

水利水电工程施工中的灌浆施工技术

冯 浩

镇江市水利建筑工程有限公司 江苏 镇江 212100

摘 要：水利水电工程中灌浆技术是保障水工结构稳固与防渗性能的关键工艺。本文围绕灌浆施工的类型划分、前期筹备、完整工艺流程、专项技术管控及施工问题处置等维度展开系统阐述。灌浆作业涵盖帷幕、固结、回填、接缝及化学灌浆等多种形式，施工全过程需严格管控钻孔精度、浆液配比、灌浆压力及封孔质量。针对钻孔塌孔、灌浆冒浆串浆等常见问题，提出了相应的处置工艺。施工收尾阶段落实场地清理与灌浆体养护措施，保障结构体充分固结，为水工建筑物长期稳定运行提供技术支撑。

关键词：水利水电工程；灌浆施工；帷幕灌浆；质量管控；工艺流程

引言：水利水电工程建设中，岩体与土体的防添加固一直是施工技术的重中之重。灌浆施工凭借对裂隙、空腔及软弱夹层的有效填充与胶结，成为水工结构处理中不可替代的核心手段。不同地质条件下，灌浆类型、浆料配比及施工工艺存在显著差异，对操作规范性与过程管控提出了较高要求。系统梳理灌浆施工各环节的技术要点与管控措施，有助于提升施工质量，减少作业风险，推动水利水电工程建设水平持续提升。

1 灌浆施工类型与前期准备

1.1 灌浆施工主要类型

水利水电工程灌浆施工体系可依据施工功能完成类别划分，防渗灌浆多用于水工结构透水通道的封堵处理，固结灌浆侧重岩体与土体结构的整体性强化，回填灌浆应用于结构空腔与空隙的填充处置，接缝灌浆针对建筑结构拼接缝隙开展填充作业，帷幕灌浆可形成连续防渗结构以阻隔水体渗透^[1]。施工所用浆料的材质差异可作为第二分类依据，水泥灌浆依托水泥基材适配多数常规岩体灌浆作业，水泥黏土灌浆通过复合基材适配松软地层施工场景，化学灌浆凭借特种浆料适配细微裂隙填充施工，水泥砂浆灌浆凭借高强度填充特性适配大空隙结构处理。施工施加的压力强度同样可作为分类标准，低压灌浆适用于浅层、松软土体的常规填充作业，中压灌浆适配中层岩体及普通裂隙的加固施工，高压灌浆可作用于深层致密岩层，实现裂隙劈裂与深度填充处理。

1.2 施工现场筹备

灌浆作业正式开展前需完成作业区域的系统化场地处置，全面清除施工范围内的杂物、浮土及冗余覆盖层，对凹凸不平的作业基面进行平整压实处理，保障作业场地的平整度与稳固性。结合整体施工动线规划布设专属施工通道，保障各类施工机具与物料的顺畅转运。

根据场地汇水与渗水特点搭建完整排水体系，疏导作业区域积水，规避积水堆积对施工工序造成干扰。结合施工工期与作业需求搭建各类临时配套设施，为后续机具存放、物料堆放及现场作业提供基础场地保障。

1.3 设备与材料筹备

依据灌浆施工工序需求配齐全套施工机具，完成钻孔设备、灌浆设备、搅拌设备及各类辅助机具的现场组装工作，对设备运行状态进行全方位调试，排查机具运行隐患，落实常态化检修工作，保障各类设备可维持稳定运行状态。严格筛选符合施工标准的各类原材料，划分专属区域完成物料存放布置，做好物料防潮、防尘、防变质的防护处理。结合地层工况与施工工艺要求规划浆料配比方案，细化各类基材的取用标准，为后续浆料制备作业奠定基础。

1.4 施工测量布设

依托工程施工基准体系开展精准测量放线作业，精准标定各个灌浆孔的布设位置，保证孔位布设贴合整体施工布局。结合岩层埋深与结构设计要求把控钻孔深度与倾斜角度，规范钻孔施工的空间参数。布设稳固可靠的施工基准点位，为全程钻孔、灌浆作业提供精准的测量参照，保障整体施工工序的精准度与规范性。

2 灌浆施工完整工艺流程

2.1 钻孔施工工序

钻孔作业是灌浆施工的前置核心工序，作业人员依照现场测量标定的点位完成精准对位开孔，保障开孔位置贴合工程布设标准。钻进作业采取分层推进的施工模式，根据地层结构变化调整钻进节奏，弱化硬质岩层与松散土层带来的施工干扰^[2]。钻进作业全程做好孔壁维护工作，及时开展孔壁修孔作业，修整孔壁存在的凹凸结构与松散岩体，保持孔壁整体完整规整。钻进作业达

到预设深度后开展终孔规整处理,清理孔口周边松散渣土,规整孔洞整体形态,消除孔洞内部的结构缺陷,为后续孔道处理与灌浆作业创造良好施工条件。

2.2 孔道预处理工序

钻孔施工完成后需对孔道开展系统化预处理作业,清除孔洞内部残留的渣土与岩屑。高压水洗孔利用高压水流冲击孔道内壁,冲刷附着于孔壁的松散杂质与细微岩粉。水汽联合洗孔结合气流与水流的冲刷优势,深度清理孔洞深层滞留的细小杂物。多次清理作业完成后彻底肃清孔内残留杂物,保障孔道内部洁净度。压水预处理通过向孔道内输送水体,浸润孔道周边岩体,细化掌握孔道透水状态,为后续浆液灌注适配提供基础依据,提升浆液与岩体的结合程度。

2.3 浆液制备工序

浆液制备质量直接决定灌浆施工整体质量,施工过程严格遵循标准化投料顺序,按照基材特性依次投放各类施工原料,规避原料混杂引发的浆液性能偏差。严格把控设备搅拌时长,根据施工工况适配搅拌周期,保障各类原料充分融合。动态调控浆液整体均匀度,杜绝浆液出现分层、沉淀等不良状态。实时监测浆液储存与制备环境的温度状态,依托环境条件微调施工参数,精准把控浆液稠度指标,让浆液性能适配现场灌浆施工的实际需求,维持浆液灌注的稳定性。

2.4 主体灌浆工序

主体灌浆作业依照标准化施工流程有序推进,大面积或深层孔洞采取分段灌浆作业模式,逐层完成灌注施工,保障浆液填充饱满均匀。施工可依据岩层结构特性选用对应的灌注方式,竖向纵深孔洞可采用自上而下的灌注模式,浅层裂隙孔洞可采用自下而上的灌注模式。纯压式灌浆依靠压力设备持续推送浆液,适用于裂隙较为封闭的岩体结构。循环式灌浆通过浆液循环流动完成持续灌注,适配透水性能较强的岩层结构。

2.5 封孔收尾工序

灌浆灌注作业结束后进入封孔收尾阶段,先对孔口位置开展预处理作业,清理孔口残留的多余浆液与杂物,修整孔口不规整结构。选用适配的封堵材料匀速填充孔洞上部空余位置,保障填充物料填充充实、无空隙缺陷^[3]。材料填充完成后开展孔口压实抹平作业,规整孔口表层结构,保持孔口位置平整顺滑,提升封孔结构的稳定性与完整性,完成灌浆施工全部流程作业。

3 专项灌浆技术与施工过程管控

3.1 各类专项灌浆施工技术

帷幕灌浆作业依托科学的孔序布设方式开展施工,

合理排布钻孔施工顺序,保障防渗结构的整体连续性。施工全程采用分段施工模式,根据地层深度特性划分施工段落,逐级完成灌浆作业。结合地层裂隙发育状态调整浆液规格,适配不同岩层的填充施工需求。全程把控孔内灌浆作业状态,维持灌浆作业的连贯推进,杜绝施工中引发的结构缺陷。固结灌浆聚焦浅层岩体加固作业,规范浅孔钻进的施工标准,稳定钻进节奏与施工精度。采用低压慢速的施工方式开展灌注作业,降低压力冲击对浅层岩体的破坏作用。针对岩体局部发育的裂隙区域开展针对性补灌作业,完善岩体内部填充结构。回填灌浆施工前对结构空腔进行全面预处理,彻底清除空腔内部杂物与松散介质。按照分层填充的施工方式逐层灌注浆液,提升空腔填充的密实程度。针对施工过程中出现的空洞区域开展专项补灌管控,消除结构内部空腔隐患。接缝灌浆施工前期充分疏通各类结构接缝,清理缝隙内部淤积杂质与残留浆液。依据结构接缝分布特征划分施工区域,分区域推进灌浆作业。严格把控缝隙填充状态,保障结构缝隙可以得到充分填充。

3.2 钻孔施工过程管控

钻孔施工开展期间落实全方位精度管控措施,实时监测钻孔布设位置,及时修正施工偏差,保障孔位布设符合工程设计标准。严格把控钻孔深度与孔径尺寸,依照施工设计参数规范钻进施工尺度。持续校正钻孔施工角度,维持良好的钻孔垂直度,规避偏孔问题影响后续灌浆作业。结合不同地层的岩性特征调整钻进方式,优化钻进施工工艺,适配软硬岩层、破碎岩层等不同地质条件的钻进施工需求,保障钻孔作业平稳推进。

3.3 浆液制备过程管控

浆液制备作业严格把控各类原料的投放计量,精准控制各类基材投放量,保障原料配比的标准程度。持续优化搅拌施工工艺,维护浆液成型后的稳定流动性,规避浆液出现絮凝、沉淀等不良状态。遵循随拌随用的施工原则开展浆液制备,合理规划浆液制备总量,控制浆液存放时长,避免浆液静置过久出现性能衰减,保障投入施工的浆液均可维持良好工作性能。

3.4 灌浆动态施工管控

灌浆作业推进过程中平稳调控灌浆压力,保持压力输出状态稳定,避免压力波动过大影响填充质量。匀速把控灌浆速率,让浆液可以缓慢均匀渗入岩体裂隙内部。结合现场施工工况动态调整浆液稠度,适配不同宽度裂隙的填充施工需求。施工过程中实时监测孔道状态,针对串孔、冒孔等常见施工异常制定对应的应急处置方案,及时干预现场施工问题,阻断异常工况扩散,

保障灌浆施工工序可以有序稳定推进。

4 施工问题处理与收尾养护工艺

4.1 钻孔施工常见问题处理工艺

钻孔作业推进过程中易受复杂地质条件影响产生各类施工隐患,需配套成熟的处置工艺保障作业推进^[4]。塌孔问题多发于松散破碎岩层与土质地层,可通过适配性固壁工艺稳固孔壁结构,对坍塌区域进行回填修整后重新开展钻进作业。偏孔问题多由地层受力不均、机具摆放偏移引发,通过实时检测钻孔倾斜状态,采用定向纠偏工艺调整钻进轨迹,修正孔洞成型形态,保障钻孔轴线贴合设计标准。钻进作业遭遇硬质岩体或碎石夹层时容易出现卡钻现象,低速回转机具逐步松解卡阻结构,平稳脱出钻具。埋钻故障出现后需依托机具提拉与岩层松解相结合的方式开展处理,规避硬性操作造成机具损坏与孔洞二次破坏。

4.2 灌浆施工常见问题处理工艺

灌浆作业开展阶段需针对性处置各类施工异常状况,保障灌浆填充质量达标。冒浆漏浆现象出现后,快速定位浆液外泄点位,采用封堵填料压实外泄区域,封闭岩体表层缝隙与结构空隙,阻断浆液外泄通道。岩层裂隙贯通易引发串浆问题,暂停对应孔位灌注作业,对串浆孔道进行封堵隔离,待单孔灌注工况稳定后再恢复施工。浆液储存与输送过程中易出现离析沉淀现象,通过二次搅拌扰动浆液结构,重塑浆液均匀状态,调整搅拌参数适配现场静置环境。灌浆作业遭遇突发工况引发施工中断时,第一时间关停灌注设备并封闭孔口,清理孔内残留浆液,排查施工故障诱因,完成现场隐患整改后,依托适配工艺接续开展灌浆作业。

4.3 施工现场收尾清理

灌浆全工序施工结束后启动现场收尾清理工作,规整整体作业场地环境。全面清扫作业区域内产生的碎石废渣、废弃浆料与各类施工垃圾,分类归集各类废料并转运至指定堆放区域。对投入使用的钻孔设备、灌浆设备与搅拌设备进行全面清洗,清除设备表面附着的凝固浆料与杂质,完成设备零部件规整收纳,按照机具养护标准存放设备。细致修整所有灌浆孔口周边区域,抚平

表层残留浆料,清理孔口杂物,规整场地表层平整度,消除施工遗留的场地缺陷。

4.4 灌浆体养护施工工艺

灌浆体浇筑完成后,能否充分固结硬化,很大程度上取决于养护环节是否到位。施工现场应根据灌浆体所处的地层条件与气候特征,合理调控作业区域的温度与湿度,防止高温暴晒或剧烈温差对浆液凝固过程产生不利干扰。养护期间需在灌浆结构表面覆盖保湿材料,保持表层持续湿润,避免浆液因失水过快而产生干缩裂缝^[5]。养护时长应视浆液品种与工程实际需要灵活设定,切不可过早或过晚解除养护状态。现场安排专人定期巡查,发现表层干燥或覆盖层破损时及时补做,确保灌浆体在适宜的环境中逐步达到设计强度,从而真正发挥加固与防渗作用。

结束语

灌浆施工作为水利水电工程中不可或缺的基础性工序,其技术水平与管理精度对工程整体质量具有决定性影响。从钻孔、洗孔、制浆到灌注、封孔,各环节紧密衔接,任何一道工序的疏漏均可能削弱灌浆体的防渗效果与结构强度。施工过程中针对塌孔、冒浆、串浆等常见问题所采取的应急处置手段,以及灌浆体养护阶段的温湿度调控措施,均是保障施工成效的重要支撑。唯有将技术规范贯穿于施工全过程,方能切实提升水工结构的安全性与耐久性。

参考文献

- [1]王丽艳.水利水电工程施工中的灌浆施工技术解析[J].农业灾害研究,2026,16(3):148-150.
- [2]谭敏枚,夏德志.水利水电工程施工中的灌浆施工技术[J].模型世界,2025(6):231-233.
- [3]王国春.水利水电工程施工中的灌浆施工技术[J].中国科技纵横,2025(15):138-140.
- [4]郭恒.水利水电工程施工中的灌浆施工技术要点探讨[J].建筑·建材·装饰,2025(19):67-69.
- [5]肖蓓.水利水电工程施工中的灌浆施工技术研究[J].建筑与施工,2025,4(23):142-144.