四川省工程建设地方标准 DB

DBXX/TXXXX-20XX

备案号：XXXXX-20XX

工程竹结构设计标准

20XX-XX-XX 发布 20XX-XX-XX 实施

四川省住房和城乡建设厅 发布

**前 言**

本标准根据《四川省住房和城乡建设厅关于下达2022年四川省工程建设地方标准制定修订计划（第二批）的通知》（川建标函〔2022〕2978号）的要求，由中国建筑西南设计研究院有限公司负责，会同有关科研、设计、教学、制作和施工单位共同编制。

本标准在制定过程中，编制组开展了广泛的调查研究，进行了相关试验研究工作，认真总结了工程竹结构在国内及四川省内的工程实践经验，对主要问题仅行了专题研究和反复讨论，参考了有关国内先进标准，与相关标准进行了协调，并充分征求了相关单位的意见。

本标准的主要技术内容包括：1.总则；2.术语与符号；3.材料；4.基本规定；5.构件设计；6.连接设计；7.防火设计；8.防护设计。

各单位在执行本标准时，请将有关意见和建议反馈给中国建筑西南设计研究院有限公司（地址：四川省成都市天府大道北段866号；邮编：610041；邮箱：xnymjg@cscec.com），以供今后修订时参考。

|  |  |
| --- | --- |
| 本标准主编单位： | 中国建筑西南设计研究院有限公司 |
| 本标准参编单位： |  |
| 本标准主要起草人员： |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 本标准主要审查人员： |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**目 录**

[**前 言** 2](#_Toc144301622)

[1 总则 4](#_Toc144301623)

[2 术语与符号 5](#_Toc144301624)

[2.1 术语 5](#_Toc144301625)

[2.2 符号 5](#_Toc144301626)

[3 材料 9](#_Toc144301627)

[4 基本规定 10](#_Toc144301628)

[4.1 设计原则 10](#_Toc144301629)

[4.2 设计指标与允许值 11](#_Toc144301630)

[4.3 结构体系与结构分析 14](#_Toc144301631)

[5 构件设计 17](#_Toc144301632)

[5.1 轴心受拉与受压构件 17](#_Toc144301633)

[5.2 受弯构件 19](#_Toc144301634)

[5.3 拉弯和压弯构件 24](#_Toc144301635)

[6 连接设计 26](#_Toc144301636)

[6.1 一般规定 26](#_Toc144301637)

[6.2 销轴类紧固件连接计算 26](#_Toc144301638)

[7 防火设计 32](#_Toc144301639)

[7.1 一般规定 32](#_Toc144301640)

[7.2 防火构造 35](#_Toc144301641)

[8 防护设计 37](#_Toc144301642)

[8.1 防水与防潮 37](#_Toc144301643)

[8.2 防腐与防虫 39](#_Toc144301644)

[附录A 胶合竹和重组竹的强度与弹性模量标准值 41](#_Toc144301645)

[本标准用词说明 42](#_Toc144301646)

[引用标准名录 43](#_Toc144301647)

#  总则

**1.0.1** 为推进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，实现低碳环保和工业化建造（或绿色建造），做到安全适用、确保质量、经济合理、技术先进，制定本标准。

【条文说明】本条阐明编制本标准的目的。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更趋稳定，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，有利于促进建筑业的绿色低碳发展。本标准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** 本标准适用于采用胶合竹或重组竹作为主要承重结构构件的工程竹结构的设计。

【条文说明】本条规定了本标准的适用范围。

**1.0.3** 工程竹结构的设计，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】主要明确标准应配套使用。工程竹结构中使用了大量钢材、金属连接件，其性能需符合相应的标准，此外与本标准相关的国家现行标准还包括《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、《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068、《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等。

#  术语与符号

##  术语

**2.1.1** 工程竹 engineered bamboo

将竹片、竹条或其他形式的竹纤维，经工程化的设计、胶粘和处理，形成较大尺寸，且符合本规范材料物理力学分等要求，用于结构承重的复合竹材。包括胶合竹、重组竹等。

【条文说明】本标准采用的结构用工程竹包括胶合竹和重组竹。

**2.1.2** 工程竹结构 engineered bamboo structure

采用工程竹制作主要承重构件的结构。

**2.1.3** 胶合竹 glued laminated bamboo

竹条在长度方向顺纹组坯胶合压制而成的板方材，也称为竹集成材。

**2.1.4** 重组竹 bamboo scrimber

由竹束或竹束片为构成单元，按顺纹组坯、经胶合压制而成的板材或方材，也称为竹重组材。

##  符号

**2.2.1** 材料力学性能指标和结构设计指标

 *E* ——工程竹弹性模量；

 *E*k ——工程竹弹性模量标准值；

 *f*c ——工程竹顺纹抗压强度设计值；

*f*c,k ——工程竹顺纹抗压强度标准值；

 *f*c,90 ——工程竹横纹承压强度设计值；

 *f*c,90,k ——工程竹横纹承压强度标准值；

 *f*e,0 ——工程竹销槽顺纹承压强度标准值；

 *f*e,90 ——工程竹销槽横纹承压强度标准值；

 *f*e,α ——作用在构件上的荷载与工程竹的顺纹方向呈夹角*α*时的销槽承压强度标准值；

 *f*m ——工程竹抗弯强度设计值；

 *f*m,k ——工程竹抗弯强度标准值；

 *f*t ——工程竹顺纹抗拉强度设计值；

 *f*t,k ——工程竹顺纹抗拉强度标准值；

 *f*v ——工程竹顺纹抗剪强度设计值；

 *f*v,k ——工程竹顺纹抗剪强度标准值；

 *t* ——受火时间；

 *Z*d ——销轴类紧固件每个剪面的承载力设计值；

 [*ω*] ——受弯构件的挠度限值。

**2.2.2** 作用和作用效应

 *C* ——按正常使用极限状态设计时规定的相应限值；

 *M* ——弯矩设计值；

*M*x*、M*y ——相对于*x*轴和*y*轴的弯矩设计值；

 *N* ——轴向力设计值；

 *N*p ——受弯构件的横纹压力设计值；

 *R* ——抗震承载力验算时结构构件的承载力设计值；

 *R*d——按承载能力极限状态设计时结构或结构构件的抗力设计值；

 *S* ——地震作用效应与其他作用效应的基本组合；

 *S*d——按承载能力极限状态或正常使用极限状态设计时作用组合的效应设计值；

 *V* ——剪力设计值；

—— 抗剪承载力参考设计值；

 *σ*c ——压应力设计值；

 *σ*c,c ——柱临界应力计算值；

 *σ*m ——弯曲应力设计值；

 *σ*m,c ——根据经典稳定理论得到的梁临界屈曲应力；

 *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；

 *A*p —— 受弯构件的横纹承压面积；

 *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*1 ——销轴类紧固件的端距；

 *e*2 ——销轴类紧固件的边距；

 *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* ——受弯构件的计算跨度；

 *l*c ——构件的实际长度；

 *l*ef——受弯构件的有效长度；

 *l*f——紧固件长度；

 *l*m*、l*s ——主、次构件销槽承压面长度；

 *l*0 ——构件的计算长度；

 *r*——销轴类紧固件的行距；

 *s*——销轴类紧固件的间距；

 *S*m——计算应力处以上全截面对中和轴的面积矩；

*t*m*、t*s ——销轴连接的主、次构件厚度；

 *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

 *W*x*、W*y ——相对于*x*轴和*y*轴的全截面抵抗矩

 *λ* ——构件的长细比；

 *λ*r,c ——受压柱的相对长细比

 *λ*r,m ——受弯构件的相对长细比；

 *α* ——荷载与工程竹的顺纹方向的夹角。

**2.2.4** 计算系数及其他

 *k*d——永久荷载效应控制时，工程竹强度设计值调整系数；

 *kl* ——轴心受压构件的长度计算系数；

*k*min ——销槽承压最小有效长度系数

 *β*n ——工程竹燃烧1.00h内的名义线性炭化速率；

 *γ*0 ——结构重要性系数；

 *γ*RE ——承载力抗震调整系数；

 *φ* ——轴心受压构件的稳定系数；

 *φl*——受弯构件的侧向稳定系数；

 *φy*——轴心压杆在垂直于弯矩作用平面y-y方向按长细比*λ*y确定的轴心压杆稳定系数；

 *ρ*—— 可变荷载标准值与永久荷载标准值的比率；

*ρ*r —— 工程竹的全干密度。

#  材料

**3.0.1** 胶合竹应符合现行国家标准《结构用竹集成材》GB/T 40487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。

**3.0.2** 工程竹结构中使用的钢材，应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 500017和《建筑抗震设计规范》GB 50011中对钢材的有关规定。

**3.0.3** 工程竹结构中使用的钢材宜采用Q235钢、Q355钢，并应符合应符合现行国家标准《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。

【条文说明】本标准在现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017有关规定的基础上，进一步明确工程竹结构用钢建议以我国常用的钢材为主。

**3.0.4** 普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓 C级》GB/T 5780 和《六角头螺栓》GB/T 5782 的有关规定。

**3.0.5** 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。

**3.0.6** 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Q355钢制作。

**3.0.7** 金属连接件应进行防锈蚀处理或采用不锈钢产品，与工程竹直接接触的金属连接件应避免防护剂引起的腐蚀。

**3.0.8** 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要求，且应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923和《钢结构防火涂料通用技术条件》GB 14907的有关规定。

**3.0.9** 当采用国外进口金属连接件时，应提供产地国的产品质量合格证书和产品标识，并应符合设计要求且应对其材料进行复验。

#  基本规定

##  设计原则

**4.1.1** 工程竹结构设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计法，设计基准期应为50年。

**4.1.2** 工程竹结构的设计工作年限应符合表4.1.2的规定。

表 4.1.2 设计工作年限

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 设计工作年限 | 示例 |
| 1 | 5年 | 临时性建筑结构 |
| 2 | 25年 | 易于替换的建筑结构 |
| 3 | 50年 | 普通房屋和构筑物 |
| 4 | 100年 | 标志性建筑和特别重要的建筑结构 |

【条文说明】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，本标准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。

**4.1.3** 工程竹结构设计时，应根据结构破坏可能产生的后果，即危及人的生命、造成经济损失、对社会或环境产生影响等的严重性，将结构划分为三个安全等级。设计时应根据具体情况，按表4.1.3的规定选用相应的安全等级。

表 4.1.3 建筑结构的安全等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 安全等级 | 破坏后果 | 建筑物类型 |
| 一级 | 很严重：对人的生命、经济、社会或环境影响很大 | 重要的建筑物 |
| 二级 | 严重：对人的生命、经济、社会或环境影响较大 | 一般的建筑物 |
| 三级 | 不严重：对人的生命、经济、社会或环境影响较小 | 次要的建筑物 |

注：对有特殊要求的建筑物，其安全等级应根据具体情况另行确定。

**4.1.4** 工程竹结构主要构件的安全等级，宜与整个结构的安全等级相同，对其中部分次要构件的安全等级，可根据其重要程度适当调整，但不应低于三级。

**4.1.5** 工程竹结构或结构构件按承载能力极限状态设计时，应符合式（4.1.5）的规定：

*γ*0*S*d≤ *R*d（4.1.5）

式中：*γ*0 ——结构重要性系数，应按现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068的有关规定选用；

 *S*d ——作用组合的效应设计值，应按现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068进行计算；

*R*d ——结构或结构构件的抗力设计值。

**4.1.6** 工程竹结构构件的抗震承载力应符合下式规定：

*S* ≤ *R* / *γ*RE（4.1.6）

式中：*γ*RE ——承载力抗震调整系数，取值应符合本标准第4.1.8条的规定；

 *S* ——地震作用效应与其他作用效益的基本组合，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011进行计算；

*R*——结构构件的承载力设计值。

**4.1.7** 结构或结构构件按正常使用极限状态设计时，应符合下式规定：

*S*d ≤ *C* （4.1.7）

式中：*S*d ——作用组合的效应设计值，应按现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068进行计算；

 *C* ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值。

**4.1.8** 工程竹结构建筑抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的相关规定。

**4.1.9** 工程竹结构中的钢构件设计，应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

##  设计指标与允许值

**4.2.1** 胶合竹的强度设计值和弹性模量应按表4.2.1-1的规定取值。重组竹的强度设计值和弹性模量应按表4.2.1-2的规定取值。

表 4.2.1-1 胶合竹的强度设计值和弹性模量（N/mm2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 强度设计值 | 弹性模量*E* |
| 抗弯*f*m | 顺纹抗拉*f*t | 顺纹抗压*f*c |
| 120*E*-78*f* | 33.8 | 23.3 | 29.3 | 12000 |
| 110*E*-75*f* | 32.5 | 21.7 | 27.5 | 11000 |
| 100*E*-70*f* | 30.3 | 21.7 | 25.3 | 10000 |
| 90*E*-68*f* | 29.4 | 20.2 | 25.3 | 9000 |
| 80*E*-65*f* | 28.1 | 17.5 | 23.6 | 8000 |

表 4.2.1-2 重组竹的强度设计值和弹性模量（N/mm2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 强度设计值 | 弹性模量*E* |
| 抗弯*f*m | 顺纹抗拉*f*t | 顺纹抗压*f*c | 顺纹抗剪*f*v | 横纹承压*f*c,90 |
| 局部 | 全表面 |
| 28*E*-165*f* | 71.4 | 50.4 | 37.1 | 5.8 | 8.9 | 8.0 | 28000 |
| 18*E*-135*f* | 58.4 | 42.3 | 31.0 | 5.6 | 7.1 | 6.9 | 18000 |
| 10*E*-90*f* | 38.9 | 19.8 | 18.3 | 3.4 | 3.9 | 2.4 | 10000 |

【条文说明】各等级胶合竹和重组竹的强度和弹性模量标准值按照现行国家标准《结构用竹集成材》GB/T 40487-2021与林业行业标准《结构用重组竹》LY/T 3194-2021取值，后续将随着我国工程竹材强度和弹性模量数据的丰富而进行完善。胶合竹和重组竹的强度设计值，根据现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB5006的规定，按可靠度分析结果进行确定。对于安全等级为二级的一般工业与民用建筑，其结构构件承载力极限状态的可靠度指标*β*0值不应低于3.2（延性破坏，受压和受弯）或3.7（脆性破坏，受拉和受剪）。根据大量材性测试数据的结果，胶合竹和重组竹的强度变异系数均小于木材。参考现行国家标准《木结构设计标准》GB50005-2017中的*δ*f ~ *γ*R基准曲线，确定胶合竹和重组竹构件的抗力分项系数*γ*R。

胶合竹和重组竹的强度设计值*f*d按下式确定：

 （1）

式中：*K*DOL ——工程竹强度的荷载持续作用效应系数，根据现有研究成果，取*K*DOL=0.5；

 *f*k ——工程竹的强度标准值。

根据试验统计数据得出的材料强度变异系数，各等级工程竹的抗弯强度分项系数取1.04，顺纹抗压强度分项系数取1.03，顺纹抗拉强度分项系数取1.16，顺纹抗剪强度分项系数取1.20，横纹承压强度分项系数取1.04。此外，考虑工程竹材的强度试验结果尚不充分，工程经验略显不足，各项强度值再乘以折减系数0.9。

**4.2.2** 工程竹的强度设计值和弹性模量应按下列规定予以调整。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规定的使用条件调整系数。对于不同的设计工作年限，工程竹强度设计值应乘以表4.2.2-2规定的设计工作年限调整系数。

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 | 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℃ | 0.8 | 0.8 |
| 永久荷载作用为主时 | 0.8 | 0.8 |
| 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 当仅有永久荷载作用或永久荷载效应超过全部荷载效应的80%时，应按永久荷载作用为主进行验算；

2 当若干条件同时出现时，表列各系数应连乘。

表 4.2.2-2 不同设计工作年限的工程竹强度设计值的调整系数

|  |  |
| --- | --- |
| 设计工作年限 | 设计工作年限调整系数 |
| 5年 | 1.10 |
| 25年 | 1.05 |
| 50年 | 1.00 |
| 100年及以上 | 0.9 |

【条文说明】工程竹的强度和弹性模量与胶层关系紧密，其耐候性能、耐高温性能和蠕变性能受胶层的直接影响，当用于露天环境、高温环境以及永久荷载作用为主时，胶层的性能有所削弱，需要对强度设计值和弹性模量进行折减。

**4.2.3** 工程竹的强度设计值，除应符合本标准第4.2.2条规定以外，尚应按下列规定予以调整：

**1** 当楼屋面可变荷载标准值与永久荷载标准值的比率（*Q*k/*G*k）*ρ*<1.0时，强度设计值应乘以调整系数*k*d。调整系数*k*d应按式（4.2.3-1）计算，且不应大于1.0。

 （4.2.3-1）

**2** 当有雪荷载、风荷载作用时，应乘以表4.2.3中规定的调整系数。

表 4.2.3 风荷载、雪荷载作用下强度设计值的调整系数

|  |  |
| --- | --- |
| 使用条件 | 风、雪荷载调整系数 |
| 当雪荷载作用时 | 0.83 |
| 当风荷载作用时 | 0.91 |

**4.2.4** 受弯构件的挠度限值应按表4.2.4的规定采用。

表 4.2.5 受弯构件挠度限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项次 | 构件类别 | 挠度限值 |
| 1 | 檩条 | *l* ≤ 3.3m | *l*/200 |
| *l* ＞ 3.3m | *l*/250 |
| 2 | 椽条 | *l*/150 |
| 3 | 吊顶中的受弯构件 | *l*/250 |
| 4 | 楼面梁和搁栅 | *l/*250 |
| 5 | 屋面梁 | 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** 受压构件的长细比限值应按表4.2.5 的规定采用。

表 4.2.6 受压构件长细比限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  项次 | 构件类型 | 长细比限值 |
| 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 |

注：构件的长细比*λ*按*λ* = *l*0 / *i*计算，其中，*l*0为受压构件的计算长度（mm）；*i*为构件截面的回转半径（mm）。

## 结构体系与结构分析

**4.3.1** 工程竹建筑的结构体系应符合下列要求：

**1** 平面布置宜简单、规则，减少偏心。楼层平面宜连续，不宜有较大凹凸或开洞；

**2** 竖向布置宜规则、均匀，不宜有过大的外挑和内收。结构的侧向刚度沿竖向自下而上宜均匀变化，竖向抗侧力构件宜上下对齐，并应可靠连接；

**3** 结构薄弱部位应采取措施提高抗震能力。当建筑物平面形状复杂、各部分高度差异大或楼层荷载相差较大时，可设置防震缝；防震缝两侧的上部结构应完全分离，防震缝的最小宽度不应小于100mm；

**4** 当有挑檐时，挑檐与主体结构应具有良好的连接。

**4.3.2**工程竹结构的内力与位移可按弹性方法计算。当通过延性良好的连接件连接，结构具有良好的内力重分配性能时，可采用弹塑性分析方法进行结构分析。

【条文说明】我国规范体系对于整体结构的内力与位移计算采用弹性方法，在截面设计时可考虑材料的弹塑性性质。对于工程竹结构而言，连接系统是控制整体结构力学性能的关键，因此只有在确保连接件具有良好延性时，才可考虑梁、柱等构件与连接件等因塑性变形而引起的内力重分布，进而采用弹塑性分析方法进行分析。

**4.3.3** 结构分析模型应根据结构实际情况确定，采用的分析模型应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。对结构分析软件的计算结果应进行分析判断，确认其合理后，可作为工程设计依据。当无可靠的理论和依据时，宜采用试验分析方法确定。

【条文说明】结构分析模型的建立、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。分析模型的计算结果，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，建议采取专题试验研究或专家评审会的方式确定。

**4.3.4** 风荷载和多遇地震作用时，工程竹结构建筑的水平层间位移不宜超过结构层高的1/250。

**4.3.5** 工程竹结构进行抗震验算时，水平地震影响系数可取水平地震影响系数最大值。

**4.3.6** 以剪切变形为主，且质量和刚度沿高度分布比较均匀的工程竹结构的抗震验算可采用底部剪力法。

**4.3.7** 工程竹结构进行构件抗震验算时，承载力抗震调整系数**RE应符合表4.1.13的规定。当仅计算竖向地震作用时，各类构件的承载力抗震调整系数**RE均应取为1.0。

表4.1.13 承载力抗震调整系数

|  |  |
| --- | --- |
| 构件名称 | 系数**RE |
| 柱，梁 | 0.80 |
| 各类构件（偏拉、受剪） | 0.85 |
| 连接件 | 0.90 |

**4.3.8** 对于楼、屋面结构上设置的围护墙、隔墙、幕墙、装饰贴面和附属机电设备系统等非结构构件，及其与结构主体的连接，应进行抗震设计。非结构构件抗震验算时，连接件的承载力抗震调整系数RE可取1.0。

【条文说明】对于非结构构件，《建筑抗震设计规范》GB50011 规定应考虑非结构构件的地震作用效应（包括自身重力产生的效应和支座相对位移产生的效应）和其他效应的基本组合。非结构构件抗震验算时，承载力抗震调整系数可采用1.0。

**4.3.9** 工程竹结构楼层抗侧力构件承受的剪力宜按抗侧力构件的从属面积或从属面积上重力荷载代表值的比例进行分配。此时水平作用力的分配可不考虑扭转影响，但是对较长的墙体宜乘以1.05～1.10放大系数。

【条文说明】工程竹结构楼盖屋盖通常为轻质木竹格栅或木桁架形式，楼盖的整体刚度较弱，可假定为柔性楼盖，对于柔性楼盖，各楼层的水平力均匀分布在楼盖上，抗侧力构件根据楼屋盖从属面积的比例分配。然而，由于楼屋盖并非完全没有刚度，因此不考虑楼盖刚度对于较长墙体和边缘抗侧力构件而言，按面积分配法计算所得的剪力偏小，因此应适当调整。

**4.3.10** 当工程竹结构楼、屋盖采取了保证楼板平面内整体刚度的措施时，楼层抗侧力构件承受的剪力宜按抗侧力构件等效刚度的比例进行分配，同时应计入扭转效应对各抗侧力构件的附加作用。

【条文说明】对于钢筋混凝土楼板、有现浇面层的组合楼板以及形状规则的竹、木楼板，具有较大的面内刚度，可近似认为楼板平面内为无限刚性。当采用了刚性楼板假定进行结构计算时，设计上应采取必要的措施保证楼面的整体刚度，如结构的平面布置规则，对于局部削弱的楼面可采取局部加强等措施。当楼盖在侧向力下楼盖最大变形小于楼层平均位移的0.5倍时，该楼盖可视为刚性楼盖。此外参考International Building Code 的相关条款，当楼盖表面为混凝土楼板，或为轻质木竹结构楼盖表面覆有厚度大于35mm非结构性混凝土面层时，该楼盖可按刚性楼盖考虑。

**4.3.11** 风荷载作用下，工程竹结构的边缘抗侧力构件所分配到的水平剪力，宜乘以1.2的调整系数。

【条文说明】 工程竹结构房屋在建造完成后近似一个封闭状态的箱型结构。风荷载作用下，将发生近似箱型结构的变形，其角部应力较大，因此，需对边缘抗侧力构件采用1.2 的调整系数以考虑角部应力的影响。

#  构件设计

##  轴心受拉与受压构件

**5.1.1** 轴心受拉构件的承载能力应按下式验算：

  （5.1.1）

式中：*f*t —— 工程竹顺纹抗拉强度设计值（N/mm2）；

*N* —— 轴心受拉构件拉力设计值（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：

 （5.1.2-1）

**2** 按稳定验算：

 （5.1.2-2）

式中：*f*c —— 工程竹顺纹抗压强度设计值（N/mm2）；

*N* —— 轴心受压构件压力设计值（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），可按本标准第5.1.3条确定；

*φ* —— 轴心受压构件的稳定系数，可按本标准第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 = 0.9*A*；

**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** 轴心受压构件的稳定系数*φ*的取值应按下列公式确定：

 （5.1.4-1）

 （5.1.4-2）

 当＞c时   (5.1.4-3)

 当≤c时  (5.1.4-4) 式中： —— 受压构件长细比；

 *i* —— 构件截面的回转半径（mm）；

 *l*0—— 受压构件的计算长度（mm）；应按本规范第5.1.5条的规定确定；

*f*ck—— 受压构件材料的抗压强度标准值(N/mm2)；

*E*k—— 构件材料的弹性模量标准值(N/mm2)；

*a*c*、b*c*、c*c—— 材料相关系数；应按表5.1.4的规定取值；

**—— 材料剪切变形相关系数；应按表5.1.4的规定取值。

表5.1.4 相关系数的取值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *a*c | *b*c | *c*c | ** |  *E*k*/f*ck |
| 0.91 | 3.69 | 3.45 | 1.05 | 按本规范附录A的规定采用 |

**5.1.5** 受压构件的计算长度应按下式确定：

 （5.1.5）

式中：*l*0 —— 构件的计算长度（mm）；

*l*c —— 构件的实际长度（mm）；

*kl* —— 长度计算系数，取值见表5.1.5。

表5.1.5 长度计算系数*kl*的取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 失稳模式 |  |  |  |  |  |  |
| *kl* | 0.65 | 0.8 | 1.2 | 1.0 | 2.1 | 2.4 |
| 端部支座条件示意图 |  | 不能转动，不能移动 |  | 不能转动，自由移动 |
|  | 自由转动，不能移动 |  | 自由转动，自由移动 |

##  受弯构件

**5.2.1** 受弯构件的承载能力应按下列要求进行验算：

**1** 按强度验算：

 （5.2.1-1）

**2** 按稳定验算时，应按下式验算：

 （5.2.1-2）

式中： *M* —— 受弯构件的弯矩设计值（N • mm）；

*W*n —— 受弯构件的净截面抵抗矩（mm3）；

 *W* —— 受弯构件的全截面抵抗矩（mm3）；

 *σ*m —— 受弯构件的弯曲应力设计值（N/mm2）；

 *f*m —— 工程竹抗弯强度设计值（N/mm2）；

 *φl* —— 受弯构件的侧向稳定系数， 应按本标准第5.2.2条和第5.2.3条确定。

**5.2.2** 受弯构件的侧向稳定系数应按下列公式计算：

 (5.2.2-1)

  (5.2.2-2) 当＞m时  (5.2.2-3)

 当≤m时  (5.2.2-4)

式中： —— 构件材料的弹性模量标准值(N/mm2)；

*f*mk—— 受弯构件材料的抗弯强度标准值(N/mm2)；

—— 受弯构件的长细比，不应大于50；

—— 受弯构件的截面宽度（mm）；

—— 受弯构件的截面高度（mm）；

*a*m*、b*m*、c*m—— 材料相关系数；应按表5.2.5-1的规定取值；

—— 受弯构件计算长度。应按表5.2.5-2的规定采用；

**—— 材料剪切变形相关系数；应按表5.2.5-1的规定取值。

表5.2.2-1相关系数的取值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *a*m | *b*m | *c*m | *β* | *E*0.05/*f*mk |
| 0.70 | 4.90 | 0.90 | 1.05 | 按本规范附录A的规定采用 |

表5.2.2-2 受弯构件的计算长度

|  |  |
| --- | --- |
| 梁的类型和荷载情况 | 荷载作用在梁的部位 |
| 顶部 | 中部 | 底部 |
| 简支梁，两端相等弯矩 | *l*e = 1.00*l*u |
| 简支梁，均匀分布荷载 | *l*e = 0.95*l*u  |  *l*e =0.90*l*u |  *l*e = 0.85*l*u |
| 简支梁，跨中一个集中荷载 | *l*e =0.80*l*u |  *l*e = 0.75*l*u |  *l*e =0.70*l*u |
| 悬臂梁，均匀分布荷载 | *l*e = 1.20*l*u |
| 悬臂梁，在悬端一个集中荷载 | *l*e = 1.70*l*u |
| 悬臂梁，在悬端作用弯矩 | *l*e = 2.00*l*u |

注：*l*u为受弯构件两个支撑点之间的实际距离。当支座处有侧向支撑而沿构件长度方向无附加支撑时，*l*u为支座之间的距离。当受弯构件在构件中间点以及支座处有侧向支撑时，*l*u为中间支撑与端支座之间的距离；

**5.2.3** 当受弯构件的两个支座处设有防止其侧向位移和侧倾的侧向支承，并且截面的最大高度对其截面宽度之比以及侧向支承满足下列规定时，侧向稳定系数*l*应取为1：

**1**  *h*/*b*≤4时，中间未设侧向支承；

**2**4＜*h*/*b*≤5时，在受弯构件长度上有类似檩条等构件作为侧向支承；

**3** 5＜*h*/*b*≤6.5时，受压边缘直接固定在密铺板上或直接固定在间距不大于610mm的搁栅上；

**4** 6.5＜*h*/*b*≤7.5时，受压边缘直接固定在密铺板上或直接固定在间距不大于610mm的搁栅上，并且受弯构件之间安装有横隔板，其间隔不超过受弯构件截面高度的8倍；

**5** 7.5＜*h*/*b*≤9时，受弯构件的上下边缘在长度方向上均有限制侧向位移的连续构件。

**5.2.4** 受弯构件的受剪承载能力应按下式验算：

 （5.2.4）

式中：*f*v—— 构件材料的顺纹抗剪强度设计值(N/mm2)；

*V*—— 受弯构件剪力设计值(N)，并应符合本规范第5.2.5条规定；

*I*—— 构件的全截面惯性矩(mm4)；

*b*—— 构件的截面宽度(mm)；

*S*m—— 剪切面以上的截面面积对中性轴的面积矩(mm3)。

【条文说明】当工程竹受弯构件符合以下情况时，应当注意其抗剪验算：

**1** 当构件的跨度与截面高度之比很小时；

**2** 在构件支座附近有大的集中荷载时；

**3** 当采用胶合工字梁或T形梁时。

**5.2.5** 当荷载作用在梁的顶面，计算受弯构件的剪力设计值*V*时，可不考虑梁端处距离支座长度为梁截面高度范围内，梁上所有荷载的作用。

**5.2.6** 受弯构件上的切口设计应符合下列规定：

**1** 应尽量减小切口引起的应力集中，宜采用逐渐变化的锥形切口，不宜采用直角形切口；

**2** 简支梁支座处受拉边的切口深度，锯材不应超过梁截面高度的1/4；层板胶合材不应超过梁截面高度的1/10；

**3**  可能出现负弯矩的支座处及其附近区域不应设置切口。

**5.2.7** 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式验算：

 （5.2.7）

式中：*f*v—— 构件材料的顺纹抗剪强度设计值(N/mm2)；

*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)，可按工程力学原理确定，并且不考虑本规范第5.2.5条的规定。

**5.2.8** 受弯构件局部承压的承载能力应按下式进行验算：

  （5.2.8）

式中：*N*c—— 局部压力设计值（N）；

*b*—— 局部承压面宽度（mm）；

*l*b—— 局部承压面长度（mm）；

*fc,90* —— 构件材料的横纹承压强度设计值（N/mm2）；当承压面长度*l*b≤150mm,且承压面外缘距构件端部不小于75mm时,取局部表面横纹承压强度设计值；否则应取全表面横纹承压强度设计值；

*K*B—— 局部受压长度调整系数；应按表5.2.8-1的规定取值；当局部受压区域内有较高弯曲应力时，*K*B=1；

*K*Zcp———— 局部受压尺寸调整系数；应按表5.2.8-2的规定取值。

表5.2.8-1局部受压长度调整系数KB

|  |  |
| --- | --- |
| 顺纹测量承压长度（mm） | 修正系数KB |
| ≤12.5 | 1.75 |
| 25.0 | 1.38 |
| 38.0 | 1.25 |
| 50.0 | 1.19 |
| 75.0 | 1.13 |
| 100.0 | 1.10 |
| ≥150.0 | 1.00 |
| 注：1. 当承压长度为中间值时，可采用插入法求出KB值； 2. 局部受压的区域离构件端部不应小于75mm。 |

表5.2.8-2 局部受压尺寸调整系数KZcp

|  |  |
| --- | --- |
| 构件截面宽度与构件截面高度的比值 | KZcp |
| ≤1.0 | 1.00 |
| ≥2.0 | 1.15 |
| 注：比值在1.0～2.0之间时，可采用插入法求出KZcp值。 |

**5.2.9** 受弯构件的挠度应按下式验算：

 （5.2.9）

式中： *ω* —— 构件按荷载效应的标准组合计算的挠度（mm）；

[*ω*] —— 受弯构件的挠度限值（mm），应按本标准表4.2.4的规定采用。

【条文说明】 受弯构件的挠度验算，属于按正常使用极限状态的设计。在这种情况下，采用弹性分析方法确定构件的挠度通常是合适的。因此，条文中没有特别指出挠度的计算方法。

**5.2.10**  双向受弯构件应按下列规定进行验算：

1. 按承载能力验算时，应按下式验算:

 (5.2.10-1)

**2** 按挠度验算时，挠度应按下式计算:

  (5.2.10-2)

式中：、—— 相对于构件截面*x*轴和*y*轴产生的弯矩设计值(N·mm)；

、—— 构件正向弯曲或侧向弯曲的抗弯强度设计值(N/mm2)；

、—— 构件截面沿*x*轴*y*轴的净截面抵抗矩(mm3)；

*w*x、*w*y—— 荷载效应的标准组合计算的对构件截面*x*轴、*y*轴方向的挠度(mm)。

【条文说明】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。

## 拉弯和压弯构件

**5.3.1** 拉弯构件的承载能力应按下式验算：

 (5.3.1)

式中：*N*、*M*—— 轴向拉力设计值(N)、弯矩设计值(N·mm)；

*A*n、*W*n—— 按本规范第5.1.1条和第5.2.4条规定计算的构件净截面面积(mm2)、净截面抵抗矩(mm3)；

*f*t、*f*m—— 构件材料的顺纹抗拉强度设计值、抗弯强度设计值(N/mm2)。

【条文说明】尽管本条给出工程竹拉弯构件的承载力验算公式，但应指出的是工程竹构件同时承受拉力和弯矩的作用，对工程竹的工作十分不利，在设计上应尽量采取措施予以避免。

**5.3.2**  压弯构件及偏心受压构件的承载能力应按下列规定进行验算：

**1** 按强度验算时，应按下式验算:

  (5.3.2-1)

**2** 按稳定验算时，应按下式验算:

  (5.3.2-2)

  (5.3.2-3)

  (5.3.2-4)

  (5.3.2-5)

式中：**—— 轴心受压构件的稳定系数；

*A*0—— 计算面积，按本标准第5.1.2条确定；

**m—— 考虑轴向力和初始弯矩共同作用的折减系数；

*N* —— 轴向压力设计值(N)；

*M*0—— 横向荷载作用下跨中最大初始弯矩设计值(N·mm)；

*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；

*f*c、*f*m—— 考虑调整系数后的构件材料的顺纹抗压强度设计值、抗弯强度设计值(N/mm2)；

*W*—— 构件全截面抵抗矩(mm3)。

**5.3.3** 压弯构件或偏心受压构件弯矩作用平面外的侧向稳定性时，应按下式验算：

  (5.3.3)

式中：**y—— 轴心压杆在垂直于弯矩作用平面*y-y*方向按长细比**y确定的轴心压杆稳定系数，按本规范第5.1.4条确定；

*l* —— 受弯构件的侧向稳定系数，按本规范第5.2.2条和第5.2.3条确定；

*N*、*M*—— 轴向压力设计值(N)、弯曲平面内的弯矩设计值(N·mm)；

*W*—— 构件全截面抵抗矩(mm3)。

#  连接设计

## 一般规定

**6.1.1** 工程竹构件宜采用螺栓、销等销轴类紧固件进行连接。

【条文说明】工程竹材质较硬，钉打入难度较大，为使材料强度得到充分发挥，推荐工厂预钻孔后，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** 工程竹结构的连接设计应符合下列规定：

**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和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，各构件表面应紧密接触。

【条文说明】工程竹是各项异性的材料，横纹方向强度较小，易发生沿着竹纤维方向的开裂破坏，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。

## 销轴类紧固件连接计算

**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、间距和行距的最小尺寸值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 | 7*d* | 4*d* |
| 非受力端 | 4*d* |
| 最小边距*e*2 | 当*l*/*d*≤6 | 1.5*d* | 受力边 | 4*d* |
| 当*l*/*d*＞6 | 取1.5*d*与*r*/2两者较大值 | 非受力边 | 4*d* |
| 最小间距*s* | 4*d* | 4*d* |
| 最小行距*r* | 2*d* | 当*l*/*d*≤2 | 2.5*d* |
| 当2＜*l*/*d*＜6 | (5*l*+10*d*)/8 |
| 当*l*/*d*≥6 | 5*d* |
| 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边部。

2 表中*l*为紧固件长度，*d*为紧固件直径；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*。

**6.2.2** 错列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错列布置的紧固件，当相邻行上的紧固体在顺纹方向的间距不大于4倍紧固件的直径（*d*）时，可认为相邻行的紧固件在同一截面上；

**2** 对于横纹荷载作用下错列布置的紧固件，当相邻行上的紧固件在横纹方向的间距不小于4*d*时，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4*d*时，紧固件在顺纹方向的间距应符合本标准表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** 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。

**6.2.4** 对于采用单剪或对称双剪的销轴类紧固件的连接（图6.2.4），当满足下列要求时，每个剪面的承载力设计值*Z*d可按本标准第6.2.5条规定进行计算：

**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标准表6.2.1的规定。



(a) 单剪连接 (b) 双剪连接

注：*t*m为主构件厚度；*t*s为次构件厚度；*l*m为主构件的销槽承压面长度；*l*s为次构件的销槽承压面长度；*d*为紧固件直径。

图6.2.4 销轴类紧固件的连接方式

**6.2.5** 对于单剪连接或对称双剪连接，单个销的每个剪面的承载力参考设计值Z应按下式进行计算：

 （6.2.5）

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，应按本规范第6.2.6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)，应按本规范第6.2.7条的规定确定。

**6.2.6** 销槽承压最小有效长度系数*k*min应按下列4种破坏模式进行计算，并应按下式进行确定：

 *k*min=min[*k*I, *k*II, *k*Ⅲ, *k*Ⅳ] (6.2.6-1)

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：

 (6.2.6-2)

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)，应按本规范第6.2.7条的规定确定；

*γ*—— 屈服模式Ⅰ的抗力分项系数，应按表6.2.6的规定取值；

2）对于单剪连接时，应满足*R*e*R*t≤1.0；

3）对于双剪连接时，应满足*R*e*R*t≤2.0，并且，销槽承压有效长度系数*k*I应按下式计算：

 (6.2.6-3)

1. 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：

 (6.2.6-4)

 (6.2.6-5)

式中：**—— 屈服模式Ⅱ的抗力分项系数，应按表6.2.6的规定取值。

**3** 屈服模式Ⅲ时，应按下列规定计算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：

 (6.2.6-6)

式中：**—— 屈服模式Ⅲ的抗力分项系数，应按表6.2.6的规定取值；

 2）当单剪连接的屈服模式为Ⅲm时，

 (6.2.6-7)

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）当屈服模式为Ⅲs时，

 (6.2.6-8)

4）当采用Q235钢等具有明显屈服性能的钢材时，取*k*ep=1.0；当采用其他钢材时，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，应按下列公式计算销槽承压有效长度系数*k*Ⅳ：

 (6.2.6-9)

 (6.2.6-10)

式中：**IV —— 屈服模式Ⅳ的抗力分项系数，应按表6.2.6的规定取值。

表6.2.6 构件连接时剪面承载力的抗力分项系数取值表

|  |  |
| --- | --- |
| 连接件类型 | 各屈服模式的抗力分项系数 |
| **Ⅰ | **Ⅱ | **Ⅲ | **Ⅳ |
| 螺栓或销 | 4.38 | 3.63 | 2.22 | 1.88 |

【条文说明】我国现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005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。考虑到目前工程竹结构工程经验相对较少，且工程竹节点的承载力普遍大于胶合木节点，因此参考了现行国家标准《木结构设计标准》GB 50005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。

**6.2.7** 工程竹的销槽承压强度标准值应按下列规定取值：

**1** 当6mm≤*d*≤25mm时，销轴类紧固件销槽顺纹承压强度*f*e,0(N/mm2)应按下式确定：

 （6.2.7-1）

式中：—— 主构件材料的全干相对密度。

**2** 当6mm≤*d*≤25mm时，销轴类紧固件销槽横纹承压强度*f*e,90(N/mm2)应按下式确定：

 （6.2.7-2）

式中：*d* —— 销轴类紧固件直径(mm)。

**3** 当作用在构件上的荷载与工程竹的顺纹方向呈夹角*α*时，销槽承压强度*f*e,α应按下式确定：

 （6.2.7-3）

式中：**—— 荷载与木纹方向的夹角。

**4** 当*d*＜6mm时，销槽承压强度*f*e (N/mm2)应按下式确定：

  （6.2.7-4）

**5** 当销轴类紧固件插入主构件端部并且与主构件工程竹的顺纹方向平行时，主构件上的销槽承压强度取；

**6** 紧固件在钢材上的销槽承压强度*f*es应按现行国家标准《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；

**7** 紧固件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。

【条文说明】工程竹的销槽承压强度计算参考《木结构设计标准》GB50005-2017与《胶合木结构技术规范》GB/T50708-2012，通过与国内外相关试验结果的对比，证实该方法是可靠和偏于安全的。

**6.2.8** 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** 销轴类紧固件的抗弯强度标准值应取销轴屈服强度；

**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。

**6.2.9** 互相不对称的三个构件连接时，每个剪面的承载力设计值*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设计承载力。

**6.2.10** 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再乘以销的个数。

**6.2.11** 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。

#  防火设计

##  一般规定

**7.1.1** 工程竹结构的防火验算和防火构造除应符合本章的规定外，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。

【条文说明】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，按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016中木结构的相关规定执行。

**7.1.2** 本章规定的防火验算设计方法适用于耐火极限不超过2.00h的构件防火设计。防火设计应采用下列设计表达式：

*S*k≤*Rf* (7.1.2)

式中：*S*k—— 火灾发生后验算受损工程竹构件的荷载偶然组合的效应设计值；永久荷载和可变荷载均应采用标准值；

*Rf* —— 按耐火极限燃烧后残余木构件的承载力设计值。

【条文说明】本章防火验算的相关规定仅适用于耐火极限不超过2.00h的工程竹结构。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。本条规定了工程竹结构在火灾下的荷载作用效应组合。考虑到火灾属于偶然设计状况，采用偶然荷载组合进行设计。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。

**7.1.3** 燃烧后的构件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表7.1.3的调整系数。

表7.1.3 防火设计强度调整系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料类别 | 抗弯强度 | 抗拉强度 | 抗压强度 |
| 胶合竹 | 1.2 | 1.49 | 1.49 |
| 重组竹 | 1.2 | 1.36 | 1.2 |

【条文说明】考虑到火灾属于偶然设计状况，应采用偶然组合进行设计。根据国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009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。

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。参考美国《木结构设计规范》(NDS2015)以及美国林业及纸业协会出版的第10号技术报告《计算暴露木构件的耐火极限》，在一般情况下，采用容许应力法进行计算时，构件的允许应力等于材料强度5%的分位值作为标准值，除以调整系数得到。而火灾时，允许应力则采用材料强度的平均值。平均值与5%分位值的关系为：

*f*m＝*f*0.05/（1-1.645×COV）

为了简化防火验算，本条对工程竹构件采用的材料仅分为胶合竹和重组竹两类，根据其变异系数COV确定各个强度调整系数见表1。

表1 调整系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料类别 | 强度 | 变异系数COV | 1/1-1.645×COV |
| 胶合竹 | 抗弯强度 | 0.1 | 1.2 |
| 顺纹抗压 | 0.1 | 1.2 |
| 顺纹抗拉 | 0.16 | 1.36 |
| 重组竹 | 抗弯强度 | 0.1 | 1.2 |
| 顺纹抗压 | 0.2 | 1.49 |
| 顺纹抗拉 | 0.2 | 1.49 |

**7.1.4** 耐火极限不超过2h的工程竹构件的有效炭化层厚度应按下式计算：

 （7.1.4）

式中：*d*ef —— 有效炭化层厚度（mm）；

*β*n —— 工程竹燃烧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60mm/h，重组竹构件的名义线性炭化速率为30mm/h；

 *t* —— 受火时间（h）；

【条文说明】公式中的名义线性炭化速率是一维状态下的炭化速率，基于国内外的研究成果，胶合竹构件取60mm/h，重组竹构件取30mm/h。

**7.1.5** 当验算燃烧后的构件承载能力时，应按本标准第5章的相关规定进行验算，应采用构件燃烧后的剩余截面尺寸。

**7.1.6** 构件连接的耐火极限不应低于所连接构件的耐火极限。

**7.1.7** 三面受火和四面受火矩形截面工程竹构件燃烧后剩余截面（图8.2.6）的几何特征应根据构件实际受火面和有效炭化层厚度进行计算。单面受火和相邻两面受火的矩形截面工程竹构件燃烧后剩余截面可按本标准第7.1.4条进行确定。

 

 （a）三面受火 （b）四面受火

1—构件燃烧后剩余截面边缘；2—构件燃烧前截面边缘；3—剩余截面；*h*—燃烧前截面高度（mm）；*b*—燃烧前截面宽度（mm）；*d*ef—有效炭化层厚度（mm）

图7.1.7 三面受火和四面受火矩形构件截面

【条文说明】在实际应用中，角部区域的炭化比较复杂，为简化计算，可将剩余截面等效为矩形计算截面。

**7.1.8** 结构建筑构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表7.1.8的规定。

表7.1.8 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 |

【条文说明】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，工程竹结构与木结构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。

**7.1.9** 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，并应满足设计的耐火性能要求。

## 防火构造

**7.2.1** 构件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** 可涂刷防火涂料进行防火保护；

**2** 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厚度不小于*d*ef的竹塞封堵，所有的连接缝可采用防火封堵材料填缝；*d*ef为有效炭化层厚度；

**3** 金属连接件表面可采用截面厚度不小于60mm的胶合竹或截面厚度不小于30mm的重组竹防火保护层；

**4** 可采用厚度大于15mm的耐火石膏板在梁柱连接处进行分隔保护。

【条文说明】工程竹结构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。

**7.2.2** 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。

**7.2.3** 当管道内的流体造成管道外壁温度达到120℃及以上时，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。

**7.2.4** 设置在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的防火隔墙和1.50h的不燃性楼板与其他部位分隔。工程竹结构建筑内的排油烟管道应采用防火隔热措施。

**7.2.5** 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。防火分隔可采用下列材料制作：

**1** 截面宽度不小于60mm的胶合竹材或截面宽度不小于30mm的重组竹材；

**2** 厚度不小于12mm的耐火石膏板；

**3** 厚度不小于6mm的无机增强水泥板；

**4** 其他满足防火要求的材料。

【条文说明】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，阻止蔓延。

**7.2.6** 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》GB50016的规定。

**7.2.7** 建筑外饰面材料的燃烧性能不应低于B1级。建筑其他装饰装修材料的燃烧性能应符合下列规定：

**1** 设置中央空调系统的办公建筑，其顶棚装饰装修材料的燃烧性能应为A级；其余办公建筑可为B1级；

**2** 办公建筑的墙面、地面装饰装修材料的燃烧性能宜不低于B1级。

**7.2.8** 当同时装有火灾自动报警装置和自动灭火系统时，其装修装饰材料的燃烧性能等级可在本标准第7.2.7条规定的基础上降低一级。

**7.2.9** 防火墙和烟道、烟囱的设置和构造应符合下列规定：

**1** 砖砌防火墙厚度和烟道、烟囱壁厚度不应小于240mm，金属烟囱应采用厚度不小于70mm的矿棉保护层或耐火极限不低于1.00h的防火板覆盖；

**2** 烟囱与工程竹构件间的净距不应小于120mm，且应有良好的通风条件；

**3** 烟囱出楼屋面时，间隙应采用不燃材料封闭。

#  防护设计

## 防水与防潮

**8.1.1** 工程竹结构建筑应有效地利用周围地势、其他建筑物及树木，应减少围护结构的环境暴露程度。

【条文说明】建筑暴露于风雨的程度越高，遭受水分破坏的可能性越大。建筑所处的地势、周围的建筑物和树木等，都影响建筑物的暴露程度。周围的建筑物越高，对该建筑所提供的保护程度就越大。

**8.1.2** 工程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。

【条文说明】建筑平、立面过于复杂，维护结构上开洞过多，阳台、门窗等非常暴露，都会增加建筑防水防潮的难度。

**8.1.3** 工程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。

【条文说明】维护结构气密性不仅对于防止雨水侵入，防止潮湿水蒸气在维护结构内冷凝，而且对于减少建筑供暖制冷所需能源，提高隔音性能，改善居住舒适度，都尤为重要。

**8.1.4** 在年降雨量高于1000 mm的地区，或环境暴露程度很高的工程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。

**8.1.5** 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。在工程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300 mm，工程竹构件的底部距离室外地坪的高度不应小于300 mm。

**8.1.6** 工程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。

【条文说明】避免采用十分复杂的屋面结构，尽量减少屋面的连接和开洞。在必要的连接和开洞处，应提供可靠的保护措施，合理地使用泛水结构，防止雨水渗漏。要确保檐沟、落水管和地面排水系统的畅通。

**8.1.7** 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，外侧应具有较低的蒸汽渗透率。

**8.1.8** 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，应有效地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％。

**8.1.9** 对于易吸收水分导致开裂的构件端部应做防护封固处理或用金属盖板进行保护。

**8.1.10** 工程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他承重工程竹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工程竹柱底部应设置垫板，严禁将工程竹柱直接砌入砌体中，或浇筑在混凝土中；

**4** 在工程竹结构隐蔽部位应设置通风孔洞；

**5** 无地下室的底层工程竹楼盖应架空，并应采取通风防潮措施。

【条文说明】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，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。

## 防腐与防虫

**8.2.1** 工程竹结构采用的防腐、防虫构造措施应在设计图纸中作出规定。

**8.2.2** 工程竹结构应根据设计工作年限、使用环境等要求，确定防护处理所使用的防护剂种类、处理质量要求及处理方法。防护剂的选用应符合下列规定：

**1** 防护剂不应危及人畜安全，且不应污染环境；

**2** 在建筑物预定的使用期限内，工程竹材防腐和防虫性能应稳定持久；

**3** 防护剂不应与金属连接件起化学反应，工程竹材经处理后不应增加吸湿性。

【条文说明】工程竹结构的防护包括防腐和防虫两个方面，这两方面的工作根据工程所在地的环境条件和虫害情况进行确定。

**8.2.3** 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，当作为主要结构构件时，应进行防腐处理：

**1** 长期暴露在室外，或与土壤、混凝土、砖石砌体直接接触；

**2** 长期处于通风不良且经常潮湿的环境中。

【条文说明】工程竹中的有机营养物质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更易发生腐朽霉变，尤其需要注意防腐处理。

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

**1** 胶合竹应进行加压浸渍防腐处理，处理方法根据采用防护剂的不同，可分为先胶合后处理和先处理竹条后胶合两种；当使用水溶性防护剂时，不应采用先胶合后处理的方式；

**2** 重组竹的竹束应进行预处理，重组竹构件应进行表面涂刷防腐处理。

【条文说明】竹材对腐朽菌的抵抗能力较差，当用于室外环境或潮湿环境中时，需要进行防腐处理。重组竹的密实度和浸胶量大，防腐剂不易渗透附着，内部容易被腐朽菌侵蚀，用于室外环境或潮湿环境中时应进行竹束的防腐预处理以及构件的表面防腐处理；胶合竹中竹纤维与结构用胶的粘结面积较小，胶合竹素板对木腐菌的抵抗能力更差，使用环境需要时加压浸渍防腐处理是必要的。

**8.2.5** 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 的规定进行分类，所使用的防护剂应符合现行行业标准《木材防腐剂》LY/T 1635 的有关规定。

**8.2.6** 经防护处理的工程竹应有显著的防护处理标识，标明处理厂家或商标、使用分类等级、所使用的防护剂成分和载药量。

【条文说明】工程竹构件的防护处理采用的方法和使用的防护剂可以不同，但无论采用何种处理方式和防护剂，均应标明防护剂的成分和载药量。

**8.2.7** 工程竹构件的机械加工应在防腐防虫药剂处理前进行。木构件经防腐防虫处理后，应避免重新切割或钻孔。由于技术上的原因，确有必要作局部修整时，应对工程竹构件暴露的表面，涂刷足够的同品牌或同品种药剂。

**8.2.8**工程竹结构防白蚁措施可按国家标准《木结构设计标准》GB50005中防生物危害进行设计。

# 附录A 胶合竹和重组竹的强度与弹性模量标准值

**A.0.1** 各等级胶合竹的强度和弹性模量标准值应按表A.0.1的规定取值。

表A.0.1 胶合竹的强度标准值和弹性模量（N/mm2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 强度标准值 | 弹性模量*E*0.05 |
| 抗弯*f*m | 顺纹抗拉*f*t | 顺纹抗压*f*c |
| 120*E*-78*f* | 78 | 60 | 67 | 10000 |
| 110*E*-75*f* | 75 | 56 | 63 | 9100 |
| 100*E*-70*f* | 70 | 56 | 58 | 8300 |
| 90*E*-68*f* | 68 | 52 | 58 | 7500 |
| 80*E*-65*f* | 65 | 45 | 54 | 6600 |

**A.0.2** 各等级重组竹的强度和弹性模量标准值应按表A.0.2的规定取值。

表A.0.2 重组竹的强度标准值和弹性模量（N/mm2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 强度等级 | 强度标准值 | 弹性模量*E*0.05 |
| 抗弯*f*m | 顺纹抗拉*f*t | 顺纹抗压*f*c | 顺纹抗剪*f*v | 横纹承压*f*c,90 |
| 局部 | 全表面 |
| 28*E*-165*f* | 165 | 130 | 85 | 15.5 | 20.5 | 18.5 | 21000 |
| 18*E*-135*f* | 135 | 109 | 71 | 15 | 16.5 | 16 | 13000 |
| 10*E*-90*f* | 90 | 51 | 42 | 9 | 9 | 5.5 | 7500 |

# 本标准用词说明

为了便于在执行本标准条款时区别对待，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，在条件许可时首先应这样做的：

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”。

# 引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《木结构设计标准》GB 50005

《建筑结构荷载规范》GB 50009

《建筑抗震设计规范》GB 50011

《建筑设计防火规范》GB 50016

《钢结构设计标准》GB 50017

《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068

《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205

《建筑抗震设防分类标准》GB 50223

《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624

《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923

《钢结构防火涂料通用技术条件》GB 14907

《碳素结构钢》GB/T 700

《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

《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632

《六角头螺栓 C级》GB/T 5780

《六角头螺栓》GB/T 5782

《竹产品术语》GB/T 36394

《胶合木结构技术规范》GB/T 50708

《结构用竹集成材》GB/T 40487

《木材防腐剂》LY/T 1635

《防腐木材的使用分类和要求》 LY/T 1636

《结构用重组竹》LY/T 3194

《工程竹材》T/CECS 10138