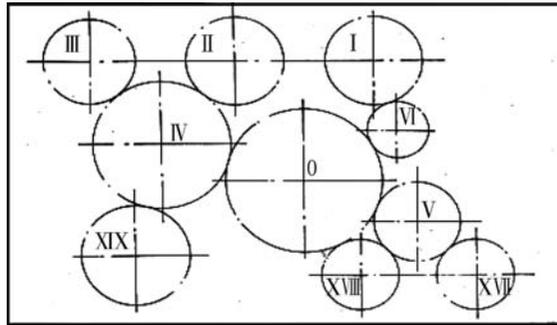


图 4-8 镗孔主轴箱齿轮排列示意图

3) 传动轴的坐标计算

传动轴坐标计算,目前广泛采用的方法是坐标分析法,如图 4-9 所示,其优点对于初学者容易掌握,人们为了计算方便,分门别类地列出四十种情况(组合机床研究所编制的 HO701 指导资料中有具体公式介绍),计算时只要对号入座就可以了。但缺点是计算麻烦,公式中正负号不明确。后来有人采用坐标变换法,虽然正负号容易分清,但是坐标变换比较困难,学过解析几何的人都深有体会。另外,还有人提出作图法(即逐步放大法),但不够精确。坐标计算方法很多,要根据其具体情况可选其中任意一种方法。原则是计算方便,设计工作量最小为妥。

(1) 坐标分析法公式介绍

$$L^2 = a_2^2 + b_2^2 \quad D = \frac{R_1^2 - R_2^2 + L^2}{2L^2}$$

$$K = \sqrt{\frac{R_1^2}{L^2} - D^2} \quad X' = b_2 \cdot K \quad Y' = a_2 \cdot K$$

$$U = a_2 \cdot D \quad V = b_2 \cdot D$$

$$X = u \pm X' \quad Y = v \pm Y'$$

验标公式:

$$R_1 = \sqrt{X^2 + Y^2} \leq 0.001$$

$$R_2 = \sqrt{(X \pm a_2)^2 + (Y \pm b_2)^2} \leq 0.001$$

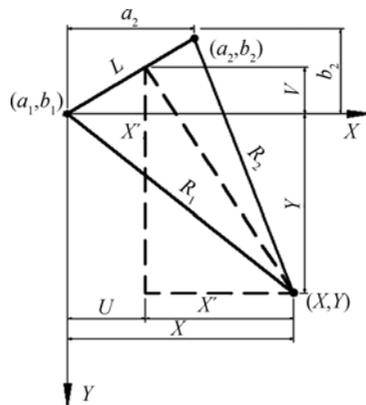


图 4-9 坐标分析法

(2) 实例

在一铸件某一面上用高速钢钻头加工 $2 \times \phi 5$ 和 $2 \times \phi 8.5$ 共四个孔, 转速分别为 800 r/min 和 500 r/min , 计算有关传动轴坐标。主轴箱设计原始依据简图见图 4-10, 齿轮传动路线图见图 4-11。

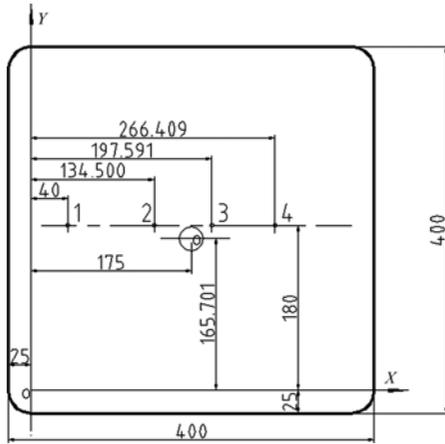


图 4-10 主轴箱设计原始依据简图

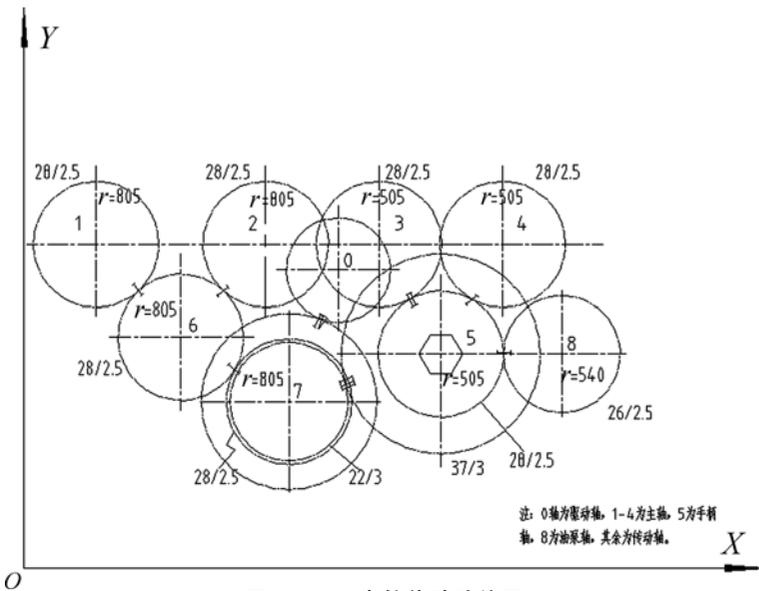


图 4-11 齿轮传动路线图

孔坐标尺寸表

	A	B	C
1	孔号	X	Y
2	1	40.000	180.000
3	2	134.500	180.000
4	3	197.591	180.000
5	4	266.409	180.000
6	5	231.992	119.036
7	6	87.250	128.353
8	7	147.497	92.711
9	8	299.492	119.036
10	0	175.000	165.701

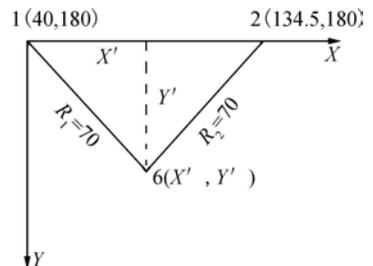
① 6 轴坐标计算:

已知 $X_1 = 40.000, Y_1 = 180.000, R_1 = R_2 = 70,$

$X_2 = 134.5, Y_2 = 180.000$

$$X' = \frac{134.5 - 40}{2} = 47.250$$

$$Y' = \sqrt{R_1^2 - X'^2} = \sqrt{70^2 - 47.25^2} = 51.647$$





$$\begin{array}{r} X_1 = 40.000 \quad Y_1 = 180.000 \\ +X' = 47.250 \quad -Y' = 51.647 \\ \hline X_6 = 87.250 \quad Y_6 = 128.353 \end{array}$$

② 7 轴坐标计算:

已知 $R_1 = 88.5, R_2 = 70, X_5 = 231.992, X_6 = 87.250,$
 $Y_5 = 119.036, Y_6 = 128.353$

计算 $a_2 = X_5 - X_6 = 231.992 - 87.250 = 144.742$

$b_2 = Y_6 - Y_5 = 128.353 - 119.036 = 9.317$

$L^2 = a_2^2 + b_2^2 = 21\,037.053, 2L^2 = 42\,074.106$

$$D = \frac{R_1^2 + L^2 - R_2^2}{2L^2} = 0.569\,693, D^2 = 0.324\,550$$

$$K = \sqrt{\frac{R_1^2}{L^2} - D^2} = 0.218\,535$$

$X' = b_2 K = 2.036\,091$

$Y' = a_2 K = 31.633\,119$

$U = a_2 D = 82.458\,504$

$V = b_2 D = 5.307\,830$

$X = U + X' = 84.494\,595$

$Y = Y' - V = 26.325\,289$

验算:

$$\begin{aligned} R_1 &= \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{84.494\,595^2 + 26.325\,289^2} = \sqrt{7\,832.357\,4} \\ &= 88.500\,607 \approx 88.5 (\text{误差} < 0.001) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= \sqrt{(a_2 - X)^2 + (b_2 + Y)^2} = \sqrt{3\,629.749\,809 + 1\,270.372\,765} \\ &= \sqrt{4\,900.122\,574} = 70.000\,875 \approx 70 (\text{误差} < 0.001) \end{aligned}$$

$X_5 = 231.992 \quad Y_5 = 119.036$

$$\begin{array}{r} -X = 84.494\,595 \quad -Y = 26.325\,289 \\ \hline X_7 = 147.497 \quad Y_7 = 92.711 \end{array}$$

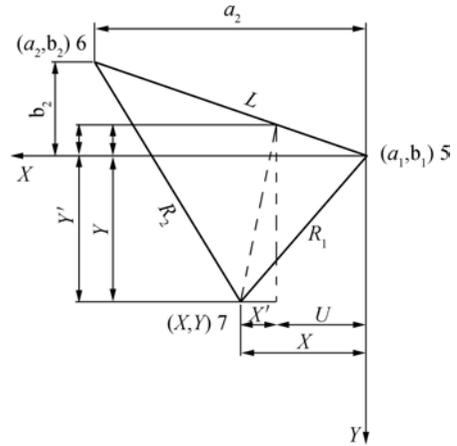
③ 5 轴坐标计算: 5 轴和 6 轴坐标计算方法完全一样, 故计算过程从略, 5 轴坐标为:

$X_5 = 231.992, Y_5 = 119.036$

④ 8 轴 (油泵轴) 坐标计算: $X_8 = 231.992 + (28 + 26) \times 2.5 \div 2 = 299.492, Y_8 = Y_5 = 119.036$

注: 1) 从以上例子计算看出, 在计算过程中, 一定要精确到小数点后第 6 位, 否则会出现误差。

2) 对计算出来的坐标数据, 最后还要转换到基准 (主) 坐标系中去。





3. 绘制坐标检查图

在坐标计算完成以后,要绘制坐标和传动关系检查图,进行全面检查传动系统的正确性。

1) 坐标检查图主要包括以下内容:

- (1) 通过齿轮啮合检查坐标位置是否正确,检查主轴转速和转向;
- (2) 进一步检查齿轮、轴、轴套、轴承等主要零件之间相互是否干涉。

2) 绘制坐标检查图的要求

- (1) 最好按 1:1 比例绘制;
- (2) 用点划线画出齿轮,并注明齿数、模数和排数,对于变位齿轮要注明变位量;
- (3) 主轴、隔套、轴承的外径用粗实线画出,并用不同的颜色加以区分。

4. 绘制主轴箱总图及零件图

坐标检查图完成并确认无误后,就着手绘制主轴箱总图,测绘零件图、编写装配表和主轴箱检查验收技术条件,为生产前充分做好各项技术准备工作。

4.2.2 攻丝主轴箱的设计

攻丝主轴箱的设计与钻削类主轴箱的设计程序和方法基本相同,在攻丝主轴箱设计中,还要介绍电机的制动,以及攻丝行程控制等一系列特殊问题。

1. 攻丝主轴直径的确定

关于攻丝主轴直径的确定,在本章 4.1.2 节中已介绍过,但在这里再强调一点是因为实际情况证明,由于丝锥钝化等原因,有时会使扭矩增加到原来的 2.5~3 倍,所以在计算整个攻丝主轴箱的切削功率时,应考虑这一因素,确定主轴直径时,适当富余些。

2. 攻丝电机的选择

选择攻丝电机时,除要考虑所需功率大小因素外,还要注意转速和制动方面的要求。由于攻丝主轴的转速一般都比较低,为了便于设计及简化传动系统,通常采用同步转速为 $n=1\ 000\text{ r/min}$ 的电机。但是,在相同的功率条件下,低转速电机较高转速电机的重量和尺寸都要大,故有时也采用同步转速 $n=1\ 500\text{ r/min}$ 的电机。

攻丝主轴箱一般都采取制动,以保证丝锥迅速而准确地停止在预定位置上。因此,可能时应选用制动电机,这样可以不另设制动机构。

3. 攻丝主轴—靠模系统的制动

为了消除攻丝主轴—靠模传动系统在其电机反转停止时的转动惯量,以便防止控制挡铁超程,达到丝锥能迅速而准确地停止在原位上的目的。除了一些轴数少且转动惯量小的攻丝主轴箱可不加制动外,其余攻丝主轴箱一律要加制动。

当前常用的制动措施有两种方式。一是采用制动电机,这是较好的制动方式。它不仅使攻丝主轴箱结构简化,而且制动效果也较好。二是采用电磁抱闸如图 4-12 所示。这种制动方式目前使用比较普遍。其制动效果与制动轮的转速有关,制动轮转速越高,其制动效果越好。

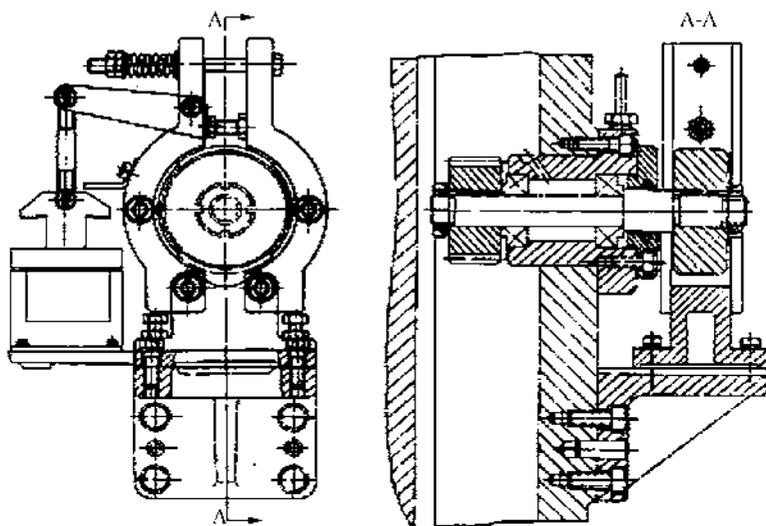


图 4-12 电磁抱闸

当没有外购的制动电机时,可以用普通电机加电机尾端的通用制动器进行改装。

4. 攻丝行程的控制

标准攻丝主轴箱是采用 T7941 攻丝行程控制机构(见图 4-13)来控制攻丝行程的。它可以安放在主轴箱的左侧或右侧,也可以安放在主轴箱的顶面上。

1) 攻丝行程控制机构的工作原理

攻丝主轴作正向切削回转时,通过齿轮 Z_1 和 Z_2 (往往在主轴与蜗杆轴之间还有传动轴),使蜗杆轴 3,蜗轮 4 和挡铁盘 5 也跟着回转。当丝锥攻到所要求的深度时,挡铁盘 5 也就相应转过了一定的角度,于是盘上的反向挡铁 10 压下反向开关 11,攻丝电机换向(即反转),丝锥也就反转退回。待丝锥退到原位,盘上的原位挡铁 9 重新压下原位开关 8,切断电机,主轴停止转动,至此,一个攻丝循环结束。若原位或反向开关失灵,互锁挡铁 6 随即压下互锁开关 7(超极限保护开关),使攻丝电机断电,实现超极限保护。

2) 关于攻丝主轴与挡铁盘之间齿轮传动比计算

丝锥每前进一个螺距 t 时(多头螺纹为一个导程),攻丝主轴需要转一转,故丝锥前进一个攻丝行程 L 时,则丝锥主轴转速 $n_{\text{攻}} = L/t_{\text{转}}$ 。

根据 T7941 攻丝行程控制机构上限位开关和挡铁的布置关系,在完成一个攻丝行程时,挡铁盘的回转角必须在 $280^\circ \sim 295^\circ$ 范围内,相当于挡铁盘转 360° 的 $0.78 \sim 0.82$ 倍。

因此,攻丝主轴到挡铁盘的传动应满足下式要求:

$$0.78 \sim 0.82 = \frac{1}{24} \cdot n_{\text{攻}} \cdot i \quad (4-8)$$

由此可以得出攻丝主轴至蜗杆轴的传动比 i :

$$i = z_1/z_2 = (0.78 \sim 0.82) \times 24 \cdot t/L \quad (4-9)$$

式中: $n_{\text{攻}}$ —主轴攻丝转数; L —丝锥攻丝行程(mm); t —螺距(多头螺纹为导程)(mm); z_1 —主动齿轮的齿数; z_2 —从动齿轮的齿数; i —攻丝主轴至蜗杆轴的传动比;24—蜗轮副的速比。

3) 攻丝主轴箱设计的其他注意点

(1) 为了简化主轴箱结构,攻丝主轴与蜗杆间的传动齿轮副应尽量少,只有一对为最好,如图 4-13 所示。

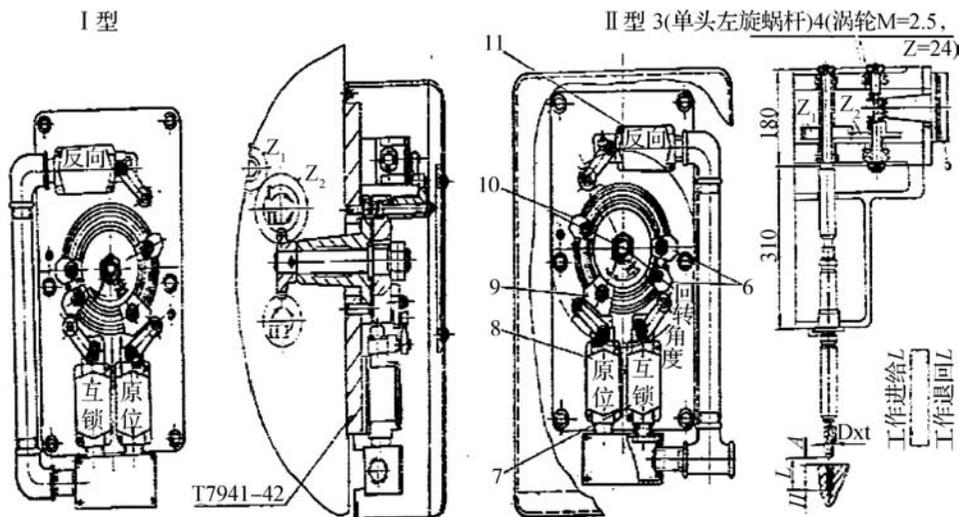


图 4-13 T7941 攻丝行程控制机构

(2) 应把攻丝行程控制机构设在主轴箱远离操作者的一侧或设在主轴箱顶面上。

(3) 设计攻丝主轴箱时,一般是先进行主轴传动系统的设计,然后再考虑攻丝行程控制机构的传动。

(4) 至于蜗杆与蜗轮的位置关系,即蜗杆在蜗轮的上方还是下方,可按具体需要而定,但要注意的是,在蜗杆转向不变的条件下,由于在蜗轮上下方之不同,挡铁盘的转向和攻丝行程控制机构的型号有 I、II 型之分。

4.2.3 主轴箱的润滑

主轴箱的润滑都采用循环润滑,由油泵打出的润滑油经油管进入分油器,再从分油器引出几根油管,分配到各个需要润滑的部位,经润滑后的润滑油又回到主轴箱箱体内,循环使用。

攻丝主轴箱的润滑应满足双向供油的要求,即丝锥在工作进给和工作返回过程中都必须供给润滑油使其充分润滑。

经验证明,一般的主轴箱只安装一个润滑油泵,但当主轴数量超过 30~35 根时,则应当考虑安装两个润滑泵,以保证主轴箱零件的充分润滑。



4.3 专用主轴箱的设计

4.3.1 刚性主轴的设计

在组合机床及其自动线上,当采用标准主轴箱不能满足加工工艺要求(如大直径深孔加工、平面加工等),或者难以保证加工精度时,就应设计专用主轴箱或专用头。

专用主轴箱和专用头种类较多,这里主要介绍刚性镗削主轴箱和铣削主轴箱的设计。在设计时,尽管需要考虑的因素很多,但最主要是主轴系统的设计。

在设计刚性主轴时,往往因为主轴参数选择不合理,使主轴刚性不足,造成切削时主轴振动,使被加工零件达不到要求的精度和粗糙度。所以在设计时,首先就要根据实际工作条件来确定主轴的各参数。

1. 主轴的主要参数(如图 4-14 所示)

D —主轴平均外径;

L —主轴支承距;

a —主轴的悬伸长;

d —空心主轴的内孔直径;

L/a —支承距与主轴的悬伸比;

d/D —主轴的直径比。

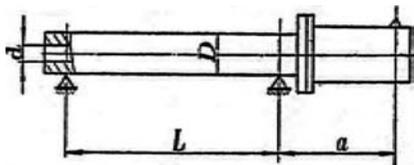


图 4-14 主轴的主要参数

2. 主轴参数的确定

确定主轴的各主要参数,通常是按照主轴的实际工作条件,参考有关经验数据,从多方面进行分析比较来确定。

1) 主轴悬伸长 a

在刚性主轴设计中,主轴悬伸量的大小是由被加工零件的需要而定的。如加工汽缸体缸孔的镗床,其刚性主轴的悬伸长就是根据缸孔的深度而定,如果短了就不能满足加工要求。

2) 支承距和主轴的悬伸比 L/a

这个数值直接影响主轴的刚度。悬伸比选择过小,主轴受力后产生的挠度和支承处的倾角就会增大,影响主轴的工作性能。例如有的镗床由于主轴的悬伸比选择过小(L/a 小于 $1 \sim 1.2$),加工时出现崩刀现象,所以在一般结构允许的情况下,应适当加大悬伸比。通常推荐 $L/a \geq 1.5 \sim 2$,精加工取大值。

3) 主轴的平均直径 D

这是决定主轴刚度的重要因素,由以下公式进行估算:

$$D = 0.73 \cdot \sqrt[4]{10M} \text{ (cm)} \quad (4-10)$$

式中: M —主轴传递的扭矩($\text{N} \cdot \text{m}$)。

这个公式很粗略,系数 0.73 是按主轴在 1 m 长度上允许的最大扭转角 $\varphi = 0.25^\circ$ 时考虑的。为确保主轴刚度,再将估算出的主轴平均直径根据推荐选用的刚度系数,按下式进行

核算:

$$R_b = 5\,300 \frac{D^4 - d^4}{L^3} \quad (\text{N}/\mu\text{m}) \quad (4-11)$$

式中: D —主轴平均外径 (cm); d —空心主轴内孔直径 (cm); L —主轴支承间距离 (cm)。

刚度系数 R_b 的数值,一般不低于 $250 \text{ N}/\mu\text{m}$ 。通常取 $R_b = 250 \sim 500 \text{ N}/\mu\text{m}$ 。精加工机床的刚性主轴,如精镗头的主轴,还可以考虑取 $R_b > 500 \text{ N}/\mu\text{m}$,根据多年来组合机床的使用经验表明,只要保证 $L/D = 4 \sim 7$ 的关系,就可以获得较高主轴刚性。

主轴的平均外径 D 确定后,就可以大致确定轴承配合处的轴径。通常主轴的前轴径应较主轴的平均外径大 $10\% \sim 15\%$,而后轴径大约要减少 $10\% \sim 15\%$ 。

4) 主轴内孔直径 d

在有些刚性主轴的设计中,主轴常采用空心的,主轴内孔直径 d 应选择适当,否则将会影响主轴的刚度。通常推荐主轴的直径比,即 $d/D \leq 0.5$ 。实践表明, d/D 值增大将使轴的刚度减弱, $d/D \leq 0.5$ 时,对主轴刚度影响不大。但是,当 $d/D = 0.7$ 时,空心主轴刚度比实心主轴刚度要降低 25% ,而当 $d/D > 0.7$ 时主轴刚度将会显著降低。

3. 主轴刚度的验算

主轴的刚度验算,主要是验算主轴在受力时的弯曲变形,即主轴前端的挠度 x 和前支承处的倾角 θ ,如图 4-15 所示。计算公式如下:

$$x = \frac{1}{3EJ} \left[Pa^2(a+L) - 0.5QC(L^2 - C^2) \frac{a}{L} - MLa \right] \quad (\text{mm}) \quad (4-12)$$

$$\theta = \frac{1}{3EJ} \left[PLa - 0.5QC(L^2 - C^2) \frac{C}{L} - ML \right] \quad (\text{rad}) \quad (4-13)$$

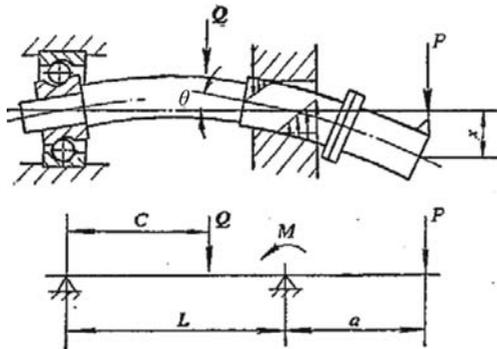


图 4-15 主轴挠度和倾角的计算简图

式中: E —主轴材料的弹性模数 (N/mm^2), 钢的 $E = 20 \times 10^4 (\text{N}/\text{mm}^2)$; J —前支承处的截面惯性

矩 (mm^4), 实心轴 $J = \frac{\pi R^2}{4}$, 空心轴 $J = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)$; R —主轴半径 (mm); r —空心轴中内孔半

径 (mm); M —轴支承的反力矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$); P —切削力 (N); Q —传动力 (N)。

通常取 $M = (0 \sim 0.35) Pa$, 当支承处采用单列球轴承时, 没有反力矩, $M = 0$, 当支承处采用多个球轴承或滑动轴承时, 才会产生反力矩, 而其最大值 $M = 0.35 Pa$ 。验算主轴刚度时,

也可以采用以下简单的许用值:

$$x_{\text{最大}} \leq 0.0002L(\text{mm}); \theta_{\text{最大}} \leq 0.001(\text{rad})。$$

4. 主轴的支承及轴承的选用

1) 刚性主轴支承系统

主轴支承的刚度也将直接影响刚性主轴的工作,如对某一铣削主轴刚度进行试验结果表明,由于主轴本身引起的变形占 50%~70%,而支承部分引起的变形占 30%~50%,因此对支承系统的刚度应引起足够的重视,必须根据主轴实际工作条件和不同用途选用和配置合理的轴承,以确保主轴支承系统的刚度。组合机床常用的刚性主轴部件支承简图见表 4-11 所示。

2) 轴承的选用

主轴支承通常采用滑动轴承和滚动轴承两种。滑动轴承虽然有抗振性能好,工作平稳,径向尺寸小等优点,但装配、润滑、密封等技术要求严,因此采用较少。滚动轴承具有尺寸小,转速高,寿命长,装配、润滑和密封简单,因此被广泛应用。

在中等转速和低转速下,采用圆锥滚子轴承,以承受较大的径向力和轴向力。在高速精镗时,轴向力比较小,也常采用向心推力球轴承,成对使用。为了得到较大的接触角,把两个宽边相对,在有预紧力的情况下,可以承受径向载荷和轴向载荷。向心推力球轴承的装置方式不同,其支承刚性也不同。如图 4-16(b)所示,是将轴承外圈的宽边相对,通常称为“背对背”安装,其刚球接触压力线沿轴线方向扩散,轴承的支承刚性强。图 4-16(a)所示轴承的外圈窄边相对,俗称“面对面”安装,其接触压力线沿轴线方向收敛,因而轴的支承刚性较弱。如果把轴承的宽边和轴承的窄边靠着,即“平行”安装,轴承内接触压力线的方向一致,如图 4-16(c)所示。这种结构通常用于承受单向的轴向力。

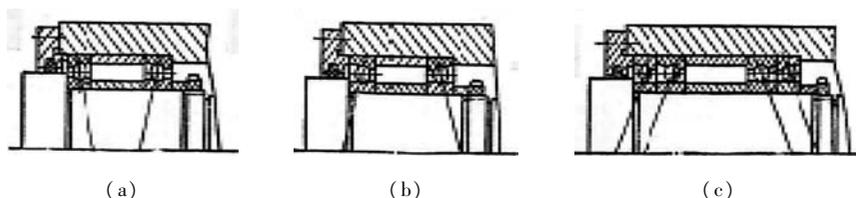
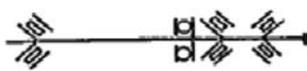
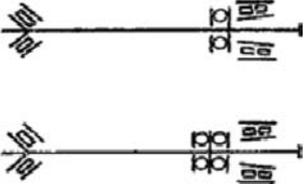
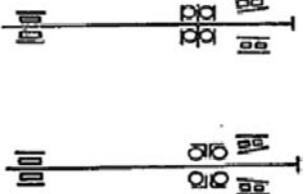
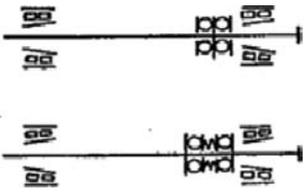
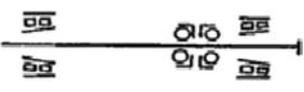
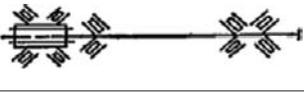
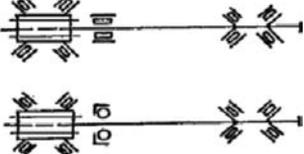


图 4-16 向心推力球轴承的配置

3182100 系列双列短圆柱滚子轴承和推力轴承的配合使用。这种结构多用于转速不十分高,而且轴向力较大,或要求轴向刚性比较高的情况下。一个支承处可以装一个或两个推力轴承,如图 4-17 所示。

表 4-11 组合机床常用刚性主轴部件支承

支承简图	简要特性
	<p>前支承正、反装两个 7000 系列的圆锥滚子轴承,后支承也采用圆锥滚子轴承。前支承处采用 8000 系列的推力球轴承,以承受轴向力。</p> <p>这种结构支承刚性好,承载能力高,适用于粗镗,有时也用于铣削。</p>

支承简图	简要特性
	<p>前支承用 3182100 系列双列向心短圆柱滚子轴承,后支承采用 7000 系列圆锥滚子轴承,以承受径向力。在前支承处装置一个(或一对)8000 系列的单列推力球轴承,以承受单方向(或双方向)的轴向力。</p> <p>这种结构支承刚性较好,可以承受较大的轴向力。适合用于粗镗和半精镗。</p>
	<p>前支承用滑动轴承,后支承用 7000 系列圆锥滚子轴承,在后支承处装置推力球轴承,用来承受轴向力。</p> <p>这种结构抗振性好,但转速不能很高。粗精加工均有采用。</p>
	<p>前支承用 3182100 系列的双列向心短圆柱滚子轴承,后轴承用 2000 或 32000 单列向心短圆柱滚子轴承,来承受径向力。两个方向的轴向力靠前支承处的 8000 系列推力球轴承承受。</p> <p>这种结构,轴的热变形较小,可以保证轴刚度,适于精加工。</p> <p>有时也采用 36000 或 46000 系列的向心推力球轴承,代替 8000 系列推力轴承,以提高支承刚性和抗振能力。适用于高速精加工。</p>
	<p>前后支承均采用 3182100 系列的双列向心短圆柱滚子轴承,并在前支承处配置一对 8000 系列推力球轴承,用以承受两个方向的轴向力(如上图)。为使推力轴承保持一定的预紧力,在两推力轴承间加弹簧,以消除间隙(如下图)。</p> <p>这种结构可以得到很高的径向和轴向刚度,多用于精密加工,如精镗头。</p>
	<p>前后支承与上面一种相同,只是在前支承处配置了一对“背对背”安装的 36000 或 46000 系列向心推力球轴承,代替推力轴承。</p> <p>这种结构提高了支承的径向刚性和精度。适用于高精密加工。</p>
	<p>前后支承均采用成对配置的并带预紧的 36000 或 46000 系列的向心推力球轴承。</p> <p>这种结构多用于高速轻载的情况下,如精镗。</p>
	<p>前后支承均采用 7000 系列的圆锥滚子轴承,动力由尾部花键套传来。</p> <p>这种结构承载能力较大,是最常见的铣削主轴结构。</p>
	<p>结构与上一种相同,只是在前支承处装置一个 8000 系列推力球轴承,以承受轴向力。</p>
	<p>前支承采用 7000 系列圆锥滚子轴承,后支承采用 2000 和 32000 系列圆柱滚子轴承,或者用 360010 和 46000 系列向心推力球轴承。</p> <p>这也是铣床主轴常用的结构。</p>
	<p>前支承采用 3182100 系列双列短圆柱滚子轴承,后支承采用 2000 或 32000 系列圆柱滚子轴承,前支承处配置一对 8000 系列推力球轴承,以承受轴向力。</p> <p>这种结构一般说来,精度和支承刚性都较高。适于要求精度较高的精铣主轴。</p>

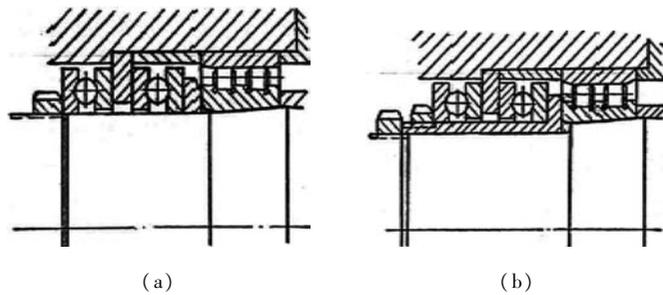


图 4-17 3182100 和 8100 系列配合使用

图 4-17(a) 是装两个 8100 系列推力球轴承的支承结构。这种结构中推力轴承的轴向间隙的调整,是和 3182100 轴承的径向间隙一起调整的。这种结构的特点是,比较简单与紧凑,所以这种结构用得比较广泛。

图 4-17(b) 所示,是把推力球轴承的轴向间隙和 3182100 系列轴承的径向间隙分开来调整。前螺母用于调整推力球轴承的轴向间隙,后螺母用于调整 3182100 轴承的径向间隙。这种结构的特点是,当调整 3182100 轴承间隙时,不至于使推力轴承的滚道产生印痕现象。

成对使用圆锥滚子轴承作为主轴支承的结构,目前应用甚广,铣削和镗削主轴都应用,实际使用情况表明,采用这种结构的主轴比装球轴承的加工质量要好,这是因为圆锥滚子轴承承载能力大,刚度高的缘故。

圆锥滚子轴承的配置可以分为两种:

(1) “正装置”——滚子大的一头对称,如图 4-18(a) 和 4-19(a) 所示,是用外圈调整间隙;

(2) “反装置”——滚子小的一头对称,如图 4-18(b) 和 4-19(b) 所示,是用内圈调整间隙。轴承内圈和轴的配合不得不放弃通常采用的过盈配合。

从图 4-18 中可以看出,“反装置”的优点是:轴承中心间距离 L 在相等的条件下,可使支承处有较高的刚性(由于 $L_2 > L_1$)。这种装置多用于主轴前轴承。

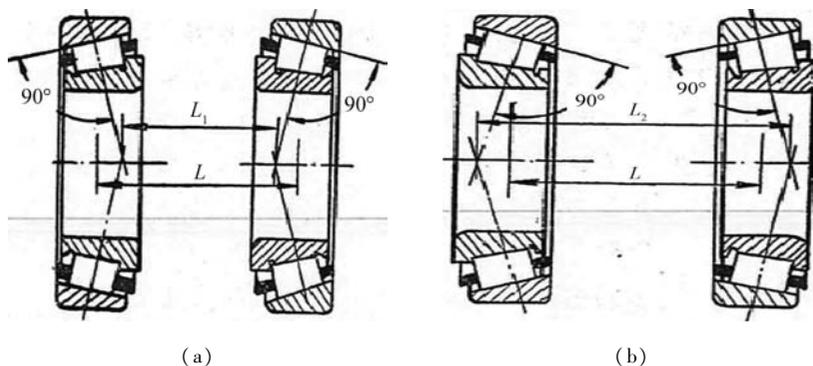


图 4-18 圆锥滚子轴承的装置

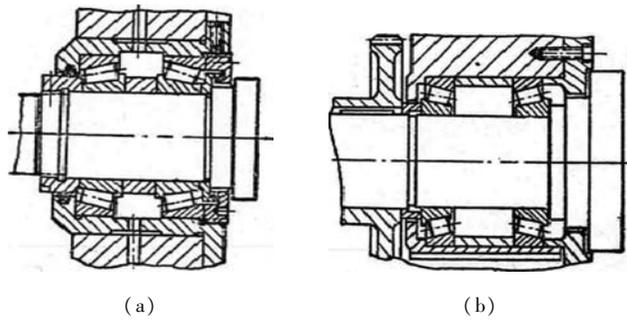


图 4-19 圆锥滚子轴承的支承结构

在配置轴承时,应当尽力避免出现配置不合理的现象。图 4-20(a)所示,在同一支承处使用两种不同类型的轴承:可调的圆锥滚子轴承和不可调的单列向心球轴承。这种配置是不合理的,因为圆锥滚子轴承不论在装配时还是机床维修时,都必须加以调整,以便得到合适的径向间隙。而单列向心球轴承是不能调整的,这样就会使单列向心球轴承间隙超过已装上的圆锥滚子轴承间隙。两轴承在支承处承受的载荷极其不均匀,球轴承实际上并没有起作用。

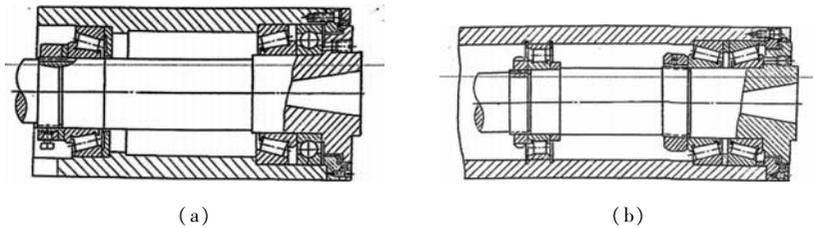


图 4-20 镗床主轴结构

图 4-20(b)所示是和上述工作条件相同的另一种配置结构,前支承处装置两个“反装”的圆锥滚子轴承,用来承受径向力和轴向力,后支承处用圆柱滚子轴承来承受径向力,这种结构是比较好的。

5. 轴承精度等级的选择

轴承的精度等级对主轴的工作性能影响很大,特别是刚性主轴,这一点尤其重要。如果精度选择不当,不能保证加工质量。

选择轴承精度等级,主要是根据主轴的工作条件和被加工零件的精度要求,即对主轴的径向跳动和轴向窜动的要求确定。

一般用于镗孔的刚性主轴的前轴承采用 P5 级就比较好了,如采用 P5 级的 3182100 系列的轴承与其相配的推力轴承可采用 P6 或 P0 级。

对于一些粗镗机床,轴承的精度等级的选择还可以适当低一些,一般取 P6 级即可。

只有要求比较高的精镗时,主轴前支承轴承才采用 P4 级,如精镗头的主轴前支承轴承用 P4 级的 3182100 系列轴承,相配对的推力轴承可选 P5 级。

6. 两种刚性主轴结构分析

(1) 图 4-21 所示,为粗镗缸孔的主轴,图中轴线上半部表示原先设计结构,采用两个

P0 级的单列向心球轴承与一个单向推力轴承配套组成前支承,悬伸比 $L/a=0.7$,粗镗切削力大,且单列向心球轴承的径向间隙又不能调整,导致主轴刚度低,出现崩刀现象。轴线下半部为改进后的结构,轴承改为两个 P6 级单列圆锥滚子轴承,成“反置式”配置,提高了支承刚度,主轴部件刚度也有所提高,消除了崩刀现象。

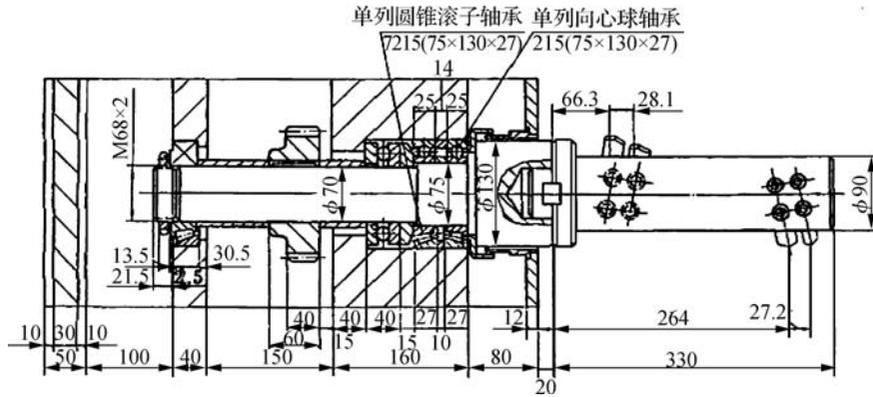


图 4-21 刚性主轴结构之一

(2) 图 4-22 所示,为精镗缸孔的主轴结构。轴线上半部为原先设计,切削试验就发现主轴刚度低,经计算,主轴悬伸比 $L/a=1.05$,主轴直径比 $d/D=0.6$,加之主轴与刀杆连接处的直径和刀杆中间隙的直径很细,因而刚性不足,工作时出现主轴颤动,表面粗糙度低,轴线下半部为改进后的结构,采用了滑动轴承,加大了主轴直径,刀杆与主轴又设计成整体结构,提高了主轴刚度,且滑动轴承有良好的抗振性,加工平稳,提高了加工粗糙度。

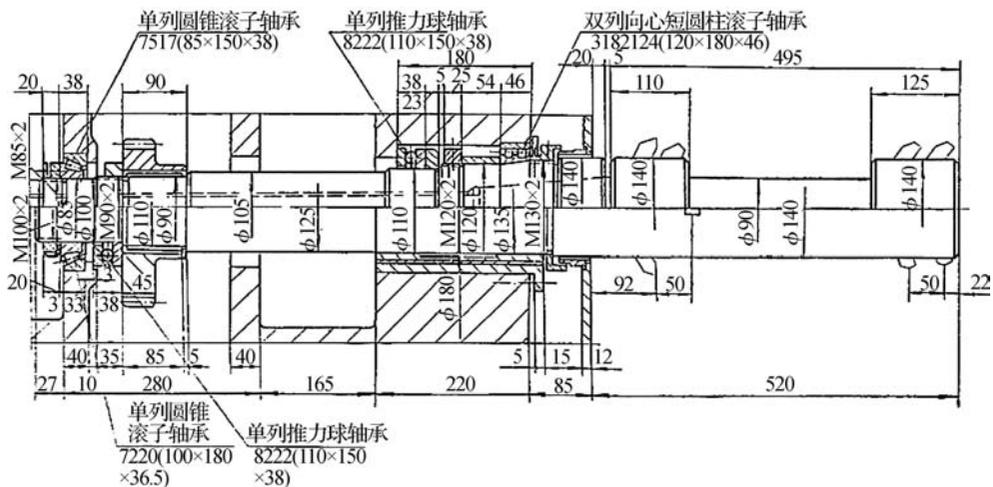


图 4-22 刚性主轴结构之二

4.3.2 刚性镗削主轴箱的设计

刚性镗削主轴箱是一种常见的专用主轴箱,有单轴的,也有多轴的,其特点之一是主轴有足够的刚性,刀杆与主轴采用刚性联接,加工时不需要依靠导向套和镗模;其次是主轴的



支承距较大;另外由于不采用导向卧式机床的纵向尺寸大为减少,立式机床总高度也相应会减小。

刚性镗削主轴箱的设计,最重要的是刚性主轴的设计,关于刚性主轴的设计前面已介绍过了,但是,除了主轴外,其他部分的设计也不能忽视。

1. 主轴箱体的设计

通过计算方法设计主轴箱体既麻烦又不可取,应在调查研究的基础上,参考成功的典型案例进行设计。

关于主轴箱体设计的注意点:

- (1) 受力大的地方要适当加大刚性,受力小的地方应酌情减薄壁厚,合理布置筋板;
- (2) 设计时应考虑使主轴上受的力尽快地通过轴承传到箱体上。这要求组成支承的受径向和轴向载荷的轴承,尽量设置在靠近主轴的前端;
- (3) 刚性镗削主轴箱,多数是安装在动力滑台上使用(进给运动由动力滑台实现),所以必须有足够的结合面和足够数量的螺钉,以保证有良好的连接刚性;
- (4) 为了缩短前轴承至镗刀(加工部位)的距离,刚性主轴箱可以不用前盖;
- (5) 为调整轴承方便,在箱体的相应位置上应开有小窗口并加盖;
- (6) 箱体的设计时,长、宽、高尺寸比例分配恰当,使外形美观得体。

2. 传动系统、轴、轴承和齿轮的设计

(1) 主轴上齿轮的布置对主轴有直接影响,通常精加工用的主轴,齿轮放于轴的尾部,这样传动系统的振动对主轴前端刀具影响较少,有利于保证加工精度。粗加工用主轴,切削负荷较重,齿轮可以放置于主轴的前部,以减少主轴的扭转变形。但是,若受到齿轮布置上的限制,也可以放置于尾部;

- (2) 传动系统中,多采用斜齿轮可以提高运动平稳性,斜齿轮的螺旋角一般取 15° 左右;
- (3) 为了减少传动系统的振动,扭矩的传递最好通过具有消震作用的元件,如齿形带,具有消震作用的联轴器,工程塑料齿轮等;
- (4) 为减少主轴的弯曲应力,在用带传动时,可采用卸荷装置;
- (5) 传动轴、轴承和齿轮的强度计算可按《组合机床常用标准手册》中所列公式进行。

3. 主轴与刀杆的连接常见有以下两种类型

(1) 靠圆柱孔和端面定位,用螺钉固紧,以端面键传递扭矩如图 4-21、图 4-23 所示。这种连接方式,装卸比较方便,应用较广,但需经常注意定位面的维护,以保持良好的定位精度;

(2) 主轴和刀杆制成整体的。这种形式可以消除结合面处的变形,增强主轴刚性。但是,加长了主轴的长度,对制造和维修都带来困难,如图 4-22(下半部)所示。

4. 润滑和密封

传动轴、轴承和齿轮的润滑,多采用 30 号机械油,由装在主轴箱内的润滑油泵供油,轴承部分若采用润滑油润滑时,应注意使机械油和润滑油分开,并在箱体上留有加润滑油的小窗口或油杯。

设计密封装置应考虑润滑剂的种类;供油方法;轴承的工作温度;周围介质情况及轴承的结构等。



当采用液体润滑油进行润滑时,可采用回转密封环密封结构,将带有骨架的耐油橡胶制成的密封环,用弹簧钢丝将其边压于轴上,使密封用的边和轴保持经常而均匀的压力。

当用润滑脂润滑时,可采用迷宫式和毛毡式结合使用的密封结构,有较好的密封效果。

对于立式主轴箱采用液体润滑油润滑,主轴前轴承采用润滑脂润滑时,可采用防油罩和防油套结构。

对于用润滑脂润滑和对密封要求不严的情况下,采用结构简单的毛毡密封圈。

5. 刚性镗削主轴及其主轴箱实例介绍

在过去长时间的组合机床的设计中,根据不同零件的不同工艺需要,设计过许多专用的刚性镗削主轴箱,现选择部分主轴和主轴箱结构介绍如下,供设计时参考。

(1) 图 4-23 所示粗镗汽缸套内孔的主轴,前支承采用两个滚锥轴承。轴向力由推力轴承承受。刀杆和主轴是圆柱定心,由端面键传递扭矩的结构。

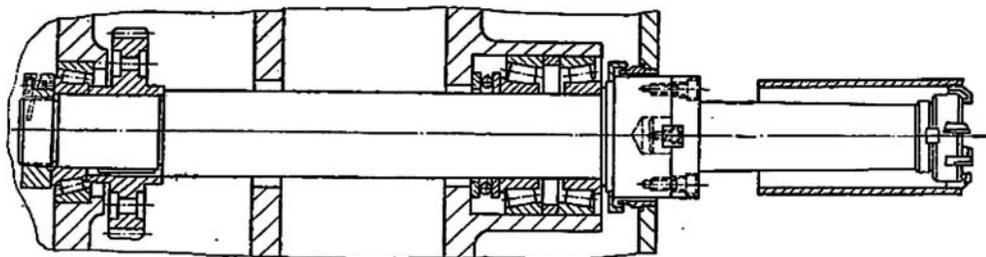


图 4-23 刚性镗削主轴结构

(2) 图 4-24 所示为一精镗头,它的主要特点:其一,主轴为一典型的刚性主轴结构,主轴前支承装有 3182100 系列双列向心短圆柱滚子轴承和 8100 系列推力轴承配合使用,后支承也装有 3182100 系列双列向心短圆柱滚子轴承,且主轴直径和支承距都取最大值,因而刚性好,精度高;其二,箱体中只有一根主轴,这种分离式独立结构,消除了多主轴结构的主轴间加工时的互相影响;其三,为了消除传动系统的振动影响,多采用带传动方式带动主轴转动,主轴还装有卸荷装置;其四,该镗头为了适应粗精加工的要求,设计时,精度按精加工要求设计,刚性和动力按粗加工要求设计。

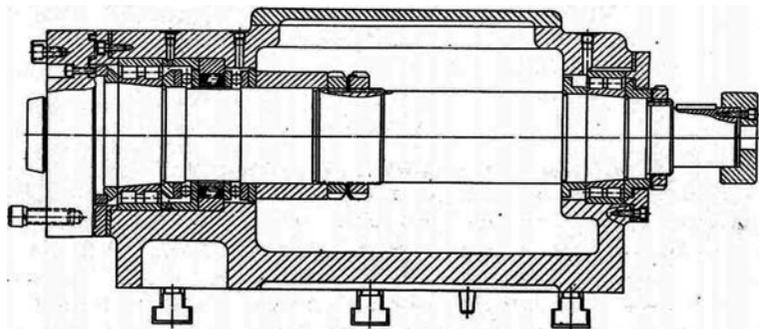


图 4-24 精镗头结构

(3) 图 4-25 所示为 1TA 系列镗削动力头主轴结构图,径向力由 3182100 系列双列向

心短圆柱滚子轴承承受,轴向力由 60° 接触角的 2268100 系列双向推力球轴承承受。该主轴结构基本上和 1TX 系列铣削动力头主轴结构类似,都是目前世界上大多数镗床及铣床所采用的典型结构。具有刚性好,精度高,调整简单方便等特点。

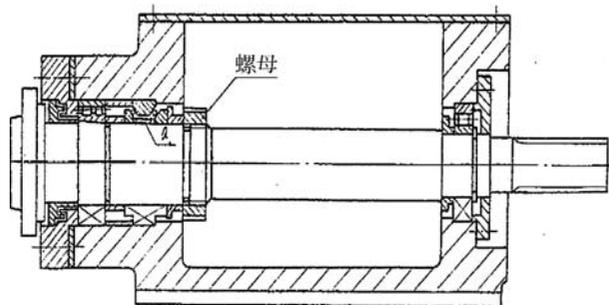


图 4-25 1TA 系列镗削头主轴结构

(4) 图 4-26 所示为一用于精镗四缸发动机缸体缸孔以及止口的四轴刚性镗削头主轴箱。

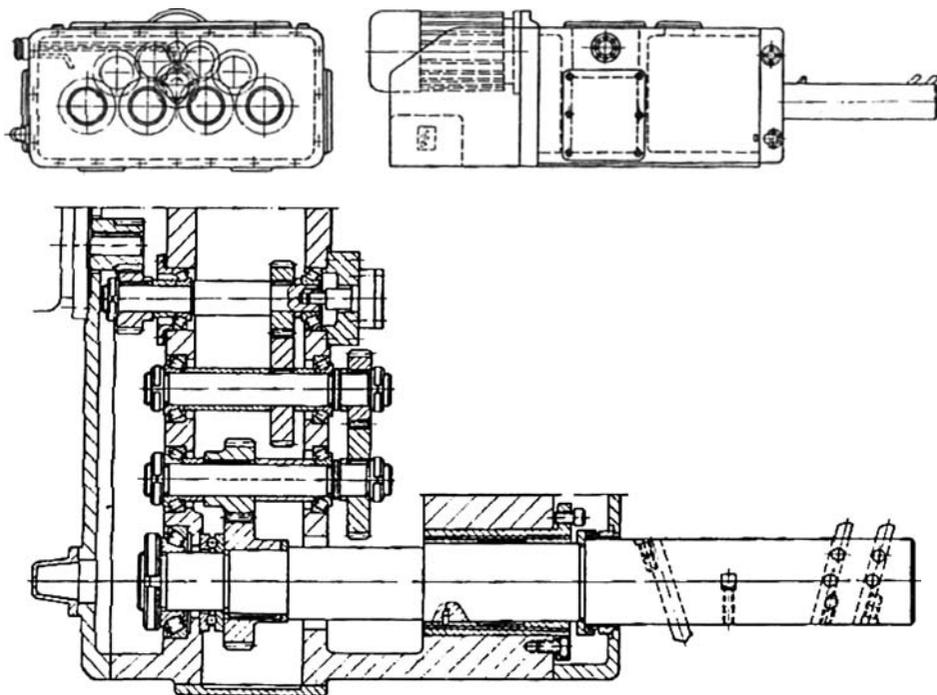


图 4-26 四轴刚性镗削头主轴箱

4.3.3 铣削主轴箱的设计

在组合机床上已广泛采用铣削的方法进行平面加工或铣槽等,尤其是加工汽缸体,汽缸盖等箱体类零件的生产流水线或自动线上,铣削加工已很普遍。由于被加工零件的形状和工艺要求的不同,往往通用的铣削部件不能满足要求,因而出现了形形色色的专用铣削主



轴箱。

1. 专用铣削主轴箱实例

(1) 如图 4-27 所示,这个专用铣削主轴箱固定在标准主轴箱的前端,动力头的旋转运动经主轴箱通过一对伞齿轮和一对圆柱正齿轮传递给铣削主轴,带动端铣刀进行平面铣削。

主轴在滑套中旋转,滑套具备移动和被锁紧的功能,以便调整切削深度和保证切削平稳,这是设计这种类型主轴箱的重要环节。

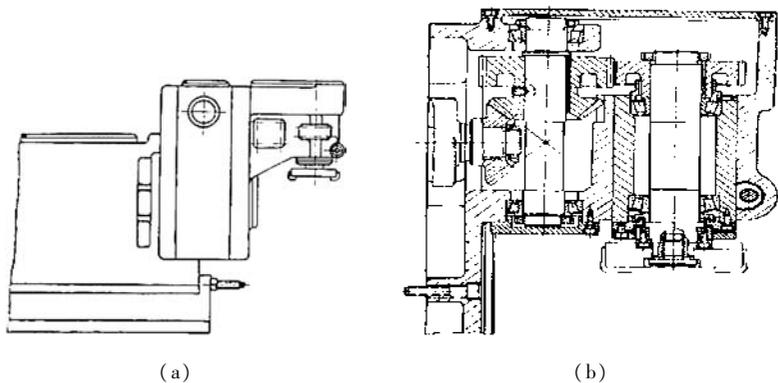


图 4-27 专用铣削主轴箱

(2) 如图 4-28 所示,这个主轴箱共有两根刀杆(铣轴),每根刀杆可以成对地装置 4 把铣刀,每两把铣刀装在一个套筒上。刀杆的两端支承在支架上,支架底面带有燕尾导轨,松开紧固螺钉,即可卸下支架,进行装卸刀具。

刀杆的旋转运动也是由动力头经标准主轴箱通过一对正齿轮和一对伞齿轮,再经过一对正齿轮带动的。

设计这类主轴箱时充分注意到刀杆的支承刚性,防止切削时振动,同时也要考虑到刀具装卸,调整的方便性。

2. 铣削主轴箱的设计

平面铣削属于不连续间断切削,被加工零件的平面往往是不连续的,在加工平面的同时工作的刀齿数在不同的瞬间又是变化的,这些因素都会引起切削力的变化,不断变化的切削力将产生切削振动,其振幅的大小取决于机床系统刚度的高低。特别是对于大走刀强力切削,其切削振动更为剧烈。

机床系统刚度对端面铣床来说,主要包括刀具刚度、主传动系统的平稳性,机床结构刚性以及夹具和被加工零件的刚性。

鉴于前面所述铣削加工的特殊性,在设计铣削主轴箱体时,除了遵循刚性镗削主轴箱体设计时的注意点外,还应注意的:

(1) 箱体的结构设计应尽量少开窗口,并且窗口应开在对箱体刚性影响不大的地方,窗口处应设置裙边。

(2) 应根据工件受力特点以及机床振型合理地布置筋板,“米”字形斜筋板有利于提高扭转刚性。

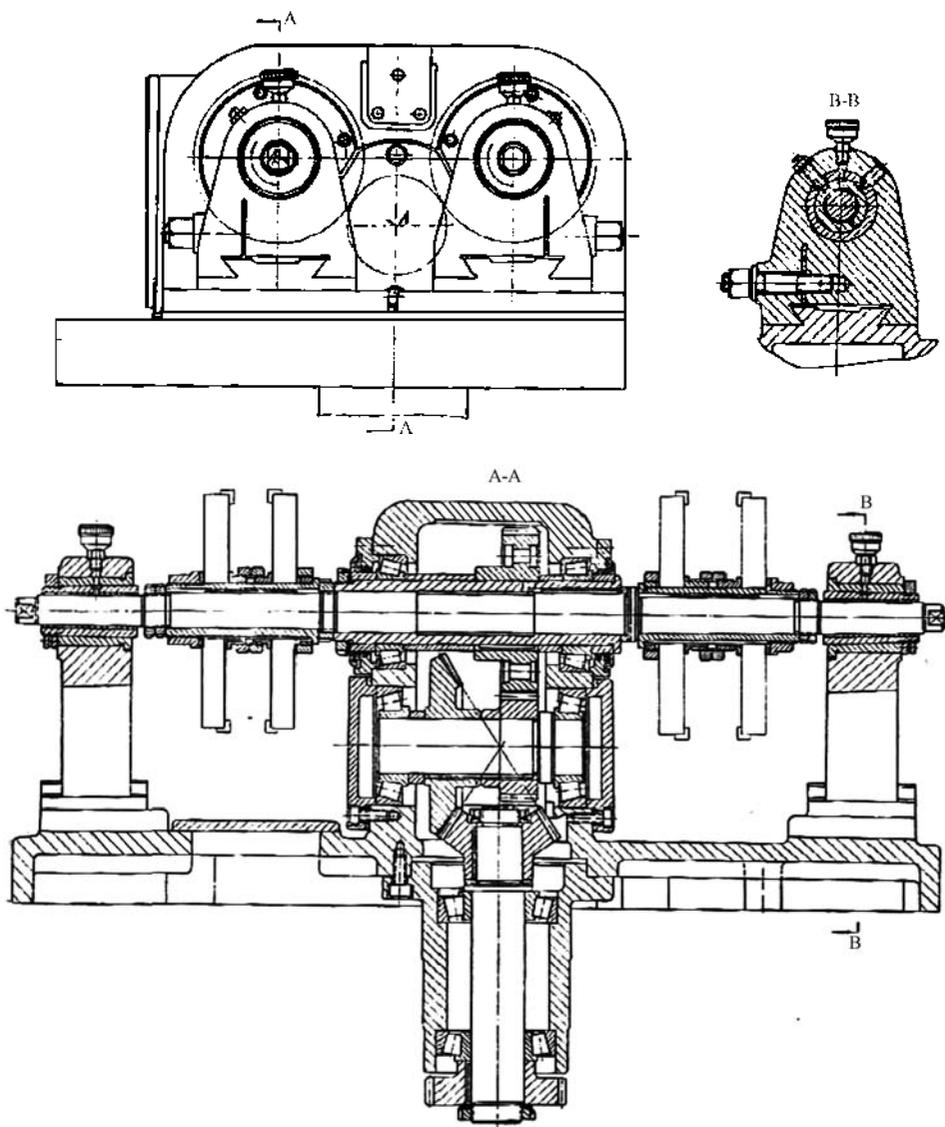


图 4-28 加工刹车蹄片的铣削主轴箱

(3) 单纯增加箱体壁厚不是提高刚度的唯一有效途径,而合理的选择筋板结构并合理的布置有利于提高结构刚度。

(4) 增加箱体轮廓尺寸并不是提高刚度的唯一有效方法。应在其结构上多加考虑,如箱体轮廓尺寸的长宽高比例分配得当,合理的过渡圆角,恰当的局部中空结构等。

3. 主轴结构的设计

1) 主轴轴承的选用

平面铣削特别是大走刀强力切削的径向力和轴向力都比较大,从而产生的振动更为严重,因此主轴结构应具有较大的抵抗振动的能力。

如图 4-29 所示为 1TX 系列铣削头主轴轴承结构,它是目前世界上大多数镗床及铣床

采用的典型结构,具有刚性好,精度高,轴承间隙可调整等特点。前后径向轴承采用 3182100 系列双列向心短圆柱滚子轴承,轴承的内锥孔与主轴锥面通过配磨(研)以得到较高的配合精度和接触刚度。通过螺母可以调整滚子和轴承的内外圈的间隙,进一步保证了轴承有足够的接触刚度。该轴承滚子直径较小,圆周上排列数较多,并且两排滚子是错开半个间距排列的,因此刚性好。

该主轴轴承结构还选用了 60° 接触角的 2268100 系列双向推力球轴承来承受轴向力。这种轴承在高速运转时,滚珠不会在离心力作用下偏离滚道,因此它又具有调整简单方便的特点。

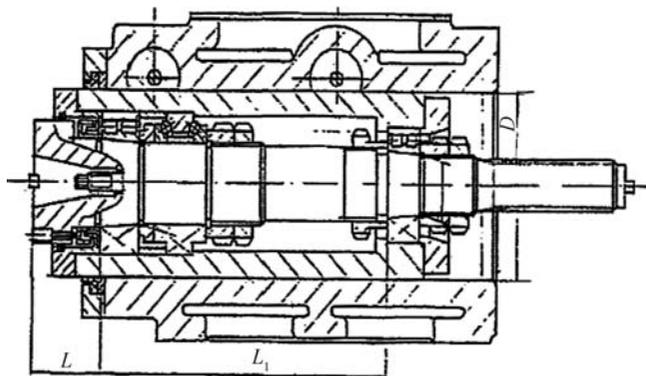


图 4-29 1TX 系列铣削头主轴轴承结构

2) 夹紧机构

在主轴移动调位前,滑套夹紧结构必须先松开,否则主轴无法移动调位,当移动调位结束后,滑套夹紧机构必须立即夹紧,主轴才能转动开始铣削。图 4-30 所示的这种楔块夹紧结构是目前应用最广泛的一种。转动螺栓 1 使两个楔块 2 抱紧滑套 3 实现夹紧。

图 4-31 所示为弹性套夹紧机构,当压力油从孔 1 进入,密封皮碗 2 挤紧弹性套 3 弹性套产生变形抱紧滑套 4 实现夹紧。

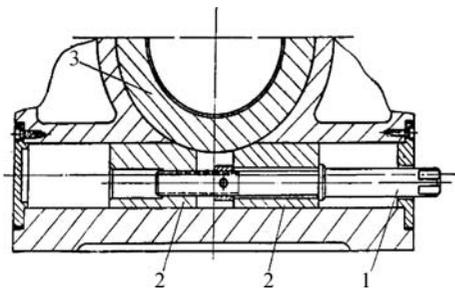


图 4-30 楔块夹紧机构

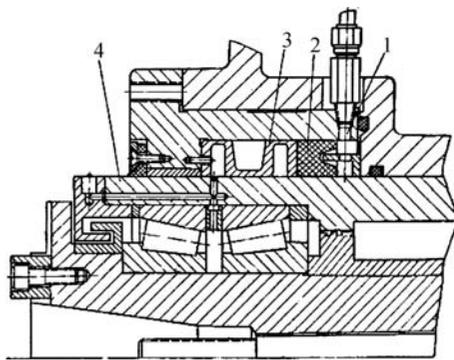


图 4-31 弹性套夹紧机构

3) 飞轮的配置

由于铣削多为断续切削,冲击力较大,容易引起振动,除加强主轴刚性外,采用在主轴上安装飞轮的办法减少振动,飞轮安装在主轴前段或后端均可以,视箱体结构而定,不是所有的铣削主轴上都安装飞轮,要看切削情况而定,还要看箱体内是否能放得下飞轮,也可以采用齿轮加厚的办法代替飞轮的作用。

4) 主轴与铣刀的连接

图 4-32 所示是应用最广泛的两种主轴和刀盘的连接结构,图(a)是用于装置较大刀盘的结构,采用主轴前端的圆柱和端面定位,图(b)是用于装置较小刀盘的结构,铣刀盘通过锥柄固定在主轴锥孔中,实现锥面定位,并用拉杆螺栓吊紧刀盘。

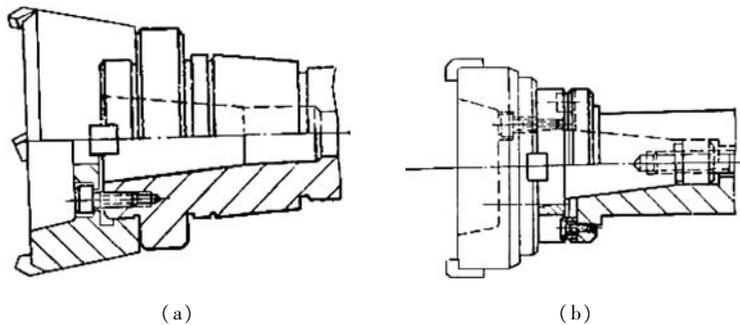


图 4-32 铣削主轴和刀盘的连接

5) 主轴自动让刀机构

主轴自动让刀机构的作用:其一防止刀具划伤已加工表面及破坏加工表面的粗糙度;其二防止刀具切削刃的磨损;其三完成进刀运动;其四加工阶梯表面;其五完成二次进刀。

图 4-33 所示为液压让刀结构,加工后夹紧油缸松开,让刀油缸后退,带动螺母、螺杆、法兰盘和滑套一起后退,使端铣刀离开已加工表面。此时工件在返回装卸工位的过程中,避免了刀尖划伤已加工表面,工件退至装卸工位后,让刀油缸再带动滑套前进,使端铣刀盘复位,夹紧油缸夹紧滑套,准备加工下一个工件。

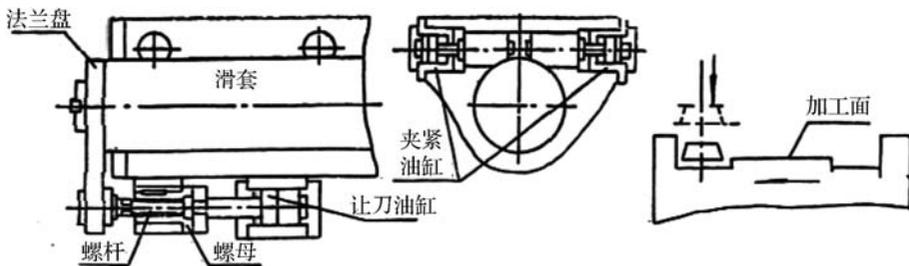


图 4-33 液压让刀机构

4.4 主轴箱设计软件平台

4.4.1 概述

随着 CAD 技术的推广和应用,传统的手工设计已不适应快速发展的经济形势的需要,目前,组合机床行业大多采用大连“宏软”或扬州大学的软件系统进行主轴箱设计,效率高,差错少。现简要介绍扬州大学的 WINBCAD 系统如下:

1. 系统的功能及应用范围

WINBCAD 系统是一个专业性软件,可应用于钻、扩、铰、镗、攻丝以及钻攻复合的组合机床主轴箱的设计,系统所需的原始设计数据来源于组合机床总体设计,即“三图一卡”,在此基础上,系统能够交互或自动地从事下述各项工作:

1) 多轴箱传动系统设计

- (1) 交互选择传动模型进行齿轮排列;
- (2) 传动轴坐标计算;
- (3) 各种几何干涉校核;
- (4) 传动零部件的强度校核;

2) 自动绘制所需生产图纸

- (1) 主轴箱装配总图;
- (2) 箱体补充加工图;
- (3) 前、后、侧盖补充加工图;
- (4) 专用零件图;
- (5) 隔套综合图;
- (6) 键套综合图;
- (7) 齿轮综合图;
- (8) 轴承隔套综合图。

3) 整理打印多轴箱零部件明细表

2. 系统功能主要特点

- (1) 模块交互化多轴箱传动系统设计;
- (2) 自动进行坐标计算,动静强度校核和几何干涉校核;
- (3) 自动绘制装配总图,通用部件补充加工图以及专用零件图;
- (4) 自动整理输出明细表和装配表;
- (5) 设计效率高,3~4 h 便可完成中等复杂程度多轴箱全部设计工作;
- (6) 系统工作稳定,设计质量可靠,可杜绝一切可能的几何干涉碰撞。

3. 系统运行流程(见图 4-34)

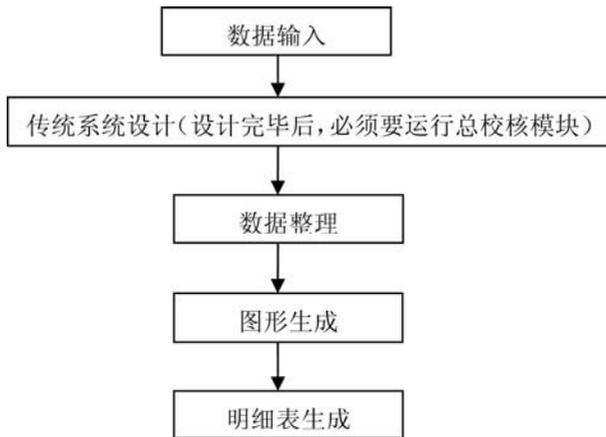


图 4-34 系统流程图

4.4.2 系统的组成

该系统主要由以下几个主要模块组成:

(1) 原始参数输入模块——完成原始数据的录入,检查所输入参数的正确性和合理性,并检查所输入的主轴轴承是否存在几何干涉现象。

(2) 传动系统设计模块——完成整个传动系统的设计,包括排齿轮、传动轴坐标计算、删除修改轴和齿轮、进行传动系统几何干涉校核、齿轮和轴强度校核。

(3) 数据整理模块——输入各个图形的图名,并进行同类型主轴合并,为生成图形作准备。

(4) 图形生成模块——自动生成多轴箱总装配图和补充加工图,自动生成 AutoCAD 的 DWG 格式的绘图文件,可通过 AutoCAD 对其进行修改绘制。

(5) 明细表生成模块——自动生成明细表,其形式为 DWG 绘图文件。

4.4.3 原始数据输入

该系统原始数据是采用全屏幕输入的方法,输入时可读原始数据或存贮原始数据,用户在输入数据之前应将多轴箱的数据按要求进行整理。数据输入可根据屏幕提示进行。

1. 原始数据输入格式

1) 总体描述数据项

- (1) 主轴根数(最多 100 根)。
- (2) 多轴箱立卧标识(0 表示卧式多轴箱 1,表示立式多轴箱)。
- (3) 主轴箱类型(1 钻,2 攻丝,3 钻攻复合)。
- (4) 箱体宽度。
- (5) 箱体高度(箱体规格见多轴箱箱体尺寸规格)。

2) 主轴数据

- (1) 主轴轴号;
- (2) 主轴 X 坐标(以左下角定位销孔为零点);
- (3) 主轴 Y 坐标(以左下角定位销孔为零点);
- (4) 主轴转速(r/min);
- (5) 主轴扭矩($N \cdot m$);
- (6) 主轴类型;
- (7) 主轴轴径;
- (8) 主轴的特征标识(0 非特征轴,1 特征轴即短主轴,2 用户定义轴(根据轴承的类型));
- (9) 主轴的转向标识(1 逆时针方向,-1 顺时针方向)。

3) 驱动轴数据

- (1) 动力箱规格(25,32,40,50,63,80);
- (2) 驱动轴转速(r/min)。

4) 第二根驱动轴数据

该数据项仅当主轴箱类型为钻攻复合时才有电机型号。

2. 实例

500 mm×500 mm 箱体,5 根主轴,动力箱规格为 25,驱动轴转速为 750 r/min 的钻削类卧式多轴箱,其数据分析如下:

主轴根数 5;

卧式多轴箱,立式标识为 0;

钻削类多轴箱,主轴箱类型为 1;

箱体宽度为 500 mm;

箱体高度为 500 mm;

主轴的具体数据由三图一卡提供,主轴类型可根据轴的类型说明,输入前面的序号。

动力箱规格选用 25;

动力箱驱动轴转速为 750 r/min 。

其数据为:

主轴根数		立卧标识	主轴箱类型		箱体宽度	箱体高度	动力箱型号	驱动轴转速
5		0	1		500(mm)	500(mm)	25	750(r/min)
轴号	X 坐标	Y 坐标	转速	扭矩 ($N \cdot m$)	轴类型	轴径	特征轴标识	转向
1	54.645	126.145	709	5	2	20	0	1
2	125.355	126.145	709	5	2	20	0	1
3	54.645	196.856	709	5	2	20	0	1
4	125.355	196.856	709	5	2	20	0	1
5	360	161.5	417	6	2	25	0	1
动力箱型号					驱动轴转速			
25					750 r/min			

4.4.4 传动系统设计

该功能为整个系统中最重要的一个功能模块,主要是完成齿轮传动系统的设计。传动系统设计共分十个主要模块和主菜单中“设计”条目下的四个附加模块。十个主模块通过主窗口右端的按钮来选择。

在使用各模块进行传动系统设计时,为使所设计传动系统的齿轮个数达到最少的优化目标,各个模块都是从齿轮个数最少的齿轮组合类型开始搜索,直到找到一个适用的齿轮组合类型。这些子模块能根据已知轴上所提供的转速和扭矩,自动确定新生成齿轮的模数和新生成中间传动轴的轴径,并初步确定齿轮的齿数和层次,而不需要设计者来考虑齿轮参数的选取,减少了对话次数,提高了设计的自动化程度。确定齿轮齿数和轴径,是在满足所传递的扭矩前提下,尽可能选择最小参数,以减小结构尺寸。为了提高设计的灵活性,系统允许设计者对系统本身已确定的参数进行修改,直至用户认为满意为止。当设计者对目前设计结果表示满意时,系统便将其保存下来。整个传动系统设计完毕后,用户应用主菜单中存盘功能,将其设计结果的数据存盘,该存贮文件包括多轴箱设计的完整资料,用户可将该数据文件拷入 U 盘用以存档。

4.4.5 数据整理模块

传动系统设计完成后,应运行此模块,只有在运行此模块后,方可运行后面的图形生成模块。运行此模块时,系统提示用户输入每幅图纸的图号,对于变位齿轮和专用齿轮图号只需输入前一部分,后两位数字由系统自动添加上去,添加上去的数字从 40 开始,依次向下排列,希望用户注意。

4.4.6 生成图形

该功能为图形文件生成模块,所产生的图形为 AutoCAD 的 DWG 图形文件格式,可直接为 AutoCAD 所调用,其产生的图形为实际生产用图纸,可直接用于生产。生成的图形文件自动保存在 DWG 子目录中。企业版可生成下列图形和明细表:

- (1) 总装配图;
- (2) 箱体补充加工图;
- (3) 前盖补充加工图;
- (4) 后盖补充加工图;
- (5) 侧盖补充加工图;
- (6) 专用和变位齿轮图;
- (7) 隔套综合图;
- (8) 键套综合图;
- (9) 齿轮综合图;
- (10) 轴承隔套图;
- (11) 相关的明细表。



第五章

刀具和工具及量检具

5.1 组合机床刀具

5.1.1 组合机床刀具的特点

组合机床刀具从它的作用和对它的要求上看,与通用机床上用的刀具基本相同,但是,由于组合机床加工的特殊条件,也给其刀具带来了与一般通用机床不同的特点:

- (1) 要有较高的耐用度和可靠性;
- (2) 便于装卸和调整;
- (3) 有较高的复合程度;
- (4) 有良好的导向;
- (5) 具有一定的通用性。

5.1.2 组合机床常用刀具介绍

1. 钻头

钻头是组合机床上使用最多的刀具,通常有一般钻头(如麻花钻、扁钻等)和深孔钻头(如枪钻、喷吸钻、套料钻等)。

1) 一般钻头

(1) 麻花钻

麻花钻是容屑槽由螺旋面构成的钻头,是应用较为广泛的一种钻头。

从钻头材质上看,普通麻花钻多为高速钢(如 W18Cr4V 或 WGM05Cr4V2)制造,用于一般孔加工。若对于高速钢材质进行氮化、涂层等表面工艺处理,其使用寿命会大大提高。若麻花钻选用硬质合金、金属陶瓷等材质制造,其切削性能会明显改善。

从钻深角度上看,钻孔深度为 3~4 倍孔径的占大多数,当钻深达到 6~8 倍孔径以上即所谓深孔钻削,除选用标准或加长麻花钻,采用传统的分级进给的加工方法,现在多数采用深孔钻削进行深孔加工。

从钻孔直径大小看,虽然麻花钻直径有 0.1~80 mm 左右的多种规格,但是理想的是 20 mm 以上的孔建议采用扁钻,扁钻加工孔径范围为 25~60 mm 左右最为适宜。

(2) 扁钻

扁钻是切削部分为扁平状的直槽钻头。尽管扁钻的前角较小和排屑性能差,但其刚性

较高,轴向尺寸小,因此在钻孔不深,排屑并不困难时,常用它来加工 $\phi 22$ 以上的多层壁上的浅孔。尤其在需要钻孔和其他刀具(如钻扩、钻镗)复合加工时,较多采用扁钻。

如图 5-1 所示为加工铸件时用的扁钻。如图 5-2 所示为加工钢件用的扁钻,在切削部分的刀刃上开有容屑槽,同时在刀杆上有排屑的螺旋槽。刀杆内部有供冷却润滑液的通道,起到排屑、冷却、润滑的效果,从而提高刀具寿命。扁钻的各个切削角度仅供使用时参考,也可以根据加工的具体要求作必要的修正。扁钻刀头的各刀刃的刃磨面,其表面粗糙度 $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$; 并需要用油石修磨刀刃,使刀刃表面粗糙度 $R_a \leq 0.4 \mu\text{m}$,以保证刀具的耐用度。

扁钻分整体式和装配式两种,在加工较小孔时用整体式,在加工较大孔时采用装配式的。装配式扁钻刀头的两个侧面和刀头后部的凹槽与扁钻的刀杆相配合,组装后再用螺钉紧固。扁钻的刀头切削部分材料可采用高速钢或硬质合金。

2) 深孔钻头

在加工深孔时,如果使用一般的麻花钻,常常因钻削深度的增加而使切屑排出困难,钻孔达到一定深度后,切削热、切削扭矩等都会明显增加,会引起振动,造成钻削困难,甚至使钻头折断。在组合机床上钻深孔,现在广泛采用专用深孔钻头。

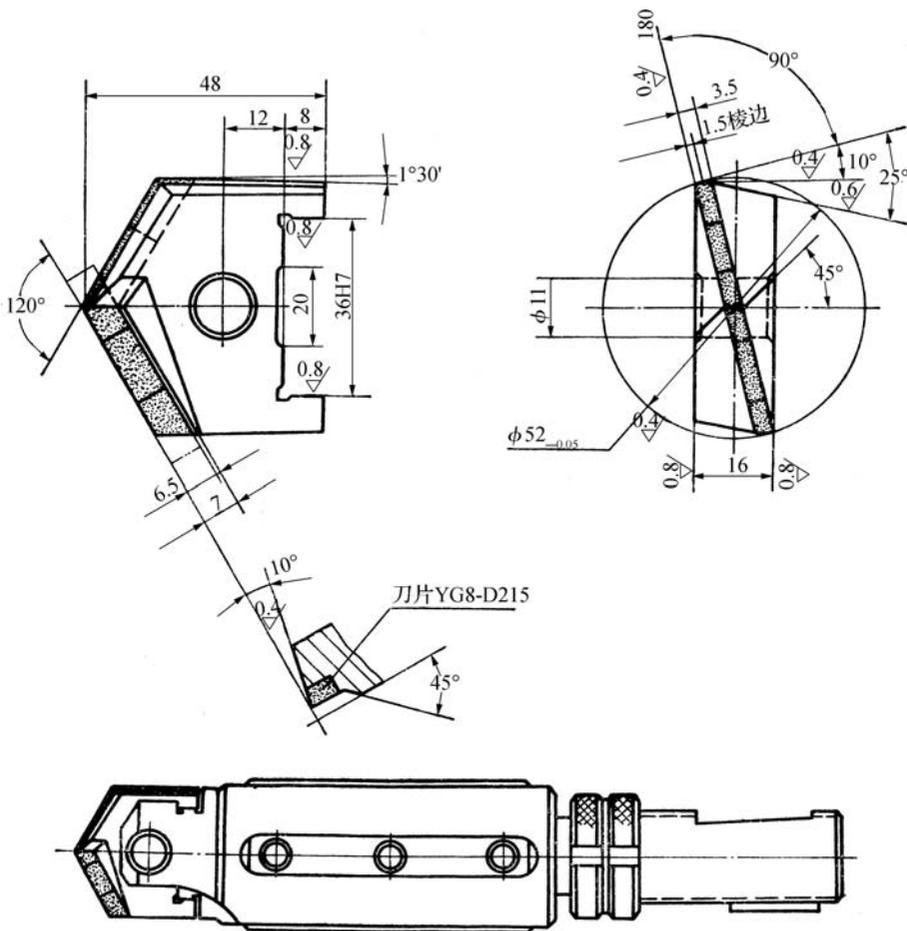


图 5-1 加工铸铁用扁钻

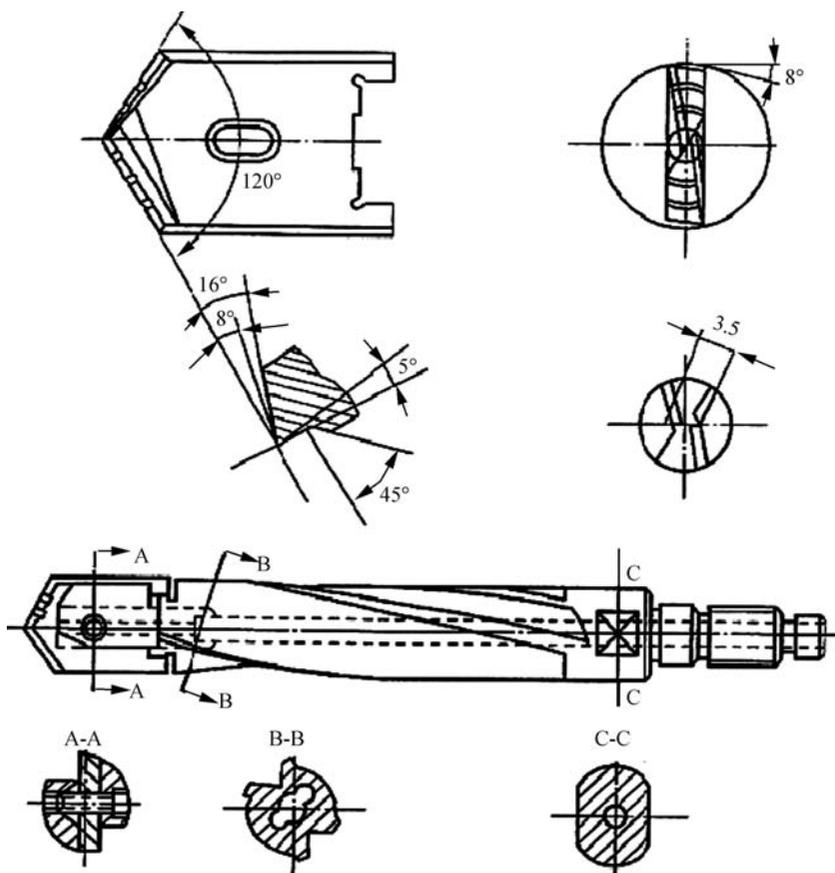


图 5-2 加工钢件用扁钻

(1) 内冷外排屑钻头

① 单刃枪钻

a. 枪钻的工作原理

由于枪钻具有加工精度高,切削性能稳定,排屑流畅等优点而被广泛应用。工作时冷却液通过刀具中心的冷却孔被供到切削部位,不仅使切削区冷却充分,从而改善了切削条件,同时对刀具的外圆起到润滑作用,冷却液和切屑从工件的内壁与刀具上的V形槽中排出,这就是所谓内冷却外排屑。枪钻的工作原理见图5-3。因枪钻是不具备自定心功能的单刃刀具,所以加工时必须使用钻套或导引孔以便刀具加工定位和导向,如图5-4所示。为避免切削刃崩刃,建议孔口应倒角。使用钻套时,钻套与工件接触的结合面必须有严格的密封。导向孔尺寸参数见表5-1。

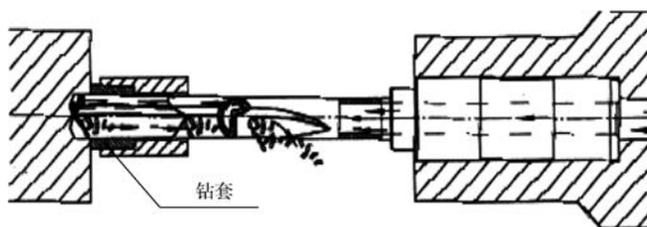


图 5-3 单刃枪钻的工作原理

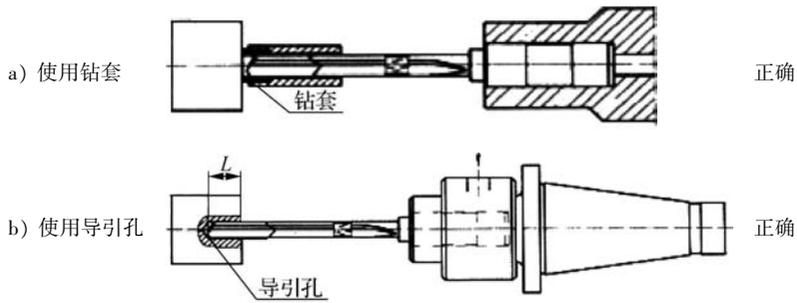
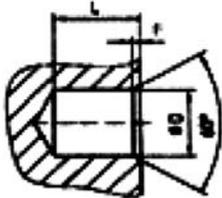


图 5-4 使用钻套、导引孔示意图

表 5-1 导向孔尺寸参数

钻头直径(mm)	导向孔(导引孔尺寸)	L (mm)	D (mm)
0.7—2.5		约 $2 \times D$	$+0.005 - +0.015$
2.6—8.9		约 $1.5 \times D$	$+0.010 - +0.020$
9.0—50.00		约 $1 \times D$	$+0.015 - +0.040$

b. 枪钻的种类和结构简介

枪钻刀头的材质有选用高速钢的,也有选用硬质合金的。德国波德克(Botek)公司的枪钻大体有整体式硬质合金枪钻和钎焊刀头式枪钻两大类,钎焊刀头式枪钻也称钎焊式枪钻,其刀头部分通常为整体式硬质合金或者是钢刀体装硬质合金刀片(一片)及导条(两或三片)与钻杆钎焊在一起,如图 5-5(a),图 5-5(b)所示。钻杆是用合金结构钢管压制而成的。

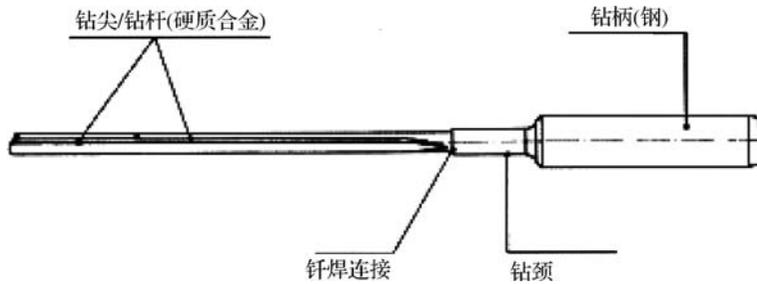


图 5-5(a) 单刃整体式枪钻

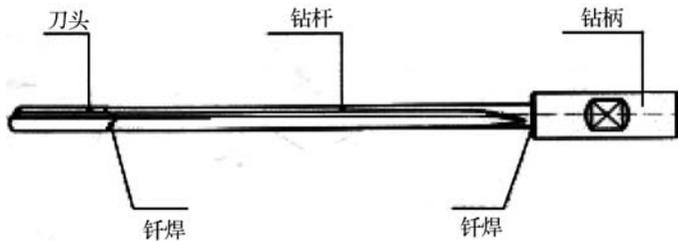


图 5-5(b) 单刃钎焊式枪钻



单刃整体硬质合金枪钻的钻孔直径范围大约为 0.7~7 mm,冷却通道孔为腰形;单刃钎焊刀头式枪钻最小钻孔直径为 2 mm 左右,最大钻孔直径为 60 mm 左右,小直径的冷却孔通道也为腰形,而大直径的冷却通道有单孔的,也有双孔的。图 5-6(a)是直径为 0.7~4 mm 单刃整体式枪钻鼻端刃磨形状,图 5-6(b)是直径为 4~20 mm 的钎焊刀头式枪钻鼻端刃磨形状。枪钻鼻端刃磨几何形状对孔的公差、切屑的形状、冷却液的压力及流量、刀具的寿命、中心线的偏移和孔的表面质量都有影响。

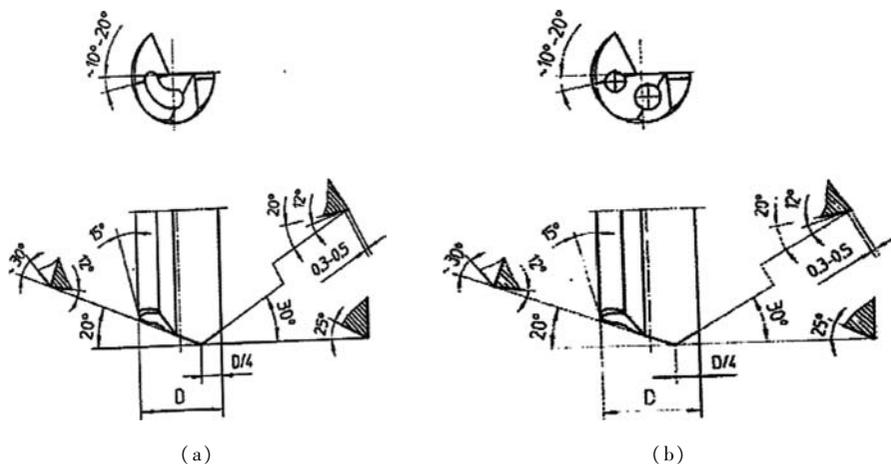


图 5-6 鼻端刃磨几何形状

② U 钻

U 钻就是用可换的转位刀片代替整体钻,图 5-7(a)为瑞典山特维克公司的可乐满 U 钻。它的主要特点为:

a. 在刀体的前端装有两片可更换的转位刀片即固定(周边)刀片和中心刀片,在工件上直接钻孔,无需先打引导孔;

b. 刀片上的断屑槽使切屑为短碎屑。由最佳的排屑槽区安全排屑和双内冷油道充分冷却刀具。切削刃磨损后,随时转位变换切削刃,当 4 个切削刃都磨损后,即可更换新刀片,无需重磨,节省大量的换刀、磨刀时间,使刀具起到连续切削的效果,可提高工效 6~7 倍之多,刀具的寿命是普通钻头的十几倍;

c. 刀具刚性好,最适合数控机床上使用,切削参数高,和普通钻头的对比见表 5-2;

d. 可乐满 U 钻最大加工直径为 50~68 mm,最小加工直径因装刀片的原因,直径 10 mm 以下的规格少见;

e. 由于刀片尺寸的一致性,更容易控制零件的尺寸,且能修正孔的位置度,和普通钻头相比,孔的精度和粗糙度要好,如图 5-7(b)所示;

f. 由于双刀片错位布置,以钻为主,兼有扩、镗、倒角等功能,且能钻阶梯孔,见图 5-7(c)所示;

g. 当切削参数降低 30%以后,可实现断续切削,如加工相交孔、相贯孔、相穿孔,还可以在小于 30°的斜面上钻孔,如图 5-7(d)所示;

h. U 钻不可用于加工较软材料,如紫铜、软铝等。对于其他不同材料,只要更换不同品种的刀片即可。

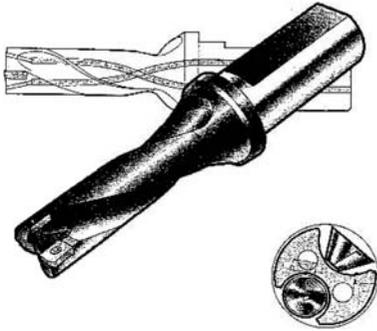


图 5-7(a) 可乐满 U 钻

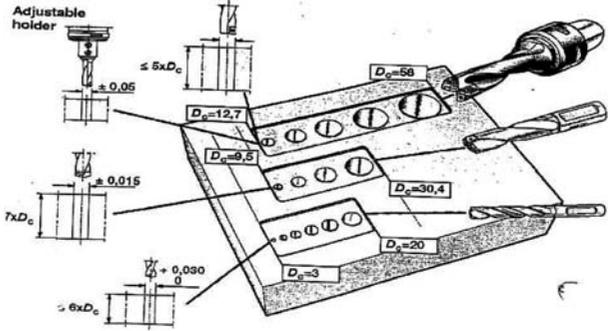
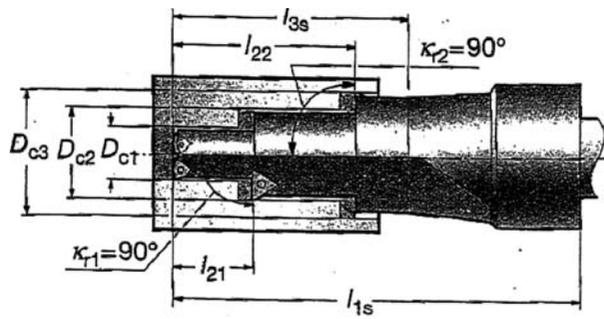


图 5-7(b) U 钻加工精度



使用各种标准和定制解决方案,一次走刀就可完成复杂孔的加工

图 5-7(c) 加工台阶孔

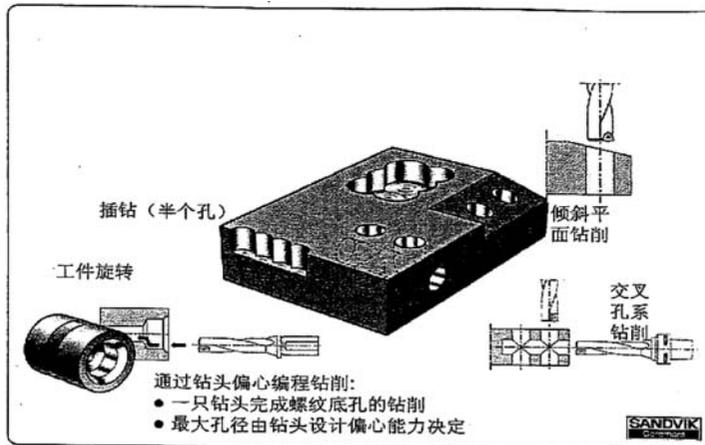


图 5-7(d) U 钻特有的加工性能



表 5-2 U 钻与普通钻头切削参数对比

零件材料	U 钻			普通钻			提高效率 (%)
	进给量 $f/$ ($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	转速 $n/$ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	线速度 $v/$ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	进给量 $f/$ ($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	转速 $n/$ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	线速度 $v/$ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	
45 钢	0.06~0.18	2 500~3 500	200~275	0.04~0.1	400~1 000	10	600
淬硬钢	0.05~0.14	1 500~2 000	80~200	0.03~0.08	无法钻削	5	1 000
不锈钢	0.06~0.18	1 500~3 000	115~165	0.03~0.08	200~800	8	750
铝合金	0.1~0.18	3 000~4 500	300~385	0.1~0.15	1 000~2 000	20	300
钛合金	0.08~0.16	1 000~2 000	40~50	0.04~0.06	200~800	10	500

(2) 外冷内排深孔钻

① BTA 深孔钻

BTA 深孔加工方法分为实心钻削、扩孔及套料三种。图 5-8 所示为实心钻削的 BTA 系统,它的特点是,经过精密过滤过的高压冷却液,从导向套与圆形钻杆之间的间隙进入切削区,冷却并润滑切削刃和导向块,然后带着切屑从刀杆的内腔排出,这就是所谓外冷内排屑。和枪钻一样,这种钻头也有两个或三个导向块,在径向切削力的作用下,对已加工的表面产生一定的挤压作用。当直径较大时,切削刀片分成两块或三块,布置在钻头中心的侧面,以提高钻头在加工过程中的稳定性并减少导向块的磨损,几个导向块的磨损也比较均匀。由于采用了圆形截面刀杆,刚性好,所以可以采用比枪钻高得多的切削用量,提高了生产率。而且切屑从刀杆内孔排出,不会划伤已加工表面。所以 BTA 加工方法在加工精度、粗糙度等方面,比其他深孔加工方法都好,在 $\phi 20 \text{ mm}$ 以上的深孔加工中,得到相当广泛的应用。

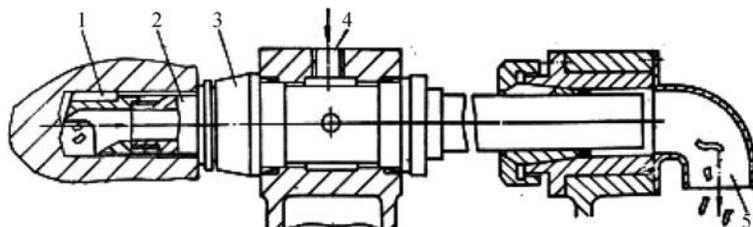


图 5-8 BTA 深孔加工系统

1—刀头;2—刀杆;3—导向架;4—冷却液进口;5—冷却液和切削出口

② 喷吸钻

瑞典山特维克公司开发的一种 $\phi(20 \sim 60) \text{ mm}$ 的喷射吸头。与 BTA 方法一样,它也是内排屑的,由钻头、外管、内管及夹头组成,如图 5-9 所示。高压冷却液从内外管之间的空间输入,其中大部分从外管前端喷嘴进入切削区,以冷却和润滑切削刀头和支承块;同时还有一小部分冷却液从内管后端的几个环形喷嘴进入内管排屑通道,冲向排屑口。这样就在内管排屑空间产生一个低压区,使经过切削区域流出的冷却液和切屑更快地从内管中排除出去。这种方法与 BTA 方法相比较,可省去一个复杂而且精密的冷却液接头,而且不需要专门的机床,在一般通用的机床上,如摇臂钻、车床,经简单的改装,即可进行钻孔。但当孔

深较深时,这种方法“吸”的作用就差了,而且两层钢管,刚性比较差,排屑通道较为狭小,所以对切屑的形状和大小都有较严的要求。

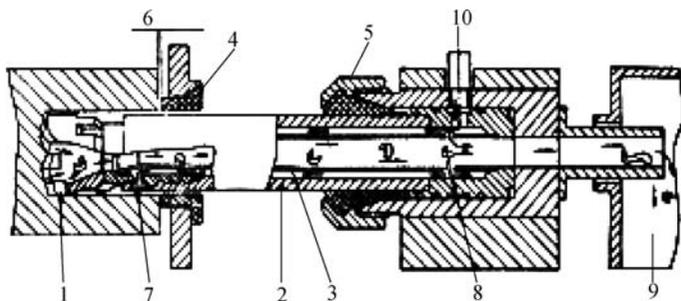


图 5-9 喷吸钻加工系统

1—钻头;2—外管;3—内管;4—导向套;5—夹头;6—间隙;7—冷却液喷出口;
8—环形喷嘴;9—切削和冷却液排放口;10—冷却液进口

③ DF 深孔钻

如图 5-10 所示的 DF (Double Feeder) 深孔加工方法,是在 BTA 深孔加工的基础上,在刀杆后端增加一个能产生真空效应的装置。大量冷却液从前端供油器送入切削区,冷却并润滑切削刃和导向块,还有一部分冷却液从后端供油器的斜孔冲向排屑口,在排屑通道产生一个低压区,使经切削区流出的切屑和冷却液,在推和吸的双重作用下,顺利地排除。由于采用了圆形截面的刀杆,所以比枪钻加工的加工精度和生产率都高,加工效率可提高 3~6 倍。对于 $\phi 8 \sim 20 \text{ mm}$ 的深孔,采用 DF 加工方法是比较好的。

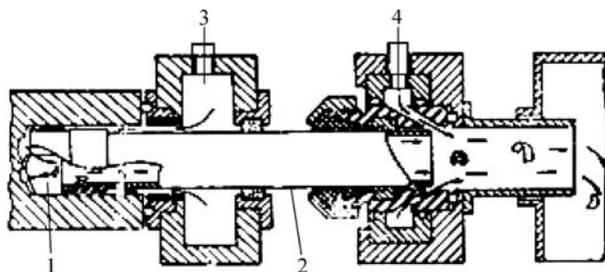


图 5-10 DF 深孔加工方法

1—钻头;2—钻杆;3—冷却液进口(推压式);4—冷却液进口(吸出式)

(3) 深孔麻花钻

① 钻头介绍

德国普瑞米欧(Premio)公司开发的一种不带内冷的 121-08 整体式硬质合金高效复合涂层麻花钻钻头,切削深度可达到 8 倍的钻孔直径。其相关参数见表 5-3,切削参数见表 5-4。



表 5-3 121-08 整体硬质合金高效 8×D TiAlN 复合涂层钻头参数表

B8VS 整体硬质合金高效钻头 8×D 万能型,带大进给值,特别推荐。



编号 121-08						编号 121-08					
d_1	d_2	LG	SL	NL	侧固刀柄	d_1	d_2	LG	SL	NL	侧固刀柄
8.5	10	133	92	68	121-08-085-13	13.0	14	173	126	104	121-08-130-13
9.0	10	140	98	72	121-08-090-13	14.0	14	182	133	112	121-08-140-13
10.2	12	152	108	82	121-08-102-13	15.7	16	190	144	126	121-08-157-13
11.0	12	163	116	88	121-08-110-13	17.5	18	204	152	140	121-08-175-13
12.5	14	173	126	100	121-08-125-13	18.0	18	223	171	144	121-08-180-13

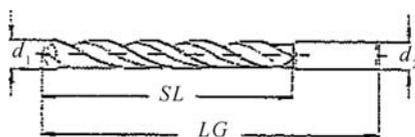


表 5-4 121-08 整体硬质合金高效 8×D TiAlN 复合涂层钻头切削参数表

不应用于:淬硬钢、塑料、非金属



材料	碳素钢/合金钢/工具钢									铸钢			灰铸铁/球墨铸铁/白心可锻铸铁			灰铸铁/球墨铸铁/白心可锻铸铁			铝/铜/黄铜		
	HB150~250			HRC20~30			HRC30~40			>HB200			~HB180			>HB180			非合金铜		
强度	500~800 N/mm ²			800~1 000 N/mm ²			1 000~1 300 N/mm ²			低合金			非合金			非合金			CuZn 长屑型		
切削速度 V_c	50 m/min			45 m/min			35 m/min			40 m/min			55 m/min			45 m/min			75 m/min		
d_1	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$
8.0	0.126	1 990	250	0.125	1 790	220	0.100	1 390	140	0.100	1 590	160	0.125	2 100	270	0.125	1 790	220	0.125	2 980	370
10.0	0.125	1 590	200	0.125	1 480	180	0.100	1 110	110	0.100	1 270	130	0.125	1 750	220	0.125	1 430	180	0.125	2 390	300
12.0	0.150	1 330	200	0.150	1 190	180	0.120	930	110	0.120	1 060	130	0.150	1 460	220	0.150	1 190	180	0.150	1 990	300
14.0	0.180	1 140	210	0.180	1 020	180	0.150	800	120	0.150	910	140	0.180	1 250	230	0.180	1 020	180	0.180	1 710	310
16.0	0.180	990	180	0.180	900	150	0.150	700	110	0.150	800	120	0.160	1 090	200	0.180	900	160	0.130	1 490	270
18.0	0.200	880	180	0.200	800	180	0.170	620	110	0.170	710	120	0.200	970	190	0.200	800	180	0.200	1 330	270

② 钻头使用注意事项

- 机床不带内冷,但要充分的外冷却液供给。
- 钻头效果如一把带内冷的钻头,一次性不间断钻孔到底,这是由于钻头的大螺旋角,使切屑排除顺利,类似于群钻。
- 切削参数的选择不要偏离表 5-4 中所推荐的数值左右太多,否则达不到理想的效果。

(4) 高效、高精内冷钻头

① 钻头介绍

德国普瑞米欧(Premio)公司开发的 139-05 整体式硬质合金高效内冷 5×D 钻头除了硬化钢、弹簧钢、塑料、部分不锈钢材质的零件外,大多数黑色金属材质的零件通过该钻头在理想的条件下钻削出一个 H7 公差的孔。这种钻头在南京高速齿轮厂推广应用过,效果很好。

② 钻头的特点和注意点

- a. 钻头为整体硬质合金结构,且表面涂层、耐磨性好。
 - b. 钻头为中空结构,切削时使冷却液顺利达到切削部位,排屑畅、刀具寿命长。
 - c. 将钻孔、扩孔、绞孔等多工序合并为钻孔一道工序,采用表 5-6 中推荐的切削参数,一次性操作,可完成一个 H7 公差孔的加工,钻孔深度可达 5 倍的孔径。
 - d. 选定的机床,精度状态必须良好,建议采用热胀式刀夹。
 - e. 该公司还有 10×D、20×D、25×D、30×D 的内冷深孔加工钻头系列产品,由于孔较深,长径比较大,孔径 H7 公差就不容易达到。
- 钻头的相关参数见表 5-5,切削参数见表 5-6。

表 5-5 139-05 整体硬质合金高效内冷 5×D TiAlN 涂层 H7 公差钻头参数表

B5V17 整体硬质合金高效内冷钻头 5×D 万能加工型带大进给值,用于 H7 公差钻孔,其特性被特殊推荐。

编号 139-05						编号 139-05					
H7	d_2	LG	SL	NL	普通刀柄	H7	d_2	LG	SL	NL	普通刀柄
3.0	6	66	28	24	139-05-030-21▽	11.0	12	118	71	55	139-05-110-21▽
3.5	6	66	28	23	139-05-035-21▽	12.0	12	118	71	53	139-05-120-21▽
4.0	6	66	28	22	139-05-030-21▽	13.0	14	124	77	58	139-05-130-21▽
4.5	6	82	44	37	139-05-045-21▽	14.0	14	124	77	55	139-05-140-21▽
5.0	6	82	44	37	139-05-050-21▽	15.0	16	133	83	61	139-05-150-21▽
6.0	6	82	44	35	139-05-060-21▽	16.0	16	133	83	59	139-05-160-21▽
7.0	8	91	53	43	139-05-070-21▽	18.0	18	143	93	66	139-05-180-21▽
8.0	8	91	53	41	139-05-080-21▽	19.0	20	153	101	73	139-05-190-21▽
9.0	10	103	61	48	139-05-090-21▽	20.0	20	153	101	71	139-05-200-21▽
10.0	10	103	61	49	139-05-100-21▽						



表 5-6 139-05 整体硬质合金高效内冷 5×D TiAlN 涂层 H7 公差钻头切削参数表

139-05 整体硬质合金高效内冷钻头 5×D TiAlN 涂层 H7 公差												内冷									
不应用于:淬硬钢、弹簧钢、塑料、部分不锈钢																					
材料	碳素钢/合金钢/工具钢									调质钢/工具钢			铸钢			灰铸铁/球墨铸铁/白心可锻铸铁			灰铸铁/球墨铸铁/白心可锻铸铁		
硬度	HB150~250			HRC20~30			HRC30~40			HRC40~48			>HB200			~HB180			>HB180		
强度	500~800 N/mm ²			800~1 000 N/mm ²			1 000~1 300 N/mm ²			1 300~1 600 N/mm ²			低合金			非合金			非合金		
切削速度 V_c	90 m/min			75 m/min			40 m/min			25 m/min			60 m/min			80 m/min			65 m/min		
d_1	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$	f	$S=n$	$F=Vf$
3.0	0.120	9 550	1 150	0.120	7 960	960	0.110	4 240	470	0.099	2 650	260	0.110	6 370	700	0.138	8 490	1 170	0.138	6 900	950
4.0	0.160	7 160	1 150	0.100	5 970	600	0.140	3 180	450	0.126	1 990	250	0.140	4 770	670	0.184	6 370	1 170	0.115	5 170	590
5.0	0.180	5 730	1 030	0.180	4 770	860	0.160	2 550	410	0.144	1 590	230	0.160	3 820	610	0.207	5 090	1 050	0.207	4 140	860

d_1	f	$S=n$	$F=Vf$																		
6.0	0.240	4 770	1 140	0.240	3 980	960	0.220	2 120	470	0.198	1 330	260	0.220	3 180	700	0.276	4 240	1 170	0.276	3 450	950
8.0	0.240	3 580	860	0.240	2 980	720	0.220	1 590	350	0.198	990	200	0.220	2 390	530	0.276	3 180	880	0.276	2 590	710
10.0	0.300	2 860	860	0.300	2 390	720	0.280	1 270	360	0.252	800	200	0.280	1 910	530	0.345	2 550	880	0.345	2 070	710
12.0	0.300	2 390	720	0.300	1 990	600	0.280	1 060	300	0.252	660	170	0.280	1 590	450	0.345	2 120	730	0.345	1 720	590
14.0	0.325	2 050	670	0.325	1 710	560	0.300	910	270	0.270	570	150	0.300	1 360	410	0.374	1 820	680	0.374	1 480	550
16.0	0.350	1 790	630	0.350	1 490	520	0.325	800	260	0.293	500	150	0.325	1 190	390	0.403	1 590	640	0.403	1 290	520
18.0	0.380	1 590	600	0.380	1 330	510	0.360	710	260	0.324	440	140	0.360	1 060	380	0.437	1 410	620	0.437	1 150	500
20.0	0.400	1 430	570	0.400	1 190	480	0.380	640	240	0.342	400	140	0.380	950	360	0.460	1 270	580	0.460	1 030	470

(5) 套料钻

为了节约金属材料及减少动力消耗,在组合机床上加工大直径孔,有时也采用套料钻。图 5-11 为在组合机床上加工铸铁零件的套料钻。同样,为了减小切削力,切屑易于排出,刀齿宽度不等并在轴向上相差 0.08~0.12 mm。为顺利拿出套出的直径为 38.5 mm 棒料,内孔 38.5 mm 与外径 58h12 偏心 0.25 mm。还有一种套料刀,其刀具中心部位带有一个弹性顶(杆)尖,加工完毕后,自动推出套出的棒料实体。切削时,采用接近扩孔的切削用量,套料刀刀片材料为硬质合金,刀体材料为 45 钢,热处理 C42。58h12 对 1:30 圆锥跳动不大于 0.03 mm。

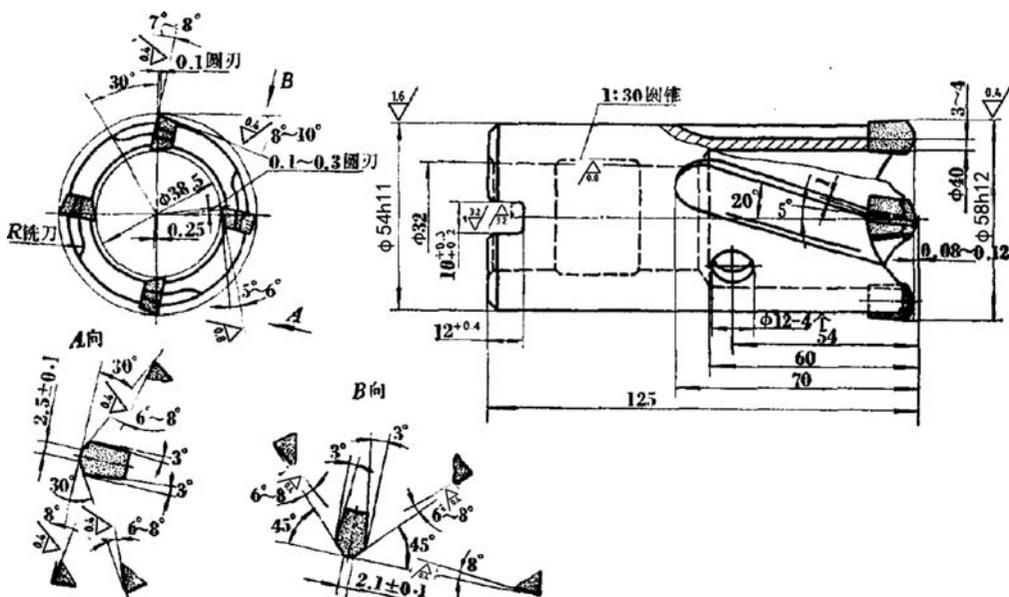


图 5-11 铸铁套料钻

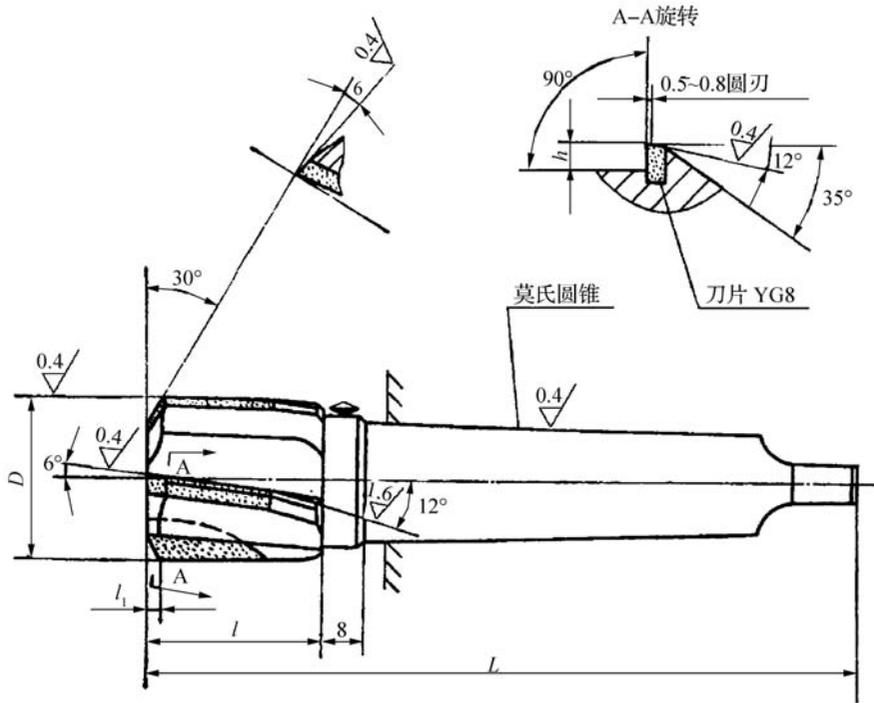
2. 扩孔钻

组合机床上,经常采用扩孔工艺,用来扩大已有孔径或提高孔的加工精度。一般在铸件上扩孔,可以达到 H10~H11 的精度,条件好时,粗糙度可达到 $R_a 3.2$ 。

加工铸件的小直径扩孔钻($D \leq 15$ mm),一般做成高速钢四齿的,如余量较大,孔较深,如加大容屑槽,也可做成三齿的。

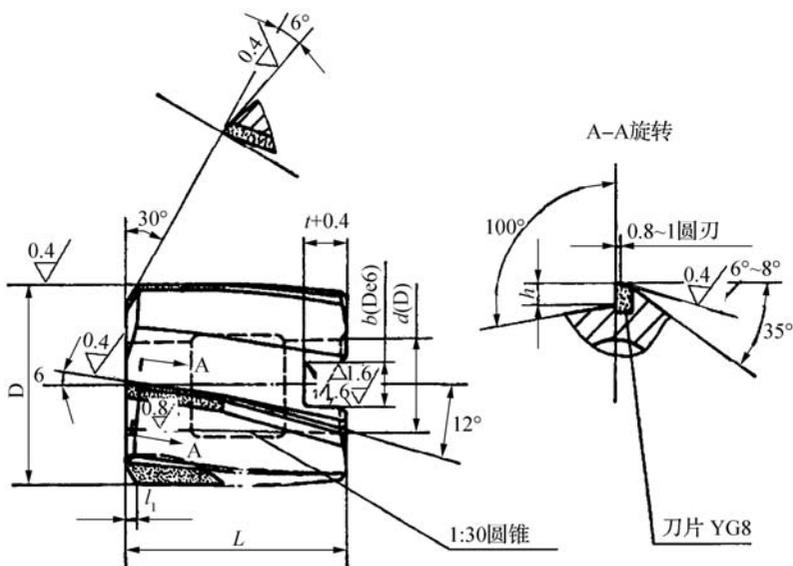
加工直径较大($D > 15$ mm)一般采用硬质合金锥柄整体式扩孔钻或套装扩孔钻。见

图 5-12 所示。



(a)

D (mm)	l_1 (mm)	h (mm)	刀片型号 YG8	莫氏圆锥号
14~18	1.5	2	E401	1
>18~25	2.5	4	E405	2
>25~34	3	5	E407	3
>34~45	3.5	6	E407	4



(b)



(单位: mm)

D (公称)	d (H7)	L	l_1	h	b (A11)	t	刀片型号 YG8
30~34	13	35	2	4.5	7	7	E405
>34~40	16	40	2.5	4.5	8	8	E405
>40~48	19	45	3	5	10	10	E405
>48~52	22	50	3.5	6	10	10	E407
>52~55	22	50	4	6.5	10	10	E407
>55~60	27	55	4	8	12	12	E409

图 5-12 加工铸件的扩孔钻

图中(a)为整体扩孔钻,(b)为套装式扩孔钻,这类刀具的技术要求为:① 外径 D 对莫氏圆锥或 1:30 圆锥的跳动不大于 0.03 mm,切削刃的跳动不大于 0.04;② 沿外径磨倒锥度 $(0.1\sim 0.15)/100$;③ 刀体材料为 40Cr,淬火 C48。

一般当直径大于 60 mm 时,为减轻刀体重量和节省材料,多采用装齿式扩孔钻如图 5-13 所示,它的技术要求为:① D 对 1:30 圆锥的跳动不大于 0.05 mm,刀刃的跳动不大于 0.04;② 在刀刃的全长上磨倒锥度 0.05~0.10。

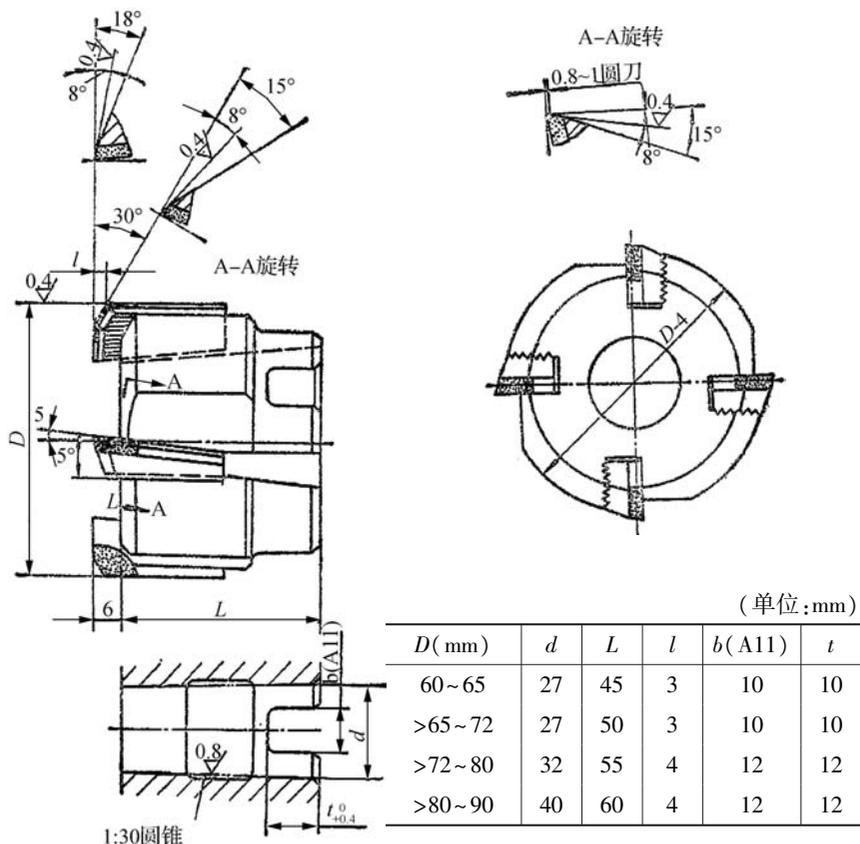


图 5-13 装齿扩孔钻

大直径的扩孔钻,还可以用机械夹固式,由于刀片采用机械夹紧,从而避免了焊接所产生的应力,减少了裂纹或崩齿的可能性,同时更换刀片也方便。这类扩孔钻大多用在孔径较



套装铰刀														
D (公称)	D_1	L	l	d (H7)	b (A11)	t	f	a	α_1	z	b	α_2	r	刀片型号
30~35	28	35	25	13	7	7	0.15~0.3	10°	10°	6	85°	25°	1	E525
>35~40	32	40	28	16	8	8	0.15~0.3	10°	10°	8	85°	20°	1	E525
>40~48	38	45	33	19	10	10	0.15~0.3	8°	8°	8	80°	20°	1.5	E530
>48~50	45	50	35	22	10	10	0.15~0.3	8°	8°	8	80°	20°	1.5	E530

图 5-14 加工铸铁用的硬质合金铰刀

为了提高孔中心线的坐标位置精度,铰孔时采用长导向套(其长度为导向部分直径的3~4倍)导向。同时,为减少铰刀和导向套的磨损,在铰浅孔时,铰刀导向部分直径可做得比切削部分略大一些。采用导向套铰孔,应考虑工件的定位误差及前道工序所达到的坐标位置误差,必要时铰削余量每边应加大到0.2~0.3 mm。余量不均,会影响铰孔尺寸精度和粗糙度。

在组合机床上,一般都是经过粗、半精加工之后,再用铰刀铰孔,孔的尺寸精度可达IT6~IT7级,甚至可达IT5级,表面粗糙度可到 $R_a 0.4 \sim 1.6$ 。

为了提高铰孔精度,可以用已加工过的孔作导向,并采用摩擦力小的浮动卡头来连接铰刀和主轴。这时导向套比较刀直径大0.05~0.10 mm(立式铰孔时,导套可不用),只对铰刀起引进作用。在直径方向上的铰孔余量应减至0.05~0.06 mm,铰出的孔精度可达H6~H7级,粗糙度为 $R_a 0.4 \sim 0.8$ 。

图5-15为常用的单刃铰刀,用来加工较小直径的孔,并能得到较好的孔径精度和粗糙度。和单刃钻一样,单刃铰刀也有两块或三块导向块。切削部分的导角如图所示,有三种形式,对于通孔,可选用(a)、(b);不通孔则选用(c)。但加工粗糙度的数值比前两种大。切削刃的前角,短切屑材料取 0° ,长切屑材料取 $5^\circ \sim 12^\circ$ 。加工时,均需用冷却液。冷却液可以从孔口流入,也可以从刀杆中心引入,从切削刃前的小喷油孔喷出。铰通孔时,冷却液带着切屑从工件前面排出;对于不通孔,则由刀杆上的排屑槽从工件后面排出。对于铸件和铝合金件,可用煤油和机油(10%~20%)的混合油;对于钢件,用硫化氯化型切削油。

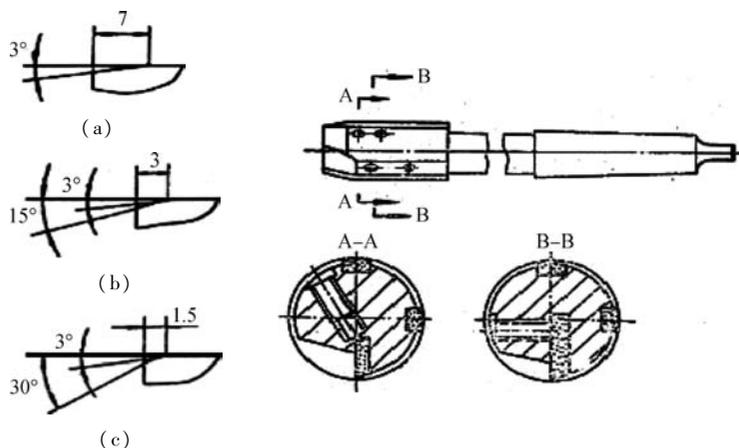


图 5-15 单刃铰刀



图 5-16 可胀式铰刀

图 5-16 为可胀式铰刀,方便调整铰削时的孔径尺寸。

4. 镗刀和镗杆

由于镗刀的制造、刃磨和在镗杆上的调整都比较方便,因此常用于组合机床上加工直径 40 mm 以上的孔,特殊情况最小镗孔直径仅为 10 mm,镗孔精度可达到 IT6~IT9 级,表面粗糙度可达到 $R_a 0.4 \sim 0.8$ 。镗刀的结构主要分为:单刃镗刀、镗刀头、镗刀块、浮动镗刀、微调镗刀等。

1) 整体式单刃镗刀

这种镗刀的结构特点是切削部分和刀柄做成一体,或者将切削部分的刀头采用硬质合金焊成整体,或将硬质合金刀片通过机械夹固的方法固定在刀杆上。整体式单刃镗刀主要用于镗削各类小孔、盲孔和台阶孔,若将其装夹在镗刀架上,也可用来镗削直径较大的孔。

2) 镗刀头(又称单刃镗刀)

镗刀头如图 5-17(a) 所示,使用时必须装夹在镗杆孔中,根据镗孔直径的大小,对镗刀头的伸出量作精确的调整,然后将其固定。其结构特点是一般采用一小段整体材料或者在一小段整体材料上焊接或机械夹固硬质合金刀片,刀体截面一般做成矩形。镗刀头主偏角通常为 45° 、 60° 、 75° 、 90° 等。精镗铸件时一般保持主偏角为 $45^\circ \sim 50^\circ$,在系统刚性较好时,耐用度较高。在系统刚性不足时,应增大镗刀主偏角,刀尖圆角半径减小,这样可以减小径向力;例如被加工件材料为 HT150,切削深度 $t=4$ mm,走刀量 $s_{\text{转}}=0.36$ mm/r,孔径 $D=128$ mm,切削速度 $v=50$ m/min,镗杆悬伸较长,轴承刚性不足,产生剧烈振动,工件上产生的波纹深度大于 1 mm,使加工无法进行。但将主偏角加大至 $85^\circ \sim 90^\circ$,刀尖圆角半径 r 减小至约 0.2 mm,就基本消除了振动。

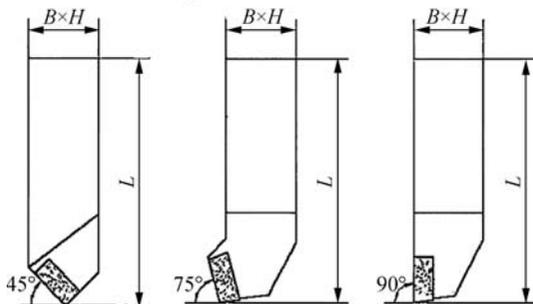


图 5-17(a) 镗刀头



镗刀头适用于镗削通孔、台阶孔、盲孔和端面,一般适用于镗削中等直径和较大的孔或孔系。主偏角为 45° 的镗刀头,在装刀角度小于 45° 时,主要用于镗削孔的端面,在镗削系统刚性强的条件下,可用来镗削通孔;主偏角为 90° 的镗刀头主要用来镗削止口、台阶孔和刮削端面。

图5-17(b)为多种用途的机夹可转位镗刀头,它在镗杆上能作径向和轴向调整,在加工多台阶孔系时,采用这种多个镗刀头可组成复合镗刀,如图5-30所示,用起来特别方便。

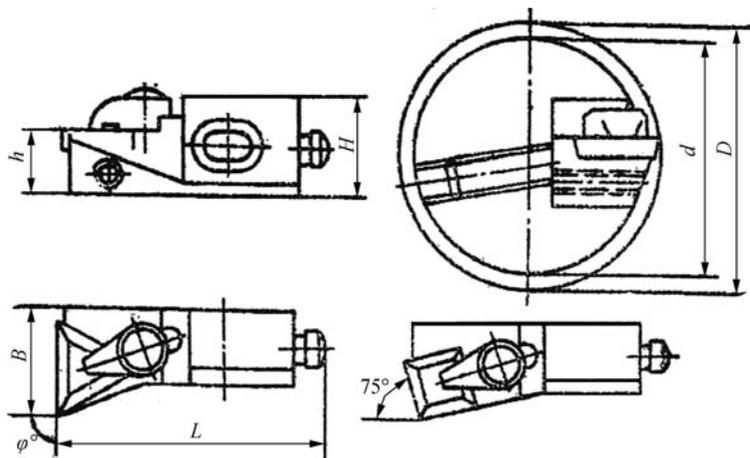


图5-17(b) 可转位镗刀头

d —镗杆直径; D —镗孔直径

3) 镗刀块

镗刀块具有两面刀刃,根据所镗直径的大小预先刃磨好镗刀块的直径尺寸,其切削部分可以采用焊接或机夹硬质合金刀片,如图5-18所示。镗刀块适用于大批量生产中孔的精加工和半精加工,且特别适合于较深的孔或同轴孔系的镗削。使用时,镗刀块应装夹在镗杆的矩形孔中,然后再按镗孔直径磨削。

镗刀(头)块可以做成方截面的和圆截面的两种。两种镗刀各有优缺点:方截面的镗刀,在截面积相同时,比圆截面的镗刀弯曲刚性要好,镗刀制造也比较简单,但刀杆上的方孔制造却较复杂;圆截面的镗刀则相反,刀杆上的孔制造简单,同时由于圆孔应力集中比方孔小,因而镗杆的刚性和热处理工艺性较好。

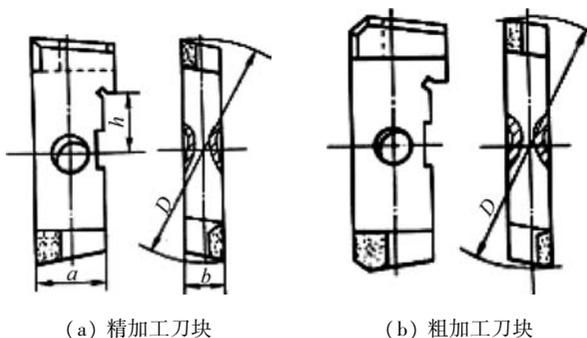


图5-18 镗刀块

4) 浮动镗刀

浮动镗刀的一种结构如图 5-19 所示,它必须安装在刀杆的矩形孔中,但无需固定,允许其在刀杆孔中自由滑动,由浮动镗刀的直径尺寸保证被镗孔的直径尺寸。由于镗刀能浮动,因此,镗孔直径基本不受主轴跳动误差的影响,也与主轴回转中心线和导套中心线的同轴度误差无关,可以获得较高的镗孔尺寸精度和形状精度。浮动镗刀的刀片可以利用斜楔块在一定范围内调节其径向位置,从而改变镗孔直径,主要用于孔的精加工。

浮动镗刀刀头材料有选用高速钢的,也有选硬质合金的,由于浮动镗刀的特殊性,所以切削时按铰削的切削参数进行选取。

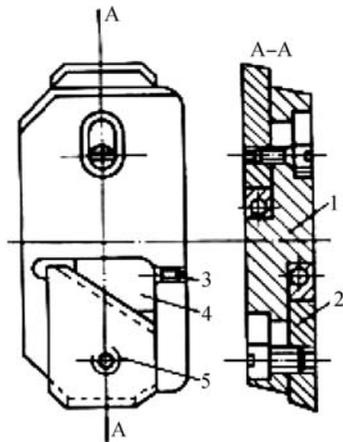


图 5-19 浮动镗刀

1—刀体;2—刀片;3—调节螺钉;4—斜楔块;5—夹紧螺钉

5) 微调镗刀

大连富士工具引进日本技术研发的 UPM 式微调精镗刀是一种先进刀具,如图 5-20 所示,它的特点:

- (1) 推荐加工孔径: $\phi(12\sim 30)$ mm 精镗;
- (2) 简单的调整操作,即可对直径做出精确调整;最大径向调整量: $\pm\phi 0.3$;
- (3) 推荐加工 IT7、IT8 级孔;
- (4) 推荐切削余量:0.5 mm 以下。
- (5) 镗刀的切削速度及进给量依据工件要求;
- (6) 加工深度:推荐直径的 1.5 倍以内。

使用时应注意:

- (1) 不能镗削阶梯孔;
- (2) 镗刀不能轴向调整,径向不能超出最大调整范围;
- (3) 最大转速:8 000 rpm 以内。

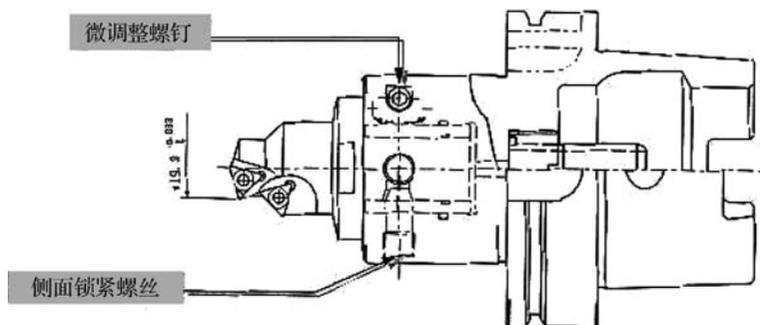


图 5-20 微调精镗刀

6) 镗杆

镗杆应有一定的强度和刚度。镗杆常采用中碳或中碳合金钢制造并进行调质处理,同时在轴颈处还应高频淬火。具有导向的镗杆有较高的硬度,常用低碳或低碳合金钢制造并渗碳淬火。有时因渗碳淬火的镗杆其芯部刚度不够,也采用合金工具钢制造。对于特别细长的镗杆,在制造条件允许时,也可进行氮化处理。

镗杆上的压紧螺钉之间的距离不宜太近,镗刀孔的尖角等处应有较大的倒角,以免热处理时产生裂纹或熔化。高频淬火的镗杆,淬火时可考虑在刀孔部分留一窄带,不进行高频淬火。

为了提高镗杆的刚性,在能顺利排除切屑的情况下,要尽可能用较粗的镗杆。粗镗时,镗杆直径可取镗孔直径的 0.7 倍;精镗时,可取为 0.9 倍。镗孔直径、镗杆直径和镗刀截面尺寸可参考表 5-7 选用。表中所列镗杆直径范围的选用原则是,加工小孔取最大值,加工大孔若导向良好,切削负荷轻,可取小值,一般取中值。切削负荷重、导向若不良取大值。在镗直径 $D > 100$ mm 孔时,镗杆不必取得太粗。为避免镗刀悬伸过长,可采用刀夹。刀夹与镗杆的配合在宽度上为 H7/h6,用小于 8° 的楔紧固。

表 5-7 镗孔、镗杆直径和镗刀截面

(单位:mm)

镗孔直径 D	30~40	40~50	50~70	70~90	90~100
镗杆直径 d	20~30	30~40	40~50	50~65	65~90
镗刀方截面 $B \times B$	8×8	40×10	12×12	16×16	16×16 20×20
镗刀圆截面直径 d_1	8~10	10~12	12~16	18~20	

镗杆、镗孔直径和镗刀截面尺寸它们之间关系的经验公式为:

$$(D-d)/2 = (1-1.5)B \quad (5-1)$$

式中: D —镗孔直径; d —镗杆直径; $B \times B$ —镗刀截面尺寸。

(1) 镗刀在镗杆上安装注意事项:镗刀在镗杆上,一般倾斜一个角度安装,倾斜角度一般根据镗杆直径可以装成 $10^\circ \sim 15^\circ$ 、 $25^\circ \sim 30^\circ$ 、 $40^\circ \sim 45^\circ$ 不等。在用较多镗刀复合镗孔而轴向尺寸较小时,镗刀也可以与镗杆垂直或平行安装。

(2) 在镗中小直径孔时,为避免镗刀在加工时因材料不均而“楔”入工件,一般镗刀刀尖稍高于孔中心,但不高于被加工孔径的 $1/20$,即镗刀前、后角在垂直镗杆轴心线的截面内变

化约为 $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 。

(3) 镗刀不宜在镗杆外悬伸过长,以免刚性不足。

5. 铣刀

在组合机床上,大量的铣削工序是大平面铣削,还有少量的铣台阶面、铣槽及毛坯切割等工序。

平面铣削一般都采用工具厂生产的端面铣刀。

铣削工序在生产线上通常总是限制性工序。提高铣削生产率及加工精度的关键之一是改进端铣刀。由于可转位硬质合金刀片的发展,在一些大型企业中,如汽车、拖拉机行业,都采用可转位硬质合金端铣刀来加工铸铁件,这种铣刀,调整和使用都很方便。在精铣时,铣刀盘上可装 1~2 个带修光刃的刀片,粗糙度可达到 $R_a 1.6$ 。德国山高、瑞典山特维克公司生产的精密铣刀盘,不带修光刃,但对刀片调整要求高,且切削时轴向抗力较大,铣出的零件表面精度很高,能够实现“以铣代磨”新工艺。这些刀具在发动机行业生产线上用得较多。

6. 复合刀具

复合刀具是指同时或按先后顺序完成两个或两个以上加工工序(或工步)的刀具。

1) 复合刀具的优点

(1) 工序集中,减少了加工工位或机床台数,节省了加工的机动和辅助时间。

(2) 减少了工件安装和夹具转位次数,在一个工位上对孔进行粗精加工,减少了精加工余量,保证了精度和粗糙度。

(3) 在一个工位上同时加工工件的几个面,可以提高各面间的相互位置精度,如端面与孔的垂直度,同一轴线上几个孔的同轴度等。

2) 复合刀具的缺点

(1) 刀具复合加工,在同时加工两个或两个以上表面时,会使切削力增加,这就将给刀具和机床主轴刚性提出更高的要求;

(2) 如果刀具是顺序完成对一个孔的两次加工,虽然切削力不增加,但工作行程和导向情况发生变化,导致刀具悬伸加大,影响加工精度。工作行程的加大影响到生产率;

(3) 复合加工,切屑增多,特别是加工韧性材料切屑还会相互缠绕,给排屑带来困难;

(4) 复合刀具制造困难,相对成本较高,使用时,安装、调整、刃磨都比较困难。

鉴于上述复合刀具的优缺点,要根据被加工零件的技术要求,机床的配置形式以及生产现场的使用条件,评估经济效益,综合各方面利弊因素,决定是否采用复合刀具。

3) 复合刀具的种类

复合刀具按结构分,可分为整体式和装配式两种。装配式复合刀具的制造、使用、调整和刃磨较整体式方便。使用的经济价值好,但是由于增加了配合面和紧固元件,往往会降低刀具的刚度和加工精度。反之,整体式复合刀具相对装配式刀具刚性好,加工精度高,但是制造、使用、调整和刃磨不太方便,要特别注意在制造时,铣容屑槽和刃磨等问题,当两个阶梯直径相差较大时,而轴向距离又较近时,应注意防止铣刀或砂轮的干涉现象。

复合刀具按工艺可分为同类工艺和不同类工艺两类。

(1) 同类工艺复合刀具



① 复合钻

这是应用较多的复合刀具,常用来钻螺纹底孔并倒角,也可用来在一层或两层壁上钻孔,也有用做钻孔镗端面的。如图 5-21 所示为采用复合钻加工的典型的加工示意图。如图 5-22 所示为在铸件上钻螺纹底孔并倒角的四刃带复合钻,这种复合钻由于切削刃有各自的排屑槽,加工时切屑不至于相互干涉而影响顺利排屑。复合钻的大小直径差不应太大,一般 $D/d < 2$ 。小直径部分工作条件比较差,长度不宜过长,一般 $l < (2 \sim 3)d$ 。为减小轴向抗力,必须修磨小直径钻头横刃。复合钻还可以作成如图 5-23 镶硬质合金刀片的斜槽复合钻。

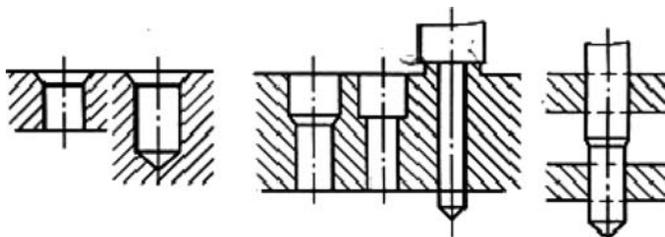


图 5-21 复合钻加工示意图

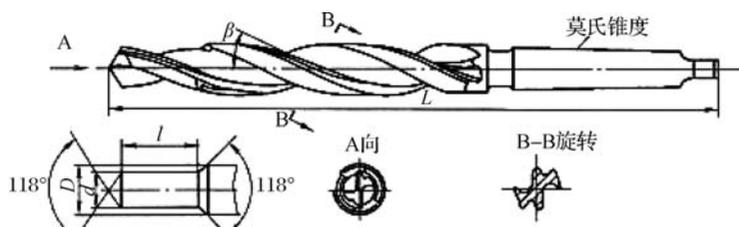


图 5-22 复合钻

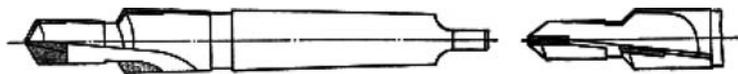


图 5-23 硬质合金斜槽复合钻

② 复合扩孔钻

这种刀具形式多样,用来加工多层的台阶孔和端面以及多层壁上的同轴孔,图 5-24 为三阶高速钢复合扩孔钻。它的制造技术要求为:

a. 扩孔钻外径($\phi 15.09$ 、 $\phi 20.105$ 、 $\phi 21.605$)及导向直径($\phi 21.8g6$)对 3 号莫氏圆锥的跳动不大于 0.03 mm,切削刃的跳动不大于 0.04 mm;

b. 螺旋槽右旋, $\phi 15.09^0_{-0.035}$ 部分螺旋角 20° , 导程 130; $\phi 21.105^0_{-0.045}$ 、 $\phi 21.605^0_{-0.045}$; $\phi 21.8g6$ 部分导程为 170,螺旋角分别为 $20^\circ 30'$ 、 $21^\circ 48'$ 、 22° 。两螺旋槽应连通;

c. 扩孔钻外径磨倒锥度 0.1/100;

d. 刀具材料:切削部分 W18Cr4V-C63,刀体 9SiCr-C58,扁尾 C38。

该刀具使用条件为:

a. 被加工零件材料为 HT200;

b. 切削用量: $n = 260 \text{ r/min}$, $s_{\text{转}} = 0.17 \text{ mm/r}$;

c. 底孔直径为 $\phi 13 \sim 18 \text{ mm}$ 。

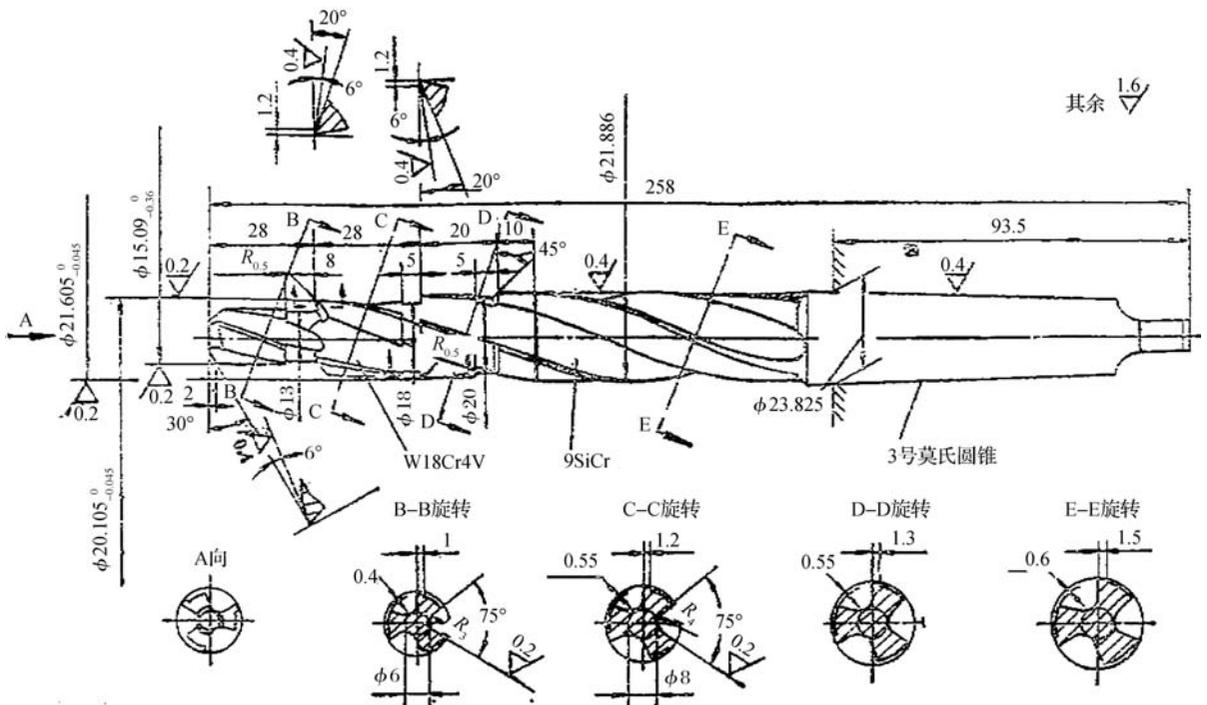


图 5-24 三阶高速钢复合扩孔钻

当阶梯孔的各阶之间轴向距离较近时,就需采用错齿结构,即当圆周上的齿错开加工不同的表面。并可做成套装式,图 5-25 为硬质合金三阶套装式错齿复合扩孔钻,它的制造技术要求为:

a. $\phi 36_{-0.035}^0$ 、 $\phi 42_{-0.035}^0$ 、 $\phi 46_{-0.05}^0$ 对 1:30 圆锥的跳动不大于 0.03,45°切削刃及端刃的跳动不大于 0.04 mm;

b. 在硬质合金刀片长度上磨倒锥度 0.03;

c. $10_{+0.2}^{+0.3}$ 对 1:30 圆锥轴线的偏移不大于 0.05 mm;

d. 刀尖圆角应有 8°后角;

e. 刀体材料:40Cr-C48。

该刀具的使用条件为:

a. 被加工零件材料为 HT200;

b. 切削用量: $n = 120 \text{ r/min}$, $s_{\text{转}} = 0.15 \text{ mm/r}$ 。

③ 复合铰刀

在组合机床上常用复合铰刀来铰阶梯孔或对孔进行粗、精铰。

和复合扩孔钻一样,小直径复合铰刀多做成整体式的,直径差较大的复合铰刀常做成装配式的,大直径的复合铰刀可用刀杆将套装铰刀“串联”在一起或做成装齿的。图 5-26 为加工铝合金机油泵体的三阶复合铰刀,它的制造技术要求为:

a. $\phi 10_{-0.011}^{-0.005}$ 、 $\phi 14.024_{-0.006}^0$ 、 $\phi 18.07_{-0.01}^0$ 、 $\phi 18.57_{-0.01}^0$ 对 2 号莫氏圆锥的跳动不大于 0.01,各切削刃跳动不大于 0.015 mm;

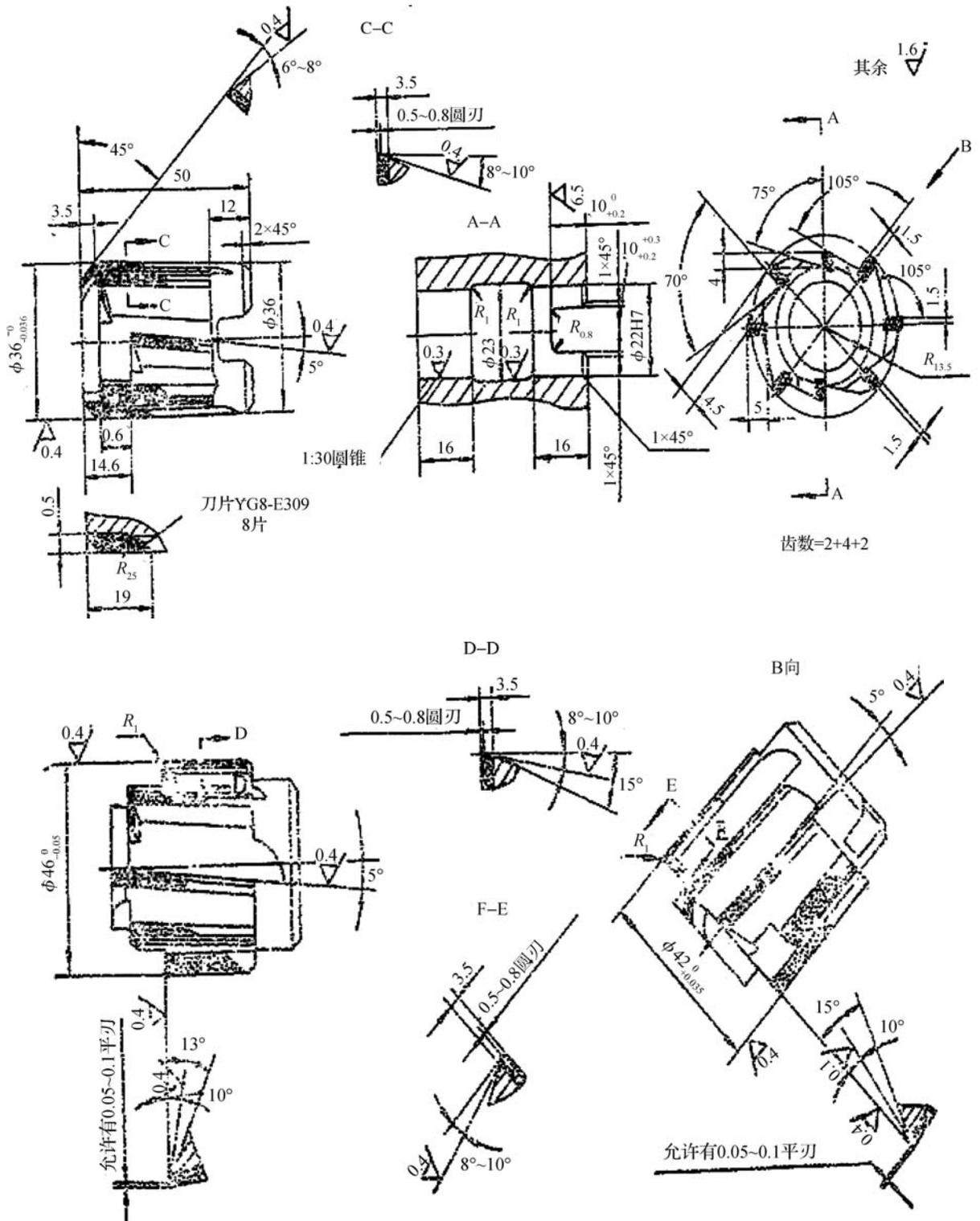


图 5-25 硬质合金三阶套装式错齿复合扩孔钻

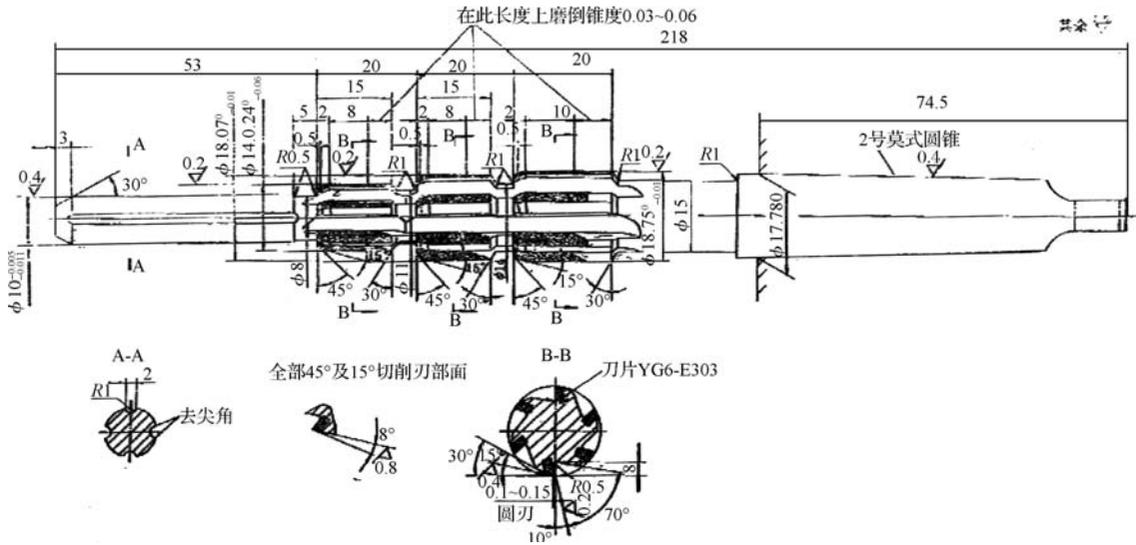


图 5-26 三阶复合铰刀

- b. 锥柄用涂色法检验,接触面积不小于 80%;
- c. 刀体材料 T10A,导向部分 C58,锥柄 C42。

三阶复合铰刀使用条件为:

- a. 被加工材料:ZL11;
- b. 被加工孔: $\phi 14_0^{+0.019}$, $\phi 18_0^{+0.07}$, $\phi 18.5$,粗糙度 $R_a 0.80$;
- c. 切削用量: t (切削深度) = 0.2 mm, $n = 150$ r/min, $s_{\text{转}} = 0.4$ mm/r;
- d. 煤油或柴油冷却。

在组合机床上还采用铰-无刃铰复合刀具对孔做最后精加工,收到了较好的效果。

图 5-27 为加工气门挺杆孔的铰-无刃铰复合铰刀。它的使用条件为:

- a. 被加工材料:HT200;
- b. 被加工孔: $\phi 40_0^{+0.039}$,粗糙度 $R_a 0.8$;
- c. 底孔: $\phi 39.2$,粗糙度 $R_a 6.3$;
- d. 切削用量: $n = 65$ r/min, $s_{\text{转}} = 0.38$ mm/r;
- e. 乳化液冷却。



图 5-27 铰-无刃铰复合铰刀

由于铰孔的质量与铰刀切削部分及校准部分的跳动有很大关系,因此在设计装配式复合铰刀时应很好考虑铰刀的定位,通常都采用莫氏圆锥或 1:30 圆锥定位。

④ 复合镗刀

由于在镗杆上安装较多的镗刀以加工较复杂的表面易于实现,且镗刀制造、刃磨、调整也比较容易,因此复合镗孔在组合机床上应用非常普遍。复合镗孔一般有以下两种情况:一种是在长镗杆上安装几把镗刀加工两层或几层壁上的同轴孔,如图 6-51(c)所示,在这种情况下,镗杆一般有较好的导向。另一种情况是在刚性主轴前的镗杆上(有时直接在主轴上)装几把镗刀镗同轴孔或阶梯孔,如图 5-28~图 5-31 所示,此时一般悬伸不长,不加导向。



在设计复合镗刀时,应注意以下几个问题:

- a. 在可能时使镗孔的径向切削力互相平衡,例如在两镗刀轴向距离很近时,可相对(成 180°)安放或采用双刃镗刀块等;
- b. 镗刀的布置应使镗杆在切削力作用下与导向套接触较好。在单导向悬臂镗孔或双导向镗孔且孔相距较近时,宜使两镗刀相对布置以使径向力抵消。在双导向镗孔且两孔又相距较远时,则宜同向布置,以免两刀径向力形成一个很大的力矩;
- c. 同一镗杆上有半精镗刀和精镗刀时,希望半精镗刀切出工件后再进行精镗,否则也可以将半精镗刀和精镗刀在圆周上 90° 错开布置;
- d. 对于细长镗杆又多刀布置,除了有足够的导向、镗杆的刚性强度应足够重视;
- e. 对于轴向尺寸有精度要求的阶梯孔,如图 5-29,先调轴向尺寸,然后调整径向尺寸。要避免将一把镗刀磨成阶梯形。

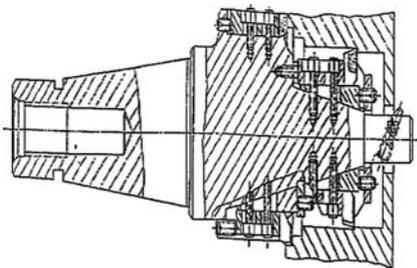


图 5-28 机油泵复合镗孔

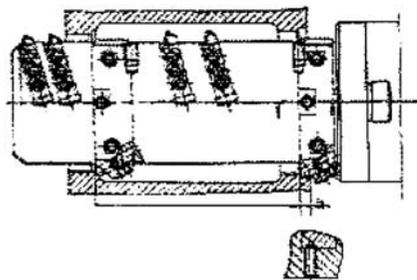


图 5-29 汽缸孔复合镗孔

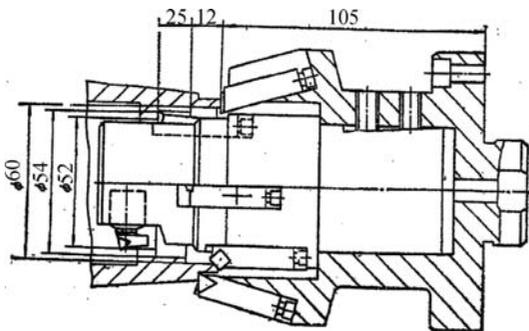
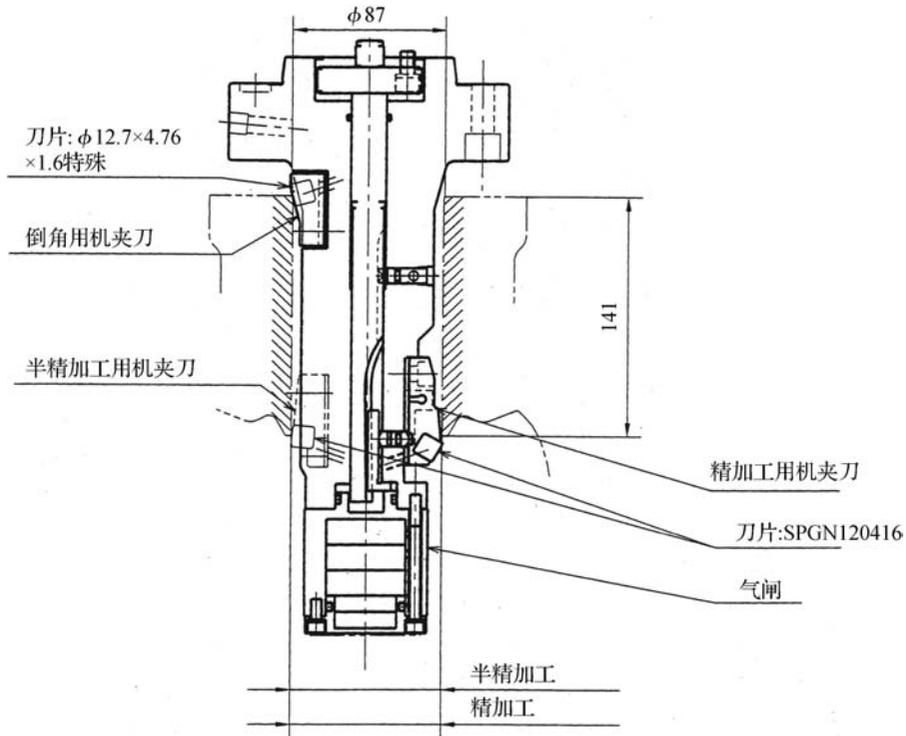


图 5-30 复合镗刀头

大连富士工具引进日本技术开发的精镗、半精镗、倒角复合镗刀如图 5-31 所示。是加工汽车发动机缸体的首选刀具。除此以外,还有无锡瓦尔特、以色列伊斯卡、瑞典山特维克等多种品牌的复合镗刀可选,现在还有更先进的精镗单元配上高档机床来满足零件的精细加工要求。



- 制品材质: HT300
- 工 具
 - 刀具构成 精加工、半精加工、倒角用三刃镗刀
 - 刀 片 CBN 或陶瓷
 - 刀 片 SPGN120416(精加工、半精加工)
 - φ12.7×4.76×1.6 特殊(倒角)
- 切削条件
 - 切削速度 300~500 m/min
 - 进 给 量 0.15~0.3 mm/刃(精加工)
 - 进 给 量 0.25~0.4 mm/刃(精加工)
 - 切 削 油 无(空气)

工具寿命

工具寿命:精 加 工	CBN:700 件位置	陶瓷:100 件/位置
半精加工	CBN:1 000 件位置	陶瓷:250 件/位置
倒 角	CBN:1 000 件位置	用于半精加工

图 5-31 精加工、半精加工、倒角复合镗刀

⑤ 复合铣刀

在组合机床上,常在铣刀刀杆上对装两把铣刀(一把左切,一把右切)同时铣削工件的两侧面,有时也在铣刀杆上装多把铣刀铣工件多层壁的侧面如图 5-32 所示,经常遇到四缸发动机八侧面铣床,就用的这类复合铣刀铣汽缸体曲轴轴承座的侧面或多个工件的侧面。如图 5-33 所示,同时铣两个弹簧吊耳的四个侧面。

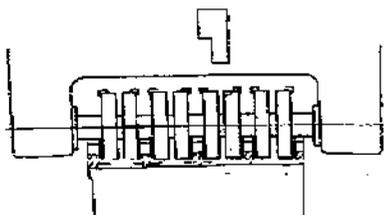


图 5-32 铣汽缸体轴承座侧面

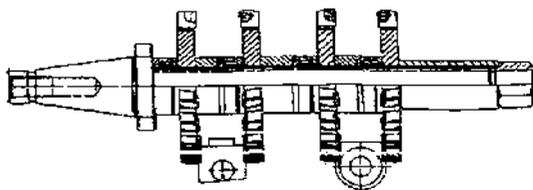


图 5-33 装多把铣刀的复合铣

(2) 不同类工艺复合刀具

① 钻-扩复合刀具

钻-扩复合刀具使用较多,一般用它来加工阶梯孔或对孔进行钻-扩加工,其扩孔部分加工出的精度和粗糙度比用复合钻加工的孔略高。图 5-34 为常见的一些钻-扩复合刀具。

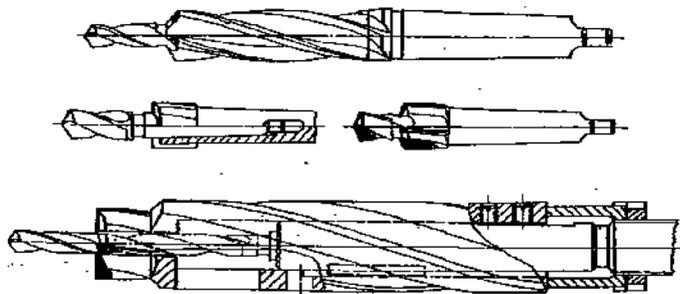


图 5-34 钻-扩复合刀具

钻-扩复合刀具的扩孔钻部分也可做成错齿的,成为钻孔-倒角-扩孔(或铤沉孔)复合刀具,如图 5-35 所示,这种复合刀具用于加工材料为 HT200 的铸件,切削用量为: $n = 350 \text{ r/min}$, $s_{\text{钻孔}} = 0.11 \text{ mm/r}$ 。它的制造技术要求为:

- $\phi 12.7_{-0.048}^0$ 及 $\phi 24_{-0.03}^0$ 外圆和 $\phi 24_{-0.03}^0$ 端面对 3 号莫氏圆锥跳动不大于 0.02 mm, 118° 切削刃和 30° 切削刃跳动不大于 0.035 mm;
- 钻头 $\phi 12.7_{-0.043}^0$ 外圆锥磨倒锥度 0.06;
- 钻头硬质合金刀片对轴心偏移不大于 0.1 mm;
- 118° 切削刃磨后角在外圆处为 9° ;
- 钻槽与扩孔钻槽应相通,前面应平滑;
- 刀体材料:40Cr—C38。



在设计钻-扩复合刀具时,要特别注意使钻出的大量切屑能顺利排出,最好钻头部分的长度大于工件壁厚,并将钻槽与扩孔槽铣通。

② 钻-铰复合刀具

钻-铰复合刀具一般用于加工直径不大的孔,在铸铁上用钻-铰复合刀具一次加工,可以加工出 IT8 级精度和粗糙度 $R_a 3.2$ 的孔。在加工箱体零件的组合机床自动线中,常采用钻-铰复合刀具加工定位销孔。

钻-铰复合刀具,一般设计成高速钢的,也可以设计成硬质合金的,硬质合金的钻-铰复合刀具具有较高的耐用度。

钻-铰复合刀具的钻头部分,在条件允许时应适当加长以利于排屑,对于高速钢钻-铰复合刀具,还可以延长刀具的寿命。

在一般情况下,钻-铰复合刀具的铰刀部分是影响加工质量的主要方面,必须加以注意。另一方面,钻头刃不对称,会使钻-铰复合刀具在钻孔时晃动,把孔扩大并使表面粗糙度下降,影响铰孔的质量。另外,钻孔时刀具的晃动,会使铰刀在导套中晃动,如导向直径不大于铰刀直径,将加速铰刀和导套的磨损甚至磨损导套。因此在设计钻-铰复合刀具时必须对钻头刃磨的对称性提出要求,一般取钻头切削刃的跳动不大于 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$,而钻-铰复合刀具的导向部分直径希望比较刀直径大 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ 。

图 5-36 为钻-铰复合刀具。它的制造技术要求为:

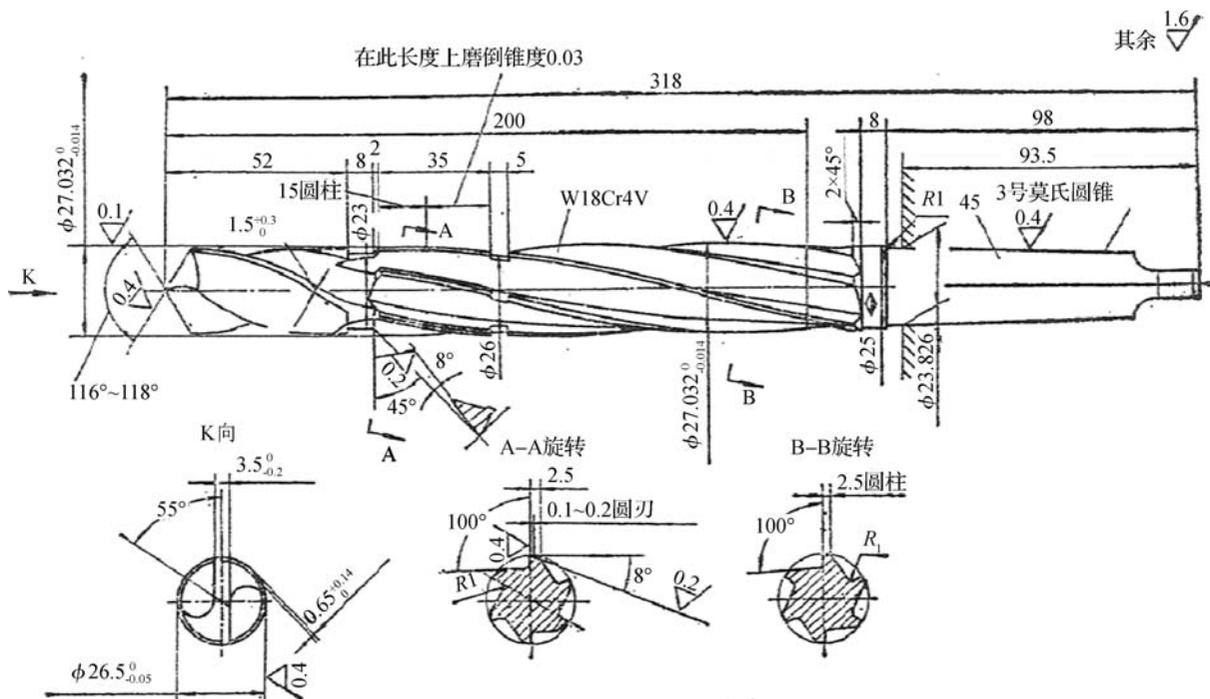


图 5-36 钻-铰复合刀具



- a. $\phi 26.5_{-0.05}^0$ 、 $\phi 27.032_{-0.014}^0$ 、 $\phi 27.1_{-0.014}^0$ 对 3 号莫氏圆锥的跳动不大于 0.02 mm, 118° 和 45° 切削刃的跳动不大于 0.04 mm;
- b. 钻头外磨倒锥 (0.05~0.08)/100;
- c. 钻头槽右旋, 螺旋角 30° ; 铰刀槽右旋, 螺旋角 12° 。两沟槽铣通, 但不得损伤切削刃;
- d. 刀具材料: W18Cr4V-C63, 尾柄 45-C40。

③ 扩-铰复合刀具

扩-铰复合刀具, 一般用于半精-精加工孔。在铸铁件上经钻孔之后用扩-铰复合刀具加工直径不大的孔, 可以稳定保证 IT7 级精度和的粗糙度 $R_a 1.6$ 。图 5-37 为扩-铰复合刀具 (加工发动机气门挺杆孔用)。



图 5-37 扩-铰复合刀具

小直径扩-铰复合刀具做成高速钢的, 直径较大的可做成硬质合金的, 当铰刀耐用度比扩孔钻耐用度低很多或者相反时, 也可以将其中一个做成硬质合金的。

扩-铰复合刀具的切削用量, 应很好考虑, 以保证加工质量。扩-铰复合刀具的切削速度, 在主轴箱不能变速时, 应选取铰孔或略高于铰孔的切削速度; 扩-铰复合刀具的走刀量, 一般在扩孔时仍按扩孔选取, 扩孔后用加速进给机构加大铰刀的走刀量。如因结构限制, 不能采用加速进给机构时, 则选取扩孔与铰孔之间的走刀量。图 5-38 为常用的一种扩-铰复合刀具。

它的制造技术要求为:

- a. 在顶尖上检查, 所有磨过的外圆跳动不大于 0.04 mm, $\phi 27.8_{-0.033}^0$, $\phi 28.012_{-0.006}^0$ 对 $\phi 20g5$ 、 $\phi 30g5$ 的跳动不大于 0.01 mm, 扩孔钻的斜切削刃和铰刀的 6° 切削刃跳动不大于 0.02 mm;
- b. 扩孔钻槽右旋, 螺旋角 12° , 导程 415;
- c. 刀体材料: 9SiCr, 扩孔钻部分 C63, 导向部分硬度允许降低到 HRC60, 扁尾 HRC38。

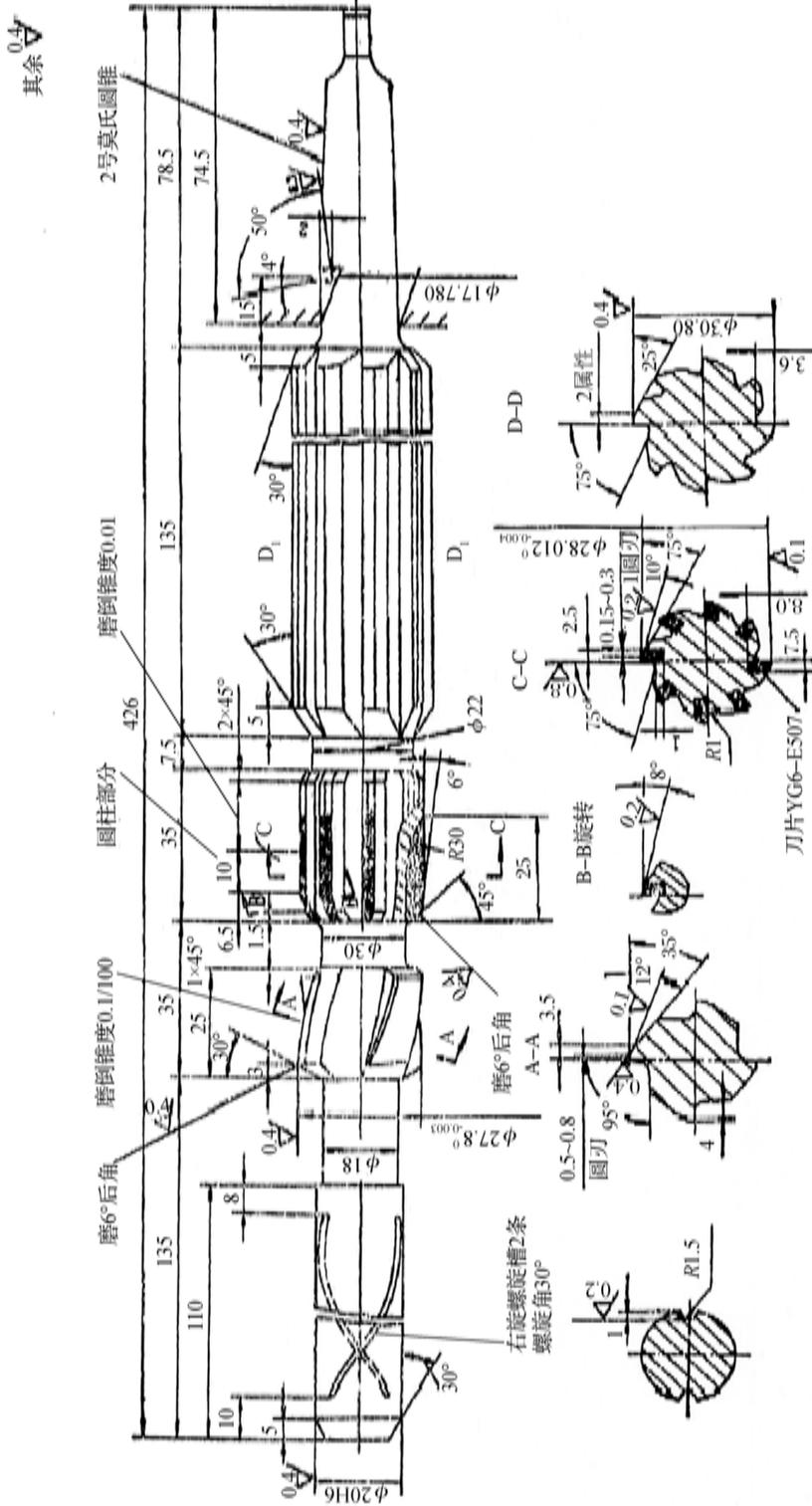


图 5-38 扩-铰复合刀具

④ 扩-镗复合刀具

扩-镗复合刀具一般用于镗孔-铤沉孔[图 5-39(a)],有时也用于加工同一轴线两层壁上的孔[图 5-39(b)],在前一种场合,如需要时也可装一副倒角刀在孔口倒角,成为镗孔-倒角-铤沉孔复合刀具[图 5-39(c)]。镗-铤沉孔复合刀具,也可用来镗孔-铤端面,此时铤钻可不开圆周刃。

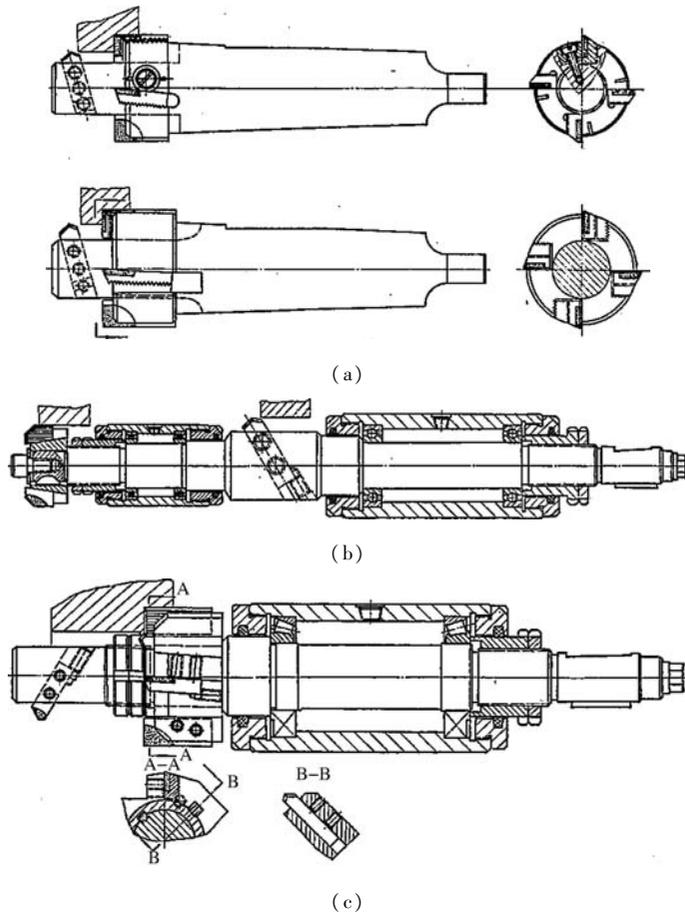


图 5-39 扩-镗复合刀具

5.2 组合机床常用工具

5.2.1 接杆

在组合机床上,钻头、扩孔钻、铰刀和丝锥等刀具和主轴是通过接杆、卡头等中间工具连接起来的。表 5-8 所示为常用的夹持圆柱柄刀具的弹簧夹头,它们分别与相应的接杆或卡头配套使用。



表 5-8 弹簧夹头

序号	用途	简图	外形尺寸			
			d (mm)	D (mm)	L (mm)	莫氏圆锥
1	用于夹持 $\phi 3 \sim \phi 12.9$ 的圆柱柄刀具, 如直柄钻头、铰刀等		d (mm)	D (mm)	L (mm)	莫氏圆锥
			3~8.9	12.285	66	1
			6.2~12.9	17.08	98.5	2
2	用于夹持 $\phi 3 \sim \phi 25$ 的圆柱柄刀具, 如直柄钻头、立铣刀及镗刀杆等		规格	d (mm)	D (mm)	L (mm)
			3~10	3、4、5、6、8、10	18	30
			6~20	6、8、10、12、14、16、18、20	32	50
			10~25	10、12、14、16、18、20、25	40	70
3	用于夹持 M6~M30 的机用丝锥		d	D	L	莫氏圆锥
			4.8~7	12.31	67	1
			6~12.5	18.06	80	2
			12.5~18	24.15		3(短型)
			18~24	31.66	90	4(短型)

使用接杆后,可以调节主轴的轴向距离,更好地发挥机床的加工效能。如图 5-40(a)所示为组合机床用的接杆。(a)长接杆多用于小型组合机床上的钻孔、扩孔和铰孔等加工,一般用来夹持直径较小的刀具。(b)短接杆的卸刀槽装入主轴孔内,所以轴向距离较短,但装卸刀具时必须同时取下接杆。接杆的后端安装在主轴外伸部分的内孔中,并通过平键连接来传递动力。接杆的前端应根据刀具尾部的莫氏锥度号来安装刀具。接杆安装好后,可通过调节螺母调整刀具的轴向距离,然后将锁紧螺钉拧紧。

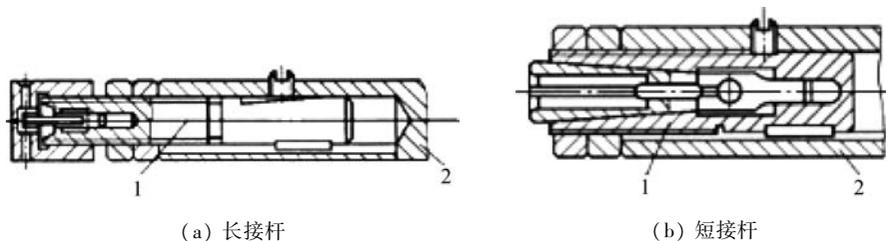


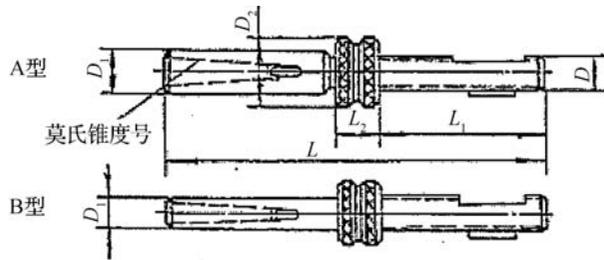
图 5-40(a) 接杆

1—接杆;2—主轴

图 5-40(b)为普通最常用的另一种接杆,有时由于加工零件的要求,接杆必须加强,故这种接杆分为 A、B 两型,A 型为加强接杆。有时需要用接杆导向,则可采用图 5-40(b)所示的接杆,其前端用于导向的部分应根据具体条件开出各种沟槽,参见图 6-45,导向表面应经过精确制造。

在轴数较多的组合机床及其自动线上,为了迅速方便地更换刀具,常采用各种快换工具。如图 5-41 所示为典型的快换接头结构。这类接头多采用钢球固定,锁紧安全可靠,精

度和刚度与通常的接杆一样。更换时,只需手拉滑套做克服弹簧力的轴向移动,使钢球滑出就可以松开接头螺母。如图 5-42 所示的两种快换接头,它们的结构和工作原理与图 5-41 快换接头基本相同,可实现刀具的快速更换。在自动线上使用快速接头时,刀具经常是用对刀仪校对好的,因此安装加工同一尺寸的刀具时,为使螺钉 1 的端面 A 处在同一平面上,可通过调整螺母 3 实现。若用主轴直接作为快换夹头体时,就不能利用螺母 3 来调整,可以用磨制好的不同厚度的调整垫 2 来保证端面 A 处于同一平面。



接杆号	D	D_1	类别	D_2	L	L_1	L_2	莫氏锥度号					
1	14	20	A	2	根据设计需要选择	85	21	1					
2		18											
3		22											
4		24											
5		30											
6	20	22	B	38		110	26	1					
7		24											
8		30											
9		34											
10	26	26	A				50	130	30	2			
11		30											
12		32											
13	36	36	B		65				130	30	3		
14		32											
15		38											
16	44	46	A	80		130				34	4		
17		48											
18	60	48	B							80	130	34	5
18		65											

图 5-40 (b) 接杆

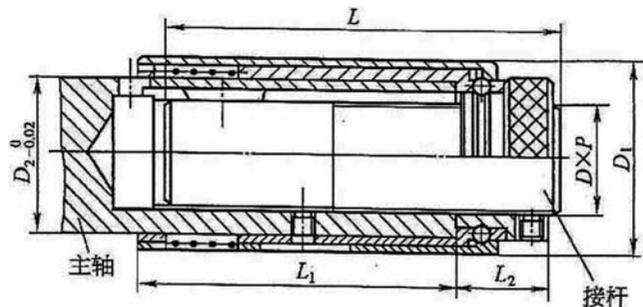


图 5-41 快换接头

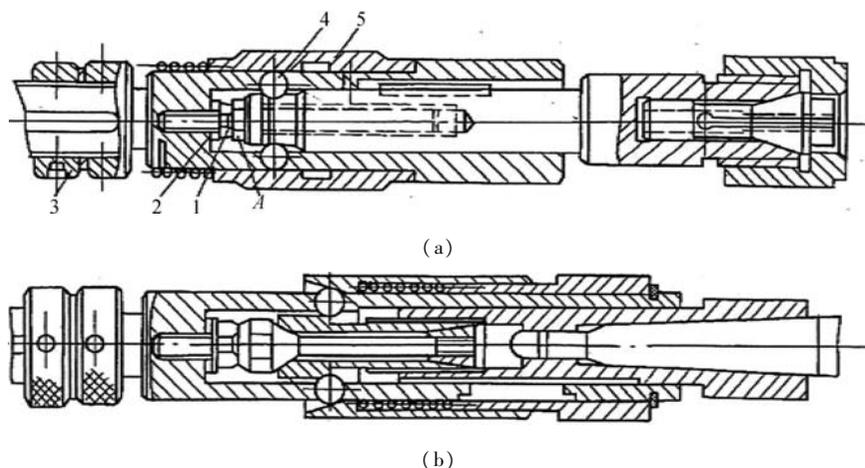
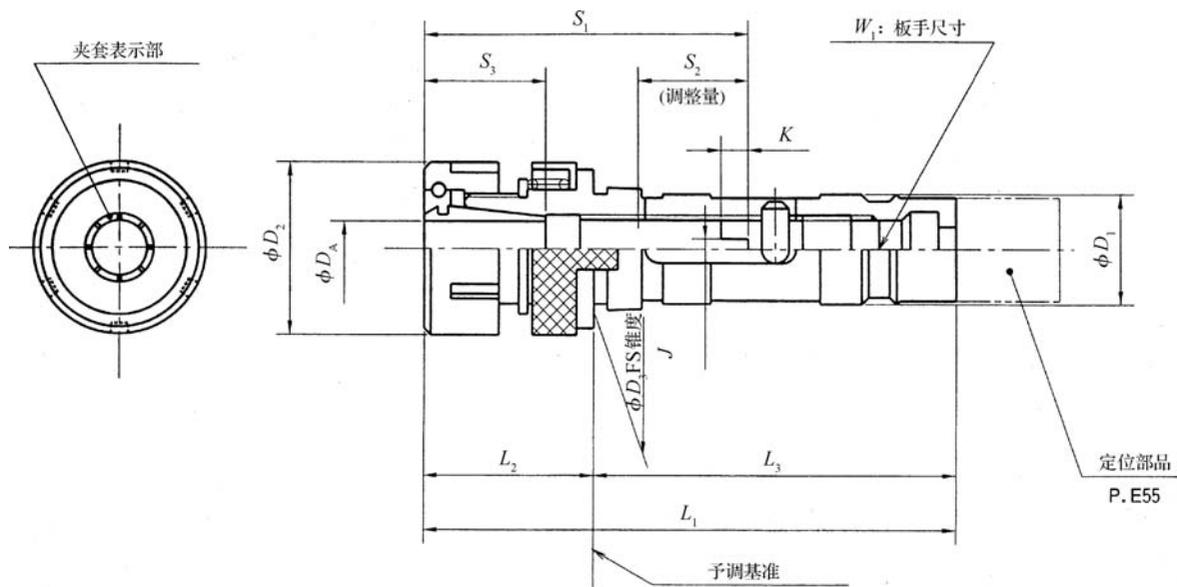


图 5-42 快换接头

1—螺钉;2—调整垫;3—调整螺母;4—钢球;5—滑套

大连富士公司引进日本技术研发的快换接杆和丝锥快换接杆精度高,更换刀具速度快,使用方便,是组合机床及其自动线上广泛使用的工具。图 5-43 所示为 HRG 型快换接杆,是全系列中的一种型号,装刀直径范围为 $\phi 0.5 \sim 22$ mm,根据需要还有多种型号可选。



型号	ϕD_1	ϕD_2	ϕD_3	ϕD_A 范围		L_1	L_2	L_3	S_1	S_2	S_3	W_1	夹套
				以上	以下								
HRG-16	16	25	18	0.5	8	77.5	25	52.5	48	16	18	4	NBC8
HRG-19	19	30	21	1.5	9	91.5	28	63.5	59	23	27		NBC10
HRG-22	22	35	24	2.5	12	101.5	32	69.0	64	26	31	6	NBC13
HRG-26	26	42	28		16	110.5		78.5	75	33	35		NBC18
HRG-35	35	46	38		20	132.5	34	98.5	91	36	36		NBC20

图 5-43 HRG 型快换接杆

图 5-44 为用钢球夹紧的快换攻丝接杆。接杆 1 用三个钢球 3 压紧丝锥尾柄，推动套 4，压缩弹簧 2，即可取下丝锥。钢球从螺孔中放入，嵌在套 4 的圆周上。

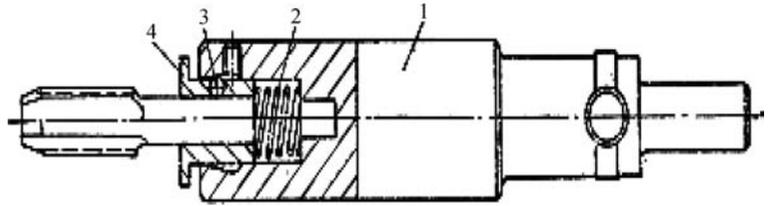
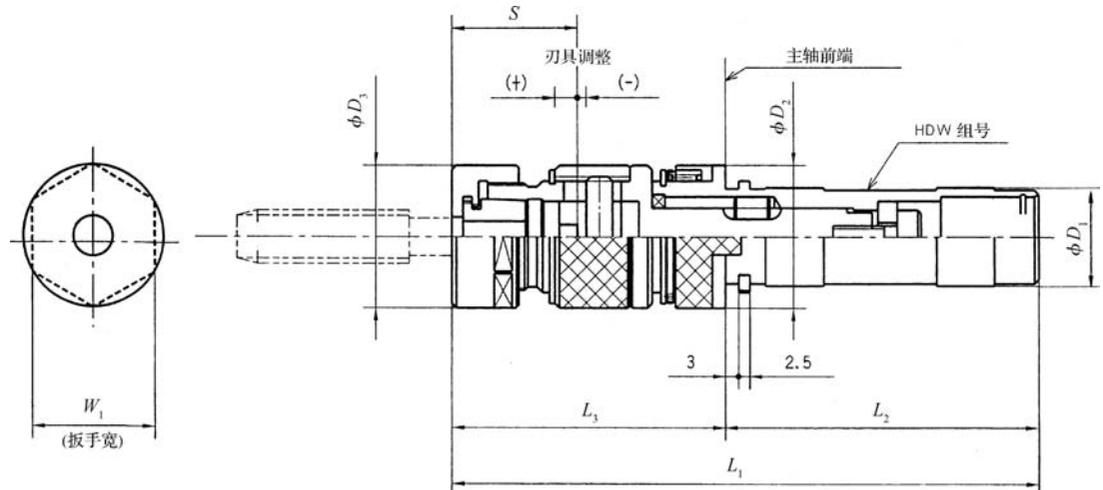


图 5-44 快换攻丝接杆

图 5-45 为 FTHX 型丝锥快换接杆，也是全系列型谱中的一种型号，装夹丝锥规格范围为 M5~M30 公制螺纹和 1/8—3/4 英寸管螺纹等丝锥，根据需要，还有多种型号可选。



型号	ϕD_1	ϕD_2	ϕD_3	L_1	L_2	L_3	W_1	扳手	适应丝锥称呼	适应工件材质
FTHX-16	16	24	24	120	50	65	21	SP-21	03~08	铝
				115		60			0G, 1G, 1P	
FTHX-19	19	28	28	132	65	67	25	SP-25	03~08(10~12)	钢·铸铁·铝 ()内指铝
FTHX-22	22	32	32	137	70	62	28	SP-28	03~08	钢·铸铁·铝
				132		67			0G, 1G, 1P	
FTHX-24	24	32	32	137	80	67	36	SP-36	03~12	钢·铸铁·铝
				132		62			0G, 1G, 1P	
FTHX-26	26	36	40	163	80	83	36	SP-36	14~18(20)	钢·铸铁·铝 ()内指铝
				158		78			2G, 3G, 2P, 3P	
FTHX-28	28	36	40	163	80	83	36	SP-36	14~18(20)	钢·铸铁·铝 ()内指铝
				158		78			2G, 3G, 2P, 3P	
FTHX-35	35	46	50	187	100	87	45	SP-28	18~22(24~26)	钢·铸铁·铝 ()内指铝
				195		195			4G, 4P	
				190		190			24~30	
FTHX-48	48	62	58	213	110	213	52	SP-36	24~30	钢·铸铁·铝
				203		208			6G, 6P	

图 5-45 FTHX 型快换接杆



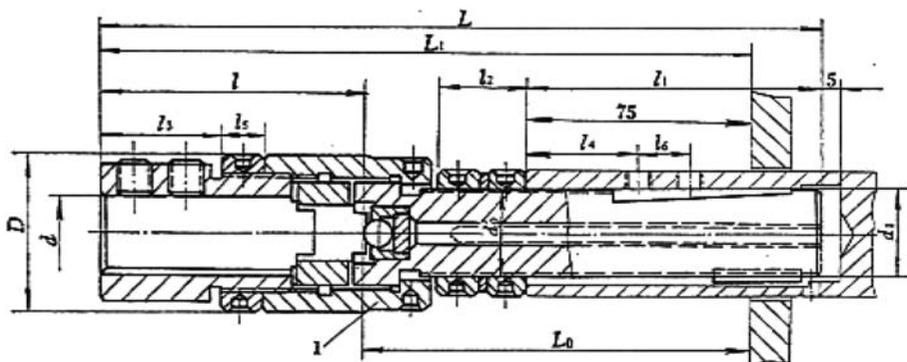
5.2.2 卡头

为避免主轴与夹具导向套的不同轴度以及主轴的振摆对加工精度的影响,在采用长导向套或多个导向套进行镗孔、扩孔或铰孔时,刀杆与主轴之间需采用浮动卡头连接。图 5-46(a)、(b)为组合机床常用的两种浮动卡头。使用图 5-46(a)大浮动量的浮动卡头时,为保证有足够的浮动量,不应将螺母 1 拧得过紧。在非立式机床上使用这种卡头,滑台返回时,如刀杆导向部分退出夹具导向套,则刀杆下垂量较大。为了能顺利地重新进入导套,机床需设托架,将刀杆托起。在使用图 5-46(b)浮动量较小的卡头时,可不要托架。但是,为了避免刀具因下垂过大而不能重新进入导套,就必须根据刀杆的长度计算刀杆前端的下垂量。如图 5-47 所示,应能满足: $d/2+\Delta < D/2$

$$\Delta \approx 0.85L/l + \delta \quad (5-2)$$

式中:0.85—浮动卡头本身的间隙见图 5-46(b); δ —工具及主轴系统因重量产生的挠度; Δ —刀具下垂量; D, d, l, L 见图 5-47。

如果 $d/2 + \Delta < D/2$, 则应加大导套直径 D ; 或者设计新地浮动卡头, 加长卡头长度 l 。使用这种卡头时, 为了能灵活地浮动, 不可将图 5-46(b) 的螺钉 2 拧紧了, 而应保持与卡头尾柄端面之间有 0.1~0.2 的间隙; 否则, 会失去浮动的功能。

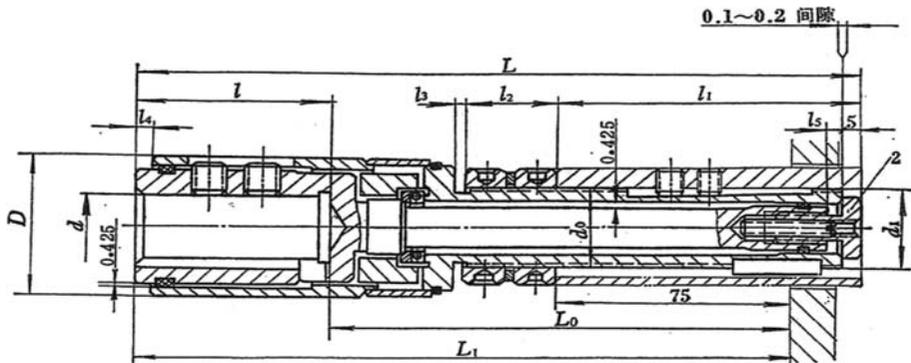


(单位:mm)

夹头 型号	d	d_0	d_1	D	L	L_1	L_0		l	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	质量 (kg)
							最小	最大								
T6111	22	T26×2	26	48	210	200			75		26					1.5
T6112	32	T36×2	36	65	215	205	125	147	80	85	30	35	32	12	15	3.3
T6113	40	T44×3	44	76	220	210			85					15		4.8
T6114	50	T60×3	60	95	260	235	135	167	100	100	34	39	30	15	18	7.8
T6115	110			9.6												

图 5-46(a) 通用浮动卡头之一

注:为便于设计参考,将镗杆尾端至主轴箱前盖端面的尺寸“ L_0 ”列出。一般情况下应按 L_0 的最小尺寸计算。



(单位: mm)

夹头 型号	d	d_0	d_1	D	L	L_1	L_0		l	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	质量 (kg)
							最小	最大							
T6121	22	T26×2	26	45	205	195	140	162	55	85	26	4	5	4	1.5
T6122	32	T36×3	36	60	219	205	145	167	60	89	30				2.9
T6123	40	T44×3	44	72	220	210	160	163	65	85	3	3	3	4.3	
T6124	50	T60×3	60	95	260	230	160	194	70	105				34	4
T6125	60			100	270	240	165	199	75		9.3				

图 5-46(b) 通用浮动卡头之二

注:为便于设计参考,将镗杆尾端至主轴箱前盖端面的尺寸“ L_0 ”列出。一般情况下应按 L_0 的最小尺寸计算。

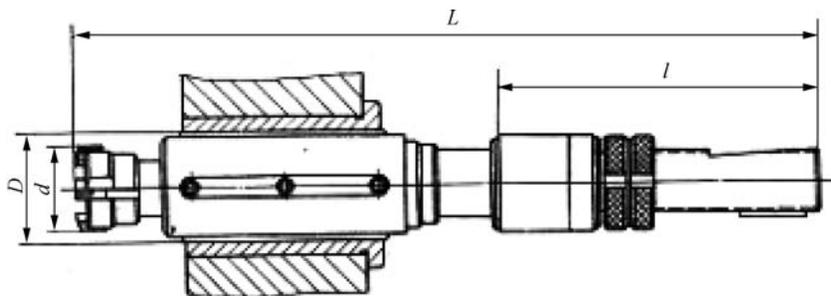


图 5-47 刀具下垂量计算

5.3 组合机床及其自动线常用的量检具

5.3.1 测量工具

组合机床在总装调试过程中,一般需要对机床的安装水平;床身导轨的直线度和扭曲;主轴回转轴线对滑座导轨的平行度;主轴孔轴线对主轴回转轴线的径向跳动;夹具导向孔轴线对滑座导轨的平行度;主轴回转轴线与夹具导向孔轴线(或样件孔轴线)的同轴度等精度项目的检查。在以上工作中常用的测量工具有:千分表、磁性千分表座、直角千分表座、一般千分表座、框式水平仪、塞尺、直角尺、刀刃尺、高精度游标卡尺和块规等。此外为了测量



较大平面或机床导轨面,常用水平桥,如图 5-48 所示。

在组合机床装配和检查精度时,为了便于使用千分表、水平仪等进行精度检查,例如检查部件间的平行度和垂直度等,还需要一些过渡的基准件,用得最多的是方筒,如图 5-49 所示。

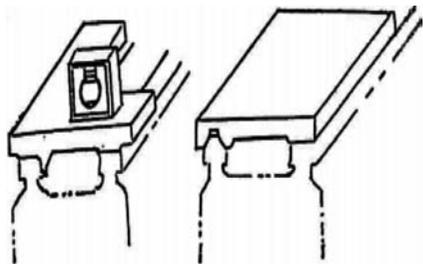


图 5-48 水平桥图

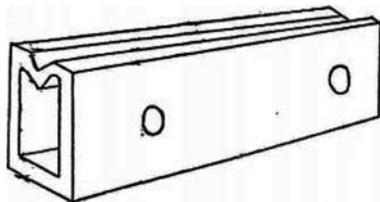


图 5-49 方筒

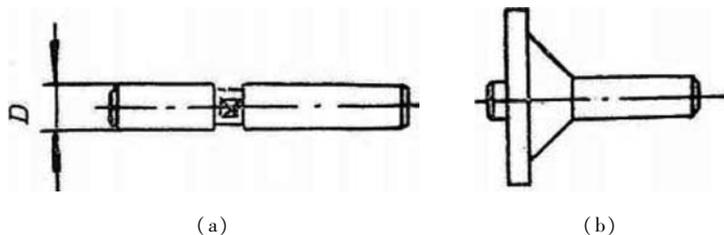


图 5-50 检验棒

为了检查主轴精度以及主轴与夹具导向孔的相互位置精度,常常需用检验棒。每台机床所用的检验棒一般都是做成专用的,检验棒与主轴孔或夹具导向孔的配合直径 D 不应做成最后的成品尺寸,而需到装配时,测量出主轴孔或夹具导向孔的实际准确尺寸,按 -0.01 mm 公差进行配作,需要做到轻推入而又无间隙。为了缩短制造周期,也可以按主轴孔或夹具导向孔的精度等级,把检验棒直径做成大、中、小三级,预先做出三根检验棒来,到检查精度时,选用其中松紧合适的一根,作为测量用检验棒。图 5-50 所示为常用检验棒的示意图。

在装配多工位回转工作台机床时,为了准确测量多工位回转工作台的分度精度,比较好的办法是采用精确的多面体和自准直仪,自准直仪与多面体配合使用,即可测量多工位回转工作台的分度精度。

机床出厂前的初验收和出厂后到用户安装完后的终验收,仍需进行调整和精度检验,空运转试验和切削试验,全部合格后,才能投入生产。在这些工作中仍需要上述的一些测量工具。

5.3.2 样件和试件

当夹具上没有导向孔(如带刚性主轴的组合机床)时,机床就没有测量基准。对于这类机床,一般都应预先制造一个检验机床与夹具相对位置用的专门胎具——样件。样件上要加工出作为测量基准用的孔或平面,这些孔或平面与定位销孔和定位面之间应有严格的位

置精度要求,通常平面应精刮,孔应在坐标镗床上进行加工。检验机床精度时,将样件装在机床夹具上,借助样件上的相应孔或平面,即可测得机床主轴对夹具定位基准的位置精度。样件有时也可用被加工零件的毛坯按上述精度要求制成。样件使用完后,必须妥善保存,随机床供给用户,以便调整机床时使用。

组合机床总装和调试完毕后,都需要进行切削试验。因此,在开始总装前,就应当准备好足够数量的试件。试件要进行检查,所有试件都必须完成在本机床加工前所应完成的工序,定位基准(定位面和定位销孔)是否符合本机床的要求精度,材料的硬度是否在允许值之内,零件的加工余量,毛坯的轮廓尺寸等都应进行检查。试件的数量可查阅《组合机床制造与验收技术要求》中规定的数量,也可以和用户商定。

5.3.3 组合机床自动线的检测装置

在自动线上通常需要进行检查和测量的项目有:毛坯的质量检查;攻丝工序前的钻头折断检查以及孔深检查;小直径深孔钻削时的钻头折断检查;精加工工序的加工精度测量等。

1. 毛坯尺寸检查装置

在自动线上加工的工件毛坯,对其外形尺寸、各表面间的相互位置、材料质量以及铸件内腔型砂的清理和毛刺的清除等方面,都必须有严格的要求,以避免由于毛坯质量不好而影响自动线的正常工作。这些项目一般都需要在备料车间进行检查。然而,为了可靠起见,对毛坯的外形尺寸以及需要伸进镗模架进行加工的内腔尺寸等,在上自动线以前,仍要进行检查。这种毛坯尺寸检查装置实际上是一个固定式的“样板”,是按毛坯允许的最大外形尺寸及各表面的最大位置偏差设计的,设置在自动线的装料工位处。凡能通过这个检查装置的毛坯,就送进自动线进行加工,通不过的毛坯则予以剔除,以免损坏自动线上的刀具和机构,保证自动线可靠地工作。

图5-51所示是用于检查汽缸盖毛坯尺寸的检查装置。操作者在滚道上将汽缸盖1送进检查装置,通过限位块2,顶在挡铁3上,实现对毛坯外形尺寸的检查。然后在液压缸10的作用下,经过花键轴5上的杠杆4和8,使测杆9(两处)伸出,检查工件长度。同时花键轴5上的杠杆6推动检验销7,检查两个椭圆形凹窝对端面的位置关系。因为这个位置将作为加工定位销孔用的工艺基准。当测杆9或某一个检验销7顶住工件时,表明毛坯不合格,则装在花键轴5一端(图示左端)的挡铁不压行程开关,使毛坯不能进入自动线,或发出毛坯是废品的讯号。

这种毛坯检查装置,也可以按工件的工艺要求,先用圆锥形的或张开式的芯棒,插入毛坯铸出的孔或凹部定位,然后用可伸缩的检验销来检查毛坯的外形尺寸,以及这些外部轮廓相对于铸孔的位置精度。

2. 孔深检查装置

孔深检查装置用探针来检查孔的加工深度,同时也可以间接地检查出钻头是否折断,尤其是对于加工中容易折断的刀具,如直径在10~12 mm以内的钻头。另一方面对那些分几道工序完成的孔,如钻孔后有攻丝工序的孔,如果钻头折断而未被及时发现,到攻丝工时,丝锥就会遭到损坏。检查孔深的工位,应布置在被检查刀具进行工作的那个工位之后,以减

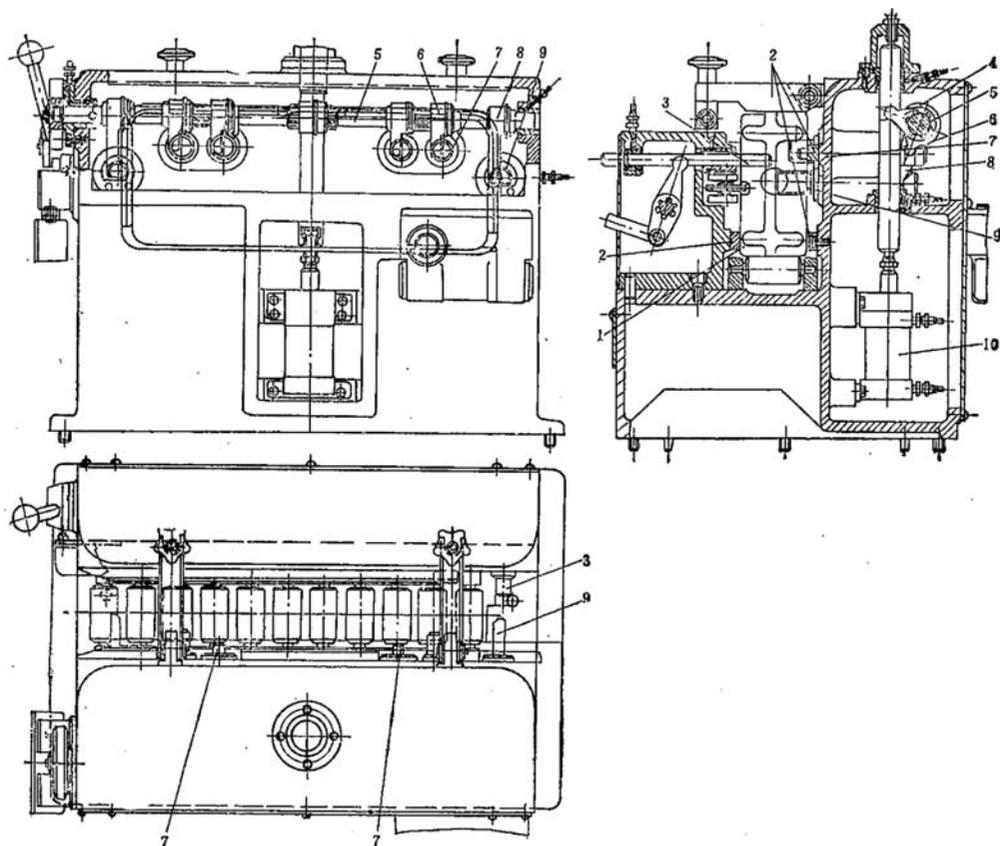


图 5-51 汽缸盖毛坯检查装置

少出现废品的数量。

如果钻出的孔是盲孔,孔内会积存有切屑,因此在检查孔之前必须排除切屑。

图 5-52 所示为安装在多轴箱的侧面的加工汽缸盖的组合机床自动线上的孔深检查装置。检查装置 1 用支架 2 安装在多轴箱 3 的侧面上。为了减轻重量,检查装置和支架用合金铸铝制成,这种方法就不需要单独的传动装置,而且不需要专门的检查工位。其工作原理是:在动力部件 4 前进加工时,带动检查装置 1 向前,其上的探针 6 伸进相邻工位上的工件 5 的孔中,检查是否已加工出孔及孔深是否达到要求,如果加工的孔不合格时,探针 6 及导杆 7 被压缩,克服弹簧(在检查装置内,图中未画出)的作用力而缩入检查装置内部。导杆 7 上设有挡铁,压下限位开关,发出下一道工序不能继续进行的信号。

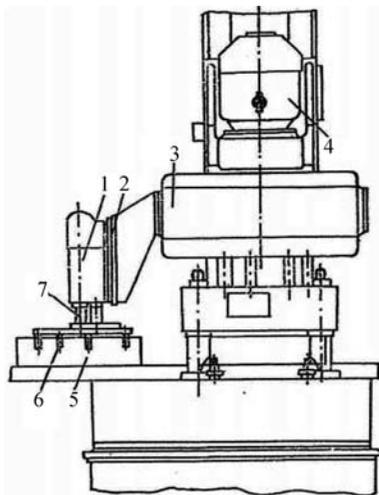


图 5-52 孔深检查装置

在采用探针检查工件时,为了保证工件的正确位置,检查工位上都应设置同机床夹具上采用的那种工件定位机构。这时,在大多数情况下工件不用夹紧,而只要用一些限位挡板防

止插定位销时工件产生偏移就行了。如果工件用带刚性棘爪的输送带钩住加工面移动,并且探针的直径能比被检查孔的直径小5~6 mm,那么工件在检查工位上就可以不用定位。这样的直径差别就可以补偿在工件与输送带刚性棘爪之间,以及工件与侧面限位板之间(探针垂直布置时)的间隙范围内所产生的偏移。

检查直径小于5 mm的单个通孔时,探针由于刚性差而不宜采用,这时可以采用借助于压力继电器和输送压缩空气的弹簧套的气动检查方法,图5-53为小直径孔气动检查示意图。

弹簧套2用弹簧1顶在工件上,并且有橡胶密封3以防漏气,在孔已钻通的情况下,空气畅通,如果孔没有钻通或没有孔时,则气路内压力升高,压力继电器发出信号而停止自动线继续工作。这时检查每一个孔都应该设置单独的压力继电器。

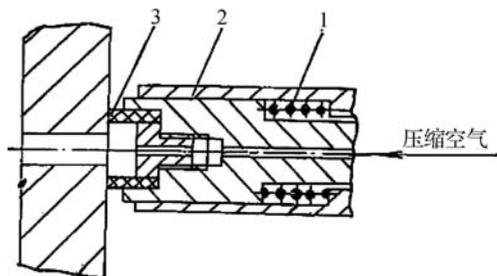


图 5-53 小直径孔气动检查示意图

3. 工件定位基面与夹具支承平面贴合情况的检查装置

在自动线的加工和工件的输送过程中,经常有切屑、粉尘、油污和冷却液等脏物,进入工件定位基面和夹具支承平面上,必须采取多种措施来清除这些脏物,如用压缩空气吹净(这时要加吸尘装置,防止粉尘飞扬);用冷却液冲洗(这时冷却液要经过过滤,否则冷却液中的脏物会附着在工件定位基面或夹具支承面上);用固定的刷子清扫工件顶面的切屑;也可设置防护罩防止切屑溅入夹具支承平面等。虽然采用了多种防护措施,但是并不能保证完全清除掉定位基面上的切屑和脏物,因此,在最后的精加工工位上,仍需设置专门的检查装置,来检查工件定位基面与夹具支承平面之间的贴合情况。

图5-54所示为工件定位基面与夹具支承平面贴合情况检查装置原理图。检查装置采用了薄膜式高压气动量仪的结构,压缩空气 p 经过过滤器、稳定器,使压力稳定在所需的工作压力 p_g ,再进入分配器中。气流在分配器中分成两路:一路经主喷嘴 d_1 进入气室,再经装在支承板上的测量喷嘴 d_2 端面与被测表面间所形成的间隙 a 而流入大气。另一路经喷嘴 d'_1 进入上气室,通过出气环与大气相通。调节出气环可调节气路的零位。这种检查装置可以检查出0.02 mm以上间隙。

为了防止由于检查工位上没有工件而造成自动线整个工段的停机,必须设置行程开关或气动压力继电器来检查有无工件。在采用冷却液的自动线上最好使用压力继电器,因为在这种情况下行程开关是处在加工区域内的,容易浇上冷却液。当自动线上某工位没有工件时,尽管已由检查装置发出了禁止信号,但行程开关或压力继电器也发出信号,禁止该工位上动力部件向前运动,而允许该工段其他工位上的动力部件向前运动。

4. 精加工孔的自动测量

随着组合机床自动线工艺范围的日益扩大,很多精加工工序纳入了自动线加工。为了可靠地保证加工精度,在组合机床自动线上采用了自动测量技术。有时在一些压套工序之前,也需要对孔进行自动测量。

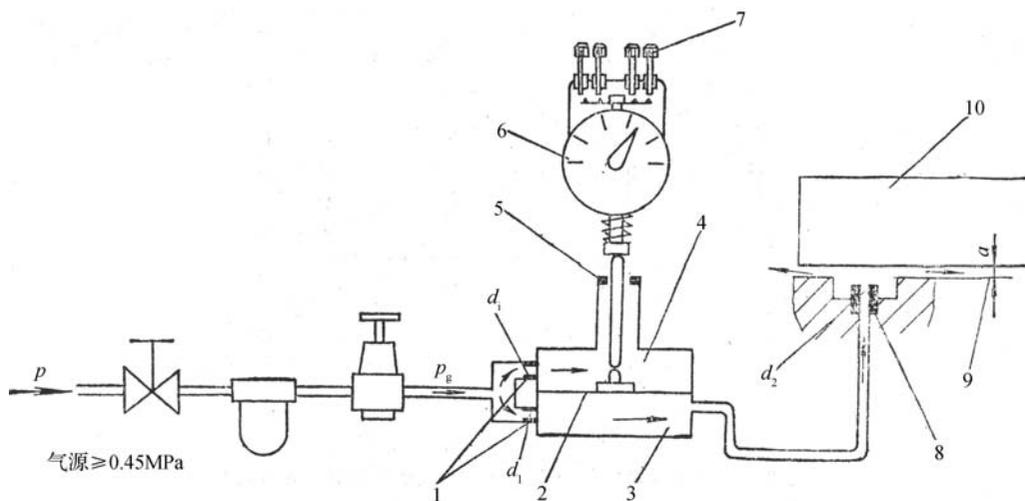


图 5-54 工件定位基准面与夹具支承平面贴合情况检查装置

- 1—进气喷嘴;2—喷片;3—下气室;4—上气室;5—出气环;6—指示表;
7—触点调整螺钉;8—测量喷嘴;9—测量间隙;10—工件

目前适用于组合机床自动线上进行自动测量的 GQ-68 型气动量仪,具有结构简单,操作方便,灵敏度高,稳定性好等特点。GQ-68 型气动量仪的原理如图 5-55 所示。它是一种压力型的气动量仪,被测工件尺寸变化时,使测头 13 与工件 14 之间的间隙 a 发生变化,从而引起测压气室 8 的压力变化,通过水银压力计,再把压力的变化重新换为水银柱高度的变化。这时通过水银管 11 旁的标尺可以读出已放大的被测工件的偏差,同时通过水银管上的电触点 10,经电气信号装置给机床以控制信号和指示信号,达到自动测量和自动控制的目的。

如果用上现代 FESTO 或 SMC 传感器,该装置就更为先进可靠了。

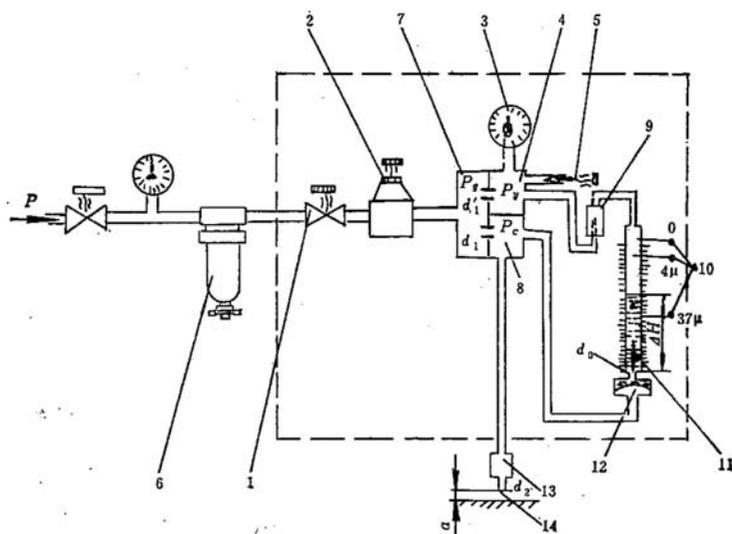


图 5-55 GQ-68 型气动量仪原理图

- 1—通气阀;2—定值器;3—压力表;4—预压气室;5—调压阀;6—滤清器;7—分配器;
8—测压气室;9—防溢流;10—电触点;11—水银管;12—鼓膜阀;13—测量头;14—工件

第六章

组合机床夹具设计

▶▶ 6.1 概述

组合机床夹具不同于普通机床夹具。普通机床夹具只是机床的辅件,如卡盘、分度头、平口钳等。而组合机床夹具是组合机床不可缺少的专用部件,它是整个组合机床中的一个重要的组成部分,其形式在很大程度上决定了组合机床的配置形式,它对组合机床加工精度、生产效率、使用性能都有很大的影响。

6.1.1 组合机床夹具的组成和分类

1. 组合机床夹具组成

组合机床夹具主要由定位机构、夹紧机构、导向机构和辅助机构等部分组成。

2. 组合机床夹具分类

(1) 按夹紧动力源来分:有手动(机械)、气动、液压夹紧等之分。

(2) 按夹紧机构来分:有直接夹紧和螺旋、偏心轮、楔铁等自锁夹紧之分。

(3) 根据相对于机床是否运动来分(这是最常规的分类方法):有固定式夹具、移动式夹具和随行夹具等之分。

3. 组合机床夹具使用场合

(1) 固定式夹具一般用在单工位机床上,并且多是用在只安装一个工件的机床上,对机床没有相对运动,它通常都有一套完整的定位夹紧和导向机构,固定式夹具相对于移动式夹具精度要高。

图 6-1 为一框形带浮动滚道的固定式夹具,它安装在多孔钻机床上,用于装夹发动机机体,对机体侧面上的若干孔进行钻削加工。

机体的纵向和侧面的初限位是转动初限位手柄 3 和固定的侧限位块实现的,工件的压紧和松开是由齿轮-齿条机构在汽缸推动下带动凸轮实现的。机体压紧后浮动滚道压下,机体松开后,浮动滚道抬起。工件为“一面两销”定位,转动定位手柄 10 实现插拔销。

(2) 移动式夹具一般用在多工位机床上,其导向部分,通常不安装在夹具体上。在工件加工过程中,对机床有间隙相对运动,用以实现工件(夹具)在移动(转动)过程中完成工件的多工序加工,它广泛应用于移动式工作台、回转式工作台、鼓轮式以及中央立柱式等类型的组合机床上,而这些机床都要一个可靠的定位、夹紧机构以保证移动式夹具每换一个工位,定位准确,夹紧可靠,加工精确。

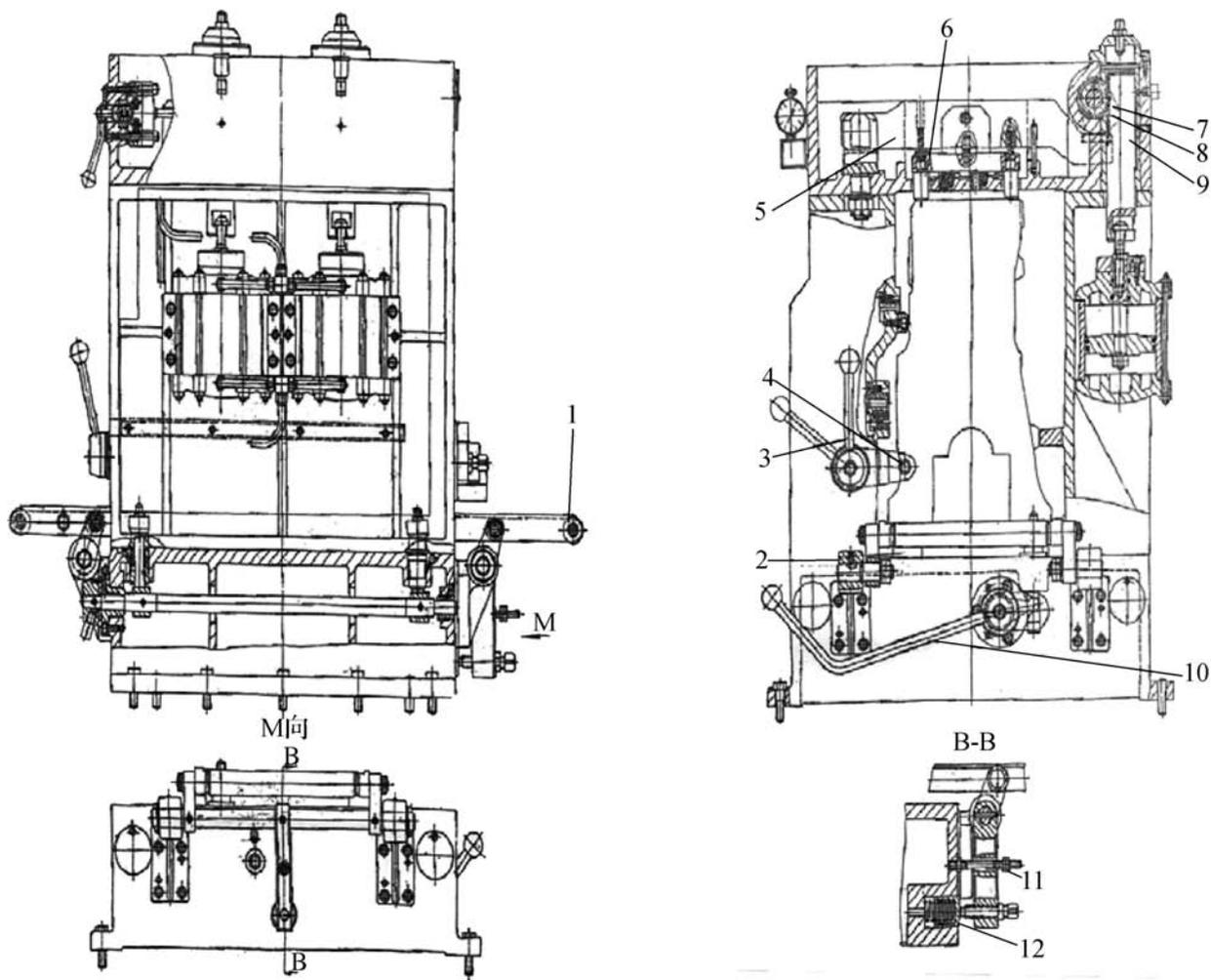


图 6-1 带浮动滚道的框形夹具

- 1—浮动滚道;2—支承板;3—初限位手柄;4—初限位螺钉;5—压板;6—压杆;
7—凸轮;8—齿轮;9—齿条;10—定位手柄;11—限程螺母;12—套

图 6-2 为双工位移动工作台夹具,用在钻、铰机油泵壳体两孔(中心距为 (25.45 ± 0.02) mm)卧式双面两工位四轴组合机床上。夹具中配两套 V 形夹紧机构,分别安装一个毛坯件和一个已完成钻孔工序的工件。夹具定位菱形销的插入和拔出以及工作台的前进后退移位是拨动手柄 4 实现的,工作台的前进后退移位是拨动手柄 3 并配合死挡铁以及初限位螺钉共同实现的。这种夹具的移动机构与夹具融于一体,夹具整体结构相对复杂。如今配上更先进的控制系统,结构可简单很多。还有不少移动式夹具自身不含有移动机构,它直接安装在移动工作台体或回转工作台体上,随工作台移动或转动,实现工位的转换,如图 6-3 所示为一典型的用于回转工作台上的四工位夹具,工件 V 形定位,螺旋夹紧。在装卸工位上每次安装两件连杆副,工作台回转,第二工位钻孔,第三工位扩孔,第四工位铰孔,转回至第一工位卸料,重新装上两个工件,重复上述的工序。

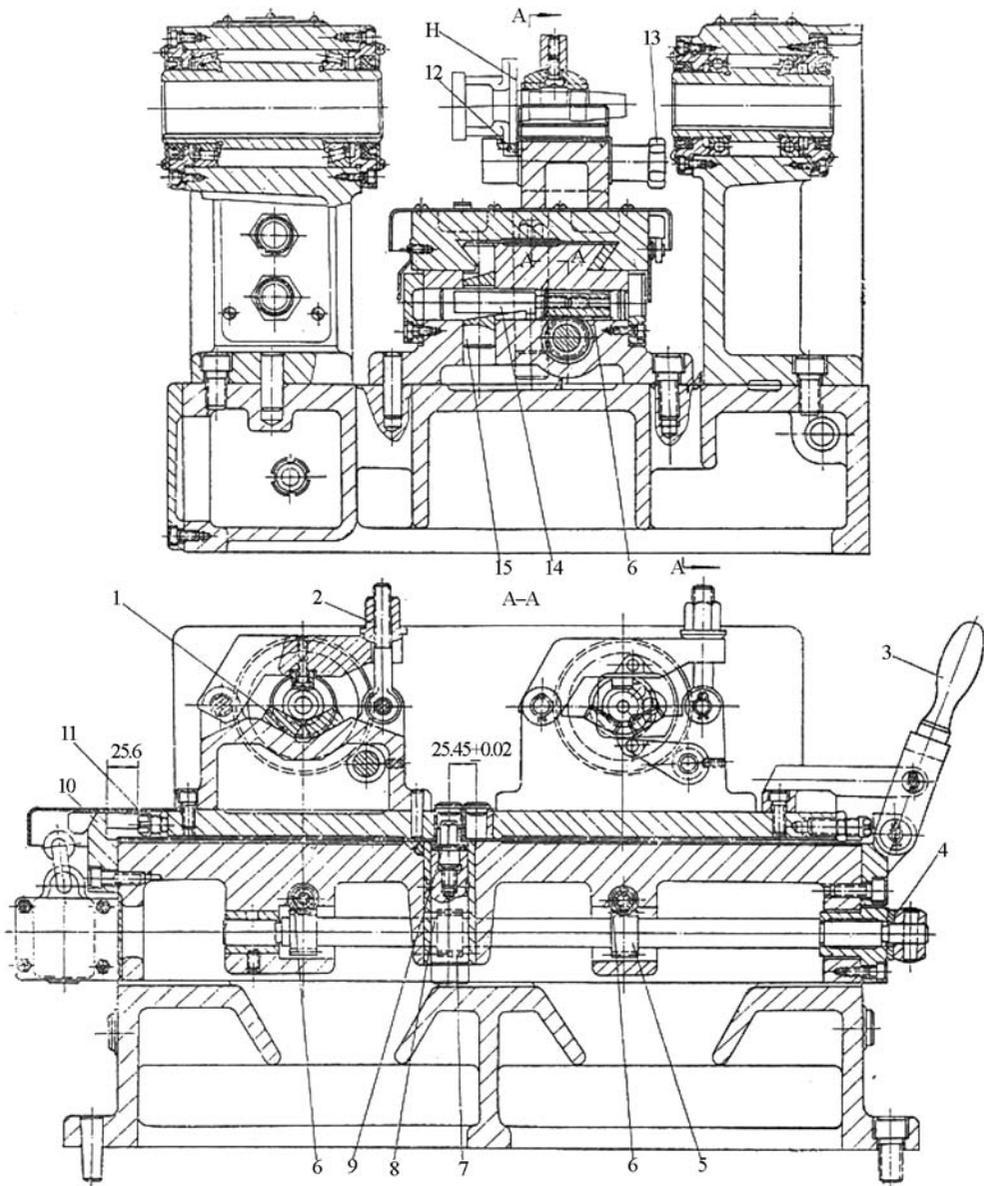


图 6-2 双工位移动工作台夹具

1—V 形铁;2—螺母;3、4—手柄;5、7—齿轮;6—圆柱齿条;8—齿条;9、12—定位销;
10—死挡铁;11—初限位螺钉;13—夹紧手柄;14—楔铁;15—压杆

(3) 随行夹具属于移动夹具用于自动线上,在各工位上都需要定位和夹紧,某些自动线上加工的形状复杂的工件、又没有合适的运输基面,或者工件材料是有色金属,防止运输过程中划伤基面,这就需要采用随行夹具。

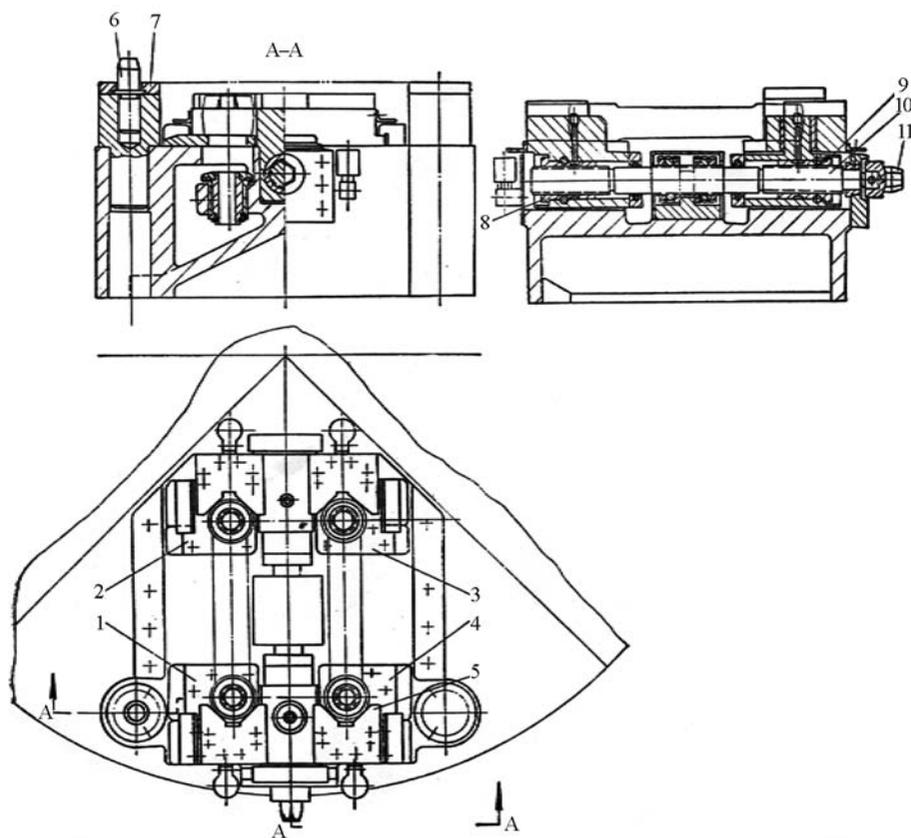


图 6-3 四工位回转工作台夹具

1,2,3,4—支承板;5—V形铁;6—定位销;7—垫圈;8,9—螺母套;10—四缸;11—六方头

6.1.2 组合机床夹具设计的特点和关键

1. 特点

由于组合机床夹具是组合机床的重要组成部分,所以它对组合机床的性能起到很重要的作用,因而,组合机床夹具的设计与组合机床工艺和结构方案有着密切的关系。一般来说,离开了对一套组合机床夹具方案的初步确定,整台组合机床方案是无法确定的,它们之间相互依存。在确定机床工艺与结构方案的同时,夹具设计的基本构思也就随之定下来了。

2. 夹具设计的关键和重要环节

- (1) 定位基面和夹压点的选择。
- (2) 夹具类型的确定。
- (3) 是否设置导向以及导向的形式和数量。
- (4) 夹具的自动化程度。

6.1.3 组合机床夹具设计程序

夹具方案制订中,首先熟悉组合机床的工艺和被加工零件,并根据机床总体方案对夹具

提出具体要求,同时考虑夹具结构方案,提出初步的构思设想。然后深入现场,了解现场加工情况,多吸取生产一线和同事们的意见,尽量多地接受一些先进技术和经验,集思广益,形成比较合理的方案和总体布局。

详细拟订夹具的具体结构和各部分尺寸,如果夹具中某些尺寸和机床总联系尺寸图以及加工示意图中的尺寸不一致时,要进行必要的调整和修正,尽可能进行必要的验算(包括夹紧力、夹压机构的强度等)和草图设计,然后进行正规设计,如果采用三维设计进行干涉检查就更理想了。

在已确定的夹具结构方案基础上,设计夹具总图和零件图,通常是用细实线(或点划线)先画出工件外形,然后按顺序绘制定位和限位元件、夹紧机构、刀具导向、模架和夹具体以及润滑、冷却、排屑、防护、操纵等部位和结构。由于组合机床夹具结构往往比较复杂,其总图必须有足够的投影和剖视,尺寸标注要齐全和合理,还应有必要的装配和检查的技术要求,然后进行零件设计及校对、审核等工作。

对一些结构复杂、精度要求高,把握性不足的夹具,在可能情况下学习东风二汽设备厂的做法,先做成模拟夹具进行验证。

6.1.4 组合机床夹具设计时应注意的一些问题

1. 力求提高夹具的通用化程度

组合机床夹具虽然是一种专用夹具,因为它是针对不同的被加工零件而专门设计,但是夹具的零部件大部分都已通用化了,如定位、支承、夹压以及导向元件等,可以直接在大连组合机床研究所编制的 T02 夹具图册中选用,力求通用化、标准化。这不仅缩短了设计、制造周期,也提高了夹具工作的可靠性。

当设计成套夹具时,如箱体类零件同工序的粗精加工机床夹具,应尽可能设计成通用的,便于在制造过程中从中选取精度好的夹具用于精加工,也便于将来维护和修理。

2. 合理的自动化程度

一般来说,生产率越高,夹具的自动化程度也相应高,这时往往采用气动、液压或自动扳手等夹紧定位装置,这就要注意夹具中各种机构的可靠性,它们之间的联动和互锁性。反之,如一味追求过高的自动化程度会适得其反。虽然组合机床是高效率机床,但采用手动定位夹紧的情况为数还不少。具体情况具体对待,合理地确定自动化程度。

3. 可靠地保证精度

首先根据被加工零件的精度要求,合理地制定夹具精度要求,正确解决定位基面和夹压点位置,认真地采用导向结构形式及夹具类型,同时还要考虑辅助机构的布局。

为了保证被加工零件精度的稳定性和持久性,除了夹具的自身结构合理外,与生产厂家的生产能力和对于夹具的制造水平等因素都有关。

4. 正确的提高夹具刚性

夹具一般都要承受较大的切削力,又要保证被加工零件的精度,因而提高夹具的刚性就显得特别重要。

(1) 夹具的主要零件的尺寸确定很重要,如夹具底座,其高度一般不小于 240 mm,宽度



不小于 150~200 mm,如果镗模架较高时,其宽度放至 250~400 mm,又如对于框架结构的模架,其上盖厚度一般为 150~200 mm。

夹压机构的螺杆、杠杆和压板等都承受很大的夹紧力,其尺寸大小除保证强度外还要保证足够的刚性。

(2) 提高夹压系统的刚性,除认真布置夹压点外,减少夹压环节,以及多采用自锁夹压机构等。

5. 不同被加工零件的针对性

材料硬度高的零件,由于切削力大,夹紧力就大,要求夹具刚性好;如果零件本身刚性差,要考虑加工、夹压的变形,必须慎重选择夹压点或采用多点夹压;工序多的零件以及一些小型零件考虑移动式夹具;对于粗加工夹具,首先应考虑刚性,对于精加工夹具,首先考虑夹具的精度,采用固定式夹具。

6. 排屑、润滑和冷却液的防护

应力求保证切屑能方便地、自动地从底座中排入容屑器(或地沟),尤其是粗加工机床更要注意,如组合铣、多孔钻、粗镗孔机床等,其夹具底座上平面尽可能做成屋脊形或安装自动排屑器等,镗模架和工件之间要有足够的排屑空间,尤其是加工钢件更为重要。

对夹具中的运动部件,导向部件都必须保证有充分的润滑条件和设施。采用冷却液进行湿式加工的机床,加大冷却液的流量和对冷却液飞溅的防护也是绝对不能忽视的。

7. 装卸工件和操作维修的方便

(1) 工件的上料高度一般为 880~1 060 mm,对大型推入夹具装料时,应考虑增设装料台架和滚道,对吊入夹具装料时应有足够的空间,还要注意装卸工件的位置。

(2) 多点夹压时,应考虑联动压板装置,操作手柄要少而相对集中,手轮旋转应符合常规的操作习惯,顺时针转前进,逆时针转后退。对一些运动元件要防护,以减轻工人劳动强度和um提高安全保护意识。

(3) 夹具的敞开性要好,以便调整和更换刀具,以及便于夹具的调整和维护。

(4) 应为将来维修创造条件,一般应做到在不拆卸夹具主要大件的条件下,能够拆修导向套、支承板、定位销及其操纵机构、夹压机构等,还应开有用于将来检修用的窗口和工艺孔。

8. 改善加工和装配的工艺性

夹具结构方案确定后,考虑改善夹具零件加工和装配工艺性就显得尤为重要了,夹具的精度要求高,专用性强,制造工作量大,有时它的工作量占整台机床工作量的 30%~50%,如果工艺性差或不切合本生产企业制造能力,那麻烦就多了。

夹具上应尽量避免使用大直径的薄壁套、削边套、精密的细长套等,夹具中一些大件和模架要上坐标镗加工,其尺寸应尽量满足本单位现有设备的加工范围,夹具底座必须有起吊孔或装吊环螺钉的螺孔,形状不规则的零件要有工艺凸台,又如当夹具的镗模架、中间导向等部件和其他基础零件需要采用锥销定位时,必须考虑装配时加工这些锥销孔的可能性和方便性。

9. 设计的完整性

夹具总图设计完成后,应根据被加工零件的精度要求,制定夹具制造、装配和检验等一



系列技术要求和必要的工艺文件。

夹具总装技术要求主要由被加工零件的加工精度、夹具的结构形式、制造水平和经济效果等诸因素决定。如夹具上导向孔的位置精度:同轴度、平行度和垂直度等,一般是取被加工零件相应精度要求的 $1/3$ 左右。即使是粗加工机床的夹具,也必须有一定的精度要求。

由于组合机床上加工工件的结构、形状、材料等是多种多样的,其精度要求又各不相同,因此,必须对夹具的具体结构和工件加工精度的要求进行具体的分析,拟订必要的合理的技术要求。

下面就固定式夹具、移动工作台夹具、回转工作台夹具等常用的装配技术要求,作简单介绍,仅供参考。

1) 固定式夹具的装配技术要求

(1) 对于精加工箱体工件定位用的几块支承板的定位面应处在同一平面上,允差为 $0.01 \sim 0.03 \text{ mm}$ 。

(2) 导向孔间的同轴度。当两个镗模架上均只有一个导向孔时,其同轴度应保证不大于 0.01 mm 。

当夹具左右镗模架(或钻模板)上有 2 个以上同轴导向孔时,若镗模架与夹具底座采用锥销定位时,其同轴度可保证 $0.01 \sim 0.025 \text{ mm}$,而采用圆销定位时其同轴度可保证 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$ 。

(3) 导向孔轴心线与支承板定位面应平行,其平行度不大于 $(0.006 \sim 0.03)/300$ 。

(4) 导向孔轴心线至支承板定位面的距离公差。对于一般精度的夹具,应不大于 $0.03 \sim 0.06 \text{ mm}$ 。当有较严的要求时(如 $\pm 0.02 \sim \pm 0.04 \text{ mm}$),这个精度应控制在 $\pm 0.01 \sim \pm 0.02 \text{ mm}$ 。

(5) 当工件的加工孔对定位基面有垂直要求时,夹具导向孔轴心线对支承板定位面的垂直度不大于 $0.03 \sim 0.06/300$ 。

(6) 为了保证工件加工孔至定位孔的位置精度要求,对于一般精度的夹具,公差为 $\pm 0.03 \sim \pm 0.06 \text{ mm}$ 。当有较严格要求时(如在 $\pm 0.025 \sim \pm 0.05 \text{ mm}$),一般为 $\pm 0.01 \sim \pm 0.02 \text{ mm}$ 。

(7) 导向孔轴线或两个导向孔中心连线对两个定位销中心连线平行时,其平行度不大于 $(0.02 \sim 0.05)/1\ 000$ 。

(8) 夹具支承板定位面对夹具底座底面应有平行要求,其平行度在 $1\ 000 \text{ mm}$ 长度上不大于 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。

(9) 当在夹具上盖装有导向或定位支承时,左右镗模架上的导向孔对上盖也应有一定的精度要求。用于支持上盖的左右镗模架应当等高,其允差不大于 $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$ 。

2) 移动工作台夹具的装配技术要求,除了需要具有某些与固定式夹具相同的装配技术要求外,有时还要增加下列技术要求:

(1) 当工件上的被加工孔轴心线或中心连线对其定位基面有平行度要求时,则夹具支承板的定位面对工作台台面、导轨也应有平行要求,其平行度不大于 $(0.02 \sim 0.04)/1\ 000$ 。

(2) 为了保证工件加工孔轴线对其定位孔的平行或垂直要求,夹具上两定位销中心连线对移动工作台导轨侧面也应有垂直或平行要求,其平行度或垂直度在 $1\ 000 \text{ mm}$ 长度上不大于 $0.02 \sim 0.04 \text{ mm}$ 。



(3) 当分工位加工工件的一组孔,而孔间尺寸有精度要求时,对移动工作台的移位精度也应有要求,其允差一般为 $\pm 0.01 \sim \pm 0.02$ mm。

3) 回转工作台夹具的装配技术要求,除应具有类似固定式夹具的某些装配技术要求外,还应考虑下列两点:

(1) 工作台上几个小夹具上用于钻模板定位的支承块(垫圈)应处于同一平面上,其允差为 $0.02 \sim 0.03$ mm。

(2) 工作台上几个小夹具上导向孔的同轴度允差为 $0.02 \sim 0.04$ mm。为了保证这项精度,小夹具上导向孔应和其上用于钻模板定位的定位销有严格的位置精度要求,一般为 $\pm 0.01 \sim \pm 0.02$ mm。

4) 回转鼓轮夹具的装配技术要求与固定式夹具不同,主要表现在:

(1) 鼓轮各工位上安装小夹具的基面对鼓轮回转中心的不等距允差为 $0.02 \sim 0.05$ mm。

(2) 当鼓轮上装有导向孔时,各工位上导向孔对鼓轮回转中心的不等距允差一般为 $0.02 \sim 0.05$ mm。

(3) 鼓轮两端面上几个用于承受轴向力的垫圈,应当处于一个平面上,其允差一般为 $0.03 \sim 0.04$ mm。

(4) 当鼓轮夹具装有上盖时,其左右支架应有等高要求,允差一般为 $0.03 \sim 0.05$ mm。

(5) 对于带夹紧装置的鼓轮,鼓轮夹紧后应与相应的支架接触面紧贴,在任何工位均不得有间隙。而在松开时应有 $0.04 \sim 0.1$ mm的间隙。

(6) 对于采用反靠定位的鼓轮夹具,应注明分度精度要求,一般取 $\pm 0.02 \sim \pm 0.04$ mm。

6.2 常用的定位机构

6.2.1 平面定位支承元件及其布置

1. 平面定位元件常用的有支承板、支承块和支承销(钉)

如图6-4所示,定位支承元件基本已经通用化了。支承板的高度尺寸有30 mm及60 mm两种。支承块多用于以侧面定位的夹具上,它具有较好的排屑性能,其厚度为20 mm。支承销有平头和球头两种,平头的通常用于已加工面的定位,球头的用于毛坯面定位。

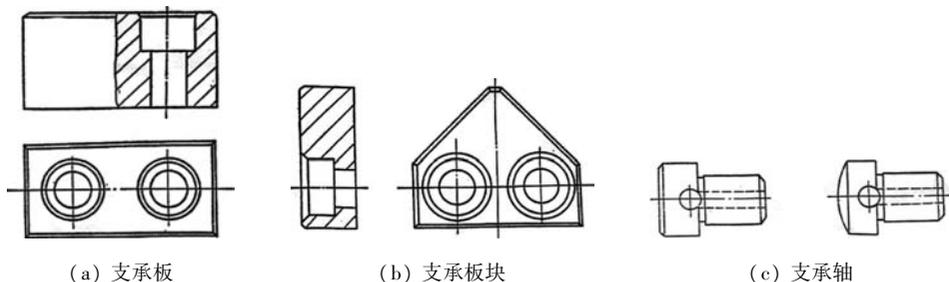


图6-4 定位支承元件

当工件在支承板上需要滑动,并采用长支承板时,为了防止在支承板表面产生毛刺,沿

纵向应有倒角,而两端则必须做成 15° 的导角并进行抛光。为了提高支承板的耐磨性,一般采用 20Cr 钢制造,支承板的工作面渗碳(渗碳层厚 $0.8\sim 1.1\text{ mm}$)淬火,硬度为 $\text{HRC}\approx 59$ 。

2. 支承点的布置

(1) 合理布置定位支承元件,力求使其组成较大的支承平面,最好是夹压点的位置对准定位支承元件。最起码也应使定位元件尽量接近夹压力的作用点,使夹压力的合力中心处于定位支承的平面内。

(2) 如果工件以毛坯定位,从理论上讲,应采用三点(三点组成一面)支承结构(带球头的支承销)以增加定位的稳定性。若支承点多,点支承就变成面支承,会使零件夹压变形大。为了增加定位的稳定性,对于刚性差的工件,可以适当地加一些辅助支承,尤其是以毛坯定位的工件,当采用三个以上压板而又不能准确同时动作时(实际上达不到完全同时动作),常常会把工件压歪,因此需要采用四点支承的办法(即三点固定,一点浮动)。

(3) 如果工件的定位基面是已加工面,可以采用三个以上的支承块或者做成长条形支承板。

通常是工件定位基面平面精度越高或者工件的刚性越差,其支承点数目应多些。反之,其支承点数目应少些。当工件定位基面平面度很差时,定位时只能三点接触,其余的支承块与工件定位基面间就有间隙,工件夹压后,如果使之全面接触,则工件变形,影响加工精度。如果工件夹压后,不是全面接触,则在切削力作用下,工件产生晃动。所以当工件定位基面平面度很差时,即使是已加工面,也只能采用三点支承。若采用四点支承,则须在其中一个支承点与基面间,根据存在的间隙加垫片或采用浮动支承。

(4) 对于精度要求很高的工序,当切削力和夹紧力都不很大,或者从结构上能确保各夹压力作用点对准支承点时,可以采用理论上的三点定位方法。

(5) 当工件以两个互相垂直的平面定位时,可以将支承板做成 90° 的角铁形,如图 6-5 所示,刚性要好。在这种以垂直平面定位的夹具上,为了使各定位平面都可靠地与支承面接触,必须正确地安排定位和夹紧机构的动作顺序,应先使工件可靠地以侧面定位(加 P 力),然后再将工件夹紧(加 Q 力),如图 6-6 所示。

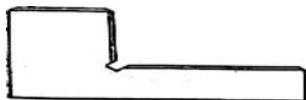


图 6-5 角铁形支承板

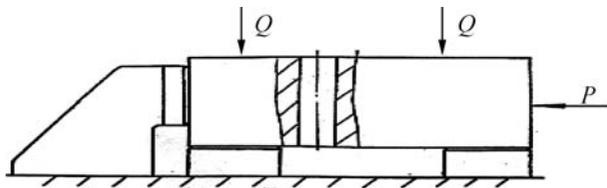


图 6-6 定位夹紧动作图

(6) 当工件在夹具上以侧面及其上的定位孔定位时,支承块应放在加工部位的上方或切屑不易落到的地方,并采用图 6-4(b) 所示结构,其两侧为斜坡,便于排屑。在布置上应保持支承块间有较大的距离,不应连续排列。



3. 工件的限位

许多工件进入夹具中准确定位前先进行初步定位,然后再进行准确定位,这就是所谓的工件限位,其实限位机构也是定位支承系统中的一个组成部分。

在夹具中安装工件时,为了使定位销能顺利地插入定位销孔中,除了将定位销做成锥头外,还要在夹具中设置限位板,对工件进行初定位,以保证定位销和定位孔中心线之间的同轴度误差不超过 $1\sim 2\text{ mm}$,图6-7(a)所示。侧限位板1应放在加工部位(导向套)的上方,以免妨碍排屑和积存切屑。当不能这样布置时,则应把限位板做成短的,并带有斜面,各块之间保持一段距离,以便于排屑。还应选取工件的已加工表面作为限位面,以提高初定位的准确度。限位板2是用于在插销时,因定位销不能顺利进入工件,防止工件抬起的。这对自动线机床夹具尤为必要,以免实际上没有定好位而发出已定位的错误信号。

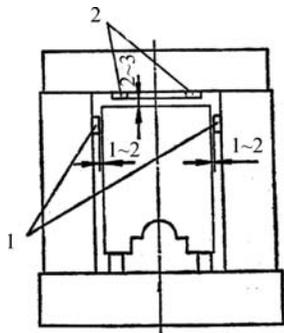


图6-7(a) 夹具限位板的布置

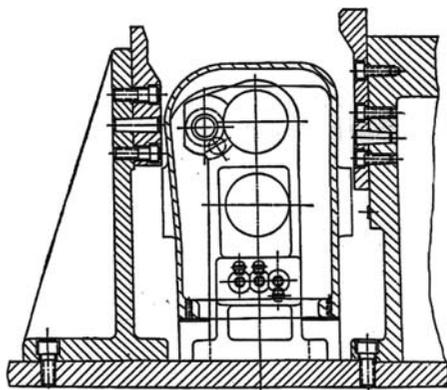


图6-7(b) 工件限位装置

对于一些带有内导向的夹具,为了防止装卸工件时碰撞内导向装置,影响导向装置的精度,多利用限位板使工件沿着一定的路线进入夹具。图6-7(b)所示为加工变速箱壳的机床夹具的限位装置。变速箱从上方吊入,在右边限位板上部分的作用下,使工件偏左进入夹具。当工件碰到左限位板凸起部分,右移至正常位置,从而避免了工件与内导向相碰的问题。

6.2.2 辅助支承

对于加工精度要求高的工件,由于定位基面误差的影响,采用四个固定的支承板,不能保证全面接触,在夹压力的作用下其变形量超出精度要求范围时,采取三点支承,定位又不稳定时,可采取三点固定和一个辅助支承的定位方案。就是以毛坯定位的工件也大多采用三点固定和一点辅助支承的方法。辅助支承除增加定位的稳定性外,有时还用于增加工件的刚性以及承受切削力,是一种活动式支承元件,也称浮动支承。辅助支承有自动定位和移动定位结构之分,下面分别介绍它们的具体结构。

图6-8所示为一点自动定位辅助支承的结构,当工件安放在主要支承上后,由于弹簧的作用使支承销4移动到与工件保持良好的接触为止,不能使支承销4推动工件或使工件离开主支承面,转动手轮1锁住支承销4的斜面,斜面倾斜角一般为 6° 左右;当下一次安装

工件时,应先使支承销 4 松开。

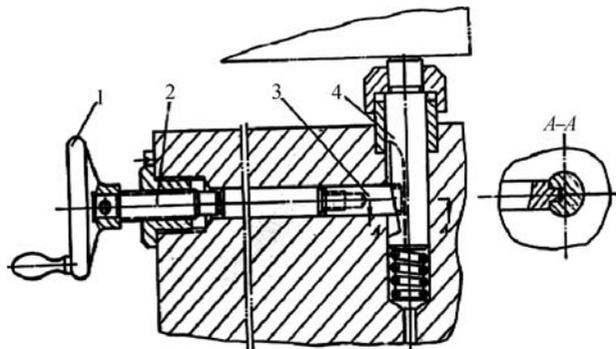


图 6-8 一点自动定位的辅助支承

1—手轮;2—螺杆;3—滑块;4—支承销

自动定位结构的辅助支承,其系统刚性还是不够理想,在夹压力和切削力的作用下支承销 4 有让劲的可能。图 6-9 为弹簧移动定位的辅助支承,工作时先转动手轮 7,经螺杆 6 使滑套 5 左移,推开推杆 3,支承销 4 在弹簧 8 的作用下高出定位支承面,当工件安放在定位支承上后,弹簧 8 推动支承销 4 与工件保持良好接触,并不会抬起工件。然后反转手轮 7,使滑套 5 右移,推杆 3 在弹簧 2 的作用下右移,并锁紧支承销 4,它的斜面上的倾斜角一般取 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

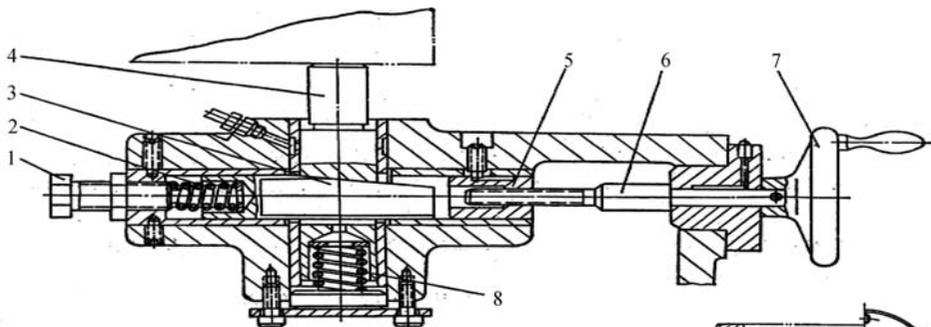


图 6-9 弹簧移动定位的辅助支承

图 6-10 所示是弹簧移动定位辅助支承的另一种结构。其特点在于支承销的松开和锁紧动作是自动进行的,由夹压机构带动实现规定的动作顺序。

6.2.3 圆柱定位元件及其结构

如果工件以圆柱孔为定位基准,则采用圆柱销插入工件的圆柱孔里进行定位即所谓圆柱定位机构。圆柱定位元件根据使用场合不同有固定式定位销(死销)和伸缩式定位销(活销)之分。

实践证明,在加工箱体类零件最理想的定位方式是“一面两销”(一个圆柱销,一个菱形销),因为它遵

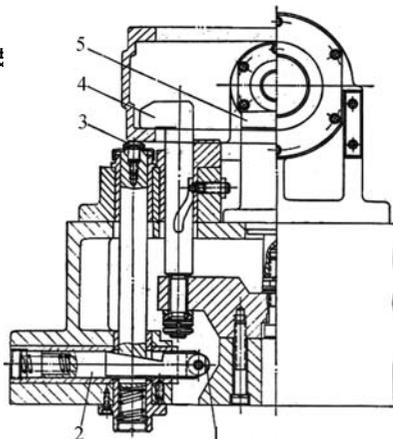


图 6-10 弹簧移动定位的辅助支承之二

1—球轴承;2—楔铁;3—支承销;
4—钩形压板;5—夹紧油缸



循了“六点定位法则”。

1. 固定式定位销

当被加工零件的加工部位(孔或面)与定位销孔的位置精度高于 ± 0.05 mm 以上时,需要提高定位精度,或受结构限制,不能采用伸缩式定位销时,可以采用固定式定位销的定位方法。对于装卸比较轻小工件,亦可采用固定式定位销,从而可简化夹具结构。图 6-11 为常见的固定式定位销的安装图。为了有利于持久保证定位精度,在夹具体上应增设中间套,定位销与安装孔的配合取 H7/js6 或 H7/K6。

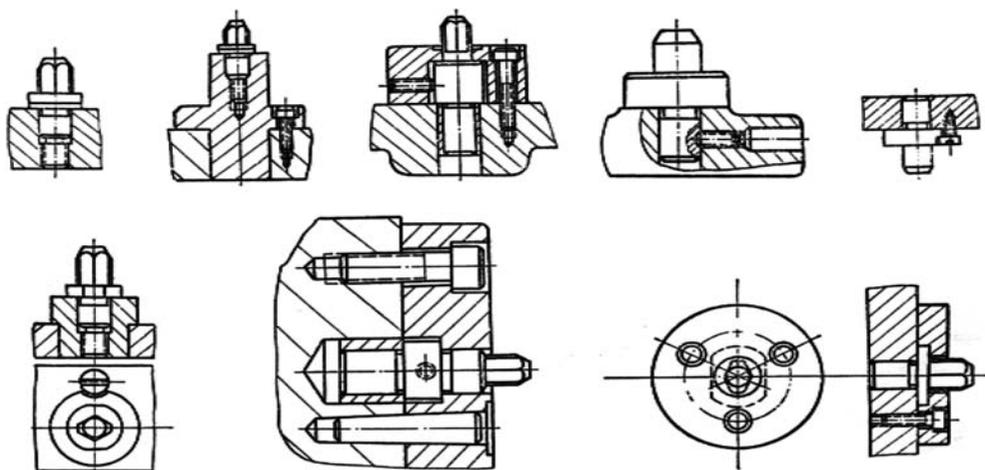


图 6-11 固定式定位销的安装图

2. 伸缩式定位销

常用的伸缩式定位销结构有手动和液压(气压)驱动两种。图 6-12 所示为手动伸缩式定位销,它有两种结构,一种不带防护罩,用于支承板高度为 30 mm 的定位系统;另一种是带防护罩的,用于支承板高度为 60 mm 的定位系统。定位销采用了组装结构,以便于更换,但增加了定位系统的误差环节,降低了定位精度。当定位精度要求很高时,宜采用整体的定位销,其缺点是更换不便,也不够经济。

定位销的插入和拔出是转动手柄 7 经一系列杠杆而实现的。各活动点的润滑问题要很好解决,定位销推杆导套采用稀油润滑,其他活动点可用稀油或锂基脂进行润滑。

对于自动线的机床夹具或需要进行自动定位的单机夹具,可以采用图 6-13 所示液压(气压)驱动伸缩式定位销。它用油缸(汽缸)经过推杆和一系列杠杆实现定位销的插入和拔出。为保证本机构不致因油压过高而损坏,油缸的工作压力应低于 25 MPa。

伸缩式定位销不管是手动还是液压(气压)驱动形式,在大连组合机床研究所编制的 T02 夹具图册都有相应规格品种的标准结构可选用。

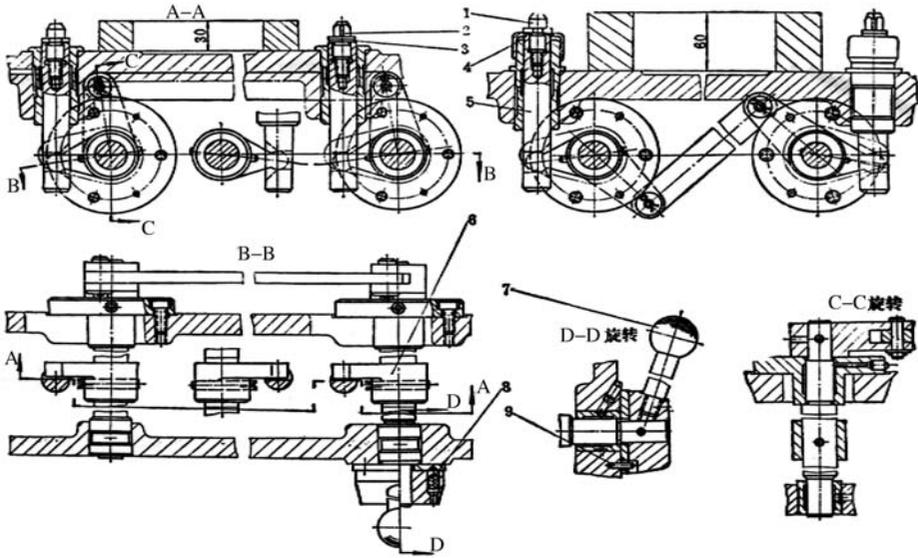


图 6-12 手动伸缩式定位销

1—圆柱销;2—菱形销;3—调整垫;4—防护罩;5—推杆;6—推杆杠杆;7—手柄;8—弹簧;9—挡销

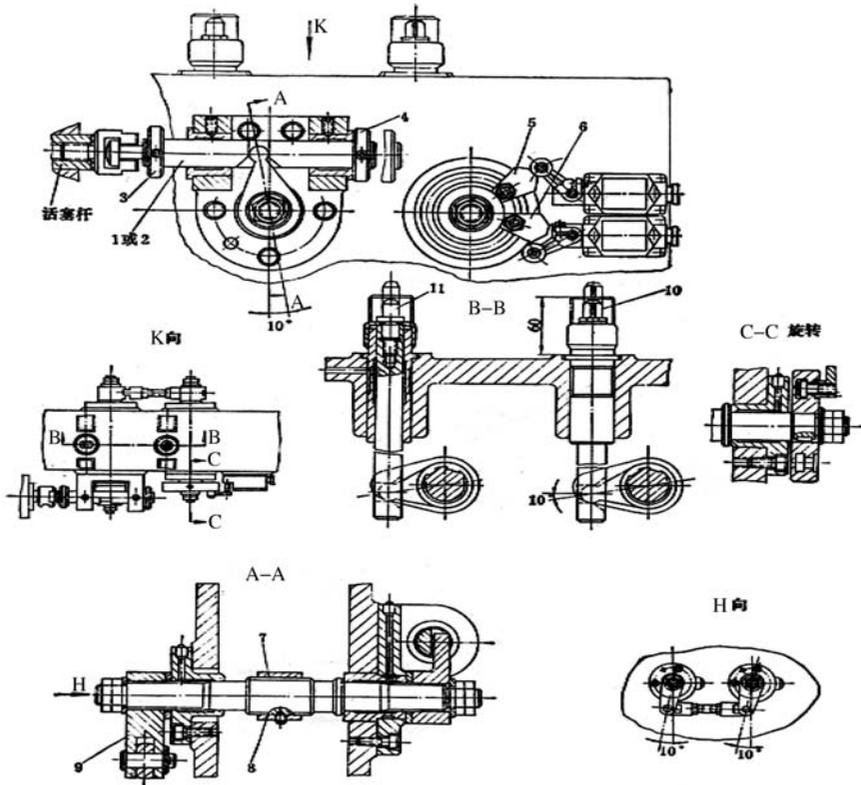


图 6-13 液压(气压)驱动伸缩式定位销

1、2—推杆;3—左挡圈;4—右挡圈;5、6—挡铁;7—花键轴;8—推杆杠杆;9—拉杆;10—菱形销;11—圆柱销



3. 定位销的精度选择及提高定位精度的措施

1) 定位销的精度选择

定位销的精度等级根据被加工零件的加工精度、定位销孔精度及其距离尺寸公差的大小进行选择,应满足以下公式的要求:

$$\delta_{\text{工}} = \Delta_{\text{圆}} + \Delta_{\text{菱}} \frac{D}{b} - \delta_{\text{夹}} \quad (6-1)$$

式中: $\delta_{\text{工}}$ —工件定位销孔中心距公差; $\delta_{\text{夹}}$ —夹具两定位销中心距公差; $\Delta_{\text{圆}}$ —圆柱销与定位孔间的最小间隙; $\Delta_{\text{菱}}$ —菱形销与定位孔间的最小间隙; D —定位销孔(菱形销处)的最小直径; b —菱形销圆柱部分的宽度。

在设计夹具时,通常是在已知 $\delta_{\text{工}}$ 的情况下,选择合适的定位销公差。为了选择方便,将常用的定位销直径及其公差与 $\delta_{\text{工}}$ 的关系列于表6-1。

表 6-1 定位销公差

(单位:mm)

定位销孔尺寸及公差	定位销孔中心距公差(\pm)	圆柱销公差	菱形销公差	备注
12H7	0.02	g6	g6	本表计算依据: $\Delta_{\text{圆}} = \Delta_{\text{菱}} \times \delta_{\text{夹}} = \pm 0.025$ 定位销直径 $d = 18$ 时, $b = 4$; $d \geq 18$ 时, $b = 5$ 。
	0.03		f7	
	0.04		f7	
14H7	0.025	g6	g6	
	0.04		f7	
	0.05		f7	
16H7	0.03	g6	g6	
	0.045		f7	
	0.055		f7	
18H7	0.035	g6	g6	
	0.055		f7	
	0.065		f7	
20H7	0.045	g6	g6	
	0.065		f7	
	0.075		f7	
22H7	0.05	g Δ 6	g6	
	0.07		f7	
	0.085		f7	
25H7	0.06	g6	g6	
	0.085		f7	
	0.10		f7	

2) 提高定位精度的一些措施

(1) 适当加大两个定位销之间的距离,也可将定位销的精度再提高一些以减少定位系统的间隙。

(2) 力求统一的定位基准,在精加工工序中,增设附加装置,将工件推靠到定位销同一侧,以保证加工余量的均匀。

(3) 合理地选择定位销与定位孔的有效接触长度,一般为 5~12 mm。(大直径或伸缩销取大值,小直径或固定销取小值)

(4) 正确地布置圆柱销和菱形销的相对位置,在采用两个定位销(一个圆柱销,一个菱形销)定位时,无论是固定式还是伸缩式,都要注意在装配上保证菱形销的圆弧部分中间的连线垂直于两个定位销中心连线。如图 6-14 所示,以补偿两销孔中心距的误差。

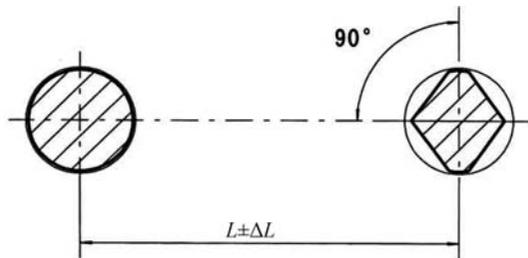


图 6-14 圆柱销与菱形销的相对位置图

6.2.4 其他定位方法及定位机构

对于轴类、连杆、拨叉、阀门以及套筒类工件的定位,大都是采用 V 形铁或自动定心的定位机构。

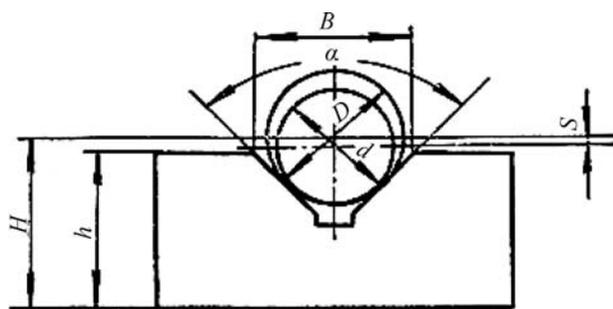
1. V 形铁定位方法及机构

对于轴类工件常用单 V 形铁定位,如图 6-15(a)所示。对于连杆和拨叉一类工件则多用双 V 形铁定位,如图 6-15(b)所示。V 形铁的工作角度有 60°、90°和 120°三种。

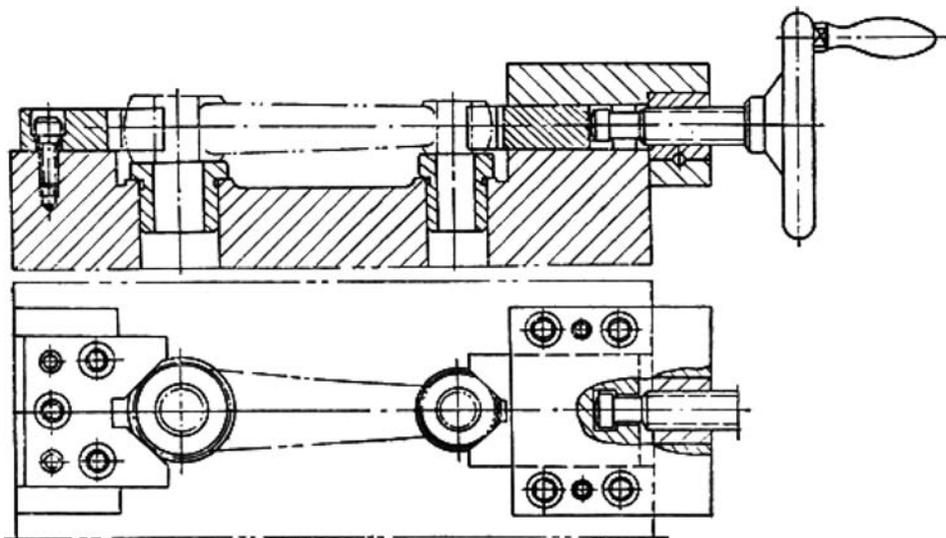
工作角度小的 V 形铁定位情况较好,具有较好的抗径向水平切削力的能力,即防止工件沿 V 形铁滑出的能力,但其定心精度较低。从图 6-15(a)可以看到,用 V 形铁定位时在水平方向上的定心精度很高,不受工件定位圆直径公差及 V 形铁工作角度大小的影响。而在垂直方向上的定心精度则受 V 形铁工作角度的影响,角度越大定心精度越高。但角度太大时,定位情况不好,一般普遍采用的工作角度为 90°和 120°。

为了便于调整及更换,在 V 形铁工作面上一般均装有淬火支承块。为制造和检查的方便,在 V 形铁上应注明尺寸 B 和 H ,见图 6-15(a)。关于定位误差 S 、V 形铁基面到定位圆的中心距离 H 和工作角度 α 的关系,见表 6-2。

表 6-2 中 D 为定位圆直径的最大尺寸, d 为定位圆直径的最小尺寸。若因工件定位圆直径变化所引起的定位误差影响加工精度,以致不能满足加工质量要求时,为了提高定位精度,确定 H 值公式中的 D ,可取定位圆的中间尺寸 $\left(\frac{D+d}{2}\right)$ 。



(a) 单 V 形铁



(b) 双 V 形铁

图 6-15 V 形铁定位法

表 6-2 H 及 S 的计算表

(单位: mm)

V 形铁工作角度	α	60°	90°	120°
V 形铁基面到定位圆的中心距离 H	$h + \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{B}{2 \tan \frac{\alpha}{2}}$	$h + D - 0.867B$	$h + 0.707D - 0.5B$	$h + 0.578D - 0.286B$
定位误差 S	$\frac{D-d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$	$D-d$	$0.707(D-d)$	$0.578(D-d)$

2. 自动定心机构

对于套筒形工件以及小阀门等,常采用自动定心机构。它能同时使工件得到定位、夹紧和定心。它除能提高定位精度外,还能减少定位及夹紧所需要的时间,提高机床的生产效率。

图 6-16 为双向螺旋自动定心机构。转动螺杆 1,它的左右螺纹分别使 V 形铁 2 和 3 在

精密的导向槽内同时前进或后退,实现对工件的定位、夹紧或松开。

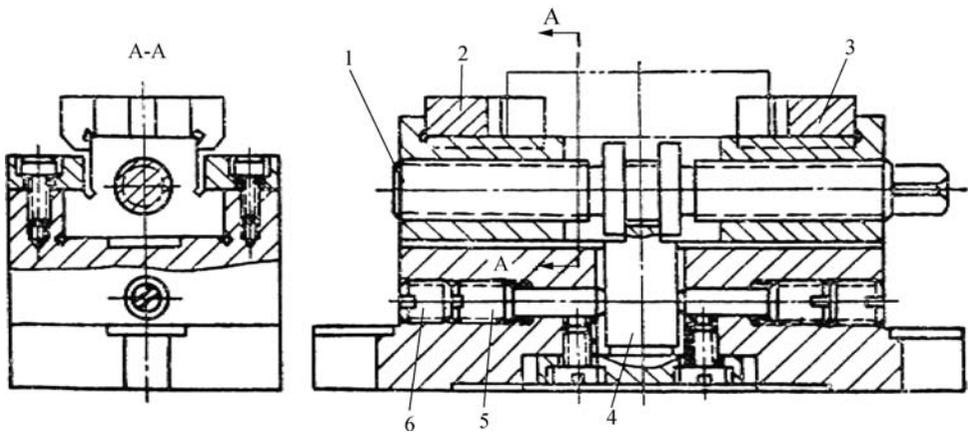


图 6-16 双向 V 形铁螺旋自动定心机构

1—螺杆;2、3—V 形铁;4—固定叉;5—调整螺钉;6—锁紧螺钉

螺旋自动定心机构具有结构简单、可调节及夹紧行程较大等优点,被广泛使用。其定心精度主要由螺杆、螺母的制造精度及配合决定。螺杆 1 的中部环形槽与固定叉 4 应是精确配合,使螺杆 1 无轴向窜动,用两个调整螺钉 5 调节固定叉 4 的位置,以达到两个 V 形铁对螺杆中点的距离相同,然后将固定叉 4 固定在夹具体上。

图 6-17 为滑块-斜楔自动定心机构,它是用于以工件大孔进行自动定心的。活塞杆 1 推动带有三个斜面的斜楔 2 向右移动,同时将三个滑块 3 推出,直至涨紧工件实现自动定心。

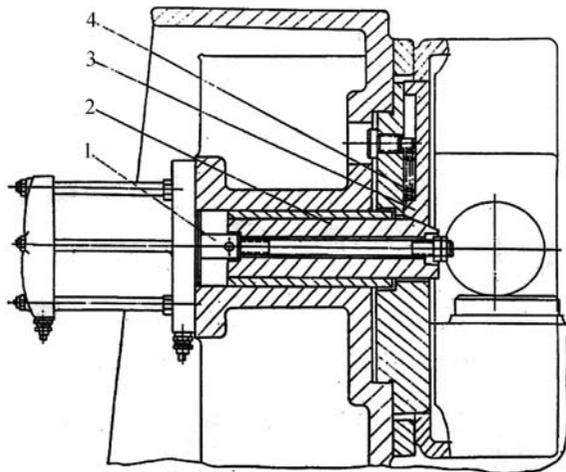


图 6-17 滑块-斜楔自动定心机构

1—活塞杆;2—斜楔;3—滑块;4—弹簧

图 6-18 为偏心自动定心机构。它用于对工件外圆进行自动定心。逆时针转动卡盘 1,



在三个偏心面的作用下,三个径向卡柱 2 向中心移动,使工件定心并夹紧。当顺时针转动卡盘 1 时,三个卡柱 2 在弹簧 3 作用下松开工件。

卡盘 1 上的偏心面为阿基米德螺旋线,其升角为 5° ,具有良好的自锁性。当用于已加工面定位时,为了增加夹紧行程也可将偏心面作成两段,一段升角为 5° ,另一段升角允许到 30° 。

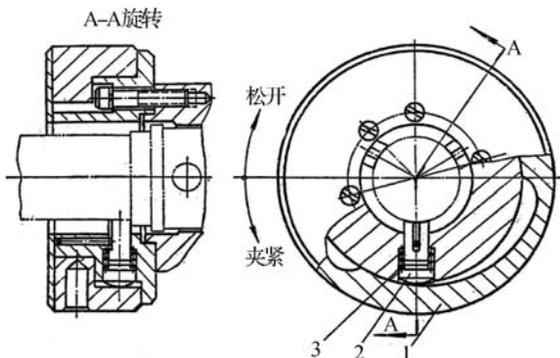


图 6-18 偏心自动定心机构

图 6-19 所示是弹簧卡头自动定心机构。顺时针转动螺母 1,经过钢球 2 和套筒 3 抱紧弹簧卡头 4,使其变形实现工件的定位和夹紧,采用弹簧卡头定位时,工件定位圆直径公差不能过大,一般应控制在 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 以内。为了使工件能夹紧得稳固,对这种推式弹簧卡头,套筒 3 的圆锥角必须比卡头 4 稍大(一般大 1°),以使卡头变形以后能与工件得到良好的接触。

为了增强弹簧卡头的弹性和耐磨性,其材料多为渗碳钢,有时也用合金钢制造,并且淬火,淬火后一般头部的硬度为 HRC55~60,而导向部分的硬度为 HRC40~45。

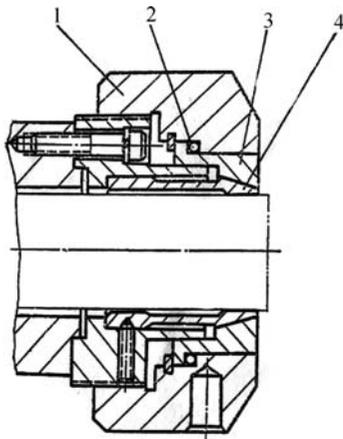


图 6-19 弹簧卡头的自动定心机构

6.3 典型的夹压机构

6.3.1 对夹压机构的一些基本要求

- (1) 夹压机构应保证零件可靠地与其相应的定位基面相接触。
- (2) 夹压后的零件在加工过程中,不能产生位移和晃动。为此,必须保证有足够的夹压力,同时夹压机构要有足够的刚性。
- (3) 夹压零件时,不能破坏已加工的表面,不能引起过大的变形。夹压机构应力求使零件夹压稳定和变形较小。因此,必须正确地选择夹压点(部位和数量)和设计辅助支承等。
- (4) 一般情况下,定位系统在夹压力作用下的变形量对加工精度的影响很小,可以不考

虑。但在精度很高时,应考虑其影响。

(5) 夹压机构应当操作安全、省力。由于组合机床生产率高,操作频繁,通常在工人用手操作时,扳动夹压机构所需要的力不应超过 50~100 N。

(6) 夹压机构应具有适当的自动化程度,而结构比较简单。

6.3.2 典型夹压机构介绍

1. 直接夹压机构

1) 油缸直接夹压机构

如图 6-20 所示,其中(a)为一个夹紧点的油缸直接夹压机构;(b)为活塞杆推动钩形压板直接夹压工件的夹压机构;(c)为摆动压板直接夹压机构;(d)为采用平压板实现两点夹紧,但两个夹压点的分布不宜太远。

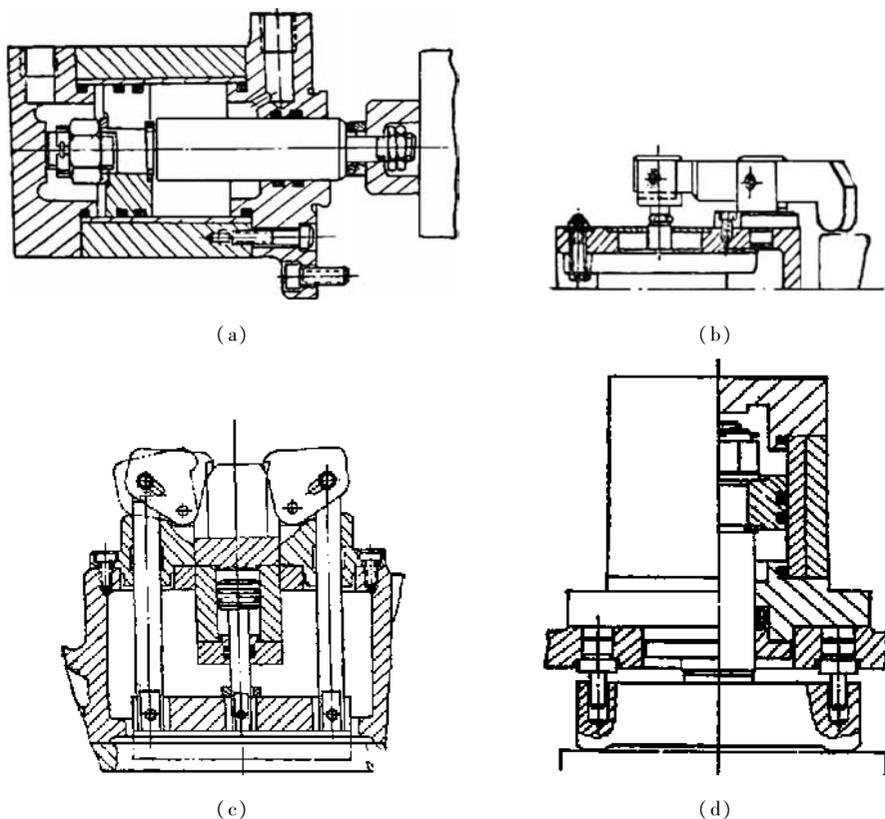


图 6-20 油缸直接夹压机构

图 6-21 为伸缩式内孔夹压机构;图 6-22 为钩型压板直接夹压机构;图 6-23 为自移式压板压紧机构;图 6-24 为双活塞油缸夹压机构,这种结构使用在需要对两点夹压工件的地方,相当于两个压紧油缸分别作用,结构简单。油缸直接夹压机构的形式多种多样,设计时根据具体情况而定。

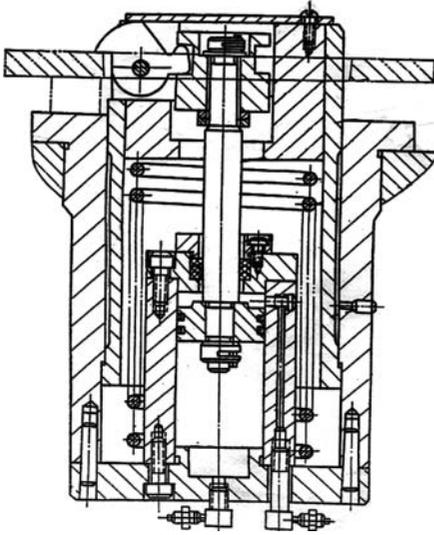


图 6-21 伸缩式内孔夹压机构

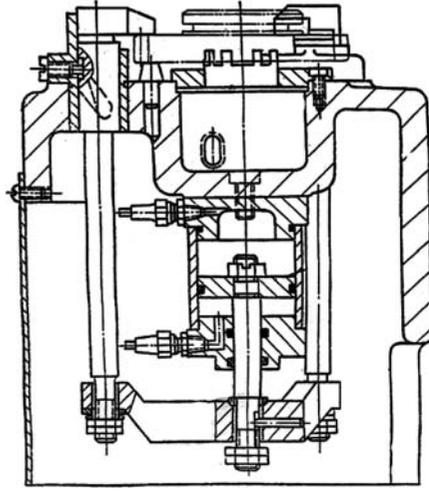


图 6-22 钩型压板夹压机构

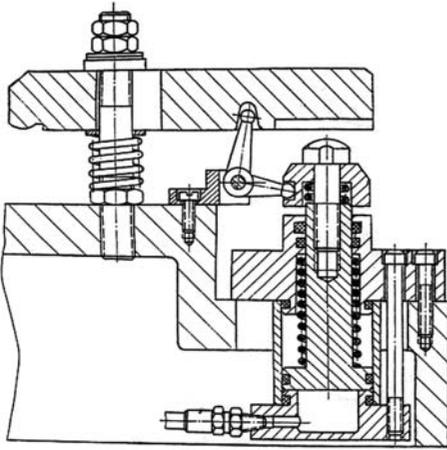


图 6-23 自移式压板夹压机构

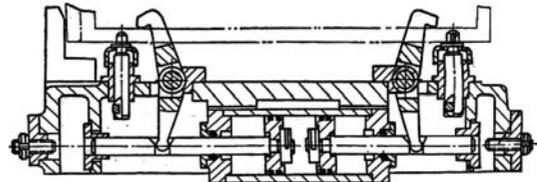


图 6-24 双活塞油缸夹紧机构

2) 汽缸直接夹压机构

在组合机床夹具中,采用汽缸为动力,直接夹压工件的例子也不少。

图 6-25 所示为汽缸直接夹紧机构,两种结构都借助杠杆改变作用力的方向。图(a)为固定式平压板。图(b)的结构采用了摆动杠杆 3,当松开工件时,活塞杆 1 下移的同时,压板 2 自动向左转开以便取下工件。

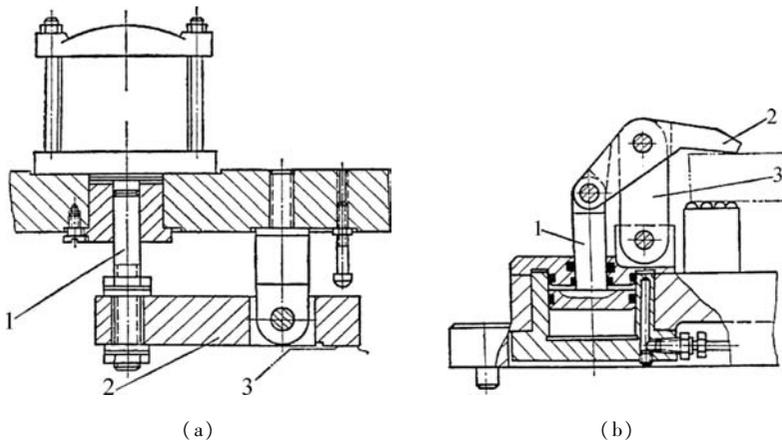


图 6-25 汽缸直接夹紧机构

1—活塞杆;2—压板;3—摆动杠杆

图 6-26 为双活塞增力汽缸夹压机构,往往能使夹紧力增加一倍。采用这种机构时,往往要注意夹压后工件的刚度变化及其夹压件的强度变化。

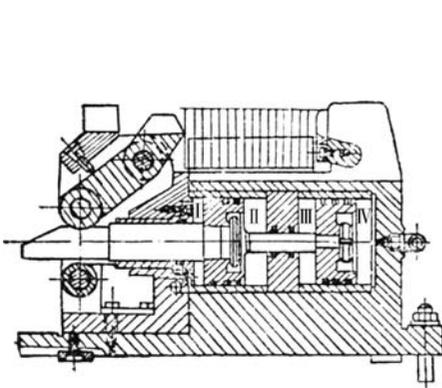


图 6-26 双活塞增力汽缸夹压机构

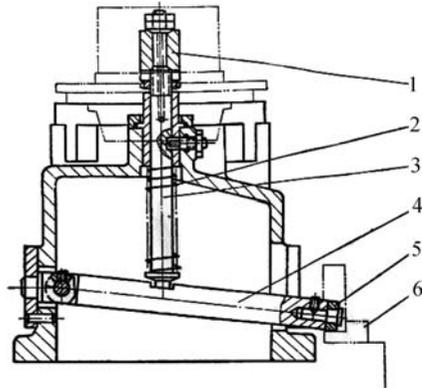


图 6-27 弹簧夹压机构

3) 弹簧夹压机构

当需要夹压较小工件时,在一些多工位机床夹具中,可采用弹簧夹压机构。如图 6-27 所示,压板 1 在弹簧 2 的作用下,通过杠杆 3 把工件压紧,加工完毕后,滚子 5 沿着楔铁 6 滑动,通过杠杆 4 将杠杆 3 顶起,于是可松开工件。

4) 采用直接夹压机构应注意的问题

(1) 直接夹压机构结构简单,但不自锁,当切削力大时,会产生振动,可靠性差,使用时,特别注意压夹力和切削力方向问题,当两力方向相同时,在切削力作用下,有对工件继续加强夹压的稳定性趋势,两力可相互抵消一些,并且切削力不太大时,用得更多一些。反之,谨慎使用。

(2) 汽缸(或油缸)盖应有足够的厚度,联接螺钉大小及数量必须足够。现在都有标准气(油)缸可选。

(3) 当采用气动直接夹紧机构时,气动管路上应加上减压阀、气压继电器以保证工作的



可靠性。为了防止气动元件生锈,还应在气动管路中增设气水分离器和油雾器,便于去水防锈,润滑元件。

(4) 对于采用液压直接夹紧结构时,要求在液压系统设计中要有互锁线路,即在工件夹紧后动力部件方能工作。在工作中,如遇到夹压力降低或工件松开,动力部件应立即快速退回,常采用的方法有:

① 使夹紧高压系统与动力部件快速行程降压系统分开,互不影响。或者在夹紧系统中采用蓄能器,以防系统压力波动。

② 在液压系统上,增加可调阻尼阀,可使其他部件在工作中产生的压力降低,避免对定位、夹压系统的影响。

(5) 弹簧直接夹紧机构,其结构比较简单,容易实现工件的自动松开,多用于需要的夹紧力较小,夹具尺寸往往受到限制的小型回转工作台夹具上。

2. 自锁夹紧机构

常用的自锁夹紧机构有:螺旋夹紧机构、偏心凸轮夹紧机构和楔铁夹紧机构。

1) 螺旋夹紧机构

螺旋副是夹具中广泛应用的一种自锁增力机构。它可以手动进行夹紧或自动扳手进行夹紧。螺旋夹紧机构具有很大的增力系数,但其摩擦损失也较大。

(1) 手动螺旋夹紧机构

图 6-28 所示为最简单的手动螺旋夹紧机构。图(a)为移动式压板;图(b)为回转式压板;图(c)为避免夹具体变形的夹紧机构;图(d)为从内部夹紧工件的夹紧机构。

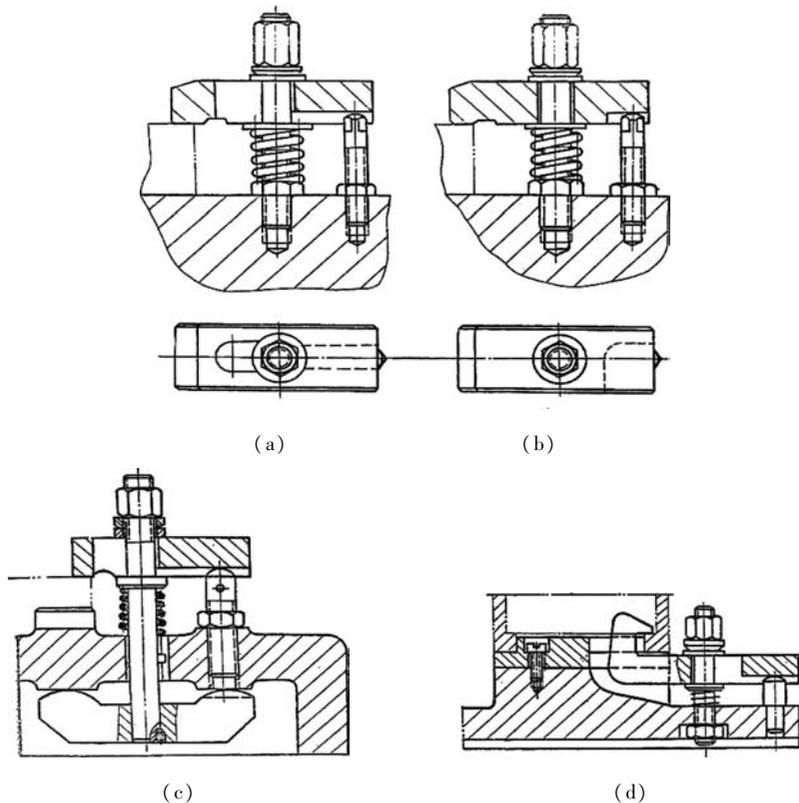


图 6-28 手动螺旋夹紧机构

图 6-29 所示为手动螺旋联动夹紧机构。图 (a) 采用连杆实现两个压板的联动；图 (b) 采用拉杆和摆动杠杆实现四个压板的联动夹紧。

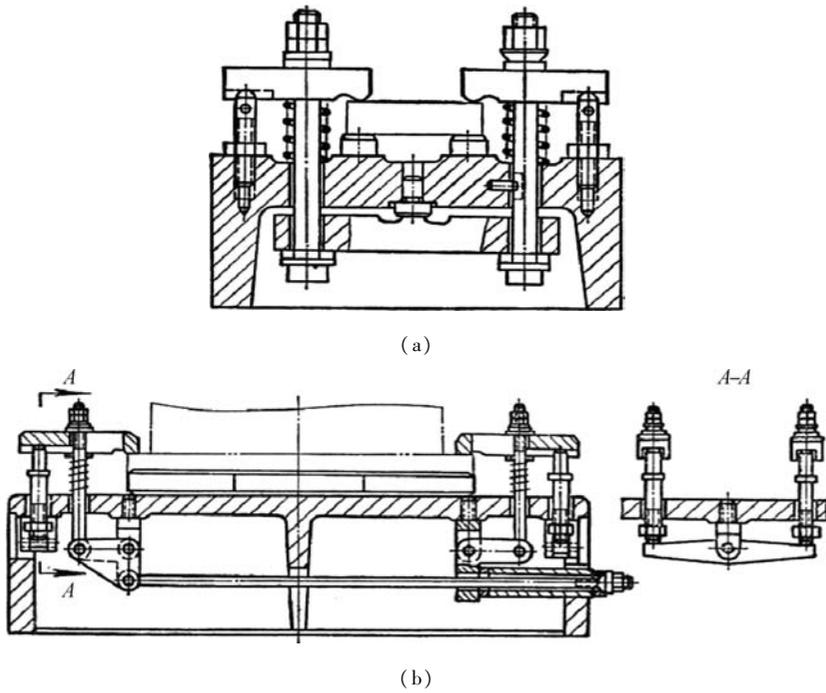


图 6-29 手动螺旋联动夹紧机构

图 6-30 所示为螺旋切向夹紧机构,用于夹紧圆柱形工件 1。为了增加工件周围接触的表面,螺杆 4 的轴线应与夹紧块 2 和 3 的轴线偏移一个距离。

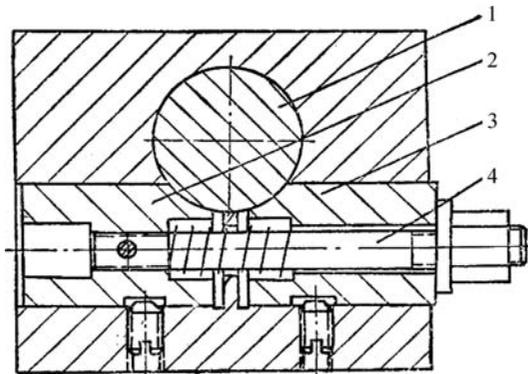


图 6-30 螺旋切向夹紧机构

(2) 自动扳手螺旋夹紧机构

在多工位机床和自动线上,螺旋夹紧机构经常采用自动扳手(机械、气动和液压扳手)来夹紧或松开工件。采用自动扳手进行夹紧时,夹具上的夹紧机构往往需要进行集中,力求采用联动压板机构将它集中成为一个螺旋施力机构,以便扳手头施力进行夹紧。



(3) 采用螺旋夹压时,螺纹强度允许的夹紧力见表 6-3。

表 6-3 螺纹强度允许夹紧力

名义直径 d (mm)	平均半径 R_{cp} (mm)	允许夹紧力 $Q_{允}$ (N)	手柄长度 L (mm)	所加的力 P (N)
10	4.5	3 000	120	20
12	5.3	4 500	130	50
16	7.35	8 000	190	80
20	9.19	12 000	240	120
24	11.02	17 500	310	160
27	12.52	22 000	350	200

允许夹紧力计算公式为:

$$Q_{允} = \sigma_E \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.64d^2 \quad (6-2)$$

式中: $Q_{允}$ —允许的极限夹紧力(N); d —螺纹外径(mm); σ_E —允许的强度极限 $\sigma_E = 600 \text{ MPa}$ 。

2) 偏心夹紧机构

(1) 偏心夹紧机构特性

偏心机构是一种快速夹紧机构,它与螺旋夹紧机构相比,虽然夹紧动作快得多,但其适应范围却较小。通常仅适用于工件在夹紧方向上的尺寸偏差较小(例如在已加工表面上进行夹紧)和切削过程无振动的场合。

偏心机构有两种形式,一种为圆偏心;另一种为凸轮,凸轮曲线为阿基米德螺旋线或对数螺旋线。组合机床夹具常用的为圆偏心夹紧机构。

设计圆偏心夹紧机构时应注意:保证自锁;保证足够的夹紧行程;保证足够的夹紧力。当偏心轮满足 $D \geq (14 \sim 20)e$ 的条件时,机构便能自锁。从自锁条件来看,特性为 20 的偏心轮比特性为 14 的偏心轮工作得更可靠些,仍建议采用特性为 14 的偏心轮。这种偏心轮的优点:当偏心轮直径相同时它的偏心距较大,因而在转动相同角度时,其夹紧行程也较大。

(2) 偏心夹紧机构的夹压力见表 6-4。

表 6-4 偏心夹压机构夹压力

偏心尺寸 (mm)	D	40	50	60	65	90	100
	L	75	90	130	90	130	150
	e	2.0	2.5	3.0	3.5	5.0	6.0
夹紧力(N)		1 900	1 800	2 200	1 400	1 600	1 500

上表根据下述经验公式计算所得:

$$Q_{夹} = \frac{P \cdot L}{[\tan(\alpha + \varphi) + \tan\varphi_1] \cdot r} \text{ (N)} \quad (6-3)$$

式中: P —加在手柄上的力(N);

α —偏心轮升角($^\circ$);

L —力臂长(mm);

φ —偏心轮与被夹压工件之间的摩擦角($^\circ$),通常 $\varphi = 5^\circ 03'$;

φ_1 —偏心轮与转轴间的摩擦角($^\circ$),通常 $\varphi_1 = 5^\circ 43'$;

e —偏心轮偏心距(mm);

$$r \text{—偏心轮的回转半径; } r = \frac{\frac{D}{2} + e}{\cos \alpha} \text{ (mm)。}$$

公式中符号见图 6-31 所示($P_J = \alpha$)。

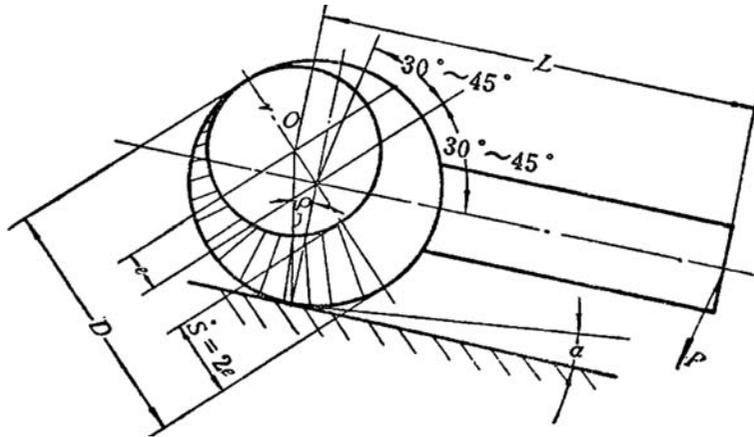


图 6-31 偏心凸轮夹紧受力分析

(3) 偏心夹紧机构实例

图 6-32 为手动偏心夹紧机构实例,其中(a)为移动压板;(b)为铰链压板,调节支承钉 1 可以改变偏心轮工作面位置;(c)为叉型偏心轮,在非工作面上削边便于装卸工件;(d)借助顶杆夹紧。

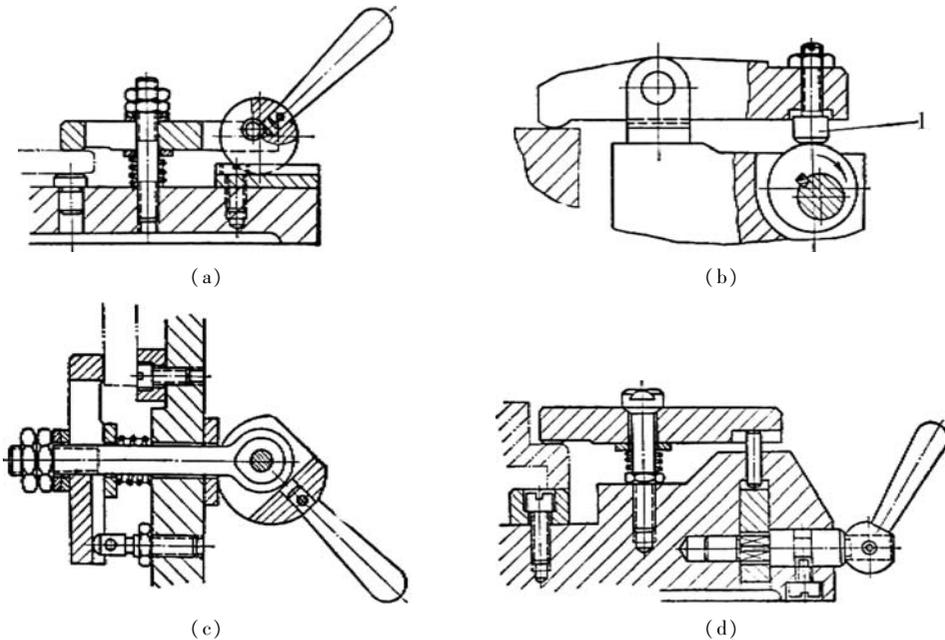


图 6-32 手动偏心夹紧机构实例

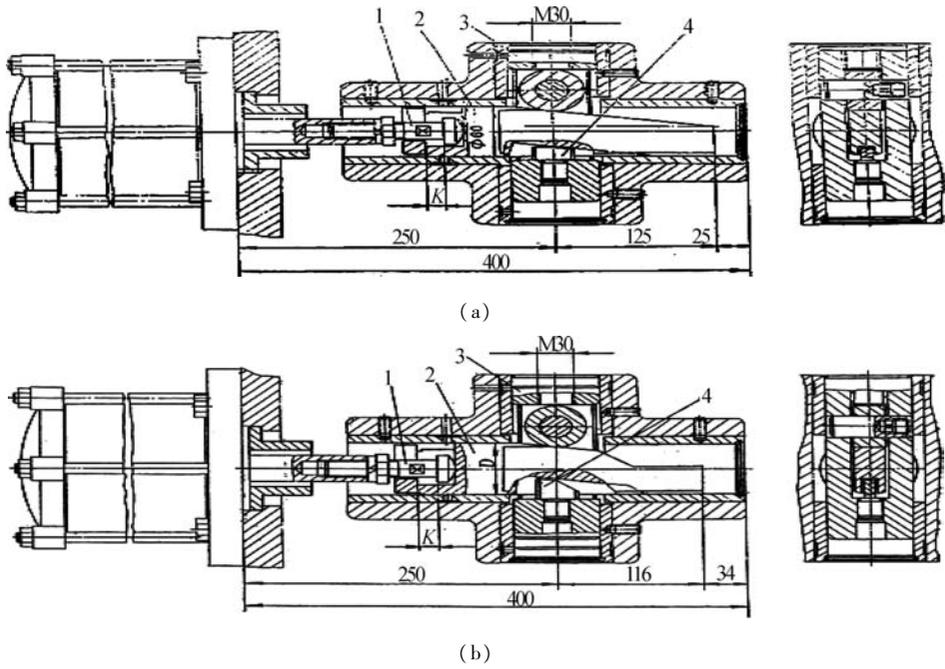


图 6-34 带滚子的楔铁夹紧机构

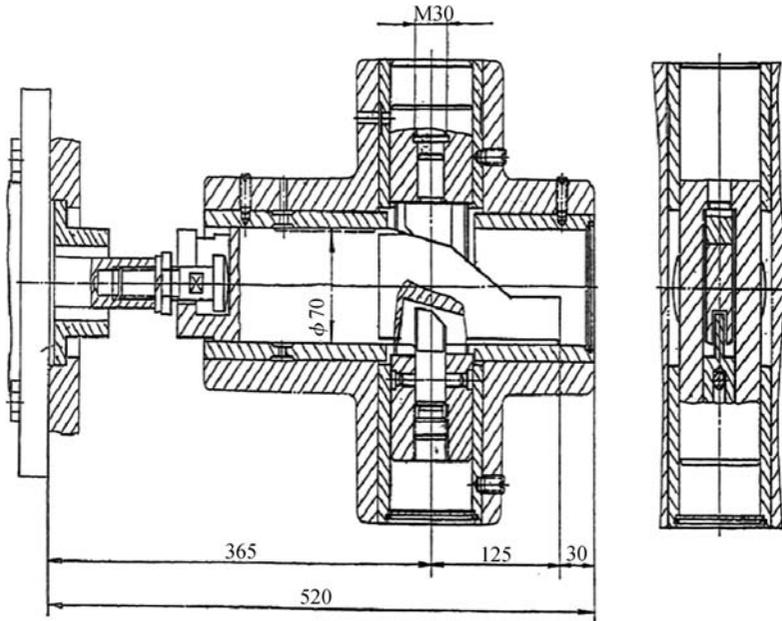


图 6-35 无滚子的楔铁夹紧机构

图 6-35 所示为无滚子的楔铁夹紧机构,楔铁圆柱部分的直径为 70 mm。

要注意使楔铁与推杆的滑动表面有充分的润滑。通用楔铁夹紧机构的技术特性列于表 6-5。



楔铁的材料一般用 20Cr 或 20 号钢,渗碳层深度 0.8~1.2 mm,淬硬至 HRC = 56~62,推杆可用 45 钢制造,外圆表面经高频淬火,硬度 HRC = 52~58。

表 6-5 通用楔铁夹紧机构的技术特性

(单位:mm)

图号	结构特点	楔铁圆柱部分的直径 (mm)	推杆直径 (mm)	楔铁行程 (mm)	推杆最大行程 (mm)	夹紧自锁范围 (mm)	楔铁向前行程备量 (mm)	推杆上的力(N) (工作气压 0.4 MPa)		
								汽缸直径 (mm)		
								105	150	200
T0223-01	带滚子	60	70	75	9	8 (由 1—9)	5	670	1 350	2 400
		60		66	13	5 (由 8—13)	5			
		70		75	20	5 (由 15—20)	5			
T0223-02	无滚子	70	80	66	20	7 (由 13—20)	8	550	1 100	2 000

(2) 楔铁夹紧机构实例

图 6-36 所示为小型组合机床多工位回转夹具上用的气动楔铁钩形压板夹紧机构,结构紧凑,外形尺寸小。

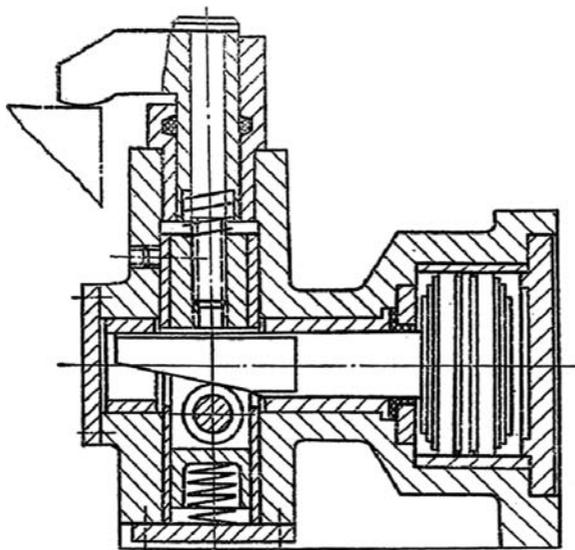


图 6-36 气动楔铁钩形压板

图 6-37 所示为铰链压板多件夹紧机构。楔铁 1 由油缸推动,使推杆 2 下移,通过连杆 3,拉杆 4 和压板 5 对两个工件进行夹紧。

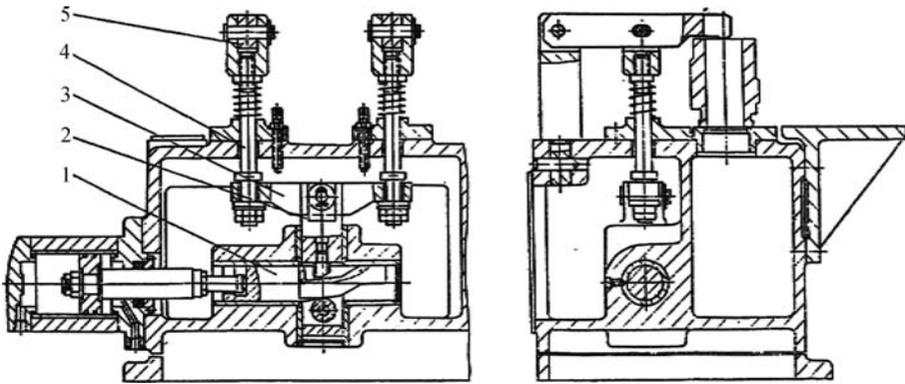


图 6-37 铰链压板多件夹紧机构

3. 联动夹紧机构

采用联动夹紧机构,是提高组合机床自动化程度和减轻工人劳动程度的有效措施。

1) 联动夹紧机构完成的动作内容

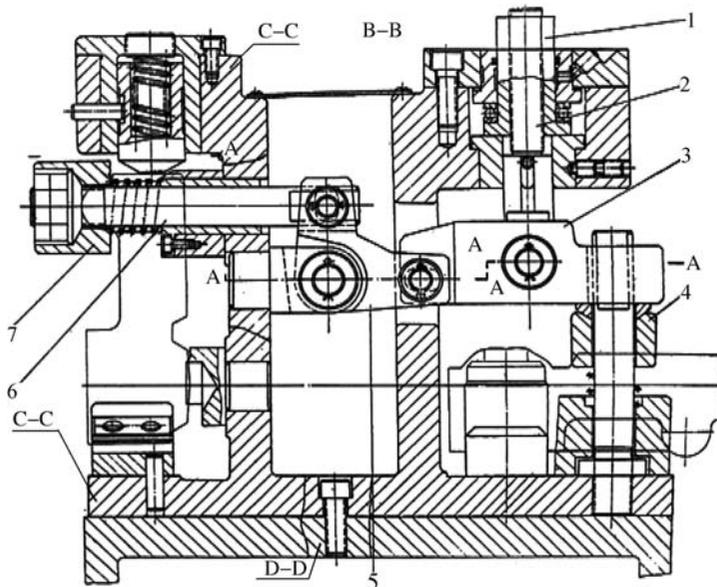
- (1) 多点夹紧的夹具中,使夹紧机构集中为一个施力机构。
- (2) 改变力的作用方向,实现对工件从不同方向上同时夹紧。
- (3) 实现定位和夹紧的联合动作,但是必须遵循先定位后夹紧的顺序。
- (4) 实现 n 个压板的联动回转或移动。

2) 采用联动夹紧机构应注意的一些问题

- (1) 应力求避免使用过多的杠杆,否则会使结构复杂,效率低,刚性差。
- (2) 有浮动环节时,应使它有充分的浮动量,保证各夹压点能够同时压紧。
- (3) 工件的定位和夹紧联动时,夹压不要破坏定位。

3) 联动夹紧机构实例

图 6-38 为多点夹压的夹紧联动机构,通过对螺母 1 旋转施力,可实现对四个工件的同时压紧。



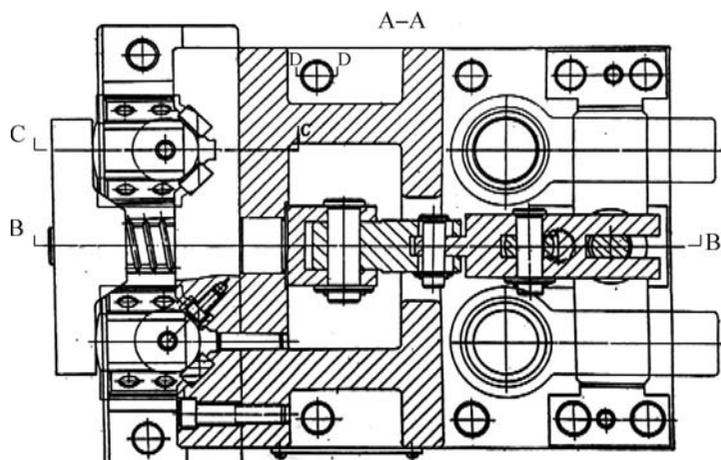


图 6-38 同时夹紧四个工件的联动夹紧机构

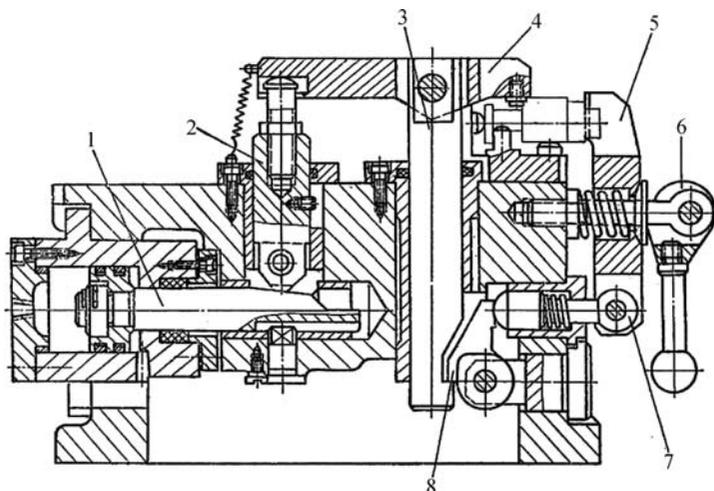


图 6-39 液压楔铁联动夹紧机构

图 6-39 为液压楔铁联动夹紧机构,油缸通过对楔铁 1 施力实现对工件从两个不同方向上的压紧。

图 6-40 所示为先定位后夹紧的联动机构,当活塞杆 1 右移,脱开杠杆 3,在弹簧 4 的作用下,推动楔铁 5 上移,进而推动压块 6 右移,从而使工件靠在 V 形体 8 上定位,活塞杆 1 继续右移时,其斜面推动推杆 2 上移,从而使压板 7 夹紧工件。

图 6-41 为压板自动回转机构,在动力源作用下,拉杆 a 上移,通过连杆机构使钩形压板从工件内部实现两点联动压紧,工件加工完毕后,拉杆 a 下移,钩形压板反转自动撤离松开工件。

图 6-42 为自移式压板联动机构,压板 1 的自动移动及对工件的夹紧和松开都是由三角形铰链 2 的转动实现的。

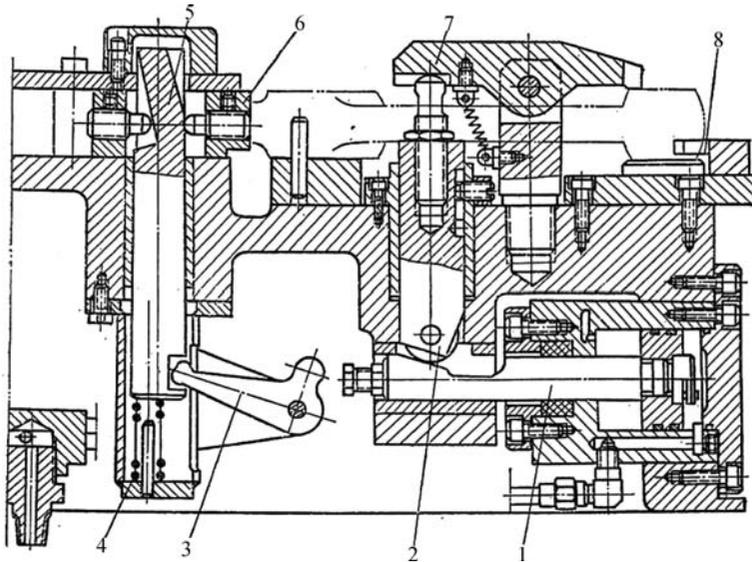


图 6-40 先定位后夹紧的联动机构

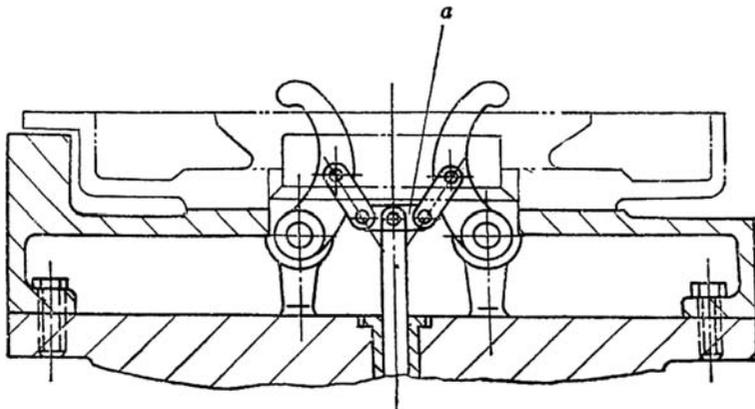


图 6-41 压板自动回转机构

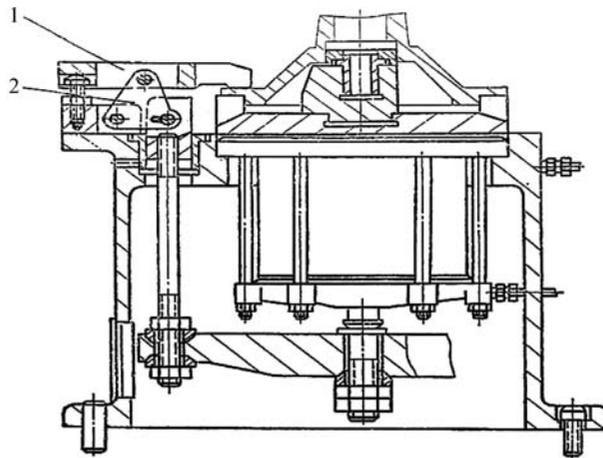


图 6-42 自移式压板联动机构



图 6-43 为气动回转压紧机构, 齿轮齿条 1 机构在汽缸 2 的作用, 使三角铰链 5 绕 O 作逆时针方向回转, 借住连杆 4 和拨叉 3, 使两个压板 6 联动回转, 松开工件。

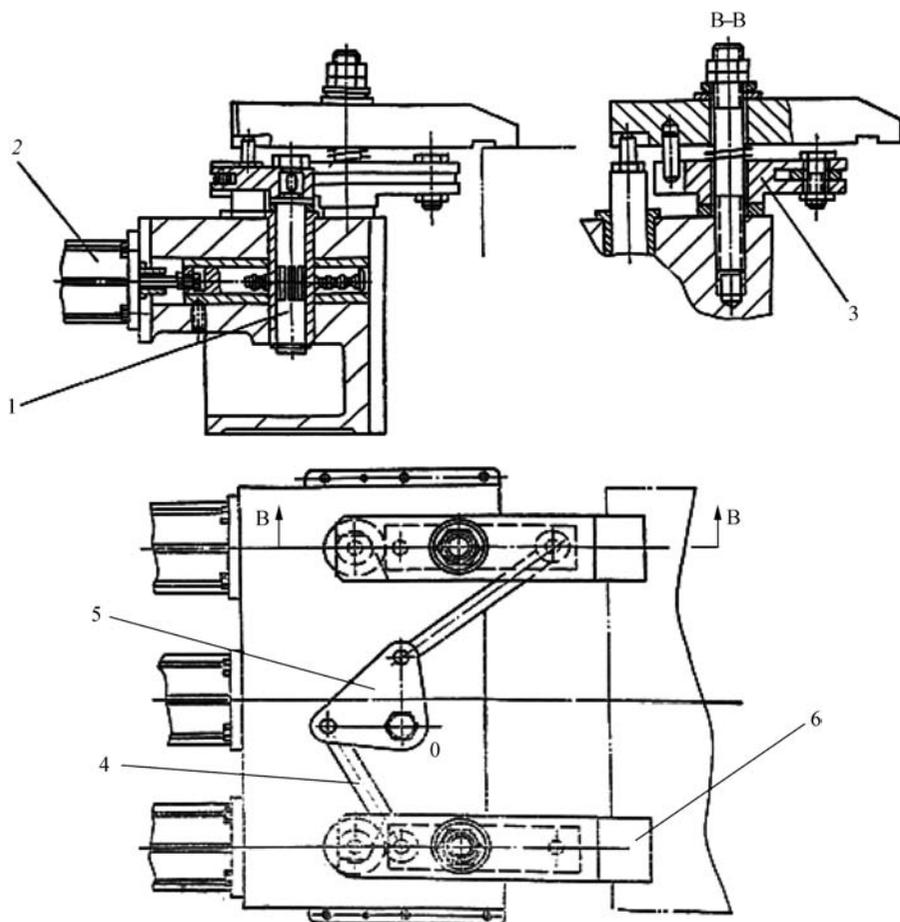


图 6-43 气动回转压板机构

6.4 导向装置介绍和应用

6.4.1 导向装置概述

在组合机床上完成的孔加工工序中, 除采用“刚性主轴”加工方法外, 在大多数情况下, 切削刀具都在导向装置中工作, 因此, 具有精密的导向便成为组合机床刀具工作的显著特点之一。

导向装置的作用: 保证刀具对于工件的正确位置; 保证各刀具相互间的正确位置和提高刀具系统的支承刚性。

刀具导向装置在一般情况下都是固定地设置在机床夹具上的, 并且成为夹具的一个重要组成部分。但是, 在某些特定的情况下, 还常常需要采用可移动的导向装置(随机床主轴

箱移动,或在夹具的模架上移动),即所谓“活动钻模板”。但必须使活动钻模板与机床夹具间保持精确的定位关系,因此活动钻模板实质上就是一种特殊形式的刀具导向装置。

导向装置大致分为两类:即第一类导向装置(固定导向)和第二类导向装置(滚动导向)。

6.4.2 第一类导向装置

这类导向装置的导套安装在机床夹具的模架上,并且是固定不动的,它通常由三个零件组成,如图 6-44 所示。刀具或刀杆本身在导套内既有相对转动又有相对移动,例如钻孔以及大多数扩孔和铰孔的刀具导向。当两层距离很近的孔,线速度 $v < 25 \text{ m/min}$ 时,且润滑充分,防尘措施较好时,也适用于镗削。

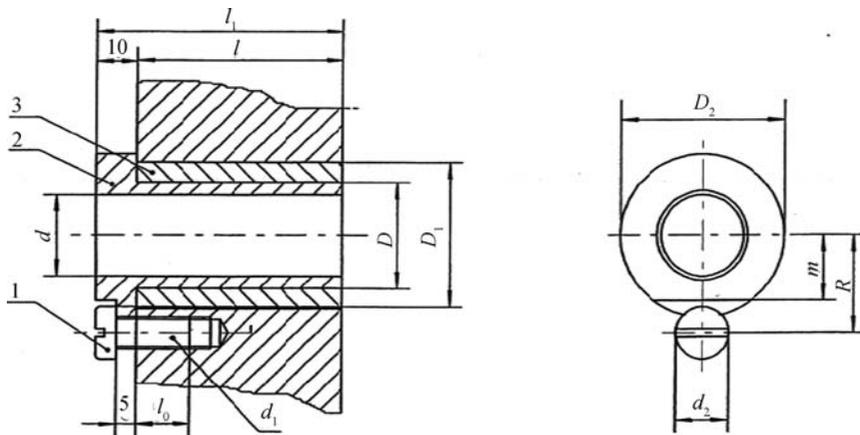


图 6-44 固定式导套

1—压套螺钉;2—可换导套;3—中间套

1. 固定式导套

组合机床上常用的固定式导套都已通用化了,其规格尺寸见表 6-6。

表 6-6 通用导套规格尺寸表

(单位:mm)

d	D	D_1	D_2	l			l_1			m	R	d_1	d_2	l_0	备注
4~6	12	18	19	12	20	25	22	30	35	7	15.5	M8	16	12	直径 d 及 D 的公差按实际加工要求选用。
>6~8	14	20	21							8	16.5				
>8~10	16	22	23	20	25	35	30	35	45	9	17.5				
>10~12	18	25	26							10.5	19				
>12~15	22	30	31	25	35	45	35	45	55	13	21.5				
>15~18	25	35	36							15.5	24				
>18~21	30	40	41	35	45	55	45	55	65	18	26.5				
>21~25	35	45	46							20.5	29				
>25~30	40	50	51	45	55	65	55	65	75	22.5	32.5	M10	19	15	
>30~35	45	55	56							25	35				
>35~42	55	70	71							55	65				75



1) 压紧螺钉(T0249-41)只有 M8 和 M10 两种规格。

2) 可换导套(T0249-42)

可换导套孔径 d 的公差可选用 G6、G7、F8, 当 d 为整数时, 由于可使用标准量具进行测量, 因此还可选用 H7, 外径 D 的公差通常选用 g5 或 g6, 少数情况可选用 h5 或 h6。对于每种规格的孔径 d , 均有三种规格的导套长度 l_1 可供选用。

3) 中间套(T0249-43)

中间套在装入夹具钻模体上后, 一般是不再更换的, 因此外径 D_1 只按 n6 或 js6 公差制造, 内径 D 的公差可按需要选用 H6 或 H7, 长度 l 也有和导套长度 l_1 相对应的三种规格。

可换导套和中间套均要求具有很高的硬度, 以提高其耐磨性。直径较小的导套(孔径 $d \leq 25$ mm) 选用材料为 T10A, 淬火深度为 0.8~1.1 mm, 硬度为 HRC56~62。

固定式导套的直径比较小, 因此只能用于第一类导向装置, 对直径不大的孔进行钻、扩、铰加工。若用于扩、铰直径较大的孔, 或用于第二类导向装置中的“内滚式”导向时, 则需要另行设计专用导套。

采用固定式导套时, 外部应尽可能装上中间套, 其目的在于: 当导套磨损后进行更换时, 不至于破坏钻模体上的孔, 从而有利于保持导向的精度。即使由于孔中心距较小而需要将中间套削边时, 也希望尽量采用中间套。如果固定式导套是用于“内滚式”导向时, 由于刀杆与导套间只有很慢的相对移动, 导套的磨损较小, 因此只有在这种情况下, 当结构受到限制时, 才允许不用中间套。

2. 第一类导向装置的两种不同使用方式

一种是刀具本身在导套内工作; 另一种是以刀杆部分作为导向。此时刀杆上的导向部分可以做成几种形式, 如图 6-45 所示。

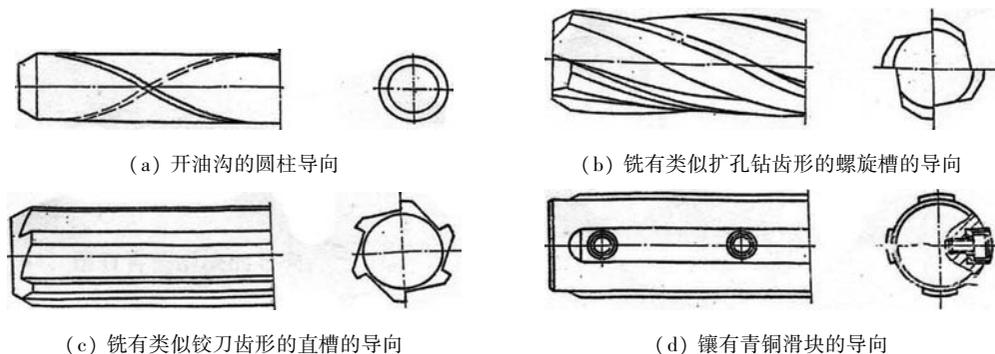


图 6-45 第一类导向中以刀杆作为导向的几种形式

图(a)为最简单的开油沟的圆柱导向, 但它在使用中常常“咬死”, 原因是它与导向套接触面大, 在一般情况下导向的润滑也不好, 在加工时又很难避免切屑进入导向部分的缘故。

为了避免“咬死”, 图(b)、(c)中刀具的导向部分常铣出类似扩孔钻或铰刀齿形的槽以减小接触面积, 并且在有切屑进入导套中时, 将切屑“刮”到槽中。这种导向比只开油沟的导向好。但是由于“咬死”的原因很复杂, 即使采用这样的结构, 仍不能完全避免“咬死”。根据生产使用中的统计表明: 铣有刀齿的第一类导向其线速度不宜超过 20 m/min(在铣沟槽

较深,圆柱形棱带较窄,润滑良好且切屑不易进入导套时,可略高于 20 m/min),否则,导向将常产生“咬死”现象。

由于在使用中这几种导向线速度有以上限制,因此它们大多用于较小的直径(一般不大于 60 mm),只有作为铰孔导向时,由于铰孔速度不高,才用于较大直径(达 100 mm)。

开油沟,铣刀齿槽的导向时,若与刀具一体,一般材料即按刀具选取高速钢或合金工具钢(如 9SiCr),淬硬至 HRC62~65;若在刀杆上,可用低碳钢(或低碳合金钢),渗碳淬火至 HRC59 左右。当然,导向部分也可采用镀铬、氮化等表面处理。这些导向在磨损后可以用镀铬的方法修复。

图(d)为镶铜滑块的导向,由于它与导套的摩擦较小,因而使用速度可以比开槽的导向略高,但它却常因切屑进入导向套而磨损很快。磨损后可在滑块下加垫,再将外圆进行修复。

3. 几种特殊导套

如图 6-46 所示:图(a)是在工件内壁上钻孔的情况,以减小导套至工件端面间的距离;图(b)为在偏移的圆弧面上钻孔的情况;图(c)为钻斜孔的情况(如钻削曲轴深油孔),这两种情况在钻头接触工件表面时都会产生很大的偏移力,为了防止钻头折断,需要在导套前端做成相应的圆弧边或斜边;图(d)为导套用于钻削中心距离很近的两个或数个孔,此时导套除用压套螺钉压紧外,还应采用定位销(或键)定向来固定孔的方位;图(e)为用于在钢件上钻孔的断屑钻套,在导套前端铣有断屑槽以利于加工过程中断屑。

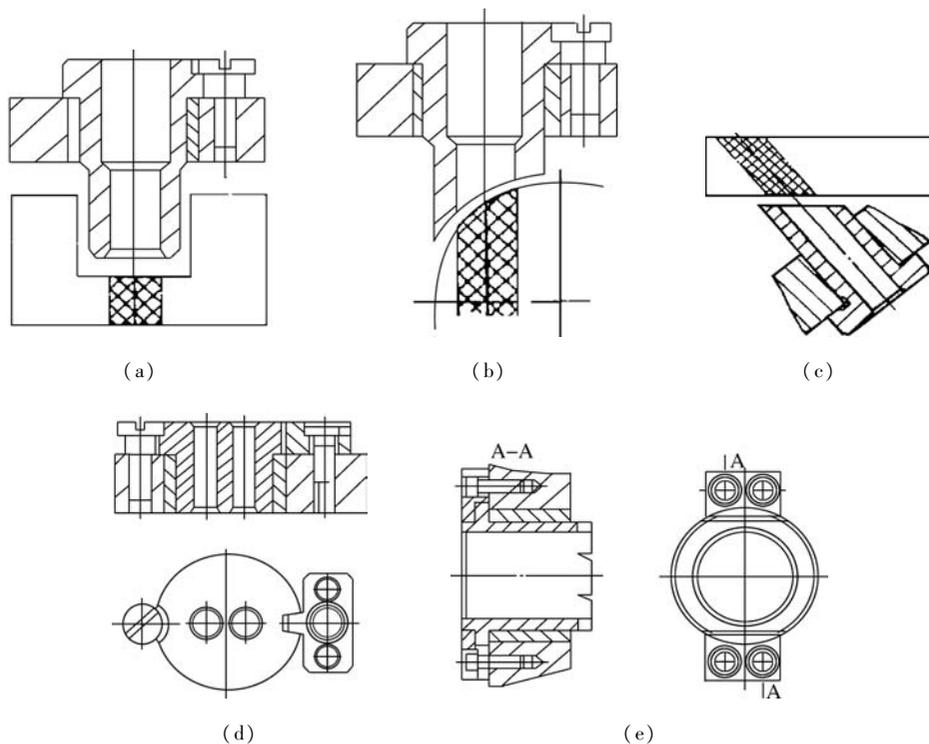


图 6-46 特殊导套

为了解决钢件上钻孔时的断屑问题,图 6-47 列举了具有不同槽形的两种断屑钻套。断屑钻套前端的断屑槽可以为锯齿形槽或矩形槽,槽深一般为 4~5 mm,槽数为 4~6 个并在圆周上均布。在开有断屑槽的端部,其外圆通常做有正锥(锥长稍大于槽深,锥度酌情处理),一般认为这样可以加强断屑效果。由于导套经常受切屑的冲击,因此必须注意导套紧固的可靠性,推荐采用压板压紧方式,当直径较大时,甚至需要采用两个压板进行压紧,如图 6-46(e)所示。由于切屑的冲击会把导套断屑槽的棱边“打毛”,为了防止其卷边划伤钻头刃带或在更换导套时划伤中间套内孔,因此需使导套上开断屑槽的端部外圆直径稍小于 D ,内孔稍大于 d 。

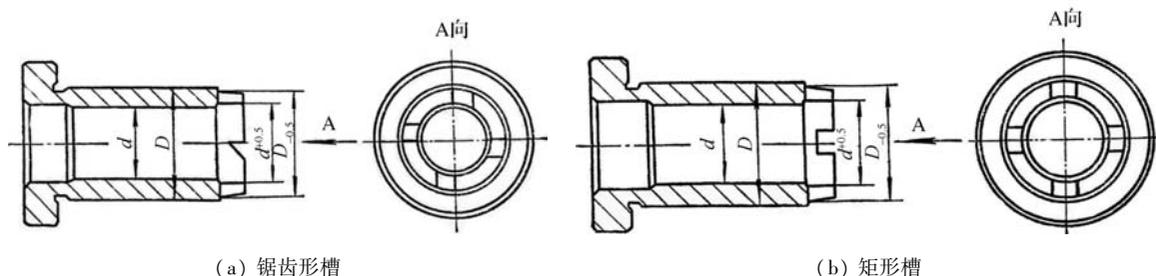
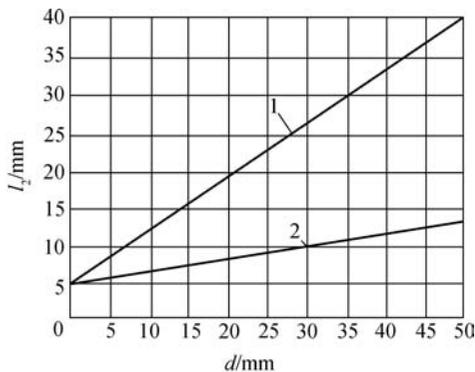


图 6-47 断屑钻套

4. 固定式导套的布置及其主要参数的确定

夹具上的固定式导套可有如下两种使用场合:一种是作为第一类导向,多用于钻孔、扩孔和铰孔等工序;另一种则用于第二类导向中的“内滚式”导向,多用于镗孔和套车外圆等加工工序,见表 6-7。

对于不同的加工工序,导套便有不同的使用条件,因此,在设计时必须根据不同的使用特点,正确地选择导套的结构形式和确定导套的主要参数及其布置方式。导套的主要参数包括:导套的直径和公差配合、导套的长度 l_1 、导套至工件端面的距离 l_2 等。表 6-7、表 6-8 及表 6-9 中提供了可作参考的有关数据。应用表 6-7 时,对于不同工艺方法所采用的导向形式切勿造成错觉,不要以为扩孔和铰孔只能采用第一类导向而镗孔只能采用第二类导向,实际使用时,扩孔和铰孔也有采用第二类导向的情况,而镗孔也有采用第一类导向的情况。应用表 6-8 时,是用于钻孔有位置精度要求高的场合。

图 6-48 根据 d 选择 l_2 的图表

1—钻钢;2—钻铸铁

图 6-48 是根据 d 来选择 l_2 (导套至工件端面的距离) 的图表,可供参考。

表 6-7 固定式导套的布置

导向类别	工艺方法	刀具布置简图	导套长度 l_1	导套至工件端面的距离 l_2	常用导套直径范围(mm)	使用速度范围	刀具与主轴的连接形式
第一类导向	钻孔		$(2\sim 4)d$ 小直径取大值 大直径取小值	钻 铜: $(1\sim 1.5)d$ 钻 铸铁: $\approx d$ 当 d 过大或过小时,此规律不适用,可参考图 6-48	<40	中低速	刚性
	扩孔		导向扩孔时,前导向可比后导向短些	$(1\sim 1.5)d$	镶铜键 ≤ 80 螺旋齿 ≤ 60	中低速 中低速	刚性或浮动
	铰孔		单导向: $(2\sim 4)d$ 双导向: $(1\sim 2)d$ 小直径取大值 大直径取小值 前导向可比后导向短些	$(0.5\sim 1.5)d$ 直径小,加工精度要求高时,应取小值	开油沟 ≤ 40 镶铜键 ≤ 80 直齿 ≤ 60	低速 中低速 低速	当导向长度较大和有两个以上导向时应浮动
第二类导向	镗孔或套车外圆		$(2\sim 3)d_1$ 当刀具悬伸较大时,应取大值。 双导向加工时,前导向可比后导向短些	20~50(mm) 视结构许可而定	装滑动轴承 ≥ 50 装滚针轴承 ≥ 55 装滚锥轴承 ≥ 85 装滚珠轴承 ≥ 70	中速 中速 中速较高速 中速高速	浮动

表 6-8 钻孔时 l_1 和 l_2 同 d 的关系式

l_1	$l < d$ 时	$(0.5\sim 1.8)d$
	$l > 2d$ 时	$(1.2\sim 2)d$
l_2	钻钢	$(0.7\sim 1.5)d$
	钻铸铁	$(0.3\sim 0.6)d$

表中: l —钻孔的长度; l_1 —导向长度; l_2 —导套至工件端面的长度。

在组合机床进行多轴钻孔时,钻模板上导套的数量很多,有时甚至多达数十个,在检验机床的总装精度时,实际上不可能也没有必要逐个地全部检查每个部位上主轴与导套间的同轴度,而是适当地选取两个孔位距离较远的导套作为检查部位,因此在设计钻模板时,应注意在相应的部位选用长导套,使中间套的长度与其孔径之比 $l/D \geq 3$,以便能在该孔内可靠地插入检验棒,作为机床总装时检查主轴与导套间的同轴度时用。由于钻模板和主轴箱体上的孔都是在坐标镗床上加工的,因此只要上述两个部位的同轴度在允差范围内时,则其他各部位上的同轴度偏差也将能满足机床的正常工作要求。



表 6-9 固定式导套配合的选择

导向类别	工艺方法		d	D	D_1	刀具导向部分外径	
						刀具本身导向	接杆导向
第一类导向	钻孔		G7(或 F8)	H7/g6	H7/n6	钻头本身导向	
	扩孔		G7(或 H7)			扩 H8 孔时:h6 扩 H10 以下孔时:g6	H7/g6
	铰孔	粗铰	铰 H8 或 H10 孔 G7(或 H7)	H7/g6 或 H7/h6	H7/n6	按略小于 h6 的公差选	H7/g6
		精铰	铰 H8 或 H7 孔 G6(或 H6)	H6/g5 或 H6/h5		按略小于 h5 的公差选	H6/g5
第二类导向	镗孔或套车外圆	粗加工	H7	H7/js6	$D_1 \leq 80$ 时, H7/n6	按 h6 公差或按特殊公差制造 特殊公差:上偏差取 g6 上限的 1/2 下偏差取 g6 下限的 2/3~4/5	
		精加工	H ₆	H7/js5 或 H6/js5	$D_1 > 80$ 时, H7/k6	按 h5 公差或按特殊公差制造 特殊公差:上偏差取 g5 上限的 1/4~1/3 下偏差取 g5 下限的 1/2~2/3	

注:1. 精加工时,固定导套内孔 d 的椭圆度允差,可取 H6 公差的 1/4 左右。

2. 第二类导向中刀杆导向部分滑动套的制造精度详见表 6-10,表 6-11。

3. 表中 d —可换导套内径, D —可换导套外径(衬套内径), D_1 —衬套外径。

6.4.3 第二类导向装置

1. 结构形式的种类

我们常见的各种镗孔导向基本上属于这一类,第二类导向装置又分为两种结构形式:

1) “内滚式”导向

如图 6-49 所示,导向装置的旋转部分设置在刀杆上,并成为整个刀杆的一个组成部分,它有装滚珠轴承、滚锥轴承、滚针轴承的和滑动轴承等多种形式。因其旋转部分设在导向滑动套的内部,因此通常称为“内滚式”导向。此时安装在夹具镗模架上的导套是固定不动的,其结构和第一类导向装置中的导套相同,但一般导套直径比较大。

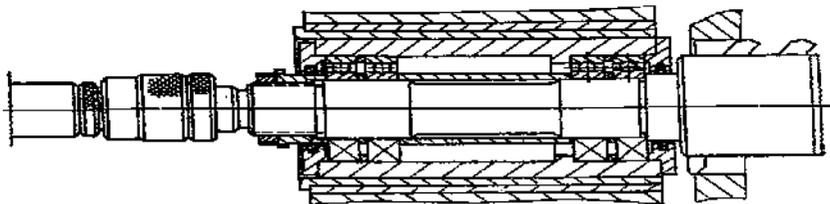


图 6-49 “内滚式”导向装置

2) “外滚式”导向

如图 6-50 所示,导向装置的旋转部分(可为滚动轴承或滑动轴承)通常设置在夹具镗模架上,其导套本身可做旋转运动,刀具则以其圆柱形刀杆作为导向,并在导套内只作相对移动而无相对转动。由于这种导向装置的旋转部分设在导向套滑动表面的外部,因此通常称为“外滚式”导向。

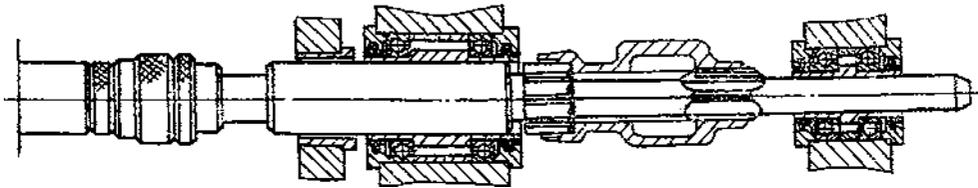


图 6-50 “外滚式”导向装置

2. 刀具导向装置的多种配置形式

(1) 组合机床刀具导向装置的结构形式是多种多样的,在具体使用时,又有单导向、双导向和多导向等不同设置形式之分;单导向悬臂镗孔的导向,有“外滚式”如图 6-53 所示和“内滚式”如图 6-51(a)所示两种;前后双导向镗孔,一般前导向为“外滚式”,后导向为“内滚式”,如图 6-51(b)所示,但个别情况下也有两导向均用“外滚式”或均用“内滚式”的;多导向镗孔,一般用“外滚式”导向,如图 6-51(c)所示。有时在同一刀杆上采用相同结构形式的导向装置,有时在同一刀杆上却采用不同结构的导向装置。如图 6-52 所示即为在同一刀杆上采用不同结构导向的实例,图(a)中由于镗杆较长而采用双导向加工的形式,其中前导向为“外滚式”导向,而后导向为“内滚式”导向。图(b)中为多导向复合铰孔的加工形式,由于刀具转速较低,因此其主要导向装置采用第一类导向,其中后导向为镶铜键的固定导向;中间导向因易受切屑损害而可能加剧铜键的磨损,因此改用直齿铰刀齿形的固定导向;前导向则采用“外滚式”滚动导向。

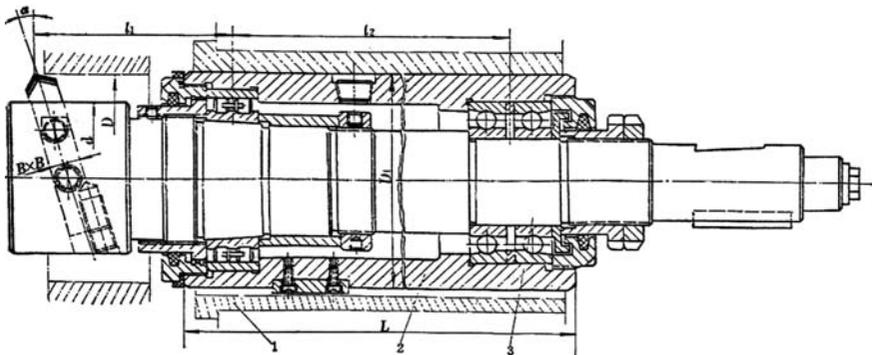


图 6-51(a) 单导向悬臂镗孔

1—夹具导套; 2—滑动套; 3—镗杆

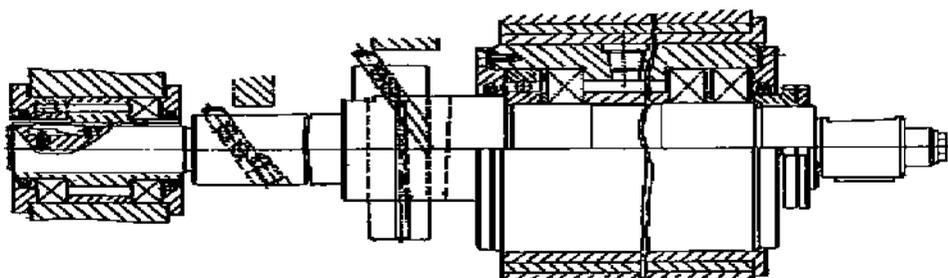


图 6-51(b) 前后双导向镗孔

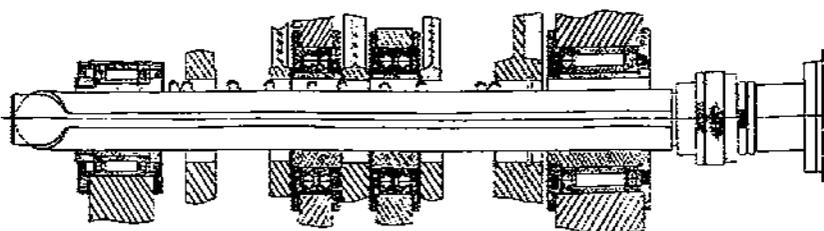


图 6-51(c) 多导向镗孔

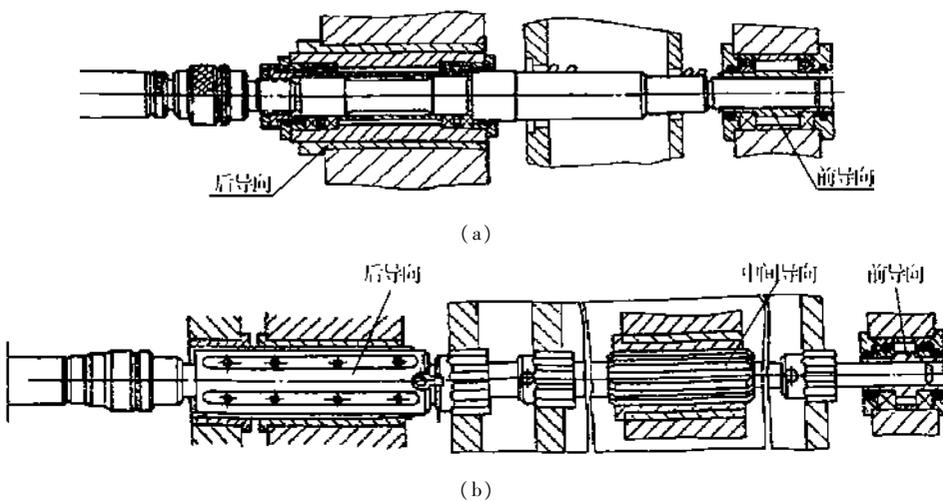


图 6-52 同一刀杆上采用不同结构形式的导向装置

(2) 对于单导向悬臂镗孔,如果镗杆的悬伸不长,表 6-12 中推荐的导向长度是适用的,但在某些情况下,如图 6-53(a) 所示,镗杆悬伸长度虽然较大,却因受结构限制而不得不采用单导向悬臂镗孔时,按表中所推荐的导向长度往往不足以保证镗杆的支承刚性,此时可根据镗刀开始加工时距离导向部位的最大悬伸长度 L ,用 $L=(1.5\sim 2)l$ 关系式来确定导向长度;并应在结构许可的条件下,尽可能加大导向装置中两轴承的跨距。图 6-53(b) 是在前支承处设置导向的一种单导向形式。

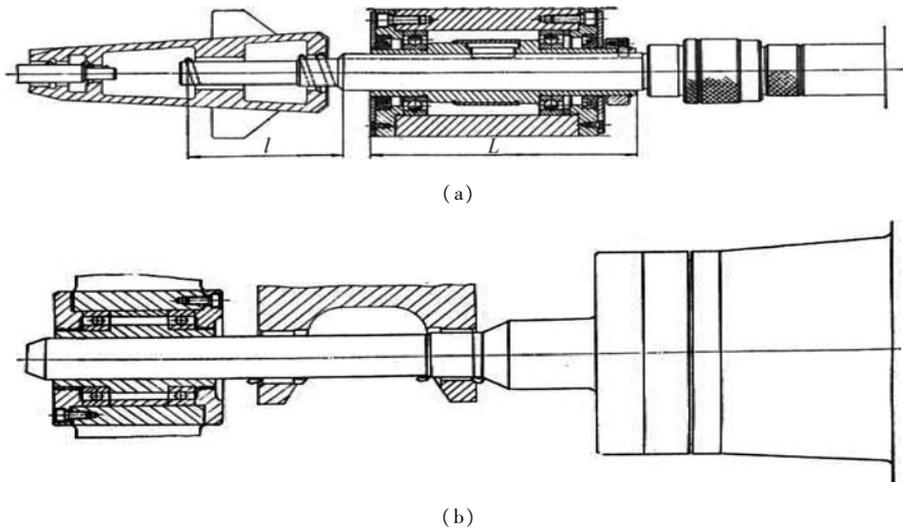


图 6-53 单导向镗孔

(3) 在工件上相邻较远的两层壁上镗孔,或在位于较深的工件内壁上镗孔时,都应考虑采用双导向进行加工,以保证镗杆工作的稳定性。对于双导向镗孔,其前导向的长度可比表 6-12 中推荐值小些,通常取为 $L=(1.5\sim 2)D$,但需保证镗刀在开始切削时,刀杆导向部分进入导套孔内的长度应不小于其直径。

(4) 在工件的多层壁上同时镗削一系列同轴孔时,刀杆细长刚性差,为了加强刀杆的支承刚性,保证加工精度和防止振动,应采用多导向进行加工。在这种情况下,前、后两个导向装置是起决定性作用的主要导向,因此应具有较高的精度和刚度。中间导向装置通常受到被加工零件内腔尺寸的限制,往往不能满足上述要求,但即使在这种情况下,也希望在结构许可的条件下,尽可能地将中间导向设计得长些。

3. 第二类导向中的“内滚式”导向

1) 在组合机床上,“内滚式”导向常用的有以下两类结构

装有滑动轴承的导向[图 6-54 中(a)、(b)];装有各种滚动轴承或滚针的导向[图 6-54 中(c)、(d)、(e)、(f)]。

装有滑动轴承的导向,在润滑很好时,有较好的抗振性。它一般用于铰孔、半精镗或精镗孔,其中(b)比(a)密封要好,因而润滑条件较好,较适于镗孔(转速较高),而(a)多用于铰孔。

滑动轴承的导向一般都是在铜套压入滑动套之后再加工铜套的 $1:15$ 圆锥及直径 d ,加工时这两处还应与刀杆配研,以保证较高的精度。

装滚珠轴承的导向[图 6-54 中(c)、(d)]常用于扩孔、铰沉孔、铰端面及镗孔,其中(c)的前后支承都采用了两个轴承,可用磨前端两轴承间两个垫片之一的方法对轴承施加预加载荷,并消除间隙,因而刚性较好,采用较多,而(d)只在负荷较轻时才采用。应该指出:上述用磨垫来调整轴承间隙和施加预加载荷的方法在生产中不够方便,也难调整得很合适,所以它的结构比不上图 6-51(a)的结构。该结构前端采用圆锥孔双列向心短圆柱滚子轴承,调



整比较容易,后端采用两个单列向心推力球轴承,也可以调整间隙施加预加载荷,因此该导向精度及刚性都较好。

装滚锥轴承的导向[图 6-54 中(e)],虽然精度稍差,但刚性很好,故在粗、半精加工。特别是在切削负荷较重时,多采用这种结构。

装滚针的导向[图 6-54 中(f)],在一般情况下,由于刚性及精度不高,只是在尺寸受限的情况下才采用。但是,若在制造时特别加以注意,很好挑选滚针的直径并计算滚针的数量,也可用作精加工的导向。

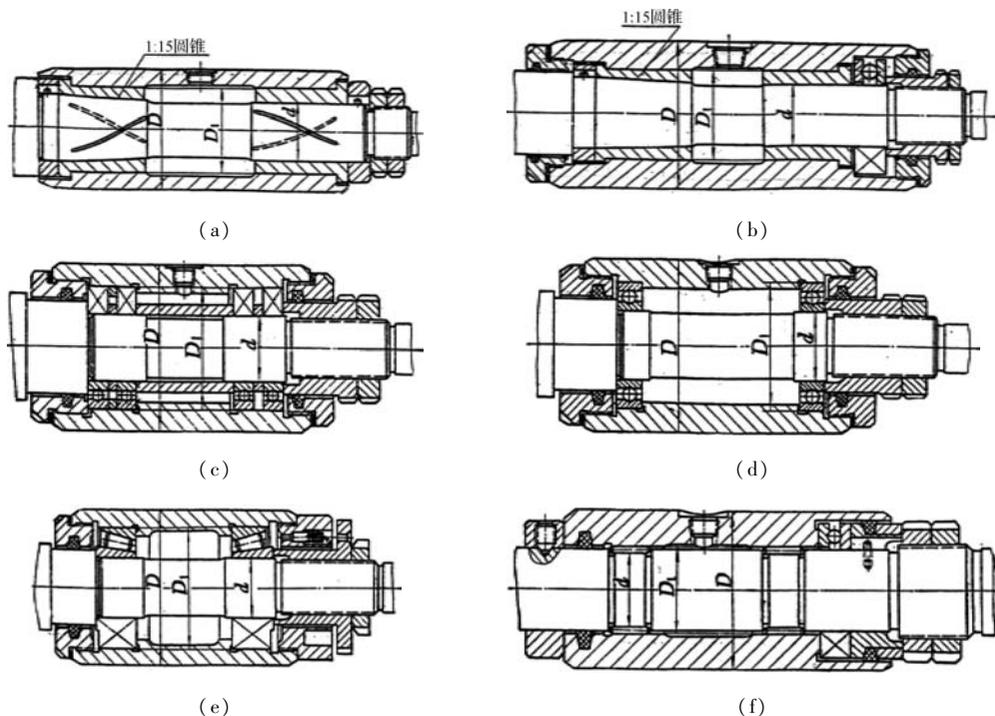


图 6-54 “内滚式”导向

在图 6-54 中,(a)、(b)、(c)、(d)、(f)用于卧式,它通过滑动套上的油塞加润滑油。图 6-54 中(e)用于立式,在尾部法兰上车一油池,经过线绳滴油润滑。

为使导向密封更好一些,除用毛毡圈外,还可采用迷宫、回油螺旋沟或橡胶回转密封环等密封方法。考虑到在退刀时,切屑有可能落在夹具导套内,故有时在导向前端法兰与滑动套之间加一橡胶环将切屑推出。

除上述各种结构外,还可以参考各种主轴的结构设计其他结构的第二类导向。不过在设计时应保证导向具有较高的精度和足够的刚性,结构简单,调整容易,润滑充分,密封良好以及在导向直径很大时不会因滑动套与夹具导向套之间的摩擦力影响轴承的工作状态。

2) “内滚式”导向的精度可参考表 6-10 选取

目前在组合机床上单导向悬臂镗孔,较多地采用四个单列向心球轴承的导向结构,其精度要求见表 6-11。

4. 第二类导向中的“外滚式”导向

1) “外滚式”导向参数的选择,参看表 6-12。

2) 常用“外滚式”导向的结构

这里仅介绍几种粗加工和半精加工常用的“外滚式”导向的结构形式。图 6-55 所示为装有滚珠轴承的最典型的“外滚式”导向装置。这种导向通常用于粗加工和半精加工,在选择高精度的轴承和较紧配合的情况下,也可用于精加工。但近年来精加工导向已多采用单列向心推力球轴承,因此导向装置的结构也有些不同。

表 6-10 “内滚式”导向的精度

(单位:mm)

结构(图 6-54)		(a)、(b)		(c)、(d)			(e)			(f)		
常用于		铰,精镗		半精镗,半精、精扩			粗、半精镗,粗、半精扩			扩铰		
精度项目	公称尺寸	~80	>80~120	>80~120	>120~180	>180~260	<80~120	>120~180	>180~260	~80	>80~120	
	D	公差	-0.003 -0.016	-0.003 -0.018	-0.007 -0.030	-0.008 -0.035	-0.01 -0.04	-0.007 -0.030	-0.008 -0.035	-0.01 -0.04	-0.006 -0.026	-0.007 -0.030
		椭圆度	h5/4		H6/2			h6/2			h6/2	
		锥形度	h5/4		H6/2			h6/2			h6/2	
	D ₁	公差	H7/K6		K7			K7			H7	
		椭圆度	H7/2, K6/2		K7/2			K7/2			H7/2	
		锥形度	H7/2, K6/2		K7/2			K7/2			H7/2	
	d	公差	H6/g5		js6			js6			h6	
		椭圆度	H6/2, g5/2		Js6/2			js6/2			h/2	
		锥形度	H6/2, g5/2		Js6/2			js6/2			h6/2	
装配后,固定滑套,刀杆的径向跳动		0.015~0.025		0.025~0.04								

注:1. 结构(a)、(b)前端 1:15 圆锥部分铜套应与刀杆配研。

2. 结构(c)、(d)当用于精镗时精度应参考表 6-11 选取。

3. H7 的公差应保证滑动套与夹具导套有间隙其上极限尺寸不等于公称尺寸而略小一数值,其公差值分别等于 h5 或 h6。

图 6-56 所示为装有滚锥轴承的“外滚式”导向,它具有较高的刚度,但一般说来其回转精度较低,因此通常用于切削负荷较重且不均衡的粗加工场合。

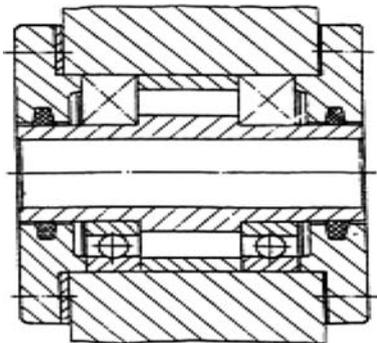


图 6-55 滚珠轴承导向

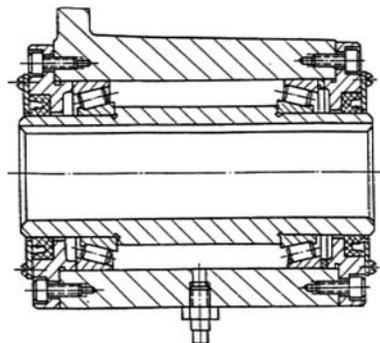
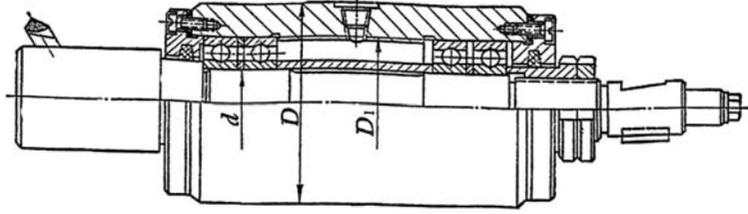


图 6-56 滚锥轴承导向



表 6-11 镗孔导向精度



(单位: mm)

加工孔精度		H6			H7			H8			
轴承精度		P5			P6			P0			
尺寸	项目	公差	椭圆度	锥形度	公差	椭圆度	锥形度	公差	椭圆度	锥形度	
		尺寸及形状精度	D	>80~120	-0.003 -0.012	0.004	0.004	-0.003 -0.018	0.006	0.006	-0.005 -0.023
>120~180	-0.004 -0.015			0.005	0.005	-0.004 -0.024	0.007	0.007	-0.006 -0.027	0.009	0.009
>180~260	-0.004 -0.017			0.006	0.006	-0.004 -0.026	0.008	0.008	-0.007 -0.030	0.010	0.010
H6			K6	K6/5	K6/4	K6	K6/5	K6/4	K7	K7/5	K7/4
h6			js5	js5/5	js5/4	js5	js5/5	js5/4	js6	js6/5	js6/4
位置精度	D_1 对 D 的跳动不大于		$D_1 \leq 80$	0.010			0.015			0.020	
		$80 < D_1 \leq 180$	0.015			0.020			0.030		
	两轴颈间互动的跳动不大于		0.005			0.005			0.010		
	轴肩及轴承孔挡肩对轴颈及孔轴心线的端面跳动按 GB 275—2015										
装配精度	固定镗杆, 滑动套 D 的跳动不大于		0.01~0.02			0.015~0.025			0.025~0.035		

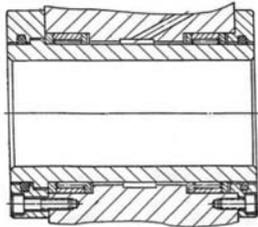


图 6-57 滚针轴承导向

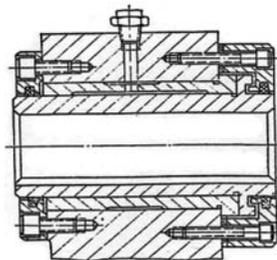
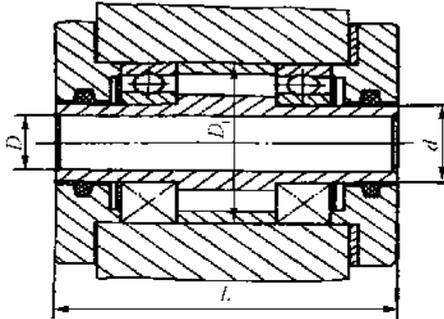


图 6-58 滑动轴承导向

表 6-12 “外滚式”导向的主要参数



加工要求	导向长度 L	轴承形式	轴承精度	导向的配合			
				D	D_1	d	镗杆导向部分的外径
粗加工	$(2.5 \sim 3.5)D$	单列向心球轴承 单列圆锥滚子轴承 滚针轴承	P0	H7	J7	K6	g6 或 h6
半精加工		单列向心球轴承 向心推力球轴承	P6	H7	J7	K6	h6 或 g5
精加工		向心推力球轴承	P5	H6	J6	js5 或 K5	h5

注:1. 当精镗孔的位置精度要求很高时,建议镗杆导向外径的允差取为 $0.4h6$,导套内孔直径的允差取为 $h6/3$,或配研至其间隙不大于 0.01 mm 。

2. 精加工时,导套内孔的椭圆度允差取为镗孔椭圆允差的 $1/5 \sim 1/6$ 。

图 6-57 所示为装有滚针轴承的“外滚式”导向,它具有结构紧凑、径向尺寸小的优点,但一般说来其回转精度也较低,因此通常仅在结构尺寸受到限制时用于粗加工。

在特殊情况下,滚针轴承导向用于精加工的情况也不是没有,例如在镗削大直径精密孔时,为了减小导向装置的径向尺寸和避免采用高精度的大直径滚珠轴承,也可采用滚针轴承导向。在这种情况下,应当按直径精度严格选配滚针,并且对导向装置的内外套提出很高的制造要求。

图 6-58 所示为装有滑动轴承的“外滚式”导向。滑动轴承外套的材料为耐磨青铜,内套一般为淬硬钢。这种导向装置的径向尺寸也较小,并且有较好的抗振性;但滑动轴承间隙的调整比较困难,且不易长期保持精度,在使用时要特别注意保证轴承的充分润滑和防屑,因此仅在结构尺寸受到限制和旋转速度不高的半精加工时采用。

图 6-59 中列举了组合机床夹具常用立式下导向的典型结构实例,可供参考。

3) 在立式机床上,当采用刚性主轴加前导向的方式或采用双导向进行加工时,必须特别注意立式下导向的设计。

立式机床上导向通常都是在极端恶劣的环境下工作的:① 它经常受到切屑等杂质和冷却液的侵害,这些因素会加速导向的磨损,甚至可能导致导向装置的“咬死”;② 它的结构尺



寸往往受到工件内壁或其他部位的限制而不能充分采用比较有利的结构;③ 导向所在的部位通常都是操作工人不便于观察和维护的地方,因此不能有效地观察它的工作情况和及时清理导向装置内部的有害物。

既然我们了解了立式机床上导向的特殊的工作条件,那么在设计时就应当采取措施予以解决。

无论在任何情况下,立式下导向都应当尽量避免采用第一类导向,而推荐采用第二类导向,即使是在结构尺寸受限制时,也应尽量采用径向尺寸较小的装有滚针轴承或滑动轴承的第二类导向,因为如果采用第一类导向,则往往会由于进入切屑等杂物而“咬死”。

此外,立式下导向还必须充分注意其排屑和防屑的问题,例如在旋转导套的顶部设置锥形的挡屑盘,以及在旋转部位设置可靠的防尘密封圈等,并且要注意加强导向装置的润滑。

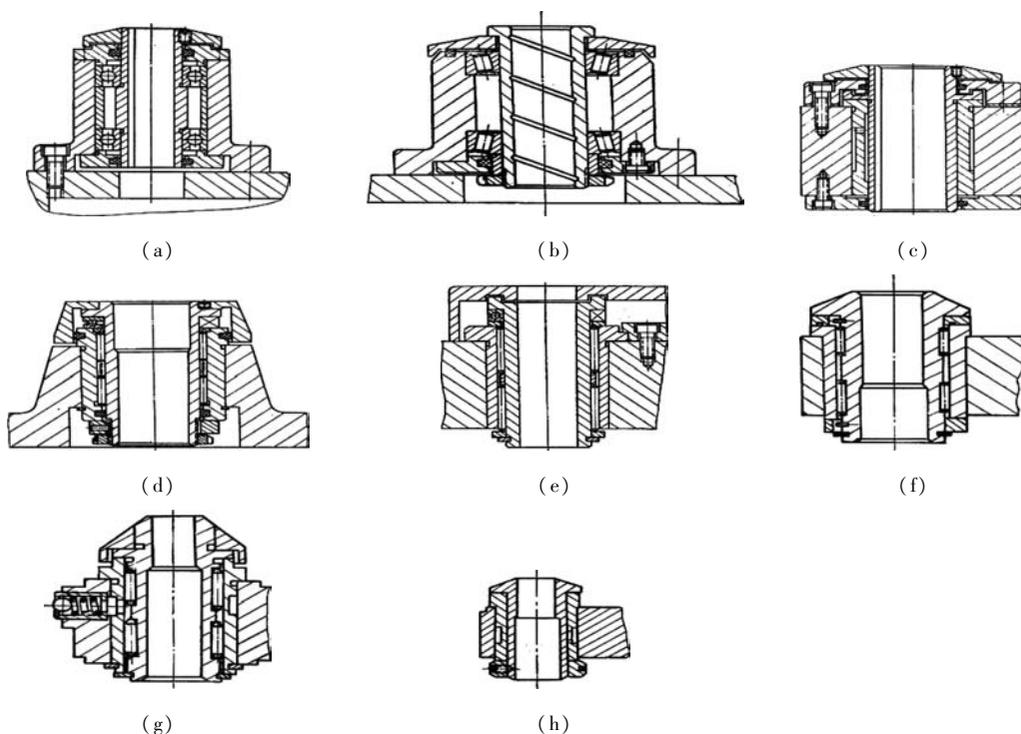


图 6-59 常用立式下导向的结构

4) 精加工导向装置的结构

在精加工时,已广泛采用装有 P5 级或 P4 级精度单列向心推力球轴承的“外滚式”导向装置,其结构如图 6-60 所示。单列向心推力球轴承最大优点还在于:可以用预紧的方法来消除径向和轴向游隙,减少轴承因受工作载荷而引起的径向和轴向偏移,从而提高轴承的运转精度和刚度。

精加工时,导向装置在高速轻载的条件下工作,因此轴承的预紧力应当在能保证所要求的精度和刚度的条件下,选取最小值,即对轴承实行“轻预紧”。图 6-61 所示为适用于轻预紧的轴承预紧力和轴承内径之间的关系曲线。

实际上,按照给定的预紧力数值来确定轴承内外隔套的长度差时,凭着装配工人丰富的

实践经验来修磨和调整导向装置,并且根据旋转导套旋转的松紧程度,检查其径向和轴向跳动以及在试车时检查切削情况等方法,来控制轴承预紧力的大小。

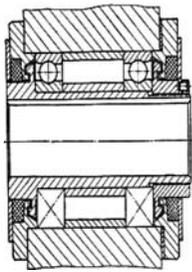


图 6-60 精加工用“外滚式”导向
5) 具有引刀槽的“外滚式”导向

采用“外滚式”导向进行镗孔时,大多数都是镗孔直径大于导套孔直径的情况,此时如果在工作过程中镗刀需要通过导向,就必须在旋转导套上开有引刀槽。例如在图 6-62 所示的双导向镗孔的实例中,由于采用了双刀进行加工,因此在加工过程中,镗刀需要进入前导向;此外在镗杆退回时,镗刀也要通过后导向,所以其前后两导向装置中的导套均具有引刀槽。

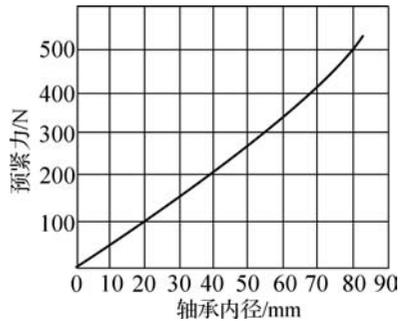


图 6-61 预紧力与轴承内径的关系

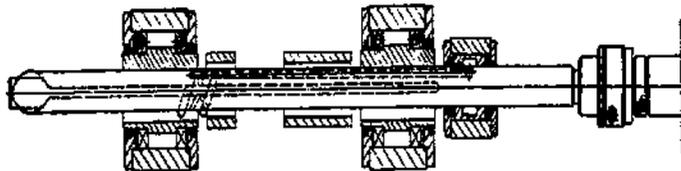


图 6-62 双导向加工镗刀进入导套的情况

在镗杆进入导套时,为了使镗刀能顺利地进入引刀槽中而不发生碰撞,必须具备如下两个基本条件:一是镗杆在引进或退出时,必须停止其旋转运动,使镗刀以固定的方位进入或退出导套;二是必须在镗杆与旋转导套间设置定向键,以保证工作过程中镗刀与引刀槽的正确位置关系,此定向键同时也起着如前所述的保证加工精度稳定性的作用。

具有引刀槽的“外滚式”导向,其定向键的形式有两种:

(1) 具有尖头定向键的“外滚式”导向

图 6-63 所示具有引刀槽的“外滚式”导向,其定向键即为尖头键。

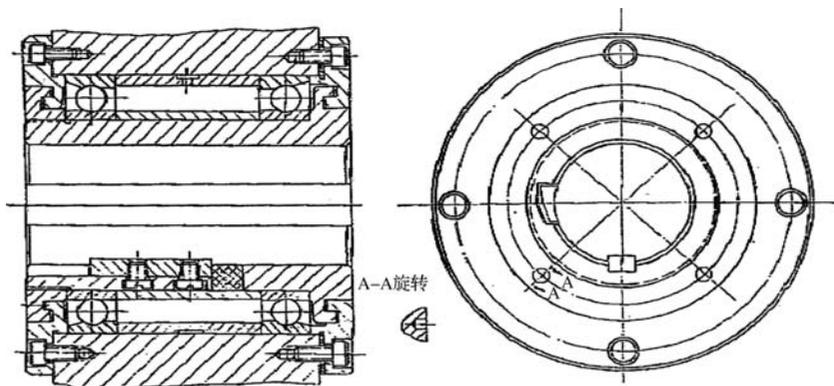


图 6-63 具有尖头定向键的“外滚式”导向



采用如图 6-63 所示的“外滚式”导向装置时,镗杆必须具有如图 6-64 所示的螺旋导引端(螺旋角应小于 45°),当不转动的镗杆进入导套时,如果其键槽同导套上尖头键的相互位置不对时,镗杆端部的螺旋面便拨动键而迫使导套回转一定的角度,使键顺利地进入键槽中,同时也保证了镗刀以准确的角度位置顺利地进入导套的引刀槽中。

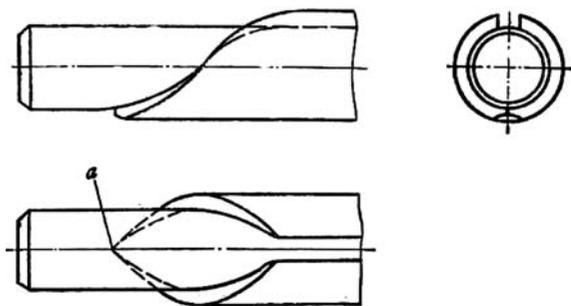


图 6-64 镗杆的螺旋导引端

(2) 具有弹簧钩头键的“外滚式”导向

图 6-65 所示的“外滚式”导向,是借助导套 1 上的钩头键 3 同镗杆相连接的,并以此保证镗刀与导套引刀槽的相对位置关系。采用这种导向装置时,镗杆端部不必具有螺旋导引,但必须实行主轴定位。在固定的法兰盘 4 的端面上开有键槽 a ,在原始状态下,键 3 在弹簧 2 的作用下进入槽 a 中,使旋转导套 1 固定在一定位置上。当镗杆在主轴定位(即保证镗杆上的键槽对准键 3)的情况下进入导套时,镗杆上键槽的底面压下键 3 而使其脱离槽 a ,这样导套 1 便可以随镗杆一起回转。加工完了镗杆退回时,主轴也必须实行定位并保持原有的方位,使键 3 对准槽 a ,当镗杆退出导套后,键 3 又重新落入槽 a 中,使导套 1 定位。这种结构形式的导套装置,在制造正确的情况下,与图 6-63 所示的导向装置比较,其工作更为可靠,应广为采用。但由于其结构尺寸较大,有时受孔间距离的限制而不能采用。

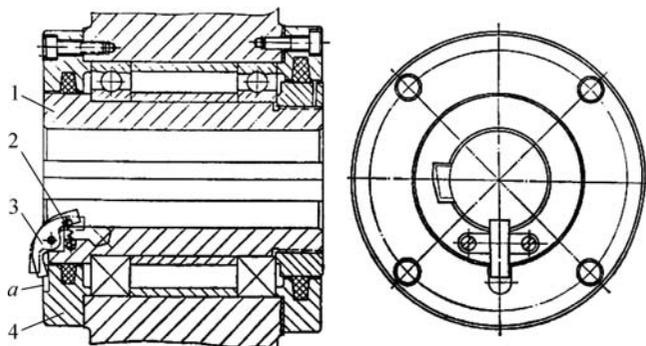


图 6-65 具有弹簧钩头键的“外滚式”导向

5. 固定式导套开引刀槽情况的介绍

在少数情况下,当镗削几个中心距离很近的大孔时,往往由于径向尺寸受到限制而无法采用滚动导向,并且还要求导向直径小于镗孔直径,此时可采用具有引刀槽的固定式导套,如图 6-66 所示。由于机床工作过程中镗刀要通过导套的引刀槽,因此镗杆的引进和退回都必须在主轴定位(即保证镗刀与引刀槽的正确相对位置)的情况下进行,以免镗刀与导套相碰。

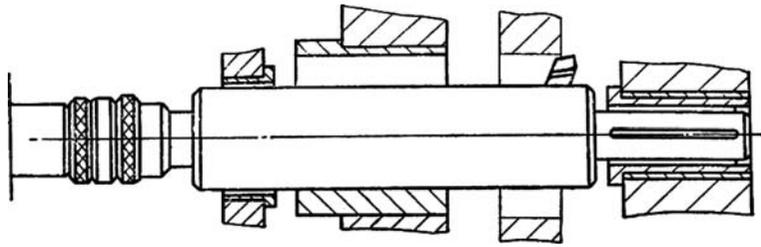


图 6-66 具有引刀槽的固定式导套

在设计具有引刀槽的固定式导套时,应当特别注意防止导套的研着。由于镗孔轴间距离较小,导套壁厚受到限制,再加上开有引刀槽而使导套壁厚不均匀,在导向表面的线速度较高和导套内进入切屑等情况下,容易因摩擦发热而引起导套的不均匀变形,这样便影响了加工精度,甚至会因变形过大而“咬死”刀杆。

在这种情况下,应尽量加强导套的刚性,提高导套的抗变形能力。如图 6-67 所示,应力求将导套的凸肩 l 和最小壁厚 a 尽量加大,通常在导套直径 $D=80\sim 120\text{ mm}$ 时, a 不应小于 $3\sim 5\text{ mm}$ 。

这类导套通常采用低碳合金钢制造,经渗碳淬火后硬度为 $\text{HRC}56\sim 62$ 。在工作条件恶劣而极易“咬死”的情况下,可采用青铜套或在钢坯的外表面上浇铸青铜的套,同时还要注意适当的润滑。

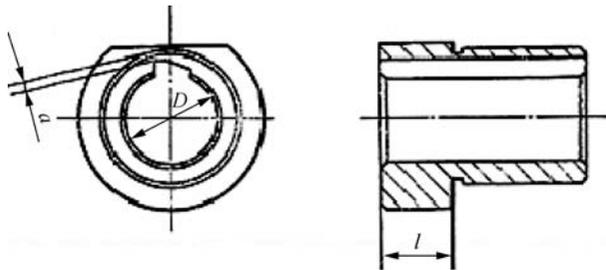


图 6-67 加强导套的刚性

6.5 活动钻模板和托架

6.5.1 概述

1. 定义

不能固定设置在夹具上,而是将它联接在主轴箱上,并随主轴箱运动而移动的一种钻模板叫活动钻模板。其实它是一种特殊的导向装置。

2. 活动钻模板采用的场合

(1) 在多工位机床上,由于每个工位加工的工序不同,所需要的导向套内径尺寸不一样,工件在机床工作过程中要进行工位转换,同一导向装置不能适应各工位上不同直径刀具导向的需要,故对夹具导向机构单独做成活动的模板。



(2) 有时为了加工内壁孔和装卸工件方便,在具有固定式夹具的单工位机床上也采用活动钻模板。

(3) 当采用可调主轴箱以适应多品种加工时,在变更工件品种时需要更换主轴模板和钻模板,为了方便更换钻模板,也需要采用活动钻模板。

6.5.2 活动钻模板的典型结构

1. 立式回转工作台机床上采用的活动钻模板

图 6-68 所示为立式六工位回转工作台机床上的活动钻模板。

第 I 工位为装卸工位,为了便于装卸工件,在钻模板前面的相应部位设有缺口。导套 5 用作刀具导向。在第 IV 工位上有两个不装导套的孔 g 和 h ,因为在这个部位上钻头是沿着前面工位已经钻了一段的孔继续将其钻透,因此不必采用导套。

活动钻模板借助两个定位套 2(分布在 b 、 e 部位)和由支承块 3(分布在 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 部位)组成的平面 M 同夹具定位。回转工作台夹具上的相应部位设有定位销和支承块(各六个),工作时只有两个定位销 1 起作用,其余四个定位销均进入钻模板上不装定位套的相应孔中。钻模板与夹具定位时,为了避免它同夹具上的星形手把相碰,因此在钻模板上留有十个孔 N 。

钻模板用四根导杆穿过主轴箱而悬挂在主轴箱上,工作时导杆由主轴箱后盖的上方伸出。拔出导杆端部的弹簧插销 4,可以很快地从主轴箱上卸下钻模板并将它放置在回转工作台夹具上,以便顺利地更换刀具。

2. 用于加工内壁孔的活动钻模板

图 6-69 所示为立式单工位机床的活动钻模板,用于扩、铰汽缸体气门挺杆孔,孔的位置精度要求为 ± 0.3 mm。钻模板的两根导杆借助两个支架 4 连接在主轴箱体的侧面上。

由于加工部位处于工件很深的内壁上,刀杆很长,因此采用双导向进行加工。由于刀具的刃磨质量、导向装置的误差和工件加工表面的状况等因素的影响,在加工过程中会产生一定的径向压力作用于导套上,而前导向 10 距离钻模板与夹具的定位平面 M 又很远,因此便产生了可能使钻模板偏移的力矩,为了防止在切削加工时钻模板产生振动和倾斜而影响加工精度,必须注意加强钻模板的结构刚性和增加定位的稳定性。为此,将四个悬伸支架 9 与钻模板铸成一体,并尽量加宽加厚钻模板,以增强钻模板的刚性。

为了使钻模板工作时定位稳定可靠,弹簧 5 的压力取得较大(约为 1 300 N),并尽可能加大钻模板与夹具定位的接触面,因此除了圆形支承块 7 之外,还设有长支承板 2 和 3,而且在钻模板上装有两个直径为 40mm 的长定位销 8 插入夹具的定位套中起主要定位作用,同时在夹具上还有两个短定位销插入钻模板的定位套 6 中作为辅助定位用,在具有很好的制造与装配质量的条件下,采用四个定位销的活动钻模板也能顺利地定位。

由于钻模板只有两根导杆,并且钻模板对于两导杆的中心连线是不平衡的,因此设有拉杆机构 1(相对于一根小直径导杆),以保持钻模板本身的平衡,防止在移动过程中发生倾斜而使定位销不易插入和加速定位销的磨损。

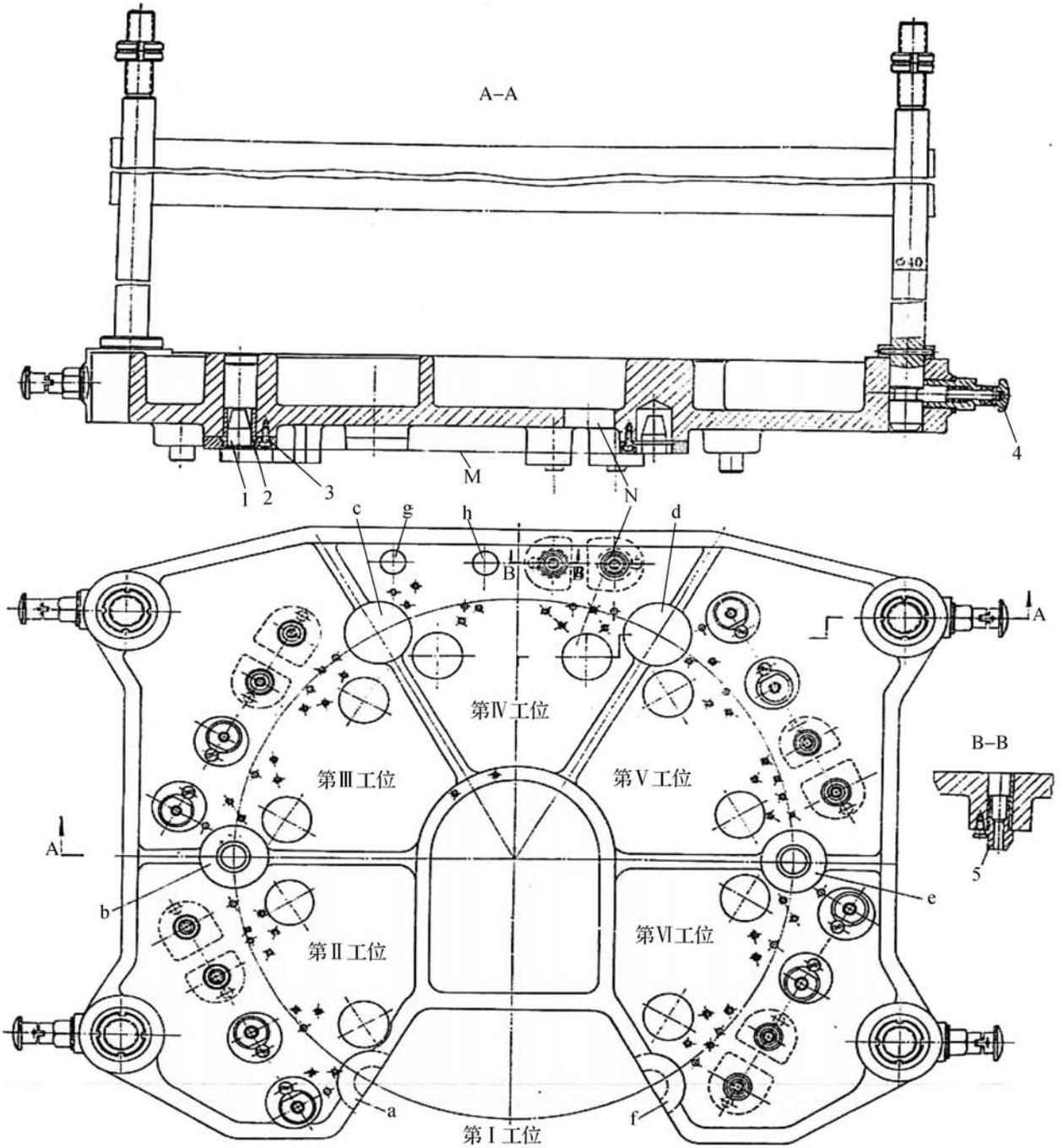


图 6-68 立式多工位机床用活动钻模板

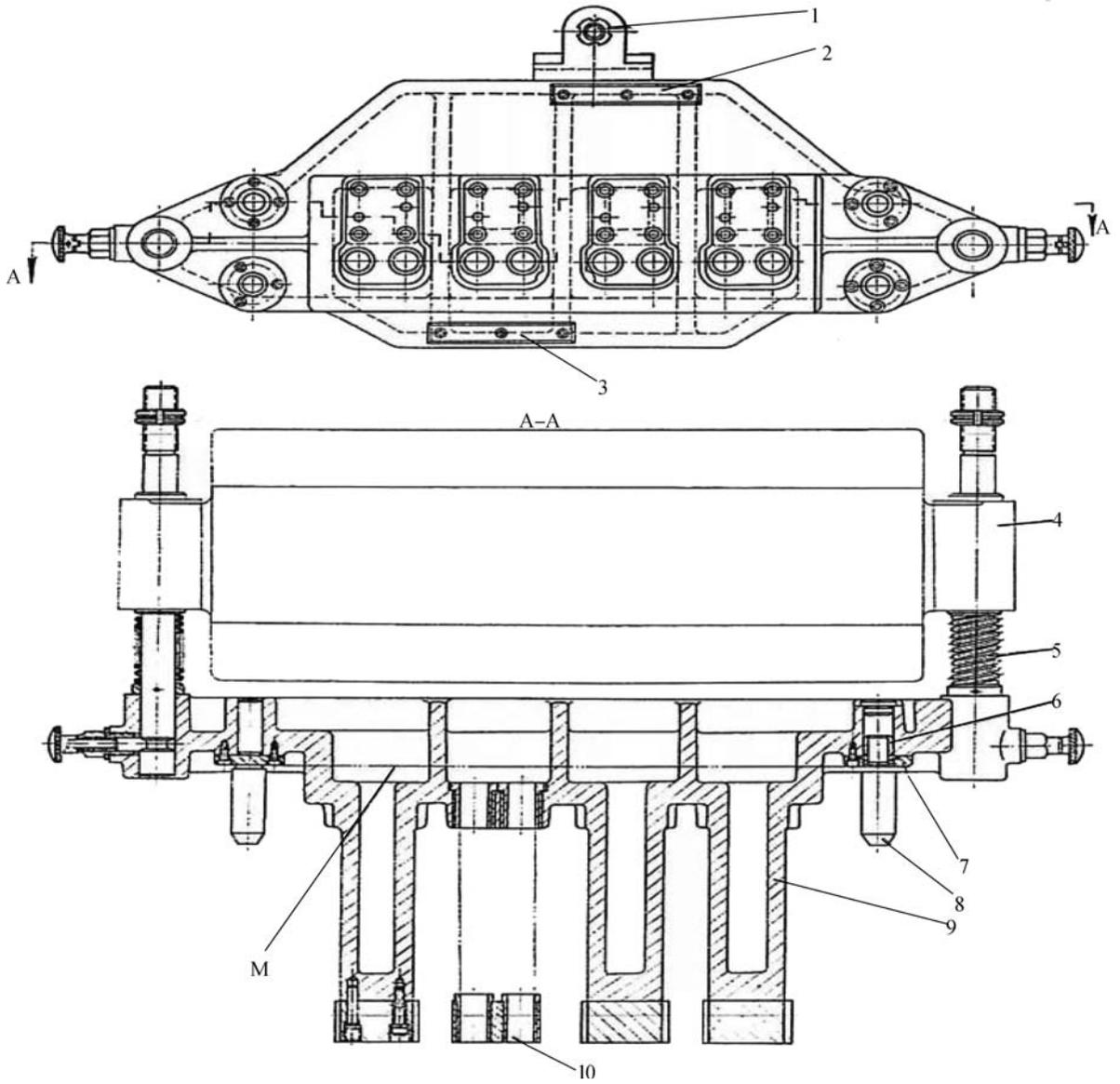


图 6-69 加工内壁孔的立式活动钻模板

3. 用于加工两层内壁孔的活动钻模板

图 6-70 所示为在工件的两层内壁上加工孔的卧式活动钻模板。在钻模板上采用两根支承杆 1 来连接前端的导向支架 2, 导套 3 和 5 用于引导刀具进行加工。由于导向支架 2 远离钻模板与夹具的定位平面 M , 为了提高其定位精度和工作稳定性, 在导向支架上装有三块淬硬钢 4, 在 a 、 b 、 c 部位上组成一个定位外圆, 当导向支架伸入工件内腔时, 此定位外圆直接和工件的内孔定位。

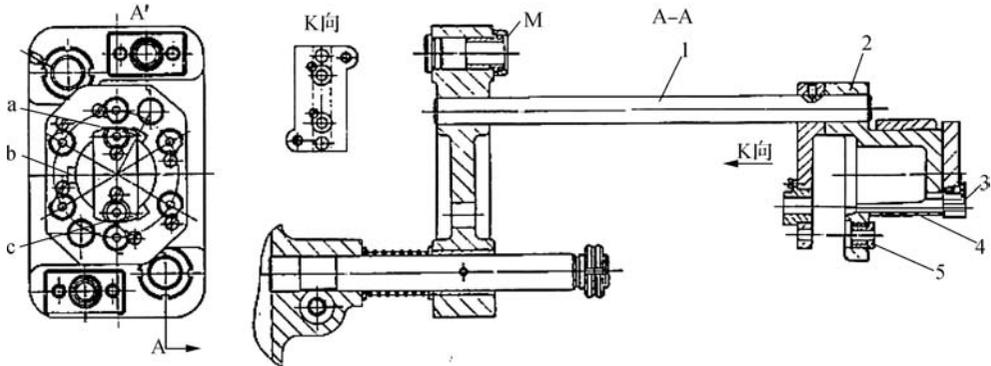


图 6-70 加工两层内壁孔的活动钻模板

4. 与工件直接定位的活动钻模板

图 6-71 所示为卧式多工位回转工作台上用的活动钻模板, 其特点是钻模板直接与工件定位, 即利用三个定位销 2 所组成的定位圆周和三个支承块 3 所组成的定位平面直接同工件的止口和端面定位, 这个止口和端面是在前一个工位上已经加工出来的, 这样便可以保证钻孔同止口的位置精度要求。钻模板借助一根大直径导杆 1 并用螺钉和销钉同主轴箱牢固地连接起来。

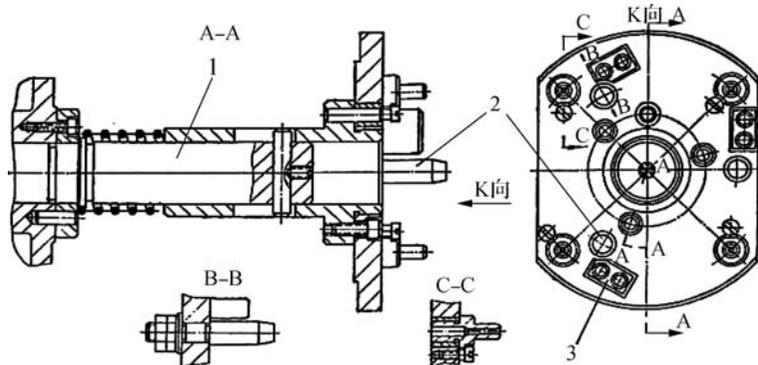


图 6-71 与工件直接定位的活动钻模板

5. 用于可调主轴箱的活动钻模板

图 6-72 所示为具有可调主轴箱的卧式机床上用的活动钻模板。工作时钻模板以两个定位销 8 和四个支承块 6 同机床夹具定位。由于钻模板的外廓尺寸大和重量重, 为了防止其下垂, 采用四根导杆连接在主轴箱体的侧面上, 且弹簧 10 的力量也应选取得大些, 使钻模

板在工作时有较好的稳定性。装有导套7的圆盘5是可更换的,它借助定位销1和定位套2在钻模板体上定位。当变更加工对象时,需同时更换相应的主轴模板和圆盘5。为了在经常更换圆盘时,不至于损坏模板体上的螺纹孔,在模板体上装有钢制螺纹套3。

更换刀具时,可以将钻模板与机床夹具定好位后拔出弹簧销4,并使钻模板支承在机床夹具的可调支承钉9上。

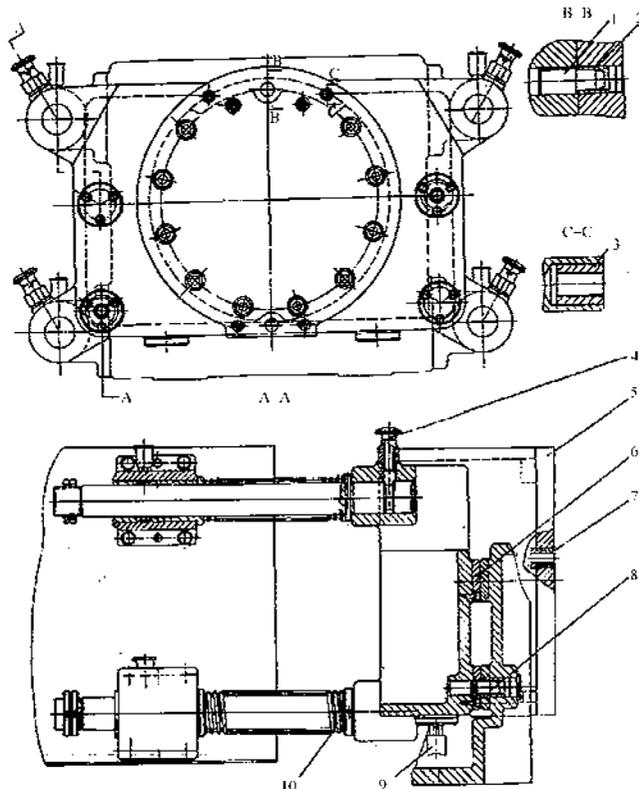


图 6-72 用于可调主轴箱的活动钻模板

6. 刚性钻模板

刚性钻模板与主轴箱之间是刚性连接的,工作时相互间没有相对移动,因而刀尖与导套端面之间的距离 l 在加工过程中是固定不变的,如图6-73所示,当加工的孔较深时,此距离 l 就要比较大,以保证加工完毕后导套与工件端面之间仍保持有一定的距离。由此可见,刀具在开始加工时由于导套远离工件端面而使刀具的导向情况不好,因而容易使刀具产生偏斜,加工孔的深度愈大,对加工孔的位置精度影响愈严重。

此外,刚性钻模板与夹具或工件之间没有定位关系,因此动力头在导轨上运动的精度也直接影响加工孔的位置精度。

在采用矩形导轨的一般组合机床上,当加工孔的深度不大(孔深与孔径之比通常不超过2.5)和钻模板刚性较好的情况下,采用刚性钻模板通常能够保证被加工孔同工件定位基准之间的位置精度为 $\pm 0.20 \sim \pm 0.35 \text{ mm}$ 。

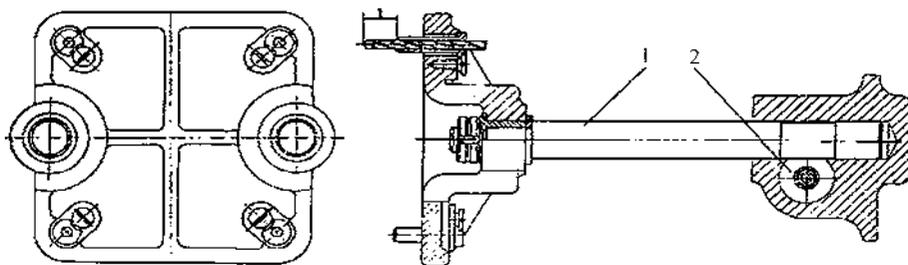


图 6-73 刚性钻模板

刚性钻模板虽然具有结构简单的优点,但由于其被加工孔与定位基准间的位置精度较低,因此通常只在结构受到限制和精度要求不高的情况下才可采用。

钻模板用两根导杆 1 和夹紧套 2 刚性地连接在主轴箱的前盖上。

6.5.3 设计活动钻模板应注意的问题

(1) 活动钻模板应具有一定的定位部位(定位孔、定位平面)与夹具定位。

(2) 采用活动钻模板应保证被加工孔的位置精度要求,这与钻模板的结构形式有很大关系。采用一般的活动钻模板钻孔时,能保证加工孔与定位基准间的位置精度为 $\pm 0.10 \sim \pm 0.15 \text{ mm}$;加工内壁孔因导向悬伸大,结构刚性差,只能保证 $\pm 0.15 \sim \pm 0.30 \text{ mm}$,而刚性钻模板通常保证 $\pm 0.20 \sim \pm 0.35 \text{ mm}$ 。

为了提高钻模板与夹具之间的定位精度,有利于保证加工孔的位置精度,可以使钻模板与夹具定位接合面以及定位销之间的距离适当加大;有时也可直接采取工件上的加工面来定位。

(3) 活动钻模板应有足够的刚性,尤其是对于内壁孔的加工更要注意。当钻模板尺寸很大时,并加强其四周的边,适当设计加强筋。为了提高联接刚性,可以将钻模板的支杆固定在主轴箱的箱体上,而不是固定在主轴箱的前盖上;有时加大支杆的直径;有时增加支杆的根数。

(4) 为了保证加工时钻模板的可靠性,支杆上的弹簧力必须足够;弹簧预压后的长度,一般不小于其工作行程的三倍,以便工作可靠。弹簧的预压力不小于 150 N。

当钻模板与主轴箱之间距离较小时,可以考虑把支杆做成空心的,将弹簧装在支杆孔内,使弹簧可长一些,这样,外形美观,但给支杆内的深孔加工增加了一些难度。

(5) 立式组合机床活动钻模板重量大于 800 N 时,支杆上可以不加弹簧。

(6) 设计时应考虑钻模板装卸方便。

(7) 对于立式多工位回转工作台上用的活动钻模板,应在钻模板上相对于装卸工位的部位上设置缺口,以便顺利地装卸工件。

(8) 当必须从主轴箱上卸下钻模板才能更换刀具,采用弹簧销以实现钻模板的快卸,并应考虑卸下钻模板后能将其稳定地放置在机床夹具上。对于立式机床,通常可将钻模板放置在回转工作台夹具上;对于卧式机床,往往需要在机床夹具上设置专用的可调支承钉,用于支承钻模板。



(9) 在安排机床工作循环时必须注意:应在动力头转为工作进给之后而刀具尚未切削工件之前完成钻模板和夹具之间的定位,以保证定位平稳。应避免在动力头快速行程中使钻模板同夹具相定位,以防钻模板同夹具产生冲击而使定位不平稳。

(10) 活动钻模板上的导向、定位和支承元件,如导杆、定位销(套)和支承块等都已通用化了,各通用零件的结构、尺寸以及联系尺寸已编入《组合机床设计参考图册》,供设计选用。

6.5.4 托架

在卧式机床上,当刀具和主轴之间采用浮动卡头连接,在动力头退离原位,刀具也已脱离夹具导套的情况下,必须采用托架来支承刀杆,以防止刀杆产生下垂,保证在下一次工作循环中刀具能顺利地重新进入导套。

托架的结构形式同活动钻模板相似,但托架的作用仅在于承托刀杆而不作为刀具的导向装置,因此它往往是组合机床上很容易被人忽视的一个小部件。

虽然托架并不起直接保证加工精度的作用,但有时托架结构设计的失败,往往造成很大的刀杆下垂量,从而影响机床的正常工作,因此也应该对托架的设计给以必要的重视。

图 6-74 所示为托架的一般结构形式,托架 4 用两根导杆 2 支承在主轴箱体的侧面上。套 5 和 6 用于承托刀杆,机床工作时,托架以两个垫块 1 靠在夹具上,托架与夹具之间没有定位关系。动力头工作进给时,弹簧 3 便被压缩,导杆则由托架前端伸出,因此必须注意在工作行程中导杆是否可能同夹具镗模架相碰。

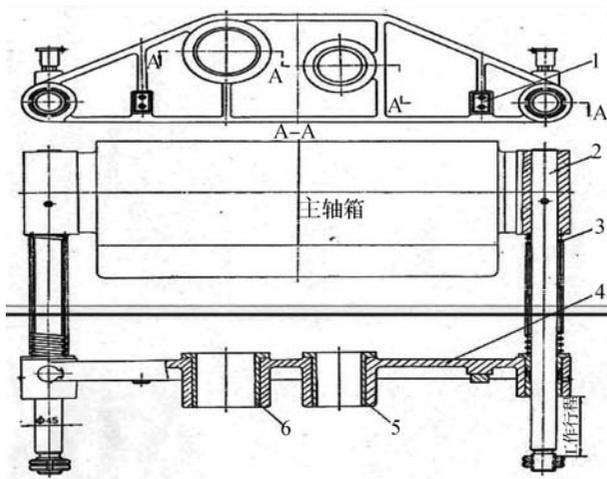


图 6-74 托架的一般结构

6.6 攻丝靠模装置

6.6.1 在组合机床上攻丝的方法

(1) 采用攻丝动力头攻丝可以有较大的工作行程,通常用于在工件内壁上攻制螺纹孔。

但是由于攻丝动力头的结构比较复杂,而且加工的螺纹精度也较低,因此未获得广泛的应用。

(2) 当整台机床或机床的某一面全部用于完成攻丝工序时,广泛地采用了攻丝装置。攻丝装置由攻丝主轴箱和攻丝靠模组成,由于靠模螺母和靠模杆是经磨削并配研的,其螺距要求与所需加工螺孔的螺距保持一定关系,并设有螺距误差补偿机构。可以达到较高的精度。由于其制造成本低,而且在一个攻丝装置上可以很容易地实现不同规格螺纹的加工,因此目前攻丝装置已经几乎完全代替了攻丝动力头。

(3) 如果机床在完成攻丝工序时,还要同时完成钻孔等其他工序的加工,这时就需要采用活动攻丝模板进行攻丝。有时需要由一个动力头同时完成钻孔、攻丝及其他工序的加工,便需要在主轴箱的前面悬挂一个专用的活动攻丝模板,用于完成攻丝工序。在动力头完成其他工序加工的同时,攻丝主轴借助活动攻丝模板上的攻丝靠模装置进行攻丝。攻丝工作循环由主轴箱上的攻丝行程控制机构进行控制。

6.6.2 攻丝靠模机构

切削螺纹要求主运动和进给运动保持严格的运动联系,在组合机床上切削螺纹都是用丝锥本身来实现进给运动的,而丝锥的主运动则是由攻丝主轴箱运动而获得的。

1. 第 I 类攻丝靠模(T0281)

用于组成攻丝装置的攻丝靠模机构称之为“第 I 类攻丝靠模”,通常仅适用于单独完成攻丝工序的攻丝装置上。如图 6-75 所示,第 I 类攻丝靠模由靠模杆 4、靠模螺母 11 及支承套筒 8 等主要元件组成。丝锥 1 通过心杆 2 和攻丝卡头 3 装在靠模杆 4 的前端,靠模杆的中部支承在铜套 7 上并与靠模螺母 11 相啮合,靠模杆的尾部与攻丝主轴相连接。攻丝主轴借助双键将主运动传给靠模杆,靠模杆可在主轴孔内移动一段距离,这个距离就是攻丝靠模的工作行程。支承套筒 8 装在靠模头的壳体 6 上,并用两个压板 5 固定,两个压板之间的布置角度决定于主轴箱的主轴数和主轴分布情况。靠模螺母 11 借助接合子 10 与支承套筒 8 相连接并用螺母 12 固定,当靠模杆回转时,通过本身的靠模螺纹和固定的靠模螺母而产生进给运动,从而推动丝锥切削工件。

靠模杆与靠模螺母相配螺纹的螺距应当同本靠模杆前端所夹持的丝锥螺距的名义尺寸相同,这样,便保证了靠模杆在回转过程中每转的进给量与丝锥螺距一致。但是靠模螺母的螺距同丝锥螺距之间不可能没有误差,因此在丝锥卡头 3 内和支承套筒 8 内均装有压力弹簧 9,使心杆 2 和靠模杆 4 在需要的情况下能作微小的窜动,用于补偿上述的螺距误差。

在正常工作时,靠模螺母 11 连同支承套筒 8 一起固定不动的,这样当靠模杆旋转时,才能够在靠模螺母的强迫下作进给运动。但是如果在工作过程中由于发生故障而使靠模杆不能继续向前进给时,应有可能使靠模螺母随同靠模杆同步作回转而停止其进给运动,用于防止机构的损坏,为此,在使用这种攻丝靠模机构时,必须注意不要把两个压板 5 压得太紧。

表 6-13 中列出了第 I 类攻丝靠模的四种规格,设计时可根据所需切削的直径来选用。

在进行攻丝时,由于丝锥同工件螺纹底孔之间的不同轴度偏差实际上总是存在的,为了在工作时便于使丝锥对工件底孔找正和减小因不同轴度偏差而产生径向偏移力的不利影



响,应当使攻丝靠模机构的系统刚性适当柔弱些。故攻丝卡头的活动点至丝锥前端的距离 L_0 应适当取大些,即适当地选用长一些的心杆,以利于减小上述不同轴度偏差对加工精度的影响如图6-75所示。

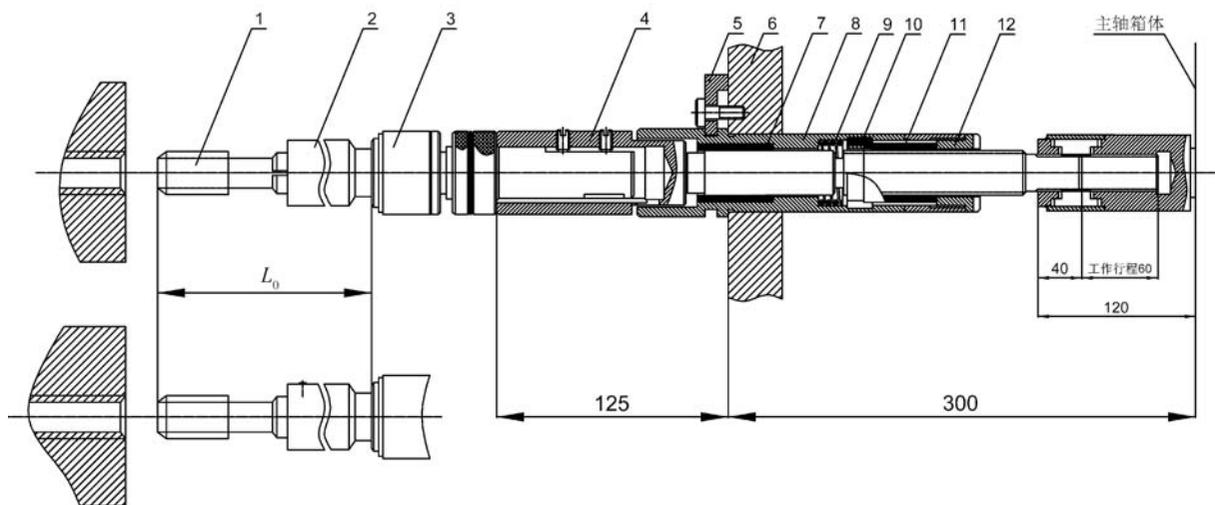


图6-75 第I类攻丝靠模

表6-13 第I类攻丝靠模的规格

攻丝靠模的规格代号	切削螺纹的直径	靠模螺纹的规格
1 [#]	M6~M10 1/4"~3/8"① K1/8"②	M14×t
2 [#]	M6~M14 3/8"~9/16"	M18×t
3 [#]	K1/8"~K1/4"	M24×t
4 [#]	M14~M20 9/16"~3/4" K1/4"~K3/8"	M33×t
	M20~M30 3/4"~1 1/4" K3/8"~K1 1/4"	

①—时制螺纹;

②—时制圆锥螺纹。

采用第I类攻丝靠模时,丝锥至工件端面间的距离(即丝锥的轴向位置)可以借助攻丝卡头上的两个圆螺母进行调整,工作时可根据“加工示意图”中给的联系尺寸和具体加工要求很方便地进行调整。

在使用本攻丝靠模机构时,必须注意在靠模螺纹部分保持适当的润滑。

2. 第II类攻丝靠模(T0282)

图6-76所示为通用的第II类攻丝靠模机构。这种攻丝靠模主要用于组成活动攻丝模

板,并同钻-攻复合主轴箱配合使用,以实现在一个动力头上同时完成攻丝工序和其他工序的加工。

如图 6-76 所示,第 II 类攻丝靠模由靠模杆 7、靠模螺母 5 和弹簧键 8 等主要零件组成。靠模杆的前端装有心杆 2 和丝锥 1,靠模杆的中部具有靠模螺纹部分并同靠模螺母相啮合,靠模杆的尾部借助弹簧键与主轴相连接。此时主轴外伸部分的结构形式与第 I 类攻丝靠模所用的攻丝主轴不同,而和一般的通用钻孔主轴相同。

主运动通过弹簧键 8、靠模杆 7 和销子 3 传给心杆 2。在靠模杆回转时,借助靠模螺母使其作进给运动,此时靠模杆可在主轴孔内作相对移动。为了保证靠模杆的每转进给量与丝锥的螺距一致,靠模螺纹的螺距应与丝锥的螺距相同并保持严格的制造公差。但实际上靠模螺母的螺距同丝锥的螺距之间不可能没有误差,因此设有补偿弹簧 6,并使销子 3 有可能在靠模杆的长槽中作轴向窜动,以补偿上述螺距误差。

靠模螺母 5 以 H7/h6 配合装在活动攻丝模板上,并用销子 10 防转,压板 4 固定。压板的安装位置决定于主轴箱的主轴数和主轴的分部情况。

正常工作时,靠模螺母是固定不动的,如果在工作过程中发生故障而使靠模杆不能再继续向前进给时,靠模螺母便向后推开压板 4 而作轴向移动并离开销子 10,这样靠模杆的进给运动便停止了,从而起到了保护机构的作用。为此,压板 4 的厚度应取得小些(通常为 2.5~3.5 mm),使其刚性较差,以便能起到保险作用。并且还要注意靠模螺母的安装方向必须正确,使它在发生故障的情况下能作轴向移动。

采用第 II 类攻丝靠模时,丝锥至工件端面间的距离(即丝锥的轴向位置)在如下两种情况下进行调整:在装配时,可旋转靠模螺母使靠模杆作轴向移动,调整完毕后再打入限位销 10;在使用过程中进行调整时,可用紧定螺钉旋入弹簧键 8 的螺孔 a 中,压缩弹簧 9 并使键脱离主轴的键槽,然后旋转靠模杆而使其作轴向移动。用后一种方法调整时,靠模杆的轴向调整行程只能为靠模螺纹螺距的整数倍,而且有时需要启动攻丝主轴才能使弹簧键上的螺孔露在主轴的外部。由此可见,丝锥轴向位置的调整显然不如采用第 I 类攻丝靠模时方便,尤其是在多轴加工时更是如此。

第 II 类攻丝靠模通常仅适用于组成活动攻丝模板,这是由其结构特点决定的。一方面由于丝锥至攻丝模板端面的距离较小,而且靠模杆尾部可以和通用钻孔主轴相配合,因此便于在同一个主轴箱上和其他刀具配合使用,用于同时完成攻丝工序和其他工序的加工。另一方面,从调整的角度来看,采用这种攻丝靠模时,要求模板体的后面是敞开的,以便于调整,而活动攻丝模板是用支杆悬挂在主轴箱前面的,因此它也能满足调整的要求。

第 II 类攻丝靠模具有四种规格,可根据所需切削螺纹的直径选用。表 6-14 列出了不同规格的攻丝靠模机构所能适应的切削螺纹直径。在使用时应注意在靠模螺纹部分保持适当的润滑。

在丝锥同工件螺纹底孔之间实际存在着不同轴度偏差的情况下,为了在工作时便于使丝锥对工件底孔找正和减小因不同轴度偏差而产生径向偏移力的不利影响,需使心杆尾部活动点至丝锥前端的距离 L_0 适当加大些,即在选用第 II 类攻丝靠模机构时,在保证攻丝工作条件的前提下,建议选用较小的 L 值而尽可能加大 L_0 值,如图 6-76 所示。



表 6-14 第 II 类攻丝靠模的规格

攻丝靠模的规格代号	切削螺纹的直径	靠模螺纹的规格
1 [#]	M6~M10 1/4"~3/8"①	M24×t
2 [#]	K1/8"②	M24×t
	M6~M14 3/8"~9/16" K1/8"~K1/4"	
3 [#]	M14~M20 9/16"~3/4" K1/4"~K3/8"	M33×t
4 [#]	M20~M27 3/4"~1 1/4"	M48×t
	K3/8"~K1 1/4"	

①—时制螺纹；

②—时制圆锥螺纹。

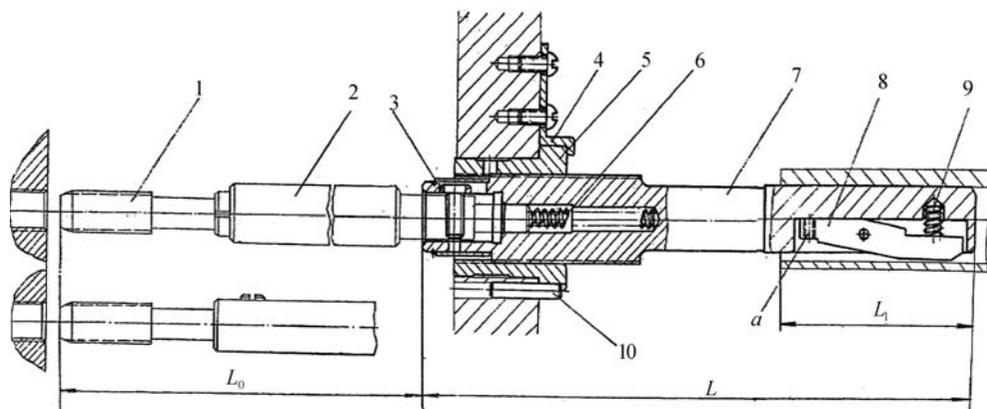


图 6-76 第 II 类攻丝靠模

6.6.3 活动攻丝模板

活动攻丝模板由第 II 类攻丝靠模组成,它用在完成钻孔等其他工序加工的同时完成攻丝工序的多工位组合机床上。

从结构形式上看,活动攻丝模板和活动钻模板基本上是相同的,因此活动攻丝模板的支承导杆以及攻丝模板同机床夹具定位用的定位元件的结构形式,都同活动钻模板所用的相应零件相同,设计时可参考“活动钻模板和托架”相关资料。

虽然活动攻丝模板的结构形式同活动钻模板相似,但是,从其所起的作用上看,活动攻丝模板与活动钻模板却有各自不同的特点:活动钻模板是刀具导向装置的一种特殊形式,因此钻模板上装有各种形式的导向机构;而活动攻丝模板则用作保证切削螺纹时主运动与进给运动之间的运动联系,因此攻丝模板上装有第 II 类的攻丝靠模。

在活动攻丝模板上,对攻丝靠模机构的靠模螺纹应进行润滑。

采用通用的第Ⅱ类攻丝靠模(为了获得尽可能小的轴间距,允许将靠模螺纹的凸缘削边)和通用的滚针轴承主轴时,攻丝主轴允许的最小轴间距列于表6-15中,供设计时参考。

表6-15 采用通用第Ⅱ类攻丝靠模时的最小轴间距 (单位:mm)

攻丝靠模规格代号		1#	2#	3#	4#		
攻丝靠模规格代号	攻丝主轴直径	15	20	25	30	35	
1#	15	卧式	33	—	—	—	
		立式		—	—	—	
2#	20	卧式	33	35.5	—	—	
		立式		38.5	—	—	
3#	25	卧式	39.5	39.5	40	—	
		立式		42		—	
4#	30	卧式	47	47	53.5	61	
		立式		48.5			
	35	卧式	47	51.5	55	61	62.5
		立式					

如图6-77所示,由于只用于加工一个螺孔,因此攻丝模板仅以一个空心定位销1和支承块2同鼓轮支架相定位。攻丝模板上设有油池,由棉线引油对靠模螺纹进行润滑。攻丝模板采用两根内装弹簧的导杆支承在主轴箱的前盖上。

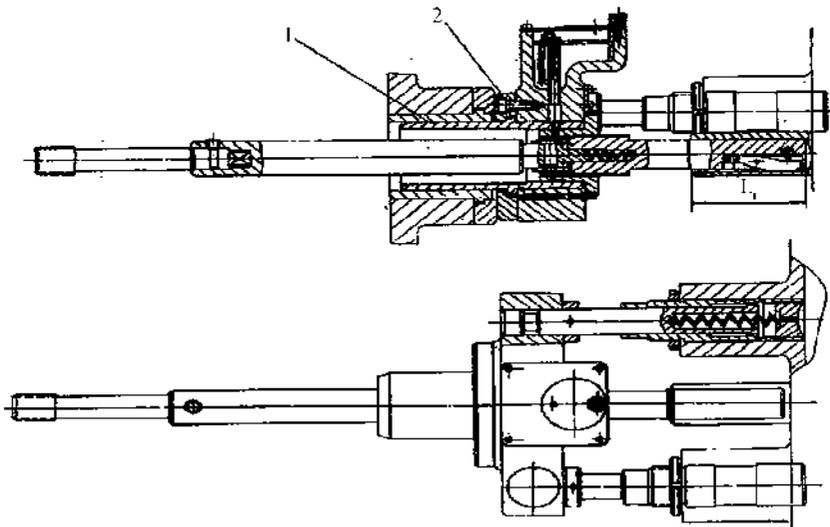


图6-77 单轴加工用活动攻丝模板

图 6-78 所示为一立式六工位回转工作台机床上带有攻丝靠模的活动钻模板。本机床用于加工阀门经压入密封环后的中间孔,包括扩孔、镗端面、倒角、镗孔、镗密封锥面和攻丝工序。

活动钻模板用四根导杆 3 悬挂在立式主轴箱上,工作时以两个定位套 1 和四个支承块 2 夹具相定位。在第 I 工位的相应部位上,钻模板留有缺口以便于装卸工件,在第 VI 工位设有攻丝模板 4 并用两根支杆 5 连接在活动钻模板上,对靠模螺纹应进行润滑。钻模板上的全部旋转式导向装置均采用干油进行润滑。钻模板上还另外设有油池和柱塞式润滑泵 6,在钻模板每个工作行程的终端,由夹具上的撞块 7 推动柱塞打油,然后经过两个铜管对两个丝锥进行润滑。



第七章

组合机床自动线设计概述

7.1 自动线设计程序

7.1.1 准备工作阶段

1. 设计原则

在分析组合机床自动线设计与组合机床设计有哪些共同点的基础上,用已经掌握的组合机床设计方法来解决自动线的设计,更重要的是研究它们之间的不同点,即研究自动线在设计时的特殊矛盾,以便正确地开展工作。

2. 设计步骤

- (1) 调查研究被加工零件的要求和特点;
- (2) 拟订自动线的工艺方案;
- (3) 确定自动线的配置方案;
- (4) 计算自动线的生产率;
- (5) 自动线的总体设计和零部件的设计。

3. 设计前的调查研究内容:

- (1) 被加工零件需要在自动线上完成的工艺内容,到自动线前的加工情况、精度要求和技术条件,以及工件的材料和硬度变化范围;
- (2) 被加工零件的毛坯情况和加工余量;
- (3) 要求的生产率以及备品要求情况;
- (4) 车间平面布置情况,自动线安装位置及允许占用面积,车间工件和切屑的流向,通道位置,车间高度和起重设备的情况;
- (5) 关于润滑-冷却液的供给系统情况,有无润滑、冷却液的集中供给系统以及其压力,润滑-冷却设备的位置等;
- (6) 车间电压,允许的最大启动功率;
- (7) 车间有无压缩空气及其压力;
- (8) 被加工零件的现行工艺及加工方法,精度保证情况及生产率;
- (9) 自动线使用单位对刀具结构和材料、切削用量、控制信号等有何特殊要求;
- (10) 工件的结构工艺性,对工件提出改善工艺性的要求,工件毛坯尺寸必须稳定。

7.1.2 制订方案阶段

1. 影响自动线工艺和结构方案的主要因素

拟订组合机床自动线的工艺和结构方案是最重要的设计阶段。因为这里要确定在自动线上完成的工艺内容及加工方法,能达到的加工精度和检查方法,自动线的生产率和配置方案,以及解决其他一些原则问题。但是对影响自动线方案制订的因素应首先值得考虑。

1) 被加工零件的几何形状及外形尺寸

被加工零件的形状对自动线运输方式有很大的影响。外形规则的箱体件,如汽缸体、汽缸盖和变速箱都具有较好的输送基面,可以采用直接输送的方法。零件外形尺寸较小,为了减少机床的数量,可在一个工位上同时加工几个零件,如小型单缸机的汽缸体、汽缸盖的端面加工的自动线,多采用双工位顺序加工。对于没有良好输送基面的工件,可采用随行夹具式自动线,如传动叉、差速器总成、转向节、连杆、曲轴等。

2) 被加工零件的工艺及精度要求

完成平面加工的自动线较孔加工的自动线复杂得多,对自动线结构影响较大。如汽缸盖的平面加工自动线,为了实现几个面的粗、精加工,工件需多次翻转,从而增加了自动线的辅助设备;为了保证铣削工序与其他机床的节拍时间相同,要增加同时铣削的工件数,或采用几条平行加工的支线,从而使自动线的结构复杂。

当工件加工精度较高时,为了减少自动线的停车调整时间,常常要采用备用机床在自动线内平行排列;有时由于生产率的需要,还采用平行排列的备用精加工工段。

3) 被加工零件的材料

工件材料决定了加工中是否采用冷却液,因而对排屑和运输方式都有很大影响。值得提出的是钢件的断屑问题,对于自动线来说,钢件不能很好地断屑,是影响自动线正常工作的一个重要因素。

如果工件的材料是有色金属时,虽然它有合适的输送基面,有时也要采用随行夹具自动线,或带抬起输送带的自动线。因为工件直接在支承板上运送时,容易划伤基面,加工精度也受到影响。

4) 要求的生产率

生产率对自动线的配置形式和自动化程度都有较大的影响。对于产量很高的工件,要求自动线能自动上下料,以减轻工人操作的劳动强度;为了平衡自动线的工作节拍,有时需在某些工段设立几条平行支线;为了平衡个别工序的机动时间,采用不同步距的输送带,增加同时加工的工件数。

当工件产量不很大时,则要求自动线有较大的灵活性和可调性,以便进行多品种加工。对一些产量不很大,但加工工序很多的箱体件,为了提高自动线的利用率,在工序安排允许的情况下,让工件几次通过自动线,实现全部工序的加工。

5) 车间平面布置

车间的平面布置对自动线配置形式也有很大的影响。对于多工段组成的较长自动线,本来可以直线布置,但由于车间面积的限制,有时不得不改为折线形式。



自动线的配置方案还应考虑前后工序的衔接,毛坯从哪个方向进入车间,加工好的零件往哪里运送,就决定了自动线的流向。切屑的排出方向与车间总排屑沟的布置,车间的电源、压缩空气管道以及下水道总管道的位置、方向,对自动线电气柜、气动管路敷设,排除冷却水都有影响,在设计自动线时这些问题都必须注意。

6) 装料高度

自动线的装料高度应与车间原有的滚道高度一致,或与使用单位协商决定。根据组合机床通用部件的配置尺寸要求,一般装料高度为 880 mm,当采用从下方返回的随行夹具自动线、或者被加工零件外形尺寸较小时,装料高度可适当加高,一般为 1 060 mm。

2. 工件工艺基准和输送基面的确定

1) 决定工艺基准的原则

(1) 采用统一的工艺基准,有利于保证加工精度,简化自动线的结构。

① 尽可能采用设计基准作为工艺基准,必要时,也可更换基准,但应换算尺寸链公差,验算能否达到精度,例如在加工相互间精度要求很高的平面,但又不可能在同一工位上加工出来时,那就只能采取更换基准的方法,以相关的平面互为基准进行加工。当有些孔离定位销孔太近不方便或不能加工时,也得更换定位基准进行加工。

② “一面两销”定位法,例如加工汽缸体、汽缸盖、变速箱等箱体类零件,最方便的是采用“一面两销”的定位方法,不仅定位可靠,并且便于实现自动化,达到了工艺基准统一的目的。这里值得注意的是通常将圆柱销放在工件移动方向的前端,并且在整个运输过程中位置不变,从而保证了工件在每移动一个步距后插销定位的可靠性。如图 7-1 所示为汽缸体加工自动线工件排放示意图。第一工序位置工件底面朝下,后端面 B 面朝前, A 面在后,送到第二工序位置后,工件经过翻转使其出砂孔面朝下,但仍保持 B 面朝前, A 面在后;在第三工序位置上,工件底面向上,还是 B 面朝前, A 面在后。工件虽经几次翻转,始终保持 B 面朝前,所以应采用靠近端面 B 的定位孔作为圆柱定位销孔。端面 B 到圆柱销尺寸公差为 ± 0.1 mm,端面 A 到定位销孔尺寸公差可以放宽。

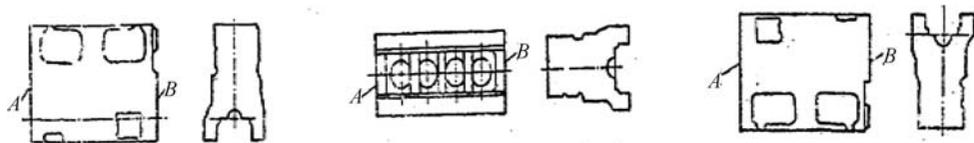


图 7-1 汽缸体加工自动线的工件排放情况

③ 对于箱体件也可以采用两个相互垂直的平面及一个孔进行定位,定位销应该是菱形的。

④ 当工件是毛坯时,在自动线上作为第一道工序的定位基面应选其最重要的平面,此面以后要在自动线上加工的。这种定位方法能够保证这些平面的余量均匀分配。例如汽缸盖,精度要求最高的面是和缸体的贴合面及气阀孔。因此在汽缸盖加工自动线上,第一道工序应以此贴合面作为基准,铣削与其平行的平面(汽缸盖顶面),然后再以加工过的汽缸盖顶面做基准加工贴合面。在加工汽缸盖的定位孔时,应选择加工过的汽缸盖底面(贴合面)和

两个最边的气阀孔(毛孔)作为定位基面。

(2) 对工艺基准的要求

① 具有一个加工面,两个定位销孔,或者三个加工面;销孔直径在 $\phi 12 \sim 30 \text{ mm}$,孔的精度为 H7~H8,定位销的精度为 g6~f7;

② 两定位销孔距尽可能的大,公差在 $\pm(0.1 \sim 0.2) \text{ mm}$ 间;

③ 较长的自动线,可采用两套定位销、粗、(半精)精加工各用一套,也可以用较深的定位销孔,粗加工用上面一段,(半精)精加工用下面一段,或者在半精加工之前,将定位销孔进行一次修整;

④ 棘爪的推拉面到工件的圆销孔的尺寸公差推荐取 $\pm 0.10 \sim \pm 0.20 \text{ mm}$ 。

2) 运输基面的确定

(1) 定义,运输基面就是指工件移动的滑动面,两侧的限位面和棘爪推拉面。

(2) 确定的方式

① 当工件没有良好定位基面时,就采用随行夹具进行加工。但随行夹具也应具备运输基面。有些工件虽有较好的定位基面,但其刚性不足,为了保证加工精度,需要采用一些辅助支承,减少因切削力或夹压力引起的变形,也宜采用随行夹具的加工方法,因为在随行夹具上比较容易设置辅助支承系统。

② 自动线上有立式机床时,运输零件的方向,应考虑使立柱靠车间柱子或墙的一侧。

3. 组合机床自动线工艺流程的拟订

1) 组合机床自动线工艺流程拟订的一般原则

(1) 本着先基准,后一般,先平面,后孔系,先粗后精,粗精分开,粗精分开的顺序原则,对工序进行排列组合。如对于平面和大孔的粗加工应放在自动线前端机床上进行,对易出现废品的高精度孔也应提前进行粗加工。高精度的精加工工序,一般应放在自动线的最后进行,要注意将粗精加工工序拉开一些,以避免粗加工热变形对精加工的影响,以及在精加工后又进行重负荷的粗加工,引起夹压变形和热变形,破坏精加工的精度。

对于一些不重要的孔,粗加工不会影响精加工的加工精度时,则应排得靠近一点,以便调整工序间的余量,及时发现前道工序的废品。对于那些废品率较高的精孔,也要放在最后,应视铸件质量而定。

对 6 级孔(H6)的加工,由于尺寸公差要求很严,在自动线上进行加工时,需采取相应措施,如采用备用机床、自动测量、刀具自动补偿等,甚至设计成备用支线的单独精加工自动线。

加工余量是否均匀,对镗孔的几何精度和位置精度有很大影响。因此,安排时要把精加工和半精加工工序都放在自动线的最后加工。

(2) 单一工序。自动线设计时更应充分注意,而且这里也较为容易实现,如对于小直径的钻孔和攻丝都应放在精加工工序之前,小直径钻孔一般不宜和大直径镗孔放在一起,以免使主轴箱传动系统过于复杂,以及不便于调整和更换刀具。

对于攻丝工序较为合适的是分出来,安排在单独的机床上进行,必要时也可以安排为单独的攻丝工段,并把它们放在整个自动线的最后。虽然这样增加了转位装置。但便于安排



攻丝的润滑、切屑的处理,也不至于弄脏工件。

(3) 减少自动线辅助装置,在不影响加工精度的前提下,工件处于一种状态时,应完成尽量多的工序,再转位进行其他面的加工。否则,将造成自动线工段的增加,使自动线结构和控制系统复杂。

(4) 必须全面考虑检查工序和除屑等工序的安排,这对自动线的可靠工作同样具有很大的意义。如在不通孔中积存切屑,就会引起丝锥折断;高精度的孔加工没有测量,也可能出现大量的废品。

(5) 适当集中合理分散。按机床分配工序时应力求减少机床的台数,但要注意已有的通用部件性能的可能性,以及自动线的操作、调整,刀具工作情况的观察和更换的方便性等。

① 在一台机床上应同时加工工件的几个表面,机床尽可能采用双面,必要时亦可采用三面的配置方案。对于小平面上孔的加工,采用多工位的加工方法,如汽缸体、汽缸盖的两端面上孔的加工,都采用一台机床上两个加工工位的方案,也应考虑到工位太多,机床复杂庞大,维修不方便。

② 采用多轴加工,是提高工序集中程度,减少机床台数的最有效的方法。但要注意主轴箱上的主轴不宜太密,以保证拆卸刀具的方便。

③ 采用复合刀具,在一台机床上完成几道工序的加工,例如钻螺纹底孔时复合倒角,或者钻孔时复合倒角及镗端面,以及其他一些更复杂的组合方式,也是提高工序集中程度,减少机床台数的有效方法。但应力求采用组装复合刀具,因整体复合刀具的制造和刃磨较为困难,如果在自动线上既不增加设备台数和工位,又能分散进行各道工序加工时,则应避免采用整体复合刀具。但这也不是绝对的,我们一定要根据具体情况,进行全面的分析。虽然,复合刀具制造和刃磨都比较困难,有时为了保证加工精度,还是应该采用。

④ 确定每台机床完成的工序时,应避免在一台机床上同时进行粗精工序的加工,以免粗加工的振动,影响精加工精度。

⑤ 相互间有位置精度要求的孔应安排在同一工位上进行加工,相互垂直的孔以及同一平面上的孔,有条件时都应在一个工位上进行加工。对固定用的螺栓孔(如汽缸盖往缸体上固定的螺栓孔),除应在一个工位上进行加工外,还应从结合面的方向加工,以保证孔的位置精度,便于将来装配。对于同一轴线上的孔系,同轴度不大于 0.05 mm 时,(半精)精加工应从一面加工,大于 0.05 mm 时,可以从两面加工,但要求导向同轴度高。采用刚性主轴,应考虑机床导轨磨损后重新调整和修复的可能性。

2) 切削用量选择的原则

(1) 不应将进给量相差太大的工序排在一个工位上,例如不应将精镗孔和钻孔排在一个工位上,也不应该将镗平面和钻不通孔工序排在一个工位上;镗孔和铰孔也不能在同一工位,更不能将关键性工序和非关键性并有二次进给要求的工序排在一起。

(2) 非关键性(不影响生产率)的工序,应采用较低切削用量,不仅可提高刀具使用寿命,从而减少自动线停机损失。

(3) 关键性(影响生产率)的工序,应采用大的切削用量,以便提高自动线的生产率,尽管刀具寿命短一些,但生产率提高了,从经济效益角度考虑还是合理的。



(4) 切削用量的选择应使刀具寿命不低于一个工作班,最少不应低于半个工作班,以便进行强制性换刀,对寿命很低的刀具可采用自动补偿装置。

3) 计算生产率

(1) 核算切削用量时,要将自动线上工序最长的机动时间 $t_{\text{序}}$ 和按生产纲领确定的机动时间 $t_{\text{机}}$ 进行比较, $t_{\text{机}}$ 按下列公式计算:

$$t_{\text{机}} = T_{\text{节}} - t_{\text{辅}} = \frac{T}{k} \eta - t_{\text{辅}} \quad (7-1)$$

式中: $T_{\text{节}}$ —自动线节拍时间; $t_{\text{辅}}$ —自动线的辅助时间,它由自动线的循环复杂程度和输送机构的移动速度及行程长度来决定,一般粗略计算可按 $0.2 \sim 0.5 \text{ min}$; T —年基本工时,按两班制(按 15 h) T 为 $4\ 600 \text{ h}$; k —年生产纲领; η —自动线的负荷率,通常取 $0.65 \sim 0.85$,复杂的自动线取低值,简单的自动线取高值。

当 $t_{\text{序}} < t_{\text{机}}$ 时,这时可适当降低工序的切削用量,一般应先考虑降低切削速度,因为它对刀具耐用度影响较大。但应注意刀具切削用量也不能太低,因为切削用量低于一定值后,并不能提高刀具的耐用度。

当 $t_{\text{序}} > t_{\text{机}}$ 时,为了达到要求的生产率,可以将关键性工序分成几个工步进行,或者增加平行加工的工位;若相差不多时,也可以适当加大这道工序的切削用量。

这里虽然对切削用量进行了核算,但在下一步的自动线设计工作中,还会对切削用量进行调整,一般只有在自动线的循环周期表绘制后,才能最后确定。

(2) 生产率计算举例

某发动机厂要求年生产纲领 10 万台发动机(其中包括 30% 备品, 3% 废品),两班制生产,负荷率不高于 65% ,计算如下:

根据以上公式:

$$T_{\text{节}} = \frac{T}{k} \eta = \frac{4\ 600 \times 60}{100\ 000} \times 65\% = 1.8 (\text{min})$$

则生产率:

$$Q = \frac{60}{1.8} = 33 \text{ 件/h (负荷率为 } 100\% \text{ 时)}$$

发动机厂要求的生产率:

$$Q_1 = \frac{100\ 000}{4\ 600} = 21.7 \text{ 件/h}$$

自动线负荷率:

$$n = \frac{21.7}{33} = 64.8\%$$

经计算,满足了发动机厂对负荷率的要求。

4) 拟订工艺流程的要求

根据用户要求在自动线上完成几个面上的工作,首先抓住几个面上主要的孔,根据精度确定必要的工位数,其余工序按照适当分散、合理集中的原则,既不增加机床,又不使主轴过密,将这些工序分别组合到既定的工位上,实在不能集中的工序,再增加少量机床。各面上



工位数确定之后,再根据工艺流程拟订的原则、工艺特点、机床结构形式,将不同面上的工序进行整合,在不影响维修和操作方便的情况下,尽量采用双面(个别情况也可以采用三面)机床,遵照拟订自动线的一般原则要求,编制出几种工艺流程方案,经多次讨论、会审,最后定出一个最可靠的保证零件精度、回转装置最少、机床台数最少、经济效果最佳、便于制造和操作、维修的工艺流程方案。

例如发动机缸体加工自动线的工艺流程,先在线外(或线的前端),对缸体顶面、底面、侧面及瓦盖面进行粗、精铣(或拉削)以及定位销孔的加工,而后缸孔的粗镗也放在自动线的前端加工。

5) 确定机床台数应注意的问题

根据工艺流程方案确定的工位数,结合用户要求的生产率,最终确定机床的台数。确定工位数和机床台数等工作都是相互关联的,互相制约,既矛盾又统一。如缸体自动线,粗镗缸孔工序,按工艺要求一次加工完成,如果生产率不能满足节拍要求时,可安排到相邻的两台机床上分别完成缸孔上、下段的加工,又如缸孔的半精镗工序,一次性加工能满足生产率的要求,但切削量过大,不能满足精加工要求的工艺尺寸公差,所以两次半精加工安排到两条平行支线上加工。总之,应将该集中的工序集中,过于集中的适当分散,能采用多工位机床的尽量采用多工位加工,能采用多面就采用多面加工,能采用新技术的大胆采用新技术加工,最后确定最合理的机床台数和机床的结构形式。

4. 确定自动线的结构和布局

1) 自动线工段和工区的划分

(1) 所谓工段就是指零件处于一种状态,由独立的零件输送装置、电气系统、液压系统,可以与其他几组机床进行全线自动循环,也可以独立地进行,自动循环的一台或一组机床,称为一个工段。

(2) 工区是由工段组成的,工区之间设有贮料库,一个工区包括2~3个工段,有时一个工段也可以成为一个工区。

(3) 自动线划分工段和工区的原因

① 由自动线加工工艺特点所决定。例如,一些复杂箱体件加工自动线,为了完成全部工序的加工,工件在自动线上需要多次转位,这些转位设备往往使得自动线不能采取全线的输送带,而必须分成若干工段。但在确定自动线结构方案时,如果全线机床不多(一般在10台以内),应力求采用通过式转位装置,使全线能用统一输送带,按一种循环工作。这样不仅简化了自动线结构,也有利于提高自动线的工作可靠性。

② 由于单条自动线太长,机床太多(一般如机床在10~15台以上),刀具数在200~250把以上,为了减少自动线停车时间损失和提高自动线的利用率,而将自动线分成工段和工区。

(4) 自动线划分工段和工区的实质是将一条长自动线分为若干条短的能独立工作的自动线,借助控制系统将这些工段和工区连在一起,按统一顺序自动工作。为了增加自动线的“柔性”,减少某一工段或工区的停车对其他工段或工区的影响,降低自动线的停车时间损失,可在工段或工区间设置贮料库,贮料库的容量一般应保证自动线连续工作1~2h,最少

不低于 30 min。

2) 提高自动线生产率和利用率的措施

在采用了高效率加工方法,适当提高了切削用量和尽量缩短辅助时间后,仍不能满足要求的生产率时,可以采取特殊的配置方案来提高生产能力。

(1) 增加顺序加工工位。将工序时间长的工序分散在几个工位上顺序加工,如图 7-2 所示加工汽缸体的自动线,完成大部分工序只需要五个加工工位,但是由于有一个深油道孔,虽然从两端加工,其生产率仍远远不能满足要求,为了平衡负荷,深油道孔一端分为六次加工,另一端分七次加工,这就大大提高了自动线的生产率。自动线工位增加了 1.8 倍(从 5 个工位增到 9 个工位),而生产率却增加了 6.5 倍。当然,这是传统的加工工艺,如果采用现代先进的枪钻加工工艺技术,就不需要采用增加顺序加工工位了。

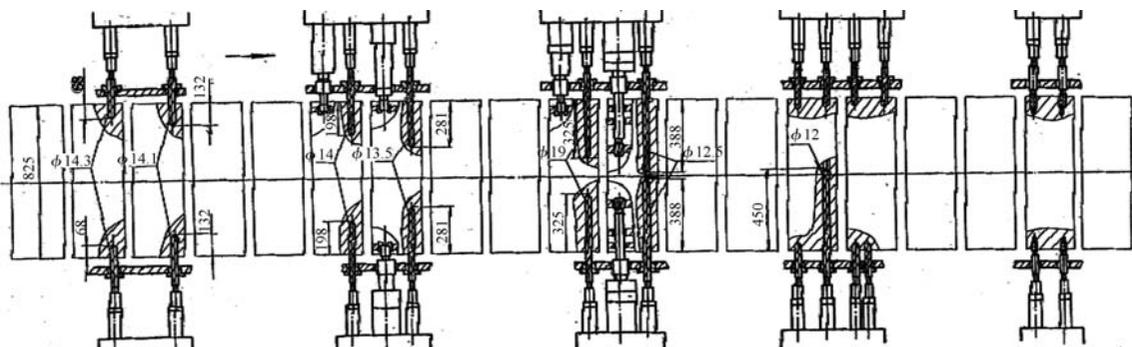


图 7-2 汽缸体加工自动线

由此可见,在个别工序很长时,采取分在几个工位上顺序加工是合理的。这种情况若采用增加平行工位的办法则是不适宜的,因为平行加工工位增加一倍,只能缩短机动时间一倍。

(2) 在自动线的同一工段内采用不同步距的输送带的配置方案来提高生产率和平衡负荷。这多用于当自动线的工序时间有的很长有的很短的情况,用不同步距的输送带对时间较长的工序实现同时加工几个工件。

图 7-3 所示为加工电机座自动线的一段加工示意图,为了提高自动线的生产率,对限制性的镗孔工序,采取同时加工两个工件的方法。为此在两台镗内孔的机床(C_2, C_3)专门设置了一条短的输送带,其步距较自动线其他工位的输送带步距增加一倍。这样使全线工序机动时间都很短,平衡了负荷,提高了自动线的生产效率。

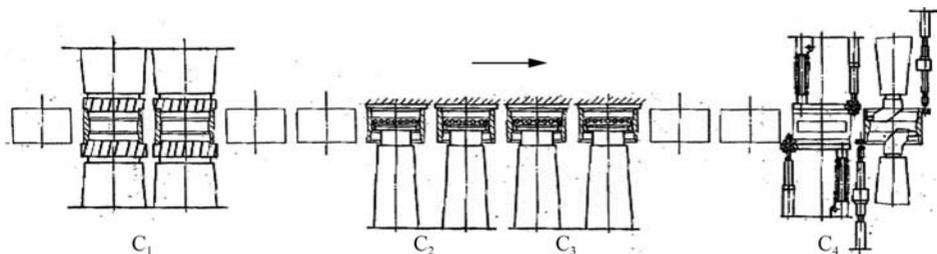


图 7-3 在同一工段内采用不同步距的配置方案



几个工段生产率不平衡,可以采用不同步距,如图 7-4 所示。第一工段两台机床,每台机床加工两个工件,两台机床加工两道工序,运输带步距 $L=2t$;在第二工段 4 台机床上,加工四个零件的同一道工序,运输带步距 $L=4t$;第三工段每台机床加工一个零件,4 台机床加工四道工序,运输带步距 $L=t$ 。

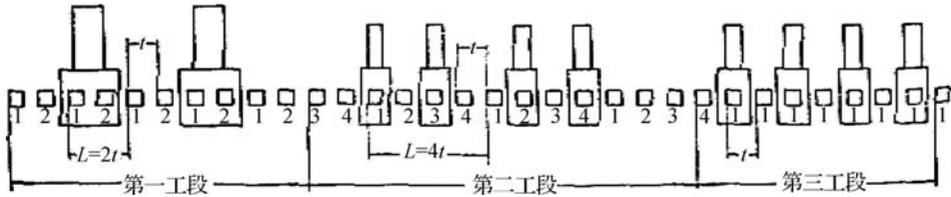


图 7-4 不同工段采用不同步距的配置方案

(3) 在同一工位上增加同时加工工件的数目。单纯顺序加工的单段或多段自动线,其生产率的提高是有限的。为了进一步提高自动线生产率,可增加同时加工工件的数目。如在同一工位上加工两个工件,此时输送带每次行程为两个工件的步距,生产率提高一倍。当工件较小时,也可同时加工更多的工件,使生产效率成几倍的增长。

在一台机床上加工几个小零件,如图 7-5 所示的自动线。运输带步距 $L=4t$,在第一台机床上加工三组 12 个零件,第一组 4 个工件钻孔,第二组 4 个工件两端倒角,第三组 4 个工件扩孔,在第二台机床上进行铰孔。较大的零件,在几台机床上同时加工几个零件的同样工序,如图 7-6 所示。运输带步距 $L=3t$,在六台机床上完成两道工序,在 $C_1、C_2、C_3$ 完成第一道工序,在 $C_4、C_5、C_6$ 完成第二道工序。

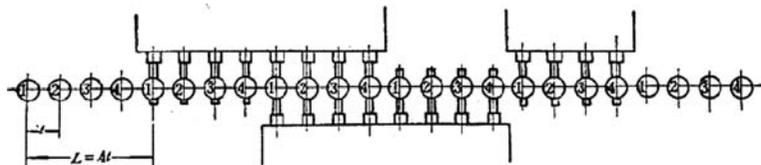


图 7-5 在一台机床上加工几个小零件的自动线

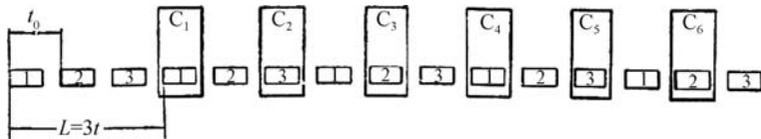


图 7-6 在几台机床上同时加工几个零件的同样工序的自动线

(4) 增加平行加工工位。为了在同一条自动线上实现几个较大工件的同时加工,可以采用增加平行加工工位的方法。这就需要增加机床的台数和加大工件输送带的步距。其步距之增大与平行加工的工件数目成正比,即步距 $L=nl$, n 为平行加工的工位数, l 为工位间的距离。工件每次可移动 2 个或 3 个工位,其效果相当于两条或三条平行支线。

图 7-7 所示为有三个平行加工工位的自动线布置图,同时有三个工件在三个工位上加工,每个工件先后经过两个工位顺序加工完成。因此自动线有两种机床,每种各为三台,工件输送带经过五次移动,即加工出三个工件。

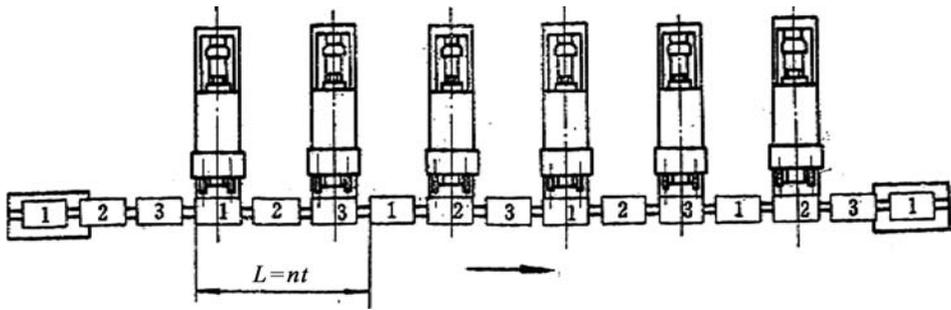


图 7-7 具有三个平行加工工位的自动线

(5) 采用平行支线的配置方案。当工件产量再大时,采用平行加工几个工件的单线,将会增加机床台数,并使自动线太长。不仅看管不便,而且由于“刚性”连接,造成过多的停车时间损失,实际上是不适宜的。在这种情况下可以采取平行支线的配置方案,并将它们分成工区,其间增设贮料库,提高自动线的“柔性”,减少停车时间损失。在产量较大时,还可以采用平行和顺序排列的自动线,在关键工序工段采用平行支线,在非关键工序采用顺序排列如图 7-8 所示。由于第一工段生产率低,所以采用平行支线,在第二、三、四工段,生产率高采用顺序排列。在机床 6,同时铣削两个零件的顶面,转位台 1、2 将零件转 180°,机床 7 同时铣两个零件的底面,机床 9 同时钻铰两个零件的定位销孔,对角线转位鼓轮 5,同时将两个零件翻转成底面朝下,待加工侧面朝里,机床 8 铣侧面,转位台 3 将零件转 180°,使之与另一支线

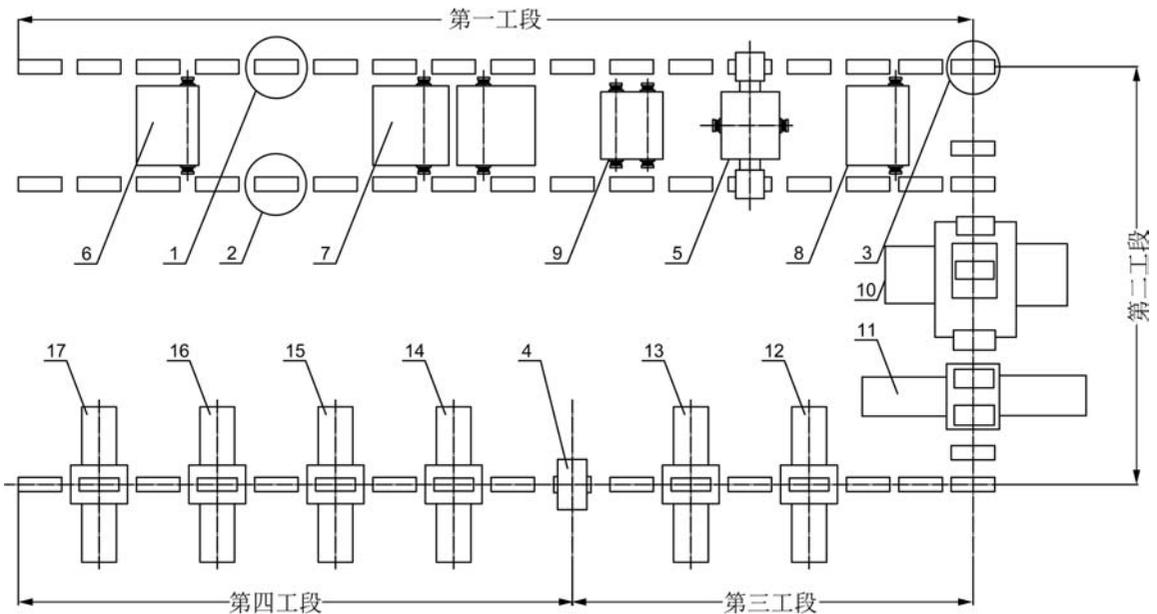


图 7-8 工序顺序排列的自动线

1~3—转位台;4—转位轮;5—对角线转位鼓轮;6~8—铣床;9—钻、铰定位销孔机床;
10—端面铣床;11~17—端面、侧面、顶面及底面孔加工机床

零件方向一致,第二工段机床 10 铣零件两端面,机床 11 加工端面孔,第三工段机床 12、13 加工侧面孔,翻转鼓轮 4,将零件绕水平轴转 90° ,第四工段机床 14~17 加工顶面及底面孔。

(6) 可将自动线设计为可调整的,实现多品种加工。有时也可以采取让工件几次通过自动线实现全部工序加工的方法,缩短自动线的长度,减少投资,提高自动线的利用率。例如,当产量不是很大的 V 形发动机缸体要用自动线加工时,就可以采用图 7-9 所示的加工方案。自动线各台机床均为双面,用于加工 V 形缸体两个斜面上的一部分工序,如一面机床镗大孔,另一面机床加工小孔。缸体经过自动线一次加工后,转位 180° 又送进自动线,则原来已进行过镗大孔的一面,现在进行其余小孔的加工;而已加工过小孔的一面则进行镗大孔。缸体两次通过自动线实现两斜面上全部工序的加工。因此加工一个工件所需的时间为自动线节拍时间(T)的一倍($2T$)。

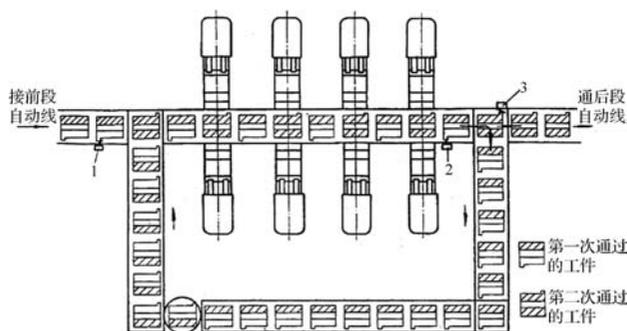


图 7-9 缸体两次通过自动线完成全部工序的方案

1—定向开关;2—第一次通过检验开关;3—第二次通过检验开关

3) 采用随行夹具自动线的一些问题

随行夹具自动线适用于没有运输基面的零件或有色金属零件。

(1) 随行夹具运输自动线的优点

① 能加工没有运输基面的结构复杂的零件,可以采用毛面定位,一次安装完成全部工序,从而扩大了自动线的使用范围及提高自动化程度;

② 易实现多品种加工,在一个随行夹具上装几种零件,或者不同零件采用不同的随行夹具;

③ 对有色金属和高精度零件,可以保护基面;

④ 机床夹具结构可相对简单且便于统一,一般做成敞开式的,便于观察和维修;

⑤ 在不要求从自动线的末端出零件时,都可以在自动线的首端进行装卸工件,可节约一个操作工。

(2) 随行夹具自动线的缺点

① 增加了尺寸链,较直接定位的精度低;

② 在空工位上,返回运输带上,贮料库中都有随行夹具,自动线复杂,成本高;

③ 粗、精加工夹紧力一致,对精度有影响;

④ 采用水平返回时,增加生产面积;



⑤ 要有返回装置,结构复杂。

(3) 采取相应的措施

① 应根据车间面积、工件大小、车间工艺流向、自动线排屑、冷却及机床刚性、操作维修方便性等,正确地确定随行夹具的返回方式,水平返回方式虽结构简单维护方便,但占地面积大,工人进出不方便;上、下返回式不占生产面积,结构简单美观,没有封闭区,更换刀具及维护方便。在车间布置允许的情况下,又不要求自动线的末端卸下零件时,首先考虑选用封闭式自动线。

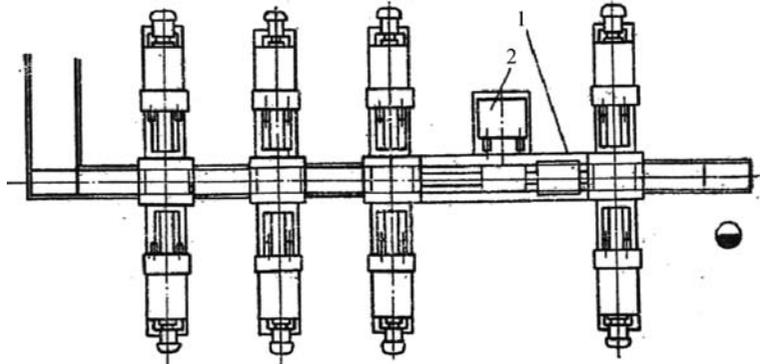


图 7-10 机床间无空工位的随行夹自动线的配置方案

② 力求简化随行夹具的结构是十分重要的。可能时应先将工件加工好一个基面,然后再上随行夹具自动线加工,这对简化随行夹具结构和保证加工精度都有好处。对于一些可以设在随行夹具上,也可以设在机床夹具或其他地方的机构,都不应该设在随行夹具上。

③ 要减少自动线随行夹具的数量。办法有:一是减少自动线机床间的空工位,就是采用大步距的输送带,将随行夹具从一台机床上直接送到下一台机床上,如图 7-10 所示的配置方案。其输送带传动装置 1 往往要占很长的地方,为了减少自动线长度,减少随行夹具,一般可以放在装卸工位的下方,或者放在检查装置 2 的下方;二是随行夹具自动线上更应注意提高各机床的工序集中程度,这是缩短自动线和减少随行夹具的有效措施;三是力求使返回输送装置上的随行夹具数量最少。尽可能提高返回输送带的运动速度(一般为 10~20 m/min),采取连续运动的输送带(用链条结构),而少用步伐式输送带。

4) 自动线其他设备的安排

在确定自动线的结构方案时,还必须根据拟订的工艺流程,解决工序检查、工件倒屑、油箱和电气柜的位置以及工件堆放等问题。

(1) 对于攻丝工序,尤其是小螺孔(小于 M8)的加工,在攻丝前后均应设有检查机构,攻丝前检查孔深是否合适,以及孔底有无积屑和断钻头;攻丝后则检查丝锥有无折断的情况。而且检查装置的安排,应紧接着钻孔和攻丝工位之后,以便及时发现问题。

(2) 对于精加工工序应考虑采用自动测量装置,以便在到极限尺寸时发出信号,及时调整机床。甚至采用备用机床,当一台机床在调整时,由另一台机床代替继续工作,从而减少自动线的停损时间。

(3) 在自动线前端和末端的装卸工位上,要设有相应的控制机构,当装料台上无工件或



卸料工位上工件未取走时,能发出互锁信号,使自动线停止工作,并且在装卸工位附近要有足够空间,以便存放工件。

(4) 若工件是毛坯,必要时在自动线前端设立毛坯检查装置,检查毛坯某些重要尺寸,当其不合格时,检查系统发出信号,并将不合格的毛坯卸下,以免损坏刀具和机床。

(5) 自动线的动作往往比较复杂,其控制需较多的液压站、电气柜及操纵台等。确定配置方案时,也要初步考虑这些部件的安放位置,气路走线和液压管路敷设的方式等。还要根据车间平面布置,确定自动线的排屑方式及其运输方向等。

7.2 组合机床自动线的总体设计

自动线的总体设计,包括绘制被加工零件工序图、加工示意图、自动线总联系尺寸图以及编制循环周期表和自动线生产率的计算。其设计原则与要求,在很大程度上,与组合机床单机设计是相同的。下面针对自动线设计的特点进行介绍。

7.2.1 被加工零件工序图和加工示意图绘制的要求

(1) 自动线被加工零件工序图,不按各台机床单独绘制,一般按工段或全线来绘制,其要求与组合机床单机设计是一样的。还必须表示出与工件输送设备有关的图形、尺寸和精度要求等。

(2) 自动线加工示意图是根据确定的自动线的工艺流程绘制的,一般每台机床绘制一张,当自动线较短时,亦可全线绘制一张。绘制时除了满足一般组合机床加工示意图的要求外,还应注意以下一些问题。

① 加工示意图图形布置,应符合工件在自动线上的运动方向;

② 为了刀具更换及调整方便,机床应有足够的返回行程。对于攻丝机床,应配上具有步进退功能的滑台,以便在调整更换丝锥时,将整个攻丝装置退出夹具;

③ 刀具导向套的安装,应保证在装有工件的情况下能够拆卸导套;

④ 加工直径与深度均相同的孔的刀具,为了使其能在同一长度上,便于采用对刀仪对刀,必须要求主轴伸出长度相等;

⑤ 由于自动线上刀具数量很多,为了减少对刀仪的种类,要求在绘制自动线加工示意图时,对于一些长度不同,但相差不大的刀具尺寸 A ,如图 7-11 所示,尽量使其相等。根据对刀的需要,通常在主轴箱前盖端面加工一个工艺平面,作为对刀基准。

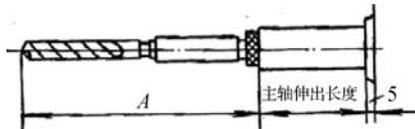


图 7-11 自动线轴向调刀尺寸示意图

7.2.2 组合机床自动线总联系尺寸图的绘制

自动线总联系尺寸图是各部件的设计依据,也是检查各部件相互关系不可缺少的重要资料。因此,在自动线的设计工作全面开展之前,应首先进行绘制,并给予足够的重视。

1. 装料高度的确定

自动线的装料高度是指机床底面至固定夹具支承面的尺寸,它主要由以下两个因素决定:第一,被加工零件及随行夹具的外形尺寸大小。对于较大工件的装料高度应偏低一些,一般为 880 mm,这时必须考虑通用部件的配套尺寸,中间底座排屑的可能性以及不影响底座的结构刚性,最低不得小于 850 mm。对于较小的零件,装料高度可适当增加,一般可选取 1 060 mm。第二,自动线随行夹具的返回方式。对于采用垂直下方返回的方案,应适当增加自动线的装料高度。

2. 机床间距离尺寸的确定

为了在检查和调整自动线设备时,便于工人操作和出入,一般要求相邻两台机床上运动部件之间的距离不小于 600~800 mm。在确定机床之间距离时,首先要考虑有可能接近动力头的控制机构。机床之间距离 T 取决于中同底座尺寸 A 和相邻主轴箱之间距离 L 如图 7-12 所示,为确保安全生产,要求两个动力头之间空当距离为 800 mm,则机床之间距离为:

$$T = 800 + b_1 + b_2 \quad (7-2)$$

式中: b_1 和 b_2 按选用的不同规格动力头来确定。这样计算求得的机床之间距离是否合适,还要检查一下两个主轴箱之间距离 L 是否大于 600 mm。另外,也要把机床之间距离 T 和工件之间距离 t 联系起来,并符合等式:

$$T = (n+1)t \quad (7-3)$$

式中: n —中间工位上的工件数量。

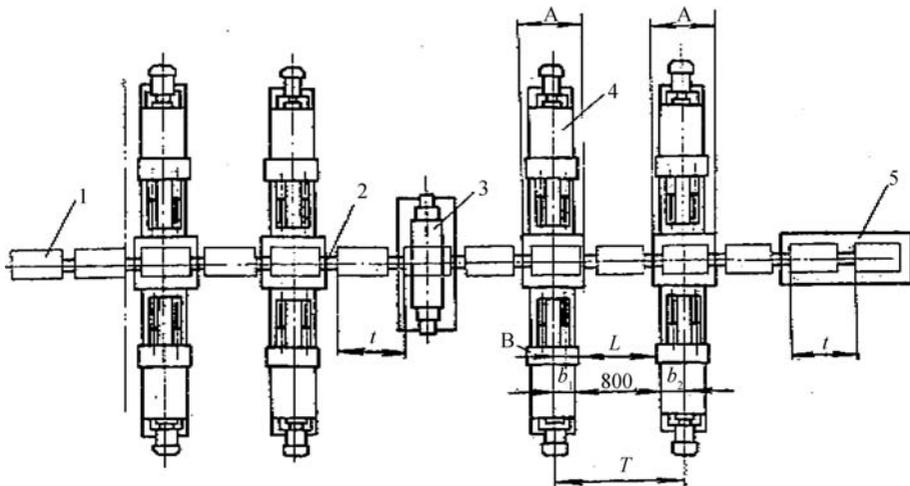


图 7-12 箱体加工自动线的配置图

1—工件;2—工作输送带;3—转位鼓轮;4—机床;5—输送带传动装置

3. 输送带步距 t 的确定

确定输送带的步距时,既要保证机床间有足够的距离,又要尽量缩短自动线长度。通用的输送带步距范围为 350~1 700 mm。这种输送带是由几节组成的,穿过几台或十几台机床。各节间的连接处作为输送带的调整环节,以保证棘爪与机床定位的尺寸关系。为能方



便地调整输送带,当输送带传动装置处于原位或终点位置时,输送带各调整环节,应处在机床之间。

对采用随行夹具的自动线,还需要考虑减少自动线上随行夹具的数量,一般应适当加大步距。有时在一条自动线上,由于某些条件的要求,可采用不等步距的结构。如有搭接板的随行夹具,在开始搭合处和终端脱开处,就采用变步距的方法来实现相邻随行夹具的搭合和脱开。

根据已经确定的输送带步距 t ,就可以选择输送带传动装置的行程长度 (L_1):

$$L_1 = t + l_3 = L + l + l_3 \quad (7-4)$$

式中: t —输送带步距; L —工件长度; l —工件间距离; l_3 —输送带棘爪超程尺寸。

输送带的联系尺寸、棘爪的高度 H 及自由导向所需的超程值如图 7-13 及表 7-1 所示,还可以参阅“T04”自动线图册。

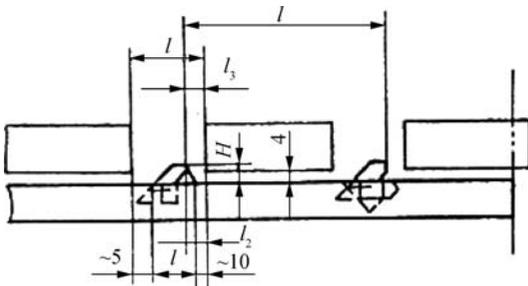


图 7-13 棘爪和工件间联系尺寸

表 7-1 输送带棘爪与工件联系尺寸

H	l_1	l_2	l_3	l
15	52	8	18	67
25	75	11	21	90

4. 辅助装置联系尺寸的确定

1) 输送带传动装置联系尺寸的确定

图 7-14 所示为输送带传动装置与机床的联系尺寸图,其高度方向的尺寸由装料高度和通用部件确定,即 $H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = \text{装料高度} - 1(\text{mm})$ 。传动装置与机床间尺寸的确定,应考虑维修和调整的方便,通常传动装置有挡铁螺钉的一端至机床底座间的尺寸 A 一般不小于 300 mm。

输送带传动装置一般均设在自动线每一工段零件输送方向的前端。对于有攻丝机床的自动线,为了避免攻丝后零件上的润滑油落在传动装置上,最好将传动装置设在攻丝前的孔深检查工位的位置。在零件输送过程中,为了改善输送带的受力情况,应使输送带处于受拉状态。

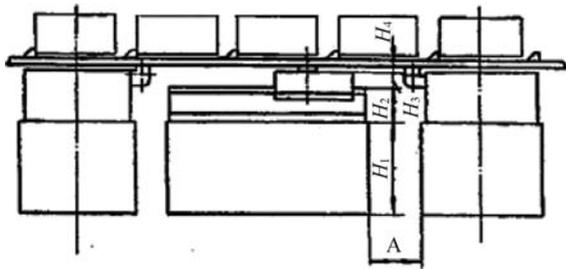


图 7-14 输送带传动装置联系尺寸图

H_1 —底座高度; H_2 —滑座高度; H_3 —滑台高度;
 H_4 —滑台台面至输送带侧板顶面尺寸; A —机床间尺寸

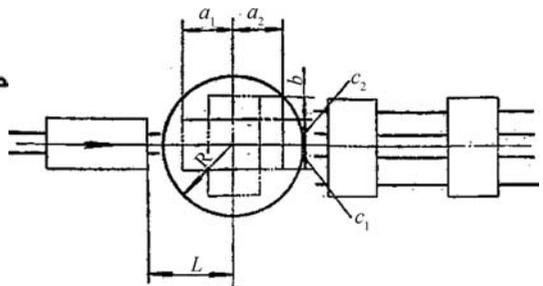


图 7-15 转位台的联系尺寸

2) 转位台联系尺寸的确定

转位台是用于改变零件在自动线上的加工部位的,所以,必须注意零件在转位过程中,既不能碰前面或后面的零件,也不能碰输送带上的棘爪。当零件在原地转位时,可取零件中心作为转位台的中心。如图 7-15 所示,并满足 $R < L$ (R 是零件或限位板的最大回转半径), $c_1 = c_2 = a_2 - b$ 。转位台回转时,输送带应处于退回原位的状态,并保证棘爪离开零件的距离大于 $R - a_1$ 。

3) 转位鼓轮联系尺寸的确定

在确定转位鼓轮的联系尺寸时,一般要求转位前后两段输送带的中心线和机床装料高度均不变化,而且鼓轮回转中心 O 应尽可能接近零件的重心 O_1 ,对于大而重的零件更应如此。在确定回转中心时,应使回转直径最小。转位鼓轮中心的确定如图 7-16 所示,并保证尺寸关系: $OA = OB$ 。

由 $OA = OB$ 可得:

$$a = b = \frac{l-h}{2} \quad (7-5)$$

式中: l —工件长度的一半; h —工件高度的一半。

5. 辅助装置与机床间联系尺寸的确定

为了调整方便,在相邻部件(辅助装置与机床,辅助装置与辅助装置)间,要保留足够的空间,确定自动线的联系尺寸时,要合理解决这些问题。

(1) 不需要接近的、运动的相邻部件间的距离,在没有防护罩的情况下,或小于 250 mm,或大于 600 mm。当距离在 250~500 mm 的范围时,应考虑设防护罩。

(2) 对于需要调整而不动的相邻部件间的距离,一般取 700 mm,若其中有一个是运动部件时,这个距离就应该加大。如机床与液压站之间推荐取 800 mm,机床与电气柜间的距离,要考虑电气柜门的开闭,推荐取 1 000~1 200 mm。

(3) 自动线设备与车间柱子的距离,对于不动的部件一般取 300 mm,对于运动的部件

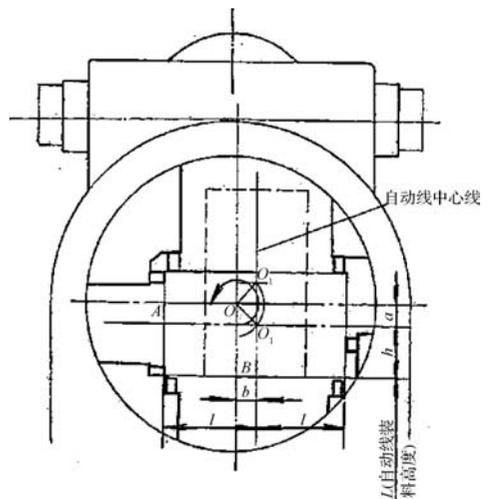


图 7-16 转位鼓轮联系尺寸



则应取 500 mm 左右。

(4) 平行自动线两排机床运动部件间最小距离为 1 000~1 200 mm。

(5) 自动线内的机床与随行夹具返回装置间的最小距离为 800 mm。

(6) 对于采用空中返回随行夹具的自动线,返回装置的倾斜度一般取 $1.5/100 \sim 3.5/100$,最低点的高度应比装料基面高 750~850 mm。

7.2.3 组合机床自动线循环周期表的绘制

自动线周期表表示出自动线各机构的动作循环、动作时间、节拍时间和自动线的循环。从周期表上还可以看出机构动作的一部分互锁要求。周期表是电气、液压系统设计的重要依据。

1. 绘制周期表的一般规定

(1) 绘制自动线周期表,一般是以横坐标表示时间,纵坐标表示自动线各机构的动作;

(2) 循环周期表应按自动线循环时间最长的机床(通常限制性工序)进行绘制,但要注意的是先计算出各动作时间,另外一个工段只表示出一台循环时间最长的机床。有时机床加工时间长的,不一定是循环时间最长的。要把辅助时间与机动时间加在一起才能看出;

(3) 对于由几个工段组成的自动线,应先从循环时间最长的工段开始绘制,其他工段动作的信号应由这个工段发出。一般可以从最后一个工段开始往前排,工段间空 0.02~0.05 min;

(4) 多工段的周期表,除表示出全线各部件的动作关系外,还应表示出各工段独立工作的控制信号;

(5) 不能以时间长短作为互锁控制,必须保证有严格的电气互锁信号。

(6) 排屑装置其动作与其他装置动作没有严格的互锁,在自动线中不受循环的影响,应在全过程中连续动作,但是排屑装置出现故障停止工作时,其他装置在一个循环完了,就自动停止工作。冷却装置对全线集中的冷却系统应由全线总启动,分散的冷却系统由各机床启动。

(7) 非限止性工序机床的循环动作应比限止性工序机床的循环动作提前完成,其提前时间不小于 0.1 min。

2. 周期表的组成

1) 一般最简单的自动线

(1) 零件运输带向前;

(2) 零件定位、夹紧;

(3) 动力头快进;

(4) 运输带向后(可与动力头向前时间重合);

(5) 动力头加工;

(6) 动力头在死挡铁上停留(镗平面工序);

(7) 动力头快退;

(8) 零件拔销、松开。



2) 主轴定位的自动线(以加工缸体曲轴孔、底面朝下为例)

- (1) 零件运输带向前;
- (2) 零件下降;
- (3) 动力头快进;
- (4) 零件运输带向后(可与动力头向前重合);
- (5) 零件落下,转压板;
- (6) 零件夹紧;
- (7) 主轴松开,加工零件;
- (8) 主轴定位(加工完成后);
- (9) 零件松开;
- (10) 转压板,抬起零件;
- (11) 动力头快退;
- (12) 零件上升。

3) 铣刀让刀的自动线(铣头移动,工件不动)

- (1) 运输带向前;
- (2) 零件定位)夹紧;
- (3) 主轴(或铣头)进刀;
- (4) 运输带向后(可与动力头快进时重合);
- (5) 主轴(或铣头)夹紧;
- (6) 主轴(或铣头)加工;
- (7) 主轴(或铣头)松开(加工完成后);
- (8) 主轴(或铣头)让刀;
- (9) 铣头快退;
- (10) 零件拔销、松开。

4) 两个工段以上的自动线

- (1) 转位台(或转位鼓轮)正转(可以在加工时间进行);
- (2) 转位台(或转位鼓轮)反转(时间可与上边工段的拔销松开时间重合,或大部分重合,若上边工段循环时间很短,则不能重合,但不影响节拍时间)。

较复杂自动线除上述内容之外,还有倒屑装置、检查装置、自动测量装置、随行夹具返回装置等,也应在周期表上列出,并规定在什么时间动作及动作时间。

3. 自动线机动时间、辅助时间的计算

1) 机动时间

$$t_{\text{机}} = \frac{L_1}{s_M} (\text{min}) \quad (7-6)$$

式中: L_1 —工作行程长度,取自动线中工作行程最长的、或循环时间最长的机床的工作行程长度(mm), $L_1 = \text{切入长度} + \text{加工长度} + \text{切出长度}$;

s_M ——动力头每分钟进给率(mm/min)。



例 要求在已加工面上钻孔 $\phi 20$, 壁厚为 25 mm, $s_M = 50$ mm/min, 求 $t_{机}$ 。
取切入长度为 5 mm, 切出长度为 5 mm, 钻头尖长度为 0.3×20 mm。则:

$$L_1 = 5 + 25 + 5 + 0.3 \times 20 = 41 \text{ (mm)}$$

所以,
$$t_{机} = \frac{41}{50} = 0.82 \text{ (min)}$$

2) 辅助时间的计算

(1) 运输带向前时间 $t_{运输}$

$$t_{运输} = \frac{L_{运}}{v_{输,前}} + t_{制} \text{ (min)} \quad (7-7)$$

式中: $L_{运}$ —运输带行程长度 (cm);

$v_{滑,前}$ —运输带传动装置移动速度 (cm/min), 一般取 < 16 m/min;

$t_{制}$ —运输带传动装置到终点的制动时间 (min), 用行程节流阀控制时一般在 0.01~0.02 (min)。

$v_{滑,前}$ 与油泵大小、油缸直径、液压系统联接方式以及传动装置结构有关。

运输带向后与机动时间重合不计算。

① 一般系统, 如图 7-17(a) 所示。

$$v_{滑,前} = \frac{Q}{F} \times 1000 \text{ (cm/min)} \quad (7-8)$$

$$v_{滑,后} = \frac{Q}{f} \times 1000 \text{ (cm/min)} \quad (7-9)$$

式中: Q —油泵的输油量 (L/min); F —活塞面积 (cm^2); f —有活塞杆一端的面积 (cm^2)。

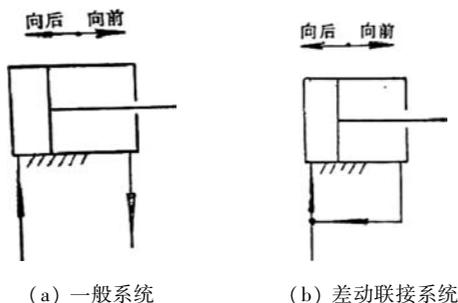


图 7-17 液压油缸往复运动原理图

② 差动联接的系统 (当 $F = 2f$ 时), 如图 7-17(b) 所示。

$$v_{滑,前} = \frac{2Q}{F} \times 1000 \text{ (cm/min)} \quad (7-10)$$

$$v_{滑,前} = v_{滑,后}$$

③ 传动装置是增倍机构, 如图 7-18 所示。

齿条 1 固定在滑台上, 与滑台一起运动, 齿条 2 固定在滑座上, 齿轮 3 固定在活塞的前端, 当活塞向前行 l , 齿轮在齿条 2 上也滚动了一个 l 周长, 所以滑台行程为 $2l$, 其速度亦为活

塞的 2 倍。

$$v_{滑,前} = \frac{4Q}{F} \times 1\,000 \text{ (cm/min)} \quad (7-11)$$

$$v_{滑,前} = v_{滑,后}$$

(2) 定位夹紧时间

一般取计算时间的 2 倍。

$$t_{定} = \frac{L_{定}}{v_{定}} \text{ (min)} \quad (7-12)$$

定位油缸活塞平均移动速度 $v_{定}$ 为

$$v_{定} = \frac{Q}{n_{定} F_{定}} \text{ (cm/min)} \quad (7-13)$$

式中: $n_{定}$ —定位油缸数量; $F_{定}$ —定位油缸面积 (cm^2); $L_{定}$ —定位油缸行程长度 (cm)。

$$t_{夹} = \frac{L_{夹}}{v_{夹}} \text{ (min)} \quad (7-14)$$

夹紧油缸活塞平均移动速度

$$v_{夹} = \frac{Q}{n_{夹} F_{夹}} \text{ (cm/min)} \quad (7-15)$$

式中: $L_{夹}$ —夹紧油缸行程长度 (cm); $n_{夹}$ —夹紧油缸数量; $F_{夹}$ —夹紧油缸面积 (cm^2)。

一个系统驱动的油缸数量, $n_{定}$ 不大于 10~15 个, $n_{夹}$ 不大于 20~25 个。

(3) 动力头动作时间

动力头和滑台向前和向后的速度一样, 因为油缸的前腔面积是后腔的 2 倍, 一般采用差动系统。

$$t_{快进} = \frac{L_{向前}}{v_{动}} \text{ (min)} \quad (7-16)$$

$$t_{快退} = \frac{L_{向后}}{v_{动}} \text{ (min)} \quad (7-17)$$

式中: $v_{动}$ —动力头快速行程速度 (cm/min), 其数值在 ZD11-1, ZD12-3 和 ZD12-4 中有规定;

$L_{向前}$ —动力头快速向前行程长度 (cm);

$L_{向后}$ —动力头快速后退行程长度 (cm);

$L_{向前} = L_{向后} - L_1$ (L_1 为工作进给行程长度)。

(4) 回转装置时间

根据回转角度所需活塞行程长度 $L_{活塞}$, 然后根据油泵的油量求出活塞速度 $v_{活塞}$, 就可

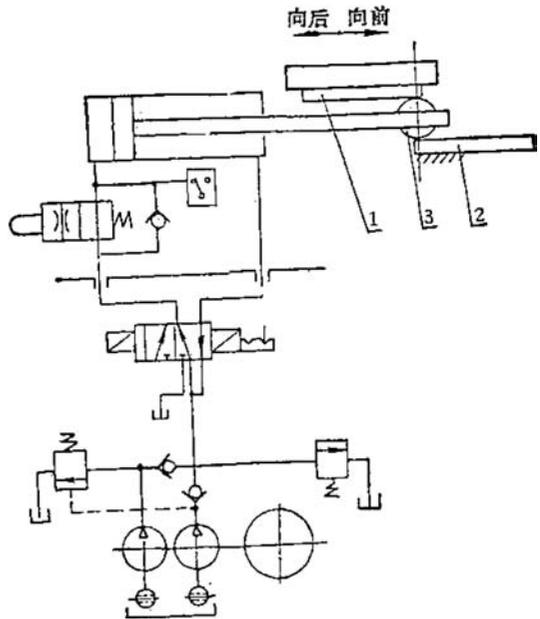


图 7-18 增倍传动机构液压原理图

1, 2—齿条; 3—齿轮

以求出转位时间

$$t_{\text{辅}} = \frac{L_{\text{活塞}}}{v_{\text{活塞}}} \tag{7-18}$$

转位台, $v_{\text{活塞正}}$ 一般取 1~2 m/min;

转位鼓轮, $v_{\text{活塞正}}$ 一般取 2~5 m/min。

当转位装置与运输带用一个液压传动装置时,正转时应加节流调速器。转位装置反转速度 $v_{\text{活塞反}}$ 可根据液压系统的油泵来计算,不必加节流阀。转位台正转和鼓轮正转时间是与机动时间重合的,所以不取高速。反转时,没有工作,速度可以快。反转时间对节拍时间也没有影响,只影响后边运输带起始时间。这个问题从周期表可以看出。

(5) 检查装置时间

检查装置一般与定位夹紧同时动作,所以时间可不予计算,速度取 0.5~1 m/min。液压系统应加节流阀。

4. 自动线循环周期表实例

图 7-19 所示为加工汽缸盖自动线的循环周期表。自动线有三个工段。二和三工段间设有复合转位装置。自动线的布置方案是门形的。其动作顺序为:第三段输送带向前到终点,给转位装置发出反转信号,同时给第三段机床发出定位夹紧信号,孔深检查装置也同时进行检查,定位夹紧后,给动力头发出快进信号,动力头快进并自动转换为工作进给,加工后快速退回原位,给夹具发出拔销、松开信号,检查装置也退回原位。

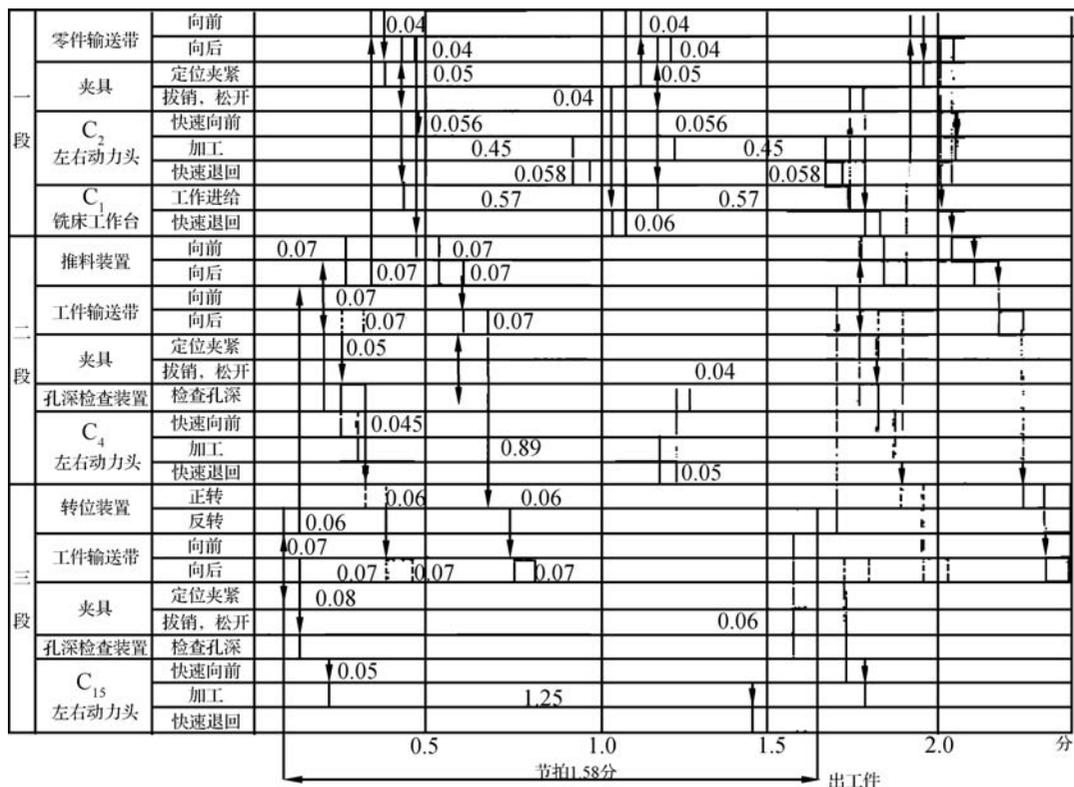


图 7-19 组合机床自动线循环周期表



当转位装置反转到原位后,给第二段输送带发出向前信号,第二段输送带向前,到终点后给推料装置发出向前信号,同时给第二段各机床发出定位夹紧信号,检查装置同时进行工作,定位夹紧后启动动力头按规定的循环进行加工,加工完毕退回原位后,给夹具发出拔销、松开信号,检查装置也退回原位。推料装置向前(给第二段送来一个新的汽缸盖)到终点,给自己发出后退信号,推料装置退回原位给第一段输送带发出向前信号,第一段输送带向前到终点给这段各机床发出定位夹紧信号,定位夹紧后发出动力头快进信号,同时给输送带发出退回信号,动力头及工作台按规定的循环进行工作。动力头退回原位及工作台工作进给到终点之后,才发出夹具拔销、松开信号。松开拔销后发出输送带向前预备信号,同时使工作台快退,待其退到原位发出信号,第一段又重复上述循环。

第一段输送带向前至终点,将第一段加工过的零件,送到第二段的推料装置上。第一段输送带退回原位后,推料装置向前至终点,将零件推到要求位置,推料装置自动返回到原位,并给第二段输送带发出退回信号。当输送带退回原位后,载有零件(已经第二段加工)的复合转位装置正转,转位终了,发出第三段输送带向后信号,输送带退回原位。直到第三段上的机床全部加工完毕退回原位,且各夹具松开拔销后,输送带向前,再次重复全部循环。

循环周期表中所示为加工三缸的汽缸盖,在一个节拍时间内,第一工段完成两次循环,加工两个工件,而第二段和第三段各完成一个循环,同时加工两个工件。当加工四缸或六缸汽缸盖时,各工段均完成一次循环,加工一个工件。

自动线的节拍时间为 1.58 min,当自动线负荷率为 75%,加工四缸、六缸的汽缸盖时,生产率为 28.5 件/h,加工三缸汽缸盖时,生产率为 57 件/h。

循环周期表中的虚线,表示各工段独立工作时(自动,半自动或调整循环)的控制信号。

5. 自动线各主要机构动作的互锁要求

自动线各部件的运动是按一定的顺序进行的,它们之间有着严格的互锁要求。以上述加工汽缸盖自动线的循环周期表为例,为了自动线的可靠工作,必须具备的互锁要求为:

(1) 输送带向前,即自动线开始工作,夹具必须处于松开拔销状态,采用楔铁夹紧时,松开应有行程互锁信号;各运动部件均处于原位,如动力头、滑台、攻丝装置、检查装置、铣床工作台、转位装置、倒屑装置、自动测量装置等;转位装置上有工件,卸料架上没有工件。当钻孔深度不够,或有钻头折断时,其相应的检查机构发出输送带停止向前的信号。输送带退回时,夹具必须处于定位夹紧状态,一般夹紧后用压力继电器发信号。

(2) 转位装置运动的必要条件为:在正转时第一、二工段的输送带处于原位,第三工段的输送带向前到终止。当反转时第三工段的输送带经一次往返,将工件拉走并停在终点,第一、二工段的输送带处于原位。

(3) 对于采用电动扳手、气动扳手、液压扳手夹紧工件的自动线,这些扳手处于退回状态,输送带才能向前。采用垂直下方返回随行夹具的自动线,其随行夹具在前后的升降装置与输送带的位置,须保持这样关系;前端升降机构上升之前,返回输送带送随行夹具进入升降台,压下行程开关,此时主输送带处于向前到终点的位置,如图 7-20(a)所示。下降时主输送带从升降台上拖走随行夹具,升降机构中无随行夹具,返回输送带退回原位,如图 7-20(b)所示。

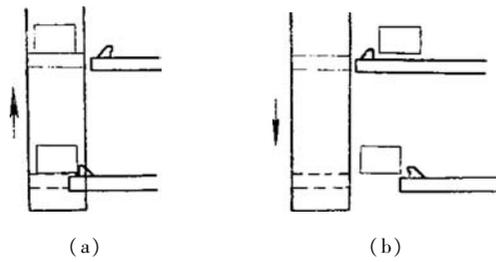


图 7-20 升降机构运动与输送带相互位置关系

(4) 对于后端升降机构,下降时要求主输送带将随行夹具推进升降台,压下互锁开关,并返回原位,返回输送带一般应处于终点。当升降台机构允许,亦可使用返回输送带停在原位的方案,上升时返回输送带必须从升降台上拉走随行夹具,主输送带处于原位的状态。

(5) 当夹压机构失压时,对于钻孔工序动力头应退回原位停止,而攻丝、镗孔工序等应就地停止,以免损坏刀具。

(6) 有让刀运动的铣头,当主轴夹紧失压时,主轴应停止旋转和工作进给。

第八章

组合机床技术应用设计实例

8.1 高效精密平面铣削技术的推广和应用

8.1.1 项目的来源

高效精密平面铣削技术的关键就是在大进给速度的前提下达到较高的平面铣削精度(相当于磨削水平),国外一些工业发达国家的高效精密铣削的进给速度已达到2 000~3 000 mm/min以上,在国内,人们往往采用降低进给速度,即减少每齿进给量的方法来实现较高的平面铣削精度。这种低进给速度(<300 mm/min)的平面精铣工艺已不满足更多用户的要求。

2002年2月,一汽无锡柴油机厂因生产发展的需要,与江苏恒力机床公司合作设计制造一台数控高效精密平面铣削组合机床,用于精铣6110柴油机缸盖底平面的加工,取代原有的一台平面磨床,以实现“以铣代磨”工艺。

8.1.2 项目的技术要求

缸盖底平面加工精度要求:平面度<0.05 mm(局部<0.025/100),粗糙度 $R_a < 1.6 \mu\text{m}$,生产节拍<3 min/件,刀具使用寿命 ≥ 500 件,缸盖的主体材料为蠕墨铸铁,在缸盖中还镶有几个材料为20钢喷水管。被加工零件工序图,如图8-1所示。

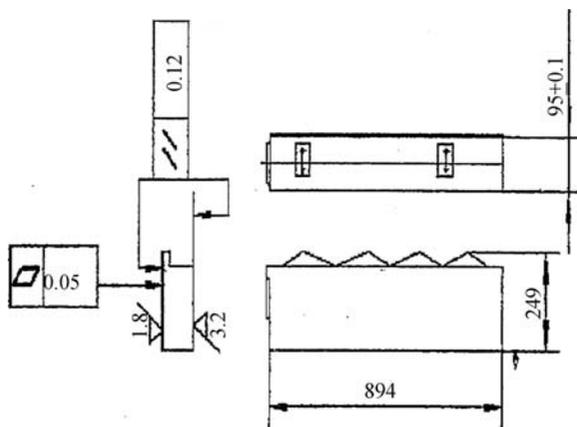


图 8-1 精铣缸盖底平面工序图



8.1.3 方案的制订

公司组织技术力量和锡柴的行家们共同商订机床初步方案,机床配置形式为立式单面铣削组合机床,它主要由数控铣削工作台,高精度专用铣削头、立柱、夹具(液压)、电气、刀具等主要部件组成,见图 8-2 所示。

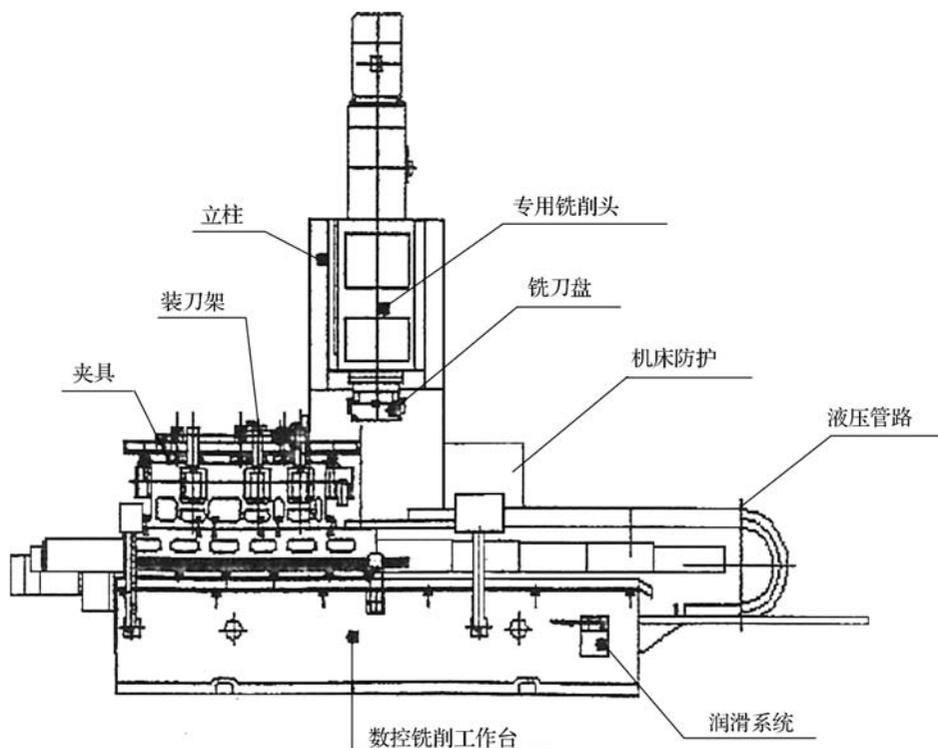


图 8-2 机床外形图

方案初定后,先进行切削试验,以验证方案的可行性,在锡柴厂就地选了一台规格相当的立式组合机床换上刀具,对 21 个 6110 缸盖底平面进行切削试验。

试验机床:YZJ030 型立式组合机床;

试验铣刀盘:L220.30-8615-12(左)刀盘直径 $\phi 315$;

刀片:SEEX1203AFTN-MD14H15(30);

机床主轴转速: $n = 160 \text{ r/min}$;

进给速度: $s_M = 630 \text{ mm/min}$ 。

切削后通过检测,21 个工件每件各项精度指标都达到了工序图上的工艺要求,效果较好。说明机床初步方案可行。

在切削试验的基础上,对机床初步方案做了进一步完善,同时,对各主要部件又提出了更具体明确的设计制造要求。

(1) 铣削工作台按精密级制造,取消原来的机械传动装置,设计专用过渡箱,配上 MKD112C-024-KGO 型伺服电机及数控系统,以实现进给速度调整的柔性化。



(2) 专用铣削头按高精度制造,因刀具的特殊性,主轴结构在 1TX 系列基础上,参照有关德国铣头主轴结构做了相应的更改。取消 60° 接触角双向推力球轴承,采用 P5 级 51000 系列推力轴承取代,同时在密封环端面与主轴法兰后端面之间加一半环调整垫,从而使轴承承受更大的轴向负荷,如图 8-3 所示。另外,取消铣头原有的机械传动装置,设计一带手柄变速的专用传动装置,电机采用变频电机,以实现主轴转速方便调整在最佳状态,采用齿形带传动,使传动更平稳并配有卸荷装置,起到过扭矩保护作用。

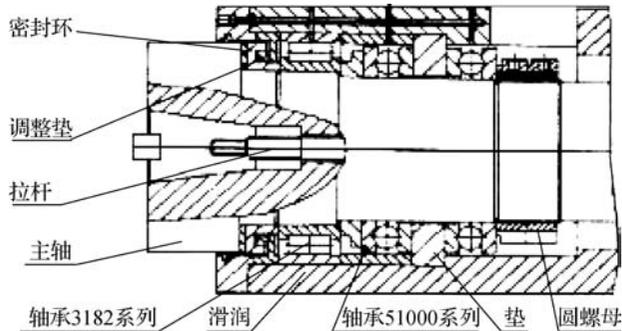


图 8-3 主轴结构图

(3) 立柱改进设计,以增加其足够刚性和强度。

(4) 刀具采用德国 SECO 产品,刀盘直径 315 mm。

(5) 机床夹具为液压控制,液压元件选用北京华德力士乐产品。夹具主要由定位夹紧机构、升降机构、油缸部件等主要部件组成,工件加工结束后卸料前,夹紧松开,升降机构抬起,工件卸料,人工将工件推入输送滚道,夹具返回原位,工件上料进入夹具,升降机构落下,然后工件定位夹紧进入切削。

(6) 为了使机床设计更人性化,机床配半防护,同时立柱上配有装刀架,以减轻工人换刀的劳动强度。

(7) 工件经输送滚道手动上、下料。

8.1.4 机床初验收

根据以上几点具体意见机床方案确定后进入设计、制造阶段。

机床制造完毕后,初验收时,静态精度完全合格,并有一定的储备量,动态验收时,选用的切削参数:主轴转速 $n = 180 \text{ r/min}$,进给速度 $s_M = 860 \text{ mm/min}$,切削深度 $0.1 \sim 0.15 \text{ mm}$,检测结果:平面度小于 0.05 mm (局部小于 0.025 mm)合格,刀具寿命终验收时考核,主要存在的问题是工件切削表面有时出现微弱振纹,从而导致表面粗糙度不稳定,不能完全达到 $R_a < 1.6 \mu\text{m}$ 的要求,针对这些情况,经分析研究,采取以下措施:

- (1) 进一步调整切削参数,继续进行切削。
- (2) 搞几个模拟试件(不带 20 钢水管),通过切削试验进行比较。
- (3) 对刀具进一步检查研究。
- (4) 对机床各主要部件进一步检查、调整。



8.1.5 机床整改意见

(1) 被加工零件中镶有 20 钢的喷水管,切削时有粘刀现象,建议锡柴厂对喷水管长度要有合适的控制量,尽量减少 20 钢的切削余量。

(2) 对主轴轴向调整机构做少量改动,使其进一步增加轴向负荷。

(3) SECO 刀盘精度经检查未达到精度要求,必须重新更换新刀盘。

(4) 国产刀盘上的刀片,都有 1~2 个刀片带修光刃,其余为切削刃,铣头主轴中心线对切削工件表面有一定的倾斜角度,而 SECO 刀具每个刀片均为切削刃,不带修光刃,既切削又修光,这就要求在刀片调整时,仅依靠人工经验,已不能适应,必须采用对刀仪,同时要求铣头主轴中心线对工件切削表面垂直调整在 0.005 mm 以内。

(5) 刀齿由原来的 40 齿改为 30 齿。

8.1.6 机床终验收

机床经整改后,顺利通过初验收,运到锡柴厂后,终验收进行得很顺利,检查结果平面度 <0.05 mm(局部 <0.025),正常稳定在 0.03 mm 左右,粗糙度 $R_a < 1.6$ μm ,正常稳定在 1.0~1.2 mm 之间。各项指标达到原技术协议要求,刀具使用寿命 ≥ 500 件。

8.1.7 小结

这台机床在锡柴厂使用多年来,反映良好,原来的磨床已经调走。工效提高 3 倍以上,真正实现了“以铣代磨”的新工艺,这是高效精密铣削技术推广应用的结果。

当然这台机床仍有美中不足之处,有待于在今后设计制造中逐步加以改进,使机床更趋于人性化、自动化。主要表现在:

(1) 今后机床设计时要更加注重外形美观大方、线条的流畅。

(2) 建议采用其他更先进的排屑装置,使机床排屑更顺畅。

(3) 今后装刀架设计考虑增加气(液)动控制机构,使其使用更方便更灵活。

(4) 这台机床在初定方案选部件规格时,曾有过不同意见,通过认真分析研究,认为这台机床虽然是精加工机床,但它是应用在大批量生产线上,机床负荷率高,加之被加工零件材料和刀具的特殊性,大家的意见得到了统一,突破了这样一个误区,不要以为所有的精加工机床都设计成瘦而小,具体情况具体对待,最后决定铣头规格由 40 改为 50,铣削工作台规格由 63 改为 80,结果实践证明,所选部件规格合理,保证了机床精度的持久性和稳定性。

(5) 本机床配置较高,因为它用于一汽无锡柴油机厂这类高档用户,对于面广、量大的一般用户,配置还可低一些,机床的使用效果还是一样的。

8.2 汽车前轴孔系加工工艺的优化

汽车前轴系长杆类对称零件如图 8-4 所示,在前轴切削加工过程中,要解决的关键问题集中在两主销孔与锁销孔的加工上。第一是要解决两主销孔上下端面对主销孔轴线的垂

直度 0.05 mm;第二是要解决主销孔与锁销孔两十字孔相贯的位置尺寸公差 ± 0.1 mm。

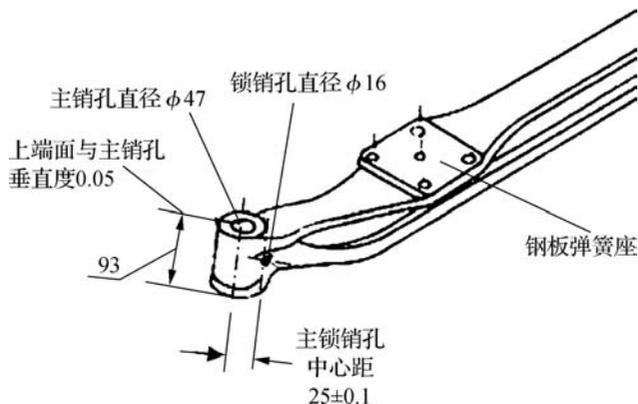


图 8-4 前轴简图

8.2.1 目前前轴切削加工工艺现状

目前,国内汽车前轴切削加工工艺流程主要有三种。

1. 第一种工艺

铣两钢板弹簧座平面→钻两钢板弹簧座平面 10 个孔→粗铣两主销孔上下端面→精铣主销孔上下端面→钻扩铰主销孔→拉削主销孔→镗主销孔上下端面→钻铰锁销孔。

它存在的缺点是:

(1) 采用主销孔定位镗上下端面,端面与主销孔的垂直度不易保证,主销孔长度尺寸不易保证。

(2) 以主销孔定位钻锁销孔时,钻头经过十字相贯孔时,易出现单边切削现象,发生偏移,造成主销孔与锁销孔中心距尺寸公差 ± 0.1 mm 不易保证。

2. 第二种工艺

铣两钢板弹簧座平面→钻两钢板弹簧座平面 10 个孔→钻铰锁销孔→粗铣主销孔上下端面→精铣主销孔上下端面→钻扩铰主销孔。

它存在的缺点是:

(1) 采用先钻锁销孔后钻主销孔,而主销孔孔径及位置尺寸为关键尺寸,主销孔孔径精度不易保证。

(2) 采用先精铣主销孔上下端面后加工主销孔的方法,端面相对主销孔的垂直度难以保证。

3. 第三种工艺

铣两钢板弹簧座平面→钻两钢板弹簧座平面 10 个孔→钻铰锁销孔→粗铣主销孔上下端面→钻扩铰主销孔→精铣主销孔上下端面。

它存在的缺点是:

(1) 主销孔与锁销孔十字相贯孔尺寸公差 ± 0.1 mm 不易保证。



- (2) 采用铰销孔,其尺寸公差难以保证。
- (3) 最后精铣主销孔上下端面,主销孔与上下端面垂直度难以保证。
- (4) 主销孔长度尺寸难以保证。

8.2.2 当前行业中解决的方法

1. 进行工艺试验

通过分析,针对前轴具体情况,采用先钻主销孔后钻锁销孔的工艺手段较为合理。因为主销孔及其相关尺寸为前轴切削加工中的关键尺寸,必须首先保证,然后再以主销孔为基准加工其他尺寸。这样,在几个关键尺寸中,主销孔孔径、主销孔表面粗糙度问题、主销孔端面的垂直度问题可以通过镗车的方法得到解决(国内已有方案),剩下的只有主销孔到锁销孔距离(25 ± 0.1)mm的问题需要解决。详见图8-5所示。

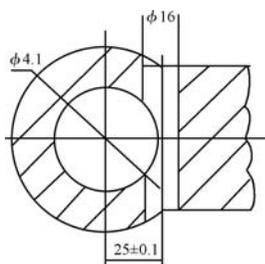


图 8-5 产品加工部位图

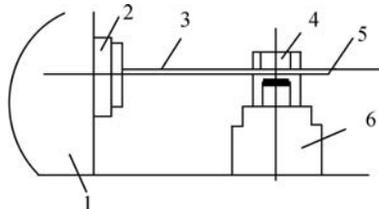


图 8-6 方案 2 简图

1—车床;2—卡盘;3—刀具;4—工件;5—车床尾座;6—夹具底座

曾有一些厂家做过多种方案来解决这一问题:

方案 1:在普通摇臂钻床上配有钻模(单导向)以主销孔定位,加工锁销孔,产品合格率仅为 30%左右;

方案 2:在通用车床上配上夹具体以主销孔定位,采用钻、扩、铰的方法加工锁销孔。刀具均与车床主轴刚性连接,见图 8-6 所示。结果加工出来的产品合格率仍为 30%左右。

在总结以上两种方案的基础上,对第 1 方案进行了改进,采用第 3 方案。

设备:通用摇臂钻床。

刀具:专用的钻头、扩孔刀及铰刀。

夹具:在方案 1 的基础上增加下导向,使得刀具在加工时处于上下约束状态,对钻后的孔进行强行纠正。方案 3 如图 8-7 所示。

试验结果:产品合格率,达到 95%。对刀具及夹具改进后取得了较好的效果。但还存在一定的问题,工人的劳动强度较大(手工上下工件);生产效率不高,加工一个孔费时 20 min,多于其他工艺方案加工时间 6 min。

经过试验后对照图 8-5 进行了认真分析,原因是在加工锁销孔时属于相贯孔加工,刀

具处于断续加工状态,钻头在钻到主锁销孔相贯处时,只有单边受力,钻头出现偏移现象,方案1为单导向,方案2车床刚性差,刀具和主轴为刚性连接,从而使加工出来的孔发生偏移。而方案3在方案1的基础上增加了前导向,使刀具提高了自导向能力。

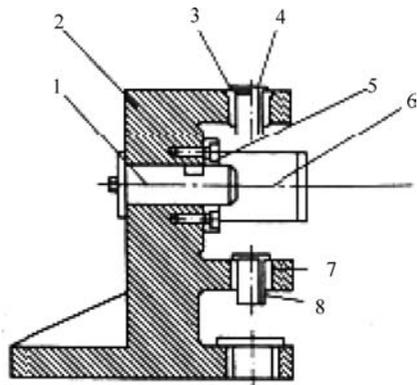


图 8-7 方案 3 简图

1—定位销;2—定位座;3—钻套;4—扩铰套;5—紧固螺钉;6—工件;7—下导向;8—下导向衬套

2. 专用机床方案的提出

在行业中,安阳二机床厂、豫西机床厂等单位有许多成功经验可借鉴学习,他们大多都采用专用机床,配上必要的专用(通用)刀具,并采用气动(液压)夹具,以主销孔及下端面为定位基准,两钢板弹簧座平面为辅助支承装夹好工件,钻锁销孔时,采用三工位动力头分别装夹钻头、铣刀及铰刀,完成钻-铣-铰三个加工过程。钻孔采用通用标准 $\phi 14$ 钻头,铣孔采用专用特殊几何尺寸的铣刀以保证铣削精度。在该机床上加工的工件,合格率基本上达到了 100%,并能满足生产节拍要求,同时工人劳动强度大为降低。

3. 其他工艺方案

(1) 在加工好的主销孔中插入一铸铁芯棒,将相贯的部分补上,然后再对锁销孔进行钻、扩、铰工序。这种工艺方案虽然能保证加工精度,对于小批量生产企业可行,但对于大批量生产企业既浪费又麻烦。

(2) 以主销孔定位,在定位销上镶一片硬质合金条,目的是给钻头一个可靠导向,不至于产生偏移,以保证主、锁两销孔间的位置精度。

8.2.3 工艺推广应用

1. 改进后的前轴切削加工工艺流程

铣两钢板弹簧座平面→钻两钢板弹簧座平面上的 10 个孔→粗铣主销孔上下端面(专用滚切铣床)→U 钻钻主销孔(专用钻床)→粗精镗主销孔车端面(镗车专用机床)→钻、铣、铰锁销孔(三工位专用机床)→镗钢板弹簧座背孔。

2. 改进后的工艺特性

(1) 产品质量完全可以达到图样规定的要求。

(2) 生产效率得到提高,钻头和铣刀的转速改为 500 r/min,铣刀铣相贯孔时进给速度



为 30 mm/min。一条生产线年产量可到达 5 万件。

- (3) 生产环境干净,无污染。
- (4) 大大减轻工人的劳动强度。

8.2.4 小结

以上汽车前轴切削加工工艺是一种新型的加工工艺,较好地解决了前轴切削加工中存在的上、下端面对主销孔轴线的垂直度以及主、锁销孔中心距问题,从而保证了前轴的加工质量,是一种切实可行的新工艺。

8.3 发动机机体汽缸孔精镗组合机床关键技术研发与应用

8.3.1 项目介绍

精镗缸孔是汽车发动机生产的关键工序之一。一汽专用机床厂为柳州机械厂设计制造的精镗缸孔组合机床采用了一些先进技术,达到较高精度。

1. 被加工零件要求

被加工缸体为 376Q 三缸汽油机体,图 8-8 为机体加工工序图,材料为合金铸铁。加工精度要求:缸径 $\phi 76_{-0.04}^{+0.01}$ mm,缸孔圆柱度 0.012 mm,缸孔对底面垂直度 $\phi 0.02$ mm,缸孔对定位销孔位置度 $\phi 0.1$ mm,粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 。

2. 机床特点

(1) 机床为立式三工位三轴镗床,如图 8-9 所示,步伐式输送工件,每工位分别镗一个缸孔。镗杆上装一个半精镗刀夹,一个精镗刀夹,向下工进时半精镗,向上工进时精镗。加工示意图如图 8-10 所示。切削参数见表 8-1。

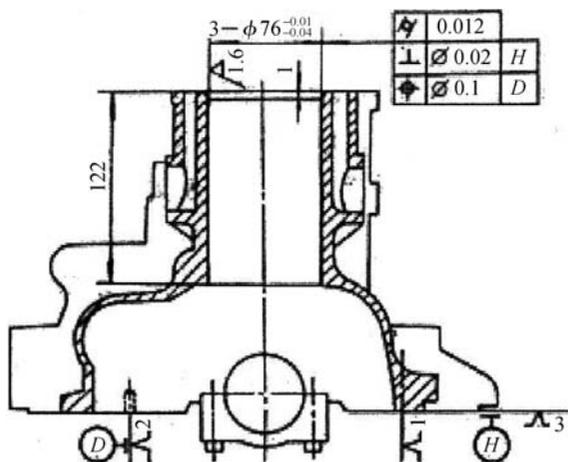


图 8-8 机体加工工序图

表 8-1 切削参数

	n (r/min)	v (m/min)	s_0 (mm/r)	s_M (mm/min)	余量(mm)	$T_{机}$ (min)
半精镗	1 440	342	0.25	360	0.3	0.38
精镗	1 440	344	0.2	288	0.2	0.48

(2) 采用进口机夹陶瓷刀片,可以达到较高的切削速度(300~500)m/min。节拍 1.75 min/件,可满足 8~10 万辆/年的生产纲领要求。

(3) 三个高精度镗头,主轴内定心直径的径向跳动实测达 0.002 mm。三个精密镗杆安装于主轴上后,前部径向跳动为 0.002~0.006 mm。

(4) 精镗刀带有半自动补偿装置。补偿原理如图 8-11 所示。刀具磨损后,给步进电机一定脉冲,带动前端微螺纹后退一定距离,活塞通过拉杆带动镗杆内部的斜块向后退相应距离,将精镗刀顶出,补偿刀具的磨损量。半精镗时,拉杆向前,精镗刀缩回。

步进电机 1 个脉冲刀具伸出量= $t/200 \cdot \tan\alpha=0.0005$ mm,直径补偿量=0.001 mm

该补偿装置为线外测量,根据所要求的补偿值,按压机床上的按钮进行补偿,简单可靠,价格便宜,不失为我国目前很实用的一种方法。

(5) 机床采用整体床身,整体立柱滑台,整体龙门式夹具,具有足够的刚性。镶钢导轨,在大型精密磨床上一次磨出,导轨平面度达 0.004 mm,相关表面平行度 0.004 mm,工作面夹具定位面垂直度为 0.01/1 000,为镗孔圆柱度和垂直度准备条件。

(6) 夹具定位面上有气压传感器保证定位可靠。

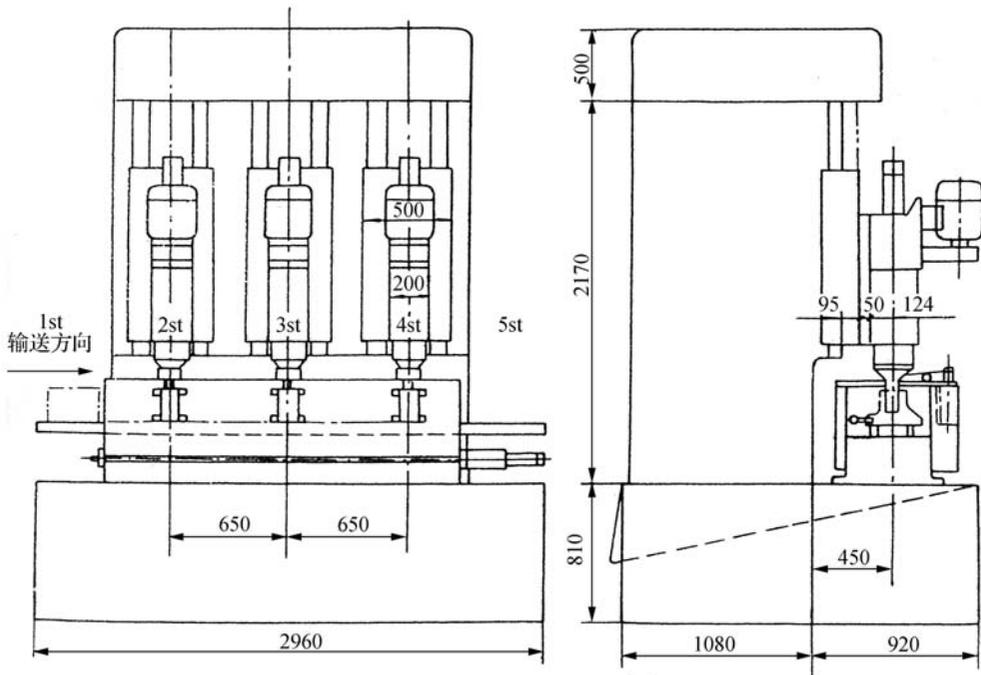


图 8-9 立式三工位三轴镗床

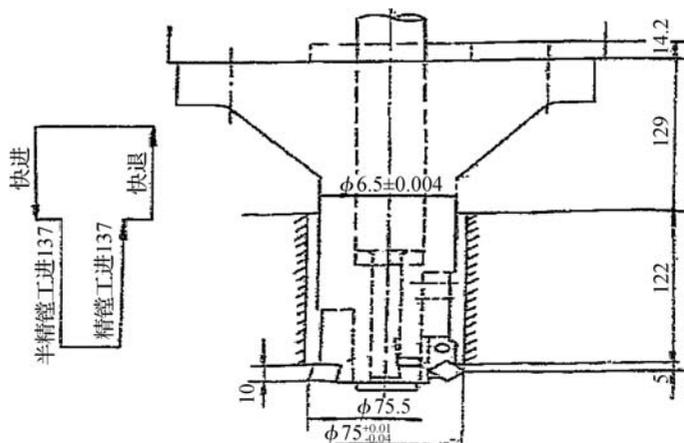


图 8-10 加工示意图

(7) 由于机床采用大流量水冲排屑,必须全防护。

8.3.2 小结

由于采用了高精度镗头、高刚度镗杆、陶瓷刀具、刀具补偿、整体精密立柱、镶钢导轨、定位面气隙检测、大流量水冲排屑等一系列技术措施,机床精度、效率及可靠性等均得到提高。缸孔加工精度达到:圆柱度 0.01 mm ,对底面垂直度 $\phi 0.01 \text{ mm}$,对销孔位置度 $\phi 0.08 \text{ mm}$,粗糙度 $R_a 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。各项精度全部都达到产品要求,并有一定的精度储备,赶上了进口的同类设备水平,而价格比进口设备低得多。为轿车生产提供了高精、高效的国产设备。

如果该机床配上刀具自动测量装置,机床的附加值就更高了。

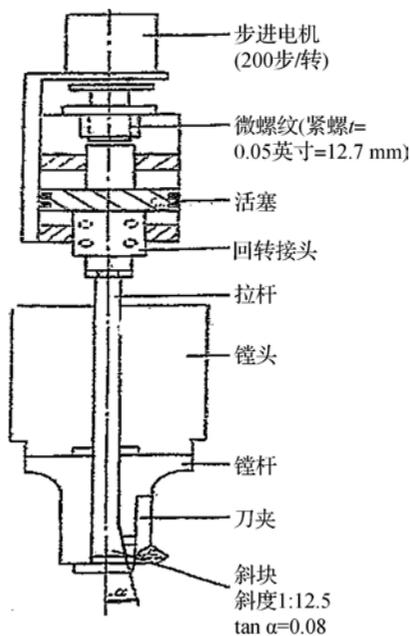


图 8-11 刀具补偿装置原理图

8.4 专用阀盖槽系加工工艺技术方方案论证

8.4.1 项目的提出

1. 被加工零件要求

- (1) 名称: 阀座。
- (2) 材料: 一般为 45 或 2Cr13 棒材; 3Cr13 或 50CrVA 板材。
- (3) 规格: 直径从 $\phi 50 \sim 300$ mm, 厚度从 10~35 mm, 图 8-12 为其中的一种规格。

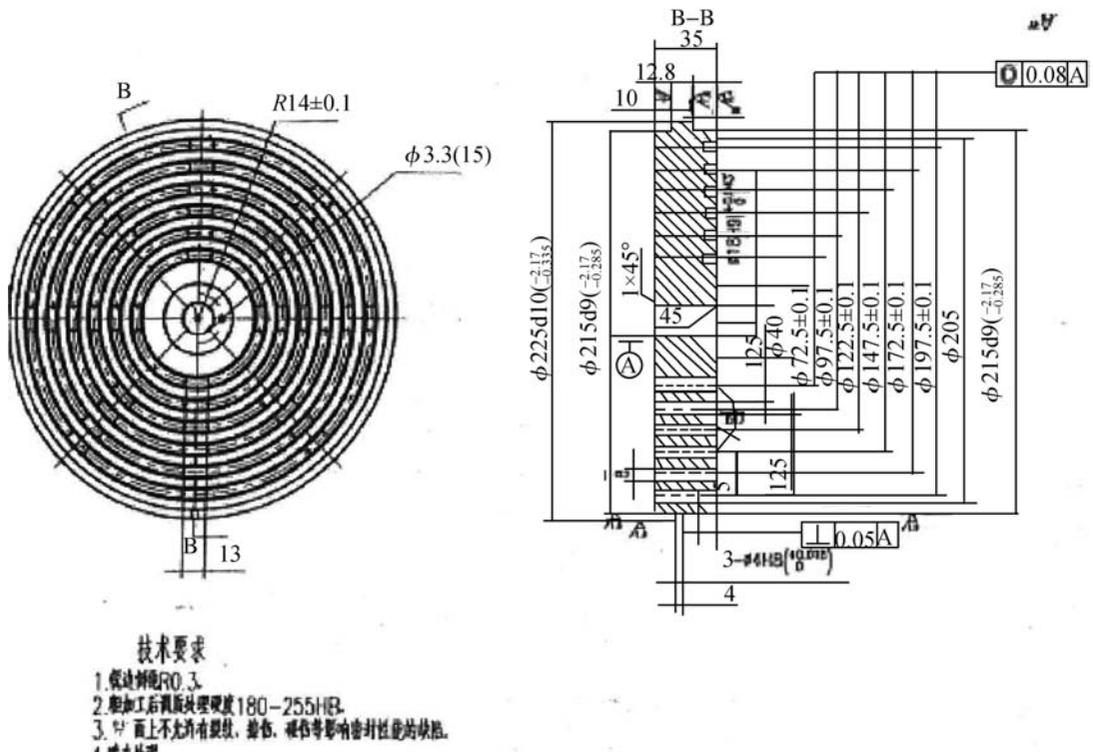


图 8-12 阀座

(4) 加工要求: 加工阀座上 6 个直径不一的环形槽及对面的 10° 锥度通气槽, 槽宽为 (5±0.2) mm, 具体要求详见图 8-12。

2. 目前的加工现状

(1) 目前采用多台南通机床厂制造的 XG6325 立式铣床, 工人手工操作, 加工一只如图 8-12 阀座, 如果材料为 45 钢, 需要 1.5 h, 如果材料为 2Cr13 加工时间将增加 20%。

(2) 近年又购置了一台立式加工中心, 工人劳动强度低了, 但是提高生产效率的效果不明显。

(3) 由于通用机床和加工中心都没有能从根本上解决提高生产率问题, 因而用户厂计划采用组合机床来取代通用机床和加工中心。



8.4.2 组合机床方案的制订

(1) 通过深入调查研究,并结合工厂的实际情况,制订了如图 8-13 所示的机床方案,它是一台倾斜式单头数控铣槽机床。

(2) 经分析,该机床能实现环槽的加工要求,就以图 8-12 这种阀座为例,它有 6 道环形槽,槽宽仅为 5 mm,根据相关切削参数,需要 6 次分层加工,最后还要换锥度立铣刀铣通气槽,共铣 7 次。现将有关计算如下(按 45 钢材质计算):

环形槽长 $L = (72.5 + 97.5 + 122.5 + 147.5 + 172.5 + 197.5) \times 3.14 = 2\ 543\ \text{mm}$

环形槽实际铣削长度 $L_1 = 2\ 543 - 13 \times 40 = 2\ 023\ \text{mm}$

选硬质合金 $\phi 5$ (4 齿)立铣刀,取切削线速度 $v = 25\ \text{m/min}$

铣刀转速 $n = 1\ 000 \times 25 / 3.14 \times 5 = 1\ 600\ \text{r/min}$

取 $s_{\text{齿}} = 0.06s_0 = 0.06 \times 4s_M = 0.24$ $s_M = 0.24 \times 1\ 600 = 384\ \text{mm/min}$

环形槽合计铣削长度 $L_n = 2\ 023 \times 6 = 12\ 138\ \text{mm}$ (分 6 次切削)

铣环槽切削时间 $t_1 = 12\ 138 / 384 = 32\ \text{min}$

铣通气槽切削时间 $t_2 = 2\ 023 / 384 = 5\ \text{min}$

共需切削时间 $t = t_1 + t_2 = 32 + 5 = 37\ \text{min/件}$

设辅助时间(含装卸料、换刀)3 min, $t_{\text{节}} = 37 + 3 = 40\ \text{min/件}$

加工一只图 8-12 阀座环形槽和通气槽需要 40 min,这里是按 45 钢材质计算的,如果是 2Cr13 材质切削时间还要增加 20%。

(3) 综上所述,采用本方案,生产节拍为 40 min/件,尽管该方案机床工效提高 2.25 倍,能减轻工人劳动强度,且价格不算高,20 多万元,但它还没有从根本上解决提高生产效率的问题。

8.4.3 小结

(1) 由于被加工零件属于多品种、中等批量的产品,选用组合机床宜慎重。

(2) 因被加工零件加工工艺内容为铣深长槽,鉴于加工的特殊性,采用通用机床虽然方便,但它属于单刀切削,加工时间长,必然采用多台机床,但占地面积大,操作工人多,劳动力成本又高,且工人手工操作劳动强度大。

(3) 采用加工中心虽然换刀方便,但还属于单刀切削,没有起到提高生产率的效果,如果采用几台加工中心投资也过大。

(4) 采用单台组合机床,尽管生产率和通用机床相比提高 2.25 倍,但是仍属于单刀切削。

(5) 如图 8-13 所示的组合机床为倾斜式配置,也可考虑采用卧式配置,夹具安放在底座的左侧,右侧安放一只十字滑台(数控),铣头卧式配置在十字滑台上,机床结构更紧凑,性能会更好,加工效率也会有所提高。

(6) 鉴于该产品的特点,用户必须结合自身的实际情况决定是否采用组合机床。作为组合机床制造商可建议用户在投资能力许可的情况下,推荐用户采用多台组合机床平行加工的方案,或采用八工位回转工作台式组合机床等方案。

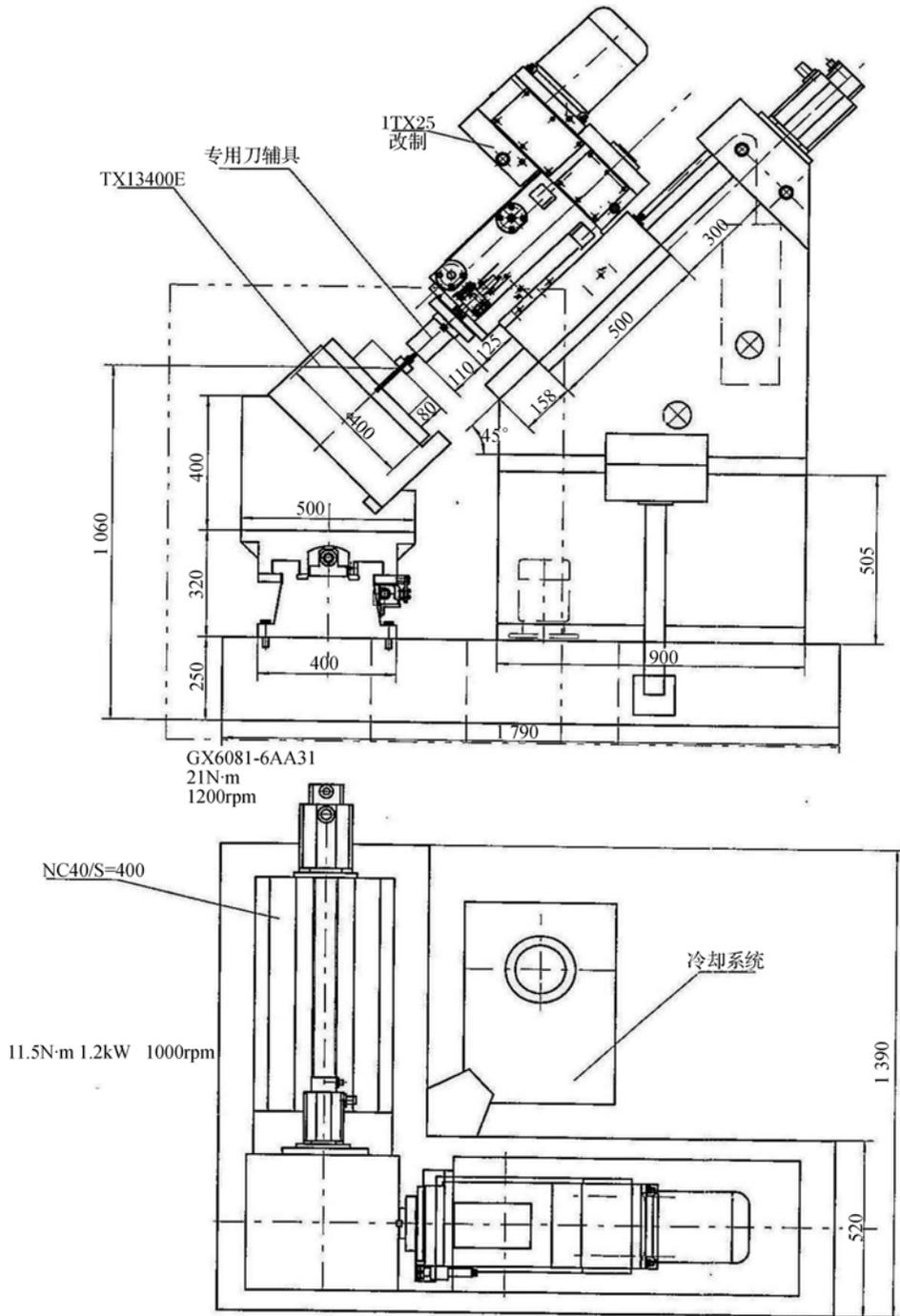


图 8-13 机床方案图



8.5 铁路机车制动缸体组合机床自动线的开发

8.5.1 项目介绍

该自动线用于完成两个品种的机车制动缸体的全部机械加工工序,被加工零件如图 8-14 所示,材料为 HT200,质量 53 kg。

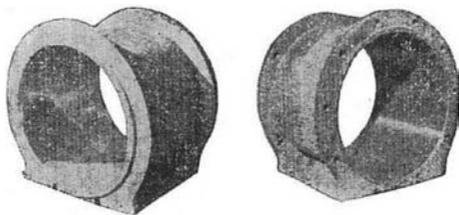


图 8-14 被加工零件——制造缸体

8.5.2 自动线方案介绍

1. 自动线的主要技术数据

机床台数	4 台
动力滑台数	7 个
主轴数	30 根
总工位数 8 个(其中加工工位 4 个,装卸工位 1 个,中间空工位 3 个)	
外形尺寸(长×宽×高)	10 600 mm×6 400 mm×3 500 mm
电动机数	24 台
总功率	47.5 kW
总质量约	28 t
生产率	负荷率为 57%时,3.84 件/h

2. 自动线的配置形式

自动线由四台组合机床及相应的电气、液压、排屑和其他辅助设备组成,图 8-15 为该自动线的平面布置图。

机床动力部件,除第四台机床(C_4)右面(沿工件运行方向看)采用液压滑台实现简单的快速运动外,其他均采用机械滑台,以适应在炎热的气候条件下使用,保证稳定的进给运动。

由于工件没有稳定而可靠的定位输送基面,因此自动线采用了随行夹具运送工作。

四台机床按直线排列,七个随行夹具由步伐式输送带运送,由链条传动返回输送带实现其水平返回,自动线的总布局为封闭框形。

自动线首端装卸工位上设有机械扳手,末端设有桥梯,便于工人进入线内工作。螺旋排屑器在纵向上贯穿了机床 C_1 、 C_2 、 C_3 的中间底座下部,实现这些机床的集中排屑。机床 C_4 由于加工时切屑很少且使用了冷却液,因此单独排除。

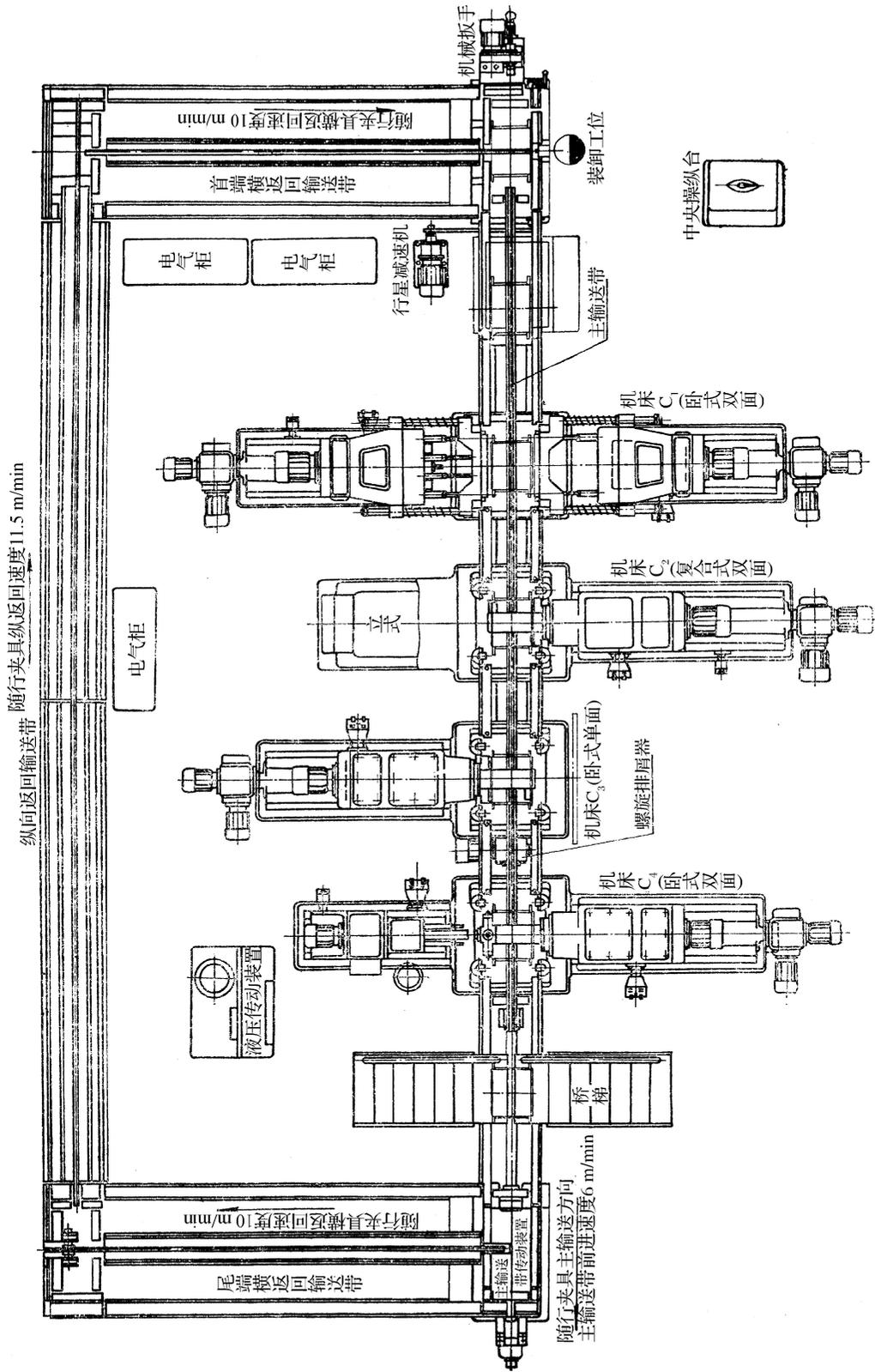


图 8-15 制动缸体自动线平面布置图



自动线电气控制系统为分散控制方式,导线敷设在地下。中央操纵台设有指示自动线工作状态的信号灯和故障巡检器。单独调整按钮设在相应的机床旁边。在适当部位设四个“紧急停止”按钮。

各机床固定夹具及动力部件均设有气动润滑泵,可实现全线统一润滑或单独手动润滑。

3. 自动线的工序安排

制动缸体加工的特点:零件刚性差,夹压变形大,需要完成高粗糙度的大直径内孔加工。本自动线采用滚压工艺作为缸孔表面的光整加工。

自动线的工序安排,如图 8-16 所示。

机床 C_1 钻前、后法兰螺栓通孔(双面卧式)。

机床 C_2 钻顶面螺栓通孔(立式),粗镗缸孔、刮端面、倒角(卧式)。

机床 C_3 精镗缸孔、刮端面、倒角(单面卧式)。

机床 C_4 滚压缸孔(直径 $\phi 356^{+1}$,粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$)、刨槽、攻丝(卧式)。

机床 C_1 和 C_2 的钻孔工序,采用钻头分批错开加工的方式,以减少总的进给抗力。为了统一钻头线外对刀时的对刀尺寸,各钻孔主轴采用了不同尺寸的外伸长度。 C_1 还采用了可调主轴箱,产品变更时,只需要更换相应的主轴模板和活动钻模板即可。

在 C_2 和 C_3 的镗孔与刮端面工序中,采用了高刚度的刚性主轴镗头。机械滑台具有二次工作进给的循环功能,镗孔终了再刮端面。粗镗使用双刀加工,以分担切削余量,精镗时主轴具有两种速度,高速用于镗孔,低速用于刮端面。

精镗主轴箱设有主轴定位挡铁,它与主输送带的微动让刀联合动作,可避免在加工表面上留下退刀痕。但应注意倒角刀与镗刀需要装在同一方向,以免让刀时发生干涉。

C_4 采用了滚珠弹性滚压,作为缸孔的光整加工,以提高表面粗糙度和强化表面,改善其使用性能。

C_4 刨槽工序是采用液压滑台快速前进时由孔口向里推刨的,这与由孔内向外拉的方法比较具有简化工具结构,工作可靠和防止槽口崩裂的优点。其缺点是需要增加清除毛刺工序。攻丝工序采用钢珠键拉力弹簧攻丝靠模装置。

4. 自动线的工作循环

自动线具有自动、半自动和调整工作循环。

自动循环用于全线正常工作,即全线已装满随行夹具,除装卸工件外,自动线各部件的动作严格地按“自动线工作循环周期表的顺序自动工作”,如图 8-17 所示。

自动线的半自动循环与自动循环一样,仅下一循环不能自动转换。

利用调整按钮可对各滑台、固定夹具、主输送带、返回输送带和排屑装置进行单独调整。

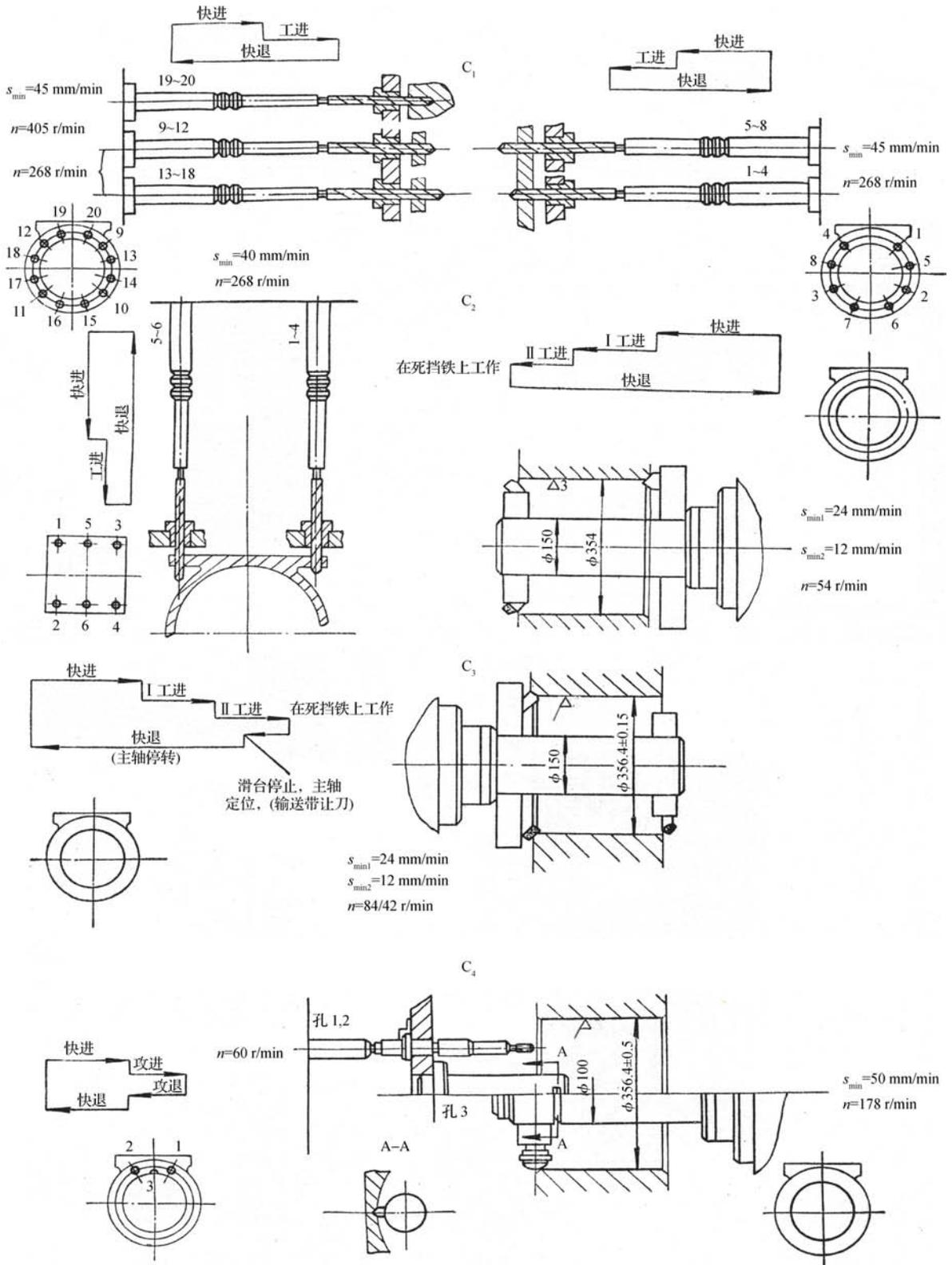


图 8-16 制动缸自动线加工示意图

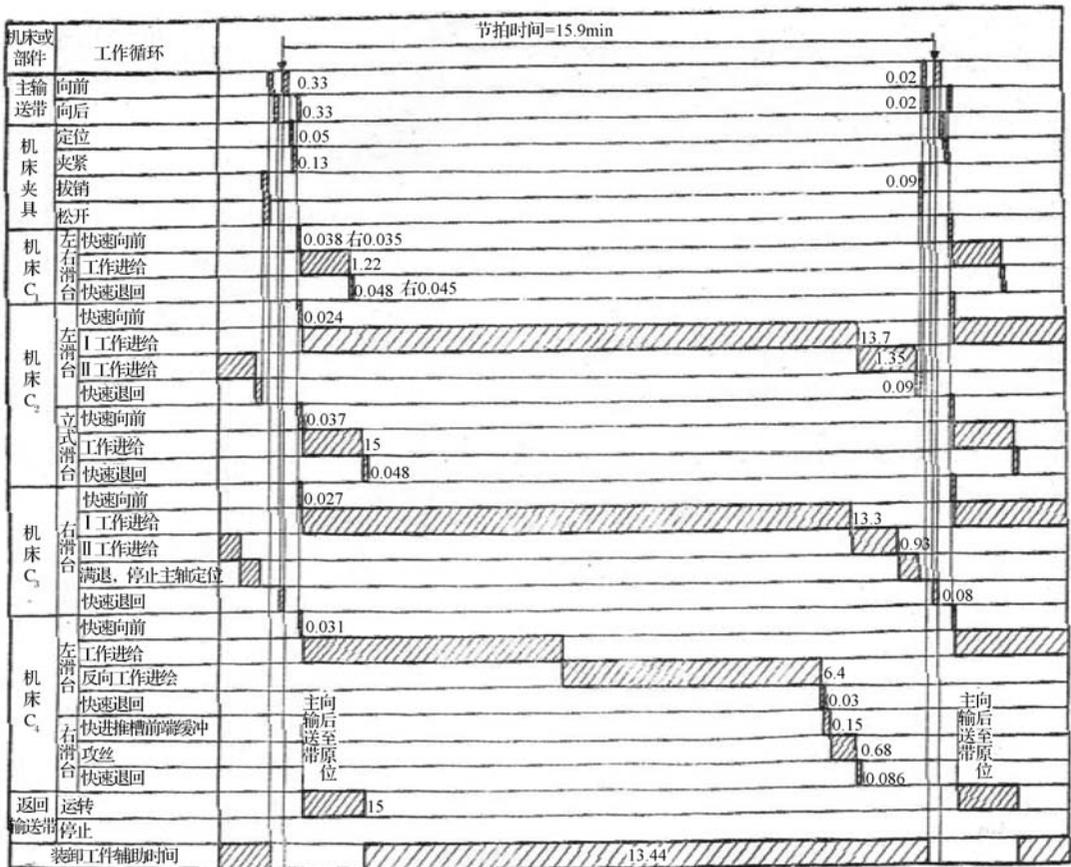


图 8-17 制动缸体自动线工作循环周期表

8.5.3 小结

(1) 该自动线为封闭式随行夹具运输的配置形式,由于生产纲领不高,工序不多,机床台数仅为 4 台,装卸工位合一,工人操作和进出较为方便,被加工零件为鼓形形状,采用随行夹具运输零件的方式,这条自动线投资少、效率高,符合于自动线配置和布局的基本要求。

(2) 因用户地处南方,由于气候条件的影响,故滑台多为机械滑台,少用液压滑台,为了适应两个品种零件的加工,采用了可调主轴箱,通用部件的选用局限于该用户投资能力的限制,也是恰当的。如果投资能力许可,滑台可选用数控滑台。

(3) 镗孔直径为 $\phi 356 \pm 0.15$ mm,采用刚性主轴镗孔是合适的,最终孔的尺寸精度为 $\phi 356^{+1}$,粗糙度 $R_a 0.8 \mu\text{m}$,采用滚压技术,它属于非切削加工,是一种塑性变形的加工方法。实现了对缸孔的光整加工,提高了缸孔的表面粗糙度和强度。

8.6 EA111 汽缸体基准铣钻铰数控专机的研制

8.6.1 项目背景

EA111 发动机是一汽大众新型 TSI 发动机,用在宝来、速腾、高尔夫等主流车型,其在动力性、技术先进性、节能减排等方面的性能居世界领先优势无可取代,其发动机汽缸体采用德国 GROB 公司生产的自动线进行加工,然而,在 GROB 自动生产线前完成统一精基准的加工,缸体定位统一精基准加工工序与 GROB 生产线的流程关系如图 8-18。该工序直接影响到汽缸体自动生产线上各工序的定位精度和加工质量,是汽缸体生产过程中的关键核心工序,该工序数控专机技术长期依赖国外。

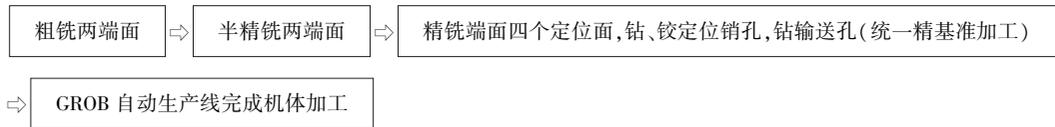


图 8-18 汽缸体机加工流程

汽缸体实物照片如图 8-19 所示,研发 EA111 发动机。汽缸体统一精基准加工数控专机,用于完成 EA111 汽缸体变速箱端面四个定位基准面的铣削和两个定位销孔的钻、铰以及钻两个输送孔,生产节拍 ≤ 45 s。

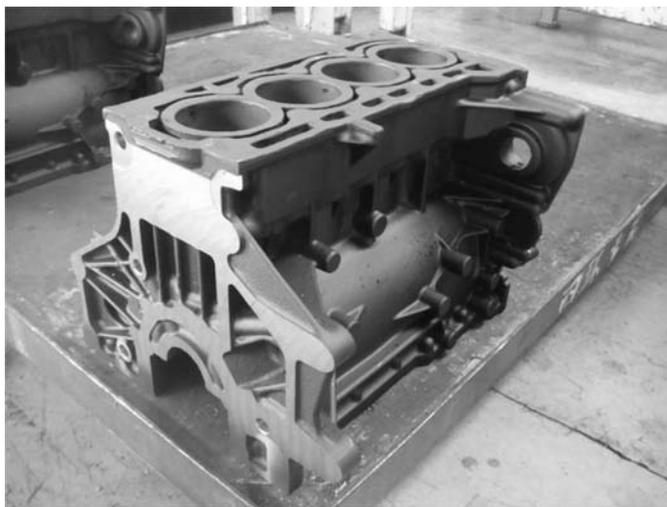


图 8-19 EA111 汽缸体

8.6.2 EA111 汽缸体加工工艺分析

发动机汽缸体材料多为灰铸铁,其将发动机的曲柄连杆机构和配气机构以及供油、润滑、冷却等机构联接成一个整体。在发动机工作时,缸体、活塞及缸盖共同组成了燃烧室。



轿车发动机汽缸体的壁厚往往被设计得尽可能薄,有利于减轻整车重量,但对于加工来说,必须考虑加工过程中的夹紧变形问题,加大了加工难度;定位基准加工、缸套孔加工、主轴承孔加工、缸体结合面加工是汽缸体加工的关键工序,其精加工工序设备也是生产线中的关键点和难点;发动机汽缸体年产量在10~50万台,属大批量生产,多采用半刚性、半柔性的全自动加工线来完成;生产线上关键工序一般采用数控专机来进行加工。

1. 汽缸体加工工艺分析

EA111 汽缸体为薄壁机体,汽缸体的结构复杂、加工精度要求高,加工工艺路线长,其加工内容主要包括:(1) 各种平面加工,主要有顶面、底面、端面、侧面凸台连接面、瓦盖剖分面等;(2) 各种孔系表面,主要有汽缸孔、主轴承孔、定位销孔、油气通道孔等;(3) 各种连接螺孔。汽缸体的加工主要在缸体生产线上进行,多数工序为组合机床或专机。缸体生产除了要完成上述加工表面的粗加工、半精加工、精加工外,还要完成有关的装配、检验、清洗等工序。

汽缸体外表面结构复杂,大的端面、顶面、底面的切削加工多用组合铣床来完成,个别如一些高低错落的凸台面或定位面多为采用数控铣削专机来完成。

汽缸体重要孔系的加工。比如主轴承孔粗加工会采用双面扩孔组合机床,半精加工和精加工会采用单面单轴专用镗床进行加工,缸孔的粗加工和半精加工会采用立式单轴或多轴专用镗床进行加工,精加工多采用立式单轴或多轴的数控镗专机进行加工,经常还会与精铣顶面、止口融合在一台机床内进行加工,如精镗缸孔止口铣端面机床。

汽缸体的连接螺孔或其他孔系一般采用多面多轴组合机床进行加工。深水孔会采用枪钻、深孔钻等专机进行加工。

下面从加工工艺顺序来分析加工工艺特点。机械加工中,安排加工顺序的原则是先粗后精,先面后孔,先基准后其他。下面从加工工艺顺序来分析加工工艺特点。

1) 粗加工阶段工艺特点

汽缸体粗加工工序安排在整个加工过程的前面部分,主要对机体毛坯各面进行粗切加工,加工掉大部分余量,以便给后续半精和精加工留较少的余量,提高后续工序的加工效率。同时去除掉毛坯表皮硬层,可以保证后续工序容易加工。粗加工还可以释放大部分铸造应力,保证后续加工时少(不会)产生应力变形,影响加工后的精度。

汽缸体表面粗加工多以硬质合金刀盘大切削量大走刀进行铣削加工,缸孔多以硬质合金镗刀进行高效镗削,主轴承孔多以整体扩孔刀进行扩孔加工。

2) 半精加工阶段工艺特点

汽缸体半精加工多是为保证一些重要表面加工精度,在粗加工后,将粗加工过的表面进行修整加工,提升精加工时余量均匀。半精加工也可将精度要求中等的表面直接加工完成。

3) 精加工阶段工艺特点

汽缸体精加工就是将精度要求高的重要面和孔加工到产品要求的精度。

精加工多采用高精度、高刚性的专机进行加工,目前由于数控伺服技术的成熟应用和数控加工的稳定可靠,所采用的专机一般为数控专机。

精加工对于机床刀具要求有:可精密调整、耐用度高、加工速度高、可快速调整等。



4) 螺孔等加工内容特点

螺孔和一些次重要的小孔,可安排在精加工主要平面和孔的后序进行,一方面加工时对工件变形影响不大,另一方面如果主要平面出现废品后,这些小孔和螺孔就不必加工了,可避免浪费工时。如果这些小孔和螺孔加工可能会碰伤主要平面及孔的表面,就应该将其放在主要平面及孔的精加工之前。

5) 定位基准加工工艺特点

汽缸体定位基准一般为两面两销的定位形式,大部分以底面及其上两个定位销为基准贯穿整个生产线,也有以端面及其上两个定位销为基准的,个别工序还会以顶面及其上两个定位销为基准。一般大型机体会用底面及其上两个定位销为基准,而小型机体会以端面和底面分前后阶段作为定位基准。EA111 汽缸体生产线前段加工以端面及其上两个定位销为基准,生产线后段以底面及其上两个定位销为基准。

定位基准是其他工序工件定位进行加工的基础,其精度高低会直接影响到其他工序的加工精度。EA111 是轿车发动机,精度要求高,定位基准精度必须更高才能满足其他精加工工序要求。所以,定位基准的加工就成为汽缸体加工的关键工序。

“一面两销”定位基准加工的工艺形式:一种是加工定位面为一台专机设备,加工定位销孔为另一台或多台专机设备;另一种为加工定位面和加工定位销孔为一台多工位专机设备。加工定位面多用硬质合金刀盘进行铣削加工。加工定位销孔有采用钻、扩、铰工艺的,也有采用钻、镗、铰工艺的,还有采用钻、铰工艺的。

2. 关键技术问题分析

汽缸体加工时,必须保证机体加工后各方面壁厚要均匀,以保证机体各处的刚性符合设计要求,机体最初的定位基准的加工就显得至关重要。

选用合适的毛坯面定位,加工出精确的定位基准,对于以后机体上自动线加工最为关键。最初定位基准的加工,必须保证该定位基准与重要加工部位(如缸孔、主轴承孔等)间正确的位置,保证后序用该定位基准定位加工重要部位时,重要部位的加工余量均匀。如果定位基准加工不准确,会出现加工余量不均,甚至出现局部无余量可加工,造成机体报废。一般情况下最初基准加工会用最重要的表面或孔进行定位来进行加工。

还必须考虑定位基准在一次装夹情况下加工完成,因为这时采用的基准均为毛坯面,毛坯面作为定位基准一般只能使用一次。

毛坯面定位,要考虑在准确定位夹紧的同时,设置合适的辅助支撑,以增加夹具刚性,防止加工过程中产生振动。还要考虑夹紧可靠性。

在最初定位基准加工时,采用了工序集中原则,加工内容较多,必须考虑提高加工速度,以保证生产线节拍要求。

3. EA111 汽缸体机械加工工艺

EA111 汽缸体机械加工总体工艺:

粗铣两端面→半精铣两端面→精铣端面四个定位面,钻铰定位销孔,钻输送孔→粗铣底面及止口面→粗铣顶面及侧面凸台面→粗镗缸孔→半精铣、精铣底面及半精铣止口面→半精铣顶面→钻扩顶面底孔、攻丝→钻铰底面定位销孔,钻扩瓦盖螺纹底孔、攻丝→精拉止口



面→装主轴承盖→粗扩主轴承孔→粗精铣滤清器出水管斜面→前后端面钻孔、攻丝→左右端面钻孔、攻丝→半精镗缸孔→半精镗主轴承孔及扩端面定位销孔→精镗主轴承孔及扩端面定位销孔→精铣两端面→精铣顶面,精镗缸孔→珩磨缸孔。

整个加工工艺中,精镗主轴承孔及扩端面定位销孔、精铣两端面、精铣顶面、精镗缸孔等工序为关键工序,它们是保证机体精度的关键点。这些重要工序除了需要机床精度高外,前面定位基准加工精度也是关键。因此,定位基准的加工是汽缸体机体加工关键中的关键。

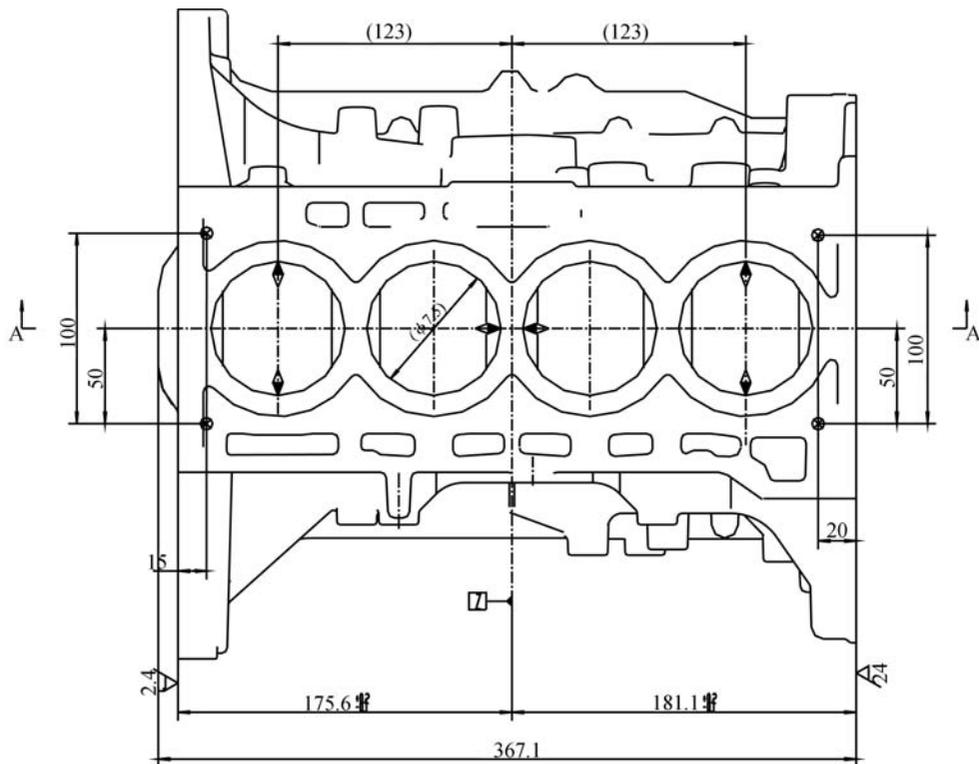
4. 铣钻铰基准工序工艺分析

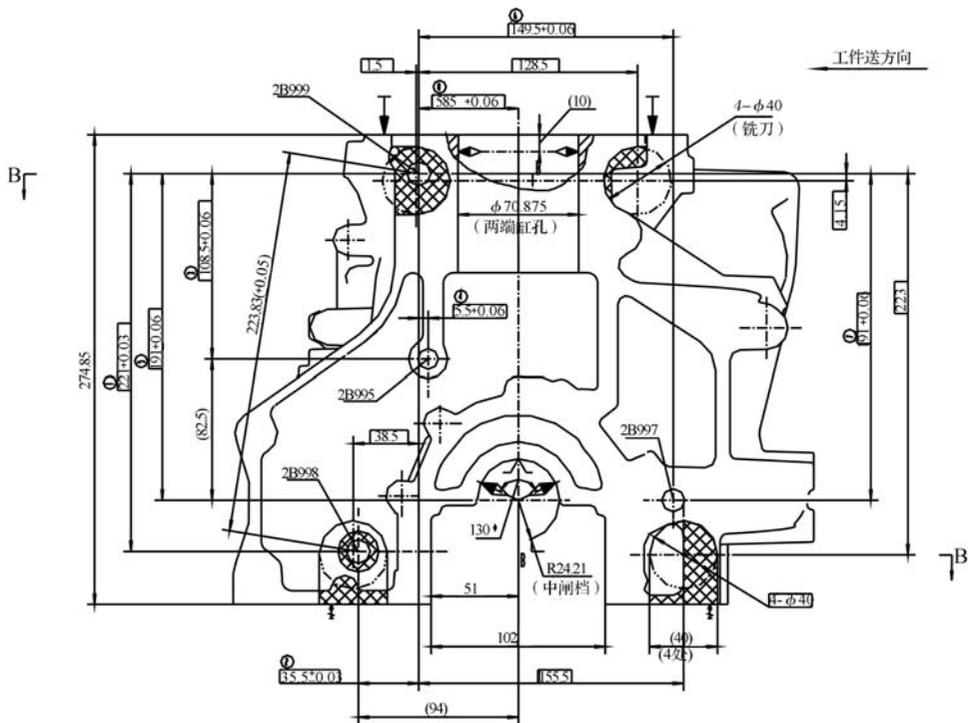
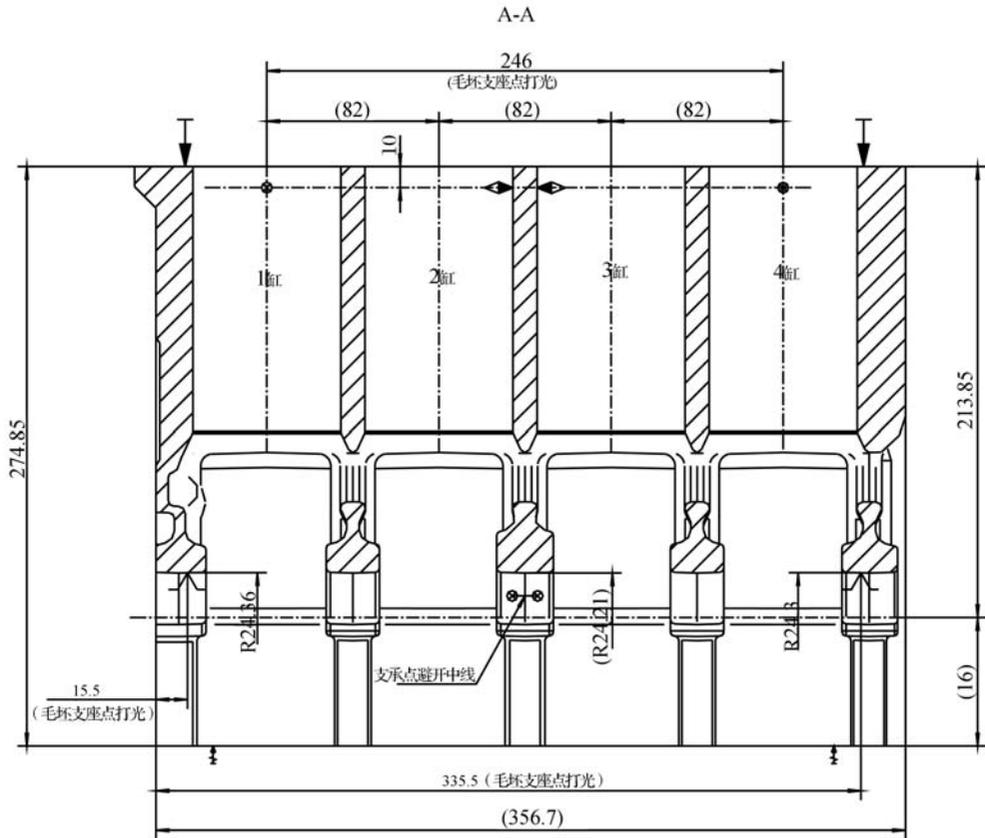
1) 工序内容

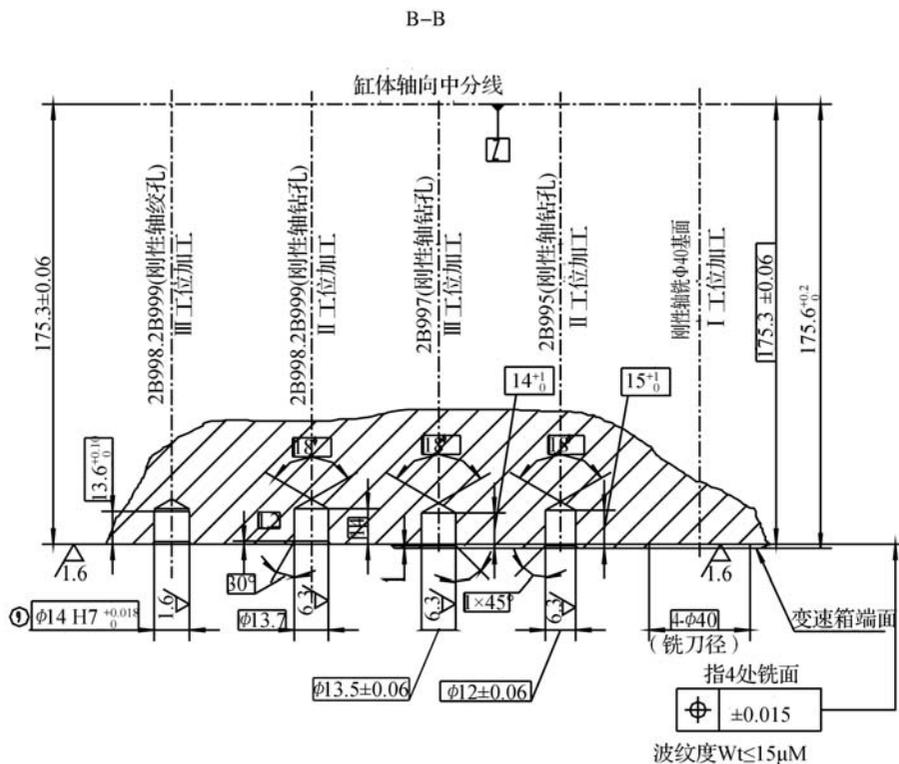
专机用于 EA111 汽缸体端面上精铣四处定位基面、钻四个孔(包括铰两定位销孔的底孔和两个输送孔)及精铰两个定位销孔的加工,工序图如图 8-20 所示。按先后加工顺序,加工内容和精度要求如下:

先精铣四处 $\phi 40$ mm 定位基面,粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$,要求加工后四处定位面共面,公差 ± 0.015 mm,定位面到汽缸体轴向中分线基准的尺寸为 (175.6 ± 0.06) mm;接着钻 $\phi(12 \pm 0.06)$ mm 孔,孔深 $15^{+0.1}$ mm,粗糙度 $R_a 6.3 \mu\text{m}$;钻 $\phi(13.5 \pm 0.06)$ mm 孔,孔深 $14^{+0.1}$ mm,粗糙度 $R_a 6.3 \mu\text{m}$;钻两定位销底孔 $2 \times \phi 13.7$ mm,孔深 14 mm;精铰两定位销孔 $2 \times \phi 14_0^{+0.018}$ mm,孔深 $13_0^{+0.1}$ mm,粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$,两定位销孔间横向坐标距离为 (35.5 ± 0.03) mm,纵向坐标距离为 (221 ± 0.03) mm。

四处定位基面用一把直径 $\phi 50$ mm 的铣刀进行依次铣削加工(铣 $\phi 40$ 定位基面,应选 $\phi 50$ 的铣刀合适),加工后要求达到 ± 0.015 mm 的共面度;两个定位销孔经过本机床钻、铰两道工序后达到 IT7 级的精度要求,而且孔位坐标公差 ± 0.03 mm。







一、被加工零件

名称:EA111汽缸体 图号:EA111-03C 103 021 AH 材料:HT250-GB/T9439 硬度:HB170~241
生产节拍 $\leq 45\text{s}/\text{件}$ (注:同步加工两件 $\leq 90\text{s}/2\text{件}$)

二、图中符号

定位基准 \blacklozenge 定位支点 \wedge 辅助支承 \uparrow 夹压方向 \downarrow 夹压点 \otimes

三、“ \square ”方框内尺寸、精度及粗糙度由本机床保证;其余尺寸、精度及粗糙度由前工序保证。

四、①②③填注实测记录单序号。

图 8-20 EA111 汽缸体定位基准(铣基面,钻、铰定位销孔)加工工序图

专机加工工件涉及铣削加工,钻削加工和铰削加工。首先考虑到定位基准面和定位销孔之间较高的位置精度关系,在一台设备上一次定位进行加工,能够保证加工定位一致性,保证基准间位置精度;另一方面,多工序内容采用多轴专机交叉加工,可以大幅度提高加工效率;共用多轴箱多轴刚性加工,可以有效控制各孔间位置精度,保证加工精度长期稳定;还可以减小占地面积和减少工人数量。

2) 铣削加工工艺分析

铣削加工是使用旋转多刃刀具对工件进行切削的加工方法。加工时,铣刀的旋转是主运动,铣刀或工件沿坐标方向的直线运动或回转运动是进给运动。具体到本专机上时进给运动各部位有所不同,与 X 轴平行的进给运动由数控移位滑台带动工件实现,与 X 轴垂直的



进给运动由立式数控滑台带动铣刀实现。

作为机械制造中一种常用的铣削加工工艺被广泛应用于汽车、航空及模具制造业中机械零件的粗、精加工。

铣削加工具有以下特点：

- (1) 铣削加工采用多齿刀具切削, 铣削生产率很高。
- (2) 铣削加工属于断续切削, 要求机床和夹具具有较高的刚性和抗振性。
- (3) 同一种被加工表面可以选用不同的铣削方式和刀具。
- (4) 铣削可用于粗加工和精加工, 铣削精度等级为 IT11 ~ IT8, 表面粗糙度为 $R_a 6.3 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。铣削主要用于加工各种平面及直槽、台阶、T形槽、键槽、分齿零件和曲面等。

结合本专机, 主要关注如何提高机床的刚性和抗振性, 合理选用铣刀以及切削参数, 保证精铣加工达到预期的精度和效率。

3) 钻削加工工艺分析

钻削加工是用钻头在实体工件上加工孔的方法。在组合机床上多采用带导向模板的多孔同时加工工艺。在加工孔距相对较远的情况下, 主轴直径可以排布成刚性主轴时, 可以采用刚性钻削。由于带导套加工时, 刀具和导套间有摩擦, 为避免刀具与导套的咬合, 相对运动速度不能太高, 限制了加工效率。而刚性钻孔时没有导套, 刀具转速不受限制, 而且一般刚性加工会采用硬质合金钻头, 所以可以将切削速度设计得较高, 大大提高效率。同时, 由于主轴刚性和刀具刚性较高, 加工孔时能够将加工孔的尺寸精度和位置精度大大提高。在组合机床上, 一般的带导向的钻孔加工, 位置精度只能达到 $\pm 0.2 \sim \pm 0.15 \text{ mm}$, 而刚性钻孔的位置精度可达到 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 的水平。

钻孔属粗加工, 可达到的尺寸公差等级为 IT13 ~ IT11, 表面粗糙度值为 $R_a 12.5 \mu\text{m}$ 。由于麻花钻长度较长, 钻芯直径小而刚性差, 又有横刃的影响, 故钻孔有以下工艺特点:

- (1) 钻头容易偏斜。由于横刃的影响定心不准, 切入时钻头容易引偏; 当钻头的刚性和导向作用较差时, 切削时钻头容易弯曲。
- (2) 孔径容易扩大。钻削时钻头两切削刃径向力不等将引起孔径扩大。
- (3) 孔的表面质量较差。钻削切屑较宽, 在孔内被迫卷为螺旋状, 流出时与孔壁发生摩擦而刮伤已加工表面。
- (4) 钻削时轴向力大。这主要是由钻头的横刃引起的。钻孔时 50% 的轴向力和 15% 的扭矩是由横刃产生的。

4) 铰削加工工艺分析

铰削是用来对中、小直径的孔进行精加工的常用方法。铰削加工精度可达 IT7 ~ IT6, 粗糙度可达 $R_a 1.6 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 。在组合机床上通常采用带导向模板进行多孔加工, 其前序已经进行钻孔和扩孔加工, 这时铰刀前端带锥导向切削刃, 并且多为提高加工孔的孔径尺寸精度以及粗糙度, 但它并不能大幅提高孔的位置精度。在数控专机或者组合机床中, 多采用刚性铰孔加工工艺, 刀头多为直刃的铰刀, 其可以保证孔径加工精度的同时, 还可以纠正前序加工中孔径的位置精度。这时其前序可以只用钻孔加工即可。



5) 加工工艺顺序分析

专机采用同时安装两个工件进行加工,图 8-21 为两工件加工顺序示意图,具体加工顺序为: I 工位是用两把铣刀同时依次铣削两个工件上的各四处定位面。当两个工件依次自动输送到夹具内,定位夹紧后,移位滑台至 I 工位处,铣削主轴箱上两个铣削主轴带动端铣刀轴向进给至加工深度位置,铣头立滑台和移位滑台的先后进给,两铣刀依次对两工件的 I、①、II、②、III、③、IV、④定位面进行加工;然后工件移至二工位,六轴刚性钻铰主轴箱(头)对中左侧工件进行钻削 2B995 孔和两定位销孔 2B998 及 2B999 孔的底孔。右侧工件此工位不加工;工件移至三工位,六轴刚性钻铰主轴箱(头)对图中左侧工件进行钻削 2B997 孔和铰削两定位销孔 2B998 及 2B999 孔。右侧工件则进行钻削 2B995 孔和两定位销孔 2B998 及 2B999 孔的底孔;工件移至四工位,图中左侧工件已加工完成,右侧工件进行钻削 2B997 孔和铰削两定位销孔 2B998 及 2B999 孔。

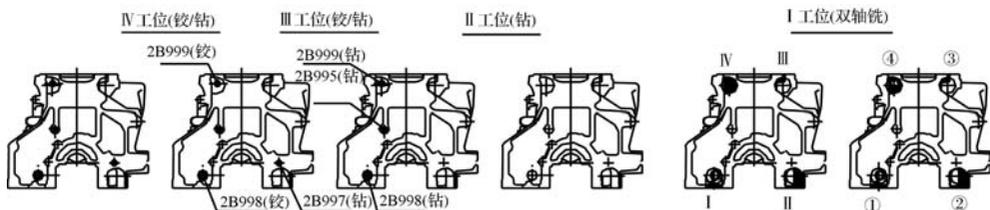


图 8-21 汽缸体加工顺序图

专机加工示意图见图 8-22 所示。

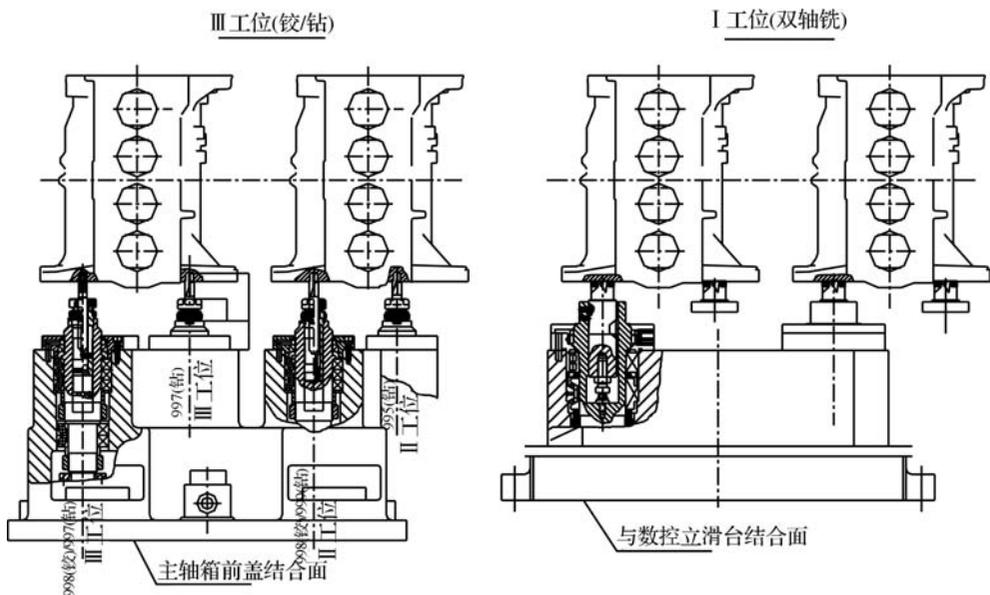


图 8-22 加工示意图

8.6.3 专机总体设计

1. 专机整体布局分析设计

本台专机设计初始要求见表 8-2。

表 8-2 设计初始要求

名称	规格或参数
被加工零件名称	EA111 汽缸体
零件图号	EA111-03C103021AH
材料	HT250-GB/T 9439
材料硬度	HB170~241
生产节拍	≤45 s/件
被加工端面已粗加工,至缸体轴向中分线尺寸	175.6 ^{+0.1} mm
被加工零件外形尺寸	356.7 mm×341 mm×274.85 mm
定位用缸孔孔径	φ70.5mm
定位用主轴承孔孔径	R24.21 mm

专机必须解决下列难题:第一,必须解决好节拍问题,客户要求的生产节拍为 45 s/件,通常的方案难以满足要求。要解决这个难题,必须从提升加工速度着手,合理选用刀具和刀具连接结构以及刀具切削参数,还要考虑整机的加工工艺流程;第二,要解决的是工件的定位夹紧问题。保证工件的正确定位和因夹紧而不产生影响精度的变形;第三,要设计好基础部件和动力部件,保证动力部件具备高刚性和高精度,最终保证整机的刚性和精度。

2. 专机总体设计方案对比分析

针对汽缸体端面定位基准面和定位销孔加工,排列出多种加工工艺方案:

(1) 传统工艺方案

需要先加工出定位基准面,然后以它为基准加工其他较重要的面,再以其其他面和相关的基准定位加工定位销孔。这种常规的工艺方法,其特点是工艺分散,虽然可以较好满足高效加工的生产节拍,但是要求使用多台设备才能完成加工,还要使用更多的工人,占用更大的场地,势必造成各种成本增加,很不经济。同时,由于像缸孔、主轴承孔等重要的孔这时多为毛坯孔,不适合参与多次定位,所以,这种加工方法存在毛坯孔多次定位的缺点。目前,该方案已很少使用。

(2) 全柔性的加工方案

采用加工中心进行加工,配备刀库,可进行换刀,依次对工件进行铣削、钻孔、铰孔加工。这是工艺集中的方法,加工节拍大受限制,往往需要多台同样的设备并线加工。同时,加工中心虽然柔性较好,但是,其刚性和动力性能不是针对本工件设计的,不能把加工性能做到最好。另外,还有较多功能难以发挥作用,存在很大的浪费。这种方案在一些柔性线中还有使用,但也不太符合目前半刚性、半柔性加工线的发展趋势了。

(3) 多台分散加工方案

这是对传统加工工艺的改造,工件采用随行夹具的装夹形式。这种配置形式,加工节拍短,效率高,但是,还是存在占地面积大,需要设置随行夹具返回装置等局限性。目前,较少采用。



通过前面列举的方案对比后,不论从加工精度和加工效率,以及设备数量上来说,这台设备应做成专机比较合适。其次,要在一次装夹工件后,依次进行铣削、钻削和铰削加工。

通过分析,我们认为要在专机方案形式的基础上,进行技术改进和方案优化,采用为客户提供一台满意的加工设备的方案。方案制订阶段,为提高节拍,提高刀具加工速度是一种思路,设备采用具有较高切削速度的硬质合金刀片和硬质合金钻头及铰刀。同时我们考虑,如果同时装夹多个工件,采用多把刀具同时切削,一个工作循环能够加工多个工件,摊到每个工件上的加工时间只有原来的几分之一了。在考虑夹具位置大小和生产节拍适中的前提下,最终决定采用同时装夹两个工件,铣削工位采用两把铣刀进行铣削,钻削和铰削采用多把刀具交叉进行加工。在加工精度方面,我们决定采用双轴刚性铣削主轴箱和刚性钻铰主轴箱结构,提高专机刚性。特别是钻铰主轴箱做成一个整体的主轴箱,实现相对成组孔位稳定的位置精度。

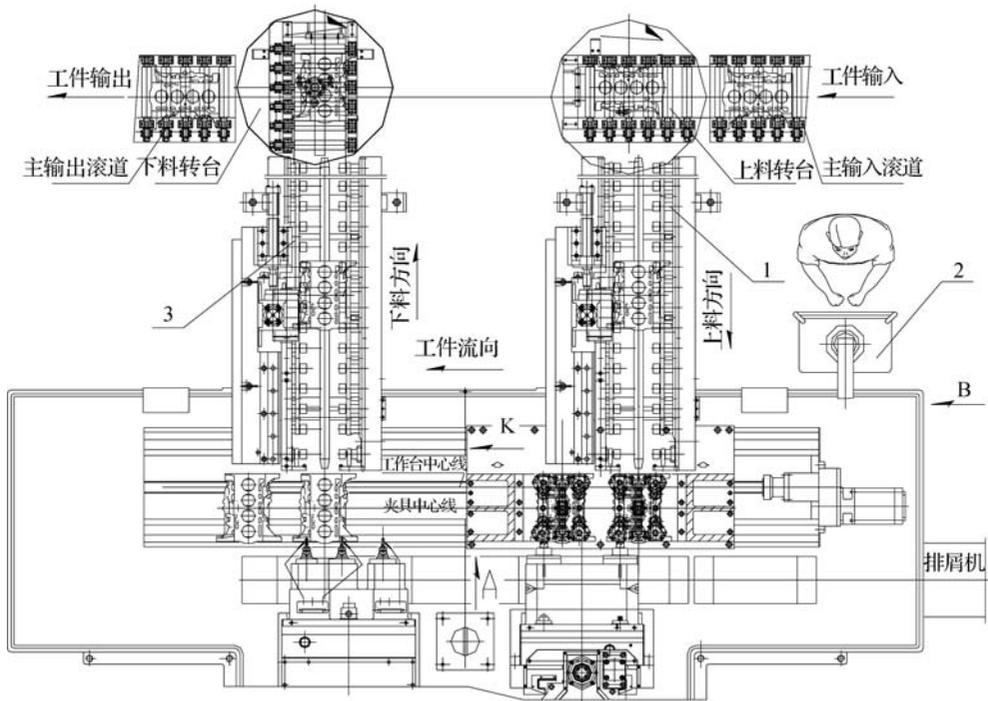
3. 专机总体方案确定

专机总体图见图 8-23,专机拟采用局部自动线形式,在上下料位置处各设置一条配有并排布置机动滚轮的自动滚道,即上下料滚道。它们分别与主滚道垂直连接,在连接处还各设置一回转台,供工件上下料时转位用。上料自动滚道上均配置一摆杆输送装置和隔料装置。当专机需要上工件时,隔料装置撤离,同时摆杆机构旋转,推动工件,将工件推入夹具,专机滑台移位,推入另一工件。上料位的隔料装置升起,摆杆机构撤回,经上料自动滚道输送过来另外的待加工工件,存放在隔料位,等待后续加工。夹具中工件定位夹紧后,依次进行铣削、钻削和铰削加工。全部加工完后,下料自动滚道上的摆杆机构将加工好的工件依次拉到下料自动滚道上,该滚道将工件经下料回转台转位输送到主滚道上。夹具采用液压定位和夹紧。滑台采用数控伺服控制,并采用滚珠丝杠和直线导轨。整机采用数控系统进行控制。这就是整个专机总体方案。

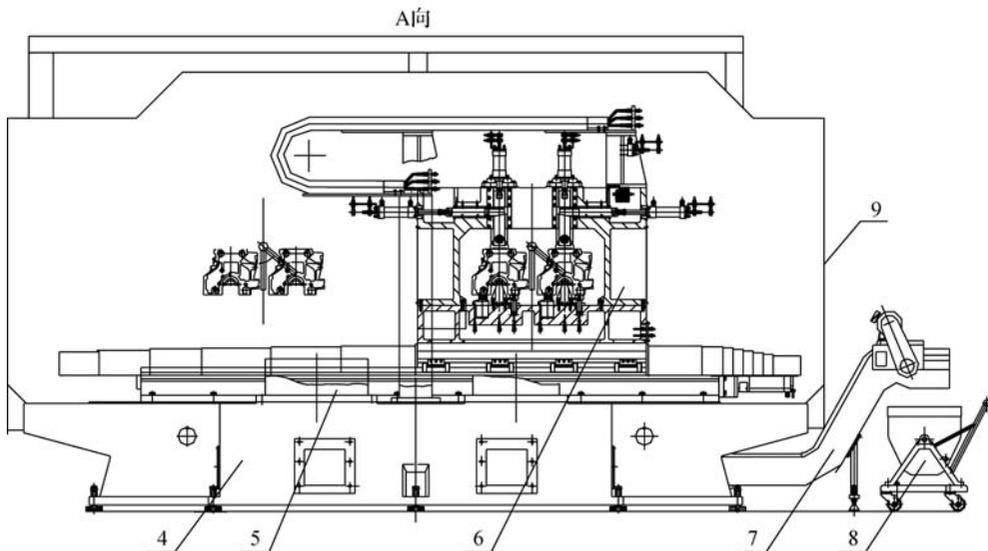
专机切削参数见表 8-3。

表 8-3 专机切削参数

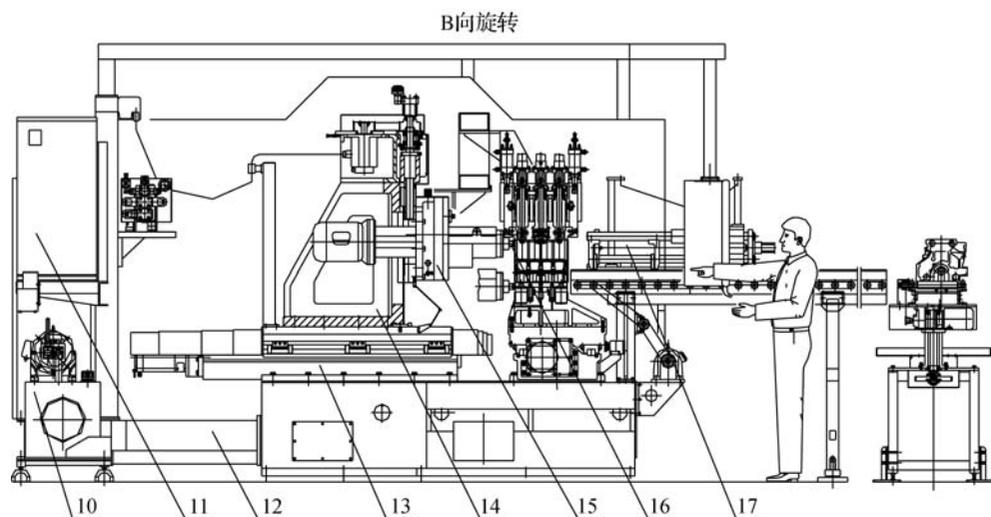
项目	轴号 参数	φ50 刀盘 (铣削)	995(钻)	997(钻)	998(钻)	999(钻)	998(铰)	999(铰)
		加工直径 φ(mm)	40	12	13.5	13.7		14H7
切削速度 v(m/min)	176	67.8	76.3	77.4		30.8		
主轴转速 n(r/min)	1 120	1 800				700		
每转进给 s ₀ (mm/r)	0.75	0.2				0.51		
装刀片数 Z	5~10							
工进速度(mm/min)	840	360						
工进行程 L _g (mm)	166.5	20×3(次)=60						
工进时间 T _g (s)	12.2	3.33×3(次)=10						
快移速度(mm/min)		12 000						
快移行程 L _k (mm)	1 263	(300+360)×2=1 320						
快移时间 T _k (s)	6.3	6.6						
总计工时 ∑T(s)		12.2+10+6.3+6.6=35.1(两方轴箱(头)机加工时间)						



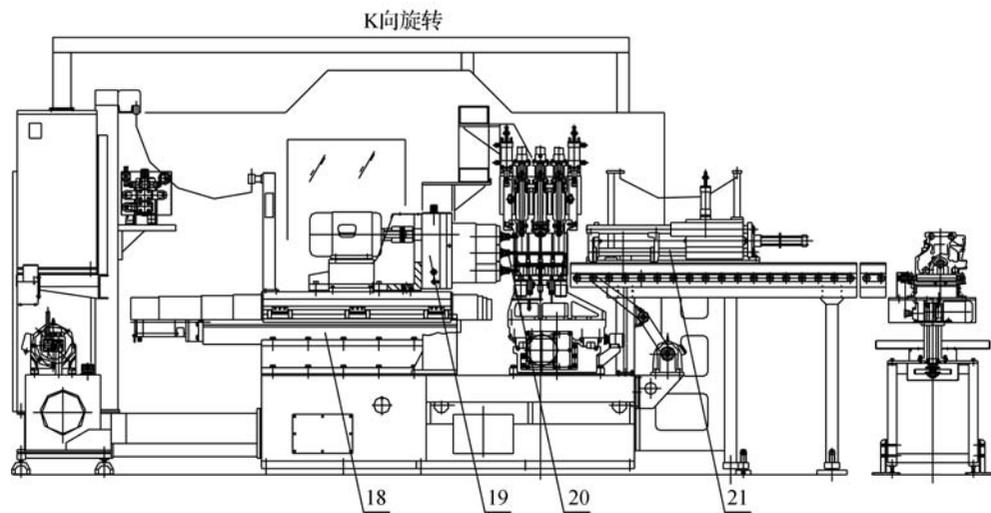
(a) 专机的平面布局



(b) 专机 X 轴移位滑台、夹具和排屑装置的布局



(c) 专机左侧 B 向视图



(d) 钻铰工位的局部向视图

图 8-23 专机总体图

- 1—上料自动滚道;2—操作箱;3—下料自动滚道;4—床身;5—X 轴移位滑台;6—夹具;7—排屑装置;
 8—积屑小车;9—整机外防护;10—液压系统;11—电气系统;12—电气柜及液压站支架;
 13— Z_1 轴铣削进给滑台;14—Y 轴铣削进给滑台;15—铣削主轴箱;16—铣刀及工具;
 17—上料摆杆推拉机构;18— Z_2 轴钻铰进给滑台;19—钻铰主轴箱;20—钻铰刀及工具;21—下料摆杆推拉机构

图 8-23 为专机总体图。图(a)表示出专机各部件的平面布局、工件的整个流向情况以及操作位置等;图(b)A 向视图是专机 X 轴移位滑台、夹具和排屑装置的布局;图(c)是左侧 B 向视图表示出铣削工位的各部件相互关系和位置布局;图(d)是钻铰工位的局部 K 向视图,表示出钻铰工位的各部件相互关系和位置布局。

专机具有一个整体式床身,床身前部上面安装一个 X 轴数控移位滑台,滑台上安装夹



具。床身后部上面并排布置两个进给数控滑台,左面的 Z_1 轴铣削进给滑台上安装一个 Y 轴立柱数控滑台,该滑台台面上安装一个双轴专用铣削主轴箱,右面的 Z_2 轴钻铰进给滑台上安装一个六轴刚性钻铰主轴箱。整机前方左侧设计一条上料机动滚道,上面布置隔料装置,在滚道旁边安装上料摆杆推拉机构,用于将工件从自动滚道末端输送到夹具内。整机前方右侧设计一条下料自动滚道,在滚道旁边安装下料摆杆推拉机构,用于将工件从夹具内拉出到下料自动滚道上。床身本体内腔中放入一个自动排屑装置,加工的铁屑通过床身上的斜面 and 空洞落入自动排屑装置,自动排屑装置将铁屑排出到床身外的积屑小车中。

专机前部有主输入滚道、上料转台和主输出滚道、下料转台。

本台专机主要部件配置:

1) 基础支承部件

整体式床身系整体铸造件,经两次时效处理具有很好的稳定性;床身内设有存放排屑机的空间,上部有落屑洞口,切屑可顺畅地落入排屑机;各筋壁上备有走线洞可用于专机管线的辅助走线。

2) 移位滑台(X 轴)

移位滑台面上安装有整体框架式夹具部件,内置两组各自独立控制的夹具。滑台配有台湾上银直线导轨和滚珠丝杠,由数控伺服电机驱动。

3) 立柱滑台(Y 轴)

用于铣削时 Y 轴移位及加工进给。立柱滑台采用滑动导轨结构,有足够的切削抗力。

4) 数控进给滑台部件(Z_1 轴、 Z_2 轴)

本专机有两组专用数控进给滑台(即 Z_1 轴用于铣缸体端面四处定位基面的共面精度控制及滑台位移; Z_2 轴用于钻、铰工艺销孔的进给及滑台位移);滑台配有台湾上银直线导轨和滚珠丝杠,由数控伺服电机驱动。

5) 专机夹具

本专机夹具采用龙门框架式结构,可同时装夹两个缸体零件。两缸体件分别独立定位夹紧、互不干涉。夹具是由液压驱动自动定位夹紧工件。

6) 双轴铣削主轴箱

用于对汽缸体端面4处定位基面的铣削加工。为适应高速精铣的加工要求,本铣头采用高精度主轴轴承配置,同时主轴与传动系统采用梅花式弹性联轴器实现其扭矩传递,以此消除传动系统对铣削主轴产生振动等不利影响。主轴电机采用变频电机,主轴转速可方便地调定在较佳运行区域。

7) 六轴钻铰主轴箱

用于对汽缸体端面钻4个孔、并精铰其中2个定位销孔。精铰主轴采用高精度主轴轴承配置,同时主轴与传动系统采用梅花式弹性联轴器实现其扭矩传递,以此消除传动系对精铰主轴产生震动等不利影响。主轴电机采用变频电机,主轴转速同样可方便地调定在较佳运行区域。

8) 自动上下料及其输送装置

本机配备有自动上、下料装置,使专机具备全自动化运行功能。工件在输送滚道上的运



行是由减速电机驱动链传动,通过摩擦传递至输送滚轮旋转实现的;滚轮外环涂有硬质人造橡胶;上、下料的输送滚道上分别设有分、隔料装置及前端限位挡铁装置,使工件的输送系统按设定的程序可靠运行。

9) 刀具及工具的配备

铣刀采用硬质合金不重磨刀片配置且专门设计制造,适应高速铣削的加工要求;钻、铰刀具均为整体硬质合金刀具,并采用快换接杆。

10) 电气及液压系统

整机采用西门子 802D-SL 数控系统进行整机的控制,移位滑台、铣削进给滑台、钻铰进给滑台、铣削立柱滑台均采用伺服电机进行驱动。

液压系统的主要元件选用综合性能指标较优的日本大金产品配置;液压管路及操纵板的安装采用集中供油、分散控制的方式。

11) 专机的润滑、气动、除屑

本专机采取集中供油的润滑方式,对专机各运动环节进行全程控制自动润滑,在专机总操纵台上设有油位监控,确保润滑充分、运转可靠。

专机配有气动系统,其用途:主轴端气隙密封;工件定位点的吹净;钻、铰后底孔的吹净;清理专机时人工手持气枪用气。

本专机配有磁性刮板排屑机及积屑小车,对切屑进行自动清除,直至送入积屑车内。

12) 空中走线、布管及专机大防护

专机电气线路及液压管路采用空中走线的方式布局。专机除具有美观的整体大防护外,还备有方便调试、维护用的门及观察窗。

4. 专机生产节拍优化控制

本工序要求设备的生产节拍为 45 s/件,要想达到这一高要求,通常有以下三种途径:第一种,采用多台设备并序加工;第二种,采用超高速设备进行加工;第三种,一台设备同时多刀加工多个工件。显然,第一种方法最好实现,但是需要多台机床、多个操作工,占用空间大,物流不方便,运行成本较高。第二种方法,需要使用高档的切削刀具、同时机床为高速机床,其设备成本和运营成本都较高。而第三种方法,具有第一种方法同时加工多个工件的优势,可以降低节拍,而且为一台设备,占地面积相对较小,只需一个操作工,同时采用比较常规刀具实现加工,刀具、设备成本较低。

本台专机就是采用了第三种方法,在一台专机上同时安装两个工件,铣削工位时,铣削主轴箱有两个铣刀同时加工两个工件,在钻、铰工位时,钻、铰刀交错组合加工两个工件,实现两个工件钻铰工序的最大程度重叠,减少加工时间,降低节拍时间。

本专机通过优化加工顺序,有效控制了整个工件机加工时间,使得两个工件的加工循环时间控制在 90 s 以内,即每个工件的加工节拍为 45 s,满足了客户的生产节拍要求。



8.6.4 工装夹具设计

1. 专机夹具总体设计

本专机为适应大批量加工需求而设计。夹具属于组合机床专用夹具范畴,应按组合机床夹具设计要求和程序进行设计。

1) 夹具设计的要求

(1) 组合机床夹具设计必须考虑与机床其他部件之间的正确位置联系。以确保工件在机床中的正确位置,并保证滑台、主轴箱以及刀具在加工过程中不会与夹具发生干涉而妨碍加工。

(2) 由于组合机床往往是多刀、多面和多工序同时加工,会产生较大的切削力和振动。因此组合机床夹具必须具有很好的刚性和足够的压紧力,以保证在整个加工过程中工件不会产生任何位移。同时,也不应使工件产生不容许的变形。

(3) 组合机床夹具是保证加工精度(尺寸精度、几何精度和位置精度等)的关键部件,其设计、制造和调整都必须有严格的要求,使其能持久地保持精度。

(4) 组合机床夹具应便于实现定位和夹压的自动化,并在动作完成后自动发出信号;保证切屑从加工空间自动排除;便于观察和检查,以及在不从机床上拆卸下夹具的情况下,能够更换易损件和维护调整。

2) 夹具设计程序

(1) 分析所要设计夹具的原始数据和要求。在拟订组合机床的结构方案时,对夹具的结构形式和主要性能已提出了原则要求。在夹具具体设计时,必须认真分析这些要求并研究影响夹具设计的因素,也就是被加工零件的结构特点、工艺安排和加工方法、机床特点、刀具及其导向的结构特点和要求。还必须考虑工件装卸方式、定位形式、夹压方法、切屑排除等具体要求。

(2) 拟订夹具结构方案和进行必要的计算。根据机床总体设计中确定的工件定位面、夹压位置、加工方法和刀具导向等,制定夹具的总体方案。为此,首先绘制工件外形,并有必要的投影,其主要投影应和工件在机床上的加工位置一致。然后,在工件四周的相应位置上简单表示出夹具的结构。这时只需要画出工件的定位元件,夹压机构的位置,刀具导向的安排,以及它们相互间的关系。最后进行夹压力计算和必要的夹具元件的强度计算。在拟订夹具结构方案时,尽量采用标准通用部件和零件。

(3) 组合机床夹具的总图和零件设计。在已经确定的夹具结构方案基础上,设计生产用的夹具总图和零件图。通常是先用双点划线画出工件外形,然后按顺序绘制定位和限位元件、夹紧机构、刀具导向、支架和夹具体,以及润滑、冷却、排屑等部位的结构。总图中还必须注明必要的装配和检查的技术要求。最后,进行夹具的零件设计。

根据上述组合机床夹具的设计要求和程序完成本专机夹具设计。夹具总图见图8-24。夹具由夹具体基础件、输送和初限位机构、定位机构、压紧机构、辅助支撑机构等组成。夹具各主要零部件见图中注解。

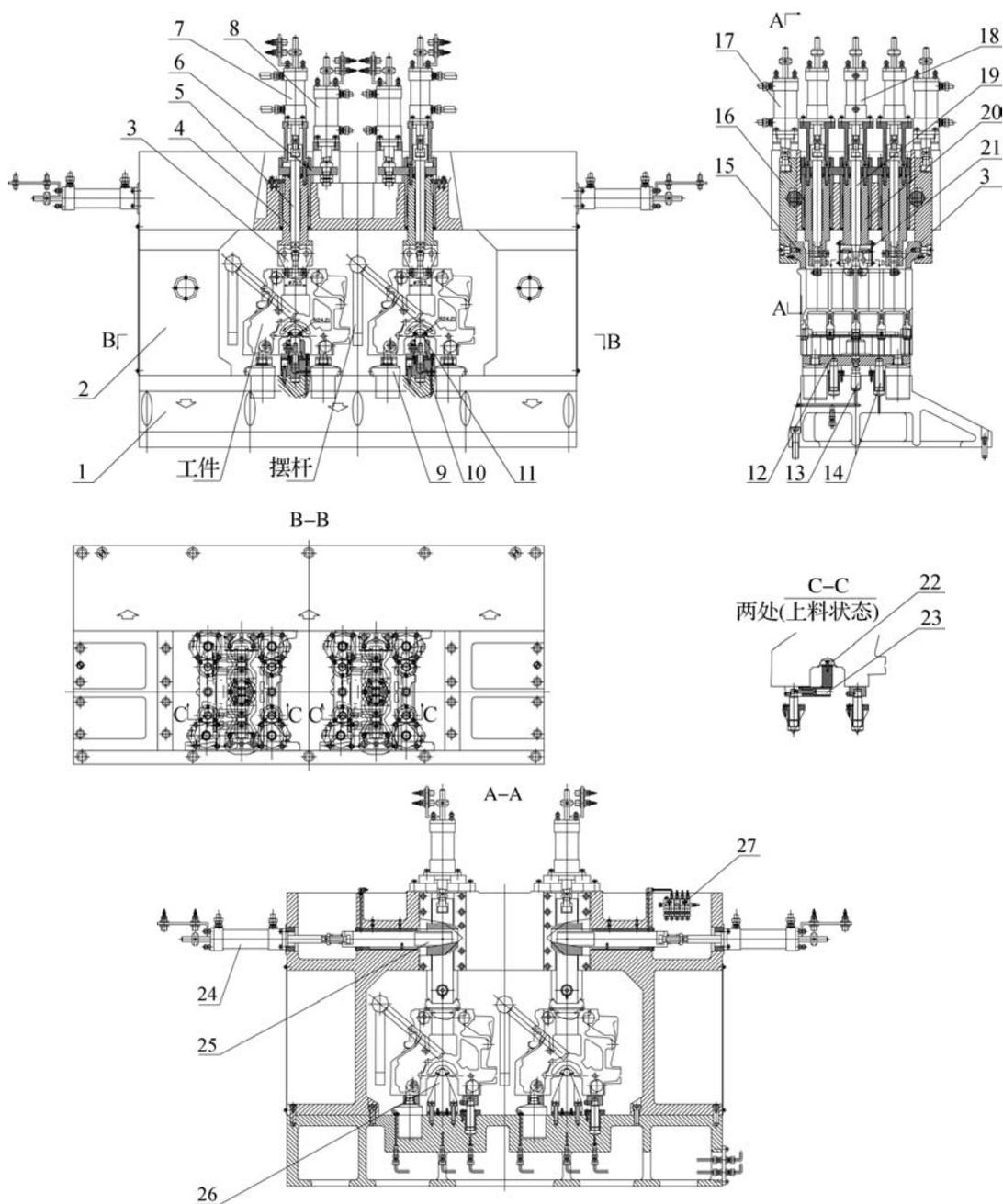


图 8-24 夹具总图

- 1—本体;2—框架;3—定位撑板;4—支架杆;5—楔杆;6—过渡连板;7—定位油缸;8—送进油缸;
 9—辅助支撑油缸;10—油缸;11—定位支撑杆;12—工件输送支撑板;13—托起油缸;14—导向杆;
 15—浮动压块;16—压杆;17—压紧油缸;18—定位油缸;19—楔杆;20—定位支撑杆;21—定位撑板;
 22—导向杆;23—支架板;24—锁紧油缸;25—楔块;26—定位支点;27—定量分油器



3) 夹具的动作循环

摆杆输送上料→托起油缸(件号 13)落下,工件输送支撑板(件号 12)以及导向杆(件号 22)落下,工件随之落下至两端定位支点(件号 26)→顶部定心用定位油缸(件号 7、件号 18)被送进油缸(件号 8)带动落下→缸孔中间档位夹紧定心(件号 21 处工件纵向定心)→两端缸孔夹紧定心(件号 3 处工件横向定心)→曲轴孔夹紧定心(件号 11 处水平定心)→工件两端四个主夹紧点压紧(件号 15 处)→工件两端四个辅助支撑上(件号 9 处)→锁紧油缸(件号 24)推动楔块(件号 25)锁紧夹紧压杆(件号 16)→加工循环→工件两端四个主夹紧点锁紧撤→工件两端四个主夹紧点撤→曲轴孔夹紧定心撤、两端缸孔夹紧定心撤、缸孔中间档位夹紧定心撤、工件两端四个辅助支撑撤→顶部定心用夹紧油缸被送进油缸带动升起→托起油缸带动工件输送支撑板及导向杆抬起工件→摆杆输送下料。

2. 夹具定位系统设计

夹具的首要功能是工件定位。工件在夹具中定位时,要解决两个问题:首先是解决工件位置“定与不定”的问题,也就是使工件在宏观上得到定位。这个问题需要根据六点定位原理,通过消除工件相应的“自由度”来解决。其次是要解决工件位置定得“准与不准”的问题,也就是要保证工件上某些点、线或表面(工序基准)的位置精度。这个问题需要通过选择合适的定位基准,设计相应的定位元件来解决。

结合到本专机夹具定位系统设计,就是要在保证每次工件装夹后,汽缸体在夹具中都能处于相同的位置,这样才能保证加工后,所加工的面和孔相对于汽缸体定位面的相对位置精度。同时也要考虑选择汽缸体上合适的定为基准,以保证工件为后续加工提供良好的加工余量和位置精度的条件。

在选择本序定位基准时,首先要了解本序加工内容对汽缸体后续加工的作用。本序是在 EA111 汽缸体变速箱端面上加工定位基准,此加工面在后续工序中作为工件定位基准,其相对于汽缸体重要的加工部位是否能够保持较高的位置精度,对后续各面和孔加工余量是否分布均匀,以及对最终加工后工件的各处壁厚均匀,都有较大的影响。本序加工精度直接影响到汽缸体最终的加工精度和强度,会影响到发动机的性能。

汽缸体的缸孔、主轴承孔的加工在整线中最为关键,各发动机缸体生产线都在缸孔加工、主轴承孔加工方面采用高性能的加工设备来进行加工生产,保证生产出高精度的产品。EA111 汽缸体也不例外,它的加工线采用世界顶尖的 GROB 生产线进行加工,缸孔、主轴承孔的加工设备更是 GROB 的精髓产品。汽缸体的缸孔、主轴承孔加工后不仅要保证各孔的尺寸精度、形位精度、表面粗糙度,还要保证各孔的壁厚均匀,以保证发动机的整体刚性、强度的足够。要能实现汽缸体的缸孔、主轴承孔等重要部位加工高精度,作为这些孔加工和重要面加工的定位基准加工,尤为关键,因为本序定位基准决定了加工这些孔和面时的余量是否均匀,决定了加工后各处壁厚的均匀性。

工件初期的定位基准加工,一般要以工件中比较关键的孔或面作为定为基准,这样,才好保证后序用本基准定位去加工关键孔和面时,加工余量均匀,所留壁厚均匀。结合到 EA111 汽缸体本工序加工,其定位基准也要以缸孔、主轴承孔这些关键部位来做基准。

通过以上分析,绘制了工件定位、夹紧点位图(图 8-25)。在主轴承半圆孔第 1、第 5 档

处设置两个支点,消除工件高度方向上的自由度,同时消除沿长度方向旋转的自由度;在主轴承半圆孔第3档处,设置一个对称撑点,消除沿宽度方向旋转的自由度;在第1、第4缸孔靠近上平面处沿宽度方向设置两个对称支撑,定位缸孔中心线,消除沿宽度方向的自由度,同时消除沿水平面旋转的自由度;在第2、第3缸孔间,用对称钳口夹紧两缸孔间壁,消除沿长度方向的自由度。通过这些定位基准的设置,消除了工件六个方向的自由度,完全限制了工件的位置,也就是实现了工件的完全定位。

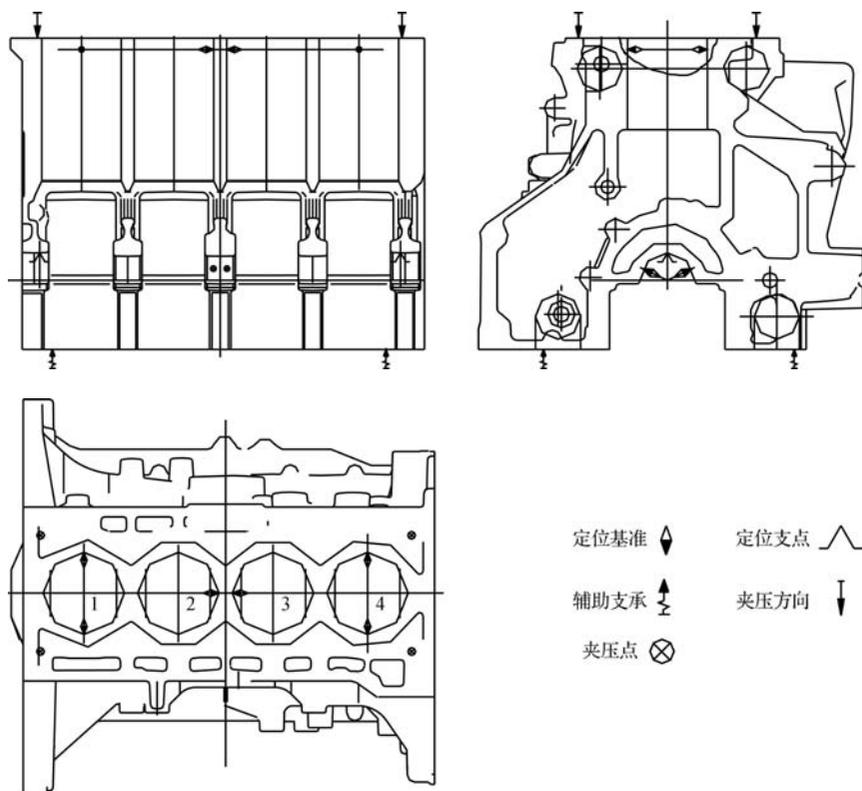


图 8-25 定位、夹紧点位图

在这些定位处采用自动定心结构,实现对工件的定心,保证每次定位不管毛坯余量是否一样的前提下,总能保证工件定位在定位要素的中心处。图 8-26 是工件各点定位机构图。

图中,在第1、第4缸孔定位处,采用了自动定心撑紧定位结构,用于消除工件沿宽度方向和水平面旋转的自由度。该结构中两个滚轮(件22)通过定位销(件23)分别连接在左右对称的两个横向定位撑板(件20)上,两个横向定位撑板通过两个定位销(件21)连接在横向支杆(件7)上,横向支杆安装在夹具顶板(件10)内的导套内,并用安装在顶板上的导向键(件19)导向,同时横向支杆通过过渡连板(件3)和送进油缸(件18)连接,送进油缸固定在夹具顶板上。横向支杆内部安装横向支撑楔杆(件5),并上部直连横向定位油缸(件2),横向支撑楔杆下部的锥面插入到两个横向定位撑板安装后形成的钳口锥面内,而两个横向定位撑板的两个挂钩嵌入到横向支撑楔杆的槽沟内。具体工作时,送进油缸通过过渡连板推动横向支杆将定位机构下部进入工件缸孔内,横向定位油缸推动横向支撑楔杆向下,横向

支撑楔杆的前部锥面撑开两个横向定位撑板绕定位销转动,两个横向定位撑板上的支撑滚轮撑开顶紧在工件缸孔左右缸壁上,实现自动定心定位。撤离定位时,横向定位油缸向上拉横向支撑楔杆,楔杆通过其自身上的槽沟拉两个横向定位撑板的挂钩,使两个横向定位撑板绕定位销收缩,使支撑滚轮脱离工件缸孔表面,这时,送进油缸通过过渡连板将横向支杆拉起,使定位机构移出工件缸孔。

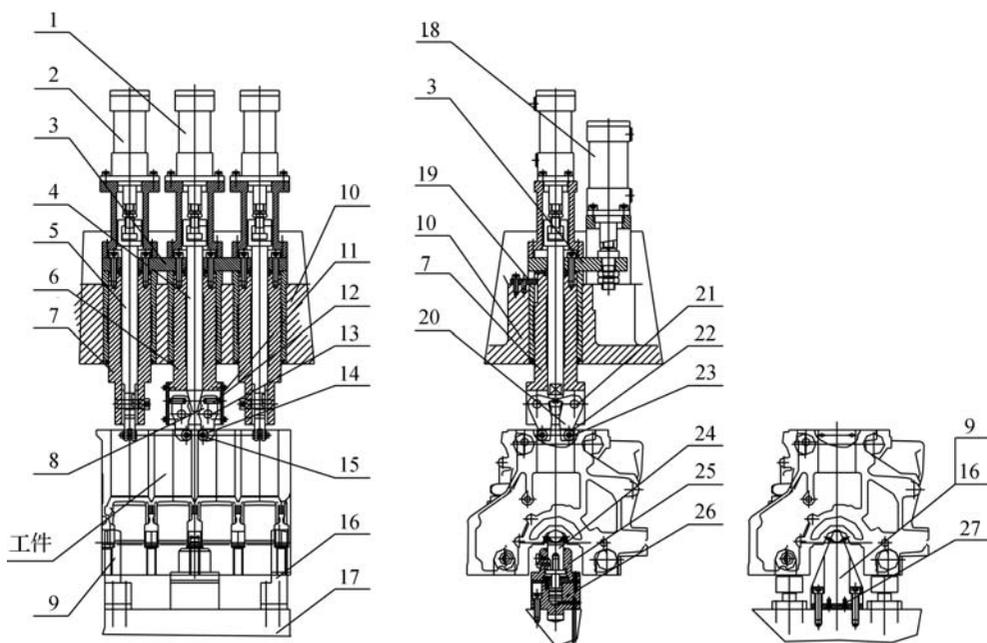


图 8-26 定位机构图

- 1—纵向定位油缸;2—横向定位油缸;3—过渡连板;4—纵向支撑楔杆;5—横向支撑楔杆;
 6—纵向支杆;7—横向支杆;8—纵向定位撑板;9—前定位支撑;10—夹具顶板;
 11—弹簧定位板;12—弹簧;13—定位销;14—纵向支撑滚轮;15—定位销;16—后定位支撑;
 17—夹具本体;18—送进油缸;19—导向键;20—横向定位撑板;21—定位销;22—横向支撑滚轮;
 23—定位销;24—横向摆动支撑;25—导向支架;26—油缸;27—调整垫板

在第 2、第 3 缸孔间,则采用了自动定心钳口夹紧定位机构,用于消除工件沿长度方向的自由度。该结构中两个滚轮(件 14)通过定位销(件 15)分别连接在左右对称的两个纵向定位撑板(件 8)上,两个纵向定位撑板通过两个定位销(件 13)连接在纵向支杆(件 6)上,纵向支杆安装在夹具顶板(件 10)内的导套内,同时纵向支杆通过过渡连板(件 3)和送进油缸(件 18)连接,也和横向支杆通过过渡连板(件 3)连在了一起,这样,送进油缸就可以通过过渡连板一起将横向定位机构和纵向定位机构一起送进工件缸孔内部进行定位,并可以在撤销定位时将它们拉出,让开工件进行上下料。纵向支杆内部安装纵向支撑楔杆(件 4),并上部直连纵向定位油缸(件 1),纵向支撑楔杆下部的锥面插入到两个纵向定位撑板安装后形成的钳口锥面内,两个纵向定位撑板上部通过两个弹簧(件 12)顶紧在纵向支杆上的弹簧定位板(件 11)上。具体工作时,送进油缸通过过渡连板推动纵向支杆将定位机构下部进入工



件缸孔内,纵向定位油缸推动纵向支撑楔杆向下,纵向支撑楔杆的前部锥面撑开两个纵向定位撑板绕定位销转动,两个纵向定位撑板上的支撑滚轮收缩夹紧在工件缸孔间缸壁上,实现自动定心定位。撤离定位时,纵向定位油缸向上拉纵向支撑楔杆,楔杆锥面后退,纵向定位撑板在弹簧推动下绕定位销转动,纵向定位撑板下部张开,使支撑滚轮脱离工件缸孔表面,这时,送进油缸通过过渡连板将纵向支杆拉起,使定位机构移出工件缸孔。

在第1、第5档主轴承半圆孔处,设置两个支点前定位支撑(件9)和后定位支撑(件16),它们下面安装调整垫板(件27),用以调整两定位支撑的高度,以达到准确定位工件的目的。这两处定位支撑可以消除工件高度方向上的自由度,同时消除沿长度方向旋转的自由度,它们在工件夹紧时起到支撑工件作用。

前面所述的各处定位已经消除了工件的5个自由度。图中的第3档主轴承半圆孔处,这里设置了横向摆动支撑(件24)、导向支架(件25)和顶起油缸(件26),当工件的其他处均定位后,油缸活塞杆推动横向摆动支撑沿导向支架向上,当横向摆动支撑的两个角中一个顶住工件后,在油缸的推力下,该杆会继续向上走,推动工件摆动,直到横向摆动支撑的另一角也顶住工件主轴承半圆孔为止,这时,已经将工件摆正定位,起到自动定心作用,工件消除了最后剩下的一个沿宽度方向旋转的自由度。

3. 夹具夹紧系统分析设计

将工件正确定位,只是夹具设计工作中的一部分,还要考虑工件的夹紧,才能保证夹具能够正常使用。

夹紧机构的设计使用,就是要在加工过程中,承受工件受到的切削力、惯性力和重力的作用,保证工件正常的定位状况下,顺利完成加工过程。

1) 夹紧机构和装置的设计要满足下列基本要求

- (1) 在夹紧过程中应能保持工件的既定位置或更好地使工件得到定位。
- (2) 夹紧应可靠和适当,既要使工件在加工过程中不产生移动或振动,同时又不使工件产生不允许的变形和表面损伤,夹紧力要稳定。
- (3) 夹紧机构操作应安全、方便、省力。
- (4) 夹紧机构的自动化程度及复杂程度应与工件的产量和批量相适应。
- (5) 夹紧机构的结构要便于制造、调整、使用和维修,尽可能使用标准夹紧零件和部件。

针对以上夹紧机构设计要求,为满足汽缸体基面精加工,选择了合适的夹紧方式、夹紧位置和夹紧结构。

2) 夹紧机构的分析

本专机加工工件过程中,铣削时是两把刀同时切削,为断续切削,切削力交互改变大小和方向,会对工件、夹具乃至整个专机产生冲击力,如果专机系统刚性不好,必将产生震颤。一方面,震颤使得加工表面粗糙度质量下降,另一方面,震颤反过来冲击到刀片,势必加速刀片的磨损,降低刀片耐用度。在多刀钻削时,钻削轴向力较大,如果夹具夹紧不可靠,加工时工件有可能产生移动现象,就会和定位面脱离,影响孔的位置度。所以工件在夹具中的夹紧可靠性和稳定性也是设计的重点。

对于汽缸体这种薄壁箱体精加工,首要考虑的是怎样维持工件的定位姿态,这时夹紧力

必须足够,以保持夹具乃至整个专机的刚性,避免加工过程中产生振动,影响加工精度。同时,夹紧力也不能太大以使工件产生变形。本着这一设计宗旨,展开夹紧机构分析设计。

从图 8-25 定位、夹紧点位图中可以看出,要保持工件的夹紧,除了前面分析采取的定位机构可以在工件自动定心定位时起到一定的夹持工件作用外,还必须增加专门的夹紧机构,来保证工件足够的刚性和对工件的可靠稳定的夹紧。有两种方案可以采纳:一种方案是将工件从左右两侧抱紧;另一种就是从工件顶面向下施压压紧。很显然,第一种方案如果采用刚性夹紧工件,就会破坏工件左右的定位基准的定位,另一方面,由于要并排安装两个工件同时加工,在侧面设置夹紧机构,势必拉开两个工件的距离,造成专机夹具乃至整机体积庞大,行程加长,还会增大同时加工两个工件主轴箱体积。这种方案难以实现。第二种方案除了能够夹紧工件外,还会将工件向下压向第一、五主轴承半圆孔定位支撑上,使定位更加可靠。但是有一点必须注意,因为上下方向只有两个定位支撑定位,压紧工件时,会影响到沿横向转动的自由度,必须在工件下方正对压紧点的位置设置辅助支撑,以承受压紧机构的压紧力,同时可以抱紧工件,增加工件加工时的刚性。

为了能够达到上面分析中需要的夹紧力和较小的变形量,采用了楔铁夹紧机构和自动辅助支撑结构。下面详细叙述分析。

图 8-25 定位、夹紧点位图中,我们拟在缸体顶面上靠近缸体前后端面的两侧处设置压紧点,采用此处压紧的好处,一是靠近加工面变速箱端面,可以有效抵制铣削、钻削产生的振动和推力;另一点是压紧点在第一、五主轴承半圆孔定位支撑正上部,压紧点正对应支撑点,尽量减小压紧变形,提高加工精度。图 8-24 夹具总图中,采用了直接压紧和楔铁锁紧的复合型夹紧机构,直接夹紧时压紧力相对较小,可保证将工件贴紧定位面又不会因压力太大破坏定位,当确保工件定位可靠后,辅助支撑顶紧工件并锁紧,这时,定位机构和辅助支撑使工件定位具有高度的刚性,楔铁油缸推动楔块锁紧压杆,保证工件被可靠压紧。这里采用楔铁锁紧机构有两个明显的优点:一方面,通过楔铁增力原理,增大压紧力;另一方面,通过合理设置压紧楔角,可以实现自锁。

图 8-27 中通过楔块施加给工件的夹紧力为 $F = Q / \tan(\alpha + 2\varphi)$, 其中 φ 是楔块与压杆间的摩擦角, α 为楔块楔角, Q 为锁紧油缸施加在楔块上的锁紧推力。钢件间的摩擦系数 $\mu = 0.1 \sim 0.15$, 则摩擦角 $\varphi = \arctan(0.1 \sim 0.15) = 5^\circ 43' \sim 8^\circ 28'$ 。由于锁紧油缸直径为 70 mm, 锁紧油缸使用的液压油压力为 3 MPa, 此时锁紧推力 $Q = 30 \times 3.14 \times 3.5^2$, 则夹紧力为

$$F = \frac{Q}{\tan(\alpha + 2\varphi)} = \frac{1\ 153.95}{\tan(\alpha + 2\varphi)} \quad (8-1)$$

自锁条件是当楔块楔角 $\alpha \leq 2\varphi$ 时,压杆上由于加工工件时抵抗切削力产生的反向楔块的力不超过它们间相对滑动的摩擦力,也就是说,即使没有外界推楔块的 Q 力,反作用力也推不开楔块,起到自锁作用。自锁条件也就是 $\alpha \leq 11^\circ \sim 17^\circ$ 。一般考虑安全系数,选用 $\alpha = 6^\circ$

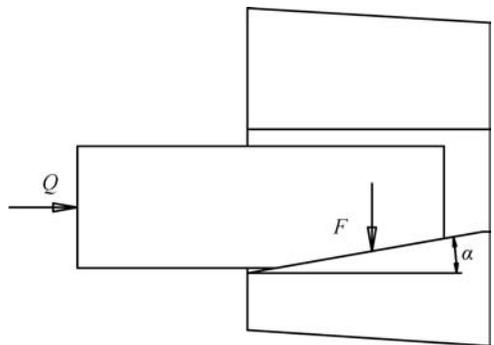


图 8-27 楔铁夹紧受力图

$\sim 8^\circ$ 比较稳妥。这里我们选用 $\alpha = 8^\circ$ 。

夹具设计中,为了使缸体两端面的压杆能够均匀压在缸体端面处的两侧,特设计了浮动压块(件 15),该浮动压块通过圆柱销连接在压杆(件 16)上,当压杆向工件施压时,带动浮动压块压在工件端面两侧,由于浮动压块可绕压杆回转,能够将压杆施向工件的力均匀压紧在工件上,而且是压在工件刚性较好的壁上,同时下面正对辅助支撑,确保压紧工件并不致使工件产生变形。

在夹紧位置正下方,采用了液压自动辅助支撑结构。该辅助支撑的使用,大大提高了支撑承受力和减少了加工振动。该结构如图 8-28 所示。

该辅助支撑中活塞 1 在油压作用下,通过弹簧推动支承柱塞杆顶紧工件,此时作用在工件上的力为弹簧力,不致使工件变形;然后油压通过活塞 2 楔面推动滚珠,压紧锥形套,锁紧支承柱塞杆。由于锥形套外周为小角度锥度,具有增力作用,所以作用在活塞 2 上的油压仅为低压即可;同时,锥形套具有自锁功能,保证支承柱塞杆在轴向力的作用下不会移位,起到辅助支撑作用。

4. 夹具输送、导向结构分析设计

前面分析了夹具上定位系统、夹紧系统,解决了夹具最主要的功能结构,下面要分析工件上下夹具所需要的输送滑道结构和导向结构。

图 8-24 夹具总图中,可以同时装夹两个工件,每个工件装夹位置处,有两个工件输送支撑板(件 12)平行安装在夹具体上,而每个输送支撑板下部连接两个导向杆,导向杆插入到本体(件 1)内,输送支撑板中间连接托起油缸(件 13)的活塞杆,托起油缸体安装在夹具体体内,当托起油缸活塞杆在油压带动下升降时,带动输送支撑板沿导向杆升降。当工件要进入夹具时,两块输送支撑板被油缸托起,工件沿两个支撑板被推进夹具后,托起油缸活塞杆落下,带动支撑板乃至工件落下定位。当工件被加工完成后,再被托起油缸升起,下料装置将工件拉出。在工件进出夹具过程中,还有一个导向结构起到导向作用,防止工件偏斜进入夹具,从而影响定位结构正常进入工件定位部位正确定位。这个导向杆就是图 8-24 中的件 22,它通过支架板(件 23)连接在其中一个输送支撑板上,可随输送支撑板一起升降,不会影响工件定位。为防止辅助支撑与输送支撑板位置有干涉,特将两块输送支撑板上辅助支撑处挖出圆洞,辅助支撑从圆洞穿过。

5. 夹具润滑系统设计

夹具中的滑块、导柱、压杆等机构,由于在工作过程中会有相对移动摩擦,如果不进行润

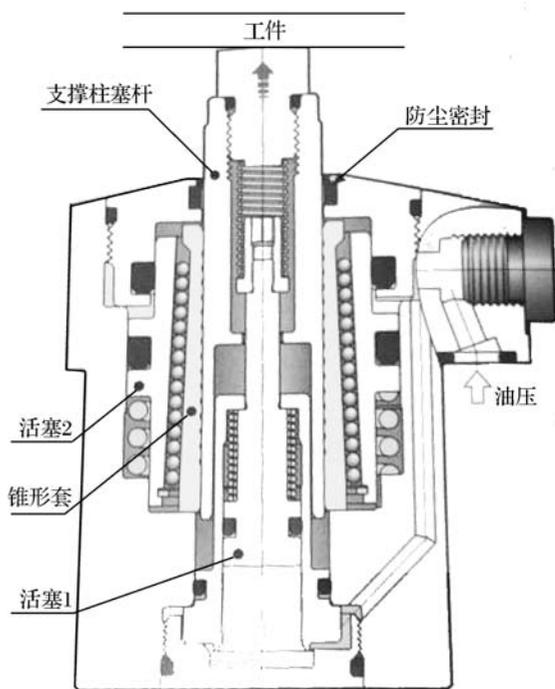


图 8-28 辅助支撑结构图

滑就会加快各工作部件的磨损,同时会损失部分工作力。早期的夹具部件采用注油杯安装在滑移零部件处,注油杯内定期人工加入适量的润滑脂,润滑脂在零件运动时被带入滑移表面,起到润滑作用。这种结构需要人工定期地添注润滑油,费时费力,还会因为忘记加油而起不到润滑作用。现在,我们将专机上用于滑台导轨润滑的自动润滑系统引入到夹具中,利用自动润滑泵通过程控器或者电气系统 PLC 进行控制,定期自动注油润滑移动零件。在管路中引入容积式润滑计量件,可保证每次润滑到各润滑点的油量按设计比例注入,保证各点润滑充分。

6. 专机刀具优化设计

作为汽缸体加工的关键工序,刀具的合理选择也是保证高精度加工的关键。

1) 铣削刀具优化设计

本专机加工的是四个圆平面,要用面铣刀才行。面铣刀如图 8-29 所示。小直径面铣刀用高速钢做成整体式,大直径的面铣刀是在刀体上装配焊接式硬质合金刀片,或采用机械夹固式可转位硬质合金刀片。

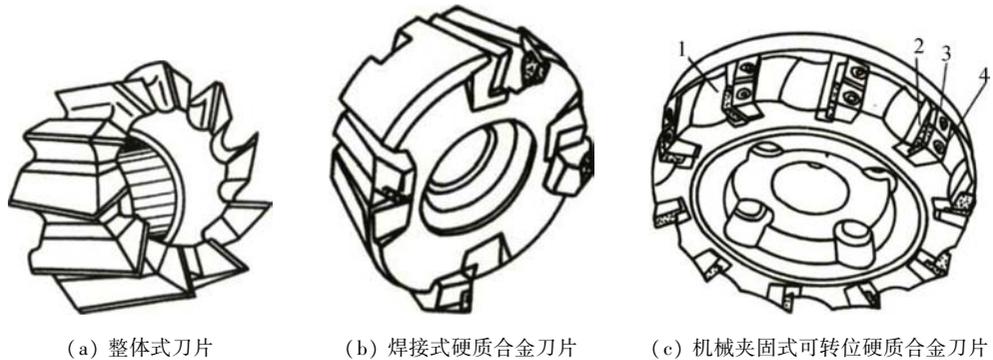


图 8-29 面铣刀

1—刀体;2—定位座;3—定位座夹板;4—刀片夹板

硬质合金面铣刀适用于高速铣削平面。目前较多使用的是机械夹固式可转位硬质合金刀片盘铣刀。可转位硬质合金刀片一般有 2~4 个切削刃口,多的可以做到 12~16 个切削刃口,当一个刃口切削磨钝后,只要将刀片转个位,可多次使用。使用这种刀片的好处是多刃加工,经济性好;同时刀片更换和调刀方便迅速。随着刀片烧结技术和磨切精度的提高,硬质合金可转位刀片可以做得十分精密,每个刀片的各刃口做的一致性很好,各个刀片之间一致性也很好,精加工铣刀可以做到不用专门卸下进行对刀,或更换刀片,就能达到较好的刀刃平面度要求,加工出的工件面也能达到 0.03 mm 左右的平面度,粗糙度甚至可以达到 $R_a 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$,可以代替部分磨削工艺。鉴于这些优点,机械夹固式可转位硬质合金刀片盘铣刀被广泛推广使用,而装配焊接式硬质合金刀片由于标准化低,不易调整而很少使用了。

上面所述的硬质合金盘铣刀一般应用在铣削较大的平面,较小平面铣削加工一般采用整体式高速钢铣刀或者硬质合金铣刀。但随着刀具制造技术的发展,较小直径的也可以做成机械夹固式可转位硬质合金刀片盘铣刀,这样做的好处就是刀具用钝以后,只需更换刀片



就可当新的刀具使用,恢复刀具的正常加工效能。若用整体式的,刀齿磨钝后就只得连刀体一起报废,造成巨大的浪费。本专机就选用了小直径机械夹固式可转位硬质合金刀片盘铣刀,如图 8-30 所示。这种铣刀结构的选择可以降低刀具使用成本,同时便于快速换刀片和调刀。

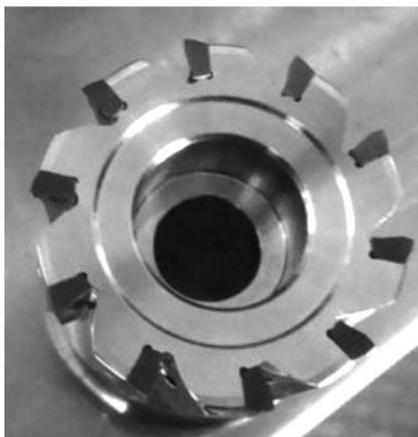


图 8-30 小直端面铣刀

选择使用硬质合金可转位盘铣刀时,关键要合理选择适合加工的刀片和合理设计刀槽数量。选用合适的刀片,就是选择合适的材质和刀片形状,使得满足加工节拍的前提下,尽可能使刀片具有较好的性价比,也就是说,花费在单件工件上的刀片费用尽可能少。直径一定的刀盘上要求装夹尽可能多的刀片,目的是增加刀具的进给速度,提高加工效率。我们知道,铣削工进速度 $s_{\pm} = s_z \times Z \times n$, 其中 s_z 是铣刀每齿进给量, Z 是铣刀的齿数, n 是主轴转速。特定材质刀片的合理铣削速度是一定的,选定刀片后铣削速度基本上就是一个定值; s_z 也是一定的; 所以只有设计尽量多的刀槽,装更多的刀片,铣削工进速度 s_{\pm} 才会最大化,铣削效率才能更高。基于这一设计原则,我们委托大连富士工具有限公司,设计制造了如图 8-30 所示的刀盘。该刀盘设计了 10 个刀槽,最大发挥了刀具的性能。正常情况下, $\phi 100$ mm 直径的密齿铣刀齿数才能做到 10 齿左右,而现在 $\phi 50$ mm 直径铣刀上就设计了 10 齿,而且是可转位硬质合金刀片。铣刀片采用了日本三菱直角四刃硬质合金刀片,刀片切削速度达到 176 m/min。这样的铣刀,达到了设计预想效果,大大提高了效率,并降低了刀片费用。同时,刀片每刃可切削加工 900~1 200 件工件。换一次刀刃,可加工两个工作班次,节省了换刀时间。

2) 钻孔刀具优化设计

麻花钻是在工件实体上加工孔的最为常用的刀具,它的加工范围在 0.1~80 mm。按柄部不同,有锥柄和直柄之分。按制造材料分,有高速钢麻花钻和硬质合金麻花钻。硬质合金麻花钻比起高速钢麻花钻,加工速度可以高出很多,加工效率自然也较高。高速钢麻花钻在组合钻床上,一般应用在具有钻套导向进行加工的场所,这时麻花钻常用锥柄结构,以方便和主轴箱接杆连接。而硬质合金钻头多用在刚性组合机床上,对工件进行刚性钻孔,采用直柄结构较多。直柄麻花钻相对锥柄麻花钻制造成本更低,刚性更好。在加工中心等刚性加工机床中,多采用直柄硬质合金钻头。整体硬质合金钻头由于刚性好,刚性加工孔的位置度大大优于带导向的高速钢钻头,在加工中可以作为铰孔精加工的前序,不需要再增加一道扩孔工序了。本专机中为了提高加工效率和保证加工精度,采用了硬质合金直柄麻花钻。选用直柄结构还有更换快捷的特点,这个特点将在后面刀柄结构介绍时详细论述。我们设计了如图 8-31 所示的钻孔倒角复合硬质合金钻头,如 $\phi 13.7$ 的钻头切削速度达到了 77.4 m/min 的高速度,实现了加工中心相似的高速加工。

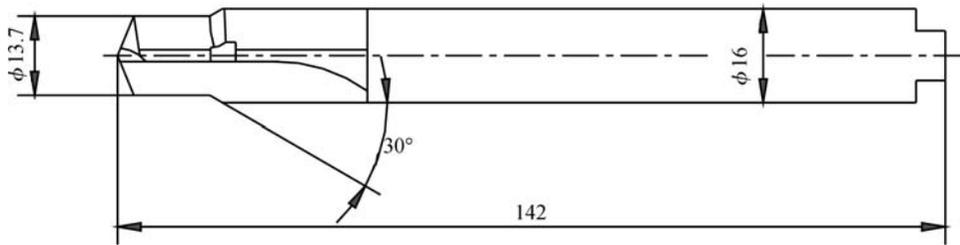


图 8-31 复合硬质合金钻头

3) 铰孔刀具优化设计

铰削主要是对于已经进行钻孔或者扩孔的底孔进行精加工,以提高孔的尺寸精度和形状误差和表面粗糙度。铰刀是用来对中、小直径孔进行精加工的刀具。按柄部不同,有锥柄和直柄之分。按制造材料分,有高速钢铰刀和硬质合金铰刀。和钻头一样性质,锥柄铰刀多用在组合机床上需要导向套导向的场合,目的是借助导向来修正一下加工孔的位置度。这时的铰刀多采用高速钢材质,刀具磨钝后还要进行刃磨后继续使用。直柄铰刀多用在加工中心等具有高刚性主轴设备上。由于一些专机也具备高刚性主轴结构,在这些专机上也多采用。由于刚性加工不受导向限制,加工速度更高。这时一般要采用具备高速加工性能的整体硬质合金材质铰刀,以提高加工效率。硬质合金铰刀一般比高速钢铰刀的切削速度高出 5~10 倍,大大提高了加工效率,同时刀具耐用度也可提高 3~10 倍。另外,硬质合金铰刀,加工余量比高速钢更大,修正钻孔位置偏差的能力更强,可以省去扩孔工序。基于以上的因素,设计中采用了直柄整体硬质合金铰刀,如图 8-32 所示。

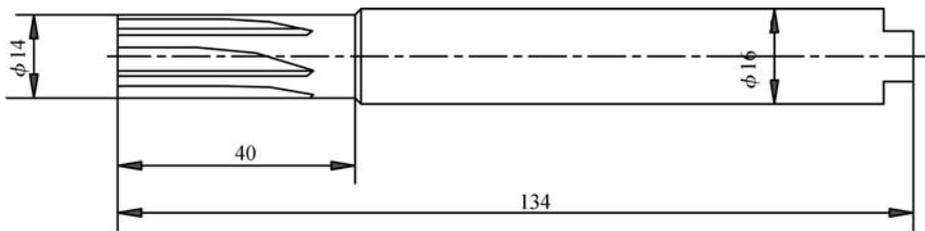


图 8-32 整体硬质合金铰刀

结合本专机铰刀设计,介绍一下专机中使用的铰刀公差设计原则和计算方法。

我国国家标准《铰刀特殊公差》GB/T 4246—2004 中规定,以 IT 作为所加工孔的公差,铰刀公差为 0.35IT,其最大极限尺寸比孔的最大极限尺寸小 0.15IT,如图 8-33 所示。

铰刀上所标明的精度等级,是指被加工孔的精度等级。对于机用铰刀,一般分为 H7、H8、H9 三级精度。例如本专机加工的孔直径为 14H7,铰刀上也标明 14H7。

铰刀的公称尺寸 $d = 14.000 \text{ mm}$;

孔的最大尺寸 $D_{\max} = 14.018 \text{ mm}$;

孔的公差 (IT7) $T_h = 0.018 \text{ mm}$;

孔的公差的 15% (0.15IT7) $= 0.15 \times 0.018 = 0.0027 \approx 0.003 \text{ mm}$;

铰刀的最大直径 $d_{\max} = 14.018 - 0.003 = 14.015 \text{ mm}$;



铰刀的制造公差 $(0.35IT7) = 0.35 \times 0.018 = 0.0063 \approx 0.006 \text{ mm}$;

铰刀的最小直径 $d_{\min} = 14.015 - 0.006 = 14.009 \text{ mm}$ 。

这就求得铰刀的直径为 $14_{+0.009}^{+0.015} \text{ mm}$ 。

在专机上更多采用的是整体硬质合金铰刀。采用硬质合金铰刀加工韧性工件时,由于切削速度和切削温度高,工件热变形大。加上刀口圆弧半径比高速钢铰刀大,对工件的挤压变性也大,铰出的孔通常会因弹性恢复而产生“收缩”。这时,铰刀的最大极限尺寸可直接取被加工孔的最大极限尺寸,其公差值则可直接取 IT5 或 IT4~IT5 之间。根据这一原则,本专机所设计的铰刀的直径尺寸为 $14_{+0.009}^{+0.015} \text{ mm}$ 。按此直径制造的铰刀在使用中达到了较好的加工精度和使用寿命。

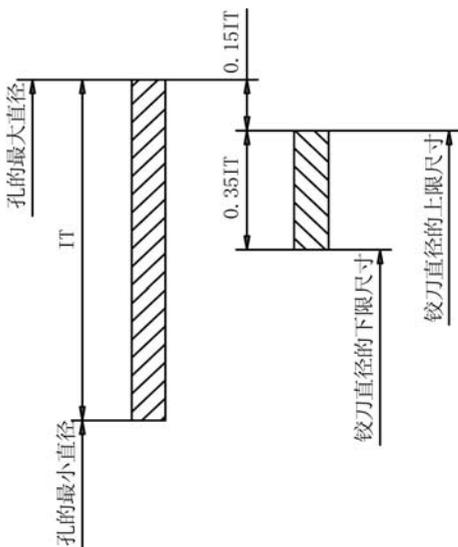


图 8-33 铰刀公差和孔公差的配置

铰削所用的铰刀制造十分精确,齿数多,芯部直径大,刚性和导向性好。

铰刀齿数选择原则:

- (1) 铰刀齿数一般为 4~12 个齿。
- (2) 大直径铰刀取较多齿数。
- (3) 韧性材料取较少齿数;脆性材料取较多齿数。
- (4) 为便于测量,铰刀一般取偶数齿数。

鉴于以上对于铰刀齿数的设计原则,本专机上铰刀按 6 齿设计制造,使用效果良好。

4) 专机刀具接口结构优化设计

刀具在主轴上的连接形式,直接影响到刀具性能的发挥,同时也影响到更换刀具的方便性。在本课题研究的专机中,刀具是铣刀、钻头和铰刀,这些刀具能否发挥出其最大的性能,和其如何连接到主轴上关系紧密。下面分别就铣刀的连接形式以及钻头、铰刀的连接形式进行探讨研究。

(1) 铣刀接口结构优化设计

在组合机床中应用最广泛的主轴和铣刀盘的连接结构如图 4-32 所示。大直径盘铣刀一般采用定位孔、端面和主轴定位;刀盘直径太小难以制作定位孔时,刀盘就会和刀柄做在一起,成为带刀柄的整体铣刀。铣刀盘通过 7:24 锥柄固定为主轴锥孔中;在加工中心等机床上,一般采用 7:24 锥柄连接或者 1:10 短锥 HSK 刀柄连接,这两种刀柄均可实现使用自动换刀装置进行换刀。这两种刀柄必须有一套夹持锁紧机构,主轴结构复杂,制造成本高。本专机上,铣削工位仅使用同一规格的铣刀进行加工,没有必要选择可自动换刀的加工中心主轴结构,刀具也不必采用这两种结构。本专机一个刚性铣削主轴箱采用两个主轴,要求两把铣刀安装在各自主轴上以后必须等高,所以,铣刀不能直接连接在主轴上,要设计一个刀柄和主轴连接,刀柄要求能够在主轴上进行轴向尺寸调节。根据以上对于使用的要求,结合

设计经验,设计使用了如图 8-34 所示的刀柄连接系统。

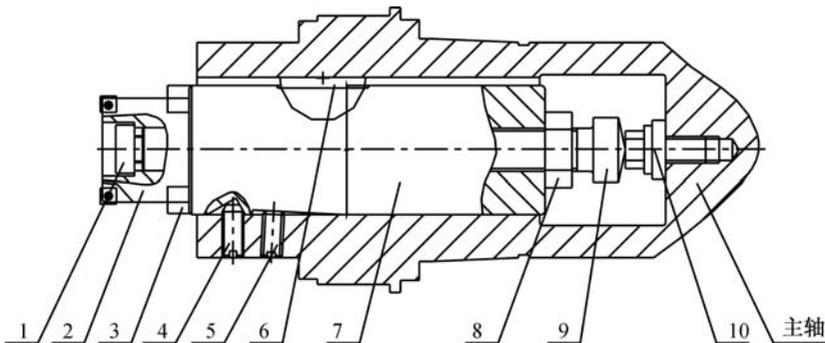


图 8-34 铣刀连接接口结构

1—压刀螺钉;2—铣刀盘;3—键;4—压紧螺钉;5—压紧螺钉;6—半圆键;
7—刀柄;8—螺母;9—调节螺钉;10—定位螺钉

刀柄连接系统中,铣刀盘(件 2)安装到刀柄(件 7)前端的定位芯轴上,通过键(件 3)圆周定位,压刀螺钉(件 1)将铣刀盘端面压紧在刀柄前端。刀柄直接插入到主轴内,圆周方向靠半圆键(件 6)实现定位传动,轴向尺寸位置靠调整调节螺钉(件 9)来实现,压紧螺钉(件 4 和件 5)将刀柄压紧在主轴内。

更换刀具时,可以卸掉压刀螺钉(件 1),将铣刀盘取下,进行刀片或刀体更换。如果两个刀盘轴向尺寸不一致,需要调整时,可以拧开压紧螺钉(件 4 和件 5),将刀柄从主轴内拉出,通过调整刀柄后端的调节螺钉(件 9)来调整铣刀轴向尺寸。调整后,将螺母(件 8)锁紧即可。将调整后的刀柄再装入主轴即可正常使用。

上面这种结构结构简单,调整方便,是小直径铣刀连接专机主轴的一种十分实用的接口方式。该装置的合理性在应用中得到了肯定。

(2) 钻头、铰刀接口结构优化设计

本专机采用刚性钻和刚性铰的加工工艺,意在用较少的加工工序获得较好的加工精度。为此选用了整体硬质合金直柄钻头和铰刀。这种钻头和铰刀通常使用在加工中心设备上,并且要采用 7:24 锥柄刀柄或者 1:10 短锥 HSK 刀柄与主轴连接。在使用主轴箱的组合机床或专机上,一般使用锥柄钻头和铰刀,但需要导向套进行导向,切削速度低,效率较低,获得较高的加工精度,还需要增加扩孔工序。

为满足加工要求,简化设计结构,设计使用了如图 8-35 和图 8-36 所示的钻头和铰刀刀柄连接系统。由于钻头和铰刀的刀柄系统除刀具不同外,其他结构相同,所以下面着重介绍钻头刀柄连接系统。

如图 8-35 所示,所选用的刀杆是大连富士工具有限公司的 HAW 型快换接杆,主轴系统为一拖(洛阳)开创装备公司设计制造。该结构中,钻头(件 1)插入刀杆(件 7)内后,旋紧锁紧螺母(件 2),压紧涨紧套(件 3)将钻头直柄夹紧,钻头在刀杆内轴向顶在螺柱(件 8)上。需要调整钻头轴向尺寸时,拧松螺母(件 2),取出钻头,从刀杆后端调整螺柱(件 8)向内或向外,然后插入钻头,锁紧螺母(件 2)即可。该结构结构紧凑,调整方便,工艺性好。

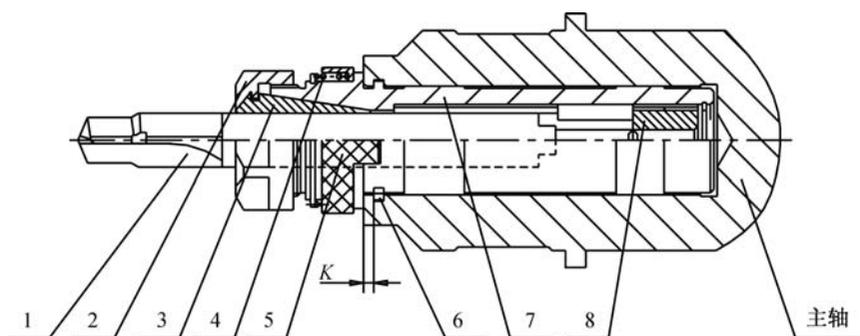


图 8-35 钻头连接接口结构

1—钻头;2—锁紧螺母;3—涨紧套;4—弹簧;5—套键;6—键;7—刀杆;8—螺柱

安装好钻头的快换接杆可以快速装入机床主轴内,并迅速锁定。需要更换和调整刀具时,也可从主轴内快速取出刀杆。这种方便的快换形式,得益于巧妙的设计结构。主轴上有一对称的直键槽,距主轴端尺寸为 K 处有一环槽,直键槽和环槽连通;快换刀杆上有一套键(件 5),该零件可以压缩其内部的弹簧沿轴向移动。刀杆上距台阶端面尺寸为 K 处有一对称圆周键,该键轴向厚度恰好和主轴内的环槽宽度一致,该键宽度恰比主轴上的直键槽宽稍窄。装入刀杆时,把刀杆上的圆周键对准主轴上的直键槽,向内推动刀杆,当圆周键推到底时,圆周方向旋转刀杆 90° ,圆周键进入主轴上的环槽,使刀杆轴向定位,此时套键(件 5)上的对称直键正好对准主轴上的直键槽,在弹簧推动下,套键上直键插入主轴上的键槽,同时卡在刀杆上的键槽内,使得刀杆和主轴圆周方向定位,并可传递圆周传动力。卸下刀杆时,向外拉套键(件 5),使得其直键脱离主轴上的键槽,圆周反方向旋转刀杆 90° ,当刀杆上的圆周键对齐主轴上的直键槽时,向外拉刀杆,就可取出刀杆。装入和取出刀杆过程,无需扳手,直接用手就可装卸,方便快捷。

值得提出的是,主轴和刀杆上 K 尺寸的配合设计相当关键,关系到刀杆是否能够稳定地安装和定位。主轴上 K 尺寸应设计为 $3_{-0.05}^{-0.02}$;刀杆上 K 尺寸应设计为 $3_0^{+0.03}$ 。

图 8-36 中,铰刀快换刀杆系统和钻孔刀杆系统一样结构,只是将钻头换做铰刀。

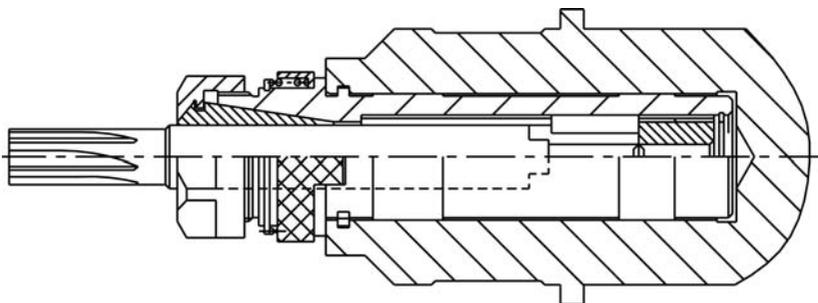


图 8-36 铰刀连接接口结构

8.6.5 专机主要部件设计

1. 主轴箱设计

主轴箱是组合机床设计的重要组成部分。它是选用通用零件,按专用要求进行设计的。主轴箱是按要求的坐标位置布置机床工作主轴及传动零件和相应的附加机构。它通过按一定速比排布传动齿轮,把动力从动力部件传递给各工作主轴,使之获得所需的转速和转向。

标准主轴箱由箱体、前盖、后盖、上盖、侧盖以及箱体内部的传动轴、主轴、齿轮零件等组成,主轴从前盖内伸出,连接钻孔刀具接杆或镗杆浮动接头,刀具是靠夹具上的钻模板或镗模架来导向进行加工的。本专机采用刚性刀具加工,刀杆直接安装在主轴内进行无导向刚性切削。这时需要在通用主轴箱前盖上设置刚性主轴。另外,本专机的主轴箱采用了西德主轴箱结构,箱体是由多层凹形箱板组成。这种结构的箱体优点是可以组成多层箱体,布置更多层齿轮进行传动,大大简化主轴箱的设计,降低箱体加工的难度。下面就本专机上要使用的铣削主轴箱和钻削主轴箱的设计进行叙述。

1) 铣削主轴箱设计

专机采用了双主轴的铣削主轴箱结构。主轴箱垂直安装在立式数控滑台上,可沿立式滑台上下移动进给,与装夹工件的X轴数控移位滑台插补运动,可以铣削出工件各加工面。因为是刚性加工,主轴数量较少,采用了在前箱上设计突起主轴的结构,这和一般的主轴箱有较大的差别。通常的主轴箱后面连接动力箱,而动力箱需要固定在滑台上。而本专机铣削主轴箱安装的形式受到专机结构的影响,须将传动部分穿过立式滑台台面上的孔洞内,后面直连电机。铣削主轴箱设计总图如图8-37所示。

图中,电机(件1)通过连接法兰(件2)和支撑套筒(件3)连接在主轴箱后箱壁(件5)上,后箱壁(件5)、中箱壁(件6)以及前盖体(件7)通过连接螺钉(件16)和定位销(件9)连接成一个箱体,箱体内布置主轴(件8)、传动轴(件15)、手柄轴(件12)和油泵轴(件11)。电机驱动电机轴(件14),电机轴通过齿轮(件13)驱动传动轴、手柄轴和油泵轴,传动轴通过联轴器(件17)驱动主轴运转。图中螺钉(件4)将铣削主轴箱连接在立式滑台台面上。

铣削加工过程具有多刃断续切削、半封闭加工以及切削厚度随时间改变等特性,加工过程容易出现颤振现象。颤振是影响零件加工质量和限制铣削加工效率的主要因素,还会降低刀具的使用寿命。所以铣削主轴箱必须设计足够的刚性,以避免共振产生。同时,采用变频电机,以设置合理的转速,避开共振速度区域。

铣削主轴扭矩大,需要高刚性,所以采用了高刚性主轴轴承结构,如图8-38所示。主轴前端安装1:12锥度的双列圆柱滚子轴承与双向推力角接触球轴承,后端安装成组配对的角接触轴承。双列圆柱滚子轴承和主轴之间采用1:12锥度配合,通过配磨调整垫,使得轴承径向预紧配合,提高主轴径向刚性。可以通过使用GN量规测量径向游隙,或者将轴承压入主轴实测径向游隙,从而测得调整垫需要配磨的厚度,配磨调整垫厚度,达到精确控制轴承的径向游隙并对轴承施加径向预加负荷,最终增强主轴支承刚性。主轴轴向载荷靠双向角接触轴承来承担。主轴后端支撑的成组配对角接触轴承通过螺母压紧进行预紧。在主轴前端盖上设计了机械迷宫、气密封和甩水盘组合结构,阻止铁屑、灰尘、油水等污物进入主轴轴承内,起到保护轴承的作用。主轴和传动轴之间采用弹性联轴节,联轴节两端分别与主轴、传动轴通过螺钉压紧锥楔连接,联轴节前后两端之间采用弹性材质传递旋转扭矩。这样避免了传动轴上的振动传递到主轴上而影响加工精度。

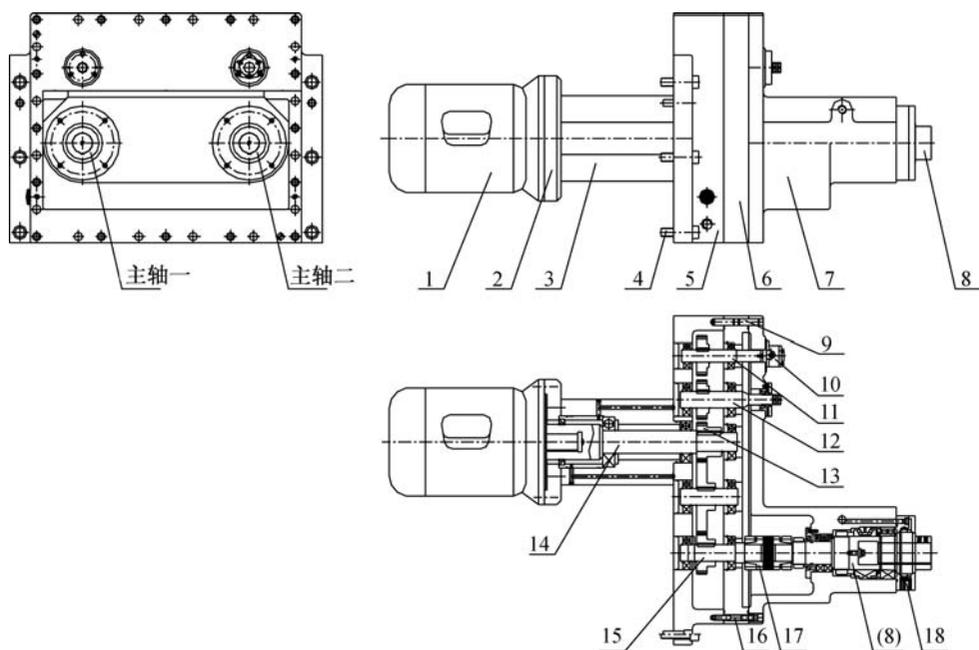


图 8-37 铣削主轴箱总图

1—电机;2—连接法兰;3—支撑筒套;4—螺钉;5—后箱壁;6—中箱壁;7—前盖体;8—主轴;9—定位销;10—油泵;
11—油泵轴;12—手柄轴;13—齿轮;14—电机轴;15—传动轴;16—连接螺钉;17—联轴器;18—端盖

另外,在图 8-37 中可以看到,所有传动轴与齿轮、轴承的轴向定位均采用了弹性挡环结构,制作工艺简单,安装方便、快捷。中箱壁与前盖体和后箱壁结合处采用 O 型圈进行密封,防止主轴箱内润滑油泄漏。

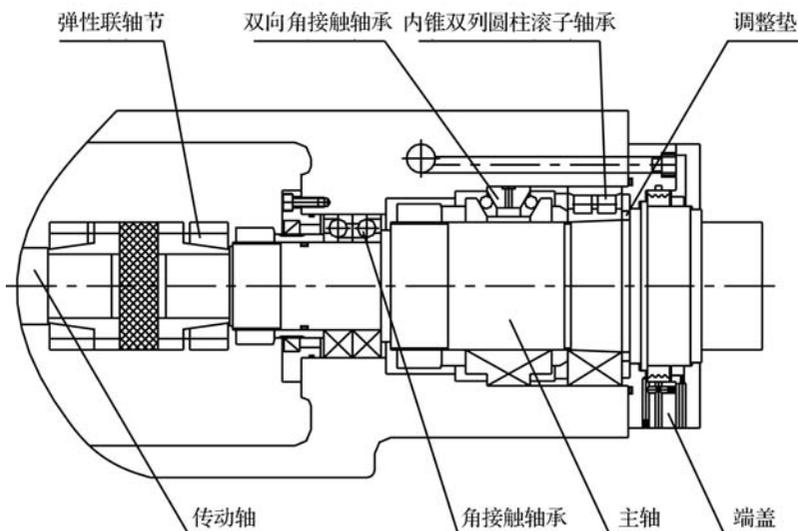


图 8-38 铣削主轴结构图

2) 钻铰主轴箱设计

钻铰主轴箱水平安装在进给滑台上,其安装形式和铣削主轴箱有所差别。主轴箱上电机与传动轴的连接、主轴轴承支撑形式也不同。钻铰主轴箱设计总图如图 8-39 所示。

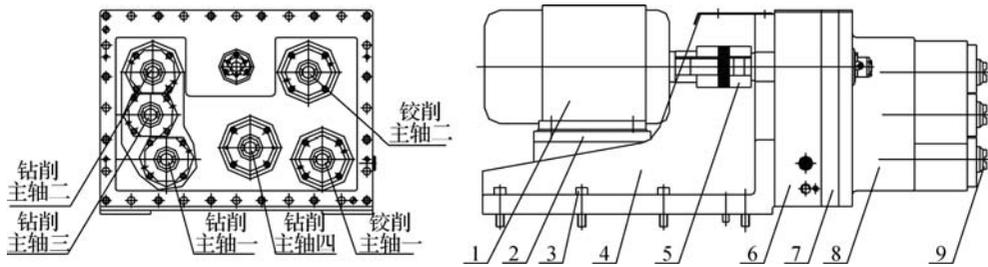


图 8-39 钻铰主轴箱总图

1—电机;2—电机座;3—螺钉;4—连接板;5—电机联轴节;6—后箱壁;7—中箱壁;8—前盖体;9—主轴

图中,电机(件 1)通过电机座(件 2)安装在滑台上,电机轴通过电机联轴节(件 5)和传动轴连接,将动力输入到主轴箱内。主轴箱后箱壁(件 6)、中箱壁(件 7)以及前盖体(件 8)通过连接螺钉和定位销连接成一个箱体,该箱体通过螺钉连接两个连接板(件 4),连接板再通过螺钉(件 3)将钻铰主轴箱连接在滑台上。箱体內的传动轴、齿轮、轴承的安装形式和铣削主轴箱结构一样。本主轴箱电机未与主轴箱直连,而是通过弹性联轴节与主轴箱的传动轴连接,避免电机振动传给主轴箱。图中有六个主轴,每个工件只有四个孔,六个主轴按下面顺序加工两个工件上的八个孔:钻铰主轴箱中的钻削主轴一、二、三、四分别钻四个孔。钻削三、四轴是钻输送孔,精度一般,钻完即可;钻削一、二轴是钻定位销的底孔。钻铰主轴箱中的铰削一、二轴针对前工位加工过的底孔进行铰削,完成精加工。

钻铰主轴箱的主轴轴承支撑结构与铣削主轴箱不同,见图 8-40。由于钻铰主轴箱中的钻削主轴轴向载荷较大,需要高轴向刚性,又因为钻削主轴转速高,所以采用了图中所示的轴承结构。前端安装三列配对角接触轴承,后端安装两列配对角接触轴承。这样的轴承结构适合高速钻削加工。主轴前、后端支撑的配对角接触轴承通过螺母压紧进行预紧。主轴前端端盖上也设计了机械迷宫、气密封和甩水盘组合结构,阻止铁屑、灰尘、油水等污物进入主轴轴承处,起到保护轴承的作用。主轴和传动轴之间采用弹性联轴节,联轴节两端分别与主轴、传动轴通过螺钉压紧锥楔连接,联轴节前后两端之间采用弹性材质传递旋转扭矩。这样避免了传动轴上的振动传递到主轴上而影响加工精度。

2. X 轴移位滑台设计

本专机移位滑台台面上安装夹具,夹具上安装工件。移位滑台为铣削运动提供 X 轴方向进给运动,并起到工件输送移位和钻孔、铰孔的定位作用。由于工件在 X 轴方向需要多工位定位和进给运动,该滑台采用了数控伺服控制,目的是提高定位精度、简化滑台制造难度。考虑到机床加工节拍短,定位精度高,滑台设计时必须考虑精度、稳定性、快速响应三方面问题。为此,首先需要考虑使用高性能伺服电机驱动,同时要求高精度的机械传动机构与之匹配。进给系统传动机构设计中采取的主要措施有:(1) 提高系统机械结构的传动刚性。如:提高传动元件的刚度,消除传动元件之间的间隙,尽可能缩短进给传动运动链的长度,采用预紧措施等。(2) 采用低而稳定的摩擦传动副。如滚珠丝杠螺母副、直线导轨等。(3) 惯

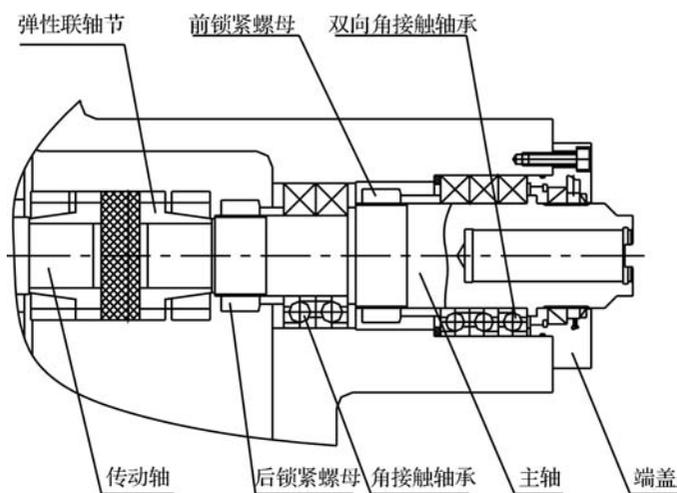


图 8-40 钻铰主轴结构图

量匹配。最佳惯量匹配是为了保证伺服驱动电机的工作性能和满足传动系统对控制指令的快速响应的要求。希望传动系统中元件的质量和惯量要小些,减速比则要大一些。(4) 提高传动件精度。要求提高伺服电机精度、滚珠丝杠副以及减速装置的精度。

遵循以上设计原则,移位滑台设计时采用了直线导轨作为导轨形式,采用滚珠丝杠进行运动传递。为增大扭矩,伺服电机和滚珠丝杠之间采用了减速装置。具体形式详见图 8-41。

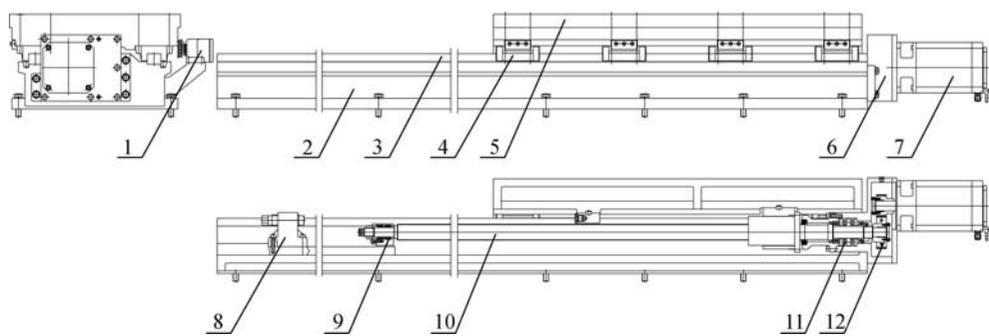


图 8-41 移位滑台总图

- 1—极限和零位开关;2—底座;3—直线导轨;4—导轨滑块;5—台体;;6—传动箱;7—伺服电机;
8—极限挡铁;9—丝杠前轴承;10—滚珠丝杠副;11—丝杠后轴承;12—传动齿轮

针对移位滑台设计,下面详细介绍伺服驱动系统和直线导轨副设计过程。

1) 伺服驱动系统设计

(1) 驱动系统设计

由于定位销孔精加工后位置精度为 $\pm 0.03 \text{ mm}$,考虑到专机定位精度为此精度的 $1/3 \sim 1/2$,确定专机定位精度为 $\pm 0.01 \sim \pm 0.015 \text{ mm}$ 。按此精度要求,初步选用半闭环伺服系统。这里伺服电机到滚珠丝杠间采用齿轮减速装置,减速比为 $i = 2/3$,滑台快进速度要求 $v_{\max} = 12$

m/min。取电机的最高转速 $n_{\max} = 2\,000$ r/min, 则丝杠的最高转速为 $1\,333$ r/min, 则丝杠的导程

$$P_h \geq 1\,000 \times v_{\max} / n_{\max} = 1\,000 \times 12 / 1\,333 \approx 9(\text{mm})$$

取丝杠导程 $P_h = 10$ mm。伺服系统的传动系统图如图 8-42。

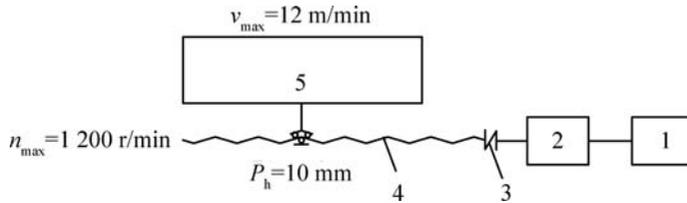


图 8-42 伺服系统的传动系统图

1—伺服电机;2—减速装置;3—联轴器;4—滚珠丝杠;5—滑台

(2) 滚珠丝杠选择

① 滚珠丝杠精度

由于专机 X 轴定位精度为 $\pm 0.015/300$ mm, 暂设丝杠的任意 300 mm 行程变动量 V_{300} 为定位精度的 1/3, 即 0.005 mm, 因此, 滚珠丝杠精度应为 C_1 级 ($V_{300} = 0.005$ mm)。

② 滚珠丝杠选择

滚珠丝杠的名义直径、滚珠的列数和工作圈数, 应当量动载荷 C_m 选择。

丝杠的最大载荷为切削时的最大进给力加摩擦力, 最小载荷即摩擦力。已经算得滑台的最大进给力为 $F_f = 5000$ N, 滑台、夹具和工件的质量为 $600 + 1\,500 + 100 = 2\,200$ kg, 滚珠直线导轨的摩擦系数为 0.005。所以最小载荷 (即摩擦力) 为 $F_{\min} = 0.005 \times 2200 \times 9.8 = 107.8$ (N), 最大载荷 $F_{\max} = 5\,000 + 107.8 = 5\,107.8$ (N)。丝杠的平均载荷 $F_m = 2 \times (F_{\max} + F_{\min}) / 3 = 2 \times (5\,107.8 + 107.8) / 3 \approx 3\,477$ (N) = 3.477 (kN)。丝杠的最高转速为 1 200 r/min, 最低转速为 0.1 r/min, 可取为, 则平均转速为 $n_m = (1\,200 + 0) / 2 = 600$ (r/min)。丝杠的工作寿命为:

$$L = 60nT/10^6 = 60 \times 600 \times 20\,000 / 10^6 = 720(\text{h}) \quad (8-2)$$

式中: L 为工作寿命, 以 10^6 为 1 个单位; n 为丝杠平均转速, 单位 r/min; T 为丝杠使用寿命, 数控专机可取 $T = 20\,000$ h。

计算当量动载荷:

$$C_m = \frac{F_m \sqrt[3]{L} K_p}{K_a} = \frac{3.441 \times \sqrt[3]{720} \times 1.5}{1} \approx 46(\text{kN}) \quad (8-3)$$

式中: K_p 为载荷性质系数, 无冲击取 1~1.2; 轻微冲击取 1.2~1.5; 较大冲击取 1.5~2.5。这里根据机床状况取 $K_p = 1.5$ 。式中 K_a 为精度影响系数, 对于 1、2、3 级精度的滚珠丝杠取 $K_a = 1$; 对于 4、5 级精度的滚珠丝杠取 $K_a = 0.9$ 。本专机选用的是 C_1 级滚珠丝杠, 故取 $K_a = 1$ 。

确定允许的最小螺纹底径 d_{2m} 。

先估算丝杠允许的最大轴向变形量。 $\delta_m \leq (1/3 \sim 1/4) \times$ 重复定位精度, 并且 $\delta_m \leq (1/4 \sim 1/5) \times$ 定位精度。本专机 X 轴重复定位精度为 $15 \mu\text{m}$, 定位精度为 $30 \mu\text{m}$, 所以需满足 $\delta_m \leq 5 \mu\text{m}$, 并且 $\delta_m \leq 7 \mu\text{m}$, 即要满足 $\delta_m \leq 5 \mu\text{m}$ 。丝杠要求预拉伸, 取两端固定的支承形式,



$$d_{2m} = 10 \sqrt{\frac{10F_0L}{\pi\delta_m E}} \quad (8-4)$$

式中: F_0 为静摩擦力, $F_0 = 107.8 \text{ N}$; L 为两固定支承之间的距离, $L \approx (1.1 \sim 1.2)$ 行程 + $(10 \sim 14)P_h = (1.1 \sim 1.2) \times 2\,000 + (10 \sim 14) \times 10 \approx 2\,500 (\text{mm})$; δ_m 为估算的滚珠丝杠的最大轴向变形量, $\delta_m = 5 \mu\text{m}$; E 为杨氏弹性模量, $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。计算得

$$d_{2m} = 10 \times \sqrt{\frac{10 \times 107.8 \times 2\,500}{\pi \times 5 \times 2.1 \times 10^5}} \approx 28.6 (\text{mm})$$

根据算得的当量动载荷,查滚珠丝杠样本,选取与 C_m 相近的额定动载荷 C_a ,使得 $C_m < C_a$,这里也要依据前面已经确定了的滚珠丝杠的导程以及算得的最小丝杠底径,然后确定滚珠丝杠副的型号和规格尺寸。查滚珠丝杠样本,选择 1R63-10B2-PFDW-0.005 型内循环浮动返回器双螺母对旋预紧滚珠丝杠副。滚珠丝杠名义直径为 63 mm,导程 10 mm,螺母滚珠有 5 列。额定动载荷 $C_a = 65 \text{ kN}$, $C_m < C_a$;丝杠底径 $d_2 = 57.91 \text{ mm} > d_{2m}$,符合设计要求。轴向刚性 $K_c = 2\,060 \text{ N}/\mu\text{m}$ 。

确定丝杠螺母预紧力 F_p 。当最大轴向工作载荷 F_{\max} 能确定时, $F_p = \frac{1}{3}F_{\max}$ 。当最大轴向工作载荷 F_{\max} 不能确定时, $F_p = \xi C_a$ 。其中,轻载荷时, ξ 取 0.05;中载荷时, ξ 取 0.075;重载荷时, ξ 取 0.1。这里最大轴向载荷不确定,估计认为是中载荷,所以,滚珠丝杠螺母预紧力

$$F_p = \xi C_a = 0.075 \times 65 \approx 4.9 (\text{kN})$$

(3) 滚珠丝杠支撑选择

本传动系统的丝杠采用两端固定的结构形式,见图 8-43。靠近伺服电机一侧采用了一个型号为 52311 的双列止推轴承和两个型号为 7209C 的滚珠轴承,以承担较大的轴向推力和相对较小的径向力;在伺服电机远端采用了两组 7907CDT 配对组合角接触轴承,两组轴承背对背放置,用于承受两个方向的轴向力和径向力。伺服电机侧的止推轴承轴向固定,另一端轴承处配磨轴承和丝杠台阶间的隔套,然后用螺母锁紧轴承预紧,并将丝杠拉伸到台阶靠紧位置,以给丝杠预拉伸变形,增强丝杠刚性。

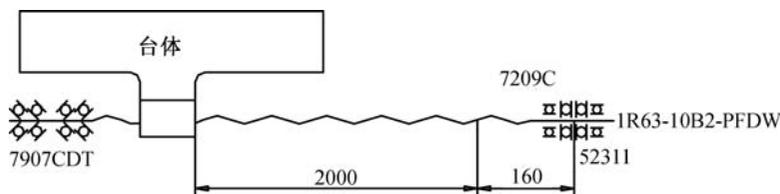


图 8-43 两端固定形式的丝杠支撑简图

确定丝杠行程补偿值 C 和预拉伸力 F_t 。本传动系统为两端固定支承,需要预拉伸的滚珠丝杠副应规定目标行程补偿值 C ,并计算预拉伸力 F_t 。

$$C = \alpha \times \Delta t \times L_u \times 10^3 \quad (8-5)$$

式中: C 为行程补偿值 (μm); α 为丝杠的线膨胀系数, $11.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$; Δt 为温度变化值, $2 \sim 5 \text{ } ^\circ\text{C}$,这里取 $\Delta t = 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$; L_u 为滚珠丝杠的有效长度 (mm), $L_u \approx$ 滑台行程 + 螺母长度 + 两个安全行程



\approx 行程 $+(8\sim 14)P_h$,取 $L_u \approx 2\,000+14\times 10=2\,140$ (mm)。计算得

$$C=11.8\times 10^{-6}\times 2.5\times 2\,140\times 10^3\approx 63(\mu\text{m})$$

预拉伸力计算公式为

$$F_t=\alpha\times\Delta t\times E\times(\pi\times d_2^2)/4 \quad (8-6)$$

式中: F_t 为预拉伸力(N); α 为丝杠的线膨胀系数, $11.8\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$; Δt 为温度变化值, $2\sim 5^\circ\text{C}$,这里取 $\Delta t=2.5^\circ\text{C}$; E 为杨氏弹性模量, $2.1\times 10^5\text{ N/mm}^2$; d_2 为丝杠的底径,查样本 $d_2=57.91\text{ mm}$ 。计算得

$$F_t=11.8\times 10^{-6}\times 2.5\times 2.1\times 10^5\times(\pi\times 57.91^2)/4\approx 16\,317(\text{N})$$

(4) 选择伺服电机

伺服电机选用应考虑三个要求:最大切削负载转矩不得超过电机的额定转矩;电机的转子惯量 J_m 应与负载惯量 J_r 相匹配;快速移动时,转矩不得超过伺服电机的最大转矩。

① 最大切削负载转矩计算

作用在电机上的最大切削负载转矩 T 按下式计算

$$T=\left(\frac{F_{\max}P_h}{2\pi\eta}+T_{p0}+T_{f0}\right)i+T_t \quad (8-7)$$

式中: X 轴最大进给力 $F_{\max}=5\,107.8\text{ N}$;丝杠导程 $P_h=10\text{ mm}=0.01\text{ m}$;滚珠丝杠螺母副机械效率 $\eta=0.9$ (注:1、2、3级精度丝杠 $\eta=0.9$;4级以下精度丝杠 $\eta=0.85$);滚珠丝杠副预加载

荷引起的附加摩擦力矩 $T_{p0}=\frac{F_p P_h}{29.8}=\frac{4\,900\times 0.01}{29.8}\approx 1.6(\text{N}\cdot\text{m})$;查轴承手册,得轴承的摩擦力矩 $T_{f0}=1.58\text{ N}\cdot\text{m}$;伺服电机通过减速机与滚珠丝杠连接,传动比 $i=2/3$;算得减速装置折算到伺服电机上的摩擦力矩 $T_t=1.8\text{ N}\cdot\text{m}$ 。由以上数据计算得

$$T=\left(\frac{5\,107.8\times 0.01}{2\pi\times 0.9}+1.6+1.58\right)\times\frac{2}{3}+1.8\approx 10(\text{N}\cdot\text{m})$$

选得的伺服电机型号为1FT6132-6AC71,其额定转矩 $T_e=55\text{ N}\cdot\text{m}$, $T<T_e$,满足设计要求。

② 负载惯量计算

负载惯量包括以下方面,计算得:

a. 工件、夹具与滑台折算到电机轴上的惯量 J_1

工件、夹具与滑台的最大质量 $m=2\,200\text{ kg}$,按下式计算

$$J_1=m\left(\frac{v}{\omega}\right)^2=m\left(\frac{P_h n}{2\pi n}\right)^2=m\left(\frac{P_h}{2\pi}\right)^2=2\,200\times\left(\frac{0.01}{2\pi}\right)^2\approx 0.005\,5(\text{kg}\cdot\text{m}^2) \quad (8-8)$$

式中: v 为滑台移动速度,m/s; ω 为伺服电机的角速度,rad/s。

b. 丝杠加在电机轴上惯量 J_2

丝杠名义直径 $D=63\text{ mm}=0.063\text{ m}$,长度 $l=2.6\text{ m}$,丝杠材料钢的密度 $\rho=7.8\times 10^3\text{ kg/m}^3$ 。根据下式计算丝杠加在电机轴上的惯量

$$J_2=\frac{1}{32}\pi\rho l D^4=\frac{1}{32}\pi\times 7.8\times 10^3\times 2.6\times 0.063^4\approx 0.031\,3(\text{kg}\cdot\text{m}^2) \quad (8-9)$$



c. 联轴器加上锁紧螺母等的惯量 J_3 可查手册得到

$$J_3 = 0.001 (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

d. 减速装置加在电机轴上惯量 J_4 , 可估算得到

$$J_4 = 0.003 (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

e. 负载总惯量 J_r

$$J_r = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 = 0.0055 + 0.0313 + 0.001 + 0.003 = 0.0408 (\text{kg} \cdot \text{m}^2) \quad (8-10)$$

所选得的伺服电机型号为 1FT6132-6AC71, 转子转动惯量 $J_m = 0.0430 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, 满足 $1 < J_m/J_r < 4$, 所以电机转子惯量与负载惯量相匹配。

③ 空载加速转矩计算

当电机从静止升至 n_{\max} 时, 所需的空载加速转矩 T_a 为

$$T_{\text{am}} = J \frac{2\pi n_{\max}}{60t_a} \quad (8-11)$$

式中: J 为负载和电机的总惯量, $J = J_r + J_m = 0.0408 + 0.0430 = 0.0838 (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$; n_{\max} 为电机的最高转速, 2000 r/min ; t_a 为加速时间, $t_a \approx (3 \sim 4)t_m = (3 \sim 4) \times (36 + 2.5) = 115.5 \sim 154 (\text{ms}) = 0.1155 \sim 0.154 (\text{s})$ 。取 $t_a \approx 0.153 \text{ s}$ 。由以上数据计算得

$$T_{\text{am}} = 0.0838 \times \frac{2 \times \pi \times 2000}{60 \times 0.153} \approx 117 (\text{N} \cdot \text{m})$$

所选得的伺服电机型号为 1FT6132-6AC71, 最大扭矩 $T_{\max} = 198 \text{ N} \cdot \text{m}$, 满足 $T_{\text{am}} < T_{\max}$ 所以伺服电机满足加速转矩要求。

(5) 伺服系统增益

通常取系统增益 K_s 为 $8 \sim 25$ 。这里取 $K_s = 23 \text{ s}^{-1}$ 。伺服系统的时间常数 $t_a = 1/K_s = 1/20 = 0.05 (\text{s})$ 。根据 $T_a = J \frac{2\pi n}{60t_a}$, 如选 1FT6132-6AC71 电机, 滑台达到的最大加速度为

$$a = \frac{T_{\max}}{J} \times \frac{P_h}{2\pi} = \frac{198}{0.0294} \times \frac{0.01}{2\pi} \approx 10.7 (\text{m/s}^2)$$

伺服系统要求达到的最大加速度发生在系统处于时间常数 t_a 内, 滑台速度从 $-v_{\max}$ 增加到 $+v_{\max}$ 时 $a_{\max} = \frac{v_{\max} K_s}{30} = \frac{12 \times 23}{30} = 9.2 (\text{m/s}^2)$ 。

(6) 精度验算和 DN 值验算

① 伺服刚度 K_R

$$K_R = \frac{K_s K_t (1 + K_{v0})}{K_m R_m} \quad (8-12)$$

式中: K_s 为系统增益, $K_s = 23 \text{ s}^{-1}$; K_t 为转矩系数, 查样本, $K_t = 0.57 \text{ N} \cdot \text{m/A}$; K_{v0} 为速度控制环的增益, $K_{v0} = 2K_s = 46 \text{ s}^{-1}$; K_m 为伺服电机的增益, $K_m = 1/K_e = 1/0.58 \text{ rad/(sV)}$ 。计算得 $K_R \approx 1375 \text{ Nm/rad}$ 。

折算到滑台的直线刚度为



$$K_{R0} = K_R \left(\frac{2\pi}{P_h} \right)^2 = 1\,375 \times \left(\frac{2\pi}{0.01} \right)^2 \approx 543 \times 10^6 \text{ (N/m)} = 543 \text{ (N/}\mu\text{m)}$$

② 滚珠丝杠的拉压刚度 K_{\min}

当螺母处在两支承中点时,刚性最小,此时

$$K_{\min} = 6.6 \times 10^2 \times d_2^2 / L = 6.6 \times 10^2 \times 57.91^2 / 2\,600 \approx 851 \text{ (N/}\mu\text{m)}$$

③ 滚珠丝杠的轴向刚度 K_{ba}

根据轴承参数及预加载荷算得 $K_{ba} \approx 610 \text{ (N/}\mu\text{m)}$ 。

④ 滚珠丝杠螺母的接触刚度 K_c

查滚珠丝杠样本,得 $K_c = 2\,060 \text{ (N/}\mu\text{m)}$ 。

⑤ 弹性联轴器的扭转刚度 K_t

查样本,得 $K_t = 5.2 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$,折算到滑台的直线刚度为

$$K_{t0} = K_{t0} \left(\frac{2\pi}{P_h} \right)^2 = 5.2 \times 10^4 \times \left(\frac{2\pi}{0.01} \right)^2 \approx 20\,528 \times 10^6 \text{ (N/m)} = 20\,528 \text{ (N/}\mu\text{m)}$$

⑥ 综合刚度 K

按串联原则合成得,

$$K = 1 / \left(\frac{1}{K_{R0}} + \frac{1}{K_{\min}} + \frac{1}{K_{ba}} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_{t0}} \right) \approx 192 \text{ (N/}\mu\text{m)}$$

⑦ 弹性变形量 δ_t

定位精度是在空载下检测得,此时只有摩擦力 $F_t = 107.8 \text{ N}$ 。摩擦力引起的弹性变形为

$$\delta_t = F_t / K = 107.8 / 192 \approx 0.6 \text{ (}\mu\text{m)}$$

⑧ 定位误差验算

丝杠任意 300 mm 内的导程误差 $V_{300} = 5 \mu\text{m}$,加上弹性变形 $\delta_t = 0.6 \mu\text{m}$,总共 $5.6 \mu\text{m}$ 。再加上其他因素,不会超过定位误差,能够满足定位精度 $0.015/300 \text{ mm}$ 的设计要求。

⑨ DN 值验算

DN 值对于滚珠丝杠的噪音、工作温度以及滚珠回流系统寿命有较大影响,必须验算满足 $D_{pw} \times n_{\max} \leq 100\,000$ 。其中 D_m 为滚珠节圆直径, $D_{pw} \approx d_2 + D_w = 6.35 + 57.91 = 64.26 \text{ (mm)}$; $n_{\max} = 1\,200 \text{ r/min}$ 。

$D_{pw} \times n_{\max} = 64.26 \times 1\,200 = 77\,112 < 100\,000$ 。选用的滚珠丝杠 DN 值合格。

2) 直线导轨副的选用

直线导轨应用在机床上有以下优点:

(1) 定位精度高。由于摩擦系数仅为滑动摩擦的 $1/50$,动、静摩擦力差别很小。不会出现滑台爬行现象,可达到 μm 级定位精度。

(2) 磨损小,能长时间保持高精度。

(3) 适应高速运动,并能大幅降低滑台的驱动力。

(4) 可同时承受各方向的负载。

(5) 组装容易,并具备互换性。

(6) 润滑简单可靠。



本专机需要滑台具备快速响应特性,结合以上直线导轨的优点,必然要选用。考虑到是精加工工序,加工负荷较小,专机应具有高精度和长期精度稳定保持性,因此在选用直线导轨时,根据经验适当加大直线导轨规格型号。

直线导轨采用 HIWIN 品牌 HG 系列互换性直线导轨,导轨型号 HGR55R3540P 一副两根,滑块 HGW55CAZAP+ZZ 共 8 块,每根导轨上 4 块。

3. 进给滑台设计

进给滑台包括钻削进给滑台和铣削进给滑台,考虑到专机,为尽可能采用相同的结构和相同规格零件和标准件,以减少备品备件的品种,将两种进给滑台设计成相同规格形式。同时尽可能借用移位滑台上的零件。本进给滑台与移位滑台结构相似,只是在滑台行程,直线导轨、滚珠丝杠长度方面不同而已。滑台如图 8-44 所示。

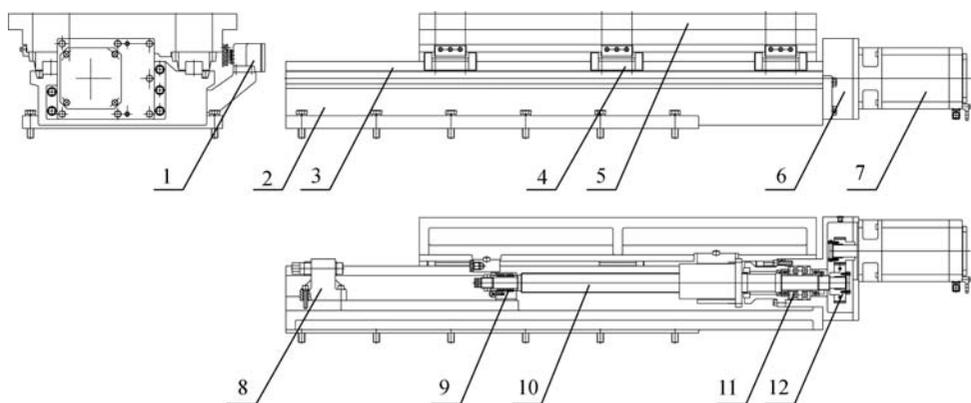


图 8-44 钻削和铣削进给滑台总图

- 1—极限和零位开关;2—滑台座;3—直线导轨;4—导轨滑块;5—滑台体;6—传动箱;7—伺服电机;8—极限挡铁;
9—丝杠前轴承;10—滚珠丝杠副;11—丝杠后轴承;12—传动齿轮

滑台滚珠丝杠和直线导轨的计算过程与移位滑台类似,此处省略。该进给滑台要满足钻削、铣削两种工况,设计时要按照钻削和铣削两种工况中最大载荷进行设计计算。

4. 立柱滑台设计

立柱滑台是为铣削主轴箱提供 Y 向进给的,铣削主轴箱自然要垂直安装在立柱滑台的台面上,设计时要能满足这一要求。综合设计经验,合理设计出了立柱滑台。立柱滑台总装图如图 8-45 所示。

如图 8-45,立柱滑座体(件 5)安装在铣削进给滑台上,滑台体顶部安装的伺服电机(件 4)通过齿形带(件 3)驱动滚珠丝杠(件 6),滚珠丝杠通过丝杠螺母驱动滑台体(件 1)沿立柱滑台座上导轨做上下运动。铣削主轴箱安装在滑台体上,主轴箱电机通过滑台体上的工艺孔伸进立柱滑座体内。另外,在滑台体下端安装一个折叠式挡屑板,防止铁屑飞溅到立柱导轨上。

本滑台导轨采用整体硬导轨,和立柱滑座为一体结构,能够提高滑台刚性。

立柱滑台滚珠丝杠的计算过程与移位滑台类似,此处省略。值得指出的是,该滑台要考

考虑滑台体的重量和平衡油缸(件2)的作用力。

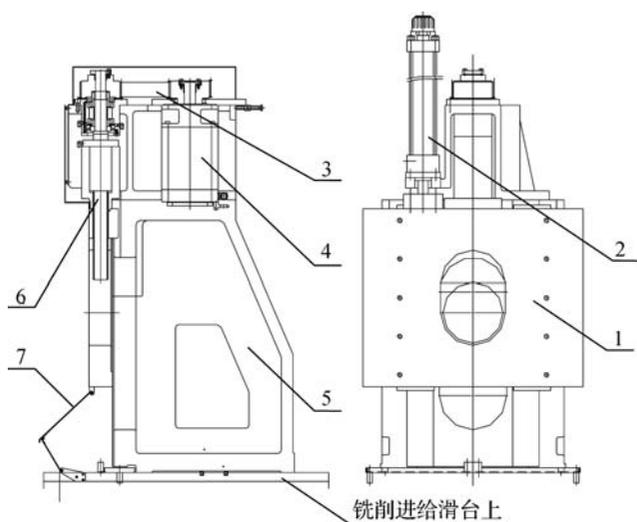


图 8-45 立柱滑台总图

1—滑台体;2—平衡油缸;3—齿形带;4—伺服电机;5—立柱滑座体;6—滚珠丝杠;7—挡屑板

5. 床身基础部件设计

在精加工机床设计时,基础部件刚性,影响到整机的刚性,所以在专机基础部件设计时,要特别注意基础部件刚性要充足。床身通常采用铸件或焊接件。铸件一般采用灰铸铁,经过多次时效处理消除内应力后,可以长期保持不变形。国外也大量采用钢板经焊接成型的床身,这种工艺制造出来的床身外形规整,整体外观较好,但是焊接工艺和热处理工艺要求较高。

专机的床身、各滑台座、滑台体、夹具本体等基础部件,采用了 HT250 牌号灰铸铁,具有较好的加工工艺性,刚性和吸振性。下面就床身设计进行介绍。

专机采用整体床身,整个床身铸成一箱体结构,内部合理布置筋板。专机所有功能部件均安装在床身上,床身作为各部件间的连接体。另外,考虑到专机采用干式加工,加工后落下的铁屑要及时排出,所以在床身上加工部位下方设计一长方形漏斗孔,床身内可放进刮板排屑装置,铁屑从漏斗孔直接落入刮板排屑装置,排屑装置将铁屑排入专机端头的集屑小车内。在床身周边沿设计翻边,利于安装和固定防护板。床身内部设计通孔,方便电缆穿越。

整体床身外形图见图 8-46。

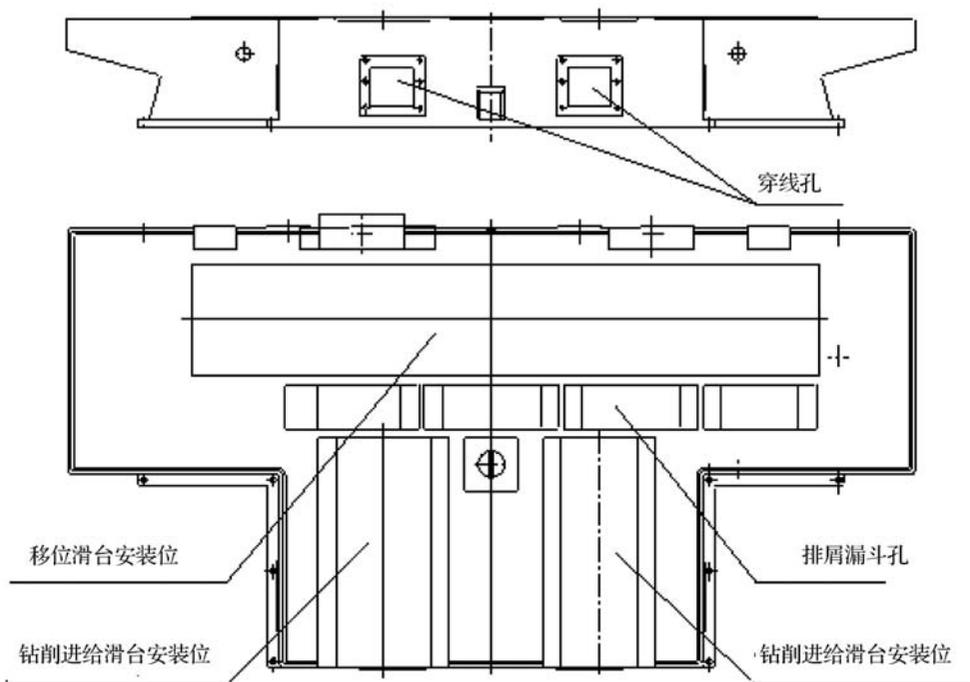


图 8-46 专机床身图

8.6.6 专机数控系统设计

1. 专机对数控控制系统要求

专机由主机、上下料回转台和自动上下料装置以及由四根数控轴和夹具等部件组成,共同完成零件的自动加工循环。四个数控轴为:移位滑台、铣削进给滑台、钻铰进给滑台和铣削立柱滑台,它们采用伺服电机进行驱动,由数控系统的 PCU 通过伺服驱动模块控制其伺服电机进行运动。

专机四个数控轴具体功能是: X 轴:完成工件多工位移位和铣工序的进给加工。 Y 轴和 Z_1 轴:完成铣工序的加工。 Z_2 轴:完成钻、铰工序的加工。

专机电气控制部分要由数控系统来独自完成。主机加工过程动作和机动上料装置中的推杆、挡料机构及机动下料装置中的推杆机构由数控系统的 CNC 程序来控制;机动上料装置中的隔、放料机构和专机下料装置中的隔放料、挡料机构及上下料转台,由系统 PLC 自行根据专机料位状态独自运行,它们有独立的自动和调整状态控制,不受 NC 程序控制。

2. 专机数控系统选型设计

根据专机电气控制要求,数控系统需要控制四个数控进给轴,其中两个轴可以联动,另外要求控制两个主轴变频电机和自动输送等装备。根据这些要求,选择了功能适合、性能可靠的西门子 802D-SL 数控系统。该系统最多可以控制四轴联动,它是一种将数控系统(NC、PLC、HMI)与驱动控制系统的所有部件集成在一起的操作控制系统。全数控键盘可直接连接。I/O 可通过 PROFIBUS DP 系统进行操作。该系统可以确保以最小的布线,实现最简

便、可靠的安装。与驱动系统的模块结构相结合,数字式驱动装置可通过 DRIVE-CLIQ 简单的连接。数控及驱动单元包括 PCU、键盘、电源模块、驱动模块,它们之间通过直流母线、驱动总线和设备总线连接为一个整体。伺服电机通过西门子专用电缆线与驱动模块相连,是系统的执行机构。该系统的硬件连接图如图 8-47 所示。

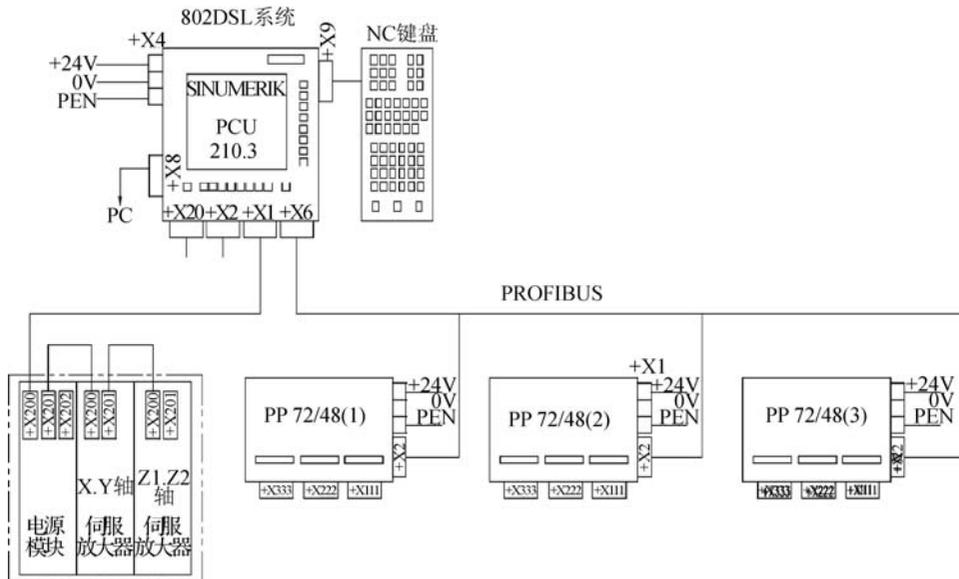


图 8-47 802D-SL 数控系统硬件连接图

3. 专机数控系统控制原理框图和所完成的控制功能

数控系统控制专机的组成框图如图 8-48 所示。

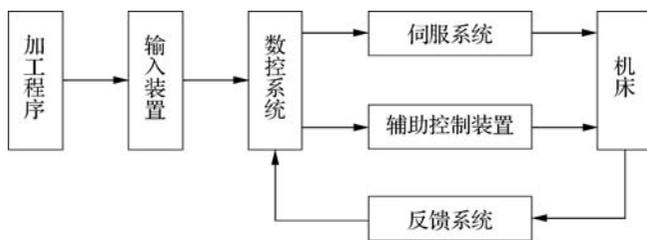


图 8-48 数控系统控制专机框图

专机选定西门子 802D-SL 数控系统以后,以此为核心配备相应的执行元件、检测元件和保护电路,组成了一套完整的电气控制系统。并在硬件平台上通过开发控制程序,使该设备具备自动生产线的功能,可以完成工件的自动输送、隔料、加工。专机共有四个进给轴,两个主轴由变频器控制实现无级调速。开发的控制软件同时具有安全保护和故障自诊断、故障提示等功能。数控系统控制专机的流程原理图如图 8-49 所示。

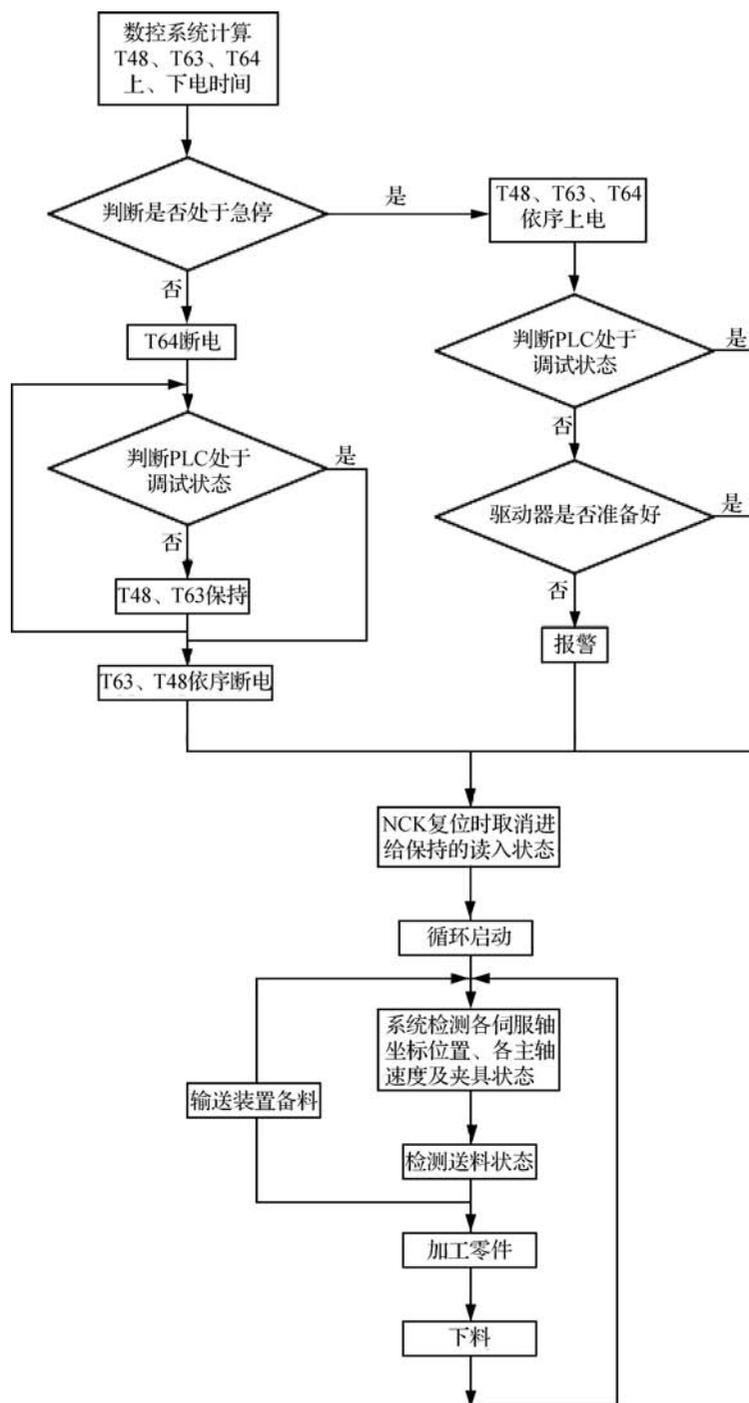


图 8-49 专机控制流程原理图

专机是一段自动生产线,由工件输送系统和主机组成。主机和辅助设备按照工艺顺序连接起来,自动完成产品制造过程。在大批量生产中采用自动线能提高劳动生产率,稳定和

提高产品质量,改善劳动条件,缩减生产占地面积,降低生产成本,缩短生产周期,保证生产



均衡性,有显著的经济效益。为了使该设备更好地融入自动生产线,预留了相应的输入输出点数,以备与上下输送装置及相关设备互相传递信号并对接收的信号进行识别、诊断,完成自动输送和自动加工。能够完成专机控制功能的同时,开发的系统还具有以下的特点:

专机在上电回零后,第一次加工时,按循环启动按钮开始,加工零件的同时,输送装置自动备料,前一工件加工完成后,再对以后的工件进行加工时,备料工件自动进入加工位,即可自动进入加工状态,与此同时,输送装置再次进行自动备料,如此循环往复,专机连续不停地进行加工。为此开发的 PLC 程序保证了设备的安全、可靠、互锁。

利用变频器控制主轴启停、正、反转以及无级变速调节功能。

设定了危险点保护功能。通过 PLC 应用程序激活读位置功能,读取坐标轴位置,确保在正确位置输送零件,加工零件,确保加工精度,避免事故发生。

增设了进给倍率及手轮功能。

具有故障自诊断功能。由于此设备夹具动作复杂,对每一个夹具动作都做了报警处理,如果某一动作出现问题,系统就会显示报警代码及故障内容显示,提示用户出现了什么错误,方便了用户查找故障并排除。

4. 专机操作面板

一台数控系统通常由人机界面、数字控制以及机床逻辑控制这三个相互依存的功能部件构成。人机界面是数控机床操作人员与数控系统进行信息交换的窗口。操作人员可通过人机界面向数控系统发出运动指令,而数控系统又通过人机界面向操作人员提供位置信息、程序状态信息和机床的运行状态信息。一台机床的数控系统是否友好,都由人机界面来体现出来。这里主要介绍影响专机操作性能的操作面板上的设置特点。

专机面板分为主操作面板和输送装置、 Z_1 轴、 Z_2 轴三个分面板。

1) 专机主操作面板

主面板从布置上主要分四大部分:

- (1) 指示灯显示部分,由面板上部第一排和中间四个指示灯构成。
- (2) NC 方式转换,处于面板左边。
- (3) NC—PLC 控制的夹具调整区,处于面板右边。
- (4) 下边两排大按钮,主要是经常操作的区域。

面板上的主要按钮和指示灯介绍如下:

手动方式键 SB5:按下该键后专机进入手动操作方式。

增量键 SB4:只有在手动方式下增量键才有效,当不断地按下增量键时,可以看到显示器左上角处显示不断变化的单位,在该方式下按下坐标移动键可以实现坐标的点动。

回参考点方式键 SB6:回参考点方式是伴随着手动方式同时存在的,即只要按下回参考点方式键,系统就会同时进入手动和回参考点两种方式。另外初次上电时,自动进入手动和回参考点方式,目的是提醒操作者开机后,首先进行一次回参考点的操作,以建立专机坐标系,使系统参数中设定的软限位生效。回参考点的具体操作是:在参考点方式下,分别去操作各坐标移动键的点退或只按一下“NC 轴回参考点”按钮即可。前者是各坐标轴单独进行回参考点,后者是各坐标轴依次完成回参考点。



自动方式键 SB7:按下该键专机进入自动方式,加工程序只有在自动方式下才能进行。在该方式下按下“循环启动”按钮 SB20,专机就按事先确定的零件加工程序进行自动加工。

单段方式键 SB8:单段方式是伴随着其他方式而存在的,但是它只有在自动和 MDI 方式下起作用。它的作用就是使程序一段一段地进行。按下该键后,程序就按单段执行。

MDI 方式键 SB9:按下该键后专机进入 MDI 系统,在该方式下可以编辑简单的程序段并运行。

复位按钮 SB22:复位按钮 SB22 用于系统的复位。当 NC 出现某些报警时,可以通过该按钮消除报警。另外还可以终止所有的专机运动。

限位解除按钮 SB54(SB54A、SB54B):只有在手动方式下该按钮才起作用。无论是在自动还是手动方式下,当坐标轴压到硬限位后,在手动方式下首先按住上述按钮,同时按一下复位按钮,再按要退出方向的坐标移动按钮,直到坐标脱离硬限位,从而完成限位解除。

循环启动按钮 SB20:用于自动和 MDI 方式下的程序启动。

循环停止按钮 SB21:用于自动和 MDI 方式下的程序停止。

紧急停止按钮 SB1(SB1A、SB1B):当专机出现紧急情况时,按下该按钮则专机的所有动作将立即被终止。当松开该按钮后,需要通过复位按钮对 NC 进行复位。

坐标移动按钮“ $X(y, z_1, z_2)$ 点进”;“ $X(y, z_1, z_2)$ 点退”:用于手动和增量方式下的坐标移动。

专机夹具旋钮 SA02:由于该专机有一对动作相同的夹具,故在调整夹具动作时由该旋钮进行夹具的预选,而后由夹具的动作按键进行每个动作的调整。

信号灯:

准备完毕 HL9:指示 NC 程序控制的专机动作调整完毕,专机程序处于具备自动开始状态的条件,这时按循环启动按钮 SB20 专机就按所确定的零件加工程序进行加工。

$X、Y、Z_1、Z_2$ 轴禁止 HL10~13:指示相关坐标轴在加工时,若主轴因故未启动,则相关坐标轴禁止指示灯亮。

2) 输送装置操纵台面板 BK4

该操纵面板完成上下料转台和自动上、下料装置的所有动作的调整和局部小循环的自动。其中专机上、下料装置的推杆,自动上料装置的挡料,它们的上述动作还必须处于专机主面板手动方式下方可进行,而其他专机输运装置的动作则由该面板上的自动/调整来选定,不受专机主面板的“自动方式”和“手动方式”制约。

3) Z_1 轴操纵台面板 BK2

完成对 Z_1 轴的坐标轴和主轴的调整工作。

4) Z_2 轴操纵台面板 BK3

完成对 Z_2 轴的坐标轴和主轴的调整工作。

5. 专机 CNC 程序设计

整台专机 CNC 控制程序如下:

N10. M41

N20. G01.G90X-400 F12000



N30. M42
N40. Z₁ 300 F12000 M3
N50. Y 55 F840
N60. Z₁ 290 F12000
N70. X-206 F12000
N80. Y0 F12000
N90. Z₁ 300 F12000
N100. Y53 F840
N110. Z₁ 290 F12000
N120. Y271.85 F12000
N130. Z₁ 300 F12000
N140. X-233 F840
N150. Z₁ 280 F12000
N160. X-393 F12000
N170. Z₁ 300 F12000
N180. X-361.5 F840
N190. Z₁ 280 F12000
N200. Y F12000
N210. Z₁ F12000 M4
N220. X-769.5 F12000
N230. Z₂ 300 F12000 M11
N240. Z₂ 320 F360
N250. Z₂ 300 F12000
N260. X-1169.5 F12000
N270. Z₂ 320 F360
N280. Z₂ 300 F12000
N290. X-1569.5 F12000
N300. Z₂ 320 F360
N310. Z20 F12000 M12
N320. M43
N330. M44
N340. X-1169.5 F12000
N350. M45
N360. M44
N370. X F12000
N380. M2



8.6.7 小结

开展 EA111 汽缸体基准铣钻铰数控专机的自主研发中,采取的措施和效果如下:

(1) 优化了机体工艺流程,制定了 EA111 发动机机体加工工艺路线,减少了机床占地面积,保证了加工精度要求,并将加工节拍控制在预期之内。

(2) 进行了汽缸体精基准加工工序内容设计,提出了采用主轴承孔+汽缸孔的定位方案,采用同时装夹两个工件,进行双轴铣削、刚性钻孔和刚性铰孔的加工工艺。

(3) 进行了工装夹具整体结构优化设计。夹具系统采用主轴承孔三点定位、缸孔自定心机构、楔铁夹紧机构和辅助支撑机构,实现了工件的定位准确、装夹刚度良好和夹紧可靠;刀具系统采用小直径可转位刀片盘铣刀、硬质合金钻头和铰刀,有效保证了加工精度和效率。

(4) 对专机整体结构及关键零部件进行了优化设计。采用刚性主轴箱、高刚性主轴轴承支撑结构及弹性联轴节,有效提高了主轴刚性和精度,降低了主轴电机振动对加工精度的影响;进行了滚珠丝杠、直线导轨、伺服电机等部件的选型优化,显著提高了机床响应速度和加工精度。

(5) 研发了专机电气数控系统,基于西门子 802D-SL 数控系统平台,开发了控制程序,实现了专机上下料、自动输送、自动循环加工的自动线功能。

(6) 进行了专机系统软硬件集成与调试,并成功交付用户测试,加工能力如表 8-4 所示,结果表明,所研发的专机在生产线上已连续平稳可靠运行一年以上,加工精度和效率达到预期效果,赢得了市场的认可与赞誉。

表 8-4 加工能力对照表

要求项目	要求参数或指标	达到精度或指标
铣削四个定位面共面度	$\leq 0.03 \text{ mm}$	$\leq 0.025 \text{ mm}$
铣削四个定位面粗糙度	$\leq R_a 1.6 \mu\text{m}$	$R_a 1.0 \sim 1.6 \mu\text{m}$
精铰孔孔径精度	$\leq \text{IT}7$	$\leq \text{IT}7$
精铰孔坐标位置公差	$\leq \pm 0.03 \text{ mm}$	$\leq 0.03 \text{ mm}$
生产节拍	45 s/件	43 s/件

本专机已经研发成功,其在加工精度方面完全达到了进口设备的水平,而价格仅为进口设备的 1/3~1/5。通过此项目,不仅提升了国产数控专机的技术水平,达到了汽车装备关键设备国产化的要求,而且为国家节省大量资金。

参 考 文 献

- [1] 组合机床研究所.组合机床设计[M].北京:机械工业出版社,1975
- [2] 《组合机床》编写组.组合机床讲义[M].北京:国防工业出版社,1975
- [3] 金振华.组合机床及其调整与使用[M].北京:机械工业出版社,1990
- [4] 《机械设计师手册》编写组.机械设计师手册[M].北京:机械工业出版社,1989
- [5] 赵如福.金属机械加工工艺人员手册[M].上海:上海科学技术出版社,1990
- [6] 《齿轮手册》编委会.齿轮手册[M].北京:机械工业出版社,1990
- [7] 朱晓春.数控技术[M].北京:机械工业出版社,2006
- [8] 李厚生.内燃机制造工艺学[M].北京:机械工业出版社,1988
- [9] 《中国机械工业企业管理手册》编辑委员会.中国机械工业企业管理手册(第二卷)[M].北京:机械工业出版社,1991
- [10] 范国清.铣削组合机床的研究与设计[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994
- [11] 小栗富士雄,小栗达男.机械设计禁忌手册[M].北京:机械工业出版社,1989
- [12] 佟璞玮.浅谈组合机床设计思想的变革[J].组合机床与自动化加工技术,1992(2):39-41
- [13] 王太勇.从国际机床展看我国机床产业的现状与发展[J].机械工人(冷加工),2005(6):47-48
- [14] 李如松.组合机床和自动线的技术发展[J].组合机床与自动化加工技术,1999(2):5-11
- [15] 鲁方霞,邓朝晖.数控机床的发展趋势及国内发展现状[J].工具技术,2006(3):44-48
- [16] 傅玲梅.发动机汽缸孔镗削工艺分析与实践研究[D].南京:南京理工大学,2009
- [17] 汤习成.机械制造工艺学[M].北京:中国劳动出版社,2004
- [18] 孙健,曾庆福.机械制造工艺学[M].北京:机械工业出版社,1989
- [19] 李志齐.铣削加工制造工艺[M].北京:机械工业出版社,2009
- [20] 孟少农.机械加工工艺手册(第2卷)[M].北京:机械工业出版社,1995
- [21] 哈尔滨工业大学,上海工业大学.机床夹具设计[M].上海:上海科学技术出版社,1992
- [22] 白成轩.机床夹具设计新原理[M].北京:机械工业出版社,1997
- [23] 汪德涛.润滑技术手册[M].北京:机械工业出版社,1999
- [24] 华南工业大学,甘肃工业大学.金属切削原理与刀具设计(下册)[M].上海:上海科学技术出版社,1980
- [25] 刘杰华.刀具精确设计理论与实践[M].北京:国防工业出版社,2005
- [26] 乐兑谦.金属切削刀具[M].北京:机械工业出版社,1989
- [27] 李传义,李玉美.铰刀和铰削[J].组合机床与自动化加工技术,1987(11):26-30
- [28] 章宗城.刀柄系统的分类与选择[J].金属加工(冷加工),2010(01):34-37
- [29] 韩鸿鸾.数控机床的机械结构与维修[M].济南:山东科学技术出版社,2005
- [30] 大连富士工具有限公司,综合样本,2009

- [31] 张云志,王中华,周林.数控机床主轴轴承配置形式研究[J].机械工程师,1998(3):15-16
- [32] 徐灏.机械设计手册(第4卷)[M].北京:机械工业出版社,1992
- [33] 文怀兴.数控铣床设计[M].北京:化学工业出版社,2006
- [34] 王德伦.机械系统运动与结构方案集成设计理论与方法[D].大连:大连理工大学,2006
- [35] 陈隆昌,阎治安.控制电机[M].西安:西安科技大学出版社,2001
- [36] 罗升企业有限公司,上银产品技术手册,2006
- [37] 刘殿有,都绍峰.发动机缸体三坐标数控铣床[J].组合机床与自动化加工技术,1999(5):22-23
- [38] 王润孝,等.机床数控原理与系统[M].西安:西北工业大学出版社,1989
- [39] 廖效果,朱启速.数字控制机床[M].武汉:华中理工大学出版社,1996
- [40] 西门子公司.SINUMERIK 802D 使用手册,2006
- [41] 朱自勤.数控机床电气控制技术[M].北京:中国林业出版社,2005
- [42] 张曙,等.机床产品创新与设计[M].南京:东南大学出版社,2014



组合机床及自动化加工装备 设计与实践

ZUHEJICHUANGJIZIDONGHUAJIAGONGZHUANGBEI
SHEJIYUSHIJIAN

ISBN 978-7-5641-7548-1



9 787564 175481 >

定价：78.00元