



T/CECS xxx-2024

中国工程建设标准化协会标准

无机复合竹结构技术规程

Technical specification for inorganic-bonded bamboo composite
structure

(征求意见稿)

中国 xxxxx 出版社

中国工程建设标准化协会标准

无机复合竹结构技术规程

Technical specification for inorganic-bonded bamboo composite
structure

(征求意见稿)

T/CECS xxx-2024

主编单位： 山东建筑大学

批准单位： 中国工程建设标准化协会

施行日期： 2024 年 xx 月 xx 日

中国 xxxxx 出版社

2024 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 XXXX 号

关于发布《无机复合竹结构技术规程》的公告

中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协[2021]20 号）的要求，由山东建筑大学等单位编制的《无机复合竹结构技术规程》，经中国工程建设标准化协会绿色建造专业委员会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS XXXX-2024，自 2024 年 xx 月 xx 日起施行。

中国工程建设标准化协会

二〇二四年 xx 月 xx 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021 年第二批协会标准指定、修订计划>的通知》（建标协字[2021]20 号）的要求，编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 9 章，主要内容包括：总则、术语、材料、构件设计、连接设计、防火设计、防护设计、制作、运输、存储及安装、验收。

请注意，本规程的某些内容涉及“一种竹木结构用无机胶及其制备方法”（ZL 202010239335.4）、“一种抗裂型竹结构用无机胶及制备方法及重组竹的制备方法”（ZL 202010239326.5）的专利。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本标准主编单位及专利权人协商处理。除此之外，部分内容仍有可能直接或间接涉及其他专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国工程建设标准化协会绿色建造专业委员会归口管理，由山东建筑大学负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请寄送至山东建筑大学（地址：山东省济南市历下区历山路 96 号山东建筑大学（和平校区），邮政编码：250013，电话：0531-86367232）。

主编单位：山东建筑大学

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语.....	2
3	材 料.....	3
3.1	无机复合竹	3
3.2	钢材及金属连接件	4
3.3	其他材料	5
4	构件设计.....	6
4.1	一般规定	6
4.2	构件计算	7
5	连接设计.....	11
5.1	一般规定	11
5.2	连接计算	11
5.3	连接构造要求	14
6	防火设计.....	20
6.1	一般规定	20
6.2	防火构造	22
7	防护设计.....	24
7.1	一般规定	24
7.2	防水防潮	24
7.3	防腐和防生物危害	24
8	制作、运输、存储及安装.....	25
8.1	一般规定	25
8.2	制作	25
8.3	运输和存储	26
8.4	安装	26
9	验收.....	28

9.1 一般规定	28
9.2 主控项目	28
9.3 一般项目	29
本规程用词说明.....	30
引用标准名录.....	31
附：条文说明.....	33

Contents

1	General provisions	1
2	Terms	2
3	Materials	3
3.1	Inorganic-bonded bamboo composite	3
3.2	Steel and metal connectors	4
3.3	Other materials	5
4	Member design.....	6
4.1	General requirements.....	6
4.2	Member calculation	7
5	Connection design.....	11
5.1	General requirements.....	11
5.2	Connection calculation	11
5.3	Requirements for connection construction	14
6	Fire protection design	20
6.1	General requirements.....	20
6.2	Construction of Fire Protection	22
7	Protection design.....	24
7.1	General requirements.....	24
7.2	Waterproof and moisture-proof.....	24
7.3	Corrosion and biological hazard prevention	24
8	Production, transportation, storage, and installation.....	25
8.1	General requirements.....	25
8.2	Production.....	25
8.3	Transportation and storage	26
8.4	Installation	26
9	Acceptance	28
9.1	General requirements.....	28

9.2	Dominant items.....	28
9.3	General items.....	29
	Explanation of wording.....	30
	List of quoted standards.....	31
	Addition: Explanation of provisions.....	33

1 总 则

1.0.1 为在无机复合竹结构的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、确保质量、保护环境,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于无机复合竹结构的设计、生产制作、安装和验收。

1.0.3 无机复合竹结构适用于 8 层及以下且高度不大于 32 m 的建筑。当建筑层数超过 8 层或建筑高度超过 32 m 时,可采用无机复合竹-混凝土混合结构。

1.0.4 无机复合竹结构的设计、生产制作、安装和验收,除应符合本规程的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.1.1 无机胶 inorganic adhesive

竹材复合用硫氧镁基胶凝材料。

2.1.2 无机复合竹 inorganic-bonded bamboo composite

圆竹经疏解、碳化、干燥等工序加工成竹束后，采用无机胶浸润或喷涂，并通过组胚、冷压成型、养护等工艺制成的复合竹材。

2.1.3 顺纹 parallel-to-grain

无机复合竹构件中竹束方向与构件长度方向一致。

2.1.4 横纹 perpendicular-to-grain

无机复合竹构件中竹束方向与构件长度方向垂直。

2.1.5 斜纹 an angle to grain

无机复合竹构件中竹束方向与构件长度方向形成某一角度。

2.1.6 螺栓连接 dowel-type connection

采用螺栓将被连接的构件连成一体的连接方式。

3 材 料

3.1 无机复合竹

3.1.1 无机复合竹的材料强度等级按抗弯强度标准值确定。抗弯强度标准值系指按标准方法制作、养护条件下几何尺寸为 40 mm×40 mm×540 mm 的试件，在 28 天或设计规定龄期下以标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗弯强度值。

3.1.2 无机复合竹的强度设计值应计入荷载持续作用效应对其强度的影响，并按下式计算：

$$f_d = \frac{K_{DOL} f_k}{\gamma_R} \quad (3.1.2)$$

式中： f_d ——无机复合竹材料的强度设计值（N/mm²）；

f_k ——无机复合竹材料的强度标准值（N/mm²）；

K_{DOL} ——荷载持续作用效应系数，取 0.77；

γ_R ——材料的抗力分项系数，取 1.35。

3.1.3 无机复合竹的强度设计指标应符合下列规定：

1 无机复合竹的强度标准值、强度设计值应分别按表 3.1.3-1、表 3.1.3-2 采用。

表 3.1.3-1 无机复合竹的强度标准值（N/mm²）

强度等级	抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v
B40	40	31.1	21.5	3.2
B50	50	40.8	26.8	5.7

表 3.1.3-2 无机复合竹的强度设计值（N/mm²）

强度等级	抗弯 f_m	顺纹抗压 f_c	顺纹抗拉 f_t	顺纹抗剪 f_v
B40	22.8	17.7	12.3	1.8
B50	28.5	23.3	15.3	3.3

注：无机复合竹的自重宜取 11.5 ~13.5 kN/m³。

2 无机复合竹的横纹承压强度设计值应按表 3.1.3-3 采用。

表 3.1.3-3 无机复合竹的横纹承压强度设计值 (N/mm²)

强度等级	局部承压		全截面承压
	构件中间承压	构件端部承压	
B40、B50	14	11	8

3 无机复合竹的斜纹承压强度设计值可按式计算：

$$f_{c,\theta} = \frac{f_c f_{c,90}}{f_c \sin^2 \theta + f_{c,90} \cos^2 \theta} \quad (3.1.3)$$

式中： θ ——荷载与构件纵向顺纹方向的夹角 (0° ~90°)；

$f_{c,\theta}$ ——无机复合竹斜纹承压强度设计值 (N/mm²)；

f_c ——无机复合竹的顺纹抗压强度设计值 (N/mm²)；

$f_{c,90}$ ——无机复合竹的横纹承压强度设计值 (N/mm²)。

3.1.4 无机复合竹的受拉和受压弹性模量宜分别取 11 GPa 和 15 GPa，剪切模量宜取相应弹性模量的 1/12~1/18。

无机复合竹的泊松比可取 0.35。

3.1.5 无机复合竹材料的热工参数可按下列规定取值：

导热系数 λ ：0.58 W/mk；

热扩散率 a ：0.37 m²/s；

比热容 c ：1.50 MJ/m²k。

3.2 钢材及金属连接件

3.2.1 无机复合竹结构中使用的钢材宜采用 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。

3.2.2 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 承受动力荷载或振动荷载的焊接构件或连接件；
- 2 温度等于或低于-30℃的构件或连接件。

3.2.3 用于无机复合竹结构的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度或硫、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。

3.2.4 螺栓连接件应符合下列规定：

1 螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780、《六角头螺栓》GB/T 5782 和《内六角圆柱头螺钉》GB/T 70.1-2008 等的规定；

2 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、《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 或《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

3.2.5 处于潮湿环境、外露环境或受腐蚀性气态或固态介质作用的金属连接件应经防腐处理，或采用不锈钢等满足防腐要求的产品。

3.2.6 当金属连接件直接与经过防腐处理的无机复合竹结构材接触时，金属连接件应采取防止被药剂腐蚀的措施。

3.3 其他材料

3.3.1 无机复合竹结构中用于拼接、灌缝、植筋等连接用胶应满足结合部位的强度和耐久性要求。有防火要求的结合部位，应使用耐高温连接用胶或采取必要的防护措施。

3.3.2 防火封堵材料应符合现行国检标准《防火封堵材料》GB 23864 和《建筑用阻燃密封胶》GB/T 24267 的规定。

4 构件设计

4.1 一般规定

4.1.1 无机复合竹结构应采用以概率理论为基础的极限状态设计法。

4.1.2 结构的设计基准期应为 50 年，结构设计工作年限和安全等级应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的规定。

4.1.3 对承载能力极限状态，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：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.1.3)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的相关规定选用；

S ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 进行计算；

R ——结构或结构构件的抗力设计值。

4.1.4 结构构件的截面抗震验算应采用下列设计表达式：

$$S \leq \frac{R}{\gamma_{RE}} \quad (4.1.4)$$

式中： γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，取值应符合本标准第 4.1.7 条的规定；

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

R ——结构或结构构件的抗力设计值。

4.1.5 对正常使用极限状态，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：

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

式中： S ——正常使用极限状态下作用组合的效应设计值；

C ——设计对变形、挠度等规定的相应限值。

4.1.6 无机复合竹结构进行构件抗震验算时，承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应符合表 4.1.6 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均应

取为 1.0。

表 4.1.6 承载力抗震调整系数 γ_{RE}

构件	系数
梁、柱	0.85
各类构件（偏拉、受剪）	0.90
连接件	0.95

4.1.8 受弯构件的挠度限值应按表 4.1.8 的规定采用：

表 4.1.8 受弯构件挠度限值

项次	构件类别		挠度限值
1	檩条	$l \leq 3.3\text{m}$	$l/200$
		$l > 3.3\text{m}$	$l/250$
2	梁		$l/250$

注： l 为受弯构件的计算跨度。

4.1.9 梁柱式无机复合竹结构的弹性层间位移角限值宜为 1/350。

4.2 构件计算

4.2.1 轴心受拉构件的承载能力应按下列式验算：

$$\frac{N_t}{A_n} \leq f_t \quad (4.2.1)$$

式中： f_t ——构件材料的顺纹抗拉强度设计值（N/mm²）；

N_t ——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）。

4.2.2 轴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，应按下列式验算：

$$\frac{N_c}{A_n} \leq f_c \quad (4.2.2-1)$$

2 按稳定验算时，应按下列式验算：

$$\frac{N_c}{\varphi A_0} \leq f_c \quad (4.2.2-2)$$

式中： f_c ——构件材料的顺纹抗压强度设计值（N/mm²）；

N_c ——轴心受压构件压力设计值（N）；

A_n ——受压构件的净截面面积（N/mm²）；

A_0 ——受压构件截面的计算面积（N/mm²）；

φ ——轴心受压构件稳定系数，应按本规程第 4.2.3 条的规定确定。

4.2.3 矩形截面轴心受压构件稳定系数计算应按下式规定：

$$\varphi = \frac{1 + f_{ce} / f_c}{1.8} - \sqrt{\left(\frac{1 + f_{ce} / f_c}{1.8} \right)^2 - \frac{f_{ce} / f_c}{0.9}} \quad (4.2.3-1)$$

f_{ce} 按式（4.2.3-2）进行计算：

$$f_{ce} = \frac{0.79 \cdot E_0}{(l_0 / b)^2} \quad (4.2.3-2)$$

式中： b ——构件较小截面尺寸（mm）；

l_0 ——受压构件的计算长度（mm），应按本规程第 4.2.4 条的规定确定；

f_c ——构件材料的顺纹抗压强度设计值（N/mm²）；

E_0 ——构件材料的顺纹抗压弹性模量（N/mm²），应按本规程第 3.1.4 的规定确定。

4.2.4 矩形截面受压构件的计算长度应按下式确定：

$$l_0 = k_l l \quad (4.2.4)$$

式中： l_0 ——受压构件的计算长度（mm）；

l ——受压构件实际长度（mm）；

k_l ——长度计算系数，应按表 4.2.4 的规定取值。

表 4.2.4 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

4.2.5 受弯构件的抗弯承载力强度验算应按下式规定：

$$\frac{M}{W_n} \leq f_m \quad (4.2.5)$$

式中： f_m ——无机复合竹抗弯强度设计值 (N/mm²)；

M ——受弯构件弯矩设计值 (N·mm)；

W_n ——受弯构件的净截面抵抗矩 (mm³)。

4.2.6 受弯构件的受剪承载能力应按下式验算：

$$\frac{VS_m}{Ib} \leq f_v \quad (4.2.6)$$

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)；

b ——构件的截面宽度 (mm)；

I ——构件全截面惯性矩 (mm⁴)；

S_m ——剪切面以上的截面面积对中性轴的面积矩 (mm³)。

4.2.7 受弯构件的局部承压强度应按下式验算：

$$\frac{N_c}{bl_b} \leq f_{c,90} \quad (4.2.7)$$

式中： $f_{c,90}$ ——构件材料的横纹承压强度设计值 (N/mm²)；

N_c ——受弯构件的横纹压力设计值 (N)；

b ——局部承压面宽度 (mm)；

l_b ——局部承压面长度 (mm)。

4.2.8 受弯构件的挠度应按下式验算：

$$w \leq [w] \quad (4.2.8)$$

式中： $[w]$ ——受弯构件的挠度限值 (mm)，应按本标准表 4.1.8 的规定采用；

w ——构件按荷载效应的标准组合计算的挠度 (mm)。

4.2.9 拉弯构件的承载能力应按下式验算：

$$\frac{N_t}{A_n f_t} + \frac{M}{W_n f_m} \leq 1 \quad (4.2.9)$$

式中： N_t ——轴向拉力设计值（N）；

M ——弯矩设计值（N·mm）；

A_n ——构件净截面面积（mm²）；

W_n ——构件净截面抵抗矩（mm³）；

f_t ——构件材料的顺纹抗拉强度设计值；

f_m ——构件材料的抗弯强度设计值（N/mm²）。

4.2.10 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：

$$\left(\frac{N}{\varphi f_c A_n} \right)^2 + 1.4 \frac{M}{W_n f_m} \leq 1 \quad (4.2.10)$$

式中： N ——轴向压力设计值（N）；

M ——弯矩设计值（N·mm）；

φ ——轴心受压构件的稳定系数；

A_n ——构件净截面面积（mm²）；

W_n ——构件净截面抵抗矩（mm³）；

f_c ——构件材料的顺纹抗压强度设计值（N/mm²）；

f_m ——构件材料的抗弯强度设计值（N/mm²）。

4.2.11 构件的顺纹局部承压承载能力，应按下列规定验算：

1 验算构件的顺纹局部承压时，按承压净面积计算。构件的顺纹局部承压强度设计值应采用顺纹抗压强度设计值。

2 当局部承压产生的压应力大于顺纹受压强度设计值的 75%时，局部承压的荷载应作用在厚度不小于 6 mm 的钢板上或其他具有相同刚度的材料上。

5 连接设计

5.1 一般规定

5.1.1 无机复合竹结构的构件连接,可根据结构体系和受力部位采用螺栓连接和植筋(或植栓)连接。螺栓连接分为钢填板和钢夹板螺栓连接。

5.1.2 构件的连接设计应遵循下列原则:

- 1 应满足结构设计和结构整体性要求;
- 2 应使结构受力简单、传力明确,应避免被连接构件出现横纹受拉破坏;
- 3 连接应具有可靠的强度和延性;
- 4 连接形式宜对称布置,连接构造应便于标准化制作和安装。

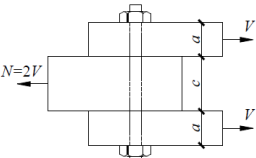
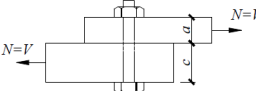
5.1.3 无机复合竹结构中的连接设计应选择适宜的计算模型。当无法确定计算模型时,应提供试验验证或工程验证的技术文件。当连接设计中考虑节点半刚性时,在整体结构分析中应以连接节点的弯矩—转角关系为计算依据,弯矩—转角关系应由试验或经验证的数值模拟确定。

5.2 连接计算

5.2.1 无机复合竹构件采用螺栓连接时,应分别进行单个螺栓连接件处的销槽屈服承压强度验算和横纹劈裂承载力验算。

5.2.2 无机复合竹螺栓连接可采用双剪连接或单剪连接,螺栓连接构件的最小厚度,应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 螺栓连接中构件的最小厚度

连接形式	连接示意图	$d < 18 \text{ mm}$	$d \geq 18 \text{ mm}$
双剪连接		$c \geq 5d$ $a \geq 3d$	$c \geq 5d$ $a \geq 4d$
单剪连接		$c \geq 7d$ $a \geq 3d$	$c \geq 7d$ $a \geq 4d$

注:表中 c ——中部构件的厚度或单剪连接中较厚构件的厚度;

a ——边部构件的厚度或单剪连接中较薄构件的厚度；

d ——螺栓的直径。

5.2.3 无机复合竹连接的抗力设计值应采用下列设计表达式：

$$R \leq k_{\text{DOL}} \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (5.2.3)$$

式中： R_k ——结构构件的抗力标准值；

k_{DOL} ——荷载持续作用效应系数，取 0.77；

γ_R ——抗力分项系数，取 1.35。

5.2.4 对无机复合竹的单剪或对称双剪顺纹螺栓连接，单个螺栓连接件每个剪面的承载力标准值应按下式进行计算：

$$N_{v,Rk} = 0.75k_v d^2 \sqrt{f_y f_{c,k}} \quad (5.2.4-1)$$

$$k_v = 0.02 \frac{a}{d} + 0.91 \quad (5.2.4-2)$$

式中： $f_{c,k}$ ——顺纹销槽承压强度标准值 (N/mm^2)；

f_y ——销轴连接件抗拉屈服强度设计值 (N/mm)；

k_v ——螺栓连接设计承载力计算系数。

5.2.5 对无机复合竹-钢填板或钢夹板连接（图 5.2.5-1、图 5.2.5-2），单螺栓连接每个剪面的承载力标准值应按下列规定进行计算。

1 无机复合竹—钢填板连接

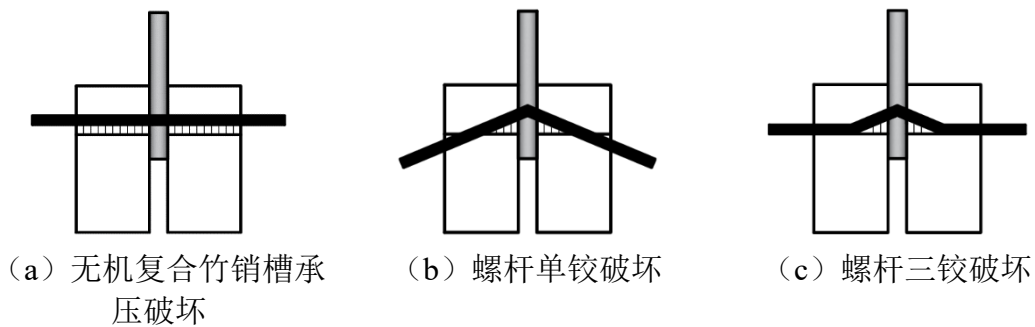


图 5.2.5-1 无机复合竹-钢填板双剪连接失效模式

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{e,k} a d \\ f_{e,k} a d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{e,k} a^2 d}} - 1 \right] \\ 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{e,k} d} \end{cases} \quad (5.2.5-1)$$

$M_{y,Rk}$ 按式 (5.2.5-2) 进行计算:

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6} \quad (5.2.5-2)$$

式中: a ——复合竹较薄构件的厚度 (mm);

d ——螺栓直径 (mm);

$f_{e,k}$ ——销槽承压强度标准值 (N/mm^2);

$f_{u,k}$ ——螺栓抗拉强度标准值 (N/mm^2);

$M_{y,Rk}$ ——螺栓抗弯强度标准值 (N/mm^2)。

2 无机复合竹—钢夹板连接

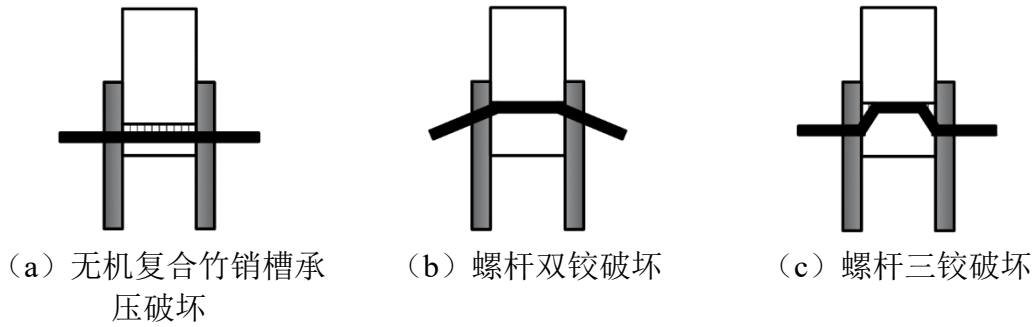


图 5.2.5-2 无机复合竹—钢填板双剪连接失效模式

薄钢板连接 ($t_s \leq 0.5d$):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 f_{e,k} c d \\ 1.15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{e,k} d} \end{cases} \quad (5.2.5-3)$$

厚钢板连接 ($t_s \geq d$):

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 f_{e,k} c d \\ 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{e,k} d} \end{cases} \quad (5.2.5-4)$$

式中: t_s ——连接用钢夹板厚度 (mm);

c ——中部构件厚度 (mm);

d ——螺栓直径 (mm);

$f_{e,k}$ ——销槽承压强度标准值 (N/mm^2);

$M_{y,Rk}$ ——螺栓抗弯强度标准值 (N/mm^2);

钢夹板连接的钢板厚度在薄钢板和厚钢板之间时, 连接承载力标准值宜采用两者之间的线性插值计算。

5.2.6 无机复合竹销槽承压强度标准值应按下列规定取值:

- 1 当 $10mm \leq d \leq 20mm$, 螺栓连接处的销槽顺纹承压强度 $f_{e,k}$ 取 30MPa;
- 2 当 $10mm \leq d \leq 20mm$, 螺栓连接处的销槽横纹承压强度 $f_{e,90,k}$ 应按下列式确定:

$$f_{e,90,k} = 52 - 1.8d \quad (5.2.6-1)$$

- 3 当作用在构件上的荷载与无机复合竹竹束纹理呈夹角 θ 时, 销槽承压强度 $f_{e,\theta,k}$ 应按下列式确定:

$$f_{e,\theta,k} = \frac{f_{e,k} f_{e,90,k}}{f_{e,k} \sin^2 \theta + f_{e,90,k} \cos^2 \theta} \quad (5.2.6-2)$$

式中: θ ——荷载与无机复合竹竹束纹理的夹角。

5.2.7 构件连接时宜避免出现横纹受拉现象, 多个螺栓连接不宜沿顺纹方向布置为一排。当螺栓连接处出现横纹方向受拉时, 单个螺栓连接处无机复合竹的横纹受拉承载能力应符合下列规定:

$$F_{90,d} \leq F_{90,Rd} \quad (5.2.7-1)$$

$$F_{90,Rd} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad (5.2.7-2)$$

式中: $F_{90,d}$ ——单个螺栓连接处在横纹方向的剪力 (kN);

$F_{90,Rd}$ ——螺栓连接处的横纹劈裂承载力设计值 (kN);

h ——构件的截面高度 (mm);

h_e ——螺栓距加载边的距离 (mm)。

5.3 连接构造要求

5.3.1 螺栓连接件的端距、边距、间距和行距的最小尺寸应符合表 5.3.1 的规定,

且连接采用的螺栓直径不应小于 10mm。

表 5.3.1 螺栓连接件的端距、边距、间距和行距的最小值尺寸

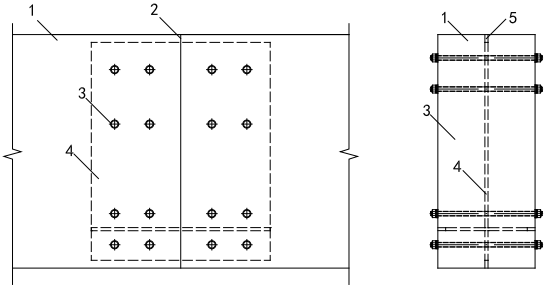
距离名称	顺纹荷载作用时		横纹荷载作用时	
最小端距 e_1	受力端	$7d$	受力边	$4d$
	非受力端	$4d$	非受力边	$1.5d$
最小边距 e_2	当 $l/d \leq 6$	$1.5d$	$4d$	
	当 $l/d > 6$	取 $1.5d$ 和 $r/2$ 两者较大值		
最小行距 s	$4d$		$4d$	
最小间距 r	$2d$		当 $l/d \leq 2$	$2.5d$
			当 $2 < l/d < 6$	$(5l+10d)/8$
			当 $l/d \geq 6$	$5d$
几何位置示意图				

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边部；

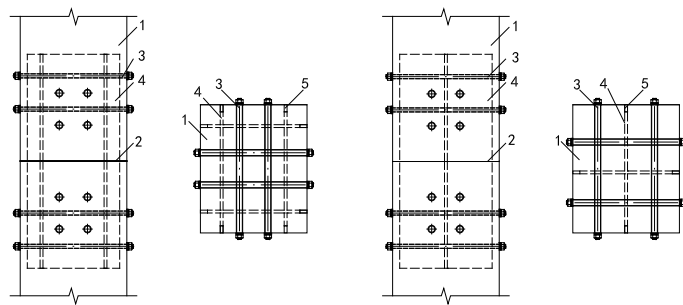
2 表中 l 为螺杆长度， d 为螺杆直径，并且 l/d 值应取下列两者中的较小值：

- 1) 螺杆在主构件中的贯入深度 l_m 与直径 d 的比值 l_m/d ；
- 2) 螺杆在侧面构件中的总贯入深度 l_s 与直径 d 的比值 l_s/d 。

5.3.2 无机复合竹梁和柱的安装单元划分应按构件运输和安装条件确定。梁、柱构件的接长可采用图 5.3.2 中的连接形式。



(a) 梁与梁钢填版-螺栓连接



(b) 柱与柱井字形钢填板-螺栓连接 (c) 柱与柱钢填板-螺栓连接

图 5.3.2 梁、柱的钢填板-螺栓连接

1-梁、柱；2-拼缝；3-连接螺栓；4-钢填板 5-封堵材料

5.3.3 柱与基础应采取可靠的锚固措施。柱与基础可采用图 5.3.2 中的钢填板螺栓连接形式。同一连接部位螺栓不应少于两个，连接节点的螺栓直径不宜小于 12 mm，钢板厚度不宜小于 10 mm。

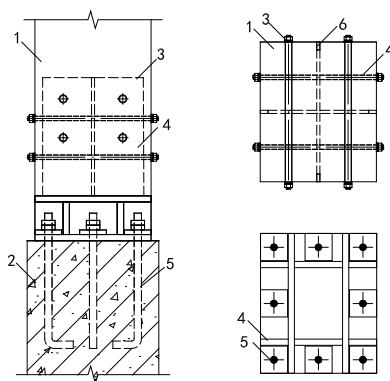


图 5.3.3 柱与基础连接示意

1-柱；2-基础；3-连接螺栓；4-钢填板；5-地锚螺栓；6-封堵材料

5.3.4 梁与柱之间的连接可采用图 5.3.4 中的钢填板-螺栓连接、钢夹板-螺栓连接及钢连接件的连接形式。

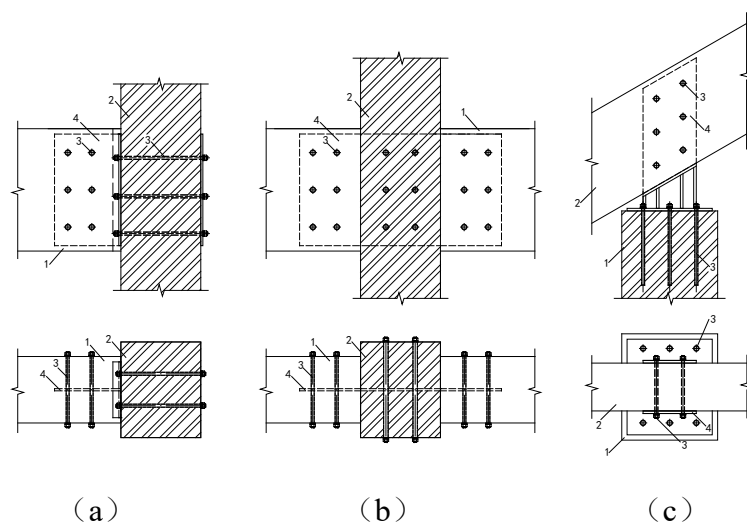


图 5.3.4 梁与柱连接示意

1-梁；2-柱；3-连接螺栓；4-钢填（夹）板

5.3.5 梁与梁之间的连接可采用图 5.3.5 的连接形式。当植筋（栓）连接时，植入深度不应小于 15 倍的植筋（栓）直径。

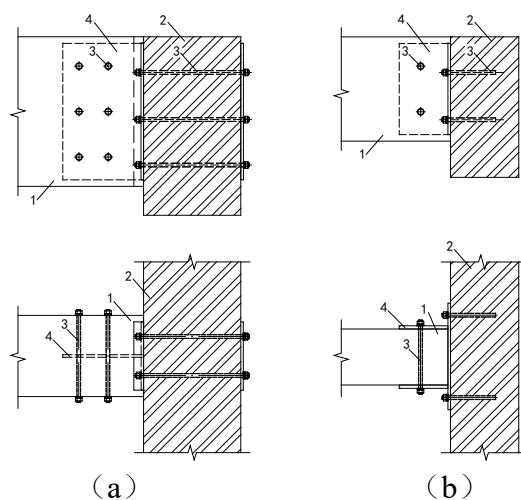


图 5.3.5 梁与梁连接示意

1-梁；2-梁；3-螺栓；4-钢填（夹）板

5.3.6 无机复合竹构件与混凝土结构之间的连接宜采用图 5.3.6 的连接形式。钢连接件应采用植筋（栓）、机械锚栓或预埋螺栓与混凝土构件连接。

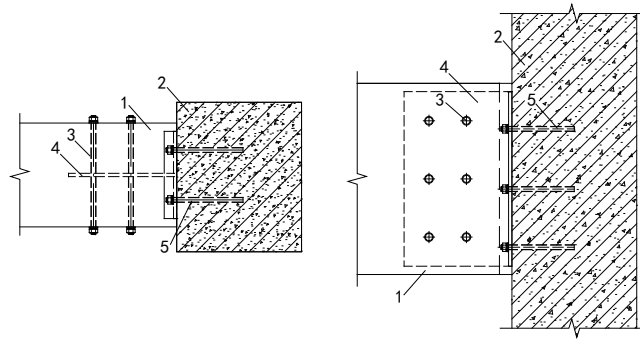


图 5.3.6 梁与混凝土连接示意

1-梁；2-混凝土柱，3-连接螺栓；4-钢填板，5-化学锚栓

5.3.7 无机复合竹梁与钢柱连接宜采用图 5.3.7 的连接形。连接钢板与钢结构宜采用螺栓连接，螺栓直径不宜小于 12 mm，钢板厚度不宜小于 10 mm。

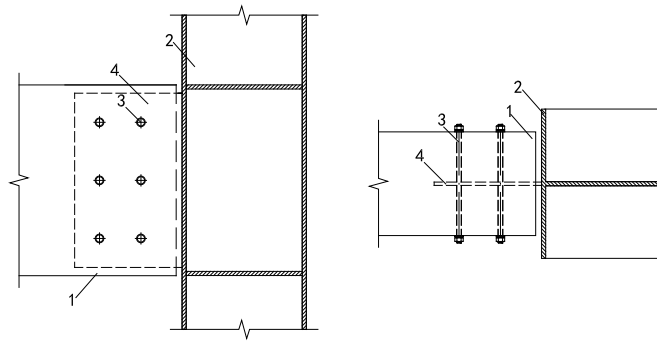


图 5.3.7 梁与钢结构连接示意

1-无机复合竹梁；2-钢柱；3-连接螺栓；4-钢填板

5.3.8 无机复合竹梁与钢梁的连接宜采用图 5.3.8 所示连接形式，钢连接件与钢梁宜采用螺栓连接。钢连接件钢板厚度不宜小于 10mm，且不宜小于钢结构腹板厚度。螺栓直径不宜小于 12 mm。

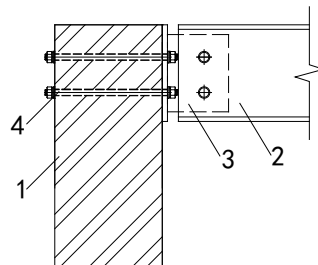


图 5.3.8 梁与钢梁连接示意

1-无机复合竹梁；2-钢梁；3-金属连接件；4-螺栓

5.3.9 当采用混凝土叠合板作为楼（屋）盖时，宜采用图 5.3.9 中的连接形式。

混凝土预制底板的搁置长度应符合下列规定：

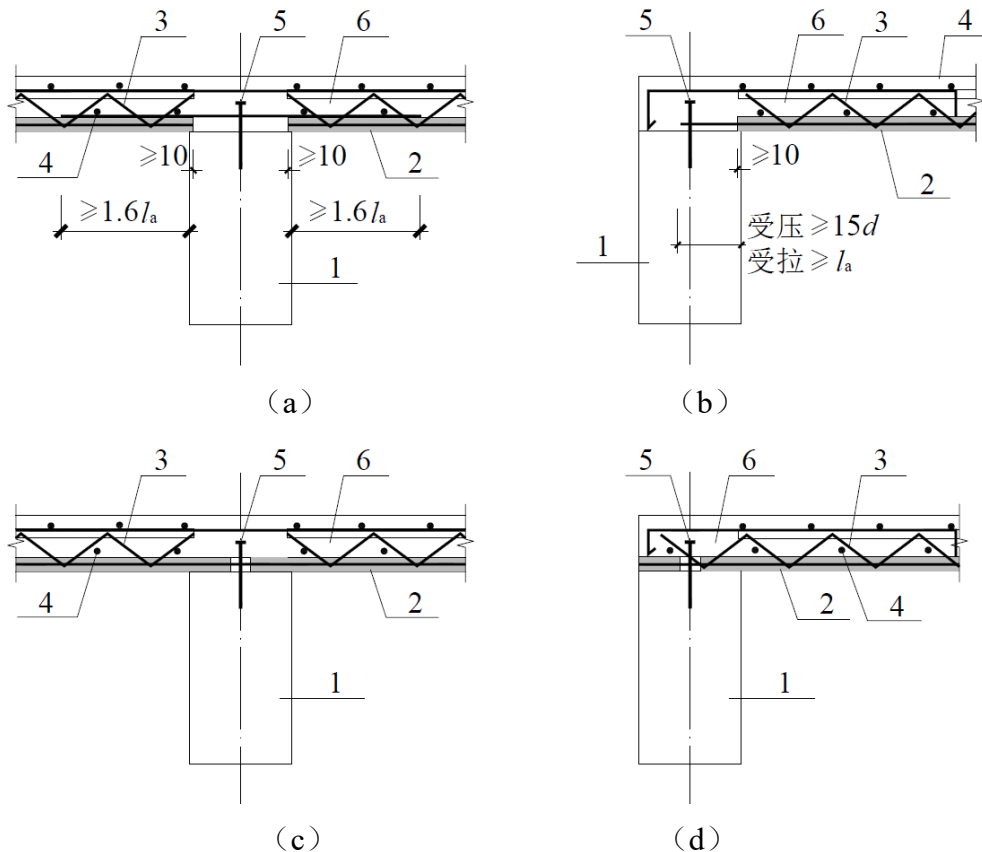


图 5.3.9 无机复合竹梁与叠合板连接

1-无机复合竹梁；2-混凝土预制底板；3-桁架钢筋；4-板分布钢筋；5-预埋剪力键；6-现浇钢筋混凝土层

5.3.10 当紧固件头部有螺帽时，螺帽与无机复合竹表面之间应安装垫圈。当紧固件受拉时，钢垫圈的面积应按无机复合竹表面局部承压强度值进行计算。钢垫圈的厚度不得小于直径（对圆形垫圈）或长边（对矩形垫圈）的 1/10。

5.3.11 对钢板螺栓连接的节点区域，当连接钢板及紧固件与无机复合竹的连接界面不能紧密接触，或横纹受拉承载能力验算不能满足第 5.2.6 条规定时，宜进行注胶增强处理。

5.3.12 连接处有防水、防潮或防火要求时，应采取有效的构造措施。

6 防火设计

6.1 一般规定

6.1.1 无机复合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,尚应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定。

6.1.2 无机复合竹构件的防火设计应采用下列表达式:

$$S_k \leq R_f \quad (6.1.2)$$

式中: S_k —火灾发生后验算受损无机复合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;

R_f —按耐火极限燃烧后残余无机复合竹构件的承载力设计值。

6.1.3 燃烧后无机复合竹构件的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 6.1.3 规定的调整系数。

表 6.1.3 防火设计强度调整系数

材料种类	抗弯强度	抗拉强度	抗压强度
无机复合竹	1.20	1.35	1.15

6.1.4 无机复合竹构件燃烧 T 分钟后,有效炭化层厚度 d_{ef} 应按下式计算:

$$d_{ef} = 1.39\alpha t^{0.675} \quad (6.1.4)$$

式中, d_{ef} —有效炭化层厚度 (mm);

t —受火时间 (min);

α —多面受火因子,取 1.15。

6.1.5 当验算燃烧后的构件承载能力时,应按本标准第 4 章的有关规定进行验算,并应符合下列规定:

- 1 验算构件燃烧后的承载力时,应采用构件燃烧后的剩余截面尺寸;
- 2 无机复合竹构件燃烧后剩余截面应根据构件实际受火面和有效炭化厚度进行计算。

6.1.6 构件连接的耐火极限不应低于所连接构件的耐火极限。钢连接件应采取必要的防火措施。

6.1.7 无机复合竹结构建筑的耐火等级可分为 I、II、III 级，不同耐火等级建筑相应构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表 8.1.7 的规定。

表 6.1.7 无机复合竹结构建筑相应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 (h)		
	I	II	III
防火墙	不燃性 3.00	不燃性 3.00	不燃性 3.00
承重墙	难燃性 2.00	难燃性 1.00 (1.50h)	难燃性 0.50
非承重外墙	难燃性 1.00	难燃性 0.75	可燃性
电梯井的墙	不燃性 1.50	不燃性 1.00 (1.50h)	难燃性 0.50
楼梯间和前室的墙住宅建筑单元之间的墙、分户墙	难燃性 2.00	难燃性 1.00 (1.50h)	难燃性 0.50
疏散走道两侧隔墙	难燃性 1.00	难燃性 0.75	难燃性 0.25
房间隔墙	难燃性 0.75	难燃性 0.50	难燃性 0.25
承重柱	可燃性 2.50	可燃性 1.00	可燃性 1.00
梁	可燃性 2.00	可燃性 1.00	可燃性 1.00
楼板	难燃性 1.50	难燃性 0.75 (1.00h)	可燃性
屋顶承重构件	可燃性 1.00	可燃性 0.50	可燃性
疏散楼梯	难燃性 1.50	难燃性 0.50(1.00h)	可燃性
吊顶	难燃性 0.25	难燃性 1.50	可燃性

6.1.8 不同耐火等级无机复合竹结构建筑的允许建筑高度或层数、防火分区最大允许建筑面积应符合表 6.1.8 的规定。

表 6.1.8 不同耐火等级建筑的允许建筑高度或层数、防火分区最大允许建筑面积

耐火等级	允许建筑高度或层数 (m)	防火分区	
		最大允许建筑面积 (m ²)	划分方法

I	8 层及以下且高度不大于 32 m	1200	按层划分
II	4 层	1800	按栋划分
III	2 层	600	按栋划分

6.1.9 无机复合竹结构建筑中防火墙间的允许建筑长度应符合表 6.1.9 的规定。

耐火等级	I	II			III	
层数	1~8	1	2	3 或 4	1	2
防火墙间的允许建筑长度 (m)	不限	100	80	60	60	

6.2 防火构造

6.2.1 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 当外观设计要求构件外露，并且连接处直接暴露在火中时，可将金属连接件嵌入无机复合竹构件内，螺栓孔采用厚度不小于 20mm 的无机复合竹或其他防火材料垫块封堵，梁柱连接缝采用防火材料填缝（图 6.2.1a）；

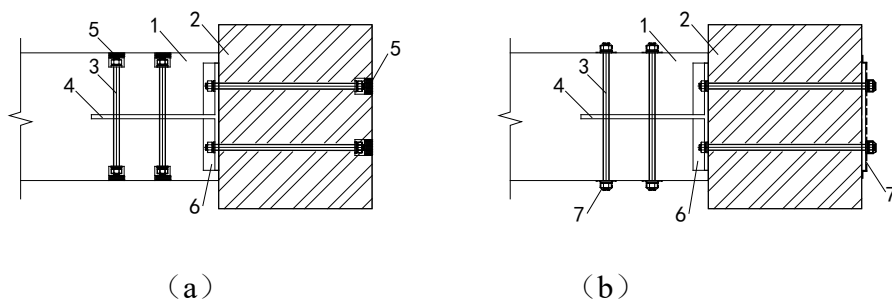


图 6.2.1 梁柱采用金属连接件的防火构造

1-梁；2-柱；3-连接螺栓；4-钢填板；5-复合竹封堵垫块；6-防火封堵材料

2 当设计对构件连接处无外观要求时，对于直接暴露在火中的连接件，应在连接件表面涂刷耐火极限为 1.00h 的防火涂料（图 6.2.1b）；

3 采用厚度不小于 15mm 的防火石膏板在金属连接件处进行隔离；

4 将梁柱连接处包裹在耐火极限为 1.00h 的墙体中。

6.2.2 当采用厚度不小于 50mm 的木材（锯材或胶合木）作为屋面板或楼面板

时，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要求：

1 当屋面板或楼面板采用单舌或双舌企口板连接时，屋面板或楼面板可作为一面曝火受弯构件进行防火设计；

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曝火而底面完全曝火的受弯构件，可按三面曝火构件进行防火设计。此时，两侧部分曝火的炭化速率应为有效炭化速率的 $1/3$ 。

3 当设计要求顶棚需满足 1.00h 耐火极限时，可采用截面尺寸为 40 mm × 90 mm 的规格材作为衬木，并在底部铺设厚度不小于 15mm 的防火石膏板。

7 防护设计

7.1 一般规定

7.1.1 无机复合竹建筑应采取有效的防水、防潮和防生物危害措施，保证结构和构件在设计使用年限内正常工作。

7.1.2 无机复合竹结构应采取表面封闭防护措施。

7.1.3 对于暴露在室外、或者经常处于潮湿环境中的无机复合竹构件，应进行定期检查和维护。

7.2 防水防潮

7.2.1 无机复合竹结构在制作、运输、施工、使用过程中应采取防水防潮措施。

7.2.2 无机复合竹结构与基础、砌体或混凝土的接触面下应设置防潮层，不宜将无机复合竹构件直接与土壤接触。

7.3 防腐和防生物危害

7.3.1 无机复合竹构件所用竹材须经物理脱糖、碳化及干燥处理。

7.3.2 施工现场位于蚁害多发地区时，白蚁防治措施应符合现行行业标准《房屋白蚁预防技术规程》JGJ/T 245 的相关规定。

8 制作、运输、存储及安装

8.1 一般规定

8.1.1 无机复合竹构件应由专业制作企业按设计文件规定的设计强度等级、规格尺寸及使用环境在工厂加工制作。

8.1.2 无机复合竹构件制作前应对其技术要求和质量标准进行技术交底，并应制定制作方案。制作方案应包括制作工艺、制作计划、技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输方案等项目。

8.1.3 当无机复合竹构件需作防护处理时，构件防护处理应在加工厂完成。

8.1.4 无机复合竹构件在工厂加工制作完成时，应提供下列文件和记录：

- 1 构件安装的技术文件；
- 2 制作构件的质量证明文件。

8.1.5 无机复合竹结构构件检验合格后应设置产品标识，产品标识内容宜包括构件编号、规格尺寸、强度等级、生产厂家名称和生产日期。

8.1.6 无机复合竹结构安装前应编制施工组织设计，制定专项施工方案。施工组织设计的内容应符合现行国家标准《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502 的规定。专项施工方案的内容应包括安装及连接方案、安装的质量管理及安全措施等项目。

8.1.7 现场安装时，未经设计允许不应对无机复合竹结构构件实施切割、开洞等影响其完整性的行为。

8.2 制作

8.2.1 无机复合竹结构构件制作偏差应符合表 8.2.1 的规定。

表 8.2.1 无机复合竹构件尺寸偏差表

类别	允许偏差 (mm)	检验方法
厚度 h	$\pm(2 \text{ 与 } 0.02h \text{ 中较大值})$	用卡尺或游标卡尺检查
宽度 b	± 2	用钢尺检查
长度 L	± 5	用钢尺检查

8.2.2 无机复合竹构件宜采用数控加工设备进行加工制作，开槽宽度及深度、孔径允许偏差应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 无机复合竹构件尺寸偏差表

类别	项目	允许偏差（mm）	检验方法
槽	深度	+2 0	用卡尺或游标卡尺检查
	宽度	+2 0	用卡尺或游标卡尺检查
孔	直径	+2 0	用游标卡尺检查或孔径量规检查

8.2.3 对有特殊要求的构件，制作前应绘制排版图，制作完成后应在工厂进行预拼装。

8.3 运输和存储

8.3.1 无机复合竹构件的运输和储存应制定实施方案，实施方案宜包括运输时间、次序、堆放场地、运输路线、固定要求、堆放支垫及成品保护措施等。

8.3.2 无机复合竹构件运输时，应采取防止构件移动、倾倒、变形等的固定措施，边角部位宜设置保护衬垫。

8.3.3 无机复合竹构件的储存应符合下列规定：

- 1 应存放在通风良好的仓库或防雨、通风良好的有顶部遮盖场所内。堆放场地应平整、坚实，并应具备良好的排水设施；
- 2 采用叠层平放的方式堆放时，应采取防止构件变形的措施；
- 3 堆放曲线形构件时，应按构件形状采取相应保护措施。

8.3.4 无机复合竹构件安装前，施工现场应合理规划运输通道和临时堆放场地，并应对成品堆放采取保护措施。

8.4 安装

8.4.1 安装前，基础部分应满足无机复合竹构件的施工安装精度要求。

8.4.2 安装前，应检验无机复合竹构件的外观质量、尺寸偏差、强度等级及预留连接位置，以及连接件及其他配件型号、数量及位置。当检验不合格时，不得继续进行安装。

8.4.3 构件安装时应符合下列规定：

- 1 应进行测量放线，并设置构件安装定位标识；
- 2 应检查核对构件装配位置、连接构造和临时支撑方案；
- 3 施工吊装设备和吊具应处于安全操作状态；
- 4 现场环境、气候条件和道路状况应满足安装要求。

8.4.4 对安装工艺复杂的构件，宜选择有代表性的单元进行试安装，并宜按试安装结果调整施工方案。

8.4.5 构件吊装就位过程中，应及时观察构件的吊装状态，当吊装出现偏差时，应立即停止吊装并调整偏差。吊装就位后，应及时校准并采取临时固定措施。

8.4.6 构件为平面结构时，吊装时应采取保证其平面外稳定的措施，安装就位后，应设置防止发生失稳或倾覆的临时支撑。

8.4.7 竖向构件安装应符合下列规定：

- 1 底层构件安装前，应复核基层的标高，并设置防潮垫或采取其他防潮措施；
- 2 其他层构件安装前，应复核已安装构件的轴线和标高。

8.4.8 水平构件安装应符合下列规定：

- 1 复核构件连接件的位置；
- 2 杆式构件吊装宜采用两点吊装，长度较大的构件可采取多点吊装，细长构件应复核吊装过程中的变形；
- 3 板类构件、模块化组件应采用多点吊装，构件或组件上应设有明显的吊点标志。吊装过程应平稳，安装时应设置必要的临时支撑。

8.4.9 当采用注胶方式填充连接钢板及紧固件与无机复合竹的连接缝隙时，应保证连接缝隙注胶密实、饱满。

8.4.10 安装柱与柱之间的梁时，应监测柱的垂直度及相邻各柱因梁连接影响而产生的垂直度变化。

9 验收

9.1 一般规定

9.1.1 无机复合竹结构分部工程质量验收应符合下列规定：

- 1 检验批主控项目检验结果应全部合格；
- 2 检验批一般项目检验结果应有大于 80% 的检查点合格，且最大偏差不应超过允许偏差的 1.2 倍；
- 3 子分部工程所含分项工程的质量验收均应合格；
- 4 子分部工程所含分项工程的质量资料和验收记录应完整；
- 5 安全功能检测项目的资料应完整，抽检的项目均应合格。

9.1.2 无机复合竹构件的成品应具有产品合格证书。

9.1.3 无机复合竹结构构件的制作安装质量控制应以整幢房屋的一楼层或变形缝间的一楼层为一个检验批。

9.1.4 无机复合竹结构验收时，应提供以下文件和记录：

- 1 工程设计文件；
- 2 构件及其他配件的质量证明文件、进场验收记录；
- 3 构件的安装记录；
- 4 分项工程质量验收文件；
- 5 工程质量问题的处理方案和验收记录；
- 6 工程的其他文件和记录。

9.1.5 无机复合竹结构分部工程的质量验收，除满足本标准外，尚应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定。

9.2 主控项目

9.2.1 构件使用的无机复合竹材料应符合设计文件的规定，并应有产品质量合格证书。

检验数量：检验批全数。

检验方法：实物与设计文件对照，检查质量合格证书、标识。

9.2.2 无机复合竹结构的结构布置和构件截面尺寸应符合设计文件的规定。

检查数量：检验批全数。

检验方法：实物与设计文件对照、尺量。

9.2.3 安装构件所需的预埋件的位置、数量及连接方式应符合设计文件的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：目测、尺量。

9.2.4 现场连接点的位置和连接件的类别、规格及数量应符合设计文件的规定。

检查数量：检验批全数。

检查方法：实物与设计文件对照、尺量。

9.3 一般项目

9.3.1 无机复合竹结构的尺寸偏差、安装偏差应符合本规程第 8.2.1 条的规定。

检验数量：检验批全数。

检验方法：目测、尺量。

9.3.2 无机复合竹预开槽尺寸、螺栓连接预留孔直径应符合本规程第 8.2.2 的规定。

检验数量：检验批全数。

检验方法：目测、尺量。

本规程用词说明

为便于在执行本文件条款时区别对待，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：
- 2 正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 3 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
- 4 正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 5 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
- 6 正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 7 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

- 1 《工程结构通用规范》 GB 55001
- 2 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 3 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 4 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 5 《木结构设计标准》 GB 50005
- 6 《木结构试验方法标准》 GB/T 50329
- 7 《木材顺纹抗压强度试验方法》 GB/T 1935
- 8 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJ/T 70
- 9 《工程竹结构设计标准》 T/CECS 1101
- 10 《轻型木结构建筑技术规程》 DG/TJ 08-2059
- 11 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 12 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 13 《六角头螺栓 C 级》 GB/T 5780
- 14 《六角头螺栓》 GB/T 5782
- 15 《内六角圆柱头螺钉》 GB/T 70.1-2008
- 16 《钢结构用高强度大六角头螺栓》 GB/T 1228
- 17 《钢结构用高强度大六角螺母》 GB/T 1229
- 18 《钢结构用高强度垫圈》 GB/T 1230
- 19 《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
- 20 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632
- 21 《钢材力学及工艺性能试验取样规定》 GB 2975
- 22 《金属拉伸试验取样》 GB 6397
- 23 《金属材料室温拉伸试验方法》 GB/T 228
- 24 《防火封堵材料》 GB 23864
- 25 《建筑用阻燃密封胶》 GB/T 24267
- 26 《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》 GB 50728-2011
- 27 《建筑施工组织设计规范》 GB/T 50502
- 28 《建筑施工高处作业安全技术规范》 JGJ 80

- 29 《建筑施工起重吊装工程技术规范》 JGJ 276
- 30 《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33
- 31 《施工现场临时用电安全技术规范》 JGJ 46
- 32 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 33 EN 1995-1-1: 2004, *Eurocode 5. Design of timber structures-Part 1-1 General-Common rules and rules*
- 34 BS EN 408: 2010+A1: 2012 *Timber structures -Structural timber and glued laminated timber-Determination of some physical and mechanical properties*
- 35 NDS®, National Design Specification® for Wood Construction with Commentary, 2015 Edition.
- 36 ASTM E119-20, Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.



中国工程建设标准化协会标准

无机复合竹结构技术规程

Technical specification for inorganic-bonded bamboo composite
structure

（征求意见稿）

条文说明

目 次

1	总 则.....	35
2	术 语.....	36
3	材 料.....	37
3.1	无机复合竹	37
3.2	钢材及金属连接件	41
4	构件设计.....	43
4.1	一般规定	43
4.2	构件计算	43
5	连接设计.....	46
5.3	连接构造要求	49
6	防火设计.....	50
6.1	一般规定	50
8	制作、运输、存储及安装.....	52
8.1	一般规定	52
8.2	制 作	52
8.3	运输和存储	52
8.4	安 装	52
9	验收.....	53
9.1	一般规定	53

1 总 则

1.0.1 本规程所指无机复合竹是以改性镁质无机胶凝材料作为粘结剂，圆竹经疏解、碳化、干燥等工序加工成竹束后，采用无机胶辊压浸润或喷涂，并通过组胚入模、冷压成型、养护及后加工等技术手段而制备的结构用竹基复合材料。作为一种新型的结构用绿色建筑材料，无机复合竹克服了圆竹断面尺寸小、承载力低、易腐蚀、不耐火等缺点，力学性能稳定，环保降碳，对人体无害，符合绿色低碳和建筑工业化发展需求，可作为绿色建材的有益补充。

为规范无机复合竹结构的设计、生产制作、安装和验收，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、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.3 根据无机复合竹结构的强度值，同时考虑建筑抗火要求，提出了无机复合竹结构的适用高度与层数。在多高层木结构建造领域，木混凝土混合结构是一种由两种建筑材料混合承重的结构形式，通常以混凝土构件为主要承重部分，木结构为次要承重，其结构形式包括上下混合混凝土木结构和混凝土核心筒木结构等。近年来，随着工程木产品和系统的不断发展和进步，以及基于目标和性能要求的建筑规范的制定，国外相继建成了多高层木结构建筑，如加拿大 Brock Commons 学生公寓（18 层/53 m）、挪威 Mjøstårnet 大厦（20 层/85 m）、维也纳 HoHo 大厦（20 层/84 m）、挪威 Treet 大厦（14 层/49 m）等。这些多高层混合结构主要采用混凝土核心筒作为主要抗侧力体系，核心筒周边等次要结构可采用木框架结构、木框架支撑结构等。

参照国内外混凝土木混合结构先进建造经验，当采用钢筋混凝土核心筒混合结构时，无机复合竹-混凝土混合结构建筑层数可放宽至 18 层，建筑高度可放宽至 56 m。

2 术语

2.1 本标准所指无机胶是指以镁质胶凝材料为基材，通过添加硅灰、硅溶胶、硅酸锂、硅酸钠、柠檬酸等改性组分，制备的竹材复合用无机粘结剂。

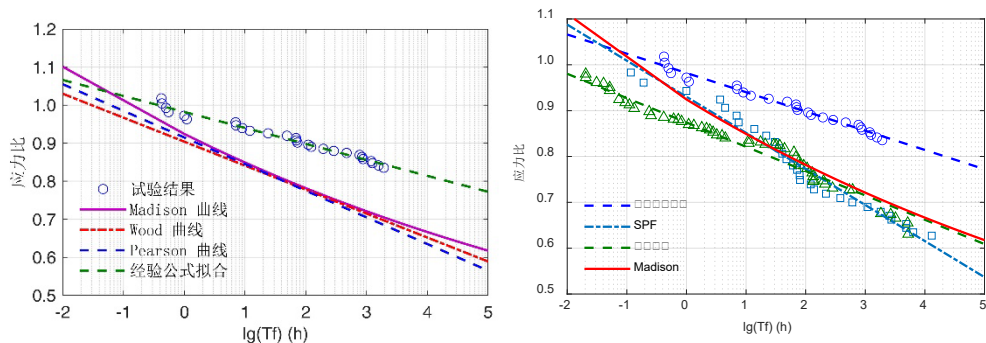
3 材 料

3.1 无机复合竹

3.1.2 本节规定了无机复合竹的强度设计值取值方法。其中，重点参照国内外木结构研究领域的相关方法，给出了无机复合竹材料的荷载持续作用效应系数取值依据。

荷载持续作用（duration of load, DOL）效应是指木材及工程木（竹）材料在长期持续荷载作用下的强度、刚度等退化现象。因此，在确定工程竹材的强度设计值时，除了材料的抗力分项系数外，还需要考虑 DOL 效应对强度的折减。目前，欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004、美国规程 NDS-2018、加拿大标准 CSA O86 等木结构设计规程中，木材强度设计值均是基于一种特定的荷载情况或“标准荷载”情况给出，内含荷载持续作用效应系数 K_{DOL} 。不同于标准情况的设计条件下，都要乘以“荷载持续作用效应的调整系数”。我国《木结构设计标准》GB 50005 中，对于 DOL 效应问题采取的相对简化的处理方法。即认为不论何种受力方式，荷载持续效应系数取为 0.72。当结构作用全部为恒荷载时，木材的强度尚需乘以 0.8 的折减系数；当主要承受诸如施工荷载等短暂作用时，木材的强度则乘以调整系数 1.2。

为了研究持续荷载作用效应对无机复合竹材料的影响，山东建筑大学开展了受弯无机复合竹梁的长期持续荷载作用试验研究。梁试件尺寸为 40mm×70mm×1200mm，有效支撑跨度为 1050mm，共制备 80 个试件，短期强度和长期强度试验各采用 40 个试件，试验在恒温（20±3℃）恒湿（相对湿度 60±5%）环境下进行。DOL 短期试验结果采用两参数 Weibull 分布进行拟合，并采用分位值匹配法得到长期试验试件对应的短期强度，以长期强度和短期强度的比值作为 DOL 效应系数。对试验得到的 DOL 效应系数结果采用木结构研究中的 DOL 经验公式进行拟合，并以持荷时间为 10 年时的应力比作为 DOL 系数，同时采用 Foschi and Yao 模型对计算结果进行校准，如图 1 所示。



(a) 经验公式拟合

(b) Foschi and Yao 模型校准

图 1 DOL 系数推定

结果表明, 采用木结构 DOL 经验公式拟合计算的 DOL 效应系数为 0.77, Foschi and Yao 模型拟合为 0.78, 两种方法的计算结果较为接近。因此, 本标准对无机复合竹材料的 K_{DOL} 取为 0.77。

当结构作用全部为恒荷载或主要承受诸如施工荷载等短暂作用时, 无机复合竹的强度折减宜参照《木结构设计标准》GB 50005 中的相关规定。当结构作用全部为恒荷载时, 木材的强度尚需乘以 0.8 的折减系数; 当主要承受诸如施工荷载等短暂作用时, 木材的强度则乘以调整系数 1.2。

对于长期持续承受荷载的木或工程木材而言, 荷载持续作用效应有两个方面的含义, 一是木材的强度随荷载持续作用时间的增加而降低, 二是木材的应变或变形随荷载持续作用时间的增加而增加, 表示为长期持续荷载作用对弹性模量的影响。对于后者, 欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004 和 GB 50005 等认为 DOL 效应对木材的弹性模量和木材的强度影响相同, 美国规程 NDS-2015 和加拿大标准 CSA O86 等认为 DOL 效应只影响木材的强度, 对木材的弹性模量无影响。本标准中建议不考虑 DOL 效应对无机复合竹材料弹性模量的影响。

3.1.3 为确定无机复合竹的材料力学性能, 对采用两种无机胶配比及制备工艺的无机复合竹材料, 分别开展了抗弯、顺纹抗压、顺纹抗拉及顺纹抗剪试验。其中, 抗弯试件尺寸为 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 540\text{mm}$, 顺纹抗压材性试件尺寸为 $70\text{mm} \times 70\text{mm} \times 70\text{mm}$, 顺纹抗拉采用狗骨型试件, 试验段截面尺寸为 $70\text{mm} \times 70\text{mm}$, 抗剪试件采用带缺口的板状试件。

需要说明的是, 传统工程竹木材料主要采用有机胶作为粘结剂, 有机胶在工程竹木材料中的体积占比相对较低, 因此, 较小的试件尺寸即能反映工程竹木材

料的材料力学特性。无机复合竹材料中镁质无机胶的粘结作用机理类似于混凝土中的水泥胶凝材料，无机胶不仅发挥粘结性能，在复合材料成品中还起到支撑骨架的作用。无机复合竹中无机胶的体积占比约为 35%-40%。考虑到这一点，增加材性试件的尺寸有利于更全面考察其材料力学性能。因此，参照《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70-2009 和《木结构试验方法标准》GB/T 50329-2012 中相关试件尺寸的规定，确定了无机复合竹材性试件尺寸。

根据无机复合竹制备工艺的不同，对两组无机复合竹试件进行了力学性能试验研究，分别计算 75%置信水平下具有 95%保证率的抗弯、顺纹抗压、顺纹抗拉及顺纹抗剪强度标准值、正态分布 5 分位值以及非参数分布 5 分位值，分析结果表 1~2 所示。根据本规程第 3.1.1 条之规定，采用按抗弯强度标准值确定无机复合竹的强度等级。

表 1 强度等级 B40 无机复合竹材料力学性能试验结果

强度指标	试件数 n	统计参数			标准值 (MPa)		
		均值 (MPa)	标准差 (MPa)	变异系数 (%)	75%置信水平	正态分布	非参数分布
抗弯	350	53.90	7.36	13.65	41.37	41.80	42.86
顺纹抗压	475	44.32	7.76	17.52	31.15	31.54	32.05
顺纹抗拉	418	32.24	6.35	19.69	21.46	21.79	22.97
顺纹抗剪	19	6.18	1.52	24.61	3.23	3.68	3.47

表 2 强度等级 B40 无机复合竹材料力学性能试验结果

强度指标	试件数 n	统计参数			标准值 (MPa)		
		均值 (MPa)	标准差 (MPa)	变异系数 (%)	75%置信水平	正态分布	非参数分布
抗弯	330	62.10	7.24	11.66	49.75	50.19	50.30
顺纹抗压	537	49.93	5.37	10.75	40.84	41.10	41.31
顺纹抗拉	485	36.63	5.78	15.79	26.84	27.12	27.37
顺纹抗剪	42	7.72	0.97	12.5	6.13	6.15	5.7

无机复合竹材料存在明显的各向异性特征,顺纹方向强而横纹方向相对较弱。无机复合竹横纹承压根据不同的受力形式,分为横纹全表面承压、横纹中间局部承压和横纹尽端局部承压,如图 2 所示。对于端部横纹承压形式,当构件高度 $h \geq 100\text{mm}$ 时,承压外侧距离构件端部的距离 $a \leq 100\text{mm}$;当构件高度 $h < 100\text{mm}$ 时, $a \leq h$ 。

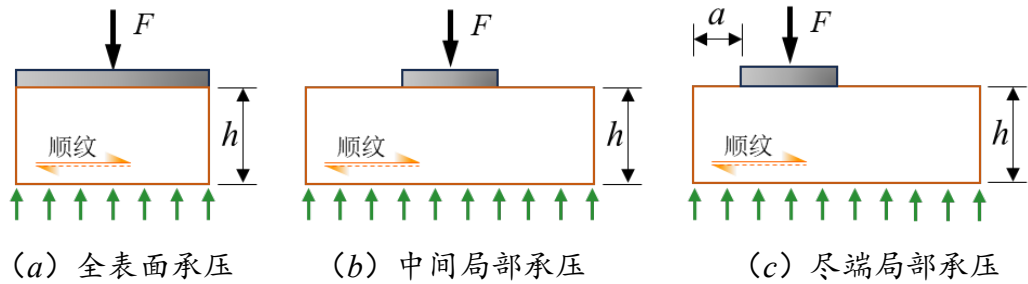


图 2 横纹承压形式

为确定无机复合竹的横纹承压强度标准值,分别开展了横纹全表面与局部承压试验研究。参考欧洲标准 EN 408: 2010+A1: 2012 *Timber structures -Structural timber and glued laminated timber-Determination of some physical and mechanical properties* 确定无机复合竹的横纹承压极限承载力及强度。横纹承压强度不再区分无机复合竹强度等级。无机复合竹横纹承压强度的均值、标准差、变异系数及五分位值等统计结果见表 3。

表 3 无机复合竹横纹承压强度

试件 分组	统计参数			5 分位值/MPa		
	均值 /MPa	标准差 /MPa	变异系 数/%	75%置信 水平	正态 分布	非参数分 布
全表面 承压	9.67	0.80	8.30	8.06	8.34	8.23
中间局 部承压	16.90	1.46	8.62	14.17	14.51	13.26
尽端局 部承压	13.39	1.24	9.29	11.07	11.34	10.77

当工程中出现双侧对称横纹承压形式时(图 3),无机复合竹的横纹局部承压强度设计值宜取 0.9 的调整系数。

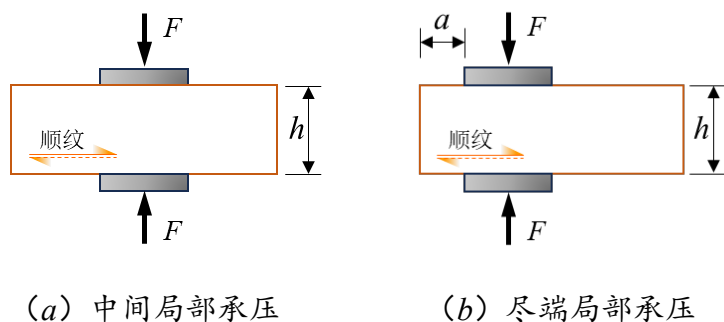


图 3 对称横纹承压形式

3.1.4 编制组采用几何尺寸为 70 mm×70 mm×210 mm 的长方体试件和试验段截面尺寸为 30mm×40mm 的狗骨型试件分别测定无机复合竹的受压、受压弹性模量和泊松比。试验方法根据《木结构试验方法标准》(GB/T 50329-2012) 和《木材顺纹抗压强度试验方法》(GB/T 1935-2009) 确定。无机复合竹顺纹受压弹性模量、受拉弹性模量和泊松比的统计结果见表 4。

表 4 弹性模量和泊松比统计结果

参数	均值 /GPa	标准差 /GPa	变异系数/%
受压弹性模量	15.1	0.20	13.7
受拉弹性模量	11.6	3.21	27.7
泊松比	0.35	0.09	26.0

3.1.5 无机复合竹材的导热系数和热扩散率采用热常数分析仪(Hot Disk)测定,使用的瞬态平面热源法(TPS)可通过一次瞬态测量同时确定导热系数和热扩散率,其原理是通过测量电阻随温度的线性变化来测量探头的热损失,进而计算材料的导热系数。用于测试的平板试样尺寸为 50 mm×50 mm×20 mm,测试环境温度为 20℃,反复测试三次取平均值。根据横纹、顺纹方向不同制作成两种试样,由于无机复合竹制成的构件外表面纹理多为横纹,故本条中的导热系数 λ 为无机复合竹横纹导热系数值。

无机复合竹材的比热容采用差示扫描量热法(DSC)测定,该方法是测量输入到样品和参比样的热流差随温度(时间)变化的一种热分析技术,该热流差反映样品随温度或时间变化所发生的焓变,进而计算出材料的比热容。测试前将试样研磨成粉末,每次测试取粉末质量 10~20 mg 进行测试。反复测试三次平均值。

3.2 钢材及金属连接件

3.2.1 无机复合竹结构构件连接主要采用钢板螺栓连接节点。本规程在钢结构设计规范有关规定的基礎上,明确承重无机复合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。

无机复合竹结构中使用的钢材应有产品质量合格证书和化学成分合格证书。见证取样检验其抗拉屈服强度,极限强度和延伸率,其值应满足设计文件规定的相应等级钢材的材质标准指标,且不应低于现行国家标准《碳素钢结构》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的有关规定。

3.2.4 无机复合竹结构连接中大量使用螺栓连接件,对此本规程作了原则性的规定。要求螺栓连接件其质量应符合相关的產品要求或应符合工程设计的要求,且应对其材料进行复验。此外,工程中金属连接件质量不合格、规格型号乱用等情况会严重影响设计目标的实现,容易导致安全事故的发生,因此有必要加以明确。无机复合竹结构连接中使用的螺栓、螺帽应有产品质量合格证书,其性能应符合现行国家标准《六角头螺栓》GB 5782、《六角头螺栓-C级》GB 5780、《内六角圆柱头螺钉》GB/T 70.1-2008 等的有关规定。

4 构件设计

4.1 一般规定

4.1.9 《木结构设计标准》GB 50050-2017 第 4.1.10 条条文说明指出,考虑到木结构整体抗变形能力较强的特点,建议木结构建筑的水平层间位移不应超过结构层高的 1/250。中国工程建设标准化协会标准《工程竹结构设计标准》T/CECS 1101-2022 第 4.2.7 条规定,梁柱式工程竹结构的弹性层间位移角限值应为 1/150。上海地方标准《轻型木结构建筑技术规程》DG/TJ08-2059-2009 第 4.4.5 条规定,轻型木结构的水平层间位移不得超过结构层高的 1/250。

因此,综合考虑无机复合竹结构的材料特性和设计方法,梁柱式无机复合竹结构弹性阶段层间位移角限值取 1/350,大于混凝土结构中框架结构的 1/550,而小于钢结构的弹性阶段层间位移角限值 1/250。

4.2 构件计算

4.2.3 为确定无机复合竹矩形截面轴心受压构件的稳定系数,编制组开展了矩形截面柱轴心受压承载试验研究。试验参照《木结构试验方法标准》(GB/T 50329-2012) 进行,试件截面尺寸为 80×90 mm 和 60×120 mm 两种,横截面面积均为 7200 mm²,长细比范围从 21.6 至 132.6,两种试件共 15 组。试验柱两端采用单向刀铰支座来模拟两端简支条件。

无机复合竹柱轴心受压试验得到的稳定系数可由试验中确定的破坏荷载与无机复合竹材料的抵抗荷载的比值来计算,即:

$$\varphi = \frac{P_c}{P_{cu}} = \frac{P_c}{f_{cu} A} \quad (4)$$

通过与各国木结构设计规范或标准进行比较,美国规程 NDS-2018 中的稳定系数计算公式对无机复合竹矩形截面柱提供了相对保守的预测。因此,参考 NDS-2018 的形式进行基于试验结果的非线性回归分析来确定无机复合竹材料的相关材料参数,并进行适当的调整和简化,从而提出了适用于无机复合竹轴心受压构件稳定系数的计算公式。非线性拟合的优度 R² 为 0.98,表明拟合的相关性较好,

如图 4 所示。

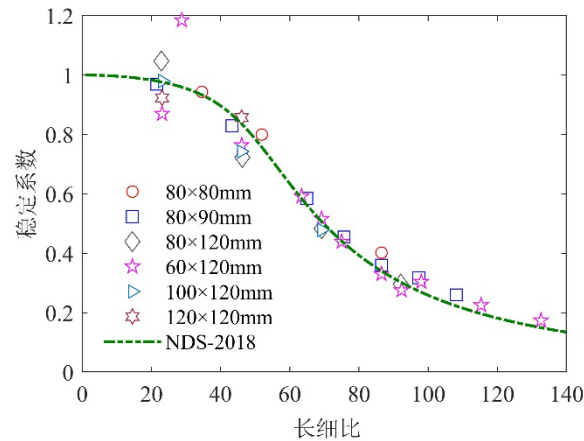


图 4 无机复合竹柱轴心受压试验结果

4.2.10 结合无机复合竹的试验结果，同时通过对各国木结构设计规范中偏心受压构件和压弯构件的校核方法的调研和比较分析，提出了适用于无机复合竹单向偏心受压构件的校核方法，并根据非线性拟合荷载-弯矩包络线确定了校核公式形式。

当无机复合竹柱处于偏心受压状态时，受压构件的横截面一侧承受拉应力，另一侧承受压应力，当横截面受压侧所受的压应力大于抗压强度时，试件将会发生破坏，因此需要考虑受压时截面的受压应力。此外，由于无机复合竹的抗侧刚度不大，附加弯矩引起的水平位移会比较显著，因此，受压构件的侧向变形也是需要考虑的重要一方面，在各国现行木结构设计规范中均考虑了压弯耦合效应和失稳的影响。

为提出无机复合竹矩形截面偏心受压构件的校核公式，编制组开展了矩形截面柱单向偏心受压承载试验研究。试验参照《木结构试验方法标准》(GB/T 50329-2012) 进行，截面尺寸为 80mm×80mm，长度分别为 800、1200 和 2000mm（长细比分别为 34.6、51.9 和 86.5），不同长细比工况下分别设计了 5 组不同偏心距的试验，初始偏心距 e_0 分别为 0、10、20、30 和 50mm（偏心率依次为 0、0.125、0.25、0.375 和 0.625），每组 3 个重复。试验柱的两端使用单向刀铰支座来模拟两端简支的条件。基于各国木结构设计规范中偏心受压构件的承载力校核公式，对试验结果进行归一化处理，荷载-弯矩包络图如图 5 所示，通过采用非线性拟合荷载-弯矩包络线确定无机复合竹单向偏心受压构件的校核公式，见式(4.2.10)。

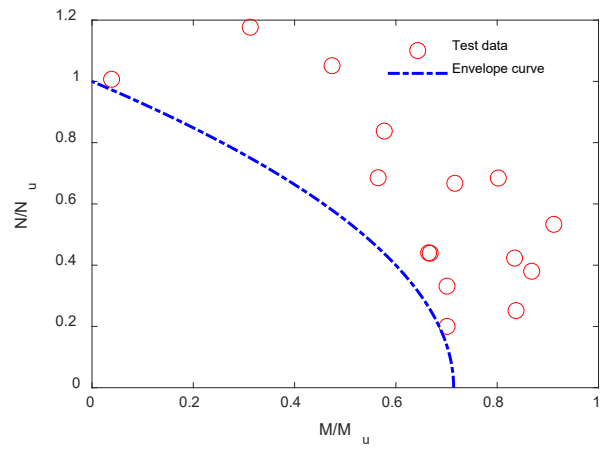


图 5 无机复合竹柱单向偏心受压试验结果

5 连接设计

5.2.2 无机复合竹螺栓连接承载力受材料螺孔处局部承压、劈裂以及螺栓的弯曲等条件控制，其中以充分利用螺栓的抗弯能力最能保证连接的受力安全。另外，试验研究表明，无机复合竹螺栓连接多表现为销槽承压破坏及随后的劈裂失效。因此，本条规定了螺栓连接中构件的最小厚度，以便从构造上保证连接受力的合理性和可靠性。

5.2.4 本条适用于无机复合竹之间采用螺栓连接的情况。参照木结构构件螺栓连接节点设计遵循的欧洲屈服模型，无机复合竹螺栓连接节点的预期失效模式为无机复合竹在螺孔处局部受压发生销槽承压破坏，同时螺杆变形受制于连接构件的钳制作用而发生弯曲失效。为评估无机复合竹螺栓连接性能，编制组开展了无机复合竹螺栓连接承载力试验研究，考虑了螺栓直径 d 、中部构件厚度 c 、边部构件厚度 a 等因素对螺栓连接节点承载性能的影响。

研究表明，无机复合竹螺栓连接的承载力主要与厚径比 $\alpha (=a/d)$ 有关，通过限制无机复合竹板件最小厚度，能使实现无机复合竹螺栓连接节点发生 IIIs 型失效，即螺栓中部出现一个塑性铰。通过增大连接构件的厚度，能有一定程度上使螺杆发生“三铰”屈服失效，即 IV 型失效。在现有试验数据的基础上，拟合得到了螺栓连接承载力计算因子 k_v ，如图 6 所示。

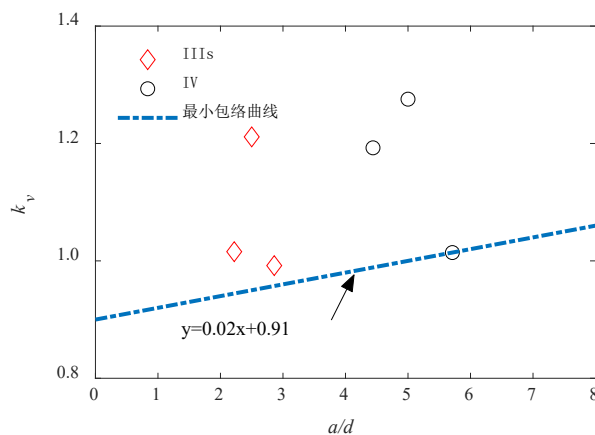


图 6 螺栓连接承载力计算因子拟合

基于本节简化计算公式的计算值与试验值的对比分析如图 7 所示。图中同时给出了欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004 和加拿大标准 CSA O86 的计算对比，可以看

出，本节提出的简化计算公式对于无机复合竹螺栓连接的预测是可靠的。

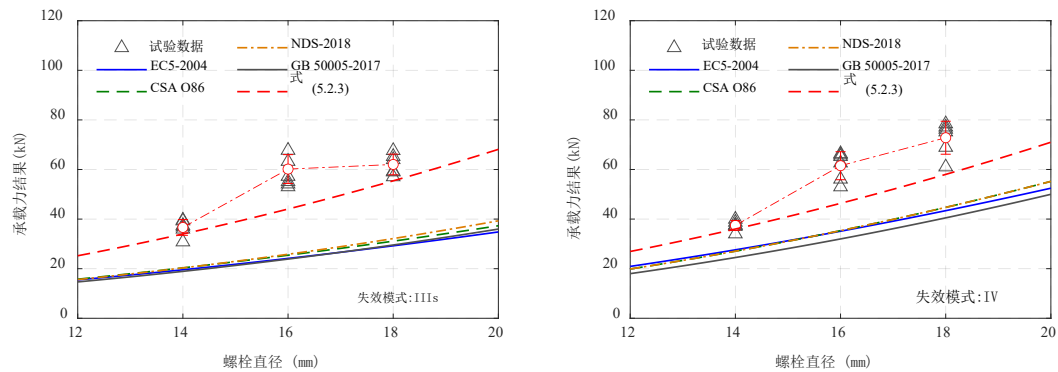
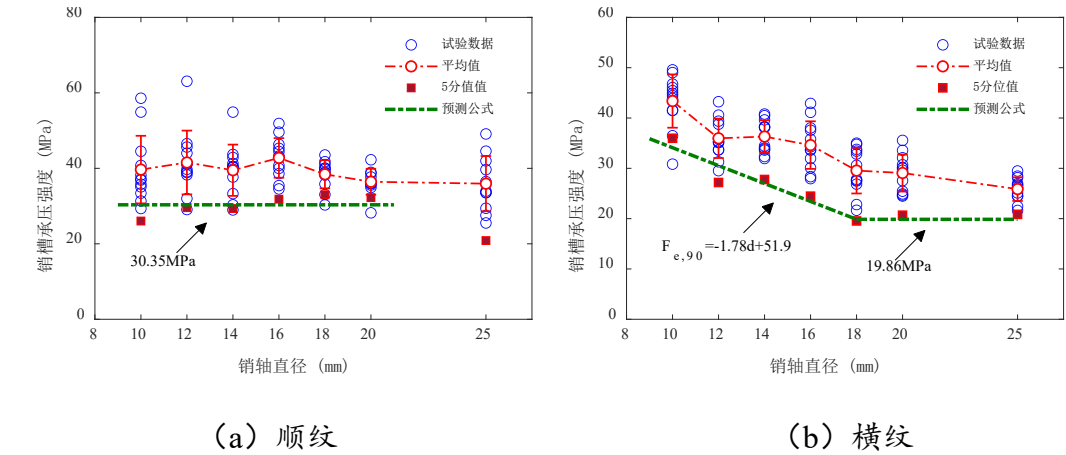


图 7 试验结果与计算值的对比分析

5.2.5 无机复合竹-钢填板或钢夹板连接验算参考欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004, *Eurocode 5. Design of timber structures-Part1-1 General-Common rules and rules* 的相关方法，通过编制组试验结果的对比，证实该方法时可靠和偏于安全的。

5.2.6 无机复合竹销槽承压强度与加载方向、螺杆直径等因素有关。为此，山东建筑大学开展了顺纹、横纹、斜纹承压强度试验研究。试验采用 100 mm×75 mm×100 mm 的半孔试件。试验恒定位移加载速率为 1mm/min，当试件承载力下降至峰值荷载的 85%或销轴完全嵌入销槽后停止试验。根据美国标准 ASTM D5764-97a 中提出的 5%*d* 螺栓直径偏移法来确定试样的屈服载荷，并按两参数韦伯分布确定顺纹、横纹销槽承压强度标准值（五分位值），结果如图 8 所示。



(a) 顺纹

(b) 横纹

图 8 无机复合竹销槽承压强度标准值预测公式

结果表明，当螺栓直径在 10mm 至 20mm 之间时，无机复合竹得顺纹销槽承压强度与螺栓直径无关；而在 10mm 至 18mm 范围内，无机复合竹得横纹销槽承压强度随螺栓直径的增加而线性下降，在 18 mm–25 mm 的直径范围近似恒定，

考虑到较大螺栓直径预成孔导致材料缺陷风险增大效应，同时简化公式形式，本规程对直径大于 18 mm 的横纹销槽承压强度仍采用公式 5.2.5-1 计算。

对于加载角度的影响，美国规程 NDS-2018 和欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004 分别给出了类似的计算方法，如下：

$$f_{\theta,k,NDS} = \frac{f_{0,k} f_{90,k}}{f_{0,k} \sin^2 \theta + f_{90,k} \cos^2 \theta} \quad (5)$$

$$f_{\theta,k,EC5} = \frac{f_{0,k}}{k_{90} \sin^2 \theta + \cos^2 \theta} \quad (6)$$

上述两个公式在形式上是一致的，区别在于欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004 中引入材料系数 k_{90} ($=f_{0,k}/f_{90,k}$)，并针对于不同的木材分别给出了 k_{90} 的推荐计算公式，如下：

$$k_{90} = \begin{cases} 1.35 + 0.015d & \text{for softwoods} \\ 1.30 + 0.015d & \text{for LVL} \\ 0.90 + 0.015d & \text{for hardwoods} \end{cases} \quad (7)$$

在欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004 中，材料系数 k_{90} 与销轴标称直径 d 和木材种类相关。对于销轴直径为 16mm 的情况，对应于软木、LVL 和硬木， k_{90} 分别为 1.59、1.54 和 1.14，对无机复合竹材料， $k_{90}=1.30$ 。图 9 对比了推荐公式对无机复合竹材料销槽承压强度的预测结果。结果表明，采用 Hankinson 公式能够较好预测无机复合竹的斜纹销槽承压强度。同时，为了考虑螺杆直径对销槽承压强度的影响，本规程采用美国规程 NDS-2018 中推荐的计算公式。

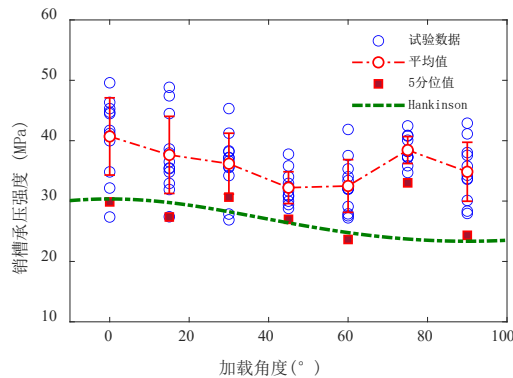


图 9 斜纹销槽承压强度标准值的确定

5.2.7 工程竹木制材料由于其各向异性的材料属性，在螺栓连接节点处不可避免地会出现横纹受力的情况。为确保连接在横纹受力时能够仍能保持稳定，避免脆

性破坏的发生，该条文规定了单个螺栓连接处无机复合竹的横纹受拉承载力。研究表明，无机复合竹的横纹受拉性能主要受螺栓边距的影响，如图 10 所示。欧洲标准 EN 1995-1-1: 2004 中基于线弹性断裂力学提出的横纹劈裂承载力预测公式 (5.2.7) 形式简单，且能够较好地预测无机复合竹螺栓连接试件的横纹劈裂承载力。

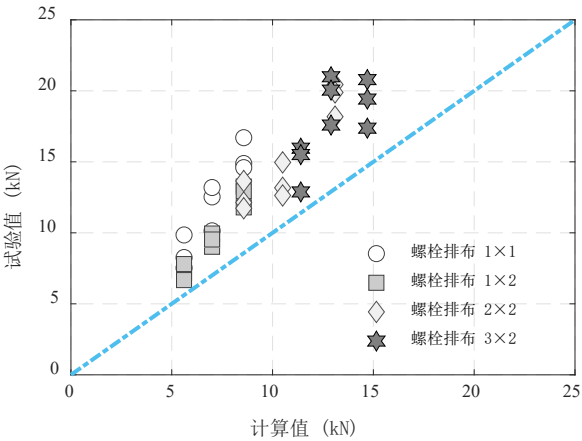


图 10 无机复合竹螺栓连接横纹劈裂试验验证

5.3 连接构造要求

5.3.11 对横纹受拉承载能力验算不能满足本规程第 5.2.6 条规定的，采用注胶增强处理时，可以对公式 5.2.6 计算的横纹受拉承载能力乘以 1.5 的增大系数。所使用的灌注胶应满足现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728-2011 的相关规定。

6 防火设计

6.1 一般规定

6.1.4 无机复合竹构件有效炭化层厚度是指无机复合竹梁、柱等构件在结构火灾试验炉中按 ISO 834 标准升温曲线燃烧，经过 T 分钟后停火并立即取出，剔除炭化层后测量剩余截面尺寸。无机复合竹炭化层与高温分解区分界线通常呈锯齿状，其中分界线峰部残留的主要成分为无机胶，谷部通常是由于被烧焦的竹材脱落而形成。在实际测量炭化深度时，应按谷距进行测量计算。

本规程中有效炭化层厚度计算参照了欧洲标准 EN 1995-1-2: 2004 中的相关规定。即考虑构件角部因双向导热形成圆角区，如图 11 所示，计算时将火灾后的剩余截面等效为矩形，并计算有效炭化层厚度。

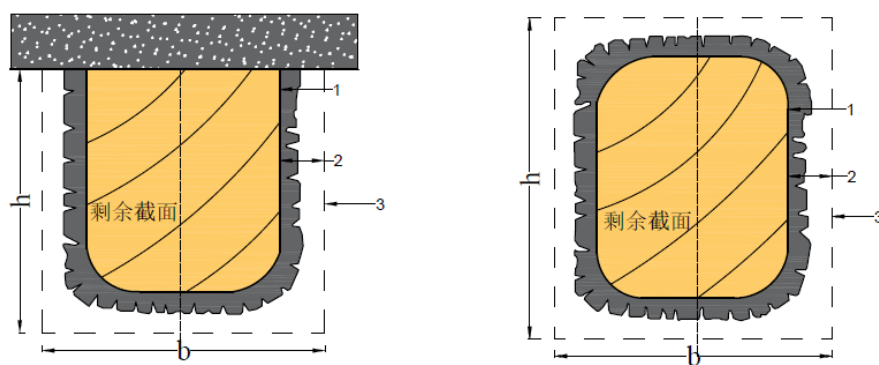


图 11 受火灾作用后的剩余截面

1-炭化后剩余截面；2—炭化深度；3-原构件截面

在确定有效炭化层厚度计算公式时，参照 ASTM E 119-20 中的方法，采用两参数非线性模型描述火灾后炭化层厚度与受火时间的关系，即为式 6.1.4。根据除受火时间外，公式 6.1.4 还考虑受火面数量的影响，增加多面受火因子 α ，根据试验结果取为 1.15。

6.1.7 为确定无机复合竹承重柱、梁构件的耐火极限，编制组开展了承重柱、梁试件的标准火灾试验。承重柱构件尺寸为 $360\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 3750\text{ mm}$ ，有效受火长度 3000 mm ，持荷比为 0.4。梁试件尺寸为 $200\text{ mm} \times 360\text{ mm} \times 4400\text{ mm}$ ，持荷比分别为 0.3、0.4。结果表明，无机复合竹承重柱耐火极限大于 210 min，

梁构件的耐火极限均大于 2.0h，满足现行《建筑设计防火规范》GB 50016 中承重柱、梁一级耐火极限的要求。同时，由于无机复合竹材料为生物质材料，其燃烧性能为 B1 级难燃性，但大部分指标满足 A2 级不燃性。试验研究表明，无机复合竹梁最大炭化深度分别为 38.7、42.7 mm，最大平均炭化速率约为 0.35、0.38 mm/min；无机复合竹承重柱标准火灾下四面受 3.5 h 火后，平均炭化深度约为 44~46mm，名义炭化速率约为 0.268 mm/min，远小于工程木及工程竹构件，表现出较好的耐火性能。因此，参照《建筑设计防火规范》GB 50016（2020 修订版报批稿）中木结构建筑防火设计要求，制定本条规定。

8 制作、运输、存储及安装

8.1 一般规定

8.1.1 制作企业应具备相应的生产场地和工艺生产设备,有完善的质量管理体系和试验检测手段。

8.1.6 施工组织设计是指导施工的重要依据。无机复合竹结构建筑安装为吊装作业,对吊装设备、人员、安装顺序要求较高。为保证工程的顺利进行,施工前应编制施工组织设计和专项方案。专项方案应综合考虑工程特点、构件规格、施工环境、机械设备、工期要求等因素,合理设计装配顺序,组织均衡有效的安装施工流水作业。无机复合竹结构安装以吊装、拼装工作为主,施工过程中应严格执行现行的相关施工规范。

8.2 制作

8.2.2 制作过程中优先采用 BIM 等信息化模型进行校正和预拼装,以保证构件尺寸、规格的准确性,保证施工装配质量。

8.3 运输和存储

8.3.2 无机复合竹结构构件出厂前均已完成表面封闭防护处理,在运输和存储过程中应避免构件的碰撞,防止构件表面损伤。对大型构件的运输、堆放和存储应采取专门的质量安全保证措施,相应的支撑位置应按计算确定。

8.4 安装

8.4.10 条文说明:无机复合竹结构安装过程中应采取安全措施,并应符合现行行业标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80,《建筑施工起重吊装工程技术规范》JGJ276,《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46 等的相关规定。

9 验收

9.1 一般规定

9.1.2 无机复合竹材料现场无法取样检测,如有对成品材料进行质量抽检的需要,应在第三方见证下在制作企业内封样后送检。