

三合水库大坝施工期渗流控制技术优化与施工要求调整研究

饶文旺

云南能投缘达建设集团有限公司 云南 昆明 650101

【摘要】：渗流控制是水库大坝施工期安全控制的主要部分，对坝体结构稳定及工程长久安全有直接影响。三合水库大坝施工期间由于地质情况复杂、施工技术不到位等种种原因造成渗流异常隐患，影响施工进度及工程品质。本文通过对国内外渗流控制技术现状的分析，根据三合水库大坝施工期渗流控制存在的问题，从帷幕灌浆、排水系统、渗流监测等各方面提出技术优化措施，并根据有关规范要求，对施工工艺、质量控制和安全管理工作方面进行调整，通过工程实践检验优化方案的可行性与有效性，给其他同类水库大坝施工期渗流控制提供一定的参考依据。

【关键词】：三合水库；大坝施工；渗流控制；技术优化；施工要求调整

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.007

1 引言

三合水库大坝为土石坝，坝体高度适中，坝基主要由砂砾石层组成，透水性好，施工期间受到降雨、地下水补给等外界因素的影响较大，渗流问题较为明显。传统渗流控制技术应用中出现帷幕灌浆效果不好、排水系统设置不合理、渗流监测精度低等状况，不能达到施工期安全控制的要求。同时原有的施工要求同优化的渗流控制技术不符，施工工艺、质量控制等各环节有漏洞，加重了渗流隐患。

因此，针对三合水库大坝施工期渗流控制技术 & 施工要求调整展开研究，攻克施工期渗流控制难题，完善施工管控体系，对于保证大坝施工安全，提高工程质量有重要的现实意义和工程应用价值。本文根据有关规范标准、类似工程经验，就三合水库大坝施工实际情况出发，优化渗流控制技术，调整施工要求，为工程施工提供技术支持。

2 三合水库大坝施工期渗流控制现状及存在问题

2.1 工程概况

三合水库大坝为均质土石坝，坝体填筑材料为当地黏性土、砂砾石，填筑厚度分层。施工期主要的施工工序有坝基开挖、坝体填筑、帷幕灌浆、排水系统施工和渗流监测等。施工期间，由于坝基地质状况复杂、降雨补给频繁等缘故，造成坝体、坝基产生不同程度的渗流，主要有坝肩绕渗、坝基渗漏等类型，虽然已采取了一定的防渗措施，但是渗流量及渗透压力仍超过规范许可限度，存在渗流病害隐患，进而干扰施工安全及工程进度。

2.2 现有渗流控制技术及存在问题

三合水库大坝施工期原有的渗流控制技术有帷幕灌浆、排水孔排水、土工膜防渗等，结合现场施工实际情况，存在着一些主要问题。

一是帷幕灌浆不严密。原有灌浆材料为普通水泥浆，浆液流动性差、扩散性差，不能充分填充坝基砂砾石层孔隙和裂隙；灌浆参数设计不合理，灌浆压力、孔距等参数未根据坝基地质

条件准确调整，造成灌浆形成的防渗帷幕连续性差、防渗性能不够，坝基渗漏问题未能得到有效解决。

二是排水系统布置不合理。原有排水系统只设一个排水孔，排水孔间距大、深度不够，不能达到坝体、坝基渗流的排出要求；排水孔施工工艺不规范，孔壁坍塌、堵塞现象比较常见，影响了排水效果，造成坝体内部渗压力积累，增加了管涌、流土等病害的发生概率。

三是渗流监测系统不健全。原监测系统使用人工监测的方法，监测频率低、精度差，不能对渗流参数的变化进行实时的捕捉；监测点位布置不合理，在坝肩、坝基等渗流的重要部位缺少监测点，不能对渗流分布规律进行全方位的把握，当出现渗流异常的时候，不能及时发出预警信号，造成隐患处理的滞后。

3 三合水库大坝施工期渗流控制技术优化

3.1 帷幕灌浆技术优化

帷幕灌浆是三合水库坝基防渗的关键技术，根据三合水库坝基地质条件，从灌浆材料、灌浆参数、施工工艺三方面进行改进，提高防渗帷幕的连续性、防渗性能。

3.1.1 灌浆材料优化

抛弃传统的普通水泥浆，使用水泥 - 膨润土复合灌浆材料。该材料具有良好的流动性、扩散性、抗渗性，能很好地填充坝基砂砾石层的孔隙、裂隙，形成一个密实的防渗帷幕，膨润土的加入能提高浆液的粘结力、耐久性，防止灌浆体开裂，适应坝基沉降变形。

3.1.2 灌浆参数优化

根据坝基地质勘察资料，在现场进行灌浆试验，得到合理的灌浆参数。灌浆压力按灌浆深度和坝基地质情况确定，坝基浅层灌浆压力控制在 0.3~0.5MPa，深层灌浆压力控制在 0.5~0.8MPa；灌浆孔距优化为 2.0~2.5 米，排距优化为 1.5~2.0 米，保证灌浆体互相衔接，形成连续的防渗帷幕；灌浆段长控制在 5 米之内，对于灌浆盖重层较薄的部位，缩短到 2~3 米，提高

灌浆效果。

3.1.3 施工工艺优化

自上而下分段循环式灌浆，射浆管离孔底不大于 0.5m，保证浆液能充分扩散，灌浆时按浆液注入量变化控制浆液浓度，“由稀到浓”，当注浆量大于 10L/min 时为稀浆灌注，小于 1L/min 时为浓浆灌注，保证密实；灌浆结束立即封孔，水泥砂浆封孔，封孔深度 $\geq 2m$ ，封孔严防渗漏。

3.2 排水系统技术优化

3.2.1 排水系统布置

采用“表层排水、中层排水、深层排水”分层布置方式。表层排水设在坝体上游坡面上，采用土工膜覆盖配合排水槽布置，及时排出坡面雨水，防止雨水渗透到坝体里，中层排水设在坝体中间，每隔 10~15 米设一条排水孔，孔径 100~150mm，深 1/2 坝高，中层排水设在坝体中间，每隔 20~30m 设一条排水孔，孔径 150~200mm，深 3~5m，排出坝体内的渗流，形成全方位的排水系统。

3.2.2 排水材料优化

排水孔用 PVC 波纹管，具有耐腐蚀、强度高、透水性好等优点，可以防止孔壁坍塌、堵塞，排水孔采用钢筋混凝土浇筑而成，内壁设有土工布，提高排水效果，防止泥沙进入排水孔堵塞排水孔，表层排水槽用透水混凝土浇筑，增强透水性，保护坡面。

3.2.3 施工工艺优化

排水孔施工采用钻机钻孔，钻孔时用泥浆护壁，防止孔壁坍塌；钻孔完成后清理孔内杂物，插入 PVC 波纹管，波纹管与孔壁之间用透水砂浆填塞，保证排水畅通；排水廊道施工与坝基开挖同时进行，浇筑时严格控制混凝土浇筑质量，防止出现裂缝导致渗漏；施工结束后对排水系统做通水试验，排水效果达到要求。

3.3 渗流监测系统优化

3.3.1 监测点位优化

根据大坝渗流分布特点，在渗流主要部位增设监测点。坝肩绕渗部位每 5 米至 10 米设一个渗流量观测点及渗透压力观测点；坝基中部、底部设渗透压力观测点，观测点间距为 10 米至 15 米；坝体内部设浸润线观测点，观测点间距为 15 米至 20 米，以保证对坝体和坝基渗流状态的全方位掌握。

3.3.2 监测设备优化

摒弃传统的手工监测设备，用智能监测设备。渗流量监测使用电磁流量计，精度高、稳定，可及时得到渗流量数据，渗透压力监测使用振弦式渗压计，准确测量坝体、坝基渗透压力，浸润线监测使用水位计，配合自动化采集模块，可以进行浸润线高程实时监测，所有的监测设备都接入到自动化监测平台

上，可以实现实时传输和保存数据。

3.3.3 监测方式优化

用自动检测和人工巡检相结合的方式实施监测。自动化监测系统不间断地从渗流量、渗透压力、浸润线等各方面的数据进行采集，并且采集的频次是 1 小时 1 次，只有当参数超过规范所允许的范围之后才会产生报警信号，而人工巡检则是在一周的时间内进行 1 次，并且主要关注着监测仪器的状态、排水管网的状况以及坝体表面上存在的渗漏现象，会立即解决监测设备出现的问题或者排除渗漏的威胁，进而保证整个监测系统可以持续有效的运作。

4 三合水库大坝施工期施工要求调整

4.1 施工工艺要求调整

4.1.1 帷幕灌浆施工工艺要求

灌浆前要对灌浆孔进行钻孔质量检查，保证孔径、孔深、孔位满足设计要求；灌浆材料应按照设计配合比搅拌，搅拌时间不得少于 3 分钟，浆液搅拌均匀后立即灌注，防止浆液凝固；灌浆时控制好灌浆压力及浆液注入量，做好施工记录，保证每一段灌浆质量符合设计要求；灌浆结束应及时封孔，封孔质量应作抽样检测，检测合格后方可进行下一工序。

4.1.2 排水系统施工工艺要求

排水孔钻孔要垂直，孔径、孔深偏差不得超过设计值的 5%；PVC 波纹管插入前应清除孔内杂物，孔壁应光滑；波纹管与孔壁之间透水砂浆填塞要密实，不得有空隙；排水廊道施工要严格控制模板安装精度和混凝土浇筑质量，浇筑完成后及时养护，养护时间不少于 14 天；排水系统施工完毕后，应进行通水试验，保证排水畅通，无堵塞。

4.1.3 坝体填筑施工工艺要求

坝体填筑材料必须经过质量检验后方可使用，填筑分层施工，每层填筑厚度不大于碾压试验确定的厚度，用压路机碾压，碾压次数不小于 8 遍，碾压压实度 $\geq 95\%$ ，坝体填筑与防冲墙衔接时，应清除填筑层表面的杂物，保证衔接紧密，不得存在渗漏通道，降雨期间停止坝体填筑施工，及时做好坡面防护及排水工作，防止雨水渗入坝体。

4.2 质量控制要求调整

4.2.1 原材料质量控制要求

灌浆材料、PVC 波纹管、土工膜、混凝土等原材料进场前要进行质量检验，检验项目有强度、抗渗性、耐久性等，检验合格后再进场使用；原材料储存分类存放，做好防潮、防晒，防止材料变质损坏；施工中定期抽样检测原材料质量，保证原材料质量稳定。

4.2.2 施工过程质量检测要求

帷幕灌浆施工中，每完成 10 段灌浆，就要做一次灌浆效

果检验,用水压试验实施,试验压力为灌浆压力的80%,渗透系数应不大于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$;排水系统施工时,每布置20个排水孔,就应抽检5个,检查排水孔是否通畅以及施工质量;坝体填筑施工时,每层填筑完成后要进行密实度检测,检测合格后再进行下层填筑;渗流监测设备安装完成后,需要对它进行调试和校准,保证其测量精度符合要求。

4.2.3 竣工质量验收要求

渗流控制工程施工完毕后应进行竣工质量检验,检验内容有防渗帷幕质量、排水系统畅通性、渗流监测系统运行状况等;检验时应提交全部施工记录及质量检测报告;检验合格的方可进入下一步施工;对验收中发现的质量问题要及时整改,整改完成后重新验收,直至合格。

4.3 安全管理要求调整

4.3.1 安全防护要求

施工人员进场前要戴好安全帽、安全带等安全防护用品;高空作业时搭建安全脚手架、安全防护网;灌浆施工时检查灌浆设备运行情况,防止设备故障造成安全事故;排水廊道施工时做好通风、照明工作,防止人员缺氧、摔倒。

4.3.2 应急处置要求

编制渗流异常应急处置方案,确定应急组织机构、应急处置流程、应急物资储备;施工现场储备沙袋、速凝混凝土、抽水设备等应急物资,定期检查物资储备情况,保证应急时能正常使用;当渗流监测系统发出预警信号的时候,立即执行应急处置方案,组织施工人员疏散,采取封堵、排水等方式控制渗流隐患,避免事故扩大。定期开展应急演练来提高施工人员应急处置能力。

4.3.3 现场管控要求

安排专人负责施工现场渗流监测及安全巡视,每天巡查不少于两次,对渗流情况、施工质量、安全隐患进行巡查,发现问题及时处理;雨天增加巡查频次,做好排水工作,防止雨水加重渗流隐患;施工中严格按施工方案施工,杜绝违章作业,

保证施工安全。

4.4 工程应用效果验证

施工期间,经过三个月的现场监测,坝基渗流量稳定在 $25 \sim 35 \text{m}^3/\text{d}$,坝体渗透压力控制在 $0.08 \sim 0.12 \text{MPa}$,浸润线高程在合理的范围内,没有出现渗流异常的情况,渗流监测系统运行正常,监测数据准确,预警及时,施工过程中未发生渗流引起的安全事故,施工进度顺利进行,工程质量满足设计要求。应用结果说明优化后渗流控制技术具有很强的针对性,可以有效地解决三合水库大坝施工期渗流问题;调整后施工要求科学合理,可以保证技术措施落地见效,提高施工质量、安全管理水平,给大坝施工安全提供可靠的保障,也给同类水库大坝施工期渗流控制提供借鉴。

结论

本文围绕三合水库大坝施工期渗流控制技术优化与施工要求调整展开系统研究,针对工程施工中存在的帷幕灌浆不严密、排水系统布置不合理、渗流监测不健全等问题,结合坝基地质条件与施工实际,从帷幕灌浆、排水系统、渗流监测三个核心环节提出针对性优化措施,同时配套调整施工工艺、质量控制及安全管理相关要求,形成了适配工程实际的渗流控制体系。优化后的渗流控制技术,通过改进帷幕灌浆材料、参数及施工工艺,构筑起立体分层排水系统,健全智能化渗流监测体系,创建起“防渗-排水-监测”三位一体的渗流控制体系,可大幅削减坝基渗流量和坝体渗透压力,优化渗流控制效能,契合施工期安全管控要求。调整后的施工要求从施工工艺、质量控制、安全管理三个角度进行细化,明确施工操作标准,加强质量控制和安全防护,保证优化后的渗流控制技术落地见效,防止渗流异常引发的安全事故,提高工程施工质量与进度。工程应用证明,对渗流控制技术进行改进以及施工要求做出调整之后,得到的施工可行性与有效性较好,可以较好地控制三合水库大坝施工期间渗流,给类似水库大坝施工期渗流控制提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 柯虎,彭涛,黄伟,等. 基于探测的堆石坝面板微渗流裂缝分布特征研究 [J/OL]. 人民长江, 1-7[2026-04-20].
- [2] 李莹. 大坝施工中塑性混凝土防渗墙设计计算及施工技术 [J]. 科学技术创新, 2021, (27): 155-156.
- [3] 周清勇,刘智,洪文浩,等. 防渗墙施工缺陷对土石坝渗流与稳定的影响分析 [J]. 水利水电快报, 2020, 41 (05): 28-32+37.
- [4] 余斐,江晓益,谭磊,等. 并行电法技术在爆破振动影响庵基山塘大坝渗流稳定性分析中的应用[J]. 水电能源科学, 2019, 37 (07): 54-57.
- [5] 曾德琼. 基于渗流安全的大坝加固工程施工技术要点探究 [J]. 南方农机, 2018, 49 (02): 98.