

严寒地区某水电站大坝防渗除险关键技术及应用

孙正^{1,2}, 刘波¹, 邵晓妹^{1,2}, 李珍^{1,2,3}, 景锋^{1,2}

(1. 武汉长江科创科技发展有限公司, 武汉 430010; 2. 国家大坝安全工程技术研究中心, 武汉 430010;

3. 水利部水工程安全与病害防治工程技术研究中心, 武汉 430010)

摘要: 严寒地区某水电站坝体廊道内及下游面出现较大渗漏, 在低温环境下, 渗水结冰造成坝后混凝土冰拔冻融破坏, 严重威胁大坝结构安全。在检查分析渗水路径基础上, 采用上堵下排、先主后次、阶段进行的防渗处理方案, 即先进行大坝上游面横缝灌浆封堵、引水管接缝处聚脲封闭; 再采取坝顶钻孔截流减压、下游面聚氨酯灌浆封堵及埋管疏导。检查结果表明, 综合防渗处理止水效果良好, 坝后渗水量及冬季挂冰量大幅减少, 达到了防渗设计要求, 确保了水电站安全运行。

关键词: 严寒地区; 冰拔破坏; 防渗除险; 化学灌浆, 排水疏导

中图分类号: TV432+.1

文献标识码: A

1 应用背景

渗漏作为水工建筑物的常见病害, 容易引发接触冲刷、钢筋锈蚀、岩溶、冻胀等破坏, 从而加速水工建筑物结构老化, 威胁设备安全运行^[1]。尤其是在严寒地区, 渗漏导致的冻胀破坏是水工建筑物的主要病害之一, 严重影响水电站经济和社会效益, 危害性不容忽视^[2-4]。

某水电站所在地区属温带干旱气候, 冬季严寒、日照时间长且昼夜温差大, 昼夜气温介于-30°C~40°C。该水电站属中型III等工程, 大坝、泄洪、引水系统及厂房等主要建筑物为3级。自蓄水运行以来, 坝后和坝体廊道内出现渗漏, 在秋冬季节, 坝体渗漏在坝下游面混凝土形成大量冰拔, 对混凝土产生冻胀破坏; 当气温回升时, 大体积冰块则消融滑落对厂房造成碰撞冲击, 影响到大坝的结构耐久性和长期安全性。因此, 急需对大坝进行防渗除险处理。

2 渗漏路径分析

采取合适的检测方法找到渗漏路径, 从源头封堵住渗水口, 是处理水工建筑物渗漏难题的关键^[5]。结合示踪法、孔内电视录像以及人工巡查等方法, 对上下游坝体及坝体廊道内渗漏路径进行现场排查, 结果发现, 个别坝体排水孔及坝基灌浆排水廊道排水量较大, 坝后表面在秋冬季有较多冰拔附着; 坝体下游面引水发电及邻近坝段渗水部位主要位于施工层面和坝体横缝处, 渗漏点较多, 渗漏量较大。自上游向下游涉及水工建筑物分别为进水口—拦污栅—检修闸门—快速闸门—压力钢管。通过分析, 得到可能主要渗漏路径为: 坝段间横缝、进水口圆弧段施工缝、引水管过渡段上下游侧接缝、快速闸门门槽下游侧墙、以及坝后背水面。

3 施工方案

3.1 渗漏处理方案

目前, 关于大坝渗漏的处理技术措施主要包括高压灌浆、劈裂灌浆、高聚物注浆、多种防渗材料修补、新型混凝土修复材料处理等^[6]。其中环氧类修补及灌浆材料、聚脲类修补材料和聚氨酯类灌浆材料的应用最为广泛, 已在诸多水利水电工程中得到成功应用^[7-10]。在参考借鉴类似工程的基础上, 根据现场实际情况, 以上堵下排、先主后次、阶段进行为原则, 制定如下渗漏处理方案:

收稿日期:

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费(CKSF2017056/CL); 长江科学院创新团队项目(CKSF2017060/CL)

作者简介: 孙正(1985-), 男, 湖北广水, 博士生, 主要从事新型水工修补与防护材料研究工作。E-mail:sunzheng400@163.com。

第一阶段：冬季来临前，降低库水位至施工高程，搭建吊篮等临建设施进行抢险施工。通过横缝灌浆和表面封闭在横缝上游侧形成一道封闭防渗线，并通过进水口底部和正常蓄水位附近的横缝深孔灌浆，隔离横缝与其它部位，封堵可能沿横缝的渗漏。对发电引水坝段上游侧明显的渗水裂缝进行灌浆或表面封闭处理，保障处理效果。

(1) 坝体横缝处理：对引水发电坝段横缝顶部和引水发电管底板附近进行深孔聚氨酯灌浆隔离，然后在横缝表面粘贴防渗盖片；

(2) 压力钢管渐变段防渗处理：先对混凝土施工缝和混凝土与钢管接触缝进行环氧胶泥封闭处理，再进行渐变段聚脲喷涂；

(3) 局部渗水缝处理：先进行封缝浅层灌注聚氨酯灌浆材料，再表面环氧胶泥封闭；非变形缝灌注环氧树脂。

第二阶段：冬季过后，水库恢复蓄水，进行坝顶排水孔钻孔和背水面渗漏处理，彻底截断引水发电坝段沿横缝的渗漏通道，对有明显冰挂部位，进行灌浆处理。

(1) 坝顶横缝骑缝钻排水孔：沿横缝骑缝钻排水孔，钻孔通至廊道，引水至廊道排水沟；

(2) 背水面渗漏处理：对于层间缝、施工缝等采用聚氨酯灌浆处理，并在渗水处理管引排。

3.2 主要施工材料

主要施工材料包括CW环氧灌浆材料、CW环氧胶泥、CW双组份聚脲、LW聚氨酯灌浆材料等，材料主要性能见表1~表4。

表1 CW 环氧灌浆材料主要性能

配合比 (wt)		密度 (g/cm ³)	粘度 (mPa·s)	可操作 时间 (h)	抗压 强度 (28d, MPa)	抗拉 强度 (28d, MPa)	粘接强度 (28d, MPa)	
A 组分	B 组分						干粘结	湿粘结
5	1	1.0~1.1	<30	>4	>70	>15	≥4.0	≥2.5

表2 CW 环氧胶泥主要性能

配合比 (wt)		密度 (g/cm ³)	可操作 时间 (h)	抗压 强度 (28d, MPa)	抗拉 强度 (28d, MPa)	粘结强度 (28d, MPa)	
A 组分	B 组分					干粘结	湿粘结
10	3	1.5~1.6	>0.5	>80	≥15	>3.5	>2.5

表3 CW 双组份聚脲主要性能

配合比 (vol)		固体 含量 (%)	表干 时间 (s)	断裂 伸长率 (%)	撕裂 强度 (N/mm)	拉伸 强度 (28d, MPa)	粘结 强度 (28d, MPa)	不透水性 (0.4MPa, 2h)
A 组 分	B 组 分							
1	1	≥98	≤120	≥450	≥50	≥10	≥2.5	不透水

表4 LW 聚氨酯主要性能

密度 (g/cm ³)	粘度 (mPa·s)	可操作 时间 (s)	包水量 (%)	遇水 膨胀倍数 (%)	伸长率 (%)	拉伸 强度 (28d, MPa)	粘结强度 (28d, MPa)	
							干粘结	湿粘结
1.0~1.1	<300	≤60	>20000	50~150	100~150	≥1.8	>1.0	>0.8

4 关键施工技术

4.1 横缝深孔聚氨酯灌浆

深孔灌浆主要工艺流程：钻孔→压水检查→孔口阻塞→灌浆材料配制→灌浆→质量检查。

①钻孔：利用手风钻钻孔，孔径不小于 $\Phi 28\text{mm}$ 。

②压水检查：采用不高于 0.2MPa 压力进行压水，检查孔的可灌性并孔内冲洗。

③孔口阻塞：采用埋管方式进行孔口阻塞，孔口封闭采用环氧胶泥。

④灌浆材料配制：配制LW聚氨酯灌浆材料，浆液温度控制在 30°C 以下，当温度过低时可采取适当的加温措施。分批配制浆液，随用随配以利保持浆液低粘度，提高灌浆质量，节约浆材。第一批配制量应略大于管路和钻孔占浆，以后根据吸浆量而定。

⑤灌浆：聚氨酯灌浆时采用单孔灌浆，灌浆压力为 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 。灌浆采用稳压慢灌、依序灌浆的施工方法，当灌浆时间没有达到规定时间而邻近的灌浆孔出纯浆时，关闭并结扎出浆嘴，继续压浆。

⑥结束标准：当进浆量小于 $10\text{mL}/\text{min}/\text{m}$ 后可进行下一孔的灌浆施工，依序进行。灌浆范围内最后一个灌浆孔进浆量小于 $10\text{mL}/\text{min}/\text{m}$ 时，继续灌注 30min 即可结束。

4.2 横缝封缝聚氨酯灌浆

封缝灌浆主要工艺流程：表面处理→钻孔→埋设灌浆嘴→封缝→压风（水）检查→灌浆材料配制→灌浆→质量检查。

①表面处理：用钢丝刷沿混凝土缝清理并用高压水或风将缝面清理干净；以裂缝为中线，沿缝用角磨机将横缝周围各 20cm 的缝面进行打磨，浅部孔内充填物挖除：清除横缝浅部约 10cm 左右的原充填物。

②布（钻）孔：钻孔采用手持式电钻机进行造孔，对于缝宽较大部位按 $20\text{cm}\sim 30\text{cm}$ 间距布置孔径 16mm 的斜孔，斜孔深入横缝不少于 50cm ；对于缝宽较小的部位，采用骑缝钻孔，孔径 20mm ，间距 50cm 。

③埋设或安装灌浆嘴：先将灌浆嘴放入孔内，再环氧胶泥封闭固定，灌浆嘴选用 $\Phi 14\text{mm}$ 特制止水针头或耐压贴嘴。

④封缝：待灌浆嘴安装完毕后，缝面用环氧胶泥封缝，将每个灌浆嘴逐一记录、编号。

⑤压风检查：待封缝材料有一定强度后进行通风检查，风压不超过 0.2MPa 。

⑥灌浆材料配制：配制LW聚氨酯灌浆材料，浆液温度控制在 30°C 以下，当温度过低时可采取适当的加温措施。分批配制浆液，随用随配以利保持浆液低粘度，提高灌浆质量，节约浆材。第一批配制量应略大于管路和钻孔占浆，以后根据吸浆量而定。

⑦灌浆：聚氨酯灌浆时采取从一端向另一端依序灌浆或多点同步进行灌浆，灌浆压力为 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 。灌浆采用稳压慢灌、依序灌浆的施工方法，当灌浆时间没有达到规定时间而邻近的灌浆嘴（孔）出纯浆时，关闭并结扎出浆嘴，继续压浆。当进浆量小于 $20\text{mL}/\text{min}$ 后可进行下一孔的灌浆施工，依序进行。

⑧结束标准：依次注浆直至整条裂缝最后一个灌浆嘴注浆小于进浆 $20\text{mL}/\text{min}$ 时，继续灌注 30min 即可结束。或吸浆量为0时，屏浆 10min 即可结束。

4.3 引水管渐变段喷涂聚脲

喷涂聚脲主要工艺流程：基面处理→刷涂底涂→涂刷界面剂→喷涂聚脲→加强层搭接→质量检查。

①基面处理：混凝土基面用磨光机进行打磨处理，用高压水或者高压风清理基面，将基面松散物、泥沙、污垢等清洗干净。为满足喷涂聚脲施工，混凝土基层的含水率不应大于 7% 。若基面存在孔洞和较宽结构缝缺陷，较大孔洞和原结构缝可采用环氧砂浆修补，细小孔洞可采用环氧树脂腻子进行修补。

②刷涂底涂：基面处理完成后，采用刮板将底涂材料均匀涂布于基层表面，不得漏涂，且涂抹要均匀不得堆积。底涂料完成并验收合格的基层应加以保护，防止灰尘、砂粒、油污等。

③涂刷界面剂：喷涂聚脲前，均匀涂刷一层界面剂，涂刷后于4h~6h内进行喷涂聚脲作业。

④喷涂聚脲：喷涂施工前应检查A、B 两组份物料是否正常，使用时将B料用气动搅拌器进行充分搅拌。聚脲喷涂厚度为2.0mm，应根据现场情况设计喷涂的步骤和层数，对于裂缝交叉位置应做好搭接喷涂。将双组分聚脲加热。温度达到材料要求的温度后，方可喷涂。聚脲的喷涂间隔以常见规定的时间为准，若超过复喷时间，再次喷涂作业前应在已有涂层边缘接搓部位，涂刷层间处理剂后，再喷涂聚脲。两次喷涂作业面之间的接搓长度不应小于15cm。聚脲喷涂时，下一道覆盖上一道的50%，同时下一道和上一道的喷涂方向要垂直，以保证喷涂厚度大致均匀。

⑤加强层搭接：为增强喷涂聚脲涂层与基面的粘贴牢靠，在喷涂聚脲段上游侧除正常封边外增加机械固定，下游侧与钢管采用加强层搭接。上游侧与混凝土面正常搭接采用斜边处理，使喷涂聚脲边缘与混凝土面齐平；机械固定采用宽4cm、厚2mm的不锈钢压条加膨胀螺栓固定，膨胀螺栓长度不小于5cm。与钢管搭接处，涂刷底漆后粘贴10cm宽的加强层，然后进行喷涂聚脲施工。

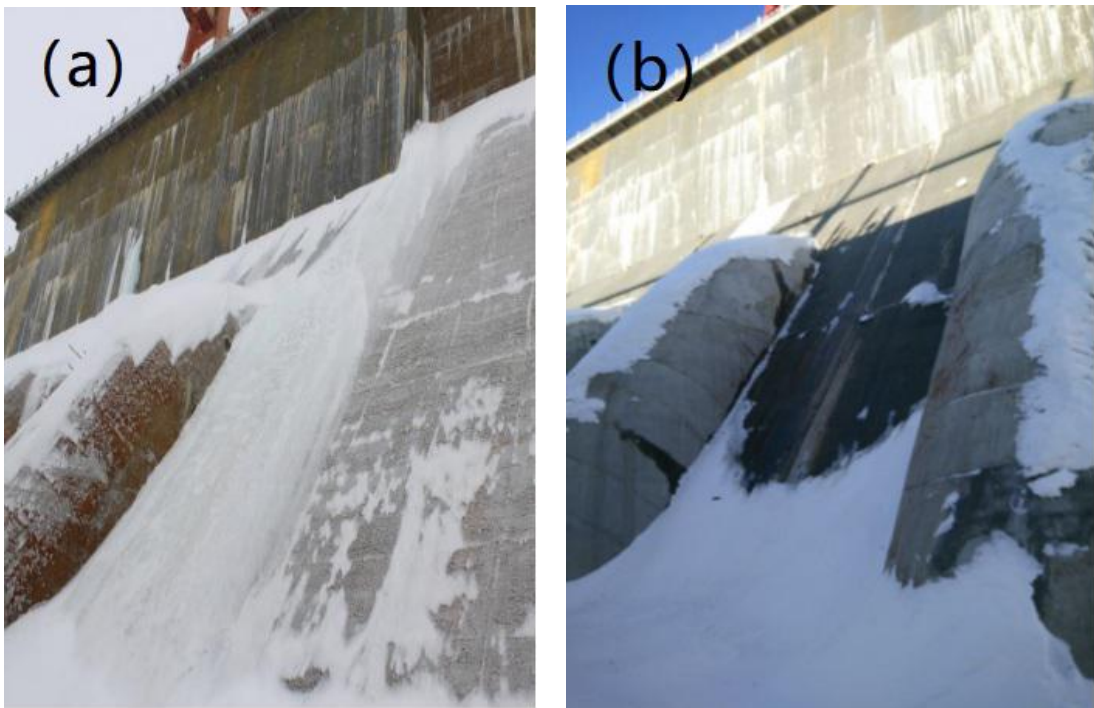


图1 大坝背水面渗漏处理前后对比 (a) 处理前，(b) 处理后

5 结论

第一阶段采用CW环氧树脂和LW聚氨酯灌浆材料对坝体横缝渗漏处进行化学灌浆，采用CW环氧胶泥和CW双组份聚脲对渗漏通道处封闭处理；第二阶段沿横缝骑缝钻排水孔通至廊道排水沟；在背水面进行CW聚氨酯灌浆处理，并在漏水较严重部位开凿导渗降压，埋管引排。完成第一阶段抢险工作后，冬季坝后挂冰现象明显好转。完成第二阶段工作后，经过近3a的巡视检查，坝后春夏季基本无渗水，修护材料无老化、破损等现象；秋冬季无冰拔，混凝土无冻胀破坏。说明上堵下排、阶段施工的处理方案合理有效（见图1）。该施工技术具有应用范围广、施工工艺简单、节省投资和工期的显著效果，对于严寒地区的水电站大坝防渗除险加固，具有参考和推广价值。

参 考 文 献:

- [1] 邢林生. 混凝土坝体渗漏危害性分析及其处理[J]. 水力发电学报,2001(03):108-116.
- [2] 杨启贵, 高大水. 我国病险水库加固技术现状及展望[J]. 人民长江, 2011, 42(12):6-11.
- [3] 宋恩来. 寒冷地区坝体混凝土防渗性能分析与评价[J]. 大坝与安全,2011(03):13-19+24.
- [4] 邢林生, 周建波. 在役混凝土坝耐久性研探[J]. 大坝与安全,2012(02):9-18.
- [5] 基于示踪法的水库溢洪道堰面渗漏通道探测[J]. 人民长江, 2014(s2):197-198.
- [6] 臧少慧,张明占,刘仲秋,章青,夏晓舟. 我国水库除险加固研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(06):1097-1103.
- [7] 张达, 崔同欢, 肖承京,等. CW改性环氧砂浆在西藏地区抗冲磨防护中的应用[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(11):102-104.
- [8] 汪在芹, 魏涛, 李珍,等. CW系环氧树脂化学灌浆材料的研究及应用[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(10):167-170.
- [9] 马宇, 任亮, 冯启, 等. 单组分聚脲材料在寒冷地区某大坝溢流面防护中的应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2017(1).
- [10] 高春波,高正廉. 聚氨酯注浆在坝体渗漏处理中的应用[J]. 水科学与工程学报,2013(01):67-69..

Key Technologies and Application of Dam Anti-seepage and Removal for a Hydropower Plant in Severe Cold Region

Sun Zheng^{1,2}, Liu Bo¹, Shao Xiaomei^{1,2}, Li Zhen^{1,2,3}, Jing Feng^{1,2}

(1. Wuhan Changjiang Kechuang Science and Technology Development Limited Company, Wuhan 430010, China;

2.National Engineering Technology Research Center of Dam Safety, Wuhan 430010, China;

3. Ministry of Water Resources Water Engineering Safety and Disease Control Engineering Technology Research Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: There were large leakage in the corridor of dam body and downstream of a hydropower plant in the cold region. In the low temperature environment, seepage water was freezed and caused ice pulling and freezing-thawing damage of concrete behind the dam, which seriously threatened the safety of dam structure. On the basis of the inspection and analysis of the seepage path, the anti-seepage treatment scheme was adopted, that is, the grouting sealing of the upstream transverse joints of the dam and the polyurea sealing at the joints of the diversion pipe were firstly carried out. Then the dam top drilling closure and decompression, downstream polyurethane grouting sealing and buried pipe dredging. The inspection results showed that the comprehensive anti-seepage treatment had a good effect on stopping water, the amount of seepage behind the dam and the amount of ice hanging in winter were greatly reduced, which have met the design requirements of anti-seepage, and ensured the safe operation of the hydropower station.

Keywords: severe cold region, freezing-thawing damage, anti-seepage and removal, chemical grouting, draining