

中国工程建设标准化协会标准

建筑工程预应力施工规程

Specification for prestressed construction  
of building engineering

CECS 180 : 2005

主编单位：东南大学华东预应力技术联合开发中心

中国建筑科学研究院结构所

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 0 5 年 8 月 1 日

中国计划出版社

2005 北京

中国工程建设标准化协会标准  
**建筑工程预应力施工规程**

CECS 180 : 2005

☆

东南大学华东预应力技术联合开发中心 主编  
中国建筑科学研究院结构所  
中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行  
廊坊市海涛印刷有限公司印刷

---

850×1168 毫米 1/32 4 印张 100 千字  
2005 年 7 月第一版 2005 年 7 月第一次印刷  
印数 1—5100 册

☆

统一书号:1580058·665

定价:22.00 元

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会(2002)建标协字第 12 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2002 年第一批标准制、修订项目计划的通知》，制定本规程。

本规程是在开展调查研究，总结实践经验，并参考了国内外相关标准的基础上编制的。

本规程的内容包括建筑工程混凝土结构和钢结构的预应力施工。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求，现批准协会标准《建筑工程预应力施工规程》，编号为 CECS 180：2005，推荐给工程设计、施工、使用单位采用。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政产品应用分会归口管理，由东南大学华东预应力技术联合开发中心(南京市太平北路 136 号，邮编 210018)负责解释。在使用中如发现需要修改和补充之处，请将意见和资料径寄解释单位。

**主 编 单 位：**东南大学华东预应力技术联合开发中心  
中国建筑科学研究院结构所

**参 编 单 位：**北京市建筑工程研究院  
上海市建筑科学研究院

**主要起草人：**郭正兴 冯大斌 杨宗放 李金根 李晨光  
王绍义 姚明明 蒋应龙 罗美成

中国工程建设标准化协会  
2005 年 4 月 29 日

# 目 次

1 总 则 .....	( 1 )
2 术 语 .....	( 2 )
3 材 料 .....	( 5 )
3.1 预应力筋 .....	( 5 )
3.2 涂层预应力筋 .....	( 7 )
3.3 锚具、夹具和连接器 .....	( 8 )
3.4 制孔用管材 .....	( 11 )
3.5 灌浆用水泥 .....	( 12 )
3.6 装运和存放 .....	( 12 )
4 构造要求 .....	( 14 )
4.1 先张预应力 .....	( 14 )
4.2 后张有粘结预应力 .....	( 15 )
4.3 后张无粘结预应力 .....	( 16 )
4.4 钢筋构造措施 .....	( 18 )
4.5 减少约束力措施 .....	( 19 )
4.6 钢结构预应力 .....	( 19 )
5 施工计算 .....	( 21 )
5.1 预应力筋下料长度 .....	( 21 )
5.2 预应力筋张拉力 .....	( 23 )
5.3 预应力损失 .....	( 23 )
5.4 锚固区局部受压承载力 .....	( 28 )
5.5 预应力筋张拉伸长值 .....	( 28 )
6 制作及安装 .....	( 30 )
6.1 预应力筋制作 .....	( 30 )
6.2 预应力筋孔道留设 .....	( 30 )

6.3	预应力筋安装	(31)
6.4	无粘结预应力筋铺设	(32)
6.5	质量要求	(33)
7	张拉及放张	(35)
7.1	准备工作	(35)
7.2	预应力筋张拉	(35)
7.3	预应力筋放张	(37)
7.4	质量要求	(37)
8	灌浆及封锚	(39)
8.1	准备工作	(39)
8.2	制浆要求	(39)
8.3	灌浆工艺	(40)
8.4	真空辅助灌浆	(41)
8.5	锚具封闭保护	(41)
8.6	质量要求	(42)
9	体外预应力施工	(43)
9.1	束的布置	(43)
9.2	体系构成	(44)
9.3	构造要求	(45)
9.4	施工和防护	(46)
10	拉索预应力施工	(48)
10.1	体系构造	(48)
10.2	制作及安装	(50)
10.3	张拉和索力调整	(51)
10.4	防护要求	(52)
10.5	维护和监测	(53)
11	施工管理	(54)
11.1	施工方案	(54)
11.2	工序配合要求	(54)

11.3	安全措施	(56)
11.4	质量控制	(57)
11.5	质量验收	(57)
附录 A	常用预应力筋规格和力学性能	(59)
附录 B	金属波纹管和塑料波纹管规格	(61)
附录 C	常用钢绞线夹片锚固体系	(62)
附录 D	曲线预应力筋坐标方程和长度计算	(64)
附录 E	灌浆用水泥浆流动度测试方法	(66)
附录 F	预应力分项工程检验批质量检查记录	(69)
	本规程用词说明	(72)
	附:条文说明	(73)

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在建筑工程预应力施工中,做到技术先进、经济合理、安全作业、确保质量,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于房屋和一般构筑物中混凝土结构和钢结构的预应力施工。

**1.0.3** 预应力分项工程施工应由具有相应资质等级的预应力专业施工单位承担。

**1.0.4** 建筑工程预应力施工,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

### 2.0.1 预应力筋 prestressing tendon

施加预应力用的单根或成束钢丝、钢绞线、高强钢筋和钢棒的总称。

### 2.0.2 有粘结预应力筋 bonded prestressing tendon

张拉后直接与混凝土粘结或通过灌浆使之与混凝土粘结的一种预应力筋。

### 2.0.3 无粘结预应力筋 unbonded prestressing tendon

表面涂防腐润滑脂并包塑料护套后,与周围混凝土不粘结的一种预应力筋。

### 2.0.4 先张法 pre-tensioning method

在台座或钢模上先张拉预应力筋并用夹具临时固定,再浇筑混凝土,待混凝土达到一定强度后,放张预应力筋,使混凝土产生预压应力的施工方法。

### 2.0.5 后张法 post-tensioning method

在混凝土达到一定强度的构件或结构中,张拉预应力筋并用锚具永久固定,使混凝土产生预压应力的施工方法。有粘结后张法需要在构件或结构中预留孔道,并在张拉后灌浆。无粘结后张法是在构件或结构中预先铺设无粘结预应力筋,不需要留孔灌浆。

### 2.0.6 锚具 anchorage

后张法预应力构件或结构中,为保持预应力筋的拉力并将其传递到构件或结构上所采用的永久性锚固装置。

### 2.0.7 夹具 grip

先张法预应力构件施工时,为保持预应力筋的拉力并将其固定在台座或钢模上所采用的临时性锚固装置。预应力构件或结构



施工时,在张拉设备上夹持预应力筋所采用的临时性锚固装置。

#### 2.0.8 连接器 coupler

用于连接预应力筋的装置。

#### 2.0.9 预应力筋-锚具组装件 prestressing tendon-anchorage assembly

单根或成束预应力筋与安装在端部的锚具组装而成的受力单元。

#### 2.0.10 锚固区 anchorage zone

从预应力构件或结构端部锚具下的局部高应力扩散到正常应力区段的区段。

#### 2.0.11 应力松弛 stress relaxation

预应力筋受到一定的张拉力后,在长度保持不变的条件下,其应力随时间逐步降低的现象。

#### 2.0.12 应力腐蚀 stress corrosion

预应力筋在承受拉应力情况下,由于腐蚀介质作用而发生的腐蚀现象。

#### 2.0.13 张拉控制应力 control stress for tensioning

预应力筋张拉时在张拉端所施加的应力值。

#### 2.0.14 预应力损失 prestressing loss

预应力筋张拉过程中和张拉后,由于材料特性、结构状态和张拉工艺等因素引起的预应力筋应力降低的现象。预应力损失包括:摩擦损失、锚固损失、弹性压缩损失、热养护损失、预应力筋应力松弛损失和混凝土收缩徐变损失等。

#### 2.0.15 有效预应力 effective prestress

预应力损失完成后,在预应力筋中保持的应力值。

#### 2.0.16 体外预应力束 external prestressing tendon

布置在结构构件截面之外的预应力筋。通过与结构构件相连的锚固端块和转向块将预应力传递到结构上。

#### 2.0.17 预应力拉索 prestressing cable

在索网结构、吊挂结构、整体张拉结构和结构稳定措施中承受拉力的钢索或钢棒的总称。

#### **2.0.18 质量保证 quality assurance**

为了保证预应力工程的质量而预先编制的质量保证文件。包括预应力工程设计、材料采购及工程施工等各阶段的质量保证措施和检查要求。

#### **2.0.19 质量控制 quality control**

为了保证最终的工程质量,根据已批准的施工方案和质量保证文件,对各阶段工程进行连续监控的过程。

#### **2.0.20 检验批 inspection lot**

由同一的施工条件并有一定数量的材料或作业项目组成的基本检验单元。

## 3 材 料

### 3.1 预 应 力 筋

**3.1.1** 预应力筋按钢材品种可分为钢丝、钢绞线、高强钢筋和钢棒等。预应力筋应根据结构受力特点、环境条件和施工方法等选用。

后张法预应力混凝土结构和钢结构中,宜采用高强度低松弛钢绞线。先张法预应力混凝土构件中,宜采用刻痕钢丝、螺旋肋钢丝和钢绞线等。对直线预应力筋或拉杆,也可采用精轧螺纹钢筋或钢棒。

**3.1.2** 钢丝和钢绞线的规格和力学性能必须符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 和《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。精轧螺纹钢筋和钢棒的规格和力学性能应符合设计文件中采用的有关标准的规定。

常用钢丝、钢绞线和精轧螺纹钢筋的规格和力学性能见附录 A。

**3.1.3** 预应力筋的品种、直径和强度等级应按设计要求选用。当需要代换时,应进行专门计算,并经原设计单位审核后方可实施。预应力筋的代换应符合下列规定:

1 同一品种同一强度级别、不同直径的预应力筋代换后,预应力筋的截面面积不得小于原设计截面面积;

2 同一品种不同强度级别或不同品种的预应力筋代换后,预应力筋的受拉承载力不得小于原设计承载力;

3 预应力筋代换后,总张拉力或总有效预应力不得小于原设计的要求;

4 预应力筋代换后,构件中的预应力筋布置应满足设计规范

和本规程第4章的构造要求;代换后如锚固体系有变动,应重新验算锚固区的局部受压承载力。

**3.1.4 预应力筋进场时,每一合同批应附有质量证明书,每盘应挂有标牌。在质量证明书中应注明供方、需方、合同号、预应力筋品种、强度级别、规格、重量和件数、执行标准号、盘号和检验结果、检验日期、技术监督部门印章。在标牌上应注明供方、预应力筋品种、强度级别、规格、盘号、净重、执行标准号等。**

**3.1.5 钢丝进场验收应符合下列规定:**

**1 钢丝的外观质量应逐盘(卷)检查,钢丝表面不得有油污、氧化铁皮、裂纹或机械损伤,表面允许有回火色和轻微浮锈;**

**2 钢丝的力学性能应按批抽样试验,每一检验批重量不应大于60t;从同一批中任取10%盘(不少于6盘),在每盘中任意一端截取2根试件,分别做拉伸试验和弯曲试验;拉伸或弯曲试件每6根为一组,当有一项试验结果不符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223的规定时,则该盘钢丝为不合格品;再从同一批未经试验的钢丝盘中取双倍数量的试件重做试验,如仍有一项试验结果不合格,则该批钢丝判为不合格品,也可逐盘检验取用合格品;在钢丝的拉伸试验中,同时测定弹性模量,但不作为交货条件。**

对设计文件中指定要求的钢丝应力松弛性能、疲劳性能、扭转性能、墩头性能等,应在订货合同中注明交货条件和验收要求。

**3.1.6 钢绞线进场验收应符合下列规定:**

**1 钢绞线的外观质量应逐盘检查,钢绞线表面不得有油污、锈斑或机械损伤,允许有轻微浮锈;钢绞线的捻距应均匀,切断后不松散;**

**2 钢绞线的力学性能应按批抽样检验,每一检验批重量不应大于60t;从同一批中任取3盘,在每盘中任意一端截取1根试件进行拉伸试验;拉伸试验、结果判别和复验方法等应符合本规程第3.1.5条的规定,试验结果应符合现行国家标准《预应力混凝土用**

钢绞线》GB/T 5224 的规定。

对设计文件中指定要求的钢绞线应力松弛性能、疲劳性能和偏斜拉伸性能等,应在订货合同中注明交货条件和验收要求。

### 3.1.7 高强钢筋进场验收应符合下列规定:

1 精轧螺纹钢的外观质量应逐根检查,钢筋表面不得有裂纹、起皮或局部缩颈,其螺纹制作面不得有凹凸、擦伤或裂痕,端部应切割平整;

2 精轧螺纹钢的力学性能应按批抽样试验,每一检验批重量不应大于 60t;从同一批中任取 2 根,每根取 2 个试件分别进行拉伸和冷弯试验;当有一项试验结果不符合有关标准的规定时,应取双倍数量试件重做试验,如仍有一项复验结果不合格,则该批高强钢筋判为不合格品。

### 3.1.8 预应力钢棒进场验收应符合设计文件中采用的有关标准的规定。

## 3.2 涂层预应力筋

3.2.1 涂层预应力筋按涂层材料可分为镀锌钢丝、镀锌钢绞线、环氧涂层钢绞线、无粘结钢绞线、缓粘结钢绞线等。涂层预应力筋应根据环境类别、防腐蚀要求、与混凝土粘结状态等选用。

在体外索、拉索及其他环境条件恶劣的工程结构中,宜采用镀锌钢丝、镀锌钢绞线和环氧涂层钢绞线。在无粘结预应力混凝土构件中,应采用无粘结钢绞线。无粘结钢绞线也可用于体外索、拉索等。

3.2.2 镀锌钢丝和镀锌钢绞线的规格和力学性能必须符合现行国家标准《桥梁缆索用热镀锌钢丝》GB/T 17101 和现行行业标准《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152 的规定。

环氧涂层钢绞线和缓粘结钢绞线的规格和力学性能应符合设计文件中采用的有关标准的规定。

3.2.3 无粘结预应力钢绞线的涂包质量,应符合现行行业标准

《无粘结预应力钢绞线》JG 161 的规定：

1 外观要求：护套表面应光滑、无凹陷、无裂缝、无气孔、无明显褶皱和机械损伤；

2 润滑脂用量：对  $\phi 12.7$  钢绞线不应小于 43g/m，对  $\phi 15.2$  钢绞线不应小于 50g/m，对  $\phi 15.7$  钢绞线不应小于 53g/m；

3 护套厚度：对一、二类环境不应小于 1.0mm，对三类环境应按设计要求确定。

3.2.4 涂层预应力筋进场时，每一合同批应附有质量证明书，每盘应挂有标牌。在质量证明书中，应包括本规程第 3.1.4 条规定的内容，并注明涂层和护套检验结果。

3.2.5 涂层预应力筋进场验收应符合下列规定：

1 钢丝和钢绞线的力学性能必须按本规程第 3.1.5 条和第 3.1.6 条的要求进行复验；

2 无粘结预应力钢绞线的外观质量应逐盘检查，润滑脂用量和护套厚度应按批抽样检验，每批重量不大于 60t，每批任取 3 盘，每盘各取 1 根试件。检验结果应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG 161 的规定；

3 镀锌钢丝、镀锌钢绞线和环氧涂层钢绞线的涂层表面应均匀、光滑、无裂纹；涂层的厚度、连续性和粘附力应符合国家现行有关标准的规定；

4 缓粘结钢绞线的涂层材料、厚度、缓粘结时间应符合设计文件中采用的有关标准的规定。

### 3.3 锚具、夹具和连接器

3.3.1 预应力筋用锚具，可分为夹片锚具、墩头锚具、螺母锚具、挤压锚具、压接锚具、压花锚具、冷铸锚具和热铸锚具等。预应力筋用锚具应根据预应力筋品种、锚固要求和张拉工艺等选用。

对预应力钢绞线，宜采用夹片锚具，也可采用挤压锚具、压接锚具和压花锚具；对预应力钢丝束，宜采用墩头锚具，也可采用冷

铸锚具和热铸锚具；对高强钢筋和钢棒，宜采用螺母锚具。

夹片锚具没有可靠措施时，不得用于预埋在混凝土中的固定端；压花锚具不得用于无粘结预应力钢绞线；承受低应力或动荷载的夹片锚具应有防松装置。

3.3.2 预应力筋用锚具、夹具和连接器的性能应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定。

钢绞线夹片锚具的规格和尺寸可按附录 C 选用。

3.3.3 锚具的静载锚固性能，应由预应力筋-锚具组装件静载试验测定的锚具效率系数( $\eta_a$ )和达到实测极限拉力时组装件受力长度的总应变( $\epsilon_{apu}$ )确定。锚具效率系数( $\eta_a$ )应按下列公式计算：

$$\eta_a = \frac{F_{apu}}{\eta_p \cdot F_{pm}} \quad (3.3.3)$$

式中  $F_{apu}$ ——预应力筋-锚具组装件的实测极限拉力；

$F_{pm}$ ——预应力筋的实际平均极限抗拉力。由预应力筋试件实测破断荷载平均值计算得出；

$\eta_p$ ——预应力筋的效率系数。预应力筋-锚具组装件中预应力筋为 1 至 5 根时， $\eta_p = 1$ ；6 至 12 根时， $\eta_p = 0.99$ ；13 至 19 根时， $\eta_p = 0.98$ ；20 根以上时， $\eta_p = 0.97$ 。

锚具的静载锚固性能应同时满足下列两项要求：

$$\eta_a \geq 0.95, \epsilon_{apu} \geq 2.0\%$$

当预应力筋-锚具组装件试验达到极限拉力时，预应力筋应断裂，锚具不应破坏。

3.3.4 在承受静、动荷载的构件中，预应力筋-锚具组装件除应满足静载锚固性能要求外，尚应满足循环次数为 200 万次的疲劳性能试验要求。疲劳应力上限：对钢丝、钢绞线应为抗拉强度标准值的 65%；对精轧螺纹钢筋应为屈服强度的 80%，且应力幅度不应小于 80MPa。

3.3.5 在一级抗震等级的结构中，预应力筋-锚具组装件还应满

足循环次数为 50 次的周期荷载试验。试验应力上限:对钢丝、钢绞线应为抗拉强度标准值的 80%;对精轧螺纹钢筋应为屈服强度的 90%,试验应力下限均为相应强度的 40%。

3.3.6 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。锚固多根预应力筋的锚具,除应具有整体张拉的性能外,尚宜具有单根张拉的可能性。

3.3.7 预应力筋用夹具可分为夹片夹具、锥销夹具、镦头夹具和螺母夹具等。夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。

3.3.8 夹具的静载锚固性能,应由预应力筋-夹具组装件静载试验测定的夹具效率系数  $\eta_g$  确定。夹具效率系数  $\eta_g$  应满足下列公式要求:

$$\eta_g = \frac{F_{gpm}}{F_{pm}} \geq 0.92 \quad (3.3.8)$$

式中  $F_{gpm}$ ——预应力筋-夹具组装件的实测极限拉力。

3.3.9 永久留在混凝土结构或构件中的预应力筋连接器,应符合锚具的性能要求。在施工中临时使用并需要拆除的预应力筋连接器,应符合夹具的性能要求。

3.3.10 锚具进场时,每一合同批应附有质量证明书和装箱单。在质量证明书中,应注明供方、需方、合同号、锚具品种、数量、各项指标检查结果和质量监督部门印记等。

3.3.11 锚具进场验收应符合下列规定:

1 外观检查:从每批中抽取 10%且不应少于 10 套锚具,检查外观质量和外形尺寸;锚具表面应无污物、锈蚀、机械损伤和裂纹。当有一套表面有裂纹时,应逐套检查;

2 硬度检验:对硬度有严格要求的锚具零件,应进行硬度检验。对新型锚具应从每批中抽取 5%且不少于 5 套,对常用锚具每批中抽取 2%且不少于 3 套,按产品标准规定的表面位置和硬度范围做硬度检验。当有一个零件硬度不合格时,应另取双倍数



量的零件重做试验,如仍有一个零件不合格,则应对该批零件逐个检验。

**3 静载锚固性能试验:**应从同一批中抽取 6 套锚具,与符合试验要求的预应力筋组装成 3 束预应力筋-锚具组装件,每束组装件试验结果必须符合本规程第 3.3.3 条的规定。当有一束组装件不符合要求时,应取双倍数量的锚具重做试验,如仍有一束组装件不符合要求,则该批锚具判为不合格品。

注:1 对静载锚固性能试验,多孔锚具不应超过 1000 套(单孔锚具为 2000 套)、连接器不宜超过 500 套为一个检验批。

2 钢丝束墩头锚具组装件试验前,应抽取 6 个试件进行墩头强度试验。墩头强度不应低于母材抗拉强度的 98%。

3 对锚具用量较少的一般工程,如供货方提供有效的试验报告,可不做静载锚固性能试验。

**3.3.12 夹具进场验收时,**应进行外观检查、硬度检验和静载锚固性能试验。检验和试验方法与锚具相同;但静载试验结果应符合本规程第 3.3.8 条的规定。

### 3.4 制孔用管材

**3.4.1 后张预应力构件中预埋制孔用管材**有金属波纹管(螺旋管)、钢管和塑料波纹管等。梁类构件宜采用圆形金属波纹管,板类构件宜采用扁形金属波纹管,施工周期较长时应选用镀锌金属波纹管。塑料波纹管宜用于曲率半径小、密封性能好以及抗疲劳要求高的孔道。钢管宜用于竖向分段施工的孔道。抽芯制孔用管材可采用钢管或夹布胶管。

**3.4.2 金属波纹管和塑料波纹管的规格和性能**应符合现行行业标准《预应力混凝土金属螺旋管》JG/T 3013 和《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 的规定。

金属波纹管和塑料波纹管的规格可按附录 B 选用。

**3.4.3 波纹管进场时**每一合同批应附有质量证明书,并做进场复验。

1 波纹管的内径、波高和壁厚等尺寸偏差不应超过允许值。

2 金属波纹管的内外表面应清洁、无油污、无锈蚀、无孔洞、无不规则的褶皱，咬口不应有开裂或脱扣。

3 塑料波纹管的外观应光滑、色泽均匀，内外壁不允许有隔体破裂、气泡、裂口、硬块和影响使用的划伤。

注：对波纹管用量较少的一般工程，当有可靠依据时，可不做刚度、抗渗漏性能或密封性的进场复验。

### 3.5 灌浆用水泥

3.5.1 孔道灌浆用水泥应采用普通硅酸盐水泥，其质量应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

3.5.2 孔道灌浆用外加剂的质量及应用技术应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。

3.5.3 孔道灌浆用水泥和外加剂进场时应附有质量证明书，并做进场复验。

注：对孔道灌浆用水泥和外加剂用量较少的一般工程，当有可靠依据时，可不做材料性能的进场复验。

### 3.6 装运和存放

3.6.1 预应力材料必须保持清洁，在装运和存放过程中应避免机械损伤和锈蚀。进场后需长期存放时，应定期进行外观检查。

3.6.2 预应力筋应分类、分规格装运和堆放。在室外存放时，不得直接堆放在地面上，应垫枕木并用防水布覆盖。长期存放时应设置仓库，仓库应干燥、防潮、通风良好、无腐蚀气体和介质。在潮湿环境中存放，宜采用防锈包装产品、防潮纸内包装、涂敷水溶性防锈材料等。

3.6.3 涂层预应力筋装卸时，吊索应包橡胶、尼龙带等柔性材料并应轻装轻卸，不得摔掷或在地上拖拉，严禁锋利物品损坏涂层和

护套。

无粘结预应力筋存放时,严禁放置在受热影响的场所,且不得直接堆放在地面上。环氧涂层预应力筋不得存放在阳光直射的场所。缓粘结预应力筋的存放时间和温度应符合相关标准的规定。

**3.6.4** 波纹管应分类、分规格堆放。搬运时,不得抛摔或拖拉。室外存放时,应垫枕木并用防水布覆盖。长期存放时应设置仓库。

金属波纹管吊装时,不得在其中部单点起吊。塑料波纹管贮存时应远离热源和化学品污染源,并应避免曝晒。

**3.6.5** 锚具、夹具和连接器在装运、存放及使用期间均应妥善保护。不同厂家、不同时期的产品应分别堆放,不得混淆。主要锚固零件宜采用镀膜防锈。

## 4 构造要求

### 4.1 先张预应力

4.1.1 先张法预应力筋的混凝土保护层最小厚度应符合表4.1.1的规定。

表 4.1.1 先张法预应力筋的混凝土保护层最小厚度(mm)

环境类别	构件类型	混凝土强度等级	
		C30~C45	≥C50
一类	板	15	15
	梁	25	25
二类	板	25	20
	梁	35	30
三类	板	30	25
	梁	40	35

注:混凝土结构的环境分类,应符合国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

4.1.2 当先张法预应力钢丝难以按单根方式配筋时,可采用相同直径钢丝并筋方式配筋。并筋的等效直径,对双并筋应取单筋直径的1.4倍,对三并筋应取单筋直径的1.7倍。并筋的保护层厚度、锚固长度和预应力传递长度等均应按等效直径考虑。

4.1.3 先张法预应力筋的净间距不应小于其公称直径或等效直径的1.5倍,且应符合下列规定:对单根钢丝,不应小于15mm;对1×3钢绞线,不应小于20mm;对1×7钢绞线,不应小于25mm。

4.1.4 对先张法混凝土构件,预应力筋端部周围的混凝土应采取下列加强措施:

1 对单根配置的预应力筋,其端部宜设置长度不小于

150mm,且不少于4圈的螺旋筋;当有可靠经验时,也可利用支垫板上的插筋代替螺旋筋,但插筋数量不应少于4根,其长度不宜小于120mm;

2 对分散布置的多根预应力筋,在构件端部 $10d$ ( $d$ 为预应力筋的直径)范围内应设置3~5片与预应力筋垂直的钢筋网;

3 对采用预应力钢丝配筋的薄板,在板端100mm范围内应适当加密横向钢筋。

4.1.5 当采用先张长线法生产有端横肋的预应力混凝土肋形板时,应在设计和制作上采取防止放张预应力时端横肋产生裂缝的有效措施。

## 4.2 后张有粘结预应力

4.2.1 预应力筋孔道的内径宜比预应力筋和需穿过孔道的连接器外径大10~15mm,孔道截面面积宜取预应力筋净面积的3.5~4.0倍。

4.2.2 预应力筋孔道的净间距和保护层应符合下列规定:

1 对预制构件,孔道的水平净间距不宜小于50mm,孔道至构件边缘的净间距不宜小于30mm,且不宜小于孔道直径的一半;

2 在现浇框架梁中,预留孔道在竖直方向的净间距不应小于孔道外径,水平方向的净间距不宜小于孔道外径的1.5倍。从孔壁算起的混凝土保护层厚度:梁底不应小于50mm;梁侧不应小于40mm;板底不应小于30mm。

4.2.3 预应力筋孔道的灌浆孔宜设置在孔道端部的锚垫板上;灌浆孔的间距不宜大于30m。对竖向构件,灌浆孔应设置在孔道下端;对超高的竖向孔道,宜分段设置灌浆孔。灌浆孔直径不宜小于20mm。

预应力筋孔道的两端应设有排气孔。曲线孔道的高差大于0.5m时,在孔道峰顶处应设置泌水管,泌水管可兼作灌浆孔。

4.2.4 曲线预应力筋的曲率半径不宜小于4m;对折线配筋的构

件,在预应力筋弯折处曲率半径可适当减小。

曲线预应力筋的端头,应有与曲线段相切的直线段,直线段长度不宜小于 300mm。

**4.2.5** 预应力筋张拉端可采取凸出式和凹入式做法。采取凸出式做法时,锚具位于梁端面或柱表面,张拉后用细石混凝土封裹。采取凹入式做法时,锚具位于梁(柱)凹槽内,张拉后用细石混凝土填平。

凸出式锚固端锚具的保护层厚度不应小于 50mm,外露预应力筋的混凝土保护层厚度:处于一类环境时,不应小于 20mm;处于二、三类易受腐蚀环境时,不应小于 50mm。

**4.2.6** 预应力筋张拉端锚具的最小间距应满足配套的锚垫板尺寸和张拉用千斤顶的安装要求。锚固区的锚垫板尺寸、混凝土强度、截面尺寸和间接钢筋(网片或螺旋筋)配置等必须满足局部受压承载力要求。锚垫板边缘至构件边缘的距离不宜小于 50mm。

当梁端面较窄或钢筋稠密时,可将跨中处同排布置的多束预应力筋转变为张拉端竖向多排布置或采取加腋处理。

**4.2.7** 预应力筋固定端可采取与张拉端相同的做法或采取内埋式做法。内埋式固定端的位置应位于不需要预压应力的截面外,且不宜小于 100mm。对多束预应力筋的内埋式固定端,宜采取错开布置方式,其间距不宜小于 300mm,且距构件边缘不宜小于 40mm。

**4.2.8** 多跨超长预应力筋的连接,可采用对接法和搭接法。采用对接法时,混凝土逐段浇筑和张拉后,用连接器接长。采用搭接法时,预应力筋可在中间支座处搭接,分别从柱两侧梁的顶面或加宽的梁侧面处伸出张拉,也可从加厚的楼板延伸至次梁处张拉。

### 4.3 后张无粘结预应力

**4.3.1** 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 4.3.1-1、表 4.3.1-2 的规定。

表 4.3.1-1 板的混凝土保护层最小厚度(mm)

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

表 4.3.1-2 梁的混凝土保护层最小厚度(mm)

约束条件	梁宽	耐火极限(h)			
		1	1.5	2	3
简支	$200 \leq b < 300$	45	50	65	采取特殊措施
	$\geq 300$	40	45	50	65
连续	$200 \leq b < 300$	40	40	45	50
	$\geq 300$	40	40	40	45

注:当防火等级较高、混凝土保护层厚度不能满足表列要求时,应使用防火涂料。

4.3.2 板中无粘结预应力筋的间距宜采用 200~500mm,最大间距可取板厚的 6 倍,且不宜大于 1m。抵抗温度应力用无粘结预应力筋的间距不受此限制。单根无粘结预应力筋的曲率半径不宜小于 2.0m。

板中无粘结预应力筋采取带状(2~4 根)布置时,其最大间距可取板厚的 12 倍,且不宜大于 2.4m。

4.3.3 当板上开洞时,板内被孔洞阻断的无粘结预应力筋可分两侧绕过洞口铺设。无粘结预应力筋至洞口的距离不宜小于 150mm,水平偏移的曲率半径不宜小于 6.5m,洞口四周应配置构造钢筋加强。

4.3.4 在现浇板柱节点处,每一方向穿过柱的无粘结预应力筋不应少于 2 根。

4.3.5 梁中集束布置无粘结预应力筋时,宜在张拉端分散为单根布置,间距不宜小于 60mm,合力线的位置应不变。当一块整体式锚垫板上有多排预应力筋时,宜采用钢筋网片。

4.3.6 无粘结预应力筋的张拉端宜采取凹入式做法。锚具下的

构造可采用不同体系,但必须满足局部受压承载力要求。无粘结预应力筋和锚具的防护应符合结构耐久性要求。

4.3.7 无粘结预应力筋的固定端宜采取内埋式做法,设置在构件端部的墙内、梁柱节点内或梁、板跨内。当固定端设置在梁、板跨内时,无粘结预应力筋跨过支座处不宜小于1m,且应错开布置,其间距不宜小于300mm。

#### 4.4 钢筋构造措施

4.4.1 对不受其他构件约束的后张预应力构件的端部锚固区,在局部受压钢筋配置区外,构件端部长度 $l$ 不小于 $3e$ ( $e$ 为预应力筋合力点至邻近边缘的距离)且不大于 $1.2h$ ( $h$ 为构件端部截面高度)、高度为 $2e$ 的范围内,应均匀配置附加箍筋或网片,其体积配筋率不应小于0.5%(图4.4.1)。

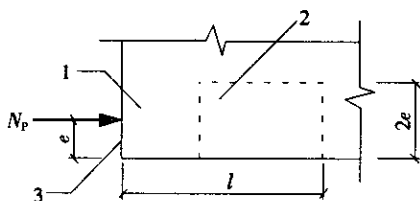


图 4.4.1 防止沿孔道劈裂的配筋范围

1—局部受压间接钢筋配置区;2—附加配筋区;3—构件端面

4.4.2 在构件中凸出或凹进部位锚固时,应在折角部位混凝土中配置附加钢筋加强。对内埋式固定端,必要时应在锚垫板后面配置传递拉力的构造钢筋。

4.4.3 构件中预应力筋弯折处应加密箍筋或沿弯折处内侧设置钢筋网片。

4.4.4 当构件截面高度处有集中荷载时,如该处的附加吊筋影响预应力筋孔道铺设,可将吊筋移位,或改为等效的附加箍筋。

4.4.5 弯梁中配置预应力筋时,应在水平曲线预应力筋内侧设置



U形防崩裂的构造钢筋,并与外侧钢筋骨架焊牢。

4.4.6 当框架梁的负弯矩钢筋在梁端向下弯折碰到锚垫板等埋件时,可缩进向下弯、侧弯或上弯,但必须满足锚固长度的要求。

4.4.7 在框架柱节点处,预应力筋张拉端的锚垫板等埋件受柱主筋影响时,宜将柱的主筋移位,但应满足柱的正截面承载力要求。

4.4.8 在现浇结构中,受预应力筋张拉影响可能出现裂缝的部位,应配置附加构造钢筋。

#### 4.5 减少约束力措施

4.5.1 大面积预应力混凝土梁板结构施工时,应考虑多跨梁板施加预应力和混凝土早期收缩受柱或墙约束的不利因素,宜设置后浇带或施工缝。后浇带的间距宜取50~70m,应根据结构受力特点、混凝土施工条件和施加预应力方式等确定。

4.5.2 梁板施加预应力的方向有相邻边墙或剪力墙时,应使梁板与墙之间暂时隔开,待预应力筋张拉后,再浇筑混凝土。

4.5.3 同一楼层中,当预应力梁板周围有多跨钢筋混凝土梁板时,两者宜暂时隔开,待预应力筋张拉后,再浇筑混凝土。

4.5.4 当预应力梁与刚度大的柱或墙刚接时,可将梁柱节点设计成在框架梁施加预应力阶段无约束的滑动支座,张拉后做成刚接。

#### 4.6 钢结构预应力

4.6.1 钢结构预应力筋的布置原则:在预应力作用下,应使结构具有最多数量的卸载杆和最少数量的增载杆。

4.6.2 钢结构的弦杆由钢管组成时,预应力筋可穿在弦杆钢管内,利用定位支架或隔板居中固定。钢结构弦杆由型钢组成时,预应力筋应对称布置在弦杆截面之外,并在节点处与钢弦杆相连。

4.6.3 当采用设置于钢套管内的裸露钢绞线时,应在张拉后灌注防护。钢套管的截面面积宜为预应力筋净面积的2.5~3.0倍。

预应力筋采用无粘结钢绞线时,护套的厚度不应小于1.2mm。

**4.6.4** 预应力筋锚固节点的尺寸应满足张拉锚固体体系的要求,并应考虑多根预应力筋的合力应作用在弦杆截面的形心。锚固节点应采取加劲肋加强措施,并应验算节点的局部承载力和稳定性。

**4.6.5** 预应力筋的转折处应设置转向块(如弧形板或弧形钢管等),保证集中荷载均匀、可靠传递。

**4.6.6** 钢结构张拉端锚具防护应采用封锚钢罩,罩内应充填水泥浆或防腐油脂。

## 5 施工计算

### 5.1 预应力筋下料长度

5.1.1 后张法预应力混凝土构件和钢构件中采用钢绞线束夹片锚具时,钢绞线的下料长度  $L$  可按下列公式计算(图 5.1.1):

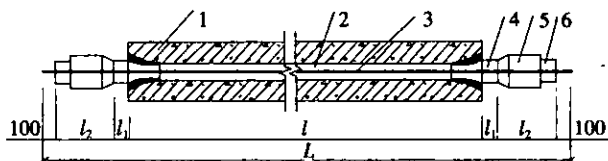


图 5.1.1 采用夹片锚具时钢绞线的下料长度

1—混凝土构件;2—预应力筋孔道;3—钢绞线;4—夹片式工作锚;

5—张拉用千斤顶;6—夹片式工具锚

#### 1 两端张拉

$$L = l + 2(l_1 + l_2 + 100) \quad (5.1.1-1)$$

#### 2 一端张拉

$$L = l + 2(l_1 + 100) + l_2 \quad (5.1.1-2)$$

式中  $l$ ——构件的孔道长度,对抛物线形孔道,可按附录 D 计算;

$l_1$ ——夹片式工作锚厚度;

$l_2$ ——张拉用千斤顶长度(含工具锚),采用前卡式千斤顶时仅算至千斤顶体内工具锚处。

5.1.2 后张法混凝土构件中采用钢丝束镦头锚具时,钢丝的下料长度  $L$  可按预应力筋张拉后螺母位于锚杯中部计算(图 5.1.2):

$$L = l + 2(h + s) - K(h_2 - h_1) - \Delta L - c \quad (5.1.2)$$

式中  $l$ ——构件的孔道长度,按实际尺寸;

$h$ ——锚杯底部厚度或锚板厚度;

- $s$ ——钢丝锚头留量,对  $\phi^5$  取 10mm;  
 $K$ ——系数,一端张拉时取 0.5,两端张拉时取 1.0;  
 $h_2$ ——锚杯高度;  
 $h_1$ ——螺母高度;  
 $\Delta L$ ——钢丝束张拉伸长值;  
 $c$ ——张拉时构件的弹性压缩值。

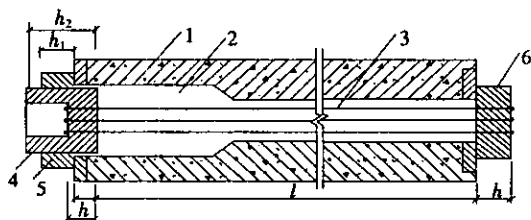


图 5.1.2 采用锚头锚具时钢丝的下料长度

1—混凝土构件;2—孔道;3—钢丝束;4—锚杯;5—螺母;6—锚板

5.1.3 先张法构件采用长线台座生产工艺时,预应力筋的下料长度  $L$ ,可按下列公式计算(图 5.1.3):

$$L = l_1 + l_2 + l_3 - l_4 - l_5 \quad (5.1.3)$$

- 式中  $l_1$ ——长线台座长度;  
 $l_2$ ——张拉装置长度(含外露工具式拉杆长度);  
 $l_3$ ——固定端所需长度;  
 $l_4$ ——张拉端工具式拉杆长度;  
 $l_5$ ——固定端工具式拉杆长度。

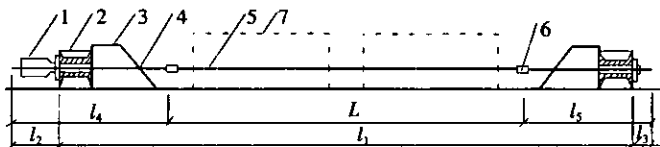


图 5.1.3 长线台座法预应力筋的下料长度

1—张拉装置;2—钢横梁;3—台座;4—工具式拉杆;  
 5—预应力筋;6—连接器;7—待浇混凝土构件

同时,预应力筋下料长度应满足构件在台座上的排列要求。预应力筋直接在钢横梁上张拉和锚固时,可取消  $l_4$  与  $l_5$  值。

## 5.2 预应力筋张拉力

5.2.1 预应力筋的张拉力  $P_j$  应按下列公式计算:

$$P_j = \sigma_{con} \cdot A_p \quad (5.2.1)$$

式中  $\sigma_{con}$ ——预应力筋的张拉控制应力,应在设计图纸上标明;

$A_p$ ——预应力筋的截面面积。

在混凝土结构施工中,当预应力筋需超张拉时,其最大张拉控制应力:对预应力钢丝和钢绞线为  $0.8f_{ptk}$  ( $f_{ptk}$  为预应力筋抗拉强度标准值),对高强钢筋为  $0.95f_{pyk}$  ( $f_{pyk}$  为预应力筋屈服强度标准值)。但锚具下口建立的最大预应力值:对预应力钢丝和钢绞线不宜大于  $0.7f_{ptk}$ ,对高强钢筋不宜大于  $0.85f_{pyk}$ 。

5.2.2 预应力筋中建立的有效预应力值  $\sigma_{pe}$ ,可按下列公式计算:

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sum_{i=1}^5 \sigma_{li} \quad (5.2.2)$$

式中  $\sum_{i=1}^5 \sigma_{li}$ ——各项预应力损失之和。

在混凝土结构施工中,对预应力钢丝、钢绞线,其有效预应力值  $\sigma_{pe}$  不宜大于  $0.6f_{ptk}$ 。

5.2.3 在钢结构设计图纸上标明的张拉力设计值,应为有效张拉力值,施工时应增加有关的预应力损失,确定初始张拉力。

## 5.3 预应力损失

5.3.1 预应力筋与孔道壁之间的摩擦引起的预应力损失  $\sigma_{l2}$ ,宜按下列公式计算(图 5.3.1):

$$\sigma_{l2} = \sigma_{con} [1 - e^{-(kx + \mu\theta)}] \quad (5.3.1-1)$$

当  $(kx + \mu\theta) \leq 0.2$  时,  $\sigma_{l2}$  可按下列近似公式计算:

$$\sigma_{l2} = (kx + \mu\theta) \sigma_{con} \quad (5.3.1-2)$$

式中  $k$ ——考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦影响系数,可按

表 5.3.1 选用；

$x$ ——张拉端至计算截面的孔道长度(m)，可近似取该段孔道在纵轴上的投影长度；

$\mu$ ——预应力筋与孔道壁之间的摩擦系数，可按表 5.3.1 选用；

$\theta$ ——张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角(rad)。

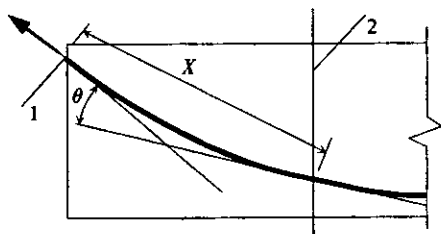


图 5.3.1 孔道摩擦损失计算

1—张拉端；2—计算截面

对多种曲率或直线段与曲线段组成的孔道，应分段计算孔道摩擦损失。

空间曲线束可按平面曲线束公式计算， $\theta$ 角取空间曲线包角， $x$ 取空间曲线弧长。

表 5.3.1 预应力钢丝和钢绞线的摩擦系数

孔道成型方式	$k$ 值	$\mu$ 值
预埋金属波纹管	0.0015~0.0030	0.25~0.30
预埋塑料波纹管	0.0012~0.0020	0.15~0.20
预埋钢管	0.0010~0.0015	0.30~0.35
橡胶管或钢管抽芯成型	0.0015~0.0020	0.50~0.55
无粘结预应力钢绞线	0.0030~0.0040	0.04~0.09

注：采用锥塞式锚具、多孔夹片锚具和变角张拉装置时，尚应考虑锚口处的附加摩擦损失，其值可根据实测数据确定。

对重要的预应力工程，应在现场测定实际的孔道摩擦损失。

根据张拉端拉力  $P_1$  与实测固定端拉力  $P_2$ , 可按下列公式分别算出实测的  $\mu$  值和跨中拉力  $P_m$ :

$$\mu = \frac{-\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) - kx}{\theta} \quad (5.3.1-3)$$

$$P_m = \sqrt{P_1 \cdot P_2} \quad (5.3.1-4)$$

当实测孔道摩擦损失值偏大时, 可采取超张拉措施。

**5.3.2 张拉端锚固时预应力筋内缩引起的预应力损失值  $\sigma_{l1}$ , 可按预应力筋线形分别计算。**

1 直线预应力筋的锚固损失, 可按下列式计算:

$$\sigma_{l1} = \frac{\alpha}{l} E_s \quad (5.3.2-1)$$

式中  $\alpha$  ——张拉端锚固时预应力筋的内缩值, 可按表 5.3.2 取用;

$l$  ——张拉端至固定端的距离;

$E_s$  ——预应力筋的弹性模量。

表 5.3.2 张拉端预应力筋的内缩值  $\alpha$  (mm)

锚具类别		$\alpha$
支承式锚具	螺母缝隙	1
	每块后加垫板的缝隙	1
锥塞式锚具		5
夹片式锚具	有顶压	5
	无顶压	6~8

2 曲线或折线预应力筋的锚固损失, 应根据孔道反向摩擦影响长度范围内的预应力筋总变形值等于预应力筋内缩值的变形协调原理计算(图 5.3.2-1), 即

$$\alpha = \frac{\omega}{E_s} \quad (5.3.2-2)$$

式中  $\omega$  ——锚固损失影响区段的应力图形面积。

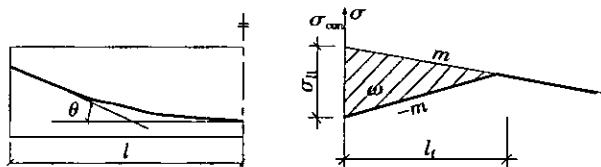


图 5.3.2-1 锚固损失计算

1) 对抛物线形预应力筋, 张拉端锚固损失可按下列公式计算:

$$\sigma_{H1} = 2ml_i \quad (5.3.2-3)$$

$$l_i = \sqrt{\frac{\alpha E_s}{m}} \quad (5.3.2-4)$$

$$m = \frac{\sigma_{con}(kl + \mu\theta)}{l} \quad (5.3.2-5)$$

式中  $m$ ——孔道摩擦损失斜率;

$l_i$ ——孔道反向摩擦影响长度。

当  $l_i \leq l$  时, 跨中处  $\sigma_{H1} = 0$ ;

当  $l_i > l$  时, 跨中处  $\sigma_{H1} = 2m(l_i - l)$  (5.3.2-6)

2) 对由正、反抛物线组成的预应力筋, 锚固损失消失于曲线反弯点外的情况(图 5.3.2-2), 张拉端锚固损失可按下列公式计算:

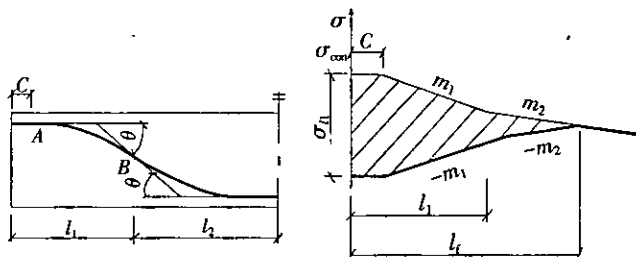


图 5.3.2-2 锚固损失消失于反弯点外的计算

$$\sigma_{H1} = 2m_1(l_1 - c) + 2m_2(l_i - l_1) \quad (5.3.2-6)$$

$$l_i = \sqrt{\frac{\alpha E_s - m_1(l_1^2 - c^2)}{m_2}} + l_1^2 \quad (5.3.2-7)$$



$$m_1 = \frac{\sigma_A (kl_1 - kc + \mu\theta)}{l_1 - c} \quad (5.3.2-8)$$

$$m_2 = \frac{\sigma_B (kl_2 + \mu\theta)}{l_2} \quad (5.3.2-9)$$

3) 对折线形预应力筋, 锚固损失消失于折点外的情况(图 5.3.2-3), 张拉端锚固损失可按下列公式计算:

$$\sigma_{i1} = 2m_1 l_1 + 2\sigma_1 + 2m_2 (l_1 - l_1) \quad (5.3.2-10)$$

$$l_i = \sqrt{\frac{\alpha E_s - m_1 l_1^2 - 2\sigma_1 l_1}{m_2}} + l_1^2 \quad (5.3.2-11)$$

式中

$$m_1 = \sigma_{con} k$$

$$\sigma_1 = \sigma_{con} (1 - kl_1) \mu \theta$$

$$m_2 = \sigma_{con} (1 - kl_1) (1 - \mu\theta) k$$

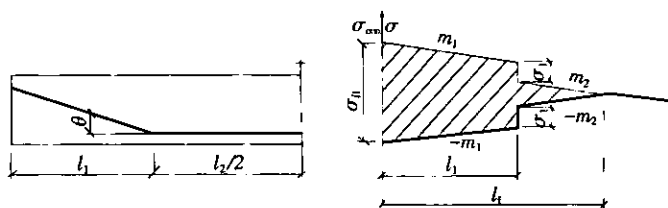


图 5.3.2-3 锚固损失消失于折点外的计算

5.3.3 先张法构件放张时或后张法构件分批张拉时, 由构件弹性压缩引起的预应力损失平均值  $\sigma_{i3}$  ( $N/mm^2$ ), 可按下列公式计算:

$$1 \text{ 先张法构件} \quad \sigma_{i3} = E_s \frac{\sigma_{pc}}{E_c} \quad (5.3.3-1)$$

$$2 \text{ 后张法构件} \quad \sigma_{i3} = 0.5 E_s \frac{\sigma_{pc}}{E_c} \quad (5.3.3-2)$$

式中  $E_s$ 、 $E_c$  分别为预应力筋、混凝土的弹性模量;

$\sigma_{pc}$  一预应力筋合力点的混凝土压应力, 此时张拉力应扣除张拉阶段预应力损失, 可取  $0.9P_i$ ; 对后张法构件不包括第一根(批)预应力筋拉力。

5.3.4 预应力筋的应力松弛损失  $\sigma_{l4}$ , 可按下列公式计算:

1 预应力钢丝、钢绞线

$$\text{对普通松弛级 } \sigma_{l4} = 0.4 \left( \frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.5 \right) \sigma_{\text{con}} \quad (5.3.4-1)$$

对低松弛级 当  $\sigma_{\text{con}} \leq 0.7 f_{\text{ptk}}$  时

$$\sigma_{l4} = 0.125 \left( \frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.5 \right) \sigma_{\text{con}} \quad (5.3.4-2)$$

当  $0.70 f_{\text{ptk}} < \sigma_{\text{con}} \leq 0.8 f_{\text{ptk}}$  时,

$$\sigma_{l4} = 0.2 \left( \frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.575 \right) \sigma_{\text{con}} \quad (5.3.4-3)$$

2 高强钢筋

一次张拉程序 ( $0 \rightarrow \sigma_{\text{con}}$ ) 0.05  $\sigma_{\text{con}}$

超张拉程度 ( $0 \rightarrow 1.05 \sigma_{\text{con}}$  持荷 2min  $\rightarrow \sigma_{\text{con}}$ ) 0.035  $\sigma_{\text{con}}$

5.3.5 混凝土的收缩和徐变损失  $\sigma_{l5}$ 。

对现浇后张部分预应力混凝土梁板结构, 可近似取 50~80N/mm<sup>2</sup>, 当构件自重、活载小时取小值。

当结构处于年平均相对湿度低于 40% 的环境时,  $\sigma_{l5}$  值应增加 30%。

## 5.4 锚固区局部受压承载力

预应力锚固区的局部受压承载力可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定验算。

## 5.5 预应力筋张拉伸长值

5.5.1 预应力筋的张拉伸长值  $\Delta L_p^c$ , 可按下列公式计算:

$$\Delta L_p^c = \frac{P_m L_p}{A_p E_s} \quad (5.5.1-1)$$

$$P_m = P_j \left( \frac{1 + e^{-kx + \mu \theta}}{2} \right) \quad (5.5.1-2)$$

式中  $P_m$  —— 预应力筋的平均张拉力, 取张拉端拉力  $P_1$  与计算截面扣除孔道摩擦损失后的拉力平均值(5.5.1-2);

$L_p$  —— 预应力筋的实际长度;

$A_p$  —— 预应力筋的截面面积;

$E_s$  —— 预应力筋的弹性模量。

**5.5.2** 对多曲线段或直线段与曲线段组成的曲线预应力筋, 张拉伸长值应分段计算后叠加:

$$\Delta L_p^c = \sum \frac{(\sigma_{i1} + \sigma_{i2}) L_i}{2E_s} \quad (5.5.2)$$

式中  $L_i$  —— 第  $i$  线段预应力筋长度;

$\sigma_{i1}$ 、 $\sigma_{i2}$  —— 分别为第  $i$  线段两端预应力筋的应力。

**5.5.3** 预应力筋的张拉伸长值, 应在建立初拉力后进行测量。实际伸长值  $\Delta L_p^o$  可按下列公式计算:

$$\Delta L_p^o = \Delta L_{p1}^o + \Delta L_{p2}^o - a - b - c \quad (5.5.3)$$

式中  $\Delta L_{p1}^o$  —— 从初拉力至最大张拉力之间的实测伸长值;

$\Delta L_{p2}^o$  —— 初拉力以下的推算伸长值, 可用图解法或算法确定;

$a$  —— 千斤顶体内的预应力筋张拉伸长值;

$b$  —— 张拉过程中工具锚和固定端工作锚楔紧引起的预应力筋内缩值;

$c$  —— 张拉阶段构件的弹性压缩值。

## 6 制作及安装

### 6.1 预应力筋制作

6.1.1 预应力筋制作或组装时,不得采用加热、焊接或电弧切割。在预应力筋近旁对其他部件进行气割或焊接时,应防止预应力筋受焊接火花或接地电流的影响。

6.1.2 预应力筋应在平坦洁净的场地上采用砂轮锯或切断机下料。

6.1.3 使用钢丝束镦头锚具前,首先应确认该批预应力钢丝的可镦性。钢丝镦头的头型尺寸应符合:直径 $1.4\sim 1.5d$ ,高度 $0.95\sim 1.05d$ ( $d$ 为钢丝直径)。钢丝束两端采用镦头锚具时,应采用等长下料法。

6.1.4 钢丝编束、张拉端镦头锚具安装和钢丝镦头宜同时进行。钢丝的一端先穿入锚具并镦头,另一端按张拉端的顺序分别编扎内外圈钢丝。

6.1.5 钢绞线挤压锚具挤压时,在挤压模内腔或挤压套外表面应涂润滑油,压力表读数应符合操作说明书的规定。

6.1.6 钢绞线压花锚具成型时,应将表面的污物擦拭干净。梨形头尺寸应符合:对 $\phi 15.2$ 钢绞线不应小于 $\phi 95\times 150$ ;对 $\phi 12.7$ 钢绞线不应小于 $\phi 80\times 130$ ;直线段长度,对 $\phi 15.2$ 钢绞线不应小于900mm。

### 6.2 预应力筋孔道留设

6.2.1 金属波纹管或塑料波纹管安装前,应按设计要求在箍筋上标出预应力筋的曲线坐标位置,点焊钢筋支托。支托间距:对圆形金属波纹管宜为 $1.0\sim 1.2\text{m}$ ,对扁形金属波纹管和塑料波纹管宜

为 0.8~1.0m。波纹管安装后,应与钢筋支托可靠固定。

**6.2.2** 金属波纹管接长时,可采用大一号同型波纹管作为接头管。接头管的长度宜取管径的 3~4 倍。接头管的两端应采用热塑管或粘胶带密封。

塑料波纹管接长时,可采用塑料焊接机热熔焊接或采用专用连接管。

**6.2.3** 灌浆管或泌水管与波纹管连接时,可在波纹管上开洞,覆盖海绵垫和塑料弧形压板并与波纹管扎牢,再用增强塑料管插在弧形压板的接口上,且伸出构件顶面不宜小于 500mm。

**6.2.4** 采用钢管或胶管抽芯成孔时,钢筋井字架的间距:对钢管宜为 1.0~1.2m,对胶管宜为 0.6~0.8m。浇筑混凝土后,应陆续转动钢管,待混凝土初凝后、终凝前抽出。胶管内应预先充入压缩空气或压力水,使管径增大 2~3mm,待混凝土初凝后放出压缩空气或压力水,管径缩小即可抽出。

**6.2.5** 竖向预应力结构采用钢管成孔时应采用定位支架固定,每段钢管的长度应根据施工分层浇筑高度确定。钢管接头处宜高于混凝土浇筑面 500~800mm,并用堵头临时封口。

**6.2.6** 混凝土浇筑时,应采取有效措施,防止预应力筋孔道漏浆堵孔。

**6.2.7** 钢管桁架中预应力筋用钢套管保护时,每隔 2~3m 应采用定位支架或隔板居中固定。

钢桁架在工厂分段制作时,应预先将钢套管安装在钢管弦杆内,再在现场的拼装台上用大一号同型钢套管连接或采用焊接接头。钢套管的灌浆孔可采用带内螺纹的接头管焊在套管上。

### 6.3 预应力筋安装

**6.3.1** 预应力筋可在浇筑混凝土前(先穿束法)或浇筑混凝土后(后穿束法)穿入孔道,应根据结构特点、施工条件和工期要求等确定。

**6.3.2** 穿束的方法可采用人力、卷扬机或穿束机单根穿或整束穿。对超长束、特重束、多波曲线束等宜采用卷扬机整束穿，束的前端应装有穿束网套或特制的牵引头。穿束机适用于穿大批量的单根钢绞线，穿束时钢绞线前头宜套一个子弹头形壳帽。

采用先穿束法穿多跨曲线束时，可在梁跨的中部处留设穿束助力段。

**6.3.3** 预应力筋宜从内埋式固定端穿入。当固定端采用挤压锚具时，从孔道末端至锚垫板的距离应满足成组挤压锚具的安装要求；当固定端采用压花锚具时，从孔道末端至梨形头的直线锚固段不应小于设计值。预应力筋从张拉端穿出的长度应满足张拉设备的操作要求。

**6.3.4** 竖向孔道的穿束，宜采用单根由上向下控制放盘速度穿入孔道，也可采用整束由下向上牵引工艺。

**6.3.5** 混凝土浇筑前穿入孔道的预应力筋，宜采取防止锈蚀措施。

## **6.4 无粘结预应力筋铺设**

**6.4.1** 无粘结预应力筋铺设前，对护套轻微破损处应采用防水聚乙烯胶带进行修补。每圈胶带搭接宽度不应小于胶带宽度的1/2，缠绕层数不应少于2层，缠绕长度应超过破损长度30mm。严重破损的无粘结预应力筋应予报废。

**6.4.2** 平板中无粘结预应力筋的曲线坐标宜采用钢筋马凳控制，间距不宜大于2.0m。无粘结预应力筋铺设后应与马凳可靠固定。

**6.4.3** 平板中无粘结预应力筋带状布置时，应采取可靠的固定措施，保证同束中各根无粘结预应力筋具有相同的矢高。

**6.4.4** 双向平板中，宜先铺设竖向坐标较低方向的无粘结预应力筋，后铺方向的无粘结预应力筋遇到部分竖向坐标低于先铺无粘结预应力筋时应从其下方穿过。

双向无粘结预应力筋的底层筋，在跨中处宜与底面双向钢筋

的上层筋处在同一高度。

**6.4.5** 无粘结预应力筋张拉端的锚垫板可固定在端部模板上,或利用短钢筋与四周钢筋焊牢。锚垫板面应垂直于预应力筋。

当张拉端采用凹入式做法时,可采用塑料穴模或其他穴模。

**6.4.6** 无粘结预应力筋固定端的锚垫板应事先组装好,按设计要求的位置可靠固定。

**6.4.7** 梁中无粘结预应力筋集束布置时,应采用钢筋支托控制其位置,支托间距宜为 1.0~1.5m。同一束的各根筋宜保持平行走向,防止相互扭绞。

**6.4.8** 对竖向、环向或螺旋形布置的无粘结预应力筋,应有定位支架或其他构造措施控制位置。

**6.4.9** 在板内无粘结预应力筋绕过开洞处的铺设位置应符合本规程第 4.3.3 条的规定。

## 6.5 质量要求

**6.5.1** 预应力筋的制作质量应符合下列要求:

1 当钢丝束两端采用镦头锚具时,同一束中钢丝长度的最大偏差不应大于钢丝长度的 1/5000,且不得大于 5mm;当成组张拉长度不大于 10m 的钢丝时,同组钢丝长度的最大偏差不得大于 2mm;

2 钢丝镦头尺寸不应小于规定值,头型应圆整端正;钢丝镦头的圆弧形周边出现纵向微小裂纹时,其裂纹长度不得延伸至钢丝母材,不得出现斜裂纹或水平裂纹;

3 钢绞线挤压锚具成型后,钢绞线外端应露出挤压头 1~5mm;

4 钢绞线压花锚具的梨形头尺寸和直线锚固段长度不应小于设计值,其表面不得有污物。

**6.5.2** 预应力筋的安装质量应符合下列要求:

1 预应力筋安装时,其品种、级别、规格与数量必须符合设计

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更换；

3 预应力筋孔道的规格、数量、位置，灌浆孔、排气兼泌水管等应符合设计和施工要求；

4 锚固区埋件和加强筋应符合施工详图的要求；

5 预应力筋束形（孔道）控制点的竖向位置偏差应符合表 6.5.2 的规定，并做出检查记录；

表 6.5.2 预应力筋束形（孔道）控制点竖向位置允许偏差（mm）

构件截面厚度或高度	$h \leq 300$	$300 < h \leq 1500$	$h > 1500$
允许偏差	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 15$

注：束形控制点的竖向位置偏差合格点率应达到 90%，且不得有超过表中数值 1.5 倍的尺寸偏差。

6 预应力筋孔道或无粘结预应力筋应铺设顺直，端部锚垫板应垂直于孔道中心线或无粘结预应力筋；

7 预应力筋孔道或无粘结预应力筋的定位应牢固，孔道接头应密封良好；

8 内埋式固定端的锚垫板不应重叠，锚具与锚垫板应贴紧；

9 波纹管或无粘结预应力筋护套应完好；局部破损处应采用防水胶带修补。在锚口处无粘结预应力筋不得裸露；

10 先张法台座的台面隔离剂不得污染预应力筋。

11 钢结构预应力筋孔道的钢套管接头应对齐满焊、不渗漏。



## 7 张拉及放张

### 7.1 准备工作

7.1.1 预应力筋张拉设备和仪表应满足预应力筋张拉或放张的要求,且应定期维护和标定。张拉用千斤顶和压力表应配套标定、配套使用。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。

张拉设备的标定期限不应超过半年。当张拉设备出现不正常现象时或千斤顶检修后,应重新标定。

7.1.2 预应力筋张拉或放张时,混凝土强度应符合设计要求;当设计无具体要求时,不应低于设计采用的混凝土强度等级的75%。现浇结构施加预应力时,混凝土的龄期,对后张楼板不宜小于5d,对后张大梁不宜小于7d。

为防止混凝土出现早期裂纹而施加预应力,可不受上述限制。

7.1.3 锚具安装前,应清理锚垫板端面的混凝土残渣和喇叭管内的杂物,且应检查锚垫板后的混凝土密实性,同时应清理预应力筋表面的浮锈和渣土。

7.1.4 锚具安装时锚板应对中,夹片应击紧且缝隙均匀。

7.1.5 张拉设备安装时,对直线预应力筋,应使张拉力的作用线与预应力筋中心线重合;对曲线预应力筋,应使张拉力的作用线与预应力筋中心线末端的切线重合。

7.1.6 预应力筋张拉前,应计算所需张拉力、压力表读数、张拉伸长值,并说明张拉顺序和方法,填写张拉申请单。

### 7.2 预应力筋张拉

7.2.1 预应力构件的张拉顺序,应根据结构受力特点、施工方便、

操作安全等因素确定。

对现浇预应力混凝土楼面结构,宜先张拉楼板、次梁,后张拉主梁。对预制屋架等平卧叠浇构件,应从上而下逐根张拉。

预应力构件中预应力筋的张拉顺序,应遵循对称张拉原则。

7.2.2 预应力筋的张拉方法,应根据设计和施工计算要求采取一端张拉或两端张拉。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。

7.2.3 对同一束预应力筋,应采用相应吨位的千斤顶整束张拉。对直线形或平行排放的预应力钢绞线束,在各根钢绞线不受叠压时,也可采用小型千斤顶逐根张拉。

7.2.4 预应力筋的张拉步骤:应从零应力加载至初拉力,测量伸长值初读数,再以均匀速度分级加载分级测量伸长值至终拉力。钢绞线束张拉至终拉力时,宜持荷 2min。

7.2.5 采用应力控制方法张拉时,应校验预应力筋张拉伸长值。实际伸长值与计算伸长值的偏差不应超过 $\pm 6\%$ 。如超过允许偏差,应查明原因并采取措施后方可继续张拉。

7.2.6 对特殊预应力构件或预应力筋,应根据设计和施工要求采取专门的张拉工艺,如分阶段张拉、分批张拉、分级张拉、分段张拉、变角张拉等。

7.2.7 对多波曲线预应力筋,可采取超张拉回松技术来提高内支座处的张拉应力并降低锚具下口的张拉应力。

7.2.8 先张法预应力筋可采用单根张拉或成组张拉。当采用成组张拉时,应预先调整初应力。

7.2.9 钢桁架施加预应力宜在该桁架和部分支撑安装就位后进行。根据钢桁架承担的荷载情况,可采取一次张拉或多次张拉。

7.2.10 预应力筋张拉时,应对张拉力、压力表读数、张拉伸长值、异常现象等做出详细记录。

### 7.3 预应力筋放张

7.3.1 先张法预应力筋的放张顺序应符合设计要求；当设计无具体要求时，可按下列规定放张：

1 对承受轴心预压力的构件（如压杆、桩等），所有预应力筋应同时放张；

2 对承受偏心预压力的构件（如梁等），应先同时放张预压力较小区域的预应力筋，再同时放张预压力较大区域的预应力筋；

3 当不能按上述规定放张时，应分阶段、对称、相互交错放张。

7.3.2 先张法预应力筋宜采取缓慢放张方法，可采用千斤顶或螺杆等机具进行单独或整体放张。

7.3.3 后张法预应力筋张拉锚固后，如遇到特殊情况需要放张，宜在工作锚上安装拆锚器，采用小型千斤顶逐根放张。

7.3.4 后张法预应力结构拆除或开洞时，应有专项预应力放张方案，防止高应力状态的预应力筋弹出伤人。

7.3.5 预应力筋放张应有详细记录。

### 7.4 质量要求

7.4.1 预应力筋的张拉质量应符合下列要求：

1 预应力筋张拉时，混凝土强度应符合设计要求；

2 预应力筋的张拉力、张拉顺序和张拉工艺应符合设计及施工技术方案的的要求；

3 预应力筋张拉伸长实测值与计算值的偏差不应超过 $\pm 6\%$ ，其合格率应达到 $95\%$ ，且最大偏差不应超过 $\pm 10\%$ ；

4 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 $\pm 5\%$ ；

5 预应力筋张拉过程中应避免断裂或滑脱。如发生断裂或滑脱，对后张法预应力结构构件，其数量严禁超过同一截面上预应

力筋总根数的 3%，且每束钢丝不超过 1 根；对多跨连续双向板和密肋梁，同一截面应按开间计算；

对先张法预应力构件，在浇筑混凝土前发生断裂或滑脱的预应力筋必须予以更换；

6 锚固阶段张拉端预应力筋的内缩值，应符合设计要求和本规程表 5.3.2 的规定；

7 预应力筋锚固后，夹片顶面宜平齐，其错位不宜大于 2mm，且不应大于 4mm；

8 后张法预应力筋张拉后，应检查构件有无开裂现象。如出现有害裂缝，应会同设计单位处理；

9 先张法预应力筋张拉后与设计位置的偏差不应大于 5mm，且不得大于构件截面短边边长的 4%。

7.4.2 预应力筋的放张质量应符合下列要求：

1 预应力筋放张时，混凝土强度应符合设计要求；

2 先张法构件的放张顺序，应使构件对称受力，不发生翘曲变形；

3 先张法预应力筋放张时，应使构件能自由伸缩；

4 先张法预应力筋放张后，构件端部钢丝的内缩值不宜大于 1.0mm。

## 8 灌浆及封锚

### 8.1 准备工作

8.1.1 后张法有粘结预应力筋张拉完毕并经检查合格后,应尽早灌浆。

8.1.2 灌浆前应全面检查预应力筋孔道、灌浆孔、排气孔、泌水管等是否畅通。对抽芯成型的混凝土孔道宜用水冲洗后灌浆;对预埋管成型的孔道不得用水冲洗孔道,必要时可采用压缩空气清孔。

8.1.3 灌浆设备的配备必须确保连续工作条件,根据灌浆高度、长度、形态等条件选用合适的灌浆泵。灌浆泵应配备计量校验合格的压力表。灌浆前应检查配套设备、输浆管和阀门的可靠性。在锚垫板上灌浆孔处宜安装单向阀门。注入泵体的水泥浆应经筛滤,滤网孔径不宜大于2mm。与输浆管连接的出浆孔孔径不宜小于10mm。

8.1.4 灌浆前,对锚具夹片空隙和其他可能漏浆处需采用高标号水泥浆或结构胶等封堵,待封堵料达到一定强度后方可灌浆。

### 8.2 制浆要求

8.2.1 孔道灌浆用水泥浆应采用普通硅酸盐水泥和水拌制。水泥浆的水灰比不应大于0.42,拌制后3h泌水率不宜大于2%,且不应大于3%,泌水应在24h内全部重新被水泥浆体吸收。

8.2.2 水泥浆中宜掺入高性能外加剂。严禁掺入各种含氯盐或对预应力筋有腐蚀作用的外加剂。掺外加剂后,水泥浆的水灰比可降为0.35~0.38。

所采购的外加剂应与水泥做适应性试验并确定掺量后,方可使用。

**8.2.3** 水泥浆的可灌性以流动度控制:采用流淌法测定时应为130~180mm,采用流锥法测定时应为12~18s。测定方法应符合本规程附录E的规定。

**8.2.4** 水泥浆应采用机械拌制,应确保灌浆材料搅拌均匀。水泥浆停留时间过长发生沉淀离析时,应进行二次搅拌。

### 8.3 灌浆工艺

**8.3.1** 灌浆顺序宜先灌下层孔道,后灌上层孔道。灌浆应缓慢连续进行,不得中断,并应排气通顺。在灌满孔道封闭排气孔后,应再继续加压至0.5~0.7MPa,稳压1~2min后封闭灌浆孔。

当发生孔道阻塞、串孔或中断灌浆时,应及时冲洗孔道或采取其他措施重新灌浆。

**8.3.2** 当孔道直径较大,采用不掺微膨胀减水剂的水泥浆灌浆时,可采用下列措施:

1 二次压浆法:二次压浆的间隔时间可为30~45min。

2 重力补浆法:在孔道最高点处400mm以上,连续不断补浆,直至浆体不下沉为止。

**8.3.3** 采用连接器连接的多跨连续预应力筋的孔道灌浆,应在连接器分段的预应力筋张拉后随即进行,不得在各分段全部张拉完毕后一次连续灌浆。

**8.3.4** 竖向孔道灌浆应自下而上进行,并应设置阀门,阻止水泥浆回流。为确保其灌浆密实性,除掺微膨减水剂外,并应采用重力补浆。

**8.3.5** 对超长、超高的预应力筋孔道,宜采用多台灌浆泵接力灌浆,从前置灌浆孔灌浆直至后置灌浆孔冒浆,后置灌浆孔方可续灌。

**8.3.6** 灌浆孔内的水泥浆凝固后,应将泌水管等切至构件表面;如管内有空隙,应仔细补浆。

**8.3.7** 当室外温度低于+5℃时,孔道灌浆应采取抗冻保温措施。

当室外温度高于 35℃ 时,宜在夜间进行灌浆。水泥浆灌入前的温度不应超过 35℃。

**8.3.8** 孔道灌浆应填写施工记录,标明灌浆日期、水泥品种、强度等级、配合比、灌浆压力和灌浆情况。

## **8.4 真空辅助灌浆**

**8.4.1** 真空辅助灌浆除采用传统的灌浆设备外,还需配备真空泵及其配件等。

**8.4.2** 真空辅助灌浆的孔道应具有良好的密封性。

**8.4.3** 真空辅助灌浆采用的水泥浆应优化配合比,宜掺入适量的缓凝高效减水剂。根据不同的水泥浆强度等级要求,其水灰比可为 0.33~0.40。制浆时宜采用高速搅拌机。

**8.4.4** 预应力筋孔道灌浆前,应切除外露的多余钢绞线并进行封锚。

**8.4.5** 孔道灌浆时,在灌浆端先将灌浆阀、排气阀全部关闭。在排浆端启动真空泵,使孔道真空度达到  $-0.08 \sim -0.1$  MPa 并保持稳定,然后启动灌浆泵开始灌浆。在灌浆过程中,真空泵应保持连续工作,待抽真空端有浆体经过时关闭通向真空泵的阀门,同时打开位于排浆端上方的排浆阀门,排出少许浆体后关闭。灌浆工作继续按常规方法完成。

## **8.5 锚具封闭保护**

**8.5.1** 后张法预应力筋锚固后的外露部分宜采用机械方法切割。预应力筋的外露长度不宜小于其直径的 1.5 倍,且不宜小于 25mm。

**8.5.2** 锚具封闭保护应符合设计要求。当设计无具体要求时,应符合本规程第 4.2.5 条的规定。

**8.5.3** 锚具封闭前应将周围混凝土冲洗干净、凿毛,对凸出式锚头应配置钢筋网片。

**8.5.4** 锚具封闭保护宜采用与构件同强度等级的细石混凝土,也可采用微膨胀混凝土、低收缩砂浆等。

**8.5.5** 无粘结预应力筋锚具封闭前,无粘结筋端头和锚具夹片应涂防腐油脂,并套上塑料帽,也可涂刷环氧树脂。

**8.5.6** 对处于二类、三类环境条件下的无粘结预应力筋与锚具部件的连接以及其他部件之间的连接,应采用密封装置或采取连续封闭措施。

## **8.6 质量要求**

**8.6.1** 孔道灌浆的质量应符合下列要求:

1 孔道内的水泥浆应饱满、密实,当有疑问时,可采用无损探测或钻孔检查;

2 施工中水泥浆的配合比不得任意更改,其水灰比和泌水率应符合本规程第 8.2.1 条的规定;

3 孔道灌浆工艺应符合第 8.3.1 条的规定,灌浆压力不得小于 0.5MPa;

4 水泥浆试块采用边长为 70.7mm 的立方体试模制作,标准养护 28d 的抗压强度不应小于 30MPa。

**8.6.2** 锚具封闭保护质量应符合下列要求:

1 无粘结预应力筋端头和锚具夹片应达到密封要求,对处于二类、三类环境条件下的无粘结预应力筋及其锚固系统应达到全封闭保护状态;

2 凸出式锚固端的保护层厚度应符合本规程第 4.2.5 条的规定;

3 封锚混凝土应密实、无裂纹。



## 9 体外预应力施工

### 9.1 束的布置

9.1.1 根据结构设计需要,体外预应力束可选用直线、双折线或多折线布置方式。

9.1.2 体外预应力束的锚固点,宜位于梁端的形心线以上。对多跨连续梁采用多折线多根体外束时,可在中间支座或其他部位增设锚固点。

9.1.3 对多折线体外束,弯折点宜位于距梁端  $1/4 \sim 1/3$  跨度的范围内。体外束锚固点与转向块之间或两个转向块之间的自由段长度不宜大于  $8\text{m}$ ;超过该长度时宜设置防振动装置。

9.1.4 体外预应力束布置应使结构对称受力,对矩形或工字形梁,体外束应布置在梁腹板的两侧。对箱形梁,体外束应布置在梁腹板的内侧。体外预应力束也可作为独立的受拉单元使用(如张弦梁等)。

9.1.5 体外束在每个转向块处的弯折角不宜大于  $15^\circ$ ,转向块鞍座处最小曲率半径应按表 9.1.5 取用。体外束与鞍座的接触长度由设计计算确定。

表 9.1.5 体外束最小曲率半径

钢绞线束	最小曲率半径(m)
7 $\phi$ 15.2	2.0
12 $\phi$ 15.2	2.5
19 $\phi$ 15.2	3.0
37 $\phi$ 15.2	4.0

9.1.6 体外预应力束与转向块之间的摩擦系数  $\mu$ ,可按表 9.1.6 取值。

表 9.1.6 转向块处摩擦系数  $\mu$

体外束套管	$\mu$ 值
镀锌钢管	0.20~0.25
HDPE 塑料管	0.15~0.20
无粘结预应力筋	0.08~0.12

## 9.2 体系构成

9.2.1 体外预应力体系由预应力筋、外套管、防腐材料和锚固体系组成。主要体系有单根无粘结钢绞线体系、多根有粘结预应力筋体系、无粘结钢绞线束多层防腐体系等,可根据结构特点、体外束作用、防腐要求等选用。

9.2.2 体外束的预应力筋应满足下列要求:

- 1 预应力筋的性能应符合本规程第 3.1、3.2 节的要求;
- 2 折线预应力筋尚应按偏斜拉伸试验方法确定其力学性能。

体外束预应力筋可选用镀锌预应力筋、无粘结钢绞线、环氧涂层钢绞线等。

9.2.3 体外束的外套管应满足下列要求:

- 1 外套管和连接接头应完全密闭防水,在使用期内应有可靠的耐久性;
- 2 外套管应能抵抗运输、安装和使用过程中所受的各种作用力,不得损坏;
- 3 外套管应与预应力筋和防腐材料具有兼容性;
- 4 在建筑工程中,尚应符合设计要求的耐火性。

体外束的外套管,可选用高密度聚乙烯管(HDPE)或镀锌钢管。钢管壁厚宜为管径的 1/40,且不应小于 2mm。HDPE 管壁厚:对波纹管不宜小于 2mm,对光圆管不宜小于 5mm。

9.2.4 体外束的防腐材料应满足下列要求:

- 1 水泥基灌浆料在施工过程中应按本规程第 8.2 节的要求填满外套管,连续包裹预应力筋全长,并使气泡含量最小;套管应

能承受  $1.0\text{N}/\text{mm}^2$  的内压；

2 工厂制作的体外束防腐蚀材料，在加工制作、运输、安装和张拉等过程中，应能保持稳定性、柔性和无裂缝，并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处的环境类别和相应设计使用年限的要求相一致。

9.2.5 体外束的锚固体系必须与束体的形式和组成相匹配，可采用常规后张锚固体系或体外束专用锚固体系，其性能应符合本规程第 3.3 节的要求。

对于有整体调束要求的钢绞线夹片锚固体系，可采用锚具外螺母支撑承力方式。对低应力状态下的体外束，其锚具夹片应装有防松装置。

### 9.3 构造要求

9.3.1 体外束的锚固端宜设置在梁端隔板或腹板外凸块处，应保证传力可靠，且变形符合设计要求。

9.3.2 体外束的转向块应能保证预应力可靠地传递给结构主体。在矩形、工字形或箱形截面混凝土梁中，可采用通过隔梁、肋梁或独立的转向块等型式实现转向。转向块处的钢套管鞍座应预先弯曲成型，埋入混凝土中。

9.3.3 对不可更换的体外束，在锚固端和转向块处与结构相连的固定套管可与束体外套管合并为同一套管。对可更换的体外束，在锚固端和转向块处与结构相连的鞍座套管应与束体的外套管分离且相对独立。

9.3.4 混凝土梁加固用体外束的锚固端构造可采用下列做法：

- 1 采用钢板箍或钢板块直接将预应力传至框架柱上；
- 2 采用钢垫板先将预应力传至端横梁，再传至框架柱上；必要时可在端横梁内侧粘贴钢板并在其上焊圆钢，使体外束由斜向转为水平向。

9.3.5 混凝土梁加固用体外束的转向块构造可采用下列做法:

1 在梁底部横向设置双悬臂的短钢梁,并在钢梁底焊有圆钢或带有圆弧曲面的转向垫块;

2 在梁两侧的次梁底部设置半圆形 U 形钢卡。

9.3.6 钢结构中的体外束锚固端构造可采用锚固盒、锚垫板和管壁加劲肋、半球形钢壳体等形式。体外束弯折处宜设置鞍座,在鞍座出口处应形成圆滑过渡。

#### 9.4 施工和防护

9.4.1 体外束的锚固区和转向块应与主体结构同时施工。预埋锚固件与管道的位置和方向应严格符合设计要求,混凝土必须精心振捣,保证密实。

9.4.2 体外束的制作应保证束体的耐久性等要求,并能抵抗施工和使用中的各种外力作用。当有防火要求时,应涂刷防火涂料或采取其他可靠的防火措施。

9.4.3 体外束外套管的安装应保证连接平滑和完全密闭。束体线形和安装误差应符合设计和施工要求。在穿束过程中应防止束体护套受机械损伤。

9.4.4 在混凝土梁加固工程中,体外束锚固端的孔道可采用静态开孔机成型。在箱梁底板加固工程中,体外束锚固块的做法可开凿底板植入锚筋,绑焊钢筋和锚固件,再浇筑端块混凝土。

9.4.5 在钢结构中,张拉端锚垫板应垂直于预应力筋中心线,与锚垫板接触的钢管与加劲肋端切口的角度应准确,表面应平整。锚固区的所有焊缝应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的规定。

9.4.6 钢结构中施加的体外预应力,应验算施工过程中的预应力作用,制定可靠的张拉工序,并经设计人员确认。

9.4.7 体外束的张拉应保证构件对称均匀受力,必要时可采取分级循环张拉方式。

在构件加固中,如体外束的张拉力小,也可采取横向张拉或机械调节方式。

**9.4.8** 体外束在使用过程中完全暴露于空气中,应保证其耐久性。对刚性外套管,应具有可靠的防腐蚀性能,在使用一定时期后应重新涂刷防腐蚀涂层;对高密度聚乙烯等塑料外套管,应保证长期使用的耐老化性能,必要时应更换。

**9.4.9** 体外束的锚具应设置全密封防护罩,对不可更换的体外束,可在防护罩内灌注水泥浆或其他防腐蚀材料;对可更换的束应保留必要的预应力筋长度,在防护罩内灌注油脂或其他可清洗的防腐蚀材料。

## 10 拉索预应力施工

### 10.1 体系构造

10.1.1 预应力拉索可采用钢丝拉索体系、钢绞线拉索体系或钢棒拉索体系。钢丝拉索、钢绞线拉索可用于不同长度、不同索力和不同工作环境条件下的拉索体系；单根防腐钢绞线组成的群锚拉索适用于小型设备高空作业；钢棒拉索可用于室内或室外拉索体系。

10.1.2 拉索体系由拉索体、两端锚固头、减振装置和传力节点等组成。

10.1.3 钢丝拉索索体应由 $\phi^5$ 、 $\phi^7$ 有良好防腐的涂层钢丝一次扭绞成型，绞合角为 $2^\circ\sim 4^\circ$ ，索体上热挤高密度聚乙烯塑料等防护层，两端装铸锚索头并进行预拉，形成扭绞型平行钢丝拉索体系。

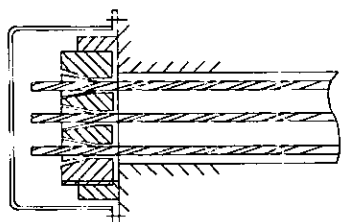
10.1.4 钢绞线拉索索体应由 $\phi^{15.2}$ 、 $\phi^{12.7}$ 有良好防腐的涂层钢绞线制作。钢绞线拉索固定端可采用挤压锚；张拉端可采用夹片锚，锚板外应配螺母以整体微调索力，夹片处应有特殊的防松装置。

10.1.5 钢棒拉索可采用优质碳素结构钢镀层保护或不锈钢钢棒分段制成定长索体。每段钢棒两端配以螺纹，可与接长套筒或锚头连接。拉索的连接接头、端部锚固头可采用优质碳素钢制作后镀层或涂层保护，也可采用不锈钢制作。

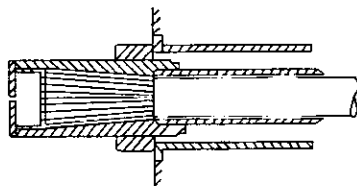
10.1.6 减振装置采用专用橡胶减振器制成，其性能应符合相应的产品标准；减振装置也可采用特殊阻尼索制成。减振装置的设置，应根据拉索的支座距离、疲劳荷载、风振影响等因素确定。

10.1.7 拉索端部索头传力构造宜由建筑外观、结构受力、施工安装、索力的准确建立和调整、换索等多种因素确定，可采用图

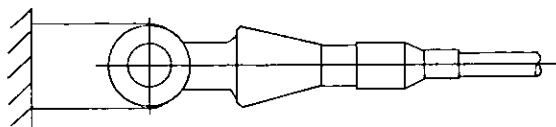
10.1.7的几种方式及其组合。



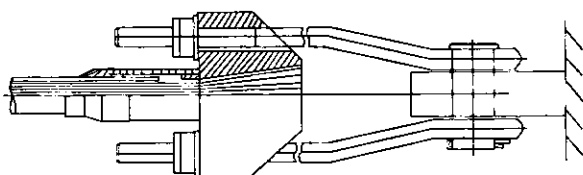
(a)群锚夹片索头



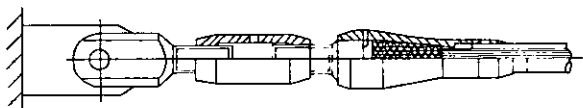
(b)螺母承压铸锚索头



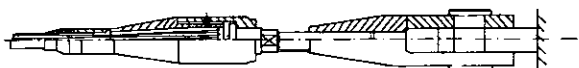
(c)单双耳铸锚固定索头



(d)铸锚双螺杆可调索头



(e)铸锚正反扣套筒可调索头



(f)铸锚单螺杆可调索头

图 10.1.7 拉索端部索头的传力节点

10.1.8 对要求准确建立索力值或大吨位索力值的拉索张拉端，宜选用双螺杆调节或螺母承压的索头形式；对要求大距离调节张拉引伸量的拉索张拉端，宜选用群锚夹片锚固和双螺杆调节索头

形式。对固定在行人近距离视线范围内的拉索张拉端,或索力允许有一定偏差时,宜选用正反扣螺纹套筒双调节或单螺杆调节的单耳或叉耳索头;对拉索的固定端,可选择铸锚固定索头或螺母承压铸锚索头。

**10.1.9** 拉索中间传力构造应根据设计要求确定,可采用特制传力索夹。当索夹与索体有抗滑移要求时,应对索夹内表面做特殊处理,必要时经试验确定。对室外用索夹,应注意防止索夹损伤索的防护套。

## 10.2 制作及安装

**10.2.1** 拉索制作方式可分为工厂预制和现场制造。扭绞型平行钢丝拉索应采用工厂预制,其制作应符合相关产品标准的要求。钢绞线拉索和钢棒拉索可以预制也可在现场组装制作,其索体材料和锚具应符合相关标准的规定。

**10.2.2** 拉索进场前应进行验收,验收内容包括外观质量检查和力学性能检验,检验指标按相应的钢索和锚具标准执行。对用于承受疲劳荷载的拉索,应提供抗疲劳性能检测结果。

**10.2.3** 工厂预制拉索的供货长度为无应力长度。计算无应力长度时,应扣除张拉工况下索体的弹性伸长值。对索膜结构、空间钢结构的拉索,应将拉索与周边承力结构做整体计算,既考虑边缘承力结构的变形又考虑拉索的张拉伸长后确定拉索供货长度。

**10.2.4** 现场制索时,应根据上部结构的几何尺寸及索头形式确定拉索的初始长度。现场组装拉索时,应采取相应措施,保证拉索内各股预应力筋平行分布。

**10.2.5** 拉索在整个制造和安装过程中,应预防腐蚀、受热、磨损和避免其他有害的影响。

**10.2.6** 拉索安装前,对拉索或其组装件的所有损伤都应鉴定和补救。损坏的钢绞线、钢棒或钢丝均应更换。受损的非承载部件应加以修补。



**10.2.7** 拉索的安装应符合整体工程对索的安装程序要求,计算每根拉索的安装索力和伸长量。拉索安装程序中应包括拉索安装时考虑的实际施工荷载和受力条件。安装工艺应满足设计要求的该工况下初始态索力。

**10.2.8** 索夹安装时,应满足各施工阶段索夹拼装螺栓的拧紧力矩要求。

### 10.3 张拉和索力调整

**10.3.1** 预制的拉索应进行整体张拉。由单根钢绞线组成的群锚拉索可逐根张拉。

**10.3.2** 拉索可根据布置在结构中的不同形式、不同作用和不同位置采取不同的方式进行张拉。对拉索施加预应力可采用液压千斤顶直接张拉方法,也可采用结构局部下沉或抬高、支座位移等方式对拉索施加预应力,还可沿与索正交的横向牵拉或顶推对拉索施加预应力。

**10.3.3** 预应力索拱结构的拉索张拉应验算张拉过程中结构平面外的稳定性,平面索拱结构宜在单元结构安装到位和单元间联系杆件安装形成具有一定空间刚度的整体结构后,将拉索张拉至设计索力。倒三角形拱截面等空间索拱结构的拉索可在制作拼装台座上直接对索拱结构单元进行张拉。张拉中应监控索拱结构的变形。

**10.3.4** 预应力索桁和索网结构的拉索张拉,应综合考虑边缘支承构件、索力和索结构刚度间的相互影响和相互作用,对承重索和稳定索宜分阶段、分批、分级,对称均匀循环施加张拉力。必要时选择对称区间,在索头处安装拉压传感器,监控循环张拉索的相互影响,并作为调整索力的依据。

**10.3.5** 空间钢网架和网壳结构的拉索张拉,应考虑多索分批张拉相互间的影响。单层网壳和厚度较小的双层网壳拉索张拉时,应注意防止整体或局部网壳失稳。

**10.3.6** 吊挂结构的拉索张拉,应考虑塔、柱、刚架和拱架等支撑结构与被吊挂结构的变形协调和结构变形对索力的影响。必要时应做整体结构分析,决定索的张拉顺序和程序,每根索应施加不同张拉力,并计算结构关键点的变形量,以此作为主要监控对象。

**10.3.7** 其他新结构的拉索张拉,应考虑预应力拉索与新结构共同作用的整体结构有限元分析计算模型,采用模拟索张拉的虚拟拉索张拉技术,进行各种施工阶段和施工荷载条件下的组合工况分析,确定优化的拉索张拉顺序和程序,以及其他张拉控制的技术参数。

**10.3.8** 拉索张拉时应计算各次张拉作业的拉力和伸长量。在张拉中,应建立以索力控制为主或结构变形控制为主的规定。对拉索的张拉,应规定索力和伸长量的允许偏差或结构变形的允许偏差。

**10.3.9** 拉索张拉时可直接用千斤顶与配套校验的压力表监控拉索的张拉力。必要时,另用安装在索头处的拉压传感器或其他测力装置同步监控拉索的张拉力。

**10.3.10** 每根拉索张拉时都应做好详细记录。记录应包括:测量记录、日期、时间和环境温度、索力、拉索伸长和结构变形的测量值。

**10.3.11** 索力调整、位移标高或结构变形的调整应采用整索调整方法。

**10.3.12** 索力、位移调整后,对钢绞线拉索夹片锚具应采取防松措施,使夹片在低应力动载下不松动。对钢丝拉索索端的铸锚连接螺纹、钢棒拉索索端的锚固螺纹应检查螺纹咬合丝扣数量和螺母外侧丝扣长度是否满足设计要求,并应在螺纹上加装防松装置。

## 10.4 防护要求

**10.4.1** 对室外拉索体系应采取可靠的防腐蚀措施和耐老化措施,对室内拉索体系应采取可靠的防火措施和相应的防腐蚀措施。

拉索体系防腐蚀包括索体防腐蚀、锚固区防腐蚀和传力节点防腐蚀。

拉索索体根据所处的使用环境可组合选用下列防腐蚀方式：

- 1 钢丝镀层加整索挤塑护套；
- 2 单根钢绞线镀(涂)层；
- 3 单根钢绞线镀(涂)层加挤塑护套；
- 4 单根钢绞线镀(涂)层加整索高密度聚乙烯护套。

**10.4.2** 锚固区锚头按机械零件标准采用镀层防腐蚀,对可换索锚头应灌注专用防腐蚀油脂防护,锚固区与索体应全长封闭。室外拉索的下锚固区应采取设置排水孔或承压螺母上开设排水槽等排水措施。

**10.4.3** 传力节点按机械零件标准采用镀层防腐蚀或定期涂刷防腐蚀涂料。

**10.4.4** 当拉索体系中外露的塑料护套有耐老化要求时,应在制作时采用双层塑料,内层添加抗老化剂和抗紫外线成分,外层满足建筑色彩要求。

**10.4.5** 当拉索体系中外露的塑料护套有防火要求时,应在塑料护套中添加阻燃材料或外涂满足塑料防火要求的特殊涂料。外露的索体、锚头和传力节点应涂刷防火涂料。

## 10.5 维护和监测

**10.5.1** 对作为结构主承重部件并可能影响到结构安全的拉索,应建立完整的拉索施工记录,加强使用阶段的维护和监测。

**10.5.2** 拉索施工单位,宜在施工完成后将拉索体系使用阶段的维护、监测要求和建议提交给建设单位。在拉索使用一定时间后,宜由拉索施工单位协助进行拉索的安全性检查。

## 11 施工管理

### 11.1 施工方案

11.1.1 预应力专业施工单位应在建设单位主持下会同设计单位、施工单位和监理单位对预应力工程图纸进行会审,了解设计意图和掌握技术要点、难点。

11.1.2 预应力分项工程施工方案应包括下列内容:

- 1 工程概况、施工顺序、工艺流程;
- 2 预应力施工方法,包括预应力筋制作、孔道留设、预应力筋安装、预应力筋张拉、孔道灌浆和封锚等;
- 3 材料采购和检验、机械配备和张拉设备标定;
- 4 施工进度和劳动力安排、材料供应计划;
- 5 有关工序(模板、钢筋、混凝土、水电等)的配合要求;
- 6 施工质量要求和质量保证措施;
- 7 施工安全要求和安全保证措施;
- 8 施工现场管理机构;
- 9 预应力筋竖向坐标和锚固端构造详图。

对重要的预应力施工计算,应列入附录。

11.1.3 预应力分项工程施工方案应由预应力专业施工单位技术负责人审核、施工总包单位审定、监理单位批准后实施。

### 11.2 工序配合要求

11.2.1 多层和高层现浇预应力混凝土楼面结构的施工顺序,应根据平面尺寸、施工速度、气候条件等选用逐层浇筑、逐层张拉、数层浇筑顺向张拉和数层浇筑、逆向张拉方案。采用数层浇筑、顺向张拉时,上层结构的混凝土强度应达到 C15。

**11.2.2** 大面积单层和多层现浇预应力混凝土楼面结构的施工段划分,应根据结构平面布置特点和约束情况、超长预应力筋施工和预应力损失、大面积混凝土施工和收缩变形,以及模板与支架投入量等确定。施工顺序宜从中间施工段开始向两侧拓展,可减少预应力筋张拉时受周围结构的约束。

**11.2.3** 模板安装和拆除的配合应符合下列要求:

1 对现浇预应力结构的支架体系,应制定合理的搭设方案,并进行力学验算;

2 现浇预应力混凝土梁、板底模的起拱高度宜取全跨度的 $0.5\% \sim 1\%$ ;

3 现浇预应力梁的一侧模板应在金属波纹管铺设后安装。梁的端模应在端埋件安装后封闭;

4 现浇预应力梁的侧模宜在预应力筋张拉前拆除。底模支架的拆除应按施工技术方案执行;当无具体要求时应在预应力筋张拉及灌浆强度达到 $15\text{MPa}$ 后拆除。

**11.2.4** 钢筋安装的配合应符合下列要求:

1 柱的竖向钢筋和梁的负弯矩钢筋应严格按预应力梁柱节点构造详图中的位置安装,留出锚垫板的安装空间;

2 普通钢筋安装时应避让预应力筋孔道;当避让不开必须切割受力钢筋时,应征得设计单位同意。梁腰筋间的拉筋应在金属波纹管安装后绑扎;

3 敷设的各种管线不应将无粘结预应力筋的竖向位置抬高或压低。

4 金属波纹管或无粘结预应力筋铺设后,其周围不得进行电焊作业;如有必要,则应采取防护措施。

**11.2.5** 混凝土浇筑的配合应符合下列要求:

1 混凝土浇筑时,应防止振动器触碰金属波纹管、无粘结预应力筋和端埋件等;

2 混凝土浇筑时,不得踏压撞碰无粘结预应力筋、支撑架等;

- 3 张拉端和固定端区域的混凝土必须振捣密实；
- 4 预应力梁板混凝土浇筑时，应多留置 1~2 组混凝土试块，并与梁板同条件养护，在预应力筋张拉前试压；
- 5 施加预应力时临时断开的部位，在预应力筋张拉后，即可浇筑混凝土；
- 6 预应力混凝土楼(屋)面结构后浇带的留置时间应符合设计要求；当设计无具体要求时，应根据后浇带处预应力筋布置和张拉要求，以及混凝土强度和拆模需要等综合确定。

### 11.3 安全措施

- 11.3.1 预应力筋下料时应防止钢绞线弹出伤人，尤其是原包装钢绞线放线时宜用放线架约束，近距离内不得有其他人员。
- 11.3.2 预应力施工时应搭设可靠的操作平台。对原有脚手架应检查是否安全，铺板应牢靠。在悬挑部位进行作业的人员应佩带安全带。
- 11.3.3 预应力筋或拉索安装时，应防止预应力筋或拉索甩出或滑脱伤人。
- 11.3.4 预应力施工作业处的竖向上、下位置严禁其他人员同时作业；必要时应设置安全护栏和安全警示标志。
- 11.3.5 张拉设备使用前，应清洗工具锚夹片，检查齿形有无损坏，保证有足够的夹持力。
- 11.3.6 预应力筋张拉时，其两端正前方严禁站人或穿越，操作人员应位于千斤顶侧面。
- 11.3.7 在油泵和灌浆泵等工作过程中，操作人员不得离开岗位。
- 11.3.8 所有电气设备使用前应进行安全检查，及时更换或消除隐患；意外停电时，应立即关闭电源开关。严防电气设备受潮漏电。
- 11.3.9 电焊时操作人员应戴安全面罩，其他人员不能直视强光。
- 11.3.10 孔道灌浆时应保护操作人员的眼睛和皮肤，避免接触水

泥浆。

**11.3.11** 在电焊、气割等涉及明火的作业时和作业结束后,应采取防火措施。

**11.3.12** 预应力施工人员应遵守建筑工地有关安全生产的规定。

#### **11.4 质量控制**

**11.4.1** 预应力分项工程应严格按工程图纸和施工方案进行施工。因特殊情况需要变更,应经监理单位批准后方可实施。

**11.4.2** 预应力分项工程施工前应由项目技术负责人向有关施工人员技术交底,并在施工过程中检查执行情况。

**11.4.3** 预应力分项工程项目负责人、施工人员和技工,应持证上岗。

**11.4.4** 预应力分项工程施工应遵循本规程的规定,并具有健全的质量管理体系、施工质量控制和质量检验制度。

**11.4.5** 预应力分项工程施工质量应由施工班组自检、施工单位质量检查员抽查及监理工程师监控等三级把关;对后张预应力筋的张拉质量,应做到见证记录。

预应力分项工程检验批质量检查记录表见附录 F。

#### **11.5 质量验收**

**11.5.1** 预应力分项工程施工质量验收应按《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 执行。

**11.5.2** 预应力分项工程根据预应力材料类别,可划分为预应力筋、波纹管、水泥等检验批和锚具检验批。原材料的批量划分、质量标准 and 检验方法应符合国家现行有关产品标准和本规程的规定。

**11.5.3** 预应力分项工程根据施工工艺流程,可划分为制作及安装、张拉、灌浆及封锚等三个检验批。每个检验批的范围,可按楼层、结构缝或施工段划分。

**11.5.4** 预应力施工检验批的质量验收,应由监理工程师组织施工单位(含分包单位)项目检查员进行,并按预应力分项工程检验批质量验收统一用表做出记录。

**11.5.5** 检验批合格质量应符合下列规定:

1 主控项目和一般项目的质量经抽样检验合格;

当采用计数检验时,对重要的一般项目(如束形控制点竖向位置偏差)合格点率应达到90%,对主控项目(如张拉伸长值偏差)合格点率应达到95%。

2 具有完整的施工操作依据和质量检查记录。

**11.5.6** 预应力分项工程的验收应由监理工程师组织施工单位(含分包单位)项目技术负责人进行,并按预应力分项工程质量验收统一用表作出记录。对重要工程,设计单位设计人员宜参与验收。

**11.5.7** 预应力分项工程质量验收合格应符合下列规定:

1 分项工程所含的检验批均符合合格质量的规定;

2 分项工程验收资料完整并符合验收要求。

**11.5.8** 预应力分项工程质量验收时应提供下列文件和记录:

1 预应力分项工程的设计变更文件;

2 预应力施工方案及有关变更记录;

3 预应力筋(孔道)竖向坐标、预应力筋锚固端构造等详图;

4 预应力材料(预应力筋、锚具、波纹管、灌浆水泥等)质量证明书;

5 预应力筋和锚具等进场复验报告;

6 张拉设备配套标定报告;

7 预应力筋(孔道)竖向坐标检查记录;

8 预应力筋张拉见证记录;

9 孔道灌浆及封锚记录、水泥浆试块强度试验报告;

10 检验批质量验收记录。

**11.5.9** 对每一检验批的检查数量与检验方法应按现行国家标准《混凝土工程施工质量验收规范》GB 50204 执行。



## 附录 A 常用预应力筋规格和力学性能

### 表 A.0.1 低松弛光圆钢丝和螺旋肋钢丝

公称直径 (mm)	直径允许偏差 (mm)	公称截面积 (mm <sup>2</sup> )	每米参考重量 (g/m)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ (MPa)	最大力下总伸长率 $\delta$ (%)	弯曲次数		应力松弛性能	
							次	弯曲半径 (mm)	初始应力相当于公称抗拉强度的(%)	1000h 应力松弛率(%)
不小于							4	15	60	1.0
5.00	$\pm 0.05$	19.63	154	1670 1770 1860	1470 1560 1640	$L \geq 200\text{mm}$ 3.5	4	15	70	2.5
6.00	$\pm 0.05$	28.27	222	1570 1670	1380 1470		4	15	80	4.5
7.00	$\pm 0.05$	38.48	302	1770	1560		4	20		

注:1 本表摘自国家标准 预应力混凝土用钢丝 GB T5223-2002

2 规定非比例伸长应力  $\sigma_{p0.2}$  值不小于公称抗拉强度  $\sigma_b$  的 88%

3 钢丝弹性模量为  $(2.05 \pm 0.1) \times 10^5$  MPa.

### 表 A.0.2 1×7 低松弛钢绞线

公称直径 (mm)	直径允许偏差 (mm)	公称截面积 (mm <sup>2</sup> )	每米参考重量 (g/m)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	整根钢绞线最大力 $F_{pb}$ (kN)	规定非比例延伸力 $F_{p0.2}$ (kN)	最大力总伸长率 $\delta$ (%)	应力松弛性能	
								初始负荷相当于公称最大力的%	1000h 应力松弛率(%)
不小于									
12.7		98.7	775	1720 1860 1960	170 184 193	153 166 174	$L \geq 500\text{mm}$ 3.5	60	1.0
15.2	+0.40	110	1101	1720 1860 1960	241 260 274	217 234 247		70	2.5
15.7	-0.20	150	1178	1770 1860	266 279	239 251		80	1.5
17.8		191	1500	1720 1860	327 353	294 318			

注:1 本表摘自国家标准 预应力混凝土用钢绞线 GB/T 5224-2003.

2 规定非比例延伸力  $F_{p0.2}$  值不小于整根钢绞线公称最大力  $F_{pb}$  的 90%.

3 钢绞线弹性模量为  $(1.95 \pm 0.1) \times 10^5$  MPa.

表 A.0.3 精轧螺纹钢筋规格和力学性能

公称直径 (mm)	基圆 截面积 (mm <sup>2</sup> )	理论 重量 (kg/m)	级别	屈服点 $\sigma_{e.1}$ (MPa)	抗拉强 度 $\sigma_b$ (MPa)	伸长率 $\delta_5$ (%)	冷弯 90°	应力松弛值 10h
				不小于				不大于
18	254.5	2.11	JL785	785	980	7	$D=7d$	80% $\sigma_{0.1}$ 负荷 1.5%
25	490.5	4.05		JL835	835	1035	7	
28	615.8	5.12	RL540	540	835	10	$D=5d$	
32	804.2	6.66						

注:1 本表摘自首都钢铁公司企业标准 Q/SG53--1999。

2  $D$ -弯心直径; $d$ -钢筋公称直径。

3 RL540级钢筋, $d=32\text{mm}$ 时,冷弯  $D=6d$ 。

4 钢筋弹性模量为 $(1.95\sim 2.05)\times 10^5\text{MPa}$ 。

## 附录 B 金属波纹管 and 塑料波纹管规格

表 B.0.1 圆形金属波纹管规格 (mm)

管内径	40	45	50	55	60	63	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
允许偏差	+0.5											+1.0					
钢带厚	标准型	0.25	0.30														
	增强型	/						0.40			0.50						

注: 波纹高度: 单波 2.5mm, 双波 3.5mm.

表 B.0.2 扁形金属波纹管规格 (mm)

内短轴	长度	19					22			
	允许偏差	+0.5					+1.0			
内长轴	长度	47	60	73	86	32	67	82	98	
	允许偏差	+1.0					+2.0			
钢带厚度		0.3								

表 B.0.3 圆形塑料波纹管规格 (mm)

管内径	50	60	75	90	100	115	130
管外径	63	73	88	106	116	131	146
允许偏差	±1.0			±2.0			
管壁厚	2			2.5			

注: 壁厚偏差 +0.5mm, 不圆度 6%.

表 B.0.4 扁形塑料波纹管规格 (mm)

内短轴	长度	22					
	允许偏差	+0.5					
内长轴	长度	41	55	72	90		
	允许偏差	±1.0					
管壁厚	标准值	2.5		3.0			
	允许偏差	+0.5					

## 附录 C 常用钢绞线夹片锚固体系

### C.0.1 圆形夹片锚固体系(图 C.0.1、表 C.0.1)。

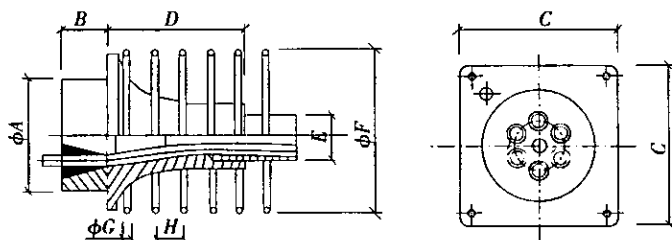


图 C.0.1

表 C.0.1 圆形夹片锚固体系

钢绞线 直径-根数	锚板 $\phi A \times B$	锚垫板 $C \times D$	波纹管内径 $E$	螺旋筋			
				$\phi F$	$\phi G$	$H$	圈数
15-1	$\phi 46 \times 48$	$80 \times 12$	/	70	6	30	4
15-3	$\phi 85 \times 50$	$135 \times 110$	$\phi 45 \sim 50$	140	10	40	4
15-4	$\phi 100 \times 50$	$160 \times 120$	$\phi 50 \sim 55$	160	12	50	4.5
15-5	$\phi 115 \times 50$	$180 \times 130$	$\phi 55 \sim 60$	180	12	50	4.5
15-6,7	$\phi 128 \times 55$	$210 \times 150$	$\phi 65 \sim 70$	210	14	50	5
15-8	$\phi 143 \times 55$	$240 \times 160$	$\phi 70 \sim 75$	230	14	50	5.5
15-9	$\phi 153 \times 60$	$240 \times 170$	$\phi 75 \sim 80$	240	16	50	5.5
15-12	$\phi 168 \times 65$	$270 \times 210$	$\phi 85 \sim 90$	270	16	60	6
15-14	$\phi 185 \times 70$	$285 \times 240$	$\phi 90 \sim 95$	285	18	60	6
15-16	$\phi 200 \times 75$	$300 \times 327$	$\phi 95 \sim 100$	300	18	60	6.5
15-19	$\phi 210 \times 80$	$320 \times 310$	$\phi 100 \sim 110$	320	20	60	7

注:本表数据系综合各锚具厂的产品标准确定,仅供选用时参考;实际使用时应以锚具厂的产品标准为准。

C.0.2 扁形夹片锚固体系(图 C.0.2、表 C.0.2)。

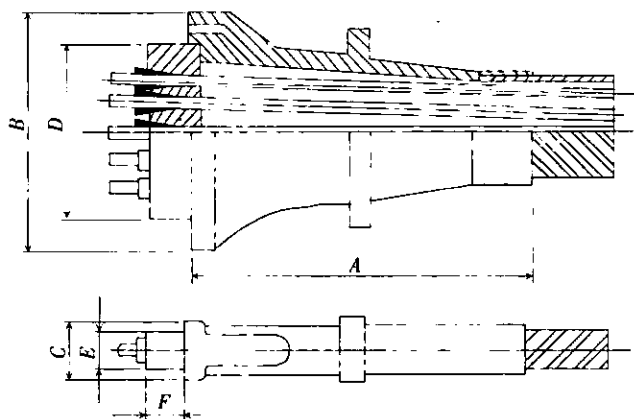


图 C.0.2

表 C.0.2 扁形夹片锚固体系

钢绞线 直径 根数	扁形锚垫板 (mm)			扁形锚板 (mm)		
	A	B	C	D	E	F
15-2	150	160	80	80	18	50
15-3	190	200	90	115	18	50
15-4	230	240	90	150	18	50
15-5	270	280	90	185	18	50

注:本表仅供选用时参考。

## 附录 D 曲线预应力筋坐标方程和长度计算

D. 0. 1 单抛物线形预应力筋坐标方程(图 D. 0. 1):

$$y = Ax^2 \quad (\text{D. 0. 1-1})$$

其中  $A = \frac{4h}{l^2}$  (D. 0. 1-2)

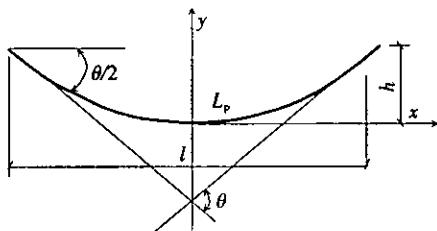


图 D. 0. 1 单抛物线预应力筋

D. 0. 2 抛物线形预应力筋实际长度  $L_p$ :

$$L_p = \left( l + \frac{8h^2}{3l^2} \right) l \quad (\text{D. 0. 2})$$

式中  $l$ ——抛物线的水平投影长度;

$h$ ——抛物线的矢高。

D. 0. 3 抛物线形预应力筋两端切线的夹角  $\theta$ :

$$\theta/2 = \frac{4h}{l} (\text{rad}) \quad (\text{D. 0. 3})$$

D. 0. 4 正反抛物线形预应力筋坐标方程:

预应力筋外形从跨中 C 点至支座 A(B) 点采用两段曲率相反的抛物线, 在反弯点 D(E) 处相接并相切, A(B) 点与 C 点分别为两抛物线的顶点。反弯点求法: 先定出反弯点的位置线至梁端的

距离  $aL$ , 再连接  $A(B)$  点与  $C$  点的直线, 两者交点即为反弯点。  
 图 D. 0. 4 中的抛物线方程为:

$$y = Ax^2 \quad (\text{D. 0. 4})$$

式中  $A = \frac{2h}{(0.5-a)l^2}$  (跨中区段),  $A = \frac{2h}{al^2}$  (梁端区段);

$h$  —— 预应力筋外形最高点  $A(B)$  与最低点  $C$  的垂直距离;

$l$  —— 预应力框架梁的跨度;

$a$  —— 宜取 0.1~0.2。

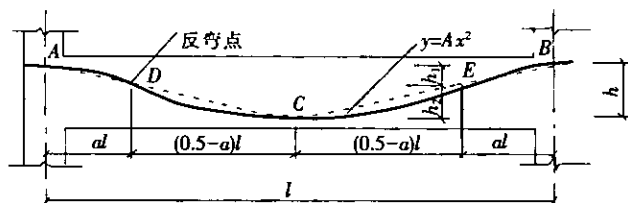


图 D. 0. 4 正反抛物线形预应力筋

## 附录 E 灌浆用水泥浆流动度测试方法

### E.1 流锥法

#### E.1.1 控制指标。

水泥浆流动度是通过测量一定体积的水泥浆从一个标准尺寸的流锥仪中流出的时间确定。水泥浆的流出时间控制在 12~18s (根据水泥性能、气温、孔道曲线长度等因素试验确定),即可满足可灌性要求。

#### E.1.2 测试用具。

1 流锥仪——应符合图 E.1.2 所示尺寸要求;用不锈钢薄板或塑料制成,不得用与水泥起反应的铝材等制作;水泥浆总容积  $1725 \pm 50 \text{cm}^3$ ,漏斗嘴内径 12.7mm。

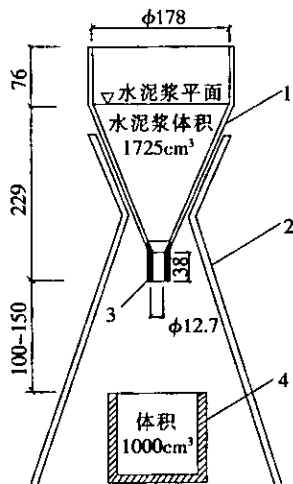


图 E.1.2 流锥仪

1—流锥仪;2—支架;3—漏斗口;4—容量杯



- 2 秒表——最小读数不大于 0.5s。
- 3 铁支架——保持流锥体垂直稳定,锥斗下口与容量杯上口距离 100~150mm。
- 4 容量杯——容积 1000cm<sup>3</sup>。

### E. 1.3 测试方法。

流锥仪安放稳固后,先用湿布湿润流锥内壁,向流锥内注水泥浆,任其流出部分浆体排出空气后,用手指按住出料口,并将容量杯放置在流锥出料口下方,继续向锥体内注浆至规定刻度。打开秒表,同时松开手指;当从出料口连续不断流出水泥浆注满容量杯时停止秒表。秒表指示的时间即为水泥浆流出时间。测量中,如水泥浆流局部中断或完全中断,应重做试验。

### E. 1.4 测试结果。

用流锥仪测定水泥浆流动度,连续做三次试验,取其平均值。

## E. 2 流 淌 法

### E. 2.1 控制指标。

水泥浆流动度是通过测量一定体积的水泥浆从一个标准尺寸的流淌仪提起后,在一定时间内流淌的直径确定。水泥浆的流淌直径控制在 130~180mm,即可满足可灌性要求。

### E. 2.2 测试用具。

1 流淌仪——应符合图 E. 2. 2 所示的尺寸要求,用圆钢制成,水泥浆总容积为 112cm<sup>3</sup>。

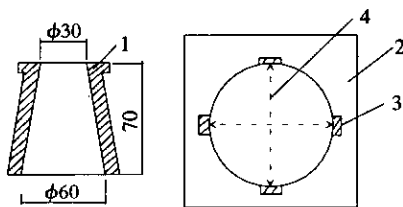


图 E. 2. 2 流淌仪

- 1 流淌仪; 2 玻璃板; 3 挡头; 4 测量直径

- 2 玻璃板——平面尺寸为 250mm×250mm。
- 3 小铁块——水泥浆流淌的挡头。
- 4 直钢尺——长度 250mm, 刻度 1mm。

#### E. 2.3 测试方法。

预先将流淌仪放在玻璃板上, 再将拌好的水泥浆注入流淌仪内, 抹平后双手迅速将流淌仪竖直提起, 在水泥浆自然流淌 30s 后, 量垂直二个方向的流淌直径, 取平均值。

#### E. 2.4 测试结果。

用流淌仪测定水泥浆流动度, 连续做三次试验, 取其平均值。

## 附录 F 预应力分项工程检验批质量检查记录

**表 F.0.1 预应力筋制作及安装检验批质量检查记录**

工程名称		检查部位	日期	
检查项目		质量要求	检查结果	整改结果
主控项目	1	预应力筋品种、级别、规格和数量	必须符合设计要求	
	2	锚固区局部加强构造	必须符合施工详图要求	
	3	预应力筋有无损伤	严禁电火花和接地电流损伤预应力筋	
一般项目	1	预应力筋下料	①应采用砂轮锯或切断机切断； ②钢丝等长下料长度 $l$ 的最大偏差 $\leq l/5000$	
	2	固定端锚具制作	①钢绞线外露端应露出挤压锚具 $1\sim 5\text{mm}$ ； ②钢绞线压花锚具的梨形头尺寸应符合设计值，表面不得有污物； ③钢丝墩头尺寸不应小于设计值	
	3	预应力筋孔道留设	①金属（塑料）波纹管规格和支托间距应符合施工详图要求； ②波纹管应定位牢固，接头密封，管壁完好； ③灌浆、排气（兼泌水管）的埋设位置应正确，并可靠固定	
	4	无粘结预应力筋铺设	线形顺直，定位牢固，护套完好	
	5	预应力筋束形（孔道）控制	束形（孔道）控制点的竖向位置允许偏差：截面高度 $h \leq 300\text{mm}$ 时 $\pm 5\text{mm}$ ， $h \leq 1500\text{mm}$ 时 $\pm 10\text{mm}$ ， $h > 1500\text{mm}$ 时 $\pm 15\text{mm}$ ；其合格率应达到 90%	
	6	锚固区埋件安装	①端部锚垫板应垂直于束形（孔道）中心线； ②内埋式固定端锚垫板不应重叠，锚具与锚垫板应贴紧； ③螺旋筋或钢筋网片应居中放置	

附：预应力筋束形（孔道）竖向坐标检查记录表（见 11.4.5 条文说明）

预应力施工分包单位：\_\_\_\_\_ 检查员：\_\_\_\_\_ 复查员：\_\_\_\_\_ 审核：\_\_\_\_\_

表 F.0.2 预应力筋张拉检验批质量检查记录

工程名称		检查部位	日期	
检查项目		质量要求	检查结果	整改结果
主控项目	1	混凝土强度和龄期	张拉前混凝土强度和龄期应满足设计和施工方案要求	
	2	预应力筋张拉力	张拉力应符合设计要求,如施工超张拉,张拉力不应超过 $0.8f_{ptk}$	
	3	预应力筋张拉顺序和张拉方法	张拉顺序、张束或单根张拉方式、一端或两端张拉方法等应符合设计和施工方案要求	
	4	预应力筋张拉伸长值	预应力筋张拉伸长计算值与实际值的相对允许偏差为 $\pm 6\%$ ,合格点率应达到 $95\%$ ,且最大偏差不应超过 $\pm 10\%$	
	5	预应力筋断裂或滑脱	预应力筋张拉时断裂或滑脱数量,严禁超过同一截面预应力筋总根数的 $3\%$	
一般项目	1	预应力筋锚固时内缩值	预应力筋锚固时内缩值,除设计另有要求外,应符合下列规定:对支承式锚具,螺母 $1mm$ ,垫板 $1mm$ ;对楔紧式锚具,顶压 $5mm$ ,无顶压 $6\sim 8mm$	
	2	预应力筋锚固后夹片状态	预应力筋锚固后,夹片顶面宜平齐,夹片错位不宜大于 $2mm$ ,且不应大于 $4mm$	

附:预应力筋张拉记录表(见 11.4.5 条文说明)

预应力施工分包单位: \_\_\_\_\_ 检查员: \_\_\_\_\_ 复查员: \_\_\_\_\_ 审核: \_\_\_\_\_

表 F.0.3 预应力筋孔道灌浆及封锚检验批检查记录

工程名称		检查部位	日期	
检查项目		质量要求	检查结果	整改结果
主控项目	1 孔道灌浆密实性	预应力筋孔道内的水泥浆应饱满密实		
	2 无粘结预应力系统密封性	①无粘结预应力筋端头和锚具夹片处应符合密封要求； ②对二类、三类环境，无粘结预应力系统应符合全密封要求		
	3 锚具封闭保护	①外露预应力筋的保护层厚度：对一类环境应 $\geq 20\text{mm}$ ；对二类和三类易受腐蚀的环境应 $\geq 50\text{mm}$ ； ②凸出式锚固端锚具的保护层应 $\geq 50\text{mm}$		
一般项目	1 预应力筋端头切割	①切割方法不得损伤预应力筋； ②切割后的预应力筋保留长度不宜小于其直径的 1.5 倍，且不应小于 25mm		
	2 灌浆用水泥浆水灰比	灌浆用水泥浆的水灰比不应大于 0.42，搅拌后 3h 泌水率不宜大于 2%，且不应大于 3%		
	3 水泥浆试块强度	灌浆用水泥浆标准养护 28d 的抗压强度不应小于 30MPa		
	4 封锚混凝土	封锚混凝土应密实，周边无裂纹		

附：预应力筋孔道灌浆记录表（见 11.4.5 条文说明）

预应力施工分包单位：\_\_\_\_\_ 检查员：\_\_\_\_\_ 复查员：\_\_\_\_\_ 审核：\_\_\_\_\_

## 本规程用词说明

1 为便于执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

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:

正面词采用“可”;

反面词采用“不可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准执行时,写法为“可参照……执行”。

中国工程建设标准化协会标准

建筑工程预应力施工规程

CECS 180 : 2005

条文说明

# 目 次

1 总 则 .....	(79)
2 术 语 .....	(80)
3 材 料 .....	(81)
3.1 预应力筋 .....	(81)
3.2 涂层预应力筋 .....	(81)
3.3 锚具、夹具和连接器 .....	(82)
3.4 制孔用管材 .....	(84)
3.5 灌浆用水泥 .....	(84)
3.6 装运和存放 .....	(85)
4 构造要求 .....	(86)
4.1 先张预应力 .....	(86)
4.2 后张有粘结预应力 .....	(86)
4.3 后张无粘结预应力 .....	(88)
4.4 钢筋构造措施 .....	(89)
4.5 减少约束力措施 .....	(90)
4.6 钢结构预应力 .....	(90)
5 施工计算 .....	(92)
5.1 预应力筋下料长度 .....	(92)
5.2 预应力筋张拉力 .....	(92)
5.3 预应力损失 .....	(92)
5.5 预应力筋张拉伸长值 .....	(94)
6 制作及安装 .....	(97)
6.1 预应力筋制作 .....	(97)
6.2 预应力筋孔道留设 .....	(97)
6.3 预应力筋安装 .....	(98)



6.4	无粘结预应力筋铺设 .....	(99)
6.5	质量要求 .....	(100)
7	张拉及放张 .....	(101)
7.1	准备工作 .....	(101)
7.2	预应力筋张拉 .....	(102)
7.3	预应力筋放张 .....	(103)
7.4	质量要求 .....	(103)
8	灌浆及封锚 .....	(105)
8.1	准备工作 .....	(105)
8.2	制浆要求 .....	(105)
8.3	灌浆工艺 .....	(105)
8.4	真空辅助灌浆 .....	(106)
8.5	锚具封闭保护 .....	(106)
8.6	质量要求 .....	(106)
9	体外预应力施工 .....	(109)
9.1	束的布置 .....	(109)
9.2	体系构成 .....	(109)
9.3	构造要求 .....	(110)
9.4	施工和防护 .....	(110)
10	拉索预应力施工 .....	(112)
10.1	体系构造 .....	(112)
10.2	制作及安装 .....	(113)
10.3	张拉和索力调整 .....	(114)
10.4	防护要求 .....	(114)
10.5	维护和监测 .....	(115)
11	施工管理 .....	(116)
11.1	施工方案 .....	(116)
11.2	工序配合要求 .....	(116)
11.3	安全措施 .....	(117)

11.4	质量控制 .....	(117)
11.5	质量验收 .....	(118)

# 1 总 则

**1.0.1** 我国原有建筑工程各分部工程的施工及验收规范修订后,取消了有关施工的内容,统一改名为各分部工程施工质量验收规范,已于2002年颁布实施。预应力分项工程施工的专业性较强、技术含量较高、施工工艺较复杂,需要有一本施工规程来规范预应力施工作业,提高预应力施工质量,推动预应力技术的发展。

**1.0.2** 现代预应力技术在混凝土结构工程中的应用,起步较早,具有丰富的工程实践经验;在现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 以及《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 中都有相应条文。近几年来,我国大跨度公共建筑兴建较多,现代预应力技术与钢结构相结合,创造出多种空间钢结构新体系和新工艺,但还未列入有关规范条文。

根据上述情况,本规程的内容偏重于混凝土结构工程预应力施工,并列入钢结构工程预应力施工。在本规程的章节划分上,主要参考国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 -2002 的编排,并增加了构造要求、施工计算、体外预应力施工和拉索预应力施工、施工管理等章。

**1.0.3** 预应力分项工程的质量对结构的安全起着举足轻重的作用。具有预应力专项资质的施工单位长期承担预应力施工,具有丰富的施工实践经验,同时也具备一定的结构设计能力,是保证预应力工程质量的首要条件。

预应力工程专业承包资质分为二级和三级。二级企业可承担各类预应力工程施工;三级企业可承担单项合同额不超过企业注册资金5倍且跨度在30m以内、连续跨度总长度100m以内的预应力工程施工。

## 2 术 语

本规程的术语是从建筑工程预应力施工的角度赋予其涵义。同时,还给出了相应的推荐性英文术语,英文术语不一定是国际通用的标准术语,仅供参考。

## 3 材 料

### 3.1 预 应 力 筋

3.1.1、3.1.2 本规程推荐采用钢绞线,因为钢绞线强度高、柔性好、与混凝土握裹性能好。同时为适应不同施工工艺和经济性要求,也列入钢丝、高强钢筋和钢棒等品种,以供选用。

预应力筋的产品标准大部分已达到国外同类产品标准的水平。如预应力混凝土用钢丝和钢绞线的现行国家标准,等效采用了ISO同类产品标准。

3.1.3 预应力筋的代换,应不降低预应力构件的承载力和抗裂性能,同时应满足预应力筋布置和锚固区局部受压承载力的要求。

3.1.5~3.1.8 这些条文系依据产品标准和《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204-2002)编写。预应力筋的进场验收分为产品规格与数量验收、外观检查及抽样试验三部分内容。前二项为施工单位自检项目。抽样试验则由施工单位取样经监理单位见证后送交具有检测试验资质的单位进行材质检验。

对同批预应力筋分数次送到一个施工现场或不同施工现场的情况,如有可靠证据证明是同批材料,则不必再做试验。

### 3.2 涂 层 预 应 力 筋

3.2.1、3.2.2 涂层预应力筋是在裸露的预应力筋表面上涂(镀)一层防腐蚀材料或无粘结材料制成。近几年来,这类新材料有较大的发展。

镀锌钢丝和镀锌钢绞线是从桥梁工程需要发展起来的,逐步推广到建筑工程中的体外索和拉索等。无粘结预应力筋是从无粘结预应力混凝土结构需要发展起来的,也可应用到体外索、拉

索等。

环氧涂层钢绞线是通过环氧喷涂使每根钢丝周围形成一层环氧保护膜制成,是一种新型防腐蚀钢绞线,对各种腐蚀环境具有高耐腐蚀性。该产品从国外引进后,已编制企业标准,批量生产,推广应用。

缓粘结钢绞线是用缓慢凝固的特种树脂涂料涂敷在钢绞线上,并外包压波的塑料护套制成。这种新型涂层钢绞线张拉时是无粘结预应力筋,固化后成为有粘结预应力筋,具有较大的发展前景。该产品在日本等国已有成熟的使用经验,国内正在试制和试用。

3.2.3 原行业标准《钢绞线、钢丝束无粘结预应力筋》修订时,取消了无粘结预应力钢丝束,改名为《无粘结预应力钢绞线》JG 161。在该标准中加强了原材料的检验,规定了护套材料应采用高密度聚乙烯,并修改了护套厚度,对一、二类环境统一取1.0mm。

3.2.4、3.2.5 涂层预应力筋的质量证明书中,除附有预应力筋的试验数据外,应附有涂层和护套的检验数据。进场验收时,涂层和护套的检验可在监理工程师见证下由施工单位自检。

### 3.3 锚具、夹具和连接器

3.3.1、3.3.2 预应力钢绞线张拉端优先选用夹片锚具;内埋式固定端宜选用挤压锚具,对有粘结预应力钢绞线也可选用压花锚具。

随着预应力拉索的发展,钢丝束铸锚体系得到广泛应用。单根钢绞线压接锚具的端部具有螺纹,张拉方便,锚固损失小,在小型拉索中采用较多。

适用于高强度预应力筋用锚具,也可适用于低强度预应力筋;仅适用于低强度预应力筋用锚具,不得用于高强度预应力筋。

由于不同厂家生产的锚具外形相似,但夹片的锥度、选型有细微差别,配套性强,因此不同厂家生产的锚具部件不得组装使用,

以免影响锚固效果。

**3.3.3** 预应力筋用锚具已不分为Ⅰ类和Ⅱ类；本规程用锚具均相当于原《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204 -92 中的Ⅰ类。其中， $\eta_p$  的含义与原规范中的  $\eta_p$  不同。原规范的  $\eta_p$  是指成束预应力筋中各根预应力钢材因材性差异引起的效率系数，该系数在国际预应力协会 FIP《后张预应力体系验收建议》(1993 年版)中已取消。本规程的  $\eta_p$  是指成束预应力筋中各根预应力筋因拉力不均匀性引起的效率系数，该系数在《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 2000 中规定：预应力筋为 1~5 根钢绞线时， $\eta_p = 1$ ；6~12 根时为  $\eta_p = 0.99$ ；13~19 根时  $\eta_p = 0.98$ ；20 根以上时  $\eta_p = 0.97$ 。与 FIP《建议》(1993)比较，对 1~5 根钢绞线束  $\eta_p$  相同；对超过 5 根钢绞线束，由于  $\eta_p < 1$ ，按(3.3.3 1)公式计算结果  $\eta_p$  增大，也就是说比 FIP《建议》(1993)  $\eta_p \geq 0.95$  锚固性能略有降低。关于极限总应变  $\epsilon_{pu} \geq 2.0\%$ ，与 FIP《建议》(1993)一致。

**3.3.4** 对于主要承受较大动荷载的预应力混凝土结构，要求所选锚具能承受的应力幅度可适当增加，具体数值可由工程设计单位根据需要确定。

**3.3.11** 本条根据《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 2002 编写。对常用锚具夹片的硬度检查从 5%修改为 2%，且不应少于 3 套。预应力筋锚具、组装件静载锚固性能试验用的预应力筋强度等级不宜超过该锚具适用的强度等级的 1.05 倍。

注 2 对锚具用量较少的一般工程，如供货方提供有效的试验报告，可不作静载锚固性能试验。为便于执行，本规程做如下补充规定：

- 1 设计单位无特殊要求的工程可作为一般工程；
- 2 多孔夹片锚具不大于 200 套或钢绞线用量不大于 30t，可界定为锚具用量较少的工程；
- 3 生产厂提供的由专业检测机构测定的静载锚固性能试验

报告,应与供应的锚具为同条件同系列的产品,有效期一年,并以生产厂有严格的质保体系、产品质量稳定为前提;

4 如厂家提供的单孔和多孔夹片锚具的夹片是通用产品,对一般工程可采用单孔锚具静载锚固性能试验考核夹片质量。

5 单孔夹片锚具、新产品锚具等仍按正常规定做静载锚固性能试验;

### 3.4 制孔用管材

3.4.1 金属波纹管是由薄钢带用卷管机经压波后卷成,具有重量轻、刚度好、弯折方便、连接简单、与混凝土粘结好等优点,已普遍使用。塑料波纹管是一种新型管材,具有密封性好、柔韧性好、摩擦损失小、耐疲劳、不导电、可弯成小曲率等优点,有较大的发展前景。

3.4.2、3.4.3 金属波纹管的钢带厚度、波高和咬口质量是关键控制指标。双波纹金属波纹管的弯曲性能优于单波纹金属波纹管。

当使用单位能提供近期采用的相同品牌和型号波纹管的检验报告或有可靠的工程经验时,可不作刚度、抗渗漏性能或密封性能的进场复验。

波纹管经运输、存放可能出现伤痕,变形、锈蚀、污染等,因此使用前应进行外观质量检查。

### 3.5 灌浆用水泥

预应力筋孔道灌浆用水泥的质量是确保孔道灌浆质量的关键。根据国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204—2002 第 6.5.5 条灌浆用水泥浆标准养护 28d 抗压强度不应小于  $30\text{N}/\text{mm}^2$  的规定,选用品质优良的 32.5MPa 普通硅酸盐水泥配制的水泥浆,可满足抗压强度要求。如设计要求水泥浆的抗压强度大于  $30\text{N}/\text{mm}^2$ ,宜选用 42.5MPa 普通硅酸盐水泥。

孔道灌浆所采用水泥和外加剂数量较少的一般工程,如使用



单位提供近期采用的相同品牌和型号的水泥和外加剂的检验报告,也可不做水泥和外加剂性能的进场复验。

### 3.6 装运和存放

本节系根据国内工程经验并参考国际预应力协会有关预应力材料管理资料编写的。

## 4 构造要求

### 4.1 先张预应力

4.1.1 先张法预应力筋的混凝土保护层厚度是根据我国的工程经验和耐久性要求规定的。其值与《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 第9.2.1条纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度一致。

4.1.2 先张法预应力构件中的预应力钢丝采用单根配置有困难时,可采用并筋的配筋形式。根据国内工程实践,预应力钢丝并筋不宜超过3根。并筋的等效直径取与其截面面积相等的圆截面直径,对双并筋为 $\sqrt{2}d$ ,对三并筋为 $\sqrt{3}d$ (其中 $d$ 为单根钢丝直径),取整后近似为 $1.4d$ 及 $1.7d$ 。

对钢绞线因工程经验不多,需并筋时应采取可靠的措施,如加配螺旋筋或采取缓慢放张的预应力工艺等。

4.1.3 先张法预应力筋的净间距,应根据浇筑混凝土、施加预应力和锚固等要求确定。其数据取自《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 第9.6.2条的规定。

4.1.4 在先张法预应力传递长度范围内,局部挤压造成的拉应力容易导致构件端部混凝土出现劈裂裂缝。因此,端部应采取构造措施,以保证自锚端的局部承载力。

4.1.5 对采用先张长线法生产有端肋的预应力肋形板,应采取防止放张预应力筋时端横肋产生裂缝的有效措施;在纵肋与端横肋交接处配置构造钢筋或在端肋内侧面与板面交接处做出一定的坡度或做成大圆弧;也可采用活动端模或活动胎模。

### 4.2 后张有粘结预应力

4.2.1 后张法有粘结预应力筋孔道的内径,应根据预应力筋根

数、曲线孔道形状、穿筋难易程度等确定。对预应力钢丝束或钢绞线束,其孔道截面积与预应力筋的净面积比值调整为 3.5~4.0 倍,直线孔道取小值。为使穿筋方便,多跨曲线孔道内径可适当放大。

4.2.2 根据我国大量工程实践经验并结合理论分析,提出了后张预应力筋孔道的净间距和保护层最小厚度。在框架梁中,为了便于插入式振动器操作,预应力筋孔道的水平净间距不宜小于孔道外径的 1.5 倍。当钢绞线束大于  $7\phi 15.2$  时,混凝土保护层厚度应适当加大。

对部分预应力混凝土构件,还应注意将预应力筋配置在非预应力筋之内侧,用非预应力筋来分散裂缝和减小裂缝宽度。

4.2.3 预应力筋孔道的灌浆孔设置原则:从下向上、从中间向两边压浆,每条孔道至少有二个灌浆孔。钢绞线束伸出锚具时可作为排气与排水口,这是由于钢绞线外部钢丝和中部钢丝之间有空隙,钢绞线束成了一个排水系统。模压钢绞线没有空隙,不能用于排气与排水。

4.2.4 曲线预应力筋的曲率半径不宜小于 4m,是根据工程经验规定的。

4.2.5 预应力筋张拉端采取凸出式做法,节点构造简单,但凸头影响美观,需做装饰处理;采取凹入式做法,节点较复杂,凹槽用细石混凝土封堵后可与柱面或梁端平齐。当梁柱端节点的钢筋稠密、柱的截面尺寸较小时,张拉端不宜采用凹入式做法。

4.2.6 预应力筋张拉端锚具的布置直接影响到锚固区局部受压承载力,应予以重视。当厂家提供的锚垫板与螺旋筋的适用条件与实际工程不符合时,应进行局部受压承载力验算。

在配筋稠密的梁柱节点处,如该节点原配筋已能起到钢筋网片或螺旋筋的等效作用,则可少配或不配钢筋网片或螺旋筋,以利于该节点处混凝土浇筑密实。

4.2.7 有粘结预应力筋的内埋式固定端可设置在梁柱节点处或

穿过柱节点的梁体内。

内埋式固定端孔道末端应封口,并设置排气兼泌水管。

**4.2.8** 多跨超长预应力筋的连接,采用对接法可节约预应力筋,施工方便,但构件截面需要增大,且分段施工。采用搭接法的节点构造较复杂,预应力筋和锚具用量增多,但可连续施工,因而在一般框架结构施工中采用较多。

### 4.3 后张无粘结预应力

**4.3.1** 本条在参考国内外经验的基础上,确定了不同耐火等级条件下,无粘结预应力筋的混凝土保护层最小厚度。当结构有约束时,其耐火能力可得到改善,故规定中区别了简支和连续两种情况。结构设计人员可根据实际约束条件进行判断,以确保混凝土保护层厚度。

**4.3.2** 无粘结预应力筋间距的限值,对于板中均匀布置的单根无粘结预应力筋,其上限由最小平均预压应力要求控制,下限由最大平均压应力和构造要求控制;对于带状布置的预应力筋,一般控制间距上限。

**4.3.3** 本条是根据国内外工程经验作出规定的。当预应力构件上开洞对结构受力性能有较大影响时,应通过设计计算采取必要的加强措施。

**4.3.5** 梁中集束布置的无粘结预应力筋在张拉端分散为单根布置,锚固可靠,张拉方便。其间距应根据张拉用千斤顶尺寸和局部受压承载力确定。

**4.3.6** 根据国内外长期实践经验和破损检验,在室内正常使用环境下,无粘结预应力筋的耐久性可得到有效保证。无粘结预应力筋的耐久性防护水平应与结构使用环境类别相对应,采取合理措施。

**4.3.7** 无粘结预应力筋固定端采用挤压锚具内埋式做法,在国内工程中应用较为普遍。本条规定了内埋式固定端的布置要求。

## 4.4 钢筋构造措施

4.4.1 在后张预应力混凝土构件的锚固区,锚下混凝土的局部高应力扩散而产生垂直于预应力筋方向的横向拉应力,会引起沿预应力筋孔道纵向开裂。本条的数据摘自《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 第 9.6.9 条的规定。

当锚固区位于梁柱节点时,由于柱的截面尺寸大,一般不会出现上述裂缝。当锚固区位于悬臂梁端或简支梁端且梁的宽度较窄时,应防止沿预应力筋孔道劈裂。

4.4.2 在构件中凸出或凹进部位,混凝土截面急剧变化,施加预应力后在折角部位附近的混凝土中会产生较大的应力,出现斜裂缝。因此,需要在折角部位配置双向附加钢筋。

对内埋式固定端,张拉力压缩其前方的混凝土,而拉开其后方的混凝土,应根据混凝土厚度,有无抵抗拉力的钢筋,确定是否需要配置加强钢筋。

4.4.5 在弯梁中,由于预应力筋张拉时在梁侧产生较大的径向压力,甚至会张预应力筋崩出,因此需要设置  $\phi 12 \sim 16$  的 U 形防崩裂钢筋。

4.4.6、4.4.7 这两种现象在施工中经常遇到,事先应绘出锚固区构造详图,解决锚垫板等埋件与柱的主筋、梁的负弯矩钢筋相碰的矛盾。梁的负弯矩钢筋应优先采用缩进下弯,并标明缩进距离。

矩形柱的主筋向两边移,不影响柱的正截面承载力;如移至第二排,因截面有效高度减小,应进行等效换算。圆柱的主筋沿圆周均匀布置,移动后的截面有效高度会减小,要补插等效的主筋。

4.4.8 为防止与预应力混凝土楼盖结构相连的钢筋混凝土梁板内出现受拉裂缝,预应力筋应伸入相连的钢筋混凝土梁内,分批截断与锚固,相邻一跨梁板内的非预应力筋也应加强。

在现浇混凝土楼板中,梁端张拉力沿  $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$  向板中扩散而产生拉应力;如板的厚度薄,会出现斜裂缝,应在预应力传递的边区格和角区格内加配附加钢筋。

对预应力混凝土大梁端部的短柱,为防止张拉阶段产生剪切裂缝,应沿柱高全程加密箍筋或采用适当的临时减小短柱抗侧移刚度的措施。

#### 4.5 减少约束力措施

本节的条文提供了减少梁板施加预应力和混凝土早期收缩受柱或墙约束的措施。这些措施是从国内外工程经验中总结得出的。在实际工程中结构受约束条件较为复杂,可在设计与施工方案中综合考虑,将约束造成的不利影响限制在允许范围内。

在后张预应力楼板中,如平均预压应力为  $1.0\sim 1.75\text{N}/\text{mm}^2$ ,则一般不会因弹性缩短或徐变而产生很大的尺寸变化,无需考虑减少约束力。然而,当建筑物的尺寸较大或施工缝间距很大,如构造设计不当,会产生较大的约束力。

#### 4.6 钢结构预应力

本节条文系根据平面承重钢桁架体系的预应力构造要求和工程实践经验编写的。

4.6.1 在预应力钢桁架中,预应力筋一般布置在拉杆范围内。如悬臂桁架预应力筋布置在上弦杆,简支桁架预应力筋布置在下弦杆,连续桁架预应力筋布置在跨中下弦杆和支座上弦杆。预应力筋张拉时大部分杆件卸载,但也有少数杆件增载。

4.6.2、4.6.3 为保证弦杆和预应力筋共同工作,每间隔  $40\sim 50$  倍截面最小回转半径的距离,用隔板将预应力筋与弦杆相连。隔板沿接触边与杆肢焊牢,隔板上留设孔洞允许预应力筋套管穿过。

4.6.4、4.6.5 预应力筋锚固节点和转折处节点是桁架的关键节

点。节点的构造和焊缝必须保证安全、可靠地传递拉力,并应考虑预应力筋的合力通过杆件截面重心。

在预应力筋转折处应考虑预应力筋强度的折减和减少摩阻力的措施。

## 5 施工计算

### 5.1 预应力筋下料长度

本节分别列出了三种典型的预应力筋下料长度计算公式。如预应力筋固定端埋设位置、张拉设备、锚具和施工工艺等有变化,则应按实际情况调整算式。

当钢绞线固定端采用内埋式挤压锚具或压花锚具时,其下料长度应算至锚具内埋的位置。

当采用变角张拉装置时,应增加预应力筋的下料长度。

### 5.2 预应力筋张拉力

为了准确建立设计所需的有效预应力值,在预应力筋张拉前,设计单位应提供各项预应力损失计算值。

施工中,如遇到设计中未考虑的预应力损失(如锚口摩阻损失、变角张拉摩阻损失、弹性压缩损失等)或设计中预应力损失(如锚固损失、孔道摩擦损失、预应力筋松弛损失等)取值偏低,则应采取超张拉措施。

如在设计图纸上仅标明有效预应力值,则应由预应力施工单位根据所选用的预应力筋张拉锚固体系和张拉工艺等计算各项预应力损失值,两者叠加即得张拉力。

### 5.3 预应力损失

5.3.1 后张法孔道摩擦损失,采用国内外通用的公式计算。对多种曲率或直线段与曲线段组成的孔道,宜分段计算孔道摩擦损失。

预应力钢丝和钢绞线的摩擦系数 $k$ 值与 $\mu$ 值,主要根据国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002的规定,并参考国内



外工程实测数据,给出了一定的幅度,以便结合实际工程选用。表中增添了预埋塑料波纹管摩擦系数。减少孔道摩擦损失的措施:①提高孔道成型质量;②防止预应力筋表面污染;③增大孔道直径;④涂水溶性润滑剂,但随后应采用水冲掉。

对重要的预应力工程,应在现场用精密压力表或传感器测定实际的孔道摩擦损失。如实测值与计算值相差较大,导致张拉力偏差超过 $\pm 5\%$ ,则应调整预应力筋的张拉力。

**5.3.2 张拉端预应力筋锚固时的内缩值**,系根据我国多年来对各类锚具测试数据和使用经验确定,与工程实际情况比较吻合。对直线预应力短筋,其内缩值对锚固损失的影响较大,应严格控制。有时为了减少张拉端锚下预应力值,可将内缩值适当放大。

直线预应力筋的锚固损失计算公式没有考虑孔道摩擦损失的影响。当孔道摩擦影响系数  $k$  值较大时,应考虑孔道反摩擦的影响,张拉端锚固损失比(5.3.2-1)公式计算值增大,但对跨中处锚固损失的影响较小。在简支构件中,跨中弯矩起控制作用,(5.3.2-1)公式是适用的。

对曲线或折线预应力筋,由于孔道反摩擦的作用,其锚固损失在张拉端最大,沿预应力筋长度逐步减小,直至消失。根据预应力筋在锚固损失影响区段的总变形与预应力筋内缩相协调的原理,列出锚固损失基本公式  $a = \omega/E$  ( $\omega$  为锚固损失影响区段的应力图形面积)。只要记住上述基本公式,不论预应力筋线形如何变化及预应力筋沿长度方向扣除孔道摩擦损失后的应力如何变化,都可以计算锚固损失影响区段的应力图形面积  $\omega$ ,推导出锚固损失的影响长度  $l_i$  公式,再求出锚固损失  $\sigma_n$  值。

为简化曲线预应力筋锚固损失的计算方法,假定①预应力筋沿长度方向扣除孔道摩擦损失后的张拉力指数曲线为直线变化;②正、反摩擦损失的斜率  $m$  相等。实际上,当正、反摩擦系数相等时,反摩擦损失斜率小于正摩擦损失斜率,两者不相等。简化为相等后,其计算值约大  $5\%$ ,偏于安全。

5.3.3 先张法构件的预应力筋同时放张或分批放张产生的弹性压缩值是一致的。采用(5.3.3-1)公式算得的 $\sigma_{13}$ 值对每根预应力筋都相同。

后张法构件的预应力筋同时张拉时,混凝土弹性压缩在锚固前完成,不产生弹性压缩损失。后张法构件的预应力筋分批张拉时,应考虑后批张拉产生的混凝土弹性压缩对先批张拉预应力筋引起的预应力损失。采用(5.3.3-2)公式算得的值是弹性压缩损失平均值,预应力筋张拉力增加值相同,施工方便。也可分批计算弹性压缩损失值分别加在先张拉预应力筋内,使每束预应力筋建立的应力一致;但每束张拉力不同,施工较复杂。

对曲线配筋的后张预应力梁,可近似按轴心受压计算弹性压缩值;当弹性压缩损失值很小时,可忽略不计。

5.3.4 预应力钢丝和钢绞线的应力松弛损失计算公式,是根据国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223—2002 和《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224—2003 中规定的数值综合成统一的公式。当 $\sigma_{con}/f_{ptk} \leq 0.5$ 时,应力松弛损失为零。

5.3.5 混凝土收缩和徐变损失估算值系根据常用现浇后张部分预应力混凝土梁板结构大量工程实例综合分析得出。其精确计算方法详见现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 的有关公式。

## 5.5 预应力筋张拉伸长值

5.5.1 预应力筋张拉伸长值的计算公式系根据预应力筋在弹性阶段的应力与应变成正比确定。从高强度低松弛预应力钢丝和钢绞线的应力应变曲线中可以看出,预应力筋的比例极限(弹性范围)等于或稍高于 $0.8f_{ptk}$ ,施工中张拉控制应力最大值不大于 $0.8f_{ptk}$ , (5.5.1-1)公式的计算结果是准确的。

为了简化张拉伸长值的计算,预应力筋的平均张拉力取张拉端拉力与计算截面扣除孔道摩擦损失后的拉力平均值,其计算误

差不大于 0.5%，对一般工程是许可的。孔道摩擦系数  $k$  与  $\mu$  值是波动的。施工中如遇到孔道弯折较多、孔道直径较小等应增大  $k$  和  $\mu$  值。

预应力筋的弹性模量波动范围为 3%~5%，对计算张拉伸长值的影响较大。根据现行国家标准，对钢丝  $E_s = (2.05 \pm 0.1) \times 10^5$  MPa，对钢绞线  $E_s = (1.95 \pm 0.1) \times 10^5$  MPa，可供参考。预应力钢丝束和钢绞线束使用时存在同束各根长度参差不齐和应力不均匀现象，导致钢丝束和钢绞线束  $E_s$  比单根钢丝和钢绞线  $E_s$  低 2%~3%。对重要的预应力混凝土结构，弹性模量应事先测定。

近年来，在有些工程的特殊部位配有曲率半径小于 3m 的预应力筋。张拉时不但孔道摩擦系数显著增加，而且紧贴孔道的钢绞线与外侧钢绞线的应力相差较大，应力较大的钢绞线会超过钢材的比例极限，(5.5.1-1)公式已不适用。该类结构设计时，张拉控制应力应降至  $0.60 \sim 0.65 f_{pk}$ ，以保证张拉过程中每根预应力筋的应力在比例极限内。

**5.5.2** 对多曲线段或直线段与曲线段组成的预应力筋，张拉伸长值应分段计算较为准确。

(5.5.2)公式计算的总  $\Delta L_s^0$  值，可采用列表法先求出各分段点扣除孔道摩擦损失后的预应力筋应力，再逐段计算  $\Delta L_s^0$  值，或编制软件计算更为方便。

**5.5.3** 预应力筋张拉实际伸长值是以测量数据为基数，增加初拉力以下的推算伸长值，并扣除有关附加伸长得值。为了获得准确的实际伸长值，应注意以下几点：

1 初拉力取值，应使预应力筋绷紧。根据国内工程实际经验，对直线预应力筋宜为张拉力的 5%~10%，对曲线预应力筋宜为张拉力的 15%~20%。

2 初拉力以下的推算伸长值，系根据弹性范围内张拉力与伸长值成正比用算法或图解法确定。对有粘结预应力筋，由于其在孔道内可活动，张拉力与摩擦力成正比，上述推算方法是适用

的。但是,对无粘结预应力筋,张拉时首先要克服较大的摩擦力才能伸长。如仍采用上述方法推算初拉力以下的伸长值,必然偏大,尤其对超长筋更为明显。因此,对无粘结预应力筋,初拉力应取低值,以减少推算伸长值误差。必要时,可测定超长无粘结预应力筋初拉力以下的实际伸长值。

3 扣除有关附加伸长值,包括千斤顶体内的预应力筋伸长值、张拉端工具锚和固定端工作锚楔紧引起的预应力筋内缩值、构件弹性压缩值等。但应注意:①张拉端工作锚楔紧引起的预应力筋内缩值是锚固后发生的,不得扣除;②前卡式千斤顶内工具锚滑移值不得漏扣;③对平均预压应力较小的构件,其弹性压缩值可略去不计。

4 因克服锚口摩擦损失与变角张拉摩擦损失而增加的张拉力,已在张拉端锚口处抵消,不应计算张拉伸长值。

5 钢绞线束采取单根张拉时,其张拉伸长值应取单根张拉伸长值的平均值。

## 6 制作及安装

### 6.1 预应力筋制作

6.1.1 高强预应力钢材属于高碳钢,局部受高温后急冷会使金属变脆易断。制作时应避免焊接或接地电火花损伤预应力筋表面,也不允许周边气割钢材时,高温铁水流淌在预应力筋表面。严禁将预应力筋作为电焊接地线。

6.1.3 钢丝镦头时端面应平整,钢丝应插到镦头器穴模底部,并注意钢丝不能偏入夹片缝隙中,以免夹扁钢丝。

为保证钢丝等长下料,可采用穿入钢管内或放入角钢槽内的限位法下料。也可采用第一次逐根下料,第二次捆扎成束后用砂轮切割机精确等长下料。

6.1.5 各厂家生产的挤压锚具尺寸有微小差异,因此,挤压力也有差异,应采用配套的挤压机挤压。挤压时,挤压套外表面可涂油脂或喷涂二硫化钼润滑剂。挤压锚具与锚垫板宜采用机械式固定方式。

6.1.6 对多根钢绞线梨形头应分排埋置在混凝土内,排距不小于300mm。为提高压花锚四周混凝土和梨形头根部混凝土抗裂强度,在梨形头头部应配置构造筋。

### 6.2 预应力筋孔道留设

6.2.1 波纹管钢筋支托的间距,与预应力筋重量和波纹管自身刚度有关。一般曲线预应力筋的关键点如最高点、最低点和反弯点等应直接点焊钢筋支托,其余点可按等距离布置支托。

波纹管安装后应采用铁丝与钢筋支托绑扎牢靠,必要时点焊压筋,形成井字形钢筋支托,防止波纹管上浮。

6.2.2 金属波纹管宜采用同一厂家生产的产品,以便与接头管波纹匹配。波高应满足规定要求,以免接头管处因波纹扁平而拉脱。扁波纹管的连接处应用多道胶带包缠封闭,以免漏浆。

塑料波纹管在现场应少用接头甚至不用接头,直接整根预埋。必要时可采用塑料热熔焊接或采用专用连接管。

6.2.3 金属波纹管上安装塑料弧形压板时,可先在波纹管上开孔,也可先安装塑料弧形压板,待混凝土浇筑后再凿孔进行灌浆。塑料波纹管可采用专用的防渗漏灌浆嘴。

6.2.5 竖向预应力孔道底部必须安装灌浆和止回浆用的单向阀,钢管接长宜采用丝扣连接。

6.2.6 当采取用空管留孔时,为防止混凝土浇筑过程中波纹管漏浆堵孔,宜采用通孔器通孔;当采取穿筋留孔时,宜拉动预应力筋疏通孔道。对留孔质量严格把关,浇筑混凝土时又得到有效保护,可免除通孔工序。

6.2.7 本条根据钢管桁架中预应力筋孔道采用钢套管成型的工程实践经验编写。

### 6.3 预应力筋安装

6.3.1 当钢筋密集、预应力筋多波曲线易使波纹管变形振瘪时宜采用先穿束法;当工期特别紧,波纹管曲线顺畅不易被振瘪时,可采用后穿束法。

6.3.2 对长度不大于60m、且不多于3跨的多波曲线束,可采用人力单根穿。对于长度大于60m的超长束、多波束、特重束宜采用卷扬机前拉后送分组穿或整束穿。

当超长束需要人力穿束时,可在梁的跨度中间段受力钢筋相对较少的部位设置助力段,利用大一号波纹管移出1.5m的空隙段,便于工人助力穿束;穿束完成后,将移出的波纹管复位。

以上穿束方法,应根据孔道波形、长度与孔径,以及预应力筋表面状态、具体施工条件等灵活应用。对穿束困难的孔道,应当

增大预留孔道直径。

6.3.4 在竖向孔道中,采用整束由下向上牵引方法进行穿束是比较安全的,应优先选用。

6.3.5 孔道内可能有浇筑混凝土时渗进的水或从喇叭管口流入的养护水、雨水等引起预应力筋锈蚀,应根据工程具体情况采取必要的防锈措施。

#### 6.4 无粘结预应力筋铺设

6.4.2、6.4.3 板内控制无粘结筋曲线坐标的统长马凳,通常可用 $\phi 12$ 钢筋制作,避免施工时踩踏变位。

6.4.4 在双向平板中,无粘结预应力筋有两种铺设方法。一种是按编排顺序由下而上铺设,即首先计算交叉点处双向预应力筋的竖向坐标,确定最下方的预应力筋先铺设,依次编排出所有预应力筋的铺设顺序;这种铺设方法不需要交叉穿束,但铺设顺序没有规律,会影响施工进度。另一种是先铺某一方向预应力筋,后铺方向的预应力筋在交叉点如有冲突,从先铺方向预应力筋下方穿过;这种铺设方法在交叉点处存在穿束,但条理清晰,易于掌握,且铺设速度快。

为保证双向板内曲线无粘结预应力筋的矢高,又兼顾防火要求,应对无粘结预应力筋与板底和板面双向钢筋的交叉重叠关系确认后定出合理铺设方式。

6.4.5 在无粘结预应力筋张拉端,如预应力筋与锚垫板不垂直,易发生断丝。张拉端凹入混凝土端面时,采用塑料穴模的效果优于泡沫块或木盒等方法。

6.4.6 无粘结预应力筋埋入混凝土内的固定端通常采用挤压锚。当混凝土截面不大、钢筋较密时,多个挤压锚宜错开锚固,避免重叠放置,影响混凝土浇筑密实。

6.4.7 铺设多根成束无粘结预应力筋时,出现各根之间相互扭绞现象,影响预应力筋的张拉效果。工程实践表明,可采用逐根铺

设,最后合并成束方法。

## 6.5 质量要求

关于预应力筋制作及安装的质量要求,本节归纳为以下几点:

- 1 预应力筋固定端锚具制作质量应可靠;
- 2 预应力筋的规格和数量必须符合设计要求,预应力筋不得受损伤;

3 预应力筋束形(孔道)的曲线坐标应符合设计要求;

注:对预应力筋束形(孔道)控制点的竖向位置允许偏差要求较高,应事先通过节点翻样图确认。在施工过程中如遇实际情况不能满足坐标要求,经设计单位复核认可后方可变更。

4 预应力筋(孔道)位置应固定牢靠,管壁应完好无损,接头应密封良好;

5 无粘结预应力筋铺设应满足线形顺直、定位牢固和护套完好的要求;

6 张拉端和固定端构造应符合施工详图的要求;锚垫板应与预应力筋(孔道)垂直,且不得重叠。



## 7 张拉及放张

### 7.1 准备工作

7.1.1 预应力筋张拉设备和仪表应根据预应力筋种类、锚具类型和张拉力合理选用。张拉设备的正常使用范围宜为 25%~90% 额定张拉力。张拉设备行程一般不受限制,如锚具对重复张拉有限制时,应选用合适行程的张拉设备。

张拉设备在正常情况下使用时,一般与标定状态相同;当油管超长、超高时,应单独标定。油泵用液压油稠度有明显变化时,也应重新标定。

张拉用压力表的直径宜采用 150mm,其精度不应低于 1.6 级。标定张拉设备的试验机或测力计精度不应低于  $\pm 2\%$ 。

千斤顶用于张拉预应力筋时,应标定千斤顶进油的主动工作状态;用于预应力筋固定端测试孔道摩阻或其他显示回程压力时,应标定试验机压千斤顶的被动工作状态。

7.1.2 预应力筋张拉力是由锚固区传递给结构,因此张拉或放张时实体结构应达到设计要求的强度,满足锚固区局部受压承载力的要求。

早龄期施加预应力的构件由于弹性模量低,会产生较大的压缩变形和徐变,因此本规程规定,对后张楼板不宜小于 5d,对后张大梁不宜小于 7d。

7.1.3 锚垫板端面、喇叭管内和预应力筋表面应清理干净,保证张拉和锚固质量,防止出现断丝和滑丝现象。

7.1.4、7.1.5 张拉端锚具安装对中可保证千斤顶安装对中;外露固定端锚具的安装质量直接影响锚固效果。

## 7.2 预应力筋张拉

7.2.1 预应力筋的张拉顺序应使混凝土不产生超应力、构件不扭转与侧弯、结构不变位,因此,对称张拉是一个重要原则。同时,还应考虑到尽量减少张拉设备的移动次数。

当构件截面平行配置的两束预应力筋不同时张拉时,其张拉力相差不应大于设计值的50%,即先将第1束张拉0~50%的力,再将第2束张拉0~100%的力,最后将第1束张拉50%~100%的力。

7.2.2 直线预应力筋应采取一端张拉。曲线预应力筋锚固时由于孔道反向摩擦的影响,张拉端锚固损失最大,沿构件长度逐步减至零。当锚固损失的影响长度 $l_f \geq L/2$ ( $L$ 为构件长度)时,张拉端锚固后预应力筋的应力等于或小于固定端的应力,应采取一端张拉。当 $l_f \leq L/2$ 时,应采取两端张拉,但对简支构件或采取超张拉措施满足固定端拉力后,也可改用一端张拉。

7.2.3 在一般情况下,对同一束预应力筋,应采取整束张拉,使各根预应力筋建立的应力比较均匀。在一些特殊情况下(如张拉千斤顶吨位不足,张拉端局部受压承载力不够,或张拉空间受限制等),对扁锚束、直线束或弯曲角度不大的单波曲线束,可采取单根张拉。

7.2.4 张拉速度宜控制在30MPa/min内。达到最大张拉力后的持荷,对保证张拉力和伸长值的稳定有明显效果。

7.2.5 预应力筋张拉伸长值实测分析,详见第5.5.3条说明,张拉伸长值的允许偏差,由原规范+10%、-5%修改为 $\pm 6\%$ ,与桥梁施工规范一致。

7.2.6 分阶段张拉是指在后张传力梁中,为了平衡各阶段的荷载,采取分阶段施加预应力的方法。分批张拉是指不同束号先后错开张拉的方法。分级张拉是指同一束号按不同程度张拉的方法。分段张拉是指多跨连续梁分段施工时,统长的预应力筋需要

逐段张拉的方法。

变角张拉工艺是指张拉作业受到空间限制,需要在张拉端锚具前安装变角块,使预应力筋改变一定的角度后进行张拉的工艺。经实际测试,变角  $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$  时,应超张拉  $2\%\sim 3\%$ ;变角  $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$  时,应超张拉  $5\%$ ,弥补预应力损失。

**7.2.7 超张拉回松技术**是在多跨曲线预应力筋张拉实践中总结出来的。通过超张拉提高内支座处的应力,随后锚固时增大内缩值,降低张拉端的应力,从而使预应力筋沿梁的长度方向建立的应力比较均匀。

**7.2.8 先张法**由于预应力筋松散,初始长度相差较大,整束张拉时应先预调初应力,使其应力差在  $5\%$  以内。

**7.2.9 钢桁架**比较柔软,宜在桁架及部分支撑安装就位后施加预应力,以免平面外失稳。

### 7.3 预应力筋放张

本节条文是参考原国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204—92 的规定与工程实践经验编写的。

### 7.4 质量要求

关于预应力筋张拉质量要求,本节归纳为下列几点:

- 1 预应力筋张拉时,混凝土强度应符合设计要求,并对混凝土龄期也有一定要求;
- 2 预应力筋的张拉力、张拉或放张顺序及张拉工艺应符合设计和施工方案的要求;
- 3 预应力筋张拉以应力控制为主,伸长校核为辅。张拉伸长值允许偏差为  $\pm 6\%$ ;

注:在国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204—2002 规范中属于主控项目。本规程认为张拉力是主控项目,伸长值校核是辅助的,且计数允许偏差的合格点率不可能达到  $100\%$ 。因此,本规程将张拉伸长值的允许偏差合

格点率定为 95%。

4 预应力筋张拉过程中,应采取措施,防止出现断丝或滑丝现象。

## 8 灌浆及封锚

### 8.1 准备工作

8.1.1 灌浆及封锚能够保护预应力筋和锚具不受侵蚀,并使预应力筋和混凝土构件结合成一体。处于高应力状态的预应力筋易被腐蚀,应尽早进行灌浆。

8.1.3 常用灌浆泵有柱塞式、挤压式、强制式三种。新研制的螺旋强制式灌浆泵适用于超高、远距离灌浆。本条强调灌浆泵应配备压力表,主要是通过压力值掌握灌浆是否处于正常状态。水泥浆应筛滤,出浆孔径不应小于10mm,以确保连续灌浆。

8.1.4 锚具夹片空隙会产生负压力,使水泥浆沿空隙产生回流,因此必须进行封堵。封堵料应有一定强度以抵抗灌浆时的压力。

### 8.2 制浆要求

8.2.1 为了提高孔道灌浆的耐久性,将原规范的最大水灰比0.45修改为0.42。

8.2.2 水泥浆掺入专用高性能外加剂后,其水灰比可降为0.35~0.38,有利于提高灌浆的密实性。

氯盐对预应力筋有腐蚀作用,国内外有关资料均明确规定,不能采用含氯盐的外加剂。

8.2.3 水泥浆的流动度:采用流淌法测定时取130~180mm;采用流锥法测定时取12~18s。工程实践证明,上述数据可以满足灌浆质量和可灌性要求。

### 8.3 灌浆工艺

8.3.1 灌浆顺序的安排应避免相互串孔冒浆现象,条文中提出了

先下后上的原则。

当灌浆不畅通而更换灌浆孔时,应及时将第一次灌入的水泥浆排出,以免孔道内留有空气,影响灌浆质量。如排浆困难,也可采用钻孔补灌等措施。

**8.3.2** 用不掺微膨胀或减水剂的水泥浆灌浆时,为确保孔道密实,可采用下列两种补浆方法:①二次压浆法,二次压浆的间隔时间一般为30~45min,主要用于水平孔道。②重力补浆法,在孔道最高处连续不断地补充水泥浆,直至水泥浆不下沉为止,主要用于曲线孔道。

**8.3.4** 竖向孔道灌浆受重力影响,在底部必须设置阀门,阻止浆水回流。设置高空贮浆筒在一定的压力差下进行重力补浆,方可保证灌浆密实性。

**8.3.5** 多台灌浆泵接力灌浆方法主要用于超长或超高的预应力孔道灌浆,当泵压力不足时也可采用多台灌浆泵接力灌浆。接力灌浆应遵循“从前置灌浆孔灌浆直至后置灌浆孔冒浆,后置灌浆孔方可续灌”的原则,以免空气残留在孔道内。

**8.3.7** 室外最低温度低于+5℃时,孔道灌浆应采取抗冻保温措施,防止浆体冻胀使混凝土沿孔道产生裂缝。抗冻保温措施:采用早强型普通硅酸盐水泥,掺入一定量的防冻剂;水泥浆用温水拌和;灌浆后构件保温等。应使浆体和相邻结构在48h内温度超过5℃。

## 8.4 真空辅助灌浆

本节真空辅助灌浆是在预应力筋孔道的一端采用真空泵抽吸孔道中的空气,使孔道内形成负压0.1MPa的真空度,然后在孔道的另一端采用灌浆泵进行灌浆。真空辅助灌浆技术的优点是:

(1)在真空状态下,孔道内的空气、水分以及混在水泥浆中的气泡被消除,增强了浆体的密实度;

(2)孔道在真空状态下,减小了由于孔道高低弯曲而使浆体自

身形成的压头差,便于浆体充盈整个孔道,尤其是一些异形关键部位;

(3)真空辅助灌浆的过程是一个连续且迅速的过程,缩短了灌浆时间。

真空辅助灌浆是从国外引进的一项新技术,已在我国逐步推广应用。尤其对超长孔道、大曲率孔道、扁管孔道、腐蚀环境的孔道等有明显效果。

**8.4.1** 真空辅助灌浆用真空泵,可选择气泵型真空泵或水循环型真空泵。

**8.4.2** 为保证孔道有良好的密封性,宜采用塑料波纹管留孔。国内近期开发的金属波纹管用于真空辅助灌浆,效果良好。

**8.4.3** 采用真空辅助灌浆工艺时,应重视水泥浆的配合比,可掺入专门研制的孔道灌浆用外加剂,能显著提高浆体的密实度。高速搅浆机有助于水泥颗粒分散,增加浆体的流动度。

**8.4.4** 为达到封锚闭气的要求,可采用专用灌浆罩封闭、增加封锚细石混凝土厚度等闭气措施。

**8.4.5** 孔道内适当的真空度有助于增加浆体的密实性。锚头灌浆罩内应设置排气阀,既可排除少量余气,又可观察锚头浆体的密实性。

## 8.5 锚具封闭保护

**8.5.1** 后张法预应力筋的多余部分,如机械切割有困难,也可采用氧乙炔切割,但必须对锚具采取降温措施,使切割时热影响波及锚具的部位得到有效控制,切割位置不宜距锚具太近。

**8.5.2~8.5.6** 后张预应力筋的锚具布置在构件端部,处于室外受环境影响较大的部位,且锚具又处于高应力状态,封闭保护十分重要。条文中提出了两部分内容:第一是锚具防腐蚀处理要求,第二是锚具封闭处理要求,两者不可分割。同时,对一些特定的结构和特定部位,在施工技术方案中或设计中应作出更为具体的规定。

## 8.6 质量要求

关于灌浆及封锚的质量要求,本节归纳为下列几点:

- 1 孔道内的水泥浆应饱满、密实;
- 2 水泥浆试块的 28d 标准养护强度不应小于 30MPa;

注:也可等效采用 7d 标准养护强度不小于 20MPa。如要求 28d 标准养护强度不小于 40MPa,也可等效采用 7d 标准养护强度不小于 30MPa。

- 3 有粘结预应力封锚混凝土应密实,并应有足够的保护层;
- 4 无粘结预应力封锚:对一类环境,在预应力筋端头和锚具夹片处应达到密封要求;对二、三类环境,预应力筋及其锚固系统应达到全封闭保护状态。



## 9 体外预应力施工

### 9.1 束的布置

9.1.1 由于体外束仅在锚固点和弯折点处与结构相连接,因此在设计时应考虑其线形和相应的预应力效应。

9.1.2 为了使体外束获得较大矢高和预应力效应,在梁的负弯矩区域,体外束应设在中和轴之上,并有合理的偏心距。锚固点应保证传力可靠且张拉施工方便,因此设在梁端或中间支座较为合理。

9.1.3 体外束的布置应与结构受力弯矩包络图相一致,以充分发挥预应力作用,但对多种线型体外束组合应用和设计特殊要求,可不受此限制。

体外束的锚固点与转向块之间或两个转向块之间的自由段长度不宜过长,目的在于避免振动效应与振动磨损。美国和英国等有关规范对此有类似规定。在建筑工程中如振动作用不明显,可适当放宽。

9.1.5 体外预应力束的强度降低与弯折角成正比,与弯折曲率半径成反比,同时受转向块处接触长度的影响。为了避免预应力筋的强度降低而影响结构的可靠性,本条对弯折角和弯折曲率半径给出了限制。

对于多根预应力筋的体外束,为减小各根之间的相互影响造成的预应力筋强度下降,可采用各根预应力筋独立工作的体外预应力体系。

### 9.2 体系构成

9.2.1 体外束体系的选用应综合考虑结构类型、环境腐蚀程度、有无调节索力和换索要求、有无防火要求等因素,宜选择技术可靠

且经济指标合理的体系。

9.2.2~9.2.4 这三条是对体外索预应力筋、外套管、防腐蚀材料的一般要求,各种不同体系均应满足各条相应的要求。

9.2.5 体外束锚固体系的重要性体现在预应力完全由锚固体系来传递,如果锚固作用失效,则预应力效应完全丧失。因此,体外束锚固体系除应严格符合本规程第3.3节的要求外,还应注意防腐蚀保护、防松装置等要求。

### 9.3 构造要求

9.3.1、9.3.2 锚固端和转向块的构造设计应符合传力可靠和变形较小的原则,取体外束的破断荷载作为标准荷载进行相应节点的验算。

9.3.4、9.3.5 这两条是关于体外束用于混凝土结构加固构造设计的几种做法,根据具体结构形式和被加固构件的情况,可合理采用或另行设计。

9.3.6 体外束用于钢结构中,节点设计和构造较为复杂,而且不同的工程有其各自特殊性,本条在总结国内工程经验的基础上,仅提供了一般性做法。

### 9.4 施工和防护

9.4.1 体外束的线型是否准确,取决于锚固区和转向块管道的定位是否准确,因此要求采取可靠的定位措施,保证预埋件位置准确。

9.4.3 体外束外套管安装应连接平滑,符合设计线型和误差要求,目的是保证摩擦力影响最小,且建立准确的预应力值。完全密闭性是进行体外束外套管灌浆施工的要求。

9.4.4 采用体外束加固混凝土结构时,应采取静态开孔设备,避免使用振动较大的冲击钻等设备,必要时可在端块中设置与预应力方向垂直的短筋,以增强抗剪能力。

9.4.5 钢结构体外索的锚固端施工时,节点板的尺寸与角度应准确,焊缝应牢靠,以满足体外索张拉要求。

9.4.6 钢结构中施加体外预应力,应考虑到钢结构对变形比较敏感。对不同体外束在张拉过程中的相互影响、结构内力与最终形状的形成、体外束有效预应力的建立等因素,应通过有效可靠的计算,确定合理的张拉顺序。

9.4.7 体外束的张拉,应严格遵守对称受力原则,以避免构件侧向弯曲或失稳。

9.4.8、9.4.9 体外束的耐久性必须有可靠保证。在结构的设计使用年限内,可以进行必要的维修、重新防护或更换。锚固体系的防护应从构造设计本身给予可靠保证。

体外束的可监测与可换束等特点在设计与使用中应予考虑,但必须对其可行性和结构正常使用的影响有充分考虑,且不应降低体外预应力体系的整体耐久性能。

## 10 拉索预应力施工

### 10.1 体系构造

10.1.1 钢丝铸锚拉索体系应用较广。由单根防腐蚀钢绞线组成的群锚拉索体系安装方便。钢棒拉索是近几年发展起来的,可利用正反牙套筒接长,其主要优点为不易燃、耐久、耐腐蚀。其他新型拉索如碳纤维索等,待研究推广应用到一定程度后再列入。

10.1.3 钢丝拉索因编束及平行扭转需要,应在工厂制作成成品后运至施工现场应用。制作时对索长要求严格。

10.1.4 钢绞线拉索有条件在工厂制作时相对经济性较好。当现场施工条件有限制时,采用单根涂层钢绞线组成的拉索安装比较方便。钢绞线拉索制作时,对索长要求不严,可作调整。涂层钢绞线的做法有镀锌钢绞线、薄环氧涂层钢绞线、厚环氧涂层钢绞线等。

10.1.5 室外用的钢棒采用热浸锌等防腐处理方法,可保证其使用年限。钢棒拉索受制造能力限制,一般 10m 左右设置一个接头。

10.1.6 长度大于 50m 的拉索要考虑风振和雨振的影响。拉索的减振措施可参考桥梁斜拉索的做法,但应考虑屋面防水构造。

10.1.7 应特别重视钢绞线拉索索头固定处的防腐密封处理。

10.1.8 群锚夹片索头张拉时有 5~7mm 的锚具回缩量,影响拉索的预应力值,张拉时应给予补偿。对于拉索使用状态处于  $0.5f_{pk}$  以下低应力群锚夹片索头,应采用低应力防松夹片锚具。铸锚正反扣套筒可调索头,由于施加预应力时对油泵给千斤顶供油加压与旋转套筒的同步要求高,张拉后套筒与螺杆间有一定的间隙预应力损失,一般用于索力较小、对拉索张拉力准确值建立要

求不严的拉索。

10.1.9 对传力要求高的索夹宜采用铸钢索夹。

## 10.2 制作及安装

10.2.1 钢丝拉索的钢丝通常为镀锌钢丝,其强度级别为1570MPa、1670MPa。钢丝拉索的外层热挤塑料防护层分为单层与双层。双层PE套的内层为黑色耐老化的PE层,厚度为3~4mm;外层为根据业主需要确定的彩色PE层,厚度为2~3mm。锚头分为冷铸锚和热铸锚两种,冷铸锚为锚头内灌入环氧钢砂,其加热固化温度低,不影响索头的抗疲劳性能。热铸锚为锚头内灌入锌铜合金,浇铸温度小于480℃,试验表明也不影响其抗疲劳性能。对用于室内有一定防火要求的小规格拉索,建议采用热铸锚。

钢绞线拉索的钢绞线可采用镀锌或环氧涂层钢绞线,其强度等级为1670MPa、1770MPa。由于索结构规范规定索力不超过 $0.5f_{pk}$ ,与普通预应力张拉相比处于低应力使用状态,为防止滑索,故采用带有压板的夹片锚具。

在大型空间钢结构中作剪刀撑或施加大吨位预应力的钢棒拉索,通常采用延性达16%~19%的优质碳素合金钢制作。

10.2.3、10.2.4 拉索在工厂制作后,一般卷盘出厂,卷盘的盘径与运输方式有关。现场组装拉索,特别注意各索股防护涂层的保护,并采取必要的技术措施,保证各索股受力均匀。

采用钢丝拉索时,成品拉索在出厂前应按规定做预张拉等检查,钢绞线拉索主要检查预应力钢材本身的性能以及外包层的质量。

10.2.5 为保证拉索吊装时不使PE护套损伤,可随运输车附带纤维软带。在雨季进行拉索安装时,应注意不损伤索头的密封,以免索头进水。

10.2.8 传力索夹的安装,要考虑拉索张拉后直径变小对索夹夹持力的影响。索夹间固定螺栓一般分为初拧、中拧和终拧三个过

程,也可根据具体使用条件将后两个过程合为一个过程。在拉索张拉前可对索夹螺栓进行初拧,拉索张拉后应对索夹进行中拧,结构承受全部恒载后可对索夹做进一步拧紧检查并终拧。拧紧程度可用扭力扳手控制。

### 10.3 张拉和索力调整

- 。 10.3.1 预制拉索整体张拉能保证质量。对多根钢绞线组成的拉索,应有可靠的监控索力措施,逐根张拉。

10.3.2 对拉索施加预应力的方法与设计的索头形式有关。

10.3.3~10.3.9 最近几年拉索在公共建筑,特别在大跨空间预应力钢结构中得到了应用。经过几年的实践,也积累了一些拉索施工经验。对拉索张拉,不同于一般预应力混凝土梁板结构张拉,由于拉索所拉的结构相对较柔,应注意除了满足拉索的基本张拉力以外,还可能以结构和构件变形控制为主。另外,由于钢结构的分单元、分阶段安装,导致拉索的分阶段张拉。又由于拉索张拉使结构杆件间产生相互影响,更需要整体结构建模计算分析的基础上结合拉索的构造及张拉特点,采用虚拟与现实张拉技术,科学指导空间预应力钢结构中的拉索张拉,并加强张拉过程的监控,必要时调整张拉力。

10.3.11 拉索的张拉需根据结构辅助分析,并结合阶段测试结果作必要的调整。为了解决索力调整,可在索头锚具处设置调节螺栓。

10.3.12 拉索张拉固定后,夹片锚外侧应安装防松压板并压牢。在螺杆的螺母外侧,应有2~3牙外露,必要时在螺母上设止动螺栓。

### 10.4 防护要求

10.4.1 室外拉索的防护要求较严,尤其是索头部位。当有消防要求时,室内拉索必须考虑满足防火的基本要求。室外拉索的防

腐主要考虑防止雨水侵蚀,以及密封材料的老化。各种防腐方式根据使用条件和结构主要性能等因素选用。必要时可考虑换索要求。

**10.4.2、10.4.3** 锚头等零件的防腐蚀可参照钢结构的防腐蚀要求处理,室外索头不宜采用冷镀锌处理。

**10.4.4** 塑料中常掺碳粉以增加抗老化性能。

**10.4.5** 当室内拉索采用塑料护套时,其防火可参照电线电缆的防火涂料做法,并得到消防管理部门的认可。

## **10.5 维护和监测**

**10.5.1、10.5.2** 对于大跨空间结构主承力拉索的维护与监测特别重要,直接涉及主结构使用阶段的安全性,应列入重要的结构安全性检查内容。

## 11 施工管理

### 11.1 施工方案

11.1.1 预应力设计和施工的专业性较强。通过图纸会审,应使施工单位和监理单位在领会设计意图的同时,对施工配合、质量检查和工程验收等方面达成共识。

11.1.2、11.1.3 施工方案的具体内容应针对施工对象和施工条件确定。对常规工程应力求简明;对大型工程应重点突出施工组织;对采用新技术的工程应重点突出施工方法。

预应力专业施工单位按施工图绘制的翻样图和常规计算,不必送设计单位审查。预应力专业施工单位深化设计的预应力筋布置、构造详图和计算书,应经设计单位审核后,方可施工。

### 11.2 工序配合要求

11.2.1 编制多层或高层现浇预应力混凝土结构施工方案时,首先应考虑结构混凝土施工和预应力筋张拉两道工序的顺序关系。本条三种施工顺序是在大量工程实践中总结出来的,实用性强。其中,多层现浇结构由于平面尺寸较大,多数选用“逐层浇筑、逐层张拉”顺序;高层现浇结构由于平面尺寸小、施工速度快,宜选用“数层浇筑、顺向张拉”顺序。

11.2.2 大面积现浇预应力混凝土楼(屋)面施工段划分应根据结构平面形状,并综合考虑模板、混凝土、预应力等施工要求确定。分段施工可减少结构间的约束力。施工顺序宜从中间施工段向四周施工段推进,有利于预应力筋安装与张拉。

11.2.3 预应力梁的跨度大,尤其是转换梁的自重大,如模板支架设计或搭设不合理,会引起倒塌事故和人身伤亡,应特别引起重



视,必要时应编制专项施工方案。模板支架设计应审核,支架搭设应严格监控,以确保施工安全。

部分预应力梁的反拱值,根据大量工程实践统计,下列数据可供参考:对单向梁为4~7mm;对双向井字梁为6~10mm。

预应力混凝土梁的侧模宜在张拉前拆除,以利于预压应力的建立,同时可观察张拉前梁面有无裂缝现象。预应力梁的底模与支架,除经验算在施工方案中另有规定外,应在预应力筋张拉后拆除。

**11.2.4 普通钢筋、预应力筋或预应力筋孔道紧密相关**,一是要解决两者相碰问题,二是要解决合理安装次序问题。原则是,普通钢筋应避让预应力筋,必要时预应力筋也可适当调整。为此,事先应根据设计图纸绘制节点部位普通钢筋与预应力筋排列详图,并在施工中严格执行。

**11.2.5 浇筑混凝土时,预应力专业施工单位应派专人值班**,重点抓住以下三点:①防止预应力筋孔道、无粘结预应力筋和端埋件变位;②防止预应力筋孔道变形和漏浆或无粘结预应力筋护套损坏;③防止张拉端和固定端的锚垫板背面混凝土漏振产生空隙。

### 11.3 安全措施

“安全第一、预防为主”是建筑施工中安全生产的基本方针,必须严格贯彻执行。每一个操作人员应遵循“不伤害自己,不伤害他人,不被他人伤害”的原则,严格遵守施工现场一切安全规定,并积极做好各项安全防治工作。

预应力工程的安全施工,不但要求预应力施工人员严格遵守本节的预应力安全规定,重要的是还应服从总包单位的安全管理。特别是预应力施工时往往会与其他工种形成立体交叉作业,相互间的安全施工应由总包单位进行协调。

### 11.4 质量控制

**11.4.1 按图施工是建筑施工的基本准则**,其中也包括设计单位

签发的设计变更单和经现场监理单位批准的施工方案。监理单位对预应力施工的合理化建议认可后,不应随意变动。

**11.4.3 预应力分项工程施工应实行上岗证制度。**对预应力施工操作人员(如预应力筋制作、安装、张拉、灌浆等人员)的技术要求比较高,其技术素质直接影响到施工的质量和安全。

**11.4.5 对后张法实行见证张拉。**见证张拉是指预应力筋张拉时,监理工程师或建设单位代表在现场监督检查张拉过程是否按施工方案进行,张拉参数是否满足要求等。见证张拉后,见证各方应在张拉记录上签字认可。

对预应力筋束形(孔道)竖向坐标检查记录表、预应力筋张拉记录表、预应力孔道灌浆记录表,本规程没有统一规定,由各单位自行选用。附录 F 所列的预应力分项工程检验批质量检查记录表,是质量控制的基本资料。其检查项目和质量要求与质量验收记录基本一致;检查结果应有数据,并填写合格或存在问题。如需整改,应进行复查。上述附录 F 质量检查记录表主要适用于后张法预应力混凝土结构,对先张法预应力混凝土构件、钢结构等预应力施工检验批的检查项目和质量要求应进行修改和补充。

## 11.5 质量验收

本节是根据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 编写的。对混凝土结构和钢结构预应力施工其验收程序、验收方法和验收表格是一致的,仅在施工质量验收内容方面有差异,需要根据钢结构预应力设计要求另行规定。

预应力施工单位完成每项检验批工作后,应填写报验申请单并附有关检查资料等;经监理工程师组织有关人员验收后,填写统一的检验批质量验收记录表,签字盖章。预应力筋张拉前,预应力施工单位应填写张拉申请单并附混凝土强度试压报告和张拉用千斤顶标定记录,经监理工程师审核后实施。

预应力分项工程质量验收,除所含的检验批全部合格外,应重点强调验收资料完整和准确,以便顺利通过验收。预应力分项工程宜单独验收,也可与主体结构同时验收。