



CECS ×××-20××

中国工程建设标准化协会标准

竹结构轻型框架建筑技术规程

Technical Specification for Lightweight Glued Laminated
Bamboo (Glulam) Structures

(内部征求意见稿)

《竹结构轻型框架建筑技术规程》编制组

二零二三年四月二十二日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第一批协会标准制订、修订计划〉（建标协字[2021]11 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外有关先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 建筑设计基本规定；4 材料；5 结构设计基本规定；6 结构构件设计；7 防火设计；8 耐久性设计；9 施工与验收。

本标准由中国工程建设标准化协会木材及复合材结构分会归口管理，由浙江大学负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请寄送至解释单位（地址：浙江省海宁市海州东路 718 号浙江大学海宁国际校区 ZJUI 大楼；邮编：314400）。

本标准主编单位：浙江大学

参编单位：

目 次

1 总则	5
2 术语和符号	7
2.1 术语	7
2.2 符号	9
3 建筑设计基本规定	11
3.1 一般规定	11
3.2 模数协调	12
3.3 平面设计	12
3.4 立面设计	12
3.5 环保、节能及室内环境	13
3.6 建筑设备	14
4 材料	15
4.1 结构用竹材	15
4.2 连接件	17
4.3 结构用胶	19
4.4 防火和保温隔热材料	19
5 结构设计基本规定	21
5.1 设计原则	21
5.2 荷载及作用	21
5.3 限值要求	23
6 结构构件设计	24
6.1 一般规定	24
6.2 楼盖与屋盖	30
6.3 剪力墙	34
6.4 桁架	36
6.5 构造要求	40
6.6 连接设计	50
6.7 地基及基础设计	59
7 防火设计	61
7.1 一般规定	61
7.2 防火构造	61
8 耐久性设计	66
8.1 一般规定	66
8.2 防水防潮	66
8.3 防腐朽防老化	67
8.4 防白蚁	68
9 施工与验收	70
9.1 一般规定	70

9.2 施工	70
9.3 验收	71

1 总则

1.0.1 为了满足我国日益增长的现代竹结构应用需求，在工程结构中推广具备我国资源禀赋与优势的生物质建筑材料，在竹结构设计中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量的要求，制定本规程。

条文说明: 科学研究与工程实践表明：在可持续的生物质资源管理与利用基础上，科学有序的提升生物质材料在建筑业中的使用比例，是在建筑业实现节能减排以及能源消费变革的有效途径，有利于促进国家双碳目标的实现。我国竹材资源丰富，用竹材部分替代木材，用于建筑结构，符合国家绿色与可持续发展的需求。

1.0.2 本规程适用于建筑工程中于三层及以下的住宅及公用建筑，结构抗力体系以竹结构轻型框架剪力墙为主，主要结构材料为经过处理的圆竹、双向胶合竹材、单向竹集成材和竹胶板。

条文说明:目前，工程竹材的材料、构件、节点和结构整体性能都得到了较为充分的研究，这些研究表明：工程竹材的力学性能与高等级木材相近，工程竹构件的力学性能也与胶合木构件相当，可用于低层住宅和单层建筑。如下表所示，是近15 年来部分竹结构轻型框架建筑示范项目，其主要采用双向布箴细箴胶合竹作为结构材料。

附表 1.0.2 竹结构轻型框架建筑示范工程项目

时间	地点	建筑物	建筑细节	备注
2007.12	湖南大学土木工程学院	现代竹结构研究所	轻型框架结构, 2 层, 建筑面积 235 m ²	世界首座轻型竹结构示范房屋
2008.05	四川广元	地震灾区安置房	预制装配式活动房, 基本模数为 1.22m, 每间房屋面积约 48 m ²	
2009.06	北京紫竹院公园	茶楼	模块化轻型框架房屋, 2 层, 建筑面积 130 m ²	
2009.09	湖南耒阳蔡伦竹海公园	竹结构别墅	轻型框架结构, 2 层, 建筑面积 98 m ²	
2010.05	湖南长沙	万国城 MOMA 样板展示间	轻型竹结构框架体系, 四栋单层建筑展示户型, 两栋独立设备间	
2011.04	肯尼亚 Maseno 大学	现代竹结构办公、会议用房	6×5 模数的预制装配式结构体系, 建筑面积 56 m ²	非洲示范项目
2012.09	湖南长沙梅溪湖国际新城	梅溪湖环湖公建 7 号小品	轻型竹结构框架墙体与重型框架结合的形式, 建筑面积 134 m ²	
2022	张家口德胜	竹结构示范房	轻型框架结构, 2 层, 建筑面积 180 m ²	

受制于工程竹材的数控切割、开槽、胶合和接长技术，对于多高层和大跨度结构的竹材应用，还需深入研究。

1.0.3 竹结构的设计除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

条文说明:本规程对竹结构轻型框架建筑的规划、设计、制作、施工、使用和维护保养等方面提出相应的技术规定，但由于篇幅有限，难以涵盖所有问题。当在规划、设计、施工、使用工作中遇到本规程未涉及的问题时，应遵守国家现行技术规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 竹结构轻型框架建筑 lightweight glued laminated bamboo (glubam) structures

在工程竹板材或原竹材料的基础上，通过二次冷压胶合，形成竹规格材。竹规格材形成的轻型框架骨架与木、竹基结构板材或石膏板制作的竹构架墙体、楼盖和屋盖系统所构成的结构体系，也简称为轻竹结构。

条文说明：相关定义主要参考肖岩、陈国、单波、杨瑞珍、余立永.竹结构轻型框架房屋的研究与应用[J]. 建筑结构学报.2010.6（6）：195-203.

2.1.2 主纤维方向 main fiber direction

工程竹材中竹材纤维含量最大的方向，一般表示为 x 方向。

2.1.3 次纤维方向 less fiber direction

工程竹材在 x - y 平面内竹纤维含量最小的方向，一般表示为 y 方向。

2.1.4 板材厚度 panel thickness

组坯工程竹板材的厚度，其坐标一般表示为 z 方向。

2.1.5 工程竹 engineered bamboo (EB)

竹材通过工程手段，经过集成或重组而形成的满足工程建设要求的板材、方材或型材。

2.1.6 竹集成材 laminated bamboo lumber (LBL)

经刨削加工后的竹篾按其主纤维方向（原竹生长方向）组坯、热压胶合而形成的厚度一般为 20, 30 和 40 mm 的工程竹板材或方材。

2.1.7 重组竹 bamboo scrimber

原竹破篾成束后，按主纤维组坯、热压胶合而形成的板、块材。

2.1.8 胶合竹 glued laminated bamboo (glubam)

对上述各类工程竹材进行二次冷压胶合，组坯制备而成的更大尺寸（厚度超过 40mm）的工程竹构件。

2.1.9 竹规格材 bamboo dimension lumber

按规定截面尺寸加工而成的规格化结构用工程竹材，本规程的竹规格材截面尺寸一般为 30×90mm、60×90 mm 和 90×140 mm。

2.1.10 木基结构板材 wood-based structural-use panels

以木材为原材料（旋切木、木片、木屑等）通过胶合压制成的承重板材，包括结构胶合板和定向木片板。

2.1.11 销连接 dowel-type fasteners

采用销轴类紧固件将被连接的构件连成一体的连接方式。销连接也称为销轴类连接。销轴类紧固件包括螺栓、销、木螺钉、普通圆钉、普通螺旋纹钉和普通环形纹钉等。

2.1.12 齿板 metal truss plate

经表面镀锌处理的钢板冲压成多齿的连接件，主要用于竹桁架节点的连接或受拉杆件的接长。

2.1.13 建筑信息模型 building information model

在建设项目资产的全生命周期应用模型和数字化技术手段进行信息管理的方法和技术。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

C —设计对变形、裂缝等规定的相应限值；
 M —弯矩设计值；
 N —轴向力设计值；
 R_d —结构构件的抗力设计值；
 S_d —荷载效应的设计值；
 V —剪力设计值；
 V_d —剪力墙、楼盖和屋盖受剪承载力设计值；
 Z —受剪切承载力参考设计值。
 Z_d —销类紧固件每个剪面的受剪承载力设计值；

2.2.2 材料性能或结构的设计指标

E_i —竹材在 i 方向的弹性模量， $i=x, y, z$ ；
 $f_{c,x}$ —工程竹材主纤维方向抗压强度设计值；
 $f_{c,y}$ —工程竹材次纤维方向抗压强度设计值；
 f_{em} —较厚构件或中部构件的销槽承压强度标准值；
 f_{es} —较薄构件销槽承压强度标准值；
 f_m —竹材抗弯强度设计值；
 $f_{t,x}$ —竹材主纤维抗拉强度设计值；
 f_v —竹材抗剪强度设计值；
 f_{vd} —采用木基结构板材做面板的剪力墙、楼盖和屋盖的抗剪强度设计值；
 f_{yk} —销轴类紧固件屈服强度标准值；
 ρ —主构件材料的全干相对密度；
 $[\omega]$ —受弯构件的挠度限值；
 $[\lambda]$ —受压构件长细比限值；

2.2.3 几何参数

A —构件面积；
 B_e —楼盖、屋盖平行于荷载方向的有效宽度；
 b —构件的截面宽度；
 d —销轴类紧固件的直径；
 h —构件的截面高度；
 l —构件长度；
 l_0 —受压构件的计算长度；
 r —销轴类紧固件的行距；
 s —销轴类紧固件的间距；
 t —构件厚度；
 t_m —单剪或双剪连接时，较厚构件或中部构件的厚度；
 t_s —单剪或双剪连接时，较薄构件或边部构件的厚度；
 α —作用力方向与工程竹材主纤维方向的夹角；

2.2.4 计算系数及其他

C_m —含水率调整系数；
 C_t —温度调整系数；

k_{ep} —弹塑性强化系数；

k_g —销轴类紧固件受剪承载力的群栓组合系数；

k_{min} —构件的销槽承压最小有效长度系数；

γ_0 —结构重要性系数；

γ_{RE} —承载力抗震调整系数。

3 建筑设计基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 竹结构轻型框架建筑应按照现行国家标准的要求，充分考虑部品部件和设备的模数化、标准化、定型化和通用化。

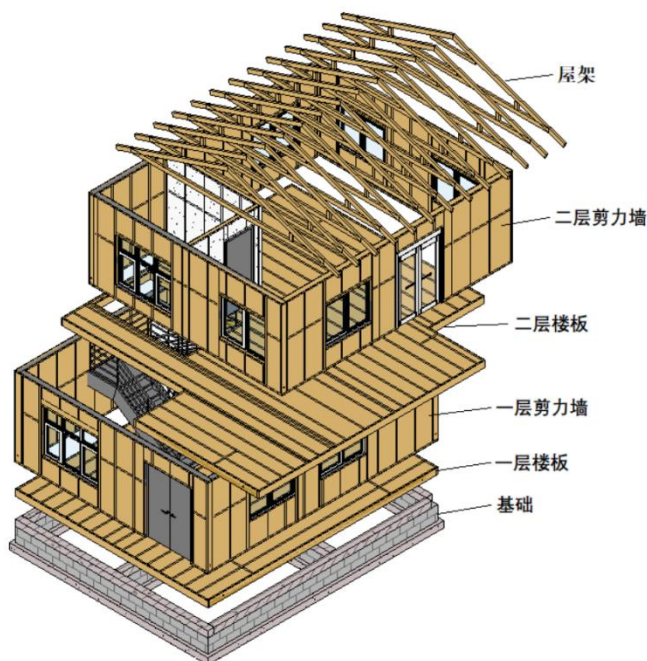


图 3.1.1 竹结构轻型框架建筑主要结构构件

3.1.2 竹结构轻型框架建筑设计应符合现行国家、地方标准对当地气候区的建筑节能设计规定。有条件的地区推荐采用生物质能、太阳能、风能或地热等可再生能源。

3.1.3 竹结构轻型框架建筑设计应和结构、水、电、燃气、采暖通风各专业协调进行一体化综合设计，鼓励采用建筑信息模型（BIM）设计，做到设计合理，加工方便，装配简易，技术先进。

3.1.4 竹结构轻型框架建筑设计应满足以下使用与美观要求，各项功能的设计指标应符合国家、地方及行业现行有关标准的规定：

- 1 使用功能合理，空间组织便捷；
- 2 热工设计应符合《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的规定；
- 3 建筑的采光性能应符合《建筑采光设计标准》GB 50033 的规定；
- 4 室内通风设计应符合《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736 的规定；
- 5 隔声性能应符合《民用建筑隔声设计规范》GB 50118 的规定；
- 6 防火设计应符合《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定；
- 7 防雷击设计应符合《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的规定；

8 建筑电气设计应符合《民用建筑电气设计规范》JGJ 16 的规定。

条文说明：本规程中竹结构轻型框架建筑包括居住建筑与公共建筑的民用建筑类型，其建筑、结构、设备及热工、通风、采光等应当满足相应设计标准的要求。

3.2 模数协调

3.2.1 建筑设计中的模数协调应符合现行国家标准《建筑模数协调统一标准》GBJ 2、《住宅建筑模数协调标准》GB/T 50100、《厂房建筑模数协调标准》GBJ 6 和《建筑楼梯模数协调标准》GBJ 101 的规定。

3.2.2 预制建筑部品应进行标准化设计，并应满足不同结构材料部品互换的要求。

条文说明：模数是实现建筑装配化的前提，统一的模数保整了各专业之间协调，同时使竹结构轻型框架建筑各组件、部件可以实现异地工厂化生产。建筑模数协调的目的是使建筑预制构件、组件、部品设计标准化、通用化，实现少规格、多组合。对于量大面广的住宅等功能性建筑，宜优先选用标准化的建筑部品部件。

3.3 平面设计

3.3.1 竹结构轻型框架建筑的平面设计应符合下列要求：

- 1 平面布置宜规则、对称，其功能区宜根据标准模块的尺寸进行组合布置；
- 2 在同一功能区中布置的模块数量尽量减少；
- 3 一个功能区由多个模块覆盖时，功能区内的管线、设备、墙壁、门窗宜保持整体性；
- 4 楼梯间、电梯间、卫生间、厨房等功能特殊、管线密集的区域，宜采用单个模块单元；
- 5 建筑平面设计时应考虑相邻模块单元构件的连接关系。

3.3.2 竹结构轻型框架建筑平面设计中，楼梯间、电梯间、卫生间和走廊等区域的布置应满足其使用功能，并符合人流物流通行以及安全疏散等建筑要求。

3.3.3 竹结构轻型框架建筑的平面布置应充分考虑与结构支撑、剪力墙等布置的协调。

3.3.4 当室内布局需要较大尺寸空间时，可采用组合结构的方式实现。

3.3.5 竹结构轻型框架建筑的建筑体型应符合现行国家标准《公共建筑节能设计标准》GB 50189 的要求。

3.4 立面设计

3.4.1 竹结构轻型框架建筑的立面设计应符合规划，外立面分割尺寸合理，流线简洁顺畅，外墙涂装应与周围环境相协调。

3.4.2 竹结构轻型框架建筑组合布置应形成稳定、合理的结构体系。

3.4.3 建筑立面层间高度应符合国家相关建筑标准和模数规定，室内可居住房间净高应不小于 2.4 米，厨房、卫浴、走廊、通道等应不小于 2.1 米。

3.4.4 每个可居住的房间应设置外窗，窗墙比应符合《民用建筑节能设计标准》JGJ 26 的规定。

3.4.5 外墙立面布局应有利于室内自然通风，单朝向和无法满足自然通风的住宅，应采取改善自然换气的措施。

3.4.6 伸出外墙面水平或倾斜的出挑部位应做防水和排水处理，水落管、各种进户线管和空调器等的预埋件应与外墙承重构件可靠连接。

3.5 环保、节能及室内环境

3.5.1 建筑建造过程中，用材、设计和施工各环节均应遵守环保、节能的原则，设计文件中应包含环保、节能的专项内容。

3.5.2 建筑室内环境设计应符合节能、节材、防止污染的原则。

3.5.3 室内装饰材料应符合下列规定：

1 宜采用 A 类建筑材料，使用的涂料、胶粘剂、处理剂，其挥发性有机化合物、苯、游离甲醛、游离甲苯二异氰酸酯的含量应符合相应的规定；

2 宜选用易于安装、拆卸且隔声性能良好的轻质材料；

3 隔墙板的面层材料宜与隔墙板形成整体；

4 用于卫生间的内隔墙板的面层应采用防水、易清洗的材料；

5 装饰材料应符合相应的防火要求，且厨房隔墙面层应为不燃材料。

条文说明：室内墙面覆面材料宜采用石膏板，如采用其它材料，应符合《建筑材料难燃性试验方法》GB 8625 相关规定。

3.5.4 照明宜选用光效高、光色适宜、低耗能的光源。

3.5.5 通风设计应组织自然通风，宜采用新风系统。入风口应设计防尘、过滤 PM 2.5 颗粒、防有害气体的空气净化措施。

3.5.6 当技术、经济合理时，宜将太阳能发电、风力发电、冷热电联供等作为补充电力能源，且宜采用并网型发电系统。

3.5.7 单元内部、单元之间宜采取切断声桥的措施。

3.5.8 根据建筑功能、用户要求和绿色建筑理念，宜采用屋顶绿化、竖向绿化、室内盆栽、采光中庭等措施改善室内环境。

3.5.9 流动或季节性使用的模块化建筑,当建筑体形系数不符合节能设计要求时,宜采取构造措施来降低能耗并满足舒适度要求。

3.5.10 建造过程中需要现场油漆涂和防火涂料施工时,应采取防污染措施。

3.5.11 施工过程中剩下的废料和余料应妥善分类收集、统一处理,禁止随意搁置、堆放。既有集装箱被拆解的材料应合理地回收利用。

3.6 建筑设备

3.6.1 各设备专业设计应符合现行国家标准的规定。空调及暖通、给排水、照明等设备及其系统的选用和配置,应符合节能节地的要求。

3.6.2 设备管线的布置应符合以下要求:

- 1 应避免平面交叉,竖向管线或管道宜集中布置,并考虑维修更换的要求;
- 2 机电设备管线宜设置在管线架空层或吊顶空间中,管线宜同层布置;
- 3 管道或管线必须暗埋时,宜结合建筑垫层或装修基层进行设计。

条文说明: 竹结构轻型框架建筑应采用管线综合设计,鼓励应用 BIM 在内的建筑信息技术手段进行三维管线综合设计与管线碰撞检查、并在预制木构件上预开的套管、孔洞做好定位及定型,减少现场加工。

3.6.3 抗震设防地区模块建筑结构与管线的连接点应采用牢固、耐震的柔性连接,以避免地震作用下产生破损而引起次生灾害。

3.6.4 应利用结构骨架进行总等电位连接、防雷接地、交流工作接地和安全保护接地。

3.6.5 宜采用预制的整体卫浴间和整体厨房,应符合现行行业标准《住宅整体卫浴间》JG/T 183 和《住宅整体厨房》JG/T 184 的要求。

4 材料

4.1 结构用竹材

4.1.1 竹结构轻型框架建筑使用的工程竹材，应遵守下列规定：

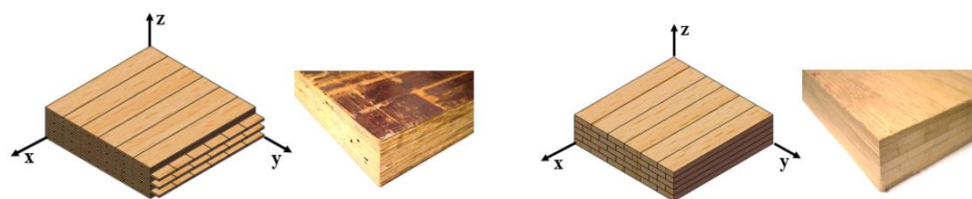
- 1 选择竹龄 4-5 年的圆竹作为制篾组坯原材料，圆竹胸径不宜小于 10cm。
- 2 工程竹材的热压工艺应严格把关，且生产厂家应具备相应的资质。
- 3 工程竹材应有经过认可的质量标识，还应附有含基本物理力学性能参数的说明。
- 4 工程竹材使用前应对该批次材料进行抽检，进行物理力学性能试验，确定设计指标，抽检方法可参考《结构用竹篾层积材》GB/T 38071-2019 相关规定。试验内容应包括工程竹材抗弯强度、抗弯弹性模量、主纤维抗拉强度、主纤维抗压强度、 x - y 平面内抗剪强度。

5 工程竹材含水率宜控制在 8%-12%。

6 工程竹材的密度、含水率、尺寸稳定性、滞燃性、甲醛释放等理化性能可按现行国家标准《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》GB/T 17657 测定。

条文说明：试验方法可参考《木材顺纹抗压强度试验方法》GB/T 1935、《木材抗弯强度试验方法》GB/T 1936.1、《木材抗弯弹性模量测定方法》GB/T 1936.2、《木材顺纹抗剪强度试验方法》GB/T 1937、《木材顺纹抗拉强度试验方法》GB/T 1938 的有关规定，或 ASTM D143 Standard test methods for small clear specimens of timber 相关试验方法。

4.1.2 在缺乏相关试验数据的情况下,按 4:1 双向布篾的薄篾胶合板以及单向布篾的厚篾胶合板强度设计值可按表 4.1.2 采用，其余布篾方式的竹篾胶合板强度设计值可按《结构用竹篾层积材》GB/T 38071 的规定取用。重组竹的强度设计值可按《结构用重组竹》LY/T 3194 的规定取用。



(a) 4:1 双向布篾的薄篾胶合板 (b) 单向布篾的厚篾胶合板

图 4.1.2 胶合竹结构用工程竹板材

表 4.1.2 结构用工程竹板材的强度设计值和弹性模量 (MPa)

种类	抗弯 f_m	抗压 $f_{c,x}$	抗拉 $f_{t,x}$	抗剪 $f_{v,yx}$	抗剪 $f_{v,xy}$	弹性模量 E_x
薄篾双向	35	13	17	5.4	7.2	9000
厚篾单向	40	24	29	2.8	3.3	9500

备注：抗弯强度对应的正应力方向与主纤维方向平行，对于抗剪强度 $f_{v,ij}$ ，下标 i 为剪切面法线方向， j 为加载方向。

条文说明：强度设计指标是在可靠度分析的基础上确定的。目前我国结构设计规

范只保留了荷载分项系数，而将抗力分项系数隐含在强度设计值内。因此，本规程所给出的竹材强度设计值实际上等于：

$$f_d = \frac{f_k K_{DOL}}{\gamma_R} \tag{1}$$

式中： f_k —工程竹材的强度标准值；
 K_{DOL} —荷载持续作用效应系数，参考我国《木结构设计标准》GB 50005-2017，取为 0.72；
 γ_R —抗力分项系数，其由具体的结构构件的目标可靠度而确定。

参考文献 Zhi Li, Xiaozhou He, Zhiming Cai, Rui Wang and Yan Xiao*. Mechanical Properties of Engineered Bamboo Boards for Glulam Structures [J]. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 2021, 33(5): 04021058，本条中所涉及的两工程竹材各个方向的强度指标平均值如下表所示：

附表 4.1.2-1 工程竹材强度指标实验值

类型	指标		强度				弹性模量			
			数量 <i>n</i>	平均值 (N/mm ²)	标准差 (N/mm ²)	变异 系数 (%)	数量 <i>n</i>	平均值 (N/mm ²)	标准差 (N/mm ²)	变异 系数 (%)
薄篾双向	抗弯	$f_{m,xz}$	29	94.5	10.9	11.5	15	9585	684	7.1
		$f_{m,xy}$	26	101.1	9.7	9.6		11390	740	6.5
		$f_{m,yz}$	15	39.3	7.3	18.5		6025	505	8.4
		$f_{m,yx}$		26.7	2.6	9.7		3805	458	12.0
		$f_{c,x}$	19	39.5	7.0	17.7	5	9810	794	8.1
	抗压	$f_{c,y}$	20	29.1	3.4	11.6	N/A			
		$f_{c,z}$		30.2	5.2	17.2				
		$f_{t,x}$	14	80.5	17.3	21.5	14	10746	761	7.1
	抗拉	$f_{t,y}$	20	13.3	2.1	15.4	N/A			
		$f_{v,yx}$	20	14.9	1.9	12.7				
	抗剪	$f_{v,xy}$		18.8	2.0	10.4				
		$f_{v,xz}$		8.5	1.6	18.6				
		$f_{v,zx}$		3.5	0.8	23.9				
		$f_{v,yz}$		7.4	1.5	20.4				
		$f_{v,zy}$		4.1	0.8	19.2				
厚篾单向	抗弯	$f_{m,xz}$	16	104.6	7.5	7.2	16	8682	764	8.8
		$f_{m,xy}$	19	104.9	7.6	7.2	19	9052	599	6.6
		$f_{m,yz}$	22	10.2	2.8	27.7	N/A			
		$f_{m,yx}$	17	9.3	1.5	16.6				
		$f_{c,x}$	10	57.7	4.7	8.2	11	9777	769	7.9
	抗压	$f_{c,y}$		14.7	1.1	7.2	N/A			
		$f_{c,z}$		12.3	1.2	9.9				
	抗拉	$f_{t,x}$	35	119.3	22.0	18.4	13	10508	1025	9.8
		$f_{t,y}$	27	5.9	1.1	19.4	N/A			
	抗剪	$f_{v,yx}$	60	8.3	1.4	16.4				
		$f_{v,xy}$		8.4	0.9	10.5				
		$f_{v,xz}$		9.8	1.1	10.9				
		$f_{v,zx}$		7.4	1.1	14.2				
		$f_{v,yz}$		4.2	0.7	16.5				
		$f_{v,zy}$		4.4	0.8	17.4				

注：对于抗弯强度 $f_{m,ij}$ ，下标 i 表示应力作用于垂直于 i 轴的平面上， j 为加载方向；对于抗剪强度 $f_{v,ij}$ ，下标 i 为剪切面法线方向， j 为加载方向；薄篾双向和厚篾单向竹材的抗压强度 $f_{c,y}$ ， $f_{c,z}$ 为比例极限处的应力；薄篾双向竹材的抗剪强度 $f_{v,xz}$ 和厚篾单向竹材的 $f_{v,xy}$ ， $f_{v,xz}$ 为变形为2mm时对应的应力。

而参考文献 Zhi Li*, Jinyuan Zhang, Rui Wang, Giorgio Monti and Yan Xiao. Design Embedment Strength of Plybamboo Panel Used for GluBam [J]. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 2020, 32(5): 04020082. 中基于小样本的特征值估算方法所得到的强度指标特征值如下表所示：

附表 4.1.2-2 结构用工程竹板材的强度特征值（MPa）

种类	抗弯		抗压		抗拉		抗剪	
	$f_{m,xz,k}$	$f_{m,xy,k}$	$f_{c,x,k}$	$f_{c,y,k}$	$f_{t,x,k}$	$f_{t,y,k}$	$f_{v,yx,k}$	$f_{v,xy,k}$
薄篾双向	73.9	82.8	25.9	22.6	45.7	9.3	11.2	15.0
厚篾单向	89.8	90.1	47.7	12.5	78.6	3.7	5.8	6.8

基于安全等级为二级，设计使用年限为 50 年，延性破坏条件下的目标可靠度为 3.2，脆性破坏条件下的目标可靠度为 3.7，并结合工程竹材强度指标实测的变异系数， γ_R 的取值参考《木结构设计标准》GB 50005，如下所示：

附表 4.1.2-3 工程竹材抗力分项系数

弯曲	拉	压	剪切
1.60	1.95	1.45	1.50

4.1.3 竹结构轻型框架建筑中所采用的木质构件,其材料性能应符合《木结构设计标准》GB 50005 和《胶合木结构技术规范》GB/T 50708 规定。

4.2 连接件

4.2.1 竹结构轻型框架建筑中竹材不应采用开槽齿连接，宜采用标准金属连接件进行连接。连接件应符合现行国家标准的有关规定及设计要求。尚无相应标准的连接件应符合设计要求，应有产品质量出厂合格证书。

条文说明：竹结构轻型框架建筑中竹材开槽极易导致弱纤维方向断裂，故一般不应采用齿接或榫卯连接。主要采用的标准连接件有：圆钉、自攻螺钉、齿板和螺栓，以及钢夹板和钢填板连接件。

4.2.2 金属连接使用的钢材宜采用 Q235 钢、Q355 钢、Q390 钢和 Q420 钢，其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的有关规定。

4.2.3 连接采用的钢材，除不锈钢及耐候钢外，其他钢材应进行表面热浸镀锌处理、无机富锌涂料处理或采取其他有效的防腐、防锈措施。当采用表面热浸镀锌处理时，锌膜厚度应符合现行国家标准《金属覆盖层钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T 13912 的规定。

4.2.4 圆钉的规格（直径、长度）应满足设计文件规定，并应符合现行国家标准《钢钉》GB 27704 的有关规定。同时在满足屈服强度与抗拔出力要求的前提下，也可采用钉入深度相等的机械射钉。

条文说明：钉连接件在竹结构轻型框架建筑中主要用于剪力墙面板和骨架之间的连接，同时面板-骨架连接件是此结构体系耗能能力的主要来源。

参考文献 Yan Xiao, Zhi Li and Rui Wang. Lateral Loading Behaviors of Lightweight Wood-Frame Shear Walls with Ply-Bamboo Sheathing Panels [J]. ASCE Journal of Structural Engineering, 2015, 141(3): B4014004. (SCI, EI)中的研究成果，使用机械射钉连接的以 SPF 为骨架材料，以竹胶合板为覆面板材料的轻型竹木结构剪力墙的各项力学指标可以满足轻型木结构剪力墙的设计要求。有鉴于此，本条文也允许采用与普通圆钉钉入深度相等的机械射钉作为连接用钉。但其抗剪计算时，需乘以 $(d_1/d_2)^2$ 的折减系数。

其中钉连接件的弯曲屈服性能，可参考 ASTM F1575-2017 规范提供的屈服强度测试与计算方法，进行三点弯曲试验测试屈服强度和塑性弯矩。钉连接件的抗拔性能可参考 GB/T 17657-2013 给出的拉拔试验方法，测试钉连接件的抗拔出强度。

4.2.5 自钻自攻螺钉应符合《十字槽盘头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1 和《十字槽沉头自钻自攻螺钉》GB/T 15856.2 的规定。

4.2.6 选用的普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓》GB/T 5782 和《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 的规定。选用的高强螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230 的有关规定。

条文说明：螺栓在竹结构轻型框架建筑中主要作为墙角锚固构件、楼盖格栅和屋架中的金属连接件使用。其中垫片面积 A 建议通过 $f_{cz}A \geq f_y A_s$ 进行控制，其中 f_{cz} 为竹材在 z 方向的抗压强度， f_y 为螺栓屈服强度， A_s 为螺栓光杆截面面积。在满足承载力要求的前提下，推荐使用 4.8 级普通螺栓。当采用正方形垫片时，垫片厚度不宜小于 $d/10$ ，其中 d 为正方形边长。

4.2.7 齿板应由镀锌薄钢板制作。镀锌应在齿板制造前进行，单位面积镀锌层重量不应低于 275g/m^2 。钢板可采用 Q235 碳素结构钢和 Q355 低合金高强度结构钢。

条文说明：齿板应由镀锌钢板制成且应对相关工艺进行控制，以防止齿板生锈。

4.2.8 其它节点部位金属连接件应按设计图要求的材质和规格由有相关资质的专业生产企业加工，宜采用冲压成形，需要焊接时，应保证焊缝质量。

条文说明：竹结构轻型框架建筑中的楼盖格栅，梁柱节点等部位，可以采用冲压成形的标准连接件，主要有用于剪力墙和楼盖之间相互连接的墙角锚固构件和楼盖格栅中主梁和次梁进行连接的 U 型梁托等。

4.3 结构用胶

4.3.1 工程竹材二次冷压加工所采用的冷压胶粘剂的种类、力学性能以及检验方法应符合国家现行标准《结构用集成材》GB/T 26899、《木结构胶粘剂胶合性能基本要求》GB/T 37315 和《木材工业用胶粘剂及其树脂检验方法》GB/T 14074 的相关规定，并应具有生产厂商出具的质量合格保证文件。

条文说明：二次冷压是胶合竹结构构件的重要加工手段，故相关条文对结构用胶进行了规定。

4.3.2 在有效使用期内，胶粘剂应在产品说明书规定的环境条件下存放。使用前应对胶粘剂的胶结能力进行检验，合格后方可使用。

4.3.3 冷压胶粘剂应保证其胶合强度不低于工程竹材的剪切和内结合强度。胶粘剂的耐水性和耐久性，应与竹活动房的用途和使用年限相适应，并应符合环境保护的要求。

条文说明：胶合结构的承载能力，首先取决于胶的强度以及耐久性，因此对胶的质量要有严格的要求：

1 应保证胶缝的强度不低于工程竹材的抗剪和内结合强度。

胶缝主要是受剪应力和垂直于胶缝方向的正应力作用。一般来说胶缝对压应力的作用总是能够胜任的，因此关键在于保证胶缝的抗剪和抗拉强度。当胶缝的强度不低于工程竹材的抗剪和内结合强度时，就意味着胶连接的破坏基本上沿着竹材部分发生，这也就保证了胶连接的可靠性。

2 应保证胶缝工作的耐久性。

所有胶种必须符合有关环境保护的规定。胶缝的耐久性取决于它的抗老化能力和抗生物侵蚀能力。因此，主要要求胶的抗氧化能力应与结构的用途和使用年限相适应。但为了防止使用变质的胶，故提出对每批胶均应经过胶结能力的检验，合格后方能使用。

4.4 防火和保温隔热材料

4.4.1 墙体保温隔热材料宜采用硬质保温板或保温棉。鼓励使用新型生物质保温隔热材料，在使用前必须提出经过主管机关鉴定合格的实验研究报告为依据，通过试点工程验证后，方能逐步推广应用。

4.4.2 保温隔热材料应固定在骨架上，不得松动，以确保墙体空腔被满填，不得采用松散的保温隔热材料填充墙体。

4.4.3 当采用岩棉、矿棉作为墙体保温隔热材料时，物理性能指标应符合现行国家标准《绝热利用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T 11835 的规定。

4.4.4 玻璃棉作为墙体保温隔热材料时，物理性能指标应符合现行国家标准《绝热用玻璃棉及其制品》GB/T 13350 的规定。

4.4.5 密封条的厚度宜为 4mm~20mm，并应符合《建筑门窗、幕墙用密封胶条》GB/T 24498 的规定。密封胶应符合《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》GB/T 14683 和《建筑用硅酮结构密封胶》GB 16776 的规定。聚氨脂泡沫填缝剂应符合《单组份聚氨脂泡沫填缝剂》JC 936 的规定。

5 结构设计基本规定

5.1 设计原则

5.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用分项系数设计表达式进行计算。

5.1.2 竹结构及其构件的安全等级不应小于三级。当结构构件、部件与结构安全等级不一致时，应在设计文件中明确标明。

5.1.3 竹结构设计工作年限应符合下列规定：

- 1 建（构）筑物结构不应小于 50 年；
- 2 易于替换的结构构件、部件不应小于 25 年；
- 3 当结构构件、部件设计工作年限低于结构的设计工作年限时，应在设计文件中明确标明，且应采用易于更换的连接构造。

5.1.4 在设计工作年限内，竹结构性能应符合下列规定：

- 1 能够承受在正常施工和正常使用过程中可能出现的各种作用；
- 2 能够满足结构和构件的预定使用要求；
- 3 材料的耐久性应满足抵抗自生和自然环境双重因素长期破坏作用的能力；
- 4 当发生火灾时，结构应在规定的时间内保持足够的承载力和整体稳定性；
- 5 当发生可能遭遇、撞击、罕遇地震、人为错误等偶然事件时，结构应保持整体稳固性。

5.1.5 在设计使用年限内竹结构使用维护应符合下列规定：

- 1 未经技术鉴定或设计许可，不应改变设计规定的功能和使用条件；
- 2 对可能影响主体结构安全性和耐久性的事项，应建立定期检测、维护制度；
- 3 按设计规定必须更换的构件、节点、支座、锚具、部件等应及时进行更换；
- 4 构件表面的防护层，应按规定进行维护或更换；
- 5 结构及构件、节点及支座等出现可见的变形和耐久性缺陷时，应及时进行修复加固；
- 6 遇设防地震及以上地震灾害、火灾后，应对整体结构进行鉴定，并按鉴定意见进行处理后方可继续使用。

5.1.6 竹结构工程的设计、施工、监理、检测、监督等工作应统一计量标准；竹结构施工时，应对施工工序阶段的结构承载力和稳定性进行验算。

5.2 荷载及作用

5.2.1 对于承载能力极限状态，结构构件应按荷载效应的基本组合，采用下列极限状态设计表达式：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.2.1)$$

式中： γ_0 —结构重要性系数，对安全等级为二级的主要受力构件（墙、梁、柱、楼盖和屋架）不应小于 1.0，对安全等级为三级的一般构件不应小于 0.9；

S_d —承载力极限状态的荷载效应的设计值，应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001 进行计算；

R_d —结构构件的抗力设计值。

5.2.2 对于正常使用极限状态，结构构件应按荷载效应的标准组合，采用下列极限状态设计表达式：

$$S_d \leq C \quad (5.2.2)$$

式中： S_d —正常使用极限状态的荷载效应的设计值；

C —设计对变形、裂缝等规定的相应限值。

5.2.3 结构构件的截面抗震验算应采用下列设计表达式：

$$S \leq \frac{R}{\gamma_{RE}} \quad (5.2.3)$$

式中： γ_{RE} —承载力抗震调整系数，按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001

中木材料相关结构构件取用；

S —结构构件地震组合内力设计值，按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 进行计算；

R —结构构件承载力设计值，按结构材料的强度设计值确定。

5.2.4 竹结构轻型框架建筑的楼面活荷载、屋面活荷载、屋面雪荷载及风荷载等应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 和《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定采用。

5.2.5 计算构件内力时，楼面及屋面活荷载可取为各跨满载，当楼面活荷载大于 4.0kN/m^2 时，宜考虑楼面活荷载的不利布置。

5.2.6 竹结构轻型框架建筑的墙体应承受由地震或风荷载产生的全部剪力。

条文说明：墙体所承受的水平剪力可按从属面积上重力荷载代表值的比例和等效刚度的比例进行分配。两者得到的墙体水平作用力差值超过 15% 时，墙体应按两者中最不利情况进行设计。

5.2.7 三层及三层以下竹结构轻型框架建筑可采用底部剪力法进行水平地震作用计算：

1 各楼层可取为一个自由度；

2 相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数值 α 可取为 $\alpha_{\max}$ ，其取值应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定。

5.2.8 风荷载作用下，边缘墙体所分配到的水平剪力宜乘以 1.2 的调整系数。在验算屋盖与下部结构连接部位的连接强度及局部承压时，应对风荷载引起的上拔力乘以 1.2 倍的放大系数。

5.2.9 竹结构轻型框架建筑中如果部分采用钢构件，其设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

5.2.10 竹结构轻型框架建筑中如果部分采用木构件，其设计应符合现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 的规定。

5.3 限值要求

5.3.1 竹结构轻型框架建筑的受弯构件，应满足表 5.3.1 的挠度限值。

表 5.3.1 受弯构件挠度限值

项 次	构件类别		挠度限值[ω]
1	檩条	$l \leq 3.3\text{m}$	1/200
		$l > 3.3\text{m}$	1/250
2	椽条		1/150
3	吊顶中的受弯构件		1/250
4	楼面梁和搁栅		1/250

注：表中， l —受弯构件的计算跨度。

5.3.2 竹桁架的变形限制应符合国家现行标准《轻型木桁架技术规范》JGJ/T 265 的规定。

5.3.3 受压构件的长细比，不应超过表 5.3.3 规定的长细比限值。

表 5.3.3 受压构件长细比限值

项 次	构件类别	长细比限值[λ]
1	结构的主要构件(包括桁架的弦杆、支座处的竖杆或斜杆以及承重柱等)	120
2	一般构件	150
3	支撑	200

5.3.4 矩形和工字形构件截面的高宽比，梁不宜大于 6，轴压或压弯构件不宜大于 5。超过上述高宽比的构件，应设置必要的侧向支撑。

5.3.5 风荷载和多遇地震荷载作用时，竹活动房的水平层间位移不宜超过结构层高的 1/250。

6 结构构件设计

6.1 一般规定

6.1.1 结构分析模型应反映结构的实际受力状态，构件间连接、结构与基础连接的力-变形关系选取应合理；结构分析模型的确定应基于力学原理和工程经验，或经过试验验证。

6.1.2 按承载能力极限状态设计时，应符合下列规定：

- 1 应进行结构构件和连接的承载力计算；
- 2 结构构件和连接的承载力计算应考虑不同的使用条件；
- 3 有抗震设防要求时，应进行抗震设计；
- 4 应进行结构抗倾覆验算。

条文说明：本条规定了竹结构的承载能力极限状态。《工程结构通用规范》对承载能力极限状态的规定如下：涉及人身安全以及结构安全的极限状态应作为承载能力极限状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了承载能力极限状态：

- 1) 结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承载；
- 2) 整个结构或其某一部分作为刚体失去平衡；
- 3) 结构转变为机动体系；
- 4) 结构或构件丧失稳定；
- 5) 结构因局部破坏而发生连续倒塌；
- 6) 地基丧失承载力而破坏；
- 7) 结构或结构构件发生疲劳破坏。

6.1.3 按正常使用极限状态设计时，应符合下列规定：

- 1 受弯构件应进行变形验算；
- 2 对舒适度有要求的楼盖结构，应进行振动舒适度验算；
- 3 在地震作用和风荷载作用下，应进行结构层间位移验算；

条文说明：《工程结构通用规范》对承载能力极限状态的规定如下：涉及结构或结构单元的正常使用寿命、人员舒适性、建筑外观的极限状态应作为正常使用极限状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

- 1) 影响外观、使用舒适性或结构使用功能的变形；
- 2) 造成人员不舒适或结构使用功能受限的振动；
- 3) 影响外观、耐久性或结构使用功能的局部损坏。

6.1.4 当符合下列条件时，竹结构轻型框架建筑可按构造要求进行抗侧力设计：

- 1 建筑物每层面积不应超过 600m^2 ，层高不应大于 3.6m ；
- 2 楼面活荷载标准值不应大于 2.5kN/m^2 ，屋面活荷载标准值不应大于 0.5kN/m^2 ；
- 3 建筑物屋面坡度不应小于 $1:12$ ，也不应大于 $1:1$ ，纵墙上檐口悬挑长度不应大于 1.2m ，山墙上檐口悬挑长度不应大于 0.4m ；

4 承重构件的净跨距不应大于 12.0m。

条文说明：由于工程竹材的比强度和比刚度都优于工程木材，故此处参考了轻型木结构住宅相关规定，对于建设规模不大、体型和平面布置简单的住宅建筑，抗侧向力设计可以根据长期工程实践证明的构造设计进行。

6.1.5 当抗侧力设计按构造要求进行设计时，在不同抗震设防烈度条件下，剪力墙最小长度应符合表 6.1.5-1 的规定；在不同风荷载作用时，剪力墙最小长度应符合表 6.1.5-2 的规定。

表 6.1.5-1 按抗震构造要求设计时的剪力墙最小长度

抗震设防烈度		最大允许层数	剪力墙最大间距 (m)	剪力墙最小长度 (m)		
				单层、二层或三层的顶层	二层的底层或三层的二层	三层的底层
6 度	—	3	10.6	0.02 <i>A</i>	0.03 <i>A</i>	0.04 <i>A</i>
7 度	0.10g	3	10.6	0.05 <i>A</i>	0.09 <i>A</i>	0.14 <i>A</i>
	0.15g	3	7.6	0.08 <i>A</i>	0.15 <i>A</i>	0.23 <i>A</i>
8 度	0.20g	2	7.6	0.10 <i>A</i>	0.20 <i>A</i>	—

注：1 表中 A 指建筑物的最大楼层面积 (m²)。

2 表中剪力墙以 9.5mm 厚度单侧覆面板，边缘钉距为 150mm，最小钉入深度为 31mm 的墙体为基础给出。当采用其它形式剪力墙时，可按表中数值乘以 $3.5/f_{vt}$ 确定，其中 f_{vt} 为墙体的抗剪切强度设计值 (kN/m)。

3 位于基础顶面和底层之间的架空层剪力墙的最小长度与底层规定相同。

4 当楼面有混凝土面层时，表中剪力墙最小长度应增加 20%。

表 6.1.5-2 按抗风构造要求设计时的剪力墙最小长度

基本风压 (kN/m ²)				最大允许层数	剪力墙最大间距 (m)	剪力的最小长度 (m)		
A	B	C	D			单层、二层或三层的顶层	二层的底层或三层的二层	三层的底层
—	0.30	0.40	0.50	3	10.6	0.34L	0.80L	1.03L
—	0.35	0.50	0.60	3	10.6	0.40L	0.80L	1.20L
0.35	0.45	0.60	0.70	3	7.6	0.51L	1.03L	1.54L
0.40	0.55	0.75	0.80	2	7.6	0.62L	1.25L	—

注：1 表中 L 指垂直于该剪力墙方向的建筑物长度 (m)。

2 表中剪力墙以 9.5mm 厚度单侧覆面板，边缘钉距为 150mm，最小钉入深度为 31mm 的墙体为基础给出。当采用其它形式剪力墙时，可按表中数值乘以 $3.5/f_{vt}$ 确定，其中 f_{vt} 为墙体的抗剪切强度设计值 (kN/m)。

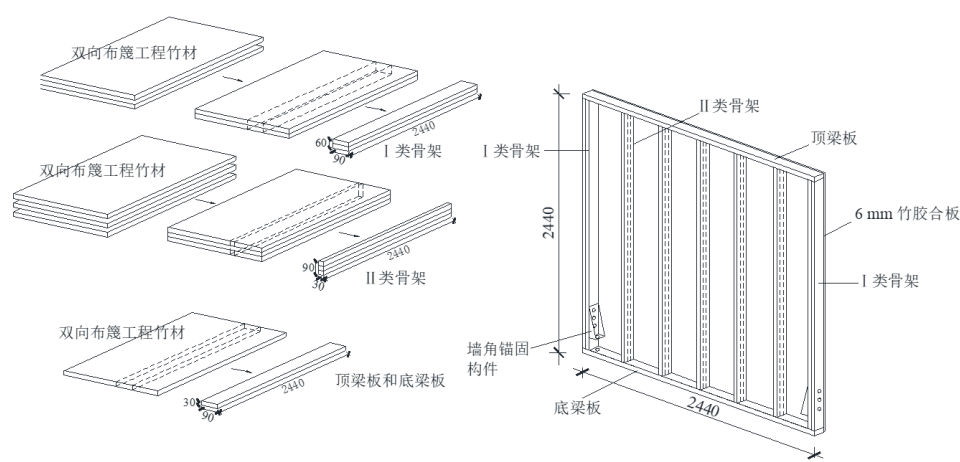
3 位于基础顶面和底层之间的架空层剪力墙的最小长度与底层规定相同。

条文说明：如附表 6.1.5-1 所示，采用 38×89mm 截面的 SPF 规格材、双向布篾竹板作为骨架，1200mm×2400mm×6mm 与 9mm 厚度的竹胶合板和 9.5mm 厚度的 OSB 板为覆面板，以及不同类型钉连接件和相应的布钉间距，所进行的竹、木及竹木复合轻型框架墙体的抗侧向承载能力试验结果如附图 6.1.5-2 所示。

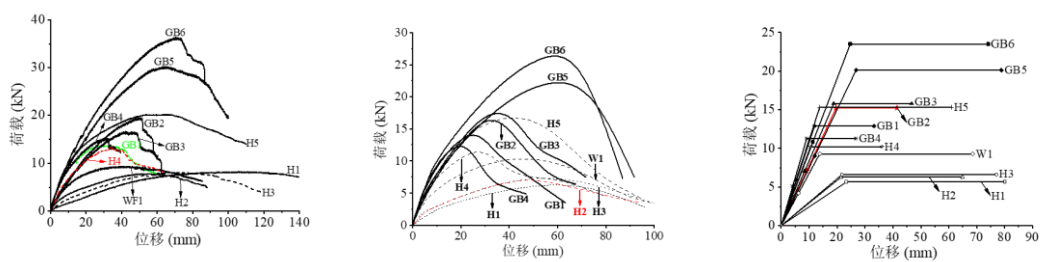
附表 6.1.5-1 竹轻型框架剪力墙实验矩阵

组别	墙体尺寸 (m)	骨架材料	覆面板	钉连接件		连接件间距 (mm)	
				类型	直径 (mm)	边缘	跨中
H1	1.22×2.44	38×89mm SPF	9mm 竹胶合板	50mm 射钉	2.0	150	300
H2				45mm 钢排钉	2.0	150	300
H3						150	150
H4						150	150
H5				50mm 射钉	2.0	150	300
GB1	2.44×2.44	双向布篾 glubam 板	6mm 竹胶合板	45mm 钢排钉	2.0	150	150
GB2				50mm 普通钉	2.5		
GB3				60mm 普通钉	2.8		
GB4			9mm 竹胶合板	45mm 钢排钉	2.0		
GB5				50mm 普通钉	2.5		
GB6				60mm 普通钉	2.8		
W1		38×89mm SPF	9.5mm OSB	45mm 钢排钉	2.0		

其中基于双向布篾板材的 glubam 骨架的具体切割、胶合方法如附图 6.1.5-1 所示：



附图 6.1.5-1 胶合工程竹（glubam）剪力墙的切割、胶合、制作方法（单位：mm）



(a) 单调实验曲线 (b) 滞回实验曲线包络线 (c) 能量等效弹塑性曲线

附图 6.1.5-2 剪力墙实验结果

附表 6.1.5-2 竹轻型框架剪力墙实验数据

组别	单调实验						单调实验				
	P_e	k_e	$P_{\max}$	$\Delta_p \max$	P_u	Δ_m	P_{peak}	V_{peak}	G' (kN/mm)		μ
	(kN)	(kN/mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(kN/m)	0.4	P_{peak}	
H1	1.60	0.17	9.73	151.94	8.84	160.21	+7.28 -5.96	+5.97 -4.89	+0.41	+0.20	3.43
	1.75	0.18	7.76	86.77	6.21	129.47			-0.52	-0.25	
	1.60	0.17	8.44	105.64	7.06	150.00					
H2	3.04	0.31	7.49	62.45	5.99	80.00	+8.64 -6.48	+6.93 -5.31	+0.80	+0.36	3.03
	2.98	0.31	7.96	63.46	6.37	77.00			-0.41	-0.28	
	4.30	0.44	8.64	51.80	6.91	71.00					
H3	2.83	0.29	7.33	59.42	5.86	93.24	+8.29 -7.02	+6.80 -5.75	+0.88	+0.28	3.54
	2.45	0.25	9.08	66.18	7.26	93.17			-0.39	-0.23	
	2.30	0.24	8.46	77.05	6.77	111.25					
H4	5.50	0.56	12.89	34.35	10.31	44.83	+13.10 -10.98	+5.37 -4.50	+0.88	+0.44	3.44
	6.54	0.67	13.57	33.97	10.86	58.82			-1.09	-0.37	
	7.74	0.79	13.84	38.21	11.07	42.85					
H5	8.70	0.89	22.47	71.64	17.98	120.13	+20.15 -15.84	+8.26 -6.49	+1.16	+0.35	4.42
	9.85	1.01	19.38	52.26	15.50	76.53			-1.06	-0.42	
	10.64	1.09	20.87	64.24	16.70	93.90					
GB1	8.81	0.90	14.85	37.31	11.88	46.01	+14.69 -14.90	+6.02 -6.11	+0.92	+0.54	2.78
	10.20	1.04	15.69	30.40	12.55	43.06			-1.34	-0.55	
	7.10	0.73	12.24	25.49	9.79	43.79					
GB2	5.14	0.53	19.02	52.47	15.22	58.01	+18.96 -16.46	+7.77 -6.75	+0.97	+0.56	2.11
	5.71	0.58	19.18	50.99	17.52	52.05			-0.65	-0.48	
	6.65	0.68	21.03	47.75	16.82	56.91					
GB3	6.76	0.69	20.82	58.53	16.75	65.46	+20.42 -16.11	+8.37 -6.60	+1.06	+0.50	2.48
	6.30	0.65	16.80	44.96	14.17	50.21			-0.70	-0.53	
	6.21	0.64	14.75	40.76	11.80	49.12					
GB4	8.06	0.83	15.90	33.50	12.72	48.45	+13.48 -12.48	+5.52 -5.11	+1.14	+0.57	2.93
	8.68	0.89	15.40	27.58	13.54	32.75			-1.37	-0.80	
	9.66	0.99	16.08	35.62	14.03	39.63					
GB5	10.22	1.04	35.79	80.85	28.63	94.06	+22.80 -22.89	+9.34 -9.38	+0.69	+0.31	2.94
	8.27	0.85	27.36	57.53	21.89	72.17			-0.80	-0.42	
	9.98	0.92	31.61	73.05	25.29	98.52					
GB6	9.62	0.99	39.20	79.75	31.36	86.68	+27.77 -27.04	+11.38 -11.08	+0.85	+0.40	3.00
	10.50	1.08	35.65	61.45	28.52	75.12			-1.09	-0.52	
	9.63	0.99	38.60	90.22	30.88	95.95					
W1	5.49	0.56	8.56	31.39	6.85	72.87	10.76 -10.34	+4.41 -4.24	+0.71	+0.24	4.97
	5.59	0.57	9.97	53.65	7.98	65.66			-0.64	-0.23	
	4.83	0.50	10.91	50.71	8.73	73.69					

备注： G' 为对应荷载的割线刚度。

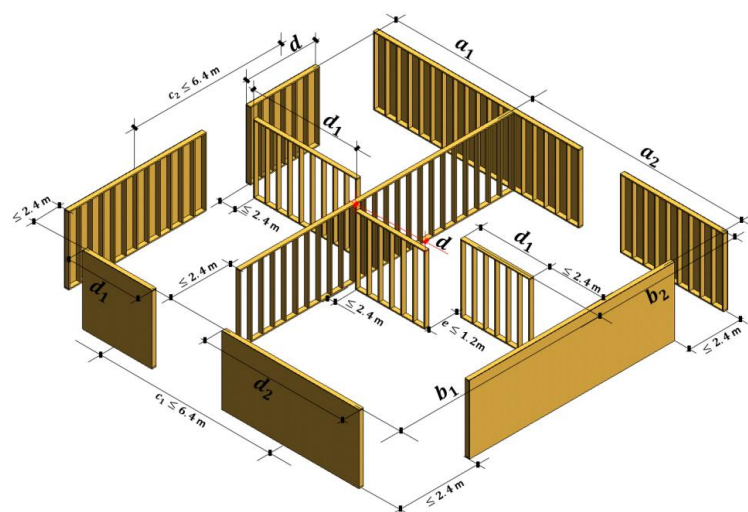
现行《木结构设计标准》GB50005-2017 表中剪力墙以 9.5mm 厚度单侧覆面板，边缘钉距为 150mm，钉直径为 2.84mm，最小钉入深度为 31mm 的墙体为基础给出，其对应的抗剪强度为 3.5kN/m。如附表 6.1.5-2 的实验数据可知：实验所获取的墙体剪切强度均值 V_{peak} 为 6~11 kN/m，相应强度值的协方差（COV）受钉连接件类型的影响较为明显，其中机械钉入钉的离散型显著低于人工钉钉入墙体，但绝大多数情况均小于 15%，参照小样本单侧置信限估算方法给出的剪切强度特征值 $V_{\text{peak},k}$ 为 4.3~7.9 kN/m。再根据 4.1.2 条文说明中所解释的中国标准体系下的强度设计值估算方法可知，如附表 6.1.5-2 所示竹木复合剪力墙的强度设计值为 2.15~4 kN/m 左右。即，强度设计值约等于实验获取的剪力墙承载力均值除以 2.7。值得注意的是，虽然概率意义完全不同，但是其与传统的木结构构件的“安全系数”取为 2.75~3.5 是比较接近的。

参考现行《木结构设计标准》GB 50005-2017 附录 N,表 N.0.2 中的木结构剪力墙抗剪强度估算方法，针对本实验中所采用的非标钉连接件，应乘以 $(d_1/d_2)^2$ 的折减系数， d_2 为标准钉的直径。则按此方法估算出的竹木复合剪力墙的强度设计值为 1.7~3.5 kN/m，其略低于基于实验数据与概率方法所估算的设计值。所以，由此可知竹轻型框架剪力墙的力学性能略优于相应的木结构剪力墙。

综上所述，并考虑到竹材的比强度高于工程木材，且合理设计条件下的竹轻型框架剪力墙和轻型木结构剪力墙的力学性能都受面板-骨架钉连接件的屈服性能所控制，且考虑到相关原材料与建筑的模数要求，故，本规程偏安全的采用轻型木结构剪力墙的相关构造规定。

6.1.6 当抗侧力设计按构造要求进行设计时，剪力墙的设置应符合下列规定：

- 1 单个墙段的墙肢长度不应小于 0.6m，墙段的高宽比不应大于 4:1；
- 2 同一轴线上相邻墙段之间的距离不应大于 6.4m；
- 3 墙端与离墙端最近的垂直方向的墙段边的垂直距离不应大于 2.4m；
- 4 一道墙中各墙段轴线错开距离不应大于 1.2m。



a_1 、 a_2 —横向承重墙之间距离； b_1 、 b_2 —纵向承重墙之间距离； c_1 、 c_2 —承重墙墙段之间距离； d_1 、 d_2 —承重墙墙肢长度； e —墙肢错位距离

图 6.1.6 剪力墙平面布置要求

6.1.7 当按构造要求进行抗侧力设计时，结构平面不规则与上下层墙体之间的错位应符合下列规定：

- 1 上下层构造剪力墙外墙之间的平面错位不应大于楼盖格栅高度的 4 倍，且不应大于 1.2m（图 6.1.7-1）；
- 2 对于进出面没有墙体的单层车库两侧构造剪力墙，或顶层楼盖屋盖外伸的单肢构造剪力墙，其无侧向支撑的墙体端部外伸距离不应大于 1.8m（图 6.1.7-2）；
- 3 相邻楼盖错层的高度不应大于楼盖格栅的截面高度（图 6.1.7-2）；
- 4 楼盖、屋盖平面内开洞面积不应大于四周支撑剪力墙所围合面积的 30%，且洞口的尺寸不应大于剪力墙之间间距的 50%（图 6.1.7-4）

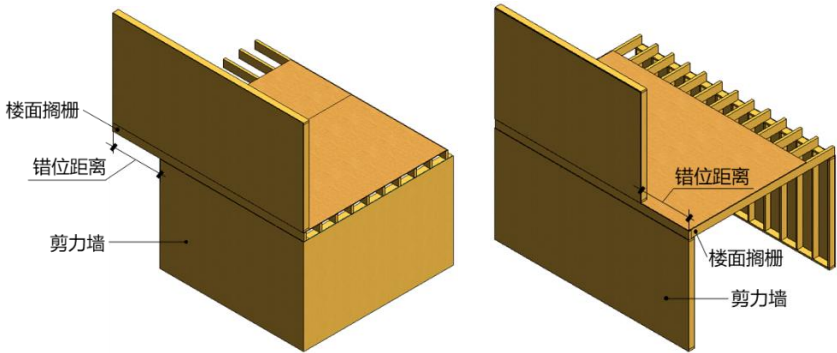


图 6.1.7-1 剪力墙外墙之间的平面错位示意图

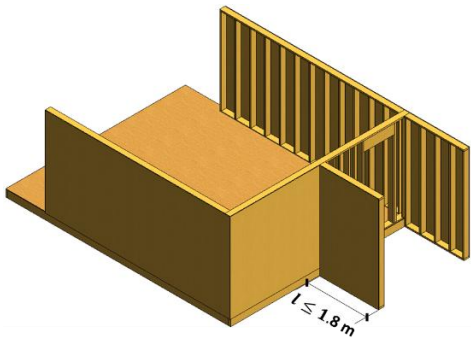


图 6.1.7-2 无侧向支撑的外伸剪力墙示意图

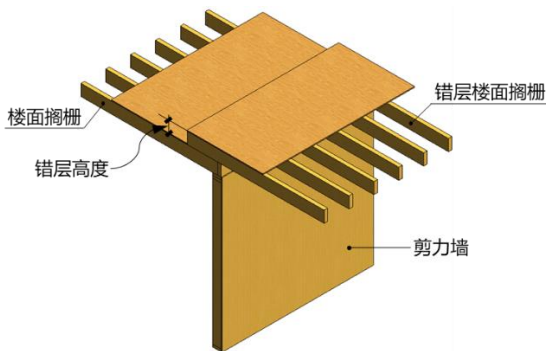


图 6.1.7-3 楼盖错层高度示意图

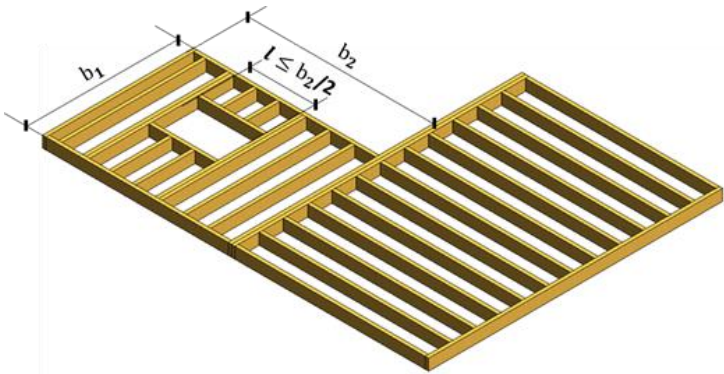


图 6.1.7-4 楼盖、屋盖开洞示意图

6.2 楼盖与屋盖

6.2.1 当楼盖、屋盖格栅两端由墙或梁支撑时，搁栅宜按两端简支的受弯构件进行设计。

条文说明：搁栅通常搁置在墙体之上，各跨之间不连续。因此楼盖、屋盖的搁栅应按简支受弯构件进行强度设计。

6.2.2 当由搁栅支承的墙体与搁栅跨度方向垂直，并离搁栅支座的距离小于搁栅截面高度时，搁栅的抗剪切验算可忽略该墙体产生的作用荷载。

条文说明：当作用在搁栅上的荷载离搁栅支座的距离小于搁栅截面高度时，该荷载由支座直接承担。

6.2.3 竹结构轻型框架建筑的楼、屋盖受剪承载力设计值应按下式计算：

$$V_d \leq f_{vd} B_e \quad (6.2.3)$$

式中： f_{vd} —采用木基及竹基结构板材的楼盖、屋盖抗剪强度设计值（kN/m），按《木结构设计标准》GB 50005-2017 附录 P 确定。

B_e —楼盖、屋盖平行于荷载方向的有效宽度（m）。

条文说明：参见条文说明 6.1.5

6.2.4 楼盖、屋盖平行于荷载方向的有效宽度 B_e 应根据楼盖、屋盖平面开口位置和尺寸（图 6.2.4），按下列规定确定：

1 当 $c < 610\text{mm}$ 时，取 $B_e = B - b$ ；其中， B 为平行于荷载方向的楼盖、屋盖宽度（m）， b 为平行于荷载方向的开孔尺寸（m）； b 不应大于 $B/2$ ，且不应大于 3.5m；

2 当 $c \geq 610\text{mm}$ 时，取 $B_e = B$ 。

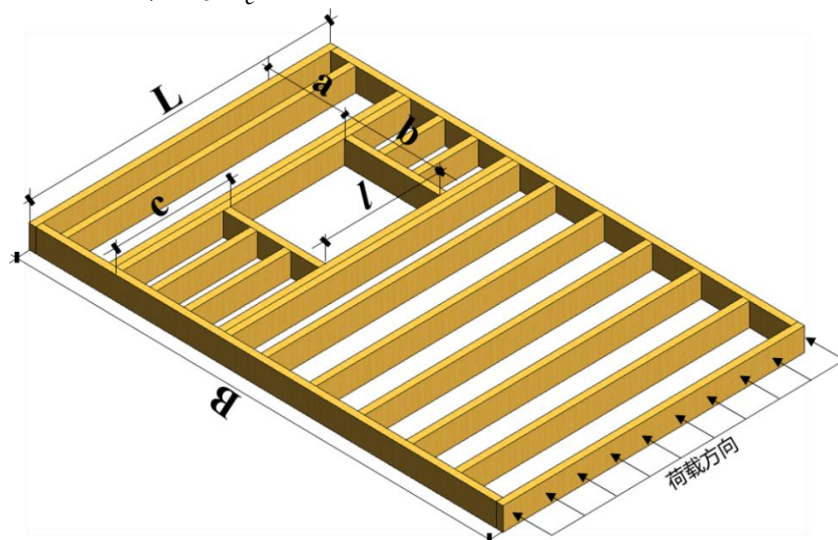


图 6.2.4 楼、屋盖有效宽度计算简图

6.2.5 垂直于荷载方向的楼盖、屋盖的边界杆件及其连接件的轴向力 N 应按下列下式计算：

$$N = \frac{M_1}{B_0} \pm \frac{M_2}{a} \quad (6.2.5-1)$$

均布荷载作用时，简支楼盖、屋盖弯矩设计值 M_1 和 M_2 应分别按下列公式计算：

$$M_1 = \frac{qL^2}{8} \quad (6.2.5-2)$$

$$M_2 = \frac{q_e l^2}{12} \quad (6.2.5-3)$$

式中： M_1 —楼盖、屋盖平面内的弯矩设计值（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

B_0 —垂直于荷载方向的楼盖、屋盖边界杆件中心距（ m ）；

M_2 —楼盖、屋盖开孔长度内的弯矩设计值（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）；

a —垂直于荷载方向的开孔边缘到楼盖、屋盖边界杆件的距离， $a \geq 0.6\text{m}$ ；

q —作用于楼盖、屋盖的侧向均布荷载设计值（ kN/m ）；

q_e —作用于楼盖、屋盖单侧的侧向荷载设计值（ kN/m ），一般取侧向均布荷载 q 的一半；

L —垂直于荷载方向的楼盖、屋盖长度（ m ）；

l —垂直于荷载方向的开孔尺寸（ m ）， l 不应大于 $B/2$ ，且不应大于 3.5m 。

条文说明：

在水平荷载作用下，横隔可以被视为简支深梁，此深梁的上、下“翼缘”是横隔的边界杆件，即横隔下剪力墙的顶梁板或屋盖中的承椽板，有时还包括封头或封边搁栅等。搁栅或椽条上铺钉的覆面板则可视为深梁的“腹板”。横隔平面内的剪力和弯矩均可按简支梁计算。横隔的弯矩由封边杆件承担，其轴力可按下式计算：

$$N = \pm \frac{qL^2}{8B_0} \quad (2)$$

式中： B_0 —横隔的高度；

L —横隔的跨度；

q —横隔所受的风荷载或地震水平作用。

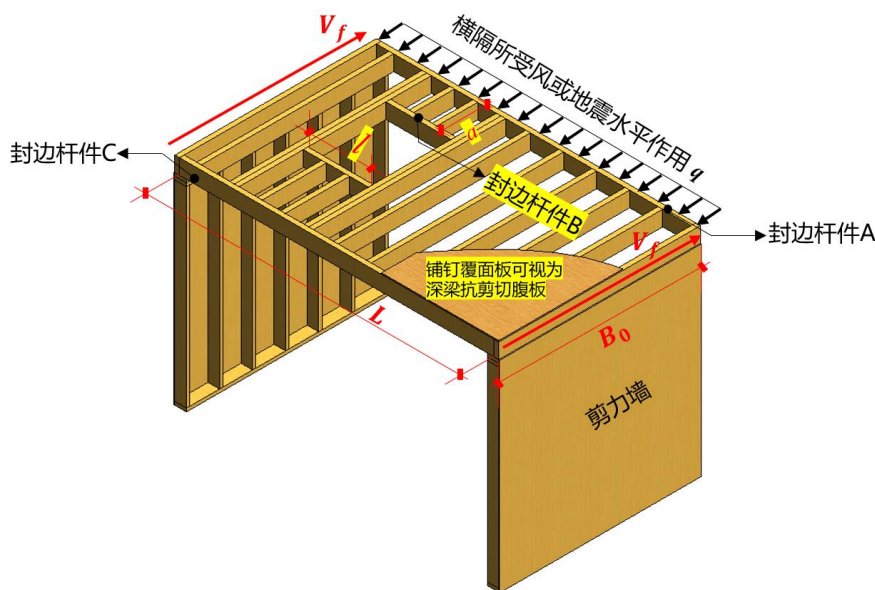
当横隔边部开较大洞口时（附图 6.2.5），封边杆件 A 的压力可按下式计算：

$$N_A = \frac{qL^2}{8B_0} + \frac{ql^2}{\beta a} \quad (3)$$

封边杆件 B 的拉力为：

$$T_B = \frac{ql^2}{\beta a} \quad (4)$$

式中： β —弯矩计算系数，按图示中所示宽度为 a 的条带，按简支梁计算 $\beta=8$ ，按两端固支梁计算 $\beta=16$ 。

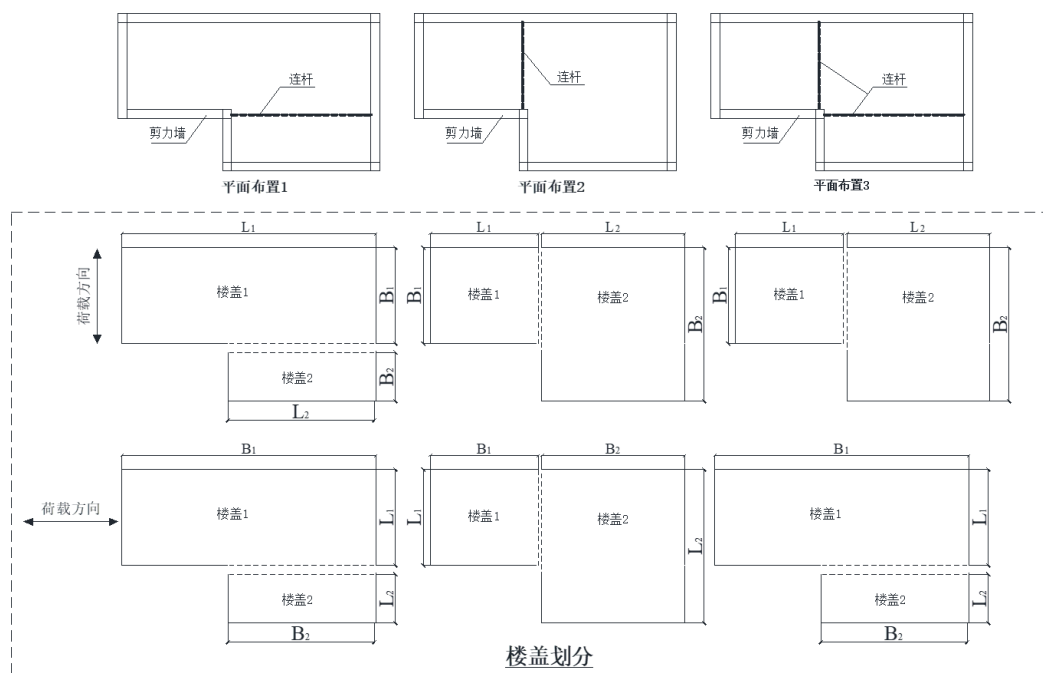


附图 6.2.5 开洞横搁内力分析

6.2.6 平行于荷载方向的楼盖、屋盖的边界构件，当作用在边界杆件上下的剪力分布不同时，应验算边界杆件的轴向力。

6.2.7 在楼盖、屋盖长度范围内的边界杆件宜连续。当中间断开时，应采取能够抵抗所承担轴向力的加固连接措施。楼盖、屋盖的覆面板不应作为边界杆件的连接板。

6.2.6-6.2.7 条文说明：平行于荷载方向的边界杆件应连续布置，确保楼盖、屋盖在水平荷载作用下剪力的传递。当支承楼盖、屋盖的下部剪力墙没有沿楼盖全长布置时，在各剪力墙边缘会出现应力集中，此时应对边界杆件进行承载力验算，以保证足够的承载力。边界杆件一般可以是楼盖、屋盖的边界搁栅、下部剪力墙的顶梁板或者是布置在楼盖、屋盖中的连杆（当剪力墙没有沿楼盖、屋盖全长布置时，剪力墙墙肢之间或剪力墙墙肢与边界杆件之间应设置连杆，将楼盖、屋盖的荷载有效传递到剪力墙）。附图 6.2.7 列出了不规则平面设置连杆的示意图。设置连杆的目的是保证楼盖、屋盖在水平荷载作用下剪力的传递。



附图 6.2.7 楼盖、屋盖中的连杆

6.2.8 当楼盖、屋盖边界杆件同时承受轴力和楼盖、屋盖传递的竖向力时，杆件应按压弯或拉弯构件设计。

条文说明：相关轴心受力构件、受弯构件以及压弯或拉弯构件的计算方法，可参考《木结构设计标准》GB 50005-2017 第五章相关规定。

6.3 剪力墙

6.3.1 墙骨柱应按两端铰接的受压构件设计，构件在平面外的计算长度应为墙骨柱长度，平面内可仅进行强度验算。

条文说明：墙骨柱两端与顶梁板和底梁板一般用钉连接，因此可将墙骨柱与顶梁板和底梁板的连接假定为铰接。构件在平面外的计算长度为墙骨柱长度。由于墙骨柱两侧的覆面板可阻止构件平面外失稳，因此构件在平面内只需要进行强度验算。

6.3.2 当墙骨柱的轴向压力的初始偏心距为零时，初始偏心距应按 0.05 倍的构件截面高度确定。

6.3.3 外墙墙骨柱应考虑风荷载效应组合，并按两端铰接的压弯构件设计。当外墙围护材料采用砖石等较重材料时，应考虑围护材料产生的墙骨柱平面外地震作用。

6.3.4 轻型竹结构剪力墙应按下列规定进行设计：

1 剪力墙墙肢的高宽比不应大于 3.5。

2 单面采用竖向或水平铺板（图 6.3.4）的轻型竹结构剪力墙受剪承载力设计值应按下式确定：

$$V_d = \sum f_{vd} k l \quad (6.3.4)$$

式中： f_{vd} —单面覆面的剪力墙抗剪强度设计值（kN/m），按《木结构设计标准》GB 50005-2017 附录 N 确定；

l —平行于荷载方向的剪力墙墙肢长度（m）；

k —无横撑水平铺板的强度调整系数，按表 6.3.4 规定取值。

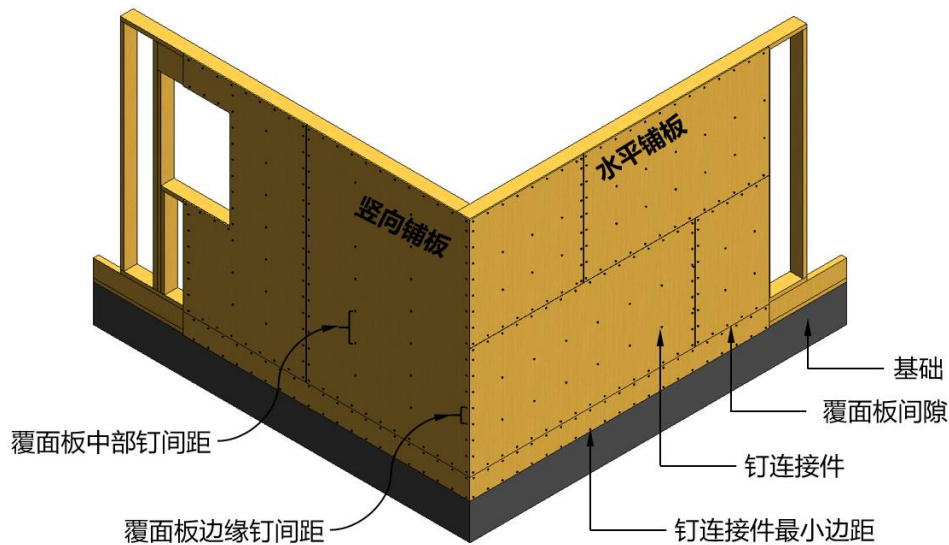


图 6.3.4 剪力墙铺板示意图

表 6.3.4 无横撑水平铺设面板的剪力墙强度调整系数 k

边缘钉间距 (mm)	中间钉间距 (mm)	墙骨柱间距 (mm)			
		300	400	500	600
150	150	1.0	0.8	0.6	0.5
150	300	0.8	0.6	0.5	0.4

注：墙骨柱柱间无横撑剪力墙的抗剪强度可将有横撑剪力墙的抗剪强度乘以抗剪调整系数。有横撑剪力墙的面板边缘上钉的间距为 150mm，中间部位钉的间距为 300mm。

3 对于双面铺板的剪力墙，无论两侧是否采用相同材料的结构板材，剪力墙的受剪承载力设计值应取墙体两面受剪承载力设计值之和。

条文说明：参见条文说明 6.1.5。

6.3.5 剪力墙两侧边界杆件所受的轴向力应按下列式计算：

$$N = \frac{M}{B_0} \tag{6.3.5}$$

式中： N —剪力墙边界杆件的拉力或压力设计值（kN）；
 M —侧向荷载在剪力墙平面内产生的弯矩（kN·m）；
 B_0 —剪力墙两侧边界构件的中心距（m）。

6.3.6 剪力墙边界杆件在长度上宜连续。当中间断开时，应采取能够抵抗所承担轴向力的加强连接措施。剪力墙的覆面板不应作为边界杆件的连接板。

6.3.7 当进行抗侧力设计时，剪力墙墙肢应进行抗倾覆验算。墙体与基础应采用金属连接件进行连接。

条文说明：剪力墙平面内的弯矩由剪力墙两端的边界墙骨柱承受。在验算受拉边界构件时，当上拔力大于重力荷载时，应设置抗拔紧固件将上拔力传递到下部结构；在验算受压边界构件时，应考虑上部结构传来的竖向力与平面外荷载的共同作用。

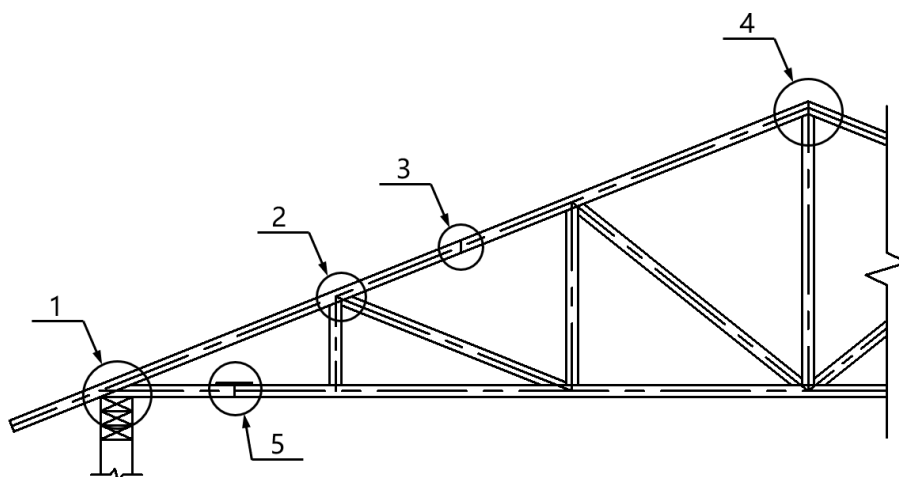
6.4 桁架

6.4.1 轻型竹木桁架的设计、构造和对各类相应节点的计算假定除应符合本标准规定外，尚应符合现行行业标准《轻型木桁架技术规范》JGJ/T 265 的相关规定。

条文说明：在轻型竹结构的屋盖系统中，可采用轻型竹桁架来代替椽条和搁栅。轻型竹桁架一般在工厂预制后运抵现场安装。相对于椽条和搁栅，其跨度较大且材料使用量较小。其主要分为三角形桁架和平行弦桁架。

6.4.2 桁架静力计算模型应满足下列条件：

- 1 弦杆应为多跨连续杆件；
- 2 弦杆在屋脊节点、变坡节点和对接节点（图 6.4.2）处应为铰接节点；
- 3 弦杆对接节点处用于抗弯时应为刚接节点；
- 4 腹杆两端节点应为铰接节点；
- 5 桁架两端与下部结构连接一端应为固定铰支，另一端应为活动铰支。



1-支座端节点；2-腹杆节点；3-对接节点；4-屋脊节点；5-搭接节点

图 6.4.2 桁架节点类型示意图

6.4.3 桁架构件设计时，各杆件的轴力与弯矩值的取值应符合下列规定：

- 1 杆件的轴力应取杆件两端轴力的平均值；
- 2 弦杆节间弯矩应取该节间所承受的最大弯矩；
- 3 对拉弯或压弯杆件，轴力应取杆件两端轴力的平均值，弯矩应取杆件跨中弯矩与两端弯矩中较大者。

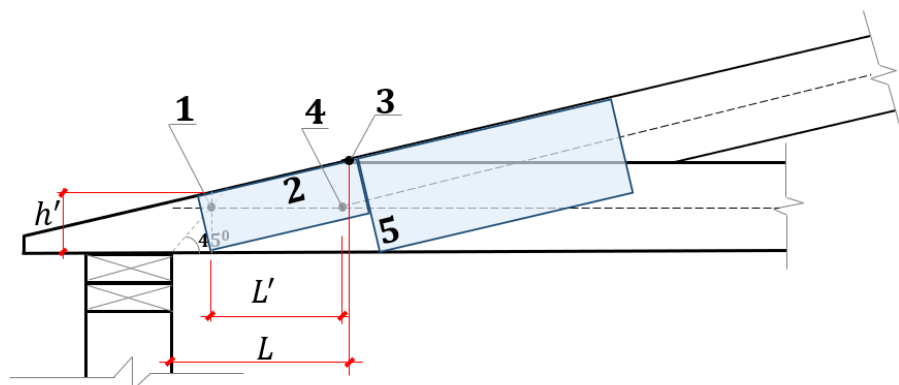
6.4.4 验算桁架受压构件的稳定时，其计算长度 l_0 应符合下列规定：

- 1 平面内，应取节点中心间距的 0.8 倍；
- 2 平面外，屋架上弦应取上弦与相邻檩条连接点之间的距离，腹杆应取节点中心距离，若下弦受压时，其计算长度应取侧向支撑点之间的距离；

6.4.5 当桁架数量大于或等于三榀且桁架之间的间距不大于 610mm，并且所有桁架均与楼面板或屋面板有可靠连接时，桁架弦杆的抗弯强度设计值 f_m 可以乘以 1.15 的共同作用系数。

6.4.6 金属齿板节点设计时，作用于节点上的力应取与该节点相连杆件的杆端内力。

6.4.7 当桁架端部采用梁式端节点时（图 6.4.7），在支座内侧支承点上的下弦杆截面高度不应小于 1/2 原下弦杆截面高度或 100mm 两者中的较大值，并按下列规定验算该端支座节点的承载力：



1-投影交点；2-抗剪齿板；3-上弦杆起始点；4-上下弦杆轴线节点；5-主要齿板

图 6.4.7 桁架梁式端节点示意图

1 端节点抗弯验算时，用于抗弯验算的弯矩应为支座反力乘以从支座内侧边缘到上弦杆起始点的水平距离 L （图 6.4.7）。

2 当图 6.4.7 中的投影交点比上、下弦杆轴线交点更接近桁架端部时，端节点应进行抗剪验算。桁架端部下弦的受剪承载力应按下列公式验算：

$$\frac{1.5V}{nbh'} \geq f_v \quad (6.4.7-1)$$

式中： b —单榀下弦杆件截面宽度（mm）；

f_v —对应剪切方向的抗剪强度设计值（MPa）；

V —梁端支座总反力（N）；

n —当由多榀相同尺寸的竹木桁架形成组合桁架时， n 为形成组合桁架的桁架榀数；

h' —下弦杆在投影交点处的截面计算高度（mm）；

3 当桁架端部下弦的受剪承载力不满足公式（6.4.7-1）时，梁端应设置抗剪齿板。抗剪齿板的尺寸应覆盖上下弦杆轴线交点与投影交点之间的距离 L' ，且强度应符合下列规定：

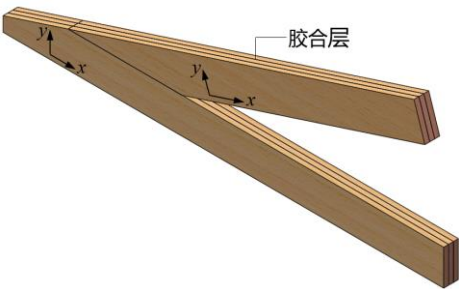
- 1) 下弦杆轴线上、下方的齿板截面受剪承载力均能抵抗梁端节点净剪力 V_1 ；
- 2) 沿着下弦杆轴线的齿板截面受剪承载力应能抵抗梁端节点净剪力 V_1 ；
- 3) 梁端节点净剪力应按下列公式计算：

$$V_1 = \left(\frac{1.5V}{nbh'} - bf_v \right) L' \quad (6.4.7-2)$$

式中： b —上下弦杆轴线交点与投影交点之间的距离（mm）。

条文说明：针对齿板连接件在胶合竹中的应用进行的实验研究（彭琦《齿板连接glubam 胶合竹桁架受力性能研究》）表明：在合理设计与充分压入的前提下，通过齿板连接的 Glubam 桁架可以通过验算齿板连接的板齿承载力、抗拉承载力、抗剪承载力和剪-拉复合承载力估算竹桁架节点连接的承载力。有鉴于此，本规程参考《轻型木桁架技术规范》JGJ/T 265 的规定给出了相关条文。其中具体的齿板强度设计值应按《轻型木桁架技术规范》JGJ/T 265 附录 A 所规定的实验与概率估算方法确定，其中 α 取为荷载方向与工程竹材主纤维方向（x 方向）的夹角。

胶合竹材在不同方向的剪切强度具有显著差异，所以本条中的抗剪强度设计值应当视下弦杆的具体胶合方式结合本规程条文 4.1.2 取用。如附图 6.4.7 所示，以主纤维方向冷压胶合而形成的下弦杆，则其所对应的剪切强度值为 $f_{v,xy}$ 。



附图 6.4.7 杆件组坯胶合方向示意图

6.4.8 对于由不多于 5 榀的多榀桁架组成的组合桁架，作用于组合桁架的荷载应由每榀桁架均匀承担。当多榀桁架之间采用钉连接时，钉的承载力应按下式验算：

$$q(\frac{n-1}{n})(\frac{s}{n_r})\leqslant N_v \tag{6.4.8}$$

式中： N_v —钉连接的受剪承载力设计值（N）；

n —组成组合桁架的桁架榀数；

s —钉连接的间距（mm）；

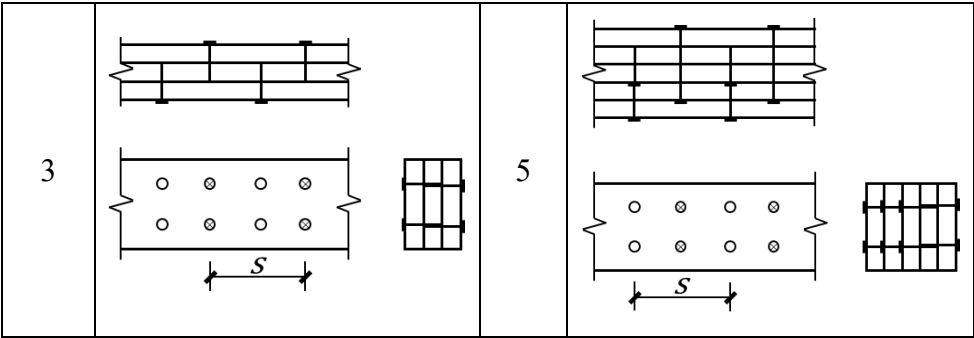
n_r —钉列数；

q —作用于组合桁架的均布线荷载。

同时每榀桁架之间的钉连接还应满足下表要求：

表 6.4.8 不同榀数组合桁架的钉接方式

桁架榀数	钉接方式	桁架榀数	钉接方式
2		4	



注：1. 3 榀及 3 榀以上桁架组合成整体时，不同榀之间的钉间距应相互交错；2. 4 榀及 5 榀桁架组合成整体时，除用钉连接外，每节间内应用一根直径大于 13mm 的螺栓将各榀桁架连成整体。

条文说明：每一榀桁架所承担的力和该榀桁架的相对刚度有关。由于组合桁架是由多榀相同的桁架组成，所以假定每榀桁架承担相同的荷载是合理的。另外，多榀相同桁架的共同作用可抵消因每榀桁架受力不均所带来的影响。桁架上下弦的永久支撑可减少偏心，平面外变形以及下弦杆扭转所造成的影响。

对于由三榀桁架组成的组合桁架，各榀桁架之间的连接可以用钉将外部的桁架直接与中间的桁架连接。对于由多余三榀桁架组成的组合桁架，除了用钉连接以外，还需要用螺栓或其它连接件将其组成组合桁架的各榀桁架连接起来，而不能仅通过钉连接。在设计时，只能考虑一类连接件（钉、螺栓或其它连接件）来传递各榀桁架之间的荷载，不可将两类不同的连接件的承载力叠加。

当作用于组合桁架的荷载来自一边时，用于连接第一榀桁架和其它桁架之间的连接件需传递较大的荷载。例如，假设由三榀桁架组成的组合桁架的每榀桁架承担相同的荷载，则第一榀和第二榀桁架之间的连接件需传递第二榀和第三榀桁架荷载的总和（ $2/3$ 作用于组合桁架的荷载）。

6.4.9 屋架与下部结构的连接应符合下列规定：

1 当桁架不承受上拔作用力时，屋架与下部结构应采用钉连接，钉的数量不应少于 3 枚，钉长度不应小于 80mm。屋盖端部以及洞口两侧的桁架宜采用金属连接件连接，间距不应大于 2.4m。

2 当屋架端部承受上拔作用力时，每间隔不大于 2.4m 的距离，应有一榀屋架与下部结构之间采用金属抗拔连接件进行连接。

6.5 构造要求

6.5.1 剪力墙骨柱应符合下列规定：

- 1 墙体平面应与竹胶板面层（ x - y 平面）垂直，禁止在工程竹板材厚度平面上开孔；
- 2 承重墙的墙骨柱截面尺寸应由计算确定；
- 3 墙骨柱在层高内应连续，可采用指接连接，但不应采用连接板进行连接；
- 4 墙骨柱间距不应大于 610mm；
- 5 墙骨柱在墙体转角和交接处应进行加强，转角处的墙骨柱数量不应少于 3 根（图 6.5.1）；
- 6 开孔宽度大于墙骨柱间距的墙体，开孔两侧的墙骨柱应采用双柱，开孔宽度小于或等于墙骨柱间净距并位于墙骨柱之间的墙体，开孔两侧可用单根墙骨柱；
- 7 墙骨柱的最小截面尺寸和最大间距尚需符合《木结构设计标准》GB 50005 附录 B 第 B.2 节的规定；
- 8 对于非承重墙体的门洞，当墙体需要考虑耐火极限的要求时，门洞边应至少采用两根截面高度与底梁板宽度相同的规格材进行加强。

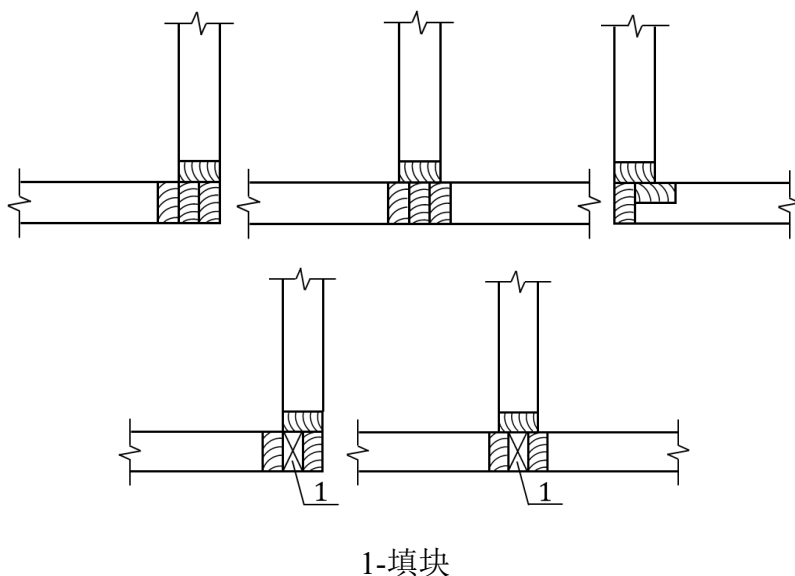


图 6.5.1 墙骨柱在转角处和交接处加强示意

条文说明：竹板材作为一种生物纤维增强材料，在其胶合层厚度上开孔，将对板材的力学性能造成严重的损坏，并导致分层破坏。

墙骨柱的竖向荷载承载力与墙骨柱本身截面的高度、墙骨柱之间的间距以及层高有关。竖向荷载作用下的墙骨柱的侧向弯曲和截面宽度与墙骨柱的高度比值有关。如果截面高度方向与墙面垂直，则覆面板约束了墙骨柱的侧向弯曲，进而有效提高了墙体的承载力。故墙骨柱截面高度方向应与墙面垂直。墙骨柱截面的长边与楼面板平行时，该墙仅可用于无阁楼的屋顶山墙部分或非承重墙。所有承重墙的墙骨柱至少应有一侧有墙面板。

开孔两侧的双墙骨柱是为了加强开孔边构件传递荷载的能力。

6.5.2 墙体应符合下列规定：

1 墙体底部应有底梁板或地梁板，底梁板或地梁板在支座上突出的尺寸不应大于墙体宽度的 $1/3$ ，宽度不应小于墙骨柱的截面高度。

2 墙体顶部应有顶梁板，其宽度不应小于墙骨柱截面的高度；承重墙的顶梁板不宜小于两层；非承重墙的顶梁板可为单层。

3 多层顶梁板上、下层的接缝应至少错开一个墙骨柱间距，接缝位置应在墙骨柱上；在墙体转角和交接处，上、下层顶梁板应交错互相搭接；单层顶梁板的接缝应位于墙骨柱上，并宜在接缝处的顶面采用镀锌薄钢带以钉连接。

6.5.3 当承重墙的开洞宽度大于墙骨柱间距时，应在洞顶加设由计算确定的过梁。

6.5.4 当最大墙骨柱间距为 410mm 时，板材的最小厚度不应小于 9mm；当最大墙骨柱间距为 610mm 时，板材的最小厚度不应小于 11mm。

6.5.5 当墙面板采用石膏板做面板，且最大墙骨柱间距为 410mm 时，板材的最小厚度不应小于 9mm；当最大墙骨柱间距为 610mm 时，板材的最小厚度不应小于 12mm。

6.5.6 墙面板的设置应符合下列规定：

1 墙面板相邻面板之间的接缝应位于骨架构件上，面板可水平或竖向铺设，面板之间应留有不小于 3mm 的缝隙。

2 墙面板的尺寸不应小于 $1.2\text{m}\times 2.4\text{m}$ ，在墙面边界或开孔处，可使用宽度不小于 300mm 的窄板，但不应多于两块；当墙面板的宽度小于 300mm 时，应加设用于固定墙面板的填块。

3 当墙体两侧均有面板，且每侧面板边缘钉间距小于 150mm 时，墙体两侧面板的接缝应互相错开一个墙骨柱的间距，不应固定在同一根骨架构件上；当骨架构件的宽度大于 65mm 时，墙体两侧面板拼缝可固定在同一根构件上，但钉应交错布置。

条文说明：施工时应采用正确的施工方法保证剪力墙能满足设计承载力的要求。为了适应板材变形，板材之间应留有 3mm 空隙。板材随着含水率的变化，空隙的宽度会有所变化。

6.5.7 楼盖应采用间距不大于 610mm 的楼盖搁栅、竹木基结构板的楼面结构层，以及结构板或石膏板铺设的吊顶组成。楼盖搁栅应采用工程竹木产品，截面尺寸由计算确定。

条文说明：搁栅在均布荷载作用下，受荷面积等于跨度乘以搁栅间距。在大部分的楼盖体系中，互相平行的搁栅数量大于 3 根。3 根以上互相平行、等间距的构件在荷载作用下，其承载能力会因为空间协同受力作用而高于单梁模型的计算结果。所以，在设计楼盖搁栅的抗弯承载力时，可将抗弯强度设计值乘以 1.15 的调整系数。当按使用极限状态设计楼盖时，则不需考虑构件的共同作用。

6.5.8 楼盖搁栅在支座上的搁置长度不应小于 40mm。在靠近支座部位的搁栅底部宜采用连续底撑、搁栅横撑或剪刀撑（图 6.5.8）。底撑、搁栅横撑或剪刀撑在搁栅跨度方向的间距不应大于 2.1m。当搁栅与板条或吊顶板直接固定在一起时，搁栅间可不设置支撑。

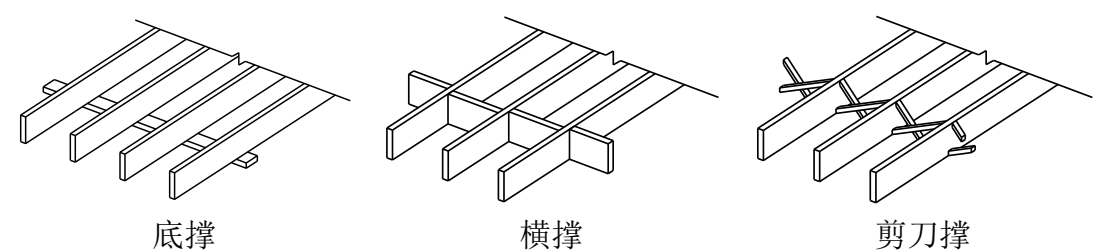


图 6.5.8 搁栅间支撑示意

条文说明：如果搁置长度不够，会导致搁栅或支座破坏。最小搁置长度的要求也是搁栅与支座钉连接的要求。搁栅底撑、间撑和剪刀撑来提高楼盖体系抗变形和抗振动能力。

6.5.9 楼盖开孔的构造（图 6.5.9）应符合下列规定：

- 1 对于开孔周围与搁栅垂直的封头搁栅，当长度大于 1.2m 时，封头搁栅应采用两根；当长度超过 3.2m 时，封头搁栅的尺寸应由计算确定。
- 2 对于开孔周围与搁栅平行的封边搁栅，当封头搁栅长度超过 800mm 时，封边搁栅应采用两根；当封头搁栅长度超过 2.0m 时，封边搁栅的截面尺寸应由计算确定。
- 3 对于开孔周围的封头搁栅以及被开孔切断的搁栅，当依靠楼盖搁栅支撑时，应选用合适的金属搁栅托架或采用正确的钉连接方式。

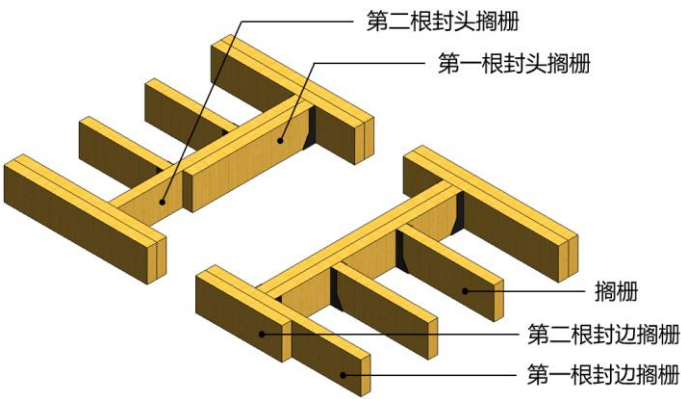


图 6.5.9 搁栅间支撑示意

条文说明：在楼梯开孔周围，被截断的搁栅的端部应支承在封头搁栅上，封头搁栅应支承在楼盖搁栅或封边搁栅上。封头搁栅所承受的荷载值根据所支承的被截断的搁栅数目计算，被截断搁栅的跨度越大，承受的荷载越大。封头搁栅或封边搁栅是否需要采用双层加强或通过计算设计，取决于封头搁栅的跨度。

一般来说，开孔时为了降低封头搁栅的跨度，会将开孔长边布置在平行于搁栅的方向。

6.5.10 支承墙体的楼盖搁栅应符合下列规定：

- 1 平行于搁栅的非承重墙，应位于搁栅或搁栅间的横撑上，横撑截面不小于 $40\text{mm} \times 90\text{mm}$ ，间距不大于 1.2m ；
- 2 平行于搁栅的承重内墙，不应支撑于搁栅上，应支撑于梁或墙上；
- 3 垂直于搁栅或与搁栅相交的角度接近垂直的非承重内墙，其位置可设置在搁栅上任何位置；
- 4 垂直于搁栅的承重内墙，距搁栅支座不应大于 610mm ，否则，搁栅尺寸应由计算确定。

条文说明：一般来讲，位于搁栅上的非承重隔墙引起的附加荷载较小，不需要另外增加加强搁栅。但是，当平行于搁栅的搁栅不位于搁栅上时，隔墙的附加荷载可能会引起楼面板变形。在这种情况下，应在隔墙下搁栅间，按 1.2m 中心间距布置截面 $40\text{mm} \times 90\text{mm}$ 、长度为搁栅净距的填块，填块两端支承在搁栅上，并将隔墙荷载传至搁栅。

对于承重墙，墙下搁栅可能会超出设计承载力。当承重隔墙与搁栅平行时，承重隔墙应由下层承重墙体或梁承载。当承重隔墙与搁栅垂直时，如隔墙仅承担上部阁楼荷载，承重隔墙与支座的距离不应大于 900mm 。如隔墙承载上部一层楼盖时，承重墙与支座的距离不应大于 610mm 。

6.5.11 带悬挑的楼盖搁栅（图 6.5.11），当其截面尺寸为 $40\text{mm} \times 185\text{mm}$ 时，悬挑长度不应大于 400mm ；当其截面尺寸不小于 $40\text{mm} \times 235\text{mm}$ 时，悬挑长度不应大于 600mm 。未作计算的搁栅悬挑部分不应承受其它荷载。当悬挑搁栅与主搁栅垂直时，未悬挑部分长度不应小于其悬挑部分长度的 6 倍，其端部应根据连接构造要求与两根边框梁用钉连接。

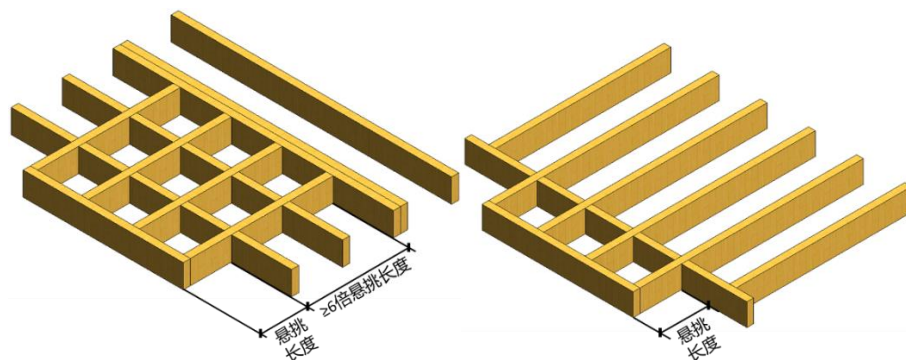


图 6.5.11 悬挑搁栅构造示意图

6.5.12 楼面板的设置应符合下列规定：

- 1 楼面板的厚度及允许楼面活荷载标准值应符合表 6.5.12 的规定。

表 6.5.12 楼面板厚度及其允许楼面活荷载标准值

最大搁栅间距 (mm)	竹木基结构板的最小厚度 (mm)	
	$Q_k \leq 2.5 \text{ kN/m}^2$	$2.5 \text{ kN/m}^2 < Q_k < 5.0 \text{ kN/m}^2$
410	15	15
500	15	18
610	18	22

2 楼面板的尺寸不应小于 $1.2\text{m} \times 2.4\text{m}$ ，在楼盖边界或开孔处，允许使用宽度不小于 300mm 的窄板，但不应多于两块；当结构板的宽度小于 300mm 时，应加设填块固定。

3 铺设结构板材时，板材长度方向应与搁栅垂直，宽度方向的接缝应与搁栅平行，并应相互错开不少于两根搁栅的距离。

4 楼面板的接缝应连接在同一搁栅上。

6.5.13 屋盖可以用标准规格的板材制作的、间距不大于 610mm 的轻型桁架构成；当跨度较小时，也可直接由屋脊板或屋脊梁、椽条和顶棚搁栅等构成。桁架、椽条和顶棚搁栅的截面应由计算确定，并应有可靠的锚固和支撑。

6.5.14 屋盖系统的椽条或搁栅应符合下列规定：

- 1 椽条或搁栅沿长度方向应连续，但可用连接板在竖向支座上连接；
- 2 椽条或搁栅在边支座上的搁置长度不应小于 40mm ；
- 3 屋谷和屋脊椽条的截面高度应比其它处椽条的截面高度大 50mm （图 6.5.14-1）；

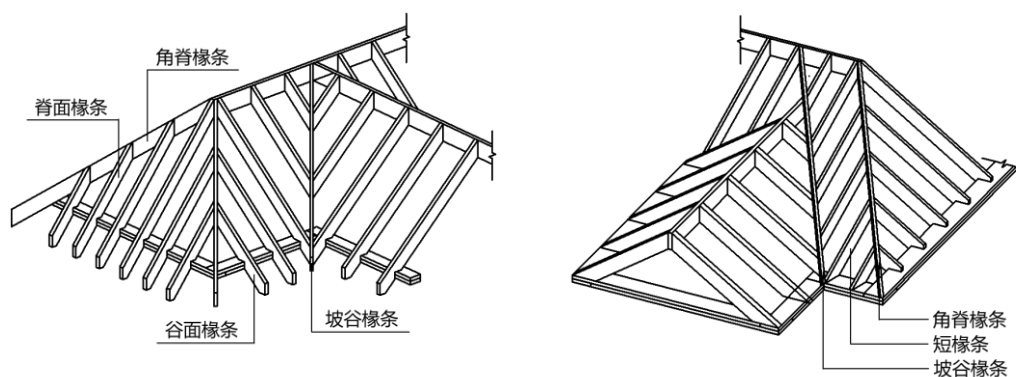
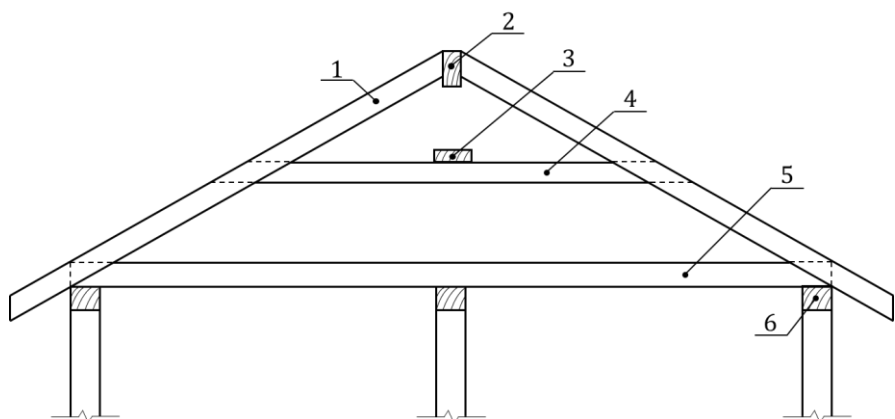


图 6.5.14-1 屋谷和屋脊椽条的布置

4 椽条或搁栅在屋脊处可由承重墙或支承长度不小于 90mm 的屋脊梁支撑；椽条的顶端在屋脊两侧应采用连接板或按钉连接的构造要求相互连接；

5 当椽条连杆跨度大于 2.4m 时，应在连杆中部加设通长纵向水平系杆，系杆截面尺寸不应小于 $20\text{mm} \times 90\text{mm}$ （图 6.5.14-2）；



1-椽条；2-屋脊板；3-纵向水平系杆；4-椽条连杆；5-顶棚搁栅；6-顶梁板
图 6.5.14-2 椽条连杆加设通长纵向水平系杆示意图

- 6 当椽条连杆的截面尺寸不小于 $40\text{mm} \times 90\text{mm}$ 时，对于屋面坡度大于 1:3 的屋盖，可将椽条连杆作为椽条的中间支座；
- 7 当屋面坡度大于 1:3，且屋脊两侧的椽条与顶棚搁栅的钉连接符合表 6.5.14 的规定时，屋脊板可不设置支座。

表 6.5.14 椽条与顶棚搁栅钉连接最少钉数

屋面坡度	椽条间距 (mm)	钉长 $\geq 80\text{mm}$ ，钉直径 $d \geq 2.8\text{mm}$	
		房屋宽度为 8m	房屋宽度为 9.8m
1:3	400	4	5
	610	6	8
1:2.4	400	4	6
	610	5	7
1:2	400	4	4
	610		5
1:1.71	400		4
	610		5
1:1.33	400		4
	610		
1:1	400		
	610		

- 6.5.15 当屋面或吊顶开孔大于椽条或搁栅间距离时，开孔周围的构件应按本标准第 6.5.9 条的规定进行加强。
- 6.5.16 上人屋顶的屋面板应符合本标准第 6.5.12 条对楼面板的规定。对于不上人屋顶的屋面板应符合下列规定：
- 1 屋面板的厚度及允许屋面荷载的标准值应符合表 6.5.16 的规定。

表 6.5.16 屋面板厚度及允许屋面活荷载标准值

支撑板的间距 (mm)	屋面板的最小厚度 (mm)	
	$G_k \leq 0.3 \text{ kN/m}^2$ $S_k \leq 2.0 \text{ kN/m}^2$	$0.3 \text{ kN/m}^2 < G_k \leq 1.3 \text{ kN/m}^2$ $S_k \leq 2.0 \text{ kN/m}^2$
410	9	11
500	9	11
610	12	12
注：当恒荷载标准值 $G_k > 1.3 \text{ kN/m}^2$ 或雪荷载标准值 $S_k > 2.0 \text{ kN/m}^2$ ，轻型竹结构的构件及连接不能按构造设计，而应通过计算进行设计。		

2 屋面板的尺寸不应小于 $1.2\text{m} \times 2.4\text{m}$ ，在屋盖边界或开孔处，允许使用宽度不小于 300mm 的窄板，但不应多于两块；当屋面板的宽度小于 300mm 时，应加设填块固定。

3 铺设结构板材时，板材长度方向应与椽条或木桁架垂直，宽度方向的接缝应与椽条或木桁架平行，并应相互错开不少于两根椽条或木桁架的距离。

4 屋面板接缝应连接在同一椽条或木桁架上，板与板之间应留有不小于 3mm 的空隙。

6.5.17 结构构件之间采用钉连接时，钉的直径不应小于 2.8mm，并应符合表 6.5.17-1 的规定。楼面板、屋面板及墙面板与轻型竹结构构架的钉连接应符合表 6.5.17-2 的规定。

表 6.5.17-1 结构构件之间的钉连接要求

序号	连接构件名称	最小钉长 (mm)	钉的最少数量或最大间距 钉距直径 $d \geq 2.8\text{mm}$
1	楼盖搁栅与墙体顶梁板或底梁板——斜向钉合	80	2 颗
2	边框梁或封边板与墙体顶梁板或底梁板——斜向钉合	80	150mm
3	楼盖搁栅底撑或扁钢底撑与楼盖搁栅	60	2 颗
4	搁栅间剪刀撑和横撑	60	每端 2 颗
5	开孔周边双层封边梁或双层加强搁栅	80	2 颗或 3 颗间距 300mm
6	搁栅梁两侧的附加托板与梁体	80	每根搁栅处 2 颗
7	搁栅与搁栅连接板	80	每端 2 颗
8	被切搁栅与开孔封头搁栅（沿开孔周边垂直钉连接）	80	3 颗
9	开孔处每根封头搁栅与封边搁栅的连接（沿开孔周边垂直钉连接）	80	5 颗
10	墙骨柱与墙体顶梁板或底梁板	60	4 颗
		80	2 颗
11	开孔两侧双根墙骨柱，或在墙体交接或转角处的墙骨柱	80	610mm
12	双层顶梁板	80	610mm

13	墙体底梁板或地梁板与搁栅或封头块 (外墙)	80	400mm
14	内隔墙与框架或楼面板	80	610mm
15	墙体底梁板或地梁板与搁栅或封头块；内隔墙与框架或楼面板（用于传递剪力墙的剪力时）	80	150mm
16	非承重墙开孔顶部水平构件	80	每端 2 颗
17	过梁与墙骨柱	80	每端 2 颗
18	顶棚搁栅与墙体顶梁板——每侧采用斜向钉连接	80	2 颗
19	屋面椽条、桁架或屋面搁栅与墙体顶梁板——斜向钉连接	80	3 颗
20	椽条板与顶棚搁栅	80	3 颗
21	椽条与搁栅（屋脊板有支座时）	80	3 颗
22	两侧椽条在屋脊通过连接板连接，连接板与每根椽条的连接	60	4 颗
23	椽条与屋脊板——斜向钉连接或垂直钉连接	80	3 颗
24	椽条拉杆每端与椽条	80	3 颗
25	椽条拉杆侧向支撑与拉杆	60	2 颗
26	屋脊椽条与屋脊或屋谷椽条	80	2 颗
27	椽条撑杆与椽条	80	3 颗
28	椽条撑杆与承重墙——斜向钉连接	80	2 颗

表 6.5.17-2 墙面板、楼（屋）面板与骨架的钉连接要求

面板类型	连接件的最小长度（mm）				钉的最大间距
	普通圆钢钉	螺纹圆钉或麻花钉	屋面钉或木螺钉	U 形钉	
厚度小于 13mm 的石膏墙板	不允许	不允许	45	不允许	沿板边缘 150mm，跨中 300mm
厚度小于 10mm 的结构板材	50	45	不允许	40	
厚度 10mm-20mm 的结构板材	50	45	不允许	50	
厚度大于 20mm 的结构板材	60	50	不允许	不允许	

6.5.18 楼盖、屋盖和顶棚构件的开孔或缺口应符合下列规定：

- 1 搁栅的开孔尺寸不应大于搁栅截面高度的 1/4，且距搁栅边缘不应小于 50mm；
- 2 允许在搁栅上开缺口，但缺口应位于搁栅顶面，缺口距支座边缘不应大于搁栅截面高度的 1/2，缺口高度不应大于搁栅截面高度的 1/3；
- 3 承重墙墙骨柱截面开孔或开凿缺口后的剩余高度不应小于截面高度的 2/3，非承重墙不应小于 40mm；
- 4 需对屋架构件上的开孔或留缺口进行设计验算。

6.5.19 梁在支座上的搁置长度不应小于 90mm，支座表面应平整，梁与支座应紧密接触。

6.5.20 由竹板切割材用钉连接制作成的拼合截面梁应符合下列规定：

- 1 拼合截面梁中单根材的对接位置应位于梁的支座处。
- 2 拼合截面梁为连续梁时，梁中单根材料的对接位置（图 6.6.20-1）应位于距支座 $1/4$ 梁净跨 150mm 的范围内；相邻的单根板材不应在同一位置上对接；在同一截面上对接切割板材的数量不应超过拼接梁板材总数的一半；任一根切割板材在同一跨内不应有两个或两个以上的接头，并在有接头的相邻一跨内不应再次对接；边跨内不应对接。

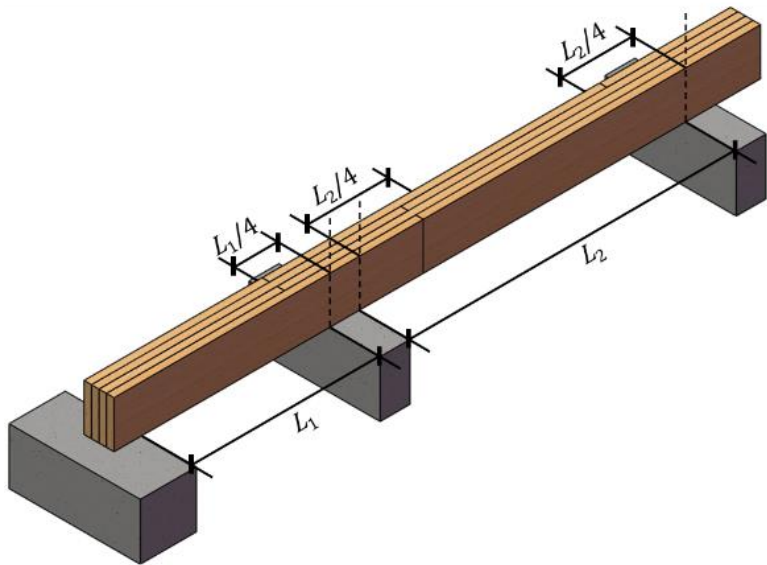


图 6.5.20-1 组合梁中的接头构造措施

- 3 当拼合截面梁采用 40mm 厚度的板材切割材组成时，切割板材之间应沿梁高采用等分布置的两排钉连接，钉长不应小于 90mm，钉的间距不应大于 450mm，钉的端距为 100mm-150mm（图 6.6.20-2）。

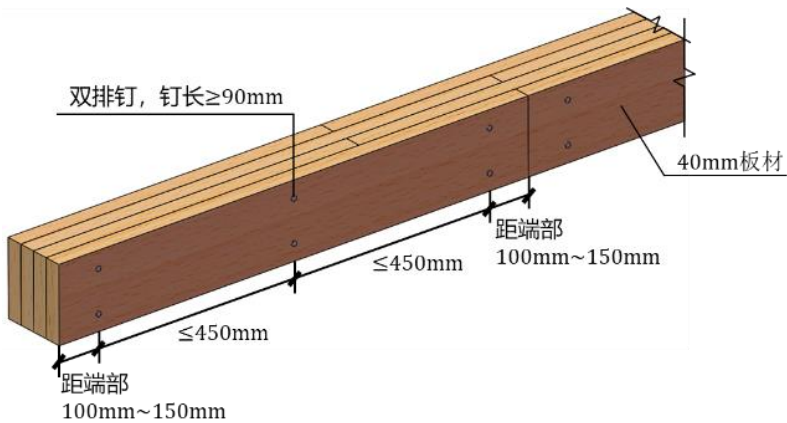


图 6.5.20-2 组合梁中的钉连接要求

4 当拼合截面梁采用 40mm 厚度的板材切割材以螺栓连接时, 螺栓直径不应小于 12mm, 螺栓中距不应大于 1.2m, 螺栓端距不应大于 600mm。

6.5.21 板材切割材组成的拼合柱应符合下列规定:

1 当拼合柱采用钉连接时, 拼合柱的连接应符合下列规定:

- 1) 沿柱长度方向的钉间距不应大于单根切割板材厚度的 6 倍, 且不应小于 20 倍钉的直径 d , 钉的端距应大于 $15d$, 且应小于 $18d$;
- 2) 钉应贯穿拼合柱的所有板材, 且钉入最后一根板材的深度不应小于其厚度的 $3/4$, 相邻钉应分别在柱的两侧沿柱长度方向交错打入;
- 3) 当拼合柱中单根材的宽度大于其厚度的 3 倍时, 在宽度方向上应至少布置两排钉;
- 4) 当在柱宽度方向布置两排及两排以上钉时, 钉的行距不应小于 $10d$, 且不应大于 $20d$; 边距不应小于 $5d$, 且不应大于 $20d$;
- 5) 当拼合柱仅有一排钉时, 相邻的钉应错开钉入, 当超过两排钉时, 相邻列的钉应错开钉入。

2 当拼合柱采用螺栓连接时, 拼合柱的连接应符合下列规定:

- 1) 板材与螺母之间应采用金属垫片, 螺母拧紧后, 板材之间应紧密接触;
- 2) 沿柱长度方向的螺栓间距不应大于板材厚度的 6 倍, 且不应小于 4 倍螺栓直径, 螺栓的端距应大于 $7d$, 且应小于 $8.5d$;
- 3) 当拼合柱中板材的宽度大于其厚度 3 倍时, 在宽度方向应至少布置两排螺栓;
- 4) 当在柱宽度方向布置两排及两排以上的螺栓时, 螺栓的行距不应小于 $1.5d$, 且不应大于 $10d$; 边距不应小于 $1.5d$, 且不应大于 $10d$ 。

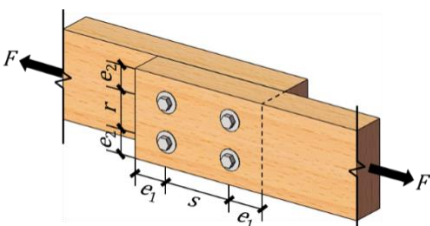
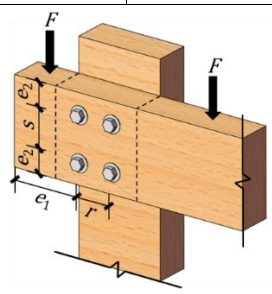
6.5.22 与基础顶面连接的地梁板应采用直径不小于 12mm 的螺栓与基础锚固, 间距不应大于 2.0m。螺栓埋入基础深度不应小于 300mm, 每根地梁板两端应各有一根螺栓, 端距应为 100mm~300mm。

6.5.23 轻型竹结构的墙体应支撑在基础或基础顶面的圈梁上, 基础或圈梁顶面应平整, 倾斜度不应大于千分之二。

6.6 连接设计

6.6.1 销轴类紧固件的端距、边距、间距和行距最小尺寸应符合表 6.5.1 的规定。当采用螺栓、销或六角头螺钉作为紧固件时，其直径不应小于 6mm。

表 6.6.1 销轴类紧固件的端距、边距、间距和行距的最小值尺寸

距离名称	主纤维方向荷载作用时		垂直于主纤维方向荷载作用时	
最小端距 e_1	受力端	$7d$	受力边	$4d$
	非受力端	$4d$	非受力边	$1.5d$
最小边距 e_2	当 $l/d \leq 6$	$1.5d$	$4d$	
	当 $l/d > 6$	取 $1.5d$ 与 $r/2$ 两者较大值		
最小间距 s	$4d$		$4d$	
最小行距 r	$2d$		当 $l/d \leq 2$	$2.5d$
			当 $2 < l/d < 6$	$(5l+10d)/8$
			当 $l/d \geq 6$	$5d$
几何位置示意图				

注：1. 受力端为销槽受力指向端部；非受力端为销槽受力背离端部；受力边为销槽受力指向边部；非受力边为销槽受力背离端部。

2. 表中 l 为紧固件长度， d 为紧固件的直接；并且 l/d 值应取下列两者中的较小值；

1) 紧固件在主构件中的贯入深度 l_m 与直径 d 的比值 l_m/d ；

2) 紧固件在侧面构件中的总贯入深度 l_s 与直径 d 的比值 l_s/d 。

3. 当钉连接不预钻孔时，其端距、边距、间距和行距应为表中数值的 2 倍。

4. 节点域应避免使用单向布箴竹材，必须使用时，应当在端距中间部位，最少用一组自攻螺钉垂直于竹纤维的方向预转孔钉入加固，钉入长度不小于 0.8 倍宽度，且不大于杆件宽度。

条文说明：销类连接件主要包括：螺栓、自攻螺栓、钢销、钉、木螺钉、木销等细而长的杆状连接件。其承载力基于销发生弯曲和竹材的销槽嵌入承压，在合理的设计下，其具备较好的延性，较其它连接件更加安全可靠，因此在工程中得到了广泛的运用。上述边距、间距和行距相关规定主要为了避免以剪切和劈裂（splitting）为代表的脆性破坏的发生。相关实验研究结果表明，仅单向布箴的工程竹材节点域性能远逊于多向布箴竹材，故本条文规定节点域应避免使用单向布箴竹材。

6.6.2 交错布置的销轴类紧固件（图 6.6.2），其端距、边距、间距和行距的布置应符合下列规定：

1 对于主纤维荷载作用下交错布置的紧固件，当相邻行上的紧固件在主纤维方向的间距不大于 4 倍紧固件的直径（ d ）时，则可将相邻行的紧固件确认是位于同一截面上。

2 对于垂直于主纤维荷载作用下交错布置的紧固件，当相邻行上的紧固件在垂直于主纤维方向的间距不小于 $4d$ 时，则紧固件在主纤维方向的间距不受限制；当相邻行上的紧固件在垂直于主纤维方向的间距小于 $4d$ 时，则紧固件在主纤维方向的间距应符合本标准表 6.6.1 的规定。

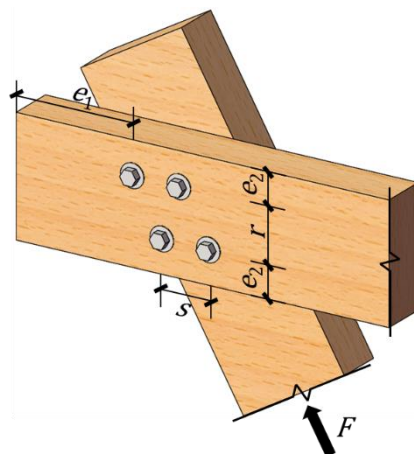


图 6.6.2 紧固件交错布置几何位置示意

6.6.3 对于采用单剪或对称双剪的销轴类紧固件的连接（图 6.6.3），当剪面承载力设计值按本标准第 6.6.4 条的规定进行计算时，应符合下列规定：

- 1 构件连接面应紧密接触；
- 2 荷载作用方向应与销轴类紧固件轴线方向垂直；
- 3 紧固件在构件上的边距、端距以及间距应符合本标准表 6.6.1 的规定；
- 4 六角头螺钉在单剪连接中的主构件上或双剪连接中侧构件上的最小贯入深度不应包括端尖部分的长度，并且，最小贯入深度不应小于六角头木螺钉直径的 4 倍。

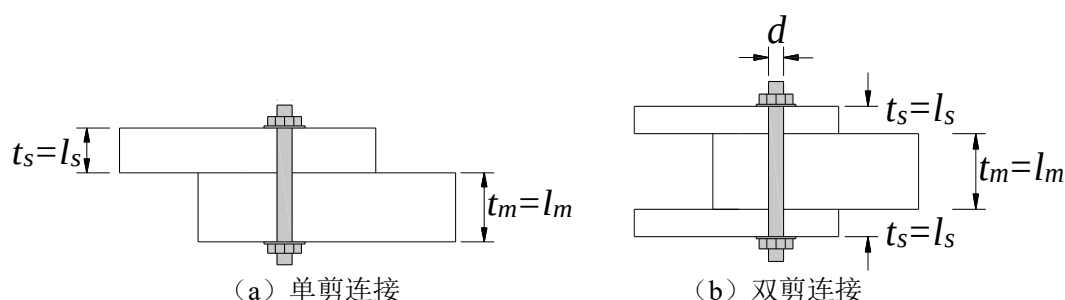


图 6.6.3 销轴类紧固件的连接方式

6.6.4 对于采用单剪或对称双剪连接的销轴类紧固件，每个剪面的承载力设计值 Z_d 应按下式进行计算：

$$Z_d = C_m C_t k_g R_d \quad (6.6.4)$$

式中： C_m —含水率调整系数，应按表 6.6.4 中规定采用；
 C_t —温度调整系数，应按表 6.5.4 中规定采用；
 k_g —群栓组合系数，可参考国家标准《木结构设计标准》GB 50005 附录 K 的规定确定；
 R_d —每销每剪面的承载力设计值，应按本标准第 6.6.5 条的规定确定。

表 6.6.4 使用条件调整系数

序号	调整系数	采用条件	取值
1	含水率调整系数 C_m	使用中竹构件含水率大于 15%时	0.8
		使用中竹构件含水率小于 15%时	1.0
2	温度调整系数 C_t	长期生产性高温环境，竹材表面温度达 40℃~50℃时	0.8
		其他温度环境时	1.0

6.6.5 对于单剪连接或对称双剪连接，单销的每个剪面的承载力设计值 R_d 应按下式进行计算：

$$R_d = k_{\min} t_s d f_{es} \quad (6.6.5)$$

式中： $k_{\min}$ —为单剪连接时较薄构件或双剪连接时边部构件的销槽承压最小有效长度系数，应按本标准第 6.6.6 条的规定确定；
 t_s —较薄构件或边部构件的厚度（mm）；
 d —销轴类紧固件的直径（mm）；
 f_{es} —构件销槽承压强度标准值（N/mm²），应按本标准第 6.6.7 条的规定确定。

6.6.6 销槽承压最小有效长度系数 $k_{\min}$ 应按下列 4 种屈服模式进行计算，并按下式进行确定：

$$k_{\min} = \min[k_I, k_{II}, k_{III}, k_{IV}] \quad (6.6.6-1)$$

- 1 屈服模式 I 时，应按下列规定计算销槽承压有效长度系数 k_I ：
 1) 销槽承压有效长度系数 k_I 应按下式计算：

$$k_I = \frac{R_e R_t}{\gamma_1} \quad (6.6.6-2)$$

式中： R_e —为 f_{em}/f_{es} ；
 R_t —为 t_m/t_s ；
 t_m —较厚构件或中部构件的厚度（mm）
 f_{em} —较厚构件或中部构件的销槽承压强度标准值（N/mm²），应按本标准第 6.6.7 条的规定确定；
 γ_1 —屈服模式 I 的抗力分项系数，应按表 6.6.6 的规定取值；
 2) 对于单剪连接时，应满足 $R_e R_t \leq 1.0$ 。

3) 对于双剪连接时, 应满足 $R_e R_t \leq 2.0$, 且销槽承压有效长度系数 k_I 按下式计算:

$$k_I = \frac{R_e R_t}{2\gamma_I} \quad (6.6.6-3)$$

2 屈服模式II时, 应按下列公式计算单剪连接的销槽承压有效长度系数 k_{II} :

$$k_{II} = \frac{k_{sII}}{\gamma_{II}} \quad (6.6.6-4)$$

$$k_{sII} = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1+R_t+R_t^2) + R_t^2 R_e^3 - R_e(1+R_t)}}{1+R_e} \quad (6.6.6-5)$$

式中: γ_{II} —屈服模式II的抗力分项系数, 应按表 6.6.6 的规定取值。

3 屈服模式III时, 应按下列公式计算单剪连接的销槽承压有效长度系数 k_{III} :

1) 销槽承压有效长度系数 k_{III} 按下式计算:

$$k_{III} = \frac{k_{sIII}}{\gamma_{III}} \quad (6.6.6-6)$$

式中: γ_{III} —屈服模式III的抗力分项系数, 应按表 6.6.6 的规定取值。

2) 当单剪连接的屈服模式为III_m时:

$$k_{sIII} = \frac{R_t R_e}{1+2R_e} \left[\sqrt{2(1+R_e) + \frac{1.647(1+2R_e)k_{ep}f_{yk}d^2}{3R_e R_t^2 f_{es} t_s^2}} - 1 \right] \quad (6.6.6-7)$$

式中: f_{yk} —销轴类紧固件屈服强度标准值 (N/mm²);

k_{ep} —弹塑性强化系数。

3) 当单剪连接的屈服模式为III_s时:

$$k_{sIII} = \frac{R_e}{2+R_e} \left[\sqrt{\frac{2(1+R_e)}{R_e} + \frac{1.647(2+R_e)k_{ep}f_{yk}d^2}{3R_e f_{es}^2 t_s^2}} - 1 \right] \quad (6.6.6-8)$$

4) 当采用 Q235 钢等具有明显屈服性能的钢材时, 取 $k_{ep}=1.0$; 当采用其它钢材时, 应按具体的弹塑性强化性能确定, 其强化性能无法确定时, 仍应取 $k_{ep}=1.0$;

4 屈服模式IV时, 应按下列公式计算单剪连接的销槽承压有效长度系数 k_{IV} :

$$k_{IV} = \frac{k_{sIV}}{\gamma_{IV}} \quad (6.6.6-9)$$

$$k_{sIV} = \frac{d}{t_s} \sqrt{\frac{1.647 R_e k_{ep} f_{yk}}{3(1+R_e) f_{es}}} \quad (6.6.6-10)$$

式中： γ_{IV} —屈服模式IV的抗力分项系数，应按表 6.6.6 的规定取值；

表 6.6.6 构件连接时剪面承载力的抗力分项系数 γ 取值表

连接件类型	各屈服模式的抗力分项系数			
	γ_I	γ_{II}	γ_{III}	γ_{IV}
螺栓、销或六角头螺钉	4.5	3.6	2.2	2.0
圆钉	3.4	2.8	2.2	2.0

条文说明：目前，国际上广泛采用欧洲屈服模型(European Yeild Model, EYM)进行销类连接的承载力计算。该模型是基于销类连接件的弯曲和基材的应变在极限状态下为理想塑性的假定。紧固件的尺寸与弯曲屈服强度、基材的销槽承压强度和连接构件的厚度决定了其主要的屈服模式。附表 6.6.6 所示为不同厚度和强度构件的单剪连接和双剪连接的不同屈服形式，可以分为两类：销槽承压屈服模式及销连接件受弯屈服并形成塑性铰的屈服模式。

销槽承压屈服模式中：1) 若连接中较厚构件的销槽承压强度较低，而较薄构件的销槽承压强度较高且可以限制销连接件的转动，则较厚构件沿销槽全长均达到销槽承压强度而失效，为屈服模式I_m。2) 若连接中构件的销槽承压强度相同或者较薄构件的销槽承压强度较低，而较厚构件可以限制销连接件的转动，则较薄构件沿销槽全长均达到销槽承压强度而失效，为屈服模式I_s。3) 若较厚构件厚度不足或者较薄构件销槽承压强度较低，两者均无限制销连接件的转动的能力，导致紧固件发生刚体转动，则两者均有部分长度的销槽达到销槽承压强度而失效，为屈服模式II。

销连接件屈服模式中：1) 若较薄构件的销槽承压强度远高于较厚构件且有足够限制连接件转动的能力，则销连接件在较薄构件中形成塑性铰，为屈服模式III_m。2) 若构件的销槽承压强度相同，则销连接件在较厚构件中形成塑性铰，为屈服模式III_s。3) 若构件的销槽承压强度均较高，或者销连接件的直径较小，则销连接件在构件中均形成塑性铰，为屈服模式IV。

单剪连接共有六种屈服模式，双剪连接由于对称受力仅有I_m、I_s、III_s和IV四种屈服模式。

公式(6.6.6-2)中，当 $R_e R_t < 1.0$ 时，对应屈服模式I_m；当 $R_e R_t = 1.0$ 时，对应屈服模式I_s。公式(6.6.6-4)、(6.6.6-6)、(6.6.6-7)、(6.6.6-9)分别对应屈服模式II、III_s、III_m、IV。双剪连接不计式(6.6.6-4)、(6.6.6-6)。

附表 6.6.6 销连接屈服模式示意

屈服模式	单剪示意	双剪示意
I_m		
I_s		
II		
III_m		
III_s		
IV		

注：m-单剪连接中的较厚构件或双剪连接中的中部构件；s-单剪连接中的较薄构件或双剪连接中的边部构件； I_m -较厚或中部构件屈服； I_s -较薄或边部构件屈服；II-销刚体转动，较厚、较薄构件均屈服； III_m -销在较薄构件中形成塑性铰； III_s -销在较厚或中部构件中形成塑性铰；IV-销在较薄和较厚构件或在边部和中部构件中皆形成塑性铰。

抗力分项系数按下式确定：

$$\gamma = R_k / R_d \quad (5)$$

式中： γ —各种屈服模式的抗力分项系数；

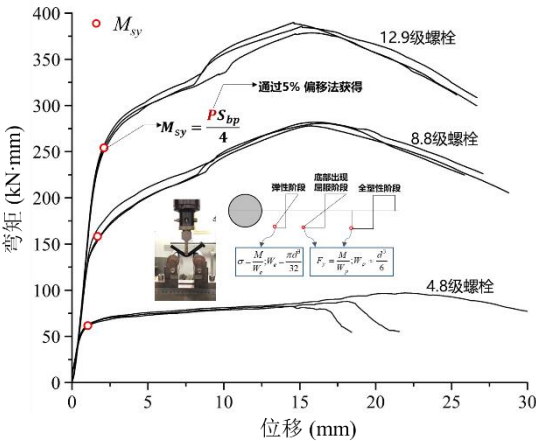
R_k —各种屈服模式下，按本条公式计算的不计抗力分项系数的承载力标准值；

R_d —各种屈服模式下，计算的承载力设计值。

其中，《木结构设计标准》中 R_d 通过 2003 版规范估算，进而通过上式反推出了抗力分项系数的统计值。而考虑到竹材的销槽承压破坏的脆性表征显著大于木材，故其目标可靠度指标宜提升为 3.7，故其相应的抗力分项系数相比于木材有所提高。

销连接件的屈服强度可以参考规范 ASTM F1575 通过三点弯曲试验获得，其中屈服荷载通过 5% 偏移法确定。研究表明：对于直径较小的钉类连接件可以考虑塑性完全发展，连接设计时屈服弯矩可以取为 $M_y = 0.3 f_u d^{2.6}$ ，其中 f_u 为钉材质的抗拉强度。对于直径较大的螺栓连接件，其塑性发展程度根据其选用的材质

不同而不同，如附图 6.6.6 所示。因此，在进行连接设计时应对接部位的几何细节（如连接件间距、端距、边距等）进行合理设计并选取合适的螺栓连接件（等级以及直径），以使其承载力和延性达到平衡。参考文献 Ottenhaus LM, Jockwer R, van Drimmelen D, Crews K. Designing timber connections for ductility – A review and discussion. Construction and Building Materials, 2021, 304: 124621.中提出采用 $M_e=f_y\pi d^3/32$ 进行连接屈服承载力的预测，采用 $M_y=f_yd^3/6$ 进行连接峰值承载力的预测，其中 f_y 为螺栓用钢材的屈服强度。



附图 6.6.6 螺栓三点弯曲试验曲线

6.6.7 单向布箴胶合竹材销槽承压强度标准值应按下列规定取值：

1 当 $d \leq 4\text{mm}$ 时，销轴类紧固件主纤维方向承压强度为：

$$f_{e,0}=1900\rho^{-0.5}d^{-0.3} \quad (6.6.7-1)$$

2 当 $d \leq 4\text{mm}$ 时，销轴类紧固件次纤维方向承压强度为：

$$f_{e,90}=0.12\rho^{0.96}d^{-0.3} \quad (6.6.7-2)$$

3 当 $4\text{mm} < d \leq 25\text{mm}$ 时，销轴类紧固件主纤维方向承压强度为：

$$f_{e,0}=4.3\rho^{0.35}d^{0.08} \quad (6.6.7-3)$$

4 当 $4\text{mm} < d \leq 25\text{mm}$ 时，销轴类紧固件次纤维方向承压强度为：

$$f_{e,90}=8.5\rho^{0.2}d^{0.05} \quad (6.6.7-4)$$

式中： ρ —胶合竹材全干密度（ kg/m^3 ）；

d —紧固件直径（ mm ）。

5 当 $d > 25\text{mm}$ 时，销轴类紧固件的承压强度取为相对应加载方向的抗压强度。

6 当作用在构件上的荷载与主纤维方向呈夹角 α 时，偏轴销槽承压强度为：

$$f_{e,\alpha} = \frac{f_{e,0} f_{e,90}}{f_{e,0} \sin^2 \alpha + f_{e,90} \cos^2 \alpha} \quad (6.6.7-5)$$

条文说明：根据参考文献 Zhi Li*, Jinyuan Zhang, Rui Wang, Giorgio Monti, Yan Xiao. Design Embedment Strength of Plybamboo Panels Used for GluBam. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. 2020, 32(5):04020082 中对单向布篾胶合竹材的销槽承压强度试验结果得到的计算公式如下：

$$f_h = A \rho^B d^C \quad (6)$$

式中：A、B、C—计算系数，根据附表 6.6.7 取值。

附表 6.6.7 销槽承压强度计算公式系数表

	主纤维方向			次纤维方向		
	A	B	C	A	B	C
$d \leq 4\text{mm}$	2351	-0.5	-0.3	0.14	0.96	-0.3
$4\text{mm} < d \leq 25\text{mm}$	5.5	0.35	0.08	10.3	0.2	0.05

上述文献中基于试验信息估算了单向布篾胶合竹材销槽承压强度的特征值 r_k ，故可计算系数：

$$\gamma = \frac{r_k}{\bar{r}_t} \quad (7)$$

式中： $\bar{r}_t$ —试验获得的销槽承压强度平均值。

因此，销槽承压强度标准值的计算如下：

$$f_h = \bar{\gamma} A \rho^B d^C \quad (8)$$

式中： $\bar{\gamma}$ —不同直径紧固件计算得到的系数 γ 的平均值。

6.6.8 双向布篾胶合竹材销槽承压强度标准值取为：

$$f_{e,\alpha} = 0.03(1 - 0.016d)\rho^{1.16} \left(\frac{\sum t_0}{t} \frac{1}{1.2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} + \frac{\sum t_{90}}{t} \frac{1}{1.2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \right) \quad (6.6.7-6)$$

式中： $\sum t_0$ —一次纤维方向上竹篾的总厚度；

$\sum t_{90}$ —二次纤维方向上竹篾的总厚度；

t —胶合竹材的厚度。

条文说明：

对于双向布篾胶合竹材，其结构构造类似于正交胶合木 CLT，因此采用 CLT 销槽承压强度的计算方法对双向布篾胶合竹材的销槽承压强度进行估算。根据参考文献 Uibel T, Blaß HJ. Load carrying capacity of joints with dowel type fasteners in solid wood panels. 39th CIB-W18 meeting, Florence, Italy, 2006. 中，计算公式如下：

$$f_{e,\alpha}=0.037(1-0.016d)\rho^{1.16}\left(\frac{\sum t_0}{t}\frac{1}{1.2\sin^2\alpha+\cos^2\alpha}+\frac{\sum t_{90}}{t}\frac{1}{1.2\cos^2\alpha+\sin^2\alpha}\right) \quad (9)$$

其强度标准值的计算同条文 6.6.7，相应数据参考文献 Zhi Li, Di Xiao, Rui Wang, Yan Xiao. The Off-axis Embedment Performance of Bamboo Panels Used for Glulam Structures. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering.

6.6.9 紧固件在钢材上的销槽承压强度值 f_{es} 按《钢结构设计标准》GB 50017 规定的螺栓连接的构件销槽承压强度设计值的 1.1 倍计算。在混凝土构件上的销槽承压强度按混凝土立方体抗压强度标准值的 1.57 倍计算。

6.6.8 当销轴类紧固件的贯入深度小于 10 倍销轴直径时，承压面的长度不应包括销轴尖端部分的长度。

6.6.9 互相不对称的三个构件连接时，剪面承载力设计值 Z_d 应按两个侧构件中销槽承压长度最小的侧构件作为计算标准，按对称连接计算得到的最小剪面承载力设计值作为连接的剪面承载力设计值。

6.6.10 当四个或四个以上构件连接时，每一剪面应按单剪连接计算。连接的承载力设计值应取最小的剪面承载力设计值乘以剪面个数和销的个数。

6.6.11 当单剪连接中的荷载与紧固件轴线呈除 90°外的一定角度时，垂直于紧固件轴线方向作用的荷载分量不应超过紧固件剪面承载力设计值。平行于紧固件轴线方向的荷载分量，应采取可靠的措施，满足局部承压要求。

6.7 地基及基础设计

6.7.1 竹结构轻型框架房屋基础应进行设计，可采用混凝土柱基、钢筋混凝土条形基础、混凝土筏板基础、钢筋混凝土和独立基础。柱基、条形基础或装配式预制基础的构造和尺寸除应满足设计要求外，尚应符合下列规定：

- 1 地基承载力特征值不应小于 60kPa。
- 2 混凝土条形基础，单层房屋的基础宽度不应小于 300mm，厚度不应小于 100mm；双层及以上房屋的基础宽度不应小于 500mm，厚度不应小于 200mm。
- 3 单层房屋的柱基底面不应小于 500mm×500mm，厚度不应小于 200mm，基础柱截面不应小于 200mm×200mm；双层及以上房屋的柱基底面不应小于 600mm×600mm，厚度不应小于 300mm，基础柱截面不应小于 250mm×250mm。
- 4 基础埋深不宜小于 500mm，在寒冷及严寒地区，基础埋置深度尚应考虑常年冻土深度的影响。

条文说明：本条规定了竹结构轻型框架房屋的构造形式以及基础与上部结构的连接方式与材质要求。基础的构造形式主要有柱下混凝土独立基础、墙下混凝土条形基础和装配式预制基础三种。

6.7.2 竹活动房基础混凝土的强度等级不应小于 C20，预制构件混凝土的强度等级不应小于 C25。基础墙的砌块强度等级不应小于 M5.0，砌筑砂浆的强度等级不宜小于 M2.5。用于混凝土结构的受力钢筋应符合现行国家标准《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》GB 13013 和《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499 的规定。

6.7.3 在混凝土地基周围应采取防止水分和潮气由地面入侵的排水、防水及防潮等有效措施。在竹木构件和混凝土构件之间应铺设防潮膜。建筑物室内外地坪高差不应小于 300mm。对于常年处于潮湿环境的，首层楼盖应架空，竹木构件底部与室外地坪间的高差不应小于 300mm，在此高度内的内外墙基础上应设通风洞口，保证有良好的通风环境。

条文说明：本条相关规定主要是避免底层墙体遭受地基潮气的渗透。

6.7.4 混凝土基础的制作质量应符合下列要求：

- 1 钢筋的规格、数量应符合设计要求，制作绑扎和焊接质量应符合现行国家标准《混凝土结构施工质量验收规范》GB 50204 的规定。
- 2 混凝土应浇筑密实、表面光洁，强度应符合设计要求，并符合现行国家标准《混凝土结构施工质量验收规范》GB 50204 和《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定。

6.7.5 现浇基础定位轴线、基础支承面标高和地脚螺栓允许偏差应符合表 6.7.5 的规定。

6.7.5 现浇基础定位轴线、支撑面和地脚螺栓允许偏差

项目		允许偏差（mm）
墙体定位轴线		10
基础截面宽度		±15
基础顶面	标高	±2
	水平度	1/1000
地脚螺栓	螺栓中心线	±2
	伸出长度	+20、-0
	螺纹长度	+20、-0

条文说明：基础定位轴线、几何尺寸、基础支承面标高和预埋地脚螺栓或螺栓预留孔的偏差按照《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关要求并结合具体工程实际情况确定。

6.7.6 基础混凝土强度达到设计强度的 75%以上时，方可进行房屋的施工。施工前，地脚螺栓预留孔应清洁，地脚螺栓应完好无损。

7 防火设计

7.1 一般规定

7.1.1 竹结构轻型框架房屋应进行构件的耐火极限设计和结构的防火构造设计。

条文说明：

竹结构轻型框架房屋的防火设计，应以国家有关标准的规定为依据，确定其适用范围、主要构件的燃烧性能和耐火极限、高度和层数、防火分区面积、防火间距、安全疏散和特殊部位的防火设计。

建筑物的耐火等级是衡量建筑物耐火程度的分级标准，由其主要结构构件的燃烧性能和耐火极限决定。《建筑设计防火规范》GB50016-2014 将现代木结构建筑单独分为一个类别，其不同于一般工业与民用建筑一级、二级、三级和四级的耐火等级划分，而是介于三级和四级之间。

7.1.2 竹结构的防火应符合下列规定：

- 1 竹结构构件应满足燃烧性能和耐火极限的要求；
- 2 竹结构连接的耐火极限不应小于所连接构件的耐火极限；
- 3 竹结构应满足防火分隔要求；
- 4 管道穿越竹构件时，应采取防火封堵措施，防火封堵材料的耐火性能不低于相关构件的耐火性能；
- 5 竹结构建筑中配电线路应采取防火措施。

条文说明：

建筑构件的耐火极限是构件在标准耐火试验条件下，从受到火焰的作用时起，到失去稳定性、完整性或隔热性时止的这段时间，用小时（h）表示。建筑构件的燃烧性能是指在规定条件下，组成构件的构造材料对火的反应和耐火性能，一般分为不燃性、难燃性和可燃性。

7.1.3 施工现场堆放的易燃材料应远离火源，存放地点应在火源的上风向。严禁明火操作。

7.1.4 施工现场应采取防火措施或配置消防器材。

7.1.5 竹结构轻型框架房屋构件的燃烧性能和耐火极限不应低于木结构设计标准 GB50005 的规定。

7.2 防火构造

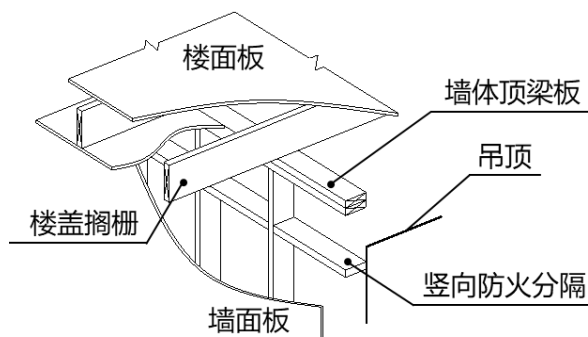
7.2.1 轻型竹结构建筑中，下列存在密闭空间的部位应采用连续的防火分隔措施（图 7.2.1）：

- 1 当层高大于 3m 时，除每层楼、屋盖处的顶梁板或底梁板可作为竖向防火分隔外，应沿墙高每搁 3m 在墙骨柱之间设置竖向防火分隔；当层高小于或等于 3m 时，每层楼、屋盖处的顶梁板或底梁板可作为竖向防火分隔。

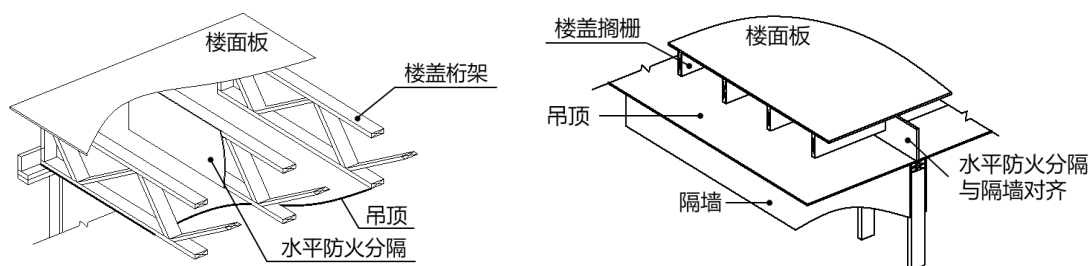
2 楼盖和屋盖内应设置水平防火分隔，且水平分隔区的长度或宽度不应大于 20m，分隔的面积不应大于 300m²。

3 屋盖、楼盖和吊顶中的水平构件与墙体竖向构件的连接处应设置防火分隔。

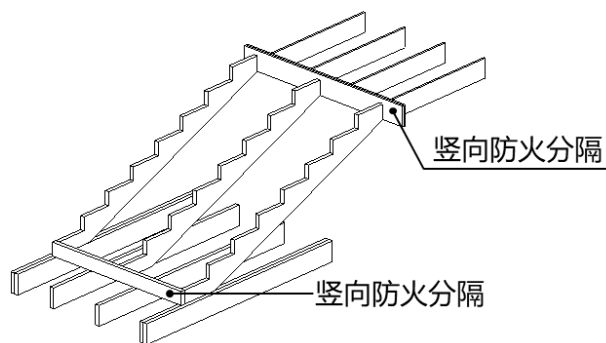
4 楼梯上下第一步踏板楼盖交接处应设置防火分隔。



(a) 竖向防火构造



(b) 水平防火构造



(c) 楼梯防火分隔

图 7.2.1 防火分隔措施

条文说明：

轻型竹结构建筑的防火主要是采用构造防火体系来保证结构安全。轻型竹结构建筑中存在许多密闭的空间，在这些密闭空间内按要求做好防火构造措施，是轻型竹结构建筑预防火灾十分重要的技术措施之一。如果墙体构件的空腔沿建筑物高度或者与楼盖或顶棚之间没有任何阻隔，一旦构件内某处发生火灾，火焰、高温气体以及烟气会迅速通过构件内部空腔蔓延（烟囱效应）。因此，应当在这些不同的空间之间增设防火分隔，从构造上阻断火焰、高温气体以及烟气的蔓延。根据火焰、高温气体和烟气的传播方式和规模，防火分隔分成竖向防火分隔和水平防火分隔。

7.2.2 轻型竹结构设置防火分隔时，防火分隔可采用下列材料制作：

- 1 截面宽度不小于 40mm 的板材切割材或木规格材；
- 2 厚度不小于 12mm 的石膏板；
- 3 厚度不小于 12mm 的胶合板或定向木片板；
- 4 厚度不小于 0.4mm 的钢板；
- 5 厚度不小于 6mm 的无机增强水泥板；
- 6 其它满足防火要求的材料。

7.2.3 当管道穿越墙体时，应采用防火封堵材料对接触面和缝隙进行密实封堵；当管道穿越楼盖或屋盖时，应采用不燃性材料对接触面和缝隙进行密实封堵。

条文说明：封堵是竹结构建筑防火构造中重要的技术措施，封堵部分的耐火极限不应低于所在部位墙体或楼盖、屋盖的耐火极限。

7.2.4 竹结构建筑中的各个构件或空间内需填充吸声、隔热、保温材料时，其材料的燃烧性能不应低于 B1 级。

7.2.5 当采用厚度为 50mm 以上的胶合材或锯材作为屋面板或楼面板时(图 7.2.5-a)，楼面板或屋面板端部应坐落在支座上，其防火设计和构造应符合下列规定：

1 当屋面板或楼面板采用单舌或双舌企口板连接时（7.2.5-b），屋面板或楼面板可作为仅有底面一面受火的受弯构件进行设计。

2 当屋面板或楼面板采用直边拼接时，屋面板或楼面板可作为两侧部分受火而底面完全受火的受弯构件，可按三面受火构件进行防火设计。此时，两侧部分受火的炭化率应为有效炭化率的 1/3。

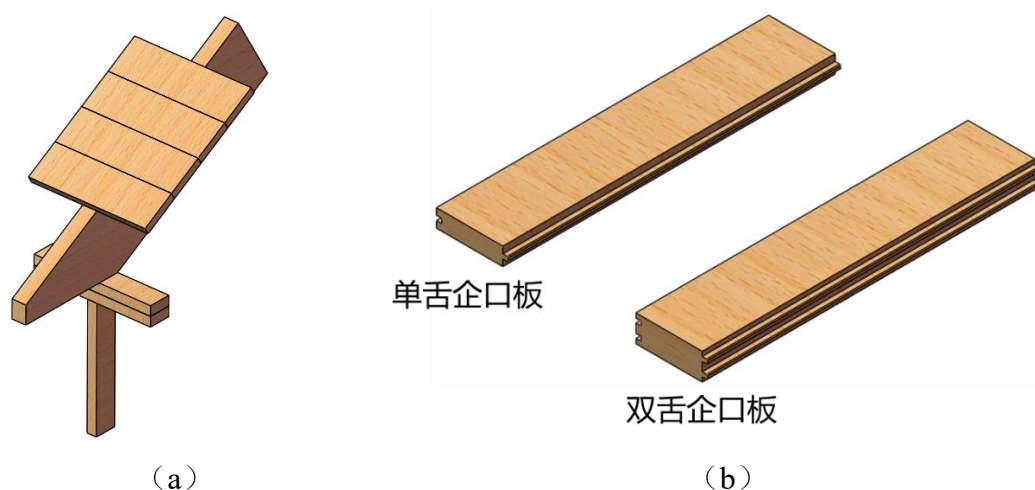


图 7.2.5 锯材或胶合材楼、屋面板示意图

7.2.6 当梁柱、主次梁采用金属连接件连接时，金属连接件的防火构造可采用下列方法：

1 可将金属连接件嵌入竹构件内，固定用的螺栓孔可采用竹木塞封堵，所有的连接缝可采用防火封堵材料填缝；

2 金属连接件表面采用截面厚度不小于 40mm 的竹板材作为表面附加防火保护层；

3 将梁柱连接处包裹在耐火极限为 1.00h 的墙体中；

4 采用厚度大于 15mm 的耐火纸面石膏板在梁柱连接处进行分隔保护。

条文说明：竹结构建筑中构件与构件之间的连接处是需要采取防火构造的主要部分，对金属连接件采用的防火保护措施有许多不同的方法，本条规定的保护方法并不是唯一可行的方法，设计人员可以在保证构件连接处安全可靠的原则下进行防火构造的设计。

7.2.7 竹结构建筑中配电线路的铺设应采用下列防火措施：

1 消防配电线路应采用阻燃和耐火电线、电缆或矿物绝缘电缆；

2 用于公共建筑的电源主干线路应采用矿物绝缘线缆；

3 电线、电缆直接明敷时应穿金属管或金属线槽保护；当采用矿物绝缘线缆时可直接明敷；

4 电线、电缆穿越墙体、楼盖或屋盖时，应穿金属套管，并应采用防火封堵材料对其空隙进行封堵。

7.2.8 安装在竹构件上的开关、插座及接线盒应符合下列规定：

1 当开关、插座及接线盒有金属套管保护时，应采用金属箱体；

2 当开关、插座及接线盒有矿棉保护时，可采用难燃性箱体；

3 安装在竹骨架墙体上时，墙体中相邻两根骨柱之间的两侧面板上，应仅在其中一侧设置开关、插座及接线盒；当设计需要在墙体中相邻两根骨柱之间的两侧面板上均设置开关、插座及接线盒时，应采取局部的防火分隔措施。

7.2.9 安装在竹结构建筑楼盖、屋盖及吊顶上的照明灯具应采用金属箱体，且应采用不低于所在部位墙体或楼盖、屋盖耐火极限的石膏板对金属箱体进行分隔保护。

7.2.10 当管道内的流体造成管道外壁温度达到 120℃的管道及其包覆材料或内衬，管道及其包覆材料或内衬以及施工时使用的胶粘剂应为不燃材料；对于外壁温度低于 120℃的管道及其包覆材料或内衬，其燃烧性能不应低于 B₁ 级。

7.2.11 当采用非金属不燃材料制作烟道、烟囱、火炕等采暖或炊事管道时，应符合下列规定：

1 与竹构件相邻部位的壁厚不应小于 240mm；

2 与竹构件之间的净距不应小于 100mm；

3 与竹构件之间的缝隙应具备良好的通风条件，或可采用 70mm 的矿棉保护层隔热。

7.2.12 当采用金属材料制作烟道、烟囱、火炕等采暖或炊事管道时，应采用厚度为 70mm 的矿棉保护层隔热，并应在保护层外部包覆耐火极限不低于 1.00h 的防火保护。

7.2.13 竹结构建筑中放置烹饪炉的平台应为不燃材料，烹饪炉上方 750mm 以及周围 400mm 的范围内不应有可燃装饰或可燃装置。

7.2.14 附设在竹结构居住建筑内的机动车库应符合下列规定：

- 1 车库总面积不宜超过 60m²；
- 2 不宜设置与室内相同的窗洞，可仅设置一樘不直通卧室的单扇乙级防火门；
- 3 车库与室内的隔墙耐火极限不应低于 2.00h。

7.2.15 当木结构建筑需要进行防雷设计时，除应满足现行国家标准《建筑防雷设计规范》GB 50057 的相关规定外，还应符合下列规定：

1 竹结构建筑的防雷等级可根据其重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性和后果划分。

2 竹结构建筑宜采用装设在屋顶的避雷网或避雷带作为防直击雷的接闪器，突出屋面的所有金属构件均应与防雷装置可靠焊接。

3 引下线宜沿竹结构建筑外墙明敷，并应在距室外地面上 1.8m 处设置断接卡，连接板处应有明显标志。当引下线为墙内暗敷时，应采用绝缘套管进行保护。

4 地面上 1.7m 以下至地面下 0.3m 的一段接地线应采用改性塑料管或橡胶管等进行保护。

5 室内电缆、导线与防雷针下线之间的距离不应小于 2.0m。

7.2.16 当胶合竹构件考虑耐火极限的要求时，其层板组坯除应符合构件强度设计的规定外，还应符合下列防火构造规定：

1 对于耐火极限为 1.00h 的胶合构件，当构件为非对称异等组合时，应在受拉边减去一层中间层板，并应增加一层表面抗拉层板。当构件为对称异等组合时，应在上下两边各减去一层中间层板，并应各增加一层表面抗拉层板。构件设计时，强度设计值应按未改变层板组合的情况取值。

2 对于耐火极限为 1.50h 或 2.00h 的胶合构件，当构件为非对称异等组合时，应在受拉边减去两层中间层板，并应增加两层表面抗拉层板。当构件为对称异等组合时，应在上下两边各减去两层中间层板，并应各增加两层表面抗拉层板。构件设计时，强度设计值应按为改变层板组合的情况取值。

条文说明：对于需要考虑耐火极限要求的胶合竹结构构件，除了进行构件强度的防火验算以外，构件制作时，为了使表面层板完全炭化后还能保持构件的极限承载力，在木层板按相关规范规定的标准组坯进行粘结时，还应按本条规定的防火构造要求增加表面层板的层数。

8 耐久性设计

8.1 一般规定

8.1.1 竹结构应根据当地气候条件、白蚁危害程度及建筑物特征采取有效的防水、防潮和防白蚁措施，保证结构和构件在设计使用年限内正常工作。

8.1.2 竹结构建筑使用的竹材含水率应符合本规程第 4.1.1-5 条的规定，应防止竹材在运输、存放和施工过程中遭受雨淋和潮气。

8.2 防水防潮

8.2.1 竹结构建筑应有效利用周围地势、其它建筑物及树木，应减少外围护结构表面的环境暴露程度。

8.2.2 竹结构建筑应有效利用悬挑结构、雨蓬等设施对外墙面和门窗进行保护，宜减少在围护结构上开窗开洞的部位。

8.2.3 竹结构建筑应采取有效措施提高整个建筑围护结构的气密性能，应在下列部位的接触面和连接点设置气密层：

- 1 相邻单元之间；
- 2 室内空间与车库之间；
- 3 室内空间与非调温调湿地下室之间；
- 4 室内空间与架空层之间；
- 5 室内空间与通风屋顶空间之间。

8.2.4 在年降雨量高于 1000mm 的地区，或环境暴露程度很高的竹结构建筑，应采用防雨幕墙。在外墙防护板和外墙防水膜之间应设置排水通风空气层，其净厚度宜在 10mm 以上，有效空隙不应低于排水通风空气层总空隙的 70%；空隙开口处应设置连续的防虫网。

8.2.5 在混凝土地基周围、地下室和架空层内，应采取防止水分和潮气由地面入侵的排水、防水及防潮等有效措施。在竹构件和混凝土构件之间应铺设防潮膜。建筑物室内外地坪高差不应小于 300mm。当建筑物底层采用竹楼盖时，竹构件的底部距离室外地坪的高度不应小于 300mm。

8.2.6 竹结构建筑屋顶宜采用坡屋顶。屋顶空间宜安装通风孔。采用自然通风时，通风孔总面积应不小于保温吊顶面积的 1/300。通风孔应均匀设置，并应采取防止昆虫或雨水进入的措施。

8.2.7 外墙和非通风屋顶的设计应减少蒸汽内部冷凝，并有效促进潮气散发。在严寒和寒冷地区，外墙和非通风屋顶内侧应具有较低蒸汽渗透率；在夏热冬暖和炎热地区，外侧应具有具有较低蒸汽渗透率。

8.2.8 在门窗洞口、屋面、外墙开洞处、屋顶露台和阳台等部位均应设置防水、防潮和排水的构造措施，应有效利用泛水材料促进局部排水。泛水板向外倾斜的最终坡度不应低于 5%。屋顶露台和阳台的地面最终排水坡度不应小于 2%。

8.2.9 竹结构的防水防潮措施应按下列规定设置：

- 1 当桁架和大梁支承在砌体或混凝土上时，桁架和大梁的支座下应设置防潮层；
- 2 桁架、大梁的支座节点或其它承重构件不应封闭在墙体或保温层内；
- 3 支承在砌体或混凝土上的木柱底部应设置垫板，严禁将木柱直接砌入砌体中，或浇筑在混凝土中；
- 4 在竹结构隐蔽部位应设置通风孔洞；
- 5 无地下室的底层竹楼盖应架空，并应采取通风防潮措施。

8.3 防腐朽防老化

8.3.1 竹结构建筑采用的防腐、防虫构造措施应在设计图纸中做出规定。

8.3.2 所有在室外使用，或与土壤直接接触的竹构件，应采用防腐竹材。在不直接接触土壤的情况下，可采用其它耐久竹材或耐久竹制品。

8.3.3 当竹构件与混凝土或砖石砌体直接接触时，竹构件应采用防腐竹材。

8.3.4 竹构件的机械切割加工应在防腐防虫药剂处理前进行。竹构件经防腐防虫处理后，应避免重新切割或钻孔。由于技术原因，确有必要作局部修整时，应对竹材暴露的表面，涂刷足够的同品牌或同品种药剂。

8.3.5 当金属连接件、齿板及螺钉与含铜防腐剂处理的竹材接触时，金属连接件、齿板及螺钉应避免防腐剂引起的腐蚀，并应采用热浸镀锌或不锈钢产品。

8.3.6 防腐防虫药剂配方及技术指标应符合现行国家标准《木材防腐剂》GB/T 27654 的相同规定。在任何情况下，均不应使用未经鉴定合格的药剂。

8.3.7 竹结构的防腐、防虫采用药剂加压处理时，该药剂在竹材中的保持量和透入度应达到设计文件规定的要求。

8.4 防白蚁

8.4.1 竹结构建筑受生物危害区域应根据白蚁和腐朽的危害程度划分为四个区域等级，各区域等级包括的地区应按表 8.4.1 的规定确定。

表 8.4.1 生物危害地区划分表

生物危害区域等级	白蚁危害程度	包括地区
Z1	低危害地带	新疆、西藏西北部、青海西北部、甘肃西北部、宁夏北部、内蒙古除突泉至赤峰一带以东地区和加格达奇地区外的绝大部分地区、黑龙江北部
Z2	中等危害地带，无白蚁	西藏中部、青海东南部、甘肃南部、宁夏南部、内蒙古东南部、四川西北部、陕西北部、山西北部、河北北部、辽宁西北部、吉林西北部、黑龙江南部
Z3	中等危害地带，有白蚁	西藏南部、四川西部部分地区、云南德钦以北部分地区、陕西中部、山西南部、河北南部、北京、天津、山东、河南、安徽北部、江苏北部、辽宁东南部、吉林东南部
Z4	严重危害地带，有乳白蚁	云南除德钦以北的其它地区、四川东南大部、甘肃武都以南部分地区、陕西汉中以南部分地区、河南信阳以南部分地区、安徽南部、江苏南部、上海、贵州、重庆、广西、湖北、湖南、江西、浙江、福建、贵州、广东、海南、香港、澳门、台湾

8.4.2 当竹结构建筑施工现场位于白蚁危害区域等级为 Z3 和 Z4 区域内时，竹结构建筑的防白蚁设计应符合下列规定：

- 1 直接与土壤接触的基础和外墙，应采用混凝土或砖石结构；基础和外墙中出现的裂缝宽度不应大于 0.3mm；
- 2 当无地下室时，底层地面应采用混凝土结构，并宜采用整浇的混凝土地面；
- 3 由地下室通往室内的设备电缆缝隙、管道孔缝隙、基础顶面与底层混凝土地坪之间的接缝，应采用防白蚁物理屏障或土壤化学屏障进行局部处理；
- 4 外墙的排水通风空气层开口处应设置连续的防虫网，防虫网搁栅孔径应小于 1mm；
- 5 地基的外排水层或外保温绝热层不宜高出室外地坪，否则应做局部防白蚁处理。

8.4.3 当竹结构建筑施工现场位于白蚁危害区域等级为 Z2、Z3 和 Z4 区域内时，竹结构建筑的施工应符合下列规定：

- 1 施工前应对场地周围的树木和土壤进行白蚁检查和灭蚁工作；
- 2 应清除地基土中已有的白蚁巢穴和潜在的白蚁栖息地；
- 3 地基开挖时应彻底清楚树桩、树根和其它埋在土壤中的木材；

4 所有施工时产生的竹木模板、废竹木材、纸制品及其它有机垃圾，应在建造过程中或完工后及时清理；

5 所有入场材料及园林绿化产品应进行白蚁检疫；

6 应按设计文件要求做好防治白蚁的专项措施。

8.4.4 在白蚁危害区域等级为 Z3 和 Z4 的地区，应采用对人体无害和相应环境影响限制要求的防白蚁土壤化学处理和白蚁诱饵系统等防虫措施。

9 施工与验收

9.1 一般规定

9.1.1 竹结构工程施工应采取保证施工过程中结构承载力和稳定性的安全措施以及保证施工设备、设施安全性的措施，并应进行必要验算。

9.1.2 竹结构子分部工程应由竹结构制作安装与竹结构防护两分项工程组成。只有当分项工程验收合格后，方可进行子分部工程的验收。

9.1.3 检验批应按材料、竹产品和构配件的物理力学性能质量控制和结构构件制作安装质量控制分别划分。

9.1.4 竹结构工程施工质量的控制应符合下列规定：

- 1 竹材与竹产品、钢材以及连接件等，应进行进场验收，对于涉及结构安全和使用功能的材料或半成品应进行检验；
- 2 各工序应按施工工艺控制质量，每道工序完成后，应进行检查；
- 3 相关各专业工种之间，应进行交接检验，应在检验合格后进行下道工序施工；
- 4 应有完整的施工过程记录及竣工文件。

9.1.5 进场检验主要包括以下项目：

- 1 钢材的屈服强度、抗拉强度和伸长率以及钢竹组合屋架下弦圆钢的冷弯性能；
- 2 受弯构件荷载标准组合作用下的抗弯性能；
- 3 结构板材的静曲强度和静曲弹性模量。

9.2 施工

9.2.1 竹结构房屋施工应严格按设计文件（含施工图、文字说明）施工，严禁不按设计要求随意施工。

9.2.2 施工现场必须整洁，应建立清洁、安静的施工环境。施工中产生的废弃物分类堆放，严禁乱扔、乱放。有害物质应分类封闭包装，并及时处理，严禁造成二次环境污染。

9.2.3 施工单位应具有竹/木结构工程的施工资质，或具有三级和三级以上建筑安装工程施工资质。施工单位应有健全的竹结构工程施工质量管理体系，配有掌握竹结构选材、制作、安装和防护等施工工艺的专业技术人员，主要专业工种应有操作上岗证。

9.2.4 施工所用的各种材料等级应符合设计文件规定。

9.2.5 竹结构的施工分部划分为构件制作、安装和防护三个分项工程，当三个分项工程由两个或以上有相应资质的企业进行施工时，应以竹构件制作、安装施工企业为主承包企业，负责分部过程的施工安排和质量管理。

9.2.6 施工前，施工单位应对建设场地及其周围环境进行勘察，发现场地现状与查勘设计不符或出现异常情况时，应与查勘设计部门研究修改设计后，方可施工。受施工影响的相邻设施和房屋，应先做妥善处理。

9.2.7 按构件明细表核对进场构件及连接件的规格、型号、数量；检查构件、连接件的质量，对轻度变形或损伤的构件进行修理；禁止使用变形、损坏严重的构件。构件表面的油污、冰雪、泥沙、灰尘等杂物应清理干净。

9.2.8 安装顺序宜先从靠近山墙的外墙开始，墙体安装到位后，应及时设置临时支撑，并检验各部位尺寸及垂直度等，合格后进行连接固定。

9.2.9 竹结构房屋安装过程中，应采取措施防止构件产生永久变形，不得利用已安装就位的构件起吊重物。

9.2.10 竹结构房屋在形成稳定空间前应及时进行固定。遇有六级以上大风、大雾和雨天等恶劣天气时，不得进行安装活动。

9.2.11 竹结构房屋工程施工机具应选用国家定型产品，具有安全和合格证书。凡使用过程中可能涉及到人身伤害的自制施工机具，均需经当地安全生产行政主管部门的审批方可使用。

9.2.12 固立式电锯、电刨、起重机械应有安全防护装置和操作规程，并应经专门培训合格，持有上岗证的工人操作。

9.2.13 施工作业期间，施工单位应按照相关要求配备专职安全员。

9.3 验收

9.3.1 应对安装质量及时进行检查并校正。钢结构的安装质量应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定。竹木结构的安装质量应符合《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 的相关规定。

9.3.2 竹结构房屋施工完成后，应由施工单位项目负责人组织自检，验收合格后向使用单位办理移交手续，并提供相关技术文件以及盖有安装单位公章和技术负责人签字的《竹结构工程验收合格报告》。具体验收内容见表 9.3.2。

表 9.3.2 竹结构工程验收内容

项次	项目			允许偏差 (mm)	检验方法
1	连接件		连接件的间距	±5	钢尺量
			构件上安装连接件开槽尺寸	连接件尺寸±2	卡尺量
			端距/边距	±5	钢尺量
			连接钢板的构件开槽尺寸	±5	卡尺量
2	楼 (屋) 盖 施工	楼 (屋) 盖	搁栅间距	±40	钢尺量
			楼盖整体水平度	±1/250	水平尺量
			楼盖局部水平度	±1/150	水平尺量
			搁栅截面高度	±2	钢尺量
			搁栅支撑长度	-5	钢尺量
3		楼 (屋) 盖	规定的钉间距	30	钢尺量
			钉头嵌入楼、屋面板表面的最大深度	2	卡尺量
4		楼 (屋) 盖 齿板 连接 桁架	桁架间距	±40	钢尺量
			桁架垂直度	±1/200	直角尺和钢尺量
			齿板安装位置	±5	钢尺量
			弦杆、腹杆、支撑	10	钢尺量
			桁架高度	10	钢尺量
			楼面标高		±5
5	墙体 施 工	墙骨柱	墙骨间距	±10	钢尺量
			墙体垂直度	±1/200	直角尺和钢尺量
			墙体水平度	±1/150	水平尺量
			墙体角度偏差	±1/270	直角尺和钢尺量
			墙骨长度	±2	钢尺量
			单根墙骨柱的出平面偏差	±2	钢尺量
6		顶梁板、底梁板	顶梁板、底梁板的平直度	±1/150	水平尺量
			顶梁板作为弦杆传递荷载时的搭接长度	±10	钢尺量
7		墙面板	规定的钉间距	±10	钢尺量
			钉头嵌入墙面板表面的最大深度	2	卡尺量

项次	项目			允许偏差 (mm)	检验方法
7	墙体施工	墙面板	木框架上墙面板之间的最大缝隙	2	卡尺量
		定位轴线		1	水准仪
8	楼梯、栏杆	走廊、楼梯平台标高		±5	水准仪
		走廊悬挑间距		±5	钢量尺
		栏杆	高度	±5	钢量尺
			垂直度	2	直角尺和钢尺量
			间距	±5	钢量尺