

水利工程中帷幕灌浆防渗施工技术应用

卢艳丰¹ 步月婷¹ 王国超²

1.内蒙古河套灌区水利发展中心总干渠分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

2.内蒙古淖尔管理咨询有限公司 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：水库、拦河坝等水工建筑物常年坐落于天然岩质地基之上，岩层缝隙、软弱夹层往往会构成地下水渗透通路，长期渗水问题极易引发坝基涌砂、不均匀沉降等结构性病害。帷幕灌浆通过钻孔灌注浆液固结松散地层，构筑完整隔水屏障，是坝基防渗治理的关键施工手段。不同区域施工现场地质条件差异明显，老旧施工模式常会造成防渗帷幕密实程度不足、抗渗指标难以满足设计要求。基于此，本文将依托水利工程中帷幕灌浆防渗施工技术的基本内容，探讨技术应用的有效策略，以期同类水利防渗工程稳定施工提供可落地的实践依据。

【关键词】：水利工程；帷幕灌浆防渗施工技术；应用

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.052

引言

帷幕灌浆施工技术高效、便捷，应用范围广泛，是水利工程防渗施工中的关键技术。通过对水利工程底部基岩进行科学的施工处理，可保证水利工程处于安全可控状态。因此，对帷幕灌浆施工技术在水利工程施工中的应用方式进行深入研究迫在眉睫。

1 水利工程中帷幕灌浆防渗施工技术分析

1.1 自上而下分段灌浆工艺

该工艺多用于山地库区风化岩坝基防渗作业，施工遵循由浅至深作业逻辑，从地基表层分段钻孔、分段封闭孔段，单段注浆凝结达标后，再向下钻进下一孔段。施工人员可结合现场裂隙张开大小、岩体破碎程度，灵活调整注浆压力与浆液配比，可有效避免高压注浆破坏原有岩体结构。该工艺适配节理繁多、岩体松散破碎的复杂岩层，施工防渗精度高，但工序间断、等待固结耗时久，整体施工进度较慢，主要用于高水头大坝深部防渗加固。

1.2 自下而上分段灌浆工艺

施工前期一次性完成全孔钻进作业，依托孔内封隔装置，从孔底逐步向上分区施压注浆，无需反复停机等待浆液固结，钻孔工序一次性完工，施工时效远优于自上而下工艺，人力机具投入成本更低。该工艺对岩体完整性要求极高，仅适合岩层坚硬、裂隙分布规整、钻进无塌孔隐患的原状基岩，多应用于平原片区小型水闸、低水头拦河坝浅层防渗，破碎软弱透水地层极易出现串浆、封隔失效问题，禁止使用该工艺。

1.3 开放式纯压灌浆工艺

属于简易浅层防渗施工工艺，施工阶段无需封堵灌浆孔

口，借助注浆泵推力直接将浆液压入土体、岩层透水缝隙，富余浆液直接从孔口自然外排。工艺配套设备简易，作业流程简单，一线施工人员可快速上手作业，施工门槛较低。受孔内压力不可控影响，浆液渗透范围随机性较强，成型防渗帷幕密实度参差不齐，承压防渗性能较差，仅适配河道边坡加固、小型塘坝浅表土层防渗，不得用于大坝核心承重防渗区段施工。

1.4 孔内循环灌浆工艺

该工艺设置独立进浆、回浆管路，新鲜浆液持续输送至孔底，混杂岩粉、沉淀杂质的老旧浆液回流搅拌桶重新调配，维持孔内浆液浓度稳定一致。因此，其可以规避浆液底部沉淀堵孔、局部灌浆不实问题，成型帷幕整体性强、抗渗耐久性能优异，适配夹粉质夹层、孔隙大小不均的复合型地基，是大中型水利枢纽主体坝基永久防渗首选工艺，长期防渗运行稳定性更强。

2 水利工程中帷幕灌浆防渗施工技术应用的有效策略

2.1 精细化地质研判，前置适配灌浆施工工艺

施工前期杜绝粗略踏勘、直接施工的作业方式，依托现场原位压水检测、岩体完整性勘量、地下水全天候监测手段，全面摸排施工区域岩层风化深度、软弱夹层分布范围、透水缝隙大小以及地下水承压强度，结合项目防渗等级、帷幕埋设深度，针对性选定灌浆施工方式，从源头规避工艺和地层不匹配导致的防渗失效问题。对于风化程度高、裂隙交错发育、钻进易塌孔的破碎岩层，选用自上而下分段灌浆作业模式，合理划定单段灌浆长度，搭配孔口稳压封堵工艺，循序渐进调控注浆压力，避免高压浆液撕裂原生岩体，额外新增渗流通道。对于岩质地坚硬、裂隙排布规整、钻进稳定性强的完整基岩，选用自下

而上分段灌浆方式,省去分段停钻固结环节,缩减施工周期,减少钻机耗材损耗。浅层土体透水防渗选用常压纯压灌浆,大中型水利主体基底永久防渗,采用双管路循环灌浆工艺,依靠孔内回浆稳压提升充填密实度,依托前置勘测实现工艺精准选型,贴合场地地质施工条件。

2.2 动态优化浆液配比,分级调控灌浆流变参数

现场摒弃一套浆液配比通用于全孔施工的固化作业模式,依据单孔实测透水数据,灵活调整水泥浆液水灰比例、改性外加剂掺量,依托现场拌合改性工艺,优化浆液初凝速度、流动渗透能力与固结结石强度,适配不同规格裂隙充填施工。针对闭合细微裂隙,调低浆液水灰比重,提升浆液细腻度,适量添加膨润土改良浆液属性,放缓初凝速度,保障浆液充分渗入微细缝隙内部固结成型。针对贯通宽大裂隙、小型岩腔夹层,调配高浓度拌合浆液,掺入级配细骨料提升结石硬度,避免浆液外流损耗、孔内灌浆空鼓。施工全程还需依托孔内回水压力微调注浆流速,遵循先稀浆后浓浆、低压匀速灌注的作业准则,规范稳压、闭浆封孔时长,杜绝快速升压破坏岩层结构,同时回收过滤孔内回流废浆二次拌合使用,保证单孔浆液浓度统一,保障整片帷幕隔水结构连续完整。

2.3 规范钻孔封孔工序,优化孔位排布密闭性施工

依托现场精准放样定位,严控灌浆孔行距、孔深垂直度,结合设计防渗宽度布设梅花式交错灌浆孔,分批划分先导孔、施工孔、验收孔施工顺序,遵循外缘先行、中部后施工、低压预灌、高压终灌的施工逻辑,降低相邻孔位串浆、压力互扰问题。钻孔环节采用湿式低速钻进工艺,严控钻孔孔径误差、孔底岩渣堆积厚度,施工完毕及时冲刷孔内积水、残留岩粉,防止杂质附着裂隙表层,降低浆液和岩体粘结强度。分段灌浆时搭配一体式橡胶封隔构件,实现单段独立密闭注浆,防止注浆压力外泄,保障注浆压力有效作用于周边岩层缝隙。单孔灌浆

达标后,采用压力置换封孔工艺密实封堵孔口空隙,消除孔顶脱空缝隙,补齐帷幕防渗薄弱点位,依托标准化钻孔、封孔施工,保障全域灌浆帷幕无缝衔接,整体隔水防渗效能达标。

2.4 落实全过程闭环管控,完善灌浆后期核验补强

建立工序报验、现场旁站、完工复检一体化闭环质量管控模式,全程留存注浆压力、浆液配比、注浆总量、闭浆时长施工数据,针对透水率超标、注浆耗量异常、串浆频发的孔段,即刻停工研判地层扰动、裂隙异变问题,优化施工参数后再开展复灌作业。灌浆结石养护周期达标后,通过分段压水试验、岩体声波探测手段,核验帷幕透水指标、内部固结完整性,针对局部防渗偏弱、充填不密实区域,采用小口径加密补灌工艺补强加固。同步优化施工区域排水导流设施,削弱外围地下水承压冲刷,减缓地下水腐蚀灌浆结石,同时管控现场施工温度,低温时段做好浆液保温拌合,防止灌浆结石开裂松散,全方位把控灌浆施工全流程质量,保障防渗帷幕长期稳定服役,满足水利工程基底防渗耐久施工要求。

3 结语

总而言之,坝基防渗是水利枢纽长久安稳运行的根本保障,帷幕灌浆工艺作为基础防渗核心手段,适配各类复杂地质工况的加固阻渗需求。现场作业时,孔位布设、分段试水、浆液调配、稳压灌注与收尾封孔等环节,都要依照地层实际情况灵活调整操作细则,以此减少地层抬动、浆液串流、局部灌注不密实等施工缺陷。后续现场施工阶段,还需结合实时监测设备细化灌注参数,归纳断层、裂隙岩层对应的处置方案,健全全流程质量管控细则。依靠精细化作业打造连续完整防渗帷幕,削减基底渗流带来的结构损伤隐患,以扎实的基础施工守住水利工程安全底线,持续发挥水利工程守护流域、惠及群众的核心效能。

参考文献:

- [1] 严润思.水利工程防渗处理中帷幕灌浆施工方法应用与实践[J].价值工程,2025,44(15):113-115.
- [2] 张利,王玉华,曹捷.帷幕灌浆施工技术在水利工程中的应用探究[J].农业开发与装备,2024,(8):127-129.
- [3] 李海荣.探究水利工程施工中帷幕灌浆技术应用[J].建筑与预算,2022,(8):58-60.