安徽省土木建筑学会团体标准

榫卯连接装配式组合结构技术规程

Technical specification for mortise-tenon connection assembly composite structure

T/CASA 0013—2025

发布单位：安徽省土木建筑学会
施行日期：2025年7月1日

中国建筑工业出版社
2025　北京

安徽省土木建筑学会团体标准

榫卯连接装配式组合结构技术规程

Technical specification for mortise-tenon connection assembly composite structure

T/CASA 0013—2025

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
印刷厂印刷

*

开本：850毫米×1168毫米　1/32　印张：　　字数：　　千字
2025年　月第一版　　2025年　月第一次印刷
定价：　　元
统一书号：15112·44979

版权所有　翻印必究
如有质量问题，可与本社读者服务中心联系
电话：（010）58337283（邮政编码　100037）
本社网址：http://www.cabp.com.cn
网上书店：http://www.china-building.com.cn

安徽省土木建筑学会

皖建学字〔2025〕6号

关于批准《榫卯连接装配式组合结构技术规程》为安徽省土木建筑学会工程建设团体标准的公告

现批准《榫卯连接装配式组合结构技术规程》为安徽省土木建筑学会工程建设团体标准（统一编号：T/CASA 0013—2025），该标准自2025年7月1日起实施。

该标准由安徽省土木建筑学会组织出版发行。

安徽省土木建筑学会

2025年6月13日

前　言

根据安徽省土木建筑学会文件《安徽省土木建筑学会标准管理办法》（皖建学字〔2023〕号）的要求，规程编制组经过深入调查研究、大量试验分析，认真总结实践经验，参考国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程共分为 7 章，主要技术内容包括：总则、术语与符号、材料、基本规定、结构设计、制作与施工、验收。

本规程的某些内容涉及专利，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安徽中科棣卯建工集团有限公司协商处理，本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本规程由安徽省土木建筑学会负责管理，委托安徽中科棣卯建工集团有限公司负责对条文和具体技术内容的解释。在执行过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄往主编单位（地址：安徽省合肥市长丰路 159 号铜锣湾广场 F4；邮政编码：230031），以供修订时参考。

主 编 单 位：安徽中科棣卯建工集团有限公司
　　合肥工业大学

参 编 单 位：安徽省住宅产业化促进中心
　　安徽中科装配智能制造有限公司
　　合肥工业大学设计院（集团）有限公司
　　上海光翼建筑设计有限公司
　　皖西学院
　　合肥大学
　　合肥工大建设监理有限责任公司
　　湖南大学设计研究院有限公司
　　安徽同济建设集团有限责任公司

安徽寰宇建筑设计院
合肥皓赢建筑设计有限公司
安徽承宇装配式建筑有限公司
安徽秀峥建筑工程有限公司
安徽国建钢结构股份有限公司
安徽定达建筑工程有限公司

主要起草人：郑齐敬　王静峰　肖亚明　王　珺　徐文杰
徐凤枝　陈莉萍　潘学蓓　舒兴平　马兵辉
刘继朝　刘　亮　何　利　刘　世　陈　伟
丁迎喜　欧国浩　戈　壁　刘　用　傅　强
李新华　吴　贞　邓伟成　梅洁萍　胡明明
阮卜琴　金艳艳　郑齐庆

主要审查人：胡泓一　钱礼平　闫　锋　楼国彪　丰建国
曹　晗　田井锋

目　　次

1　总则 …… 1
2　术语与符号 …… 2
2.1　术语 …… 2
2.2　符号 …… 3
3　材料 …… 8
3.1　钢材 …… 8
3.2　混凝土 …… 9
3.3　连接材料 …… 10
3.4　其他 …… 11
4　基本规定 …… 12
4.1　一般规定 …… 12
4.2　结构体系和布置 …… 12
5　结构设计 …… 16
5.1　一般规定 …… 16
5.2　计算与分析 …… 17
5.3　构件设计 …… 18
5.4　节点设计 …… 37
5.5　结构防护 …… 49
6　制作与施工 …… 50
6.1　一般规定 …… 50
6.2　钢构件加工 …… 51
6.3　钢构件安装 …… 52
6.4　混凝土浇筑 …… 53
7　验收 …… 55
7.1　一般规定 …… 55

7.2 构件验收 …… 56
7.3 安装验收 …… 57
7.4 梁柱组合节点连接质量验收 …… 58
7.5 钢管与钢筋连接 …… 59
本规程用词说明 …… 61
引用标准名录 …… 62
附：条文说明 …… 65

1 总　　则

1.0.1　为规范和促进榫卯连接装配式组合结构的推广应用，做到技术先进、安全适用、经济合理、质量可靠，制定本规程。

1.0.2　本规程适用于工业与民用建筑的榫卯连接装配式组合结构的设计、制作、施工及验收。

1.0.3　榫卯连接装配式组合结构的设计、制作、施工及验收，除应符合本规程外，尚应符合国家及安徽省现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术　　语

2.1.1 开孔矩形钢管　open hole rectangular steel tube

在矩形钢管翼缘上通过专用设备切割出若干椭圆孔洞形成的开孔钢管。

2.1.2 开孔矩形钢管混凝土组合梁　open hole rectangular concrete-filled steel tubular composite beam

由开孔矩形钢管及其内部浇筑的混凝土与混凝土翼板通过抗剪连接件协同作用形成的可整体受力的钢管混凝土组合梁，简称组合梁。

2.1.3 钢管混凝土柱　concrete-filled steel tube columns

由钢管与内部浇筑的混凝土形成的可协同受力的柱。

2.1.4 榫卯连接装配式梁柱组合节点　mortise-tenon conncetion assembly joints

由开孔矩形钢管混凝土组合梁与钢管混凝土柱通过榫卯装配式连接方式形成的梁柱节点，简称榫卯组合节点，包括榫卯卡扣式节点和榫卯井字式节点两类。

2.1.5 榫卯连接装配式组合结构　mortise-tenon conncetion assembly composite structure

由开孔矩形钢管混凝土组合梁、钢管混凝土柱通过榫卯组合节点形成的组合结构，简称榫卯组合结构，包括榫卯组合框架结构、榫卯组合框架-支撑结构和榫卯组合框架-延性墙板结构三种形式。

2.1.6 榫卯连接装配式框架结构　mortise-tenon conncetion assembly frame structure

采用榫卯组合节点形成的框架结构，简称榫卯框架结构。

2.1.7 榫卯连接装配式框架-支撑结构 mortise-tenon conncetion assembly frame-support structure

由榫卯连接装配式框架与柱间中心支撑共同形成抗侧力体系的结构，简称榫卯组合框架-支撑结构。

2.1.8 榫卯连接装配式框架-延性墙板结构 mortise-tenon conncetion assembly frame-ductile wall panel structure

由榫卯连接装配式组合框架与延性墙板共同形成抗侧力体系的结构，简称榫卯组合框架-延性墙板结构。

2.2 符　　号

2.2.1 作用和作用效应设计值

M^+、M^-——正、负弯矩设计值；

M——抗震调整后的组合梁正截面受弯承载力；

$\sum M_b$——节点左、右两侧的梁端顺时针或逆时针方向的组合弯矩设计值之和；

$\sum M_{bua}$——节点左、右两侧的梁端顺时针或逆时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和；

M_j——节点单侧弯矩设计值；

M_q——按荷载准永久组合计算的弯矩；

M_u——组合梁正截面受弯承载力；

M_{ug}——开孔矩形钢管翼缘受弯承载力设计值；

M_{uj}——节点单侧受弯承载力设计值；

M_{uw}——柱钢管腹板的受弯承载力设计值；

N——轴向力设计值；

N_v^c——单个抗剪连接件作用范围的受剪承载力设计值；

N_{cv}——节点核心区混凝土斜压承载力的竖向分量；

V——剪力设计值；

V_{b1}——荷载作用引起的单位纵向抗剪界面长度上的剪力设计值；

V_j——节点核心区的剪力设计值；

V_s——单位纵向长度内受剪截面上的纵向剪力设计值；

V_{ud}^k——抗剪连接件的受剪承载力设计值；

V_u^k——抗剪连接件的极限受剪承载力；

V_{uj}——节点核心区的受剪承载力设计值。

2.2.2 计算指标

E_a——钢材的弹性模量；

E_c——混凝土的弹性模量；

E_s——钢筋的弹性模量；

G_a——钢材的剪切模量；

G_c——混凝土的剪切模量；

f——钢材抗拉、抗压强度设计值；

f_c——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_g——开孔矩形钢管翼缘的抗拉强度设计值；

f_s——纵向钢筋抗拉强度设计值；

f_t——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_y——钢材屈服强度；

f_{at}——圆柱头焊（栓）钉极限抗拉强度设计值；

f_{ck}——混凝土轴心抗压强度标准值；

f_{sv}——横向钢筋抗拉强度设计值；

f_{va}——钢材抗剪强度设计值；

f_{yv}——钢筋抗拉强度设计值；

f_{uva}——钢材极限抗剪强度。

2.2.3 几何参数

A_a——开孔矩形钢管截面面积；

A_c——混凝土部分的截面面积；

A_e——单位纵向抗剪界面长度上的横向钢筋截面面积。

A_s——混凝土翼板内钢筋截面面积；

A_{bd}——下层钢筋面积；

A_{bu}——上层钢筋面积；

A_{bt}——负弯矩钢筋面积；

A_{cf}——混凝土翼板截面面积；

A_{sb}——开孔矩形钢管下翼缘截面面积；

A_{sf}——开孔矩形钢管上翼缘截面面积；

A_{sn}——混凝土翼板内负弯矩钢筋面积；

A_{sw}——开孔矩形钢管腹板截面面积；

A_{st}——圆柱头焊（栓）钉钉杆截面面积；

H_c——节点上柱与下柱反弯点之间的距离；

I_a——开孔矩形钢管截面惯性矩；

I_{ab}——不含梁宽度范围外翼板的组合梁的混凝土惯性矩；

I_{cf}——混凝土翼板的截面惯性矩；

I_{cr}——组合梁开裂截面的换算截面惯性矩；

I_{eq}——截面等效惯性矩；

I_{ucr}——组合梁未开裂的换算截面惯性矩；

Z——开孔矩形钢管下翼缘合力点至上翼缘合力点的距离；

a_s——双层双向钢筋形心距混凝土翼板表面距离；

a_s'——负弯矩钢筋形心距混凝土翼板表面距离；

b——开孔矩形钢管宽；

b_c——钢管截面宽度；

b_e——组合梁跨中混凝土翼板的有效宽度；

b_f——垂直于纵向抗剪界面的长度；

b_s——开孔矩形钢管上翼缘净距；

b_u——开孔矩形钢管上翼缘宽度；

b_{uc}——开孔矩形钢管内混凝土宽度；

b_{cc}、h_{cc}——节点核心区钢管内混凝土截面宽度、高度；

c_s——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区边缘的距离；

d_c——开孔矩形钢管截面形心到混凝土翼板截面形心

的距离；

d_i——受拉区第 i 种纵向钢筋的公称直径；

d_{eq}——受拉区纵向钢筋的等效直径；

h——组合梁截面总高度；

h_c——混凝土翼板厚度；

h_u——开孔矩形钢管截面高度；

h_w——开孔矩形钢管腹板净高；

h_{c1}——钢管截面高度；

h_0——取翼板纵筋的合力中心至开孔矩形钢管下翼缘外表面的距离；

l——开孔矩形钢管跨度；

l_D——组合梁的净跨；

l_1——节点核心区开孔矩形钢管翼缘排气孔边缘至上翼缘边缘的距离；

m_i——剪跨区长度；

n_s——抗剪连接件的纵向平均间距；

p——抗剪连接件的纵向平均间距；

t_c——钢柱管壁厚度；

t_w——开孔矩形钢管腹板和翼缘厚度；

t_{g1}、t_{g2}——分别为节点核心区内开孔矩形钢管上翼缘和下翼缘的厚度；

x——混凝土受压区高度；

x_c——中和轴距开孔矩形钢底面距离。

2.2.4 计算系数及其他

φ——轴心受压构件的稳定系数；

α——焊接削弱系数；

α_1——受压区混凝土等效矩形应力图应力系数；

α_{cr}——组合梁受力特征综合系数；

β_c——混凝土强度影响系数；

β_1——受压区混凝土等效矩形应力图受压区高度系数；

ε_k——钢号修正系数，其值为 235 与钢材牌号中屈服点数值之比的平方根；

η_{jv}——节点剪力增大系数；

η_{jm}——节点单侧弯矩增大系数；

σ_s——按荷载准永久组合计算的开裂截面纵向受拉钢筋的应力；

ρ_{te}——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率；

n_i——受拉区第 i 种纵向钢筋的根数；

ν_i——受拉区第 i 种纵向钢筋的相对粘结特性系数。

3 材　　料

3.1 钢　　材

3.1.1　榫卯组合结构中的构件材料选用牌号、设计指标等应符合现行国家标准《组合结构通用规范》GB 55004、《钢结构通用规范》GB 55006、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《钢结构设计标准》GB 50017 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定。高层民用建筑用钢材还应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

3.1.2　榫卯组合结构中使用的钢管应符合下列规定：

1　当采用热轧成型或由热轧钢板、型钢焊接组成的矩形钢管时，钢材应选用符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的 Q235、Q355、Q390 或 Q420 钢；

2　当采用冷弯矩形钢管时，应选用符合现行行业标准《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178 规定的 Q235、Q355 或 Q390 钢的Ⅰ级产品；

3　若采用 Q460 及以上钢材，其质量应符合现行国家标准《高强钢结构设计标准》JGJ/T 483 的相关规定。

3.1.3　热轧钢板、型钢等应符合现行国家标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 3274 和《热轧型钢》GB/T 706 的相关规定，冷弯薄壁型钢应符合现行行业标准《建筑结构用冷弯薄壁型钢》JG/T 380 的相关规定。

3.1.4　钢材应具有屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、冲击韧性和硫、磷含量的合格保证，主体结构用钢材应具有碳当量和冷

弯性能的合格保证。钢材物理性能指标应按表 3.1.4 采用。

表 3.1.4　钢材物理性能指标

弹性模量 E_a (N/mm^2)	剪变模量 G_a (N/mm^2)	线膨胀系数 α (以每℃计)	质量密度 (kg/m^3)
2.06×10^5	79×10^3	12×10^{-6}	7850

注：压型钢板采用冷轧钢板时，弹性模量取 $1.90\times10^5 N/mm^2$。

3.1.5　抗震设计时，榫卯组合框架中的钢材应符合下列规定：

1　钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85；

2　钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；

3　钢材应有良好的可焊性和合格的冲击韧性。

3.1.6　钢筋的牌号、性能指标和参数等应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的相关规定。

3.1.7　抗震等级为一、二、三级的组合梁的纵向受力钢筋，其抗拉强度实测值与屈服强度实测值之比不应小于 1.25，屈服强度实测值与屈服强度标准值之比不应大于 1.3，且最大力总延伸率实测值不应小于 9%。

3.2　混　凝　土

3.2.1　混凝土的力学性能指标及质量等级应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008、《组合结构通用规范》GB 55004、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《混凝土结构设计标准》GB/T 50010、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《混凝土质量控制标准》GB 50164 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定。

3.2.2　组合梁的楼板混凝土强度等级不应低于 C30，钢管混凝土柱的混凝土强度等级不应低于 C30，且不宜超过 C80。

3.2.3　钢管内及梁柱节点内宜采用自密实混凝土或高抛免振捣

混凝土。自密实混凝土、高抛免振捣混凝土应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 和《高抛免振捣混凝土应用技术规程》JGJ/T 296 的相关规定。

3.2.4 楼板内混凝土可采用煤矸石轻骨料混凝土，并应符合下列要求：

1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的相关规定。当采用通用硅酸盐水泥以外其他品种的水泥时，应进行专门研究。

2 煤矸石轻骨料应符合现行国家标准《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》GB/T 17431.1 的相关规定。

3 煤矸石轻骨料混凝土应符合现行行业标准《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ/T 12 的相关规定。

3.2.5 楼板内混凝土可采用再生混凝土，并应符合下列要求：

1 水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的相关规定。当采用通用硅酸盐水泥以外其他品种的水泥时，应进行专门研究。

2 再生粗骨料应符合现行国家标准《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177 和《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240 的相关规定。

3 再生混凝土用砂应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的相关规定。

4 再生混凝土应符合现行团体标准《钢管再生混凝土结构技术规程》T/CECS 625 的相关规定。

3.2.6 采用高性能混凝土时，质量应符合现行国家标准《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054 的相关规定。

3.3 连接材料

3.3.1 焊接材料选用应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 和《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

3.3.2 钢筋与钢构件连接处采用机械连接用套筒进行连接，应

符合现行行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的要求，且应满足焊接性要求。机械连接用套筒的实测受拉承载力不应小于被连接钢筋受拉承载力标准值的 1.1 倍，钢筋受拉承载力标准值应按抗拉极限强度标准值乘以钢筋截面面积计算。

3.3.3 螺栓选用应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。螺栓连接的强度指标、高强度螺栓的预拉力设计值及钢材摩擦面抗滑移系数，应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231 的相关规定。

3.3.4 圆柱头焊（栓）钉应符合现行国家标准《紧固件 电弧螺柱焊用螺栓和瓷环》GB/T 10433 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定，其材料及力学性能应符合表 3.3.4 规定。

表 3.3.4 圆柱头焊（栓）钉材料及力学性能

材料	极限抗拉强度（N/mm^2）	屈服强度（N/mm^2）	伸长率(%)
ML15、ML15AL	≥400	≥320	≥14

3.4 其　　他

3.4.1 防火涂料、防火板、毡状防火材料等防火保护材料应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《钢结构设计标准》GB 50017 和《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 的相关规定。

3.4.2 钢构件防腐涂装采用的防腐蚀材料应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 及国家现行有关产品标准的规定。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 榫卯组合结构设计应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068、《组合结构通用规范》GB 55004、《钢结构通用规范》GB 55006、《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936、《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 等的规定，安全等级不应低于二级。

4.1.2 进行抗震设计时，应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的相关规定确定其抗震设防类别，并符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的相关规定。

4.1.3 榫卯组合结构的深化设计应考虑各专业相互影响，围护系统、连接节点及预埋件应与主体结构相匹配。

4.2 结构体系和布置

4.2.1 榫卯组合结构可根据建筑功能、建筑高度以及抗震设防烈度等采用榫卯框架结构、榫卯组合框架-支撑结构、榫卯组合框架-延性墙板结构等。

4.2.2 榫卯组合框架-支撑结构的支撑设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 等的相关规定。

4.2.3 榫卯组合结构的最大适用高度应符合下列要求：

1 丙类建筑：应按本地区抗震设防烈度确定其抗震等级，最大适用高度应按表 4.2.3 确定；当建筑场地类别为Ⅰ类时，除

6 度外允许按本地区抗震设防烈度降低一度所对应的抗震等级确定最大适用高度，但相应的计算要求不应降低。

2 乙类建筑：应按本地区抗震设防烈度提高一度后按表 4. 2. 3 确定最大适用高度时，当建筑高度超过提高一度后对应的建筑最大适用高度时，则应采取比对应抗震等级更有效的抗震构造措施；当建筑场地类别为Ⅰ类时，允许按本地区抗震设防烈度的要求确定最大适用高度。

表 4. 2. 3 榫卯组合结构的最大适用高度（m）

结构体系	抗震设防烈度				
	6 度	7 度		8 度	
		0. 10*g*	0. 15*g*	0. 20*g*	0. 30*g*
榫卯框架结构	70	60	55	50	40
榫卯组合框架-支撑结构	105	95	90	80	70
榫卯组合框架-延性墙板结构	115	105	100	85	75

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2 平面和竖向均不规则的结构，最大适用高度宜适当降低；

3 超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施；

4 表格适用于所有构件都是组合构件的结构。

4. 2. 4 榫卯组合结构的高宽比不宜超过表 4. 2. 4 的规定。

表 4. 2. 4 榫卯组合结构适用的最大高宽比

结构体系	抗震设防烈度		
	6 度	7 度	8 度
榫卯框架结构	6	5	4
榫卯组合框架-支撑结构	7	6	5
榫卯组合框架-延性墙板结构	7	6	5

注：1 计算高宽比的高度从室外地面算起；

2 当塔形建筑的底部有大底盘时，计算高宽比的高度从大底盘顶部算起。

4. 2. 5 榫卯组合结构的建筑形体和结构布置的规则性应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建

筑抗震设计标准》GB/T 50011 的相关规定。高层组合结构尚应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

4.2.6 体型复杂、平立面不规则的榫卯组合结构建筑，应根据不规则程度、地基基础条件和技术经济等因素的比较分析，确定是否设置防震缝，应并符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的相关规定。榫卯组合结构需要设置防震缝时，应符合下列规定：

1 当高度不超过 15m 时，不应小于 100mm；

2 当高度超过 15m 时，6 度、7 度、8 度分别每增加高度 5m、4m、3m，宜加宽 25mm。

4.2.7 榫卯组合结构宜采用钢筋桁架楼承板组合楼板、压型钢板组合楼板和现浇混凝土楼板。

4.2.8 榫卯组合结构的抗震等级和抗震措施应符合下列规定：

1 丙类建筑：应按本地区抗震设防烈度确定其抗震等级，抗震等级应按表 4.2.8 确定；当建筑场地类别为Ⅰ类时，除 6 度外允许按本地区抗震设防烈度降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低。

2 乙类建筑：应按本地区抗震设防烈度提高一度后按表 4.2.8 确定抗震等级，当建筑高度超过提高一度后对应的建筑最大适用高度时，则应采取比对应抗震等级更有效的抗震构造措施；当建筑场地类别为Ⅰ类时，允许按本地区抗震设防烈度的要求确定抗震构造措施。

表 4.2.8 榫卯组合结构的抗震等级

结构类型		抗震设防烈度					
		6 度		7 度		8 度	
榫卯框架结构	高度(m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24
	框架	四	三	三	二	二	一
	大跨度框架	三		二		一	

续表 4.2.8

结构类型		抗震设防烈度							
		6 度		7 度		8 度			
榫卯组合框架-支撑结构	高度(m)	≤36	>36	≤36	>36	≤36		>36	
	框架部分	四	三	三	二	二		一	
	支撑部分	三	二	二	一	一		特一	
榫卯组合框架-延性墙板结构	高度(m)	≤60	>60	≤24	>24	≤24	>60	>24≤60	>60
	框架部分	四	三	四	三	三	二	二	一
	墙板部分	三		三	二		二	一	

注：1 接近或等于高度分界时，允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级；

2 大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架；

3 建筑场地为Ⅲ类、Ⅳ类时，对设计基本加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，结构抗震构造措施宜提高一个等级。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 计算各振型地震影响系数所采用的结构自振周期，应计入非承重填充墙的刚度影响予以折减。当非承重墙体为轻质砌块、轻质墙板或外挂墙板时，结构自振周期折减系数可取 0.7～0.9。结构计算中不应计入非结构构件对结构承载力和刚度的有利作用。

5.1.2 榫卯组合结构在多遇地震作用下的结构阻尼比可取为 0.04；风荷载作用下楼层位移验算和构件设计时，阻尼比可取为 0.02～0.04；结构舒适度验算时的阻尼比可取为 0.01～0.02。

5.1.3 在风荷载或多遇地震作用下，榫卯框架结构和榫卯组合框架-支撑结构弹性层间位移角不宜超过 1/300，榫卯组合框架-延性墙板结构弹性层间位移角不宜超过 1/800；罕遇地震作用下，榫卯框架结构和榫卯组合框架-支撑结构薄弱层弹塑性层间位移角不应超过 1/50，榫卯组合框架-延性墙板结构薄弱层弹塑性层间位移角不宜超过 1/100。

5.1.4 榫卯组合结构应满足风振舒适度要求。在现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的 10 年一遇的风荷载标准值作用下，榫卯组合结构顶点的顺风向和横风向风振最大加速度计算值不应大于表 5.1.4 的限值。

表 5.1.4 榫卯组合结构顶点的顺风向和横风向风振加速度限值

使用功能	风振加速度限值(m/s^2)
住宅、公寓	0.15
办公、旅馆	0.25

5.1.5 楼盖结构应具有适宜的舒适度。楼盖结构的自振频率及

振动峰值加速度应按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《建筑楼盖振动舒适度技术标准》JGJ/T 441 的相关规定进行计算并满足限值要求。以行走激励为主的楼盖结构，第一阶竖向自振频率不宜低于 3Hz，竖向振动峰值加速度不应大于表 5.1.5 规定的限值。

表 5.1.5　楼盖结构竖向振动峰值加速度限值

人员活动环境	峰值加速度限值（m/s^2）	
	竖向自振频率不大于 2Hz	竖向自振频率不小于 4Hz
住宅、办公	0.07	0.05
商场及室内连廊	0.22	0.15

注：楼盖结构竖向自振频率为 2Hz～4Hz 时，峰值加速度限值可按线性插值确定。

5.2　计算与分析

5.2.1　结构的作用及作用组合应根据现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068、《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 等确定。

5.2.2　应进行施工阶段和使用阶段下的结构分析。在施工阶段的竖向荷载、风荷载、设备荷载及使用阶段的竖向荷载、风荷载、温度作用、设备荷载、多遇地震作用工况荷载组合下宜采用弹性分析方法进行内力计算和变形分析；不规则且具有明显薄弱部位的结构应采用弹塑性分析方法进行罕遇地震作用下的分析计算。

5.2.3　进行结构整体分析时，可假定楼板在其自身平面内为无限刚性。当楼板开有较大洞口或其局部会产生明显平面内变形时，在结构分析中应考虑楼板面内变形的影响。

5.2.4　进行结构弹性内力和变形计算时，钢管混凝土柱和组合梁的截面刚度应按下列公式计算：

$$EI = E_a I_a + E_c I_c \quad (5.2.4\text{-}1)$$

$$EA = E_a A_a + E_c A_c \quad (5.2.4\text{-}2)$$

$$GA = G_a A_a + G_c A_c \quad (5.2.4\text{-}3)$$

式中：EI——构件截面抗弯刚度；

EA——构件截面轴向刚度；

GA——构件截面抗剪刚度；

E_a——钢材的弹性模量；

E_c——混凝土的弹性模量；

G_a——钢材的剪切模量；

G_c——混凝土的剪切模量；

I_a——钢材的截面惯性矩（组合梁需考虑开孔截面）；

I_c——混凝土的截面惯性矩；

A_a——钢材部分的截面面积（组合梁需考虑开孔截面）；

A_c——混凝土部分的截面面积。

5.2.5 进行整体结构弹性内力和变形计算时，宜根据混凝土翼板的有效宽度确定组合梁的刚度，每跨混凝土翼板的有效宽度可取为本规程第5.3.11条规定的连续梁边梁跨中的有效宽度；当采用梁刚度放大系数法近似考虑时，两侧有翼板的组合梁的抗弯刚度可取为$1.5EI_b$，仅一侧有翼板的组合梁的抗弯刚度可取为$1.2EI_b$，应按本规程第5.2.4条计算。EI_b为不含梁宽度范围外翼板的组合梁的抗弯刚度，按照下式计算：

$$EI_b = E_a I_{ab} + E_c I_c \quad (5.2.5)$$

式中：EI_b——不含梁宽度范围外翼板的组合梁的抗弯刚度；

I_{ab}——不含梁宽度范围外翼板的组合梁的混凝土惯性矩。

5.3 构件设计

Ⅰ 一般规定

5.3.1 构件应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，并应符合下列规定：

1 各构件应进行持久设计状况、短暂设计状况和地震状况下的承载力及稳定性计算；

2 组合梁应进行挠度验算及负弯矩区裂缝宽度验算。

5.3.2 按承载能力极限状态进行设计时，应采用作用效应的基本组合，必要时应采用作用效应的偶然组合，对于地震设计状况应采用作用效应的地震组合。按正常使用极限状态进行设计时，应采用作用效应的准永久组合。

5.3.3 榫卯组合结构构件的承载力设计应符合下列公式的规定：

1 持久设计状态、短暂设计状态，应采用下式表达：

$$\gamma_0 S \leqslant R \tag{5.3.3-1}$$

2 地震设计状况，应采用下式表达：

$$\gamma_0 S \leqslant R/\gamma_{RE} \tag{5.3.3-2}$$

式中：γ_0——结构重要性系数：在持久设计状况和短暂设计状况下，对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0，对安全等级为三级的结构构件不应小于 0.9；对地震设计状况下应取 1.0；

S——作用组合的效应设计值，承载能力极限状况下应符合本规程第 5.3.2 条规定；

R——结构构件的抗力设计值；

γ_{RE}——承载力抗震调整系数，应按表 5.3.3 采用，其他情况应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的相关规定取值。

表 5.3.3 承载力抗震调整系数

构件类型	梁	柱及支撑						节点核心区
受力特征	受弯	偏压		轴压	轴拉、偏拉	受剪	稳定	抗剪
		$n<0.15$	$n\geqslant 0.15$					
γ_{RE}	0.75	0.75	0.80	0.80	0.75	0.75	0.80	0.80

注：n 为轴压比。

5.3.4 组合梁的最大挠度应按照荷载的准永久组合，并考虑荷载长期作用的影响进行计算，其计算值不应超过表 5.3.4 规定的挠度限值。

表 5.3.4 组合梁挠度限值

类型	挠度限值
框架梁	$l_0/300(l_0/400)$
其他梁	$l_0/250(l_0/300)$

注：1 表中 l_0 为构件的计算跨度；悬臂构件应按照实际悬臂长度的 2 倍取用；

2 表中括号外数值为永久荷载和可变荷载组合产生的挠度限值，构件有起拱时可将计算所得的挠度值减去起拱值；

3 表中括号内数值为可变荷载标准值产生的挠度允许值。

5.3.5 组合梁负弯矩区按荷载准永久组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度不应超过表 5.3.5 规定的最大裂缝宽度限值。

表 5.3.5 组合梁负弯矩区最大裂缝宽度限值 *w*

环境类别	w(mm)
一	0.30(0.40)
二 a、二 b	0.2

注：1 对处于年平均相对湿度小于 60%地区一类环境下的组合梁，其最大裂缝宽度限值可采用括号内的数值；

2 组合梁用于三 a、三 b、四、五类环境时，应进行特殊设计。

5.3.6 钢管混凝土柱和组合梁应进行安装及混凝土浇筑阶段的施工验算，并应符合下列规定：

1 钢管混凝土柱及其板件之间焊缝的强度及稳定性应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 对钢构件的相关规定；

2 组合梁在混凝土浇筑前及混凝土浇筑过程中，荷载标准值作用下的最大挠度不应超过挠度限值，挠度限值宜取为计算跨度的 1/400；

3 钢管混凝土柱在浇筑混凝土前，其轴向应力不应大于钢管抗压强度设计值的60%，并应满足稳定性要求。

5.3.7 特一级抗震等级的构件除应符合一级构件的所有设计要求外，尚应符合下列规定：

1 特一级框架柱的柱端弯矩增大系数、柱端剪力增大系数应增大20%；

2 特一级框架梁的两端剪力系数应增大20%。

Ⅱ 组合梁设计

5.3.8 组合梁使用的开孔矩形钢管宜采用标准化的截面形式、尺寸和长度。组合梁的开孔矩形钢管截面宽度 b 不宜小于150mm，用于框架梁时不宜小于200mm；开孔矩形钢管截面高度 h_u 不宜小于200mm；上翼缘宽度 b_u 不宜小于45mm，上翼缘净距 b_s 不宜小于60mm，壁厚 t_w 不宜小于4mm（图5.3.8）。当梁高宽比大于等于3.5时，应在组合梁内部设置腹板加劲板。

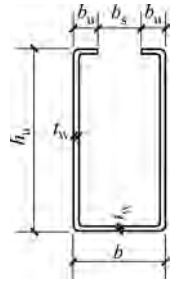


图5.3.8 开孔矩形钢管截面尺寸示意图

5.3.9 开孔矩形钢管翼缘椭圆孔洞宽度不宜大于翼缘板宽度的1/2，孔洞长度与间距宜根据混凝土浇筑施工条件确定。开孔矩形钢管翼缘椭圆孔边缘距离钢管柱侧壁不宜小于150mm。

5.3.10 组合梁中开孔矩形钢管板件宽厚比应符合下列规定：

1 受压上翼缘宽厚比 b_u/t_w 不应大于 $23\varepsilon_k$；

2 腹板受压区高厚比 h_{wc}/t_w 不应大于 $51\varepsilon_k$，h_{wc} 为根据塑

性中和轴确定的腹板受压区高度；

3 受压下翼缘宽厚比 b/t_w 不应大于 $51\varepsilon_k$。

5.3.11 组合梁跨中混凝土翼板的有效宽度 b_e（图 5.3.11）应按下列公式计算：

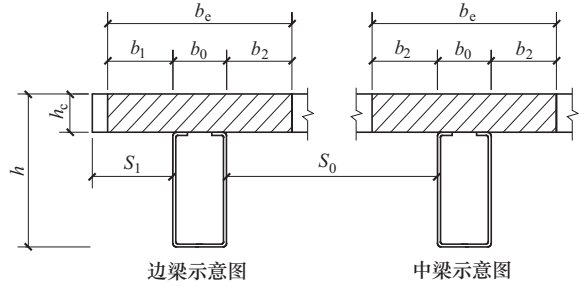


图 5.3.11 混凝土翼板计算宽度

边梁跨中混凝土翼板的有效宽度按照式（5.3.11-1）计算，中梁跨中混凝土翼板的有效宽度按照式（5.3.11-2）计算。

$$b_e = b_0 + b_1 + b_2 \qquad (5.3.11\text{-}1)$$

$$b_e = b_0 + 2b_2 \qquad (5.3.11\text{-}2)$$

式中：b_0——开孔矩形钢管截面宽度；

b_1、b_2——梁外侧和内侧的翼板计算宽度，各取梁等效跨度 l_e 的 1/6；b_1 不宜超过翼板实际外伸宽度 S_1；b_2 不宜超过相邻开孔矩形钢管上翼缘净距 S_0 的 1/2；

l_e——等效跨度，对简支梁，取 l；对连续梁，中间跨正弯矩区取 0.6l，边跨正弯矩区取 0.8l，负弯矩区取相邻两跨跨度之和的 0.2 倍；l 为梁跨度。

5.3.12 梁截面受弯承载力计算时，梁端钢筋及混凝土翼板中受拉钢筋应采取机械连接用套筒或连接板与钢管柱连接等有效连接措施，保证受力钢筋达到抗拉或抗压设计强度。当不能满足有效连接要求时，钢筋面积应取零。

5.3.13 组合梁正截面承载力应按下列基本假定进行计算：

1 截面应变保持平面。

2 不考虑混凝土的抗拉强度。

3 受压边缘混凝土极限压应变 ε_{cu} 取 0.003，相应的最大压应力取混凝土轴心抗压强度设计值 f_c 乘以受压区混凝土压应力影响系数 α_1，当混凝土强度等级不超过 C50 时，α_1 取为 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时，α_1 取为 0.94，其间按线性内插法确定；受压区应力图简化为等效的矩形应力图，其高度取按平截面假定所确定的中和轴高度乘以受压区混凝土应力图形影响系数 β_1，当混凝土强度等级不超过 C50 时，β_1 取为 0.8，当混凝土强度等级为 C80 时，β_1 取为 0.74，其间按线性内插法确定。

5.3.14 完全抗剪连接的组合梁正截面受弯承载力应符合下列规定：

1 正弯矩作用区段正截面受弯承载力应符合下列规定：

持久、短暂设计状况：

$$M \leqslant M_u \tag{5.3.14-1}$$

地震设计状况：

$$M \leqslant M_u / \gamma_{RE} \tag{5.3.14-2}$$

1） 当中和轴位于混凝土翼板内（图 5.3.14-1），即 $\alpha_1 f_c b_e h_c \geqslant f_y (A_{sb} + A_{sw} + A_{sf})$ 时：

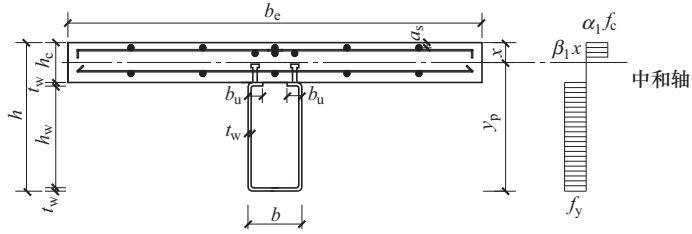


图 5.3.14-1 中和轴位于混凝土翼板内时组合梁截面及应力示意图

$$M_u = A_{sb} f_y \left(h - x - \frac{t_w}{2} \right) + A_{sw} f_y \left(h - x - \frac{h_w + 2t_w}{2} \right) + A_{sf} f_y \left(h_c - x - \frac{t_w}{2} \right) \tag{5.3.14-3}$$

$$x=\frac{(A_{sb}+A_{sw}+A_{sf})f_y}{\beta_1 A_{cf}\alpha_1 f_c} \qquad (5.3.14\text{-}4)$$

2）当中和轴位于开孔矩形钢管上翼缘内（图 5.3.14-2），即 $f_yA_{sb}+f_yA_{sw}-f_yA_{sf}\leqslant\alpha_1 f_c b_c h_c<f_y(A_{sb}+A_{sw}+A_{sf})$ 时：

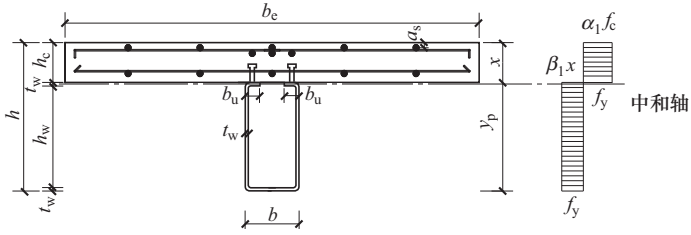


图 5.3.14-2　中和轴位于开孔矩形钢管上翼缘内时组合梁截面及应力示意图

$$M_u=A_{sb}f_y\left(h-x-\frac{t_w}{2}\right)+A_{sw}f_y\left(h-x-\frac{h_w+2t_w}{2}\right)$$

$$+b_u(h_c+t_w-x)^2f_y+(b_e-b_s)h_c\alpha_1 f_c\left(x-\frac{h_c}{2}\right)$$

$$+b_s\beta_1 x\alpha_1 f_c\left(x-\frac{\beta_1 x}{2}\right)+b_s f_y(x-h_c)^2f_y \qquad (5.3.14\text{-}5)$$

$$x=\frac{A_{sb}f_y+A_{sw}f_y+2bf_y(h_c+t_t)f_y+2b_u h_c f_y}{b\beta_1\alpha_1 f_c+4b_u f_y} \qquad (5.3.14\text{-}6)$$

3）当中和轴位于开孔矩形钢管腹板内（图 5.3.14-3），即 $\alpha_1 f_c b_c h_c<f_yA_{sb}+f_yA_{sw}-f_yA_{sf}$ 时：

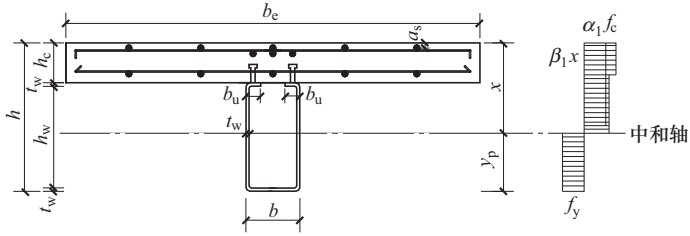


图 5.3.14-3　中和轴位于开孔矩形钢管腹板内时组合梁截面及应力示意图

$$M_u = A_{sb} f_y \left(h - x - \frac{t_w}{2} \right) + t_w \left[h_w - (x - h_c - t_w) \right]^2 f_y$$

$$+ (b_c - b_s) h_c \alpha_1 f_c \left(x - \frac{h_c}{2} \right) + b_s \beta_1 x \alpha_1 f_c \left(x - \frac{\beta_1 x}{2} \right)$$

$$+ A_s f_y \left(x - h_c - \frac{t_w}{2} \right) + t_w (x - h_c - t_w)^2 f_y \qquad (5.3.14\text{-}7)$$

$$x = \frac{A_{sb} f_y + 2t_w (h_w + h_c + t_w) f_y - (b_e - b) h_c \alpha_1 f_c - A_{sf} f_y + 2t_w (h_c + t_w) f_y}{b \beta_1 \alpha_1 f_c + 4 t_w f_y}$$

(5.3.14-8)

2 负弯矩作用区段正截面受弯承载力应符合下列规定：

1）当中和轴位于混凝土翼板内（图 5.3.14-4），即 $\alpha_1 f_c b_e h_c \geqslant (A_{sb} + A_{sw} + A_{sf})$ 时：

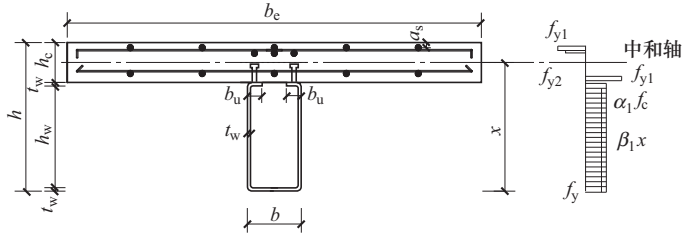


图 5.3.14-4 中和轴位于混凝土翼板内时组合梁截面及应力示意图

$$M_u = nA_{bu} f_{y1} (h - x - a_s) + 3A_{bt} f_{y1} (h - x - a_s')$$

$$+ nA_{bd} f_{y1} (x - h_w - 2t_w - a_s) + A_{sw} f_y \left(x - \frac{h_w}{2} + t_w \right)$$

$$+ A_{sb} f_y \left(x - \frac{t_w}{2} \right) + A_{sf} f_y \left(x - h_w - \frac{3t_w}{2} \right) + \beta_1 (b_s - 2t_w) x \alpha_1 f_c \left(x - \frac{\beta_1 x}{2} \right)$$

(5.3.14-9)

$$x = \frac{(A_{sb} + A_{sw} + A_{sf}) f_y + nA_{bd} f_{y1} - nA_{bu} f_{y1} - 3A_{bt} f_{y2}}{\beta_1 (b_s - 2t_w) \alpha_1 f}$$

(5.3.14-10)

2）当中和轴位于开孔矩形钢管上翼缘内（图 5.3.14-5），

即 $f_y A_{sb}+f_y A_{sw}-f_y A_{sf}\leqslant\alpha_1 f_c b_c h_c<f_y(A_{sb}+A_{sw}+A_{sf})$ 时：

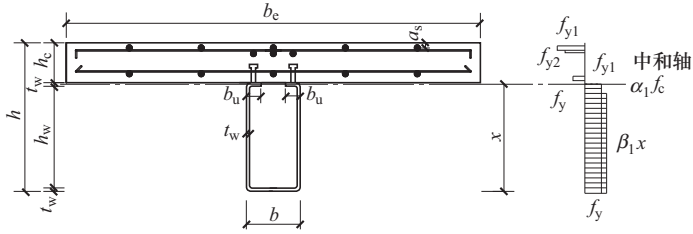


图 5.3.14-5　中和轴位于开孔矩形钢管上翼缘内时组合梁截面及应力示意图

$$M_u=nA_{bu}f_{y1}(h-x-a_s)+3A_{bt}f_{y1}(h-x-a'_s)$$
$$+nA_{bd}f_{y1}(h-x-h_c+a_s)+A_{sf1}f_y(h-x-h_c)$$
$$+A_{sf2}f_y(x-h_w-t_w)+A_{sw}f_y\left(x-\frac{h_w+2t_w}{2}\right)$$
$$+A_{sb}f_y\left(x-h_w-\frac{3t_w}{2}\right)+\beta_1(b_s-2t_w)x\alpha_1 f_c\left(x-\frac{\beta_1 x}{2}\right)$$

（5.3.14-11）

$$x=\frac{A_{bu}f_{y1}+3A_{bt}f_{y2}+2b_u(h_w+2t_w)f_y-A_{sb}f_y-A_{sw}f_y-nA_{bd}f_{y1}-\beta_1(b_s-2t_w)\alpha_1 f+2b_u(h_w+t_w)f_y}{\beta_1(b_s-2t_w)\alpha_1 f+4b_u f_y}$$

（5.3.14-12）

3）当中和轴位于开孔矩形钢管腹板内（图 5.3.14-6），即 $\alpha_1 f_c b_c h_c<f_y A_{sb}+f_y A_{sw}-f_y A_{sf}$ 时：

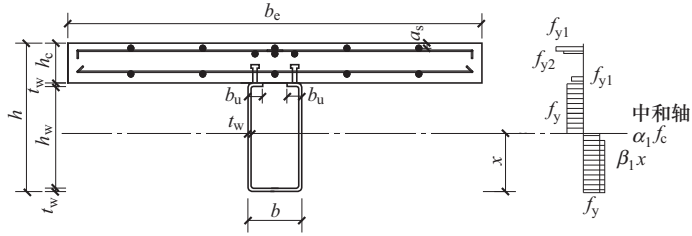


图 5.3.14-6　中和轴位于开孔矩形钢管腹板内时组合梁截面及应力示意图

$$M_u = nA_{bu}f_{y1}(h-x-a_s)+3A_{bt}f_{y1}(h-x-a'_s)$$
$$+nA_{bd}f_{y1}(h-x-h_c+a_s)+A_{sf}f_y\left(h_w-x-\frac{t_w}{2}\right)$$
$$+A_{sw1}f_y\left(\frac{x-t_w}{2}\right)+A_{sw2}f_y\left(\frac{h_w-x}{2}\right)$$
$$+A_{sb}f_y\left(x-h_w-\frac{3t_w}{2}\right)+\beta_1(b_s-2t_w)x\alpha_1 f_c\left(x-\frac{\beta_1 x}{2}\right)$$

（5.3.14-13）

$$x=\frac{A_{bu}f_{y1}+3A_{bt}f_{y2}+2b_u(h_w+t_w)f_y-A_{sb}f_y-A_{sw}f_y-nA_{bd}f_{y1}-\beta_1(b_s-2t_w)\alpha_1 f+2b_u(h_w+t_w)f_y}{\beta_1(b_s-2t_w)\alpha_1 f+4t_w f_y}$$

（5.3.14-14）

式中：A_{cf}——混凝土翼板截面面积；

A_{sb}——开孔矩形钢管下翼缘截面面积；

A_{sf}——开孔矩形钢管上翼缘截面面积；

A_{sf1}——负弯矩承载力计算时上部开孔矩形钢管上翼缘截面面积；

A_{sf2}——负弯矩承载力计算时下部开孔矩形钢管上翼缘截面面积；

A_{sw}——开孔矩形钢管腹板截面面积；

A_{sw1}——负弯矩承载力计算时上部开孔矩形钢管腹板截面面积；

A_{sw2}——负弯矩承载力计算时下部开孔矩形钢管腹板截面面积；

A_{bu}——翼板上层钢筋面积；

A_{bd}——翼板下层钢筋面积；

A_{bt}——翼板负弯矩钢筋面积；

M——抗震调整后的组合梁正截面受弯承载力；

M_u——组合梁正截面受弯承载力；

a_E——开孔矩形钢管弹性模量与混凝土弹性模量比值，$a_E=E_S/E_C$；

a'_E——开孔矩形钢管弹性模量与钢筋弹性模量的比值，$a'_E = E_S/E'_C$；

h_c——混凝土翼板厚度；

h_w——开孔矩形钢管腹板净高；

b——开孔矩形钢管下翼缘宽度；

b_e——组合梁跨中混凝土翼板的有效宽度；

b_s——开孔矩形钢管上翼缘净距；

b_u——开孔矩形钢管上翼缘宽度；

t_w——开孔矩形钢管腹板和翼缘厚度；

a_s——双层双向钢筋形心距混凝土翼板表面距离；

a'_s——负弯矩钢筋形心距混凝土翼板表面距离；

n——抗剪区域内纵向钢筋的数量；

α_1——受压区混凝土压应力影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时，取 0.94，其间按线性内插法得到；

β_1——受压区混凝土应力图形影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 0.8，当混凝土强度为 C80，取 0.74，其间按线性内插法确定。

5.3.15 组合梁完全抗剪连接和部分抗剪连接时，混凝土翼板与开孔矩形钢管之间设置的抗剪连接件应分别符合下列公式的规定：

1 完全抗剪连接：

$$n_{st} \geqslant \frac{V_s}{N_v^c} \tag{5.3.15-1}$$

2 部分抗剪连接：

$$n_{st} \geqslant 0.5\,\frac{V_s}{N_v^c} \tag{5.3.15-2}$$

式中：V_s——每个剪跨区段内开孔矩形钢管与混凝土翼板交界面的纵向剪力设计值，应符合本规程第 5.3.16 条的规定；

N_v^c——一个抗剪连接件的纵向抗剪承载力设计值，应符合本规程第 5.3.19 条的规定；

n_{st}——完全或部分抗剪连接的组合梁在一个剪跨区的抗剪连接件数目。

5.3.16 开孔矩形钢管与混凝土翼板交界面的纵向剪力应以弯矩绝对最大点及支座为界限，划分若干剪跨区（图 5.3.16），各剪跨区纵向剪力计算应符合下列规定：

1 正弯矩最大点到边支座区段，即 m_1 区段的纵向剪力应按下式计算：

$$V_s = \min\{f_a A_a + f_y A_s, \alpha_1 f_c b_c h_c\} \tag{5.3.16-1}$$

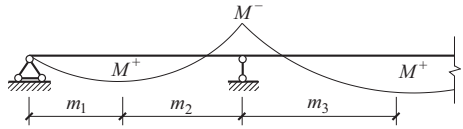


图 5.3.16 连续梁剪跨区划分示意

2 正弯矩最大点到中支座（负弯矩最大点）区段，即 m_2、m_3 段的纵向剪力应按下式计算：

$$V_s = \min\{f_a A_a + f_y A_s, \alpha_1 f_c b_c h_c\} + f_y A'_s \tag{5.3.16-2}$$

式中：A_s——混凝土翼板内钢筋截面面积；

A'_s——负弯矩钢筋截面面积。

5.3.17 受剪承载力计算可仅计入开孔矩形钢管中平行于剪力方向的板件受力，不计内填混凝土的作用，宜符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况：

$$V_b \leqslant V_{bu} \tag{5.3.17-1}$$

$$V_{bu} = h_w t_w f_{av} \tag{5.3.17-2}$$

2 地震设计状况：

$$V_b \leqslant V_{bu} \tag{5.3.17-3}$$

$$V_{bu} = \frac{1}{\gamma_{RE}} h_w t_w f_{av} \tag{5.3.17-4}$$

式中：V_b——梁剪力设计值；

V_{bu}——梁受剪承载力设计值；

f_{av}——梁腹板抗剪强度设计值。

5.3.18 用塑性设计法计算梁正截面受弯承载力时，承受正弯矩的组合梁可不计弯矩和剪力的相互影响，承受负弯矩的组合梁应计入弯矩与剪力间的相互影响，按下列规定对腹板抗压、抗拉强度设计值进行折减，采用f_{ae}代替f。

1 当剪力设计值$V_b>0.5V_{bu}$时，应符合下列公式的规定：

$$f_{ae}=(1-\rho)f_a \tag{5.3.18-1}$$

$$\rho=\left(\frac{2V_b}{V_{bu}-1}\right)^2 \tag{5.3.18-2}$$

式中：f_{ae}——折减后开孔矩形钢管腹板抗压、抗拉强度设计值；

f_a——腹板抗压、抗拉强度设计值；

ρ——折减系数。

2 当剪力设计值$V_b\leqslant 0.5V_{bu}$时，可不对腹板强度设计值进行折减。

5.3.19 混凝土翼板与开孔矩形钢管之间的抗剪连接件宜采用圆柱头焊（栓）钉（图5.3.19）。单个连接件的受剪承载力设计值应符合下列规定：

1 圆柱头焊（栓）钉受剪承载力设计值应符合下式规定：

$$N_v^c=\alpha 0.43A_{st}\sqrt{E_a f_c}\leqslant 0.7A_{st}f_{at} \tag{5.3.19}$$

式中：N_v^c——一个抗剪连接件的纵向受剪承载力设计值；

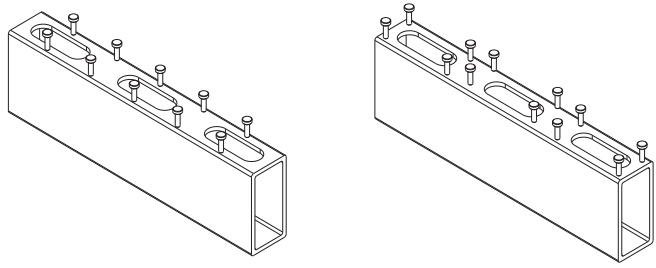
A_{st}——圆柱头焊（栓）钉钉杆截面面积；

f_{at}——圆柱头焊（栓）钉极限抗拉强度设计值；

E_a——混凝土的弹性模量；

α——焊接削弱系数，根据实际焊接条件确定，一般取$\alpha=0.8$。

2 位于负弯矩区段的一个抗剪连接件的受剪承载力设计值（N_v^c）应乘以折减系数，中间支座两侧折减系数可取0.9，悬臂部分折减系数可取0.8。

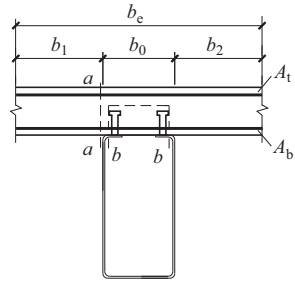


(a) 均匀分布　　(b) 集中分布

图 5.3.19　圆柱头焊（栓）钉

5.3.20　按本规程式（5.3.15-1）、式（5.3.15-2）算得的抗剪连接件数量，可在对应的剪跨区段内均匀布置。当在此剪跨区段内有较大集中荷载作用时，应将连接件个数（n_{st}）按剪力图面积比例分配后再各自均匀布置。

5.3.21　组合梁由荷载作用引起的单位纵向抗剪截面长度上的剪力设计值应符合下列规定（图 5.3.21）：



A_t—混凝土翼板顶部单位长度内抗弯钢筋面积总和（mm^2/mm）；

A_b—混凝土翼板底部单位长度内抗弯钢筋面积总和（mm^2/mm）

图 5.3.21　组合梁的混凝土翼缘纵向受剪界面

1　a—a 界面剪力设计值应按下式计算：

$$V_{b1}=\max\left\{\frac{V_s}{m_i}\times\frac{b_1}{b_e},\frac{V_s}{m_i}\times\frac{b_2}{b_e}\right\} \tag{5.3.21-1}$$

2 b—b 界面剪力设计值应按下式计算：

$$V_{b1}=\frac{V_s}{m_i} \tag{5.3.21-2}$$

式中：V_{b1}——荷载作用引起的单位纵向抗剪界面长度上的剪力设计值；

V_s——每个剪跨区段内开孔矩形钢管与混凝土翼板交界面的纵向剪力设计值，应符合本规程第 5.3.16 条的规定；

m_i——剪跨区段长度，应符合本规程第 5.3.16 条的规定；

b_e——混凝土翼板的有效宽度，取跨中有效宽度，应符合本规程第 5.3.11 条的规定；

b_1、b_2——混凝土翼板左、右两侧挑出的宽度。

5.3.22 组合梁纵向抗剪界面长度上的纵向受剪承载力设计值应符合下列公式的规定：

$$V_{b1}\leqslant 0.7f_t b_f+0.8A_s f_{yv} \tag{5.3.22-1}$$

$$V_{b1}\leqslant 0.25f_t b_f \tag{5.3.22-2}$$

式中：f_t——混凝土轴向抗拉强度设计值；

b_f——垂直于纵向抗剪界面的长度；

A_s——单位纵向抗剪界面长度上的横向钢筋截面面积，对于界面 a—a，$A_s=A_b+A_t$；对于界面 b—b，$A_s=2A_b$；

f_{yv}——钢筋抗拉强度设计值。

5.3.23 混凝土翼板横向钢筋最小配筋宜符合下列规定：

$$A_e f_{yv}/b_f>0.75(\mathrm{N/mm}) \tag{5.3.23}$$

5.3.24 组合梁挠度设计应符合下列要求：

1 组合梁挠度应按照荷载准永久组合进行计算。

2 组合梁的挠度可根据构件的刚度按结构力学方法计算。挠度限值应符合本规程第 5.3.4 条的规定。

3 计算梁的挠度变形时，可假定各同号弯矩区段内的刚度相等。仅受正弯矩作用的组合梁的抗弯刚度应取计入滑移效应的

折减刚度；连续组合梁刚度应按变截面刚度进行计算，在距中间支座两侧各 0.15 倍梁跨度范围内，按负弯矩作用确定截面等效刚度，其余区段仍取折减刚度。

5.3.25 组合梁计入受拉混凝土开裂影响的截面等效惯性矩（I_{ep}）应按下式计算：

$$I_{eq}=(I_{ucr}+I_{cr})/2 \tag{5.3.25}$$

式中：I_{ucr}——组合梁未开裂的换算截面惯性矩，对于荷载标准组合，可将翼缘和梁内混凝土除以 α_E 换算成钢截面后计算整个截面的惯性矩；对荷载准永久组合，则除以 $2\alpha_E$ 进行换算；α_E 为钢材与混凝土模量的比值；

I_{cr}——组合梁开裂截面的换算截面惯性矩，对于准荷载标组合，当正弯矩作用时，可将翼缘及梁内受压区混凝土除以 α_E 换算成钢截面后计算整个截面的惯性矩；当负弯矩作用时，应计入翼板内纵向钢筋的作用，可将截面腹部受压区混凝土除以 α_E 换算成钢截面后计算整个截面的惯性矩；对荷载准永久组合，则除以 $2\alpha_E$ 进行换算。

5.3.26 混凝土翼板与开孔矩形钢管之间滑移效应的折减刚度 B 可按下式计算：

$$B=\frac{EI_{eq}}{1+\zeta} \tag{5.3.26}$$

式中：E——钢材的弹性模量；

I_{eq}——截面等效惯性矩，按式（5.3.25）计算；

ζ——刚度折减系数，按本规程第 5.3.27 条计算。

5.3.27 刚度折减系数 ζ 可按下列公式计算：

$$\zeta=\eta\left[0.4-\frac{3}{(jl)^2}\right] \tag{5.3.27-1}$$

$$\eta=\frac{36E_a d_c p A_0}{n_s k h l^2} \tag{5.3.27-2}$$

$$j=0.81\sqrt{\frac{n_s N_v^c A_1}{E_a I_0 p}} \tag{5.3.27-3}$$

$$A_0=\frac{A_{cf}A_a}{\alpha_E A_a+A_{cf}} \tag{5.3.27-4}$$

$$A_1=\frac{I_0+A_0}{A_0} \tag{5.3.27-5}$$

$$I_0=I_a+\frac{I_{cf}}{\alpha_E} \tag{5.3.27-6}$$

式中：ζ——刚度折减系数，当 $\zeta\leqslant 0$ 时，取 $\zeta=0$；

A_{cf}——混凝土翼板截面面积；

A_a——开孔矩形钢管截面面积；

I_a——开孔矩形钢管截面惯性矩；

I_{cf}——混凝土翼板的截面惯性矩；

d_c——开孔矩形钢管截面形心到混凝土翼板截面形心的距离；

h——开孔矩形钢管截面高度；

l——开孔矩形钢管跨度；

k——抗剪连接件刚度系数，取 $k=N_v^c$；

N_v^c——抗剪连接件的承载力设计值；

p——抗剪连接件的纵向平均间距；

n_s——抗剪连接件的纵向平均间距；

α_E——钢材与混凝土弹性模量的比值，当按荷载效应的准永久组合进行计算时，α_E 应乘以 2。

5.3.28 对于负弯矩作用的组合梁，应取 ζ 等于 0，并应按本规程式（5.3.26）计算截面折减刚度。

5.3.29 组合梁应验算负弯矩区裂缝宽度，按荷载准永久组合并考虑长期作用影响的最大裂缝宽度 w_{max} 可按下列公式计算：

$$w_{max}=\alpha_{cr}\frac{\sigma_s}{E_s}\left(1.9c_s+0.08\frac{d_{eq}}{\rho_{te}}\right) \tag{5.3.29-1}$$

$$\sigma_s = \frac{M_q}{0.87 h_0 A_s} \tag{5.3.29-2}$$

$$d_e = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i \nu_i d_i} \tag{5.3.29-3}$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{0.5bh + (b_e - b)h_c} \tag{5.3.29-4}$$

式中：α_{cr}——组合梁受力特征综合系数，取 2.7；

σ_s——按荷载准永久组合计算的开裂截面纵向受拉钢筋的应力；

E_s——钢筋的弹性模量；

c_s——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区边缘的距离：小于 20 时取 20；大于 65 时取 65；

d_{eq}——受拉区纵向钢筋的等效直径；

ρ_{te}——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率，小于 0.01 时取 0.01；

M_q——按荷载准永久组合计算的弯矩；

h_0——取翼板纵筋的合力中心至开孔矩形钢管下翼缘外表面的距离；

A_s——混凝土翼板内钢筋截面面积；

n_i——受拉区第 i 种纵向钢筋的根数；

d_i——受拉区第 i 种纵向钢筋的公称直径；

ν_i——受拉区第 i 种纵向钢筋的相对粘结特性系数，对带肋钢筋取 1.0；

b——组合梁的截面宽度；

b_e——组合梁的翼板有效宽度；

h——组合梁的截面高度；

h_c——混凝土翼板厚度。

5.3.30 圆柱头焊（栓）钉的设置应符合下列规定：

1 圆柱头焊（栓）钉下表面宜高出混凝土翼板底部钢筋顶面不小于 30mm；

2 圆柱头焊（栓）钉沿梁跨度方向的最大间距不应大于混凝土翼板厚度的3倍，且不应大于300mm，在开孔矩形钢管的开孔位置，圆柱头焊（栓）钉间距可适当加宽；

3 圆柱头焊（栓）钉与开孔矩形钢管翼缘边缘之间的距离不应小于20mm；

4 圆柱头焊（栓）钉至混凝土翼板边缘间的距离不应小于100mm；

5 圆柱头焊（栓）钉顶面的混凝土保护层厚度不应小于15mm。

5.3.31 圆柱头焊（栓）钉除应符合5.3.32条规定外，尚应符合下列规定：

1 设置圆柱头焊（栓）钉位置不宜正对开孔矩形钢管腹板，若开孔矩形钢管上翼缘承受拉力，则圆柱头焊（栓）钉钉杆直径不应大于开孔矩形钢管上翼缘厚度的5倍；若开孔矩形钢管上翼缘不承受拉力，则圆柱头焊（栓）钉钉杆直径不应大于开孔矩形钢管上翼缘厚度的7倍。

2 圆柱头焊（栓）钉长度不应小于杆径的4倍。

3 圆柱头焊（栓）钉沿梁轴线方向的间距不应小于杆径的8倍。

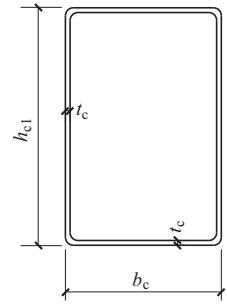
Ⅲ 钢管混凝土柱设计

5.3.32 钢管混凝土柱的截面边长不宜小于200mm，钢管壁厚不宜小于4mm，截面高宽比不宜大于2。

5.3.33 当钢管混凝土柱的截面边长不小于1000mm时，应采取构造措施增强矩形钢管混凝土的约束作用和减小混凝土收缩的影响。

5.3.34 钢管混凝土柱的钢管壁宽厚比 b_c/t_c、h_{c1}/t_c（图5.3.34）均不应大于 $60\varepsilon_k$。

5.3.35 钢管混凝土柱的计算长度应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017对框架柱的相关规定确定；钢管混凝土柱的



b_c—钢管截面宽度；h_{c1}—钢管截面高度；t_c—钢柱管壁厚度

图 5.3.34　钢管混凝土柱截面尺寸示意图

承载力计算及相关构造要求应符合现行团体标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159 的相关规定；钢管混凝土柱考虑地震作用组合的剪力设计值计算应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定；矩形钢管混凝土框架角柱宜按双向偏心受力构件进行正截面承载力计算。

5.3.36　考虑地震作用组合的钢管混凝土柱，其轴压比相关计算及规定应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定。

5.3.37　轴心受拉构件的截面承载力应由组合截面中矩形钢管截面承载力确定；轴心受压构件的承载力应由组合截面承载力和构件整体稳定承载力的较低值确定。

5.3.38　进行矩形钢管承载力计算时，轴心受压承载力、偏心受压承载力及偏心受拉斜截面受剪承载力计算应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定。

5.4　节 点 设 计

Ⅰ　一 般 规 定

5.4.1　榫卯组合节点设计应根据结构的重要性与受力特点、荷载情况和工作环境等因素，选用适合的连接形式、材料与加工

工艺。

5.4.2 节点的强度、局部稳定、刚度、抗震性能和构造措施应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《组合结构通用规范》GB 55004、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011、《钢结构设计标准》GB 50017 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定。

5.4.3 榫卯组合节点的上下钢管柱之间的连接应采用全熔透对接焊缝，其余部位的连接均应采用角焊缝。全熔透对接焊缝质量等级不低于二级，角焊缝质量等级应满足三级要求。焊缝强度指标应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 和《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定，焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的相关规定，检验方法应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。不同类型焊缝分布如图 5.4.3 所示。

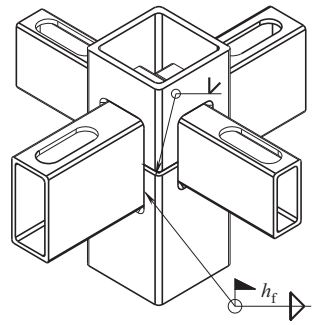


图 5.4.3 节点处焊缝示意图

5.4.4 榫卯组合节点核心区中心部位应设置混凝土浇筑孔。钢管混凝土柱宽度小于 400mm 时，孔径不宜小于 80mm，钢管混凝土柱宽度大于 400mm 时，孔径不宜小于 120mm。

5.4.5 特殊连接节点和重要部位的连接节点应通过有限元分析确定节点承载力及变形，必要时应通过试验进行验证。

Ⅱ 节点计算

5.4.6 榫卯组合节点梁端的受剪承载力应按下列公式验算：

持久、短暂设计状况：

$$V_b \leqslant V_{ud}^j \tag{5.4.6-1}$$

地震设计状况：

$$V_b \leqslant \frac{1}{\gamma_{RE}} V_{ud}^j \tag{5.4.6-2}$$

$$V_u^j \geqslant \eta_v (\sum M_u / l_D) + V_{Gb} \tag{5.4.6-3}$$

受剪承载力

$$V_{ud}^j = 2 f_v t_w h_w + V_{ud}^k \tag{5.4.6-4}$$

$$V_u^j = 2 f_{uva} t_w h_w + V_u^k \tag{5.4.6-5}$$

式中：V_b——剪力设计值，应取按本规程调整后的梁端截面组合的剪力设计值；

V_{ud}^j——梁端的受剪承载力设计值；

V_u^j——梁端的极限受剪承载力；

M_u——梁端截面塑性受弯承载力设计值，按本规程第5.3.14条计算，不考虑γ_{RE}；

l_D——组合梁的净跨；

V_{Gb}——组合梁在重力荷载代表值作用下，按简支梁分析的梁端截面剪力设计值；

η_v——节点剪力增大系数，一级抗震等级取1.35，二、三、四级抗震等级取1.2；

f_v——开孔矩形钢管腹板的抗剪强度设计值；

f_{uva}——开孔矩形钢管腹板的极限抗剪强度，取极限抗拉强度的0.58倍；

t_w——开孔矩形钢管腹板厚度；

h_w——开孔矩形钢管腹板高度；

V_{ud}^k——抗剪连接件的受剪承载力设计值；

V_u^k——抗剪连接件的极限受剪承载力。

5.4.7 榫卯组合节点核心区受剪承载力应按下列公式进行验算：

$$V_j \leqslant \frac{1}{\gamma_{RE}} V_{uj} \tag{5.4.7}$$

式中：V_j——节点核心区的剪力设计值；

V_{uj}——节点核心区的受剪承载力设计值。

榫卯组合节点核心区的受剪承载力设计值应按下列公式计算：

$$V_{uj}=\frac{2N_y h_{cc}+4M_{uw}+2M_{ug}+0.5N_{cv}h_{cc}}{h_u} \tag{5.4.7-1}$$

$$N_y=\frac{t_c h_u f_a}{\sqrt{3}} \tag{5.4.7-2}$$

$$M_{ug}=\frac{h_u^2 t_c\left[1-\cos\left(\sqrt{3}h_{cc}/h_u\right)\right]f_a}{6} \tag{5.4.7-3}$$

$$M_{ug}=\frac{b_{cc}f_g\left(t_{g1}^2+t_{g2}^2\right)}{4} \tag{5.4.7-4}$$

$$N_{cv}=\frac{2b_{cc}h_{cc}f_c}{4+\left(h_{cc}/h_u\right)^2} \tag{5.4.7-5}$$

式中：V_{uj}——节点核心区的受剪承载力设计值；

N_y——柱钢管角部连接截面的竖向受剪承载力设计值；

M_{uw}——柱钢管腹板的受弯承载力设计值；

M_{ug}——开孔矩形钢管翼缘受弯承载力设计值；

N_{cv}——节点核心区混凝土斜压承载力的竖向分量；

t_c——钢柱管壁厚度；

t_{g1}、t_{g2}——分别为节点核心区内开孔矩形钢管上翼缘和下翼缘的厚度，若采用井字式连接，取值为0；

f_a——柱钢管壁的抗拉强度设计值；

f_g——开孔矩形钢管翼缘的抗拉强度设计值；

f_c——节点核心区开孔矩形钢管内混凝土轴心抗压强度设计值；

b_{cc}、h_{cc}——节点核心区开孔矩形钢管内混凝土截面宽度、高度；

h_u——开孔矩形钢管截面高度。

5.4.8 榫卯组合节点核心区的剪力设计值 V_j，应按下列规定

计算：

1 一级抗震等级：

1）顶层中间节点和端节点：

$$V_j = \frac{1.2\sum M_{bua}}{Z} \qquad (5.4.8\text{-}1)$$

2）其他层中间节点和端节点：

$$V_j = \frac{1.2\sum M_{bua}}{Z}\left(1-\frac{Z}{H_c-h}\right) \qquad (5.4.8\text{-}2)$$

2 二、三、四级抗震等级：

1）顶层中间节点和端节点：

$$V_j = \frac{\eta_{jv}\sum M_b}{Z} \qquad (5.4.8\text{-}3)$$

2）其他层中间节点和端节点：

$$V_j = \frac{\eta_{jv}\sum M_b}{Z}\left(1-\frac{Z}{H_c-h}\right) \qquad (5.4.8\text{-}4)$$

式中：$\sum M_{bua}$——节点左、右两侧的梁端顺时针或逆时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和，可根据实配截面和材料强度标准值确定；

$\sum M_b$——节点左、右两侧的梁端顺时针或逆时针方向的组合弯矩设计值之和，一级抗震等级框架节点左右梁端均为负弯矩时，绝对值较小的弯矩应取零；

η_{jv}——节点剪力增大系数，二级取 1.3，三级取 1.20，四级取 1.10；

Z——开孔矩形钢管下翼缘合力点至上翼缘合力点的距离；

H_c——节点上柱与下柱反弯点之间的距离；

h——组合梁截面高度，当节点两侧梁高不同时，取

平均值。

5.4.9 榫卯组合节点的抗震受弯承载力应按下式进行验算：

$$M_{\mathrm{j}} \leqslant \frac{1}{\gamma_{\mathrm{RE}}} M_{\mathrm{uj}} \tag{5.4.9-1}$$

式中：M_{j}——节点单侧弯矩设计值；

M_{uj}——节点单侧受弯承载力设计值。

榫卯组合节点单侧梁端受弯承载力设计值应按下式计算：

$$M_{\mathrm{j}}^{-} = f_{\mathrm{s}} A_{\mathrm{sn}} (h_{\mathrm{b}} - a_{\mathrm{s}} - 0.5 t_{\mathrm{w}}) - 0.5 \beta f_{\mathrm{c}} b_{\mathrm{uc}} x_{\mathrm{c}} (\beta x_{\mathrm{c}} + t_{\mathrm{w}}) - f_{\mathrm{y}} x_{\mathrm{c}} t_{\mathrm{w}} (x_{\mathrm{c}} + t_{\mathrm{w}}) \tag{5.4.9-2}$$

$$x_{\mathrm{c}} = \frac{A_{\mathrm{st}} f_{\mathrm{s}} - A_{\mathrm{sf}} f_{\mathrm{y}}}{\beta f_{\mathrm{ck}} b_{\mathrm{uc}} + f_{\mathrm{y}} t_{\mathrm{w}}} \tag{5.4.9-3}$$

式中：A_{sn}——混凝土翼板内负弯矩钢筋面积；

h_{b}——组合梁截面高度；

a_{s}——混凝土翼板内负弯矩钢筋保护层厚度；

h_{b}——组合梁截面高度；

b_{uc}——开孔矩形钢管截面净宽度；

x_{c}——组合梁内混凝土实际受压区高度；

f_{s}——钢筋抗拉强度设计值。

5.4.10 榫卯组合节点单侧弯矩设计值，应按下列规定计算：

1 一级抗震等级：

$$M_{\mathrm{j}} = 1.20 M_{\mathrm{bua}} \tag{5.4.10-1}$$

2 二、三、四级抗震等级：

$$M_{\mathrm{j}} = \eta_{\mathrm{jm}} M_{\mathrm{b}} \tag{5.4.10-2}$$

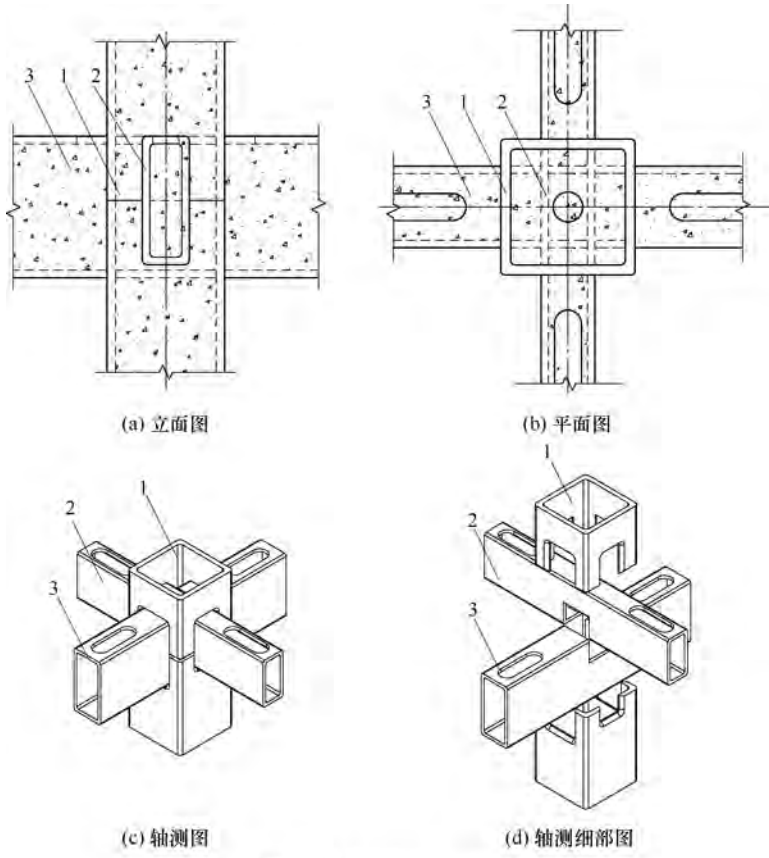
式中：M_{bua}——节点单侧梁端按实配截面和材料强度标准值计算的正截面抗震受弯承载力；

M_{b}——节点单侧梁端组合弯矩设计值；

η_{jm}——节点单侧梁端弯矩增大系数，二级取 1.5，三级取 1.3、四级取 1.2。

Ⅲ 构 造 要 求

5.4.11 榫卯卡扣式连接节点构造如图 5.4.11 所示。



1—钢管柱；2—横向开孔矩形钢管；3—纵向开孔矩形钢管

图 5.4.11 榫卯卡扣式连接

5.4.12 榫卯井字式连接节点构造如图 5.4.12 所示。

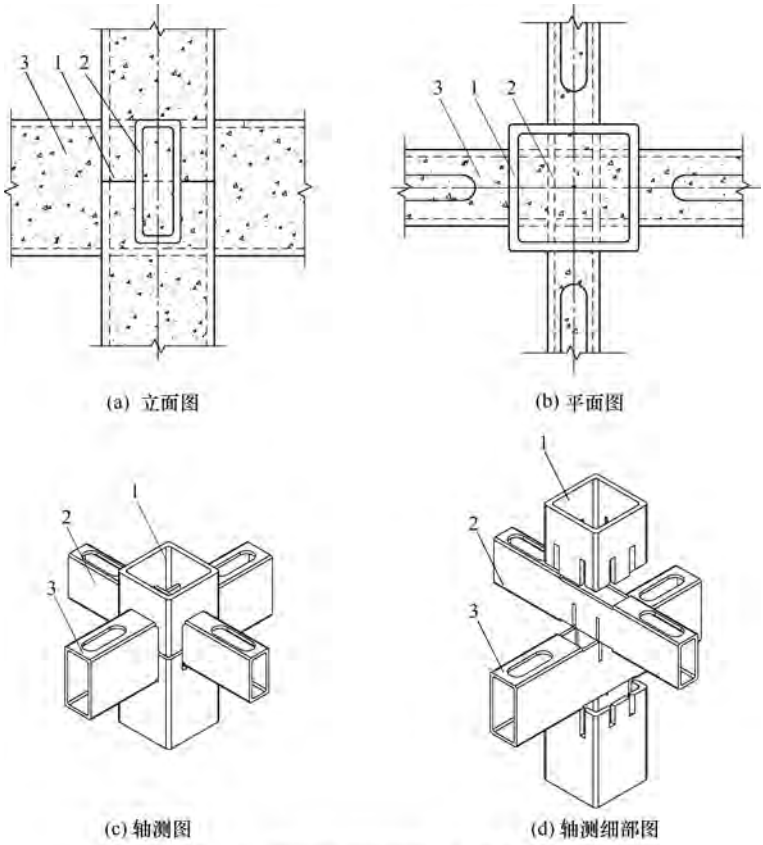


图 5.4.12　榫卯井字式连接

5.4.13　节点两侧开孔矩形钢管的组合梁上部纵向钢筋的连接（图 5.4.13）应符合下列规定：

1　上部纵向钢筋可贯穿柱壁通长设置，柱壁上应设置相应的钢筋孔，并应对柱壁开孔处采取补强措施；钢筋孔直径宜取 1.2d，且最大不应超过 2d，d 为穿过钢筋孔的钢筋直径；贯穿柱的钢筋净距不应小于柱内混凝土骨料最大粒径的 1.5 倍及 40mm。

2 可采用机械连接用套筒与柱壁连接，柱内与套筒对应位置应设置加劲板，套筒应符合本规程第 3.3.2 条的规定。

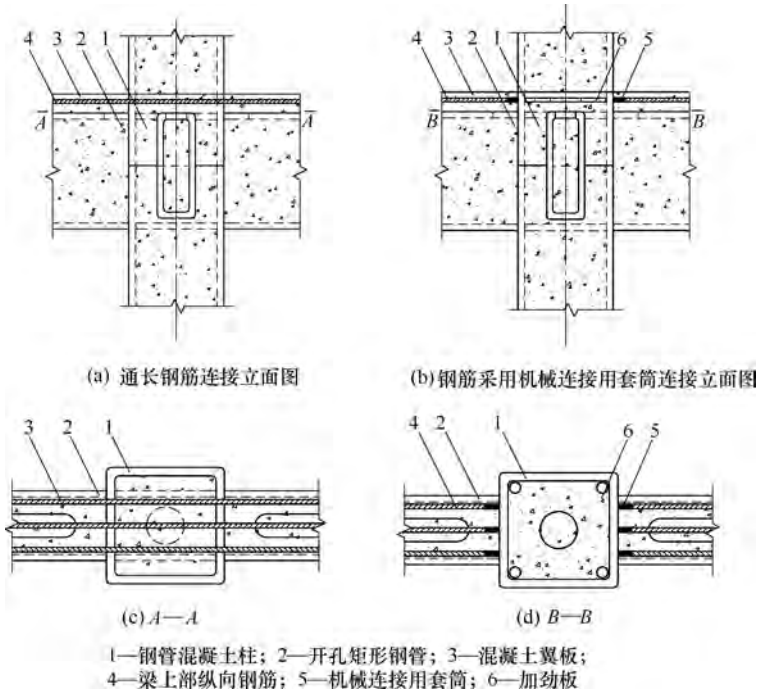
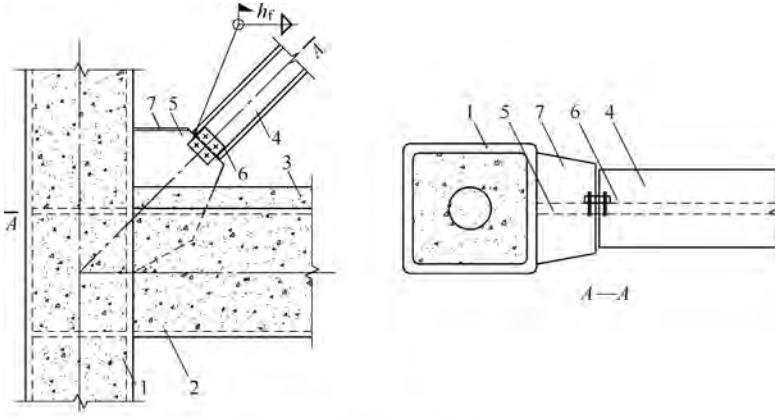


图 5.4.13 节点两侧上部纵向钢筋连接

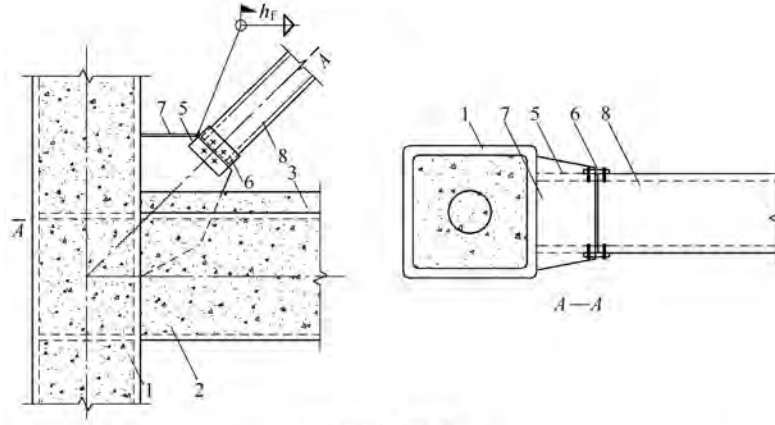
5.4.14 当支撑采用工字钢或矩形钢管时，支撑与框架节点的连接（图 5.4.14）宜符合下列规定：

1 采用工字钢支撑时，在节点处设置穿过开孔矩形钢管上翼缘并与钢管混凝土柱焊接的单节点板，支撑端部设置插入支撑内且与支撑焊接的连接板，现场将带有连接板的支撑与工字钢通过螺栓连接固定，然后将连接板围焊于节点板；

2 采用矩形钢管支撑时，在榫卯组合节点处设置两块与钢管混凝土柱壁、开孔矩形钢管腹板焊接的节点板，支撑端部设置与支撑两侧贴焊的两块连接板，现场将带有连接板的支撑与节点



(a) 工字钢支撑



(b) 矩形钢管支撑

1— 钢管混凝土柱；2—开孔矩形钢管；3—混凝土翼板；4—工字钢支撑；
5—节点板；6—连接板；7—加劲板；8—矩形钢管支撑

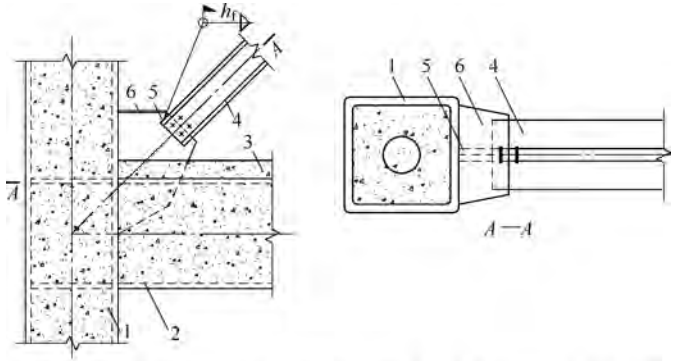
图 5.4.14　工字钢与矩形钢管支撑与框架节点连接构造

板通过螺栓连接固定，然后将连接件围焊于节点板；

3　支撑的轴线应交会于梁柱轴线的交点，当有偏离时，偏离距离不应超过支撑截面宽度，并应计入由此产生的附加弯矩；

4　节点板与柱连接处应根据支撑受力大小设置加劲板。

5.4.15 当支撑采用双槽钢时，支撑与框架节点的连接宜采用单节点板式连接（图 5.4.15）。



1—钢管混凝土柱；2—开孔矩形钢管；3—混凝土翼板；4—双槽钢支撑；5—节点板；6—加劲板

图 5.4.15 双槽钢支撑与框架节点连接构造

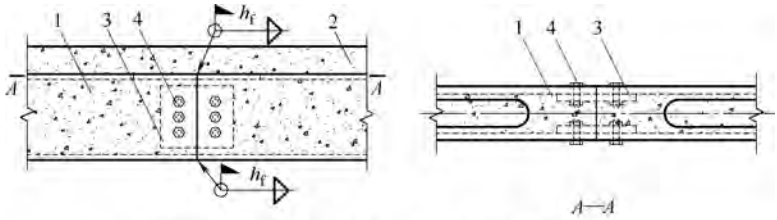
5.4.16 支撑连接用节点板、连接板等板件的设计计算及构造应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

5.4.17 支撑与梁连接的节点构造应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的相关规定。

5.4.18 组合梁之间的连接应符合下列规定：

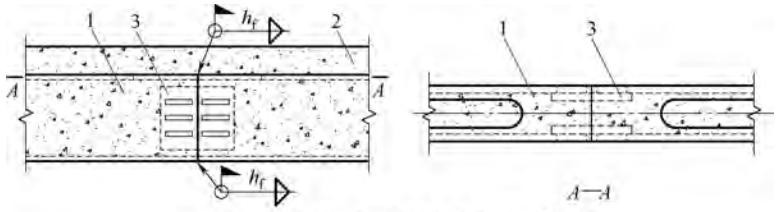
1 采用栓焊连接（图 5.4.18-1）时，连接部位开孔矩形钢管腹板设置螺栓连接孔，腹板内壁设置连接板，与开孔矩形钢管腹板孔洞之间螺栓连接，开孔矩形钢管翼缘间的连接采用全熔透对接焊缝。连接板高度宜比开孔矩形钢管腹板净高小 50mm～100mm，且厚度不宜小于 5mm。

2 采用内衬板焊接连接（图 5.4.18-2）时，连接部位开孔矩形钢管腹板设置三条塞焊孔，腹板内壁设置内衬板，与开孔矩形钢管腹板孔洞之间焊接连接，开孔矩形钢管翼缘间的连接采用全熔透对接焊缝。内衬板高度宜比开孔矩形钢管腹板净高小 50mm～100mm，且厚度不宜小于 5mm。



1—开孔矩形钢管；2—混凝土翼板；3—内衬板；4—连接螺栓

图 5.4.18-1　栓焊连接构造示意图

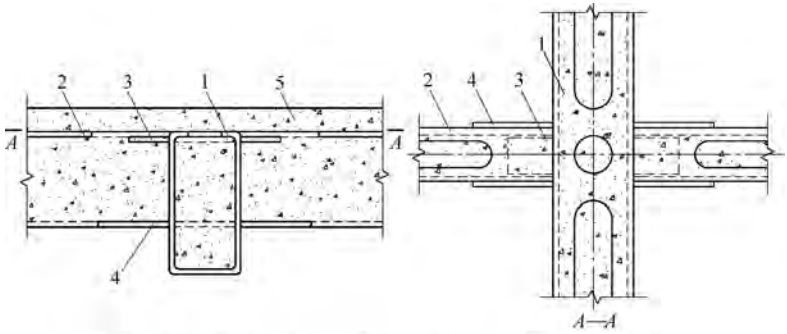


1—开孔矩形钢管；2—混凝土翼板；3—内衬板

图 5.4.18-2　内衬板焊接连接构造示意图

5.4.19　组合梁的主次梁连接节点应符合下列规定：

1　采用盖板连接（图 5.4.19）时，上部连接板和下部连接



1—开孔矩形钢管主梁；2—开孔矩形钢管次梁；3—上部连接板；
4—下部连接板；5—混凝土翼板

图 5.4.19　组合梁的主次梁节点连接构造示意图

板贯穿主梁，下部连接板底部与次梁下翼缘下表面齐平，上部连接板顶部与次梁上翼缘内壁齐平，下部连接板宽度较次梁宽10mm～20mm，上部连接板宽度较次梁除腹板净宽小2mm～3mm；

2 安装搁置次梁的连接板时，强度和稳定性应满足安装工况设计要求。

5.5 结构防护

5.5.1 榫卯组合结构设计文件中，应注明结构的设计耐火等级、构件的设计耐火极限、所需要的防火保护措施及其防火保护材料的性能要求。

5.5.2 当构件的耐火时间不能达到规定的设计耐火极限要求时，应进行防火保护设计，榫卯组合结构应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 和《建筑防火通用规范》GB 55037 进行抗火性能验算。

5.5.3 采用防火涂料和板材外包进行防火保护时，防火涂料施工前，构件应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定进行除锈和防锈底漆的涂装，防火涂料应与底漆相容并结合良好。防火涂料的粘结强度、抗压强度应满足设计要求，其高强度螺栓连接处的涂层厚度不应小于相邻构件的涂料厚度。板材外包防火构造的耐火性能，应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的相关规定或通过试验确定。

5.5.4 钢管混凝土柱和组合梁应按现行国家标准《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249 和《建筑防火通用规范》GB 55037 的相关规定进行防火计算。榫卯组合节点的防火保护应与被连接构件中防火保护要求最高者相同。

5.5.5 榫卯组合结构防腐设计应符合现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 和《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

6　制作与施工

6.1　一 般 规 定

6.1.1　榫卯组合结构钢构件制作前，应参考制作施工规范，做好各道工序的工艺准备，编制加工工艺文件，并按现行国家标准《组合结构通用规范》GB 55004、《钢结构通用规范》GB 55006、《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的相关规定进行质量检验。

6.1.2　榫卯组合结构施工应编制专项施工方案并报相关单位批准。施工前应按现行国家标准《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和本规程的相关规定进行施工阶段结构分析和验算。

6.1.3　榫卯组合节点施工工艺流程如图 6.1.3 所示。

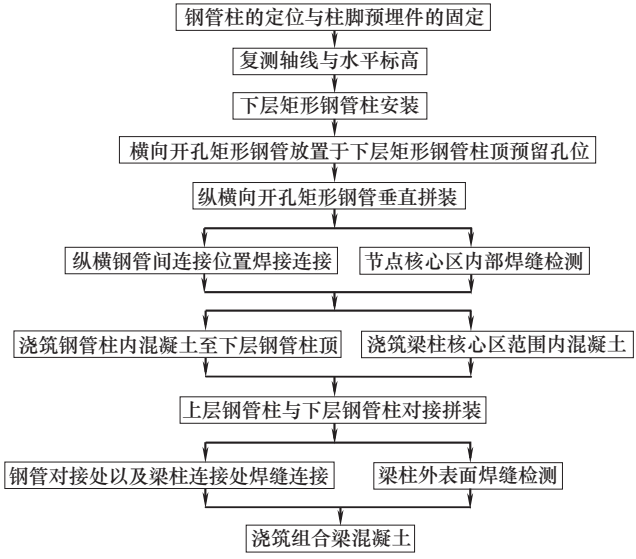


图 6.1.3　榫卯组合节点施工工艺流程图

6.1.4 钢构件应经榫卯组合结构制作工厂验收合格，并应在出具出厂合格证、构件清单后方可出厂。

6.2 钢构件加工

6.2.1 钢管柱应按单个楼层下料分段制作，分段接头位置宜在榫卯组合节点高度中点处。

6.2.2 钢管柱和开孔矩形钢管的制作及质量检验要求应符合现行国家标准《通用冷弯开口型钢》GB/T 6723、《冷弯型钢通用技术要求》GB/T 6725、《结构用冷弯空心型钢》GB/T 6728 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138、《建筑结构用冷弯薄壁型钢》JG/T 380 的相关规定。

6.2.3 开孔矩形钢管的开孔宜采用激光切割技术，开孔时应严格控制孔洞位置和孔径尺寸。开孔矩形钢管的制作尺寸允许偏差应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 开孔矩形钢管的尺寸允许偏差

项目		允许偏差(mm)	检验方法
截面	宽度	±2	尺量
	高度	±2	
	垂直度	宽度的 1/200，且不大于 3	
	上翼缘宽度	±2	
长度		长度的 1/2500，且不超过±5	
侧向弯曲		长度的 1/2000，且≤10	拉线和钢尺测量
连接件位置		5	尺量
开孔	中心线位置	1	尺量
	孔径	0，+2	
缺口尺寸		+2	尺量

6.2.4 钢管柱的制作尺寸允许偏差应符合表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4　钢管柱的尺寸允许偏差

项目		允许偏差(mm)	检验方法
截面	宽度、高度	±2	尺量
	对角线差	5	
长度		±3	
侧向弯曲		柱高的 1/1500,且≤5	拉线和钢尺测量
预留钢筋孔	中心线位置	1	尺量
	孔径	0,+2	
隔板或环板	标高	±1	
	外伸宽度	±2	
	外伸长度	±3	
	中心线位置	2	

6.2.5　钢构件的除锈和涂装应在制作质量检验合格后进行。应根据设计文件要求选择除锈、防腐涂装工艺，构件表面的除锈方法和等级应符合设计要求，且应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 的相关规定。

6.2.6　每层钢管混凝土柱下部的钢管壁上应对称设置排气孔，孔径为 20mm。

6.3　钢构件安装

6.3.1　钢管柱和开孔矩形钢管等钢构件吊装时宜在构件上设置专门的吊装耳板或吊装孔，吊点的位置应根据矩形钢管构件本身的承载力和稳定性验算后确定。必要时，应采取临时加固措施。钢构件的安装质量应符合现行国家标准《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99

的相关规定。

6.3.2 开孔矩形钢管的安装和连接应在下层钢管柱校正后进行，不同方向的框架梁安装顺序应根据设计文件和专项施工方案确定。

6.3.3 钢构件的焊接应严格按照工艺文件规定的焊接方法、工艺参数、施焊顺序进行，焊缝质量等级应符合设计要求及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢结构焊接规范》GB 50661 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 等有关标准的规定。

6.3.4 钢管柱安装的尺寸允许偏差应符合表 6.3.4 的要求。

表 6.3.4 钢管柱安装的尺寸允许偏差

项目		允许偏差(mm)	检验方法
柱脚底座中心线偏移		5	吊线和钢尺量测
定位轴线偏移		1	尺量
基准点标高		+5,-8	水准仪
垂直度	单节柱	高度的 1/1000 且不大于 10	经纬仪或全站仪量测
	柱全高	35	
同层柱顶标高差		5	

6.3.5 开孔矩形钢管梁安装的尺寸允许偏差应符合表 6.3.5 的要求。

表 6.3.5 开孔矩形钢管梁安装的尺寸允许偏差

项目	允许偏差(mm)	检验方法
两端顶面高差	长度的 1/1000 且不大于 10	水准仪
主次梁顶面高差	2	尺量

6.4 混凝土浇筑

6.4.1 钢管柱内的混凝土浇筑应符合下列规定：

1 应在一个竖向安装段的全部构件安装、校正和固定完毕，

并经检验合格后，方可浇筑；

2 可采用导管浇筑法、高位抛落免振捣法和手工逐段浇筑法。

6.4.2 开孔矩形钢管内的混凝土浇筑应符合下列规定：

1 分层浇筑且采用振动棒振捣时，分层厚度不应大于振动棒作用部分长度的1.25倍；

2 振捣时应沿梁纵向逐点振捣，两振捣点之间距离不得大于400mm；

3 应与楼板混凝土同时浇筑。

6.4.3 钢管柱和开孔矩形钢管内混凝土的浇筑质量，可采用敲击钢管的方法进行初步检查，当有异常时应采用超声波法或抽芯法进行检测；对浇筑不密实的地方，应采用局部钻孔压浆法补强且钻孔处应补焊加固。

7 验　　收

7.1 一 般 规 定

7.1.1 榫卯组合结构工程应在施工单位自行检验评定合格的基础上，按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的相关规定进行子分部工程验收。

7.1.2 榫卯组合结构子分部工程应按表 7.1.2 划分为 7 个分项工程。

表 7.1.2 榫卯组合结构子分部工程分项工程

子分部工程	分项工程
榫卯组合结构子分部工程	钢管柱和开孔矩形钢管进场 钢管柱安装 钢管混凝土柱柱脚 梁柱组合节点连接 钢管与钢筋连接 钢管柱和开孔矩形钢管内混凝土浇筑 支撑

7.1.3 榫卯组合结构的制作和安装工程可按楼层或施工段等划分为一个或若干个检验批。

7.1.4 同一厂家生产的同批材料、部品，用于同期施工且属于同一工程项目的多个单位工程时，可合并进行进场验收。

7.1.5 榫卯组合结构子分部工程质量验收合格应符合下列规定：

1 各分项工程施工质量验收合格；

2 质量控制资料完整；

3 有关安全及功能的结构检验和抽样检测结果符合本规程及现行国家有关标准的规定；

4 观感质量符合要求。

7.1.6 榫卯组合结构子分部工程质量验收时，应提供下列文件和记录：

1 深化设计文件、设计施工图和施工详图；

2 施工现场质量管理检查记录；

3 见证检测项目检查记录；

4 有关观感质量检验项目检查记录；

5 所含各分项工程质量验收记录；

6 分项工程所含各检验批质量验收记录；

7 有关建筑通用规范规定项目检查记录及证明文件；

8 隐蔽工程检验项目检查验收记录；

9 原材料、成品质量合格证明文件、中文标志及性能检测报告；

10 不合格项的处理记录及验收记录；

11 重大质量、技术问题实施方案及验收记录；

12 其他有关文件和记录。

7.1.7 当榫卯组合结构施工质量不符合本规程及现行国家有关标准的要求时，应按下列规定处理：

1 经返工或返修的检验批，应重新进行验收；

2 经有资质的检测机构检测能达到设计要求的检验批，应予以验收；

3 经有资质的检测机构检测达不到设计要求，但经原设计单位核算认可能够满足安全和使用功能的检验批，可予以验收；

4 当经返修或加固处理的分项工程，确认能够满足安全及使用功能要求时，应按技术处理方案和协商文件的要求予以验收。

7.2 构 件 验 收

7.2.1 部品部（构）件的进场验收应符合现行国家有关标准的规定，并应具有产品标准、出厂检验合格证、质量保证书和使用

说明书。

7.2.2 榫卯组合结构构件外形和几何尺寸的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和本规程第 6.2.3、6.2.4 条的相关规定，不应有严重缺陷，一般缺陷应要求构件生产单位按技术处理方案进说行处理，并应重新检查验收。

7.2.3 榫卯组合结构钢构件的防火和防腐涂装应符合设计文件和本规程的规定。

7.2.4 构件制作单位应分别提交产品质量文件及下列技术文件：

1 榫卯连接装配式组合结构设计文件、设计施工图和施工详图；

2 制作中问题处理记录文件；

3 所用钢材、焊接材料的质量证明书及必要的试验报告；

4 焊缝的无损检测记录；

5 发运构件的清单。

7.3 安 装 验 收

7.3.1 榫卯组合结构的钢构件安装、连接焊缝的质量和检测要求应按设计要求进行验收，并符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定。

7.3.2 榫卯组合结构的混凝土施工前，应对以下内容进行隐蔽工程验收，并做好隐蔽工程质量验收记录。

1 钢管柱与钢管梁连接节点、主次梁连接节点处的连接方式和质量；

2 节点两侧上部纵向钢筋规格、位置、数量及连接方式；

3 节点焊接工程质量；

4 拟隐蔽部位是否有杂物；

5 预埋件的规格、尺寸、数量、位置等。

7.4 梁柱组合节点连接质量验收

Ⅰ 主控项目

7.4.1 开孔矩形钢管梁与钢管柱连接节点、主次梁连接节点处，连接方式应符合设计要求。

1 检查数量：全数检查。

2 检验方法：观察、检查施工记录和隐蔽工程验收记录。

7.4.2 一、二级焊缝质量应符合设计要求和现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

1 检查数量：全数检查。

2 检验方法：检查施工记录及焊缝检测报告。

7.4.3 开孔矩形钢管梁采用高强度螺栓连接时，摩擦面的抗滑移系数试验和复验、终拧质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。检查数量及检验方法应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 执行。

Ⅱ 一般规定

7.4.4 开孔矩形钢管梁采用高强度螺栓连接时，初拧及终拧扭矩、螺栓丝扣外露扣数、摩擦面、螺栓孔径等应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。检查数量及检验方法应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 执行。

7.4.5 钢管柱安装的尺寸允许偏差应符合本规程第 6.3.4 条的规定。

7.4.6 开孔矩形钢管梁安装的尺寸允许偏差应符合本规程第 6.3.5 条的规定。

7.5 钢管与钢筋连接

Ⅰ 主控项目

7.5.1 节点两侧开孔矩形钢管梁的上部纵向钢筋规格、位置、数量及连接方式应符合设计要求。

1 检查数量：全数检查。

2 检验方法：观察、检查施工记录和隐蔽工程验收记录。

7.5.2 钢筋与钢管柱采用的可焊接机械连接套筒连接接头的实测受拉承载力不应小于钢筋的实际拉断力或不小于钢筋极限抗拉强度标准值对应拉断力的1.1倍。

检查数量：同一施工条件下采用同一批材料的同等级、同规格接头为一批，每批应在构件加工厂确定3个有代表性的接头试件进行受拉试验。试件制作和检验方法应符合现行国家标准《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901的有关规定。

7.5.3 可焊接机械连接套筒与钢管柱焊接应进行焊接工艺评定。

1 检查数量：全数检查。

2 检验方法：检查焊接工艺报告。

Ⅱ 一般规定

7.5.4 节点两侧开孔矩形钢管梁的上部纵向钢筋的间距、净距应符合设计要求及本标准的有关规定。

1 检查数量：全数检查。

2 检验方法：尺量。

7.5.5 钢筋连接套筒与钢板的焊缝尺寸应满足设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的要求。焊脚尺寸的允许偏差应为0~2mm。

1 检查数量：抽查10%，且不应少于3个。

2 检验方法：观察、焊缝量规测量。

7.5.6 筋孔制孔后，宜清除孔周边的毛刺、切屑等杂物，孔壁

应光滑，应无裂纹和大于 1.0mm 的缺棱。钢筋孔孔径及垂直度的允许偏差应符合表 7.5.6 的规定。

1 检查数量：按钢构件数量抽查 10%，且不应少于 3 件。

2 检验方法：用游标卡尺或孔径量规检查。

表 7.5.6 钢筋孔孔径及垂直度的允许偏差

项目	允许偏差(mm)
钢筋孔孔径	+2.0
垂直度	0.03t，且不应大于 2.0

注：t 为钢板厚度。

7.5.7 钢筋孔孔距、钢筋连接套筒间距及连接钢板中心位置的允许偏差应符合表 7.5.7 的规定。

1 检查数量：按钢构件数量抽查 10%，且不应少于 3 件。

2 检验方法：用钢尺检查。

表 7.5.7 钢筋孔孔距、钢筋连接套筒间距及连接钢板中心位置的允许偏差

项目	允许偏差(mm)
钢筋孔孔距	2.0
钢筋连接套筒间距	2.0
连接钢板中心位置	2.0

本规程用词说明

1 为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”。

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

引用标准名录

1 《建筑结构荷载规范》GB 50009
2 《混凝土结构设计标准》GB/T 50010
3 《建筑抗震设计标准》GB/T 50011
4 《建筑设计防火规范》GB 50016
5 《钢结构设计标准》GB 50017
6 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018
7 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068
8 《混凝土质量控制标准》GB 50164
9 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
10 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
11 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
12 《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628
13 《钢结构焊接规范》GB 50661
14 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
15 《钢结构工程施工规范》GB 50755
16 《钢-混凝土组合结构施工规范》GB 50901
17 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
18 《建筑钢结构防火技术规范》GB 51249
19 《工程结构通用规范》GB 55001
20 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
21 《组合结构通用规范》GB 55004
22 《钢结构通用规范》GB 55006
23 《混凝土结构通用规范》GB 55008
24 《建筑防火通用规范》GB 55037

25 《通用硅酸盐水泥》GB 175
26 《碳素结构钢》GB/T 700
27 《热轧型钢》GB/T 706
28 《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231
29 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
30 《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 3274
31 《通用冷弯开口型钢》GB/T 6723
32 《冷弯型钢通用技术要求》GB/T 6725
33 《结构用冷弯空心型钢》GB/T 6728
34 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1
35 《紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环》GB/T 10433
36 《轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料》GB/T 17431.1
37 《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177
38 《高性能混凝土技术条件》GB/T 41054
39 《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163
40 《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178
41 《建筑结构用冷弯薄壁型钢》JG/T 380
42 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
43 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
44 《组合结构设计规范》JGJ 138
45 《轻骨料混凝土应用技术标准》JGJ/T 12
46 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
47 《再生骨料应用技术规程》JGJ/T 240
48 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251
49 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283
50 《高抛免振捣混凝土应用技术规程》JGJ/T 296

51 《建筑楼盖振动舒适度技术标准》JGJ/T 441
52 《高强钢结构设计标准》JGJ/T 483
53 《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159
54 《钢管再生混凝土结构技术规程》T/CECS 625

安 徽 省 土 木 建 筑 学 会 团 体 标 准

榫卯连接装配式组合结构技术规程

T/CASA 0013—2025

条 文 说 明

目　　次

1　总则 …… 67
2　术语与符号 …… 68
2.1　术语 …… 68
2.2　符号 …… 69
3　材料 …… 70
3.1　钢材 …… 70
3.2　混凝土 …… 70
3.4　其他 …… 71
4　基本规定 …… 72
4.2　结构体系和布置 …… 72
5　结构设计 …… 73
5.1　一般规定 …… 73
5.2　计算与分析 …… 73
5.3　构件设计 …… 73
5.4　节点设计 …… 77
5.5　结构防护 …… 81
6　制作与施工 …… 82
6.1　一般规定 …… 82
6.2　钢构件加工 …… 82
6.3　钢构件安装 …… 82
6.4　混凝土浇筑 …… 83
7　验收 …… 84
7.1　一般规定 …… 84

1 总　　则

1.0.1　榫卯连接装配式组合结构体系借鉴中国古代木结构榫卯构造形式，经过创新和技术突破，形成了包括穿心式、斗栱式和燕尾式等榫卯连接形式，先后在湖南、重庆和安徽等地应用，具有加工便捷、施工快速、力学性能良好等优势，适用于工业与民用建筑。本规程在工程实践和国内外大量研究的基础上，开展了开孔矩形钢管混凝土组合梁抗弯性能、榫卯连接装配式组合节点抗震性能等试验研究，形成了榫卯连接装配式组合结构体系。目前该结构体系已应用于长沙银腾塑印包装有限公司环保创新包装智造基地、安徽中科榫卯研发楼、江西双友物流器械股份有限公司和江西宜春锦峰倒班宿舍等数十项工程。

1.0.3　本规程针对榫卯连接装配式组合结构的适用范围、设计方法、构造措施作出规定，适用于榫卯连接装配式组合结构的设计、制作、施工及验收。

2 术语与符号

2.1 术　　语

2.1.1 开孔矩形钢管示意图如图 1 所示。

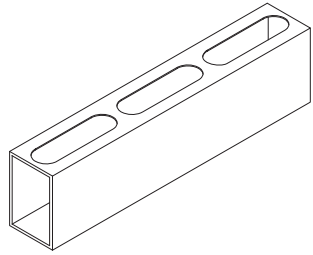
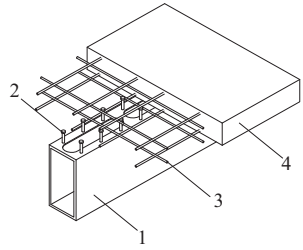


图 1　开孔矩形钢管示意图

2.1.2 开孔矩形钢管混凝土组合梁示意图如图 2 所示。



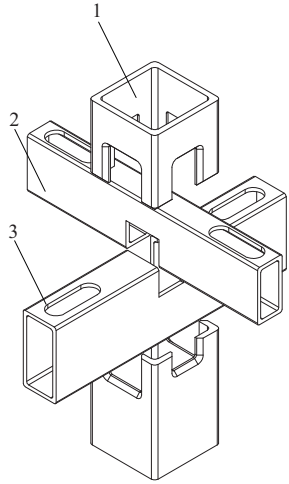
1—开孔矩形钢管；2—圆柱头焊（栓）钉；
3—混凝土翼板内双层双向钢筋；4—混凝土翼板

图 2　开孔矩形钢管混凝土组合梁示意图

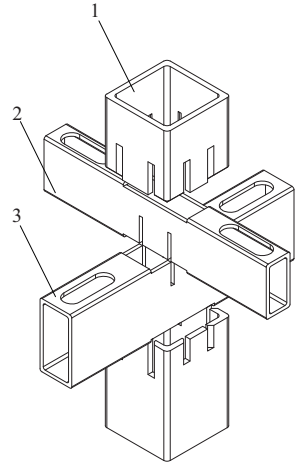
2.1.4 两类榫卯组合节点示意图如图 3 所示。

2.1.8 本条参考《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中延性墙板的相关规定，延性墙板指具有良好延性和抗震性能的墙板。本规程特指：带加劲肋的钢剪力墙板、无粘结内藏钢板支撑

墙板和带竖缝混凝土剪力墙板。



(a) 榫卯卡扣式连接装配式组合节点



(b) 榫卯井字式连接装配式组合节点

1—钢管柱；2—横向开孔矩形钢管；3—纵向开孔矩形钢管

图 3　榫卯节点示意图

2.2　符　　号

符号是根据现行国家标准《工程结构设计基本术语标准》GB/T 50083 的规定制定的。

3 材　　料

3.1 钢　　材

3.1.4　钢材强度指标和物理性能指标应按现行国家标准《组合结构通用规范》GB 55004、《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017 和现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的规定取用。

3.1.5　抗震设计时，对钢材的要求参考现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 中的相关规定。

3.1.7　本条参考《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 第 11.2.3 条对纵向受力钢筋的相关规定。

3.2 混　凝　土

3.2.2　根据工程实践经验，钢管混凝土柱的混凝土强度等级一般不低于 C30。钢管混凝土柱的常用混凝土强度等级为 C40～C80，当超过 C80 时，现行标准对强度指标等参数没有具体规定，设计时应有可靠依据。当榫卯连接装配式组合结构应用于普通工业、民用建筑时，钢管内混凝土强度不宜超过 C60；当榫卯连接装配式组合结构应用于大跨度工业建筑时，钢管内混凝土强度可超过 C60，但不宜超过 C80。

3.2.4　煤矸石轻骨料是一种新型煤系烧结轻质高强轻质细骨料，采用轻骨料烧结制作工艺可以有效去除煤矸石中的硫元素等，并提高材料强度。将混凝土中的粗细骨料替换为煤矸石轻骨料形成的煤矸石混凝土，可实现煤矸石等固体废弃物的“减量化、无害化、资源化”。

3.2.5　现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 对自密实混凝土中骨料进行规定，普通粗骨料与轻粗骨料规定宜

采用连续级配，并未规定粗骨料种类，细骨料仅对天然砂和人工砂含量进行规定，因此上述的再生混凝土为掺加天然细骨料的再生粗骨料混凝土。当再生混凝土采用通用硅酸盐水泥以外其他品种的水泥时，需进行混凝土抗压强度、抗折强度、弹性模量等相关参数的试验研究。

3.4 其　　他

3.4.1、**3.4.2**　该条文参考团体标准《外包钢混凝土梁-钢管混凝土柱组合结构技术规程》T/CECS 1123—2022 中对防火和防腐材料的相关规定。

4 基本规定

4.2 结构体系和布置

4.2.3 榫卯框架结构属于组合结构框架，抗震性能优于钢筋混凝土框架结构，最大适用高度应适当提高。故榫卯框架结构的最大适用高度参考国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936—2014 的相关规定。榫卯组合框架-支撑结构的最大适用高度参考国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011—2010（2024 年版）对钢支撑-钢筋混凝土框架结构的相关规定，并考虑钢管混凝土柱与钢筋混凝土柱的差异，适当提高（增加了10m）。榫卯组合框架-延性墙板结构的最大适用高度参考行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 中型钢（钢管）混凝土框架-钢筋混凝土墙板结构最大适用高度的相关规定，考虑本结构钢管混凝土柱的截面和壁厚，进行了适当的降低。

4.2.4 榫卯组合框架结构、榫卯组合框架-支撑结构、榫卯组合框架-延性墙板结构的最大高宽比按国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936—2014 确定。

4.2.7 榫卯组合结构宜通过调整平面形状和结构布置，避免设置防震缝。

4.2.8 对榫卯组合结构中的转换层、加强层以及有大开洞楼层，宜采取设置水平钢支撑等措施确保水平力的可靠传递。榫卯框架结构、榫卯组合框架-支撑结构、榫卯组合框架-延性墙板结构的抗震等级及各设防烈度对应的分界高度按行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 确定；榫卯组合框架-支撑结构的抗震等级各设防烈度对应的分界高度参考团体标准《波纹钢板组合框架结构技术规程》T/CECS 709—2020 确定。本规程中对乙类和丙类建筑定义参照国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223—2008 中的相关规定。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 结构自振周期折减系数应根据不同结构体系取值，框架结构取值较框架-支撑结构、框架-延性墙板结构小。当采用柔性连接的外挂墙板时，周期折减系数可能要另行研究。

5.1.3 参照国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936—2014 中对不同钢管混凝土组合结构的弹性及弹塑性层间位移角的相关规定。

5.1.5 本条参照行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015 中相关规定。

5.2 计算与分析

5.2.3 本条参照行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015 中相关规定。

5.3 构件设计

Ⅰ 一般规定

5.3.2 根据国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 第 3.2.7～3.2.10 条条文说明，本规程对构件设计考虑长期效应，因此在进行正常使用极限状态进行设计时，采用作用效应的准永久组合。

5.3.7 本条给出了特一级抗震等级的构件弯矩和剪力增大系数，参考行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2015 第 3.10.2、3.10.3 条，对特一级框架柱的相关规定。

5.3.8 组合梁在实际受压过程中，开孔矩形钢管会出现腹板鼓胀趋势。当开孔矩形钢管高宽比过大时，应在梁内部设置加劲肋拉结两侧腹板，避免开孔矩形钢管腹板出现鼓胀。

5.3.9 在实际工程中，椭圆孔洞宽度、长度和间距的确定，可根据组合梁翼缘的拉结有效性及受力的合理性确定；在满足受力性能的前提下，尽量增加椭圆孔长度并减小椭圆孔间距。

5.3.10 因目前尚无现行国家标准和行业标准对此类开孔矩形钢管混凝土组合梁翼缘及腹板高厚比进行规定，因此本条参考团体标准《外包钢混凝土梁-钢管混凝土柱组合结构技术规程》T/CECS 1123—2022 的相关规定。对开孔矩形钢管的受压翼缘和腹板受压区，参照欧洲及日本研究资料，考虑混凝土的约束作用，限值取为 $51\varepsilon_k$，其中 ε_k 参考术语与符号中的相关规定，为钢号修正系数，其值为 235 与钢材牌号中屈服点数值之比的平方根。

5.3.12 本条中对梁端钢筋的连接措施应符合行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 第 14.8 节的相关规定。

5.3.14 合肥工业大学完成了 9 根正弯矩组合梁和 3 根负弯矩组合梁抗弯性能试验，得到的正向与反向受弯承载力计算值与试验值如表 1 所示。

表 1 试验实测组合梁受弯承载力与理论计算对比

试件编号	开口矩形钢管尺寸(mm)	翼板尺寸(mm)	钢材牌号	混凝土强度	加载形式	P(kN)	P_c(kN)	误差(%)	统计
SJ-1	300×150×40×4	1150×110	Q355	C40	正向加载	471.93	526.68	10.40	误差平均值 6.31%
SJ-2	450×150×40×4					920.25	1054.56	12.74	
SJ-3	300×150×40×4					646.29	633.92	−1.95	
SJ-4	300×150×40×4					584.48	526.68	−10.97	
SJ-5	300×150×40×4					469.55	526.32	10.79	
SJ-6	300×150×40×4					487.8	526.68	7.38	

续表 1

试件编号	开口矩形钢管尺寸(mm)	翼板尺寸(mm)	钢材牌号	混凝土强度	加载形式	P(kN)	P_c(kN)	误差(%)	统计
SJ-7	300×150×40×4	1150×110	Q355	C40	正向加载	447.65	500.29	10.52	误差平均值6.31%
SJ-8	300×150×40×4					446.28	500.29	10.80	
SJ-9	300×150×40×4					464.69	500.29	7.12	
SJ-10	300×150×40×4				反向加载	330.18	380.65	13.26	误差平均值4.51%
SJ-11	450×150×40×4					759.15	780.69	2.76	
SJ-12	300×150×40×4					425.25	414.97	−2.48	

注：P 为试验实测跨中截面受弯承载力，P_c 为按本规程计算公式得到的跨中截面受弯承载力。

5.3.19 本条参照现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138中圆柱头焊（栓）钉相关规定确定，规程中圆柱头焊（栓）钉焊接于H型钢翼缘，影响受剪承载力的主要因素有：焊钉的直径（或焊钉的截面积）、混凝土的弹性模量 E_c 以及混凝土的强度等级，未考虑焊接因素对圆柱头焊（栓）钉抗剪承载力影响。本规程中圆柱头焊（栓）钉焊接于开孔矩形钢管上翼缘上表面，焊缝形式与角焊缝类似，开孔矩形钢管上翼缘厚度较H型钢薄，焊脚尺寸较小，较H型钢混凝土组合梁更易出现焊接处焊缝拉裂等现象，致使圆柱头焊（栓）钉受剪承载力下降。因此引入焊接削弱系数（α），描述因焊接因素导致的圆柱头焊（栓）钉受剪承载力下降的情况。因开孔矩形钢管上翼缘设有孔洞，不同项目中上翼缘宽度不同，当上翼缘宽度满足焊接要求时，宜采用均匀分布形式；当上翼缘宽度不满足焊接要求时，宜采用集中分布形式。

5.3.28 合肥工业大学完成了9根组合梁的正向抗弯试验，得到的计算值与试验值如表2所示。

5.3.29 本条参考国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010—2010（2024年版）中钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度计算方法，结合合肥工业大学完成的组合梁的受弯试验，将构件受

力特征系数调整为 2.7。合肥工业大学进行了 3 根组合梁反向加载试验，得到的计算值与试验值如表 3 所示。

表 2　试验实测组合梁抗弯挠度与理论计算对比

试件编号	开口矩形钢管尺寸(mm)	翼板尺寸(mm)	钢材牌号	混凝土强度	荷载	δ(mm)	δ_t(mm)	误差(%)	统计
SJ-1	300×150×40×4	1150×110	Q355	C40	$0.2P_u$	9.24	9.22	−0.22	误差平均值 1.47%
SJ-2	450×150×40×4					10.64	10.73	0.84	
SJ-3	300×150×40×4					10.37	11.09	6.49	
SJ-4	300×150×40×4					8.00	8.34	4.08	
SJ-5	300×150×40×4					11.75	11.38	−3.25	
SJ-6	300×150×40×4					9.20	8.96	−2.68	
SJ-7	300×150×40×4					7.33	7.36	0.41	
SJ-8	300×150×40×4					6.46	6.67	1.65	
SJ-9	300×150×40×4					6.46	6.87	5.97	

注：δ 为试验实测跨中挠度，δ_t 为按本规程计算公式得到的跨中挠度。

表 3　试验实测组合梁负弯矩区裂缝宽度与理论计算对比

试件编号	开口矩形钢管尺寸(mm)	翼板尺寸(mm)	钢材牌号	混凝土强度	w(mm)	w_t(mm)	误差(%)	统计
SJ-10	300×150×40×4	1150×110	Q355	C40	0.22	0.24	8.33	误差平均值 6.32%
SJ-11	450×150×40×4				0.20	0.21	4.76	
SJ-12	300×150×40×4				0.16	0.17	5.88	

注：w 为组合梁负弯矩区裂缝宽度实测值，w_t 为组合梁负弯矩区裂缝宽度理论计算值。

5.3.30、**5.3.31**　该条文参照行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 对抗剪连接件的相关规定，规范中对工字钢梁与混凝土翼板之间抗剪连接件进行规定，两者之间仅靠连接件抗剪。本规程则是对开孔矩形钢管与混凝土翼板之间的圆柱头栓钉连接件进行规定，开孔矩形钢管开孔部分与混凝土翼板连接，能够提供部分受剪承载力，增强抗剪性能，因此适当加大抗剪连接件间距。

圆柱头栓钉焊接于开孔后的开孔矩形钢管上翼缘处，翼缘较窄，因此适当减小圆柱头栓钉连接件与开孔矩形钢管翼缘边缘之间的距离。开孔矩形钢管厚度较工字钢上翼缘薄，因此本规程对圆柱头焊（栓）钉杆直径与开孔矩形钢管上翼缘厚度的倍数进行了适量放大。当混凝土翼板采用钢筋桁架楼承板或者压型钢板时，钢筋桁架楼承板或者压型钢板不应遮挡开孔矩形钢管上翼缘孔洞。

Ⅲ 钢管混凝土柱设计

5.3.32 对钢管混凝土柱的截面边长和壁厚，国家标准《钢结构设计标准》GB 50017—2017 规定边长不宜小 150mm，壁厚不应小于 3mm；行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 规定框架柱的截面边长不宜小于 400mm，壁厚不宜小于 8mm，截面高宽比不宜大于 2；团体标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159 规定边长不宜小于 100mm，壁厚不宜小于 4mm，截面高宽比不宜大于 2。

5.3.33 本条参考了现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定，现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 和团体标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159—2004 也有类似规定。工程常用构造措施包括在钢管内壁设置竖向加劲肋、焊接栓钉等，具体可参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 进行设计。

5.3.34 钢管混凝土柱属于以受压为主的构件，国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936—2014 和行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 对其钢管壁宽厚比的规定一致，本条采用相同规定。

5.4 节点设计

Ⅰ 一般规定

5.4.1 榫卯组合结构的优点，是其构件在工厂下料时工艺简洁、

精度高，构件在现场安装可以采用榫卯连接进行装配式安装，连接安装时不需要定位件、临时固定件，安装定位准确，现场焊接质量易控制，安装效率高；且节点设计简单。榫卯组合结构构件在制作、运输、安装和维护方面的便捷性与其经济性密切关联，应在设计阶段予以充分考虑。组合梁与钢管混凝土柱采用榫卯卡扣式和榫卯井字式连接形式时，为刚性连接；采用外环板螺栓连接时，为铰接连接。主次梁之间采用盖板连接形式时，为刚性连接；次梁腹板与主梁焊接连接板通过螺栓连接时，为铰接连接。

5.4.2 节点构造应符合结构计算假定，并应传力可靠、减小应力集中。当构件在节点偏心相交时，尚应计入局部弯矩的影响。

5.4.3 本规程中连接部位开孔矩形钢管的连接宜采用栓焊连接、内衬钢板焊接等连接形式，具体连接形式根据本规程第 5.4.20 条确定。

5.4.4 通过对不同尺寸的榫卯组合节点进行试灌注后切割检查，确认不同钢管混凝土柱尺寸下的混凝土浇筑孔。

Ⅱ 节 点 计 算

5.4.6 本条式（5.4.6-1）和式（5.4.6-2）用于验算连接的受剪承载力设计值大于剪力设计值，是连接设计的基本要求。对地震设计状况，尚应符合强连接弱构件的原则，即应符合式（5.4.6-3）的要求。对二、三、四级抗震等级，连接系数取 1.2；对一级抗震等级，连接系数取 1.35。对于连接的受剪承载力，当开孔矩形钢管腹板的抗剪贡献可满足要求时，可不设抗剪连接件。

5.4.7 合肥工业大学进行了 11 个榫卯组合节点抗震性能试验，得到计算值与试验值如表 4 所示。

表 4 榫卯组合节点核心区受剪承载力实测值与计算值对比

试件编号	方钢管柱（mm）	主梁尺寸（mm）	次梁尺寸（mm）	钢材牌号	混凝土强度	V（kN）	V_t（kN）	误差（%）	统计
JD-1	250×250×6	300×150×40×4	250×100×30×4	Q355	C40	1004.01	1067.58	5.95	误差平均值 4.55%
JD-2						1058.82	1067.58	0.82	

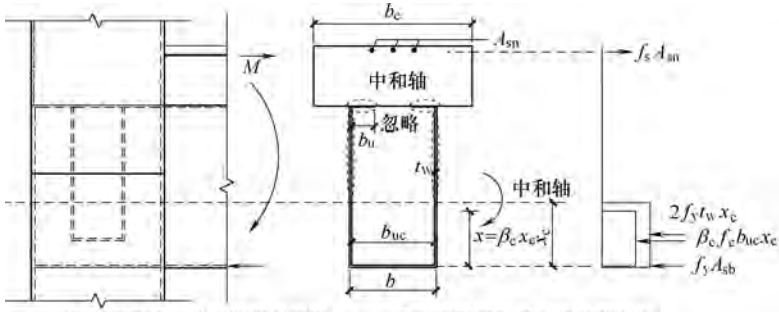
续表 4

试件编号	方钢管柱（mm）	主梁尺寸（mm）	次梁尺寸（mm）	钢材牌号	混凝土强度	V（kN）	V_t（kN）	误差（%）	统计
JD-3	250×250×6	300×150×40×4	250×100×30×4	Q355	C40	1052. 00	1067. 58	1. 46	误差平均值 4. 55%
JD-4						986. 60	1067. 58	7. 59	
JD-5						1043. 28	1067. 58	2. 28	
JD-6						1020. 81	1067. 58	4. 38	
JD-7						998. 36	1067. 58	6. 48	
JD-8						1003. 35	1067. 58	6. 02	
JD-9						984. 41	1067. 58	7. 79	
JD-10						1034. 86	1067. 58	3. 06	
JD-11						1022. 72	1067. 58	4. 20	

注：V 为榫卯组合节点核心区剪力实测值，V_t 为榫卯组合节点核心区受剪承载力理论计算值。

5. 4. 8 本条参考了国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010—2010（2024 年版）对钢筋混凝土梁柱节点和行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 的相关规定，并增加抗震等级为四级时的验算要求。

5. 4. 9 榫卯组合节点单侧梁端受弯承载力计算采用部分塑性应力分布模型，计算模型示意图如图 4 所示。



A_{sn}—混凝土翼板内负弯矩钢筋面积；A_{sb}—开孔矩形钢管下翼缘截面面积；
f_y—钢材屈服强度；f_s— 纵向钢筋抗拉强度设计值；f_c—混凝土轴心抗压强度设计值；
b —开孔矩形钢管宽度；b_c—组合梁跨中混凝土翼板的有效宽度；
b_u—开孔矩形钢管上翼缘宽度；b_{uc}—开孔矩形钢管内混凝土宽度；
t_w—开孔矩形钢管腹板和翼缘厚度；x—混凝土受压区高度；
x_c — 中和轴距开孔矩形钢底面距离；β_c—混凝土强度影响系数

图 4　榫卯组合节点单侧梁端受弯承载力计算模型示意图

合肥工业大学进行了 11 个榫卯组合节点抗震性能试验，得到的计算值与试验值如表 5 所示。

表 5　榫卯组合节点单侧受弯承载力实测值与计算值对比

试件编号	方钢管柱/mm	主梁尺寸/mm	次梁尺寸/mm	钢材牌号	混凝土强度	M/kN	M_t/kN	误差/%	统计
JD-1	250×250×6	300×150×40×4	250×100×30×4	Q355	C40	257.34	263.98	2.52	误差平均值 2.98%
JD-2						248.68	263.98	5.80	
JD-3						261.36	263.98	0.99	
JD-4						251.35	263.98	4.78	
JD-5						262.14	263.98	0.70	
JD-6						254.02	263.98	3.77	
JD-7						249.68	263.98	5.42	
JD-8						256.14	263.98	2.97	
JD-9						260.87	263.98	1.18	
JD-10						259.45	263.98	1.72	
JD-11						256.35	263.98	2.89	

注：M 为榫卯组合节点单侧弯矩实测值，M_t 为榫卯组合节点单侧受弯承载力理论计算值。

5.4.10　本条根据行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138—2016 的相关规定，得到榫卯组合节点单侧弯矩设计值。

Ⅲ　构 造 要 求

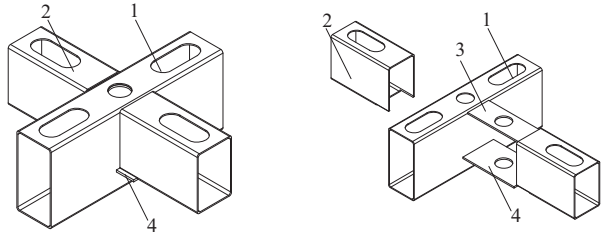
5.4.11　榫卯卡扣式连接节点构造为横向和纵向开孔矩形钢管在节点核心区处交汇，切割孔洞高度为垂直方向开孔矩形钢管总高度的 1/2，宽度为垂直方向开孔矩形钢管翼缘宽度。开孔矩形钢管内在钢管柱壁对应位置应设置内隔板，内隔板厚度与钢管柱壁厚度相同。内隔板隔绝了节点核心区内外的混凝土，但也易引起节点核心区内开孔矩形钢管混凝土浇筑不密实，因此在节点核心区内部十字交叉的开孔矩形钢管腹板处可适当开混凝土浇筑孔以保证浇筑密实。

5.4.12 榫卯井字式连接节点构造为横向和纵向开孔矩形钢管在节点核心区处交汇，切割孔洞高度为垂直方向开孔矩形钢管高度的 1/2，宽度垂直方向开孔矩形钢管腹板厚度。

5.4.14 支撑应符合国家标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015 中的对支撑的相关规定。

5.4.18 本条中塞焊应符合国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661—2011 的相关规定；螺栓应符合国家标准《钢结构设计标准》GB 50017—2017 的相关要求。

5.4.19 组合梁的主次梁节点轴测图及轴测细部图如图 5 所示。



(a) 轴测图　　(b) 轴测细部图

1—开孔矩形钢管主梁；2—开孔矩形钢管次梁；3—上部连接板；4—下部连接板

图 5　组合梁的主次梁节点轴测图及轴测细部图

5.5　结 构 防 护

5.5.5 鉴于本规程中组合结构形式较为新颖，且没有组合结构相关抗火和防腐规范，本规程防火的相关规定参考团体标准《波纹钢板组合框架结构技术规程》T/CECS 709—2020 和《外包钢混凝土梁-钢管混凝土柱组合结构技术规程》T/CECS 1123—2022 对类似结构防火和防腐设计的相关规定。

6 制作与施工

6.1 一 般 规 定

6.1.1 制作方案内容应包括：制作依据的标准、制作单位的质量保证体系和成品的质量保证措施等。编制时应考虑制作单位的生产条件、现场施工条件、运输要求、吊装能力和安装条件等因素。钢构件宜按安装顺序、进度计划配套加工、运输、进场。

6.1.2 专项施工方案包含的主要内容有工程概况、施工机械(配套设备)、施工工艺和方法等。

6.1.3 榫卯组合节点施工前，施工单位应提前制定详细的钢构件安装顺序，并严格按照安装顺序进行安装，防止不必要的返工。

6.1.4 钢构件加工时，安装单位、驻厂监造单位应对构件加工的质量、进度和发货情况进行过程控制，并在制作单位、安装单位和驻厂监造单位签署构件合格通知单后，工厂才能出具构件出厂合格证。

6.2 钢构件加工

6.2.3 开孔矩形钢管的开孔包括：纵横方向开孔矩形钢管拼装孔洞、开孔矩形钢管上翼缘部分的混凝土灌注孔、节点内部的梁梁交接处混凝土灌注孔、钢管柱侧钢筋连接孔、主次梁连接盖板孔等。

6.3 钢构件安装

6.3.2 开孔矩形钢管混凝土组合梁在节点核心区分为卡扣式连接和井字式连接两种，两种连接方式均要求不同方向的框架梁应先后安装，施工单位应根据设计文件确定先后顺序后安装。

6.4 混凝土浇筑

6.4.1 采用导管浇筑法时，应在柱内插入上端装有料斗的钢制导管，导管下口至钢管底部的距离不宜小于300mm，边上提边浇筑。导管与柱内水平隔板浇筑孔的侧隙不宜小于50mm，以便于插入振捣棒。对边长小于400mm的钢管柱，宜采用外壁附着式振捣器进行振捣。采用高位抛落免振捣法时，适用于最小边长不小于350mm的钢管。混凝土一次抛落量应控制在0.7m左右，用料斗装填，料斗的下口尺寸应小于钢管最小边长100mm～200mm，便于管内空气排出。当抛落高度小于4m时，应用振捣器进行提升振捣。当采用手工逐段浇筑法时，混凝土自钢管上口灌入，用振捣器振捣。当管截面最小边长大于350mm时，可采用内部振捣器振捣，每次振捣时间宜为15s～30s，一次浇灌高度不宜大于2m。当管截面最小边长大于350mm，可采用附着在钢管外部的振捣器振捣，外部振捣器的位置应随混凝土的浇筑高度加以调整。

7 验　　收

7.1 一 般 规 定

7.1.7 榫卯组合结构子分部工程进行验收时，钢管柱和开孔矩形钢管进场、钢管柱安装、管混凝土柱柱脚、支撑 4 个分项工程应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定进行施工质量验收，钢管柱和开孔矩形钢管内混凝土浇筑按现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628 的相关规定进行施工质量验收，钢管与钢筋连接安装、梁柱组合节点连接分项工程按本规程的有关规定进行施工质量验收。