

公路桥梁隧道施工中注浆技术的具体应用

赵智兵

(青海省兴利公路桥梁工程有限公司, 青海 西宁 810000)

摘 要 随着国内交通工程建设的快速推进,公路桥梁与隧道工程的建设需求显著增长。注浆技术作为地层改性、结构补强与工程质量管控的核心技术手段,已成为该类工程施工体系中不可或缺的关键工艺。本文系统梳理注浆技术的理论内涵与工程应用价值,依托实际工程案例,明确其在公路桥梁与隧道施工中的具体工艺路径与关键管控要点,可为同领域工程实践提供技术参考。

关键词 公路桥梁;隧道工程;喷射注浆;灌浆材料

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.016

0 引言

公路桥梁与隧道是公共交通网络的关键组成部分,对区域互联互通、社会经济协同发展起到重要的支撑作用。近年来我国交通基建规模持续扩大,桥隧施工技术也得到了长足发展,当前行业在推进高效化、低成本建设的同时,工程质量管控的优先级不断提高,桥隧施工技术的提质升级已成为行业关注的核心方向。注浆技术作为桥隧工程中用于地层改良、结构补强的核心工艺,本文通过对公路桥梁隧道施工中注浆技术的应用分析,旨在为提高注浆施工效率、确保工程施工质量提供参考。

1 注浆技术概述

注浆技术的应用历史可追溯至 19 世纪初,经过不断发展,已形成涵盖材料研发、工艺优化、设备迭代的完整技术体系。我国自 20 世纪 50 年代将注浆技术应用于矿山、隧道工程,如今该技术已广泛普及至公路、桥梁、水利等多个工程领域。随着基础设施建设向复杂地质区域延伸,注浆技术的地位愈发重要,成为保障工程安全、提高施工效率的核心技术之一^[1]。

1.1 注浆技术的概念

注浆技术主要指的是将防渗材料注入土层之中,通过这些材料填充土壤中的孔隙、缝隙,提高土壤的强度与防渗效果。这种技术在当前适用于各种不良地质条件和工程类型之中,特别是在地基处理、防渗修复、桥梁、隧道等领域,效果明显。在公路桥梁隧道工程中,注浆技术主要应用于地下深基坑施工、隧道空隙填充以及地基加固等领域。

1.2 注浆技术的价值

1. 注浆技术能提高工程结构密度和强度。在公路桥梁隧道工程施工中,通过注浆技术能让土壤中的空隙快速被填充,减少和消除工程结构收缩裂缝的出现,提高结构的整体抗裂性能,延长工程结构的使用寿命。

2. 减少工程漏水和裂缝的出现。在公路桥梁隧道工程施工的时候,注浆技术的应用能够在混凝土结构层表面形成致密的保护层,防止水分渗漏和化学反应的出现,在降低混凝土开裂和收缩的同时,降低工程整体施工难度。另外,注浆技术还能够与预埋钢筋、预制构件等工程结合,进一步缩减工程施工工期。

3. 提高工程施工安全。在公路桥梁隧道工程施工中,通过注浆技术填充混凝土结构空隙,能减少和消除混凝土结构收缩裂缝的出现,降低因温度变化而造成的应力集中,防止裂缝和结构变形的发生,确保后期工程施工安全。另外,注浆技术的应用还能及时对地下水进行封闭处理,防止地下水对混凝土的侵蚀与冲刷,确保工程施工安全^[2]。

2 公路桥梁隧道工程中注浆技术的具体应用要点

2.1 工程概况

G109 小峡口(王家庄至昆仑路段)改建工程位于青藏高原青海省海东市平安区小峡镇、西宁市,整体地势由东向西倾斜,东北高、西南低,海拔在 2 157 m~2 509 m 之间,项目施工内容涉及隧道、桥梁、路基、土石方以及涵洞等多种类型。工程所在路段的总体长度为 7.02 km,路线所经区域内地貌单元主要为河流侵蚀

作者简介: 赵智兵(1984-),男,本科,工程师,研究方向:公路施工技术。

堆积地貌、剥蚀构造中低山地貌,隧道围岩埋深为 3 m~320 m,洞身通过的主要地层为第四系冲洪积卵石、黄土状土、强风化花岗闪长岩,节理裂隙发育、结构松散,围岩稳定性较差,施工拱部无支护时可产生坍塌、滑坡现象,因此采取注浆施工技术非常必要。

2.2 施工准备

1. 设计准备。在该项目开展施工之前,先对工程施工参数进行了深入、细致的调研,得出了相对客观的调研结果,主要是大量工程施工数据的收集,并对施工现场周围的地质条件进行了详细勘察,确保后期选择的注浆方式符合项目施工需要。除此之外,还结合相关施工标准综合考虑,包含了注浆材料、注浆施工量、注浆范围等,针对不同的施工范围和环境,选择了相应的施工方法。在这个阶段,需要注意施工目标和技术要求,遵守相应的工程施工规范,确保注浆施工顺利进行。在成孔阶段,结合工程现场实际对钻头直径进行控制,考虑到该项目所在区域地质条件复杂,对打捞砂筒加以优化,将钻机送入不良土质中,及时钻进。在封堵孔口环节,结合施工技术规定采取科学措施优化,避免沙土进入沙筒之中。在搅拌环节,结合项目现场实际选择搅拌工具和时间,采用从上向下的注浆施工方式,确保注浆量满足工程最终的注浆量^[3]。

另外,在开展具体施工工作之前,提前对工程现场环境进行调研,确保后续施工工作的顺利进行和施工安全。在初步拟定项目施工计划之后,由专业技术人员对设计方案进行确认,避免一些施工技术问题的发生。由于项目所在区域软土众多,加之公路本身对承载要求严格,在这个环节重点对注浆技术进行确认,确保注浆技术满足施工要求的同时,从经济成本角度分析施工技术选择的可行性,避免增加工程施工成本。

2. 注浆材料与设备选择。注浆材料的选定与制备是注浆施工得以顺利开展的物质基础,在施工中需要避免材料不当而造成的施工问题。在目前公路桥梁隧道工程中,注浆施工材料主要有化学浆液和非化学浆液两种,其中化学浆液的性能优势相对突出,如有机化学浆液能够结合工程施工需求而选择;非化学浆液则以水泥为主。该项目施工中,考虑到工程所在区域降水量比较少,气候干燥,因此选择了非化学浆液,即普通硅酸盐水泥,强度等级控制为 42.5。对于地基土层稳定性较好的区域,采用水玻璃提升浆液的凝固速度。水泥浆液的配比按照项目施工现场实际进行确认,分别为水:灰=2:1、1:1、1.5:1 等。黏土与水泥比例按照 1:2.6 的比例,浆液比重控制为 1.3 g/cm~

1.60 g/cm,马氏漏斗黏度则按照 40 s~45 s 进行确认。

在该项目施工中,根据浆液类型以及配比确定具体施工设备。在泥浆泵选择方面,结合项目现场实际选择活塞式泥浆泵;搅拌机选择高速旋转型,搅拌时间在 30 s 以上。在注浆施工时,能够及时过滤掉浆液中的各种杂质以及大颗粒和不溶解物质,浆液配置完成之后在 4 h 之内快速进行施工。保持泥浆管的通畅,使泥浆管能够承受的压力为自身的 1.5 倍^[4]。

3. 施工参数的设置。在公路桥梁隧道施工中,结合施工现场情况将注浆孔排间距控制在 1 m,孔距控制在 1.5 m 左右。为了提高工程施工进度,根据现场土质条件确定具体的孔径和孔深,该工程的孔径为 11 cm,桥梁区域的孔深比原来的桥墩基础承台高出 6 m。注浆压力控制在 0.7 MPa~1.1 MPa 之间,避免由于注浆压力过大或者多小而影响浆液注入岩土体层中的效果,同时要尽量采用静压力,最大程度地降低注浆压力对岩土体层结构的影响。在后期施工中,根据施工要求和注浆施工技术标准,采用分层、分段浇筑施工方式,注浆施工长度控制在 1.5 m~2 m 左右,当浆液流量<5 L/min 时,可停止注浆。

2.3 钻孔施工

在注浆施工开展之前,提前做好机具设备、材料等准备工作,检查施工人员的资质,确保施工人员专业能力符合工程实际。在基本工作准备完成之后,对施工材料和设备进行检查,确保材料合格、施工设备运行正常。在该项目施工中,具体施工流程为:孔位确定→钻孔设备就位→钻孔→压水试验→插管→套管提升→注浆管安装→浆液配制→注浆→提管和回填。

在施工时,提前标记出吊装机械钢丝,按照标号顺序有序进行施工。冲孔环节,及时将孔洞内的杂物、垃圾清理干净,控制好钻进速度、频率与次数。在操作中,还要保证注浆的速度、密度和强度,整个操作流程由施工经验丰富的工作人员进行操作,确保成孔环节的施工质量和进度。在施工操作的时候,充分考虑工程现场的实际情况,按照设计方案和注浆施工标准进行钻孔、凿空和注浆等,提前确定科学的注浆区域、注浆速度、注浆半径等性能参数,并结合现场实际及时调整注浆工艺。在注浆阶段,需要提前做好外排孔施工方案,减少泥浆外露的同时,将注浆时间间隔控制在 3 h 以上,减少因为注浆时间过快而出现的窜浆问题。如果已经出现了窜浆,则将注浆压力下调至 0.2 MPa,水灰比例取值 1.0,水泥量 65 kg/m,施工过程中需要时时刻刻关注浆液表面的稳定情况,保证浆液的扩散

有效直径为0.6 m~1.2 m,全面控制浆孔满足施工要求,提升整体工艺的稳定性 and 可靠性^[5]。

该项目注浆施工的时候,应当重点关注注浆现场测量、钻孔、注浆等。在施工作业的时候,合理控制注浆技术能提高桥梁、隧道基础的稳定性,进而确保施工效率和安全性。为了提升工程整体效益,还需结合现场实际增添了新型、功能强大的注浆设备。测量涉及导线测量、高程测量、测量标志保护和测量数据复验环节旨在建立施工测量控制网,精确测量需要利用经纬仪、全站仪、水准仪等高精度仪器,在公路桥梁项目施工中结合实际情况进行注浆区域划定和注浆施工方案的制定;高程测量进行的是水准基点的复测对于闭合差进行认真严格的控制,工程施工中所有的标志物必须牢固可靠,不受施工影响,增大对测量点的控制力度,安排好控制时间,做到万无一失;构建公路桥梁施工测量控制网需要以首级导线点作为控制中心,突破特殊地域或者注浆条件的限制,做好精确控制。

在注浆施工之中,需要实现缝隙的完全填充,只有这样才能达到最理想的加固效果。但是,在具体施工的时候,经常会因为施工技术、施工质量控制等问题而出现孔洞情形,影响到最终的施工质量。工作人员需要充分发挥自身施工积极性,协调成孔和注浆管之间的关系,针对施工环境相对恶劣、容易混入泥沙的区域,提前加设相应的保护设施,实现对注浆管道的有效保护。为了提升工程施工效益,还安装了花管,花管的安装实现了注浆效果的优化,安装规格为10 mm左右。

在施工完成之后,在确保注浆饱满性的同时,科学控制封口工作,一旦短时间内无法完成封孔,就很容易影响到最终的施工质量。为此,在完成基础性封口工作之后,要及时地推进相关检查工作,确保检查工作一天之内能够完成,进而及时对注浆孔进行封孔。当然,在检查环节,如果存在施工质量问题,如浆液下降等,要及时地进行补浆处理,补浆材料要与原先的注浆材料一致,同时对补浆高度进行控制,满足相关施工标准。在完成补浆工作后,还要推进相关的动态监测工作,一旦出现施工问题,就要及时进行反馈和处理。

2.4 施工注意事项

在公路桥梁隧道注浆施工过程中,注浆技术看似简单,但也蕴含了诸多技术标准和关键技术。项目设计人员需要充分考虑局部、整体施工难题,及时地分析这些困难并有针对性地加以解决,缩减工程施工工

期的同时,确保工程整体质量。在实际施工中,根据工程施工现场条件和施工标准做到以下注意事项。第一,加强浆液配比的合理性,依据施工实际情况控制浆液的析水率,加大浆液的流动速率需要对水泥和粉煤灰的比例进行适当调整。第二,有效控制浆液扩散的半径范围,注浆的扩散半径大小对于浆液在岩土中的凝固效果有着非常重要的影响,施工人员要结合公路桥梁结构设计的压力和承受能力以及岩土本身的性质进行优化管理,保证注浆的质量推动整个注浆施工过程得以顺利推进,防止发生不必要或者意料之外的操作以及施工事故而延误正常的工期^[6]。第三,科学控制注浆压力,注浆压力很大程度上决定了注浆效果,建筑结构的稳固性、密实度均与注浆压力密切相关。可以说,压力是注浆技术的核心要素。在具体施工中,很多因素都可能会对注浆压力产生影响,比如土质特点、注浆材料、注浆方式等。为了更好地控制注浆压力,使之满足施工质量要求,如果在浅层地层施工,注浆压力就会相对较小,为了增加注浆压力,可以适当降低土层的渗透系数,让浆液和土体能够充分黏合。

3 结束语

公路桥梁隧道工程作为我国公共交通的重要组成部分,保证了我国交通运输行业的顺利发展,因此加强公路桥梁隧道施工质量有着非常重要的作用。注浆法作为当前公路桥梁隧道施工中最常见的方法,对我国公路桥梁隧道工程施工质量的提高有着重要帮助,在施工的时候要充分结合工程现场实际和施工特点,掌握注浆法施工相关技术要点与注意事项,这样才能确保工程整体质量,为公路桥梁隧道工程施工提供更加先进的技术参考。

参考文献:

- [1] 张腾.浅析公路桥梁隧道施工中注浆技术的应用[J].中华建设,2025(09):127-129.
- [2] 许晓天.注浆技术在公路桥梁隧道施工中的应用探究[J].科技资讯,2025,23(14):119-121.
- [3] 达姜维.注浆技术在公路桥梁隧道施工中的具体应用探究[J].产业创新研究,2024(02):106-108.
- [4] 陈永宝.公路桥梁隧道现场施工中注浆技术工艺的实践应用[J].城镇建设,2025(03):163-165.
- [5] 陈焕美,苏文煊,叶沐浪.探析注浆法在公路桥梁隧道施工中的应用[J].土工基础,2025,39(01):35-38.
- [6] 相玉鹏.浅析公路桥梁隧道施工中注浆技术的应用[J].现代交通与路桥建设,2024,03(02):1-3.