

吉音水利枢纽泄洪冲沙放空洞维修养护的技术创新与应用

王荣勇

新疆维吾尔自治区塔里木河流域吉音水利枢纽管理中心 新疆 和田 848000

摘要: 本文聚焦吉音水利枢纽泄洪冲沙放空洞(底孔泄洪洞)维修养护工程,针对其因高含沙量水流冲刷导致的磨损、气蚀等问题,介绍了高抗冲磨环氧砂浆、高性能环氧混凝土等新材料的应用,以及化灌工艺、分层修复等技术创新点。通过实际工程应用效果分析,证明这些技术创新有效提升了修复质量,消除了安全隐患,延长了工程使用寿命,具有显著的经济效益与社会效益。

关键词: 吉音水利枢纽;泄洪冲沙放空洞;维修养护技术

引言

吉音水利枢纽工程作为克里雅河流域开发的控制性工程,承担着灌溉、防洪、发电等多重任务,对区域经济社会发展意义重大。其中,底孔泄洪洞作为关键泄洪设施,其安全运行直接关系到工程整体效益的发挥。然而,受克里雅河高含沙量水流的影响,泄洪洞底板及边墙长期遭受冲刷,出现磨损、气蚀、裂缝及渗水等问题,严重威胁工程安全。本文旨在探讨吉音水利枢纽泄洪冲沙放空洞维修养护中的技术创新与应用,通过引入新材料、新工艺,提升修复质量,保障工程长期安全稳定运行。

1 工程概况与问题分析

1.1 工程概况

吉音水利枢纽工程坐落于新疆和田地区于田县境内的克里雅河干流吾格也克河上,是克里雅河流域开发的控制性工程。工程自2013年9月开工建设,至2016年9月下闸蓄水,2018年全面发挥灌溉、防洪、发电等综合效益。底孔泄洪洞洞身段全长755.9m,由渐变段、渥奇段、反弧段、连接段和结合段组成。渐变段长15m,断面由矩形渐变为城门洞形;渥奇段长100m,断面为城门洞型;反弧段长25.16m;连接段长30m,断面渐变;结合段长539.8m,为城门洞型。原设计洞身底板表层采用0.2m厚C70硅粉砼,边墙和顶拱采用C25钢筋砼衬砌。

1.2 问题分析

底孔泄洪洞在0+028m~0+680m段存在不同程度的磨损与气蚀。其中,0+028m~0+100m段轻微磨损;0+100m~0+244m段磨蚀气蚀严重,出现表层脱落、坑洞,甚至局部漏筋;0+244m~0+680m段底板两侧混凝土磨蚀、露筋,中部磨蚀较轻。洞内伸缩缝止水破坏,多处存在混凝土裂缝及渗水现象,严重影响工程安全^[1]。这些问题不仅降低了结构的耐久性,还可能引发更严重的

工程事故,需及时进行维修养护。

2 技术创新点概述

2.1 材料选择与应用创新

2.1.1 高抗冲磨环氧砂浆

在吉音水利枢纽泄洪冲沙放空洞的修复工程中,高抗冲磨环氧砂浆作为一种新型修复材料,展现了其卓越的性能。该材料专为高速水流冲刷环境设计,具有极高的抗冲磨能力和粘结强度。其独特的配方使得砂浆在固化后能够形成一层坚硬、耐磨的保护层,有效抵抗水流中泥沙的冲击和磨损,显著延长了修复部位的使用寿命。在实际应用中,高抗冲磨环氧砂浆被广泛用于底板及边墙的磨损修复,特别是那些磨损严重、气蚀明显的区域。通过精确控制砂浆的配比和施工工艺,确保了修复层与原有混凝土的紧密结合,避免了脱落和空鼓现象的发生^[2]。

2.1.2 高性能环氧混凝土与C70硅粉混凝土

针对泄洪冲沙放空洞不同区段的磨损程度和结构需求,项目团队创新性地采用了高性能环氧混凝土和C70硅粉混凝土进行修复。高性能环氧混凝土以其优异的粘结性、抗裂性和耐久性,在修复过程中发挥了重要作用。它不仅能够与原有混凝土形成良好的结合面,还能有效抵抗水流冲刷和化学侵蚀,提高了结构的整体稳定性。而C70硅粉混凝土则以其超高的强度和良好的抗渗性能,被用于修复那些承受水流直接冲击和高速磨损的区域。硅粉的加入显著提高了混凝土的密实性和抗冲刷能力,使得修复部位在长期运行中保持稳定,减少了后期维护成本。

2.2 施工工艺创新

2.2.1 化灌工艺

化灌工艺作为处理混凝土裂缝及渗水问题的关键技术,在本次修复工程中得到了创新应用。该工艺通过渗

漏普查、缝面清理、布孔钻孔、灌浆等步骤，精确定位并修复混凝土内部的裂缝和渗水通道。在渗漏普查阶段，项目团队利用先进的检测设备对混凝土进行了全面细致的检查，准确识别出裂缝的位置、走向和严重程度。缝面清理阶段则通过高压水枪和角磨机等工具，彻底清除了裂缝周围的浮尘、油污和松散混凝土，为后续的灌浆作业创造了良好条件^[3]。布孔钻孔阶段根据裂缝的实际情况，采用斜孔交叉钻孔的方式，确保了灌浆材料能够充分渗透到裂缝内部。灌浆过程中，选用了具有良好流动性和固化性能的聚氨酯灌浆材料，通过高压注浆设备将材料注入裂缝中，形成了密实的灌浆体，有效阻止了水流的渗透和冲刷。

2.2.2 分层修复技术

针对泄洪冲沙放空洞不同区段的磨损程度和结构特点，项目团队采用了分层修复技术。该技术根据磨损的轻重程度，将修复区域划分为多个层次，分别采用不同的修复材料和工艺进行修复。对于磨损较轻的区域，采用凿毛清理后直接涂抹高抗冲磨环氧砂浆的方式进行修复；对于磨损严重的区域，则先进行凿毛清理和钢筋恢复作业，再浇筑高性能环氧混凝土形成底层支撑，最后在表面涂抹高抗冲磨环氧砂浆进行保护。这种分层修复技术不仅提高了修复效率和质量，还确保了修复部位的整体稳定性和耐久性。通过精确控制每一层的施工厚度和材料配比，实现了修复效果的优化和提升。

3 技术创新详细解析

3.1 高抗冲磨环氧砂浆的应用

3.1.1 材料性能

高抗冲磨环氧砂浆作为一种新型修复材料，在吉音水利枢纽泄洪冲沙放空洞的维修养护中展现了卓越的性能。其主要性能指标包括：密度达到 $2.0\pm 0.1\text{g/cm}^3$ ，确保了材料的致密性和稳定性；可操作时间在 20°C 下不低于30分钟，为施工人员提供了充足的操作窗口；固化时间不超过5小时，大大缩短了工期；抗拉强度（28天）不低于 20MPa ，展现了优异的力学性能；与老砼面的粘结强度在干粘条件下不低于 4.0MPa ，湿粘条件下不低于 3.0MPa ，确保了修复层与基材的牢固结合；抗冲磨强度（72小时水下钢球法）不低于 $500\text{h}/(\text{g/cm}^2)$ ，表明其具备极强的抗冲刷能力，非常适合用于高速水流冲刷环境。这些性能指标共同构成了高抗冲磨环氧砂浆在极端水流条件下的稳定表现，有效延长了修复结构的使用寿命。

3.1.2 施工工艺

高抗冲磨环氧砂浆的施工流程严格而细致，关键控制点贯穿于每一步骤。首先，进行洞内流水导流与清

渣，通过设置围堰和导流管将洞内明水排出，确保工作面干燥无积水，同时清理洞内石头及泥沙，为后续施工创造良好条件。随后，对底板及边墙进行凿毛清理，采用电锤或风镐彻底凿除已损坏松动的表层混凝土，直至露出新鲜、坚硬的基层，并使用高压风或高压水枪清洁表面，确保无油污、灰尘等杂质。接下来，涂刷双组份改性环氧界面剂，要求基面干燥，涂刷薄而均匀，对于凹凸不平处需反复涂刷，以增强界面粘结力。最后，按配比均匀拌制高抗冲磨环氧砂浆，用专用抹刀抹压到基面上，厚度控制在 2cm ，确保抹压密实、平整，达到设计要求的修复效果。

3.2 高性能环氧混凝土与C70硅粉混凝土的应用

3.2.1 材料配比与性能

高性能环氧混凝土与C70硅粉混凝土作为本次修复工程的另一大亮点，其配比设计与性能表现同样引人注目。高性能环氧混凝土通过优化环氧树脂与固化剂的比例，并添加适量的增韧剂和填料，形成了具有高强度、高粘结性和良好耐久性的复合材料。其主要性能指标包括：操作时间（ 20°C ）不低于30分钟，便于施工操作；密度控制在 $2.0\pm 0.2\text{g/cm}^3$ ，保证了材料的密实性；抗压强度（28天）不低于 70MPa ，抗拉强度（28天）不低于 12MPa ，展现了出色的力学性能；与老混凝土的粘结强度（7天）在干粘和湿粘条件下分别不低于 4.0MPa 和 3.0MPa ，确保了新旧材料的良好结合。

C70硅粉混凝土则通过添加硅粉等活性矿物掺合料，显著提高了混凝土的抗冲磨性和耐久性。其主要性能指标包括：28天抗压强度不低于 70MPa ，抗折强度不低于 12.0MPa ，抗拉强度不低于 10.0MPa ，与老砼面的粘结强度不低于 2.5MPa ，这些指标共同保证了C70硅粉混凝土在高速水流冲刷下的稳定性和可靠性。

3.2.2 浇筑与养护

在浇筑过程中，高性能环氧混凝土与C70硅粉混凝土均采用了分层浇筑与震捣密实的工艺。首先进行底部混凝土的浇筑，通过震动棒或振动板充分震捣，确保混凝土密实无空隙。随后，根据设计要求逐层浇筑至指定高度，并在最后一层浇筑时预留一定厚度用于高抗冲磨环氧砂浆的抹面处理。浇筑完成后，及时进行养护工作，采用洒水养护方式，保持混凝土表面湿润，养护时间不少于21天，以确保混凝土充分水化，达到设计强度。

同时，根据环境温度和湿度变化适时调整养护措施，确保混凝土质量。

3.3 化灌工艺的创新实践

3.3.1 裂缝处理技术

化灌工艺在处理吉音水利枢纽泄洪冲沙放空洞不同类型裂缝时展现了高度的灵活性和创新性。针对深层裂缝和贯穿裂缝,采用了斜孔交叉钻孔的布孔方式,设置双排孔,钻孔角度控制在 $\leq 45^\circ$,深层孔位于结构厚度的2/3处,浅层孔位于结构厚度的1/3处,确保钻孔穿过裂缝且过缝深度大于10cm,但不得将结构打穿。这种布孔方式有效增大了浆液的扩散范围,提高了灌浆效果。同时,根据裂缝的通畅情况灵活调整布孔间距,一般控制在20cm~30cm之间,确保浆液能够充分填充裂缝空间。

3.3.2 灌浆材料与设备

在灌浆材料的选择上,项目团队选用了性能优异的聚氨酯灌浆材料。该材料具有密度高($\geq 1.00\text{g/cm}^3$)、粘度低($\leq 1000\text{mPa}\cdot\text{s}$)、凝胶时间短($\leq 120\text{s}$)、不挥发物含量高($\geq 78\%$)等优点,且包水性强(≥ 10 倍水)、亲水性好(固结体乳白、均匀、无颗粒及无雪花状)、发泡率高($\geq 350\%$),非常适合用于混凝土裂缝的灌浆修复。在灌浆设备的选择上,采用了先进的灌浆机,通过精确控制灌浆压力和流量,确保了浆液能够均匀、连续地注入裂缝中。同时,加强了对灌浆过程的监控和记录,确保每一步操作都符合规范要求,从而保证了灌浆效果和质量。

4 技术应用效果分析

4.1 修复质量评估

修复工程完成后,对底孔泄洪洞0+028m~0+680m段的底板及边墙进行了全面的外观检查。结果显示,修复区域表面平整度显著提升,达到了设计要求的2m直尺检测空隙不大于规范值的标准。同时,修复后的混凝土表面无裂纹、孔洞等缺陷,呈现出均匀、密实的外观,表明修复材料具有良好的施工性能和成型质量。

4.2 工程安全性提升

通过本次修复工程,有效消除了底孔泄洪洞因过流冲刷导致的安全隐患,如底板磨蚀、露筋、边墙气蚀等

问题,确保了水库在汛期能够安全度汛,保障了下游地区的防洪安全。采用的高抗冲磨环氧砂浆、高性能环氧混凝土等新型修复材料,显著提高了结构的抗冲刷和耐久性,预计可大幅延长泄洪冲沙放空洞的使用寿命,减少后期维修频率和成本,提高工程的经济性和可靠性。

4.3 经济效益与社会效益

相比传统维修方法,本次修复工程通过采用新型材料和工艺,实现了成本的有效控制。具体表现在材料费用降低、人工效率提高及工期缩短等方面,综合经济效益显著;修复工程的成功实施,不仅保障了周边地区的防洪安全,还促进了农业灌溉和发电效益的充分发挥,对提升当地社会经济发展水平和居民生活质量具有重要意义。同时,该工程也为类似水利设施的维修养护提供了宝贵经验和参考。

5 结论

本次吉音水利枢纽泄洪冲沙放空洞维修养护工程,通过应用高抗冲磨环氧砂浆、高性能环氧混凝土等新型材料,结合化灌工艺、分层修复等技术创新,有效解决了底孔泄洪洞因高含沙量水流冲刷导致的磨损、气蚀等问题。修复后工程外观质量显著提升,抗渗性能和粘结强度均满足设计要求,消除了安全隐患,延长了使用寿命。同时,工程实现了成本的有效控制,具有良好的经济效益和社会效益,为类似水利设施的维修养护提供了宝贵经验和参考。

参考文献

- [1]吴健雄,吴健翔.葛洲坝大江泄洪冲沙对河床演变影响分析[J].中国水运,2025,(08):98-100+126.
- [2]高建标.某水利枢纽1#泄洪排沙放空洞掺气设施体试验研究[J].水利水电技术(中英文),2025,56(S1): 255-261.
- [3]刘延.浅谈针梁钢模台车在排沙放空洞砼施工中的应用[J].陕西水利,2021,(08):179-180.