

清江水布垭水电站右岸防淘墙预应力锚索施工技术

李吉林

(山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250100)

摘要 水布垭水电站防淘墙墙体深埋地下,为保证防淘墙的稳定,在高程 190 m 的锚固洞内设置对穿式预应力锚索,在预应力锚索廊道中设置内锚式预应力锚索。介绍这 2 种预应力锚索的施工程序和施工关键技术。后期的锚索测力计监测数据表明,水布垭水电站防淘墙锚索施工能够满足设计要求。结合该工程防淘墙锚索施工实践,总结归纳出地下洞室内预应力锚索的施工工法,可为类似工程的施工提供参考。

关键词 水布垭水电站;防淘墙;预应力锚索;施工技术

中图分类号:TV554⁺.13

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2008)06-0049-04

The construction technique of pre-stressed anchor cable in anti-wash wall of right bank of the Qingjiang Shuibuya Hydroelectric Power Station//LI Ji-lin (Shandong Electric power Engineering Consulting Institute Co., Ltd, Jinan 250100, China)

Abstract : The anti-wash wall of the Shuibuya Hydroelectric Power Station is buried deep underground. In order to ensure the stability of the anti-wash wall, the opposed prestressed anchor cables are put in the anchor cavern and the anchored ones are placed in the prestressed anchor cables gallery. In this paper, the construction procedure and the key technique of the two prestressed anchor cables are introduced. The dynamometer monitor data show that the anchor cables in the anti-wash wall of the Shuibuya Hydroelectric Power Station can meet the designed demand. Based on this construction practice of anchor cables in anti-wash wall, we summarize the construction method for prestress anchor cables in underground cavern. The method can provide a reference for similar project.

Key words : Shuibuya Hydroelectric Power Station; anti-wash wall; prestressed anchor cable; construction technique

1 工程概况

清江水布垭水利枢纽位于清江中游河段的湖北省巴东县水布垭镇,是清江梯级开发的龙头工程,具有发电、防洪等综合效益。工程主要由混凝土面板堆石坝、左岸溢洪道、右岸地下电站厂房和放空洞等建筑物组成。面板堆石坝最大坝高为 233 m,水库正常蓄水位为 400 m,相应库容为 43.12 亿 m³。电站装机容量为 1 600 MW,多年平均年发电量为 39.20 亿 kW·h。

防淘墙位于溢洪道挑流鼻坎下游部位,沿左右两侧岸坡和河床布置,由上游横向段、左岸段和右岸段 3 部分组成,总长 853.35 m,是溢洪道消能冲刷区防护的重要组成部分。左岸防淘墙布置在大崖和大岩淌滑坡坡脚下,墙长 336.48 m;右岸防淘墙布置在马崖高陡边坡脚下,墙长 354.66 m;河床部位防淘墙沿导流洞消力池尾坎布置,墙长 160.21 m。两

侧墙底最低高程为 160 m,最大墙高约 40 m。右岸防淘墙在高程 178 m、186 m、196 m 处共设置 3 排预应力锚索锚入两岸岩体内。在防淘墙的上下游,随着墙高程的降低,预应力锚索数量相应减少。厂房尾水平台处防淘墙顶高程为 185.8 m,墙高为 25.8 m,在高程 178 m 处设置 1 排预应力锚索。根据导流洞出口防淘墙预应力锚索施工情况来看,内锚固段部位岩石性状较差,不能满足设计张拉吨位的要求,因此在防淘墙后山体内设置预应力锚索。高程为 190 m 的拉锚洞内设置 2 排对穿式预应力锚索,长度为 45 m。没有拉锚洞的部位,在防淘墙内设置内锚式预应力锚索廊道,廊道在高程 178 m、186 m、196 m 处均有布置,内锚式预应力锚索长度为 45~53 m。考虑与尾水平台施工的交叉影响,在廊道内施工的内锚式预应力锚索选定 4 号、6 号、10 号、11 号竖井预留作为交通通道。

2 地质条件

消能冲刷区位于坝址峡谷出口处大崖沱深潭，河谷由 NE 向转为 EW 向的转弯处，深潭覆盖层薄，一般为 1.5~9.4 m，基岩面高程为 178.3~185.5 m。该处河谷略宽缓，呈一不对称的 U 形谷，其左岸为大崖高边坡和大岩淌滑坡，右岸为马崖高边坡。溢洪道消能冲刷区所在的地层为二叠系下统马鞍组 (P_{1ma})、石炭系中统黄龙组 (C_{2h})、泥盆系上统写经寺组 (D_{3x}) 等岩性软弱的地层。岩体完整性差，风化较强烈， P_{1ma} 及 D_{3x} 地层含有较多的页岩，浅表部处于强风化状态。 D_{3x} 强风化带水平纵深可达 30~45 m，最深达 60 m^[1]。

3 工程的特点及难点

水布垭水电站防淘墙工程规模大，水文地质、工程地质条件复杂，施工难度高，具有以下特点和难点^[2] ①预应力锚索张拉力大，单束设计张拉力吨位采用 2000 kN 级。锚索体结构复杂，每束 14 根，设置对中支架和波纹管，制作、安装、注浆要求均很高。②锚索钻孔难度大，主要表现为：河岸地质条件复杂，涌水量大，有的地段需跟管钻进，近水平方向钻孔和上仰钻孔，成孔及穿束难度很大，孔径大，终孔直径为 185 mm，对穿式预应力锚索施工，钻孔精度要求非常高，在拉锚洞和防淘墙之间进行预应力锚索施工，要减少钻孔偏斜，在拉锚洞或防淘墙廊道中进行预应力锚索施工，由于空间范围狭小，锚索施工困难。

4 施工方法及工艺

4.1 施工准备

在拉锚洞或防淘墙廊道内安装固定钻机，在 190 m 高程拉锚洞内施工的部分 196 m 高程锚索需用 $\varnothing 40$ mm 钢管脚手架搭设施工平台，平台宽不小于 3 m，应能满足锚索钻机施工要求，平台的临空面设置安全栏杆。在脚手架上安装钻机，要求钻机钻孔轴线与预埋的钢管同心，方位角、倾角及钻孔位置都应符合设计要求，检查无误后将钻机固定。

4.2 锚索施工

在高程 178 m、186 m 和 196 m 处设置预应力锚索，共 205 束，长度为 45~53 m 不等，间距为 3 m。施工顺序根据防淘墙施工进度情况灵活安排，穿插进行。拉锚洞内对穿式预应力锚索和廊道内内锚式预应力锚索的施工程序分别见图 1、图 2，具体施工工艺如下。

a. 预应力锚索的钻孔。钻孔在预应力锚索施工中占有较大工作量，是影响工程费用和工期的关

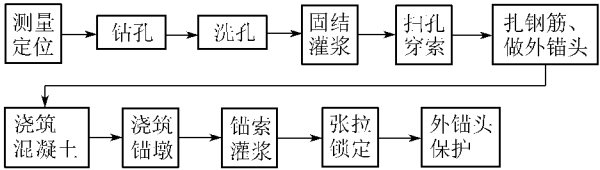


图 1 拉锚洞内对穿式预应力锚索施工程序

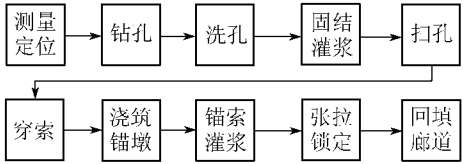


图 2 廊道内内锚式预应力锚索施工程序

键性因素。在钻孔施工时，根据设计要求的钻孔参数和地层类型，确定适用的钻孔设备和工艺，力求达到提高工作效率和降低工程费用的目的。预应力锚索钻孔根据施工需要预埋套管。预应力锚索钻孔的位置、方向、孔径及孔深应符合施工图纸的要求。钻孔的开孔偏差不大于 10 cm，孔深不允许欠深，超深不大于 20 cm，内锚式预应力锚索钻孔孔斜误差不大于孔深的 2%，对穿式预应力锚索钻孔孔斜误差不大于孔深的 1%。方位角与倾角用全站仪结合微调螺杆 (MD-60) 控制。钻孔直径为 165 mm，岩体内锚式的钻孔需扩孔至 185 mm。其扩孔工艺流程见图 3。终孔后采用孔内摄像仪检测造孔孔径，特别是检测扩孔孔径是否达到设计要求。

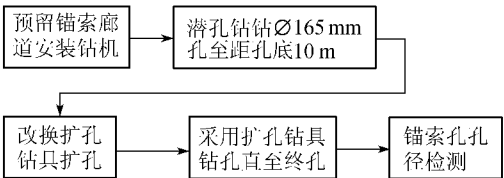


图 3 锚索孔锚固段扩孔工艺流程

受廊道断面尺寸限制 (廊道宽 3.3 m，边墙高 2.51 m)，在廊道内施工的锚索钻孔采用无锡探矿厂特制的 MD-60 型锚固钻机，其主要性能参数为：钻孔孔深 50~80 m，钻孔孔径 90~200 mm，钻孔角度 $\pm 90^\circ$ ，最大扭矩 3400 N·m，有效行程 2000 mm，最大加压力 25 kN，最大提升力 50 kN，最大提升速度 3000 mm/min。190 m 高程拉锚洞距离防淘墙 45 m，拉锚洞净断面尺寸为 3.5 m×5.0 m。在拉锚洞内施工的锚索钻孔，使用 QGD-2 型潜孔钻机。由于潜孔冲击类钻机不仅工效高，而且所钻凿的钻孔孔壁粗糙，对锚索的锚固十分有利。该工程的地质条件比较复杂，岩石质地较软，且有一定的断裂破碎带，必将给钻孔带来较大的困难。QGD-2 型潜孔钻机在这种地层中具有无可比拟的优势，它不仅可以实现冲击回转钻进，而且在复杂地层中可以实现跟管钻进，对锚索成孔十分有利。钻机的基本性能参数为：钻

孔孔深 90 m, 钻孔孔径 120 ~ 300 mm, 钻孔角度 120°, 最大扭矩 3 000 N·m, 有效行程 2 000 mm, 最大加压力 26 kN, 最大提升力 40 kN, 最大提升速度 2 800 mm/min。

为保证孔斜要求, 采取以下主要措施: ①稳固钻机, 采取镶铸地锚紧固钻机底盘, 使钻机在正常运转过程中始终处于平稳状态; ②采用粗径长钻具使钻孔具有很好的导向功能; ③采用 $\varnothing 110$ mm 的粗钻杆, 每 6 m 加 1 个扶正器, 减少环间间隙, 从而减小因钻具自重产生的重力漂移; ④钻进过程中尽量采用较小的压力, 以免高压时钻具弯曲; ⑤每 5 ~ 10 m 进行 1 次孔斜测量, 及时了解钻孔质量, 一旦发现钻孔超偏应及时停钻, 回灌水泥后重新扫孔钻进。

预应力锚索的内锚固段应位于稳定的基岩中, 若孔深已达到预计深度但仍处于断层破碎带或溶蚀等软弱岩层时, 延长孔深至坚硬完整岩石, 以保证锚索的锚固质量。钻进过程中遇塌孔、掉钻而影响进一步钻进时, 先对钻孔进行灌浆处理, 而后继续钻进。钻进过程中记录每一钻孔的尺寸、回水颜色、钻进速度等数据。

b. 洗孔及固结灌浆。钻孔完毕后用水冲洗钻孔, 直至回水澄清再延续 5 min 后结束。固结灌浆采用孔口卡塞, 全孔一次水泥浆液灌注, 灌浆压力采用 0.3 MPa, 水灰比采用 2 : 1, 0.8, 0.6 这 4 个等级。当注入率不大于 1 L/min 时, 继续灌注 30 min 后结束灌浆。固结灌浆结束后, 待凝固 1 ~ 3 d 后对锚索孔进行扫孔处理。扫孔不得破坏缝内填充的水泥结石, 扫孔后应将孔内的残留废渣清洗干净。预应力锚索孔固结灌浆结束后, 才能对其周围的排水孔进行钻孔, 排水孔施工完成后, 再进行锚索穿束。

c. 预应力锚索的制作。预应力锚索按施工图纸所示的尺寸下料, 因地质条件差而延长了孔深的钻孔, 根据实际孔深下料。锚索制作在拉锚洞内进行, 其程序如下: ①钢绞线下料。钢绞线切断采用砂轮机, 要求切口整齐无散头, 下料长度考虑混凝土锚墩厚度、锚垫板厚度、千斤顶长度、工具锚和工作锚的厚度要求, 并适当留有余度。②钢绞线去皮洗油。内锚固段钢绞线去皮洗油长度为 10 m, 误差在 1 cm 以内, 由于钢绞线下料长度误差, 去皮洗油长度应以最短的 1 根为准。采用电工刀锯口, 人工拉拔法去皮, 洗油时采用专用工具将钢绞线松开, 用汽油人工逐根清洗, 用干净棉纱擦干, 保证钢丝上无油膜存在, 以确保钢绞线与水泥胶结体之间有牢固的黏结力。③钢绞线编号。将钢绞线和灌浆管平摊于工作台上, 对钢绞线进行编号, 并在进口段(外端)用不同的颜色或挂牌区分。④编制锚索体。将灌浆管、内圈钢绞线、外圈钢绞线捆扎成一束。钢绞线和灌浆

管之间用隔离支架分离, 内锚固段隔离支架间距为 1.0 m, 2 对隔离支架之间用 1 道无锌铅丝绑扎成枣核状, 绑扎时保证钢绞线平行不交叉; 自由段隔离支架间距为 2.0 m。已安装的灌浆管应检查其是否通畅, 不通畅者要更换。灌浆管要平顺, 不得弯曲、破损。管道安装检查完毕, 管口临时封闭并挂牌编号。⑤安装波纹管。将钢绞线束装入波纹管内。波纹管靠近内锚固段顶端部安装 PE 塑料导向帽。塑料灌浆管伸出导向帽处预留孔径为 $\varnothing 50$ mm 的进浆孔, 使波纹管内外可同时灌浆。⑥波纹管封堵器制作。为保证波纹管内灌浆质量, 在波纹管口设置封堵器, 封堵器由波纹管、隔离支架、石棉、锚索体、灌浆管、环氧砂浆、无锌铁丝等组成。封堵器制作严格按图纸进行, 波纹管内部灌浆的排气管伸出封堵器 4 cm。在灌入环氧砂浆前, 用石棉充填隔离支架与钢绞线之间的空隙, 然后在锚索体下部兜一半径约为 60 mm、长为 500 mm 的半圆形铁皮, 采用塑料刮板将环氧砂浆挤压入波纹管内, 待浆体凝固后再用无锌铁丝将波纹管与锚索体牢固绑扎。⑦安装对中支架。在波纹管外侧安置成型的对中支架, 以保证锚索安装在钻孔中心, 周围有均匀间隙, 并使波纹管周围有厚度均匀的灌浆凝固体。⑧钢绞线 PE 护套去皮。灌浆后对外锚固段钢绞线 PE 护套进行去皮, 在孔口内距孔口 40 cm 处用电工刀环向切割钢绞线 PE 护套, 然后用胶带对分割口进行密封。⑨组装好的锚索应妥善存放, 并登记、挂牌, 标明锚索编号、长度等。存放点要求严格防潮、防水、防污染。⑩束体在运输及送束入孔过程中应尽可能防止束体发生大的弯曲、扭转和损伤。

d. 预应力锚索的穿索。两端为外锚头的对穿式预应力锚索, 穿索在拉锚洞内进行; 内锚式预应力锚索, 穿索在防淘墙内预留的廊道内进行。锚索穿索采用人工辅以机械方法进行, 锚索曲率半径以大于 5 m 为宜, 以免损坏波纹管; 锚索入孔时, 不得过多地来回抽动锚索体, 且送入孔道的速度应均匀, 以免损坏锚索体, 或使锚索体发生整体扭转; 穿索中不得损坏锚索结构, 否则应予更换; 仰孔安放锚索时, 应采取措施防止锚索滑移。

e. 锚墩和对穿式预应力锚索固定端防淘墙混凝土浇筑。外锚墩安装、浇筑前应清理松动岩块, 洗净岩面。按设计图纸进行锚墩钢结构和模板的架立, 锚墩采用一级配混凝土, 7 d 龄期的强度等级为 C35。对穿式预应力锚索, 在固定端处防淘墙混凝土还未浇筑时, 应安设好钢筋, 待固定端锚头钢绞线去皮洗油、钢结构安装、固定完毕、挤压套挤压固定钢绞线后, 再浇筑防淘墙混凝土; 对穿式预应力锚索, 当固定端设在防淘墙预留的锚索廊道内时, 在设有

弯折钢筋的部位将廊道两侧混凝土凿除,安设好钢筋,固定端锚头钢绞线去皮洗油、钢结构安装、固定完毕、挤压套挤压固定钢绞线后,浇筑防淘墙回填廊道混凝土。

f. 锚索灌浆。在锚墩拆除模板后,即可进行锚索灌浆,其工艺流程如下:①在钢垫板上用螺钉固定灌浆定制锚板,厚2cm,锚板上开孔孔位与锚索张拉时的工作锚具一致,另增设1个 $\varnothing 20\text{ mm}$ 的排气孔。②在定制锚板、钢垫板、外露钢绞线PE护套表面均匀涂抹1层润滑油,以便于灌浆后剥离表面黏结的水泥结石。③利用钢垫板加工过程中已钻设的6个M12螺栓孔固定灌浆钢罩,灌浆管与排气管伸出灌浆钢罩,钢罩朝上的一侧开设1个 $\varnothing 18\text{ mm}$ 出浆管,钢罩与钢垫板之间应设置橡胶垫圈,防止灌浆时漏浆。④预应力锚索灌浆采用水泥浆灌注,对穿式锚索水泥浆水灰比为0.35:1~0.4:1,内锚式锚索水泥浆水灰比为0.25:1~0.35:1,尽量采用小水灰比。内锚式锚索水泥浆中应掺入FLOWCABLE作为减水早强剂,其掺入质量宜为水泥质量的3%~6%。7d龄期的纯水泥浆结石强度等级为C35。制浆配料采用合格的称量装置称量,用高速泥浆搅拌机进行浆液的拌制,拌制时间不少于3min。待浆液拌制均匀后,所有水泥砂浆均应通过1.25mm的筛网,将浆液放入储浆桶,取样监控浆液质量。浆液自制备至用完的时间应小于1h。⑤仰孔灌浆采用有压循环灌浆法,灌浆压力采用0.5MPa。先由内进浆管进行波纹管灌浆,待外进浆管有回浆现象时,暂停内进浆管灌浆,改由外进浆管灌浆,待回浆管有回浆时内外进浆管同时灌浆。当吸浆率小于0.4L/min时,灌注30min后再屏浆60min即可结束灌浆。⑥灌浆结束、浆体终凝后卸下灌浆钢罩,同时剥离表面的水泥结石,包括钢绞线护套外黏结的水泥结石,再卸下定制锚板,将灌浆钢罩、定制锚板清洗干净以便再次使用。

g. 锚索的张拉锁定。防淘墙混凝土、内锚固段的浆液结石和外锚墩混凝土的强度达到规定强度时才能进行张拉。预应力锚索要求间隔张拉,张拉前要计算每根锚索的理论伸长值。张拉设备的率定:为保证张拉控制力的准确性,在张拉作业前对张拉设备系统(包括千斤顶、油管、压力表等)进行“油压值~张拉力”的率定。锚索张拉操作程序为:①安装测力计(适用于需进行应力监测的锚索)。②安装工作锚具(型号HVM15-14)、限位板、夹片、千斤顶(YCW350A或YCW250B)及工具锚,安装前工作锚具上的锥形孔及夹片表面应保持清洁,为便于卸下工具锚,工具夹片可涂抹少量润滑剂。工具锚具上孔的排列位置必须与前端工作锚的孔位一致,不允许在千斤顶穿心孔中出现钢绞线交叉现象。张拉时应

记录每一级荷载的伸长值和稳压时的变形量,且与理论伸长值和规定的变形量进行比较,如果实测伸长值大于计算伸长值的10%或小于计算伸长值的5%,应查明原因并做相应的处理。③锚索张拉时,先对单根钢绞线进行预紧,预紧时单根张拉力为30kN,再将所有锚索一起分级张拉至2250kN后回放至2000kN并锁定。张拉时按以下拉力分级进行,逐根预紧:1000kN→1500kN→2000kN→2250kN→2000kN(锁定),并进行及时准确的记录。④张拉过程中,升荷速率每分钟不宜超过设计应力的10%,当达到每一级控制力后稳压10min即可进行下一级张拉,超张拉回放至2000kN后,稳压20min进行锁定。设有内锚固段的锚索,锁定48h后,若锚索应力下降到1800kN以下应补偿张拉至2000kN。⑤防淘墙锚索廊道内张拉的锚索,廊道回填混凝土前,若锚索预应力降至设计吨位以下应补偿张拉至超长拉值。⑥拉锚洞内张拉的锚索,具体补偿张拉的时间根据锚索预应力损失的情况确定;工程完工前,若锚索预应力下降至设计吨位以下应补偿张拉至超长拉值。⑦锚索张拉时应通知监理工程师到场,并准确记录油压表编号、油压表读数、千斤顶读数以及锚索在不同张拉吨位时的伸长值。

h. 锚索锚头保护。锚索张拉锁定完毕,卸下工具锚及千斤顶后,在拉锚洞内的外锚头钢绞线预留的长度应能保证进行补偿张拉的要求,并做好防腐处理。锚索补偿张拉完成后,从工作锚具外端量起,预留150cm钢绞线,其余部分用砂轮切割机截去,锚头做永久的防锈处理(用于安全监测的除外)。二期混凝土浇筑之前,应将锚具、钢绞线外露头、钢垫板表面水泥浆及锈蚀等清理干净,将一、二期混凝土结合面凿毛并涂刷1道环氧基液。

5 结 语

水布垭水电站防淘墙地质条件差,锚索施工难度大,通过采取有效的组织管理措施,不断改进施工方案和施工技术,工程得以顺利实施。通过对后期的锚索测力计监测数据分析得知,水布垭水电站防淘墙锚索施工能满足设计要求。鉴于该工程是在洞室狭小空间内完成的,所采用的施工方案对今后类似工程的施工具有借鉴意义。

参考文献:

- [1]徐瑞春.水布垭水利枢纽可行性研究:第三篇 工程地质[R].武汉:水利部长江委清江地质大队,1998.
- [2]张建辉.湖北清江水布垭水电站防淘墙施工专题研究[R].武汉:水利部长江委长江勘测规划设计研究院,2005.

(收稿日期 2007-11-23 编辑 骆超)