

# 隧道施工中灌浆法加固技术的应用分析

蒋仁军

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]在隧道施工中为了高效应用灌浆法加固技术,应详细介绍灌浆材料、灌浆技术种类和技术应用优势等,以此对半径、灌浆压力和灌浆量等进行有效扩散,进而对工程施工中灌浆法加固技术要点进行探讨,研究施工流程和质量保障方法,从而为其他工程施工建设提供参考。

[关键词]隧道施工;灌浆法;加固技术;应用分析

DOI: 10.33142/ucp.v1i3.13936

中图分类号: U4

文献标识码: A

## Application Analysis of Grouting Reinforcement Technology in Tunnel Construction

JIANG Renjun

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** In order to efficiently apply grouting reinforcement technology in tunnel construction, it is necessary to provide a detailed introduction to grouting materials, grouting technology types, and technical application advantages, in order to effectively diffuse radius, grouting pressure, and grouting volume. This will further explore the key points of grouting reinforcement technology in engineering construction, study the construction process and quality assurance methods, and provide reference for other engineering construction projects.

**Keywords:** tunnel construction; grouting method; reinforcement technology; application analysis

### 引言

铁路、桥梁以及隧道工程施工周期较长,并且在等待过程中因为天气和地质条件影响导致麻面、砂浆脱落和蜂窝等问题,以此影响工程安全性和稳定性。灌浆法加固技术的应用能够机加强结构的稳定性,此技术通过气压、液压等将特定固化浆液注入裂缝和孔隙中,在固化后可以改善介质的物理学性质<sup>[1]</sup>。隧道施工过程中不论是以往隧道的加固改造还是新建隧道,灌浆法加固技术均可起到重要作用,经过灌浆处理能够防渗堵漏,将地基土强度提升,有助于地层沉降控制,保证隧道的安全。然而为了更好地应用此技术需要全面分析其原理、优势和施工流程等,从而提升应用效果。

### 1 灌浆法加固技术

#### 1.1 原理

灌浆法加固技术作为工程建设中的加固方法,按照工程实际情况配置浆液,通过液压、气压或者电化学等方法在裂缝中注入浆液,而后经过浆液固化效果加强结构稳定性。虽然灌浆法加固技术施工步骤较为简单,但是在实际操作过程中需要重视每个环节,保证施工安全有效性。为了避免盲目施工,技术人员需要正确判断裂缝位置、宽度和深度。全面了解裂缝后可以按照实际情况制定合适的施工顺序。在灌浆过程中技术人员需要对灌浆压力变化进行观察,保证浆液可以充分到达裂缝内部,增强加固效果。(图1为灌浆加固原理)

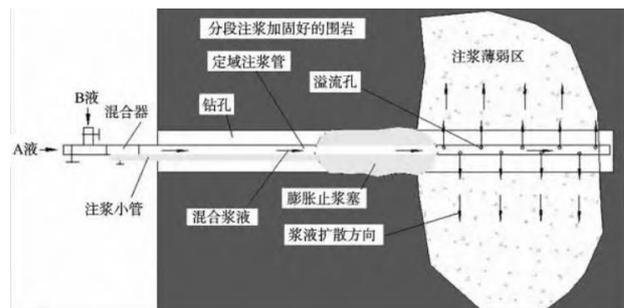


图1 灌浆加固原理

#### 1.2 分类

##### 1.2.1 渗透灌浆加固

工程施工过程中对于复杂的地基情况,渗透灌浆法加固技术能够对隧道裂缝、岩土裂缝等情况进行有效处理,即使是在工环境恶劣情况下也会充分发挥自身的优势。在实际操作过程中需要合理配置浆液,保证加固效果,对浆液配比和性质进行控制可以渗透进隧道裂缝或者岩土裂缝中,伴随渗透会逐渐填充空隙,从而产生类似岩土层结构。当浆液的强度和抗剪切力提升后,可以加强地基稳定性和承载能力,从而延长工程结构的使用寿命。

##### 1.2.2 压密灌浆加固

压密灌浆加固技术主要通过设备在需要加固的位置进行钻孔,而后将配置好的浆液经过钻孔灌注到岩土层,此种浆液一般具有良好的流动性和渗透性。在灌浆过程中

施工人员需要注意提升浆液密度,因为密度能够直接影响灌注效果和岩土层中的扩散能力,当浆液浓度较高时才可以渗透到岩土层,进而紧密结合提升强度和密实度<sup>[2]</sup>。与此同时通过灌浆加固将原本松散的岩土颗粒进行紧密结合,可以加强岩土的稳定性,并改善变形特性。

### 1.2.3 填充灌浆加固

隧道工程使用环节中地基沉降不均匀属于常见问题,会出现孔洞和裂隙结构损害,对隧道整体稳定性产生影响,因此可以采用填充灌浆加固技术,对孔洞、裂隙等缺陷部位注入特定的浆料,浆料在凝固后会和岩土紧密结合,加强地基承载能力。隧道运营过程中因为车辆荷载和地下水作用等因素影响,隧道结构可能会产生破碎或者孔洞等问题,可以向存在问题的区域注入一定量浆料,对空洞和破碎位置进行填充修复。

## 2 隧道施工中裂缝产生的原因

在施工过程中如果出现混凝土配比不当,会因为混凝土水灰比、骨料大小等原材料影响导致混凝土内部结构不均;此外浇筑压力和振捣不足等会使混凝土在硬化过程中出现应力不足现象,以此产生裂缝。隧道结构设计过程中,并未考虑地质条件和荷载等因素,或者结构布置不合理,也会产生一定的影响。此外隧道排水设计如果不合理,地下水无法及时排出,会增加混凝土水压力,且隧道地区季节变化和昼夜温差较大,当温度快速变化后混凝土会因为温度应力出现裂缝。

隧道工程中裂缝主要形态如下:①砌浆脱落。砌浆出现脱落会对墙面整体性和美观性产生破坏,脱落砌浆不能为墙体提供支撑,增加了墙体破损风险。②砌石松动。作为隧道砌石常见问题,之间的连接如果不够紧密或者因为外部因素影响,会出现松动或者脱落,进而将隧道的承载能力降低,对于外部压力而言更加脆弱<sup>[3]</sup>。③结构裂缝。结构裂缝作为隧道工程最为严重且复杂的裂缝形态,会因为多种因素引发,隧道主体支撑部分对结构完整性会产生决定性作用,如果未及时处理则不能保证安全,会出现严重的安全事故。

## 3 隧道施工中灌浆法加固技术应用

### 3.1 工程情况

以某高速公路隧道为例,全长为1.25公里且采用单洞双向两车道,隧道穿越岩层为花岗岩和风化凝灰岩,其稳定性较差。通过勘查后可知隧道所处位置水文条件简单,主要为基岩裂隙水,由于隧道选择单向纵坡结构,为了防止围岩失稳引发安全隐患,在施工过程中应选择浆法加固技术。

### 3.2 灌浆加固

#### 3.2.1 施工准备

施工准备阶段需要控制水泥和煤灰的配比,以此保证工程质量,按照试验结果对最佳比例进行确定(见表1)。对于材料管理而言,需要由专人负责材料采购和入场检查,保证每批材料均符合施工标准,并且按照施工方案对电机、搅拌车和灌浆机等设备的运行情况进行检查,保证施工过程中可以顺利进行,以免由于设备故障对施工质量和进度产生影响。

表1 控制参数

项目	参数
水泥强度/MPa	32
水泥:煤灰	4:1
搅拌后方式时间/min	60分钟以下

#### 3.2.2 确定施工标准

首先需要通过试验确定灌浆压力,保证灌浆过程中可以有效填充缝隙,同时不会对周围结构产生较大的压力,在实际施工过程中如果遇到突发情况需要及时缝隙,对灌浆压力进行调整,保证施工安全和灌浆质量。按照地质涂层性质和工程需求确定灌浆加固区域范围,依据土层厚度和加固要求对灌浆深度确定,通常情况下灌浆深度需要加固土层厚度。在完成灌浆作业后需要对结构稳定性和承载力检查,通过现场检测和模拟实验等,保证结构的稳定性和承载力达到设计要求,而后需要按照工程实际情况确定灌浆深度,综合考虑地质条件、结构要求和灌浆材料性能,保证灌浆效果达到最佳状态<sup>[4]</sup>。

#### 3.2.3 钻孔施工

在钻孔施工过程中施工人员需要检查设备运行情况,从而预防设备故障,将施工效率提升,并且对每台设备性能良好情况进行检查,以免设备运行异常产生安全隐患。此外需要和现场施工具体情况对开孔位置和角度调整,保证钻孔质量,施工人员需要对地质条件和设计要求等因素进行考虑,合理确定位置和角度,保证钻孔的正确稳定性。在钻孔过程中如果钻机出现异响,施工人员需要停止操作,检查异常情况,异响一般表示设备或者钻孔过程中存在问题,为此需要及时排查并处理。除此之外还需要对钻孔精度进行控制,保证钻孔的深度,合理精度能够确保钻孔的连续稳定性,可以防止过快或者过慢产生的质量问题。如果隧道工程钻孔难度较大且地质条件复杂,施工人员需要采用以往的经验,和液压钻机和风动潜孔钻机的优势结合进行施工,钻进过程中需要控制卡钻情况的产生,卡钻会对施工进度和效率产生影响,并且损坏设备,施工人员需要对钻进过程中的各种情况进行关注,如果出现卡钻现象需要及时处理。完成钻孔后为了确保灌浆位置缝隙充分清洁,可以选择压力脉动冲洗方法,对于串通孔可以采用压缩空气和水流进行冲洗,在结束冲洗后可以选择具有代表性的钻孔进行压水试验,为了保证试验结果的正确性,试验孔需要达到灌浆孔总数的5%。钻孔参数见表2。

表2 钻孔参数

项目	标准值
钻孔深度/m	8m
钻孔直径/mm	70mm
孔间距/m	1.0×1.0
钻孔水平倾角/度	30以上

#### 3.2.4 灌浆施工

和工程实际情况结合对于复杂的地质条件,需要控制注浆管道壁厚,保证在3.5mm以下,并且注浆管直径应小

于 48mm, 从而适应施工需求保证注浆效果。灌浆加固选择分次灌浆方法, 第一次在常压下实施, 第二次在灌浆前需要检查第一次效果, 保证满足设计要求, 避免出现冒浆, 进行第二次灌浆过程中需要适当进行加压, 控制实际注浆压力在 0.4MPa 以下, 选择 P.042.5 普通硅酸盐水泥配合适量抗裂剂和膨胀剂, 以此将浆液的稳定性和强度提升。并且控制水温在 30 摄氏度, 以此避免浆液提前凝固, 确保注浆过程顺利。完成灌浆施工后需要全面清理钻孔, 保证孔内并无残留物, 为孔洞密封工作奠定基础, 选择大于 10cm 的混凝土深度, 保证孔洞可以充分密封。当孔洞如果未达到要求, 需要将内部残留物凿除, 保证孔壁洁净, 以此提升封孔材料和孔壁间的粘结度, 加强密封效果。

### 3.2.5 浆砌石施工

隧道中间存在的软土位置, 在施工过程中应选择浆砌石进行施工, 此种施工方法可以加强地基的承载能力。在此阶段施工人员需要了解施工位置的地质情况, 其中包含稳定性、含水量等, 保证施工方案具有针对性。而后施工人员需要了解并熟知基坑开挖、挂线校准、石块砌筑到砂浆灌注的每个步骤, 尤其是完成基坑施工后, 应选择挂线方式进行校准, 保证坡度和方向均符合设计要求, 通常情况下控制为 1:1.75, 避免出现滑坡或者坍塌等相关安全事故。在进行浆砌石施工时, 现场技术人员需要对地质和环境因素影响进行充分考虑, 制定合理的施工方案, 并依据流程操作, 例如选择合适的配比、控制砌筑速度和质量等, 使得浆砌石施工能够达到质量要求。

### 3.2.6 养护作业

在此隧道工程中高度设计为 5.2m, 行车速度每小时 100 公里, 为了保证隧道结构的安全性和持久性, 需要定期对隧道内壁、路面和排水设施进行清洁, 以免灰尘和油污等物质影响隧道结构和使用性能, 检查并修复隧道防水层, 选择高性能防水材料对裂缝修补, 以免水分渗入结构内部形成腐蚀<sup>[5]</sup>。按照隧道结构具体情况选择灌浆加固、碳纤维布加固方法对关键位置进行加固, 并且对钢筋和钢结构等部件实施防腐处理, 而后创建检测制度, 全面检查隧道结构、排水系统和照明设施, 对检查结果进行记录评估。

## 4 注意事项

### 4.1 控制材料质量

隧道灌浆加固过程中材料质量具有重要意义, 为了保证加固效果需要对施工材料进行严格管理和控制。在此过程中需要了解隧道工程灌浆加固特征, 如工程所在地气候环境、水文地质条件等, 当全面了解其特征后合理选择施工工艺, 为后续材料选择和采购提供依据。对于材料采购而言, 虽然价格较为重要, 但是不可忽视材料性能和质量, 为此需要对材料的强度、含泥量和细度模数等关键指标进行全面检查, 以此保证采购材料符合设计要求。材料入场过程中还需要重视验收环节, 对于用量较大的材料需要按照批次进行抽样检查, 如果发现不合格的材料需要暂停应用, 并选择相应的处理措施, 以免对工程质量产生不良影响。

### 4.2 异常处理

隧道灌浆加固施工中对异常情况处理能够保证施工安全, 在钻孔施工过程中如果出现涌水问题需要立即停止施工, 保证人员安全。而后通过加压注浆封堵涌水口, 将积水进行排除, 直至作业环境恢复安全, 以此防范潜在风险。而后在灌浆施工过程中, 对于压力突然增大的紧急情况需要及时响应, 需要选择加入清水措施待压力自然恢复, 如果采用此方法压力依旧未下降, 需要进步排查原因, 并终止灌浆作业, 对设备和管道实施全面检查, 有助于发现并疏通堵塞点, 保证后续施工顺利进行。如果灌浆压力持续升高, 需要按照现场实际情况对砂浆配比进行调整, 或者选择间歇性灌浆技术对凝结时间进行控制, 从而提升灌浆加固效果, 以免因为压力过大出现灌浆孔破损。

### 4.3 技术指导

灌浆加固施工进行有效的技术指导能够保证施工质量, 按照项目需求和基础资料选择合适项目的施工方法, 并充分考虑到施工现场的实际情况和各种问题, 详细阐述施工过程中的每个环节, 确定可能影响施工质量的相关因素, 以此制定应对措施。通过信息技术手段对施工前的技术指导进行精细化和可视化管理, 施工人员可以全面地了解内容和工艺。施工技术人员在施工过程中需要全程参与, 并和施工人员进行沟通交流, 对施工情况进行了解, 按照实际情况予以具体施工建议, 充分发挥自身的专业优势, 对灌浆加固施工提供有力技术支撑, 以最大限度保障施工质量稳定性。

## 5 结语

隧道作为交通运输主要载体, 对于国家发展具有重要意义, 采用灌浆加固技术在隧道工程中进行加固, 可以将隧道的抗压能力提升, 从而加强整体强度, 此技术可以有效解决施工过程中产生的工程缺陷, 在一定程度上避免返工, 进而节省了一定量时间和经济成本。应用灌浆加固技术可以提升隧道的安全性, 并为人们提供舒适且便捷的出行环境。长时间使用隧道过程中, 因为地质条件和施工工艺等多种因素影响, 会产生缺陷和损害, 灌浆加固技术能够有效进行处理, 可以深入隧道内部, 正确加固损害位置, 保证隧道的稳定性和安全性, 为此在隧道工程中的应用采用灌浆加固技术价值显著。

### 【参考文献】

- [1]程丽. 隧道施工中灌浆法加固技术关键点分析与应用[J]. 交通世界, 2024(21): 109-111.
  - [2]李汪阳. 灌浆法加固技术对隧道施工的应用意义及方案分析[J]. 交通建设与管理, 2024(3): 104-106.
  - [3]潘冬. 隧道施工中灌浆法加固技术的应用分析[J]. 广东建材, 2024, 40(2): 135-137.
  - [4]张生荣. 桥梁隧道工程施工中灌浆加固技术的应用[J]. 大众标准化, 2023(8): 25-27.
  - [5]梅强. 公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术的应用[J]. 运输经理世界, 2022(31): 71-73.
- 作者简介: 蒋仁军 (1981.12—), 男, 毕业于长沙理工大学, 交通土建专业, 就职于新疆北新路桥集团股份有限公司杭州分公司, 副总经理, 高级工程师。