

# Research on Key Points of Grouting Technology for Foundation Treatment of Water Conservancy Engineering Construction Site

Datian Zhang

Guangdong Construction Engineering Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511340, China

## Abstract

The bearing capacity and stability of hydraulic engineering foundations determine the overall quality of the project and the safety of subsequent operations. Grouting technology, with its strong adaptability and remarkable effectiveness, addresses core issues in dam foundation seepage prevention and reinforcement. By precisely injecting cementitious materials into cracks, voids, and weak layers within the foundation, grouting achieves multiple engineering objectives such as foundation reinforcement and seepage prevention. Therefore, this technology can be effectively applied in hydraulic engineering foundation construction to enhance stability. This study provides a concise overview of grouting technology, analyzes its key application points and control measures in various scenarios, and offers insights for relevant professionals.

## Keywords

hydraulic engineering; construction foundation treatment; grouting technology

## 水利工程施工地基处理灌浆技术要点研究

张大甜

广东省建筑工程集团股份有限公司, 中国·广东广州 511340

## 摘要

水利工程的地基承载力和稳定性, 决定工程整体质量和后续运行的安全性。灌浆技术具有适应性强、效果显著的优势, 可以解决坝基防渗和加固补强的一些核心问题。其中, 灌浆技术通过向地基中的裂隙、孔洞及软弱层精准灌注具备胶结特性的材料, 旨在实现地基的加固与防渗等多重工程目标。因此, 在水利工程的地基施工中, 可以合理应用灌浆技术, 提高地基的稳定性。鉴于此, 开展本文的研究工作, 简单概述灌浆技术, 分析该技术的应用要点和不同场景的应用控制措施, 以供相关人员参考。

## 关键词

水利工程; 施工地基处理; 灌浆技术

## 1 引言

在水利水电工程项目中, 合理应用地基处理施工技术, 严格把控质量, 可以有效提升工程性能。而灌浆施工技术便是其中一种。在具体施工中要做好前期准备, 加强钻孔施工、浆液制备、灌浆控制等各环节的控制工作, 提高施工水平, 强化质量控制, 可以保障地基处理符合目标要求, 促进工程安全稳定运行。

## 2 地基处理灌浆技术的概述

在水利水电地基处理中, 会应用到各种技术, 灌浆技术便是其中一种。它的核心作用机理是通过压力设备将制备

好的浆液注入地基岩土体的空隙、裂隙或者孔洞中, 浆液在注入的过程中会填充空隙, 去除孔隙水或空气, 经凝固、胶结以后, 与原岩土体形成整体, 从而改善地基的物理力学性能。常见的灌浆技术有帷幕灌浆、固结灌浆、回填灌浆、复合灌浆等多种方法。帷幕灌浆主要形成防渗屏障, 截断或减少地基渗流, 可应用于混凝土坝坝基、两岸坝肩等部位<sup>[1]</sup>。固结灌浆技术可提高岩体整体性、强度和均匀性, 减少变形。适用于受力大的坝肩拱座、混凝土重力坝等部位。回填灌浆可充填混凝土与基岩间的脱空缝隙, 确保紧密接触, 适用于大坝混凝土与基岩接触面、隧道衬砌背后、钢板衬砌底部等部位。复合灌浆能综合处理复杂地质缺陷, 兼顾防渗与加固, 适用于断层破碎带、微细裂隙发育岩体等部位。(如表1所示)

【作者简介】张大甜(1989-), 女, 中国江苏徐州人, 本科, 工程师, 从事水工施工/水工建筑研究。

表1 灌浆施工技术类型

技术类型	主要目的	典型应用部位
帷幕灌浆	形成防渗屏障, 截断或减少地基渗流。	混凝土坝坝基、两岸坝肩、库区渗漏通道。
固结灌浆	提高岩体整体性、强度和均匀性, 减少变形。	混凝土重力坝/拱坝基础、受力大的坝肩拱座、隧洞衬砌外围。
回填灌浆	充填混凝土与基岩间的脱空缝隙, 确保紧密接触。	大坝混凝土与基岩接触面、隧洞衬砌背后、钢板衬砌底部。
复合灌浆	综合处理复杂地质缺陷, 兼顾防渗与加固。	断层破碎带、微细裂隙发育岩体、有压/动水条

### 3 水利工程施工地基处理灌浆技术要点

#### 3.1 前期准备

在水利工程的地基处理中, 为了确保灌浆施工顺利进行, 要做好前期准备工作。首先进行地质勘察和资料收集。施工前进行详细的地质勘察, 全面了解地基岩土体的分布、物理力学性质、渗透性、裂隙发育情况、地下水水位及水质信息。可以通过原位测试、钻探取样的方式, 确定物理力学指标, 通过压水实验、抽水实验的方法, 测定渗透系数<sup>[2]</sup>。可以收集工程区域的地形地貌、气候条件等资料, 为施工方案的制定提供参考。其次, 制定施工方案。结合地基、地质条件、灌浆目的以及工程成本, 选择合适的灌浆技术, 例如, 针对松散砂层地基, 可采用高压喷射灌浆, 针对细节裂隙地基, 优先选择化学灌浆。设计灌浆参数, 确保后续施工更具规范。要确定灌浆孔位布置、孔径、孔深、灌浆压力、灌浆量等一些关键参数, 落实各项细节, 优化方案设计。例如, 灌浆压力需要根据岩土体的强度、渗透性以及灌浆方式确定, 避免压力过大, 导致岩土体破坏, 或者压力过小, 影响浆液的扩散。在方案中要明确施工具体流程, 可采用先外围后内部、先上游后下游、先深孔后浅孔的施工顺序, 避免出现浆液穿孔渗漏的问题。

第三, 做好材料准备工作。在灌浆施工中涉及各类材料, 其质量关系到灌浆施工质量。水泥的选择强度等级不低于42.5级的普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥, 进场前需要查验水泥的合格证和质量检验报告进行抽样检测, 确保其符合质量要求。选用的化学灌浆材料, 也需要开展质量检验, 了解材料的凝固时间、粘结强度以及渗透性等各项性能指标, 确定最佳的材料配比, 确保浆液性能符合要求。

#### 3.2 钻孔与清孔施工

钻孔是灌浆施工的基础环节, 其质量会直接影响浆液的扩散效果和灌浆效果。首先使用专业测量仪器定位放线。控制孔位精度, 钻孔的过程中要定期检查孔位的垂直度, 可以使用测斜仪监测钻孔的垂直度, 有效控制偏差。在钻孔时, 可根据地基地质条件选择合适的方法。例如, 针对坚硬岩体, 可采用冲击式钻机; 针对松散砂层, 可采用回转式钻机配合泥浆护壁钻进。在钻孔的过程中要按照设计要求控制钻孔深度, 钻孔结束后及时复核。

钻孔结束后进行清孔与压水试验。清孔的目的是清除孔内岩粉、泥沙和孔壁泥皮, 提高浆液与粘土体的粘结力, 确保灌浆效果。可以采用压水冲洗、空气冲洗或泥浆循环冲

洗的方法。针对粘性土较多的孔段, 可采用高压水冲洗, 直至孔内排出的水清澈无杂物为止。压水试验是灌浆施工操作前的重要环节, 在清孔后进行。其目的是测定地基岩土体的渗透系数, 验证地基勘察资料的准确性, 为确定灌浆压力和浆液浓度等参数提供依据。根据钻孔深度和地质条件, 合理划分压水试验孔段。在实验的过程中采用分级升压的方式, 记录每级压力下的流量数据, 基于数据计算地基岩土体的渗透系数, 绘制压力流量曲线, 分析地基渗透性特征, 为灌浆施工提供依据<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 浆液制备

在水利工程地基处理灌浆施工中, 需要做好浆液的制备, 保障整体质量。根据灌浆需求, 优化浆液配合比设计, 然后使用准确的计量设备, 计量水泥、化学材料、水和辅助材料, 将误差控制在合理的范围内。然后按照规定的顺序加入材料, 先加水, 再加水泥或化学材料, 最后加入辅助材料进行机械搅拌, 确保浆液搅拌均匀, 无结块和沉淀情况。制备完成以后, 及时检查浆液的浓度、比重、粘度、凝结时间等性能指标, 确保符合设计要求。而一些存放时间比较长的浆液需要定期搅拌, 防止沉淀。可以使用泥浆比重秤或在线密度计, 连续监测浆液密度, 有效控制水灰比, 确保配比更加准确。可以定期取样, 静置两小时, 测量析出水分体积, 评估浆液的稳定性。

#### 3.4 灌浆控制

在灌浆操作中, 需要合理控制灌浆压力。在不引起地基或上部结构有害抬动的前提下, 尽可能使用较高压力, 高压有助于浆液挤入微细裂隙, 使浆液、结石与岩体结合更加紧密。采用分级升压法或一次升压法, 针对敏感基层, 必须采用分级缓慢升压的方式, 每级压力稳定一定时间。需实时计算并补偿管路压力损失, 确保孔口压力表读数真实反映孔段底部裂隙面的压力。其次, 做好注入率的解读与调控。初始阶段, 高注入率表明遇见了宽大裂隙或空洞。此时应使用较低压力, 胶浓或稳定性浆液, 甚至加入掺合料, 以防浆液流失过远。随着灌浆进行, 注入率应呈现稳定或逐步衰减的趋势, 这表明了浆液正常充填, 裂隙逐渐被堵塞。若注入率突然增大, 可能击穿了新的裂隙或产生了劈裂<sup>[4]</sup>。长时间不衰减, 可能存在地下空洞或与远方通道连通, 因此需要立即分析原因, 采用降压、换浓浆、间歇灌注等一系列措施。此外还要做好抬动变形监测工作, 这是防止灌浆压力过大导致岩体或混凝土结构破坏的安全底线监测, 特别是在浅层固结浆液或结构物底部灌浆时。在灌浆区域及可能影响的关键部

位安装千分表或电子位移计进行监测,获取实时数据,了解灌浆的具体情况。

### 3.5 封孔施工

灌浆结束后进行封孔,目的是封堵灌浆孔,防止地下水渗入孔内,影响灌浆体的稳定性和耐久性。常用的封孔材料有水泥浆、水泥砂浆、沥青等。根据钻孔深度和孔径大小,选择合适的封孔方法,例如人工回填封孔或机械压浆封孔。如果钻孔深度比较大,可采用机械压浆封孔,确保封口材料填充密实。封孔前需要清除孔内的残留浆液和杂物,确保孔内干净。使用机械压浆,封孔时控制好压力,确保封口材料充分填充空隙,无空洞、裂缝。人工回填封孔时需分层回填,每层回填厚度不超过20cm,采用捣棒夯实,确保回填密实。封孔结束后,检查封口质量,可采用外观检查、钻孔抽样检查等方法。外观检查封孔顶面是否平整,无裂缝。钻孔抽样检查需在封孔完成7天以后进行,钻取封孔试样,检测其抗压强度,确保符合设计要求。

## 4 水利工程施工地基处理灌浆技术关键应用场景的应用

### 4.1 岩溶地区

岩溶地区地基存在溶洞、溶蚀裂隙、地下通道等一些复杂构造,具有空隙大、连通性强、充填物杂乱特征,因此在灌浆施工中需要控制浆液流失,确保岩溶空间充分填充。在质量控制工作中,要做好浆液制备的控制,优先选用水泥砂浆,确保胶结强度。水泥砂浆水灰比控制在0.8~1.2,砂灰比为1:1~1:2。灌浆时可采用定量、间歇、反复灌策略,指的是前期阶段,先分段定量灌浆,单次灌入完成以后,立即封闭孔口,间歇时间则根据浆液初凝时间确定<sup>[5]</sup>。此时浆液在初步凝固阶段形成了具有一定强度的骨架,能够承载后续浆液的压力,然后反复灌浆液。

### 4.2 动水条件下的施工

动水条件常见于江河堤防、水库大坝基础,地下水位落差大的区域。浆液很容易被稀释和冲走,无法形成有效的

阻水体。因此,在该区域进行灌浆处理时,可采用水泥-水玻璃双液浆液,通过精准控制配比,实现胶凝时间可调。灌浆时采用快速升压和大流量灌注法,让浆液在被水流冲走前快速占据水流通道并凝胶。采用分层加固的方法,自上而下分段灌浆,每段灌浆完成以后及时封控,可以提高灌浆施工质量,形成有效阻水体。

### 4.3 微细裂隙发育地层

微细裂隙发育地层的一些裂隙宽度多在0.1~1.0mm。一些普通水泥浆颗粒粒径比较大,很难渗入裂隙中。因此需要选用细颗粒或无颗粒浆液,采用低压力、慢速率,长时间的渗透模式,确保浆液能够充分渗入裂隙中。要通过缓慢注浆的方法,控制好浆液在裂隙内的流动速度,在毛细作用和重力下,浆液充分渗入裂隙深处。灌浆完成以后,及时封堵进行养护。

## 5 结语

综上所述,在水利工程施工地基处理环节,应用灌浆技术,可以改善地基物理力学性能,提升地基承载力,降低渗透性,从而保障水利工程长期稳定运行。而在具体项目中,需要充分把握技术要点,做好施工前期准备工作,通过钻孔施工、灌浆控制和封孔处理,提高灌浆施工技术,有效应对各种情况,为后续施工奠定充足基础。

### 参考文献

- [1] 刘松良. 复杂地质条件下水利工程施工地基处理灌浆技术研究[J]. 工程技术研究,2024,9(22):85-87.
- [2] 陈欣. 灌浆技术在水利工程地基处理中的运用研究[C]//2022工程建设与管理三论坛论文集. 2022:1-2.
- [3] 肖晶,陈明文. 复杂地质区水利工程施工地基处理灌浆技术[J]. 城市情报,2024(21):229-230.
- [4] 倪新军,袁振宇,孙茂春. 复杂地质区水利工程施工地基处理灌浆技术[C]//中国国土经济学会2024年学术年会(二). 2024:1-3.
- [5] 张全荣. 复杂地质区水利工程施工地基处理灌浆技术[J]. 科技资讯,2024,22(13):138-140.