

上海市工程建设规范

装配整体式混凝土居住建筑设计规程

注：拟将题目改为装配式混凝土居住建筑设计规程

Code for design of precast concrete residential buildings

DG/TJ 08-2071-xxxx

(征求意见稿)

上海市工程建设规范

装配整体式混凝土居住建筑设计规程

注：拟将题目改为装配式混凝土居住建筑设计规程

Code for design of precast concrete residential buildings

(征求意见稿)

DG/TJ 08-2071-xxxx

2024 上海

前 言

根据上海市建设和管理委员会沪建标定(2021)829号文《2022年上海市工程建设规范和设计标准编制计划》的要求,由同济大学等单位组成的《装配式混凝土居住建筑设计规程》修编组,对上海市工程建设规范《装配整体式混凝土居住建筑设计规程》(DG/TJ 08-2071-2016)进行了全面修订。修编过程中,修编组广泛调查,开展专题研究,认真总结工程实践,参考国内外相关标准和规范,并在广泛征求意见的基础上,修订了本规程。

本规程的主要内容包括:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.材料;5.建筑设计;6.结构设计基本要求;7.框架结构设计;8.剪力墙结构设计;9.预制外挂墙设计。

本规程主要修改内容:1、扩大了适用范围,适用于包括住宅、宿舍和公寓等在内的装配式混凝土居住建筑;2、增加了半刚性框架、装配式自复位框架、装配整体式双面叠合剪力墙、双面叠合混凝土夹心保温剪力墙的设计规定;3、增加了成型钢筋、基于UHPC搭接连接的技术要求。

各单位在执行本规程时,请注意总结经验和积累资料,并将相关意见和建议反馈给同济大学土木工程学院建筑工程系《装配式混凝土居住建筑设计规程》编制组(地址:上海市四平路1239号;邮编:200092),以供今后修订时参考。

本规程主编单位: 同济大学

参编单位:

本规程主要起草人：

本规程主要审查人：

上海市建筑建材业市场管理总站

2024年×月

目 次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	4
3	基本规定.....	9
4	材料.....	12
4.1	混凝土、钢筋和钢材.....	12
4.2	连接材料.....	14
4.3	保温、防水材料.....	16
4.4	其他材料.....	17
5	建筑设计.....	错误!未定义书签。
5.1	一般规定.....	错误!未定义书签。
5.2	建筑模数.....	错误!未定义书签。
5.3	平面、立面设计.....	错误!未定义书签。
5.4	预制构配件.....	错误!未定义书签。
5.5	室内装修.....	错误!未定义书签。
5.6	建筑设备与管线.....	错误!未定义书签。
5.7	建筑节能.....	错误!未定义书签。
6	结构设计基本要求.....	33
6.1	一般规定.....	33
6.2	作用及作用组合.....	39
6.3	结构分析.....	40
6.4	预制构件设计.....	43
6.5	连接设计.....	44
6.6	楼盖设计.....	50
7	框架结构设计.....	53
7.1	一般规定.....	53

7.2	承载力计算.....	54
7.3	装配整体式钢筋混凝土框架结构构造设计.....	60
7.4	装配整体式异形柱框架结构构造设计.....	71
8	剪力墙结构设计.....	81
8.1	一般规定.....	81
8.2	连接设计.....	82
8.3	装配整体式剪力墙构造设计.....	96
8.4	预应力叠合空心楼板装配整体式剪力墙构造设计.....	100
8.5	装配整体式夹心保温剪力墙构造设计.....	107
9	预制外挂墙设计.....	111
9.1	一般规定.....	114
9.2	墙体设计.....	115
9.3	连接件设计.....	117
9.4	构造要求.....	119
	本规程用词说明.....	135
	引用标准名录.....	136
	条文说明.....	59

Contents

1	General.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic requirements.....	6
4	Materials.....	7
4.1	Concrete, reinforcing bar and steel.....	7
4.2	Connection materials.....	8
4.3	Insulation and waterproof materials.....	9
4.4	Other materials.....	10
5	Architectural design.....	12
5.1	General requirements.....	12
5.2	Modular of building.....	12
5.3	Plan and elevation design.....	13
5.4	Precast component.....	13
5.5	Internal fitting design.....	14
5.6	Equipment and conduit design.....	15
5.7	Energy efficiency.....	16
6	Structural design.....	18
6.1	General requirements.....	18
6.2	Actions and action combinations.....	22
6.3	Structural analysis.....	23
6.4	Component design.....	24
6.5	Connection design.....	24
6.6	Slab design.....	27
7	Frame structure design.....	29
7.1	General requirements.....	29
7.2	Capacity calculation.....	29

7.3	Detailing of monolithic precast concrete frame.....	31
7.4	Detailing of monolithic precast concrete frame with specially shaped columns.....	37
8	Shear wall structure design.....	38
8.1	General requirments.....	38
8.2	Connection design.....	39
8.3	Detailing of monolithic precast concrete shear wall.....	43
8.4	Detailing of monolithic precast concrete shear wall with prestressed hollow slab.....	49
8.5	Detailing of monolithic precast concrete sandwich insulation shear wall...	51
9	Facade panel design.....	53
9.1	General requirments.....	53
9.2	Panel design.....	53
9.3	Connection design.....	55
9.4	Detailing.....	55
	Explanation of wording in this code.....	57
	List of quoted standards.....	58
	Explanation of provisions.....	60

1 总则

1.0.1 为在装配式混凝土居住建筑设计中贯彻执行节约资源和保护环境的国家技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、保证质量、方便施工，实现居住建筑的绿色设计，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于上海市装配式混凝土居住建筑的设计，包括住宅、宿舍和公寓等供人们居住使用的建筑。

1.0.3 装配式混凝土居住建筑的设计除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行相关标准的规定。

【条文说明】1.0.1~1.0.3 本规程适用于上海市的装配整体式混凝土居住建筑的设计，包括：住宅、宿舍和公寓等供人们居住使用的建筑。由于目前国内针对混凝土强度等级为 C60 及以上的装配整体式混凝土结构的试验研究与工程应用较少。因此，当装配整体式混凝土居住建筑采用 C60 及以上强度等级的混凝土时，尚应提供可靠的试验依据。

2 术语和符号

2.1 术语

【条文说明】2.1 术语主要根据现行国家、行业 and 上海市相关标准，并结合本规程中的内容给出。

2.1.1 预制混凝土构件 precast concrete component

在工厂或现场预先制作的混凝土构件。简称预制构件。

2.1.2 装配式混凝土 precast concrete structure

由预制混凝土构件或部件通过各种可靠的方式进行连接形成整体的混凝土结构。简称装配式结构。

2.1.3 装配整体式混凝土结构 monolithic precast concrete structure

由预制混凝土构件或部件通过各种可靠的方式进行连接并通过现场后浇混凝土形成整体的混凝土结构。简称装配整体式结构。

2.1.4 装配整体式混凝土框架结构 monolithic precast concrete frame structure

全部或部分框架梁、柱采用预制构件构建成的整体式混凝土框架结构。简称装配整体式框架结构。

2.1.5 装配整体式混凝土异形柱框架结构 monolithic precast concrete frame structures with specially shaped columns

全部或部分框架柱采用预制异形柱的整体式混凝土框架结构。简称装配整体式异形柱框架结构。

2.1.6 装配整体式混凝土剪力墙结构 monolithic precast concrete shear wall structure

全部或部分剪力墙采用预制墙板构建成的整体式混凝土剪力墙结构。简称装配整体式剪力墙结构。

2.1.7 装配整体式叠合剪力墙结构 monolithic precast concrete composite shear wall structure

全部或部分剪力墙采用叠合式墙板构建成的整体式剪力墙混凝土结构。简称

装配整体式叠合剪力墙结构。

2.1.8 预应力叠合空心楼板装配整体式剪力墙结构 monolithic precast concrete shear wall structure with prestressed composite slab

楼板采用预应力叠合空心板的装配整体式混凝土剪力墙结构。

2.1.9 装配整体式夹心保温剪力墙结构 monolithic precast concrete sandwich insulation shear wall structure

由内叶混凝土剪力墙、外叶混凝土墙板、夹心保温层和连接件组成的装配整体式混凝土剪力墙结构。简称装配整体式夹心剪力墙结构。

2.1.10 预制外挂墙板 precast concrete facade panel

安装在主体结构上，起围护、装饰作用的非承重预制混凝土外挂墙板。简称外挂墙板。

2.1.11 预制混凝土夹心保温外挂墙板 precast concrete sandwich facade panel

由内、外叶混凝土墙板、夹心保温层和连接件组成的预制混凝土外挂墙板。简称夹心外挂墙板。

2.1.12 连接件 connector

用于连接装配整体式夹心剪力墙或夹心外挂墙板中内、外叶混凝土墙板，使内、外叶墙板形成整体的连接器。连接件材料宜采用纤维增强塑料或不锈钢。

2.1.13 钢筋套筒灌浆连接 rebar splicing by grout-filled coupling sleeve

在预制混凝土构件内预埋的金属套筒中插入钢筋并灌注水泥基灌浆料而实现的钢筋连接方式。

2.1.14 金属波纹管浆锚搭接连接 rebar lapping in grout-filled hole formed with metal bellow

在预制混凝土剪力墙中预埋金属波纹管形成孔道，在孔道中插入需搭接的钢筋，并灌注水泥基灌浆料而实现的钢筋搭接连接方式。

2.1.15 螺栓连接 bolted connection

在预制混凝土构件中预埋螺栓连接器或设置暗梁、暗墩等简化构造形式，在螺栓连接器或暗梁、暗墩的孔道中插入需连接的、顶端带螺纹钢筋，通过紧固螺

帽并灌注水泥基灌浆料而实现的钢筋连接方式。

【来源/依据】上海市《装配整体式混凝土公共建筑设计标准》

2.1.16 成型钢筋混凝土结构 fabricated steel reinforced concrete structure

配置按设计施工图纸规定的形状、尺寸和要求，采用机械加工成型的普通钢筋制品的混凝土结构，包括现浇混凝土结构和预制混凝土结构。

【来源/依据】上海市《成型钢筋混凝土结构设计标准》

2.1.17 基于超高性能混凝土搭接连接 rebar lapping in UHPC

通过在钢筋搭接的区域浇筑超高性能混凝土（ultra-high performance concrete）而实现的钢筋搭接连接方式。简称基于 UHPC 搭接连接。

【来源/依据】上海市《装配整体式混凝土公共建筑设计标准》

2.1.18 装配式自复位混凝土框架结构 self-centering precast concrete frame structure

框架梁采用预制混凝土梁，框架柱采用预制混凝土柱，框架梁和框架柱通过无粘结预应力压接及外置消能器连接形成的预应力装配式混凝土框架结构。

【条文说明】2.1.17 装配式自复位混凝土框架结构中，在框架梁、框架柱的端部外侧设置消能器，在地震作用下可实现自复位、低损伤、易修复，梁端、柱端不出现塑性铰。其中，外置的消能器能消耗部分地震能量并提供部分承载力。消能器指设置在预应力框架梁、框架柱的端部外侧，通过屈服变形、摩擦等吸收和耗散地震能量，并提供构件端部部分的受弯承载力，同时满足抗震性能要求的消能装置。

2.2 符号

【条文说明】2.2 符号主要根据《工程结构设计基本术语标准》（GB/T 50083）、《工程结构设计通用符号标准》（GB/T 50132）、《建筑结构可靠度统一标准》（GB 50068）、《建筑结构荷载规范》（GB 50009），并结合本规程中的内容给出。

2.2.1 材料性能

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_y 、 f_y' ——普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值。

R_{ed} ——不锈钢连接件抗拔承载力和抗剪承载力设计值；

R_{ek} ——不锈钢连接件抗拔承载力和抗剪承载力标准值；

γ_{sR} ——不锈钢连接件抗拔承载力和抗剪承载力分项系数；

R_{fd} ——纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力设计值；

R_{fk} ——纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力标准值；

V_{Ed}^1 ——单个螺栓抗剪承载力设计值

2.2.2 作用、作用效应及承载力

F_{Ehk} ——施加于外墙重心处的水平地震作用标准值；

G_k ——外墙重力荷载标准值；外挂墙板的重力荷载标准值（kN）

N ——轴向力设计值；

S ——基本组合的效应设计值；

S_{Eh} ——水平地震作用组合的效应设计值；

S_{Ev} ——竖向地震作用组合的效应设计值；

S_{Gk} ——永久荷载的效应标准值；

S_{wk} ——风荷载的效应标准值；

S_{Ehk} ——水平地震作用组合的效应标准值；

S_{Evk} ——竖向地震作用组合的效应标准值；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_W ——风荷载分项系数；

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数；

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数；

V ——剪力设计值；

V_{jd} ——持久设计状况下接缝剪力设计值；

V_{jdE} ——地震设计状况下接缝剪力设计值；

V_u —— 持久设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值；
 V_{uE} —— 地震设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值；
 V_{mu} —— 被连接构件端部按实配钢筋面积计算的斜截面受剪承载力设计值。

M_{jR}, V_{jR} —— 梁端接缝受弯、受剪承载力设计值

$M_{jR,d}, V_{jR,d}$ —— 梁端接缝弯矩、剪力设计值

Y_{FR} —— 纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力分项系数；

Y_E —— 纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力环境影响系数；

N_d —— 连接件拔出力设计值；

N_{rd} —— 连接件抗拔承载力设计值；

V_d —— 连接件剪力设计值；

V_{rd} —— 连接件抗剪承载力设计值；

q_{Ek} —— 分布水平地震作用标准值（kN/m²）；

M_u —— 梁柱接缝受弯承载力

M_{u1} —— 梁端部按实配纵向钢筋面积计算的正截面受弯承载力设计值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算

η_j —— 接缝受弯承载力折减系数，取 0.9

M_{pu} —— 梁柱接缝处预应力筋提供的受弯承载力

M_{jd} —— 节点弯矩设计值

M_{jr} —— 梁端接缝受弯承载力设计值，可根据本规程规定进行计算或者根据试验确定：

S_j —— 节点转动刚度：

$S_{j,ini}$ —— 节点初始转动刚度，可根据试验结果确定，取梁端弯矩为实测受弯屈服承载力 2/3 时的节点转动割线刚度。

σ_{pu} —— 罕遇地震下，预应力筋的拉应力

σ_{cq} —— 准永久组合下验算截面受拉边缘的混凝土法向拉应力值

σ_{pc} —— 扣除全部预应力损失后在验算受拉边缘的混凝土预压应力，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算确定

$\Delta\sigma_c$ —— 裂缝闭合要求的预压应力，可取 $\Delta\sigma_c = 1.0\text{MPa}$

2.2.3 几何参数

- M ——基本模数，模数协调中的基本尺寸单位，1M 等于 100mm；
- A ——外挂墙板的平面面积；
- B ——建筑平面宽度；
- L ——建筑平面长度；预制预应力空心板的计算跨度；
- b ——矩形截面宽度，T 形、I 形截面的腹板宽度；
- h ——层高；截面高度；
- h_0 ——截面有效高度；
- l_a ——非抗震设计时纵向受拉钢筋的最小锚固长度；
- l_{ab} ——受拉钢筋的基本锚固长度；
- l_{abE} ——抗震设计时纵向受拉钢筋的基本锚固长度；
- l_{aE} ——抗震设计时纵向受拉钢筋的最小锚固长度；
- A_{cl} ——叠合梁端截面后浇混凝土叠合层截面面积；
- A_{sd} ——垂直穿过结合面的钢筋面积；
- A_k ——键槽的根部截面面积之和
- A_s ——装配式单侧叠合剪力墙单位面积分布钢筋需要配筋量；
- A_{sj} ——叠合剪力墙现浇部分单位面积分布钢筋配筋量；
- A_{sPCF} ——预制剪力墙板单位面积分布钢筋配筋量；
- A_p ——预应力筋的截面面积
- t_{RC} ——装配式单侧叠合剪力墙现浇部分厚度；
- t_{PCF} ——预制剪力墙板厚度（不含建筑饰面厚度）。
- h_b ——梁高；

2.2.4 计算系数及其他

- α_{max} ——水平地震影响系数最大值，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定；
- β_E ——动力放大系数；
- γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
- γ_0 ——结构重要性系数；

η_j —— 接缝受剪承载力增大系数；

λ —— 柱剪跨比；

ψ_w —— 风荷载组合系数；

Δ_u —— 楼层层间最大位移；

Δ_p —— 梁板间允许的滑移幅度；

n —— 楼板作用区域范围内梁柱结合面开合缝隙的数量；

x_c —— 框架梁截面混凝土受压区高度， $x_c = x / \beta_1$ ， β_1 可按现行国家标准《混凝土

μ —— 柱底钢板和灌浆层之间的摩擦系数，一般取 0.20

3 基本规定

3.0.1 在装配式混凝土居住建筑方案设计阶段，应协调建设、设计、施工、制备各方之间的关系，并应加强建筑、结构、设备、装修等各专业之间的配合。

【条文说明】3.0.1 装配整体式结构与现浇混凝土结构的设计和施工过程有一定区别。对装配整体式结构，建设、设计、施工、制备各单位在方案阶段就需要进行协同工作，共同对建筑平面和立面根据标准化原则进行优化，对应用预制构件的技术可行性和经济性进行论证，共同进行整体策划，提出最佳方案。与此同时，建筑、结构、设备、装修等各专业也应密切配合，对预制构件的尺寸和形状、节点构造等提出具体技术要求，并对制作、运输、安装和施工全过程的可行性以及造价等做出预测。此项工作对建筑功能和结构布置的合理性，以及对工程造价等都会产生较大的影响，是十分重要的。

3.0.2 装配式混凝土居住建筑设计应遵循标准化、模块化的原则。

【条文说明】3.0.2 装配整体式居住建筑的设计，应在满足建筑功能的前提下，实现标准化和模块化，以提高定型的标准化建筑构配件的重复使用率，这将非常有利于降低造价。

3.0.3 装配式结构的设计应符合下列规定：

- 1 应采取有效措施确保结构的整体性。
- 2 装配式结构的节点和接缝应受力明确、构造可靠，并应满足承载力、延性和耐久性要求。
- 3 应根据连接节点和接缝的构造方式和性能，确定结构的整体计算模型。

【条文说明】3.0.3 装配整体式结构的设计首先应符合现行国家、行业 and 上海市相关标准的各项要求。

装配整体式结构的设计，应注重概念设计和结构分析模型的建立，以及预制构件的连接设计。本规程对于装配整体式结构设计的主要概念，是在选用可靠的预制构件连接技术的基础上，采用预制构件与后浇混凝土相结合的方法，通过连接节点合理的构造措施，将装配整体式结构连接成一个整体，保证其结构性能具

有与现浇混凝土结构等同的延性、承载力和耐久性能，达到与现浇混凝土等同的效果。

装配整体式结构的关键受力部位是预制构件之间、以及预制构件与现浇和后浇混凝土之间的连接部位。连接构造不仅应满足结构的力学性能，尚应满足建筑物理性能的要求。

3.0.4 装配式混凝土居住建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定抗震设防类别及抗震设防标准。

3.0.5 装配式混凝土居住建筑在主体建筑设计基础上应进行深化设计，其设计深度应满足建筑、结构、设备和装修等各专业以及构件制作、运输、施工等各环节的综合要求。

【条文说明】3.0.5 预制构件中一般设有预留孔洞、预埋件等。因此，装配整体式结构的施工图完成后，还需要进行预制构件的深化设计。

3.0.6 装配式自复位混凝土框架结构，宜采用全预制楼盖、屋盖。楼盖、屋盖与结构中的竖向抗侧力构件应可靠连接。

3.0.7 装配式自复位混凝土框架中的框架柱宜为预制通高柱或预制多层柱，框架梁应为预制梁。

【条文说明】3.0.7 对装配式自复位混凝土框架，将节点和预制柱一同预制能保证节点的质量，并提高装配施工效率。通高柱是指高度与结构高度相同的整根预制柱，通常称“一柱到顶”。当结构高度较大时，可采用多层柱替代通高柱。

3.0.8 装配式自复位混凝土框架的框架梁、框架柱中的预应力筋宜采用直线形式。框架柱预应力筋宜通高布置。单束预应力筋应穿过框架梁、框架柱的中轴线，双束预应力筋应靠近并对称于框架梁、框架柱的中轴线。

【条文说明】3.0.8 直线形无粘结预应力筋的孔道摩擦较小，有利于预应力筋的应力控制，震后易于恢复，故建议装配式自复位混凝土框架的框架梁、框架柱中的预应力筋采用直线形式。单束预应力筋布置于轴线处，双束预应力筋靠近并对称于框架梁、框架柱的中轴线布置，可使接缝上下压应力一致、正负向受力性能接近，便于地震作用下的裂缝控制，有利于震后的自复位。对于双向预应力框架，

宜在一个方向设置单束预应力筋，另一个方向设置双束预应力筋。

4 材料

4.1 混凝土、钢筋和钢材

4.1.1 预制构件的混凝土力学性能指标和耐久性要求等应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

4.1.2 预制构件的混凝土强度等级不宜低于 C30；预应力混凝土预制构件的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30；现浇混凝土的强度等级不应低于 C30。

4.1.3 当采用强度等级不低于 C60 的混凝土时，其性能应满足现行行业标准《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281 的要求。

【条文说明】4.1.1~4.1.3 装配式结构中所采用混凝土的力学性能指标和耐久性要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。实现建筑工业化的目的之一，是提高产品质量。因此，首先从源头上要求其混凝土强度等级不宜低于 C30。当采用高强混凝土时，其性能应满足现行行业标准《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281 的要求。

4.1.4 钢筋的选用应符合下列规定：

1 普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRB600、HRB400E、HRBF500E、HRB600E 等热轧带肋钢筋，钢筋性能指标应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 的规定。

2 预应力钢筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋，钢筋性能指标应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

【条文说明】4.1.4 本条文对普通钢筋和预应力钢筋的选用进行了规定。钢筋套筒灌浆和浆锚搭接连接接头，主要适用于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中所规定的热轧带肋钢筋。热轧带肋钢筋的肋，可以使钢筋与灌浆料之间产生足够的握裹力，有效地传递应力，从而形成可靠的连接接头。

4.1.5 钢筋焊接网应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢筋焊接网》GB/T 1499.3 和现行行业标准《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的规定。

【条文说明】4.1.5 采用钢筋焊接网片的形式有利于节省材料、方便施工、提高工程质量。随着建筑工业化的推进，应鼓励推广混凝土构件中配筋采用钢筋专业化加工配送的方式。

4.1.6 预制构件的吊环应采用未经冷加工的 HPB300 级钢筋或 Q235B 圆钢制作。吊装用内埋式螺母或吊杆的材料应符合国家现行相关标准及产品应用技术文件手册的规定。

【条文说明】4.1.6 本条参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 9.7.5 条和 9.7.6 条制定。为了达到节约材料、方便施工、吊装可靠的目的，并避免外露金属件的锈蚀，预制构件的吊装方式宜优先采用内埋式螺母和内埋式吊杆。这些部件及配套的专用吊具等所采用的材料，应根据相应的产品标准和应用技术规程选用。

4.1.7 钢材的力学性能指标和耐久性要求等应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

4.1.8 成型钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构用成型钢筋制品》GB/T 29733、《钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1、《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2、《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014、《冷轧带肋钢筋》GB/T 13788 和现行行业标准《冷轧带肋钢筋混凝土结构技术规程》JGJ 95、《高延性冷轧带肋钢筋》YB/T 4260 等的规定。

【条文说明】4.1.8 本条对成型钢筋原材的选用执行标准进行了规定，确保成型钢筋应用过程中的原材质量。

4.1.9 框架梁中的预应力筋和框架梁、框架柱连接用的后张预应力筋，应采用高强低松弛钢绞线，其性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。框架柱连接用预应力筋也可采用螺纹钢筋，其性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 的规定。无粘结预应力钢绞线尚应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 的规定。

4.1.10 预应力筋用锚具、夹具和连接器的性能，应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定。无粘结预应力筋的锚具性能尚应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的规定。

4.1.11 预应力成孔用波纹管的性能应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG/T 225、《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 的规定

4.2 连接材料

4.2.1 钢筋套筒灌浆连接应符合现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 的规定。

4.2.2 钢筋套筒灌浆连接接头采用的套筒应符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398。

4.2.3 钢筋套筒灌浆连接接头采用的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。

4.2.4 钢筋浆锚搭接连接接头应采用水泥基灌浆料，灌浆料的物理、力学性能应满足表 4.2.4 的要求。

表 4.2.4 钢筋浆锚搭接连接接头用灌浆料性能要求

项目		性能指标	试验方法
泌水率 (%)		0	GB/T 50080
流动度 (mm)	初始值	≥200	GB/T 50448
	30min 保留值	≥150	
竖向膨胀率 (%)	3h	≥0.02	GB/T 50448
	24h 与 3h 的膨胀率之差	0.02~0.5	
抗压强度 (MPa)	1d	≥35	GB/T 50448
	3d	≥55	
	28d	≥80	
氯离子含量 (%)		≤0.06	GB/T 176

4.2.5 螺栓连接构造中采用的螺栓连接器应为专用定型成品，产品性能应满足设计要求。

4.2.6 螺栓连接中采用的灌浆料应根据不同构造分别符合以下规定：

1 对于在框架结构中采用连接器连接时，应在螺栓连接区域采用 UHPC 灌浆，UHPC 的原材料、配合比设计、制备、养护等，应符合现行国家和行业标准的规定。

2 对于剪力墙结构中采用螺栓连接以及框架结构中采用简化螺栓连接形式时，应在螺栓连接区域采用钢筋套筒灌浆料灌浆，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 的规定。

4.2.7 钢筋机械连接应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。钢筋机械连接接头采用的套筒应符合现行行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的规定。

4.2.8 预制构件采用 HRB600 和 HRB600E 钢筋时，钢筋套筒灌浆连接接头或钢筋机械连接接头构造要求应通过专门试验确定。

4.2.9 钢筋锚固板材料应符合现行行业标准《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 的规定。

4.2.10 预埋件的锚板及锚筋材料应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。专用预埋件及连接件材料应符合现行国家标准的规定。

4.2.11 连接用焊接材料，螺栓、锚栓和铆钉等紧固件的材料应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 等的规定。

4.2.12 钢筋金属波纹管浆锚搭接连接采用的金属波纹管应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225、的有关规定。金属波纹管宜采用软钢带制作，性能应符合现行国家标准《碳素结构钢冷轧钢带》GB 716 的规定；当采用镀锌钢带时，其双面镀锌层重量不宜小于 60g/m^2 ，性能应符合现行国家标准《连续热镀锌钢板及钢带》GB/T 2518 的规定。

4.2.13 装配整体式叠合剪力墙的钢筋搭接连接采用的钢筋和混凝土应符合现行上海市工程建设规范《装配整体式叠合剪力墙结构技术规程》DG/TJ 08-2266 的规定。

4.2.14 装配整体式夹心保温剪力墙和夹心保温外挂墙板中内外叶墙板间的连接件宜采用不锈钢连接件或纤维增强塑料（FRP）连接件。其中，不锈钢连接件材料性能应符合现行上海市工程建设规范《预制混凝土夹心保温外墙板应用技术标准》DG/TJ 08-2158的有关规定；纤维增强复合材料筋连接件材料性能应符合现行行业标准《预制保温墙体用纤维增强塑料连接件》JG/T 561的相关规定。

4.2.15 装配式自复位框架结构中梁柱接缝处灌浆料宜掺加镀铜钢纤维。钢纤维应符合现行国家标准《混凝土用钢纤维》GB/T 39147的有关规定，钢纤维体积率不宜小于0.1%，钢纤维长度不宜大于14mm。

4.2.16 装配式自复位框架结构中的杯口基础，当采用细石混凝土填充预制柱与杯口之间空隙时，细石混凝土应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定；当采用灌浆料填充时，灌浆料应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448的有关规定。

4.2.17 装配式自复位框架结构中采用角钢消能器时，角钢应采用热轧型钢，连接螺栓应采用高强度摩擦型螺栓，其性能应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

4.3 保温、防水材料

4.3.1 外墙保温系统所用的保温材料应符合现行国家、行业 and 上海市相关标准的规定。

4.3.2 外墙板接缝所用的防水密封胶应选用耐候性密封胶，密封胶应与混凝土具有相容性，并具有低温柔性、防霉性、防火性及耐水性等性能。其最大变形量、剪切变形性能等均应满足设计要求。其他性能应满足现行行业标准《混凝土建筑接缝用密封胶》JC/T 881的规定。当选用硅酮类密封胶时，应满足现行国家标准《硅酮建筑密封胶》GB/T 14683的要求。

4.3.3 外墙板接缝处的密封止水带宜选用三元乙丙橡胶、氯丁橡胶或硅橡胶等高分子材料，技术要求应满足现行国家标准《高分子防水材料 第二部分 止水带》GB 18173.2中J型的规定。

4.3.4 外墙板接缝处密封胶的背衬材料宜选用聚乙烯塑料棒或发泡氯丁橡胶，直径应不小于缝宽的 1.5 倍。

4.4 其他材料

4.4.1 装配整体式混凝土居住建筑采用的室内装修材料应符合现行国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325 和《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222 的相关规定。

4.4.2 饰面材料的产品性能应符合现行有关标准的规定。

4.4.3 当采用涂料饰面时，有害物质限量应符合现行国家标准《建筑用墙面涂料中有害物质限量》GB 18582 的规定。

4.4.4 隔离层材料可采用模塑聚苯乙烯板、挤塑聚苯乙烯板、发泡橡塑等，其导热系数应符合相关产品标准的规定。

4.4.5 门窗应符合设计要求，并应有产品合格证或型式检验报告，质量应符合现行相关标准的规定。

4.4.6 建筑幕墙所选用的材料除应符合现行国家、行业和上海市相关标准的规定外，尚应符合下列规定：

- 1** 幕墙材料应满足结构安全性、耐久性、环境保护等要求。
- 2** 建筑幕墙应采用耐火极限满足设计要求的材料，并符合消防规定。
- 3** 建筑幕墙应采用在燃烧或高温环境下不产生有毒有害气体的材料。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 装配式混凝土居住建筑应采用结构系统、外围护系统、内装系统、设备与管线系统的装配化集成技术，并宜采用主体结构与设备管线分离的技术体系。

【条文说明】5.1.1 本条强调装配式混凝土居住建筑设计应通过采用结构系统、外围护系统、内装系统、设备与管线系统的装配化集成技术来体现其工业化的优越性。从实现建筑长寿化和可持续发展理念出发，装配式混凝土居住建筑鼓励采用主体结构与设备管线分离的技术体系（即 SI 技术体系），从而实现结构耐久性、室内空间布置灵活性以及室内装修可更新性的有机协调。

5.1.2 装配式混凝土居住建筑应满足建筑设计、部品部件生产运输、装配施工、运营维护等各阶段协同的要求。其中，建筑设计应满足建筑、结构、给水排水、燃气、供暖、通风与空调设施、强弱电和内装等各专业之间的设计协同的要求。

【条文说明】5.1.2 装配式混凝土居住建筑应以工业化生产建造方式为原则，做好建筑设计、部品部件生产运输、装配施工、运营维护等产业链各阶段的设计协同，将有利于设计、施工建造的相互衔接，保障生产效率和工程质量。

装配式混凝土居住建筑应在建筑、结构、机电设备、室内装修一体化设计的同时，通过专业性设计协同实现集成技术应用，如建筑结构体与建筑内装体的集成技术设计、建筑内装体与设备及管线的集成技术设计、设备及管线与建筑结构体分离的集成技术设计等专业性设计协同。

5.1.3 装配式混凝土居住建筑的安全性能、适用性能、耐久性能、环境性能、经济性能和适老性能等应符合国家和上海市现行标准的相关规定。

5.2 模数协调

5.2.1 建筑设计应符合现行国家标准《建筑模数协调标准》GB/T 50002 的规定，其中住宅建筑尚应符合现行行业标准《工业化住宅尺寸协调标准》JGJ/T 445、《住宅厨房模数协调标准》JGJ/T 262 和《住宅卫生间模数协调标准》JGJ/T 263

的规定。设计应按照建筑模数制的要求，采用基本模数或扩大模数的设计方法实现尺寸协调。

【条文说明】5.2.1 装配式混凝土居住建筑应采用模数来协调建筑结构体、建筑内装体、设备及管线之间的尺寸关系，部品部件的设计、生产和安装等应满足尺寸协调的要求，在模数协调的基础上优化各部品部件的种类和尺寸。

5.2.2 模数数列应根据居住建筑的功能与经济性原则确定，并应符合下列规定：

1 建筑物的开间与柱距、进深与跨度、门窗洞口宽度等宜采用水平扩大模数数列 $3nM$ （ n 为自然数），可采用 $2nM$ ，住宅建筑也可采用 nM 。

2 建筑物的层高和门窗洞口高度等模数增量宜为 nM 。

3 梁、柱、墙等部件的截面尺寸模数增量宜为 nM ，可为 $nM/2$ 。

4 隔墙、固定橱柜、设备、管井等部品部件模数增量宜为 $nM/2$ 。

5 构造节点和部品部件接口尺寸等模数增量宜为 $nM/10$ 、 $nM/5$ 、 $nM/2$ 。

【条文说明】5.2.2 本条主要参照现行国家标准《建筑模数协调标准》GB/T 50002 和现行行业标准《工业化住宅尺寸协调标准》JGJ/T 445 的相关条文制订，强调了在装配式混凝土居住建筑中基本模数数列、扩大模数数列、分模数数列的适用范围。

5.2.3 居住建筑的开间、进深、层高、洞口等优先尺寸应根据建筑类型、使用功能、部品部件生产、运输与装配要求等确定。

5.3 平面、立面设计

5.3.1 居住建筑平面设计应遵循标准化设计、多样化组合原则，并应符合以下规定：

1 应根据建筑使用功能、部品部件安装要求等合理确定建筑空间尺寸与建筑基本功能单元。

2 宜采用大开间大进深、空间灵活可变的布置方式。

3 平面应规整，并应合理控制楼栋的体形。

4 典型功能单元、公共楼梯、电梯、卫生间、管井等应优先采用标准化模块进行组合设计。

【条文说明】5.3.1 装配式混凝土居住建筑的标准化和多样化并不对立，二者的有机协调配合能够实现标准化前提下多样化和个性化。可以用标准化的套型模块结合核心筒模块组合出不同的平面形式和建筑形态，创造出多种平面组合类型，为满足规划设计的多样性和适应性要求提供优化的设计方案。

根据现行国家标准《民用建筑通用规范》GB 55031 和《民用建筑设计统一标准》GB 50352 的相关规定，居住建筑按使用功能可分为住宅类居住建筑和非住宅类居住建筑。其中，非住宅类居住建筑又可分为宿舍类建筑和民政建筑。装配式混凝土居住建筑平面设计应满足不同类型居住建筑的差异化要求。

根据现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定，建筑设计应根据抗震概念设计的要求明确建筑形体的规则性。平面设计的规则性有利于结构的安全，符合建筑抗震设计规范的要求，并可以减少部品部品的类型，降低生产安装的难度，有利于经济的合理性。因此尽量减少平面的凸凹变化，避免不必要的不规则和不均匀布局。同时，合理规整的平面会使建筑外表面积得到有效控制，可以有效减少能量流失，有利于达到建筑节能减排、绿色环保的要求。

模块化是标准化设计的一种方法，居住建筑的模块化设计方法应将典型功能单元、公共楼梯、电梯、卫生间、管井及其他部品模块作为基本模块，确立各层级模块的标准化系列化的尺寸体系。模块化设计应满足模数协调的要求，通过模数化和模块化的设计为工厂化生产和装配化施工创造条件。

5.3.2 居住建筑立面设计应遵循标准化设计原则，并应符合以下规定：

1 应灵活选用外墙板、外门窗、幕墙、阳台板、空调板、遮阳设施及装饰等部品部件形成丰富的立面效果。

2 可通过部品部件的材质肌理、色彩等要素形成有序的变化或有规律的重复，实现建筑立面的多样性。

3 宜选用耐久性强、易于维护的立面材料。采用面砖、石材以及其他块状、板状材料与外墙反打一次成形时，其规格尺寸、材质类别、连接构造等应进行工艺试验验证。

【条文说明】5.3.2 外围护系统的立面设计应结合装配式混凝土居住建筑的特点，通过基本单元装饰构件的组合、装饰构件色彩变化等方法，满足建筑外立面美观的要求。

面砖饰面、石材饰面等预制外墙板应采用一次反打成型工艺制作，不应采用后贴面砖、后挂石材的方法，以确保饰面材料的质量和粘结（连接）性能满足设计要求。反打工艺应选用背面设燕尾槽的面砖，石材饰面应采用可靠的连接件与混凝土墙板连接，并应事先做好整体防护处理，防止污染。

5.4 结构系统

5.4.1 居住建筑结构系统宜优先选用通用部件，并应符合下列规定：

1 结构部件的设计选型应同时确定部件之间的接口做法。

2 宜选用集成外围护、设备与管线、内装修部品的通用部件，并与各系统进行协调。

3 部件选型时应充分考虑生产、运输、存放和吊装的可行性，宜选择尺寸较大的部件。

4 当选用非通用部件时，仍应遵循少规格、多组合的标准化设计原则。

【条文说明】5.4.1 为适应建筑多样化的需求，居住建筑结构系统全部由通用部件组成的可能性几乎没有，因此本条提出尽量考虑多采用通用部件的规定，结构系统可以由通用部件和非通用部件共同组成。非通用部件应在项目层面进行整体协调，进行标准化设计，尽量减少规格种类。

装配式建筑施工过程中，吊装的效率成为决定施工效率的一个非常重要的因素。构件大型化可减少吊装量。同时，设计还应综合考虑运输能力、吊装设备能力来决定构件的尺寸，避免少数构件决定吊装设备选型。

5.4.2 居住建筑预制构配件的连接位置宜设置在结构受力较小的部位，其尺寸和形状应符合下列规定：

1 应满足建筑使用功能、模数、标准化要求，并应进行优化设计。

2 应根据预制构配件的功能和安装部位、加工制作及施工精度等要求，确定合理的公差。

3 应满足制作、运输、堆放、安装及质量控制要求。

【条文说明】5.4.2 预制构配件合理的接缝位置以及尺寸和形状的设计是十分重要的，它对建筑功能、建筑平立面、结构受力状况、预制构配件承载能力、工程造价等都会产生一定的影响。设计时，应同时满足建筑模数协调、建筑物理性能、结构和预制构配件的承载能力、便于施工和进行质量控制等多项要求。同时应尽量减少预制构配件的种类，保证模板能够多次重复使用，以降低造价。

5.4.3 应根据建筑功能及工程设计特点选择叠合楼板或现浇楼板，建筑内有防水、防潮要求的部位宜采用现浇楼板。

5.5 外围护系统

5.5.1 居住建筑外围护系统设计应包括下列内容：

1 外围护系统的性能要求。

2 外墙板及屋面板的模数协调要求。

3 屋面结构支承构造节点。

4 外墙板连接、接缝及外门窗洞口等构造节点。

5 阳台、空调板、装饰件等连接构造节点。

【条文说明】5.5.1 本条参照现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51321 的相关规定，明确了装配式混凝土居住建筑中外围护系统的设计指标要求，主要内容如下：

1 外围护系统的性能要求，主要为安全性、功能性和耐久性。

2 外墙板及屋面板的模数协调包括：尺寸规格、轴线分布、门窗位置和洞口尺寸等，设计应标准化，兼顾其经济性，同时还应考虑外墙板及屋面板的制作

工艺、运输及施工安装的可行性。

3 屋面围护系统与主体结构、屋架与屋面板的支承要求，以及屋面上放置重物的加强措施。

4 外围护系统的连接、接缝及系统中外门窗洞口等部位的构造节点是影响外墙围护系统整体性能的关键点。

5 空调室外及室内机、遮阳装置、空调板太阳能设施、雨水收集装置及绿化设施等重要附属设施的连接节点。

5.5.2 外墙系统应根据不同的建筑类型及结构形式选择适宜的系统类型，可选用预制外墙、现场组装骨架外墙、建筑幕墙等类型。

【条文说明】5.5.2 不同类型的外墙围护系统具有不同的特点，按照外墙围护系统在施工现场有无骨架组装的情况，分为预制外墙类、现场组装骨架外墙类、建筑幕墙类。

预制外墙类外墙围护系统在施工现场无骨架组装工序，现场组装骨架外墙类外墙围护系统在施工现场有骨架组装工序，建筑幕墙类外墙围护系统在施工现场可包含骨架组装工序，也可不包含骨架组装工序。

5.5.3 预制外墙板接缝位置和形式应与建筑立面协调统一。

【条文说明】5.5.3 预制外墙类外墙围护系统根据外墙板的建筑立面特征可分为整间板体系和条板体系。其中，整间板体系包括预制混凝土外墙板、拼装大板等，条板体系包括预制整体条板、复合夹芯条板等，条板可采用横条板或竖条板的安装方式。

预制外墙水平、竖向的拼缝对装配式混凝土居住建筑的外立面会有较大的影响，方案设计时，建筑的立面分格宜结合门窗洞口、阳台、空调板及装饰构件等按设计要求进行划分。

5.5.4 预制外墙板应符合现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030的相关建筑外墙工程的防水要求，并应符合下列规定：

1 预制夹心保温外墙板防水设计应符合现行上海市标准《预制混凝土夹心保温外墙板应用技术标准》DG/TJ 08-2158的规定。

2 预制混凝土反打保温外墙防水设计应符合现行上海市标准《外墙保温一体化系统应用技术标准（预制混凝土反打保温外墙）》DG/TJ 08-2433A 的规定。

3 现浇混凝土保温外墙防水设计应符合现行上海市标准《外墙保温一体化系统应用技术标准（现浇混凝土保温外墙）》DG/TJ 08-2433B 的规定。

4 预制外墙板接缝所用材料的防水性能应符合本标准 4.3 节的要求。

5.5.5 当连廊与主体结构柔性连接时，其接缝缝宽不宜小于 50mm，并应采取有效措施保证接缝处防水，防水范围应包括连廊顶面及侧面，露天环境下尚应在止水带端部设置滴水构件。

5.5.6 预制外墙板接缝缝宽按设计确定，预制外墙板拼接贯通缝应采用柔性防水材料进行缝内口部封堵。

5.5.7 建筑外墙穿墙孔洞和缝隙应进行密封及防水处理。

5.5.8 建筑外墙板的防火设计应满足现行国家标准《建筑防火通用规范》GB 55037 和《建筑设计防火规范》GB 50016 中规定的建筑外墙防火要求，并应符合下列规定：

1 预制外墙板与各层楼板、防火墙、防火隔墙以及住宅建筑分户墙、住宅建筑单元之间墙体的相交部位应设置防火封堵。

2 预制外墙板接缝及墙板与相邻构件之间的接缝跨越防火墙、防火隔墙以及住宅建筑分户墙、住宅建筑单元之间墙体时，室内一侧的接缝应采用防火封堵材料进行密封，水平缝的连续密封长度，住宅建筑不应小于 1.0m，非住宅类居住建筑不应小于 2.0m；竖缝的连续密封长度不应小于 1.2m，当室内设置自动喷水灭火系统时不应小于 0.8m。

【条文说明】5.5.8 根据试验结果，未采取防火封堵构造的预制外墙板接缝成为防火的薄弱环节。本条参考现行国家标准《建筑防火通用规范》GB 55037 和《建筑防火设计规范》GB 50016 相关条文编写，水平缝的连续密封长度参考紧靠防火墙两侧的门、窗、洞口之间最近边缘的水平距离确定，竖缝的连续密封长度参考建筑外墙上、下层开口之间最近边缘的垂直距离确定。

建筑缝隙防火封堵设计应符合现行国家标准《建筑防火封堵应用技术标准》

GB/T 51410 的要求。

5.5.9 预制外墙中的外门窗宜采用预留企口、预埋窗框或预埋附框等方式固定，并应符合下列规定：

1 采用预埋窗框或预埋附框方式时，窗框或附框应在工厂与预制外墙整体成型。

2 采用预留企口方式时，应采用安置预埋件等方法与墙体可靠连接。

【条文说明】5.5.9 门窗与洞口之间的不匹配导致门窗施工质量控制困难，容易造成门窗处漏水。门窗与墙体在工厂同步完成的预制混凝土外墙，在加工过程中能够更好地保证门窗洞口与框之间的密封性，避免形成热桥。质量控制有保障，较好地解决了外门窗的渗漏水问题，改善了建筑的性能，提升了建筑的品质。

5.5.10 当屋面采用预制女儿墙板时，宜采用与下部墙板相同的分块方式和构造节点，在其顶部应设置预制混凝土翻口（盖板）或金属盖板，并宜设置现浇叠合内衬墙，与现浇屋面楼板形成整体式的防水构造。

【条文说明】5.5.10 根据工程实践，在预制女儿墙板内侧设置现浇叠合内衬墙，有利于与现浇屋面楼板形成整体式的防水构造（图1）。

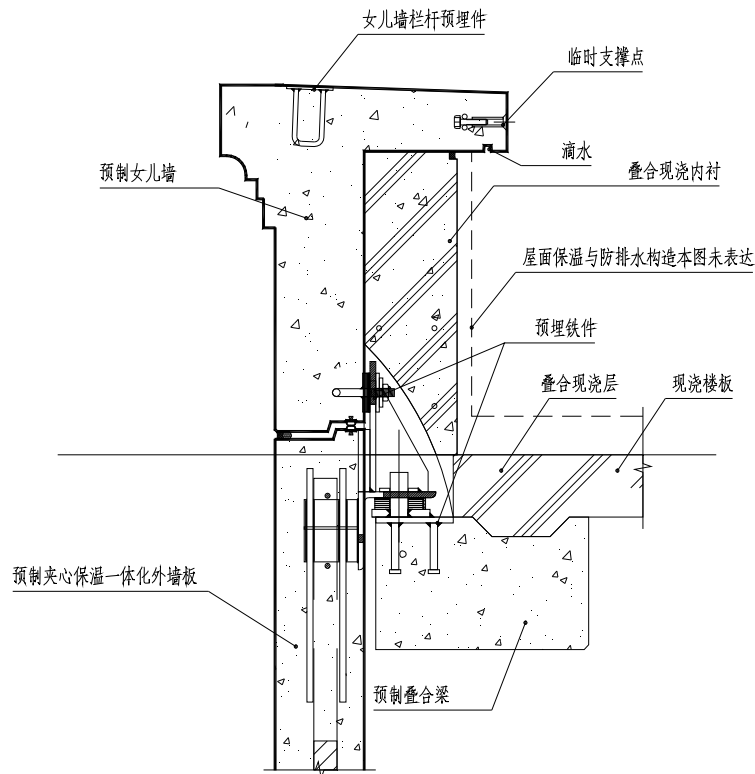


图1 预制女儿墙板现浇叠合内衬构造示意图

5.5.11 屋面应根据现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030 和《屋面工程技术规范》GB 50345 中规定的屋面防水等级要求进行防水设计，并应具有良好的排水功能，宜设置有组织排水系统。

5.5.12 建筑外墙宜采用集成保温的预制外墙体系，冬季外墙热桥部位的内表面温度不应低于室内空气露点温度。

【条文说明】5.5.12 本条鼓励采用集成保温的预制外墙体系，减少现场湿作业。内表面结露会造成围护结构材料受潮，影响保温，也影响室内环境。因此，热桥部位应采取保温措施，防止结露。

5.5.13 居住建筑的节能设计应按上海市的气候条件和建筑外围护热工设计要求确定，并应符合下列规定：

1 当采用预制夹心保温外墙时，保温层厚度应通过热工计算确定，保温材料的热工计算参数应符合现行上海市标准《预制混凝土夹心保温外墙板应用技术标准》DG/TJ 08-2158 的要求。

2 当采用预制反打保温外墙时，保温层厚度应通过热工计算确定，保温材料的热工计算参数应符合现行上海市标准《外墙保温一体化系统应用技术标准（预制混凝土反打保温外墙）》DG/TJ 08-2433A 的规定。

3 当采用现浇保温外墙时，保温层厚度应通过热工计算确定，保温材料的热工计算参数应符合现行上海市标准《外墙保温一体化系统应用技术标准（现浇混凝土保温外墙）》DG/TJ 08-2433B 的规定。

4 宜采用轻质高效的保温材料。穿透保温材料的连接件，应采取与结构耐久性相当的防腐蚀措施。

5 预制外墙板有产生结露倾向的部位，应采取提高保温材料性能的措施。

5.5.14 居住建筑围护结构设计时，应进行消除或削弱热桥的专项设计，围护结构保温层应连续。

【条文说明】5.5.14 热桥专项设计是指对围护结构中潜在的热桥构造进行加强保温隔热以降低热流通量的设计工作，热桥专项设计应遵循下列规则：

1 避让规则：尽可能不破坏或穿透外围护结构。

2 击穿规则：当管线需要穿过外围护结构时，应保证穿透处保温连续、密实无空洞。

3 连接规则：在建筑部件连接处，保温层应连续无间隙。

4 几何规则：避免几何结构的变化，减少散热面积。

5.5.15 外门窗的气密性等级应符合现行国家标准《建筑幕墙门窗通用技术条件》GB/T 7106 和上海市标准《民用建筑外窗应用技术规程》DG/TJ 08-2242 的规定；玻璃幕墙的气密性等级应符合现行国家标准《建筑幕墙》GB/T 21086 和上海市标准《建筑幕墙工程技术标准》DG/TJ 08-56 的规定。带有门窗的预制外墙，其门窗洞口与门窗框间的气密性不应低于门窗的气密性。

【条文说明】5.5.15 外门窗作为热工设计的关键部位，其热传导占整个外墙传热的比例很大。为了保证建筑节能，要求外窗具有良好的气密性能，以避免冬季室外空气过多地向室内渗漏。随着外门窗本身保温性能的不不断提高，门窗框与墙体之间缝隙成了保温的一个薄弱环节。预制混凝土外墙板可将门窗与墙体的安装过程在工厂同步完成，在加工过程中更好的保证门窗洞口与框之间的密闭性。

5.6 内装系统

5.6.1 装配式混凝土居住建筑内装体系设计应满足内装部品的连接、检修更换、物权归属和设备及管线使用年限的要求，并应符合下列规定：

1 共用内装部品不宜设置在套内专用空间内。

2 设计使用年限较短的内装部品的检修更换应避免破坏设计使用年限较长的内装部品。

3 套内内装部品的检修更换应不影响共用内装部品和其他内装部品的使用。

【条文说明】5.6.1 装配式混凝土居住建筑内装体系应考虑内装部品的后期运维及其物权归属问题，由于不同材料、设备、设施具有不同的使用年限，因此内装部品设计应符合使用维护和维修改造要求。

5.6.2 装配式混凝土居住建筑宜采用装配式内装建造方式，并符合下列规定：

- 1 采用工厂化生产的集成化内装部品。
- 2 内装部品具有通用性和互换性。
- 3 内装部品便于施工安装和使用维修。

【条文说明】5.6.2 装配式内装集成化是指部品体系宜实现以集成化为特征的成套供应及规模生产，实现内装部品、厨卫部品和设备部品等的产业化集成。通用化是指内装部品体系应符合模数化的工艺设计，执行优化参数、公差配合和接口技术等有关规定，以提高其互换性和通用性。

5.6.3 居住建筑内装与主体建筑应一体化设计，内装以及水、电、暖等设备与管线设计宜定型定位，并应与预制构件设计相协调。

5.6.4 内装设计应遵循模数协调的原则，应建立统一的内装系统模数网格与结构系统、外围护系统、设备与管线系统协调。

【条文说明】5.6.4 建立统一的模数协调网格有利于指导部品部件的规模化生产，通过部品的标准化、系列化、配套化，实现内装部品、厨卫部品、设备部品和智能化部品等产业化集成。

5.6.5 装配式混凝土居住建筑应在建筑设计阶段对内装系统的隔墙、吊顶、楼地面、墙面、集成式厨房、集成式卫生间、内门窗及整体收纳等进行部品设计选型。

【条文说明】5.6.5 装配式建筑的内装设计与传统内装设计的区别之一就是部品选型的概念，部品是装配式建筑的组成基本单元，具有标准化、系列化、通用化的特点。装配式建筑的内装设计更注重通过对标准化、系列化的内装部品选型来实现内装的功能和效果。

5.6.6 装配式隔墙部品应采用轻质内隔墙，并应符合下列规定：

- 1 隔墙空腔内可敷设管线。
- 2 隔墙上固定或吊挂物件的部位应满足结构承载力的要求。
- 3 隔墙施工应符合干式工法施工和装配化安装的要求。

【条文说明】5.6.6 装配式居住建筑采用装配式轻质隔墙，既可利用轻质隔墙的空腔敷设管线有利于工业化建造施工与管理，也有利于后期空间的灵活改造和使用维护。装配式隔墙应预先确定固定点的位置、形式和荷载，应通过调整龙骨间

距、增设龙骨横撑和预埋木方等措施为外挂安装提供条件。

5.6.7 内装部品、室内设备管线应与预制构件的深化设计紧密配合，预留位置应准确、接口设计应标准化。

5.6.8 内装部品、设备管线与主体结构的连接应符合下列规定：

1 在设计阶段宜明确主体结构的开洞尺寸及准确定位。

2 宜采用预留埋件的安装方式，当采用其他安装固定方式时，不应影响预制构件的完整性与结构安全。

【条文说明】5.6.8 除了在预制构件上预留埋件的方法以外，其他常用的方法有膨胀螺栓、自攻螺丝、钉接、粘接等固定方法，由于预制构件的强度较高，利用工具敲击构件时容易发生脆性破坏，导致构件失去既有功能。因此采用其他方法安装时，应在预制构件受力允许范围内，并不得剔凿预制构件及其现浇节点，影响结构安全。

5.6.9 内装部品应与室内设备管线进行集成设计，并应满足干式工法的要求。

【条文说明】5.6.9 采用管线分离时，室内管线的敷设通常是设置在墙、地面架空层、吊顶或轻质隔墙空腔内，将内装部品与室内设备管线进行集成设计，会提高部品集成度和安装效率，责任划分也更加明确。

5.7 设备与管线系统

5.7.1 装配式混凝土居住建筑的设备与管线宜与主体结构相分离，应方便维修更换，且不应影响主体结构安全。

【条文说明】5.7.1 本条提倡采用主体结构构件、内装部品和设备管线三部分装配化集成技术，实现室内装修、设备管线与主体结构的分离。

5.7.2 设备及其管线和预留孔洞（管道井）设计应做到构配件标准化、系列化和模块化，满足通用性和互换性的要求。

5.7.3 建筑设备与管线设计应与建筑设计同步进行，预留预埋应满足结构专业相关要求，不宜在安装完成后的预制构件上剔凿沟槽、打孔开洞等。

5.7.4 居住建筑应做好建筑设备管线综合设计，并应符合下列规定：

1 设备管线应减少平面交叉，竖向管线宜集中布置，并应满足维修更换的要求。

2 设备管线宜设置在管线架空层或吊顶空间中，各种管线宜同层敷设。

3 当条件受限管线必须暗埋时，宜结合叠合楼板现浇层以及建筑垫层进行设计。

4 当条件受限管线必须穿越时，预制构件内可预留套管或孔洞，但预留的位置不应影响结构安全。

5 建筑部品与配管连接、配管与主管道连接及部品间连接应采用标准化接口，且应方便安装使用维护。

【条文说明】5.7.4 装配式混凝土居住建筑的管线综合工作非常重要，预制构件在现场随意开孔开槽可能会影响到结构安全。因此建议在结构深化设计以前，采用包含 BIM 技术在内的多种技术手段开展三维管线综合设计，对管线在预制构件上预留的套管、开孔、开槽等做好精细化的设计以及定位，减少错漏碰缺等设计错误，减少现场返工。

5.7.5 给水系统应根据现行国家标准《建筑给水排水与节水通用规范》GB 55020 和《建筑给水排水设计标准》GB 50015 的要求进行设计、施工与安装，并应符合下列规定：

1 给水系统配水管道与部品的接口形式及位置应便于检修更换，并应采取避免结构或温度变形对给水管道接口产生影响。

2 给水分水器与用水器具的管道接口应一对一连接，在架空层或吊顶内敷设时，中间不得有连接配件，分水器设置应便于检修，并宜有排水措施。

3 宜采用装配式的管线及其配件连接。

4 敷设在吊顶或楼地面架空层的给水管道应采取防腐蚀、隔声减震和防结露等措施。

5.7.6 居住建筑卫生间宜采用同层排水，同层排水管道敷设在架空层时，宜设积水排除措施。同层排水设计应符合现行国家标准《建筑给水排水设计标准》GB

50015、行业标准《建筑同层排水工程技术规程》CJJ 232 和上海市标准《建筑同层排水系统应用技术标准》DG/TJ 08-2314 的相关规定。

【条文说明】5.7.6 当采用排水集水器时，应设置在本层架空地板处，同时应方便检修。排水集水器管径规格由计算确定。积水的排出宜设置独立的排水系统或采用间接排水方式。

5.7.7 电气和智能化设备与管线应根据现行国家标准《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024 和《民用建筑电气设计标准》GB 51348 的要求进行设计、施工与安装，并应符合下列规定：

1 电气和智能化系统的竖向主干线应在公共区域的电气竖井内设置；功能单元内终端线路较多时，宜考虑采用桥架或线槽敷设，较少时可考虑统一预埋在预制板内或装饰墙面内，墙板内竖向电气管线布置应保持安全间距，不同功能单元的管线应户界分明。

2 凡在预制墙体上设置的终端配电箱、开关、插座及其必要的接线盒、连接管等均应进行预留预埋，并应采取有效措施，满足隔声及防火要求。

3 消防线路预埋暗敷在预制墙体上时，应采用穿导管保护，并应预埋在不燃烧体的结构内，其保护层厚度不应小于 30mm。

4 沿叠合楼板现浇层暗敷的照明管路，应在预制楼板灯位处预埋深型接线盒。

5 沿叠合楼板、预制墙体预埋的电气灯头盒、接线盒及其管路与现浇相应电气管路连接时，墙面预埋盒下（上）宜预留接线空间，便于施工接管操作。

5.7.8 防雷与接地应根据现行国家标准《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024、《建筑物防雷设计规范》GB 50057 和《民用建筑电气设计标准》GB 51348 的要求进行设计、施工与安装，并应符合下列规定：

1 防雷引下线宜利用现浇立柱或剪力墙内的钢筋或采取其他可靠的措施，应避免直接利用预制构件内的竖向钢筋。

2 建筑外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物需要与防雷装置连接时，相关的预制构件内部与连接处的金属件应考虑电气回路连接或考虑不利用预制构件连接的其他方式。

5.7.9 供暖、通风和空调应根据现行国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736 的要求进行设计，并应符合下列规定：

- 1 供暖、通风和空调等设备均应选用能效比高的节能型产品。
- 2 当墙板或楼板上安装供暖与空调设备时，其连接处应采取加强措施。
- 3 暖通空调、防排烟设备及管线系统应协同设计，并应可靠连接。

6 结构设计基本要求

6.1 一般规定

6.1.1 装配整体式框架结构、半刚性框架结构、装配式自复位框架结构、装配整体式框架-现浇剪力墙结构、装配整体式框架-现浇核心筒结构、装配整体式剪力墙结构、装配整体式叠合剪力墙结构、装配整体式部分框支剪力墙结构、装配整体式异形柱框架结构、装配整体式异形柱框架-现浇剪力墙结构居住建筑的最大适用高度应符合表 6.1.1 的规定，并应符合下列规定：

1 当结构中竖向构件全部为现浇且楼盖采用叠合梁板时，最大适用高度可按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中的规定采用。

2 装配整体式剪力墙结构和装配整体式部分框支剪力墙结构，在规定的水平力作用下，当预制剪力墙构件底部承担的总剪力大于该层总剪力的 50%时，最大适用高度应适当降低。

表 6.1.1 装配式混凝土居住建筑的最大适用高度 (m)

结构体系	最大适用高度	
	7 度	8 度
装配整体式框架结构	50	40
半刚性框架结构	21	15
装配式自复位框架结构	24	22
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	120	100
装配整体式框架-现浇核心筒结构	130	100
装配整体式剪力墙结构	100	80
装配整体式叠合剪力墙结构	100	80
装配整体式部分框支剪力墙结构	80	60
装配整体式异形柱框架结构	21	12
装配整体式异形柱框架-现浇剪力墙结构	40	28

注：对平屋面或不大于 45° 的坡屋面，其房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶高度，不包括局部突出屋顶部分；对大于 45° 的坡屋面，其房屋高度指室外地面到坡屋面的 1/2 高度处。

【条文说明】6.1.1 装配整体式居住建筑的最大适用高度参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中的规定，并适当调整。根据国内外多年的研究成果，对于竖向构件全部现浇且楼盖采用叠合梁板的装配整体式框架结构，其结构性能等同于现浇混凝土结构，因此其最大适用高度可按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中的规定采用；对于框架-剪力墙（核心筒）结构，考虑到现有研究成果不多，本规程建议剪力墙（核心筒）采用现浇结构，装配整体式框架-现浇剪力墙（核心筒）结构中，装配整体式框架的性能与现浇框架等同，因此其适用高度与现浇的框架-剪力墙（核心筒）结构相同；对于框架与剪力墙（核心筒）均采用装配整体式的框架-剪力墙（核心筒）结构，待有较充分的研究成果后再给出规定；对于装配整体式剪力墙结构和装配整体式部分框支剪力墙结构，墙体之间的接缝数量多且构造复杂，接缝的构造措施及施工质量对结构整体的抗震性能影响较大，本规程从严要求，与现浇结构相比适当降低其最大适用高度；对于装配整体式异形柱框架结构和装配整体式异形柱框架-现浇剪力墙结构，编制组完成的相关试验研究表明其具有较好的抗震性能，因此本规程建议最大适用高度取为与现浇异形柱框架结构一致；当预制剪力墙数量较多时，即预制剪力墙承担的底部剪力较大时，对其最大适用高度限制更加严格。对于最大高度超过本条规定的装配整体式居住建筑，应按相关规定进行专项审查复核。对于抗震安全性和使用功能有较高要求或专门要求的装配整体式居住建筑，可采用隔震与消能减震技术。装配式自复位混凝土框架不适合于在高阶振型效应显著的结构中应用，且鉴于目前的工程应用经验不足，不高于 7 度设防烈度时，本标准将采用装配式自复位混凝土框架的结构体系适用高度限定为 24m；同时兼顾结构实现的难易程度与经济性，本标准将 8 度设防烈度的装配式自复位混凝土框架的结构体系适用高度限定为 22m。

6.1.2 装配式结构的高宽比不宜超过表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 装配式结构适用的最大高宽比

结构体系	最大高宽比	
	7 度	8 度
装配整体式框架结构	4	3

半刚性框架结构	3	2.5
装配式自复位框架结构	4	3
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	6	5
装配整体式框架-现浇核心筒结构	7	6
装配整体式剪力墙结构	6	5
装配整体式异形柱框架结构	3.5	2.5
装配整体式异形柱框架-现浇剪力墙结构	4.5	3.5

【条文说明】6.1.2 装配整体式结构最大高宽比参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《异形柱混凝土结构技术规程》JGJ 149 中的规定。

6.1.3 装配式结构构件的抗震设计，应根据抗震设防类别、结构类型和建筑高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。标准设防类装配式结构的抗震等级应按表 6.1.3 确定。

表 6.1.3 标准设防类装配式结构的抗震等级

结构类型		抗震等级						
		7 度			8 度			
装配整体式框架结构	高度(m)	≤24	>24		≤24	>24		
		框架	三	二		二	一	
	大跨度框架	二			一			
半刚性框架结构	高度(m)	≤21			≤15			
	框架	三			二			
	大跨度框架	二			一			
装配式自复位框架结构	高度(m)	≤24				≤22		
	框架	三				二		
	大跨度框架	二				一		
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	高度(m)	≤24	>24 且 ≤60	>60	≤24	>24 且 ≤60	>60	
	框架	四	三	二	三	二	一	
	剪力墙	三	二	二	二	一	一	
装配整体式剪力墙结构	高度(m)	≤24	>24 且 ≤70	>70	≤24	>24 且 ≤70	>70	
	剪力墙	四	三	二	三	二	一	
装配整体式叠合剪力墙结构	高度(m)	≤24	>24 且 ≤70	>70	≤24	>24 且 ≤70	>70	
	剪力墙	四	三	二	三	二	一	

装配整体式部分框支剪力墙结构	高度	≤24	>24 且 ≤70	>70	≤24	>24 且 ≤70	
	现浇框支框架	二	二	一	一	一	
	底部加强部位剪力墙	三	二	一	二	一	
	其他区域剪力墙	四	三	二	三	二	

注：大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架。

【条文说明】6.1.3 本条为强制性条文。标准设防类装配整体式居住建筑的抗震等级参照现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 中的规定制订。装配整体式框架结构和装配整体式框架-现浇剪力墙结构的抗震等级与现浇结构相同；装配整体式剪力墙结构和部分框支剪力墙结构的抗震等级从严要求，比现浇结构适当提高。

6.1.4 重点设防类装配整体式混凝土居住建筑应按本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施。

【条文说明】6.1.4 重点设防类装配整体式居住建筑的抗震设计要求参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中的规定制定。

6.1.5 装配式结构的平面布置宜符合下列要求：

- 1 平面形状宜简单、规则、对称，质量、刚度分布宜均匀，不应采用严重不规则的平面布置。
- 2 平面长度不宜过长（图 6.1.5），长宽比（ L/B ）宜按表 6.1.5 采用。
- 3 平面突出部分的长度 l 不宜过大、宽度 b 不宜过小（图 6.1.5）， l/B_{\max} 、 l/b 宜按表 6.1.5 采用。
- 4 平面不宜采用角部重叠或细腰形平面布置。

表 6.1.5 平面尺寸及突出部位尺寸的比值限值

抗震设防烈度	L/B	l/B_{\max}	l/b
6 度、7 度	≤6.0	≤0.35	≤2.0
8 度	≤5.0	≤0.30	≤1.5

6.1.6 装配式结构竖向布置应规则、连续、均匀，应避免抗侧力结构的侧向刚度

和承载力沿竖向突变，并应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

【条文说明】6.1.5~6.1.6 装配整体式结构的平面及竖向布置要求应不低于现浇混凝土结构。装配整体式结构不宜采用底部大开间的剪力墙结构。特别不规则的建筑会出现各种非标准的构件，且在地震作用下内力分布复杂，不宜采用装配整体式结构。

6.1.7 高层装配整体式结构的高度、规则性、结构类型等超过本规程的规定或者抗震设防标准有特殊要求时，可按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关规定进行结构抗震性能设计。

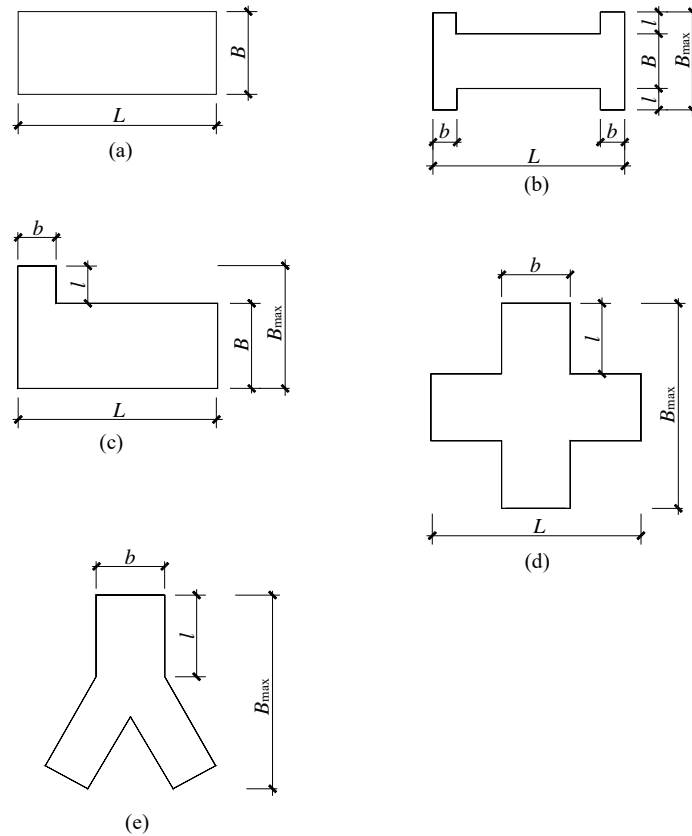


图 6.1.5 建筑平面示例

【条文说明】6.1.7 装配整体式结构抗震性能设计应根据结构方案的特殊性、选用适宜的、抗震性能目标，并应论证结构方案能够满足抗震性能目标预期要求。

6.1.8 高层装配整体式结构应符合下列规定：

- 1 应设置地下室，地下室宜采用现浇混凝土。

2 底部加强部位的剪力墙及框架首层柱宜采用现浇混凝土。

3 顶层屋盖宜采用现浇混凝土。

【条文说明】6.1.8 高层装配整体式结构的底部加强部位剪力墙和框架首层柱建议采用现浇混凝土，主要因为底部区域对整体结构的抗震性能影响较大。

顶层屋盖采用现浇混凝土主要为了保证结构的整体式。

6.1.9 带转换层的装配整体式结构应符合下列规定：

1 当采用部分框支剪力墙结构时，底部框支层不宜超过 2 层，且框支层及相邻上一层应采用现浇结构。

2 部分框支剪力墙以外的结构中，转换梁、转换柱宜现浇。

【条文说明】6.1.9 部分框支剪力墙结构的框支层受力较大，且在地震作用下容易破坏，为加强整体性，建议框支层及相邻上层采用现浇混凝土。转换梁、转换柱是保证结构抗震性能关键受力部位，且往往构件截面较大、配筋多，节点构造复杂，不适合采用预制构件。

6.1.10 装配式结构构件及节点应进行承载力极限状态及正常使用极限状态设计，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《混凝土结构工程施工规范》GB50666 等相关规定。

【条文说明】6.1.10 在装配整体式结构构件及节点的设计中，除对使用阶段进行验算外，还应重视施工阶段的验算，即短暂设计状态的验算。

6.1.11 构件及节点的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应按表 6.1.11 采用。当仅考虑竖向地震作用组合时，承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应取 1.0。预埋件锚筋截面计算的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应取为 1.0。

表 6.1.11 构件及节点承载力抗震调整系数 γ_{RE}

结构构件类别	正截面承载力计算					斜截面承载力计算	受冲切承载力计算、接缝受剪承载力计算
	受弯构件	偏心受压柱		偏心受拉构件	剪力墙	各类构件及框架节点	
		轴压比小于 0.15	轴压比不小于 0.15				
γ_{RE}	0.75	0.75	0.8	0.85	0.85	0.85	0.85

【条文说明】6.1.11 装配整体式结构构件的承载力抗震调整系数均与现浇混凝土结构相同。

6.1.12 当对抗震性能有特殊要求时，装配整体式结构宜采用各类消能减震技术。

6.1.13 预制构件节点及连接处后浇混凝土强度等级不应低于预制构件的混凝土强度等级；接缝坐浆材料强度等级不应低于预制构件的混凝土强度等级。

6.1.14 预埋件和连接件等外露金属件应按不同环境类别进行封闭或防腐、防锈、防火处理，并应符合耐久性要求。

6.2 作用及作用组合

6.2.1 装配式结构上的作用及作用组合应根据现行国家标准《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、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 等确定。

【条文说明】6.2.1 对装配整体式结构进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算时，荷载和地震作用的取值及其组合均应按国家、行业现行相关标准执行。

6.2.2 预制构件在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取 1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取 1.2。

【条文说明】6.2.2 对装配整体式结构进行短暂设计状况下的施工验算除了应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 外，还应进行安装过程中的抗风分析和临时支撑系统安全性分析。

6.2.3 预制构件在进行脱模验算时，等效静力荷载标准值应取构件自重标准值乘以动力系数与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的 1.5 倍。动力系数与脱模吸附力应符合下列规定：

1 动力系数不宜小于 1.2。

2 脱模吸附力应根据构件和模具结合面的实际状况取用，且不宜小于 1.5kN/m^2 。

【条文说明】6.2.3 预制构件进行脱模时，受到的荷载包括：自重，脱模起吊瞬间的动力效应，脱模时模板与构件表面的吸附力。其中，动力效应采用构件自重标准值乘以动力系数计算；脱模吸附力是作用在构件表面的均布力，与构件表面和模具状况有关，根据经验一般不小于 1.5kN/m^2 。等效静力荷载标准值取构件自重标准值乘以动力系数与脱模吸附力之和。

6.3 结构分析

6.3.1 在各种设计状况下，装配整体式结构可采用与现浇混凝土结构相同的方法进行结构分析。当同一结构层内既有预制又有现浇抗侧力构件时，抗震设计状况下宜对现浇抗侧力构件在地震作用下的弯矩和剪力进行适当放大。

6.3.2 装配式结构承载能力极限状态及正常使用极限状态的作用效应分析可采用弹性方法。

1 对于重点设防类或结构高度大于 30m 的装配整体式框架结构应采用弹性时程分析法进行补充计算。

2 预制半刚性节点混凝土框架结构，当房屋高度超出表 6.3.2 中的规定时，应进行罕遇地震作用下的弹塑性分析。

表 6.3.2 半刚性框架时应进行弹塑性分析房屋高度

抗震设防烈度	7 度	8 度
房屋高度 (m)	21	15

【条文说明】6.3.1~6.3.2 在预制构件之间及预制构件与现浇及后浇混凝土的接缝处，当受力钢筋采用安全可靠地连接方式且接缝采用后浇混凝土连接时，结构的整体性能与现浇结构相似，设计中可采用与现浇混凝土结构相同的方法进行结构分析，并根据本规程的相关规定对计算结果进行适当的调整。

对于采用预埋件焊接连接、螺栓连接等连接节点的装配整体式结构，应根据连接节点的类型，确定相应的计算模型，选取适当的方法进行结构分析。

对于短暂设计状况下的施工验算，应采用符合实际施工状况的计算模型。

对于采用半刚性连接节点形成的框架结构，由于其节点性能与现浇结构有一定差异，只进行小震分析并不一定能保证结构在罕遇地震下的安全性，因此要求

结构高度较大时进行弹塑性分析。依据来源：预应力装配式混凝土框架结构技术标准第 5.1.8 条。

6.3.3 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位移 Δ_u 与层高 h 之比的限值宜按表 6.3.3 采用。

表 6.3.3 楼层层间最大位移与层高之比的限值

结构体系		Δ_u / h 限值
装配整体式框架结构		1/550
半刚性框架结构		1/400
装配式自复位框架结构		1/400
装配整体式框架-现浇剪力墙结构	其他部位	1/800
	嵌固端上一层	1/2000
装配整体式框架-现浇核心筒结构	其他部位	1/800
	嵌固端上一层	1/2000
装配整体式剪力墙结构	其他部位	1/1000
	嵌固端上一层	1/2500
装配整体式部分框支剪力墙结构	其他部位	1/1000
	嵌固端上一层	1/2500
装配整体式异形柱框架结构		1/600
装配整体式异形柱框架-现浇剪力墙结构		1/850

【条文说明】6.3.3 装配整体式结构的层间位移角限值与现浇结构相同。

6.3.4 在结构内力与位移计算时，对现浇楼盖和叠合楼盖，均可假定楼盖在其自身平面内为无限刚性；楼面梁的刚度可计入翼缘作用予以增大；梁刚度增大系数可根据翼缘情况近似取为 1.3~2.0。

【条文说明】6.3.4 叠合楼盖和现浇楼盖对梁刚度均有增大作用，无后浇层的装配式楼盖对梁刚度增大作用较小，设计中可以忽略。

6.3.5 采用装配式自复位框架的结构，在多遇地震、设防地震和罕遇地震作用下的抗震性能目标应符合表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 装配式自复位框架结构的抗震性能目标

地震水准	性能水准	具体性能要求					
		框架梁、 框架柱	梁柱 节点	层间位移角 限值	残余层间 位移角限值	构件端部 外置消能器	预应力筋

多遇地震	完好	弹性	弹性	1/400	—	金属消能器不屈服, 摩擦消能器不起滑	弹性
设防地震	基本完好	框架梁端混凝土不剥落, 框架柱保持弹性	弹性	1/100	1/500	不破坏	弹性
罕遇地震	中等破坏	框架梁端、底层框架柱底端混凝土不压碎, 除底层柱底端外的其他柱端不屈服	受剪不屈服	1/40	1/200	不破坏	弹性

【条文说明】6.3.5 装配式自复位混凝土框架结构除需进行多遇地震作用下基于线弹性假定的设计验算外, 还需对结构在罕遇地震作用下进行非线性阶段的变形能力验算与承载力设计。对于表中三水准的抗震性能目标要求, 多遇地震作用下, 构件保持弹性可通过承载力验算进行判断。接缝处弯矩小于屈服弯矩时, 即可保证“金属消能器不屈服, 摩擦消能器不起滑”。罕遇地震作用下, “框架梁端、底层框架柱底端混凝土不压碎”可通过本标准第 A.3.10 条受压区高度计算进行检验; “除底层柱底端外的其他柱端不屈服”、“梁柱节点受剪不屈服”可按现行行业标准《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ/T 140 的相关规定计算。当罕遇地震下的构件和梁柱节点满足抗震性能目标的验算要求时, 设防地震下的“框架梁端混凝土不剥落, 框架柱保持弹性”以及“梁柱节点保持弹性”一般能自动满足。罕遇地震下的预应力筋“保持弹性”可通过本标准第 A.3.5 条进行判断, 当满足该要求时, 多遇地震和设防地震下的预应力筋“保持弹性”一般能自动满足。当采用角钢消能器时, 消能器“不破坏”可采用本标准第 A.3.6 条进行判断。

在多遇地震、设防地震和罕遇地震作用下, 需验算结构楼层内最大层间位移角是否符合表 6.3.5 的相关规定。在设防地震和罕遇地震作用下, 还需验算结构各层的最大残余层间位移角是否满足 6.3.5 的相关规定。根据已有研究成果, 当结构的残余层间位移角超过 1/200 时, 居住者会感到明显不适, 门窗启闭会有困难; 另外, 可利用残余层间位移角定义建筑结构的损伤状态, 当残余层间位移角大于 1/200 时, 建筑结构震后损伤较为严重, 修复的技术难度和费用都较高。

因此，将 1/200 作为罕遇地震后的残余层间位移角限值。

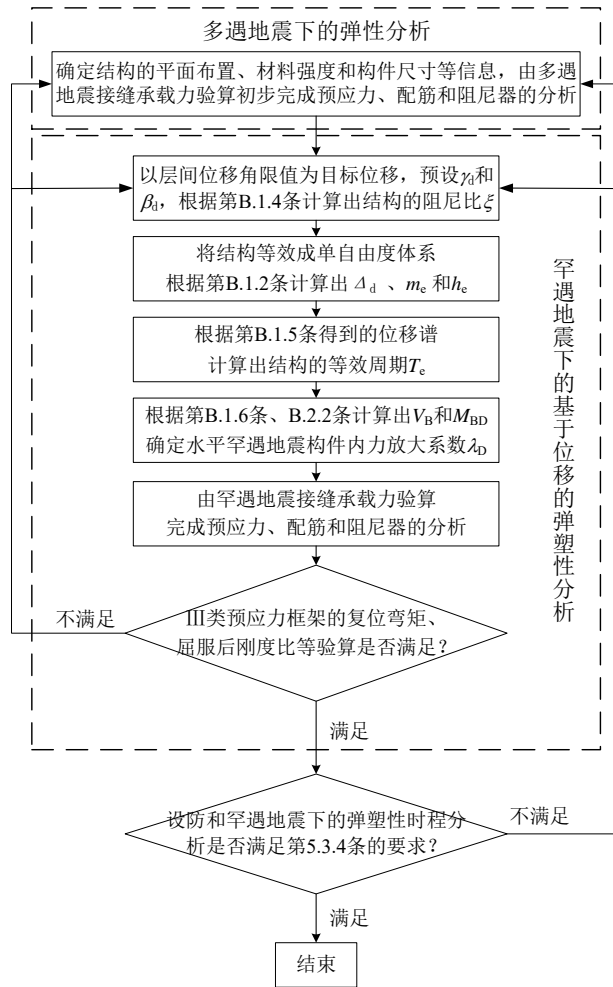


图1 装配式自复位混凝土框架的结构分析流程

6.4 预制构件设计

6.4.1 预制构件的设计应符合下列规定：

- 1 对持久设计状况，应对预制构件进行承载力、变形、裂缝验算。
- 2 对地震设计状况，应对预制构件进行承载力验算。

3 对制作、运输和堆放、安装等短暂设计状况下的预制构件验算，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定。

【条文说明】6.4.1 应注意包含预埋件在内的预制构件在短暂设计状况下的承载能力的验算，对预制构件在脱模、翻转、起吊、运输、堆放、安装等制备和施工过程中的安全性进行分析。

6.4.2 预制构件中钢筋的混凝土保护层厚度大于 50mm 时，宜对钢筋的混凝土保护层采取有效的构造措施。

【条文说明】6.4.2 预制梁、柱构件由于节点区钢筋布置空间的需要，保护层往往较大。当保护层大于 50mm 时，宜采取增设钢筋网片等措施，控制混凝土保护层的裂缝及在受力过程中的剥离脱落。

6.5 连接设计

6.5.1 装配式结构中，接缝的受剪承载力应符合下列规定：

1 持久设计状况：

$$\gamma_0 V_{jd} \leq V_u \quad (6.5.1-1)$$

2 地震设计状况：

$$V_{jdE} \leq V_{uE} / \gamma_{RE} \quad (6.5.1-2)$$

在梁、柱端部箍筋加密区及剪力墙底部加强部位，尚应符合下式要求：

$$\eta_j V_{mua} \leq V_{uE} \quad (6.5.1-3)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，安全等级为一级时不应小于 1.1，安全等级为二级时不应小于 1.0；

V_{jd} ——持久设计状况下接缝剪力设计值；

V_{jdE} ——地震设计状态下接缝剪力设计值；

V_u ——持久设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值；

V_{uE} ——地震设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值；

V_{mua} ——被连接构件端部按实配钢筋面积计算的斜截面受剪承载力设计值；

η_j ——接缝受剪承载力增大系数，抗震等级为一、二级取 1.2，抗震等级为三、四级取 1.1。

【条文说明】6.5.1 后浇混凝土、灌浆料或坐浆材料与预制构件结合面的抗剪强

度往往低于预制构件本身混凝土的抗剪强度。因此，预制构件的接缝一般都需要进行受剪承载力的计算。本条对各种接缝的受剪承载力提出了总的要求。

对于装配整体式结构的控制区域，应保证接缝的承载力设计值大于被连接构件的承载力设计值乘以接缝受剪承载力增大系数，接缝受剪承载力增大系数根据抗震等级、连接区域的重要性以及连接类型，参照 ACI 318 中的规定确定。同时，也要求接缝的承载力设计值大于设计内力，保证接缝的安全。对于其他区域的接缝，可采用延性连接，允许连接部位产生塑性变形，但要求接缝的承载力设计值大于设计内力，保证接缝的安全。

6.5.2 装配式结构中，接缝的正截面承载力应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

6.5.3 装配式结构中，纵向钢筋连接宜根据受力特点、施工工艺等要求选用机械连接、套筒灌浆连接、金属波纹管浆锚搭接连接、螺栓连接、焊接连接、绑扎搭接连接、预应力连接等连接方式，并应符合国家现行相关标准的规定。

【条文说明】6.5.3 装配整体式框架结构中，框架柱的纵筋连接宜采用套筒灌浆连接（包括两端灌浆连接套筒和一端灌浆连接一端螺纹连接套筒），也可根据实际情况采用螺栓连接、预应力连接；连接梁的水平钢筋连接可根据实际情况选用机械连接、焊接连接或者套筒灌浆连接。装配整体式剪力墙结构中，预制剪力墙竖向钢筋的连接可采用套筒灌浆连接、金属波纹管浆锚搭接连接、螺栓连接以及基于 UHPC 搭接连接，水平分布筋的连接可采用焊接、搭接等。有可靠试验依据时，也可采用其他连接方式。

6.5.4 纵向钢筋采用套筒灌浆连接时，应符合下列规定：

1 接头应满足现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 355 中 I 级接头的性能要求，并应符合国家现行相关标准的规定。

2 预制剪力墙中钢筋接头处套筒外侧混凝土保护层厚度不应小于 15mm，预制柱中钢筋接头处套筒外侧箍筋的混凝土保护层厚度不应小于 20mm。

3 套筒之间的净距不应小于 25mm。

【条文说明】6.5.4 采用的套筒和灌浆料应符合现行行业标准《钢筋套筒灌浆连

接应用技术规程》JGJ 335 的规定。该类接头的应用技术也参照现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ 335 中有关一级接头的要求。

6.5.5 纵向钢筋采用金属波纹管浆锚搭接连接（图 6.5.5）时，应满足下列要求：

1 受拉钢筋的搭接长度不应小于 $1.2l_{aE}$ 且不应小于 300mm， l_{aE} 为受拉钢筋的抗震锚固长度，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算。受压钢筋当充分利用其抗压强度时，锚固长度不应小于受拉锚固长度的 0.7 倍。

2 金属波纹管的长度应比连接钢筋锚固长度长 30mm 以上，内径应比连接钢筋直径大 15mm 以上，波纹高度不应小于 3mm，壁厚不宜小于 0.4mm。金属波纹管上部应根据灌浆要求设置合理弧度。

3 对于预制剪力墙非边缘构件内的竖向分布钢筋搭接区段，宜采用水平分布加密的构造，加密范围为搭接高度向上延伸 100mm，加密区水平分布钢筋应符合本规程表 8.3.5 的要求。

4 对于预制剪力墙边缘构件区竖向分布钢筋搭接区段应采用箍筋加密构造，应沿搭接区段全高加密。其中箍筋加密构造可采用仅在搭接区段范围内设置附加箍筋。

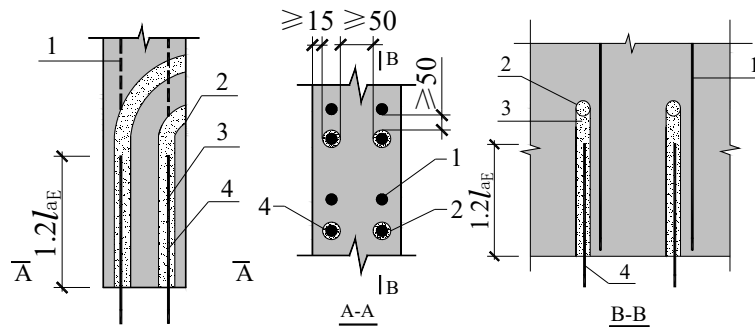


图 6.5.5 配置金属波纹管的浆锚搭接连接构造示意

1—上部预制构件纵筋；2—金属波纹管；3—孔道内灌浆；4—下部预制构件纵筋

【条文说明】6.5.5 浆锚搭接连接在欧洲有多年的应用历史，并形成了较为完整的技术标准。近年来，编制组开展了一系列针对金属波纹管浆锚搭接连接的试验研究，结果表明该连接构造具有良好的受力性能，可保证预制构件之间以及预制构件与现浇构件之间的可靠连接。本条主要基于上述试验研究成果，并参照国内外相关研究成果制订。

6.5.6 直径大于 20mm 的钢筋不宜采用金属波纹管浆锚搭接连接，直接承受动力荷载构件的纵向钢筋不应采用金属波纹管浆锚搭接连接。

6.5.7 纵向钢筋采用螺栓连接时，可采用设置暗梁的形式（图 6.5.7a）或预埋连接器的形式（图 6.5.7b）。应对暗梁和预埋连接器在不同设计状况下的承载力进行验算，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《钢结构设计规范》GB 50017。螺帽应采取紧固措施，并符合下列规定：

1 当采用设置暗梁形式时，暗梁高度不应小于 200mm，暗梁配筋纵向钢筋不少于 4 根、直径不小于 12mm，箍筋直径不小于 8mm、间距不大于 150mm。安装手孔高度不应大于 200mm，宽度不应大于 150mm。

2 采用连接器连接时，自连接器手孔盒顶部向上延伸一定范围内，横向钢筋应加密。横向钢筋的加密要求应满足本规程第 7 章和第 8 章关于钢筋灌浆套筒连接接头箍筋和水平筋加密的相关规定。

【条文说明】6.5.7 螺栓连接在美国和欧洲应用普遍，并形成了较为完善的技术标准和产品体系。近年来，编制组开展了一系列针对螺栓连接的试验研究，结果表明该连接构造具有良好的受力性能，可保证预制构件之间以及预制构件与现浇构件之间的可靠连接。本条主要基于编制组的试验研究成果，并参照国内外相关研究成果制订。该连接构造中采用的预埋连接器宜为满足设计要求的定型产品。

6.5.8 预制构件与后浇混凝土、灌浆料、坐浆材料的结合面应设置粗糙面、键槽，并应符合下列规定：

1 预制板与后浇混凝土叠合层之间的结合面应设置粗糙面。

2 预制梁与后浇混凝土叠合层之间的结合面应设置粗糙面；预制梁端面应设置键槽且宜设置粗糙面。键槽的尺寸和数量应按本规程第 7.2.2 条的规定计算确定。

3 预制剪力墙的顶部和底部与后浇混凝土的结合面应设置粗糙面；侧面与后浇混凝土结合面应设置粗糙面，也可设置键槽。

4 预制柱的底部应设置键槽且宜设置粗糙面，键槽应均匀布置并应合理设置排气孔。柱顶应设置粗糙面。

5 粗糙面的面积不宜小于结合面的 80%，预制板的粗糙面凹凸深度不应小于 4mm，预制梁端、预制柱端、预制墙端的粗糙面凹凸深度不应小于 6mm。

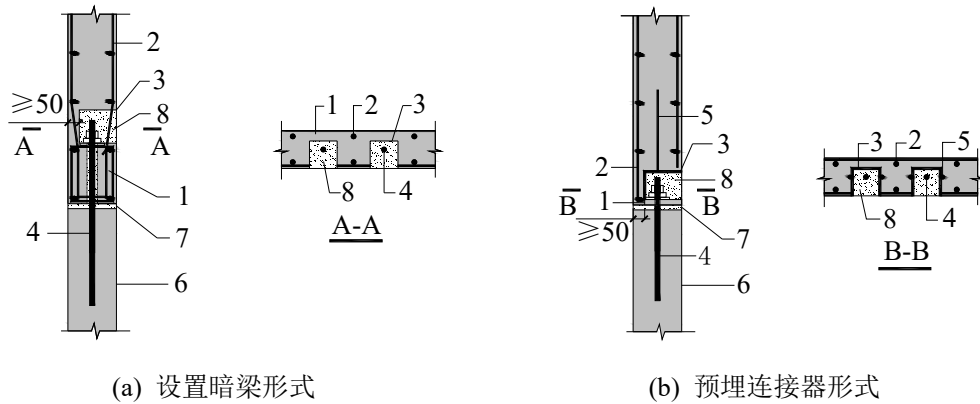


图 6.5.7 螺栓连接构造示意

1—暗梁或预埋连接器；2—剪力墙竖向钢筋；3—手孔（盒）；4—连接螺栓；5—连接器锚筋；
6—下层预制构件；7—坐浆层；8—手孔灌浆

【条文说明】6.5.8 试验表明，预制梁端采用键槽的方式时，其受剪承载力一般大于粗糙面，且易于控制加工质量及检验。键槽构造宜符合图 4 的要求。键槽深度太小时，易发生承压破坏；当不会发生承压破坏时，增加键槽深度对增加受剪承载力没有明显帮助，键槽深度一般在 3cm 左右。梁端键槽数量通常较少，一般为 1~3 个，可以通过公式较准确计算键槽的受剪承载力。对于预制墙板侧面，键槽数量很多，和粗糙面的工作机理类似，键槽深度及尺寸可较小。

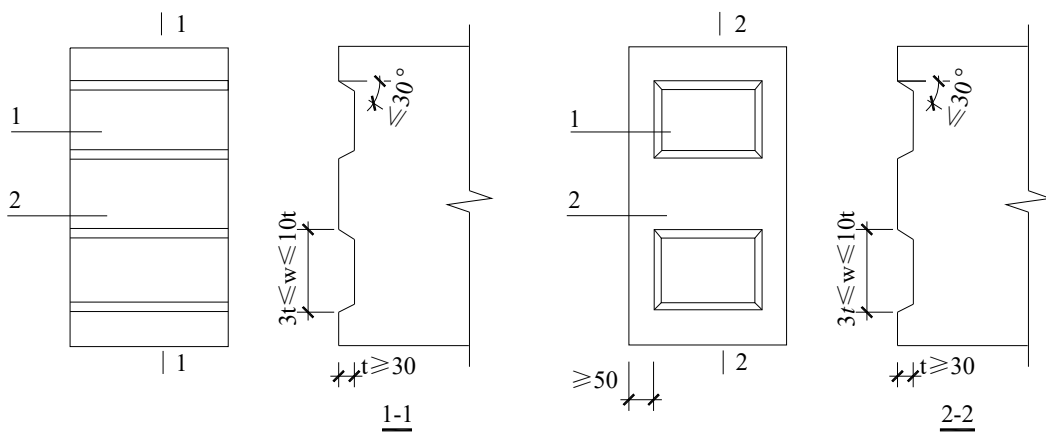


图 4 梁端键槽构造示意图

1—键槽；2—梁端面

6.5.9 预制构件纵向钢筋宜在后浇混凝土节点区直线锚固；当直线锚固长度不足

时,可采用弯折、机械锚固方式,并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和行业标准《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 的规定。

【条文说明】6.5.9 预制构件纵向钢筋的锚固多采用锚固板的机械锚固方式,伸出构件的钢筋长度较短且不需弯折,便于构件加工及安装。

6.5.10 预制楼梯与支承构件之间宜采用一端固定铰支座,另一端滑动铰支座的连接方式,并应采取防止滑落的构造措施。当梯段间剪力墙为建筑外墙时,宜采用现浇,若采用预制时,要求楼梯平台板和楼梯梁采用现浇结构,平台板厚度不应小于 100mm。

【条文说明】6.5.10 预制楼梯的最小搁置长度采用装配整体式剪力墙、装配整体式框架—现浇剪力墙(核心筒)结构时不小于 75mm,采用装配整体式框架结构时不小于 100mm。最小搁置长度尚应大于罕遇地震作用下的支承构件的水平位移,确保梯段不滑落。

6.5.11 成型钢筋的设计和构造要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构用成型钢筋制品》GB/T 29733 的有关规定,并符合下列规定:

1 成型钢筋采用机械连接时,钢筋机械连接的连接区段长度应按 $35d$ 计算,当直径不同的钢筋连接时,按直径较小的钢筋计算。位于同一连接区段内的钢筋机械连接接头百分率应符合下列规定:

1) 接头宜设置在结构构件受拉钢筋应力较小部位,高应力部位设置接头时,同一连接区段内 III 级接头的接头百分率不应大于 25%,II 级接头的接头百分率不应大于 50%。I 级接头的接头百分率直接承受重复荷载的结构构件外可不受限制。

2) 接头宜避开有抗震设防要求的框架的梁端、柱端箍筋加密区。当无法避开时,可采用 I 级或 II 级接头,当采用 II 级接头时,接头百分率不应大于 50%。

3) 对直接承受重复荷载的结构构件,接头百分率不应大于 50%。

4) 受拉钢筋应力较小部位或纵向受压钢筋,接头百分率可不受限制。

2 成型钢筋骨架中箍筋末端弯钩应符合下列规定:

1) 对一般结构构件,箍筋弯钩的弯折角度不应小于 90° 弯折后平直段长度不

应小于 5d；对有抗震设防要求或设计有专门要求的结构构件，箍筋弯钩的弯折角度不应小于 135°，弯折后平直段长度不应小于 10d。

2) 对抗震等级为三、四级的结构构件，当可忽略扭矩对构件的影响时，箍筋末端可采用不小于 90° 的弯钩，且宜沿纵向受力钢筋方向交错设置弯钩平直段长度不应小于 12d。

3) 对需要考虑扭矩作用的结构构件，箍筋末端采用 90° 弯钩时，应在箍筋弯钩搭接处焊接，焊接长度应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的有关规定。

【条文说明】6.5.11 本条给出纵向受力钢筋机械连接接头宜相互错开和接头连接区段长度为 35d 的规定。接头百分率关系到结构的安全、经济和方便施工。本条规定综合考虑了上述三项因素，在国内钢筋机械接头质量普遍有较大提高的情况下，放宽了接头使用部位和接头面积百分率限制，从而在保证结构安全的前提下，既方便了施工又可取得一定的经济效益，尤其对某些特殊场合解决在同一截面 100% 钢筋连接创造了条件。根据本条规定，只要接头面积百分率不大于 50%，II 级接头可以在抗震结构中的任何部位使用。

近年来，编制组开展了一系列成型钢筋混凝土构件的试验研究，结果表明混凝土梁、柱、剪力墙采用 90° 箍筋弯钩、12d 弯钩搭接长度时均具有良好的抗震性能。对抗震等级为三、四级的结构构件，当可忽略扭矩对构件的影响时，箍筋末端可采用 90° 弯钩，弯钩平直段长度不应小于 12d 的做法，为工程中使用箍筋 90° 弯钩创造了条件。

6.6 楼盖设计

6.6.1 装配整体式结构的楼盖宜采用叠合楼盖。结构转换层、平面复杂或开洞较大的楼层、作为上部结构嵌固部位的地下室楼层宜采用现浇楼盖。

【条文说明】6.6.1 叠合楼盖有多种形式，包括预应力叠合楼盖、带肋叠合楼盖、箱式叠合楼盖等。本节中主要对常规叠合楼盖的设计方法及构造要求进行了规定。其他形式的叠合楼盖的设计方法可参考行业现行相关规程。结构转换层、平

面复杂或开洞较大的楼层、作为上部结构嵌固部位的地下室楼层对整体性及传递水平力的要求较高，宜采用现浇楼盖。

6.6.2 叠合板应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行设计，并应符合下列规定：

1 叠合板的预制板厚度不宜小于 60mm，后浇混凝土叠合层厚度不应小于 60mm。

2 当跨度较大时，预制板宜采用预应力混凝土预制板。

3 板厚大于 180mm 的叠合板，预制板宜采用预应力混凝土空心板（厨房、卫生间等潮湿、可能积水的部位除外）。

4 当预制板采用空心板时，板端空腔应封堵。

5 当预制板采用预应力空心板时，应采用符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 规定的低松弛钢绞线，且预应力空心板之间应能相互咬合、变形协调。

【条文说明】6.6.2 叠合板后浇层最小厚度的规定考虑了楼板整体性要求以及管线预埋、面筋铺设、施工误差等因素。预制板最小厚度的规定考虑了脱模、吊装、运输、施工等因素。

当板跨度较大时（一般大于 6m），采用预应力混凝土预制板经济性较好。板厚大于 180mm 时，为了减轻楼板自重，节约材料，推荐采用预应力混凝土空心楼板。

6.6.3 装配式自复位框架与楼板连接应符合下列规定（图 6.6.3）：

1 板与柱之间，宜采用柔性材料隔离。

2 板与梁全长范围内应采用橡胶垫层隔离，并应采用螺栓连接，螺栓孔内应填充柔性材料，螺栓间距不应大于 600mm。

3 多遇地震作用下，应采取可靠措施保证板与梁之间不发生滑移。

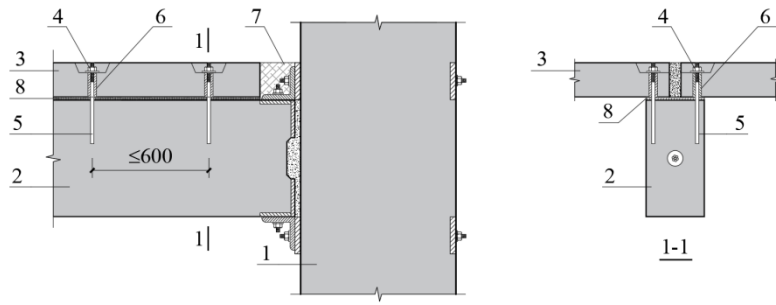


图 6.6.3 梁板脱开区域内梁与预制楼板螺栓柔性连接

1—预制柱；2—预制梁；3—预制板；4—螺母及垫片；5—预埋螺栓；6—柔性填充材料；7—柔性材料；8—橡胶垫层

6.6.4 装配式自复位框架的楼盖构造不应限制梁柱接缝的开合。罕遇地震作用下，梁板间应允许相对滑移，滑移幅度应按下列公式计算：

$$\Delta_p \geq n\theta(h_b - x_c) \quad (6.6.4)$$

式中： Δ_p —— 罕遇地震作用下，梁板间允许的滑移幅度；

n —— 楼板作用区域范围内梁柱结合面开合缝隙的数量；

h_b —— 梁高；

x_c —— 框架梁截面混凝土受压区高度， $x_c = x / \beta_1$ ， β_1 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值。

7 框架结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于装配整体式钢筋混凝土框架结构、装配整体式混凝土异形柱框架结构、半刚性框架结构和装配式自复位混凝土框架结构四类装配式框架结构设计。

7.1.2 除本规程另有规定外，装配整体式框架-现浇剪力墙（核心筒）结构和装配整体式异形柱框架-现浇剪力墙的框架应符合本章的规定。

7.1.3 除本规程规定外，装配整体式框架结构可按现浇混凝土框架结构进行计算。

【条文说明】7.1.1~7.1.3 根据国内外多年的研究成果，在地震区的装配式整体式框架结构，当采取了可靠的节点连接方式和合理的构造措施后，其性能可等同与现浇混凝土框架结构，并采用和现浇结构相同的方法进行结构设计和分析。

7.1.4 装配整体式框架中预制柱的纵向钢筋连接应符合下列规定：

1 当房屋高度不大于 12m 或层数不超过 3 层时，预制柱的纵向钢筋可采用套筒灌浆连接、螺栓连接、焊接连接、机械连接等方式。

2 当房屋高度大于 12m 或层数超过 3 层时，预制柱的纵向钢筋宜采用套筒灌浆连接、螺栓连接、机械连接。

【条文说明】7.1.4 套筒灌浆连接方式在日本和欧美等发达国家应用普遍，我国也开展较为系统的试验研究，并形成较为完善的产品体系与技术规程。当结构层数较多时，柱的纵向钢筋采用套筒灌浆连接可保证结构的安全。对于低层框架结构，柱的纵向钢筋连接也可以采用一些相对简单及造价较低的方法。

7.1.5 在多遇地震作用下，装配式框架结构中预制柱水平接缝处不宜出现拉力。

【条文说明】7.1.5 试验研究表明，预制柱的水平接缝抗剪承载力受柱轴力影响较大。当柱受拉时，水平接缝的抗剪能力较差，易发生接缝的滑移错动。因此，应通过合理的结构布置，避免遭遇多遇地震时柱的水平接缝处出现拉力。

7.1.6 梁柱节点进行截面抗震验算时，可计入有效预加力的影响；预应力筋穿过

梁柱节点时，应计入预应力孔道对受剪截面有效面积的削弱影响。

【条文说明】7.1.6 由于预应力对节点的侧向约束作用，节点混凝土处于双向受压状态，不仅可以提高节点的开裂荷载，也可以提高节点的受剪承载力。预留孔道穿过节点，会对截面造成一定程度的削弱，进而影响节点的承载能力，特别是穿过节点的预留孔道总截面面积较大时，这种影响会更加明显。因此，梁柱节点核心区进行截面抗震验算时，可考虑总有效预加力的有利影响，并应考虑预应力孔道削弱核心区有效面积的影响。

7.1.7 预应力筋端部锚固区应符合下列规定：

1 当锚具设置在梁柱节点时，应计入锚具对受剪截面的削弱影响。

2 预应力筋端部锚固区的承载力、构造及锚具防护应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的有关规定。当采用无粘结预应力筋时，尚应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的规定。

【条文说明】7.1.7 在后张预应力混凝土结构构件中，承受锚具传来的预加力并使构件截面混凝土应力趋于均匀的构件区段称为预应力筋端部锚固区。现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 对采用普通垫板和整体铸造垫板的局部受压承载力和锚固区间接钢筋、加强钢筋的配置给出了具体规定。对整体铸造锚固板，《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 还给出了锚固区传力性能试验验证的要求、锚具的防腐及耐火措施。现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 对无粘结预应力钢绞线锚固区的防腐蚀、耐久性等提出了具体的要求和措施。

7.1.8 采用预应力框架的结构中，楼盖的次梁和主梁的连接节点宜为铰接，双 T 板和主梁、空心板和主梁应为铰接。

7.1.9 装配式自复位框架的连接设计，除应符合本章规定外，尚应符合本标准附录 A 的规定。

7.2 承载力计算

7.2.1 对于一、二、三级抗震等级的装配式框架，应进行节点核心区抗震受剪承

承载力验算，对四级抗震等级可不进行验算。梁柱节点核心区受剪承载力抗震验算和构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和行业标准《预应力混凝土结构抗震设计》JGJ 140、《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 的相关规定。

7.2.2 钢筋混凝土叠合梁端竖向接缝采用直缝构造时，其受剪承载力设计值应按下列公式计算：

1 持久设计状况

$$V_u = 0.07f_c A_{c1} + 0.10f_c A_k + 1.65A_{sd} \sqrt{f_c f_y} \quad (7.2.2-1)$$

2 地震设计状况

$$V_{uE} = 0.04f_c A_{c1} + 0.06f_c A_k + 1.65A_{sd} \sqrt{f_c f_y} \quad (7.2.2-2)$$

式中： A_{c1} ——叠合梁端截面后浇混凝土叠合层截面面积；

f_c ——预制构件或后浇混凝土轴心抗压强度设计值较低值；

f_y ——垂直穿过结合面钢筋的抗拉强度设计值；

A_k ——各键槽的根部截面面积（图 7.2.2）之和，按后浇键槽根部截面和预制键槽根部截面分别计算，并取二者的较小值；

A_{sd} ——垂直穿过结合面所有钢筋的面积，包括叠合层内的纵向钢筋。

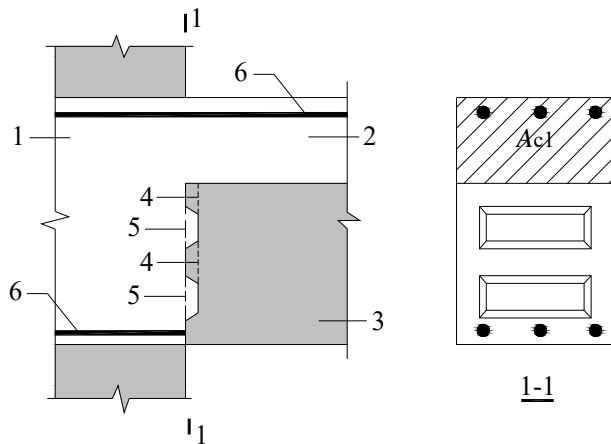


图 7.2.2 叠合梁端部抗剪承载力计算参数示意

1—后浇节点区；2—后浇混凝土叠合层；3—预制梁；4—预制键槽根部截面；

5—后浇键槽根部截面；6—叠合梁纵向钢筋

【条文说明】7.2.2 叠合梁端结合面主要包括框架梁与节点区的结合面、梁自身连接的结合面以及次梁与主梁的结合面等几种类型。结合面的受剪承载力的

组成主要包括：新旧混凝土结合面的粘结力、键槽的抗剪能力、后浇混凝土叠合层的抗剪能力、梁纵向钢筋的销栓抗剪作用等。

本规程不考虑混凝土的自然粘结作用是偏安全的。取混凝土抗剪键槽的受剪承载力、后浇层混凝土的受剪承载力、穿过结合面的钢筋的销栓抗剪作用之和作为结合面的抗剪面承载力。地震往复作用下，对后浇混凝土叠合层和混凝土键槽的受剪承载力进行折减，参照混凝土斜截面受剪承载力设计方法，折减系数取 0.6。

研究表明，混凝土抗剪键槽的受剪承载力一般为 $0.15\sim 0.2f_cA_k$ ，但由于混凝土抗剪键槽的受剪承载力和钢筋的销栓抗剪作用一般不会同时达到最大值，因此在计算公式中，混凝土抗剪键槽的受剪承载力进行折减，取 $0.1f_cA_k$ 。抗剪键槽的受剪承载力取各抗剪键槽根部受剪承载力之和；梁端抗剪键槽数量一般较少，沿高度方向一般不会超过 3 个，不考虑群键作用。抗剪键槽破坏时，可能沿现浇键槽或预制键槽的根部破坏，因此计算抗剪键槽受剪承载力时应按现浇键槽和预制键槽根部剪切面分别计算，并取二者的较小值。设计中，应尽量使现浇键槽和预制键槽根部剪切面面积相等。钢筋销栓作用的受剪承载力计算公式主要参照日本的装配式框架设计规程中的规定，以及国内相关试验研究结果，同时考虑混凝土强度及钢筋强度的影响。

7.2.3 螺栓连接混凝土叠合梁端竖向接缝的抗剪承载力设计值应按下列公式计算：

1 持久设计状况、短暂设计状况

$$V_{uk} = 0.07f_cA_{c1} + 0.10f_cA_k + 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y} + nV_{Ed}^1 \quad (7.2.5-1)$$

2 地震设计状况

$$V_{ue} = 0.04f_cA_{c1} + 0.06f_cA_k + 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y} + nV_{Ed}^1 \quad (7.2.5-2)$$

式中： A_{c1} —— 叠合梁端截面后浇混凝土叠合层截面面积；

f_c —— 预制构件或后浇混凝土轴心抗压强度设计值较低值；

f_y —— 垂直穿过结合面钢筋的抗拉强度设计值；

A_k —— 各键槽的根部截面面积之和，按后浇键槽根部截面和预制键槽根部截面分别计算，并取二者的较小值；

A_{sd} ——垂直穿过结合面所有钢筋的面积，包括叠合层内的纵向钢筋；
 n ——垂直穿过结合面所有螺栓的数量；

V_{Ed}^1 ——单个螺栓抗剪承载力设计值。

【条文说明】7.2.3 在本规程 7.2.2 的基础上，参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010，同时考虑了螺杆对接缝受剪承载力的贡献。在非预应力钢筋混凝土叠合梁端竖向接缝的抗剪承载力计算公式的基础上，加上一项螺杆的抗剪设计值。当采用设置牛腿的构造方案时，尚应考虑牛腿的抗剪作用

7.2.4 在地震设计状况下，预制柱底水平接缝的受剪承载力设计值应按下列公式计算：

1 对于钢筋混凝土预制柱

1) 当柱受压时：

$$V_{uE} = 0.8N + 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y} \quad (7.2.3-1)$$

2) 当柱受拉时：

$$V_{uE} = 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y \left(1 - \left(\frac{N}{A_{sd}f_y} \right)^2 \right)} \quad (7.2.3-2)$$

式中： f_c ——预制构件混凝土轴心抗压强度设计值；

f_y ——垂直穿过结合面钢筋抗拉强度设计值；

N ——与剪力设计值 V 相应的垂直于结合面的轴向力设计值，取绝对值进行计算；

A_{sd} ——垂直穿过结合面钢筋的面积；

V_{uE} ——地震设计状况下接缝受剪承载力设计值。

2 对于预制混凝土异形柱，应仅考虑验算方向柱肢截面的承载力，并按式 (7.2.4-1) 计算。

【条文说明】7.2.4 预制柱底结合面的受剪承载力主要由新旧混凝土结合面的粘结力、粗糙面或键槽的抗剪能力、轴压产生的摩擦力、梁纵向钢筋的销栓抗剪作用或摩擦抗剪作用等组成，其中后两者为受剪承载力的主要组成部分。

在非抗震设计时，柱底剪力通常较小，不需要验算。地震往复作用下，混凝土自然粘结及粗糙面的受剪承载力丧失较快，计算中不考虑。

当柱受压时，计算轴压产生的摩擦力时，柱底接缝灌浆层上下表面接触的混凝土均有粗糙面及键槽构造，因此摩擦系数取 0.8。钢筋销栓作用的受剪承载力计算公式与本规程 7.2.2 条相同。当柱受拉时，没有轴压产生的摩擦力，且由于钢筋受拉，计算钢筋销栓作用时，需要根据钢筋中的拉应力结果对销栓受剪承载力进行折减。对于预制混凝土异形柱，参照现行行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149，仅考虑验算方向柱肢截面的承载力。

7.2.5 在地震设计状况下，预制柱底采用螺栓连接时，水平接缝的受剪承载力设计值应按下列公式计算：

$$V_{uE} = nV_{Ed}^1 + \mu \cdot N \quad (7.2.7)$$

式中： V_{uE} —— 采用螺栓连接的柱底水平接缝抗剪承载力；
 n —— 受压侧螺栓数量；
 V_{Ed}^1 —— 单个螺栓抗剪承载力设计值；
 μ —— 柱底钢板和灌浆层之间的摩擦系数，一般取 0.20；
 N —— 与剪力设计值相应的接缝结合面的轴力设计值，压力取正，拉力时取 0。

【条文说明】7.2.5 对于螺栓的抗剪作用，偏于安全，不考虑受拉侧螺栓的抗剪承载力。单个螺栓的抗剪承载力设计值可根据试验结果或现行产品标准确定或根据螺栓面积计算。

当柱受压时，考虑轴压产生的摩擦力。此时，柱底钢板和灌浆层之间有粗糙面，因此摩擦系数取 0.2。虽然柱底并非全截面都为钢板，但偏于安全按全截面均为钢板计算摩擦力

7.2.6 在地震设计状况下，装配式自复位框架，梁柱接缝的正截面承载力应符合下列规定：

$$M_u \leq \eta_j M_{u1} \quad (7.2.4)$$

式中： M_u —— 梁柱接缝受弯承载力。
 M_{u1} —— 梁端部按实配纵向钢筋面积计算的正截面受弯承载力设计值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算。
 η_j —— 接缝受弯承载力折减系数，取 0.9。

【条文说明】7.2.6 为保证“弱接缝强构件”，实现装配式自复位混凝土框架

的梁柱接缝开合，要求接缝正截面受弯承载力小于梁端部按实配纵向钢筋面积计算的正截面受弯承载力。

7.2.7 装配式自复位框架中，在罕遇地震作用下，梁柱接缝的正截面承载力应符合下列规定：

$$0.5 \leq \frac{M_{pu}}{M_u} \leq 0.85 \quad (7.2.5-1)$$

$$M_{pu} = A_p \sigma_{pu} \left(\frac{h-x}{2} \right) \quad (7.2.5-2)$$

$$x \leq 0.35h_0 \quad (7.2.5-3)$$

式中： M_{pu} ——梁柱接缝处预应力筋提供的受弯承载力。

A_p ——预应力筋的截面面积。

σ_{pu} ——罕遇地震下，预应力筋的拉应力。

【条文说明】7.2.7 在设计阶段，应通过选择适当的弯矩比值来保证框架的自复位能力。本标准参考行业标准《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ/T 140-2019 及试验结果，控制梁柱接缝处预应力筋提供的受弯承载力和梁柱接缝的受弯承载力之比在 0.5~0.85 范围内。

7.2.8 装配式自复位框架在持久设计状况的正常使用极限状态下，当裂缝控制等级为三级时，梁柱接缝应符合下列规定：

$$\sigma_{cq} - \sigma_{pc} \leq \Delta\sigma_c \quad (7.2.6)$$

式中： σ_{cq} ——准永久组合下验算截面受拉边缘的混凝土法向拉应力值。

σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后在验算受拉边缘的混凝土预压应力，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算确定。

$\Delta\sigma_c$ ——裂缝闭合要求的预压应力，可取 $\Delta\sigma_c = 1.0\text{MPa}$ 。

【条文说明】7.2.8 本条参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定给出了式（7.2.6）。此式的理念是由荷载标准组合下产生的裂缝，期望在准永久组合下裂缝将会基本闭合。试验表明，截面一旦开裂，由于裂缝凹凸不平或局部错动或裂缝间混凝土残余变形等影响，产生上述的裂面效应，再施加压力使裂缝完全闭合是困难的，除非施加超大的压力方可；当适当施加一定压力使残余裂缝宽度小于 0.05mm 时，以肉眼难于见到作为裂缝闭合的指标，是一种现实的做法。

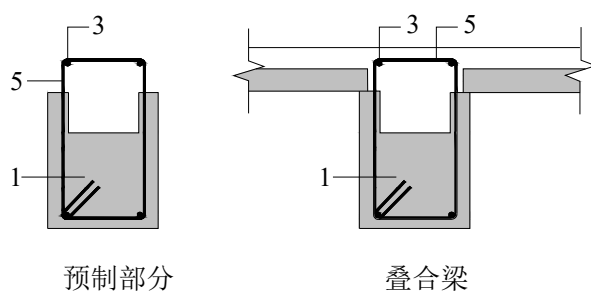
7.3 装配整体式钢筋混凝土框架结构构造设计

7.3.1 本节适用于采用现浇柱及叠合梁和预制柱及叠合梁的装配整体式框架结构以及采用预制柱及现浇剪力墙的装配整体式框架-现浇剪力墙结构中装配整体式框架的设计。

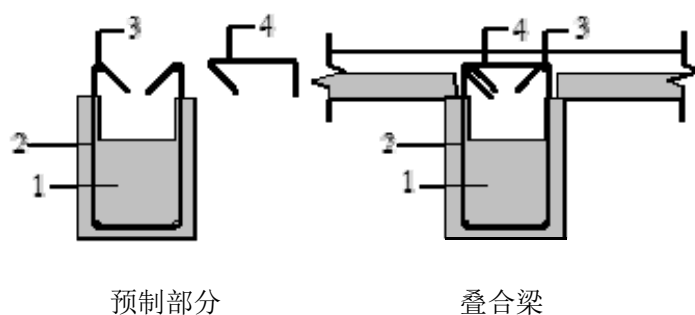
7.3.2 叠合梁的箍筋配置应符合以下规定：

1 一、二级抗震等级的叠合框架梁的梁端箍筋加密区宜采用整体封闭箍筋，且箍筋的搭接部分宜设置在预制部分中（图 7.3.2a）。

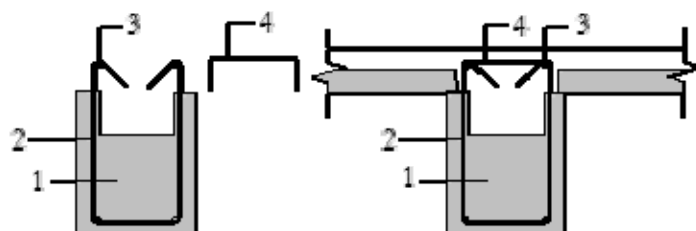
2 采用组合封闭箍筋形式（图 7.3.2b、图 7.3.2c）时，开口箍筋上方应做成 135° 弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于 $10d$ （ d 为箍筋直径）；现场采用箍筋帽封闭开口箍，箍筋帽宜一端做成 135° 弯钩一端做成 90° 弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于 $10d$ ；箍筋帽也可做成两端 90° 弯钩；弯钩端头平直段长度不应小于 $12d$ 。



(a) 采用整体封闭箍筋的叠合梁



(b) 采用组合封闭箍筋的叠合梁—箍筋帽一端 135° 弯钩一端 90° 弯钩



预制部分

叠合梁

(c) 采用组合封闭箍筋的叠合梁—箍筋帽两端 90° 弯钩

图 7.3.2 叠合梁箍筋构造示意图

1—预制梁；2—开口箍筋；3—上部纵向钢筋；4—箍筋帽；5—整体封闭箍筋

【条文说明】7.3.2 采用叠合梁时，在施工条件允许的情况下，箍筋宜采用闭口箍筋。当采用闭口箍筋无法安装上部纵筋时，可采用组合封闭箍筋，即开口箍筋加箍筋帽的形式。本条中规定箍筋帽两端均采用 135° 弯钩。由于对封闭组合箍的研究尚不够完善，因此在抗震等级为一、二级的叠合框架梁梁端加密区中不建议采用。本条规定的叠合梁组合封闭箍筋构造适用于叠合梁边梁。在叠合梁上部纵筋搭接连接的区域，箍筋应按要求加密。当叠合梁腹板高度不大于 800mm 时，预制梁的构造腰筋可不伸入节点区锚固。

7.3.3 预制柱的设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求，并应符合下列规定：

- 1 柱纵向受力钢筋直径不宜小于 20mm。
- 2 矩形柱截面宽度或圆形柱直径不宜小于 400mm，且不宜小于同方向梁宽的 1.5 倍。
- 3 柱纵向受力钢筋在柱底采用灌浆套筒连接时，钢筋连接区域的柱箍筋应加密，加密区不应小于纵向受力钢筋连接区域长度与 500mm 之和，套筒上端第一个箍筋距离灌浆套筒顶部不应大于 50mm（图 7.3.3）。

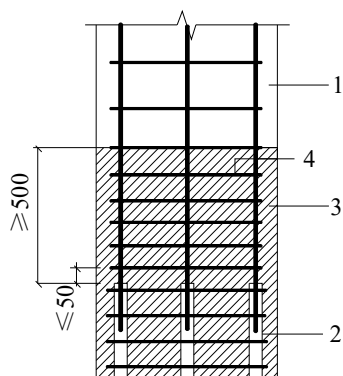


图 7.3.3 柱箍筋加密区域

1—预制柱；2—柱钢筋连接；3—箍筋加密区；4—加密区箍筋

【条文说明】7.3.3 采用较大直径钢筋及较大的柱截面，可减少钢筋根数，增

大间距，便于柱钢筋连接及节点区钢筋布置。套筒连接区域柱截面刚度及承载力较大，柱的塑性铰区可能会上移到套筒连接区域以上，因此至少应将套筒连接区域以上 500mm 高度区域内将柱箍筋加密。

7.3.4 采用预制柱及叠合梁的装配整体式框架中，预制柱可根据需要采用单层柱方案和多层柱方案，并应符合下列规定：

1 柱纵向受力钢筋应贯穿后浇节点区。

2 当采用单层预制柱时，柱底接缝宜设置在楼面标高处（图 7.3.4-1），柱底混凝土表面应设置键槽且宜设置粗糙面，柱底宜预留 20mm 坐浆层，并采用灌浆料填实。

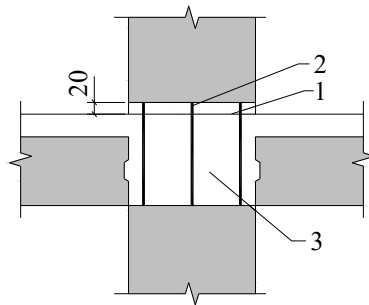


图 7.3.4-1 预制柱底接缝构造示意

1—后浇节点区混凝土上表面粗糙面；2—拼缝灌浆层；3—后浇区

3 当采用多层预制柱时，柱底接缝宜设置在楼面标高以下 10mm 处，梁端宜采取有效措施保证其纵向钢筋在节点核心区可靠锚固。

4 多层预制柱的节点处应增设交叉钢筋，并应在预制柱上下侧混凝土内可靠锚固（图 7.3.4-2）。交叉钢筋每侧应设置一片，其强度等级不宜小于 HRB400，其直径应按运输、施工阶段的承载力及变形要求计算确定，且不应小于 16mm。

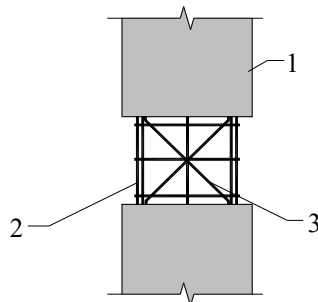


图 7.3.4-2 多层预制柱接缝构造示意

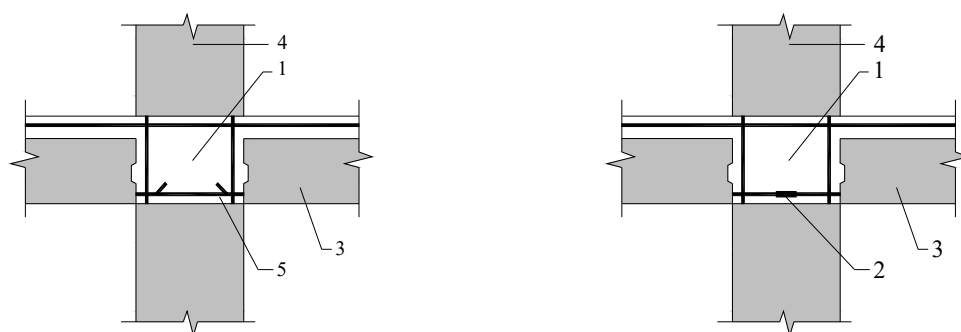
1—多层预制柱；2—柱纵向钢筋；3—交叉钢筋

【条文说明】7.3.4 钢筋采用套筒灌浆连接时，柱底接缝灌浆与套筒灌浆可同时进行，采用同样的灌浆料一次完成。预制柱底部应有键槽，且键槽的形式应考虑到灌浆填缝时气体排出的问题，应采取可靠且经过实践检验的施工方法，保证柱底接缝灌浆的密实性。后浇节点上表面设置粗糙面，增加与灌浆层的粘结力及摩擦系数。

7.3.5 预制柱与叠合梁组成的框架节点处，梁纵向受力钢筋应伸入现浇节点区内锚固或连接，并应符合下列规定：

1 在框架中间层中节点处（图 7.3.5-1），节点两侧的预制梁下部纵向钢筋宜锚固在节点区现浇混凝土内，也可采用机械连接或焊接的方式直接连接；上部钢筋在节点区现浇层内应连续。

2 在框架中间层边节点处（图 7.3.5-2），梁纵向钢筋锚固在节点区混凝土内；当柱截面尺寸不满足直线锚固要求时，宜采用锚固板的机械锚固方式，锚固直线段长度应伸过柱中心线不小于 $5d$ ，且不应小于 $0.4l_{abE}$ ；也可采用 90° 弯折锚固，锚固直线段不应小于 $0.4l_{abE}$ ，且弯折后直线段不小于 $15d$ 。



(a) 梁下部纵向钢筋锚固

(b) 梁下部纵向钢筋机械连接或焊接

图 7.3.5-1 中间层中节点

1—后浇区；2—下部纵筋连接；3—预制梁；4—预制柱；5—下部纵筋锚固

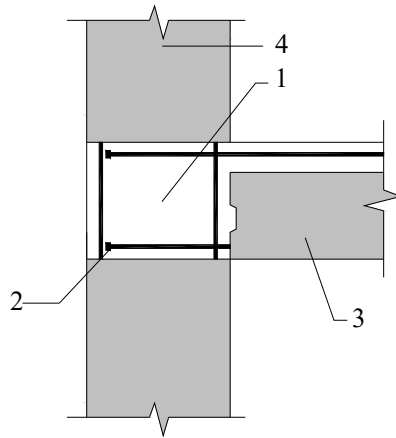
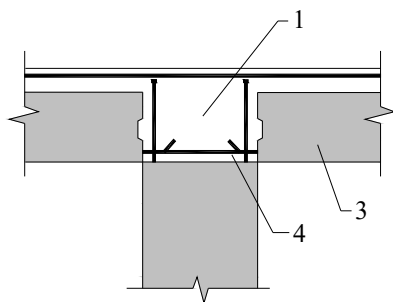


图 7.3.5-2 中间层边节点

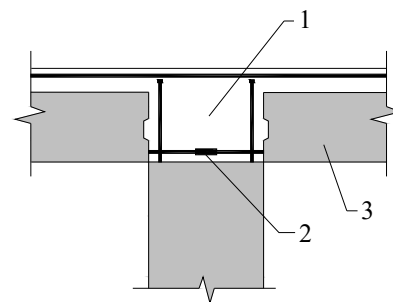
1—后浇区；2—梁纵筋锚固；3—预制梁；4—预制柱

3 在框架顶层中节点处（图 7.3.5-3），梁钢筋的构造按照本条第一款中的规定确定；柱纵向钢筋锚固在节点区内，宜采用锚固板的机械锚固方式，锚固长度不应小于 $0.5l_{abE}$ 。

4 在框架顶层边节点处（图 7.3.5-4），柱宜向上伸出一段并将柱纵向钢筋锚固在伸出段内，伸出段长度不宜小于 500mm，伸出段内箍筋间距不应大于 $5d$ 且不应大于 100mm；柱纵向钢筋宜采用锚固板的机械锚固方式，锚固长度不应小于 $40d$ ， d 为纵向钢筋直径（图 7.3.5-4a）；梁下部纵向钢筋应锚固在节点区混凝土内且宜采用锚固板的机械锚固方式，锚固直线段长度应伸过柱中心线不小于 $5d$ ，且不应小于 $0.4l_{abE}$ ；或将梁上部钢筋与柱外侧纵向钢筋在节点区搭接（图 7.3.5-4b），柱内侧纵筋机械锚固长度尚应符合本条第 3 款要求。



(a) 梁下部纵向钢筋锚固



(b) 梁下部纵向钢筋机械连接或焊接

接

图 7.3.5-3 顶层中节点

1—后浇区；2—下部纵筋连接；3—预制梁；4—下部纵筋锚固

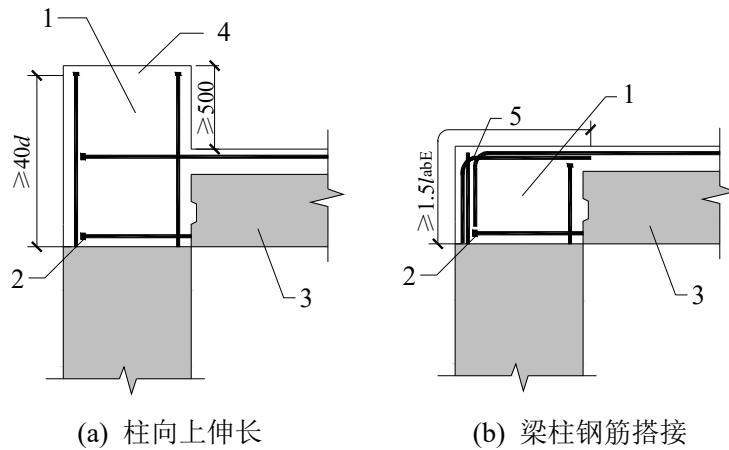


图 7.3.5-4 顶层边节点

1—后浇区；2—纵筋锚固；3—预制梁；4—柱延伸段；5—梁柱附加搭接钢筋

7.3.6 梁、柱纵向钢筋在节点区内采用直线锚固、弯折锚固或机械锚固的方式时，其锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中的相关规定；当梁、柱纵向钢筋采用锚固板的机械锚固方式时，应符合现行行业标准《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 中的相关规定。

【条文说明】7.3.5~7.3.6 在预制柱叠合梁框架节点中，梁钢筋在节点中锚固及连接方式是决定施工可行性以及节点受力性能的关键。梁、柱构件尽量采用较粗直径、较大间距的钢筋布置方式，节点区的主梁钢筋较少，有利于节点的装配施工，保证施工质量。设计过程中，应充分考虑到施工装配的可行性，合理确定梁、柱截面尺寸及钢筋的数量、间距及位置等。在十字形节点中，两侧梁的钢筋在节点区内锚固时，位置可能冲突，可采用弯折避让的方式，弯折角度不宜大于 1:6。节点区施工时，应注意合理安排节点区箍筋、预制梁、梁上部钢筋的安装顺序，控制节点区箍筋的间距满足要求。

编制组完成的试验研究表明，在保证构造措施与施工质量时，上述节点均具有良好的抗震性能，与现浇节点基本等同。节点核心区的受剪承载力计算可采用与现浇节点相同的计算公式。

7.3.7 采用预制柱及叠合梁的装配整体式框架节点，梁下部纵向受力钢筋也可伸至节点区外的后浇段内连接(图 7.3.7)，连接接头与节点区的距离不应小于 $1.5h_0$ (h_0 为梁截面有效高度)。

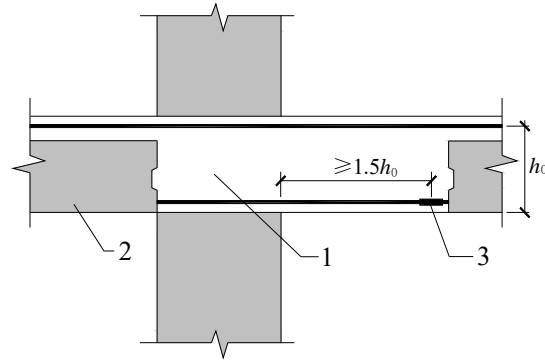


图 7.3.7 梁纵向钢筋在节点区外的后浇段内连接示意

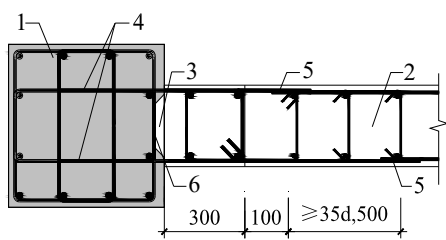
1—后浇段；2—预制梁；3—纵向受力钢筋连接

【条文说明】7.3.7 在预制柱叠合梁框架节点中，如柱截面较小，梁下部纵向钢筋在节点区内连接较困难时，可在节点区外设置后浇梁段，并在后浇段内连接梁纵向钢筋。为保证梁端塑性较区的性能，钢筋连接部位距离梁端需要超过 1.5 倍梁高。

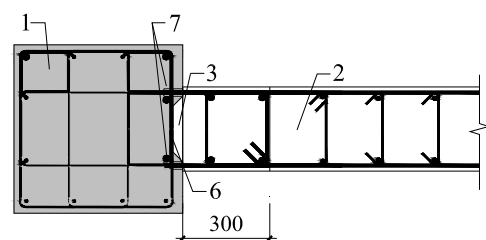
7.3.8 现浇柱与叠合梁组成的框架节点处，梁纵向钢筋的连接与锚固应符合本规程第 7.3.5~7.3.7 条的规定。

【条文说明】7.3.8 当采用现浇柱与叠合梁组成的框架时，节点做法与预制柱、叠合梁的节点做法类似，节点区混凝土应与梁板后浇混凝土同时现浇，柱内受力钢筋的连接方式与常规的现浇混凝土结构相同。柱的钢筋布置灵活，对加工精度及施工的要求略低。同济大学等单位完成的低周反复荷载试验研究表明，该形式节点均具有良好的抗震性能，与现浇节点基本等同。

7.3.9 装配整体式框架-现浇剪力墙结构中，当剪力墙边框柱采用预制柱时，剪力墙宜设顶框梁或宽度与墙厚相同的暗梁，节点在梁高范围内采用现浇，与现浇剪力墙相连的预制柱侧面应设置粗糙面并宜设置键槽，水平钢筋可采用机械连接也可采用焊接（图 7.3.9）。



(a) 预制柱与现浇剪力墙的焊接连接



(b) 预制柱与现浇剪力墙的钢筋机械连

接

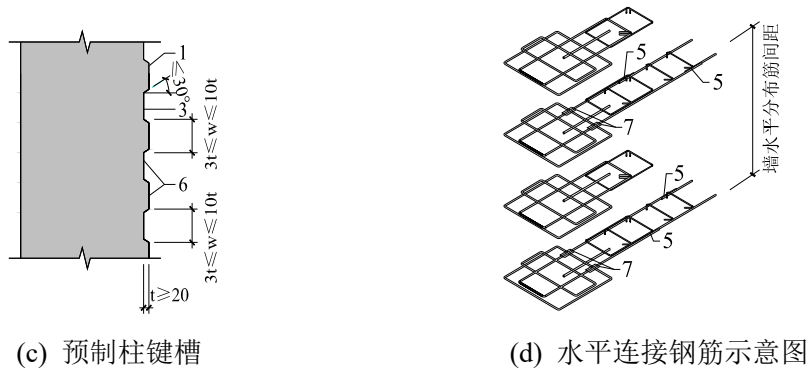


图 7.3.9 预制柱与现浇剪力墙的竖向连接示意

1—预制柱；2—现浇剪力墙；3—键槽；4—预制柱预留钢筋；5—钢筋焊接连接接头；
6—粗糙面；7—钢筋机械连接接头（仅用于机械连接时）

7.3.10 框架柱纵向钢筋采用螺栓连接时，可采用预埋螺栓连接器的形式或简化螺栓连接形式；应对螺栓连接器和简化螺栓连接在不同设计状况下的承载力进行验算，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。框架柱端接缝宽度不宜小于 50mm 且满足施工安装的要求，接缝应采用灌浆料填实；柱端接缝面应设置剪力键槽及混凝土粗糙面，并应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的相关规定。螺帽应采取紧固措施，并符合下列规定：

1 当采用螺栓连接器时，上层预制柱通过预埋的连接器与下部基础或下层预制柱中伸出的预埋螺杆连接；下部基础或预制柱中的预埋螺栓应在基础内可靠锚固或与预制柱纵向钢筋有效连接，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定；螺栓连接器及螺杆的数量应通过计算确定，且螺杆的抗拉承载力不宜小于被连接钢筋抗拉承载力的 1.1 倍；螺栓连接器根据螺栓的直径选用配套的产品，手孔宽度不宜大于 110mm，高度不宜大于 150mm；螺栓连接区域应采用 UHPC 灌浆；螺栓连接区域应箍筋加密，加密区长度应不小于连接器与预制柱纵向钢筋搭接长度和 500mm 之间的较大值，螺栓手孔上端第一个箍筋距离螺栓手孔顶部不应大于 50mm；预制柱螺栓连接器手孔盒顶部 50mm 范围内应设置不少于 3 道连续叠放的加强箍筋（图 7.3.10-1）。

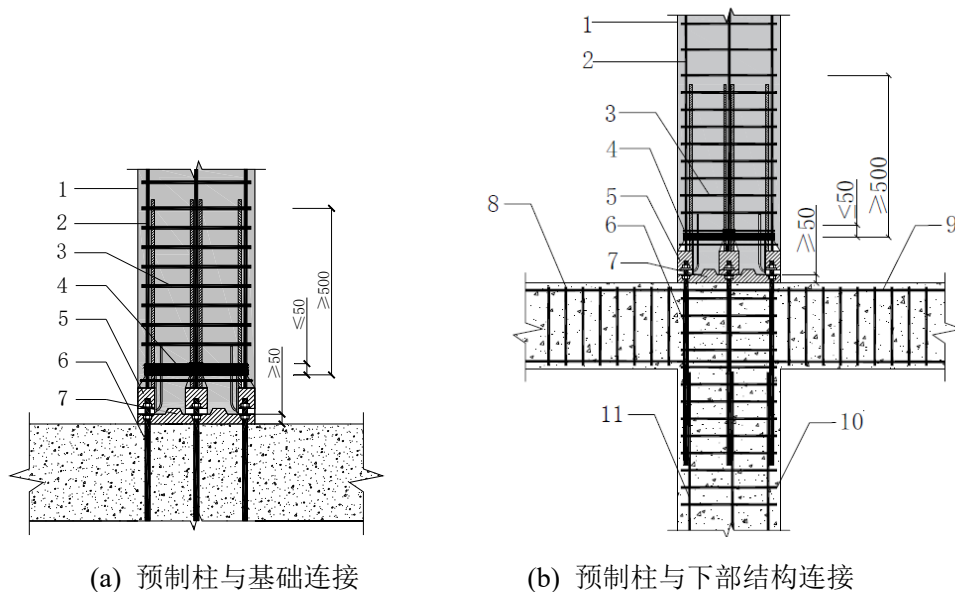


图 7.3.10-1 螺栓连接器柱箍筋加密区域

- 1—预制柱；2—上柱纵筋；3—箍筋加密区；4—加密区箍筋；
 5—柱端手孔灌浆区；6—预埋螺杆；7—柱端剪力键；8—梁内箍筋；
 9—梁内纵筋；10—下柱箍筋；11—下柱纵筋

2 当采用简化螺栓连接时，暗墩顶部距离墙体底部不应小于预制柱中纵向受力钢筋的锚固长度 l_{aE} ，且不应小于 200mm；螺栓连接区域及预留孔道应采用高强灌浆料灌浆；安装手孔高度不宜大于 150mm，宽度不宜大于 150mm，手孔内表面应设置粗糙面；暗墩区域及手孔上部区域应箍筋加密，手孔上部加密区长度应不小于附加搭接钢筋搭接长度和 500mm 之间的较大值；暗墩预留孔道应采用螺旋箍筋约束，螺旋箍筋直径不应小于 6，螺距不应大于手孔加密区箍筋间距和 50 之间的较小值，螺栓手孔上下两端第一个箍筋分别距离螺栓手孔顶部、底部不应大于 50mm，螺栓手孔高度范围取消的柱箍筋应按面积等代原则均布在手孔上下侧 50mm 范围内（图 7.3.10-2）。

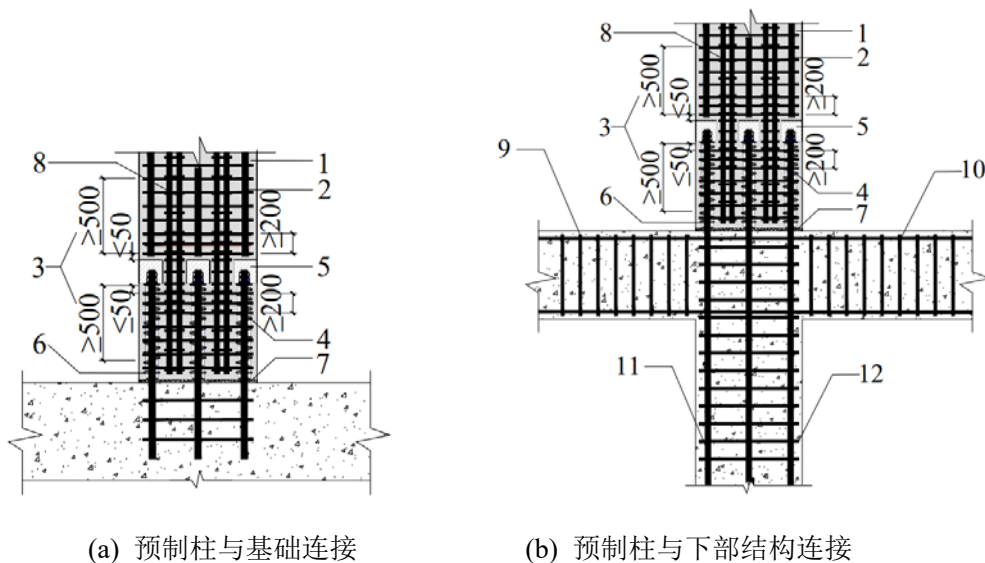


图 7.3.10-2 简化螺栓连接柱箍筋加密区域

- 1—预制柱；2—上柱纵筋；3—箍筋加密区；4—螺旋箍筋；
 5—柱端手孔灌浆区；6—下柱纵筋；7—柱底坐浆层；8—上柱钢筋；
 9—梁内纵筋；10—梁内箍筋；11—下柱纵筋；12—下柱箍筋

【条文说明】7.3.10 近年来，编制组开展了一系列针对框架柱纵向钢筋螺栓连接的试验研究，结果表明预埋螺栓连接器的形式或简化螺栓连接形式两种节点均具有良好的受力性能，可保证预制构件之间以及预制构件与现浇构件之间的可靠连接。本条主要基于上述试验研究成果，并参照国内外相关研究成果制订。

7.3.11 预制梁与预制柱采用螺栓连接时，可采用预埋螺栓连接器的形式或简化螺栓连接形式，节点核心区宜采用预制构造，预制梁的设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求，预制梁竖向接缝宜设置在梁柱交界面处，预制梁和预制柱交界面处的接缝宽度不宜小于 20mm 且满足施工安装的要求，并应采用灌浆料填实；梁端接缝面应设置剪力键槽及混凝土粗糙面，并应符合现行国家标准《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231 和行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的相关规定。螺帽应采取紧固措施，并符合下列规定：

1 当采用螺栓连接器时，预制梁通过预埋的螺栓连接器与预制节点核心区中伸出预埋的螺杆连接，预制节点核心区中伸出的螺杆应在节点核心区可靠锚固，边节点可采用弯折锚固构造，中间节点可采用贯穿式连接螺杆构造；螺栓连接器及螺杆的数量应通过计算确定，且螺杆的抗拉承载力不宜小于被连接钢筋抗拉承载力的 1.1 倍；螺栓连接器根据螺栓的直径选用配套的产品，手孔宽度不

宜大于 110mm，高度不宜大于 150mm。螺栓连接器手孔区域及接缝应采用 UHPC 后灌浆；预制梁端螺栓连接区域应箍筋加密，箍筋加密区长度应不小于连接器与预制梁纵向钢筋搭接长度和 300mm 之间的较大值；预制梁端螺栓连接器手孔盒内侧端部 50mm 范围内宜设置不少于 3 道连续叠放的加强箍筋(图 7.3.11-1)。

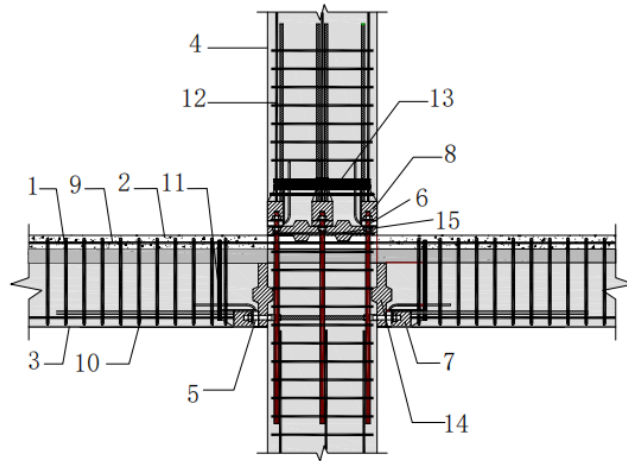


图 7.3.11-1 预制梁和预制柱螺栓连接器节点示意

- 1—预制板；2—现浇板；3—预制梁；4—预制柱；5—梁端连接螺栓器；
 6—柱端连接螺栓器；7—梁端手孔灌浆区；8—柱端手孔灌浆区；
 9—梁上端纵筋；10—梁下端纵筋；11—梁端手孔加强箍筋；12—柱纵筋；
 13—柱端手孔加强箍筋；14—梁端剪力键；15—柱端剪力键

2 当采用简化螺栓连接时，梁端手孔内侧距离框架柱侧面不应小于预制梁中底筋的锚固长度 l_{aE} ，且不应小于 200mm；螺栓连接区域及预留孔道应采用高强灌浆料灌浆；安装手孔宽度不宜大于 150mm，高度不宜大于 150mm；梁端手孔内侧及手孔外侧区域应箍筋加密，手孔外侧加密区长度应不小于附加搭接钢筋搭接长度和 500mm 之间的较大值；手孔内侧预留孔道应采用螺旋箍筋约束，螺旋箍筋直径不应小于 6mm，螺距不应大于手孔加密区箍筋间距和 50mm 之间的较小值，螺栓手孔左右两端第一个箍筋分别距离螺栓手孔内侧、外侧不应大于 50mm，螺栓手孔水平范围取消的柱箍筋应按面积等代原则均布在手孔左右侧 50mm 范围内（图 7.3.11-2）。

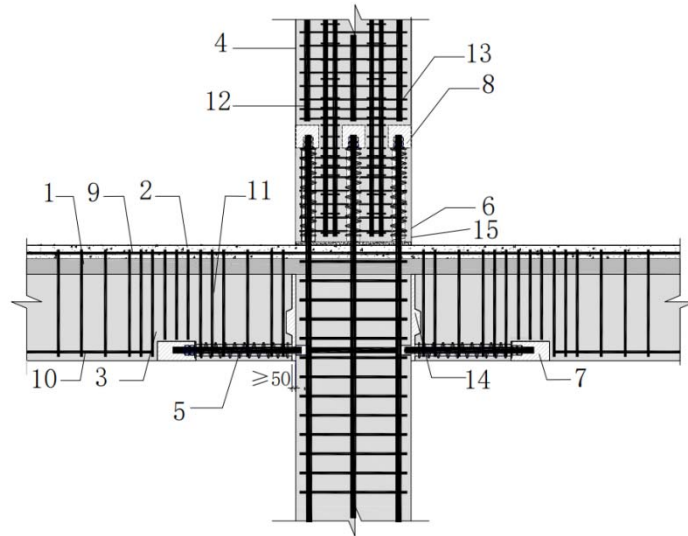


图 7.3.11-2 预制梁和预制柱简化螺栓连接节点示意

- 1—预制板；2—现浇板；3—预制梁；4—预制柱；5—梁端螺杆；
 6—柱端连接螺栓器；7—梁端手孔灌浆区；8—柱端手孔灌浆区；
 9—梁上端纵筋；10—梁下端纵筋；11—梁端手孔加强箍筋；12—柱纵筋；
 13—柱端手孔加强箍筋；14—梁端剪力键；15—柱端剪力键

【条文说明】7.3.11 近年来编制组开展了一系列针对预制梁与预制柱采用螺栓连接的试验研究，结果表明预埋螺栓连接器的形式或简化螺栓连接形式两种节点均具有良好的受力性能，可保证预制构件之间以及预制构件与现浇构件之间的可靠连接。本条主要基于上述试验研究成果，并参照国内外相关研究成果制订。

7.3.12 框架柱采用螺栓连接时，当柱底接缝灌浆料未达到设计强度时，应对柱底连接节点进行风荷载和自重作用下的承载力验算。

7.4 装配整体式异形柱框架结构构造设计

7.4.1 本节适用于采用现浇柱及叠合梁和预制柱及叠合梁的装配整体式异形柱框架结构设计。

7.4.2 装配整体式异形柱框架结构中采用的预制异形柱截面尺寸应充分考虑装配整体式结构的要求（图 7.4.2），符合本规程的有关要求外尚应符合下列要求：

- 1 预制柱内纵向钢筋直径不宜小于 18mm，且不宜大于 25mm。
- 2 预制柱的纵向钢筋宜采用套筒灌浆连接。

- 3 预制柱钢筋连接区域的箍筋保护层厚度不宜小于 15mm。
- 4 异形柱截面的肢厚不应小于 200mm。

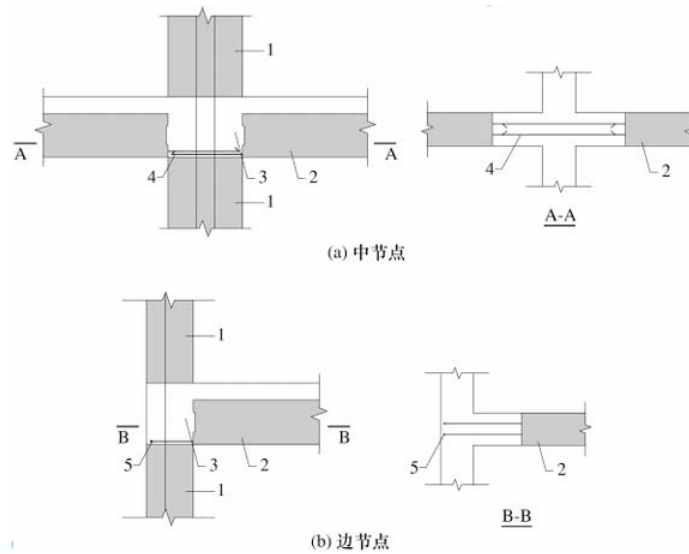


图 7.4.2 装配整体式异形柱框架节点构造示意

【条文说明】7.4.2 本条参照现行行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 编制。考虑到异形柱混凝土结构在抗震性能方面的特点，以及相关研究成果并不十分完善，为保证装配整体式混凝土异形柱框架结构的抗震安全，本规程建议预制柱的纵向钢筋采用套筒灌浆连接。

7.4.3 装配整体式异形柱框架中异形柱的剪跨比宜大于 2，不应小于 1.5。

【条文说明】7.4.3 本条参照现行行业标准《混凝土异形柱结构技术规程》JGJ 149 编制。

7.4.4 预制柱、叠合梁和框架节点的其他构造设计应符合本规程第 6 章和本章的相关规定。

7.5 半刚性框架结构设计

7.5.1 结构分析模型中，构件之间的连接节点、接缝应按照连接实际构造及受力特性进行模拟。半刚性节点或连接的实际受力特性可通过试验或有限元分析确定。

【条文说明】对于半刚性连接节点，一般应按照其实际受力状况按照刚接、铰接或者半刚接模拟。计算模型中包含节点，也可准确的计算出节点内力，进行

节点连接件及预埋件的承载力复核。对于半刚性节点的非线性行为，宜根据试验研究或者精细有限元分析结果总结受力特性。

7.5.2 采用半刚性连接装配式混凝土框架结构，进行设防地震和罕遇地震作用下的弹塑性分析时应符合下列规定：

- 1 可采用静力弹塑性分析方法或者动力弹塑性分析方法；
- 2 地震作用应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定；当采用动力弹塑性时程分析时，地震波的选择应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的规定；
- 3 梁柱节点处的分析模型应能准确的模拟梁柱接缝的弯矩-转角行为，梁柱接缝的竖向滑移可忽略；装配式梁柱节点弹塑性计算模型应能够模拟梁在较大变形下的接触开合行为；
- 4 构件的材性、几何尺寸、配筋等应按实际情况取值；
- 5 宜计入几何非线性的不利影响；
- 6 进行罕遇地震作用下的弹塑性分析时，结构阻尼比可取为 0.05。

【条文说明】采用半刚性连接框架梁柱节点进入塑性阶段后，在反复荷载作用下梁柱结合面张开与闭合，以梁端耗能钢筋拉压耗能为主。梁柱结合面的弯矩—转角关系是模拟的关键，应采用合理的分析模型，且分析模型的准确性应通过试验验证。梁柱接缝竖向滑移一般很小，分析过程中可忽略。

7.5.3 采用半刚性梁柱节点的框架结构，在进行弹性及弹塑性分析时，应考虑节点变形的影响，并应符合下列规定：

1 弹性分析模型中，梁柱节点的转动刚度可按下列公式计算：

$$\text{当 } M_{jd} < 2/3M_{jr} \text{ 时, } S_j = S_{j,ini} \quad (7.5.3-1)$$

$$\text{当 } M_{jd} \geq 2/3M_{jr} \text{ 时, } S_j = S_{j,ini} / 2 \quad (7.5.3-2)$$

式中： M_{jd} ——节点弯矩设计值：

M_{jr} ——梁端接缝受弯承载力设计值，可根据本规程规定进行计算或者根据试验确定：

S_j ——节点转动刚度:

$S_{j,ini}$ ——节点初始转动刚度,可根据试验结果确定,取梁端弯矩为实测受弯屈服承载力 2/3 时的节点转动割线刚度。

2 弹塑性分析模型中,梁柱节点的弯矩—转角关系可根据试验结果确定,并可简化为二折线或者三折线模型。

【条文说明】对于半刚性节点,在结构整体的弹性和弹塑性分析中都应该考虑节点变形对整体变形和内力分析的影响。螺栓连接的半刚性节点,在初始阶段刚度变化较小后期刚度逐渐减小。参考欧洲钢结构规范(EC3)中关于钢梁和钢柱半刚性连接节点的规定,本条给出了弹性分析时节点刚度的简化取值方法。试验测试节点转动刚度时,可固定柱两端,在梁端施加剪力(弯矩),并测试拼接面转角,绘制弯矩—转角曲线,并计算节点转动刚度。

弹塑性分析中节点的弯矩—转角关系曲线通常应根据节点试验结果并进行简化得到。当取二折线模型时弹性段的刚度一般可取初始转动刚度的 2/3,屈服后为理想塑性,极限转角可根据试验结果取节点达到极限承载力时的转角,对于框架结构不应小于 1/50。

7.5.4 半刚性节点设计应符合下列规定:

1 节点初始刚度应符合下列规定:

$$S_{j,ini} < 25EcI_b/L_b, \text{ 且 } S_{j,ini} > 5EcI_b/L_b \quad (7.5.4-1)$$

2 梁端接缝承载力应符合下列规定:

$$M_{jR} \geq M_{jR,d}, \text{ 且 } V_{jR} \geq V_{jR,d} \quad (7.5.4-2)$$

式中: M_{jR} , V_{jR} ——分别为梁端接缝受弯、受剪承载力设计值;

$M_{jR,d}$, $V_{jR,d}$ ——分别为梁端接缝弯矩、剪力设计值;

【条文说明】装配式混凝土框架中,一般依据节点的转动刚度和梁的线刚度比例,来判别节点是属于刚性还是半刚性。节点的转动刚度指节点弯矩和节点转角的比值,可根据实际情况决定是否考虑节点域本身的变形。

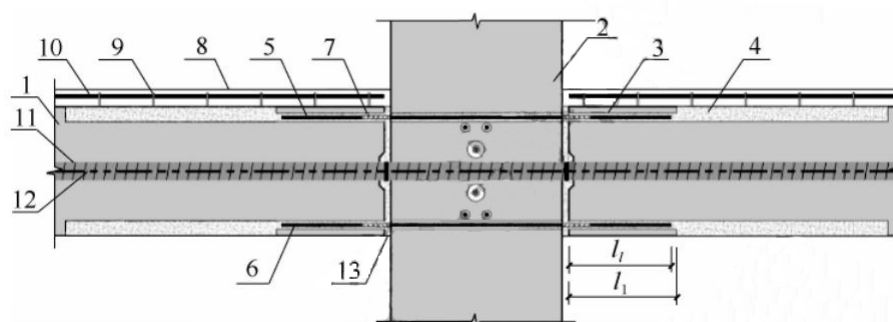
参考欧洲钢结构规范(EN1090)中关于钢梁和钢柱半刚性连接节点的规定,并根据对框架结构的试算分析表明,当满足本条第一款规定时,节点变形对整体结构的变形和内力分布影响小于10%,可以忽略。

7.5.5 半刚性框架梁柱节点宜与柱预制成整体。梁端的配筋构造应符合下列规定(图7.5.5-1、图7.5.5-2):

1 梁端连接钢筋可通过预留槽口或预埋孔道放置。

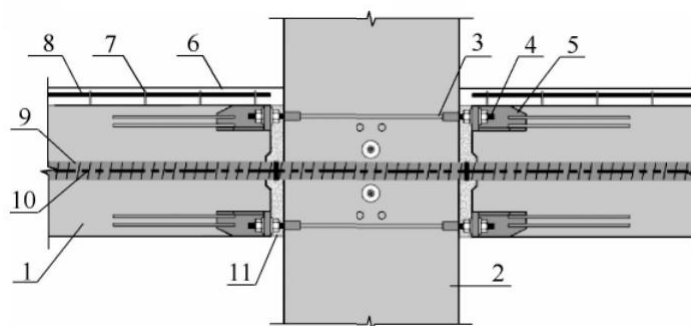
2 邻近接缝处梁端连接钢筋宜设无粘结段,无粘结段长度应根据计算确定,不宜小于 $2d_b$,且不宜小于50mm,此处 d_b 为梁端连接钢筋的直径。

3 框架中间层、顶层的中间节点,顶部和底部的梁端连接钢筋应贯穿节点,梁靴-螺栓组件的后端连接钢筋应可靠锚固于节点内或贯穿节点;框架中间层、顶层的端节点,顶部和底部的梁端连接钢筋和梁靴-螺栓组件的后端连接钢筋应在节点内可靠锚固。



1-预制梁; 2-预制柱; 3-梁端连接钢筋孔道; 4-预留槽口; 5-顶部梁端连接钢筋; 6-底部梁端连接钢筋; 7-无粘结段; 8-后浇混凝土层; 9-附加插筋; 10-纵向构造钢筋; 11-预应力孔道; 12-预应力筋(如有); 13-梁柱接缝

(a) 梁端连接钢筋采用钢筋搭接连接



1-预制梁; 2-预制柱; 3-后端连接钢筋; 4-螺栓; 5-梁靴; 6-后浇混凝土层; 7-附加插筋; 8-纵向构造钢筋; 9-预应力孔道; 10-预应力筋(如有); 11-梁柱接缝

(b) 梁端连接钢筋采用螺栓连接器连接

图 7.5.5 梁端钢筋连接构造

【条文说明】本条给出半刚性框架节点的构造规定。

1 预留槽口和孔道

为了放置耗能钢筋，需要在梁底、梁面预留槽口或孔道，根据国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204-2015 的规定，受力钢筋沿长度方向的净尺寸允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ ，纵向受力锚固长度安装允许偏差为 $(-20, 0)\text{mm}$ 。因此，预留槽口或预埋孔道的长度公差可取为 20mm 。参考国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 的规定，要求预留槽口或预埋孔道的横截面面积不宜小于其内耗能钢筋总面积的 $3.0\sim 4.0$ 倍。预制梁槽口或孔道内布置耗能钢筋时，耗能钢筋宜采用单排水平放置。孔道净高应至少比耗能钢筋直径大 6mm ，孔道净宽根据耗能钢筋净距和净边距确定。当采用灌浆工艺时，耗能钢筋之间净距不应小于钢筋直径且不小于 15mm ，边距不应小于 15mm 。当采用预留槽口时，根据行业标准《预应力混凝土结构抗震设计标准》JGJ 140 的规定，槽口距梁边距离不应小于 50mm 。

2 梁端连接钢筋无粘结段

对半刚性框架节点，从性能角度出发，实现低损伤、易复位、易修复，梁端不出现塑性铰，变形集中于梁端一柱面接缝的开合，导致接缝附近连接钢筋产生较大变形，通过设置在接缝附近设置无粘结段是避免连接钢筋拉断的一项有效措施。无粘结段长度应根据计算确定，根据试验和工程经验，本标准给出了最小无粘结段长度的取值规定。

7.6 装配式自复位框架结构构造设计

7.6.1 预制框架梁的制作长度 L_p 应取框架梁的净跨 l_n 减去预制框架梁和框架柱间隙 g_1 、 g_2 之和（图 7.6.1）。 g_1 、 g_2 可取梁柱接缝的宽度，接缝的宽度不宜小于 20mm 且不应大于 30mm 。

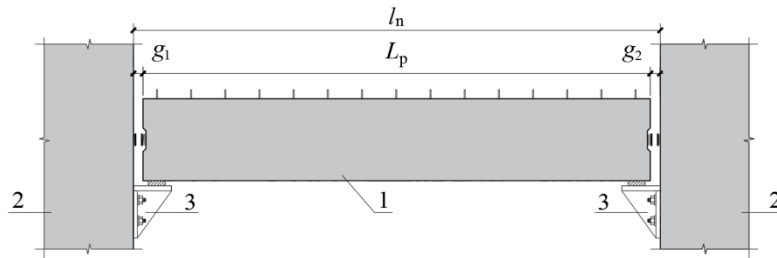


图 7.6.1 预制框架梁的长度

1—框架梁；2—框架柱；3—牛腿

【条文说明】7.6.1 梁柱接缝宽度指预制梁端面与预制柱侧面的间距。接缝宽度取值与梁柱连接方式、接缝受力、梁端转动角度、构件安装偏差、预应力孔道连接、接缝灌浆处理等因素相关。根据研究结果和工程实践经验，本标准对装配式自复位混凝土框架的接缝宽度做出规定。

7.6.2 装配式自复位框架的框架梁中预应力孔道应符合下列规定：

- 1 孔道截面积不宜小于穿入预应力束截面积的 4.5 倍。
- 2 孔道距离构件边缘的净间距不宜小于 50mm。
- 3 双层孔道上下排布时，孔道在竖直方向的净间距不应小于孔道外径，且不宜小于粗骨料最大粒径的 1.25 倍。

7.6.3 装配式自复位框架的框架梁应符合下列规定：

- 1 顶部和底部均应配置不少于 2 根通长钢筋，通长钢筋直径不宜小于 12mm。
- 2 第一道箍筋与梁端面距离不宜大于 50mm。

7.6.4 装配式自复位框架的框架梁尚应符合下列规定（图 7.6.4）：

1 框架梁端应设置钢板。梁端钢板可与梁身纵筋焊接，焊接宜采用塞焊方式；也可在梁端钢板上设置锚筋，锚筋与梁身纵筋的搭接连接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

2 梁端钢板厚度不应小于 $0.6d$ ，且不应小于 10mm， d 为梁身纵筋或锚筋直径。梁端钢板及锚筋的设计尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

3 当框架梁端安装角钢消能器时，梁顶和梁底应设置钢板，钢板厚度不应小于 10mm，板侧宜与梁端钢板焊接。梁端宜设置安装螺栓的竖向钢套管。

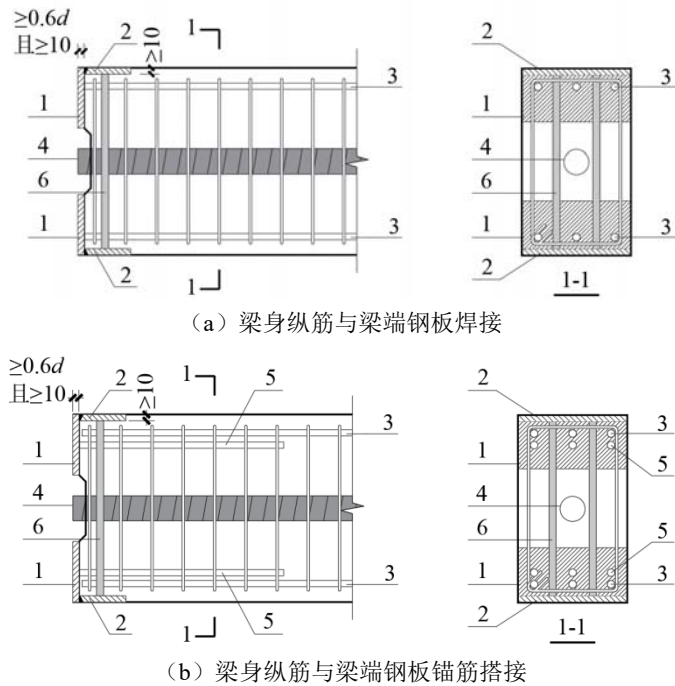


图 7.6.4 装配式自复位框架的框架梁端部构造示意

1—梁端钢板；2—梁顶/底钢板；3—梁身纵筋；4—预应力孔道；5—锚筋；6—竖向钢套管

【条文说明】7.6.4 当装配式自复位混凝土框架采用角钢消能器时，角钢消能器上的力会通过梁顶和梁底钢板传递给梁端钢板，再由梁端钢板传递给框架梁的纵向钢筋。为保证梁端钢板在构件摇摆过程中不产生过大的变形以及梁顶和梁底钢板的有效传力，要求梁端钢板、梁顶和梁底钢板厚度均不小于 10mm。固定角钢消能器的螺栓可通过设置在梁端的竖向钢套管安装，竖向钢套管从梁顶和梁底钢板预留孔穿出。

7.6.5 装配式自复位框架应配置外置消能器，消能器的性能应符合现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 的有关规定。框架梁配置角钢消能器时，角钢消能器与框架梁、框架柱应采用摩擦型高强度螺栓连接。

【条文说明】7.6.5 装配式自复位混凝土框架梁柱节点可按本标准附录 A 进行设计，当采用本标准之外的其他设计方法时，应进行力学性能及适用性的试验验证。梁内的预应力筋宜沿截面中心对称布置，若其布置不对称，则本标准提供的相关承载力计算公式将不再适用，需根据实际情况进行修正。

消能器与预应力框架应有可靠连接，消能器与支撑、支承构件连接，应符合钢构件连接、钢与钢筋混凝土构件连接、钢与钢管混凝土构件连接构造的规定。消能器可为角钢消能器、摩擦钢板消能器、耗能棒、腹板摩擦消能器等。以梁柱节点的外置角钢消能器为例，其构造如图 2 所示。角钢消能器一般采用摩擦型高强度螺栓安装于梁端。装配式自复位混凝土框架的梁端保护措施可采用梁端钢板 6，预制梁纵向钢筋 5 应与梁端钢板 6 有可靠连接。在地震作用下，

角钢消能器 8 上的力可通过梁顶、梁底钢板 7 传递到梁端钢板 6 上，再由梁端钢板 6 最终传递到梁纵向钢筋 5。考虑到构件尺寸偏差的影响，可预留梁柱接缝 11，并对接缝进行灌浆，接缝宽度应符合本标准第 7.3.1 条的规定。

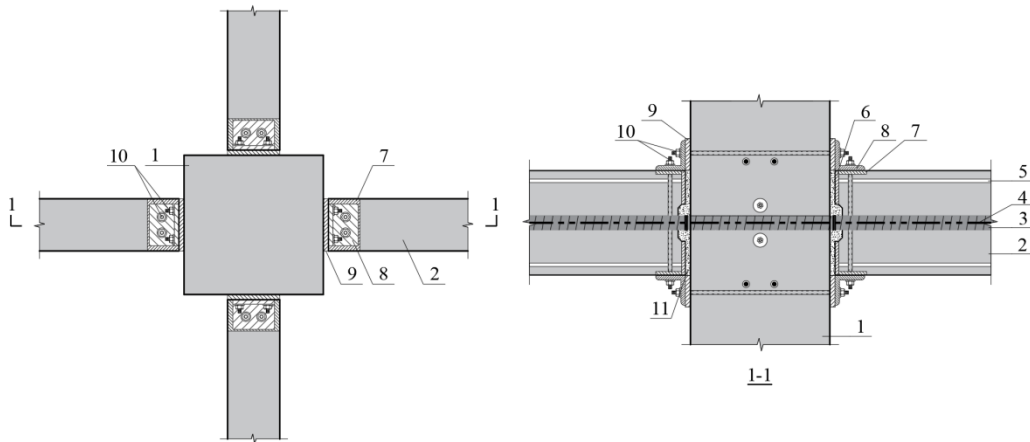


图2 装配式自复位混凝土框架附加角钢消能器构造

1—预制柱；2—预制梁；3—梁内预埋波纹管孔道；4—无粘结预应力筋；5—预制梁纵向钢筋；6—梁端钢板；7—梁顶/底钢板；8—角钢消能器；9—垫板；10—摩擦型高强度螺栓；11—梁柱接缝

7.6.6 装配式自复位框架中，预制柱的连接应符合下列规定：

- 1 框架柱与基础宜采用预应力连接。
- 2 当预制柱采用杯口插入式连接时，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

7.6.7 装配式自复位框架柱与基础的预应力连接应符合下列规定：

- 1 预应力筋宜通长布置，并应在基础内可靠锚固。
- 2 柱内单束预应力筋应沿柱截面中心布置，双束或多束预应力筋应对称于柱截面中心布置。
- 3 预应力筋可采用钢绞线，也可采用预应力螺纹钢筋。
- 4 柱底接缝厚度不宜大于 20mm。柱底接缝用坐浆材料的抗压强度不应小于基础的设计混凝土强度等级值。

【条文说明】7.6.7 装配式自复位混凝土框架底层柱与基础的连接可采用嵌入式构造，如图 3 (a) 所示。当有可靠的计算依据时，也可采用浮放式构造，如图 3 (b) 所示。装配式自复位混凝土框架的底层柱与基础的连接节点可按本标准附录 A 进行设计，当采用本标准之外的其他设计方法时，应进行力学性能及适用性的试验验证。柱内预应力筋的使用孔数可按实际需求确定。柱内的预应力筋宜沿截面中心对称布置，若不对称，则本标准提供的相关承载力计算公式将

不再适用，需根据实际情况进行修正。

根据相关研究成果，底层柱端采用限位杯口且杯口填充的柔性材料为橡胶时，限位杯口也可为结构提供一定的转动刚度。在柱脚设置消能器时，消能器可为角钢消能器、耗能棒和摩擦消能器等。装配式自复位混凝土框架的柱端保护措施根据使用需求可采用柱端钢板或钢套板。

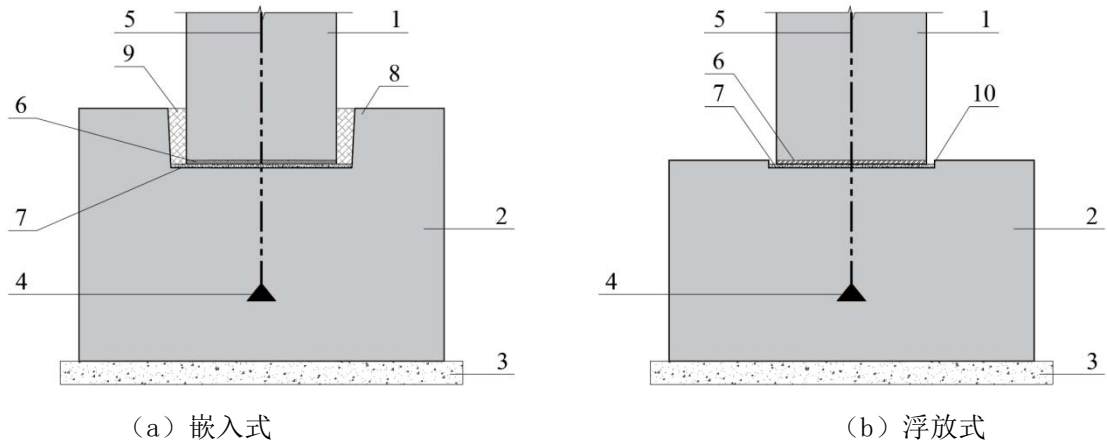


图3 装配式自复位混凝土框架底层柱端构造示意

1—预制柱；2—基础；3—基础垫层；4—固定端；5—钢绞线或预应力螺纹钢筋；6—柱端钢板；7—柱底接缝；8—限位杯口；9—柔性材料 10—基础

8 剪力墙结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于装配整体式剪力墙、装配整体式叠合剪力墙和装配整体式夹心保温剪力墙三类剪力墙结构的设计。

8.1.2 对同一层内既有现浇墙肢也有预制墙肢的装配整体式剪力墙结构，现浇墙肢水平地震作用弯矩、剪力宜乘以不小于 1.1 的增大系数。

【条文说明】8.1.2 预制剪力墙的接缝对其抗侧刚度有一定的削弱作用，应考虑对弹性计算的内力进行调整，适当放大现浇剪力墙在地震作用下的剪力和弯矩，预制剪力墙的剪力及弯矩不减小，偏于安全。

8.1.3 装配整体式剪力墙结构的布置应满足下列要求：

- 1 应沿两个方向布置剪力墙，且两个方向的侧向刚度不宜相差过大。
- 2 剪力墙的截面宜简单、规则，自下而上宜连续布置，避免层间侧向刚度突变。
- 3 门窗洞口宜上下对齐、成列布置，形成明确的墙肢和连梁；抗震等级为一、二、三级的剪力墙底部加强部位不应采用错洞墙，结构全高均不应采用叠合错洞墙。
- 4 剪力墙墙段长度不宜大于 8m，各墙段高度与长度的比值不宜小于 3。

【条文说明】8.1.3 本条为对装配整体式剪力墙结构的规则性要求，在建筑方案设计中，应该注意平面和立面的规则性。如某些楼层出现扭转不规则及侧向刚度与承载力不规则，宜采用现浇混凝土结构。

8.1.4 高层装配整体式剪力墙结构中的电梯井筒和楼梯间外墙宜采用现浇混凝土结构。

【条文说明】8.1.4 高层建筑中电梯井筒往往承受很大的地震剪力及倾覆力矩，采用现浇结构有利于保证结构的抗震性能。此外，楼梯间外墙一般两侧无楼板支撑，受力不利，也建议采用现浇结构。

8.1.5 高层建筑装配整体式剪力墙不应全部采用短肢剪力墙。当采用具有较多短

肢剪力墙的剪力墙结构时，应符合下列规定：

1 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倾覆力矩的 50%。

2 建筑适用高度应比本规程第 6.1.1 条规定的装配整体式剪力墙结构的最大适用高度降低 20m。

注：1 短肢剪力墙是指截面厚度不大于 300mm、各肢截面高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%的剪力墙结构。

【条文说明】8.1.5 短肢剪力墙的抗震性能较差，在高层建筑装配整体式剪力墙结构中应避免过多采用。

8.2 连接设计

8.2.1 楼层内相邻预制剪力墙之间应采用整体式接缝连接，且应符合下列规定：

1 当接缝位于纵横墙交接处的约束边缘构件区域时，约束边缘构件的阴影区域（图 8.2.1-1）宜全部采用后浇混凝土，并应在后浇段内设置封闭箍筋。

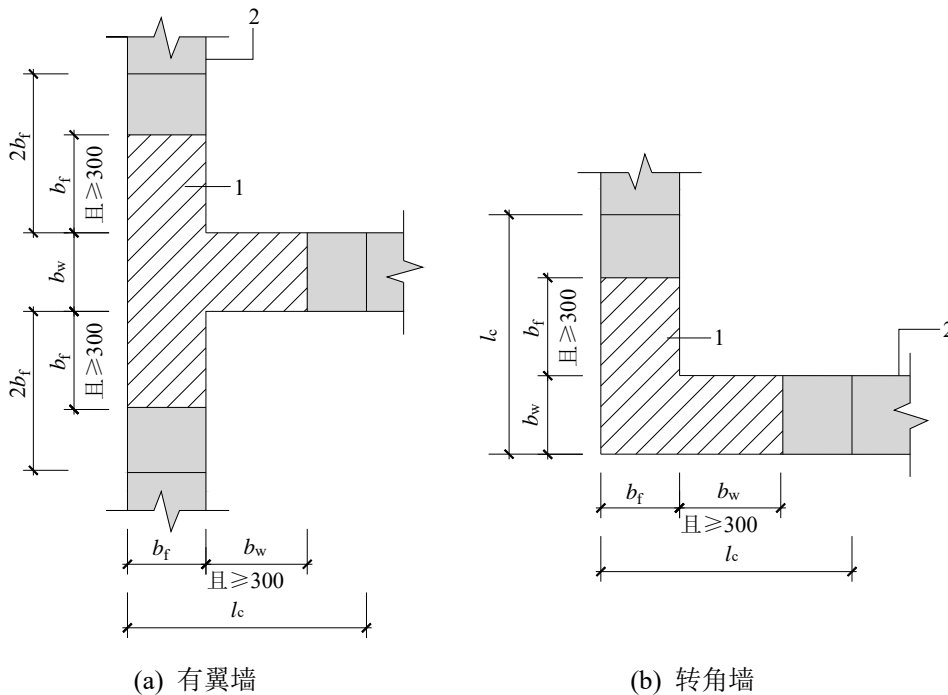


图8.2.1-1 约束边缘构件阴影区域全部后浇构造示意图

1—后浇段；2—预制剪力墙

2 当接缝位于纵横墙交接处的构造边缘构件区域时，构造边缘构件宜全部采用后浇混凝土（图 8.2.1-2），当仅在一面墙上设置后浇段时，后浇段的长度不宜小于 300mm（图 8.2.1-3）。

3 边缘构件内的配筋及构造要求应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定；预制剪力墙的水平分布钢筋在后浇段内的锚固、连接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

4 非边缘构件位置，相邻预制剪力墙之间应设置后浇段，后浇段的宽度不应小于墙厚且不宜小于 200mm；后浇段内应设置不少于 4 根竖向钢筋，钢筋直径不应小于墙体竖向分布筋直径且不应小于 8mm；两侧墙体的水平分布筋在后浇段内的锚固、连接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

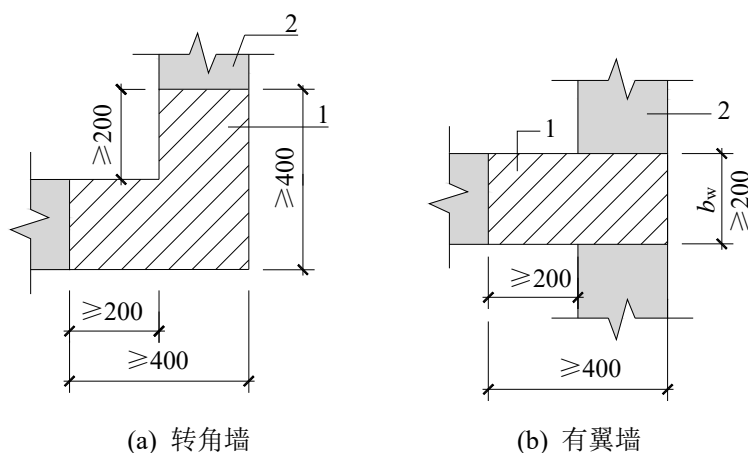
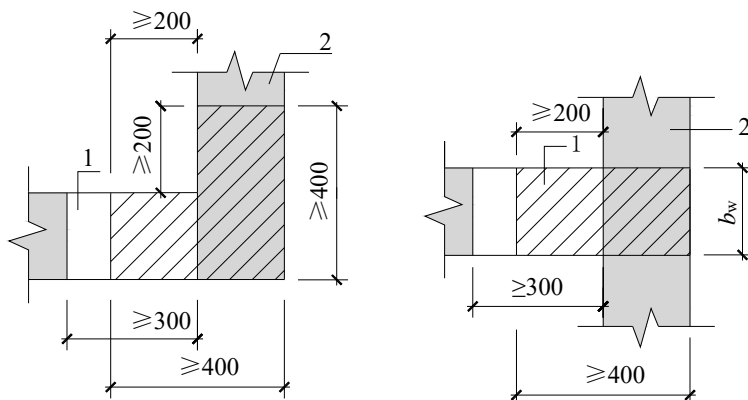


图8.2.1-2 构造边缘构件全部后浇构造示意图

（阴影区域为构造边缘构件范围）

1—后浇段；2—预制剪力墙



(a) 转角墙

(b) 有翼墙

图8.2.1-3 构造边缘构件部分现浇构造示意图

(阴影区域为构造边缘构件范围)

1—后浇段；2—预制剪力墙

【条文说明】8.2.1 确定剪力墙竖向接缝位置的主要原则是便于标准化生产、吊装、运输和就位，并尽量避免接缝对结构整体性能产生不良影响。

对于图 5 中约束边缘构件，位于墙肢端部的通常与墙板一起预制；纵横墙交接部位一般存在接缝，图 5 中阴影区域宜全部后浇，纵向钢筋主要配置在后浇段内，且在后浇段内应配置封闭箍筋及拉筋，预制墙板中的水平分布筋在后浇段内锚固。预制的约束边缘构件的配筋构造要求与现浇结构一致。

墙肢端部的构造边缘构件通常全部预制；当采用 L 形、T 形或者 U 形墙板时，拐角处的构造边缘构件也可全部在预制剪力墙中。当采用一字型构件时，纵横墙交接处的构造边缘构件可全部后浇；为了满足构件的设计要求或施工方便也可部分后浇部分预制。当构造边缘构件部分后浇部分预制时，需要合理布置预制构件及后浇段中的钢筋，使边缘构件内形成封闭箍筋。

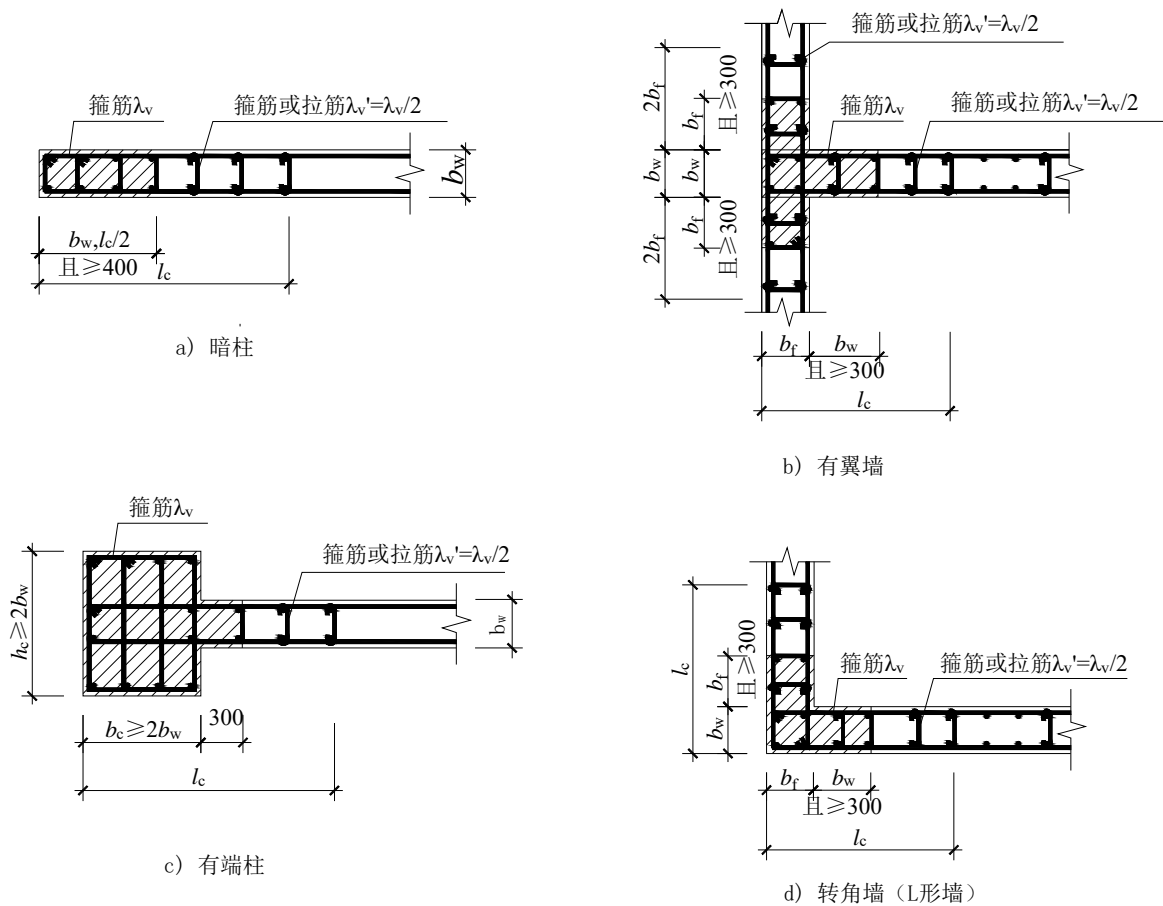


图 5 预制剪力墙的后浇混凝土约束边缘构件示意

8.2.2 叠合剪力墙板内、外叶板和双面叠合夹心保温剪力墙板内叶板的底部应设置现浇水平接缝，接缝高度不宜小于 50mm。

【条文说明】8.2.2 双面叠合剪力墙须在楼层处设置水平缝。为保证接缝处后浇混凝土浇筑密实，水平接缝高度不宜小于 50mm。

8.2.3 双面叠合剪力墙板约束边缘构件内的配筋及构造要求应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《装配式混凝土结构技术标准》JGJ 1 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定，并应符合下列规定：

1 翼墙和转角墙约束边缘构件阴影区域宜全部采用后浇混凝土，并应在后浇段内设置封闭箍筋（图 8.2.3-1），暗柱约束边缘构件阴影区域可采用叠合暗柱或现浇暗柱（图 8.2.3-2）。约束边缘构件沿墙肢的长度 l_c 应符合《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定。

2 双面叠合剪力墙板与现浇约束边缘构件阴影区域之间应配置水平连接钢筋，水平连接钢筋的间距宜与双面叠合剪力墙水平分布钢筋的间距相同，且不宜大于 200mm；水平连接钢筋的直径不应小于双面叠合剪力墙水平分布钢筋的直径。水平连接钢筋锚入双面叠合剪力墙板空腔层中的长度不应小于 $1.2l_{aE}$ 。

3 当双面叠合剪力墙板内的钢筋桁架作为约束边缘构件非阴影区的拉筋使用时，钢筋桁架的上、下弦钢筋应位于墙体水平分布筋的外侧，且与墙体分布筋有效拉结。桁架钢筋的面积、直径和间距应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中拉筋的规定，腹杆钢筋力学性能应满足约束边缘构件内拉筋的相关要求。

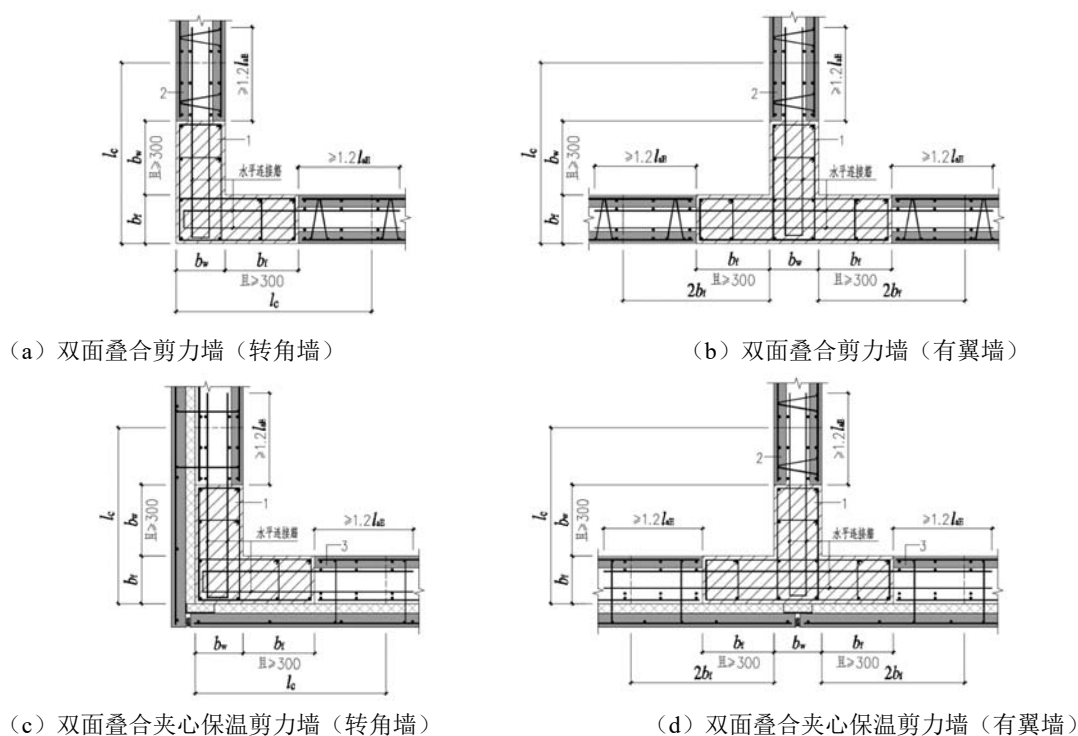
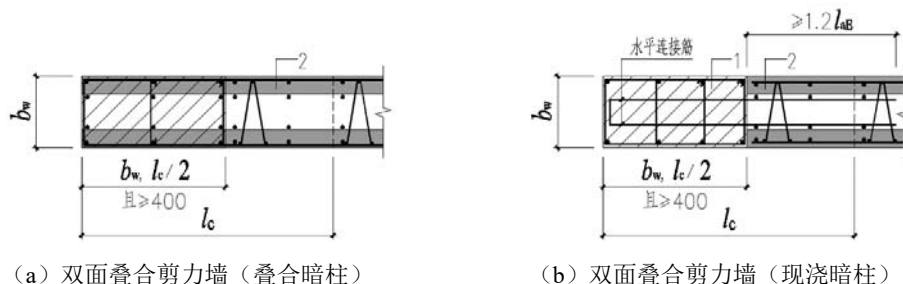
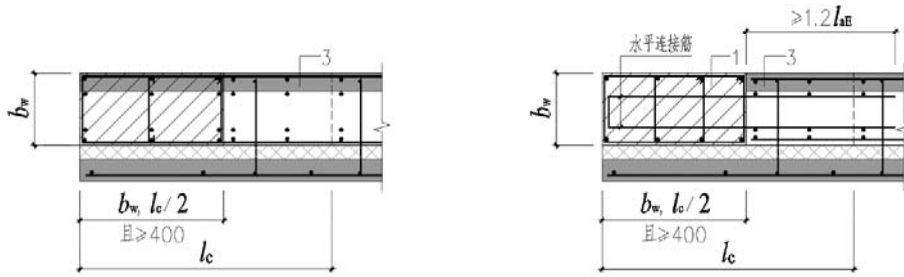


图8.2.3-1 约束边缘构件阴影区域全部采用后浇混凝土的构造示意

（阴影区域为斜线填充范围）

l_c —约束边缘构件沿墙肢的长度；1—后浇段；2—双面叠合剪力墙；3—双面叠合夹心保温剪力墙





(c) 双面叠合夹心保温剪力墙（叠合暗柱） (d) 双面叠合夹心保温剪力墙（现浇暗柱）

图8.2.3-2 约束边缘构件阴影区域节点构造

（阴影区域为斜线填充范围）

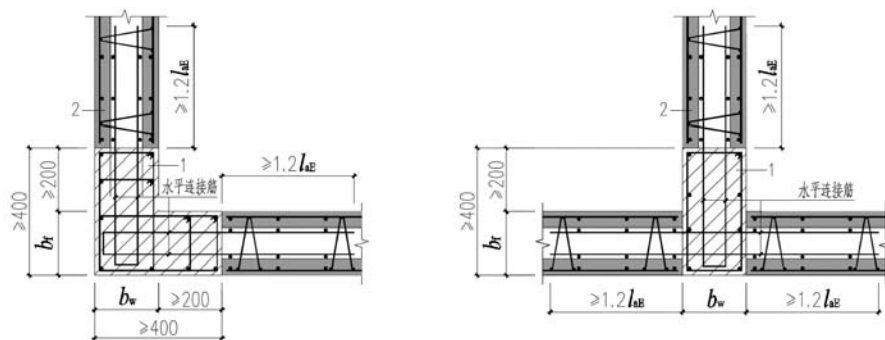
l_c —约束边缘构件沿墙肢的长度；1—后浇段；2—双面叠合剪力墙；3—双面叠合夹心保温剪力墙

8.2.4 双面叠合剪力墙板构造边缘构件内的配筋及构造要求应符合国家现行标准

《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《装配式混凝土结构技术标准》JGJ 1 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定，并应符合下列规定：

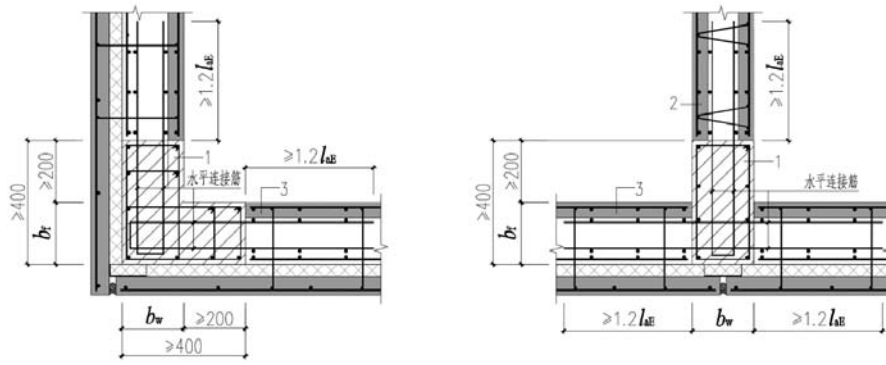
1 翼墙和转角墙构造边缘构件宜全部采用后浇混凝土，并在后浇段内设置封闭箍筋(图 8.2.4-1)，暗柱构造边缘构件可采用叠合暗柱或现浇暗柱(8.2.4-2)。

2 双面叠合剪力墙与现浇构造边缘构件之间应配置水平连接钢筋，水平连接钢筋的间距宜与双面叠合剪力墙板中水平分布钢筋的间距相同，且不宜大于 200mm；水平连接钢筋的直径不应小于双面叠合剪力墙板中水平分布钢筋的直径。水平连接钢筋锚入双面叠合剪力墙空腔层中的长度不应小于 $1.2l_{aE}$ 。



(a) 双面叠合剪力墙（转角墙）

(b) 双面叠合剪力墙（有翼墙）

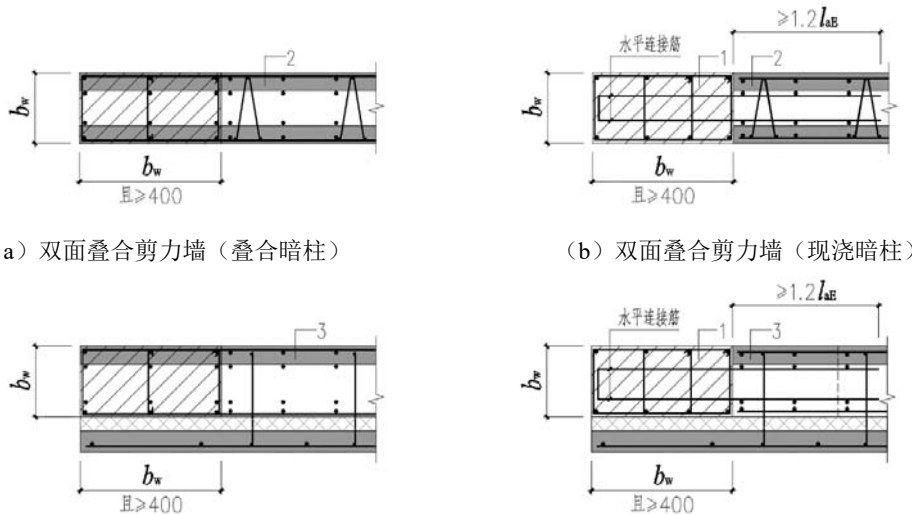


(c) 双面叠合夹心保温剪力墙（转角墙） (d) 双面叠合夹心保温剪力墙（有翼墙）

图8.2.4-1 构造边缘构件全部采用后浇混凝土的构造示意

（阴影区域为构造边缘构件范围）

1—后浇段；2—双面叠合剪力墙；3—双面叠合夹心保温剪力墙



(a) 双面叠合剪力墙（叠合暗柱）

(b) 双面叠合剪力墙（现浇暗柱）

(c) 双面叠合夹心保温剪力墙（叠合暗柱）

(d) 双面叠合夹心保温剪力墙（现浇暗柱）

图 8.2.4-2 构造边缘构件节点构造

（阴影区域为构造边缘构件范围）

1—后浇段；2—双面叠合剪力墙；3—双面叠合夹心保温剪力墙

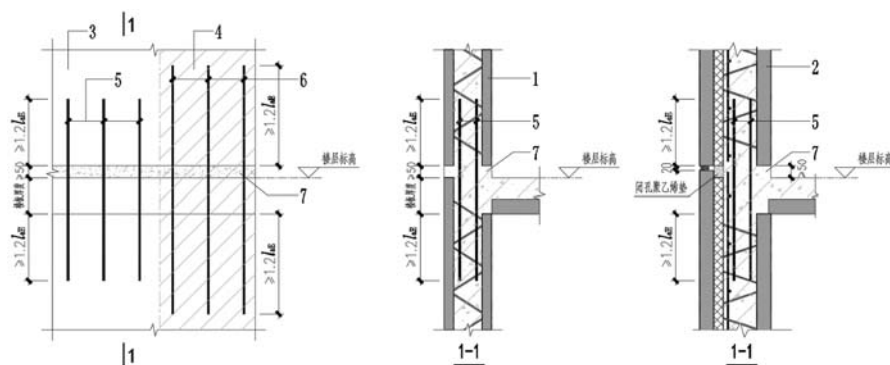
8.2.5 双面叠合剪力墙水平接缝处应配置竖向连接钢筋，竖向连接钢筋应满足水平接缝受剪承载力的要求，并符合下列规定：

1 竖向连接钢筋应双排设置，且锚入上、下层叠合板式剪力墙板空腔层中的长度不应小于 $1.2l_{aE}$ （图 8.2.5）。

2 剪力墙边缘构件不采用叠合暗柱时，竖向连接钢筋直径不应小于叠合板式剪力墙板中竖向分布钢筋的直径，间距不应大于双面叠合剪力墙板中竖向分布钢筋的间距，且不宜大于 200mm。

3 剪力墙边缘构件采用叠合暗柱时，叠合暗柱区域的竖向连接钢筋应与边

缘构件纵向钢筋对应布置，直径不应小于边缘构件纵向钢筋的直径。



(a) 双面叠合剪力墙 (b) 双面叠合夹心保温剪力墙

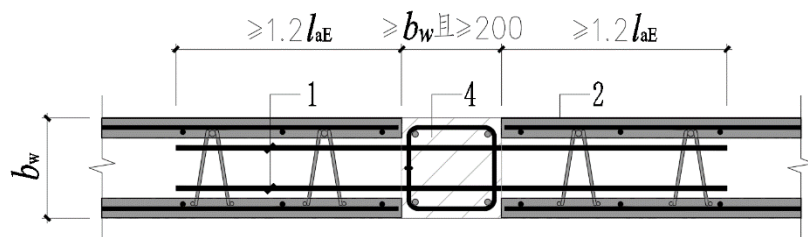
图 8.2.5 竖向连接钢筋搭接构造

1—双面叠合剪力墙板；2—双面叠合夹心保温剪力墙板；3—非叠合暗柱区域；4—叠合暗柱区域；
5—非叠合暗柱区域竖向连接钢筋；6—叠合暗柱区域竖向连接钢筋；7—水平接缝

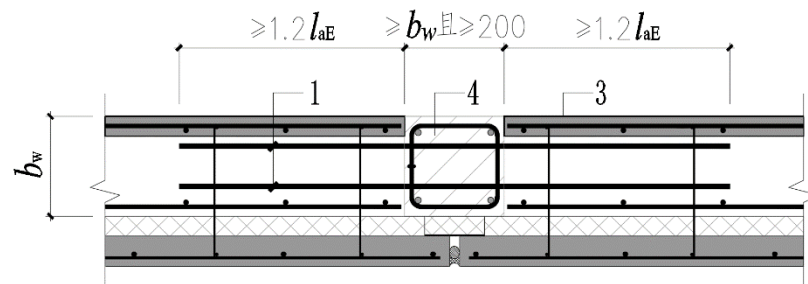
8.2.6 非边缘构件位置，相邻双面叠合剪力墙板之间宜设置后浇段，后浇带的宽度不应小于墙厚且不宜小于 200mm，后浇段内应设置不少于 4 根竖向钢筋，钢筋直径不应小于墙体竖向分布筋直径且不应小于 8mm；两侧墙体与后浇段之间应采用水平连接钢筋连接，并符合下列规定：

1 水平连接钢筋锚入叠合板式剪力墙板空腔层中的长度不应小于 $1.2l_{aE}$ （图 8.2.6）；

2 水平连接钢筋的直径不应小于叠合板式剪力墙板中水平分布钢筋的直径，间距不应大于叠合板式剪力墙板中水平分布钢筋的间距，且不宜大于 200mm。



(a) 双面叠合剪力墙



(b) 双面叠合夹心保温剪力墙

图 8.2.6 非边缘构件区域叠合板式剪力墙板水平连接节点构造

1—水平连接钢筋；2—双面叠合剪力墙板；3—双面叠合夹心保温剪力墙板；4—后浇竖向拼缝

8.2.7 屋面以及立面收进的楼层，当采用叠合楼板时应在预制剪力墙顶部设置封闭的后浇钢筋混凝土圈梁（图 8.2.2），并应符合下列规定：

1 圈梁截面宽度不应小于剪力墙的厚度，截面高度不宜小于楼板厚度及 250mm 的较大值；圈梁应与现浇或叠合楼、屋盖浇筑成整体。

2 圈梁内配置的纵向钢筋不应少于 $4\phi 12$ ，且按全截面计算的配筋率不应小于 0.5% 和该剪力墙水平分布筋配筋率的较大值，纵向钢筋竖向间距不应大于 200mm；箍筋间距不应大于 200mm，且直径不应小于 8mm。

3 圈梁混凝土强度等级应不低于楼板和预制剪力墙的混凝土强度等级。

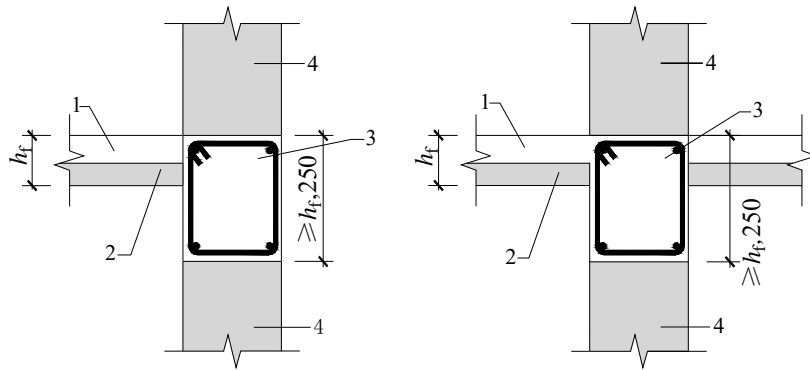


图8.2.2 后浇钢筋混凝土圈梁构造示意

1—叠合板现浇层；2—预制楼板；3—现浇圈梁；4—预制墙板

【条文说明】8.2.7 封闭连续的后浇钢筋混凝土圈梁是保证结构整体性和稳定性，连接楼盖结构与预制剪力墙的关键构件，当采用叠合楼板和屋面板时应在楼层收进及屋面处设置。

8.2.8 各层楼面位置，当采用叠合楼板且预制剪力墙顶部无后浇圈梁时，应设置连续的水平后浇带（图 8.2.3）；水平后浇带应符合下列规定：

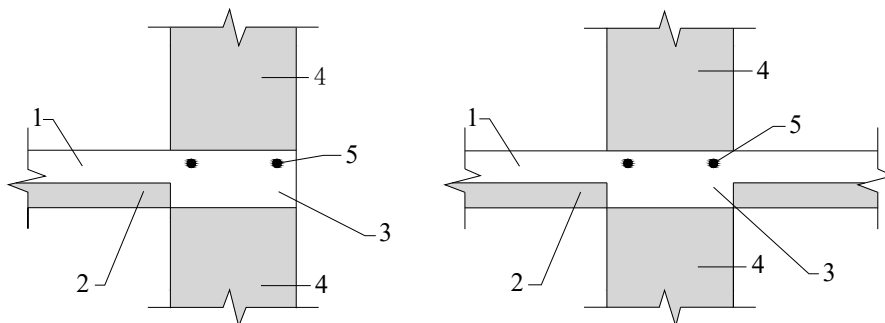


图8.2.3 水平后浇带构造示意

1—叠合板现浇层；2—预制板；3—水平后浇带；4—预制墙板；5—纵向钢筋

1 水平后浇带宽度应取剪力墙的厚度，高度不应小于楼板厚度；水平后浇带应与现浇或者叠合楼、屋盖浇筑成整体。

2 水平后浇带内应配置不少于 2 根连续纵向钢筋，其直径不宜小于 12mm。

3 水平后浇带的混凝土强度等级应不低于楼板和预制剪力墙的混凝土强度等级。

【条文说明】8.2.8 在不设置圈梁的楼面处，水平后浇带及在其内设置的纵向钢筋也可起到保证结构整体性和稳定性、连接楼盖结构与预制剪力墙的作用。

8.2.9 预制剪力墙底部接缝宜设置在楼面标高处。接缝高度宜为 20mm，且宜采用灌浆料填实，接缝处后浇混凝土上表面应设置粗糙面。

【条文说明】8.2.9 预制剪力墙竖向钢筋一般采用套筒灌浆或浆锚搭接连接，在灌浆时宜采用灌浆料将水平接缝同时灌满。灌浆料强度较高且流动性好，有利于保证接缝承载力。灌浆时，预制剪力墙构件下表面与楼面之间的缝隙周围可采用封边砂浆进行封堵和分仓，以保证水平接缝中灌浆料填充饱满。

8.2.10 上下层预制剪力墙的边缘构件竖向钢筋宜采用单排或双排套筒灌浆连接、单排螺栓连接、双排金属波纹管浆锚搭接连接或基于超高性能混凝土（UHPC）搭接连接。

【条文说明】8.2.10 套筒灌浆连接、金属波纹管浆锚搭接连接和螺栓连接方式在国外发达国家应用普遍，我国也开展较为系统的试验研究。试验结果表明，当边缘构件竖向钢筋采用单排或双排套筒灌浆连接、单排螺栓连接、双排金属波纹管浆锚搭接连接或基于超高性能混凝土（UHPC）搭接连接时，装配整体式剪力墙结构具有良好的抗震性能。需要说明，当采用单排套筒灌浆连接或单排螺栓连接时，应保证拼缝截面的正截面抗弯承载力满足设计要求。

8.2.11 上下层预制剪力墙的竖向分布钢筋可采用单排套筒灌浆连接、单排金属波纹管浆锚搭接连接、单排螺栓连接或基于 UHPC 搭接连接，并应符合下列规定：

1 当采用单排套筒灌浆连接（图 8.2.6-1）和金属波纹管浆锚搭接连接（图

8.2.6-2) 时, 连接钢筋的抗拉承载力不宜小于被连接钢筋抗拉承载力的 1.1 倍, 并应符合本规程 8.2.8 条的计算规定; 竖向连接钢筋间距不宜大于 400mm; 竖向连接钢筋在上层预制墙体中的锚固长度对于套筒灌浆连接不应小于 l_{aE} (从套筒顶面至连接钢筋顶部) 或 $1.2l_{aE}$ (从套筒底部至连接钢筋顶部) 中的较大值、对于金属波纹管浆锚搭接连接不应小于 $1.2l_{aE}$ (从金属波纹管底部至连接钢筋顶部), 且应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和本规程 6.5 节的相关规定。其中, l_{aE} 按连接钢筋直径计算。

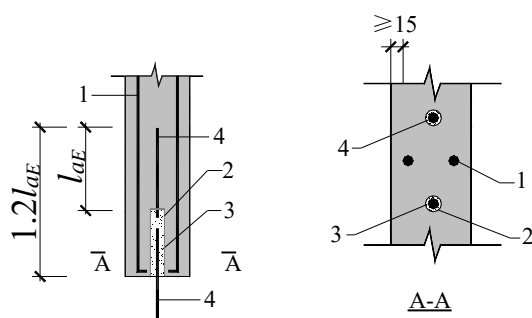


图 8.2.6-1 竖向钢筋单排套筒灌浆连接

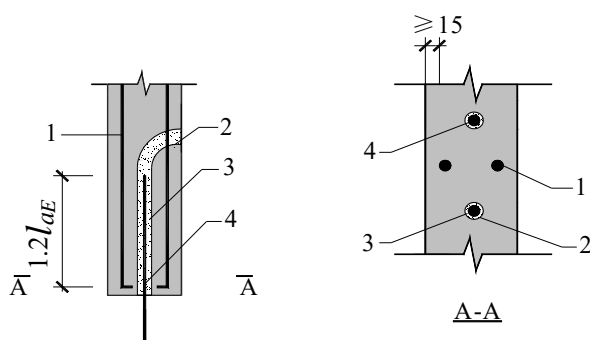


图 8.2.6-2 竖向钢筋单排金属波纹管浆锚搭接连接

1—上部预制构件纵筋; 2—套筒或金属波纹管; 3—灌浆料; 4—连接钢筋

2 当采用单排螺栓连接时 (图 6.5.7), 附加连接螺栓的抗拉承载力不宜小于被连接钢筋抗拉承载力的 1.1 倍, 并应符合本规程 8.2.8 条的计算要求; 螺栓的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和本规程 6.5 节的相关规定。

3 当采用基于 UHPC 搭接连接时, 纵筋的搭接长度不宜小于 $10d$ (d 为钢筋直径)。

【条文说明】8.2.11 剪力墙的分布钢筋直径小且数量多, 全部连接会导致施工

繁琐且造价较高，连接接头数量太多对剪力墙的抗震性能也有不利影响。根据同济大学以及国内外相关研究成果，可在预制剪力墙中设置部分较粗的分布钢筋并在接缝处仅连接这部分钢筋，连接纵筋的数量应满足剪力墙的配筋率和受力要求。编制组完成的研究成果表明，上下层预制剪力墙的竖向分布钢筋可采用套筒灌浆连接、金属波纹管浆锚搭接连接、螺栓连接和基于 UHPC 搭接连接，连接钢筋或附加连接螺栓的抗拉承载力不宜小于被连接钢筋的 1.1 倍，且锚固长度应符合本条及本规程第 6.5 节的相关规定。

8.2.12 预制剪力墙相邻下层为现浇剪力墙时，预制剪力墙与下层现浇剪力墙中竖向钢筋的连接应符合本规程第 8.2.5 条及第 8.2.6 条的规定。

8.2.13 在地震设计状况下，剪力墙水平接缝的受剪承载力设计值应按下式计算：

$$V_{uE} = 0.6 f_y A_{sd} + 0.8 N \quad (8.2.8)$$

式中： f_y ——垂直穿过结合面的钢筋抗拉强度设计值；

N ——与剪力设计值 V 相应的垂直于结合面的轴向力设计值，压力时取正，拉力时取负；

A_{sd} ——垂直穿过结合面的抗剪钢筋面积。

【条文说明】8.2.13 参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3、国外规范（如美国规范 ACI 318、欧洲规范 EN 1992-1-1:2004、美国 PCI 手册（第七版）等），并对大量试验数据进行分析的基础上，本规程给出了预制剪力墙水平接缝受剪承载力设计值的计算公式，公式与《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中对一级抗震等级剪力墙水平施工缝的抗剪验算公式相同，主要采用剪摩擦的原理，考虑了钢筋和轴力的共同作用。

进行预制剪力墙底部水平接缝受剪承载力计算时，计算单元的选取分以下三种情况：

- 1 不开洞或者开小洞口整体墙，作为一个计算单元。
- 2 小开口整体墙可作为一个计算单元，各墙肢联合抗剪。
- 3 开口较大的双肢及多肢墙，各墙肢作为单独的计算单元。

8.2.14 预制剪力墙洞口上方的预制连梁宜与后浇圈梁或水平后浇带形成叠合连梁（图 8.2.9），叠合连梁的配筋及构造要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

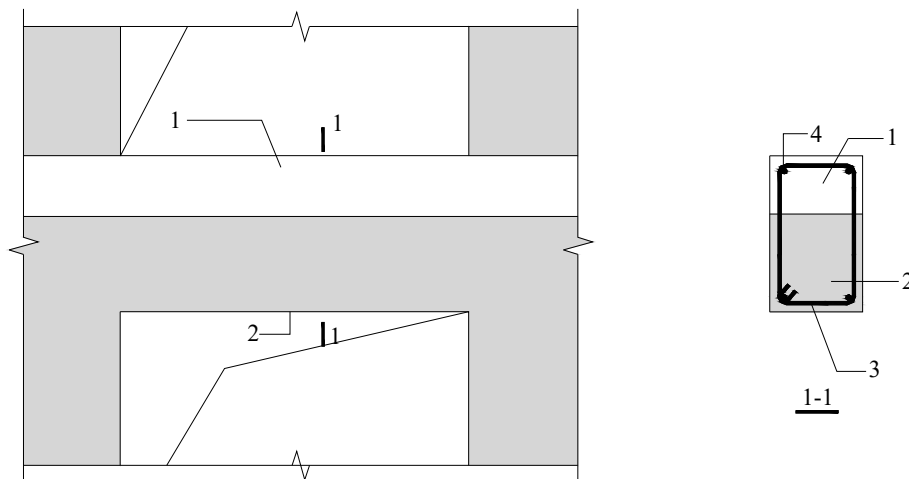


图8.2.9 预制剪力墙叠合连梁构造示意

1—后浇圈梁或后浇带；2—预制连梁；3—箍筋；4—纵向钢筋

【条文说明】8.2.14 本条对带洞口预制剪力墙的预制连梁与后浇圈梁或水平后浇带组成的叠合连梁的构造进行了说明。当连梁剪跨比较小需要设置斜向钢筋时，一般采用全现浇连梁。

8.2.15 不锈钢连接件的抗拔承载力和抗剪承载力设计值应按（8.2.10）式确定：

$$R_{sd} = R_{sk}/\gamma_{sR} \quad (8.2.10)$$

式中： R_{sd} ——不锈钢连接件抗拔承载力和抗剪承载力设计值；

R_{sk} ——不锈钢连接件抗拔承载力和抗剪承载力标准值，根据《预制混凝土夹心保温外墙板应用技术标准》D 附录 A 试验确定；

γ_{sR} ——不锈钢连接件抗拔承载力和抗剪承载力分项系数，当发生连接件材料破坏时取 1.4，当发生桁架式连接件焊点脱开时取 1.5，当发生混凝土锚固破坏时取 1.8。

8.2.16 纤维增强复合材料（FRP）连接件的抗拔承载力和抗剪承载力设计值应按（8.2.11）式确定：

$$R_{fd} = \frac{R_{fk}}{\gamma_{fR} \gamma_E} \quad (8.2.11)$$

式中： R_{fd} ——纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力设计值；

R_{fk} ——纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力标准值，

根据本标准附录 A 试验确定；

γ_{FR} ——纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力分项系数，当发生连接件材料破坏时取 1.3，当发生混凝土锚固破坏时取 1.8；

γ_E ——纤维增强复合材料（FRP）连接件抗拔承载力和抗剪承载力环境影响系数，按现行国家标准《纤维增强复合材料工程应用技术标准》GB 50608取2.0。

【条文说明】8.2.16 纤维增强复合材料（FRP）连接件长期在所处环境的酸碱盐、湿度、温度等作用下，性能会有不同程度的降低。此外，纤维增强复合材料（FRP）连接件在低于其承载力的拉力长期作用下存在发生蠕变断裂的可能。因此，本条规定在确定纤维增强复合材料（FRP）连接件拉伸强度设计值时需考虑上述两个因素的影响，而层间剪切强度设计值应考虑混凝土环境影响。环境影响系数和长期荷载影响系数的具体数值可按照现行国家标准《纤维增强复合材料工程应用技术标准》GB 50608的相关规定取值。

8.2.17 当采用不锈钢片式和针式连接件的组合时，片式连接件用于抗剪，针式连接件用于抗拔；当采用不锈钢桁架式和针式连接件的组合时，桁架式连接件用于抗剪，针式连接件用于抗拔；设计时不考虑拉剪复合受力，分别验算。当单独采用不锈钢桁架式连接件、纤维增强复合材料（FRP）棒状或片状连接件时，弹性设计时，拉剪复合受力下连接件材料破坏承载力应按公式（8.2.12）验算：

$$\left(\frac{N_d}{N_{rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (8.2.12)$$

式中： N_d ——连接件拔出力设计值；

N_{rd} ——连接件抗拔承载力设计值；

V_d ——连接件剪力设计值；

V_{rd} ——连接件抗剪承载力设计值。

【条文说明】8.2.17 不锈钢针式连接件截面尺寸小，抗剪刚度低，能够承担的剪

力很小，通常不单独使用，而是与不锈钢片式连接件或桁架式连接件组合使用。国内外大量工程实践均表明，当采用不锈钢片式和针式连接件的组合或不锈钢桁架式和针式连接件的组合时分别验算连接件抗拔和抗剪承载力，而单独采用不锈钢桁架式连接件、纤维增强复合材料（FRP）棒状或片状连接件时考虑抗拔承载力和抗剪承载力的耦合，可同时满足经济性和安全性要求。

8.3 装配整体式剪力墙构造设计

8.3.1 本节适用于竖向钢筋采用套筒灌浆连接、金属波纹管浆锚搭接连接、螺栓连接和基于 UHPC 搭接连接的装配整体式剪力墙以及预应力叠合空心楼板装配整体式剪力墙的设计。

8.3.2 装配整体式剪力墙宜采用一字形，也可采用 L 形、T 形、或 U 形；开洞预制剪力墙洞口宜居中布置，洞口两侧的墙肢宽度不应小于 200mm，洞口上方连梁高度不宜小于 250mm。

【条文说明】8.3.2 可结合建筑功能和结构平立面布置的要求，根据构件的生产、运输和安装能力，确定预制构件的形状和大小。

8.3.3 装配整体式剪力墙的连接梁不宜开洞；当需开洞时，洞口宜预埋套管，洞口上、下截面的有效高度不宜小于梁高的 1/3，且不宜小于 200mm；被洞口削弱的连梁截面应进行承载力验算，洞口处应配置补强纵向钢筋和箍筋，补强纵向钢筋的直径不应小于 12mm。

8.3.4 装配整体式剪力墙开有边长小于 800mm 的洞口，且在结构整体计算中不考虑其影响时，应沿洞口周边配置补强钢筋；补强钢筋的直径不应小于 12mm，截面面积不应小于同方向被洞口截断的钢筋面积；该钢筋自孔洞边角算起伸入墙内的长度不应小于 l_{aE} （图 8.3.4）。

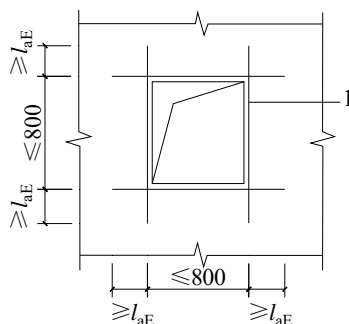


图8.3.4 预制剪力墙洞口补强钢筋配置示意

1—洞口补强钢筋

【条文说明】8.3.3~8.3.4 墙板开洞的规定参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3的要求制订。预制墙板的开洞应在工厂完成。

一、二、三级抗震等级剪力墙的底部加强部位不宜采用错洞墙；一、二、三级抗震等级的力墙均不宜采用叠合错洞墙。具有不规则洞口布置的错洞墙，可按弹性平面有限元方法进行应力分析，并按应力进行截面配筋设计或校核。 l_a 为受拉钢筋最小锚固长度， l_{aE} 为受拉钢筋最小抗震锚固长度。

8.3.5 当采用套筒灌浆连接时，自套筒底部至套筒顶部并向上延伸 300mm 范围内，预制剪力墙的水平分布筋应加密（图 8.3.5），加密水平分布筋的最大间距及最小直径应符合表 8.3.5 的规定，套筒上端第一道水平分布钢筋距离套筒顶部不应大于 50mm。

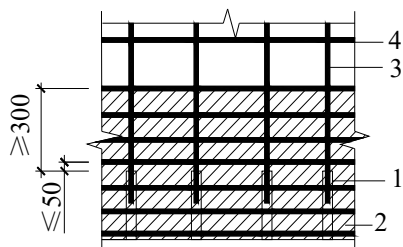


图8.3.5 钢筋套筒灌浆连接部位水平分布钢筋的加密构造示意

1—灌浆套筒；2—水平分布钢筋加密区域（阴影区域）；3—竖向钢筋；4—水平分布钢筋

表8.3.5 加密区水平分布钢筋的要求

抗震等级	最大间距 (mm)	最小直径 (mm)
一级	100	8
二、三、四级	150	8

【条文说明】8.3.5 剪力墙底部竖向钢筋连接区域，裂缝较多且较为集中，因此，对该区域的水平分布筋应加强，以提高墙板的抗剪能力和变形能力，并使该区域

的塑性铰可以充分发展，提高墙板的抗震性能。

8.3.6 端部无边缘构件的预制剪力墙，宜在端部配置 2 根直径不小于 12mm 的竖向构造钢筋；沿该钢筋竖向应配置拉筋，拉筋直径不宜小于 6mm、间距不宜大于 250mm。

【条文说明】8.3.6 对于中间分布钢筋区域预制墙板，应对其边缘配筋适当加强，形成边框，保证墙板在形成整体结构之前的刚度及承载力。

8.3.7 预制预应力空心板的端部最小支承长度 a_{0min} 应按下式计算：

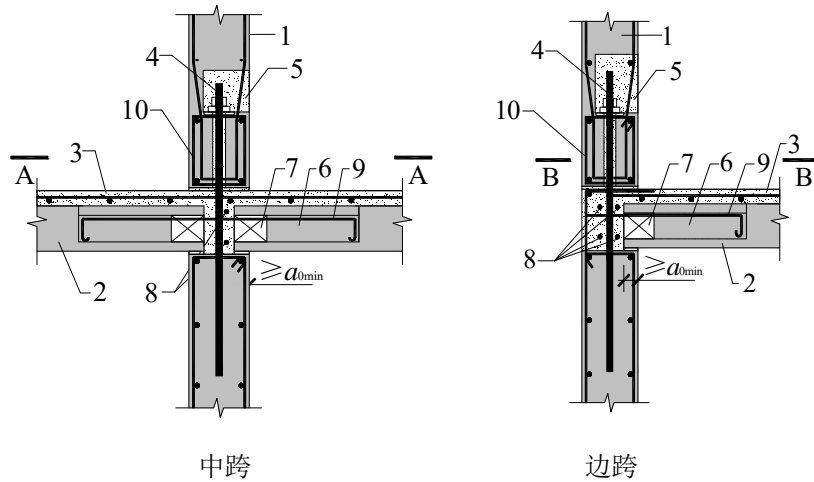
$$a_{0min} = \max \left[\frac{L}{180}, \begin{cases} 55mm & L \leq 10m \\ 80mm & 10m < L \leq 14.4m \\ 100mm & 14.4m < L \leq 18m \end{cases} \right] \quad (8.3.7)$$

式中： L ——为预制预应力空心板的计算跨度。

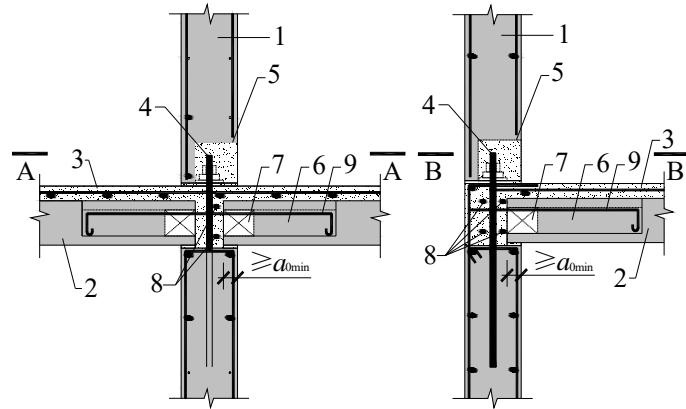
当在支承长度无法满足时，板端应采取配置钢筋拉锚等加强措施。

8.3.8 预应力叠合空心楼板装配整体式剪力墙应符合以下构造要求：

1 剪力墙非边缘构件区竖向钢筋宜采用 8.2.6 条规定的单排连接构造，预应力空心板的拉结加强构造应符合图 8.3.8 的相关规定；当采用单排螺栓连接时，应符合图 8.3.8 的构造规定。



(a) 设置暗梁



中跨边跨

(b) 预埋连接器

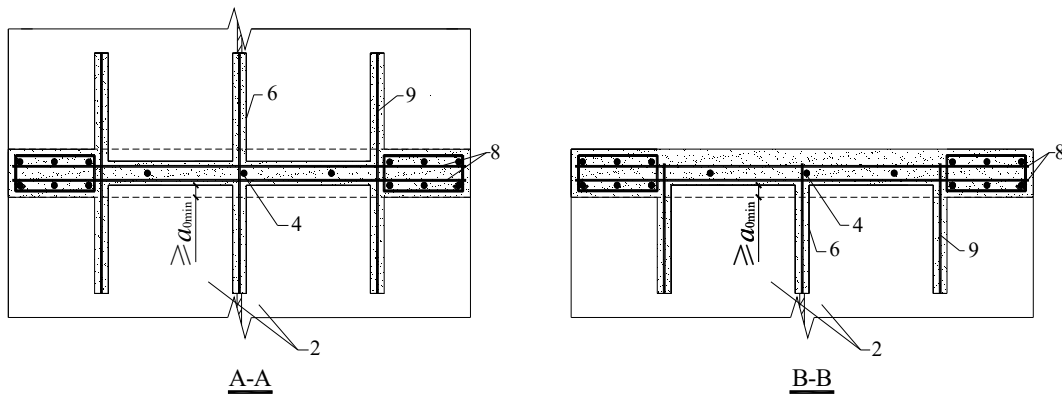


图 8.3.8 预应力空心叠合楼板装配整体式剪力墙构造示意

1—墙体；2—预应力板；3—叠合层；4—上端带螺纹竖向连接钢筋；5—预留手孔；
6—预应力空心芯孔预先开槽；7—细石混凝土堵头；8—加强筋；9—拉结筋；10—暗梁

2 边跨预应力叠合楼板装配整体式剪力墙的接缝构造宜符合本规程 8.2.2 和 8.2.3 条的规定。

3 预制预应力空心板不宜在剪力墙边缘构件区域搁置，在该区域内的预制预应力空心板应采取有效措施保证与剪力墙的可靠连接。

4 预应力空心板底端部与下层剪力墙交接处应设置不小于 20mm 厚的垫块，垫块宜采用与坐浆层相同的材料。

5 在预应力空心板接缝和孔芯内应设置拉锚钢筋，拉锚钢筋间距不应大于 600mm，拉锚钢筋直径不应小于 8mm。孔芯应先开槽，开槽长度不应小于 1m。

6 预应力空心板端部孔芯内应采用细石混凝土堵头。

7 预应力空心板顶应设置粗糙面。

8 安装手孔宜采用微膨胀细石混凝土或灌浆料填实。

【条文说明】8.3.8 预应力空心叠合板板端应与竖向构件可靠连接，在搁置长度范围内空腔应用细石混凝土填实。拉锚钢筋一般设在空心板板缝中，需要时也可设在芯孔内，芯孔应预先开槽

8.3.9 装配整体式剪力墙的其他构造设计应符合本规程第6章和本章的相关规定。

【条文说明】8.3.9 剪力墙的分布钢筋直径小且数量多，全部连接会导致施工繁琐且造价较高，连接接头数量太多对剪力墙的抗震性能也有不利影响。编制组的研究成果表明，上、下层预制剪力墙的竖向分布钢筋可采用单排螺栓连接，附加连接螺栓应与剪力墙竖向分布钢筋等强配置，且锚固长度应符合本规程第6.5节的相关规定。

预应力空心板的支撑顶面应严格找平。在空心板底端部与下层剪力墙交界处应留有不小于20mm的空隙，采用专用垫块调整预制墙板的标高及找平。预制板吊装到位后进行水平缝的塞缝工作。

用于构成叠合板的空心板顶面应有凹凸差不小于4mm的人工粗糙面，以保证叠合面的抗剪强度。在浇筑叠合层混凝土之前，空心板顶面必须清理干净、并浇水充分湿润（冬季施工除外），但不能积水，以保证两部分成为整体，施工时应十分注意。

微膨胀细石混凝土中掺入的外加剂在混凝土水化硬结过程中可起到补偿收缩的作用，从而达到防止表面开裂以保护钢筋的目的

8.4 装配整体式叠合剪力墙构造设计

8.4.1 本节适用于装配整体式单面叠合剪力墙和装配整体式双面叠合剪力墙两类装配整体式叠合剪力墙的设计。

8.4.2 装配整体式单面叠合剪力墙预制和现浇部分之间的连接通过叠合筋完成，叠合筋构造及设置应满足以下规定：

1 叠合筋上弦筋、下弦筋及斜筋的强度等级及直径应按计算确定并符合表8.4.2-1要求。当上弦筋、下弦筋兼作预制叠合剪力墙分布钢筋时，其直径可与墙板分布钢筋直径保持一致，但应同时满足表8.4.2-1要求。

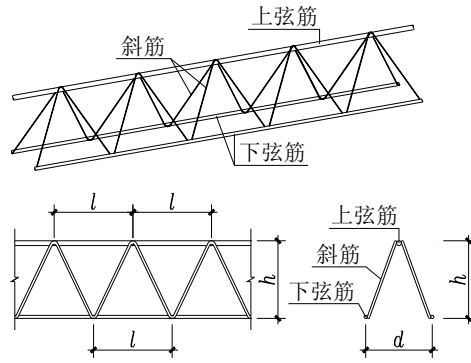


图 8.4.2-1 叠合筋组成

表 8.4.2-1 上弦筋、下弦筋及斜筋强度等级及直径选用表

类别	钢筋强度等级	直径
上弦筋	HRB400	$\geq 10\text{mm}$
下弦筋	HPB300、HRB400	$\geq 6\text{mm}$
斜筋	HPB300、HRB400	当 $70\text{mm} \leq h \leq 200\text{mm}$ 时, $\geq 6\text{mm}$ 当 $200\text{mm} < h \leq 240\text{mm}$ 时, $\geq 8\text{mm}$

注: h —叠合筋横断面高度, 见图 8.4.2-1。

2 叠合筋横断面适用高度 $70\text{mm} \leq h \leq 240\text{mm}$ 。叠合筋的横断面高度应保证预制剪力墙板安装就位后上弦筋内皮至预制剪力墙板内表面的最小距离不小于 20mm, 且应保证当预制剪力墙板和梁、柱相交时, 和梁、柱平行的上弦筋处于梁、柱箍筋的内侧。叠合筋横断面宽度 d 取值 80~100mm。斜筋和上、下弦筋的焊接节点间距 l 取固定值 200mm。叠合筋长度以 100mm 为模数, 上弦筋端部离板端距离不大于 50mm。

3 叠合筋应根据结构受力及脱模、存放、运输、施工安装各阶段最不利荷载工况计算确定并双向配置 (图 8.4.3-2), 其距板边距离及间距应满足表 8.4.3-2 要求。当预制剪力墙板和剪力墙边缘构件或楼层梁相交时, 应保证至少有一根叠合筋位于剪力墙边缘构件或楼层梁内。开洞预制剪力墙板洞口周边应至少设置一根与洞口边平行的叠合筋, 且叠合筋离洞口边距离不应大于 150mm, 此时叠合筋可兼作洞口加强筋。

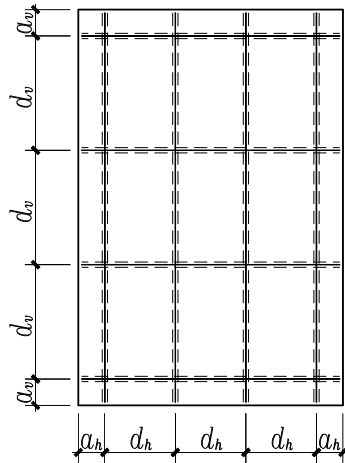


图 8.4.2-2 预制剪力墙板叠合筋的配置

表 8.4.2-2 预制剪力墙板叠合筋的配置间距

符号	间距(mm)	备注
a_h	200~250	水平边距
d_h	450~600	水平间距
a_v	200~250	垂直边距
d_v	600~900	垂直间距

【条文说明】8.4.2 装配整体式单侧叠合剪力墙板叠合筋的主要作用是连接剪力墙预制部分（PCF 板）和现浇部分，增强装配整体式单侧叠合剪力墙的整体性，同时保证预制剪力墙板在制作、吊装、运输及现场施工时有足够的强度和刚度，避免损坏、开裂。日本研究应用资料推荐采用三种形式的叠合筋，即：“O”形、“M”形和“K”形，其中“K”形叠合筋由上弦钢筋、下弦钢筋和斜筋三部分组成，其中斜筋和上弦钢筋、下弦钢筋焊接形成三角桁架钢筋笼。因“K”形叠合筋制作相对简单、质量易保证、稳定性好，且其工作性能在装配整体式单侧叠合剪力墙试验中得到了验证，故此处推荐采用“K”形叠合筋。

叠合筋强度、规格的选用主要考虑以下因素：1) 在预制剪力墙板脱模、存放、安装及浇筑混凝土时提供必要的强度和刚度，避免预制剪力墙板损坏、开裂；2) 保证叠合剪力墙中预制剪力墙板和现浇部分具有良好的整体性；3) 加工、制作方便。规程正文中表 8.3.3-1 中数据的提出主要借鉴了日本的试验研究及应用资料。

叠合筋横断面适用高度主要根据预制叠合剪力墙的常用厚度确定。为保证浇筑混凝土时具有良好的充盈度，叠合筋的上弦筋内皮至预制剪力墙板内表面距离不能太小。此外，为保证预制剪力墙板和梁、柱相交处具有良好的整体性，叠合筋高度应能保证和梁、柱平行的上弦筋能锚固在梁、柱内部。叠合筋横断面宽度取

值 80~100mm 及斜筋焊接节点间距 取值 200mm 能保证叠合筋的高度、叠合筋三角形断面夹角、斜筋和上下弦钢筋的夹角适中，从而获得较好的支撑刚度。叠合筋的配置借鉴日本的试验研究及应用资料确定，主要目的在于保证预制叠合剪力墙具有良好的整体性，避免出现界面破坏或预制剪力墙板边缘翘起现象。开洞预制剪力墙板制作时，洞口一般带加强翻边，此时叠合筋离洞边距离可从翻边内沿起算。

8.4.3 装配整体式单面叠合剪力墙的墙肢，应取有效厚度作为计算其承载力、变形和配筋（率）的基准厚度。装配整体式单面叠合剪力墙截面组成及有效厚度见图 8.4.3。

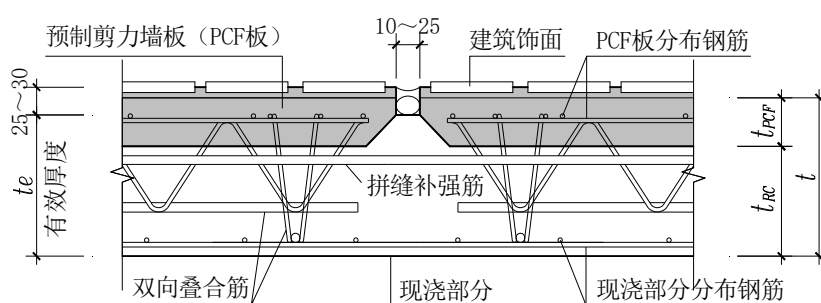


图 8.4.3 装配整体式单面叠合剪力墙组成及其有效厚度

【条文说明】8.4.3 装配整体式单侧叠合剪力墙的受力变形过程、破坏模式和普通剪力墙相同，仅制作过程和生产工艺不同；结构外墙采用装配整体式单侧叠合剪力墙、结构内墙和筒体采用普通剪力墙的装配整体式剪力墙结构和普通剪力墙结构具有相同的结构特点，因此装配整体式单侧叠合剪力墙结构可采用和普通剪力墙结构相同的设计原则、方法和构造要求。装配整体式单侧叠合剪力墙的设计重点在于采取可靠的构造措施，保证预制部分和现浇部分具有良好的整体性，在参与结构受力时不发生沿叠合面及预制墙板拼缝的破坏。

8.4.4 装配整体式单面叠合剪力墙的预制剪力墙板（PCF 板）应满足以下构造要求：

1 预制剪力墙板采用普通硅酸盐混凝土，混凝土设计强度等级不宜小于 C30。预制叠合剪力墙预制部分和后浇部分的设计混凝土强度等级应一致。墙板分布钢筋、叠合筋上弦钢筋及下弦钢筋宜采用 HRB400 级钢筋，钢筋直径根据计算确定且不宜小于 $\phi 6$ ，斜筋最小可采用 HPB300 级 $\phi 6$ 钢筋。预制剪力墙板构造详见图 8.4.4-1。

2 预制剪力墙板采用矩形或“L”形板，设计板宽 B 不宜大于 3.3m，板高 H 应不大于 6.0m，“L”形板短边长度不宜大于 1.0m。单块预制剪力墙板板重不宜大于 $5t$ 。开洞预制剪力墙板洞口应居中布置，洞口至板边距离应满足图 8.4.4-1 要求，洞口不宜跨板边布置。预制剪力墙板制作时端部应按图 8.4.4-2 所示进行 45° 或 30° 切角。不计建筑饰面厚，切角后板端厚度不应小于 20mm。预制剪力墙板内表面应做成凹凸深度不小于 4mm 的人工粗糙面。

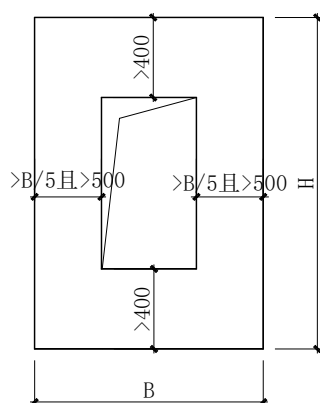


图 8.4.4-1 开洞预制叠合剪力墙洞边尺寸要求

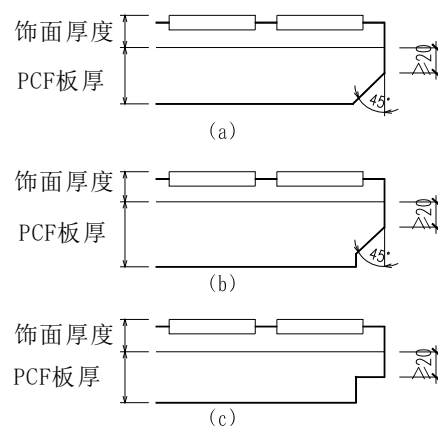


图 8.4.4-2 预制剪力墙板板端形状

3 不含建筑饰面厚，预制剪力墙板板厚参考表 8.4.4 确定，且最小板厚不应小于 60mm。

表 8.4.4 预制剪力墙板参考板厚

板高 H	板厚 t
4.0m 以下	60~65mm
4~4.5m	70mm
4.5m 以上	80mm

注：预制剪力墙板厚以 5mm 为模数

4 预制剪力墙板分布钢筋采用 HRB400 级直径 $\phi 8$ 及以上单一直径钢筋，钢筋间距不应大于 200mm。不计建筑饰面厚度，预制剪力墙板分布钢筋的保护层厚度不应小于 25mm，当与土壤接触时，其迎水面保护层厚度不应小于 50mm。

【条文说明】8.4.4 1) 此处主要根据日本应用研究技术资料及我国抗震规范对钢筋混凝土结构的材料要求规定预制剪力墙板结构的材料种类及强度等级。

2) 规定预制剪力墙板形状、尺寸及重量主要是考虑到制作、存放、吊装、运输及安装的方便。

为防止预制剪力墙板在存放、搬运及施工中损坏，规定了开洞预制剪力墙板洞口边至板边距离，洞口跨板边布置增加了拼缝处理难度，会降低预制叠合剪力墙的整体性，故加以限制。

预制剪力墙板端部进行 45° 或 30° 切角处理有利于浇筑混凝土后切角处被混凝土填充而形成拼缝补强钢筋的保护层，增加预制叠合剪力墙的有效厚度。为防止搬运及安装施工中损坏，切角后的预制剪力墙板端部不能太薄。预制剪力墙板内表面做成凹凸不小于 4mm 的人工粗糙面能有效增加预制剪力墙板和现浇混凝土骨料之间的咬合，提高预制叠合剪力墙的整体性。

3) 预制剪力墙板板厚主要根据日本的研究及应用资料确定，为保证预制剪力墙板的制作精度，板厚不能太小，同时在搬运及安装施工过程中板厚太小，易开裂损坏，板厚过大则易超重，增加施工难度。

4) 日本的相关设计资料规定预制剪力墙板采用 $\phi 10$ 或 $\phi 13$ (直径) 的单一配筋，钢筋间距应在 200mm 以下，同时结合《建筑抗震设计规范》(GB 50011)及《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)对混凝土结构材料及剪力墙分布钢筋的配筋要求，规定预制剪力墙板分布钢筋应采用 HRB335 或 HRB400 级直径 $\phi 8$ 及以上单一直径钢筋，钢筋间距不应大于 200mm。

钢筋的保护层厚度主要根据混凝土结构构件种类及所处环境类别确定，此处预制剪力墙板分布钢筋的保护层厚度取值主要根据日本研究资料及《混凝土结构设计规范》(GB 50011)要求综合确定

8.4.5 预制剪力墙板安装时垂直拼缝宽宜控制在 10~25mm，水平拼缝宽宜控制在 20~30mm。拼缝处应在现浇部分紧贴预制剪力墙板内侧设置补强筋，见图 8.4.5-1 和图 8.4.5-2。补强筋是指沿预制剪力墙板竖向及水平拼缝放置用以增强接缝强度及叠合剪力墙整体性的短钢筋。单位长度配置的拼缝补强筋面积应不小于预制剪力墙板内对应范围内与补强筋平行的分布钢筋的面积。拼缝补强筋位置处于预制剪力墙板内侧和叠合筋上弦筋之间，跨缝布置，单侧长度不应小于 $30d$ (d 为补

强筋直径)及《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)规定的剪力墙分布钢筋搭接长度的较大值。

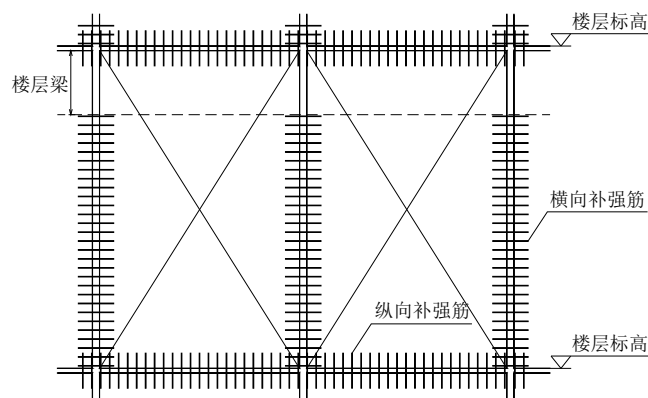


图 8.4.5-1 预制剪力墙板拼缝补强筋布置

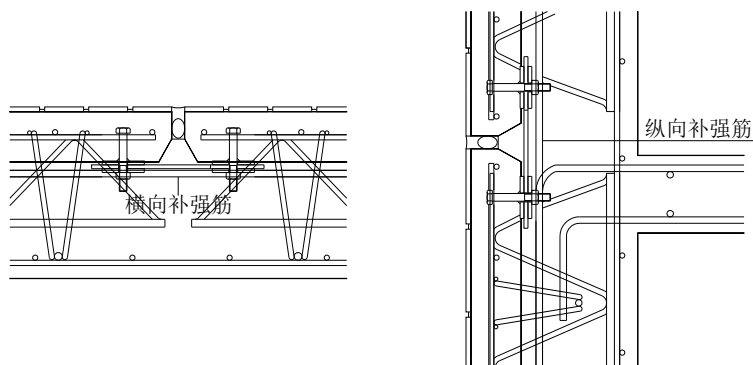


图 8.4.5-2 预制剪力墙板水平及垂直拼缝处补强筋设置

【条文说明】8.3.5 预制剪力墙板安装时拼缝宽度以施工方便、防水处理简单、不影响建筑饰面整体效果为宜,本条款推荐采用的拼缝宽度主要根据日本经验确定。

装配式单侧叠合剪力墙中预制剪力墙板拼缝处分布钢筋及叠合筋均不连续,为保证剪力的有效传递,应在现浇部分紧贴预制剪力墙板内侧设置短钢筋进行补强,补强筋数量根据等强原则确定,即单位长度配置的拼缝补强筋面积应不小于预制剪力墙板内对应范围内与补强筋平行的分布钢筋的面积,补强筋的位置应尽量靠近预制剪力墙板内侧,以利于截面内力的平稳、有效传递,并获得较大的截面有效高度。

因补强筋在拼缝处的作用相当于装配式单侧叠合剪力墙外侧分布钢筋,故其单侧长度应满足《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)关于剪力墙分布钢筋搭接长度的要求,30d 为日本资料规定长度,此处取大值。

8.4.6 装配式单面叠合剪力墙现浇部分厚度不宜小于 120mm,当边缘构件及连梁

全部置于现浇部分时，不宜小于 160mm；预制部分和现浇部分的混凝土强度等级宜相同；装配式单面叠合剪力墙配筋根据计算及构造要求确定，其现浇部分配筋由式(8.4.6-1)计算，其预制剪力墙板分布钢筋应满足式(8.4.6-2)要求；以有效厚度计算的预制叠合剪力墙分布钢筋配筋率不应小于 0.25%，垂直分布钢筋直径不宜小于 $\phi 10$ 、不应小于 $\phi 8$ ，水平分布钢筋直径不应小于 $\phi 8$ 。

$$A_{sj} = A_s \times \frac{t_{RC}}{t_{PCF} + t_{RC}} \quad (8.4.6-1)$$

$$A_{sPCF} \geq A_s \times \frac{t_{PCF}}{t_{PCF} + t_{RC}} \quad (8.4.6-2)$$

式中： A_s ——装配式单面叠合剪力墙单位面积分布钢筋需要配筋量。

A_{sj} ——叠合剪力墙现浇部分单位面积分布钢筋配筋量。

A_{sPCF} ——预制剪力墙板单位面积分布钢筋配筋量。

t_{RC} ——装配式单面叠合剪力墙现浇部分厚度，见图 8.4.2。

t_{PCF} ——预制剪力墙板厚度（不含建筑饰面厚度），见图 8.4.2。

【条文说明】因预制剪力墙板板厚不能太大，为保证装配式单侧叠合剪力墙有效厚度适中并满足《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)对剪力墙 160mm 的最小截面厚度要求，其现浇部分厚度不应小于 120mm，同时现浇部分板厚太小，会降低混凝土浇筑时的充盈度及浇筑质量，且不利于梁柱交接处的钢筋绑扎及锚固处理。

《建筑抗震设计规程》(DGJ 08-9)及《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)要求剪力墙应设置边缘构件，开洞剪力墙应在洞口顶部布置连梁，且《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)规定剪力墙厚度不宜小于 160mm。本规程综合上述要求规定：当设置边缘构件及连梁时，预制叠合剪力墙现浇部分不应小于 160mm。

为保证装配式单侧叠合剪力墙截面的连续性及均匀性，现浇部分混凝土设计强度等级应和预制剪力墙板保持一致，并配置与之厚度相当的分布钢筋。

8.4.7 装配整体式双面叠合剪力墙的墙肢厚度不宜小于 200mm，内、外叶板厚度不宜小于 50mm，空腔层厚度不宜小于 100mm。

8.4.8 装配整体式双面叠合剪力墙预制和现浇部分之间的连接通过钢筋桁架完成，钢筋桁架筋构造及设置应满足以下规定：

1 钢筋桁架筋上、下弦筋作为纵向受力钢筋使用时，上、下弦筋性能应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011 中纵向受力普通钢筋的规定，宜采用 HRB400、HRB500 级钢筋。仅在短暂设计状况作为受力钢筋使用时，也可采用 CRB550、CRB600H 钢筋。

2 钢筋桁架腹杆钢筋宜采用 HPB300、HRB400、HRB500、CRB550 或 CRB600H 钢筋，也可采用 CPB550 钢筋。

3 钢筋桁架的钢筋公称直径宜符合表8.4.8的规定：

表 8.4.8 钢筋桁架公称直径 (mm)

类别	热轧钢筋	冷轧带肋钢筋	冷拔光面钢筋
上弦钢筋	8~16	8~12	/
下弦钢筋	6~14	6~12	/
腹杆钢筋	6~8	6~8	6~8

5 钢筋桁架的横截面高度 H_1 (上、下弦钢筋外表面距离) 不宜小于 70mm，不宜大于 400mm，且宜以 10mm 为模数；钢筋桁架横截面宽度 B_1 (下弦钢筋外表面距离) 不宜小于 60mm，不宜大于 110mm，且宜以 10mm 为模数；腹杆钢筋与上(下)弦钢筋相邻焊点的中心间距 P_s 宜取 200mm，且不宜大于 200mm。

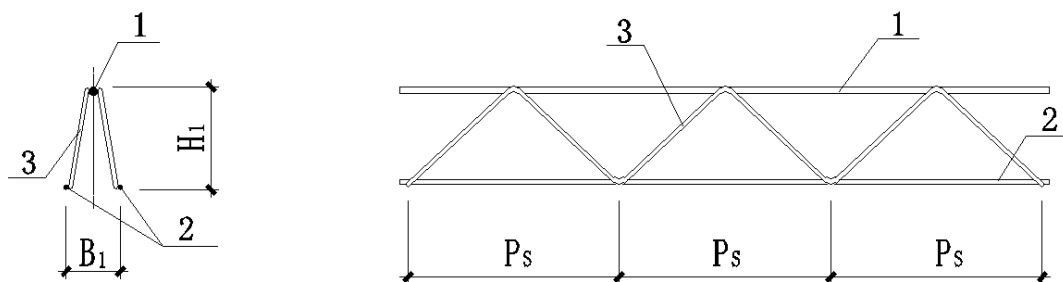


图8.4.8-1 钢筋桁架示意图

1-上弦钢筋；2-下弦钢筋，3-腹杆钢筋

6 腹杆钢筋在上、下弦焊点处的弯弧内径 D 不宜小于 $4d_3$ (d_3 为腹杆钢筋的直径)。

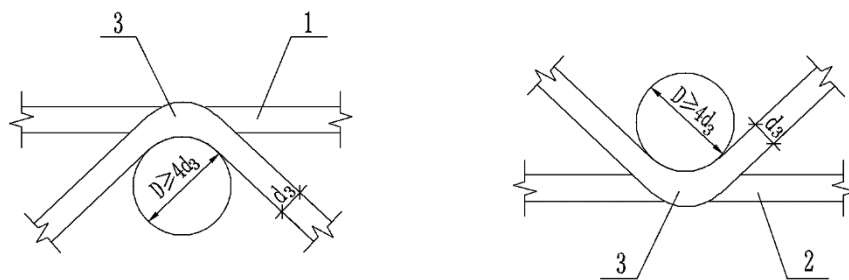


图8.4.8-2 腹杆钢筋弯弧示意图

1-上弦钢筋；2-下弦钢筋，3-腹杆钢筋

7 钢筋桁架应满足构件制作、运输、吊装和现浇混凝土施工的要求，并应符合：钢筋桁架宜竖向设置，上、下弦钢筋端部至板边距离不宜大于 50mm；当双面叠合剪力墙板内无叠合边缘构件时，钢筋桁架不应少于 2 榀；上弦钢筋至双面叠合剪力墙板板边的水平距离不宜大于 150mm，第一榀与第二榀钢筋桁架上弦钢筋的中心间距不宜大于 400mm，且不宜大于竖向分布筋间距的 2 倍；其余相邻钢筋桁架上弦钢筋的间距不应大于 600mm（图 8.4.8-3a）；当双面叠合剪力墙板内有叠合边缘构件时，第一榀钢筋桁架上弦钢筋至叠合边缘构件边的水平距离不宜大于 200mm，其余相邻钢筋桁架上弦钢筋的间距不应大于 600mm（图 8.4.8-3b）。

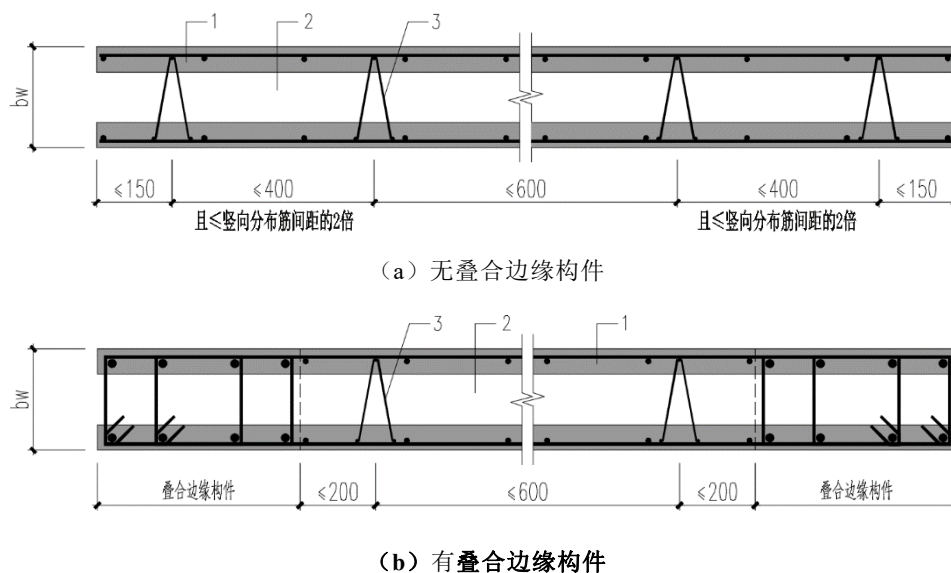


图 8.4.8-3 双面叠合剪力墙板钢筋桁架布置示意图

1—预制部分；2—空腔层；3—钢筋桁架

8.4.9 装配整体式叠合剪力墙的其他构造设计应符合本规程第 6 章和本章的相关规定。

8.5 装配整体式夹心保温剪力墙构造设计

8.5.1 本节适用于预制实心混凝土夹心保温剪力墙和双面叠合混凝土夹心保温剪力墙两类装配整体式夹心保温剪力墙的设计。

8.5.2 装配整体式夹心保温剪力墙应采用连接件将内叶和外叶墙板可靠连接。该连接件应同时具备良好的热工性能和力学性能，宜采用纤维增强塑料（FRP）连接件或不锈钢连接件，当有可靠试验依据时，也可采用其他类型连接件。

【条文说明】8.5.2 编制组完成的一系列预制夹心保温剪力墙热工试验以及国内外相关试验结果均表明，抗剪连接件的热工性能对剪力墙的保温隔热性能影响较大。因此本规程对抗剪连接件的热工性能做了规定。此外，抗剪连接件是保证预制夹心保温剪力墙内、外叶墙板可靠连接的关键部件，应具有可靠地力学性能。纤维增强塑料（FRP）连接件和不锈钢连接件是目前国内外普遍采用的预制夹心保温剪力墙抗剪连接件。

8.5.3 装配整体式夹心保温剪力墙中的棒状和片状连接件宜采用矩形布置，桁架式连接件宜采用等间距布置。连接件间距按设计要求确定，连接件距墙体边缘的距离宜为 100mm~200mm。当有可靠试验依据时，也可采用其他长度间距和边端距。

【条文说明】8.5.3 编制组完成的一系列预制夹心保温剪力墙及其连接件受力性能试验以及国内外相关试验结果均表明，抗剪连接件采用矩形或梅花形布置、间距 400mm~600mm、距墙体边缘 100mm~200mm 的构造可保证预制夹心保温剪力墙具有良好的受力性能。

8.5.4 装配整体式夹心剪力墙中连接件的设计应符合本规程第 4.2 节及第 8.2 节的规定。

8.5.5 装配整体式夹心剪力墙的内、外叶墙板的构造设计应符合下列规定：

- 1 内叶墙板应按剪力墙进行设计，并应与相邻剪力墙形成可靠连接，连接设计应符合本规程 8.2 节的相关规定。
- 2 外叶墙板按围护墙板设计，且与相邻外叶墙板不连接。
- 3 内、外叶墙板之间应设置不少于两根钢筋或两片钢预埋件拉结。

【条文说明】8.5.5 为避免极限破坏时外叶墙板坠落，应在内、外叶墙板之间设置不少于两根钢筋或两片钢预埋件连接。钢筋的直径或钢预埋件的尺寸根据外叶墙板的自重并考虑一定动力系数计算确定。

8.5.6 当采用 FRP 连接件时，装配整体式夹心剪力墙的外叶墙板厚度一般不小于 60mm，当外侧采用面砖/石材等不燃材料采用反打工艺做装饰面时，可取 55mm。连接件在墙体单侧混凝土板叶中的锚固长度不宜小于 30mm，其端部距墙板表面距离不宜小于 25mm。

【条文说明】8.5.6 装配整体式夹心剪力墙的外叶墙板厚度主要由建筑功能要求、连接件锚固构造要求、以及墙体抗火性能要求等因素决定。根据编制组完成预制夹心剪力墙及其 FRP 连接件的受力性能试验和抗火性能试验结果，并参照国内外现有研究成果，制订了本条关于采用 FRP 连接件的预制夹心剪力墙的构造规定。当采用不锈钢连接件时，其端部距墙板表面距离及外叶墙板厚度可适当减小。

8.5.7 装配整体式夹心剪力墙的保温层厚度不宜小于 30mm，且不宜大于 120mm。

【条文说明】8.5.7 连接件抗剪承载力随着保温层厚度的增加而降低。保温层厚度过小则得不到理想保温效果；过大则不能保证连接件抗剪承载力。

8.5.8 双面叠合混凝土夹心保温剪力墙板的内、外叶板厚度不应小于 50mm，不宜小于 60mm，空腔层厚度不宜小于 140mm。

8.5.9 双面叠合混凝土夹心保温剪力墙应符合以下构造要求：

- 1 保温层厚度应根据节能设计要求确定，且宜为 30mm~120mm；
- 2 外叶预制墙板厚度不宜小于 60mm，且不应小于 50mm，内叶预制墙板厚度不应小于 50mm，空腔厚度不宜小于 100mm；
- 3 外叶预制板应采用双向配筋，竖向和水平钢筋的配筋率均不应小于 0.15%，且钢筋直径不宜小于 4mm，间距不宜大于 200mm；
- 4 内叶预制板及空腔内的竖向和水平钢筋的配筋率应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 等对现浇混凝土剪力墙的有关规定；

5 采用纤维增强塑料杆式连接件时，内、外叶预制板之间宜设置防塌落构造；

6 门窗洞口两侧的墙板宽度不宜小于 200mm，洞口上方墙板高度不宜小于 200mm，门洞下方应采取临时加固措施。

7 相邻叠合夹心保温墙板的外叶板不应连接，墙板边缘不应设置混凝土封边。

【条文说明】8.5.9 基于叠合夹心保温墙板的工程经验，本标准在其墙板构造方面提出原则要求。

1 保温层厚度过小时，叠合夹心保温墙板的保温效果差，加工质量不可控，且因拉结件刚度过大，容易导致外叶板在使用阶段出现温度裂缝等问题，因此保温层厚度不宜小于 30mm。

2 叠合夹心保温墙板的内、外叶预制板需满足制作、运输和堆放、安装、浇筑混凝土等短暂设计状况下的受力要求，同时外叶板厚度需满足接缝防水构造、防火和耐久性能等要求，因此对内、外叶预制板的最小厚度提出要求。

3 叠合夹心保温墙板的外叶预制板不参与结构受力，参考现行行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》JGJ/T 458 给出了最小配筋率要求。

4 叠合夹心保温剪力墙计算截面厚度取中间空腔和内叶预制板总厚度，因此内叶预制板及空腔内的竖向和水平钢筋配筋参照国家现行标准对现浇混凝土剪力墙的有关规定。

5 外叶预制板在运输、堆放、安装、浇筑混凝土、风荷载、温度作用和地震作用影响下，极有可能造成 FRP 杆式连接件松动，为避免由此导致的外叶板塌落，可设置不锈钢钢筋或预埋件等防塌落构造，确保外叶板的安全性。

6 开洞叠合夹心保温墙板的洞口两侧宽度过小时，墙板整体刚度过低，构件生产脱模及翻转时，容易开裂，同时在搬运及施工中容易损坏。本条规定了开洞墙板洞口边至板边距离是为了保证叠合夹心保温墙板在生产、吊运、堆放和施工过程中构件的质量。当不满足本条规定时，需采取临时加固措施。

7 为避免产生热桥和约束外叶板的变形，叠合夹心保温墙板边缘不应设置混凝土

封边。

9 预制外挂墙板设计

a) 一般规定

9.1.1 预制外挂墙板的保温构造主要包括内保温、外保温及夹心保温三种形式。装配整体式混凝土居住建筑的外挂墙板宜采用夹心保温构造。本章内容适用于新建、扩建和改建居住建筑中有关仅起围护作用的外挂墙板及其连接的设计计算。除本章规定外，预制外挂墙板及其连接设计尚应符合现行行业标准《预制混凝土外挂墙板应用技术标准》(JGJ/T 458)的相关要求。

【条文说明】9.1.1 预制外挂墙板具有多种保温构造。其中，夹心保温构造保温隔热效果、防火性能和保温系统耐久性能好，可实现保温系统与主体结构同寿命。因此，建议装配整体式居住建筑的预制外墙采用夹心保温构造。

9.1.2 预制外挂墙板与主体结构宜采用可靠的柔性连接，连接节点应具有足够的承载力和适应主体结构变形的能力，并应采用可靠的防腐、防锈和防火措施。外挂墙板及其与主体结构的连接节点应进行抗震设计。

【条文说明】9.1.2 预制外挂墙板建议与主体结构采用柔性连接，即外挂墙板不参与结构整体受力。目前，工程中常用的柔性连接分为四点支承连接和上边固定线支承两类。根据预制外挂墙连接构造的不同，主体结构设计时应考虑其对结构刚度的影响。

9.1.3 预制外挂墙板和连接节点进行分析时可采用线性弹性方法，其计算简图应符合实际受力状态。

【条文说明】9.1.3 预制外挂墙板与主体结构之间可以采用多种连接方法，应根据建筑类型、功能特点、施工吊装能力以及外墙的形状、尺寸以及主体结构层间位移量等特点，确定预制外挂墙板的类型，以及连接件的数量和位置。对预制外挂墙板和连接节点进行设计计算时，所取用的计算简图应与实际连接构造相一致。

9.1.4 对预制外挂墙板和连接节点进行承载力验算时，其结构重要性系数 γ_0 应取不小于1.0，连接节点承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应取1.0。

9.1.5 预制外挂墙板的平均传热系数 $[W/(m^2 \cdot K)]$ 及热惰性指标(D)应满足现行行业标准《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 134 和上海市工程建设规范《住宅建筑围护结构节能应用技术规程》DG/TJ 08-206 的相关要求。

9.2 墙板设计

9.2.1 预制外挂墙板宜按围护结构进行设计。在进行结构设计计算时，不考虑分担主体结构所承受的荷载和作用，只考虑承受直接施加于外墙上的荷载与作用。

【条文说明】9.2.1 预制外挂墙板是建筑物的外围护构件，主要承受自重、直接作用于其上的风荷载和地震作用，以及温度作用。

9.2.2 进行预制外挂墙板及连接节点的承载力计算时，荷载组合的效应设计值应符合下列规定：

1 持久设计状况：

当风荷载效应起控制作用时：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_W S_{Wk} \quad (9.2.2-1)$$

当永久荷载效应起控制作用时：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk} \quad (9.2.2-2)$$

2 地震设计状况：

在水平地震作用下：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk} \quad (9.2.2-3)$$

在竖向地震作用下：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \quad (9.2.2-4)$$

式中：S ——基本组合的效应设计值；

S_{Eh} ——水平地震作用组合的效应设计值；

S_{Ev} ——竖向地震作用组合的效应设计值；

S_{Gk} ——永久荷载的效应标准值；

S_{Wk} ——风荷载的效应标准值；

S_{Ehk} ——水平地震作用组合的效应标准值；

S_{Evk} —— 竖向地震作用组合的效应标准值；

γ_G —— 永久荷载分项系数，按本规程 9.2.3 条的规定取值；

γ_W —— 风荷载分项系数，取 1.4；

γ_{Eh} —— 水平地震作用分项系数，取 1.3；

γ_{Ev} —— 竖向地震作用分项系数，取 1.3；

ψ_w —— 风荷载组合系数。在持久设计状况下取 0.6，地震设计状况下取 0.2。

9.2.3 在持久设计状况下、短暂设计状况下、地震设计状况下，进行预制外挂墙板和连接节点的承载力设计时，永久荷载分项系数 γ_G 应按下列规定取值：

1 进行外挂墙板平面外承载力设计时， γ_G 应取为 0；进行外挂墙板平面内承载力设计时， γ_G 应取为 1.3；

2 进行连接节点承载力设计时，在持久设计状况、短暂设计状况下，当风荷载效应起控制作用时， γ_G 应取 1.3，当永久荷载效应起控制作用时， γ_G 应取 1.35；在地震设计状况下， γ_G 应取 1.3。当永久荷载效应对连接节点承载力有利时， γ_G 应取为 1.0。

【条文说明】9.2.2~9.2.3 在预制挂外墙板和连接节点上的作用与作用效应的计算，均应按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定执行。同时应注意：

1 对外墙进行持久设计状况下的承载力验算时，外墙仅承受平面外的风荷载；当进行地震设计状况下的承载力验算时，除应计算外墙平面外水平地震作用效应外，尚应分别计算平面内水平和竖向地震作用效应，特别是对开有洞口的外挂墙板，更不能忽略后者。

2 承重节点应能承受重力荷载、外墙平面外风荷载和地震作用、平面内的水平和竖向地震作用；非承重节点仅承受上述各种荷载与作用中除重力荷载外的各项荷载与作用。

3 在一定的条件下，旋转式外墙可能产生重力荷载仅由一个承重节点承担的工况，应特别注意分析。

4 计算重力荷载效应值时，除应计入外墙自重外，尚应计入依附于外墙的其他部件和材料的自重。

5 计算风荷载效应标准值时，应分别计算风吸力和风压力在外墙及其连接节点中引起的效应。

6 对重力荷载、风荷载和地震作用，均不应忽略由于各种荷载和作用对连接节点的偏心在外墙中产生的效应。

7 外墙和连接节点的截面和配筋设计应根据各种荷载和作用组合效应设计值中的最不利组合进行。

9.2.4 计算预制外挂墙板的地震作用标准值时，可采用等效侧力法，并按下式计算：

$$q_{Ek} = \beta_E \alpha_{\max} G_k / A \quad (9.2.4)$$

式中： q_{Ek} ——分布水平地震作用标准值（kN/ m²），当验算连接节点承载力时，连接节点地震作用效应标准值应乘以 2.0 的增大系数；

β_E ——动力放大系数，不应小于 5.0；

α_{\max} ——水平多遇地震影响系数最大值，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定；

G_k ——外挂墙板的重力荷载标准值（kN）。

A——外挂墙板的平面面积（m²）。

9.2.5 竖向地震作用标准值可取水平地震作用标准值的 0.65 倍。

【条文说明】9.2.4~9.2.5 预制外挂墙板的地震作用是依据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对于非结构构件的规定制定，并参照现行行业标准《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102-2003 的规定，对计算公式进行了简化。

9.2.6 预制外挂墙板的极限承载力应根据试验确定，试验方法参照现行国家标准《混凝土结构试验方法标准》GB 50152。外挂墙板的挠度按弹性方法计算，开裂后的外挂墙板的抗弯刚度计算时不考虑受拉开裂侧墙板混凝土的作用。

9.3 连接件设计

9.3.1 本节适用于预制夹心保温外挂墙板连接件的设计。

9.3.2 连接件应满足墙体热工性能要求，并应具有可靠的力学性能。连接件宜采用纤维增强复合材料筋(FRP)连接件和不锈钢连接件。当有可靠依据时，也可采用其它类型连接件。

【条文说明】9.3.2 编制组完成的一系列预制夹心保温外墙热工试验以及国内外相关试验结果均表明，抗剪连接件的热工性能对外墙的保温隔热性能影响较大。因此本规程对抗剪连接件的热工性能作了规定。此外，抗剪连接件是保证预制夹心保温外墙内、外叶墙板可靠连接的关键部件，应具有可靠的力学性能。纤维增强复合材料筋（FRP）连接件和不锈钢连接件是目前国内外普遍采用的预制夹心保温外墙抗剪连接件。

9.3.3 棒状和片状连接件宜采用矩形布置，桁架式连接件宜采用等间距布置。连接件间距按设计要求确定，连接件距墙体边缘的距离宜为 100mm~200mm。当有可靠试验依据时，也可采用其他长度间距和边端距。

【条文说明】9.3.3 编制组完成的一系列预制夹心保温外墙及其连接件受力性能试验以及国内外相关试验结果均表明，抗剪连接件采用矩形或梅花形布置、间距 400mm~600mm、距墙体边缘 100mm~200mm 的构造可保证预制夹心保温外墙具有良好的受力性能。

9.3.4 FRP 连接件宜采用片状和棒状形式。单个 FRP 连接件的抗拔承载力和抗剪承载力宜根据试验确定，并考虑环境影响和蠕变断裂的影响。

9.3.5 不锈钢连接件宜采用棒状、片状、针状和桁架形式。单个（片）不锈钢连接件的抗拔承载力和抗剪承载力宜根据试验确定，并考虑一定的安全系数后取用。

【条文说明】9.3.4~9.3.5 片状和棒状 FRP 连接件以及棒状和桁架式不锈钢连接件是目前国内外应用较为普遍的连接件类型。连接件的抗拔承载力和抗剪承载力与连接件的锚固构造、连接件的横截面形式、墙板混凝土强度、连接件材料力学性能等因素有关，难以采用统一的方法计算。因此，本规程建议通过试验确定。此外，FRP 连接件处于混凝土碱环境中，且处于长期应力状态，根据国内外 FRP

材料物理力学性能研究成果并参照现行国家标准《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608，建议 FRP 连接件的承载力应在试验基础上考虑环境影响和蠕变断裂的影响。

9.4 构造要求

9.4.1 预制外挂墙板的高度不宜大于一个层高，不应跨越主体结构的变形缝，并采取防止外叶板坠落的构造措施。

【条文说明】9.4.1 根据我国国情，主要是我国吊车的起重能力、卡车的运输能力、施工单位的施工水平，以及连接节点构造的成熟程度，目前还不宜将构件做得过大。构件尺度过长或过高，如跨越两个层高后，主体结构层间位移对预制外墙内力的影响较大，有时甚至需要考虑构件的 P- Δ 效应。由于目前相关试验研究工作做得还比较少，本章内容仅限于跨越一个层高、一个开间的外挂墙板。

为避免极限破坏时外叶墙板坠落，应在内、外叶墙板之间设置不少于两根钢筋或两片钢预埋件连接。连接钢筋的直径和钢预埋件尺寸根据外叶墙板的自重并考虑一定动力系数计算确定。

9.4.2 预制外挂墙板宜采用双层、双向配筋，竖向和水平钢筋的配筋率均不应小于 0.15%，且钢筋直径不宜小于 5mm，间距不宜大于 200mm。

【条文说明】9.4.2 由于外挂墙板受到平面外风荷载和地震作用的双向作用，因此双层、双向配筋，且应满足最小配筋率的要求。

9.4.3 当采用 FRP 连接件时，夹心外挂墙板的内、外叶墙板厚度一般不小于 60mm，当外叶墙板外侧采用面砖/石材等不燃材料采用反打工艺做装饰面时，可取 55mm。连接件在墙体单侧混凝土板叶中的锚固长度不宜小于 30mm，其端部距墙板表面距离不宜小于 25mm。

【条文说明】9.4.3 预制夹心保温外墙的内、外叶墙板厚度主要由建筑功能要求、连接件锚固构造要求、以及墙体抗火性能要求等因素决定。根据编制组完成的预制夹心保温外墙及其连接件的受力性能试验和抗火性能试验的结果，并参照国内外现有研究成果，制定了本条关于采用 FRP 连接件的预制夹心保温外墙的构造

规定。当采用不锈钢连接件时，其端部距墙板表面距离及外叶墙板厚度可适当减小。

9.4.4 预制外挂墙板间接缝的构造应符合下列要求：

- 1 接缝构造应能满足防水、防火、隔声、环保等功能要求。
- 2 接缝的宽度应满足主体结构层间变形、密封材料变形能力、施工误差、温差引起变形等的要求，且不应小于 15mm。

【条文说明】9.4.4 预制外墙板缝中的密封材料，处于复杂的受力状态中，由于目前相关试验研究工作做得还比较少，本规程尚未提出定量的计算方法。设计时应注重满足其各种功能要求。板缝不应过宽，以减少密封胶的用量，降低造价。

附录 A 装配式自复位框架的结构分析和设计

A.1 基于等效单自由度体系等效线性化的结构承载力需求计算方法

【条文说明】A.1 本附录提供了一种基于位移的弹塑性设计方法，用以确定装配式自复位混凝土框架满足罕遇地震下变形限值所需的基底剪力，本方法适用于以一阶振型变形为主的单层或多层框架结构。根据装配式自复位混凝土框架变形集中在节点接缝的特点，将多自由度的结构等效为单自由度体系，确定该单自由度体系在罕遇地震变形限值下的等效位移，再根据该等效位移以及考虑了结构滞回特性的地震位移反应谱，确定单自由度体系在该位移下的等效周期。最后，由等效单自由度体系的等效周期以及等效质量确定结构在罕遇地震变形限值下的等效刚度，进而确定基底剪力需求。

装配式自复位混凝土框架的滞回特性与整体式钢筋混凝土框架不同，其滞回耗能能力较差，且其滞回耗能的大小需要根据实际的场地条件、结构布置与外置消能器的选择来确定。本方法参考了国内外较为成熟的直接基于位移的设计方法，根据结构的耗能能力计算结构在罕遇地震下的承载力需求，本标准将 VB 作为罕遇地震下结构的水平承载力目标进行设计。

A.1.1 结构各楼层在罕遇地震作用下的目标位移可假定为沿楼层高度线性分布，并按下式计算：

$$\Delta_i = [\theta_p] h_i \quad (\text{A.1.1})$$

式中： Δ_i —— 第 i 层楼层顶部的设计目标位移。

h_i —— 第 i 层楼层顶部相对于结构嵌固端的高度。

A.1.2 多自由度体系转化为等效单自由度体系时，等效单自由度体系的相关参数可按下列公式确定：

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i^2}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i} \quad (\text{A.1.2-1})$$

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i}{\Delta_d} \quad (\text{A.1.2-2})$$

$$h_e = \frac{\sum_{i=1}^n m_i h_i^2}{\sum_{i=1}^n m_i h_i} \quad (\text{A.1.2-3})$$

式中： Δ_d —— 等效单自由度体系的等效设计目标位移。

m_e —— 等效单自由度体系的等效质量。

m_i —— 第 i 层楼层的质量。

h_e —— 等效单自由度体系的等效高度。

【条文说明】A.1.1、A.1.2 装配式自复位混凝土框架梁柱构件的变形以刚体转动与平动为主，因此可以假定结构的侧向变形沿高度方向呈倒三角形分布，如图 4(a)所示。根据本标准

第 5.1.1 条规定，装配式自复位混凝土结构的最大适用高度较低。对于一个单层或多层的自复位框架来说，其变形主要集中在自复位梁柱节点和底层柱底端接触界面的位置，可将多自由度的结构等效为单自由度体系，如图 4(b)所示。等效单自由度体系等效高度 h_c 的原计算公式为

$$h_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i h_i}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i}$$
，将式 (A.1.1) 代入后即得到式 (A.1.2-3)。

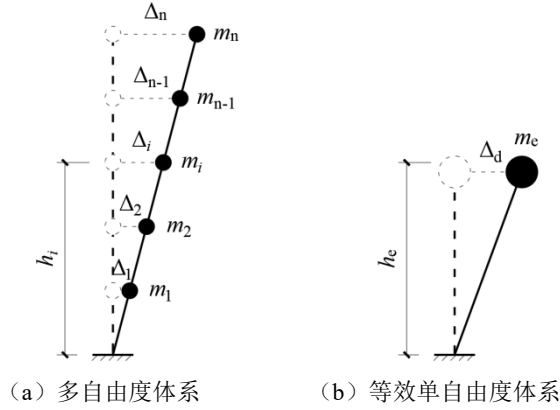


图 4 装配式自复位混凝土框架的相关参数计算简图

A.1.3 装配式自复位框架结构可采用旗帜形恢复力模型进行基于位移的弹塑性设计（图 A.1.3）。

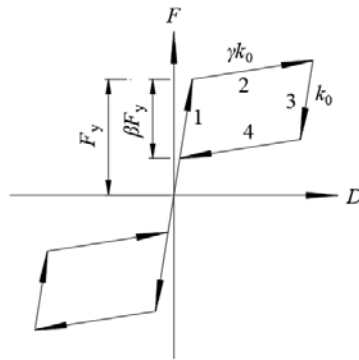


图 A.1.3 装配式自复位框架结构恢复力模型示意图

F_y —结构的屈服承载力； γ —结构的屈服后刚度比； β —结构的滞回参数； k_0 —结构初始刚度

【条文说明】A.1.3 在地震作用下，装配式自复位混凝土框架借助自重、预应力钢绞线或高性能材料等获取恢复变形能力，同时利用耗能元件消耗地震能量，结构整体行为展示出“旗帜形”的滞回行为，可采用旗帜形恢复力模型进行设计，且结构的滞回特性主要由结构的屈服后刚度比和滞回参数决定。适当的结构屈服后刚度比 γ 可以防止结构薄弱层的产生，尤其在二阶效应比较显著的情况下结构屈服后刚度不足会导致“等效负刚度”的产生，增加结构倒塌的风险。结构的滞回参数 β 与结构整体耗能能力密切相关， β 越小，结构自复位能力越强，耗能能力则越低。

A.1.4 对于具有旗帜形恢复力模型的结构，结构的总阻尼比 ζ 可按下列公式确定：

$$\zeta = \zeta_0 + \zeta_{eq} \quad (\text{A.1.4-1})$$

$$\zeta_{eq} = \frac{(1 - \gamma_d)(\mu - 1)\beta_d}{\pi\mu(1 + \gamma_d(\mu - 1))} \quad (\text{A.1.4-2})$$

式中： ζ_0 —— 钢筋混凝土框架的阻尼比，可取 0.05。
 ζ_{eq} —— 结构的附加等效阻尼比。
 μ —— 结构的延性系数。
 β_d —— 结构的滞回参数设计值。
 γ_d —— 结构的屈服后刚度比设计值。

【条文说明】A.1.4 结构的延性系数为结构最大变形与屈服变形的比值，若结构的延性系数难以确定，可近似取为 5。 β_d 控制了结构耗能能力的大小， β_d 的数值越大，结构的耗能能力越强。当 $\beta_d = 0$ 时，结构完全不具备耗能能力；当 $\beta_d > 1$ 时，结构失去自复位能力；当 $\beta_d = 2$ 时，结构表现为传统的双线性弹塑性模型。因此在选择 β_d 时应根据设计目标进行合理选择，需兼顾结构的耗能能力与自复位能力，一般 β_d 的取值范围在 0.25~0.75 之间。 γ_d 为结构屈服后刚度与结构初始刚度的比值，通常在 0~0.15 之间。

现有的弹塑性设计方法一般从结构自身的滞回性能出发，根据结构的变形目标，对结构的抗力进行设计，使结构的抗力满足结构的变形目标。结构的滞回特性的差异性会导致结构的抗力需求出现巨大的差异，而装配式自复位混凝土框架的滞回能力实际上是设计的结果，而非结构的固有属性。因此，除承载力外，结构的滞回能力也是结构设计中应满足的目标，这是装配式自复位混凝土框架与其他结构设计最显著的区别。本标准根据 III 类预应力框架的特点，提供了基于等效单自由度体系等效线性化的方法，该方法的实质是获得地震作用下的基底剪力需求 V_B 及以滞回参数 β_d 与屈服后刚度比 γ_d 为数值特征的滞回系统。 β_d 与 γ_d 需要预设，并在后续设计中作为重要的设计参数使用。若计算过程中 β_d 与 γ_d 的预设值不符合本标准的相关规定，需重新调整预设值。

A.1.5 罕遇地震下的位移谱可按下列公式计算：

$$D(T, \zeta) = \alpha(T, \zeta) \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (\text{A.1.5})$$

式中： $D(T, \zeta)$ —— 水平罕遇地震下阻尼比 ζ 、周期 T 位置对应的位移谱。
 $\alpha(T, \zeta)$ —— 水平罕遇下阻尼比 ζ 、周期 T 位置对应的地震影响系数。
 T —— 结构的自振周期。

【条文说明】A.1.5 首先将水平罕遇地震影响系数曲线转化为罕遇地震时的位移谱，再根据结构的设计目标位移确定结构的等效周期。考虑到长周期下结构的位移与地面位移的幅值基本相同，在周期较大的范围内可将位移谱值当作恒定值，截断周期可以选为 4s（该数值大大超过了中低层自复位框架的基本周期）。如有可直接用于设计的位移谱，也可不使用本条提供的计算方法。

A.1.6 结构弹塑性设计的基底剪力需求可按下列公式计算：

$$V_B = K_e \Delta_d \quad (\text{A.1.6-1})$$

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \quad (\text{A.1.6-2})$$

式中： V_B —— 结构弹塑性设计的基底剪力需求。

K_e —— 等效单自由度体系的等效刚度。

T_e —— 等效单自由度体系的等效周期，为本标准第 A.1.5 条确定的水平罕遇地震的位移谱中与 Δ_d 对应的周期值。

【条文说明】A.1.6 根据本标准第 A.1.2 条确定的等效单自由度体系的等效弹塑性设计目标位移和本标准第 A.1.5 条确定的水平罕遇地震位移谱可获得等效单自由度体系的等效周期 T_e 。

A.2 结构设计

A.2.1 装配式自复位框架在水平罕遇地震作用下的基底剪力需求与滞回能力需求应根据结构的变形限值，采用弹塑性分析方法确定，可采用本标准附录 A.1 的方法计算。

A.2.2 装配式自复位框架在水平罕遇地震作用下的效应，可根据结构在水平多遇地震作用下的效应与水平罕遇地震作用下的基底剪力需求，并按下列公式计算：

$$S_{Ehk}^* = \lambda_D S_{Ehk} \quad (\text{A.2.2-1})$$

$$\lambda_D = M_{BD} / M_B^c \quad (\text{A.2.2-2})$$

$$M_{BD} = V_B h_e + \sum m_i g [\theta_p] h_i \quad (\text{A.2.2-3})$$

式中： S_{Ehk}^* —— 水平罕遇地震作用标准值的构件内力。

S_{Ehk} —— 水平多遇地震作用标准值的构件内力。

λ_D —— 水平罕遇地震构件内力放大系数。

M_B^c —— 水平多遇地震标准值下，结构的基底倾覆力矩效应。

V_B —— 结构在水平罕遇地震作用标准值下的基底剪力需求，根据本标准第 A.1.6 条确定。

h_e —— 等效单自由度体系的等效高度，根据本标准第 A.1.2 条确定。

M_{BD} —— 水平罕遇地震作用标准值下，考虑 P- Δ 效应后，结构的基底倾覆力矩需求。

m_i —— 第 i 层的质量。

h_i —— 第 i 层相对于嵌固端的高度。

【条文说明】A.2.2 本条将多遇地震下的弹性分析结果放大近似作为构件在罕遇地震作用下的效应，可保证各节点的接缝在地震作用下同时张开，使结构整体的变形模式与假设保持一致。装配式自复位混凝土框架结构变形能力较强，当结构变形较大时，P- Δ 效应会显著降低结构的抗侧能力。在式 (A.2.2-3) 中将大变形下竖向荷载造成的倾覆力矩加入到地震作用的效应中，使结构在达到变形限值时的受力状态与实际相吻合。

A.3 截面及连接设计

A.3.1 对装配式自复位框架的梁、柱接缝，当采用角钢消能器时，正截面承载力应符合下列规定：

1 持久设计状况、短暂设计状况下，矩形正截面的承载力应按下列公式计算（图 A.3.1-1）：

$$\gamma_0 M_{jd} \leq \alpha_1 f_c b x \frac{(h-x)}{2} + C_{ay} h_c + T_{ay} h_t \quad (\text{A.3.1-1})$$

混凝土受压区高度应按下列公式计算：

$$N_{jd} + \eta_p \sigma_{pe} A_p = \alpha_1 f_c b x + C_{ay} + T_{ay} \quad (\text{A.3.1-2})$$

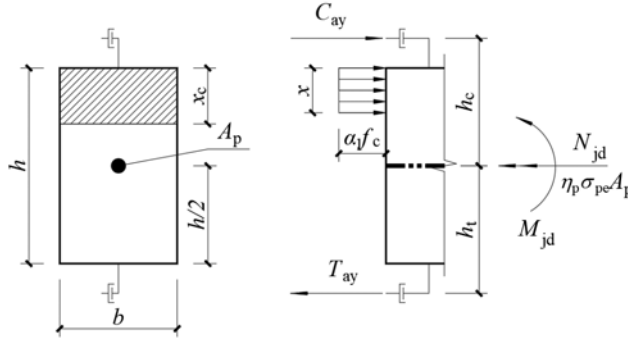


图 A.3.1-1 持久设计状况、短暂设计状况下矩形正截面承载力计算简图

2 地震设计状况的多遇地震作用下，矩形正截面的承载力应按下列公式计算（图 A.3.1-2）：

$$\gamma_0 M_{jdE} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} M_y \quad (\text{A.3.1-3})$$

$$M_y = \alpha_1 f_c b x \frac{(h-x)}{2} + C_{ay} h_c + T_{ay} h_t \quad (\text{A.3.1-4})$$

混凝土受压区高度应按下列公式计算：

$$N + \eta_p \sigma_{pe} A_p = \alpha_1 f_c b x + C_{ay} + T_{ay} \quad (\text{A.3.1-5})$$

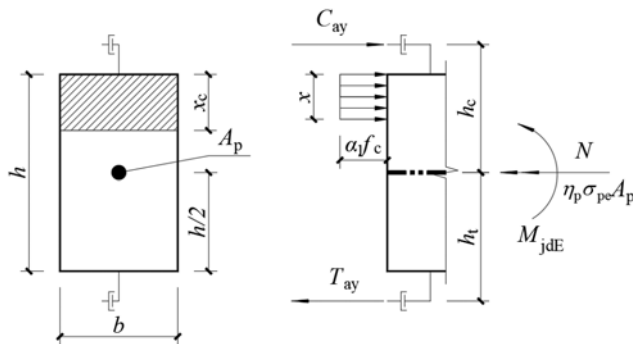


图 A.3.1-2 多遇地震作用下矩形正截面承载力计算简图

3 地震设计状况的罕遇地震作用下，对每一榀框架中的梁、柱接缝，矩形正截面的承载力应按下列公式确定（图 A.3.1-3）：

$$\sum M^i \leq \sum M_{uk}^i \quad (\text{A.3.1-6})$$

$$M_{uk}^i = \alpha_1 f_{ck} b x \frac{(h-x)}{2} + C_{a0} h_c + T_{a0} h_t + \sum \Delta \sigma_{\theta}^k A_p^k h_p^k \quad (\text{A.3.1-7})$$

$$N + \eta_p \sigma_{pe} A_p + \sum \Delta \sigma_{\theta}^k A_p^k = \alpha_1 f_{ck} b x + C_{a0} + T_{a0} \quad (\text{A.3.1-8})$$

$$\Delta\sigma_{\theta}^k = \frac{m\theta(h/2 - x_c + h_p^k)}{L_{\text{ups}}} E_s \quad (\text{A.3.1-9})$$

$$\theta = [\theta_p] - \lambda_D \theta_c \quad (\text{A.3.1-10})$$

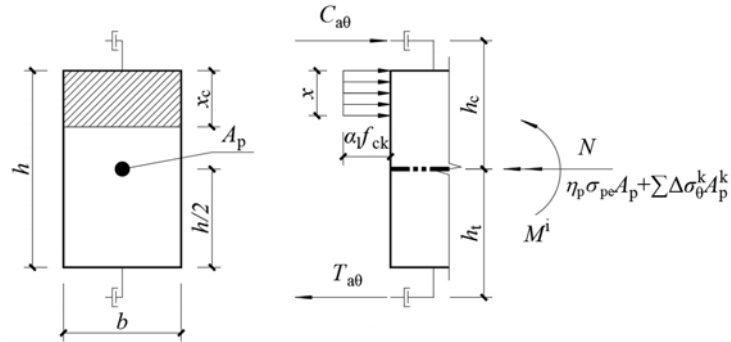


图 A.3.1-3 罕遇地震作用下矩形正截面承载力计算简图

4 偶然设计状况下，矩形正截面的承载力应按下列公式确定（图 A.3.1-4）：

$$\gamma_0 M_{\text{jdk}} \leq \alpha_1 f_{\text{ck}} b x \frac{(h-x)}{2} + C_{\text{ayk}} h_c + T_{\text{ayk}} h_t \quad (\text{A.3.1-11})$$

混凝土受压区高度应按下列公式计算：

$$N_{\text{jdk}} + \eta_p \sigma_{\text{pe}} A_p = \alpha_1 f_{\text{ck}} b x + C_{\text{ayk}} + T_{\text{ayk}} \quad (\text{A.3.1-12})$$

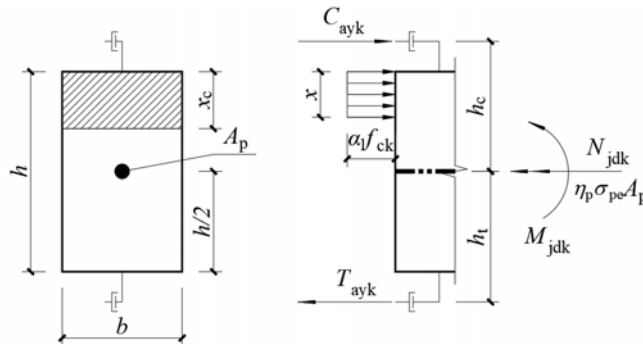


图 A.3.1-4 偶然设计状况下矩形正截面承载力计算简图

- 式中：
- M_y —— 接缝在多遇地震作用下达到名义屈服状态时所对应的抵抗弯矩。
 - M_{uk}^i —— 第 i 个梁、柱接缝在罕遇地震作用下的抵抗弯矩标准值。
 - $\sum M_{\text{uk}}^i$ —— 一榀框架中梁、柱接缝在罕遇地震作用下的抵抗弯矩标准值之和。
 - M^i —— 第 i 个梁、柱接缝在水平罕遇地震作用标准值下的弯矩。
 - $\sum M^i$ —— 一榀框架中梁、柱接缝在水平罕遇地震作用标准值下的弯矩之和。
 - N —— 重力荷载代表值作用于接缝的轴力，压为正，拉为负。
 - γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数，取 $\gamma_{\text{RE}} = 0.85$ 。
 - x —— 等效矩形应力图形的混凝土受压区高度，且 $x \geq 2a'_s$ 。
 - α_1 —— 系数，按国家标准《混凝土结构设计规范》GA 50010-2010 第 7.2.6 条的规定计算。
 - A_p —— 预应力筋截面面积。
 - T_{ay} 、 T_{ayk} —— 角钢消能器的受拉屈服承载力设计值、标准值，取受拉为负，可按

照本标准第 A.4.1 条计算。

- C_{ay} 、 C_{ayk} —— 角钢消能器的受压屈服承载力设计值、标准值，取受压为正，可按照本标准第 A.4.2 条计算。
- T_{a0} 、 C_{a0} —— 角钢消能器在罕遇地震作用下的受拉承载力、受压承载力标准值，取受拉为负，受压为正，可分别按本标准第 A.4.1 条、A.4.2 条计算。
- h_1 、 h_c —— 受拉侧消能器与受压侧消能器距截面形心的距离，取受拉侧为负，受压侧为正。
- η_p —— 接缝预应力调整系数，持久设计状况和地震设计状况的多遇地震作用下的承载能力极限状态计算时取 0.85，其他设计状况取 1.0。
- σ_{pe} —— 预应力筋的有效应力。
- $\Delta\sigma_0^k$ —— 第 k 根预应力筋在罕遇地震下的预应力增量。
- θ —— 梁、柱接缝的转角，其中 $[\theta_p]$ 为罕遇地震作用下的层间位移角限值， θ_c 为多遇地震弹性计算时的结构最大层间位移角。
- m —— 无粘结预应力筋长度范围内接缝开合缝隙数量。对梁中预应力筋， m 取梁柱接缝数量；对柱中预应力筋，取 $m=1$ 。
- A_p^k —— 第 k 根预应力筋的截面积。
- h_p^k —— 第 k 根预应力筋与截面形心的距离，受压侧为正，受拉侧为负。
- x_c —— 框架梁、柱截面混凝土受压区高度， $x_c = x / \beta_1$ ， β_1 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GA 50010 取值。
- E_s —— 钢材的弹性模量。
- L_{ups} —— 预应力筋的无粘结长度，后张预应力筋在锚具之间均为无粘结时，可取锚具之间的距离。

【条文说明】A.3.1 对于一般的混凝土构件，构件纵筋屈服代表构件进入屈服状态。而对于装配式自复位混凝土框架，梁端与底层柱底的纵筋在接缝处仅作为锚筋使用，承受的拉力较小，因此不会受拉屈服。但在界面张开后，随着消能器的屈服，梁端与柱底的抗力不再随变形的增加而显著增加，该受力状态与普通结构的屈服状态有相似之处，在设计中的使用情景也较为一致，本标准将该状态称为“名义屈服状态”。

装配式自复位混凝土框架的承载力绝大部分来自于预应力的贡献，其作用类似于构件的抗力而非荷载效应。如果按照荷载的分项系数对其进行调整，则会降低构件的可靠度。同时考虑到抗震设计时，对构件的抗力除以抗震承载力调整系数作为构件的设计承载力，如果仍将预应力作为荷载效应进行调整，将无法保证结构在地震作用下的承载力。因此这里引入了接缝预应力调整系数，以提高接缝在持久设计状况和地震设计状况的多遇地震作用下的可靠度，并将地震设计状况下的可靠度调整到与抗规一致的程度。

在达到名义屈服状态后，接触界面会进入一个绕中性轴转动的状态，该状态下梁柱节点的变形状态如图 5 所示。预应力筋两端的锚固点间的距离随着接触界面间缝隙的增大而增

大，预应力筋的内力会随之明显增加。

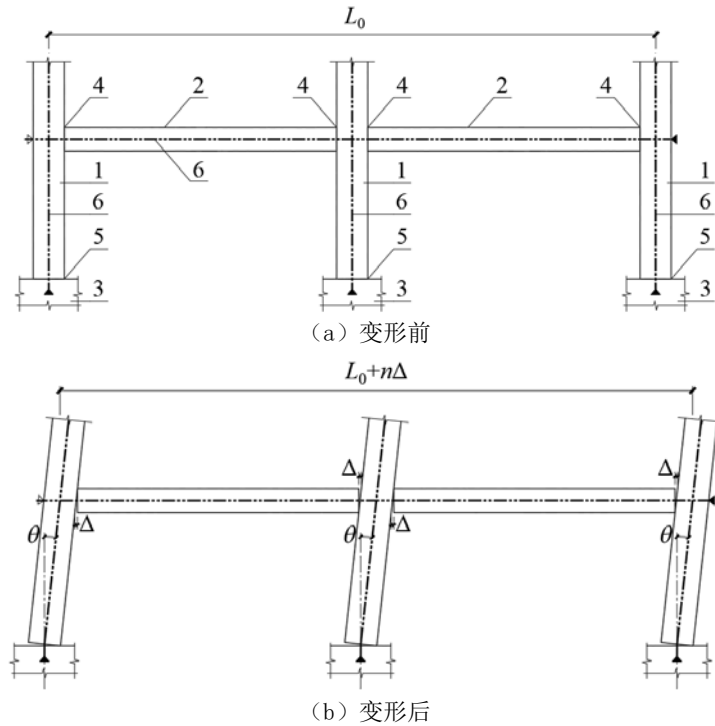


图5 装配式自复位混凝土框架变形示意

1—框架柱；2—框架梁；3—基础；4—梁柱接缝；5—柱—基础接缝；6—预应力筋

若考虑每一个界面的抗力都严格按照承载力需求进行设计，那么结构的大多数界面将有着很大的抵抗弯矩冗余。这样的冗余不仅会造成材料的浪费，同时也会导致过大的预应力筋内力，造成较大的节点损伤。因此，在装配式自复位混凝土框架的梁柱接缝和柱—基础接缝的承载力设计中，只要求每一榀框架中所有接缝的抵抗弯矩之和不小于弯矩效应之和，即满足式(A.3.1-6)。

A.3.2 装配式自复位框架梁柱接缝处的受剪承载力可按下列公式计算：

1 持久设计状况：

$$\gamma_0 V_{jd} \leq \eta_p \sigma_{pe} A_p \mu_f + 0.5 F_{dv} \quad (\text{A.3.2-1})$$

2 地震设计状况的多遇地震作用下：

$$\gamma_0 V_{jdE} \leq (\eta_p \sigma_{pe} A_p \mu_f + 0.5 F_{dv}) / \gamma_{RE} \quad (\text{A.3.2-2})$$

3 地震设计状况的罕遇地震作用下：

$$1.3 \left(\frac{M_{uk}^l + M_{uk}^r}{L_n} + V_{GE} \right) \leq \eta_p \sigma_{pe} A_p \mu_f \quad (\text{A.3.2-3})$$

4 偶然设计状况：

$$\gamma_0 V_{jdk} \leq \eta_p \sigma_{pe} A_p \mu_f + 0.5 F_{dvk} \quad (\text{A.3.2-4})$$

式中： V_{jdE} ——地震设计状况的多遇地震作用下，按作用地震组合计算的接缝剪力设计值。

μ_f ——梁端接触界面间的摩擦系数，可根据现行国家标准《钢结构设计

标准》GA 50017 选取。

F_{dv} 、 F_{dvk} —— 外置消能装置提供的受剪承载力设计值、标准值。

M_{uk}^l 、 M_{uk}^r —— 罕遇地震作用下，梁左、右端接缝的抵抗弯矩标准值。

V_{GE} —— 重力荷载代表值作用下接缝的剪力。

l_n —— 梁的净跨。

【条文说明】A.3.2 当外置消能装置采用角钢消能器时，持久设计状况下不期望角钢发生受压或受拉屈服，此时可以考虑柱端连接角钢的高强摩擦型螺栓对梁柱接缝处受剪承载力的贡献，取 $F_{dv} = nN_v^b$ ， n 为柱端与角钢间高强摩擦型螺栓连接的个数， N_v^b 为一个螺栓连接的受剪承载力设计值，可根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定计算。同时考虑到高强螺栓的压剪作用不可能同时达到最大值，且保证接缝处的受剪承载力有一定程度的安全冗余，本标准引入 0.5 的折减系数。在地震设计状况的多遇地震作用下，因为角钢受压不发生屈服，受拉刚发生屈服，此时同样考虑角钢装置对接缝受剪承载力的有利贡献。在地震设计状况的罕遇地震作用下，角钢受拉受压均发生屈服，接缝的受剪承载力仅考虑预应力筋的贡献。

A.3.3 装配式自复位框架中，梁、柱接缝接触界面的耗能弯矩应符合下列规定：

$$\frac{2\sum M_h^i}{\sum M_{uk}^i} > \beta_d \quad (\text{A.3.3-1})$$

$$M_h^i = \sum T_{d0}^{ij} h_t^i + \sum C_{d0}^{ij} h_c^i \quad (\text{A.3.3-2})$$

式中： M_h^i —— 第 i 个梁、柱接缝的耗能弯矩。

$\sum M_h^i$ —— 整个框架结构中梁、柱接缝的耗能弯矩之和。

$\sum M_{uk}^i$ —— 整个框架结构中梁、柱接缝在罕遇地震作用下的抵抗弯矩标准值之和。

β_d —— 结构的滞回参数设计值，可根据本标准第 A.1.4 条确定。

T_{d0}^{ij} 、 C_{d0}^{ij} —— 第 i 个接缝中，第 j 个消能器罕遇地震作用下的受拉承载力、受压承载力标准值，对位移型阻尼器应根据阻尼器的实际变形计算。当采用角钢消能器时，可按本标准第 A.4.1 条和 A.4.2 条计算。

h_t^i 、 h_c^i —— 第 i 个接缝中，受拉侧消能器与受压侧消能器距截面形心的距离，取受拉侧为负，受压侧为正。

【条文说明】A.3.3 截面的耗能弯矩与消能器对设计截面的内力贡献是不同的，耗能弯矩不仅与消能器的抗力有关，还与消能器的滞回特性有关。

β_d 为结构整体需求设计中对结构滞回能力的要求，在结构的设计过程中，存在一些难以布置消能器的位置，无法要求每个接缝都达到 β_d 的耗能要求，故仅要求整个框架结构梁、柱接缝的耗能弯矩总和满足要求即可。式 (A.3.3-1) 中，采用 $\sum M_h^i / \eta_p$ 将设计值 $\sum M_h^i$ 调

整到与其标准值相当的程度。

A.3.4 装配式自复位框架中，梁、柱接缝的屈服后刚度比应符合下列规定：

$$0 \leq \frac{\theta_y [\sum M_{uk}^i - (\lambda_D - \lambda_B) \sum M_c^i - \sum M_y / \eta_p]}{([\theta_p] - \theta_y) \sum M_y / \eta_p} \leq \gamma_d \quad (\text{A.3.4-1})$$

$$\lambda_B = V_B / V_B^e \quad (\text{A.3.4-2})$$

式中： $\sum M_c^i$ —— 整个框架结构中梁、柱接缝在多遇地震标准值作用下的弯矩效应之和。

$\sum M_y$ —— 整个框架结构中梁、柱接缝在多遇地震作用下达到名义屈服状态时所对应的抵抗弯矩之和。

θ_y —— 结构的屈服层间位移角。

λ_B —— 结构的基底需求调整系数。

V_B —— 结构弹塑性设计的基底剪力需求，可参照本标准第 A.1.6 条确定。

V_B^e —— 多遇地震标准值作用下结构的基底剪力效应。

γ_d —— 结构的屈服后刚度比设计值，可参照本标准第 A.1.4 条确定。

【条文说明】A.3.4 由于在罕遇地震作用下非约束区混凝土的剥落以及 P- Δ 效应，结构可能会产生负的屈服后弯矩，而表现在结构上则是整体承载力随变形增加而逐渐降低，这种情况是较为危险的。 $(\lambda_D - \lambda_B)M_c^i$ 代表了单个接缝为了补偿 P- Δ 效应而贡献的弯矩，构件为结构提供的有效屈服后刚度，可由式 (A.3.4-1) 表示。结构宜具有至少 0.003 的屈服后刚度比，以保证结构在屈服后处于强化状态而非软化状态。而屈服后刚度的上限仅需要在具有附加阻尼的结构中考虑，因为结构的屈服后刚度比与结构的附加阻尼呈负相关。在采用消能器的结构中，为了保证等效单自由度模型阻尼的有效性，需要保证结构的屈服后刚度比小于预设的屈服后刚度比系数 γ_d 。这里采用 M_y / η_p 将 M_y 调整到与标准值 M_{yk} 相当的程度。

θ_y 是结构的屈服层间位移角，可以通过框架截面的典型高度 h_b 与梁典型跨度 l_b 进行估算，通常可以假定 $\theta_y = 0.0004l_b / h_b$ ，若结构的屈服层间位移角难以计算，可近似取 $\theta_y = 0.004$ 。

A.3.5 装配式自复位框架中，底层柱脚节点界面的预应力筋在罕遇地震作用下的应力应符合下列规定：

$$0.4f_{ptk} \leq \sigma_{pe} \leq [f] - \Delta\sigma_0^k \quad (\text{A.3.5})$$

式中： σ_{pe} —— 预应力筋的有效应力。

$[f]$ —— 预应力筋的最大容许应力，罕遇地震作用下取 $0.9f_{ptk}$ 。

A.3.6 罕遇地震作用下，装配式自复位框架中，梁柱接缝和柱-基础接缝的消能器不应发生破坏。采用角钢消能器时，角钢的位移响应不应大于其极限变形。角钢的极限变形可按下列公式计算，且极限变形不宜大于 20mm：

$$\delta_u = \sqrt{[(g_1 - t_L) + 2t_L \varepsilon_u]^2 - (g_1 - t_L)^2} \quad (\text{A.3.6})$$

式中： δ_u ——角钢消能器的极限变形能力。
 g_1 ——角钢消能器背部到距柱端最近的螺栓中心线间的距离。
 t_L ——角钢消能器的厚度。
 ε_u ——角钢消能器的极限拉应变，若无试验测试数据，可取为 0.2。

【条文说明】A.3.6 角钢的破坏模式如图 6 所示。角钢较弱，螺栓较强时，发生破坏模式 1；角钢较强，螺栓较弱时，发生破坏模式 2。装配式自复位混凝土框架采用“强螺栓弱角钢”的设计理念，极限变形按破坏模式 1 进行计算。

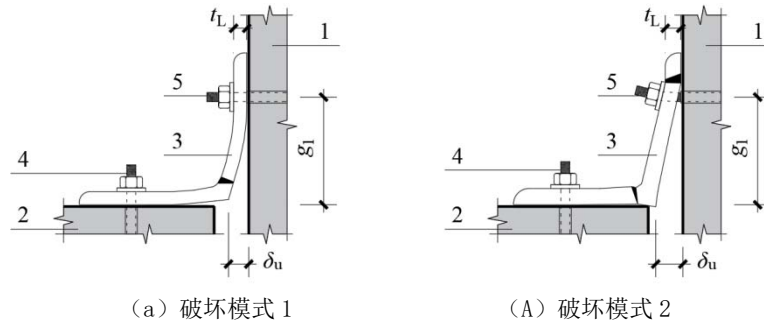


图 6 角钢的破坏模式示意

1—框架柱；2—框架梁；3—角钢消能器；4—梁端螺栓；5—柱中螺栓

A.3.7 罕遇地震作用下，装配式自复位框架中，柱端弯矩和剪力标准值应符合下列规定：

$$\sum M_{ck} = 1.2 \sum M_{uk} \quad (\text{A.3.7-1})$$

$$V_{ck} = 1.2 \frac{M_{cuak}^t + M_{cuak}^b}{H_n} \quad (\text{A.3.7-2})$$

式中： $\sum M_{ck}$ ——节点上、下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩标准值之和，上、下柱端的弯矩标准值可按弹性分析分配。

$\sum M_{uk}$ ——节点左、右梁端截面受弯承载力之和，可按本标准第 A.3.1 计算。

V_{ck} ——框架柱的剪力标准值。

M_{cuak}^t 、 M_{cuak}^b ——框架柱上、下端按实配钢筋截面面积和材料强度标准值，不考虑承载力抗震调整系数计算的正截面受弯承载力标准值。

A.3.8 罕遇地震作用下，装配式自复位框架中，梁端剪力标准值应符合下列规定：

$$V_{bk} = 1.1 \frac{M_{uk}^l + M_{uk}^r}{l_n} + V_{Gb} \quad (\text{A.3.8})$$

式中： V_{bk} ——不考虑地震作用组合的梁端剪力标准值。

M_{uk}^l 、 M_{uk}^r ——框架梁左、右端截面受弯承载力，可按本标准第 A.3.1 条计算。

A.3.9 罕遇地震作用下，装配式自复位框架中，节点核心区的剪力标准值应符合下列规定：

$$\text{其他层节点：} \quad V_{jk} = \frac{\sum M_{uk}}{h_{b0} - a'_s} \left(1 - \frac{h_{b0} - a'_s}{H_c - h_b} \right) \quad (\text{A.3.9-1})$$

$$\text{顶层节点：} \quad V_{jk} = \frac{\sum M_{uk}}{h_{b0} - a'_s} \quad (\text{A.3.9-2})$$

式中： V_{jk} ——梁柱节点核心区组合的剪力标准值。

【条文说明】A.3.7~A.3.9 第 A.3.7 条~A.3.9 条为控制装配式自复位混凝土框架“强柱弱梁”“强剪弱弯”“强节点弱构件”的规定。其中梁柱节点核心区抗震受剪承载力验算不考虑预应力对于节点的影响及正交梁的约束作用，节点核心区的截面有效验算宽度 A_j 先按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的方法计算，再扣除后张预应力筋预留孔道的宽度。

A.3.10 罕遇地震作用下，装配式自复位框架中，框架梁和柱截面混凝土等效受压区高度应符合下列规定：

$$x \leq 0.35h_0 \quad (\text{A.3.10})$$

【条文说明】A.3.10 相关研究表明，框架梁柱构件自复位界面的损伤程度与混凝土等效受压区高度存在很强的相关性，当 $x/h > 0.35h_0$ 时，核心区混凝土在大变形下有被压溃的风险，因此本条限制构件截面等效受压区高度以确保框架梁和柱不发生严重损伤。

A.3.11 装配式自复位框架中，梁、柱构件在罕遇地震作用下的效应标准值应根据本标准附录 A 确定，构件的承载力应符合下列规定：

$$S_{GE} + S_{Ehk}^* + 0.4S_{Evk} \leq R_k \quad (\text{A.3.11})$$

式中： S_{GE} ——重力荷载代表值的效应。

S_{Ehk}^* ——水平罕遇地震作用标准值产生的构件内力，可参照本标准第 A.2.2 条确定。

S_{Evk} ——竖向罕遇地震作用标准值产生的构件内力。

R_k ——结构构件的承载力标准值，按材料强度标准值计算。

【条文说明】A.3.11 装配式自复位混凝土框架构件的承载力可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算。

A.4 角钢消能器承载力的计算方法

A.4.1 角钢消能器受拉承载力应符合下列规定：

1 角钢消能器的受拉屈服承载力设计值 T_{ay} 可按下列公式确定：

$$T_{ay} = C_v V_p \quad (\text{A.4.1-1})$$

$$C_v = 1.35 - 0.027t_L \quad (\text{A.4.1-2})$$

$$V_p = \frac{2M_p}{g_2} \quad (\text{A.4.1-3})$$

$$M_p = \frac{L_a t_L^2 f_{ay}}{4} \quad (\text{A.4.1-4})$$

2 角钢消能器的受拉屈服承载力标准值 T_{ayk} 可按公式 (A.4.1-1)~公式 (A.4.1-4) 计算，公式 (A.4.1-4) 中 f_{ay} 应取 f_{ayk} 。

3 罕遇地震作用下角钢消能器的受拉承载力标准值 $T_{a\theta}$ 可按下列公式确定：

$$T_{a\theta} = (1.13 + 0.047\Delta_{a,\theta})T_{ayk} \quad (\text{A.4.1-5})$$

$$\Delta_{a,0} = \theta(h - x_c) \quad (\text{A.4.1-6})$$

式中： C_v ——角钢消能器的受拉承载力调整系数。

V_p ——角钢消能器的受拉屈服承载力。

t_L ——角钢消能器的厚度。

M_p ——角钢消能器全截面达到屈服时的塑性弯矩。

g_2 ——柱身一侧螺栓与角钢消能器转角处间的距离。

L_a ——角钢消能器的全截面长度。

f_{ay} 、 f_{ayk} ——角钢消能器的强度设计值、标准值，根据现行国家标准《钢结构设计标准》GA 50017 的相关规定确定。

$\Delta_{a,0}$ ——角钢消能器在罕遇地震下的变形值，结构弹塑性设计时不宜超过角钢消能器的极限变形。

θ ——梁、柱接缝的转角，可按本标准公式 (A.3.1-10) 计算。

【条文说明】A.4.1 根据已有成果，对于如图 7 所示的梁端角钢消能器，其在梁端一侧受拉力作用时，其变形主要为柱身一侧发生的弯曲变形，柱中螺栓与角钢消能器转角处的距离 g_2 、角钢消能器的全截面长度 L_a 及角钢消能器的厚度 t_L 共同决定了角钢消能器的承载力。

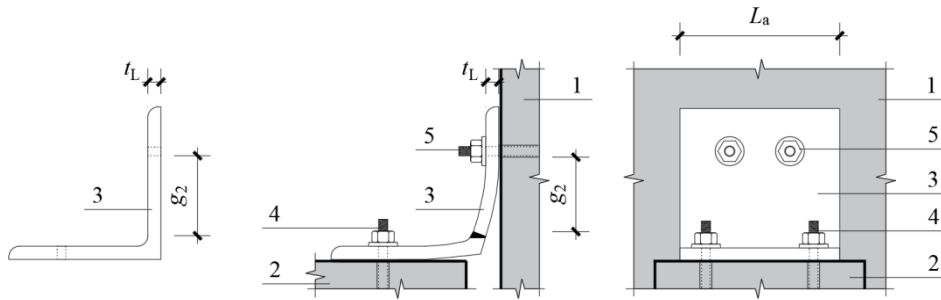


图 7 角钢参数示意

1—预制柱；2—预制梁；3—角钢消能器；4—梁端螺栓；5—柱中螺栓

由于梁端角钢消能器连接的特点，角钢消能器实际的承载力往往与上述估计值存在差别，根据对大量试验结果的统计，该调整系数可取为 $C_v = 1.35 - 0.027t_L$ 。

屈服后角钢消能器的承载力逐渐增加，角钢消能器的承载力可以通过其最大变形 $\Delta_{a,0}$ 进行计算。大量试验结果表明，梁端角钢的极限变形远在 20mm 以上，因此在实际工程中采用角钢消能器往往不发生破坏。

A.4.2 角钢消能器受压承载力应符合下列规定：

- 1 角钢消能器的受压承载力设计值可按下列公式确定：

$$C_{ay} = T_{ay} \leq nN_v^b \quad (\text{A.4.2-1})$$

- 2 角钢消能器的受压承载力标准值可按下列公式确定：

$$C_{ayk} = T_{ayk} \leq nN_{vk}^b \quad (\text{A.4.2-2})$$

- 3 罕遇地震作用下角钢消能器的受压承载力标准值可按下列公式确定：

$$C_{a0} = T_{a0} \quad (\text{A.4.2-3})$$

式中： n —— 梁端与角钢消能器间螺栓连接的个数。

N_v^b 、 N_{vk}^b —— 单个螺栓连接的受剪承载力设计值、标准值，根据现行国家标准《钢结构设计标准》GA 50017 的相关规定计算。

【条文说明】A.4.2 角钢消能器的受压承载力主要由梁端与角钢消能器间螺栓连接的受剪承载力提供，具体设计与计算可参见现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 第 11.4 条的相关内容，不同螺栓类型对应不同的设计和计算方法。

A.4.3 对梁柱接缝，梁端高强度摩擦型螺栓应符合下列规定：

$$T_{ay} \leq \eta_b n N_v^b \quad (\text{A.4.3-1})$$

$$T_{a0} \leq \eta_b n N_{vk}^b \quad (\text{A.4.3-2})$$

式中： η_b —— 螺栓承载力折减系数，取 0.9。

【条文说明】A.4.3 为保证角钢消能器能够顺利发挥其耗能作用，梁端与角钢消能器间螺栓连接的个数应足以保证角钢消能器在受拉时梁端螺栓不会发生滑动。为保证“强螺栓弱角钢”，引入螺栓承载力折减系数 η_b 。

A.4.4 对梁柱接缝，柱中高强度摩擦型螺栓同时承受摩擦面间的剪力和螺栓杆轴线方向的拉力时，螺栓的承载力应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GA 50017 的有关规定。

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的用词:

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用词:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先这样做的用词:

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 规范中指定应按其他相关标准、规范执行时,写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《碳素结构钢冷轧钢带》 GB 716
- 2 《高分子防水材料第二部分止水带》 GB 18173.2
- 3 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 4 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 5 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 6 《建筑防火设计规范》 GB 50016
- 7 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 8 《建筑物防雷设计规范》 GB 50057
- 9 《建筑结构可靠度设计统一标准》 GB 50068
- 10 《混凝土结构试验方法标准》 GB 50152
- 11 《建筑内部装修设计防火规范》 GB 50222
- 12 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》 GB 50325
- 13 《钢结构焊接规范》 GB50661
- 14 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 15 《工程结构设计基本术语和通用符号》 GBJ 132
- 16 《水泥化学分析方法》 GB/T 176
- 17 《连续热镀锌钢板及钢带》 GB/T 2518
- 18 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 19 《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》 GB/T 7106
- 20 《硅酮建筑密封胶》 GB/T 14683
- 21 《建筑幕墙》 GB/T 21086
- 22 《建筑模数协调标准》 GB/T 50002
- 23 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
- 24 《建筑结构设计术语和符号标准》 GB/T 50083
- 25 《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB/T 50448
- 26 《装配式混凝土结构技术规程》 JGJ 1
- 27 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3

- 28 《民用建筑电气设计规范》 JGJ 16
- 29 《钢筋焊接及验收规程》 JGJ 18
- 30 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》 JGJ 92
- 31 《玻璃幕墙工程技术规范》 JGJ 102
- 32 《钢筋机械连接技术规程》 JGJ 107
- 33 《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》 JGJ 114
- 34 《混凝土异形柱结构技术规程》 JGJ 149
- 35 《钢筋锚固板应用技术规程》 JGJ 256
- 36 《外墙内保温工程技术规程》 JGJ/T 261
- 37 《高强混凝土应用技术规程》 JGJ/T 281
- 38 《预应力混凝土用金属波纹管》 JG 225
- 39 《钢筋连接用灌浆套筒》 JG/T 398
- 40 《钢筋连接用套筒灌浆料》 JG/T 408
- 41 《混凝土建筑接缝用密封胶》 JC/T 881
- 42 《建筑抗震设计规程》 DGJ 08-9
- 43 《建筑幕墙工程技术规范》 DGJ 08-56
- 44 《居住建筑节能设计标准》 DG/TJ 08-205