

中华人民共和国行业标准

**水工预应力锚固施工规范**

Construction specification for hydraulic  
prestressed anchorage

SL46—94

主编单位：长江葛洲坝工程局  
批准部门：中华人民共和国水利部  
施行日期：1994年7月1日

中华人民共和国水利部

关于发布《水工预应力锚固施工规范》  
SL46—94 的通知

水建 [1994] 94 号

为适应水利水电工程预应力锚固施工的需要，我部委托葛洲坝工程局为主编单位，负责组织编制了《水工预应力锚固施工技术规范》，经审查，现批准为中华人民共和国水利行业标准，其编号为 SL46—94，自一九九四年七月一日起施行。

各单位在执行中应注意总结经验，发现问题请及时函告水利部建设司和主编单位。  
本规范由水利部建设司负责解释，水利电力出版社出版发行。

1994 年 3 月 31 日

## 目 次

1 总则	1023
2 一般规定	1023
3 造孔	1024
4 锚束制作与安放	1025
5 张拉	1027
6 防护	1028
7 试验与观测	1029
8 质量与安全	1030
9 验收	1031
附录 A 预应力锚固张拉设备性能	1032
附录 B 预应力锚固施工现场记录表	1035
附录 C 名词术语	1040
附加说明	1041
条文说明	1042

## 1 总 则

- 1.0.1 本规范适用于水利水电工程中的地基、边坡、地下洞室的岩体及水工混凝土的预应力锚固施工。
- 1.0.2 预应力锚固工程开工前，必须作好设计交底，编制施工措施计划，进行技术培训。
- 1.0.3 施工过程中应认真推行全面质量管理。
- 1.0.4 预应力锚固应结合工程实际，求实创新，采用的新材料、新工艺、新技术、新设备均应在施工前进行试验论证和技术鉴定，并报有关部门批准。

## 2 一 般 规 定

- 2.0.1 根据设计要求所选用的预应力钢材必须符合下列标准：

钢丝：《预应力混凝土用钢丝》GB5223；

钢绞线：《预应力混凝土用钢绞线》GB5224；

钢筋：《预应力混凝土用热处理钢筋》GB4463。

- 2.0.2 凡选用非国家标准的预应力材料，应具有充分论证及相应的技术鉴定，并报有关部门批准。

对国外进口的标准预应力钢材，可按产品质量证书、标牌及说明书、进口协议文件等足以证明其质量标准的文件代替技术鉴定。

- 2.0.3 预应力钢材必须具有出厂质量证书及标牌。使用前必须经抽样检查，合格后方可使用。

2.0.4 预应力钢材应入库、架空储存，不得露天堆放。储存仓库除应符合一般金属材料仓库要求外，还应增设防潮、防腐蚀设施。

在运输、储存过程中，预应力钢材不得与硫化物、氯化物、氟化物、亚硫酸盐、硝酸盐等有害物质直接接触或同库储存。

- 2.0.5 预应力锚束直接接触的浆材用水泥，必须符合《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB175的技术要求。水泥的运输、储存应符合《水工混凝土施工规范》SDJ207的要求。

2.0.6 预应力锚固施工用水泥浆材，如需掺用外加剂，其氯离子含量不得大于水泥重量的0.02%，并不得产生气泡，或降低浆材的pH值。

- 2.0.7 预应力锚固施工用的水、砂、石子均应符合《水工混凝土施工规范》SDJ207的规定。

- 2.0.8 预应力锚束永久性防护涂层材料必须满足以下各项要求：

- (1) 对预应力钢材具有防腐蚀作用；
- (2) 与预应力钢材具有牢固的粘结性，且无有害反应；
- (3) 能与预应力钢材同步变形，在高应力状态下不脱壳、不脆裂；

(4) 具有较好的化学稳定性, 在强碱条件下不降低其耐久性;

(5) 便于施工操作。

**2.0.9** 预应力锚束的隔离架与绑扎丝均不得使用有色金属材料的镀层或涂层。

**2.0.10** 永久性防护所用的金属和非金属套管, 均应具有可靠的防潮性能, 套管壁厚应能承受锚束施工中难以避免的外力冲击。钢管镀层不得采用有色金属, 塑料套管应具有化学稳定性与耐久性。

套管长期在碱性环境中, 不得变软、变硬, 或分解出可能引起锈蚀的有害成分。

**2.0.11** 钻孔、灌浆、张拉、机械设备及锚夹具的选型, 应符合设计要求及施工条件。张拉设备技术性能指标及选型配套见附录 A。

**2.0.12** 机械式锚固段宜选用金刚石钻头钻孔。

**2.0.13** 锚夹具的强度、精度及材质硬度匹配应符合设计要求。厂家应提供产品证书及进场检验所必需的技术参数。

**2.0.14** 锚夹具的运输、储存、防护条件应与预应力钢材相同。

## 3 造 孔

### 3.1 钻孔

**3.1.1** 预应力锚孔的钻孔作业中, 对本规范未作规定的事项, 应符合《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》SL62—94 的有关规定。

**3.1.2** 钻孔的孔深、孔径均不得小于设计值, 钻孔的倾角、方位角应符合设计要求。其允许误差值如下:

(1) 有效孔深的超深不得大于 20cm;

(2) 机械式锚固段的超径不得大于孔径的 3%, 最大不得大于 5mm;

(3) 孔斜误差不得大于 3%; 凡有特殊要求时其孔斜误差不宜大于 0.8%;

(4) 孔口坐标误差不得大于 10cm。

**3.1.3** 当孔位受建筑物或地形条件限制无法施工时, 应会同设计人员拟定新孔位。

**3.1.4** 严格校验开孔时钻具的倾角及方位角, 不得对设计的倾角作任何修改。

**3.1.5** 钻孔过程中, 应加强钻具的导向作用; 及时检测孔斜误差, 并视钻孔需要, 合理采用纠偏措施。

**3.1.6** 钻孔应穿过滑裂面, 锚固段应设在较新鲜的岩层中。施工中发现与上述要求不符时, 应会同设计商定修正。

### 3.2 留孔

**3.2.1** 新浇混凝土结构内的锚孔宜采用预留孔。预留孔的方式, 可按现场条件选用埋管法或拔管法。

**3.2.2** 埋管的管模必须架立牢靠, 并加妥善保护。施工中应严防碰撞、折损, 如发现有位

移、损伤，应及时校正，待修复合格后才能继续浇筑混凝土。

3.2.3 拔管时间应通过现场试验确定。

3.2.4 拔管的管模支撑及固定措施均不得妨碍拔管操作。

3.2.5 埋管及拔管的管模敷设均应防止接头处发生折线或错动，并妥善保护接头，防止漏浆。

3.2.6 预留成孔后，必须进行通畅孔道的检查，如发现问题应及时处理。

通孔检查后应作好孔口保护，防止异物、污水进入孔道。

3.2.7 预埋管模及支架的安装精度应参照《水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范》SLJ、DLJ201 有关规定执行。

### 3.3 锚孔围岩灌浆

3.3.1 预应力锚孔围岩灌浆应按设计要求执行。

3.3.2 锚孔围岩灌浆应分段进行，段长不宜大于 8m，施工要求应按《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》SL62—94 固结灌浆有关规定执行。

3.3.3 锚孔围岩灌浆不宜简单重复，若效果不能达到设计要求时，应研究其他补救措施。

3.3.4 锚孔围岩灌浆应采用单钻单灌，如发现严重串孔，应会同设计人员采取有效补救措施。

3.3.5 扫孔作业宜在灌浆后 1~3d 进行，扫孔不得破坏缝内充填的水泥结石；扫孔后应清洗干净，孔内不得残留废渣、岩芯。

### 3.4 孔口承压垫座

3.4.1 锚孔孔口必须设有平整、牢固的承压垫座。

3.4.2 承压垫座的几何尺寸、结构强度必须满足设计要求。承压面与锚孔轴线应保持垂直，其误差不得大于  $0.5^\circ$ ；垫座孔道中心线应与锚孔轴线重合。

3.4.3 承压钢垫板底部混凝土或水泥砂浆必须充填密实，安装牢固。

## 4 锚束制作与安放

### 4.1 锚束制作

4.1.1 不同类型的锚束应按不同的施工方法与质量要求进行制作。制作过程中应填写班报及质检记录。

4.1.2 锚束制作宜在加工车间或厂棚内进行。

4.1.3 预应力钢材的下料长度，应满足锚束结构设计及工艺操作要求。

4.1.4 采用两端镦头型的镦头锚，锚束下料长度误差应不大于下料长度的  $1/5000$ ，且不得超过 5mm。下料时必须采用机械切割机切割，严禁采用电弧切割。

- 4.1.5 除镦头锚外，其他类型锚头的锚束下料长度与切割方法，可按施工要求选定。
- 4.1.6 锚束制作所采用的隔离架、支撑环装置及绑扎方式均不得妨碍张拉与灌浆的施工操作，并应预留灌浆、排气管道。
- 4.1.7 预应力钢材编束应排列平顺，绑扎牢固。
- 4.1.8 镦头作业环境温度宜在 $5^{\circ}\text{C}$ 以上，镦头必须经检验合格后方能进行编束。
- 4.1.9 锚束制作完成后，应进行外观检验，并签发合格证。

应按锚孔编号挂牌堆放成品锚束，并注明完成日期。无合格证及孔号牌的锚束不得出厂。

- 4.1.10 锚束应堆放在干燥、通风的支架上，并分层平铺，不得叠压。支架支点间距不宜大于 $2\text{m}$ 。

## 4.2 锚束运输与安放

- 4.2.1 锚束的运输与吊装应因地制宜拟定方案。

- 4.2.2 锚束的运输应按下列规定执行：

(1) 水平运输中，各支点间距不得大于 $2\text{m}$ ，转弯半径不宜过小，以不改变锚束结构为限；

(2) 垂直运输时，除主吊点外，其他吊点应能在锚束入孔前快速、安全脱钩；

(3) 运输、吊装过程中，应细心操作，不得损伤锚束及其防护涂层；

(4) 由车辆串联的水平运输车队，应另设直接受力的连接杆件，锚束不得直接受力。

- 4.2.3 锚束入孔前必须进行下列各项检验，合格后方能进行吊装安放。

(1) 锚孔内及孔口周围杂物必须清除干净；

(2) 锚束的孔号牌与锚孔孔号必须相同，并应该对孔深与锚束长度；

(3) 锚束应无明显弯曲、扭转现象；

(4) 锚束防护涂层无损伤，凡有损伤必须修复；

(5) 锚束中的进浆、排气管道必须畅通，阻塞器必须完好；

(6) 承压垫座不得损坏、变形。

- 4.2.4 胶结式锚固段的施工，应符合下列规定：

(1) 向下倾斜的锚孔，当孔内无积水，并能在 $30\text{min}$ 内完成放束时，可采用先填浆后放锚束的施工方法；当孔内积水很难排尽时，可采用先放锚束后填浆的施工方法，放束后应及时填浆；

(2) 水平孔及仰孔安放锚束时，必须设置阻塞器，并采用先放束后灌浆的施工方法；阻塞器不得发生滑移、漏浆现象。

- 4.2.5 机械式锚固段的锚束安放前，应检测孔径与锚具外径匹配程度。放束时锚束应顺直、均匀用力。锚束就位后应先抽动活结，使外夹片弹开，嵌紧孔壁。

- 4.2.6 镦头锚对穿锚束安放时，必须对锚具螺纹妥善保护，严防损伤；张拉端孔口应增设防护罩，固定端活动锚具内外螺纹应衔接完好。

- 4.2.7 分束张拉的锚束，吊装时应确保锚束平顺，全束不得扭曲，各分束不得相互交叉。钢绞线端部应绑扎牢固，锚束或测力装置应紧贴孔口垫板。

## 5 张 拉

### 5.1 张拉准备

5.1.1 张拉设备必须配套标定,并绘制压力表读数——张拉力关系曲线,以指导现场张拉作业。

5.1.2 施工量测用的压力表精度应不低于1.5级。配套标定张拉设备用的测力装置及压力试验机,其误差不得大于±2%。

压力表常用读数不宜超过表盘刻度的75%。

5.1.3 预应力锚固用的张拉机具、设备和仪表,应由专人保管、使用,并定期维护和标定。未经标定或标定不合格的张拉设备不得使用。

5.1.4 张拉设备的标定间隔期不宜超过6个月;经拆卸检修的张拉设备或经受强烈撞击的压力表,都必须重新标定。

5.1.5 胶结式锚固段、承压垫座混凝土、混凝土柱状锚头等承载强度未达到设计要求时,不得进行张拉。

### 5.2 张拉

5.2.1 设计张拉力、超张拉力、超张拉持荷稳压时间及超载安装力均应与设计要求相符。

5.2.2 采用超张拉施工时,必须通过超张拉持荷稳压后,才能卸荷到设计张拉力。

最大超张拉力不得超过预应力钢材强度标准值的75%。

5.2.3 凡具备补偿张拉条件者,宜在部分预应力损失完成后,进行补偿张拉。凡不具备补偿张拉条件者,宜改用超载安装。

5.2.4 采用应力控制及伸长值校核操作方法,当实际伸长值大于计算伸长值10%或小于5%时,应暂停张拉,查明原因并采取措施予以调整后,方可继续张拉。

5.2.5 采用超张拉方法施工时,其张拉程序应由零逐级到超张拉力,并经持荷稳压后方可卸荷到设计张拉力进行安装。其张拉程序如下:

$$0 \xrightarrow{\text{持荷稳压 } t_{\min}} m\sigma_{\text{con}} \xrightarrow{\text{持荷稳压 } t_{\min}} m\sigma_{\text{con}} \xrightarrow{\text{持荷稳压 } t_{\min}} \sigma_{\text{con}}$$

式中  $m$ ——超张拉系数,要求  $m\sigma_{\text{con}}$  不得大于钢材强度标准值的75%,参考值1.05~1.10;

$t$ ——稳压持荷时间,应不少于2min;

$\sigma_{\text{con}}$ ——设计张拉力。

5.2.6 采用超载安装施工方法,其张拉程序如下:

$$0 \xrightarrow{\text{持荷稳压 } t_{\min}} n\sigma_{\text{con}}$$

式中  $n$ ——超载安装系数,参考值1.05;

$\sigma_{\text{con}}$ ——设计张拉力。

5.2.7 使用多台轻型千斤顶整体张拉同一锚束时,应保证各台千斤顶同步工作。各台千斤



顶的合力点应与锚束轴线重合。

**5.2.8** 使用一台轻型千斤顶分束张拉同一锚束时,必须通过试验确定其张拉程序和分束超载安装系数。

**5.2.9** 张拉时,升荷速率每分钟不宜超过设计应力的 $1/10$ ;卸荷速率每分钟不超过设计应力的 $1/5$ 。

**5.2.10** 胶结式锚固段必要时可作反复张拉;机械式锚固段严禁反复张拉。

**5.2.11** 预应力锚束张拉结束后,须经抽样验收检查,才能切割预应力钢材的超长部分。

预应力钢材在锚具外的外露长度不宜小于20mm。

**5.2.12** 各种锚夹具的内缩量,除设计明确给出外,可参照《钢筋混凝土工程施工及验收规范》GBJ204的有关规定选用。

## 6 防 护

### 6.1 临时防护

**6.1.1** 预应力钢材在锚束的永久防护完成前,都应作好临时防护。

**6.1.2** 临时防护应符合以下规定:

- (1) 切断腐蚀源,避免与有害物质直接接触;
- (2) 防止受潮、受腐蚀气体侵蚀;
- (3) 禁止将预应力钢材及锚束直接堆放在地面或露天储存;
- (4) 锚束安放后,应保持围岩孔内水质的pH值大于10。

**6.1.3** 锚束安放后,应及时进行张拉和作永久防护。张拉前,对临时防护措施应定期检查,并确保锚束得到可靠的防护。

**6.1.4** 埋管预留孔所采用的管模焊缝必须完好无损,并经渗漏检查合格后,方可敷设、埋入。

对管模接头的抗渗要求与管模焊缝相同。

### 6.2 永久防护

**6.2.1** 永久性防护措施可分为有粘结型与无粘结型,但均必须符合设计要求。

**6.2.2** 预应力长期观测孔及其他有特殊要求的锚孔,不得采用有粘结型的永久防护措施。

**6.2.3** 粘结型永久防护的封孔灌浆,必须留有排气孔道;以保证封孔灌浆不出现连通气泡、脱空现象。

**6.2.4** 封孔灌浆所用的纯水泥浆,水灰比宜采用 $0.3\sim 0.4$ ;水泥砂浆水灰比宜采用 $0.5$ 。

**6.2.5** 封孔灌浆所需水泥浆材,应采用高速搅拌机制浆,集中供浆。

**6.2.6** 向下倾斜锚孔封孔灌浆时,进浆管必须插至孔底,要求以浆排水,不扰动浆液;水平孔与仰孔封孔灌浆时,排气管必须插至孔底,全孔封灌密实。

**6.2.7** 水平孔及仰孔封孔灌浆时,应密封孔口,浆液不得漏出孔外。

**6.2.8** 采用有压灌浆,最后5m孔段应进行循环灌浆,要求回浆浓度与进浆浓度相同后方

能结束灌浆。

6.2.9 封孔灌浆必须形成密实的、完整的保护层。隔离架间距不宜大于2m，隔离架支板外露高度不得小于5mm。

6.2.10 无粘结型永久防护涂层与套管材料的技术特性，应符合设计要求。

6.2.11 无粘结型永久防护措施必须可靠、耐久，并且有良好的化学稳定性。孔口应加设防护罩；必须做好防护体系搭接部位的防护；预应力钢材，涂层或套管应伸入锚固段浆体内，其埋入长度不宜小于0.5m。

6.2.12 预应力钢材不得与有色金属材料长期接触。

6.2.13 临时性工程的防护措施应按设计要求执行。

## 7 试验与观测

### 7.1 受力性能试验

7.1.1 预应力锚固的受力性能试验，必须按设计要求进行，并应在正式开工前完成。

7.1.2 受力性能试验应具有代表性，试验数量不得小于3束。当锚固对象或地质条件有明显变化时，应扩大性能试验数量。

7.1.3 受力性能试验所用锚夹具、张拉机具及施工工艺，应与工程实际采用的相同。

7.1.4 性能试验的张拉力值应以测力装置读数为准。试验前，测力装置必须与千斤顶、压力表配套标定。

7.1.5 性能试验束的伸长值、锚束受力的均匀性和摩阻损失等参数均应在分级张拉中同步量测。

7.1.6 受力性能试验的测试，应以初始应力为起始点；初始应力为设计应力的0.2倍，分级张拉力分别为设计值的0.25、0.50、0.75、1.0、1.15倍；但最大张拉力不得超过预应力钢材强度标准值的75%。

### 7.2 观测

7.2.1 长期观测必须按设计文件施工。施工期内，长期观测工作应由施工单位负责检测，预应力锚固工程竣工后，应移交运行单位，继续观测。

7.2.2 长期观测持续时间不宜小于5年。各承担单位必须由专人负责，不得中断观测。

7.2.3 预应力长期观测孔应尽早安排施工，并将测试结果用于指导施工。

7.2.4 长期观测孔所用仪表、接线线路应妥加保护。当仪表受到撞击，或观测数据出现异常时，必须及时查明原因，进行补救处理，才能继续观测。

7.2.5 长期观测资料应及时整理、分析，作好信息反馈。

### 7.3 验收试验

7.3.1 预应力锚固施工中，应按设计要求随机抽样进行验收试验。抽样数量应不小于3束。

- 7.3.2 对高边坡预应力锚固的验收试验,必须在张拉后及时进行。
- 7.3.3 采用有粘结型永久防护的锚束,必须在封孔灌浆前进行验收试验。无粘结型锚束验收试验的时间可由施工条件确定。

验收试验与竣工抽样检查合并进行,其数量为锚束总数的5%。

- 7.3.4 竣工抽样检查的合格标准,按应力控制应为:实测值不得大于设计值5%,并不得小于设计值3%。
- 7.3.5 竣工抽样检查,当发现随机抽样的锚束中有一束不合格时,应加倍扩检;扩检中如再发现不合格时,必须会同设计人员及有关单位研究处理。
- 7.3.6 抽样检查及验收试验全部结束后,应汇总各孔的设计张拉力,评定预应力锚固效果。

#### 7.4 特殊规定

- 7.4.1 凡采用成熟锚固体系的抢险工程、数量较少的预应力锚固工程,可不作性能试验、验收试验及长期观测。
- 7.4.2 临时性预应力锚固和不具备重复张拉条件及无法复查张拉力的预应力锚固工程,其受力性能试验、验收试验的方法,可参照本章有关规定另行制定。
- 7.4.3 对分束张拉的大型锚束,应另行制定验收试验方法。
- 7.4.4 凡采用新材料、新工艺、新型锚束及锚固段的预应力锚固工程,必须按本章规定执行。并根据设计要求增作破坏性试验及长期监测。

## 8 质量与安全

### 8.1 质量管理

- 8.1.1 预应力锚固施工必须建立健全以岗位责任制为主的各项规章制度;认真作好各工序的检查与验收。
- 8.1.2 平行流水作业施工中,上一道工序不合格或未经验收签证的预应力锚固阶段成品,不得进入下一道工序。
- 8.1.3 发生质量事故,施工单位应及时提出事故报告,并与设计等有关单位共同拟定处理措施。

### 8.2 质量检查

- 8.2.1 质量检查应建立以自检为主的三级检查制度。  
施工中,班组必须作好各工序施工记录,及时整理、分析,并作为验收依据。  
施工记录格式见附录B。
- 8.2.2 现场质量检查应按下列规定进行。
- (1) 原材料检查依据:按有关国家标准进行;
  - (2) 预应力钢材抽样标准:在使用前按来料盘数的10%随机抽样检查;

(3) 锚夹具抽样标准：每批外观检查 10%，硬度检查 5%，静载试验 3 套；硬度检查要求同一部件应不少于 3 点；

(4) 锚束及其附件出厂前应全部逐束检查，除应符合设计要求外，必须校验锚束长度及孔号牌与实际孔号、孔深是否相符；

(5) 当发现不合格产品时，应加倍扩检。

**8.2.3** 放束前，质检人员应对锚孔、锚束进行复检。张拉前，按复检结果签发张拉许可证。

**8.2.4** 锚束张拉过程中，施工单位质检人员应跟班检查。当发现施工工艺不符合规范及设计要求，违章作业或有碍人身安全时，质检人员有权暂停施工。

**8.2.5** 设计张拉力的控制与检查，应以压力表读数为准，同时应校验其伸长值。

**8.2.6** 封孔灌浆的沉缩部分复灌后不得留有脱空现象。

**8.2.7** 无粘结预应力锚固及长期观测孔的孔口保护装置必须完好，不得损伤。

**8.2.8** 长期监测系统必须符合设计要求，并应与锚固工程同步完成。

### 8.3 施工安全

**8.3.1** 预应力锚固施工前，必须制定各工序的安全操作规程。

**8.3.2** 张拉操作人员未经考核不得上岗；张拉时必须按规定的操作程序进行，严禁违章操作。

**8.3.3** 锚束吊装放束的作业区，严禁其他工种立体交叉作业。

**8.3.4** 各类锚具在张拉和锚固过程中，不得敲击或猛烈震动，严防锚具失效而飞出伤人。

**8.3.5** 张拉时，千斤顶出力方向的作业区，严禁人员进入。

**8.3.6** 供钻孔、放束、张拉操作的脚手平台，必须牢固可靠，并经检查验收后方可使用。

## 9 验 收

**9.0.1** 预应力锚固工程竣工验收应按《水电站基本建设工程验收规程》SDJ275 及国家有关规定执行。

**9.0.2** 竣工验收应具有以下条件：

(1) 预应力锚固工程已按批准的设计文件施工完毕，质量符合要求，能够正常运行；

(2) 各个阶段验收发现的问题，经处理已达到设计要求；

(3) 按批准设计文件要求设置的长期观测、安全监测装置业已投入运行。

**9.0.3** 预应力锚固竣工验收，施工单位应提供下列资料：

(1) 原材料、锚夹具的出厂合格证；

(2) 原材料现场检验报告、代用材料试验报告及对代用材料有关部门的审批意见；

(3) 混凝土、水泥砂浆强度试验报告；

(4) 施工记录；

(5) 预应力锚固受力性能试验报告；

- (6) 阶段验收专题报告；  
 (7) 施工期内安全监测及长期观测的资料；  
 (8) 质量事故处理结果及重大质量事故专题报告；  
 (9) 预应力锚固工程竣工图表及竣工报告。

## 附录 A 预应力锚固张拉设备性能

A1.0.1 千斤顶技术性能见表 A1~表 A7。

表 A1 YCQ 型系列千斤顶技术性能

项 目		YCQ 型			
		100	200	350	500
1	公称张拉力 (kN)	1380	2080	3460	4960
2	张拉活塞面积 (m <sup>2</sup> )	$2.19 \times 10^{-2}$	$3.3 \times 10^{-2}$	$5.5 \times 10^{-2}$	$88 \times 10^{-2}$
3	公称油压 (MPa)	62	62	62	62
4	回程活塞面积 (m <sup>2</sup> )	$1.13 \times 10^{-2}$	$1.85 \times 10^{-2}$	$2.73 \times 10^{-2}$	$4.27 \times 10^{-2}$
5	回程油压 (MPa)	<29.4	<29.4	<29.4	<29.4
6	穿心孔径 (mm)	90	130	140	170
7	张拉行程 (mm)	150	150	150	200
8	配用油泵	ZB2×2—500 型或 ZB2×2—500S 型			
9	用油种类	10 号或 20 号机械油			
10	配用胶管	G6Ⅲ—00 L=3m			
11	重量 (kg)	116	196	320	580
12	外形尺寸 (mm)	φ258×440	φ340×458	φ420×446	φ490×530

表 A2 YCD 型系列千斤顶技术性能

项 目		YCD 型			
		20	120	200	300
1	公称张拉力 (kN)	200	1200	2000	3000
2	张拉活塞面积 (m <sup>2</sup> )	$51.1 \times 10^{-2}$	$2.9 \times 10^{-2}$	$4.48 \times 10^{-2}$	$6.28 \times 10^{-2}$
3	公称油压 (MPa)	40	50	50	49
4	回程活塞面积 (m <sup>2</sup> )	$39.9 \times 10^{-2}$	$1.77 \times 10^{-2}$	$2.64 \times 10^{-2}$	$3.13 \times 10^{-2}$
5	回程油压 (MPa)		20	20	
6	穿心孔径 (mm)	31	130		200
7	张拉行程 (mm)	200	180	180	250
8	配用油泵	ZB2×2—500 型或 ZB2×2—500S 型			

续表 A2

项 目 \ 型 号		YCD 型			
		20	120	200	300
9	用油种类	10 号或 20 号机械油			
10	配用胶管	G6 Ⅲ—00 L=3m			
11	重量 (kg)	19			500
12	外形尺寸 (mm)	φ108×390	φ315×400	φ390×493	φ390×600

表 A3 YCW 型系列千斤顶技术性能

项 目 \ 型 号		YCW 型			
		100	150	250	350
1	公称张拉力 (kN)	980	1470	2450	3430
2	张拉活塞面积 (m <sup>2</sup> )	1.91×10 <sup>-2</sup>	2.90×10 <sup>-2</sup>	4.52×10 <sup>-2</sup>	6.38×10 <sup>-2</sup>
3	公称油压 (MPa)	51	51	54	54
4	回程活塞面积 (m <sup>2</sup> )	1.13×10 <sup>-2</sup>	1.11×10 <sup>-2</sup>	2.16×10 <sup>-2</sup>	4.02×10 <sup>-2</sup>
5	回程油压 (MPa)	<25	<25	<25	<25
6	穿心孔径 (mm)	90	128	136	190
7	张拉行程 (mm)	200	200	200	200
8	配用油泵	ZB2×2—500 型或 ZB2×2—500S 型			
9	用油种类	10 号或 20 号机械油			
10	配用胶管	G6 Ⅲ—00 L=3m			
11	重量 (kg)	115	193	273	340
12	外形尺寸 (mm)	φ250×480	φ310×510	φ380×491	φ430×510

表 A4 YC 型系列千斤顶技术性能

项 目 \ 型 号		18	60	120	200
		1	公称张拉力 (kN)	180	600
2	公称油压 (MPa)	52	40	50	50
3	张拉缸活塞面积 (m <sup>2</sup> )	3.46×10 <sup>-3</sup>	1.63×10 <sup>-2</sup>	2.5×10 <sup>-2</sup>	4.19×10 <sup>-2</sup>
4	张拉缸回程活塞面积 (m <sup>2</sup> )	1.59×10 <sup>-3</sup>	1.24×10 <sup>-2</sup>	1.6×10 <sup>-2</sup>	2.37×10 <sup>-2</sup>
5	穿心孔径 (mm)	25	55	64~70	104
6	张拉行程 (mm)	250	150	300	400
7	顶压油缸活塞面积 (m <sup>2</sup> )		8.42×10 <sup>-3</sup>	1.13×10 <sup>-2</sup>	
8	顶压力 (kN)		300	550	
9	顶压行程 (mm)		50	40	
10	外形尺寸 (mm)	φ105×828	φ195× <sup>828</sup> / <sub>465</sub>	φ250×910	φ320×1520
11	重量 (kg)	30	83	196	550

表 A5 YZ 型系列千斤顶技术性能

项 目		型 号	
		60	85
1	公称张拉力(kN)	600	850
2	公称油压(MPa)	50	46
3	主缸张拉活塞面积(m <sup>2</sup> )	$1.226 \times 10^{-2}$	$1.89 \times 10^{-2}$
4	张拉行程(mm)	300	250
5	副缸顶压活塞面积(m <sup>2</sup> )		$8.65 \times 10^{-3}$
6	顶压力(kN)	280	390
7	顶压行程(mm)	35	65
8	主缸张拉回程退楔力(kN)		260
9	外形尺寸(mm)	$\phi 168 \times 800$	$\phi 326 \times 840$
10	重量(kg)	99	125

表 A6 YKD 型系列千斤顶技术性能

项 目		型 号			
		180	1000	3000	6000
1	公称张拉力(kN)	180	1000	3000	6000
2	公称油压(MPa)	49	63	63	63
3	张拉油塞面积(m <sup>2</sup> )	$3.6 \times 10^{-3}$	$1.61 \times 10^{-2}$	$5.18 \times 10^{-2}$	$9.49 \times 10^{-2}$
4	回程活塞面积(m <sup>2</sup> )	$3.4 \times 10^{-3}$	$1.61 \times 10^{-2}$	$5.18 \times 10^{-2}$	$9.49 \times 10^{-2}$
5	回程油压(MPa)		20	20	20
6	穿心孔径(mm)	19	130	220	280
7	张拉行程(mm)	100	200	220	280
8	配用油泵	ZB10/320—4/800 电动油泵			
9	用油种类	10 号或 20 号机械油			
10	配用胶管(mm)	C6 Ⅱ—00 $\phi 6 \times 6000$			
11	外形尺寸(mm)	$\phi 90 \times 428$	$\phi 286 \times 970 \times 640$	$\phi 470 \times 1031 \times 740$	$\phi 640 \times 1180 \times 918$

表 A7 轻型千斤顶技术性能

项 目		型 号	
		YC—20Q	HTY—20
1	夹持预应力筋形式	前卡式	前卡式
2	公称张拉力(kN)	200	204
3	公称油压(MPa)	62	50

续表 A7

项 目		型 号	
		YC—20Q	HTY—20
4	张拉活塞面积(m <sup>2</sup> )	$3.46 \times 10^{-3}$	$4.08 \times 10^{-3}$
5	回程活塞面积(m <sup>2</sup> )	$3.46 \times 10^{-3}$	$3.03 \times 10^{-3}$
6	回程油压(MPa)	<25	33
7	穿心孔径(mm)	18	
8	张拉行程(mm)	150	200
9	配套油泵	ZB1/630型	ZB2×2—500型
10	用油种类	10号或20号机械油	
11	配用胶管	G6■—00 L=3m	
12	外形尺寸(mm)	φ93×765	
13	重量	21	
14	配套辅具	XM.QM.OVM	XM

A1.0.2 高压油泵技术性能参数见表A8。

表A8 高压油泵技术性能

项 目		型 号	ZB2×2—500	ZB1/630	ZB10/320-4/800	
					低压	高压
1	额定压力(MPa)		50	61.8	31.36	70.4
2	额定流量(L/min)		2×2	1	12.15	5.15
3	柱塞直径(mm)		10	8	14	12
4	柱塞行程(mm)		6.8	5.6	10.46	
5	柱塞个数(个)		2×3	3	3	3
6	油箱容积(L)		42	18	120	
7	外形尺寸(mm)		745×494×1052	538×300×570		
8	重量(kg)		120	53		

## 附录 B 预应力锚固施工现场记录表

B1.0.1 预应力锚固施工现场记录表见表B1~表B6。



表 B1 墊片式楔頭螺索張拉記錄表

張拉序號		墊片厚度 (mm)	設計力 (kN)	插片檢查				—天后插片檢查										
				超張拉力 (kN)	要求油壓表設計	要求油壓表該數	超→設間隙該數 (mm)	0→設間隙該數 (mm)	墊片厚度 (mm)	拉伸機編號			插片壓緊時壓力表讀數 (MPa)		插片鬆動時壓力表讀數 (MPa)		調整後插片讀數	
										設計	該數	1	2	3	1	2	3	插片壓緊 (MPa)
拉伸機編號	螺索編號	螺索管編號	張拉單位	組長	記錄	年	月	日										

部位:

張拉單位:

油泵操作及讀表:

記錄:

組長:

年 月 日

表 B2 钢丝锚头记录表

锚束编号	钢丝直径 (mm)	锚头压力 (MPa)	锚头形状 (直径×高) (mm)	拉断情况		对比试验 强度 (MPa)	备注
				拉断力 (MPa)	拉断 部位		

日期：                      操作人员：

表 B3 预应力钢绞线束加工检验表

钢绞线锚束编号	钢 绞 线 长 度			
	直 径 (mm)	长 度 (cm)	直 径 (mm)	长 度 (cm)
锚束制作日期				
钢绞线原材料强度				
钢绞线除锈情况				
钢绞线下料长度				
钢绞线实有根数				
下料最大误差				
锚具编号				
锚具直径				
安装部位				
备 注：				

日期：                      质检人员：



表 B6 预应力锚固孔封孔回填记录表

工程名称：                部位：                钻孔深度：                实测深度：  
 工程项目：                孔号：                孔段号：                日期    年 月 日

作业时间					作业 内容	配合比 (重量比) 水 : 灰 : 砂	配合量			读数			浆体 损耗 (L)	说明
开始	终止	间隔		水 (kg)			灰 (kg)	砂 (kg)	开始	终止	读数差			
时	分	时	分						(L)	(L)	(L)			

机长：                班长：                记录员：                施工员：

## 附录C 名词术语

**预应力锚固**——通过张拉锚束对被锚固体施加预压应力,简称预锚;本规范所指被锚固体只限于岩体与大体积水工混凝土。

**岩锚**——岩体预应力锚固的简称。锚固对象为岩体,锚束的固定端锚着在岩体中。它区别于非预应力的岩体锚固。

**水工混凝土预应力锚固**——在大体积水工混凝土中,使用预压力加固水工建筑物或改善其应力状态。

**锚孔**——安放预应力锚束的孔道。

**预应力钢材**——预应力筋的主要组成部分,用来对被锚固体施加预应力。

**预应力锚束**——预加应力的受张体,即一般通称的预应力筋,它由预应力钢材与必要的附加部件(如锚具、套管、进浆管、排气管、隔离架等)组成。

**张拉端**——实施预应力张拉与锚固的部位。张拉端曾被称谓“锚头”、“外锚头”。

**自由段**——张拉时可以自由弹性伸长的锚束长度。

**锚固段**——锚束在锚孔底部的锚着长度。因锚着方式不同,可分为胶结式锚固段与机械式锚固段。锚固段曾被称谓“锚根”、“内锚头”。

**有粘结预应力锚束**——通过封孔灌浆或其他类似方法,使锚束与锚孔孔壁胶结而形成锚束与锚孔无相对滑动的预应力锚束。

**无粘结预应力锚束**——锚束的自由段与孔壁之间能保持相对滑动的预应力锚束。

**承压垫座**——将锚束张拉力均匀传递给被锚固体锚孔孔口的承压装置。

**设计张拉力**——预应力锚束按设计要求控制的安装力;它等于水存力与全部预应力损失值之和。设计张拉力曾被称谓“安装力”、“安装吨位”、“锁定吨位”。

**超张拉力**——为克服孔壁摩擦阻力及减少预应力损失而将张拉力提高到大于设计张拉力的力。

**初张力**——张拉初期锚束能同步产生弹性变形的最低张拉力。

**补偿张拉**——在早期预应力损失发生后,按设计张拉力进行的第二次张拉。

**超载安装**——首次张拉时采用高于设计张拉力的方法替代补偿张拉,以抵消预应力的损失。

**封孔灌浆**——用浆材封灌全孔,对锚束进行永久性防护。

**预应力损失**——张拉结束后由于各种原因引起的设计张拉力的减少。孔壁摩擦损失发生在张拉过程中,一般不属于预应力损失。

**先装法**——混凝土拉锚施工中,将锚束预先装入管模再一并埋入混凝土内的施工方法。

**后装法**——混凝土拉锚施工中,先用埋管或拔管方式形成预留孔,张拉前才将锚束放入孔内的施工方法。

**涂层**——预应力钢材为防护或润滑所涂施的保护层。

## 附加说明

主编单位:长江葛洲坝工程局

参加单位:安徽省水利水电勘测设计院

水电第三工程局

湖南省水利水电建设公司

总参三所(89002部队)

主要起草人:王冲 任尚卿 杨春堂 沈世焜 刘玉堂

曹俊华 彭敏而 贲建明 周其庆 焦家海

中华人民共和国行业标准

# 水工预应力锚固施工规范

SL46—94

条文说明

## 目 次

编制说明 .....	1044
1 总则 .....	1045
2 一般规定 .....	1045
3 造孔 .....	1047
4 锚束制作与安放 .....	1049
5 张拉 .....	1052
6 防护 .....	1054
7 试验与观测 .....	1056
8 质量与安全 .....	1059
9 验收 .....	1061



## 编制说明

20世纪60年代,预应力锚固技术在我国水利水电工程中仅用于坝工的加固处理,70年代开始用于闸墩拉锚、地下洞室和高陡边坡的锚固等工程,取得了明显的技术经济效益。由于预应力锚固技术在水利水电工程中正处于大力推广和发展阶段,在这方面虽然颁发了有关国家标准,但由于这些标准难以反映水利水电工程的特点,国内水利水电工程技术人员仍感需要编制一本适用于水利水电工程的预应力锚固技术规范。在水利部和有关单位的支持下,1987年,中国水利学会施工专业委员会预应力锚固学组承担了《水利水电工程预应力锚固技术规范》的编制工作。

1987年5月,在武汉召开了主要起草人参加的工作会议,产生了编写大纲,并作了人员分工。会后开始收集有关资料和编写初稿。同年11月在柳州召开了协调会议,根据上级主管部门的意见,将《水利水电工程预应力锚固技术规范》分为《水利水电工程预应力锚固技术设计规范》和《水利水电工程预应力锚固施工技术规范》。1989年5月在宜昌进行统稿,完成了《水利水电工程预应力锚固施工技术规范》第一稿;后经部分专家讨论修改,于同年10月提出《水利水电工程预应力锚固施工技术规范》第二稿,并提交在西安三原召开的学组年会上讨论修改,1990年4月完成《水利水电工程预应力锚固施工技术规范》第三稿;在此基础上,经向有关专家咨询,形成了《水利水电工程预应力锚固施工技术规范》(征求意见稿),随后发送至国内有关单位征求意见,同时邀集二十余位预锚专家对征求意见稿进行了专题讨论。根据收集到的意见,对征求意见稿进行全面修改后,于同年12月完成了《水利水电工程预应力锚固施工技术规范》(送审稿)。

1992年4月,水利部建设开发司主持在武汉召开了《水利水电工程预应力锚固施工技术规范》(送审稿)审查会,对其总体原则、章节设置及内容逐一进行了审查,一致认为该规范(送审稿)内容基本可行,可按审查意见修改后报批,并建议该规范名称简化为《水工预应力锚固施工规范》。

本规范(送审稿)审查会专家组为付继涛同志。李允中、张严明等同志参加了送审稿和报批稿的修改、定稿工作。

鉴于本规范为初次编制,加之各方面条件及编者水平所限,不足之处在所难免,若发现问题,请将有关意见函告主编单位。

## 1 总 则

1.0.1 本规范的适用范围。

1.0.2 预应力锚固工序繁多，技术性强，作好技术交底、技术培训，使每一个参加预应力锚固施工者都能发挥主观能动性，不仅懂得正确的工艺操作，而且能了解为什么必须这样操作，这对改进预应力锚固施工工艺，提高预应力锚固水平都是十分必要的。

1.0.3 贯彻全面质量管理是预应力锚固技术推广应用的根本保证。

预应力锚固是一项工序复杂、制约因素较多、难以补救的隐蔽工程，因此必须建立健全质量保证体系及必要的规章制度，不断进行质量教育和开展以技术革新为主要内容的QC小组活动。只有在科学的管理和制约下，才能促进我国预应力锚固事业健康发展。

1.0.4 预应力锚固在我国还是一项积极推广中的新技术，本规范强调“应结合工程实际，求实创新”，其目的在于：①因地制宜地选用适合本工程需要的工艺、设备，不可墨守成规，生搬硬套；②根据工程实际需要不断创新，但在开工前必须通过受力性能试验论证和正式鉴定，并经有关部门批准才能使用。

## 2 一 般 规 定

2.0.1 水工预应力锚固选用高强度预应力钢材，是提高单孔承载能力的主要手段。故本节只引用了有关预应力钢丝、预应力钢绞线及热处理钢筋的有关标准。

混凝土柱状锚头、墩头锚、端杆螺丝（爆炸压结型）均采用预应力钢丝。20世纪80年代，XM型、QM型钢锚头逐步推广后，钢绞线的用量也与日俱增。精轧螺纹钢已开始应用，尚未大量推广；热处理钢筋在预应力混凝土方面应用较多，水工预应力锚固中亦可作系统预应力锚杆材料。

2.0.2 本条所指非国标预应力钢材包括：

- (1) 未编入国家标准的新钢种；
- (2) 为特定条件研制的特种预应力钢材；
- (3) 国外进口的标准预应力钢材；
- (4) 国外进口的非标准（缺少标签及说明书者）预应力钢材。

2.0.3 预应力钢材具有出厂质量证书及标牌是保管防护较好的标志之一；凡不具备上述标志但防护较好的，亦应按非国家标准预应力钢材进行检验及技术鉴定后才可使用。

2.0.4 本条规定旨在避免原材料运输、储存过程中与有害物质接触。

预应力钢材均需长期在高应力状态下持续工作,若防护不严,可能导致应力腐蚀破坏。要尽力杜绝应力腐蚀的发生。

预应力高强钢丝的腐蚀过程和破坏机理都十分复杂,大致可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类。前者是指金属表面的原子直接与介质的氧化剂发生化学作用而引起的破坏;后者由于在电解质溶液中,产生电化学反应,它服从于电解过程的动力学规律。水工预锚中的高强钢丝的腐蚀,大都属于电化学的范畴。

**2.0.5** 第六届国际预应力混凝土会议的《混凝土结构设计与施工的建议》中已明确指出,不得使用矿渣水泥、火山灰水泥。其目的在于限制水泥中硫化物、氯化物等有害成分的含量。

预应力锚固包括预应力岩锚与混凝土拉锚,而水工大体积混凝土常采用大坝水泥(或大量掺用掺合料)以控制温度应力,故对水工混凝土水泥品种规定过严是不合适的。因此本条仅强调了与预应力钢材直接接触的水泥浆材中的水泥,必须选用普通硅酸盐水泥。其他条件,本条不作规定,可根据现场具体条件,并参考本条规定原则,合理选用水泥品种。

**2.0.6** 许多外加剂往往含有使预应力钢材产生锈蚀的有害成分,而预应力钢材在高应力状态下,对应力腐蚀又是非常敏感的,故要求直接与预应力钢材接触的水泥浆材,不宜掺用外加剂。“外加剂中的氯离子含量不宜大于水泥重量的0.02%”的规定来源于《海港钢筋混凝土结构防腐蚀》(JTJ228)第2.1.2条。

**2.0.7** 本条对混凝土原材料没有提出新的规定。《水工混凝土施工规范》SDJ207,对细骨料、粗骨料中硫化物及硫酸盐含量按重量折算成 $SO_3$ ,不得大于1%、0.5%;水位变化区和水上钢筋混凝土施工用水中,总含盐量不超过5000mg/L,硫酸根离子不超过2700mg/L,氯离子含量不超过300mg/L。

**2.0.8** 本条规定与国外对防腐蚀涂料的物理力学性能要求基本一致。

**2.0.9** 预应力钢材的钢铁与有色金属之间存在电位差,长期直接接触,可能产生电化学腐蚀,其腐蚀槽、坑可能因应力集中而导致应力腐蚀破坏。尽管这只是产生应力腐蚀的条件之一,也应该加以杜绝。

**2.0.10** 我国水利水电工程无粘结型预应力锚固刚刚起步,应多参考国内外的经验,慎重选用涂层油脂、套管材料及两者之间的匹配关系,确保防护措施长期的化学稳定性。无粘结型预应力锚束的永久防护,常采用塑料管作外套的防护层,它不传递粘结应力,并能保证锚束自由变形。

**2.0.11** 因现场施工条件差异大,设计要求也不尽相同,故钻孔与灌浆机具的选型,必须符合设计要求的技术指标,便于施工操作,钻、灌机具应配套选用。

**2.0.12** 机械式锚固段对孔径要求较高,用风动钻机造孔,其锚固段钻孔精度较难满足要求。可用风动钻机开孔、钻进,到锚固段时再改用金刚石钻头钻进。

**2.0.13** 张拉机具的选型,除可参考附录A中张拉机具性能指标及选型配套外,还应满足设计和施工的某些特殊要求。另外,张拉机具的选型也应符合施工组织设计的要求。

**2.0.14** 锚夹具在运输、储存过程中,也必须注意防潮、防有害物质的腐蚀。

## 3 造 孔

### 3.1 钻孔

3.1.1 预应力锚固钻孔的一般要求,与水工的水泥灌浆钻孔相同,只是对孔斜、孔径、孔位、孔深的允许误差要求较高,故除满足本节特殊要求外,其余均按《水工建筑物水泥灌浆技术规范》SL62—94执行。

3.1.2 孔深、孔径、孔斜是预应力锚固设计的基本要素(即锚固力的大小、方向、作用点),应由设计给出允许误差值。

本条规定的允许误差值是我国多年工程实践的经验总结,认真执行,都不难达到。

对有特殊要求的,允许误差为0.8%,这与日本20世纪60年代的孔斜允许误差标准是一致的。

由于预应力锚孔只用于力的传递,它包括有各个方向、各种施工条件的钻孔,且钻孔可能使用各种不同的类型的钻机,故本条孔斜允许误差的要求是稍宽的,但也是合理的。

3.1.3 预应力锚孔孔位是由设计根据综合因素确定的,关系到锚固力合理分配的布置体系,孔位变更太大,可能对锚固体产生不利影响,故施工单位不能擅自变动孔位;特殊情况下,如需变更孔位,亦应征得设计人员同意。

3.1.4 某些施工者为了符合终孔孔斜误差不大于3%(约2°)的要求,在开孔前,不是按设计的钻孔倾角校准钻具,而是预先扣除0.5°~1.0°。这样终孔时的孔斜误差,从表面上看小于2°,符合设计要求,但实际上却是2.5°~3.0°,已超过合格标准,这种作法是绝对不允许的。更严重的是,孔口座垫的倾角是原设计值,若私自扣除开孔倾角,则在孔口将发生0.5°~1.0°折弯,这对锚束受力极其不利。

3.1.5 加强钻具的导向作用是减少孔斜误差的关键。具体措施是:

- (1) 加大钻杆刚度,加长岩管长度,并及时校正变形的岩管;
- (2) 加强钻机平台的牢固度,认真校核钻具轴线,确保开孔段钻孔倾角准确,孔壁平顺;
- (3) 采用加大节点(每一个钻杆接头处增设一个弹子盘支撑),使全孔沿程都有可靠的支撑点,且不加大钻机负荷,确保钻杆只能在钻孔中心圆周运动,不再自由抖动及敲打孔壁。

此外,应该定时检测孔斜误差,勤检测、勤校核,可以避免误差增大,纠偏也比较容易。

3.1.6 施工中,对锚孔孔深及锚固段在围岩中所处位置,需要设计、施工加强联系,相互配合。当发现设计未料及问题时应如何处理,虽属变更设计的内容,但施工单位应主动会同设计人员,共同商定修正措施。例如钻孔穿过原设计图纸未标明的断裂带,又如锚固段发现新的风化、破碎带,施工单位均应主动通知设计人员,共同研究补救措施。

### 3.2 预留孔

3.2.1 采用埋管法或拔管法应考虑的因素,一是现场施工条件的可能性,二是施工方案必

须经济、合理。

3.2.2 预留孔的任何型式都必须将管模事先埋入即将浇筑的混凝土仓内,要求管模支撑、架立牢靠,不被施工干扰损伤。当发现管模移位或损伤后,应及时修复,否则将给后续工序造成极大困难,甚至导致全孔报废。

3.2.3 由于地区、季节及施工条件不尽相同,统一规定拔管时间是不可能的。要求施工单位根据具体条件并通过现场试拔,确定该时段的拔管时间。

3.2.4 拔管法与埋管法的管模支撑方式应有所区别,后者只求牢固、可靠,前者除支撑牢靠外,还必须服从拔管作业要求,不得妨碍拔管作业。

3.2.5 管模接头平顺、严密,不发生渗水、漏浆,是预留孔顺利施工的重要保证。因为管模走样、断裂、接头漏浆等因素,都可能导致预留孔不通,而排除这些障碍,却需付出很大的代价。

3.2.6 通孔检查是预留孔阶段验收的重要环节。但通孔检查的工具,却没有定型产品,需施工单位自己设计、制作。一般情况下,可参考以下方法进行检查。加工一只纺锤型的探头,中段长度不小于管径的1.5倍,探头上再按锚孔深度焊接(旋接、搭扣连接均可)一根带有长度标志的钢筋;探头最大直径宜略小于锚孔直径、大于锚束外径,当探头能自由通过时,锚束可顺利安放。

通孔检查后应妥善保护孔口,严防异物掉进预留孔而造成堵孔事故。

3.2.7 管模支架安装精度,按一般金属结构控制。

### 3.3 锚孔围岩灌浆

3.3.1 利用锚孔进行围岩固结灌浆,效益十分明显,但对工期、抗滑、抗倾覆稳定等是否有影响,应由设计统一考虑。

3.3.2 锚孔围岩灌浆实质上就是利用锚孔进行深孔固结灌浆;为了简化施工工艺,可取自下而上分段灌浆,段长不大于8m。其他事项应按《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》SL62-94执行。

3.3.3 大量实践证明,锚孔围岩灌浆,认真施灌一次效果已很显著。多次简单地重复施灌,往往延误工期,造成浪费,效益也提高不多。如遇一次施灌效果不能满足设计要求时,可采用下列补救措施:①提高水泥细度,改善浆液可灌性;②改用化学灌浆;③改用先放锚束后低压注浆。

3.3.4 锚孔围岩灌浆时,如遇地质条件差,发生严重串孔时,将会形成大面积承受灌浆压力的危险局面,对抗滑、抗倾覆稳定极其不利。故该项灌浆应优先采用单钻单灌,即灌一孔再钻相邻孔。若效果仍未达设计要求,则可采用:①充水平压,将串通的孔逐孔充水,也可阻塞孔口将孔内积水低压循环,既可减少串浆可能,又可将小量串浆立即冲洗出去,避免在孔内沉淀;②先临时封堵邻孔,待灌浆结束后再对邻孔进行扫孔。

严重串孔时,应会同设计人员研究并采取有效的补救措施。

3.3.5 锚孔围岩灌浆后还须扫孔,恢复锚束孔道的正常作用。扫孔时间的选择,首先应考虑不损坏缝内充填的水泥结石,其次是应易于扫孔作业;龄期太长,强度增高后,将加大扫孔工时,增加造价。具体扫孔时间,可通过试验选定,一般以1~3d为宜。

### 3.4 孔口承压垫座

3.4.1 孔口承压垫座是将锚束的集中荷载均匀扩散到被锚固体的承压结构；设计、施工都必须使垫座能满足该锚束超张拉力的要求，并应留有足够的安全度。

3.4.2 孔口承压垫座计有钢筋混凝土结构和钢垫板加混凝土垫层或水泥砂浆垫层两种型式。它是锚孔在孔外的延伸，如承压垫座表面不能与锚孔轴线保持垂直，就等于加大了孔斜误差，一般表面与孔轴的夹角误差应控制在  $0.5^\circ$  以内，这是一般量测工具都容易达到的精度。

3.4.3 承压垫板底部充填不密实，埋设不牢固，容易在受力后发生钢板变形、脱开，甚至发生安全事故。

垫层混凝土或水泥砂浆强度，应不低于 C40。除要求充填密实、不能脱空外，钢板底面可增设 U 形弯钩，提高锚着强度。

## 4 锚束制作与安放

### 4.1 锚束制作

4.1.1 锚束应按设计文件要求的锚束型式与选材进行制作。在编束前，首先应编制施工措施计划，拟定质量要求细则。

填写班报的格式见附录 B。

4.1.2 应根据预应力锚固工程数量及现场条件，选定锚束加工厂址。选择原有加工车间，可降低临建费用，减轻劳动强度，原车间的设备等也可以得到充分利用；采用临时厂棚则可以因地制宜地选定厂址，方便施工。

对工程量特别少、工期较短的工程，锚束也可以在露天制作，但防潮、进出交通及成品临时储存，都应妥善解决。

4.1.3 锚束下料长度，应按不同锚具、结构型式及工艺要求分别按下列情况计算：

(1) 一端镦头、一端胶结的锚束

$$L = l_i + l_m + l_f + l_e + l_t + a - l_c \quad (4.1.3-1)$$

(2) 两端镦头的锚束

$$L = l_i + 2(l_m + l_t) + l_w + l_f + a \quad (4.1.3-2)$$

(3) 一端楔紧式锚夹具的锚束

$$L = l_i + l_m + l_d + l_f + a \quad (4.1.3-3)$$

(4) 两端楔紧式锚夹具的锚束

$$L = l_i + l_f + 2(l_m + l_d + a) \quad (4.1.3-4)$$

(5) 混凝土柱状锚头的锚束

$$L = l_i + l_a + l_b + l_t + l_f + a - l_c \quad (4.1.3-5)$$

式中  $L$ ——预应力钢丝（钢绞线）下料长度；

- $l_1$ ——锚束实际孔深（含承压垫座厚度）；  
 $l_m$ ——锚具厚度；  
 $l_w$ ——温度影响长度；  
 $l_f$ ——测力装置的厚度；  
 $l_d$ ——张拉设备工作长度；  
 $l_i$ ——锚头所需长度；  
 $l_a$ ——顶升式千斤顶的高度；  
 $l_b$ ——混凝土锚头内的锚着长度；  
 $l_c$ ——弯钩到孔底的距离；  
 $l_e$ ——弯钩长度；  
 $a$ ——调节长度（含张拉设备以外的外露长度）。

4.1.4 两端锚头的锚束下料长度要求极其严格，否则将导致全束钢丝长度出入较大，使锚束受力不均匀。例如葛洲坝工程的闸墩预应力拉锚采用两端锚头时，要求下料长度误差不得大于 1/5000，同时还控制最大误差不得大于 5mm。实践证明，该精度要求是可以达到的。

为了确保下料精度及断口平整，要求锚头端的下料工具，必须采用切割机切割。

4.1.5 其他锚具型式张拉端及锚固段端的下料精度及断口形态，都不像锚头锚的要求那么严格，下料工具可按施工条件选定。

国外规定“切割方法必须对钢材材质无害”，“预应力筋的切割可采用气割、砂轮锯或液压切割机”。

4.1.6 因锚束安放及张拉方式不同，要求锚束制作时，必须考虑以下各道工序施工操作的方便性，并应慎重照顾到施工工艺的全过程。例如，一般要求绑扎越牢固越好，但对分股张拉的锚束，除确保全束不散、不乱外，还必须便于分股张拉。对采用封孔灌浆作为永久防护的锚束，必须预留进浆、排气管道并确保畅通。

4.1.7 本条是对预应力锚束的一般要求：每根钢丝（钢绞线）的相对位置必须正确，不得相互交叉、内外层交叉，否则不但导致受力不均匀，还可能在高应力状态下造成断丝、应力腐蚀等现象。

对有特殊要求的锚束，应在一般规定之外增补特殊规定。

4.1.8 锚头作业的环境温度控制，国内各工程实例执行不统一。葛洲坝规定不得低于 10℃；龙羊峡位于高寒地区，控制在 10℃以上作业显然是有困难的，故要求高于 0℃即可允许锚头作业。本条选定 5℃以上是适宜的。

葛洲坝工程曾规定凡有下列缺陷之一的锚头不得使用：

- (1) 头型不饱满或歪头；
- (2) 裂纹从顶部延伸到头型底座；
- (3) 劈头裂缝；
- (4) 呈 45°的裂纹。

此外，在施工中未提出明确要求的，应根据实际检验结果确定合格标准。

4.1.9 此系锚束制作出厂前的阶段验收，应将验收结果作出记录存档。不得将有缺陷的锚束运到现场进行修补。

4.1.10 本条为成品锚束在厂内临时防护工作的部分内容。叠压堆放既不便提取，又容易损伤锚束；支架间距大于2m时，容易引起锚束下沉形成弯曲变形。

## 4.2 锚束的运输与安放

4.2.1 现场的施工条件，各工地差异较大，首先应充分利用现场地形及现有施工条件。运输与吊装方案应因地制宜，不能生搬硬套，盲目地模仿，造成不必要的浪费。如运输可采用汽车拖挂、轻轨平板车或人力板车，若距离不远，甚至可采用人工搬运。

锚束的吊装、安放也应充分利用现有的吊装设施。

4.2.2 本条是对运输、吊装作业拟定的一些主要的具体要求：

(1) 支点间距过大，转弯半径过小都将导致锚束弯曲变形，过去要求间距不大于2m，转弯半径不小于10m。现在规范要求间距2m不变，转弯半径不提具体数据，只提“不应改变锚束的编束结构为限”；

(2) 主要是针对先无压填浆后安放锚束的工艺要求规定的，其他锚固型式亦可参照；

(3) 运输、吊装过程中，应避免损伤锚束及其保护层；

(4) 成串编组的车辆之间，应设置直接联系装置，避免车队行进、制动时，锚束直接受到牵引与挤压而导致外部损伤。

4.2.3 预应力锚固属隐蔽工程。锚束安放入孔前，应作好最后一次阶段验收，否则，锚束的缺陷再也无法发现，也就难以补救。

4.2.4 胶结式锚固段的施工方法可分为：

(1) 先无压填浆后安放锚束；只适用于向下倾斜的、孔内无积水的锚孔，要求安放锚束的时间，不得超过水泥浆液的初凝时间；

(2) 先放锚束，然后低压填浆：适用于各个方向的锚孔，向下倾斜的孔内允许有少量积水；其他方向的锚孔，要求增设阻塞器，防止浆液向外流淌；

(3) 有压循环灌浆：适用于各个方向及孔内有积水、无积水的孔内注浆，因需增设能承压的阻塞器、进浆管、排气管及阻塞器的加压管道，因而降低了锚孔断面有效利用率，国外使用较多，国内尚未大量使用；

(4) 一次灌浆式锚束：将无粘结型锚束的胶结锚固段灌浆与封孔灌浆合并一次施灌。灌浆中，将孔内阻塞改为孔口封闭，简化了工艺，可加快施工进度。

4.2.5 机械式锚固段只靠外夹片对孔壁的嵌固承担锚固力，故严格要求外夹片的外径必须与锚孔直径相匹配。当抽动活结后，如发现外夹片没有弹开，或弹开后没有嵌紧孔壁，则应设法取出锚束，更换外夹片，然后重新安放，务使能嵌紧孔壁，才能开始张拉。

4.2.6 对穿型锚束安放时，一端要穿过全孔道，为了保护端部螺纹不被损伤或防止锚束端部散开卡在孔道中，必须在穿入锚孔的一端增设防护罩。墩头锚具、端杆螺丝锚具，都用防护罩保护螺纹。穿束后应将固定端的螺帽上好；张拉结束后应在张拉端增设防护罩，以保护锚具。

4.2.7 采用轻型千斤顶分束张拉的锚束，锚束编制、绑扎、吊装、安放入孔等工序，都必须保持锚束平顺，不散、不乱、不发生扭曲。所有绑扎、隔离架等附加装置，也均不得妨碍分束张拉作业。



## 5 张 拉

### 5.1 张拉准备

5.1.1 预应力锚固张拉作业的正常施工,均可采用以压力表读数为准,伸长值校核为辅的施工方法。要求张拉前,必须将千斤顶与压力表等张拉设备配套校验,并将标定成果绘制成压力表读数与张拉力关系曲线;现场记录的张拉力即是由该曲线上压力表读数直接查出的。

配套标定后的千斤顶与压力表不得混用;一般标定时,每只千斤顶应配用的压力表数量不小于两块;标定应按现场实际操作需要,同时标出升荷曲线和卸荷曲线。

5.1.2 施工量测与试验量测的压力表精度应有所区别;施工用表不低于1.5级,试验用表以标准压力表为宜。但为简化标定,便于掌握,施工用压力表指的是符合国家标准定型产品,只提级别,不再作精度规定;试验、标定的测力装置及压力试验机,只提精度,不对类型、规格作出规定。

压力表读数如经常超过表盘读数的75%,并作长时间的持荷稳压作业,其舌簧管容易因残余变形而不能回零,故应将表盘刻度的75%为常用读数的上限。同时应注意到,表盘读数在0~3%时,压力表指示的读数可能有5%的误差。

5.1.3 凡选定的张拉机具及仪表,均应为国家技术监督机构认可或主持鉴定过的产品。使用的机具和仪表必须具有出厂合格证书。

仅只限制未经认可的或不合格的张拉机具和仪表还是不够的,对合格产品还必须加强维护、保管。除指定专人负责外,还应制定必要的维修、保管、检验制度,才能提高设备的完好率。

5.1.4 本条对机具设备的标定间隔周期及特殊的重新标定条件,都作出了具体规定,国内外都是这样执行的。只有定期标定、及时对检修后的机具进行标定,才能保证张拉力的准确性。国外规定“在使用中认为有冲击时,也要进行校验”,并指出“张拉装置(即机具)的校验系预应力作业的最重要的工作,所以养成经常进行校验的习惯是重要的”。根据国外这个要求,以及国内60年代预应力锚固初期的具体实践,本条的规定是起码的要求,建立经常标定的制度对确保工程质量是十分重要的。

5.1.5 这些部位的混凝土及水泥浆均应承受超张拉荷载,并且都必须在最大负荷条件下留有必要的安全储备,故未达到设计强度之前,不能进行张拉,否则可能发生难以补救的损伤或破坏。

### 5.2 张拉

5.2.1 这些张拉参数均为结构设计的重要指标,施工不能任意修改。超张拉力的取值大小,超张拉持荷稳压时间的长短,都将直接关系到能否克服孔壁摩擦损失,能够补偿多少钢丝的松弛损失等。每一个参数,都体现着设计意图,施工操作中都应执行设计要求的参数,不可随意变更。

5.2.2 超张拉持荷稳压效益明显,可以部分弥补预应力钢材的松弛损失、徐变损失。由于超张拉可以克服或弥补大部分孔壁摩擦损失,由超张拉卸荷到设计张拉力可以保证孔底与孔口应力一致或接近一致,这对层状的、多滑动面的抗滑稳定尤其重要。

关于预应力钢材强度标准值在《混凝土结构设计规范》GBJ10—89第2.2.2条是这样定义的:①热轧钢筋系根据屈服强度( $f_{yk}$ );②钢丝、钢绞线、热处理钢筋系根据极限抗拉强度( $f_{pk}$ )。本规范钢材只选用钢丝、钢绞线、热处理钢筋,故强度标准值就是 $f_{pk}$ 。若超张拉力超过 $0.75f_{pk}$ ,再加上机具、仪表的允许误差及钢材的不均匀系数,就有可能超过钢材的弹性范围,这是本规范不允许的。

根据上述情况,要求凡可以超张拉的应坚决执行超张拉持荷稳压;凡不具备超张拉条件的,应创造条件采用超张拉持荷稳压的施工方法。

5.2.3 补偿张拉就是张拉结束后经一个时段,初期的(所占比例较大的)预应力损失已经完成,再重新进行张拉,可以将初期损失全部补偿回来。

补偿初期预应力损失的措施有三种:①超张拉持荷稳压的时间适当延长,可弥补一小部分损失;②补偿张拉可以弥补全部初期损失;③超载安装可以抵消部分初期损失。

本条要求,凡具备补偿张拉条件的,应选定合理的间隔时段进行补偿张拉;凡施工条件不允许间隔、补偿张拉的,应采用超载安装,以减小预应力损失值。

5.2.4 用压力表读数控制张拉力,简易可行,但必须兼顾代表应变量的伸长值,借以检验张拉作业情况是否正常;正常施工是以压力表读数为准,并同时采用伸长值校核的。为了避免发生质量事故,要求张拉力与伸长值基本同步;如实测伸长值超过用张拉力计算的伸长值10%以上,说明锚固段(锚着点)可能产生滑移,若伸长值小于计算值5%,说明锚孔内可能有异物卡死,使自由段减少所致。既然要用张拉力反推伸长计算值,故通过试验或正常张拉确定整束弹性模量 $E$ 值。

由于孔壁摩擦、机具允许误差、锚束的受力不均等原因,±5%的误差范围是不可避免的,超过此范围则视为异常现象。本条参照国内实践及《钢筋混凝土工程施工及验收规范》GBJ204第194条规定“实际伸长值与计算伸长值相差10%”是允许的。

5.2.5 采用由超张拉持荷稳压后再卸荷到设计张拉力的好处为:

- (1) 考验锚固段的可靠度;
- (2) 调整因钢丝长短不一而产生的受力不均;
- (3) 减少松弛、徐变所引起的预应力损失;
- (4) 减小或克服由摩擦损失而产生的孔底、孔口受力不均;
- (5) 便于施工操作,对采用垫柱式、垫片式锚固时,可以有充裕的选配垫柱或垫片的时间。

程序中 $0 \rightarrow m\sigma_{con}$ 。可一次加载,也可分级加载。式中给出的 $m$ 参考值是偏于安全的,因规范需要适应所有情况,包括蠕变中的岸坡加固,故不能提得太高。施工、设计可按现场条件及设计参数选定 $m$ 值,但必须控制 $m\sigma_{con}$ 最大值不超过 $0.75f_{pk}$ 。持荷稳压时间 $t$ 可结合施工作业实际需要进行安排,但最小不得少于2min。

5.2.6 超载安装的前提,宜确切掌握初期预应力损失值,否则应由设计人员通过类比或现场测试选定超载系数 $n$ 值。式中建议 $n$ 值取1.05适用于一般情况,若确切掌握本工程的前期损失值, $n$ 值可以相应地适当提高,但从已有工程经验看 $n\sigma_{con}$ 的最大值,混凝土拉锚不宜

大于  $0.68f_{pk}$ , 预应力岩锚不宜大于  $0.66f_{pk}$ 。

**5.2.7** 采用轻型千斤顶张拉大型锚束是水力预应力锚固的发展方向。使用多台轻型千斤顶顶拉同一根大锚束, 或采用多台千斤顶通过一个钢构架张拉同一根大锚束, 都可以避免分束、分股张拉的许多麻烦。

采用群顶张拉, 要求群顶顶荷、卸荷都必须同步, 群顶的合力必须与锚束轴线相重合, 才能保证施工安全, 张拉端可以平稳升降, 全束可以均匀受力。

**5.2.8** 分束张拉的优点是只用一台轻型千斤顶分多次逐束(股)张拉同一锚孔的一根大型锚束, 要求锚束制作、运输安放等各个环节, 都必须排除各分束之间的相互干扰, 并要求通过试验, 消除由张拉顺序而影响到设计张拉力的降低。例如: 全束分为 8 个分束, 张拉 1 号分束时将设计张拉力提高 7% 进行安装, 2 号分束提高 6%, 依此类推, 要张拉 8 号分束时, 1~7 号增加的张拉力正好降低到正常设计值。所谓提高“7%~1%”都是通过试验而选定的临时增量, 必须在全束张拉结束时完成消除, 才能保证受力均匀并满足设计要求。

**5.2.9** 从严掌握升、卸荷速率可以使锚束受力趋于均匀, 且张拉施工安全得以保证。因张拉中由于锚束内部各钢丝之间的内摩擦及锚束与孔壁之间的外摩擦的双重作用, 使全束受力不均; 掌握升、卸荷速率, 可使此不均匀的受力有较充裕的时间进行调整。梅山试验孔实测结果: 环向受力均匀性的算术平均误差及或然误差均在 1.2%, 范围误差约为 13%。径向(即内外层)受力均匀性, 内层比外层约小 2.5%。全孔孔壁摩擦损失约 10%。

**5.2.10** 胶结式锚固段在超张拉力的持荷稳压作用下, 水泥结石虽已发生许多细微的短裂纹, 但并不影响负荷, 故必要时可以反复张拉及补偿张拉。梅山曾对胶结式锚固段的细微裂纹, 作过深入探讨: 裂纹间距 10~20mm, 裂纹开度约 0.033mm 左右, 裂纹以钢丝表面最大, 但很快尖灭, 没有贯穿约 20mm 的保护层。综合以上资料证明胶结式锚固段反复超张拉不会产生不良后果, 只会提高弹限, 调整锚束内力趋于均匀, 并考验锚固段的可靠程度。

机械式锚固段靠齿板对孔壁的嵌固承受张拉荷载, 反复张拉, 外夹片的齿槽被岩粉填满后, 将降低嵌固效果, 使锚固段产生微量滑移, 加大安装后的预应力损失。因此机械式锚固段严禁反复张拉。但必须指出: 因补偿张拉只是在原损失后张拉力的基础上, 重新恢复到设计张拉力进行安装, 没有卸荷回零的要求, 故补偿张拉是允许的。

**5.2.11** 根据张拉工艺需要, 有些型式的锚束必须留有足够的外露长度与千斤顶连接; 施工结束后, 多余的外露长度, 应予切除, 以利永久防护。本条要求待抽查检验后才算施工结束, 并要求切除后锚具以外还应保留一定长度。国外规范要求“经检查合格后, 立即切割预应力筋的超长部分。切割后露出夹片处的长度应为 18.75~31.25mm”。这与本条要求是一致的。

**5.2.12** 本条是指参照《钢筋混凝土工程施工及验收规范》GBJ204 中表 6.2.7 及有关规定来考虑预应力损失, 并要求能通过施工实践对表内数据进行验证。

## 6 防 护

### 6.1 临时防护

**6.1.1** 从预应力钢材出厂运输、储存到永久性防护完成之前都必须作好临时性防护。这里

所指的“永久防护完成之前”：对有粘结型永久防护是封孔灌浆完成前；对无粘结型永久防护是指在厂内永久防护涂层完成之前。

6.1.2 本条规定要点，即临时防护的主要措施有两点：一是隔断腐蚀源，二是改善储存条件。保持锚孔内水质 pH 值在 10 以上，可使钢材表面产生钝化膜，防止其锈蚀。

防止 pH 值降低的方法，过去国内采用石灰水为添加剂，显然不易将孔内已失效的废水置换出来。国外已经证明：当临时防护时段过长，pH 值降低时，直接采用浓的氢氧化钠、氢氧化钙作化学添加剂，是十分有效的，可供参考。

6.1.3 只有及时地进行张拉，才能在验收检测之后及时封孔灌浆，缩短临时防护时段。本条特别提出必须定期检查临时防护效果，使锚束长期处于可靠的防护之中。

6.1.4 管模焊缝、接头处都应有较好的抗渗性能，既要防止水泥浆渗入管内，也要防止临时防护溶液外渗流失。故管模敷设前均须进行探伤或充水检查。

## 6.2 永久防护

6.2.1 有粘结型永久防护措施，安全可靠，施工简便，造价便宜，但投入运行后不能在需要时进行补偿张拉，也不适应大的冲击变形。无粘结型永久防护措施因孔壁或与孔壁胶结在一起的填充料，均不能限制锚束张拉段的自由变形，其特性与有粘结型相反，故可弥补前者的一些不足。但无粘结型锚束对锚固段及张拉端的安全度要求较高。

目前，在国内水工预应力锚固工程中，无粘结型永久防护措施应用尚不普遍。其基本材料为“专用建筑油脂”和聚乙烯或聚丙烯；工艺上，一般先涂刷防护油剂，再直接在预应力筋上挤压聚乙烯等防护材料成管，最后全孔灌注纯水泥浆封孔。

6.2.2 水工预应力锚固与一般的预应力混凝土不同，锚孔都处在无限体、半无限体之中，封孔灌浆后就形成有粘结型永久防护体系，锚束不能自由变形，长期监测的成果，不能如实反映预应力损失或预应力锚固的效果。故本条规定长期观测孔不得采用有粘结型永久防护。

6.2.3 封孔灌浆没有完善的排气设施就无法将全孔封灌密实；局部脱空现象危害严重，必须引起足够的重视。

6.2.4 岩锚封孔灌浆一般只能采用低压浓浆一次充填的方法进行施灌。因孔内已有受张锚束，既无法分段，也难以全孔循环，只有在孔口段才允许加压循环灌注，以减少因泌水而形成的局部脱空。根据国内大量施工实践，纯水泥浆水灰比取 0.35~0.40 是可行的（水泥纯浆比重不小于 1.9）；水泥砂浆的灰砂比，可按现场可灌性合理选定，一般取 1:0.5~1.0 为宜，水泥砂浆的水灰比取 0.5~0.55 都是允许的。

国外要求水泥纯浆的水灰比为 0.45 以下。

6.2.5 封孔灌浆时单孔耗浆量较少，但对可灌性要求较高。采用高速搅拌机制浆，可较好地提高浆液的可灌性。集中供浆、逐孔连续施灌可减少浆液损耗。例如采取单孔单灌作业，管路浆液所占比例太大，浆液有效利用率只有 30%~40%。分批集中供浆、逐孔连续灌浆，管路占浆的绝对值与单孔单灌基本相等，浆液有效利用率就提高很多。

6.2.6 作好锚孔的排水、排气是封孔灌浆密实的先决条件，必须认真执行，才能保证封孔灌浆质量。

6.2.7 孔口密封措施，一般情况下要比孔内阻塞简便，但同样要求该部位锚束内部也需要

封闭,才能防止浆液不会流失。

**6.2.8** 凡具备有压循环灌浆条件的,作好最后5m结束段的有压循环灌浆,可以排出泌水,提高全孔封灌的密实度,降低水泥结石的空隙率。所谓5m结束段,对垂直钻孔而言即孔口段,对仰孔而言则为孔底段;所谓具备条件,系指孔口封堵的承压能力;对简易的孔口封闭,即不具备加压循环灌浆的条件。

**6.2.9** 隔离架的作用之一,即控制锚束在孔内能具有一个完整的、封闭的永久保护层。本条要求隔离架的间距及外露高度,旨在确保最小保护层厚度。即使锚孔孔斜误差稍超过允许值,紧靠孔壁一侧的最小保护层厚度仍有2mm。国内大量实践证明,该要求是合理的。

水工预应力锚固中,若锚孔围岩灌浆质量好,就相当于孔内保护层之外,还有一个大的永久防护层,微量的裂隙渗水经沿程碱化,pH值已在9~10以上,不再对锚束构成危害;故好的围岩灌浆及混凝土拉锚,对隔离架的要求可有所区别。但为慎重施工,岩锚仍应符合本条要求。

**6.2.10** 对套管材料的技术要求见本规范2.0.10规定。必须作好套管的接头处理。沿套管全长都应达到较好的密封性。

**6.2.11** 本条的永久防护措施包括涂料、套管及套管以外的填充物。化学稳定性系指材质本身及各个防护层之间无有害成分出现,这些均需充分论证,以保证锚束永久防护措施的可靠、耐久。

因为无粘结型锚束运行中对锚固段与张拉端的依赖关系,必须作好孔口装置及锚夹具的永久防护。孔口还应增设启闭方便的防护罩。

对各种防护体系,均应作好衔接部位的重叠密封防护。无粘结型自由段的防护体系中的涂层、套管,都必须延伸到胶结式锚固段内一段距离,才能确保防护措施不会脱空;有粘结型的永久防护与锚固段交接面上,必须增设一段局部的防护涂层;孔口水位变化区,也应增设一段临时性防护措施。锚固段处套管及涂层插入锚固段的长度不少于0.5m,近孔口处的防护涂层长度也取0.5m。

**6.2.12** 不同金属之间都存在着电位差,长期直接接触,将产生电化学腐蚀,预应力钢材由于阳极区离子状态溶出而形成点腐蚀、缝隙腐蚀,甚至产生应力腐蚀破坏。故要求隔离架及绑扎材料,均不得带有金属镀层。

**6.2.13** 临时性预应力锚固工程的运行时间较短,其永久防护措施允许按设计要求区别对待。

## 7 试验与观测

### 7.1 受力性能试验

7.1.1 受力性能试验的目的:

- (1) 验证并修改设计参数;
- (2) 熟悉并检验工艺操作。

受力性能试验直接关系到设计、施工的合理性,应在施工前采用特殊的测试手段,认

真作好受力性能试验,才能正确指导施工。

因受力性能试验与设计参数、锚夹具材质及制作、工艺设计都直接有关,故施工单位应会同设计人员及制造厂家共同进行。

7.1.2 受力性能试验宜精不宜多,但必须具有代表性;当地质条件、结构型式及受力条件有重大变化时,应补作受力性能试验;当预应力锚固数量过大时,也应扩大试验数量。

7.1.3 受力性能试验的施工机具、锚束结构型式若与正式施工中实际采用的不相同,就失去可比性,也无法指导施工,这都是不允许的。

7.1.4 性能试验成果的数据及张拉应力与伸长值的关系曲线是判定施工张拉是否合格的标准。张拉力的检测应以测力装置读数为准,其误差不得大于 $\pm 2\%$ 。试验前,测力装置(含传感器及其他计量装置)、压力表及千斤顶三者必须配套标定,才能使测力装置与压力表之间建立可比性。

所谓测力装置,本条指的是包括传感器在内的一切测力手段;要求尽可能选用定型产品或经技术监督机构认证的合格产品。

7.1.5 文理已明。

7.1.6 受力性能可按5级分级加载,分级记录测试读数;初始张拉力取 $0.2\sigma_{con}$ 并以此为起点逐级加荷、卸荷,最大荷载取 $1.15\sigma_{con}$ ,但严格控制其绝对值应低于 $0.75f_{pk}$ 。按预应力钢丝、钢绞线及热处理钢筋的 $f_{pk}$ 即极限抗拉强度标准值。

## 7.2 观测

7.2.1 长期观测,分预应力损失长期观测与预应力效果长期监测两类,都是监视预应力锚固工程安全运行的主要手段,也是资料积累的重要形式。因此必须按设计文件要求,落实施工及观测任务。

尽早安排长期观测施工的好处很多,施工单位可以利用其初期成果指导施工;设计人员可以进一步检验并修正设计参数。竣工后,运行单位有义务随竣工验收工作,接收长期观测设施及长期观测任务。

7.2.2 长期观测是受力性能试验的继续,也是为我国预应力锚固技术积累资料的重要方法,是需要几个单位共同协作才能完成的任务。施工、运行单位都应在自己负责的时段内配备专人负责,并建立必要的制度,确保观测资料真实,整理分析及时。预应力损失长期观测的结束时间,由于钢丝的松弛,混凝土的干缩、徐变,岩体的流变等因素制约,正常情况下,约在3~5年内基本稳定,故本条要求不少于5年。

7.2.3 所谓创造条件尽早安排,应是在受力性能试验全部结束,通过初期施工,工艺操作逐步熟练,长期观测孔的无粘结型永久防护材料与施工方法完全落实的条件下,才是具备长期观测孔的施工条件;其次长期检测的测力装置业已经过标定及论证,防护材料成分业已经过微量分析,证明是无害的、稳定的、可靠的之后,才完全具备施工条件。

7.2.4 为了长期观测成果的准确性,必须妥善保护观测设施的完好,如发现异常,应会同设计人员查明原因,及时补救。

### 7.3 验收试验

7.3.1 验收试验是全面检验锚束承载能力的快速试验,将检验结果与受力性能试验成果对比分析,作为对锚束施工质量全面评价的主要依据。

验收试验是按设计要求进行的,试验孔位应随机选定,其数量不少于3束。

7.3.2 高边坡开挖过程中,预应力锚固施工应与分层钻爆开挖同步进行,否则施工操作非常困难,且极不经济。故验收试验须在张拉完成后及时进行,才不过多地占用直线工期。

7.3.3 验收试验系竣工抽检的形式之一,两者相加的总数取锚孔总数的5%。对有粘结型永久防护的锚束,须在封孔灌浆前进行验收试验及抽样检查。

7.3.4 由于施工操作与施工机械固有的允许误差等因素,预应力张拉的安装力很难达到同一数值;要求安装力宁大勿小,以满足设计总锚固力。本条提出的合格标准,实质上也是施工安装力允许误差范围的参考值;因为竣工检验时,又有其允许误差值,且从安装到检查还有一段滞后时间,在该时段中已经发生了早期预应力损失,故验收合格率只能以原设计值为对比标准,不得与施工实测值相比。

7.3.5 竣工抽样检查与验收试验的孔位选定,既是随机的,又是有代表性的;当发现有一个孔不合格时,应加倍扩检。例如第一批合计数为总孔数的5%,则扩大检查的数量应为总数的10%。若扩检中再发现有一孔不合格,即说明其问题的严重性,应会同设计人员进行专题研究并拟定合理的补救措施。

7.3.6 一般预应力锚固设计的主要意图,往往集中体现在总的锚固力够不够以及其布局是否合理。当各个孔位都已达到合格标准,尽管有多、有少,只要都在允许误差范围内,这个孔多点,那个孔少点也是可以的。本条要求在竣工验收后将各孔位原有的实际张拉力及验收试验和抽样检查成果,分别汇总制表并及时通报有关方面,以便核实锚固效果。

### 7.4 特殊规定

7.4.1 采用一个统一的规范去适应复杂多变的设计要求及施工条件,显然是不太合理的。故本条特别规定:如抢险工程可免作一般的受力性能试验及验收试验。若设计无要求时也可以不作长期观测,但应通过其他检测手段,验证并监视锚固效果。

7.4.2 临时性预应力锚固工程的有效运行时间不长,其有关的施工检验与试验内容,可另行拟定或参照本规范有关条文,简化执行;其长期观测应该免作。

7.4.3 分束张拉的主要意图就是采用一只轻型千斤顶张拉大型锚束,从而避免笨重的大型千斤顶给施工操作带来的种种困难。假若在这样的工作部位沿用一般验收试验规定,进行整束拉起、拉动,都是不可能的,且分束张拉的优越性将全部丧失。为此须另行制定验收试验方法及竣工检查办法。

建议验收试验的方法可采取:①以分束张拉进行验收试验及竣工检查;②以实际施工张拉的检验记录,取代一般规定的竣工验收。例如组织设计、施工及建设单位参加一些分束张拉的张拉作业,并在全孔张拉结束后,联名签署验收意见。

7.4.4 凡设计、施工有所创新的预应力锚固工程,必须按本规范各有关规定进行试验、鉴

定、报批，并视实际条件，增作破坏性试验及长期观测。

破坏性试验可分几种情况进行：①1:1的浅孔试验，检测各部位的受力条件及锚束极限承载能力；②将锚固段长度减短到最低限度，以测定其安全度。破坏性试验不宜在正式孔位进行，但应具有代表性和有说服力。

## 8 质量与安全

### 8.1 质量管理

8.1.1 预应力锚固工程工序多，衔接紧密，是一项系统工程。我国水利水电预锚技术总体上讲仍处在推广阶段，各施工单位缺少固定的专业队伍，在技术和工艺作风上差距是明显的。这就要靠建立严格的规章制度和明确的岗位责任制予以保障。要求明确，制度严格，责任到人，严把质量关，新班子、新队伍一样可以作好预锚工程。

按工序进行质量检查、验收可以及时发现问题和采取措施，使施工技术水平不断提高。这里所说的验收，主要是指中间阶段验收。

8.1.2 本规范已在总则中强调推行全面质量管理，本条又提出质量保证体系，旨在说明：①预锚工程要推行科学管理（全面质量管理、价值工程、网络计划等）；②加强系统工程里的工序管理及工序验收可以确保工程质量。

8.1.3 质量事故按三类划分：①凡可以补救、调整而不影响正常运行的为一般事故；②凡因违反设计文件且因返工造成经济损失的为严重事故；③凡影响运行或造成报废的为重大事故。

事故报告要及时，处理措施要认真，参加面宜多些，以利从事故中能直接接受质量教育，吸取教训，不断提高技术水平。

### 8.2 质量检查

8.2.1 三级质量检查制度中，班组自检是保证施工质量的关键，必须通过规章制度及行政监督等措施，建立以预防为主的质量保证体系。

班组自检的主要内容之一，就是作好班组施工记录。记录需要有一定格式，其具体内容应根据施工条件和规范要求提出。有关钻孔灌浆等工序的施工记录格式应按相应现行标准执行，因此附录B中不包括这些内容。

加强自检的目的就是要以本工序的合格产品来保证施工的顺利进行；故要求及时整理、分析、汇总，并作为竣工验收的原始依据。

8.2.2 本条对现场质量检查的内容、标准、数量及发现不合格产品的扩检办法，虽然都作了具体规定，但它仍可能是不够完全的。例如混凝土柱状锚头的混凝土质量控制可按《水工混凝土施工规范》SDJ207执行；锚夹具质检标准，由厂家按有关规定进行，类似情况本条均未一一列出。

及时分门别类地将质检成果汇总成一览表，也是十分必要的。



**8.2.3** 锚束安放之前,是对锚束、锚孔最后一次的检验,也是放束前的阶段验收。应将这次检验结果填入张拉许可证内,待其他张拉准备工作完成后,连同其他复检结果一并填入该表,并签发张拉许可证。

**8.2.4** 质检人员对关键工序跟班检查,可以及时发现问题,并从质检的角度,协助施工人员共同商定解决问题的补救措施,藉以协调双方工作关系,共同搞好施工质量。因此可以激发施工单位提高执行规范的自觉性。

本条明确了质检人员是技术、质量、安全规程的执法人,对违反规范、操作规程的严重违章现象,有权令其停工。

**8.2.5** 施工控制与施工质量检查,不可能逐孔都采用频繁的测试手段进行检测,只能以压力表读数为准;但为了随时掌握锚束张拉过程中应力、应变的关系有无异常,又必须相应地以伸长值作为校核。该成果还可以与受力性能试验、验收试验进行对比分析,以便正确评定预应力锚固效果。

**8.2.6** 封孔灌浆浆液不作特殊处理时,由于泌水现象,往往可能发生近1.2%的沉缩量,质检人员应检查这一部分的沉缩,是否已补灌、填好。

**8.2.7** 无粘结型永久防护的锚束,都有重复张拉、定期检测承载情况以及补充填灌防护油脂的任务;长期观测孔也要随时检测锚束的受力状态。因此要求孔口保护装置必须完好。无粘结型锚束的孔口敞开不行,封死也不行,应该增设可以妥善保护孔口张拉端锚具及量测装置的防护罩,平时能关闭牢靠,不被人为损坏,使用时可由专管人员开启进行操作。

**8.2.8** 长期监测是正确评估锚固效果的重要依据,按设计文件的具体安排,质检人员应监督长期监测系统必须与预应力锚固工程同时竣工。

国外长期监测系统多采用荷载传感器和应变计。

### 8.3 施工安全

**8.3.1** 开工前编制安全操作规程的目的,主要是事先将各工序影响安全的因素全面地加以考虑,提出以预防为主的有效防护措施。开工后还应随时根据新发现的问题,将安全操作规程不断修正、补充,力求完善,确保安全生产。

**8.3.2** 预应力锚束张拉,是安全防护的重点之一。本条要求对张拉操作人员进行安全培训,培训内容除张拉机具安全操作要点,并必须反复实践、熟练外,还应学习、熟知包括国家有关的法令、法规和本规范的有关条文及为具体工程编制的安全操作规定。培训后,必须经过认真考核,持证上岗。

**8.3.3** 在高应力状态作用下,锚束对冲击和振动都十分敏感,故对任何类型的张拉端装置,均应避免猛烈地敲击振动。

**8.3.4** 张拉作业中,由于机械失灵、操作失误、猛烈冲击、锚具失灵等种种原因,都可能造成飞出部件伤人或支架倾倒伤人的安全事故。故禁止非工作人员进入张拉作业区,严禁在千斤顶出力方向停留、观望。也可以在千斤顶出力方向增设移动式的安全防护装置,以尽量缩小防护警戒范围。

**8.3.5** 施工操作脚手架必须牢固、平整,并应经过安全检查验收后才能投入使用。

特殊部位使用的脚手架，必须经过设计和技术负责人批准，并进行技术交底后，方可搭设。

## 9 验 收

**9.0.1** 预应力锚固工程有其特殊性，且专业性较强；本条规定除应遵照《水电站基本建设工程验收规程》SDJ275外，还应参照其他有关规范、规程、承包合同文件执行。

**9.0.2** 本条的验收条件，适用于各种类型、各个工程部位的预应力锚固工程。这些条件都是竣工验收的必备条件，缺一不可。

在规范前面的章节中，曾一再强调：①符合设计要求；②进行阶段验收；③长期观测应尽早安排施工。本条又突出地将这些方面作为验收的必备条件，旨在确保工程质量，提高预应力锚固效果的监测、验证，以促使我国预应力锚固技术的健康发展。

**9.0.3** 这些应提供的资料，是竣工验收的充分条件，可根据各工程的特点提供，不可能限定同一标准。但对凡能以说明本工程特性的原始资料，也应补充提供。例如对新材料、新工艺、新技术的破坏试验报告等。

竣工验收提供的资料，要求系统、完整、准确。专题报告要求有论证、有分析。