

马马崖水电站消力池水下缺陷处理及原因分析

陈娟 毛海东

贵州北盘江电力股份有限公司马马崖分公司

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6851

[摘要] 本文以马马崖水电站消力池水下缺陷处理工程为例,针对底板冲刷破坏、钢筋裸露及堆积物覆盖等问题,在无法干地施工的条件下,采用水下环氧混凝土与环氧砂浆相结合的处理方法,成功完成消力池缺陷处理,并系统分析了破坏成因。修复后经一个汛期实际运行检验,水下复查结果表明,修复区域混凝土表面黏接强度与耐久性显著提升,运用效果良好。该实践不仅为运行管理提供了可靠保障,也为类似水下修复工程提供了参考。

[关键词] 消力池; 缺陷处理; 环氧混凝土; 冲刷破坏; 环氧砂浆

中图分类号: TV331 文献标识码: A

Underwater Defect Treatment and Cause Analysis of the Stilling Basin of Mamaya Hydropower Station

Juan Chen Haidong Mao

Mamaya Branch of Guizhou Beipanjiang Electric Power Co., Ltd.

[Abstract] Taking the underwater defect treatment project of the stilling basin at Mamaya Hydropower Station as an example, this paper focuses on the problems such as scouring damage of the bottom slab, exposed steel bars and deposit coverage. Under the condition that dry construction is unavailable, the combined treatment method of underwater epoxy concrete and epoxy mortar is adopted to successfully complete the defect treatment of the stilling basin, and the causes of damage are systematically analyzed. After one flood season of actual operation, the underwater re-inspection shows that the bonding strength and durability of the concrete surface in the repaired area are significantly improved, and the application effect is satisfactory. This practice not only provides a reliable guarantee for operation and management, but also provides a reference for similar underwater repair projects.

[Key words] stilling basin; defect treatment; epoxy concrete; scouring damage; epoxy mortar

引言

马马崖水电站位于贵州省关岭县与兴仁市交界的北盘江中游尖山峡谷河段,是北盘江干流(茅口以下)水电梯级开发的第二级,控制流域面积16068km²,多年平均流量307m³/s,工程开发任务以发电为主。水库正常蓄水位585m,相应库容1.365亿m³,死水位580m,调节库容0.307亿m³,具有日调节性能,电站装机容量558MW。

马马崖水电站属二等大(2)型工程,枢纽工程由碾压混凝土重力坝、坝身开敞式溢流表孔、坝身放空底孔、左岸引水系统和左岸地下厂房等主要建筑物组成。坝顶高程592.00m,最大坝高109.0m,坝顶长247.2m,坝顶宽10.0m,最大坝底宽100.5m。在河床溢流坝段设3孔14.5m×19m(宽×高)的溢流表孔,堰顶高程566.00m,采用“X”型宽尾墩、台阶坝面与屏式消力池相结合的消能方式。

屏式消力池长度60m,净宽51.5m,消力池池底高程493.00m,底板厚度3m,出口尾坎反坡1:2.5,坎顶高程为500.00m,坎顶宽2m。消力池底板及护坡混凝土采用C25二级配常态混凝土。

1 水下检查情况



(a) 消力池底板顺河向钢筋裸露 (b) 消力池底板堆积物

图1 典型部位缺陷情况

2021年9月,采用多波束探测与水下机器人协同作业的方式,对消力池的外观质量、运行状况及淤沙厚度进行了全面检查。检查发现,消力池底板局部区域堆积大量鹅卵石和泥沙,底板中部存在冲刷破坏现象,部分钢筋暴露在外。消力池尾坎受冲刷影响,形成两条横向凹槽条带,典型部位缺陷情况见图1。

2022年10月,在清理池内堆积物后,由潜水员再次对消力池进行水下复查,缺陷分布情况如下(见图2):

(1)1#异常区域纵向长度21.6m,横向宽度20.7m,冲刷面积230.45m²,冲刷深度最深为0.235m,平均冲刷深度为0.097m。

(2)2#-1异常区域横向长度17.5m,凹槽位于高程493.9m,最大宽度0.9m,平均宽度0.64m,冲刷面积11.73m²,凹槽冲刷深度最深为0.165m,平均冲刷深度为0.058m。

(3)2#-2异常区域横向长度18.1m,凹槽位于高程494.7m,最大宽度0.7m,平均宽度为0.588m,冲刷面积10.59m²,凹槽冲刷深度最深为0.175m,冲刷平均深度为0.132m。

(4)3#异常区域位于尾坎与底板交界处,左右岸长度12m,长下游最大宽度0.45m,平均宽度0.385m,冲刷面积4.58m²,冲刷深度最深为0.05m,平均冲刷深度0.04m。

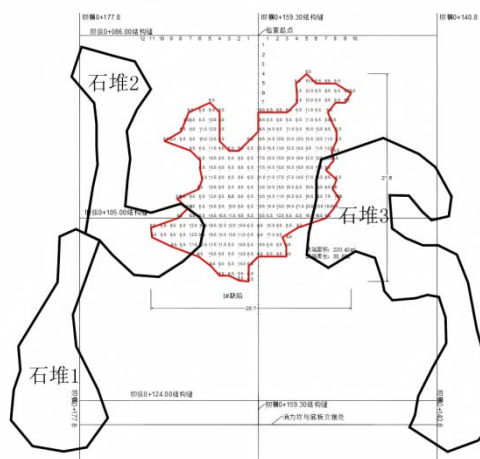


图2 缺陷分布情况

2 缺陷处理方法

由于不具备干地施工条件,本次处理采用水下修复的方式,对于缺陷深度小于5cm的区域采用水下环氧砂浆填充;对于缺陷深度大于5cm的区域采用水下环氧混凝土填充锚固,吊罐法浇筑。

2.1 搭设施工作业平台

通过在尾水平台搭设4个水面作业平台,分别用于潜水作业与监控、物料及淤积物转运,清淤与浇筑。搭设完成后由汽车吊将平台吊放至水面,采用橡皮艇拖至消力池上游,在两侧护坡设置10个锚点用于固定,各锚点通过槽钢连接顶爆螺栓,平台缆绳系固于槽钢上。施工中通过收放缆绳调整平台位置,并预留1-2m富余长度以适应水位变化。

2.2 堆积物清理

采用气动式清淤与潜水员水下人工清淤相结合的方式

施工。作业时,潜水员在水下控制气动清淤装置,利用虹吸原理将底部堆积物抽排至水面转运平台的吊笼中。吊笼满载后,由水面人员将其移至岸边,再用岸上汽车吊吊离。对于粒径较大的堆积物,则由潜水员水下搬运清理。

2.3 水下环氧砂浆修复

对于缺陷深度小于5cm的区域采用水下环氧砂浆填充法,先使用高压水将缺陷内的沉积物冲扫出工作面以外,露出混凝土原面,然后填充水下环氧砂浆。轻微冲刷的平面区域可以使用水下环氧砂浆抹面。水下环氧砂浆的涂抹厚度视缺陷的深度及角度而定,对于深度较大且倾斜角度较大的缺陷,可通过分层施工的方法进行修复。

2.4 水下环氧混凝土修复

对于缺陷深度大于5cm的区域采用水下环氧混凝土修复。

(1)凿毛清理:对于缺陷内的老混凝土面,使用液压锯和液压镐进行凿毛处理,凿出坚固新鲜的混凝土面,以增加浇筑面的糙度,利于新老混凝土的牢固结合。凿毛结束后将缺陷部位全部清理干净;然后采用高压水将缺陷内的沉积物冲扫出工作面以外,露出混凝土原面,以确保新浇筑混凝土能与老混凝土牢固粘结。

(2)钻孔植筋:为了增强新老混凝土的结合强度并形成一整体,需在缺陷修复区域内布设锚固筋,由潜水员使用液压钻在缺陷底部进行水下钻孔,钻孔直径42mm、孔深约1m、间距排1.5m、梅花型布孔。钻孔完毕后,用高压水清除孔内的岩屑和沉渣,使孔壁无尘土附着。^[1]

锚孔清洗完成后,内部填充高强环氧锚固剂,插入 $\phi 25$ 锚筋后转动几次,使锚固剂充分与锚杆和孔壁粘紧。沿原有钢筋走向布设锚筋,将新植入锚筋与原有钢筋水下焊接成一体,增强锚固力。

(3)钢筋修复:修复区域有钢筋外露并锈蚀时,修补前应进行除锈处理;当锈蚀、变形严重,对其进行割除并通过水下焊接的方式,将其与近处新植入的锚筋可靠连接,共同发挥作用;对于钢筋网缺失的部分需要重新布设钢筋网片,1#异常区域钢筋网规格为 $\phi 28@20$,2#异常区域钢筋网规格为 $\phi 10@10$ 。待锚筋的锚固剂硬化后,将制作好的钢筋网整体吊装下水就位,使用水下电焊机将钢筋网与锚筋焊接在一起,钢筋网与锚筋之间点焊连接。^[2]

(4)模板支立:模板采用钢板架立模板,用出露的螺栓固定在混凝土面上。在模板的适当位置预留混凝土进料口和排气孔,溢出口设活页盖板,并可封牢。安装时,模板与基底的接触应充分吻合,确保接缝处不漏浆。模板立好后检查其顶部高程、平整度。浇筑时,潜水员使用工具在模板处敲击振捣将混凝土振实。

(5)浇筑环氧混凝土:根据施工时水温、强度及其它要求等,通过现场试验确定合理配合比,配制环氧混凝土时须严格按此配合比配制。采用吊罐法进行浇筑,浇筑时,将制备的环氧混凝土装入料桶中,潜水员在水下将料桶移至待修复位置,送入浇筑仓内。新浇筑环氧混凝土须保证表面平坦顺滑,内部密实。

(6) 养护及模板拆除: 静水养护至新浇混凝土强度达标后潜水员入水拆模, 将固定模板的螺母拆掉后, 将模板吊出水面。切除模板的螺栓, 对其露出部分切除磨平。拆模后对混凝土进行检查并录像。检查测量新浇筑混凝土面与原混凝土面的误差是否超过 $\pm 3\text{mm}$ 。若超过 $\pm 3\text{mm}$ 则需进行打磨处理, 直至满足误差要求为止。打磨棱角至圆滑, 以适应水流流向, 减轻水流阻力。

2.5 结构缝修复

对于沉降缝、伸缩缝等具有重要意义而设置的结构缝, 刚性修复时不能简单的填料将缝隙填满。为保证修复后此类结构缝仍能发挥作用, 混凝土浇筑时需要在原结构缝缝面处设置隔板, 使浇筑面形成与原结构缝等宽的缝隙; 并在缝隙内刷胶、填充少量SR柔性填料, SR柔性填料起缓冲作用, 防止缝两侧的混凝土因受力相互挤压破碎; 为避免破坏原结构缝结构, 打锚孔时不得打到结构缝上, 只能在结构缝两边破损位置进行锚孔的钻设和锚筋的安装工作。

3 原因分析

经综合分析, 消力池底板出现堆积物及冲刷破坏的主要原因如下:

3.1 堆积物溯源

消力池底板堆积物主要来源于以下两方面: 一是建设期尾水河道清理不彻底, 残留有施工期岸坡开挖石渣及部分下游围堰, 致使中低水位时, 河道水位较可研阶段抬高约 $2\sim 3\text{m}$ 。发电及泄洪期间, 漩涡水流将尾水河道堆积物卷入消力池内, 是底板堆积物的主要来源。二是泄洪过程中水流携带的泥沙进入消力池内沉积。

3.2 闸门运行方式影响

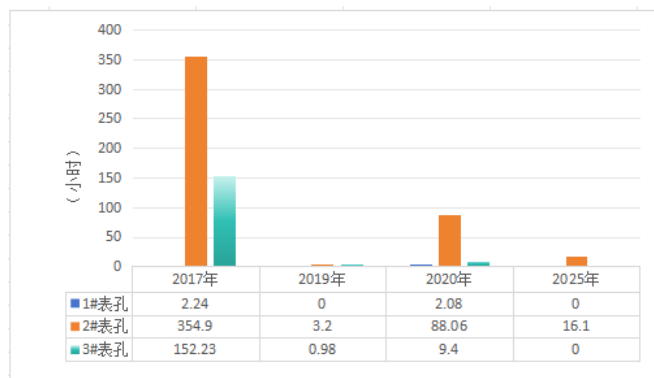


图3 各溢流表孔开闸历时

该电站泄洪闸门按“#2、#3、#1”顺序启闭, 受上游水库拦洪错峰影响, 实际溢洪年份较少; 同时, 随着流域梯级电站调度

机制不断完善, 泄洪闸门的启闭频次较前明显减少, 且闸门多处于小开度运行状态。其中, #2孔启用最为频繁, 加之消力池中部设有结构缝, 结构相对薄弱, 更易发生破坏。

统计2017—2025年各溢流表孔的开闸历时(见图3)可知, #2孔开闸历时最长, 导致消力池中部区域长期承受高速水流冲刷, 是造成消力池底板中部冲刷最为严重的主要原因。

3.3 消力池设计局限

在小流量泄洪时, 消能不充分, 高速水流挟带堆积物在消力池内翻滚磨蚀, 加剧了底板混凝土及结构钢筋的冲蚀破坏。同时, 消力池尾坎反坡 $1:2.5$, 池内碎石无法随水流翻越尾坎冲至下游, 泄洪过程中碎石反复与消力池底板末端混凝土及尾坎上游面摩擦, 导致该部位混凝土冲刷较为严重。^[3]

4 修复效果评价

修复工作完成后, 为检验施工质量及水下修复材料的耐久性, 经历了一个完整汛期的实际运行考验, 于2025年泄洪后委托检测单位采用水下机器人对消力池修复区域进行了专项检查。检查结果表明: 修复区域混凝土表面平整光滑, 未发现空鼓、开裂、脱落及明显冲蚀等缺陷, 新浇混凝土与老混凝土结合紧密, 整体修复质量良好, 满足设计要求。^[4]

5 结语

马崖水电站消力池水下缺陷处理工作的顺利实施, 显著增强了水工建筑物的结构安全性, 为电站泄洪消能设施的长期稳定运行及汛期安全提供了坚实保障。此外, 该项目所采用的技术方案与施工经验, 对今后同类大中型水利工程中消力池水下缺陷的处理具有较好的借鉴意义。

【参考文献】

- [1]冯啸.抗冲耐磨砼和环氧砂浆在金沙峡电站枢纽消力池维修中的应用[J].甘肃水利水电技术,2013,49(08):58-60.
- [2]吕琦,高月仙,王静,等.黄河苏只水电站消力池修复处理措施[J].水科学与工程,2014,(05):60-63.
- [3]郭玉蝶,段丽敏.某水电站泄洪消能建筑物冲刷原因分析及处理建议[J].大坝与安全,2025,(05):28-30+44.
- [4]朱道雄,谢俊龙.CW环氧树脂材料在苏洼龙水电站消力池修复中的应用[J].四川水力发电,2025,44(05):58-61.

作者简介:

陈娟(1998--),女,苗族,贵州六盘水人,大学本科,助理工程师,从事水电站大坝安全监测和运行管理方面工作。

毛海东(1973--),男,汉族,贵州安顺人,大学本科,助理工程师,从事水电站水务管理和工程管理方面工作。