

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ/T 279-2012

备案号 J 1339-2012

建筑结构体外预应力加固技术规程

Technical specification for strengthening building
structures with external prestressing tendons

2011-12-26 发布

2012-05-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

建筑结构体外预应力加固技术规程

Technical specification for strengthening building
structures with external prestressing tendons

JGJ/T 279 - 2012

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部
施行日期：2 0 1 2 年 5 月 1 日

中国建筑工业出版社

2011 北 京

中华人民共和国行业标准
建筑结构体外预应力加固技术规程
Technical specification for strengthening building
structures with external prestressing tendons
JGJ/T 279 - 2012

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：234 字数：73 千字
2012 年 5 月第一版 2012 年 5 月第一次印刷
定价：**14.00 元**
统一书号：15112·21720
版权所有 翻印必究
如有印装质量问题，可寄本社退换
（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1227 号

关于发布行业标准《建筑结构 体外预应力加固技术规程》的公告

现批准《建筑结构体外预应力加固技术规程》为行业标准，编号为 JGJ/T 279-2012，自 2012 年 5 月 1 日起实施。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2011 年 12 月 26 日

前 言

根据原建设部《关于印发〈二〇〇二~二〇〇三年度工程建设城建、建工行业标准制定、修订计划〉的通知》(建标[2003]104号)的要求,规程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,在广泛征求意见的基础上,编制本规程。

本规程的主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.材料;5.结构设计;6.构造规定;7.防护;8.施工及验收。

本规程由住房和城乡建设部负责管理,由中国京冶工程技术有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送至中国京冶工程技术有限公司《建筑结构体外预应力加固技术规程》编制组(地址:北京市海淀区西土城路33号,邮编:100088)。

本规程主编单位:中国京冶工程技术有限公司
浙江舜杰建筑集团股份有限公司

本规程参编单位:同济大学
中国建筑科学研究院
中冶建筑研究总院有限公司
北京市建筑设计研究院
北京市建筑工程研究院有限责任公司
上海同吉建筑设计工程有限公司
南京工业大学

本规程主要起草人员:尚仁杰 吴转琴 陈坤校 熊学玉
李晨光 李东彬 束伟农 宫锡胜

顾 炜 李延和 仝为民 邵卫平
本规程主要审查人员：陶学康 霍文营 孟少平 郑文忠
李培彬 吴 徽 庄军生 张 瀑
朱尔玉 司毅民 朱 龙

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	5
3.1	一般规定	5
3.2	设计计算原则	6
4	材料	8
4.1	混凝土	8
4.2	预应力钢材	8
4.3	锚具	9
4.4	转向块、锚固块及连接用材料	9
4.5	防护材料	10
5	结构设计	11
5.1	一般规定	11
5.2	承载能力极限状态计算	15
5.3	正常使用极限状态验算	19
5.4	转向块、锚固块设计	25
6	构造规定	26
6.1	预应力筋布置原则	26
6.2	节点构造	26
7	防护	28
7.1	防腐	28
7.2	防火	29
8	施工及验收	31

8.1 施工准备	31
8.2 预应力筋加工制作	31
8.3 转向块、锚固块安装	31
8.4 预应力筋安装	32
8.5 预应力张拉	32
8.6 工程验收	34
附录 A 体外预应力筋数量估算	39
附录 B 转向块、锚固块布置及构造	41
本规程用词说明	48
引用标准名录	49
附：条文说明	51

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic Requirements	5
3.1	General Requirements	5
3.2	Design and Analysis Principles	6
4	Materials	8
4.1	Concrete	8
4.2	Prestressing Steel	8
4.3	Anchorage	9
4.4	Deviator, Anchorage Block and Connection Materials	9
4.5	Corrosion Protective Material	10
5	Structural Design	11
5.1	General Requirements	11
5.2	Ultimate Limit States	15
5.3	Serviceability Limit States	19
5.4	Design of Deviator and Anchorage Block	25
6	Detailing Requirements	26
6.1	Tendon Layout Principles	26
6.2	Joint Detailing	26
7	Protection	28
7.1	Corrosion Protection	28
7.2	Fire Resistance	29
8	Construction and Acceptance	31

8.1	Preparing	31
8.2	Assemblage of Prestressing Tendon	31
8.3	Installation of Deviator and Anchorage Block	31
8.4	Placement of Prestressing Tendon	32
8.5	Tensioning of Prestressing Tendon	32
8.6	Acceptance	34
Appendix A	Estimate of External Prestressing Tendon ...	39
Appendix B	Layout and Detailing of Deviator and Anchorage Block	41
	Explanation of Wording in This Specification	48
	List of Quoted Standards	49
	Addition; Explanation of Provisions	51

1 总 则

1.0.1 为使采用体外预应力加固法进行加固的混凝土建筑结构设计及施工做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于房屋建筑和一般构筑物的混凝土结构采用体外预应力加固法进行加固的设计、施工及验收。

1.0.3 混凝土结构加固前，应根据建筑物类别按现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 进行可靠性鉴定。当房屋建筑处于抗震设防区时，应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 进行抗震可靠性鉴定。

1.0.4 混凝土结构采用体外预应力进行加固的设计、施工及验收，除应符合本规程外，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 结构加固 *strengthening of existing structures*

对可靠性不足或使用过程中要求提高可靠度的承重结构、构件及其相关部分，采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其具有满足国家现行标准及使用要求的安全性、耐久性和适用性。

2.1.2 体外预应力加固法 *structure member strengthened with external prestressing tendon*

通过布置体外预应力束并施加预应力，使既有结构构件的受力得到调整、承载力得到提高、使用性能得到改善的一种主动加固方法。

2.1.3 体外预应力束 *external prestressing tendon*

布置在混凝土构件截面之外的后张预应力筋及外护套等。

2.1.4 转向块 *deviator*

改变体外预应力束方向的、与混凝土构件相连接的中间支承块。

2.1.5 锚固块 *anchorage block*

承受预应力锚具作用并将其传递给混凝土结构的附加锚固装置。

2.1.6 体外预应力二次效应 *second-order effect of external prestressing*

体外预应力筋与构件横向变形不一致而引起的附加预应力效应。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

E_c ——混凝土弹性模量；

E_s ——钢筋弹性模量；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{tk} 、 f_t ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{ptk} ——预应力筋极限强度标准值；

f_{pyk} ——预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值；

f_y 、 f'_y ——非预应力筋的抗拉、抗压强度设计值；

f_{yv} ——受剪计算非预应力筋抗拉强度设计值；

f_{py} ——预应力筋的抗拉强度设计值。

2.2.2 作用、作用效应

M ——弯矩设计值；

M_1 ——主弯矩值，即由预加力对截面重心偏心引起的弯矩值；

M_2 ——由预加力在超静定结构中产生的次弯矩；

M_k 、 M_q ——按荷载效应的标准组合、准永久组合计算的弯矩值；

M_{cr} ——受弯构件的正截面开裂弯矩值；

N_2 ——由预加力在超静定结构中产生的次轴力；

N_{p0} ——混凝土法向预应力等于零时预应力筋及非预应力筋的合力；

V ——剪力设计值；

w_{max} ——按荷载效应的标准组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度；

σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后，由预应力在抗裂验算边缘产生的混凝土法向预压应力；

σ_{con} ——预应力筋的张拉控制应力；

σ_{p0} ——预应力筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力；

σ_{pe} ——预应力筋的有效预应力；

σ_{pu} ——体外预应力筋的应力设计值；

σ_l ——预应力筋在相应阶段的预应力损失值。

2.2.3 几何参数

- A ——构件截面面积；
- A_0 ——构件换算截面面积；
- A_p ——构件受拉区体外预应力筋截面面积；
- A_s ——构件受拉区非预应力筋截面面积；
- b ——矩形截面宽度，T形、I形截面的腹板宽度；
- B ——受弯构件的截面刚度；
- B_s ——受弯构件的短期截面刚度；
- h ——截面高度；
- h_p ——预应力筋合力点至受压区边缘的距离；
- h_s ——非预应力筋合力点至受压区边缘的距离；
- I ——截面惯性矩；
- I_0 ——换算截面惯性矩；
- W ——截面受拉边缘的弹性抵抗矩；
- W_0 ——换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩。

2.2.4 计算系数及其他

- α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；
- β_1 ——矩形应力图受压区高度与中和轴高度（中和轴到受压区边缘的距离）的比值；
- γ ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数；
- λ ——计算截面的剪跨比；
- κ ——考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦系数；
- μ ——摩擦系数；
- ρ ——纵向受力钢筋的配筋率；
- θ ——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数；
- ψ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

- 3.1.1 体外预应力加固法可用于下列情况的混凝土构件加固：
- 1 提高结构与构件的承载能力；
 - 2 减小结构构件正常使用中的变形或裂缝宽度；
 - 3 既有结构处于高应力、应变状态，且难以直接卸除其结构上的荷载；
 - 4 抗震加固及其他特殊要求的加固。
- 3.1.2 既有结构的混凝土强度等级不宜低于 C20。
- 3.1.3 既有混凝土结构需进行体外预应力加固时，应按鉴定结论和委托方提出的要求，由具有相应资质等级的设计单位进行加固设计。
- 3.1.4 加固后的混凝土结构安全等级应根据结构破坏后果的严重性、结构重要性、既有结构可靠性鉴定结果和加固设计使用年限，由委托方和设计单位按实际情况确定。结构加固设计使用年限应根据既有结构的使用年限、可靠性鉴定结果和使用要求确定。
- 3.1.5 混凝土结构的体外预应力加固设计应考虑施工工艺的可行性，合理选用预应力锚固体体系，保证受力合理、施工方便。
- 3.1.6 对高温、高湿、低温、冻融、化学腐蚀、振动、温度应力、地基不均匀沉降等影响因素引起的既有结构损坏，应在加固设计文件中提出防治对策，并应按设计要求进行治理和加固。
- 3.1.7 对加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的混凝土结构，应在加固设计文件中提出相应的施工安全和施工监测要求，施工单位应严格执行。
- 3.1.8 未经技术鉴定或设计许可，不得改变加固后结构的用途

和使用环境。

3.2 设计计算原则

3.2.1 采用体外预应力加固混凝土结构时，应对结构的整体进行作用（荷载）效应分析，并应进行承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算。

3.2.2 加固设计中，应按下列规定进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计及验算：

1 结构上的作用，应经调查或检测核实，并应根据现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定确定其标准值或代表值。结构上的作用已在可靠性鉴定中确定时，宜在加固设计中引用。

2 既有结构的加固计算模型，应符合其实际受力和构造状况；作用效应组合和组合值系数及作用的分项系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定。

3 结构的几何尺寸，对既有结构应采用实测值；对新增部分，可采用加固设计文件给出的名义值。

4 既有结构钢筋强度标准值和混凝土强度等级宜采用检测结果推定的标准值，当材料的性能符合原设计要求时，可采用原设计标准值。

5 超静定结构应考虑体外预应力对相邻构件内力的影响以及预应力产生的次内力对结构内力的影响。

6 加固后构件刚度发生变化时，整体静力计算和抗震计算应考虑刚度变化对内力分配的影响。

3.2.3 既有结构为普通混凝土结构时，体外预应力束配筋截面应符合下列规定：

1 混凝土板、简支梁、框架梁跨中：

$$A_p \leq 4 \frac{f_y h_s}{\sigma_{ps} h_p} A_s \quad (3.2.3-1)$$

2 框架梁梁端：

一级抗震等级

$$A_p \leq 2 \frac{f_y h_s}{\sigma_{pu} h_p} A_s \quad (3.2.3-2)$$

二、三级抗震等级

$$A_p \leq 3 \frac{f_y h_s}{\sigma_{pu} h_p} A_s \quad (3.2.3-3)$$

式中： σ_{pu} ——体外预应力筋的应力设计值（N/mm²）；

f_y ——非预应力筋的抗拉强度设计值（N/mm²）；

h_s 、 h_p ——非预应力筋合力点、预应力筋合力点至受压区边缘的距离（mm）；

A_s 、 A_p ——构件受拉区非预应力筋截面面积、体外预应力筋截面面积（mm²）。

3.2.4 既有结构为预应力混凝土结构时，应综合考虑加固前和加固后的预应力度，保证结构的延性要求。

4 材 料

4.1 混 凝 土

4.1.1 体外预应力加固采用的混凝土强度不应低于 C30。

4.2 预 应 力 钢 材

4.2.1 体外预应力束的选用应根据结构受力特点、环境条件和施工方法等确定，体外预应力束的预应力筋可采用预应力钢绞线、预应力螺纹钢筋，并宜采用涂层预应力筋或二次加工预应力筋。

4.2.2 预应力钢绞线和预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值 (f_{pyk})、极限强度标准值 (f_{pk}) 及抗拉强度设计值 (f_{py}) 应按表 4.2.2 采用。

表 4.2.2 预应力钢绞线和预应力螺纹钢筋的
强度标准值及抗拉强度设计值 (N/mm^2)

种 类		符 号	公称直径 d (mm)	屈服强度 标准值 f_{pyk}	极限强度 标准值 f_{pk}	抗拉强度 设计值 f_{py}
预应力 螺纹钢筋	螺 纹	ϕT	18、25、32、 40、50	785	980	650
				930	1080	770
				1080	1230	900
钢 绞 线	1×3	ϕS	8.6、10.8、 12.9	—	1570	1110
				—	1860	1320
				—	1960	1390
	1×7		9.5、12.7、 15.2、17.8	—	1720	1220
				—	1860	1320
				—	1960	1390
				—	1860	1320
	21.6	—	1860	1320		

4.2.3 预应力筋弹性模量 (E_p) 应按表 4.2.3 采用, 对于重要的工程, 钢绞线可采用实测的弹性模量。

表 4.2.3 预应力筋弹性模量 ($\times 10^5 \text{ N/mm}^2$)

种类	E_p
预应力螺纹钢筋	2.00
钢绞线	1.95

4.2.4 涂层预应力筋可采用镀锌钢绞线和环氧涂层预应力钢绞线, 当防腐材料为灌注水泥浆时, 不应采用镀锌钢绞线。涂层预应力筋性能应符合下列规定:

1 镀锌钢绞线的规格和力学性能应符合国家现行标准《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152 的规定;

2 环氧涂层预应力钢绞线的性能应符合国家现行标准《环氧涂层七丝预应力钢绞线》GB/T 21073 和《填充型环氧涂层钢绞线》JT/T 737 的规定。

4.2.5 二次加工钢绞线可采用无粘结预应力钢绞线, 其规格和性能指标应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG 161 的规定。

4.3 锚 具

4.3.1 体外预应力加固用锚具和连接器的性能应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的规定, 并宜选用结构紧凑、锚固回缩值小的锚具。

4.3.2 锚具应满足分级张拉、补张拉和放松拉力等张拉工艺的要求。

4.4 转向块、锚固块及连接用材料

4.4.1 转向块、锚固块的材料性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《一

般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352 的有关规定。

4.4.2 转向块、锚固块与既有结构的连接用材料性能应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

4.5 防护材料

4.5.1 体外束的外套管可采用钢管或高密度聚乙烯（HDPE）管等。对不可更换的体外束，可在管内灌注水泥浆；对可更换的体外束，管内应灌注专用防腐油脂。

4.5.2 灌浆用水泥应采用普通硅酸盐水泥，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

4.5.3 外加剂的技术性能及应用方法应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 等的规定。

4.5.4 水泥浆水胶比及其性能应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

4.5.5 专用防腐油脂的技术性能应符合现行行业标准《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》JG 3007 的规定。

4.5.6 防火涂料的技术性能应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 的规定。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 体外预应力加固超静定混凝土结构，在进行承载力极限状态计算和正常使用极限状态验算时，应考虑预应力次弯矩、次剪力、次轴力的影响。对于承载力极限状态，当预应力作用效应对结构有利时，预应力作用分项系数应取 1.0，不利时应取 1.2；对正常使用极限状态，预应力作用分项系数应取 1.0。体外预应力配筋截面可按本规程附录 A 的方法估算。

5.1.2 体外预应力加固超静定混凝土结构，计算截面的次弯矩 (M_2) 和次轴力 (N_2) 宜按下列公式计算：

$$M_2 = M_r - M_1 \quad (5.1.2-1)$$

$$N_2 = N_r - N_1 \quad (5.1.2-2)$$

$$M_1 = N_1 e_{pl} \quad (5.1.2-3)$$

式中： M_r 、 N_r ——由预加力的等效荷载在结构构件截面上产生的综合弯矩值 ($N \cdot mm$)、综合轴力值 (N)；

M_1 ——主弯矩值，即预加力对计算截面重心偏心引起的弯矩值 ($N \cdot mm$)；

N_1 ——主轴力值，即计算截面预加力在构件轴线上的分力 (N)，当预应力筋弯起角度很小时，可近似取 $\sigma_{pe} A_p$ ；

e_{pl} ——截面重心至预加力合力点距离 (mm)。

次剪力宜根据构件各截面次弯矩的分布按结构力学方法计算。

5.1.3 体外预应力筋的预应力损失值可按表 5.1.3 的规定计算。

表 5.1.3 体外预应力筋的预应力损失值 (N/mm²)

引起损失的因素		符号	取 值
张拉端锚具变形和预应力筋内缩		σ_{11}	按本规程第 5.1.4 条的规定计算
预应力筋 摩擦	与孔道壁之间的摩擦	σ_{12}	按本规程第 5.1.5 条的规定计算
	在转向块处的摩擦		按本规程第 5.1.5 条的规定计算
	张拉端锚口摩擦		按实测值或厂家提供数据确定
预应力筋应力松弛		σ_{14}	按本规程第 5.1.6 条的规定计算
混凝土收缩和徐变		σ_{15}	按本规程第 5.1.7 条的规定计算

注：孔道指张拉前已固定的孔道。

5.1.4 直线预应力筋因张拉端锚具变形和预应力筋内缩引起的预应力损失值 (σ_{11}) 可按下式计算：

$$\sigma_{11} = \frac{a}{l} E_p \quad (5.1.4)$$

式中： a ——张拉端锚具变形和预应力筋内缩值 (mm)，可按表 5.1.4 采用；

l ——张拉端至锚固端之间的距离 (mm)。

表 5.1.4 张拉端锚具变形和预应力筋内缩值 a (mm)

锚具类别		a
支承式锚具	螺帽缝隙	1
	每块后加垫板的缝隙	1
夹片式锚具	有顶压时	5
	无顶压时	6~8

5.1.5 预应力筋摩擦引起的预应力损失值 (σ_{12}) 可按下列规定计算：

1 预应力螺纹钢筋

$$\sigma_{12} = 0 \quad (5.1.5-1)$$

2 预应力钢绞线

$$\sigma_{12} = \sigma_{con} (1 - e^{-\kappa x - \mu \theta}) \quad (5.1.5-2)$$

式中： σ_{con} ——体外预应力筋张拉控制应力（N/mm²），按本规程第 8.5.2 条取值；

x ——张拉端至计算截面固定孔道长度累计值（m），当 $x \leq 2m$ 时，可忽略；

θ ——张拉端至计算截面预应力筋转角累计值（rad）；

κ ——考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦系数（1/m），可按表 5.1.5 采用；

μ ——预应力筋与孔道壁之间的摩擦系数，可按表 5.1.5 采用。

表 5.1.5 摩擦系数取值

孔道材料、成品束类型	κ	μ
钢管穿光面钢绞线	0.001	0.30
HDPE 管穿光面钢绞线	0.002	0.13
无粘结预应力钢绞线	0.004	0.09

注：表中系数也可根据实测数据确定；当孔道采用不同材料时，应分别考虑，分段计算。

5.1.6 预应力筋应力松弛引起的预应力损失值（ σ_{l4} ）可按下列规定计算：

1 预应力螺纹钢筋

$$\sigma_{l4} = 0.03\sigma_{con} \quad (5.1.6-1)$$

2 预应力钢绞线

1) 当 $\sigma_{con} \leq 0.5f_{ptk}$ 时，取 $\sigma_{l4} = 0$ ；

2) 当 $0.5f_{ptk} < \sigma_{con} \leq 0.7f_{ptk}$ 时：

$$\sigma_{l4} = 0.125 \left(\frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}} - 0.5 \right) \sigma_{con} \quad (5.1.6-2)$$

5.1.7 混凝土收缩和徐变引起的预应力损失终极值（ σ_{l5} ）可按下列规定计算：

1 对一般建筑结构构件

$$\sigma_{l5} = \frac{55 + 300 \frac{\sigma_{pc}}{f_{cu}}}{1 + 15\rho} \quad (5.1.7-1)$$

$$\rho = (A_p + A_s)/A \quad (5.1.7-2)$$

式中： σ_{pe} ——受拉区体外预应力筋合力点高度处的混凝土法向压应力 (N/mm^2)，当预应力筋位于截面受拉边缘外时，可假设预应力筋合力点高度处有混凝土并按平截面假定计算；

f'_{cu} ——施加预应力时既有结构混凝土立方体抗压强度 (N/mm^2)；

ρ ——受拉区预应力筋和非预应力筋的配筋率。

计算受拉区体外预应力筋合力点高度处的混凝土法向压应力 (σ_{pe}) 时，预应力损失值应仅考虑混凝土预压前（第一批）的损失； σ_{pe} 值不得大于 $0.5f'_{cu}$ ；同一段体外预应力筋取其平均值计算。

2 当结构处于年平均相对湿度低于 40% 的环境下， σ_{is} 值应增加 30%。

3 既有结构混凝土浇筑完成后时间超过 5 年时， σ_{is} 值可取 0。

4 对重要的建筑结构构件，当需要考虑与时间相关的混凝土收缩、徐变及预应力筋应力松弛预应力损失值时，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行计算。

5.1.8 体外预应力加固进行分批张拉时，应考虑后批张拉预应力筋所产生的混凝土弹性压缩对于先批预应力筋的影响，可将先批张拉的预应力筋张拉控制应力增加 $\alpha_E \sigma_{pei}$ 。

注： σ_{pei} 为后批张拉预应力筋在先批张拉预应力筋重心处所产生的混凝土法向压应力，同一体外段取其平均值计算，当预应力筋位于截面受拉边缘外时，可假设预应力筋高度处有混凝土并按平截面假定计算。

5.1.9 体外预应力筋的应力设计值 (σ_{pu}) 可按下列式计算：

$$\sigma_{pu} = \sigma_{pe} + \Delta\sigma_p \quad (5.1.9)$$

式中： σ_{pe} ——有效预应力值 (N/mm^2)；

$\Delta\sigma_p$ ——预应力增量，正截面受弯承载力计算时：对于简支受弯构件 $\Delta\sigma_p$ 取为 $100\text{N}/\text{mm}^2$ ，连续、悬臂受弯构

件 $\Delta\sigma_p$ 取为 50N/mm^2 ；斜截面受剪承载力计算时：
 $\Delta\sigma_p$ 取为 50N/mm^2 。

5.2 承载力极限状态计算

5.2.1 矩形截面或翼缘位于受拉边的倒 T 形截面受弯构件（图 5.2.1），其正截面受弯承载力应符合下列规定：

$$M \leq \sigma_{pu} A_p \left(h_p - \frac{x}{2} \right) + f_y A_s \left(h - a_s - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s \left(\frac{x}{2} - a'_s \right) \quad (5.2.1-1)$$

混凝土受压区高度应按下式确定：

$$\alpha_1 f_c b x = f_y A_s - f'_y A'_s + \sigma_{pu} A_p \quad (5.2.1-2)$$

混凝土受压区高度（ x ）尚应符合下列条件：

$$x \leq \xi_b h_0 \quad (5.2.1-3)$$

$$x \geq 2a'_s \quad (5.2.1-4)$$

式中： M ——弯矩设计值（ $\text{N} \cdot \text{mm}$ ）；

α_1 ——系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时取为 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时取为 0.94，其间按线性内插法确定；

A_x 、 A'_s ——既有结构受拉区、受压区纵向非预应力筋的截面面积（ mm^2 ）；

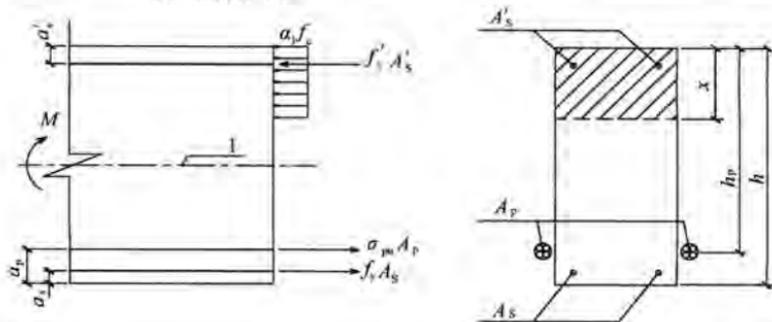


图 5.2.1 矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算
 1—截面重心轴

- A_p ——体外预应力筋的截面面积 (mm^2);
 x ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度 (mm);
 σ_{pu} ——体外预应力筋预应力设计值 (N/mm^2), 可按本规程第 5.1.9 条规定取值;
 f_c ——既有结构混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2);
 f_y, f'_y ——非预应力筋的抗拉、抗压强度设计值 (N/mm^2);
 b ——矩形截面的宽度或倒 T 形截面的腹板宽度 (mm);
 a_s ——受拉区纵向非预应力筋合力点至受拉边缘的距离 (mm);
 a'_s ——受压区纵向非预应力筋合力点至截面受压边缘的距离 (mm);
 h_0 ——受拉区纵向非预应力筋和体外预应力筋合力点至受压边缘的距离 (mm);
 ξ_b ——相对界限受压区高度, 可取 0.4;
 h_p ——体外预应力筋合力点至截面受压区边缘的距离 (mm)。

当跨中预应力筋转向块固定点之间的距离小于 12 倍梁高时, 可忽略二次效应的影响; 当跨中预应力筋转向块固定点之间的距离不小于 12 倍梁高时, 可根据构件变形确定二次效应的影响。

5.2.2 翼缘位于受压区的 T 形 (图 5.2.2)、I 形截面受弯构件, 其正截面受弯承载力应符合下列规定:

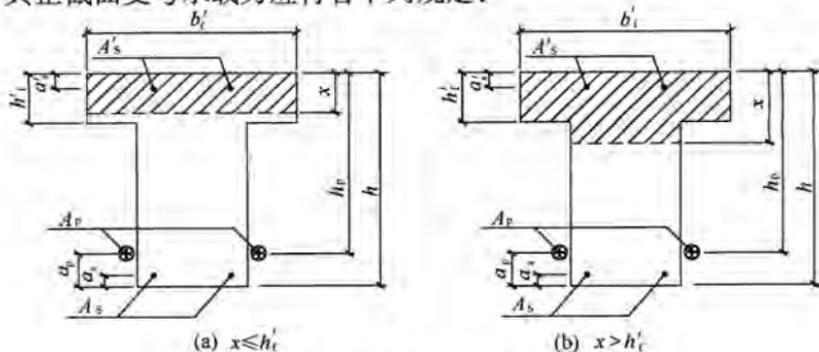


图 5.2.2 T 形截面受弯构件受压区高度位置

1 当满足式 (5.2.2-1) 时, 截面应按宽度为 b'_f 的矩形截面按本规程第 5.2.1 条计算:

$$\alpha_1 f_c b'_f h'_f \geq f_y A_s + \sigma_{pu} A_p - f'_y A'_s \quad (5.2.2-1)$$

2 当不满足公式 (5.2.2-1) 时, 正截面受弯承载力应按下式确定:

$$M \leq \sigma_{pu} A_p \left(h_p - \frac{x}{2} \right) + f_y A_s \left(h - a_s - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s \left(\frac{x}{2} - a'_s \right) + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f \left(\frac{x}{2} - \frac{h'_f}{2} \right) \quad (5.2.2-2)$$

混凝土受压区高度 (x) 应按下式确定:

$$\alpha_1 f_c [bx + (b'_f - b)h'_f] = f_y A_s + \sigma_{pu} A_p - f'_y A'_s \quad (5.2.2-3)$$

式中: b ——T形、I形截面的腹板宽度 (mm);

h'_f ——T形、I形截面受压区翼缘高度 (mm);

b'_f ——T形、I形截面受压区的翼缘计算宽度 (mm)。

计算 T形、I形截面受弯构件时, 混凝土受压区高度尚应符合本规程式 (5.2.1-3) 和式 (5.2.1-4) 的规定。

5.2.3 当混凝土受压区高度 (x) 大于 $\xi_b h_0$ 时, 加固构件正截面承载力计算应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定, 按小偏心受压构件计算。

5.2.4 体外预应力加固矩形、T形和 I形截面的混凝土受弯构件, 其受剪截面应符合下列规定:

1 当 $h_w/b \leq 4$ 时:

$$V \leq 0.25\beta_c f_c b h_0 \quad (5.2.4-1)$$

2 当 $h_w/b \geq 6$ 时:

$$V \leq 0.20\beta_c f_c b h_0 \quad (5.2.4-2)$$

3 当 $4 < h_w/b < 6$ 时, 应按线性内插法确定。

式中: V ——考虑预应力次剪力组合的构件斜截面最大剪力设计值 (N);

β_c ——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 β_c 等于 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时，取 β_c 等于 0.8；其间按线性内插法确定；

b ——矩形截面的宽度，T 形截面或 I 形截面的腹板宽度 (mm)；

h_0 ——原截面的有效高度 (mm)；

h_w ——截面的腹板高度 (mm)：对矩形截面，取有效高度；对 T 形截面，取有效高度减去翼缘高度；对 I 形截面，取腹板净高。

5.2.5 当既有结构受剪截面不符合本规程第 5.2.4 的规定时，应先采取加大受剪截面、粘钢等加固方式加强截面，再进行体外预应力加固。

注：1 对 T 形或 I 形截面的简支受弯构件，当有实践经验时，本规程式 (5.2.4-1) 中的系数可改用 0.3；

2 对受拉边倾斜的构件，当有实践经验时，其受剪截面的控制条件可适当放宽。

5.2.6 在计算斜截面的受剪承载力时，其剪力设计值的计算截面应考虑体外预应力筋锚固处、转向块处、支座边缘处、受拉区弯起钢筋弯起点处、箍筋截面面积或间距改变处以及腹板宽度改变处的截面。对受拉边倾斜的受弯构件，尚应包括梁的高度开始变化处、集中荷载作用处和其他不利的截面。

5.2.7 体外预应力加固矩形、T 形和 I 形截面的受弯构件，其斜截面的受剪承载力应按下列公式计算：

$$V = V_{cs} + V_p + 0.8f_{yv}A_{sb}\sin\alpha_s + 0.8\sigma_{pu}A_{pb}\sin\alpha_p \quad (5.2.7-1)$$

$$V_{cs} = \alpha_{cv}f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (5.2.7-2)$$

$$V_p = 0.05(N_{p0} + N_2) \quad (5.2.7-3)$$

式中： V ——考虑次剪力组合的斜截面上最大剪力设计值 (N)；

V_{cs} ——构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值

(N);

V_p ——由预加力所提高的构件受剪承载力设计值 (N);

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积 (mm^2): $A_{sv} = nA_{sv1}$, 此处, n 为在同一截面内箍筋的肢数, A_{sv1} 为单肢箍筋的截面面积 (mm^2);

s ——沿构件长度方向的箍筋间距 (mm);

h_0 ——原截面的有效高度 (mm);

f_{yv} ——受剪计算非预应力筋抗拉强度设计值 (N/mm^2);

A_{sb} 、 A_{pb} ——分别为同一平面内的弯起非预应力筋、弯起预应力筋的截面面积 (mm^2);

α_s 、 α_p ——分别为斜截面弯起非预应力筋、弯起预应力筋的切线与构件纵轴线的夹角;

α_{cv} ——斜截面混凝土受剪承载力系数, 对一般受弯构件取 0.7; 对集中荷载作用下 (包括作用有多种荷载, 其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力值的 75% 以上的情况) 的独立梁, α_{cv} 为 $\frac{1.75}{\lambda + 1}$, λ 为计算截面的剪跨比, 可取 λ 等于 a/h_0 , 当 $\lambda < 1.5$ 时, 取 λ 为 1.5, 当 $\lambda > 3$ 时, 取 λ 为 3, a 为集中荷载作用点至支座或节点边缘的距离;

N_{p0} ——计算截面上混凝土法向预应力等于零时的纵向预应力筋及非预应力筋合力 (N); 当 $N_{p0} + N_2 > 0.3f_c A_0$ 时, 取 $N_{p0} + N_2 = 0.3f_c A_0$, 此处, A_0 为构件的换算截面面积。

注: 对合力 N_{p0} 引起的截面弯矩与外弯矩方向相同的情况, 以及体外预应力加固连续梁和加固后允许出现裂缝的混凝土筒支梁, 均应取 V_p 为 0。

5.3 正常使用极限状态验算

5.3.1 体外预应力加固结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值应根据使用环境类别和结构类别, 按现行国家标准《混凝土

土结构设计规范》GB 50010 的规定确定。

5.3.2 体外预应力加固已开裂的混凝土梁，裂缝完全闭合时所需的体外预加力 (N_{clo}) 可按下式计算：

$$N_{\text{clo}} = \frac{\sigma_{\text{clo}} + \frac{M_i}{W}}{\frac{e_{p0}}{W} + \frac{1}{A}} \quad (5.3.2)$$

式中： M_i ——加固前构件所承受的荷载弯矩标准值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)；
 e_{p0} ——体外预应力筋合力中心相对截面形心的距离 (mm)；
 W ——原截面受拉边缘的弹性抵抗矩，可取毛截面 (mm^3)；
 A ——原截面面积，可取毛截面 (mm^2)；
 σ_{clo} ——与构件加固前最大裂缝宽度相对应的混凝土名义压应力 (N/mm^2)，可按表 5.3.2 采用。

表 5.3.2 混凝土名义压应力

加固前裂缝宽度 (mm)	0.10	0.20	0.30
σ_{clo} (N/mm^2)	0.50	0.75	1.25

注：中间值按线性插值确定。

5.3.3 体外预应力加固钢筋混凝土矩形、T形、I形截面的受弯构件，可按下列公式计算加固后的正截面开裂弯矩值 (M_{cr})：

1 加固前未开裂：

$$M_{\text{cr}} = (\sigma_{\text{pc}} + \gamma f_{\text{tk}})W \quad (5.3.3-1)$$

2 加固前已开裂：

$$M_{\text{cr}} = \sigma_{\text{pc}}W \quad (5.3.3-2)$$

式中： σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后，由预加力在抗裂验算边缘产生的混凝土法向预压应力 (N/mm^2)；

γ ——加固混凝土构件截面抵抗矩塑性影响系数，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定确定；

f_{tk} ——混凝土抗拉强度标准值 (N/mm²)。

当体外预应力受弯构件考虑次内力组合的外荷载弯矩大于开裂弯矩值 (M_{cr}) 时, 裂缝宽度应按本规程第 5.3.4 条规定计算。

5.3.4 体外预应力加固矩形、T 形、倒 T 形和 I 形截面的混凝土受弯构件中, 按荷载效应的标准组合并考虑长期作用影响的最大裂缝宽度 (mm) 可按下列公式计算:

$$w_{lmax} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left(1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}} \right) \quad (5.3.4-1)$$

$$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}} \quad (5.3.4-2)$$

$$d_{eq} = \frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i \nu_i d_i} \quad (5.3.4-3)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} \quad (5.3.4-4)$$

式中: α_{cr} ——构件受力特征系数, 对预应力混凝土构件, 取 $\alpha_{cr} = 1.5$;

ψ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数; 当 $\psi < 0.2$ 时, 取 ψ 为 0.2; 当 $\psi > 1$ 时, 取 ψ 为 1; 对直接承受重复荷载的构件, 取 ψ 为 1;

σ_{sk} ——按荷载效应的标准组合计算的构件纵向受拉钢筋的等效应力 (N/mm²), 按本规程第 5.3.5 条规定计算;

E_s ——既有结构钢筋弹性模量 (N/mm²);

c ——最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离 (mm); 当 $c < 20$ 时, 取 c 为 20; 当 $c > 65$ 时取 c 为 65;

ρ_{te} ——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉非预应力筋配筋率, 当 $\rho_{te} < 0.01$ 时, 取 ρ_{te} 为 0.01;

A_{te} ——有效受拉混凝土截面面积 (mm²), 对受弯、偏心受压和偏心受拉构件, 取 A_{te} 为 $0.5bh + (b_f - b)h_f$,

此处 b_i, h_i 为受拉翼缘的宽度、高度；

d_{eq} ——受拉区纵向非预应力筋的等效直径 (mm)；

d_i ——受拉区第 i 种纵向非预应力筋的公称直径 (mm)；

n_i ——受拉区第 i 种纵向非预应力筋的根数；

ν_i ——受拉区第 i 种纵向非预应力筋的相对粘结特性系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 取值。

5.3.5 在荷载效应的标准组合下，考虑次内力影响的体外预应力加固混凝土构件受拉区纵向钢筋的等效应力可按下列公式计算：

$$\sigma_{sk} = \frac{M_k - N_{p0}(z - e_p)}{(0.30A_p + A_s)z} \quad (5.3.5-1)$$

$$z = \left[0.87 - 0.12(1 - \gamma'_f) \left(\frac{h_0}{e} \right)^2 \right] h_0 \quad (5.3.5-2)$$

$$e = e_p + \frac{M_k}{N_{p0}} \quad (5.3.5-3)$$

$$\gamma'_f = \frac{(b'_i - b)h'_i}{bh_0} \quad (5.3.5-4)$$

$$e_p = y_{ps} - e_{p0} \quad (5.3.5-5)$$

式中： M_k ——按荷载效应的标准组合计算的弯矩 (N·mm)，取计算区段内的最大弯矩值；

A_p ——受拉区体外预应力筋截面面积 (mm²)；

z ——受拉区纵向非预应力筋和预应力筋合力点至截面受压区合力点的距离 (mm)；

h_0 ——受拉区纵向非预应力筋和预应力筋合力点至截面受压区边缘的距离 (mm)；

e_p ——混凝土法向预应力等于零时预加力 N_{p0} 的作用点至受拉区纵向预应力筋和非预应力筋合力点的距离 (mm)；

y_{ps} ——受拉区纵向预应力筋和非预应力筋合力点的偏心距 (mm)；

e_{p0} ——混凝土法向预应力等于零时预加力 N_{p0} 作用点的偏心距 (mm);

γ'_t ——受压翼缘截面面积与腹板有效截面面积的比值;

b'_t 、 h'_t ——受压翼缘的宽度、高度 (mm); 在公式 (5.3.5-4) 中, 当 $h'_t > 0.2h_0$ 时, 取 h'_t 为 $0.2h_0$ 。

5.3.6 矩形、T形、倒T形和I形截面受弯构件考虑荷载长期作用影响的刚度 (B), 可按下列公式计算:

$$B = \frac{M_k}{M_q(\theta - 1) + M_k} B_s \quad (5.3.6)$$

式中: M_q ——按荷载效应的准永久组合计算的弯矩值 ($N \cdot mm$), 取计算区段内的最大弯矩值;

B_s ——荷载效应的标准组合作用下受弯构件的短期刚度 ($N \cdot mm^2$), 按本规程第 5.3.7 条计算;

θ ——考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数, 取 1.5。

5.3.7 在荷载效应的标准组合作用下, 体外预应力加固混凝土受弯构件的短期刚度 (B_s) 可按下列公式计算:

1 要求不出现裂缝的构件以及加固后裂缝完全闭合未重新开裂构件:

$$B_s = 0.85E_c I_0 \quad (5.3.7-1)$$

2 允许出现裂缝的构件以及加固后裂缝闭合又重新开裂构件:

$$B_s = \frac{0.85E_c I_0}{\kappa_{cr} + (1 - \kappa_{cr})\omega} \quad (5.3.7-2)$$

$$\kappa_{cr} = \frac{M_{cr}}{M_k} \quad (5.3.7-3)$$

$$\omega = \left(1.0 + \frac{0.21}{\alpha_E \rho}\right) (1 + 0.45\gamma'_t) - 0.7 \quad (5.3.7-4)$$

$$\gamma'_t = \frac{(b'_t - b)h'_t}{bh_0} \quad (5.3.7-5)$$

式中: α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值;

ρ ——纵向受拉非预应力筋和预应力筋换算配筋率，取 $(A_s + 0.30A_p)/bh_0$ ；

I_0 ——构件换算截面惯性矩 (mm^4)；

M_{cr} ——构件正截面开裂弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)，按本规程第 5.3.3 条确定；

γ_f ——受拉翼缘截面面积与腹板有效截面面积的比值；

b_f 、 h_f ——受拉翼缘的宽度、高度 (mm)；

κ_{cr} ——预应力加固混凝土受弯构件正截面的开裂弯矩 M_{cr} 与弯矩 M_k 的比值，当 $\kappa_{cr} > 1.0$ 时，取 κ_{cr} 为 1.0。

注：对预压时预拉区出现裂缝的构件， B_s 应降低 10%。

5.3.8 体外预应力加固混凝土受弯构件在使用阶段的预应力反拱值，宜根据加固梁开裂截面完全闭合前、后的反向短期抗弯刚度分两阶段按结构力学方法计算，计算中预应力筋的应力应扣除全部预应力损失，反向短期刚度可按下列规定取值：

1 预加力 (N_p) 从 0 增加达到裂缝完全闭合预加力 (N_{clo}) 过程中，构件短期刚度可按下式分段取值计算：

$$B_s = \frac{N_{clo} - N_p}{N_{clo}} \cdot \frac{E_s A_s h_0^2}{1.15\psi + 0.2 + \frac{6\alpha_E \rho_s}{1 + 3.5\gamma_f}} + \frac{N_p}{N_{clo}} \cdot 0.85E_c I_0 \quad (5.3.8)$$

式中： ρ_s ——纵向受拉非预应力筋换算配筋率，取 A_s/bh_0 。

2 裂缝完全闭合后，短期刚度可按本规程式 (5.3.7-1) 计算。

考虑预压应力长期作用的影响，可将计算求得的预应力反拱值乘以增大系数 1.5。

5.3.9 对重要或特殊构件的长期反拱值，可根据专门的试验分析确定或采用合理的收缩、徐变计算方法经分析确定；对恒载较小的构件，应考虑反拱过大对使用的不利影响。

5.4 转向块、锚固块设计

5.4.1 体外预应力加固采用钢制转向块、锚固块时，除应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 对转向块、锚固块进行承载力极限状态计算和正常使用极限状态验算外，尚应对转向块、锚固块与原混凝土结构的连接进行承载力极限状态计算。

5.4.2 按承载力极限状态设计钢制转向块、锚固块及连接件时，预应力等效荷载标准值应按预应力筋极限强度标准值计算得出。

5.4.3 按正常使用极限状态设计钢制转向块、锚固块及连接件时，预应力等效荷载标准值应按预应力筋最大张拉控制应力计算得出。

5.4.4 与转向块、锚固块连接处的既有结构混凝土应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行受冲切承载力和局部受压承载力计算。在预应力张拉阶段局部受压承载力计算中，局部压力设计值应取 1.2 倍张拉控制力进行计算；在正常使用阶段验算中，局部压力设计值应取预应力筋极限强度标准值进行计算。

6 构造规定

6.1 预应力筋布置原则

6.1.1 体外预应力加固设计时，体外束可采用直线、双折线或多折线布置方式，且其布置应使结构对称受力，对矩形、T形或I字形截面梁，体外束宜布置在梁腹板的两侧。

6.1.2 体外束转向块和锚固块的设置宜根据体外束的设计线形确定，对多折线体外束，转向块宜布置在距梁端 $1/4 \sim 1/3$ 跨度的范围内，当转向块间距大于 12 倍梁高时，可增设中间定位用转向块；对多跨连续梁、板，当采用多折线体外束时，可在中间支座或其他部位增设锚固块，当大于三跨时，宜采用分段锚固方法。

6.1.3 体外束的锚固块与转向块之间或两个转向块之间的自由段长度不宜大于 8m；超过 8m 时，宜设置固定节点或防振动装置。

6.1.4 体外束在每个转向块处的弯曲角不宜大于 15° ，当弯曲角大于 15° 时，应按现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 - 2003 确定其力学性能指标，或依据可靠的理论、试验数据对体外预应力筋的强度值进行折减。

6.1.5 体外束与转向块的接触长度应由弯曲角度和曲率半径计算确定。

6.2 节点构造

6.2.1 体外预应力束的锚固体系节点构造应符合下列规定：

- 1 对于有整体调束要求的钢绞线夹片锚固体系，可采用外螺母支撑承力方式调束；
- 2 对处于低应力状态下的体外束，锚具夹片应设防松装置；

3 对可更换的体外束，应采用体外束专用锚固体系，且应在锚具外预留钢绞线的张拉工作长度。

6.2.2 转向块宜布置于被加固梁的底部、顶部或次梁与被加固梁交接处，并宜符合本规程附录 B 的规定。当采用其他形式的转向块时，应按本规程 5.4 节的要求进行设计计算，除应满足钢绞线的转向要求外，尚应做到传力可靠、构造合理。

6.2.3 锚固块宜布置在被加固梁的端部，并宜符合本规程附录 B 的规定。当采用其他形式的锚固块时，应按本规程 5.4 节要求进行锚固块设计，除应满足预应力筋的锚固外，尚应做到传力可靠、构造合理。

7 防 护

7.1 防 腐

7.1.1 体外束张拉锚固后，应对锚具及外露预应力筋进行防腐处理。当处于腐蚀环境时，应设置全密封防护罩，对不要求更换的体外束，可在防护罩内灌注环氧砂浆或其他防腐蚀材料；对可更换的体外束，应保留满足张拉要求的预应力筋长度，并在防护罩内灌注专用防腐油脂或其他可清洗的防腐材料。

7.1.2 体外束的外套管应符合下列规定：

1 外套管应能抵抗运输、安装和使用过程中的各种作用力，不得损坏；

2 采用水泥基灌浆料时，套管应能承受 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 的内压，孔道的内径宜比预应力束外径大 $6\text{mm}\sim 15\text{mm}$ ，且孔道的截面积宜为穿入预应力筋截面积的 3 倍~4 倍；

3 采用防腐化合物填充管道时，除应满足温度和内压的要求外，管道和防腐化合物之间，不得因温度变化效应对钢绞线产生腐蚀作用；

4 镀锌钢管的壁厚不宜小于管径的 $1/40$ ，且不应小于 2mm ；高密度聚乙烯管的壁厚宜为 $2\text{mm}\sim 5\text{mm}$ ，且应具有抗紫外线功能和耐老化性能，并应在有需要时能够更换；

5 普通钢套管应具有可靠的防腐蚀措施，在使用一定时期后应重新涂刷防腐蚀涂层。

7.1.3 体外束的防腐蚀材料应符合下列规定：

1 水泥基灌浆料、专用防腐油脂应能填满外套管和连续包裹预应力筋的全长，并不得产生气泡；

2 体外束采用工厂预制时，其防腐蚀材料在加工、运输、安装及张拉过程中，应具有稳定性、柔性，不应产生裂缝，并应

在所要求的温度范围内不流淌；

3 防腐蚀材料的耐久性能应与体外束所属的环境类别和设计使用年限的要求相一致。

7.1.4 钢制转向块和钢制锚固块应采取防锈措施，并按防腐年限进行定期维护。钢材的防锈和防腐蚀采用的涂料、钢材表面的除锈等级以及防腐蚀对钢材的构造要求等，应满足现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB/T 8923 的规定。在设计文件中应注明所要求的钢材除锈等级和所要用的涂料（或镀层）及涂（镀）层厚度。

7.2 防 火

7.2.1 体外预应力加固体系的耐火等级，应不低于既有结构构件的耐火等级。用于加固受弯构件的体外预应力体系耐火极限应按表 7.2.1 采用。

表 7.2.1 体外预应力体系耐火极限 (h)

耐火等级	单、多层建筑				高层建筑	
	一级	二级	三级	四级	一级	二级
耐火极限	2.00	1.50	1.00	0.50	2.00	1.50

7.2.2 体外预应力加固体系的防火保护材料及措施应符合下列规定：

1 在要求的耐火极限内，应有效保护体外预应力筋、转向块、锚固块及锚具等；

2 防火材料应易与体外预应力体系结合，并不应产生对体外预应力体系的有害影响；

3 当钢构件受火产生允许变形时，防火保护材料不应发生结构性破坏，应仍能保持原有的保护作用直至规定的耐火时间；

4 当防火措施达不到耐火极限要求时，体外预应力筋应按可更换设计，并应验算体外预应力筋失效后结构不会塌落；

5 防火保护材料不应对人体有毒害；

6 应选用施工方便、易于保障施工质量的防火措施。

7.2.3 当体外预应力体系采用防火涂料防火时，耐火极限大于1.5h的，应选用非膨胀型钢结构防火涂料；耐火极限不大于1.5h的，可选用膨胀型钢结构防火涂料。防火涂料保护层厚度应按国家现行有关标准确定。

8 施工及验收

8.1 施工准备

8.1.1 采用体外预应力加固混凝土结构时，应根据加固设计方案中预应力体系的不同确定预应力施工工艺。

8.1.2 体外预应力加固施工前，应由专业施工单位根据设计图纸与现场施工条件，编制体外预应力加固施工方案，施工方案应经加固设计单位确认后再实施。

8.1.3 体外预应力加固工程中穿孔孔道宜采用静态开孔机成型，开孔前应探测既有结构钢筋位置，钻孔时应避开构件中的钢筋，当无法避开时，应通知设计单位，采取相应措施。

8.2 预应力筋加工制作

8.2.1 预应力筋的下料长度应通过计算确定。计算时应综合考虑其孔道长度、锚具长度、千斤顶长度、张拉伸长值和混凝土压缩变形量以及根据不同张拉方法和锚固形式预留的张拉长度等因素。

8.2.2 预应力筋制作或组装时，宜采用砂轮锯或切断机切断，不得采用加热、焊接或电弧切割，且施工过程中应避免电火花和电流损伤预应力筋。

8.2.3 当钢绞线采用挤压锚具时，挤压前应在挤压模内腔或挤压套外表面涂润滑油，压力表读数应符合操作说明书的规定。

8.3 转向块、锚固块安装

8.3.1 转向块、锚固块安装固定时，束形控制点的设计曲线竖向位置偏差应符合表 8.3.1 的规定；转向块曲率半径和转向导管半径偏差均不应大于相应半径的 $\pm 5\%$ 。

表 8.3.1 束形控制点的设计曲线竖向位置允许偏差

截面高(厚)度 (mm)	$h \leq 300$	$300 < h \leq 1500$	$h > 1500$
允许偏差 (mm)	± 5	± 10	± 15

8.3.2 转向块、锚固块与既有结构的连接可采用结构加固用 A 级胶粘剂、化学锚栓、膨胀螺栓等, 施工技术应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

8.4 预应力筋安装

8.4.1 体外预应力束在安装过程中应注意排序, 无法进行整束穿筋的宜采用单根穿筋的方法。在张拉之前应对所有预应力筋进行预紧。在穿筋过程中应采取防护措施, 不应拖曳体外束, 不得造成对表面防护层的损害。

8.4.2 体外预应力束张拉前, 应由定位支架或其他措施控制其位置。

8.5 预应力张拉

8.5.1 张拉设备的选用、标定和维护应符合下列规定:

- 1 张拉设备应满足体外预应力筋的张拉和锚具的锚固要求;
- 2 张拉设备及仪表, 应定期维护和校验;
- 3 张拉设备应配套标定、配套使用;
- 4 张拉设备的标定期限不应超过半年, 当在使用过程中张拉设备出现反常现象时或千斤顶检修后, 应重新标定;
- 5 张拉所用压力表的精度不宜低于 1.6 级, 标定千斤顶用的试验机或测力计的精度不应低于 $\pm 1\%$; 标定时千斤顶活塞的运行方向, 应与实际张拉工作状态一致。

8.5.2 预应力筋的张拉控制应力 (σ_{con}) 应符合下列规定:

- 1 钢绞线

$$0.40f_{ptk} \leq \sigma_{con} \leq 0.60f_{ptk} \quad (8.5.2-1)$$

- 2 预应力螺纹钢筋

$$0.50f_{pyk} \leq \sigma_{con} \leq 0.70f_{pyk} \quad (8.5.2-2)$$

式中： f_{ptk} ——钢绞线极限强度标准值（N/mm²）；

f_{pyk} ——预应力螺纹钢筋屈服强度标准值（N/mm²）。

当要求部分抵消由于应力松弛、摩擦、预应力筋分批张拉等因素产生的预应力损失时，张拉控制应力可增加 $0.05f_{ptk}$ ；当有可靠依据时，可提高张拉控制应力。

8.5.3 预应力筋张拉应在转向块、锚固块安装完成，且连接材料达到设计强度时进行。

8.5.4 预应力筋用应力控制法张拉时，应以伸长值进行校核。实际伸长值与计算伸长值之差应控制在±6%以内，否则应暂停张拉，待查明原因并采取措予以调整后再继续张拉。

8.5.5 千斤顶张拉体外预应力筋的计算伸长值（ Δl ）可按下式计算：

$$\Delta l = \frac{F_{pm} l_p}{A_p E_p} \quad (8.5.5)$$

式中： F_{pm} ——预应力筋平均张拉力（N），取张拉端拉力与计算截面扣除摩擦损失后的拉力平均值；

l_p ——预应力筋的实际长度（mm）。

8.5.6 后张预应力筋的实际伸长值宜在初应力为张拉控制应力的10%时开始量测，分级记录。实际伸长值（ Δl_0 ）可按下式确定：

$$\Delta l_0 = \Delta l_1 + \Delta l_2 - \Delta l_3 \quad (8.5.6)$$

式中： Δl_1 ——从初应力至最大张拉力间的实测伸长值（mm）；

Δl_2 ——初应力以下的推算伸长值（mm），可根据张拉力与伸长值成正比关系确定；

Δl_3 ——张拉过程中构件变形引起的预应力筋缩短值（mm），对于变形较小的构件，可略去。

8.5.7 预应力筋张拉锚固后实际建立的预应力值与设计规定检验值的相对偏差不应超过±5%。

8.5.8 预应力筋的张拉顺序应符合下列规定：

1 当设计中无具体要求时,可根据结构受力特点、施工方便、操作安全等因素确定;

2 张拉宜对称进行,减小对既有结构的偏心,也可采用分级张拉;

3 当预应力筋采取逐根张拉或逐束张拉时,应保证各阶段不出现对结构不利的应力状态,同时宜考虑后批张拉的预应力筋产生的弹性压缩对先批张拉预应力筋的影响。

8.5.9 预应力张拉时,应根据设计要求采用一端张拉或两端张拉。当采用两端张拉时,宜两端同时张拉,也可一端先张拉,另一端补张拉。

8.5.10 对同一束预应力筋,宜采用相应吨位的千斤顶整束张拉。当整束张拉有困难时,也可采用单根张拉工艺,单根张拉时应考虑各根之间的相互影响。

8.5.11 张拉过程中应避免预应力筋断裂或滑脱。当有断裂时,应该进行更换;当有滑脱时,应对滑脱的预应力筋重新穿筋张拉。

8.5.12 预应力筋张拉时,应对张拉力、压力表读数、张拉伸长值、异常现象等作详细记录。

8.6 工程验收

8.6.1 建筑结构体外预应力加固分项工程施工质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定。

8.6.2 体外预应力加固分项工程可根据材料类别划分为预应力筋、锚具、孔道灌注材料、转向块、锚固块、防火材料等检验批。原材料的批量划分、质量标准和检验方法应符合国家现行有关产品标准。

8.6.3 体外预应力加固分项工程可根据施工工艺流程划分为预应力筋制作与安装、张拉、灌注、封锚及防火等检验批。

主控项目

8.6.4 原材料进场的主控项目验收应符合下列规定：

1 预应力筋应按本规程第 4.2 节规定抽取试件做力学性能检验，其质量应符合国家现行有关标准的规定。预应力筋应每 60t 为一批，每批抽取一组试件，检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

2 预应力筋用锚具应按设计要求采用，其性能应符合本规程第 4.3.1 条的规定。对用量较少的一般工程，当供货方提供有效的试验报告时，可不作静载锚固性能试验。

3 孔道灌浆用水泥的性能应符合本规程第 4.5.2 条的规定，孔道灌浆用外加剂的性能应符合本规程第 4.5.3 条的规定，孔道灌注防腐油脂的性能应符合本规程第 4.5.5 条的规定，并应检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。对于用量较少的一般工程，当有可靠依据时，可不作材料性能的进场复验。

4 防火涂料的性能应符合本规程第 4.5.6 条的规定，并应检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。对于用量较少的一般工程，当有可靠依据时，可不作材料性能的进场复验。

8.6.5 预应力筋制作与安装的主控项目验收应符合下列规定：

1 体外预应力筋安装时，其品种、级别、规格、数量应符合设计要求；

2 施工过程中应避免电火花损伤预应力筋，受损伤的预应力筋应予以更换。

8.6.6 张拉的主控项目验收应符合下列规定：

1 体外预应力筋的张拉力、张拉顺序及张拉工艺应符合设计及施工方案的要求。

2 当采用应力控制方法张拉时，应校核预应力筋的伸长值，实际伸长值与设计计算理论伸长值的相对允许值偏差为 $\pm 6\%$ 。

3 体外预应力筋张拉锚固后实际建立的预应力值与设计规定值的相对允许偏差不应超过 $\pm 5\%$ 。抽查数量应为预应力筋总

数的3%，且不应少于5束。检查方法为见证张拉记录。

4 体外张拉过程中应避免预应力筋断裂或滑脱；当发生断裂或滑脱时，断裂或滑脱的数量不得超过同一截面预应力筋总根数的3%，且每束钢丝不得超过一根；对多跨双向连续板，其同一截面应按每跨计算。

8.6.7 孔道灌注、封锚及防火的主控项目验收应符合下列规定：

1 体外预应力筋张拉后应及时在外套管孔道内进行灌注水泥浆或专用防腐油脂，灌注应饱满、密实；

2 体外预应力筋的封锚保护应符合设计要求，防护罩应符合本规程第7.1.1条的规定；

3 防火涂料钢材基层应进行防锈处理，防火涂料的厚度应符合设计规定值，当设计没有明确规定时，应符合国家现行有关标准的规定。

一般项目

8.6.8 原材料进场的一般项目验收应符合下列规定：

1 预应力筋使用前应进行全数外观检查，预应力筋展开后应平顺，不得弯折，表面不应有裂纹、小刺、机械损伤、氧化铁皮和油污等；二次加工钢绞线采用的无粘结预应力筋护套应光滑、无裂缝、无明显褶皱，无粘结预应力筋护套轻微破损者应外包防水塑料胶带修补，严重破损者不得使用。

2 预应力筋用锚具使用前应进行全数外观检查，其表面应无锈蚀、机械损伤和裂纹。

3 体外预应力束的外套管在使用前应进行全数外观检查，其内外表面应清洁、无锈蚀，不应有油污、孔洞。

4 体外预应力加固用转向块、锚固块及连接用钢材的性能应符合本规程第4.4.1条的规定。应检查钢材产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

8.6.9 制作与安装的一般项目验收应符合下列规定：

1 预应力筋下料应采用砂轮锯或切割机切断，不得采用电

弧切割；

2 对于可更换和多次张拉的锚具，预应力筋端部应预留再次张拉的长度，并应做好防护处理；

3 体外预应力束的转向块、锚固块的规格、数量、位置和形状应符合设计要求；

4 转向块、锚固块与既有结构的连接应牢固，预应力束张拉时不应出现位移和变形；

5 体外束的外套管应密封良好，接头应严密且不得漏浆或漏油脂；

6 体外预应力筋束形控制点的竖向位置偏差应符合本规程表 8.3.1 的规定。抽查数量应为预应力筋总数的 5%，且不应少于 5 束，每束不应少于 5 处，用钢尺检查，束形控制点的竖向位置偏差合格点率应达到 90% 及以上，且不得有超过表中数值 1.5 倍的尺寸偏差。

8.6.10 对于张拉的一般项目验收，锚固阶段张拉端预应力筋的内缩值应符合设计要求，当设计无具体要求时，应符合本规程表 5.1.4 的规定。每工作班应抽查预应力筋总数的 3%，且不应少于 3 束，用钢尺检查。

8.6.11 体外预应力孔道灌注、封锚及防火的一般项目验收应符合下列规定：

1 体外预应力筋锚固后的外露部分宜采用机械方法切割，对不要求更换的体外束其外露长度不宜小于预应力筋直径的 1.5 倍，且不宜小于 30mm；对可更换的体外束，应预留再次张拉的长度。抽查数量应为预应力筋总数的 3%，且不应少于 5 束。检查方法为观察和钢尺检查。

2 灌浆用水泥浆的性能及水泥浆强度应符合本规程第 4.5.4 条的规定。检查水泥浆性能试验报告和水泥浆试件强度试验报告。

3 防火涂料涂刷不应有遗漏，涂层应闭合，无脱层、空鼓、粉化松散等外观缺陷。

8.6.12 体外预应力加固分项工程施工质量验收时，应提供下列文件和记录：

- 1 经审查批准的施工组织设计和施工技术方案；
- 2 设计变更文件；
- 3 预应力筋、锚具的出厂合格证和进场复验报告；
- 4 转向块、锚固块原材料的合格证和进场复验报告；
- 5 张拉设备配套标定报告；
- 6 体外束设计曲线坐标检查记录；
- 7 转向块、锚固块与混凝土结构的连接检查记录；
- 8 预应力筋张拉及灌浆记录；
- 9 外套管灌注及锚固端防护封闭记录、水泥浆试块强度报告；
- 10 体外预应力体系外露部分防火措施检查记录。

附录 A 体外预应力筋数量估算

A. 0. 1 体外预应力筋截面面积可按下式估算：

$$A_p = \frac{N_p}{\sigma_{pu}} \quad (\text{A. 0. 1})$$

式中： N_p ——体外预应力筋的拉力设计值（N），按本附录第 A. 0. 2 条计算；

σ_{pu} ——预应力筋应力设计值（N/mm²），按本规程第 5. 1. 9 条计算，预应力总损失可按 0. 2 σ_{con} 估算。

A. 0. 2 矩形截面梁体外预应力筋拉力设计值（ N_p ）可根据矩形梁的截面宽度（ b ）、有效高度（ H_{0p} ）和承受弯矩设计值（ ΔM ），按下列公式计算（图 A. 0. 2）：

$$N_p = \alpha_1 f_c b x_p \quad (\text{A. 0. 2-1})$$

$$x_p = H_{0p}^2 - \sqrt{H_{0p}^2 - 2\Delta M / (\alpha_1 f_c b)} \quad (\text{A. 0. 2-2})$$

$$H_{0p} = h - x_0 - a_p \quad (\text{A. 0. 2-3})$$

$$\Delta M = \eta M - M_0 \quad (\text{A. 0. 2-4})$$

$$M_0 = f_y' A_s' (h - a_s' - a_s) + \alpha_1 f_c b x_0 (h - 0. 5x_0 - a) \quad (\text{A. 0. 2-5})$$

$$x_0 = \frac{f_y A_s - f_y' A_s'}{\alpha_1 f_c b} \quad (\text{A. 0. 2-6})$$

式中： ΔM ——考虑弯矩增大系数影响后梁的弯矩加固量（N·mm）；

M ——加固梁弯矩设计值（N·mm）；

M_0 ——加固前既有结构受弯承载力（N·mm）；

- η ——设计弯矩增大系数，取 1.05；
- x_0 ——加固前既有结构受压区高度 (mm)；
- b, h ——截面宽度、高度 (mm)；
- a_p ——体外预应力筋拉力至受拉区边缘的距离 (mm)，
边缘外取负数。

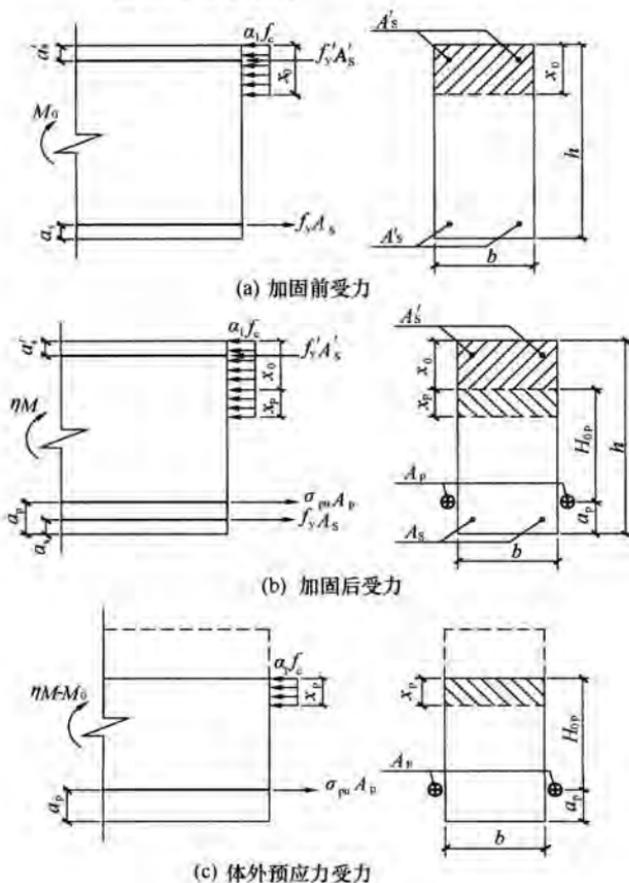


图 A.0.2 体外预应力加固截面受力

附录 B 转向块、锚固块布置及构造

B.0.1 体外预应力加固混凝土结构的转向块、锚固块形式和布置应根据既有建筑结构布置、体外预应力筋布置选用（图 B.0.1）。

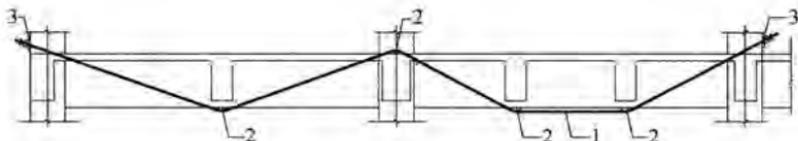


图 B.0.1 转向块、锚固块布置

1—体外预应力束；2—转向块；3—锚固块

B.0.2 当转向块转向采用半圆钢、圆钢或圆钢管时，预应力筋在转向块处宜采用厚壁钢套管，并宜通过挡板固定预应力束位置，转向块构造及与加固梁的连接可采用下列形式：

1 当转向块安装在加固梁底部时，可通过 U 形钢板利用锚栓及结构胶与加固梁底部和侧面连接固定（图 B.0.2-1）。

2 当转向块安装在加固梁跨中的次梁下时，可通过加固梁底部钢板、次梁底部 T 形支撑板利用锚栓和结构胶固定（图 B.0.2-2）。

3 当转向块安装在加固梁顶部支座处时，可通过水平钢板、加劲板利用锚栓及建筑结构胶与顶部混凝土连接固定（图 B.0.2-3）。

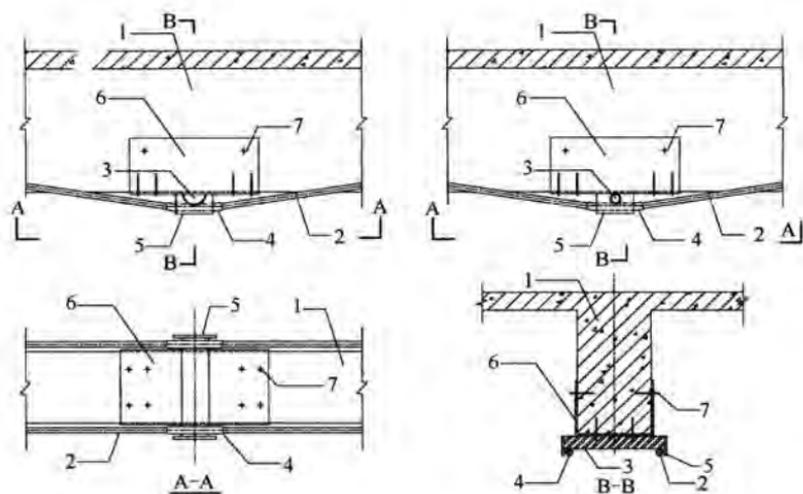


图 B.0.2-1 跨中梁底半圆形、圆形转向块构造

- 1—原混凝土梁；2—体外预应力束；3—半圆钢、圆钢或圆钢管；
4—厚壁钢管；5—挡板；6—U形钢板；7—锚栓

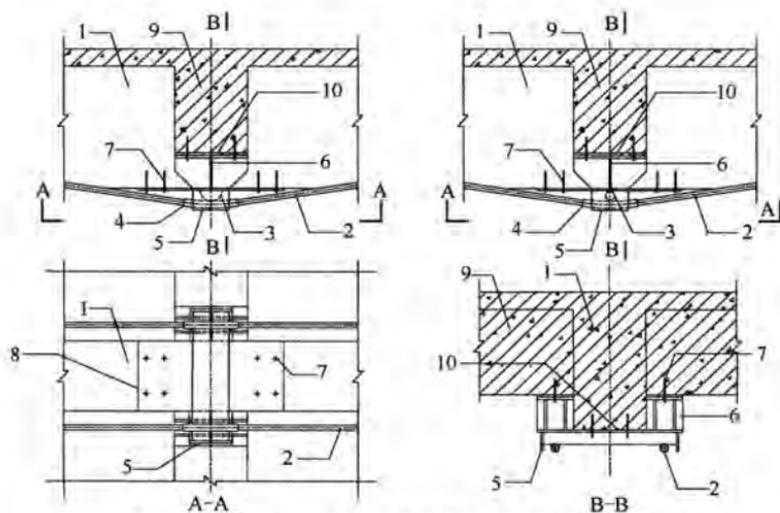
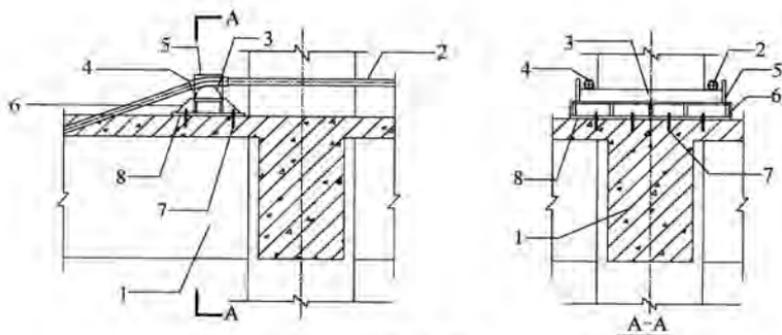
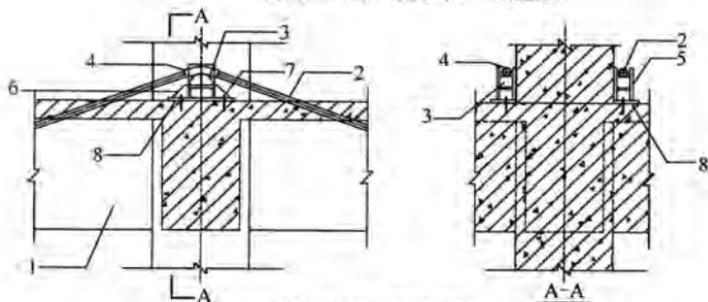


图 B.0.2-2 跨中次梁下半圆形、圆形转向块构造

- 1—原混凝土梁；2—体外预应力束；3—半圆钢、圆钢或圆钢管；
4—厚壁钢管；5—挡板；6—T形支承；7—锚栓；8—梁底钢板；
9—次梁；10—结构胶连接面



(a) 预应力束一侧水平、一侧倾斜



(b) 预应力束两侧倾斜

图 B.0.2-3 梁顶部半圆形、圆形转向块构造

- 1—原混凝土梁；2—体外预应力束；3—半圆钢、圆钢或圆钢管；4—厚壁钢管；5—挡板；6—钢支承；
7—锚栓；8—结构胶连接面

B.0.3 当转向块为鞍形时，预应力束套管可在鞍形转向块上平顺通过，并宜通过挡板固定预应力束位置，转向块构造及与加固梁的连接可采用下列形式：

1 当转向块安装在加固梁底部时，可通过不同高度的横向加劲形成弧面鞍座，并通过水平钢板、加劲板利用锚栓及结构胶与加固梁底部、侧面或跨中次梁连接固定（图 B.0.3-1）。

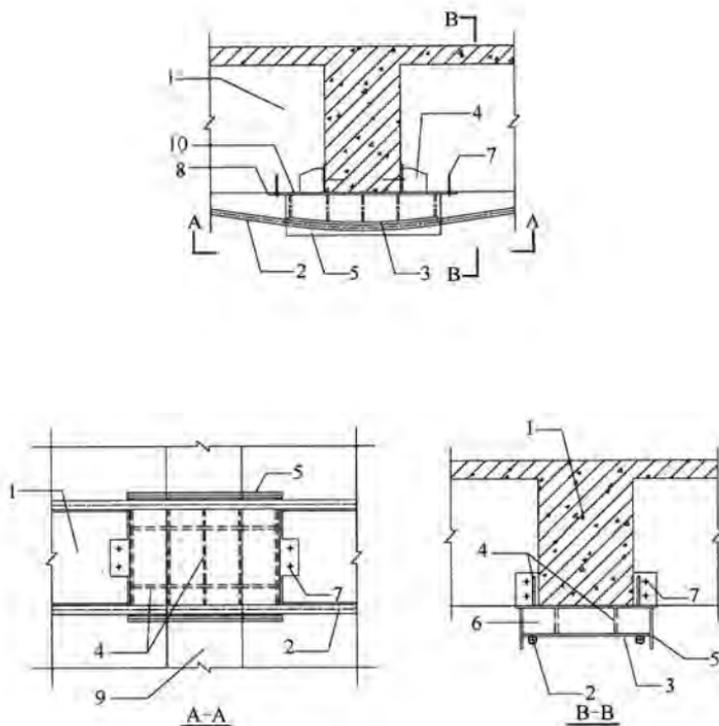


图 B.0.3-1 梁跨中鞍形转向块构造

1—原混凝土梁；2—体外预应力束；3—鞍形弧面；

4—加劲板；5—挡板；6—鞍座；7—锚栓；

8—梁底钢板；9—次梁；

10—结构胶连接面

2 当转向块安装在加固梁顶部时，可通过不同高度的横向加劲形成弧面鞍座，并通过水平钢板、加劲板利用锚栓及结构胶与加固梁顶部连接固定（图 B.0.3-2）。

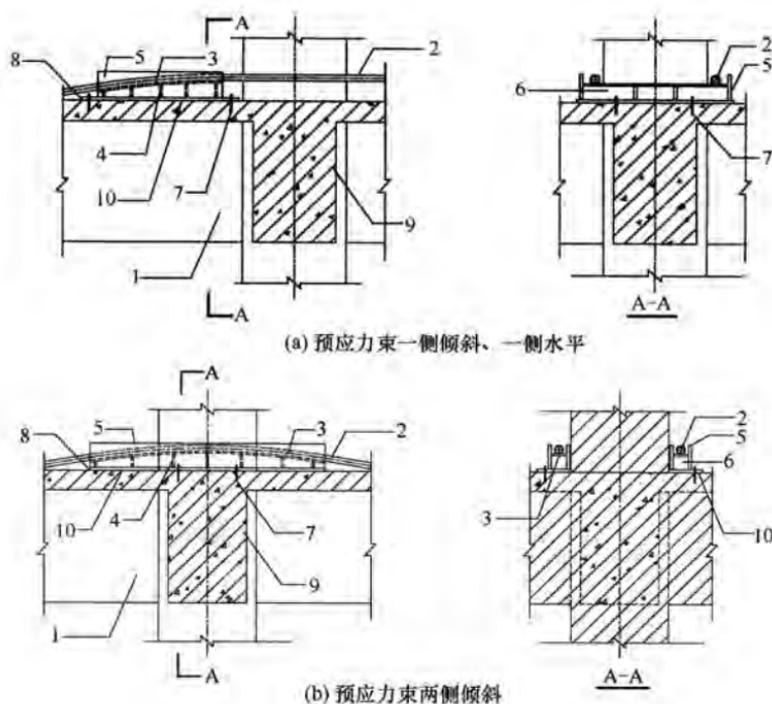


图 B.0.3-2 梁端部鞍形转向块构造

- 1—原混凝土梁；2—体外预应力束；3—鞍形弧面；4—加劲板；
5—挡板；6—鞍座；7—锚栓；8—梁顶钢板；
9—横向梁；10—结构胶连接面

B.0.4 当转向块采用钢管时，钢管厚度不宜小于5mm，钢管与加固梁的连接可采用下列形式：

1 当转向块安装在加固梁跨中两侧时，宜采用U形钢板利用锚栓和结构胶与加固梁连接固定，钢管与U形钢板的侧面焊接固定，并通过竖向加劲加强钢管与U形钢板的连接〔图B.0.4(a)〕。

2 当转向块安装在加固梁顶柱子两侧时，宜采用钢板利用锚栓和结构胶与加固梁顶和柱子连接固定，钢管与柱子侧面钢板焊接固定，并通过竖向加劲加强钢管与竖向钢板的连接〔图

B. 0. 4 (b)], 预应力束穿过楼板时应在楼板开洞, 张拉后封堵。

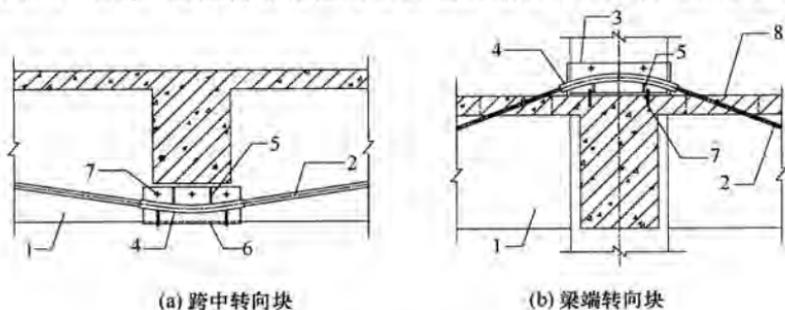


图 B. 0. 4 钢管转向块构造

- 1—原混凝土梁; 2—体外预应力束; 3—钢板与柱子连接;
4—厚壁钢管; 5—加劲板; 6—U形钢板;
7—锚栓; 8—楼板开洞

B. 0. 5 锚固块宜做成钢结构横梁形式布置在加固梁端部, 并将预加力传递给加固混凝土结构, 锚固块的布置可采用下列形式:

1 当加固梁为独立梁时, 锚固块宜布置在加固梁端中性轴稍偏上的位置 (图 B. 0. 5-1);

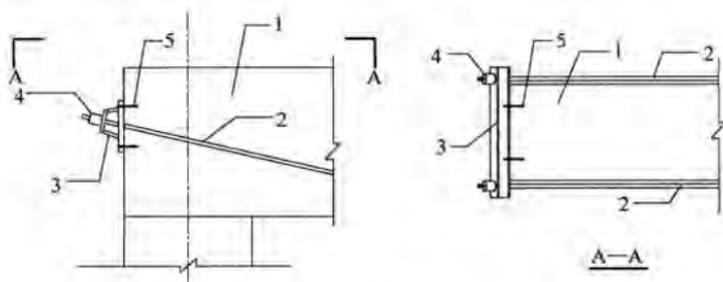


图 B. 0. 5-1 梁端部锚固块构造

- 1—原混凝土梁; 2—体外预应力束; 3—锚固块;
4—锚具; 5—锚栓

2 当加固梁端部有边梁时, 可在边梁上钻孔, 体外束穿过边梁锚固在加固梁中性轴稍偏上的位置 (图 B. 0. 5-2);

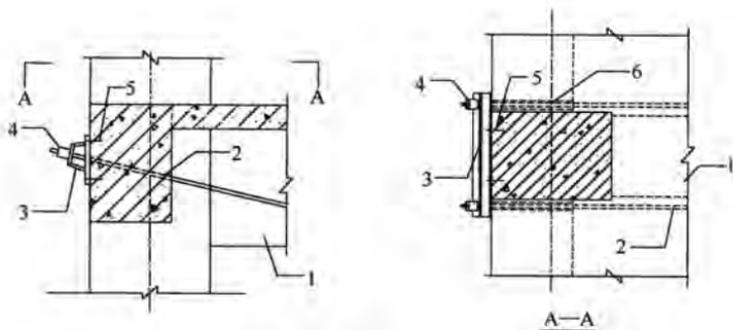


图 B.0.5-2 穿边梁锚固块构造

1—原混凝土梁；2—体外预应力束；3—锚固块；
4—锚具；5—锚栓；6—边梁开口

3 当加固梁有边梁或在跨中锚固有横向梁时，也可在楼板开孔，体外束穿过楼板锚固，锚固块通过钢板箍固定在上层柱底部（图 B.0.5-3），这种方式应注意预加力对柱底剪力的影响。

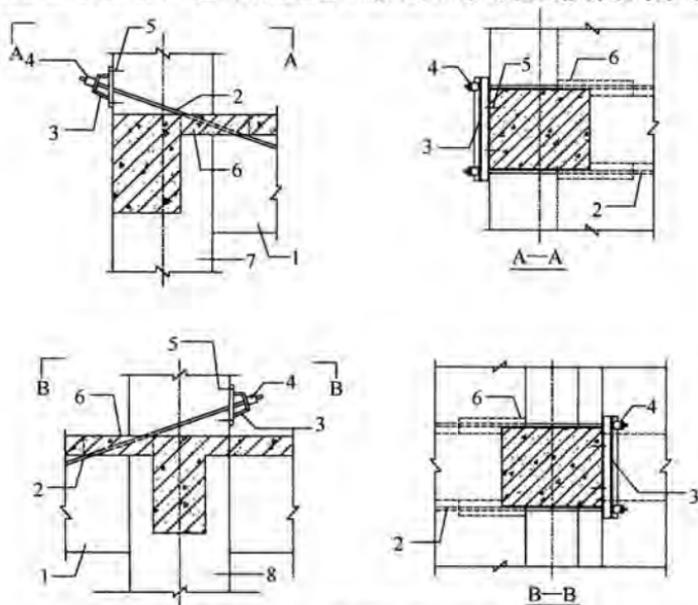


图 B.0.5-3 穿楼板锚固块构造

1—原混凝土梁；2—体外预应力束；3—锚固块；4—锚具；
5—锚栓；6—楼板开口；7—边柱；8—中柱

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 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 4 《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023
- 5 《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046
- 6 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 7 《工业建筑可靠性鉴定标准》 GB 50144
- 8 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 9 《民用建筑可靠性鉴定标准》 GB 50292
- 10 《混凝土结构加固设计规范》 GB 50367
- 11 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 12 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 13 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 14 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 15 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224-2003
- 16 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 17 《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》 GB/T 8923
- 18 《一般工程用铸造碳钢件》 GB/T 11352
- 19 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》 GB/T 14370
- 20 《钢结构防火涂料》 GB 14907
- 21 《环氧涂层七丝预应力钢绞线》 GB/T 21073
- 22 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》
JGJ 85
- 23 《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
- 24 《无粘结预应力钢绞线》 JG 161

- 25 《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》 JG 3007
- 26 《填充型环氧涂层钢绞线》 JT/T 737
- 27 《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》 YB/T 152

中华人民共和国行业标准

建筑结构体外预应力加固技术规程

JGJ/T 279 - 2012

条文说明

制 订 说 明

《建筑结构体外预应力加固技术规程》JGJ/T 279-2012，经住房和城乡建设部 2011 年 12 月 26 日以 1227 号公告批准、发布。

本规程编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了建筑结构体外预应力加固技术的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，吸取了国内外最新研究成果。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《建筑结构体外预应力加固技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	55
2	术语和符号	57
2.1	术语	57
2.2	符号	57
3	基本规定	58
3.1	一般规定	58
3.2	设计计算原则	60
4	材料	62
4.1	混凝土	62
4.2	预应力钢材	62
4.3	锚具	63
4.4	转向块、锚固块及连接用材料	63
4.5	防护材料	63
5	结构设计	65
5.1	一般规定	65
5.2	承载能力极限状态计算	66
5.3	正常使用极限状态验算	67
5.4	转向块、锚固块设计	69
6	构造规定	70
6.1	预应力筋布置原则	70
6.2	节点构造	71
7	防护	72
7.1	防腐	72
7.2	防火	72
8	施工及验收	73

8.1	施工准备	73
8.2	预应力筋加工制作	73
8.3	转向块、锚固块安装	73
8.4	预应力筋安装	74
8.5	预应力张拉	74
8.6	工程验收	75
附录 A	体外预应力筋数量估算	76
附录 B	转向块、锚固块布置及构造	77

1 总 则

1.0.1 体外预应力加固混凝土结构有别于其他加固方法，增大截面法、粘钢法、粘碳纤维等方法可以有效提高构件承载力，体外预应力加固混凝土结构除了提高承载力外，还可以有效提高截面抗裂性和通过等效荷载减小构件挠度，体外预应力是一种主动的加固方式。另外，体外预应力在耐久性方面也有其独特的优势：体外预应力筋设置在混凝土外，便于检测、重新张拉和更换，体外预应力筋的检测可以预防破坏事故的发生，体外预应力筋重新张拉及更换，可以保证预应力筋的应力水平及结构的可靠性，延长结构寿命。

体外预应力加固法是近年来快速发展和普遍采用的加固方法之一。由于体外预应力加固法采用专用设备，技术要求高和需要专业队伍施工，克服了其他方法“全民施工”带来的质量管理混乱的缺点，对确保加固工程质量有利。体外预应力加固法与其他加固法比较有如下优点：

1 加固与卸载合一，共同工作性能好。体外预应力加固结构在预应力加固的同时可以对既有结构进行卸载。加固完成后，既有结构与新加预应力筋共同承担荷载，属于一种主动加固法。

2 强度、刚度同时加固。体外预应力加固法在提高被加固构件承载力的同时，可使构件产生反拱变形和减小结构裂缝宽度。

3 适用于超筋截面构件的加固。体外预应力加固法是一种体外布索，可以通过抬高转向块高度加大预应力筋与既有结构受压边缘的距离，从而使构件不超筋。所以对超筋构件加固同样有效，这一点是前述的许多方法所不具备的。

4 对被加固构件的承载力提高幅度较大。试验研究表明，

体外预应力加固法采用的高强度低松弛钢绞线，其数量可根据需要配置，可显著提高承载力。

5 体外预应力加固法适应性强。体外预应力加固法对单跨梁、连续梁、框架梁、井字梁、单双向板、偏心受压柱等均能起到加固作用；体外预应力加固法特别适用于低强度混凝土结构以及火灾、腐蚀、冻融等钢筋混凝土结构的加固。

体外预应力加固法已经广泛应用在建筑结构的混凝土梁、板加固中，并取得了良好的效果，体外预应力与体内预应力相比有两大不同：一是体外预应力二次效应，二是预应力二次加载的影响。但是，这些特点并没有在现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中明确指出，本规程就是利用混凝土结构设计原理明确体外预应力加固混凝土结构的设计方法和施工验收方法。

1.0.2 体外预应力加固技术除了在工业与民用建筑中采用外，也广泛应用在铁路和公路桥梁的加固中，由于铁路和公路桥梁与建筑结构采用的设计方法不同，因此，本规程没有涉及铁路和公路桥梁的体外预应力加固。另外，有些钢结构也采用了体外预应力技术进行加固，但是体外预应力加固钢结构与张弦结构受力类似，因此，本规程主要适用于房屋和一般构筑物钢筋混凝土结构采用体外预应力技术进行加固的设计、施工及验收，适用范围与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相一致。如果既有结构是预应力混凝土结构，也可进行体外预应力加固，设计方法可参考本规程进行，由于公式较为复杂，工程中应用也极少，因此，本规程没有给出。

1.0.3、1.0.4 这 2 条规定了本规程在使用中应与其他标准配套使用。要加固的工程大都使用了一段时间，不论是因为功能改变还是因为出现了承载力不足、裂缝过大或挠度过大等问题，都应该按照相应的国家现行标准进行鉴定，然后进行加固设计。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.6 本规程采用尽量少的新术语，凡是国家现行标准中已作规定的，尽量加以引用，不再作出新的规定。与体外预应力加固技术紧密相关的术语进行了强调，重新作了规定。术语的规定参考了国家现行标准和国外先进标准。

“体外预应力束”、“转向块”、“锚固块”和“体外预应力二次效应”是体外预应力技术特有的术语；“既有结构加固”、“体外预应力加固法”在现行国家标准《混凝土结构加固技术规范》GB 50367中有规定。

2.2 符 号

本规程采用的符号及其含义尽可能与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367一致，以便于在加固设计、计算中引用其相关公式。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 本条规定了体外预应力加固适用的场合，主要是混凝土梁、板等受弯构件。虽然混凝土柱也可以用体外预应力加固，但是施加预应力后增大了混凝土柱的轴力，因此一般情况下不建议用预应力筋加固混凝土柱。有的文献用角钢加固柱子的四个角，并通过让角钢承受压力而减小混凝土柱压力，也就是角钢施加预压力对混凝土柱施加预拉力，这种情况不在本规程范围。体外预应力加固的目的一方面是为了满足承载力极限状态，另一方面是为了满足正常使用极限状态；还有一种特殊情况就是既有结构处于高应力、高应变状态，又难以卸除荷载进行其他方式加固，体外预应力加固可以不用卸载，这也是体外预应力加固技术与其他加固方法相比的一项优点。

3.1.2 新建预应力工程对混凝土材料抗压强度给出限值的主要原因是采用高强度混凝土可以充分发挥预应力筋的高强作用，做到两种材料的合理匹配，同时也解决后张法构件锚固区混凝土局部承压问题。体外预应力加固法的锚固区混凝土局部承压也是需要重视的问题，应通过对锚固端的设计来解决，试验研究和大量的工程实践证明，通过合理设计锚固块来解决混凝土局部承压问题，体外预应力加固技术用于低强度混凝土结构加固是一个有效方法。

3.1.3 混凝土结构是否需要加固应经过可靠性鉴定确认，我国现行的国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 是我国工业建筑和民用建筑可靠性鉴定的依据，可以作为混凝土结构进行加固设计的基本依据。由于既有建筑结构的加固设计和施工远远复杂于新建建筑结

构的设计和施工，因此，应由有相应资质等级的单位进行体外预应力加固设计。另外，超静定结构的加固设计，尤其是体外预应力加固会影响到相邻结构构件的内力，影响整体结构的内力；我国建筑结构的抗震设计标准也在不断提高，结构构件的加固往往与抗震加固结合进行，因此，加固影响到整体内力且与抗震加固相结合时，应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023进行抗震能力鉴定。体外预应力加固可以改善抗裂性、减小挠度、提高承载力，但是预应力度过大会影响结构的抗震延性，因此，抗震加固时体外预应力加固可与加大截面法、粘钢、粘碳纤维等方法相结合进行。

当体外预应力加固设计与其他加固方法相结合进行时，加固设计的范围可以包括整幢建筑物或其中某独立区段，也可以是指定的结构或构件，但均应考虑该结构的整体性。

3.1.4 被加固的混凝土结构、构件，其加固前的服役时间各不相同，加固后的结构功能又有所改变，因此，不能用新建时的安全等级作为加固后的安全等级，应该根据业主对于加固后的目标适用期的要求，加固后结构使用用途和重要性，由委托方和设计方共同确定。

3.1.5 体外预应力加固混凝土结构施工中最重要的工序是预应力筋的张拉。张拉主要方式是通过千斤顶，因此设计的时候就要考虑到预应力筋的布置满足张拉端能够布置锚固块、布置千斤顶进行张拉，否则，即使设计满足了承载力和抗裂要求，施工也难以实现，成为不能够实施的设计方案。

对于超静定结构，预应力张拉会改变结构的内力，尤其是与加固构件相邻而未进行体外预应力加固的部分，加固部分的预应力张拉产生的变形会引起结构的次内力，因此，应该考虑次内力产生的不利影响。

3.1.6 对于由高温、高湿、低温、冻融、化学腐蚀、振动、温度应力、地基不均匀沉降等影响因素引起的既有结构损坏，在进行结构体外预应力加固时或加固前，应该提出有效的防治对策和

措施,对高温、高湿、低温、冻融、化学腐蚀、振动、温度应力、地基不均匀沉降等产生的源头进行治理和消除,只有消除了根源才可以防止结构破损的进一步发展。通常情况下是先治理然后加固,治理后加固才可以保证加固后结构的安全性和正常使用。

3.1.7 加固施工不同于新建建筑结构,加固施工经常是局部采用支撑,利用了既有结构的稳定性体系,但是对于可能出现倾斜、失稳、变形过大或塌陷的混凝土结构,既有结构已经不能作为支撑的一部分,因此,应提出相应的施工安全措施要求和施工监测要求,防止施工中可能出现的倾斜、失稳、变形过大或塌陷。

3.1.8 混凝土结构体外预应力加固设计都是以委托方提供的结构用途、使用条件和使用环境为依据进行的,因此,加固后也应该按委托方委托设计的要求使用,如果改变了使用功能或使用环境,应该重新进行鉴定或经过设计的许可,否则可能产生难以预料的后果。

3.2 设计计算原则

3.2.1 本条是按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 作出规定的。

3.2.2 本条对混凝土结构体外预应力加固设计计算需要的数据如何得到给出了详细而明确的规定,同时明确了需要考虑次内力对相邻构件的影响及加固后可能引起的刚度变化对内力的影响。

3.2.3 本条给出了普通钢筋混凝土构件进行体外预应力加固时体外预应力最大配筋量与既有结构普通钢筋的比例,采用了现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的表达方式。体外预应力筋中间段与混凝土没有直接连接,试验表明,为了改善构件在正常使用中的变形性能,体外预应力筋配筋不宜过多。在全部受拉钢筋中,有粘结的非预应力筋产生的拉力达到总拉力的25%时,可有效改善无粘结预应力受弯构件的性能,如裂缝分

布、间距和宽度以及变形能力，接近有粘结预应力梁的性能，本条考虑了这一影响，并考虑到体外预应力加固受弯构件与无粘结预应力混凝土构件相比，性能稍差，因此，控制比现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中无粘结预应力筋更严。

3.2.4 既有结构为预应力混凝土结构时，体外预应力加固用预应力配筋量确定应考虑既有结构体内预应力配筋，综合考虑总配筋，主要目的是为了控制结构的延性。

4 材 料

4.1 混 凝 土

4.1.1 《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 第 4.1.2 条规定预应力混凝土结构强度不宜低于 C40，且不应低于 C35。对于既有建筑混凝土结构的体外预应力加固，由于混凝土收缩、徐变大部分已经发生，收缩、徐变损失减小，且既有结构一般为普通混凝土结构，与预应力混凝土结构相比混凝土强度会稍偏低，所以将加固用的混凝土强度定为不应低于 C30。

4.2 预 应 力 钢 材

4.2.1 体外预应力加固用预应力筋主要采用了国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 中规定的预应力筋。由于体外预应力束没有被混凝土包裹，因此在腐蚀环境中采用体外预应力加固时应采用涂层预应力筋。

4.2.2、4.2.3 预应力钢绞线和预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值 f_{pyk} 、抗拉强度标准值 f_{ptk} 、强度设计值 f_{py} 及弹性模量均按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 采用。

4.2.4 涂层预应力筋主要为了抵抗环境的腐蚀，这里选取了常用的几种涂层预应力筋：镀锌钢绞线、环氧涂层钢绞线，每种产品均有相应的产品标准。镀锌钢绞线会与水泥浆发生反应，因此，如果是外套管内灌注水泥浆，不能采用镀锌钢绞线。

4.2.5 二次加工预应力筋目前最常用的是无粘结预应力钢绞线，缓粘结预应力钢绞线是最近在预应力混凝土结构中采用的一种新的预应力产品，也可用在体外预应力加固中，可以参考相应的产品标准。

4.3 锚 具

4.3.1、4.3.2 体外预应力加固用锚具和连接器与一般预应力混凝土结构用锚具和连接器是相同的，锚具的类型主要是与预应力筋的类型相匹配，锚固效率系数等参数要求按现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 采用即可。由于一般预应力混凝土结构锚具在预应力筋张拉后进行混凝土封锚，封锚后不再打开，而体外预应力筋张拉后一般不用混凝土封锚，而是用封锚盖封闭，且存在将来进行张拉调节的可能，因此，锚具的封锚会不同，封锚既要防腐性好，又要容易打开。夹片锚有可能在预应力筋应力过低时松开，因此，应该有防松措施。目前已经有专用于体外预应力筋的锚具，可以优先采用这样的锚具。

4.4 转向块、锚固块及连接用材料

4.4.1、4.4.2 转向块、锚固块大都采用钢材，连接采用后锚固方式，一方面减小体外预应力加固施工的湿作业，另一方面钢材强度高，后锚固施工方便，产品较多，因此，本条给出了钢材和连接材料需要满足的标准。

4.5 防护材料

4.5.1 体外预应力筋没有埋在混凝土内，不能得到混凝土的保护，因此，体外预应力筋、转向块及锚固块的防护是非常重要的。

工业与民用建筑中，体外预应力筋一般采用钢套管进行保护，也有个别采用 HDPE 套管的，套管内都灌注水泥浆、防腐油脂等进行防腐。

4.5.2、4.5.3 给出了灌注水泥浆用水泥和外加剂应符合的产品标准。

4.5.4 给出了外套管内灌注水泥浆的技术要求，现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土结构

工程施工规范》GB 50666 都给出了水泥浆的技术要求，稍有不同，本规程以现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 为主。应注意灌注水泥浆后体外预应力筋将不可更换。

4.5.5 灌注的油脂应为体外预应力钢绞线所采用的专用油脂。

4.5.6 体外预应力束、转向块及锚固块都是钢材，钢材在高温下应力释放、强度降低，因此，防火是很重要的，应该根据现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 的规定进行防火处理。

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 根据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 和《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定, 当进行预应力混凝土结构构件承载力极限状态及正常使用极限状态的荷载组合时, 应计算预应力作用参与组合, 对后张预应力混凝土超静定结构, 预应力作用效应为综合内力 M_r 、 V_r 及 N_r , 包括预应力产生的次弯矩、次剪力和次轴力。在承载力极限状态下, 预应力分项系数应不利时取 1.2、有利时取 1.0, 正常使用极限状态下, 预应力分项系数通常取 1.0。

要计算次内力, 首先要有预应力配筋, 附录 A 给出了预应力配筋的估算方法, 估算了预应力配筋, 就可以进行次内力计算和后面的承载力极限状态计算及正常使用极限状态验算。

5.1.2 本条给出了次内力计算方法, 设计中一定要注意次内力的符号和方向, 正确确定次内力对结构有利还是对结构不利, 尤其是次剪力, 次剪力最好是通过次弯矩来计算, 次弯矩的产生和次剪力是同时的, 次弯矩的变化率就是次剪力, 对于独立梁, 一般情况下一跨内次剪力是一样的, 次剪力对梁的两端产生的效果是正好相反的, 对左端不利, 对右端就有利, 对左端有利, 对右端就不利, 因此, 一定要注意方向。当计算次内力时, 可略去 $\sigma_{\text{pe}} A_p$ 的影响, 取 $N_p = \sigma_{\text{pe}} A_p$ 。

5.1.3 本条列出了体外预应力筋中的预应力损失项。预应力总损失值小于 $80\text{N}/\text{mm}^2$ 时, 应按 $80\text{N}/\text{mm}^2$ 取。按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》50010 增加了张拉端锚口摩擦损失。

5.1.4 给出了预应力筋由于锚具变形和预应力筋内缩引起的预应力损失值, 预应力筋锚固时锚具回缩值按锚具类型分别为支承

式和夹片式给出了数值。计算中应该注意锚具回缩影响的范围，如果锚具回缩产生的反向摩擦不能传递到下一段预应力筋，锚具回缩损失只影响第一段预应力筋。

5.1.5 由于体外预应力筋与构件接触长度非常小，因此，大部分情况下局部偏摆产生的摩擦损失不足 1%，可以忽略，只考虑转角产生的摩擦损失。摩擦系数的取值参考了国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 的数值。

5.1.6 预应力筋的应力松弛引起的预应力损失值与初应力和极限强度有关。本规程公式是按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 给出的。

5.1.7 混凝土收缩和徐变引起的预应力损失按国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 给出。对既有结构混凝土浇筑完成后的时间超过 5 年的，混凝土收缩、徐变已经基本完成，取 $\sigma_{\text{ES}}=0$ 。

5.1.8 先张拉的预应力筋由张拉后批体外预应力筋所引起的混凝土弹性压缩的预应力损失与体内预应力混凝土结构是一样的。

5.1.9 体外预应力筋的应力设计值与无粘结预应力筋的设计值确定方法基本相似，国内外都采用了有效预应力值再加预应力增量的计算方法，德国 DIN4227 规范无粘结预应力计算方法最为简单：单跨梁预应力增量取 $110\text{N}/\text{mm}^2$ ，悬臂梁预应力增量取 $50\text{N}/\text{mm}^2$ ，连续梁预应力增量取为零，我国现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 中对体外预应力筋应力增量规定为 $100\text{N}/\text{mm}^2$ ，本条是参考国内外规范及工程经验作出规定的。

5.2 承载能力极限状态计算

5.2.1、5.2.2 给出了矩形、T 形和 I 形截面受弯承载力计算方法，公式按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定列出，其弯矩设计值应考虑次内力组合。国内外研究成果表明，当转向块间距离小于 12 倍梁高时可以忽略二次效应的

影响。为考虑二次效应的影响，国内也有一些试验和理论研究，但是，目前并没有大家公认的计算公式，《体外预应力筋极限应力和有效高度计算方法》（土木工程学报第40卷第2期）给出了一个在试验基础上总结的公式，当需要计算二次效应时可供参考。加固前构件在初始弯矩作用下，截面受拉边缘混凝土的初始应变在一般情况下数值较小，故所列公式中未计及该初始应变对承载力的影响。

体外预应力加固混凝土结构的相对界限受压区高度 ξ_b 不能简单按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关公式来确定。但是 GB 50010 - 2010 中第 10.1.14 条给出了无粘结预应力混凝土结构的综合配筋特性 ξ_p ， ξ_p 与相对界限受压区高度含义基本相同，因此，可以按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对无粘结预应力混凝土的限制，偏安全地取 0.4。当相对界限受压区高度超过 0.4 时，非预应力筋和预应力筋强度不能达到设计值，在第 5.2.3 条中规定了计算方法。

5.2.3 体外预应力加固设计中，正截面承载力尚可按偏心受压构件进行计算，并根据 ξ 不大于 ξ_b 或大于 ξ_b 分别按大偏心受压构件或小偏心受压构件计算。此外，也有按反向荷载平衡法进行正截面承载力计算的体外预应力加固实例。当 ξ 大于 ξ_b 时，技术措施还可以通过加大截面或采用其他方案。

5.2.4~5.2.7 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 给出了体外预应力加固后斜截面承载力计算方法和公式，此时弯起体外预应力筋的应力设计值应按 $(\sigma_{pe} + 50) \text{ N/mm}^2$ 取值， h_0 是指原混凝土结构截面的有效高度。

5.3 正常使用极限状态验算

5.3.1 本条给出了体外预应力加固混凝土结构裂缝控制要求，由于体外预应力筋有专门的外护套保护并灌注防腐材料，故采用的裂缝控制与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 一致。

5.3.2 本条给出了已经开裂的混凝土受弯构件，裂缝完全闭合时需要施加的预应力值，该值也可以作为预应力配筋的预估值。该方法是根据《体外预应力加固配筋混凝土梁的变形控制》（工业建筑 2009 年第 12 卷第 12 期）的试验研究和理论分析成果得出的，预加力 N_{c10} 应抵消 M_i 产生的拉应力并产生 σ_{c10} 的压应力。

5.3.3 本条给出了体外预应力加固后构件开裂弯矩的计算方法。加固前已经开裂的构件，当截面压应力一旦达到 0，就开始重新开裂。

5.3.4、5.3.5 对体外预应力加固后的构件裂缝及其宽度计算公式，仍采用国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 - 2010 中预应力混凝土受弯构件的计算方法。因为加固后的构件在重新加载开裂时，用现有的裂缝计算公式得出的裂缝宽度与试验裂缝基本相符，因此，本条采用了同样的计算公式。裂缝宽度计算对应的正常使用极限状态，变形相对较小，因此，可以不考虑二次效应的影响。

5.3.6 所给出的体外预应力加固受弯构件考虑荷载长期作用影响的刚度计算方法，与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 - 2010 中计算方法一致，要注意的是考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数，一般取 2.0，但是对于体外预应力加固混凝土结构有所不同，由于混凝土徐变影响已经减小，因此，折减取 1.5，第 5.3.8 条计算预应力反拱考虑长期作用的增大系数也取 1.5。

5.3.7 本条给出了未开裂构件或裂缝完全闭合后构件的刚度，以及加固后又重新开裂构件的刚度计算，注意在式 (5.3.7-3) 中开裂弯矩应根据是首次开裂还是闭合后重新开裂，按本规程第 5.3.3 条规定来选用不同的开裂弯矩。

5.3.8 本条给出了体外预应力在张拉过程中产生的反拱值计算方法，可以利用体外预应力产生的等效荷载进行计算。根据东南大学《体外预应力加固配筋混凝土梁的变形控制》（工业建筑 2009 年第 12 卷第 12 期）试验研究和理论分析，开裂后构件抗

弯刚度明显低于未开裂构件，施加预应力将逐渐增大构件刚度，故将计算反拱的刚度分两个阶段计算，第一阶段是裂缝逐渐闭合的过程，刚度随预加力增加而增大，当预加力达到裂缝完全闭合的预加力 N_{c0} 时，刚度增大为 $0.85E_cI_0$ ；预加力为 0 时，构件反向刚度可近似按普通钢筋混凝土构件开裂刚度计算，即：

$$B_s = \frac{E_s A_s h_0^2}{1.15\psi + 0.2 + \frac{6\sigma_E \rho_s}{1 + 3.5\gamma_1}} \quad (1)$$

中间按线性插值得到了本规程公式 (5.3.8)。

5.4 转向块、锚固块设计

5.4.1 体外预应力加固用转向块、锚固块设计是体外预应力节点设计的关键，如果转向块、锚固块松动、移动或有大的变形，体外预应力筋内的应力会立刻降低，甚至会降为 0。因此，体外预应力转向块、锚固块的设计应安全可靠。采用钢结构做转向块时，转向块的设计应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 进行承载力极限状态计算和正常使用极限状态验算。

5.4.2 在进行转向块、锚固块承载力设计时不能按有效预应力值，也不能按预应力筋抗拉强度设计值计算，而应该按预应力筋的极限强度标准值进行计算，达到转向块、锚固块节点强度与预应力筋强度等强。

5.4.3 按正常使用验算转向块和锚固块时，预应力筋拉力应按最大张拉控制应力来考虑。

5.4.4 本条为了确保既有结构混凝土受冲切承载力和局部受压承载力与预应力筋强度等强。

6 构造规定

6.1 预应力筋布置原则

6.1.1 本条规定了体外预应力束的布置原则。

6.1.2 本条规定了体外预应力束转向块的布置原则。多折线体外预应力束转向块布置在距梁端 $1/4 \sim 1/3$ 跨度的范围内，中间跨大概有 $1/3$ 跨长两端有转向块，转向块的设置一方面减小二次效应，减小由于梁的变形引起的预应力效应的降低，二是为了提高预应力筋的应力增量，根据国内外试验和理论研究，当转向块之间距离小于 12 倍梁高或板厚时，可以忽略二次效应的影响。

6.1.3 体外束的锚固块与转向块之间或两个转向块之间的自由段长度不大于 8m，主要为了防止体外预应力束在扰动下产生与构件频率相近的振动，长期的共振会引起体外预应力束的疲劳损伤。

6.1.4 由于体外束通过转向块进行弯折转向，在体外索与转向块的接触区域内，摩擦和横向挤压力的作用和体外索弯折后产生的内应力将会造成体外预应力筋的强度降低。CEB—FIP 模式规范给出了相应的限制：预应力筋（体外索）弯折点的转角应小于 15° ，曲率半径应满足一定的要求，当不满足以转角和曲率半径要求时要求通过试验确定预应力筋（体外索）的强度。

在实际工程中，除了桥梁结构和大跨度建筑结构外，上述弯折转角小于 15° 和最小曲率半径的限值条件是很难满足的。因此针对量大、面广的民用建筑的加固工程应按照国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 - 2003 规定采用“偏斜拉伸试验”来测试预应力筋的极限强度值。

在量少、不便通过“偏斜拉伸试验”来测试预应力筋的强度值的情况下，国内研究工作表明，可按钢绞线强度标准值为

0.8 f_{ank} 进行计算。

6.1.5 规定了体外束与转向块接触长度的确定方法。

6.2 节点构造

6.2.1~6.2.3 体外预应力加固在全国已经完成了大量的工程实践，节点构造方式也多种多样，没有统一的方式，本节介绍了一些节点构造方式，并在附录 B 中给出了一些常见的节点构造供设计和施工参考。

7 防 护

7.1 防 腐

7.1.1 体外预应力筋拉力通过锚具将预应力传递给原混凝土结构，因此锚具是保证预应力的关键，本条给出了锚具的防护套节点做法。

7.1.2 本条给出了体外预应力束保护套管的具体要求。参数按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 给出。

7.1.3 本条给出了体外预应力束防腐材料应满足的技术要求。

7.1.4 钢制转向块和锚固块主要通过涂刷防锈漆来进行防锈，防锈漆的涂刷应按现行国家标准进行。防锈漆的使用都有一定的耐久性，一般大于 25 年就需要重新涂刷，因此，应根据防锈漆的厚度和使用年限进行检查和重新涂刷。

7.2 防 火

7.2.1 体外预应力体系防火等级是按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 和《高层民用建筑设计防火规范》GB 50045 的要求确定，防火涂料的性能、涂层厚度及质量要求可参考现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 和协会标准《钢结构防火涂料应用技术规程》CECS24 的规定。

7.2.2 本条给出了防火保护材料的选用及施工的具体要求。

7.2.3 本条给出了根据耐火极限选取膨胀型和非膨胀型防火涂料的原则。

除了刷防火涂料外，也可采用混凝土或水泥砂浆包裹，可先用钢丝网包裹，然后涂抹混凝土或水泥砂浆，涂抹厚度不应小于 30mm，该方法施工简单、方便，工程中应用也很广泛。

8 施工及验收

8.1 施工准备

8.1.1~8.1.3 体外预应力加固施工比体内预应力施工技术要求更高，因此，必须由专业施工单位来完成，施工前必须编制详细的施工方案，同时，预应力施工也属于住房和城乡建设部发布的危险性较大的项目，必要时应该通过专家论证。施工方案必须满足设计的要求，因此，要求施工方案要经过设计单位认可才可以实施。

8.2 预应力筋加工制作

8.2.1~8.2.3 给出了预应力筋下料长度确定方法、下料方法及挤压锚挤压时注意事项。预应力筋要采用砂轮锯或切断机切断，加热、焊接或电弧切割都会让预应力筋达到高温，高温后预应力筋强度会明显降低，因此，应避免高温切断，施工过程中也应该避免电火花和电流损伤预应力筋，特别是转向块和锚固块都是钢材的，现场可能会用到电气焊，因此，这些钢配件应尽量在工厂加工好，现场直接安装，减少现场的电气焊操作，如果必须电气焊，应采取对预应力筋的临时防护措施。

8.3 转向块、锚固块安装

8.3.1 体外预应力转向块竖向误差直接影响体外预应力筋的有效高度，直接影响承载力大小、裂缝宽度计算和刚度计算，因此，必须严格控制转向块竖向安装误差。本条给出的数据保证预应力筋有效高度相差一般不超过2%，以满足工程设计的要求，当既有结构梁高越大时，相对误差越小。

8.3.2 转向块与既有结构的连接处除了竖向压力外，还有预应

力反向荷载产生的水平方向的分力，一般情况下钢材与混凝土表面的摩擦系数在 0.3，靠压力产生的摩擦力就可以抵抗水平分力产生的可能的滑动，当转向块处预应力筋转角很大时，水平分力也可能大于摩擦力而产生滑动，稍有滑动就会将预应力降低很多，因此，可采用结构加固用 A 级胶粘剂、化学锚栓、膨胀螺栓等保证转向块不滑动。

8.4 预应力筋安装

8.4.1、8.4.2 体外预应力束一般在原混凝土结构下安装，操作不方便，因此，应该提前注意排序，然后安装。安装好的部分要定位好，张拉之前对所有预应力束均进行预紧。对于涂层预应力筋或二次加工的预应力筋，应注意安装过程中保护外防护层。

8.5 预应力张拉

8.5.1 本条参照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 有关条款制定。

8.5.2 体外预应力筋的张拉控制应力值要比体内布置的预应力筋张拉控制应力低些，参考行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92-2004，对于预应力钢绞线不宜超过 $0.6f_{pk}$ ，且不应小于 $0.4f_{pk}$ ；国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 对体内预应力筋：钢绞线不应超过 $0.75f_{pk}$ ，预应力螺纹钢筋不应超过 $0.85f_{pk}$ ，本条规定同时也参照了国外的标准。

8.5.4~8.5.12 按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关条款制定。

体外预应力张拉与体内预应力张拉相比，更应该重视对称张拉。体外预应力筋通过转向块和锚固块将预应力传递给原混凝土结构，不对称张拉会引起转向块和锚固块偏心受力，有可能引起

偏转，因此，必须按对称性张拉，必要时必须分级张拉。

梁端张拉能保证体外预应力筋梁端拉力尽可能对称。另外，也要根据设计要求，如果设计按两端张拉计算的摩擦损失和有效预应力，并要求两端张拉的，施工时必须两端张拉。

建筑结构中一束体外预应力筋根数不是很多，张拉位置能整束张拉时应整束张拉，整束张拉会引起偏心，施工中应注意。为了减少偏心，可以整束分级张拉。

8.6 工程验收

8.6.1 本条给出了体外预应力工程施工质量验收的依据。

8.6.2 本条给出了体外预应力施工质量验收按材料类别划分的检验批。

8.6.3 本条给出了体外预应力施工质量验收按施工工艺划分的检验批。

8.6.4~8.6.7 给出了体外预应力施工的主控项目质量验收方法。

8.6.8~8.6.11 给出了体外预应力施工的一般项目质量验收方法。

附录 A 体外预应力筋数量估算

体外预应力筋截面面积计算需要求解本规程第 5.2 节方程组，特别是当考虑二次效应影响时，计算更为复杂，本附录给出了一种初步设计估算预应力筋面积的方法。

通过既有结构构件力的平衡确定出既有结构混凝土截面受压区高度和承载力大小，再根据需达到的承载力定义结构加固量 ΔM ，梁截面去掉原来的非预应力筋和对应的受压区高度后得到预应力筋有效高度 H_{OP} ，这样就把设计变成了设计截面宽度为 b 、有效高度为 H_{OP} 的矩形梁（图 A.0.2c），达到受弯承载力为 ΔM ，只配预应力筋，也就是单筋矩形梁设计，得到了简单的计算公式。

对于 T 形截面梁，同样可以按原来截面大小和配筋得到截面受压区高度和承载力大小，原截面去掉原配筋对应的受压区高度后得到新的 T 形截面梁（受压区都在翼缘）或矩形截面梁（受压区进入腹板），然后按 T 形截面梁或矩形截面梁进行单筋设计就可以得到预应力配筋。本附录只给出了矩形截面梁估算方法，T 形截面梁同样可以按上述方法计算。

附录 B 转向块、锚固块布置及构造

本附录给出了常用体外预应力转向块和锚固块节点的构造形式简图，可供设计人员参考。工程中还有许多形式，可结合实际工程确定，目前尚无统一的、标准的方式，只要满足传力要求、施工方便即可。



1 5 1 1 2 2 1 7 2 0



统一书号：15112·21720
定 价： 14.00 元