

水利水电工程施工中的灌浆施工技术解析

曾晨豪

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 四川 成都 611130

【摘要】：我国大中型水利枢纽选址常遭遇溶蚀岩层、破碎断裂带等不良地基条件，岩体缝隙渗漏、基底承载力不足是威胁水工构筑物长期稳固的常见隐患。依靠浆材压注填充空隙的灌浆工艺，是处理地基防渗与岩体补强的关键隐蔽施工手段。随着建材品类革新与现场精细化管控手段落地，灌浆作业的施工细则不断细化。本文将结合一线施工实践，区分不同灌浆工艺适用工况，梳理现场管控痛点，以期同类水利项目提质增效给出落地参考。

【关键词】：水利水电工程；施工；灌浆施工技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.098

引言

随着我国各方面不断的发展和进步,对于技术运用方面越来越关注,同时在水利水电工程建设方面也有了更加严格的标准规范,技术的改进应用为工程的顺利进行提供保障。因此,针对水利水电工程施工中的灌浆施工技术进行深入解析极为重要。

1 水利水电工程施工中的灌浆施工技术分析

1.1 帷幕灌浆技术

帷幕灌浆是水利枢纽坝基、堤防基础防渗治理的核心工艺,该技术通过专业加压设备将配制好的浆液送入地下深层岩体的裂隙通道中,固化后形成连续完整的地下防渗墙体,彻底截断地下水渗透路径。

灌浆次序	孔距(m)	灌注压力(MPa)	初始水灰比
I 序孔	3.0	2.0~2.5	5:1
II 序孔	2.0	2.5~3.2	3:1
III 序孔	2.0	3.2~4.0	2:1

上表为常规帷幕灌浆参数,随工序加密逐步缩小孔距、提升灌浆压力、收浓浆液,经实测,三序完工后地层透水率可降至 3Lu 以内,满足防渗设计指标。

该工艺多用于土石坝、混凝土重力坝的基础处理工作,尤其适用于岩溶发育、岩层分层透水的复杂地质环境。现场施工严格遵循分序加密灌注、浆液由稀至浓逐级调换、低压匀速灌注的施工准则,常规设置三序钻孔施工,孔间距离控制在 2 至 3 米。常规灌注材料选用普通硅酸盐水泥浆,针对强透水岩层可掺入适量水玻璃加速浆液凝固。深层钻孔施工压力保持在 2.0 至 4.0MPa,通过精准控压规避岩体劈裂破损,有效削减基础渗流流量,筑牢水工基础的防渗体系。

1.2 固结灌浆技术

固结灌浆主要针对浅层岩体与地基开展补强加固作业,广泛应用于坝基面、隧洞围岩、闸室基座等松散破碎地质区域,通过浆液填充岩体内部细微裂隙,粘结固化松散岩块,以此提升岩体整体完整性与承载能力。对比帷幕灌浆工艺,该技术钻孔深度更浅,常规施工深度为 5 至 15 米,灌注压力参数更低,施工压力区间稳定在 0.5 至 2.0MPa。施工现场多采用梅花式均匀布孔,保障浆液渗透均匀性,施工主材选用纯水泥浆,无需添加各类外加剂。作业过程中重点调控浆液水灰比,标准配比区间为 0.8:1 至 1.2:1,保证浆液充分渗入微小孔隙,有效优化岩体力学指标,缓解地基不均匀沉降问题,为上部水工结构提供稳固的受力支撑。

1.3 回填灌浆技术

回填灌浆属于工程补缺类专项施工工艺,主要用于处理水工结构施工过程中产生的各类空腔与缝隙,常见应用场景包含隧洞衬砌背部空隙、坝体混凝土浇筑空洞、围岩超挖遗留空腔等。水利工程开挖与混凝土浇筑施工阶段,极易因施工偏差、岩体形变产生结构空隙,若未及时处置,会造成结构空鼓、受力失衡、局部渗水等质量缺陷。该工艺流程简便、靶向性极强,钻孔点位严格对应空腔分布范围,采用 0.3 至 0.8MPa 低压灌注模式,避免高压荷载损伤已成型的构筑物结构。施工浆液选用水泥混合砂浆,借助粗骨料提升填充密实度,以空腔完全填满、孔口溢浆无气泡为封孔标准,彻底消除结构空隙,实现衬砌、岩体与坝体的紧密结合。

1.4 接缝灌浆技术

接缝灌浆专项应用于大体积混凝土坝体施工,主要解决混凝土分层分块浇筑形成的施工缝、温度伸缩缝带来的结构缺陷,改善坝体接缝渗水、连接松散、整体刚度不足的问题。大体积水工混凝土在固化过程中,受环境温差、自身收缩形变影

响,接缝位置易产生细微缝隙,直接破坏坝体的防渗性能与整体受力体系。该工艺需待混凝土结构完成自然冷却、收缩稳定后施工,通常在坝体浇筑完工3至6个月后进场作业。施工采用分区分块独立灌注方式,作业压力维持在0.2至0.5MPa,搭配高流动性水泥浆材,确保浆液能够顺畅渗入狭窄接缝缝隙。施工全程动态监测接缝开合度与浆液填充饱和度,灌注达标后封闭所有排气孔与灌浆孔,让分段浇筑的坝体整合为完整的整体受力结构。

1.5 高压喷射灌浆技术

高压喷射灌浆是适配软土地基改造的现代化高效施工技术,有效弥补了传统静压灌浆渗透范围有限、软基处理效果差的短板。其施工原理为借助超高压射流的冲击切割作用力,破碎扰动原有土体结构,同时将浆液与原土体充分拌合,固化成型后形成高强度、高密实度的固结结构体。该工艺适配淤泥、粉土、砂土等各类软弱土层,可现场浇筑成型防渗墙体与地基加固桩体。施工分为旋喷、摆喷、定喷三种作业形式,可分别成型柱状、扇状、板状固结结构,作业压力最高可达20至40MPa。

作业形式	喷射压力(MPa)	水灰比	成型结构
旋喷	20~30	1.2:1~1.5:1	柱状桩体
摆喷	25~35	1.0:1~1.2:1	扇状墙体
定喷	30~40	0.8:1~1.0:1	板状防渗墙

上表为高压喷射灌浆核心施工参数,随作业形式调整压力与配比,成型固结体渗透系数可降至 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 内,满足水利工程防渗加固设计要求。

相较于传统灌浆方式,该工艺钻孔工程量小、施工效率高,成型固结体强度均匀、防渗性能优异,现阶段已广泛应用于河道治理、软基改良、基坑防渗支护等各类水利配套工程。

2 水利水电工程施工中灌浆施工技术的应用策略

2.1 贴合现场工况,科学匹配灌浆工艺

不同类型的灌浆技术,在作用原理、施工指标、适用场景

层面各有侧重,不存在万能通用的施工工艺。正式施工前,工作人员需完成全方位的场地地质勘查工作,精准研判现场岩体破碎程度、裂隙发育规模、土层透水特性等关键指标,对照工程防渗、结构加固的设计标准,针对性选配适配的灌浆技术。根据工程不同部位的施工需求差异化选型,通过精准匹配施工工艺,适配各类复杂地质与施工场景,有效规避工艺选用不当引发的结构隐患,从源头保障灌浆施工的基础质量。

2.2 细化施工标准,落实全过程精细管控

灌浆施工对灌浆压力、浆液配比、灌注次序等核心指标敏感度极高,参数的细微偏差,都会直接改变浆液固结效果,影响水工结构的整体完整性。施工过程中需摒弃传统固化、照搬模板的粗放施工模式,结合现场实时地质变化动态调整施工参数,严格遵循浆液由稀转浓、钻孔分序加密灌注的施工准则,依据岩层透水状态灵活调控灌浆压力,避免压力超标造成岩体破损、压力不足导致浆液渗透不到位等问题。同时,还需规范钻孔、清孔、注浆、封孔全流程作业,做好施工动态监测与数据记录,及时修正施工偏差,确保浆液充分填充岩体空隙,全面提升地基与围岩的防渗能力和结构强度。

2.3 优化施工方案,构建质量闭环管控体系

水利工程地下隐蔽地质问题繁杂,一次性灌浆施工难以完全消除所有结构缺陷。在大面积灌浆作业完工后,需依托专业检测技术全面排查施工薄弱区域,精准检测岩体固结状态与整体防渗性能,针对局部浆液填充不饱满、细微裂隙未彻底封堵的区域,定制专项补强灌浆施工方案。同时,需结合区域水文季节波动、土体自然形变等客观因素,持续优化施工方案与作业标准,削弱外部环境对灌浆成型质量的干扰。通过施工后复检、动态优化调整、针对性补强修复的闭环管理模式,彻底处置各类隐蔽质量隐患,保障水工构筑物长期平稳运行。

总而言之,地基灌浆是水利水电项目隐蔽施工里的关键环节,施工细节把控好坏,深刻影响水工构筑物服役稳定性。未来,还需结合不同场区地质实况,持续改良用料调配与现场注浆管控办法,依托实地施工积累修订作业规程,靠工艺打磨夯实工程本体,助推水利基建实现稳固长效、节约降耗的落地建设。

参考文献:

- [1] 刘广泽.水利水电工程施工中的灌浆技术研究[J].科技资讯,2026,24(5):129-131.
- [2] 欧阳将梁.灌浆施工技术在水利水电工程施工中的应用[J].建材发展导向,2026,24(4):58-60.
- [3] 陈升.水利水电工程施工中的灌浆施工技术[J].人民珠江,2025,46(S2):52-54.