

### **第三节 预应力混凝土**

#### **1K412015 基本原理**

#### **1K412015 材料要求**

#### **1K412015 预应力张拉施工**

#### **1K420103 质量事故预防措施**

##### **(一) 配制 (P54)**

(1) 预应力混凝土应优先采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，不宜使用矿渣硅酸盐水泥，不得使用火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥。粗集料应采用碎石，其粒径宜为 5 ~ 25mm。

(2) 混凝土中的水泥用量宜 $\leq 550\text{kg/m}^3$ 。

(3) 混凝土中严禁使用含氯化物的外加剂及引气剂或引气型减水剂。

(4) 从各种材料引入混凝土中的氯离子总含量（折合氯化物含量）不宜超过水泥用量的 0.06%。超过 0.06%时，宜采取掺加阻锈剂、增加保护层厚度、提高混凝土密实度等防锈措施。

##### **(二) 浇筑**

(1) 浇筑混凝土时，对预应力筋锚固区及钢筋密集部位，应加强振捣。

(2) 对先张构件应避免振动器碰撞预应力筋，对后张构件应避免振动器碰撞预应力筋的管道。

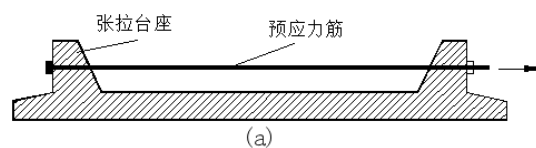
(3) 混凝土施工尚应符合 1K412014 条的有关规定。



### (一) 基本规定

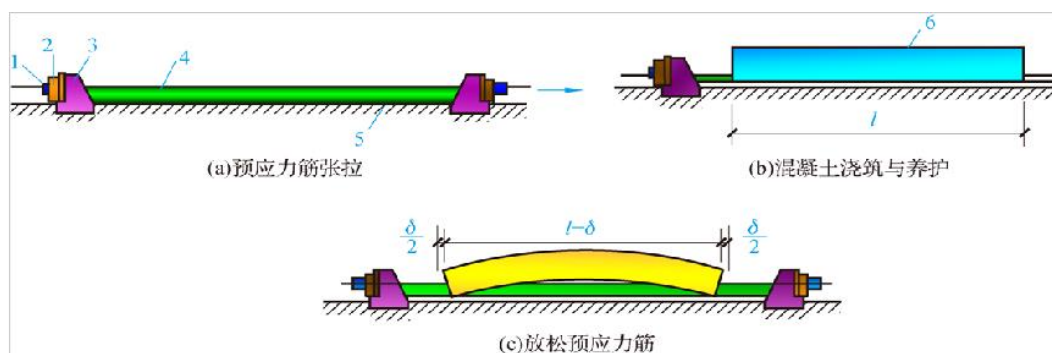
(1) 预应力筋的张拉控制应力必须符合设计规定。

(2) 预应力筋采用应力控制方法张拉时，应以伸长值进行校核。实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计要求；设计无规定时，实际伸长值与理论伸长值之差应控制在 6% 以内。否则应暂停张拉，待查明原因并采取措施后，方可继续张拉。



(3) 预应力张拉时，应先调整到初应力 ( $\sigma_0$ )，该初应力宜为张拉控制应力 ( $\sigma_{con}$ ) 的 10% ~ 15%，伸长值应从初应力时开始量测。

(4) 预应力筋的锚固应在张拉控制应力处于稳定状态下进行，锚固阶段张拉端预应力筋的内缩量，不得大于设计或规范规定。



先张法台座生产示意图

1—锚固夹具；2—横梁；3—台座承力结构；4—预应力筋；  
5—台面；6—混凝土构件

施工设备：

- (1) 台座：墩式台座、槽式台座
- (2) 夹具
- (3) 张拉设备：电动螺杆张拉机、液压千斤顶、卷扬机

台座是先张法施工张拉和临时固定预应力筋的支撑结构。

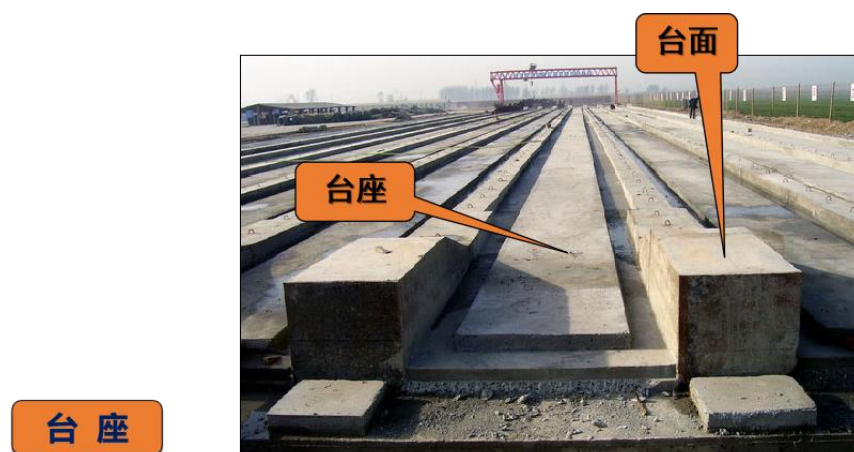
组成：台面、横梁、承力台墩。

分类：墩式台座、槽式台座、钢模台座等。

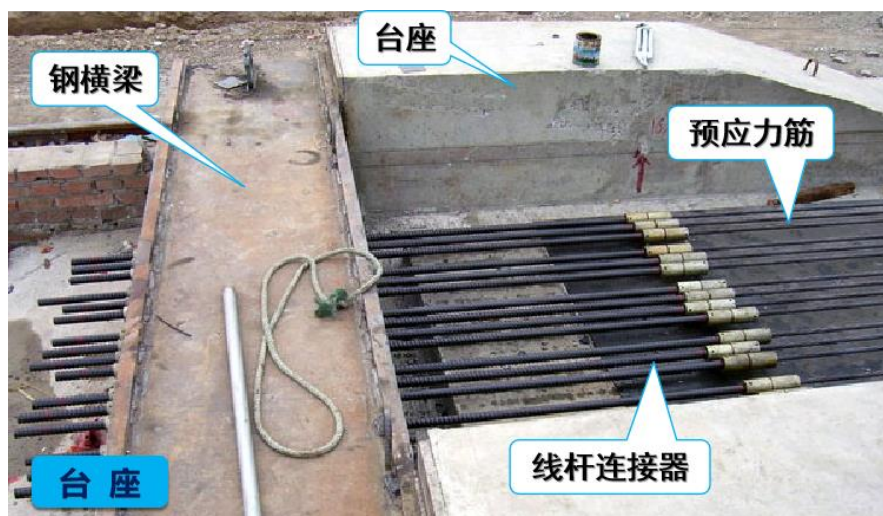
## (1) 墩式台座

适用：生产中、小型构件。

要求：有足够的强度；刚度和稳定性；满足生产工艺。



墩式台座由现浇钢筋砼做成，台座应具有足够的强度、刚度和稳定性，台座设计应进行抗倾覆验算与抗滑移验算。



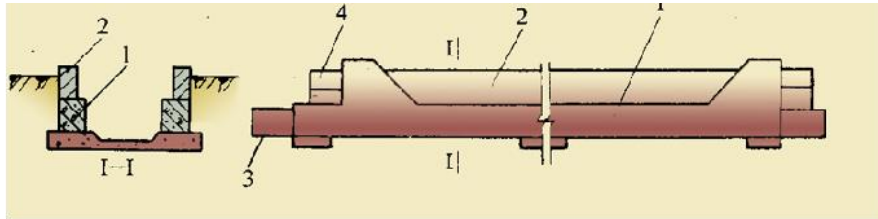
## (2) 槽式台座

组成：端柱、传力柱、横梁和台面。既可承受张拉力和倾覆力矩,加盖后又可作为蒸汽养护槽。

适用：张拉吨位较高的大型构件，如屋架、吊车梁等。

要求：槽式台座设计需进行强度和稳定性计算。





## 台座

1-传力柱 2-砖墙 3-下横梁 4-上横梁

### (3) 钢模台座

钢模台座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，可将预应力钢筋放在模板上进行张拉。



## 台座

箱梁钢模组装

箱梁端部模板作张拉台座

### (1) 钢质锥形夹具

夹具是预应力筋进行张拉和临时固定的工具。分为：锚固夹具、张拉夹具。锚固夹具是将预应力筋临时固定在台座横梁上的工具。

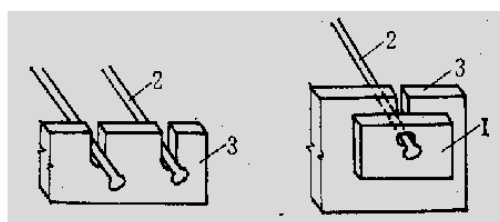


## 夹具

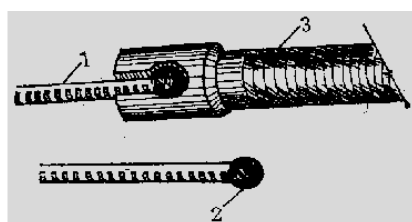
GE钢质锥形锚具

## (2) 墩头夹具

如图所示，采用墩头夹具时，将预应力筋端部热墩或冷墩，通过承力板锚固。



固定端墩头夹具



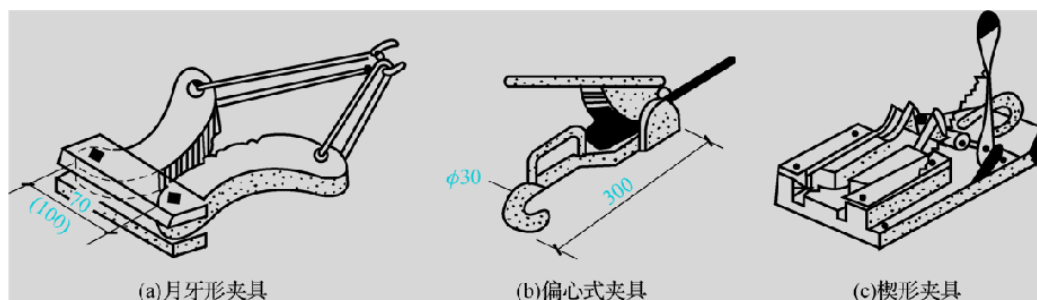
单根墩头钢筋螺杆夹具

1—垫片；2—墩头钢丝；3—承力板

1—钢筋；2—墩粗头；3—张拉螺杆

## 夹 具

## (3) 张拉夹具



(a)月牙形夹具

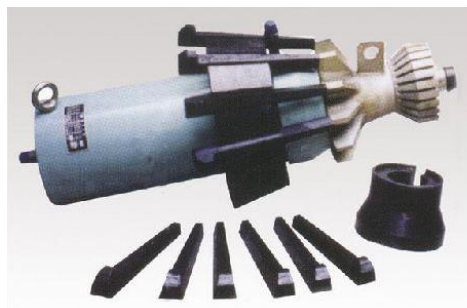
(b)偏心式夹具

(c)楔形夹具

## 夹 具

## (1) 液压千斤顶

张拉设备要求工作可靠，能准确控制应力，能以稳定的速率加大拉力。在先张法中常用的张拉设备有液压千斤顶、卷扬机、电动螺杆张拉机。



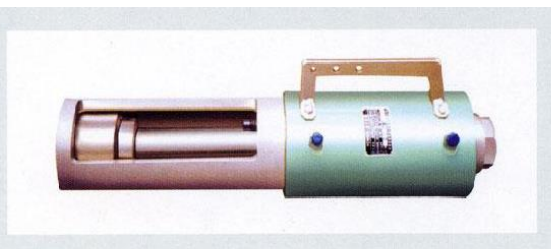
## 张拉设备

YZ锥锚液压千斤顶 主要用于张拉带锥形锚具的钢丝束。



穿心式液压千斤顶

穿心式千斤顶具有一个穿心孔，适用于钢筋和钢绞线。



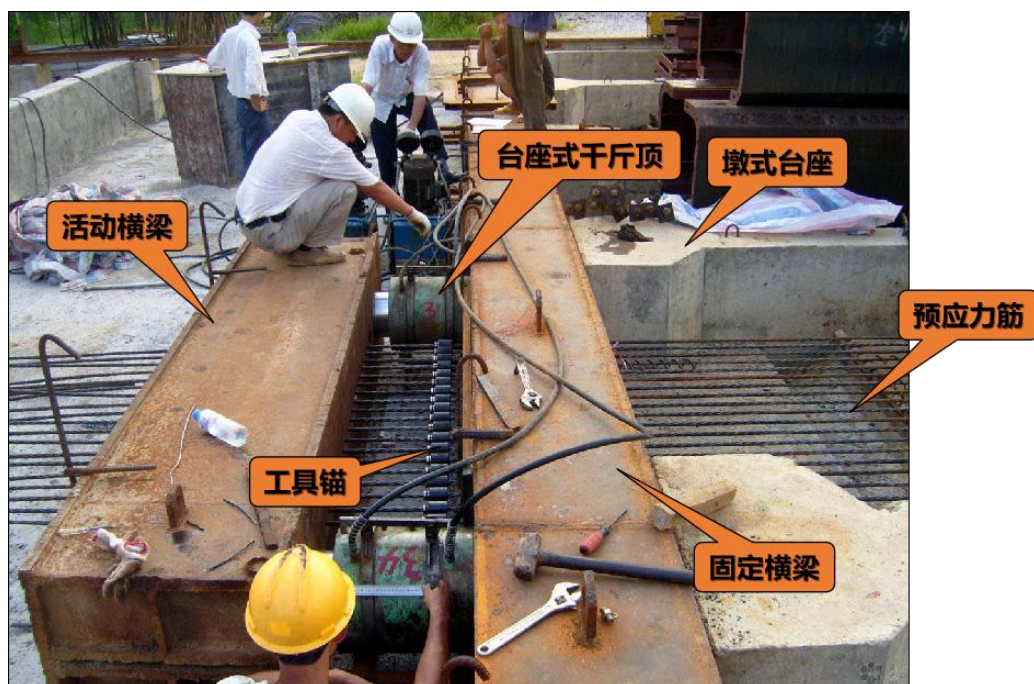
拉杆式液压千斤顶

主要用于张拉力较大的钢筋张拉。

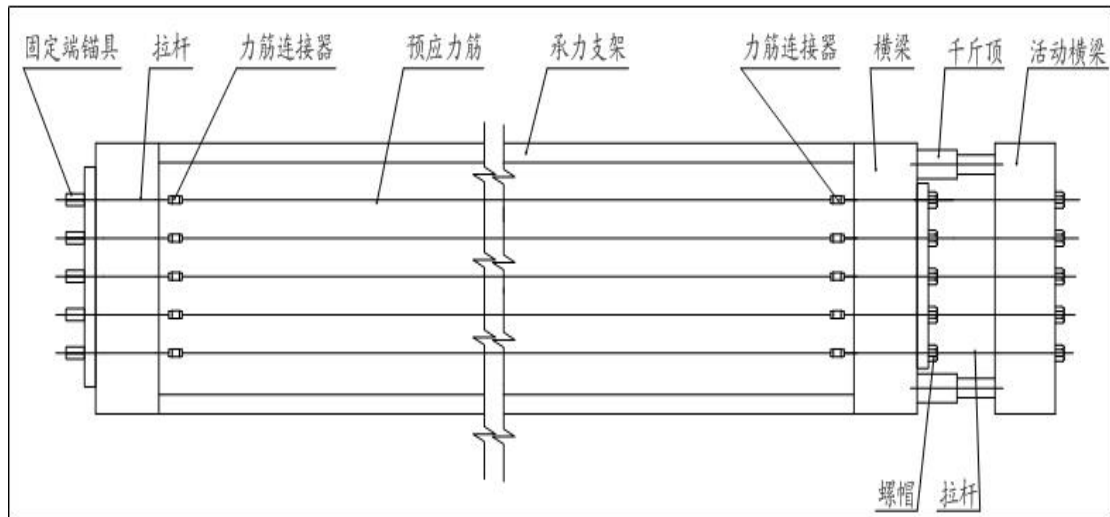
### 张拉设备



### 张拉设备







(2) 电动螺杆张拉机



张拉设备

适用于张拉预应力钢筋或预应力钢丝。

(3) 卷扬机



张拉设备



(二) 先张法预应力施工

(1) 张拉台座应具有足够的强度和刚度，其抗倾覆安全系数不得小于 1.5，抗滑移安全系数不得小于 1.3。张拉横梁应具有足够的刚度，受力后的最大挠度不得大于 2mm。锚板受力中心应与预应力筋合力中心一致。

(2) 预应力筋连同隔离套管应在钢筋骨架完成后一并穿入就位。就位后，严禁使用电弧焊对梁体钢筋及模板进行切割或焊接。隔离套管内端应堵严。

(3) 同时张拉多根预应力筋时，各根预应力筋的初始应力应一致。张拉过程中应使活动横梁与固定横梁始终保持平行。



(4)张拉程序应符合设计要求，设计未要求时，其张拉程序应符合表 1K412015-1 的规定。

张拉钢筋时，为保证施工安全，应在超张拉放张至  $0.9\sigma_{con}$  时安装模板、普通钢筋及预埋件等。

| 先张法预应力筋张拉程序 |                                                                        | 表2K312015-1 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 预应力筋种类      | 张 拉 程 序                                                                |             |
| 钢筋          | 0→初应力→1.05σ <sub>con</sub> →0.9σ <sub>con</sub> →σ <sub>con</sub> （锚固） |             |
| 钢丝、钢绞线      | 0→初应力→1.05σ <sub>con</sub> （持荷2min）→0→σ <sub>con</sub> （锚固）            |             |
|             | 对于夹片式等具有自锚性能的锚具：                                                       |             |
|             | 普通松弛力筋0→初应力→1.03σ <sub>con</sub> （锚固）                                  |             |
|             | 低松弛力筋0→初应力→σ <sub>con</sub> （持荷2min锚固）                                 |             |

注：① 表中σ<sub>con</sub>为张拉时的控制应力值，包括预应力损失值；

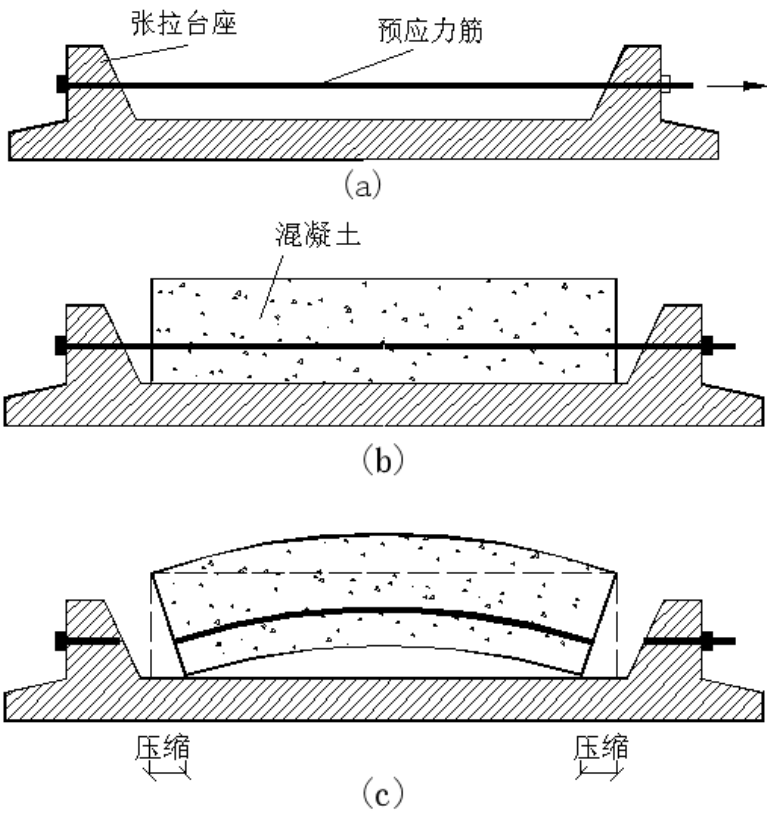
② 张拉钢筋时，为保证施工安全，应在超张拉放张至0.9σ<sub>con</sub>时安装模板、普通钢筋及预埋件等。

(5)张拉过程中，预应力筋的断丝、断筋数量不得超过表 1K412015-2 的规定。

| 先张法预应力筋断丝限制 |                   | 表1K412015-2 |
|-------------|-------------------|-------------|
| 预应力筋种类      | 项 目               | 控 制 值       |
| 钢筋          | 断筋                | 不允许         |
| 钢丝、钢绞线      | 同一构件内断丝数不得超过钢丝总数的 | 1%          |

(6)放张预应力筋时混凝土强度必须符合设计要求，设计未规定时，不得低于强度设计值的75%。放张顺序应符合设计要求，设计未规定时，应分阶段、对称、交错地放张。放张前，应将限制位移的模板拆除。

幻灯片 29



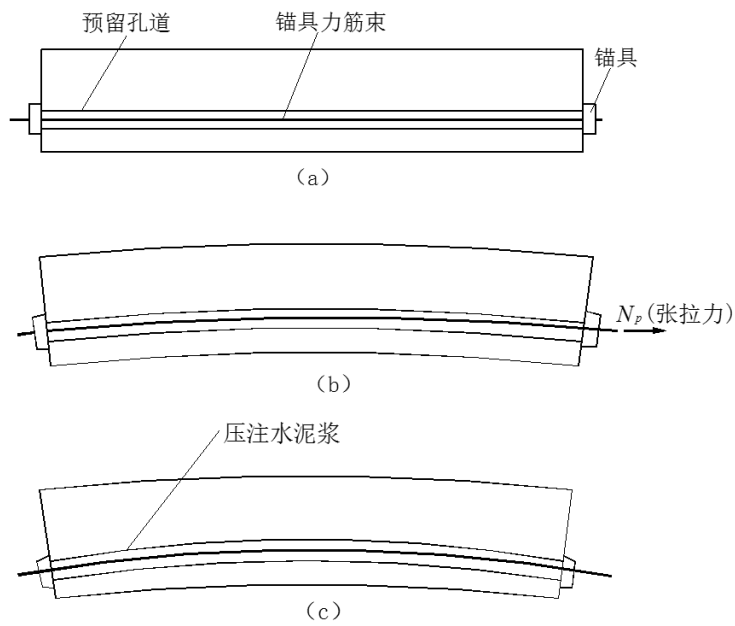


工艺过程：

- 1.浇筑混凝土结构或构件（留孔）
- 2.养护拆模
- 3.（达 75%强度后）穿筋张拉
- 4.固定
- 5.孔道灌浆
- 6.混凝土达 100%后，移动、吊装。

施工设备：

1. 锚具
2. 管道
3. 张拉设备（液压千斤顶）



锚具：后张法结构或构件中为保持预应力筋的拉力并将其传递到砼的永久性锚固装置。

锚具按锚固性能分两类：

I 类——承受动、静载的无粘结、有粘结的预应力混凝土；

II 类——有粘结、预应力筋的应力变化不大的部位。

| 锚具性能   | I 类                     | II 类                    |
|--------|-------------------------|-------------------------|
| 锚具效率系数 | $\eta_a \geq 0.95$      | $\eta_a \geq 0.9$       |
| 锚具的总应变 | $\epsilon_u \geq 2.0\%$ | $\epsilon_u \geq 1.7\%$ |

对于重要结构使用的锚具，预应力筋的效率系数（ $\eta_p$ ）按国标规定计算；对于一般结构，预应力筋的效率系数取 0.97。

构件中固定：用钢筋井字架，间距不大于 0.8 ~ 1.0m；螺旋管固定后，必须用铅丝与钢筋扎牢，防止浇筑砼时螺旋管上浮而造成严重事故。



曲线孔道的固定



南京长江三桥引桥的连续梁箱梁底板及腹板塑料波纹管的安装。



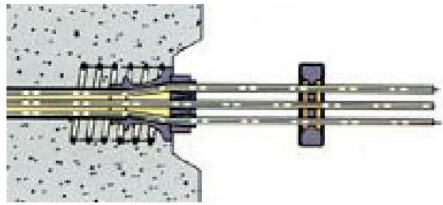


南京火车站站前广场高架桥的镀锌金属波纹管安装，波纹管内已穿入钢绞线。

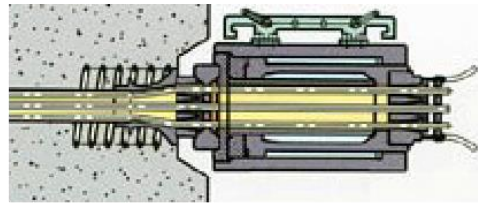


南京奥体中心工程体育场四周大平台双向有粘结预应力梁的金属波纹管及泌水管的安装。

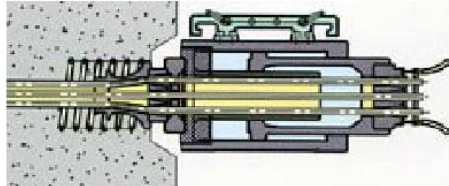




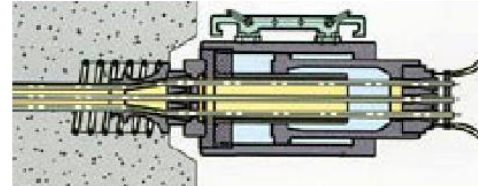
1.准备工作



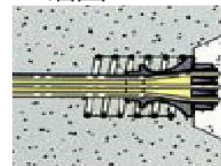
2.千斤顶定位安装



3.张拉



4.锚固



5.封锚

## 张拉

分批张拉方式：对配有多束预应力筋的构件分批进行张拉，由于后批预应力筋张拉所产生的混凝土弹性压缩对先批张拉的预应力筋造成预应力损失，所以先批张拉的预应力筋应加上该弹性压缩损失值，使分批张拉的每根预应力筋的张拉力基本相等。



## 张拉

预应力箱梁的分批、对称张拉      预应力T梁的分批张拉

分段张拉方式：在多跨连续梁板施工时，通长的预应力筋需要逐段进行张拉，第二段及后段的预应力筋利用锚头连接器与前段预应力筋进行接长。

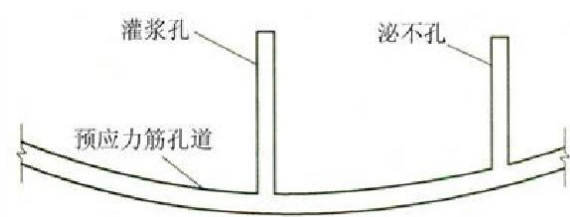




## 张拉

(1) 预应力管道安装应符合下列要求：(P55)

- 1)管道应采用定位钢筋牢固地定位于设计位置。
- 2)金属管道接头应采用套管连接，连接套管宜采用大一个直径型号的同类管道，且应与金属管道封裹严密。
- 3)管道应留压浆孔与溢浆孔；曲线孔道的波峰部位应留排气孔；在最低部位宜留排水孔。
- 4)管道安装就位后应立即通孔检查，发现堵塞应及时疏通。管道经检查合格后应及时将其端面封堵，防止杂物进入；
- 5)管道安装后，需在其附近进行焊接作业时，必须对管道采取保护措施。



(2) 预应力筋安装应符合下列要求：

- 1)先穿束后浇混凝土时，浇筑混凝土之前，必须检查管道并确认完好；浇筑混凝土时应定时抽动、转动预应力筋。
- 2)先浇混凝土后穿束时，浇筑后应立即疏通管道，确保其畅通。



3)混凝土采用蒸汽养护时，养护期内不得装入预应力筋。

4)穿束后至孔道灌浆完成应控制在下列时间以内，否则应对预应力筋采取防锈措施：

空气湿度大于 70%或盐分过大时，7d；

空气湿度 40%~70%时，15d；

空气湿度小于 40%时，20d。

5)在预应力筋附近进行电焊时，应对预应力筋采取保护措施。

(3)预应力筋张拉应符合下列要求：

1)混凝土强度应符合设计要求，设计未要求时，不得低于强度设计值的 75%；且应将限制位移的模板拆除后，方可进行张拉。

2)预应力筋张拉端的设置应符合设计要求。当设计未要求时，应符合下列规定：

曲线预应力筋或长度大于等于 25m 的直线预应力筋，宜在两端张拉；长度小于 25m 的直线预应力筋，可在一端张拉。

当同一截面中有多束一端张拉的预应力筋时，张拉端宜均匀交错地设置在结构的两端。



(3)预应力筋张拉应符合下列要求:

3)张拉前应根据设计要求对孔道的摩阻损失进行实测，以便确定张拉控制应力值，并确定预应力筋的理论伸长值。

4)预应力筋的张拉顺序应符合设计要求。当设计无要求时，可采取分批、分阶段对称张拉。宜先中间，后上、下或两侧。



5)预应力筋张拉程序应符合表 1K412015-3 的规定。

| 后张法预应力筋张拉程序表                                                              |               | 表1K412015-3                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 预应力筋种类                                                                    |               | 张 拉 程 序                                                                         |
| 钢绞线束                                                                      | 对夹片式等有自锚性能的锚具 | 普通松弛力筋 0→初应力→1.03 $\sigma_{con}$ （锚固）<br>低松弛力筋 0→初应力→ $\sigma_{con}$ （持荷2min锚固） |
|                                                                           | 其他锚具          | 0→初应力→1.05 $\sigma_{con}$ （持荷2min）→ $\sigma_{con}$ （锚固）                         |
| 钢丝束                                                                       | 对夹片式等有自锚性能的锚具 | 普通松弛力筋 0→初应力→1.03 $\sigma_{con}$ （锚固）<br>低松弛力筋 0→初应力→ $\sigma_{con}$ （持荷2min锚固） |
|                                                                           | 其他锚具          | 0→初应力→1.05 $\sigma_{con}$ （持荷2min）→0→ $\sigma_{con}$ （锚固）                       |
| 精轧螺纹钢                                                                     | 直线配筋时         | 0→初应力→ $\sigma_{con}$ （持荷2min锚固）                                                |
|                                                                           | 曲线配筋时         | 0→ $\sigma_{con}$ （持荷2min）→0（上述程序可反复几次）<br>→初应力→ $\sigma_{con}$ （持荷2min锚固）      |
| 注：① $\sigma_{con}$ 为张拉时的控制应力值，包括预应力损失值。<br>② 梁的竖向预应力筋可一次张拉到控制应力，持荷5min锚固。 |               |                                                                                 |

6)张拉过程中预应力筋断丝、滑丝、断筋的数量不得超过表 1K412015-4 的规定。

| 后张法预应力筋断丝、滑丝、断筋控制值表 |                     | 表1K412015-4 |
|---------------------|---------------------|-------------|
| 预应力筋种类              | 项 目                 | 控 制 值       |
| 钢丝束、钢绞线束            | 每束钢丝断丝、滑丝           | 1根          |
|                     | 每束钢绞线断丝、滑丝          | 1丝          |
|                     | 每个断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的 | 1%          |
| 钢 筋                 | 断筋                  | 不允许         |

注：①钢绞线断丝系指单根钢绞线内钢丝的断丝；  
②超过表列控制数量时，原则上应更换。当不能更换时，在条件许可下，可采取补救措施，如提高其他钢丝束控制应力值，应满足设计上各阶段极限状态的要求。

(4) 张拉控制应力达到稳定后方可锚固。锚具应用封端混凝土保护，当需较长时间外露时，应采取防锈蚀措施。锚固完毕经检验合格后，方可切割端头多余的预应力筋。



(1) 预应力筋张拉后，应及时进行孔道压浆，多跨连续有连接器的预应力筋孔道，应张拉完一段灌注一段。孔道压浆宜采用水泥浆。水泥浆的强度应符合设计要求，设计无要求时不得低于 30MPa。

(2) 压浆后应从检查孔抽查压浆的密实情况，如有不实，应及时处理。压浆作业，每一工作班应留取不少于 3 组试块，标养 28d，以其抗压强度作为水泥浆质量的评定依据。





### 孔道压浆（水泥浆）强度试验报告

试验室名称：武汉永立鼎泰工程检测有限公司武深高速公路  
嘉鱼北段总承包项目经理部一分部工地试验室

编号：S5—011—BG—S01-12

|           |      |                                         |                       |              |     |       |           |                |      |              |  |
|-----------|------|-----------------------------------------|-----------------------|--------------|-----|-------|-----------|----------------|------|--------------|--|
| 委托/施工单位   |      | 中交第二航务工程局有限公司                           |                       |              |     | 委托编号  |           | /              |      |              |  |
| 工程名称      |      | 武深高速公路嘉鱼北段总承包项目经理部一分部                   |                       |              |     | 样品编号  |           | /              |      |              |  |
| 工程部位/用途   |      |                                         |                       |              |     | 样品描述  |           | 流动性良好          |      |              |  |
| 试验依据      |      | GB/T 17671-1999                         |                       |              |     | 判定依据  |           | JTG/T F50-2011 |      |              |  |
| 取样地点      |      | 西凉湖 1#特大桥                               |                       |              |     | 样品名称  |           | M50 净浆         |      |              |  |
| 主要仪器设备及编号 |      | 实验搅拌机、水泥电动抗折试验机 WJ-070、水泥自动压力试验机 WJ-071 |                       |              |     |       |           |                |      |              |  |
| 孔道编号：     |      | —                                       |                       | 设计强度：        |     | 50MPa |           | 水泥品种：          |      | P.O 42.5     |  |
| 膨胀剂品种及掺量： |      |                                         | 中交二航武港院 YJ-200，内掺 10% |              |     |       | 配合比：      |                |      | 1440:160:448 |  |
| 编号        | 制件日期 | 试压日期                                    | 龄期<br>(d)             | 抗折强度(MPa)    |     |       | 抗压强度(MPa) |                |      |              |  |
|           |      |                                         |                       | 破坏荷载<br>(kN) | 单值  | 平均值   | 受压面积(cm²) | 破坏荷载<br>(kN)   | 单值   | 平均           |  |
|           |      |                                         |                       |              |     |       |           |                |      |              |  |
|           |      |                                         |                       | 3900.59      | 9.1 |       | 16        | 79.5           | 49.7 |              |  |
|           |      |                                         |                       |              |     |       | 16        | 71.7           | 44.8 |              |  |

(3) 压浆过程中及压浆后 48h 内，结构混凝土的温度不得低于 5℃，否则应采取保温措施。

当白天气温高于 35℃时，压浆宜在夜间进行。

(4) 埋设在结构内的锚具，压浆后应及时浇筑封锚混凝土。封锚混凝土的强度等级应符合设计要求，不宜低于结构混凝土强度等级的 80%，且不低于 30MPa。

(5) 孔道内的水泥浆强度达到设计规定后方可吊移预制构件；设计未要求时，应不低于砂浆设计强度的 75%。



#### 四、质量事故预防措施

##### (一) 人员控制 (P363)

(1) 承担预应力施工的单位应具有相应的施工资质。

(2) 预应力张拉施工应由工程项目技术负责人主持。

(3) 张拉作业人员应经培训考核，合格后方可上岗。



## （二）设备控制

（1）张拉设备的校准期限不得超过半年，且不得超过 200 次张拉作业。

（2）张拉设备应配套校准，配套使用。

## 四、质量事故预防措施

### （一）预应力施工

应按设计要求，编制专项施工方案和作业指导书，并按相关规定审批。

### （二）预应力筋进场检验

（1）外观检验：要求预应力筋展开后应平顺，不得有弯折，表面不应有裂纹、小刺、机械损伤、氧化铁皮和油污等。

（2）按照《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224—2014 规定，按进场的批次抽样进行力学性能等检验，并检查产品合格证、出厂检验报告和进场试验报告。

（3）进场检验批和项目的规定，详见 1K412015 条。

### （三）预应力用锚具、夹具和连接器进场检验

（1）外观检验：核对数量、型号及相应配件。锚具应无锈蚀、机械损伤和裂纹等，尺寸满足允许偏差要求。

（2）按照相关规范规定，按进场的批次抽样复验其硬度、静载锚固试验等，并检查产品合格证、出厂检验报告和进场试验报告。

（3）进场检验批和项目的规定，详见 1K412015 条。





#### (四) 波纹管进厂检验

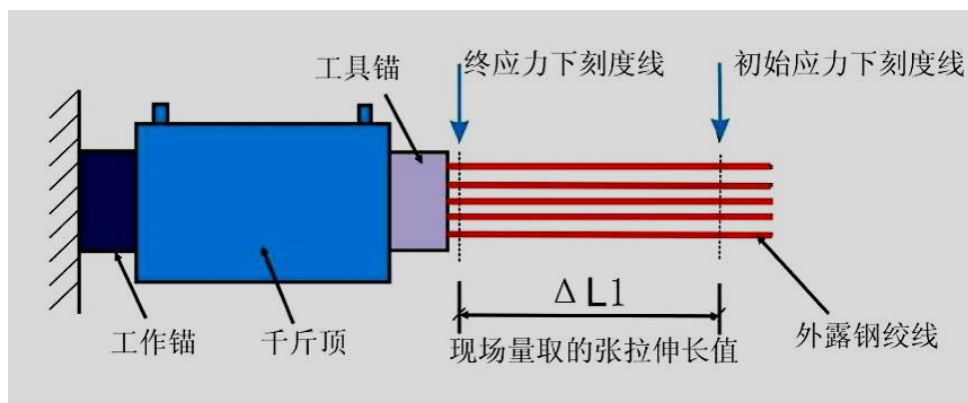
- (1) 金属波纹管外观检查应无锈蚀、空洞和不规则皱褶，咬口开裂脱扣等现象。
- (2) 塑料波纹管内壁应光滑，壁厚均匀，且不应有气泡、裂口、分解变色线及明显杂质。



#### (一) 下料与安装

- (1) 预应力筋及孔道的品种、规格、数量必须符合设计要求。
- (2) 预应力筋下料长度应经计算，并考虑模具尺寸及张拉千斤顶所需长度；严禁使用电弧焊切割。
- (3) 锚垫板和螺旋筋安装位置应准确，保证预应力筋与锚垫板面垂直。锚板受力中心应与预应力筋合力中心一致。
- (4) 波纹管安装应严格按照设计要求确定位置，曲线平滑、平顺；架立筋应绑扎牢固，波纹管接头应严密不得漏浆。管道应留压浆孔和溢浆孔。
- (5) 预应力筋及波纹管安装应避免电焊火花等造成损伤。
- (6) 预应力筋穿束宜用卷扬机整束牵引，应依据具体情况采用先穿法或后穿法。但必须保证预应力筋平顺，没有扭绞现象。

## (二) 张拉与锚固



- (1) 张拉时，混凝土强度、张拉顺序和工艺应符合设计要求和相关规范规定。
- (2) 张拉前应根据设计要求对孔道的摩阻损失进行实测，以便确定张拉控制应力，并确定预应力筋的理论伸长值。
- (3) 张拉应保证逐渐加大拉力，不得突然加大拉力，以保证应力正确传递。张拉过程中，先张预应力筋的断丝、断筋数量不得超过表 2K312015-2 和后张预应力筋的滑丝、断丝、断筋数量不得超过表 2K312015-4 的规定。
- (4) 张拉施工质量控制应做到“六不张拉”，即：没有预应力筋出厂材料合格证、预应力筋规格不符合设计要求、配套件不符合设计要求、张拉前交底不清、准备工作不充分安全设施未做好、混凝土强度达不到设计要求，不张拉。
- (5) 张拉控制应力达到稳定后方可锚固，锚固后预应力筋的外露长度不宜小于 30mm。对锚具应采用封端混凝土保护，当需较长时间外露时，应采取防锈蚀措施。锚固完毕经检验合格后，方可切割端头多余的预应力筋，严禁使用电弧焊切割。



## 强交安，正规套

### (三) 压浆与封锚

(1) 张拉后，应及时进行孔道压浆，宜采用真空辅助法压浆；水泥浆的强度应符合设计要求，且不得低于 30MPa。

(2) 压浆时排气孔、排水孔应有水泥浓浆溢出。应从检查孔抽查压浆的密实情况，如有不实，应及时处理。

(3) 压浆过程中及压浆后 48h 内，结构混凝土的温度不得低于 5°C。当白天气温高于 35°C 时，压浆宜在夜间进行。

(4) 压浆后应及时浇筑封锚混凝土。封锚混凝土的强度应符合设计要求，不宜低于结构混凝土强度等级的 80%，且不得低于 30MPa。

