

Analysis of reinforcement construction and management of water diversion tunnel

Zhiping Yao Qiu Liang

China Water and Power Foreign Trade Co., Ltd., Beijing, 101117, China

Abstract

With the improvement of human material living standards, countries around the world are paying increasing attention to environmental protection. The demand for energy in society continues to grow, and the development and utilization of clean energy have become the focus of public concern. In particular, in Latin American countries, hydropower development is the most favored method of obtaining energy. A complete hydropower project involves a wide range of content and diverse forms. Moreover, power stations operate for long periods, ranging from several decades to over a century, which requires high-quality engineering in all components, especially the underground water diversion tunnels, where quality standards are even higher. This paper takes a hydropower station located in South America as an example to discuss the reinforcement construction and management of one of its key components—the water diversion tunnel.

Keywords

Water Diversion Tunnel; Concrete Lining; Grouting

浅析引水隧洞加固施工与管理

姚治平 梁秋

中国水利电力对外有限公司, 中国·北京 101117

摘要

随着人类物质生活水平的提高, 各国对环境保护越来越重视。社会对能源需求量不断增大, 清洁能源的开发利用最为受人关注。尤其在拉美国家, 水电开发获取能源是最为受人亲睐。一座完整的水利发电工程, 涉及内容非常广泛, 形式多样。并且电站运行时间长, 少则数十年, 多则上百年, 这就要求其各组成结构具有良好工程质量, 尤其是组成结构中的地下引水隧洞工程, 质量要求更高。这里以位于南美洲的一座引水式发电站为例, 对该电站的关键组成部分之一的引水隧洞加固施工与管理进行探讨。

关键词

引水隧洞; 混凝土衬砌; 灌浆

1 工程概况

该电站采用低坝长引水集中水头发电, 引水发电系统布置于右岸山体内部, 额定水头 630.71m, 安装 2 台冲击式水轮发电机, 总装机容量 209.3MW。坝址处多年平均流量 51.21m³/s, 机组满发流量 38m³/s, 设计年发电量 12.5 亿 kWh。

引水隧洞全长 15.4Km, 其中地质情况复杂段约 8.8Km, 采用盾构机进行开挖, 以下称 TBM 洞段。TBM 洞段全长约 8.8km, 开挖断面直径 5.8m 的圆形断面。洞室渗水汇总流量 0.86 m³/s。

工程特征: TBM 洞段最大纵坡为 3.23%。初期已对 IV、V 类围岩采用 15cm 厚混凝土锚喷支护, 后期仅对 IV、V 类围岩段进行全圆结构混凝土衬砌, 衬砌厚度 45cm, 衬砌后

净断面为直径 4.6m 圆形。衬砌段累计总长 990m, 共分 108 仓浇筑。

混凝土衬砌段顶拱 120° 进行回填灌浆, 全断面固结灌浆, 灌浆孔入岩 5m, 孔间距夹角 45° (每环 8 个孔), 孔间距为 2.5m, 梅花形布置。要求对渗水量 $q > 25L/min$ 洞段和围岩稳定较差的非衬砌洞段进行固结灌浆, 孔深 5m (布孔方式同前); 对透水率大于 3Lu 段, 也要进行固结灌浆。雨季期间最大为 860L/s, 长期维持在 550L/s 左右。

引水隧洞桩号规定

引水隧洞进水口起点定为 0 桩号, 即 Y0+0.00, 顺水流方向渐增, 直到发电厂房。Y14+773~Y6+000 为 TBM 洞段, 总长度 8773m。

2 TBM 洞段加固主要目的及工作内容

TBM 洞段加固的主要目的是为了保证隧洞稳定, 防止外水内渗或内水外渗; 保证在运行期间常规或偶然甩负荷情

【作者简介】姚治平 (1966-), 男, 中国重庆人, 本科, 高级工程师, 从事水利电力施工技术与管理研究。

况下,洞壁不会出现垮塌事件;保证工程在设计使用寿命期内能安全运行并充分发挥效益。

TBM 洞段主要加固工作:非衬砌段固结灌浆,Ⅳ、Ⅴ类围岩全断面混凝土衬砌,部分Ⅲ类围岩段拱底混凝土封闭,混凝土衬砌段灌浆,非衬砌段软弱夹层加固处理,系统锚杆,安装钢拱架的Ⅲ类围岩段局部补喷以完全覆盖钢拱架,压力钢管安装与外包混凝土浇筑浇筑。

3 TBM 洞段加固方式

TBM 洞段加固方式:混凝土衬砌、挂网喷锚支护,植入钢筋锚杆、止水灌浆、固结灌浆、接触灌浆、帷幕灌浆、刻槽植筋、钢管安装。

施工辅助工作:加固工程能顺利开展,辅助性工作必须得到落实,

3.1 运输

洞内布置4台有轨燃油动力小火车,火车设置装货平板及载人车箱。承担加固施工设备、材料、人员、生活物资等运输任务,火车运行中,后车板安排专人全程监视,出现异常事件或即将到达预定点,提前呼叫司机制动。

3.2 施工用电

22.9KV 高压电直接进洞,洞内设置2台1200KVA 主变压器,变压至460V。同时配置多台功率不等的变压器,将高压转变成400V、380V及220V,以满足不同施工设备用电需求。隧洞安全隐患多,有专职电工全线巡查,发现隐患即时处理,特殊情况下全线停产,人员立即撤离现场。

3.3 洞内通风

洞内通风主要通过2#施工支洞口灌入新鲜空气,将长时间滞留在洞内空气从1#施工支洞排出。TBM 洞段非直洞段,空气流动性差。从环保及员工健康需求,需将滞留洞内的空气不断排出洞外,同时持续补充新鲜。为此,特在TBM 支洞20m外,且与其他设施不干扰的位置处安装3台90KW轴流式鼓风机,风筒直径为1600mm,通风量为1800m³/min,持续往送风入洞,并在Y7+500桩处增设一台90KW轴流式鼓风机,快速将滞留在洞内空气通过1#支洞口排出洞外。

随机抽查洞内空气质量,其氧气浓度均在21%上下0.7%范围内波动,空气质量全格,为洞内工作人员提供了健康保证。

3.4 施工用风

分别在TBM平台和洞内2#钢模台车后端位置布置一台VHP750E21.5m³/min电动空压机,向洞提供施工用风,供风通道由开挖期间的供水管改装。洞内配备多台5m³/min小型移动式电动空压机作为辅助供风。考虑到混凝土湿喷机单台耗风量较大,在上游灌浆区段增加一台55kw的电动空压机供风。

3.5 施工用水

混凝土浇筑段备仓期间基面清洗、浇筑设备用水,均直接从现场取水。具体做法是在拟衬砌仓上游合适的位置

形成一道简易拦水堤,拦截来自上游的地下渗水,用一台5KW潜水泵抽到需用处。

3.6 施工道路

施工通是利用前期开期间已形成的两条施工通道,即1#、2#施工支洞。两条施工支洞分别位于位于Y3+480,另一条支洞位于Y14+609,全长835米。两条施工支洞的启用满足施工需求。

4 TBM 洞段施工部署

针对地下工程施工特点,结合该项目总体规划,根据已有资源配置进行统筹安排,充分利用已有施工条件,属地化管控,编制每单项工程施工方案,加强预判管理。一线工作做到精细化管理,责任落实到班组或人员,工序间搭接紧密,保证多个工作面同时有序开展。

5 核心工作实施

5.1 地下渗水处理

洞内每项工作要顺利开展,必须在干地条件下实施。隧洞地质条件差,破碎及断层多,裂隙特别发育,地下水丰富,普遍渗水扬压力偏大,渗水有成股状射出,有成线状渗出,渗水源分布广,创造干地施工条件,根据其特征,制定处理渗水的主要方法有:封堵、引排。

堵水,对渗透量较小,渗透压力有限的渗水,首先查找渗水出处,分析渗源周边岩石产状,采取钻孔灌浆封堵。灌浆材料根据实际渗水情况,决定用纯水泥浆还是采用其它化学灌浆,所谓化学灌浆就采用一些快速凝固的化学材料,如水玻璃、聚氨酯等材料,灌入这些材料均有良好的止水效果,满足施工要求。

引排,渗水量大且集中渗源,如股状射流,从射流处或其附近钻孔,孔中插入橡胶软管或钢管,管口周边用速凝材料密封处理,将渗水通过管道直接引出混凝土浇筑仓外,以创造干地施工条件。

5.2 底板汇流处理

底板汇流主要来自于上游段地下渗水,其特点是流速大,流量大。如不加以引排将无法进行混凝土施工。解决上游来流的方法主要是通过拦截与引排。具体实施方案是在拟浇筑混凝土衬砌区段上游约50m处形成第一道截水堤,截水堤材料是用编制袋装填残留于洞内石渣,截水堤高约80cm,宽经40cm,埋设2根 ϕ 200PVC管,PVC管直接从混凝土衬砌段处的钢模台车穿过引入下游;第二道截水堤布置在混凝土衬砌段上游约10m位置,再次拦截第一道拦水堤渗漏或漫过的水,在该堤上游布置2台18.5kw混流式水泵,将其拦截的水流抽排到混凝土衬砌仓下游;第三道拦水堤紧贴衬砌段前沿或直接借用封头模板,如有已成形混凝土段,水泵直接安置在已浇筑段上游端部。堤内最低处安置2台5KW潜水泵,再次将少量来流抽排到拟衬砌段下游侧,保证浇筑仓内完全无外来水。

5.3 支护体系

根据开挖后揭示的地质构造,部分洞段边顶拱围岩以

层状或片状构成,岩层厚度仅有30cm~50cm,失稳后易脱落,必须及时锁定,隧洞施工中,用直径为25mm螺纹长度3m~4.5m钢筋做锁定锚杆,以间距2.0m×2.0m梅花形布置,然后再挂钢筋网并喷厚度为15cm混凝土。对IV/V围岩,在完成混凝土衬砌后再辅以固结灌浆,其孔深度5m,间排距2m*2m,梅花形布置,支护后,结构稳定性满足要求。

5.4 混凝土衬砌

根据前期地质勘探结果及开挖后提示的地质实情,对不满足稳定要求洞段采用C25钢筋混凝土衬砌。整条TBM洞段混凝土衬砌,使用两台针梁钢模台车完成,单仓衬砌长度9米、衬砌厚度45cm,衬砌后洞径由5.5米缩至4.6米。混凝土由小型火车从洞外运入衬砌段,通过混凝土泵机送入仓内,钢模台车自备振捣器捣实,边角处再人工在外模上辅助振捣,每仓浇筑完毕12~14小时开始脱模,然后将台车台车移入下一仓开始安装,每月平均可完成16段混凝土衬砌任务,满足计划要求。

5.5 钢管段施工

压力钢管起点桩号为Y14+690,结束桩号至Y14+809.75,钢管衬砌长度为119.75m,钢管内径为3.6m,内径为3.6米,153圈加劲环,由43节压力钢管组成,钢管钢板材质为07MnMoVR。在国内制作,钢管纵缝,加劲环环缝,及环形排水角铁在制作厂内组装焊接。

两单节钢管组成一大段,两小节间环缝在厂内焊接,探伤合格,防腐完成出厂。压力钢管在用运管台车运输前,需对运输台车装压力钢管模子(外径4120mm)空走全程,检查运输台车与轨道配合情况及钢管与墙壁间隙有无影响。施工顺序:钢管运输至TBM洞段平台卸车→推运至安装部位→钢管安装调整,加固测量→钢管内部台车组装→焊缝坡口打磨→环缝主缝焊接→背缝清根焊接→焊缝外观检查→探伤→焊缝表面处理补漆→开始下段钢管安装循环。钢管安装顺序:首先上游第一段S1-S2定位,安装调整加固→浇筑混凝土→倒拖S43;S42-S41;S40-S39;S38-S37到下游端就位安装调整焊接→S3-S4至S21-S22就位安装调整焊接→S23-S24;S25-S26;S27-S28在桩号Y14+783.000位置组装大节调整加固焊接,焊接完后安装轮子推至与S21-S22调整焊接→S29-S30-S31;S32-S33-S34;S35-S36平移安装调整焊接→S37-S38上割700mm凑合节安装调整焊接。所有环缝均采用气保机焊接。

5.6 灌浆

灌浆工程主涉及回填灌浆、固结灌浆、接触灌浆、帷幕灌浆。灌浆工序:准备→钻孔→洗孔→压水试验→灌浆→结束→封孔→检查。

• 准备:准备施工材料,搭设施工平台,浆液试验。

• 钻孔:完成孔位定点,采用YT-28钻机造孔,5米深孔采用套钎法施钻,严格控制孔斜率在规范要求内。

• 洗孔:采用压力水清洗,水压在1MPa内,每孔清洗时直到出现清水为止。

• 压水试验:在各序孔中选取约5%的灌浆孔进行灌前

简易压水试验。常可结合裂隙冲洗进行。

• 检查:按5%孔数量进行压水检查,要渗水量小于3Lu即合格。

• 灌浆:灌浆孔深度为5m,采取孔口封闭灌浆,灌浆水泥浆液采用2:1:1:0.8:1:0.6:1(重量比)四个比级,开灌水灰比为2:1。

• 结束:当注入率不大于1L/min,继续灌注30min,灌浆即可结束。

• 封孔:采用0.6(0.5):1的浓浆进行封堵。

6 主要设备配置

地下工程施工有其别于路天作业,其施工设备有其自身特色。主要设备配置如下表。

主要设备配置表

设备名称	数量	单位	备注
1200KVA 变压器	2	台	22.9KV 变 400V
800KVA 变压器	2	台	22.9KV 变 460V
800KVA 变压器	1	台	460V 变 400V
400KVA 变压器	1	台	460V → 400V
200KVA 变压器	2	台	460V → 400V
150KVA 变压器	3	台	460 → 380/220
125KVA 变压器	1	台	460V 变 380V/220
90KW 轴流鼓风机	3	台	洞内通风
120KW 风机	2	台	设备用风
12KW 风机	2	台	洞内备用
30KW 风机	4	台	零星用风
18.5KW 离心式水泵	8	台	抽水
7.5KW 污水泵	10	台	基坑排水
9m*4.6m 针梁钢模台车	2	台	混凝土浇筑
混凝土泵机	2	台	传送混凝土
有轨火车	4	台	运输
气保焊机	7	台	钢管焊接
灌浆机	12	台	锚杆注浆
钻机	20	台	造孔

7 总结

地下工程加固作业,施工场地十分有限,施工环境恶劣,作业人员必须具有良好的身体素质。做好施工系统规划是关键,精细化管理是重点,加强各工序间搭接是保证工期的前提。

参考文献

- [1] 李二伟. 隧洞施工不良地质洞段开挖支护施工处理措施[J]. 云南水力发电,2022(12): 219-223.
- [2] 赵顺波;崔豪;何银涛;杨亚彬;张智晓;袁林. 内水渗漏软化基底对盾构隧洞衬砌管片受力性能的影响分析. 水资源与水工程学报,2024(03): 201-206+216.
- [3] 闵建忠. 某输水隧洞工程不良地质洞段施工处理[J]. 水利技术监督,2019(03):222-225.