

## 大吨位预应力后张拉施工技术

### Big Tonnage Prestress and Post-tension Construction Technique

郝发领

(中国核工业华兴建设公司, 江苏仪征 211900)

**摘要:** 秦山三期工程安全壳大吨位预应力后张拉施工技术是核电站施工中较为复杂的部分。本文就预应力管道的埋设、大吨位预应力钢束的后张拉、预应力孔道灌浆施工技术等方面作一详述。

**关键词:** 大吨位预应力后张拉 安全壳 施工技术

**Abstract:** The big tonnage prestressing and post-tensioning technique is a complex part of containment construction of Qinshan Phase III Project. This paper describes in detail the construction techniques in three aspects, i.e. the embedment of prestressing tubes, the post-tensioning of big tonnage prestressed steel cable and the concrete pour in prestressing tunnels etc.

**Key words:** Big tonnage prestressing and post-tensioning Containment Construction technique

秦山三期工程安全壳为预应力钢筋混凝土结构, 由底板、筒体墙、环梁和穹顶四部分组成。其施工顺序为: 基础底板→滑模施工安全壳筒体墙→内部结构→环梁和穹顶。整个安全壳内表面使用环氧树脂衬里代替传统的钢衬里, 这对预应力的施工质量提出了很高的要求。安全壳基础底板是边长为12.7 m的正12边形, 厚度1.68 m; 筒体墙外直径43.59 m, 壁厚1.07 m, 高度42.29 m; 环梁厚1.9 m, 高4.27 m; 穹顶的外球径41.45 m, 厚度为0.61 m。为了便于内部结构中大型设备排管容器的安装, 设计上在筒体墙上留出一个施工用的10.82×11.46 m临时开口, 用于排管容器的运输安装通道, 在排管容器安装就位及内部结构施工基本完成后对此临时开口进行封堵。

预应力系统钢绞线束分布在核安全壳结构的基础底板、筒体墙、环梁和穹顶。底板预应力钢束共有126束, 分三层互成120°角, 呈直线分别布置在底板的底部和顶部, 每层21束, 每束长度在26~50 m之间, 钢束的两端锚固在底板的外侧。筒身墙内预应力钢束分竖向、水平向两个方向: 竖向预应力钢束124束, 全部呈直线单排垂直布置在筒身墙内半径为 $R=21.26$  m的位置, 每束长度为48.24 m, 孔道平均间距为1200 mm, 钢束的上端锚固在环梁顶部、下端锚固在预应力施工廊道的顶面; 环向钢束146束, 环绕筒身1/2或1/4圆周呈单排布置在半径为 $R=21.599$  m的筒身墙内, 钢束的两端锚固在扶壁柱的两侧。环梁钢束16束, 分上、下两层, 呈双排布置在半径 $R=21.793$  m和 $22.047$  m的环梁内, 每根环绕1/2圆周, 钢束的两端锚固在环梁的外侧。穹顶钢束141束, 分三层三个方向分别布置在球半径 $R=41.634$  m、 $41.758$  m和 $41.881$  m的外穹顶内, 每层47束, 每层的间距为123 mm, 钢束的两侧锚固在环梁的外侧。每个从X压抽懈质?53束, 孔道总长约28 500 m。

## 1 预应力孔道埋设施工技术

### 1.1 预应力材料的特性

本工程预应力系统全部采用法国“Freyssinet C-Range System包括25C15、37C15锚具和相关部件”的定型设计和生产的配套系列产品。筒体墙水平向、穹顶和环梁锚具为25C15锚具, 基础底板、筒体墙竖向为37C15锚具。底板钢束孔道使用 $\Phi 139.7$  mmOD×2.9 mm的光滑钢管成孔, 竖向钢束孔道在底板及环梁部分均采用定型钢管, 在筒身墙内的竖向孔道采用滑模上的 $\Phi 146$  mmOD×6.5 mm预应力钢管滑杆对砼抽芯成

综 述  
核 电 设 计  
工 程 管 理  
工 程 建 造  
运 行 维 护  
核 安 全  
核 电 前 期  
核 电 论 坛  
核 电 经 济  
核 电 国 产 化  
质 量 保 证  
核 电 信 息

孔。筒体墙水平向钢束孔道采用 $\Phi 110$  mmID $\times$ 0.6 mm的磷化波纹管成孔，环梁和穹顶钢束孔道采用 $\Phi 114.3$  mmOD $\times$ 2.6 mm的光滑钢管成孔。在浇筑砼前预埋导管形成钢束孔道，待砼强度达到28 MPa后，用于后穿预应力钢绞线，经千斤顶张拉后获得预应力。为使张拉后的钢绞线在孔道内不被腐蚀，并在预应力钢束与砼之间有良好的粘结，往预应力孔道内灌入水泥浆以及在锚固端的外面浇筑上封锚砼进行永久性保护。

## 1.2 管道埋设

### 1.2.1 预应力导管预埋施工前的准备

#### (1) 波纹管的制作

波纹管 and 波纹套管（波纹管接头）在预应力生产车间内使用波纹卷管机将磷化钢带（78 mm $\times$ 0.6 mm）卷制而成。根据现场的实际需要将每节波纹管切割成12.0 m长，波纹套管（接头）的长度每节为600 mm，每10根波纹管捆成一捆，施工时用平板车运到施工现场，波纹管起吊用专门的尼龙软吊索，禁止使用钢丝绳，以免损伤波纹管。

#### (2) 钢管的加工

将采购的钢管按照设计图纸和相关工作程序的要求进行切割、扩口、弯曲、编号并绑扎成捆，用平板车运抵施工现场。起吊时用专门的尼龙软吊索。

#### (3) 锚固组件的组装

- 在夹具中固定喇叭口/管接头；
- 管/灌浆接头三点焊接，环氧树脂密封（焊后），不使用热收缩套管；
- 灌浆管插入插口，随后用环氧树脂覆盖，并插入灌浆接头的入口中。检查密封的完好性并焊在U形钢管支撑上。

### 1.2.2 预应力锚固件及钢管的安装

#### 1.2.2.1 钢束锚固件的安装

根据设计图纸，在相应的位置定位放线，安装固定承压板的角钢梯架，经校准后，逐个将锚固组件（包括承压板、喇叭管、灌浆管）固定在角钢梯架上，最后将承压板用沉头螺栓固定在开洞的模板上。为避免模板与承压板接缝间漏浆，可先在承压板周围贴上海绵密封条。

#### 1.2.2.2 水平束管、穹顶束管的安装

在导管安装前，先将在车间内预先加工好的三角架或角钢支撑架固定好。安装钢管时，将预先在车间内根据图纸尺寸切割、扩口的钢管按编号顺序摆放在三角支撑架上，多余的钢管用型材切割机切割，由于钢管通常是一端带有虫型扩口的，在接头部位，将钢管的非扩口端插入扩口端内部，调整导管位置使之与轴线重合后，用绑扎铁丝将钢管绑扎固定，接头部位用环氧树脂和热缩胶套密封，在两个非扩口端连接处，用一根两端都扩口的钢管连接，用环氧树脂和热缩胶套密封。

#### 1.2.2.3 竖向束管道的成孔

将预先在车间内加工好的连接钢管插入到竖向钢束喇叭管的灌浆连接件上，经双向调准其垂直度后将其与灌浆连接件点焊起来，并用环氧树脂加以密封。竖向连接钢管的固定用 $\Phi 12$  mm和 $\Phi 20$  mm的钢筋支撑， $\Phi 20$  mm支撑的间距约为1.5 m，用12#铁丝将钢管与 $\Phi 12$  mm钢筋绑扎在一起，钢筋支撑与底板钢筋绑扎起来，使之成为一个整体，如需要，可以将钢管点焊在钢筋上，但不能焊穿钢管，焊穿的部分应立即补上，避免漏浆。固定后的钢管，用塑料布将管口封住，包扎好，避免杂物进入阻塞孔道。

因安全壳筒体墙施工采用滑模施工工艺，位于其中的竖向钢束孔道是通过滑模时的成孔管随着滑模的上升在混凝土中提升形成混凝土孔道，当砼浇筑到+136.12 m标高时，滑模上的预应力滑杆即留在筒体墙内作为预应力钢束孔道的一部分，在施工下环梁时，用一节适当长度的钢管连接在滑杆上面，连接方式采用焊接。待绑扎完环梁钢筋后将竖向孔道上端的锚固件安装在钢管上面，用钢筋支撑牢固并进行定位密封。

### 1.2.3 管道接头的连接及密封形式

管道接头的连接及密封形式有三种：（1）波纹管与波纹管之间的连接；（2）波纹管与钢管之间的连接；（3）钢管与钢管之间的连接。

#### 1.2.4 二次灌浆口的位置和安装

在环向孔道上弯段（高度>1.2 m时）的最高点两侧6-8 m处各设一个二次灌浆口，下弯段的（高度>1.2 m时）最低点设一灌浆口；每根穹顶孔道的最高点两侧4-5 m处各设一个二次灌浆口。

#### 1.2.5 孔道的通孔

为了避免预应力孔道发生堵塞，在管道安装完后混凝土浇筑前、浇注期间和浇筑后，都应进行通孔，以保证孔道的畅通。底板、筒墙环向、环梁和穹顶孔道使用的是木制通球。用一根Φ5的高强钢丝，两端各拴一个木球，从孔道的一端通向另一端。竖向孔道的通孔是在滑模停止后，用一根足够牢的尼龙绳系一个钢球，让钢球从孔道上口靠其自重下落到廊道底后，再把钢球从上面拉出来。

### 2 预应力张拉施工技术

#### 2.1 预应力张拉施工设备及材料

本工程使用的主要张拉千斤顶设备有两种，即：C1000F型千斤顶和K700C型千斤顶。

##### 2.1.1 C1000F型千斤顶

C1000F型千斤顶主要特性如下：

张拉活塞面积	1349 cm <sup>2</sup>
回程活塞面积	210.5 cm <sup>2</sup>
液压顶锚活塞面积	98.5 cm <sup>2</sup>
加锚/脱锚活塞面积	131.5 cm <sup>2</sup>
最大张拉力	700 bar
冲程	300 mm
最大直径	582 mm
重量	1150 kg

##### 2.1.2 K700C型千斤顶

K700C型千斤顶主要特征如下：

张拉活塞面积	980 cm <sup>2</sup>
液压顶锚活塞面积	99 cm <sup>2</sup>
回程活塞面积	589 cm <sup>2</sup>
最大张拉力	625 bar
冲程	250 mm
最大直径	609或640 mm
重量	1300 kg

## 2.1.3 材料

筒体墙水平向、穹顶、环梁采用25C15锚具，筒体墙竖向、底板采用37C15锚具。钢绞线采用强度等级为1860 MPa，直径15.7 mm，公称面积150 mm<sup>2</sup>，极限负荷为279 kN，符合EN10138第3条要求的低松弛7丝裸线型钢绞线。

## 2.2 张拉前的准备工作

### (1) 预应力钢束的穿束施工

钢绞线两端采用锚夹片式锚固。

钢束孔道的穿束顺序要根据张拉的分组顺序而定，穿入的钢绞线应在14天内张拉。因为现场的温度及防腐措施最多也只能保持14天，否则，必须采取其它措施进行防腐。

使用穿束机将钢绞线推入孔道，穿束机的控制是摇控式的，分慢进、快进和倒退三档。穿束前将钢绞线放入钢绞线解线盘内，并从内圈抽出单根钢绞线端头固定在钢绞线解线盘出线口处。将装有钢绞线的解线盘放在离钢束孔道口较近的适当的位置上，当解线盘与穿束机之间相距较远时，可用钢管或波纹管过渡，从中引出钢绞线，通过穿束机后，在钢绞线端头装上导向头，以免钢绞线在穿束过程中松散在孔道中。导向头分球形和尖形两种，在穿竖向孔道钢绞线时用尖形导向头，穿其它孔道钢绞线时用球形导向头。

### (2) 安装锚固块和锚夹片

### (3) 校验压力表

### (4) 安装千斤顶

通过千斤顶上部的梁将千斤顶悬挂在支撑上。此梁具有调节系统，使千斤顶姿态与钢束出口轴线成直线。C1000F千斤顶从内部锁紧钢绞线。给脱楔室加压至50 bar使千斤顶内部楔块松开以保证钢绞线能够进入。

K700C型千斤顶属于后外锚式的，工具锚及工具夹片位于千斤顶的外后部。

对于这两种类型，均把千斤顶悬挂在一个位置使得千斤顶头部距钢束中钢绞线端部5-6 cm，在千斤顶前端每个钢绞线位置都装有短的可收缩管。钢绞线可从其中穿过。此操作须保证钢绞线在千斤顶中没有交叉现象，可使用金属梳以方便此项操作。当所有钢绞线穿过相对于锚块千斤顶前部的正确位置时，把千斤顶推至锚块座上。

预应力张拉前C1000F千斤顶的准备：

张拉活塞张开25 mm；

通过给楔室加压到150 bar使千斤顶楔块啮合。

预应力张拉前K700C千斤顶的准备：

仔细给千斤顶加压。千斤顶将顶紧在锚具上。此时连续往上敲击楔以保证它们夹紧钢绞线，直至千斤顶达到预应力操作的第一荷载阶段。

## 2.3 张拉操作

### 2.3.1 千斤顶待施拉力的确定--Po

需增大千斤顶施加的外力以补偿钢束（K1）通过锚具总成（喇叭口，楔块）的摩擦损失。并通过考虑校准千斤顶而补偿千斤顶自身（K2）的内摩擦损失。

根据

$$\frac{F \times 100}{(1 - K1)(1 - K2)} = At \times Po$$

得到

$$P_o = \frac{F \times 100}{A_t(1 - K_1)(1 - K_2)}$$

其中：

F是要求的钢束受力，kN，

A<sub>t</sub>是千斤顶张拉活塞表面面积，cm<sup>2</sup>，

P<sub>o</sub>最终千斤顶拉力，bar，

K<sub>1</sub>为此预应力系统的损失值，

K<sub>2</sub>是从千斤顶校准报告中所取的总平均损失值。

中间受力是从相同的公式中计算或从P<sub>o</sub>值中按比例获得的，例如使用一个总平均摩擦损失为1.5%的校正过的C1000F千斤顶将一个25C15钢束（15.7 mm直径，1860 MPa的钢绞线，断裂荷载279 kN）张拉到极限荷载的80%，最终施加的张拉力为：

$$P_o = \frac{25 \times 279 \times 0.8 \times 100}{1349 \times 0.975 \times 0.985} = 431 \text{ (bar)}$$

对于K700C千斤顶为：

$$P_o = \frac{25 \times 279 \times 0.8 \times 100}{980 \times 0.975 \times 0.985} = 593 \text{ (bar)}$$

张拉力分阶段施加，为方便起见每次增加100 bar直至最终力值，因此对于431 bar这个最终力值应按100—200—300—431 bar顺序阶段性实现。

第一阶段使用100 bar力作为在100 bar和最终力之间测量延伸率的测量基准点，然后对全荷载范围按比例地纠正。

为避免钢束超应力的情况，以95%的最终力引入一个附加的阶段到预应力顺序中，在此警告力值P<sub>w</sub>下，评估钢束的延伸率并决定是否继续达到最终力值。

### 2.3.2 张拉操作（以25C15两端同时张拉为例）

可用两种方法进行此项操作：

（1）两端同时张拉（SDES）--使用两个千斤顶，钢束两端各一个，平行操作。

（2）两端延迟张拉（DDES）--一端先张拉，一段时间后，用同一千斤顶或另一千斤顶在另一端进行预应力张拉，延迟时间应尽可能短。

由张拉监督员控制张拉操作，使钢束每一端的施加荷载同时增加，在两端都完成测量后才进行下一级的工作。

排出液压软管的空气，将软管连接到千斤顶上正确的端口上，将千斤顶安装到钢束上。千斤顶活塞开启25 mm，千斤顶楔块已啮合。

以下所述操作在两个千斤顶上同时进行：

泵压至50 bar，检查锚具锚块是否在喇叭口的中心位置；

泵压至100 bar，排空千斤顶的楔室；

在一根钢绞线上安装测量延伸率的专用装置；

滑动指针接触千斤顶的背面，将其设置为零并紧固固定螺钉；

增加至200 bar；

测量指针与千斤顶背面之间的间隙。记录测量值。（此值与钢束另一端相同的测量值一起共同表示两个荷载增加值之间钢束的的延伸率）。用预计值检查测量到的此间隙时的延伸率；

增压至300 bar；

测量间隙并记录。用设计值校核测量到的延伸率；

增加压力至 $P_w$ --最终压力 $P_o$ 的95%；

测量间隙并记录；

根据钢束两端的测量值计算此阶段延伸率 $A$ 并将其与此力计算值 $A_w$ 相比较，确保延伸率满足设计要求。

在预应力张拉被动端操作：

按下控制装置上的"顶锚"键驱动千斤顶上的楔块顶紧装置；将楔块封闭到锚块中（C1000F- 205巴；K700C-145巴）并按下控制装置上的"卸压"键或缓慢开启泵上的卸压阀门缓缓地将张拉压力减少到50 bar 以使荷载传递到锚块上；

测量内缩值；

测量间隙并记录；

拆除千斤。完成一组钢束的张拉操作。

## 2.4 意外事故的处理

当张拉完某根钢束后，如发现伸长值超出设计值的规定范围，应在查明原因之后，才能进行下一步的工作。在张拉过程中，如发现千斤顶或油泵漏油等故障，应立即停止张拉查明原因，维修油泵或千斤顶。当钢绞线出现断裂时，应将受影响的钢束从孔道内取出并将断裂的钢绞线更换。如发现有部分钢绞线滑丝时，应用单根张拉千斤顶补张拉到控制应力，应记录补张拉的伸长值。

## 2.5 质量控制

对原材料的质量进行控制（锚具试验、预应力组合性能试验）；

做好操作人员的培训和考核及施工前的交底工作；

张拉设备的校准；

压力表的读数；

张拉伸长值的测量；

摩擦系数的验证（将摩擦试验结果与经验设计采用值进行比较、验证）。

## 3 预应力孔道灌浆施工技术

在后张拉中，按预应力筋的粘结状态可分为：有粘结和无粘结预应力。本项目预应力为有粘结后张拉系统。

### 3.1 灌浆材料

预应力灌浆的浆体由水、水泥和外加剂按一定的比例置于高速涡轮搅拌机中均匀搅拌而成。

竖向钢筋束的浆体不含膨胀剂，浆体配合比的设计要尽可能少泌水。

#### 3.1.1 水泥

水泥必须是被批准用于核电站施工的无假凝现象的硅酸盐水泥。

### 3.1.2 水

必须干净；

总固体物含量不得超过2000 ppm；

Cl<sup>-</sup>不得超过100 ppm；

S042<sup>-</sup>：≤250 mg/l；

Mg2<sup>+</sup>：≤125 mg/l。

水对浆体的性能影响，必须通过用所指定的水和蒸馏水做下列试验来进行比较。

安定性--用指定搅拌水所获得的结果不得比用蒸馏水所获得的结果高出+0.10。

凝结时间--用指定搅拌水所获得的结果与用蒸馏水所得的结果相比，初凝时间相差不超过±10分钟，而终凝时间相差不超过±1小时。

抗压强度--结果不得比用蒸馏水所得的结果低10%。

### 3.1.3 化学外加剂

应满足加拿大国家标准CAN3-A266.2的要求。

### 3.1.4 水泥浆体

#### 3.1.4.1 化学特性

浆体的化学成份中氯离子、硝酸根离子等可以腐蚀预应力钢束的杂质不得超过以下限制。

Cl<sup>-</sup>—每千克浆体中250 mg。

NO3<sup>-</sup>—每千克浆体中含100 mg。

酸碱度，PH值应大于11而小于13.5。

#### 3.1.4.2 物理特性

如下性能指标必须满足规定的要求：流动度、泌水率、膨胀率、初凝、终凝、孔隙度、收缩率、抗压强度、水灰比以及在20℃下10小时之后的流动度。

### 3.2 浆体加工

缓凝浆体首先在搅拌机中搅拌，而后排入配有搅拌器的存储罐后等待二次搅拌。

膨胀浆体要求一个轻便搅拌机。

#### 3.2.1 配料

从水泥罐中提取水泥用重量配料斗称重，精确度为±3%。

添加剂用计量仪或按体积（液体）手工法分批计量，或者直接在天平（粉末）上称量。精确度为±2%。

水测量装置的精确度应为±1%。

#### 3.2.2 缓凝浆体

### 3.2.2.1 组成比例

缓凝浆体所有成分都要符合技术规范的要求。

浆体进行适配性测试和验收测试后，决定准确的搅拌比例。

水泥 100 kg

水 32-38 l

添加剂1 1.2-1.8 kg SP 337 (Fosroc)

添加剂2 0.3-0.5 kg RP 264 (Fosroc)

### 3.2.2.2 搅拌

将计量过的水倒进搅拌机，然后加Conplast SP 337；

开动搅拌机，加水泥。持续搅拌5分钟；

对取自搅拌机中央的浆体进行流动度检查；

如果流动度满足要求，通过筛子把浆体排进贮存桶中；

静放至少45分钟；

加Conplast RP 264，继续搅拌浆体5分钟；

检查流动度；

立即使用浆体或放置储存。

### 3.2.2.3 搅拌特征

#### (1) 流动度

流动时间（流动锥）应在下列范围内：

加工时 9-13 s

使用 10-14 s

#### (2) 泌水

3小时后的泌水应小于1%，渗出的水24小时后应当又被全部吸收。

#### (3) 温度

二次搅拌桶内的浆体温度应在10~32℃之间。

### 3.2.3 膨胀浆体

#### 3.2.3.1 组成比例

膨胀浆体所有成分都要符合技术规范的有关要求。

进行适配性测试和验收测试后，确定正确的搅拌比例。

适当的搅拌比例为（100 kg水泥）：



水泥 100 kg

水 32~38 l

外加剂 1~3 kg Intrplast Z (sika)

### 3.2.3.2 搅拌程序

将计量过的水倒进搅拌机；

开动搅拌机，加水泥。持续搅拌约2.5分钟；

倒进Intrplast Z，继续搅拌2.5分钟；

通过筛子把浆体转移到贮存桶中，保持缓慢搅动以免分凝。

### 3.2.3.3 搅拌特征

如果要保留有效膨胀，拌好的膨胀浆体必须在搅拌30分钟内使用。

#### (1) 流动度

流动时间（流动锥），在加工和使用时应于14和26 s之间。

#### (2) 膨胀和泌水

3小时后膨胀百分率应界于1-2%之间。

#### (3) 温度

贮存桶中的浆体的温度应不大于25℃。

## 3.3 灌浆操作

### 3.3.1 钢束的类型

基础底板水平向钢束：全部为F2类；

筒体墙水平向钢束：除C45为B1类，C51为H1类外其余全为F2类；

筒体墙竖向钢束：全部为V类；

环梁钢束：全部为F2类；

穹顶钢束：全部为D类。

### 3.3.2 灌浆的准备工作

为使浆体自由地从一端通向另一端，孔道必须干净且畅通无阻。

对于所有的钢束孔道，灌浆排气管的直径皆为1.5英寸。

核查灌浆支持性文件。

待张拉获得了认可后，则使用砂轮切割机从锚块处将突出于锚块外的钢绞线端头切掉（禁止使用乙炔、电焊等切割）。

然后在钢束两端的承压板上分别装上灌浆帽：

基础底板、筒体墙水平向钢束、环梁钢束和穹顶钢束只是临时灌浆帽。

筒体墙竖向钢束使用永久灌浆帽。

在孔道灌浆前，应进行规定的密封性检查，以确保灌浆的顺利进行。

### 3.3.3 水平向钢束——F2类

孔道结构示意图见图1。



图 1

使用缓凝型二次搅拌浆体。

除L1和R1外，所有排气管都应关闭。

当浆体流动度满足要求后，向进料软管中泵入浆体排出空气并与L1相连；

开始泵浆，灌浆速度为10~16米/分，开始计时；

当浆体达到R1时停止计时；

当获得均匀浆体时在R1处取样并检查流动度；

必要时可再次泵送和检查流动度，直到流动度介于10~14 s之间；

调节泵至较小输出；

打开L4（或R4）和泵，直到出现均质浆体，关停泵和关闭排气管；

打开R4（或L4）和泵，直到出现均质浆体。关停泵和关闭排气管；

增加压力至5 bar，停止供浆并检查30 s内压力的稳定性，必要时可重复该操作。

关闭L1，取下或断开软管。

### 3.3.4 水平向钢束——B1类

孔道结构示意图见图2。

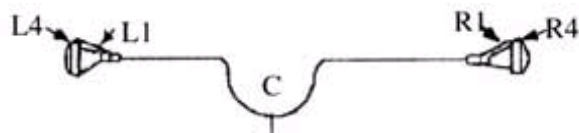


图 2

这类钢束将从C处的中间排气管处进行灌浆。

使用缓凝型二次搅拌浆体。

从孔道较短的一段开始灌浆。下面的方法是假设较短的一段为LC段。

除C和L1外，所有排气孔应关闭。

在正常的情况下，浆体从C流向L，然后由C流向R，每一分支上的操作与F2类钢束的操作相同。

### 3.3.5 水平向钢束——H1类

孔道结构示意图见图3。

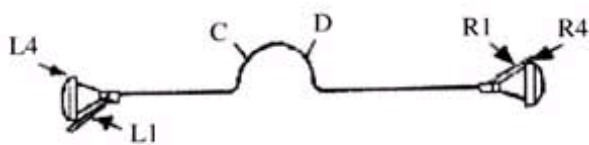


图 3

关闭除L1和R1外的所有排气孔并按针对F2类钢束的方法进行首次灌浆。

在首次灌浆3-5 h之后，用低压压缩空气在C和D之间排气，逐渐增大空气输出量至最大。

改换连接，并从相反方向吹入空气。

在当浆体仍保持有流动度期间，应重复上述操作至少一次，其目的是获得和维持排气管之间的畅通性。

二次灌浆：在首次灌注的浆体已经硬化后，但最多一周之内，应采用膨胀浆体对C和D之间的孔道段进行二次灌浆。

注：若超出上述时间，在进行二次灌浆前，应用1-2 l水将C-D之间首次灌注的硬化浆体喷湿，这有助于保持浆体的流动度。

意外事件：对于未达到规定灌浆速度的钢束或其灌浆被中断了3次的钢束，在进行再次注浆的前一刻，应将它们排空，然后在低于6 bar的压力下吹入空气。

这些操作应当在浆体丧失流动性前完成。

### 3.3.6 竖向钢束——V类

孔道结构示意图见图4。

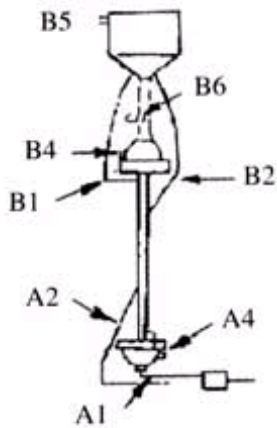


图 4

V类钢束应使用缓凝型二次搅拌浆体进行灌浆。

筒体墙竖向钢束顶部应使用永久性灌浆帽。

按图示连接灌浆管线。

上部锚具的密封盖中心配有一个扩口的排气管，该排气管由一个内径为80 mm的管子与一个最少容量为120 l的储浆罐相连。储浆罐通过两个柔性的透明软管与喇叭口和灌浆连接器排气管相连。

安全压力：

安全压力调节器调节在18 bar的位置上。

在此压力下的泵输出将相应地根据孔道内10-14 (m/min) 的灌浆速度来调节。对于筒体墙竖向钢束，泵输出在5600至7900 l/h之间。

由滑模滑杆形成的孔道应在灌浆前湿润。

关闭排气管A2;

打开排气管A1, A4, B1, B2和B4;

提供足够填满钢束孔道的浆体;

浆体被泵至软管端部, 所有空气和浮浆被排出, 检查浆体流动度, 它必须介于10-14 s之间;

将软管与底部锚具处的Y形连接器的第三个支腿相连;

以低输出速率泵送浆体, 直到浆体到达A4排气管, 然后关掉A4;

打开A2, 继续以低输出泵送浆体约6 s; 增加泵送量至正常值——灌浆速度10-14 m/min, 开始计时;

当浆体达到B4时停止计时并关闭B4;

当浆体进入B6时进行取样。检查流动度;

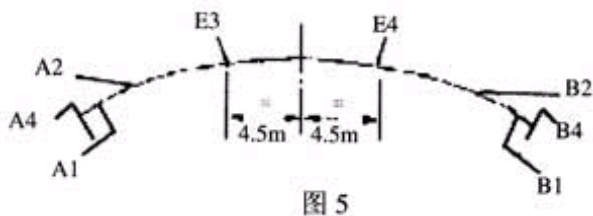
继续泵送直到料罐装满和B5处发生溢流;

在样品流动度介于10-14 s之间时停止泵送, 关闭B6;

关闭A1和A2。

### 3.3.7 穹顶钢束——D类

孔道结构示意图见图5。



A1和B1为灌浆帽内的中心排气管;

A2和B2为灌浆连接器的排气管;

A4和B4为密封盖内的排气孔;

E3和E4是二次灌浆用冠顶排气管;

穹顶钢束的首次灌浆中将使用缓凝型二次搅拌浆体, 排气管E3和E4之间的二次灌浆将使用膨胀浆。

对于A1, A2, B1和B2处灌浆共需4根软管, 每一分支都配备一个阀门和压力表。

在压力下的输出设置应保证3-8 m/min的灌浆速度 (1100-2900 l/h)。

安全压力调节器设置在10 bar;

在压缩空气回路中将安装一个设置为低压的减压器以用于吹风。

二次灌浆用膨胀浆体的搅拌和泵送设备应能保证在30 min内完成浆体制备和灌注, 以便于维持孔道内浆体的膨胀性。

方法步骤: 与H1类钢束操作基本相同。

### 3.4 质量控制

### 3.4.1 材料控制

#### (1) 水泥

对于每批货在卸车之前，必须提取水泥试样并送到现场实验室做下列试验：水泥类型的快速识别；假凝试验；热膨胀试验（结果必须 $\leq 10$  mm）。只有当快速识别符合正确的水泥型号且假凝试验为负值时方可卸车。

#### (2) 水

每六个月对浆体搅拌用水做一次检测。

#### (3) 浆体

对流动度必须进行下列试验：每次搅拌后的混合物做一个试验；二次搅拌之后试验（仅针对于缓凝浆体）；每个入管的试验；每个出管处的试验（仅用于缓凝浆体）；泌水率或膨胀率；每次轮换开始时要做一次试验。

### 3.4.2 过程控制

#### (1) 流动度

应在以下部位取得浆体样并测定流动度：每一进浆管口；在灌浆操作中提到的所有排气管；流动度值对于缓凝型浆体应在10~14 s之间；对于膨胀浆体应在14~26 s之间。

#### (2) 压力

应坚持监测灌浆压力，使其不超过：10 bar（对于首次灌浆，水平管道）；5 bar（对于二次灌浆）。

#### (3) 温度

开始灌浆前，缓凝型二次搅拌浆体的温度不应超过32℃；对于膨胀浆体它不应超过25℃。

#### (4) 环境条件

缓凝二次搅拌浆体对温度敏感。因此，在如下条件下必须采取预防措施：

如果环境温度超过20℃，必须用凉水搅拌，以使浆体温度不超过最大限制，如果环境温度超过35℃，则应当停止灌浆。

如果测得孔道的温度低于5℃或者环境温度降至0℃以下或预计在随后的48小时降至0℃以下，则应当推迟灌浆直到条件得到改善。

#### (5) 临时防腐保护

如果气温过低和因其他因素影响不能如期灌浆，则应对钢束进行临时防腐保护。做法是使用特殊的设备在钢束孔道内喷入适量的水可溶性油对钢束进行临时保护。灌浆之前用清洁水冲洗干净，并用无油的压缩空气将孔道内的水份吹干。

#### (6) 意外事故的处理

在灌浆期间，如灌浆泵发生突然停机或其它原因，使得灌浆必须中断，应立即停止灌浆，并用压缩空气和水从灌浆端的反方向将浆体吹出，直到孔道内没有浆体为止。

