

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2015 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2014〕189 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 现浇预应力混凝土框架和门架；5. 预应力混凝土板柱结构；6. 预应力装配式混凝土框架结构。

本标准修订的主要技术内容是：1. 调整了建筑结构地震影响系数曲线；2. 补充了结构等效阻尼比的取值方法；3. 增加了板柱结构、板柱支撑结构的设计规定；4. 增加了预应力装配式混凝土框架结构的设计规定；5. 调整了预应力强度比的有关规定；6. 增加了无粘结预应力纤维增强复合材料筋的有关规定。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国建筑科学研究院有限公司（地址：北京市北三环东路 30 号；邮编：100013）。

本标准主编单位：中国建筑科学研究院有限公司
云南建投第三建设有限公司

本标准参编单位：北京市建筑设计研究院有限公司
同济大学
合肥工业大学
建研科技股份有限公司
住房和城乡建设部标准定额研究所
北京银泰建构预应力技术股份有限

公司

上海建科结构新技术工程有限公司

上海市建筑科学研究院（集团）有限公司

大连理工大学

深圳市国腾工程顾问有限公司

中国建筑设计研究院有限公司

中国中元国际工程有限公司

中国电子工程设计院有限公司

华北理工大学

东南大学

中南建筑设计院股份有限公司

天津大学

本标准主要起草人员：徐福泉 王长录 代伟明 束伟农

薛伟辰 李东彬 姚 涛 柳炳康

贾金青 罗 斌 王 凯 谢 剑

刘英利 尤天直 翟传明 翟新民

张德锋 王 霓 许曙东 孟少平

饶国祥 杨少真

本标准主要审查人员：郑文忠 钱稼茹 邱韶光 赵君黎

于敬海 邹 宏 李晨光 曾 滨

郭海山 马 林 朱万旭

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	7
3.1	一般规定	7
3.2	地震作用及结构抗震验算	13
3.3	材料及锚具	17
4	现浇预应力混凝土框架和门架	19
4.1	一般规定	19
4.2	预应力混凝土框架梁	19
4.3	预应力混凝土框架柱、节点	23
4.4	预应力混凝土门架结构	27
5	预应力混凝土板柱结构	29
5.1	一般规定	29
5.2	计算要求	33
6	预应力装配式混凝土框架结构	36
6.1	一般规定	36
6.2	预应力装配整体式混凝土框架结构	36
6.3	无粘结预应力全装配混凝土框架结构	39
	本标准用词说明	49
	引用标准名录	50

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	7
3.1	General Requirements	7
3.2	Earthquake Action and Seismic Checking for Structures	13
3.3	Materials and Anchorages	17
4	Cast-in-situ Prestressed Concrete Frame Structure and Portal Structure	19
4.1	General Requirements	19
4.2	Prestressed Concrete Frame Beams	19
4.3	Prestressed Concrete Frame Columns and Joints of Frame	23
4.4	Prestressed Concrete Portal Structure	27
5	Prestressed Concrete Slab-column Structure	29
5.1	General Requirements	29
5.2	Essentials in Calculation	33
6	Precast Concrete Frame Structure Assembled by Prestressed Tendons	36
6.1	General Requirements	36
6.2	Monolithic Precast Concrete Frame Structure Assembled by Prestressed Tendons	36
6.3	Precast Concrete Frame Structure Assembled by Unbonded Prestressed Tendons with Dry Connections	39

Explanation of Wording in This Standard	49
List of Quoted Standards	50

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家有关建筑工程、防震减灾的法律法规，实行以预防为主方针，使预应力混凝土结构经抗震设防后减轻地震破坏，避免人员伤亡，减少经济损失，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于抗震设防烈度为 6 度至 8 度地区的预应力混凝土结构的抗震设计。

1.0.3 预应力混凝土结构的抗震设计，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 预应力混凝土结构 prestressed concrete structure

配置受力的预应力筋，通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土结构。

2.1.2 有粘结预应力混凝土结构 post-tensioned bonded prestressed concrete structure

在混凝土达到规定的强度后，通过张拉预应力筋并锚固而建立预加应力，且在管道内灌浆实现粘结的混凝土结构，如预应力混凝土框架、门架等。

2.1.3 无粘结预应力混凝土结构 post-tensioned unbonded prestressed concrete structure

配置带有防腐润滑涂层和外包护套的无粘结预应力筋而与混凝土相互不粘结的预应力混凝土结构。

2.1.4 阻尼比 damping ratio

实际阻尼与临界阻尼的比值。

2.1.5 轴压比 ratio of axial compressive force to axial compressive ultimate capacity of section

混凝土竖向构件轴向压力与其规定的轴向承载力的比值。对预应力混凝土柱，取预应力作用参与组合的轴向压力值。

2.1.6 板柱结构 slab-column structure

由水平构件为板和竖向构件为柱所组成的结构体系，楼板可采用平板、空心板或密肋板，板柱节点可设置柱帽或托板。

2.1.7 板柱-支撑结构 slab-column-brace structure

由无梁楼板和柱组成的板柱框架与支撑组成的结构体系，支撑可采用普通钢支撑或屈曲约束支撑。

2.1.8 板柱-抗震墙结构 slab-column-wall structure

由无梁楼板和柱组成的板柱框架与抗震墙共同承受竖向和水平作用的结构体系。

2.1.9 板柱-框架结构 slab-column-frame structure

由无梁楼板和柱组成的板柱框架与有梁框架共同承受竖向和水平作用的结构体系。

2.1.10 预应力装配整体式混凝土框架结构 monolithic precast concrete frame structure assembled by prestressed tendons

预制混凝土梁柱构件通过预应力筋连接形成的装配整体式框架结构。

2.1.11 无粘结预应力全装配混凝土框架结构 precast concrete frame structure assembled by unbonded prestressed tendons with dry connections

预制混凝土梁柱构件通过无粘结预应力筋和耗能钢筋连接成整体的框架结构，其中预应力筋提供结构的变形恢复能力，耗能钢筋吸收和耗散地震能量。

2.1.12 耗能钢筋 energy-dissipating reinforcement

在无粘结预应力全装配混凝土框架结构中，通过屈服吸收和耗散地震能量并提供受弯承载力，同时满足抗震性能要求的钢筋。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

E_p —— 预应力筋的弹性模量；

E_s —— 钢筋的弹性模量；

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{ptk} —— 预应力筋极限强度标准值；

f_{py} —— 预应力筋抗拉强度设计值；

f_{stk} —— 钢筋极限强度标准值；

f_y —— 钢筋抗拉强度设计值；

f'_y —— 钢筋抗压强度设计值；

f_{yk} —— 钢筋屈服强度标准值；

f_{yv} —— 箍筋抗拉强度设计值；

σ_p —— 预应力筋的应力；

σ_{pe} —— 预应力筋的有效预应力；

σ_s —— 耗能钢筋的应力；

ϵ_{pu} —— 预应力筋应力达到 $0.95f_{ptk}$ 时的应变。

2.2.2 作用和作用效应

F_c —— 结合面混凝土界面产生的压力；

N —— 轴向压力设计值；

N_G —— 在本层楼板重力荷载代表值作用下的柱轴向压力设计值；

N_{pe} —— 预应力筋的总有效预加力；

M —— 结合面处受弯承载力；

M_p —— 无粘结预应力筋在结合面处贡献的受弯承载力；

M_{pu} —— 无粘结预应力筋的极限受弯承载力；

M_s —— 耗能钢筋在结合面处贡献的受弯承载力；

M_{su} —— 耗能钢筋的极限受弯承载力；

M_u —— 截面的极限受弯承载力；

R —— 结构构件承载力设计值；

S —— 作用组合的效应设计值；

V_{Gk} —— 永久荷载标准值在结合面产生的剪力；

V_j —— 梁柱节点核心区组合的剪力设计值；

V_{Qk} —— 可变荷载标准值在结合面产生的剪力；

V_{uE} —— 地震设计状况下接缝受剪承载力；

$\sum M_b$ —— 节点左、右等代梁端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和；

$\sum M_{bui}$ —— 节点左、右梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和；

$\sum M_c$ ——节点上下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和。

2.2.3 几何参数

A_p ——预应力钢筋截面面积；

A_s ——普通钢筋截面面积；

A_{sv} ——配置在同一箍筋间距内的横向钢筋全部截面面积；

A_{svj} ——核心区有效验算宽度范围内同一截面验算方向箍筋的总截面面积；

a'_s ——梁受压钢筋合力点至受压边缘的距离；

b_d ——平托板或柱帽的有效宽度；

b_j ——节点核心区的截面有效验算宽度；

b_y ——y 向等代框架梁的计算宽度；

d_b ——耗能钢筋直径；

H_c ——柱的计算高度；

h_b ——梁的截面高度；

h_j ——节点核心区的截面高度；

h_s ——纵向受拉普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

L_{ef} ——邻近结合面处，耗能钢筋无粘结长度；

L_{ups} ——预应力筋的无粘结长度；

$l_{ax}、l_{oy}$ ——等代梁的计算跨度；

s ——箍筋间距；

x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度；

Δ_s ——极限状态下耗能钢筋伸长值。

2.2.4 计算系数及其他

T ——结构自振周期；

T_g ——特征周期；

α ——地震影响系数；

α_b ——耗能钢筋应变渗透系数；

α_{max} ——地震影响系数最大值；

β_l ——中和轴高度调整系数；

β_c ——混凝土强度影响系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

λ_{Np} ——预应力混凝土柱的轴压比；

η_c ——柱端弯矩增大系数；

η ——正交梁的约束影响系数；

μ ——摩擦系数；

ψ ——折减系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 按本标准进行抗震设计的预应力混凝土结构，其房屋最大高度不应超过表 3.1.1-1 及表 3.1.1-2 所规定的限值。对平面和竖向均不规则的结构或跨度较大的结构，适用的最大高度宜适当降低；乙类建筑可按本地区抗震设防烈度确定适用的最大高度；超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，并应采取有效的加强措施。

表 3.1.1-1 现浇预应力混凝土房屋适用的最大高度 (m)

结构体系	烈度			
	6	7	8 (0.2g)	8 (0.3g)
框架结构	60	50	40	35
框架-抗震墙结构	130	120	100	80
部分框支抗震墙结构	120	100	80	50
框架-核心筒结构	150	130	100	90
板柱-抗震墙结构	80	70	55	40
板柱-框架结构	22	18	15	—
板柱结构	18	15	12	—
板柱-支撑结构	60	50	40	—

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度，不包括局部突出屋顶部分；

2 表中框架，不包括异形柱框架。

表 3.1.1-2 装配式预应力混凝土房屋适用的最大高度 (m)

结构体系	烈度			
	6	7	8 (0.2g)	8 (0.3g)
预应力装配整体式框架结构	60	50	40	30
无粘结预应力全装配框架结构	22	18	15	—

3.1.2 预应力混凝土结构应根据设防类别、烈度、结构类型和房屋高度按下列规定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：

1 丙类建筑的抗震等级应按表 3.1.2-1 和表 3.1.2-2 确定；

2 甲、乙、丁类的建筑，应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的规定确定抗震设防标准，并按本标准表 3.1.2-1 和表 3.1.2-2 确定抗震等级；

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

4 高度不超过 60m 的框架-核心筒结构按框架-抗震墙的要求设计时，应按本标准表 3.1.2-1 中框架-抗震墙结构的规定确定其抗震等级；

5 抗震墙等非预应力构件的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中钢筋混凝土结构的规定执行。

表 3.1.2-1 现浇预应力混凝土结构构件的抗震等级

结构体系		设防烈度									
		6		7		8			9		
框架结构	高度 (m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24		≤24		
	框架	四	三	三	二	二	一		一		
	大跨度框架	三		二		一			一		
框架-抗震墙结构	高度 (m)	≤60	>60	≤24 25~60		>60	≤24	25~60	>60	≤24	25~50
	框架	四	三	四	三	二	三	二	一	二	一
部分框支抗震墙结构	高度 (m)			≤80		>80	≤80		一		一
	框支层框架	二		二		一	一		一		一
框架-核心筒结构	框架	三		二			一			一	
板柱-抗震墙结构	高度 (m)	≤35	>35	二			一			一	
	板柱的柱、节点及框架	三	二								

续表 3.1.2-1

结构体系		设防烈度					
		6		7		8	
板柱-框架结构	高度 (m)	≤12	>12	≤12	>12	≤12	>12
	板柱的柱、节点及框架	三	二	二	一	一	一
板柱结构	高度 (m)	≤12	>12	≤12	>12	≤12	>12
	板柱的柱、节点及框架	三	二	二	一	一	一
板柱-支撑结构	高度 (m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24
	板柱的柱、节点及框架	三	二	二	一	一	一
	普通钢支撑	三	二	二	二	一	一

注：大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架。

表 3.1.2-2 预应力装配式混凝土结构构件的抗震等级

结构体系		设防烈度					
		6		7		8	
装配整体式 框架结构	高度 (m)	≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24
	框架	四	三	三	二	二	一
	大跨度框架	三		二		一	
无粘结预应 力全装配 框架结构	高度 (m)	≤12	>12	≤12	>12	≤12	>12
	柱	三	二	二	一	一	一
	框架梁	三	三	三	三	三	三

3.1.3 建筑场地为Ⅰ类时，对甲、乙类的建筑应允许按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施；对丙类的建筑应允许按本地区抗震设防烈度降低一度的要求采取抗震构造措施，但抗震设防烈度为 6 度时应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。在设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，当建筑场地为Ⅲ类、Ⅳ类时，宜分别按 8 度（0.20g）和 9 度（0.40g）时各类建筑的要求采取抗震构造措施。

3.1.4 抗震等级为一级的框架、承重结构的受拉杆件及转换层大梁不应采用无粘结预应力筋；分散配置预应力筋的板类构件宜采用无粘结预应力筋；楼盖的次梁可采用无粘结预应力筋。后张预应力现浇框架、门架宜采用有粘结预应力筋，采用无粘结预应力筋时，应符合下列规定：

- 1 锚具应采取可靠防松措施；
- 2 采用无粘结预应力钢筋时，应符合本标准第 3.1.5 条的规定。

3.1.5 在地震作用效应和重力荷载效应组合下，当符合下列三款之一时，无粘结预应力钢筋可在抗震等级为二级、三级、四级框架梁中应用；当符合第 1 款或第 2 款时，无粘结预应力钢筋可在悬臂梁中应用。

- 1 框架梁端部截面及悬臂梁根部截面由非预应力钢筋承担的弯矩设计值，不应小于组合弯矩设计值的 50%；
- 2 预应力筋仅用于满足构件的挠度和裂缝要求；
- 3 设有抗震墙或筒体，且在规定的水平地震作用下，底层框架承担的地震倾覆力矩应小于总地震倾覆力矩的 50%。

3.1.6 框架柱中配置预应力筋时，对抗震等级为一级的框架柱，应采用有粘结预应力筋；对抗震等级为二级、三级的框架柱，宜采用有粘结预应力筋。

3.1.7 预应力混凝土结构应进行多遇地震作用下的抗震变形验算，楼层内弹性层间位移角限值应符合表 3.1.7 的规定。

表 3.1.7 弹性层间位移角限值

结构类型	弹性层间位移角限值
框架结构 板柱结构 板柱-框架结构 预应力装配整体式混凝土框架结构 无粘结预应力全装配混凝土框架结构	1/550

续表 3.1.7

结构类型		弹性层间位移角限值
框架-抗震墙结构 框架-核心筒结构 板柱-抗震墙结构		1/800
预应力混凝土框支层		1/1000
板柱-支撑结构	普通钢支撑	1/700
	屈曲约束支撑	1/550

3.1.8 预应力混凝土结构应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和本标准的规定进行罕遇地震作用下结构薄弱层或薄弱部位的弹塑性变形验算，结构薄弱层或薄弱部位弹塑性层间位移角限值应符合表 3.1.8 的规定。

表 3.1.8 弹塑性层间位移角限值

结构类型		弹塑性层间位移角限值
框架结构 板柱结构 板柱-框架结构 预应力装配整体式混凝土框架结构 无粘结预应力全装配混凝土框架结构		1/50
框架-抗震墙结构 框架-核心筒结构 板柱-抗震墙结构		1/100
板柱-支撑结构	普通钢支撑	1/100
	屈曲约束支撑	1/50

3.1.9 在框架-抗震墙结构、抗震墙结构及框架-核心筒结构中采用的预应力混凝土平板应符合下列规定：

1 柱支承预应力混凝土平板的厚度不宜小于跨度的 $1/45$ ，周边支承预应力混凝土板厚度不宜小于跨度的 $1/50$ ，且其厚度分别不应小于 200mm 及 150mm；

2 在核心筒四个角部，应设置扁梁或暗梁与外柱相连接，

其余外框架柱处宜设置暗梁与内筒相连接；

3 在预应力混凝土平板凹凸不规则处及开洞处，应设置钢筋混凝土暗梁或边梁；

4 柱支承预应力混凝土平板的板端截面按下式计算的预应力强度比 λ 不宜大于 0.80。

$$\lambda = \frac{f_{py} A_p h_p}{f_{py} A_p h_p + f_y A_s h_s} \quad (3.1.9)$$

式中： f_{py} ——预应力筋抗拉强度设计值（N/mm²）；对无粘结预应力混凝土平板，应取无粘结预应力筋的应力设计值，无粘结预应力筋的应力设计值应按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的规定计算；

A_p ——预应力筋截面面积（mm²）；

h_p ——纵向受拉预应力筋合力点至截面受压边缘的距离（mm）；

f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_s ——普通钢筋截面面积（mm²）；

h_s ——纵向受拉普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离（mm）。

3.1.10 对多跨无粘结预应力混凝土结构，宜将无粘结预应力筋分段锚固，或增设中间锚固点，非预应力钢筋最小截面面积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 的有关规定。

3.1.11 后张预应力筋的锚具不宜设置在梁柱节点核心区，且不宜设置在梁端箍筋加密区。当锚具设置在节点核心区时，应考虑锚具对受剪截面产生削弱的不利影响。

3.1.12 采用无粘结预应力纤维增强复合材料筋时，其材料性能、预应力损失、承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算等应符合国家现行标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 和《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB

50608 的相关规定。

3.1.13 采用缓粘结预应力筋时，其材料性能、预应力损失、承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算等应符合现行行业标准《缓粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 387 的相关规定。

3.2 地震作用及结构抗震验算

3.2.1 建筑结构的地震影响系数应根据设防烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定。水平地震影响系数最大值应按表 3.2.1-1 采用；特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表 3.2.1-2 采用，计算罕遇地震作用时，特征周期应增加 0.05s；周期大于 6.0s 的建筑结构所采用的地震影响系数应专门研究。

表 3.2.1-1 水平地震影响系数最大值 α_{max}

地震影响	6 度	7 度(0.10g)	7 度(0.15g)	8 度(0.20g)	8 度(0.30g)
多遇地震	0.04	0.08	0.12	0.16	0.24
罕遇地震	0.28	0.50	0.72	0.90	1.20

表 3.2.1-2 特征周期 (s)

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

3.2.2 预应力混凝土结构部分的阻尼比可采用 0.03；结构的等效阻尼比可按钢筋混凝土结构部分和预应力混凝土结构部分在整个结构总变形能所占的比例进行折算；对于框架结构，也可按表 3.2.2-1 的规定取值，其中 ξ 为预应力混凝土结构所承担竖向荷载的结构面积占总结构面积的比值，应按两个方向分别计算并取

较大值；其他结构可按表 3.2.2-2 取值。

表 3.2.2-1 框架结构的等效阻尼比

ξ	结构等效阻尼比
$\xi \geq 0.70$	0.03
$0.25 \leq \xi < 0.70$	0.04
$\xi < 0.25$	0.05

表 3.2.2-2 其他结构的等效阻尼比

结构类型	结构等效阻尼比
无粘结预应力全装配混凝土框架结构、板柱结构、板柱-支撑结构及板柱-框架结构	0.03
框架-抗震墙结构、框架-核心筒结构、部分框支-抗震墙结构及板柱-抗震墙结构	0.05

3.2.3 建筑结构地震影响系数曲线（图 3.2.3）应根据阻尼比进行调整，形状参数应符合下列规定：

- 1 直线上升段，周期小于 0.1s 的区段。
- 2 水平段，自 0.1s 至特征周期区段，当阻尼比分别为 0.03、0.04 和 0.05 时，对应的地震影响系数 α 应分别取为 $1.156\alpha_{\max}$ 、 $1.069\alpha_{\max}$ 和 $1.0\alpha_{\max}$ 。

3 曲线下降段，自特征周期至 5 倍特征周期区段，地震影响系数 α 应按下列公式计算。

- 1) 当阻尼比为 0.03 时：

$$\alpha = 1.156 \left(\frac{T_g}{T} \right)^{0.942} \alpha_{\max} \quad (3.2.3-1)$$

- 2) 当阻尼比为 0.04 时：

$$\alpha = 1.069 \left(\frac{T_g}{T} \right)^{0.919} \alpha_{\max} \quad (3.2.3-2)$$

- 3) 当阻尼比为 0.05 时：

$$\alpha = \left(\frac{T_g}{T} \right)^{0.9} \alpha_{\max} \quad (3.2.3-3)$$

4 直线下降段, 自 5 倍特征周期至 6s 区段, 地震影响系数 α 应按下列公式计算。

1) 当阻尼比为 0.03 时:

$$\alpha = [0.2538 - 0.024(T - 5T_g)]\alpha_{\max} \quad (3.2.3-4)$$

2) 当阻尼比为 0.04 时:

$$\alpha = [0.2436 - 0.022(T - 5T_g)]\alpha_{\max} \quad (3.2.3-5)$$

3) 当阻尼比为 0.05 时:

$$\alpha = [0.2349 - 0.02(T - 5T_g)]\alpha_{\max} \quad (3.2.3-6)$$

式中: α ——地震影响系数;

$\alpha_{\max}$ ——地震影响系数最大值;

T_g ——特征周期;

T ——结构自振周期。

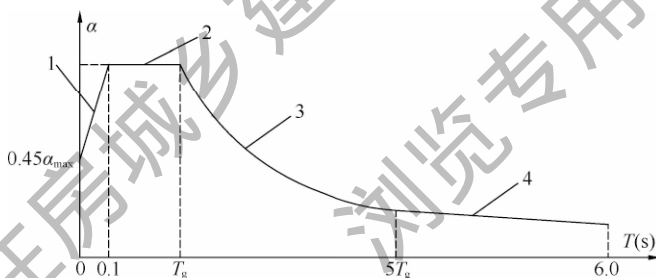


图 3.2.3 地震影响系数曲线

1—直线上升段; 2—水平段; 3—曲线下降段; 4—直线下降段

3.2.4 抗震设防烈度为 8 度时, 大跨度和长悬臂结构应计算竖向地震作用, 竖向地震作用标准值, 可取其重力荷载代表值与竖向地震作用系数的乘积, 竖向地震作用系数可按表 3.2.4 采用。高层建筑中的大跨度、长悬臂结构, 7 度 ($0.15g$)、8 度抗震设计时应计入竖向地震作用, 竖向地震作用效应标准值宜采用时程分析方法或振型分解反应谱法进行计算, 且竖向地震作用标准值不宜小于其承受的重力荷载代表值与表 3.2.4 所规定的竖向地震作用系数的乘积。

表 3.2.4 竖向地震作用系数

结构类别	7 度 (0.15g)	场地类别			
		I		II、III、IV	
		8 度 (0.20g)	8 度 (0.30g)	8 度 (0.20g)	8 度 (0.30g)
预应力混凝土屋架、 长悬臂和其他大跨度 预应力混凝土结构	0.08	0.10	0.15	0.13	0.19

3.2.5 采用时程分析法进行补充计算的预应力混凝土结构，弹性计算时阻尼比可按本标准第 3.2.2 条取值。

3.2.6 预应力混凝土结构构件在地震作用效应和其他荷载效应的基本组合下，进行截面抗震验算时，应计入预应力作用效应项。当预应力作用效应对结构不利时，预应力分项系数应取 1.2；有利时应取 1.0。

3.2.7 各类预应力混凝土结构构件的承载力抗震调整系数 γ_{RE} ，除另有规定外，应按表 3.2.7 取用；当仅计算竖向地震作用时， γ_{RE} 均应取为 1.0。

表 3.2.7 承载力抗震调整系数

结构构件	受力状态	γ_{RE}
梁	受弯	0.75
轴压比小于 0.15 的柱	偏压	0.75
轴压比不小于 0.15 的柱	偏压	0.80
框架节点	受剪	0.85
各类构件	受剪、偏拉	0.85
局部受压构件	局部受压	1.00

3.2.8 框架节点核心区进行截面抗震验算时，可计入总有效预加力的影响；预应力筋穿过框架节点核心区时，应计入预应力孔道削弱核心区有效面积的影响。

3.2.9 预应力混凝土框架梁、柱的斜截面抗震受剪承载力计算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。

3.3 材料及锚具

3.3.1 预应力混凝土框架构件的混凝土强度等级不宜低于 C40，无粘结预应力全装配混凝土框架构件的混凝土强度等级不应低于 C40，平板及其他构件的混凝土强度等级不应低于 C30；抗震设防烈度为 8 度时，预应力混凝土结构构件的混凝土强度等级不宜超过 C70。

3.3.2 预应力筋宜采用预应力钢绞线、预应力钢丝和预应力螺旋钢筋，也可采用无粘结预应力纤维增强复合材料筋。

3.3.3 非预应力纵向受力钢筋宜采用 HRB400 和 HRB500 钢筋；箍筋宜选用 HRB400、HPB300 和 HRB500 钢筋。

3.3.4 抗震等级为一级、二级、三级的框架、斜撑构件、板柱的柱和暗梁，其非预应力纵向受力钢筋的抗震性能指标，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

3.3.5 预应力筋-锚具组装件的锚固性能应符合下列规定：

1 预应力钢筋用锚具的静载锚固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；无粘结预应力纤维增强复合材料筋用锚具的静载锚固性能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。

2 无粘结预应力筋-锚具组装件的抗震周期荷载试验，应符合下列规定：

1) 当锚固的预应力筋为钢绞线、钢丝和无粘结预应力纤维增强复合材料筋时，试验应力上限应为预应力筋抗拉强度标准值的 85%；当锚固的预应力筋为有明显屈服台阶的预应力钢材时，试验应力上限应为预应力钢材抗拉强度标准值的 90%；下限均应为预应力筋抗拉强度标准值的 40%；

- 2) 试验时的加荷速度宜为 $100\text{MPa}/\text{min} \sim 200\text{MPa}/\text{min}$;
- 3) 50 次循环荷载后预应力筋在锚具夹持区域不得发生破断。

3.3.6 无粘结预应力全装配混凝土框架结构中, 耗能钢筋宜采用 HRB400 和 HRB500 钢筋, 其抗震性能指标应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定; 预应力筋宜采用 1860MPa 级无粘结预应力钢绞线, 其性能指标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 现浇预应力混凝土框架和门架

4.1 一般规定

4.1.1 本章适用于现浇预应力混凝土框架结构、框架-抗震墙结构和框架-核心筒结构中的预应力混凝土框架以及预应力混凝土门架。

4.1.2 预应力混凝土框架应具备良好的变形能力和消耗地震能量能力，其组成构件应避免剪切破坏先于弯曲破坏，节点不应先于其连接构件破坏。

4.2 预应力混凝土框架梁

4.2.1 预应力混凝土框架梁的截面尺寸，应符合下列规定：

- 1 截面宽度不宜小于 250mm；
- 2 截面高宽比不宜大于 4；
- 3 梁高宜在计算跨度的 $1/12 \sim 1/22$ 内选取，净跨与截面高度之比不宜小于 4。

4.2.2 预应力混凝土框架梁端，计入纵向受压钢筋的混凝土受压区高度 x 应符合下列规定：

一级抗震等级： $x \leq 0.25h_0$ (4.2.2-1)

二级、三级抗震等级： $x \leq 0.35h_0$ (4.2.2-2)

纵向受拉钢筋按非预应力钢筋抗拉强度设计值换算的配筋率不宜大于 2.5%，且不应大于 2.75%；当梁端受拉钢筋的换算配筋率大于 2.5% 时，其受压钢筋的配筋截面面积不应小于受拉钢筋按抗拉强度设计值换算的配筋截面面积的一半。

4.2.3 在预应力混凝土框架梁中，应采用预应力筋和非预应力钢筋混合配筋的方式，预应力筋宜穿过柱截面，框架梁端截面按本标准公式 (3.1.9) 计算的预应力强度比 λ 应符合下列规定：

1 采用预应力钢筋时:

一级抗震等级: $\lambda \leq 0.75$ (4.2.3-1)

二级、三级、四级抗震等级: $\lambda \leq 0.80$ (4.2.3-2)

2 采用无粘结预应力纤维增强复合材料筋时:

二级、三级、四级抗震等级: $\lambda \leq 0.50$ (4.2.3-3)

4.2.4 预应力混凝土框架梁端截面的底面纵向非预应力钢筋截面面积 A'_s , 除按计算确定外, 尚应符合下列规定:

一级抗震等级 $A'_s \geq 0.5 \left(1 + \frac{A_p f_{py}}{A_s f_y} \right) A_s$ (4.2.4-1)

二级、三级抗震等级 $A'_s \geq 0.3 \left(1 + \frac{A_p f_{py}}{A_s f_y} \right) A_s$ (4.2.4-2)

梁端截面底面纵向非预应力钢筋配筋率尚不应小于 0.25%。

4.2.5 与板整体浇筑的 T 形和 L 形预应力混凝土框架梁, 当考虑板中的部分钢筋对抵抗弯矩的有利作用时, 应符合下列规定:

1 在内柱处, 当横向有宽度与柱宽相近的框架梁时, 宜取从柱两侧各延伸 4 倍板厚范围内板内钢筋;

2 在内柱处, 当无横向框架梁时, 宜取从柱两侧各延伸 2.5 倍板厚范围内板内钢筋;

3 在外柱处, 当横向有宽度与柱宽相近的框架梁, 而所考虑的梁中钢筋锚固在柱内时, 宜取从柱两侧各延伸 2 倍板厚范围内板内钢筋;

4 在外柱处, 当无横梁时, 宜取柱宽范围内的板内钢筋;

5 在所有情况下, 在考虑板中部分钢筋参加工作的梁中, 受弯承载力所需的纵向钢筋至少应有 75% 穿过柱或锚固于柱内; 当纵向钢筋由重力荷载效应组合控制时, 可仅考虑地震作用组合所需纵向钢筋的 75% 穿过柱子或锚固于柱内。

4.2.6 对预应力混凝土框架梁的梁端加腋处, 其箍筋配置应符合下列规定:

1 当加腋长度 $L_h \leq 0.8h$ 时, 箍筋加密区长度应取加腋区及加腋区外梁高 h 的 1.5 倍;

2 当加腋长度 $L_h > 0.8h$ 时, 箍筋加密区长度应取 1.5 倍梁端部高度, 且不应小于加腋长度 L_h ;

3 箍筋加密区的箍筋间距不应大于 100mm, 箍筋直径不应小于 10mm, 箍筋肢距不宜大于 200mm 和 20 倍箍筋直径中的较大值。

4.2.7 现浇预应力混凝土框架扁梁的跨高比 l_0/h_b 不宜大于 25, 梁截面高度宜大于板厚度的 2 倍, 其截面尺寸除应满足现行有关标准对挠度和裂缝宽度的要求外, 尚应符合下列规定:

$$b_b \leq 2b_c \quad (4.2.7-1)$$

$$b_b \leq b_c + h_b \quad (4.2.7-2)$$

$$h_b \geq 16d \quad (4.2.7-3)$$

式中: b_c ——柱截面宽度 (mm);

b_b 、 h_b ——梁截面宽度和高度 (mm);

d ——柱纵筋直径 (mm)。

4.2.8 采用梁宽大于柱宽的预应力混凝土扁梁时, 应符合下列规定:

1 扁梁不宜用于一级框架结构; 扁梁中线宜与柱中线重合, 且应双向布置, 采用扁梁的楼、屋盖应现浇。

2 梁柱节点应符合下列规定:

- 1) 扁梁框架的梁柱节点核心区应根据梁纵筋在柱宽范围内、外的截面面积比例, 对柱宽以内和柱宽以外的范围分别验算受剪承载力;
- 2) 按本标准公式 (4.3.8-1) 验算核心区剪力限值时, 核心区有效宽度可取梁宽与柱宽的平均值;
- 3) 四边有梁的约束影响系数, 验算柱宽范围内核心区的受剪承载力时可取 1.5, 验算柱宽范围外核心区的受剪承载力时宜取 1.0;
- 4) 按本标准第 4.3.8 条验算核心区受剪承载力时, 在柱宽范围内的核心区, 轴向力的取值可与一般梁柱节点轴向力的取值相同; 柱宽以外的核心区, 可不考虑轴

向力对受剪承载力的有利作用。

3 预应力混凝土扁梁配筋构造要求：

- 1) 扁梁端箍筋加密区长度，应取自柱边算起至梁边以外 $b_b + h_b$ 范围内长度和自梁边算起 l_{aE} 中的较大值；加密区的箍筋最大间距和最小直径及箍筋肢距应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。
- 2) 柱内节点核心区配箍量及构造要求宜与普通框架的要求相同；扁梁中柱节点柱外核心区可配置附加水平箍筋及拉筋，当核心区受剪承载力不能满足计算要求时，可配置附加腰筋；对于扁梁边柱节点核心区，也可配置附加腰筋。
- 3) 当中柱节点和边柱节点在扁梁交角处的板面顶层纵向钢筋和横向钢筋间距较大时，应在板角处布置附加构造钢筋网片，其伸入板内的长度，不宜小于板短跨方向计算跨度的 $1/4$ ，并按受拉钢筋锚固在扁梁内。
- 4) 预应力筋宜布置在柱宽范围内。
- 5) 锚入柱内的梁上部普通钢筋宜大于其全部截面面积的 60% 。

4.2.9 扁梁框架的边梁不宜采用宽度 b_b 大于柱截面高度 h_c 的预应力混凝土扁梁。当与框架边梁相交的内部框架扁梁宽度大于柱宽时，边梁应采取配筋构造措施考虑其受扭的不利影响。

4.2.10 预应力混凝土长悬臂梁的配筋构造应符合下列规定：

1 预应力混凝土悬臂梁应采用预应力筋和非预应力钢筋混合配筋的方式，其截面混凝土受压区高度应符合本标准第 4.2.2 条的规定，预应力强度比 λ 应符合本标准第 4.2.3 条的规定；悬臂梁梁底非预应力钢筋截面面积尚应符合本标准第 4.2.4 条的规定。

2 悬臂构件加强段应取自根部算起 $1/4$ 跨长、2 倍截面高度及 500mm 三者中的较大值，按该段根部截面的弯矩设计值配

置的纵向预应力筋，在加强段不得截断，且加强段的箍筋构造应满足箍筋加密区要求；对于集中荷载在支座截面所产生的剪力值占总剪力值的 75% 及以上时，箍筋加密区应延伸至集中荷载作用截面处，且不应小于加强段的长度。

4.3 预应力混凝土框架柱、节点

4.3.1 预应力混凝土框架柱的剪跨比宜大于 2。

4.3.2 在预应力混凝土框架中，与预应力混凝土梁相连接的预应力混凝土柱或钢筋混凝土柱除应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关调整框架柱端组合的弯矩设计值的相关规定外，对一级、二级、三级、四级抗震等级的框架结构的边柱，其柱端弯矩增大系数 η_c 应分别取为 1.7、1.7、1.5 和 1.3；对其他结构类型中的框架边柱，其柱端弯矩增大系数 η_c 应分别取为 1.4、1.4、1.2 和 1.1。对于抗震等级为一级的框架结构的边柱，尚应符合下式规定：

$$\sum M_c = 1.2 \sum M_{bu} \quad (4.3.2)$$

式中： $\sum M_c$ ——节点上、下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和 ($N \cdot mm$)，上、下柱端的弯矩设计值可按弹性分析分配；

$\sum M_{bu}$ ——节点左右梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和 ($N \cdot mm$)，根据计入梁受压钢筋和相关楼板钢筋的实配钢筋截面面积和材料强度标准值确定。

4.3.3 考虑地震作用组合的预应力混凝土框架柱，按式 (4.3.3) 计算的轴压比应符合表 4.3.3 的规定。当混凝土强度等级为 C65~C70 时，轴压比限值应按表中数值减小 0.05；沿柱全高采用井字复合箍，且箍筋间距不大于 100mm、肢距不大于 200mm、直径不小于 12mm，或沿柱全高采用复合螺旋箍，且螺

旋间距不大于 100mm、箍筋肢距不大于 200mm、直径不小于 12mm，或沿柱全高采用连续复合矩形螺旋箍，且螺旋净距不大于 80mm、箍筋肢距不大于 200mm、直径不小于 10mm 时，轴压比限值均可按表 4.3.3 中数值增加 0.10；采用上述三种箍筋时，均应按所增大的轴压比确定其最小配箍特征值。

$$\lambda_{Np} = \frac{N + 1.2N_{pe}}{f_c A} \quad (4.3.3)$$

式中： λ_{Np} ——预应力混凝土柱的轴压比；

N ——柱考虑地震作用组合的轴向压力设计值（N）；

N_{pe} ——作用于框架柱预应力筋的总有效预加力（N）；

A ——柱截面面积（mm²）；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）。

表 4.3.3 预应力混凝土框架柱轴压比限值

结构类型	抗震等级			
	一级	二级	三级	四级
框架结构、板柱-框架结构、板柱结构、板柱-支撑结构	0.60	0.70	0.80	0.85
框架-抗震墙结构、框架-核心筒结构、板柱-抗震墙结构	0.75	0.85	0.90	0.95

4.3.4 对于承受较大弯矩而轴向压力小的框架顶层边柱，当采用预应力混凝土柱时，其配筋应符合下列规定：

1 纵向受力钢筋可采用非对称配置预应力筋的配筋方式，弯矩较大截面的受拉一侧应采用预应力筋和非预应力普通钢筋混合配筋，预应力强度比 λ 不应大于 0.5，另一侧非预应力钢筋截面面积 A'_s 除应按计算确定外，尚应符合本标准第 4.2.4 条的规定；

2 柱纵向非预应力钢筋的最小配筋率应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关钢筋混凝土受压构件纵向受拉钢筋最小配筋率的规定；

3 柱中全部纵向受力钢筋按非预应力钢筋抗拉强度设计值换算的配筋率不应大于 5%；

4 纵向预应力筋不宜少于两束，其孔道之间的净间距不宜小于 100mm；

5 柱端箍筋加密区要求应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

4.3.5 框架结构中，预应力混凝土框架所承担竖向荷载的结构面积与总结构面积的比值 ξ 不小于 0.70 时，框架柱箍筋应全高加密； ξ 不小于 0.25 但小于 0.70 时，与预应力梁相交的框架柱箍筋宜全高加密。

4.3.6 对双向预应力混凝土框架的边柱和角柱，在进行局部受压承载力计算时，可考虑纵向受力主筋和横向箍筋的有利影响。

4.3.7 在预应力混凝土框架中，与预应力混凝土梁相交的梁柱节点除应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关调整节点核心区组合的剪力设计值的相关规定外，对一级、二级、三级、四级抗震等级的框架结构的边节点，其强节点系数 η_b 应分别取为 1.5、1.5、1.35 和 1.2；对其他结构类型中的框架边节点，其强节点系数 η_b 应分别取为 1.35、1.35、1.2 和 1.1。对于抗震等级为一级的框架结构的边节点，尚应符合下列公式规定：

$$\text{其他层节点: } V_j = \frac{1.15 \sum M_{\text{bua}}}{h_{b0} - a'_s} \left(1 - \frac{h_{b0} - a'_s}{H_c - h_b} \right) \quad (4.3.7-1)$$

$$\text{顶层节点: } V_j = \frac{1.15 \sum M_{\text{bua}}}{h_{b0} - a'_s} \quad (4.3.7-2)$$

式中： V_j ——梁柱节点核心区组合的剪力设计值（N）；

$\sum M_{\text{bua}}$ ——节点左右梁端截面反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和（N·mm），可根据计入梁受压钢筋的实配钢筋截面面积和材料强度标准值确定；

h_{b0} ——梁截面的有效高度（mm），节点两侧梁截面有效高度不等时可采用平均值；

a'_s ——梁受压钢筋合力点至受压边缘的距离 (mm);

H_c ——柱的计算高度 (mm), 可采用节点上、下柱反弯点之间的距离;

h_b ——梁的截面高度 (mm), 节点两侧梁截面高度不等时可采用平均值。

4.3.8 预应力混凝土框架梁柱节点核心区截面抗震验算, 应符合下列规定:

1 框架节点核心区受剪的水平截面应符合下列条件:

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.30\beta_c\eta_b f_c b_j h_j) \quad (4.3.8-1)$$

式中: β_c ——混凝土强度影响系数, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定取值;

η_b ——正交梁的约束影响系数, 当楼板为现浇、梁柱中线重合、四侧各梁截面宽度不小于该侧柱截面宽度的 1/2, 且正交方向梁高度不小于较高框架梁高度的 3/4 时, 可取为 1.5, 其他情况均取为 1.0;

b_j ——节点核心区的截面有效验算宽度 (mm), 应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定取值, 并应考虑预应力孔道削弱核心区截面有效面积的影响;

h_j ——节点核心区的截面高度 (mm), 可采用验算方向的柱截面高度, 并应考虑预应力孔道削弱核心区截面有效面积的影响;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数, 可取为 0.85。

2 对正交方向有梁约束的预应力框架中间节点, 当预应力筋穿过节点核心区, 设置在梁截面高度中部 1/3 范围内时, 预应力框架节点核心区的受剪承载力应按下式计算:

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[1.1\eta_b f_t b_j h_j + 0.05\eta_b N \frac{b_j}{b_c} + f_{yv} \frac{A_{svj}}{s} (h_{b0} - a'_s) + 0.4N_{pc} \right] \quad (4.3.8-2)$$

式中： b_c ——验算方向的柱截面宽度（mm）；

N ——对应于考虑地震组合剪力设计值的节点上柱底部的轴向力设计值（N）。当 N 为压力时，取轴向压力设计值的较小值，且不应大于柱的截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值的乘积的 50%；当 N 为拉力时，取为 0，且不计预应力筋预加力的有利作用；

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值（N/mm²）；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_{svj} ——核心区有效验算宽度范围内同一截面验算方向箍筋的总截面面积（mm²）；

s ——箍筋间距（mm）；

h_{b0} ——梁截面有效高度（mm），节点两侧梁截面有效高度不等时可取平均值；

a'_s ——梁受压钢筋合力点至受压边缘的距离（mm）；

N_{pe} ——作用在节点核心区中的预应力筋总有效预加力（N）。

3 对预应力框架的其余节点，节点核心区的受剪承载力应按下列式计算：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[1.1 \eta_i f_t b_j h_j + 0.05 \eta_i N \frac{b_j}{b_c} + f_{yv} \frac{A_{svj}}{s} (h_{b0} - a'_s) \right] \quad (4.3.8-3)$$

4.4 预应力混凝土门架结构

4.4.1 预应力混凝土门架为主体结构的空旷房屋，其抗震设计除应符合本节规定外，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

4.4.2 采用预应力混凝土门架为主体结构的空旷房屋，门架柱宜采用矩形或工字形截面；门架柱柱底至室内地坪以上 500mm 范围内、节点加腋边缘向下延伸 2 倍柱高 h_c 范围内、横梁自节点加腋边缘向跨中延伸 2 倍横梁高 h 范围内以及节点区域，应采用矩形截面。

4.4.3 跨度大于 24m 的预应力混凝土门架应考虑竖向地震作用。

4.4.4 预应力混凝土门架倒“L”形构件宜通长设置折线预应力筋，当采用分段直线预应力筋时，不宜将锚具设置在转角节点区域。

4.4.5 预应力混凝土门架横梁箍筋加密区长度宜取 1.5 倍梁端部高度。加密箍筋宜按本标准第 4.2.6 条要求配置。

4.4.6 预应力混凝土门架立柱的箍筋加密区位置及箍筋配置要求应符合下列规定：

1 门架立柱箍筋加密区位置应符合下列规定：

- 1) 柱上端区域应取截面高度、1000mm 和 $1/4$ 柱净高的最大值；
- 2) 底部受约束的柱根应取下柱柱底至室内地坪以上 500mm；
- 3) 柱变位受平台等约束的部位，柱间支撑与柱连接节点，应取节点上、下各 1 倍柱高 h_c ；
- 4) 有牛腿的门架，应取自柱顶至牛腿以下 1 倍柱高 h_c 范围。

2 加密区的箍筋间距不应大于 100mm。

3 箍筋形式宜为复合箍，箍筋肢距和最小直径应符合下列规定：

- 1) 6 度和 7 度 I、II 类场地，箍筋肢距不应大于 300mm，直径不应小于 8mm；
- 2) 7 度 III、IV 类场地和 8 度 I、II 类场地，箍筋肢距不应大于 200mm，直径不应小于 10mm；
- 3) 8 度 III、IV 类场地，箍筋肢距不应大于 200mm，直径不应小于 12mm。

4.4.7 预应力混凝土门架边转角节点区域的箍筋配置不应低于立柱与横梁加密区要求。

5 预应力混凝土板柱结构

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于后张法无粘结预应力混凝土或有粘结预应力混凝土板柱-抗震墙结构、板柱-支撑结构、板柱-框架结构及板柱结构。

5.1.2 板柱-抗震墙结构、板柱-支撑结构、板柱-框架结构及板柱结构的设计应符合下列规定：

1 预应力混凝土平板的厚度不宜小于跨度的 $1/45$ ，且不应小于 200mm。

2 结构的周边应采用有梁框架，其配筋应满足重力荷载作用下抗扭计算的要求；箍筋间距不应大于 150mm，且在离柱边 2 倍梁高范围内，间距不应大于 100mm。

3 楼、电梯洞口周边应设置与主体结构相连的梁。

4 板柱-框架结构及板柱结构的柱箍筋应沿全高加密；板柱-支撑结构的柱箍筋宜沿全高加密。

5.1.3 板柱-抗震墙结构的设计应符合下列规定：

1 应布置成双向抗侧力体系，两个主轴方向均应设置抗震墙；

2 屋盖及地下一层顶板，宜采用梁板结构。

5.1.4 板柱-支撑结构的设计应符合下列规定：

1 支撑宜沿建筑物的两个主轴方向布置；支撑间距不宜超过楼盖宽度的 2 倍；支撑宜上、下连续布置，当不能连续布置时，宜在邻跨布置。

2 支撑可采用普通钢支撑或屈曲约束支撑。普通钢支撑不应采用人字斜杆或 V 形斜杆，采用单斜杆时，应同时设置不同倾斜方向的两组斜杆，且每层中不同方向单斜杆的截面面积在水

平方向的投影面积之差不应大于 10%。

3 房屋高度大于 12m 或房屋层数超过 3 层时，底层支撑按刚度分配的地震倾覆力矩应大于结构总地震倾覆力矩的 50%；房屋高度不大于 12m 且房屋层数不超过 3 层时，底层支撑按刚度分配的地震倾覆力矩应大于结构总地震倾覆力矩的 30%。

5.1.5 板柱-框架结构的设计应符合下列规定：

1 单列柱数不得少于 3 根；

2 框架结构间的平板长宽比不应大于 2，且长度不应大于 32m；

3 在基本振型地震作用下，底层框架结构承担的地震倾覆力矩应大于结构总地震倾覆力矩的 50%。

5.1.6 板柱结构及板柱-框架结构中，7 度时宜采用有托板或柱帽的板柱节点，8 度时应采用有托板或柱帽的板柱节点；板柱-抗震墙结构及板柱-支撑结构中，8 度时宜采用有托板或柱帽的板柱节点；托板或柱帽根部的厚度不宜小于柱纵筋直径的 16 倍。托板或柱帽的边长不宜小于 4 倍板厚及柱截面相应边长之和。

5.1.7 预应力混凝土平板中应设置暗梁（图 5.1.7）。暗梁应符合下列规定：

1 暗梁宽度应取为柱两侧各 1.5 倍楼板或平托板的厚度 h ，有柱帽时，应从柱帽边算起；

2 暗梁梁底非预应力钢筋截面面积应满足本标准公式 (4.2.4-1) 的要求；

3 支座处暗梁箍筋加密区长度不应小于 $3h$ ，其箍筋肢距不应大于 250mm，箍筋间距不应大于 100mm，箍筋直径应按计算确定，但不应小于 8mm；

4 暗梁支座处的 $1/2$ 上部纵向钢筋应连续通长布置，截断的上部钢筋应从柱帽或平托板边计算其延伸长度。

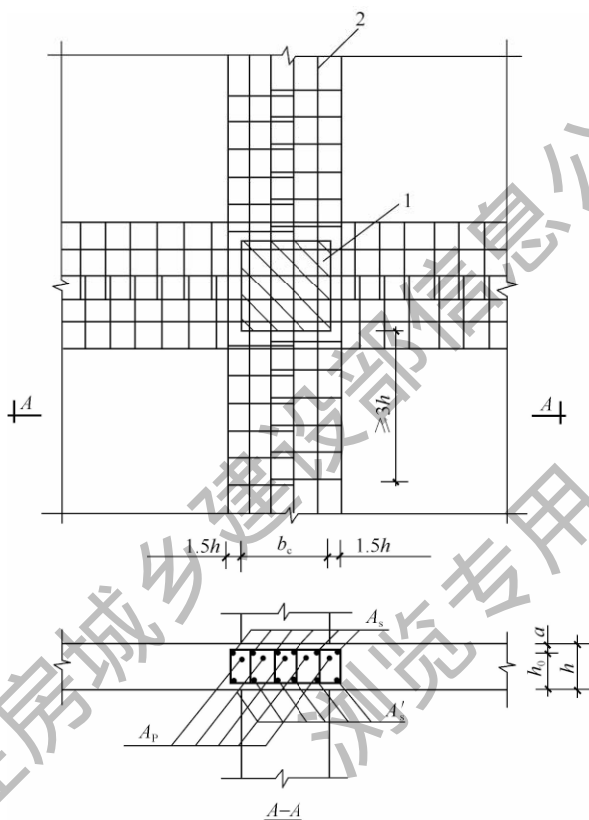


图 5.1.7 暗梁配筋要求示意

1—柱；2—连续布置的 1/2 上部钢筋

5.1.8 预应力混凝土平板，柱上板带截面承载力计算中，板端混凝土受压区高度 x 应符合下列公式规定：

$$8 \text{ 度：} \quad x \leqslant 0.25h_0 \quad (5.1.8-1)$$

$$6 \text{ 度、} 7 \text{ 度：} \quad x \leqslant 0.35h_0 \quad (5.1.8-2)$$

纵向受拉钢筋按非预应力钢筋抗拉强度设计值换算配筋率不宜大于 2.5%，不应大于 2.75%；当梁端受拉钢筋的换算配筋率大于 2.5% 时，其受压钢筋的配筋截面面积不应小于受拉钢筋按

抗拉强度设计值换算的配筋截面面积的一半。

5.1.9 预应力混凝土平板，柱上板带板端截面按本标准公式(3.1.9)计算的预应力强度比 λ ，采用预应力钢筋时，对板柱结构、板柱-框架结构和板柱-支撑结构， λ 不应大于0.75，对板柱-抗震墙结构， λ 不应大于0.80；采用无粘结预应力纤维增强复合材料筋时， λ 不应大于0.5。

5.1.10 沿两个主轴方向通过柱截面的连续预应力筋及板底非预应力钢筋，应符合下列规定：

1 沿两个主轴方向通过柱截面的连续预应力筋及板底非预应力钢筋应符合下式规定：

$$f_{py}A_p + f_yA_s \geq N_G \quad (5.1.10)$$

式中： A_s ——板底通过柱截面连续非预应力钢筋总截面面积(mm^2)；

A_p ——板中通过柱截面连续预应力筋总截面面积(mm^2)；

f_y ——非预应力钢筋的抗拉强度设计值(N/mm^2)；

f_{py} ——预应力筋的抗拉强度设计值(N/mm^2)，对无粘结预应力混凝土平板，应取用无粘结预应力筋的应力设计值 σ_{pi} ；

N_G ——在本层楼板重力荷载代表值作用下的柱轴向压力设计值(N)，8度时宜计入竖向地震作用，重力荷载代表值的确定应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定执行。

2 连续预应力筋应布置在板柱节点上部，呈下凹进入板跨中。

3 板底连续非预应力钢筋应布置在板柱节点下部及预应力筋的下方，板底连续纵向普通钢筋的连接位置，宜在距柱面1.15倍受拉钢筋锚固长度 l_a 与2倍板厚的较大值以外，且宜避开板底受拉区范围。受拉钢筋锚固长度 l_a 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定取用。

5.1.11 板柱-抗震墙结构、板柱-支撑结构、板柱-框架结构及板柱结构中，抗震墙、柱与支撑的抗震构造措施除应符合本章规定外，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

5.2 计算要求

5.2.1 在竖向荷载作用下，板柱的内力可采用等代框架法按下列规定计算：

1 等代框架的计算宽度，可取垂直于计算跨度方向的两个相邻平板中心线的间距；

2 有柱帽的等代框架的板梁、柱的线刚度可按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定确定；

3 纵向和横向每个方向的等代框架均应承担全部作用荷载；

4 宜考虑活荷载的不利布置。

5.2.2 板柱-抗震墙结构在地震作用下，可按多连杆联系的总抗震墙和总等代框架协同工作的计算图形或有限元法等更精确的方法计算内力和位移。

5.2.3 在地震作用下，板柱的内力及位移应沿两个主轴方向分别进行计算，地震作用产生的内力，应组合到柱上板带上。当柱网较为规则、板面无大的集中荷载和大开孔时，可采用等代框架法进行内力计算，等代梁的板宽取值宜符合本标准第 5.2.4 条的规定。柱网不规则或板面承受大的集中荷载和大开孔时，宜采用有限单元法进行内力和位移计算。

5.2.4 在地震作用下，等代框架梁的计算宽度宜取下列公式计算结果的较小值：

$$b_y = (l_{ax} + b_d)/2 \quad (5.2.4-1)$$

$$b_y = \frac{3}{4}l_{ay} \quad (5.2.4-2)$$

式中： b_y ——y 向等代框架梁的计算宽度（mm）；

l_{ax} 、 l_{ay} ——等代梁的计算跨度 (mm)；

b_d ——平托板或柱帽的有效宽度 (mm)，当无平托板时，取 0。

5.2.5 板柱-抗震墙结构抗震计算应符合下列规定：

1 房屋高度大于 12m 时，抗震墙应承担结构的全部地震作用；房屋高度不大于 12m 时，抗震墙宜承担结构的全部地震作用；

2 各层板柱和框架除应满足计算要求外，尚应能承担不少于该层相应方向地震剪力的 20%。

5.2.6 板柱-支撑结构中采用普通钢支撑时，混凝土板柱部分承担的地震作用，应分别按板柱结构和板柱-支撑结构计算，配筋应取二者较大值。

5.2.7 由地震作用在板支座处产生的弯矩应与按本标准第 5.2.4 条所规定的等代框架梁宽度上的竖向荷载弯矩相组合，承受该弯矩所需全部钢筋应设置在该柱上板带中，且其中不少于 50% 的钢筋应配置在暗梁中；由弯矩传递的部分不平衡弯矩应由暗梁受弯传递。

5.2.8 板柱节点在竖向荷载和地震作用下的冲切计算，应考虑由板柱节点冲切破坏面上的剪应力传递一部分不平衡弯矩。其受冲切承载力计算中所用的等效集中反力设计值 $F_{l,eq}$ ，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行，由地震作用的不平衡弯矩在板柱节点处引起的集中反力值应乘以增大系数，对一级、二级、三级抗震等级板柱节点，其增大系数应分别取为 1.7、1.5 和 1.3。

5.2.9 板柱节点的受冲切承载力计算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；配置锚栓、型钢剪力架加强的板柱节点的受冲切承载力计算，应按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定执行。

5.2.10 板柱结构、板柱-框架结构及板柱-支撑结构中，底层框架柱下端截面考虑地震作用的组合弯矩设计值应乘以增大系数。

对一级、二级、三级抗震等级的底层框架柱，增大系数应分别取为 1.7、1.5、1.3。底层柱纵向钢筋应按上下端的不利情况配置。

5.2.11 板柱结构、板柱-框架结构及板柱-支撑结构中，柱端组合的弯矩设计值应符合下式规定：

$$\sum M_c = \eta_c \sum M_b \quad (5.2.11)$$

式中： $\sum M_c$ ——节点上、下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和（N·mm），上、下柱端的弯矩设计值可按弹性分析分配；

$\sum M_b$ ——节点左、右等代梁端截面反时针或顺时针方向组合的弯矩设计值之和（N·mm）；

η_c ——柱端弯矩增大系数，对一级、二级、三级抗震等级的柱可分别取为 1.7、1.5、1.3。

5.2.12 对板柱结构、板柱-框架结构及板柱-支撑结构，水平地震作用下的扭转偶联地震效应计算及对角柱调整后组合弯矩设计值、剪力设计值乘以增大系数的要求等均应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关规定执行。

5.2.13 板柱-抗震墙结构、板柱-支撑结构、板柱-框架结构及板柱结构应进行多遇地震作用下结构变形验算，楼层弹性层间位移角限值应符合本标准表 3.1.7 的规定；设防烈度为 8 度时的板柱结构、板柱-框架结构以及高度大于 15m 的板柱-抗震墙和板柱-支撑结构，应进行罕遇地震作用下的结构变形验算，验算时可采用静力弹塑性方法或弹塑性时程分析方法，楼层弹塑性层间位移角限值应符合本标准表 3.1.8 的规定。

5.2.14 板柱-抗震墙结构、板柱-支撑结构、板柱-框架结构及板柱结构中，抗震墙与柱的受剪截面要求及考虑抗震等级的剪力设计值和斜截面受剪承载力计算，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。

6 预应力装配式混凝土框架结构

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于预应力装配整体式混凝土框架结构和无粘结预应力全装配混凝土框架结构。

6.1.2 除本章规定外，预应力装配整体式混凝土框架结构可按预应力现浇混凝土框架结构进行设计；无粘结预应力全装配混凝土框架结构的设计应符合本标准的有关规定。

6.1.3 预应力装配式混凝土框架结构中，预制柱的纵向钢筋连接宜采用套筒灌浆连接。

6.1.4 建筑平面应简单、规则、对称，质量与刚度分布宜均匀。结构竖向构件布置宜上下连续，应避免抗侧力构件的侧向刚度和承载力沿竖向突变。

6.1.5 在竖向荷载和多遇地震作用下，无粘结预应力全装配混凝土框架结构可采用与现浇混凝土结构相同的方法进行内力分析，并应考虑次内力的影响。结构承载能力极限状态和正常使用极限状态的作用效应分析应采用弹性分析方法，重力荷载作用下的框架梁跨中弯矩应放大，按照梁端弯矩调整系数为 0.8 计算。在罕遇地震作用下，计算薄弱层或薄弱部位弹塑性变形时，可采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析法等。

6.1.6 无粘结预应力全装配混凝土框架结构的作用和作用组合尚应根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 等确定。

6.2 预应力装配整体式混凝土框架结构

6.2.1 预应力装配整体式混凝土框架结构中，预应力混凝土叠合梁应符合下列规定：

1 预应力混凝土叠合梁的高宽比不宜大于 4；梁高宜取计算跨度的 $1/12 \sim 1/22$ ，净跨与截面高度之比不应小于 4。

2 预应力混凝土叠合梁的后浇混凝土叠合层厚度不宜小于 150mm。

3 预应力混凝土叠合梁的纵向钢筋应伸入后浇节点区内锚固或连接，并应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的相关规定。

4 预应力筋宜采用曲线布筋形式，可采用有粘结预应力筋或部分粘结预应力筋。当采用部分粘结预应力筋时，无粘结段宜设置在节点核心区附近，无粘结段长度宜取为节点核心区及两侧梁端各 1 倍梁高范围；无粘结段预应力筋的外包层材料及防腐层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 的有关规定。

5 预应力混凝土叠合梁应进行施工阶段验算。

6 节点核心区的预应力孔道应与预制梁中的孔道可靠连接。

6.2.2 混凝土叠合梁端竖向接缝受剪承载力应按下列公式计算：

1 持久设计状况：

$$V_u = 0.07f_c A_{cl} + 0.10f_c A_k + 0.05N_{pe} + 1.65A_{sd} \sqrt{f_c f_y} \quad (6.2.2-1)$$

2 地震设计状况：

$$V_{uE} = 0.04f_c A_{cl} + 0.06f_c A_k + 0.05N_{pe} + 1.65A_{sd} \sqrt{f_c f_y} \quad (6.2.2-2)$$

式中： A_{cl} ——叠合梁端截面后浇混凝土叠合层截面面积 (mm^2)；

f_c ——预制构件或后浇混凝土轴心抗压强度设计值较低值 (N/mm^2)；

f_y ——垂直穿过结合面钢筋的抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

A_k ——各键槽的根部截面面积 (图 6.2.2) 之和

(mm^2)，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非预应力钢筋的截面面积 (mm^2)，包括叠合层内的纵向钢筋。

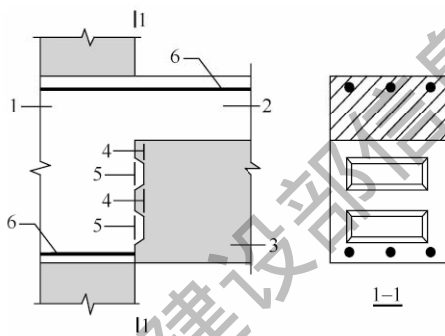


图 6.2.2 叠合梁端部受剪承载力计算参数示意

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

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

1 当柱受压时：

$$V_{\text{uE}} = 0.8N + 1.65A_{\text{sd}} \sqrt{f_c f_y} \quad (6.2.3-1)$$

2 当柱受拉时：

$$V_{\text{uE}} = 1.65A_{\text{sd}} \sqrt{f_c f_y \left(1 - \left(\frac{N}{A_{\text{sd}} f_y} \right)^2 \right)} \quad (6.2.3-2)$$

式中： f_c ——预制构件混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2)；

f_y ——垂直穿过结合面钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

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

A_{sd} ——垂直穿过结合面所有钢筋的截面面积 (mm^2)；

V_{uE} ——地震设计状况下接缝受剪承载力 (N)。

6.2.4 预应力装配整体式混凝土框架结构的其他构造设计,除应符合本标准第4章的相关规定外,尚应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1的相关规定。

6.3 无粘结预应力全装配混凝土框架结构

I 计算要求

6.3.1 无粘结预应力全装配混凝土框架结构的承载力应采用下列设计表达式进行验算:

$$\text{持久、短暂设计状况: } \gamma_0 S \leq R / \gamma_{Rd} \quad (6.3.1-1)$$

$$\text{地震设计状况: } \gamma_0 S \leq R / \gamma_{RE} \quad (6.3.1-2)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数。在持久设计状况和短暂设计状况

下,对安全等级为一级、二级的结构构件,应分别取不小于1.1、1.0;对地震设计状况下应取1.0。

对参与组合的预应力作用效应项,当预应力作用效应对承载力有利时,结构重要性系数 γ_0 应取1.0;

S ——作用组合的效应设计值,对持久设计状况和短暂设计状况应按作用的基本组合计算;对地震设计状况应按作用的地震组合计算;

R ——结构构件承载力设计值;

γ_{Rd} ——结构构件的抗力模型不定性系数,静力设计应取为1.0;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,应按本标准第3.2.7条的规定取用。

6.3.2 无粘结预应力全装配混凝土框架的预制混凝土梁在梁柱结合面处受弯承载力应按下列基本假定进行计算:

1 截面变形应保持平面。

2 耗能钢筋的应力应按下列规定取用:

当 $0 \leq \epsilon_s \leq f_{yk}/E_s$ 时:

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \quad (6.3.2-1)$$

当 $f_{yk}/E_s < \epsilon_s < 0.075$ 时:

$$\sigma_s = f_{yk} + \left(\frac{f_{stk} - f_{yk}}{0.075 - f_{yk}/E_s} \right) \cdot \left(\epsilon_s - \frac{f_{yk}}{E_s} \right) \quad (6.3.2-2)$$

式中: σ_s —— 耗能钢筋应变为 ϵ_s 时的拉应力 (N/mm^2);

E_s —— 耗能钢筋的弹性模量 (N/mm^2);

f_{yk} —— 耗能钢筋屈服强度标准值 (N/mm^2);

f_{stk} —— 耗能钢筋极限强度标准值 (N/mm^2)。

3 无粘结预应力筋的应力取值应符合下列规定:

当 $0 \leq \epsilon_p \leq 0.9f_{ptk}/E_p$ 时:

$$\sigma_p = E_p \epsilon_p \quad (6.3.2-3)$$

当 $0.9f_{ptk}/E_p < \epsilon_p < 0.02$ 时:

$$\sigma_p = 0.9f_{ptk} + \left(\frac{0.05f_{ptk}}{0.02 - 0.9f_{ptk}/E_p} \right) \cdot \left(\epsilon_p - \frac{0.9f_{ptk}}{E_p} \right) \quad (6.3.2-4)$$

式中: σ_p —— 无粘结预应力筋应变为 ϵ_p 时的拉应力 (N/mm^2);

E_p —— 无粘结预应力筋的弹性模量 (N/mm^2);

f_{ptk} —— 无粘结预应力筋极限强度标准值 (N/mm^2)。

6.3.3 无粘结预应力全装配混凝土框架的预制混凝土梁在梁柱结合面处受弯承载力 M 应按下列公式计算 (图 6.3.3):

$$M = M_s + M_p \quad (6.3.3-1)$$

$$M_s = A_s f_y \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) - A'_s f'_y \left(a'_s - \frac{x}{2} \right) \quad (6.3.3-2)$$

$$M_p = A_p \sigma_p \left(\frac{h - x}{2} \right) \quad (6.3.3-3)$$

$$x = \frac{A_p \sigma_p + A_s f_y - A'_s f'_y}{b \alpha_1 f_c} \quad (6.3.3-4)$$

式中: M_s —— 耗能钢筋在结合面处贡献的受弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

M_p —— 无粘结预应力筋在结合面处贡献的受弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

M —— 结合面处受弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

- x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度 (mm), 小于 $2a'_s$ 时, 应取为 $2a'_s$;
- σ_p ——无粘结预应力筋的应力 (N/mm^2), 取为 $(\sigma_{pe} + 100) \text{ N}/\text{mm}^2$;
- b ——预制混凝土梁截面宽度 (mm);
- α_1 ——系数, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取值;
- a'_s ——耗能受压钢筋到梁截面受压边缘的距离 (mm);
- f_c ——预制构件混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2);
- A_s ——穿过结合面的受拉耗能钢筋面积 (mm^2);
- A'_s ——穿过结合面的受压耗能钢筋面积 (mm^2);
- f_y ——穿过结合面的耗能钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2);
- f'_y ——穿过结合面的耗能钢筋抗压强度设计值 (N/mm^2)。

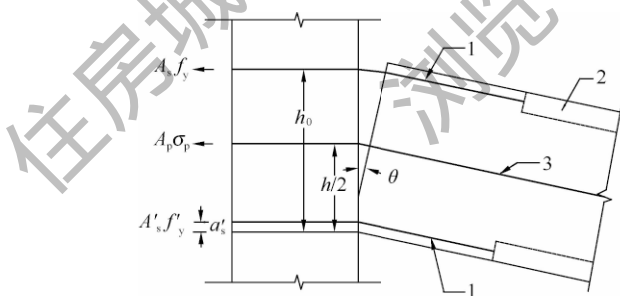


图 6.3.3 梁柱结合面受弯承载力计算示意

1—耗能钢筋; 2—导槽; 3—无粘结预应力筋

6.3.4 梁端竖向结合面受剪承载力应按下列公式计算:

1 持久设计状态:

$$V_u = \mu \psi A_p \sigma_{pe} \quad (6.3.4-1)$$

2 地震设计状态:

$$V_{uE} = \mu \psi F_c \quad (6.3.4-2)$$

$$F_c = A_s f_y - A'_s f'_y + A_p \sigma_p \quad (6.3.4-3)$$

式中： A_p ——穿过结合面的无粘结预应力筋总截面面积（ mm^2 ）；

F_c ——结合面混凝土界面产生的压力（N）；

σ_{pe} ——无粘结预应力筋的有效预应力（ N/mm^2 ）；

μ ——摩擦系数，取为 0.6；

A_s ——穿过结合面的受拉耗能钢筋截面面积（ mm^2 ）；

A'_s ——穿过结合面的受压耗能钢筋截面面积（ mm^2 ）；

f_y ——穿过结合面的耗能钢筋抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）；

f'_y ——穿过结合面的耗能钢筋抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；

σ_p ——无粘结预应力筋的应力（ N/mm^2 ），取为（ $\sigma_{pe} + 100$ ） N/mm^2 ；

ϕ ——折减系数，取为 0.75。

6.3.5 预应力筋张拉控制应力应由设计确定且不应小于 $0.4f_{ptk}$ ，预应力筋的有效预应力尚应符合下式规定：

$$\sigma_{pe} \leq 0.90f_{ptk} - E_p \epsilon_{pt} \quad (6.3.5)$$

式中： f_{ptk} ——无粘结预应力筋极限强度标准值（ N/mm^2 ）；

E_p ——无粘结预应力筋的弹性模量（ N/mm^2 ）；

ϵ_{pt} ——无粘结预应力筋在结合面缝隙张开时的附加应变，可按本标准第 6.3.6 条计算，计算时结合面转动角度 θ 应取为 0.02。

6.3.6 位移极限状态下，耗能钢筋应变 ϵ_s 和无粘结预应力筋在结合面缝隙张开时的附加应变 ϵ_{pt} 应根据平面变形假定按下列公式计算（图 6.3.6）：

$$\epsilon_s = \frac{\Delta_s}{L_u + \alpha_b d_b} \quad (6.3.6-1)$$

$$\epsilon_{pt} = \frac{m\Delta_{pt}}{L_{ups}} \quad (6.3.6-2)$$

$$\Delta_s = \theta(h_0 - x_0) \quad (6.3.6-3)$$

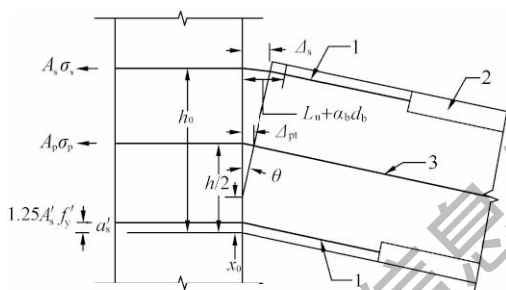


图 6.3.6 梁柱交界面的变形示意

1—耗能钢筋；2—导槽；3—无粘结预应力筋

$$\Delta_{pt} = \theta \left[\left(\frac{h}{2} \right) - x_0 \right] \quad (6.3.6-4)$$

$$x_0 = \left[\frac{A_p \sigma_p + A_s \sigma_s - 1.25 A'_s f'_y}{\alpha_1 \beta_1 b f_c} \right] \quad (6.3.6-5)$$

式中： m ——沿梁方向无粘结预应力筋长度范围内梁柱结合面开合缝隙数量；

L_{ups} ——预应力筋的无粘结长度（mm），后张预应力筋在锚具之间均为无粘结时， L_{ups} 可取锚具之间的距离；

θ ——结合面转动角度（rad）；

β_1 ——中和轴高度调整系数，混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 取为 0.80；混凝土强度等级为 C80 时， β_1 取为 0.74；其间按线性内插法确定；

Δ_s ——极限状态下耗能钢筋伸长值（mm）；

L_u ——邻近结合面处，耗能钢筋无粘结长度（mm）；

d_b ——耗能钢筋直径（mm）；

α_b ——耗能钢筋应变渗透系数，对 HRB400 和 HRB500 级钢筋，分别取为 4.0 和 5.0；

x_0 ——梁截面受压区高度（mm）；

h_0 ——耗能受拉钢筋到梁截面受压边缘的距离（mm）；

σ_p ——预应力筋的应力（N/mm²），应按本标准第 6.3.2

条计算；

σ_s —— 耗能钢筋的应力 (N/mm^2)，应按本标准第 6.3.2 条计算。

6.3.7 位移极限状态下，无粘结预应力全装配混凝土框架中，耗能钢筋应变 ϵ_s 和无粘结预应力筋的总应变 ϵ_p 应符合下列规定：

$$\epsilon_s \leq 0.065 \quad (6.3.7-1)$$

$$\epsilon_p \leq \epsilon_{pu} \quad (6.3.7-2)$$

$$\epsilon_p = \epsilon_{pe} + \epsilon_{pt} \quad (6.3.7-3)$$

式中： ϵ_s —— 耗能钢筋的应变，按本标准第 6.3.6 条计算，计算时结合面转动角度 θ 取为 0.035；

ϵ_{pu} —— 无粘结预应力筋应力达到 $0.95f_{stk}$ 时的应变；

ϵ_{pt} —— 无粘结预应力筋在结合面缝隙张开时的附加应变，按本标准第 6.3.6 条计算，计算时结合面转动角度 θ 应取为 0.035。

6.3.8 梁顶部和底部的耗能钢筋宜采用相同的强度等级和截面面积，截面面积 A_s 应符合下式规定：

$$A_s \geq \frac{V_{Gk} + V_{Qk}}{\psi f_{yk}} \quad (6.3.8)$$

式中： V_{Gk} —— 永久荷载标准值在结合面产生的剪力 (N)；

V_{Qk} —— 可变荷载标准值在结合面产生的剪力 (N)；

ψ —— 折减系数，取为 0.85。

6.3.9 极限状态下，无粘结预应力全装配混凝土框架梁柱结合面处，耗能钢筋的极限受弯承载力 M_{su} 和截面的极限受弯承载力 M_u 应符合下列规定：

$$0.3 \leq \frac{M_{su}}{M_u} \leq 0.5 \quad (6.3.9-1)$$

$$M_u = M_{su} + M_{pu} \quad (6.3.9-2)$$

$$M_{su} = A_s f_{stk} \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) - 1.25 A'_s f'_y \left(a'_s - \frac{x}{2} \right) \quad (6.3.9-3)$$

$$M_{pu} = A_p \sigma_p \left(\frac{h-x}{2} \right) \quad (6.3.9-4)$$

$$x = \frac{A_p \sigma_p + A_s f_{stk} - 1.25 A'_s f'_y}{b \alpha_1 f_c} \quad (6.3.9-5)$$

式中： M_{su} ——耗能钢筋的极限受弯承载力（N·mm）；

M_u ——截面的极限受弯承载力（N·mm）；

M_{pu} ——无粘结预应力筋的极限受弯承载力（N·mm）；

σ_p ——无粘结预应力筋的应力（N/mm²），可按本标准第 6.3.2 条计算，计算时 ϵ_p 取为耗能钢筋应变达到 0.075 时无粘结预应力筋的应变。

6.3.10 无粘结预应力全装配混凝土框架结构中，框架柱的承载力计算和构造要求除应符合现行行业标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的规定外，柱端弯矩设计值和柱剪力设计值尚应符合下列公式规定：

$$\sum M_c = 1.2 \sum M_u \quad (6.3.10-1)$$

$$V_c = 1.2 \frac{M_{cua}^t + M_{cua}^b}{H_n} \quad (6.3.10-2)$$

式中： $\sum M_c$ ——节点上、下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值之和（N·mm），上、下柱端的弯矩设计值，可按弹性分析分配；

$\sum M_u$ ——节点左、右梁端截面极限受弯承载力之和；

V_c ——框架柱的剪力设计值（N）；

M_{cua}^t 、 M_{cua}^b ——框架柱上、下端按实配钢筋截面面积和材料强度标准值，且考虑承载力抗震调整系数计算的正截面抗震受弯承载力所对应的弯矩值（N·mm）；

H_n ——柱的净高（mm）。

6.3.11 无粘结预应力全装配混凝土框架结构中，框架梁的承载力计算和构造要求除应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定外，其考虑地震组合的梁端剪力设计值 V_b 尚应符合下式规定：

$$V_b = 1.1 \frac{M_u^l + M_u^r}{l_n} + V_{Gb} \quad (6.3.11)$$

式中: V_b ——考虑地震组合的梁端剪力设计值 (N);

M_u^l 、 M_u^r ——框架梁左、右端截面极限受弯承载力 (N·mm);

l_n ——框架梁的净跨 (mm);

V_{Gb} ——考虑地震组合时重力荷载代表值产生的剪力设计值 (N), 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

6.3.12 无粘结预应力全装配混凝土框架应进行梁柱节点核心区抗震受剪承载力计算, 节点构造措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。在计算节点核心区截面抗震受剪承载力时, 节点核心区的截面有效计算宽度 b_j 应扣除预留孔道的宽度, 且不应计入正交梁的约束影响系数和预应力筋总有效预加力的影响。节点核心区的剪力设计值应符合下列公式规定:

$$\text{其他层节点: } V_j = \frac{1.15 \sum M_u}{h_{b0} - a'_s} \left(1 - \frac{h_{b0} - a'_s}{H_c - h_b} \right) \quad (6.3.12-1)$$

$$\text{顶层节点: } V_j = \frac{1.15 \sum M_u}{h_{b0} - a'_s} \quad (6.3.12-2)$$

式中: V_j ——梁柱节点核心区组合的剪力设计值 (N);

h_{b0} ——梁截面的有效高度 (mm), 节点两侧梁截面有效高度不等时可采用平均值;

a'_s ——梁受压钢筋合力点至受压边缘的距离 (mm);

H_c ——柱的计算高度 (mm), 可采用节点上、下柱反弯点之间的距离;

h_b ——梁的截面高度 (mm), 节点两侧梁截面高度不等时可采用平均值。

II 构造要求

6.3.13 楼、屋面的结构布置不对梁柱结合面处的承载力和刚度产生不利影响, 且不宜在梁柱结合面处引起扭转效应。

6.3.14 预制梁的配筋与构造 (图 6.3.14) 应符合下列规定:

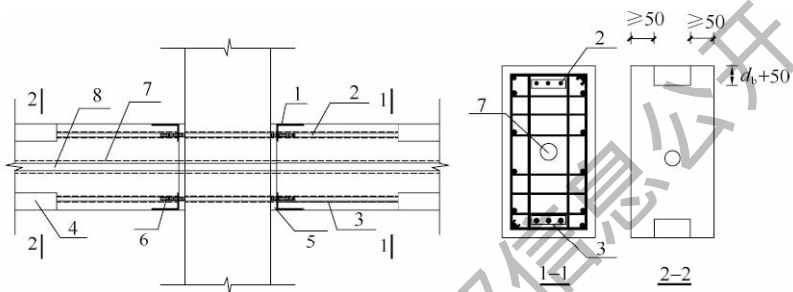


图 6.3.14 节点构造示意

- 1—预埋角钢；2—耗能钢筋；3—预埋管；4—导槽；5—接缝砂浆；
6—无粘结段；7—预应力孔道；8—无粘结预应力筋

1 后张无粘结预应力筋宜设置在梁截面的中心位置，单束预应力筋孔道应穿过梁的中轴线，双束预应力筋孔道应靠近并对称于梁的中轴线。

2 耗能钢筋应与预制梁钢筋搭接，并在预制梁预埋管中锚固，锚固长度 l_a 应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的搭接长度，且不应小于 $25d_b$ 。

3 预制梁中预埋管应与混凝土及管内灌浆料可靠锚固，其长度不宜小于 $1.2l_b$ 。

4 耗能钢筋应穿过柱且锚固于框架柱内，其直径不应大于框架柱截面高度 h_c 的 $1/25$ 。

5 后置导槽距梁边距离不应小于 50mm。

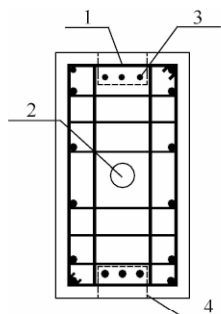


图 6.3.15 锚固区横向钢筋构造示意

6.3.15 耗能钢筋与预制梁钢筋搭接长度 范围内，应在截面上下部位分别设置封闭箍筋、螺旋箍筋或焊接钢筋网片等附加横向钢筋 (图 6.3.15)。穿过潜在劈裂破坏

- 1—附加横向钢筋；2—预应力孔道；3—耗能钢筋；
4—潜在劈裂破坏面

面的附加横向钢筋应分别按下列公式进行计算：

1 上部截面：

$$A_{sv}f_{yk} \geq 0.7A_s f_{stk} s_v / l_b \quad (6.3.15-1)$$

2 下部截面：

$$A_{sv}f_{yk} \geq 0.7A'_s f_{stk} s_v / l_b \quad (6.3.15-2)$$

式中： s_v ——耗能钢筋范围附加横向钢筋的间距（mm）；

f_{yk} ——附加横向钢筋的屈服强度标准值（N/mm²）；

A_{sv} ——配置在同一箍筋间距内，穿过潜在劈裂破坏面的附加横向钢筋全部截面面积（mm²）；

f_{stk} ——耗能钢筋的极限强度标准值（N/mm²）；

l_b ——耗能钢筋锚固长度（mm）。

6.3.16 梁柱结合面砂浆、耗能钢筋孔道灌浆和导槽锚固砂浆应采用补偿收缩水泥基灌浆料，灌浆料的性能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 的规定。结合面接缝砂浆宜掺加 0.1% 体积配筋率的纤维，砂浆厚度不得超过 30mm，砂浆的抗压强度应大于结合面混凝土的抗压强度，砂浆抗压强度标准试件尺寸应采用 100mm×100mm×100mm。

6.3.17 预制梁安装时，宜在梁底设置角钢托架，角钢托架应进行承载力验算。

6.3.18 无粘结预应力筋端部锚固区的承载力、构造及锚具防护要求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。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 5 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
- 6 《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》GB 50608
- 7 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 8 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
- 9 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92
- 10 《缓粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 387
- 11 《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161