

黄丹水电站 300 t 级预应力锚索施工

徐 键

(国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司, 四川 成都 610072)

摘 要: 介绍了黄丹水电站大坝护坦 300 t 级预应力锚索的施工工艺, 分析了影响锚索锚固力的诸多因素, 可供锚索施工工程参考。

关键词: 黄丹水电站; 孔斜率; 固结灌浆; 预应力锚索; 张拉

中图分类号: TU 753

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)03-0042-04

1 概 述

黄丹水电站位于四川省沐川县境内马边河中游, 系马边河水能资源梯级开发的启动工程, 建成后, 为缓解沐川县工、农、牧业生产用电具有重要作用, 同时也可通过与相邻大渡河上已建成的铜街子电站并网支援乐山及西南工农业用电。电站采用坝后式厂房结构, 设计装机 3 台, 总容量为 4 5 万 kW。1989 年初开始电站规划勘测, 1992 年底开工建设, 1995 年 10 月 1 日首台机组发电。

电站施工中, 发现闸坝泄洪闸基础内 L₁L₂ 软弱夹层对坝体稳定性极为不利(不能满足设计规范安全系数要求)。根据实际情况, 建设单位和设计单位共同研究决定, 在闸后护 6、护 8 上布设 26 根 3 000 kN 级预应力锚索以加固泄 1~ 泄 3 坝段。锚索间距为 3~ 3.2 m, 呈梅花形布置, 索体材料为高强度、低松弛的 $\Phi 15.24$ mm 钢绞线, 锚头为 OVM 15-19 型锚具, 锚体与水平呈 65 夹角, 锚根段在 T3J1X-1 层砂岩内, 长约 8 m, 锚索长度为 42~ 45 m。

施工队伍于 1994 年 12 月底进场, 采用空气潜孔锤和合金钻进并举的工艺, 至 1995 年 2 月 10 日完成造孔工作, 3 月 15 日全部完工。完成产值 300 万元, 取得良好的经济效益。在实际施工中严格按照规范施工, 严把质量关, 深得业主和监理单位好评, 为拓展业务范围打下了良好基础。

2 成孔和洗孔

本工程选用硬质合金钻进和空气潜孔锤全断面钻进两种方法。实际上两种方法都是可行的, 但效率

差别极大, 合金钻进需要 10 个班才能成一个孔, 而潜孔锤钻进仅用 2 个班就成一个孔。

2.1 合金钻进

本工程配备两台合金钻进机组, 实际只用一台机组施工。

2.1.1 设备选定

选用重探厂产 XY-2 型钻机, 衡探厂产 BW-150 型泥浆变量泵, 自制铁质脚架。

2.1.2 钻具

钻头: 用“310”合金块按“品”字型镶焊, 直径 $\Phi 146$;

钻具: $\Phi 146$ 合金单管钻具, 长 2~ 3 m。

2.1.3 钻进参数

压力: 900~ 1 200 kN;

转速: 200~ 500 r/min;

泵量: 80~ 150 L/min。

2.1.4 操作注意事项

该孔要求与水平成 65 夹角, 因此, 为便于起下钻, 在四脚架增设附滑车, 此时, “三点一线”实际指附滑车、钻机立轴、钻孔中心三点共线。

为保持钻孔平直度, 应力求加长钻具并及时更换已磨损的合金钻头, 钻进中严禁大钻压钻进。

为清除孔底岩粉, 在钻具与钻杆间布设取粉管, 每回次需及时用高压水清洗干净。

孔底不能有残留岩心, 回次间岩心应及时用专用工具打捞干净。

2.2 空气潜孔锤钻进

本工程投入使用一台空气潜孔锤钻机, 钻进 20 d, 完成钻孔 15 个。

2.2.1 设备

钻机: XY-2 钻机(增设降速装置);

空压机: 小松压气机(日产) $17 \text{ m}^3/\text{min}$, 0.7

MPa;

冲击器: CR-150。

收稿日期: 1999-06-16

2.2.2 钻进参数

钻压为 60~120 kN, 风压大于 0.6 MPa, 风量大于 $8 \text{ m}^3/\text{min}$; 钻速控制在 $5\sim 6 \text{ m/h}$; 转速为 $20\sim 30 \text{ r/min}$ 。

2.2.3 操作要点

根据砂、泥岩性钻进速度需控制在 $5\sim 6 \text{ m/h}$, 进尺过快, 会造成岩粉无法及时排除, 起下钻困难, 甚至埋钻; 进尺过慢效率不高。具体控制通过给进压力来实现。

为保持孔内清洁, 需及时排粉, 潜孔钻头全断面钻进, 产生岩粉多。钻进中适量加入水有利于排粉; 通常钻进 2 m 需用高压风洗孔 2~4 次, 再继续钻进。

冲击器的润滑是保持其正常做功的前提, 在通风管路上增设油雾器, 给风时给入润滑油, 改善冲击器工作条件。通常打一个孔需清洗冲击器一次。

停风时须控制速度, 严防骤停。急速停风会造成冲击器瞬间负压, 把孔内岩粉吸入冲击器内, 造成无法正常工作。

冲击钻头在更换时须注意排队使用。

2.3 校孔及洗孔

锚索工程对孔深准确性要求相当严格, 因此, 校孔工作至关重要。实施中, 先用钻杆校测, 再用专用测绳反复量测 3~4 次, 再取其平均为终孔深度。

孔内岩粉既不利于灌浆效果, 更不利于保证锚固, 成孔后需及时洗孔。先用高压风将孔内积水和岩粉一同排除后, 再向孔内注入清水, 用高压风吹洗, 反复数次, 直至返出水清无砂为止。

3 灌浆和扫孔

锚索工程灌浆分为三种形式: 钻孔围岩固结灌浆、锚根段锚固灌浆、张拉段封孔灌浆。

3.1 固结灌浆

一般在造孔过程中及造孔完成后进行, 其目的在于加固锚索围岩, 提高围岩的密实性。

本工程采用黄丹 425 号普通硅酸盐水泥外加适量的早强剂为浆材, 按 2:1:1:0.8:1; 0.6:1, 0.5:1 的水灰比逐级或越级由大到小的灌注。为提高水泥浆体早期强度, 早强剂加量为 3%~5%。灌浆压力为 0.6~0.8 MPa。当压力保持不变的情况下, 孔内不吃浆时, 稳定 30 min, 即可结束灌浆。

3.2 扫孔

固结灌浆后需及时用原设备原孔扫除水泥浆体, 一般在 8~16 h 水泥浆初凝具有一定强度后进

行。扫孔时严禁大压力, 以防新造孔。

3.3 锚根段锚固灌浆

锚固灌浆是控制锚固力的关键工序, 它一方面将单根锚索结固成整体, 另一方面将整体锚索牢牢锚固在地层中。

浆材采用峨眉水泥厂产 525 号普通硅酸盐水泥, 加适量早强减水剂, 加量为 3%~5%。

配比 水泥 水 早强减水剂 = 1 0.35 0.04;

灌浆管安装在距孔底 0.2~0.5 m 处;

灌前需用高压风检查管路畅通情况, 同时再次吹洗孔底岩粉;

锚根段灌浆量计算按下式计量:

$$V_0 = V_1 - V_2 = \frac{1}{4}\pi \cdot d_1^2 \cdot h - \frac{1}{4}\pi d_2^2 \cdot h \cdot n \cdot u$$

式中 d_1, d_2 ——分别为钻孔及单根钢绞线直径 (cm);

h ——所需内锚固段长度 (cm);

V_1 ——钻孔段体积;

V_2 ——锚索体的体积;

n ——锚索中钢绞线根数;

u ——内锚段隔离架体积;

V_0 ——内锚段浆体体积。

灌浆中制浆量应考虑管路耗浆 V , 可用现场试验检查核定, 亦可通过计算确定。

灌注结束后, 应及时拔出灌浆管, 严防灌浆管埋置在锚固段内。

3.4 张拉段灌浆

张拉段灌浆的作用在于封闭钢绞线与周围介质的接触, 保持其永久负载存贮。在张拉之后进行, 张拉段灌浆浆液的配比为 0.6 的水灰比水泥净浆, 可以自下而上一次性灌注, 亦可自上而下多次灌注, 但必须灌满所有空隙, 至外锚头返出浓浆为止。

4 锚索制安

锚索制安是锚索工程的关键工序 (详见图 1)。

4.1 准备工作

在锚索编束之前需做好钢绞线、灌浆管、外锚头及工具锚、隔离架等材料的购置加工工作。并根据设计要求校好材质、型号检查工作。

4.2 编束

(1) 调直: 编束前钢绞线需拉直平放在预先选择好的场地上。

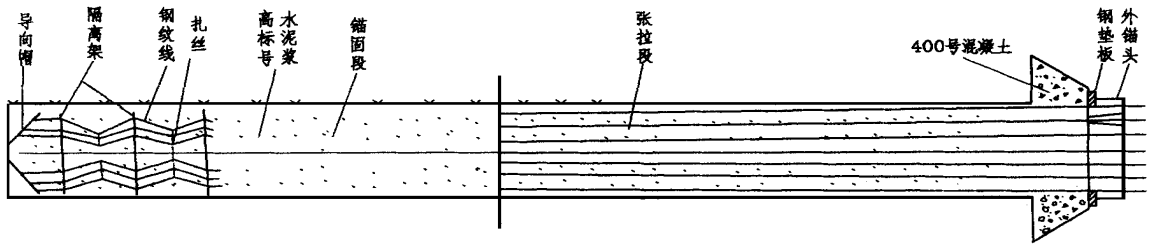


图1 锚索整体安装图

(2) 除锈: 长期置放的钢绞线需用刷子等工具除锈, 锈斑不利于锚固。

(3) 根据下式确定钢绞线长度:

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

式中 L —— 钢绞线长度;

L_1 —— 钻孔孔深;

L_2 —— 张拉设备高度;

L_3 —— 张拉余量。

(4) 切割: 用专用切割机根据确定长度平整切割钢绞线, 切割时必须平稳。

(5) 穿隔离架: 先穿中心孔, 次穿周围 6 孔, 再安周边 12 孔钢绞线。每个隔离架间距为 0.8 m。

(6) 扎丝: 在各隔离架间中部用 20 号镀锌铁丝捆扎紧钢绞线。对张拉段每隔 3~4 m 扎一道。

(7) 导向帽: 在锚根端需焊上导向帽, 以防锚索在下锚过程中刮孔壁而造成困难。

(8) 扎注浆管: 锚根段注浆管距孔底 0.2~0.5 m、张拉段在距锚固段上部 1 m 处。注浆管必须用铁丝捆扎牢固。

(9) 编束好后, 每根锚索须标志清楚, 以防下锚索孔锚对。

4.3 下锚及外锚头支墩

(1) 下锚: 采人工或机械, 将锚索逐段下入孔内, 下锚中严格保持注浆管随同索体同步下放。

(2) 外锚头支墩:

外锚头支墩既是锚固力外端承压支撑, 又是传递扩散力的承台。形状为梯形, 尺寸如图 2。

顶部尺寸为 70 cm × 70 cm, 底部尺寸为 1.2 m × 1.2 m, 厚度 30~40 cm, 配筋为 $\Phi 22$ 螺纹钢筋, 间距为 20 cm, 采用环筋布置。

混凝土配比: 采用 525 号峨眉水泥厂产普通硅酸盐水泥, 配合比见表 1。经 3 组现场取样试块试压试验, 得出平均抗压强度见表 2。

表 1 支墩混凝土配料表

品名	水泥	水	砂	小石	中石	SM 外加剂
用量 /kg	418	138	571	554	831	8.36

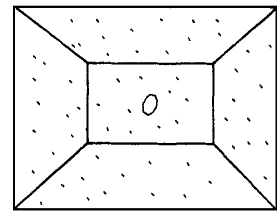
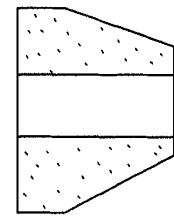


图 2 外锚头支墩形状示意图
表 2 混凝土取样试验成果表

龄期 /d	3	5	7	14	28
抗压强度 /MPa	24	32	38	40	43

5 张拉

(1) 张拉设备。

千斤顶: YCW 400 千斤顶;

油泵: ZB 4-500S 电动油泵;

张拉端锚具由夹片、锚板、锚垫板等组成, 型号为 OVM 15-19 型。

(2) 预张拉。

预张拉的作用在于在分级张拉前, 单根分别施加一定的力, 为分级整体张拉时均匀受力创造条件。用 Lm-20 张拉器逐根施加 60 t 力, 后锁紧。

(3) 张拉分级。

根据本工程情况按两种分级 (见表 3、表 4): 该种分级用于 400 t 试验锚索。

表 3 分级张拉力表

级别	第一级 /kN	第二级 /kN	第三级 /kN	第四级 /kN	第五级 /kN	第六级 /kN
张拉力	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 200

该分级主要用于施工锚索张拉。

表 4 分级张拉力表

级 别	第一级	第二级	第三级	第四级	第五级	第六级	第七级
	/kN	/kN	/kN	/kN	/kN	/kN	/kN
张拉力	1 500	2 500	3 000	3 400	3 600	3 800	3 920

(4) 张拉各级之间应有相应的稳定时间, 一般为 15~ 30 min, 以利于张拉力传递至锚根部位。

(5) 张拉过程需严密观测变形, 并与事先计算变形量相对照, 以防孔内异常事故的发生。同时做好各孔变形压力记录, 及时做出变形应力曲线。

(6) 本工程共 26 根锚索, 全部张拉力均在 3 200 kN 以上, 其中有一根锚索张拉至 3 920 kN, 其曲线相当正常; 另 2 根由业主和监理随机指定, 拉至 3 426 kN 未出现异常。全部锚索均超出设计锚固力, 效果良好。张拉曲线见图 3。

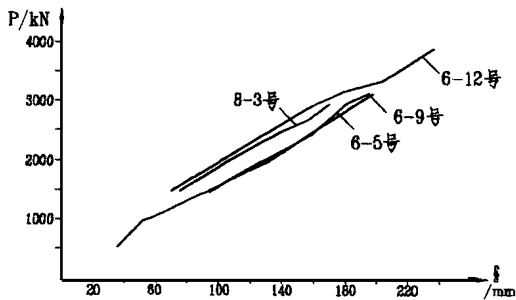


图 3 黄丹水电站锚索张拉曲线图

6 锚固力的计算

锚索工程锚固力的计算是一个关键问题, 对粘结石型锚杆的锚固力计算一般分为下列两种形式。

(1) 完整硬层中锚固力:

$$P_m = \pi \cdot D_1 \cdot L \cdot C_1$$

(2) 软质岩土层中

$$P_m = \pi \cdot D_2 \cdot L \cdot C_2$$

式中 P_m —— 极限锚固力;

D_1, D_2 —— 锚索直径及钻孔直径;

L —— 有效锚固段长度;

C_1, C_2 —— 砂浆对锚索的握裹力, 与岩土的
平均抗剪强度有关。

在计算时关键是 C_1, C_2 的取值。一般认为: C_1 取水泥浆体强度的 10%~ 25%, 即试验水泥浆体强度为 30 MPa, 其 C_1 取为 3~ 7.5 MPa。在实际施工中, 考虑到张拉系三轴受力, 其 C_1 值无疑要增加。 C_2 值通常取岩土抗剪强度 (τ_m) 的 5%~ 10%, τ_m 可通过钻孔取样来确定, 黄丹锚索工程所遇砂质岩, 取样测得 τ_m 为 350 MPa, 实际计算时取 C_2 值为 4 MPa。

通过锚固力计算式求得内锚固段长度:

$$L = k \cdot P / \pi \cdot D_2 \cdot C_2$$

式中 k —— 为安全系数, 取 2~ 4。

计算 L 为 3.5 m, 为最短锚固段长, 实际施工设计为 8 m, 所以, 其力是足够的。

7 有关几个问题的讨论

黄丹电站锚索工程是我公司首次承担锚索施工, 而且其吨位达 300 t。在施工中接触有几方面问题值得今后深入研讨:

7.1 影响锚固的诸因素

影响锚根段锚固的因素很多, 大致包括: 浆体结石强度、浆体与岩土粘结力、钢绞线与浆体粘结力、锚固段长、岩土抗剪强度及钻孔直径等。其中岩土抗剪强度是所在地层天然造就的, 而其他各方面则是可以通过施工加以提高的。

7.2 改善浆体的措施

(1) 在锚固段灌浆时, 制浆浓度直接影响浆体结石强度。在施工中一般要求其水灰比小于 0.4。实际施工时, 通过外加剂处理水灰比可达 0.35 左右。黄丹锚索工程中锚根段水灰比为 0.33~ 0.34。

(2) 为保证锚根段浆体密实, 采用自下而上一次性注浆, 注浆管距孔底距离为 0.2~ 0.5 m 左右, 而且每根锚索注浆要连续进行。

(3) 计算锚固段长时, 因孔底沉沙客观存在, 其上上部有 2~ 2.5 m 左右锚固效果差, 应予扣除。

(4) 为改善浆体与围岩间的粘结力, 除反复洗孔外, 尚可以从钻孔表面粗糙度着手, 并可在浆体中加入适量水泥膨胀剂。本工程通过取样实验证实其强度不受影响, 但有利于粘结力的提高。

7.3 张拉变形的观测和计算

锚索是否在正常变形, 可通过观测张拉变形量与计算变形量对比进行检查和监控。

变形计算式为:

$$\Delta L = \frac{P \cdot L}{n \cdot E \cdot A}$$

式中 ΔL —— 变形量; (mm)

P —— 张拉力 (N);

L —— 张拉段长 (mm);

E —— 钢绞线弹性模量;

A —— 单根钢绞线截面积 (mm^2);

n —— 张拉钢绞线的根数。

变形观测须在同级进行多次观测后取平均值, 最终要测出一个稳定值才能升级张拉。

(下转第 48 页)

(2) 压水试验: 主要进行锚固段试验, 设计要求锚固段的 w 值小于 0.1, 施工中采用图 3 所示装置进行了压水试验, 每次循环水工作时间 90~120 min, 压力 0.2~0.25 MPa, 止水袋内压力 0.3 MPa, 测出数据均大于设计要求指标, 说明孔内必须进行固结灌浆处理。

(3) 固结灌浆: 用图 4b 所示装置安装在孔口, 向孔内灌注水灰比为 0.5 的水泥浆, 然后扫孔再次进行压水试验, 则 w 值满足设计要求。

(4) 锚固灌浆: 用图 4 方法进行锚固段灌浆, 浆液水灰比 0.38, 减水剂加量 0.24%, 膨胀剂加量

2%~3%, 灌浆时孔口最大压力 2.2 MPa, 止浆袋未破裂。当浆液注满时排气管有浆液流出, 说明该方法是可行的, 后经张拉, 锚索拉拔力均达到设计要求。

综上所述, 本文论述的上仰孔锚索施工中存在的问题及解决方法, 经小浪底现场应用证明是切实可行的, 这些方法对普通的水平和下仰孔锚索施工也具有一定的指导意义。

作者简介:

楼日新, 男, 国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司三公司经理, 工程师, 硕士

王波, 男, 成都理工学院勤机系, 副教授, 学士

(上接第 45 页)

7.4 同径锚索与扩底锚索

国内就锚索扩底问题看法不同, 一般主张护底, 原因是通过孔底扩径在锚根形成楔形, 有利于锚固力的提高。但在实际工程中并非尽然。如果地层松软, 扩底会有利于提高锚固力, 若系中硬以上地层, 扩底提高锚固力甚微, 而且给工程施工增加相当困难。黄丹工程设计为扩底锚根, 在施工中采用同径施工, 其锚固力仍达到设计要求。

7.5 扎丝的作用

在锚固段内隔离架间钢绞线要求用不镀锌铁丝扎捆, 其主要目的在于形成纺锤体, 以改变钢绞线受拉时水泥浆体的受力条件, 从而提高锚固力。

7.6 外锚头支墩

在设计外锚头支墩时, 不仅要考虑支墩自身强度, 而且还需考虑外锚头所在围岩条件, 只有这样, 才能既经济又能满足要求。

8 结 论

黄丹电站预应力锚索工程从签订合同至工程竣工历时 70 d, 实际投入 2 台机组。设计预应力为 3 000 kN, 实际施加应力为 3 200 kN, 个别达 3 900 kN, 达到并超过设计预应力, 获得监理和业主好评, 业主已将该项工程评为优质工程。

作者简介:

徐键, 男, 国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司, 工程师

三峡工程确定国外监理公司

据报载, 根据国务院总理朱镕基的要求, 三峡总公司对三峡工程左岸电站安装的 14 台单机容量为 70 万 kW 的水轮发电机组——亦是世界水电建设史上单机容量最大的水轮发电机组的制造和监造工作, 向国际上众多优秀的监造公司发出邀请, 以制造出一流的水电机组。

经过多方面的比选, 最终由法国电力公司和法国检验局组成的联合体幸运地成为三峡工程的首批洋监理, 并于日前就三峡左岸电

站设备监造签订了合同。该联合体将对此前通过国际招标确定的由法国、瑞士、德国等 8 个国家、17 个工厂制造的 14 台机组的制造全过程及总体质量负监造责任。

据悉, 该联合体已有 170 多年的监造历史, 在全球设有 150 多个办事机构。

本刊记者 李燕辉

文明建设上台阶 设备健康进一流——映电总厂荣获两项殊荣

四川省映秀湾水力发电总厂新年伊始荣获两项殊荣。一是被四川省授予“省级最佳文明单位”称号; 另一项是被四川省电力局命名为 1998 年“无泄漏水电厂”。

映电总厂连续 3 年被评为四川省省级文明单位。多年来, 我厂在抓文明创建工作中, 始终把抓队伍素质的提高和以经济效益为中心的安全生产工作摆在首要位置, 文明单位、文明班组、文明职工、五好家庭的比例年年都在 97% 以上。在争创社会主义一流企业活动中, 职工队伍素质逐年提高, 企业形象越来越好。近年来, 数次获得省电力局文明新风奖。与驻地村、镇政府、驻警部队的文明共建活动搞得有声有色。我厂都江堰生活区在小区建设、治安、物业管理等在都江堰市树立起了一面旗帜, 被评为市文明示范小区。1998 年秋天, 四川省

文明委组成验收组对映电总厂的文明建设工作进行总体考核, 最终以 98 分的成绩给予了充分肯定。新年伊始, 四川省文明委正式命名我厂为“省级最佳文明单位”。

在抓企业两个文明建设的同时, 我厂抓住国家电力公司和四川省电力局将我厂定为无人值班(少人值守)试点单位的契机, 扎扎实实地开展创一流企业的工作, 先后实现卫星水情测报自动化、管理信息系统自动化、计算机监控、机组自动化元件改造、微波通讯系统改造等五大工程。通过近 3 年时间的努力, 全厂查出的上万个油、气、水漏分别通过技术改造、设备大小修处理和专门的“三漏”治理, 分别予以消灭和控制, 全厂 11 台机组率先实现无泄漏。1999 年 2 月, 我厂被省电力局正式命名表彰为“无泄漏水电厂”。

映秀湾水力发电总厂 黄光成