

文 / 陈晓扬

Chen Xiaoyang

作者简介

陈晓扬 东南大学建筑学院 东南大学城市与建筑遗产保护

教育部重点实验室

## ABSTRACT

本文首先总体论述了竹子作为绿色建材在现代建筑结构中的应用特性,然后介绍了若干经典案例,归纳其空间和结构特征,最后对现代竹节点技术进行归类剖析。

First, the features bamboo in modern bamboo structure building are discussed while regarding it as a green building material. Then several classic examples are introduced to sum up their spatial and structural characteristic of bamboo building. The bamboo joint techniques are classified and specified in details in the end.

## KEY WORDS

竹结构建筑, 空间网架, 竹节点, 绿色建材

Bamboo Structure Building, Grid Frame, Bamboo Joint, Green Building Material



## 一、竹子的结构性能

## 1. 竹子的结构潜力

竹子是圆形中空,纤维致密,其优点是轻质高强,弹性很好,径向抗压抗拉能力很强,缺点是抗弯矩能力稍弱,结构整体刚性较差。竹材性能和其他材料比较毫不逊色,表1中显示,在常规建材中,竹材单位面积的抗拉和抗压强度只逊于钢铁,而在绿色指标上均优越于其他材料。<sup>[1]</sup>

由于竹子强度高,径向抗压抗拉强度高,与钢材物理性能相似,它很适用于空间网架型结构,三角形屋架是传统建筑中的例子。在当代,由于竹加工工艺的进步,竹子网架式结构有了极大的超越,造型非常具有想象力。

## 2. 竹子的耐候性分析

竹子的耐候性较弱,一般的竹结构建筑寿命比较短,安全使用期限一般为15年内。影响竹子寿命的主要因素是阳光、湿度变化和虫蛀。在直射阳光和湿度剧烈变化的综合作用下,竹子会出现开裂,而开裂又为蛀虫打开了门户,竹竿强度会大打折扣。竹建筑往往需要好的“帽子”和“靴子”,“帽子”是让竹子避免阳光直射,“靴子”是为保持竹建筑底部通风和防止过潮,如像像竹楼就是通过大檐和架空方式来解决该问题。竹结构建筑虽然寿命相对较短,但是在取材、施工、废弃的建筑全周期过程中,对环境的破坏极小,是一种绿色的营造方式。

## 二、现代竹结构建筑

广州南昆山十字水度假酒店掩映在竹林间,其中许多建筑采用了竹结构。由哥伦比亚建筑师Simon Velez设计的竹楼是其中的代表性建筑。这座建筑长25米,每平方

米承重350公斤的竹桥通体全黄润,全部采用南昆山当地的毛竹建造而成。毛竹最短1至2米,最长10至20米左右。(图1)

Simon Velez和另一个建筑师Marcelo Veligas作为德国Hanover 2000博览会设计了一个巨大的双层竹亭(Zeri pavilion),并在此之前在哥伦比亚设计搭建以测试荷载安全性。竹亭的屋顶和楼板是现浇混凝土,而支撑结构全部是当地产的竹子。该竹亭的安全测试均高于德国规范,并且历经地震安然无恙。(图2)

竹子在现代居住建筑中也有应用,Marcelo Veligas用竹子作为主要结构在哥伦比亚设计了一幢示范性的低收入者住宅,其主体结构框架为竹子,屋顶为波形瓦,墙面为轻质复合墙板,建筑成本非常低(图3)。虽然竹子的安全使用期限一般为15年内,但对于震区住宅和简易住宅的建设,竹结构具有较强适用性。

善用空间网架结构体系是这些现代竹结构建筑的显著特征,比起传统竹结构建筑,空间跨度与结构表现力都有了很大的飞跃。

## 三、竹节点技术

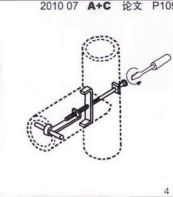
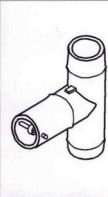
现代竹结构建筑区别于传统竹建筑的另一显著特征是竹连接技术的进步。传统的竹节点一般为绑扎、榫卯、搭接方式,而现代竹节点发展了螺栓、套筒、槽口等方式。

## 1. 螺栓型

螺栓固定是最基本的方式,几乎在所有节点方式中都有螺栓固定作为辅助手段。图4显示的是竹能直接连接的螺栓固定方式,这里的连接完全依靠预制件和螺栓,螺栓是主要的受力件。螺栓连接一般要先用钻枪打孔,如果荷载较大时,还需要在螺栓节点的竹腔内灌注水泥加强节点,以防止竹子腐烂。哥伦比亚建筑师西蒙·韦列斯(Simon Velez)和Marcelo Veligas发明了一种现代的螺栓加水泥的体系,借助水泥和钢预制件固定螺栓,既美观又牢固(图5)。他们在大量竹建筑中成功使用了这种节点方式,建造的竹建筑

表一

竹子	云杉	湿木材	钢
抗拉强度(N/mm <sup>2</sup> )	35~300	90	1.26~12.6
抗压强度(N/mm <sup>2</sup> )	64~110	43	12.6~126
再生能力/年	80%~300%	3%~6%	无
成熟时间	7~9年	60~80年	无
被砍伐后的再成熟期	1年	60~80年	无
施工污染	轻微	轻微	严重
废弃后处理	容易降解	容易降解	形成建筑垃圾可回收



可以悬挂达到26英尺，跨度达到60英尺。另外，利用螺栓和预制钢节点还可以开发出具有高技术特征的竹节点，如图6所示，这种节点可以解决多角度连接问题。

## 2. 套筒型

套筒是用筒形预制件比如钢套筒来嵌套竹子的作法，可有内嵌套和外嵌套两种方式（图7）。实际上在中国传统竹连接方式里就有大小竹筒嵌套的作法。套筒连接方式可以解决各种角度连接的问题，然而问题是要竹的直径尺寸统一，这在实际选材中有较大难度，其连接方式有改良的余地。套筒方式也可以用于竹的垂直连接，如图8的例子中，用成品PVC管道箍嵌套竹子，然后用长螺栓固定每两根竹子和两个箍。因为箍可以绕螺栓转动，所以这种方式也可以解决多角度连接问题。

## 3. 槽口型

槽口型一般是在竹端头开槽，插入预制钢节点，然后用螺栓、铁丝或钢箍加固。这种连接一般可以解决竹节点的接地问题。（图9、10）

## 四、结语

1. 竹子成材期短，取材方便，在建筑全周期过程中对环境的影响极小，且力学性能优越，适合作为结构建材，空间网架式的整体结构有利于发挥竹子的结构潜力；

2. 竹子的耐候性较弱，适用于景观建筑、临时性和简易建筑，在建筑设计中应进行遮阳、防潮等处理；

3. 现代竹节点大致有螺栓、套筒、槽口等方式，节点技术的进步与空间结构体系的发展是现代竹结构区别于传统竹结构的显著特征。

## 参考文献

[1] (美) 琳恩·伊丽莎白·卡萨德雷斯·吴春晖译. 新乡土建筑——当代天然建造方法[M]. 北京：机械工业出版社，2005:223.

[2] Oscar Hidalgo Lopez. Bamboo: the gift of god[M]. CIBAM, University of Colombia, 2003

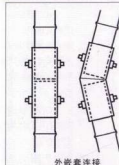
## 图片来源

图1来自google图片

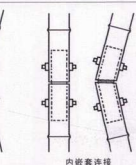
图2、3、6来自www.koolhaasbamboo.com

图4参考改绘自文献2

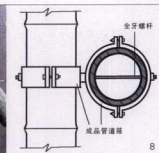
其余为自绘和拍摄



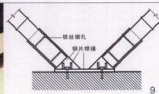
外嵌套连接



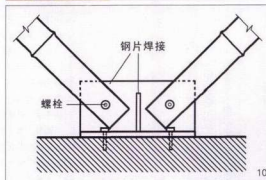
内嵌套连接



8



9



10