

# 基于水利水电工程灌浆施工技术研究

谢一帆

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

**摘要：**水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分，灌浆施工技术作为水利水电工程施工中的关键环节，对工程的安全性和稳定性起着至关重要的作用。本文探讨了水利水电工程灌浆施工技术的分类与功能，分析了灌浆施工的关键要素，包括灌浆剂的选择、灌浆工艺与方法、灌浆设备的选择与配置以及施工材料的管理与控制。针对灌浆施工技术面临的挑战提出了相应的解决方案与建议。

**关键词：**水利水电工程；灌浆施工技术；帷幕灌浆；固结灌浆；灌浆剂选择

引言：水利水电工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其稳定性和安全性至关重要。灌浆施工技术作为提高工程稳定性和防渗性能的关键手段，在水利水电工程中发挥着不可替代的作用。对灌浆施工技术进行深入研究和探讨，对于保障工程质量和安全具有重要意义。

## 1 水利水电工程灌浆施工技术的分类与功能

### 1.1 帷幕灌浆技术

(1) 定义与应用场景：帷幕灌浆技术是一种将浆液灌入岩体或土层的裂隙、孔隙中，形成连续的阻水帷幕，以减小渗流量和降低渗透压力的灌浆工程。主要应用于水利水电工程中的闸坝岩石或砂砾石地基的防渗处理。帷幕灌浆能够显著提高地基的防渗性能，保障水工建筑物的安全运行。(2) 主要工艺流程：帷幕灌浆的主要工艺流程包括钻孔、冲洗、压水试验、灌浆和封孔等步骤。首先，按照设计要求进行钻孔作业，确保钻孔的孔向、孔深和孔径符合标准。然后，进行钻孔冲洗，将孔内的岩粉、铁屑等杂质冲洗干净。接着进行压水试验，以测定岩层的渗透性能，为后续的灌浆施工提供依据。灌浆作业是帷幕灌浆的核心环节，需要按照预定的灌浆压力、灌浆量和灌浆浓度进行。最后，灌浆完成后进行封孔作业，采用浓水泥浆或水泥砂浆等材料对灌浆孔进行密实封孔，以确保灌浆质量。帷幕灌浆技术具有广泛的应用场景，特别是在地质条件复杂、水头较高的地区，帷幕灌浆能够有效控制地下水的渗漏，降低渗透压力，提高水工建筑物的稳定性。帷幕灌浆还可以与排水系统共同作用，进一步降低渗透水流对闸坝的扬压力，保障水工建筑物的安全运行。

### 1.2 固结灌浆技术

(1) 定义与目的：固结灌浆技术是对水工建筑物基础浅层破碎、多裂隙的岩石进行灌浆处理的一种技术。其主要目的是改善岩石的力学性能，提高岩石的弹性模

量和抗压强度，从而增强地基的整体性和稳定性。(2) 应用范围与效果：固结灌浆技术广泛应用于水利水电工程中的坝基、岸坡等岩石地基的处理<sup>[1]</sup>。通过固结灌浆，可以有效地填充岩石裂隙和孔隙，提高岩石的密实度和完整性。固结灌浆还能增强岩石与混凝土之间的结合力，提高坝体的抗滑稳定性和承载能力。在实际应用中，固结灌浆技术取得了显著的效果。例如，在三峡大坝的建设中，采用了固结灌浆技术对坝基进行了处理，显著提高了坝基岩石的强度和稳定性，为大坝的安全运行提供了有力保障。在其他水利水电工程中，固结灌浆技术也发挥了重要作用，为工程的顺利建设和安全运行提供了有力支持。

### 1.3 其他灌浆技术简介

(1) 回填灌浆技术：回填灌浆技术主要用于填充混凝土建筑物与基岩之间或混凝土建筑物内部的空隙。通过灌浆作业，将浆液注入到空隙中，形成密实的结构体，从而提高建筑物的整体性和防渗性能。回填灌浆技术具有操作简便、效果显著的特点，广泛应用于水利水电工程中的隧洞、涵洞、溢洪道等建筑物的防渗处理。

(2) 接缝灌浆技术：接缝灌浆技术主要用于处理混凝土建筑物之间的接缝。在水利水电工程中，混凝土建筑物之间往往存在接缝，这些接缝如果不进行处理，容易导致渗漏和裂缝等问题。通过接缝灌浆技术，可以将浆液注入到接缝中，填充接缝内部的空隙，形成密实的结构体，从而提高接缝的防渗性能和承载能力。接缝灌浆技术具有适应性强、施工灵活的特点，广泛应用于水利水电工程中的大坝、水闸、泵站等建筑物的接缝处理。

(3) 技术特点与应用：除了上述的灌浆技术外，还有许多其他类型的灌浆技术，如化学灌浆、电渗灌浆等。这些技术各具特色，适用于不同的应用场景。例如，化学灌浆技术采用高分子化学材料作为灌浆剂，具有优异的

防渗性能和耐久性,适用于处理细微裂缝和渗漏问题。电渗灌浆技术则利用电场作用将浆液注入到地基中,适用于处理低渗透性地基。这些技术的应用,进一步丰富了水利水电工程灌浆施工技术的体系,为工程的安全运行提供了有力保障。

## 2 水利水电工程灌浆施工的关键要素

### 2.1 灌浆剂的选择

(1) 常见的灌浆剂类型:灌浆剂的选择多样,其中水泥浆、硅酸盐浆和聚氨酯浆是三种常见的类型。水泥浆,以水泥为主要成分,通过简单的加水拌制即可使用。凭借成本低廉、来源广泛、强度高等优点,在多数灌浆工程中均表现出色。水泥浆的稳定性能和施工便利性也赢得了广泛的认可。硅酸盐浆则以其优异的耐化学腐蚀性和抗渗性能著称。其主要成分为硅酸盐水泥或硅酸钠,在防水要求高的工程中,硅酸盐浆展现出了卓越的性能,成为高度防水和耐久性需求的首选灌浆材料。聚氨酯浆则以其独特的性能脱颖而出。以聚氨酯预聚体为主要成分,固化速度快、强度高且弹性优良。在处理细微裂缝和复杂地质条件时,聚氨酯浆能够迅速填补裂缝并提供可靠的支撑,适应地质条件的变化,为工程提供持久的保障。(2) 选择灌浆剂时需考虑的因素:流动性是衡量灌浆剂性能的重要指标之一。直接关系到灌浆剂能否顺利、均匀地注入到预期的灌浆区域。若灌浆剂流动性不佳,可能导致灌浆不均匀,进而影响灌浆的整体效果和工程的稳定性<sup>[2]</sup>。硬化时间是选择灌浆剂时需重点关注的另一要素。硬化时间的长短不仅影响着灌浆工程的施工进度,还与灌浆剂与周围介质的结合程度密切相关。硬化时间过长可能导致工期延误,而硬化时间过短则可能使灌浆剂未能与周围介质充分结合,从而影响灌浆体的强度和耐久性。强度是灌浆剂选择中不可忽视的关键因素。灌浆剂的强度等级直接关系到灌浆体的承载能力和工程的耐久性。根据工程的具体需求和地质条件,选择合适的强度等级至关重要,以确保灌浆体能够满足设计要求和承受预期的荷载。

### 2.2 灌浆工艺与方法

(1) 钻孔施工要求:钻孔是灌浆施工的第一步,其质量直接关系到灌浆效果。钻孔时应严格控制孔壁的统一性和正直性,避免孔壁坍塌或倾斜,影响灌浆剂的顺利注入。还需根据工程的具体需求,选择合适的钻孔深度和孔径。(2) 灌浆顺序与操作流程:灌浆顺序和操作流程的合理性直接关系到灌浆工程的质量和进度。一般来说,应按照先周边后中间、先浅后深的原则进行灌浆。操作流程包括浆液制备、灌浆管安装、灌浆剂注

入、压力控制等环节,每个环节都需严格按照操作规程进行。(3) 特殊情况下的灌浆处理:在遇到冒泡地基、吸浆严重地基、地溶阶段灌浆等特殊情况时,需采取针对性的处理措施。例如,对于冒泡地基,可采用分段灌浆、间歇灌浆等方法;对于吸浆严重地基,可适当增加灌浆剂的浓度和粘度,或采用二次灌浆等方法;对于地溶阶段灌浆,需严格控制灌浆压力和灌浆速度,避免浆液流失和浪费。

### 2.3 灌浆设备的选择与配置

(1) 设备的作用与选择要求:灌浆泵,作为施工中的核心设备,其主要职责在于将灌浆剂从储浆罐中高效地输送到灌浆孔中。在选择灌浆泵时,必须综合考虑其排量、压力输出以及运行稳定性等因素。排量需满足工程灌浆量的需求,压力则需确保灌浆剂能够顺利注入到预期深度,而运行稳定性则直接关系到灌浆施工的连续性和最终质量。灌浆管道则承担着将灌浆剂从灌浆泵安全、顺畅地输送到灌浆孔中的任务。在选择灌浆管道时,材质、内径以及耐压性能是需要重点考虑的因素。材质需具备良好的耐腐蚀性和耐磨性,内径则需保证灌浆剂的流畅通过,耐压性能则需确保管道在高压灌浆过程中不发生泄漏或破裂。灌浆阀门则用于精确控制灌浆剂的注入速度和压力,是灌浆施工中的重要调节装置。在选择灌浆阀门时,密封性能和操作简便性是两个关键因素。密封性能需确保阀门在关闭状态下能够完全阻止灌浆剂的泄漏,而操作简便性则关系到施工人员的操作效率和安全性。(2) 设备稳定性与流量、压力的控制:设备的稳定性是灌浆施工成功的基础。在灌浆过程中,需严格控制灌浆泵的排量、压力和灌浆管道的流量,以确保灌浆剂的顺利注入和均匀分布。还需定期检查和维护设备,确保其处于良好的工作状态。

### 2.4 施工材料的管理与控制

(1) 灌浆材料的质量检验与性能指标:在灌浆施工前,需对灌浆材料进行严格的质量检验,包括外观检查、物理性能测试、化学性能测试等。还需关注灌浆材料的性能指标,如密度、粘度、固化时间等,以确保其满足工程需求。(2) 添加剂的使用与效果评估:在灌浆施工中,添加剂的使用可以显著改善灌浆剂的性能。例如,加入速凝剂可以缩短灌浆剂的硬化时间;加入减水剂可以提高灌浆剂的流动性。添加剂的使用需谨慎,需根据工程的具体需求和灌浆剂的性能进行选择 and 配比。还需对添加剂的使用效果进行评估,以确保其达到预期的效果。

## 3 水利水电工程灌浆施工技术面临的挑战与解决方案

### 3.1 灌浆施工技术面临的挑战

(1) 地质条件复杂性: 水利水电工程常选址于复杂地形区, 如山区、峡谷, 这些地区地质条件极为复杂。岩溶地区的特殊地质结构对灌浆施工提出高要求, 需考虑岩层硬度、倾角及岩溶洞穴、裂隙等复杂现象。地层非均质性和各向异性也增加了施工难度, 不同地层渗透性、透水性和岩石力学性质差异大, 要求精确选择灌浆材料和精细控制灌浆压力。地质勘察不足或评估不准, 易导致灌浆效果不佳, 引发工程质量问题。(2) 灌浆剂性能局限性: 灌浆剂性能是施工成功的关键<sup>[3]</sup>。现有灌浆剂在某些条件下存在局限, 如低温或高温下稳定性丧失, 影响灌浆效果。灌浆剂的流动性和可灌性直接影响施工质量和效率, 在复杂地质条件下尤为关键。高性能灌浆剂价格昂贵, 增加工程成本; 而低成本灌浆剂可能无法满足防渗和强度要求。如何在保证效果的同时控制成本, 成为一大难题。(3) 施工设备与技术水平限制: 施工设备和技术水平对灌浆施工质量至关重要。水利水电工程规模扩大、复杂性增加, 对施工设备和技术要求更高。部分施工单位设备老旧, 精度和稳定性不足, 影响灌浆施工精确度和均匀性。施工人员技术水平有限, 对新技术、新工艺掌握不熟练, 也可能导致施工质量问题。提升施工设备和技术水平, 成为提高灌浆施工质量的关键。

### 3.2 解决方案与建议

(1) 加强地质勘察与评估: 为了应对地质条件的复杂性, 应加强地质勘察与评估工作。施工前需进行全面细致的地质勘察, 明确工程地的地质结构、地层及岩石特性。通过勘察识别潜在地质风险, 为灌浆方案提供科学基础。对勘察结果进行综合评估, 确定适宜的灌浆参数与施工方法, 确保施工质量。施工过程中, 加强地质监测与预警, 实时调整方案, 应对突发地质事件。(2)

研发新型灌浆材料: 针对灌浆剂性能局限, 应加大研发力度, 开发新型灌浆材料。改进灌浆剂配方与工艺, 提升其流动性和可灌性, 满足复杂地质条件下的施工需求。注重性能稳定性和成本效益分析, 确保新型灌浆剂性能优越且经济可行。借鉴国内外先进经验和技術, 结合工程实际进行创新, 通过试验优化, 逐步形成自主知识产权的产品体系。(3) 提升施工设备与技术水平: 为提高灌浆施工质量和效率, 需加大施工设备与技术投入。引进高精度注浆泵、自动化搅拌系统等先进设备, 提升施工精确度和均匀性。加强施工人员培训, 提高其技术水平与操作技能。定期组织技术培训、交流研讨, 促进新技术、新工艺的掌握与应用。应建立健全质量管理体系和安全管理制, 制定严格施工规范和操作流程, 加强过程监督与检查, 确保施工安全与质量。对施工中出现的问题和风险点, 及时整改处理, 防止问题恶化。

结束语: 水利水电工程灌浆施工技术作为地基处理的重要手段, 在水利水电工程中发挥着重要作用。通过深入研究灌浆施工技术的应用, 可以为其在水利水电工程中的广泛应用提供有力支持。未来, 随着科技的不断进步和工程建设的不断发展, 水利水电工程灌浆施工技术将继续创新和发展, 为工程的安全运行提供更加坚实的保障。

### 参考文献

- [1]童利勇.水利水电工程灌浆施工技术与质量管理的策略分析[J].绿色环保建材,2021(11):170-171.
- [2]周泽军,黄玉红.水利水电工程灌浆施工技术与质量管理的策略分析[J].工程建设与设计,2021(7):169-170.
- [3]郭世永,韩家梁.水利水电工程灌浆施工控制技术[J].中国新技术新产品,2021(12):88-90.