

# 预应力混凝土施工工艺

## 一、为什么要使用预应力混凝土？

混凝土的抗拉极限应变值只有  $0.0001 \sim 0.00015$  mm, 要保证混凝土不开裂, 钢筋的应力只能达到  $20 \sim 30 \text{N/mm}^2$ ; 即使允许出现裂缝的构件, 当裂缝宽度限制在  $0.2 \sim 0.3$  mm时, 钢筋应力也只能达到  $150 \sim 250 \text{N/mm}^2$ , 使高强钢筋的强度无法充分利用。

## 二、预应力混凝土的基本原理？

在构件承受外荷载前, 预先在构件的受拉区对混凝土施加预压应力抵消构件在使用阶段时外荷载作用下产生的拉应力, 这就推迟了混凝土裂缝的出现并限制了裂缝的开展, 从而提高了构件的抗裂度和刚度。

思考: 预压应力怎样施加?

通过张拉预应力筋利用预应力筋的回弹来挤压混凝土, 使混凝土受到预压应力

## 三、预应力混凝土分类

### 1. 张拉钢筋与混凝土浇筑的先后关系 :

先张法: 粘结力传递

后张法: 锚具传递

(按预应力筋粘结状态又分为: 有粘结和无粘结 )

2. 施工方式不同分为:

预制预应力混凝土

现浇预应力混凝土

叠合预应力混凝土

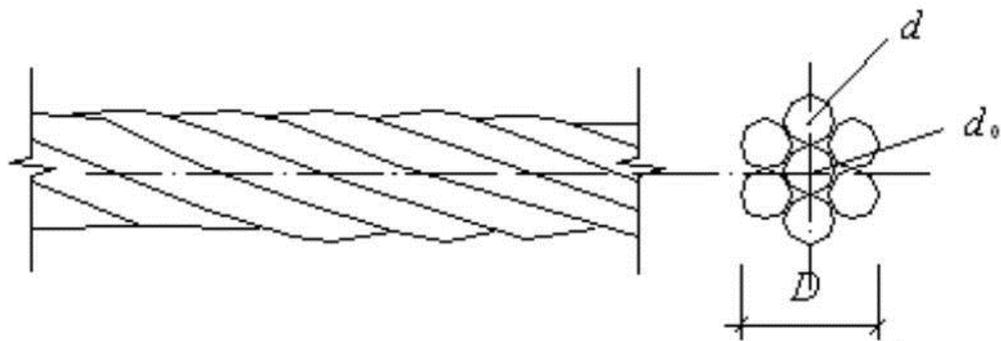
#### 四、 预应力筋与预应力设备

##### 1、 预应力筋

主要种类: 钢绞线、消除应力钢丝和热处理钢筋。

##### 1) 钢绞线

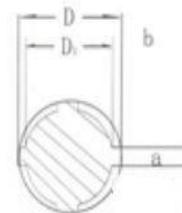
一般由三股、七股  $\Phi 3$ 、 $\Phi 4$  或  $\Phi 5$  的高强钢丝用绞盘拧成螺旋状, 再经低温回火制成。直径  $8.6 \text{ mm} \sim 15.2 \text{ mm}$ ;  $1570$ 、 $1720$  和  $1860 \text{ MPa}$ ; 弹性模量  $1.95 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。





## 2) 消除应力钢丝

采用消除应力的矫直回火钢丝，可消除钢丝冷拔中产生的残余应力，提高钢丝的比例极限、屈服强度和弹性模量，并改善塑性。消除应力钢丝按外形分为光面、刻痕和螺旋肋钢丝。直径 4 mm~9 mm；1570 、 1670 和 1770MPa；弹性模量  $2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$  。



## 3) 热处理钢筋

对某些热轧IV钢筋（如 40Si2Mn、48 Si2Mn、45 Si2Cr 等）经调质处理而形成的高强度无明显流幅的硬钢。利用热轧钢筋的余热进行淬火，然后再中温回火等热处理后形成的。

直径 6 mm、8.2 mm 、10 mm；1470MPa；弹性模量  $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$  。

## 2、预应力设备

### 1) 夹具和锚具

锚具（M）：锚固在构件端部，与构件联成一体共同受力，不再取下的称为锚具。用于后张法。

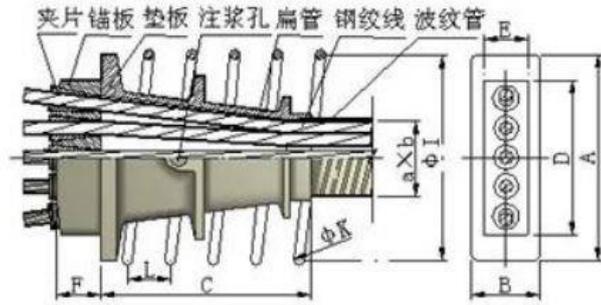
夹具（J）：在张拉钢筋和混凝土成型过程中夹持和临时固定预应力筋，待混凝土达到一定强度后取下并再重复使用的称为夹具。用于先张法。

#### （1）单根粗钢筋锚具

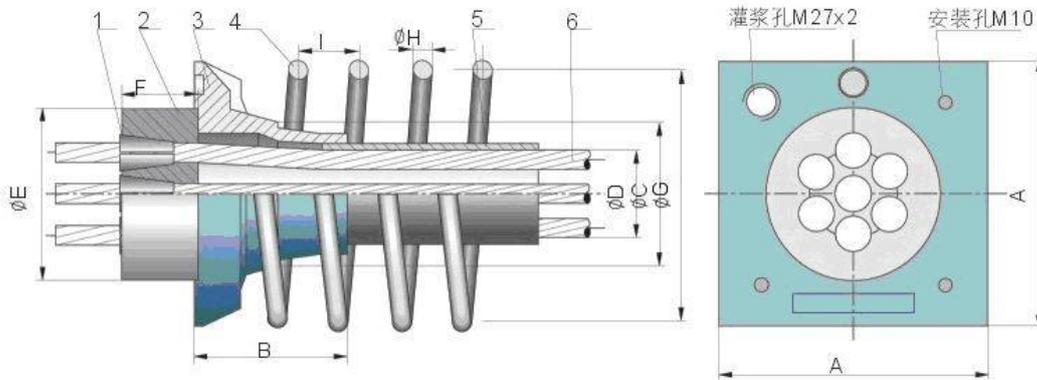
①LM 型螺丝端杆锚具（张拉端和固定端）；固定端：②帮条锚具；③墩头锚具



QM锚具

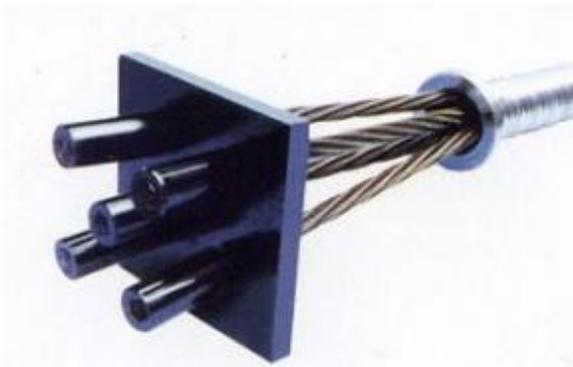
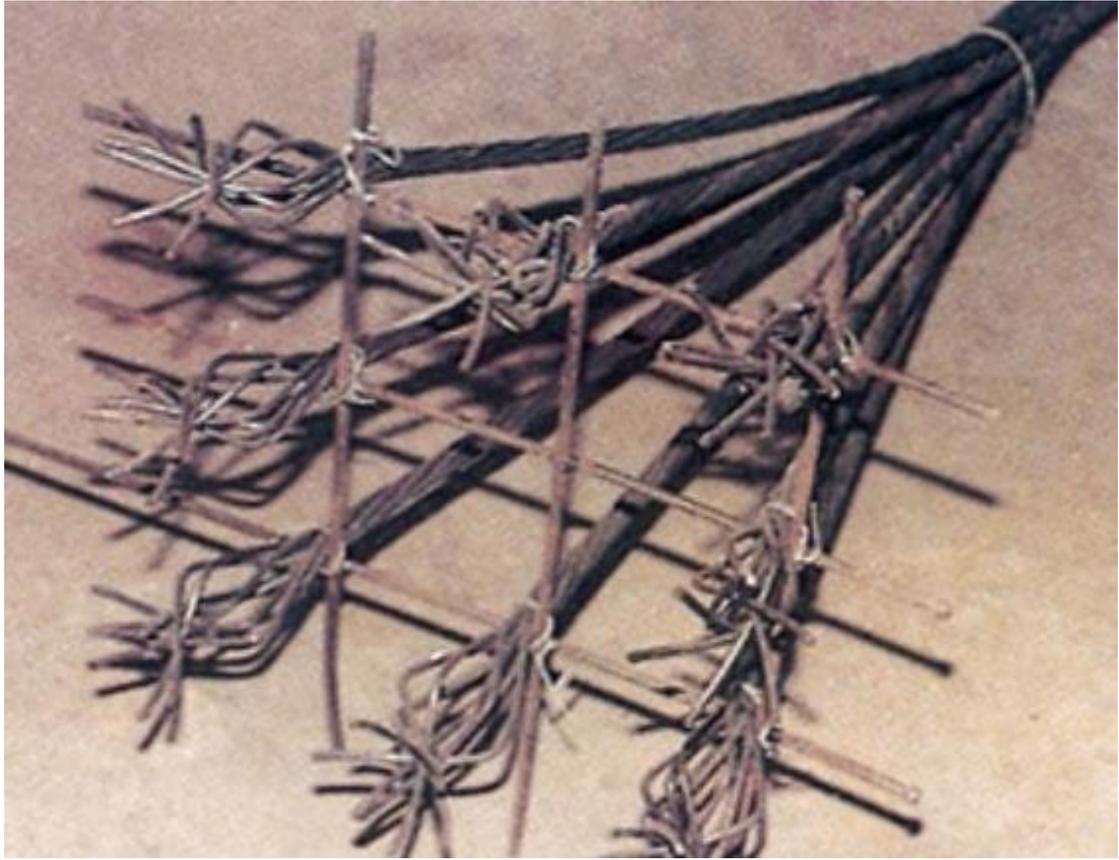


扁锚 (BM)



1、夹片 2、锚板 3、锚垫板 4、螺旋筋 5、波纹管 6、钢绞线

2) 固定端锚具：挤压锚具和压花锚具。其中挤压锚具既可埋在混凝土内，也可安装在结构之外，对有粘结、无粘结钢绞线都适用，应用范围最广。压花锚具仅用于固定端空间较大且具有足够的粘结长度的情况，但成本最低。



### 3) 钢丝束锚具

①钢质锥形锚具； ②锥型螺杆锚具 ； ③墩头锚具

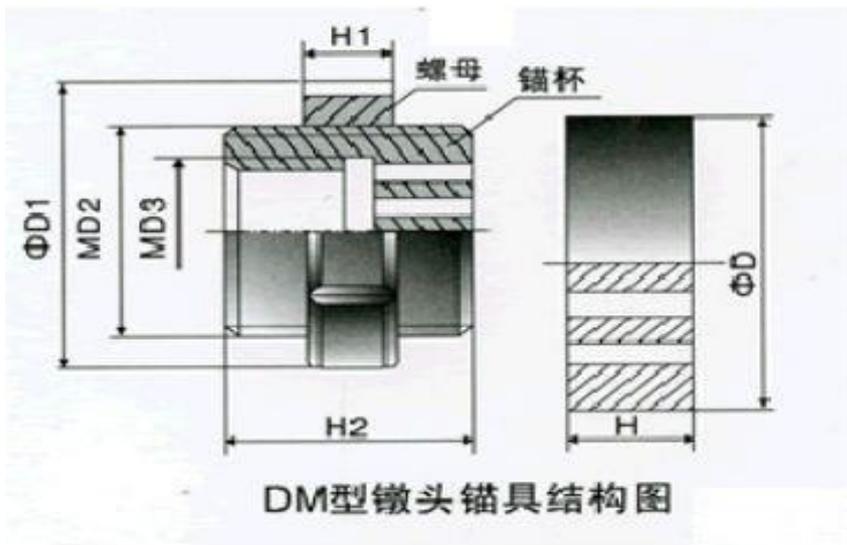


钢质锥形锚具



DM型墩头锚具

DM型墩头锚具



DM型墩头锚具结构图

#### 4) 夹具

①锚固夹具：钢质锥形夹具；墩头夹具

②张拉夹具：月牙夹具、偏心式夹具和楔形夹具

#### 2. 张拉设备

液压张拉千斤顶和电动油泵

穿心式千斤顶：常用 YCW 千斤顶，1000—4000KN；适用于张拉 FVM 夹片群锚、DM 型镦头锚等

拉杆式千斤顶：可张拉 DM 型螺丝端杆锚、JLM 精轧螺纹钢锚具，LZM 冷铸锚等。

锥锚式千斤顶：仅用于带钢质锥形锚具的钢丝束。



拉杆式千斤顶



## 穿心式千斤顶



ZB4-500 型电动油泵

柱塞	直径	mm	φ10	电动机	功率	kW	3
	行程	mm	6.8		转数	r/min	1420
	个数	个	2×3	用油种类		10号或20号机械油	
额定油压		MPa	50	油箱容量		L	42
额定流量		L/min	2×2	外形尺寸		mm	745x494x1052
出油嘴数		个	2	重量		kg	120

## 五、预应力混凝土先张法施工

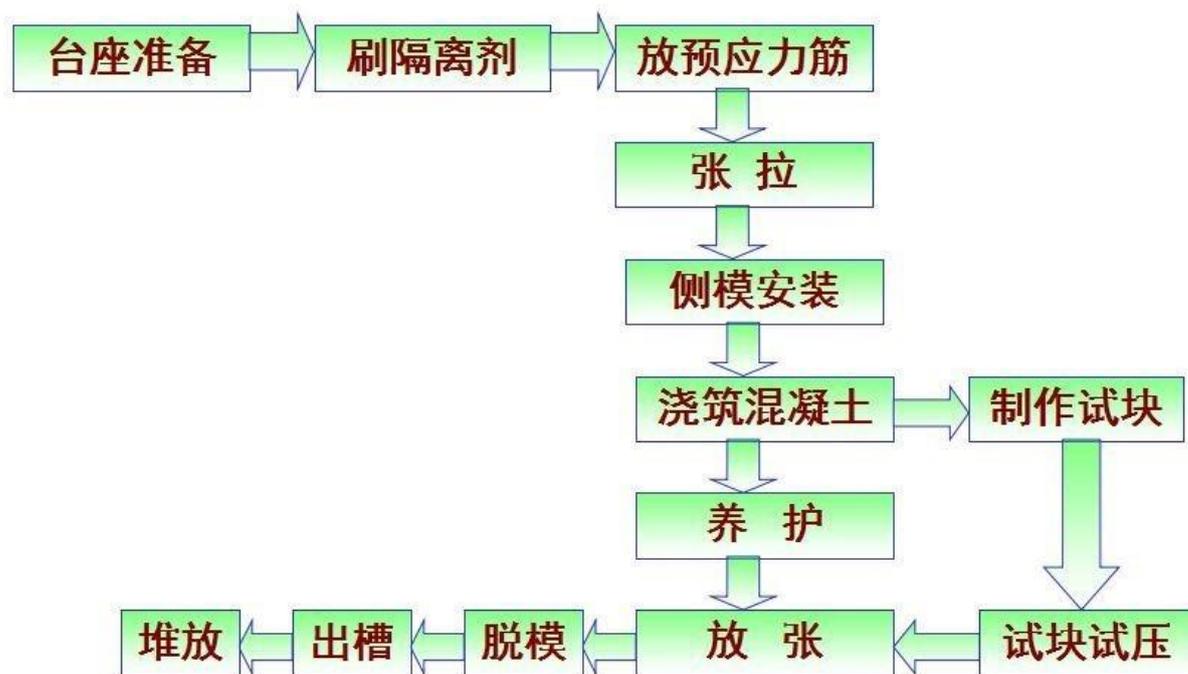
### 1、先张法施工设备一台座

张拉和临时固定预应力筋的支撑结构；强度、刚度和稳定性验算。包括：

墩式台座：台墩、台面与横梁

槽式台座：端柱、传力柱、柱垫、横梁和台面

## 2、先张法施工工艺及施工要点



### 1) 预应力筋铺设

在台面涂隔离剂，不得污染预应力筋。

### 2) 预应力张拉

#### (1) 预应力筋张拉

钢丝： $0 \rightarrow 1.03 \sim 1.05 \sigma_{con}$  锚固

钢绞线： $0 \rightarrow 105\% \sigma_{con}$  (持荷 2min)  $\rightarrow \sigma_{con}$

超张拉：减少预应力筋的松弛应力损失。

## 预应力筋张拉应力的确定

钢 种	张 拉 方 法	
	先 张 法	后 张 法
清除应力钢丝、钢绞线	$0.75f_{ptk}$	$0.75f_{ptk}$
热处理钢筋	$0.70f_{ptk}$	$0.65f_{ptk}$
冷拉钢筋	$0.90f_{pyk}$	$0.85f_{pyk}$

张拉力的计算

$$P_j = \sigma_{con} \bullet A_P$$

(2) 预应力筋伸长值与应力的测定

实际伸长与计算伸长值的偏差不超过±6%

计算伸长值： $\Delta L = P_j \times L / A_p \times E_s$

实际伸长值：10%初应力时开始量测。10%以下推定。

钢丝：不做伸长值校核，只检查预应力值；5%



实际伸长值量测

### (3) 张拉注意事项

- 1) 台座中间向两侧对称进行，防止过大偏心损坏台座；多根成组张拉时，各预应力钢筋的初应力应一致；
- 2) 张拉机具与预应力筋应在一条直线上；每隔 3~4m 放垫块，防止预应力筋因自重而下垂，污染预应力筋。
- 3) 预应力筋位置偏差： $\gt 5\text{mm}$ ，且 $\gt$ 构件截面短边的 4%；
- 4) 在张拉过程中发生断丝或钢丝滑脱，应予以更换。

5) 台座两端应有防护设施。张拉时沿台座长度方向每隔 4~5m 放一个防护架，张拉时严禁正对钢筋张拉的两端站立人员，也不准进入台座，防止断筋回弹伤人。

### 3、混凝土浇筑与养护

低水灰比，控制水泥用量，采用良好的级配及振捣密实。振捣混凝土时，振动器不得碰撞预应力钢筋。采用自然养护和湿热养护。

### 4、预应力筋的放张

1) 放张要求：75%

2) 放张顺序

(1) 对轴心受压构件（如压杆、桩等）所有预应力筋应同时放张。

(2) 对偏心受压构件（如梁等）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) 如不能按上述规定放张时，应分阶段、对称、相互交错的放张，以防止在放张过程中构件发生翘曲、裂纹及预应力筋断裂等现象。

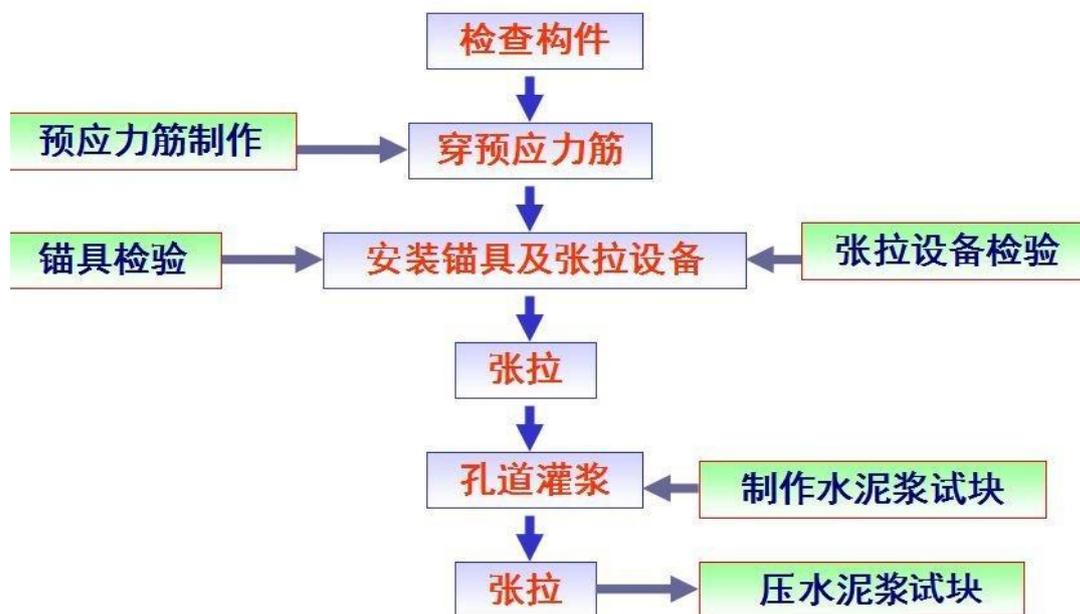
3) 放张方法

配筋不多的中小型构件，钢丝可用砂轮锯或切断机等方法放张。

配筋多的钢筋混凝土构件，钢丝应同时放张，放张的常用方法有：千斤顶放张、砂箱放张、楔块放张、预热熔割、钢丝钳或氧炔焰切割等放张方法

## 六、预应力混凝土后张法施工

### 1、有粘结预应力施工要点

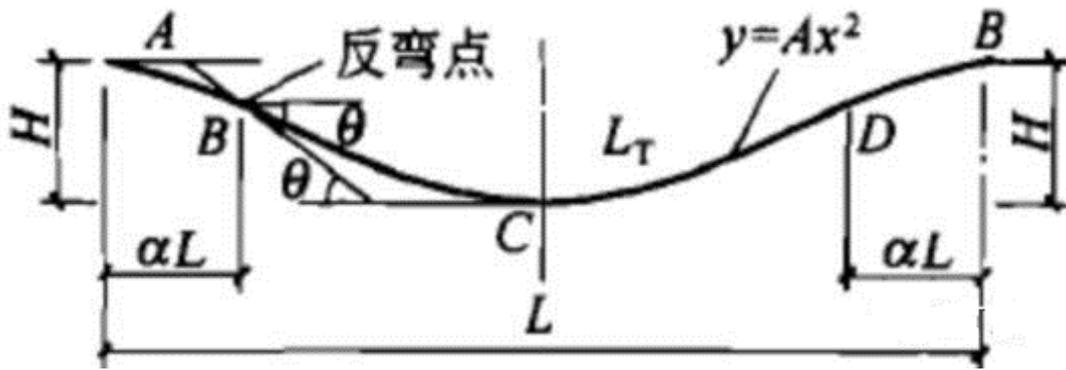


### 1) 预留孔道

#### (1) 线型

预应力筋孔道形状有直线、曲线和折线三种类型。

框架梁：正、反抛物线形布置



$\alpha L$  为  $0.1 \sim 0.2L$

$$y = Ax^2$$

跨中区段  $A = \frac{2H}{(0.5 - \alpha)L^2}$

梁端区段  $A = \frac{2H}{\alpha L^2}$

## (2) 预埋金属螺旋管留孔

连接：大一号同型螺旋管，长度为  $200 \sim 300$  mm，其两端用密封胶带或塑料热缩管封装。

固定：应采用钢筋支托，其间距为  $0.8 \sim 1.2$  m。

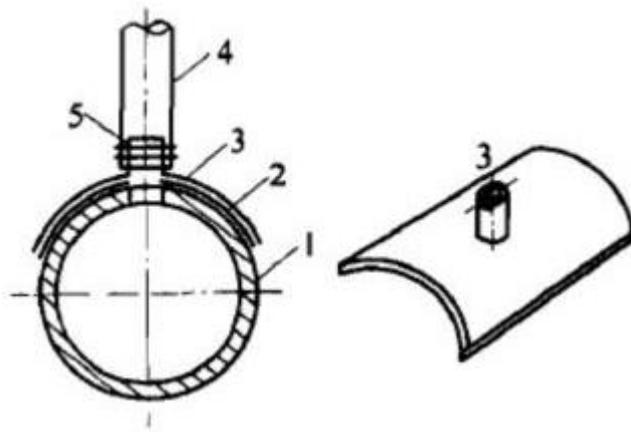


### (3) 灌浆孔、排气孔和泌水管

灌浆孔可设置在锚垫板上或利用灌浆管引至构件外，孔径不宜小于 20 mm。

曲线预应力筋孔道的每个波峰处，应设置泌水管。泌水管伸出梁面的高度不宜小于 0.5m，泌水管也可兼作灌浆孔用。

灌浆孔的作法，在螺旋管上开口，用带嘴的塑料弧形压板与海绵垫片覆盖并用铁丝扎牢，再接增强塑料管。



1—螺旋管；2—海绵垫；3—塑料弧形压板；4—塑料管；5—铁丝扎紧

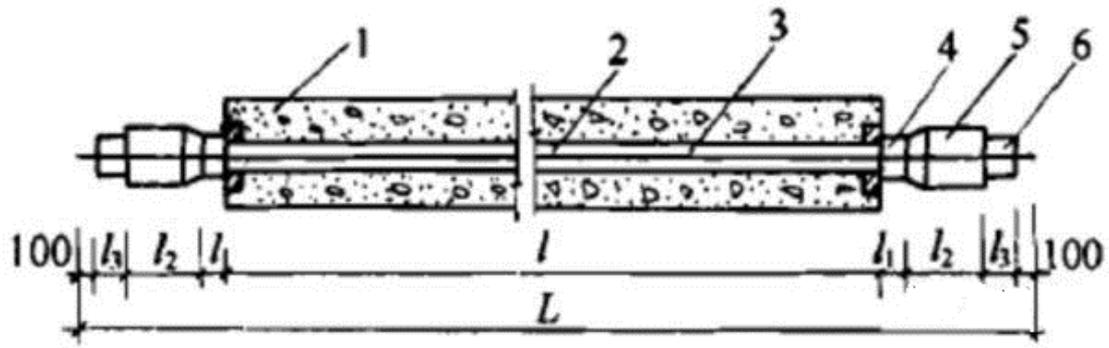
#### (4) 预留孔道质量要求

- 1) 预留孔道的规格、数量、位置和形状应符合设计要求；
- 2) 预留孔道的定位应牢固，浇筑混凝土时不应出现移位和变形；
- 3) 孔道应平顺，端部的预埋锚垫板应垂直于孔道中心线；
- 4) 成孔用管道应密封良好，接头应严密且不得漏浆；
- 5) 在曲线孔道的波峰部位应设置泌水管，灌浆孔与泌水管的孔径应能保证浆液畅通。排气孔不得遗漏或堵塞；

#### 2) 预应力筋制作与穿束

##### (1) 预应力筋制作

钢绞线下料长度：采用夹片锚具，以穿心式千斤顶在构件上张拉时



1 1— 夹片式工作锚厚度；

1 2— 穿心式千斤顶长度；

1 3— 夹片式工具锚厚度。

### 两端张拉

$$L = l + 2(l_1 + l_2 + l_3 + 100)$$

### 一端张拉

$$L = l + 2(l_1 + 100) + l_2 + l_3$$

### (2) 预应力筋穿束

先穿束和后穿束。

一般采用人工穿束；梁的中部留设约 3m 长的穿束助力段

### 3) 预应力筋的张拉与锚固 75%

安装张拉设备时，对直线预应力筋，应使张拉力的作用线与孔道中心线重合；

对曲线预应力筋，应使张拉力的作用线与孔道中心线末端的切线重合。

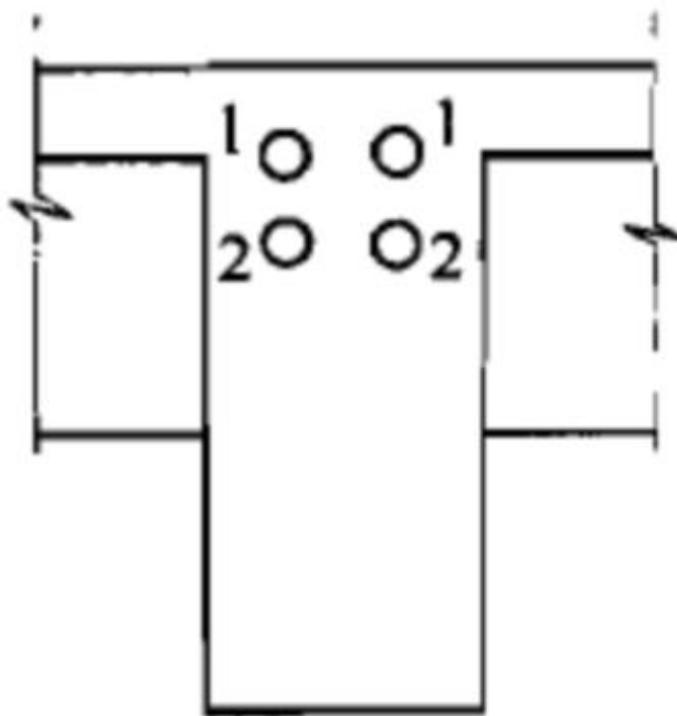
(1) 张拉方式：

一端张拉（长度 $\leq 30\text{m}$ ； $L_f \geq L/2$ ）的曲线预应力筋；两端张拉；分批张拉；

分段张拉；分阶段张拉；补偿张拉

(2) 张拉顺序

原则：对称张拉；还应考虑到尽量减少张拉设备的移动次数。



钢绞线束为双跨曲线筋，长度达 40m，采用两端张拉方式。图中 4 束钢绞线分为两批张拉，两台千斤顶分别设置在梁的两端，按左右对称各张拉 1 束，待两

批 4 束均进行一端张拉后，再分批在另端补张拉。这种张拉顺序，还可减少先批张拉预应力筋的弹性压缩损失。

### (3) 张拉程序

a. 采用低松弛钢丝和钢绞线： $0 \rightarrow \sigma_{con}$  锚固

b. 采用普通松弛预应力筋时，按下列超张拉程序进行操作：

对镦头锚具等可卸载锚具： $0 \rightarrow 1.05 \sigma_{con}$ （持荷 2min） $\rightarrow \sigma_{con}$  锚固

对夹片锚具等不可卸载锚具： $0 \rightarrow 1.03 \sigma_{con}$  锚固

以  $0.2 \sim 0.25 \sigma_{con}$  为量伸长起点，分 3 级加载（0.2、0.6 及 1.0）或 4 级加载（0.25、0.50、0.75 及 1.0），每级加载均应量测张拉伸长值。

超张拉 5% 目的：主要是减少钢筋松弛、混凝土弹性压缩、锚具变形和孔道摩擦等所引起的应力损失。

超张拉 3% 目的：主要是弥补设计或施工中不可预见的损失。

持荷 2 分钟目的：主要是为了加速钢筋松弛的早发展。

### (4) 伸长值校核

张拉伸长值应分段计算，然后累加。

考虑减去：

张拉过程中锚具楔紧引起的预应力筋内缩值

千斤顶体内预应力筋的张拉伸长值

施加预应力时，后张法混凝土构件的弹性压缩值

#### 4) 孔道灌浆

目的：防止钢筋锈蚀，增加结构的整体性和耐久性。

水泥浆：水灰比：0.4~0.45；泌水率：拌后三小时宜 $\leq$ 2%，最大 $\leq$ 3%，强度 $\geq$ 30MPa。对孔隙较大的孔道，可采用砂浆灌浆。可掺入对预应力筋无腐蚀作用的外加剂（0.25%的本质素磺酸钙，0.05%的铝粉）。

灌浆前，用压力水冲洗和湿润孔道。用电动灰浆泵进行灌浆。灌浆工作应连续进行，不得中断。并应防止空气压入孔道而影响灌浆质量。灌浆压力以0.5~0.6MPa为宜。灌浆顺序应先下后上，以避免上层孔道漏浆时把下层孔道堵塞。

## 2、无粘结预应力施工要点

### 1) 工艺流程：

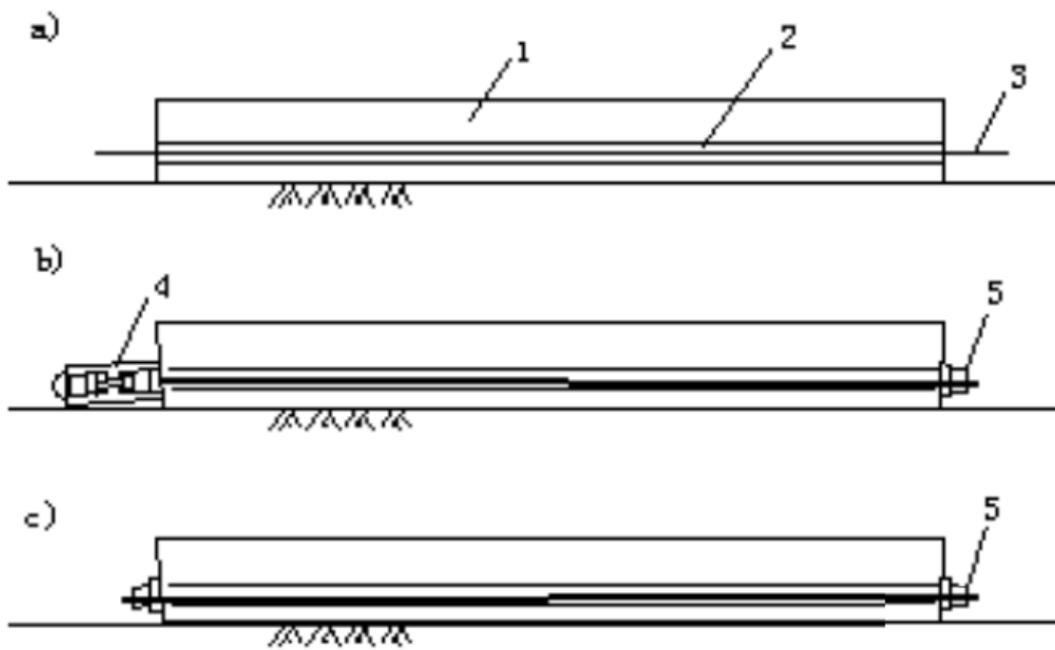
将无粘结预应力筋准确定位，并与普通钢筋一起绑扎形成钢筋骨架，然后浇筑混凝土；待混凝土达到预期强度后（一般不低于混凝土设计强度的75%）进行张拉（一端锚固一端张拉或两端同时张拉）。张拉完成后，在张拉端用锚具将预应力筋锚住，形成无粘结预应力结构。

### 2) 特点：

无粘结预应力具有不需要预留孔道、穿筋、灌浆等复杂工作，施工程序简单，加快了施工速度。同时摩擦力小，且易弯成多跨曲线型，特别适用于大跨度的单、双向连续多跨曲线配筋梁板结构和屋盖。



无粘结筋是蓝色塑料管包裹的



无粘结后张法工艺流程

1—混凝土构件；2—无粘结预应力筋；3—张拉千斤顶；4—锚具

## 预应力筋铺设

无粘结预应力筋在平板结构中常常为双向曲线配置，因此其铺设顺序很重要。如钢丝束的铺设一般根据双向钢丝束交点的标高差，绘制钢丝束的铺设顺序图，钢丝束波峰低的底层钢丝束先行铺设，然后依次铺设波峰高的上层钢丝束，这样可以避免钢丝束之间的相互穿插。钢丝束铺设波峰的形成是用钢筋制成的“马凳”来架设。一般施工顺序是依次放置钢筋马凳，然后按顺序铺设钢丝束，钢丝束就位后，进行调整波峰高度及其水平位置，经检查无误后，用铅丝将无粘结预应力束与非预应力钢筋绑扎牢固，防止钢丝束在浇筑混凝土施工过程中位移。

## 预应力张拉

无粘结预应力筋的张拉与普通后张法带有螺母锚具的有粘结预应力钢丝束张拉方法相似。张拉程序一般采用  $0 \rightarrow 103\% \sigma_{con}$  进行锚固。由于无粘结预应力筋多为曲线配筋，故应采用两端同时张拉。无粘结预应力筋的张拉顺序，应根据其铺设顺序，先铺设的先张拉，后铺设的后张拉。

无粘结预应力筋一般长度大，有时又呈曲线形布置，如何减少其摩阻损失值是一个重要的问题。施工时，为降低摩阻损失值，宜采用多次重复张拉工艺。

## 锚头端部处理

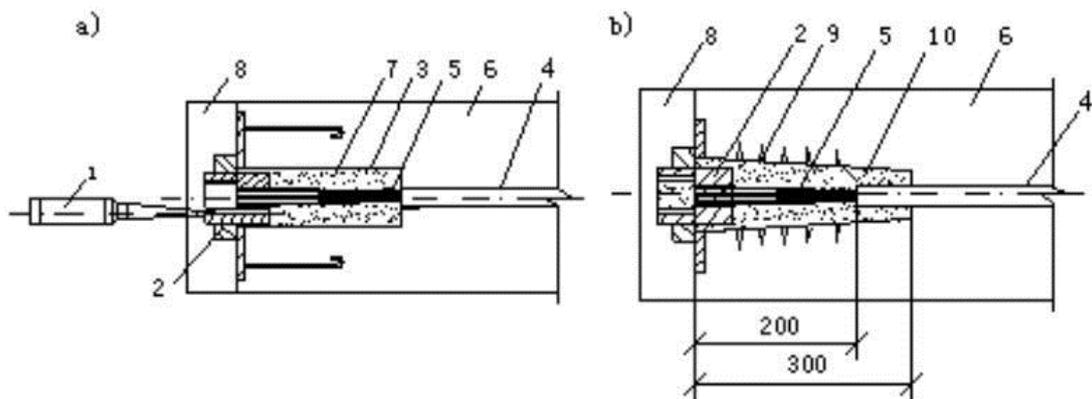
无粘结预应力筋由于一般采用镦头锚具，锚头部位的外径比较大，因此，钢丝束两端应在构件上预留有一定长度的孔道，其直径略大于锚具的外径。钢丝束

张拉锚固以后，其端部便留下孔道，并且该部分钢丝没有涂层，为此应加以处理保护预应力钢丝。

无粘结预应力筋锚头端部处理，目前常采用两种方法：第一种方法系在孔道中注入油脂并加以封闭，。第二种方法系在两端留设的孔道内注入环氧树脂水泥砂浆，其抗压强度不低于 35 MPa。灌浆时同时将锚头封闭，防止钢丝锈蚀，同时也起一定的锚固作用。



YX 锚具











无粘结预应力张拉端.



预应力固定端大样



预应力筋锚固端内部景



预应力张拉端护筒



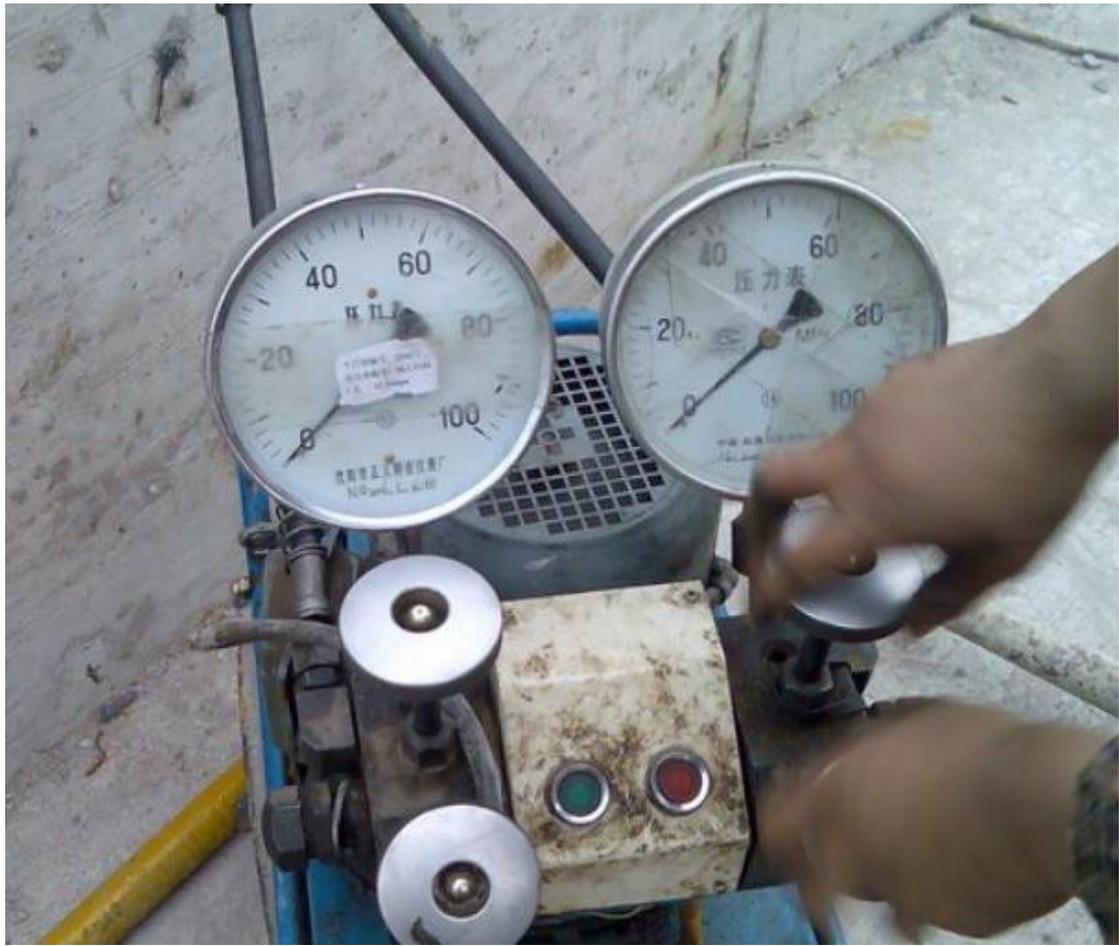
预应力张拉端浇筑前



张拉前的预应力筋



张拉前张拉端大样



预应力张拉设备：左表为压力表，右表为油表。本工程张拉值为 43.94mpa.



安装张拉设备



张拉设备就位开始张拉



张拉中



整个张拉过程大概只需要 4 分钟，继续张拉下一个预应力筋.



张拉到设计值，注意压力表的变化，此时压力表正好为 43.94mpa





张拉结束时，千斤顶开始回油