

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2026.02.015

江西某水电站引水隧洞围岩补强灌浆 防渗技术研究

周建华^{1,2}, 李勇辉², 郭鹏斐¹, 赵卫全^{1,2}

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 北京中水科工程集团有限公司, 北京 100044)

摘要: 针对江西某水电站5#机组蜗壳进人门产生渗漏, 渗漏量达 $43.2\text{ m}^3/\text{d}$, 影响引水发电系统运行安全问题, 经现场无损探伤与压水检查, 确定渗漏路径为隧洞内水经围岩及外包混凝土裂隙, 在蜗壳进人门处渗漏。采取对引水隧洞下平段、特殊洞段全断面围岩进行水泥补强灌浆处理。考虑到引水隧洞补强灌浆工程量大、洞内倒运效率低、钻孔难度大、灌浆控制严等特点, 现场采用通风口吊装转运、综合除尘、钻孔角度控制、压力-注入率控制等适配性工艺及参数开展补强灌浆。结果表明: 灌浆后围岩透水率小于 1.35 Lu , 围岩质量及进人门防渗效果均得到显著提升, 正常运行16个月未出现新增渗漏点。

关键词: 引水隧洞; 围岩; 渗漏路径; 补强灌浆; 防渗; 压力-注入率

中图分类号: TV672

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2026)02-0105-06

Reinforcement Grouting and Anti Seepage Technology for Surrounding Rock of a Water Diversion Tunnel in a Hydroelectric Station in Jiangxi Province

ZHOU Jianhua^{1,2}, LI Yonghui², GUO Pengfei¹, ZHAO Weiquan^{1,2}

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Beijing IWHR Corporation, Beijing 100044, China)

Abstract: At a hydropower station in Jiangxi, leakage was detected at the volute access door of Unit No. 5, with a leakage rate of $43.2\text{ m}^3/\text{d}$, which poses a threat to the safe operation of the diversion and power generation system. Upon inspection, it was determined that the leakage path involved water seeping through fractures in the surrounding rock and cracks in the external concrete, ultimately leaking at the volute access door. Reinforcement grouting was implemented to extend the leakage path, effectively addressing the issue. However, the reinforcement grouting project involved substantial workloads, logistical challenges in equipment and material transportation, difficulties in angle control and overhead drilling, and complex grouting management. To tackle these challenges, the following methods were employed for reinforcement grouting: full-section borehole layout, densification within the ring zone, sequential arrangement between rings, "segmented cyclic grouting from top to bottom", and "one-time grouting of the entire borehole". Construction techniques included hoisting and transport via ventilation openings, integrated dust suppression, angle control using laser rangefinders combined with inclinometers, borehole closure for drainage, real-time uplift monitoring, and pressure-injection rate control. On-site construction and inspection borehole water injection tests demonstrated significant improvements in the quality of the surrounding rock and impermeability performance post-grouting, with notable sealing effects at the access door.

Keywords: water diversion tunnel; surrounding rock; leakage pathway; reinforcement grouting; impervious; pressure-injection rate

收稿日期: 2025-11-25

修稿日期: 2026-01-30

基金项目: 中国水科院科研专项“沥青混凝土心墙坝渗漏钻孔检测与修复加固关键技术研发”(SJ110145B0012025)

作者简介: 周建华(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地基与基础处理技术及应用工作。E-mail: future521@163.com

通讯作者: 赵卫全(1978—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要从事地基与基础处理技术研究工作。E-mail: zhaowq@iwhr.com

水电站引水发电系统结构复杂,埋藏式蜗壳结构防渗性能直接关系到机组的安全稳定运行^[1]。在长期运行过程中,蜗壳进人门、地下厂房墙壁等一些特殊区域经常会发生渗水事故^[2],且直接排查渗水原因存在很大难度^[3]。引水发电系统内部长期渗水,会严重影响混凝土结构的耐久性,影响水电站安全运行及正常效益发挥,必须及时进行处理^[4-5]。

根据水布垭、乌江渡、纪村、龙开口、岩滩等水电站引水发电系统渗漏处理经验,对于渗水通常采取“堵、引、排”结合原则,“堵”:基于聚氨酯化学灌浆、敷涂隔水层等措施,封堵渗漏水^[6];“引”:将渗水集中,通过设置排水通道将水引向电站排水系统^[7];“排”:通过排水系统将渗水及时排走^[8]。因引水系统分布广泛、结构复杂,渗漏揭露部位渗水通道连通性较复杂,对局部轻微渗水通常采用系统性灌浆止水处理^[9],但对渗漏或范围较大部位全面灌浆止水后,会导致渗水从次薄弱部位渗出,通常采取化学灌浆和引排水相结合的方法^[10]。但围岩力学性能与防渗能力未得到改善,渗漏问题很难完全消除^[8-10]。

针对江西某水电站 5#引水发电机组蜗壳进人门渗漏水问题,为达到标本兼治的目的,保证引水隧洞结构耐久性及其外部围岩稳定性,在渗漏路径排查基础上,对引水隧洞外部破碎围岩开展水泥灌浆处理,并基于引水隧洞环境需求,对灌浆施工控制工艺进行适配性改进。结合灌浆数据及进人门渗漏水变化情况,对引水隧洞围岩补强灌浆防渗效果进行评价。

1 工程概况及渗漏原因分析

江西某水电站 5#机组 2003 年并网运行,至今已运行 20 余年,装机容量 120 MW,主要承担电网调峰任务。5#机组引水发电系统由进水口、引水隧洞及压力钢管组成,线路总长 215 m。引水发电机组引水隧洞由上平段、上弯段、斜管段、下弯段和下平段组成,长度 180.0 m;隧洞进口中心线高程 40.50 m,埋深 40~70 m,穿越粗砂岩、细砂砾岩、长石英砂岩,与岩层走向交角近 90°;大部分洞段位于弱-微风化岩体,属于 II~III 类围岩,下平管段穿越断层破碎带,属于 IV 类围岩。引水隧洞洞径 10.5 m,钢筋混凝土衬砌厚 0.6~1.2 m,最大流速 4.62 m/s,最大内水水头 75.0 m。引水隧洞连接压力钢管,压力钢管直径由 10.5 m 渐变为 9.6 m,线路长度约 35 m,材料采用 16Mn 钢材,厚度为 30~34 mm,后接机组蜗壳进口至机组中心线。外包 C25 混

凝土,厚度 0.8~1.0 m。

2023 年 1 月,5#机组引水发电系统正常运行工况下,蜗壳进人门右侧墙面、上方与混凝土顶板交界处出现明水渗漏,且渗水量呈增大趋势,2 月底总漏量发展至约 43.2 m³/d,之后渗水量保持稳定。渗水导致地下厂房严重积水,设置了临时排水沟,将水引排至下层排水廊道。5#机组蜗壳进人门渗漏水不仅增加了厂房区域运维负担,长期渗水还会降低引水隧洞结构耐久性及其外部围岩稳定性,影响引水发电系统运行安全及正常效益发挥。蜗壳进人门渗水及引排设施布置情况如图 1、图 2 所示。



图 1 蜗壳进人门右侧墙面、顶板交界渗水情况

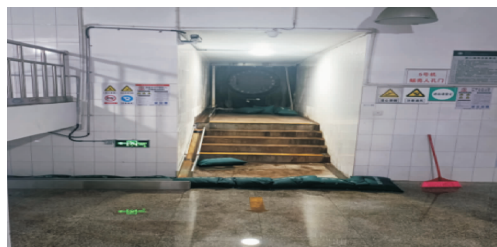


图 2 蜗壳进人门渗漏水引排设施布置情况

2023 年 3 月,业主对 5#机组引水发电系统开展停水检查。引水发电系统放空后,蜗壳进人门处渗水现象消失,进人门附近区域恢复并保持干燥状态。据此判定外部围岩赋水与进人门渗水联系不密切,渗水现象为引水发电系统内水外渗导致,压力钢管段、引水隧洞段均有可能存在内水外渗通道。

采用无损探伤检测方法全面检查蜗壳及压力钢管内壁、焊缝,未发现锈蚀空洞、裂纹,钢结构无明显质量缺陷,产生渗漏可能性较低。对蜗壳及压力钢管相应位置测压管、技术供水口等防渗薄弱区开展反向压水试验,压水压力按照相应位置正常运行工况时内水水头确定,压力 0.3~0.5 MPa,稳压时长 4~6 h,压水过程中,蜗壳进人门渗漏区域渗水量未见变化,证明测压管、技术取水管道密封性良好,与蜗壳进人门渗漏水水力联系不密切。测压管、技术供水口反向压水试验过程如图 3 所示。

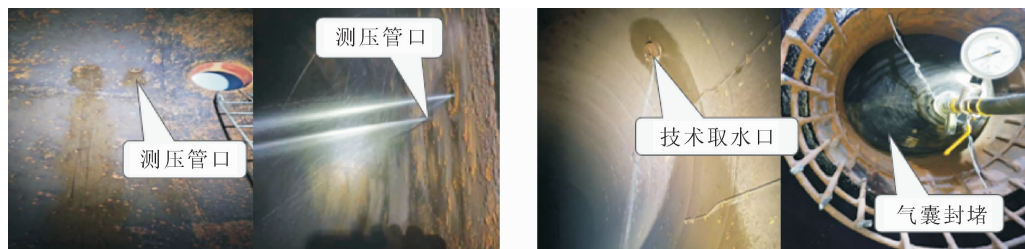


图 3 测压管、技术供水口反向压水试验

对引水隧洞段进行外观检测,发现混凝土衬砌存在多条贯穿型裂缝,缝宽大于 0.4 mm,且存在不同程度明水渗漏现象,部分裂缝还伴有明显钙析;引水隧洞下平管段穿越断层破碎带,衬砌裂缝分布最多,渗水量明显增大,局部呈现溢水现象;引水隧洞靠近压力钢管段的 3 条结构缝局部也存在明水渗漏现象。相应渗水具有一定压力,建设期围岩固结灌浆防渗作用大幅衰减,山体地下水渗入引水隧洞内部。

综合以上渗水情况勘察结果,导致蜗壳进人门渗漏的原因为引水隧洞运行工况下内水外渗,渗漏路径为:混凝土衬砌裂缝/结构缝→围岩/围岩与衬砌接触裂隙→压力钢管及蜗壳外包混凝土裂缝→蜗壳进人门。钢管段外包混凝土缺陷区域不明,处理时需破坏钢结构完整性,质量恢复困难,处理工艺复杂^[11-13]。仅对混凝土衬砌裂缝及结构缝进行封堵,切断内水外渗通道,易从衬砌其它次薄弱区域再次渗漏,防渗效果耐久性不易保证^[14-15]。对于围岩、

围岩与衬砌接触缝等渗漏路径进行灌浆,恢复围岩防渗作用,延长内水外渗渗径,降低渗水压力,能够有效防止渗漏进一步加剧影响围岩稳定性,保障防渗效果耐久性^[15-16]。

2 补强灌浆防渗方案及处理难点

2.1 补强灌浆防渗方案

综合考虑引水隧洞围岩质量、混凝土衬砌渗水情况、运行特点,结合建设期引水隧洞围岩固结灌浆施工情况,本着节约造价和安全可靠原则,确定围岩补强灌浆处理范围为引水隧洞下平管尾段(与压力钢管结合前 15 m,桩号 0+204.2 m—0+219.2 m)、特殊洞段(部分下弯段及下平段,与围岩断层破碎带相交,桩号 0+139.4 m—0+171.0 m)。采用引水隧洞全断面、梅花形灌浆孔布置,孔深 8.0 m,间排距 2.75 m×2.50 m(孔距 30°)。钻孔位置偏差≤10 cm,角度偏差≤2°,深度误差≤20 cm。引水隧洞围岩补强灌浆孔位布置如图 4 所示。

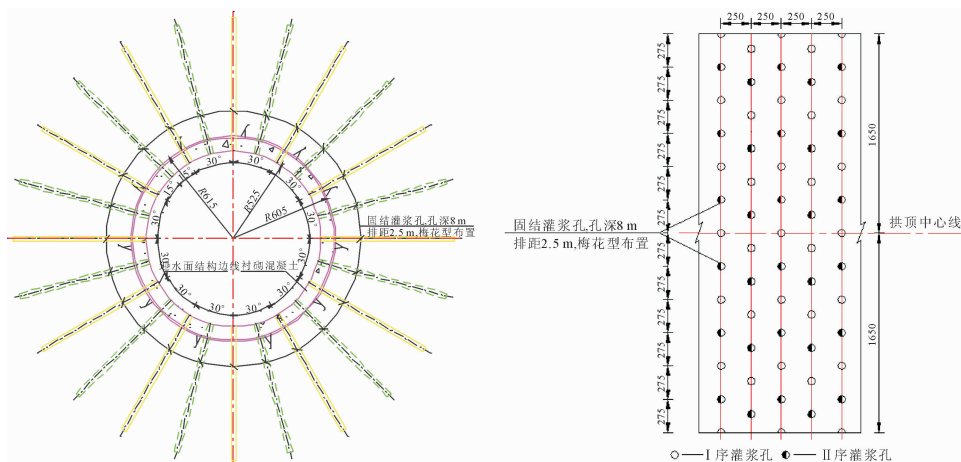


图 4 引水隧洞围岩补强灌浆孔位布置图

根据特殊洞段、下平管段相应区域围岩结构特点,采用“自上而下分段循环灌浆”和“全孔一次灌浆”相结合方法进行灌浆。灌浆压力为 I 序孔 0.5 MPa, II 序孔 1.0 MPa,灌浆压力需满足该段岩体最

大抬动值不超过 50 μm 。纯水泥浆灌注,水灰比为 2:1、1:1、0.8:1、0.5:1 四级,开灌水灰比 2:1。采用快速升压控制,但围岩接触段和注入率大孔段可分级升压,灌浆数据使用自动记录仪进行采集。在最

大灌浆压力下注入率小于 1 L/min 时,屏浆 30 min,结束该孔段灌浆。围岩灌浆质量采用单点法压水检查,检查孔合格标准为 $q \leq 3 \text{ Lu}$ 。

2.2 处理难点

结合隧洞构造、施工环境、地质特点等,从围岩灌浆角度分析,包括以下四个难点:

(1) 围岩补强灌浆防渗工程量大,工期紧。补强灌浆主要工程量为灌浆施工及辅助工程。引水隧洞洞径 10.5 m,水平管段长 15.2 m,特殊洞段长 31.6 m,根据补强灌浆布置方案,灌浆孔深 8 m,钻孔进尺约 2 200 m,灌浆约 1 900 m。由于场地条件限制,大型设备无法进入,而隧洞直径较大,只能沿隧洞满堂搭设脚手架辅助施工,搭设工程量超 2 000 m^2 ,且特殊洞段近 20 m 长度脚手架需搭设在 50° 斜坡上,增加了施工难度与安全风险。根据 5# 机组检修工期安排,围岩补强灌浆工期约 30 d,须完成脚手架搭设及围岩补强灌浆防渗工作。

(2) 施工设备及材料转运困难,严重制约施工效率。考虑引水隧洞结构特点,设备、材料只能从蜗壳进人门或坝顶检修闸门后通风口进入引水隧洞,进人门及通风口空间有限,大型设备无法进入,小型设备及架子管、水泥等材料单次转运数量受到严格限制,需分批次倒运进入引水隧洞,还需二次转运才能到达施工地点,施工工效大幅降低。

(3) 钻孔角度控制及仰孔施工难度大。引水隧洞洞径较大,每排布孔数约 13 个,每个钻孔角度均不同,还需控制角度与设计角度偏差不大于 2° 且处理长度范围内包含部分下弯管段,叠加了斜坡坡度影响,大幅增加施工过程中钻孔角度确定难度^[14-16]。引水隧洞仰孔施工过程中,洒水喷淋措施降尘效果大幅降低,易产生大量粉尘、钻渣恶化有限空间施工环境,增加隧洞仰孔施工难度^[15-16]。

(4) 围岩补强灌浆控制难。引水隧洞工程已运行 20 余年,衬砌分布较多贯穿裂缝,易形成渗漏通道,增加灌浆控制难度。灌浆过程中,需严格控制压力、灌浆速率间关系,且需根据现场情况实时调整,既要保障浆液扩散,又要避免浆液对衬砌有害抬动作用。

3 加固施工工艺

根据围岩补强灌浆防渗方案,本工程固结灌浆工艺步骤为:①脚手架搭设;②除尘设备布设;③钻孔;④抬动观测孔布设;⑤钻孔及裂隙冲洗;⑥灌前压水;⑦灌浆;⑧封孔;⑨压水检查。

① 脚手架搭设。架子管、扣件等在坝顶码放整齐、绑扎牢固,经通风口由吊车下放至引水隧洞内上平段平台,再由人工二次转运至搭设区域;特殊洞段斜坡上脚手架需加设抗倾覆地锚;脚手架搭设完成经专项验收通过后方可启用。

② 除尘设备布设。采用隔离、喷淋降尘、通风等综合方法进行除尘。在引水隧洞与压力钢管交界处设置一道全断面防护隔离层,阻断灰尘经压力钢管、蜗壳进人门进入厂房路径;在处理洞段首、尾两端沿脚手架横、纵向布设水管,喷头间距约 1 m,形成全断面喷淋系统,加速钻孔灰尘沉淀;在引水隧洞内布设通风系统,借助通风口形成循环风,加速空气流通与粉尘扩散。除尘设备布设情况如图 5 所示。

③ 钻孔。采用 100B 潜孔钻机造孔。孔径 76 mm,孔深 8.0 m,衬砌厚度 60 cm 处,入岩 7.4 m;厚度 80 cm 处,入岩 7.2 m。针对钻孔角度控制难题,采用两台激光测距仪测放隧洞横断面圆心,使用一台激光测距仪配合倾角计控制钻孔角度,同时满足角度偏差不大于 2°、孔位偏差不大于 10 cm 要求,钻孔后测量孔深,保证深度误差不大于 20 cm。对于仰孔施工,采用钻杆注水雾化、孔口封闭抽排方法,有效降低了凿岩粉尘。引水隧洞特殊洞段共完成 156 个(13 排)灌浆孔、2 个抬动监测孔、9 个检查孔,下平管尾段共完成 84 个(7 排)灌浆孔、2 个抬动监测孔、9 个检查孔。孔斜控制如图 6 所示。

④ 抬动观测孔布设。每个灌浆洞段布置 2 个抬动观测孔,孔深 9 m。抬动值变形允许值为 50 μm 。

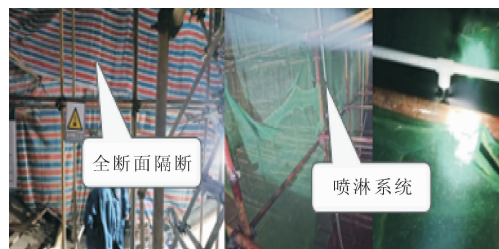


图 5 引水隧洞除尘设备布设情况



图 6 钻孔孔斜控制过程

⑤ 钻孔冲洗及裂隙冲洗。采用导管通入大流量水流、从孔底向孔外冲洗方法进行。I 序孔采用 0.4 MPa、II 序孔 0.8 MPa 压力水进行裂隙冲洗。相邻孔有串通情况, I 序孔、II 序孔压力分别采用 0.2、0.5 MPa, 冲洗 30 min 回水清净。冲洗结束 24 h 内进行灌浆作业。

⑥ 压水试验。按各序孔总数 5% 进行单点法压水试验。特殊洞段压水段数 16 段, 下平管尾段压水段数 6 段, I 序孔 0.4 MPa、II 序孔 0.8 MPa。在稳定压力下每 5 min 测读一次流量, 连续五次读数最大与最小值差小于最终值 10%, 结束压水, 取最终值计算透水率。

⑦ 灌浆。

a. 灌浆方法: 采用环内加密、环间分序、“自上而下分段循环灌浆”和“全孔一次灌浆”结合进行围岩补强灌浆, 特殊洞段 1~2 排、6~8 排、12~13 排, 下平管段第 1~2 排、6~7 排采用“自上而下分段循环灌浆”法, 其余采用“全孔一次灌浆”法。

b. 灌浆分段: 第一段灌浆长度 3.0 m, 第二段长度 5.0 m。采用机械塞与水压塞相结合的方法进行封闭, 第一段卡塞在混凝土衬砌内, 第二段(水压塞)卡塞在孔口以下 3 m。

c. 灌浆浆液: 采用 2:1、1:1、0.8:1、0.5:1 四个比级, 开灌水灰比 2:1。灌入量达 300 L, 或时间超过 30 min, 改浓一级; 注入率大于 30 L/min, 越级变浓。

d. 灌浆压力控制: 灌浆压力为 I 序孔 0.5 MPa, II 序孔 1.0 MPa, 同时该最大灌浆压力需满足该段岩体最大抬动值不超过 50 μm 。灌浆过程采用快速升压控制, 围岩接触段和注入率大的孔段应分级升压, 灌浆施工数据使用自动记录仪进行采集。

e. 灌浆压力-注入率(Q-P)控制: 为避免注入率过大造成衬砌抬动、进一步开裂, 采用分级或间歇升压法灌注, 压力与注入率控制关系如表 1 所示^[17], 控制过程如图 7 所示。

表 1 灌浆压力与注入率的关系

注入率/(L·min ⁻¹)	≈30	30~20	20~10	<10
灌浆压力/MPa	0.20P	0.40P	0.70P	1.00P

f. 衬砌抬动控制: 灌浆过程中控制千分表读数不大于 200 μm ; 同一衬砌段采取对称灌浆施工; 同高程同灌孔间距按大于 6 m 控制; 械塞阻塞在基岩面以上 0.5 m 混凝土。

g. 结束标准: 注入率小于 1 L/min 时, 继续灌注

30 min, 可结束该孔段灌浆工作。

h. 异常情况控制措施: i. 局部衬砌表面发现冒浆、漏浆, 采用嵌缝、表面封堵、低压、浓浆、限流、限量、间歇、待凝方法进行处理; ii. 灌浆孔串浆, 用孔口塞堵塞串浆孔, 待灌浆孔灌浆结束后, 再对串浆孔扫孔复灌; iii. 孔口涌水灌浆孔段, 采用纯压式注浓浆、速凝浆液, 待凝 36~48 h, 灌浆后立即封孔。灌浆过程中异常情况处理过程如图 8 所示。



图 7 灌浆压力-注入率控制过程



图 8 孔口涌水、衬砌跑冒浆处理

⑧ 封孔。采用全孔灌浆法进行封孔, 先采用导管灌浆法将孔内余浆置换为 0.5:1 浓浆, 孔口封闭后进行纯压式灌浆, 采用全孔最大灌浆压力, 带压封孔时间 30 min。仰角孔封孔结束后必须采取闭浆措施, 待水泥浆液终凝后, 再取下灌浆塞。

⑨ 压水检查。质量检查采用单点法压水, 在灌浆结束 7 d 后进行, 特殊洞段布置 9 个, 下平管尾段布置 6 个, 检查孔布置在吸浆异常、渗漏、破碎带及衬砌跑冒浆部位。

4 补强灌浆防渗效果分析与评价

4.1 围岩补强灌浆施工情况分析

特殊洞段共钻灌浆孔 156 个, 钻孔长度 1 123.2 m, 灌浆长度 1 123.2 m, 水泥耗量 41 592.8 kg, I 序孔、II 序孔水泥单位注入量分别为 50.87、23.19 kg/m, II 序孔耗灰量比 I 序孔减少 54.4%。下平管尾段共钻灌浆孔 84 个, 钻孔长度 621.2 m, 灌浆长度 570.8 m, 水泥耗量 21 731.7 kg, I 序孔、II 序孔水泥单位注入量分别为 55.15、14.79 kg/m, II 序孔耗灰量比 I 序孔减少 54.4%。灌浆过程中衬砌抬动较小, 累计最大抬动为 48.3 μm 。对于各灌浆单

元, II 序孔材料单位耗量明显小于 I 序孔, 符合围岩分序加密施工的一般特征。

引水隧洞围岩单位耗灰量处于较高水平, 绝大部分孔段单位灌入量在 50 kg/m 以上, 表明衬砌外部围岩普通水泥可灌性较好。现场补强灌浆分段控制 ($Q-P$)、灌浆压力-注入率施工工艺满足现场施工要求, 相应灌浆压力、水灰比等施工参数取值是合理的, 能够保证水泥浆液正常灌注。灌浆过程中, 虽然局部衬砌产生跑冒浆现象, 但采用间歇灌浆、浓浆灌注、待凝等措施控制, 灌浆过程能够正常结束。

灌浆材料、工艺满足现场灌浆要求, 相应灌浆压力、水灰比等参数取值合理, 灌浆过程未对隧洞产生有害扰动, 材料耗量符合围岩灌浆特征, 引水隧洞补强灌浆防渗效果可期。

4.2 补强灌浆质量检查与效果评价

根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL/T 62—2020) 基岩固结灌浆质量检查规定, 补强灌浆质量采用单点法压水检查。灌浆结束 7 d 后进行检查孔压水试验, 压力 0.8 MPa, 采用孔口封闭纯压法压水。特殊洞段、下平管尾段透水率最大值分别为 1.35、0.27 Lu, 小于要求透水率 3.0 Lu, 施工质量满足工程要求。

特殊洞段, I 序孔、II 序孔灌前透水率分别为 7.85 ~ 15.32、4.50 ~ 9.08 Lu, 灌后透水率 0.09 ~ 1.35 Lu; 下平管尾段, 灌前透水率 11.26 ~ 14.48 Lu, 灌后透水率 0.07 ~ 0.27 Lu。灌浆前后围岩透水率大幅降低, 围岩质量、防渗性能均得到显著提升, 防渗灌浆效果明显。

2024 年 2 月 8 日 5# 机组恢复运行, 目前已正常运行 16 个月, 蜗壳进人门附近无明显水渗漏, 始终保持干燥, 未发现新增渗漏点。衬砌外部围岩形成防渗圈, 能够起到防止内水外渗作用, 阻断裂隙水渗入钢衬外部通道, 进而从根本上解决蜗壳进人门渗漏问题。

5 结 论

(1) 引水隧洞外部破碎带围岩具有一定透水能力, 形成渗漏路径; 对围岩进行补强灌浆处理, 灌后围岩透水率小于 1.35 Lu, 围岩质量、防渗性能均得到显著提升, 恢复围岩防渗作用, 延长内水外渗渗径; 正常运行 16 个月未出现新增渗漏点, 蜗壳进人门渗漏治理效果耐久性良好。

(2) 通风口吊装转运、综合除尘、钻孔角度控制、压力-注入率控制、分段循环与全孔灌浆结合等灌浆工艺, 能够保证围岩补强灌浆施工效率和防渗

效果, 又避免灌浆施工对外部围岩及长期运行衬砌的过分扰动。围岩补强灌浆施工工艺、参数与大洞径引水隧洞施工环境匹配度高, 可从根本上解决蜗壳进人门渗漏问题, 可为类似工程渗漏处理提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 宋志诚. 某水电站地下厂房典型渗漏原因分析及整治[J]. 云南水力发电, 2022, 38(1): 51-53.
- [2] 苏武华, 赵培双. 水工建筑物渗水成因分析及可靠性处理方式[J]. 云南水力发电, 2019, 35(3): 48-51.
- [3] 王 俊, 田战锋. 沙沱水电站 340 m 高程层面渗水处理[J]. 水利水电快报, 2018, 39(6): 96-98.
- [4] 许志勇. 水电站地下厂房渗水处理施工工艺探讨[J]. 四川水利, 2021, 42(1): 48-50.
- [5] 史恩泽, 梁志海. 某电站机组机坑墙体渗水原因分析及处理[J]. 电力安全技术, 2020, 22(6): 23-26.
- [6] 皮军华. 水布垭水电站运行期地下厂房渗水分析与处理[J]. 水电与新能源, 2020, 34(8): 52-57.
- [7] 高峻骁. 引水钢管蜗壳段与大坝混凝土接触处渗水原因分析及处理[J]. 大坝与安全, 2019, 15(2): 61-63.
- [8] 肖 何. 水电站厂房渗水原因分析及处理[J]. 价值工程, 2014, 20(9): 102-105.
- [9] 崔科伟, 邓 伟. 龙开口水电站发电机组结构缝渗漏水处理[J]. 运行与维护, 2014, 178(4): 62-65.
- [10] 王家华, 覃 杰. 岩滩水电站引水压力钢管及蜗壳漏水检查和处理[J]. 红水河, 2017, 36(6): 80-82.
- [11] 徐晨星. 供水隧洞不良地质围岩治理堵水注浆应用技术[C]//2023 地基与基础工程专业委员会第 17 次全国学术会议论文集. 南昌, 2023. 10, 北京: 中国水利水电出版社, 2023: 133-136.
- [12] 杨晓东. 锚固与注浆技术手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 105-110.
- [13] 李岩松, 陈寿根, 周泽林, 等. 固结灌浆前、后引水隧洞衬砌力学行为研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(2): 193-198.
- [14] 周建华, 王丽娟, 张金接. 控制性灌浆帷幕对某枢纽地基防渗适用性研究[C]//地基与基础工程技术创新与发展论文集, 武汉, 2017. 09, 北京: 中国水利水电出版社, 2017: 1-7.
- [15] 黄 勇, 宋春华, 路 威, 等. 阳江抽水蓄能电站高压固结灌浆现场试验设计及参数优化[J]. 水利与建筑工程学报, 2023, 21(2): 8-12.
- [16] 石 立, 王强华. 某水电站坝基固结灌浆设计及工艺研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(4): 98-101.
- [17] 裴晓龙, 黄立维, 杨培洲, 等. 基于 BlockDyna 的裂隙岩体压水灌浆规律数值模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2021, 19(5): 87-91.