

DB4401

广 州 市 地 方 标 准

DB4401/T XXXX-202X

钢-混凝土组合模块集成建筑 应用技术规程

Technical Specification for Steel-Concrete Composite

Modular Integrated Buildings

(征求意见稿)

(本稿完成日期: 20241204)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

广州市市场监督管理局 发布

目 次

前言	4
1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	8
4 材料	9
5.1 一般规定	11
5.2 平面、立面设计	11
5.3 建筑构造	12
6 结构设计	14
6.1 一般规定	14
6.2 结构分析	15
6.4 节点及接缝设计	38
6.5 模块单元设计	48
6.6 耐火设计	49
6.7 防腐设计	50
7 内装与设备管线系统设计	51
7.1 一般规定	51
7.2 内装系统	51
7.3 设备管线系统	52
8 模块单元生产及运输	54
8.1 一般规定	54
8.2 模块组装	55
8.3 成品检验	56

8.4 运输和成品保护	59
9 施工安装	61
9.1 一般规定	61
9.2 施工准备	61
9.3 模块安装	62
9.4 模块连接及混凝土浇筑	63
9.5 外围护及内装机电系统施工	65
10 质量验收	68
10.1 一般规定	68
10.2 进场验收	69
10.3 模块单元安装与连接	71
10.4 设备管线安装	74
10.5 饰面层接缝安装	75
10.6 实体检验	75
11 智能建造	77
12 使用及维护	78
附录 A 模块拼缝分析模型	79
附录 B 模块单元钢结构箱体检查表	80
本标准用词说明	82
条文说明	85
1 总则	88
2 术语和符号	89
4 材料	91
5 建筑设计	92
5.1 一般规定	92
5.2 平面、立面设计	92
5.3 建筑构造	92
6 结构设计	94
6.1 一般规定	94

6.2	结构分析	94
6.3	构件设计	95
6.4	节点设计	97
6.5	模块单元设计	97
6.6	耐火设计	97
7	内装设备管线系统	99
7.1	一般规定	99
7.2	内装系统	99
7.3	设备管线系统	99
8	模块单元生产及运输	100
8.1	一般规定	100
8.2	模块组装	100
8.3	成品检验	100
9	施工安装	102
9.1	一般规定	102
9.2	施工准备	102
9.3	模块安装	102
9.4	模块连接及混凝土浇筑	102
10	质量验收	102
10.1	一般规定	102
10.2	进场验收	103
10.3	模块单元安装与连接	103
附录 A	模块拼缝分析模型	105

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广州市住房和城乡建设局提出并归口。

本文件起草单位：中建科技集团有限公司、广州机场建设投资集团有限公司、广州安居集团有限公司、广州珠江实业集团有限公司、广州工业投资控股集团有限公司、广州市城市建设投资集团有限公司、广州市建设工程质量监督站、广州产投产业园投资发展集团有限公司、广州市工程勘察设计行业协会、广东省建筑设计研究院有限公司、深圳大学建筑设计研究院有限公司、广州市城市规划勘测设计研究院有限公司、广州市城市更新规划设计研究院有限公司、深圳深汕特别合作区中建科技有限公司、中建集成建筑智能制造(深圳)有限公司、广州市建筑科学研究院集团有限公司、华南理工大学建筑设计研究院有限公司、广州市设计院集团有限公司、广州珠江外资建筑设计院有限公司、广东省广建设计集团有限公司、广州市建设监理行业协会、广州市建筑集团有限公司、广东省建筑工程集团股份有限公司、中国建筑第四工程局有限公司、广州建筑工程监理有限公司、广州市广州工程建设监理有限公司、广州建筑产业研究院有限公司。

本文件主要起草人：XXXXXX

引 言

目前我国暂未钢-混凝土组合模块集成建筑体系的相关规范，为填补这方面的空白，规范钢-混凝土组合模块集成建筑体系的技术要求，在设计、生产、施工、使用与维护过程中做到安全耐久、功能适用、质量可靠、节能环保，编制本文件。

1 总则

1.0.1 为规范钢-混凝土组合模块集成建筑体系的技术要求，在设计、生产、施工、使用与维护过程中做到安全耐久、功能适用、质量可靠、节能环保，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于广州市地区、设计工作年限不超过 50 年的多层和高层钢-混凝土组合模块集成民用建筑的设计、生产、运输、施工、验收和使用维护，其它地区可参考采用。

1.0.3 钢-混凝土组合模块集成建筑除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业及地方现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 钢-混凝土组合模块集成建筑 steel-concrete composite modular integrated building

采用钢-混凝土组合模块结构，工厂完成模块钢结构、内外装修、机电管线的安装集成，现场进行模块安装与连接、混凝土浇筑、内外装修连接和设备管线连接的建筑，简称组合模块集成建筑。

2.1.2 钢-混凝土组合模块结构 steel-concrete composite modular structure

由钢-混凝土组合模块剪力墙与钢-混凝土组合模块连梁组成的剪力墙结构，简称组合模块结构。

2.1.3 钢-混凝土组合剪力墙 steel-concrete composite modular wall

由方钢管混凝土柱作为边缘构件、水平轻钢桁架和竖向钢筋作为钢筋骨架，和现场浇筑混凝土组合形成的剪力墙墙肢，简称组合剪力墙。

2.1.4 钢-混凝土组合模块连梁 steel-concrete composite modular beam

由槽型钢底板、水平轻钢桁架、箍筋及上部纵筋，和现场浇筑混凝土组合形成的连梁，简称组合连梁。

2.1.5 组合模块单元 composite modular unit

在工厂完成的空间六面体单元，包括钢结构骨架及永久模板、楼承板、临时支撑系统、填充墙和隔墙、内外装修及机电管线等，简称模块单元。

2.1.6 接口 gap

钢-混凝土组合模块集成建筑的组合模块单元之间，为安装内外装饰装修、设备管线系统及有关部品、部件所预留空隙的统称，该空隙也用以容纳模块单元之间各系统的生产和安装偏差。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

- A ——剪力墙截面总面积；
- A_a ——边缘构件方柱中受拉侧芯柱的钢管截面面积；
- A'_a ——边缘构件方柱中受压侧芯柱的钢管截面面积；
- A_{asl} ——墙底接缝处剪力墙端柱内插筋总面积，不包括边缘构件以外的两侧翼墙柱内插筋；
- A_c ——组合剪力墙截面中混凝土的面积；
- A_{cl} ——梁端截面楼板厚度范围内混凝土截面面积；
- A_d ——受拉梁底纵筋截面面积；
- A'_d ——受压梁底纵筋截面面积；
- A_r ——受拉梁顶钢筋截面面积之和；
- A'_r ——受压梁顶钢筋截面面积之和；
- A_{sl} ——剪力墙两端边缘构件外包钢管平行于墙体受剪平面的钢板截面总面积；
- A_s, A'_s ——剪力墙端柱拉、压侧钢管的截面面积；
- A_{sh} ——配置在同一竖向截面内的水平加劲桁架的有效截面面积之和；
- A_{sp} ——受拉梁底 C 形截面型钢截面面积；
- A'_{sp} ——受压梁底 C 形截面型钢截面面积；
- A_{spd} ——梁受拉区纵向 C 形截面型钢和纵筋的截面面积之和；
- A_{st} ——受拉梁顶水平加劲桁架的有效截面面积之和；
- A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积；
- A_{sw} ——墙肢腹板全部竖向分布钢筋的截面面积；
- A_{te} ——有效受拉混凝土截面面积；
- A_w ——剪力墙腹板的截面面积；
- A_{yd} ——垂直穿过结合面所有栓钉的截面面积；
- a_a ——墙边缘构件方柱中受拉侧芯柱钢管合力点至截面受拉边缘的距离；
- a'_a ——边缘构件方柱中受压侧芯柱钢管合力点至截面受压边缘的距离；
- a_d ——受拉梁底纵筋合力作用点到梁底受拉边缘的距离；
- a'_d ——受压梁底纵筋合力作用点到梁底受压边缘的距离；
- a_r ——受压梁顶钢筋合力点到梁截面受压边缘的距离；
- a'_r ——受压梁顶钢筋合力点到梁截面受压边缘的距离；

- a_{rst} ——受拉梁顶钢筋和梁顶水平加劲桁架的合力点到梁截面受拉边缘的距离；
- a_s ——边缘构件方柱受拉侧钢管合力点至截面受拉边缘的距离；
- a'_s ——剪力墙边缘构件方柱的受压侧钢管合力点至截面受压边缘的距离；
- a_{sp} ——受拉梁底 C 形截面型钢合力作用点到梁底受拉边缘的距离；
- a'_{sp} ——受压梁底 C 形截面型钢合力作用点到梁底受压边缘的距离；
- a_{spd} ——受拉梁底 C 形截面型钢和梁底纵筋的合力作用点到梁底受拉边缘的距离；
- a'_{spd} ——受压梁底 C 形截面型钢和梁底纵筋的合力作用点到梁底受压边缘的距离；
- a_{st} ——受拉梁顶水平加劲桁架合力点到梁截面受拉边缘的距离；
- b ——连梁截面宽度；
- b_f ——组合梁受拉翼缘的有效宽度；
- b_s ——墙肢截面宽度、墙边缘构件方柱的截面宽度或高度；
- c_s ——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区边缘的距离；
- d_{eq} ——受拉区纵向钢筋的等效直径；
- d_i ——受拉区第 i 种纵向钢筋的公称直径；
- e ——轴向力作用点到受拉侧钢管合力点的距离；
- e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距；
- h ——梁截面高度；
- h_0 ——梁截面的有效高度；
- h_f ——组合梁受拉翼缘的高度；
- h_{sw} ——墙肢腹板截面高度；
- h_w ——剪力墙截面高度；
- h_{wo} ——剪力墙截面有效高度；
- l_n ——组合连梁的净跨；
- s ——剪力墙水平加劲桁架的竖向间距；
- s' ——箍筋间距；
- x ——混凝土等效受压区高度。

2.2.2 设计计算参数

- α_l ——受压区混凝土压应力影响系数；
- α_{cr} ——构件受力特征系数；

α_{cv} ——斜截面混凝土受剪承载力系数；
 σ_E ——钢材弹性模量与混凝土弹性模量的比值；
 σ_a ——边缘构件方柱中受拉侧芯柱的钢管应力；
 σ_s ——边缘构件方柱受拉侧的钢管应力；
 β_l ——受压区混凝土应力图形影响系数；
 β_c ——混凝土强度影响系数；
 γ'_f ——受压翼缘截面面积与腹板有效截面面积的比值；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 ε_{cu} 正截面的混凝土极限压应变；
 θ ——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数；
 λ ——计算截面处的剪跨比；
 ρ ——组合梁截面受拉区的纵向 C 形截面型钢和纵筋面积之和的截面配筋率；
 ρ' ——组合梁截面受压区的纵向受压钢筋的截面配筋率；
 ρ_{te} ——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉 C 形截面型钢和纵筋面积之和的截面配筋率；
 σ_a ——边缘构件方柱中受拉侧芯柱的钢管应力；
 σ_c ——混凝土压应变为 ε_c 时的混凝土压应力（N/mm²）；
 σ_s ——边缘构件方柱受拉侧的钢管应力；
 Ψ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数；
 B ——组合梁的长期刚度；
 B_s ——组合梁按荷载准永久组合计算的钢筋混凝土受弯构件的短期刚度；
 E_a ——芯柱钢管的弹性模量；
 E_s ——钢材弹性模量；
 f_a 、 f'_a ——芯柱的抗拉和抗压强度设计值；
 f_{as} ——墙底接缝处剪力墙端柱内插筋的抗拉强度设计值；
 f'_{ap} ——梁底 C 形截面型钢抗压强度设计值；
 f_{aw} ——剪力墙墙肢腹板范围内竖向插筋的钢筋强度设计值；
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；
 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值；

f_d —— 受拉梁底纵筋抗拉强度设计值；

f_d' —— 受压梁底纵筋抗压强度设计值；

f_r' —— 受压梁顶钢筋抗压强度设计值；

f_s 、 f_s' —— 边缘构件方柱受拉、压侧的钢管抗压强度设计值；

f_{sh} —— 剪力墙水平加劲桁架抗拉强度设计值；

f_{sp} —— 梁底钢板钢材抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；

f_{sp}' —— 梁底 C 形截面型钢抗压强度设计值；

f_{st} —— 受拉梁顶水平加劲桁架的抗拉强度设计值；

f_{sw} —— 墙肢竖向分布钢筋强度设计值；

f_t —— 混凝土轴心受拉设计值；

f_t' —— 受压梁顶钢筋抗压强度设计值；

f_{tk} —— 混凝土轴心受拉强度标准值；

f_{yd} —— 栓钉抗拉强度设计值；

f_{yv} —— 箍筋抗拉强度设计值；

M —— 剪力墙弯矩设计值；

M_{aw} —— 剪力墙截面腹板布置的插筋合力对受拉芯柱钢管截面重心的力矩；

M_{bl} 、 M_{br} —— 分别为组合连梁左、右端截面顺时针或逆时针方向的弯矩设计值；

M_{qr} —— 荷载准永久组合作用下考虑弯矩调幅的支座截面负弯矩值；

M_q —— 按荷载的准永久组合计算的弯矩；

M_{sw} —— 竖向分布钢筋合力对受拉侧钢管截面重心的力矩；

M_{wu} —— 剪力墙受弯承载力；

N —— 重力荷载代表值作用下组合剪力墙的轴向压力设计值；

N_{0u} —— 剪力墙轴向受拉承载力；

N_{aw} —— 剪力墙截面腹板布置的插筋所承担的轴向力；

N_{sw} —— 竖向分布钢筋承担的轴向压力；

n —— 组合剪力墙的轴压比；

n_i —— 受拉区第 i 种纵向钢筋的根数；

V —— 墙截面的剪力设计值；

V_b —— 组合连梁的剪力设计值；

V_{cw} ——仅考虑墙截面混凝土部分承受的剪力设计值；

V_{Gb} ——在重力荷载代表值作用下按简支梁计算的梁端面剪力设计值；

V_u ——梁斜截面抗剪承载力；

V_{ud} ——梁端竖向接缝受剪承载力；

V_w ——组合剪力墙截面考虑地震作用组合的剪力计算值；

v_i ——受拉区第 i 种纵向钢筋的相对粘结特性系数。

3 基本规定

3.0.1 组合模块集成建筑应统筹建筑全寿命期的规划、设计、生产、运输、安装、验收、使用维护等环节，实现全过程协同。

3.0.2 组合模块集成建筑应对工厂生产和现场安装阶段的结构、外围护、装修及机电管线系统进行协同设计。

3.0.3 组合模块集成建筑设计应遵循“少规格、多组合”的原则，实现模块及附属部品部件的模数化、标准化、通用化。

3.0.4 组合模块集成建筑的模块单元之间、构件和部品部件之间的接口应满足构造合理、安全可靠、质量可控、实施便捷的要求，并应实现连接构造标准化。

3.0.5 生产制作组合模块单元的工厂应建立完善的生产质量管理体系。

3.0.6 组合模块集成建筑宜采用建筑信息模型（BIM）技术，实现设计、生产、施工、质量验收的信息交互和共享，实现建筑全过程一体化协同工作。

4 材料

4.0.1 主体结构用混凝土应满足下列要求：

1 混凝土强度等级根据结构承载力计算确定，且不应低于 C30，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定。

2 组合剪力墙采用自密实混凝土时，混凝土性能应符合现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T283 的规定；当采用普通混凝土时，混凝土骨料粒径不应大于 20mm，坍落度不应小于 180mm。

4.0.2 主体结构受力钢筋及其性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定。

4.0.3 主体结构钢材应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的有关规定。组合剪力墙中钢柱、组合连梁底板宜采用 Q355B 钢材，水平轻钢桁架可采用 Q355B 或 Q235B 钢材。

4.0.4 组合剪力墙端柱连接节点用灌浆料应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 的有关规定。

4.0.5 模块安装时，模块底板非结构受力区域宜采用强度不低于 M10 的水泥砂浆进行坐浆施工，结构构件底部采用的坐浆料性能应符合下列规定：

1 选用可塑性好的非流态细石混凝土，水胶比不大于 0.4，塌落度不大于 100mm。

2 坐浆强度等级应高于主体结构混凝土强度至少一个等级。

3 坐浆区域应分布在模块底板四周及中间部位，坐浆料铺设净距不宜大于 300mm，保证底板正常使用。

4.0.6 模块单元采用水泥纤维板作为永久模板时，水泥纤维板应符合下列规定：

1 水泥纤维板性能应符合现行行业标准《纤维水泥平板 第 1 部分：无石棉纤维水泥平板》JC/T 412.1 的有关规定，用于建筑物外表面时应选 A 类板，用于其他位置时应选用 B 类板，板材抗折强度不应低于 R2 级，抗冲击强度不应低于 C3 级。

2 连接用自攻钉或铆钉应符合现行国家标准《紧固件机械性能 不锈钢自攻螺钉》GB/T 3098.21 的有关规定，其硬度等级不应低于 40H，公称直径不应小于

4.8mm。

4.0.7 钢结构采用的防火板应为 A 级不燃性材料，并应具有具备资质的检测机构出具的板材燃烧性能检测报告等资料。

4.0.8 组合模块集成建筑的模块单元之间、构件和部品部件之间的接口用密封胶材料应符合现行行业标准《混凝土建筑接缝用密封胶》JC/T 881 及国家标准《建筑密封胶分级和要求》GB/T 22083 的有关规定。。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 组合模块集成建筑设计应与结构、设备、装修、智能化等各专业协同设计，并应符合现行国家标准《民用建筑设计统一标准》GB 50352 的有关规定。

5.1.2 组合模块集成建筑设计采用的模数系列应根据建筑功能、经济性原则和部品部件的标准化、通用化规格等条件综合确定，并应符合现行国家标准《建筑模数协调标准》GB/T 50002的有关规定。

5.1.3 组合模块集成建筑设计应功能合理，满足节能、防火、防水、隔声、疏散等要求，并应符合国家现行标准的有关规定。

5.1.4 组合模块集成建筑模块单元之间的接口处理应满足建筑防水、防潮、保温、隔音等性能要求。





5.2 平面、立面设计

5.2.1 组合模块单元的划分形式与尺寸，应根据其建筑功能、空间利用率、加工生产工艺、运输限制、吊装设备能力、现场施工安装条件等因素综合确定，并应符合下列规定：

- 1 宜优先采用矩形平面单元，局部采用L型平面单元作为补充；
- 2 模块单元的高度总尺寸不宜小于2.8m，不宜大于4m；
- 3 模块单元的短边总尺寸不宜小于1.8m，不宜大于4m；
- 4 模块单元的长边总尺寸不宜小于2.4m，不宜大于12m；
- 5 模块尺寸变化高度方向模数宜取1M，长宽方向宜取1/2M。

5.2.2 模块单元宜采用以下4种基本平面形式（表5.2.2），并通过基本形式的组合满足不同面积和各种功能类型的平面布局需求：

表5.2.2 标准模块分类表

模块类型	双侧短边开口模块	双侧长边开口模块	单侧开口模块	矩形封闭模块
模块平面				

注：粗实线示意为结构墙体（包含墙肢与连梁），虚线示意为非承重隔墙或临时支撑；

5.2.3 组合模块集成建筑的平面设计应符合下列规定：

- 1 建筑平面设计宜简洁、规则，模块划分形状宜规整，不宜采用转角窗；

2 模块平面划分宜与建筑空间划分协调统一，宜协同考虑机电、装修工厂集成安装可行性；

3 上下层模块平面划分宜对应一致，且应满足结构竖向构件连续性的要求；

4 楼梯间、电梯间、卫生间、厨房、设备管井等具有特定功能且设备、管线密集区域，或有完整性防水要求的功能区域，不宜跨模块单元布置。

5 建筑平面设计时应考虑相邻模块单元之间结构、装饰装修和设备管线连接构造的可行性，模块间管线接口宜集中设置。

5.2.4 组合模块集成建筑的立面设计应符合下列规定：

1 立面设计宜与模块组合与建造方式协调，宜体现模块化建筑的风格特点，并应符合建设地区的气候环境特点。

2 立面分格尺寸和拼缝位置应与模块尺寸、拼缝位置相协调。

3 立面设计应充分考虑模块单元间接口处的偏差，采用建筑视觉技术及构造措施对接口处单独设计，进行弱化、遮蔽或美化处理。

5.2.5 首层模块单元底面应高出室外地面不少于100mm，应对外露于室外的钢结构部分进行防火、防水及防腐设计。

5.3 建筑构造

5.3.1 组合模块集成建筑内保温系统应结合装修做法，实现保温、装饰和管线一体化设计，并宜在工厂内完成。

5.3.2 组合模块集成建筑的外墙饰面宜选用装饰板、干挂幕墙、涂料、面砖等做法，并应符合下列要求：

1 当采用装饰板或干挂幕墙体系时，外饰面宜在工厂完成；锚固件或龙骨挂件应与基层墙体上预留的连接埋件可靠连接；

2 当外墙饰面采用涂料时，除最外一道饰面，其余部分宜在工厂完成。

3 当外墙饰面采用面砖时，宜在现场完成贴砖作业，且不宜用于超高层建筑。

5.3.3 模块单元接口位置的内保温及饰面、防水等可在现场完成，并应与工厂完成部分采用一致的构造做法。

5.3.4 组合模块集成建筑模块外墙防水应符合以下要求：

1 外墙防水材料宜选用聚合物水泥防水涂料等柔性防水材料，外墙防水不应少于一道。

2 外墙基层墙体应进行界面处理，各构造层之间应粘结牢固。

3 突出墙面的腰线、檐板、窗台应做不小于5%的向外排水坡，下部应做滴水。

4 穿过外墙的洞口应内高外低，坡度不小于5%，或采取其他防雨水倒灌的措施。

5 穿过外墙的管道宜采用套管，套管应内高外低，坡度不应小于5%，套管周边应作防水密封处理。

6 女儿墙压顶应向内找坡，坡度不小于5%。

7 模块外墙门窗窗框宜在工厂预装，并与外墙洞口形成完整的防水处理。

8 建筑外墙的接缝及门窗洞口等防水薄弱部位设计应采用材料防水和构造防水相结合的做法，并应符合现行广东省标准《建筑防水工程技术规程》

DBJ/T15-19的有关规定。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 组合模块集成建筑的结构设计，本标准未做规定的，应按国家现行标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011和《组合结构设计规范》JGJ 138等的有关规定执行。

6.1.2 标准设防类和重点设防类组合模块结构的最大适用高度应符合表6.1.2的规定。平面和竖向布置不规则的结构，最大适用高度宜适当降低。

表6.1.2 组合模块结构的最大适用高度 (m)

结构体系	6度	7度 (0.1g)
全部落地剪力墙	140	120
部分框支剪力墙	120	100

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面的高度，不包括局部突出屋顶的部分。

2 抗震设防烈度为6度至7度的特殊设防类高层民用建筑组合模块结构的最大适用高度，宜提高1度后查表。

3 超过表内高度的建筑，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

6.1.3 组合模块结构的高宽比不宜大于6。

6.1.4 组合模块结构的平面布置和竖向布置应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3的相关规定，当建筑布置不规则时，应按国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的相关规定进行结构抗震性能化设计。

6.1.5 组合模块结构应根据抗震设防类别、烈度和房屋高度采取不同的抗震等级，并满足相应的计算和构造措施要求。丙类建筑组合模块结构的抗震等级应按表6.1.5确定。

表6.1.5 丙类建筑组合模块结构的抗震等级

设防烈度	6		7		
	≤80	>80	≤24	>24 且≤80	>80
抗震等级	四	三	四	三	二

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

6.1.6 组合模块结构抗震等级的确定，尚应符合下列要求：

1 甲乙类建筑应按本地设防烈度提高一度后按表6.1.6确定其抗震等级。

2 房屋的高度超过本规范表6.1.2规定的上界时,应采取比一级更有效的抗震构造措施。

3 地下室、裙房、及模块下部框支转换层的抗震等级应按照《建筑抗震设计标准》GB/T 50011相关规定。

6.1.7 组合模块结构体系与结构布置应符合下列规定:

1 地面以下部分宜采用现浇混凝土结构。

2 地上标准层应采用组合模块结构。

3 局部大空间可采用组合梁楼盖。

4 层高较大、平面布置不规则、电梯间和楼梯间等区域可采用现浇钢筋混凝土剪力墙或现浇组合剪力墙结构。

6.1.8 组合模块结构整体计算中,当地下室顶板作为上部结构嵌固部位时,地下一层与地上一层侧向刚度比不宜小于2。

6.1.9 组合模块结构中,组合剪力墙和连梁的布置应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3中关于剪力墙结构的相关规定,并应符合以下要求:

1 底部加强部位范围应符合国家现行标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定,剪力墙底部加强区可采用组合模块结构。

2 不应全部采用短肢组合剪力墙。当采用具有较多短肢组合剪力墙的结构时,在规定的水平地震作用下,短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不宜大于结构底部总地震倾覆力矩的50%。

3 在规定的水平地震作用下,截面高度与截面宽度之比小于4的一字型独立墙肢承受的地震倾覆力矩不应大于结构总地震倾覆力矩的10%。

注:1、短肢剪力墙是指截面厚度不大于300mm、且各肢截面长度与厚度之比的最大值大于4但不大于8的剪力墙;2、具有较多短肢剪力墙的组合剪力墙结构是指在规定的水平地震作用下,短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不小于结构底部总地震倾覆力矩的30%的组合剪力墙结构。

6.2 结构分析

6.2.1 组合模块结构的荷载及荷载组合应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的有关规定。

6.2.2 组合模块结构应根据施工和使用的实际情况进行各受力状况下的结构分析。地震设计状况下,应进行多遇地震作用下的内力和变形分析,高层建筑宜补

充罕遇地震作用下的变形分析。

6.2.3 重力、风荷载、多遇地震及设防地震作用下的结构计算，宜采用弹性分析方法；罕遇地震作用下的结构计算，宜采用基于弹塑性模型的时程分析法。

6.2.4 结构弹性计算时，宜考虑钢筋混凝土楼板对组合连梁刚度和承载力的影响。组合连梁受压区有效翼缘计算宽度取值应符合国家现行标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010的有关规定。也可采用组合连梁刚度增大系数法近似考虑，组合连梁刚度增大系数可根据翼缘情况取1.3~2.0。

6.2.5 结构地震作用效应计算时，可对组合连梁刚度乘以折减系数，折减系数不宜小于0.5。

6.2.6 计算各振型地震影响系数所采用的结构自振周期，应考虑非承重填充墙体的刚度影响乘以折减。当非承重墙体为填充轻质砌块、填充轻质墙板时，可乘以自振周期折减系数，折减系数可取0.8~1.0。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。

6.2.7 模块在运输、吊装等短暂设计状况下的施工验算，应将其自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。模块运输、吊装工况下，动力系数宜取1.5。模块在储存、安装过程中进行就位、临时固定时，动力系数可取1.2。当有可靠经验时，动力系数可根据实际受力情况和安全要求适当增减。模块混凝土浇筑阶段，混凝土侧压力及施工荷载应符合现行国家标准《混凝土结构工程规范》GB50666的要求。

6.2.8 按弹性方法计算的风荷载或多遇地震标准值作用下的楼层层间最大水平位移与该层层高之比 $\Delta\mu/h$ 不宜大于1/1000。

6.2.9 在罕遇地震标准值作用下，组合模块结构的薄弱层或薄弱部位的弹塑性层间位移不应大于层高的1/120。

6.2.10 结构弹性计算模型应能准确反映结构刚度和质量分布以及各构件的受力状况，并宜符合下列规定：

1 组合剪力墙墙肢的模拟采用以下方式：

- 1) 墙肢两端的钢管混凝土柱采用线单元模拟，截面采用钢管混凝土柱截面；
- 2) 墙身采用壳单元模拟，截面按实际情况采用混凝土墙墙肢或钢板组合剪力墙。

- 2 组合连梁采用梁单元模拟，截面采用混凝土梁截面。
- 3 楼面梁采用线单元模拟。
- 4 模块之间的拼缝连接可按照位移连续假定进行模拟，忽略其滑移变形。
- 5 楼屋面板按照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3的相关规定，采用刚性楼板假定或弹性楼板假定。
- 6 结构整体建模时，可适当考虑永久模板对结构抗侧刚度的影响。

6.2.11 一级抗震等级组合底部加强部位以上部位剪力墙墙肢的组合弯矩设计值应乘以1.2的增大系数。

6.2.12 组合剪力墙墙肢截面，考虑地震作用组合的剪力设计值，应符合下列规定：

1 底部加强部位的剪力设计值应符合下列规定：

一级抗震等级

$$V = 1.6V_w \quad (6.2.12-1)$$

二级抗震等级

$$V = 1.4V_w \quad (6.2.12-2)$$

三级抗震等级

$$V = 1.2V_w \quad (6.2.12-3)$$

四级抗震等级

$$V = V_w \quad (6.2.12-4)$$

2 其他部位的剪力设计值应符合下列规定：

一级抗震等级

$$V = 1.3V_w \quad (6.2.12-5)$$

二、三、四级抗震等级

$$V = V_w \quad (6.2.12-6)$$

式 中： V —— 组合剪力墙墙肢截面考虑地震作用组合的剪力设计值；

V_w —— 组合剪力墙墙肢截面考虑地震作用组合的剪力计算值。

6.2.13 抗震设计时，短肢剪力墙墙肢的设计应符合下列规定：

- 1 短肢剪力墙墙肢在两端应设置钢管混凝土柱边缘构件。
- 2 短肢剪力墙墙肢的底部加强部位应按6.2.12条调整剪力设计值，其他各层

一、二、三级时剪力设计值分别乘以增大系数1.4、1.2和1.1。

3 不宜采用独立一字形短肢剪力墙墙肢，不宜在一字形短肢剪力墙墙肢上布置平面外与之相交的单侧楼面梁。

6.2.14 组合连梁的剪力设计值，应符合下列规定：

一级抗震等级

$$V_b = 1.3 \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.2.14-1)$$

二级抗震等级

$$V_b = 1.2 \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.2.14-2)$$

三级抗震等级

$$V_b = 1.1 \frac{(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.2.14-3)$$

四级抗震等级，取地震作用组合下的剪力设计值。

公式（6.2.14-1）~（6.2.14-3）中的 M_b^l 与 M_b^r 之和，应分别按顺时针和逆时针方向进行计算，并取其较大值。

式中： V_b —— 组合连梁的剪力设计值；

M_b^l 、 M_b^r —— 分别为梁左、右端截面顺时针或逆时针方向的弯矩设计值；

l_n —— 组合连梁的净跨；

V_{Gb} —— 在重力荷载代表值作用下按简支梁计算的梁端面剪力设计值。

6.2.15 在重力荷载代表值作用下，组合剪力墙墙肢的轴压比应按下式计算，且不宜超过表 6.2.15 的限值。

$$\mu = \frac{N}{f_c A_c + f_s' A_{sa}} \quad (6.2.15-1)$$

式中： μ —— 组合剪力墙墙肢的轴压比；

N —— 重力荷载代表值作用下组合剪力墙墙肢的轴向压力设计值；

A_c —— 组合剪力墙墙肢截面中混凝土的面积；

f'_s ——墙肢内方钢管的抗压强度设计值；

A'_{sa} ——墙肢内所有方钢管的总截面面积，包括端柱和中间柱。

表 6.2.15 组合剪力墙墙肢轴压比限值

抗震等级	一级	二、三级
轴压比限值	0.5	0.6

注：剪力墙的翼墙长度小于翼墙厚度的3倍或端柱截面边长小于2倍墙厚时，按无翼墙、无端柱考虑，此时的墙肢视为一字墙；

6.2.16 结构弹塑性计算模型宜符合下列规定：

1 组合剪力墙墙肢的模拟宜符合下列规定：

- 1) 墙肢两端的钢管混凝土柱采用线单元模拟，截面采用钢管混凝土柱截面。
- 2) 墙身采用壳单元模拟，截面按实际情况采用混凝土墙墙肢或钢板组合剪力墙墙肢，加劲桁架可按强度等效为水平分布钢筋。

2 组合连梁宜采用弹塑性分层壳单元模拟，底部钢板可按强度等效为纵向钢筋。

3 楼面梁和柱宜采用非线性纤维线单元模拟。

4 拼缝模拟宜采用以下方式：

- 1) 上、下层模块之间以及模块与现浇层之间的水平接缝按照连续模拟。
- 2) 模块之间竖向拼缝，宜按实际构造，采用非线性连接单元模拟。
- 3) 非线性连接单元的属性可根据试验及仿真分析结果确定，典型连接构造的连接单元属性见附录A。

6.2.17 混凝土材料和钢材的本构模型宜按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010、《钢结构设计标准》GB 50017确定。

6.2.18 进行结构弹塑性时程分析时，应符合下列要求：

1 地震波的有效持续时间不少于30s。

2 在对应于结构主要振型的周期点上，地震波平均地震影响系数曲线上的平均地震影响系数值与振型分解反应谱法所用的地震影响系数曲线上的地震影响系数值相比，相差不大于20%。此款可索引抗规

3 每条时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的65%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的80%。

6.2.19 罕遇地震作用下进行结构弹塑性计算时结构的初始阻尼比可取0.05；多遇地震作用下结构的阻尼比可取0.04。

6.3 构件设计

6.3.1 组合剪力墙墙肢的厚度宜为180mm、200mm、220mm和250mm，并应符合墙体稳定验算要求。

6.3.2 在组合剪力墙的墙肢两端、洞口两侧、墙肢截面高度超过4m时的墙肢中部均应设置方钢管混凝土柱，方钢管截面边长同墙厚，截面尺寸宜为180mm×180mm×4mm、200mm×200mm×4mm、220mm×220mm×5mm、250mm×250mm×5mm。

6.3.3 组合剪力墙的墙肢构造应符合以下规定：

- 1 墙肢中方钢管混凝土柱之间间距大于200mm时：
 - 1) 方钢管之间应设置水平加劲桁架，水平加劲桁架沿墙肢竖向均匀分布，间距宜为200mm；在墙肢顶部和底部应各设置一道水平加劲桁架；水平加劲桁架宜为槽型，壁厚不应小于1.5mm；水平加劲桁架与墙肢端部方钢管混凝土柱应采用焊接等强连接（图6.3.3-1）；
 - 2) 墙身应设置双排竖向分布钢筋，间距宜为200mm，直径不应小于8mm。
- 2 当墙肢内两个方钢管混凝土柱间距不大于200mm时：
 - 1) 当两个方钢管混凝土柱相临时，可将两个方钢管混凝土柱合并，可采用“方管与C型钢组合”的截面形式，也可采用“方管与方管组合”的截面形式（图6.3.3-2）。
 - 2) 当两个方钢管混凝土柱之间的净距不超过200mm时，两柱之间可采用C型钢板连接，钢板厚度不宜小于2mm，墙肢不设置水平加劲桁架及竖向分布筋（图6.3.3-3）。C型钢板与方钢管混凝土柱应采用焊接连接，焊接应符合现行行业标准《钢结构焊接规范》GB50661的相关要求。
- 3 在墙肢两侧应设置永久模板，并应与水平加劲桁架及方钢管可靠连接。

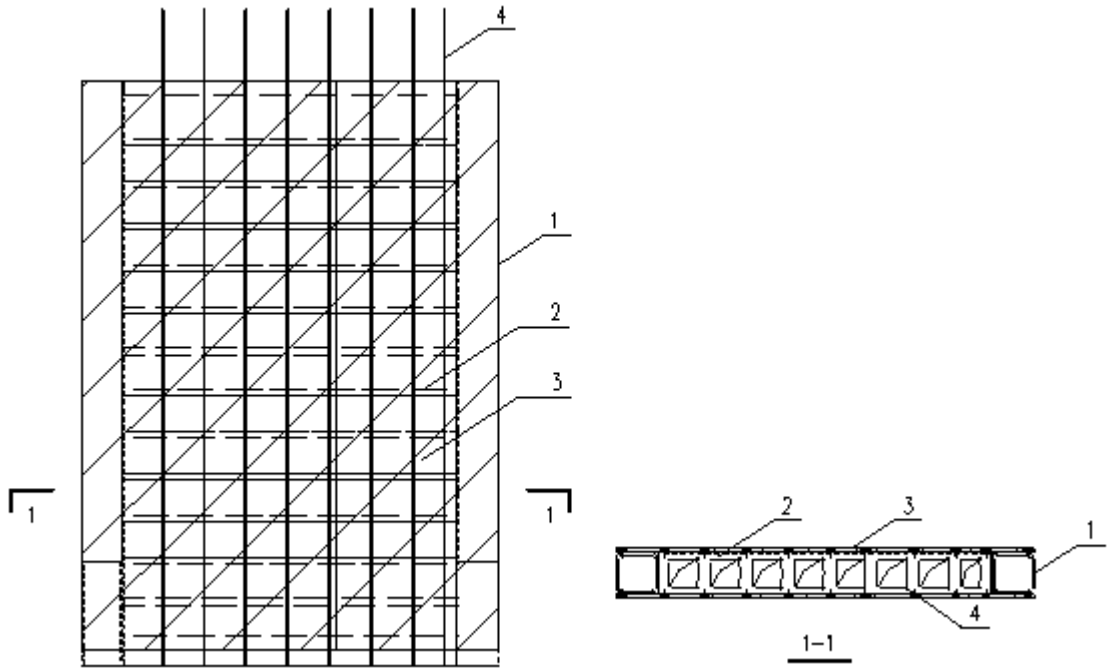
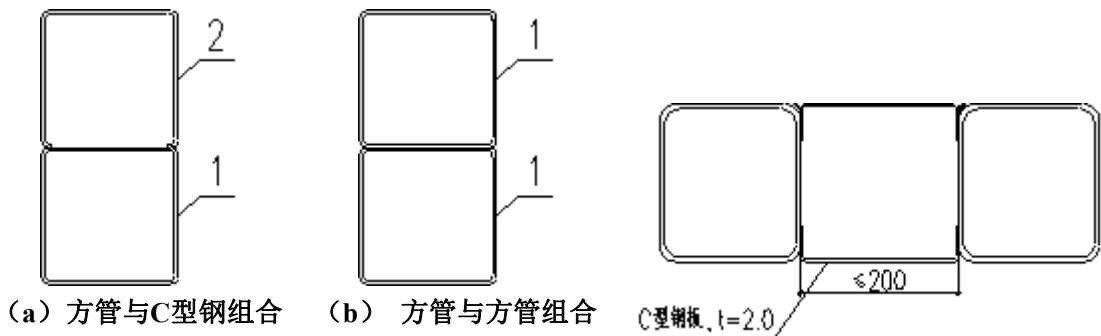


图6.3.3-1 典型组合剪力墙墙肢构件示意图

1—方钢管混凝土柱；2—水平加劲桁架；3—永久模板；4—竖向分布钢筋



(a) 方管与C型钢组合 (b) 方管与方管组合

图6.3.3-2 并柱截面形式

图6.3.3-3 C型钢板与柱连接形式

1—方管；2—C型钢

6.3.4 采用短肢剪力墙时，墙肢竖向钢管的含钢率不应低于 1.5%；方钢管混凝土柱截面面积占墙肢总截面面积的比率不应小于 20%。

6.3.5 组合连梁的构造（图 6.3.5）应符合下列规定：

- 1 组合连梁截面宽度应与剪力墙墙肢厚度相同。
- 2 梁底应设置底部钢板，且厚度不应小于4mm；可按照截面承载力要求在底部钢板之上增设纵筋。
- 3 在连梁上部楼板底标高处应设置水平加劲桁架。
- 4 梁内相邻水平加劲桁架的间距、最下层水平加劲桁架与梁底钢板的间距，

均不宜大于300mm。

5 连梁顶部应设置纵筋。

6 连梁内应设置箍筋，箍筋间距宜为100mm，箍筋底部应与梁底钢板焊接，并应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18的相关规定。

7 在连梁两侧应设置永久模板，并与底部钢板、水平加劲桁架可靠连接。

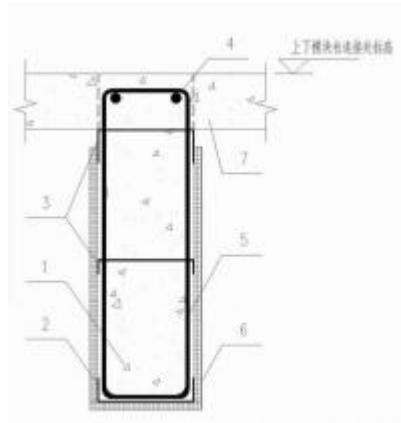


图6.3.5 组合连梁构造图

1—组合连梁；2—梁底C型钢板；3—水平加劲桁架；4—梁顶纵筋；5—箍筋；6—永久模板；
7—楼板

6.3.6 墙身及连梁两侧的永久模板应满足生产、运输和施工阶段各工况下的受力要求，但不参与结构正常使用期间受力。

6.3.7 楼板宜采用免拆底模的钢筋桁架楼承板，免拆底模可采用水泥纤维板、UHPC等材料，并应满足现行协会标准《钢筋桁架楼承板应用技术规程》T/CECS 1069的要求。

6.3.8 组合剪力墙墙肢应进行平面内的斜截面受剪、偏心受压或受拉、平面外轴心受压承载力验算；组合连梁应进行平面内的斜截面受剪、正截面受弯承载力验算，以及挠度和负弯矩区混凝土裂缝宽度验算。

6.3.9 组合剪力墙墙肢与连梁的正截面承载力按下列基本假定进行计算：

- 1 截面应变保持平面。
- 2 不计入混凝土的抗拉强度。
- 3 混凝土受压的应力与应变关系按下列规定取用：

1) 当 $\varepsilon_c \leq \varepsilon_0$ 时

$$\sigma_c = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^n \right] \quad (6.3.9-1)$$

2) 当 $\varepsilon_0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$ 时

$$\sigma_c = f_c \quad (6.3.9-2)$$

$$n = 2 - \frac{1}{60}(f_{cu,k} - 50), n \leq 2 \quad (6.3.9-3)$$

$$\varepsilon_0 = 0.002 + 0.5 \times (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (6.3.9-4)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (6.3.9-5)$$

式中: ε_c ——混凝土压应变;

ε_0 ——混凝土压应力达到 f_c 时的混凝土压应变, 当计算的 ε_0 值小于 0.002 时, 取 0.002;

σ_c ——混凝土压应变为 ε_c 时的混凝土压应力;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值, 按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定取值;

n ——系数, 当计算的 n 值大于 2.0 时, 取 2.0;

ε_{cu} ——正截面的混凝土极限压应变, 当处于非均匀受压且按公式 (6.3.9-5) 计算的值大于 0.0033 时, 取为 0.0033; 当处于轴心受压时, 取为 ε_0 ;

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值, 按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 取值。

4 受弯及偏心受力时, 受压区混凝土的应力图形简化为等效矩形应力图, 并遵照下列原则:

1) 矩形应力图的受压区高度 (x) 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 0.8; 当混凝土强度等级为 C80 时, β_1 取 0.74; 当混凝土强度等级高于 C50 且低于 C80 时, β_1 按线性内插法确定;

2) 矩形应力图的应力值可由混凝土轴心抗压强度设计值 (f_c) 乘以系数 (α_1) 确定, 当混凝土强度不超过 C50 时, α_1 取 1.0; 当混凝土强度等级为 C80 时, α_1 取 0.94; 当混凝土强度等级高于 C50 且低于 C80 时, α_1 按线性内插法确定。

5 钢材的极限拉应变取 0.01。钢管、钢筋和钢板的应力等于钢管、钢筋和钢

板的应变与弹性模量的乘积，绝对值不大于相应的强度设计值。

6 对组合剪力墙墙肢的承载力进行验算时，不考虑钢管约束混凝土的有利作用。

7 连梁在正弯矩作用下，需考虑底部钢板和梁底纵筋的受拉作用。

6.3.10 偏心受压组合剪力墙墙肢正截面受压承载力应符合下列规定（图 6.3.10）：

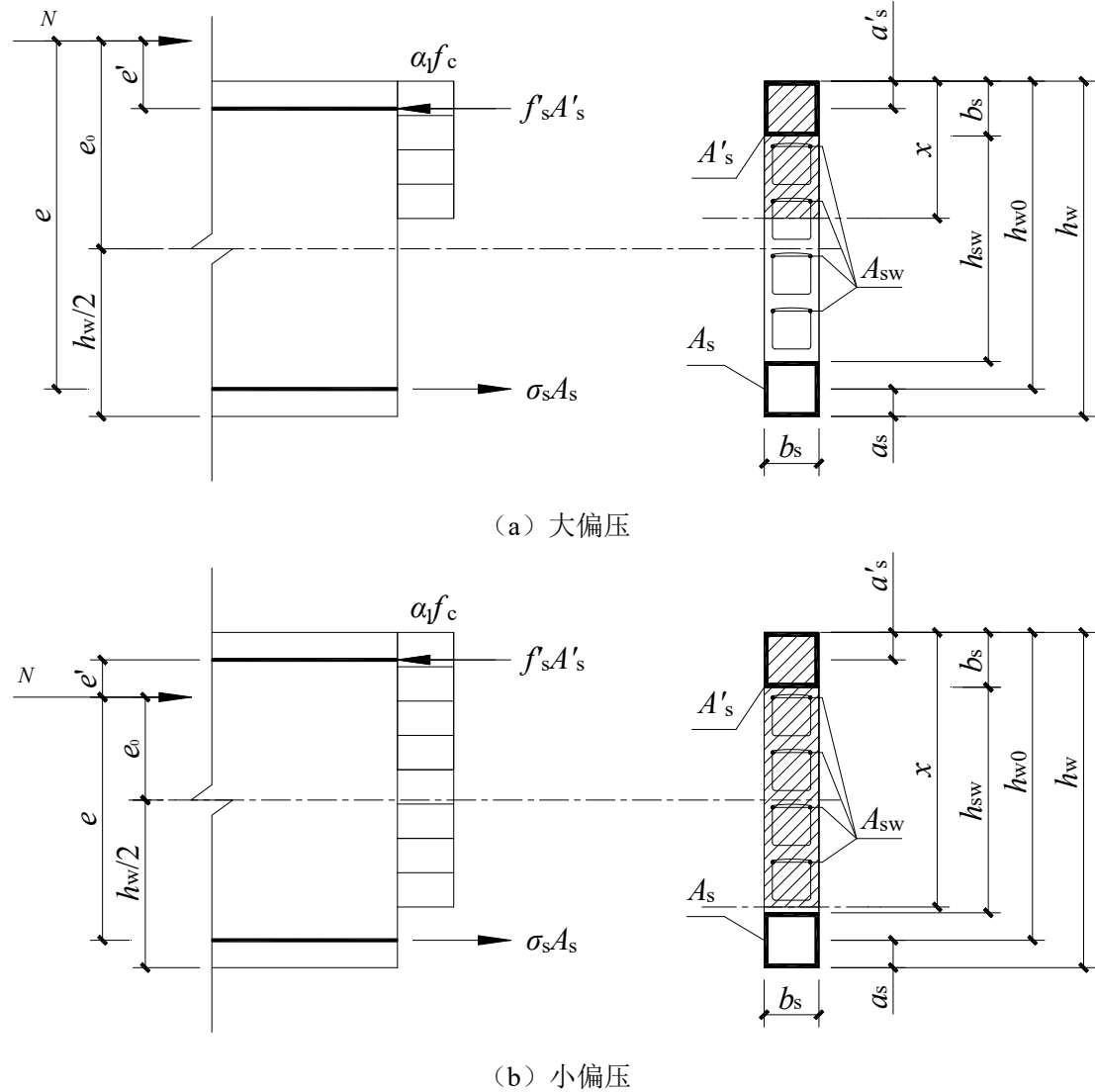


图6.3.10 组合剪力墙墙肢正截面受压承载力计算参数示意

1 持久、短暂设计状况

$$N \cdot \alpha_1 f_c x b_s + f'_s A'_s - \sigma_s A_s + N_{sw} \quad (6.3.10-1)$$

$$Ne \cdot \alpha_1 f_c x b_s \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f'_s A'_s (h_{w0} - a'_s) + M_{sw} \quad (6.3.10-2)$$

2 地震设计状况

$$N \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} (\alpha_1 f_c x b_s + f_s' A_s' - \sigma_s A_s + N_{sw}) \quad (6.3.10-3)$$

$$Ne \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\alpha_1 f_c x b_s \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f_s' A_s' (h_{w0} - a_s') + M_{sw} \right] \quad (6.3.10-4)$$

$$e = e_0 + \frac{h_w}{2} - a_s \quad (6.3.10-5)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (6.3.10-6)$$

$$h_{w0} = h_w - a_s \quad (6.3.10-7)$$

3 N_{sw} 、 M_{sw} 应按下列公式计算：

1) 当 $x \leq \beta_1 h_{w0}$ 时，

$$N_{sw} = \left(1 + \frac{x - \beta_1 h_{w0}}{0.5 \beta_1 h_{sw}} \right) f_{sw} A_{sw} \quad (6.3.10-8)$$

$$M_{sw} = \left[0.5 - \left(\frac{x - \beta_1 h_{w0}}{\beta_1 h_{sw}} \right)^2 \right] f_{sw} A_{sw} h_{sw} \quad (6.3.10-9)$$

2) 当 $x > \beta_1 h_{w0}$ 时，

$$N_{sw} = f_{sw} A_{sw} \quad (6.3.10-10)$$

$$M_{sw} = 0.5 f_{sw} A_{sw} h_{sw} \quad (6.3.10-11)$$

4 在钢管变截面处，受拉侧钢管应力可按下列规定计算：

1) 当 $x \leq \xi_b h_{w0}$ 时，（大偏压）

$$\sigma_s = f_s \quad (6.3.10-12)$$

2) 当 $x > \xi_b h_{w0}$ 时，（小偏压）

$$\sigma_s = \frac{f_s}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{h_{w0}} - \beta_1 \right) \quad (6.3.10-13)$$

3) ξ_b 可按下列公式计算：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_s}{E_s \varepsilon_{cu}}} \quad (6.3.10-14)$$

5 当 $x < 2a_s'$ 时，受压区钢管不屈服，反向对受压区方钢管形心取距；混凝土形心的力臂较小，则相应的弯矩忽略；计算如下：

1) 持久、短暂设计状况

$$Ne' \leq f_s A_s (h_{w0} - a'_s) + f_{sw} A_{sw} \left(\frac{h_w}{2} - a'_s \right) \quad (6.3.10-15)$$

2) 地震设计状况

$$Ne' \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[f_s A_s (h_{w0} - a'_s) + f_{sw} A_{sw} \left(\frac{h_w}{2} - a'_s \right) \right] \quad (6.3.10-16)$$

$$e' = \left| e_0 - \left(\frac{h_w}{2} - a'_s \right) \right| \quad (6.3.10-17)$$

- 式中：
- M ——剪力墙墙肢弯矩设计值；
 - N ——与剪力墙墙肢弯矩设计值 M 相对应的轴向压力设计值；
 - α_1 ——系数，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定取值：矩形应力图的应力值可由混凝土轴心抗压强度设计值 (f_c) 乘以系数(α_1)确定，当混凝土强度不超过 C50 时， α_1 取 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时， α_1 取 0.94；当混凝土强度等级高于 C50 且低于 C80 时， α_1 按线性内插法确定；
 - x ——受压区高度；
 - b_s ——墙肢截面宽度、墙边缘构件方柱的截面宽度或高度；
 - f'_s ——边缘构件方柱受压侧的钢管抗压强度设计值；
 - A'_s ——边缘构件方柱受压侧的钢管截面面积；
 - σ_s ——边缘构件方柱受拉侧的钢管应力；
 - A_s ——边缘构件方柱受拉侧的钢管截面面积；
 - N_{sw} ——竖向分布钢筋承担的轴向压力；
 - e ——轴向力作用点到受拉侧钢管合力点的距离；
 - h_{w0} ——剪力墙墙肢截面有效高度；
 - a'_s ——剪力墙墙肢边缘构件方柱的受压侧钢管合力点至截面受压边缘的距离；
 - M_{sw} ——竖向分布钢筋合力对受拉侧钢管截面重心的力矩；
 - γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，剪力墙墙肢偏心受压计算时取 0.85；
 - e_0 ——轴向压力对截面重心的偏心距；
 - h_w ——剪力墙墙肢截面高度；

a_s —— 边缘构件方柱受拉侧钢管合力点至截面受拉边缘的距离；
 β_1 —— 系数，按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定取值：矩形应力图的受压区高度（ x ）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 0.8；当混凝土强度等级为 C80 时， β_1 取 0.74；当混凝土强度等级高于 C50 且低于 C80 时， β_1 按线性内插法确定；
 f_{sw} —— 墙肢竖向分布钢筋强度设计值；
 A_{sw} —— 墙肢腹板全部竖向分布钢筋的截面面积；
 h_{sw} —— 墙肢腹板截面高度；
 f_s —— 边缘构件方柱的钢管抗拉强度设计值；
 ζ_b —— 相对界限受压区高度；
 E_s —— 边缘构件方柱的钢管弹性模量，取 $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ；
 e' —— 轴向压力作用点到受压侧钢管合力点的距离。

6.3.11 对称配筋的偏心受拉构件，不论大、小偏心受拉情况，组合剪力墙墙肢正截面受拉承载力应符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况

$$N \cdot \frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \quad (6.3.11-1)$$

2 地震设计状况

$$N \cdot \frac{1}{\gamma_{RE} \left(\frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \right)} \quad (6.3.11-2)$$

3 N_{0u} 、 M_{wu} 应按下列公式计算

$$N_{0u} = f_s A_s + f'_s A'_s + f_{sw} A_{sw} \quad (6.3.11-3)$$

$$M_{wu} = f_s A_s (h_{w0} - a'_s) + f_{sw} A_{sw} \left(\frac{h_{w0} - a'_s}{2} \right) \quad (6.3.11-4)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (6.3.11-5)$$

式中： N —— 剪力墙墙肢轴向拉力设计值；
 e_0 —— 剪力墙墙肢轴向拉力对截面重心的偏心距；
 N_{0u} —— 剪力墙墙肢轴向受拉承载力；
 M_{wu} —— 剪力墙墙肢受弯承载力；
 γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数，剪力墙墙肢偏拉计算时取 0.85。

6.3.12 组合剪力墙墙肢的受剪截面应符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V_{cw} \leq 0.25\beta_c f_c b_s h_{w0} \quad (6.3.12-1)$$

$$V_{cw} = V - \frac{0.4}{\lambda} f_s A_{s1} \quad (6.3.12-2)$$

2 地震设计状况

1) 当剪跨比大于 2.5 时

$$V_{cw} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.20\beta_c f_c b_s h_{w0} \quad (6.3.12-3)$$

2) 当剪跨比不大于 2.5 时

$$V_{cw} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.15\beta_c f_c b_s h_{w0} \quad (6.3.12-4)$$

3) V_{cw} 应按下列式计算

$$V_{cw} = V - \frac{0.32}{\lambda} f_s A_{s1} \quad (6.3.12-5)$$

式中： V —— 墙肢截面的剪力设计值；
 V_{cw} —— 仅考虑墙肢截面混凝土部分承受的剪力设计值；
 β_c —— 混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 $\beta_c=1.0$ ；当混凝土强度等级为 C80 时，取为 $\beta_c=0.8$ ；其间接线性内插法确定；
 λ —— 计算截面处的剪跨比 $\lambda = M_c / V_c h_{w0}$ ，其中 M_c 、 V_c 为同一组合的、未按本规程有关规定调整的墙肢截面弯矩、剪力计算值，并取墙肢上、下端截面计算的剪跨比的较大值；
 γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数，受剪计算时取 0.85；

A_{s1} —— 剪力墙一端边缘构件所配方钢管的截面面积, 当两端所配方钢管截面面积不同时, 取较小一端的面积。

6.3.13 组合剪力墙的斜截面受剪承载力应符合下列公式的规定:

1 偏心受压组合剪力墙, 其斜截面受剪承载力应符合下列公式的规定:

1) 持久、短暂设计状况

$$V \cdot \frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.5 f_t b_s h_{w0} + 0.13 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.4}{\lambda} f_s A_{s1} \quad (6.3.13-1)$$

2) 地震设计状况

$$V \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.4 f_t b_s h_{w0} + 0.1 N \frac{A_w}{A} \right) + 0.8 f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.32}{\lambda} f_s A_{s1} \right] \quad (6.3.13-2)$$

式中: f_t —— 混凝土轴心受拉设计值;

λ —— 计算截面处的剪跨比 $\lambda = M_c / V_c h_{w0}$, 其中 M_c 、 V_c 为同一组合的、未按本规程有关规定调整的墙肢截面弯矩、剪力计算值, 并取墙肢上、下端截面计算的剪跨比的较大值; 当 $\lambda < 1.5$ 时, $\lambda = 1.5$, 当 $\lambda > 2.2$ 时, 取 $\lambda = 2.2$;

N —— 剪力墙墙肢轴向压力设计值, 当 $N > 0.2 f_c b_s h_w$ 时, 取 $N = 0.2 f_c b_s h_w$;

A —— 剪力墙墙肢截面总面积;

A_w —— 剪力墙墙肢腹板的截面面积, 对矩形截面剪力墙墙肢应取 $A_w = A$;

f_{sh} —— 剪力墙水平加劲桁架抗拉强度设计值;

A_{sh} —— 配置在同一竖向截面内的水平加劲桁架的有效截面面积之和;

s —— 剪力墙水平加劲桁架的竖向间距。

当 h_{w0} 大于层高时, 式 (6.3.13-1)、(6.3.13-2) 中的水平加劲桁架项 $f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s}$ 、

$0.8 f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s}$ 中的 h_{w0} 取为层高。

2 偏心受拉组合剪力墙墙肢, 其斜截面受剪承载力应符合下列公式的规定:

1) 持久、短暂设计状况

$$V \cdot \frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.5 f_t b_s h_{w0} - 0.13 N \frac{A_w}{A} \right) + f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.4}{\lambda} f_s A_{s1} \quad (6.3.13-3)$$

当上式右端计算值小于 $f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.4}{\lambda} f_s A_{s1}$ 时，应取等于 $f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.4}{\lambda} f_s A_{s1}$ 。

2) 地震设计状况

$$V \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.4 f_t b_s h_{w0} - 0.1 N \frac{A_w}{A} \right) + 0.8 f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.32}{\lambda} f_s A_{s1} \right] \quad (6.3.13-4)$$

当上式右端的计算值小于 $\frac{1}{\gamma_{RE}} \left(0.8 f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.32}{\lambda} f_s A_{s1} \right)$ 时，应取等于 $\frac{1}{\gamma_{RE}} \left(0.8 f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s} + \frac{0.32}{\lambda} f_s A_{s1} \right)$ 。

式中： N ——剪力墙墙肢的轴向拉力设计值。

当 h_{w0} 大于层高时，式 (6.3.13-3)、(6.3.13-4) 中的水平加劲桁架项 $f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s}$ 、 $0.8 f_{sh} A_{sh} \frac{h_{w0}}{s}$ 中的 h_{w0} 取为层高。

6.3.14 组合剪力墙的平面外轴心受压承载力应符合下列规定：

$$N_{out} \leq 0.9 \varphi (f_c A_c + f'_s A'_{sa} + f_{sw} A_{sw}) \quad (6.3.14-1)$$

$$\varphi = \left[1 + 0.002 \left(\frac{l_0}{b_s} - 8 \right)^2 \right]^{-1} \quad (6.3.14-2)$$

式中： N_{out} ——组合剪力墙墙肢平面外轴向压力设计值；

φ ——组合剪力墙墙肢的稳定系数；

l_0 ——构件的计算长度。

6.3.15 当中和轴在混凝土板内时，组合连梁在正弯矩作用下的正截面受弯承载力应符合下列公式的规定（图 6.3.15）：

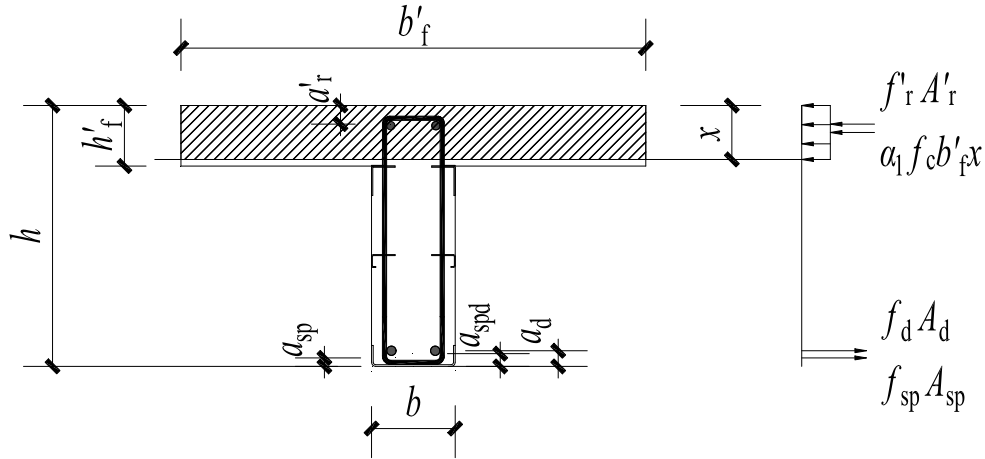


图6.3.15 中和轴位于混凝土板内时连梁受弯承载力计算参数示意图

1 持久、短暂设计状况

$$M \leq \alpha_1 f_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_r A'_r (h_0 - a'_r) \quad (6.3.15-1)$$

$$f_{sp} A_{sp} + f_d A_d - f'_r A'_r = \alpha_1 f_c b'_f x \quad (6.3.15-2)$$

$$x \leq \xi_b h_0 \quad (6.3.15-3)$$

$$h_0 = h - a_{spd} \quad (6.3.15-4)$$

$$x \geq 2a'_r \quad (6.3.15-5)$$

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_{sp} + f_d}{2E_s \varepsilon_{cu}}} \quad (6.3.15-6)$$

2 地震设计状况

$$M \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\alpha_1 f_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_r A'_r (h_0 - a'_r) \right] \quad (6.3.15-7)$$

3 当 $x < 2a'_r$ 时，受压区钢筋不屈服，反向对梁顶钢筋形心取距；混凝土形心的力臂较小，则相应的弯矩忽略；计算如下：

1) 持久、短暂设计状况

$$M \leq f_{sp} A_{sp} (h - a_{sp} - a'_r) + f_d A_d (h - a_d - a'_r) \quad (6.3.15-8)$$

2) 地震设计状况

$$M \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[f_{sp} A_{sp} (h - a_{sp} - a'_r) + f_d A_d (h - a_d - a'_r) \right] \quad (6.3.15-9)$$

- 式中：
- M —— 梁弯矩设计值；
 - b'_f —— 受压区混凝土翼缘板计算宽度，参考现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的有关规定取值；对钢筋桁架楼承板楼盖，宜考虑楼板作为翼缘对梁刚度和承载力的影响。
 - x —— 梁截面混凝土等效受压区高度；
 - h_0 —— 梁截面有效高度；
 - f'_r —— 受压梁顶钢筋抗压强度设计值；
 - A'_r —— 受压梁顶钢筋截面面积之和；
 - a'_r —— 受压梁顶钢筋合力点到梁截面受压边缘的距离；
 - f_{sp} —— 受拉梁底 C 形截面型钢抗拉强度设计值；
 - A_{sp} —— 受拉梁底 C 形截面型钢截面面积；
 - f_d —— 受拉梁底纵筋抗拉强度设计值；
 - A_d —— 受拉梁底纵筋截面面积；
 - h —— 梁截面高度；
 - a_{spd} —— 受拉梁底 C 形截面型钢和梁底纵筋的合力作用点到梁底受拉边缘的距离；
 - E_s —— 梁 C 形截面型钢或钢筋的弹性模量，取 $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ；
 - γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数，梁受弯计算时取 0.75；
 - a_{sp} —— 受拉梁底 C 形截面型钢合力作用点到梁底受拉边缘的距离；
 - a_d —— 受拉梁底纵筋合力作用点到梁底受拉边缘的距离；

6.3.16 当中和轴位于腹板内时，组合连梁在正弯矩作用下的正截面受弯承载力应符合下列公式的规定（图 6.3.16）：

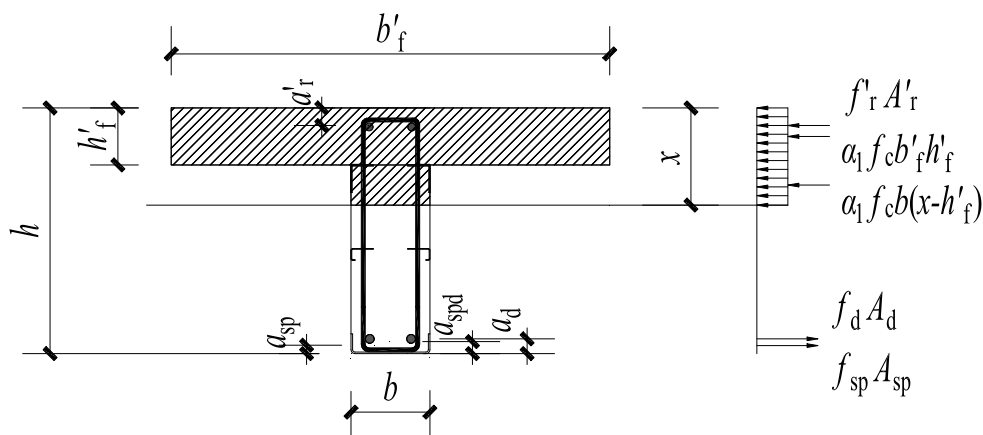


图6.3.16 中和轴位于腹板内时连梁受弯承载力计算参数示意图

1 持久、短暂设计状况

$$M \cdot \alpha_1 f_c b'_f h'_f \left(x - \frac{h'_f}{2} \right) + \frac{1}{2} \alpha_1 f_c b (x - h'_f)^2 + f'_r A'_r (x - a'_r) + f_{sp} A_{sp} (h - x - a_{sp}) + f_d A_d (h - x - a_d) \quad (6.3.16-1)$$

$$f_{sp} A_{sp} + f_d A_d = \alpha_1 f_c b'_f h'_f + \alpha_1 f_c b (x - h'_f) + f'_r A'_r \quad (6.3.16-2)$$

2 地震设计状况

$$M \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\alpha_1 f_c b'_f h'_f \left(x - \frac{h'_f}{2} \right) + \frac{1}{2} \alpha_1 f_c b (x - h'_f)^2 + f'_r A'_r (x - a'_r) + f_{sp} A_{sp} (h - x - a_{sp}) + f_d A_d (h - x - a_d) \right] \quad (6.3.16-3)$$

其中 x 需要满足式 (6.3.16-3) 和 (6.3.16-5) 的要求。当 $x < 2a'_r$ 时, 按式 (6.3.16-8) 和 (6.3.16-9) 计算。

式中: h'_f —— 梁受压区翼缘板混凝土厚度, 当为压型钢板组合楼板时, 不计入压型钢板肋的高度; 当梁两侧翼缘 (楼板) 厚度不同时, 取较小楼板厚度计算翼缘部分面积;

b —— 梁截面宽度。

6.3.17 组合连梁在负弯矩作用下的正截面受弯承载力应符合下列公式的规定 (图 6.3.17):

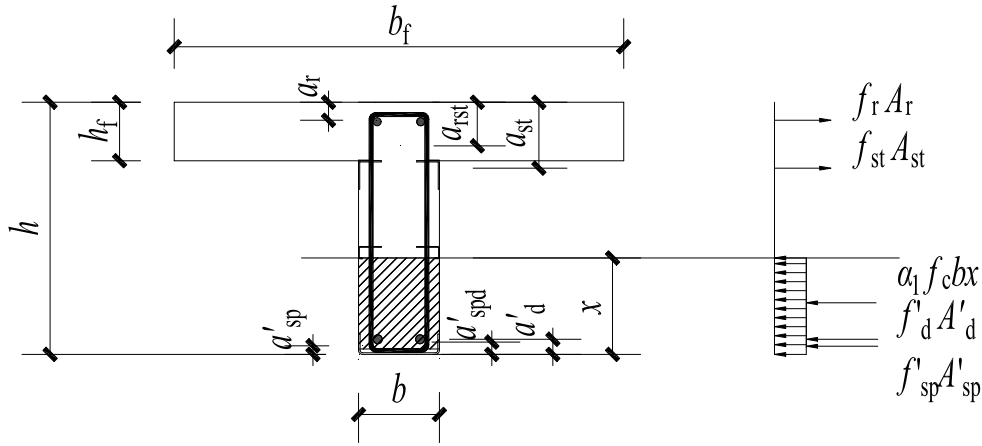


图6.3.17 负弯矩作用下连梁受弯承载力计算参数示意图

1 持久、短暂设计状况

$$M \cdot f_r A_r \left(h - \frac{x}{2} - a_r \right) + f_{st} A_{st} \left(h - \frac{x}{2} - a_{st} \right) + f'_{sp} A'_{sp} \left(\frac{x}{2} - a'_{sp} \right) + f'_d A'_d \left(\frac{x}{2} - a'_d \right) \quad (6.3.17-1)$$

$$f'_{sp} A'_{sp} + f'_d A'_d + \alpha_1 f_c b x = f_r A_r + f_{st} A_{st} \quad (6.3.17-2)$$

$$x \cdot \xi_b (h - a_{rst}) \quad (6.3.17-3)$$

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_r + f_{st}}{2E_s \varepsilon_{cu}}} \quad (6.3.17-4)$$

2 地震设计状况

$$M \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[f_r A_r \left(h - \frac{x}{2} - a_r \right) + f_{st} A_{st} \left(h - \frac{x}{2} - a_{st} \right) + f'_{sp} A'_{sp} \left(\frac{x}{2} - a'_{sp} \right) + f'_d A'_d \left(\frac{x}{2} - a'_d \right) \right] \quad (6.3.17-5)$$

3 连梁在负弯矩作用下，当按本规程公式（6.3.17-2）计算的 x 小于或等于 0 时，正截面受弯承载力应符合下式规定：

1) 持久、短暂设计状况

$$M \cdot f_r A_r (h - a'_{spd} - a_r) + f_{st} A_{st} (h - a'_{spd} - a_{st}) \quad (6.3.17-6)$$

2) 地震设计状况

$$M \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[f_r A_r (h - a'_{spd} - a_r) + f_{st} A_{st} (h - a'_{spd} - a_{st}) \right] \quad (6.3.17-7)$$

式中： f_r ——受拉梁顶钢筋抗拉强度设计值；

A_r ——受拉梁顶钢筋截面面积之和；

a_r ——受拉梁顶钢筋合力点到梁截面受拉边缘的距离；
 f_{st} ——受拉梁顶水平加劲桁架的抗拉强度设计值；
 A_{st} ——受拉梁顶水平加劲桁架的有效截面面积之和；
 a_{st} ——受拉梁顶水平加劲桁架合力点到梁截面受拉边缘的距离；
 f'_{sp} ——梁底 C 形截面型钢抗压强度设计值；
 A'_{sp} ——受压梁底 C 形截面型钢截面面积；
 a'_{sp} ——受压梁底 C 形截面型钢合力作用点到梁底受压边缘的距离；
 f'_d ——受压梁底纵筋抗压强度设计值；
 A'_d ——受压梁底纵筋截面面积；
 a'_d ——受压梁底纵筋合力作用点到梁底受压边缘的距离；
 a_{rst} ——受拉梁顶钢筋和梁顶水平加劲桁架的合力点到梁截面受拉边缘的距离；
 a'_{spd} ——受压梁底 C 形截面型钢和梁底纵筋的合力作用点到梁底受压边缘的距离。

6.3.18 组合连梁的受剪截面应符合下列规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \cdot 0.25 \beta_c f_c b (h - a_{spd}) \quad (6.3.18-1)$$

2 地震设计状况

$$\text{跨高比大于 2.5 时, } V \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[0.20 \beta_c f_c b (h - a_{spd}) \right] \quad (6.3.18-2)$$

$$\text{跨高比不大于 2.5 时, } V \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[0.15 \beta_c f_c b (h - a_{spd}) \right] \quad (6.3.18-3)$$

式中： V ——调整后连梁截面剪力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，受剪计算时取 0.85。

6.3.19 组合连梁的斜截面受剪承载力应符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况

$$V \cdot \alpha_{cv} f_t b (h - a_{spd}) + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s'} (h - a_{spd}) \quad (6.3.19-1)$$

2 地震设计状况

跨高比大于 2.5

$$V \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[0.6\alpha_{cv}f_t b(h-a_{spd}) + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s'}(h-a_{spd}) \right] \quad (6.3.19-2)$$

跨高比不大于 2.5

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[0.9 \times 0.6\alpha_{cv}f_t b(h-a_{spd}) + 0.9f_{yv} \frac{A_{sv}}{s'}(h-a_{spd}) \right] \quad (6.3.19-3)$$

式中： α_{cv} ——斜截面混凝土受剪承载力系数，对于普通的受弯构件取 0.7，对集中荷载作用下（包括作用有多种荷载，其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力的 75% 以上的情况）的独立梁，取 α_{cv} 为 $\frac{1.75}{\lambda+1}$ ， λ 为计算截面的剪跨比，可

取 $\lambda = a/(h-a_{spd})$ ，当 λ 小于 1.5 时取 1.5，当 λ 大于 3 时取 3， a 取集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离；

f_t ——连梁混凝土轴心抗拉强度设计值（N/mm²）。

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值；

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积；

s' ——箍筋间距。

6.3.20 组合连梁的挠度计算应符合下列规定：

- 1 应按荷载的准永久组合并考虑长期作用的影响进行计算；
- 2 可按照结构力学方法进行挠度计算；
- 3 计算时可假定各同号弯矩区段内的刚度相等，并取用该区段内最大弯矩处的刚度；
- 4 短期刚度和考虑荷载长期作用影响的刚度，可按下列公式计算：

$$B_s = \frac{E_s A_{spd} h_0^2}{1.15\psi + 0.2 + \frac{6\alpha_E \rho}{1 + 3.5\gamma_f'}} \quad (6.3.20-1)$$

$$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_s} \quad (6.3.20-2)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_{spd}}{A_{te}} \quad (6.3.20-3)$$

$$\sigma_s = \frac{M_q}{0.87h_0 A_{\text{spd}}} \quad (6.3.20-4)$$

$$\gamma'_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh_0} \quad (6.3.20-5)$$

$$B = \frac{B_s}{\theta} \quad (6.3.20-6)$$

$$\theta = 2.0 - 0.4 \frac{\rho'}{\rho} \quad (6.3.20-7)$$

- 式中：
- B_s —— 组合梁按荷载准永久组合计算的钢筋混凝土受弯构件的短期刚度；
 - A_{spd} —— 梁受拉区纵向 C 形截面型钢和纵筋的截面面积之和，取 $A_{\text{sp}} + A_{\text{d}}$ ；
 - ψ —— 裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数：小于 0.2 时取 0.2；大于 1.0 时取 1.0；
 - α_E —— 钢材弹性模量与混凝土弹性模量的比值，即 E_s/E_c ， E_c 为混凝土弹性模量；
 - ρ —— 组合梁截面受拉区的纵向 C 形截面型钢和纵筋面积之和的截面配筋率，取为 $A_{\text{spd}}/(bh_0)$ ；
 - γ'_f —— 受拉翼缘截面面积与腹板有效截面面积的比值；
 - f_{tk} —— 混凝土轴心受拉强度标准值；
 - ρ_{te} —— 按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉 C 形截面型钢和纵筋面积之和的截面配筋率；在最大裂缝宽度计算中，当 $\rho_{\text{te}} < 0.01$ 时，取 $= 0.01$ ；
 - σ_s —— 按荷载准永久组合计算的组合梁纵向受拉普通型钢或钢筋应力；
 - A_{te} —— 有效受拉混凝土截面面积：对受弯构件，取 $A_{\text{te}} = 0.5bh$ ；
 - M_q —— 按荷载的准永久组合计算的弯矩，取计算区段内的最大弯矩值；
 - B —— 组合梁的长期刚度；
 - θ —— 考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数；

ρ' —— 组合梁截面受压区的纵向受压钢筋的截面配筋率， $A'_r/(bh_0)$ 。

6.3.21 组合梁负弯矩区混凝土，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：

$$w_{\max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_s}{E_s} (1.9c_s + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}}) \quad (6.3.21-1)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{qr}}{0.87(h - a_r) A_r} \quad (6.3.21-2)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_r}{0.5bh + (b_f - b)h_f} \quad (6.3.21-3)$$

$$d_{eq} = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i v_i d_i} \quad (6.3.21-4)$$

式中： α_{cr} —— 构件受力特征系数，取 1.9；

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；

M_{qr} —— 荷载准永久组合作用下考虑弯矩调幅的支座截面负弯矩值；

b_f —— 组合梁受拉翼缘的有效宽度；

h_f —— 组合梁受拉翼缘的高度；

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；

v_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。

6.4 节点及接缝设计

6.4.1 上下层模块之间对应的钢管柱之间宜通过芯柱灌浆节点进行连接，并应满足以下要求（图6.4.1）：

- 1 上下层柱之间应设置芯柱，截面形式宜为方钢管。
- 2 芯柱宜与下柱顶部通过节点板焊接连接，并应满足等强连接要求。
- 3 芯柱与上柱底部宜采用灌浆连接形式；灌浆连接区段，芯柱外侧与钢管内侧之间净距不应小于40mm；芯柱外侧及外柱内侧应设置抗剪键。

4 节点受拉时，破坏模式应为灌浆连接区段外的芯柱或钢管发生受拉屈服，灌浆连接区段不应发生混凝土开裂及芯柱拔出；灌浆连接节点的具体构造形式应经过试验验证。

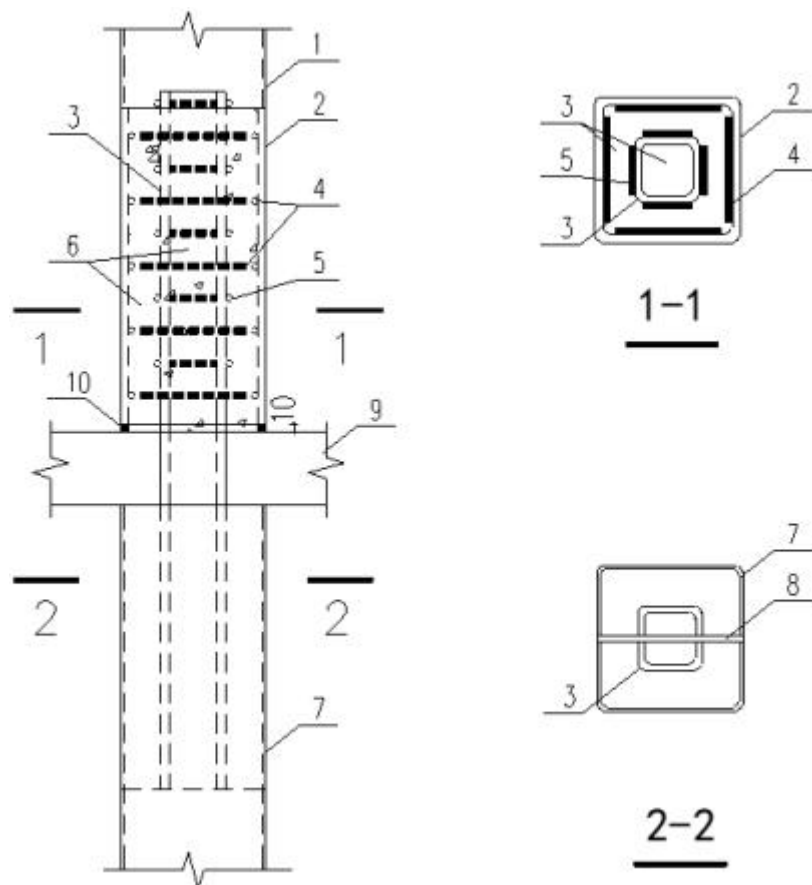


图6.4.1 上、下层模块钢管混凝土柱连接构造

- 1—上层模块柱钢管；2—柱根连接节点加厚外筒；3—芯柱；4—钢管内侧抗剪钢筋；
5—芯柱外侧抗剪钢筋；6—高强灌浆料；7—下层模块柱钢管；8—连接板；9—楼板；
10—封仓砂浆

6.4.2 上层模块钢管柱与下层混凝土结构之间可采用插筋锚固连接（图6.4.2），插筋数量及规格应按照与钢管柱抗拉强度等强的原则确定，插筋在下层混凝土结构中应可靠锚固，在上层钢管柱内锚固长度不应小于 $1.2l_{aE}$ ，锚固区段的钢管壁内侧应设置抗剪措施。

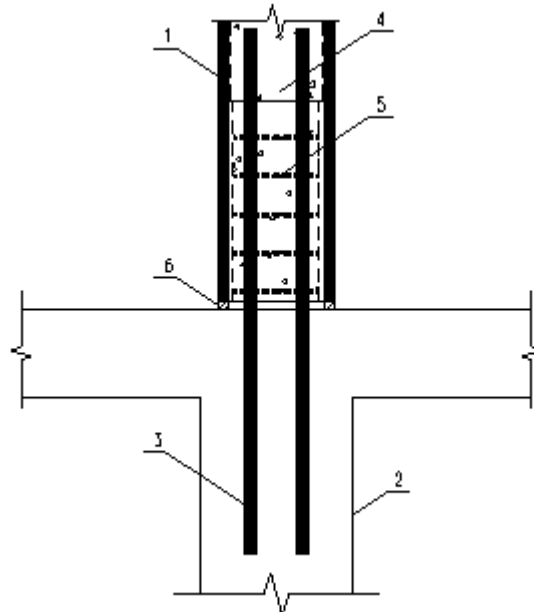


图6.4.2 模块柱与混凝土结构之间钢筋锚固连接构造

- 1—上层模块钢管柱；2—下层现浇混凝土结构；3—插筋；4—灌浆料；
5—钢管内侧抗剪措施；6—坐浆层

6.4.3 上、下相邻模块组合剪力墙墙肢之间，以及上层组合剪力墙肢与下层现浇混凝土结构之间进行封仓处理，墙肢通过竖向插筋进行连接，下层墙肢向上伸出的插筋宜为倒U形，插筋应满足锚固长度 $1.2l_{ae}$ 的要求（图6.4.3）。插筋规格应根据水平接缝受剪、受弯计算结果确定，且不应小于墙肢竖向钢筋数量。

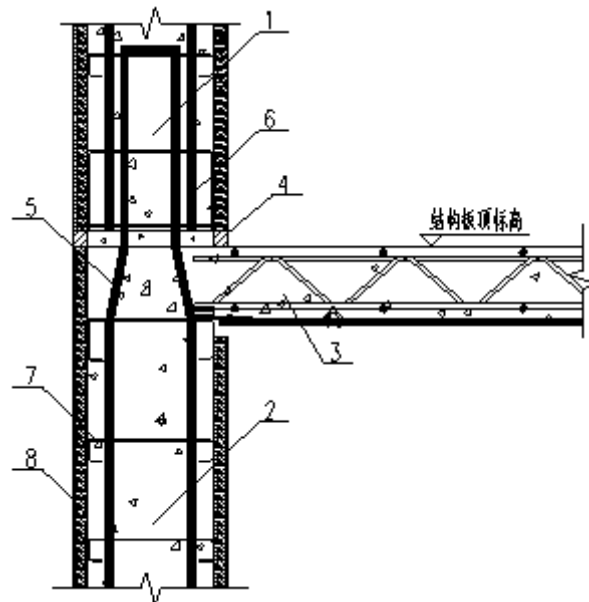


图6.4.3 模块水平接缝连接构造

- 1—上层模块墙肢；2—下层模块墙肢；3—模块结构楼板；4—封仓砂浆；5—插筋；
6—竖向分布钢筋；7—水平加劲桁架；8—永久模板

6.4.4 同层相邻模块之间的竖向拼缝构造措施（图6.4.4），应符合下列规定：

1 竖向拼缝宽度不应小于40mm。

2 拼缝两侧钢管混凝土柱侧壁应间隔开设洞口，洞口宽度不小于60mm，高度不小于100mm，洞口沿柱高方向净距不大于100mm。

3 拼缝内应设置环形连接钢筋，环形连接钢筋插入钢柱侧壁洞口内，且在混凝土内锚固长度不应小于80mm；环形连接钢筋直径不小于10mm，间距不大于200mm，且应避开柱底及柱顶的芯柱连接区域。

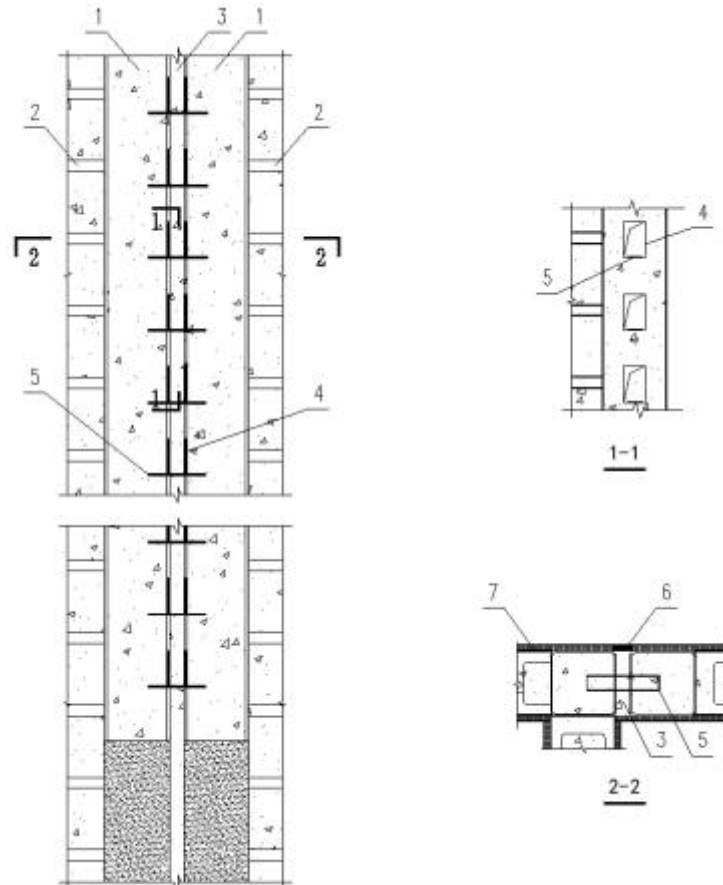


图6.4.4 模块竖向接缝连接构造

1-钢管混凝土柱；2-水平加劲桁架；3-模块间竖向拼缝；4-钢管侧壁孔洞；5-环形连接钢筋；6-施工临时封堵；7-水泥纤维板

6.4.5 组合连梁与组合剪力墙墙肢的连接构造措施，应符合下列规定（图6.4.5）：

1 梁顶纵筋锚固于组合剪力墙墙肢内，钢筋锚固长度应满足抗震锚固长度要求。

2 梁内水平加劲桁架应与墙端钢管柱焊接连接。

3 应梁高范围内，墙端钢管柱侧面设置抗剪栓钉，栓钉数量应根据计算确定。

4 梁底钢板与钢管柱采用单面贴板加强连接，加强钢板厚度不宜小于8mm，

宽度不宜小于100mm；加强钢板与钢管柱角焊缝连接，与梁底钢板等强连接。

5 梁底纵向钢筋应根据计算需要设置，并伸入墙体内锚固。

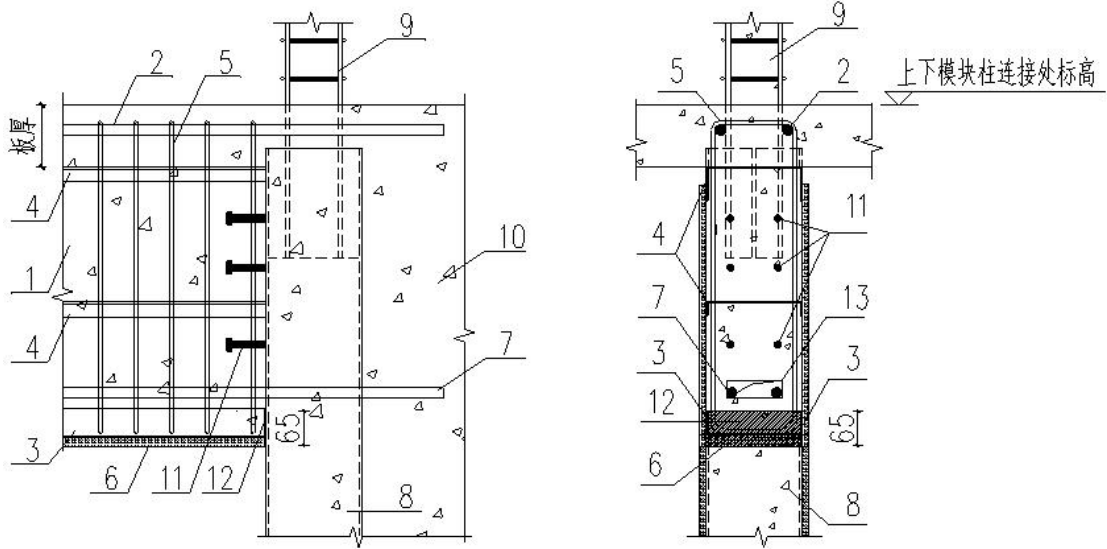


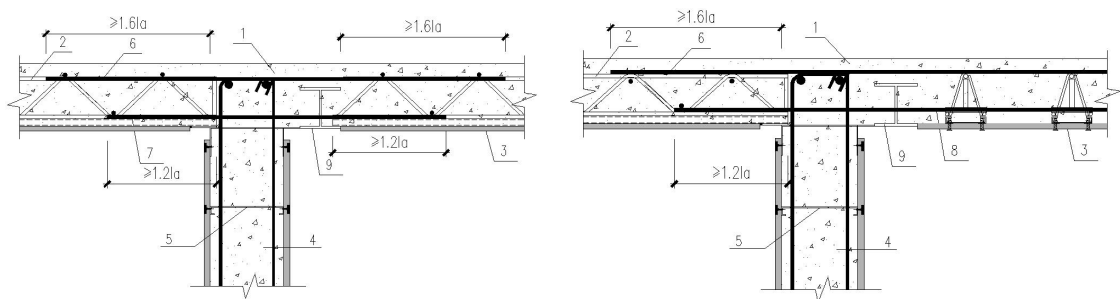
图6.4.5 组合连梁与钢管混凝土柱连接构造

1—连梁；2—梁顶纵筋；3—梁底钢板；4—加劲桁架；5—箍筋；6—防火板；

7—梁底附加纵筋；8—钢管混凝土柱；9—芯柱；10—钢管混凝土柱或墙身；

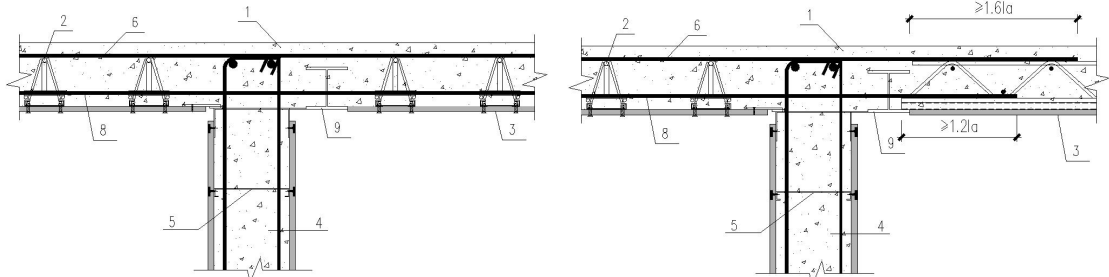
11—抗剪栓钉；12—加强钢板；13—钢管侧壁开洞

6.4.6 采用免拆底模的钢筋桁架楼承板时，楼板上部钢筋应在支座内贯通或可靠锚固；下部钢筋应通过附加搭接钢筋在支座内贯通，或者伸入支座不小于5倍钢筋直径且至少到梁中心线位置，楼板连中间支座节点做法可按图 6.4.6-1，楼板边支座节点做法可按图 6.4.6-2。



(a) 楼板中间支座连接节点一

(b) 楼板中间支座连接节点二

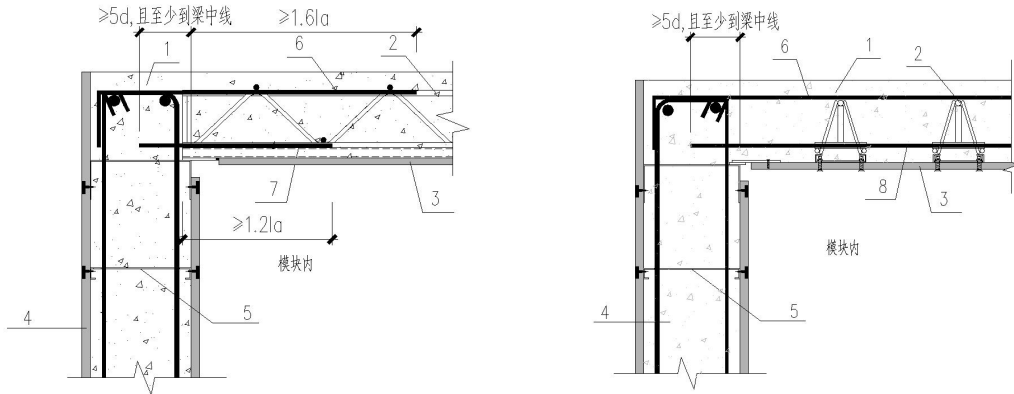


(c) 楼板中间支座连接节点三

(d) 楼板中间支座连接节点四

图6.4.6-1 楼板连接处的中间支座节点

1—楼板混凝土；2—钢筋桁架；3—楼板永久模板；4—组合墙肢或连梁；5—组合墙肢或连梁水平加劲桁架；6—楼板板顶钢筋；7—支座板底连接钢筋；8—楼板板底钢筋；9—模块顶板临时顶梁



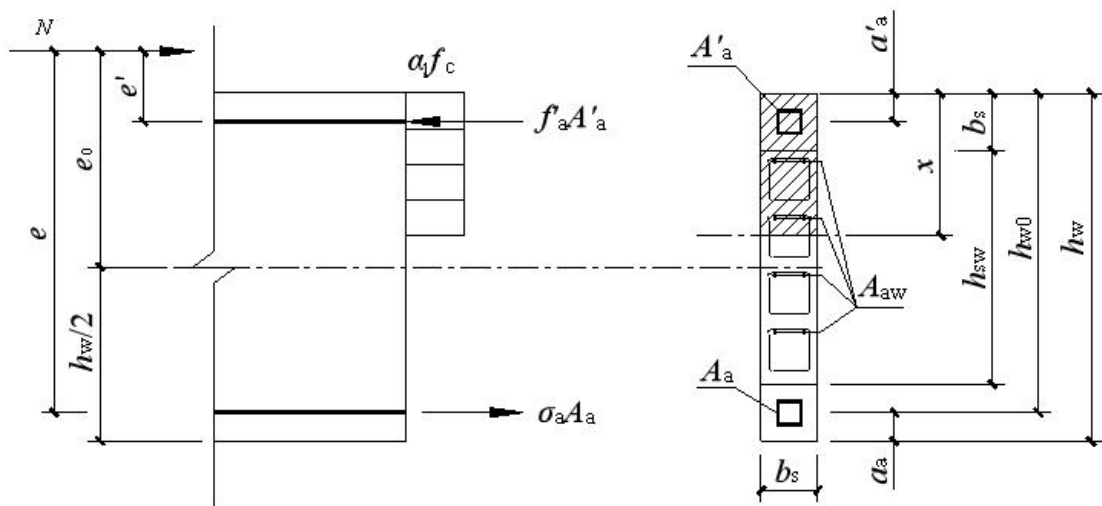
(a) 楼板边支座连接节点一

(b) 楼板边支座连接节点二

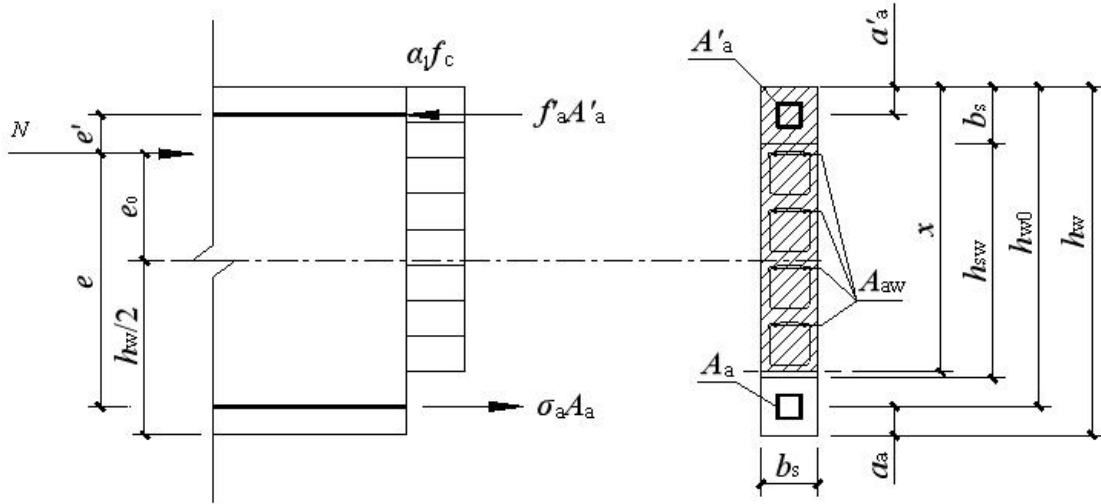
图6.4.6-2 楼板边支座节点

1—楼板混凝土；2—钢筋桁架；3—楼板永久模板；4—组合墙肢或连梁；5—组合墙肢或连梁水平加劲桁架；6—楼板板顶钢筋；7—支座板底连接钢筋；8—楼板板底钢筋；9—模块顶板临时顶梁

6.4.7 在组合剪力墙墙肢水平接缝处，正截面受压承载力应符合下列规定（图6.4.7）：



(a) 大偏压



(b) 小偏压

图6.4.7 组合剪力墙墙肢底部水平接缝处正截面受压承载力计算参数示意

1 持久、短暂设计状况

$$N \cdot \alpha_1 f_c x b_s + f'_a A'_a - \sigma_a A_a + N_{aw} \quad (6.4.7-1)$$

$$Ne \cdot \alpha_1 f_c x b_s \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f'_a A'_a (h_{w0} - a'_a) + M_{aw} \quad (6.4.7-2)$$

2 地震设计状况

$$N \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} (\alpha_1 f_c x b_s + f'_a A'_a - \sigma_a A_a + N_{aw}) \quad (6.4.7-3)$$

$$Ne \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\alpha_1 f_c x b_s \left(h_{w0} - \frac{x}{2} \right) + f'_a A'_a (h_{w0} - a'_a) + M_{aw} \right] \quad (6.4.7-4)$$

$$e = e_0 + \frac{h_w}{2} - a_a \quad (6.4.7-5)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (6.4.7-6)$$

$$h_{w0} = h_w - a_a \quad (6.4.7-7)$$

3 N_{aw} 、 M_{aw} 应按下列公式计算：

1) 当 $x \cdot \beta_1 h_{w0}$ 时，

$$N_{aw} = \left(1 + \frac{x - \beta_1 h_{w0}}{0.5 \beta_1 h_{sw}} \right) f_{aw} A_{aw} \quad (6.4.7-8)$$

$$M_{aw} = \left[0.5 - \left(\frac{x - \beta_1 h_{w0}}{\beta_1 h_{sw}} \right)^2 \right] f_{aw} A_{aw} h_{sw} \quad (6.4.7-9)$$

2) 当 $x > \beta_1 h_{w0}$ 时,

$$N_{aw} = f_{aw} A_{aw} \quad (6.4.7-10)$$

$$M_{aw} = 0.5 f_{aw} A_{aw} h_{sw} \quad (6.4.7-11)$$

4 墙底部受拉侧芯柱应力可按下列规定计算:

1) 当 $x \leq \xi_b h_{w0}$ 时

$$\sigma_a = f_a \quad (6.4.7-12)$$

2) 当 $x > \xi_b h_{w0}$ 时

$$\sigma_a = \frac{f_a}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{h_{w0}} - \beta_1 \right) \quad (6.4.7-13)$$

3) ξ_b 可按下列式计算

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{\left(1 + \frac{f_a}{E_a \varepsilon_{cu}} \right)} \quad (6.4.7-14)$$

5 当 $x < 2a'_a$ 时, 受压区钢管不屈服, 反向对受压区方钢管形心取距; 混凝土形心的力臂较小, 则相应的弯矩忽略; 计算如下:

1) 持久、短暂设计状况

$$Ne' \leq f_a A_a (h_{w0} - a'_a) + f_{aw} A_{aw} \left(\frac{h_w}{2} - a'_a \right) \quad (6.4.7-15)$$

2) 地震设计状况

$$Ne' \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[f_a A_a (h_{w0} - a'_a) + f_{aw} A_{aw} \left(\frac{h_w}{2} - a'_a \right) \right] \quad (6.4.7-16)$$

$$e' = \left| e_0 - \left(\frac{h_w}{2} - a'_a \right) \right| \quad (6.4.7-17)$$

6 对于上层组合剪力墙墙肢与下层现浇钢筋混凝土剪力墙墙肢的水平接缝, 墙肢中上层方钢管混凝土柱与下层边缘构件之间采用插筋锚固连接, 如 6.4.2 条所述, 此时计算上层组合剪力墙墙底的正截面受压承载力时, 将式 (6.4.7-1) 至式 (6.4.7-17) 中的 f'_a 、 A'_a 、 σ_a 、 A_a 、 a'_a 、 a_a 、 f_a 、 E_a 项替换为 f'_{as} 、 A'_{as} 、 σ_{as} 、 A_{as} 、 a'_{as} 、 a_{as} 、 f_{as} 、 E_{as} 。

式中：

- f'_a ——边缘构件方柱中芯柱的钢管抗压强度设计值；
- A'_a ——边缘构件方柱中受压侧芯柱的钢管截面面积；
- σ_a ——边缘构件方柱中受拉侧芯柱的钢管应力；
- A_a ——边缘构件方柱中受拉侧芯柱的钢管截面面积；
- N_{aw} ——剪力墙墙肢截面腹板布置的插筋所承担的轴向力；
- a'_a ——边缘构件方柱中受压侧芯柱钢管合力点至截面受压边缘的距离；
- M_{aw} ——剪力墙墙肢截面腹板布置的插筋合力对受拉芯柱钢管截面重心的力矩；
- a_a ——墙肢边缘构件方柱中受拉侧芯柱钢管合力点至截面受拉边缘的距离；
- f_{aw} ——剪力墙墙肢腹板范围内竖向插筋的钢筋强度设计值；
- A_{aw} ——剪力墙墙肢腹板范围内竖向插筋的总截面面积；
- f_a ——墙边缘构件方柱中芯柱钢管的抗拉强度设计值；
- E_a ——芯柱钢管的弹性模量；
- f'_{as} ——边缘构件方柱中插筋的抗压强度设计值；
- A'_{as} ——边缘构件方柱中受压侧插筋的截面面积；
- σ_{as} ——边缘构件方柱中受拉侧插筋的应力；
- A_{as} ——边缘构件方柱中受拉侧插筋的截面面积；
- a'_{as} ——边缘构件方柱中受压侧插筋合力点至截面受压边缘的距离；
- a_{as} ——墙边缘构件方柱中受拉侧插筋合力点至截面受拉边缘的距离；
- f_{as} ——墙边缘构件方柱中插筋的抗拉强度设计值；
- E_{as} ——方柱内插筋的弹性模量。

6.4.8 对称配筋的偏心受拉构件，不论大、小偏心受拉情况，组合剪力墙墙肢底部水平接缝处的正截面受拉承载力应符合下列公式的规定：

1 持久、短暂设计状况

$$N \cdot \frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \quad (6.4.8-1)$$

2 地震设计状况

$$N \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(\frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}} \right) \quad (6.4.8-2)$$

3 N_{0u} 、 M_{wu} 应按下列公式计算

$$N_{0u} = f_a A_a + f'_a A'_a + f_{aw} A_{aw} \quad (6.4.8-3)$$

$$M_{wu} = f_a A_a (h_{w0} - a'_a) + f_{aw} A_{aw} \left(\frac{h_{w0} - a'_a}{2} \right) \quad (6.4.8-4)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (6.4.8-5)$$

4 对于上层组合剪力墙墙肢与下层现浇钢筋混凝土剪力墙墙肢的竖向连接，墙肢中上层方钢管混凝土柱与下层边缘构件之间采用插筋锚固连接，如 6.4.2 条所述，此时计算上层组合剪力墙墙底的正截面受拉承载力时，将式 (6.4.8-3) 至式 (6.4.8-4) 中的 f_a 、 A_a 、 f'_a 、 A'_a 、 a'_a 项替换为 f_{as} 、 A_{as} 、 f'_{as} 、 A'_{as} 、 a'_{as} 。

6.4.9 组合剪力墙墙底水平接缝处的受剪承载力应符合下列规定：

1 对于上下层组合剪力墙墙肢之间的水平施工缝

$$V \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.6 f_{aw} A_{aw} + 0.6 f_a A_{a1} + 0.8 N) \quad (6.4.9-1)$$

式中： V ——组合剪力墙墙肢水平施工缝处的剪力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，受剪计算时取 0.85；

A_{a1} ——墙底接缝处剪力墙两端边缘构件内芯柱钢管平行于墙体受剪平面的钢板截面总面积；

N ——考虑地震组合的水平施工缝处的轴向力设计值，压力时取正值，拉力时取负值。

2 对于上层组合剪力墙墙肢与下层现浇钢筋混凝土剪力墙墙肢之间的水平接缝

$$V \cdot \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.6 f_{aw} A_{aw} + 0.6 f_{as} A_{as1} + 0.8 N) \quad (6.4.9-2)$$

式中： f_{as} ——墙底接缝处剪力墙端柱内插筋的抗拉强度设计值；
 A_{as1} ——墙底接缝处剪力墙端柱内插筋总面积，不包括边缘构件以外的两侧翼墙柱内插筋。

6.4.10 组合连梁的梁端竖向接缝受剪承载力应符合下列规定（图 6.4.10）：

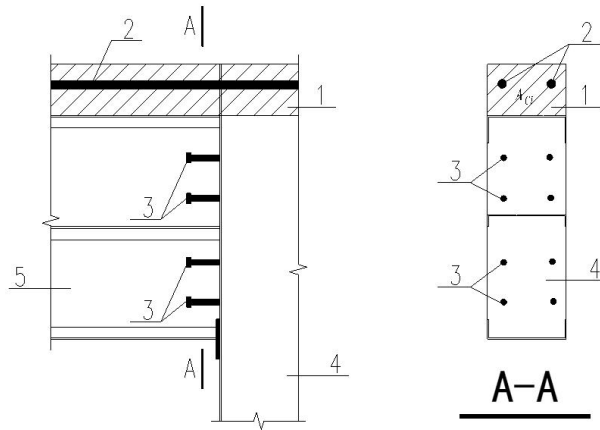


图6.4.12 梁端竖向接缝计算简图

1—楼板混凝土；2—梁顶纵筋；3—圆柱头焊钉；4—钢管柱；5—组合梁

1 持久设计状况

$$V_u \cdot V_{ud} = 0.07 f_c A_{c1} + 1.65 A_{yd} \sqrt{f_c f_{yd}} + 1.65 A_r \sqrt{f_c f_r} \quad (6.4.10-1)$$

2 地震设计状况

$$V_u \cdot V_{ud} = 0.04 f_c A_{c1} + 1.65 A_{yd} \sqrt{f_c f_{yd}} + 1.65 A_r \sqrt{f_c f_r} \quad (6.4.10-2)$$

式中： V_u ——梁斜截面抗剪承载力；
 V_{ud} ——梁端竖向接缝受剪承载力；
 A_{c1} ——梁端截面楼板厚度范围内混凝土截面面积；
 A_{yd} ——垂直穿过结合面所有栓钉的截面面积；
 f_{yd} ——栓钉抗拉强度设计值，栓钉采用圆柱头焊钉，焊钉的规格、材质等应符合国家现行标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的有关规定。

6.5 模块单元设计

6.5.1 模块单元结构应由墙板、顶板、底板和立面临时支撑系统组成。墙板应包含钢管柱、水平加劲桁架、竖向钢筋及永久模板；连梁应包含底部钢板、水平加劲桁架、箍筋及纵筋、永久模板。模块顶板宜采用钢筋桁架楼承板；底板宜采用

轻质垫层或仅设置临时支撑，无墙板的模块侧面应设置临时支撑（图6.5.1）。

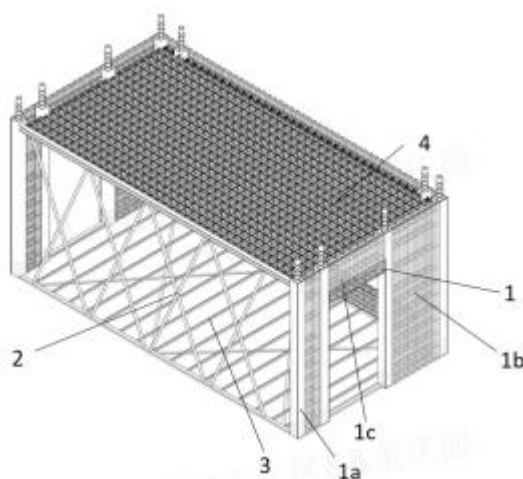


图 6.5.1 模块结构组成示意图

1—模块立面墙板；2—模块立面临时支撑；3—模块底板；4—模块顶板；1a—组合剪力墙端部方钢管柱；1b—组合剪力墙；1c—组合连梁

6.5.2 单个模块单元应至少在两个相对立面布置墙板，在其他立面布置临时支撑系统，并应在模块角部布置方钢管。

6.5.3 模块单元顶板采用免拆底模楼承板时，楼承板底部钢筋应与支座部分可靠连接，楼承板底模与墙板顶面、底模之间拼缝应做好防水密封处理。

6.5.4 模块单元底板宜在建筑面层做法高度范围内设置，模块底板应和模块墙体可靠连接，保证模块整体强度和刚度。

6.5.5 模块吊点应设置在柱顶或临时支撑顶部，吊点间距不宜大于6m。

6.5.6 应对模块结构进行吊装、运输、施工安装阶段的受力和变形计算，计算模型中考虑永久模板的蒙皮效应，并应满足以下要求：

1 吊装及运输阶段，模块整体侧向变形不应超过层高的1/250，顶板和底板的竖向变形不应超过跨度的1/200，且应满足模块单元内、外装饰对变形的要求；钢构件和连接节点不应出现塑性。

2 混凝土浇筑阶段，墙体永久模板的侧向变形不应超过1.5mm；楼承板底板的竖向变形不应超过楼承板跨度的1/200，且不应影响墙板及楼板表面的装修层。

6.6 耐火设计

6.6.1 组合梁、组合墙墙肢构件，除本规范有关规定外，尚应符合国家现行标准《建筑设计防火规范》GB50016、《建筑钢结构防火技术规范》GB51249 的相关规定。

6.6.2 组合梁的底部钢板下宜选用防火板作为防火措施，防火板的耐火极限应不低于组合梁的耐火极限设计要求。

6.6.3 组合墙墙肢的加劲桁架及钢管柱外侧可采用水泥基板材作为防火层，且厚度不宜小于 15mm；当采用其它措施时，组合墙墙肢应进行耐火性能试验验证。

6.6.4 用于固定防火板的自攻钉宜选用沉头钉。沉头应满覆防火胶，防火胶厚度不应小于 3mm。

6.6.5 钢管混凝土柱的上下两侧端部靠近楼板位置应分别预留排气孔。每侧每端排气孔数量应各不少于 1 个。排气孔直径根据构件尺寸确定，宜为 10~20mm。排气孔离剪力墙端部距离宜为 100~200mm。

6.7 防腐设计

6.7.1 组合模块结构中，无混凝土保护的钢构件表面防腐蚀设计应符合国家现行标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T251 的有关规定。

6.7.2 组合模块结构防腐设计应根据环境中介质的腐蚀性、环境条件、施工和维修条件等因素，从下列方案或方案组合中择优选取防腐方案：

- 1** 环氧富锌水性防腐涂料；
- 2** 铝、铝镁合金或锌铝合金等金属保护层。

7 内装与设备管线系统设计

7.1 一般规定

7.1.1 内装系统设计应遵循模数协调的原则，并应与结构系统、外围护系统、设备与管线系统进行一体化设计。

7.1.2 设备与管线系统宜与主体结构分离；内装墙面饰面系统及机电设备及管线宜选用装配化集成部品，其接口宜标准化，并宜满足通用性要求；机电管线连接宜采用标准快接接头。

7.1.3 机电管线在共用部位宜设置集中管井。竖向管线宜相对集中布置，横向管线宜避免交叉。模块间管线条件应做预留，管线穿过结构部件时，应预留孔洞或预埋套管。

7.1.4 模块单元接口位置的内装应在现场完成，并宜与工厂完成部分采用一致的构造做法。

7.2 内装系统

7.2.1 内隔墙宜选用轻钢龙骨隔墙，并应符合下列规定：

1 卫生间、浴室等有防水要求的房间，以及开敞阳台的外墙根部，应设置带翻边的整体防水底盘或者混凝土导墙；卫浴空间墙面应采取防潮、防水措施，对于附设水池、水箱、洗手盆等设施的隔墙宜采用水泥纤维板作为面板，墙面应作防水处理不少于2遍，对于浴室等有水区域防水高度应为2.0m，盥洗池盆等用水处墙面防水高度应为1.2m，其余区域防水高度应为0.3m；

2 隔墙宜在工厂完成安装，墙面饰面层可在工厂或现场完成施工，面板宜优先选用一体化饰面板；

3 墙体中的空腔应采用岩棉填充；

4 电气线路宜利用轻钢龙骨隔墙中的空腔敷设线路；安装插座或线盒时，应有可靠措施与龙骨固定；

5 墙体采用铺贴瓷砖的做法时，基层板应采用水泥纤维板，并应采用专用瓷砖胶薄贴工艺；

6 局部墙面部位设计应充分考虑悬挂重物的需要，并应采取措施对悬挂连接系统进行加强。

7.2.2 组合模块集成建筑的吊顶系统设计应符合下列规定：

1 吊顶在工厂预装时，吊点应与楼承板的桁架钢筋固定；

2 吊顶范围内灯槽、窗帘盒等建筑部品，宜采用工厂成品预制件；

3 厨房、卫生间、洗衣房等有水房间宜采用金属扣板吊顶，吊顶应结合装饰效果要求，安装方式优先选取暗架式，宜考虑与采暖、通风、照明等功能模块一体集成；

4 纤维增强无机板类吊顶可选用石膏板、硅酸钙板、埃特板、玻镁板、硫氧镁板等。

7.2.3 组合模块集成建筑的地面系统设计应符合下列规定：

1 建筑室内空间宜选用金属或木塑踢脚线收口，踢脚线之间应选用专用转角连接件，不应在现场加工阴阳角；

2 建筑室内厨房、盥洗间、阳台等有水空间宜采用防滑地面；

3 采用强化复合木地板时可采用悬浮铺装法，防潮隔离层可采用防水卷材、塑料薄膜、防水发泡塑料卷材等；采用瓷砖时，宜选用瓷砖胶粘贴；

4 模块单元底板在工厂集成时，可在钢檩条铺设两层水泥压力板做基层，基层上完成建筑面层及饰面层。

7.2.4 组合模块集成建筑宜在工厂进行集成厨房和集成卫生间的安装。

7.2.5 组合模块集成建筑门窗产品宜选用成品门窗套，门窗套应有可调节措施满足施工误差，集成门窗部品应在工厂预装配。

7.2.6 组合模块集成建筑内装开关、插座应符合下列规定：

1 暗装的开关、插座应有专用底盒，专用底盒四周不应有空隙，且盖板应端正严密并与墙面齐平；

2 当开关、插座专用底盒预埋深度大于25mm时，应加装专用套盒；

3 并列安装及同一室内开关专用暗装底盒安装高度一致；专用底盒四周不应有空隙，且盖板应端正严密并与墙面齐平；

4 室内开关宜优先选用无线动能开关。

7.3 设备管线系统

7.3.1 建筑室内用水点平管可铺设在垫层或顶面靠阴角位置，用水点位竖管铺设在轻钢龙骨墙或装饰夹层内。给水管材宜采用PPR管热熔连接。

7.3.2 卫生间应采用同层排水方式，不降板同层排水的洗手盆及座便器可采用侧墙排水，淋浴区地漏采用同层排水地漏；降板同层排水选配部件宜采用地排水及标准地漏。

- 7.3.3** 热水地面辐射供暖塑料加热管的材质和壁厚的选择应根据工程的耐久年限、管材的性能以及系统的运行水温、工作压力等条件确定。
- 7.3.4** 建筑室内电气管线宜敷设在楼板架空层、垫层内、吊顶内和隔墙空腔内等部位；相邻模块之间的机电管线连接，宜采用接缝两边预留过路箱的方式。
- 7.3.5** 电气和智能化设备与管线宜与主体结构分离，其主干线应在公共区域设置；电气和智能化设备宜采用模数化设计，并应满足准确定位要求。
- 7.3.6** 采用太阳能系统时，套内照明宜采用特低电压电源，并采用高效节能的直流照明装置和节能控制措施。
- 7.3.7** 模块间风管的现场连接宜采用法兰连接；如果采用软管连接，软管长度不应超过2m。
- 7.3.8** 模块单元中机电管线及设备固定在模块顶板时，固定件不得穿透模块顶板，出厂前应进行淋水实验，不渗水、漏水为合格。
- 7.3.9** 集中管道井的设置及检修口尺寸应满足管道检修更换的空间要求。

8 模块单元生产及运输

8.1 一般规定

8.1.1 模块单元生产单位应具备保证产品质量的硬件设施、人员、试验检测条件，建立完善的质量管理体系和制度，并宜建立质量可追溯的信息化管理系统，包括应用建筑信息化模型（BIM），生产管理信息化系统（MES）和模块单元身份识别技术。

8.1.2 模块单元生产过程中，建设（监理）单位宜委派代表驻厂进行过程监督检查；当无建设（监理）单位派驻代表驻厂监督生产时，模块生产单位应采用信息化手段记录生产、检测的全过程，并应长期保存数据。

8.1.3 模块单元生产前，应由建设单位组织设计、模块生产、施工、监理等单位进行设计文件交底和图纸会审；模块生产单位应编制生产运输方案，方案宜包括生产计划及生产工艺、技术质量控制措施、成品存放、运输和成品保护方案等。

8.1.4 工程开工前，生产单位应熟悉设计图纸、规范标准、验收标准，并向有关生产人员进行书面技术交底，明确项目模块设计要求、技术标准、功能作用及与其他分项工程的关系、施工方法、工艺、安全措施、环保等注意事项。

8.1.5 模块生产单位应针对项目特点制定专项质量体系文件，并严格执行。

8.1.6 模块单元生产宜按以下流程进行：

- 1 零部件加工；
- 2 墙体组装；
- 3 结构组装；
- 4 机电管线系统安装；
- 5 外围护系统及外门窗安装；
- 6 内装系统安装。

8.1.7 模块单元生产应建立首件验收制度，建设单位组织经设计、模块生产、施工、监理等单位进行模块验收。经联合验收合格后，才能实施批量生产。

8.1.8 模块单元生产中采用新技术、新工艺、新材料、新设备时，模块生产单位应制定专门的生产方案；必要时宜进行试制，经检验合格后方可实施。

8.1.9 模块单元的运输方式应根据部品部件特点、工程要求等确定；模块单元出厂时，应有模块整体重量、重心位置、吊点位置等标志。

8.1.10 模块单元生产中应执行有关安全标准要求，并应按规定设置安全通道、消防设施、警示标志等。

8.1.11 模块单元生产中每道工序完成后必须经质检员验收合格并标识，隐蔽工程须有隐蔽验收记录。

8.1.12 所有模块单元应经通电、通水等必要的功能测试合格，带有卫生间等防水功能房间的模块应经淋水测试合格，做好成品保护才能出厂，出厂时应提供质量可追溯的合格证明文件。

8.1.13 模块单元应进行编号，编号系统应包含项目名称、模块所在楼栋号、单元号、楼层号、平面位置等相关信息。

8.2 模块组装

8.2.1 模块单元钢结构加工制作工艺和质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定。

8.2.2 对采购进场的原材料、半成品及成品需具备出厂合格证，并由质检工程师组织技术、安全、质量、物资部门及施工安装等有关人员进行检查验收，按规范进行抽检合格后，经报请监理工程师复检认可，方可用于生产。

8.2.3 模块单元钢结构焊接宜采用自动焊接或半自动焊接，焊缝质量应满足设计要求，并符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205和《钢结构焊接规范》GB 50661的有关规定。

8.2.4 高强度螺栓孔宜采用数控钻床制孔和套模制孔。

8.2.5 钢结构除锈宜在室内进行，除锈方法及等级应符合设计要求，当设计无要求时，宜选用喷砂或抛丸除锈方法，除锈等级应不低于现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923规定的Sa2.5级；不便喷砂的部位，宜采用人工打磨除锈，等级应不低于现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923规定的St3级。

8.2.6 钢结构防腐涂装应符合下列规定：

- 1 宜在室内进行防腐涂装；
- 2 防腐涂装应按设计文件的规定执行；
- 3 涂装作业应按现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的有关规定执行；
- 4 模块单元间的钢构件之间的连接界面、钢构件、钢筋与混凝土的连接界面

应避免被防腐涂料等污染而影响连接效果，出厂前应进行检查并及时清洁。

8.2.7 模块单元结构的组装应在部件组装、焊接、校正并经检验合格后进行。箱体的隐蔽部位应在焊接、栓接和涂装检查合格后封闭。

8.2.8 电气管线、给排水管线敷设安装前应根据设计要求选择线管，不可混用，并应检查管线是否出现皱扁和开裂。

8.2.9 模块单元的装饰装修及设备管线安装前，应按设计图纸核对装修材料材质、装修工序、预留预埋套管、线盒、预留孔洞的定位和尺寸。

8.2.10 暖通、消防、机电、给排水等设备管线的安装以及装饰装修、门窗等室内外装修应符合国家现行标准的有关规定。

8.2.11 内装装修宜按楼地面系统，轻质隔墙系统，吊顶系统的安装次序相配合完成。

8.2.12 同一房间、同一平面高度的插座面板应水平，接线盒安装高度应统一，偏差不应超过10mm，灯具接线盒预留预埋必须充分考虑灯具的支架、吊架，固定点位置的确定必须符合牢固安全、整齐美观的原则。

8.2.13 各种管道的支架最大距离应按现行规范和工法样板标准等有关规定进行安装。管道和管件宜先在地面上组装完成后再吊装，用事先准备好的 U 型管卡固定。

8.2.14 模块单元临时支撑构件的安装和拆卸应不影响装修。

8.2.15 各工序完成后必须进行自检，填写检验记录和制品工艺卡，并交建设（监理）驻厂代表复查确认，合格后转下道工序，验收不合格时应重新整改，整改完成后重新请建设（监理）驻厂代表验收。

8.3 成品检验

8.3.1 模块单元生产时不应出现严重外观质量缺陷。外观质量缺陷的处理应根据其影响结构性能、安装和使用功能的严重程度，按质量标准和配套工法划分质量缺陷等级并处理，并应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定执行。

8.3.2 模块单元出厂前应及时对其外观质量进行全数目测检查。模块单元外观质量不应有缺陷，对已经出现的严重缺陷应制定技术方案进行处理并重新检验，对出现的一般缺陷应进行修整并达到合格。

8.3.3 模块单元不应有影响结构性能、安装和使用功能的尺寸偏差。对超过尺寸

允许偏差且影响结构性能和安装、使用功能的部位应经设计单位认可，制定技术处理方案进行处理，并重新检查验收。

8.3.4 模块单元的尺寸偏差和检验方法应符合表8.3.4的规定。

检查数量：同种类型的模块单元不超过 10 个为一批，每批检查 1 个。

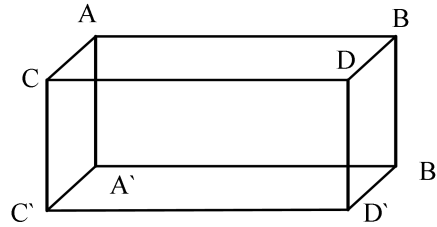


图 8.3.4 模块单元示意图

表 8.3.4 模块单元尺寸允许偏差及检验方法

项目		允许偏差 (mm)	检验方法
长度	AB、A'B'、CD、C'D'	-5.0	钢尺检查
宽度	AC、A'C'、BD、B'D'	-3.0	钢尺检查
高度	AA'、BB'、CC'、DD'	-2.0	钢尺检查
对角线差	AD-BC A'D'-B'C' AB'-A'B CD'-C'D	长向 10.0	钢尺检查
	BD'-B'D AC'-A'C	短向 5.0	
墙板、柱垂直度		3.0	经纬仪或吊线、塞尺、钢尺检查
墙板、顶板内表面平整度		3.0	靠尺、塞尺检查
模块内开间、进深尺寸		±3.0	钢尺或激光测距仪检查
门窗洞口	高、宽	(0, 5.0)	钢尺检查
	对角线差	3.0	钢尺检查
预留孔洞	中心位置	10.0	钢尺检查
	孔洞尺寸	5.0	钢尺检查

8.3.5 模块单元装饰装修的尺寸偏差和检验方法应符合表8.3.5的规定。

检查数量：全数检验。

表 8.3.5 模块装饰尺寸允许偏差及检验方法

项目		允许偏差 (mm)	检验方法	
吊顶	表面平整度	3	靠尺、塞尺和钢尺	
	接缝直线度	3		
	接缝高低差	1		
轻钢 龙骨 隔墙	立面垂直度	3	观察, 钢尺、塞尺或 直角尺检查	
	表面平整度	2		
饰面 板(水 泥压 力板/ 硅酸 钙板)	表面平整度	3		
	立面垂直度	3		
	接缝高低差	1		
	阴阳角方正	3		
	压条直线度	3		
	接缝高低差	3		
	引孔, 打钉后钉帽与板 面齐平	0.5		观察, 游标卡尺
抹灰 (腻子)	立面垂直度	4		观察, 钢尺、塞尺或 直角尺检查
	表面平整度	4		
	阴阳角方正	4		
	分格条(缝)直线度	4		
	墙裙勒脚上口直线度	4		
铺贴 瓷砖	立面垂直度	2	观察, 钢尺、塞尺或 直角尺检查	
	表面平整度	3		
	阴阳角方正	3		
	接缝直线度	2		
	接缝高低差	0.5		
	接缝宽度	1		
机电 线盒	同一室内的底盒标高差	±10	观察, 钢尺检查	

8.3.6 内、外面砖或石材饰面与模块单元混凝土的粘结强度应符合现行国家标准《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ 110 和《外墙饰面砖工程施工及验收规程》JGJ 126 的有关规定。

检查数量: 按同一工程、同一工艺分批抽样检验。

检验方法: 检查试验报告单。

8.3.7 卫浴及厨房模块单元应进行蓄水试验, 其排水坡度、通风装置、安装及检修用管道空间、地面防水层均应符合设计要求。

检查数量：全数检验。

检验方法：蓄水试验前，应封堵试验区域内的排水口，蓄水时间不应小于24h，蓄水深度最浅处不应小于25 mm 。

8.3.8 模块单元出厂前应对有防水要求的外墙、外窗、门进行淋水试验。

检查数量：全数检查。

检验方法：试验前应关闭窗户，封闭各种预留洞口，采用淋水管线对模块单元自上而下淋水，淋水水压不应低于0.3MPa，并应能在待测区域表面形成均匀水幕，检查背水面渗漏情况。

8.3.9 模块单元应根据使用功能进行通水、通电测试。

检查数量：全数检查。

检验方法：各种承压管道系统和设备应做水压试验，非承压管道系统和设备应做灌水试验，照明系统和其他电气设备应做通电试运行。

8.3.10 模块单元的资料应与产品生产同步形成、收集和整理，生产厂家归档资料宜包括下列内容：

- 1 模块单元加工合同；
- 2 模块单元加工图纸及其他设计文件；
- 3 生产方案和质量计划等文件；
- 4 原材料质量证明文件、复试试验记录和试验报告；
- 5 模块单元尺寸偏差及外观质量检验记录，见附录B；
- 6 模块单元蓄水试验报告；
- 7 模块单元淋水试验报告；
- 8 模块单元使用功能检验记录；
- 9 模块出厂合格证；
- 10 其他与模块单元生产和质量有关的重要文件资料。

8.4 运输和成品保护

8.4.1 模块单元吊运应符合下列规定：

1 吊具和起重设备应根据模块的形状、尺寸、重量和作业半径等要求确定，并应符合国家现行有关标准及产品应用技术手册的规定；

2 模块单元吊运应采用承载力满足要求的平衡吊架，吊架与模块之间的吊绳可用手拉葫芦或长短吊链等方式控制；

3 吊点数量、位置应经计算确定，吊具应连接可靠，起重设备的主钩位置、吊具及构件重心应在竖直方向上重合；

4 吊索水平夹角不宜小于 60° ，不应小于 45° ；

5 模块吊运应采用稳停、慢起、稳升、缓放的操作方式，吊运过程应保持稳定，不得偏斜、摇摆和扭转，严禁吊装构件长时间悬停在空中；

6 应采取避免模块单元变形和损伤的临时加固措施。

8.4.2 模块单元在运输过程中应符合下列要求：

1 应选取专业运输公司作为承运单位；

2 模块运输时应满足道路运输的有关要求；

3 模块运输时应采取相应加固措施，防止模块移动、倾倒或变形；

4 模块的底部应设置垫板或者横撑，减小底板内力；

5 门窗洞口处宜根据短暂工况验算进行支撑加固，模块边角部宜设置保护衬垫；

6 模块单元开口位置应设置封盖物，防止雨水进入模块内部；

7 对于有降板的模块或其他不能平稳放置的模块，应设计专门的运输架，并进行强度、稳定性和刚度验算。

8.4.3 模块单元成品保护应符合下列规定：

1 模块成品外露装饰板应采取防止碰撞措施，外露钢筋应采取防弯折、防碰伤措施，外露预埋件和连结件等外露金属件应按不同环境类别进行防护或防腐、防锈；

2 模块墙体饰面应采用薄膜进行保护，避免污染；

3 模块单元在车间生产完成后，应采用帆布或其他防水材料进行覆盖，并宜设有可开启入口，防水包覆应满足绿色可回收、不影响装车和吊运、包装便于装卸等要求；

4 玻璃、瓷砖、木柜等装修宜用胶纸、泡沫等措施进行保护。

9 施工安装

9.1 一般规定

9.1.1 正式施工前应针对组合模块集成建筑的施工要点、重难点和施工质量、安全保障进行重点分析,制定施工组织设计和专项施工方案、及安全专项施工方案,并宜组织专家论证。

9.1.2 组合模块集成建筑施工前,应选择有代表性的单元进行模拟试安装,并根据试安装结果及时调整施工工艺、完善施工方案。

9.1.3 施工单位应根据组合模块集成建筑工程特点,配置组织机构和人员。施工作业人员应在正式上岗前完成岗前培训,并掌握基础知识和技能,经考核合格后方可上岗,特种设备操作人员须持证上岗。

9.1.4 施工过程中应确保安全,有关措施应符合现行国家标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46、《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》JGJ 276、《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870和地方标准的有关规定。

9.1.5 组合模块集成建筑应按下列流程开展施工:(核对,争取使各款和下面节名称一致)

- 1 施工准备;
- 2 模块安装;
- 3 模块结构施工,包括现场现浇部分钢筋及模板安装、模块连接钢筋安装、楼板管线安装、拼缝封堵、节点灌浆、混凝土浇筑;
- 4 外围护拼缝及饰面安装;
- 5 内装机电系统安装。

9.2 施工准备

9.2.1 施工现场设置的运输通道和预制品存放场地应符合下列规定:

- 1 现场运输道路和存放场地应坚实平整,并设置有效排水措施。
- 2 应合理规划模块运输通道、模块卸车和临时堆放场地,并应采取成品堆放保护措施,做好模块包覆和防护,保证模块不受雨雪天气的影响。若堆场在地下室顶板上时,应做好荷载验算和地下室回顶措施。
- 3 施工现场内部道路应按照预制品运输车辆的要求合理设置转弯半径及道

路坡度。

9.2.2 模块单元吊装起重机械的选用和操作应充分考虑施工现场场地情况，符合现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33的有关规定。起重机械性能应满足吊装方案的要求。

9.2.3 模块单元吊运、安装宜采用工具化、标准化和定型化的工装系统，当采用吊架时，应考虑吊架对多规格模块的适用性，进行吊装阶段受力计算，并在吊架焊接实体检测合格后方可正式使用。吊架应在对角位置设置至少两根缆风绳，保证模块单元在吊装过程保持平稳。

9.2.4 安装施工前，应确保吊装条件和施工作业面满足要求，并应符合下列规定：

- 1 核实现场环境、天气、道路状况等是否满足吊装施工要求；
- 2 复核吊装设备及吊具等所有辅助机具是否处于安全操作状态，并应严格按照吊装方案选择起吊点和吊具挂点；
- 3 核对已施工完成结构、基础的外观质量和尺寸偏差；
- 4 对安装工作面进行测量放线、设置模块单元安装定位标识，测量放线应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026的有关规定；
- 5 准备好模块定位、安装所需的所有辅助机具；
- 6 对模块垂直、水平吊运路径进行核查，防止模块调运过程中发生碰撞。

9.3 模块安装

9.3.1 模块单元安装前应核对模块单元信息，并应对安装部位的预埋件、插筋、临时支撑、标高、尺寸等内容进行复核、验收，对不符合要求的，应按技术文件进行处理并重新复核、验收。

9.3.2 模块单元的安装应符合下列规定：

- 1 应根据当天的作业内容进行班前安全技术交底。
- 2 宜根据建筑物的平面形状、结构形式、安装机械的规格、数量、现场施工条件等因素，划分吊装流水段，确定安装顺序，并按拟定的吊装顺序进行吊装。
- 3 模块单元安装时，应先调整标高，再调整中心水平位移，最后调整垂直偏差。
- 4 模块单元在吊装过程中，应设置缆风绳控制模块转动。
- 5 模块单元在安装过程中损坏的涂层应及时进行修补。

9.3.3 模块安装时，安装模块与下层模块之间应设置校平垫片，并应符合下列规

定：

1 校平垫片应采用多种厚度组成的材料，并应具备足够的强度和耐久性，满足承重要求。

2 校平垫片根据设计要求宜放置在模块刚度较大部位，方钢管柱柱底均应设置垫片，间距超过4m的柱间应在墙或底梁下设置垫片。

3 垫片应固定在楼面上。

9.3.4 模块吊装下落前，应进行坐浆施工，坐浆位置及高度应符合设计要求。

9.3.5 各层模块单元安装时应对轴线、垂直度、标高等进行控制，模块单元安装的允许偏差应符合表9.3.5的规定。

表9.3.5 组合模块单元安装的允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
模块底座外轮廓偏移	-5, +5	尺量
模块垂直度	3	激光水平仪、尺量 (检查墙面)
模块标高	-5, 0	激光水平仪、尺量
模块底部水平度	5	激光水平仪、尺量

9.3.6 模块施工安装过程中，应避免对模块单元主体结构进行焊接或切割，不应在任何表面上拖拉模块单元，模块单元因搬运或吊装发生变形损坏时应返厂维修。

9.3.7 模块单元安装过程中，应对模块单元进行临时防水处理，并应符合下列规定：

1 当模块未集成机电管线时，应对预留管线的孔洞进行临时封堵，当箱体集成机电管线时，应做好穿墙管线防水封堵。

2 应及时完成接缝、后浇接触面等位置的防水处理。

3 应尽量避免在雨天进行模块吊装，箱体应在顶部设置防雨布。

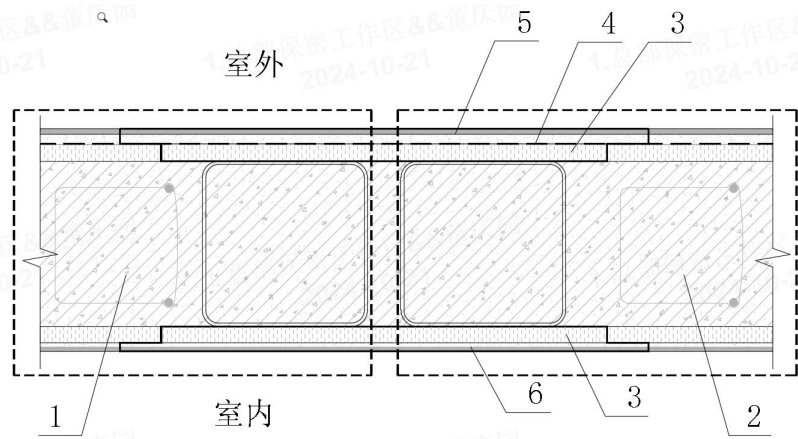
4 当模块未集成门窗时，应在门窗、洞口处设置防雨措施，当模块集成门窗时，应做好门窗防水封堵。

9.4 模块连接及混凝土浇筑

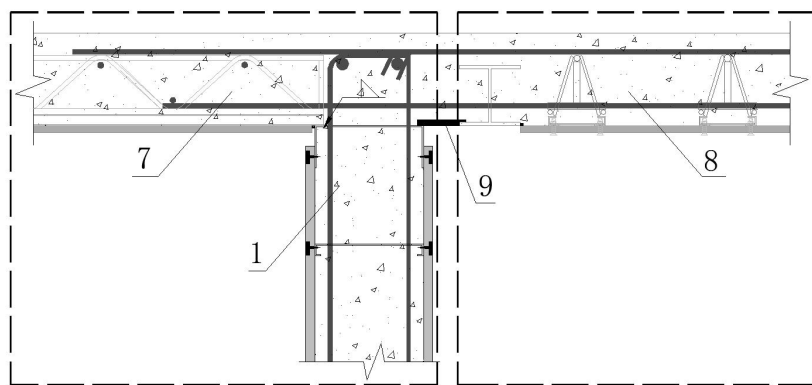
9.4.1 模板工程、钢筋工程、混凝土工程、钢结构工程除符合本章规定外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《钢结构工程施工规范》GB 50755的有关规定。

9.4.2 拼缝处理应符合下列规定：

- 1 模块之间竖向缝隙宜采用水泥纤维板封堵并作为永久模板，楼板水平接缝宜在拼缝上方进行封堵（图9.4.2）。
- 2 模板与模块接缝处应采取防止漏浆的措施。



(a) 模块竖向拼缝封堵做法



(b) 模块板水平拼缝封堵做法

图 9.4.2 模块拼缝做法示意图

- 1—左侧模块结构墙；2—右侧模块结构墙；3—后封纤维水泥板；4—防水层；5—室外找平层及涂料饰面层；6—室内找平层及饰面层；7—左侧模块结构楼板；8—右侧模块结构楼板；9—楼板水平拼缝封堵

9.4.3 柱底连接部分灌浆宜符合下列规定：

- 1 柱底连接部分5cm以上的柱侧面设置灌浆孔和观察孔，灌浆孔和观察孔可兼做钢管混凝土柱防火孔；
- 2 从侧面灌浆孔进行灌浆施工，灌浆料从观察孔溢出为灌满；
- 3 灌浆全程应进行记录，并留下影像资料。

9.4.4 柱底连接部分灌浆施工不能采用9.4.3条的方式时，也可采用下列方式：

- 1 灌浆施工采用从柱顶向下以导管灌注的方式，每个连接部位灌浆料数量应

事先计算确定，并使用固定体积的容器盛放；

2 灌浆完成10分钟后，从柱顶向下插入标尺测量灌浆料上表面位置；如没有达到要求，继续补灌并重复测量，直至达到设计要求；

3 灌浆全程应进行记录，并留下影像资料。

9.4.5 混凝土浇筑应符合下列规定：

1 混凝土浇筑前应进行隐蔽工程验收；

2 混凝土应先浇筑竖向构件再浇筑水平构件，分层浇筑高度应符合国家现行有关标准的规定，应在底层混凝土初凝前将上一层混凝土浇筑完毕；

3 墙体混凝土浇筑应布料均衡，并选择合适型号的混凝土振捣仪器进行振捣；浇筑和振捣时，应安排专人对模块墙体进行观察和维护，发生异常情况应及时处理；

4 钢筋桁架楼承板上混凝土浇筑作业时，应避免堆积较大的集中荷载，不可避免时应采用加强支撑措施。浇筑混凝土时，不得对钢筋桁架楼承板造成冲击。倾倒混凝土时，应迅速向四周摊开，避免堆积过高；泵送混凝土管道支架应支撑在梁或墙上。采用泵送混凝土浇筑时，应采取防止泵送设备超重或冲击力过大而影响钢筋桁架楼承板及临时支撑安全的有效措施。

9.4.6 临时支撑及拼缝封堵模板的拆除，应待混凝土及灌浆料的强度达到拆除强度要求后进行。

9.5 外围护及内装机电系统施工

9.5.1 相邻模块单元、模块单元与非模块单元以及底层模块单元与支座连接处等部位的外围护拼缝处的防水、保温、防火做法应确保严密美观、耐久牢固，并应符合下列规定：

1 建筑接缝封堵材料应紧密贴实，无漏光现象；

2 在雨期施工或施工中断时，未经处理的建筑接缝应采取临时防水措施；

3 建筑接缝封堵隐蔽前应进行隐蔽工程验收，并形成隐蔽工程验收记录。

9.5.2 相邻模块单元、模块单元与非模块单元以及底层模块单元与支座连接处等部位的局部外饰面需要在施工现场完成时，应符合下列规定：

1 做好成品保护，施工过程中不得损坏已有饰面；

2 接缝处外观应与整体建筑风格匹配；

3 采用涂料饰面时，宜采取抗裂网格布等拼缝补强措施。

9.5.3 模块单元外窗的现场安装应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210、行业标准《铝合金门窗工程技术规范》JGJ 214和《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113的有关规定；雨季施工时，未安装的窗洞位置应采取临时防雨措施。

9.5.4 模块单元吊装前应按设计图纸核对设备及管线参数、预埋件及预留孔洞位置和尺寸。

9.5.5 给排水系统和通风与空调系统的现场连接安装应符合现行国家标准《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242、《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243和《建筑设计防火规范》GB 50016的有关规定，并应符合下列规定：

1 模块单元间水管的安装和连接应在模块单元拼装完成后实施，并应进行试压、通水测试；

2 模块单元间风管的现场连接宜采用法兰连接。如果采用软管连接，软管长度不应超过2m；

3 模块单元间的管线洞口应进行防火封堵。

9.5.6 电气设备管线的现场连接安装应符合现行国家标准《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303和《建筑设计防火规范》GB 50016的有关规定，并应符合下列规定：

1 模块单元间导线连接应采用不易松动型接口；

2 模块单元拼装后，所有的模块单元应进行等电位连接。

9.5.7 对于不便在工厂进行装修作业的模块单元墙板，在现场宜采用装配式装修技术，并应符合国家现行标准的有关规定。

9.5.8 电气调试和防雷接地应符合下列规定：

1 电气调试时应测试所有电气回路及电气设备的绝缘情况。调试过程中应做好调试记录，调试完成后应清除临时短接线和各种障碍物；

2 防雷接地电阻应使用接地电阻测试仪进行测试，接地电阻值应符合设计要求。当钢结构接地体无法满足接地电阻要求时，应增加人工接地极；

3 现场应先完成防雷接地体的安装，并预留出模块单元的连接器件，待模块单元安装完成后再将连接器件与模块单元进行连接；

4 利用顶层模块单元的屋面金属压顶做接闪带时，宜将同一块单元内的金属

压顶预先连接。

9.5.9 模块外围护及内装机电工程中的工序隐蔽，应经专业质检员检验合格方可进入下道工序。

10 质量验收

10.1 一般规定

10.1.1 模块单元应按照一个子单位工程在工厂进行验收，并按照模块单元中包含的专业，划分为钢结构分部、混凝土分部、装饰装修分部、给排水及供暖分部、通风与空调分部、建筑电气分部进行验收，相关验收资料随模块单元进场。

10.1.2 监理在模块单元生产期间驻工厂并全程参与各项验收时，模块单元所有工厂验收资料作为工程最终验收资料的组成部分。

10.1.3 监理在模块单元生产期间未驻工厂、未参与各项工厂验收时，模块单元进场时应对其进行实体检验，并由监理单位见证实体过程。检验结果应符合设计要求及国家现行有关标准的规定。

10.1.4 组合模块集成建筑工程现场施工部分，主体结构分部工程应按模块安装子分部工程、混凝土结构子分部、钢结构子分部工程分别进行验收。其他现场实施部分，应按照现行国家标准GB50300的规定进行分部工程和分项工程划分。

10.1.5 组合模块集成建筑的检验批、分项工程、分部（子分部）及单位工程的验收，除本规程有特殊规定外，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、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《建筑地面工程施工质量验收规范》GB 50209、《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210、《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》、《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303、《火灾自动报警系统施工及验收标准》GB 50166、《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243等的有关规定。

10.1.6 组合模块集成建筑主体结构验收时，应提供下列文件和记录：

- 1 工程设计文件、模块单元制作和安装的深化设计图；
- 2 模块单元、主要材料及配件的产品合格证、实体检测报告、质量证明文件、进场验收记录、抽样复验报告；
- 3 模块单元安装施工记录；
- 4 现浇混凝土部位的隐蔽工程检查验收文件；
- 5 现浇混凝土、灌浆料、坐浆材料强度检测报告；
- 6 隐蔽工程检查验收文件；

7 组合模块集成建筑工程的重大质量问题的处理方案和验收记录；

8 组合模块集成建筑工程的其他文件和记录。

10.1.7 当组合模块集成建筑工程质量不符合要求时，应按下列规定进行处理：

1 经返工返修或更换构件部件的检验批，应重新进行验收；

2 经检测单位检测鉴定，能够达到设计要求的检验批，应予以验收；

3 经检测单位检测鉴定，达不到设计要求，但经原设计单位核算认可满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收；

4 经返修或加固处理，能够满足结构安全使用要求的分项、分部工程，可根据技术处理方案和协商文件进行验收；

5 经返修或加固处理仍不能满足安全使用要求的分部工程，严禁验收。

10.2 进场验收

I 主控项目

10.2.1 监理未参与模块单元各项工厂验收时，模块单元的实体检验应包括模块尺寸偏差、装饰装修的尺寸偏差、钢结构焊缝质量、钢结构防腐涂层质量、面砖或石材饰面的粘结强度。

检查数量：同种类型模块3个为1个检验批，每个检验批抽检数量不应少于1个模块；每个模块检验内容数量按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210的有关规定确定。

检验方法：检查检验报告。

10.2.2 模块单元应在显著位置有二维码或其他可溯源的标识，标识宜包括生产单位、项目名称、规格型号、生产日期、安装部位、安装方向、质量合格标志或产品认证标志等内容。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察和扫码检查。

10.2.3 组合模块集成建筑工程安装及连接时所用材料、制品、部件和构配件的品种、规格、性能和有害物质限量应符合国家现行有关标准的规定并满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查；检查产品合格证书、使用说明书和性能检测报告。

10.2.4 模块单元产品进场时，应检查模块单元的出厂合格证、质量证明文件，质量证明文件应包含以下内容：

- 1) 原材料质量证明文件、复试试验记录和试验报告。
- 2) 焊接工程检测合格证书。
- 3) 紧固件连接工程检测合格证书。
- 4) 涂装工程检测合格证书。
- 4) 模块单元尺寸偏差及外观质量检验记录。
- 5) 模块单元有水房间蓄水试验报告。
- 6) 模块单元外墙及门窗淋水试验报告。
- 7) 模块单元使用功能检验记录。
- 8) 模块单元装饰与装修、电气系统、弱电智能化、给排水、暖通、火警、消防喷淋等系统检查和验收记录。
- 9) 其他与模块单元生产和质量有关的重要文件资料。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查有关文件。

10.2.5 模块单元的外观质量不应有严重缺陷，且不应有影响结构性能、安装和使用功能的尺寸偏差。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、尺量；检查处理记录。

10.2.6 模块单元外露的钢结构构件不应存在缺损，连接件应完整，吊耳及预埋件应牢固、无松动。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察，检查处理方案。

II 一般项目

10.2.7 模块单元的外观质量不应有一般缺陷，对已经出现的一般缺陷，应按技术方案进行处理，并应重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察；检查处理方案。

10.2.8 模块单元外形尺寸偏差和检验方法应符合本规程模块单元生产尺寸允许偏差的规定。

检查数量：对同一加工厂、同批工人工艺、同批次生产的模块单元，同种类型模块抽检数量不应少于该批次该类型模块数量的 10%，且不少于3件。若同一批次一种类型模块数量低于5个，全数检查。

检查方法：尺量。

10.2.9 模块单元内的装饰装修部品部件安装的允许偏差和检验方法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、《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210和《建筑地面工程施工质量验收规范》GB 50209的有关规定；设计有专门规定时，尚应符合设计要求。

检查数量：对同一加工厂、同批工人工艺、同批次生产的模块单元，同种类型模块抽检数量不应少于该批次该类型模块数量的 10%，且不少于3件。若同一批次一种类型模块数量低于5个，全数检查。

检验方法：观察和尺量。

10.3 模块单元安装与连接

I 主控项目

10.3.1 焊接工程验收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，焊前检查、焊中检验和焊后检验应符合设计文件和现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的规定。

10.3.2 紧固件连接工程的质量验收方法和质量验收项目应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

10.3.3 模块单元之间连接用芯柱及钢筋的位置、长度、规格数量应满足设计要求，上层模块安装应在芯柱及连接钢筋位置、长度、规格数量检验合格后进行，并应保存施工检验影像记录备查。

检查数量：全数检查。

检验方法：尺量。

10.3.4 灌浆料的工作性能和收缩性应符合设计要求和现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448的有关规定。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查质量证明文件和抽样检验报告。

10.3.5 模块单元之间采用灌浆连接时，灌浆料的强度应符合设计要求。

检查数量：每层应为一个检验批；每工作班同一配合比应制作1组且每层不应少于3组试件，用于强度检验的灌浆料试件应在施工现场随施工进度平行制作。

检查方法：检查检查灌浆施工记录及标准养护条件试件强度试验报告。

10.3.6 柱底连接区灌浆连接部位，灌浆应饱满、密实。

检查数量：全数检查。

检查方法：检查灌浆工艺试验报告、检查隐蔽工程验收记录、灌浆施工过程记录。

10.3.7 模块组合墙底部接缝用坐浆料抗压强度应按现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的规定进行检验，检验结果应符合设计要求和国家现行有关标准的规定，用于强度检验的坐浆料试件应在施工现场随施工进度平行制作。

检查数量：每层应为一个检验批；每工作班同一配合比应制作 1 组且每层不应少于 3 组试件。

检验方法：检查施工记录、封浆料和坐浆料强度试验报告。

10.3.8 模块组合墙底部接缝坐浆应密实饱满。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工记录及连接施工影像资料。

10.3.9 组合模块区域和现浇区域的现浇混凝土强度应符合设计要求。

检查数量：按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定确定。

检验方法：检查混凝土强度试验报告及混凝土强度检验评定记录。

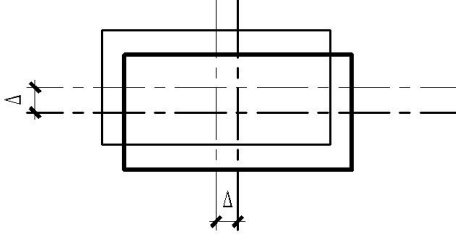
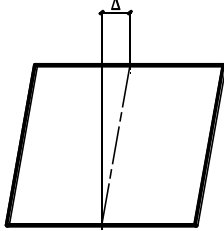
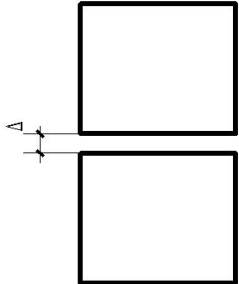
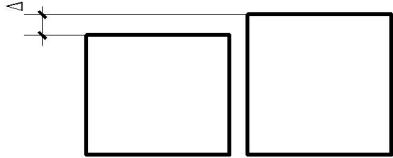
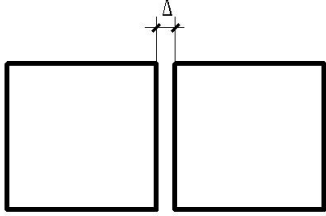
10.3.10 模块与模块之间的接缝防水应符合设计要求，防水材料的性能及接缝防水施工质量验收应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 的有关规定。

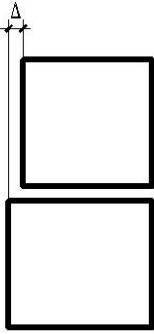
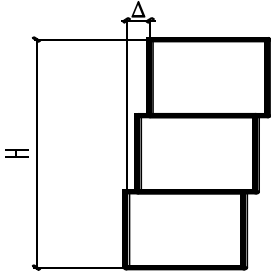
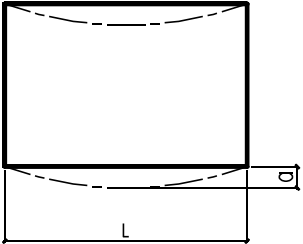
10.3.11 组合模块集成建筑的安装允许偏差应符合表10.3.11的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：采用钢尺、水平尺、经纬仪、水准仪、全站仪等测量。

表 10.3.11 模块建筑的安装允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	图例
模块轮廓对定位线 Δ	± 5.0	
单层模块单元垂直度 Δ	3.0	
相邻模块立面上水平拼缝宽度	± 5.0	
相邻模块立面上水平拼缝错台	3	
相邻模块竖向拼缝宽度	± 5.0	

相邻模块竖向拼缝错台	5	
模块建筑整体垂直度 Δ	$\Delta \leq H/2500$ $+10.0$, 且 $\Delta \leq 50.0$	
主体结构整体平面弯曲 α	$\leq L/1500$, 且 ≤ 25.0	

II 一般项目

10.3.12 现场浇筑混凝土前，应进行隐蔽工程验收。隐蔽工程验收应包括下列主要内容：

- 1 钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距；
- 2 插筋的锚固及外露长度、定位及规格；
- 3 箍筋弯钩平直度长度、钢筋搭接、楼承板钢筋桁架搭接质量；
- 4 预埋件、预留管线的规格、数量、位置；
- 5 其他隐蔽项目。

10.4 设备管线安装

I 主控项目

10.4.1 排水管道安装完成后应进行整个排水系统的灌水及通球试验；给水管道应进行整个系统的严密性及强度试验，试验结果应满足设计要求。

10.4.2 线路敷设完毕后应进行绝缘电阻测试及通电测试，其测试电压及绝缘电阻

值应符合现行国家标准《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303 的有关规定。

II 一般项目

10.4.3 模块单元设备管线之间的连接构造应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测。

10.4.4 排水管道安装完成后，应检测立管的垂直度及水平管的坡度，并应符合现行国家标准《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242 的有关规定。

10.5 饰面层接缝安装

I 主控项目

10.5.1 模块单元之间外立面接缝应进行防水处理，防水做法应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

II 一般项目

10.5.2 模块单元装饰面层之间的连接构造应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测。

10.5.3 模块单元之间接缝饰面层施工完成后，应检测面层的表面平整度、接缝直线度和接缝高低差，并应符合现行国家标准《建筑装饰装修工程质量验收标准》GB 50210的有关规定。

10.5.4 模块单元之间接缝饰面层的线条、形状、尺寸应符合设计要求，安装应牢固，不应有变形、扭曲现象。接缝填充材料应均匀、密实，接缝面层材料颜色、质感应符合设计要求，不应有明显色差。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，尺量，对比。

10.6 实体检验

10.6.1 组合墙及连梁空腔内的后浇混凝土不应出现空鼓。

检查数量：每1000 平方米建筑面积检测1个构件，每层不少于3个构件

检查方法：应符合下列要求。

1 组合墙体及连梁内混凝土的密实性宜剥离局部水泥纤维板，观察混凝土表面浇筑质量。

2 混凝土与免拆模板或钢管壁空隙也可采用敲击检查结合剥离局部水泥纤维板的方法进行检测，并应符合下列规定：

1) 敲击检查宜沿墙体高度及宽度、连梁长度方向等间距和沿周边等距离布置敲击点；

2) 对于敲击异常区域应减少敲击的间距，并剥离局部水泥纤维板，观察混凝土表面浇筑质量。

10.6.2 组合墙及连梁现浇混凝土强度应按不同强度等级分别检验。

检查数量：应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204有关要求。

检查方法：剥离局部水泥纤维板，对混凝土外露部位采用回弹法进行检测，当回弹检测强度不满足设计要求时采用钻芯法进行检测。

10.6.3 钢管混凝土柱内的混凝土应浇筑密实，检查数量和检查方法应符合现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628的有关规定。

10.6.4 钢管混凝土柱内的混凝土强度、工作性能和收缩性应符合设计要求和国家现行有关标准的规定，检查数量和检查方法应符合现行国家标准《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB 50628的有关规定。

10.6.5 外墙接缝处应进行渗漏试验，试验前应关闭窗户，封闭各种预留洞口，检查雨后渗漏现象或现场淋水检验记录。

11 智能建造

11.0.1 组合模块集成建筑宜建立信息化协同平台，采用统一编码、统一数据格式和接口规则，将设计信息与组合模块的生产运输、装配式施工及使用维护等阶段共享数据信息，实现全过程的信息化管理。

11.0.2 信息化管理平台的数据应长期保存，并应具备可追溯性。

11.0.3 组合模块集成建筑应采用建筑信息模型技术进行方案设计、施工图设计，并宜将完整的建筑信息模型进行轻量化处理，便于在各个终端流畅应用。

11.0.4 组合模块集成建筑应采用参数化设计技术进行模块深化设计，通过建筑信息模型实现对生产过程的可视化指导，并宜自动导出物料清单。

11.0.5 组合模块集成建筑应采用信息化技术进行生产计划管理、隐蔽验收、成品检查、入库管理及发货管理。

11.0.6 组合模块集成建筑宜采用自动化生产线进行模块加工。

11.0.7 模块单元生产应采用二维码等自动识别技术，做到产品生产数据及质量证明文件可即时查询。

11.0.8 模块单元的运输宜采用智能交通系统进行物流运输管理，并宜实现可视化定位。

11.0.9 组合模块集成建筑的施工应宜符合以下要求：

- 1 宜采用信息化技术进行施工进度管理；
- 2 宜采用建筑信息模型技术进行可视化施工交底；
- 3 宜采用智能化设备进行吊装；
- 4 宜配备现场智能化实测实量设备，在施工中应具备视觉识别、自主定位、路径规划及避障等功能；
- 5 应建立安全、质量管理体系，通过移动APP实现安全、质量巡检；
- 6 各项监测数据应保存至少3个月，并具备离线存储功能。

12 使用及维护

12.0.1 建设单位在向用户交付时，应按国家有关规定的要求，提供《建筑质量保证书》和《建筑使用说明书》。

12.0.2 《建筑使用说明书》除应符合现行国家有关规定外，尚应包括以下内容：

1 主体结构系统、外围护系统、设备管线系统和内装系统的构成、功能以及使用、检查和维护方法；

2 装修和装饰注意事项应包含允许业主和用户自行变更的部分和有关禁止行为；

3 部品部件生产厂、供应商提供的产品使用维护说明书，主要部品部件宜注明检查和使用维护年限；

4 公共部位及其公共设施的设备及管线（包含水泵房、高低压配电机房、电梯机房、中控室、锅炉房、管道设备间、配电间（室）等）的定期检查与维护制度。

12.0.3 组合模块结构建筑业主或用户不应改变原设计文件中规定的使用条件、使用性质及使用环境。

12.0.4 进行室内装饰装修及使用过程中，严禁损伤主体结构和外围护结构系统。装修和使用中发生下述行为时，应由原设计单位或具有相应资质的设计单位提出技术方案，并按设计规定的要求进行施工及验收：

1 装修和使用过程中出现超过设计文件规定的楼面装修荷载或使用荷载；

2 装修和使用过程中改变或损坏结构钢部件的防火、防腐蚀保护层及构造措施；

3 装修和使用过程中改变或损坏建筑节能保温、外墙及屋面防水有关构造损失。

附录 A 模块拼缝分析模型

A.0.1 结构弹塑性分析时，模块之间竖向拼缝的连接构造采用连接单元模拟，连接单元的截面属性可按表A.0.1进行设置。

表 A.0.1 竖向拼缝连接单元的截面属性

自由度	线性参数						非线性参数	
	$U(\text{kN/m})$			$R(\text{kN}\cdot\text{m}/[\text{rad}])$			U_1	
	U_1	U_2	U_3	R_1	R_2	R_3	压缩刚度 (kN/m)	拉伸刚度 (kN/m)
压剪状态	5×10^6	2.6×10^3	2.6×10^3	0	0	0	5×10^6	0

注：连接单元的局部坐标轴分别为 1 轴、2 轴、和 3 轴，三个轴相互垂直，1 轴的方向为连接单元轴线方向。 U_1 代表单元的轴向刚度、 U_2 是沿着 2 轴方向的剪切刚度、 U_3 是沿着 3 轴方向的剪切刚度， R_1 、 R_2 、 R_3 为单元沿 1 轴、2 轴、3 轴的扭转刚度。

附录B 模块单元钢结构箱体检查表

表 B 模块单元钢结构箱体检查表

箱号:					箱体示意图				
结构实际重量:									
项目		允许偏差	图纸尺寸	实测	项目	允许偏差	图纸尺寸	实测	
整箱	长	AB	(-5, 0)		门窗洞口 1	(0, 5)			
		CD							
		A'B'							
		C'D'							
	宽	AC	(-3, 0)		门窗洞口 2	(0, 5)			
		BD							
		A'C'							
		B'D'							
	高	AA'	(-2, 0)		门窗洞口 3	(0, 5)			
		BB'							
		CC'							
		DD'							
	对角线差	AD-BC	$\Delta \leq 10$		预留孔洞 1	(0, 10)			
		A'D'-B'C'							
CD'-C'D									
AB'-A'B									
AC'-A'C		$\Delta \leq 5$							
BD'-B'D									

续表 B

整垂	AA	(-3, 3)					W		
----	----	---------	--	--	--	--	---	--	--

箱	直度	BB			预留孔洞 2	中心位置	X	(0, 10)				
		CC				Y						
		DD				尺寸	Ø/L	(0, 5)				
	表面平整度	左端	(-3, 3)						W			
		右端					中心位置	X	(0, 10)			
		前端						Y				
		后端					尺寸	Ø/L	(0, 5)			
		顶						W				
		底					底框	横梁平行度		3		
		楼承板安装		节点搭接焊长度		满足设计要求				纵梁平行度		3
拼缝	无缝隙				横、纵梁垂直度			3				
桁架高度及钢筋直径	满足设计要求				芯柱水平位置		(-2, 2)					
吊点	焊接	满足设计要求			外观	无破漆、变形、缝隙						
判定结果：												

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，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，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”或“应按...执行”。

引用标准目录

- 1 《民用建筑设计统一标准》 GB 50352
- 2 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 3 《建筑模数协调标准》 GB/T 50002
- 4 《民用建筑隔声设计规范》 GB 50118
- 5 《民用建筑热工设计规范》 GB 50176
- 6 《公共建筑节能设计标准》 GB 50189
- 7 《建筑内部装修设计防火规范》 GB50222
- 8 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 9 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
- 10 《建筑抗震设计标准》 GB/T 50011
- 11 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 12 《混凝土结构设计标准》 GB/T 50010
- 13 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018
- 14 《建筑钢结构防火技术规范》 GB 51249
- 15 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 16 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》 GB50325
- 17 《工程测量标准》 GB 50026
- 18 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 19 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 20 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 21 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 22 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 23 《建筑装饰装修工程质量验收标准》 GB 50210
- 24 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》 GB 50242
- 25 《通风与空调工程施工质量验收规范》 GB 50243
- 26 《建筑电气工程施工质量验收规范》 GB 50303
- 27 《建筑装饰装修工程质量验收标准》 GB 50210

- 28 《火灾自动报警系统施工及验收标准》 GB 50166
- 29 《建筑施工安全技术统一规范》 GB50870
- 30 《建筑地面工程施工质量验收规范》 GB 50209
- 31 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定》 GB/T 8923
- 32 《紧固件机械性能 不锈钢自攻螺钉》 GB/T 3098.21
- 33 《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》 JGJ 75
- 34 《住宅室内装饰装修设计规程》 JGJ367
- 35 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
- 36 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》 JGJ/T 251
- 37 《组合结构设计规范》 JGJ 138
- 38 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
- 39 《建筑外墙防水工程技术规程》 JGJ/T235
- 40 《金属与石材幕墙工程技术规范》 JGJ 133
- 41 《人造板材幕墙工程技术规范》 JGJ 336
- 42 《公共建筑吊顶工程技术规程》 JGJ 345
- 43 《外墙饰面砖工程施工及验收规程》 JGJ 126
- 44 《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》 JGJ 110
- 45 《建筑施工高处作业安全技术规范》 JGJ 80
- 46 《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33
- 47 《施工现场临时用电安全技术规范》 JGJ 46
- 48 《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》 JGJ 276
- 49 《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283
- 50 《钢筋连接用套筒灌浆料》 JG/T 408-2019
- 51 《纤维水泥平板 第1部分：无石棉纤维水泥平板》 JC/T 412.1

钢-混凝土组合模块集成建筑 技术规程

条文说明
(征求意见稿)

目 次

1	总则	88
2	术语和符号	89
4	材料	91
5	建筑设计	92
5.1	一般规定	92
5.2	平面、立面设计	92
5.3	建筑构造	92
6	结构设计	94
6.1	一般规定	94
6.2	结构分析	94
6.3	构件设计	95
6.4	节点设计	97
6.5	模块单元设计	97
6.6	耐火设计	97
7	内装设备管线系统	99
7.1	一般规定	99
7.2	内装系统	99
7.3	设备管线系统	99
8	模块单元生产及运输	100
8.1	一般规定	100
8.2	模块组装	100
8.3	成品检验	100
9	施工安装	102
9.1	一般规定	102
9.2	施工准备	102
9.3	模块安装	102
9.4	模块连接及混凝土浇筑	102
10	质量验收	102

10.1 一般规定	102
10.2 进场验收	103
10.3 模块单元安装与连接	103
附录 A 模块拼缝分析模型	105

1 总则

1.0.1 钢-混凝土组合模块集成建筑体系采用钢-混凝土组合结构剪力墙作为主体结构。钢结构部分在工厂形成模块的结构骨架，同时模块附带水泥纤维板等板材作为模块蒙皮。水泥纤维板等板材兼作为施工阶段混凝土浇筑的模板，体系受力合理，施工便捷。大量的结构构件试验、节点试验及有限元分析结果表明：该体系具有良好的承载能力与抗震性能。目前已有多个实际工程应用案例，具有良好的社会效益。为满足工程应用的需求，编制本规程。

1.0.2 钢-混凝土组合模块体系具有较好的抗震性能。组合剪力墙与同条件下现浇剪力墙相比，抗震承载力、延性和耗能性能均有较为明显提升。

1.0.3 本规程中的诸多参数，如材料及连接的强度等，均引用了国家现行有关标准的规定。除本规程有明确的规定外，设计、施工还应遵守国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1.3 钢-混凝土组合模块剪力墙，简称组合剪力墙，构造见图 2.1.3 所示。

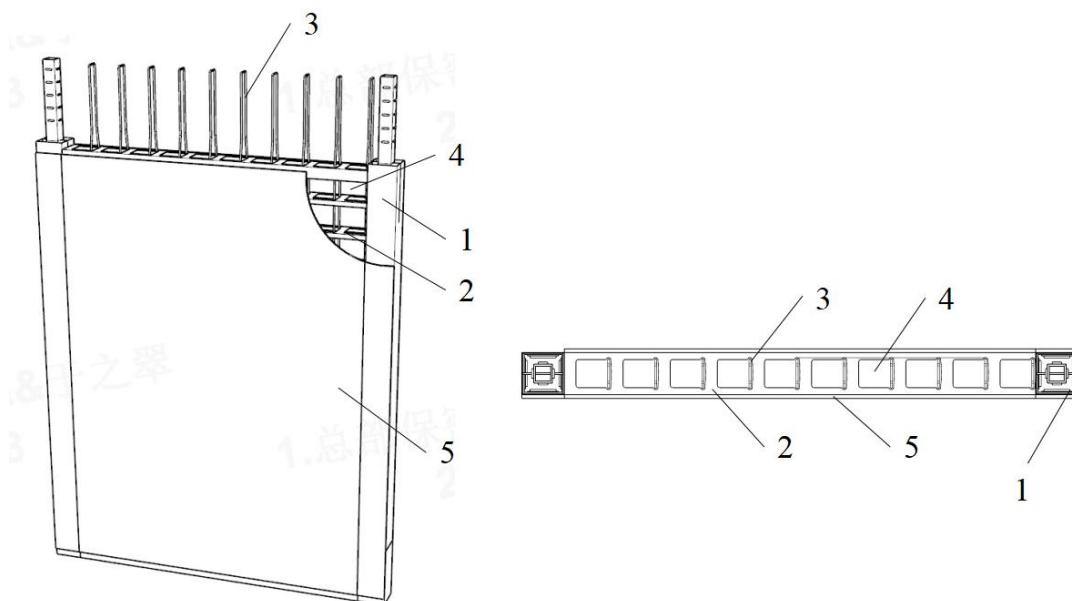


图 2.1.3 钢-混凝土组合模块剪力墙示意图

1—边缘构件；2—水平轻钢桁架；3—竖向钢筋；4—现场浇筑混凝土；5—永久模板

2.1.4 钢-混凝土组合模块连梁，简称组合连梁，构造见图 2.1.4 所示。

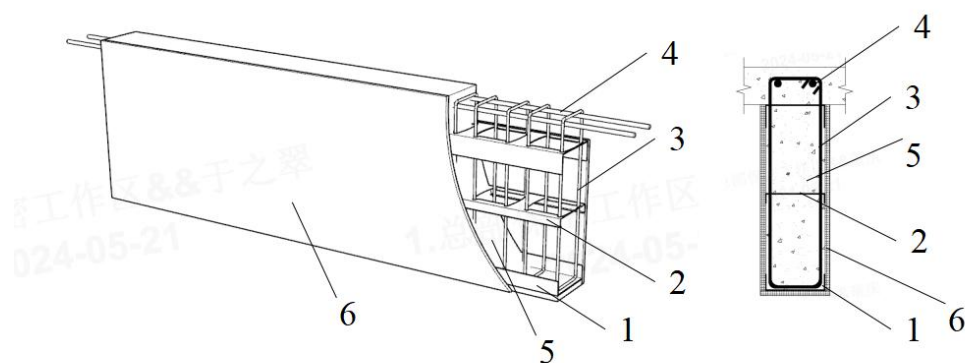


图 2.1.4 钢-混凝土组合模块连梁示意图

1—槽型钢底板；2—水平轻钢桁架；3—箍筋；4—上部纵筋；5—现场浇筑混凝土；6—永久模板

2.1.5 组合模块单元，简称模块单元，构造见图 2.1.5 所示。

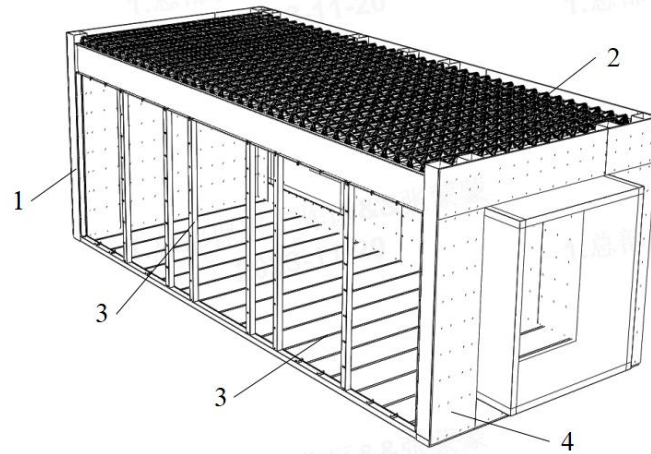


图 2.1.5 组合模块单元示意图

1—模块钢结构部分；2—楼承板的预制部分；3—临时支撑系统；4—结构墙两侧临时模板

4 材料

4.0.1 组合剪力墙内设置了水平布置的加劲桁架，要求组合剪力墙内混凝土采用自密实混凝土，或骨料粒径较小、流动性较高的普通混凝土，以保证墙体内混凝土的密实性。经过多次工艺试验验证，采用满足本条规定的混凝土材料并经过适当振捣，可实现混凝土浇筑密实。

4.0.3 主体结构所用钢材，剪力墙端柱不应低于 Q355B。剪力墙内水平加劲桁架的布置考虑了模块组装、运输、吊装及浇筑工况的构造及刚度需要、含钢量较大，钢材强度要求不高，可根据计算采用 Q355B 或 Q235B。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.2 组合模块集成建筑采用模数化、标准化、通用化设计是实现建筑工业化的必要条件，其模块拆分和组合均依据基本模数尺寸设计以实现批量化生产和建造。

5.2 平面、立面设计

5.2.1 组合模块的划分方式与尺寸应在方案设计阶段协同考虑，提前结合生产、运输与现场施工条件合理确定，应同时满足经济性与功能使用合理性。

当确需采用 L 型补充单元时，应提前确认工厂生产与运输条件是否满足要求。

模块单元高度、短边、长边总尺寸包含芯柱、凸窗、飘板等各种凸出构件。最小尺寸限值综合考虑了最小空间划分的可能性（如卫生间），最大尺寸限制综合考虑一般运输吊装条件，实际划分尺寸可突破限值，但均需满足生产、运输、施工的合理性与经济性。

5.2.2 组合模块的基本构成是通过墙体、底盘、顶板与临时支撑组成稳定受力的六面箱体。在现场吊装完成后，通过拆除临时支撑或将临时支撑与非结构墙体结合等方式，形成完整的建筑空间。图示 4 种类型可基本满足各类建筑空间形式需求，根据功能需求与结构布置可演变各种具体形式，但均应同时满足模块生产、运输、吊装与浇筑后使用的功能性、经济性要求。

5.3 建筑构造

5.3.1 由于组合模块在工厂生产工期短，且要经过运输、吊装过程，湿式粘贴无法保证牢固性，故与组合模块集成工厂安装的外保温系统，不建议采用以湿式粘贴为主要固定方式的外保温系统。

5.3.4 同层模块间混凝土整体浇筑无竖缝，因此同层模块间拼缝防水重点在于形成连续防水涂刷界面。上下层模块间有先后浇筑次序，横缝宜形成企口构造。图 5.3.4-1，图 5.3.4-2 分别为无保温外墙体系竖缝和横缝构造做法，模块拼接竖缝位置外墙宜采用后封板做法，即工厂阶段在模块拼接位置预留尺寸现场实施，模块外墙板拼缝处采用耐候密封胶做法防漏浆。模块拼接横缝位置，宜在下层模块顶部、上层模块底部预装镀锌钢板件形成企口构造，外设装饰金属扣盖。

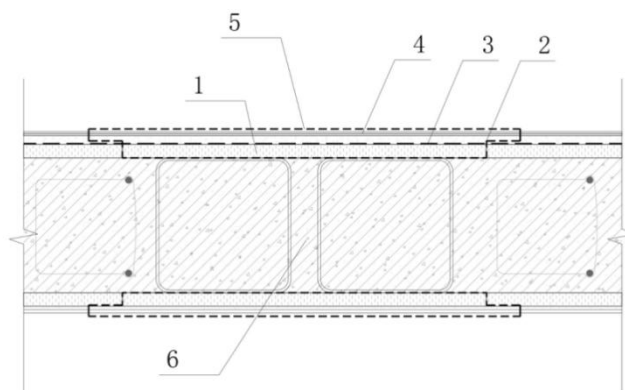


图 5.3.4-1 模块拼接竖缝节点图

1—后封纤维水泥板；2—板缝密拼处耐候密封胶；3—防水层；4—涂料饰面层；5—虚线示意现场实施范围；6—模块拼缝位置

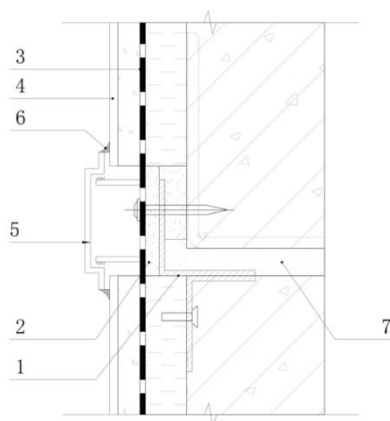


图 5.3.4-2 模块拼接横缝节点图

1—预装钢板件；2—防水砂浆填实；3—防水层；4—涂料饰面层；5—装饰金属扣盖现场实施；6—耐候密封胶；7—模块拼缝位置

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.2 本条是依据现行国家标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中针对 A 级高度钢筋混凝土高层建筑所作的最大适用高度规定。由于 A 级高度的高层建筑目前数量最多、使用最广泛，并且组合模块结构作为一种新型的结构体系，其研究成果和工程经验尚显不足，故本规程未考虑 B 级高度的高层建筑。

6.1.3 本条是依据现行国家标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中钢筋混凝土高层建筑结构的高宽比规定。在复杂体型的高层建筑中，一般可按所考虑方向的最小宽度计算高宽比，但对突出建筑平面很小的局部结构（如楼梯间、电梯间），也可包含在计算宽度内；对于不宜采用最小宽度计算高宽比的建筑，应由设计人员根据实际情况确定合理的计算方法；对带有裙房的高层建筑，当裙房的面积和刚度相对于其上部塔楼的面积和刚度较大时，计算高宽比的房屋高度和宽度可按裙房以上的塔楼结构考虑。

6.1.5 本条是依据现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 中针对 A 级高度高层建筑结构所作的抗震等级规定。抗震等级是结构重要的设计参数，其划分体现了对不同抗震设防类别、不同结构类别、不同烈度、同一烈度但不同高度的房屋结构延性要求的不同，以及同一种构件在不同结构类别中的延性要求不同。应根据抗震等级采取相应的抗震措施，包括抗震计算时的内力调整措施和各种抗震构造措施。

6.1.7 剪力墙结构的底部加强部位的建筑布局可能与标准层不同，墙厚相对较大，配筋构造复杂，宜采用现浇混凝土结构。条件适宜时，也可采用组合模块结构。

6.2 结构分析

6.2.2 一般情况下，当结构体型规则、不超高、业主没有特殊需求时，无需额外进行性能化设计。

6.2.3 试验及有限元分析结果表明，组合模块结构在重力、风荷载、多遇地震及设防地震作用下，尚处于弹性状态，因此宜采用弹性方法进行结构计算。在罕遇地震作用下，部分构件、连接节点进入塑性状态，所以宜采用基于弹塑性模型的时程分析法进行结构计算。

6.2.4 组合连梁与传统现浇混凝土梁的构造相似，组合连梁与现浇楼板具有良好的整体性，因此可以考虑楼板对组合连梁刚度和承载力的影响

6.2.8 为保证组合模块结构满足风荷载下的正常使用功能和“小震不坏”的抗震设防要求，依据组合剪力墙构件的拟静力试验结果，并参考国内外大量的钢筋混凝土剪力墙试验研究和

有限元分析结论，取 1/1000 作为组合剪力墙构件开裂时的层间位移角并以此作为结构弹性层间位移角限值。

6.2.9 为保证组合模块结构满足“大震不倒”的抗震设防要求，依据组合剪力墙构件的拟静力试验结果，并参考国内外大量的钢筋混凝土剪力墙试验研究和有限元分析结论，取 1/120 作为组合剪力墙构件的极限层间位移角并以此作为结构弹塑性层间位移角限值。

6.2.10 试验结果表明，当在模块之间竖向拼缝采用钢管柱侧壁间隔开洞、洞内插抗剪钢筋、拼缝内混凝土与钢管柱内混凝土联通的构造时，拼缝两侧构件在多遇地震、设防地震作用下未发生明显破坏，因此在弹性模型中，竖向拼缝按照连续模拟；上下层模块之间以及上层模块与下层现浇混凝土结构之间的水平接缝，其构造与混凝土剪力墙结构水平施工缝相近，因此在弹性模型中，水平接缝也按照连续模拟。

永久模板（如：剪力墙两侧以及钢筋桁架楼承板底部的纤维水泥板）与结构构件的连接相对较弱，由试验结果可知，其对构件刚度和承载力影响不明显，因此不考虑永久模板对结构刚度和构件承载力的影响。

6.2.11 结合多个项目的整体有限元分析可知，组合剪力墙墙肢的塑性铰一般出现在底部加强部位。对于一级抗震等级的剪力墙，为了更有把握实现塑性铰出现在底部加强部位，保证其他部位不出现塑性铰，因此对其底部加强部位以上部位的弯矩设计值进行增大。为实现强剪弱弯设计要求，弯矩增大部位剪力墙的剪力设计值也应相应增大。

6.2.16 试验结果表明，罕遇地震作用下，模块间的竖向拼缝材料（钢筋、混凝土、钢材）均进入塑性阶段。弹塑性模型中，采用连接单元模拟接缝的受力行为。

6.3 构件设计

6.3.1 组合剪力墙的厚度不包括墙肢两侧永久模板的厚度。墙体稳定应依据《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关规定进行验算。

6.3.2 当墙肢截面高度超过 4m 时，组合墙体的钢结构部分在运输、吊装和浇筑混凝土的过程中墙体的刚度和稳定性损失较大，故需要通过在长墙肢中设置方钢管混凝土柱，将墙肢截面高度控制在 4m 以内。

6.3.3 当两端方钢管混凝土柱之间的净距不超过 200mm 时，两柱之间采用 C 型钢板连接，是为了简化墙身构造、便捷构件生产与施工。

6.3.4 墙肢中钢管的含钢率为方钢管混凝土柱的钢管截面面积与墙肢截面面积的比值，要求短肢剪力墙竖向钢管的含钢率不应低于 1.5%、方钢管混凝土柱截面面积占墙肢总面积不宜小于 20%，是为了保证短肢剪力墙构件在罕遇地震中具有足够的延性。

6.3.5 组合连梁的截面宽度不包括梁两侧永久模板的厚度。

6.3.6 组合剪力墙与连梁的承载能力极限状态与正常使用极限状态相关验算均不考虑永久模板的作用。

6.3.9 组合剪力墙与连梁的试验研究表明，构件截面基本符合平截面假定，计算值与试验值符合较好。

6.3.10 组合剪力墙中腹板竖向分布筋的压弯承载力根据现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中的相关规定计算。端柱的方钢管作为墙体纵向受力钢筋的一部分考虑。大偏心受压时受拉、受压端柱方钢管都达到屈服；小偏压时受压较大端的方钢管屈服，而受拉或受压较小端的方钢管未屈服。

6.3.11 偏心受拉组合剪力墙的承载力计算公式参照现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ138 的相关规定编制，公式中有关剪力墙轴向受拉承载力和受弯承载力的计算均考虑了端柱方钢管和腹板竖向分布筋的作用。

6.3.12 为避免组合剪力墙发生斜压破坏，需要对剪力墙的名义剪应力值进行限制。本条参考现行国家标准《组合结构设计规范》JGJ 138 中对于型钢混凝土剪力墙受剪截面的规定，受剪截面控制条件中剪力设计值可扣除剪力墙一端方钢管的抗剪承载力。其中剪跨比 λ 的计算方法是依据现行国家标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

6.3.13 组合剪力墙的试验研究表明，端柱方钢管对墙体受剪承载力有贡献，本条所提出的组合剪力墙在偏心受压时的斜截面受剪承载力计算公式中，考虑了端柱方钢管的抗剪承载力。组合剪力墙偏心受拉时的斜截面受剪承载力，基于轴向拉力的存在降低了剪力墙的抗剪承载力，为此在计算公式中应考虑轴向拉力的不利影响。

6.3.14 当梁在平面外与组合剪力墙相交时，需要验算墙肢的平面外轴压承载力。

6.3.15、6.3.16 组合连梁在正弯矩作用下，考虑底部槽型钢的受拉作用，不考虑腰部水平加劲桁架受拉。承载力不足时，在梁底槽型钢之上配置纵向钢筋，与梁底槽型钢共同抗弯。

6.3.17 试验研究表明，承受负弯矩的组合连梁，达到最大承载力时，梁顶钢筋和楼板底标高处的水平加劲桁架都已进入屈服，因此组合连梁在正弯矩作用下的正截面受弯承载力考虑了该水平加劲桁架的贡献，计算值与试验值符合较好。

6.3.18 组合连梁的截面限值条件与现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中钢筋混凝土剪力墙连梁相关规定一致。

6.3.19 组合连梁的斜截面抗剪计算与现行行业标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中钢筋混凝土剪力墙连梁相关规定一致。

6.3.20 本条参考现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中钢筋混凝土受弯构件的挠度计算方法。

6.3.21 本条参考现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 中钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度计算方法。当设计采用弯矩调幅时，可按调幅后的内力值进行裂缝宽度计算。

6.4 节点设计

6.4.2、6.4.3 插筋锚固计算长度应满足现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010-2010 的相关规定。

6.4.5 钢筋贴焊锚固应该满足现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的相关规定；水平加劲桁架的腹板和两侧翼缘都需要与钢管柱焊接，增强加劲桁架端部的抗剪能力。

6.4.10 组合连梁梁端竖向接缝受剪承载力计算公式参照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1 的相关规定编制，公式中主要考虑楼板混凝土、梁顶纵筋、圆柱头焊钉的抗剪作用。加劲桁架、梁底钢板处于拉剪或压剪状态，仅视为抗剪安全储备。楼板厚度范围内混凝土截面面积根据钢管柱侧壁开孔大小确定。

6.5 模块单元设计

6.5.1 在模块单元的墙板、顶板、底板浇筑混凝土之前，其整体刚度较差。在吊装、运输过程中，模块单元会发生较大变形，从而导致内装系统和机电系统损坏。在无墙板立面、和底板处设置临时支撑，可有效提高模块单元的结构刚度，减小模块单元在吊装、运输时的变形量。

6.5.2 至少在模块单元的两个相对立面布置墙板，有助于提高模块单元的结构刚度。

6.5.5 控制吊点位置和间距，可使吊点传力更直接，避免产生局部附加弯矩，减小模块单元在吊装过程中的变形。

6.6 耐火设计

6.6.3 水泥基板材与加劲桁架及钢管壁之间，宜采用不锈钢自攻钉等有效拉结方式。经剪力墙板单侧受火的耐火试验验证，当水泥基防火保护层厚度 15mm 时，耐火时间均在 3 小

DBXX/T XXXX-202X

时以上，且防火保护层未发生脱落。用于剪力墙板防火措施的板材与板材之间的密拼缝处可不涂抹防火胶，不锈钢自攻钉表层可不包覆防火涂层。

7 内装设备管线系统

7.1 一般规定

7.1.1 本条是指内装修的选材应符合实际建材的模数，比如板材及柜体应符合市场化产品的通用尺寸，量材施用。

7.1.2 本条是规定管线与结构分离是考虑到工业化生产的需求。管线分离可以大幅提高模块的生产效率。

7.1.3 结构预留孔洞要充分考虑到工厂生产的场景，在模块墙体生产阶段应明确孔洞位置，禁止事后剔凿。

7.1.5 模块单元接口位置后做是实际需要，在接口拼装处要做好材料的统一，颜色的统一，在构造上适当做一些容错空间。

7.2 内装系统

7.2.1 内隔墙宜选用轻钢龙骨隔墙，并应符合下列规定：

1 卫生间、浴室、洗衣房等有防水要求的房间，设置带翻边的整体防水底盘或者混凝土导墙是适应轻钢龙骨隔墙构造的必要措施，保证防水的整体性；

2 一体化饰面板包括但不限于竹木纤维板、硅酸钙板、SPC墙板等；

6 加固措施包括但不限于龙骨加密方式、阻燃板衬底方式等；

7.2.4 厨房部分在工厂安装有困难时可以在现场后装。

7.2.5 成品门窗套现采用约尺方式生产，减小误差，后期安装利用模块生产精度优势，避免打胶收缝。

7.3 设备管线系统

7.3.1 吊顶内的给水及热水都应作防结露措施，保温厚度应经计算确定。当热源与用水点较远不能满足节水规范时，可在较远用水区增加电热水器，较少热水管长度。

7.3.2 为工厂安装和运输，现场吊装施工方便快接，卫生间采用不降板同层排水，使模块箱体底面标高一致。降板同层排水应提前考虑运输条件。

7.3.4 电气管线应采用管线分离技术，方便模块间连接和后期运维，避免后期剔凿安装。在连接口宜集中设置，并在装修饰面预留检修口。

8 模块单元生产及运输

8.1 一般规定

8.1.1 模块生产单位宜采用现代化的信息管理系统，如MES生产管理系统，并建立统一的编码规则和标识系统。信息化管理系统应与生产单位的生产工艺流程相匹配，贯穿整个生产过程，并应与构件BIM信息模型有接口，有利于在生产全过程中控制构件生产质量，精确算量，并形成生产全过程记录文件及影像。模块单元表面预埋带无线射频芯片的标识卡(RFID卡)有利于实现装配式建筑质量全过程控制和追溯，芯片中应存入生产过程及质量控制全部相关信息。

8.1.3 生产方案具体内容应包括：生产工艺、生产计划、模具方案、模具计划、技术质量控制措施、成品保护、存放及运输方案等内容。

8.1.11 隐蔽工程验收是指在模块生产过程中，后一工序的工作结果会封闭前一工序的工作结果的部位进行的验收。包括钢结构部件加工、钢筋混凝土工程的钢筋、排水工程、电器管线工程的各种暗配的水、暖、电、卫管道和线路及防水工程等。由于隐蔽工程在隐蔽后，如果发生质量问题，会造成返工等非常大的损失，所以必须做好隐蔽工程的验收工作，应由模块生产单位技术负责人邀请监理单位、施工单位共同对隐蔽工程进行检查和验收，认真办理隐蔽工程验收签证手续。

8.2 模块组装

8.2.2 原材料应确定品牌，并封样。材料进场除应由质检工程师组织技术、安全、质量、物资等部门进行检查验收外，还应按规范要求进行现场见证取样，由建设方委托第三方进行检测，复检合格后，方可用于生产。

8.3 成品检验

8.3.4 本条给出了模块单元钢结构箱体尺寸偏差和模块上的预留孔、预留洞、预埋件的基本要求。如根据具体工程要求提出高于本条规定时，应按设计要求或合同规定执行。

8.3.7 装配式结构的防水施工是非常关键的质量检验内容，应按设计及有关防水施工要求进行验收。考虑到此项验收内容与结构施工密切相关，故列入本规范。

8.3.10 本条所列模块单元的资料为生产厂家归档资料，并非模块产品交付资料。对专业企业生产的模块，进场时应检查质量证明文件。质量证明文件包括产品合格证明书及其他重要检验报告等；模块所用的型钢、钢筋、混凝土原材料、预埋件等均应参照本规范及国家现行有关标准的规定进行检验，其检验报告以及模块生产过程隐蔽验收记录等资料在模块

进场时可不提供，但应在模块生产企业存档保留，以便需要时查阅。

9 施工安装

9.1 一般规定

9.1.1 组合模块集成建筑施工工艺与常规施工方式有区别，为确保施工过程的安全和质量，应充分考虑不同工况下该建筑体系的施工重难点、安全和质量保证措施，编制专项施工方案；传统施工工人对组合模块集成建筑的施工工艺较为陌生，模拟试安装应结合施工作业人员的岗前实操培训，有利于提前总结施工经验，确保实施质量。

9.1.3 组合模块集成建筑的施工涉及起重吊装作业，属于危险性较大的施工作业，应重点关注施工过程中的各项安全保障措施。

9.2 施工准备

9.2.3 吊架应由专业设计人员设计，应满足承载力、稳定性及变形要求，吊装施工前需要对吊架进行专项验收，吊架需要提供成套的受力计算书、检测报告等。

9.3 模块安装

9.3.2 模块单元的安装顺序、校准定位及纠偏措施是模块化结构施工的关键，应在施工方案中明确并严格按方案施工。

9.4 模块连接及混凝土浇筑

9.4.3、9.4.4 柱节点是模块建筑的受力主体，其施工质量对建筑的安全性、稳定性和耐久性起决定性作用。施工时应采取必要措施，严格遵守相关规范要求，充分保证灌浆的施工质量。

9.4.5 后浇混凝土节点施工质量在保证节点承载力的关键，施工时应采取具体质量保证措施满足设计要求。节点处钢筋连接和锚固应按设计要求规定进行检查。

9.4.6 连接节点处后浇混凝土或灌浆料同条件养护试块应达到设计规定的强度后，方可拆除支撑或进行上部结构安装。

10 质量验收

10.1 一般规定

10.1.1 模块单元的验收涉及到钢结构、预制混凝土构件、装饰装修、设备管线等各专业的

验收。虽不具备完整功能，仍应参照现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的有关规定，将其作为一个子单位工程进行验收，其中各专业作为分部工程进行验收。

10.1.4 现场验收工作，仍按专业划分为各分部工程，现场的验收工作仅包括各专业现场实施部分内容。整个单位工程的最终验收，应根据模块单元子单位工程验收资料和现场各分部工程的验收资料进行。

10.2 进场验收

10.2.8 模块单元的尺寸等应在进场时按批检验，避免在构件安装时发现问题，造成不必要的损失。

10.3 模块单元安装与连接

10.3.3 为保证芯柱或钢筋锚固连接的可靠性，芯柱长度应满足要求。由于上层模块安装完成后很难再对芯柱或钢筋锚固连接进行检查，为保证施工进度和施工质量，应保留施工检验影像记录备查。

11 智能建造

11.0.1 信息化协同平台宜由EPC单位统一建设管理，组合模块集成建筑宜采用数字化、信息化的技术手段，实现数字化设计，工厂智能化制造，现场智能化施工，实现建筑工程的全过程数字化管理。

11.0.3 信息化管理的数据保存年限宜与建筑设计使用年限一致，便于修缮改造。

11.0.4 对于大型项目，建筑信息模型的数量庞大，从提高设计和应用效率的角度出发，应根据具体阶段、使用功能的需求建立具有合理精度的建筑信息模型，过于注重精度回导致较大的资源浪费。

11.0.5 智能化生产线宜充分考虑人机协同、提高自动化水平的同时，发挥产业工人的主观能动性，提升模块产品的质量并降低人工成本。

11.0.6 模块吊装过程中容易发生晃动。智能化吊装设备宜具备良好的减缓模块晃动的功能，减少现场的模块就位时间。

附录 A 模块拼缝分析模型

A.0.1 弹塑性分析模型中的模块间竖缝的连接构造通过连接单元模拟。连接单元的参数基于试验和有限元分析结果确定。

连接单元轴向受压刚度对荷载-位移曲线几乎没有影响；剪切刚度对荷载-位移曲线影响显著，建议采用剪切刚度值为 $2.6 \times 10^3 \text{kN/m}$ 。
