

克孜尔水库除险加固工程坝体充填灌浆施工技术分析

魏筱祺

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

【摘要】：本文旨在解决克孜尔水库因运行时间增长导致坝体出现裂缝、渗漏等安全隐患问题。通过对克孜尔水库坝体实际状况的勘察，采用坝体充填灌浆施工技术进行除险加固。在施工过程中，严格把控钻孔、制浆、灌浆等关键环节的参数和质量。结果显示，坝体的密实度和整体性得到显著提升，裂缝和渗漏问题得到有效解决，水库的安全性能大幅提高。结论表明，坝体充填灌浆施工技术在克孜尔水库除险加固工程中应用效果良好，为类似水利工程的除险加固提供了可行的技术参考。

【关键词】：水库；除险加固；坝体；灌浆施工技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.070

引言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，对社会经济的稳定发展起着至关重要的作用。克孜尔水库作为新疆阿克苏地区一座具有防洪、灌溉、发电等综合效益的大型水利枢纽工程，其安全运行直接关系到周边地区的民生和经济发展。然而，随着运行时间的推移，坝体出现的裂缝、渗漏等问题严重威胁着水库的安全。坝体充填灌浆施工技术作为一种有效的除险加固手段，能够改善坝体的物理性能，提高坝体的稳定性和防渗能力。因此，对克孜尔水库除险加固工程中坝体充填灌浆施工技术进行深入分析具有重要的现实意义。

1 克孜尔水库工程概况

克孜尔水库位于新疆阿克苏地区拜城县境内，其规模和设计参数在水利工程中具有典型性。水库总库容达 6.4 亿立方米，能够有效调节水资源，满足周边地区的用水需求。坝顶高程为 1296.5 米，河床地面高程 1246 米，最大坝高 44 米，坝顶宽度 8 米，坝长 920 米，这样的规模使得水库在防洪、灌溉和发电等方面发挥着重要作用。该水库按照汛限水位 1287 米运行，正常运用设计洪水标准为 50 年一遇 ($P=2\%$)，非正常运用校核洪水标准为 200 年一遇 ($P=0.5\%$)，这为水库的安全运行提供了一定的保障。

然而，经过长时间的运行，坝体出现了一系列严重问题。坝体内部存在多条裂缝，这些裂缝的存在不仅破坏了坝体的整体性，还为渗漏提供了通道。部分区域有明显渗漏现象，渗漏量逐渐增加，这不仅造成了水资源的浪费，还可能导致坝体的进一步损坏。坝

体的密实度和整体性受到影响，使得坝体的稳定性下降，对水库的安全运行构成了严重威胁。

2 坝体充填灌浆施工技术原理

坝体充填灌浆施工技术的核心在于利用外加压力将特定配比的浆液压入坝体内部存在的裂缝、孔洞及松散区域，实现对结构性缺陷的有效修复。这一过程可分解为三个关键作用机制：渗透填充、挤压密实与胶结固结。渗透填充是指在压力驱动下，浆液克服毛细阻力和地层摩擦力，深入微小裂隙，置换空气和水分，填补原始空隙；挤压密实在浆液扩散过程中同步发生，其对周围土体产生侧向压力，促使松散颗粒重新排列，提升局部密实度；胶结固结则体现在浆液凝结后与原土体形成复合结构体，显著增强材料的整体力学性能。

浆液性能的调控是实现上述机制的基础，需从流动性、稳定性和凝结特性三方面进行精细化设计。流动性由浆液的黏度和颗粒级配决定，通常通过控制水固比和添加减水剂来调节，确保其在低压力下仍能充分延展至复杂裂隙网络。稳定性涉及浆液在输送过程中的均匀性，防止固体组分沉降分离，常采用膨润土或稳定剂改善悬浮能力，避免堵管或无效注入。凝结性则关系到工程时效与结构成型质量，既要保证足够可操作时间以便充分扩散，又需具备合理初凝与终凝间隔，使浆体在封闭环境中快速形成具备抗渗与承载能力的固化骨架。针对克孜尔水库坝体以粉质黏土为主的特点，宜采用水泥-黏土复合浆液，兼顾强度发展与变形适应性，从而在防渗与结构补强双重目标间取得平衡。

3 坝体充填灌浆施工技术在克孜尔水库的应用

3.1 施工准备

施工前的准备工作是确保坝体充填灌浆顺利实施的基础,需从多个层面系统推进。首先,场地清理不仅是表面杂物的清除,更涉及施工环境的整体优化。对坝顶及坝坡区域的杂草、碎石、松散土层进行彻底清除,并采用人工与机械结合的方式整平作业面,防止因地面不均影响钻孔精度。同时,在清理过程中标记出明显的裂缝和表层空洞,为后续处理提供依据。

其次,针对坝体表面缺陷的初步处置至关重要。对于宽度较大的表面裂缝,采用高压风或水冲洗清除内部淤泥和碎屑,随后以预缩砂浆进行封堵,避免灌浆时浆液外溢;对浅层空洞则进行扩挖后回填夯实,增强局部结构密实度。这一系列措施有效提升了灌浆的封闭性和压力传递效率。

材料准备方面,原材料的选择直接关系到浆液性能。水泥优先选用 P.O 42.5 级普通硅酸盐水泥,确保早期强度发展稳定;黏土则选取塑性指数大于 15 的优质膨润土,保证其悬浮性和可灌性。在配比设计中,通过室内试验确定最优水灰比和掺合比例,通常控制水泥与黏土质量比为 1:0.3~1:0.5,确保浆液兼具流动性与抗析水能力。

设备保障同样不可忽视。钻孔设备须配备导向装置以控制钻杆垂直度,灌浆泵应具备连续供浆能力和压力调节功能。每台设备在启用前均进行空载运行测试,检查管路密封性与动力系统稳定性,并在现场配置备用发电机、灌浆泵等应急设备,确保施工连续性。各项准备工作环环相扣,共同构筑灌浆施工的安全与质量基础。

3.2 钻孔施工

钻孔作为坝体充填灌浆施工的核心工序,其质量直接关系到后续灌浆效果与整体防渗体系的形成。首先,在布孔设计阶段,需结合地质勘探资料、坝体结构特征及历史病害分布,科学划分灌浆区域,明确主灌区与辅助加固区,确保钻孔布局既能覆盖主要渗漏通道,又避免资源浪费。克孜尔水库根据坝段差异,采用梅花形布孔方式,孔距控制在 1.5 至 2 米之间,局部裂缝密集区适当加密至 1.2 米,以提升浆液扩散的连续性。其次,钻孔深度并非统一设定,而是依据物探成果和钻探取芯所揭示的裂缝发育深度动态调整,通常要求钻入裂缝下缘持力层 1 至 2 米,确保浆液能有效封堵深层渗径。再者,成孔质量控制尤为关键,必须保证钻孔垂直度偏差不超过 1%,以防相邻

孔位在深部交叉或间距过大形成盲区。为此,施工中采用高精度测斜仪配合导向钻具,实时监控钻进姿态。孔径则依据灌浆压力和浆液颗粒级配确定,一般为 $\phi 91\text{mm}$,既满足注浆通道需求,又防止过度扰动坝体结构。工艺选择上,针对坝体上部压实土层采用回转钻进,提高成孔效率;对于含碎石或胶结层的复杂地层,则切换为冲击钻进,增强穿透能力。此外,施工中易出现的塌孔、缩径等问题,采取套管护壁或即时灌注稳定浆液等措施予以应对,确保钻孔完整贯穿至设计深度,为后续均匀注浆奠定基础。

3.3 制浆与灌浆施工

制浆是确保灌浆质量的首要环节,其核心在于实现浆液物理性能的稳定与可控。首先,原材料的计量必须精准,水泥、黏土与水需按照设计确定的配比进行称量,尤其对含水量较高的黏土应提前测定其实际含水率,动态调整加水量,防止因水分偏差导致浆液过稀或过稠。其次,搅拌过程需充分且均匀,采用双轴强制式搅拌机可有效提升混合效率,搅拌时间一般控制在 3~5 分钟,确保无结块、无沉淀。在此基础上,应对每批次浆液进行现场检测,使用泥浆比重计测量其密度,确保值域稳定在 $1.3\sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 之间;同时采用马氏漏斗法测定黏度,控制在 30~50 秒范围内,超出范围则需重新调配。此外,浆液的静置稳定性也不容忽视,应观察其是否出现明显离析或泌水现象,必要时可掺入少量膨润土或稳定剂以增强悬浮性能。

灌浆施工作为整个工艺的核心,其操作流程和技术控制直接决定加固效果。分段灌浆是常用方法,通常将钻孔划分为若干段,自下而上逐段实施,每段长度控制在 2~3 米,待前一段初凝后再进行上一段灌注,避免浆液串流或上冒。灌浆压力的设定需结合坝体材质、密实度及裂缝发育深度综合判断,初始阶段宜采用低压(0.2MPa 左右)注入,逐步升压至 0.5MPa,防止高压造成坝体局部抬动或裂缝扩展。注浆过程中,应配备压力表和流量计实时监控,记录每段的进浆量、压力变化和持续时间。与此同时,须安排专人巡视坝面,密切注意是否有冒浆、裂缝扩张、坡面隆起等异常现象,一旦发现应立即停灌并分析原因,必要时采取封堵、间歇灌注或调整浆液配比等措施。对于吸浆量较大的区域,可采用限流控制或重复灌注方式,确保填充饱满。所有施工参数均需详细记录,形成可追溯的技术档案,为后续质量评定提供依据。

3.4 施工质量控制

施工质量控制贯穿于坝体充填灌浆的全过程,需

从工序衔接、参数管理与现场响应三个层面系统推进。在钻孔阶段,除严格校核孔位布置是否满足1.5~2米的设计间距外,还需逐孔检测深度是否穿透裂缝带并延续至稳定岩土层1~2米,确保封堵有效性;同时采用测斜仪动态监控垂直度,偏差超过1%的须立即纠偏或补孔,防止因倾斜导致灌浆盲区。制浆环节中,配合比执行需依据现场土样试验数据微调,尤其在黏土含量波动较大时,应分批次校验水灰比与掺合料比例;浆液性能控制不仅限于比重(1.3~1.5g/cm³)和黏度(30~50s),还需定期检测析水率与流动性,避免静置分层影响注入效果。进入灌浆阶段后,压力调控应结合地层吸浆量动态调整,初始宜低压慢进,待注浆量趋于稳定后再逐步升至0.2~0.5MPa,防止骤增压力诱发坝体局部鼓胀或裂缝扩展;每米孔深灌浆量控制在0.3~0.5m³的同时,须结合回浆浓度变化判断填充密实度,当出现持续回浆或压力突升时,应暂停作业排查串浆风险。灌浆速率宜控制在每分钟5~8升,避免高速注入造成内部冲刷或抬动变形。全过程须建立可追溯的数据台账,包括钻孔日志、浆液检测记录、压力流量曲线及异常处置报告,形成闭环管理链条。此外,应设置专人巡查坝面,一旦发现冒浆、裂缝扩张或异常渗水等征兆,立即降压或终止灌注,并采取封堵、间歇灌浆等应对措施,确保施工安全与实体质量同步受控。

4 施工效果分析

4.1 坝体密实度检测

施工完成后,对坝体的密实度进行检测。采用环刀法和灌砂法等方法,在坝体不同部位取土样进行检测。检测结果显示,坝体的密实度得到了显著提高,平均密实度达到了95%以上,满足了设计要求。这表明坝体充填灌浆施工有效地填充了坝体的孔隙,提高了坝体的密实度。

参考文献:

- [1] 尹宏,王洪玲,孙瑞华.水利工程中水库溢洪道施工技术处理[J].中国科技期刊数据库工业 A,2023.
- [2] 向东.大水坑水库溢洪道加固施工技术研究[J].水上安全,2024(20):82-84.
- [3] 李美虹.水库溢洪道预应力锚索施工要点探讨[J].中国高新科技,2024(1):90-91.
- [4] 李丽娟.水库溢洪道施工关键技术及过程控制[J].大科技,2023:88-90.
- [5] 刘田珂,黄平,孙彪.贵州油哈水库施工期洞式溢洪道安全监测分析[J].海河水利,2024(10):71-74.

4.2 渗漏情况监测

对坝体的渗漏情况进行长期监测。在施工前,部分区域的渗漏量较大,达到了0.5-1L/s。施工后,渗漏量明显减少,大部分区域的渗漏量降低到了0.1L/s以下,部分区域甚至基本无渗漏现象。这说明坝体充填灌浆施工有效地堵塞了渗漏通道,提高了坝体的防渗性能。

4.3 坝体稳定性评估

通过对坝体的位移、沉降等参数进行监测,评估坝体的稳定性。监测结果显示,坝体的位移和沉降量均在允许范围内,坝体的稳定性得到了有效保障。这表明坝体充填灌浆施工增强了坝体的整体性和稳定性,提高了水库的安全性能。

5 结论与建议

5.1 结论

通过对克孜尔水库除险加固工程中坝体充填灌浆施工技术的应用分析,可以得出以下结论:坝体充填灌浆施工技术能够有效地解决坝体裂缝、渗漏等问题,提高坝体的密实度和防渗性能,增强坝体的整体性和稳定性。在施工过程中,严格的质量控制是保证施工效果的关键。通过对钻孔、制浆、灌浆等关键环节的质量把控,确保了工程的顺利进行和施工质量的达标。

5.2 建议

在今后的类似工程中,应进一步优化坝体充填灌浆施工技术。加强对浆液材料的研究和开发,提高浆液的性能和适应性。同时,采用先进的监测技术,对施工过程和坝体运行情况进行实时监测,及时发现和处理问题。加强施工管理,提高施工人员的技术水平和质量意识。严格按照施工规范和设计要求进行施工,确保施工质量和安全。对坝体充填灌浆施工技术进行深入研究和总结,形成一套完善的施工工艺和质量控制标准,为类似工程提供更加科学、有效的技术支持。