

中华人民共和国行业标准

预应力混凝土结构 抗震设计规程

Specification for seismic design of
prestressed concrete structures

JGJ 140—2004

J 301—2004

2004 北 京

中华人民共和国行业标准

预应力混凝土结构抗震设计规程

Specification for seismic design of prestressed concrete structures

JGJ 140—2004

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2004年5月1日

中华人民共和国建设部 公 告

第 206 号

建设部关于发布行业标准 《预应力混凝土结构抗震设计规程》的公告

现批准《预应力混凝土结构抗震设计规程》为行业标准，编号为 JGJ 140—2004，自 2004 年 5 月 1 日起实施。其中，第 3.1.1、3.1.5、3.2.2、4.2.2、4.2.4 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
2004 年 1 月 29 日

前 言

根据建设部建标 [1992] 732 号文的要求，规程编制组经广泛的调查研究，开展专题研究，认真总结工程实践经验及震害经验，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，制定了本规程。

本规程的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语、符号；3. 抗震设计的一般规定；4. 预应力混凝土框架和门架；5. 预应力混凝土板柱结构。

本规程由建设部负责管理和对强制性条文的解释，由主编单位负责具体技术内容的解释。

本规程主编单位：中国建筑科学研究院（邮政编码：100013，地址：北京市北三环东路 30 号）

本规程参加单位：东南大学

中元国际工程设计研究院（原机械工业部
设计研究院）

北京市建筑设计研究院

浙江泛华设计院

本规程主要起草人：陶学康 吕志涛 张维斌 胡庆昌
韦承基 陈远椿 徐福泉 黄茂智
王 霓

目 次

1 总则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	2
3 抗震设计的一般规定	5
3.1 地震作用及结构抗震验算	5
3.2 设计的一般规定	8
3.3 材料及锚具	11
4 预应力混凝土框架和门架	13
4.1 一般规定	13
4.2 预应力混凝土框架梁	13
4.3 预应力混凝土框架柱	17
4.4 预应力混凝土框架节点	19
4.5 预应力混凝土门架结构	20
5 预应力混凝土板柱结构	22
5.1 设计的一般规定	22
5.2 计算要求	24
本规程用词说明	28
条文说明	29

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行地震工作以预防为主方针，使预应力混凝土建筑结构经抗震设防后，减轻其地震破坏，避免人员伤亡，减少经济损失，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度为 6 度至 8 度地区的现浇后张预应力混凝土框架和板柱等建筑结构的抗震设计；抗震设防烈度为 9 度地区的预应力混凝土结构，其抗震设计应有充分依据，并采取可靠措施。

1.0.3 预应力混凝土建筑结构的抗震设计，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 阻尼比 damping ratio

阻尼振动的实际阻力与产生临界阻尼所需阻力的比值。

2.1.2 轴压比 ratio of axial compressive force to axial compressive ultimate capacity of section under combination of earthquake action

混凝土柱考虑地震作用组合的轴向压力设计值与柱全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值；对预应力混凝土柱，取预应力作用参与组合的轴力设计值。

2.1.3 后张法有粘结预应力混凝土结构 post-tensioned bonded prestressed concrete structure

在混凝土硬结后，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。

2.1.4 无粘结预应力混凝土结构 unbonded prestressed concrete structure

配置带有涂料层和外包层的预应力筋而与混凝土相互不粘结的后张法预应力混凝土结构。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_y 、 f'_y ——普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

f_{py} ——预应力筋的抗拉强度设计值；

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值。

2.2.2 作用和作用效应

N ——柱考虑地震作用组合的轴向压力设计值；

V ——考虑地震作用组合的剪力设计值；

N_{pe} ——预应力筋的总有效预加力。

2.2.3 几何参数

A_s 、 A'_s ——受拉区、受压区非预应力钢筋截面面积；

A_p ——受拉区预应力筋截面面积；

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；

b ——矩形截面宽度、T形和I形截面的腹板宽度；

h ——截面高度；

h_0 ——截面有效高度；

h_p ——纵向受拉预应力筋合力点至梁截面受压边缘的有效距离；

h_s ——纵向受拉非预应力钢筋合力点至梁截面受压边缘的有效距离；

b_c 、 h_c ——柱截面宽度、高度；

b_j 、 h_j ——节点核心区的截面有效验算宽度、高度；

b_d ——平托板的有效宽度；

l_0 ——计算跨度；

x ——混凝土受压区高度；

l_{aE} ——纵向受拉钢筋考虑抗震要求的最小锚固长度；

s ——箍筋间距。

2.2.4 计算系数及其他

α ——水平地震影响系数值；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值；

γ_p ——预应力分项系数；

- γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
- ϵ_{apu} ——预应力筋-锚具组装件达到实测极限拉力时的总应变；
- η_a ——预应力筋-锚具组装件静载试验测得的锚具效率系数；
- λ ——预应力强度比；
- β_c ——混凝土强度影响系数；
- ρ ——纵向受拉钢筋配筋率；
- η_j ——正交梁的约束影响系数；
- λ_{Np} ——预应力混凝土柱的轴压比；
- T ——结构自振周期；
- T_g ——场地的特征周期。

3 抗震设计的一般规定

3.1 地震作用及结构抗震验算

3.1.1 建筑结构的抗震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分組和结构自振周期以及阻尼比确定。其水平地震影响系数最大值应按表 3.1.1-1 采用；特征周期应根据场地类别和设计地震分組按表 3.1.1-2 采用，计算 8、9 度罕遇地震作用时，特征周期应增加 0.05s。

- 注：1 周期大于 6.0s 的建筑物所采用的地震影响系数应专门研究；
2 已编制抗震设防区划的城市，应允许按批准的设计地震动参数采用相应的地震影响系数。

表 3.1.1-1 水平地震影响系数最大值

地震影响	6 度	7 度	8 度	9 度
多遇地震	0.04	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)	0.32
罕遇地震	—	0.50 (0.72)	0.90 (1.20)	1.40

注：括号中数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

表 3.1.1-2 特征周期值 (s)

设计地震分組	场 地 类 别			
	I	II	III	IV
第一组	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.35	0.45	0.65	0.90

3.1.2 以预应力混凝土框架结构、板柱-框架结构作为主要抗侧力体系的建筑物，其阻尼比应取 0.03，地震影响系数曲线（见图 3.1.2）的阻尼调整系数应按 1.18 采用，形状参数应符合

下列要求：

- 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，应取 $1.18\alpha_{\max}$ 。
- 3 曲线下降段，自特征周期至 5 倍特征周期区段，衰减指数应取 0.93。
- 4 直线下降段，自 5 倍特征周期至 6s 区段，地震影响系数 α 应按下式计算：

$$\alpha = [0.264 - 0.0225(T - 5T_g)]\alpha_{\max} \quad (3.1.2)$$

- 注：1 预应力混凝土板柱-框架结构指由预应力板柱结构与框架组成的结构；
- 2 当在框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构及板柱-剪力墙结构中，采用预应力混凝土梁或板时，仍应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取阻尼比为 0.05 的地震影响系数曲线，确定水平地震力。

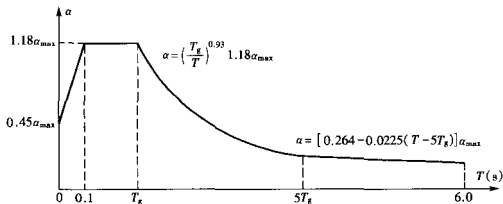


图 3.1.2 地震影响系数曲线

α —地震影响系数； α_{\max} —地震影响系数最大值；

T_g —特征周期； T —结构自振周期

3.1.3 8 度时跨度大于 24m 屋架、长悬臂和其他大跨度预应力混凝土结构的竖向地震作用标准值，宜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 3.1.3 采用。

表 3.1.3 竖向地震作用系数

结构类别	烈度	场地类别		
		I	II	III、IV
预应力混凝土屋架、长悬臂及其他大跨度预应力混凝土结构	8	0.10 (0.15)	0.13 (0.19)	0.13 (0.19)
注：括号内数值用于设计基本地震加速度为 0.30g 的地区。				

3.1.4 需采用时程分析法进行补充计算的预应力混凝土框架结构、板柱-框架结构，弹性计算时阻尼比可取 0.03。

3.1.5 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，应加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。

承载力抗震调整系数 γ_{RE} ，除另有规定外，应按表 3.1.5 取用。

表 3.1.5 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
局部受压部位	局部受压	1.00

3.1.6 当仅计算竖向地震作用时，各类预应力混凝土结构构件的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 均宜采用 1.0。

3.1.7 考虑地震作用组合的预应力混凝土框架节点核心区抗震受剪承载力，应按本规程第 4.4.1 条计算；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 有关条款的规定。

3.2 设计的一般规定

3.2.1 按本规程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 3.2.1 所规定的限值。对平面和竖向均不规则的结构或建造于Ⅳ类场地的结构或跨度较大的结构，适用的最大高度应适当降低。

表 3.2.1 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
框架结构	60	55	45
框架-剪力墙	130	120	100
部分框支剪力墙	120	100	80
框架-核心筒	150	130	100
板柱-剪力墙	40	35	30
板柱-框架结构	22	18	

注：1 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不考虑局部突出屋顶部分）；
2 框架-核心筒结构指周边稀柱框架与核心筒组成的结构；
3 部分框支剪力墙结构指首层或底部两层框支剪力墙结构；
4 板柱-框架结构指由预应力板柱结构与框架组成的结构；
5 乙类建筑可按本地区抗震设防烈度确定适用的最大高度；
6 超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

3.2.2 预应力混凝土结构构件的抗震设计，应根据设防烈度、结构类型、房屋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。丙类建筑的抗震等级应按本地区的设防烈度由表 3.2.2 确定。

3.2.3 抗震设防类别为甲、乙、丁类的建筑，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定调整设防烈度后，再按表 3.2.2 确定抗震等级。

表 3.2.2 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	
框架 结构	高度 (m)	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30
	框架	四	三	三	二	二	—
	剧场、体育馆 等大跨度公共建 筑中的框架	三		二		—	
框架-剪力 墙结构	高度 (m)	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60
	框架	四	三	三	二	二	—
部分框支剪 力墙结构	高度 (m)	≤ 80	> 80	≤ 80	> 80	≤ 80	> 80
	框支层框架	二		二	—	—	
框架-核心筒 结构	框架	三		二		—	
板柱-剪力 墙结构	板柱的柱及周边框架	三		二		—	
<p>注：1 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；</p> <p>2 剪力墙等非预应力构件的抗震等级应按钢筋混凝土结构的规定执行。</p>							

3.2.4 在框架-核心筒结构的周边框架柱间可采用预应力混凝土框架梁。

3.2.5 后张预应力框架、门架、转换层大梁宜采用有粘结预应力筋；当框架梁采用无粘结预应力筋时，应符合本规程第 3.2.7 条的规定。

3.2.6 分散配置预应力筋的板类结构及楼盖的次梁宜采用无粘结预应力筋。无粘结预应力筋不得用于承重结构的受拉杆件及抗震等级为一级的框架。

3.2.7 在地震作用效应和重力荷载效应组合下，当符合下列二款之一时，无粘结预应力筋可在二、三级框架梁中应用；当符合

第 1 款时, 无粘结预应力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, 不应少于组合弯矩设计值的 65%; 或仅用于满足构件的挠度和裂缝要求;

2 设有剪力墙或筒体, 且在基本振型地震作用下, 框架承担的地震倾覆力矩小于总地震倾覆力矩的 35%。

注: 符合第 1 款要求采用无粘结预应力筋的二、三级框架结构, 可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中对钢筋混凝土框架的要求进行抗震设计; 符合第 2 款要求的二、三级无粘结预应力混凝土框架应按本规程第 4 章要求进行抗震设计。

3.2.8 在框架-剪力墙结构、剪力墙结构及框架-核心筒结构中采用的预应力混凝土楼板, 除结构平面布置应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关规定外, 尚应符合下列规定:

1 柱支承预应力混凝土平板的厚度不宜小于跨度的 $1/40 \sim 1/45$, 周边支承预应力混凝土板厚度不宜小于跨度的 $1/45 \sim 1/50$, 且其厚度分别不应小于 200mm 及 150mm;

2 在核心筒四个角部的楼板中, 应设置扁梁或暗梁与外柱相连接, 其余外框架柱处亦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, 应设置附加钢筋混凝土暗梁或边梁, 予以加强;

4 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 0.75。

$$\lambda = \frac{f_{py} A_p h_p}{f_{py} A_p h_p + f_y A_s h_s} \quad (3.2.8)$$

注: 1 对无粘结预应力混凝土平板, 公式 (3.2.8) 中的 f_{py} 应取用无粘结预应力筋的应力设计值 σ_{pu} ;

2 对周边支承在梁、墙上的预应力混凝土平板可不受上述预应力强度比的限制。

3.2.9 对无粘结预应力混凝土单向多跨连续板, 在设计中宜将

无粘结预应力筋分段锚固，或增设中间锚固点，并按国家现行标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 中有关规定，配置非预应力钢筋。

3.2.10 后张预应力筋的锚具不宜设置在梁柱节点核心区，并应布置在梁端箍筋加密区以外。

注：当有试验依据、或其他可靠的工程经验时，可将锚具设置在节点区，但应合理处理箍筋布置问题，必要时应考虑锚具对受剪截面产生削弱的不利影响。

3.2.11 四级抗震等级预应力混凝土框架的抗震计算和构造措施，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 结构材料性能指标，除本规程各章有特别规定外，应符合下列要求：

1 预应力混凝土框架构件的混凝土强度等级不宜低于 C40，平板及其他构件不应低于 C30；

2 预应力筋宜采用预应力钢绞线、钢丝，也可采用热处理钢筋；

3 非预应力纵向受力钢筋宜采用 HRB335、HRB400 级热轧钢筋，箍筋宜选用 HRB335、HRB400、HPB235 级热轧钢筋。

3.3.2 预应力筋-锚具组装件的锚固性能，应符合下列规定：

1 锚具的静载锚固性能应同时符合下列要求：

$$\eta_a \geq 0.95 \quad (3.3.2-1)$$

$$\epsilon_{apu} \geq 2.0\% \quad (3.3.2-2)$$

式中 η_a ——预应力筋-锚具组装件静载试验测得的锚具效率系数；

ϵ_{apu} ——预应力筋-锚具组装件达到实测极限拉力时的总应变。

2 预应力筋-锚具组装件的抗震周期荷载试验，应满足上限取预应力钢材抗拉强度标准值 f_{ptk} 的 80%、下限取预应力钢材抗拉强度标准值 f_{ptk} 的 40%、经 50 次循环荷载后预应力筋在锚具夹持区域不发生破断。

4 预应力混凝土框架和门架

4.1 一般规定

4.1.1 本章适用于预应力混凝土框架结构，框架-剪力墙结构和框架-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设计为具备良好的变形能力和消耗地震能量能力的延性框架，其组成构件应避免剪切先于弯曲破坏，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，应符合下列各项要求：

1 截面的宽度不宜小于 250mm；

2 截面高度与宽度的比值不宜大于 4；

3 梁高宜在计算跨度的 (1/12 ~ 1/22) 范围内选取，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，考虑受压钢筋的截面混凝土受压区高度应符合下列要求：

一级抗震等级 $x \leq 0.25h_0$ (4.2.2-1)

二、三级抗震等级 $x \leq 0.35h_0$ (4.2.2-2)

且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应大于 2.5% (HRB400 级钢筋) 或 3.0% (HRB335 级钢筋)。

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，框架结构梁端截面按本规程 (3.2.8) 式计算的预应力强度比 λ 应符合下列要求：

一级抗震等级 $\lambda \leq 0.60$ (4.2.3-1)

二、三级抗震等级 $\lambda \leq 0.75$ (4.2.3-2)

注：对框架-剪力墙或框架-核心筒结构中的后张有粘结预应力混凝土

框架，其 λ 限值对一级抗震等级和二、三级抗震等级可分别增大 0.1 和 0.05。

4.2.4 预应力混凝土框架梁端截面的底面和顶面纵向非预应力钢筋截面面积 A'_s 和 A_s 的比值，除按计算确定外，尚应满足下列要求：

$$\text{一级抗震等级} \quad \frac{A'_s}{A_s} \geq \frac{0.5}{1-\lambda} \quad (4.2.4-1)$$

$$\text{二、三级抗震等级} \quad \frac{A'_s}{A_s} \geq \frac{0.3}{1-\lambda} \quad (4.2.4-2)$$

且梁底面纵向非预应力钢筋配筋率不应小于 0.2%。

4.2.5 在与板整体浇筑的 T 形和 L 形预应力混凝土框架梁中，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 4 倍板厚范围内板内钢筋；

2 在内柱处，当没有横向框架梁时，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，当没有横梁时，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% 穿过柱子或锚固于柱内；当纵向钢筋由重力荷载效应组合控制时，则仅应考虑地震作用组合的纵向钢筋的 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距加腋区端部 1.5 倍梁高；

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 倍箍筋直径的较大值。

4.2.7 对现浇混凝土框架，当采用预应力混凝土扁梁时，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，其截面尺寸应符合下列要求，并应满足现行有关规范对挠度和裂缝宽度的规定：

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

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

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

式中 b_c ——柱截面宽度；

b_b 、 h_b ——分别为梁截面宽度和高度；

d ——柱纵筋直径。

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 应采用现浇楼板，扁梁中线宜与柱中线重合，且应双向布置；梁宽大于柱宽的扁梁不得用于一级框架结构。

2 梁柱节点应符合下列要求：

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) 按本规程式 (4.4.1-1) 验算核心区剪力限值时，核心区有效宽度可取梁宽与柱宽之和的平均值；

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) 按本规程式 (4.4.1-2) 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相同；柱宽

以外的核心区，可不考虑轴力对受剪承载力的有利作用；

5) 预应力筋宜布置在柱宽范围内。

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 $b+h$ 范围内长度和自梁边算起 l_{aE} 中的较大值（图 4.2.8a）；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；

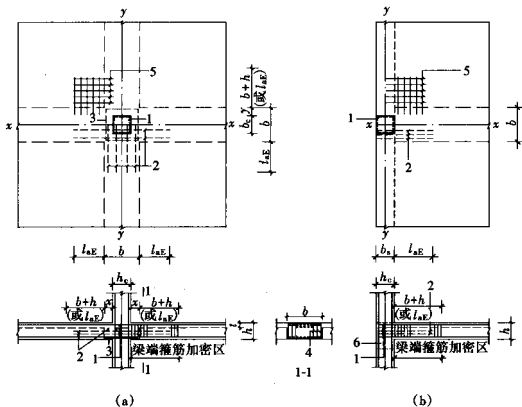


图 4.2.8 扁梁柱节点的配筋构造

(a) 中柱节点；(b) 边柱节点

1—柱内核心区箍筋；2—核心区附加腰筋；3—柱外核心区附加水平箍筋；

4—拉筋；5—板面附加钢筋网片；6—边梁

2) 对于柱内节点核心区的配箍量及构造要求同普通框架；对于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（图 4.2.8a）；对于扁梁边柱节点核心区，也可配置附加腰筋

(图 4.2.8b);

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。

4.2.9 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,除在设防烈度为 8 度时应考虑竖向地震作用外,尚应符合下列规定:

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规程第 4.2.2 条的规定,预应力强度比 λ 应符合本规程第 4.2.3 条的规定;悬臂梁梁底和梁顶非预应力钢筋截面面积的比值应符合本规程第 4.2.4 条的规定;

2 悬臂构件加强段指自根部算起 $1/4$ 跨长,截面高度 $2h$ 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 75% 以上情况,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

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,对二、三级抗震等级的框架边柱,其柱端弯矩增大系数 η_c 二级应取 1.4,三级应取 1.2。

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)计算的轴压比宜符合表 4.3.3 的规定。

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

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_{pe} ——作用于框架柱预应力筋的总有效预加力；

A ——柱截面面积；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值。

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
框架结构、板柱-框架结构	0.6	0.7	0.8
框架-剪力墙、框架-核心筒、板柱-剪力墙	0.75	0.85	0.95

注：1 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；
 2 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，且螺距不大于 100mm、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，且螺距不大于 80mm、肢距不大于 200mm、直径不小于 10mm 时，轴压比限值均可按表中数值增加 0.10；采用上述三种箍筋时，均应按所增大的轴压比确定其箍筋配箍特征值 λ_v 。

4.3.4 在地震作用组合下，当采用对称配筋的框架柱中全部纵向受力普通钢筋配筋率大于 5% 时，可采用预应力混凝土柱，其纵向受力钢筋的配置，可采用非对称配置预应力筋的配筋方式，即在截面受拉较大的一侧采用预应力筋和非预应力钢筋的混合配筋，另一侧仅配置非预应力钢筋。

4.3.5 预应力混凝土框架柱的截面配筋应符合下列规定：

1 预应力混凝土框架柱纵向非预应力钢筋的最小配筋率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关钢筋混凝土受压构件纵向受力钢筋最小配筋百分率的规定；

2 预应力混凝土框架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%；

3 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。

4.3.6 预应力混凝土框架柱柱端加密区配箍要求不低于普通钢筋混凝土框架柱的要求；对预应力混凝土框架结构，其柱的箍筋应沿柱全高加密。

4.3.7 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，可将框架柱中的纵向受力主筋和横向箍筋兼作间接钢筋网片。

4.4 预应力混凝土框架节点

4.4.1 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：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.30\beta_c \eta_j f_c b_j h_j) \quad (4.4.1-1)$$

式中 V_j ——梁柱节点核心区考虑地震作用组合的剪力设计值；
 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 有关规定取值；

η_j ——正交梁的约束影响系数，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框架梁高度的3/4，可采用1.5，其他情况均采用1.0；

b_j ——节点核心区的截面有效验算宽度，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关规定取值；

h_j ——节点核心区的截面高度，可采用验算方向的柱截面高度；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，可采用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

筋从一个方向或两个方向穿过节点核心区，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，应按下列公式计算：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[1.1 \eta_j f_t b_j h_j + 0.05 \eta_j N \frac{b_j}{b_c} + f_{yv} \frac{A_{svj}}{s} (h_{b0} - a'_s) + 0.4 N_{pe} \right] \quad (4.4.1-2)$$

式中 b_c ——验算方向的柱截面宽度；

N ——对应于考虑地震作用组合剪力设计值的上柱组合轴向压力较小值，其取值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 $N = 0$ ，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；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

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；

s ——箍筋间距；

h_{b0} ——梁截面有效高度，节点两侧梁截面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；

N_{pe} ——作用在节点核心区预应力筋的总有效预加力。

在公式 (4.4.1-1) 和 (4.4.1-2) 中，当确定 b_j 、 h_j 值时，尚应考虑预应力孔道削弱核心区截面有效面积的影响。

4.5 预应力混凝土门架结构

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

4.5.2 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 范围和横梁自节点加腋边缘向跨中延伸 2 倍横梁高 h 范围，以及节点区域应采用矩形截面。

4.5.3 跨度大于 24m 的预应力混凝土门架应按本规程第 3.1.2 条要求考虑竖向地震作用。

4.5.4 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。

4.5.5 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。加密箍筋宜按本规程第 4.2.6 条要求配置。

4.5.6 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要求：

1 门架立柱箍筋加密区位置应符合下列要求：

1) 柱上端区域，取截面高度和 1000mm，1/4 柱净高的最大值；

2) 底部受约束的柱根，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，取节点上、下各 1 倍柱高 h_c ；

4) 有牛腿的门架，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要求：

1) 6 度和 7 度 I、II 类场地，箍筋肢距不大于 300mm，直径不小于 8mm；

2) 7 度 III、IV 类场地和 8 度，箍筋肢距不大于 200mm，直径不小于 10mm。

4.5.7 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 设计的一般规定

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-剪力墙结构、板柱-框架结构。

5.1.2 当设防烈度为8度时应采用板柱-剪力墙结构；6度、7度时宜采用板柱-剪力墙结构、板柱-框架结构，其剪力墙、柱的抗震构造应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。当采用板柱-框架结构时，其单列柱数不得少于3根，房屋高度应按表3.2.1取用，且应符合下列规定：

1 结构周边和楼、电梯洞口周边应采用有梁框架；沿楼板洞口宜设置边梁；

2 当楼板长宽比大于2时，或长度大于32m时，应设置框架结构；

3 在基本振型地震作用下，板柱结构承受的地震剪力应小于结构总地震剪力的50%；

4 板柱的柱及框架的抗震等级，对6度、7度应分别采用三级、二级，并应符合相应的计算和构造措施要求。

5.1.3 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（包括板厚）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。

5.1.4 预应力混凝土板柱-剪力墙结构和板柱-框架结构中的后张平板，柱上板带截面承载力计算中，板端混凝土受压区高度应符合下列要求：

$$8 \text{ 度设防烈度} \quad x \leq 0.25 h_0 \quad (5.1.4-1)$$

$$6 \text{ 度、7 度设防烈度} \quad x \leq 0.35 h_0 \quad (5.1.4-2)$$

且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%。

5.1.5 在预应力混凝土板柱-剪力墙结构和板柱-框架结构中的后张平板，柱上板带板端截面按本规程（3.2.8）式计算的预应力强度比 λ 应符合下列要求：

$$\lambda \leq 0.75 \quad (5.1.5)$$

5.1.6 沿两个主轴方向通过内节点柱截面的连续预应力筋及板底非预应力钢筋，应符合下列要求：

1 沿两个主轴方向通过内节点柱截面的连续钢筋的总截面面积，应符合下式要求：

$$f_{py} A_p + f_y A_s \geq N_G \quad (5.1.6)$$

式中 A_s ——板底通过柱截面连续非预应力钢筋总截面面积；

A_p ——板中通过柱截面连续预应力筋总截面面积；

f_y ——非预应力钢筋的抗拉强度设计值；

f_{py} ——预应力筋的抗拉强度设计值，对无粘结预应力混凝土平板，应取用无粘结预应力筋的抗拉强度设计值 σ_{pu} ；

N_G ——在该层楼板重力荷载代表值作用下的柱轴压力。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 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 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，宜在距柱面为 2 倍纵向钢筋锚固长度以外搭接，且钢筋端部宜有垂直于板面的弯钩（图 5.1.6）。

5.1.7 板柱-框架结构柱的箍筋应沿全高加密；板柱-剪力墙结构应布置成双向抗侧力体系，两个主轴方向均应设置剪力墙；其屋盖及地下一层顶板，宜采用梁板结构。

5.1.8 后张预应力混凝土板柱-剪力墙结构的周边应设置框架梁，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

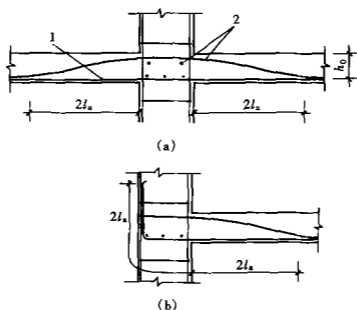


图 5.1.6 通过柱截面的钢筋

(a) 内柱; (b) 边柱

1—非预应力钢筋; 2—预应力筋

应大于 150mm, 且在离柱边 2 倍梁高范围内, 间距不应大于 100mm。平板楼盖的楼、电梯洞口周边应设置与主体结构相连的梁。

5.2 计算要求

5.2.1 在竖向荷载作用下, 板柱-剪力墙结构和板柱-框架结构中的板柱框架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、柱的线刚度可按国家现行标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 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组合。

5.2.2 板柱-剪力墙结构在地震作用下, 可按多连杆联系的总剪

力墙和总框架协同工作的计算图形或其他更精确的方法计算内力和位移。

5.2.3 在地震作用下，板柱-剪力墙结构和板柱-框架结构中的板柱框架的内力及位移，应沿两个主轴方向分别进行计算。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第 5.2.4 条的规定。地震作用产生的内力，应组合到柱上板带上。

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：

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

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

式中 b_y —— y 向等代框架梁的计算宽度；

l_{ox} , l_{oy} ——等代梁的计算跨度；

b_d ——平托板的有效宽度，当无平托板时，取 $b_d = 0$ 。

5.2.5 板柱-剪力墙结构中各层横向及纵向剪力墙，应能承担相应方向该层的全部地震剪力；各层板柱部分除应满足计算要求外，并应能承担不少于该层相应方向地震剪力的 20%。

5.2.6 由地震作用在板支座处产生的弯矩应与按第 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亦应设置在该柱上板带中，且其中不少于 50% 应配置在有效宽度为在柱或柱帽两侧各 $1.5h$ (h 为板厚或平托板的厚度) 范围内形成暗梁，暗梁下部钢筋不宜少于上部钢筋的 1/2 (图 5.2.6)。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，箍筋直径按计算确定，但不应小于 8mm。此外，支座处暗梁的 1/2 上部纵向钢筋，应连续通长布置。

由弯矩传递的部分不平衡弯矩，应由有效宽度为在柱或柱

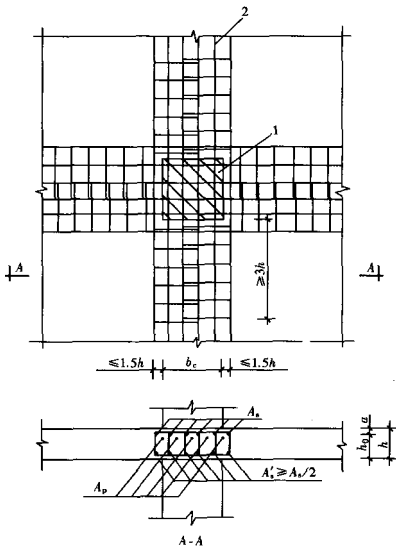


图 5.2.6 暗梁配筋要求

1—柱；2—1/2 的上部钢筋应连续

帽两侧各 $1.5h$ (h 为板厚或平托板的厚度) 范围内的板截面受弯传递。配置在此有效范围内的无粘结预应力筋和非预应力钢筋可用以承受这部分弯矩。

5.2.7 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 附录 G 的规定执行。

5.2.8 未经加强的板柱节点、配置箍筋的节点，其冲切承载力的计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定；采用型钢剪力架加强的板柱节点的冲切承载力的计算，应按国家现行标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 的有关规定执行。

5.2.9 板柱结构的柱、剪力墙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。

5.2.10 考虑地震作用组合的板柱-框架结构底层柱下端截面的弯矩设计值，对二、三级抗震等级应按考虑地震作用组合的弯矩设计值分别乘以增大系数 1.25、1.15。

5.2.11 在地震作用下，板柱-框架结构考虑水平地震作用扭转影响时，其地震作用和作用效应计算，以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。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于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，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

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、规范执行时，写法为：“应符合……的要求（规定）”或“应按……执行”。

中华人民共和国行业标准

预应力混凝土结构抗震设计规程

JGJ 140—2004

条文说明

前 言

《预应力混凝土结构抗震设计规程》JGJ 140—2004，经建设部 2004 年 1 月 29 日以公告 206 号批准，业已发布。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位的有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，规程编制组按章、节、条的顺序，编制了本规程的条文说明，供使用者参考。在使用过程中，如发现本规程条文说明有不妥之处，请将意见函寄中国建筑科学研究院《预应力混凝土结构抗震设计规程》管理组（邮政编码：100013，地址：北京市北三环东路 30 号）。

目 次

1 总则	32
2 术语、符号	33
3 抗震设计的一般规定	34
3.1 地震作用及结构抗震验算	34
3.2 设计的一般规定	35
3.3 材料及锚具	37
4 预应力混凝土框架和门架	39
4.1 一般规定	39
4.2 预应力混凝土框架梁	39
4.3 预应力混凝土框架柱	42
4.4 预应力混凝土框架节点	43
4.5 预应力混凝土门架结构	44
5 预应力混凝土板柱结构	45
5.1 设计的一般规定	45
5.2 计算要求	45

1 总 则

1.0.1 本条是制定本规程的目的、指导思想和条件。制定本规程的目的，是为了减轻预应力混凝土结构的地震破坏程度，保障人员安全和生产安全。鉴于预应力混凝土结构的抗震设计问题，研究的起步比一般钢筋混凝土结构晚，震害经验较少，技术难度也较大；本规程的科学依据，只能是现有的震害防治经验、研究成果和设计经验，随着预应力混凝土抗震科学水平的不断提高，本规程的内容将会得到完善和提高。

1.0.2 本条规定现浇后张预应力混凝土结构适用的设防烈度范围为6、7、8度地区。考虑到抗震设防烈度为9度地区，地震反应强烈，尚需进一步积累工程经验，故要求在设计中需针对不同的现浇后张预应力混凝土结构类型，对其抗震性能及措施，进行必要的试验或分析等研究，并经过有关专家审查认可，在有充分依据，并采取可靠的抗震措施后，也可以采用预应力混凝土结构。

此外，震害表明由预制预应力混凝土构件拼装而成的装配式建筑，在地震中结构倒塌的主要原因是节点设计不足，几乎未见因预应力混凝土构件本身承载力不够，而引起结构总体破坏的现象。装配整体单层钢筋混凝土柱厂房及其节点设计应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011有关规定执行。预制装配式框架结构的抗震设计应符合有关专门规程的规定。

2 术语、符号

本章根据现行国家标准《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083 规定了预应力混凝土结构抗震设计中的有关术语、符号及其意义。

3 抗震设计的一般规定

3.1 地震作用及结构抗震验算

3.1.1~3.1.4 预应力混凝土框架结构系指在所有框架梁中采用预应力混凝土梁，有时也在上层柱采用预应力混凝土柱的框架结构。预应力混凝土板柱结构系指由水平构件为预应力混凝土板和竖向构件为柱所组成的预应力混凝土结构。由预应力混凝土板柱结构与框架或剪力墙可组合为预应力混凝土板柱-框架结构或板柱-剪力墙结构。本规程列入预应力混凝土板柱-框架结构是为了满足我国低抗震设防烈度区在多层建筑中采用板柱结构的需要。

中国建筑科学研究院的研究表明，预应力混凝土框架结构和板柱结构在弹性阶段阻尼比约为 0.03；当出现裂缝后，在弹塑性阶段可取与钢筋混凝土相同的阻尼比 0.05。预应力混凝土构件滞回曲线的环带宽度比钢筋混凝土构件的窄，能量消散能力较小，但其有较高的弹性性能，屈服后恢复能力较强，残余变形较小。采用时程分析法进行地震反应分析的结果表明，上述预应力混凝土结构的地震位移反应大约为钢筋混凝土结构的 1.1~1.3 倍；预应力混凝土结构抗震设计反应谱的研究表明，预应力混凝土结构的设计地震剪力应作适当提高。本规程第 3.1.2 条关于预应力混凝土框架结构、板柱-框架结构水平地震影响系数曲线的取值规定，是按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关规定取阻尼比为 0.03 确定的。设计地震分组应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 附录 A 确定。

本规程第 3.1.2 条所述的以预应力混凝土框架结构，或预应力混凝土板柱-框架结构作为主要抗侧力体系，系指在基本振型地震作用下，其承受的地震倾覆力矩超过结构总地震倾覆力矩的 50%；或在预应力混凝土框架结构或预应力混凝土板柱-框架结

构中仅设置有楼、电梯井及边梁，也应按本条取阻尼比为 0.03 的地震影响系数曲线，确定水平地震力。当仅在框架结构中采用几根预应力混凝土梁，以满足构件的挠度和裂缝要求；或在框架-剪力墙、框架-核心筒或板柱-剪力墙结构中，采用预应力混凝土平板或框架的情况，该建筑结构仍应按阻尼比取 0.05 进行抗震设计。

8 度时对跨度大于 24m 屋架，长悬臂和其他大跨度预应力混凝土结构，其竖向地震作用标准值主要采用了现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对大跨钢筋混凝土屋架的取值规定。对长悬臂和其他大跨度预应力混凝土结构，在场地类别为 II 类以上的情况下，竖向地震作用系数提高约 25% ~ 30%。

3.1.5 预应力混凝土结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合主要按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定确定，并加入了预应力作用效应项，预应力作用效应也包括预加力产生的次弯矩、次剪力。当预应力作用效应对构件承载能力有利时，预应力分项系数应取 1.0，不利时应取 1.2，是参考国内外有关规范做出规定的。

预应力混凝土结构的承载力抗震调整系数、层间位移角限值，仍采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 有关对钢筋混凝土相同的规定。控制层间位移角以防止非结构构件的损坏和限制重力 $P-\Delta$ 效应。

3.1.7 预应力混凝土框架梁、柱的受剪承载力，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 11 章有关条款进行计算时，其未计及预应力对提高构件受剪承载力的有利作用，即取预应力分项系数为 0，是偏于安全的。

3.2 设计的一般规定

3.2.1 ~ 3.2.4 对采用预应力混凝土建造的多层及高层建筑，从安全和经济等方面考虑，对其适用高度应有限制；并应根据抗震设防烈度，不同结构体系及不同高度，划分抗震等级，采取相应

的抗震构造措施。由于在高层建筑中主要在楼盖结构中采用预应力混凝土，故对建筑最大适用高度限值及抗震等级的划分仍采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关条款的规定。表中的“框架”和“框架结构”有不同的含意，“框架结构”指纯框架结构，而“框架”则泛指框架结构和框架-剪力墙等结构体系中的框架。框架-剪力墙结构一般指在基本振型地震作用下，框架承受的地震倾覆力矩小于结构总地震倾覆力矩的 50%。其框架部分的抗震等级可按框架-剪力墙结构的规定划分。

由于板柱节点存在不利于抗震的弱点，本规程除允许将板柱-框架结构用于抗震设防低烈度区的多层建筑外，规定在多、高层建筑中采用板柱结构时，应用范围原则上限于板柱-剪力墙结构。对框架-核心筒结构，按照国家现行标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定，在该结构的周边柱间必须设置框架梁，故在这种结构体系中，带有一部分仅承受竖向荷载的板柱结构时，不作为板柱-剪力墙结构。

当预应力混凝土结构的房屋高度超过最大适用高度或在抗震设防烈度为 9 度地区采用预应力混凝土结构时，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施。

3.2.5 ~ 3.2.7 国内外大量工程实践表明，无粘结预应力筋适用于采用分散配筋的板类结构及楼盖的次梁，不得用于屋架下弦拉杆等主要受拉的承重构件，后张预应力混凝土框架结构亦不宜采用无粘结预应力筋。这是由于无粘结预应力筋的应力沿筋全长几乎保持等同，这样预应力钢材的非弹性性能亦即构件的能量消散不能得到充足发挥。当发生大的非弹性变形时，可能导致仅产生几条宽裂缝，从而削弱了构件的延性性能；此外，在反复荷载下难以准确预测配置无粘结预应力筋截面的极限受弯承载力。

当采用非预应力钢筋为主的混合配筋时，可消除上述疑虑。Hawkins 和 Ishizuka 对无粘结后张延性抗弯框架的研究认为，适量预应力对延性抗弯框架的抗震性能无不良影响。由于在混凝土中存在预压应力，减轻了节点刚度退化效应；预应力抑制了梁筋从

节点拔出，减少了梁筋失稳破坏的可能性。所提建议为：基于梁的矩形截面面积，其平均预压应力不宜超过 $2.5\text{N}/\text{mm}^2$ ；非预应力钢筋拉力至少应达到非预应力钢筋及预应力筋总拉力的 65%；此外，框架梁端截面需配置足够数量的底筋。对于无粘结预应力筋在地震区应用的条款是参考了上述理论及试验研究，以及国外相关预应力混凝土设计规定而制定的。并规定抗震等级为一级的框架不得应用无粘结预应力筋；当设有剪力墙或筒体时，对抗震等级为二、三级的框架，其在基本振型地震作用下，所承担的地震倾覆力矩小于总地震倾覆力矩的 35% 时，允许采用无粘结预应力筋，这比通常小于 50% 更为严格。

3.2.8 根据国内外的工程设计经验，对高层建筑常用结构类型楼盖中采用预应力混凝土平板的抗震设计，从确保其传递剪力的横隔板作用等抗震性能方面做出了规定。

3.2.9 在强烈地震产生的荷载作用下，若使无粘结预应力混凝土连续板或梁一跨破坏，可能引起多跨结构中其他各跨连续破坏。为避免发生这种连续破坏现象，根据国内外规范及工程经验做出本条设计规定。

3.2.10 将锚具布置在梁柱节点核心区域以外，可避免该区域在剪力作用所产生较大对角拉应力的情况下，再承受锚具引起的劈裂应力。在外节点，锚具宜设置在节点核心区之外的伸出凸端上。仅当有试验依据，或其他可靠的工程经验时，才可将锚具设置在节点区，此时，应在保持箍筋总量的前提下，处理好箍筋的布置问题。

3.3 材料及锚具

3.3.1 随着高强度低松弛预应力钢绞线及钢丝在我国的推广应用，必须采用较高强度等级的混凝土，则可充分发挥两者的作用，承载力可大幅度提高，或截面高度可以有效地减小。但是，对 C60 以上强度等级混凝土用于预应力混凝土结构构件，其裂缝控制及延性要求等国内外研究还不够多，故应用中应注意采取必

要的措施。

3.3.2 用于地震区预应力混凝土结构的锚具，其预应力筋-锚具组装件的静载锚固性能、抗地震的周期荷载性能的试验要求，是根据现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 中对锚具锚固性能要求制定的。

4 预应力混凝土框架和门架

4.1 一般规定

4.1.1 在我国预应力混凝土框架、排架及门架等已得到较多应用，积累了丰富的工程经验，在这方面所做的研究工作也较多，已具备编制规程的条件。预应力混凝土的其他结构型式，如巨型结构，带转换层结构等工程的应用和理论研究尚处于积累阶段，故本规程未包括这方面的内容。

4.1.2 在大跨度预应力混凝土框架梁中，预应力筋的面积是由裂缝控制等级确定的，为了增加梁端截面延性，则需要配置一定数量的非预应力钢筋，采用混合配筋方式，这在某种程度上增加了梁的强度储备。国内外研究表明，在罕遇地震作用下，要求预应力混凝土框架梁端临界截面的屈服先于柱截面产生塑性铰，呈现梁铰侧移机制是难以实现的；若确保在边节点处的梁端出现铰、柱端不出现铰，呈现混合侧移机制时结构仍是稳定的，这将同时依靠梁铰和柱铰去耗散地震能量，其对柱端的截面延性亦有较高要求。为了确保在一定程度上减缓柱端的屈服，本规程第4.3.2条规定对二、三级抗震等级的框架边柱，其柱端弯矩增大系数 η_c 分别按1.4、1.2取值。并要求预应力混凝土框架结构柱的箍筋应沿柱全高加密。

4.2 预应力混凝土框架梁

4.2.1 预应力混凝土结构的跨度一般较大，若截面高宽比过大容易引起梁侧向失稳，故有必要对梁截面高宽比提出要求。关于梁高跨比的限制，采用梁高在 $(1/12 \sim 1/22) l_0$ 之间比较经济。

4.2.2~4.2.3 在抗震设计中，为保证预应力混凝土框架的延性要求，梁端塑性铰应具有满意的塑性转动能力。国内外研究表

明,对梁端塑性铰区域混凝土截面受压区高度和受拉钢筋配筋率加以限制是最重要的。本条是参考国外规范及国内的设计经验做出具体规定的。本规程对受拉钢筋最大配筋率 2.5% 的限制,是以 HRB400 级钢筋的抗拉强度设计值进行折算得出的,当采用 HRB335 级钢筋时,其限值可放松到 3.0%。

采用预应力筋和非预应力普通钢筋混合配筋的部分预应力混凝土,有利于改善裂缝和提高能量消散能力,可改善预应力混凝土结构的抗震性能。预应力强度比 λ 的表达式为:

$$\lambda = \frac{f_{py} A_p h_p}{f_{py} A_p h_p + f_y A_s h_s} \quad (1)$$

λ 的选择需要全面考虑使用阶段和抗震性能两方面要求。从使用阶段看, λ 大一些好;从抗震角度, λ 不宜过大,这样可使弯矩-曲率滞回曲线的环带宽度、能量消散能力,在屈服后卸载时的恢复能力和残余变形均介于预应力混凝土和钢筋混凝土构件的滞回曲线之间,同时具有两者的优点。参考东南大学的试验研究成果,本规程要求对一级框架结构梁, λ 不宜大于 0.60,二、三级框架结构梁, λ 不宜大于 0.75;并对框架-剪力墙及框架-筒体结构中的后张有粘结预应力混凝土框架,适当放宽了 λ 限值。

在预应力强度比 λ 限值下,设计裂缝控制等级宜尽量采用允许出现裂缝的三级,而不是采用较严的裂缝控制等级。此外,宜将框架边跨梁端预应力筋的位置,尽可能整体下移,使梁端截面负弯矩承载力设计值不致于超强过多,并可使梁端预应力偏心引起的弯矩尽可能小,从而使框架梁内预应力筋在柱中引起的次弯矩较为有利。按上述考虑设计的预应力混凝土框架梁可达到钢筋混凝土梁不能达到的跨度,且具有良好的抗震耗能及延性性能。

4.2.4 控制梁端截面的底面配筋面积 A'_s 和顶面配筋面积 A_s 的比值 A'_s/A_s , 有利于满足梁端塑性铰区的延性要求,同时也考虑到在地震反复荷载作用下,底部钢筋可能承受较大的拉力。本规范对预应力混凝土框架梁端截面 A'_s/A_s 面积比的具体限值的规

定，是参考国内外的试验研究及钢筋混凝土框架梁的有关规定，经综合分析确定的。

4.2.5 分析研究和实测表明，T形截面受弯构件当翼缘位于受拉区时，参加工作的翼缘宽度较受压翼缘宽度小些，为了确保翼缘内纵向钢筋对框架梁端受弯承载力做出贡献，故做出不少于翼缘内部纵筋的75%应通过柱或锚固于柱内的规定。本条是借鉴新西兰《混凝土结构设计实用规范》NZS 3101做出规定的。

4.2.6 预应力混凝土框架梁端箍筋的加密区长度、箍筋最大间距和箍筋的最小直径等构造要求应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GBJ 50011有关条款的要求。本条对预应力混凝土大梁加腋区端部可能出现塑性铰的区域，规定采用较密的箍筋，以改善受弯延性。

4.2.7 对扁梁截面尺寸的要求是根据国内外有关规范和资料提出的。跨高比过大，则扁梁体系太柔对抗震不利，研究表明该限值取25比较合适。

4.2.8 为避免或减小扭转的不利影响，对扁梁的结构布置和采用整体现浇楼盖的要求，以及梁柱节点核心区受剪承载力的验算等，原则上与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011对钢筋混凝土扁梁的要求相一致，但采用预应力筋有利于节点抗剪，可按本规程提供的公式进行节点受剪承载力计算。

预应力混凝土扁梁框架梁柱节点的配筋构造要求、扁梁箍筋加密区长度满足抗扭钢筋延伸长度的规定等，是根据原机械工业部设计研究院所做试验研究及工程经验做出规定的。为了防止在混凝土收缩及温度作用下，在扁梁交角处板面出现裂缝，当板面顶层钢筋网间距不小于200mm时，需配置不少于 $\phi 8 @ 100$ 的附加构造钢筋网片。

4.2.9 对于预应力混凝土框架的边梁，要求其宽度不大于柱高，可避免其对垂直于该边梁方向的框架扁梁产生扭矩；当与此边梁相交的内部框架扁梁大于柱宽时，也将对该边梁产生扭矩，为消除此扭矩，对于框架边梁应采取有效的配筋构造措施，考虑其受

扭的不利作用。

4.2.10 工程经验表明，由悬臂构件根部截面荷载效应组合的弯矩设计值确定的纵向钢筋，在横向、竖向悬臂构件根部加强部位（指自根部算起 $1/4$ 跨长，截面高度 $2h$ 及 500mm 三者中的较大值）不得截断，且加强部位的箍筋应予以加密；为使悬臂构件受弯屈服限制在确定部位，本条规定了相应的配筋构造措施，使这些部位具有所需的延性和耗能能力，且要求加强段钢筋的实际面积与计算面积的比值，不应大于相邻的一般部位。并从配筋构造上要求在悬臂构件顶面和底面均配置抗弯的受力钢筋。

4.3 预应力混凝土框架柱

4.3.1 预应力混凝土框架结构跨度较大，柱的截面尺寸亦较大，柱的净高 H_{co} 与截面高度 h 的比值 H_{co}/h 一般在 4 左右，此时剪跨比约为 2。当主房框架与附房相连时，两层附房相当于一层主房框架， H_{co}/h 将小于 2，对剪跨比小于 2 的预应力混凝土框架柱，应进行特别设计。若柱无反弯点时，剪跨比可按 $M_{\text{max}}^c / (V^c h_0)$ 进行计算，式中 M_{max}^c 为柱上下端截面组合弯矩计算结果的较大值； V^c 为对应的截面组合剪力计算值。

4.3.3 在抗震设计中，采用预应力混凝土柱也要求呈现大偏心受压的破坏状态，使具有一定的延性。本条应用预应力等效荷载的概念，将部分预应力混凝土偏压构件柱等效为承受预应力作用的非预应力偏心受压构件。在计算中将预应力作用按总有效预加力表示，由于将预应力考虑为外荷载，并乘以预应力分项系数 1.2，故在公式中取 $1.2N_{\text{pe}}$ 为预应力作用引起的轴压力设计值。

当预应力混凝土框架的跨度很大时，为了适当控制其适用的最大高度；必要时方便地在节点区布置锚具；以及考虑孔道对节点核心区受剪截面的影响等因素，根据工程经验，本规程将预应力混凝土框架结构及板柱-框架结构柱的轴压比限值加严，按比钢筋混凝土柱约低 10% 确定。

4.3.4 对于承受较大弯矩而轴向压力小的框架顶层边柱，可以

按预应力混凝土梁设计，采用非对称配筋的预应力混凝土柱，弯矩较大截面的受拉一侧采用预应力筋和非预应力普通钢筋混合配筋，另一侧仅配普通钢筋，并应符合一定的配筋构造要求。东南大学的试验表明，非对称配筋大偏心受压预应力混凝土柱的耗能力和延性都较好，有良好的抗震性能。

4.3.5 ~ 4.3.6 试验研究表明，预应力混凝土柱在高配筋率下，容易发生粘结型剪切破坏，此时，增加箍筋的效果已不显著，故对预应力混凝土框架柱的最大配筋率限值做出了规定。预应力混凝土柱尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于框架柱纵向非预应力钢筋最小配筋百分率的规定及柱端加密区配箍要求。此外，对预应力混凝土纯框架结构要求柱的箍筋应沿柱全高加密。

4.3.7 试验结果表明，当混凝土处于双向局部受压时，其局部承载力高于单向局压承载力。在局部承压设计中，将框架柱中纵向受力主筋和横向箍筋兼作间接钢筋网片用是根据试验研究和工程设计经验提出的。

4.4 预应力混凝土框架节点

4.4.1 由于预应力对节点的侧向约束作用，使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，也可提高节点的受剪承载力。东南大学的试验资料表明，在节点破坏时仍能保持一定的预应力，在考虑反复荷载使有效预应力降低后，取预应力作用的承剪力 $V_p = 0.4N_{pe}$ ，式中 N_{pe} 为作用在节点核心区预应力筋的总有效预应力。鉴于我国对预应力作用的表达方式有时列为公式右端项，并考虑承载力抗震调整系数 γ_{RE} ，上述 V_p 值将约为 $0.5N_{pe}$ 。新西兰《混凝土结构设计实用规范》NZS 3101 中，对预应力抗剪作用取值为 $0.7N_{pe}$ 。本规程也参考了上述规范的规定。

4.5 预应力混凝土门架结构

4.5.2 震害调查发现，平腹杆双肢柱及薄壁开孔预制腹板工形柱易发生剪切破坏，而整体浇筑的矩形、工字形截面柱震害轻微。此外，在柱子易出现塑性铰的区域，亦应使用矩形截面，且应从构造上予以加强。

4.5.3 24m跨的预应力混凝土空旷房屋竖向地震作用明显，故应考虑竖向地震作用。

4.5.4 采用通长的折线预应力筋可避免在边节点处配置过密的普通钢筋，以方便施工，并易于保证施工质量。

当采用分段直线预应力筋时，预应力筋的锚固端不应削弱节点核心区，故不允许将预应力筋直接锚固于节点核心区内。

4.5.5 预应力混凝土门架梁中塑性铰是有可能发生在加腋段以外区域的。对可能出现塑性铰的区段应加密箍筋。

4.5.6~4.5.7 门架宜发生梁铰的破坏机制，然而实际上难以做到真正的“强柱弱梁”，工程设计经验表明，在按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011有关章节中框架梁、柱抗震设计方法，对门架构件内力进行调整之后进行截面设计，仍有可能在柱端发生柱铰。因此，凡是可能出现塑性铰的区段或可能发生剪切破坏区段均应加密箍筋。

5 预应力混凝土板柱结构

5.1 设计的一般规定

5.1.2 根据我国地震区板柱结构设计、施工经验及震害调查结果，在 8 度设防地区采用无粘结预应力多层板柱结构，当增设剪力墙后，其吸收地震剪力效果显著。因此，规定板柱结构用于多层及高层建筑时，原则上应采用抗侧力刚度较大的板柱-剪力墙结构。

考虑到在 6 度、7 度抗震设防烈度区建造多层板柱结构的需要，为了加强其抗震能力，本规程增加了板柱-框架结构，并根据工程实践经验，做出了抗震应符合的规定。

5.1.3 考虑到板柱节点是地震作用下的薄弱环节，当 8 度设防时，板柱节点宜采用托板或柱帽，托板或柱帽根部的厚度（包括板厚）不小于 16 倍柱纵筋直径是为了保证板柱节点的抗弯刚度。

5.1.6 为了防止无柱帽板柱结构在柱边开裂以后发生楼板脱落，穿过柱截面的后张预应力筋及板底两个方向的非预应力钢筋的受拉承载力应满足本条的规定。“重力荷载代表值作用下的柱轴压力”表示分项系数为 1.2，重力荷载代表值包括楼板自重和活荷载。

5.1.8 设置边梁的目的是为加强板柱结构边柱的受冲切承载力及增加整个楼板的抗扭能力。边梁可以做成暗梁形式，但其构造仍应满足抗扭要求。

5.2 计算要求

5.2.1 ~ 5.2.4 板柱体系在竖向荷载和水平荷载作用下，受力情况和升板结构在使用状态下是相似的，内力和位移计算可按现行国家标准《钢筋混凝土升板结构技术规范》GBJ 130 或《无粘结

预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 规定的方法进行。本节这几条主要是根据上述规范的有关规定编写的。

5.2.6 ~ 5.2.8 本条是参照国家现行标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 的有关条款做出规定的，其目的是强调在柱上板带中设置暗梁，以及为了有效地传递不平衡弯矩，除满足受冲切承载力计算要求，板柱结构的节点连接构造亦十分重要，设计中应给予充分重视。

5.2.10 为了推迟板柱结构底层柱下端截面出现塑性铰，故规定对该部位柱的弯矩设计值乘以增大系数，以提高其正截面受弯承载力。

5.2.11 本条指的是未设置或未有效设置剪力墙或垂直支撑的板柱结构。这类结构的柱子既是横向抗侧力构件，又是纵向抗侧力构件，在实际地震动作用下，大部分属于双向偏心受压构件，容易发生对角破坏。故本条规定这类结构柱子的截面设计应考虑地震作用的正交效应。