

水库坝基帷幕灌浆施工监理质量控制要点

罗婷婷

(安徽省江河水利水电工程监理咨询有限公司, 安徽 合肥 230094)

摘要 近年来,我国对水资源的需求不断增加,水库坝基帷幕灌浆是防控坝基渗漏、保障大坝结构安全与长期稳定的核心隐蔽工程,其施工质量直接决定水库的抗渗能力与运行寿命。由于帷幕灌浆施工工艺复杂、隐蔽性强、受地质条件影响显著,施工过程中的质量波动易引发坝基渗漏、不均匀沉降等安全隐患,因此施工监理作为质量管控的关键环节,需贯穿施工全流程。本文首先分析水库坝基帷幕灌浆施工监理的核心依据,其次探讨水库坝基帷幕灌浆施工全流程监理质量控制要点,以期水库坝基帷幕灌浆施工监理工作提供参考,进而保障帷幕灌浆工程质量达到设计标准,提升水库大坝的安全韧性。

关键词 水库坝基;帷幕灌浆;施工监理

中图分类号:TV543

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.031

0 引言

水库大坝坝基的渗透稳定性是确保工程长期安全运行的关键。帷幕灌浆通过在坝基岩体中钻孔灌注水泥浆液,形成连续的地下防渗幕体,以降低坝基渗漏压力、提高岩体整体性,是水利水电工程中最常用的基础处理技术之一。坝基渗漏若处理不当,会导致坝基扬压力升高、土体渗透变形,甚至引发大坝滑坡、溃坝等重大安全事故。帷幕灌浆通过在坝基岩体中灌注水泥浆或其他浆液,形成连续的抗渗帷幕,阻断地下水渗透通道,降低渗透压力,是水库坝基渗漏防控的核心技术手段,广泛应用于各类水库大坝的地基处理工程中。

1 工程概况

本项目为安徽省广德市凤凰山水库工程。灌浆正式施工前,施工单位应根据监理人指示进行现场灌浆试验,以验证灌浆参数、施工工艺,调试运行钻孔灌浆施工系统,验证合理的机械设备与人员配置。试验方案实施前应报监理人批准,并根据试验成果相应调整施工组织设计。灌浆试验成果和调整后的施工组织设计报监理人批准认可后,方可进行灌浆正式施工。

2 水库坝基帷幕灌浆施工监理的重要价值

(1) 保障帷幕灌浆施工质量,防范渗漏隐患。帷幕灌浆作为隐蔽工程,施工质量难以直观判断,监理工作通过全过程监督、精准管控,能够及时发现施工过程中的质量问题,督促施工单位整改,确保灌浆工

序规范、参数达标、灌浆密实,有效防范灌浆不密实、渗漏通道未阻断等质量隐患,保障防渗帷幕的防渗效果^[1]。(2) 规范施工行为,确保施工符合规范要求。监理单位依据行业规范和设计文件,对施工单位的施工工艺、施工流程、施工参数进行监督核查,制止违规施工行为,督促施工单位严格按照规范和设计要求施工,确保帷幕灌浆施工的标准化、规范化。(3) 降低工程风险,保障水库工程安全。通过监理全流程质量管控,能够有效规避因帷幕灌浆质量不达标导致的坝基渗漏、坝体变形等安全风险,保障水库坝体结构稳定,避免重大安全事故发生,维护人民群众生命财产安全。(4) 控制工程成本,提升工程经济效益。监理工作通过严格管控施工质量,减少施工返工、缺陷整改等额外支出;同时,通过优化施工工艺、核查施工参数,提升灌浆效率,降低材料浪费和施工成本,确保工程按期竣工交付,提升工程建设的经济效益和社会效益。(5) 强化质量追溯,为后期运维提供依据。监理单位全程记录施工过程中的监理日志、检测数据、验收记录等资料,形成完整的质量追溯体系,为工程后期的运维、检修和质量评估提供准确的技术依据,延长水库工程使用寿命。

3 施工准备阶段的监理控制

3.1 设计文件与施工方案审查

灌浆工程施工前,监理应系统收集并审查下列设计文件:施工详图及设计说明书、灌浆地区工程地质

作者简介:罗婷婷(1994-),女,专科,助理工程师,研究方向:水利水电建筑工程。

和水文地质资料、灌浆试验报告、灌浆施工组织设计、灌浆施工技术要求及质量标准。重点核查帷幕布置轴线、孔距排距、灌浆深度、灌浆压力、透水率控制标准等核心设计参数是否明确。施工方案审查应重点关注：钻孔与灌浆设备选型的合理性、分序加密原则的落实措施、特殊地质地段的处理预案、施工记录与成果整理的技术要求等^[2]。

3.2 灌浆材料与设备质量控制

(1) 材料控制。监理应对进场的灌浆材料进行严格核验。水泥品种、强度等级应符合设计要求，应查验出厂合格证及质量检测报告，并按规范要求抽样复检。对于需要添加的外加剂（水玻璃、膨润土等），应审查其性能指标是否符合相关标准。(2) 设备控制。灌浆设备主要包括钻机、灌浆泵、制浆机、自动记录仪等。监理应核查设备性能是否满足工程要求：钻机应能保证钻孔精度；灌浆泵的压力和流量应稳定可调；自动记录仪应能实时监测并记录灌浆压力、注入率等关键参数，精度应符合规范要求。关键设备宜要求施工单位配备备用机具，防止施工中断。

3.3 现场灌浆试验监督

对于地质条件复杂或大型水利枢纽工程，施工前应进行现场灌浆试验。监理应监督试验孔的选择、施工参数的设计、试验过程的记录，并参与试验成果的分析。通过试验确定合理的灌浆压力、浆液配比、结束标准等施工参数，为全面施工提供技术依据。

4 水库坝基帷幕灌浆施工全流程监理质量控制要点

4.1 浆液制备监督

浆液质量直接决定灌浆结石的强度与抗渗性能，监理人员需重点管控浆液制备过程，实行全过程旁站监督。一是浆液配比控制，严格按照现场试验确定的浆液配比进行制备，监督施工人员准确计量水泥、砂、外加剂及水的用量，采用电子秤进行计量，计量偏差不得超过设计要求（水泥用量偏差不得超过 $\pm 2\%$ ）；二是搅拌控制，浆液搅拌采用机械搅拌，确保浆液搅拌均匀，无结块、沉淀等现象，搅拌完成后需在规定时间内使用（一般不超过4 h），避免浆液凝结失效；三是浆液质量检测，每批次浆液需抽样检测其密度、黏度、凝结时间等性能指标，确保符合设计要求，不合格的浆液严禁使用，需及时废弃并重新制备^[3]。

4.2 钻孔质量控制

(1) 孔位与孔斜：监理应复核开孔孔位，偏差应符合设计要求（一般不大于10 cm）。对于深孔帷幕，

应监督施工单位采用测斜仪进行孔斜测量，孔底偏差不得超过规范允许值^[4]。(2) 孔深控制：终孔孔径应满足灌浆要求，一般不小于 $\phi 56$ mm。孔深应达到设计深度，监理可通过丈量钻杆、核对岩芯等方式进行确认。(3) 孔口管镶铸：孔口管必须栽牢并待凝，以保证后续灌浆压力施加。三峡工程的经验表明，改进后的孔口管镶铸工艺（第一段灌浆完成后扫孔至段底，下入孔口管并注入浓浆，待凝3~5天后再扫孔钻进）可显著提高镶铸质量^[5]。

4.3 灌浆设备

(1) 灌浆应配备与灌浆方式、工艺、灌浆压力、浆材相适应的、能正常灌浆的设备与器材，包括高速搅拌机、普通搅拌机、灌浆泵、砂浆泵（必要时）、自动记录仪、压力表、抬动变形观测仪、灌浆管路、耐蚀阀门、孔口封闭器、孔内阻塞器、流量计、比重计、温度计、电子称、压力软管、供水管及阀门等，并有充足的备用量。(2) 孔口封闭器应具有良好的密封性能，并能使灌浆管灵活转动。(3) 抬动变形观测采用位移传感器自动记录，监测应连续进行，并设置抬动限制报警。抬动变形观测使用的千分表须有产品鉴定证书或经国家认可的计量部门率定并出具率定报告。已率定的仪表在运输、安装、使用、拆卸、保管中应采取可靠措施，严防碰撞、损坏，在使用过程中应经常校对，确保其灵敏度和准确性，在非观测期间亦应妥善保护，防止损坏。(4) 所有钻灌设备、仪器、仪表等应注意维护保养，保证其正常的工作状态，并应有充足的备用量。特别是自动记录仪等电子产品，应配备厂家或经厂家培训的专业维修人员，定期对自动记录仪进行维修、维护，以保证现场灌浆施工需要。

4.4 灌浆工序监理要点

灌浆是帷幕灌浆施工的关键工序，监理人员需实行全过程旁站监督，重点管控灌浆压力、灌浆速度、浆液浓度、灌浆顺序等参数。一是灌浆压力，严格按照设计要求控制灌浆压力，避免压力过高导致岩体裂隙扩大，或压力过低影响灌浆密实度；二是灌浆速度，控制灌浆速度均匀，避免速度过快导致浆液扩散不均，或速度过慢影响施工效率；三是浆液浓度，根据钻孔地质情况和灌浆压力，按照设计要求调整浆液浓度，确保浆液能够充分填充岩体裂隙；四是灌浆顺序，督促施工单位按照“自下而上、分段灌浆”的原则进行施工，分段长度需符合设计要求，每段灌浆完成后需进行封孔处理，确保灌浆段之间衔接紧密；五是灌浆终止标准，严格按照设计要求控制灌浆终止条件，当

灌浆压力达到设计值、浆液注入量小于规范规定值且持续一定时间后,方可终止灌浆,监理人员需核查灌浆终止条件是否达标,确认合格后签署记录^[6]。

4.5 封孔工序监理要点

封孔质量直接影响帷幕灌浆的整体防渗效果,监理人员需监督施工单位采用设计规定的封孔材料和封孔工艺进行封孔;在封孔过程中,督促施工单位分层灌注封孔材料,确保封孔密实,无空隙、无渗漏;封孔完成后,监理人员需核查封孔质量,采用钻孔检测等方式验证封孔效果,不合格的需重新封孔。

4.6 竣工验收阶段监理质量控制要点

(1) 施工资料审核。监理人员需全面审核施工单位提交的竣工资料,重点审核资料的完整性、真实性、准确性,核心资料包括:施工方案、原材料出厂合格证与检测报告、灌浆试验报告、钻孔记录、灌浆记录、封孔记录、质量检测报告等。若资料存在缺失、虚假、涂改等问题,要求施工单位补充完善、整改到位,直至资料符合要求。同时,审核施工单位提交的质量评定资料,核查各工序、各单元工程的质量评定结果,确保评定标准符合规范要求。(2) 现场质量检测监理。竣工阶段的现场质量检测是验证帷幕灌浆效果的核心手段,监理人员需监督施工单位开展现场检测,同时参与检测过程,确保检测结果真实可靠。常用的检测方法包括压水试验、钻孔取芯检测等。一是压水试验,在帷幕灌浆完成后,选取一定比例的灌浆孔进行压水试验,检测帷幕的渗透系数,渗透系数需符合设计要求(一般不大于 1×10^{-6} cm/s),监理人员需现场监督压水试验的过程,核查试验设备、试验方法、数据记录是否规范,确保试验结果准确;二是钻孔取芯检测,选取关键部位的灌浆孔进行钻孔取芯,检查灌浆结石的密实度、强度及帷幕的连续性,芯样的结石率需不低于设计要求(一般不低于 85%),监理人员需现场查看芯样,记录芯样情况,对不合格的部位,要求施工单位进行补灌处理。(3) 质量评定与验收。监理人员根据施工资料审核结果与现场检测结果,对帷幕灌浆工程质量进行综合评定,划分质量等级(合格、优良)。若工程质量符合设计与规范要求,资料齐全、检测合格,可出具监理评估报告,同意验收;若存在质量问题,要求施工单位限期整改,整改完成后重新进行检测与评定,直至验收合格。同时,参与建设单位组织的竣工验收,如实汇报监理工作情况与工程质量情况,提出验收意见。

4.7 监理控制体系构建

(1) “三检一验”制度落实。监理机构应督促施工单位严格执行“三检一验”制:机组内部班组自检、施工机组质检员二检、项目部质检员三检,合格后报监理工程师检查验收。通过细化考评,加强施工单位质检和机组人员的责任感。(2) 关键工序旁站监理。对于造孔终孔、孔口管镶铸、浆液配制、灌浆压力控制、特殊情况处理等关键工序,监理人员应采取全程旁站监督和即时检测。隐蔽工程重在过程监控,监理的“家常便饭”就是施工过程的控制。(3) 记录与档案管理。监理人员应规范工程建设质量安全资料的管理工作。灌浆施工记录、检查孔压水试验数据、质量评定表等均应完整归档,确保质量可追溯。

5 结束语

水库坝基帷幕灌浆施工监理是保障帷幕灌浆工程质量、防控坝基渗漏、确保水库大坝安全运行的关键环节。帷幕灌浆工程具有隐蔽性强、工艺复杂、受地质条件影响显著等特点,监理质量控制需贯穿施工准备、施工过程、竣工验收全流程,重点管控原材料质量、钻孔精度、浆液制备、灌浆参数、封孔质量等关键点。针对岩溶地区等复杂地质条件,应根据灌浆试验成果优化分段灌浆压力,细化特殊情况处理措施,加强抬动与变形监测。本文的研究成果可为水库坝基帷幕灌浆施工监理工作提供实践参考,但复杂地质条件(深层断层、大型溶洞等)下的监理质量控制技术仍需进一步深入研究,结合更多工程实践,不断优化监理流程与方法,构建更加完善的全流程监理质量控制体系,为水库大坝的安全稳定运行提供有力保障。

参考文献:

- [1] 刘树国,梁金松.水电站大坝帷幕补强灌浆技术在涌水孔段的改进[J].四川水力发电,2016,05(38):141-143.
- [2] 王宗强.开普太希水利枢纽帷幕灌浆施工存在问题及处理措施[J].水利规划与设计,2015(01):68-72.
- [3] 熊海滨,彭文祥,周晓明.富水水库大坝防渗加固对策研究[J].工程建设与管理,2023(18):53-58.
- [4] 王海东,李舒文.白鹤滩水电站拱坝 19 号坝段基础帷幕复合灌浆试验研究[J].湖南水利水电,2022(06):39-42,46.
- [5] 肖伟,刘烁楠,李洪斌,等.金沙水电站大坝基础帷幕灌浆设计与施工[J].水利水电快报,2022,43(03):32-36.
- [6] 朱先文,唐瑜,郜永勤.两河口水电站大坝岸坡三角区帷幕灌浆设计加强方案及效果研究[J].水电站设计,2021,37(02):13-14,20.