

中国工程建设标准化协会标准

工程竹结构技术规程

Technical specification for engineered bamboo structure

(征求意见稿)

主编单位：上海建科集团股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

日 期：2021 年**月**日

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017 年第一批工程建设协会标准制定、修订计划〉的通知》（建标协字[2017]014 号）的要求，编制组经广泛调研，开展专题研究，认真总结工程实践经验，参考国内外相关标准和规范，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 9 章，主要内容包括：总则、术语和符号、材料、基本设计规定、构件设计、连接设计、构造要求、防火设计、防护与维护等。

本规程由中国工程建设标准化协会木材及复合材结构专业委员会归口管理，由上海建科集团股份有限公司负责解释。在执行本规程过程中，如有意见和建议，请寄送解释单位（地址：上海市宛平南路 75 号；邮编：200032；电子邮箱：jgsrd@sribs.com.cn）。

主编单位：上海建科集团股份有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
3	材料	5
3.1	工程竹材.....	5
3.2	钢材与金属连接件.....	6
3.3	其他材料.....	7
4	基本设计规定	9
4.1	一般规定.....	9
4.2	设计指标与允许值.....	10
4.3	结构分析.....	11
5	构件设计	13
5.1	轴心受拉和轴心受压构件.....	13
5.2	受弯构件.....	15
5.3	拉弯、压弯和偏压构件.....	19
6	连接设计	20
6.1	一般规定.....	20
6.2	计算与构造.....	20
7	构造要求	23
8	防火设计	25
8.1	一般规定.....	25
8.2	防火设计和验算.....	25
8.3	防火构造.....	27
9	防护与维护	29
9.1	一般规定.....	29
9.2	防水防潮.....	29
9.3	防腐与防虫处理.....	30
9.4	检查和维护.....	31
	本规程用词说明	33
	引用标准名录	34
	条文说明	34

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols.....	2
3	Materials.....	5
	3.1 Engineered bamboo	5
	3.2 Steel and metal connector	6
	3.3 Other materials	7
4	Basic requirements for structural design	9
	4.1 General requirements	9
	4.2 Design values and allowable limits.....	10
	4.3 Structural analysis	11
5	Member design	13
	5.1 Axial tensile members and axial compression members	13
	5.2 Bending members	15
	5.3 Combined bending and axial loading members.....	19
6	Connection design	20
	6.1 General requirements	20
	6.2 Calculation and construction	20
7	Construction requirements	23
8	Fire design	25
	8.1 General requirements	25
	8.2 Fire design and calculation.....	25
	8.3 Construction details of fire protection	27
9	Protection and maintainance.....	29
	9.1 General requirements	29
	9.2 Waterproof and moisture dampproof.....	29
	9.3 Preservative and insect treatments	30
	9.4 Inspection and Maintenance.....	31
	Explanation of wording in this specification	33
	Lists of quoted standards	34
	Explanation of provisions.....	36

1 总则

1.0.1 为适应工程竹结构建筑的发展，在应用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、确保质量和保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用胶合竹和重组竹等承重的不超过 3 层的工程竹建筑设计。

1.0.3 工程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。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 工程竹 engineered bamboo

按工程结构对强度、变形及耐久性的要求，将圆竹经切削、蒸煮、干燥、胶合等处理工艺制成的竹质型材，本规程所采用的结构用工程竹包括胶合竹、重组竹等。

2.1.2 胶合竹 laminated bamboo

也称竹集成材，竹条在长度方向顺纹组坯胶合压制而成的型材。

2.1.3 重组竹 bamboo scrimber

也称竹重组材，以竹束或竹束片为构成单元，按顺纹组坯、经胶合压制而成的型材。

2.1.4 工程竹结构 engineered bamboo structure

采用工程竹作为主要承重构件所组成的结构。

2.2 符号

2.2.1 材料力学性能指标和结构设计指标

E ——工程竹材抗弯弹性模量；

f_c ——工程竹材顺纹抗压强度设计值；

f_{em} 、 f_{es} ——主、次构件销槽承压强度标准值；

$f_{e,0}$ ——销轴类紧固件销槽顺纹承压强度；

$f_{e,90}$ ——销轴类紧固件销槽横纹承压强度；

$f_{e,\theta}$ ——作用在构件上的荷载与工程竹顺纹方向呈夹角 θ 时的销槽承压强度；

f_m ——工程竹材抗弯强度设计值；

$f_{m,x}$ 、 $f_{m,y}$ ——相对于 x 轴和 y 轴的抗弯强度设计值；

f_t ——工程竹材顺纹抗拉强度设计值；
 f_v ——工程竹材顺纹抗剪强度设计值；
 f_{yb} ——销轴类紧固件抗弯强度标准值；
 $[\omega]$ ——受弯构件的挠度限值。

2.2.2 作用和作用效应

M ——弯矩设计值；
 M_x 、 M_y ——相对于 x 轴和 y 轴的弯矩设计值；
 M_0 —— 初始弯矩设计值
 N ——轴向力设计值；
 R ——结构构件的承载力设计值；
 S ——作用效应组合的设计值；
 V ——剪力设计值；
 σ_c ——压应力设计值；
 σ_m ——弯曲应力设计值；
 $\sigma_{m,c}$ ——根据经典稳定理论得到的梁临界屈曲应力；
 $\sigma_{m,x}$ 、 $\sigma_{m,y}$ ——由 M_x 、 M_y 引起的的弯曲应力设计值；
 σ_t ——拉应力设计值；
 ω —— 构件按荷载效应的标准组合计算的挠度；
 ω_x 、 ω_y —— 构件按荷载效应的标准组合计算的对截面 x 轴、 y 轴方向的挠度。

2.2.3 几何参数

A ——构件全截面面积；
 A_n ——构件净截面面积；
 A_0 ——受压构件截面的计算面积；
 b ——构件的截面宽度；
 d ——销轴类紧固件的直径；
 d_{ef} ——有效炭化层厚度；

e_0 ——构件轴向压力的初始偏心距；
 h ——构件的截面高度；
 h_n ——受弯构件在切口处净截面高度；
 I ——构件的全截面惯性矩；
 i ——构件截面的回转半径；
 l_c ——受压构件的长度；
 l_m 、 l_s ——主、次构件销槽承压面长度；
 l_0 ——构件的计算长度；
 S ——剪切面以上的截面面积对中和轴的面积矩；
 W ——构件的全截面抵抗矩；
 W_n ——构件的净截面抵抗矩；
 $W_{n,x}$ 、 $W_{n,y}$ ——相对于 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩
 λ ——构件的长细比；
 θ ——荷载与工程竹材顺纹方向的夹角。

2.2.4 计算系数

k_l ——轴心受压构件的长度计算系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 φ ——轴心受压构件的稳定系数；
 φ_b ——考虑梁侧向屈曲的强度折减系数。

2.2.5 其他

C ——根据工程竹结构构件正常使用要求规定的变形限值；
 β_n ——工程竹材燃烧 1.00h 内的名义线性炭化速率。

3 材料

3.1 工程竹材

3.1.1 结构用工程竹材单元之间应胶粘结质量良好，并满足强度和耐久性要求。

3.1.2 结构用工程竹材应由工厂制作生产，制作工厂应有完善的质量保证体系和管理制度。出厂的产品应附有产品标识、生产合格证书、检验报告和环保标识。

产品标识宜包括以下内容：

- 1 产品标准名称；
- 2 规格尺寸；
- 3 竹种及产地，胶粘剂类型；
- 4 分等等级或物理力学性能；
- 5 外观等级；
- 6 甲醛释放量；
- 7 经过防护处理的构件应有防护处理的标记；
- 8 生产厂家名称和生产日期。

3.1.3 当工程竹构件需作防护处理时，构件防护处理应在工厂完成，并应有防护处理合格检验报告。

3.1.4 用于纵向接长的竹条，接长方向相邻竹条接头之间距离应大于30倍竹条厚度；竹条横拼时，同一截面上，接头应至少相隔2层竹条。胶合竹构件同一截面上板材接头数目不应多于板材层数的1/4，应避免将各层接头沿构件高度布置成阶梯形。

3.1.5 重组竹在同一跨内沿长度方向应一次压制成型，重组竹应符合现行行业标准《结构用重组竹》LY/T 3194 的有关规定；胶合竹应符合现行国家标准《结构用竹集成材》GB/T ××××（报批中）的有关规定。

3.2 钢材与金属连接件

3.2.1 工程竹结构中使用的钢材宜采用 Q235 钢、Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢，钢材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。当采用其他牌号的钢材时，应符合国家现行有关标准的规定。

3.2.2 对于工程竹结构中的钢材，当采用国外进口金属连接件时，应提供产品质量合格证书，并应符合设计要求。

3.2.3 下列情况的承重构件或连接材料宜采用 D 级碳素结构钢或 D 级、E 级低合金高强度结构钢：

- 1 直接承受动力荷载或振动荷载的焊接构件或连接件；
- 2 工作温度等于或低于 -20°C 的构件或连接件。

3.2.4 用于承重工程竹结构中的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格保证，对焊接构件或连接件尚应有含碳量的合格保证。钢竹桁架的圆钢下弦直径 d 大于 20mm 的拉杆，以及焊接承重结构或是重要的非焊接承重结构采用的钢材，应具有冷弯试验的合格保证；对直接承受动力荷载或需验算疲劳的构件所用的钢材尚应具有冲击韧性的合格保证。

3.2.5 普通螺栓应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 和《紧固件公差 螺栓、螺钉、螺柱和螺母》GB/T 3103.1 的有关规定。螺栓的规格和尺寸应分别符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 和《六角头螺栓》GB/T 5782 的有关规定。

3.2.6 高强度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、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 和《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的有关规定。

3.2.7 锚栓可采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中规定的 Q235 钢或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中规定的 Q345 钢制成。

3.2.8 钢构件焊接用的焊条，应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 及《热强钢焊条》GB/T 5118 的规定。焊条的型号应与主体金属的力学性能相适应。

3.2.9 金属连接件及螺钉等应进行防腐处理，宜采用热镀锌或不锈钢制品。

3.2.10 对于完全外露的金属连接件可采取涂刷防火涂料等防火措施，防火涂料的涂刷工艺应满足设计或国家现行相关标准的规定。

3.3 其他材料

3.3.1 结构用胶应满足结合部位的强度和耐久性的要求，应保证其二次胶合强度不低于被胶合层板的顺纹抗剪和横纹抗拉强度。

3.3.2 结构用胶粘剂应根据工程竹结构的使用环境（包括气候、含水率、温度）、工程竹类型、防水和防腐要求以及生产制造方法等条件选择使用。。

3.3.3 承重结构采用的胶粘剂按其性能指标可分为 I 级胶和 II 级胶。在室内条件下，普通的建筑结构可采用 I 级或 II 级胶粘剂。对下列情况的结构应采用 I 级胶粘剂：

- 1 重要的建筑结构；
- 2 使用中可能处于潮湿环境的建筑结构；
- 3 使用温度经常大于 50℃ 的建筑结构；
- 4 完全暴露在大气条件下，以及使用温度小于 50℃，但是所处环境的空气相对湿度经常超过 85% 的建筑。

3.3.4 胶粘剂的防水性和耐久性应满足结构的使用条件 and 设计使用年限的要求，并应符合现行行业标准《环境标志产品技术要求 胶粘剂》HJ 2541 的规定。

3.3.5 建筑用防火材料燃烧性能的技术指标应符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 的规定，并应满足设计的耐火性能要求。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 本规程应采用以概率理论为基础的极限状态设计法，采用的设计基准期应为 50 年，结构的安全等级不应低于三级。

4.1.2 对于承载能力极限状态，工程竹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：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.1.2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数；

S ——承载能力极限状态的荷载效应的设计值，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定进行计算；

R ——结构构件的承载力设计值。

4.1.3 结构重要性系数 γ_0 应按下列规定采用：

- 1 安全等级为二级或设计使用年限为 50 年的结构构件，不应小于 1.0；
- 2 安全等级为三级或设计使用年限为 5 年的结构构件，不应小于 0.9；
- 3 对设计使用年限为 25 年的结构构件，不应小于 0.95。

4.1.4 工程竹结构体系的抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

4.1.5 对于正常使用极限状态，工程竹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：

$$S \leq C \quad (4.1.5)$$

式中： S ——正常使用极限状态的荷载效应的设计值；

C ——根据工程竹结构构件正常使用要求规定的变形限值。

4.1.6 工程竹结构建筑的结构体系设计应符合下列规定：

- 1 满足承载能力、刚度和延性要求；
- 2 采取加强结构整体性的技术措施；
- 3 具有合理明确的传力路径；
- 4 结构薄弱部位采取加强措施；
- 5 具有良好的抗震能力和变形能力。

4.2 设计指标与允许值

4.2.1 胶合竹和重组竹的力学性能设计指标可通过试验确定，也可按国家现行标准《结构用竹集成材》GB/T ****（报批中）和《结构用重组竹》LY/T 3194 分别确定。

4.2.2 工程竹的强度设计值和弹性模量还应按下列规定进行调整。在不同的使用条件下，工程竹强度设计值和弹性模量应乘以表 4.2.2-1 规定的调整系数。对于不同的设计使用年限，工程竹强度设计值和弹性模量还应乘以表 4.2.2-2 规定的调整系数。

表 4.2.2-1 不同使用条件下的工程竹强度设计值和弹性模量调整系数

使用条件	调整系数	
	强度设计值	弹性模量
露天环境	0.9	0.85
长期生产性高温环境，工程竹表面温度达40℃~50℃	0.7	0.7
按恒荷载验算时	0.6	0.6
用于工程竹构筑物时	0.9	1.0
施工和维修时的短暂情况	1.2	1.0

注：1 当仅有恒荷载或恒荷载产生的内应力超过全部荷载产生内力的 80%时，应单独以恒荷载进行验算；

2 当若干条件同时出现时，表列各系数应连乘。

表 4.2.2-2 不同设计使用年限时工程竹强度设计值和弹性模量的调整系数

设计使用年限	调整系数	
	强度设计值	弹性模量
5 年	1.10	1.10

25 年	1.05	1.05
50 年	1.00	1.00

4.2.3 在计算构件承载力时，应验算净截面。在任何情况下，因钻孔、开槽、刻痕、切口或其他方法造成的材料削减面积后的净截面不应小于总截面的 75%。

4.2.4 受弯构件的计算挠度，应满足表 4.2.4 的挠度限值。

表 4.2.4 受弯构件的挠度限值

项次	构件类别		挠度限值[ω]	
1	檩条	$l \leq 3.3\text{m}$	$l/200$	
		$l > 3.3\text{m}$	$l/250$	
2	椽条		$l/150$	
3	吊顶中的受弯构件		$l/250$	
4	楼面梁和格栅		$l/250$	
5	屋面梁或桁架	工业建筑		$l/120$
		民用建筑	无粉刷吊顶	$l/180$
			有粉刷吊顶	$l/240$

注：表中 l 为受弯构件的计算跨度。

4.2.5 对于可能发生侧向失稳的柱和梁，或框架中的构件，支撑间跨中处所测的直线度偏差应限制：对胶合竹构件为跨度的 1/500；对重组竹构件为跨度的 1/300。

4.3 结构分析

4.3.1 结构分析模型应按结构实际情况确定，可选择空间杆系、空间杆-墙板元及其他组合有限元等计算模型。所选取的计算模型应能准确反映结构构件的实际受力状态，连接的假定应符合结构实际采用的连接形式。

4.3.2 结构内力和位移计算可采用弹性分析。内力和位移计算时，当采取了保证楼板平面内整体刚度的措施，可假定楼板平面为无限刚性进行计算；当楼板具有较明显的面内变形，计算时应考虑楼板面内变形的影响，或对按无限刚性假定方法的计算结果进行适当调整。

4.3.4 结构中抗侧力构件承受的剪力，对于柔性楼、屋盖宜按面积分配法进行分配；对于刚性楼、屋盖宜按抗侧力构件等效刚度的比例进行分配。

5 构件设计

5.1 轴心受拉和轴心受压构件

5.1.1 轴心受拉构件的承载能力应按下式计算：

$$\sigma_t = \frac{N}{A_n} \leq f_t \quad (5.1.1)$$

式中： f_t ——工程竹材顺纹抗拉强度设计值（N/mm²）；

σ_t ——受拉构件的拉应力设计值（N/mm²）；

N ——轴心拉力设计值（N）；

A_n ——受拉构件的净截面面积（mm²）

5.1.2 轴心受压构件的承载能力应按下列要求进行验算：

1 按强度验算：

$$\sigma_c = \frac{N}{A_n} \leq f_c \quad (5.1.2-1)$$

2 按稳定验算：

$$\frac{N}{\varphi A_0} \leq f_c \quad (5.1.2-2)$$

式中： f_c ——工程竹材顺纹抗压强度设计值（N/mm²）；

σ_c ——受压构件的压应力设计值（N/mm²）；

N ——轴心压力设计值（N）；

A_n ——受压构件的净截面面积（mm²）

A_0 ——受压构件截面的计算面积（mm²），可按本规程第 5.1.3 条确定；

φ ——轴心受压构件稳定系数，可按本规程第 5.1.4 条确定。

5.1.3 按稳定验算时受压构件截面的计算面积 A_0 可按下列规定采用：

1 无缺口时，取 $A_0 = A$ （ A 为受压构件的全截面面积，mm²）；

2 缺口不在边缘时（图 5.1.3a），取 $A_0 = 0.9A$ ；

3 缺口在边缘且为对称时（图 5.1.3b），取 $A_0 = A_n$ ；

4 缺口在边缘但不对称时（图 5.1.3c），取 $A_0 = A_n$ ，且应按偏心受压构件计算；

5 验算稳定时，螺栓孔可不作为缺口考虑。

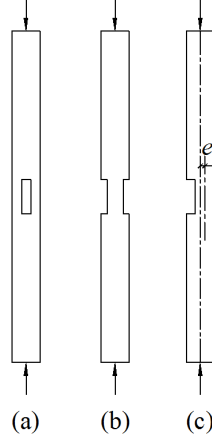


图 5.1.3 受压构件缺口

5.1.4 胶合竹和重组竹轴心受压构件稳定系数 φ 的取值应按下列公式确定：

1 胶合竹轴心受压构件稳定系数应按下列公式计算：

当 $f_{cE}/f_c \leq 1$ 时

$$\varphi_{LB} = 0.8 \times \left[\frac{1.4 + (f_{cE}/f_c)}{1.8} - \sqrt{\left[\frac{1.4 + (f_{cE}/f_c)}{1.8} \right]^2 - \frac{f_{cE}/f_c + 0.4}{0.9}} \right] \quad (5.1.4-1)$$

当 $f_{cE}/f_c > 1$ 时

$$\varphi_{LB} = 0.75 \times \left[\frac{1.4 + (f_{cE}/f_c)}{1.8} - \sqrt{\left[\frac{1.4 + (f_{cE}/f_c)}{1.8} \right]^2 - \frac{f_{cE}/f_c + 0.4}{0.9}} \right] \quad (5.1.4-2)$$

2 重组竹轴心受压构件稳定系数应按下列公式计算：

$$\varphi_{BS} = 0.8 \times \left[\frac{1.45 + (f_{cE}/f_c)}{1.8} - \sqrt{\left[\frac{1.45 + (f_{cE}/f_c)}{1.8} \right]^2 - \frac{f_{cE}/f_c + 0.45}{0.9}} \right] \quad (5.1.4-3)$$

$$f_{cE} = \frac{0.47E}{(l_0/b)^2} \quad (5.1.4-4)$$

$$l_0 = k_l l \quad (5.1.4-5)$$

式中： b ——矩形截面边长，其他形状截面，可用 $r\sqrt{12}$ 代替（ r 为截面的回转半径）；

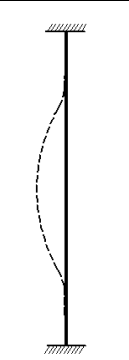
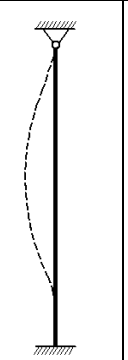
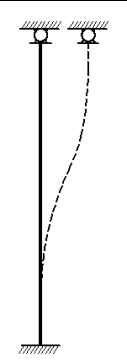
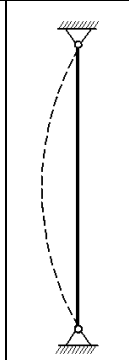
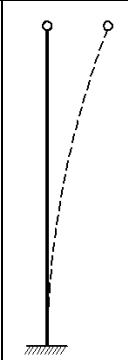
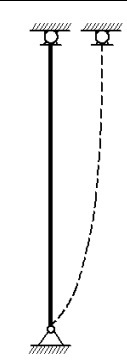




E —— 工程竹材的弹性模量 (N/mm^2) ;

l —— 构件实际长度;

l_0 —— 计算长度;

k_l —— 长度计算系数, 取值见表 5.1.4。

表 5.1.4 长度计算系数 k_l 的取值

失稳模式						
k_l	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.4
端部制作条件示意图	 不能转动, 不能移动	 自由转动, 不能移动	 不能转动, 自由移动	 自由转动, 自由移动		

3 当沿受压构件长度方向布置有使构件不产生侧向位移的支撑时, 轴心受压稳定系数 $\varphi = 1$ 。

5.2 受弯构件

5.2.1 受弯构件的设计应符合下列规定:

1 简支梁、连续梁和悬臂梁的计算跨度应为梁的净跨加上每端支座的 $1/2$ 支承长度;

2 受弯构件除靠近支座的端部外, 不应在构件的其他位置开口。在支座处受拉侧的开口高度不应大于构件截面高度的 $1/10$ 与 75mm 之间的较小者, 开口长度不应大于跨度的 $1/3$; 在端部受压侧的开口高度不应大于构件截面高度的 $2/5$, 开口长度不应大于跨度的 $1/3$ 。

3 构件端部受压侧有斜切口时, 斜切口的最大高度不应大于构件截面高度的 $2/3$, 水平长度不应大于构件截面高度的 3 倍。当水平长度大于构件截面高度

的 3 倍时，应进行斜切口受剪承载能力的验算。

5.2.2 计算构件承载力时，净截面面积 A_n 的计算应符合下列规定：

- 1 净面积应等于全截面面积减去由钻孔、刻槽或其他因素削弱的面积；
- 2 荷载沿顺纹方向作用时，对于交错布置的销类紧固件，当相邻两排的紧固件在顺纹方向的间距小于 4 倍紧固件的直径时，则可认为相邻紧固件在同一截面上；

3 计算剪板连接的净面积（图 5.2.2）时，净面积应等于全面积减去螺栓孔以及安装剪板的槽口的面积。剪板交错布置时，当相邻两排剪板在顺纹方向的间距小于或等于一个剪板的直径时，则可认为相邻紧固件在同一截面。

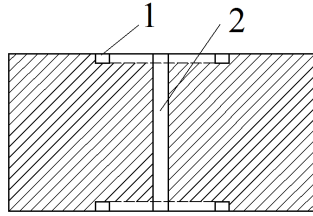


图 5.2.2 剪切板连接中构件的截面净面积
1—用于安装剪板的刻槽；2—螺栓孔

5.2.3 受弯构件的受弯承载能力应按下列公式验算：

1 按强度验算：

$$\sigma_m = \frac{M}{W_n} \leq f_m \quad (5.2.3-1)$$

2 按稳定验算：当构件截面宽度小于截面高度、沿受压边长度方向没有侧向支撑并且构件在端部没有防止构件转动的支撑时，受弯构件的侧向稳定应按下列式计算：

$$\frac{M}{\varphi_l W_n} \leq f_m \quad (5.2.3-2)$$

$$\varphi_l = \begin{cases} 1 & \lambda_{r,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75\lambda_{r,m} & 0.75 < \lambda_{r,m} \leq 1.4 \\ 1/\lambda_{r,m}^2 & \lambda_{r,m} > 1.4 \end{cases} \quad (5.2.3-3)$$

$$\lambda_{r,m} = \sqrt{f_{m,k}/\sigma_{m,c}} \quad (5.2.3-4)$$

式中： M ——受弯构件的弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；
 W_n ——受弯构件的净截面抵抗矩（ mm^3 ）；
 f_m ——工程竹材抗弯强度设计值（ N/mm^2 ）；
 φ_l ——考虑梁侧向屈曲的强度折减系数，当梁的受压边沿全长都有侧向约束，且支座处有扭转约束时，可取为 1；
 $\lambda_{r,m}$ ——受弯梁的相对长细比；
 $f_{m,k}$ ——工程竹抗弯强度标准值（ N/mm^2 ）；
 $\sigma_{m,c}$ ——根据经典稳定理论得到的梁临界屈曲应力。对于矩形截面，
 $\sigma_{m,c} = \frac{0.6Eb^2}{hl_{ef}}$ ， l_{ef} 为有效长度，对于梁可取无支长度， b 、 h 分别为构件截面宽度和高度。

5.2.4 受弯构件的顺纹抗剪承载能力应按下列式验算：

$$\frac{VS}{Ib} \leq f_v \quad (5.2.3-1)$$

式中： V ——受弯构件剪力设计值（ N ），按本规程 5.2.5 条确定；
 S ——剪切面以上的截面面积对中和轴的面积矩（ mm^3 ）；
 b ——构件的截面宽度（ mm ）；
 I ——构件的全截面惯性矩（ mm^4 ）；
 f_v ——工程竹顺纹抗剪强度设计值（ N/mm^2 ）。

5.2.5 受弯构件的剪力设计值 V ，应按下列规定采用：

- 1 梁顶面受均布荷载作用时，距离梁支座边缘为梁截面高度范围内的荷载可以不考虑；梁顶面受集中荷载作用时，距离梁支座边缘为梁截面高度范围内的荷载应乘以系数 x/h ，其中 x 为荷载到较近的梁支座边缘的距离， h 为梁的截面高度，如图 5.2.5 所示；
- 2 梁承受单个移动荷载作用时，应考虑移动荷载位于距各支座边缘为梁截面高度处的情况，并忽略距离梁支座边缘为梁截面高度范围内的荷载；
- 3 梁承受多个移动荷载作用时，应考虑引起最大剪力的不利荷载布置情况，并忽略距离梁支座边缘为梁截面高度范围内的荷载。

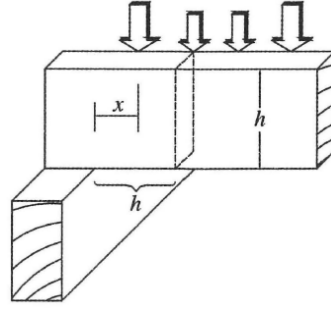


图 5.2.5 支座处剪力设计值计算示意图

5.2.6 矩形截面受弯构件支座处受拉面有切口时,实际的受剪承载能力应按下列式验算:

$$\frac{3V}{2bh_n} \left(\frac{h}{h_n} \right)^2 \leq f_v \quad (5.2.6)$$

式中: f_v —— 工程竹材顺纹抗剪强度设计值 (N/mm^2);

b —— 构件的截面宽度 (mm);

h —— 构件的截面高度 (mm);

h_n —— 受弯构件在切口处净截面高度 (mm);

V —— 剪力设计值 (N)。

5.2.7 双向受弯构件的受弯承载能力,应按下列式验算:

$$\frac{M_x}{W_{n,x} f_{m,x}} + \frac{M_y}{W_{n,y} f_{m,y}} \leq 1 \quad (5.2.7)$$

式中: M_x 、 M_y —— 相对于 x 轴和 y 轴的弯矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

$W_{n,x}$ 、 $W_{n,y}$ —— 相对于 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩 (mm^3);

$f_{m,x}$ 、 $f_{m,y}$ —— 相对于 x 轴和 y 轴的抗弯强度设计值 (N/mm^2)。

5.2.8 受弯构件的挠度,应按下列式验算:

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2} \leq [\omega] \quad (5.2.8)$$

式中: ω —— 构件按荷载效应的标准组合计算的挠度 (mm);

ω_x 、 ω_y —— 构件按荷载效应的标准组合计算的对截面 x 轴、 y 轴方向的挠度 (mm);

$[\omega]$ ——受弯构件的挠度限值 (mm)，按本规程表 4.2.4 采用。

5.3 拉弯、压弯和偏压构件

5.3.1 拉弯构件的承载能力，应按下式验算：

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{m,x}}{f_{m,x}} + \frac{\sigma_{m,y}}{f_{m,y}} \leq 1 \quad (5.3.1)$$

5.3.2 压弯构件的承载能力，应按下式验算：

1 按强度计算：

$$\left(\frac{\sigma_c}{f_c}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,x}}{f_{m,x}} + \frac{\sigma_{m,y}}{f_{m,y}} \leq 1 \quad (5.3.2-1)$$

2 按稳定验算：

$$\frac{\sigma_c}{\varphi_c} + \frac{\sigma_{m,x}}{f_{m,x}} + \frac{\sigma_{m,y}}{f_{m,y}} \leq 1 \quad (5.3.2-2)$$

3 当 $\lambda_{r,c} \leq 0.5$ 时，可不进行稳定验算。

5.3.3 对偏心受压构件，弯矩设计值 M 应按下式计算：

$$M = Ne_0 + M_0 \quad (5.3.3)$$

式中： N ——轴向压力设计值 (N)；

e_0 ——构件轴向压力的初始偏心距 (mm)，当不能确定时，可按 0.05 倍构件截面高度采用；

M_0 ——初始弯矩设计值 (N·mm)。

6 连接设计

6.1 一般规定

6.1.1 工程竹构件宜采用螺栓、销等紧固件进行连接；紧固件的规格尺寸应符合国家现行相关产品标准的规定。

6.1.2 工程竹结构的连接设计应符合下列原则：

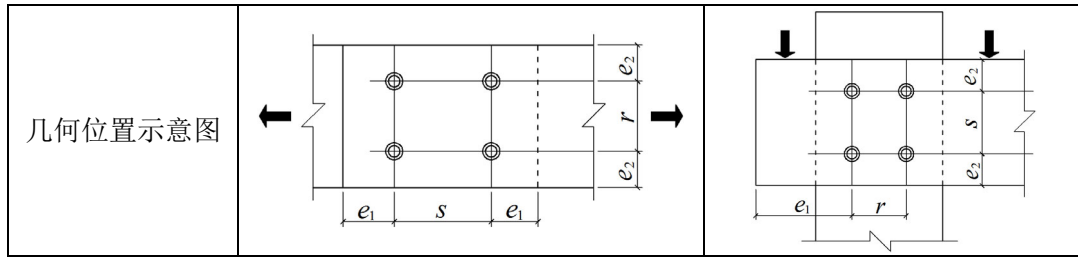
- 1 传力应简单明确；
- 2 在同一连接计算中，不应考虑两种或两种以上不同种类或不同刚度连接的共同作用，不应同时采用直接传力或间接传力两种传力方式；
- 3 连接形式宜对称布置；
- 4 被连接的工程竹构件宜避免出现横纹受拉；
- 5 构件连接采用的紧固件安装好后，构件应表面紧密接触，且允许构件产生适当的膨胀收缩变形。

6.2 计算与构造

6.2.1 销轴类紧固件的端距、边距、间距和行距最小尺寸应符合表 6.2.1 的规定。当采用螺栓或销作为紧固件时，紧固件直径不应小于 6mm。

表 6.2.1 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	顺纹荷载作用时		横纹荷载作用时	
最小端距 e_1	受力端	$7d$	$4d$	
	非受力端	$4d$		
最小边距 e_2	当 $l/d \leq 6$	$1.5d$	受力边	$4d$
	当 $l/d > 6$	取 $1.5d$ 与 $r/2$ 两者较大值	非受力边	$1.5d$
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 $l/d \geq 6$	$5d$



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 为紧固件的直径；并且 l/d 值应取下列两者中的较小值；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 ；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 。

6.2.2 交错布置的销轴类紧固件（图 6.2.2）的端距、边距、间距和行距的布置应符合下列规定：

1 对于顺纹荷载作用下交错布置的紧固件，当相邻行上的紧固件在顺纹方向的间距不大于 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 对于横纹荷载作用下交错布置的紧固件，当相邻行上的紧固件在横纹方向的间距不小于 $4d$ 时，则紧固件在顺纹方向的间距可不受限制；当相邻行上的紧固件在横纹方向的间距小于 $4d$ 时，则紧固件在顺纹方向的间距应符合本规程表 6.2.1 的规定。

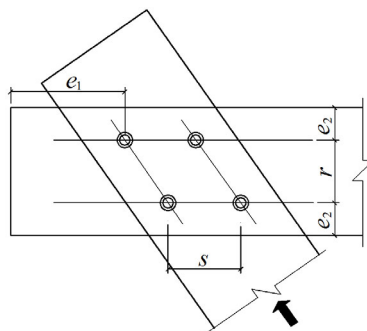


图 6.2.2 紧固件交错布置几何位置示意

6.2.3 对于采用单剪或对称双剪的销轴类紧固件的连接（图 6.2.3），当满足下列要求时，承载力设计值可按现行国家标准《胶合木结构技术规范》GB/T 50708 的规定进行计算：

- 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规程表 6.2.1 中的规定。

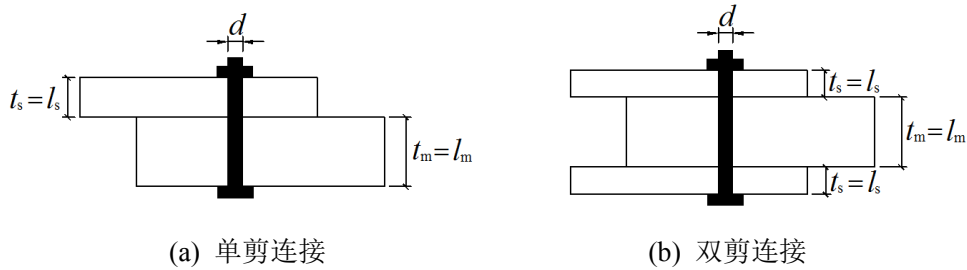


图 6.2.3 销轴类紧固件的连接方式

6.2.4 销轴类紧固件的抗弯强度标准值和销槽的承压长度应符合下列规定：

- 1 销轴类紧固件抗弯强度标准值应取消轴屈服强度的 1.3 倍；
- 2 当销轴的贯入深度小于 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。

6.2.5 剪面承载力设计值 Z 的计算应符合下列规定：

- 1 互相不对称的三个构件连接时，剪面承载力设计值 Z 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作为连接的剪面设计承载力；
- 2 当四个或四个以上构件连接时，每一剪面按单剪连接计算；
- 3 连接的剪面设计承载力等于最小承载力乘以剪面数量。

6.2.6 当单剪连接中的荷载与紧固件轴线呈一定角度时（除 90° 外），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设计承载力；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。

7 构造要求

7.0.1 工程竹结构设计应满足下列要求：

- 1 竹屋盖宜采用外排水，若必须采用内排水时，不应采用竹制天沟；
- 2 应采用通风和防潮措施；
- 3 应保证工程竹结构特别是桁架结构在运输和安装过程中的强度、刚度和稳定性，可在施工图中提出注意事项；
- 4 地震区设计工程竹结构，在构造上应加强构件之间、结构与支承物之间的连接，特别是刚度差别较大的两部分或两个构件之间的连接应安全可靠。

7.0.2 工程竹结构采用的预制结构构件可分为预制梁柱构件、预制板式组件和预制空间组件，并应符合下列规定：

- 1 应满足建筑使用功能、结构安全和标准化制作的要求；
- 2 应满足模数化设计、标准化设计的要求；
- 3 应满足制作、运输、堆放和安装对尺寸、形状的要求；
- 4 应满足质量控制的要求；
- 5 应满足重复使用、组合多样的要求。

7.0.3 在可能造成风灾的台风地区和山区风口地段，工程竹结构的设计，应采取措施加强建筑物的抗风能力。

7.0.4 当工程竹梁上有悬挂荷载时，荷载作用点的位置宜在梁顶。

7.0.5 工程竹矩形、工字形截面构件的高度 h 与宽度 b 的比值，梁一般不宜大于 6，直线形受压或压弯构件一般不宜大于 5；高宽比不满足要求的构件，应设置必要的侧向支撑，满足侧向稳定要求。

7.0.6 工程竹桁架在制作时宜按跨度的 $1/200$ 起拱。对于较大跨度的屋面梁，起拱高度宜为恒载作用下计算挠度的 1.5 倍。

7.0.7 杆系结构中的工程竹构件，当有截面削弱时，净截面面积不应小于构件全截面面积的 60%。在受弯构件的受拉边底部板上，不应打孔或开设缺口。

7.0.8 多个紧固件不宜沿顺纹方向布置成单排。若多个紧固件沿顺纹方向布置成单排，应采取措施提高连接处的横纹抗拉能力，避免产生横纹受拉破坏。

7.0.9 工程竹结构的设计应考虑构件含水率变化对构件尺寸和构件连接的影响。工程竹构件采用螺栓作为紧固件时，预钻孔的直径不应超过螺栓的直径 1mm 以上。

7.0.10 工程竹构件采用钢填板作为连接件时，构件中安装钢填板位置的开槽厚度不宜超过钢填板厚度 1mm 以上。

8 防火设计

8.1 一般规定

8.1.1 工程竹结构建筑的防火设计和防火构造除应符合本章的规定外,对于本章未作规定的,尚应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的相关规定。

8.1.2 本章规定的设计方法适用于耐火极限不超过 2.00h 的构件防火设计。

8.2 防火设计和验算

8.2.1 在进行工程竹构件的防火设计和验算时,荷载组合应取偶然荷载组合,永久荷载和可变荷载均应采用标准值。

8.2.2 受火后工程竹构件的剩余承载力设计值计算时,构件材料的强度和弹性模量应采用平均值。材料强度平均值应为材料强度标准值乘以调整系数,调整系数可取 1.36。

8.2.3 工程竹构件燃烧 t 小时后,有效炭化层厚度应根据下式计算:

$$d_{ef} = \beta_n t + C_d \quad (8.2.3)$$

式中: d_{ef} —— 有效炭化层厚度 (mm);

β_n —— 工程竹材燃烧 1.00h 的名义线性炭化速率 (mm/h); 胶合竹构件的名义线性炭化速率为 54mm/h, 重组竹构件的名义线性炭化速率为 42mm/h;

t —— 耐火极限 (h);

C_d —— 考虑“拐角效应”和高温分解区等影响的相关常数,对于胶合竹构件取 7mm,对于重组竹构件取 5mm。

8.2.4 当验算受火后的构件承载能力时,应按本规程第 5 章的各项相关规定进行验算,并应符合下列规定:

- 1 验算构件受火后的承载能力时，应采用构件受火后的剩余截面尺寸；
- 2 当确定构件强度值需要考虑尺寸调整系数或体积调整系数时，应按构件受火前的截面尺寸计算相应调整系数。

8.2.5 构件连接的耐火极限不应低于所连接构件的耐火极限。

8.2.6 三面受火和四面受火的工程竹构件受火后剩余截面（图 8.2.6）的几何特征应根据构件实际受火面和有效炭化厚度进行计算。

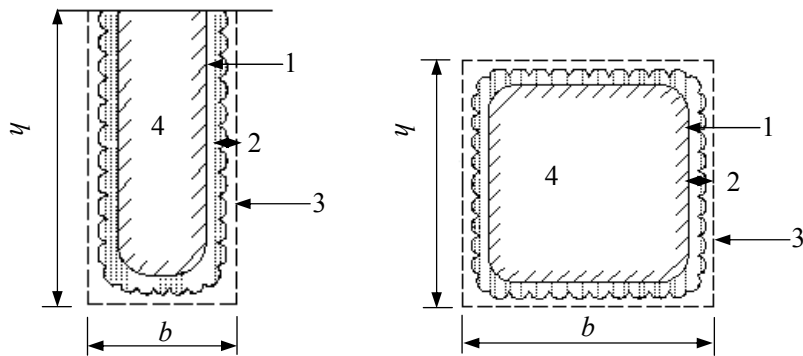


图 8.2.6 三面受火和四面受火构件截面

1—构件受火后剩余截面边缘；2—有效炭化层厚度 d_{ef}

3—构件受火前截面边缘；4—剩余截面；

h —受火前截面高度（mm）； b —受火前截面宽度（mm）

8.2.7 工程竹结构建筑构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表 8.2.7 的规定。

表 8.2.7 工程竹结构建筑构件的燃烧性能和耐火极限（h）

构件名称	燃烧性能和耐火极限
防火墙	不燃性 3.00
承重墙、住宅建筑单元之间的墙和分户墙、楼梯间的墙	难燃性 1.00
电梯井的墙	不燃性 1.00
非承重外墙、疏散走道两侧的隔墙	难燃性 0.75
房间隔墙	难燃性 0.50
承重柱	可燃性 1.00
梁	可燃性 1.00
楼板	难燃性 0.75
屋顶承重构件	可燃性 0.50

疏散楼梯	难燃性 0.50
吊顶	难燃性 0.15

8.2.8 工程竹结构采用的建筑材料,其燃烧性能的技术指标应符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624 的规定。

8.3 防火构造

8.3.1 当工程竹梁与柱、工程竹梁与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工程竹构件内,固定用的螺栓孔可采用竹塞封堵,所有的连接缝采用防火封堵材料填缝;

2 对于胶合竹结构,金属连接件外露时,金属连接件表面可采用截面厚度不小于 60mm 的胶合竹材作为表面附加防护层;对于重组竹结构,金属连接件表面可采用截面厚度不小于 50mm 的重组竹材作为表面附加防护层;

3 采用厚度大于 15mm 的耐火纸面石膏板可在梁柱连接处进行分隔保护。

8.3.2 管道、电气线路敷设在墙体内或穿过楼板、墙体时,应采取防火保护措施,与墙体、楼板之间的缝隙和孔口应采用防火封堵材料填塞密实。

8.3.3 工程竹结构建筑内的锅炉房、发电机房、变配电室、厨房及其他可能使用明火或高温的部位,应采用耐火极限不低于 2.00h 的防火隔墙与其他部位分隔;住宅建筑防火隔墙的耐火极限可为 1.00h。工程竹结构建筑内的排油烟管道应采用防火隔热措施。

8.3.4 工程竹结构墙体、楼板及封闭吊顶或屋顶下的密闭空间内应采取防火分隔措施,且水平分隔长度或宽度均不应大于 20m、建筑面积不应大于 300m²,墙体的竖向分隔高度不应大于 3m。

8.3.5 工程竹结构建筑外墙内外保温材料的燃烧性能不应低于 B₁ 级,建筑外保温

的其他防火要求应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。

8.3.6 工程竹结构建筑外饰面材料的燃烧性能可采用 B₁ 级。对于其他装饰材料的燃烧性能应符合下列规定：

1 设有中央空调系统的办公建筑，顶棚装修材料应采用 A 级；其他办公建筑可用 B₁ 级；

2 办公建筑的墙面、地面装修材料宜采用 B₁ 级；

3 住宅建筑顶棚、墙面和地面装修材料宜采用 B₁ 级。

9 防护与维护

9.1 一般规定

9.1.1 工程竹结构建筑应根据当地气候条件、虫害危害程度及建筑物使用条件，采取防潮、防腐和防虫措施，保证结构构件在设计使用年限内正常使用。

9.1.2 混凝土基础上设有设备管道贯通口时的管道周围，以及屋盖出檐部分和墙体上部的换气口处，应使用防虫网、树脂、水泥等将孔隙进行封闭处理。

9.2 防水防潮

9.2.1 工程竹构件与基础的连接部位应符合下列规定：

1 工程竹构件应支承在混凝土柱墩或基础上，柱墩顶标高应高于室外地面标高 300mm，虫害地区不应低于室外地面标高 450mm；

2 无地下室且无钢筋混凝土底层楼板、混凝土垫层的底层工程竹楼盖格栅应架空，并采取通风防潮措施；

3 工程竹构件底部与室外地坪间的高差不应小于 300mm。

9.2.2 门窗洞口、屋面、外墙开洞处、屋顶露台和阳台等部位应设置防水、防潮和排水构造措施，构造措施的设置应符合下列规定

1 当利用泛水板进行排水时，泛水板向外倾斜的最终坡度不应低于 5%；

2 屋顶露台和阳台的地面最终排水坡度不应小于 2%。

9.2.3 外墙连接处以及门窗与墙体、墙体与屋面之间的连接处均应采取防水措施，连接处的防水层应完整连续。

9.2.4 工程竹构件不应与土壤、混凝土或砌体结构构件直接接触，当无法避免时，应在接触面之间设置防潮层，胶合竹构件则应采用加压防腐处理措施。

9.2.5 工程竹梁端不应埋入墙身或混凝土中，梁伸入墙身或混凝土的区段，上面及两个侧面均应留有宽度不小于 30mm 的空隙并与大气相通。

9.2.6 未经防护处理的工程竹柱不应直接接触或埋入土中、砌入砌体中，或浇筑在混凝土中，当柱支承在混凝土或砌体上时，柱底部应设置防潮层，防潮层可选用耐久性满足设计使用年限的防水卷材。

9.2.7 桁架、梁的支座节点和承重构件不应封闭在墙体或保温层内，同时结构隐蔽部位应设置通风孔。

9.3 防腐与防虫处理

9.3.1 工程竹构件应根据设计的使用年限、使用环境等要求，确定防腐处理所使用的防腐剂种类、处理质量要求及处理方法。

9.3.2 工程竹结构宜在通风良好和干燥的环境中使用。下列环境条件下使用的工程竹结构构件，当作为建设工程的主要结构构件时，应进行防腐处理：

- 1 浸在淡水、海水或咸水中；
- 2 埋入土壤、砌体或混凝土中；
- 3 长期暴露在室外；
- 4 长期处于通风不良且经常潮湿的环境中；
- 5 承重结构且易腐朽或遭虫害的竹材。

9.3.3 当工程竹结构用在室外环境或潮湿环境中时，应进行防腐处理，其防腐处理应符合下列规定：

1 胶合竹构件应进行加压防腐处理，处理方法根据采用药剂的不同，分为先胶合后处理构件和先处理竹条后胶合构件两种；当使用水溶性防腐剂时，不应采用先胶合后处理的方式；

- 2 重组竹构件应进行表面防腐处理。

9.3.4 工程竹结构使用环境可按现行行业标准《防腐木材的使用分类和要求》LY/T 1636 的有关规定进行分类，所使用的防腐剂应符合现行行业标准《木材防腐剂》LY/T 1635 的有关规定。胶合竹构件在各类条件下应达到的防腐处理透入度及载药量宜符合现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 的有关规定。

9.3.5 经防腐处理的工程竹应有显著的防腐处理标识，标明处理厂家或商标、使用分类等级、所使用的防腐剂成分、载药量及透入度。

9.3.6 胶合后进行防腐处理的构件，在处理前应加工到设计的最后尺寸，处理后不应随意切割。当必须作局部修整时，应对修整后的竹材表面涂抹足够的同品牌防腐药剂。

9.3.7 制作胶合竹所用的竹材应选择秋季或冬季砍伐，竹龄宜在4年以上，且宜经过专门设备的脱糖、杀菌和干燥处理。

9.4 检查和维护

9.4.1 对于暴露在室外、或者经常处于潮湿环境中的工程竹构件，应进行定期检查和维修。当发现工程竹构件有腐蚀和虫害迹象时，应根据腐蚀的程度、虫害的性质和损坏程度制定处理方案，及时对构件进行维护、加固或更换。

9.4.2 工程竹柱应定期对柱靴进行检查和维护，应重点检查直接暴露在室外的柱的表面层板处是否有开裂和腐朽。

9.4.3 工程竹构件之间或工程竹构件与建筑物其他构件之间的连接处，应检查隐蔽面是否出现潮湿或腐朽。

9.4.4 对于易吸收水分产生开裂的构件端部应定期进行检查和维修。

9.4.5 对工程竹构件进行维修加固时，应经过专门设计。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

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：

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，在条件许可时首先这样做的：

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”。

2 标准中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1. 《木结构设计标准》 GB 50005
2. 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
3. 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
4. 《建筑设计防火规范》 GB 50016
5. 《钢结构设计标准》 GB 50017
6. 《木结构工程施工质量验收规范》 GB 50206
7. 《建筑抗震设防分类标准》 GB 50223
8. 《胶合木结构技术规范》 GB/T 50708
9. 《碳素结构钢》 GB/T 700
10. 《钢结构用高强度大六角头螺栓》 GB/T 1228
11. 《钢结构用高强度垫圈》 GB/T 1230
12. 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》 GB/T 1231
13. 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
14. 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.1
15. 《紧固件公差 螺栓、螺钉、螺柱和螺母》 GB/T 3103.1
16. 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632
17. 《耐候结构钢》 GB/T 4171
18. 《非合金钢及细晶粒钢焊条》 GB/T 5117
19. 《热强钢焊条》 GB/T 5118
20. 《六角头螺栓 C 级》 GB/T 5780
21. 《六角头螺栓》 GB/T 5782

22. 《建筑材料及制品燃烧性能分级》 GB 8624
23. 《结构用集成材》 GB/T 26899
24. 《钢钉》 GB 27704
25. 《竹产品术语》 GB/T 36394
26. 《结构用竹集成材》 GB/T **** (报批中)
27. 《房屋白蚁预防技术规程》 JGJ/T 245
28. 《环境标志产品技术要求 胶粘剂》 HJ 2541
29. 《木材防腐剂》 LY/T 1635
30. 《防腐木材的使用分类和要求》 LY/T 1636
31. 《结构用重组竹》 LY/T 3194
32. 《工程木结构设计规范》 DG/TJ 08-2192

中国工程建设标准化协会标准

工程竹结构技术规程

Technical specification for engineered bamboo structure

条文说明

目 次

1	总则	38
2	术语和符号	39
2.1	术语	39
3	材料	40
3.1	工程竹材.....	40
3.2	钢材与金属连接件.....	40
3.3	其他材料.....	41
4	基本设计规定	42
4.1	一般规定.....	42
4.2	设计指标与允许值.....	42
4.3	结构分析.....	43
5	构件设计	44
5.1	轴心受拉和轴心受压构件.....	44
5.2	受弯构件.....	44
6	连接设计	45
6.1	一般规定.....	45
6.2	计算与构造.....	45
7	构造要求	46
8	防火设计	48
8.1	一般规定.....	48
8.2	防火设计和验算.....	48
8.3	防火构造.....	49
9	防护与维护	50
9.1	一般规定.....	50
9.2	防水防潮.....	50
9.3	防腐与防虫处理.....	50
9.4	检查和维护.....	51

1 总则

1.0.1 本条主要阐明编制本规程的目的。

竹材是一种低碳可再生的生物质材料，生长周期短，4~6年即可成材，我国的竹材种类、竹林面积、竹林蓄积和产量等均居世界首位，由竹材加工而成的工程竹物理力学性能趋于稳定，为竹结构建筑从个体化向工业化突破创造了条件。在我国发展工程竹结构，有利于减轻我国林业资源的紧张压力，促进绿色低碳建筑的发展。

本规程的制定将对工程竹结构的设计起到指导和参考作用。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围。目前生产技术较成熟、研究数据较充分、力学性能较稳定，适用于建筑结构承重的工程竹包括胶合竹（也称竹集成材）和重组竹等。考虑到工程竹结构是一种新型的结构形式，实际工程经验较少，本规程的适用范围主要为低层（3层及以下）的民用建筑和工业建筑，并随着研究和工程实践的进展后续修订时逐渐增加建筑层数。本规程不适用于临时性建筑设施以及施工用支架、模板和拔杆等工具结构的设计。

1.0.3 主要明确规程应配套使用。工程竹结构建筑中使用了大量钢材、金属连接件，此外与本规程相关的国家现行标准还有：《竹产品术语》GB/T 36394、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑抗震设防分类标准》GB 50223、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624、《防腐木材的使用分类和要求》LY/T 1636、《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206等。在实际使用时，其他标准规范的相关规定也应参照执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.2、2.1.3 参考现行国家标准《竹产品术语》GB/T 36394 和我国目前惯用的结构用工程竹术语。

3 材料

3.1 工程竹材

3.1.1 胶合竹应符合现行国家标准《结构用竹集成材》GB/T ××××（报批中）的有关规定，重组竹应符合现行行业标准《结构用重组竹》LY/T 3194 的有关规定。

3.1.2 工程竹构件的质量直接影响建筑结构的长期安全适用，包括结构安全和环境安全。各类工程竹构件的生产需齐全的专门设备、场地和技术，并通常同时进行工程竹材的防腐处理。建筑工地一般不具备这些条件，难以保证产品质量。因此工程竹应由专门加工企业生产，以保证工程竹构件的生产质量。

3.2 钢材与金属连接件

3.2.1 本规程在现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 有关规定的基礎上，进一步明确承重工程竹结构用钢宜以我国常用的钢材为主。这些钢材有长期生产和使用经验，具有材质稳定、性能可靠、经济指标较好、供应也较有保证等优点。

3.2.2 考虑到目前我国工程中大量使用进口的金属连接件，对此本规程的规定与现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 一致，要求国外进口的金属连接件质量应符合相关的产品要求或应符合工程设计的要求。

3.2.4 在钢材质量合格保证的问题上，也不应低于现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 对钢材质量的要求。另外，考虑到钢竹桁架的圆钢下弦、直径大于 20mm 的钢拉杆（包括连接件）为结构中的重要构件，若其材质有问题，易造成重大工程安全事故，因此有必要对这些钢构件作出“应具有冷弯试验的合格保证”的规定。

3.2.5~3.2.8 在实际工程中连接材料的品种和规格很多，以及许多连接件和连接材料的不断出现，对于工程竹结构所采用的连接件和紧固件应符合相关国家标准和设计要求。当所采用的连接材料为新产品时，应按照相关的国家标准经过性能和强度的检测检验，达到设计要求后方能在工程中使用。

3.3 其他材料

3.3.1 在工程竹结构中，结构用胶是影响构件质量和结构安全、保证建成后室内空气质量的重要因素之一，应保证其强度、耐久性和使用环境满足使用要求。本条规定的是层板二次胶合对胶合强度的要求，即层板间胶粘剂的强度须超过工程竹层板基材的强度，确保不因胶合面强度过低而发生破坏，具体来说就是胶合面强度不低于被胶合材料的顺纹抗剪和横纹抗拉强度。耐久性体现了胶粘剂抵抗直接暴露于自然环境中引起降解的能力。

3.3.2、3.3.3 工程竹结构产品可用于多种环境下，包括室内用（干气候条件）产品和户外用（直接暴露于气候）产品，需要区分两组不同的胶粘剂。根据现行国家标准《胶合木结构技术规范》GB/T 50708 的规定，I 级胶满足户外暴露要求、适用于所有工程竹结构产品，而 II 级胶只能满足室内干用途的要求。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1~4.1.5 根据现行国家标准《建筑结构可靠设计统一标准》GB 50068 的有关规定，本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。本节的相关规定还参考了现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 和《胶合木结构技术规范》GB/T 50708 的有关规定，但由于工程竹结构作为一种新型结构建筑，目前实际工程经验较少，因此暂不建议用于安全等级为一级或结构设计工作年限为 100 年及以上的建筑。

4.1.6 本条规定了工程竹结构的结构体系总体设计要求，确保工程竹结构的整体性和抗连续倒塌性能。

4.2 设计指标与允许值

4.2.1 近年来胶合竹和重组竹生产在我国取得长足进步，但目前有些生产厂家的产品质量控制还有待加强，对于比较重要的工程竹结构建筑可通过试验确定工程竹的力学性能设计指标。

4.2.4 根据目前国内外研究成果，胶合竹的抗弯弹性模量多在 10000MPa~12000MPa，重组竹的抗弯弹性模量多在 12000MPa~15000MPa，且工程竹构件的连接方式与胶合木结构的构件连接方式相近，因此参考现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005 对受弯构件挠度的限值可行和偏于安全的，并随着工程竹结构研究的逐步深入和工程实践的推广在今后修订中不断完善。

4.2.5 大多数强度等级规则中对弯曲的限制不适用于这些构件的选用材料，因此应特别注意直线度。

4.3 结构分析

4.3.1 结构分析模型应按实际情况确定，模型的建立、必要的简化计算与处理应符合结构的实际工作状况，模型中连接节点的假定应符合结构中节点的实际工作性能。所有分析模型计算结果，应经分析、判断确认其合理和有效后方可用于工程设计。若无可靠的理论依据时，应采取试验或专家评审会的方式做专题研究后确定。

4.3.2 承载能力极限状态验算时，结构分析所用材料弹性模量的取值应符合下列规定：

1 对于一阶弹性分析，当结构内力分布不受荷载持续时间影响时，可采用未经使用条件系数和设计使用年限系数调整的弹性模量设计值；

2 对于一阶弹性分析，当结构内力分布受到荷载持续时间影响时，需采用经使用条件系数和设计使用年限系数调整的弹性模量设计值，相关调整系数取值应符合 4.2.2 条的规定；

3 对于二阶弹性分析，可采用未经使用条件系数和设计使用年限系数调整的弹性模量设计值。

5 构件设计

5.1 轴心受拉和轴心受压构件

5.1.4 在目前尚缺少足够研究和工程经验的情况下，轴心受压构件的稳定系数 φ 的取值参考了现行国家标准《胶合木结构技术规范》GB/T 50708 的规定，来源于 NDS 2005，并作了适当调整。在工程竹材的弹性模量不低于常规胶合木的情况下，对于计算轴心受压构件的稳定承载力是可靠和偏于安全的。

5.2 受弯构件

5.2.3 梁的稳定验算参考 *EN 1995-1-1: 2004, Eurocode 5. Design of timber structures-Part 1-1: General-common rules and rules for buildings* 相关方法。

5.2.8 考虑双向受弯构件的总挠度，以保证双向受弯构件（如斜放檩条）的总挠度满足正常使用状态的要求。

6 连接设计

6.1 一般规定

6.1.1 工程竹材材质较硬，钉打入难度较大，为使材料强度得到充分发挥，推荐采用预钻孔后，在现场通过螺栓、销等紧固件进行连接，以保证节点的强度和整体性，避免现场因开孔等施工原因造成材料在连接区域开裂，或者开孔尺寸与紧固件不符，影响连接区域的稳定性。

6.1.2 工程竹材是各项异性的材料，横纹方向强度较小，易发生沿着竹材纤维的开裂破坏，在构件的连接区域需特别注意连接的构造设计，使连接受力简单、合理、可靠。

6.2 计算与构造

6.2.3 在木结构销轴类紧固件设计中，比较成熟的设计理论是美国、加拿大、欧洲、日本及新西兰等国家和地区普遍采用的根据屈服极限理论得到的侧向承载力计算方法，我国现行国家标准《胶合木结构技术规范》GB/T 50708 中，分别规定了销槽承压破坏、销槽局部挤压破坏、销轴单个塑性铰破坏和销轴两个塑性铰破坏四种破坏模式下的连接承载力。

在目前尚缺少足够工程经验和研究的情况下，考虑到工程竹构件和胶合木构件采用的连接方式相同，在相同的构件尺寸和构造条件下，工程竹节点的抗侧强度普遍大于胶合木节点，因此参考了现行国家标准《胶合木结构技术规范》GB/T 50708 中对销轴类紧固件承载力的计算方法，对于工程竹节点的设计是可靠和偏于安全的。

7 构造要求

7.0.1 工程竹结构采用合理的构造设计，有利于发挥工程竹材的材料性能优势，延长结构的使用寿命，避免因人为因素造成结构的提前老化和破坏，提升结构的经济技术效果。因此对工程竹结构的构造作了如下考虑：

1 根据木结构的多年使用经验，若多跨木屋盖房屋采用内排水，常由于天沟构造处理不当或检修不及时产生堵水渗透，致使木屋架支座节点易于受潮腐朽，影响屋盖承重木结构的安全，另外木天沟经常由于天沟刚度不够，变形过大，或因油毡防水层局部损坏，致使天沟腐朽、漏水，直接危害屋架的支座节点。工程竹构件作为生物质材料构件，也存在相同的问题，需要避免因局部长时间积水渗透造成构件腐朽，因此推荐采用外排水的结构形式，且在采用内排水时避免使用竹制天沟。

2 工程竹构件内在的纤维素、半纤维素、木质素等生物质成分，在自然环境下存在受虫菌腐蚀发生腐朽霉变的风险，防腐防虫是保证结构安全使用的前提条件，从构造设计上采用通风防潮措施，使结构各部分通风干燥，避免霉菌滋生，是防止竹材腐朽虫蛀的重要措施。

3 工程竹构件在工厂局部拼装后进行运输，或现场安装过程中，若产生大变形，会造成安装困难，或在结构中产生次生应力，削弱结构的安全稳定性。

7.0.2 梁柱构件指工程竹结构的基本受力单元，集成化程度低，运输方便但现场组装工作多；板式组件则是平面构件，包含墙板和楼板，集成化程度较高，是装配式结构中最主要的拆分组件单元，运输方便现场工作少；空间组件集成化程度最高，但对运输和现场安装能力要求高。组件的拆分应符合工业化的制作要求，以便实现工厂批量生产，提升结构的工业化生产效率，体现工程竹结构作为装配式建筑的优势。

7.0.3 根据木结构和砖木结构房屋在沿海地区的使用经验，房屋的附属、围护结构在风灾中较易造成破坏，需要通过构造处理加强房屋的抗风能力。构造措施需要注意以下几点：1) 防止瞬间风吸力超过屋盖各部件的自重，避免屋瓦被掀揭，

宜采用增加屋面自重和加强瓦材与屋盖木基层整体性的办法（如压砖、坐灰、瓦材加以固定等）；2）加强门窗的锚固，防止门窗扇和门窗框被刮掉；3）尽量采用短出檐或封闭出檐，山墙宜做成硬山，在满足采光和通风要求的前提下尽量减小天窗的高度和跨度，以减小风力的作用；4）房屋各个部位之间加强锚固措施，增强房屋的整体性。

7.0.5 高宽比大于 6 的梁，以及高宽比大于 5 的直线形受压或压弯构件，应设置侧向支撑；高宽比大于 3 的构件宜设置侧向支撑。

7.0.9 工程竹材质较硬，一般在构件的连接中都是采用的预钻孔，预钻孔通常在工厂完成，需特别注意预钻孔直径与连接件直径的匹配，预钻孔直径过大会导致连接部位有过多的初始滑移，影响结构整体刚度和稳定性。

7.0.10 钢填板位置的开槽厚度过大，会引起被连接构件在平面外方向的晃动，连接的初始刚度也会削弱，影响结构整体刚度和稳定性。

8 防火设计

8.1 一般规定

8.1.1 本条规定工程竹结构防火设计的适用范围以及与现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 之间的关系。对于本章未规定的部分，按《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关木结构的相关规定执行。

8.1.2 本章防火验算的相关规定仅适用于耐火极限不超过 2.00h 的工程竹构件。工程竹建筑的承重梁、柱和屋顶承重构件的耐火极限通常为 1.00h。

8.2 防火设计和验算

8.2.1 考虑到火灾属于偶然设计状况，应采用偶然组合进行设计。根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，偶然荷载的代表值不乘以分项系数，而直接采用标准值进行验算。

8.2.2 当荷载直接采用标准值的组合，即在火灾情况下，燃烧后构件承载力的计算相当于采用容许应力法进行计算，火灾时，允许应力采用材料强度的平均值。

8.2.3 公式中的名义线性炭化速率是一维状态下的炭化速率，基于现有的研究成果，胶合竹构件取 54mm/h，重组竹构件取 42mm/h。

8.2.7 本条有关燃烧性能和耐火极限的规定，是结合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的相关规定，以及我国其他有关防火试验标准对于燃烧性能和耐火极限的要求确定的，工程竹材与木材的燃烧性能相近，工程竹结构建筑与木结构建筑的结构形式和功能类型也相近，可参考现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 中对木结构建筑燃烧性能和耐火极限的规定。

8.2.8 各项技术指标都必须符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》

GB 8624 的要求。

8.3 防火构造

8.3.1 工程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位，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。

8.3.2 工程竹结构构件为可燃或难燃材料，所以对建筑内部装修材料的防火性能必须有较为严格的要求，尽量延缓火势过快地突破装饰层这道防线。

8.3.4 一旦结构中的密闭空间内发生火灾，通过隔火措施能将火灾限制在一定的密闭空间，阻止火烟、火热蔓延。

9 防护与维护

9.1 一般规定

9.1.1 竹材内在的纤维素、半纤维素、木质素等生物物质成分，在长期使用过程中受到虫菌腐蚀可能发生腐朽霉变，采取防水防潮措施保持构件通风干燥，是最重要的防腐措施，也可以有效减少虫害滋生。用于重要部位的结构构件，设计和施工时需考虑实际情况，综合采取多种防护措施，提升结构的耐久性能和使用寿命。

9.2 防水防潮

9.2.1~9.2.6 腐菌的生存依赖潮湿的环境，保持通风干燥能减少腐菌滋生，根据木结构的长期使用经验，木结构的腐朽主要发生在支承处，若结构处于通风干燥的环境中，则结构耐久性能得到显著提升，防止结构腐朽虫蛀应首先从构造上加强通风防潮，防止雨水渗漏，以及排水不畅造成局部积水。

9.2.7 腐菌的生存依赖潮湿的环境，保持通风干燥能减少腐菌滋生，结构中的封闭部位和隐蔽部位易发生受潮且潮气难以扩散，因此结构中的重要构件和节点不应封闭在密闭环境中，使结构构件保持干燥。

9.3 防腐与防虫处理

9.3.2 工程竹材内在的纤维素、半纤维素、木质素等生物物质成分，在自然环境下有发生腐朽霉变的风险，处于通风不良、潮湿、暴露、环境中时工程竹材更易发生腐朽霉变，因此处于上述环境中尤其需要注意防腐处理。

9.3.3 研究表明，重组竹的密实度和浸胶量大，用于室外环境或潮湿环境中时应进行表面防腐处理；而胶合竹中竹纤维与胶黏剂的粘结面积较小，胶合竹素板对木腐菌的抵抗能力较差，使用环境需要时加压防腐处理是必要的。

9.3.5 工程竹构件的防腐处理采用的方法和使用的防腐剂可以不同，但无论采用

何种处理方式和防腐剂，均应标明防腐剂的成分、透入度和载药量，其标准可以参考现行国家标准《木结构工程施工质量验收规范》GB 50206 的有关规定。

9.3.7 春夏季是竹子生理活动的旺盛期，秋冬季低温干燥，竹子生理活动减弱，秋冬季节砍伐的竹材，抵抗虫害的能力更强。

9.4 检查和维护

9.4.3 工程竹构件的柱靴处，或工程竹构件之间以及与建筑物其他构件之间的连接处，是容易出现开裂、腐朽和虫害的部位，需要定期进行检查和维护。