

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

P

TB 10625 — 2017
J 2289 — 2017

重载铁路设计规范

Code for Design of Heavy Haul Railway

2017-01-02 发布

2017-05-01 实施

国 家 铁 路 局

发 布

中华人民共和国行业标准

重载铁路设计规范

Code for Design of Heavy Haul Railway

TB 10625—2017

J 2289—2017

主编单位：铁道第三勘察设计院集团有限公司
中国铁道科学研究院

批准部门：国家铁路局

施行日期：2017 年 5 月 1 日

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 1 7 年 · 北 京

国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

(工程建设标准 2017 年第 1 批)

国铁科法〔2017〕2 号

现公布《重载铁路设计规范》(TB 10625—2017)行业标准,自 2017 年 5 月 1 日起实施。

本标准由中国铁道出版社出版发行。

国家铁路局

2017 年 1 月 2 日

前 言

自 20 世纪 80 年代以来,我国相继建成了大秦铁路、朔黄铁路、山西中南部铁路等重载铁路,为完善我国重载铁路建设标准积累了丰富的实践经验。本规范是在全面总结我国重载铁路建设、运营实践经验,吸纳重载综合试验以及有关科研成果的基础上编制而成。

本规范根据重载铁路轴重大、牵引质量大、运量大的技术特点,贯彻落实安全优先原则,强化质量安全、节约能源资源、环境保护等技术要求,注重总体设计和接口设计,并结合我国国情、经济发展水平、运输需求和环境条件等因素,按照提高运输效率、节省全生命周期成本等基本目标和安全可靠、先进成熟、经济适用的基本原则,确定了重载铁路技术标准、设备配置要求等。

本规范由 20 章组成,其内容包括:总则、术语和符号、总体设计、运输组织、线路、路基、桥涵、隧道、轨道、站场、电力牵引供电、电力、通信、信号、信息、机务设备、车辆设备、给水排水、维修设施、环境保护。

本规范主要内容如下:

1. 规定了设计年度、设计荷载、限界、牵引种类等内容。
2. 明确了综合选线、检测与维修、主要技术标准等总体设计要求。
3. 明确了列车编组与开行方式、车站分布、通过能力计算等原则性要求。
4. 规定了线路平纵断面设计标准及重载铁路与其他铁路、公(道)路交叉的设置原则。

5. 规定了不同轴重等级的路基面宽度、基床结构、填料及压实、工后沉降、过渡段设置等设计标准。

6. 规定了桥梁设计荷载、离心力、横向摇摆力、制动力,以及结构变形、变位和自振频率限值等设计标准。

7. 明确了隧道限界、衬砌、附属构筑物、防排水、通风等技术要求。

8. 规定了不同轴重和运量等级的有砟轨道、无砟轨道设计标准。

9. 明确了各类车站图型选择、股道布置及车站路基排水等技术要求。

10. 明确了外部电源、供电方式、牵引变电所分布、接触网设计等要求。

11. 规定了电力供配电系统构成、负荷等级、电力远动系统、火灾自动报警及机电设备监控系统等主要设计标准。

12. 规定了通信网构成、通信线路、各通信系统、机车同步操控系统及可控列尾信息传送等主要设计标准。

13. 明确了地面固定信号、运输调度指挥、闭塞、联锁、集中监测、电源、防雷及接地等技术要求。

14. 明确了货物运输管理、货运营销及运力配置、货运服务、货运安全检测监控与管理等信息系统技术要求。

15. 明确了机务段(所)布置、机车交路、整备与检修设施、救援设备等技术要求。

16. 明确了车辆段、列检作业场及站修作业场等技术要求。

17. 明确了货场消防给水、降尘用水及降尘废水、初期雨水处理等技术要求。

18. 明确了工务、通信、信号、信息、供电等维修设施的设置要求。

19. 明确了生态保护与水土保持、噪声治理、振动控制、粉尘

治理与固体废物贮运等技术要求。

本规范系首次编制。在执行本规范过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄交铁道第三勘察设计院集团有限公司(地址:天津市河北区中山路10号,邮政编码:300142)和中国铁道科学研究院(北京市西直门外大柳树路2号,邮政编码:100081),并抄送中国铁路经济规划研究院(地址:北京市海淀区北蜂窝路乙29号,邮政编码:100038),供今后修订时参考。

本规范由国家铁路局科技与法制司负责解释。

技术总负责人:郑 健 安国栋 吴克非

主编单位:铁道第三勘察设计院集团有限公司

中国铁道科学研究院

参编单位:太原铁路局

主要起草人:

章 节	主要起草人
第01章 总则	赵 斗、李庆生、孙树礼、柯在田、王召祜
第02章 术语和符号	赵 斗、李庆生
第03章 总体设计	赵 斗、李庆生、孙树礼、孙海富
第04章 运输组织	王海涛、傅寿华、赵 昕、娄 强、赵春雷、丁五一、王建平
第05章 线路	林卫东、孙海富、白宝英、常 成、吕仁志
第06章 路基	李德柱、吴连海、肖世伟、叶阳升、张千里、蔡德钧、姚建平、陈 锋、朱忠林
第07章 桥涵	施 威、苏 伟、孔德艳、杜宝军、王淑敏、胡所亭、牛 斌、田 杨、苏永华、蔡超勋
第08章 隧道	马志富、杨毅秋、苏 江、马伟斌、付先兵
第09章 轨道	管吉波、闫红亮、王会永、许永贤、范 佳、肖俊恒、郭 郾、崔永明、张剑锋、王光建
第10章 站场	崔永明、李荣华、李 洪、吕建军、张炳民、何向国、姜桂芝

续上表

章 节	主要起草人
第 11 章 电力牵引供电	董志杰、孙震洋、李洪生、王永平、杨振龙、陈兴强、罗 健、陈富强
第 12 章 电力	张国栋、马静波、王开怀、孙芳营
第 13 章 通信	刁蓬芝、刘 刚、陈 松、沙玉林、冯敬然
第 14 章 信号	张道吉、聂 影、张凤瑞、齐亚娜、刘 仓、张飞飞
第 15 章 信息	樊 艳、冯敬然
第 16 章 机务设备	王永强、薄海青、张德育、张永贵、丁五一、郭建东
第 17 章 车辆设备	赵庆坤、冯全在、管家镛、王启铭、邢 东
第 18 章 给水排水	魏举旺、吴国华、翟计红
第 19 章 维修设施	孙海富、林卫东、杨 楨、张凤瑞、樊 艳、张宝坡
第 20 章 环境保护	刘立斌、刘冀钊、朱正清

主要审查人:吴克非、曾会欣、吴明友、蔡申夫、乔 建、蒋先国、顾湘生、谢静高、刘 燕、王哲浩、倪光斌、桑翠江、付建斌、韩晓根、万 坚、霍保世、毛 斌、徐鹤寿、冯 威、杨 建、夏先芳、张 雄、韩国兴、张海山、王森荣、许有全、蒋金辉、邱建平、赵 勇、俞 雷、史存林、俞 渝、罗世东、侯 斌、龙卫民、张 健、孙建明、汪吉健、潘继军、赵武元、钟章队、朱志营、侯占林、王俊峰、李秉涛、李树德、齐春雨、王 稳、索晓明、沈志军、宋绪国。

目 次

1 总 则 1

2 术语和符号 3

 2.1 术 语 3

 2.2 缩 略 语 4

 2.3 符 号 5

3 总体设计 7

 3.1 一般规定 7

 3.2 主要技术标准 8

 3.3 系统及接口设计 9

4 运输组织 11

5 线 路 13

 5.1 一般规定 13

 5.2 线路平面 13

 5.3 线路纵断面 18

 5.4 交叉、附属设施及其他 20

6 路 基 22

 6.1 一般规定 22

 6.2 路基面形状和宽度 23

 6.3 基 床 24

 6.4 路 堤 26

 6.5 路 堑 30

 6.6 路基排水 31

6.7	路基支挡及防护	31
6.8	接口设计	32
7	桥 涵	33
7.1	一般规定	33
7.2	设计荷载	33
7.3	结构变形、变位和自振频率的限值	39
7.4	桥面布置及附属设施	40
7.5	接口设计	41
8	隧 道	42
8.1	一般规定	42
8.2	隧道衬砌	42
8.3	附属构筑物	43
8.4	防水与排水	43
8.5	运营通风	44
8.6	接口设计	44
9	轨 道	45
9.1	一般规定	45
9.2	正线钢轨及扣件	45
9.3	轨道静态铺设精度	46
9.4	正线有砟道床	46
9.5	正线无砟道床	47
9.6	轨道结构过渡段	48
9.7	站线轨道	49
9.8	轨道附属设备及常备材料	50
9.9	接口设计	50
10	站 场	51
10.1	一般规定	51

10.2	车站布置	53
10.3	站场路基与排水	53
10.4	接口设计	54
11	电力牵引供电	55
11.1	一般规定	55
11.2	牵引供电	55
11.3	牵引变电	56
11.4	接 触 网	57
11.5	电磁干扰防护	58
11.6	接口设计	59
12	电 力	60
12.1	一般规定	60
12.2	供配电系统	60
12.3	火灾自动报警系统及机电设备监控系统	61
12.4	接口设计	61
13	通 信	62
13.1	一般规定	62
13.2	通信线路	62
13.3	传输系统	63
13.4	数据通信网	63
13.5	电话交换及接入网	64
13.6	有线调度通信系统	64
13.7	移动通信系统	64
13.8	应急通信	65
13.9	时钟同步系统	65
13.10	电源设备	66
13.11	电源及设备房屋环境监控系统	66

13.12	机车同步操控信息传送系统	66
13.13	可控列尾信息传送系统	67
13.14	接口设计	67
14	信 号	69
14.1	一般规定	69
14.2	地面固定信号	69
14.3	运输调度指挥	69
14.4	闭 塞	70
14.5	联 锁	70
14.6	信号集中监测系统	71
14.7	电 源	71
14.8	防雷、电磁兼容及接地	72
14.9	接口设计	72
15	信 息	74
15.1	一般规定	74
15.2	货物运输管理系统	74
15.3	货运营销及运力配置系统	75
15.4	货运服务系统	75
15.5	货运安全检测监控与管理系统	75
15.6	其他信息系统	76
15.7	网络及安全	76
15.8	运行环境	77
15.9	接口设计	77
16	机务设备	78
16.1	一般规定	78
16.2	机车交路	78
16.3	运转整备与检修设施	79

17 车辆设备 80

17.1 一般规定 80

17.2 货车车辆段 80

17.3 列检作业场及站修作业场 81

18 给水排水 82

18.1 一般规定 82

18.2 给水排水 82

18.3 接口设计 83

19 维修设施 84

19.1 一般规定 84

19.2 工务维修 84

19.3 电务维修 85

19.4 信息维修 85

19.5 供电维修 85

20 环境保护 86

20.1 一般规定 86

20.2 生态保护与水土保持 86

20.3 噪声治理 86

20.4 振动控制 87

20.5 粉尘治理与固体废物贮运 87

20.6 接口设计 87

本规范用词说明 88

引用标准名录 89

《重载铁路设计规范》条文说明 91

1 总 则

1.0.1 为统一重载铁路设计技术标准,使重载铁路设计符合安全可靠、先进成熟、经济适用等要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于铁路网中货物列车机车车辆轴重大于等于 250 kN 和牵引质量大于等于 10 000 t、设计速度不大于 100 km/h 的标准轨距重载铁路。设计速度分为 80 km/h、100 km/h 两级。兼顾普通货物列车和旅客列车运输的重载铁路设计尚应执行相关规范。

1.0.3 重载铁路设计应满足轴重大、牵引质量大、运量大的技术要求,注重提高运输效率及节省全生命周期成本。

1.0.4 重载铁路设计年度宜分为近、远两期。近期为交付运营后第 10 年,远期为交付运营后第 20 年。近、远期均采用预测运量。

基础设施和不易改、扩建的建筑物和设备,应按远期运量和运输性质设计;易改、扩建的建筑物和设备,宜按近期运量和运输性质设计,并预留远期发展条件;随运输需求变化增减的运营设备,可按交付运营后第 5 年的运量设计。

1.0.5 重载铁路建筑物和设备的限界应符合现行国家标准《标准轨距铁路机车车辆限界》GB 146.1、《标准轨距铁路建筑限界》GB 146.2 及有关标准的规定。

1.0.6 重载铁路列车设计荷载应采用 ZH 荷载,ZH 普通荷载如图 1.0.6—1 所示,ZH 特种荷载如图 1.0.6—2 所示。

荷载系数宜按照列车荷载发展系数平均值不低于 1.20,且最小值不低于 1.10 的原则确定。

荷载系数 α 可根据设计轴重按表 1.0.6 选取。

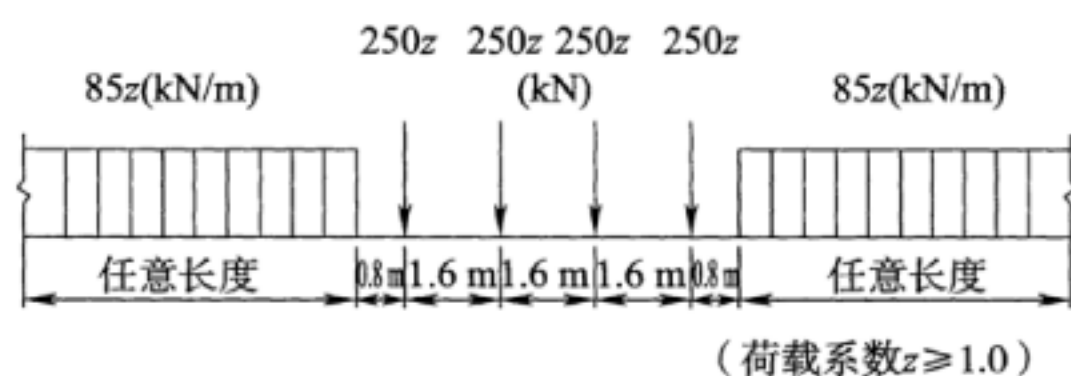


图 1.0.6—1 ZH 普通荷载

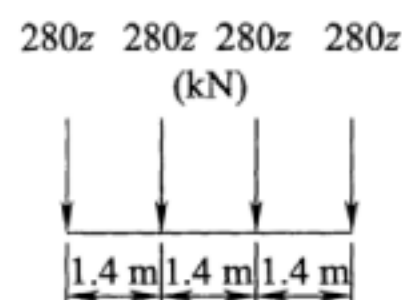


图 1.0.6—2 ZH 特种荷载

表 1.0.6 荷载系数 z 取值表

设计轴重(kN)	荷载系数 z
250、270	1.1
300(货车载重 100 t 级)	1.3

注:新建煤运通道开行轴重 300 kN 运煤货车,载重 95 t~98 t(车体长度不小于 13 m,转向架固定轴距 1.86 m,邻轴距不小于 1.5 m)时, z 可取 1.2。

1.0.7 重载铁路应按全封闭、全立交设计。

1.0.8 重载铁路应采用电力牵引。

1.0.9 重载铁路结构物抗震设计应符合现行《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 等有关标准的规定。

1.0.10 重载铁路路基、桥涵及隧道等主体结构应符合耐久性设计的要求。

1.0.11 重载铁路设计应执行国家节能、节地、节水、节材和环境保护等有关法律法规。

1.0.12 重载铁路设计采用新技术、新工艺、新材料、新设备时,应符合国家现行标准的有关规定。

1.0.13 重载铁路设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 总体设计 general design

完成铁路建设项目的总体目标和实现目标的技术路径的设计过程,包含合理选定主要技术标准、线路走向和建设方案,明确系统构成并选定系统集成方案,明确工期、投资和其他控制目标以及系统可靠性与内部控制设计等工作内容。

2.1.2 重载铁路 heavy haul railway

满足列车牵引质量 8 000 t 及以上、轴重为 270 kN 及以上、在至少 150 km 线路区段上年运量大于 40 Mt 三项条件中两项的铁路。

2.1.3 重载单元列车 heavy haul unit train

编组固定、运送货物品种单一、运量大而集中、在装车地和卸车地之间循环往返运行的重载列车。

2.1.4 重载组合列车 heavy haul combined train

由不同装车地组织单元列车、最终集结成为重载列车的列车。

2.1.5 ZH 荷载 ZH load diagram

中华人民共和国重载铁路设计列车荷载标准的简称。

2.1.6 组合分解站 combination and disassembly station

为满足列车组合、分解作业需要而设置的车站。

2.1.7 机车同步操控系统 simultaneous control system for locomotives

利用无线通信方式在分布于列车中的各个机车之间进行数据传输,以实现各个机车之间同步牵引、制动等操作的一种控制系统。

2.1.8 天窗 maintenance window

在列车运行图中,对区间或车站因施工或维修而不放行运营列车的时间。

2.1.9 综合维修天窗 comprehensive maintenance window

在列车运行图中,用于线路、接触网等设备维修而对某一区间、某一时间段终止列车运行并停电的时间。

2.1.10 自然接地体 natural earthing electrode

具有接地功能的但不是为此目的而专门设置的与大地有良好接触的各种金属构件、金属井管、钢筋混凝土中的非预应力钢筋、埋地金属管道和设施等的统称。

2.1.11 接地装置 earthing device

接地线和接地体的总和。

2.1.12 轴重 axle load

机车车辆在载重状态下,每条轮轴分担的载重量。

2.1.13 荷载系数 z load factor z

重载铁路列车荷载图式的分级系数,依据重载铁路运营列车的轴重等级确定。

2.1.14 列车荷载发展系数 train load development factor

根据列车荷载图式计算的结构内力静效应与运营列车静效应的比值。

2.2 缩 略 语

AN Application Node 应用节点

BSC Base Station Controller 基站控制器

CTC Centralized Traffic Control System 调度集中系统

CBI Computer Based Interlocking 计算机联锁

CSM Centralized Signaling Monitoring System 信号集中监测

DDF Digital Distribution Frame 数字配线架

FXO Foreign Exchange Office 外部交换局
 GPRS General Packet Radio Service 通用分组无线业务
 GRIS GPRS Interface Server GPRS 接口服务器
 GSM-R Global System for Mobile Communications-Railways
 铁路数字移动通信系统
 GIS Gas Insulated Switchgear 气体绝缘组合电器开关设备组合成的一个整体
 MSC Mobile Switching Center 移动交换中心
 MPLS Multi-Protocol Label Switching 多协议标记交换
 OCU On-Board Communication Unit 车载通信单元
 ODF Optical Distribution Frame 光纤配线架
 PON Passive Optical Network 无源光网络
 POTS Plain Old Telephone Service 普通电话业务
 TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol
 传输控制协议/互联网协议
 TDCS Train Dispatching and Commanding System 列车调度指挥系统
 UPS Uninterruptible Power Supply 不间断电源
 VPN Virtual Private Network 虚拟专用网
 VDF Voice Distribution Frame 音频配线架

2.3 符 号

v ——设计速度；
 R ——平面曲线半径；
 K_{30} ——地基系数；
 E_{vd} ——动态变形模量；
 K ——压实系数；
 D_{15} ——粗粒土颗粒级配曲线上相应于 15% 含量的粒径；
 d_{85} ——细粒土颗粒级配曲线上相应于 85% 含量的粒径；

q_h ——活载作用于涵洞上的竖向压力；
 ξ ——土压力系数；
 $1+\mu$ ——动力系数；
 z ——荷载系数；
 W ——竖向设计活载中的集中力或分布力；
 P_d ——动轮载；
 P_j ——静轮载；
 α ——动载系数；
 Q ——横向设计活载；
 P_f ——竖向疲劳检算活载；
 Q_f ——横向疲劳检算活载。

3 总体设计

3.1 一般规定

3.1.1 重载铁路设计应统一规划、系统设计、逐步深化,以总体设计统筹专业设计,科学合理实现建设目标。

3.1.2 重载铁路总体设计应在研究项目需求和各种相关因素的基础上,准确把握项目功能定位,通过多方案比选合理选定主要技术标准、线路走向和建设方案,并明确工期、投资和其他控制目标。

3.1.3 重载铁路与铁路网衔接时,主要技术标准、建设方案等宜与相邻线相协调。

3.1.4 重载铁路设计应合理匹配牵引质量、行车速度和密度,提高输送能力。

3.1.5 重载铁路集疏运系统宜满足直通运输、整列到发要求,列车运行宜按行车方式办理。

3.1.6 重载铁路维修宜采用集中维修方式,维修设施应满足采用大型养路机械作业的需求,维修机构宜结合路网布局统筹设置。

3.1.7 重载铁路选线设计应遵循下列原则:

- 1 符合铁路网规划、城市总体规划。
- 2 行经矿山、港口等大宗货物集散地,有利于大宗货物运输。
- 3 符合环境保护、水土保持、土地节约及文物保护的要求。
- 4 绕避各类不良地质体,无法绕避时,应在详细地质勘察的基础上做好工程整治措施,确保运营安全。

5 结合地形、地质条件,优化线路平、纵断面,做好工程方案比较,合理确定工程类型。

3.1.8 改建重载铁路设计应符合下列规定：

1 宜利用既有建筑物和设备。

2 设计方案应考虑施工与运输的相互干扰,并应进行指导性施工过渡设计。

3 当采用设计荷载标准引起较大改建工程时,可根据所采用机车车辆的荷载及实测参数对路基、桥涵、隧道、轨道等设施进行检算,并采取相应加强措施。

3.2 主要技术标准

3.2.1 重载铁路主要技术标准应根据其在铁路网中的作用、输送能力和运输需求、沿线地形、地质条件等,经综合比选确定。重载铁路主要技术标准应包含以下内容：

- 铁路等级；
- 设计轴重；
- 正线数目；
- 设计速度；
- 最小平面曲线半径；
- 限制坡度；
- 机车类型；
- 牵引质量；
- 到发线有效长度；
- 闭塞类型。

3.2.2 轻重车流方向明显的重载铁路可分方向确定技术标准。

3.2.3 重载铁路设计轴重应根据大宗货物品类和流向、运输组织方案、相邻线条件、工程经济性等因素,经技术经济比选确定。

3.2.4 重载铁路正线数目应根据项目功能定位、运输需求、工程条件等因素,结合牵引质量、限制坡度、机车类型等技术标准的选择,经技术经济比选确定。

3.2.5 重载铁路设计速度应根据运输需求、机车车辆类型和工程条件等因素确定。

3.2.6 重载铁路机车类型应根据牵引质量、限制坡度、设计速度等因素,经技术经济比选确定。

3.2.7 重载铁路列车牵引质量应根据运输需求、限制坡度等因素,经技术经济比选确定,并宜与相邻线牵引质量相协调。

3.2.8 重载铁路到发线有效长度应根据牵引质量、机车车辆类型、安全停车附加距离等因素计算确定。

3.3 系统及接口设计

3.3.1 重载铁路设计应以实现系统功能优化为目的,点线间、集疏运各系统间、各项专业设施间设计能力及技术标准应协调匹配,接口设计应系统优化。

3.3.2 高路堤与桥梁、深路堑与隧道等工程类型的选择应结合工程技术、地形地质、社会环境以及土地利用等因素,经技术经济比选确定。

3.3.3 隧道内有砟轨道与无砟轨道结构类型的选择应根据养护维修、地质条件、工程投资等因素合理确定。

3.3.4 用于计算路基宽度以及确定桥隧和其他永久性建筑物净空的轨道高度应按远期运量和运营条件确定。

3.3.5 重载铁路排水工程应结合地形、地质、水文、气象、地方规划等条件进行系统设计,形成完整、畅通的排水系统。

3.3.6 生产房屋宜集中设置,房屋位置应结合地形、地质、道路交通、拆迁工程以及防洪要求等因素确定。

3.3.7 重载组合列车应配备机车同步操控系统。

3.3.8 牵引质量大于 10 000 t 的重载列车应配备可控列尾装置。

3.3.9 重载铁路接触网电分相的设置应满足列车在信号机前停

车后正常启动并顺利通过电分相区段的要求,不宜设置在变坡点、长大坡道及进出站等区段。

3.3.10 重载铁路接地设计宜采用自然接地体,有条件时可共用接地装置。

4 运输组织

4.0.1 列车编组应结合货流特征、装卸站分布、主要技术标准、车辆类型等因素确定,可采用单元、组合等形式。

4.0.2 列车开行方式宜根据大宗货物运量和流向,组织开行始发直达列车。

4.0.3 车站分布应遵循下列原则:

- 1 满足输送能力要求。
- 2 适应沿线货流分布,满足大宗运量集疏运要求。
- 3 满足铁路运营故障维修、列车避让要求。
- 4 满足列车技术作业要求。

4.0.4 牵引计算应符合下列规定:

1 多机牵引时,列车采用机车同步操控系统后,每台机车的牵引力均取全值。重联机车牵引力按《列车牵引计算规程》TB/T 1407 规定取值。

2 制动空走时间及缓解时间按照列车编组中的连续车辆数计算。

3 列车配置可控列尾装置时,计算制动空走时间的列车编组辆数按连续辆数的一半取值。

4.0.5 重载铁路线路通过能力应预留一定的储备,并应考虑运量的波动性。双线铁路应考虑“天窗”以外的额外损失对线路通过能力的影响。

4.0.6 货物列车追踪间隔、起停车附加时分、车站作业间隔均应结合线路技术条件、列车编组、车站布置形式和信号设备类型,通过牵引计算确定,并适当留有余量。

4.0.7 综合维修“天窗”时间单线不宜少于 90 min;双线不宜少于

120 min,采用大型养路机械维修时不应少于 180 min。

4.0.8 车站通过能力应根据车站设备配置和技术作业过程计算确定。各项作业占用车站设备的时间可根据牵引质量、车站类型及布局、咽喉区道岔型号、信号设备类型、作业内容等分析计算确定。

5 线 路

5.1 一 般 规 定

5.1.1 平纵断面设计应满足一次铺设无缝线路要求。

5.1.2 平纵断面设计应重视线路的平顺性,降低轮轨磨耗,减少线路养护维修工作量,为运营创造较好的条件。

5.2 线 路 平 面

5.2.1 线路平面的圆曲线半径应结合工程条件、维修工作量等因素确定。最小平面曲线半径不应小于 800 m,困难条件下不应小于 600 m,特殊困难条件下经技术经济比选确定。

5.2.2 双线铁路两线线间距不变的并行地段的平面曲线宜设计为同心圆。双线同心圆和改建既有线的曲线半径可为零数。

5.2.3 新建铁路不应设计复曲线。改建既有线在困难条件下,可保留复曲线。

5.2.4 直线与圆曲线间应采用三次抛物线型缓和曲线连接,缓和曲线长度应符合下列规定:

1 缓和曲线长度应根据曲线半径、列车设计速度和工程条件确定,最小缓和曲线长度不得小于表 5.2.4—1 的规定。

表 5.2.4—1 最小缓和曲线长度(m)

设计速度(km/h)		100		80	
工程条件		一 般	困 难	一 般	困 难
曲线半径 (m)	12 000	20	20	20	20
	10 000	20	20	20	20

续表 5.2.4—1

设计速度(km/h)		100		80	
工程条件		一般	困难	一般	困难
曲线半径 (m)	8 000	20	20	20	20
	6 000	20	20	20	20
	5 000	20	20	20	20
	4 000	30	20	20	20
	3 000	40	20	20	20
	2 500	40	30	30	20
	2 000	50	40	30	20
	1 800	50	40	30	20
	1 600	50	40	40	20
	1 400	60	40	40	20
	1 200	60	50	40	30
	1 000	70	60	40	30
	800	80	70	50	40
	700	100	90	50	40
	600	120	100	60	50

2 改建既有线和增建第二线的并行地段若采用表 5.2.4—1 规定的缓和曲线长度将引起较大工程时,可采用较短的缓和曲线,其长度可按超高顺坡率不大于 2‰ 计算确定,并取 10 m 的整倍数,特殊困难条件下可取整至 1 m,但不应小于 20 m。

改建既有在线路条件和建筑物限制等困难条件下,可在同一曲线的两端采用不等长的缓和曲线。

3 改建既有线采用复曲线,如两圆曲线的曲率差大于表 5.2.4—2 的规定时,应设置中间缓和曲线。中间缓和曲线的长度应根据超高顺坡的要求计算确定。

表 5.2.4—2 复曲线不设中间缓和曲线的两圆曲线最大曲率差

设计速度(km/h)	100	80
不设中间缓和曲线的两圆曲线最大曲率差	1/2 000	1/1 000

5.2.5 圆曲线和夹直线的长度不应小于表 5.2.5 规定的数值。

表 5.2.5 圆曲线或夹直线最小长度

设计速度(km/h)	100	80
圆曲线或夹直线最小长度(m)	60(40)	50(30)

注：括号内的数值为困难条件下，经技术经济比选后方可采用。

改建既有线和增建第二线的并行地段，特殊困难条件下，有充分的技术经济依据时，圆曲线长度和夹直线长度可不受表 5.2.5 规定的限制，但不得小于 25 m。

5.2.6 区间线路线间距及其加宽应符合下列规定：

1 直线地段的最小线间距不得小于表 5.2.6—1 的规定。

表 5.2.6—1 区间直线地段最小线间距(m)

线 别 间	最小线间距
第一、二线间	4.0
第二、三线间	5.3

注：区间直线地段两单线铁路并行引入车站时的最小线间距，根据装设信号机和通行超限货物列车情况计算确定。

2 曲线地段的线间距加宽值应符合下列规定：

- 1) 当曲线两端直线地段的线间距采用表 5.2.6—1 的规定值时，曲线线间距加宽值应采用表 5.2.6—2 规定的数值。
- 2) 当曲线两端直线地段的线间距大于表 5.2.6—1 的规定值时，曲线线间距加宽值应按下列公式计算确定：

$$W'=(S_{\min}\times10^3+W)-S\times10^3 \qquad (5.2.6-1)$$

式中 W' ——曲线地段线间距加宽值(mm)，小于或等于零时不加宽；

S_{\min} ——直线地段最小线间距(m),采用表 5.2.6—1 的规定值;

W ——直线地段为最小线间距时曲线地段的线间距加宽值(mm),采用表 5.2.6—2 的规定值;

S ——曲线两端直线地段的线间距(m)。

表 5.2.6—2 区间直线地段最小线间距时曲线地段的线间距加宽值(mm)

线别间		第一、二线间			第二、三线间	
内、外侧线路曲线超高设置情况		外侧线路曲线超高大于内侧线路曲线超高时		其他情况	—	
设计速度(km/h)		100	80	≤ 100	100	80
曲线半径 (m)	12 000	20	15	10	30	20
	10 000	20	15	10	30	20
	8 000	25	15	10	30	20
	6 000	35	25	15	45	35
	5 000	40	35	15	55	45
	4 000	55	40	20	70	50
	3 000	80	65	30	100	80
	2 500	100	70	35	125	95
	2 000	105	95	40	140	110
	1 800	110	100	45	145	125
	1 600	125	115	55	165	145
	1 400	135	125	60	180	160
	1 200	155	135	70	200	170
	1 000	175	155	85	225	195
	800	210	190	105	265	235
	700	260	210	120	340	260
	600	295	235	140	380	290

注:1 采用表列数值间的曲线半径时,曲线线间距加宽值可采用线性内插值,并取整至 5 mm。

2 两单线铁路曲线线间距加宽值根据装设信号机和通行超限货物列车情况计算确定。

3 两线并行地段的曲线线间距加宽值应采用加长内侧线路缓和曲线长度的方法进行计算。内侧线路缓和曲线长度应按下列公式计算：

$$L_n=\sqrt{24R_n\left(\frac{L_w^2}{24R_w}+W'\times10^{-3}\right)} \quad (5.2.6-2)$$

式中 L_n ——内侧线路缓和曲线长度(m),取整至 10 m;
 L_w ——外侧线路缓和曲线长度(m),按本规范第 5.2.4 条的规定取值;
 R_n ——内侧线路曲线半径(m);
 R_w ——外侧线路曲线半径(m)。

5.2.7 区间线路线间距变更应符合下列规定：

- 1 车站两端和桥隧地段的线间距变更宜利用附近曲线完成。条件不具备时,可在第二线上采用反向曲线完成。
- 2 相邻两线采用反向曲线变更线间距时,如受本规范表 5.2.5 规定的圆曲线最小长度限制,可不设缓和曲线,但圆曲线半径不得小于表 5.2.7 的规定值。

表 5.2.7 采用反向曲线变更线间距不设缓和曲线的最小圆曲线半径

设计速度(km/h)	100	80
不设缓和曲线的最小圆曲线半径(m)	4 000	3 000

3 相邻两线采用反向曲线变更线间距,若受曲线偏角限制难于采用表 5.2.5 规定的圆曲线最小长度标准时,可采用较短的圆曲线长度,但不得小于 20 m。

5.2.8 特大桥、大桥宜设在直线上。困难条件下必须设在曲线上时,宜采用较大的曲线半径。

5.2.9 隧道宜设在直线上。如因地形、地质等条件限制必须设在曲线上时,曲线宜设在洞口附近并采用较大的曲线半径。隧道不宜设在反向曲线上。

5.2.10 重载列车长度范围内,不宜设置 2 个以上连续反向的曲线。

5.2.11 车站正线的平面设计应符合下列规定:

1 组合分解站及区段站应设在直线上。特殊困难条件下,经技术经济论证,可设在曲线上,但其曲线半径不得小于 800 m。

2 改建车站时,特殊困难条件下,经技术经济论证,可保留小于上述规定的曲线半径。

3 横列式车站不宜设在反向曲线上。纵列式区段站设在曲线上时,每一运行方向的到发线有效长度范围内不应有反向曲线。

4 车站曲线宜采用较小的偏角。

5 车站咽喉区范围内的正线应设在直线上。

5.3 线路纵断面

5.3.1 线路的限制坡度应根据地形条件、牵引质量、机车类型和运输需求比选确定,并应与邻接铁路的限制坡度相协调。

5.3.2 轻、重车方向货流显著不平衡,远期也不致发生巨大变化,且分方向采用不同限制坡度有显著经济价值时,可分方向选择限制坡度,并应进行重车方向的下坡制动安全检算。

5.3.3 改建既有线时,局部超过限制坡度的地段若降坡将引起困难工程,且运营实践和牵引计算检算证明列车可以利用动能以不低于机车计算速度通过的坡度,可予保留,但既有线为双线时,不应妨碍自动闭塞的采用。

增建第二线时,既有线超过限制坡度的地段可作为单方向行车的下坡线,但不应妨碍自动闭塞的采用。

5.3.4 限制坡度应按下列规定进行坡度减缓或折减。

1 平面曲线范围内应进行曲线阻力所引起的坡度减缓,其减缓值 Δi_r 应根据下列情况计算确定:

1) 当曲线长度大于或等于货物列车长度时,其减缓值 Δi_r 应按下列公式计算确定:

$$\Delta i_r = \frac{600}{R} \tag{5.3.4—1}$$

2) 当曲线长度小于货物列车长度时,其减缓值 Δi_r 应按下列公式计算确定:

$$\Delta i_r = \frac{10.5 \sum \alpha}{l} \tag{5.3.4—2}$$

式中 Δi_r ——曲线阻力引起的坡度减缓值(‰);
 R ——曲线半径(m);
 l ——坡段长度(m),当其大于货物列车长度时采用货物列车长度;
 $\sum \alpha$ ——坡段长度(或货物列车长度)内平面曲线偏角总和(°)。

2 长度大于 400 m 的单洞单线隧道线路坡度不得大于最大坡度乘以表 5.3.4—1 规定的系数所得的数值;长度大于 5 000 m 的单洞双线隧道线路坡度不得大于最大坡度减去表 5.3.4—2 规定的减缓值所得的数值;位于曲线地段的隧道,应先进行隧道坡度折减,再进行曲线坡度减缓。

表 5.3.4—1 单洞单线铁路隧道内线路最大坡度折减系数

隧道长度(m)	$400 < L \leq 1\,000$	$1\,000 < L \leq 4\,000$	$L > 4\,000$
坡度折减系数	0.95	0.90	0.85

表 5.3.4—2 单洞双线铁路隧道内线路最大坡度减缓值

隧道长度(m)	$5\,000 < L \leq 10\,000$	$10\,000 < L \leq 15\,000$	$L > 15\,000$
坡度减缓值(‰)	0.06	0.14	0.20

3 改建既有线按上述规定减缓或折减将引起巨大工程时,可保留原标准。

5.3.5 相邻坡段的连接宜设计为较小的坡度差。相邻坡段的最大坡度差一般不得大于 8‰,困难条件下不得大于 10‰。改建既有线经技术经济论证,其相邻坡段的坡度差可保留原数值。

5.3.6 纵断面宜设计为较长的坡段,最小坡段长度一般不应小于 400 m;凸形纵断面顶部为缓和坡度差而设置的分坡平段的长度不应小于 200 m;困难条件下,因坡度减缓或折减而形成的坡段、长路堑内为排水而设置的人字坡坡段长度均可减至 200 m。改建既有线和增建第二线的坡段长度在困难条件下可减至 200 m。

5.3.7 竖曲线的设置应符合下列规定:

1 相邻坡段的坡度差大于 3‰时,应以圆曲线形竖曲线连接,竖曲线半径应采用 10 000 m。

2 缓和曲线和正线道岔范围内不得设置竖曲线。

5.3.8 隧道内的坡道可设置为单面坡或人字坡,地下水发育的长隧道宜采用人字坡,其坡度值不宜小于 3‰,在最冷月平均气温低于 -5°C 的地区及地下水发育的隧道内可适当加大坡度。

5.3.9 车站站坪坡度应符合下列规定:

1 站坪宜设在平道上;困难条件下,可设在不大于 1.0‰的坡道上;特殊困难条件下,有充分技术经济依据时,会让站、越行站可设在不大于 6‰且不大于限制坡度的坡道上,但不应连续设置。

改建车站在特殊困难条件下,如有充分技术经济依据,可保留既有坡度,但应采取防溜安全措施。

2 咽喉区的正线坡度,宜与站坪坡度相同。特殊困难条件下,可将咽喉区设置在限制坡度减 2‰的坡道上,但区段站咽喉区的正线坡度不得大于 2.5‰。

咽喉区外的个别道岔和渡线可设在不大于限制坡度的坡道上。

3 车站的站坪坡度均应保证列车的起动。

5.4 交叉、附属设施及其他

5.4.1 新建重载铁路与其他铁路交叉跨越时,宜选择下穿客运铁路的方式。当不满足要求时,应按有关规定采取安全可靠的防护措施。

5.4.2 重载铁路与公(道)路交叉应设置立体交叉。立体交叉的形式应根据道路的性质、等级、交通量、地形条件、安全要求以及经济效益和社会效益等因素确定。

5.4.3 立体交叉范围内应设置完整、通畅的排水系统。

5.4.4 隔离栅栏设置于铁路用地界内 0.5 m 处。

5.4.5 重载铁路线路两侧应设立安全保护区,保护区范围应符合《铁路安全管理条例》的有关规定。安全保护边界应设置安全保护区标桩。

6 路 基

6.1 一 般 规 定

- 6.1.1 路基工程应加强地质调绘和勘探、试验工作,查明工程地质及水文地质条件和填料性质,在取得可靠地质资料的基础上进行设计。
- 6.1.2 路基工程应按土工结构物进行设计,必须具有足够的强度、稳定性和耐久性,并应考虑各种自然因素作用的影响,保证列车安全、平稳运行。
- 6.1.3 路基工程宜避免高填、深挖,路堤边坡高度不宜超过 15 m,路堑边坡高度不宜超过 30 m。
- 6.1.4 路基与桥台、横向结构物、隧道等连接处应设置过渡段。
- 6.1.5 路基工程地基处理措施应根据地质条件、路堤高度、填料、建设工期等综合分析确定,并应满足稳定性和工后沉降要求。
- 6.1.6 路基上的轨道及列车荷载换算土柱高度和分布宽度应符合表 6.1.6 的规定。对于架桥机等特殊荷载通过的路段应按实际荷载检算。

表 6.1.6 轨道及列车荷载换算土柱高度和分布宽度

基床 表层 类型	道床 厚度 (m)	设计 轴重 (kN)	换算土柱高度(m)					分布 宽度 (m)
			土的重度					
			18 kN/m ³	19 kN/m ³	20 kN/m ³	21 kN/m ³	22 kN/m ³	
级配 碎石 或级 配砂 砾石	0.3	250	3.6	3.4	3.2	3.0	2.9	3.3
		270	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	3.3
	0.35	250	3.6	3.4	3.2	3.1	2.9	3.4
		270	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	3.4
		300	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.4

续表 6.1.6

基床 表层 类型	道床 厚度 (m)	设计 轴重 (kN)	换算土柱高度(m)					分布 宽度 (m)
			土的重度					
			18 kN/m ³	19 kN/m ³	20 kN/m ³	21 kN/m ³	22 kN/m ³	
A 组 填料	0.5	250	3.5	3.4	3.2	3.0	2.9	3.7
		270	3.7	3.5	3.4	3.2	3.0	3.7
	0.55	300	4.0	3.8	3.6	3.4	3.3	3.8

注:重度与本表不符时,需另计算换算土柱高度。

6.1.7 既有路基改造工程应详细查明路基状况,评价基床条件,重点整治路基基床病害,并加强对路桥、路涵过渡段及新老路基衔接处等的处理。

6.1.8 路基工程应设置完整的排水系统,并应与桥涵、隧道、车站等排水系统衔接。

6.2 路基面形状和宽度

6.2.1 路基面形状应设计为三角形,由路基中心线向两侧设 4% 的人字排水坡。曲线加宽时,路基面仍应保持三角形。

6.2.2 路肩宽度,路堤地段不应小于 1.0 m,路堑地段不应小于 0.8 m。

6.2.3 直线地段标准路基面宽度不应小于表 6.2.3 的规定值。

表 6.2.3 直线地段标准路基面宽度(m)

基床表层类型	道床厚度	单 线		双 线	
		路 堤	路 堑	路 堤	路 堑
级配碎石或 级配砂砾石	0.35	8.1	8.1	12.1	12.1
	0.3	8.1	8.1	12.1	12.1
A 组填料	0.55	8.5	8.1	12.7	12.3
	0.5	8.3	8.1	12.5	12.1
硬质岩石	0.35	8.1	8.1	12.1	12.1

6.2.4 区间曲线地段的路基面宽度应在曲线外侧按表 6.2.4 的规定值加宽,加宽值应在缓和曲线范围内线性递减。

表 6.2.4 曲线地段路基面加宽值(m)

曲线半径	路基面外侧加宽值
$600\leq R<800$	0.5
$800\leq R<1\ 200$	0.4
$1\ 200\leq R<1\ 600$	0.3
$1\ 600\leq R<5\ 000$	0.2
$R\geq 5\ 000$	0.1

6.3 基 床

6.3.1 路基本床应由表层与底层组成,其厚度应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 基床厚度

轴重(kN)	基床表层厚度(m)	基床底层厚度(m)	基床总厚度(m)
250、270	0.6	1.9	2.5
300	0.7	2.3	3.0

6.3.2 基床表层应采用级配碎石或级配砂砾石或除块石类、砂类土外的 A 组填料,其压实标准应采用压实系数 K 、地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_{vd} 作为控制指标,并应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 基床表层填料及压实标准

填 料	压实标准		
	压实系数 K	地基系数 K_{30} (MPa/m)	动态变形模量 E_{vd} (MPa)
级配碎石或 级配砂砾石或 A 组填料	≥ 0.97	≥ 190	≥ 55

6.3.3 基床表层采用级配碎石时,应符合下列规定:

1 基床表层级配碎石材料由开山块石、天然卵石或砂砾石经破碎筛选而成。

2 基床表层级配碎石粒径级配应符合表 6.3.3 的规定,且其不均匀系数 C_u 不应小于 15,0.02 mm 以下颗粒质量百分率不应大于 3%。

表 6.3.3 级配碎石粒径级配

方孔筛孔边长(mm)	0.1	0.5	1.7	7.1	22.4	31.5	45
过筛质量百分率(%)	0~11(5)	7~32	13~46	41~75	67~91	82~100	100

注:括号内数字适用寒冷地区铁路。

3 与上部道床道砟及与下部填土之间的颗粒级配应满足 $D_{15} < 4d_{85}$ 的要求;不能满足要求时,基床表层可采用颗粒级配不同的双层结构,或在基床底层表面铺设土工合成材料。当下部填土为改良土时,可不受此项规定限制。

6.3.4 基床表层采用级配砂砾石时,应符合下列规定:

1 颗粒的粒径、级配应符合表 6.3.4 的规定。级配曲线应接近圆滑,某一种尺寸的颗粒不宜过多或过少,颗粒中细长及扁平颗粒不宜超过 20%。粒径小于 0.5 mm 的细集料的液限应小于 28%,其塑性指数应小于 6。黏土团及有机质含量不应大于 2%。

表 6.3.4 砂砾石级配范围

级配 编号	通过筛孔(mm)质量百分率(%)									
	60	50	40	30	20	10	5	2	0.5	0.075
1	97~100	95~100	90~99	84~90	76~94	65~85	54~77	40~67	23~51	3~23
2	—	100	90~100	80~93	65~85	45~70	30~55	15~35	10~20	4~10
3	—	—	100	90~100	75~95	50~70	30~55	15~35	10~20	4~10
4	—	—	—	100	85~100	60~80	30~50	15~30	10~20	4~10

2 与上部道床道砟及与下部填土之间的颗粒级配应满足

$D_{15} < 4d_{85}$ 的要求,不能满足要求时,基床表层可采用颗粒级配不同的双层结构,或在基床底层表面铺设土工合成材料。当下部填土为改良土时,可不受此项规定限制。

6.3.5 基床表层采用 A 组填料时,不均匀系数 C_u 不应小于 10,最大粒径不应大于 60 mm。

6.3.6 基床底层应采用 A、B 组填料,否则应采取土质改良或加固措施。A、B 组填料的粒径不应大于 100 mm,其压实标准应采用压实系数 K 、地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_{vd} 、无侧限抗压强度作为控制指标,并应符合表 6.3.6 的规定。

表 6.3.6 基床底层填料及压实标准

压实标准	化学改良土	粗粒土	碎石类
压实系数 K	≥ 0.95	≥ 0.95	≥ 0.95
地基系数 K_{30} (MPa/m)	—	≥ 130	≥ 150
动态变形模量 E_{vd} (MPa)	—	≥ 40	≥ 40
7 d 饱和无侧限抗压强度 (kPa)	$\geq 350(600)$	—	—

注:括号内数字为改良土考虑冻融循环作用所需的强度值。

6.3.7 在水文地质条件复杂及易产生翻浆冒泥和冻害等基床病害地段,基床应采取防水或防冻害等措施。

6.4 路 堤

6.4.1 基床以下路堤宜选用 A、B、C 组填料,当选用 D 组填料时,应采取土质改良措施,严禁采用 E 组填料。填料的粒径不应大于 150 mm。其压实标准应采用压实系数 K 、地基系数 K_{30} 作为控制指标,并应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 基床以下路堤填料及压实标准

压实标准	细粒土	化学改良土	粗粒土	碎石类
压实系数 K	≥ 0.92		≥ 0.92	≥ 0.92

续表 6.4.1

压实标准	细粒土	化学改良土	粗粒土	碎石类
地基系数 K_{30} (MPa/m)	≥ 90		≥ 110	≥ 130
7 d 饱和无侧限抗压强度 (kPa)		≥ 300	—	—

6.4.2 当路基基底压缩层范围内的地基土不符合表 6.4.2 的要求时,应进行路基工后沉降分析。一般地段工后沉降量不应大于 20 cm,路桥过渡段工后沉降量不应大于 10 cm,沉降速率均不应大于 5 cm/年。不满足要求时,应进行地基处理。

表 6.4.2 路堤地基条件

地 层	地基条件
基 岩	—
碎、卵、砾石类	—
砂类土	$P_s \geq 5.0$ MPa 或 $N \geq 10$,且无地震液化可能
黏性土	$P_s \geq 1.2$ MPa 或 $\sigma_0 \geq 0.15$ MPa

注: N 为标准贯入试验锤击数。

6.4.3 对于高度小于基床厚度的路堤,其基床应满足本规范第 6.3.2 条、第 6.3.6 条的要求;基床范围内的天然地基应无地基静力触探比贯入阻力 $P_s < 1.5$ MPa 或地基基本承载力 $\sigma_0 < 0.18$ MPa 的土层。不能满足时,应采取土质改良、换填或其他处理措施。基床挖除换填、改良或加固处理时,应采取加强排水和防渗等措施,分层压实应满足基床相应部位要求。

6.4.4 地质条件突变或采取不同处理方法将造成明显沉降差异的地基,应设置过渡段。

6.4.5 软土地基沉降计算应符合下列规定:

1 路堤地基沉降量计算时,其压缩层厚度应按附加应力等于 0.1 倍自重应力确定。

2 路堤地基的总沉降量计算应包括瞬时沉降和主固结沉降,

富含有机质土和泥炭土尚应计算次固结沉降。

3 双线路基地基沉降计算时,列车荷载可按单线有荷计算。

6.4.6 路堤边坡坡率应根据路基填料、路堤高度、水文气候条件等因素,按现行《铁路路基设计规范》TB 10001 综合确定。

6.4.7 路堤与桥台连接处应设置过渡段,过渡段形式如图 6.4.7 所示,并应符合下列规定:

1 过渡段长度按下式确定:

$$L=a+(H-h)\times n \quad (6.4.7)$$

式中 L ——过渡段长度(m);

H ——台后路堤高度(m);

h ——基床表层厚度(m);

a ——倒梯形底部沿线路方向长度,取 3 m~5 m;

n ——常数,取 2.0。

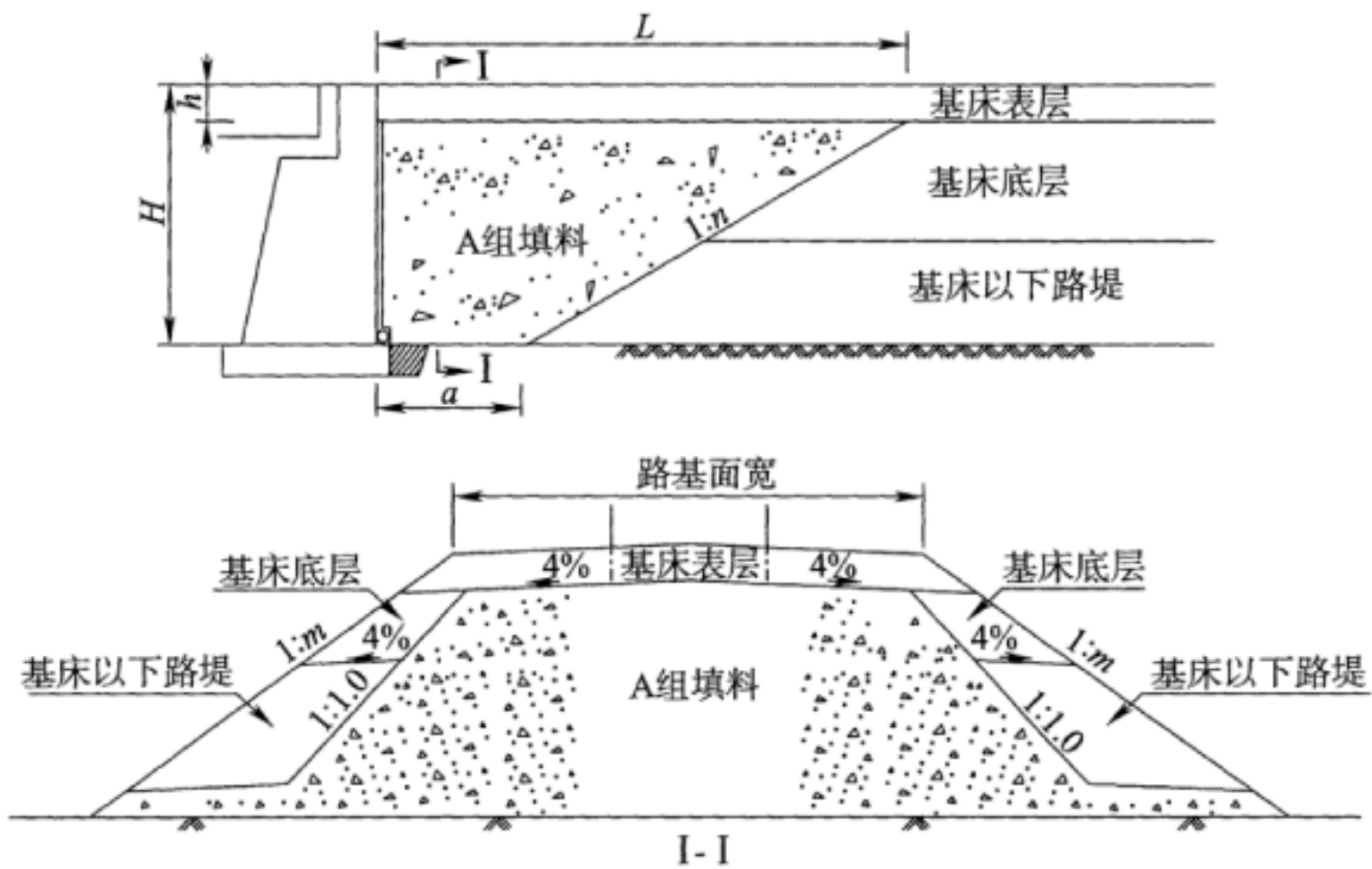


图 6.4.7 台尾路堤过渡段设置方式

2 过渡段路堤基床表层应符合本规范第 6.3.2 条的要求,表层以下应采用 A 组填料分层填筑,填筑压实标准应满足压实系数

$K \geq 0.95$ 、地基系数 $K_{30} \geq 150$ MPa/m、动态变形模量 $E_{vd} \geq 40$ MPa 的要求。

3 过渡段桥台基坑应以混凝土回填或以碎石、灰土分层填筑,并用小型机具碾压密实。混凝土应满足设计强度要求,碎石、灰土填筑应满足 $E_{vd} \geq 30$ MPa 的要求。

4 过渡段路堤应与其连接的路堤同时施工,并按大致相同的高度分层填筑。过渡段处理措施及施工工艺应结合工程实际进行现场试验。

6.4.8 路堤与横向结构物(立交框构、箱涵等)连接处应设置过渡段,过渡段形式如图 6.4.8 所示,并采用 A 组填料填筑;当横向结构物顶部填土厚度大于基床厚度时,过渡段可采用 B 组填料填筑。过渡段压实标准及基坑回填应符合本规范第 6.4.7 条的规定。

严寒、寒冷地区设置过渡段时,与横向结构物接触区冻结深度范围的填料应采取防冻措施。

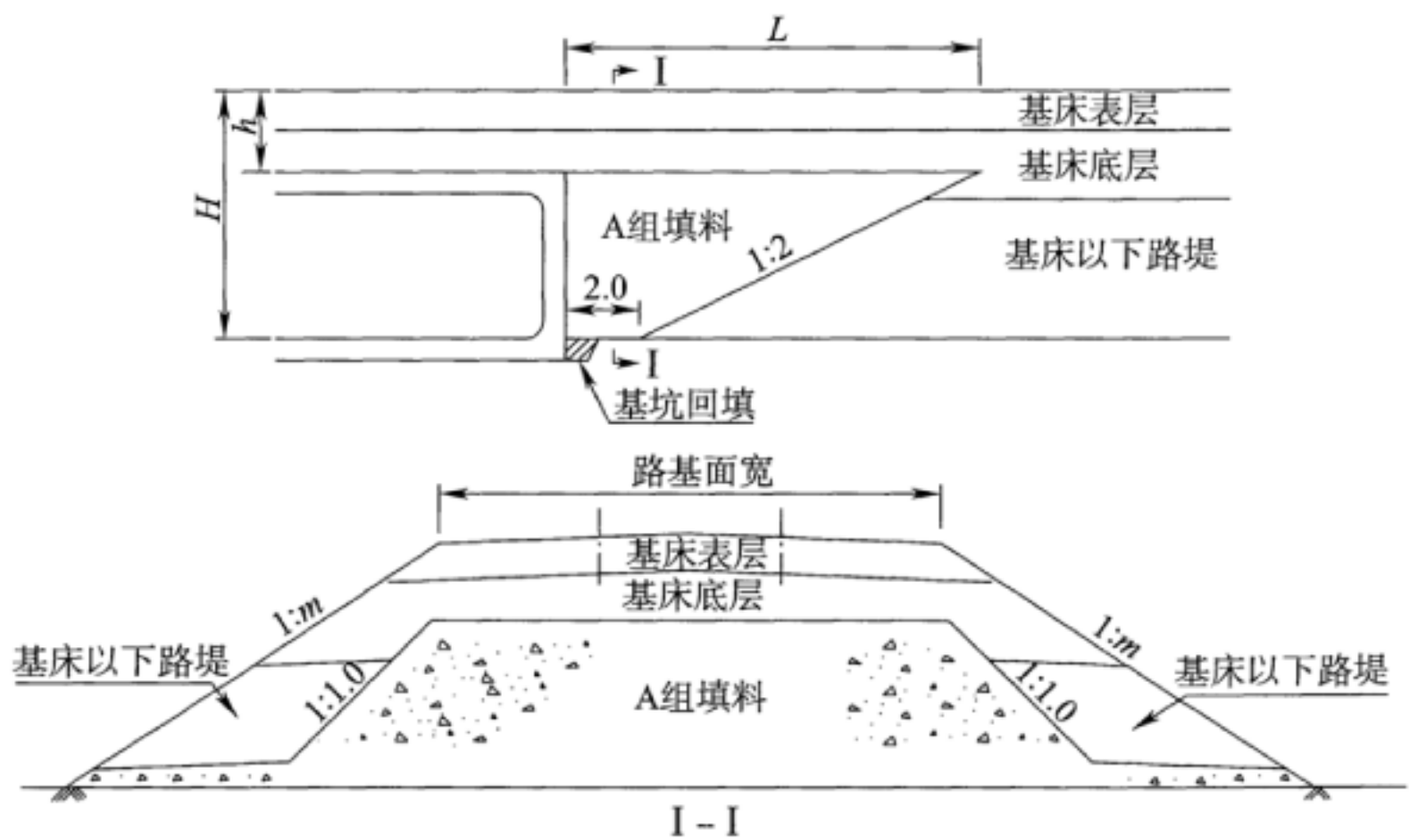


图 6.4.8 路堤与横向结构物过渡段设置方式

6.4.9 土质、软质岩及强风化硬质岩路堑与隧道连接地段,应设置长度不小于 20 m 的过渡段,并应采用渐变厚度的级配碎石(级

配砂砾石)或 A 组填料填筑。

6.4.10 路堤浸水部位的填料应采用渗水性材料填筑,宜放缓边坡坡度,并应对边坡进行防护。

6.4.11 雨季滞水及排水不畅的低洼地段,低洼处应以渗水性材料或水稳性好的填料填筑,并应采取排除水流的疏导措施。

6.4.12 软土地基上填筑路堤时,应设置进行水平位移和沉降观测的沉降及稳定观测设备,控制填土速率,满足路堤沉降和稳定要求。

6.5 路 堑

6.5.1 不易风化的硬质岩基床,路基面应设 4% 人字排水坡,对凹凸不平处,应采用混凝土找平。

6.5.2 易风化的软质岩、强风化的硬质岩及土质基床处理应符合下列规定:

1 基床表层深度范围内应进行换填,并满足本规范第 6.3.2 条的规定。

2 基床底层表面应设向两侧 4% 横向排水坡,且在基床底层范围内的天然地基应无地基静力触探比贯入阻力 $P_s < 1.5 \text{ MPa}$ 或地基基本承载力 $\sigma_0 < 0.18 \text{ MPa}$ 的土层;不满足以上要求时,应进行改良或加固处理。

3 土质路堑土质不满足基床底层填料要求时,应采取换填 A、B 组填料或改良土措施,厚度不应小于 1.0 m。基床表层以下为膨胀土、湿陷性黄土等地层时,应在路基变形分析的基础上,采取相应的换填改良土、封闭防水、排水或其他适宜加固的处理措施,并应符合《铁路特殊路基设计规范》TB 10035 的有关规定。

4 基床挖除换填、改良或加固处理时,应采取加强排水和防渗等措施,分层压实标准应执行基床相应部位标准。

6.5.3 半填半挖路基应将自线路中心线向挖方部分宽度不小于 2.0 m、路基面下 1.0 m 深范围内予以挖除换填,填料应符合基床要求,并应设置 4% 向外排水坡。

6.5.4 易风化的软质岩、强风化的硬质岩及土质路堑应设置侧沟平台,平台宽度宜为 1.0 m~2.0 m,在土石分界、透水和不透水层交界面处宜设置边坡平台,平台宽度不宜小于 2.0 m。

6.6 路基排水

6.6.1 排水设施应根据当地降雨量特征、汇水面积、地形和地质条件、地下水状况和气候等条件进行设计。

6.6.2 侧沟、天沟、排水沟可采用梯形或矩形断面,过水能力应满足设计洪水频率 1/50 的降水量或设计洪水流量要求,且底宽不应小于 0.4 m,深度不应小于 0.6 m。

6.6.3 土质、软质岩、强风化或全风化的硬质岩石地段的侧沟、天沟和排水沟,应采取防止冲刷或渗漏的加固措施,必要时可设垫层。

6.6.4 对路基有危害的地下水应根据地下水类型、含水层埋藏深度、地层的渗透性等条件及对环境的影响,选用下列排除地下水措施:

1 当地下水埋藏浅或无固定含水层时,可采用明沟、排水槽、渗水暗沟、边坡渗沟、支撑渗沟等;

2 当地下水埋藏较深或为固定含水层时,可采用渗水隧洞、渗井、渗管或仰斜式钻孔等。

6.6.5 侧沟、天沟、排水沟及边坡平台截水沟等排水设备应与桥涵、隧道、车站等相邻排水设施衔接配合。

6.7 路基支挡及防护

6.7.1 支挡结构的设置及结构形式应结合地形地质条件、周围环境、征地、拆迁及工程投资等因素综合分析确定。

6.7.2 支挡结构物计算时,轨道及列车荷载换算土柱高度和分布宽度应采用本规范表 6.1.6 的规定值。运架梁车通过时,还应考虑运架梁车等特殊荷载。

6.7.3 重力式路肩、路堤和土质路堑挡土墙高度不宜大于 10 m, 石质重力式路堑挡土墙高度不宜大于 12 m。重力式挡土墙墙身材料应采用片石混凝土或混凝土浇筑。

6.7.4 路堤边坡应根据填料性质、气候条件、边坡高度、浸水及冲刷等具体情况设置防护工程,并符合下列规定:

1 路堤边坡宜采用植物防护或骨架结合植物的防护形式。

2 当路堤边坡较高时,可在边坡不小于 2.5 m 宽度范围内分层铺设土工格栅等土工合成材料至基床表层下。

3 沿河地段路基应根据河流特性、水流性质、河道地貌、地质条件等因素,结合路基位置,采用抗冲刷能力强的边坡防护、导流或改河工程等措施,必要时可设置浸水挡土墙。

6.7.5 土质、软质岩、强风化或全风化的硬质岩石路堑边坡坡面均应进行防护或加固,并符合下列规定:

1 土质路堑边坡可采用喷播植草或种植灌木等措施,较高的土质路堑边坡可采用骨架护坡结合植草、种植灌木等防护措施。

2 软质岩、强风化或全风化的硬质岩石应根据岩体结构、结构面产状、风化程度、地下水及气候条件等确定边坡加固措施。高度方向每隔 8 m~10 m 或在土石分界处宜设置平台,必要时对坡脚设置预加固措施。

6.7.6 当边坡采用骨架护坡防护时,应采用带排水槽的结构,骨架厚度宜为 0.4 m~0.6 m。

6.8 接口设计

6.8.1 路基设计应做好与桥梁、隧道排水及边坡防护等的衔接过渡。

6.8.2 设置于路肩上的接触网支柱基础及路肩外侧的声屏障基础应与路基同步施工,并采取防排水措施。

6.8.3 修筑于路肩上的各种设施及基础不得影响路基的稳固与安全,宜与路基修建同步进行。

7 桥 涵

7.1 一 般 规 定

- 7.1.1 桥涵结构应构造简洁、力求标准化、便于施工和养护维修。
- 7.1.2 桥涵结构应满足规定的强度、刚度、稳定性、耐久性、列车运行安全性、平稳性的要求。
- 7.1.3 桥涵结构的工程材料应根据结构类型、受力状态、使用要求、环境条件等选用。
- 7.1.4 桥梁结构形式应综合考虑桥梁的使用功能、环境条件及环境要求、轨道类型以及施工方法等因素确定。
- 7.1.5 桥梁下部结构应采用混凝土或钢筋混凝土结构。桥墩类型宜结合桥梁所处的地域、地形、水文、立交条件及景观要求等成段统一。
- 7.1.6 桥面布置应满足桥上设施设置和养护维修作业要求。
- 7.1.7 桥涵结构设计应进行疲劳检算。
- 7.1.8 涵洞可采用框架涵、圆涵或盖板涵。涵洞顶不宜高于基床表层底面。涵洞顶控制路肩高程时，涵洞顶可与路肩齐平，但不应高于路肩，且斜交涵洞的斜交角度不宜大于 45° 。
- 7.1.9 桥涵设计有关洪水频率、结构抗震和耐久性的要求等应符合国家有关标准的规定。
- 7.1.10 既有线开行重载货物列车时，应对桥涵结构强度、刚度、稳定性及疲劳等进行综合评估，并采取相应的工程措施。

7.2 设 计 荷 载

- 7.2.1 桥涵结构应按表 7.2.1 所列荷载的最不利组合进行设计。

表 7.2.1 桥涵荷载

荷载分类		荷载名称
主 力	恒 载	结构构件及附属设备自重 预加力 混凝土收缩和徐变的影响 土压力 静水压力及水浮力 基础变位的影响
	活 载	列车竖向静活载 公路(城市道路)活载 列车竖向动力作用 离心力 横向摇摆力 列车活载产生的土压力 人行道人行荷载
附加力		制动力或牵引力 支座摩阻力 风力 流水压力 冰压力 温度变化的作用 冻胀力 波浪力
特殊荷载		列车脱轨荷载 船只或排筏的撞击力 汽车撞击力 施工荷载 地震力 长钢轨纵向作用力(伸缩力、挠曲力和断轨力)

- 注:1 结构构件主要承受某种附加力,对此构件该附加力应按主力计算;
 2 流水压力不宜与冰压力组合,两者也不宜与制动力或牵引力组合;
 3 船只或排筏的撞击力、汽车撞击力以及长钢轨断轨力与主力相组合时,只计算其中的一种荷载与主力的组合,不应与其他附加力组合;
 4 列车脱轨荷载应只与主力中恒载组合,不应与主力中活载和其他附加力组合;
 5 地震力与其他荷载的组合应符合《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的有关规定;
 6 无缝线路纵向作用力与其他荷载的组合应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定执行;
 7 有通行长大货物列车需求的线路应采用长大货物列车荷载图式进行检算。

7.2.2 桥梁设计应考虑主力与一个方向(顺桥或横桥方向)的附加力组合。

7.2.3 材料基本容许应力和地基容许承载力应根据各种结构的不同荷载组合乘以不同的提高系数,预应力混凝土结构中的强度及抗裂性计算应采用不同的安全系数。

7.2.4 结构构件及附属设备自重应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定计算。

7.2.5 土压力应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定计算。台后填土的内摩擦角应根据台后过渡段设计情况确定。

7.2.6 列车荷载应采用 ZH 荷载,并符合下列规定:

1 设计加载时,荷载图式可任意截取。对多符号影响线,可在同符号影响线各区段进行加载,异符号影响线区段长度不大于 15 m 时可不加活载;异符号影响线区段长度大于 15 m 时,可按空车静活载 10 kN/m 加载。疲劳验算时,异符号影响线区段长度内均应按荷载图式中的均布荷载进行加载。

2 用空车检算桥梁各部构件时,竖向活载应按 10 kN/m 计算。

3 同时承受多线列车活载的桥梁,双线应按两线列车竖向活载总和的 90% 计算,三线及四线应按各线列车竖向活载总和的 80% 计算,四线以上应按各线列车竖向活载总和的 75% 计算。

4 对于货物运输方向固定的多线重载铁路桥梁结构,列车竖向活载计算时可根据实际情况考虑相应折减。

5 双线和多线钢桥疲劳检算加载方式应按相应的规范执行。

7.2.7 列车竖向活载动力作用可按竖向静活载乘以动力系数 $(1+\mu)$ 确定,动力系数的量值应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 取用。实体墩台、基础、土压力计算可不考虑动力作用。

7.2.8 列车竖向静活载在桥台后破坏棱体上引起的侧向土压力应按活载换算为当量均布土层厚度计算,如图 7.2.8 所示。

活载换算当量均布土层厚度 h_0 可按下列公式计算:

$$h_0 = \frac{q}{\gamma} \quad (7.2.8)$$

式中 q ——轨底平面上活载竖向压力强度(kPa); 横向分布宽度 B_0 应按 2.6 m 计; 纵向分布宽度: 当采用集中轴重时为轴距, 当采用每延米荷重时为 1.0 m;

γ ——土的重度(kN/m³)。

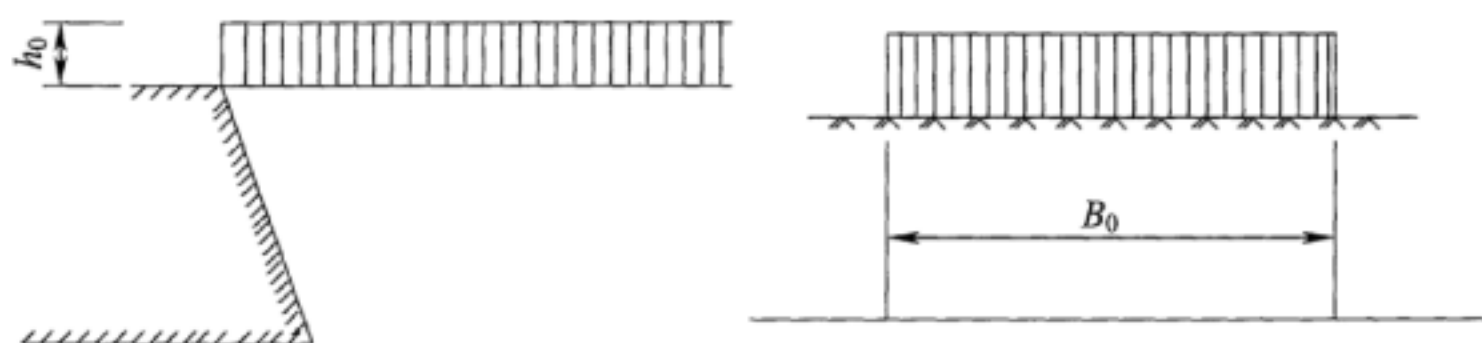


图 7.2.8 活载换算土层厚度图

7.2.9 计算列车活载对涵洞的竖向压力和水平压力时, 假定活载在轨底平面上的横向分布宽度为 2.6 m, 其在路基内按 1 : 0.5 向外扩散, 可按下列公式计算:

$$\text{水平压力} \quad e = \xi q_h \quad (7.2.9-1)$$

$$\text{竖向压力} \quad q_h = \frac{200z}{2.6 + h} \quad (7.2.9-2)$$

式中 e ——水平压力(kPa);

q_h ——竖向压力(kPa);

ξ ——水平侧压力系数, 填土可根据填料、压实等情况采用 0.25 或 0.35, 其中经久压实的路堤可采用 0.25;

h ——轨底以下的深度(m)。

7.2.10 列车在曲线上产生的离心力计算应符合下列规定:

1 离心力应按下列公式计算:

$$F = C \cdot W = \frac{v^2}{127R} \cdot W \quad (7.2.10)$$

式中 F ——离心力(kN);

C ——离心力率, 按小于等于 0.15 取值;

v ——设计速度(km/h)；

R ——曲线半径(m)；

W ——列车荷载图式中的集中荷载或分布荷载(kN 或 kN/m)。

2 曲线上的桥梁还应考虑没有离心力时列车活载作用的情况。

3 离心力作用高度应按水平向外作用于轨顶以上 2.4 m 处计算。

7.2.11 横向摇摆力应按 $100z$ kN,以水平方向垂直线路中心线作用于钢轨顶面,取最不利位置计算,并应符合下列规定:

1 多线桥梁可仅计算任一线上的横向摇摆力。

2 空车时应考虑横向摇摆力。

7.2.12 列车制动力或牵引力计算应符合下列规定:

1 制动力或牵引力应按列车竖向静活载的 10% 计算。当其与离心力或列车竖向动力作用同时计算时,制动力或牵引力应按列车竖向静活载的 7% 计算。

2 制动力或牵引力作用点位于轨顶以上 2.4 m 处,但计算桥墩台时应移至支座中心处,计算台顶及刚构桥、拱桥时应移至轨底,均不应计入移动作用点所产生的竖向力或力矩。

3 双线桥可采用一线的制动力或牵引力;三线或三线以上的桥梁应采用双线的制动力或牵引力。

4 车站内的桥梁应根据其结构形式考虑制动和起动同时发生的可能进行设计。

5 桥头填方破坏棱体范围内的列车活载所产生的制动力或牵引力可不计入。

6 采用铁路列车荷载图式中的特种活载时,不应计算制动力或牵引力。

7.2.13 长度大于 15 m 的桥梁应计算列车脱轨荷载。列车竖向脱轨荷载可不计动力系数。多线桥只计算一线脱轨荷载,且其他线路上不作用列车荷载。列车脱轨荷载应按下列两种情况计算:

1 列车脱轨后一侧车轮仍停留在桥面轨道范围内时,列车脱轨荷载为两条平行于线路中线、相距为 1.4 m 的线荷载,作用于线路中线一侧 2.0 m 范围以内且不超过挡砟墙的最不利位置上。该线荷载在长度为 6.4 m 的一段上为 $50z$ kN/m,前后各接以 $25z$ kN/m,如图 7.2.13—1 所示。

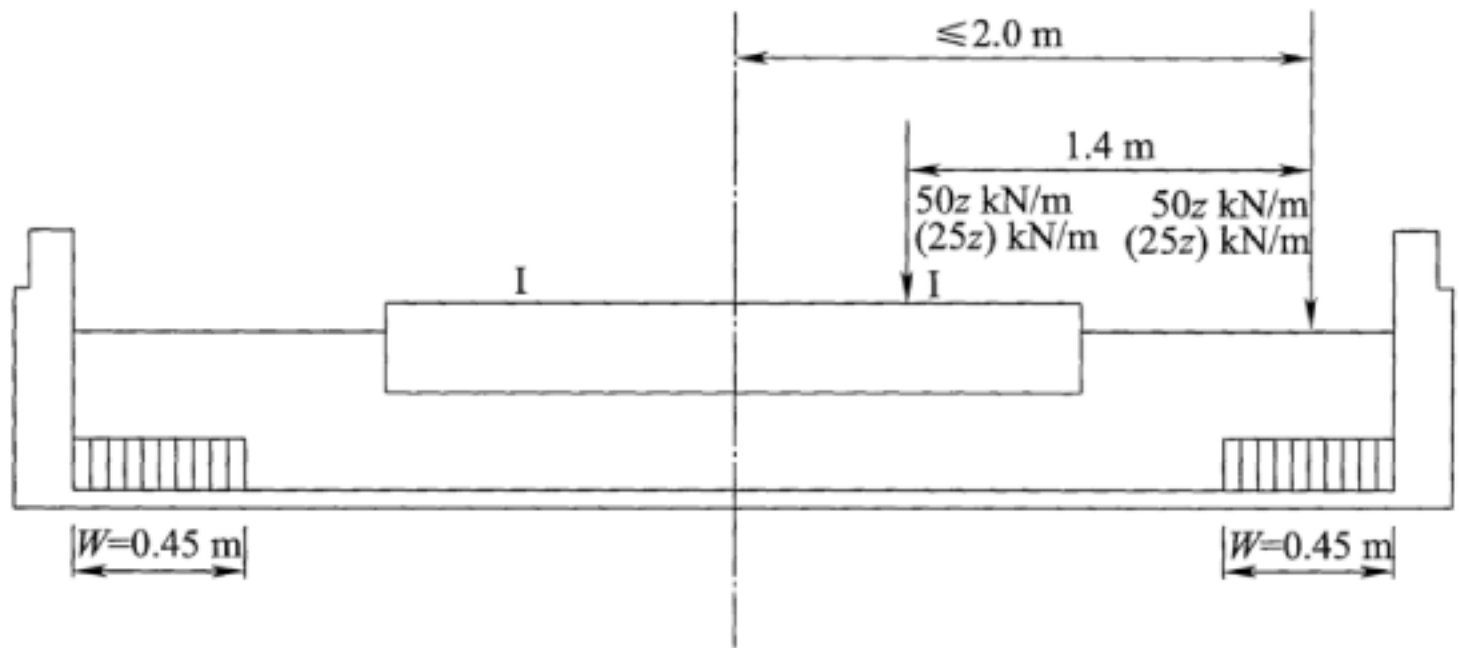


图 7.2.13—1 列车竖向脱轨荷载 1

2 列车脱轨后已离开轨道范围但仍停留在桥面边缘时,列车脱轨荷载应计算竖向脱轨荷载。竖向脱轨荷载为一条长度为 20 m 平行于线路中线的线荷载,作用于挡砟墙内侧,距线路中心线的最大距离为 2.0 m,其值为 $85z$ kN/m,如图 7.2.13—2 所示。

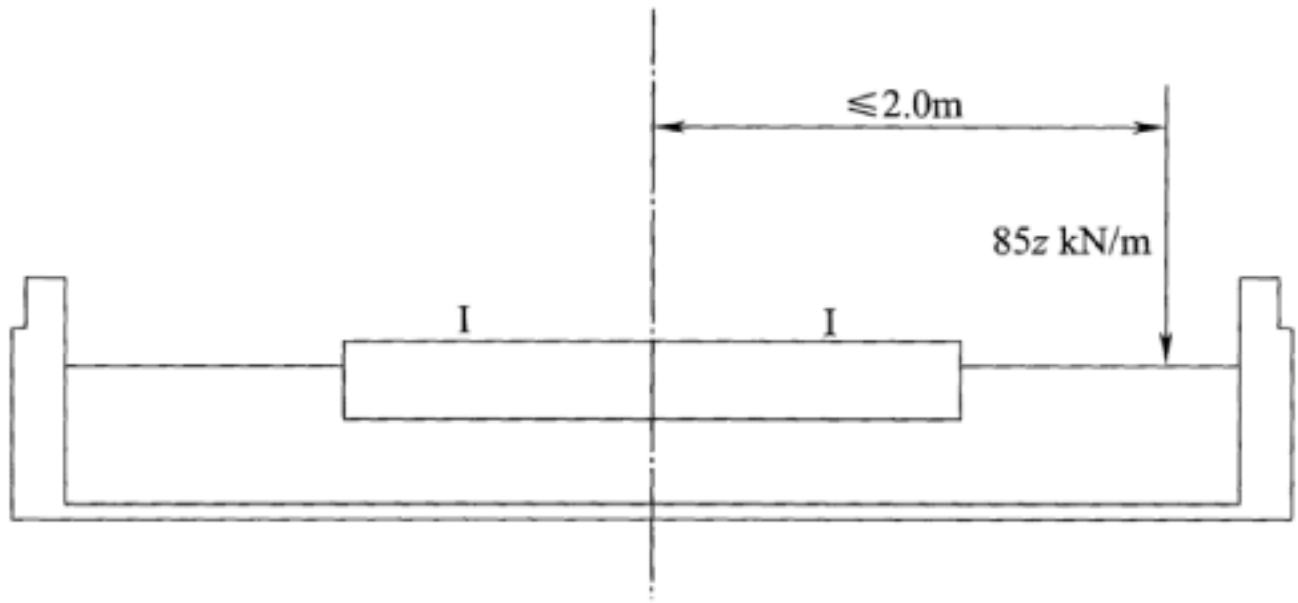


图 7.2.13—2 列车竖向脱轨荷载 2

- 7.2.14** 桥涵结构检算应考虑施工和养护维修荷载。
- 7.2.15** 铺设无缝线路的桥梁应计入无缝线路纵向力(伸缩力、挠曲力、断轨力)作用。纵向力的计算应符合《铁路无缝线路设计规范》TB 10015 相关规定。检算墩台时,纵向力作用点应为墩台支座铰中心;检算支座时,应为支座顶中心。桥台顶断轨力作用点为台顶。
- 7.2.16** 作用于桥梁上的风力、流水压力、水浮力、冰压力、冻胀力、汽车和船只撞击力、人行道荷载、施工荷载等应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 规定计算。
- 7.2.17** 地震力应按《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的规定计算。
- 7.2.18** 波浪力应按《港口及航道水文规范》JTS 145 的有关规定计算。
- 7.2.19** 温度作用(如整体温升、整体降温、日照、寒潮)应按《铁路桥涵设计规范》TB 10002、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定计算。结构构件应计入截面的上下、侧面、内外温差产生的应力和位移。

7.3 结构变形、变位和自振频率的限值

- 7.3.1** 跨度不大于 168 m 钢梁、跨度不大于 128 m 混凝土桥梁梁部及墩台刚度限值应按本节规定设计。
- 7.3.2** 梁体的竖向挠度限值、水平挠度限值以及梁体扭转引起的轨面竖向相对变形量限值应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定。
- 7.3.3** 简支梁竖向自振频率不应小于下列规定的限值。

$$4\text{ m} \leq L \leq 20\text{ m 时} \quad n_0 = 80/L \quad (7.3.3-1)$$

$$20\text{ m} < L \leq 128\text{ m 时} \quad n_0 = 23.58L^{-0.592} \quad (7.3.3-2)$$

式中 n_0 ——简支梁竖向自振频率限值(Hz);

L ——简支梁跨度(m)。

7.3.4 桥梁结构动力性能采用车桥耦合方法评价时,应符合下列规定:

1 列车运行安全性应满足表 7.3.4 的要求。

表 7.3.4 列车运行安全性指标

项 目	单位	机 车	货 车
脱轨系数(Q/P)	—	≤ 0.8	≤ 1.0
轮重减载率($\Delta P/P$)	—	≤ 0.6	
轮轴横向力(H)	kN	$\leq 0.90[15+(P_{st1}+P_{st2})/2]$	$\leq 0.85[15+(P_{st1}+P_{st2})/2]$

注: Q 为车轮作用于钢轨上的横向力,单位 kN; ΔP 为轮重减载量,单位 kN; P 为车轮作用于钢轨上的垂直力,单位 kN; P_{st1} 、 P_{st2} 为车轮静轮重,单位 kN。

2 列车运行平稳性应符合《铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准》TB/T 2360、《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》GB 5599 的规定。

3 列车作用下桥面板强振频率不大于 20 Hz 的竖向振动加速度限值,有砟桥面不应大于 3.5 m/s^2 ,无砟桥面不应大于 5.0 m/s^2 。

7.3.5 墩台变位及刚度限值应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 规定。

7.3.6 墩台基础的沉降应按恒载计算。对于静定结构,有砟轨道工后沉降量不应大于 80 mm,相邻墩台工后沉降量之差不应大于 40 mm;对于超静定结构,其相邻墩台沉降量之差的容许值应根据沉降对结构产生的影响确定。

7.3.7 设置路涵过渡段的涵洞工后沉降限值应与相邻过渡段工后沉降限值一致,不设过渡段的涵洞工后沉降限值不应大于 100 mm。

7.4 桥面布置及附属设施

7.4.1 道砟桥面道砟厚度不应小于 0.35 m。

7.4.2 桥面的布置应符合下列规定：

- 1 有砟轨道桥上应设置挡砟墙。
- 2 采用大型养路机械作业时,有砟轨道桥上线路中心线至挡砟墙内侧净距不应小于 2.2 m。
- 3 曲线地段桥上建筑限界加宽应符合相关标准规定。
- 4 桥上栏杆高度不应小于步板顶面 1.0 m。
- 5 桥上接触网支柱位置应根据接触网的技术要求和曲线内侧限界加宽要求确定。当接触网支柱设置在桥面上时,不宜设在梁跨跨中。
- 6 桥面宽度应根据建筑限界、作业维修通道及电缆槽、接触网立柱构造宽度、养护维修方式等要求计算确定。

7.4.3 桥梁防排水设计应符合下列规定：

- 1 桥面应设置防排水设施,防水层应密闭有效。
- 2 梁部、墩台的表面应设置排水坡。
- 3 桥梁端部应采取有效防水措施。

7.5 接口设计

7.5.1 桥梁设计应根据需要预留声屏障、风屏障等防护屏障的设置条件。

7.5.2 桥梁设计应根据需要预留电缆槽、电缆上下桥设备、接触网支柱等设施的安装条件。

7.5.3 桥隧、桥路接口段应与相关专业统筹排水、危岩落石和边坡防护、电缆铺设等设计。

8 隧 道

8.1 一 般 规 定

8.1.1 新建铁路隧道内轮廓应符合《标准轨距铁路建筑限界》GB 146.2 的规定。隧道位于车站范围内时,其内轮廓还应满足站场作业要求;隧道内铺设有砟轨道时,其内轮廓尚应满足大型机械作业的要求。

8.1.2 隧道应设置于稳定地层中。穿越工程地质、水文地质条件极为复杂地段时,应有充足的理由和可靠的工程措施。

8.1.3 洞口位置应根据地形、地质、水文和环保等因素综合分析确定,并应遵循早进洞、晚出洞的原则。

8.1.4 隧道结构应符合现行《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 的相关规定。

8.1.5 隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”的原则,设计方案应结合隧道洞身水文地质条件和环境要求确定。

8.2 隧 道 衬 砌

8.2.1 隧道衬砌设计应符合下列规定:

1 暗挖隧道应采用复合式衬砌,明挖隧道应采用整体式衬砌。

2 隧道衬砌宜采用曲墙加仰拱的结构形式,仰拱厚度应大于拱墙厚度,Ⅳ~Ⅵ级围岩地段仰拱应采用钢筋混凝土,软岩或富水的Ⅲ级围岩地段仰拱宜采用钢筋混凝土。

8.2.2 隧道复合式衬砌设计应符合下列规定:

1 初期支护应采用喷锚支护,二次衬砌应采用模筑混凝土,拱墙二次衬砌宜为等厚截面,连接圆顺。

2 开挖断面除应满足内轮廓及结构尺寸要求外,尚应预留初期支护变形量。

3 初期支护及二次衬砌的设计参数应通过工程类比和理论分析确定,并可根据施工过程中量测信息进行必要的调整。

8.2.3 隧道基底地层特别是地下水发育地层的处理,应符合下列规定:

1 隧道基底不应有虚渣及积水。

2 隧道位于溶洞、采空区、软土、黄土等地层时,应加强基底地质勘察,查明不良地质分布及其影响范围,采取相应加固处理措施。

3 明洞基底地层承载力不足的段落,基底应采取地基加固处理措施。

8.3 附属构筑物

8.3.1 隧道内应设置排水沟槽、电缆槽,沟槽盖板铺设应稳固密封。

8.3.2 其他附属设施应符合下列规定:

1 隧道内各类洞室宜合并设置。

2 双洞单线隧道之间宜设置联络横通道,横通道间距不大于1 000 m,且两端应设置防护门。

8.4 防水与排水

8.4.1 隧道结构防水等级应符合《地下工程防水技术规范》GB 50108 中二级标准的规定。隧道设计应采取可靠的防水、排水措施,使洞内外形成完整的防排水系统。

8.4.2 寒冷及严寒地区受冻害影响段落宜根据实际情况采取加大水沟坡度、保温水沟、深埋水沟和防寒泄水洞等防冻排水措施。

8.4.3 地下水发育的隧道,仰拱底部可设置排水设施。

8.5 运营通风

8.5.1 运营通风方式应根据隧道长度、隧道平面与纵断面、道床类型、设计速度和行车密度、气象条件及两端洞口地形条件等因素综合确定,并应符合下列规定:

- 1 长度大于 15 km 的隧道应设置机械通风。
- 2 有特殊要求的隧道应设置机械通风。

8.5.2 机械通风设计应符合现行《铁路隧道运营通风设计规范》TB 10068 的规定。

8.6 接口设计

8.6.1 隧道设计应综合考虑相关专业设施在隧道内布置的要求。

8.6.2 隧道与路基、桥梁接口设计应符合下列规定:

- 1 隧道洞口边坡防护设计应与路基、桥梁边坡相协调。
- 2 隧道洞内排水沟与路基、桥梁排水沟应衔接顺畅,保证隧道内地下水能顺利排出。
- 3 隧道内的电缆槽同路基、桥梁范围的电缆槽衔接时,应满足电缆铺设要求。

8.6.3 隧道与轨道接口设计应符合下列规定:

- 1 隧道结构应结合轨道类型设计。
- 2 隧道内仰拱填充面应满足轨道铺设要求。
- 3 隧道内铺设有砟轨道时,沟槽侧壁应设置钢筋。

9 轨 道

9.1 一 般 规 定

9.1.1 正线轨道应按一次铺设无缝线路设计。

9.1.2 正线宜采用有砟轨道。长度 1 km 及以上的隧道内和隧道群地段经技术经济比选后可采用无砟轨道。无砟轨道与有砟轨道应集中成段铺设,不同轨道结构间应设置过渡段。

9.1.3 双线铁路轻、重车方向的年通过总质量有显著差别时,轻、重车线应按年通过总质量及设计轴重分别确定轨道技术标准。

9.1.4 重车线小半径曲线及长大坡道制动地段,应对轨道结构稳定性进行检算。必要时,应采取加强措施。

9.1.5 轨道结构部件及所用工程材料应符合国家相关标准的规定。

9.1.6 轨道结构应根据线下基础和环境条件设置性能良好的排水系统。

9.1.7 既有线改建为重载铁路时,重车线应按年通过总质量及设计轴重确定轨道技术标准。

9.2 正线钢轨及扣件

9.2.1 正线轨道应采用长定尺、无螺栓孔新钢轨。年通过总质量小于 250 Mt 时,重车线可采用 60 kg/m 钢轨,其中年通过总质量大于 100 Mt 小于 250 Mt 且设计轴重大于等于 300 kN 时,重车线宜采用 75 kg/m 钢轨;年通过总质量大于等于 250 Mt 时,重车线宜采用 75 kg/m 钢轨。重车线热轧钢轨强度等级不应低于 980 MPa,小半径曲线地段宜采用更高强度等级的热处理钢轨。

9.2.2 钢轨焊接应采用闪光焊,道岔内及两端与区间线路连接的

钢轨锁定焊可采用铝热焊。焊接接头质量应符合相关标准的规定。

9.2.3 重车线应根据设计轴重采用与轨下基础匹配的弹性扣件，其技术性能应符合相应标准的规定。

9.3 轨道静态铺设精度

9.3.1 正线轨道静态铺设精度应符合表 9.3.1—1～表 9.3.1—3 的规定。

表 9.3.1—1 正线有砟轨道静态铺设精度标准

	高 低	轨 向	水 平	扭 曲 (基长 6.25 m)	轨 距
幅值(mm)	4	4	4	4	+6 -2
弦长(m)	10		—		

表 9.3.1—2 正线无砟轨道静态铺设精度标准

	高 低	轨 向	水 平	扭 曲 (基长 6.25 m)	轨 距
幅值(mm)	4	4	4	4	+3 -2
弦长(m)	10		—		

表 9.3.1—3 道岔有砟轨道静态铺设精度标准

	高 低	轨 向		水 平	轨 距	
		直线	支距		尖轨尖端	其 他
幅值(mm)	4	4	2	4	±1	+3 -2
弦长(m)	10		—			

9.4 正线有砟道床

9.4.1 重车线应采用与设计轴重匹配的混凝土轨枕，每千米应铺设 1 667 根；道岔区段应铺设混凝土岔枕。

9.4.2 道床设计应符合下列规定：

1 年通过总质量小于等于 100 Mt 的重车线应采用一级道砟；年通过总质量大于 100 Mt，小于等于 250 Mt 时，重车线可采用特级或一级道砟；年通过总质量大于 250 Mt 时，重车线宜采用特级道砟。道砟级配应采用新建铁路用一级道砟的级配标准。

2 重车线单线道床顶面宽度及厚度应符合表 9.4.2 的规定，道床边坡 1：1.75，砟肩堆高 0.15 m。

表 9.4.2 道床顶面宽度和厚度

年通过总质量(Mt)			>100		40~100	
设计轴重(kN)			300	250 270	300	250 270
单线道床顶面宽度(m)			3.5	3.5	3.5	3.5
道床厚度 (cm)	土质路基 双层道砟	表 层	35	30	35	30
		底 层	20	20	20	20
	土质路基单层道砟		35	35	35	30
	硬质岩石路基		35	35	35	35
	桥梁地段		35	35	35	35
	隧道地段		35	35	35	35

注：半径小于 800 m 的曲线地段，曲线外侧道床顶面宽度应增加 0.1 m。

3 道床顶面应低于轨枕承轨面 30 mm，且不应高于轨枕中部顶面。

4 桥梁、隧道等刚性基础地段宜根据年通过总质量和设计轴重采取减缓道砟破碎、粉化的技术措施。

5 重车线道床密实度不应小于 1.70 g/cm³；轨枕支承刚度不应小于 120 kN/mm，纵向阻力不应小于 14 kN/枕，横向阻力不应小于 12 kN/枕。

9.5 正线无砟道床

9.5.1 无砟道床设计荷载应包括列车荷载、温度荷载、牵引/制动

荷载等,并应考虑下部基础变形对轨道结构的影响。

9.5.2 列车荷载的计算应符合下列规定:

1 竖向设计荷载应按下列公式计算:

$$P_d = \alpha \cdot P_j \quad (9.5.2-1)$$

式中 P_d ——竖向设计荷载(kN);

α ——动载系数,设计轴重为 250 kN 的线路取 2.5,其他取 3.0;

P_j ——静轮载(kN)。

2 横向设计荷载应按下列公式计算:

$$Q = 0.8 P_j \quad (9.5.2-2)$$

式中 Q ——横向设计荷载(kN)。

9.5.3 结构疲劳检算荷载的计算应符合下列规定:

1 竖向疲劳检算荷载应按下列公式计算:

$$P_f = 1.5 P_j \quad (9.5.3-1)$$

式中 P_f ——竖向疲劳检算荷载(kN)。

2 横向疲劳检算荷载应按下列公式计算:

$$Q_f = 0.4 P_j \quad (9.5.3-2)$$

式中 Q_f ——横向疲劳检算荷载(kN)。

9.5.4 温度荷载及混凝土收缩影响应符合下列规定:

1 露天区间(包括隧道洞口 200 m 范围)年温差应根据当地气象条件取值。

2 正温度梯度(上热下冷)宜取 $90^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 、负温度梯度(上冷下热)宜取 $45^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。

3 混凝土收缩应按等效降温 10°C 取值。

9.6 轨道结构过渡段

9.6.1 轨道结构过渡段设计应符合下列规定:

1 不同轨道结构应在相同下部基础上进行过渡。

2 不同轨道结构过渡段区域不应设置工地焊接接头。

9.6.2 无砟轨道与有砟轨道结构间的过渡应符合下列规定：

1 无砟轨道结构的底座或支承层应自过渡点开始向有砟轨道延伸一定长度,并应满足有砟轨道最小道床厚度的要求。

2 过渡段无砟轨道一定范围内,道床板与其下部基础间连接应可靠。

3 过渡段应设置辅助轨及配套部件,辅助轨的设置不应影响养路机械作业。

4 过渡段范围的轨道刚度应按分级过渡设计。

9.7 站线轨道

9.7.1 站线轨道类型应按表 9.7.1 规定选用。

表 9.7.1 站线轨道类型

项 目		单 位	到 发 线		其他站线
			重 车	轻 车	
钢 轨	类 型	kg/m	60	50	50
	定 尺	m	25	25	25
轨 枕	型 号	—	重载专用	新Ⅱ型	新Ⅱ型
	铺枕根数	根/km	1 680	1 600	1 440
扣 件		—	重载专用	弹条Ⅰ型	弹条Ⅰ型
道 床	道砟材质		—	一级	一级
	顶 宽		m	3.1	2.9
	边 坡		—	1∶1.5	1∶1.5
	厚 度	非渗水土路基	m	0.35	0.35
		岩石、渗水土路基	m	0.25	0.25

注：到发线铺设无缝线路时,道床顶面宽度、边坡等设计参数应符合无缝线路设计的有关规定。

9.7.2 用于侧向接发万吨及以上列车的道岔不宜小于 18 号,正线上的渡线道岔不应小于 12 号,其他线路的道岔不应小于 9 号。

9.8 轨道附属设备及常备材料

9.8.1 护轨设置应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 和《铁路轨道设计规范》TB 10082 的有关规定。

9.8.2 线路标志等有关标志设置应符合下列规定：

1 线路标志包括公里标、半公里标、曲线标、圆曲线和缓和曲线的始终点标、桥梁标、隧道(明洞)标、坡度标、界标等。

2 线路标志(用地界标、位移观测桩除外)应设在线路计算里程方向的左侧,双线区段需另设标志时,应设在列车运行方向的左侧,增建第二线的线路标志可比照双线区段设置。

3 铁路线路安全保护区标桩的设置应符合相关标准的规定。

9.8.3 轨道常备材料种类及数量应满足故障抢修需要,按照资源共享、合理配置的原则从严控制。高海拔、严寒地区等特殊环境及特殊的备品备件等可根据项目特点和需要配置。

9.9 接口设计

9.9.1 轨道结构与路基、桥梁、隧道等土建工程的接口设计应符合下列规定：

1 轨道设计应对路基、桥梁和隧道等工程结构物提出预埋件、平整度及高程等相关要求。

2 轨道结构排水设计应与路基、桥梁和隧道等土建工程的排水系统统筹考虑。

3 桥梁地段道岔区轨道结构设计应提出梁岔布置、梁体变形限值及桥墩纵向力等相关要求。

9.9.2 轨道结构设计应满足轨道电路相关技术要求,并应考虑信号室外设备及接地系统的安装要求。

10 站 场

10.1 一 般 规 定

10.1.1 车站按技术作业性质可分为会让站、越行站、中间站及区段站、编组站、组合分解站,按业务性质可分为装车站、卸车站。

10.1.2 车站线路直线地段的主要建筑物和设备至线路中心线的距离应符合表 10.1.2 规定。

表 10.1.2 主要建筑物和设备至线路中心线的距离(mm)

序号	建筑物和设备名称			高出轨面的距离	至线路中心线的距离
1	跨线桥、天桥柱、雨棚柱和接触网、电力照明等杆柱边缘	位于正线或车站最外侧站线一侧		1 100 及以上	$\geq 3\,100$
		车站相邻线间	位于通行超限货物列车的到发线一侧	1 100 及以上	$\geq 2\,440$
			位于不通行超限货物列车的到发线一侧	1 100 及以上	$\geq 2\,150$
		位于最外梯线或牵出线一侧		1 100 及以上	$\geq 3\,500$
2	高柱信号机边缘	位于正线或通行超限货物列车的到发线一侧	一 般	1 100 及以上	$\geq 2\,440$
			改建困难	1 100 及以上	2 100(保留)
		位于不通行超限货物列车的到发线一侧	一 般	1 100 及以上	$\geq 2\,150$
			改建困难	1 100 及以上	1 950(保留)
3	货物站台边缘	普通站台		1 100	1 750
		高站台		$\leq 4\,800$	1 850
4	车库门、转车盘、洗车架和洗罐线、加冰线、机车走行线上的建筑物边缘			1 120 及以上	$\geq 2\,000$

续表 10.1.2

序号	建筑物和设备名称		高出轨面的距离	至线路中心线的距离
5	清扫或扳道房和围墙边缘	一般	1 100 及以上	$\geq 3\,500$
		改建困难	1 100 及以上	3 000(保留)
6	起吊机械固定杆柱或走行部分附属设备边缘至货物装卸线		1 100 及以上	$\geq 2\,440$

注：表列序号 1，有大型养路机械作业时，各类建筑物至线路中心的距离不应小于 3 100 mm。

10.1.3 车站线路曲线地段的各类建筑物和设备至线路中心线的距离及线间距应按《标准轨距铁路建筑限界》GB 146.2 的规定加宽。

10.1.4 车站线路直线地段两相邻线路中心线的线间距应符合下列规定：

1 两正线间的线间距不应小于 5.0 m。

2 两线路间无建筑物或设备时，正线与相邻到发线间、到发线间或到发线与其他线间不应小于 5.0 m。

3 两线路间设有建筑物或设备时，可根据表 10.1.2 中的建筑物和设备至线路中心线的距离和建筑物及设备结构宽度计算确定。

4 线间有列检作业时，可根据作业要求计算确定。

10.1.5 进站信号机外制动距离内进站方向为超过 6‰的下坡道时，车站接车线末端应设置安全线。

10.1.6 新线、岔线、段管线与站内正线、到发线接轨时，均应设置安全线；新线、岔线与站内到发线接轨，站内有平行进路及隔开道岔并有联锁装置时，可不设安全线。

10.1.7 新线、新建岔线不应在区间内与正线接轨。疏解线路在区间内与正线接轨时，接轨地点应设置线路所。

10.2 车站布置

10.2.1 车站平面布置应根据车站性质、技术作业要求、作业量及地形、地质条件确定。车站到发线宜按重、空车分方向相对固定使用设置。

10.2.2 越行站、中间站可在两端正线间各设一条单渡线组成八字渡线；中间站设货场时，货场一端咽喉两正线间宜设一组八字渡线。

10.2.3 组合分解站股道宜采用在两条重车线或两条空车线的中间夹一条机走线的布置形式，重车线或空车线与机走线之间设置渡线的位置根据组合分解列车的长度确定。

10.2.4 装车站装车方式及设备配置应根据作业量及地形、地物条件确定。

10.2.5 卸车站宜设翻车机。处于港口的卸车站宜采用重空车场横列、咽喉区环线连接的布置型式，专为电厂等企业服务的卸车站宜采用重车线及空车线中间夹机走线的布置型式。

10.2.6 大型养路机械停留线宜采用尽头式，并宜与其他工务维修线集中布置。

10.3 站场路基与排水

10.3.1 站线中心至路基边缘的宽度，车场最外侧线路不应小于 3.0 m，有列检作业的车场最外侧线路不应小于 4.0 m，最外侧梯线和平面调车牵出线有调车人员上、下车作业的一侧不应小于 3.5 m。

10.3.2 站内正线或进出站线路路基标准应与区间正线相同。站线路基的填料和压实度应按Ⅱ级铁路路基标准设计，路基基床表层厚度应为 0.3 m，基床底层厚度应为 0.9 m，基床总厚度应为 1.2 m。

10.3.3 站线与正线共路基时，路基设计尚应符合下列规定：

1 当站线与相邻正线间无纵向排水槽或渗管、站台等设施时,站线路基应采用与站内正线相同标准,路基面应采用三角形,其坡率宜为 4%。

2 当站线与相邻正线间设有纵向排水槽或渗管、站台等设施且到发线数量较多时,自正线中心向外宽度为 2 m 处、路基面以下 1 : 1 边坡范围内,路基应按正线标准设计,路基面应采用三角形,其坡率不应小于 4%。其余站线的路基应按站线标准设计。

10.3.4 排水设备的数量、截面尺寸应按 1/50 洪水频率计算确定。

10.3.5 侧沟、天沟、排水沟应进行基础、接缝和防渗设计。

10.3.6 天沟不应向路堑侧沟排水。

10.3.7 排入自然沟渠的天沟、排水沟,其末端应设置消能、沉淀设施。

10.3.8 排水设施不宜与设备基础、接触网支柱等交叉。

10.4 接口设计

10.4.1 站内排水沟、侧沟、天沟类型应与区间一致,站内边坡防护形式、绿化标准应与区间协调。

10.4.2 站内路基设电缆槽和声屏障等设施时,路基宽度应根据需要计算确定。

10.4.3 站场排水系统应结合桥涵设置、铁路排水管网、城市排水系统综合设计。

10.4.4 站内立交应与排洪设施结合设置。

10.4.5 站内道路系统应根据生产、办公房屋及技术作业需要综合设计。

10.4.6 接触网支柱及信号机设置在站内有排水槽(沟)的线间时,支柱基础与排水槽(沟)应统一设计。

11 电力牵引供电

11.1 一般规定

11.1.1 牵引供电系统能力应与本线线路通过能力、路网中的定位相匹配。

11.1.2 牵引供电系统设计除应符合本规定外,还应符合《铁路电力牵引供电设计规范》TB 10009 等标准的规定。

11.2 牵引供电

11.2.1 牵引供电系统设计应符合下列规定:

1 牵引负荷应为一级负荷。牵引变电所应采用两回独立进线,并互为热备用;宜采用 220 kV 及以上电压等级,困难情况下可采用 110 kV 电压等级。电力系统供电质量应符合国家相关规定。

2 接触网的标称电压应为 25 kV,长期最高电压应为 27.5 kV,短时(5 min)最高电压应为 29 kV,正常情况下最低电压应为 20 kV。

3 牵引网可根据牵引负荷需求、外部电源等因素采用 2×25 kV 或 1×25 kV 供电方式,联络线和编组场等宜采用 1×25 kV 供电方式。

4 牵引变电所分布应按本线行车组织确定的最大运输需求进行设计。

5 牵引网应采用同相单边供电。自耦变压器所、分区所处应具备上、下行分开供电和并联供电条件。

6 牵引供电系统应校核越区供电时适应的最大运输能力。

11.2.2 牵引变压器、自耦变压器设计应符合下列规定:

1 牵引变压器结线型式应采用 V, v 结线或单相结线, 困难时可采用其他结线。

2 牵引变压器应采用固定备用方式; 正常运行时, 牵引变压器应为一台(组)运行, 另一台(组)备用。

3 牵引变压器安装容量可按交付运营后第五年或近期运量确定, 并按远期运量预留基础条件; 牵引变压器、自耦变压器过负荷能力应满足列车紧密运行时牵引负荷的需要。

4 牵引变压器短路阻抗选择应在符合电压要求前提下, 兼顾降低短路电流。

11.2.3 27.5 kV 单芯电力电缆线路正常感应电势最大值应符合下列规定:

1 未采取有效防止人员任意接触金属层的安全措施时, 不得大于 60 V。

2 除上述情况外, 不得大于 300 V。

11.2.4 回流电缆截面应满足最大回流电流的需要, 并应有冗余。

11.3 牵 引 变 电

11.3.1 牵引变电所、开闭所、分区所、自耦变压器所的所区总布置除应符合《铁路电力牵引供电设计规范》TB 10009 的规定外, 还应符合下列规定:

1 牵引变电所、开闭所、分区所、自耦变压器所应采取防止雨水倒灌措施, 所区出入口的路面高程宜高于所外 30 m 处的路面标高。

2 变电所所内道路的布置除应满足运行、检修、设备安装要求外, 还应符合安全、消防、节约用地的有关规定。变电所的主干道应布置成环形, 如成环困难时, 应具备回车条件。

所内道路宽度宜为 4.0 m。大门至主控制室、主变压器的主干道的宽度, 220 kV 变电所可为 4.5 m, 330 kV 变电所可为 5.5 m。

3 进所道路应与外部公路衔接,并应有良好的防洪、排水措施;路面宽度不宜小于所内主干道,路面承载力应满足平板拖车运输单台变压器的荷载要求。

4 电缆沟宜采用钢筋混凝土或混凝土结构。沟壁应高出地面 0.1 m 以上,沟底纵坡不宜小于 0.5%,困难时不应小于 0.3%。

11.3.2 主接线应符合下列规定:

1 牵引变电所进线侧接线应根据外部电源条件确定,宜采用线路变压器组接线或分支接线。

2 牵引变电所、开闭所馈线侧宜采用单母线分段接线,母线可采用隔离开关分段,馈线断路器可采用 50% 备用或上下行断路器互为备用方式。

11.3.3 在用地困难情况下,经技术经济比较,高压电气设备可采用气体绝缘组合电器(GIS),馈线设备可采用气体绝缘开关柜。

11.3.4 室内外配电装置的布置应符合下列规定:

1 高压侧敞开式配电装置宜采用室外布置,27.5 kV 配电装置宜采用室内布置,55 kV 配电装置宜采用室外布置。

2 采用 GIS 配电装置时,宜采用室内布置,高压电源进线方式可根据变电所整体设计方案采用架空或电缆进线。

11.3.5 牵引供电调度系统设计应符合下列规定:

1 牵引供电调度应由远动系统、安全监控系统等子系统构成。

2 有条件时,新建远动系统可与电力远动系统合设。

11.4 接 触 网

11.4.1 接触悬挂设计应符合下列规定:

1 接触网悬挂类型应采用全补偿简单链形悬挂;既有低净空隧道经技术经济比较合理时,可采用刚性悬挂。

2 接触线、承力索宜采用铜合金材质。同一机车交路时,宜采用相同材质接触线,导线截面应根据载流量及接触线张力综合

确定。

3 正线接触线、承力索额定工作张力均不宜小于 15 kN。

11.4.2 接触网电分相设置应符合下列规定：

1 接触网电分相位置应根据牵引供电设施分布和行车对列车通过的检算结果确定。

2 接触网电分相型式宜采用锚段关节式电分相，困难时可采用器件式电分相或设置不断电自动过分相装置。

11.4.3 支持结构与零部件选型应符合下列规定：

1 跨越多股道的支持结构宜采用软横跨，特殊情况下可采用硬横跨。

2 支柱宜采用横腹式预应力混凝土支柱，桥上可采用格构式钢支柱。

3 横腹式预应力混凝土支柱宜采用整体式基础，格构式钢支柱基础宜采用现浇混凝土或钢筋混凝土基础。

4 腕臂支持装置宜采用绝缘旋转平腕臂结构，腕臂材质宜采用钢材质。

5 25 kV 绝缘子的绝缘泄漏距离不应小于 1 400 mm。隧道内接触网以及隧道外接触悬挂、软横跨、分段绝缘器、隔离开关用绝缘子宜采用复合绝缘子。

6 吊弦应采用载流型整体吊弦。

11.5 电磁干扰防护

11.5.1 牵引供电系统对油气管道的电磁影响、交叉要求，与油库、液化气库等易燃易爆品库之间的安全距离，应符合国家现行相关标准的规定。

11.5.2 牵引供电系统对有线通信设施的危险影响、杂音干扰影响的计算方法及容许值，应符合《电信线路遭受强电线路危险影响的容许值》GB 6830 等标准的有关规定。

11.5.3 重载铁路与机场导航台、雷达站、电磁地震台、短波无线

电测向台、电视差转台等台站之间的净空、距离、信噪比或干扰电压等应符合《航空无线电导航台(站)电磁环境要求》GB 6364、《对空情报雷达站电磁环境防护要求》GB 13618、《地震台站观测环境技术要求 第2部分:电磁观测》GB/T 19531.2、《短波无线电收信台(站)及侧向台(站)电磁环境要求》GB 13614、《交流电气化铁路对电视转播、差转台(站)辐射干扰的防护间距》GY/T 181 等标准的有关规定。

11.6 接口设计

11.6.1 牵引供电专业外部电源设计应做好与国家电力部门用电需求等协调工作,明确接口界面。

11.6.2 牵引变电接口设计应符合下列规定:

1 牵引变电与房屋建筑的接口设计应包括场坪布置、排水、进出所道路、室内外电缆沟、事故油池设置、设备生产房屋布置及工艺要求等内容。

2 当牵引变电设施设置于隧道内时,隧道设计应考虑隧道内事故油池设置、设备洞室布置及工艺要求等。

3 牵引变电与通信的接口设计应包括远动通道的结构、性能及配置要求等。

11.6.3 接触网接口设计应符合下列规定:

1 桥梁设计应考虑接触网支柱基础、下锚拉线基础、沟槽管洞预留。

2 隧道设计应考虑隧道内锚段关节及下锚洞、接触网设备安装洞室、其他沟槽管洞的设置和预留。

3 特殊路基设计应考虑接触网支柱基础的预留。

4 隧道、路基横断面设计应满足接触网设计需要。

5 接触网支柱、基础位置应与站场设备和综合管线统筹考虑。

12 电 力

12.1 一 般 规 定

12.1.1 供配电系统应由外部电源、变配电所、沿线高压电力贯通线路、站场电力线路及相关供电设施构成。

12.1.2 危险环境和防火的电力设计应符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB 50058、《建筑设计防火规范》GB 50016 和《铁路工程设计防火规范》TB 10063 等标准的规定。

12.1.3 供配电系统设计除应符合本规范外,还应符合《铁路电力设计规范》TB 10008 等标准的规定。

12.2 供配电系统

12.2.1 电力负荷应根据对供电可靠性的要求及中断供电所造成的损失或影响程度分为一、二、三级,并符合下列规定:

1 一级负荷主要应包括自动闭塞区段的运输调度指挥、闭塞、联锁、信号集中监测系统及与行车密切相关的通信设备;电力及电力牵引供电各所的操作电源等。

2 二级负荷主要应包括非自动闭塞区段的中小站闭塞、联锁、信号集中监测系统及与行车密切相关的通信设备;为通信、信号主要设备配置的专用空调;接触网远动开关操作电源;铁路货车安全防范系统;装卸机械;机务车辆检修和整备设备等。

3 其他用电设备的负荷等级应根据《铁路电力设计规范》TB 10008 及其他相关标准的规定进行划分。

12.2.2 外部电源条件困难时,可由接触网接引备用电源或非重要负荷的电源。

12.2.3 双线铁路应设置两回电力贯通线路,单线铁路至少应设置一回电力贯通线路。

12.2.4 通信、信号等与行车直接相关的负荷宜由贯通线路供电,且其主供电源宜采用专用变压器。

12.2.5 车站宜采用室内或箱式变电所供电,区间重要负荷及贯通线分段开关处宜采用箱式变电所供电。

12.2.6 重载铁路应设置电力远动系统,并应具有对铁路电力供电系统的主要设备进行遥控(调)、遥测、遥信及调度管理等功能。

12.3 火灾自动报警系统及机电设备监控系统

12.3.1 车站、段(所)等建(构)筑物应根据《建筑防火设计规范》GB 50016、《铁路工程设计防火规范》TB 10063 等的有关规定设置火灾自动报警系统。火灾自动报警系统设计应符合《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116 的规定。

12.3.2 车站、段(所)等建(构)筑物应根据建筑物相关机电设备的控制要求设置机电设备监控系统,宜采用集散式控制系统,实现对建筑机电设备测量、监视和控制功能,确保各类设备系统运行稳定、安全和可靠,并满足节能和环保的管理要求。

12.3.3 设置防灾通风的隧道应设置防灾救援设备监控系统。隧道防灾救援设备监控系统设计应符合《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》TB 10020 的规定。

12.4 接口设计

12.4.1 沿隧道、桥梁敷设电力电缆时,应预设电缆槽;站场电缆线路密集的区域,宜按综合管线布置,并预设综合管沟;电力电缆在路基、隧道处过轨时,应在相应位置预埋过轨管。

12.4.2 电力远动系统的信息通道宜由铁路数据通信网承载。

13 通 信

13.1 一 般 规 定

13.1.1 通信系统应为运输生产和经营管理提供稳定、可靠、畅通的语音、数据和图像通信业务。

13.1.2 通信系统应设置通信线路、传输系统、数据通信网、电话交换及接入网、有线调度通信、移动通信、应急通信、时钟同步、电源设备、电源监控及设备房屋环境监控、综合布线等子系统。根据需要,可设置综合视频监控、会议电视、时间同步、机车同步操控信息传送、可控列尾信息传送等子系统。

13.1.3 通信设计应符合通信网规划,适当预留发展,合理利用既有资源,并实现与既有网络互联互通。

13.1.4 通信设计应符合可靠性、可用性、可维护性的要求。

13.1.5 通信采用的光电缆及室内配线防火性能应符合《铁路工程设计防火规范》TB 10063 的有关规定。

13.1.6 运行环境、防雷接地等应符合《铁路通信设计规范》TB 10006 等有关规定。

13.2 通 信 线 路

13.2.1 通信系统承载机车同步操控信息传送业务时,线路两侧应各设置 1 条长途通信光缆。

13.2.2 长途通信光缆纤芯数量应满足通信、信号等相关系统对光纤的需求,并宜预留不少于 50% 的余量。

13.2.3 长途通信光缆宜配置光缆监测系统。

13.2.4 站场通信线路应符合站内通信组网以及业务接入的要求。

13.3 传输系统

13.3.1 传输系统宜采用同步数字系列技术构建多业务传送平台。根据需要,也可采用光传送网和分组传送网技术。

13.3.2 传输系统应满足通信各子系统和信号、电力、牵引供电、信息等相关系统对通道类型、业务接口和带宽的需求。

13.3.3 传输系统宜采用骨干层、汇聚层和接入层层次化结构。

13.3.4 传输系统的骨干及汇聚层通道带宽宜预留不小于 50% 的余量,接入层通道带宽宜预留不小于 40% 的余量。

13.3.5 重要的传送业务宜利用不同物理径路的传输系统进行迂回保护。

13.4 数据通信网

13.4.1 数据通信网应采用 TCP/IP 协议。

13.4.2 数据通信网应为信息、移动通信网等系统提供数据承载业务。

13.4.3 数据通信网可根据需要分层设置,调度所可设置核心节点,业务汇聚地点可设置汇聚节点,业务需求量较多的车站、段(所)等地点可设置接入节点。汇聚节点可根据需要与核心节点合设。

13.4.4 节点设备间的链路带宽应根据网络流量确定,在满足业务近期需求的情况下预留一定余量。

13.4.5 数据通信网宜采用多协议标记交换(MPLS)、虚拟专用网(VPN)技术,满足业务系统服务质量要求。

13.4.6 数据通信网及承载业务所需 IP 地址、自治域的设置应符合有关标准的规定。

13.4.7 数据通信网网络管理系统设计应包括网元级管理及 VPN 管理,并应符合《铁路通信设计规范》TB 10006 等有关标准的规定。

13.4.8 数据通信网宜设置网络流量监测设备。

13.5 电话交换及接入网

13.5.1 电话业务宜利用既有电话网,也可根据需要设置电话交换机。

13.5.2 接入网应为沿线车站、段(所)等提供电话接入业务及 2 Mbit/s 以下速率的数据接入业务。根据需要也可采用无源光网络(PON)技术。

13.5.3 接入网(AN)应提供普通电话业务(POTS)接口、外部交换机(FXO)接口等。

13.6 有线调度通信系统

13.6.1 有线调度通信系统应提供调度电话、车站(场)电话、站间行车电话以及其他专用电话业务。

13.6.2 有线调度通信系统应设置调度交换机、调度台、值班台、电话分机、录音设备及网络管理等设备。

13.6.3 调度所至车站间网络应按调度管界组网,并设置迂回保护中继链路。

13.6.4 设置铁路数字移动通信系统(GSM-R)时,有线调度系统应通过调度所调度交换机与 GSM-R 系统的移动交换中心(MSC)互联,宜配置 2 条及以上的中继链路。

13.7 移动通信系统

13.7.1 移动通信系统可提供普通话音通信、调度通信、调度命令、无线车次号校核、机车同步操控、可控列尾等信息传送业务。

13.7.2 移动通信系统宜采用 GSM-R 数字移动通信系统。

13.7.3 GSM-R 系统设计应包括核心网、无线子系统、无线终端和运行维护与系统支撑设备等;核心网应包括移动交换子系统、移动智能网子系统、通用分组无线业务子系统核心设备及与分组域

应用系统有关的设备。其设计应符合《铁路数字移动通信系统(GSM-R)设计规范》TB 10088 的有关规定。

13.7.4 基站控制器(BSC)、接口服务器(GRIS)设备可与客货共线铁路合设。

13.7.5 移动通信系统承载机车同步操控信息传送业务时,相应的铁路线路或区段应采取冗余无线覆盖等可靠性措施,并应设置 GSM-R 系统接口监测设备。

13.7.6 移动通信系统可根据需要设置 GSM-R 系统接口监测、漏缆监测和铁塔监测等设备。

13.8 应急通信

13.8.1 应急通信应为应急中心与事故现场提供语音、数据及图像等通信业务。

13.8.2 应急通信设计应包括应急中心设备、现场接入设备。

13.8.3 应急中心设备、现场接入设备之间可根据线路实际情况选择有线、无线等多种传输方式。

13.8.4 调度所应设置应急中心通信设备,可根据需要配置相关终端设备。

13.8.5 应急通信现场接入设备应根据设备维修管界、应急响应时限及交通条件配置。

13.8.6 隧道应急通信设备配置应符合《铁路通信设计规范》TB 10006 的有关规定。

13.9 时钟同步系统

13.9.1 时钟同步系统应为传输、交换、移动通信等系统提供频率同步信号。

13.9.2 时钟同步系统宜按二级结构组网,设置基准时钟、大楼综合定时供给设备(BITS)。时钟同步系统应采用主从同步方式,通过传输系统链路逐级传送。时钟同步设备宜利用既有设备。

13.9.3 时钟同步系统的功能、性能应符合《铁路通信设计规范》TB 10006 的有关规定。

13.10 电源设备

13.10.1 通信电源应设置—48 V 直流电源设备和交流不间断电源(UPS)设备。

13.10.2 —48 V 直流电源设备应采用高频开关电源。其中,整流模块应采用 $N+1$ 备份。

13.10.3 —48 V 直流电源蓄电池宜设置 2 组,通信站及车站蓄电池后备时间宜为 1h,区间宜为 3 h。

13.10.4 UPS 应采用在线式。

13.10.5 UPS 蓄电池应设置 1 组,通信站及车站蓄电池后备时间宜为 1 h,区间宜为 3 h,困难条件下,区间直放站或分布式基站蓄电池后备时间可适当延长。

13.10.6 牵引变电所、配电所等处所的通信设备电源可利用所内供电条件。

13.11 电源及设备房屋环境监控系统

13.11.1 电源及设备房屋环境监控系统应满足对通信电源设备、通信设备房屋环境进行集中监控要求。

13.11.2 电源及设备房屋环境监控系统宜按监控中心、监控站二级结构组网。

13.11.3 电源及设备房屋环境监控系统的功能、性能、监控对象及内容应符合《铁路通信设计规范》TB 10006 的有关规定。

13.12 机车同步操控信息传送系统

13.12.1 机车同步操控信息传送宜采用 GSM-R 移动通信系统。

13.12.2 基于 GSM-R 系统的机车同步操控信息传送系统设计应包括车载通信单元(OCU)、地面应用节点(AN)和 GSM-R

网络。

13.12.3 机车同步操控信息传送系统的功能、性能等应符合《GSM-R 数字移动通信系统应用业务 机车同步操控信息传送系统》TB/T 3230 等有关标准的规定。

13.12.4 地面应用节点(AN)宜根据运输管辖及容量设置,并采用冗余设计。地面应用节点(AN)接入 MSC 的链路应冗余设置。

13.13 可控列尾信息传送系统

13.13.1 可控列尾信息传送宜采用 GSM-R 数字移动通信系统。

13.13.2 基于 GSM-R 系统的可控列尾信息传送系统设计应包括可控列尾主机、可控列尾机车台、地面应用节点(AN)和 GSM-R 网络。

13.13.3 可控列尾信息传送系统的功能、性能等应符合相关标准的规定。

13.13.4 地面应用节点(AN)宜按运输管辖范围设置,并采用冗余设计。地面应用节点(AN)接入 MSC 的链路应冗余设置。

13.14 接口设计

13.14.1 通信为相关系统提供光纤、通道的接口界面应符合下列规定:

1 通信光缆应在通信机房的光纤配线架(ODF)成端。为信号、信息等相关专业提供专用光纤时,接口界面可设置在通信机房 ODF 的用户侧;也可将光缆自通信机房延伸至相关专业机房,接口界面设置在相关专业机房 ODF 外线侧。

2 为各应用系统提供通道的接口界面宜设在通信机房的数字配线架(DDF)用户侧、RJ-45 配线架用户侧或通信设备业务端口侧。

3 为各监测系统提供音频通道的接口界面宜设在通信机房语音配线架(VDF)用户侧。

13.14.2 在沿线石质路基、水库地段路堤、浸水路堤等段落,路基设计应预留通信电缆槽(含盖板)、过轨管材、接头手孔及引下设施。

13.14.3 隧道设计应设置通信电缆槽(含盖板)、设备洞室、光电电缆余长腔及光电电缆过轨管材。

13.14.4 桥梁设计应预留通信电缆槽(含盖板),并应预留通信光电电缆从桥上引下时电缆槽安装条件。

13.14.5 设有声屏障或风屏障的地段,通信电缆槽应设于声屏障或风屏障的内侧。

13.14.6 漏泄同轴电缆与接触网同杆架设时,接触网杆架应考虑漏泄同轴电缆的负荷和挂设条件。

13.14.7 相关专业应按通信系统要求设置机房、通风、空调、消防及电力等设施。

14 信 号

14.1 一 般 规 定

14.1.1 涉及行车安全的铁路信号系统及电路设计必须符合铁路信号“故障——安全”原则。

14.1.2 电力牵引供电区段信号设备和器材应满足最大牵引电流、钢轨电流不平衡系数不大于10%的要求。

14.1.3 轨道电路及扼流变压器的容量应根据牵引供电方式、分区所或开闭所位置,以及平均电流、最大电流、短路电流等牵引电流参数综合计算后确定。

14.1.4 信号系统设计除应符合本规范外,还应符合《铁路信号设计规范》TB 10007 等有关标准的规定。

14.2 地面固定信号

14.2.1 地面信号机设置除应符合《铁路信号设计规范》TB 10007 的有关规定外,还应符合下列规定:

1 车站正线股道可根据需要设置七灯位矮型正线接发车进路信号机。

2 车站侧线股道腰岔处可根据需要设置三灯位“红、黄、白”矮型信号机或阻挡列车运行的“红、蓝、白”调车信号机。

14.3 运输调度指挥

14.3.1 运输调度指挥系统宜采用调度集中系统(CTC),也可采用列车调度指挥系统(TDCS)。

14.4 闭 塞

14.4.1 双线重载铁路应采用自动闭塞。单线重载铁路宜采用自动站间闭塞,也可根据需要采用双方向自动闭塞。

14.4.2 自动闭塞设计应符合下列规定:

1 自动闭塞宜采用 ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路四显示移频自动闭塞,双线区段正方向按追踪运行,反方向按自动站间闭塞运行。

2 闭塞分区长度不应小于重载列车按速度级差分级制动的距离。

3 ZPW-2000 系列轨道电路传输电缆长度应符合《ZPW-2000 轨道电路技术条件》TB/T 3206 的有关要求;长度超过规定时,可设区间信号中继站。

14.4.3 自动站间闭塞设计应符合下列规定:

1 进站信号机应设置第一接近和第二接近两段接近区段,并应在第一接近区段和第二接近区段分界处设置进站接近信号机,在第一接近区段入口 100 m 处设置机车信号接通标。

2 进站接近信号机应采用 3 灯位机构,从上至下按绿、封闭、黄排列。

3 接近区段长度不应小于重载列车按速度级差分级制动的距离。

4 当站间距较长时,区间空闲检查宜采用计轴设备;当站间距较短时,区间空闲检查可采用轨道电路。

14.5 联 锁

14.5.1 车站(场)、线路所宜采用硬件安全冗余结构的计算机联锁设备,并应符合《铁路车站计算机联锁技术条件》TB/T 3027 等有关标准的规定。

14.5.2 列车进路接近锁闭区段长度不应小于重载列车以最高速

度运行和最不利条件下的最大常用制动距离。

14.5.3 车站轨道电路及电码化设置应符合下列规定：

1 双线铁路站内宜采用 25 Hz 相敏轨道电路,并应在正线及到发线设置车站电码化;也可在正线及到发线采用与区间同制式的移频轨道电路。

2 单线铁路站内应采用 25 Hz 相敏轨道电路,正线及到发线应设置车站股道电码化。

3 车站股道电码化宜采用 ZPW-2000 系列发码设备,正线采用预叠加发码方式,侧线采用占用叠加发码方式。

14.5.4 道岔转辙装置应根据道岔类型配置,并宜采用三相交流转辙装置。正线可动心轨道岔应设置外锁闭装置,并采用交流多机牵引、分动控制的方式。

14.6 信号集中监测系统

14.6.1 重载铁路应设置信号集中监测系统(CSM)。

14.6.2 CSM 应接收或采集相应的信号设备状态、开关量、模拟量等,监测主要设备的关键电气特性、转辙设备机械特性,并提供报警信息。

14.7 电 源

14.7.1 铁路信号应采用智能电源屏,其结构、功能、性能等应符合《铁路信号电源屏》TB/T 1528 等有关标准的规定。

14.7.2 车站、线路所及区间信号中继站宜设置 UPS,并应符合下列规定：

1 UPS 负荷容量应根据除转辙机外的其他所有信号设备用电量计算确定。

2 有维护人员值守处所 UPS 蓄电池供电时间不宜小于 30 min。

3 无维护人员值守处所 UPS 蓄电池供电时间不宜小于 2 h。

14.8 防雷、电磁兼容及接地

14.8.1 信号设备及信号房屋防雷、电磁兼容及接地设计应符合《铁路防雷及接地工程技术规范》TB 10180 等有关标准规定。

14.8.2 车站站区宜设置贯通地线,自动闭塞区段应全线设置贯通地线。贯通地线接地电阻不得大于 $1\ \Omega$ 。

14.8.3 贯通地线截面积的选择应符合下列规定:

- 1 短路故障条件下宜按照远期的牵引电流计算。
- 2 满足正常情况下流过贯通地线最大牵引回流的需要。
- 3 满足接触网短路时通过瞬间大电流对热稳定的要求,短路时间按 100 ms 取值。
- 4 根据不同区段牵引回流的分布情况,分段合理选择。

14.9 接口设计

14.9.1 信号与站场接口设计应符合下列规定:

1 联锁道岔及非联锁道岔的范围应根据车站作业需要确定。转辙设备类型应与道岔类型相配套。

2 站场布置应符合道岔转辙设备和信号机安装空间要求。

14.9.2 站内配轨、机械绝缘节、绝缘轨距杆、电容枕及电气绝缘节枕等设置应满足轨道电路设计要求。

14.9.3 信号与路基接口设计应符合下列规定:

1 石质地段路堑设计应预设信号电缆槽。

2 路基设计应根据信号电缆过轨要求预埋电缆过轨管材,并符合电缆敷设要求。

14.9.4 信号与隧道接口设计应符合下列规定:

1 隧道设计应预埋信号贯通地线所需连接接地极,并符合贯通地线连接要求。

2 隧道设计应根据信号电缆过轨要求预埋电缆过轨管材,并符合电缆敷设要求。

14.9.5 信号与桥梁接口设计应符合下列规定：

1 长大桥梁设计应预埋信号贯通地线所需连接接地极，并符合贯通地线连接要求。

2 桥上应设信号电缆槽及盖板。

3 桥梁设计应预留信号电缆从桥梁上引下时的电缆槽安装条件。

14.9.6 信号与房建、暖通接口设计应符合下列要求：

1 信号房屋设计应符合信号设备及办公用房的要求，并配属相关通风、空调及消防设施。其中，信号机械室、机房宜配置专用空调。

2 信号设备房屋设计应预留设备电磁兼容、防雷及接地设置条件，并应符合有关标准的规定。

14.9.7 信号与通信接口设计应符合下列要求：

1 通信设计应配备 CTC 或 TDCS、闭塞、信号集中监测等信号系统所需的数据链路通道，根据需要可设置房屋环境监控系统。

2 信号与通信接口其他要求应符合本规范第 13.14.1 条第 1 款的规定。

14.9.8 信号与牵引供电的接口设计应符合下列规定：

1 高柱信号机机构外缘与接触网带电部分距离应满足有关规定的要求。

2 吸上线位置应选择在信号完全横向连接处，并通过扼流变压器进行连接。

14.9.9 信号与电力的接口设计应符合下列规定：

1 电力用电负荷等级和配电盘设置应符合信号系统要求。

2 信号设备房屋设计应预留独立连接的接地汇流排。

14.9.10 信号与行车组织接口设计应符合下列规定：

1 进站信号机及区间通过信号机应与接触网支柱位置、电分相设置统筹考虑。

2 列车调度台设置应与行车调度区划相一致。

15 信 息

15.1 一 般 规 定

15.1.1 信息系统设计应与运营管理模式相适应,与既有信息系统衔接融合。

15.1.2 根据运营管理需要,重载铁路宜设置货物运输管理、货运营销及运力配置、货运服务、货运安全检测监控与管理、办公管理、公安管理等信息系统,可设置机务管理、车辆管理、工务管理、电务管理等系统。

15.1.3 货物运输管理系统、货运营销及运力配置系统、货运安全检测监控与管理系统等宜共用服务器、存储设备及网络设备等。

15.2 货物运输管理系统

15.2.1 货物运输管理系统应采用中心、区域、站段多级架构,中心、区域级系统可根据运营管理需要合设。

15.2.2 货物运输管理系统应具有货运制票、列车确报、现车管理、货运管理、车务段管理、运输统计、运输作业过程信息实时上报及货车和货物动态追踪等功能。

15.2.3 中心、区域级货物运输管理系统应设置数据库服务器、应用服务器、通信服务器、存储设备、网络及安全设备、维护管理设备等,根据运输、货运主管部门的需要可配置管理终端。

15.2.4 车站级货物运输管理系统设计应符合下列规定:

- 1 车站级货物运输管理系统可设置应用服务器。
- 2 运输管理、货运管理等终端设备可根据需要设置。

15.3 货运营销及运力配置系统

15.3.1 货运营销及运力配置系统应采用中心、区域、站段多级架构,中心、区域级系统可根据运营管理需要合设。

15.3.2 货运营销及运力配置系统应具有货运计划、技术计划管理、空车优化配置等功能。

15.3.3 中心、区域级货运营销及运力配置系统应设置数据库服务器、应用服务器、通信服务器、存储设备、网络及安全设备、维护管理设备等,根据需要可设置货运计划管理等终端设备。

15.3.4 货运营销等终端设备可根据需要在车站设置。

15.4 货运服务系统

15.4.1 货运服务系统宜采用集中分布式架构,也可根据运营管理需要采用中心、车站两级架构。

15.4.2 货运服务系统应具有货运服务中心管理、客户关系管理、对外信息服务等功能。

15.4.3 中心级货运服务系统应设置数据库服务器、应用服务器、通信服务器、存储设备、网络及安全设备、维护管理设备等,可设置门户网站、语音呼叫中心。

15.4.4 车站级货运服务系统可设置查询终端、显示设备等。

15.5 货运安全检测监控与管理系统

15.5.1 货运安全检测监控与管理系统应采用中心、区域、站段多级架构,中心、区域级系统可根据运营管理需要合设。

15.5.2 各级货运安全检测监控与管理系统宜设置集成管理平台,应具有检测数据预警、作业过程监控、视频处理、重点货物追踪、事故处理、应急救援、安全预警重点督办、安全管理考核评价、综合分析与决策支持、资源管理等功能。

15.5.3 中心、区域级货运安全检测监控与管理系统应设置数据

库服务器、应用服务器、存储设备、网络及安全设备、维护管理设备等,根据需要可设置货运安全管理等终端设备。

15.5.4 货运站、编组站宜设置车站货运安全检测监控与管理系统,配置服务器、管理终端、手持终端、网络设备,接入轨道衡等货运计量安全检测设备;根据需要可设置货车装载视频监控系统、站场视频监控系统。

15.6 其他信息系统

15.6.1 重载铁路办公管理信息系统应按照运营管理模式采用分级架构,车站应设置办公管理终端及网络设备。

15.6.2 重载铁路公安管理信息系统应按照公安管理模式采用分级架构,车站应设置公安管理终端及网络设备。

15.6.3 重载铁路应设置雨量监测系统。雨量监测系统应采用中心、现场监测设备两级架构,宜利用既有雨量监测设施。

15.7 网络及安全

15.7.1 信息系统网络应包括广域网和局域网,其网络带宽及服务质量应满足信息传送的要求。

15.7.2 信息系统 IP 地址及域名的设置应符合有关标准的规定。

15.7.3 信息系统的广域网设计应符合下列规定:

- 1 公安管理信息系统各层级之间应采用通信专用通道互联。
- 2 其他信息系统各层级之间宜采用铁路数据通信网互联。

15.7.4 信息系统的局域网设计应符合下列规定:

- 1 公安管理信息系统局域网应独立组网,其他信息系统可合建局域网。
- 2 信息系统局域网可根据系统规模及终端设备的接入需求采用核心、汇聚、接入分层结构。

15.7.5 信息系统网络安全设计应符合下列规定:

- 1 信息系统网络应通过身份认证和访问授权技术,实行分等

级、分权限的访问控制,并设置防病毒、入侵检测、日志审计等安全系统。

2 不同安全域的信息系统之间应采用防火墙、虚拟专网等安全隔离和防护措施。

3 内网信息系统与外网互联应采用动态物理隔离和访问代理机制安全隔离措施。

15.8 运行环境

15.8.1 中心、区域级信息机房标准应符合《电子信息系统机房设计规范》GB 50174 规定的 A 级标准,区段站、编组站信息主机房应符合 B 级标准,其他站段级信息机房应符合 C 级标准。

15.8.2 各类信息系统宜合设机房,信息维护用房可根据运营维护需要设置。

15.8.3 信息机房应配置 UPS,UPS 配置应符合《电子信息系统机房设计规范》GB 50174 的有关规定。

15.8.4 信息系统防雷及接地设计应符合《铁路防雷及接地工程技术规范》TB 10180 的有关规定。

15.8.5 信息机房应设置电源及环境监控系统、门禁系统。

15.9 接口设计

15.9.1 信息系统之间的接口应满足各信息系统的独立性与安全性要求,可采用接口服务器、协议转换设备等专用接口设备。

15.9.2 相关专业应根据信息系统要求设置机房、通风、空调、消防及电力等设施。

15.9.3 通信专业应根据信息系统要求设计通信传输系统、数据通信网。

16 机 务 设 备

16.1 一 般 规 定

16.1.1 机务设备应根据机车类型及机车运用、整备、检修的要求进行设计。

16.1.2 机务设备的设置应符合下列规定：

1 机务设备布局应根据集疏运系统布局确定。

2 机务设备宜设于编组站或组合分解站。

3 机务设备规模应根据机务工作量、既有机务设备能力及分布,并结合路网规划、机车检修及整备分工、机车回送条件等因素确定。

16.1.3 机务段(所)总平面布置应符合下列规定：

1 机务段(所)应设置连通上、下行车场或空、重车场的出入段线。

2 重载列车为双机重联牵引时,机车出入段线一度停车位有效长度宜为4台机车长度加10 m。

3 机务段(所)内整备线路应根据担当交路方向、出入段次序、整备流程等因素布置,并应使机车整备作业流程顺畅。

16.1.4 救援起重设备应满足起吊机车车辆的要求。

16.2 机 车 交 路

16.2.1 机车交路应根据机车类型、列车编组方式、机车编挂方式、技术作业站位置、线路条件,并结合铁路网规划、机务设备布局、既有设备利用等因素,经技术经济比较确定。

16.2.2 重载机车交路应采用长交路。

16.2.3 机车运转制宜采用循环或半循环运转制。

16.3 运转整备与检修设施

16.3.1 担当机车交路的组合分解站应设置机车整备、待班设施；装、卸车站应根据具体情况设置整备、待班设施；机车交路长度较长时，换乘站应设置乘务员换乘设施。

16.3.2 当双机或多机牵引重载列车时，整备待班线能力的核算应考虑双机或多机重联作业时分的影响；整备待班线长度应按双机或多机重联设计。

16.3.3 机务段(所)应根据需要设置车号识别、上砂、转向、检测、清洗、卸污、机车同步操控检测等整备设备。

16.3.4 检修设施设置应符合下列规定：

1 承担重载机车检修任务的机务段，应设置相应的检修库及检修设备。

2 检修库及检修设备的设置应根据检修任务量、检修范围及采用的检修工艺确定。

17 车 辆 设 备

17.1 一 般 规 定

17.1.1 车辆设备应根据需要设置货车车辆段、列检作业场、站修作业场。设置厂修设施时,宜与段修设施合设。

17.1.2 车辆设备的设置应符合下列规定:

1 货车车辆段宜设置在有车辆解编和空车集结作业且便于扣车的编组站、口岸站、港口及厂矿工业站所在地。

2 列检作业场设置应根据机车交路、列车对数、线路特点、车辆质量以及安全检测技术的发展等因素确定。

3 站修作业场设置应根据沿线、相邻线站修作业场的分布及其能力等因素综合分析确定,宜设置在有列检作业场且日临修车16辆及以上的车站。

17.1.3 重载铁路应设车辆运行安全监控系统,并应符合现行《铁路车辆运行安全监控系统设计规范》TB 10057的有关规定。

17.2 货车车辆段

17.2.1 货车车辆段规模应根据段修工作量确定,段修工作量宜根据年走行公里和检修周期计算确定。

17.2.2 货车车辆段应设置存车线,其总长度应按2.5~3.0倍日修车数量乘以车辆平均长度计算确定。

17.2.3 备用车存放线宜设置在有固定配属车辆的货车车辆段或铁路管理公司所在地。备用车存放辆数宜按运用车数的3%确定。

17.2.4 货车车辆段应根据货车检修的有关规定和需要配置相应

的检修设备、设施。

17.3 列检作业场及站修作业场

17.3.1 列检作业线间应设置列车制动机地面试验设备,配置数量应根据列车编组形式确定。

17.3.2 列检作业线应设置电动脱轨器,并应满足列检分段作业的要求。

17.3.3 列检作业场线束间应设置硬化地面通道。

17.3.4 列检作业场边修线长度应根据每日临修工作量确定。

17.3.5 沿线车站可根据需要设置车辆故障抢修设施和通行道路。

17.3.6 站修作业场可根据货车检修需要配置相应的检修设备、设施。

18 给水排水

18.1 一般规定

18.1.1 给水排水设备能力应根据用水特点和车站及货场近期、远期发展条件确定。

18.2 给水排水

18.2.1 货场降尘用水宜采用回用水和雨水,其水质应符合《铁路回用水水质标准》TB/T 3007 的规定。

18.2.2 露天货场喷淋除尘的单位用水量宜按不小于 $2\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{次})$ 设计。

18.2.3 DN100 及以上的给水排水管道穿越铁路时,宜集中布置垂直穿过,并应符合下列规定:

1 穿越铁路正线时,应设置防护涵洞。

2 穿越站场范围内线路时,宜设置防护涵洞;穿越段(所)等其他线路时可设置防护套管。

3 防护涵洞和防护套管的设置应符合《铁路给水排水设计规范》TB 10010 的有关规定。

18.2.4 消防给水设计应符合《建筑设计防火规范》GB 50016、《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974、《铁路工程设计防火规范》TB 10063 及国家相关标准的规定。

18.2.5 铁路运煤货场降尘系统宜与消防系统共用管网,并宜采用环状布置。

18.2.6 设有喷淋降尘设施的露天货场应设置降尘废水、初期雨水收集处理系统。

18.3 接口设计

18.3.1 平行或穿越铁路时,给水排水设施应与站场、建筑、桥梁设计统筹考虑布置。

18.3.2 露天货场内除尘废水、初期雨水收集处理系统的设计应与站内排水系统相衔接。

19 维 修 设 施

19.1 一 般 规 定

19.1.1 维修设施可按承担线路、路基、桥涵、隧道、牵引供电、电力、给排水、通信、信号、信息、房屋建筑等设施的检测、养护和维修工作进行设计。

19.1.2 维修设施设计应遵循预防性计划修和状态修相结合,以及检、养、修分开的原则。

19.1.3 维修设施及设备配置应按天窗时间完成维修,满足专业修、机械修、集中修的要求进行设计。

19.1.4 维修设施应根据路网规划及运营管理需要设置,并按专业强化、资源综合、集中管理的原则进行布局 and 规划。

19.1.5 维修机构的设置可根据运营管理模式分为段(所)、车间及工区。维修机构的管辖范围应根据维修方式、维修工作量、维修作业时间、应急抢修需要等因素综合确定。

19.1.6 备品备件、仪器仪表及交通工具应根据确保安全、抢修必备、科学合理、资源共享的原则配置,并宜利用既有维修设备和设施。

19.2 工 务 维 修

19.2.1 工务维修设施应按照满足管内线路设备和桥隧建筑物等的检测、养护及维修等工作内容进行设计。

19.2.2 工务维修设施及设备配置应遵循下列原则:

1 维修段可配备轨道车、汽车、材料装卸等设备设施,以及工务检修需要的检测、维修、计量等作业机具。

2 维修车间可配备轨道车、汽车等交通设备,以及工务检修需要的检测、维修等作业机具。

3 维修工区可配备工务检修需要的检测、维修等作业机具。

19.2.3 轨道车停放线有效长度宜为 120 m。

19.2.4 大型养路机械停放线设置间距宜为 50 km。大型养路机械停放线有效长度宜为 450 m,也可根据维修设备需求计算确定。

19.3 电 务 维 修

19.3.1 电务维修设施应按照满足管内通信、信号设备、设施的检查、保养、维修及抢修等工作内容进行设计。

19.3.2 维修车间和维修工区可根据维修工作内容配备必要的备品备件、仪器仪表及交通工具。

19.4 信 息 维 修

19.4.1 信息维修设施应按照满足管内信息设备、设施的检查、保养、维修及抢修等工作内容进行设计。

19.4.2 维修设施、设备的配置应满足管内重载铁路信息设备安全、可靠运行的需要。

19.5 供 电 维 修

19.5.1 供电维修设施应按照满足管内牵引供电和电力供电设备、设施的检查、保养、维修及抢修等工作内容进行设计。

19.5.2 维修设施及设备配置应遵循下列原则:

1 维修车间可配备电气试验设备、接触网抢修列车、交通及通信工具。环境污染较严重区段应配备绝缘子清洗设备。

2 维修工区应配备接触网作业车、电缆及接触网的维修专用工具、交通及通信工具。

19.5.3 接触网作业车停放线有效长度应按照满足各列车组的长度计算确定。

20 环 境 保 护

20.1 一 般 规 定

20.1.1 工程选线、选址应与城市相关规划相协调,并宜远离已建、在建或规划确定的集中居住区、文教区等噪声、振动敏感区域。利用既有铁路通道或无法绕避时,应采取噪声、振动防护措施。

20.1.2 环境保护设计除应符合现行《铁路工程环境保护设计规范》TB 10501 有关规定外,尚应符合国家环境保护、水土保持相关标准的规定。

20.2 生态保护与水土保持

20.2.1 大型临时工程设计应与永久工程结合,不占或少占耕地,并应有复垦措施。

20.2.2 工程取弃土场、弃渣场、施工便道等大型临时工程设计应符合《开发建设项目水土保持技术规范》GB 50433 的规定。

20.3 噪 声 治 理

20.3.1 受铁路噪声影响的敏感点,其铁路噪声大于《铁路边界噪声限值及其测量方法》GB 12525 及相关标准规定的限值时,应采取噪声治理措施。

20.3.2 噪声治理宜采取源强控制、工程降噪及受声点防护等综合治理措施。

20.3.3 声屏障设置位置应满足线路养护维修作业要求,严禁遮蔽铁路可视信号。

20.3.4 声屏障声学设计应根据声环境标准确定插入损失目标

值。声屏障应根据无限长线声源、有限长声屏障的计算模型计算确定高度和长度。

20.4 振动控制

20.4.1 振动源强宜根据同一区域、相同或相近地质条件的既有铁路类比测试确定。

20.4.2 铁路振动治理应从机车车辆选型、线路选线、工程类型选择、轨道选型等方面进行综合设计。

20.4.3 受铁路振动影响的敏感点,其振动大于《城市区域环境振动标准》GB 10070 及现行相关标准规定的限值时,应采取振动治理措施。

20.4.4 减振设计可采取路基基础处理、隔振屏障、敏感建筑基础隔振等综合措施。

20.5 粉尘治理与固体废物贮运

20.5.1 露天货场堆放易起尘散装货物时,应设置防风抑尘网、洒水抑尘设施。

20.5.2 运输易起尘的散装货物装车站应设置车载货物表面固化剂喷淋设施。

20.5.3 列车和货运场、站的清扫垃圾等固体废物应进行回收利用或设置转运设施。

20.6 接口设计

20.6.1 路基、桥梁设计应满足声屏障基础位置及荷载等要求。

20.6.2 给水能力应满足洒水抑尘要求。

本规范用词说明

执行本规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

(4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

引用标准名录

1. 《标准轨距铁路机车车辆限界》GB 146.1
2. 《标准轨距铁路建筑限界》GB 146.2
3. 《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》GB 5599
4. 《航空无线电导航台(站)电磁环境要求》GB 6364
5. 《电信线路遭受强电线危险影响的容许值》GB 6830
6. 《城市区域环境振动标准》GB 10070
7. 《铁路边界噪声限值及其测量方法》GB 12525
8. 《短波无线电收信台(站)及侧向台(站)电磁环境要求》
GB 13614
9. 《对空情报雷达站电磁环境保护要求》GB 13618
10. 《地震台站观测环境技术要求 第2部分:电磁观测》GB/
T 19531.2
11. 《建筑设计防火规范》GB 50016
12. 《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB 50058
13. 《地下工程防水技术规范》GB 50108
14. 《铁路工程抗震设计规范》GB 50111
15. 《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116
16. 《电子信息系统机房设计规范》GB 50174
17. 《开发建设项目水土保持技术规范》GB 50433
18. 《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974
19. 《交流电气化铁路对电视转播、差转台(站)辐射干扰的防
护间距》GY/T 181
20. 《港口与航道水文规范》JTS 145
21. 《列车牵引计算规程》TB/T 1407

22. 《铁路信号电源屏》TB/T 1528
23. 《铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准》TB/T 2360
24. 《铁路回用水水质标准》TB/T 3007
25. 《铁路车站计算机联锁技术条件》TB/T 3027
26. 《ZPW-2000 轨道电路技术条件》TB/T 3206
27. 《GSM-R 数字移动通信系统应用业务 机车同步操控信息传送系统》TB/T 3230
28. 《铁路桥涵设计规范》TB 10002
29. 《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005
30. 《铁路通信设计规范》TB 10006
31. 《铁路信号设计规范》TB 10007
32. 《铁路电力设计规范》TB 10008
33. 《铁路电力牵引供电设计规范》TB 10009
34. 《铁路给水排水设计规范》TB 10010
35. 《铁路无缝线路设计规范》TB 10015
36. 《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》TB 10020
37. 《铁路工程设计防火规范》TB 10063
38. 《铁路隧道运营通风设计规范》TB 10068
39. 《铁路轨道设计规范》TB 10082
40. 《铁路数字移动通信系统(GSM-R)设计规范》TB 10088
41. 《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092
42. 《铁路防雷及接地工程技术规范》TB 10180

《重载铁路设计规范》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在问题以及在执行中应注意的事项予以说明。本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为减少篇幅,只列条文号,未抄录原文。

1.0.1 重载铁路运输因其运能大、效率高、运输成本低而受到世界各国的广泛重视。目前,重载铁路运输在世界范围内迅速发展,重载运输已被国际公认为铁路货运发展的方向,不仅在一些幅员辽阔、资源丰富、煤炭和矿石等大宗货物运量占有较大比重的国家发展重载铁路,大量开行重载列车,如美国、加拿大、巴西、澳大利亚、南非等,在欧洲以客运为主的客货混运干线上也开始开行重载列车。我国重载铁路运输发展大致经历了四个阶段:

第一阶段(1984年~1986年):改造既有线、开行重载列车

1984年,原铁道部成立了重载组合列车开行试验领导小组,具体领导和组织重载组合列车的开行工作。为尽快扩大雁北地区煤炭运输能力,首先选择了晋煤外运的北通道——丰沙大线作为试点。北京局在大同—秦皇岛间进行了双机牵引7400t的重载组合列车的试验,始发站为大同站西场,终到站为秦皇岛站,卸后原列空车返回。车辆使用缩短型的C₆₁敞车和装有配套制动技术的新型C_{62A}型车辆,车辆采用了高磨合成闸瓦、滚动轴承等多项新技术。针对煤炭货源、货流的特点,采取了五固定的运输组织方式,即:固定机车、固定车底、固定到发站、固定运行线、固定货物

品类(煤炭),进行循环运输。通过一系列的运营试验,于1985年3月20日起正式开行,每日1对,从5月1日开始,每日5对,1986年4月1日正式纳入运行图,每天开行6对。

1985年,为了扩大重载组合列车的开行范围,原铁道部决定在沈山线开行非固定式的重载组合列车,试验成功后,于山海关至沈阳间下行方向正式开行7 000 t重载组合列车,1986年4月1日起每日开行5列。1985年7月,在石太、石德、津浦线(大郭村—济南西)也试验开行了非固定式的重载组合列车,试验成功后,1985年10月11日起每天开行1列。郑州局相继在平顶山至武汉间,隔日开行1列双机牵引6 500 t的重载组合列车。同时上海、济南局在徐州北至南京东间每日开行1对双机牵引7 000 t~8 000 t的重载组合列车。

第二阶段(1985年~1992年):新建大秦铁路、开行重载单元列车

20世纪80年代中期至90年代初,中国修建了第一条大同至秦皇岛双线电气化重载运煤专线。大秦铁路分三期建设,1985年至1988年建成大同至大石庄段,1989年至1992年建成大石庄至秦皇岛段,1995年至1997年完成1亿吨配套工程,共有9个车站的到发线有效长度达到1 700 m。

大秦铁路是借鉴北美、加拿大、澳大利亚等国开行重载单元列车的经验,由中国自行设计和建设的第一条双线电气化运煤重载专线,全长653 km,建成初期开行重载单元列车。1990年6月,在大秦铁路上进行了10次万吨列车试验,试验由两台SS₃型电力机车牵引120辆煤车组成,全长1 630 m,由于当时技术条件不够完善,万吨列车出现过断钩现象,实际运营列车质量基本在5 000 t~6 000 t。到2002年,大秦铁路用了10年时间达到1亿吨年运量的目标。

第三阶段(1992年~2002年):改造繁忙干线、开行5 000 t重载混编列车

为了缓解京沪、京哈、京广等繁忙干线运输紧张状况,从 1992 年起开行 5 000 t 级重载混编列车。1992 年 8 月,先后在京沪线徐州北至南京东、京广线石家庄至郑州北间进行试验,成功开行了总重 5 134 t 和 5 119 t 的重载混编列车。1993 年 4 月 1 日,京沪、京广线一些区段开行的 5 000 t 重载列车正式纳入运行图。1997 年 4 月 1 日,京哈线也固定开行了 5 000 t 重载列车。至此,中国铁路三大主要繁忙干线都开行了 5 000 t 级重载混编列车。

第四阶段(2003 年至今):大秦铁路开行 2 万吨、提速繁忙干线开行 5 500 t~5 800 t 重载列车

经过 2 年多的科学论证和试验,通过系统集成创新,2006 年 3 月 28 日,在大秦线正式开行了 2 万吨重载组合列车,大幅度提高了大秦铁路的运输能力,使中国铁路重载运输技术水平跨入了世界先进行列。大秦铁路仅用了 4 年时间实现了年运量从 2002 年的 1 亿吨到 2007 年的 3 亿吨的飞跃,目前,大秦铁路年运量已经突破了 4 亿吨。

2007 年 4 月 18 日,全国铁路第六次大面积提速后,京沪、京广、京哈等繁忙提速干线将重载列车牵引定数由 5 000 t 提升到了 5 500 t~5 800 t,进一步提高了繁忙干线的运输能力。

近年来,我国重载铁路提高机车车辆轴重的研究和应用不断取得进展,轴重 250 kN、载重 80 t 专用运煤敞车已批量生产和运用;已成功研发了轴重 270 kN、载重 80 t 级通用货车,并进入运用考核阶段;研发的轴重 300 kN、载重 95 t~98 t 的运煤敞车和漏斗车,正开展进一步试验,并具备了进一步向轴重 300 kN~330 kN、载重 100 t 级专用运煤货车发展的能力;山西中南部等铁路设计采用轴重 300 kN 标准。我国重载铁路发展正在进入一个以提高机车车辆轴重为特征的新阶段。

重载铁路因具有轴重大、牵引质量大、运量大的特点而有别于普通货运铁路。为适应我国经济社会发展,满足重载铁路建设和发展需要,充分体现重载铁路的功能需求和技术特点,建立完善的

铁路标准技术体系,使重载铁路设计符合安全可靠、技术先进、经济适用等要求,在总结大秦铁路、朔黄铁路、山西中南部铁路等重载铁路的建设和运营实践经验、山西中南部铁路重载综合试验以及有关科研成果的基础上,编制本规范。

1.0.2 本条文有关轴重、牵引质量、设计速度的说明如下:

1. 轴重

目前,我国既有客货共线铁路主要开行轴重 210 kN、载重 60 t 和轴重 230 kN、载重 70 t 通用货车。跨度 1 m~200 m 范围桥涵结构通用货车效应与设计活载效应的对比研究表明,以既有中—活载图式设计静效应为基准,桥梁截面弯矩和剪力静效应分别为设计效应的 0.67~0.92 和 0.69~0.92,平均静效应比值为 0.76。综合活载效应对比和铁路运营实践经验,中—活载图式可较好地适用该类型货运列车的开行,且具有一定的储备量,客货共线铁路货车轴重和载重尚有一定的提升空间。

进一步分析大秦等铁路运用的轴重 250 kN、载重 80 t 专用敞车(车体长度 12 m,转向架固定轴距 1.83 m,邻轴距 1.97 m)与设计活载效应对比,受轴重加载控制,跨度 3 m 及以下小跨度桥涵活载效应与设计效应相同;跨度 16 m 以下桥涵静活载效应比值超过 90%,部分跨度超过 95%;受货车均布荷载加载控制,跨度 100 m 及以上大跨度桥梁活载效应接近或超过设计效应。分析表明桥涵储备不足。

大秦线采用中—活载进行设计,开通后,随着运量的增加和轴重 250 kN 机车车辆的开行,设备病害发生和发展速度加快,曲线地段钢轨侧磨、剥离掉块、焊头揭盖严重,Ⅱ型混凝土桥枕裂纹较多,道床板结、污染严重,有些地段路基下沉、翻浆冒泥,路桥、路涵过渡段不均匀沉降严重,部分桥梁横隔板断裂、梁体出现裂纹、墩台裂损、梁端顶死、支座倾斜、涵洞裂损变形。

上述分析和运营实践表明,现行规范设计标准不能适应 250 kN 及以上轴重的机车车辆运行的需要。本规范考虑同现行规范的衔

接,适用范围确定为铁路机车车辆轴重大于等于 250 kN。

世界大多数发展重载运输的国家普遍认为,大轴重列车具有很好的经济性。世界重载铁路运输技术不断发展,重载车辆技术不断提升。目前美国、加拿大、澳大利亚已采用 300 kN 以上轴重,巴西、瑞典已采用 300 kN 轴重,南非、澳大利亚昆士兰铁路均是窄轨铁路,已采用 280 kN 轴重,俄罗斯重载列车轴重提高到 270 kN,欧洲铁路重载列车已向 250 kN 轴重迈进。国外有代表性的重载铁路统计见说明表 1.0.2—1。我国目前在建和正在运营的重载铁路概况见说明表 1.0.2—2。

我国《铁路主要技术政策》规定:“新建重载铁路轴重不小于 300 kN”,“货车轴重研究推广 250 kN,研究发展 270 kN”。结合国内外重载铁路轴重现状及我国《铁路主要技术政策》相关内容,确定本规范轴重适用范围为轴重 250 kN 及以上,按 250 kN、270 kN、300 kN 三挡划分设计标准,满足设计采用不同轴重标准的需要。

2. 牵引质量

我国铁路到发线有效长度为 650、750、850、1 050、1 700、2 800 m 系列,到发线有效长度 1 700 m 可满足牵引万吨列车需要,到发线有效长度 1 050 m 可满足牵引 5 000 t~6 000 t 列车需要,现行规范对于到发线有效长度 1 050 m 及以下进行了规定。目前大秦、大准、朔黄、准朔、北同蒲、山西中南部、张唐等铁路,其列车牵引质量均在 10 000 t 及以上。故确定本规范适应范围牵引质量为 10 000 t 及以上。

3. 设计速度

(1)国内外重载铁路最高运行速度。国外重载铁路最高运行速度均在 80 km/h 以内见说明表 1.0.2—1。此外,德国从 2003 年开始在客货混运的既有汉堡—萨尔兹特线上开行轴重 250 kN、牵引质量 6 000 t 的重载列车,重车最高运行速度为 80 km/h;2003 年美国在东北走廊的巴尔的摩和 Rerryville 间开行轴重 300 kN、

说明表 1.0.2—1 国外重载铁路统计

序号	主要技术标准	美国柏林顿 北方铁路 怀俄明煤矿线	加拿大太平洋 铁路卡尔加里 —温哥华线	澳大利亚哈默 斯利铁矿公司	澳大利亚 纽曼山 铁矿公司	巴西维多 利亚米纳 斯线	瑞典基吕纳— 斯瓦帕瓦拉— 纳尔维克港线	南非赛申— 赛尔达尼亚线
1	正线 数目	双线	双线	单线,预留 双线条件	单线	单线(预 留双线)	单线	单线
2	限制 坡度	5‰	重车 10‰, 空车 22‰	重车 4‰, 空车 20‰	重车 5.5‰, 空车 15‰	重车 8‰, 空车 10‰	10‰	重车 4‰, 空车 10‰
3	最高运 行速度	重车 70 km/h, 空车 80 km/h	80 km/h	重车 69 km/h, 空车 74 km/h	重车 64 km/h, 空车 74 km/h	60 km/h	重车 50 km/h, 空车 60 km/h	69 km/h
4	最小曲 线半径	624 m	672 m	388 m	583 m	349 m	672 m	500 m
5	牵引 种类	内燃	内燃	内燃	内燃	内燃	电力	电力
6	牵引 质量	13 150 t	13 340 t	26 500 t	17 150 t	14 400 t	6 170 t	21 860 t

说明表 1.0.2—2 我国重载既有及新建铁路概况

序号	主要技术标准	山西中南部铁路	张唐铁路	准朔线	大秦线	北同蒲四线	蒙华铁路
1	正线数目	双线	双线	单线, 预留双线条件	双线	双线	双线(岳阳— 吉安单线)
2	限制坡度	上行 6‰, 下行 13‰	重车 6‰, 轻车 12‰	上行 6‰, 下行 14‰	上行 4‰, 下行 12‰	6‰	重车 6‰, 轻车 12‰
3	设计速度	120 km/h	120 km/h	120 km/h,困难 地段 100 km/h	120 km/h,困难 地段 80 km/h	160 km/h,预留 200 km/h	120 km/h
4	最小曲线 半径	1 200 m, 困难 800 m, 个别 600 m	1 200 m, 困难 800 m	800 m, 困难 600 m	800 m, 困难 400 m	3 500 m, 困难 2 800 m	1 200 m, 困难 800 m
5	牵引种类	电力	电力	电力	电力	电力	电力
6	牵引质量	5 000 t, 部分 10 000 t	10 000 t	10 000 t	20 000 t, 部分 10 000 t	10 000 t, 部分 4 000 t	10 000 t, 5 000 t
7	到发线 有效长度	1 050 m, 部分 1 700 m	1 700 m	1 700 m	2 800 m	1 700 m, 部分 850 m	1 700 m, 部分 1 050 m
8	闭塞类型	自动闭塞	自动闭塞	自动站间闭塞	自动闭塞	自动闭塞	自动闭塞
9	设计活载	ZH 活载	中—活载	中—活载	中—活载	中—活载	ZH 活载
10	牵引供电方式	AT 供电方式	AT 供电方式	AT 供电方式	AT 供电方式	带回流线直 接供电方式	AT 供电方式

最高运行速度为 80 km/h 的重载列车,上述铁路最高运行速度也均在 80 km/h 以内。仅南非于 1999 年在电气化铁路 COALink 线上进行了由 6 台机车牵引 2.2 万吨的重载列车试验,列车最高试验速度为 88 km/h。

国内既有重载铁路最高运行速度重车不超过 80 km/h,空车不超过 90 km/h。说明表 1.0.2—2 中我国重载铁路设计速度大部分为 120 km/h,主要是考虑运行旅客列车的需要。

(2)机车、车辆构造速度。目前我国重载铁路使用的交流传动大功率机车主要技术参数见说明表 1.0.2—3。大秦铁路运用的运煤敞车主要技术参数见说明表 1.0.2—4。车辆构造速度达到 100 km/h,机车构造速度达到 100 km/h~120 km/h。

说明表 1.0.2—3 交(直)流传动机车技术参数

机车型号	HXD1	HXD2	HXD3	SS4B	SS7	8K
机车功率(kW)	9 600	10 000	7 200	6 400	4 800	6 400
轴重(kN)	230/250	250	230/250	230	230	230
最高速度(km/h)	120	120	120	100	100	100
持续速度(km/h)	70/65	70	70/65	50	48	48
机车额定牵引力(kN)	493/531	514	370/398	450	353	471

说明表 1.0.2—4 C80、C80B 型运煤敞车主要性能参数

车辆型号	C80 型	C80B 型
载重(t)	80	80
自重(t)	≤20	≤20+1.5%
总重(t)	100	100
轴重(kN)	250	250
车辆通过最小曲线半径(m)	145	145
商业运营速度(km/h)	100	100
重车紧急制动距离(m)	≤1 400	≤1 400

(3)上坡道重载列车能够实现的速度。目前国内主要重载机车为HXD系列大功率机车,其机车单机功率为7 200 kW~10 000 kW,大秦线主要运用HXD1和HXD2型机车。采用HXD2(HXD2机车较HXD1功率更大,本次分析设计速度时采用HXD2型机车)单机牵引10 000 t时仅能在不大于0.25‰的坡道上达到100 km/h的速度,在平坡上不能达到120 km/h的速度;双机牵引时可以在不大于3.6‰的坡道上达到100 km/h的速度,在不大于1.8‰的坡道上达到120 km/h的速度。

(4)下坡制动限速。当重载货物列车速度为100 km/h,在小于6‰的下坡道上,紧急制动距离均小于1 400 m;当重载货物列车速度为120 km/h,在大于4‰的下坡道上,紧急制动距离均大于1 400 m,不能满足《铁路技术管理规程》(铁总科技(2014)172号)第263条的规定要求。

(5)《铁路主要技术政策》规定:“新建重载铁路设计速度不大于100 km/h”。

综上分析,重载列车速度目标值大于100 km/h难以实现,故确定重载货物列车设计速度不大于100 km/h。参照既有线最高运行速度80 km/h的现状,设计速度划分为80、100 km/h两个等级,设计中根据项目功能定位、运输需求、工程条件等因素研究确定。

1.0.4 重载铁路的运量是随着国民经济的发展而逐步增长的,铁路建(构)筑物和设备的能力要与运量相适应,以满足国民经济发展对铁路日益增长的运输要求,为此,需要明确规定不同构(建)筑物和设备能力的设计年度。

设计年度分期多,虽然可减少建筑物和设备能力的富裕量,有效的节约初期工程投资,但为了适应运量增长,就需要频繁的进行改扩建,增加后期工程费用和对运营产生干扰,影响铁路正常的运营。相反,设计年度分期少,虽然增加建筑物和设备的能力余量,增大初期工程投资,但可减少改扩建工程的次数,减少对运营的

干扰。

为适应国民经济快速发展的需要,既节约投资,又避免建成的铁路频繁改造而影响铁路正常运输,力求达到铁路建设项目综合投资效益最佳;同时借鉴其他规范的年度划分原则,规定了重载铁路的设计年度宜分为近、远两期,近期为交付运营后第 10 年,远期为交付运营后第 20 年。

由于重载铁路建设投资大,建设工期长,为节约近期投资和避免一些后期才使用的设备长期闲置,对于可分期建设的工程和配备的设备,可按运输需求分期建设,但对铁路基础设施,如线路平纵断面、桥梁、隧道、路基等工程,一旦建成后,若要再提高标准,不仅造成大量的废弃工程,而且改建工程难度大,工程投资大,对运营干扰大,影响铁路运输效益。因此,规定了对于基础设施和不易改、扩建的建筑物和设备,应按远期运量和运输性质设计,并考虑长远发展要求;对于易改、扩建的建筑物和设备,可接近期运量和运输性质设计,并预留远期发展条件;随运输需求变化而增减的运营设备可按照运量的增长而逐步配备的,可按交付运营后第 5 年的运量设计。

桥梁等基础设施设计受设计轴重的影响很大,且提高轴重改建困难、改建工程量大、对运营干扰大,所以重载铁路尤其要重视预留轴重的发展条件。

1.0.5 现行国家标准《标准轨距铁路机车车辆限界》GB 146.1—83 和《标准轨距铁路建筑限界》GB 146.2—83 是对铁路建筑物和设备、机车车辆外形尺寸的限制。考虑到重载铁路运量往往通过既有路网集疏,且与普通铁路能够互连互通,可增加运输的灵活性,为了同铁路网兼容,同现行国家标准统一而明确了本条规定。

1.0.6 铁路列车荷载标准是铁路桥梁工程结构设计的重要依据,也是铁路线路基础设施设计的基础性标准。我国既有中—活载标准主要用于客货共线铁路设计,该标准是在蒸汽机车牵引和早期运输组织背景下制定的,其原型为“蒸汽机车+煤水车+货车车

辆”。与客货共线铁路相比,大轴重、长编组重载列车对线路基础设施的作用显著提升,作用特征也有显著区别,在列车荷载标准和参数等方面存在较大的差异。因此,根据我国重载铁路运输发展的需求,迫切需要研究制定适用于重载铁路运输的列车荷载标准。

1. 我国重载铁路运输的轴重定位

根据我国《中长期铁路网规划(2008 年调整)》,铁路将围绕十大煤炭外运基地和新疆地区,补充完善新建煤运通道,同时加快既有铁路扩能改造,进一步增强通道内铁路运输能力。目前,我国已建成的山西中南部铁路煤运通道和在建的蒙西至华中地区煤运通道等线路,进一步加强了“三西”特别是蒙西煤炭运输能力。随着我国客运铁路网的建设和投入使用,既有客货共线路网将向实现客货分流运输模式发展,从而扩大铁路货运的运输能力。

2010 年至 2012 年,我国铁路开展了《铁路主要技术政策》的修订工作。在重载铁路运输方面,根据国内外重载铁路技术发展情况,铁科院等单位开展了“铁路重载运输发展研究”、“铁路既有线货运发展方向研究”、“重载铁路轴重发展目标值及轴重分类”等研究工作。基于系列研究成果,在《铁路主要技术政策》中对新建重载铁路提出了具体定义:“新建重载铁路设计速度不大于 100 km/h,轴重不小于 300 kN,列车牵引重量万吨级及以上”、“客货共线铁路货运机车轴重推广 250 kN;货车轴重研究推广 250 kN,研究发展 270 kN”。

从我国重载铁路货运装备企业的制造能力和研发进展看,轴重 250 kN、载重 80 t 专用运煤敞车已批量生产和运用;已成功研发了轴重 270 kN、载重 80 t 级通用货车,并进入运用考核阶段;研发的轴重 300 kN、载重 95 t~98 t 的专用运煤敞车和漏斗车,已完成了综合试验;并具备了进一步向轴重 300 kN~330 kN、载重 100 t 级专用运煤货车发展的能力。此外,近年来,我国铁路货车出口快速增长,已向澳大利亚、巴西等国累计出口近万辆轴重 300 kN~400 kN 的货车产品和关键配件,运用效果良好。

从国内外铁路大轴重重载运输的实践经验看,250 kN~

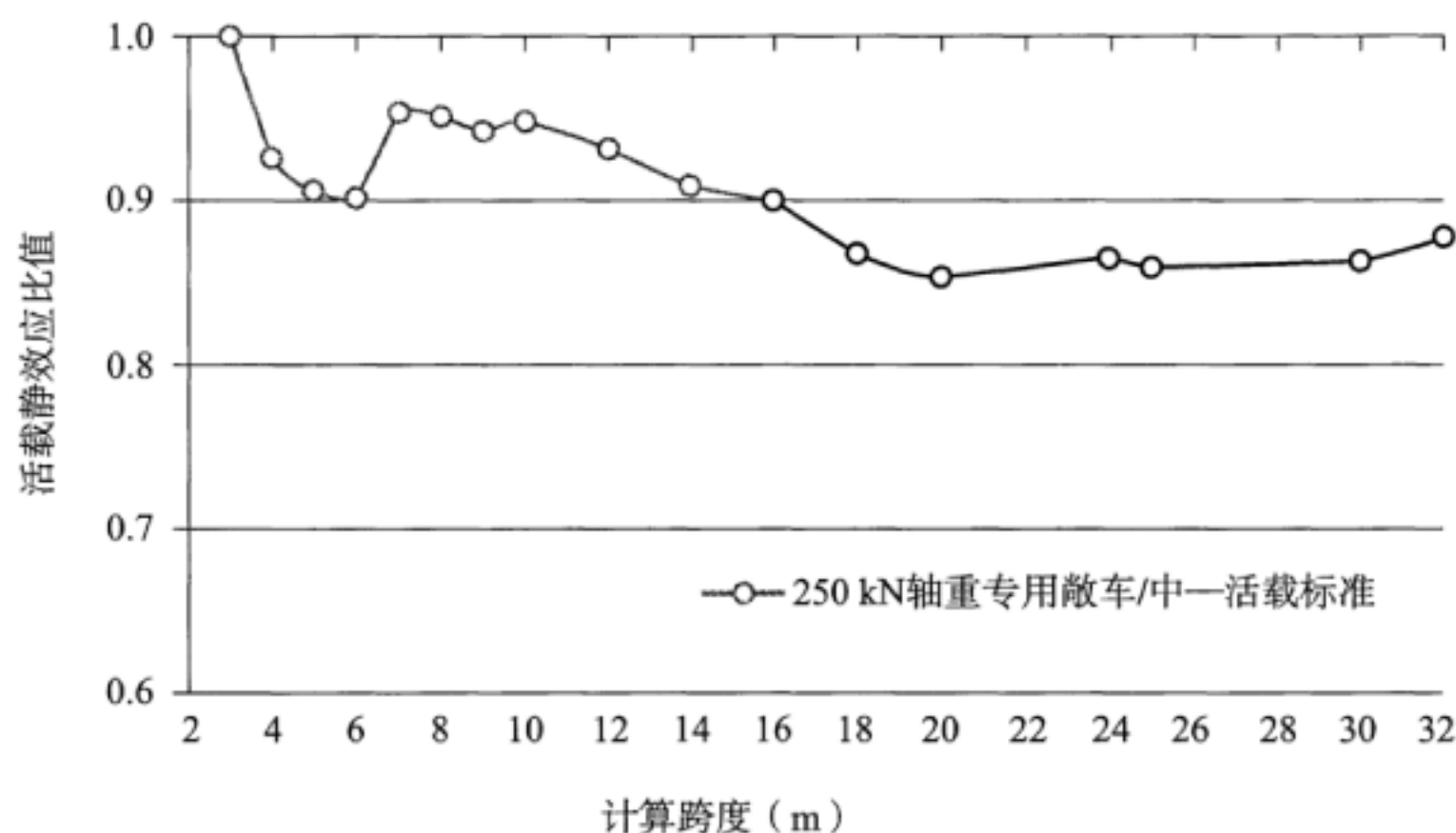
350 kN 轴重线路适用于煤炭运输,350 kN 及以上轴重线路主要用于矿石运输。根据我国新建货运(煤运)通道和利用既有线发展重载运输的路情特点,综合考虑我国铁路主型运输品类型、车辆装备技术及与既有铁路货运网络衔接等因素,新建与既有路网互联互通的完善性货运铁路,货车轴重定位建议采用 270 kN 及以下。新建货运(煤运)为主的铁路,货车轴重宜定位为 300 kN~350 kN (不含),适应载重 100 t 级以上专用货车开行要求。对于少量运输矿石等专用线路,轴重定位根据需求建议为 350 kN~400 kN,可另行研究确定。

2. 既有中—活载图式对铁路重载货运发展的适应性

大秦铁路是我国重载铁路运输的典型代表,目前以开行轴重 250 kN、载重 80 t、牵引质量万吨及以上的重载列车为主。在桥梁设计活载方面,大秦铁路采用了与客货共线铁路相同活载标准及配套设计参数;沿线桥梁均为跨度 32 m 及以下的钢筋混凝土和预应力混凝土结构,且上、下行线路具有重、轻车运输特征。

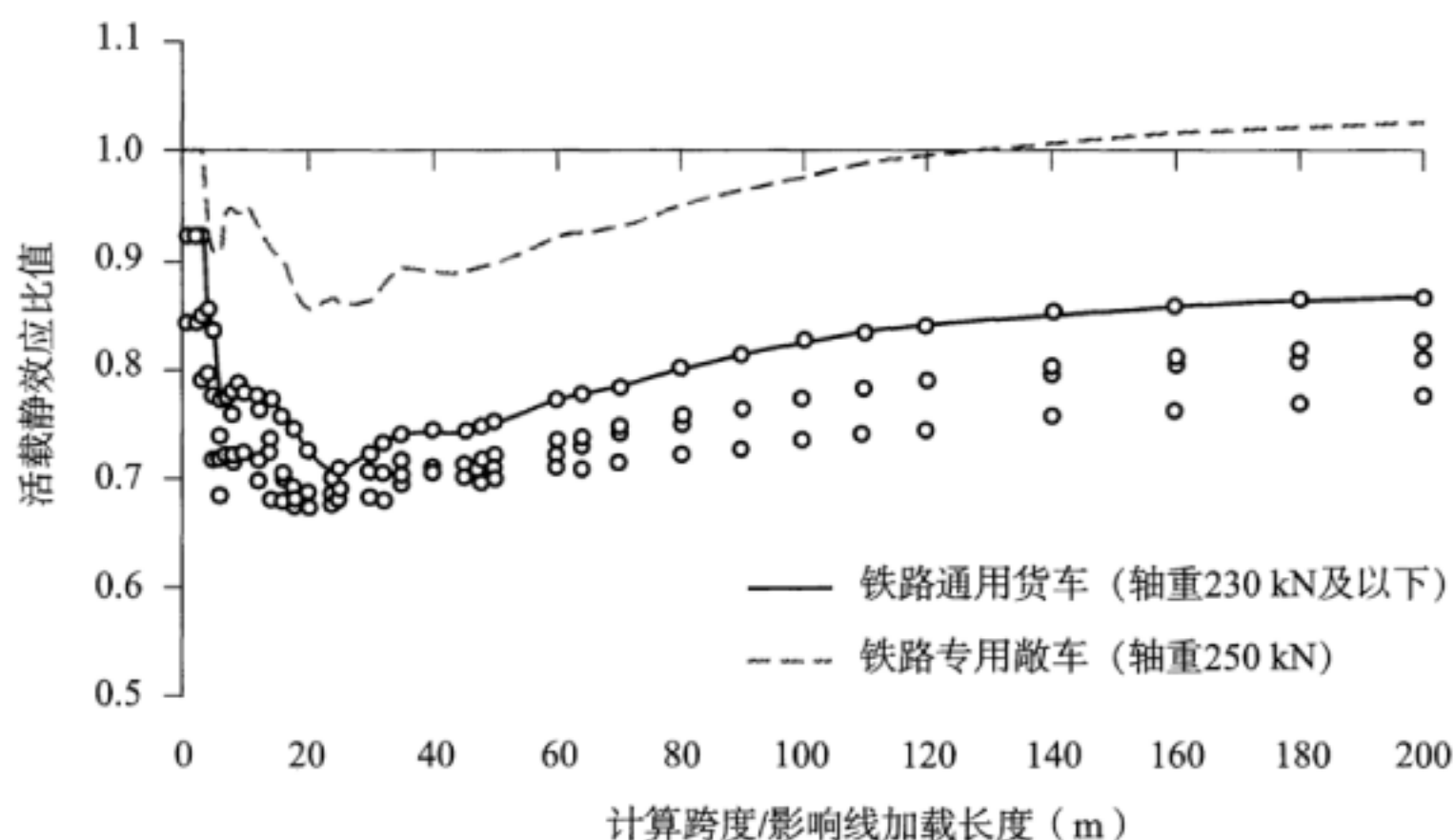
既有中—活载图式中 5×220 kN 集中荷载和 92 kN/m 均布荷载的加载最大长度达 37.5 m,大于大秦铁路桥梁的最大跨度 32 m,即桥梁梁部结构弯矩、剪力计算中未采用中—活载图式中的 80 kN/m 均布荷载;同时,采用 3×250 kN 特种荷载进行局部加载检算。综合近年来大秦线运输实践、养护维修费用投入量及各种跨度桥涵运营静活载效应与设计静活载效应的对比(说明图 1.0.6—1)看,由于跨度 16 m 以下桥涵静活载效应比值超过 90%,部分跨度超过 95%,桥涵储备不足,小跨度桥涵劣化问题显著,维修工作量显著提升。

目前,我国既有客货共线铁路主要开行轴重 210 kN、载重 60 t 和轴重 230 kN、载重 70 t 通用货车。对跨度 1 m~200 m 范围桥涵结构,以既有中—活载图式设计静效应为基准,从通用货车效应与设计活载效应的对比可以看出(说明图 1.0.6—2),桥梁截面弯矩和剪力静效应分别为设计效应的 0.67~0.92 和 0.69~0.92,



说明图 1.0.6—1 大秦铁路桥涵运营活载效应与设计活载效应对比图

平均静效应比值为 0.76。综合活载效应对比和铁路运营实践经验,中—活载图式可较好地适用该类型货运列车的开行,且具有一定的储备量,客货共线铁路货车轴重和载重尚有一定的提升空间。

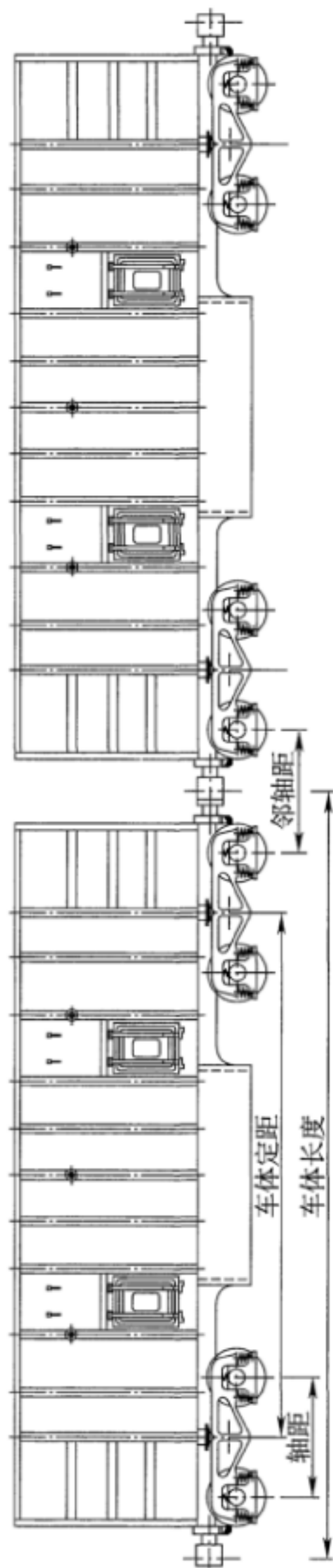


说明图 1.0.6—2 铁路运营货车效应与中—活载设计效应对比图

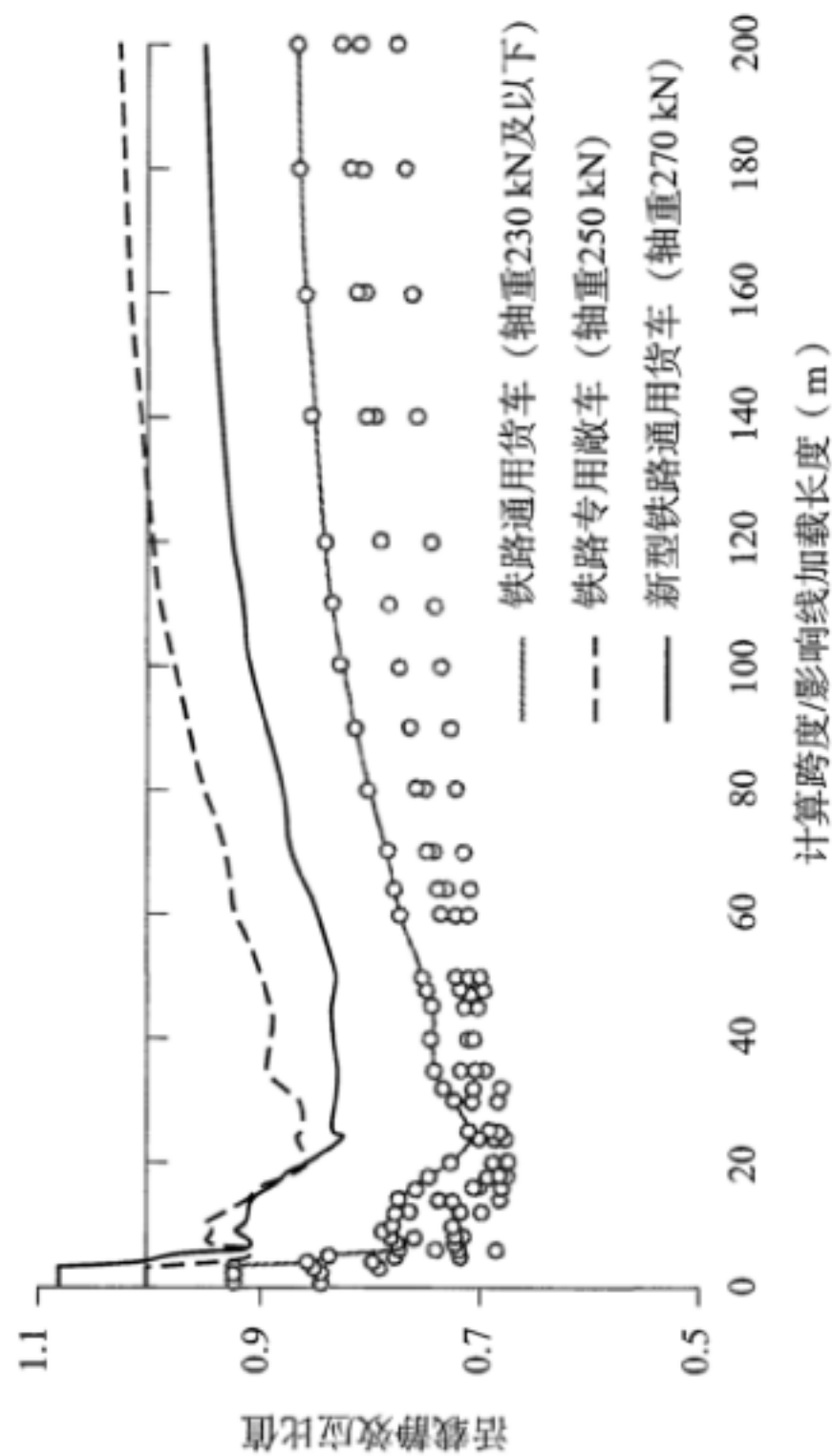
进一步分析大秦等铁路运用的轴重 250 kN、载重 80 t 专用敞车(车体长度 12 m,转向架固定轴距 1.83 m,邻轴距 1.97 m)与设

计活载效应对比可以看出(说明图 1.0.6—2),受轴重加载控制,跨度 3 m 及以下小跨度桥涵活载效应与设计效应相同;受货车均布荷载加载控制,跨度 100 m 及以上大跨度桥梁活载效应接近或超过设计效应。这说明若在全路范围内推广应用该类型的敞车,除需要解决小跨度桥涵的承载能力问题外,尚需要大范围评估和改造既有铁路大跨度混凝土桥和钢桥。

2008 年以来,我国铁路车辆与工务部门联合开展了“既有铁路发展大轴重货车”系列研究工作,从合理利用既有基础设施的储备、提升货运能力等方面,研究提出在现有轴重 210 kN、载重 60 t 和轴重 230 kN、载重 70 t 通用货车基础上,通过合理选择车体长度、控制车辆邻轴距等参数(说明图 1.0.6—3),站场长度不变的条件下,研制轴重 270 kN、载重 80 t 的通用货车,提高列车货物装载量。根据“既有线 270 kN 轴重货车(混编)线路适应性试验研究”报告(课题已验收)论证分析,综合货车制造技术及减少既有线路基础设施的改造量等因素,轴重 270 kN、载重 80 t 的新型通用货车车体长度不宜小于 13.9 m,邻轴距不宜小于 2.90 m(转向架固定轴距 1.86 m)。与轴重 250 kN、载重 80 t 专用运煤敞车相比,新型轴重 270 kN、载重 80 t 通用货车在轴重效应方面增大 8%,加大了对影响线加载长度 6 m 以下小跨度桥涵结构(或局部受力杆件)的受力;通过合理增大邻轴距,降低了前后货车相邻四轴对跨度 6 m~16 m 桥梁结构的叠加作用,两种货车作用效应基本相当;通过合理的选用车体长度,降低货车均布加载效应,新型 270 kN 轴重货车对跨度 16 m 以上的桥梁作用明显降低(说明图 1.0.6—4)。与既有设计活载标准相比,新型 270 kN 轴重货车作用下,除小跨度桥涵达到或超过设计效应外,其余跨度桥梁具有适当储备量(说明图 1.0.6—4)。2013 年 5 月,我国铁路完成了轴重 270 kN、载重 80 t 级敞车、棚车、平车、罐车、漏斗车五种通用货车的型式试验。2013 年 6 月~10 月,我国铁路在京广线古培塘—新开铺区间完成了“既有线 270 kN 轴重货车(混编)线路适应性试验研究”。



说明图 1.0.6—3 我国四轴大轴重货车车体参数示意

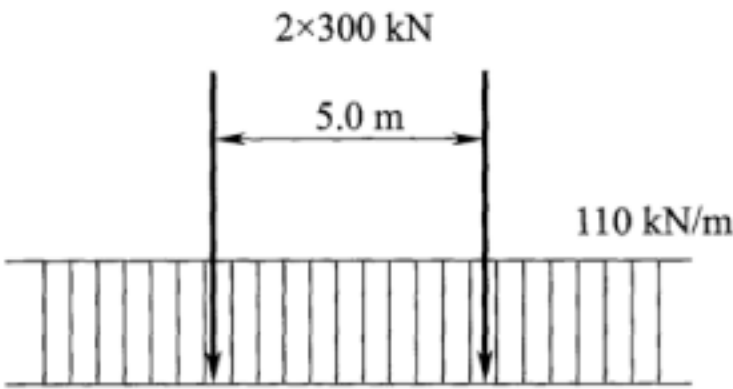


说明图 1.0.6—4 铁路运营货车效应与中—活载设计效应对比图

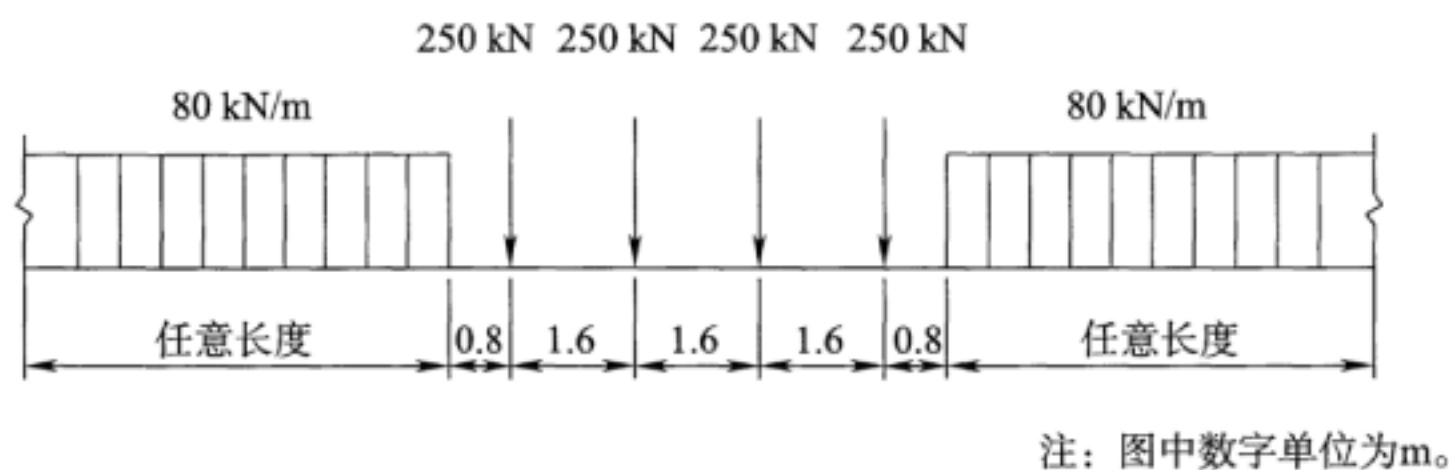
综合我国铁路重载运输、客货共线运输实践和理论试验研究,既有中—活载图式可较好地满足我国轴重 210 kN、载重 60 t 和轴重 230 kN、载重 70 t 通用货物列车开行,在进行评估和适量改造的基础上,可基本适应载重 80 t 级货车开行。我国既有铁路发展载重 80 t 级货车时,应通过合理设计车辆参数,降低对线路基础设施的作用,减少桥涵结构改造工作量。中—活载图式难以适应更大轴重和载重等级的货运发展,需要根据重载运输特征研究新的活载标准。

3. 国外铁路关于重载列车荷载标准研究进展

2001 年,国际铁路联盟(International Union of Railways, 法文简称 UIC)以团体名义加入国际重载协会(IHHA),并在国际铁路货运列车荷载标准方面开展了相应的研究工作,在对既有荷载标准规定进行修订的同时,提出了新的列车荷载标准。在 2003 年版的《国际联运线路承载结构设计用的静荷载图式》(UIC 702)中,提出了用于国际联运线路的 Load Model 2000 荷载图式(说明图 1.0.6—5)。在 2006 年版的《铁路桥梁设计荷载》(UIC 776—1)中,规定,“对于开行 250kN 轴重货车的线路,在 Load Model 71 荷载图式(说明图 1.0.6—6)的基础上应采用 1.10 倍系数;在国际联运线路上,应采用 1.33 倍 Load Model 71 荷载图式,其效应与 Load Model 2000 荷载图式相当”。欧盟在 2003 版《结构上的作用 第 2 部分:桥梁上荷载》规定采用 Load Model 71 荷载图式,并规定在国际联运线路上采用 1.0 倍及以上的系数。

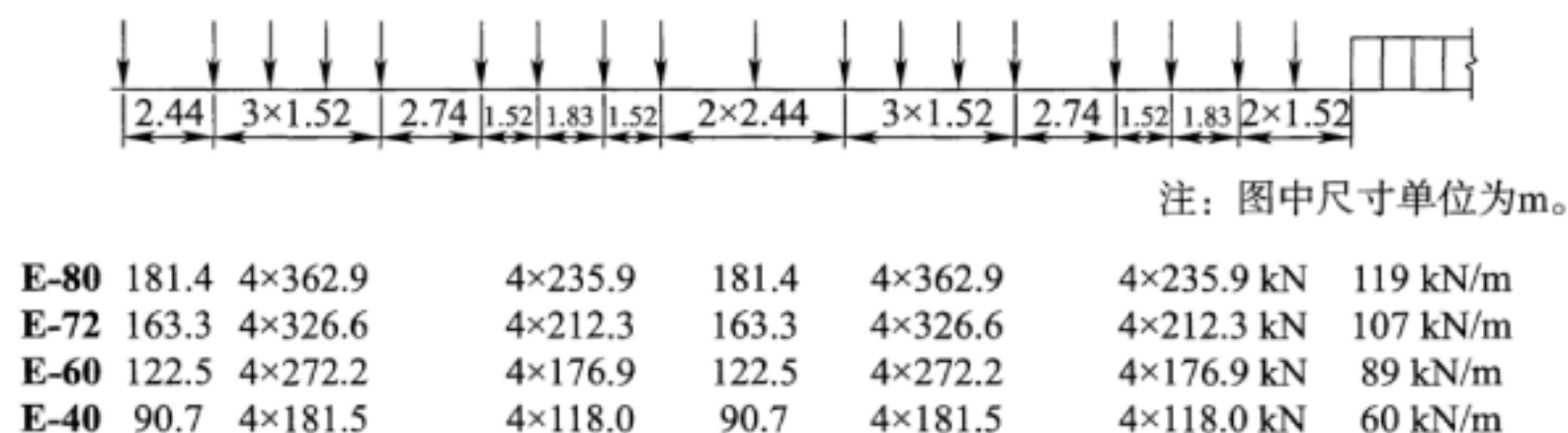


说明图 1.0.6—5 Load Model 2000 荷载图式



说明图 1.0.6—6 Load Model71 荷载图式

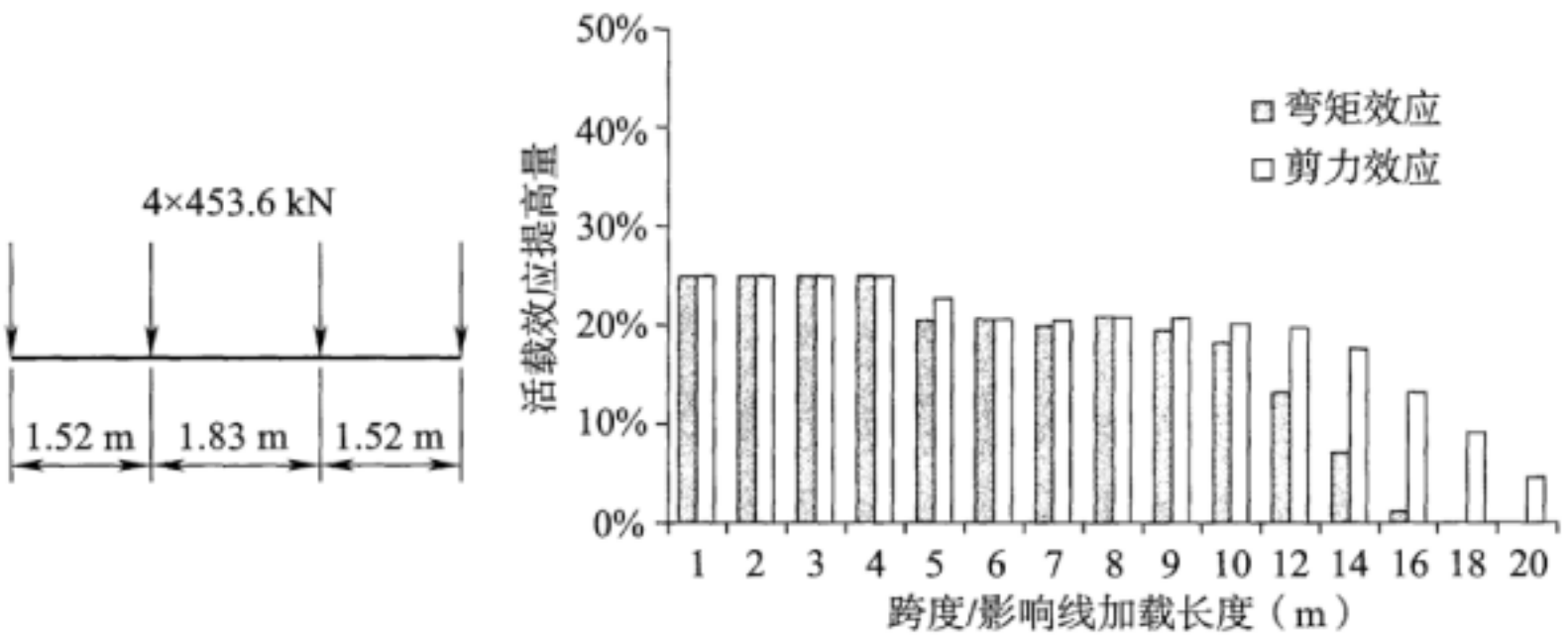
美国铁路重载运输是在既有路网上逐渐发展起来的,铁路桥梁设计采用 AREMA (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association)规范体系,并沿用了反映蒸汽机车牵引特征的 Cooper E 系列静活载图式(说明图 1.0.6—7),用于木结构、混凝土结构和基础以及钢结构的设计,设计时根据运营机车和车辆选用不同的活载图式级别。



说明图 1.0.6—7 美国 Cooper E 系列设计活载图式

美国铁路设计列车荷载标准选用方面也经历了数次变化。1905 年,美国铁路桥梁设计荷载标准推荐采用 Cooper E40,并分别于 1919 年和 1935 年修订为 E60 和 E72。上世纪 50 年代中期,美国铁路牵引模式由蒸汽机车逐步转变为内燃机车,由于内燃机车荷载效应降低,在开展设计荷载标准的研究后,仍推荐采用 E72。1967 年,美国将钢结构设计标准提高至 E80;1972 年,将 E80 作为铁路建筑物统一的设计荷载标准。近年来,随着货车轴

重的不断提高,对于钢梁桥杆(构)件,实际运营列车荷载效应与 E80 设计效应接近;为解决重载钢桥杆件疲劳问题,1995 年,作为对 E80 的补充,AREMA 研究提出 4 轴特种荷载图式,将集中荷载定为 453.6 kN。与 Cooper E80 相比,提高了跨度 24 m 以下的弯矩效应和跨度 18 m 以下的剪力效应,最大荷载效应提高量为 25%(说明图 1.0.6—8)。

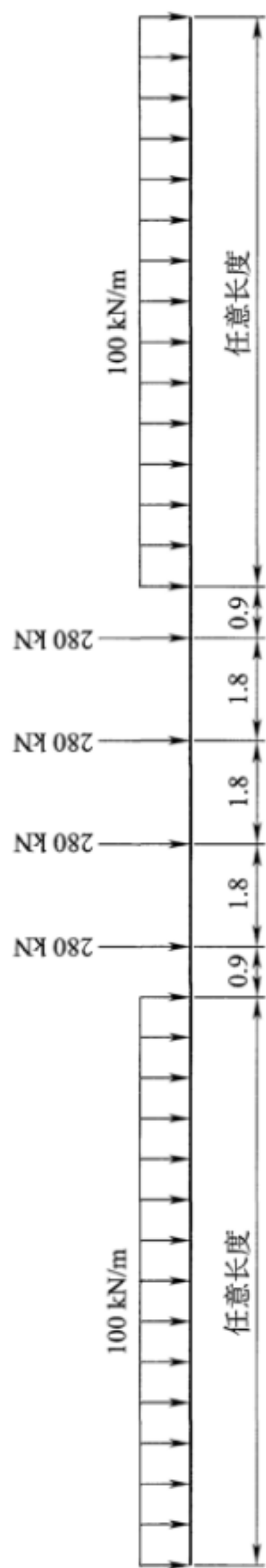


说明图 1.0.6—8 美国 AREMA 规定的特种活载图式及效应对比图

南非交通运输部于 1983 年制定了用于重载铁路桥梁设计的规范,其采用的列车荷载标准在 Load Model 71 荷载图式的基础上,将集中力由 250 kN 增加到 280 kN、均布荷载由 80 kN/m 提高到 100 kN/m(说明图 1.0.6—9),南非重载铁路线下基础设计列车荷载标准的提高为后期轴重的增加带来了极大的便利。

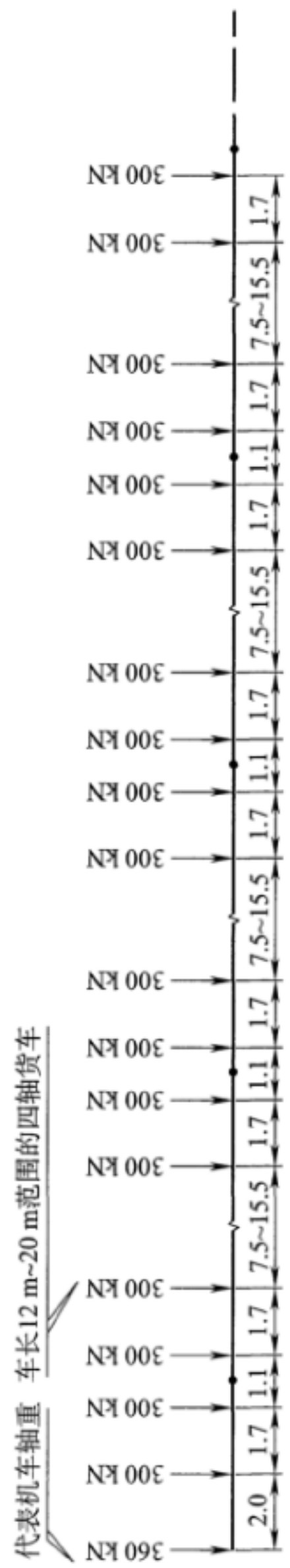
澳大利亚重载铁路采用 300LA 列车荷载标准,活载图式由若干轴重为 300 kN 的货车组成,货车车辆长度为 12 m~20 m,车辆固定轴距和车辆间邻轴距分别按 1.7 m 和 1.1 m 取用,并采用 360 kN 的集中荷载模拟机车活载(说明图 1.0.6—10)。

综合国外重载铁路活载标准研究进展看,新建重载铁路应采用能够代表重载运输特征的列车荷载标准,对于考虑开行各种类型货车的线路,优先选用概化的荷载图式;对于运输物品、车型相



注：图中尺寸单位为 m。

说明图 1.0.6—9 南非NR活载图式



注：图中尺寸单位为m。

说明图 1.0.6—10 澳大利亚300LA活载图式

对固定的专用线路,可在相应货车参数基础上进行设计。其中,尤其值得关注的是,上世纪 70 年代,国际铁路联盟研究制定的 Load Model 71 荷载图式,反映了列车牵引动力由蒸汽向内燃和电力的变化,主要适用于客货共线铁路和高速铁路。近年来,随着世界铁路重载运输的发展,研究提出用于国际联运线路承载结构的 Load Model 2000 活载图式(或采用 1.33 倍 Load Model 71 活载图式)。同时,为适应欧洲各国在客货混运铁路上逐步开行重载列车的需求,研究增加了“对于开行 250 kN 轴重货车的线路,推荐采用 1.10 倍 Load Model 71 活载图式”的规定,均反映了 UIC 在活载标准方面研究的最新成果。此外,在既有铁路发展重载运输时,应充分考虑既有活载标准对不同轴重货车的适应性,可适当修订既有活载图式,但不宜重新选用新的活载标准,造成既有基础设施大范围强化改造。

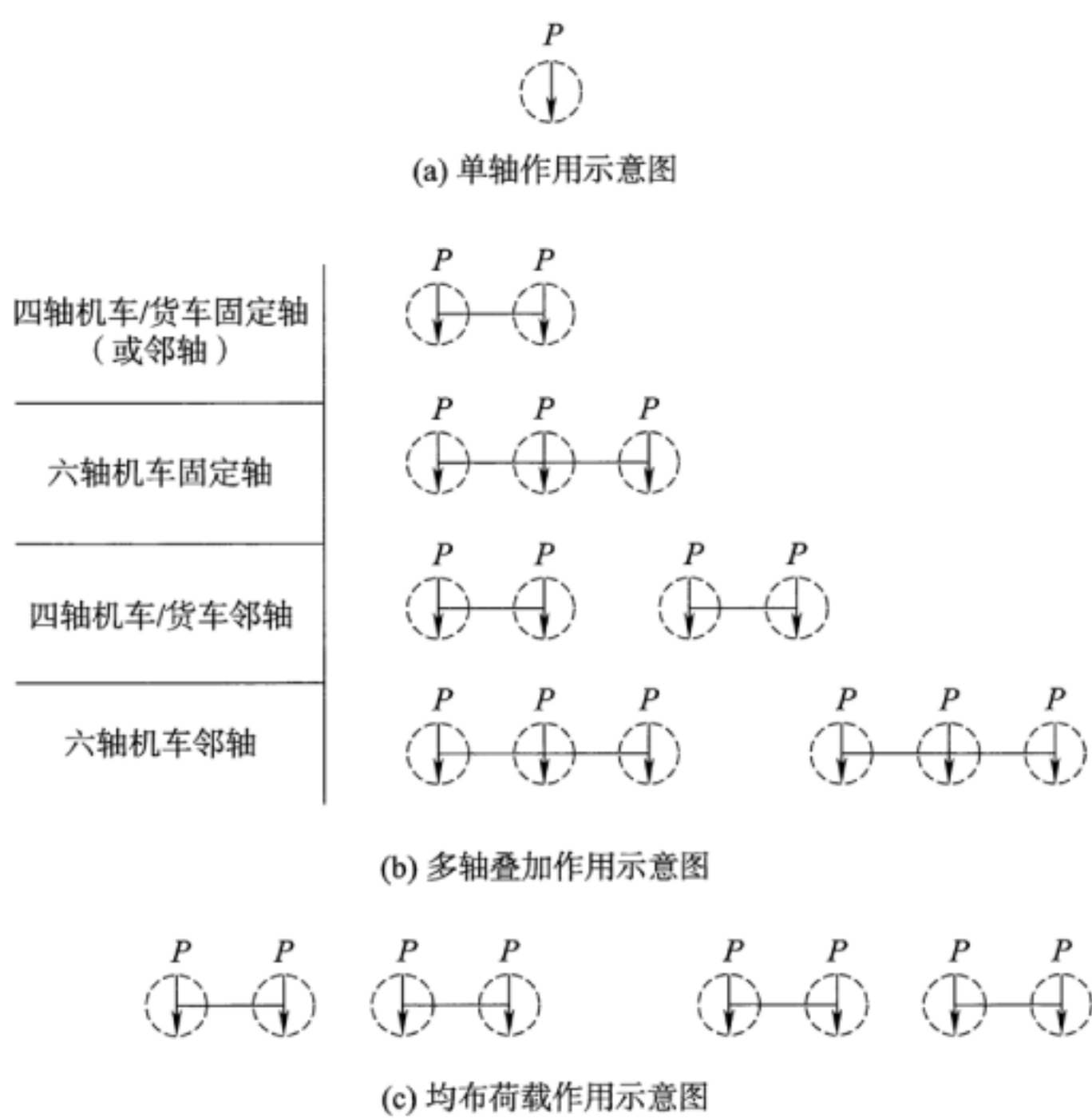
4. 我国重载铁路列车荷载标准的研究和制定过程

2004 年,根据铁路牵引动力由蒸汽机车发展为内燃和电力机车、车辆载重及性能提升、牵引质量增加、运输速度提高、运输组织以及路网格局调整等因素,我国铁路开展了中—活载图式修订研究工作。其中,在货运列车方面,考虑单元列车和组合列车两种编组形式,具体的编组方式包括“机车+货车”、“机车+货车+机车+货车”及“机车+货车+机车+货车+机车”等类型,列车对桥梁结构的影响主要包括单轴作用、多轴叠加作用及均布荷载作用。根据我国研制中的大轴重机车和货车参数,在相同轴重的情况下,由于机车轴距大、车体长度长,机车对于桥涵结构的竖向效应低于同轴重货车效应,即重载货车为结构竖向加载的控制工况。

(1)单轴作用:列车单轴作用主要影响桥面系结构或杆件的局部受力如说明图 1.0.6—11(a)所示。

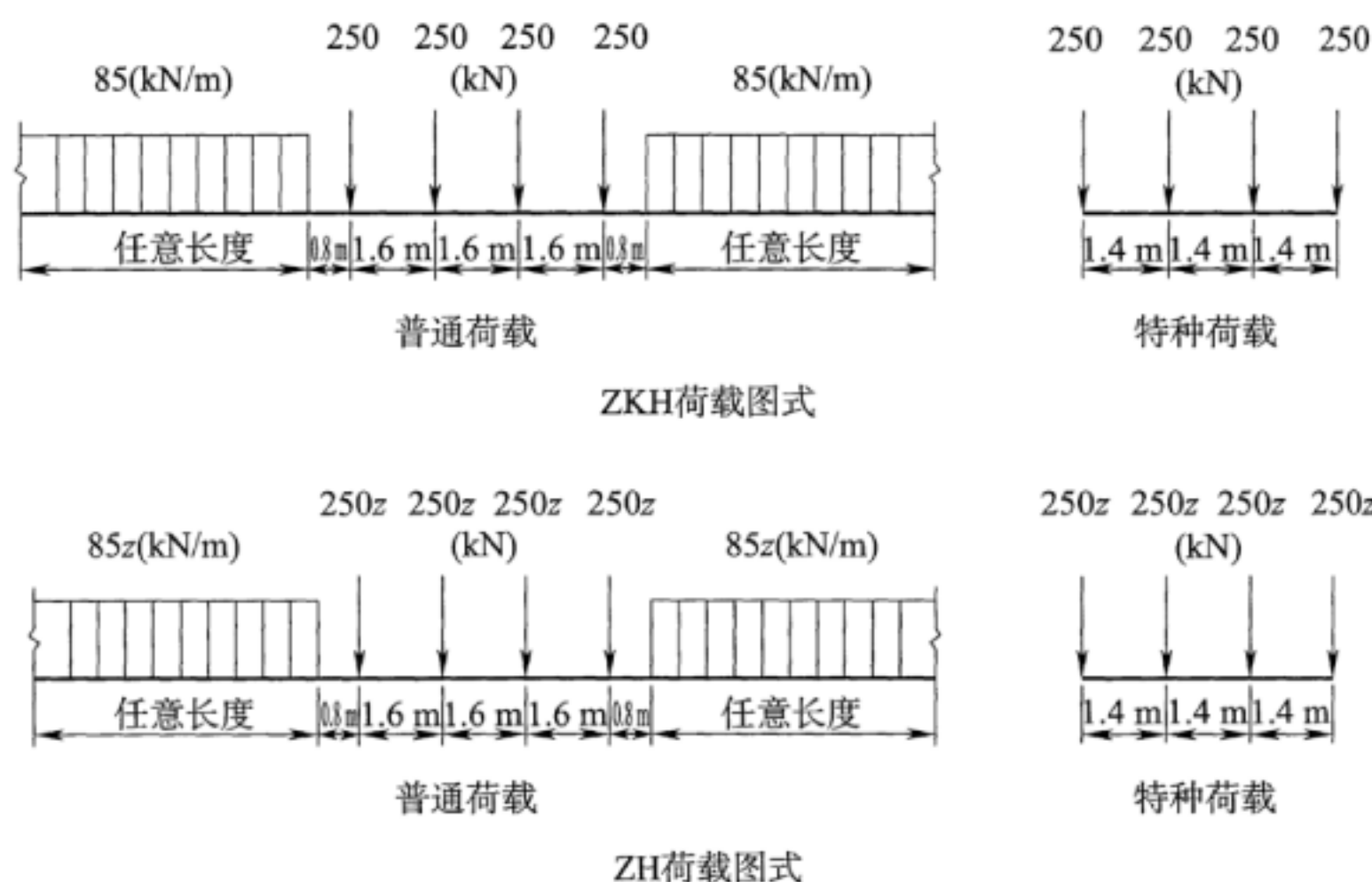
(2)多轴叠加作用:列车多轴叠加作用主要影响中、小跨度桥涵和钢梁桥杆(构)件,如说明图 1.0.6—11(b)所示。

(3)均布荷载作用:列车每延米重效应主要影响中等以上跨度桥梁的整体受力,可近似按概化的均布荷载作用考虑。由于重载列车编组长度可达 1 000 m~3 000 m,可涵盖全部跨度桥梁,如说明图 1.0.6—11(c)所示。



说明图 1.0.6—11 列车轮重作用示意图

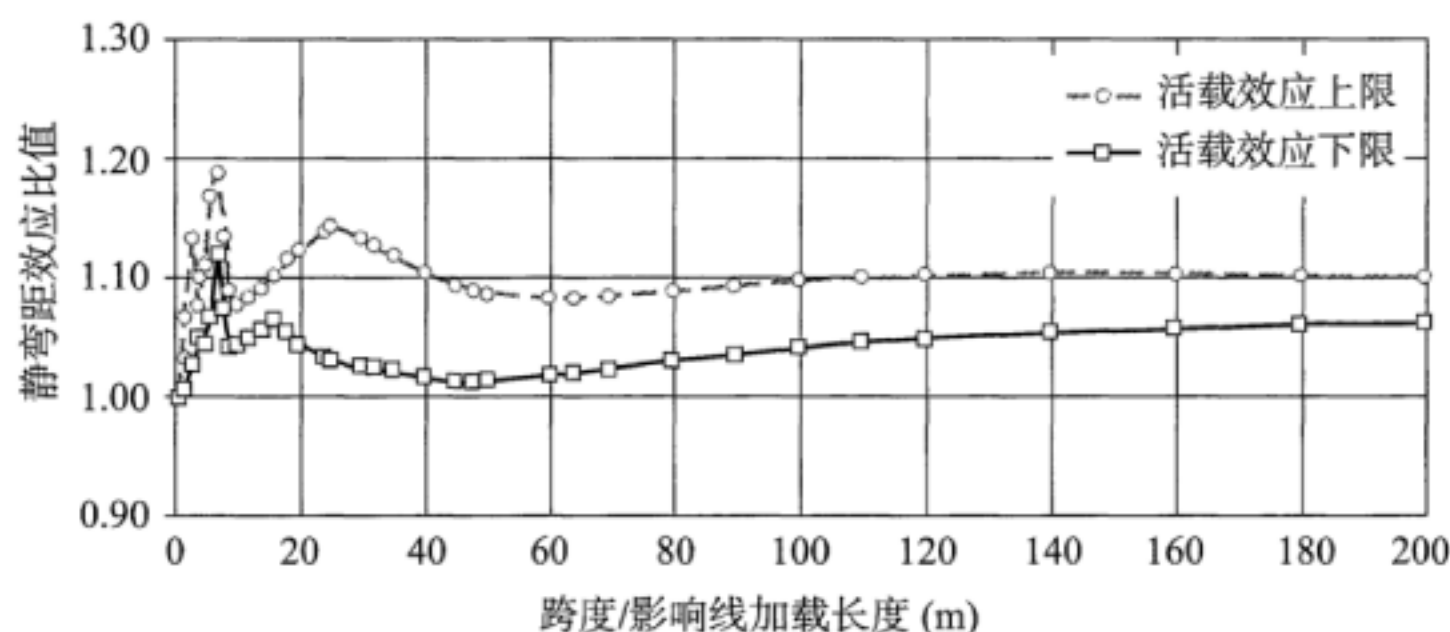
2005 年,铁科院研究提出了适用于客货共线(ZKH)和货运铁路(ZH)桥梁基本荷载图式,统称为中—活载(2005)图式(说明图 1.0.6—12)。其中,客货共线铁路荷载标准在现行中—活载图式基础上适当提高;货运铁路可根据线路规划确定具体系数。相关成果详见《关于印刷铁路桥梁活载标准的研究科研成果评审意见的通知》(铁科技函〔2006〕60 号)。



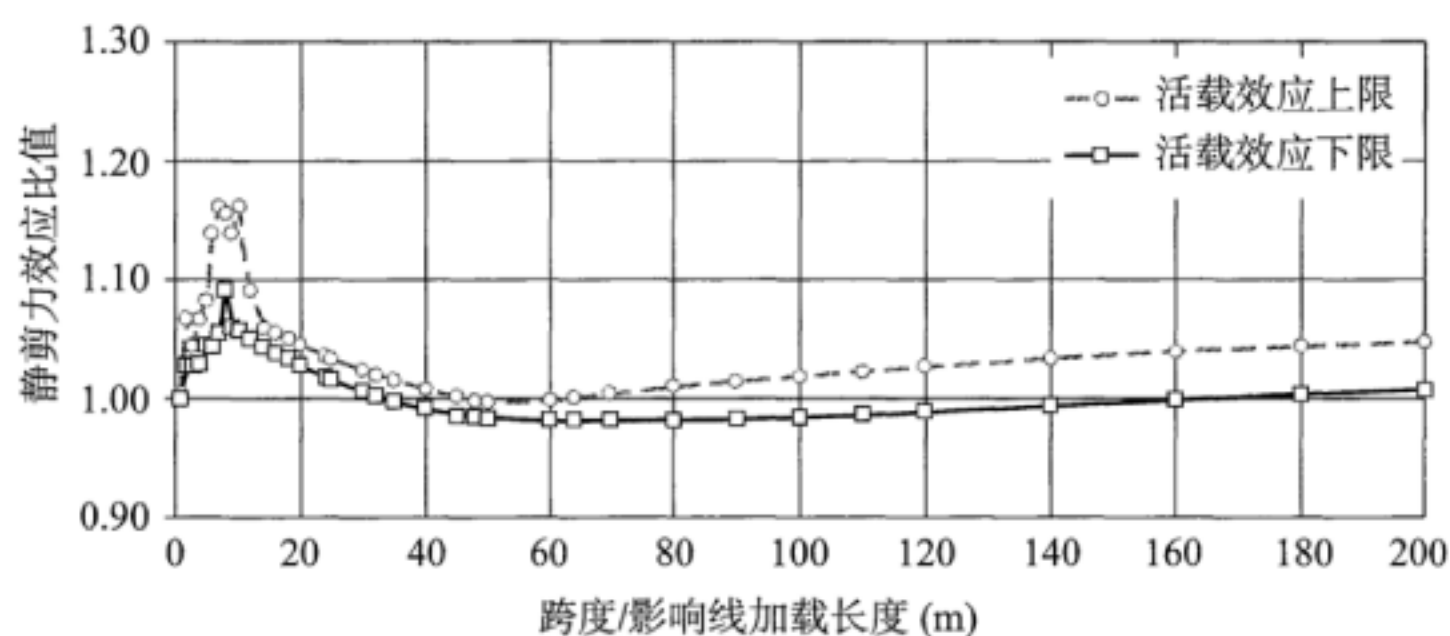
说明图 1.0.6—12 中—活载(2005)图式

中—活载(2005)图式中 4 个 250 kN 的集中荷载代表机车车辆轴重效应和货车邻轴效应,85 kN/m 的均布荷载代表货车车辆每延米重效应,集中力和均布荷载主要影响中、小跨度桥涵和大跨度桥梁受力。需要说明的是,1.0 倍中—活载(2005)图式用于替换既有中—活载图式,与既有中—活载图式效应相比,适当提高了截面弯矩效应,截面剪力效应基本相当。弯矩效应、剪力效应对比如说明图 1.0.6—13 所示。

2005 年以来,按照国务院“加快我国铁路运输装备现代化”的战略方针,我国铁路货运机车和车辆技术得到了迅速发展。2006 年,我国铁路停止生产了轴重 210 kN、载重 60 t 级的通用货车,全路推广轴重 230 kN、载重 70 t 级的通用货车;并运用了轴重 250 kN 的 HXD1、HXD2 和 HXD3 型大功率交流传动电力机车。同时开展了大轴重铁路机车、货车总体技术研究和轴重 270 kN 和 300 kN 的样车试制、试验和运用考核工作。



(a) 弯矩效应

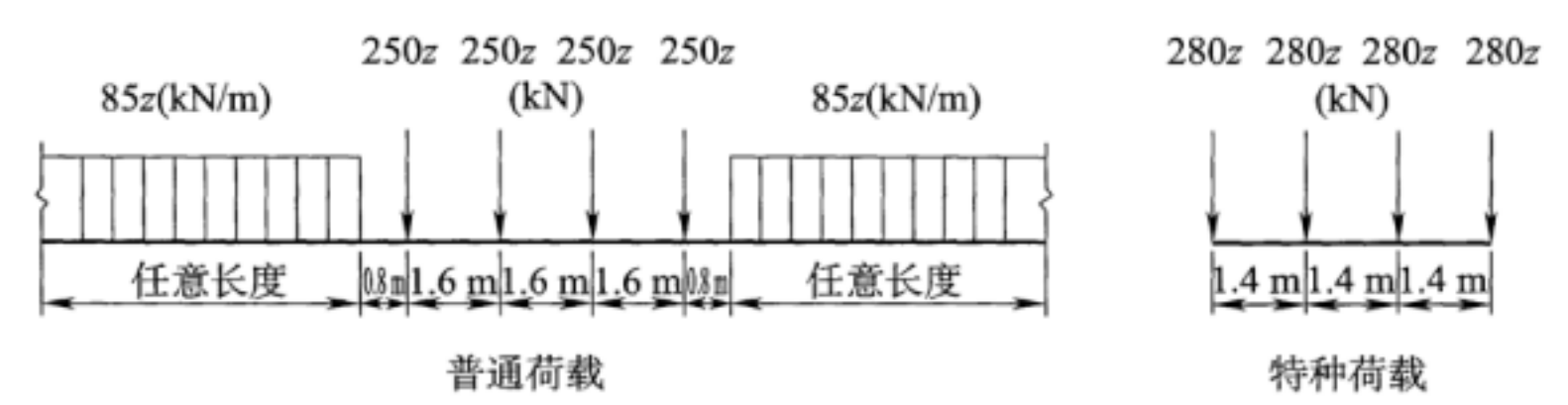


(b) 剪力效应

说明图 1.0.6—13 1.0 倍中—活载(2005)图式与中—活载图式效应对比图

2010 年以来,根据铁路机车车辆装备技术发展和重载运输的需求,我国铁路先后立项开展了“重载铁路发展趋势及关键技术深化研究”、“新建煤运通道设计荷载标准及相关参数”、“客货分线后线桥隧适应货运重载关键技术及相关运输模式研究”和“新建 30 t 轴重重载铁路桥梁关键技术研究”等系列研究工作,并对货运铁路列车荷载标准进行了深化研究。研究认为,对于货运重载铁路,中—活载(2005)的 ZH 荷载总体上是适用的,但随着车辆轴重加大和车辆间邻轴距的降低,存在对于中小跨度桥涵加载效应偏低的现象。

为提高小跨度桥涵的列车荷载效应同时避免 z 的取值过大,研究提出了修订方案——ZH 荷载图式(2010)(说明图 1.0.6—14),将中—活载(2005)中 ZH 荷载图式的特种活载由 250 kN 提高至 280 kN。



说明图 1.0.6—14 ZH 荷载图式(2010)

5. ZH 荷载图式荷载系数 z 的取值说明

ZH 荷载图式中荷载系数 z 的取值由线路的运输定位、主型机车和车辆、预留的活载储备和发展,以及经济性等因素综合确定。根据国内外铁路设计活载图式和主型运营车辆,分析了跨度 1 m~200 m 的桥涵设计静活载和运营静活载间效应比值,见说明表 1.0.6—1。

说明表 1.0.6—1 国内外铁路活载标准与主型运营货车间效应比值统计

国家或组织	活载标准	运营货车参数		静活载效应比值					
				弯 矩			剪 力		
		轴重(t)	车 型	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
UIC	1.1Load Model 71	25.0	4 轴货车	1.50	1.10	1.32	1.44	1.10	1.28
美国	Cooper E80	32.4	运煤货车	1.73	0.97	1.45	1.68	0.97	1.42
	Cooper E80 修订	32.4	运煤货车	1.73	1.21	1.53	1.68	1.21	1.52
南非	NR	26.0	运煤货车	1.32	1.08	1.22	1.26	1.08	1.18
		26.0	运矿石货车	1.27	1.06	1.15	1.22	1.06	1.13

续说明表 1.0.6—1

国家或组织	活载标准	运营货车参数		静活载效应比值					
				弯矩			剪力		
		轴重(t)	车型	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
澳大利亚	300LA	30.0	煤炭漏斗车	1.31	1.14	1.25	1.29	1.15	1.24
中国	中—活载	21.0	C ₆₂ 货车	1.49	1.16	1.32	1.45	1.19	1.34
		23.0	C ₇₀ 货车	1.48	1.09	1.33	1.43	1.09	1.33
		25.0	C ₈₀ 货车	1.21	0.98	1.09	1.18	1.00	1.10

注:1 静效应比值为活载标准与货车效应间的比值,桥涵跨度范围为 1 m~200 m。

2 美国“Cooper E80 修订”为包括针对钢梁桥结构补充提出的四轴特种活载

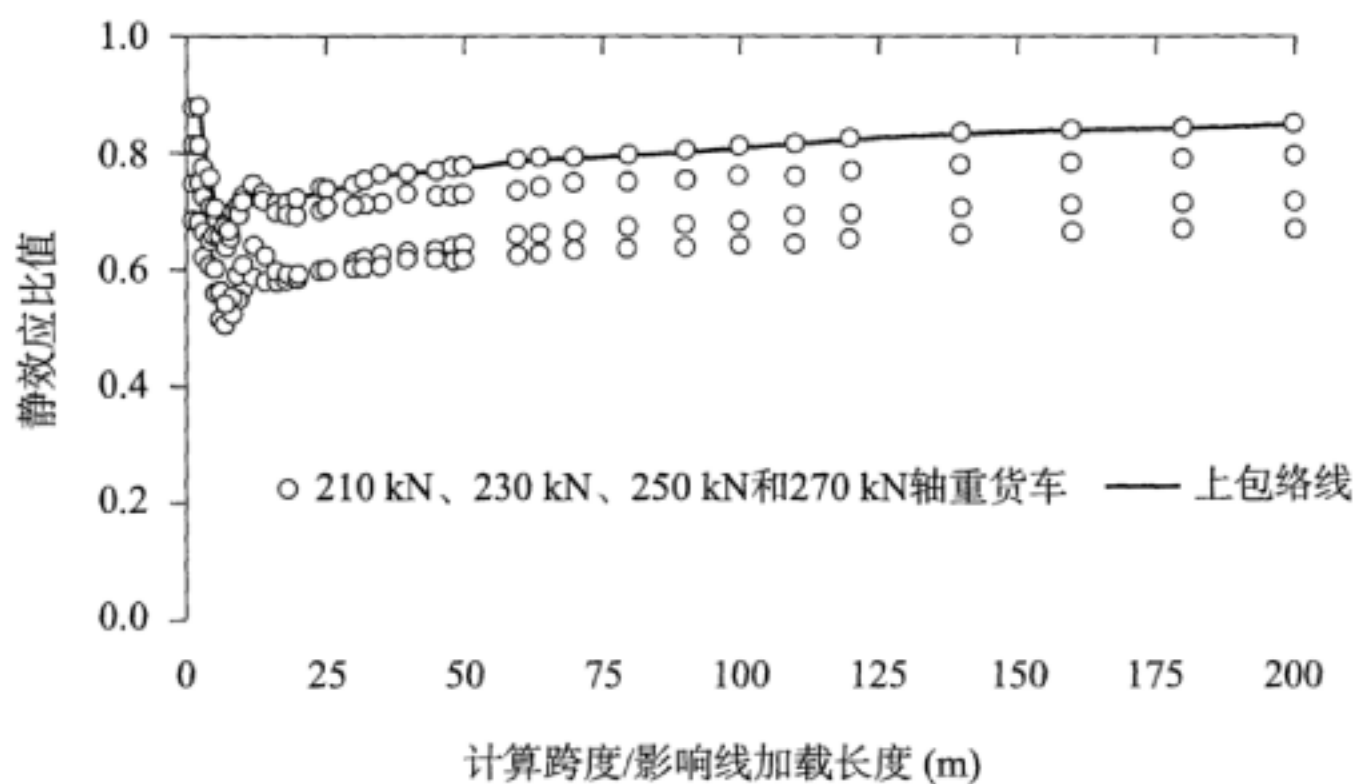
从国内外活载图式效应与运营货车效应对比情况看,美国比值最大,南非比值最小,UIC 和澳大利亚比值居中。我国既有客货共线铁路效应比值与 UIC 基本相当,我国大秦铁路效应比值略低于南非。美国铁路 Cooper E80 荷载标准效应与轴重 324.3 kN 主型运营货车效应平均比值为 1.42,主要应用于新建和改建桥梁,考虑远期发展轴重 350 kN~400 kN 的重载运输;对于早期采用 Cooper E60 活载标准设计的桥梁,目前运营的轴重 324.3 kN 货车平均效应比值与设计效应基本相当。澳大利亚铁路 300LA 活载标准效应与轴重 300 kN 主型煤炭漏斗车效应平均比值为 1.23,在动力系数方面采用了 UIC 的规定,在小跨度桥涵方面具有一定的富余量,并通过设置道旁监测装置等降低运营货车的动效应,进一步提高了货车轴重。南非铁路 NR 活载标准效应与轴重 260 kN 运营货车效应平均比值为 1.12,其在动力系数方面也采用了 UIC 的规定,小跨度桥涵储备量较大。

我国客货共线铁路具有 60 多年运营实践经验,中—活载图式效应与 210 kN 和 230 kN 轴重的主型通用货车效应平均比值为 1.27,较好地适应了当前的客货共线铁路运输。从大秦线运营实

践看,中—活载图式效应与 250 kN 轴重的专用敞车效应平均比值为 1.09,相对偏低,且突出体现在小跨度桥涵活载储备偏弱方面。

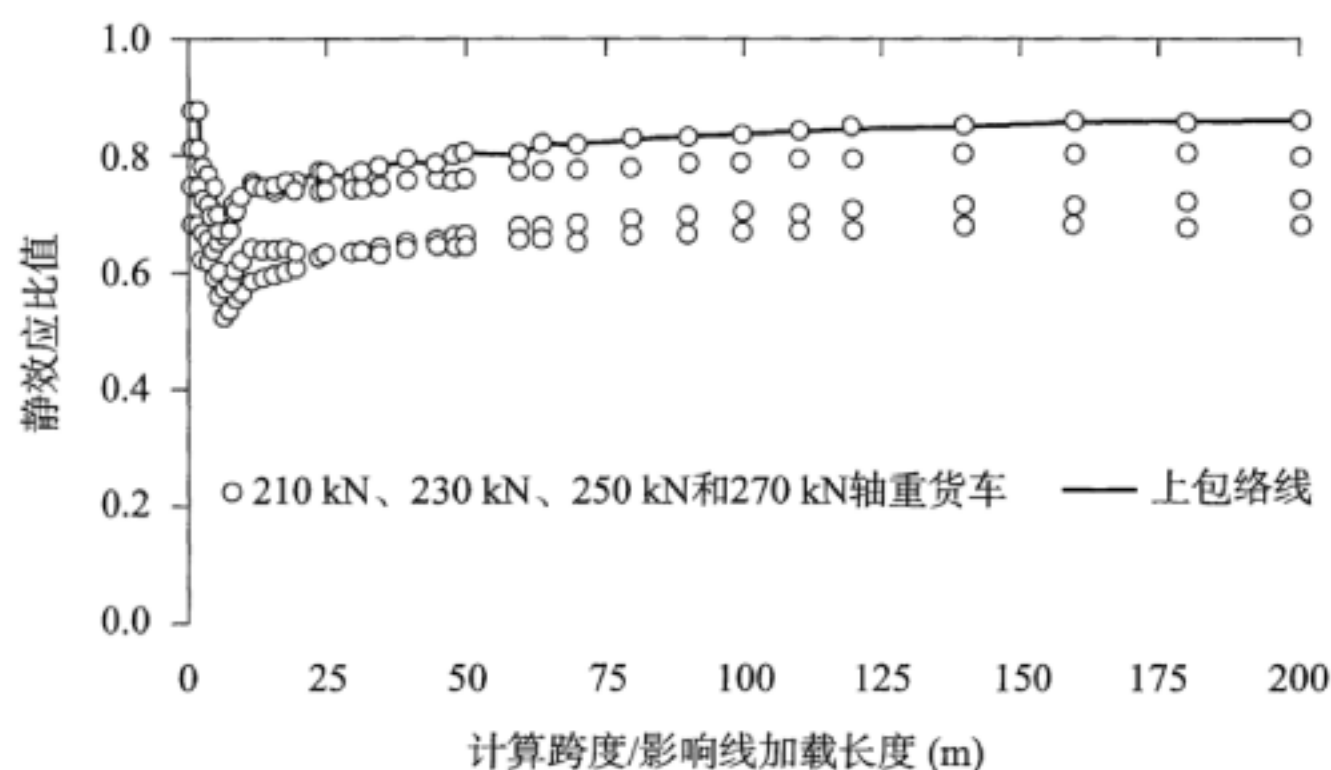
考虑到我国新建轴重 300 kN 重载铁路主要用于煤炭等大宗物资的专线运输,并能适应轴重 300 kN~350 kN(不含)范围货车发展需求,新建轴重 250 kN、270 kN 完善性货运铁路主要用于与既有路网的互联互通,满足轴重 270 kN 及以下货车开行,并应预留合理的安全储备。综合国内外运输实践经验,我国新建重载铁路桥梁列车荷载发展系数按平均值不小于 1.20、最小值不小于 1.10 的原则取用。经研究和反复论证,综合考虑结构承载安全、减少运营期间的维护工作量、降低全生命周期费用等因素,本标准明确了 ZH 荷载等级系数 z 按以下原则取用:

(1)对于开行轴重 250 kN、270 kN 重载列车的新建货运铁路, z 取 1.10;跨度 1 m~200 m 范围内桥涵结构平均活载储备系数为 1.27,最小为 1.14。弯矩效应、剪力效应对比如说明图 1.0.6—15 所示。



(a) 弯矩效应

说明图 1.0.6—15



(b) 剪力效应

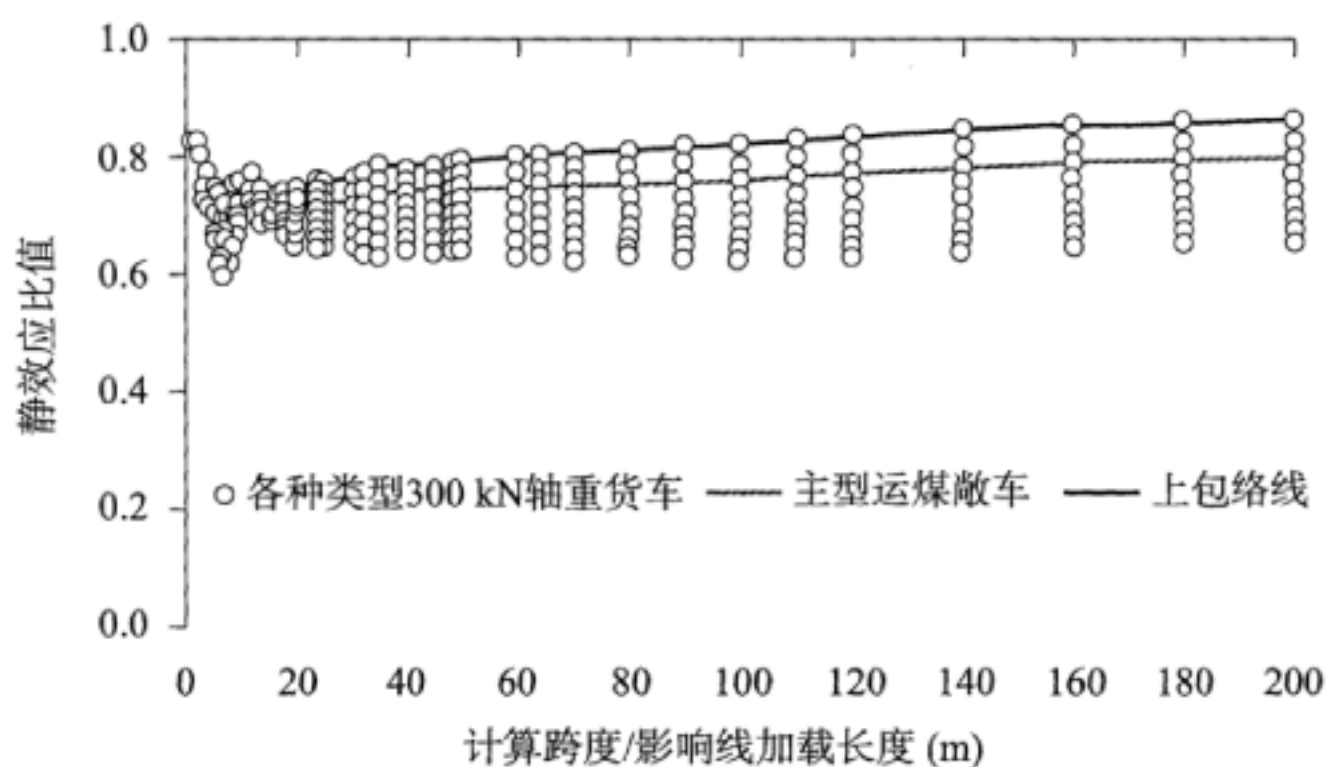
说明图 1.0.6—15 轴重 250 kN、270 kN 新建货运铁路货车
与设计活载效应对比图

考虑到新建轴重 250 kN、270 kN 货运铁路与既有路网互联互通要求,根据《大轴重铁路货车总体技术条件(暂行)》(铁科技〔2012〕154 号),特别是货车车辆技术装备发展要求,经检算,轴重 270 kN 运营荷载效应与轴重 250 kN 运营荷载效应接近(其中轴重 250 kN 车辆换算均布活载不大于 83 kN/m,轴重 270 kN 车辆换算均布活载不大于 80 kN/m),故轴重 250 kN 与 270 kN 采用同一荷载系数标准。

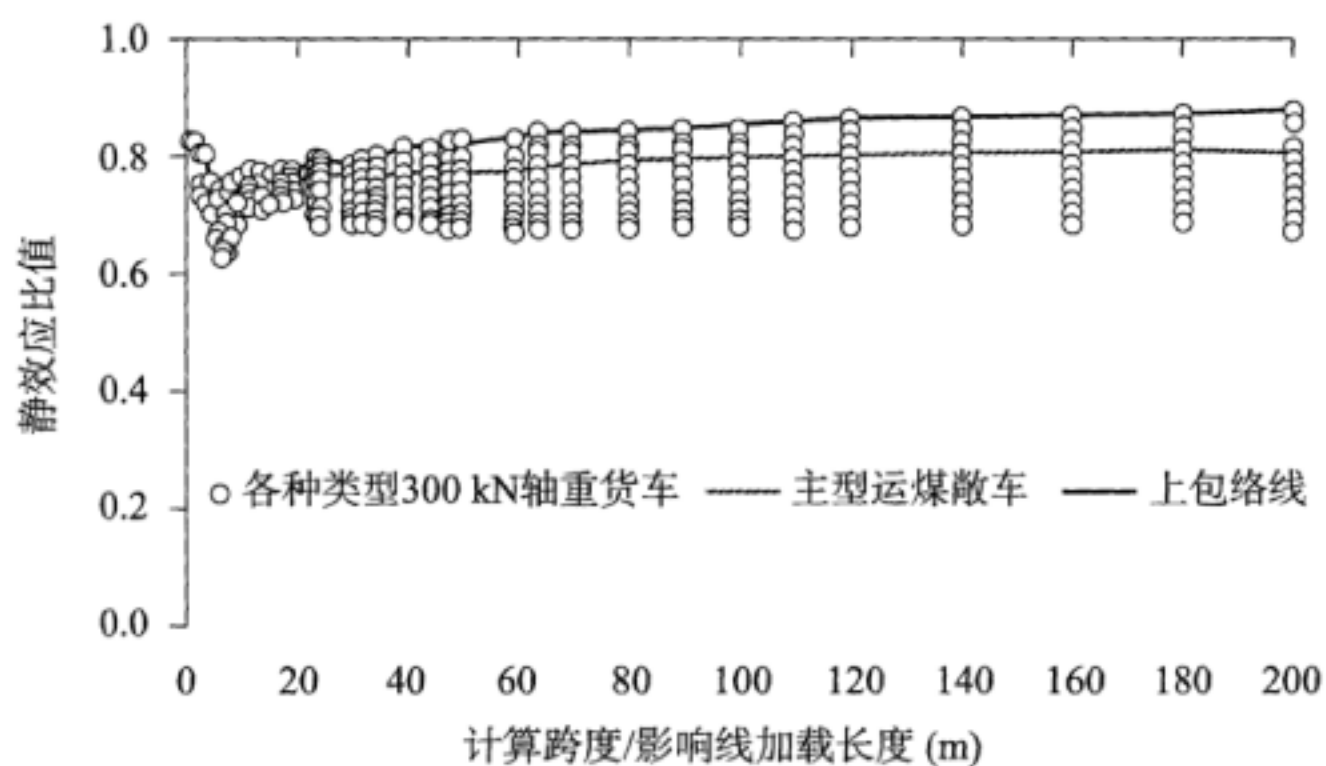
(2)对于开行轴重 300 kN 重载列车的新建重载铁路, z 取 1.30,跨度 1 m~200 m 范围内桥涵结构平均活载储备系数为 1.23,最小为 1.13。弯矩效应、剪力效应对比如说明图 1.0.6—16 所示。可适应轴重 300 kN~350 kN(不含)、载重 100 t 重载列车开行。

(3)对于考虑开行轴重 350 kN 及以上重载列车的新建重载铁路,建议根据主型移动装备情况合理研究确定荷载系数,技术论证阶段、缺乏相关资料时可暂按 1.50 取用。

值得说明的,我国新建山西中南部煤运铁路建设标准论证时,我国铁路尚在进行列车荷载标准深化研究工作。为满足轴重 250 kN、载重 80 t 专用运煤敞车大量开行,并预留一定发展系数;同



(a) 弯矩效应

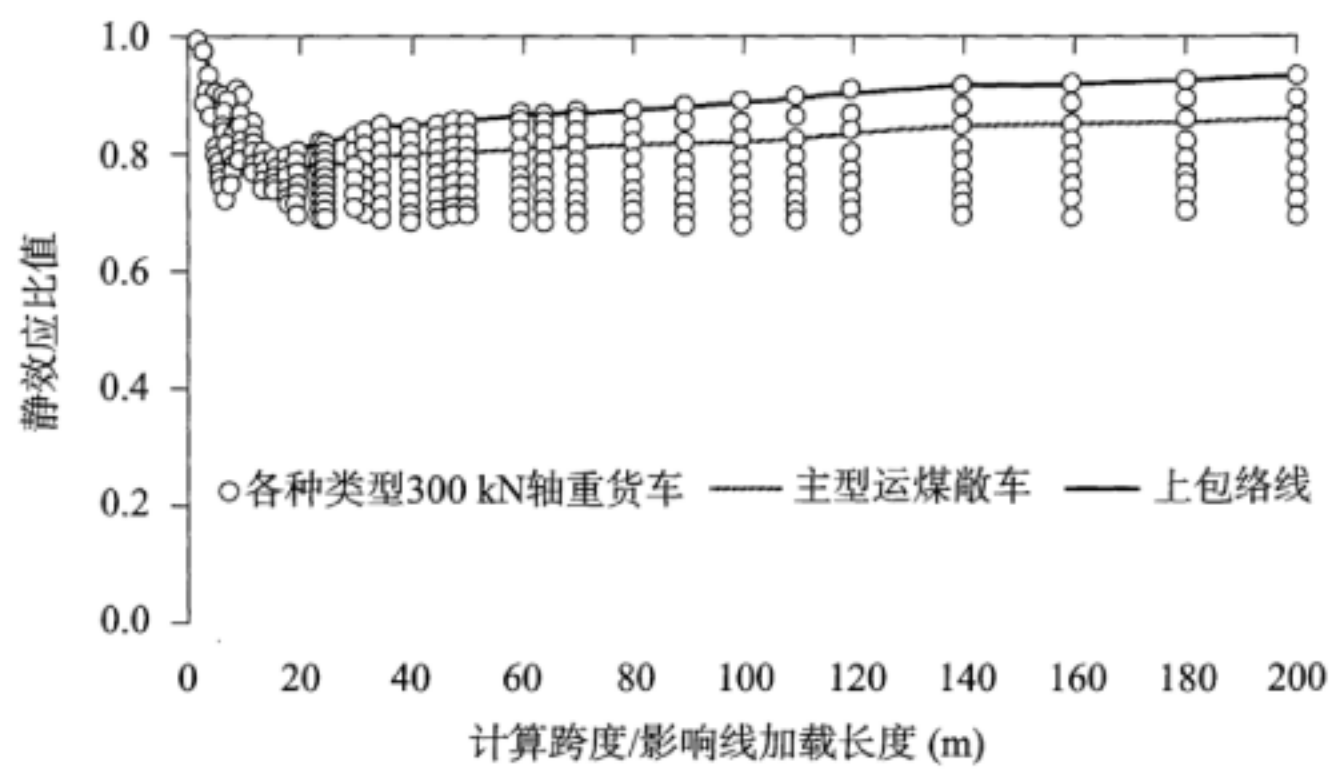


(b) 剪力效应

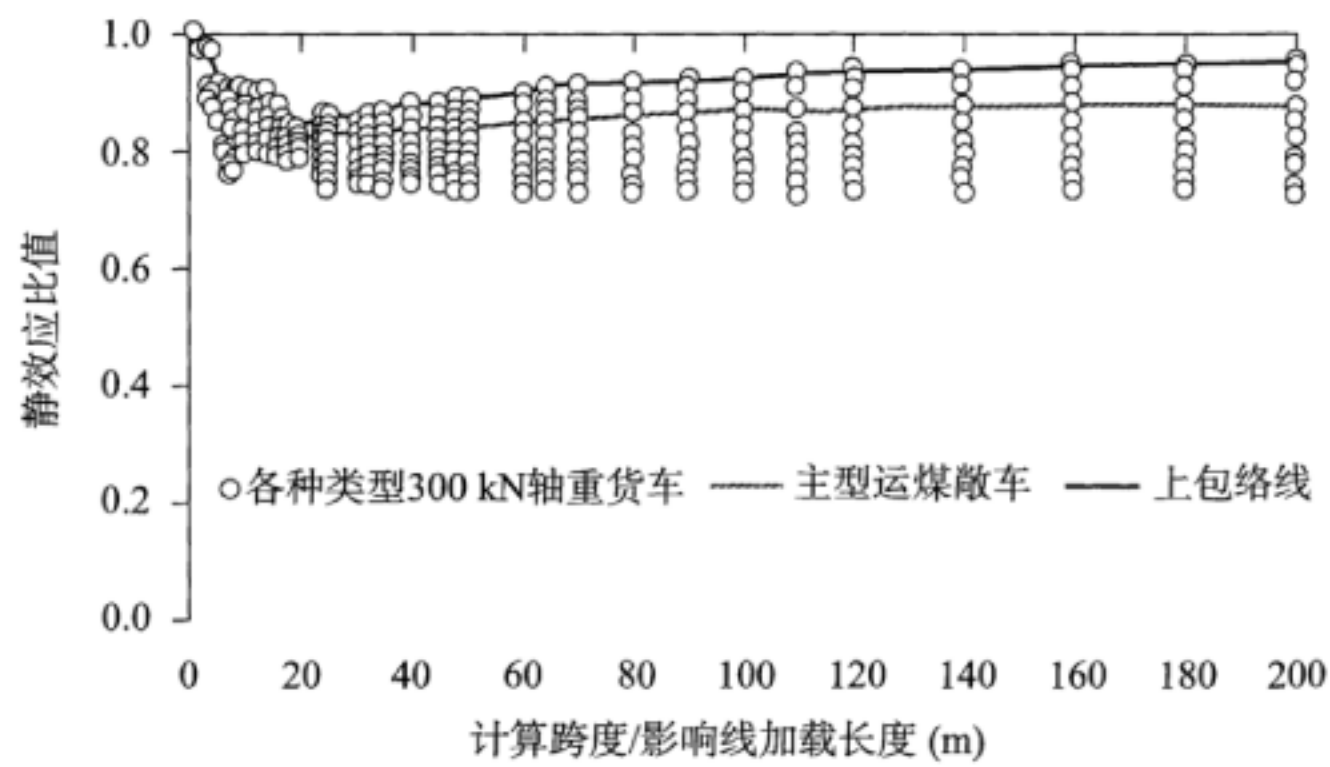
说明图 1.0.6—16 轴重 30 t 级新建货运铁路货车与设计荷载效应对比图

时结合我国大秦等重载铁路的运营实践,考虑减少运营期间的维护工作量等因素,桥涵设计荷载标准暂按 1.20 倍 ZH 荷载图式(2005)取用。该等级荷载标准可满足轴重 250 kN~270 kN、载重 80 t 级货车大量开行要求,可适应轴重 300 kN、载重 95 t~98 t 货车开行(说明图 1.0.6—17)。说明图 1.0.6—17 中轴重 300 kN 货车转向架固定轴距 1.86 m,车体长度范围在 12.0 m~16.0 m,邻轴距范围 1.5 m~3.0 m;图中轴重 300 kN 主型运煤敞车为 C₉₆(车体长度不

小于 13.5 m,转向架固定轴距 1.86 m,邻轴距不小于 2.20 m)。对于新建煤运通道开行轴重 300 kN 运煤货车,载重 95 t~98 t(车体长度不小于 13 m,转向架固定轴距 1.86 m,邻轴距不小于 1.5 m)时, z 可取 1.2。跨度 1 m~200 m 范围内桥涵结构平均活载储备系数为 1.21,最小为 1.00。本标准中规定对于开行轴重 300 kN 重载列车的新建货运铁路, z 取 1.30,考虑了必要的列车荷载安全储备,同时为货车轴重和载重的提升(载重至 100 t 级)预留合理的发展系数。



(a) 弯矩效应



(b) 剪力效应

说明图 1.0.6—17 轴重 300 kN 货车与晋中南煤运通道设计荷载效应对比图

6. 我国重载铁路设计列车荷载标准经济性分析

为研究采用不同列车荷载图式对铁路桥涵结构设计工程量、投资的影响,分别由铁三院、铁四院对典型工点桥涵结构(梁部、桥墩和基础)进行了试设计。设计列车荷载图式包括中—活载图式、1.0 倍 ZH 荷载图式(2005),1.0 倍、1.1 倍、1.2 倍和 1.3 倍 ZH 荷载图式(2010),荷载图式加载方式、竖向动力系数、横向摇摆力、离心力、纵向力(牵引力和制动力)等参数按规范《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1—2005 取用。对按照不同图式设计的桥涵结构进行了工程量的计算分析,得到了不同图式设计下桥涵结构的工程概算,并得到了以中—活载图式的设计结果为基准,按另外 5 种图式设计的工程概算增幅情况,见说明表 1.0.6—2。

说明表 1.0.6—2 不同类型桥涵全桥工程概算增幅

桥 型	单/ 双线	设计 单位	ZH 荷载 (2005) $z=1.0$	ZH 荷载图式(2010)			
				$z=1.00$	$z=1.10$	$z=1.20$	$z=1.30$
4 m 框架涵	单线	铁三院	0.0%	0.0%	0.7%	4.1%	4.4%
8 m 框构桥	单线	铁三院	0.0%	0.0%	0.3%	1.4%	1.7%
	双线	铁四院	0.0%	1.9%	3.6%	4.1%	4.5%
2-32 m 简支 T 梁+ 1-(40+64+40)m 连续箱梁+3-32 m 简支 T 梁	单线	铁三院	0.0%	0.0%	0.9%	5.8%	7.9%
32-32 m 简支 T 梁+ 1-(40+64+40)m 连续箱梁+1-32 m 简支 T 梁	双线	铁四院	0.7%	0.7%	1.0%	8.5%	8.9%
(60+100+60)m 连续梁桥	单线	铁三院	0.0%	0.0%	1.1%	2.2%	3.0%

从说明表 1.0.6—2 可以看出,ZH 荷载图式(2010)荷载系数 z 取 1.1、1.2、1.3 时,桥涵建造费用有不同程度的增加,但是由于

列车荷载在桥涵设计中仅为总荷载(自重、二期恒载、活载等荷载)的一部分,建造费用并不随着图式荷载效应的提高而同比例增加。当荷载系数 α 从 1.20 增加 1.30 时,全桥结构概算增幅最大为 2.1%。

1.0.7 重载铁路一般行车密度高,列车长,制动困难,与道路交叉时若设置平交道口会给铁路行车和道路通行带来很大的安全隐患,给国家和人民生命财产带来严重威胁,故根据《中华人民共和国铁路法》的有关规定,规定了重载铁路应按全封闭、全立交设计。

1.0.8 电力牵引具有牵引力大、启动加速快、制动性能好的特点,对增加列车质量、加大行车密度、提高行车速度、扩大运输能力具有很好的适应性,电力牵引不仅是铁路动力牵引的发展方向,同时也是建设环保型、资源节约型交通运输方式的需要。说明表 1.0.2—2 中我国在建和拟建的重载铁路均采用电力机车牵引,因此,规定了重载铁路应采用电力牵引。

3.1.1 重载铁路包括土建工程、牵引供电、列车运行控制、运营调度等不同的子系统,各子系统技术指标、性能参数相互依存、相互制约,系统内部各种关系非常复杂。因此,重载铁路设计在对项目需求、功能定位、主要技术方案、主要技术标准等进行深入研究的基础上,从规划开始就要统筹考虑不同功能子系统的技术性能指标以及相互关系,统一规划、整体构思、系统设计,确定科学合理的总体设计原则,以总体设计统筹专业设计,指导项目设计。

3.1.3 当重载铁路集疏运量来自铁路网时,要统筹考虑本线同相邻路网干线通路的衔接、运输组织和输送能力的匹配,合理确定建设方案。同时,设计轴重、牵引质量、到发线有效长度等技术标准也要与既有路网相协调,达到工程经济,运输组织合理,车流顺畅,运输效率高,能力均衡的效果。

3.1.4 列车牵引质量、速度、密度三者之间存在着密切的内在联系,既相互制约,又相互促进。三者的合理匹配,对于提高运输能力、控制工程投资关系重大。国外重载铁路一般都是专线运输,普

遍采用大轴重、大载重量、中速度、低密度、固定车底循环的运输模式,主要依托高新技术的优化组合,设备有充分的维护时间,运输组织比较简单。我国煤运通道,如大秦铁路,其货流的来源与去向的多样性、车流组织的复杂性、车流强度和密度都远超国外重载线路,在保证一定水平载重量基础上适当增加密度、提高速度,投资少,效益高,安全性好,已经实现了年运量 400 Mt。因此,重载铁路一定要考虑国情、路情、运输需求等合理匹配牵引质量、速度和密度。

3.1.5 本条文是参照《铁路专用线接轨管理办法》(铁总运〔2015〕350 号)中“大宗货物专用线一般应具备整列装卸和直通运输的技术条件”和“专用线宜直通厂(矿)区”的要求制定的。

条文中规定“直通运输、整列到发”“按行车作业办理”是为了减少专用线调车作业,加快机车车辆周转,提高运输效率和效益。

3.1.6 关于重载铁路维修设计原则

(1)重载铁路无旅客列车运行时,可以通过运输组织的调整,在特定时期、特定时间段内安排各专业集中维修(即采用集中维修方式),以利于提高作业效率,集约使用人员、机具,减少维修设施配备,节省工程投资。

(2)重载铁路轴重大、牵引质量大、运量大、线路负荷重,因而其基础设施的维修工作需要高质量和快速的完成,减少维修作业对运营的干扰。因此,为提高作业效率和维修质量,规定了重载铁路应采用大型养路机械进行维修作业。

(3)为充分利用既有维修机构的人员和设施,减少重复投资,规定了维修机构应结合路网布局统筹设置。

3.1.7 关于重载铁路选线设计原则

1 重载铁路工程选线符合铁路网总体规划。经国务院批准的《中长期铁路网规划》是铁路选线的基本框架,铁路选线应服从国家战略需要,服从国民经济发展的需要,从运输结构合理出发,考虑铁路与公路、水运、空运、管道等运输方式的合理衔接和协调

发展。

重载铁路工程选线与城市总体规划、其他交通方式、农田水利和其他工程建设相协调,做到布局合理。与地方规划有机结合,可以避免互相冲突或干扰,为地方规划与发展预留良好的建设条件;铁路选线要充分利用既有交通走廊,以减少对城市分割,节约土地资源。

2 重载铁路的运量主要为煤炭等大宗货物,线路走向和车站设置要尽量靠近大宗货物的集散地,根据大宗货物分布合理确定车站数量和站位,这样能够尽量减少货物的倒运和短途运输,有利于减少物流成本,更好的发挥重载铁路的作用。

3 选线要绕避环境敏感区,包括自然保护区、风景名胜区、饮用水源保护区、国家重点文物保护单位等;难以绕避环境敏感区时,要采取适宜的减缓不利影响的工程措施;通过城市或居民集中地区时,采用适宜的降噪减振措施,满足国家环境保护标准和要求。路基边坡采用绿色植物与工程相结合的防护措施,并兼顾美观与环保、水保等要求。

重载铁路因装载散装货物存在粉尘污染,列车载重大、车列长、轴重大而导致噪声、振动影响大,故设计更应注意保护生态环境。

4 考虑到各区域地质条件差异较大,无法做到完全绕避各类不良地质,在尽量绕避各类不良地质体基础上,对于难以绕避的不良地质体应在详细地质勘察的基础上做好工程整治措施,确保运营安全。

5 铁路选线根据确定的经济据点和接轨点,区间线路走向力求短、顺、直,以缩短线路长度,节省工程投资。要统筹考虑桥梁、隧道、路基工点长度,优化线路平、纵断面,做好工程方案比较,合理确定工程类型。路基工程要避免高填、深挖和长路堑,特殊岩土、不良地质区段应严格控制路基填挖高度。

3.1.8 关于改建铁路设计

1 利用满足运营要求的既有建筑物和设备,是为了节约投

资,提高经济效益。

2 改建既有线是在正常运营条件下进行施工的,施工必然干扰运营,同时,为了保证运营安全,在运营线上施工不能按照一般的施工程序进行,以免运营与施工相互干扰。因此,为保证运营与施工两方面的效率和安全,设计方案应减少运营与施工的干扰,同时进行指导性施工过渡设计。

3 既有线改建时,按照设计荷载标准对路基、桥涵、隧道、轨道等基础设施进行改造,可能引起较大改建工程。机车车辆类型确定后,根据所采用的机车车辆荷载谱及实测的相关参数进行相应检算,既能满足运输需求,又可以减少土建工程。故规定了改建铁路可根据机车车辆所采用的荷载及实测的相关参数对路基、桥涵、隧道、轨道等设施进行检算,采取相应加强措施,以减少改建工程。

3.2.1 主要技术标准除对设计线路的工程造价、运输能力、运输效率、运行安全和经济效益有直接影响外,互相之间也存在密切联系,在设计中应综合考虑,并经过技术经济比选确定,以保证技术先进、经济合理、标准间协调。由于设计轴重对设计标准影响较大,是确定有关技术参数的基础,因此,将设计轴重及荷载系数列入了主要技术标准中。

3.2.2 重载铁路往往重轻车方向明显,由于重车方向较轻车方向对线下工程和平纵断面标准要求高,轻车方向采用相对重车方向较低的技术标准,既能满足运输需要,又能节省大量工程投资。

3.2.3 设计轴重的选择主要考虑以下因素:

(1)大宗货物品类

当大宗货物为密度较大的货物时,货车单位长度装载质量大,宜采用较大的轴重。轴重加大后,在到发线有效长度不变的情况下,可以因提高牵引质量而提高输送能力,或者因减少列车对数而节省运输成本、提高运输效益;在牵引质量不变的情况下,轴重加大可以缩短列车长度、减少到发线有效长度,节省工程投资;轴重

加大可以减少运用车辆数,节省车辆购置和维护费用。

当大宗货物为密度较小的货物时,受车辆容积控制,货车单位长度装载质量小,宜采用较小的轴重。

(2)大宗货物流向和运输组织方案

当大宗货物具有稳定的货源和固定的流向,且自成体系时,便于在本线开行大宗货物直达列车,可采用较大的轴重。

(3)相邻线条件

若大宗货物通过路网衔接干线集疏运时,需要考虑相邻线轴重能否匹配,设计轴重选择需要结合相邻路网统筹考虑。

(4)工程经济性

轴重的选择还应考虑采用较大轴重增加的工程投资和取得的经济效益进行综合分析,合理确定设计轴重。

综上分析,设计轴重应根据大宗货物品类、大宗货物流向和运输组织方案、相邻线条件、工程经济性等因素经技术经济比选确定。

3.2.4 修建双线或者预留双线的临界运量,可根据单线铁路的最大输送能力确定。单线输送能力计算见说明表 3.2.4—1。

说明表 3.2.4—1 10 000 t 与 20 000 t 牵引质量线路输送能力计算

站间距离	平图通过能力(对)		输送能力(Mt)	
	10 000 t	20 000 t	10 000 t	20 000 t
10 km	32.0	28.0	66.5	117.0
15 km	27.0	24.0	56.0	100.0
20 km	23.0	21.0	48.0	87.5
25 km	20.5	18.5	42.5	78.0
30 km	18.0	16.5	38.0	71.0

- 注:1 通过能力计算时,采用平直坡度。
2 起停附加时分 10 000 t 列车按 5 min、3 min,20 000 t 列车按 7 min、5 min,
 $\tau_{不}$ 、 $\tau_{会}$ 按 10 000 t 列车 7 min、3 min,20 000 t 列车 9 min、3 min。
3 $T_{窗}=90$ min,通过能力储备系数按 1.2。
4 10 000 t、20 000 t 单列(采用 C₈₀)年输送能力分别按 2.5 Mt、5.0 Mt。

单线重载铁路输送能力受牵引质量、车站分布、限制坡度、机车类型等影响较大,计算分析表明,提高列车牵引质量对增加单线线路输送能力的效果非常明显,以站间距 15 km 为例,牵引质量为 10 000 t 时,线路输送能力为 56 Mt,牵引质量为 20 000 t 时,线路输送能力达到 100 Mt。但牵引质量的选择,特别是牵引质量采用 20 000 t 需考虑以下多种因素:第一,由于单线线路需要会让作业,列车将需要进行频繁的起停,随着列车牵引质量提高,列车起停附加时分增加,车站作业管理难度也加大。第二,由于我国铁路服务属性特点,一般还需承担沿线客货运量运输,即开行一定数量旅客列车和摘挂货物列车,必然影响可开行的大列对数,采用牵引质量 20 000 t 对线路输送能力影响较采用 10 000 t 牵引质量更大。第三,根据目前我国机车车辆的参数,当列车牵引质量达到 20 000 t 时,车站到发线有效长度将达到 2 800 m,单线站间有效的区间距离将会缩短,区间运行时间比例将会缩短,列车旅行速度大大减小,若站间距离增大,则运输能力又会相应减小。第四,当列车牵引质量达到 20 000 t 时,对限制坡度要求更高,车站站坪长度也大幅增加,在地形条件困难地区,站址选择困难,工程投资也大幅增加。第五,相邻线牵引质量小于 20 000 t 时,还要增加组合、分解作业并配套相关设施。所以,单线铁路牵引质量选用 10 000 t 还是 20 000 t,不能仅仅考虑运输需求,需要综合考虑上述因素后经技术经济比较确定。

国内外重载铁路牵引质量、运量统计详见说明表 3.2.4—2。

说明表 3.2.4—2 国内外重载铁路牵引质量、运量统计

顺号	线 名	正线数目	牵引质量(t)	运量(Mt)
1	大秦线	双线	20 000	400
2	朔黄线	双线	20 000	360
3	山西中南部铁路	双线	10 000	170
4	张唐铁路	双线	10 000	170

续说明表 3.2.4—2

顺号	线 名	正线数目	牵引质量(t)	运量(Mt)
5	准朔线	单线	10 000	52.60
6	北同蒲四线	双线	10 000	69
7	美国柏林顿北方铁路怀俄明煤矿线	双线	13 150	45~91
8	加拿大太平洋铁路卡尔加里— 温哥华线	双线	13 340	37~65
9	澳大利亚哈默斯利铁矿线	单线,预留双线	26 500	64
10	澳大利亚纽曼山铁矿线	单线	17 150	50
11	瑞典基吕纳—斯瓦帕瓦拉— 纳尔维克港线	单线	6 170	28
12	南非赛申—赛尔达尼亚线	单线	21 860	20

综合分析,单线重载铁路输送能力受牵引质量、车站分布、限制坡度、机车类型等影响较大,需结合上述技术标准的选择计算确定。故本条文未对单双线临界运量做出具体规定,正线数目需要结合上述技术标准的选择,根据项目功能定位、运输需求、工程条件等比选确定。近期年运量大于单线输送能力时,应一次修建双线;近期年运量小于单线输送能力,远期年运量大于单线输送能力时,宜按照双线设计,分期实施;远期年运量虽未达到单线输送能力,但按照远景年输送能力大于单线输送能力时,可预留双线条件。

3.2.7 牵引质量与机车类型、限制坡度、到发线有效长度等主要技术标准密切相关,直接影响铁路输送能力,并对工程投资、运营成本、运输效率等技术经济指标有很大影响。影响牵引质量的主要因素有:

1. 运输需求

运量大的铁路应采用较大的牵引质量,以减少列车对数,提高运输能力。

(1)单线铁路输送能力见说明表 3.2.4—1。

(2)双线铁路列车按照追踪运行,除必要的技术作业外,列车不必进行频繁的起停车作业。参考大秦铁路目前的最小追踪间隔时间,20 000 t 列车为 15 min;单元和组合 10 000 t 列车为12 min,如进一步提高列车运行速度、优化机车操控,最小追踪间隔时间有可能压缩至 20 000 t 列车为 12 min;单元和组合 10 000 t 列车为 10 min。根据以上追踪间隔的条件,在不考虑旅客列车和摘挂等其他列车运行条件下,计算线路的输送能力见说明表 3.2.7—1。

说明表 3.2.7—1 不同牵引质量对应的年输送能力

项 目 \ 牵引质量	5 000 t	10 000 t	20 000 t
追踪间隔(min)	7	10	12
单列年输送能力(Mt)(C ₇₀ /C ₈₀)	1.19/1.25	2.39/2.50	4.78/5.00
维修天窗(min)	180	180	180
平图能力(对)	180	126	105
线路使用能力(对)	153	107	89
线路输送能力(Mt)(C ₇₀ /C ₈₀)	182/190	255/265	425/445

由上表可知,牵引质量 5 000 t 线路年输送能力可以达到 180 Mt;牵引质量采用 10 000 t 线路年输送能力可以达到 250 Mt,牵引质量采用 20 000 t 线路年输送能力可以达到 400 Mt。

2. 邻接线路牵引质量

重载铁路与既有路网衔接时,其牵引质量要与邻接线路牵引质量相协调,实现运输组织和运输能力的匹配,达到工程经济合理,运输组织顺畅,运输成本低,运输效率高,能力均衡的目标。

3.2.8 关于到发线有效长度计算

(1)机车车辆类型

我国重载运输主型机车主要采用 HXD1、HXD2、HXD3、HXD1B、HXD2B、HXD3B 及 SS₄,其中 HXD1 型机车长度 35.2 m,

HXD2 型机车 38.5 m, HXD3 型机车 20.9 m, HXD1B、HXD2B、HXD3B 机车长度均为 23.1 m, SS4 型机车长度 33.0 m。

我国主型货车相关参数见说明表 3.2.8。

说明表 3.2.8 我国主型货车相关参数

货车型号	标记载重(t)	自重(t)	车辆全长(m)	每延米重量(t)
C62A、C62AK	60	21.7	13.2	6.19
C62B、C62BK	60	22.3	13.2	6.23
C63、C63A	61	22.5	12.1	6.90
C64K	61	23.0	13.2	6.33
C70	70	23.8	14.3	6.56
C70E	70	24.0	14.3	6.57
C80、C80B	80	20	12.0	8.33

注：表中数据参考《铁路技术管理规程》(TG/01—2014)。

(2)安全停车附加距离

根据大秦线运营经验,万吨及以上重载列车安全停车附加距离按照列车长度的 10%取值。

(3)到发线有效长度计算

1)牵引质量 20 000 t,车辆采用 C80,机车采用 HXD2 双机、编组采用 200 辆:

到发线有效长度=(12×200+2×38.5)×1.1=2 724.7 m。

取整后可采用 2 800 m。

2)牵引质量 10 000 t:

HXD2 机车+C80 型货车(100 辆):(38.5+12×100)×1.1=1 362.4 m

HXD2 机车+C70 型货车(106 辆):(38.5+14.3×106)×1.1=1 615.4 m

HXD2 机车+C63 型货车(120 辆):(38.5+12.1×120)×1.1=1 373.4 m

SS₄ 机车 + C₆₃ 型货车 (60 辆) + SS₄ 机车 + C₆₃ 型货车 (60 辆): $(2 \times 33.0 + 12.1 \times 120) \times 1.1 = 1\,663.2\text{ m}$ 。

综合考虑并取整后可采用 1 700 m。

(4) 与铁路网衔接

与铁路网衔接的重载铁路,考虑到重载列车需要结合相邻线的牵引质量进行组合和分解,到发线有效长度尚需与衔接线路的货物列车到发线有效长度相协调,以便减少换重作业和停留时间,减少货物在途时间和相关费用。

3.3.1 本条规定是为了确保重载铁路各系统间相互协调。

(1)重载铁路系统按照段落可分为点(车站)和线(区间);按照作业性质可划分为集、疏、运系统;按照专业设施可划分为土建、牵引供电、列车运行控制、运营调度等子系统。重载铁路各个子系统间能力协调一致、技术标准相互匹配,才能够形成重载运输的综合能力,保证运输顺畅,取得节省工程投资、提高运输效率等良好的效果。

(2)重载铁路接口设计系统优化是指:

1)土建工程之间设计的协调。即注重路基、桥涵及隧道等土建工程各结构物的合理衔接,并避免频繁过渡,使各结构物之间刚度匹配,减少因线路不平顺、刚度不匹配造成的线路养护维修工作量。

2)线路、站场、路基、桥涵、隧道、轨道、建筑及环保等土建工程与站后工程之间接口设计的协调。如接地系统、电缆槽、站后过轨、预埋件、接触网立柱基础、声屏障基础等系统设计;站后管线上下桥梁,站后设备的设置与行洪、规划立交的系统设计;上立交与运营安全防护系统设计,下立交与施工安全、防撞、限高的系统设计;桥梁与栏杆、声屏障的系统设计;综合管线集约布置的系统设计;封闭式路堑、排水与接触网立柱设置的系统设计;无人看守的构件、设备与防盗的系统设计等。

3)各设计阶段之间、分段设计的项目各段之间、项目与外部相关工程之间以及与相邻铁路之间的接口协调。

3.3.4 为避免远期运量增长后,因钢轨高度、轨枕及道床厚度增加,侵入桥梁、隧道和路基等建筑物的限界,导致改建工程施工困难和运营干扰大,故规定用于计算路基宽度以及确定桥隧和其他永久性建筑物净空的轨道高度应按远期运量和运营条件确定。

3.3.7 机车同步操控系统能够实现列车动力分配和制动操作最佳,提高牵引能力(增加列车长度),减少列车内部受力;实现列车加速和减速更快,提高线路通过能力,减少列车间隔;实现列车制动缓解动作更快,减少停车制动距离;特别是减少列车运行的纵向冲动,减少车钩力,缩短列车再充风时间,保证列车再制动能力,保证长大列车安全运行。根据大秦线的运营实践经验,本条文规定了重载组合列车采用机车同步操控系统。无线的机车同步操控系统一般由车载通信单元、地面应用节点等终端设备和 GSM-R 网络构成。

3.3.8 随着重载列车牵引质量的增加,列车长度越来越长,制动延迟时间也变得越来越长。为了减少列车的制动延迟时间可以采用可控列尾技术。普通列尾装置是适应列车取消守车和运转车长后,保证列车运行安全的行车安全设置,具有标识列车尾部标志、时时监测列车尾部风压、实现列车尾部排风制动、尾部标识检查风压、主管风压不正常自动报警等功能;可控列尾装置是通过可控列尾装置主机,根据本务机车可控列尾控制盒,通过无线通信方式发出的控制命令,在列车尾部对列车风管进行定量排风减压,从而达到协助本务机车同步制动的目的,从头尾两个方向对整个列车进行减压制动,理论上可以将列车的制动延迟时间减少一半,这样就会大大提高列车的制动效能。

为了验证可控列尾技术对列车制动效能的影响,曾在铁科院环行铁道试验线与机辆所制动试验室进行了模拟万吨列车的制动试验。试验通过记录无可控列尾装置的列车与使用可控列尾装置的列车减压制动的有关数据来进行制动效果的对比,见说明表 3.3.8。

说明表 3.3.8 可控列尾装置在列车制动所起的作用分析

分析项目	检测项目					
	列车减压 50 kPa 头部 车辆减压 时间(s)	列车头部 减压速率 (kPa/s)	从机车减压 开始到尾部 车辆减压 时间(s)	从机车开始 减压到尾部 车辆出闸 时间(s)	尾部车辆减 压 50 kPa 时间(s)	列车尾部 减压速率 (kPa/s)
不使用 可控列尾	3.27	15.3	6.25	6.94	6.11	8.2
使用 可控列尾	3.35	14.9	1.19	2.28	3.58	13.9
变化时间	-0.08	0.4	5.06	4.66	2.53	-5.7

试验结果分析如下：

其一，使用可控列尾装置后，列车头部的减压时间从 3.27 s 到 3.35 s 基本上没有变化。相应减压速率从 15.3 kPa/s 到 14.9 kPa/s 也基本没有变化。因此，说明可控列尾装置不影响列车头部的减压控制。

其二，使用可控列尾装置后，机车开始减压到尾部车辆减压开始的时间从 6.25 s 减少到 1.19 s。相应的车辆制动机的出闸时间也从 6.94 s 减少到 2.28 s。因此，说明使用可控列尾装置后，制动波和车辆制动机的出闸是自前、后两端同时向列车中部传播，大大加快列车的制动动作速度，有效地提高了整个列车的制动效能。

其三，使用可控列尾装置后，提高了列车尾部车辆的制动减压速率，从 8.2 kPa/s 提高到 13.9 kPa/s，基本上与列车头部车辆的减压速率(14.9 kPa/s~15.3 kPa/s)相同。因此，由于满足车辆制动机可靠常用制动的减压速率，从而保证了列车从尾部发起制动的可靠性。

重载列车牵引质量大于 10 000 t 时，列车长度较长，为提高列车的制动性能，增加列车运行的安全性，结合大秦线的运营实践，规定了配备可控列尾装置。

3.3.9 列车运行时,在区间信号机前会出现临时停车的情况,由于重载列车牵引质量大、列车长度较长、列车启动较慢、速度较低,为避免列车由于动能不足而落入无电区造成列车无法启动,影响正常行车,规定了接触网电分相的设置应满足列车在区间信号机前停车后正常启动并顺利通过电分相的要求。

在长大坡道及进出站等区段列车处于加速状态时,列车速度较低,如设置电分相会进一步影响到列车的速度,从而影响列车的追踪间隔,影响线路的通过能力,因而尽量避免在这些地点设置电分相。

3.3.10 重载铁路一般不采用综合接地。在长大隧道和隧道群地段可设置各专业共用的贯通地线,贯通地线利用隧道的结构钢筋接地。桥梁地段可利用桥梁结构物中的非预应力结构钢筋作为自然接地体;当没有结构钢筋可以利用时,可增加专用的接地钢筋。综上分析,接地设计充分利用站前工程作为自然接地体,可以减少设置专用接地设施,减少工程投资,也可以提高接地系统的稳定性。

4.0.1 重载列车编组形式及编组辆数。

(1)单元列车模式。对于运量充足,品种单一,去向固定,装车地、卸车地均具有较强装卸车能力,且沿途所经线路牵引质量统一的车流应优先组织重载单元列车,把一定编成辆数的同类型货车固定组成一个运输“单元”,在装、卸站间往返循环运行,中途列车不拆散,不进行改编作业,车底固定回空,以减少技术站作业时间,加速机车车辆周转,缩短货物送达时间。

在路网规模大、行车密度小、货运比重大、运能较富裕的美国、加拿大、澳大利亚等国,多组织开行这种从装车地到卸车地之间的重载单元列车,通过货物集中发送、快速装卸、加速机车车辆周转来降低成本,从而获得较大的效益,提高了与其他运输方式的竞争能力。

(2)组合列车模式。对于运量虽然充足,但装车地、卸车地不

具备重载列车整列装卸车条件,沿途所经线路牵引质量不统一的车流可组织由两列或两列以上同方向运行的列车首尾相接、合并而成的重载组合列车,机车分别挂于各自的列车首部,由最前方列车的机车担任主控机车,成组运行至前方某一技术站或终到站后分解。开行组合列车是在线路通过能力紧张的区段,利用一条运行线行驶两列或两列以上列车的一种行之有效的扩大运输能力的方式。

在前苏联,由于其铁路是客货混用,列车数量多、行车密度大,运能与运量的矛盾比较突出,为扩大运输能力、挖掘现有设备潜力,多组织开行组合式重载列车。

(3)单元列车与组合列车混合运行的模式。为了满足运输及装卸要求,提高运输效率,我国重载铁路多采用单元列车与组合列车混合运行的模式,按照牵引质量和货车类型的不同,主要列车编组形式及编组辆数如下:

1)单元万吨列车

HXD 机车(1台)+C₈₀ 货车(100辆)+普通(可控)列尾

HXD 机车(1台)+C₇₀ 货车(106辆)+普通(可控)列尾

2)组合万吨列车

HXD 或 SS₄ 机车(1台)+C₆₃ 货车(60辆)/C₇₀ 货车(53辆)+HXD 或 SS₄ 机车(1台)+C₆₃ 货车(60辆)/C₇₀ 货车(53辆)+普通列尾

3)2万吨组合列车

HXD 机车(1台)+C₈₀ 货车(100辆)+HXD 机车(1台)+C₈₀ 货车(100辆)+可控列尾

4)1.5万吨组合列车

大秦线曾开行 1.5 万吨组合列车,其编组形式如下:

HXD 机车(1台)+C₇₀ 货车(106辆)+HXD 或 SS₄ 机车(1台)+C₇₀ 货车(53辆)+可控列尾

HXD 机车(1台)+C₈₀ 货车(100辆)+HXD 或 SS₄ 机车(1

台)+C70 货车(53 辆)+可控列尾

以上所列列车编组形式及编组辆数,仅是目前我国重载铁路采用的主要形式,具体项目中可结合采用的机车车辆类型综合确定。

4.0.2 重载铁路具有货物品类单一,货物来源与去向相对固定等特点,组织自装车地至卸车地的重载始发直达列车适合重载铁路的货流特点,可以减少列车在沿途的技术作业,减轻沿线车站的作业压力,加速机车车辆周转,提高线路的运输效率。因此,重载铁路要尽量组织自装车地至卸车地的直达列车。

4.0.3 车站分布与铁路的通过能力、工程造价、运营效益及沿线交通运输有密切的关系。

1. 单线铁路车站分布

单线铁路站间距离直接影响线路的通过能力,车站间距越小,线路通过能力越大;反之,车站间距越大,线路的通过能力越小。采用较小的站间距将增加车站数量及工程投资,加大运营成本,并影响列车运营速度。

以平直坡道为例,单线重载铁路不同牵引质量、不同站间距线路的输送能力见说明表 4.0.3—1。

说明表 4.0.3—1 不同牵引质量、不同站间距线路输送能力(Mt)

站间距 牵引质量	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km
10 000 t	66.5	56	48	42.5	38
20 000 t	117	100	87.5	78	71

单线重载铁路开行 10 000 t 列车,当站间距为 15 km 时线路输送能力约为 56 Mt,随着车站距离的增加,线路的输送能力逐渐降低。单线铁路在平直坡道上采用 HXD1 单机牵引 10 000 t 列车起停车距离为 5 786 m,按照列车以大于计算速度(65 km/h)运行距离占区间 60%计算,在平直坡道上采用 HXD1 单机牵引 10 000 t 列车计算区间长度为 14 465 m。可见,考虑经济及合理性,单线

10 000 t 条件下最短站间距宜选择 15 km。

单线重载铁路开行 20 000 t 列车,与开行 10 000 t 列车相比,由于站坪长度增加,为了保证列车达速区段(≥ 65 km/h)占区间距离的 60%,单线 20 000 t 条件下最短站间距宜选择 15 km~20 km,线路输送能力为 85 Mt 以上。由于采用 20 000 t 牵引质量对工程和设备要求较高,工程实施难度相应增加,需经技术经济比较后确定。

对于技术作业站相邻区间,为减少技术作业对通过能力的影响,使技术作业站相邻区间的通过能力不低于要求的能力,技术作业站相邻区间距离可适当缩短。由于影响车站分布的因素较多,具体项目中,站间距的确定应根据运量需求,运输组织方案,地形条件等因素研究确定。

2. 双线铁路车站分布

双线铁路通常采用自动闭塞,双线铁路车站分布对通过能力及运输组织的影响主要体现在线路维修天窗设置、运营养护维修、列车救援以及线路均衡运输的要求等方面。

(1) 维修天窗对车站分布的影响

维修天窗最基本的类型有两种:V 型和垂直型。天窗占用运行图的时间($t_{\text{天窗}}$)可用下式表示:

$$t_{\text{天窗}} = t_{\text{封锁}} + t_{\text{辅助}} + t_{\text{窗外}} \quad (\text{说明 4.0.3—1})$$

式中 $t_{\text{封锁}}$ ——施工封锁时间(min),即设备检修需要的工作时间,根据维修量的大小、难易程度确定;

$t_{\text{辅助}}$ ——施工封锁前后辅助时间(min),即施工封锁前后,运输与供电、工务等部门以及各部门内部进行一系列联系、确认、发布、传诵命令等工作需要的时间;

$t_{\text{窗外}}$ ——天窗外损失时间(min),即施工封锁时间及其前后辅助时间以外,由于不能铺画或少铺画列车运行线而损失的时间。对于 V 型天窗,在电气化区段,

$t_{\text{窗外}}$ 主要与供电臂的长度有关。一般供电臂越长,即该供电臂跨越的区间越长,在该供电臂下列车走行时间越长,天窗外损失时间就越大。对于垂直型天窗, $t_{\text{窗外}}$ 主要与区间运行时分、追踪间隔时间(I)、车站到发线数量等有关。

此外,为确保行车安全,列车在车站到、发时刻与区间封锁、开通时刻间也需要留有必要的间隔时间。

在组成 $t_{\text{天窗}}$ 的三项因素中, $t_{\text{封锁}}$ 、 $t_{\text{辅助}}$ 的大小都与实际维修作业时间及其办理相关手续时间的长短有关,需要根据实际工作确定。 $t_{\text{窗外}}$ 的大小在 V 型天窗条件下比较容易计算,而在垂直型天窗条件下计算比较复杂,分别说明如下。

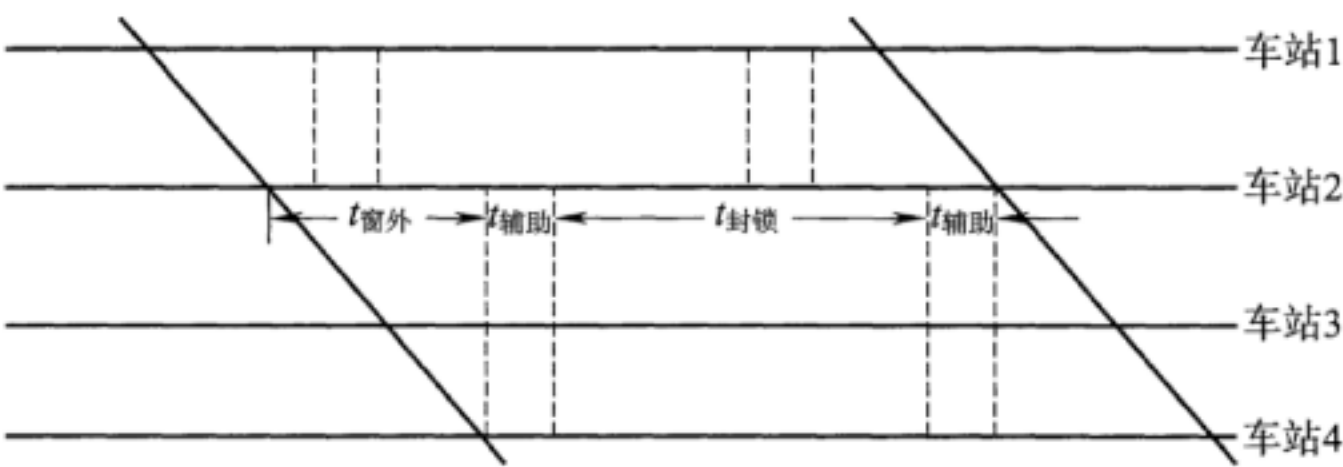
①V 型天窗

一般来说,在双线自动闭塞区段,如采用 V 型天窗,通过调整各供电臂的停电起止时刻,实现天窗前后运行的列车无需等待天窗(说明图 4.0.3), $t_{\text{窗外}}$ 可用下式表示:

$$t_{\text{窗外}} = t_{\text{max}} - I \qquad \text{(说明 4.0.3—2)}$$

式中 t_{max} ——一个供电臂所跨越区间纯运行时分之和最大值 (min);

I ——列车追踪间隔时分(min)。



说明图 4.0.3 V 型天窗占用运行图时间示意图

②垂直型天窗

许多电气化线路由于受设备条件的限制,以及对维修人员安

全的考虑,需开设垂直型天窗,或者在以 V 型天窗为主的条件下,辅以开设垂直型天窗。

重载铁路区段各区间运行时分($t_{\text{运}}^i$)一般都大于 I ,那么 $t_{\text{窗外}}$ 可简单用下式表示:

$$t_{\text{窗外}} = T_{\text{运}} + t_{\text{起停}} - (m_{\text{站}} - 1) \times I \quad (\text{说明 } 4.0.3-3)$$
$$T_{\text{运}} = \sum t_{\text{运}}^i$$

式中 $T_{\text{运}}$ ——货物列车区段全程纯运行时分(min);

$t_{\text{起停}}$ ——货物列车起、停车附加时分之和(min);

$m_{\text{站}}$ ——区段内该方向到发线数量,不包括区段两端车站。

重载铁路的运行区段中间站上下行均按照一条到发线设置时,天窗的损失时间就可以用下式表示:

$$t_{\text{窗外}} = T_{\text{运}} + t_{\text{起停}} - (n_{\text{站}} - 1) \times I \quad (\text{说明 } 4.0.3-4)$$

式中 $n_{\text{站}}$ ——区段内中间站的数量。

由以上分析可知,双线重载铁路区段内当中间站到发线上下行均按一条设置时,天窗的损失时间随着区段内中间站数量的增加而减小。

(2)运营养护维修对车站分布的影响

根据相关规定(详见 19 章维修设施条文),线路维修工区宜按站间设置,管辖正线线路延展长不宜超过 20 km,山区铁路管辖范围可适当缩短;大型养路机械的驻站与作业地段的距离不宜过长,一般不超过 25 km;接触网工区管辖距离宜为 40 km~60 km,单方向管辖距离不宜超过 30 km。

为满足养护维修的要求,双线铁路最大车站间距宜为 40 km~60 km。

(3)列车救援对车站分布的影响

站间距离过长,会延长救援列车到达出事地点的时间,耽误宝贵的救援时间,增加往返时间和维护人员的劳动强度。因此,适当缩短车站间距,可以保障列车快速救援。

(4)均衡运输对车站分布的影响

双线重载铁路车站除了集疏运及部分办理货运作业的车站外,其他车站主要为中间站。车站分布不均衡,会给运输组织造成困难,运行计划编制难度增加,同时运输调整的可行性较差,从而会造成运输波动性加大。这样,就会引起运输设备配置增加,主要包括装卸站规模、组合及分解站规模、装卸设备等固定设备以及机车、车辆等移动设备。因此,车站分布在满足运输需求和工程条件的前提下尽量均衡,以满足均衡运输的需要。

3. 既有重载铁路站间距

以大秦线为例,大秦线自 2005 年 2 亿吨扩能改造伊始,到 2009 年 4 亿吨扩能改造完成,其车站分布进行了多次调整。目前,大秦线共开放车站 23 个,其中沙城东、下庄、卢龙北、秦皇岛北场 4 站到发线有效长度为 1 050 m;大石庄、翠屏山、柳村南Ⅰ场 3 站到发线有效长度为 1 700 m;其余各站到发线有效长度均为 2 800 m。大秦线现状车站分布及到发线有效长度详见说明表 4.0.3—2。

说明表 4.0.3—2 大秦线现状车站分布及到发线有效长度

序号	车站名称	到发线有效长度(m)	车站中心里程	站间距离(km)	车站性质
1	湖东	2 800	K23+290	16.57	编组站
2	大同县	2 800	K39+860	46.38	中间站
3	阳原	2 800	K86+240	42.78	中间站
4	化稍营	2 800	K129+020	53.65	中间站
5	涿鹿	2 800	K182+670	35.6	中间站
6	沙城东	1 050	K218+260	18.75	中间站
7	北辛堡	2 800	K237+010	25.5	中间站
8	延庆	2 800	K262+510	45.18	中间站
9	下庄	1 050	K307+690	19.56	中间站
10	茶坞	2 800	K327+250	41.59	区段站

续说明表 4.0.3—2

序号	车站名称	到发线有效长度(m)	车站中心里程	站间距离(km)	车站性质
11	平谷	2 800	K368+840	18.50	中间站
12	大石庄	1 700	K387+340		中间站
13	蓟县西	2 800	K406+640	19.30	中间站
14	翠屏山	1 700	K417+960	11.32	中间站
15	玉田北	2 800	K440+840	22.88	中间站
16	遵化北	2 800	K476+770	35.93	中间站
17	迁西	2 800	K508+340	31.57	中间站
18	迁安北	2 800	K554+730	46.39	中间站
19	卢龙北	1 050	K568+900	14.17	中间站
20	后营	2 800	K621+150	52.25	中间站
21	秦皇岛北场	1 050	K635+930	14.78	中间站
22	柳村南 I	1 700	K643+440	7.51	中间站
23	柳村南 II	2 800	DK7+207	7.21	区段站

根据以上分析,单线重载铁路车站分布与货运量、运输组织及地形条件有关,工程设计中组织 10 000 t 列车时合理站间距离可为 15 km 左右,组织 20 000 t 列车时合理站间距离可为 15 km~20 km。双线重载铁路车站分布需结合货运需求和工程条件外,还应结合维修天窗的设置、养护维修、列车救援、线路均衡运输的要求等因素综合确定,一般情况下,最大站间距可为 40 km~60 km。

4.0.4 关于牵引计算原则

1 当重载列车采用机车同步操纵系统时,多台列车可以实现同步操作,故规定每台机车牵引力均取全值。

2 重载列车相比普通列车牵引质量大,编组辆数多,列车在制动时总风管的压力传播时间变长,在充风缓解时,由于列车长度较长,列车在副风缸的空气充风时间也将变长。因此,在牵引计算

时,应该按照列车编组中的连续车辆数计算列车的空走时间和缓解时间,以保证列车的运行安全。

3 可控列尾装置可实现在列车尾部对列车风管进行定量排风减压,从而达到协助本务机车同步制动的目的。列车配置可控列尾装置后,从头尾两个方向对整个列车进行减压制动,理论上可以将列车的制动延迟时间减少一半,可大大提高列车的制动效能,故做此规定。

为了验证可控列尾技术对列车制动效能的影响,曾在铁科院环行铁道试验线与机辆所制动试验室进行了模拟万吨列车的制动试验。试验通过记录无可控列尾装置的列车与使用可控列尾装置的列车减压制动的有关数据来进行制动效果的对比,见说明表 3.3.8。

4.0.5 关于重载铁路通过能力计算。

1. 单线重载铁路通过能力计算

单线铁路能力计算方法与一般线路无明显不同,但 $\tau_{\text{不}}$ 将会与普通列车有所差别。 $\tau_{\text{不}}$ 的计算公式如下:

$$\tau_{\text{不}} = 0.06 \times \frac{L_{\text{确}} + L_{\text{制}} + L_{\text{进}} + 0.5L_{\text{列}}}{V_{\text{进}}} + t_{\text{作业}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-1)$$

式中 $L_{\text{进}}$ ——进站信号机至车站中心线的距离(m);

$L_{\text{列}}$ ——列车长度(m);

$L_{\text{确}}$ ——司机确认进站信号显示状态时间内列车运行距离(m);

$L_{\text{制}}$ ——列车制动距离或由预告信号机至进站信号机的距离(m);

$V_{\text{进}}$ ——列车平均进站速度(km/h);

$t_{\text{作业}}$ ——办理作业时间(min)。

重载铁路车站 $\tau_{\text{不}}$ 与普通货物列车的 $\tau_{\text{不}}$ 主要区别在于列车长度和 $L_{\text{进}}$ 存在较大差别, $L_{\text{确}}$ 、 $V_{\text{进}}$ 基本相同。列车长度以万吨组合

列车为例,按照 1 660 m 计算, $L_{\text{进}}$ 按照 1 200 m 计算,普通货物列车列车长度按照 880 m、 $L_{\text{进}}$ 按照 800 m 计算, $V_{\text{进}}$ 均按照一般车站 12 号道岔限速 45 km/h 计算,则 10 000 t 列车 $\tau_{\text{不}}$ 将比普通货物列车长 63.2 s;同理 20 000 t 列车采用 12 号道岔时 $\tau_{\text{不}}$ 将比普通货物列车长 124.8 s,采用 18 号道岔时 $\tau_{\text{不}}$ 将比普通货物列车长 76.4 s。因此,一般情况下 10 000 t 列车 $\tau_{\text{不}}$ 比普通货物列车增加 1 min,20 000 t 列车 $\tau_{\text{不}}$ 比普通货物列车增加 1.5 min~2.5 min。

重载铁路车站进出站进路较长,列车牵引质量较大,考虑安全因素, $\tau_{\text{会}}$ 、 $t_{\text{起}}$ 、 $t_{\text{停}}$ 对比普通的货物列车可以适当增加 0.5 min~1 min。

2. 双线电气化铁路通过能力计算

(1) 列车追踪间隔

1) 列车追踪间隔

重载列车追踪间隔时间受牵引质量、列车编组方式、线路条件、车站布置形式、信号机分布等诸多条件控制。一般来说,列车追踪间隔时间(I)是由区间追踪间隔时间($I_{\text{追}}$)、车站出发追踪间隔时间($I_{\text{发}}$)、到站停车追踪间隔时间($I_{\text{到}}$)、车站通过追踪间隔时间($I_{\text{通}}$)四者的最大者决定的。

① $I_{\text{追}}$

在四显示自动闭塞区段内开行重载列车,前后两列车间的距离,必须保持四个闭塞分区,以使后行列车始终保持在绿灯下运行,不降低运行速度。同时,每两个闭塞分区的长度应大于列车制动距离的长度。列车区间追踪间隔时间可按下式计算:

$$I_{\text{追}} = 0.06 \times \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_{\text{列}}}{V_{\text{列}}}$$

(说明 4.0.5—2)

式中 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 ——一个闭塞分区长度(m);

$L_{\text{列}}$ ——列车长度(m);

$V_{\text{列}}$ ——列车平均运行速度(km/h)。

计算区间列车间隔时间的关键因素是闭塞分区的长度、列车长度和列车平均运行速度。一般情况下,检算应选在线路纵断面困难地段,如长大下坡道地段,在困难地段能满足要求时,则在其他地段就能满足要求。

② $I_{\text{发}}$ 、 $I_{\text{到}}$ 、 $I_{\text{通}}$

追踪列车同方向出发车站间隔时间($I_{\text{发}}$),是指自前一列车由车站起动出发时刻开始至由该站再发出另一同方向列车时止的最小间隔时间。按照绿灯和黄绿灯发车时出发间隔可分别按下式计算:

$$I_{\text{发}} = 0.06 \times \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_{\text{列}}}{V_{\text{列}}} + t_{\text{作业}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-3)$$

$$I_{\text{发}} = 0.06 \times \frac{L_1 + L_2 + L_{\text{列}}}{V_{\text{列}}} + t_{\text{作业}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-4)$$

一般重载线路多以货物运输为主,发车间隔可按黄灯发车考虑,列车同方向出发间隔时间可按下式计算:

$$I_{\text{发}} = 0.06 \times \frac{L_1 + L_{\text{列}}}{V_{\text{列}}} + t_{\text{作业}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-5)$$

式中 $t_{\text{作业}}$ ——车站值班员准备发车进路及司机确认信号时间(min)。

追踪列车同方向到达车站间隔时间($I_{\text{到}}$),是指自前一列车到达车站停车时起,至同方向后一列车到达车站停车时止的最小间隔时间。确定追踪列车同方向到达车站间隔时间时,应确保后行追踪列车不因站内未准备好接车进路而过早降低速度。为此,车站准备好进路和开放好进站信号的时刻,应不迟于追踪列车首部接近第二通过信号机的时刻,因此,列车同方向到达间隔时间可按下式计算:

$$I_{\text{到}} = 0.06 \times \frac{L_1 + L_2 + L_{\text{进}} + 0.5L_{\text{列}}}{V_{\text{列}}} + t_{\text{作业}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-6)$$

式中 $t_{\text{作业}}$ ——车站值班员办理列车到达进路时间(min);

$L_{\text{进}}$ ——列车进站时车站接车进路长度(m)。

追踪列车通过车站间隔时间($I_{\text{通}}$),是指自前一列车通过车站时起,至同方向后一列车通过该站时止的最小间隔时间。如果车站值班员对后续列车办理自动通过,那么追踪列车通过车站间隔时间的计算方法与追踪列车在区间运行间隔时间的计算方法相同。

如果车站值班员对后续列车通过人工办理通过,那么追踪列车通过车站间隔时间应在追踪列车在区间运行间隔时间的基础上,增加车站值班员办理后续列车通过作业的时间,因此,列车通过车站间隔时间可按下式计算:

$$I_{\text{通}} = 0.06 \times \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_{\text{列}}}{V_{\text{列}}} + t_{\text{作业}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-7)$$

式中 $t_{\text{作业}}$ ——车站值班员办理后续追踪列车通过车站的作业时间(min)。

确定列车车站间隔时间的关键因素是闭塞分区长度、列车长度、站型设置和列车平均运行速度。一般情况下,控制因素多在区段内较大编组站、区段站。

2)以大秦线为例,对 $I_{\text{通}}$ 、 $I_{\text{发}}$ 、 $I_{\text{到}}$ 、 $I_{\text{通}}$ 的计算进行说明

闭塞分区长度:闭塞分区长度的确定与线路闭塞方式、列车牵引质量、列车编组形式、列车制动性能、线路条件及是否安装可控列尾等因素密切相关。大秦线为四显示自动闭塞线路,列车通过两个闭塞分区满足列车由最高速度制动到 0。根据检算,在 12‰ 长大下坡道上,单机 10 000 t 和组合 20 000 t 列车的常用全制动距离基本控制在 1 600 m~2 000 m 之间。根据《列车牵引计算规程》TB/T 1407—1998 第 3.8.3 条:“计算固定信号机间的距离时,列车换算制动率取全值的 80%”,一个闭塞分区长度至少应控制在 1 000 m~1 250 m 之间。考虑 150 m 的安全距离,大秦线闭塞

分区长度不得小于 1 400 m。

列车平均运行速度:取 45 km/h。

列车长度:10 000 t 列车长度 1 257 m(单 HXD 牵引 102 辆 C₈₀ 型货车);20 000 t 列车长度 2 514 m(双 HXD 牵引 204 辆 C₈₀ 型货车)。

计算列车区间追踪间隔时间为:

$$10\ 000\ \text{t 列车: } I_{\text{追}} = 0.06 \times \frac{4 \times 1\ 400 + 1\ 257}{45} = 9.14(\text{min})$$

$$20\ 000\ \text{t 列车: } I_{\text{追}} = 0.06 \times \frac{4 \times 1\ 400 + 2\ 514}{45} = 10.82(\text{min})$$

考虑约 1 min 的安全富余时间,10 000 t 列车,区间追踪间隔时间理论上可以控制在 10 min 左右;20 000 t 列车,区间追踪间隔时间理论上可以控制在 12 min 左右。

大秦线一般中间车站均可实现 10 000 t 列车 10 min 追踪,20 000 t 列车 12 min 追踪,这与区间追踪间隔时间基本是匹配的。但湖东站由于受重车方向列车出发间隔的控制,车站间隔时间较长。在大秦线改造伊始,按既有信号、道岔设备条件下,湖东站 10 000 t 列车出发间隔时间,在黄灯下为 13 min 49 s,初步改造后为将近 12 min。20 000 t 列车出发间隔时间在初步改造后为近 15 min,均超过了区间运行时间间隔。究其原因主要是:湖东站各到发线上的信号起复示作用,最远的复示信号机到区间第一架通过信号机的距离比较长,大约有 4.085 km;此外,列车经过咽喉区道岔侧向限速 30 km/h(实际限速 25 km/h),也严重限制了列车出发时的速度。随着湖东站重车方向出发咽喉区侧向过岔速度提高到 45 km/h,调整湖东一大同重车方向信号机位置,在黄灯信号发车条件下,理论上分析,10 000 t 列车发车间隔时间可以缩短为 10 min,20 000 t 列车追踪间隔时间可以缩短为 12 min。

综上所述,重载列车追踪间隔时间受牵引质量、列车编组方式、线路条件、车站布置形式、信号机分布等诸多条件控制,不宜制

定统一的时间标准,设计中应结合运量需求及线路具体技术条件,通过牵引计算模拟分析产生,并适当留有余量。列车追踪间隔直接影响区间通过能力,从而决定线路的通过能力是否能够满足预测运量的要求。因此,线路的工程方案和设备类型应满足列车追踪间隔的要求,当工程方案和设备类型不能满足预测运量所要求的列车追踪间隔时,需要进行必要的调整以满足列车追踪间隔要求。

(2)通过能力计算

《铁路主要技术政策》规定:“列车运行图要求充分利用通过能力,经济合理地运用机车车辆和安排施工、维修天窗。”根据这项规定,我国繁忙干线在运行图上都留有线路养护维修作业时间,并以天窗的形式固定下来。所以,在计算线路通过能力(即平行运行图通过能力 N)时,需要将天窗时间($t_{\text{天窗}}$)扣除,即

$$N = \frac{1440 - t_{\text{天窗}}}{T_{\text{周}}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-8)$$

式中 $T_{\text{周}}$ ——列车运行图周期(min)。

这里的天窗时间是指各种类型养路机械作业需要的时间(包括进出维修地段的走行时间)。天窗对通过能力的影响不仅体现在天窗时间上,还包括开设天窗的辅助时间和天窗外的损失时间,它们都是因为开设天窗而额外占用时间,应该包括在 $t_{\text{天窗}}$ 中。由于重载线路一般站间距离较长,因此,开设天窗对能力的影响相对更为明显,有时后两项时间占 $t_{\text{天窗}}$ 的比例相当大。

天窗最基本的类型有 V 型和垂直型两种。天窗占用运行图的时间($t_{\text{天窗}}$)可用下式表示:

$$t_{\text{天窗}} = t_{\text{封锁}} + t_{\text{辅助}} + t_{\text{窗外}} \quad (\text{说明 } 4.0.5-9)$$

在组成 $t_{\text{天窗}}$ 的三项因素中, $t_{\text{封锁}}$ 、 $t_{\text{辅助}}$ 的大小都与实际维修作业时间及其办理相关手续时间的长短有关,需要根据实际工作确定。 $t_{\text{窗外}}$ 的大小在 V 型天窗开设条件下,通过调整各供电臂的停电起止时刻,能够达到天窗时间不影响前后运行的列车(说明图

4.0.3),垂直型天窗条件下, $t_{\text{窗外}}$ 可简单用下式表示:

$$t_{\text{窗外}} = T_{\text{运}} + t_{\text{起停}} - (m_{\text{站}} - 1) \times I$$

(说明 4.0.5—10)

具体可参考第 4.0.3 条解释。

综上所述,在计算双线线路通过能力时,在一般双线铁路能力计算的基础上需根据不同线路的具体情况计算出天窗外损失时间对线路通过能力的影响。

3. 铁路的储备能力

铁路的储备能力主要是满足临时性军事运输、专列运输和其他特种运输的需求;满足自然灾害、行车事故、列车绕行的需要;满足铁路设备维修的需要以及调整运输秩序的需要等。以上临时性的需求及特殊事件的需求对重载铁路线路通过能力的影响与其对普通铁路的影响基本相同,并无本质差别。

我国重载铁路运输货物品类主要为煤炭,生产与消费具有不平衡性,特别是电煤的运输,受季节的影响较大,运量波动性也较大,考虑货物运量的波动性,确定区间通过能力应预留一定的储备。单、双线铁路的储备能力可分别采用 20% 和 15%,考虑重载铁路开行的列车种类相对普通铁路较少,列车运行图更接近平行运行图,运行图调整相对普通铁路容易,因此,在能力较为紧张的线路计算线路通过能力时可以适当降低线路的储备能力。

4.0.7 “天窗”时间是指各种类型养路机械作业需要的时间(包括进出维修地段的走行时间)。《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 规定:“区间通过能力设计中,电力牵引单、双线铁路的日均综合维修‘天窗’时间可分别取 90 min、120 min”。参照《铁路线路修理规则》(铁运〔2006〕146 号)规定:“用于线路大、中修及大型养路机械作业的施工天窗不少于 180 min”。为保证维修作业的安全和质量,在采用大型养路机械作业时,综合维修天窗时间不应少于 180 min。

由于维修“天窗”并非天天进行,因此,在计算线路能力时,应

按日均值扣除维修“天窗”时间,或按有“天窗”和无“天窗”分别计算能力,通过加权计算线路日平均能力。

5.1.1 小半径地段和大坡道地段对铺设无缝线路是不利的。小半径地段铺设无缝线路如养护维修不当,易发生胀轨跑道;小半径地段无缝线路养护维修作业对轨温条件有更严格的要求,一定程度上影响维修作业时间和效率;小半径地段允许温升和允许温降范围较大半径和直线地段小,在年轨温差很大的地段,小半径地段可能会限制无缝线路的铺设,或如要铺设需采取加强措施,从而引起施工和养护维修费用的增加。大坡道地段,由于列车制动易造成钢轨爬行,引起钢轨锁定轨温变化和受力不均,也会影响无缝线路稳定。

《铁路无缝线路设计规范》TB 10015—2012 规定:允许铺设无缝线路的最小曲线半径为 300 m;允许铺设无缝线路的最大坡道不作限制,但伸缩区、缓冲区不设置在长大坡道上,必要时增加轨枕配置根数,加强锁定。《铁路轨道设计规范》TB 10082—2005 规定:铺设无缝线路的最小曲线半径不宜小于 400 m,在半径小于 400 m 的地段铺设无缝线路时,应采取措施增大道床横向阻力,并进行特殊设计;铺设无缝线路的坡度可以不受限制,但轨条全长在连续长大坡道、制动地段及行驶重载列车坡段,应采取加强措施。

综合上述分析及相关标准要求,因此,本条规定平纵断面设计应满足一次铺设无缝线路要求。

5.1.2 重载铁路轴重大、年通过总重大,钢轨磨耗较常规的客货共线铁路严重,特别是小半径曲线地段钢轨磨耗更加明显;大坡道地段,列车下坡需要制动,也会增加钢轨磨耗。当小半径和大坡道同时存在时,对钢轨磨耗影响更大,会显著缩短换轨周期,增加维修投入,干扰正常运营。因此,本条规定平纵断面设计应重视轮轨磨耗、减少线路养护维修工作量,为运营创造较好的条件。

5.2.1 本规范规定了平面曲线半径的确定原则和最小曲线半径值。

1. 曲线半径的确定原则

曲线半径不仅影响行车安全质量指标,而且影响行车速度、运行时间等技术指标和工程费、运营费等经济指标。

(1)曲线半径的确定要因地制宜、合理选用,以使曲线半径既能适应地形、地质等条件,减少工程,又能利于养护维修,满足行车速度要求,做到技术经济合理。

曲线半径的确定应与线路纵断面设计配合,如曲线位于平缓坡段、双方向行车速度较高时,采用较大曲线半径;如曲线位于两端均为长大限制坡道的凸形纵断面的坡顶或位于停车站的站外引线上,由于行车速度较低,为减少工程,可选用较小半径。

(2)在地形困难、工程艰巨地段,小曲线半径集中使用,可避免列车频繁限速,损失列车动能,增大能量消耗,恶化运营条件。

(3)为避免片面强求经济性、节约投资,无限制地使用最小曲线半径而恶化运营条件,增加养护维修工作量,要慎用最小曲线半径,以期降低最小曲线半径的出现频率。

故本条规定:线路平面圆曲线半径应结合工程条件、维修工作量等因素确定。

2. 新建铁路最小曲线半径

影响最小曲线半径标准的因素大体可分为运输性质、运行安全、地形条件及经济因素等四个方面。

(1)影响最小曲线半径标准的因素

运输性质:主要是考虑重载运输线路小半径曲线地段轮轨磨损带来的潜在的养护维修问题。

运行安全:为保证机车车辆在曲线上的运行安全,保证轮轨间的正常接触,车辆上所受的力应保持在安全范围内。最小曲线半径要保证车辆通过曲线的安全性、稳定性的评价指标符合现行国家标准《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》GB 5599 的规定。

保证在曲线上运行的列车不倾覆。列车在曲线上运行时,要

保证抗倾覆安全系数达到一定的数值。抗倾覆安全系数与曲线半径、行车速度、曲线超高、风力大小、车辆类型、装载情况与重心高度、振动性能等因素有关,在其他条件一定的情况下,最小曲线半径决定于最小的抗倾覆安全系数。

地形条件:在保证运营安全的前提下,曲线半径应与沿线的地形条件相适应。山区铁路地形复杂坡陡弯急,采用较小半径的曲线既可避免破坏山体、影响环境,也可减少工程量、节约投资。

经济因素:小半径曲线可更大程度地适应地形,从而减少工程及投资,但增大运营支出,在一定的地形条件和运输需求下,存在经济合理的最小曲线半径(经济半径),故需要全面权衡得失,经技术经济比选确定最小曲线半径标准。

(2)最小曲线半径标准的确定

最小曲线半径根据设计速度、最大超高和允许欠超高计算确定,曲线半径应满足下式:

$$R_h \geq 11.8 \frac{v_{\max}^2}{h_{\max} + h_{\text{qy}}} \quad (\text{说明 } 5.2.1-1)$$

式中 R_h ——列车最高行车速度要求的曲线半径(m);
 v_{\max} ——列车最高运行速度(km/h),分别取 100 km/h、80 km/h;
 h_{\max} ——最大超高(mm),取 150 mm;
 h_{qy} ——允许欠超高(mm),一般取 70 mm,困难取 90 mm。
按上式计算的最小曲线半径 R_h 见说明表 5.2.1—1。

表 5.2.1—1 最小曲线半径及计算参数表

设计速度(km/h)		100	80
最低行车速度(km/h)		70	50
h_{\max} (mm)		150	150
欠超高允许值	一般	70	70
	困难	90	90

续表 5. 2. 1—1

最高设计速度要求 $R_h(\text{m})$	一般	536	343
	困难	492	315
$R_j(\text{m})$	一般	430	329
	困难	335	256
$R_{jj}(\text{m})$		一般 800 m, 困难 600 m	
$R_{\min}(\text{m})$	一般	800	800
	困难	600	600

注： R_{jj} —经济的曲线半径(m)。

按内外轨均衡磨耗条件要求的最小曲线半径：在重载铁路线路上，最小曲线半径要满足内外轨磨耗均匀条件。满足均磨条件的曲线半径应满足下式：

$$R_j \geq 11.8 \frac{v_{\max}^2 - v_{\min}^2}{h_{\text{qy}} + h_{\text{gy}}} \quad (\text{说明 } 5.2.1-2)$$

式中 R_j ——均磨半径(m)；

v_{\max} ——最高设计速度(km/h)，分别取 100 km/h, 80 km/h；

v_{\min} ——列车通过曲线时的最低速度(km/h)，分别取 70 km/h、50 km/h；

h_{qy} ——允许欠超高(mm)，一般取 70 mm，困难取 90 mm；

h_{gy} ——允许过超高(mm)，一般取 30 mm，困难取 50 mm。

经济最小曲线半径：重载铁路轴重大、年通过总重大，钢轨磨耗较常规的客货混运铁路严重，特别是小半径曲线地段磨耗更加明显。说明表 5. 2. 1—2 为大秦线茶坞工务段曲线地段钢轨磨耗统计数据。

说明表 5. 2. 1—2 大秦线茶坞工务段曲线地段钢轨磨耗数据统计

曲线半径 (m)	通过总重 (100 Mt)	最大侧磨 (mm)	月均侧磨 (mm)	百万吨侧磨 (mm)
500~600	1.3	21	5.3	0.18

续说明表 5.2.1—2

曲线半径 (m)	通过总重 (100 Mt)	最大侧磨 (mm)	月均侧磨 (mm)	百万吨侧磨 (mm)
800	2.0	21	3.5	0.12
1 000	4.0	21	1.3	0.04
1 200	5.0	21	0.9	0.03

从上表可以看出,半径为 500 m~600 m 的小半径地段钢轨磨耗量约为半径 1 200 m 的 6 倍、约为半径 800 m 的 1.5 倍,表明曲线半径对重载铁路钢轨使用寿命具有显著影响。根据铁科院大秦、朔黄等线进行的重载钢轨技术研究及试验情况,在小半径曲线上,通过优化钢轨材质、改善轮轨接触关系、钢轨打磨及涂油等综合措施,可以显著提高钢轨的使用寿命。如大秦线在 800 m 曲线上铺设 75 kg/mU77MnCr 钢轨实现了通过总重 12 亿吨,国外重载铁路运营也有类似通过综合措施显著提高小半径钢轨使用寿命的成功案例。

目前,我国既有重载铁路小半径地段钢轨使用寿命不高的原因是比较复杂的,除了线路平面条件是重要因素外,其他如钢轨材质、养护维修技术能力和水平等也是不可忽视的重要因素。有关的统计数据也表明,同一条铁路相同大小的曲线半径其钢轨磨耗也有很大的离散性。随着钢轨制造技术和维修水平的提高,可以预期小半径曲线地段钢轨的使用寿命会不断提高,其技术经济合理性会不断得到改善。

因此,从使用经济上和减少换轨施工对运营的干扰上考虑,最小曲线半径一般不小于 800 m,困难条件下不小于 600 m。

(3)特殊困难条件下,采用较小的曲线半径,仍能保证安全、均磨条件,且能更大程度地满足工程上的需要,节省大量工程投资,但采用较小的曲线半径对铺设无缝线路和轮轨磨耗不利。综合上述因素,故本规范规定:特殊困难条件下经技术经济比选确定。

5.2.2 双线铁路并行等间距地段的平面曲线,当设计为同心圆时,可保持圆曲线范围内两线线间距相等,从而使工程量和占地最省。故本条规定:双线铁路两线线间距不变的并行地段的平面曲线宜设计为同心圆。

改建既有线或增建第二线,因受既有线各种条件的限制,往往需要更零碎的曲线半径,以减少改建工程;新建双线和增建第二线并行等间距地段的平面曲线设计为同心圆必定会出现零碎的曲线半径。因此规定:双线同心圆和改建既有线的曲线半径可为零数。

5.2.3 复曲线存在下列缺点:

(1)增加勘测设计、施工和养护维修困难。

(2)复曲线上曲线阻力不同,在复曲线短距离内变更阻力亦即短时间内改变列车受力情况,降低了列车运行的平稳性。

(3)不同半径的曲线产生的离心力不同,外轨超高值不一致,半径变更时,作用在列车上的横向力(或横向加速度)改变,降低了舒适度条件,造成了钢轨不均匀磨耗,尤其不设中间缓和曲线时更为显著。

重载铁路列车牵引质量大,为保持列车运行的平稳性,且便于设计、施工和养护维修,需对新建铁路设计中采用复曲线予以更加严格的限制,因此规定:新建铁路不应设计复曲线。

既有线改建的单线绕行或双线绕行地段,既无废弃工程,又不受既有线的制约,故应按单曲线设计,不采用复曲线。改建既有线对个别地点的复曲线也应尽可能改建为单曲线。

既有线上的复曲线大都是为了避免或减少路基、桥隧工程及其他建筑物拆迁而设置的,所以,当改建这些复曲线将引起巨大工程或拆迁工程量时,可保留既有的复曲线,但应改善运营条件,如增加中间缓和曲线等,在特殊困难条件下,也可保留原复曲线。

5.2.4 为使列车安全、平稳、舒适地由直线过渡到圆曲线,满足超高和加宽递变的需要,在直线与圆曲线间需设置一定长度的缓和曲线。

缓和曲线的线型,一般根据路段行车速度选择。根据本规范规定的列车设计速度并考虑发展需求,缓和曲线的线型采用三次抛物线具有线型简单,长度短而实用,便于测设和养护维修的优点,也被国外同类铁路广泛采用,故本规范仍采用三次抛物线的缓和曲线。

1 新建铁路缓和曲线长度的计算

(1)确定缓和曲线长度的条件与方法。缓和曲线长度应保证列车运行安全,并满足一定的舒适度要求。一般按下列条件与方法计算,并取其大者。

1)超高顺坡不致使车轮脱轨。满足不使车轮脱轨的缓和曲线长度为

$$l_1 \geq \frac{h}{i} \quad (\text{说明 5.2.4—1})$$

式中 l_1 ——缓和曲线长度(m);

h ——圆曲线超高(mm);

i ——不使车轮脱轨的临界超高顺坡度(‰)。

2)超高时变率不应引起司乘人员不适。满足此条件的缓和曲线长度为

$$l_2 \geq \frac{h v_{\max}}{3.6 f} \quad (\text{说明 5.2.4—2})$$

式中 l_2 ——缓和曲线长度(m);

v_{\max} ——通过曲线的最高行车速度(km/h);

f ——舒适度容许的超高时变率(mm/s)。

3)欠超高(或未被平衡离心加速度)时变率不应使司乘人员不适。满足此条件的缓和曲线长度为

$$l_3 \geq \frac{h_q v_{\max}}{3.6 b} \quad (\text{说明 5.2.4—3})$$

式中 l_3 ——缓和曲线长度(m);

h_q ——列车以最高行车速度通过曲线时的欠超高(mm);

b ——舒适度容许的欠超高时变率(mm/s)。

由于临界超高顺坡率与机车车辆构造和状态、行车速度、钢轨磨耗等众多因素有关,因此,需从轮轨动力学角度来确定,甚为复杂,国内外均缺乏系统的研究,大多根据运营实践确定,采用的数值也有较大的差异。实际上由式(说明 5.2.4—1)和式(说明 5.2.4—2)可知,超高顺坡率与超高时变率容许值存在如下关系:

$$i = \frac{3.6f}{v_{\max}} \quad (\text{说明 5.2.4—4})$$

鉴于按式(说明 5.2.4—4)计算的结果小于我国铁路沿用的 2‰。故本规范根据超高时变率按式(说明 5.2.4—4)确定超高顺坡率。

(2)缓和曲线长度标准的档次划分

依据满足运输需求、路段设计速度及适应长远发展的要求,对缓和曲线长度标准档次划分为“一般”情况和“困难”情况两档,以均能满足路段速度要求的不同曲线超高来分别确定最小缓和曲线长度的“一般”和“困难”标准。

(3)最高行车速度 v_{\max} 的确定

最高行车速度对缓和曲线长度影响很大,而曲线上所能达到的速度与曲线所在的位置有关。为因地制宜地选择缓和曲线长度,本规范最高行车速度在曲线半径不限速地段采用线路最高行车速度,当曲线半径限速时,采用下式计算的曲线速度:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{h_{\max} + h_{\text{qy}}}{11.8}} R \quad (\text{说明 5.2.4—5})$$

式中 h_{\max} ——最大超高(mm),取 150 mm;

v_{\max} ——通过曲线的最高行车速度(km/h)。

(4)缓和曲线超高的确定

超高按下列两条件计算,并取其大者。

1)为使曲线内外轨磨耗均匀,超高 h_1 按下式计算:

$$h_1 = 11.8 \frac{v_{\text{jt}}^2}{R} = 11.8 \frac{\beta^2 v_{\max}^2}{R} \quad (\text{说明 5.2.4—6})$$

式中 h_1 ——超高(mm);
 v_{jf} ——各种列车的均方根速度(km/h);
 β ——速度系数,取 0.80。

2)为满足舒适度要求,未平衡离心加速度不应超过容许值,超高 h_2 按下式计算:

$$h_2=11.8\frac{v_{\max}^2}{R}-h_{\text{qy}} \qquad \text{(说明 5.2.4—7)}$$

本规范采用的 h_{qy} 值见说明表 5.2.4—1。

说明表 5.2.4—1 h_{qy} 取值(mm)

参 数	一般地段	困难地段
h_{qy}	70	90

$$h=\max(h_1,h_2) \qquad \text{(说明 5.2.4—8)}$$

3)最大超高 h_{\max}
与我国历次规范的规定基本相同,本规范一般采用 150 mm。
(5)超高时变率 f 值

本规范采用的容许超高时变率 f 值为:一般地段 $f=32$ mm/s,困难地段 $f=40$ mm/s。

(6)缓和曲线长度

1)本规范确定缓和曲线长度计算超高所采用的参数见说明表 5.2.4—2。

说明表 5.2.4—2 确定缓和曲线长度参数

条件 项目	一 般		困 难	
v_{\max} (km/h)	100	80	100	80
h_{\max} (mm)	150	150	150	150
β	0.8	0.8	0.8	0.8
h_{qy} (mm)	70	70	90	90
f (mm/s)	32	32	40	40

根据式(说明 5.2.4—8)及说明表 5.2.4—2 所列计算参数,以及最小超高取整至 5 mm 的要求,计算本规范中用于制定缓和曲线长度的超高值见说明表 5.2.4—3。

说明表 5.2.4—3 制定缓和曲线长度用曲线超高值(mm)

路段设计速度 (km/h)		100				80			
工程条件		h_1	h_2	$\max(h_1, h_2)$	h	h_1	h_2	$\max(h_1, h_2)$	h
曲线半径 (m)	12 000	6.3	—60.2	6.3	5	4.0	—63.7	4.0	5
	10 000	7.6	—58.2	7.6	10	4.8	—62.4	4.8	5
	8 000	9.4	—55.2	9.4	10	6.0	—60.6	6.0	10
	6 000	12.6	—50.3	12.6	15	8.1	—57.4	8.1	10
	5 000	15.1	—46.4	15.1	15	9.7	—54.9	9.7	10
	4 000	18.9	—40.5	18.9	20	12.1	—51.1	12.1	15
	3 000	25.2	—39.3	25.2	25	16.1	—44.8	16.1	15
	2 500	30.2	—22.8	30.2	30	19.3	—39.8	19.3	20
	2 000	37.8	—11	37.8	40	24.2	—32.2	24.2	25
	1 800	42.0	—4.4	42.0	45	26.9	—28.0	26.9	25
	1 600	47.2	3.8	47.2	50	30.2	—22.8	30.2	30
	1 400	53.9	14.9	53.9	55	34.5	—16.1	34.5	35
	1 200	62.9	28.3	62.9	65	40.3	—7.1	40.3	40
	1 000	75.5	48.0	75.5	75	48.3	5.5	48.3	50
	800	94.4	77.5	94.4	95	60.4	24.4	60.4	60
	700	107.9	98.6	107.9	110	69.0	37.9	69.0	70
	600	125.9	126.7	126.7	125	80.6	55.9	80.6	80

2)缓和曲线长度表

重载铁路运输性质为货运,对舒适度要求不高,缓和曲线长度根据曲线超高及由路段设计速度和超高时变率容许值所确定的超高顺坡率按式(说明 5.2.4—1)计算确定。

最大超高顺坡率是根据《铁路线路维修规则》的有关规定，当路段设计速度小于 120 km/h 的地段，一般超高顺坡率不大于 $1/(9v_{\max})$ ，计算超高时变率容许值 f 为 32 mm/s，困难时超高顺坡率不大于 $1/(7v_{\max})$ ，计算超高时变率容许值 f 为 40 mm/s。

根据说明表 5.2.4—3 所计算超高值，按超高顺坡率一般条件下 $i \leq \frac{1}{9v_{\max}}$ ，困难条件下 $i \leq \frac{1}{7v_{\max}}$ 计算缓和曲线长度，按进整为 10 m、不足 20 m 者取为 20 m 的要求，得出缓和曲线长度计算表，见说明表 5.2.4—4。

说明表 5.2.4—4 缓和曲线长度计算表(m)

路段设计速度(km/h)		100		80	
工程条件		一 般	困 难	一 般	困 难
曲线半径 (m)	10 000	20	20	20	20
	8 000	20	20	20	20
	6 000	20	20	20	20
	5 000	20	20	20	20
	4 000	20(30)	20	20	20
	3 000	30(40)	20	20	20
	2 500	30(40)	30	20(30)	20
	2 000	40(50)	30(40)	20(30)	20
	1 800	50	40	20(30)	20
	1 600	50	40	30(40)	20
	1 400	50(60)	40	30(40)	20
	1 200	60	50	30(40)	30
	1 000	70	60	40	30
	800	90(80)	70	50	40
	700	100	80(90)	50	40
	600	120	90(100)	60	50

注：表中括号内数字为《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 的数值。

经与客货共线铁路对应速度的缓和曲线长度进行对比分析,两者缓和曲线长度取值基本相当。因此,为简化设计标准,重载铁路缓和曲线长度标准可与客货共线铁路一致。

选用缓和曲线长度时,应根据地形、纵断面及相邻曲线、列车速度、运输要求以及将来发展的可能等条件确定。缓和曲线长度标准的选用原则为:在地形简易地段,自由坡地段选用一般值。在地形困难地段、紧坡地段或停车站两端、凸形纵断面坡顶等行车速度不高的地段可采用困难值。

2 改建既有线和增建第二线的缓和曲线

改建既有线和增建第二线的并行地段,如受既有建筑物或线路条件限制,为减少改建工程,允许降低舒适度要求,减短缓和曲线长度。特殊困难条件下,位于运输繁忙车站或重点桥隧等建筑物的线路及其引线上,改动既有线平面将引起较大工程时,允许在同一曲线两端设置不等长缓和曲线。

上述条件下的缓和曲线长度可根据曲线超高顺坡率按下式计算确定:

$$l_0 = \frac{h}{i} \quad (\text{说明 } 5.2.4-9)$$

根据《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 规定,超高顺坡率最大可取 2‰。

为便于测设、养护维修和改善行车条件,凡计算确定的缓和曲线长度均应取 10 m 的整倍数,特殊困难条件下可取整至 1 m,不足 20 m 时取 20 m。本条之所以给出“特殊困难条件下可取整至 1 m”的规定,是考虑到改建既有线缓和曲线长度的取整,如按 10 m 的整倍数计,有时桥隧建筑物控制点的计算拨距偏大,导致废弃工程,尤其是转向角接近 180°时凑整误差的影响更大,故在特殊困难条件下予以放宽。

3 复曲线设置中间缓和曲线问题

既有线在困难条件下保留复曲线时设置中间缓和曲线,有利

于超高和加宽的递变,并缓和离心加速度的骤变。若复曲线不设缓和曲线,则由于两圆曲线的外轨超高不同,当列车通过两圆连接点时,欠超高在短时间内产生骤变,而时变率受舒适度限制,故应根据允许的欠超高时变率来确定两圆曲线不设中间缓和曲线而直接相连时两圆曲线半径应满足的条件。

如说明图 5.2.4—1 所示, h_1 、 h_2 系半径为 R_1 、 R_2 的圆曲线实设超高, CD 为超高递变段实设超高,超高顺坡率为 i , E 为 R_1 、 R_2 两圆连接点。设车辆为刚体,作质点运动,车体长度为 L ,车辆通过两圆连接点 E 前后,质心在 A 、 B 的位置,其间距离为 L 。则质点在 A 时的欠超高 h_{q1} 为

$$h_{q1} = 11.8 \frac{v_{\max}^2}{R_1} - h_1 \quad (\text{说明 } 5.2.4-10)$$

质点在 B 时的欠超高 h_{q2} 为

$$h_{q2} = 11.8 \frac{v_{\max}^2}{R_2} - h_1 + \frac{1}{2} L i \quad (\text{说明 } 5.2.4-11)$$

其间欠超高变化 Δh_q 为

$$\Delta h_q = h_{q1} - h_{q2} = 11.8 v_{\max}^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) - \frac{1}{2} L i \quad (\text{说明 } 5.2.4-12)$$

经行 AB 的时间为

$$t = 3.6 \frac{L}{v_{\max}} \quad (\text{说明 } 5.2.4-13)$$

故欠超高时变率 b_0 为

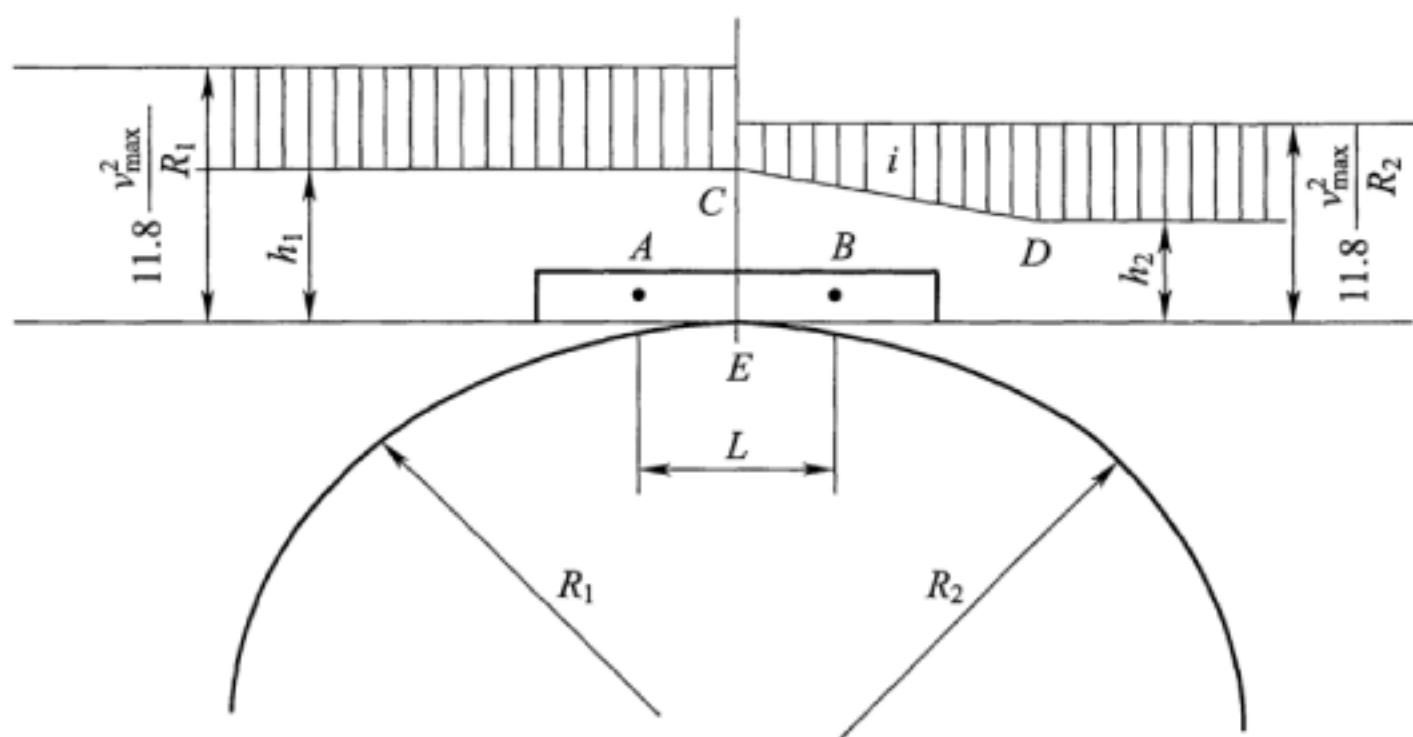
$$b_0 = \frac{\Delta h_q}{t} = \left[11.8 v_{\max}^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) - \frac{1}{2} L i \right] \frac{v_{\max}}{3.6 L} \leq b \quad (\text{说明 } 5.2.4-14)$$

整理后得

$$\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \leq \frac{3.6 L b}{11.8 v_{\max}^3} + \frac{L i}{2 \times 11.8 v_{\max}^2} \quad (\text{说明 } 5.2.4-15)$$

因超高顺坡率 i 与超高时变率允许值 f 存在式(说明 5.2.4—4)所表达的关系,故将式(说明 5.2.4—4)代入式(说明 5.2.4—15)后整理得:

$$\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\leqslant\frac{3.6L(b+0.5f)}{11.8v_{\max}^3}\quad(\text{说明 } 5.2.4-16)$$



说明图 5.2.4—1 曲线超高变化示意图

式(说明 5.2.4—16)即为两圆曲线间不加设缓和曲线时两圆曲线曲率差应满足的条件。各种路段设计速度下的计算参数及计算结果见说明表 5.2.4—5。

说明表 5.2.4—5 复曲线不设中间缓和曲线的两圆曲线最大曲率差计算

v_{\max} (km/h)		100		80	
工程条件		一 般	困 难	一 般	困 难
L (m)		24.0		24.0	
b (mm/s)		45	52.5	45	52.5
f (mm/s)		32	40	32	40
$\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}$	计算值	1/2 239	1/1 884	1/1 146	1/964
	取 值	1/2 500	1/2 000	1/1 200	1/1 000
	采用值	1/2 000		1/1 000	

鉴于改建既有线需保留复曲线地段的工程条件一般都很困难,故取说明表 5.2.4—5 中“困难”栏的数值作为不设中间缓和曲线的两圆曲线曲率差的临界值,得本规范表 5.2.4—2 规定的最大曲率差。

5.2.5 考虑到确定圆曲线和夹直线长度的理论与计算方法在力学上无大的区别,故将其合并,按路段列车设计行车速度制定统一标准。

1. 圆曲线和夹直线最小长度的确定

(1) 养护要求

为保持曲线圆顺,圆曲线上至少应有两个正矢桩,以便绳正曲线,故不应小于 20 m。

为正确保持直线方向,夹直线长度不宜短于 2~3 节钢轨,至少能有一节钢轨在直线上。

(2) 行车平稳要求

1) 影响轮轴横向力的因素比较复杂,包括线路几何线形、轨道平顺性、轮缘状态、轮轨接触关系、车辆装载状况等,目前的试验数据还不足以证明线路几何线形是影响轮轴横向力的主导因素。

为减少车辆摇摆,使列车运行平稳,圆曲线和夹直线长度不宜短于 2~3 辆车辆长度,目前我国重载货运主型车辆 C₈₀、C₇₀ 的长度为 12.0 m、13.976 m,故圆曲线和夹直线长度应为 24 m~42 m。

2) 车辆通过圆曲线或夹直线两端缓和曲线时,为避免车辆后轴在缓和曲线终点(指缓圆点或缓直点)产生的振动,与车辆前轴在另一缓和曲线起点(指圆缓点或直缓点)产生的振动相叠加,圆曲线或夹直线长度 L_q 应满足:

$$L_j \geq \frac{nTv_{\max}}{3.6} + L_q \quad (\text{说明 5.2.5—1})$$

式中 L_j ——圆曲线或夹直线长度(m);

n ——振动消失所经历的振动周期数(次);

T ——车辆振动周期(s);

L_q ——车辆全轴距(m)。

考虑到车辆并非刚体,可不考虑车辆全轴距的影响,即取 $L_q=0$ 。 n 、 T 值与车辆构造及弹簧装置性能有关,由于国内外均缺少研究资料,为了避开这一问题,通常将 n 、 T 及系数 3.6 一并考虑,取为一个具有时间量纲的量 τ 。

$$\tau=nT/3.6$$

(说明 5.2.5—2)

本规范综合考虑我国铁路工程与运营实践的经验和教训、相关规范标准和国际铁路联盟 UIC 的建议值,选取 τ 值并据此计算圆曲线或夹直线最小长度见说明表 5.2.5—1。

说明表 5.2.5—1 圆曲线和夹直线最小长度

v_{\max} (km/h)		100		80	
工程条件		一 般	困 难	一 般	困 难
τ		0.6	0.4	0.6	0.4
L_j (m)	计算值	60	40	48	32
	采用值	60	40	50	30

说明表 5.2.5—1 中的计算结果(采用值)均能满足养护维修和行车平稳等要求。

2. 改建既有线和增建第二线时的圆曲线和夹直线最小长度

改建既有线和增建第二线的并行地段,一般采用上述圆曲线和夹直线标准,考虑到既有线的圆曲线和夹直线最小长度标准有的偏小,如一律按上述新建铁路标准要求,势必引起大量废弃工程,尤其是反向曲线地段。故在曲线毗连和受桥隧建筑物等限制的条件下,按上述标准引起巨大工程时,可采用较短的圆曲线和夹直线长度,但不得小于 25 m。这是考虑到按轮轨接触条件,当车辆通过圆曲线和夹直线时,至少在一瞬间,能使车辆处于水平位置(即不使车辆的两转向架同时位于两缓和曲线上),故圆曲线和夹直线最小长度不应小于车辆全轴距的取整值,目前我国通用货车车辆的全轴距均小于 25 m。

5.2.6 本规范按路段设计速度制定第一、二线曲线和第二、三线

曲线线间距加宽值。

1 区间直线地段最小线间距

(1)区间直线地段第一、二线最小线间距。区间直线地段第一、二线线间距不应小于 4.0 m,是因为两线间不需要设置信号机和其他标志,仅需保证两线不限速会车。按现行国家标准《标准轨距铁路机车车辆限界》GB 146.1—83 半宽为 1 700 mm,列车信号限界宽度为 100 mm,留 400 mm 作为列车间的安全量,得 $2 \times (1\,700 + 100) + 400 = 4\,000$ mm。

根据有关规定,当超限货物列车在双线、多线或并行的单线区间的直线地段会车时,两列车间的最小距离大于 350 mm 者不限速;在 300 mm~350 mm 之间运行速度不得超过 30 km/h;小于 300 mm 者禁止会车。如双线区间一线通行一级超限货物列车(半宽为 1 900 mm),另一线通行一般货物列车(半宽为 1 700 mm 加车灯 100 mm)时,列车的间距为 $4\,000 - (1\,900 + 1\,700 + 100) = 300$ mm。因此,一级超限货物列车与一般列车允许限速 30 km/h 在区间会车,若双线区间一线通行二级超限列车(半宽为 1 940 mm)或超级超限列车时,另一线均不应通过列车。

(2)区间直线地段第二、三线最小线间距。当区间线路数目为三线或四线时,第二、三线线间距不应小于 5.3 m,这是因为考虑第二、三线线间需要装设信号机,且可在两线同时通过超限货物列车。最大超限货物列车装载的基本建筑限界半宽为 2 440 mm,加信号机最大宽度 410 mm,得 $2 \times 2\,440 + 410 = 5\,290$ mm,采用 5 300 mm。

(3)区间直线地段两单线铁路(非双线)并行引入车站时,需考虑装设信号机和通行超限货物列车情况,按计算确定线间距。

2 区间曲线地段线间距加宽值

(1)曲线两端直线地段采用最小线间距时曲线线间距加宽值

1)区间曲线地段第一、二线线间距加宽。列车在曲线上运行,因为车体为刚体结构不能随线路曲度而弯曲,车体纵向中心线与线路中心线不相吻合,使车体两端向线路外侧偏移,车体中部向线

路内侧偏移,同时,由于内外两条线路的曲线超高可能不同,使车体内倾的程度也不同,故与直线地段的线间距相比,曲线地段的建筑限界和相邻两线的线间距应加宽。

现行国家标准《标准轨距铁路建筑限界》GB 146.2 规定曲线上建筑限界加宽公式如下:

曲线内侧加宽值

$$W_1 = \frac{40\,500}{R} + \frac{H}{1\,500}h \quad (\text{说明 } 5.2.6-1)$$

曲线外侧加宽值

$$W_2 = \frac{44\,000}{R} \quad (\text{说明 } 5.2.6-2)$$

式中 W_1 、 W_2 ——曲线内、外侧加宽值(mm);

R ——曲线半径(m);

H ——自轨面至机车车辆限界计算点的高度(mm),
取 3 850 mm;

h ——曲线超高(mm)。

外侧线路实设超高(h_w)等于或小于内侧线路实设超高(h_n)时,车体内倾不影响线间距,故线间距加宽值 W (mm)为

$$W = \frac{40\,500}{R} + \frac{44\,000}{R} = \frac{84\,500}{R} \quad (\text{说明 } 5.2.6-3)$$

外侧线路实设超高大于内侧线路实设超高时,外侧线路上车体内倾距离大于内侧线路上车体内倾距离,故线间距加宽值为

$$W = \frac{40\,500}{R} + \frac{44\,000}{R} + (h_w - h_n) \frac{H}{1\,500} = \frac{84\,500}{R} + 2.56(h_w - h_n) \quad (\text{说明 } 5.2.6-4)$$

式中 W ——曲线线间距加宽值(mm);

h_w ——外侧线路曲线计算超高(mm);

h_n ——内侧线路曲线计算超高(mm)。

上式表明:曲线地段线间距加宽值除与曲线半径有关外,还与内、外侧线路实设超高 h_w 、 h_n 有关,计算内外两线 h_w 和 h_n 的均方

根速度又与线路平纵断面条件、机车车辆类型、列车数量和牵引定数等因素有关。有些因素在设计时不易准确确定,且根据内外曲线超高逐个计算加宽值过于繁琐,为保证行车安全,考虑曲线超高设置的最不利情况,使线间距有足够的宽度,取 $h_w - h_n = \frac{1}{2} h_{wj}$,则式(说明 5.2.6—4)变为

$$W = \frac{84\,500}{R} + 1.28 h_{wj} \qquad \text{(说明 5.2.6—5)}$$

$$h_{wj} = 7.6 \frac{v_{\max}^2}{R} \qquad \text{(说明 5.2.6—6)}$$

式中 h_{wj} ——外侧线路计算超高(mm);

v_{\max} ——最高行车速度(km/h)。

曲线限速时,为安全计,取 $h_{wj} = 150\text{ mm}$ 。

根据式(说明 5.2.6—3)、式(说明 5.2.6—5)计算的第一、二线线间距加宽值及与现行《铁路线路设计规范》GB 50090—2006(以下简称《线规》)值对照见说明表 5.2.6—1。

说明表 5.2.6—1 第一、二线线间距加宽计算值及与现行《线规》值对照表

线别间		第一、二线间					
内、外侧线路曲线超高设置情况		外侧线路曲线超高大于内侧线路曲线超高时				其他情况	
路段列车设计行车速度 (km/h)		100		80		≤ 100	
		计算值	《线规》值	计算值	《线规》值	计算值	《线规》值
曲线半径 (m)	12 000	15	20	15	15	10	10
	10 000	25	20	15	15	10	10
	8 000	25	25	25	15	15	10
	6 000	35	35	30	25	15	15
	5 000	40	40	30	35	20	15
	4 000	50	55	45	40	25	20
	3 000	65	80	50	65	30	30

续说明表 5.2.6—1

线别间		第一、二线间					
内、外侧线路曲线超高设置情况		外侧线路曲线超高大于内侧线路曲线超高时				其他情况	
路段列车设计行车速度 (km/h)		100		80		≤ 100	
		计算值	《线规》值	计算值	《线规》值	计算值	《线规》值
曲线半径 (m)	2 500	75	100	60	70	35	35
	2 000	95	105	75	95	45	40
	1 800	105	110	80	100	50	45
	1 600	120	125	95	115	55	55
	1 400	135	135	110	125	65	60
	1 200	155	155	125	135	75	70
	1 000	185	175	150	155	85	85
	800	230	210	185	190	110	105
	700	265	260	215	210	125	120
	600	305	295	245	235	145	140

从上表可以看出,第一、二线线间距加宽计算值与现行《线规》值之差除个别半径为 15 mm~25 mm 外,其他均在 10 mm 以内,且差值有正有负,其主要原因为实设超高选择的原则稍有不同。考虑到现行《线规》执行多年,其加宽值标准能够满足安全要求,故本规范第一、二线线间加宽值最终采用与现行《线规》一致的标准。

需要说明的是本规范适用范围是: $h_w > h_n \geq \frac{1}{2} h_w$ 。若内侧曲线超高小于外侧曲线超高的一半时,需按式(说明 5.2.6—4)计算加宽值。

2) 区间曲线地段第二、三线线间距加宽

区间曲线地段第二、三线线间距根据国家现行的《标准轨距铁路建筑限界》曲线上建筑限界加宽办法、信号机设置情况和通行超

限货物列车的装载限界加宽线间距。

曲线地段两线间设置信号机。按第二、三线均通行超限货物列车和曲线上信号机建筑限界要求加宽线间距,即

$$W = \frac{84\,500}{R} + \frac{H}{1\,500} h_w = \frac{84\,500}{R} + 2h_{wj}$$

(说明 5.2.6—7)

式中, H 取最大级超限货物装载限界计算点至轨面高度,按 3 000 mm 计算。

曲线地段两线间不设信号机。按第二、三线均通行超限货物列车不限速会车的限界要求加宽线间距。因不设信号机,故加宽值应减去信号机宽度 410 mm。

加宽值 W (mm) 计算式为:

当 $h_w > h_n \geq \frac{1}{2}h_w$ 时,

$$W = \frac{84\,500}{R} + \frac{1}{2}h_{wj} \times \frac{H}{1\,500} - 410 = \frac{84\,500}{R} + h_{wj} - 410$$

(说明 5.2.6—8)

当 $h_n < \frac{1}{2}h_w$ 时,

$$W = \frac{84\,500}{R} + (h_w - h_n) \times \frac{H}{1\,500} - 410 = \frac{84\,500}{R} + 2(h_w - h_n) - 410$$

(说明 5.2.6—9)

当 $h_w \leq h_n$ 时,

$$W = \frac{84\,500}{R} - 410 \quad (\text{说明 5.2.6—10})$$

上列各式均取 $H=3\,000$ mm, 如计算的 W 为负值时, 线间距不需加宽, 取 W 为零。

根据式(说明 5.2.6—7)计算的第二、三线线间距加宽计算值与现行《线规》值对照见说明表 5.2.6—2。

说明表 5.2.6—2 第二、三线线间距加宽计算值及与
现行《线规》值对照表

线别间		第二、三线间 (均通行超限货物列车、设置中间信号机)			
路段设计速度(km/h)		100		80	
		计算值	《线规》值	计算值	《线规》值
曲线半径 (m)	12 000	20	30	20	20
	10 000	30	30	20	20
	8 000	35	30	30	20
	6 000	45	45	35	35
	5 000	50	55	40	45
	4 000	65	70	55	50
	3 000	80	100	60	80
	2 500	95	125	75	95
	2 000	120	140	95	110
	1 800	140	145	100	125
	1 600	155	165	115	145
	1 400	175	180	135	160
	1 200	205	200	155	170
	1 000	235	225	185	195
	800	300	265	230	235
	700	345	340	265	260
	600	395	380	305	290

从上表可以看出,第二、三线线间距加宽计算值与现行《线规》值之差除个别半径为 20 mm~35 mm 外,其他均在 15 mm 以内,且差值有正有负,其主要原因为实设超高选择的原则稍有不同。考虑到现行《线规》执行多年,其加宽值标准能够满足安全要求,故本规范第二、三线线间加宽值最终采用与现行《线规》

一致的标准。

3)区间曲线地段两单线铁路(非双线)的线间距

按装设信号机和通行超限货物列车情况考虑曲线地段加宽。

(2)曲线两端直线地段的线间距大于最小线间距时曲线线间距加宽值

当曲线两端直线地段的线间距大于最小线间距时,应检算曲线线间距是否应进行加宽,若需加宽,则加宽值按本条文公式(5.2.6—1)计算确定。

3 曲线地段线间距加宽方法

新建双线或增建第二、三线时,并行地段的曲线线间距加宽一般采用加长内侧线缓和曲线长度的方法解决,以节省工程和不恶化线路平面。外侧曲线缓和曲线长度取规定长度 L_w (m),其内移量 P_w (m)为

$$P_w = \frac{L_w^2}{24R_w} \quad (\text{说明 } 5.2.6-11)$$

若线间距加宽 W' (mm),则内侧曲线加缓和曲线后的内移量 P_n (m)为

$$P_n = P_w + W' \times 10^{-3} = \frac{L_w^2}{24R_w} + W' \times 10^{-3} \quad (\text{说明 } 5.2.6-12)$$

内侧线缓和曲线长度 L_n (m)应为

$$L_n = \sqrt{24R_n \left(\frac{L_w^2}{24R_w} + W' \times 10^{-3} \right)} \quad (\text{说明 } 5.2.6-13)$$

式(说明 5.2.6—13)即为本规范公式(5.2.6—2)。计算结果取 10 m 的整倍数。

夹直线较短时,两曲线和夹直线地段可按其中较大的加宽值加宽。连续的、集中的小曲线半径地段也可采用同一加宽值来加宽线间距。

5.2.7 本条参考《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 第 3.1.9 条制定。

5.2.8 桥梁设在直线上对设计、施工、运营、养护以及流水条件等都有利。如设在曲线上,可能限制行车速度,并产生列车运行不平稳、线路易产生变形、钢轨磨耗加剧、养护工作增加等弊病。而桥上更换钢轨整正曲线较为困难;线路变形易造成过大偏心,不利桥墩受力;桥上限速、施行制动和行车摇摆,对桥梁本身和行车安全不利。因此,设计桥位的线路平面时,宜将桥梁(尤其是特大桥、大桥)布置在直线上,在地形困难、地质不良、受车站站坪影响等困难条件下,为避免工程过大,特大桥、大桥必须设在曲线上时,宜采用较大曲线半径,以减少不利影响。采用小曲线半径,除上述弊病加剧外,还会出现一些其他问题,如增加架桥施工困难,并可能影响合理桥梁跨度的采用等。根据曲线维修保养、减轻钢轨磨耗以及不限制行车速度等要求,特大桥、大桥上曲线半径不应小于本规范 5.2.1 条所规定的最小曲线半径标准。特殊困难条件下,采用小于上述标准的曲线半径时,需从线路和桥梁等方面进行比选,经鉴定审批,审慎选用。

桥头引线(特别是特大桥和大桥的引线)应不低于桥上线路平面标准,困难条件下,为避免工程过大,桥头引线的曲线半径可以减小,但不应小于本规范 5.2.1 条所规定的最小曲线半径的“困难”标准。为保证桥头路基稳定,如桥头引线曲线外侧迎向水流上游时,需将曲线推移到洪泛线外,以免因桥头产生回流形成水袋。

5.2.9 隧道的施工、运营、养护及改建等工作条件不如明线,尤其小曲线半径隧道、曲线隧道群及长隧道问题更为突出。据施工、运输、工务等部门反映:曲线隧道,自然通风条件一般不如直线隧道,有害气体难于排出,不利养护人员身体健康,并增加轨道的锈蚀和污染。为了保证隧道建筑限界要求和正常的行车条件,需经常检查线路平面和水平,曲线隧道的维修作业量和难度均比直线隧道

大,2 km~3 km 以上的隧道,维修人员平均每年有 4~6 个月的时间在洞内工作。故从通风、采光、减少施工困难、改善乘务员和维修养护人员工作环境及瞭望条件,简化洞内维修作业,并缩短时间以及提高行车速度等方面来看,直线隧道都比曲线隧道优越。因此,本条规定:隧道宜设在直线上;如因地形、地质等条件限制必需设在曲线上时,曲线宜设在洞口附近并采用较大的曲线半径。

根据运营经验,反向曲线的维修养护比同向曲线更为复杂,列车运行也不如同向曲线平稳,当夹直线较短时,这些缺点更为显著。因此,隧道不宜设在反向曲线上。

5.2.10 结合大秦线运营情况,重载列车同时位于 2 个以上的连续反向的曲线范围内,不易保持线路的稳定,线路维修工作量加大。因此,本规范规定列车长度范围内,不宜设置 2 个以上连续反向的曲线。

5.2.11 车站平面设计标准说明如下:

1 组合分解站及区段站设在曲线上有以下主要缺点:

(1)站内瞭望视线不良,使接发车、调车及列检作业等复杂化,值班员、车长、调车员、司机之间信号联系条件恶化,不仅增加中转信号时间,降低效率,还容易误认信号,造成行车事故。

(2)影响作业安全,尤其在夜间照明设备不良的情况下或雪天,作业极不安全。

(3)增加列车起动阻力。

(4)作业繁忙的车站需增加辅助的行车人员及列检人员。

(5)由于曲线车站调车作业不能使用铁鞋制动,列检人员检修车辆及换闸瓦有时需移到直线上进行,作业受限制。

鉴于曲线车站的上述缺点,并考虑到组合分解站、区段站的作业量远大于中间站、会让站和越行站,故本条规定:组合分解站及区段站应设在直线上。

尽管车站设在曲线上存在许多缺点,但在困难条件下,尤其在地形复杂的山区,车站设在曲线上是不可避免的,特别是对于重载

铁路来说,由于其站坪长度很长,要求车站布置在直线上有时会引起巨大的工程。

困难条件下车站曲线的最小半径标准主要根据作业要求及满足行车速度、养护维修要求和技术经济合理性等因素确定。

根据现场调查情况分析,结合以往规范和运营实际情况,并满足车站作业和列车以路段设计速度通过车站的需要,在困难条件下中间站、越行站、会让站设在曲线上时,其曲线半径不应小于本规范规定的正线最小曲线半径值。区段站、组合分解站列检作业、特别是调车作业较其他类型的车站多,为改善车站运营条件,并兼顾列车以设计最高行车速度通过的可能,故规定特别困难条件下,组合分解站及区段站曲线半径不得小于 800 m。

2 改建车站的曲线半径标准。改建车站时,一般情况下曲线半径应符合上述标准。若受既有设备及车站两端大型桥、隧等建筑物的控制,改建有特殊困难时,可保留低于上述规定的曲线半径,以免改建施工时严重干扰运营或引起巨大工程。为慎重起见,需经技术经济论证。

3 车站设置在反向曲线上的要求。横列式车站不宜设在反向曲线上,是因为车站设在反向曲线上更加恶化瞭望条件,各项作业更感困难,不仅作业效率低,而且易造成晚点,甚至造成事故。纵列式车站如设在曲线上,由于反向曲线对接发列车及调车作业等极为不利,因此,每一运行方向的到发线有效长度范围内的线路不应设置反向曲线。

4 车站曲线偏角的要求。车站曲线的偏角和半径的选择,既要适应地形、地质等工程条件,又要满足运输的要求,使运营条件尽可能好些。在选线时首先应力求曲线偏角小些,但偏角大小往往受工程条件的限制,不易任意选择,这时就产生了在一定偏角条件下选择半径大小的问题。

运营实践和研究分析表明,在满足一定的车站作业视线要求的情况下,车站曲线的偏角与半径之间存在有最佳匹配,且与运转

室在曲线的内、外侧有关,其一般规律是最佳半径随偏角的减小而增大。由此可知,采用较小的偏角有利于较大半径的选用;当半径一定时,与其具有最佳匹配的偏角的范围也随之确定,而并非越小越好。

因此,本款规定,车站曲线宜采用较小的偏角。

5 车站咽喉区范围内的正线设在直线上。因为咽喉区内的正线有较多道岔,道岔设在曲线上有严重缺点,如尖轨不密贴且磨损严重,道岔导曲线和直线部分不好连接,轨距复杂不好养护,列车通过时摇摆厉害且容易脱轨,道岔需特别设计制造等。所以,车站咽喉区范围内的正线应设在直线上。

5.3.1 本条规定了限制坡度值按地形条件、牵引种类、机车类型、牵引质量和运输需求确定的原则。

1. 影响限制坡度的因素

限制坡度是影响铁路全局的主要技术标准。它不仅对线路走向、长度和车站分布有很大影响,而且直接影响运输能力、行车安全、工程费与运营费。

(1)牵引种类和机车类型:电力牵引比内燃牵引的计算牵引力大,计算速度高,牵引定数大,满足相同运能要求时的限制坡度比内燃牵引的大。大功率机车的牵引力大、牵引定数大,满足相同运能要求的限制坡度比小功率机车的大。

(2)地形类别:限制坡度适应地形时,线路长度短、工程投资省。否则需额外增加展线,增大工程费与运营费。

(3)运输需求:其他条件相同时货运量大的线路要求较小的限制坡度。

(4)邻线的牵引质量:限制坡度选择应考虑使设计线与邻接铁路的牵引质量相协调。统一牵引质量可避免列车换重作业,加速机车车辆周转,提高运营指标并增加运输的机动性。牵引质量统一、协调的方法可采用与邻接线路相同的限制坡度和机型,也可采用与邻接线路不同的限制坡度,而用不同的机型来调整。

影响限制坡度选择的因素众多,而不同决策的经济效益出入甚大,且限制坡度在线路建成后不易改动,故应根据地形类别、牵引种类、牵引质量和运输要求比选确定。一条长大干线所经地区的地形类别差异较大时,可分若干区段选择不同的限制坡度,用调整机型或机车台数的方法统一、协调全线的牵引定数。

2. 限制坡度的计算及采用

根据目前我国重载铁路常用的机型,通过不同的单机和多机牵引质量计算确定限制坡度标准。

本规范采用的限制坡度最大值计算公式如下:

$$i = \frac{\sum_{k=1}^n \lambda_y \lambda_k F_{jk} - (\sum_{k=1}^n P_k \omega'_{0k} + Q \omega''_0)}{(\sum_{k=1}^n P_k + Q)g}$$

(说明 5.3.1—1)

式中 i ——限制坡度(‰),以 0.5‰为单位取值;

n ——机车台数;

λ_y ——机车牵引力使用系数;

λ_k ——第 k 台机车的牵引力取值系数,按现行《列车牵引计算规程》TB/T 1407 的规定取值;

F_{jk} ——第 k 台机车在本务机车计算速度时的牵引力(N);

P_k ——第 k 台机车的质量(t);

Q ——牵引质量(t);

ω'_{0k} ——第 k 台机车在本务机车计算速度时的单位基本阻力(N/t);

ω''_0 ——车辆在本务机车计算速度时的单位基本阻力(N/t);

g ——重力加速度,取 9.81 m/s^2 。

本规范限制坡度计算结果见说明表 5.3.1—1,取整结果见说明表 5.3.1—2。

说明表 5.3.1—1 限制坡度计算值

牵引质量 机车台数 机车类型	10 000 t				20 000 t		
	单机	双机	三机	四机	双机	三机	四机
SS ₄	2.34	6.05	9.62	13.06	2.34	4.21	6.05
HXD ₁ (轴重 25 t)	3.53	8.62	13.52	18.23	3.53	6.10	8.62
HXD ₂ (轴重 25 t)	3.76	9.06	14.21	19.12	3.76	6.48	9.06
HXD ₃ (轴重 25 t)	2.23	6.10	9.86	13.52	2.23	4.18	6.10
HXD ₁ B	2.06	6.16	10.13	13.99	2.06	4.12	6.16
HXD ₂ B	2.54	6.96	11.24	15.41	2.54	4.76	6.96
HXD ₃ B	3.24	8.17	12.95	17.59	3.24	5.72	8.17

注：机车牵引力使用系数，SS₄ 按 0.9、其他交流传动机型按 1.0；多机牵引时，每台机车牵引力均取全值。

表 5.3.1—2 限制坡度取整值

牵引质量 机车台数 机车类型	10 000 t				20 000 t		
	单机	双机	三机	四机	双机	三机	四机
SS ₄	2.0	6.0	9.5	13.0	2.0	4.0	6.0
HXD ₁ (轴重 25 t)	3.5	8.5	13.5	18.0	3.5	6.0	8.5
HXD ₂ (轴重 25 t)	3.5	9.0	14.0	19.0	3.5	6.0	9.0
HXD ₃ (轴重 25 t)	2.0	6.0	9.5	13.5	2.0	4.0	6.0
HXD ₁ B	2.0	6.0	10.0	13.5	2.0	4.0	6.0
HXD ₂ B	2.5	6.5	11.0	15.0	2.5	4.5	6.5
HXD ₃ B	3.0	8.0	12.5	17.5	3.0	5.5	8.0

注：机车牵引力使用系数，SS₄ 按 0.9、其他交流传动机型按 1.0。

3. 既有大秦线、北同蒲线、朔黄线限坡情况

(1) 大秦线线路坡度

大秦线限制坡度为 4‰，全线重车方向 4‰的上坡长度共计 73.55 km，占全线的 11.26%，其中最大坡长为 4 750 m，位于

K27.8~K32.55 位置;在 K479.8~K501 坡段,其坡度均为超过 3.5‰的连续上坡,列车最低运行速度下降到 52 km/h,低于机车计算速度,维持 52 km/h~55 km/h 的低速连续运行约 23 km 左右。

HXD1 型机车计算速度为 65 km/h,大秦线重车方向由于坡度影响,列车运行速度低于 65 km/h 的距离共计约 71 km,占大秦线全线长度的 10.87%。其余 4‰的上坡地段列车实际运行时采用动能闯坡的方式通过。

(2) 北同蒲线线路坡度

北同蒲线限制坡度为 6‰,但朔州至韩家岭段全线的线路较为平顺,坡度大于 4‰的坡段占全线的 15.68%,坡度大于 5‰的坡段仅占全线的 8.27%。在 K62.9~K70.9 坡段,其坡度均为超过 5‰的连续上坡,列车最低运行速度为 55 km/h,低于机车计算速度,维持 55 km/h~58 km/h 速度连续运行约 7 km 左右。

HXD1 型机车计算速度为 65 km/h,北同蒲线重车方向由于坡度影响,列车运行速度低于 65 km/h 的距离共计约 7 km,占北同蒲线全线长度的 6.54%。其余 4‰的上坡地段由于坡度较短,且较为分散,列车实际运行时采用动能闯坡的方式通过。

(3) 朔黄线线路坡度

朔黄线限制坡度为 4‰/12‰,2009 年实行扩能改造后,以开行 2 万 t 重载组合列车为主,辅以万吨列车和 5 000 t 列车。

全线重车方向大于 3.5‰的上坡长度共计 38.02 km,占全线的 6.47%;在 K257.65~K260.4 坡段,其坡度均为超过 3.5‰的连续上坡。根据列车模拟牵引计算结果,采用 HXD1 牵引 10 000 t 列车,列车最低运行速度下降到 69 km/h,仍高于机车计算速度。

朔黄线在 K409.4~K412.15 区段,存在两处超限坡段,分别为坡长为 310 m 坡度为 8.2‰和坡长为 500 m 坡度为 8.4‰的两处超限坡度,列车均以动能闯坡形式通过,模拟牵引计算列车速度下降至 68 km/h,仍高于机车的计算速度。

(4)限制坡度对比分析

大秦线限制坡度为 4‰,已经超过 HXD 型机车单机牵引 10 000 t 的限制坡度,在 4‰的坡段较短的地段,列车以动能闯坡的形式通过,在 4‰的坡段较长的地段或连续上坡地段,列车的运行速度则降至机车计算速度以下。

北同蒲线限制坡度为 6‰,相比大秦线,北同蒲线的最大坡度虽然较大,但其对应的坡长均较短。北同蒲线最大坡度也已经超过 HXD 型机车单机牵引 10 000 t 的限制坡度,但北同蒲线绝大部分坡度均较小,大于 4‰的坡段坡长较短且较为分散,列车以动能闯坡的形式通过。在 5‰的连续上坡地段,列车的运行速度降至机车计算速度以下。

朔黄线虽然限制坡度为 4‰,但坡段均较短(均小于 1 500 m),且无连续上坡,列车均能以动能闯坡的形式通过。而在两处超限坡段,由于坡段较短,列车能以动能闯坡的形式通过,虽然列车速度有所下降,但仍高于列车的计算速度。

综上计算和对既有线的分析,规定了线路的限制坡度应根据地形条件、牵引质量、机车类型和运输需求计算比选确定,并应考虑与邻接铁路的限制坡度相协调。

5.3.3 采用动能闯坡在运营上有很多困难。由于气象的变化如暴风雨、大雾、严寒冰冻等,司机操作、列车调度不当和线路大修维修需要减速等原因常易造成列车运行缓慢或中途停车事故,有的每到严寒季节就要减轴运行,所以改建既有线一般不轻易采用动能闯坡。如改建既有线按选定的限制坡度削减超限坡地段将引起大型桥隧建筑物改建、长距离改线或其他巨大工程时,通过方案比选,可保留经过运营实践证明货物列车能够利用动能闯过坡顶而速度不低于计算速度的原有超限坡度。但既有线为双线时,不应妨碍采用自动闭塞。增建第二线时,为了充分利用既有线以减少工程投资,对既有线超过限制坡度的地段可作为单方向行车的下坡线,但不应妨碍采用自动闭塞。

条文中“机车计算速度”是指在充分发挥机车功率的前提下牵引列车运行在限制坡道上的均衡速度。

5.3.4 本条文说明如下：

1 曲线阻力折减(以下简称“曲线阻力减缓”)

为了保证满轴货物列车在任何地段都能以不低于计算速度运行,如曲线位于或接近最大坡度的坡道上,则应考虑曲线阻力减缓,使加算坡度不大于限制坡度最大坡度。

2 隧道坡度折减

(1)《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 坡度折减规定

电力牵引隧道坡度折减主要是考虑隧道内空气附加阻力的影响,因影响空气阻力的因素较多,一般都通过试验确定。

《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 隧道空气附加阻力的计算系采用凉风垭隧道试验公式简化计算：

$$\omega_s = \frac{0.003\ 57L}{P+Q} \left[1 - \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{61.475 + 0.177(L_s - L)}{L}}} \right]^2 v^2$$

(说明 5.3.4—1)

式中 ω_s ——隧道附加空气阻力(N/kN)；

v ——隧道内列车运行速度(km/h)；

L_s ——隧道长度(m)；

L ——列车长度(m)；

P ——机车计算质量(t)；

Q ——列车牵引质量(t)。

隧道坡度折减在设计中通常用隧道内线路最大坡度系数 β_s 来进行隧道坡度折减,电力牵引 β_s 值按下式计算：

$$\beta_s = 1 - \frac{\beta_s}{i_{\max}}$$

(说明 5.3.4—2)

根据以上计算公式,《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 规定:长度大于 400 m 的隧道线路坡度不得大于最大坡度乘以说明

表 5.3.4—1 规定的系数所得的数值。

说明表 5.3.4—1 电力牵引铁路隧道内线路最大坡度系数

隧道长度 $L(\text{m})$	电力牵引
$400 < L \leq 1\,000$	0.95
$1\,000 < L \leq 4\,000$	0.90
$L > 4\,000$	0.85

注：最大坡度折减系数不分单、双机牵引，也不分单、双线隧道。

(2)重载铁路隧道坡度折减

1)单洞双线隧道坡度折减

凉风垭隧道试验公式是于 1965 年,根据全压差理论,采用“长管测压法”,在凉风垭、新场、娄山关、核桃坪等隧道进行隧道空气阻力试验后提出的,试验时最长隧道为 4 270 m 的川黔线凉风垭隧道。其隧道设计目标速度仅 120 km/h,隧道净空断面积约为 31.31 m²。该试验公式仅包含了列车速度、长度及隧道长度变量,未包括列车迎风面积、隧道的净空面积、隧道表面粗糙度、列车表面粗糙度等其他因素变量,存在较大的局限性。目前我国隧道断面积增大,长隧道增多,机车牵引性能提高,货物机车的最高运营速度已由 SS 型的 100 km/h 提高到 120 km/h,机车计算速度由韶山型的 43、48、51 km/h 上升到 HX 交直交型机车的 65、70、80 km/h,机车功率由直流机车的 4 800、6 400 kW 发展到交流机车 7 200、9 600、10 000 kW。

2008 年,中铁二院、西南科学研究院、西南交通大学开展了《长大隧道合理坡度折减系数研究》并进行了相关测试,提出了新的坡度折减公式。

该公式假定长为 l 的列车全部进入隧道并以速度 v 在长度为 L 的隧道中运行,分别以地面为参考系和列车为参考系计算列车在隧道内运行附加空气阻力。单列列车全部进入隧道时的空气阻力计算公式为

$$\begin{aligned}
D = & \frac{\rho}{2} \left\{ \left[\frac{(u-U)A_l}{(A_t-A_v)} - U \right]^2 - (u-U)^2 \right\} A_v \\
& + \frac{\rho}{2} (U-u)^2 [\beta/(1-\beta)^2] (1-\beta-C_h-C_t) A_v \\
& - \frac{\rho l}{2(A_t-A_v)} \left(w|w| \frac{\lambda}{4} S_t A_v + w'|w'| \frac{\lambda'}{4} S_v A_t \right)
\end{aligned}$$

(说明 5.3.4—3)

式中 l ——列车长度(m);
 L ——隧道长度(m);
 A_v ——列车横断面积(m²);
 A_t ——隧道横断面积(m²);
 S_v ——列车横断面的周长(m);
 S_t ——隧道横断面的周长(m);
 U ——列车相对于地面的运行速度(m/s);
 u ——隧道中列车前方一定范围内相对于地面的平均气流速度(活塞风)(m/s);
 λ ——隧道壁面沿程阻力系数;
 λ' ——列车侧壁表面沿程阻力系数;
 C_h ——列车车头压差阻力系数;
 C_t ——列车车尾压差阻力系数;
 ρ ——大气密度(kg/m³)。

隧道空气附加阻力与隧道所处坡度或设计采用限制坡度无关,相对于最大坡度的影响,隧道断面对隧道坡度折减的影响更大,故本次规定取消不同坡度的划分。

根据我国现有 HX 系大功率电力机车主要技术参数见说明表 5.3.4—2, HX 系主力电力机车持续速度主要集中在 65 km/h, 对应了较大的持续牵引力,满足重载铁路对强大的持续牵引能力需求。因此,本次重载铁路隧道最大坡度折减值计算持续速度取 65 km/h。

说明表 5.3.4—2 时速 100 km 及以上电力机车主要技术参数表

机 型	HXD1	HXD2	HXD3	HXD1B	HXD2B	HXD3B
用 途	干线货运	干线货运	干线货运	干线货运	干线货运	干线货运
传动方式	交—直— 交	交—直— 交	交—直— 交	交—直— 交	交—直— 交	交—直— 交
轴 式	八轴 2 (B ₀ -B ₀)	八轴 2 (B ₀ -B ₀)	六轴 C ₀ -C ₀	六轴 C ₀ -C ₀	六轴 C ₀ -C ₀	六轴 C ₀ -C ₀
持续功率	9 600 kW	10 000 kW	7 200 kW	9 600 kW	9 600 kW	9 600 kW
最高运行速度	120 km/h	120 km/h	120 km/h	120 km/h	120 km/h	120 km/h
持续速度	65 km/h	65 km/h	65 km/h	81.9 km/h	76 km/h	70 km/h
持续牵引力	532 kN	554 kN	400 kN	422 kN	454.7 kN	493.7 kN

电力牵引重载铁路,列车持续速度 65 km/h,隧道净空面积为 63.62 m²单洞双线隧道最大坡度折减值分析见说明表 5.3.4—3。

说明表 5.3.4—3 电力牵引重载铁路隧道内线路最大坡度折减值

隧道长度(km)	单洞双线隧道坡度折减值
3.0	—
4.0	—
5.0	—
7.0	0.00
10.0	0.06
12.5	0.11
15.0	0.14
20.0	0.20

从说明表 5.3.4—3 可以看出,隧道最大坡度折减值增幅在 15 km 隧道出现一定拐点,同时长度 5 000 m 以下隧道坡度折减值很小,因此重载铁路考虑 5 000 m 以上坡度折减。长度大于 5 000 m 的电力牵引重载铁路单洞双线隧道内线路坡度不得大于最大坡度减去说明表 5.3.4—4 规定的减缓值所得的数值。

说明表 5.3.4—4 电力牵引重载铁路单洞双线隧道内线路
最大坡度减缓值(‰)

隧道长度(m)	$5\,000 < L \leq 10\,000$	$10\,000 < L \leq 15\,000$	$L > 15\,000$
坡度减缓值(‰)	0.06	0.14	0.20

2)单洞单线隧道坡度折减

由于《长大隧道合理坡度折减系数研究》研究成果的基础为隧道净空面积 52.01 m^2 及以上隧道空气附加阻力测试数据,而重载铁路单线单洞隧道净空面积小于 52.01 m^2 ,隧道净空面积 30.39 m^2 ,因此研究成果中空气附加阻力测试数据欠缺,由此得出的折减系数缺乏依据。基于上述原因,将“隧道坡度折减”研究成果部分纳规,纳入隧道净空面积 52.01 m^2 及以上重载单洞双线隧道最大坡度折减成果,重载铁路单洞单线铁路隧道最大坡度折减系数仍沿用原规范凉风垭隧道经验公式计算的坡度折减系数。

根据凉风垭公式,按照不同机车类型牵引的重载列车,计算单洞单线隧道内的最大坡度折减数值及折减系数见说明表 5.3.4—5、表 5.3.4—6。

说明表 5.3.4—5 单洞单线隧道内线路最大坡度折减数值表

隧道长度(m)	机 型	折减值
1 000	SS ₄	0.01
	HXD1-25	0.02
	HXD2-25	0.02
	HXD3-25	0.02
	HXD1B	0.03
	HXD2B	0.02
	HXD3B	0.02
4 000	SS ₄	0.18
	HXD1-25	0.29
	HXD2-25	0.29

续说明表 5.3.4—5

隧道长度(m)	机 型	折减值
4 000	HXD3-25	0.29
	HXD1B	0.45
	HXD2B	0.39
	HXD3B	0.33
6 000	SS ₄	0.24
	HXD1-25	0.38
	HXD2-25	0.38
	HXD3-25	0.38
	HXD1B	0.60
	HXD2B	0.52
	HXD3B	0.44
10 000	SS ₄	0.32
	HXD1-25	0.51
	HXD2-25	0.51
	HXD3-25	0.51
	HXD1B	0.81
	HXD2B	0.70
	HXD3B	0.59
15 000	SS ₄	0.39
	HXD1-25	0.62
	HXD2-25	0.62
	HXD3-25	0.62
	HXD1B	0.99
	HXD2B	0.85
	HXD3B	0.72

续说明表 5.3.4—5

隧道长度(m)	机 型	折减值
20 000	SS ₄	0.44
	HXD ₁ -25	0.70
	HXD ₂ -25	0.70
	HXD ₃ -25	0.70
	HXD ₁ B	1.11
	HXD ₂ B	0.96
	HXD ₃ B	0.81

说明表 5.3.4—6 单洞单线隧道内线路最大坡度折减系数表

隧道长度(m)	机 型	4	6	8	10	12	14	16
1 000	SS ₄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	HXD ₁ -25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	HXD ₂ -25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	HXD ₃ -25	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	HXD ₁ B	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	HXD ₂ B	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	HXD ₃ B	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4 000	SS ₄	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99
	HXD ₁ -25	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
	HXD ₂ -25	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
	HXD ₃ -25	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98
	HXD ₁ B	0.89	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97
	HXD ₂ B	0.90	0.93	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
	HXD ₃ B	0.92	0.94	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98
6 000	SS ₄	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98
	HXD ₁ -25	0.90	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
	HXD ₂ -25	0.90	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98

续说明表 5.3.4—6

隧道长度(m)	机 型	4	6	8	10	12	14	16
6 000	HXD3-25	0.90	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
	HXD1B	0.85	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.96
	HXD2B	0.87	0.91	0.93	0.95	0.96	0.96	0.97
	HXD3B	0.89	0.93	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97
10 000	SS ₄	0.92	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98
	HXD1-25	0.87	0.91	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
	HXD2-25	0.87	0.91	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
	HXD3-25	0.87	0.91	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
	HXD1B	0.80	0.86	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95
	HXD2B	0.82	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96
	HXD3B	0.85	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
15 000	SS ₄	0.90	0.93	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
	HXD1-25	0.84	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.96
	HXD2-25	0.84	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.96
	HXD3-25	0.84	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.96
	HXD1B	0.75	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94
	HXD2B	0.79	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95
	HXD3B	0.82	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95
20 000	SS ₄	0.89	0.93	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97
	HXD1-25	0.82	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96
	HXD2-25	0.82	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96
	HXD3-25	0.82	0.88	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96
	HXD1B	0.72	0.81	0.86	0.89	0.91	0.92	0.93
	HXD2B	0.76	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94
	HXD3B	0.80	0.86	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95

根据上表分析,按照最不利机车类型牵引计算的重载铁路坡度折减系数与《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 规定的折减系数差异不大,考虑到既有铁路运营实际以及凉风垭隧道经验公式的适应性,仍采用《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 规定。即:长度大于 400 m 的电力牵引重载铁路单洞单线隧道的线路坡度不得大于最大坡度乘以说明表 5.3.4—7 规定的系数所得的数值。

说明表 5.3.4—7 电力牵引铁路隧道内线路最大坡度折减系数

隧道长度(m)	单洞单线隧道
$400 < L \leq 1\,000$	0.95
$1\,000 < L \leq 4\,000$	0.90
$L > 4\,000$	0.85

5.3.5 本条参考现行《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 第 3.2.6 条制定。根据我国大秦线、朔黄线重载牵引试验和实际运营的检验,上述标准能够满足线路运营安全要求。

5.3.6 最小坡段长度标准对纵断面及工程投资的影响较大,特别是在平原及城镇地区,高程控制点多,采用较长的最小坡段将会显著地增加桥梁工程,增大工程投资;即使对于个别地段,不同的最小坡段长度标准也会使工程投资产生较大的差异。因此,在保证重载铁路运营安全的基础上,不宜过高地提高最小坡段长度标准,以节省工程投资。

对于最小坡段长度标准,国外铁路除规定两竖曲线不能重叠设置、两竖曲线之间的夹坡段不小于某一值(如美国 AREMA 标准规定 100 英尺)外,未见其他明确的规定,也间接说明最小坡段长度不是决定运营安全和养护维修工作量的关键因素。

我国重载列车运行仿真分析及试验结果表明列车通过变坡点的附加纵向力与列车跨越变坡点的个数关系不大,而主要与纵断面的形式及其相应的操纵工况以及列车的牵引质量紧密相关。

大秦、朔黄等线重载运输的运营实践表明按现行《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 规定的最小坡段长度标准能够适应重载运输要求。

因此,本规范规定:纵断面宜设计为较长的坡段,最小坡段长度一般不应小于 400 m;凸形纵断面顶部为缓和坡度差而设置的分坡平段的长度不应小于 200 m;困难条件下,因坡度减缓或折减而形成的坡段、长路堑内为排水而设置的人字坡坡段长度均可减至 200 m。改建既有线和增建第二线的坡段长度在困难条件下可减至 200 m。

5.3.7 为了缓和变坡点坡度的急剧变化,使列车通过变坡点时不脱轨、不脱钩和产生的附加加速度不超过允许值,相邻坡度差大于一定限度时,需在变坡点处设置圆曲线型的竖曲线。

1 竖曲线半径 R_v 。

(1)列车通过变坡点不脱轨要求。相邻坡段成折线连接时,机车的前转向架中间轴未通过变坡点前,机车前轮将呈悬空状态,其最大悬空值不能超过轮缘高度。

我国使用的电力机型产生最大悬空值是 SS₄ 型机车,其重心至前转向架第一轮中心的距离为 5.60 m,磨耗型踏面轮缘高度为 25 mm,则保证不脱轨的 Δi 为

$$\Delta i \leq 0.025/5.60 = 4.5(\text{‰})$$

以上没有考虑运行中的机车,在重力作用下将以重心所在的车轮为支点的回转作用和机车第一轮轮对的下落活动量,是留有余地的。考虑到在纵距为 10 mm 左右而不设竖曲线时,在施工、养护时变坡点处轨面亦能自然形成竖曲线,因此,重载铁路相邻坡段的坡度差大于 3‰时,以竖曲线连接,从理论上分析,并未超出不脱轨所要求的坡度差。

(2)满足行车平稳要求。列车通过变坡点时产生竖直离心力和离心加速度 a_v ,竖曲线半径 R_v (m)与行车速度 v (km/h)及 a_v (m/s²)的关系为

$$R_v = \frac{v^2}{3.6^2 a_v} \quad (\text{说明 } 5.3.7-1)$$

根据国外经验,当 a_v 值在 $0.3 \text{ m/s}^2 \sim 1.0 \text{ m/s}^2$ 范围内时,不致引起司乘人员的不舒适感觉。国外高速客运专线一般取 $0.2 \text{ m/s}^2 \sim 0.35 \text{ m/s}^2$,法国困难条件下取 $0.5 \text{ m/s}^2 \sim 0.6 \text{ m/s}^2$,日本困难条件下取 0.5 m/s^2 ,前苏联采用 0.15 m/s^2 。我国广深线 200 km/h 试验段采用 0.15 m/s^2 。

考虑到本规范适用货运重载铁路,舒适度方面的要求可以适当降低,故取以 a_v 值一般为 0.5 m/s^2 ,困难为 1.0 m/s^2 ,按式(说明 5.3.7—1)计算满足行车平稳要求的最小竖曲线半径分别为 $2\,222 \text{ m}$ 和 $1\,111 \text{ m}$ 。

(3)满足不脱钩要求。列车在变坡点处,由于相邻车辆的相对斜倾,使相邻车钩的中心线上下错动,如超过限定的数值时,就易引起上下脱钩。

《铁路技术管理规程》规定,车钩允许的上下活动量货车为 75 mm 。在该允许值中考虑造成相邻车钩中心线上下错动的因素有:

- 1)空、重车相邻连接差 20 mm ;
- 2)车轮踏面的允许磨耗:货车不能大于 9 mm ;
- 3)轮对轴颈允许磨耗值 10 mm ;
- 4)轴瓦、轴瓦垫、转向架上下心盘允许总磨耗 24 mm ;
- 5)轨道维修的允许水平差所引起的上下位移,货车为 1 mm 。

综合以上最不利因素,即相邻车体一为新的空车,另一为各方面都磨耗到限的旧重车,且轨道水平养护误差也是最大时,相邻车钩中心线上下位移值为

$$\text{货车 } \sum f = 20 + 9 + 10 + 24 + 1 = 64(\text{mm})$$

变坡点处相邻车辆相对斜倾引起的车钩中心线上下位移允许值为

$$\text{货车 } f_R = 75 - 64 = 11(\text{mm})$$

列车通过竖曲线时,由于相邻车辆相对斜倾引起的车钩中心线上下位移值,经过化简后,相应竖曲线半径近似公式得

$$R_v = \frac{(L+d)d}{2f_R} \quad (\text{说明 } 5.3.7-2)$$

式中 R_v ——竖曲线半径(m);

L ——车辆两转向架中心距(m);

d ——转向架中心至车钩中心距(m)。

在上式中代入车辆的最长 L 和 d 值,以及 f_R 的允许值,可以计算出保证不脱钩条件的最小竖曲线半径。如以 P₁₃(60 t 棚车)、D₁₀(90 t 凹底车)计算,最小竖曲线半径 R_v 分别为 1 750 m、2 250 m。

原苏联按铁路等级规定竖曲线半径标准 I—15 000 m, II、III—10 000 m, IV—5 000 m, V—3 000 m。法国按最高速度规定竖曲线半径标准: $v \leq 100$ km/h, $R_{SH} = 5\,000$ m; 100 km/h $< v \leq 120$ km/h, $R_{SH} = 10\,000$ m; $v > 120$ km/h, $R_{SH} = 20\,000$ m。德国规定应将坡度差大于等于 1‰ 的变坡点进行圆顺,竖曲线的最短长度为 20 m;干线铁路和次要铁路的凸形和凹形竖曲线半径均不应小于 2 000 m;竖曲线半径的最高值: $R_a \leq 30\,000$ m,标准值: $R_a = 0.4v^2$ (m),自主确定值: $R_a = 0.25v^2$ (m),需批准的值:在凸形竖曲线时 $R_a = 0.16v^2$ (m),在凹形竖曲线时 $R_a = 0.13v^2$ (m)。美国 AREMA 标准规定可以采用圆曲线型或抛物线型竖曲线,最小竖曲线长度为

$$L = \frac{D \times v^2 \times K}{A} \quad (\text{说明 } 5.3.7-3)$$

式中 A ——垂直加速度,建议值货运铁路 0.1 ft/s²、客运铁路 0.6 ft/s²;

D ——用小数表示的坡度差绝对值;

K ——转换因子 2.15;

L ——竖曲线长度(ft);

v ——列车速度(mile/h)。

规定在任何情况下竖曲线长度不应小于 100 英尺(30.48 m);由此反算当货物列车速度分别为 50 mile/h、60 mile/h、75 mile/h 时,其竖曲线半径分别不小于 16 383 m、23 592 m、36 862 m。

20 世纪八九十年代铁道科学研究院对《线规》中纵断面连接标准的研究,曾建议列车牵引质量达到 5 000 t~6 500 t 时,竖曲线半径采用 15 000 m,困难时可用 10 000 m,此时可取消对坡度差的限制,即最大坡度差可采用两倍的限制坡度值。根据大秦线 2 万 t 列车运行试验结果,列车在 10 000 m 竖曲线上运行并未出现大于“指标”的列车纵向力。

综合以上分析,为了行车平稳和安全,改善行车条件,并考虑现行规范竖曲线标准和运营养护实际情况,本规范规定,竖曲线半径为 10 000 m。

2 关于竖曲线不应与缓和曲线、道岔重叠。

(1)竖曲线不应与缓和曲线重叠。缓和曲线范围内,外轨超高一般以不大于 2‰的超高递增坡度逐渐升高,若两者重叠,将有如下影响:

1)内轨轨顶维持竖曲线的形状,而外轨轨顶则由于超高改变了坡度,这在一定程度上改变了竖曲线和缓和曲线在立面上的形状。

2)给养护维修带来一定的困难。外轨短坡变率因平、竖曲线重叠而有所变化。如要做成理论要求的形状,则养护工作要求较高,而目前竖曲线的养护维修以“目视圆顺”为准,不易做成理论要求的形状,且也难以保持。

(2)竖曲线不应与道岔重叠。车站纵断面的竖曲线应避免设在正线道岔范围内,因为道岔为正线线路的薄弱部分,其主要部件的尖轨和辙叉位于同一平面上,如将其设在竖曲线的曲面上,则将影响道岔的正常使用,也增加养护困难。同时,如道岔的导曲线和竖曲线重合,列车通过的平稳性更差,会增加列车的摇摆和振动。

因此,应将竖曲线设在道岔范围外,使竖曲线和道岔不相重叠。

5.3.8 隧道的坡型有单面坡和人字坡两种形式,单面坡道有利于紧坡地段争取高度和长隧道的运营通风;人字坡道则有利于从隧道两端同时施工时排水、出渣。设计时,要结合隧道所在地段的线路纵断面、隧道长度、牵引种类、地形、工程地质与水文地质、施工条件等具体情况,全面考虑,合理选择。一般来说,位于紧坡地段的隧道,宜设计为单面坡道;位于自由坡度地段的隧道,则可根据地形、地质条件及其他因素设计为单面坡道或人字坡道。

电力牵引的长隧道,一般也宜选用单面坡,如地下水发育,工期紧迫,且对线路高度影响不大的情况下,可设计为人字坡。由于隧道排水需要,洞身坡度不宜小于 3‰。寒冷及严寒地区有水的隧道,在设置防寒水沟地段可适当加大线路纵坡,以减少冬季排水冻害的影响。

5.3.9 本条参考现行《铁路线路设计规范》GB 50090—2006 第 3.2.13 条制定。

5.4.1 为确保客运专线铁路等较高速铁路运营安全,参照原铁道部《关于进一步明确铁路工程设计线路交叉跨越有关规定的通知》(铁建设〔2012〕23 号)制定本条文。

5.4.2 重载铁路一般行车密度高,列车长度大,制动困难,与道路交叉设置平交道口会给铁路行车和道路通行带来很大的安全隐患,给国家和人民生命财产带来严重威胁,故根据《中华人民共和国铁路法》的有关规定,本规范规定铁路与道路交叉应设置立体交叉。

铁路与道路立体交叉的形式有道路上跨铁路、道路下穿铁路及机动车道路上跨铁路和非机动车道路下穿铁路相结合的方式。各种交叉形式的适用条件不尽相同,工程投资差别也很大,设计时应区别不同的情况,根据道路的性质、等级、交通量、地形条件、安全要求以及经济效益和社会效益等因素确定。

5.4.3 地面水和地下水的排泄是保证铁路、道路路基稳定和强度的必要条件,需引起足够的重视。路基排水的要求在铁路、道路路

基设计规范中都有明确规定,铁路与道路立体交叉的排水设计除应满足上述要求外,还要考虑铁路排水与道路排水的整体配合和相互衔接,形成完整通畅的排水系统。

6.1.3 国内外的路基病害经验教训表明:边坡较高的高路堤、深路堑,尤其是特殊岩质和土质高堤深堑的基床下沉、边坡冲刷和滑塌失稳等病害较普遍,造成慢行和中断行车事故,增加养护维修费用。

《关于发布〈铁路轨道设计规范〉等八项铁路工程建设标准局部修订条文的通知》(铁建设〔2007〕104号)规定“Ⅰ、Ⅱ级铁路通过耕地和林地时,路堤高度不宜超过8m。”,《路基边坡防护及排水设计补充规定》(铁建设〔2009〕172号)中规定:“平原地区路堤高度不宜超过6m;山区地质条件良好地段路堤边坡高度不应超过12m,膨胀土、湿陷性黄土等特殊岩土及岩溶发育区等不良地质区段不应超过8m。……”。现行《铁路路基设计规范》中规定,路堤边坡高度大于15m,路基面应预留加宽及基床以下的填料应采用基床底层的压实标准。所以,重载铁路的路基边坡高度,根据以往的经验教训和有关规定,规定了一般路堤边坡高度不宜超过15m,路堑边坡高度不宜超过30m。

对难以避免的高路堤、深路堑和特殊岩土的路基,可通过采取提高压实质量、对地基适当处理加固、增加边坡稳定措施和加强防排水等综合措施,减少运营以后路基病害的发生。

6.1.6 换算土柱高度及分布宽度是根据列车活载与上部建筑重量及分布计算得出的,换算土柱高度计算图如说明图6.1.6所示。计算结果见说明表6.1.6。

换算土柱高

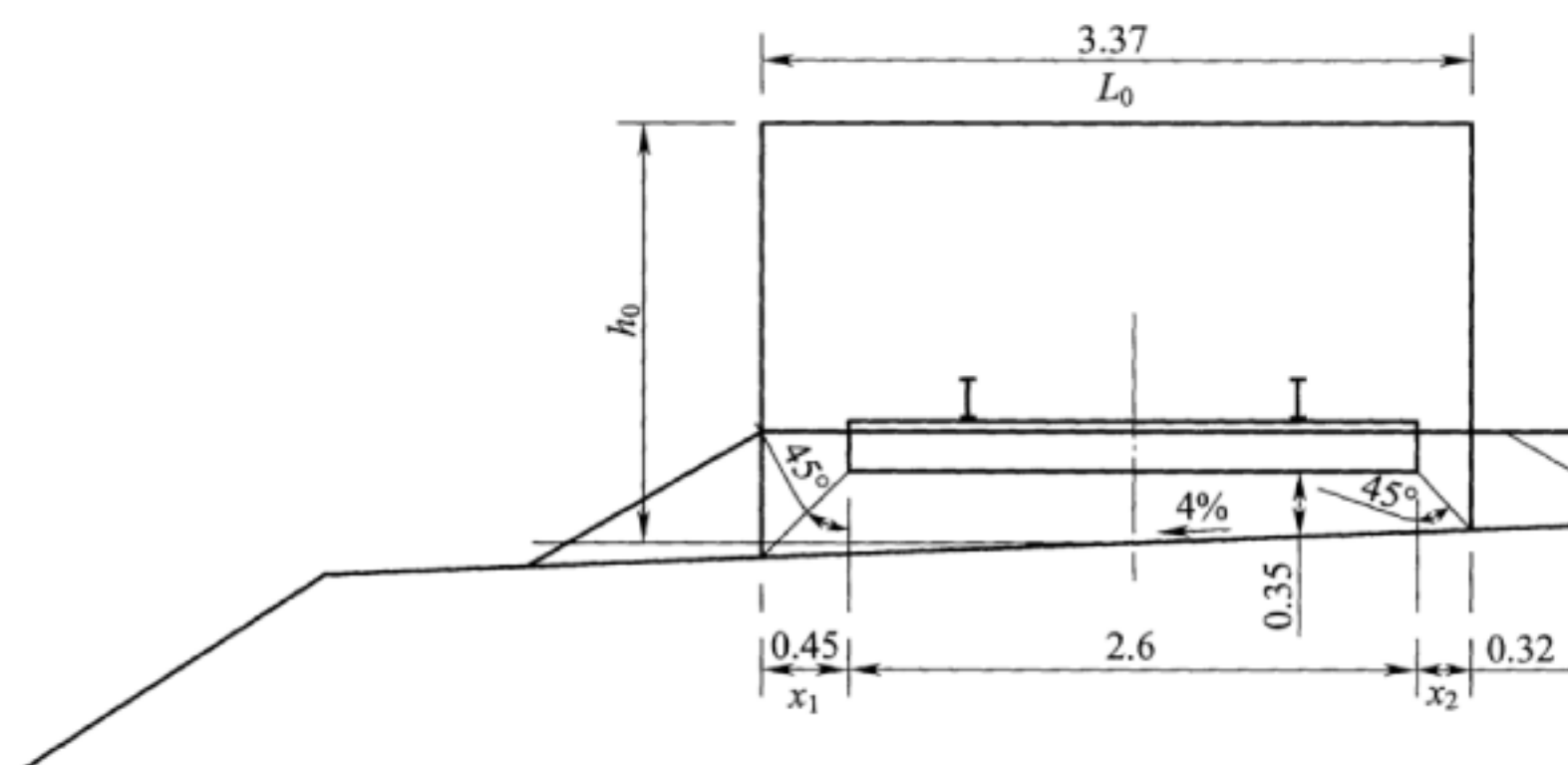
$$h_0 = \frac{P+Q}{\gamma \times 3.4} \quad (\text{说明 } 6.1.6)$$

式中 h_0 ——换算土柱高度(m);

P ——轨道荷载重量(kN);

Q ——列车活载(kN);

r ——填料重度(kN/m³)。



说明图 6.1.6 换算土柱高度计算图(单位:m)

说明表 6.1.6 换算土柱高度计算表

设计轴重(kN)	重度(kN/m ³)	换算土柱高度 h_0 (m)	
		计算值	采用值
250	18	3.517	3.6
	19	3.332	3.4
	20	3.165	3.2
	21	3.014	3.1
	22	2.877	2.9
270	18	3.721	3.8
	19	3.525	3.6
	20	3.349	3.4
	21	3.189	3.2
	22	3.044	3.1
300	18	4.027	4.1
	19	3.815	3.9
	20	3.625	3.7
	21	3.452	3.5
	22	3.295	3.3

6.2.2 本条规定的路基路肩宽度不应小于 1.0 m,路堑路肩宽度不应小于 0.8 m,是综合考虑以下因素制定的:

(1)路基稳定的需要,特别是浸水以后路堤边坡的稳定性。根据日本、德国的经验,在降雨量大的地区,增加路基宽度对保证线路畅通有重要作用,可使因边坡坍滑中断列车运行的事故大幅度减少。一般路堤浸水后,边坡部分土质软化,在自重与列车振动的共同作用下,容易发生边坡的浅层坍滑。路肩较宽时,即使发生浅层坍滑,也不会影响路堤承载部分,从而可不影响列车的正常通行。

(2)满足养护维修的需要。线路维修时搁置或推行小型养路机械需有一定的路肩宽度;此外,路肩部分设置的接触网立柱、电缆槽和观测桩等其他结构物,也需要有一定的宽度。

(3)我国大秦重载铁路规定,路肩宽度路堤不得小于 0.8 m,或一侧不小于 1.0 m,另一侧不小于 0.6 m。路堑不得小于 0.6 m。根据对大秦重载铁路及朔黄重载铁路的现场调查,许多地段路肩严重不足,一些地段已无路肩。

(4)根据运营实践总结的经验证明,路肩宽度是影响安全避车、路基的维修养护和路基本体尤其是边坡稳定性的重要因素。

综合上述多方面的考虑,规定路堤的路肩宽度不应小于 1.0 m,路堑的路肩宽度不应小于 0.8 m。

6.2.3 表 6.2.3 直线地段标准路基面宽度是按以下方法计算确定的:

(1)基床表层填筑级配碎石或级配砂砾石或 A 组填料,道床顶面宽度 3.5 m,道床边坡坡率 1 : 1.75,轨枕埋入道砟深度 0.185 m,路基面横向排水坡 4.0%,路堤路肩宽度 1.0 m,路堑路肩宽度 0.8 m,双线线间距 4.0 m。

(2)为满足电气化铁路接触网立柱设置在路肩上的要求,接触网立柱内侧距线路中心线不小于 3.1 m,接触网立柱宽度 0.7 m,接触网立柱外侧距路肩边缘的距离不小于 0.25 m。

根据以上计算,取控制值确定路基面宽度。

说明表 6.2.3 直线地段标准路基面宽度(m)

基床 表层 类型	道床 厚度 (m)	单 线						双 线					
		路 堤			路 堑			路 堤			路 堑		
		计 算 值	满足路 肩设置 接触网 立柱要 求值	采 用 值	计 算 值	满足路 肩设置 接触网 立柱要 求值	采 用 值	计 算 值	满足路 肩设置 接触网 立柱要 求值	采 用 值	计 算 值	满足路 肩设置 接触网 立柱要 求值	采 用 值
级配碎 石或级 配砂砾石	0.35	7.66	8.1	8.1	7.26	8.1	8.1	11.89	12.1	12.1	11.49	12.1	12.1
	0.3	7.48	8.1	8.1	7.08	8.1	8.1	11.70	12.1	12.1	11.30	12.1	12.1
A 组填料	0.55	8.42	8.1	8.5	8.02	8.1	8.1	12.64	12.1	12.7	12.24	12.1	12.3
	0.5	8.23	8.1	8.3	7.83	8.1	8.1	12.45	12.1	12.5	12.06	12.1	12.1

6.2.4 区间曲线地段的路基面加宽值是根据轨面超高值不超过 150 mm 计算得出的。

6.3.1 重载铁路路基基床结构设计依据《铁路路基基床结构设计方法及参数的研究》《新建重载铁路路基设计关键参数研究》《30 吨轴重重载铁路路基关键技术研究》和《山西中南部铁路通道重载综合试验》等科研成果,主要考虑以下几个方面:

- (1)基床表层和基床底层底面的动应力不超出下部土体的允许动强度;
- (2)防止道砟压入基床;
- (3)列车荷载作用下路基顶面变形量;
- (4)防冻和防水的要求。

基床表层和基床厚度设计按强度准则控制,保证基床及以下填土的长期稳定;防止道砟压入是保证基床表层在道床作用下的动力稳定;变形控制是保证列车的平稳运行;防冻防水则是对基床

表层下水文地质条件复杂或年降雨量较大且填料易产生病害的地区要求的。

动应力沿路基深度的分布按半空间体的 Boussinesq 公式计算,道床、基床表层及路基层状结构模量造成的影响,采用模量与厚度当量假定,将不同层位按当量厚度统一为同一模量。荷载分布在轨枕的有效支撑面积上,并考虑重载车辆的多轴作用。

基床表层厚度和基床厚度根据动应力沿路基深度的分布以及相应位置处路基土体的动强度确定,填料的动强度考虑围压影响,偏应力应小于土体的动强度。

轴重 300 kN 的基床厚度:路基面以下 3.0 m 处计算的偏应力约 30 kPa,小于一般饱和细粒土的动强度,基床深度取 3.0 m;0.7 m 深度处,计算的偏应力为 65 kPa 左右,实测 40 kPa 左右,A、B 组填料的动强度大于该深度处偏应力,基床表层厚度取 0.7 m。

轴重 270 kN 的基床厚度:路基面以下 2.5 m 处计算的偏应力约 30 kPa,小于一般饱和细粒土的动强度,基床深度取 2.5 m;0.6 m 深度处,A、B 组填料的动强度大于该深度处偏应力,基床表层厚度取 0.6 m。

特殊条件和特殊结构的基床厚度可根据分析方法计算确定。

6.3.2~6.3.4

1. 关于基床表层材料

基床表层的材料应具有较高的强度和弹性模量以及耐磨、反滤等特性。在参考国内外有关资料和铁科院铁建所《铁路路基填料分类标准深化研究》《山西中南部铁路通道工程建设关键技术研究》《30 吨轴重重载铁路路基关键技术研究》的基础上,基床表层材料可采用级配碎石或级配砂砾石或 A 组填料等。

级配砂砾石是欧洲铁路基床表层普遍使用的材料。德国、法国、西班牙等国家都采用级配砂砾石作为基床表层材料,日本则采用级配碎石,它们是用粒径大小不同的粗细砾石(碎石)集料和砂各占一定比例的混合料,其颗粒组成符合密实级配要求,其中包括

一部分黏土填充空隙并起黏结作用,经压实形成密实结构,其强度的形成是靠集料间的摩擦力和细粒土的黏结力。只要保证组成材料质量,使混合料具有良好的级配,在施工过程中,将混合料搅拌均匀,在最佳含水量下压实,达到要求的密实度,就能形成较高的力学强度和水稳性。但对级配砂砾石和级配碎石要严格控制其细集料的液限和塑性指数,亦即严格控制 0.5 mm 以下细粒土的含量,细粒土含量过高,将使塑性指数增大,降低集料的强度和刚度,同时其水稳性也差。

为了保证轨下基础动力稳定,防止道砟嵌入及防止基床底层颗粒进入基床表层,不同材料之间的级配需满足太沙基(Terzaghi)反滤准则,即 $D_{15} < 4d_{85}$,式中, D_{15} 为粗粒土颗粒级配曲线上相应于 15% 含量的粒径; d_{85} 为细粒土颗粒级配曲线上相应于 85% 含量的粒径。

级配碎石的颗粒粒径、级配和材料性能均应符合《客运专线基床表层级配碎石暂行技术条件》的有关规定。

2. 关于路基压实标准的确定

(1)从《大秦铁路》(铁道部大秦铁路建设办公室编,1995 年)中所介绍的澳大利亚重载铁路看,其路基压实度由原来的 $K \geq 0.95$ 修订为 $K \geq 0.97$ 。

(2)从大秦铁路来看,采用了《大秦线重载铁路路基设计原则及标准》(铁道部(84)铁基字 364 号)及《铁路路基填筑压实施工工艺》(铁基函[1988]164 号)的规定:重载铁路路基基床表层压实系数 $K \geq 0.97$,基床底层压实系数 $K \geq 0.95$;基床以下部分的压实系数 $K \geq 0.9$ 。

(3)从运营维护角度考虑,采用较高的压实标准可提高路基质量,减少路基病害和变形,从而降低运营期间的养护维修成本。既有的大秦线、朔黄线路基许多地段存在路肩严重不足,一些地段已无路肩,其主要原因是由路基本体产生沉降引起的,而路堤产生沉降虽然与填料也有关系,但主要原因是压实标准不高。

(4)从目前路基施工设备及工艺技术水平上看,采用较高的路基压实标准完全可以达到。

因此,基于以上原因,并考虑重载铁路轴重大、运量大、车流密度高,路基所受的动载强度及疲劳作用加大的特点确定了路基压实标准。

根据级配碎石及级配砂砾石有关填筑试验研究,当压实系数达到 0.97 以上,地基系数 K_{30} 值为 190 MPa/m~200 MPa/m。因此,基床表层地基系数采用 $K_{30} \geq 190$ MPa/m,底层 K_{30} 值参照压实系数相应采用。

6.3.5 A 组填料是《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 中除块石类、砂类土外的 A 组填料,不均匀系数 $C_u \geq 10$,最大粒径不大于 60 mm。当基床采用 A 组填料填筑时,道床厚度要求不小于 50 cm。

经过近几年铁路建设,发现《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 存在如下问题:

(1)《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 中将填土分成巨粒土、粗粒土和细粒土。巨粒土是粒径大于 60 mm 颗粒的质量超过 50%,对最大粒径没有限制。在路基修筑中,填土中包含颗粒粒径大于 75 mm,作为基床填料均匀性不易保证,试验困难,检测离散度大。

(2)《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 中,将不均匀系数 $C_u \geq 5$,曲率系数 $1 \leq C_c \leq 3$ 定为良好级配的 A 类土,但其中的一些砂类土,当不均匀系数 C_u 较小时,由于缺少大粒径的骨架作用和细粒的凝聚作用,压实时处于流动状态,难以压实。而德国 $C_u \geq 6$,日本 $C_u \geq 10$ 。美国《高速公路土和骨料混合物分类的标准》用对不同粒径含量的要求代替不均匀系数,保证填料具有良好的使用性能。

(3)《铁路路基填料分类标准深化研究》课题通过对国内外土的工程分类、压实理论、填料试验资料的分析研究,提出了填料分

类分组的建议方案。本方案与《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 中的 A、B、C、D 分组方案基本对应,块石类、砂类土的 A 组填料降为 B 组。当 $C_u \geq 10, 1 \leq C_c \leq 3$ 为良好级配,级配良好的 A 组填料可很好满足基床表层的填筑要求,可承受轨道下传的列车动荷载作用,耐雨水冲刷,防冻性能好,对基层底层能起到保护作用。

因此,规定基床表层采用 A 组填料时,不均匀系数 $C_u \geq 10$,最大粒径不大于 60 mm。

为了减少养护维修工作量,300 kN 轴重标准建议优先考虑级配碎石或级配砂砾石。

6.3.6 使用碎石填筑的路堤,其填料的粒径大小、大石块间空隙是否充填密实、是否分层压实等因素,对路堤的强度和密实程度有很大的影响。本次规范编制按照有利于填筑质量控制的原则,规定了填料的粒径在基床底层内不大于 100 mm。

改良土的强度要求,根据《京沪高速铁路路基结构形式及填料改良优化研究》的研究成果,在大量的、系统的较为深入的室内静力、动力学试验及室外现场试验的基础上,经过秦沈线、朔黄线等验证,其浸水饱和静强度应满足下式要求:

$$\sigma_{bcu} \geq \frac{\beta \sigma_{zl} K}{\eta_g R_{cr}} \quad (\text{说明 6.3.6—1})$$

当考虑冻融作用时

$$\sigma_{bcu} \geq \frac{\beta \sigma_{zl} K}{\eta_d R_{cr}} \quad (\text{说明 6.3.6—2})$$

$$\eta_d \geq \frac{\Delta \sigma_{dcu}}{\Delta \sigma_{cu}} \quad (\text{说明 6.3.6—3})$$

式中 σ_{bcu} ——改良土浸水饱和固结不排水强度(kPa),为 28 d 三轴试验强度;

β ——动应力波动系数,取 1.5;

σ_{zl} ——列车荷载产生的动应力(kPa),按说明表 6.3.6—1

查取；

η_g ——干湿循环强度衰减系数,可按说明表 6.3.6—2 取值；

η_d ——冻融循环强度衰减系数；

$\Delta\sigma_{dcu}$ ——冻融循环后的强度(kPa)；

$\Delta\sigma_{cu}$ ——冻融循环前的强度(kPa)；

K ——安全系数,取 1.5~2.0；

R_{cr} ——动静比(指在相同条件下,临界动应力与静强度之比),取 0.45~0.5。

说明表 6.3.6—1 列车动应力值

路基面以下深度(m)	动应力衰减系数 η	列车荷载动应力(kPa)
0	1.0	108
0.3	0.75	81
0.4	0.67	73
0.5	0.61	65
0.7	0.5	54
1.0	0.39	43
2.5	0.22	24

说明表 6.3.6—2 改良土干湿循环强度衰减系数表

土 类	土的塑性指数 I_p	失水率(%)	干湿循环强度衰减系数 η_g	附 注
粉黏土	$I_p < 10$	0~45	1.0	$K=0.95$
	$10 < I_p < 17$	15	0.95	$K=0.95$
		30	0.85	
		45	0.7	
黏土	$17 < I_p < 20$	15	0.95	$K=0.90$
		30	0.85	
		45	0.7	

注： K —压实系数(重型压实系数)。

根据《秦沈客运专线改良土冻融循环动力特性试验研究》成果,由中科院寒区旱区国家冻土试验室试验结果,经五次冻融循环后,其强度趋于平稳。冻融循环后其强度衰减约为冻融前的 50% 左右,取 $\eta_d=0.5$ 。

当实际试验所得的 σ_{bcu} 不能满足要求时,需重新调整配合比。

根据以上步骤可以得出 σ_{bcu} 的设计允许值,但在实际应用中,为现场检测方便,常采用 7 d 无侧限抗压强度 q_u 作为强度检测标准。

根据《京沪高速铁路路基结构形式及填料改良优化研究》路基改良土现场试验,分别对水泥土、石灰土、水泥粉煤灰土、固化剂土 28 d 的三轴与 7 d 无侧限抗压强度对比试验(每种改良土取不同分层处七组试样),其比值基本在 0.6 左右,取 $q_u=0.6\sigma_{bcu}$ 。

6.4.1 路基基床以下的压实标准同路堤沉降关系密切。既有大秦线、朔黄线等重载铁路,基床以下的压实标准采用压实系数 0.9,由于标准较低,存在的主要路基病害为:路基下沉,路桥及路涵过渡地段不均匀沉降,许多地段路肩严重不足,一些地段已无路肩。为了控制路堤本体沉降,参照既有重载铁路的压实标准,基床以下路堤的压实度适当提高,规定了压实系数采用 0.92。

6.4.3 对于高度小于基床厚度的低路堤,基床部分应满足相应部位的地基强度或填料压实标准要求。但是软弱天然地基往往需要通过采取换填等措施加固后才能满足,同时还需要加强排水,以避免基床被水浸泡引起强度降低。当天然地基不能满足基床相应部位的要求时,需采取措施以满足其相应部位的地基强度或填料压实标准要求。

考虑水和动力作用,将动应力 σ_d 的 2 倍与静压力 σ_j 之和作为所需最小承载力的控制标准。根据基床范围内的动应力竖向衰减规律及其上部静荷载进行计算,基床范围内,180 kPa 略大于计算值。

根据《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018—2003 所列

的天然地基基本承载力 σ_0 与地基静力触探比贯入阻力 P_s 的关系式,基床底层范围内的天然地基基本承载力最准确的测试方法是路堑开挖后采用平板载荷试验进行测试,设计中可以按勘察获得的原位测试成果对基床底层范围内的天然地基基本承载力进行判定能否满足规定。

6.4.7 与桥梁连接处的路堤一直是铁路路基的一个薄弱环节,由于路堤与桥梁刚度差别较大,路堤与桥台的沉降不一致,列车通过时,会对轨道结构产生较大的冲击,同时反过来轨道结构对列车也会产生冲击,因而引起列车与线路结构的相互作用增加,影响线路结构的稳定,加快结构物和车辆的损坏,从而降低列车运行的平稳性、安全性。

根据国内外铁路、公路的经验,在路堤与桥梁间设置一定长度的过渡段,控制轨道刚度的逐渐变化,并最大限度地减少路堤与桥梁的沉降不均匀而引起的轨面变形,可以减少冲击,保证列车安全运行。

过渡段长度:根据国内“八五”研究成果及国外资料,过渡段长度不宜小于 10 m,设置长度可根据台尾路堤高度确定,一般可按路堤高度的 2 倍加 3 m~5 m 设置。

过渡段处理几何布置形式:对于过渡段沿线路纵向的几何布置形式,日本、法国和德国多采用上窄下宽的正梯形,秦沈客运专线采用了倒梯形。从过渡段刚性过渡来看,都能满足要求,均可采用。本规范推荐了更有利于发挥填料作用的倒梯形过渡方案。

过渡段填料:重载铁路平顺性的要求低于客运铁路,过渡段表层以下采用 A 组填料分层填筑。

6.4.8 路基与横向结构物连接处设置过渡段,是为了避免轨道支承条件的突变,使轨道纵向基础刚度及沉降更趋均匀。所有横向结构物和路基之间均应设置过渡段,以保证纵向刚度的均匀变化。横向结构物顶面填筑高度大于基床厚度时,基床以下受动荷载的影响较小,可以采用 B 组填料填筑。

6.4.12 在软土地基上填筑路堤,最突出的问题是在施工过程中及竣工后的稳定与沉降。因此,规定施工过程中应在边坡坡脚外设置边桩,在路堤中心线地面上设置沉降观测设备,按设计要求的观测频率及精度要求进行水平位移和沉降观测,测定地基沉降值,同时可作为验交时控制工后沉降量的依据。

控制填土速率是确保路堤施工安全与减少沉降的有效措施。参考高速公路近几年来在软土地基路堤施工速率控制的经验,路堤中心地面沉降速率每昼夜不大于 10 mm,坡脚水平位移速率每昼夜不大于 5 mm 可以保证施工期路基的稳定。

6.6.2 侧沟、天沟、排水沟的断面尺寸,需保证排泄全部设计流量而不致溢出沟外。对于土质、软质岩石、强风化或全风化硬质岩石地段路堑,其基床表层采用换填级配碎石或级配砂砾石或除块石类、砂类土外的 A 组填料,考虑基床表层渗水的排除问题,侧沟沟底应低于基床表层底面高程,以利排水,其侧沟深度不宜小于 0.8 m。

6.6.3 为了防止地表水渗入地下土层后影响路堑边坡的稳定或产生基床病害,对土质、软质岩、强风化或全风化的硬质岩石地段的侧沟、天沟、边坡平台截水沟需进行防止冲刷或渗漏的加固措施。

位于松软土、黄土、膨胀土等特殊土地层的路堤排水沟,为防止地表水渗入地下土层后影响路堤的整体稳定,需对排水沟采取防止渗漏的加固措施。水沟的冲刷主要是与地质条件及沟底纵坡有关,排水沟纵坡大,设计流速大于其所在地层土的不冲流速地段的排水沟需对排水沟采取防止冲刷的加固措施。一般在黏性土地层中,纵坡大于 8‰的排水沟宜采取加固措施。

6.7.4 植物防护是一种既经济又有利于生态环境的防止坡面侵蚀和表层坍滑的边坡防护措施,在适合植物生长的边坡上尽可能采用植物防护,但由于需要一定的生长期,在播撒草籽或移植幼苗初期,易受雨水冲刷或大风吹蚀而损毁。因此,在种植初期,采取

既能避免草、苗受损,又能有效防止坡面冲刷或吹蚀的固土措施是很有必要的。根据目前既有铁路和公路经验,在降雨量大、强度高、历时长的区域内,路肩采用铺设混凝土预制块或干砌片石,或采取其他硬化处理措施,并沿路肩每隔一定间距设置顺坡面的排水槽或其他集中排水设施,路堤边坡采用带截水槽的骨架护坡,结合在骨架内种植草灌木等植物防护,并适当加深骨架埋置深度,加大骨架宽度,防护效果好,可以大量减少路肩的冲刷破坏,并有效保护坡面。石料缺乏的地区可结合经济技术比较采用混凝土预制件砌筑。

当路堤边坡高度较高时,为了严格控制分层填筑,提高边坡部分的压实密度,同时提高边坡抗雨水冲刷能力,避免产生边坡浅层坍塌,故在边坡不小于 2.5 m 范围内铺设土工合成材料,并根据填料情况、线路所经地区的地质条件、气候特征等选择合适的植物种类采取绿色植物防护措施。

土工合成材料铺设宽度 2.5 m,是根据近几年实践经验确定的,对于高路堤,铺设宽度可适当加宽。

对受水流冲刷的路基边坡防护类型的选择可参考现行《铁路路基设计规范》TB 10001 执行,但需根据工程条件和预计冲刷程度的轻重,采取抗冲刷能力强的坡面护砌措施或浸水挡土墙、抗冲刷的平面防护等加强措施,适当提高防护标准,以保证路基安全稳定。

7.1.1 桥涵结构构造简洁,规格和外形力求标准化,可消除构造上薄弱环节,便于施工,使建造质量容易得到控制,达到少维修的目的。

7.1.2 国内外大量桥梁的使用经验说明,结构的耐久性对桥梁的安全使用和经济性起着决定的作用。经济合理性应当使建造费用与使用期内的检查维修费用之和达到最少,片面地追求较低的建造费用而忽视耐久性,往往会造成更大的经济损失。因此,桥梁设计中应十分重视结构物的耐久性设计。

重载铁路在重载货车运行条件下,荷载冲击、材料疲劳等问题与普通铁路不同。桥梁结构要有具有足够的强度、刚度和稳定性,以满足重载列车运行安全性和平稳性要求。

7.1.4 桥梁上部结构形式的选择应考虑桥梁的使用功能、环境条件及环境要求、轨道类型以及施工方法等各种因素综合确定。我国已建成铁路中,预应力混凝土桥梁的数量占有绝对优势,这是因为与其他混凝土建桥材料相比,预应力结构具有一系列适合铁路要求的特性,如刚度大、噪声低,由温度变化引起的结构位移对线路结构的影响小,运营期间养护工作量少等,而且造价也较为经济。

重载铁路常用跨度简支梁可选用预应力混凝土 T 形梁和箱形梁。通过研究表明,重载铁路无声屏障区段选用常用跨度 T 梁经济性最优;设置声屏障的区段,采用整体桥面 T 梁时较无声屏障四片式 T 梁造价提高 20%左右,采用双线整孔箱梁时较无声屏障四片式 T 梁提高 10%左右。

7.1.5 桥梁下部结构在实际工程中一般采用混凝土或钢筋混凝土墩台。墩台的类型可结合所处的地域、地形、水文、立交等条件成段统一桥墩类型,既适应景观协调要求,又能减少墩台施工模板的类型。

我国既有铁路线上已采用了一些柔性桥墩,铁科院和一些铁路局桥检队在货车提速试验中发现,当货车速度提高到 60 km/h~80 km/h 时,柔性桥墩普遍存在横向振动急剧增大的现象,目前这类桥墩的线路区段货车不得不限速 60 km/h 运行。考虑到下部结构对车辆运行的平稳性和安全性方面的影响,墩顶位移不可太大,故重载铁路桥梁一般不应采用刚度较小的柔性墩台,以满足行车平稳性和安全性要求。

7.1.8 涵洞类型可根据灌溉、立交、防护的不同用途采用适宜的涵洞形式。同时注意做好涵洞结构、路涵过渡段、路涵地基处理的设计,保证路、涵刚度差异和沉降差异满足行车平顺的要求。

涵洞顶一般置于路基表层以下,以保证路基表层的完整性。工程中遇到受线路纵坡控制的涵洞,如果运营列车在不同设计速度时相应的平顺性和安全性能满足正常运行要求时,设计中可通过调整冲击系数,加强涵洞配筋以满足结构受力要求。

7.1.10 我国铁路拟在对既有线路基础设施进行少量改造的前提下,研究发展轴重 270 kN 货物运输,有效提高运输能力。既有线开行重载货物列车时,应通过对桥涵上下部结构强度、刚度、疲劳性能等进行理论和试验的综合评估,采取相应的工程措施,确保重载列车的开行安全。值得注意的是,既有客货共线铁路研究开行 270 kN 轴重列车时,不应采用本规范 ZH 荷载图式进行评估检算,以避免由于本规范 ZH 荷载图式与既有铁路桥涵工程设计活载标准间的差异造成既有桥涵结构大范围的改造。既有桥涵结构改造(建)时,可参考本规范规定的 ZH 荷载图式及相关参数取用,当引起较大改建工程时,可按照总体设计的要求,根据确定的机车车辆类型,采用的机车车辆荷载谱及实测的相关参数进行相应检算,在能满足运输需求的同时又可以减少土建工程。

7.2.1 本规范有关荷载项目及荷载组合的规定,与《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定相同。

7.2.3 考虑到不同荷载同时发生的机遇不同,因此不同荷载组合时结构物应有不同的安全储备,采用的安全系数应该有所区别,反映在设计上的材料容许应力也应不同。对于主力作用下的安全系数要求高一些;对于附加力和特殊荷载则可以低一些。规范中以主力时的容许应力或安全系数为基数,对其他荷载组合可将容许应力分别乘以不同的系数,或采用不同的安全系数。

7.2.6 重载铁路设计列车荷载应采用 ZH 荷载,见第 1.0.6 条说明。

1. 关于空车活载

对于异符号段加载时的空车静活载和构件空车加载时的工况,当考虑列车风力所产生的横向倾覆力矩时,抵抗力矩以列车为

空车时最小,倾覆稳定性最不利,因此,取较小值更为安全。本规范空车活载按《铁路桥涵设计规范》TB 10002 取值。

2. 多线加载规定

同时承受多线荷载的桥梁,考虑到各条线路上同时出现最不利活载的可能性极小,故组合时对于主要杆件采取条文规定的折减办法。对于受局部活载的杆件,主要承受一线活载,故不折减。

车站范围内的多线桥梁,实际上并不是各线同时运转,有些可能处于停车状态,虽然竖向活载仍按多线桥的规定折减,但对列车竖向动力作用、离心力及横向摇摆力在组合计算折减时,需考虑可能同时运转的实际线数计算。如某站线桥为三线,而实际同时运转只可能为两线,因而在列车竖向动力作用等组合计算中,只能按两线同时组合计算折减。但制动力或牵引力在确定同时运转的线数之后,应按照第 7.2.12 条规定计算。

国外多线铁路桥梁结构加载方式的规定基本与我国规范大致相同。UIC 776-1(5rd edition, August 2006)中规定:“对于双线桥,荷载施加到一条或两条轨道上,取最不利效应。对于三线或三线以上的桥梁,荷载施加到一条或两条轨道上,或者在三条或多条轨道上施加 0.75LM71,取最不利效应”。AREMA 2010 中规定:“对于双线桥,在双线上施加全部活载;对于三线桥,在双线上施加全部活载,第三线上施加 1/2 活载;对于四线桥,在双线上施加全部活载,第三线上施加 1/2 活载,第四线上施加 1/4 活载;对于四线以上桥梁,由工程师决定加载方式;活载的布置方式应能够使杆件产生最大活载应力。”

2005 版《铁路桥涵设计基本规范》规定一直沿用双线取 0.9 折减系数,主要考虑既有铁路桥梁比例少(线路总长的 5%以下),且以机车(蒸汽机车)对桥梁加载效应明显大于车辆,双线桥上两列车在桥上交会概率小,列车交会中机车加载效应同时达到最大值的概率更小。由于目前新建铁路桥梁比例高,约占线路总长的 50%,列车在桥上的交会不可避免;同时,与机车相比,新型货车无

论从轴重加载效应还是每延米重加载效应,货车都更为控制,车辆在桥梁的交会概率显著提升。

7.2.7 列车以一定速度通过桥梁时,桥梁产生振动,使桥梁结构的动挠度、动应力比相同的静荷载作用时的效应大,这种由于桥梁振动引起的挠度和应力增大的影响,通常就以冲击系数 μ 或动力系数 $\varphi(=1+\mu)$ 来衡量。动力系数是结构或构件最大的动力响应与最大静力响应之比,其数值大小是列车—轨道—桥梁三者的动力特性和动力相互作用状态的综合反映。影响桥梁动力系数的主要因素有:

机车车辆:轴距、列车速度及既有机车动轮不平衡重周期性锤击作用。

桥梁结构:桥梁的跨度、自振频率及阻尼、桥面系规则排列的支承。

不平顺:轨道不平顺、车轮缺陷。

国外铁路桥梁动力系数计算公式都是经过大量、长期的现场试验和一定的理论分析后确定的,属于半经验半理论的公式。理论上讲,如果单纯考虑列车对桥梁的动力影响,各国差别不应该很大。当列车速度低时,列车对桥梁的动力作用主要来源于轨道不平顺、车轮缺陷的影响及既有机车动轮不平衡重周期性锤击作用;随着列车速度的提高,列车的速度效应对桥梁产生的动力作用不断增大,这种效应在中小跨度梁尤为突出。实际上各国在桥梁动力系数的取值上具有较大的差异,这说明各国规范的取值规定中除考虑了相应国家车桥技术状态,也反映了各国自身设计规范体系特征和安全储备。

我国铁路前期在动力系数方面的研究主要基于现场实测值。根据我国解放以来积累的桥梁动载试验资料,经过分析提出了各种桥跨结构的动力系数公式。

为适应新时期铁路运输发展的需要,原铁道部科技司在 2004 年科技研究开发计划白皮书中立项,明确要求结合我国铁路的实

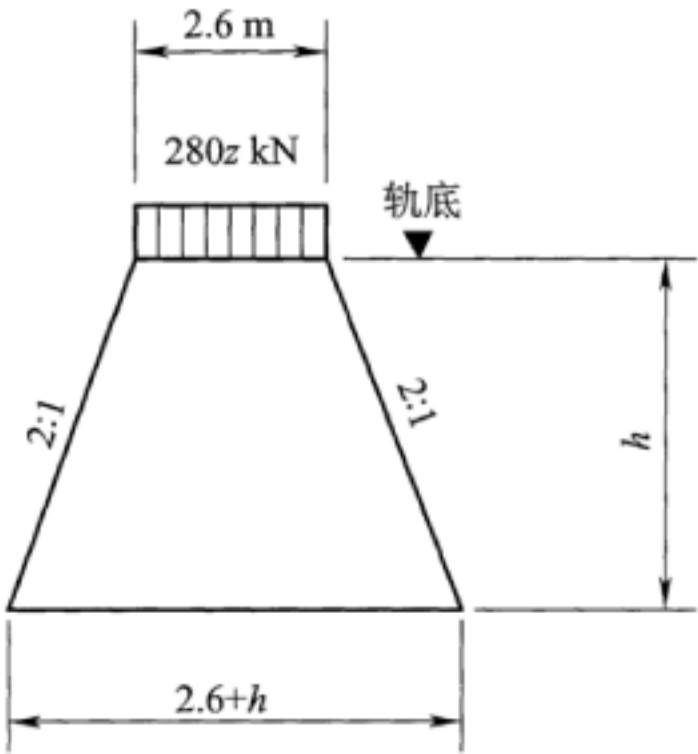
际情况,研究和制订客货共线和货运铁路桥梁活载标准,并在2009年立项开展活载标准配套动力系数的研究。同时,铁科院近年来依托相关科研和综合试验项目开展了动力系数的仿真分析和实桥测试工作,待研究成果完成相关技术评审等工作后纳规。本规范动力系数仍执行《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的规定。

7.2.9 活载作用于涵洞的水平土压力计算,系按一个特种轮重 $280z$ kN 考虑,分布在轨枕底面,并在轨枕两端各以2:1坡线向下扩散(说明图7.2.9)。为了计算方便, h 自轨底算起。在轨底以下 h 深度处,活载的竖向压力强度按下式求得:

$$q_h = \frac{\frac{280z}{1.4 \times 2.6} \times 2.6}{2.6 + h} \approx \frac{200z}{2.6 + h} \quad (\text{说明 } 7.2.9-1)$$

水平压力即 q_h 乘以侧压系数 ξ 得:

$$e = \xi q_h \quad (\text{说明 } 7.2.9-2)$$



说明图 7.2.9 涵洞顶活载横向分布示意图

对于填石路堤,以往涵洞所受竖向活载压力分布线按1:1,即与竖直线成 45° 角扩散。考虑到规范不宜过于繁琐,而且按2:1或1:1坡线的计算假定均是近似的,故未按填料分别编制。

水平侧压力系数 ξ 值的确定:

刚性涵洞的水平土压力采用主动土压力。涵洞的工作条件与一般重力式挡墙不同。从涵洞的裂纹和变形情况来看,在填土作用下,涵洞两侧的变形与土压力方向相反(但位移量很小),故采用“静止土压力”较为合理。以下为几处涵洞(或通道)水平土压力实测资料:

①解放军工程兵某部的试验,填土为砂、砂黏土或黏砂土, ξ 的变化范围在 0.26~0.44 之间,平均值为 0.37;填土为砂砾土, ξ 的变化范围在 0.24~0.39 之间,平均值为 0.32。

②原铁道部第三设计院和铁道兵某部的 1 孔 3m 拱涵试验,路堤填石, ξ 为 0.25~0.27。

③原铁道部第三设计院对 1 孔 2.5 m 卵形拼装拱涵做的试验,填料为黄土,拱顶填土高 10 m 左右, ξ 为 0.39~0.44(该涵洞具有一定的柔性,故选用拱圈上变形可能性比较小的测点值作为参考)。

根据这些资料进行分析,考虑到涵洞两侧的填土可能受到向上的摩阻力的作用会减弱涵洞所受到的侧向压力,同时在试验资料尚不充分的情况下,对以往设计的经验应适当考虑,因而在采用“静止土压力”时选用较小值。规范中规定填土条件下 ξ 采用 0.25~0.35 这一幅度,在使用时可根据各式涵洞的控制情况选用 0.25 或 0.35。填石条件的 ξ 未做规定,主要是试验资料不足,设计时可参考以往的经验值。

7.2.10 对于全部或部分位于曲线上的桥梁,需要考虑列车离心力,离心力的大小为竖向设计活载乘以离心力率 C 。目前国际上关于离心力率 C 的计算公式基本多采用国际铁路联盟的规定,即

$$C=\frac{v^2}{127R} \qquad \text{(说明 7.2.10—1)}$$

式中 C ——离心力率;
 v ——设计速度(km/h);
 R ——曲线半径(m)。

相应的离心力 $F=C \cdot W$, W 为竖向设计活载。

国际铁路联盟在离心力的规定与 UIC71 活载图式匹配使用, 该活载图式制定中, 考虑了以下 6 种运营列车:

轴重 250 kN、时速 120 km 的重型货物列车;

轴重 210 kN、时速 120 km 的 2CC 机车(6 轴);

轴重 210 kN、时速 120 km 的重型货车(6 轴);

轴重 150 kN、时速 250 km 的客运列车(考虑机车牵引);

轴重 170 kN、时速 300 km 的高速动车组;

时速 80 km 的特重列车。

离心力与运营速度呈二次方关系, 考虑到重载货物列车运行速度较低, 高速运行列车的实际轴重要比 UIC 活载图式的荷载小的多, 因此, 对于行车速度大于 120 km/h 情况提出了折减系数 f 对按以上计算的离心力进行折减, 即

$$f=1.00-\frac{v-120}{1\,000}\left(\frac{814}{v}+1.75\right)\left(1-\sqrt{\frac{2.88}{L}}\right)$$

(说明 7.2.10—2)

式中 L ——桥上曲线部分荷载长度(m); 当 $L \leq 2.88$ m 或 $v \leq 120$ km/h 时, f 取 1.0。

离心力 $F=C \cdot f \cdot W$ 。

本规范也采用了上述规定, 但考虑到我国重载货物列车设计速度不超过 100 km/h, 因此, 不需考虑折减系数 f , 即离心力为离心力率与竖向活载的乘积。

离心力是作用在车辆的重心处, 并由曲线中心向外的水平力。我国铁路既有货车重心高限度为 2.0 m(罐车为 2.2 m), 《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 规定离心力作用在轨顶以上 2.4 m 处。由于我国铁路限界在 1.25 m 高度以下的宽度为 3.2 m, 限制了货车宽度的设计, 近年来生产的货车车辆的重心高度已超过 2.0 m 的限值(C80B 为 2.136 m、P70 为 2.080 m、GN70 为 2.237 m)。随着轴重的提高, 新型大轴重货车重心高度还会有一定的增加。美

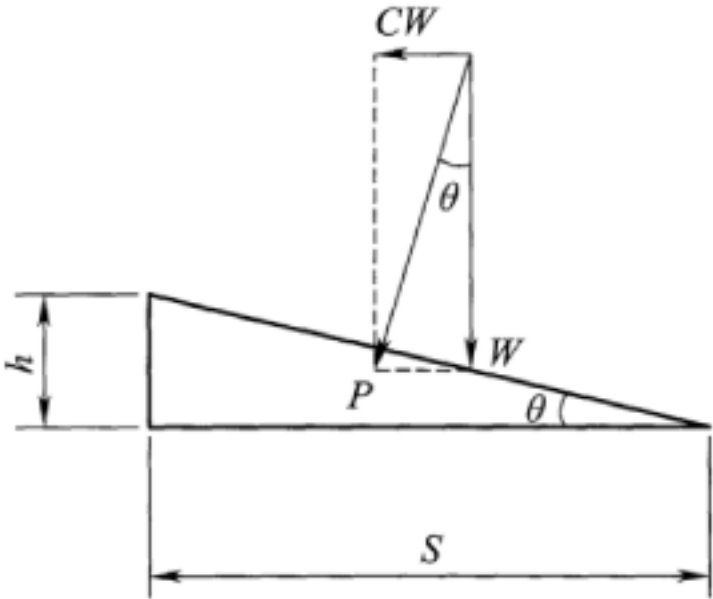
国、澳大利亚和俄罗斯货车重心高度限值分别为不大于 2.489 m、2.511 m 和 2.583 m,同时根据对我国车辆新型货车设计的调研,将离心力作用位置调整为轨顶以上 2.4 m。

此外,当行车速度很低时,离心力很小,因此,曲线上的桥梁还应对不计离心力的工况进行检算。

规范还规定了离心力率最大值的限制,这是因为外轨超高有其最大的限制,一般未能按照最大速度时离心力的需要来设置。由于在线路上行驶各种列车的实际行车速度不一致,列车速度又有上坡下坡的不同,在同一曲线上不能作出适应各种不同速度的超高,因此,当通过最大速度时,横向就有尚未被超高平衡的离心力。

允许最大未被平衡超高,一般为 70 mm,困难为 90 mm,超高的最大限度不得超过 150 mm。单线上下行列车速度相差悬殊时,不得超过 125 mm。如果离心力与设置的超高 h (以 mm 计) 相适应,则离心力 CW 与重力 W 的合力 P 正好垂直于轨面(说明图 7.2.10)。设两轨的距离 $S=1\,500\text{ mm}$,此时

$$h = \frac{Sv^2}{g_n \times 3.6^2 R} = \frac{1\,500v^2}{9.80 \times 3.6^2 R} = \frac{11.8v^2}{R}$$



说明图 7.2.10 轨道超高时离心力作用示意图

考虑到未被平衡超高度 h_0 时

$$h+h_0=\frac{Sv^2}{g_n\times3.6^2R}=\frac{11.8v^2}{R}$$

得最高行车速度

$$v_{\max}=\sqrt{\frac{(h+h_0)R}{11.8}}$$

由于 h 与 h_0 最大值均有一定限制,因此离心力率 C 亦相应有一定限制。

$$C=\frac{h+h_0}{S}=\frac{h+h_0}{1\,500}$$

当 $h=150\text{ mm}$, $h_0=90\text{ mm}$, $v_{\max}=4.5\sqrt{R}$, $C=16.0\%$

$h=150\text{ mm}$, $h_0=75\text{ mm}$, $v_{\max}=4.37\sqrt{R}$, $C=15.0\%$

$h=125\text{ mm}$, $h_0=90\text{ mm}$, $v_{\max}=4.27\sqrt{R}$, $C=14.3\%$

$h=125\text{ mm}$, $h_0=75\text{ mm}$, $v_{\max}=4.12\sqrt{R}$, $C=13.3\%$

这样,本规范中 C 统一采取 15% 的限值,是符合多数情况的。只有在第一种情况下稍有超载,但这种情况比较特殊,实际上是很少的。

虽然理论上也可以采用 $C\leq\frac{h+h_0}{1\,500}$ 为限值,本规范为方便设计

采用《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 统一限值的规定。

7.2.11 由于列车蛇行运动、机车各部分产生的动力不对称作用、车轮轮缘存在损伤、轮轴不位于车轮中心处以及机车车辆振动作用及轨道不平顺的影响,致使列车在行进中发生左右摇摆,车轮产生作用于轨面的横向摇摆力。蛇行运动是引起列车横向摇摆力的主要因素,研究表明:列车蛇行运动具有随机性,列车通过桥梁的任一时刻,车轮对轨面产生左右两个方向的作用力;对于桥梁结构而言,这些集中摇摆力会彼此抵消一部分;只有当列车中两辆车前车后转向架和后车前转向架同时向左或向右时,对桥梁的横向作用最大,特别对于中小跨度桥梁,这个作用规律比较明显。在大跨度桥上,由于同时作用车辆多,每辆车的横向振动相位随机性大,

彼此抵消作用非常复杂,但从局部不利的角度来考虑,对桥梁的整体横向作用也可采用以上作用模式。

在摇摆力取值方面:美国 AREMA 规范规定取列车最大静轴重的 $1/4$,垂直于线路方向作用于梁跨任意位置;国际铁路联盟、英国、德国、南非及我国基本规范均规定摇摆力取 100 kN ,垂直于线路方向作用于任意位置。关于多线桥梁摇摆力问题,考虑到随机性,仅考虑一线的摇摆力。

对于新建重载铁路桥梁,考虑开行 250 kN 以上轴重的货车,为偏于安全计,横向摇摆力在量值上取 100 kN ,多线桥梁只计算任一线上的横向摇摆力;空车时应考虑横向摇摆力。

7.2.12 一直以来,我国铁路桥梁设计关于桥梁牵引力和制动力的计算采用概化的计算方法,即桥梁承受的纵向作用力按竖向荷载的百分比取值。“59 版桥规”首次提出了按竖向静活载的 10% 取用;早期开展过一些试验研究表明,对于常用跨度混凝土梁约为 8% ,部分大跨度钢梁最大达到 9.6% 。故一直沿用了上述规定。

铁路桥梁承受的活载纵向力主要来自于机车牵引和列车(含机车和车辆)制动,牵引和制动均是依靠车轮和钢轨之间的黏着来实现,目前大功率机车采用的最大牵引黏着系数约为 0.38 、车辆采用的最大制动黏着系数约为 0.15 。既有规范一直沿用早期 10% 的规定,铁科院在研究中,根据重载列车牵引和制动特点,在既有制动试验的基础上,采用梁轨纵向相互作用模型,较系统地开展了桥梁纵向力的研究,这与规范中采用概化的计算方法并无区别和不同,研究工作主要是为了说明 10% 在重载铁路桥梁的适用性和合理性。

关于制动力或牵引力作用位置,由于我国铁路限界在 1.25 m 高度以下的宽度为 3.2 m ,限制了货车宽度的设计,近年来生产的货车车辆的重心高度已超过 2.0 m 的限值(C_{80B} 为 2.136 m 、 P_{70} 为 2.080 m 、 GN_{70} 为 2.237 m 、 X_{2K} 为 2.400 m);美国、澳大利亚和俄罗斯货车重心高度限值分别为不大于 2.489 m 、 2.511 m 和

2.583 m。同时,根据对我国车辆新型货车设计的调研,将制动力或牵引力作用位置确定为轨顶以上 2.4 m。

对于双线桥或多线桥,考虑列车同时制动或起动的概率很小,故规定双线桥应采用一线的制动力或牵引力;三线及以上的桥应采用两线的制动力或牵引力。

我国铁路采用的中—活载图式考虑的车辆均布荷载为 8.0 t/m。目前典型货车是 C₆₄ 型敞车,轴重 210 kN,载荷密度为 6.25 t/m;新型 C₇₀ 型敞车是目前主型新造车,轴重 234.5 kN,载荷密度为 6.71 t/m;桥梁设计时按照 10% 的竖向设计静活载考虑,对于实际运营车辆尚约有 16.1%~21.9% 的储备。目前大秦线 C₈₀(C_{80B}) 型系列运煤专用敞车轴重 250 kN,载荷密度为 8.33 t/m,超过图式考虑值的 4.1%。

2005 年,原铁道部立专项开展《大秦线 2 万吨货车条件下线桥设备强化对策的试验研究》,其中,对妫水河特大桥和郑重庄特大桥开展了 5 000 t、9 500 t 和 2 万吨列车桥上制动试验。妫水河特大桥全长 2 137 m,桥跨布置为 64×32 m+1×24 m 预应力混凝土 T 梁;郑重庄特大桥全长 937 m,桥跨布置为 3×20 m 低高度预应力混凝土梁+27 联 3×8 m 钢筋混凝土框构(框构间为 6.0 m 整孔低高度钢筋混凝土梁)。试验研究结果表明:2 万吨试验列车制动下,实测桥墩纵向位移、梁轨相对位移及轨道纵向力均在安全控制范围内,制动前后支座无剪切破坏现象,但由实测推算受力最大桥墩的纵向力约为中—活载的 11.8%。

2010 年,通过对大秦线开行 2 万 t 列车以来桥梁运营状态的调研,较 2 万 t 列车开行前桥梁支座病害发生机率明显上升,目前主要表现在桥梁摇轴支座纵向位移超过限值和弧形支座上摆螺栓折断(沿纵向)两方面。其中,大秦线 300 号桥重车侧第 5 孔支座摇轴定位销全部剪断,2008 年底进行了支座更换作业。经调研,目前支座出现病害的桥梁 42 座,支座总数 662 个;病害较为严重的摇轴支座 112 个、弧形支座 158 个。目前支座病害现象表象特

征为支座纵向位移超限、支座纵向限位块折断。

本次条文编制时,对美国、德国、英国、南非、日本等国家规范和国际铁路联盟规范关于铁路桥上纵向制动和牵引力的规定进行了综合分析对比,其典型特征为:考虑牵引力由机车引起、制动力由机车和车辆共同产生,故在牵引力和制动力的取值、作用长度方面有所不同;一般情况下,各国列车制动力约为竖向荷载的 25%,机车范围内牵引力按不超过 1 000 kN 控制。

列车牵引力和制动力作用于钢轨顶面,然后通过道砟传至桥梁或通过钢轨传至相邻桥跨或路基;对传至桥梁上的作用力通过考虑折减系数或通过梁轨共同作用计算进行考虑。

双线桥梁考虑一线牵引、另一线制动的可能性。

值得注意的是,国际铁路联盟 UIC 规范目前关于列车牵引和制动力的规定适应于 UIC71 活载图式,即可应用于开行 250kN 轴重货物列车的线路;对于不同等级的线路,在列车纵向作用力方面也应考虑相应的系数。如德国在 DIN101 标准中规定,对于采用 UIC71 和 SW/0 活载图式设计的一般等级线路,作用于轨顶的制动力按 20 kN/m 计,对于采用 SW/2 活载图式设计的较重的线路,相应的制动力按 35 kN/m 计。前已介绍,为便于设计,我国在铁路列车对桥梁的纵向作用力方面一直采用概化的计算方法,并一直沿用至今。

规范条文编制中,对重载运输较为发达的南非桥梁标准进行了研究分析,其在列车纵向力条文编制方面的思路总体与我国相同,即对列车作用于钢轨顶面纵向力考虑相应折减系数用于桥梁设计,其具体规定如下:

牵引力:每线 20 kN/m,最小值 200 kN,最大值 2 000 kN。

制动力:每线 15 kN/m,无限制值。

上述荷载沿轨道方向作用于钢轨平面,不考虑动力效应,假定施加荷载没有通过线路传递到桥梁结构以外的结构上。单线桥按牵引力和制动力在任一方向上产生的荷载中较大值考虑;双线桥

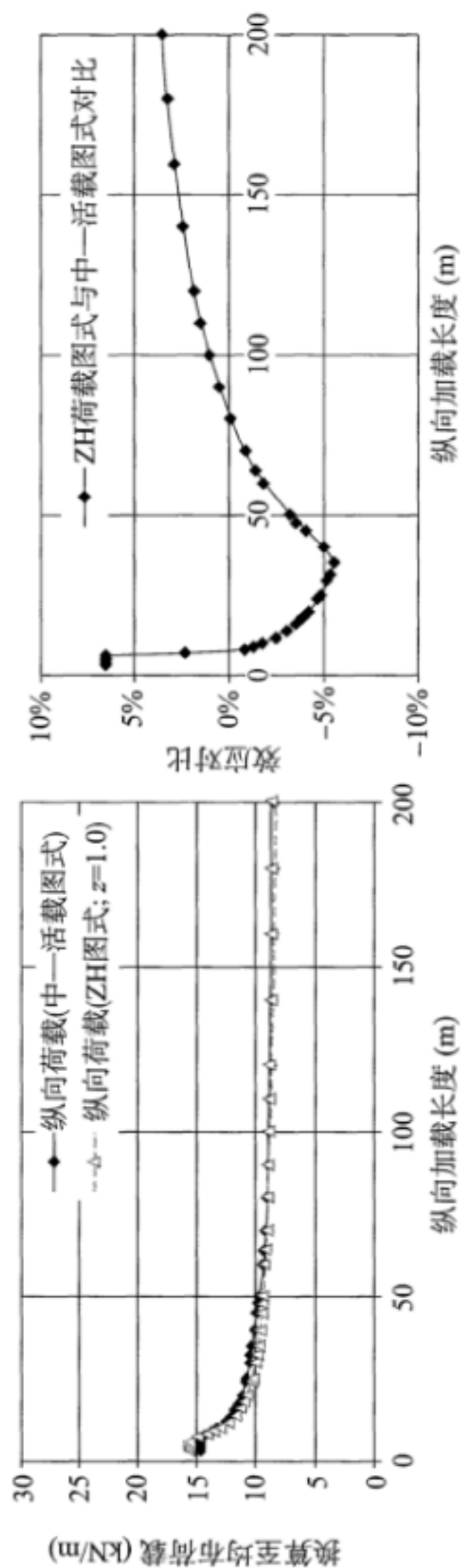
按一线制动、另一线牵引的工况考虑;若双线桥上经常或不定期有同向列车通过,则需在双线上同时考虑制动力或牵引力二者中产生作用力的最大值(应考虑引起的扭转效应),当同时考虑双线上制动时,作用于第二条线的制动荷载可减为 10 kN/m ;双线以上的桥梁结构,仅考虑两条线路上承受纵向荷载。

根据我国铁路设计及运营经验,既有按中—活载图式设计的桥梁,对于开行 210 kN 轴重 C_{64} 等主型货车总体是适宜的;但在开行 250 kN 轴重的 C_{80} 货车后桥梁出现了支座螺栓剪断、早期石砌墩台沟缝脱落等病害现象;且针对大秦线的试验研究表明, C_{80} 货车载荷密度较 C_{64} 提高约 1.33 倍。

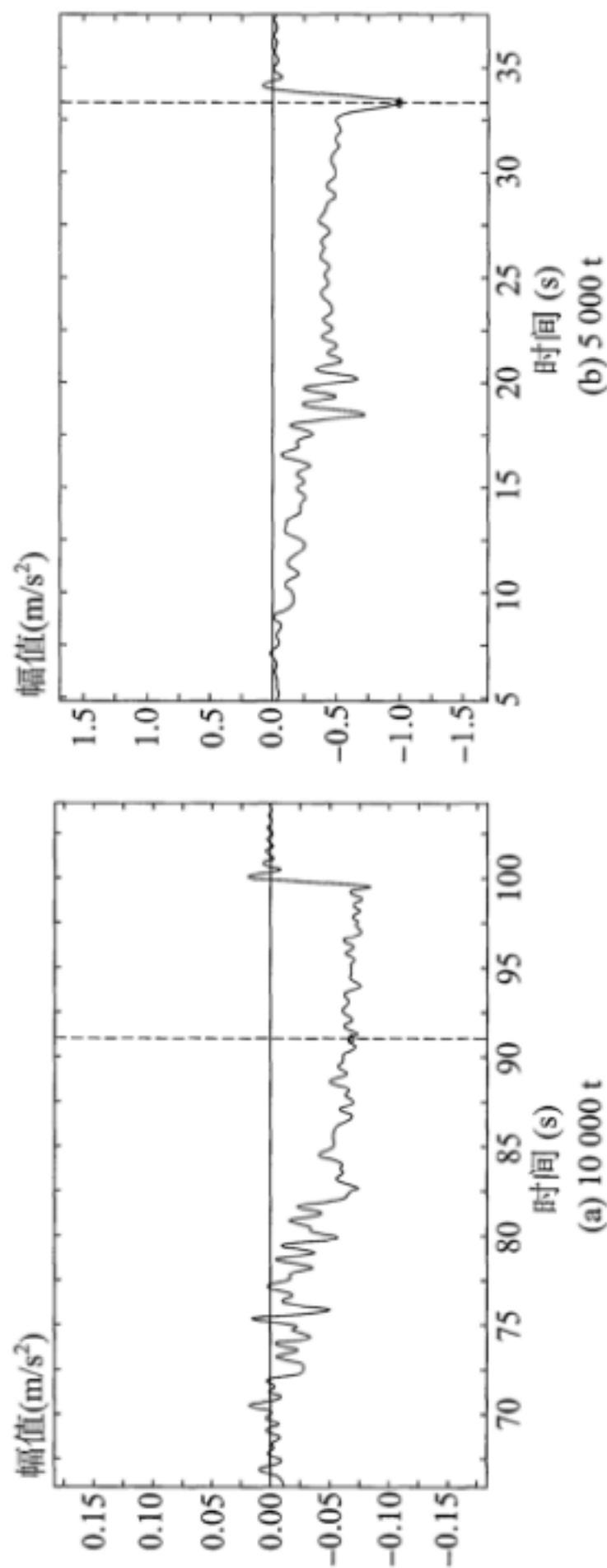
若列车纵向作用力仍按照竖向荷载的 10% 取用,从说明图 7.2.12—1 可以看出,采用 ZH 荷载图式与采用既有中—活载图式在纵向力取值方面差异在 $-5.5\%\sim 6.5\%$ 之间(在 $8\text{ m}\sim 80\text{ m}$ 常用跨度范围低于既有规范取值),新建重载铁路将开行轴重更大的货车,制动力会进一步加大。

根据我国针对大秦、既有线试验研究及国外相关研究成果,当运行的列车制动后开始减速,由于惯性作用,仍需滑行一定距离,车辆最大的减加速度出现在停止的瞬间。针对大秦线试验结果如说明图 7.2.12—2、说明图 7.2.12—3 所示。因此,参考《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 规定,当与离心力(列车竖向动力作用情况相同)同时计算时,制动力或牵引力取竖向设计活载的 10% ,为最大值的 0.67 倍。

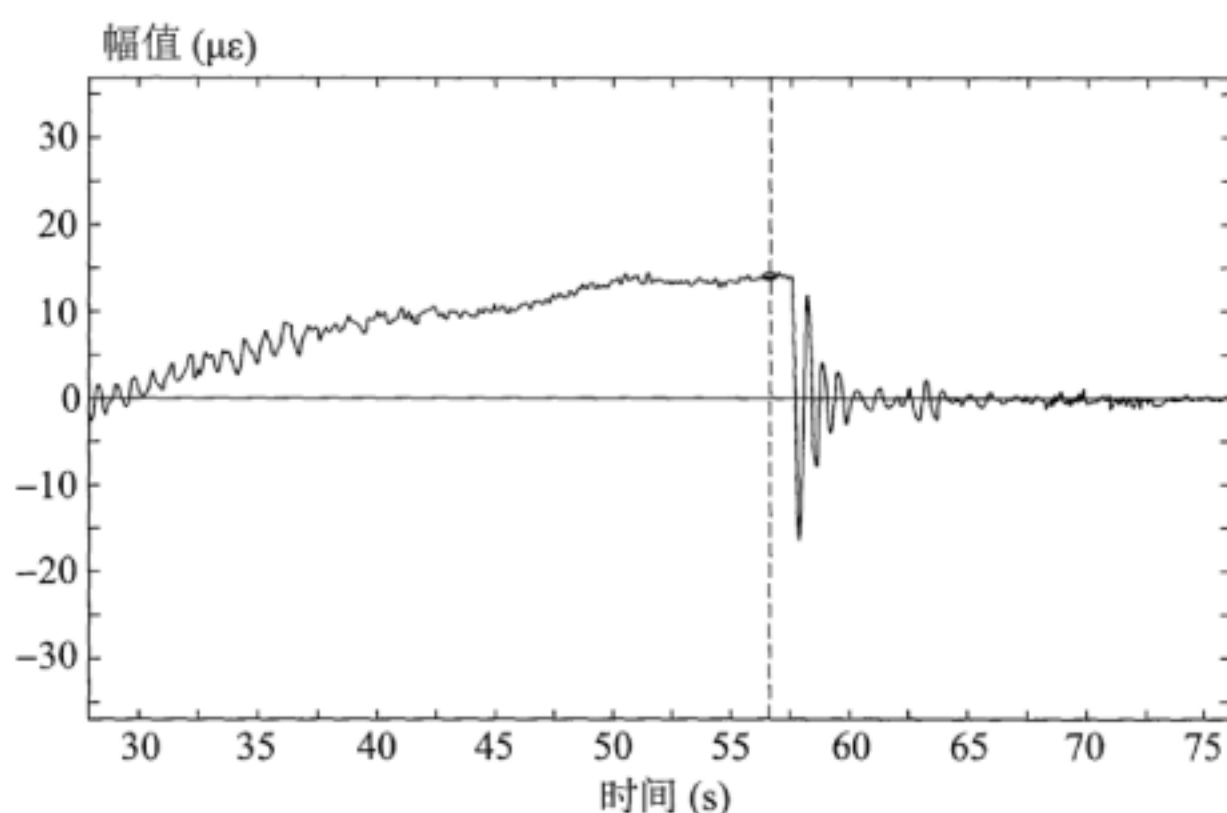
国外规范对于双线桥多考虑一线制动和一线牵引的组合工况,根据我国铁路设计运营经验,本规范主要沿用了《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 规定,即双线桥仅考虑一线制动力或牵引力,多线桥考虑两线的牵引和制动力。对于车站内的桥梁,考虑到桥上列车制动、启动工况较为频繁,本规范提出应根据桥梁结构形式考虑制动和启动工况同时发生的可能进行设计。



说明图 7.2.12—1 按ZH荷载图式与既有中—活载图式纵向荷载对比图



说明图 7.2.12—2 大秦线实测列车制动时机车减加速度时程曲线



说明图 7.2.12—3 大秦线实测 2 万 t 列车制动时墩底应变时程曲线

2005 版《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1 中关于制动力的设计规定主要源于客货共线铁路制动工况列车减加速度的实测结果,尚未考虑桥梁孔跨和墩高差异、无缝线路传递等因素导致制动力在桥梁不同结构部件间的传递和分布,也未考虑牵引力与制动力产生模式的差异,因此既有规定主要适用于客货共线铁路相邻墩台纵向刚度差异不大的常用跨度桥梁结构。根据既有铁路开行重载列车条件下桥梁制动力测试结果,发现实测列车制动力已超过设计值,需要对既有设计规定在重载运输条件下的适用性进行研究。为解决上述问题,原铁道部从 2010 年开始立项进行研究,期间铁科院开展了《新建煤运通道设计荷载标准及相关参数研究》《重载列车对铁路桥梁纵向力研究》《山西中南部铁路通道重载综合试验》等科研试验工作,包括不同桥型的仿真分析和实桥测试,取得了阶段研究成果。目前,关于桥梁制动力和牵引力的研究成果正在进行系统梳理,待完成相关技术评审等工作后纳规。因此,本规范关于制动力、牵引力取值仍沿用《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 的规定。

7.2.13 制定脱轨荷载主要是为了避免机车车辆脱轨时桥梁产生

不容许的局部变形甚至使结构倾覆。脱轨荷载大致相当于实际运行列车所产生的荷载。在计算脱轨荷载产生的作用时,可不考虑离心力和附加荷载。

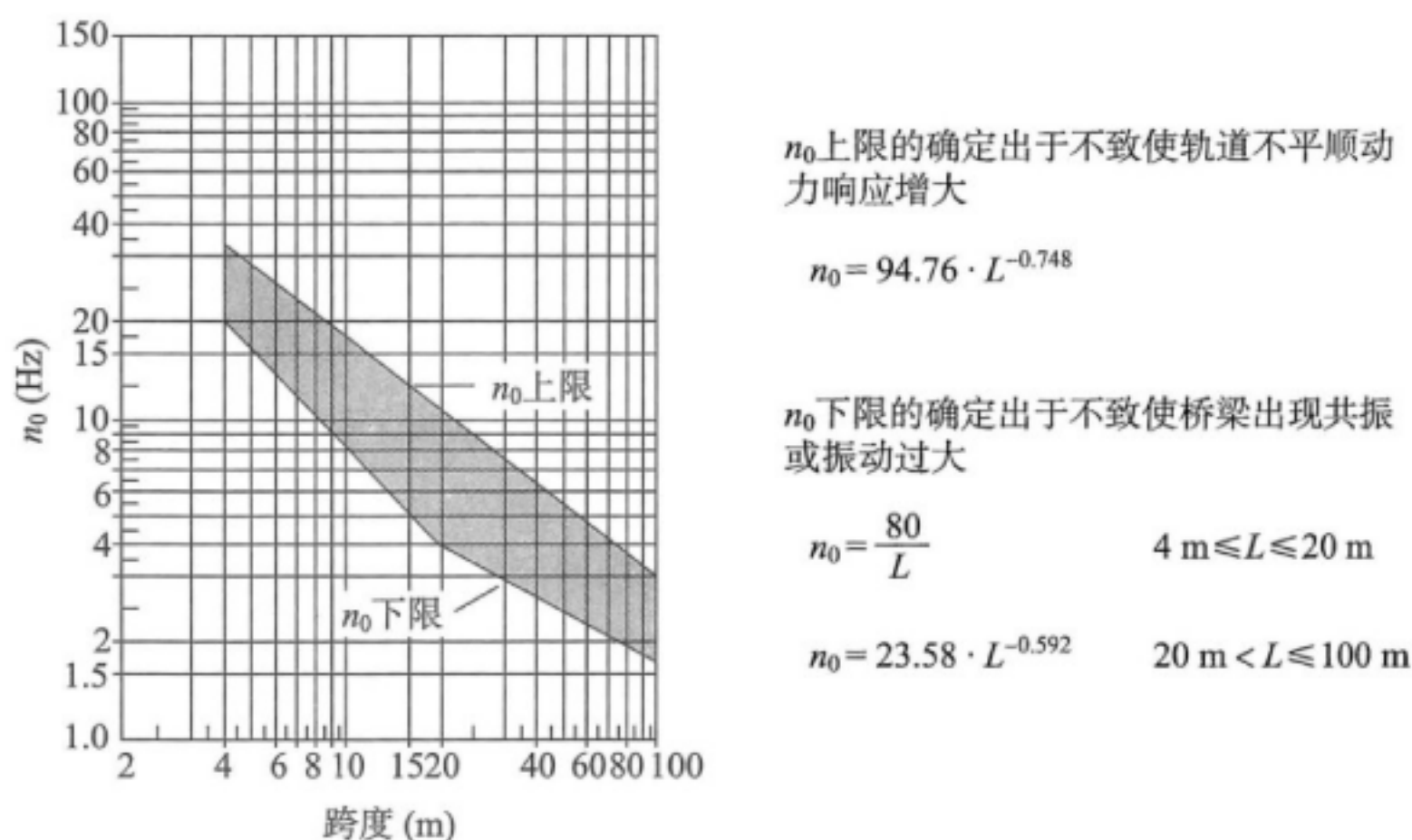
脱轨荷载第一种情况的线荷载,大致相当于实际运行列车脱轨后产生的荷载,在此情况下结构物的主要部分(如桥面板和主梁等)不应产生严重破坏,钢筋应力应在屈服点以内,混凝土不形成宽裂缝。

脱轨荷载的第二种情况的线荷载,相当于列车脱轨,虽没有坠落桥下,但已作用于桥面边缘,在此情况下,须确保结构的稳定性。

7.3.3 列车以一定速度通过简支梁桥时,对桥梁的作用类似于频率固定的激振源,列车速度改变时,相应的激振频率就会发生变化。当结构固有频率与激振频率接近时,将会产生较大的振动或者共振现象,进而可能引发道床不稳定、钢轨损伤、混凝土梁开裂,甚至危及桥梁的安全。

日本学者松浦章夫(1976 年)在研究铁路桥梁竖向共振机理时指出,列车移动荷载对桥梁的竖向激振频率主要取决于车速 $v(\text{m/s})$ 和车长 $L(\text{m})$,而轴距、定距、两车相邻转向架的中心距由于重复作用不连续,相对处于次要地位,即:激振频率=速度/车长。我国在大量车桥耦合分析及试验验证中也得到了相同的结论。因此,确定简支梁合理自振频率取值对保证列车的运营安全及舒适尤为重要。

国际铁路联盟早期曾组织相关研究机构针对 6 种类型的运营列车进行了大量的车桥动力计算分析。研究表明,梁体固有频率过低将导致列车通过时产生较大振动或共振,频率过高时桥上轨道不平顺引起的车辆动力响应明显增加。因此,确定了不同跨度简支梁竖向基频上、下限值(说明图 7.3.3),并规定当梁体基频满足限值要求时,桥梁设计时可按 UIC 活载图式、相应的动力系数进行静力计算,以保证运营活载效应小于设计效应以及梁体不出现过大的振动。



说明图 7.3.3 UIC 规范规定的不同跨度简支梁自振频率限值

长期以来,我国铁路常用跨度桥梁设计多采用通用标准图形式,且设计规范在梁体竖向频率方面未进行规定。其一方面原因是基于我国铁路实际运营及标准图的编制经验,另一方面我国桥梁设计动力系数是在现场实测值的基础上制定的。而国际铁路联盟频率限值是适用于铁路桥梁设计的通用性标准,关于上述基频下限值的规定主要为了防止列车连续移动荷载效应对梁体产生较大的动力作用,致使实际活载效应超过设计值。我国《既有线提速 200 km/h 技术条件》(铁科技函〔2006〕747 号)、《新建时速 200 公里客货共线铁路设计暂行规定》(铁建设函〔2005〕285 号)采用了基频限值。考虑到我国重载铁路采用的 ZH 荷载图式在型式上与 UIC 活载图式一致,量值上有所提高,且 UIC 前期研究的 4×250 kN 轴重、12.5 m 车长的重载货物列车与我国新型货物列车类似,为便于设计,采用了上述梁体基频下限值。

7.3.4 车桥耦合动力分析主要用于判断列车通过桥梁时的运行安全性、运行平稳性以及是否出现共振现象。

重载铁路虽然运行速度相对较低,但列车参振质量大,我国大

秦等重载线路的运营实践中,仍有部分桥梁结构出现振动响应较大的现象;列车—桥梁的振动响应与运行列车速度、轨道状态、桥梁结构表式及刚度等参数均有关系,规范规定了挠跨比、简支梁最低的基频限值;对于特殊大跨度桥梁结构,其设计条件不一,结构类型多样,难以统一相应的结构参数指标。因此,对设计的特殊大跨度桥梁提出要开展车桥耦合动力分析,以验证桥梁结构设计是否满足要求。

列车运行安全性主要涉及车辆在桥上是否会出现脱轨及对轨道产生过大横向力的问题,一般采用脱轨系数 Q/P 、轮重减载率 $\Delta P/P$ 及轮轨横向水平力等几个参数来限定。《铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准》TB/T 2360—1993、《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》GB 5599—1985 分别对机车和车辆运行安全性指标进行了规定,本条文中脱轨系数和轮重减载率机车取 TB/T 2360—1993 中的良好标准限值,货车取 GB 5599—1985 中增大了安全裕量(即第二限度)的标准限值,轮轨横向力采用避免出现线路严重变形的限度,取混凝土轨枕对应的限值。

除了行车安全性问题外,列车运行平稳性是为了确保运送货物的完整性,包括平稳性指标和车体振动加速度。《铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准》TB/T 2360—1993、《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》GB 5599—1985 均有相关规定,平稳性评定分优、良好、合格三个等级,车桥耦合动力分析根据计算条件研究取用,但应满足合格等级要求。本条文直接采用了 TB/T 2360—1993 和 GB 5599—1985 的相关规定。

为确保桥上线路结构的稳定性,需要对桥面振动加速度加以控制。欧盟对此进行过现场测试和试验研究,认为列车过桥时,有砟桥面相应于 20 Hz 以内的竖向振动加速度在 $0.35g$ 及以下,可保证道床的稳定性。对于无砟桥面,为防止跳轨,其限值取 $0.50g$ 。本规范采用了上述规定。

7.3.6 桥梁恒载作用下的沉降变形有些在施工期间已经产生,桥

梁的高程可以在施工中得到调整;仅设计施工后的沉降,由于活载作用下的沉降是瞬时的、弹性的,一般可以恢复。因此,规定墩台基础的沉降仅按恒载计算。

对墩台基础工后沉降及工后沉降差给予一定的限制,是为了保证墩台发生沉降后,桥头和桥上线路坡度的改变不致影响列车的正常运行,即使要进行线路高程调整,其调整工作量也不致太大,不会引起桥面改建和桥梁结构加固。

根据设计经验,同时考虑台后过渡段的沉降要求,有砟桥面墩台均匀总沉降量限定值取 70 mm~80 mm。相邻墩台均匀沉降量之差的限定值,沿用“99 桥规”的取值办法,可不大于墩台均匀沉降量的一半,可取 35 mm~40 mm。对于超静定结构,仍按《99 桥规》的规定,其相邻墩台均匀沉降量之差的容许值,根据沉降时结构产生的附加应力的影响而定。本条文与《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 规定相同。

7.3.7 近年来各标准等级铁路的工程实践经验表明,对于设置路涵过渡段的涵洞地基基础,按与其两侧路基过渡段相同的地基处理方式,即路基过渡段与涵洞的工后沉降一致时,能够满足行车的平顺性要求。对于设计标准等级较低,没有设置路涵过渡段的涵洞基础,按照《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 的规定,规定了工后沉降限值不应大于 100 mm 的要求。

7.4.1 重载铁路桥上轴重增加,冲击效应更为显著。混凝土桥跨结构有砟轨道桥面道床厚度应适当加大,以减少列车对桥梁的冲击。根据轨道专业的要求,道砟槽的道砟厚度采用 0.35 m。

7.4.3 桥梁结构的各部位应经常处于干燥状态,防止积水,以免出现冻胀、锈蚀、腐蚀等现象,因此应有适当的排水和通风条件。

桥梁的防排水设计是决定桥涵耐久性的重要因素。桥梁结构要做到结构能防水、结构不积水、有水能及时排出,排出的水应结合具体情况进行细部设计使之对外界的影响最小,对结构本身的不利影响也降到最低为原则。排水措施应保证在桥面行车道的结

构表面排水顺畅,一般考虑纵横向设置排水坡,坡度不小于 2%,并布置排水孔、水蓖子、排水管、排水槽以及排水沟等,其容量应与降水量相配合。还需注意在结构的缝隙处须设置防止落砟和防止漏水的措施。

7.5.1 桥梁应根据环保、列车运行安全的要求设置声屏障、风屏障的基础。

7.5.3 桥梁与路基、隧道界面分工按照线路里程划分,容易导致桥梁与路基、隧道的接口段出现问题,主要表现在:

(1)桥梁与路堑相连时,路堑两侧排水沟顺接不到位,随意排水,在黄土等容易产生水土流失地区,将给桥梁带来很多病害。

(2)桥梁与路堑相连时,路堑两侧以永久边坡设计并防护,而桥台两侧多采取临时边坡开挖(主要为桥台施工服务),导致该段路堑设计标准、形式不一。

(3)在桥梁与路基相接处以及桥梁与隧道相连(或者伸入隧道)时,人行道不在同一高程层,相差较大;电缆铺设存在平面错位,高程上存在较大的高程差等。

8.1.1 重载铁路隧道的内部轮廓规定应符合现行国家标准《标准轨距铁路建筑限界》GB 146.2,但需要注意的是,该限界标准颁布已超过二十年,针对轨面以上 1 250 mm 范围的隧道建筑限界部分已有局部调整,相关内容详见《铁路技术管理规程(普速铁路)》,设计中应注意这一点。位于车站范围的隧道,由于有其特殊的作业要求,其净空一般相对区间隧道大,故作出相应规定。隧道建筑限界未涉及轨面以下部分,而轨下部分与选用何种轨道类型对确定隧道内部轮廓有直接关系,特别是有砟轨道隧道,需要考虑养护维修机械作业对隧道内轮廓的影响,主要原因如下:

(1)我国首条重载铁路——大秦铁路隧道内铺设有砟轨道,在隧道内维护时,由于大型机械难以进入,只能靠人工将沉积在钢轨内的石砟、煤面及粉尘等清理出隧道,工作条件十分艰苦;隧道内维修养护条件困难导致维护周期很长,造成道床板结,轨道破损,

进而形成了安全隐患。朔黄铁路运营十余年,因隧道内作业条件的限制,道床维护工作也只能对部分隧道或隧道洞口段进行道砟清筛作业。

(2)以往隧道设计时,仅考虑有砟轨道对水沟电缆槽结构影响,规定有砟轨道隧道挡砟墙(水沟电缆槽侧壁)至轨枕端头距离的最小宽度为 20 cm,至线路中线的距离为 1.5 m(Ⅲ型枕)。如果有砟轨道隧道采用机械化清筛作业时,以 SRM80 型全断面道砟清筛机为例,机械作业需要的单侧净宽为 2.015 m,若考虑安全间隙等,需要宽度达 2.2 m,所以以往的有砟轨道隧道无法满足机械化清筛作业要求。为此,原铁道部于 2012 年下发的关于铁路隧道设计的有关文件中,要求新建普速铁路有砟轨道隧道的内轮廓设计应满足大型养路机械作业要求。

鉴于此,为了进一步改善铁路隧道养护维修条件,规范中明确了隧道内铺设有砟轨道时,内轮廓还应满足大型机械养护维修作业要求的规定。

考虑到隧道内沟槽侧壁与线路中线的距离会随着养护维修作业机械的种类和机械发展水平而变化,故本规范未对该距离进行量化规定。

8.1.2 地质条件对隧道位置的选择往往起决定性的作用。隧道位置选择在岩性较好、稳定的地层中,将有利于施工和运营安全,同时也能节约投资。当受边界条件控制,不得不穿越地质条件极为复杂的地段时,应有全面的分析研究和明确的方案可行结论,并尽量减短其穿越的长度,同时还应根据具体的地质条件,采取加强超前地质预报、地层加固、支护衬砌、检测监测、地下水处理、地应力释放及有害气体治理等工程措施,确保隧道顺利穿越。

8.1.3 在选择隧道位置时,要重视洞口位置的选择。合理地选择洞口位置,是保护环境和保证顺利施工、安全运营及节省工程造价的重要条件。洞口选择的不当会造成洞口塌方、长期不能进洞或病害整治工程大、不易根治等问题。洞口应选择在地质条件相对

较好的位置,线路能够垂直或接近垂直地形等高线进洞,以满足水文和环保要求。

隧道施工安全进洞是整个隧道顺利推进的关键环节,提前进洞和推迟出洞减小了洞口开挖对周围环境的影响,也提高了隧道洞口运营后的安全性。因此,规定应遵循早进洞、晚出洞的原则。

8.1.5 隧道施工运营期间对地下水的防治需考虑洞内、洞外的多种因素,一般不能仅靠单一的办法解决。根据多年来隧道防水治水的经验,隧道防排水应遵循“防、排、截、堵结合,因地制宜,综合治理”的原则。

“防”:即要求隧道衬砌结构具有一定的防水能力,能防止地下水渗入,如采用防水混凝土、防水板和接缝防水等。

“排”:即隧道应有排水设施并充分利用,以减少渗水压力和渗水量,但要注意大量排水后对周围环境引起的后果,如围岩颗粒流失,降低围岩稳定性;破坏地下水、地表水径流条件,造成当地农田灌溉和生活用水困难等。设计时要预先了解当地环境要求,必要时按照“限量排放”的原则,结合注浆堵水制定设计方案与措施,妥善处理排水问题。

“截”:隧道顶部如有地表水易于渗漏处或有坑洼积水,可设置截、排水沟和采取消除积水的措施。

“堵”:在隧道施工过程中,有渗漏水时,可采用注浆、喷涂等方法堵水;运营后渗漏水地段也可采用注浆、喷涂,或用嵌填材料、防水抹面等方法堵水。

隧道防排水要结合水文地质条件、施工技术水平、工程防水等级、材料来源和成本等因素,因地制宜,选择适宜的方法,以达到防水可靠、排水通畅、线路基床底部无积水、经济合理,最终保障结构和设备的正常使用及行车安全。

8.2.1 关于隧道衬砌。

1 铁路隧道为永久性建筑物,为避免洞内岩体日久风化及水的侵蚀而发生落石掉块,危及行车安全;建成后能适应长期运营的

需要;避免运营中施作衬砌的困难,因此,隧道应设衬砌。

隧道衬砌因其通过的地质情况、结构受力、计算方法以及施工条件的不同,有整体式衬砌(模筑混凝土衬砌及砌体衬砌)、复合式衬砌(内、外两层衬砌组合而成)、喷锚衬砌(喷射混凝土、锚杆喷射混凝土、锚杆钢筋网喷射混凝土、喷钢纤混凝土衬砌)等形式。

整体式衬砌是由混凝土或砌体一次修筑而成的单层隧道结构,目前一般用于隧道明洞段落。

复合式衬砌是由内、外两层衬砌组合而成。通常称第一层衬砌为初期支护,第二层衬砌为二次衬砌。复合式衬砌内外两层组合的方式有喷锚与模筑、装配与模筑、模筑与模筑等多种,一般常用的是喷锚与模筑的组合。其优点是能充分发挥围岩的自承能力,调整衬砌受力状态,充分利用衬砌材料的抗压强度,从而提高衬砌的承载力。为了提高防水等级,在初期支护与二次衬砌之间可铺设不同类型的防水层。

目前,喷锚衬砌作为永久衬砌尚有争议,随着对喷锚技术的深入研究和技术质量的不断提高,喷锚衬砌将会逐步在地下工程中得到广泛应用。但在目前技术条件下,特别是重载铁路隧道仍不宜采用喷锚衬砌。

2 从以往的隧道工程施工、运营经验看,曲墙带仰拱结构可改善受力状况,为强化重载铁路基底结构,加强隧道衬砌仰拱结构,规定隧道衬砌均宜采用曲墙有仰拱衬砌,仰拱厚度应大于拱墙厚度,Ⅳ~Ⅵ级围岩地段的仰拱应采用钢筋混凝土,软岩或富水的Ⅲ级围岩地段仰拱宜采用钢筋混凝土结构。结合工程经验和《山西中南部铁路通道重载综合试验》《重载铁路隧道设计施工关键技术研究》等相关科研结论,仰拱曲率宜较普通隧道适当加大,特殊地层条件下可进一步加大仰拱曲率。

8.2.3 关于隧道基底地层处理。

1 通过《山西中南部铁路通道重载综合试验》《重载铁路隧道设计施工关键技术研究》的现场实测和相关计算分析,重载列车对

基底地层的影响较普通列车大,对基底的要求也相应提高,如果隧道基底在施工时就存在虚渣和积水,将会引起基底结构局部应力集中,从而使动荷载的影响放大,进而出现基底病害。故本条明确了“隧道基底不应有虚渣及积水”。

2 隧道基底位于溶洞、采空区、软土、黄土等地层,特别是地下水发育时,容易产生基底不均匀沉降和液化,轻则损坏隧道衬砌结构,对轨道结构的稳定和线路的平顺造成影响,重则危及线路行车安全。因此,施工过程中应加强洞周特别是基底检测,探明溶洞位置、大小和充填情况等;探明采空区的方向,空洞范围和塌落情况;探明软土的层厚;探明黄土的湿陷性质和范围。结合查明的情况,设计中采用相应的处置措施,以保证基底的稳定。

8.3.1 通过对大秦铁路的调研,受列车通过隧道的活塞作用,大量煤粉在隧道内飘散掉落,并通过盖板与沟槽的空隙进入沟槽内,造成沟槽被填塞封堵,导致电缆维护困难、水沟排水不畅。因此,本条条文强调了沟槽盖板铺设应稳固密封。

8.3.2 同时修建的两条单线隧道修建联络横通道,是为了满足维修、救援的需要。《铁路隧道防灾救援有关技术标准的研究》成果认为,平行的两条隧道之间应设置相互联络的横通道,横通道间距不大于 500 m。考虑到重载铁路的特点,本规范暂不考虑客运的情况,故横通道最大间距可采用 1 000 m。当承担客运时,应按相关规范要求执行。横通道断面尺寸需结合避车洞及防护门的尺寸确定。

8.4.1 结合现行《地下工程防水技术规范》GB 50108—2008 要求,同时考虑重载铁路运输性质,确定重载铁路隧道的防水等级应达到《地下工程防水技术规范》GB 50108—2008 规定的二级标准:不允许漏水,结构表面可有少量湿渍,总湿渍面积不应大于总防水面积的 2/1 000;任意 100 m²防水面积上的湿渍不超过 3 处,单个湿渍的最大面积不大于 0.2 m²;隧道中还要求平均渗水量不大于 0.05 L/(m²·d),任意 100 m²防水面积上的渗水量不大

于 $0.15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

根据《铁路隧道设计规范》TB 10003—2005 的规定,隧道、明洞、隧道内附属设备洞室及联络通道的防水应满足:衬砌不漏水,安装设备的孔眼不渗水;道床排水畅通,不积水;在有冻害地段的隧道,衬砌不渗水,衬砌背后不积水、排水沟不冻结。

“安装设备的孔眼不渗水”是指隧道内安装设备的孔眼等表面无湿润痕迹。

“道床排水畅通,不积水”是指道床具有良好的排水能力,不能存在任何有水流滞留的位置,列车排水或日常养护维修用水一旦洒到道床,要能在短时间自流排走,达到道床不积水。

“排水沟不冻结”是指排水沟不出现结冰冻胀。

隧道主要防水设施为衬砌防水混凝土、防水层、止水条(带)等;主要排水设施为中心水沟(管)、纵向盲管、竖向盲管、环向盲管、边墙侧沟等;主要堵水措施有超前预注浆、围岩注浆、衬砌背后注浆、衬砌内注浆等。

8.4.2 寒冷及严寒地区,容易出现排水沟冻害,经验表明,水量越小,冻害越明显,适当加大坡度后,能够增加流速,减小冻害。根据隧道所处环境的气温、风向、冻结深度、地形地质条件等,可采取水沟加保温层、深埋水沟、防寒泄水洞等防冻排水措施。与深埋水沟、防寒泄水洞等排水系统相连的盲沟、检查井以及保温排水设施的出口等,也需采取保温措施。

8.4.3 调查显示,因隧底排水不畅,容易出现底部结构上鼓或翻浆冒泥等病害,在重载铁路隧道中该类病害更为突出。隧底疏排水能够有效解决此类病害,故条文作此规定。

8.5.1 关于隧道运营通风方式

1 长度大于 15 km 的隧道应设置机械通风,是根据现行《铁路隧道运营通风设计规范》TB 10068—2010 规定的。

2 “有特殊要求的隧道”是指含瓦斯等有害气体隧道、高地温隧道和有异味隧道等。

9.1.1 采用一次铺设无缝线路,是为了避免有缝线路过渡期可能造成的接头区道床、基床病害,以及换铺无缝线路之后在原接头区可能出现的病害“记忆”现象隐患。目前路基填筑和轨道铺设技术成熟、机具现代化程度高,在国内众多Ⅰ级铁路、高速铁路建设中均采用了一次铺设无缝线路技术,积累了丰富的设计和施工经验,该项技术在我国铁路新线建设中已完全成熟。大秦线、朔黄线等重载铁路虽然在修建之初没有铺设无缝线路,但在运营过程中,均通过换轨大修铺设了无缝线路。在国外,美国、加拿大、澳大利亚、南非等国家在重载线路上均采用无缝线路,以提高重载列车运行平稳性,减少对线路的动力作用。

跨区间无缝线路可以消除传统无缝线路短轨缓冲区和区间无缝线路之间的道岔外短轨缓冲区或钢轨伸缩调节器,将区间线路、道岔及车站正线全部焊接或胶结,实现钢轨的连续和真正意义上的无缝化,以最大限度地改善行车条件和轨道工作、养护条件。对于重载铁路,由于轴重大、运量大,就目前的道岔结构而言,道岔部件更换相对较频繁,因此,运营单位一般倾向于铺设区间无缝线路。设计时,可根据线路年通过总质量并结合重载道岔的技术发展现状,合理选择跨区间无缝线路或区间无缝线路。但无论跨区间无缝线路还是区间无缝线路,均应一次铺设。

9.1.2 有砟轨道和无砟轨道是轨道结构的两种基本形式。有砟轨道弹性条件好,在一定的维修质量条件下具有较好的轮轨接触效应,减振、降噪效果较好,维修较方便,造价相对较低。与有砟轨道相比,无砟轨道结构具有稳定性好、平顺性高、轨道状态可长期保持、维修工作量可显著减少等突出优点。

有关资料表明,目前各国重载铁路均以有砟轨道结构为主,无砟轨道应用较少。美国曾在普韦布洛试验段上试铺了约 76 m 长的 LVT 型轨道(弹性支承块式无砟轨道),该试验区间在经过 6 年以上的运营之后,累计通过总重 259 Mt、最高试验轴重 360 kN, LVT 轨道结构各组成部件无明显的疲劳损伤,钢轨未出现明显的

波磨或异常磨耗现象,也未进行维修或更换,线路几何形位可维持在美国铁路公司 9 级线路标准;但在运营线路上,尚没有铺设无砟轨道结构的工程实践。南非仅在里查兹湾运煤专线的隧道内铺设了无砟轨道,其他重载铁路隧道内也主要采用有砟轨道,并分别设计了框架式和非框架式轨枕等新型有砟轨道结构以适应不同轴重。其他国家重载铁路(含隧道内)尚没有应用无砟轨道的有关技术资料发布。在国内,目前大秦、朔黄等典型重载铁路均铺设有砟轨道;近年来设计的山西中南部铁路、蒙华铁路也以有砟轨道为主,但在长大隧道内铺设了无砟轨道。鉴于国内外大量的运营实践,考虑重载铁路速度相对较低且无舒适性要求,轨道形式宜采用价格低廉、维修便捷的有砟轨道。

在隧道内,由于线下基础刚度大,道砟粉化严重,同时由于重载铁路多为煤炭等散货运输,当列车在长大隧道内运行时,由于空气动力作用会洒落大量煤粉和碎煤等,混入道砟后导致道床板结,尤其是隧道漏水或排水不畅地段这一现象更加严重。因此,国内大秦、朔黄等重载铁路铺设了较多的混凝土宽轨枕。然而在重载列车动荷载的反复作用下,道床会发生不均匀沉降,易导致宽轨枕出现暗坑、吊板等病害,由于宽轨枕重量大、间距小,无法进行道床捣固,道床出现病害后,养护单位无法进行彻底整治,只能采用垫砂法等较原始的方法进行简单整治,且工效很低。随着通过总重的加大,道床相关问题日益恶化,极易造成宽轨枕的开裂或压溃等伤损,导致轨道结构不平顺,列车通过时动力冲击作用成倍加大,加速了残余变形的积累和道床的下沉,形成恶性循环。为减少长大隧道内有砟道床养护维修作业量,彻底改善作业条件,采用少维修的无砟轨道是根本出路。从经济性看,前期研究资料表明,对于长大隧道等基础稳固地段,无砟轨道生命周期成本优势明显,既可大幅减少维修费用,又不会大幅增加工程投资。综上,重载铁路隧道可采用无砟轨道。此外,对于山区铁路,经常出现两个长大隧道中间设置长度较短的桥梁或路堑等工点,为使轨道刚度尽量一致,

可结合工点具体情况,采用无砟轨道贯通铺设。

在客货共线铁路上,我国早期曾试铺过支承块式、整体灌注式、短木枕式及无砟无枕式等多种无砟轨道结构形式,主要应用于隧道和桥梁等刚性基础地段。1965~1984年间,无砟轨道铺设长度达到300 km。此外,弹性支承块式无砟轨道在西康线秦岭隧道、宁西线东秦岭隧道、兰新线的乌鞘岭隧道以及黔桂线、大丽线等干线铁路长大隧道内得到较广泛应用。在高速铁路上,近年来我国积累了大量的无砟轨道设计、施工及运营经验。自20世纪90年代以来,我国研发了轨枕埋入式、板式和弹性支承块式无砟轨道结构,在秦沈线三座特大桥上、西康线和赣龙线等隧道内进行了试铺;2004年我国在遂渝线无砟轨道综合试验段的路基、桥梁、隧道及岔区首次成段铺设了无砟轨道,取得了一系列研究成果,研发了单元板式、双块式、纵连板式和岔区轨枕埋入式无砟轨道,首次在路基地段、岔区和大跨度桥梁上铺设,并通过了实车试验验证。2006年底开始,在我国前期研究成果的基础上,针对我国高速铁路的工程特点和环境条件,原铁道部组织开展了无砟轨道技术再创新研发,并在武广客运专线武汉综合试验段、京津城际等高速铁路上得到试验和工程实践验证,逐步形成了适应国情、路情的CRTSⅠ型板式、CRTSⅡ型板式、双块式无砟轨道以及道岔区轨枕埋入式和板式无砟轨道的设计、制造、施工等成套技术体系,目前已在国内推广应用。此外,自2009年开始,我国在无砟轨道再创新和总结CRTSⅠ、CRTSⅡ型板式和双块式无砟轨道工程实践经验的基础上提出了一种具有自主知识产权的新型无砟轨道——CRTSⅢ型板式无砟轨道,其首次试验铺设的200 km级的成灌铁路已开通运营。为完善CRTSⅢ型板式无砟轨道技术体系,有关单位针对高速铁路CRTSⅢ型板式无砟轨道应用进行了深入研究,并将研究成果应用于盘营客运专线工程,逐步取得了包括设计、制造、施工在内的成套技术。

我国在山西中南部铁路通道综合试验段上试铺了弹性支承块

式、长枕埋入式和双块式三种无砟轨道结构。试验数据显示,上述三种无砟轨道结构的稳定性指标、结构强度指标、平顺性指标均较好,可以保证重载列车运营的安全性和平稳性。但就隧底压应力而言,弹性支承块式、长枕埋入式和双块式的最大值分别为 106.7 kPa、368.3 kPa 和 498.9 kPa,弹性支承块式的隧底压应力明显偏小。此外,与刚性道床相比,弹性支承块式无砟轨道由于采用了双层弹性垫层设计,轨道结构的振动衰减性能较为显著,隧底和隧道边墙的减振效果达到 10 dB 左右,对于衰减轮轨冲击力和隧道基础振动、降低隧道基底的应力水平,避免或减轻一些基底病害的发生、发展较为有利。同时考虑到弹性支承块式无砟轨道具有一定的可维修性,因此,可将其作为长大隧道和隧道群地段无砟轨道的首选方案。

设计中,可根据不同无砟轨道结构的技术、经济特征,针对重载铁路长大隧道及桥隧相连等露天地段的不同工况,结合不同项目的具体工程条件,进行技术经济比选,合理确定无砟轨道结构形式。考虑到轨道刚度的均匀性及养护维修作业的方便,无砟轨道宜集中成段铺设。

9.1.3 目前,国内几条典型重载铁路的轻、重车方向均十分明显,轴重和年通过总质量有显著差别,为合理确定技术标准、降低工程投资,设计应按其轻、重车方向分别选择轨道标准。

9.1.4 重载铁路的轴重和牵引质量较普通铁路均有大幅提高,对轨道结构的稳定性有严格要求,小半径曲线及长大坡道制动地段尤其应该引起重视。

近年来,国内在该领域进行了一些探索研究。针对大秦铁路小半径曲线和长大坡道地段出现的轨距和线形难于保持、外轨侧磨严重以及个别地段发生轨排横移而致使线路维修工作量增加的情况,相关单位进行了理论研究并研制试铺了 75 kg/m 钢轨用轨撑。理论研究表明:列车轴重增大、转向架通过曲线的导向力增大和轨头横移造成的外轨轨向附加不平顺增大是导致轨距、线形变

化和外轨侧磨增大的主要原因;而长大重载列车在下坡地段制动所产生的作用于外轨上的横向分力,则是导致轨排横移的根本原因。因此,提高钢轨的横向抗力,特别是提高钢轨抗倾覆的能力,是较为有效的措施。轨道动力特性试验和现场试铺表明:轨撑可较好地保持轨距和线形,延长钢轨使用寿命,减少轨道日常养护工作量,提高行车安全性。

9.1.7 既有线改建为重载铁路时,应根据列车轴重及线路年通过总质量合理选择轨道部件及道床参数,其中列车轴重大小直接影响扣件和轨枕等轨道部件的选型。

重车线可在确保结构安全的条件下,尽量利用既有轨料,以提高经济性。但需注意针对不同设计轴重确定既有轨料的更换原则,对于设计轴重超出既有轨料适用范围的轨道部件,需及时更换,以确保运营安全。

9.2.1 钢轨定尺、材质、强度等级等应根据国内钢轨研制、生产情况合理选择,应以延长钢轨使用寿命,减少轨道养护维修工作量,提高钢轨的综合使用效益为目的。

钢轨是重载铁路最主要的轨道部件,国内外运营经验表明,重载铁路钢轨应具备较大的抗弯刚度,其目的是提高轨排强度和稳定性,同时列车垂向荷载可分配至更多轨枕,减轻单根轨枕的荷载,降低枕下道床的应力,延缓重载铁路道砟的破碎粉化,延长道床使用寿命,以减少轨道维修作业量。另外,钢轨使用寿命的长短直接影响轨道维修费用的高低,影响线路的运输效益,因此重载铁路钢轨需要有良好的强度、刚度、硬度,以及抗磨损和疲劳性能,从而提高钢轨使用寿命、延长线路换轨周期,减少线路的养护维修工作量,降低线路维修费用。国外重载铁路普遍采用 60 kg/m 及其以上钢轨,取得了良好的使用效果。目前,我国重载铁路轨型以 60 kg/m 和 75 kg/m 钢轨为主,也取得了良好的使用经验。具体轨型选择应考虑合理大修周期。对于普通铁路,一般按 15~20 年考虑。但对于重载铁路而言,其大修周期显然不能以普通铁路的

标准来要求,而是应在对轨道结构各部件进行加强的基础上,遵循等强匹配原则进行轨道部件合理选型,并采取综合维护措施尽量提高轨道结构的整体使用寿命,减少养护维修工作量,延长重载铁路大修周期,满足安全运营及输送能力要求。参照现行《铁路线路修理规则》(铁运〔2006〕146号),75 kg/m 无缝线路的大修周期为 900 Mt;近年来在大秦线开展的延长钢轨使用寿命相关研究表明,通过采取高强钢轨及钢轨打磨、轮轨润滑等综合措施,75 kg/m 钢轨无缝线路的大修周期有望延长至 1 500 Mt 以上。重载线路大修周期一般不短于 3~6 年(最大年运量按 400 Mt 考虑,换算的最大年通过总质量约 500 Mt),从既有重载铁路的运营维护经验看,一个天窗内即可完成换轨 1.5 km~2.5 km,因此,在一个大修周期内完成特定线路的换轨作业是完全可行的。从养护维修周期考虑,年通过总质量 250 Mt 及以上时,建议铺设 75 kg/m 钢轨;年通过总质量小于 250 Mt 但大于 100 Mt 且设计轴重大于等于 300 kN 时,由于运量及轴重均较大,也建议优先考虑铺设 75 kg/m 钢轨;其他条件下新建线路建议铺设 60 kg/m 钢轨。新建铺设 60 kg/m 钢轨的重载线路后期可根据运量、养护维修情况等逐步换铺 75 kg/m 钢轨。

重载铁路轴重大、年通过总重大,钢轨磨耗较常规的客货混运铁路严重,特别是小半径曲线地段磨耗更加明显。根据大秦线钢轨磨耗资料的统计分析,大秦线 2010 年运量 4 亿 t,年通过总重约 5 亿 t,半径 1 200 m 及以上的曲线,钢轨磨耗及使用寿命与直线地段相比差别不大;半径 800 m 的曲线钢轨侧磨已比较严重,每年达 19 mm 以上,使用一年就需要换轨,而更小的曲线半径,如 500 m 的曲线半径,侧磨非常严重,每季度就需要换轨一次,换轨施工严重干扰运营。

以下为大秦线茶坞工务段曲线地段钢轨磨耗有关统计数据,详见说明表 9.2.1—1。

说明表 9.2.1—1 大秦线茶坞工务段曲线地段钢轨磨耗有关数据统计

曲线半径 (m)	通过总重 (100 Mt)	最大侧磨 (mm)	月均侧磨 (mm)	百万吨侧磨 (mm)
500~600	1.3	21	5.3	0.18
800	2.0	21	3.5	0.12
1 000	4.0	21	1.3	0.04
1 200	5.0	21	0.9	0.03

国内重载铁路新型钢轨研制近年来不断取得新进展,试验铺设了 U75V、U78CrV 和 U77MnCr 钢轨,并取得了良好的试验效果。与此同时,还开展了更高强度的贝氏体钢轨研究试制工作,并在道岔辙叉生产和使用上积累了丰富的经验。根据有关技术资料,几种钢轨的主要力学性能指标见说明表 9.2.1—2。

说明表 9.2.1—2 钢轨主要力学性能指标

项 目		U75V	U78CrV	U77MnCr	贝氏体钢轨
强度等级 (MPa)	热轧钢轨	≥980	≥1 080	≥980	≥1 280
	热处理轨	≥1 180	≥1 280	—	—
踏面硬度 (HB)	热轧钢轨	280~320	310~360	290~330	360~430
	热处理轨	340~400	370~420	—	—

原铁道部运输局《关于印发〈钢轨使用指导意见〉的通知》(运工线路函〔2012〕264 号,以下简称“通知”)对于钢轨使用作了全面、详细的规定,设计时可参考执行。

为减少钢轨焊接接头,应采用长定尺钢轨。根据“通知”要求,60 kg/m 钢轨选用 100 m 定尺钢轨,75 kg/m 钢轨选用 75 m 定尺钢轨,其他新型钢轨则应根据研制情况合理确定。

对于钢轨材质、强度等级及曲线地段的钢轨淬火要求等,“通知”相关规定如下:

1. 重载铁路

(1)重载铁路应选用强度等级不低于 980 MPa 的热轧钢轨(U75V、U78CrV、U77MnCr、U76CrRE 等)。

(2)在半径 $\leq 1\,500\text{ m}$ 的曲线区段应选用强度等级不低于 1 180 MPa 的热处理钢轨(可优先选用 U78CrV、U77MnCr、U76CrRE 等)或贝氏体钢轨。

2. 普速及快速铁路

(1)在年通过总重 $\geq 50\text{ Mt}$ 的线路上,应选用 U75V 热轧钢轨。在半径 $\leq 1\,200\text{ m}$ 的曲线上应选用 U75V 热处理钢轨,在磨耗严重(磨耗速率 $> 0.05\text{ mm/Mt}$)的区段应选用 U78CrV、U77MnCr、U76CrRE 等热处理钢轨或贝氏体钢轨。

(2)在年通过总重 $< 50\text{ Mt}$ 的线路上,可选用 U71Mn 或 U75V 热轧钢轨,山区铁路应选用 U75V 钢轨。在半径 $\leq 1\,200\text{ m}$ 的曲线上应选用热处理钢轨。

重车线钢轨根据“通知”中重载铁路钢轨选型原则确定,热轧钢轨强度等级不低于 980 MPa。轻车线则应根据年通过总质量,比照“通知”中普速及快速铁路钢轨选型原则合理确定,热轧钢轨强度等级不低于 880 MPa。为提高钢轨的综合使用效益,并考虑一定裕量,设计时可参考“通知”有关要求,对于小半径曲线地段分轻、重车合理选用热处理钢轨,其强度等级宜为 1 280 MPa,踏面硬度应不小于 370 HB。

重载铁路钢轨除要求具有高强度外,还应具有高抗疲劳性能、高耐磨性能和良好的焊接性能。有关部门陆续开展了提高钢质纯净度、强度及硬度、确保焊接性能等研究,并将研究成果及时纳入新修订的《43 kg/m \sim 75 kg/m 热轧钢轨订货技术条件》TB/T 2344—2012 中。结合重载铁路对钢轨的要求,加强了对体现钢轨内部纯净性指标 S、P、N 含量,夹杂物级别等要求,同时将新研发的适合重载铁路用的热轧态强度等级为 980 MPa、1 080 MPa 的 U77MnCr、U78CrV、U76CrRE 3 个新钢种纳入标准中,新增了 5 个钢种在线热处理的技术指标要求,以适应重载铁路曲线钢轨

使用。

9.2.2 道岔内部转辙器与辙叉之间以及道岔前后与区间线路连接的钢轨锁定焊,由于焊接两端钢轨不可移动,无法采用闪光焊,故可采用铝热焊。

9.2.3 为适应 300 kN 轴重重载铁路运营需要,有关部门组织研制了适用于重载有砟轨道的弹条Ⅵ型扣件(有挡肩,与Ⅳa 型轨枕配套使用)和弹条Ⅶ型扣件(无挡肩,与Ⅳb 型轨枕配套使用),以及适用于重载无砟轨道的弹条Ⅷ型扣件(无挡肩,适用于弹性支承块式无砟轨道)和 WJ-12 型扣件(带预埋铁座的无挡肩扣件,适用于双块式或长枕埋入式无砟轨道)。新型重载扣件零部件设计强度及整体使用性能较既有扣件均有所提高。试验结果显示,新型重载扣件系统能够满足 300 kN 轴重对承载能力及保持轨距能力的要求。

9.3.1 正线轨道静态铺设精度是指正线有砟轨道、正线无砟轨道、正线道岔直向在新线施工完成后应达到的轨道几何尺寸验收标准。它是轨道施工质量过程控制的重要指标,为达到规定的轨道几何尺寸动态验收标准提供基础。

重载铁路轨道静态平顺度标准按正在修编的《铁路轨道设计规范》120 km/h 以下客货共线铁路确定。

9.4.1 轨枕是轨下基础的重要部件,其功能是支承钢轨,保持轨距和线路方向,并将钢轨的荷载传递至道床。轨枕需具有足够的强度、稳定性以满足承载和保持轨道结构纵、横向稳定的要求。根据重载铁路运营需求,有关部门组织研发了新型重载有挡肩混凝土轨枕(Ⅳa 型)、无挡肩混凝土轨枕(Ⅳb 型)以及有挡肩混凝土桥枕(Ⅳqa 型)。重载轨枕长度与Ⅲa 型轨枕相同,重量比Ⅲa 型轨枕增加 25 kg,底面宽度较Ⅲa 型轨枕略宽,轨下截面正向和枕中截面负向承载能力分别为 22.75 kN·m 和 21.33 kN·m,与Ⅲ型轨枕相比承载能力分别提高了 18.5%和 23.3%,有关技术参数详见说明表 9.4.1—1。

说明表 9.4.1—1 重载轨枕与Ⅲa型轨枕技术参数对照

轨枕类型	Ⅲa 型枕		新型重载轨枕	
轨枕长度(mm)	2 600		2 600	
截 面	轨 下	枕 中	轨 下	枕 中
高度(mm)	230	185	235	195
顶面宽度(mm)	170.5	220	170(Ⅳa) 200(Ⅳb)	218
底面宽度	314	280	314	284
预应力配筋	10 ϕ 7.0		12 ϕ 7.0	

轨枕重量及底面宽度的增加可从一定程度上降低列车对轨道的低频冲击力,有利于降低道床应力,减缓道床粉化及累积变形速率,减少线路的养护维修工作量。根据单根轨枕横向阻力测试结果,新型重载Ⅳa型轨枕相对于Ⅲa型轨枕横向阻力提高了约33%。实车运行条件下,300 kN轴重5 000 t编组试验列车不同运行速度条件下,实测新型重载Ⅳa型轨枕地段轨枕横移最大值为0.08 mm,Ⅲa型轨枕地段轨枕横移最大值为0.17 mm。不同轨枕间距对轨道结构整体刚度及横向稳定性也有一定影响。根据大秦线实际运营经验,重车线轨枕铺设根数由每千米1 667根增加至1 760根,对于轨道状态的保持有一定效果,可从一定程度上减少养护维修工作量。在山西中南部铁路通道重载综合试验中,采用移动加载车对不同轨枕间距地段轨道结构的垂向刚度及横向稳定性进行了对比测试,轨枕按1 760根/km布置较按1 667根/km布置地段,轨道的整体刚度增加约为10%~12%,相同垂向及横向作用下,轨道框架结构中最大轨枕横移量减小约13.5%,线路稳定性有所提高。鉴于新型重载轨枕较Ⅲ型轨枕的横向阻力值已有较大提高,且轨枕按1 667根/km地段测试的各项技术指标均较好,可以确保轨道稳定,同时考虑大机作业的便利性,推荐仍按1 667根/km布置。但可利用综合试验段进一步观测在运量逐步

增大情况下,不同轨枕间距地段的轨道状态及养护维修工作量情况。

9.4.2

1 道床是有砟轨道线路养护维修工作的重点内容。有砟轨道日常养护维修和大修作业主要围绕着碎石道床开展,道砟材质的优劣不仅影响了道床的使用寿命,也影响线路养护工作量和费用。选用特级材质道砟用于重载铁路,可延长道床使用寿命,降低养护维修作业和费用,但也会随之提高工程造价。理论计算和大秦、朔黄铁路运营经验均表明,道砟材质性能主要影响养护维修工作量而不会引起轨道骤然失效从而影响行车安全。由于列车轴重和线路通过总重影响道床的劣化速率,其中线路通过总重为主要影响因素。因此,为提高重载铁路综合经济效益,年通过总质量在 100 Mt 及以下时,线路采用一级道砟,年通过总质量在 250 Mt 以上时,线路宜采用特级材质道砟,年通过总质量介于两者之间时,根据列车轴重情况可采用特级或一级道砟。

重载铁路具有年通过总重大、轴重大,附加动荷载较大的特点,因此对道砟材料的要求较为严格。对重载铁路而言,道砟材质最重要的性能是抗磨性、抗冲击、抗压碎性能,其次是道砟颗粒形状和清洁度。从增加道砟接触面积、减小道床内应力以优化道床整体受力性能角度讲,重载铁路道砟粒径级配应采用宽级配。现行《铁路碎石道砟》TB/T 2140—2008 中特级道砟粒径级配采用窄级配、一级道砟粒径级配采用宽级配,两者均不能直接应用于重载铁路。建议重载铁路道砟采用特级材质时,其级配采用一级级配。

2 有关资料显示,美国重载铁路道砟厚度一般采用 30 cm。我国现有重载铁路多采用双层道砟,面砟厚度 30 cm,底砟厚度 20 cm。理论研究和运营经验表明,在列车的动荷载作用下,随着累计通过总质量的增加,道砟粉化速度加快,从而导致道床脏污、板结,轨道部件伤损加快,为此应适当提高道砟厚度。按设计轴重 300 kN 与设计轴重 250 kN(道砟厚度 30 cm)的路基面应力水平

基本持平的原则进行轨道强度检算,基床表层采用 A 组土时计算的道砟总厚度应增加到 55 cm,面砟厚度取值为 35 cm,底砟厚度维持 20 cm 不变。

4 根据既有线运营经验及相关规范规定,桥梁和隧道等基础刚度相对较大地段,为减缓有砟轨道道砟颗粒的破碎和粉化,增加轨道弹性,减小对线下结构物的振动影响,桥上和隧道地段的道床厚度应不低于 35 cm。同时,考虑重载铁路轴重大、冲击作用明显,建议上述地段采用减缓道床粉化速率的技术措施,如铺设底砟、弹性轨枕及砟下弹性垫层(道砟垫)等。在山西中南部铁路通道重载综合试验中,在桥梁地段试铺了道砟垫、隧道地段试铺了弹性轨枕。300 kN 轴重三种编组试验列车以不同速度通过铺设道砟垫的桥梁及铺设弹性轨枕的隧道区段时,各参数均小于相应限值,两种技术措施能够满足大轴重货物列车运营的安全性要求。对于道砟垫,测试结果表明:铺设后可有效降低桥上轨道刚度、增加轨道弹性,并可有效降低对桥面的高频振动冲击作用。对于弹性轨枕,试验结果表明:其与普通轨枕的单根横向静态阻力平均值分别为 10.5 kN 及 11.3 kN,两种轨枕的横向阻力基本相当;300 kN 轴重试验列车不同运行速度工况下普通轨枕及弹性轨枕地段轨枕横移基本相当,量值均较小,可满足重载铁路稳定性要求;弹性轨枕地段较普通轨枕地段轨枕支承刚度明显降低,且均匀性好;弹性轨枕可降低枕下道床及隧道基底的加速度,减少振动冲击作用;相同速度条件下,由于枕下设置弹性垫层,轨下截面荷载略小于普通轨枕地段,而枕中截面荷载弯矩相应有所增加,但均小于轨枕设计荷载。

5 根据山西中南部重载试验经验,道床密实度采用 1.7 g/cm^3 能满足道床稳定性等各项指标要求,道床密实度过大会在道砟捣固过程中产生道砟破碎现象。

9.5.2 根据北美《铁路工程师手册》相关条款的规定,美国无砟轨道竖向设计荷载的动力系数按 3.0 取值,该系数是参考其轨枕设

计标准的相关参数指标,考虑了车轮缺陷和钢轨不平顺等因素的影响。澳大利亚轨枕设计规范规定,列车竖向设计荷载动力系数取值不小于 2.5,该系数综合考虑了轨道不平顺、未平衡超高、轮轨冲击作用以及轨道部件高频振动等因素的影响。德国研发的适用于 440 kN 轴重的重载铁路预应力混凝土枕动力系数按 3.24 取值。综合来看,国外重载铁路轨下基础设计时,其竖向荷载动力系数取值一般在 2.5~3.3 之间。

基于既有线的实际运营条件及线路参数,我国曾进行了多次重载铁路专项试验及既有线货车提速试验,试验数据统计表明,动力系数极大值范围约在 2.6~3.1 之间,综合反映了钢轨焊接缺陷、车轮踏面擦伤及轨道不平顺等因素的影响。另外,车轮扁疤动力学效应的理论分析及试验研究表明,行车速度在 15 km/h~60 km/h 范围内,其动力效应最为强烈;根据车轮踏面的受损程度不同,车轮扁疤引起的高频轮轨冲击力可为正常轮载的 2~4 倍。

根据不同荷载图式的理论计算分析结果,无砟轨道结构设计荷载采用集中荷载图式。目前,我国《高速铁路设计规范》TB 10621—2014 规定:对于时速 300 km 及以上的高速铁路,竖向设计荷载中的动载系数取 3.0;对于时速 250 km 高速铁路(兼顾货运,设计轴重 250 kN),竖向设计荷载中的动载系数取 2.5。

山西中南部铁路重载综合试验数据显示,隧道内重载无砟轨道轮轨垂直力最大值为 213.8 kN,动力系数实测最大值为 1.43,均小于结构设计荷载规定取值。实测 270 kN 轴重混编试验列车中个别随机调用的 230 kN 轴重 C70E 营运车辆状态不佳,存在车轮扁疤,测试出轮轨垂直力及动力系数相对高于大轴重试验列车,最大动力系数为 2.14。

综上,考虑车辆扁疤、钢轨接头宽轨缝和钢轨焊接区焊缝不平顺等因素,重载无砟轨道动力系数除设计轴重为 250 kN 的线路取 2.5 外,其他均取 3.0。

9.5.3 列车疲劳检算荷载供无砟轨道结构设计疲劳检算中的计

算使用,为重载列车运行在线路上经常出现的轮载值。根据无砟轨道设计理论和设计方法的研究成果,结合我国前期无砟轨道结构轮轨作用力测试的数理统计分析结果,竖向疲劳检算活载取为静轮载的 1.5 倍;横向疲劳检算活载取静轮载的 0.4 倍。

9.7.2 2 万 t 或 1 万 t 列车较长,同一列车头部和尾部侧向经过同一组道岔时,速度相差很多,为提高列车进、出站速度,减少追踪间隔时间,规定用于侧向接发 1 万 t 及以上列车的道岔号码不宜小于 18 号。由于日常运营中到发线基本固定使用,两端咽喉渡线大多为停电维修时反向接发车使用,如两端咽喉渡线道岔采用 18 号道岔,势必增加站坪长度,增加工程难度和投资。所以,规定两端咽喉渡线道岔可采用 12 号。

9.8.2 参照《铁路技术管理规程》TG/01—2014 线路标志有关设置要求及《铁路线路及信号标志》通用参考图,编制该条文。

9.8.3 备品备件具体设计可参考说明表 9.8.3—1~说明表 9.8.3—3。

说明表 9.8.3—1 正线及到发线有砟轨道常备材料数量

序号	材料名称		备料数量
1	钢 轨	25 m 标准轨	每个缓冲区备 1 根,有缩短轨时另备 1 根
2		25 m 无孔轨	每工区 6 根
3		6 m 有孔短轨	每工区 2 根
4		6.25 m 有孔胶接绝缘轨	每工区 2 根
5	接头夹板		每工区 24 块
6	急救器		每工区 6 套,每套含急救器 6 个、 臌包夹板 1 对
7	接头螺栓及垫圈		每工区 36 套
8	混凝土枕(桥枕单列)		每单线千米 2 根
9	电容枕		每工区 4 根
10	扣件及其垫板		每单线千米 5 套

续说明表 9.8.3—1

序号	材料名称	备料数量
11	现场胶接绝缘夹板及绝缘材料	每工区 2 套
12	绝缘轨距杆	每工区 50 套
13	整组钢轨伸缩调节器(含配件及轨枕)	每种型号每车间备 1 组

说明表 9.8.3—2 正线无砟轨道常备材料数量

序号	材料名称		备料数量
1	轨道过渡段	过渡段辅助轨扣件及垫板	双线每处 5 套
		过渡段基本轨扣件及垫板	双线每处 5 套
		过渡段轨枕	双线每处 2 根
2	扣件及其垫板		每工区每种类型各 50 套
3	整组钢轨伸缩调节器(含配件)		每种型号每车间备 1 组

注:1 钢轨、接头夹板、急救器、接头螺栓及垫圈、现场胶接绝缘夹板及绝缘材料、绝缘轨距杆等比照正线及到发线有砟轨道常备材料数量执行。
2 无砟轨道轨枕及其他部件常备材料根据具体轨道结构研究确定。

说明表 9.8.3—3 到发线以外的其余站线有缝线路轨道常备材料及数量

序号	材料名称		备料数量
1	钢 轨		每工区每单线千米 0.5 根(25 m 轨)
2	接头夹板		每工区每单线千米 2 套
3	接头螺栓及垫圈		每工区每单线千米 2 套
4	混凝土枕		每工区每单线千米 1 根
5	混凝土枕扣件及其垫板		每工区每单线千米 2 套
6	异型钢轨		每工区每 1~50 根备 1 根
7	道岔	整组道岔(含配件及岔枕)	主型道岔每种型号每 1~100 组每工务段备 1 组(按图号分左、右开分别计列)其他型号道岔每种型号每 1~50 组每工务段备 1 组(按图号分左、右开分别计列)
		辙叉(含配套扣配件)	每种型号每 1~20 组每站备 1 组(可动心辙叉按图号分左、右开分别计列)

续说明表 9.8.3—3

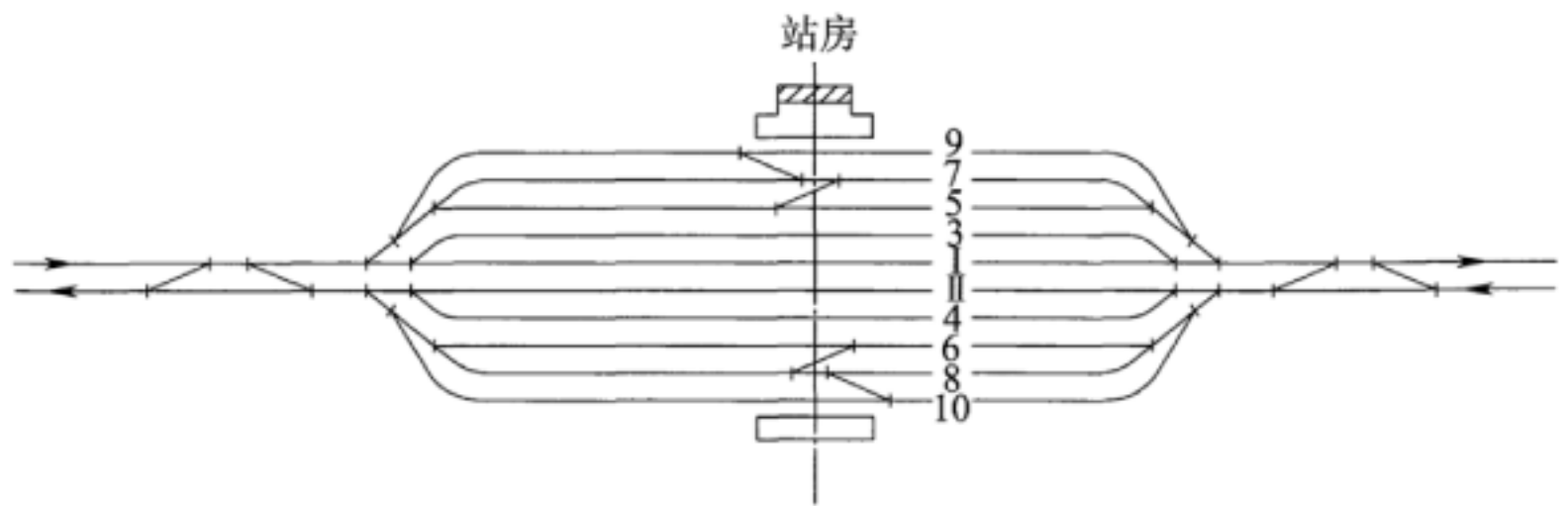
序号	材料名称		备料数量
7	道岔	尖轨(含配套扣配件)	每种型号每 1~20 组每站备 1 组(按图号分左、右开分别计列)
		基本轨(含配套扣配件)	每种型号每 1~20 组每站备 1 组(按图号分左、右开分别计列)
8	岔 枕		每 1~100 组每工务段备 1 组

10.1.1 重载铁路不运行旅客列车或旅客列车很少,车流组织多是货物列车组合或分解作业。因此,本规范根据技术作业性质,在客货共线铁路划分为会让站、越行站、中间站及区段站、编组站的基础上,增加组合分解站。另外根据业务性质,增加装车站和卸车站。

10.2.3 万吨组合列车是由两列 5 000 t 列车连挂而成,前部和中部各一机车牵引;两万吨组合列车有两种模式,一是由两列万吨列车连挂而成,列车前部一台 SS₄ 机车牵引,中部两台 SS₄ 机车重联牵引,尾部连挂一台 SS₄ 机车(简称 1+2+1 模式);二是由一台 HXD 机车牵引万吨列车和另一台 HXD 机车牵引万吨列车组合而成,尾部加可控列尾(简称 1+1+可控列尾模式)。为满足组合列车中间部位机车的进出段和连挂,在两条到发线之间设置机走线,形成“两重或两空夹一机走线”的布置形式,并根据组合列车的牵引质量,确定设置相应的中间腰岔渡线位置。为保证灵活性,腰岔与腰岔之间要满足 5 000 t 列车需要的有效长度 700 m(按 C₈₀ 计),万吨列车需设置一处中间腰岔,两万吨列车需设置三处腰岔渡线,每条组合分解线每天能组合或分解列车 6~8 列。

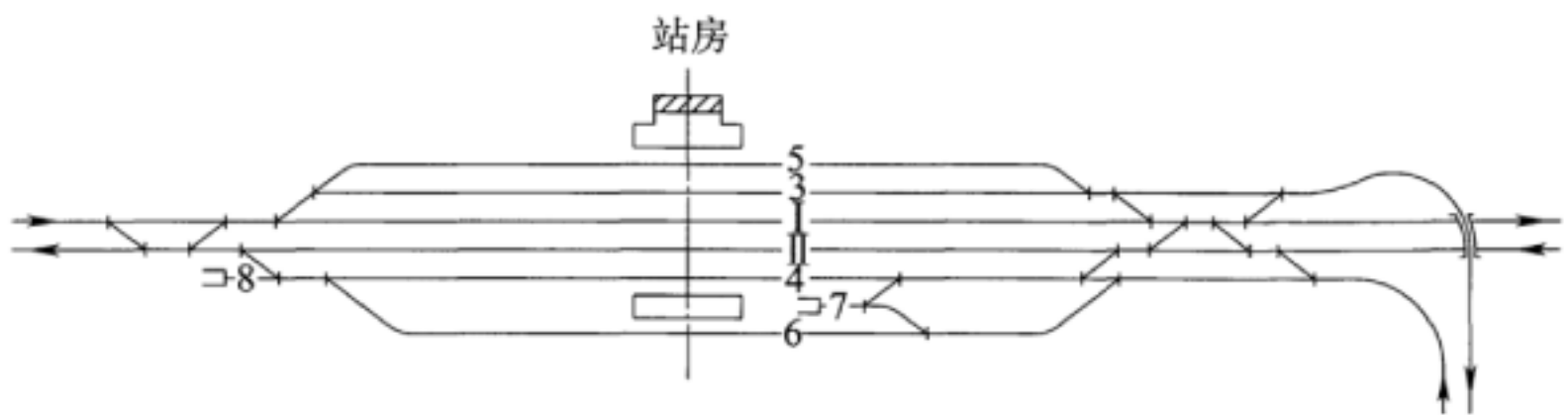
为减轻枢纽技术作业站组合分解作业的压力,在后方通路上设置了一定数量的组合分解站,这些站一方面要承担从装车点发出的万吨或两万吨通过列车,另一方面承担从装车点发出的 5 000 t 列车在该站组合成万吨或两万吨列车的作业。说明图 10.2.3—1

正线两侧的到发线承担接发通过列车作业,最外侧“两重或两空夹一机走线”的线束承担组合分解作业。



说明图 10.2.3—1 组合分解站布置图型

对牵引质量和重载干线铁路不相同的支线,为满足组合、分解作业需要,在支线接轨点设置组合分解站。说明图 10.2.3—2 中间未设腰岔的一侧为重车到发线,承担前部和中部各一台机车组合万吨列车的分解作业;另一侧为空车到发线,中间设置腰岔的作用是当第一列回空列车接入到发线后,可使后续的第二列空车按行车办理接入站内,从而避免在站外停车,提高运输效率。

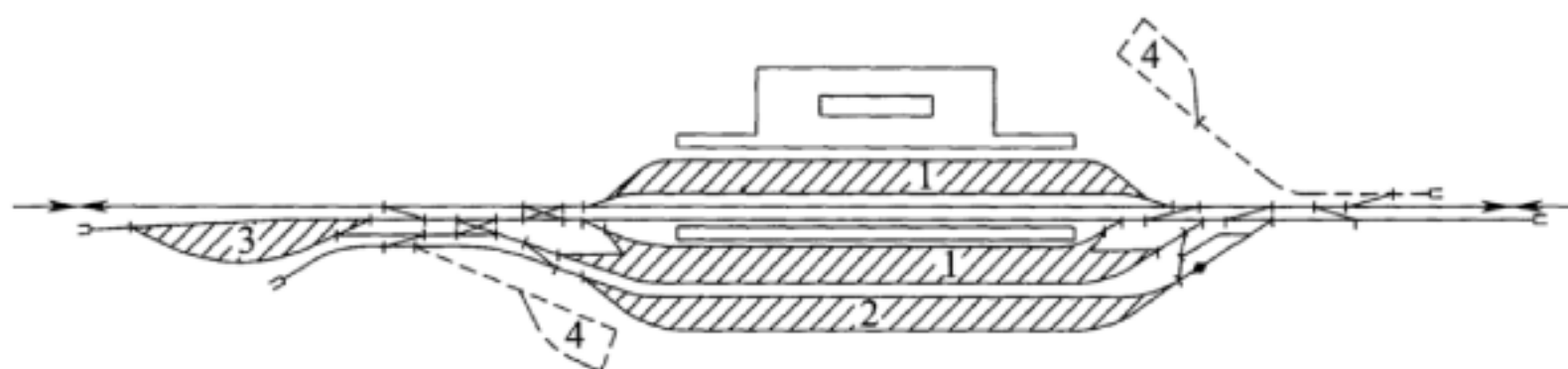


说明图 10.2.3—2 组合分解站布置图型

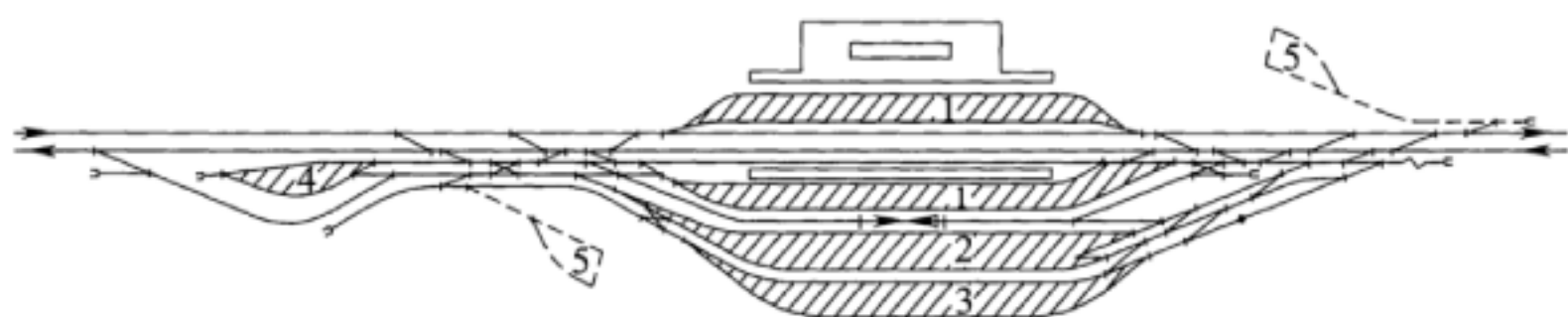
I、II—正线;3、4、5、6—到发线;7、8—安全线

区段站可按单线和双线采用横列式图型(说明图 10.2.3—3、说明图 10.2.3—4)。

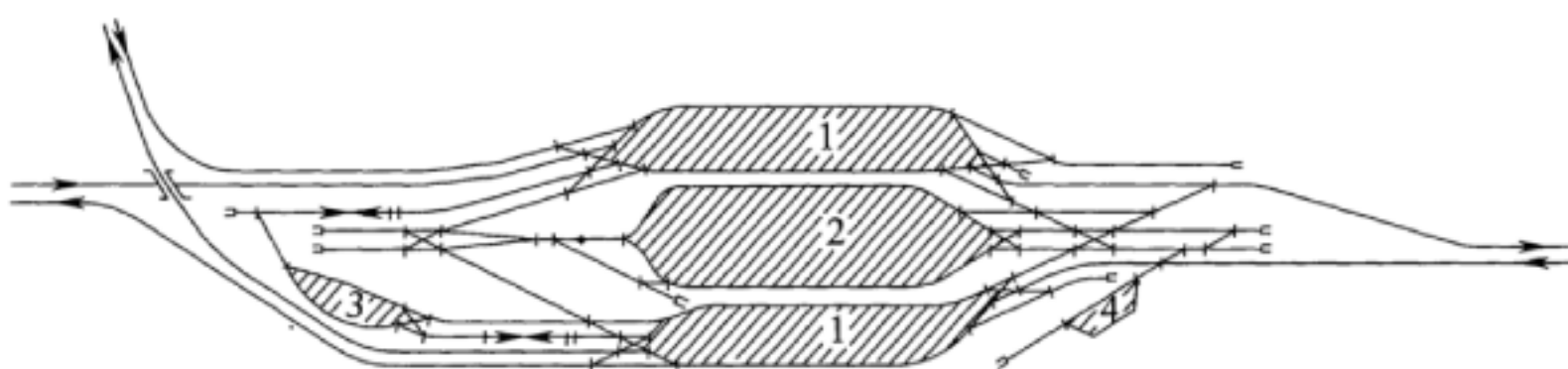
编组站处于枢纽多条线路的把口位置,采用一级三场横列式图型(说明图 10.2.3—5),便于站外线路疏解,减少交叉。



说明图 10.2.3—3 单线横列式区段站布置图型
1—组合分解场兼到发场;2—调车场;3—机务段;4—货场(方案)



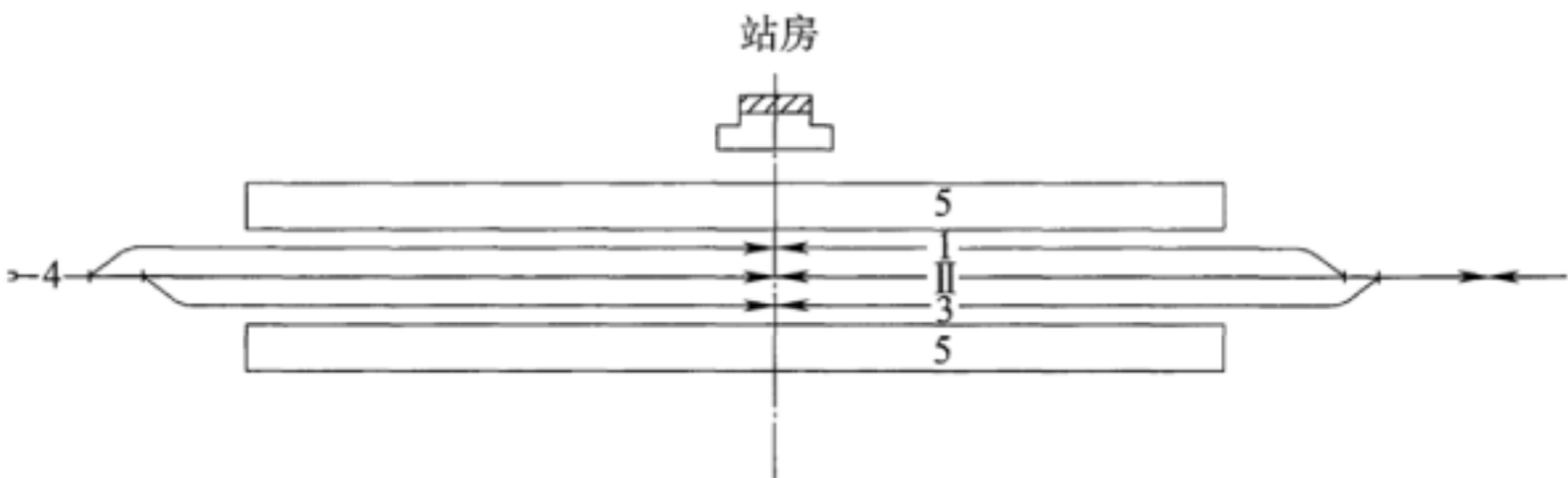
说明图 10.2.3—4 双线横列式区段站布置图型
1—组合分解场;2—到发场;3—调车场;4—机务段;5—货场(方案)



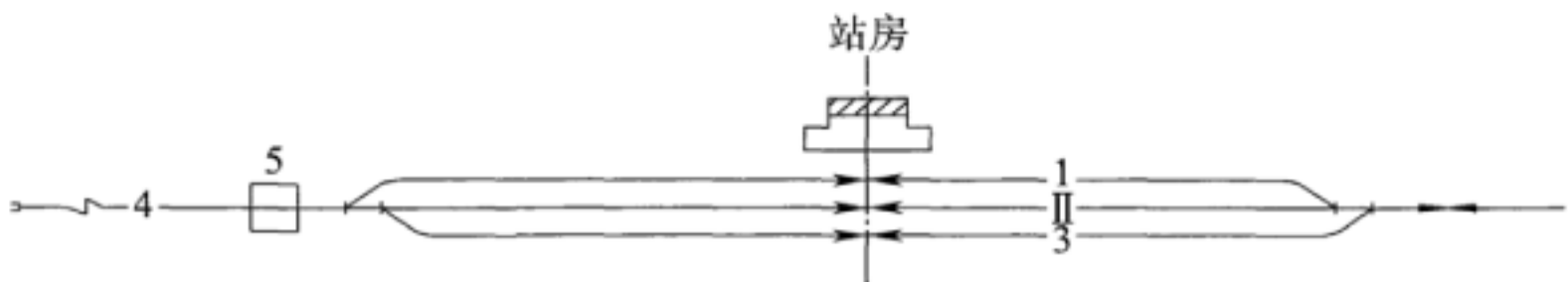
说明图 10.2.3—5 一级三场编组站布置图型
1—组合分解场兼到发场;2—调车场;3—机务段;4—车辆段

10.2.4 说明图 10.2.4—1 为采用铲运机装车的装车站布置图型,该图型具有投资省、装车简单方便等特点,需要股道两侧有足够的场地修建堆场,同时需要修建进出堆场的通路,以便集运车辆通行,适用于小型装车站。说明图 10.2.4—2 为采用牵出线和装煤漏斗仓装车的装车站布置图型,该图型适用于地形狭长、外部交通不便的中型装车站。说明图 10.2.4—3 为采用环线装煤漏斗仓装车的装车站布置图型,与以上两种图型相比,该图型效率最高,适用于大型装车站。目前重载铁路车辆类型主要为 C₆₃、C₇₀、C₈₀,

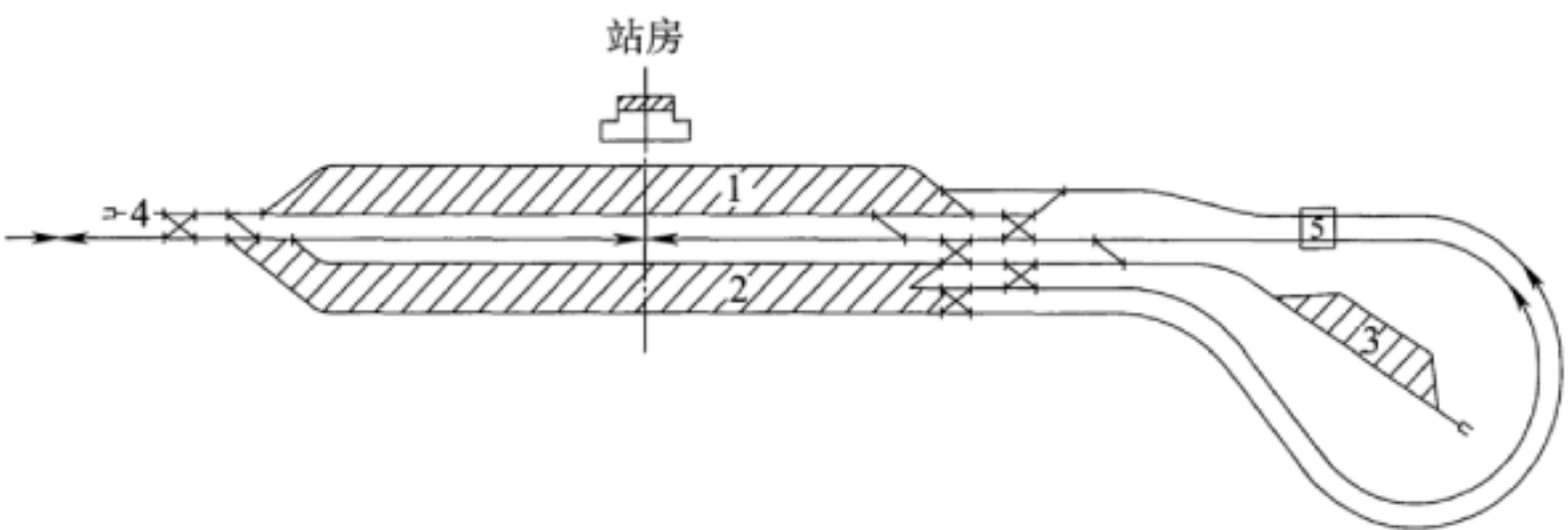
考虑接触网停电维修及装煤漏斗仓故障维修等因素,每台装煤漏斗仓年装车能力为 15 Mt~17 Mt。



说明图 10.2.4—1 铲运机装车站布置图型
1、3—到发线；II—正线；4—机待线；5—堆场



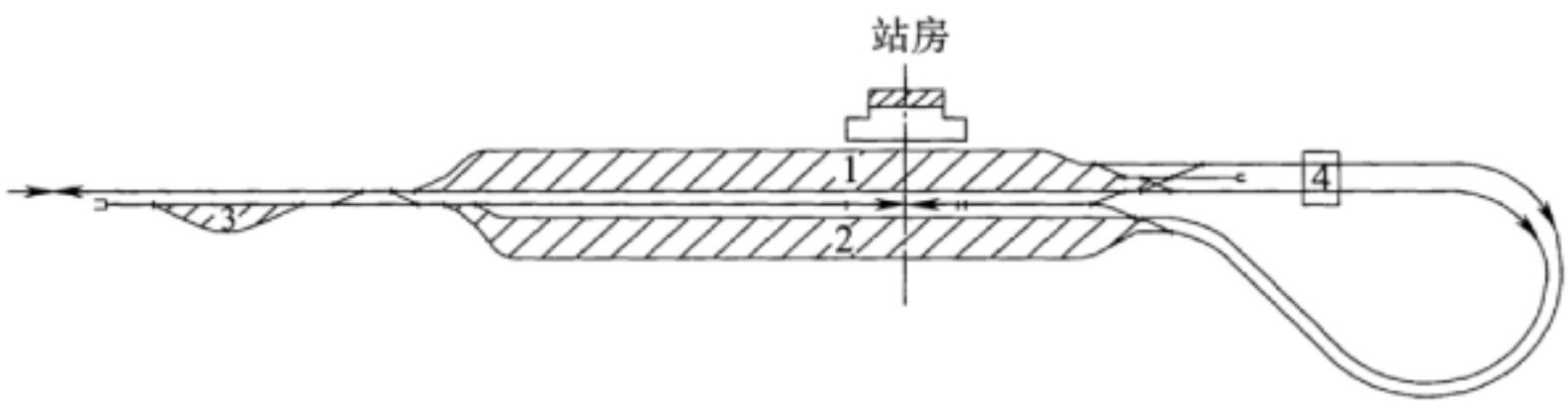
说明图 10.2.4—2 牵出线漏斗仓装车站布置图型
1、3—到发线；II—正线；4—牵出线；5—装煤漏斗仓



说明图 10.2.4—3 环线漏斗仓装车站布置图型
1—重车场；2—空车场；3—机务段；4—机待线；5—装车漏斗仓

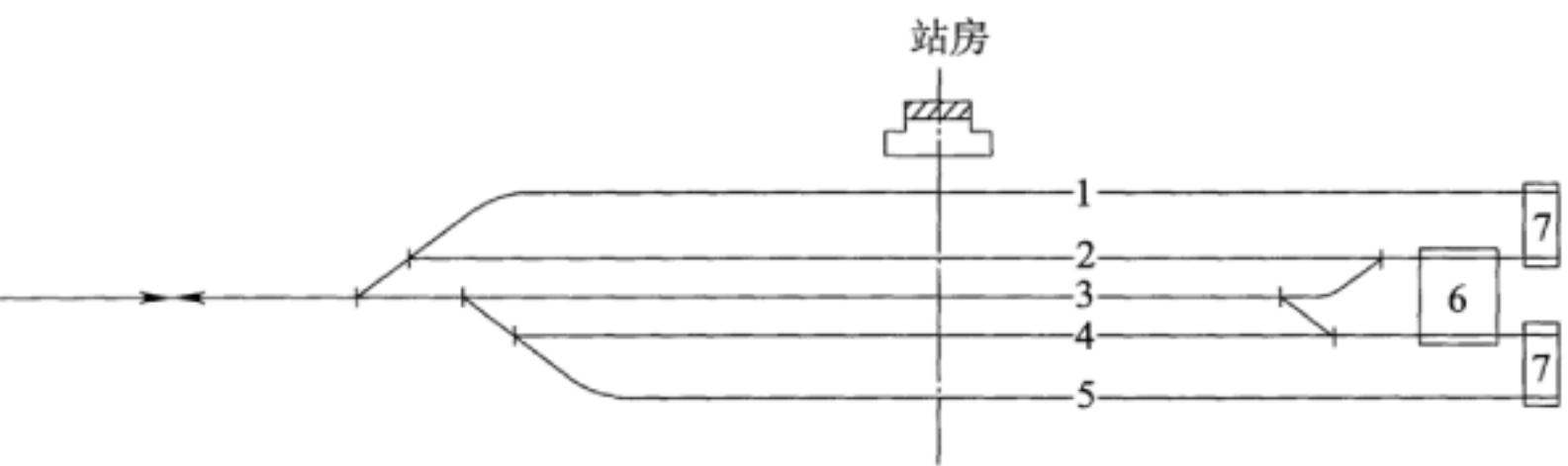
10.2.5 说明图 10.2.5—1 为环线翻车机卸车站布置图型,该图型重、空车场横列布置,设一条机走线,一侧通过环线将重、空车场

连接在一起,使列车到发和翻卸作业有机结合,在铁路和港方的紧密配合下,通过流水作业,能够充分发挥各自设备的能力,经过大秦线柳村南车站多年的运营实践,证明该图型具有十分明显的优势。翻车机翻卸能力决定环线能力,并与车辆净载重有关,每条环线年卸车能力为 20 Mt~22 Mt。



说明图 10.2.5—1 环线翻车机卸车站布置图型
1—重车场;2—空车场;3—机务段;4—翻车机

说明图 10.2.5—2 为翻车机卸车站布置图型,该图型为电厂卸车站经常使用的图型,共 5 条线路,中间为 1 条机走线,两侧为重车线,最外侧为空车线,尽端布置翻车机和移车平台,每台翻车机年卸车能力约 6 Mt。



说明图 10.2.5—2 翻车机卸车站布置图型
1、5—空车线;2、4—重车线;3—机走线;6—翻车机;7—移车平台

11.2.1 牵引供电系统。

1 外部电源电压等级：

(1)220 kV 外部电源电压等级

采用 220 kV 外部电源电压等级具有以下优点:

1) 电网的输送容量较大,功率损失和电压波动小,对牵引变电所的供电可靠性高,牵引负荷波动引起的电压变化较小。

2) 电网的短路容量、发电机组容量较大,系统对负序的承受能力较大,谐波对系统的影响减小。

3) 避开了承受负序能力低的小发电机组。

4) 可减少变电工程及 220/110 kV 变电损耗,具有节能的效果。

5) 运营费用低。

重载铁路采用 220 kV 外部电源电压等级供电范围一般为 50 km~60 km;采用 110 kV 外部电源电压等级供电范围一般为 25 km~40 km,220 kV 外部电源电压等级牵引变电所较 110 kV 外部电源电压等级数量少,运营支出少;电费也节省(以现行河北省电费为例,铁路用电分为基本电费和电度电费两部分,基本电价与牵引变压器安装容量有关与电压等级无关;对于电度电价,220 kV 比 110 kV 每度电低 0.005 元)。

(2) 110 kV 外部电源电压等级

110 kV 外部电源电压等级具有初期投资少的优点,但对重载铁路远期发展负荷适应性较差,在偏远地区 110 kV 系统短路容量小,系统产生压降大,不利于机车运行,如果负序超标,整治费用高且目前国内技术方案还不成熟。

大秦铁路原设计牵引变电所采用 110 kV 电源。大秦线在带载情况下出现过部分牵引站的电压降至额定电压的 $2/3$,延庆变电所 110 kV 外部电源最低为 72 kV,影响到铁路的正常运行,目前经过外部电源电网改造已改善。若处于偏远地区的重载铁路电网难以改造。

(3) 结论

重载电气化铁路牵引功率大,2 万 t 机车牵引功率达 20 MW,与 350 km/h 16 辆编组动车组相当。国内清华大学等高校、原铁

道部、国家电网公司对牵引变电所外部电源等级开展研究,均提出重载铁路优先采用 220 kV 外部电源电压等级。为增大电网对谐波、负序的承受力,减小对其他负荷的谐波、负序影响,减小牵引变电所母线电压的波动,降低输电线路损耗,保证输电线路的动态、静态稳定,宜选用 220 kV 电压等级。但是既有线扩能改造时,既有外部电源等级已经确定,外部电源等级难以更改,例如,大秦铁路、北同蒲铁路既有牵引所改造时仍维持既有外部电源等级。考虑到以上因素,规定了新建牵引变电所宜采用 220 kV 及以上电压等级供电,在既有线改造项目中,牵引变电所改造结合项目特点也可采用既有 110 kV 的外部电源电压等级。

2 由于重载铁路逐步采用交—直—交机车牵引,对电压要求较高,因此,根据机车特性,并考虑机车在再生制动情况下对牵引供电系统电压的影响,规定正常情况下设计最低电压采用 20 kV,即应满足机车对最低电压要求。

3 新建重载铁路采用 2×25 kV 供电方式有利于高电能传输和接触悬挂的轻型化及系统匹配设计,有利于减少外部电源投资和减少电分相,对重载牵引适应性强。但在线路较短,外部电源较强或牵引变压器远期安装容量较小时,经经济技术比较后,也可采用 1×25 kV 供电方式。

既有线路扩能改造时,供电方式更改难度较大,应根据项目特点合理确定。例如北同蒲铁路开行 2 万 t,供电方式仍维持了既有供电方式。

6 越区供电属非正常供电情况,需校核越区供电能力,并在设计文件中说明与之相适应的运输能力。

11.2.2

1 单相变压器减少了电分相,有利于机车运行以及再生制动电能利用,同时,考虑单相牵引变压器将对电力系统产生负序影响,在负序不满足要求的情况下,可以采用 V, v 等结线牵引变压器。

3 牵引变压器的安装容量既要满足供电技术需要,又要考虑运营成本的经济因素,因此规定“牵引变压器的安装容量可按交付运营后第五年或近期的运量确定”。

牵引变压器、自耦变压器的过负荷倍数与重载铁路牵引负荷特性有关,过负荷倍数、时间和频率一般会在设计标准中明确。

4 当重载铁路选择外部电压 220 kV 以上等级时,牵引变压器安装容量大,牵引变压器短路阻抗在满足接触网电压最低要求前提下尽可能提高,就能达到所要求的“兼顾降低短路电流”的目的。

11.2.4 本条文系参考《铁路电力牵引供电设计规范》TB 10009—2016“与相关变压器 N 线相连的接轨连线应满足供电范围内最大负荷电流的需要”制定的。

11.3.1

1 条文引自《变电站总布置设计技术规程》DL/T 5056—2007。当变电所所外道路高于所内路面,即使有防止雨水倒流的措施,但大雨时仍有水流入所内,尤其是内涝地区。公路路面标高高于所址标高,如果直接引入不作处理,就会有后患。因此,制定本条文。

2 常规设计牵引变电所内道路宽度常采用 3.5 m 或 4.0 m,重载铁路牵引负荷的功率需求大,牵引变电所常采用 220 kV 及以上电压等级供电,设备尺寸加大,为满足设备运输需要,主干道宽度根据变电所电压等级适当加宽。

11.3.2 本条说明如下:

2 馈线断路器的备用方式目前设计主要有 50%备用、旁路备用、上下行断路器互为备用三种方式。其中 50%备用方式最为可靠,倒闸作业简单。因此,宜优先采用。

11.3.3 110 kV~220 kV 配电装置一般选用屋外敞开式设备,而随着 GIS 制造技术水平的提高和造价的逐步降低,为了减少占地,在大城市的中心区、土石方开挖量大的山区、严重污秽地区,在计

及土建费用和安装运行费用后当经济指标优于敞开式设备时,可采用 GIS 设备。

11.3.4 本条说明如下:

1 110 kV~330 kV 室外配电装置采用高型或半高型布置方式,由于存在运行条件相对较差、构造复杂、维护工作量大、扩建施工困难等缺陷,目前在电力系统已减少采用,故牵引变电所宜采用室外布置方式。

11.4.1 本条为接触悬挂类型和导线选型规定。

1 全补偿简单链型悬挂已广泛应用于重载铁路中,建设及运营经验已非常成熟,例如大秦、北同蒲、迁曹等重载铁路。

刚性悬挂在直流地铁领域应用较多,目前国内交流 25 kV 系统也有应用实例(例如乌鞘岭隧道、石怀铁路等),刚性悬挂一般应用于隧道内净空受限情况下。

2 经运营实践表明,铜合金材质技术成熟、运用广泛,承力索、接触线采用同类材质,可改善接触网性能,简化施工,提高施工精度,免去电气连接类线夹的特殊处理程序,并可降低运营维护的工作量。

根据供电计算确定导线截面后,还需校核是否满足接触网张力要求。

3 接触线张力主要与列车运行速度、导线力学性能有关,参照《铁路技术管理规程》TG/01—2014 规定,列车运行速度不大于 120 km/h 时,接触线张力不小于 10 kN;根据目前重载铁路建设和运营状况,一般正线接触线张力为 15 kN,故规定了“正线接触线额定工作张力不宜小于 15 kN”。

11.4.2 本条主要为电分相设置规定。

1 接触网电分相的设计受到牵引供电设施、机车联挂方式、行车检算及线路条件的制约,无论何种电分相类型及过分相方式,都需要进行行车检算,需接触网、供电、信号、行车和机务等专业综合确定;对于受制于线路条件的电分相,还需与线路、站场专业协

调处理。

2 目前,电分相主要有锚段关节式电分相和器件式电分相两种类型。锚段关节式电分相应用广泛,在接触网上不存在相对硬点,有利于改善弓网受流质量,例如张唐铁路、山西中南部铁路等均予以采用;器件式电分相也常见于重载铁路中,例如大秦铁路、迁曹铁路,器件式电分相断电区距离短,故在受到行车检算或线路条件制约时,也可采用器件式电分相。

列车通过电分相的方式,应用较广的是地面磁铁传感、机车自动断电、合电过分相方式,该种方式成熟可靠,检修维护方便,优化平面布置后,可适应各种机车联挂方式。

机车不断电过分相装置也逐渐应用于重载铁路中,设计过程中有时会遇到线路条件或行车检算的制约,可在设备可靠和满足运营要求的情况下,根据需要设置。

11.4.3 本条为支持结构和零部件选型规定。

1 重载铁路运行速度较低,多股道并行时,软横跨可满足行车速度要求,但实际工程中往往会遇有各种情况而采用硬横跨结构,如:风口地段为增加接触网稳定性,改善弓网受流质量,采用硬横跨结构;跨越不同供电相别电气化铁路时,采用硬横跨结构,提高接触网可靠性,并有利于检修,缩小停电范围。

3 路基上的预应力混凝土支柱一般采用整体式基础(支柱直埋并根据地质条件设置横卧板、底板);设计中往往会遇到地质条件、施工因素等影响,可以设置杯形基础;带底盘法兰的预应力混凝土支柱和格构钢柱均是采用法兰连接基础进行固定,其支柱基础均采用现浇混凝土或钢筋混凝土基础。

5 《铁路电力牵引供电设计规范》TB 10009—2005 中规定“接触网的绝缘泄漏距离,重污区不应小于 1 200 mm。在无确切污秽资料的条件下,应按重污区的要求设计”。根据近年我国重载铁路建设、运营情况,考虑沿线粉尘污染情况,为加强防污闪能力,规定了“25 kV 绝缘子爬电距离不应小于 1 400 mm”,具体设计时

通过资料收集及沿线调研,针对不同工作环境及污染源状况选取。

重载铁路周围因所运载货物性质污染较一般铁路严重,在绝缘子相关检测实验中,复合绝缘子防污闪和自清洁能力强于瓷质绝缘子,所以,规定了“隧道内接触网以及隧道外的接触悬挂、软横跨、分段绝缘器、隔离开关用绝缘子宜采用复合绝缘子”。

12.1.1 铁路供配电系统的构成是根据负荷性质、负荷分布、外部电源等情况通过技术经济分析综合确定的。重载铁路区间负荷密度较大,引入外部电源后,采用变配电所、电力贯通线路的集中式供配电系统具备经验成熟、供电安全可靠、经济适中的优势,故作此要求。

12.2.1 本条是依据现行《供配电系统设计规范》GB 50052—2009和《铁路电力设计规范》TB 10008—2015 制定的。

12.2.2 在外部电源接引困难的场所,利用接触网作为电力供电系统的电源,能有效节省投资。但由于接触网电压波动大、谐波含量高,且维修天窗期间无电,故规定可作为备用电源或非重要负荷的电源。

12.2.3 贯通线的数量主要取决于沿线一级负荷的分布密度。通常运量较小的单线铁路采用非自闭信号制式,区间多为二级负荷,设置一路电力贯通线也可以满足要求,并较为经济合理。但单线铁路也可能存在局部自闭区段,一级负荷密度较大等情况。因此,规定了“单线铁路至少应设置一回电力贯通线路”。

12.2.4 通信、信号等与行车直接相关的一级负荷为特别重要负荷,故规定优先由供电可靠性更高的贯通线路供电。

12.2.5 车站负荷一般较大且重要,采用室内或箱式变电所有利于设备安全稳定运行,并便于无功补偿。在分段开关处采用箱变,主要是考虑可将分段开关设置在箱内,以消除杆上设备因受恶劣天气影响而拒动问题。

12.3.1 《建筑防火设计规范》GB 50016—2014 中“8.4 火灾自动报警系统”相关内容如下:

“8.4.1 下列建筑或场所应设置火灾自动报警系统:

“1 任何建筑面积大于 $1\,500\text{ m}^2$ 或是总建筑面积大于 $3\,000\text{ m}^2$ 的制鞋、制衣、玩具、电子等类似用途的厂房;

“2 每座占地面积大于 $1\,000\text{ m}^2$ 的棉、毛、丝、麻、化纤及制品的仓库,占地面积大于 500 m^2 或是总建筑面积大于 $1\,000\text{ m}^2$ 的卷烟仓库;

“3 任一层建筑面积大于 $1\,500\text{ m}^2$ 或总建筑面积大于 $3\,000\text{ m}^2$ 的商店、展览、财贸金融、客运和货运等类似用途的建筑,总建筑面积大于 500 m^2 的地下或半地下商店;

“4 图书或是文物的珍藏库,每座藏书超过 50 万册的图书馆,重要的档案馆;

“5 地市级及以上广播电视建筑、邮政建筑、电信建筑,城市或区域性电力、交通和防灾等指挥调度建筑;

“6 特等、甲等剧场,座位数超过 1 500 个的其他等级的剧厂或是电影院,座位超过 2 000 个的会堂或是礼堂,座位数超过 3 000 个的体育馆;

“7 大、中型幼儿园的儿童用房等场所,老年人建筑,任一层建筑面积 $1\,500\text{ m}^2$ 或是总建筑面积大于 $3\,000\text{ m}^2$ 的疗养院的病房楼、旅馆建筑和其他儿童活动场所,不少于 200 床位的医院门诊楼、病房楼和手术部等;

“8 歌舞娱乐放映游艺场所;

“9 净高大于 2.6 m 且可燃物较多的技术夹层,净高大于 0.8 m 且有可燃物的闷顶或吊顶内;

“10 大、中型电子计算机房及其控制室、记录介质库,特殊贵重或火灾危险性大的机器、仪表、仪器设备室、贵重物品库房,设置气体灭火系统的房间;

“11 二类高层公共建筑内建筑面积大于 50 m^2 的可燃物品库房和建筑面积大于 500 m^2 的营业厅;

“12 其他一类高层公共建筑;

“13 设置机械排烟、防烟系统、雨淋或预作用自动喷水灭火系统、固定消防水炮灭火系统等需与火灾自动报警系统联锁动作的场所或部位。

“8.4.2 建筑高度大于 100 m 的住宅建筑,应设置火灾自动报警系统。

“建筑高度大于 54 m、但不大于 100 m 的住宅建筑,其公共部位应设置火灾自动报警系统,套内宜设置火灾探测器。

“建筑高度不大于 54 m 的高层住宅建筑,其公共部位宜设置火灾自动报警系统。当设置需联动控制的消防设施时,公共部位应设置火灾自动报警系统。

“高层住宅建筑的公共部位应设置具有语音功能的火灾声警报装置或应急广播。

“8.4.3 建筑内可能散发可燃气体、可燃蒸气的场所应设置可燃气体报警装置。”

《铁路工程设计防火设计规范》TB 10063—2007 中“9.1 火灾自动报警系统”相关内容如下:

“9.1.2 火灾自动报警系统设置应符合国家标准《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116 和《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定外,下列场所尚应设置火灾自动报警系统:

“1 本规范规定的设有气体灭火系统和自动喷水灭火系统的场所(不含隧道设备洞室);

“2 建筑面积大于 1 000 m²的物流中心仓库、行包快运基地、车站货车仓库和行李、包裹库;

“3 牵引变电所的电容器室。

“9.1.3 下列场所应设置可燃气体探测装置:

“1 危险化学品货物仓库中可能产生可燃气体、可燃蒸气和易发生火灾的库房;

“2 采用低压燃气辐射板采暖的厂房和库房;

“3 口岸站油罐车换轮库。”

12.4.1 电缆线路是电力与路基、隧道、桥梁、站场接口的主要内容,故作重点规定。

13.2.1 传送机车同步操控信息时,如果传输通道出现问题,会造成前后 2 台机车不能同步操控,严重时危及行车安全,根据《铁路数字移动通信系统(GSM-R)设计规范》TB 10088—2015 4.2.11 条“CTCS-3 级列车运行控制区段、机车同步操控区段应根据需要进行冗余无线覆盖设计”的规定,明确了当重载铁路通信系统需要传送机车同步操控信息时,线路两侧各设置 1 条长途通信光缆,相应的铁路线路或区段采取冗余无线覆盖等可靠性措施。

13.3.5 重要的传送业务通道主要包括信号系统 CTC/ TDCS 通道、调度通信系统中继通道、票务系统传输通道、至 GSM-R 核心网的传输通道等。不同物理径路的传输系统是指采用不同光缆径路的传输系统,包括新建的传输系统或者利用既有的传输系统。

13.7.5 见 13.2.1 条说明。

13.10.5 困难条件是指外电电源可靠性较差或山区交通不便地区等情况。

13.10.6 在牵引变电所、配电所通信设备可以直接从所内其他专业设置的电源屏引接电源,可不必再单独设置电源设备。

13.12

《GSM-R 数字移动通信系统应用业务机车同步操控信息传送系统》TB/T 3230—2010 对机车同步操控信息传送系统的功能、性能指标等进行了规定。

14.1.1 “故障——安全”为铁路信号的基本要求,与运输安全直接相关。信号设备发生故障后不允许出现进路错误解锁、道岔错误转换或错误表示、信号错误开放或升级显示。故障应能及时或最迟于下一次使用过程中被发现,否则,应考虑按故障积累原则设计电路。同时,设计电路还要考虑最低限度能防止一次故障与一次错误办理同时存在的情况下,可能产生危及行车安全的后果。

14.2.1

1 重载铁路车站的股道有效长度为 2 800 m,其车站正线进站—出站信号机间的距离比较长,通过在车站正线的适当地点加设七灯位矮型正线接发车进路信号机,可保证或提高列车的通过能力和车站作业效率。

2 依据大秦铁路等运用实践,当车站侧线股道设置 1~3 组股道腰岔(即股道中间渡线道岔)时,其腰岔处可设置三灯位“红、黄、白”矮型列车信号机或“红、蓝、白”矮型调车信号机。两种信号机的设置选择如下:

(1)三灯位“红、黄、白”矮型列车信号机

当车站侧线股道腰岔处信号机距前方股道出站信号机距离较大时(通常情况下,该距离按照侧线股道货物列车最高运行速度 $v < 90 \text{ km/h}$ 时, $L > 800 \text{ m}$ 考虑,具体由牵引计算确定),根据需要可设置三灯位“红、黄、白”矮型信号机。

当办理列车由进站越过该信号机至运行前方的次一、次二腰岔处信号机接车时,该信号机显示黄灯,列车越过该信号机压入内方后,显示红灯。

同样,当办理列车由进站越过该信号机至侧线股道出站信号机接车时,前方股道出站信号机显示红灯或开放,股道腰岔处的信号机均显示黄灯。

(2)三灯位“红、蓝、白”矮型调车信号机

当车站侧线股道腰岔处信号机距前方股道出站信号机较近时(通常情况下,该距离按照侧线股道货物列车最高运行速度 $v < 90 \text{ km/h}$ 时, $L \leq 800 \text{ m}$ 考虑,具体由牵引计算确定),可设置三灯位“红、蓝、白”矮型调车信号机,股道出站信号机显示红灯或开放,该信号机显示蓝灯,允许列车越过该信号机。

14.3.1 重载铁路作业性质较为单一,为适应该运输特点及减员增效的要求,优先选择 CTC 系统,亦可根据既有情况采用 TDCS 系统。

14.4.2

1 重载铁路采用四显示移频自动闭塞,其主要原因有二:其一是提速货物列车紧急制动距离较长,参照中国铁路总公司《铁路技术管理规程(普速铁路部分)》TG/1—2014 第 263 条规定,货物列车最高运行速度 90 km/h,在任何线路上的紧急制动距离为 800 m;货物列车(轴重 ≥ 250 kN)最高运行速度 100 km/h,在任何线路上的紧急制动距离为 1 400 m;其二是对于牵引质量 10 000 t 及以上的重载货运列车紧急制动是危险的,采用最大常用制动以实现安全降速或停车。

(1)从安全方面分析

1)重载列车制动时减压量加大,特别是开行万吨以上货物列车制动距离更长,由一个闭塞分区保证列车制动会对轨道、路基等基础设施冲击较大,不利于重载列车的安全运行。三显示下,车载设备提供给司机的制动曲线比较陡,司机驾驶操作紧张,稍微晚制动可能导致冒进信号。

鉴于三显示的局限性,朔黄铁路于 2015 年完成了在不改变既有三显示自动闭塞基础上增加机车信号 LU 显示,相当于为机车信号在 L、U 显示之间增加了一级显示(车载模拟四显示),为司机提前一个分区预告降速信号,改善了三显示自动闭塞对重载列车以及司机驾驶的安全性和舒适性。

2)四显示自动闭塞条件下地面信号机显示将具有速度等级的含义,货物列车为 90~75~0 km/h,车载设备提供给司机的制动曲线较为平缓,列车平稳的制动对轨道、路基等基础设施冲击大大减小,有利于线路轨道和路基的保养维护,延长设施的使用寿命。

3)四显示闭塞信号的显示可以更早的提示司机前方闭塞分区的状态,从而减小司机操纵机车的紧张程度,更能有效地缓解司机的驾驶压力,最终可以大大降低由于司机操作不及时带来的安全隐患,整体安全性将会进一步提高,采用四显示自动闭塞更为安全。

(2)从技术发展趋势方面分析

铁路技术政策发展和我国路网规划,三显示自动闭塞信号系统已经不是我国铁路网(普速客货运线路)的主流制式。铁路六次大提速以后,我国普通铁路大面积推广应用四显示自动闭塞,目前运营的大秦铁路、朔黄铁路、山西中南部等重载铁路均为四显示自动闭塞。

(3)从运输能力方面分析

以朔黄铁路为例,四显示改造后理论能力分析:三显示自动闭塞由于采用一个闭塞分区制动,因此闭塞分区长度较长。根据线路运行列车种类的不同和列车运行速度的不同,一般情况下三显示自动闭塞的分区长度在 1 300 m~2 600 m 之间。列车按照三个闭塞分区追踪,其追踪距离在 5 400 m~6 000 m 之间。

四显示自动闭塞采用两个闭塞分区来保证列车的制动距离,一般采用 1 000 m~1 400 m,其追踪距离在 4 400 m~5 600 m 之间,较三显示闭塞系统的 5 400 m~6 000 m 可以缩短 400 m~1 000 m 左右,按照列车的平均运行速度 60 km/h 计算,四显示自动闭塞可以压缩列车追踪间隔 0.4 min~1 min 左右。因此,四显示自动闭塞较三显示提高了运输能力。

综上分析,规定重载铁路宜采用四显示移频自动闭塞。

3 《ZPW-2000 轨道电路技术条件》TB/T 3206—2008 第 7.8 条规定:“……,当实际电缆长度短于规定长度时,应通过电缆模拟网络补足规定长度,该规定长度不大于 10 km。”

14.4.3 本条说明如下:

1 规定“进站信号机应设置第一接近和第二接近两段接近区段”主要是考虑牵引质量 10 000 t 及以上的重载货运列车采用最大常用制动,有利于实现安全降速或停车。参照《提速半自动闭塞区段接近信号机设计原则(暂行)》(运基信号〔2005〕111 号),规定了在第一接近区段入口 100 m 处设置机车信号接通标。

2 “进站接近信号机应采用 3 灯位机构”是参照《提速半自动

区段接近信号机设计原则(暂行)》(运基信号〔2005〕111号)的有关规定制定。

14.5.3

1 正线及到发线采用与区间同制式移频轨道电路的优点,是列车占用检查与轨道电路发送机车信号信息一体化,有利于提高一体化机车信号的可靠性,简化设备配置。

15.2.1 铁路总公司管辖的重载铁路,货物运输管理系统采用中心、区域、站段三级架构。中心级系统指部署于铁路总公司级的信息系统,区域级系统指部署于铁路局级的信息系统。朔黄铁路公司货物运输管理系统采用中心、站段二级结构。

15.2.4

2 车站运输及货运管理等终端设备,主要指车站调度员、车站值班员、助理值班员、调车区长、车号员、商检、统计、货调、受理、交付、制票、内外勤、货区货位管理、货场门卫等岗位作业需要的终端设备。

16.1.2 重载铁路一般在组合分解站进行机车摘挂,作为机车交路的起点或终点。如果配套机务设备设在区间其他车站,则机车整备待班以及检修作业要从组合分解站单机回送机务段(所)内,影响区间通过能力,机车运用效率降低;在组合分解站配套机务设备,机车整备待班检修等作业不需要单机回送,作业方便,机车利用率高,有利于运输组织。

16.1.3 考虑到重载铁路车流组织较为单一,运量较大,当牵引列车的机车为双机重联时,为减缓机务段咽喉区压力,机车出入段线一度停车位置宜具备4台机车同时停留的条件。

16.1.4 重载运输列车轴重一般较大,传统的160 t起重吊救援较为困难。因此,规定了重载铁路救援起重设备应满足起吊机车车辆的要求。

16.2.2 重载铁路运输组织一般为点对点的大宗直通货物运输,采用长交路可以减少列车摘挂机车的次数,减少机车出入段次数

及等待列车的停留时间,加快机车的周转,可提高旅行速度,加快货物送达速度及车辆的周转。

16.2.3 重载铁路直通列车对数较多,货流比较稳定,机车质量好,采用循环或半循环运转制,可以提高运输效率。

16.3.2 当机车通过无线电(GSM-R 或电台)建立重联关系时,由于建立重联关系需要一定的时间,整备时间较传统单机或固定重联机车的整备时间要长一些,整备待班线能力受一定的影响。因此,核算整备待班线的能力时,应考虑双机重联或多机重联时对作业时分的影响,建立重联关系的时间根据现场的实际情况具体确定。

16.3.3 考虑到重载运输机务段(所)内整备作业量大,为保证整备作业人员安全、提高整备作业效率、改善整备作业环境,规定了在机务段(所)内应根据需要设置车号识别、上砂、转向、检测、清洗、卸污、机车同步操纵检测等整备设备。

17.2.1 本条文借鉴大秦线 C₈₀ 型敞车的检修经验,实行走行公里制度,大修周期采用 160×10^4 km,全面检查周期采用 40×10^4 km,取消辅修,实行日常检查修。结合重载铁路运输特点,规定了车辆段修工作量宜按年走行公里和检修周期计算确定。

17.2.2 本条文规定了车辆段存车线总长度计算方法。设计中,存车线数量可根据待修、修竣车的存放需求及调车作业需要确定,考虑重载铁路车辆扣修特点,每条存车线的长度满足万吨半列或整列存放条件,其他可按照《铁路货车车辆设备设计规范》TB 10031—2009 执行。

17.2.3 备用车存车线用于新车到达、故障车存放。根据大秦线运营经验,备用车存放线存放辆数与配属新车集中到达数量以及车辆整体性能有关,备用车存车线运营初期需求较多,以后逐年减少。大秦线采用 C₈₀ 型敞车整体性能较好,备用车存放量数占运用车数约为 3%,基本满足要求。本条文根据大秦线运营经验,确定备用车存放辆数按运用车数的 3% 计算。

17.3.4 列检作业场边修线长度一般根据每日临修辆数或扣修车辆组数乘以扣修车辆长度计算确定。如 C₈₀ 型敞车三辆为一固定编组,通常以组扣修。因此,有固定编组车辆扣修时,边修线长度按组数和车辆长度计算确定。

17.3.5 本条文总结了大秦线阳原、涿鹿、延庆、遵化北、迁安北站设置车辆故障抢修换轮平台的运用检修经验,重载铁路沿线车站每间隔 80 km~120 km 设置一处车辆故障抢修平台,故障抢修平台宜设在到发线上,不具备条件时亦可设在正线上,同时还需配备通行的道路。

18.2.2 本条文依据《铁路给水排水设计规范》TB 10010—2016 第 5.1.2 条有关内容确定。

18.2.6 铁路煤炭货场受雨水和浇洒及降尘用水的影响,煤屑容易与水混合在一起,形成煤泥水溢流,既对环境造成污染又导致资源浪费。因此,为了保护环境、节约资源,对煤泥水在排放前进行处理具有重要意义。处理此类污水,通常采用沉淀或混凝沉淀处理工艺。经过处理后的污水,达到回用水标准后,仍然可以作为抑尘、降尘用水加以循环使用,可节约抑尘、降尘用水。

19.1.2 国内外铁路运营养护维修实践表明,铁路设施在运营过程中,随着通过总重的增加,必然造成设备设施变形的积累和扩大,按周期有计划的对有关设备、设施进行维修,既能保证设备设施的使用安全,又能减少设备损耗。如预防性钢轨打磨技术已经成为国外重载铁路线路养护技术的重要组成部分。

19.1.3 根据太原铁路局相关资料,重载铁路的维修与一般铁路相比,维修周期较短、维修机构设置密度较大,多专业整合进行综合维修的需求并不明显。目前,太原局管内重载铁路普遍实行天窗集中修,仍实行工务、电务、供电等专业的分专业维修。

《中国铁路总公司关于加强和改进工务普速线路维修管理工作的通知》(铁总运〔2013〕60 号)要求,工务维修检、养、修分开,大力推进专业化、机械化修理;围绕天窗修,合理调整生产力布局,优

化维修作业组织模式,积极开展集中修理,充分利用好天窗、人力和机具等生产资源,大力提高作业效率和作业质量;办公、生产、生活设施应综合考虑工务、电务、供电部门的需求和生产布局情况统筹建设。

19.2.1

(1)各级工务维修组织机构的管辖范围可参照《中国铁路总公司关于加强和改进工务普速线路维修管理工作的通知》(铁总运〔2013〕60号)、《铁路桥隧建筑物修理规则》(铁运〔2010〕38号)、《铁道部运输局关于加强普通铁路桥隧修理管理工作的通知》(运工桥隧函〔2012〕406号)的有关规定确定。

1)工务段管辖正线线路延展长一般不超过 1 000 km。

2)线路车间管辖正线线路延展长单线可为 60 km~80 km,双线可为 100 km~120 km;线路工区可按站间设置,管辖正线线路延展长一般不超过 20 km;山区铁路管辖范围可适当缩短。

3)路桥车间管辖的桥隧换算长度一般不超过 5 万 m;其管辖的营业里程,平原微丘区不大于 200 km,重丘山区不大于 150 km,险峻山区不大于 100 km,草原、沙漠地区不大于 400 km。

4)路桥检查工区管辖的桥隧换算长度一般不超过 1.2 万 m;路桥保养工区管辖的桥隧换算长度不超过 0.6 万 m。

(2)维修设施及设备配置可参照《中国铁路总公司关于加强和改进工务普速线路维修管理工作的通知》(铁总运〔2013〕60号)、《铁路桥隧建筑物修理规则》(铁运〔2010〕38号)、《铁道部运输局关于加强普通铁路桥隧修理管理工作的通知》(运工桥隧函〔2012〕406号)的有关规定确定。

19.2.3 轨道车停放线一般要满足两辆轨道车和两辆平板车联挂的要求,从目前的车辆数据分析,轨道车长度为 13.84 m,平板车长度为 14.08 m,安全距离取 20 m,计算长度为 76 m,故有效长度一般需要 80 m。考虑两轨道车中间预留增加平板车装卸材料的需求,且参照《高速铁路有砟轨道线路维修规则》规定,轨道车停放

线长度为 120 m。故本规范规定轨道车停放线有效长度宜为 120 m。

19.2.4 原铁道部《大型养路机械使用管理规则》(铁运〔2006〕227 号)规定,“大型养路机械的驻站与作业地段的距离不宜过长,一般不超过 25 km”。原铁道部工务局《关于大型养路机械作业条件下对有关设施若干要求的通知》(工机〔1998〕16 号)规定,“为了缩短大型养路机械进出区间的运行时间,停靠线在站间距大于 25 km 时应每站设置,站间距小于 25 km 时可隔站设置。停靠线应能停靠一套大型养路机械大修机组(7 台机械设备)和一组附属车辆(10 辆),其长度不短于 450 m。停靠线应设置在大型养路机械进出方便,并有水源、电源的处所。停靠线外侧距线路中心 3 m 以外需铺设路面宽度不小于 4 m 的硬面道路,并与外界连通。停靠线的平纵断面和轨道结构与一般站线相同,警冲标、信号等设施应设置齐全”。本条文是参照了上述规定制定。

如果站线能够满足大机停留时,也可利用站线停留。

19.3~19.4

通信、信号、信息等维修组织机构可参照《关于客运专线固定设施维修管理有关问题的指导意见》(铁运〔2009〕36 号)和《普速铁路信号维护规则 业务管理》(铁总运〔2015〕238 号)的内容设置:

1. 通信

通信维修机构可设通信段、通信车间、通信工区。通信车间一般管辖 2~4 个通信工区,管辖里程为 200 km(营业公里)。通信工区一般设置在有客运用作业的车站。

2. 信号

信号设备维修组织机构可设置电务段,电务段下设现场车间、专业车间(信号检修,电子设备、信号中修、车载信号设备车间等),车间下设信号工区。

现场车间管辖范围,双线区段为 100 km(营业公里),单线区

段为 150 km(营业公里),枢纽地区为 1 200 组左右换算道岔;路网性和区域性编组站可单独设立驼峰车间。

信号工区管辖范围,双线自动闭塞区段每个车站设置信号工区;单线区段 2~3 个中小车站设置一个信号工区,管理里程为 15 km~30 km(营业公里),大站可单独设置工区。特大站可设置 2~3 个信号工区,编组站可按车场设置工区。

19.5.1 供电维修设施的管辖范围可根据接触网作业车运行速度、平均作业时间以及抢修人员应急整備时间综合考虑。

供电维修组织机构可设供电段、供电(维修)车间、接触网工区、电力工区。

供电车间及工区设置在车站附近时,供电车间可与所在地的接触网工区合建。车间管辖范围不宜超过 300 km(营业公里),或按照接触网抢修车组到达事故地点的运行时间不超过 90 min 确定。

接触网工区管辖范围宜为 40 km~60 km(营业公里),单方向管辖距离不宜超过 30 km(营业公里)。

19.5.2 维修设备可参考铁路总公司下发的铁路牵引变电所、接触网、铁路电力等安全工作规则和检修抢修规则进行配备。

20.3.1 环境保护部公告 2008 年第 38 号《铁路边界噪声限值及其测量方法》GB 12525—90 修改方案中明确规定:既有铁路(2010 年 12 月 31 日前已建成运营的铁路或环境影响评价文件已通过审批的铁路建设项目)和改、扩建既有铁路边界噪声执行昼间 70 dB(A)、夜间 70 dB(A)标准(等效声级 L_{eq});新建铁路(含新开廊道的增建铁路)边界噪声执行昼间 70 dB(A)、夜间 60 dB(A)标准(等效声级 L_{eq})。《声环境质量标准》GB 3096—2008 中规定了五类声环境功能区的环境噪声限值。

20.3.2 噪声治理应该首先从降低源强噪声入手,其次采用降噪效果较好和便于实施的工程降噪措施。降低源强噪声的方法主要有:采用新型低噪声机车、车辆,铺设无缝线路,采用重型和特重型

钢轨,线路封闭减少鸣笛等。

20.3.4 从对铁路噪声源的测试结果看,一般情况下,63 Hz~4 000 Hz 频率范围基本覆盖了铁路噪声的主要能量分布范围,其倍频带中心频率分别为 63、125、250、500、1 000、2 000、4 000 Hz。吸声材料在各频率段的吸声系数有较大差异,当吸声材料主要吸声段的频率范围与铁路声源的主频范围基本一致时,能够取得较好的吸声效果。铁路噪声、振动源强目前尚无国家和行业设计标准,在具体建设项目设计中,可以参考原铁道部《铁路建设项目环境影响评价噪声振动源强取值和治理原则指导意见(2010 年修订稿)》(铁计〔2010〕44 号)进行修正后取值。

由于声屏障的设置将大幅增加工程投资,要优先考虑采用建筑隔声、改变使用功能或搬迁、声屏障和建筑隔声组合等综合治理措施。在上述措施实施困难时,经过经济技术比选,可以考虑采用增加声屏障高度、采用半封闭式或全封闭式声屏障等降噪措施。因此,规定了声屏障插入损失目标值宜根据声环境标准设置。

在客货共线铁路设计中,声屏障附加长度一般按每侧 50 m 设计。由于重载铁路列车长度为客货共线铁路的 2~4 倍,其噪声影响持续时间较长,造成的噪声污染影响程度要高于客货共线铁路。所以,声屏障声学设计应根据声环境标准确定插入损失目标值。声屏障的附加长度要根据敏感点与铁路的距离、高差及声屏障高度等通过计算确定。

20.4.1 重载铁路列车通过期间的振动源强受线路、机车车辆、地质条件等影响,不同条件差别较大。因此,规定了振动源强宜根据同一区域、相同或相近地质条件的既有铁路进行类比确定。

20.4.2 从源强入手是治理振动的最佳手段。为降低振动影响可以采用如下措施:优化选线设计,远离敏感目标;结合地形地质条件,合理确定路堤和桥梁形式;采用轨道减振措施等。

20.4.3 《城市区域环境振动标准》GB 10070—88 中规定了城市各类区域铅垂向 Z 振级标准,铁路干线两侧执行昼间 80 dB、夜间

80 dB 标准。“铁路干线两侧”是指距每日车流量不少于 20 列的铁道外轨 30 m 外两侧的住宅区。农村地区可参考执行。文物保护单位等可根据其特性执行《古建筑防工业振动技术规范》GB/T 50452—2008 中相应标准。

20.5.1 露天货场堆放煤、矿粉等易起尘散装货物时,由于大风、装卸等原因会产生扬尘,对周围环境和大气产生污染。设置防风抑尘网,采取洒水抑尘后,可以明显减小大风引起的扬尘污染。

20.5.2 重载铁路货物品类相对单一,在装载车站、编组站等位置设置货物表面喷淋装置,通过喷淋固化剂固化货物表面,可以有效解决运输途中的扬尘问题。