

中华人民共和国行业标准

无粘结预应力混凝土 结构技术规程

JGJ/T 92—93

中国建筑资讯网

www.sinoaec.com

1993 北京

中华人民共和国行业标准

无粘结预应力混凝土
结构技术规程

JGJ/T 92—93

主编单位：中国建筑科学研究院

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：1994年5月1日

关于发布行业标准《无粘结预应力混凝土 结构技术规程》的通知

建标[1993]640号

根据原城乡建设环境保护部(88)城标字第141号文的要求,由中国建筑科学研究院主编的《无粘结预应力混凝土结构技术规程》业经审查,现批准为行业标准,编号JGJ/T—92—93,自1994年5月1日起施行。

本标准由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院归口管理并负责解释,由建设部标准定额研究所组织出版。

中华人民共和国建设部

1993年8月31日

中国建筑资讯网
www.sina.com

目 次

主要符号

第一章	总则	(1)
第二章	材料及锚具系统	(2)
第一节	混凝土及钢筋	(2)
第二节	无粘结预应力筋	(2)
第三节	锚具系统	(3)
第三章	设计与施工的基本规定	(9)
第一节	一般规定	(9)
第二节	防火及防腐蚀	(10)
第四章	设计计算与构造	(13)
第一节	一般规定	(13)
第二节	单向体系	(22)
第三节	双向体系	(23)
第五章	施工及验收	(33)
第一节	无粘结预应力筋的制作、包装及运输	(33)
第二节	无粘结预应力筋的铺放和浇筑混凝土	(34)
第三节	无粘结预应力筋的张拉	(36)
第四节	工程验收	(39)
附录一	无粘结预应力筋数量估算	(41)
附录二	破坏截面极惯性矩及计算系数 α_0 计算公式	(42)
附录三	镦头锚具系统无粘结预应力筋的制作	(45)
附录四	无粘结预应力筋张拉记录表	(46)
附录五	非法定计量单位与法定计量单位的换算关系	(47)
附录六	本规程用词说明	(48)
附加说明		(49)

主要符号

作用和作用效应

F_1 ——集中反力设计值；

M ——弯矩设计值；

M_1 、 M_2 、 M_r ——由张拉无粘结预应力筋而引起构件截面中的主弯矩、次弯矩和总弯矩；

M_b ——由平衡荷载产生的截面弯矩；

M_{cr} ——受弯构件正截面开裂弯矩；

M_s 、 M_l ——按荷载的短期效应组合、长期效应组合计算的弯矩；

N_{pe} ——无粘结预应力筋的总有效预加力；

V ——剪力设计值；

σ_{con} ——无粘结预应力筋的张拉控制应力；

σ_{pc} ——由预加应力产生的混凝土法向应力；

σ_{pe} ——无粘结预应力筋的有效预应力；

σ_f ——在正截面承载能力计算中无粘结预应力筋的应力设计值；

σ_l ——无粘结预应力筋在相应阶段的预应力损失值。

抗力和材料性能

B ——受弯构件的截面刚度；

M_u ——构件正截面受弯承载力设计值；

E_c ——混凝土弹性模量；

- E_p ——无粘结预应力筋弹性模量；
 E_s ——非预应力钢筋弹性模量；
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；
 f'_{cu} ——施加预应力时的混凝土立方体抗压强度；
 f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；
 f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值；
 f_{py} ——无粘结预应力筋抗拉强度设计值；
 f_y ——非预应力钢筋抗拉强度设计值；
 f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值。

几 何 参 数

- A_n ——构件净截面面积；
 A_p ——无粘结预应力筋截面面积；
 A_s ——非预应力钢筋截面面积；
 A_{sb} ——弯起钢筋截面面积；
 A_{sv} ——箍筋截面面积；
 b ——截面宽度；
 b_d ——平托板的宽度；
 b_f —— T 形或 I 形截面受拉翼缘的宽度；
 e_p ——无粘结预应力筋重心对截面重心的偏心距；
 h ——截面高度；
 h_0 ——截面有效高度；
 h_f —— T 形或 I 形截面受拉翼缘的高度；
 h_p ——梁截面受压边缘至无粘结预应力筋重心的有效高度；
 I_0 ——换算截面惯性矩；
 W_0 ——换算截面受拉边缘的弹性截面模量；
 u_m ——距集中反力作用面积周边 $h_0/2$ 处的周长；
 x ——混凝土受压区高度。

计算系数及其它

- α ——弯起钢筋与底面的夹角；
- α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数；
- α_E ——无粘结预应力筋弹性模量与混凝土弹性模量之比；
- β_0 ——综合配筋指标；
- 受拉区混凝土塑性影响系数；
- 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 ——型钢剪力架相同伸臂的数目；
- η_a ——预应力筋锚具组装件静载试验测得的锚具效率系数；
- k ——考虑无粘结预应力筋壁(每米)局部偏差对摩擦的影响系数；
- μ ——摩擦系数；
- ρ_p ——无粘结预应力筋配筋率；
- ρ_s ——非预应力筋配筋率；
- θ ——考虑荷载长期效应组合对挠度增大的影响系数。

第一章 总 则

第 1.0.1 条 为了在无粘结预应力混凝土结构的设计与施工中，做到技术先进、安全可靠、确保质量和经济合理，制定本规程。

第 1.0.2 条 本规程适用于处在正常环境下的工业与民用房屋和一般构筑物中采用的无粘结预应力混凝土结构的设计与施工。

注：本规程采用的无粘结预应力筋系指埋置在混凝土构件中者。

第 1.0.3 条 无粘结预应力混凝土结构应根据建筑功能要求和材料供应与施工条件，确定合理的设计与施工方案，编制施工组织设计，做好技术交底，并应由预应力专业施工队伍进行施工，严格执行质量检查与验收制度。

第 1.0.4 条 无粘结预应力混凝土结构的设计与施工除应符合本规程的要求外，还应遵守《混凝土结构设计规范》*GBJ 10*、《混凝土结构工程施工及验收规范》*GB 50204*、《建筑结构荷载规范》*GBJ 9*、《钢结构设计规范》*GBJ 17*、《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》*JGJ 85* 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器》*GB/T 14370* 以及其它相关规范的有关规定。

第二章 材料及锚具系统

第一节 混凝土及钢筋

第 2.1.1 条 无粘结预应力混凝土结构的混凝土强度等级，对于板不应低于 C30，对于梁及其它构件不宜低于 C40。

第 2.1.2 条 用于制作无粘结预应力筋的钢绞线或碳素钢丝，其性能应符合国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB 5224—85 和《预应力混凝土用钢丝》GB 5223—85 的规定。常用的钢绞线和碳素钢丝的主要力学性能应按表 2.1.2 采用。

常用钢绞线、碳素钢丝主要力学性能

表 2.1.2

性能指标	材料名称	钢绞线		
	公称直径	Ø5	d=16.0 (7Ø5)	d=12.0 (7Ø5)
抗拉强度标准值 (N/mm^2)		1570	1470	1570
抗拉强度设计值 (N/mm^2)		1070	1000	1070
延伸率 ()		4.0	3.5	3.5
截面面积 (mm^2)		19.63	139.98	89.45
公称重量 (kg/m)		0.154	1.091	0.697
弹性模量 (N/mm^2)		2.0×10^5	1.8×10^5	1.8×10^5

第 2.1.3 条 无粘结预应力筋用的钢绞线和钢丝不应有死弯，当有死弯时必须切断。无粘结预应力筋中的每根钢丝应是通长的，严禁有接头。

第二节 无粘结预应力筋

第 2.2.1 条 本规程采用的无粘结预应力筋系指带有专用防腐油脂涂料层和外包层的无粘结预应力筋。质量要求应符合《钢

绞线、钢丝束无粘结预应力筋》JG 3006—93 及《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》JG 3007—93 标准的规定。

第 2.2.2 条 无粘结预应力筋外包层材料，应采用聚乙烯或聚丙烯，严禁使用聚氯乙烯。其性能应符合下列要求：

一、在 $-20\sim+70^{\circ}\text{C}$ 温度范围内，低温不脆化，高温化学稳定性好；

二、必须具有足够的韧性、抗破损性；

三、对周围材料（如混凝土、钢材）无侵蚀作用；

四、防水性好。

第 2.2.3 条 无粘结预应力筋涂料层应采用专用防腐油脂，其性能应符合下列要求：

一、在 $-20\sim+70^{\circ}\text{C}$ 温度范围内，不流淌，不裂缝变脆，并有一定韧性；

二、使用期内，化学稳定性好；

三、对周围材料（如混凝土、钢材和外包材料）无侵蚀作用；

四、不透水，不吸湿，防水性好；

五、防腐性能好；

六、润滑性能好，摩阻力小。

第三节 锚具系统

第 2.3.1 条 无粘结预应力筋—锚具组装件的锚固性能，应符合下列要求：

一、无粘结预应力筋必须采用 I 类锚具。锚具的静载锚固性能，应同时符合下列要求：

$$\eta_k \geq 0.95 \quad (2.3.1-1)$$

$$\varepsilon_{apv} \geq 2.0 \quad (2.3.1-2)$$

式中 η_k ——预应力筋锚具组装件静载试验测得的锚具效率系数；

ε_{apv} ——预应力筋锚具组装件达到实测极限拉力时的总应

变。

锚具的效率系数可按式计算：

$$\eta_{\mu} = \frac{F_{ap\mu}}{\eta_p \times F_{ap\mu}^c} \quad (2.3.1-3)$$

$$F_{ap\mu}^c = f_{p\mu} A_{p\mu} \quad (2.3.1-4)$$

式中 $F_{ap\mu}$ —— 预应力筋锚具组装件的实测极限拉力；
 η_p —— 预应力筋的效率系数，取 0.97；
 $F_{ap\mu}^c$ —— 预应力筋锚具组装件中各根预应力钢材计算极限拉力之和；
 $f_{p\mu}$ —— 由预应力钢材中抽取的试件的实测抗拉强度平均值；
 $A_{p\mu}$ —— 由预应力钢材中抽取的试件的截面面积平均值。

二、无粘结预应力筋—锚具组装件的疲劳锚固性能，应通过试验应力上限 σ_{max} 取预应力钢材抗拉强度标准值的 65%、应力幅度取 $80N/mm^2$ 、循环次数为 200 万次的疲劳性能试验。

注：当用于地震区时，无粘结预应力筋—锚具组装件应通过上限取预应力钢材抗拉强度标准值的 80%、下限取预应力钢材抗拉强度标准值的 40%、循环次数为 50 次的周期荷载试验。

第 2.3.2 条 无粘结预应力筋锚具的选用，应根据无粘结预应力筋的品种、张拉吨位以及工程使用情况选定。对常用的直径为 15、12mm 单根钢绞线和 7 ϕ 5 钢丝束无粘结预应力筋的锚具可按表 2.3.2 选用。

常用单根无粘结预应力筋锚具选用表 表 2.3.2

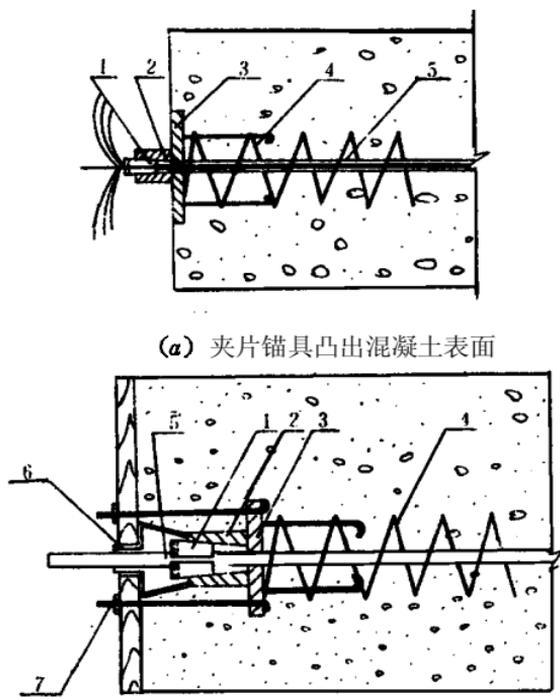
无粘结预应力筋品种	张拉端	固定端
d=15.0 (7 ϕ 5) 或 d=12.0 (7 ϕ 4)	夹片锚具	挤压锚具、焊板夹片锚具、 压花锚具
7 ϕ 5 钢丝束	镦头锚具、 夹片锚具	镦头锚板

注：①焊板夹片锚具系将夹片锚具的锚环同承压板焊在一起；
 ②压花锚具宜用于梁中，并应附加螺旋筋或网片等端部构造措施；
 ③镦头锚具也可以用于锚固多于 7 ϕ 5 的钢丝束。

第 2.3.3 条 夹片锚具系统的张拉端可采用下列做法：

一、当锚具凸出混凝土表面时，其构造由锚环、夹片、承压板、螺旋筋组成（图 2.3.3a）；

二、当锚具凹进混凝土表面时，其构造由锚环、夹片、承压板、塑料塞、螺旋筋、钩螺丝和螺母组成（图 2.3.3b）。



(a) 夹片锚具凸出混凝土表面

(b) 夹片锚具凹进混凝土表面

图 2.3.3 夹片锚具系统张拉端构造

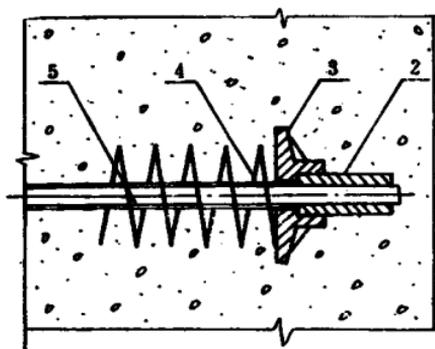
- 1——夹片；2——锚环；3——承压板；4——螺旋筋；5——无粘结预应力筋；
- 6——塑料塞；7——钩螺丝和螺母

第 2.3.4 条 夹片锚具系统的固定端必须埋设在板或梁的混凝土中，可采用下列做法：

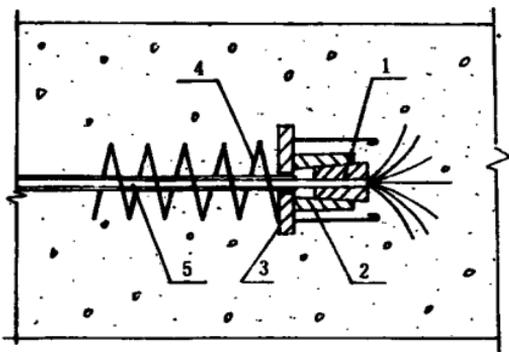
一、挤压锚具的构造由挤压锚具、承压板和螺旋筋组成（图 2.3.4a）。挤压锚具应将套筒等组装在钢绞线端部经专用设备挤压而成；

二、焊板夹片锚具的构造由夹片锚具、锚板与螺旋筋组成（图 2.3.4b）。该锚具应预先用开口式双缸千斤顶以预应力筋张拉力的 0.75 倍预紧力将夹片锚具组装在预应力筋的端部；

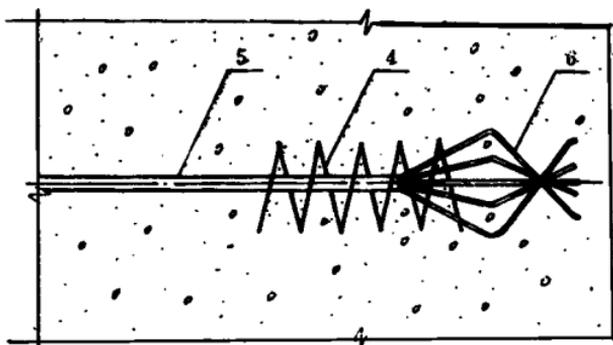
三、压花锚具的构造由压花端及螺旋筋组成（图 2.3.4c）。压花端应由压花机直接将钢绞线的端部制作而成。



(a) 挤压锚具



(b) 焊板夹片锚具



(c) 压花锚具

图 2.3.4 夹片锚具系统固定端构造

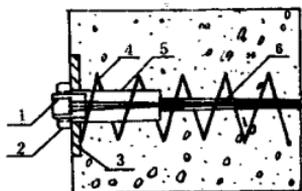
1——夹片；2——锚环；3——承压板；4——螺旋筋；5——无粘结预应力筋；
6——压花端

第 2.3.5 条 夹片锚具系统应符合下列规定：

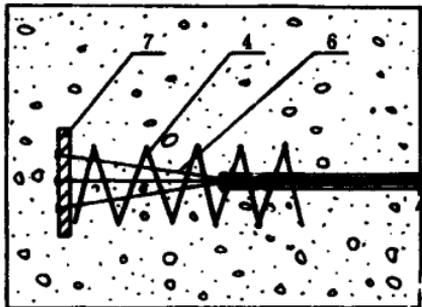
- 一、本锚具主要用于锚固由钢绞线制成的无粘结预应力筋，当用于锚固 $7\phi 5$ 组成的钢丝束，必须采用斜开缝的夹片；
- 二、预应力筋在张拉端的内缩量，不应大于 $5mm$ ；
- 三、单根无粘结预应力筋在构件端面上的水平和竖向排列最小间距可取 $60mm$ 。

第 2.3.6 条 镦头锚具系统的张拉端和固定端可采用下列做法：

- 一、张拉端的构造由锚杯、螺母、承压板、塑料保护套和螺旋筋组成（图 2.3.6a）；
- 二、固定端的构造由镦头锚板和螺旋筋组成（图 2.3.6b）。



(a) 张拉端



(b) 固定端

图 2.3.6 镦头锚具系统构造

- 1——锚杯；2——螺母；3——承压板；4——螺旋筋；5——塑料保护套；
6——无粘结预应力筋；7——镦头锚板

第 2.3.7 条 镦头锚具系统应符合下列规定：

- 一、预应力筋在张拉端产生的内缩量不应大于 1.0mm ；
- 二、钢丝束的使用长度不宜大于 25m ；
- 三、单根无粘结预应力筋在构件端面上的水平和竖向排列最小间距可取 80mm 。

第 2.3.8 条 锚具组装件的零件材料应按设计图纸的规定采用，并应有化学成分和机械性能证明书。无证明时，应按国家标准进行质量检验。材料不得有夹渣、裂缝等缺陷。

第 2.3.9 条 无粘结预应力筋锚具系统的质量检验和合格验收应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》*JGJ 85* 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器》*GB/T 14370* 的规定。

第三章 设计与施工的基本规定

第一节 一般规定

第 3.1.1 条 无粘结预应力混凝土构件的裂缝控制应符合下列规定：

一级：严格要求不出现裂缝的无粘结预应力混凝土构件。按荷载短期效应组合进行计算时，构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力；

二级：一般要求不出现裂缝的受弯构件。按荷载短期效应组合进行计算时，构件受拉边缘混凝土产生的拉应力不应超过 $\alpha_{cts} r_{fk}$ ， α_{cts} 取不大于 0.6；按荷载长期效应组合进行计算时，构件受拉边缘混凝土产生的拉应力不应超过 $\alpha_{ctl} r_{fk}$ ， α_{ctl} 取不大于 0.25。此处， α_{cts} 为荷载短期效应组合下的拉应力限制系数， α_{ctl} 为荷载长期效应组合下的拉应力限制系数， η 为受拉区混凝土塑性影响系数， f_{tk} 为混凝土抗拉强度标准值。

一般要求不出现裂缝的轴心受拉构件，按荷载长期效应组合进行计算时，构件混凝土不应产生拉应力；而按荷载短期效应组合进行计算时，构件混凝土允许产生拉应力，但拉应力不应超过 $0.3f_{tk}$ 。

注：当有可靠的工程经验时，对按二级裂缝控制的无粘结预应力混凝土梁，其抗裂设计要求可适当放宽。

第 3.1.2 条 在无粘结预应力混凝土构件中，非预应力钢筋宜优先采用带肋钢筋。当钢筋直径小于 10mm 时，也可采用热轧光面钢筋。

第 3.1.3 条 当无粘结预应力筋长度超过 25m 时，宜采取两端张拉；当筋长超过 50m 时，宜采取分段张拉和锚固。

第 3.1.4 条 对无粘结预应力混凝土单向多跨连续梁、板，在设计中宜将无粘结预应力筋分段锚固，或增渗中间锚固点，并应满足本规程第 4.2.1 条关于非预应之筋配筋量的规定。

第 3.1.5 条 直接承受动力荷载并需进行疲劳验算的无粘结预应力混凝土结构，其疲劳强度及构造应经过专门试验研究确定。

第二节 防火及防腐蚀

第 3.2.1 条 为满足不同耐火等级的要求，无粘结预应力筋的混凝土保护层最小厚度应符合表 3.2.1—1 及表 3.2.1—2 的规定。

板的混凝土保护层最小厚度 (mm) 表 3.2.1—1

约 束 条 件	耐 火 极 限 (h)			
	1	1.5	2	3
简 支	25	30	40	55
连续	20	20	25	30

梁的混凝土保护层最小厚度 (mm) 表 3.2.1—2

约 束 条 件	梁 宽	耐 火 极 限 (h)			
		1	1.5	2	3
简 支	200	45	50	65	采取特殊措施
简 支	≥300	40	45	50	65
连 续	200	40	40	45	50
连 续	≥300	40	40	40	45

注：①梁宽在 200~300mm 之间时，混凝土保护层可取表 3.2.1—2 的插入值；

②如防火等级较高，当混凝土保护层厚度不能满足表列要求时，应使用防火涂料。

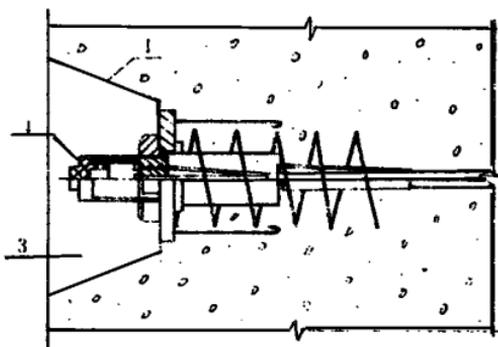
第 3.2.2 条 锚固区的耐火极限应不低于结构本身的耐火极限。

第 3.2.3 条 应严防氯化物对无粘结预应力筋的侵蚀。在混凝土施工中，不得使用含有氯离子的外加剂；锚固区后浇混凝土

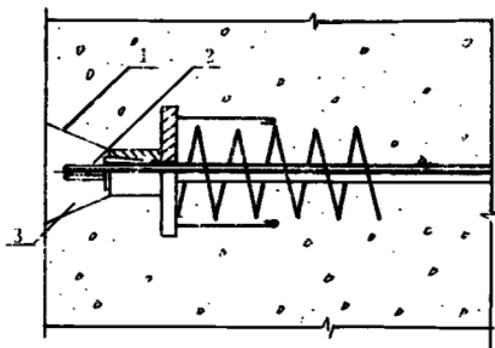
或砂浆不得含有氯化物。

第 3.2.4 条 在预应力筋全长上及锚具与连接套管的连接部位，外包材料均应连续、封闭且能防水。

第 3.2.5 条 无粘结预应力筋张拉完毕后，应及时对锚固区进行保护。对镦头锚具，应先用油枪通过锚杯注油孔向连接套管内注入足量防腐油脂（以油脂从另一注油孔溢出为止），然后用防腐油脂将锚杯内充填密实，并用塑料或金属帽盖严（图 3.2.5a），再在锚具及承压板表面涂以防水涂料；对夹片锚具，可先切除外露无粘结顶应力筋多余长度，然后在锚具及承压板表面涂以防水涂料（图 3.2.5b）。



(a) 镦头锚具的保护



(b) 夹片锚具的保护

图 3.2.5 锚固区保护措施

1——涂粘剂剂；2——涂防水涂料；3——后浇混凝土；4——塑料或金属帽

第 3.2.6 条 按第 3.2.5 条的规定进行处理后的无粘结预应力筋锚固区，应用后浇膨胀混凝土或低收缩防水砂浆或环氧砂浆密封。在浇筑砂浆前，宜在槽口内壁涂以环氧树脂类粘结剂。锚固区也可用后浇的外包钢筋混凝土圈梁进行封闭。外包圈梁不宜突出在外墙面以外。

对不能使用混凝土或砂浆包裹层的部位，应对无粘结预应力筋的锚具全部涂以与无粘结预应力筋涂料层相同的防腐油脂，并用具有可靠防腐和防火性能的保护套将锚具全部密闭。

第四章 设计计算与构造

第一节 一般规定

第 4.1.1 条 对一般民用建筑，无粘结预应力混凝土单向板的厚度宜取跨度的 $1/40 \sim 1/45$ ；板柱体系双向平板的厚度宜取柱网长边尺寸的 $1/40 \sim 1/45$ ；带平托板的双向平板（以柱中心向各向延伸计，平托板的延伸长度不宜小于板跨度的 $1/6$ ，平托板的厚度宜大于 1.5 倍板厚）的厚度宜取柱网长边尺寸的 $1/45 \sim 1/50$ ；密肋板的肋高（包括面板厚度）宜取柱网长边尺寸的 $1/30 \sim 1/35$ ；主梁高度宜取跨长的 $1/15 \sim 1/20$ ；次梁高度宜取跨长的 $1/20 \sim 1/25$ 。

第 4.1.2 条 当采用荷载平衡法估算无粘结预应力筋时，对一般民用建筑，平衡荷载值可取恒载标准值或恒载标准值加不超过 50% 的活荷载标准值。柱网尺寸各向不等时，平衡荷载值各向可取不同值。

无粘结预应力筋数量可按附录一的方法估算。

由预加应力对结构产生的内力和变形，可用等效荷载法进行计算。

第 4.1.3 条 无粘结预应力筋的有效预应力 σ_{pe} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sum_{n=1}^5 \sigma_{ln} \quad (4.1.3)$$

式中 σ_{con} —— 无粘结预应力筋张拉控制应力；

σ_{ln} —— 第 n 项预应力损失值。

预应力损失值有下列五项：

一、张拉端锚具变形和无粘结预应力筋内缩 σ_{l1} ；

二、无粘结预应力筋的摩擦 σ_2 ;

三、无粘结预应力筋的应力松弛 σ_4 ;

四、混凝土的收缩和徐变 σ_5 ;

五、采用分批张拉时，张拉后批无粘结预应力筋所产生的混凝土弹性压缩损失。

无粘结预应力筋的总损失值不应小于 80N/mm^2 。

第 4.1.4 条 无粘结预应力直线筋由于锚具变形和无粘结预应力筋内缩引起的预应力损失 σ_{11} (N/mm^2) 可按下列公式计算:

$$\sigma_{11} = \frac{\alpha}{l} E_p \quad (4.1.4)$$

式中 α ——张拉端锚具变形和无粘结预应力筋内缩值 (mm)。

当采用镦头锚具时, α 为 1mm ; 当采用夹片锚具时, α 为 5mm ;

l ——张拉端至锚固端之间的距离 (mm);

E_p ——无粘结预应力筋弹性模量 (N/mm^2)。

第 4.1.5 条 无粘结预应力曲线筋或折线筋由于锚具变形和无粘结预应力筋内缩引起的预应力损失值 σ_{11} , 应根据无粘结预应力曲线筋或折线筋与壁之间反向摩擦影响长度 l_f 范围内的无粘结预应力筋变形值等于锚具变形和无粘结预应力筋内缩值的条件确定, 反向摩擦系数可按本规程表 4.1.6 中数值取用。

一、抛物线形无粘结预应力筋可近似按圆弧形曲线考虑。当其对应的圆心角 θ 不大于 60° 时 (图 4.1.5—1), 其预应力损失值可按下列公式计算:

$$\sigma_{11} = 2\sigma_{\text{con}} l_f \left(\frac{\mu}{r_c} + k \right) \left(1 - \frac{x}{l_f} \right) \quad (4.1.5-1)$$

反向摩擦影响长度 (m) 按下列公式计算:

$$l_f = \sqrt{\frac{\alpha E_p}{1000\sigma_{\text{con}} (\mu/r_c + k)}} \quad (4.1.5-2)$$

式中 σ_{con} ——无粘结预应力筋的张拉控制应力;

r_c ——曲线无粘结预应力筋的曲率半径 (m);

μ ——无粘结预应力筋与壁之间的摩擦系数，按本规程表

4.1.6 取用；

k ——考虑无粘结预应力筋壁（每米）局部偏差对摩擦的影响系数；

x ——张拉端至计算截面的距离（m），且应符合 $X \leq l_f$ 的规定。

二、当无粘结预应力筋在端部为直线时，其初始长度为 l_0 ，而后由两条圆弧形曲线组成（图 4.1.5—2）。当每条圆弧对应的圆心角 θ 不大于 60° 时，其预应力损失 σ_{11} 可按下列公式计算：

当 $X \leq l_0$ 时：

$$\sigma_{11} = 2i_1 (l_1 - l_0) + 2i_2 (l_f - l_1) \quad (4.1.5-3)$$

当 $l_0 \leq x \leq l_1$ 时：

$$\sigma_{11} = 2i_1 (l_1 - x) + 2i_2 (l_f - l_1) \quad (4.1.5-4)$$

当 $l_1 \leq x \leq l_f$ 时：

$$\sigma_{11} = 2i_2 (l_f - x) \quad (4.1.5-5)$$

反向摩擦影响长度（m）按下列公式计算：

$$l_f = \sqrt{\frac{\alpha E_p}{1000i_2} \frac{i_1 (l_1^2 - l_0^2)}{i_2} + l_1^2} \quad (4.1.5-6)$$

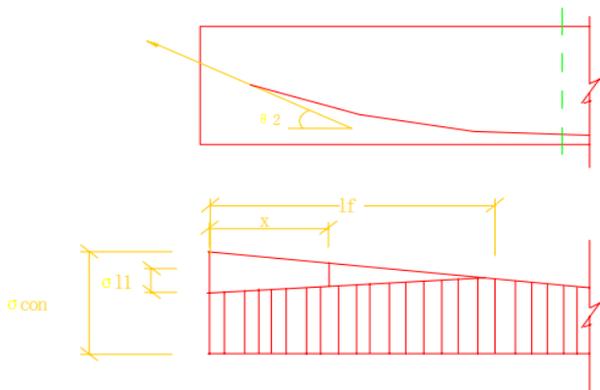
式中 i_1 ——第一段圆弧形曲线无粘结预应力筋中应力近似直线变化的斜率。其计算公式为：

$$i_1 = \sigma_A \left(k + \frac{\mu}{r_{c1}} \right)$$

i_2 ——第二段圆弧形曲线无粘结预应力筋中应力近似直线变化的斜率。其计算公式为：

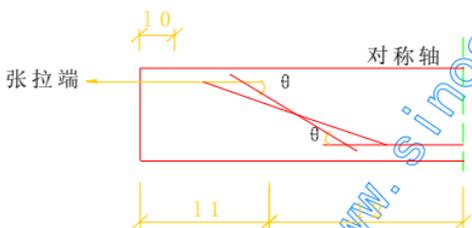
$$i_2 = \sigma_B \left(k + \frac{\mu}{r_{c2}} \right)$$

式中 σ_A 、 σ_B ——无粘结预应力筋在 A、B 点的应力。

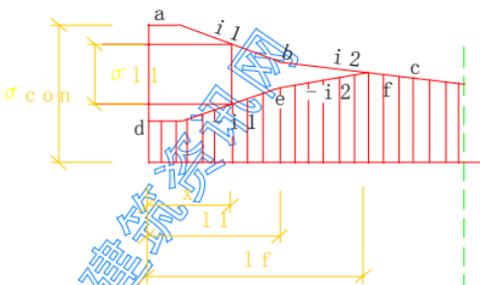


(b) 第一批预应力损失 σ_{l1} 后的分布

图 4.1.5—1 锚具变形和预应力筋内缩引起的损失



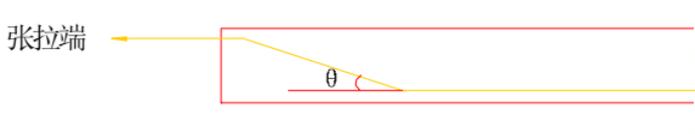
(a) 预应力筋轮廓



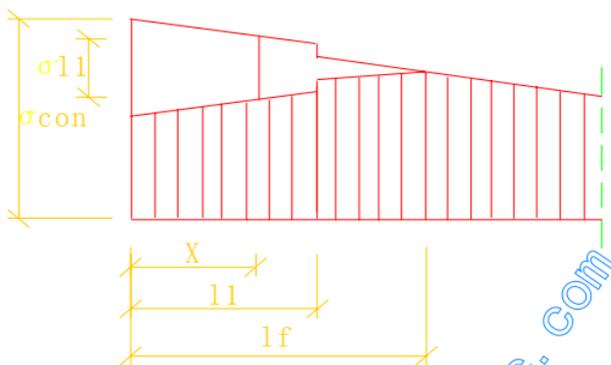
(b) 第一批预应力损失 σ_{l1} 后的分布

(b) 第一批预应力损失 σ_{l1} 后的分布

图 4.1.5—2 锚具变形和钢筋内缩引起的损失于曲线拐点外的情况



(a) 折线预应力筋



(b) 第一批预应力损失 σ_{11} 后的分布

图 4.1.5-3 锚固损失消失于折点外

三、折线形无粘结预应力筋当锚固损失消失于折点之外（图 4.1.5-3），其预应力损失可按下列公式计算：

当 $x \leq l_1$ 时：

$$\sigma_{11} = 2i_1 (l_1 - x) + 2\sigma_{f1} + 2i_2 (l_f - l_1) \quad (4.1.5-7)$$

当 $l_1 \leq x \leq l_f$ 时：

$$\sigma_{11} = 2i_2 (l_f - x) \quad (4.1.5-8)$$

反向摩擦影响长度 l_f (m) 按下列公式计算：

$$l_f = \sqrt{\frac{\alpha E_p}{1000i_2} - \frac{i_1 l_1^2 + \sigma_{11} l_1}{i_2}} + l_1^2 \quad (4.1.5-9)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{con} (1 - \kappa l_1) \mu \theta$$

式中 i_1 ——第一折线段预应力筋中应力近似直线变化的斜率。

计算公式：

$$i_1 = \sigma_{con} \kappa$$

i_2 ——第二折线段预应力筋中应力近似直线变化的斜率。

计算公式：

$$i_2 = \sigma_{\text{con}} (1 - \kappa l_1) (1 - \mu \theta) \kappa$$

第 4.1.6 条 无粘结预应力筋与壁之间的摩擦引起的预应力损失 σ_{12} (N/mm^2) (图 4.1.6)，可按下列公式计算：

$$\sigma_{12} = \sigma_{\text{con}} \left(1 - \frac{1}{e^{\kappa x + \mu \theta}}\right) \quad (4.1.6-1)$$

当 $\kappa x + \mu \theta$ 不大于 0.2 时， σ_{12} 可按下列近似公式计算：

$$\sigma_{12} = (\kappa x + \mu \theta) \sigma_{\text{con}} \quad (4.1.6-2)$$

式中 x —— 从张拉端至计算截面的曲线长度 (m)，亦可近似取曲线在纵轴上的投影长度；

θ —— 从张拉端至计算截面曲线部分切线夹角 (rad) 的总和。

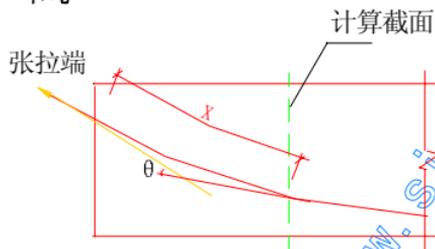


图 4.1.6 预应力摩擦损失计算

无粘结预应力筋的摩擦系数见表 4.1.6。

无粘结预应力筋的摩擦系数

表 4.1.6

无粘结预应力筋种类	κ	μ
7 ϕ 5 碳素钢丝	0.0035	0.10
ϕ 15 钢绞线	0.0040	0.12

第 4.1.7 条 由于无粘结预应力筋的应力松弛引起的预应力损失 σ_{14} (N/mm^2) 可按下列公式计算：

$$\sigma_{14} = \varphi (0.36 \frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.18) \sigma_{\text{con}} \quad (4.1.7)$$

当一次张拉时，取 $\varphi=1$ ；当超张拉时，取 $\varphi=0.9$ 。采用超张

拉方法的张拉程序应符合本规程第 5.3.4 条的要求。当 $\sigma_{\text{con}}/f_{\text{ptk}}$ 小于等于 0.5 时，无粘结预应力筋的应力松弛损失值应取等于零。

第 4.1.8 条 混凝土收缩、徐变引起的预应力损失 σ_{15} (N/mm^2) 可按下列公式计算：

$$\sigma_{15} = \frac{25 + 220 \frac{\sigma_{\text{pc}}}{f'_{\text{cu}}}}{1 + 15\rho} \quad (4.1.8)$$

式中 σ_{pc} ——受拉区无粘结预应力筋合力点处混凝土法向压应力；

f'_{cu} ——施加预应力时的混凝土立方体抗压强度；

ρ ——配筋率，受拉区无粘结预应力筋和非预应力钢筋截面面积之和与构件净截面面积的比值。对于对称配置预应力钢筋和非预应力钢筋的构件，配筋率应按其钢筋截面面积的一半进行计算。

计算无粘结预应力筋合力点处混凝土法向压应力 σ_{pc} 时，预应力损失值仅考虑混凝土预压前（第一批）的损失 σ_{11} 与 σ_{12} 之和； σ_{pc} 值不得大于 $0.5f'_{\text{cu}}$ 。计算混凝土法向应力 σ_{pc} 时，可根据构件制作情况考虑自重的影响。

对处于高湿度环境的结构，按本条公式计算的 σ_{15} 值可降低 50%；对处于干燥环境的结构， σ_{15} 值应增加 20%~30%。

第 4.1.9 条 无粘结预应力筋采用分批张拉时，应考虑后批张拉筋所产生的混凝土弹性压缩（或伸长）对先批张拉筋的影响，将先批张拉筋的张拉应力值 σ_{con} 增加（或减小） $\alpha_E \sigma_{\text{pci}}$ 。此处， α_E 为无粘结预应力筋弹性模量与混凝土弹性模量之比， σ_{pci} 为后批张拉筋在先批张拉筋重心处产生的混凝土法向应力。对无粘结预应力平板，为考虑后批张拉筋所产生的混凝土弹性压缩对先批张拉筋的影响，可将张拉应力值 σ_{con} 增加 $0.5\alpha_E \sigma_{\text{pc}}$ 。

第 4.1.10 条 平均预压应力指扣除全部预应力损失后，在混凝土总截面面积上建立的平均预压应力。对无粘结预应力混凝土平板，混凝土平均预压应力不宜小于 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ ，也不宜大于

3. $5\text{N}/\text{mm}^2$ 。

注：①若施加预应力仅为了满足构件的允许挠度时，可不受平均预压应力最小值的限制；

②当张拉长度较短，混凝土强度等级较高或采取专门措施时，最大平均预压应力限值可适当提高。

第 4.1.11 条 采用碳素钢丝、钢绞线作无粘结预应力筋的受弯构件，在承载能力极限状态下无粘结预应力筋的应力设计值 σ_p 按下列公式计算：

一、对跨高比 l/h 小于等于 35，且 β_0 小于等于 0.45 的构件：

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{pe} + (500 - 770\beta_0)}{1.2} \quad (4.1.11-1)$$

$$\beta_0 = \beta_p + \beta_s = \frac{A_p \sigma_{pe}}{f_{cm} b h_p} + \frac{A_s f_y}{f_{cm} b h_p} \quad (4.1.11-2)$$

式中 β_0 ——综合配筋指标；

σ_{pe} ——扣除全部预应力损失后，无粘结预应力筋中的有效预应力。

二、对跨高比 l/h 大于 35，且 β_0 小于等于 0.45 的构件：

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{pe} + (250 - 380\beta_0)}{1.2} \quad (4.1.11-3)$$

σ_p 均不应小于无粘结预应力筋的有效预应力 σ_{pe} ，也不应大于无粘结预应力钢材的抗拉强度设计值 f_{py} 。

第 4.1.12 条 按弹性计算的超静定结构，在设计中应考虑无粘结预应力筋在结构截面中所产生次内力的影响。其次弯矩 M_2 和主弯矩 M_1 可分别按下列公式确定：

次弯矩按下列公式计算：

$$M_2 = M_r - M_1 \quad (4.1.12-1)$$

式中 M_r ——总弯矩，由预应力等效荷载在结构截面上产生的弯矩；

M_2 ——次弯矩，超静定结构由于预应力主弯矩引起的变形受到约束而产生的弯矩。

主弯矩按下列公式计算：

$$M_1 = N_{pe} e_p \quad (4.1.12-2)$$

$$N_{pe} = \sigma_{pe} A_p \quad (4.1.12-3)$$

式中 N_{pe} ——无粘结预应力筋中的总有效预加力；

e_p ——无粘结预应力筋重心对截面重心的偏心距。

在进行抗裂验算及正截面承载力计算时，应考虑次弯矩对截面弯矩值的影响。次弯矩对正截面承载力的影响，可按下列规定计算：

负弯矩截面受弯承载力按下列公式计算：

$$|M| - |M_2| \leq M_u \quad (4.1.12-4)$$

正弯矩截面受弯承载力按下列公式计算：

$$|M| + |M_2| \leq M_u \quad (4.1.12-5)$$

式中 M ——结构截面上的弯矩设计值（不包括预应力作用）；

M_u ——构件正截面受弯承载力设计值。

注：公式（4.1.12-4）适用于总弯矩 M_T 与主弯矩 M_1 绝对值之差大于零的情况；

公式（4.1.12-5）适用于总弯矩 M_T 与主弯矩 M_1 绝对值之差小于零的情况。

第 4.1.13 条 在无粘结预应力混凝土构件中的锚头局压区，应验算局部受压承载力。在锚具的局部受压计算中，纵向力应取 $1.2\sigma_{con}$ 和 $0.8f_{ptk}$ 中的较大值进行计算， f_{ptk} 为无粘结预应力筋的抗拉强度标准值。

第 4.1.14 条 无粘结预应力混凝土受弯构件在荷载短期效应组合作用下的变形，可根据构件的短期刚度 B_s 用结构力学的方法计算。对不出现裂缝的构件，短期刚度 B_s 可按下列公式确定：

$$B_s = 0.85 E_c I_0 \quad (4.1.14)$$

式中 I_0 ——换算截面惯性矩。

第 4.1.15 条 在荷载短期效应组合并考虑荷载长期效应组合影响时，受弯构件的长期刚度 B_l 可按下列公式计算：

$$B_l = \frac{M_s}{M_1 (\theta - 1) + M_s} B_s \quad (4.1.15)$$

式中 M_1 ——荷载长期效应组合作用下的弯矩值；

M_s ——荷载短期效应组合作用下的弯矩值；

θ ——挠度增大影响系数，取 2.0。

第 4.1.16 条 为减少柱子和墙对梁和板预加应力效果的不利影响，采取下列措施：

一、将抗侧力构件布置在结构位移中心不动点附近；采用相对细长的柔性柱子；或在柱中配置附加钢筋承担约束作用产生的附加弯矩；

二、板的长度超过 50m 时，可采用后浇带或临时施工缝将结构分段。但预应力筋和非预应力钢筋仍应连续通过；

二、将梁和支承柱子之间的节点设计成在张拉过程中可产生无约束滑动的滑动支座。

第二节 单向体系

第 4.2.1 条 无粘结预应力混凝土受弯构件受拉区非预应力钢筋的配置，应符合下列规定：

一、单向板非预应力钢筋的截面面积 A_s 应按下式计算：

$$A_s \geq 0.002bh \quad (4.2.1-1)$$

式中 b ——截面宽度；

h ——截面高度。

且非预应力钢筋直径不应小于 8mm，其间距不应大于 200mm。

二、梁中受拉区配置的非预应力钢筋的最小截面面积 A_s 应符合下列规定：

$$\frac{A_s f_y}{A_s f_y + A_p \sigma_p} \geq 0.25 \quad (4.2.1-2)$$

或
$$A_s = 0.003bh \quad (4.2.1-3)$$

取以上两式计算结果的较大者。钢筋直径不应小于 14mm。

按式 (4.2.1-1) ~ (4.2.1-3) 要求的非预应力钢筋，应均匀分布在梁的受拉区，并靠近受拉边缘。非预应力钢筋长度应

符合有关规范锚固长度或延伸长度的要求。

第 4.2.2 条 无粘结预应力混凝土受弯构件的正截面受弯承载力设计值应符合下列要求：

$$M_u \geq M_{cr} \quad (4.2.2-1)$$

$$M_{cr} = (\sigma_{pc} + r f_{tk}) W_0 \quad (4.2.2-1)$$

式中 M_u ——构件正截面受弯承载力设计值；

M_{cr} ——构件正截面开裂弯矩值。

第 4.2.3 条 无粘结预应力混凝土受弯构件的斜截面受剪承载力可按《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 第四章第二节的有关条款的公式进行计算，但无粘结预应力弯起筋的应力设计值应取有效预应力值。

第 4.2.4 条 无粘结预应力筋的最大间距可取板厚度的 6 倍，且不宜大于 1.0m。

第 4.2.5 条 在主梁、次梁和密肋板中，必须配置无粘结预应力筋的支撑钢筋。对于 2~4 根无粘结预应力筋组成的集束预应力筋，支撑钢筋的直径不宜小于 10mm，间距不宜大于 1.0m；对于 5 根或更多无粘结预应力筋组成的集束预应力筋，其直径不宜小于 12mm，间距不宜大于 1.2m；用于支撑平板中单根无粘结预应力筋的支撑钢筋，间距不宜大于 2.0m。支撑钢筋应采用 I 级钢筋。

第三节 双向体系

第 4.3.1 条 无粘结预应力板柱体系双向板的计算，应按板的纵横两个方向进行。

垂直荷载作用下的矩形柱网无粘结预应力混凝土平板、密肋板，可按等代框架法进行内力计算；等代梁的梁宽可取柱两侧半跨之和。对格梁板、柱网较特殊的板、承受大集中荷载和大开孔的板，可采用有限单元法等方法进行计算。

第 4.3.2 条 在侧向力作用下的矩形柱网无粘结预应力混凝土

土平板、密肋板，按等代框架法进行内力计算时，等代梁的板宽取值应符合第 4.3.3 条的规定。侧向力产生的内力，应组合到柱上板带或密肋板的主梁上。

第 4.3.3 条 在侧向力作用下，等代框架梁的计算宽度取下列公式计算结果的较小值：

$$b_y = \frac{1}{2} (l_x + b_d) \quad (4.3.3-1)$$

$$b_y = \frac{3}{4} l_y \quad (4.3.3-2)$$

式中 b_y ——Y 向等代框架梁的计算宽度；

l_x 、 l_y ——等代梁的计算跨度；

b_d ——平托板的有效宽度。

第 4.3.4 条 对于等厚的实体双向板，非预应力纵向钢筋最小截面面积及其分布应符合下列规定：

一、负弯矩区非预应力纵向钢筋。在柱边的负弯矩区，每一方向上非预应力钢筋的截面面积应符合下列规定：

$$A_s \geq 0.00075h_l \quad (4.3.4-1)$$

式中 l ——平行于计算纵向钢筋方向上板的跨度；

h ——板的厚度。

由上式确定的非预应力纵向钢筋，应分布在各离柱边 $1.5h$ 的板宽范围内。每一方向至少应设置 4 根直径不小于 16mm 的钢筋。非预应力纵向钢筋间距不应大于 300mm ，外伸出柱边长度至少为支座每一边净跨的 $1/6$ 。在承载力计算中考虑非预应力纵向钢筋的作用时，其外伸长度应按计算确定，并应符合有关规范对锚固长度的规定。

二、正弯矩区非预应力纵向钢筋。在正弯矩区每一方向上的非预应力纵向钢筋的截面面积应符合下列规定：

$$A_s \geq 0.0015bh \quad (4.3.4-2)$$

在正常使用极限状态下受拉区不允许出现拉应力时，双向板每一方向上的非预应力纵向钢筋的截面面积应按下列公式计算：

$$A_s \geq 0.001bh$$

(4.3.4-3)

且钢筋直径不应小于 **6mm**，间距不应大于 **200mm**。

非预应力纵向钢筋应均匀分布在板的受拉区内，并应靠近受拉边缘布置。在承载力计算中考虑非预应力纵向钢筋的作用时，其长度应符合有关规范对锚固长度的规定。

三、在平板的边缘和拐角处，应设置暗圈梁或设置钢筋混凝土边梁。暗圈梁的纵向钢筋直径不应小于 **12mm**，且不应少于 **4** 根；箍筋直径不应小于 **6mm**，间距不应大于 **250mm**。

第 4.3.5 条 现浇板柱节点型式及构造设计应符合下列要求：

一、无粘结预应力筋和按第 4.3.4 条规定配置的非预应力纵向钢筋应正交穿过板柱节点。每一方向穿过柱子的无粘结预应力筋不应少于 **2** 根。

二、如需增强板柱节点的冲切承载力，可采用以下方法：

1. 将板柱节点附近板的厚度局部加厚(图 4.3.5a)或加柱帽。

2. 可采用穿过柱截面布置于板内的暗梁，暗梁由抗剪箍筋与纵向钢筋构成(图 4.3.5b)。此时上部钢筋不应少于暗梁宽度范围内柱上板带所需非预应力纵向钢筋，且直径不应小于 **16mm**；下部钢筋直径也不应小于 **16mm**。

3. 当采用互相垂直并通过柱子截面的型钢，如工字钢、槽钢焊接而成的型钢剪力架时(图 4.3.5c)，应按第 4.3.8 条进行设计。

第 4.3.6 条 在集中反力作用下不配置箍筋和弯起钢筋的无粘结预应力混凝土板，其冲切承载力可按下列公式计算：

$$F_1 \leq (0.6f_t + 0.15\sigma_{pcm}) u_m h_0 \quad (4.3.6)$$

式中 F_1 ——集中反力设计值(当计算无粘结预应力无梁楼盖柱子或柱帽处的冲切承载力时，取本层传给柱的轴向力设计值减去柱顶冲切破坏锥体范围内的荷载设计值)；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

σ_{pcm} ——由有效预应力产生的混凝土平均预压应力，当两个方向平均预压应力不同时，可取加权平均值；

u_m ——距集中反力作用面积周边 $h_0/2$ 处的周长；

h_0 ——截面的有效高度。

当板柱节点附近采取局部加厚楼板的做法时(图 4.3.5a)，应验算板厚变化处板的冲切承载力。

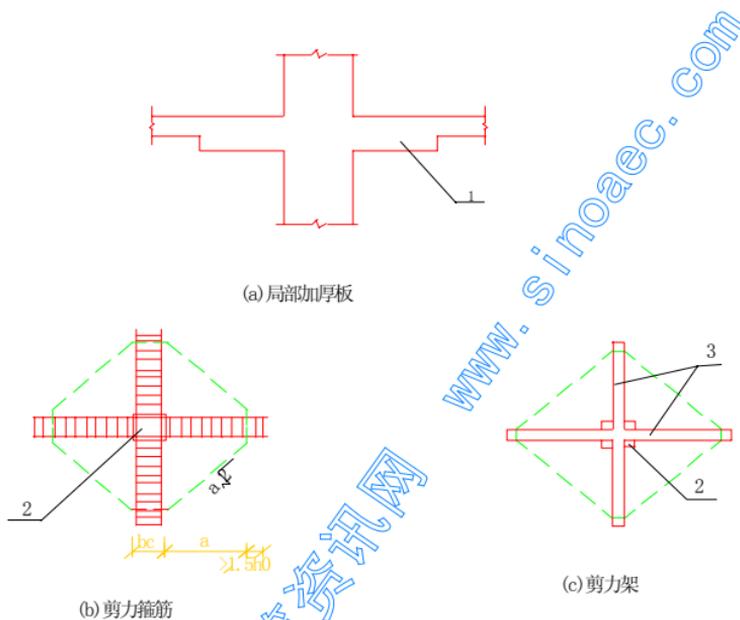


图 4.3.5 节点型式及构造

1——局部加厚板； 2——柱； 3——剪力架

第 4.3.7 条 在集中反力作用下，当冲切承载力不满足公式 (4.3.6) 的要求且板厚受到限制时，可配置箍筋或弯起钢筋，此时无粘结预应力混凝土板的冲切承载力可按下列公式计算：

当配置箍筋时：

$$f_1 \leq (0.3f_t + 0.15\sigma_{pcm}) u_m h_0 + 0.8f_{yv} A_{svu} \quad (4.3.7-1)$$

当配置弯起钢筋时:

$$f_1 \leq (0.3f_t + 0.15\sigma_{pcm}) u_m h_0 + 0.8f_y A_{sbu} \sin\alpha \quad (4.3.7-2)$$

此外,受冲切截面尚应满足下列要求:

$$f_1 \leq 1.05f_t u_m h_0 \quad (4.3.7-3)$$

式中 A_{svu} ——与呈 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部箍筋截面面积;

A_{sbu} ——与呈 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部弯起钢筋截面面积;

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值;

f_y ——弯起钢筋抗拉强度设计值;

α ——弯起钢筋与板底面的夹角。

对配置箍筋和弯起钢筋的冲切破坏锥体以外的截面的冲切承载力应按下列公式计算:

$$f_1 \leq 0.6f_t u_m h_0 \quad (4.3.7-4)$$

此时, u_m 应取冲切破坏锥体以外 $0.5h_0$ 处的最不利周长。

第 4.3.8 条 型钢剪力架的设计应符合下列规定:

一、型钢剪力架每个伸臂末端可削成与水平呈 $30^\circ \sim 60^\circ$ 的斜角。

二、型钢剪力架每个伸臂的刚度与混凝土组合板换算截面刚度的比值 α_a 应符合下列要求:

$$\alpha_a \geq 0.15 \quad (4.3.8-1)$$

$$\alpha_a = \frac{E_a I_a}{E_c I_{0cr}} \quad (4.3.8-2)$$

式中 I_a ——型钢截面惯性矩;

I_{0cr} ——组合板裂缝截面的换算截面惯性矩。

计算惯性矩 I_{0cr} 时,按型钢和非预应力钢筋的换算面积以及混凝土受压区的面积计算确定,此时组合板截面宽度取垂直于所计算弯矩方向的柱宽 b_c 与板的有效高度 h_0 之和。

型钢的全部受压翼缘应位于距混凝土板的受压边缘 $0.3h_0$ 范围内；剪力架的型钢高度不应大于其腹板厚度的 70 倍。

三、工字钢焊接剪力架伸臂长度可由下列近似公式确定（图 4.3.8a）：

$$l_a = \frac{u_{md}}{3\sqrt{2}} - \frac{b_c}{6} \quad (4.3.8-3)$$

$$u_{md} \geq \frac{F_{1e}}{0.6f_t h_0} \quad (4.3.8-4)$$

式中 u_{md} ——设计截面周长；

F_{1e} ——距柱周边 $h_0/2$ 处的等效集中反力设计值。当无侧向力作用时， $F_{1e}=F_1$ ；当有侧向力作用时，可由公式（4.3.10）确定；

b_c ——方形柱的边长。

槽钢焊接剪力架的伸臂长度可按（图 4.3.8b）所示的计算截面周长，用与工字钢焊接剪力架的类似方法确定。

四、剪力架每个伸臂根部的弯矩设计值及受弯承载力应满足下列要求：

$$M_d = \frac{F_{1e}}{2\eta} \left[h_a + \alpha_n \left(l_a - \frac{h_c}{2} \right) \right] \quad (4.3.8-5)$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_a \quad (4.3.8-6)$$

式中 h_a ——剪力架每个伸臂型钢的全高；

F_{1e} ——距柱周边 $h_0/2$ 处的等效集中反力设计值；

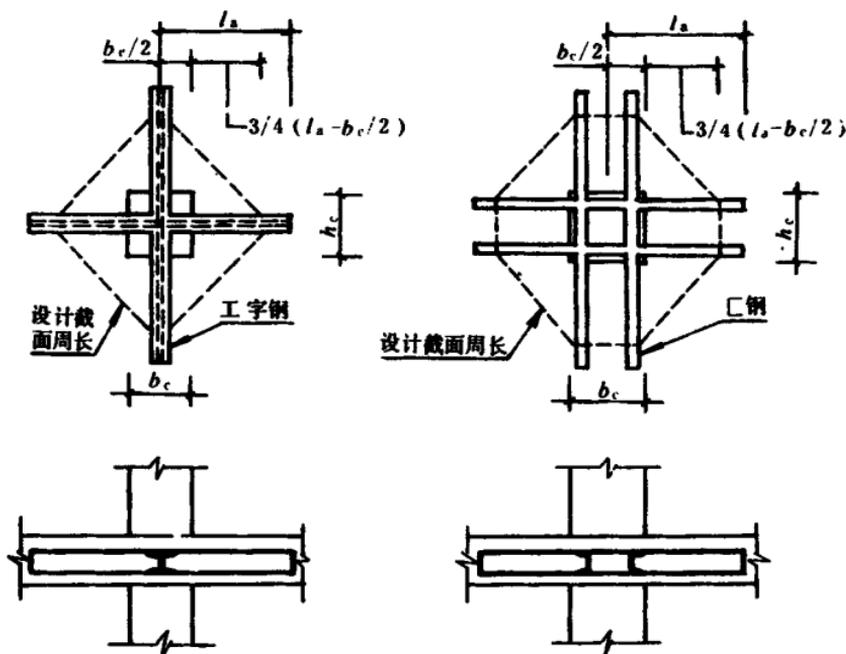
h_c ——计算弯矩方向的柱子尺寸；

η ——型钢剪力架相同伸臂的数目；

f_a ——钢材的抗拉强度设计值。

五、配置型钢剪力架板的冲切承载力应满足下列要求：

$$f_1 \leq 1.2f_t u_m h_0 \quad (4.3.8-7)$$



(a) 工字钢焊接剪力架

(b) 槽钢焊接剪力架

图 4.3.8 剪力架及其计算冲切面

第 4.3.9 条 由侧向力在板支座处产生的弯矩应组合到第 4.3.3 条所规定的板有效宽度的柱上板带中去，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 $1/2$ 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 (图 4.3.9)。

由弯曲传递的部分不平衡弯矩，应由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) 范围内的板截面受弯承载力传递。配置在此有效宽度范围内的无粘结预应力筋和非预应力钢筋可以用来承受这部分弯矩。按第 4.1.11 条确定此处无粘结预应力筋的应力设计值 σ_p 时， β_0 应按上述有效板宽确定。

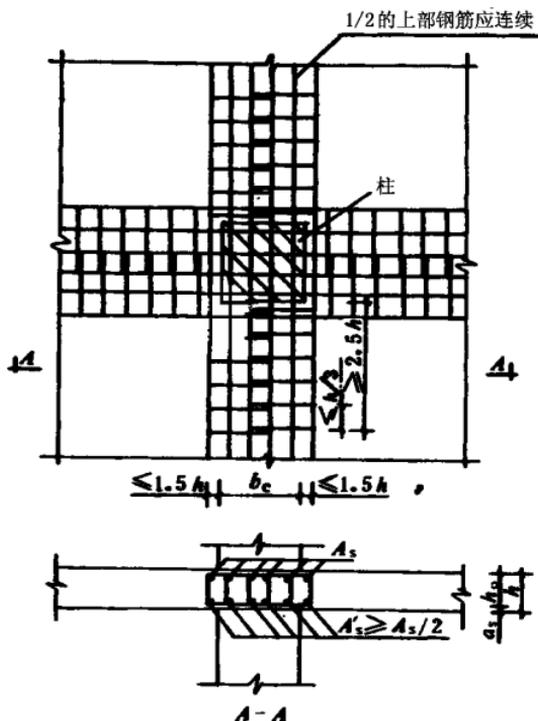


图 4.3.9 暗梁配筋要求

第 4.3.10 条 板柱节点在竖向荷载和侧向力作用下,当通过板柱节点冲切破坏面上的剪应力传递部分不平衡弯矩时,冲切承载力计算的等效集中反力设计值 F_{le} 可按下列公式计算:

$$F_{le} = V + \frac{\alpha_0 M_{\text{und}} \alpha_{AB}}{J_c} u_m h_0 \quad (4.3.10)$$

$$M_{\text{unb}} = M_{\text{unb},h} \pm V e_g$$

式中 V —— 竖向荷载 F_1 产生的剪力设计值, 取值为 $V = F_1$;

α_0 —— 系数, 按附录二计算;

α_{AB} —— 破坏截面重心至边缘在弯矩传递方向的距离;

$M_{\text{unb},h}$ —— 侧向力作用方向的节点不平衡弯矩;

J_c ——破坏截面的极惯性矩，按附录二计算；

e_g ——柱子截面重心轴至破坏截面重心轴在弯矩作用方向的距离。

对未配置箍筋和弯起钢筋板的冲切承载力按公式(4.3.6)计算，对配置箍筋和弯起钢筋的冲切承载力，分别按公式(4.3.7—1)和(4.3.7—2)计算。配置箍筋和弯起钢筋的冲切截面尚应满足公式(4.3.7—3)的要求。配置型钢剪力架板的冲切截面尚应满足公式(4.3.8—7)的要求。

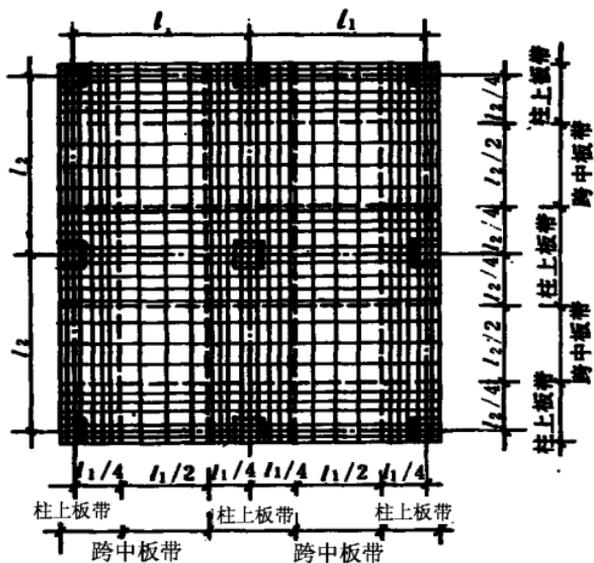
第4.3.11条 在均布荷载作用下，现浇平板结构中无粘结预应力筋的布置和分配宜满足下列要求：

一、无粘结预应力筋的布置方式可按划分柱上板带和跨中板带设置(图4.3.11a)。这时，无粘结预应力筋分配在柱上板带的数量可占60%~75%，其余40%~25%则分配在跨中板带上；

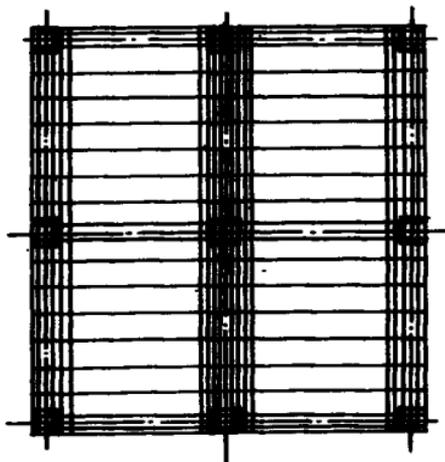
二、无粘结预应力筋也可取一向集中布置，另一向均匀布置(图4.3.11b)。对集中布置的无粘结预应力筋，宜分布在各离柱边1.5h的范围内；对均布方向的无粘结预应力筋，最大间距不得超过板厚度的6倍，且不宜大于1.0m。

各种布筋方式每一方向穿过柱子的无粘结预应力筋的数量不得少于2根。

第4.3.12条 在板内无粘结预应力筋可分两侧绕过开洞处铺设，无粘结预应力筋距洞口不宜小于150mm，水平偏移的曲率半径不宜小于6.5m。洞口边应配置构造钢筋加强。



(a) 划分柱上板带和跨中板带布筋



(b) 一向集中，另一向均匀布筋

图 4.3.11 布筋方式

第五章 施工及验收

第一节 无粘结预应力筋的制作、包装及运输

第 5.1.1 条 单根无粘结预应力筋的制作，涂料层的涂敷和外包层的制作应一次完成，涂料层防腐油脂应完全填充预应力筋与外包层之间的环形空间，外包层宜采用挤塑成型工艺，并由专业化工厂生产。

第 5.1.2 条 挤塑成型后的无粘结预应力筋应按工程所需的长度和锚固形式下料、组装，镦头锚具系统无粘结预应力筋的制作和组装应按附录三的规定进行。

第 5.1.3 条 无粘结预应力筋下料长度，应综合考虑其曲率、锚固端保护层厚度、张拉伸长值及混凝土压缩变形等因素，并根据不同的张拉方法和锚固形式预留张拉长度。

第 5.1.4 条 无粘结预应力筋的包装、运输、保管应符合下列要求：

一、在不同规格、品种的无粘结预应力筋上，均应有易于区分的标记；

二、带有镦头锚具的无粘结预应力筋，应采取有效措施防止锚具及塑料保护套磨损或沾染灰沙；

三、无粘结预应力筋应成盘或顺直运输。成盘运输时，盘径不宜小于 2m，每盘长度不宜超过 200m。长途运输时，必须采取有效的包装措施；

四、装卸吊装时，应保持在成盘或顺直状态下起吊、搬运，不得摔砸踩踏，严禁钢丝绳或其它坚硬吊具与无粘结预应力筋的外包层直接接触；

五、无粘结预应力筋应按规格、品种成盘或顺直地分开堆放在通风干燥处。露天堆放时，不得直接与地面接触，并应采取覆盖措施。

第二节 无粘结预应力筋的铺放和浇筑混凝土

第 5.2.1 条 无粘结预应力筋送到现场后，应及时检查其规格尺寸和数量，逐根检查其端部配件无误后，方可分类堆放。对局部破损的外包层，可用水密性胶带进行缠绕修补，胶带搭接宽度不应小于胶带宽度的 $1/2$ ，缠绕长度应超过破损长度，严重破损的应予以报废。

第 5.2.2 条 张拉端端部模板预留孔应按施工图中规定的无粘结预应力筋的位置编号和钻孔。

第 5.2.3 条 张拉端的承压板应用钉子或螺栓固定在端部模板上，且应保持张拉作用线与承压板面相垂直。

第 5.2.4 条 无粘结预应力筋应按设计图纸的规定进行铺放。铺放时应符合下列要求：

一、无粘结预应力筋允许采用与普通钢筋相同的绑扎方法，铺放前应通过计算确定无粘结预应力筋的位置，其垂直高度宜采用支撑钢筋控制，亦可与其它钢筋绑扎。支撑钢筋应符合第 4.2.5 条的要求。无粘结预应力筋位置的垂直偏差，在板内为 $\pm 5\text{mm}$ ，在梁内为 $\pm 10\text{mm}$ ；

二、无粘结预应力筋的位置宜保持顺直；

三、铺放双向配置无粘结预应力筋时，应对每个纵横筋交叉点相应的两个标高进行比较。对各交叉点标高较低的无粘结预应力筋应先进行铺放，标高较高的次之，宜避免两个方向的无粘结预应力筋相互穿插铺放；

四、敷设的各种管线不应将无粘结预应力筋的垂直位置抬高或压低；

五、当集束配置多根无粘结预应力筋时，应保持平行走向，防

止相互扭绞；

六、无粘结预应力筋采取竖向、环向或螺旋形铺放时，应有定位支架或其它构造措施控制位置。

第 5.2.5 条 在板内无粘结预应力筋绕过开洞处的铺放位置应符合第 4.3.12 条的规定。

第 5.2.6 条 张拉端和固定端的安装，应符合下列规定：

一、锚头锚具系统张拉端的安装。先将塑料保护套插入承压板孔内，通过计算确定锚杯的预埋位置，并用定位螺杆将其固定在端部模板上。定位螺杆拧入锚杯内必须顶紧各钢丝锚头，并根据定位螺杆露在模板外的尺寸确定锚杯预埋位置（图 5.2.6）。外露定位螺杆尺寸按下列公式计算：

$$l_1 = l_0 - l_2 - (\Delta l_p^c - h_t) - d_f \quad (5.2.6)$$

式中 l_1 ——定位螺杆外露在模板外的尺寸 (mm)；

l_0 ——定位螺杆长度 (mm)；

l_2 ——定位螺杆拧入锚杯内的长度 (mm)；

Δl_p^c ——无粘结预应力筋计算伸长值 (mm)；

h_t ——张拉后，锚杯拧套锚具螺母所需长度 (mm)；

d_f ——模板厚度 (mm)。

二、锚头锚具系统固定端的安装。按设计要求的位置将固定端锚板绑扎牢固。钢丝锚头必须与锚板贴紧，严禁锚板相互重叠放置。

三、夹片锚具系统张拉端的安装。无粘结预应力筋的外露长度应根据张拉机具所需的长度确定，无粘结预应力曲线筋或折线筋末端的切线应与承压板相垂直，曲线段的起始点至张拉锚固点应有不小于 300mm 的直线段。

在安装带有穴模或其它预先埋入混凝土中的张拉端锚具时，各部件之间不应有缝隙。

四、夹片锚具系统固定端的安装。将组装好的固定端按设计要求的位置绑扎牢固。

五、张拉端和固定端均必须按设计要求配置螺旋筋，螺旋筋应紧靠承压板或锚杯，并固定可靠。

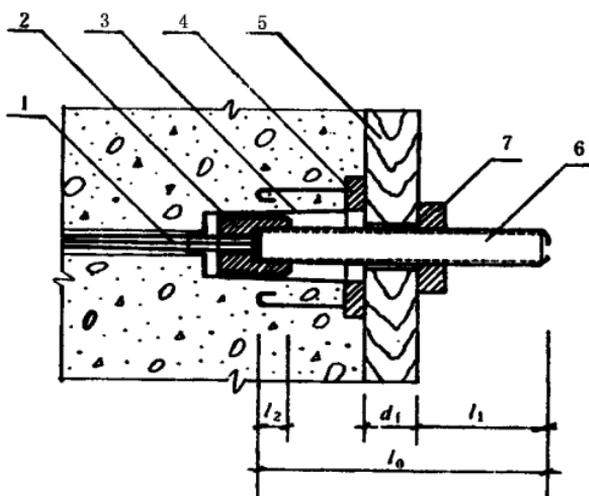


图 5.2.6 锚头锚具系统张拉端安装示意

1——无粘结预应力钢丝束；2——锚头锚杯；3——塑料保护套；
4——承压板；5——模板；6——定位螺杆；7——螺母

第 5.2.7 条 浇筑混凝土时，除按有关规范的规定执行外，尚应遵守下列规定：

一、无粘结预应力筋铺放、安装完毕后，应进行隐蔽工程验收，当确认合格后方可浇筑混凝土；

二、混凝土浇筑时，严禁踏压撞碰无粘结预应力筋、支撑架以及端部预埋部件；

三、张拉端、固定端混凝土必须振捣密实。

第三节 无粘结预应力筋的张拉

第 5.3.1 条 无粘结预应力筋张拉机具及仪表，应由专人使用和管理，并定期维护和校验。

张拉设备应配套校验。压力表的精度不宜低于 1.5 级；校验

张拉设备用的试验机或测力计精度不得低于 $\pm 2\%$ ；校验时千斤顶活塞的运行方向，应与实际张拉工作状态一致。

张拉设备的校验期限，不宜超过半年。当张拉设备出现反常现象时或在千斤顶检修后，应重新校验。

第 5.3.2 条 安装张拉设备时，对直线的无粘结预应力筋，应使张拉力的作用线与无粘结预应力筋中心线重合；对曲线的无粘结预应力筋，应使张拉力的作用线与无粘结预应力筋中心线末端的切线重合。

第 5.3.3 条 无粘结预应力筋的张拉控制应力，应符合设计要求。如需提高张拉控制应力值时，不宜大于碳素钢丝、钢绞线强度标准值的 75%。

第 5.3.4 条 当采用超张拉方法减少无粘结预应力筋的松弛损失时，无粘结预应力筋的张拉程序宜为：

从零应力开始张拉至 1.05 倍预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} ，持荷 2min 后，卸荷至预应力筋的张拉控制应力；或从应力为零开始张拉至 1.03 倍预应力筋的张拉控制应力。

其中 σ_{con} 为无粘结预应力筋的张拉控制应力。

第 5.3.5 条 当采用应力控制方法张拉时，应校核无粘结预应力筋的伸长值。如实际伸长值大于计算伸长值 10% 或小于计算伸长值 5%，应暂停张拉，查明原因并采取措施予以调整后，方可继续张拉。

第 5.3.6 条 无粘结预应力筋伸长值 ΔL_p^c ，可按下列公式计算：

$$\Delta L_p^c = \frac{F_{pm} l_p}{A_p E_p} \quad (5.3.6-1)$$

式中 F_{pm} ——无粘结预应力筋的平均张拉力 (kN)，取张拉端的拉力与固定端（两端张拉时，取跨中）扣除摩擦损失后拉力的平均值；

l_p ——无粘结预应力筋的长度 (mm)；

A_p ——无粘结预应力筋的截面面积 (mm²)；

E_p ——无粘结预应力筋的弹性模量 (kN/mm^2)。

无粘结预应力筋的实际伸长值，宜在初应力为张拉控制应力 10% 左右时开始量测，分级记录。其伸长值可由量测结果按下列公式确定：

$$\Delta l_p^0 = \Delta l_{p1}^0 + \Delta l_{p2}^0 - \Delta l_c \quad (5.3.6-2)$$

式中 Δl_{p1}^0 ——初应力至最大张拉力之间的实测伸长值；

Δl_{p2}^0 ——初应力以下的推算伸长值。可根据弹性范围内张拉力与伸长值成正比的关系推算确定；

Δl_c ——混凝土构件在张拉过程中的弹性压缩值。

第 5.3.7 条 无粘结预应力筋张拉过程中，当有个别钢丝发生滑脱或断裂时，可相应降低张拉力。但滑脱或断裂的数量，不应超过结构同一截面无粘结预应力筋总量的 2%，且 1 束钢丝只允许 1 根。

注：对于多跨双向连续板，其同一截面应按每跨计算。

第 5.3.8 条 张拉时，混凝土立方体抗压强度应符合设计要求。当设计无要求时，不宜低于混凝土设计强度等级的 75%。

第 5.3.9 条 无粘结预应力筋的张拉顺序应符合设计要求，如设计无要求时，可采用分批、分阶段对称张拉或依次张拉。

第 5.3.10 条 当无粘结预应力筋需进行两端张拉时，可先在一端张拉并锚固，再在另一端补足张拉力后进行锚固。

第 5.3.11 条 无粘结预应力筋张拉时，应逐根填写张拉记录表，其格式可参照附录四。

第 5.3.12 条 镦头锚具张拉时，应符合下列要求：

一、张拉前，清理承压板面，并检查承压板后混凝土质量；
二、张拉杆拧入锚杯内的长度不应小于锚具设计规定值，承力架应垂直地支承在构件端部的承压板板面上；

三、无粘结预应力筋的实际伸长值 Δl_p^0 ，可按公式 (5.3.6-2) 确定；

四、当张拉力达到设计要求，由于锚杯埋放定位误差致使锚

杯外露长度过长或过短时，应采取增设螺母或接长锚杯进行锚固的措施。

第 5.3.13 条 夹片锚具张拉时，应符合下列要求：

- 一、张拉前应清理承压板面，检查承压板后面的混凝土质量；
- 二、锚固采用液压顶压器顶压时，千斤顶应在保持张拉力的情况下进行顶压，顶压压力应符合设计规定值；
- 三、无粘结预应力筋的实际伸长值 Δl_p^0 ，可按公式（5.3.6—2）确定。

注：为减少锚具变形和预应力筋内缩造成的预应力损失，可进行二次补拉并加垫片，二次补拉的张拉力为控制张拉力。

第 5.3.14 条 无粘结预应力筋张拉锚固后实际预应力值与工程设计规定检验值的相对允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

第 5.3.15 条 张拉后，宜采用砂轮锯或其它机械方法切断超长部分的无粘结预应力筋，严禁采用电弧切断。无粘结预应力筋切断后露出锚具夹片外的长度不得小于 30mm。

第 5.3.16 条 张拉后的锚具，应及时按第三章第二节的有关规定进行防护处理。

第四节 工程验收

第 5.4.1 条 无粘结预应力混凝土结构验收时，应提供下列文件和记录：

一、文件：

1. 设计变更和钢材代用证件；
2. 原材料质量合格证件；
3. 无粘结预应力筋、锚具出厂质量合格证件；
4. 工程的重大问题处理文件；
5. 其它文件。

二、记录：

1. 混凝土试件的试验报告及质量评定记录；

2. 无粘结预应力筋张拉记录；
3. 隐蔽工程验收记录；
4. 加工、组装无粘结预应力筋张拉端和固定端质量验收记录；
5. 钢丝锚头质量验收记录。

第 5.4.2 条 无粘结预应力混凝土工程的验收，除检查有关文件、记录外，尚应进行外观抽查。

第 5.4.3 条 当提供的文件、记录及外观抽查结果均符合《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204 和本规程的要求时，即可进行验收。

附录一 无粘结预应力筋数量估算

无粘结预应力筋截面面积可按下列公式估算：

$$A_p = \frac{N_{pe}}{\sigma_{con} - \sigma_{1,tot}} \quad (\text{附 1.1})$$

式中 A_p ——无粘结预应力筋截面面积；

σ_{con} ——无粘结预应力筋的张拉控制应力；

$\sigma_{1,tot}$ ——无粘结预应力筋总损失的估算值。对板可取 $0.2\sigma_{con}$ ，对梁可取 $0.3\sigma_{con}$ ；

N_{pe} ——无粘结预应力筋有效预加力。

根据结构类型和正截面抗裂验算要求，无粘结预应力筋有效预加力值 N_{pe} ，可按下列两个公式进行估算，并取其计算结果的较大值：

$$N_{pe} = \frac{\frac{\beta M_s}{W} - \alpha_{cts} \gamma f_{tk}}{\frac{1}{A} + \frac{e_p}{W}} \quad (\text{附 1.2})$$

$$N_{pe} = \frac{\frac{\beta M_1}{W} - \alpha_{ct1} \gamma f_{tk}}{\frac{1}{A} + \frac{e_p}{W}} \quad (\text{附 1.3})$$

式中 M_s 、 M_1 ——按均布荷载的短期效应组合或长期效应组合计算的弯矩设计值；

W ——混凝土毛截面受拉边缘的弹性截面模量；

A ——混凝土毛截面面积；

e_p ——无粘结预应力筋重心对截面重心的偏心距；

β ——系数。对简支结构取 $\beta=1.0$ ；对连续结构的负弯矩截面，取 $\beta=0.9$ ；对连续结构的正弯矩截面，取 $\beta=1.2$ 。

附录二 破坏截面极惯性矩及 计算系数 α_0 计算公式

一、中柱 (附图 2.1a):

$$J_c = \frac{h_0 a_t^3}{6} + \frac{a_t h_0^3}{6} + 2h_0 a_m \left(\frac{a_t}{2}\right)^2 \quad (\text{附 2.1})$$

$$a_{AB} = a_{CD} = \frac{a_t}{2} \quad (\text{附 2.2})$$

$$\alpha_0 = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{h_c + h_0}{b_c + h_0}}} \quad (\text{附 2.3})$$

二、边柱 (附图 2.1b):

1. 弯矩作用方向垂直于自由边:

$$J_c = \frac{h_0 a_t^3}{6} + \frac{a_t h_0^3}{6} + h_0 a_m a_{AB}^2 + 2h_0 a_t \left(\frac{a_t}{2} - a_{AB}\right)^2 \quad (\text{附 2.4})$$

$$a_{AB} = \frac{a_t^2}{a_m + 2a_t} \quad (\text{附 2.5})$$

$$a_{CD} = a_t - a_{AB} \quad (\text{附 2.6})$$

$$e_g = a_{CD} - \frac{h_c}{2} \quad (\text{附 2.7})$$

$$\alpha_0 = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{h_c + \frac{h_0}{2}}{b_c + h_0}}} \quad (\text{附 2.8})$$

2. 弯矩作用方向平行于自由边 (附图 2.1c):

$$J_c = \frac{h_0 a_t^3}{12} + \frac{a_t h_0^3}{12} + 2h_0 a_m \left(\frac{a_t}{2}\right)^2 \quad (\text{附 2.9})$$

$$a_{AB} = a_{CD} = \frac{a_t}{2} \quad (\text{附 2.10})$$

$$a_0 = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{h_c + h_0}{b_c + \frac{h_0}{2}}}} \quad (\text{附 2.11})$$

三、角柱 (附图 2.1d):

$$J_c = \frac{h_0 a_t^3}{12} + \frac{a_t h_0^3}{12} + h_0 a_m a_{AB}^2 + h_0 a_t \left(\frac{a_t}{2} - a_{AB} \right)^2 \quad (\text{附 2.12})$$

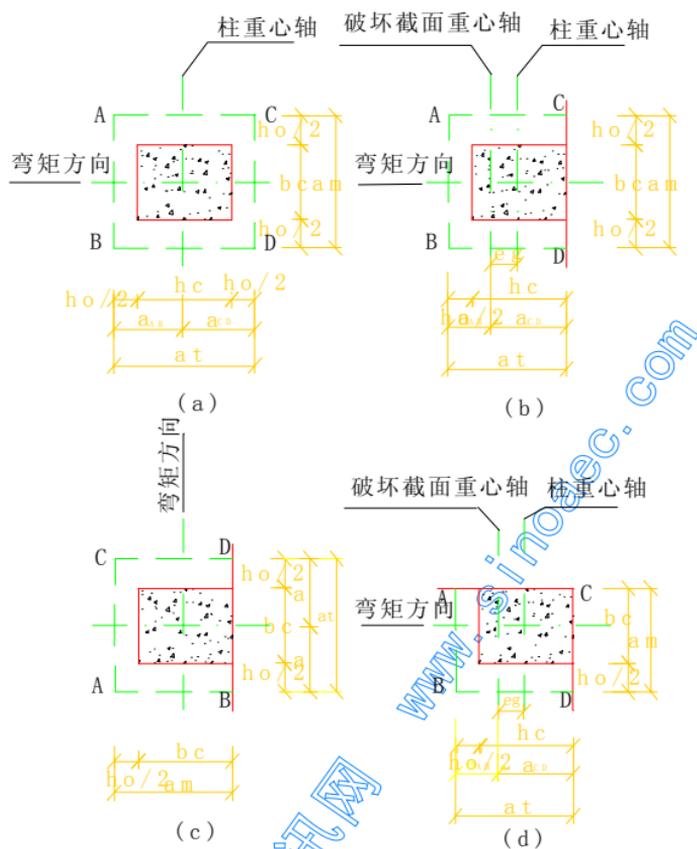
$$a_{AB} = \frac{a_t^2}{2(a_m + a_t)} \quad (\text{附 2.13})$$

$$a_{CD} = a_t - a_{AB} \quad (\text{附 2.14})$$

$$e_g = a_{CD} - \frac{h_c}{2} \quad (\text{附 2.15})$$

$$a_0 = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{h_c + \frac{h_0}{2}}{b_c + \frac{h_0}{2}}}} \quad (\text{附 2.16})$$

上述中柱、边柱、角柱节点破坏截面极惯性矩计算公式中, 符号 a_t 、 a_m 、 a_{AB} 、 a_{CD} 、 e_g 的意义见附图 2.1。



附图 2.1 矩形柱及冲切破坏截面的几何参数

附录三 锚头锚具系统无粘结预应力筋的制作

一、钢丝下料长度 l_p 按下列公式计算：

$$l_p = l_{pi} - \Delta l_{pi}^c + 2l_b \quad (\text{附 3.1})$$

式中 l_{pi} ——无粘结预应力筋在构件内的长度；

Δl_{pi}^c ——按构件内长度计算的无粘结预应力筋张拉伸长值；

l_b ——钢丝锚头预留长度。

二、钢丝下料宜采用砂轮锯成束切割。切割时，必须采取水冷措施，钢丝切割端应平直。同一束各根钢丝下料长度的相对误差值，不应大于无粘结预应力筋长度的 $1/5000$ ，且不得大于 5mm 。

三、成束钢丝下料宜采用两次下料的六法。第一次为粗下料，下料长度应略长于计算长度；第二次切割应先从一端将成束钢丝找齐，再按计算长度在另一端进行切割。

四、锚头锚具的组装应按下列规定进行：

1. 在无粘结预应力筋的端头，剥掉 $300\sim 400\text{mm}$ 的外包层，套上长度为 500mm 、直径为 28mm 的塑料软管；
2. 穿上塑料保护套、锚具。穿锚具时，严禁用铁器敲打；
3. 锚头；
4. 将锚具退回到端部，使全部锚头进入锚杯内，塑料保护套也退回到端部，并与塑料软管连接。

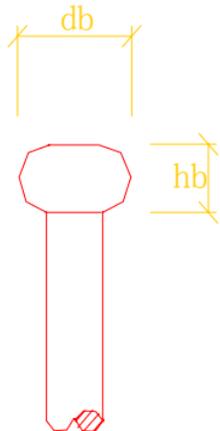
五、钢丝锚头采用液压冷作锚头。 $\text{Ø}5$ 碳素钢丝的锚头外形要求如附图 3.1 所示：

钢丝锚头直径 $d_b = 7\sim 7.5$ (mm)；

钢丝锚头厚度 $h_b = 4.8\sim 5.3$ (mm)；

锚头外形要求圆整，肉眼不见偏斜，

锚头颈部母材断面不削弱。



附图 3.1 锚头外形尺寸

附录四 无粘结预应力筋张拉记录表

无粘结预应力筋张拉记录表

附表 4.1

工程名称

构件名称

无粘结预应力筋张拉程序

施加预应力日期

构件编号	无粘结预应力筋张拉顺序编号	设计		张拉时				张拉时混凝土强度 (N/mm ²)	使用夹片锚具弹性伸长 (mm)				使用锚头锚具弹性伸长 (mm)				注 油 情 况	备 注		
		控制应力 (N/mm ²)	张拉力 (kN)	千斤顶编号	压力表编号	第一次			第二次		计算值	张拉前筋的长度	张拉后筋的长度	张拉前后长度差	10 MPa	20 MPa			30 MPa	设计值 MPa
						压力表读数	拉 力		压力表读数	拉 力										
						(MPa)	(kN)		(MPa)	(kN)										

操作人：

记录人：

校核人：

中国建筑资讯网
www.sinoac.com

附录五 非法定计量单位与法定计量单位的换算关系

非法定计量单位与法定计量单位的换算表

附表 5.1

量的名称	非法定计量单位		法定计量单位		单位换算关系
	名称	符号	名称	符号	
力、重力	千克力	kgf	牛顿	N	1kgf=9.80665N
	吨力	tf	千牛顿	kN	1ktf=9.80665kN
力矩、弯矩、扭矩	千克力米	kgf·m	牛顿米	N·m	1kgf·m=9.80665N·m
	吨力米	tf·m	千牛顿米	kN·m	1ktf·m=9.80665N·m
应力、材料强度	千克力每平方米	kgf/mm²	牛顿每平方米 (兆帕斯卡)	N/mm²(MPa)	1kgf/mm²=9.80665N/mm²(MPa)
	千克力每平方厘米	kgf/cm²	牛顿每平方米 (兆帕斯卡)	N/mm²(MPa)	1kgf/cm²=0.0980665N/mm²(MPa)
弹性模量、变形模量	千克力每平方厘米	kgf/cm²	牛顿每平方米 (兆帕斯卡)	N/mm²(MPa)	1kgf/cm²=0.0980665N/mm²(MPa)

注：在结构安全和设计精度允许的条件下，非法定计量单位与法定计量单位的换算，本规程允许采用近似的整数换算值。例如：

1kgf≈10N; 1kgf/cm²≈0.1N/mm²(MPa)。

中国建筑资讯网
www.china-arch.com

附录六 本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同用词说明如下：

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. 对表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

二、条文中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……的要求或规定”；非必须按所指定的标准、规范它规定执行时，写法为“可参照……执行”。

本规程主编单位、参加单位 和主要起草人名单

主编单位： 中国建筑科学研究院

参加单位： 北京市建筑设计院
北京市建筑工程研究所
湖南大学
中国航空工业规划设计研究院

主要起草人： 陶学康 裘函始 王逸 林远征
肖衍芳 刘健行 霍晓鸣 李京一