

水利工程灌浆施工参数控制与效果检测方法

熊亮

新疆天业节水灌溉股份有限公司 新疆 石河子 832000

【摘要】：针对水利工程灌浆施工质量管控需求，围绕施工参数、作业工序与效果检测开展系统性研究。研究确立成套参数控制标准，规范各环节施工工序与作业要求，综合运用多种检测技术完成施工质量评定。实测数据反映灌浆作业有效改善岩体物理性能，结构状态保持稳定。本次形成的参数体系、工序管控模式与检测手段具备较强实用性，能够为水利行业同类灌浆工程的施工与质量验收提供技术借鉴。

【关键词】：固结灌浆；参数控制；工序管控；质量检测

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.099

灌浆是水利工程地基处理的核心工艺，直接影响坝基整体稳定性与防渗能力。作为隐蔽工程，灌浆施工易受地质条件、操作流程、技术参数等多重因素影响，施工质量把控难度较大。现阶段行业内虽具备常规施工与检测方法，但针对参数精细化管理、工序标准化执行仍存在优化空间。基于工程实践需求，结合现场试验成果，系统梳理灌浆参数控制要求、工序管控要点及质量检测技术，进一步明确各环节实操规范，对提升灌浆施工标准化水平、保障工程运行安全具有实际意义。

1 灌浆施工参数控制标准

灌浆施工参数控制标准是保障坝基固结灌浆成型质量的核心技术依据，整套数值指标结合岩体地质特性与工程运行需求统一设定。现场布孔执行梅花形排布形式，孔排距固定为3m，灌浆孔深入基岩深度保持8m，成孔后孔向与孔深的偏差严格限定在10cm以内，每根灌浆孔内布置直径28mm钢筋构件，整体长度9m并保证1m区段嵌入混凝土基础内部。灌浆所用胶凝材料选用高抗硫酸盐42.5级散装水泥，浆液配比遵循由稀至浓的转换原则，初始水灰比采用2:1，中间阶段调整为1:1，终灌阶段统一使用0.6:1。灌浆压力按照孔序划分梯度管控，I序孔最大工作压力控制在0.3MPa，II序孔最大工作压力控制在0.4MPa，配套压水试验压力上限设置为0.32MPa。灌浆终止以压力与注入率双重指标界定，达到额定压力后注入率稳定在1.0L/min以内，持续稳压灌注30min方可结束作业。该套参数体系依托现场试验验证优化而成，适配泥质粉砂岩与粉砂质泥岩地层的灌浆需求，可为同类坝基、消力池固结灌浆工程提供可复用的参数参照体系。

2 灌浆施工工序管控方式

2.1 前期造孔作业管控

造孔作业依托XY-2PC型地质钻机开展施工，针对地层中岩体松软、结构破碎的区域，配套采用单动双管钻具实施取芯

作业，减少钻进扰动对围岩的破坏，保障孔壁完整与岩芯采集质量。现场遵循跳孔跳排、由远及近的整体施工思路，按照分排分序逐步加密的原则安排造孔顺序，优先完成物探孔与抬动观测孔的钻进施工，再依次开展灌浆孔作业^[1]。全区域分为I序孔与II序孔两大批次，同一序别钻孔按区段依次完成钻进，不同序别钻孔错开施工时间，避免施工扰动相互干扰。造孔全过程持续监测孔位形态，严格把控钻孔轨迹与空间姿态，以此保障后续灌浆通道规整顺畅。这套兼顾设备选型与时序规划的造孔组织模式，可作为同类软岩地层钻孔施工的实操范本。

2.2 孔道清理作业管控

钻孔施工全部完成后随即开展孔道与岩体裂隙的冲洗作业，冲洗水压设定为对应区段灌浆压力的八成，当计算所得水压数值超过1MPa时，统一将冲洗压力控制在1MPa。高压水流持续冲刷孔壁表面附着的岩粉、碎屑以及裂隙内部充填的松散物质，彻底清除钻孔及缝隙内的各类杂质，作业持续至孔内回水完全清澈、无悬浮浆尘为止。裂隙与孔道的联合清理能够充分打通岩体内部渗流通道，消除浆液流动阻碍，为浆液均匀渗透扩散创造良好基础条件。标准化的冲洗工艺可有效规避杂物堵塞裂隙、浆液流通受阻、填充不密实等施工问题，整套成熟稳定的作业规范流程，对各类水利工程坝基孔道清理工序均具备普遍参考与推广作用。

2.3 分段灌浆作业管控

灌浆施工采用孔口封闭、孔内循环的作业形式，遵循自上而下的分段灌注原则实施施工。同一序别钻孔按照分段顺序逐段完成灌注，单序所有孔位的同一灌浆段施工结束后，再推进下一孔段作业，整批I序孔各段施工完毕后方可启动II序孔施工。结合岩体结构特征合理划分灌注区段，浆液在孔内保持稳定的循环流动状态，让浆液与岩体裂隙实现充分接触结合。分层分段的灌注形式能够适配不同深度岩体的受力条件与渗透特性，减少浆液流失与分布不均等情况，有效提升浆液填充的

饱满度与均匀性^[2]。这套分段作业工艺经过现场试验全面验证,运行状态稳定可靠,可为消力池及坝基类固结灌浆工程提供成熟、可落地的工序执行依据。见图1。

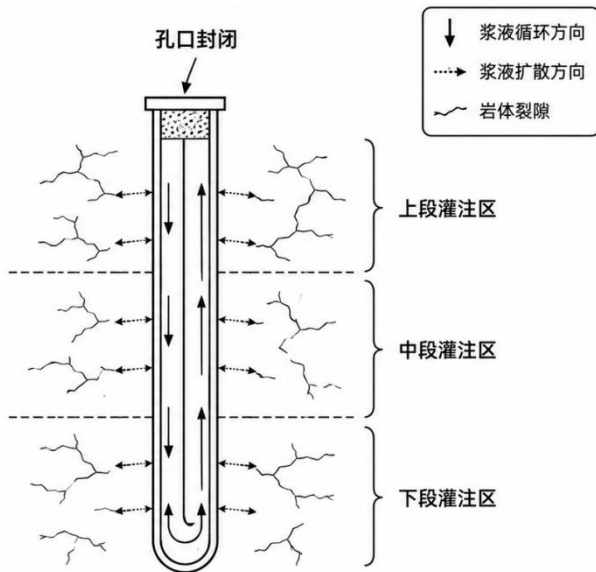


图1 孔口封闭孔内循环分段灌浆工艺示意图

3 灌浆施工效果检测技术

3.1 岩体波速物探检测

岩体波速物探检测依托专用声波探测设备开展作业,检测孔严格遵循既定钻孔精度要求控制偏斜量,避免孔位偏差影响信号传输效果,灌浆前后的探测工作统一使用同一套仪器设备完成布设与数据采集。探测过程中保持发射点位与接收点位在同一高程位置布设,最大程度降低外界干扰,保障两组检测数据具备可靠的横向对比条件。试验区整体岩体灌前纵波速度平均值稳定在2000m/s,完成灌浆作业后岩体纵波速度平均值提升至2150m/s,整体增幅达到7.5%。不同检测孔的波速提升幅度存在差异化表现,单孔波速提升区间介于3.9%至11.8%之间。该类物探检测方式能够直观反映岩体内部密实状态变化,精准评判灌浆加固成效,形成的检测流程与完整数据体系可为同类岩体完整性检测工作提供实用的技术参照。

参考文献:

- [1] 瞿刚修,蒋伟林,聂鼎.新集水库坝基消力池固结灌浆试验研究[J].水利水电技术(中英文),2025,56(S1):309-313.
- [2] 吕晓东,谢安,召坤,等.大中型水利工程灌浆试验的重要性和必要性研究[J].水利水电技术(中英文),2025,56(S2):225-229.
- [3] 陈爽爽,魏仁新,凌巍,等.综合物探技术在银江水电站灌浆工程质量评价中的应用[J].四川水力发电,2025,44(1):41-45+78.

3.2 岩体透水率检测

岩体透水率检测采用单点法压水试验模式开展实施,检测孔选取全孔段作为试验区,试验深度按照灌浆孔深度的八成执行。试验施加压力设定为固结灌浆设计压力的八成,设备保持持续稳压状态,每间隔五分钟完成一次流量数值读取^[3]。连续四次流量读数的差值小于最终读数百分之十或单分钟流量低于1L/min时,便可终止试验并核算透水率指标。试验区岩体灌前平均透水率为31.88Lu,灌浆完成后平均透水率降至12.96Lu,各检测孔透水率均出现明显回落,直观体现出岩体防渗能力的改善效果。整套试验操作流程量化标准清晰、执行逻辑严谨,能够精准判定地基处理效果,可作为坝基岩体防渗性能检测的标准化实施范式。

3.3 结构抬动变形检测

结构抬动变形检测配套专用千分表与ATT8000F智能全自动灌浆记录仪完成全程监测,监测装置按照标准结构形式完成现场布设,设备安装完成后逐一校验精度,确保采集数据真实有效,对消力池混凝土底板形变状态进行不间断采集记录。工程设定混凝土结构允许抬动变形阈值为200 μ m,监测范围完整覆盖I序孔与II序孔全部施工环节,现场施工阶段最大作业压力达到0.4MPa。全程采集的监测数据显示试验区底板未产生形变位移,抬动变形数值始终保持为0mm,结构整体处于安全稳定状态。该监测体系适配带有混凝土盖重的固结灌浆各类施工场景,规范的监测装置布设方式与连续化数据采集模式,能够为大压力灌浆工况下的结构安全监测提供成熟、可借鉴的完整技术参考。

4 结语

灌浆施工的参数把控、工序管理与质量检测,是保障水利地基处理成效的关键环节。合理的技术参数能够适配岩体自身特性,标准化的作业流程可规避现场施工偏差,多元化检测手段则可精准评判施工实效。依托现场试验形成的整套技术体系,实现了施工全过程的闭环管控,有效改善地基岩体密实度与防渗性能。相关技术要点贴合现场施工实际,可为同类地基灌浆项目建立统一作业依据,推动水利灌浆施工朝着规范化、精细化方向发展。