

水利水电工程灌浆施工策略分析

孟令莉 王 婷 方二超

灌南县水利局 江苏 连云港 223500

摘要：灌浆施工在水利水电工程中至关重要，关乎基础加固、防渗处理及结构修复。其主要类型包括帷幕、固结、接缝灌浆，各有技术特点与适用场景。施工关键控制要素涵盖材料配比、工艺参数调控及工序衔接。质量保障策略包括构建全过程质量控制体系，针对渗漏量大等特殊情况制定应对策略，并通过钻孔取芯、压水试验、声波测试等多种方式检验评估，确保灌浆效果达标。

关键词：水利水电工程；灌浆施工；施工策略；分析

引言：在水利水电工程建设中，灌浆施工是保障工程结构稳定与功能正常发挥的核心技术手段。其不仅能有效加固复杂地质条件下的地基，提升岩体整体性与力学强度，还能构建防渗帷幕，处理结构裂缝，延长工程使用寿命。然而，灌浆施工涉及材料配比、工艺参数调控、工序衔接等多方面关键要素，且常面临渗漏量大、吃浆不明显等特殊工况。因此，构建全过程质量控制体系、制定特殊情况应对策略、开展科学质量检验与效果评估，对于确保灌浆施工质量至关重要。

1 灌浆施工在水利水电工程中的重要性

灌浆技术作为一项关键工程手段，其核心原理是通过精准钻孔，将特定配比的浆液注入岩土体或结构裂隙之中，以此显著改善目标区域的物理力学性能。在水利水电工程这一复杂且对安全性要求极高的领域，灌浆施工扮演着不可或缺的角色，承担着基础加固、防渗处理以及裂缝修补等多重关键功能。（1）在基础加固方面，水利水电工程往往面临着复杂多变的地质条件，部分区域地基承载力薄弱、抗变形能力差，难以满足工程建筑物长期稳定运行的需求。灌浆施工能够精准地向地基中注入浆液，有效填充地基内部的孔隙和软弱夹层，使地基土体更加密实。这一过程显著提高了地基的承载能力，增强了其抗变形性能，为工程建筑物构筑起坚实可靠的基础支撑，确保其在长期运行过程中不会出现过量沉降或变形，保障工程的稳定性与安全性。（2）防渗处理同样是灌浆施工的重要使命。岩体中广泛存在的裂隙成为地下水渗透的通道，若不加加以有效处理，极易引发渗漏问题，对工程安全构成严重威胁。灌浆施工通过降低岩体的渗透性，在地下构建起一道连续且致密的防渗帷幕，有效阻隔地下水的渗透路径，降低渗透压力，为工程建筑物的安全稳定运行提供坚实保障。（3）在水利水电工程中，混凝土结构可能因各种因素出现裂缝，影响结构的整体性与耐久性。灌浆施工能够

向裂缝中注入合适的浆液，填充裂缝空间，恢复混凝土结构的整体性，增强其耐久性，延长工程的使用寿命。总之，灌浆施工质量的好坏，直接关乎大坝、隧洞、边坡等关键建筑物的安全运行，是确保水利水电工程结构稳定、功能正常发挥的核心技术措施，在工程中具有举足轻重的地位^[1]。

2 灌浆施工的主要类型与技术特点

2.1 帷幕灌浆技术

帷幕灌浆是水利水电工程中一项关键的防渗处理技术，其核心目的是在坝基或围岩中精心构建一道或多道连续且致密的防渗幕体，以此有效阻隔地下水的渗透，保障工程安全。（1）在施工工艺上，它采用分段钻孔、循环灌浆的方式。灌浆孔的布置并非随意，通常依据工程实际需求，按直线或弧形精准排列，同时严格遵循分序加密原则，先施工疏孔，再逐步加密，确保灌浆的均匀性和完整性。灌浆过程中，压力控制十分关键，需由低到高逐步提升，避免因压力突变对岩体造成破坏。浆液浓度也并非一成不变，而是遵循由稀到浓的调整原则，先注入稀浆，使浆液能够充分扩散、填充细小裂隙，再逐步增加浆液浓度，提高防渗效果。（2）该技术尤其适用于基岩裂隙发育区的深层防渗处理，凭借其防渗效果持久、对不同地质条件适应性强等显著优势，在众多水利水电工程中得到了广泛应用^[2]。

2.2 固结灌浆技术

固结灌浆作为水利水电工程中提升岩体性能的关键技术，核心目标在于显著提高岩体的整体性与力学强度，为工程结构的稳定奠定坚实基础。（1）在施工方式上，它采用网格状布孔结合低压灌浆的形式。其技术特点鲜明：孔距设置相对较小，这是为了确保浆液能够更全面、细致地覆盖目标区域，有效填充岩体中的孔隙与裂隙；灌浆压力处于相对较低的水平，避免因压力过大

对原本就较为破碎的岩体造成二次破坏。同时，对浆液流动性要求颇高，只有流动性良好的浆液，才能在低压条件下充分渗透到岩体的细微结构中，达到理想的加固效果。施工顺序严格遵循环向分序、逐步加密的原则，先进行环向的初步灌浆，再逐步加密，使加固效果层层递进。（2）该技术主要应用于改善破碎岩体、混凝土与基岩接触带等部位的整体性，能有效增强地基的承载能力，提升其抗变形性能，保障水利水电工程在复杂地质条件下的安全稳定运行。

2.3 接缝灌浆技术

接缝灌浆技术主要应用于混凝土坝体纵缝、横缝等结构接缝的密封处理，以满足大坝在复杂运行环境下的结构安全需求，有着特殊且严谨的工艺要求。在技术实施层面，需预埋设灌浆管路系统，该系统为浆液的精准输送搭建了可靠通道，确保浆液能准确到达接缝部位。采用重复式灌浆方法，依据接缝的实际情况和浆液的填充效果，多次进行灌浆作业，以此保障接缝填充的密实程度。灌浆压力的控制是关键环节，必须精确把控，压力过小，浆液无法充分渗透填充接缝；压力过大，则可能对坝体结构造成不可逆的损伤，影响大坝的整体稳定性。同时，对浆液的流动性与稳定性有着严格要求，良好的流动性保证浆液顺利流入接缝的细微之处，稳定的性能则确保浆液在填充后不会出现离析、沉淀等不良现象。该技术对保证大坝整体性和应力传递意义重大，是混凝土坝施工中的关键工序。

3 灌浆施工过程中的关键控制要素

3.1 材料配比与性能控制

在灌浆施工过程中，灌浆材料的性能对最终的灌浆效果起着决定性作用。不同类型的灌浆材料，其需要严格控制的性能参数各有侧重。（1）对于水泥基浆液而言，水灰比是关键指标之一，它直接影响浆液的流动性和强度。水灰比过大，浆液流动性虽好，但强度会降低；水灰比过小，浆液过于干稠，难以顺利注入岩体或结构裂隙。同时，还需严格控制粘度、稳定性及凝结时间等参数。粘度影响浆液的扩散范围，稳定性关乎浆液在储存和灌注过程中是否会出现分层、沉淀等现象，凝结时间则决定了施工的节奏和效率。（2）化学浆液则应重点关注其渗透性、固化强度及耐久性。良好的渗透性可使化学浆液深入到细微的裂隙中，达到更好的加固和防渗效果；固化强度决定了灌浆后结构的承载能力；耐久性则确保在长期的使用过程中，灌浆部位不会因环境因素而失效。（3）要通过系统的室内试验确定最优配比，并且在施工过程中，根据现场的地质条件、温度、

湿度等实际情况进行动态调整，保证浆液性能始终满足工程要求^[1]。

3.2 工艺参数精准调控

在灌浆施工过程里，对灌浆压力、注入率、浆液稠度等工艺参数进行精准调控，是确保灌浆质量达到设计要求的核心要点。（1）灌浆压力的设定与控制至关重要，它并非一个固定值，而是要在保证裂隙能够被充分充填，形成有效防渗或加固效果的同时，防止因压力过大导致岩体抬升，进而破坏周边结构或影响工程整体稳定性。这就需要根据工程所在的地质条件、岩体特性以及设计要求等因素，综合确定合适的灌浆压力范围，并在施工过程中实时监测与调整。（2）注入率反映了地层对浆液的吸收能力，其控制需紧密结合地层实际情况。若注入率过大，可能导致浆液浪费且影响灌浆质量；注入率过小，则可能无法满足裂隙充填需求。所以要根据地层吸浆能力的变化，合理控制注入率。（3）浆液稠度遵循逐级加密原则，初始阶段使用较稀的浆液，便于其在裂隙中扩散；随着灌浆的进行，逐步增加浆液稠度，以提高充填的密实度。同时，要建立完善的参数监测与反馈机制，通过实时监测各项工艺参数，及时发现问题并反馈调整，实现施工过程的精准控制。

3.3 工序衔接与进度管理

在灌浆施工过程中，各工序间的紧密衔接直接关系到工程最终的质量与整体进度，是施工过程中不容忽视的关键环节。（1）从工序流程来看，钻孔、冲洗、压水试验、灌浆等环节需构建起一套流畅且高效的工作流程。钻孔作为起始工序，其孔位、孔径、孔深等参数必须精准无误，为后续工序奠定良好基础。钻孔完成后，及时进行冲洗，清除孔内岩屑、泥浆等杂质，保证孔内清洁，以免影响后续压水试验和灌浆效果。压水试验能准确测定岩体的透水性，为灌浆参数的确定提供科学依据。而灌浆则是核心工序，需依据前面的试验结果，精确控制各项参数。（2）采用分序施工策略十分必要，通过合理划分施工顺序，能够确保灌浆效果在空间上的均匀性和连续性，避免出现局部灌浆不密实的情况。同时，要合理配置施工资源，包括人员、设备、材料等，根据各工序的实际需求进行动态调配，防止因资源不足或分配不合理导致工序脱节，进而引发质量隐患。只有做好工序衔接与进度管理，才能保障灌浆施工顺利推进，实现工程质量与进度的双赢。

4 灌浆施工质量保障策略

4.1 全过程质量控制体系

为切实保障灌浆施工质量，需构建一套覆盖从施工

准备阶段直至成果验收阶段的全过程质量管理体系。

(1) 在施工准备阶段, 要开展详细的技术交底工作, 组织施工人员深入学习设计图纸、施工规范以及技术要求, 确保每位施工人员都清晰掌握施工要点和质量控制标准。同时, 进行工艺试验, 通过模拟实际施工条件, 对选定的施工工艺、材料配比等进行验证和优化, 为正式施工提供可靠依据。(2) 施工过程中, 实施严格的旁站监督制度, 安排专业技术人员对关键工序和重要部位进行全程监督, 及时发现并纠正施工中的违规行为。同时, 做好实时记录工作, 详细记录施工参数、施工时间、施工人员等信息, 为质量追溯提供完整资料。(3) 施工完成后, 开展系统的质量检查和效果评估, 采用无损检测、钻孔取芯等多种检测手段, 对灌浆质量进行全面检查, 评估其是否达到设计要求和规范标准, 确保灌浆工程的质量可靠。

4.2 特殊情况应对策略

在灌浆施工过程中, 常常会遭遇渗漏量大、吃浆不明显等特殊工况, 这些情况若处理不当, 会严重影响灌浆质量, 因此需制定专项处理方案。(1) 当面对大渗漏量地层时, 由于普通稀浆难以在裂隙中有效存留, 可采用灌注浓浆的方式, 增加浆液的稠度, 减少其在渗漏通道中的流失。间歇灌浆也是一种有效手段, 通过灌灌停停, 给浆液一定的凝固时间, 逐步填充渗漏通道。此外, 添加速凝剂能加快浆液的凝固速度, 使其迅速形成防渗屏障。(2) 对于微弱吸浆地层, 可适当提高灌浆压力, 增强浆液的渗透能力, 促使浆液进入细微裂隙。同时, 改善浆液性能, 如调整浆液的流动性、稳定性等, 提高其可灌性。若效果仍不理想, 可采用化学浆液, 其具有更好的渗透性和固化特性, 能有效填充微弱吸浆地层的孔隙。(3) 要建立完善的问题识别与响应机制, 及时发现特殊工况并迅速采取应对措施, 确保特殊工况下的灌浆质量^[4]。

4.3 质量检验与效果评估

灌浆施工完成后, 对其效果的准确评估是保障工程

质量的关键环节, 需采用多种检验方法进行综合判断。

(1) 钻孔取芯是一种直观且有效的检验方式, 通过在不同位置钻取岩芯, 能够直接观察浆液在岩体裂隙中的充填情况, 包括充填的密实度、浆液与岩体的胶结状况等, 从而直观了解灌浆的实际效果。(2) 压水试验则是测定岩体透水率的重要手段, 在特定压力下向钻孔内注水, 根据单位时间内注入的水量来计算岩体的透水率。透水率的大小直接反映了灌浆后岩体的防渗性能, 若透水率显著降低, 则表明灌浆效果良好。(3) 声波测试可评估岩体完整性改善程度, 利用声波在岩体中的传播特性, 通过分析声波的波速、振幅等参数, 判断岩体的密实度和完整性。(4) 建立科学的评价标准, 将上述检验结果与设计要求进行对比分析, 确保灌浆效果达到设计标准, 为工程验收提供可靠、准确的依据。

结束语

灌浆施工在水利水电工程中意义重大, 关乎工程结构稳定与功能正常发挥。其涵盖多种技术类型, 各有独特特点与适用场景。施工过程中, 材料配比、工艺参数调控以及工序衔接等关键要素需严格把控。为保障质量, 需构建全过程质量控制体系, 针对特殊工况制定应对策略, 并采用多种方法综合检验与评估效果。只有全面做好这些工作, 从各个细节严格管理、精准操作, 才能确保灌浆施工质量可靠, 为水利水电工程的长久安全运行筑牢坚实基础, 使其在防洪、发电、灌溉等方面持续发挥重要作用。

参考文献

- [1]张天翔.水利水电工程中灌浆施工技术的应用[J].工程建设与设计,2024(18):191-193.
- [2]刘晨亮.水利水电工程水库大坝坝基固结灌浆施工技术研究[J].产业创新研究,2024(24):112-114.
- [3]陈静林.水利水电工程灌浆施工技术与质量管理对策研究[J].中国设备工程,2024(5):255-258.
- [4]张蕾.水利水电工程智能灌浆控制技术与控制系统分析[J].科学技术创新,2024(15):123-126.