



# 项目10 预应力混凝土工程



为了克服普通钢筋混凝土过早出现裂缝和钢筋不能充分发挥其作用这一矛盾，人们创造了对混凝土施加预应力的方法。即在结构或构件受拉区域，通过对钢筋进行张拉后将钢筋的回弹力施加给混凝土，使混凝土受到一个预压应力，产生一定的压缩变形。当该构件受力后，受拉区混凝土的拉伸变形，首先与压缩变形抵消，然后随着外力的增加，混凝土才逐渐被拉伸，明显推迟了裂缝出现时间。预应力混凝土（prestressed concrete）与普通钢筋混凝土相比较，更有效地利用高强钢材，提高了结构的抗裂度和刚度，减小结构构件的截面尺寸，自重轻、材料省、耐久性好。在大跨结构中使用时，其综合经济效益较好。

## 1.1 开发预应力混凝土的原因

(1). 预应力混凝土是人们针对普通混凝土的缺点研究开发的新品种；

(2). 混凝土最大的缺点是过早开裂，构件带裂缝工作。若给它预先施加上压应力，使构件在工作时，先抵消这个预压应力，然后才有可能开裂，就可提高构件的抗裂性能。

(3). 混凝土的另一个缺点是自重大，使构件的跨度受到限制。若使用高强钢丝和高等级混凝土，就可减少构件的截面，减少结构自重，增加结构的跨度。

(4). 我们祖先造木水桶用筒箍效应就是预应力，现已发展成为一门实用技术。



用预应力原理让铜箍将木片捆制成木水桶

2018/12/15 Saturday

10.1

# 先张法施工



## 10.1先张法施工



预应力混凝土按预应力的大小可分为：全预应力混凝土和部分预应力混凝土。按施加应力方式可分为：先张法预应力混凝土、后张法预应力混凝土和自应力混凝土。按预应力筋的粘结状态可分为：有粘结预应力混凝土和无粘结预应力混凝土。按施工方法又可分为：预制预应力混凝土、现浇预应力混凝土和叠合预应力混凝土等。

## 10.1.1先张法的概念

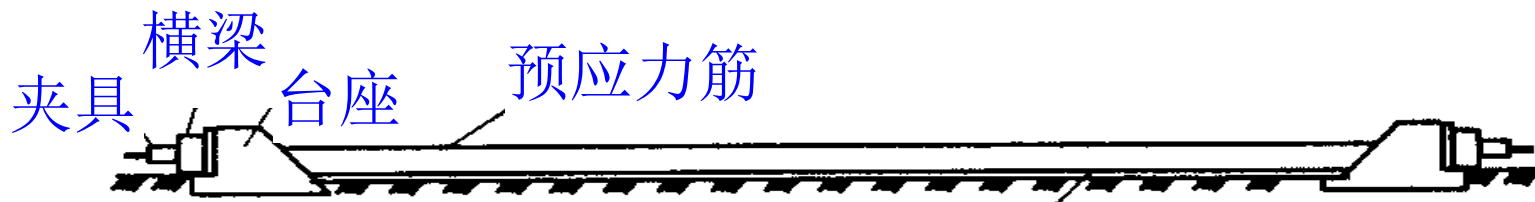


先张法 ( pre tensioning ) 是在浇筑混凝土前铺设、张拉预应力筋，并将张拉后的预应力筋临时锚固在台座或钢模上，然后浇筑混凝土，待混凝土养护达到不低于75%设计强度且不低于30 MPa后，保证预应力筋与混凝土有足够的粘结时，放松预应力筋，借助混凝土与预应力筋的粘结，对混凝土施加预应力的施工工艺(图10.1)。先张法一般仅适用于生产中小型预制构件，如房屋建筑中的空心板、多孔板、槽形板、双T板、V形折板、托梁、檩条、槽瓦、屋面梁等；道路桥梁工程中的轨枕、桥面空心板、简支梁等，在基础工程中应用的预应力方桩及管桩等。先张法多在固定的预制厂生产，也可在施工现场生产。

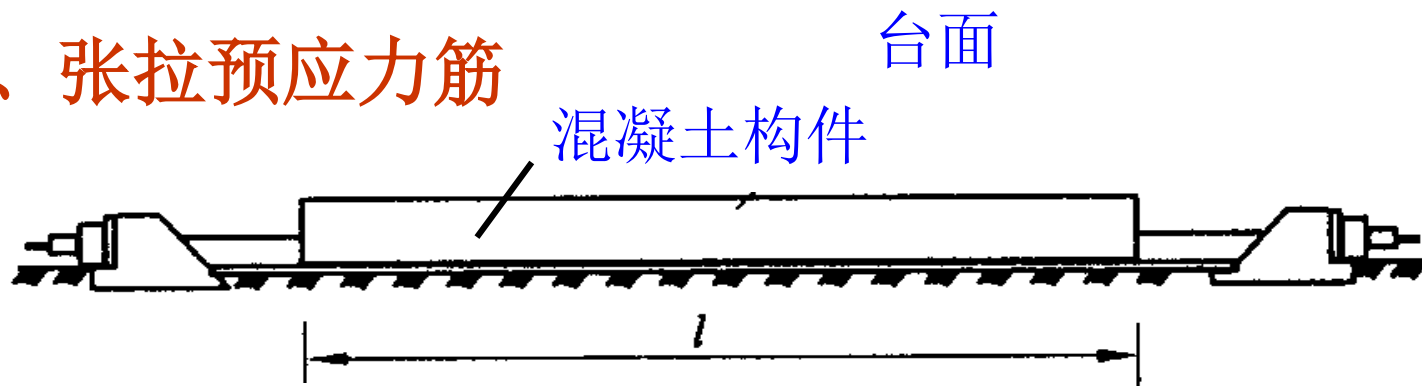


# 10.1.1先张法的概念

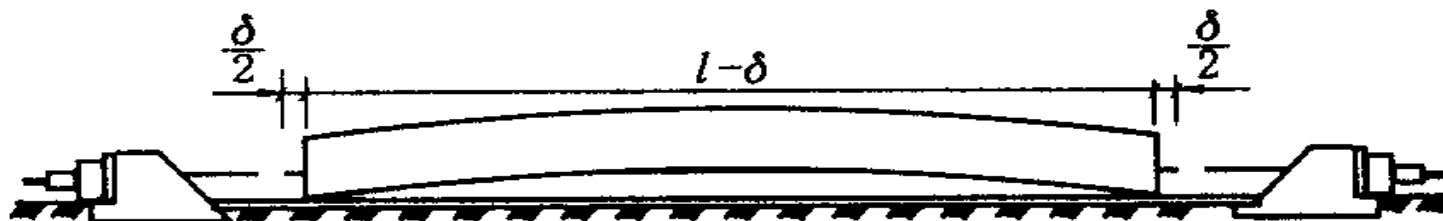




## A、张拉预应力筋



## B、浇筑混凝土构件



## C、放张施加预应力



# 先张法预应力箱梁生产情况



2006/09/11





先张法预应力箱梁生产情况

2006/09/07





铺设预应力钢丝

2006/09/07



# 预应力钢筋放张用安全砂袋



2006/09/08

## 10.1.2先张法台座及其计算



先张法生产构件有长线台座法和短线台模法两种。用台座法生产时，各道施工工序都在台座上进行，台座长度在100~150 m之间，预应力筋的张拉力由台座承受。台模法主要在工厂流水线上使用，它是将制作构件的模板作为预应力钢筋锚固支座的一种台座，模板具有相当的刚度，作为固定预应力筋的承力架，可将预应力钢筋放在模板上进行张拉。台座法不需要复杂的机械设备，能适宜多种产品生产，故应用较广。

台座是先张法施工中主要的设备之一，由台面、横梁和承力结构组成，是张拉预应力筋和临时固定预应力筋的支撑结构，承受全部预应力筋的拉力，它必须有足够的强度、刚度和稳定性，以免因台座的变形、倾覆和滑移而引起预应力值的损失。台座按构造形式不同可分为墩式台座和槽式台座等。

## 10.1.2先张法台座及其计算



### 1. 墩式台座

墩式台座由承力台墩、台面与横梁三部分组成，其长度宜为100~500 m(图10.2)。张拉一次可生产多根构件，可减少张拉及临时固定工作，又可以减少因钢丝滑动或台座横梁变形引起的预应力损失。目前常用的是台墩与台面共同受力的墩式台座。台座的宽度主要取决于构件的布筋宽度、张拉与浇筑混凝土是否方便，一般为2~4 m。在台座的端部应留出张拉操作用地和通道，两侧要有构件运输和堆放的场地。



## 10.1.2先张法台座及其计算

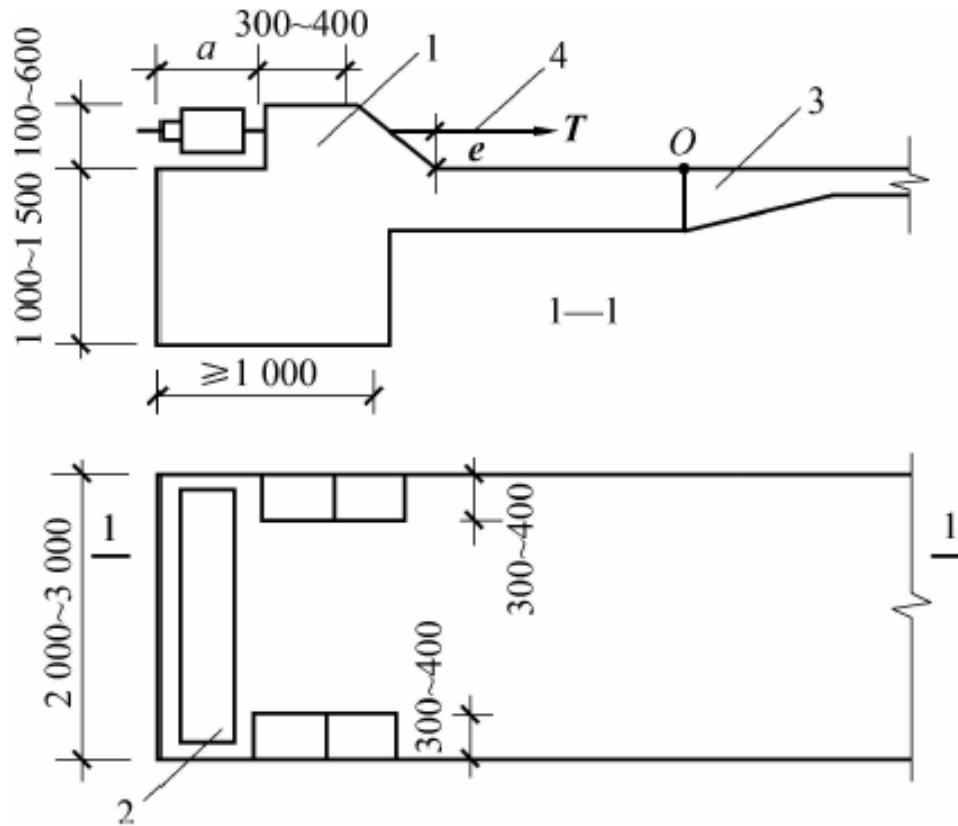


图 10.2 墩式台座

1—混凝土台墩；2—横梁；3—混凝土墩式台面；4—预应力筋

## 10.1.2先张法台座及其计算



承力台墩一般埋置在地下，由现浇钢筋混凝土做成。台面一般是在夯实的碎石垫层上浇筑一层厚度为60~100 mm的混凝土而成。台面伸缩缝可根据当地温差和经验设置，约为10 m一道，也可采用预应力混凝土滑动台面，不留伸缩缝。预应力滑动台面是在原有的混凝土台面或新浇筑的混凝土基层上刷隔离剂，张拉预应力筋、浇筑混凝土面层，待混凝土达到放张强度后切断预应力筋，台面就发生滑动，这种台面使用效果良好。台座的两端设置有固定预应力筋的横梁，一般用型钢制作，设计时，除应要求横梁在张拉力的作用下有一定的强度外，尚应特别注意变形，以减少预应力损失。台座设计时，应进行稳定性和强度验算。稳定性验算包括台座的抗倾覆验算和抗滑移验算。

## 10.1.2先张法台座及其计算



### (1) 抗倾覆验算

墩式台座的抗倾覆能力以台座的抗倾覆安全系数 $K_1$ 表示，如图10.3所示。

$$K_1 = M'/M = (G_1l_1 + G_2l_2)/Te \geq 1.50$$

式中 $K_1$ ——抗倾覆安全系数，一般不小于1.50；

$M$ ——倾覆力矩，由预应力筋的张拉力产生( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )；

$T$ ——预应力筋的张拉力( $\text{kN}$ )；

$e$ ——张拉力合力 $T$ 作用点至倾覆点的力臂( $\text{m}$ )；

$M'$ ——抗倾覆力矩,由台座自重力和土压力等产生( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )；

$G_1$ ——台墩的自重力( $\text{kN}$ )；

$l_1$ ——台墩重心到倾覆转动点 $O$ 的力臂( $\text{m}$ )；

$G_2$ ——承台墩外伸台面局部加厚部分的自重， $\text{kN}$ ；

$l_2$ ——承台墩外伸台面局部加厚部分的重心至倾覆转动点 $O$ 的力臂 ( $\text{m}$ )。

## 10.1.2先张法台座及其计算

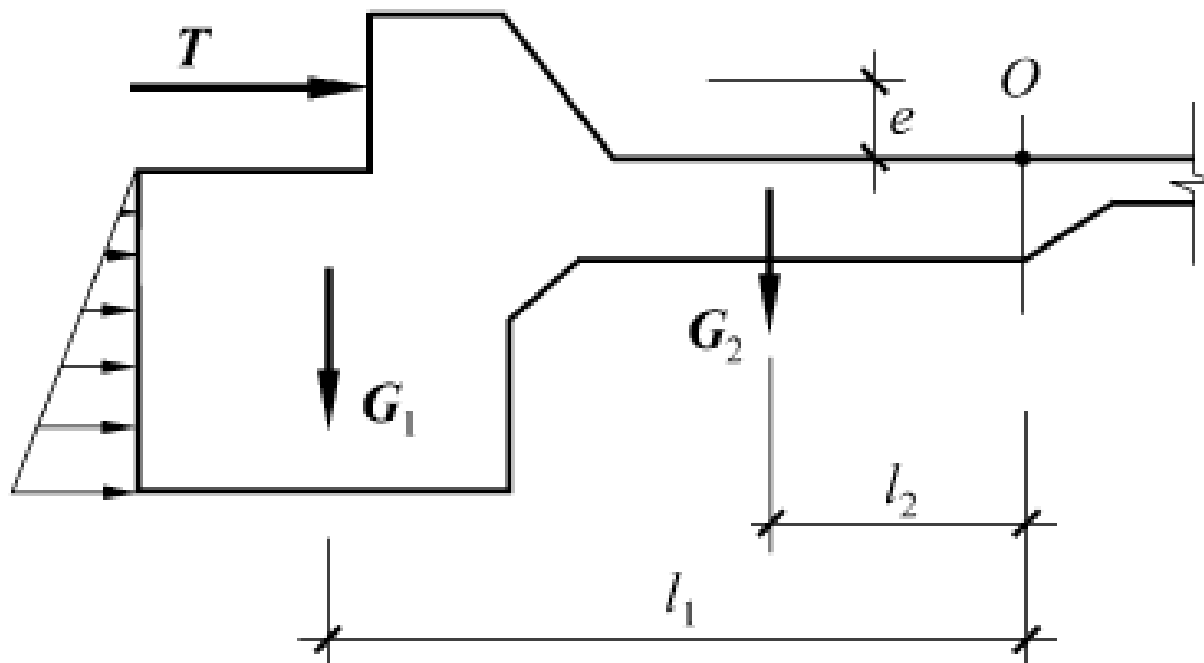


图 10.3 墩式台座抗倾覆验算简图

## 10.1.2先张法台座及其计算



### (2) 抗滑移验算

墩式台座的抗滑移能力以台座的抗滑移安全系数 $K_2$ 表示，即：

$$K_2 = T_1 / T \geq 1.3$$

式中 $K_2$ ——抗滑移安全系数，一般不小于1.30；

$T$ ——张拉力合力（kN）；

$T_1$ ——抗滑移的力（kN）。

对独立的台墩，由侧壁上压力和底部摩阻力等产生。对与台面共同工作的台墩，其水平推力几乎全部传给台面，不存在滑移问题，可不作抗滑移验算，此时应验算台面的强度。

## 10.1.2先张法台座及其计算



### (3) 台座强度验算

台座的强度应根据构件张拉力的大小，可按台座每米宽的承载力为200～500 kN设计台座。支撑横梁的牛腿，按柱子牛腿的计算方法计算其配筋；墩式台座与台面接触的外伸部分，按偏心受压构件计算；台面按轴心受压杆件计算；横梁按承受均布荷载的简支梁计算，挠度不应大于2 mm，并不得产生翘曲。预应力筋的定位板必须安装准确，其挠度不大于1 mm。其承载力公式：

$$P = \psi A f_c / \gamma_0 \gamma_Q K'$$

式中 $\psi$ ——轴心受压纵向弯曲系数，取 $\psi = 1$ ；

$A$ ——台面截面面积；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$\gamma_0$ ——构件重要性系数，按二级考虑取 $\gamma_0 = 1.0$ ；

## 10.1.2先张法台座及其计算



$\gamma_Q$ ——荷载分项系数，取 $\gamma_Q = 1.4$ ;

$K'$ ——考虑台面面积不均匀和其他影响因素的附加安全系数，取 $K' = 1.5$ 。

## 10.1.2先张法台座及其计算



### 2. 槽式台座

槽式台座由钢筋混凝土压杆、上下横梁及台面组成(图10.4)。台座的长度一般不大于76 m，宽度随构件外形及制作方式而定，一般不小于1 m，承载力可达1 000 kN以上。为便于混凝土浇筑和蒸汽养护，槽式台座多低于地面。在施工现场还可利用已预制好的柱、桩等构件装配成简易槽式台座。槽式台座适用于张拉吨位较大的大型构件，如吊车梁、屋架等。

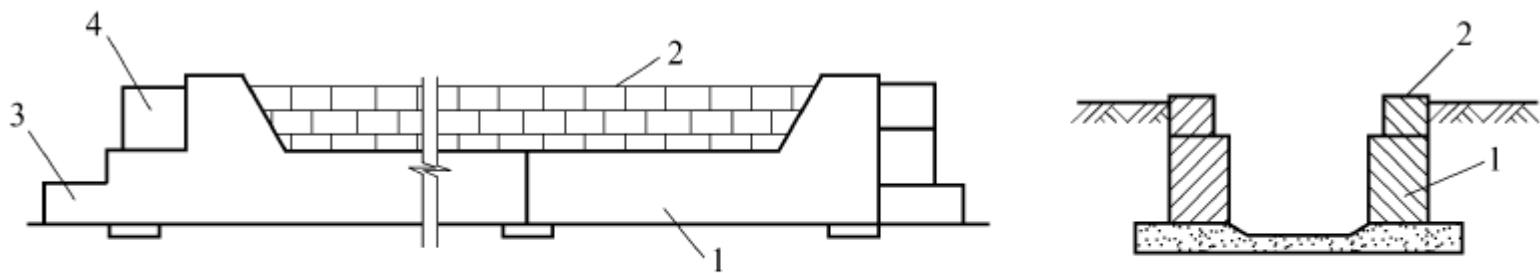


图 10.4 槽式台座

1—压杆；2—砖墙；3—下横梁；4—上横梁



## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择



### 1. 锚固夹具

#### (1) 圆锥齿板式夹具及圆锥形槽式夹具

圆锥齿板式夹具及圆锥形槽式夹具是常用的两种单根钢丝夹具，适用于锚固直径3~5 mm的冷拔低碳钢丝，也适用于锚固直径5 mm的碳素(刻痕)钢丝，如图10.5所示。

#### (2) 圆套筒二片式夹具

圆套筒二片式夹具适用夹持直径为12~16 mm的单根冷拉HRB335~HRB400级钢筋，由圆形套筒和圆锥形夹片组成，如图10.6所示。

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择

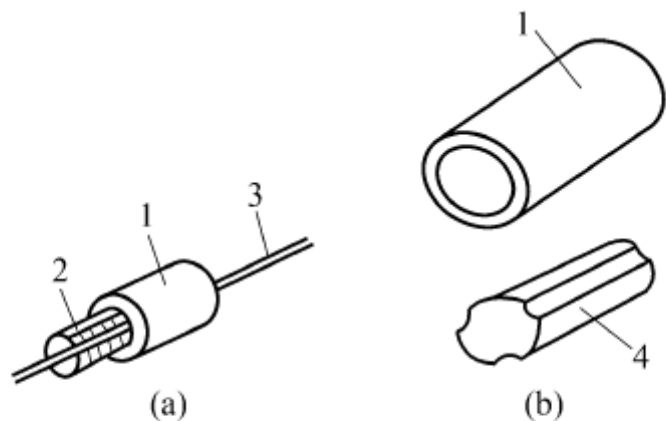


图 10.5 圆锥齿板式夹具及圆锥形槽式夹具

1—套筒;2—齿板;3—钢丝;4—锥塞

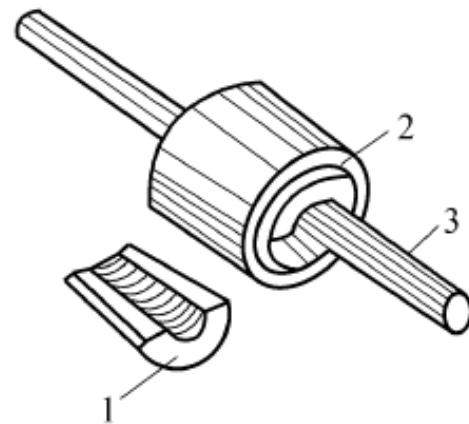


图 10.6 圆套筒二片式夹具

1—夹片;2—套筒;3—钢筋

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择



### (3) 圆套筒三片式夹具

圆套筒三片式夹具适用夹持直径为12~14 mm的单根冷拉HRB335、RRB400级钢筋，其构造基本与圆套筒二片式夹具构造相同，只不过夹片由三个组成。

### (4) 镦头夹具

镦头夹具适用于预应力钢丝固定端的锚固，如图10.7所示。镦头夹具属于自制的钳具，镦头强度不低于材料强度的98%。钢丝的镦头是采用液压冷镦机进行的，钢筋直径小于22 mm采用热镦方法，钢筋直径等于或大于22 mm采用热锻成型方法。

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择

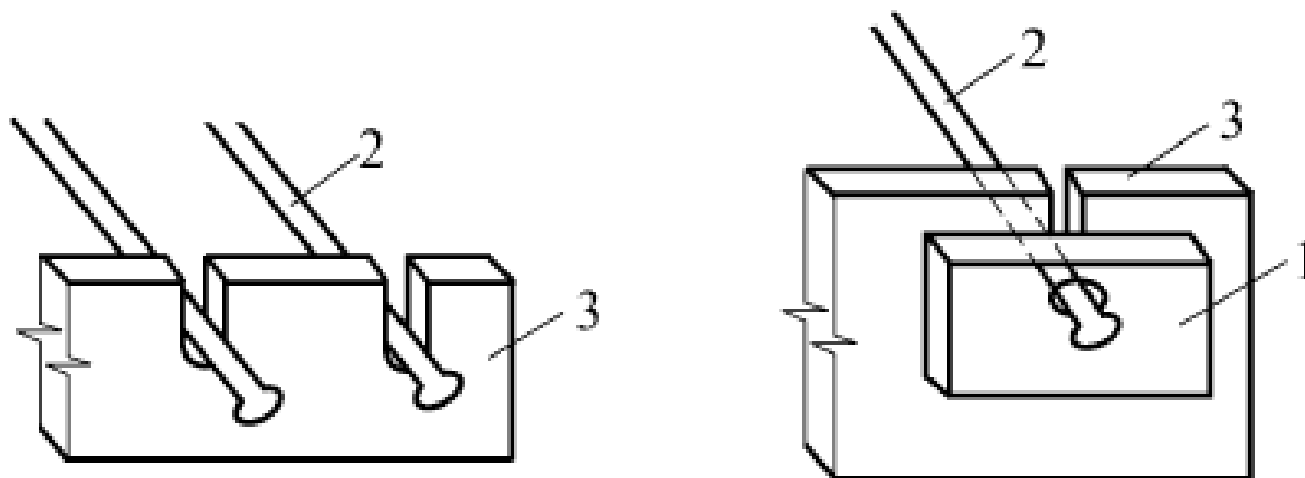


图 10.7 固定端锚头夹具

1—垫片;2—锚头钢丝;3—承力板

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择



### 2. 张拉夹具

张拉夹具是将预应力筋与张拉机械连接起来，进行预应力张拉的工具。常用的张拉夹具有偏心式夹具和压销式夹具两种。

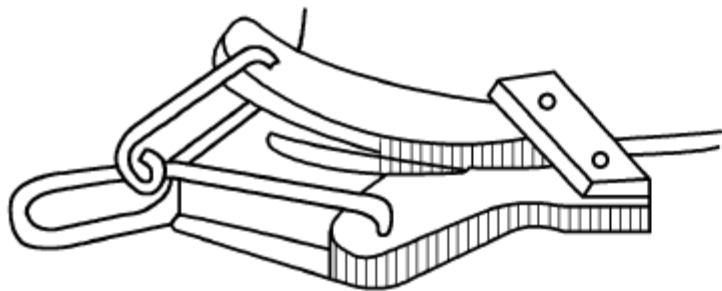
#### (1) 偏心式夹具

偏心式夹具用作钢丝的张拉。这种夹具构造简单、使用方便，如图10.8 (a) 所示。

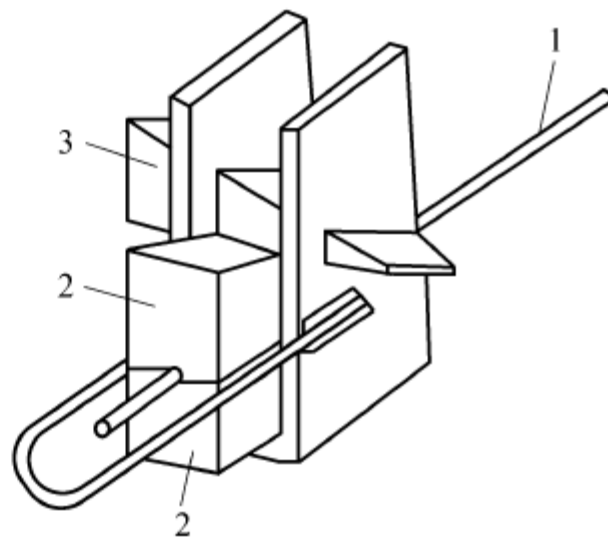
#### (2) 压销式夹具

压销式夹具用作直径为12~16 mm的HRB235 ~ HRB400级钢筋的张拉。它是由销片和楔形压销组成，如图10.8 (b) 所示。

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择



(a) 偏心式夹具



(b) 压销式夹具

图 10.8 张拉夹具

1—钢筋;2—销片;3—楔形压销

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择



### 3 . 张拉设备

先张法生产的构件中，常采用的预应力筋有钢丝和钢筋两种。张拉预应力钢丝时，一般直接采用卷扬机或电动螺杆张拉机。张拉预应力钢筋时，槽式台座中常采用四横梁式成组张拉装置，用千斤顶张拉。

#### (1) 卷扬机

在长线台座上张拉钢筋时，千斤顶行程不能满足要求，小直径钢筋可采用卷扬机张拉，用杠杆或弹簧测力。弹簧测力时，宜设行程开关，在张拉到规定的应力时，能自行停机，如图10.9所示。

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择

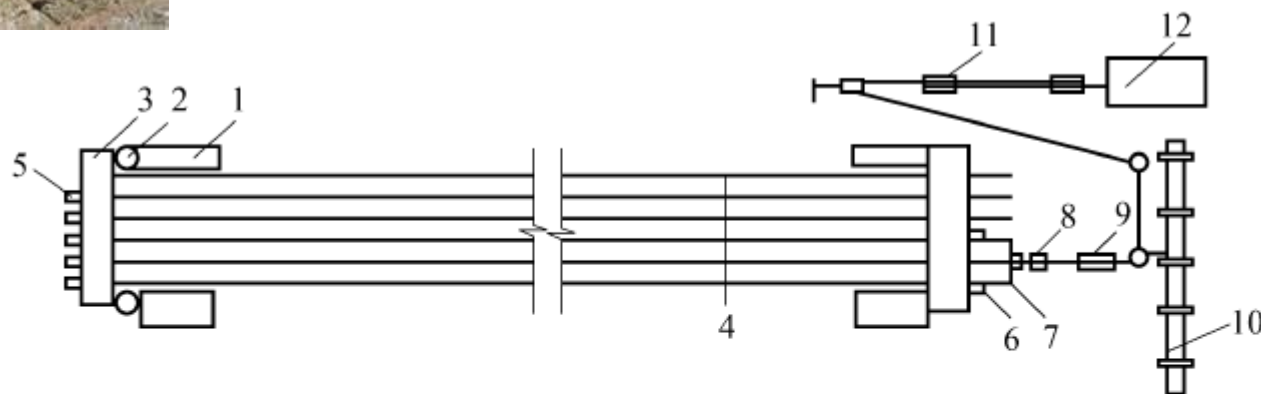


图 10.9 用卷扬机张拉预应力筋

1—台座；2—放松装置；3—横梁；4—钢筋；5—锚头；6—垫块；7—销片夹具；  
8—张拉夹具；9—弹簧测力计；10—固定梁；11—滑动组；12—卷扬机



## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择



### (2) 电动螺杆张拉机

由螺杆、电动机、变速箱、测力计及顶杆等组成。可单根张拉预应力钢丝或钢筋。张拉时，顶杆支于台座横梁上，用张拉夹具夹紧钢筋后，升动电动机，由皮带、齿轮传动系统使螺杆做直线运动，从而张拉钢筋。这种张拉的特点是运行稳定，螺杆有自锁性能，故张拉机恒载性能好，速度快，张拉行程大，如图10.10所示。



## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择

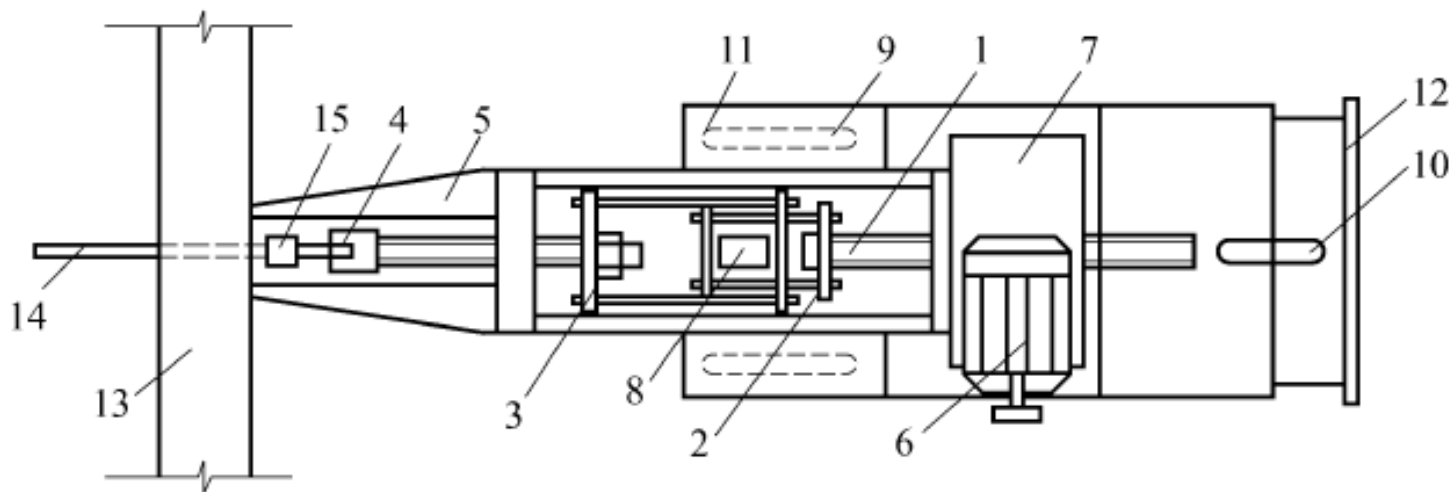


图 10.10 电动螺杆张拉机

1—螺杆；2,3—拉力架；4—张拉夹具；5—顶杆；6—电动机；7—齿轮减速箱；  
8—测力计；9,10—车轮；11—底盘；12—手把；13—横梁；14—钢筋；15—锚固夹具

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择



### (3) 油压千斤顶

可张拉单根或多根成组的预应力筋，张拉过程可以直接从油压表读取张拉力值。图10.11为YC—60型穿心式千斤顶张拉工作过程及构造示意图，图10.12所示为油压千斤顶成组张拉装置。



## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择

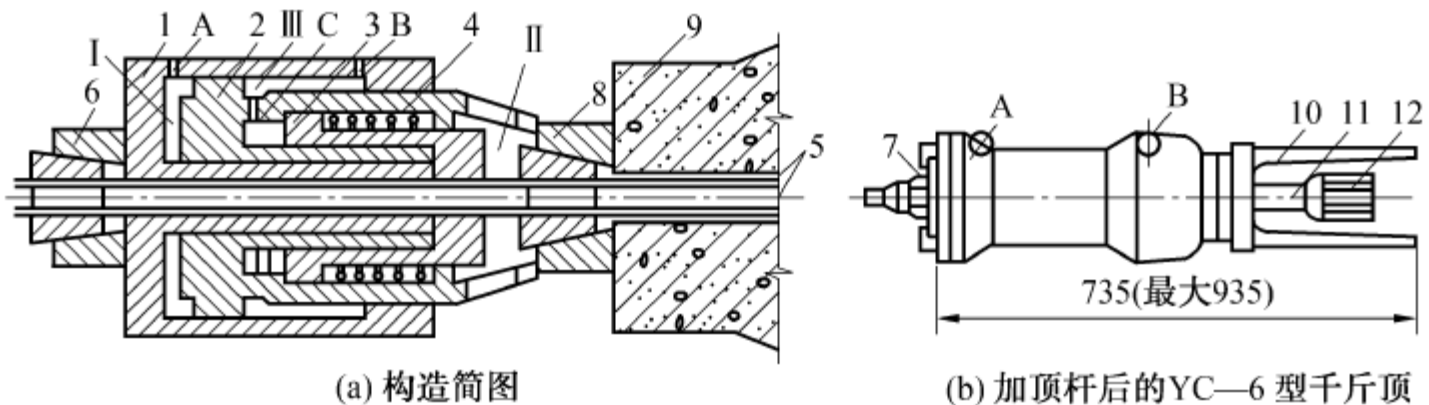


图 10.11 YC-60 型穿心式千斤顶张拉工作过程及构造示意

1—张拉油缸；2—张拉活塞；3—顶压活塞；4—弹簧；5—预应力筋；6—工具式锚具；

7—螺帽；8—工作锚具；9—混凝土构件；10—顶杆；11—拉杆；12—连接器

I—张拉工作油室；II—顶压工作油室；III—张拉回程油室；A—张拉缸油嘴；B—顶压缸油嘴；C—油孔

## 10.1.3先张法夹具的选择及张拉设备的选择

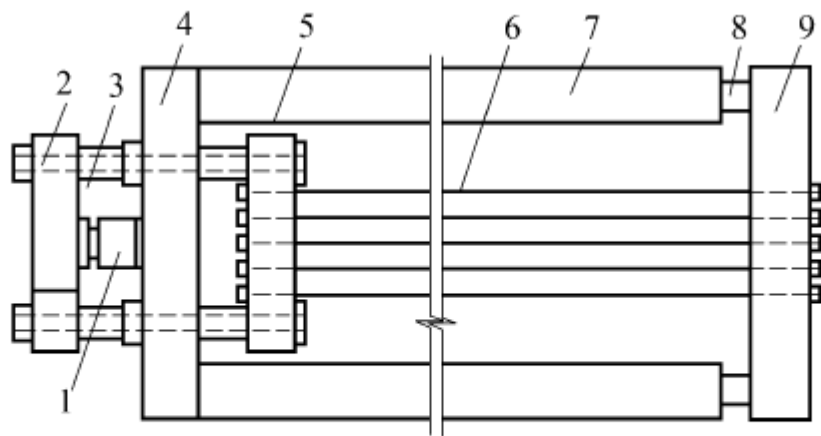


图 10.12 油压千斤顶成组张拉装置

1—油压千斤顶；2—拉力架横梁；3—大螺纹杆；4—前横梁；5—台座；6—预应力筋；7—台座；8—放张装置；9—后横梁

# 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



## 1. 先张法施工工艺

用先张法在台座上生产预应力混凝土构件时，其工艺流程一般如图10.13所示。

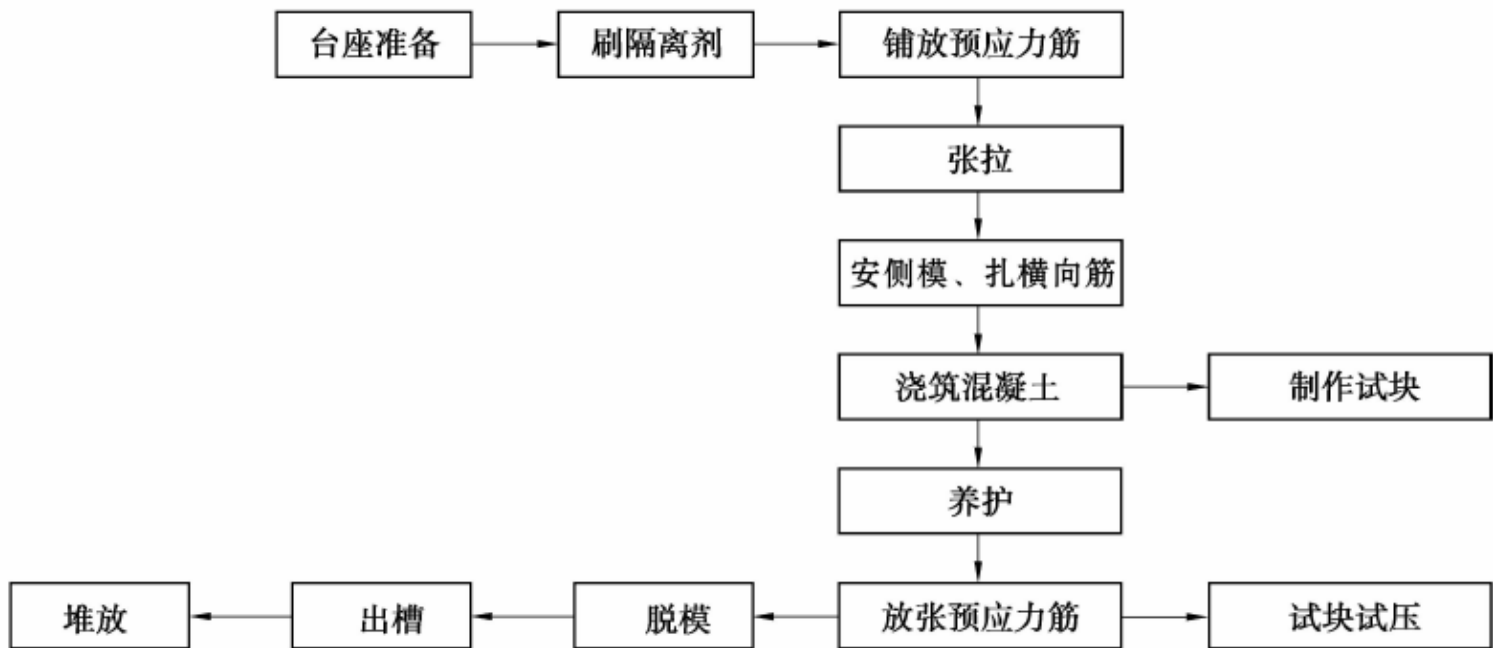


图 10.13 先张法施工工艺流程

## (1). 什么是“预应力损失”？

因张拉工艺、材料特性等原因，从施工张拉钢筋开始，到整个使用过程中，预应力钢筋本身的应力会有所降低，同时混凝土受到的预压应力也随之降低，所失去的预压应力就是“预应力损失”。

## (2). 认识“预应力损失”很重要

在此项技术发展初期，许多研制失败，都是因对它认识不足造成的。若估计过大，材料性能不能达到充分利用；若估计过少，构件在使用阶段预应力将会消失，等于没有用预应力。

## (3). 处理预应力损失的方法

先估计这个损失量，然后用超过一定比例设计张拉应力的方法来补偿它。



## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、 预应力筋的放张



### 2. 混凝土浇筑与养护

为了减少预应力损失，在设计配合比时应考虑减少混凝土的收缩和徐变。应采用低水灰比，控制水泥用量，采用良好的集料级配并振捣密实。振捣混凝土时，振动器不得碰撞预应力钢筋。混凝土未达到一定强度前也不允许碰撞和踩动预应力筋，以保证预应力筋与混凝土有良好的粘结力。采用平卧叠浇法制作预应力混凝土构件时，其下层构件混凝土的强度需达到5 MPa后方可浇筑上层构件混凝土，并应有隔离措施。预应力混凝土可采用自然养护和湿热养护。当采用湿热养护时应采取正确的养护制度，减少由于温差引起的预应力损失。在台座生产的构件采用湿热法养护时，为了减少温差应力损失，应使混凝土达到一定强度(100 N / mm<sup>2</sup>)前，将温度升高限制在一定范围内(一般不超过20 °C)。用机组流水法钢模制作预应力构件，因湿热养护时钢模与预应力筋同样伸缩，所以不存在由温差引起的预应力损失。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、 预应力筋的放张



### 3 . 预应力筋的张拉

预应力筋的张拉力大小，直接影响预应力效果。张拉力越高，建立的预应力值越大，构件的抗裂性也越好；但预应力筋在使用过程中经常处于过高应力状态下，构件出现裂缝的荷载与破坏荷载接近，往往在破坏前没有明显的征兆，这是很危险的。另外，如张拉力过大，造成构件反拱过大或预拉区出现裂缝，也是不利的。反之，张拉阶段预应力损失越大，建立的预应力值越低，也是不利的。

预应力筋的张拉应根据设计要求，采用合适的张拉方法、张拉顺序和张拉程序进行，并应有可靠的质量保证措施和安全技术措施。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



(1) 预应力筋应采用砂轮锯或切断机切断，不得采用电弧切割长线台座(或台模)在预应力筋铺设前先做好台面的隔离层，应选用非油类模板隔离剂且不得使预应力筋受污染。如果预应力筋受污染，应使用适宜的溶剂清洗干净。预应力钢丝宜用牵引车铺设。如遇钢丝需要接长时，可借助于钢丝拼接器用20~22号铁丝密排绑扎。

### (2) 预应力筋张拉应力的确定

预应力筋的张拉控制应力，应符合设计要求。施工如采用超张拉，可比设计要求提高5%，但其最大张拉控制应力不得超过表10.1的规定。

表 10.1 张拉控制应力

钢种	张拉方法	
	先张法	后张法
消除应力钢丝、钢绞线	$0.8f_{ptk}$	$0.8f_{ptk}$
热处理钢筋	$0.75f_{ptk}$	$0.7f_{ptk}$

注： $f_{ptk}$ 为预应力筋极限抗拉强度标准值。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



### (3) 预应力筋张拉力的计算

预应力筋张拉力 $P$  ( kN ) 按下式计算：

$$P=(1+m)\sigma_{con}A_P$$

式中 $m$ ——超张拉百分率 ( % ) ；

$\sigma_{con}$ ——张拉控制应力；

$A_P$ ——预应力筋截面面积。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



### (4) 张拉程序

预应力筋的张拉程序可按下列程序之一进行： $0 \rightarrow 1.03\sigma_{con}$ 或 $0 \rightarrow 1.05\sigma_{con}$ （持荷2 min） $\rightarrow \sigma_{con}$ 。

超张拉3%是为了弥补预应力筋的松弛损失，超张拉5%并持荷2 min，其目的是为了减少预应力筋的松弛损失。钢筋松弛的数值与控制应力、延续时间有关，控制应力越高，松弛也就越大。同时还随着时间的延续不断增加，但在第一分钟内完成损失总值的50%左右，24 h内则完成80%。上述程序中，超张拉5%持荷2 min可以减少50%以上的松弛损失。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



### (5) 预应力筋伸长值与应力的测定

预应力筋张拉后，一般应校核预应力筋的伸长值。如实际伸长值与计算伸长值的偏差超过6%或小于计算伸长值时，应暂停张拉，查明原因并采取调整措施予以调整后，方可继续张拉。预应力筋的伸长值 $\Delta l$ 按下式计算：

$$\Delta l = FPl / AP E_s$$

- 式中FP——预应力筋张拉力；  
l——预应力筋长度；  
AP——预应力筋截面面积；  
Es——预应力筋的弹性模量。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



预应力筋的实际伸长值，宜在初应力约为 $10\% \sigma_{con}$ 时开始测量，但必须加上初应力以下的推算伸长值。预应力筋对设计位置的偏差不得大于5 mm，也不得大于构件截面最短边长的4%。

采用钢丝作为预应力筋时，不做伸长值校核，但应在钢丝锚固后，用钢丝测力计或半导体频率记数测力计测定其钢丝应力。其偏差不得大于或小于按一个构件全部钢丝预应力总值的5%。多根钢丝同时张拉时，必须事先调整初应力使其相互间的应力一致。断丝和滑脱钢丝的数量不得大于钢丝总数的3%，一束钢丝中只允许断丝一根。构件在浇筑混凝土前发生断丝或滑脱的预应力钢丝必须予以更换。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



### (6) 张拉注意事项

- ①张拉时，张拉机具与预应力筋应在一条直线上，同时在台面上每隔一定距离放一根圆钢筋头或相当于保护层厚度的其他垫块，以防止预应力筋因自重而下垂，破坏隔离剂，沾污预应力筋。
- ②顶紧锚塞时，用力不要过猛，以防钢丝折断；在拧紧螺母时，应注意压力表读数始终保持所需的张拉力。
- ③台座两端应有防护设施。张拉时沿台座长度方向每隔4~5 m放一个防护架，两端严禁站人，也不允许进入台座。冬期张拉预应力筋时，其温度不宜低于-15℃，且应考虑预应力筋容易脆断的危险。



## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、 预应力筋的放张



### 4.预应力筋的放张

预应力筋的放张过程是预应力值的建立过程，是先张法构件能否获得良好质量的重要环节，应根据放张要求，确定适宜的放张顺序、放张方法及相应的技术措施。

#### (1)放张要求

放张预应力筋时，混凝土应达到设计要求的强度,如设计无要求时，应不得低于设计混凝土强度等级的75%。放张预应力筋前应拆除构件的侧模使放张时构件能自由压缩，以免模板损坏或造成构件开裂。对有横肋的构件(如大型屋面板)，其横肋断面应有适宜的斜度，也可以采用活动模板以免放张时构件端肋开裂。

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、预应力筋的放张



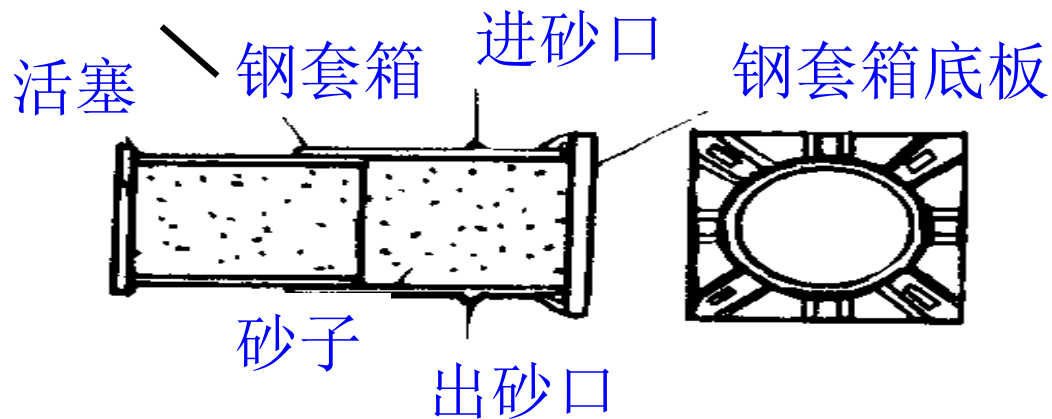
### (2)放张方法

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，如逐根放张，最后几根钢丝将由于承受过大的拉力而突然断裂，使得构件端部容易开裂。对钢丝、热处理钢筋不得用电弧切割，宜用砂轮或切断机切断。预应力钢筋数量较多时，可用千斤顶、砂箱、楔块等装置同时放张。

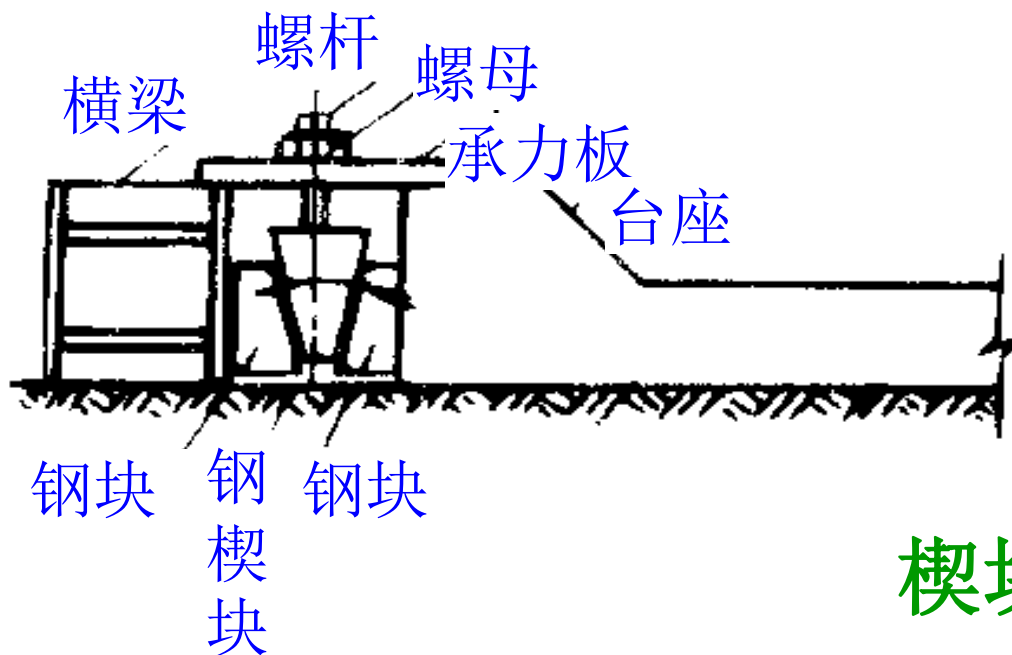
### (3)放张顺序

预应力筋的放张顺序，应满足设计要求，如设计无要求时应满足下列规定。

- ①对轴心受预压构件(如压杆、桩等)所有预应力筋应同时放张。
- ②对偏心受预压构件(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。



## 砂箱放张法



## 楔块放张法

## 10.1.4先张法施工工艺、混凝土浇筑及养护、 预应力筋的放张



③如不能按上述规定放张时，应分阶段、对称、相互交错地放张，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。放张后预应力筋的切断顺序，宜由放张端开始，逐次切向另一端。