

铁路路基注浆加固施工技术

雒江涛

陕西宝麟铁路有限责任公司 陕西 宝鸡 721000

摘要：普速铁路货运专线是国民经济的关键命脉，其安全平稳工作必不可少。此文试图探讨普速铁路基础注浆加固施工方法的必要性。进而研究发展了铁路基础与注浆材料强化施工的新技术，随着科学技术的进展，建筑材料选用和技术改善、基础施工工艺的优化和提高成为了该领域的重点优化和技术创新方向。为了进一步提高路基注浆施工水平，以宝麟铁路郭家河车站桥涵过渡段注浆为主要研究对象，对路基注浆工艺及管理措施进行深入探讨，使得路基工程达到更高的标准，从而推动我国铁路运输安全平稳。

关键词：铁路路基；注浆加固；施工技术

引言：随着我国国民经济的日益增长，交通运输工程的日益发达，而铁道施工建设始终是国家经济社会建设中的关键，为提高铁道修建的质量，我们使用不同的技术手段来改善工程施工品质。路基注浆工程加固技术属于中国铁路工程施工技术之一，本文就中国路基注浆材料加固工程技术的实际使用状况做出了简要的分析，以供参考。

1 铁路路基注浆加固施工的重要性

在普速铁路施工和运营过程中，路基的性能与安全直接关系到机车的行驶安全性。所以铁路路基注浆材料加固施工的重要意义就不言而喻。首先，铁路路基注浆材料加固施工是维护铁道线路安全性的重要手段，在普速铁路运行过程中，随着地质条件、环境因素和对列车运行负荷的持续影响，桥涵过渡段路基常常会发生下陷、扭曲的现象。严重时甚至会导致路基失稳，影响列车的正常运行。通过注浆加固施工可以有效地填充路基中的空洞、裂缝等缺陷，提高路基的密实度和承载力，从而确保铁路线路的稳定性。第二，铁路路基注浆加固施工对于保障列车运行安全具有重要意义，路基的不稳定会导致轨道几何尺寸发生变化，增加列车脱轨的风险。注浆加固施工能够显著改善路基的变形性能，减少路基的沉降和变形，降低列车脱轨的风险，保障列车运行的安全。第三，铁路路基注浆加固施工还具有经济效益显著的特点，注浆加固技术具有施工周期短、成本相对较低的优势。同时，注浆加固施工能够有效地延长路基的使用寿命，降低后期维护成本，提高铁路运营的经济效益^[1]。

2 铁路路基注浆加固施工的关键技术

2.1 注浆施工准备：

(1) 水泥-水玻璃双液注浆前，应分析工程场地的地

质勘查资料，调查邻近建构筑物基础、地下工程和管线分布等施工场地的环境情况，并宜取得结构或基础隐患的评价分析报告。

(2) 对岩土的分类应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《土的工程分类标准》GB50145 的规定。采用水泥-水玻璃双液注浆设计和施工时，应取得岩土层的颗粒级配、含水量、密度、孔隙比、渗透性、强度、压缩性、承载力等指标。

(3) 水泥-水玻璃双液注浆施工前，应通过试验性施工确定钻孔工艺、浆液配合比、注浆方法和工艺，并应符合下列规定：

a. 水泥-水玻璃双液注浆试验孔的布置应选取具有代表性的地段。当地质条件复杂时，对不同水文地质和工程地质特征的地段，均宜设置试验孔。

b. 注浆试验孔深度应大于设计孔深1.0m，全孔取芯并应详细记录地层分层情况和地层特性。

c. 试验时，双液注浆应采用孔口封闭、自下而上的上行式孔内阻塞注浆，当注浆地层深度较深、地质条件复杂时，可采取自上而下的下行式注浆。注浆时，应由低压、较大注入量开始，至终压、较小注入量结束，且注浆终压应不小于设计压力。

d. 当在软弱地层进行水泥-水玻璃双液注浆加固试验时，宜采用标准贯入进行检验。当在土层中进行堵水防渗注浆试验时，宜采用钻孔取芯结合注水试验进行检验；当在岩层中进行堵水防渗注浆试验时，宜采用钻孔取芯结合压水试验进行检验。

2.2 施工工艺及工序

(1) 可采用回转钻进、冲击钻进、冲击回转钻进和振动、射水钻进等钻孔方法。

(2) 钻孔孔位与设计孔位允许偏差应为±50mm，钻

孔允许偏斜率应为1%，钻孔孔径应大于注浆管外径60mm以上，钻孔的有效深度宜超过设计钻孔深度0.3m。

(3) 应选取部分注浆孔作为先导孔，且先导孔数量宜为总孔数的3%~5%，先导孔宜采取芯样，并核对地层岩土特性；若地层岩土特性有变化时，应补充土工试验和原位测试来确定岩土。钻进时应详细记录孔位、孔深、地层变化和漏浆、掉钻等特殊情况及其处理措施。

(4) 软弱地层水泥-水玻璃双液注浆可采用预埋注浆管方式注浆和直接采用钻杆注浆。采用预埋注浆管方式时，注浆钻孔完成后，应及时埋设塑料管、金属管等注浆管。

(5) 水泥浆与水玻璃的混合位置(混合器位置)应根据浆液的初凝时间确定。初凝时间大于2min时，宜在孔口混合，初凝时间小于2min时，应在孔内或孔底混合。

(6) 水泥-水玻璃浆液的配制应符合下列规定:应根据设计浆液配比，单独配制纯水泥浆液和适当浓度水玻璃，水泥浆水灰比可取1.5:1~0.5:1，水泥浆液和水玻璃体积比宜为1:0.1~1:1。需要添加粉煤灰时，宜先配制水泥粉煤灰浆液或水玻璃粉煤灰浆液。

(7) 软弱地层水泥-水玻璃双液注浆时，应根据注浆压力变化及浆液扩散情况调整水灰比、水玻璃浓度、纯水泥浆与水玻璃体积比。

(8) 软弱地层水泥-水玻璃双液注浆止浆方式应根据注浆工艺要求确定，浅孔注浆时宜选择孔口封闭法，深孔注浆时宜选择孔内封闭法。软弱地层水泥-水玻璃双液注浆应根据不同的地质条件和工程要求，选用全孔一次注浆法、自上而下的下行式注浆法、自下而上的上行式注浆法等。软弱地层水泥-水玻璃双液注浆应连续进行，因故中断时，间断时间应小于浆液的初凝时间。定量注浆时，每段注浆量达到设计注浆量后方可结束注浆。当采用以注浆压力为控制指标时，注浆压力达到设计压力后，可结束注浆。当注浆后经检测达不到设计要求时，应调整设计注浆量，并及时补浆。

2.3 注浆施工技术

注浆施工技术是现代土木建筑中一种必不可少的工艺，特别是在铁路等基础加固工程中，其运用十分普遍且效果显著。本工艺特点是，采用高压方式将一定比例的注浆料直接投入建筑物表面及构造体之间的裂隙、孔洞中，以改变地基的物理力学特性，从而提高了构造体的整体性和稳定性。第一，在注浆建筑施工活动中，首先必须对建筑地段进行细致的勘测，确定注浆建筑的范围、深度以及注浆方法材料的种类。然后，依据勘测成果制订详尽的工程建设计划，包括注浆孔的布置、注浆

材料的配比、注浆压力的控制等。在施工过程中，需严格遵循施工方案，确保注浆的均匀性和密实度。第二，注浆材料的选择是注浆施工技术的关键，常见的注浆材料包括水泥浆、化学浆液等，这些材料需根据施工区域的地质条件、工程要求等因素进行选择。注浆材料需具备良好的流动性和渗透性，能够充分填充地基或结构体的裂缝、空洞，形成坚固的加固体。第三，注浆施工技术的优点在于其施工效率高、加固效果好、对周围环境影响小。通过注浆施工，能够明显提高建筑物的强度和安全性，减轻建筑物沉降和病害，进而保证地铁等交通工具的安全运行。另外，注浆施工也具备了施工周期短、成本比较低廉的优势，可以在最短时间内完成全部施工任务，从而减少了施工成本。

(1) 配制水泥-水玻璃浆液所采用的水玻璃模数应在2.4~3.2之间，其浓度不应小于40°Bé。配制水泥-水玻璃浆液所采用的拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63的有关规定。配制水泥-水玻璃浆液时，可根据工程的实际需要，掺加粉煤灰、膨润土、矿渣微粉等掺合料及其他添加剂。

(2) 水泥-水玻璃双液注浆材料应按浆液配比进行计量，且水泥等固相材料宜采用质量(重量)称量法进行计量，允许偏差应为±5%，水和添加剂可按体积进行计量，允许偏差应为±1%。水泥浆应搅拌均匀，且搅拌时间不应小于3min，并应测量水泥浆液密度。集中制备水泥浆时，宜制备水灰比为0.5的水泥浆，且输送水泥浆的管道流速宜为1.4m/s~2.0m/s。注浆前，应根据水泥-水玻璃双液注浆浆液设计配比对集中制备的水泥浆的水灰比进行调配。水玻璃宜在使用前加水稀释到20°Bé~35°Bé备用，并应确保搅拌均匀。水泥-水玻璃双液注浆浆液在使用前应过滤。浆液自制备至用完的时间不应超过其初凝时间，且不宜大于2h。

(3) 水泥-水玻璃双液注浆管路应使浆液流动畅通，并应能承受至少2倍的设计注浆压力。注浆管可采用钻杆的管材。注浆泵出口和注浆孔口处均应安装压力表，且其使用压力应在压力表最大标称值的1/4~3/4之间。压力表与管路之间应设置隔浆装置。水泥-水玻璃双液注浆用止浆塞应与所采用的注浆方式、方法、注浆压力及地质条件相适应，应有良好的膨胀和耐压性能，在最大注浆压力下应能可靠地封闭注浆孔段，并易于安装和卸除。

2.4 注浆质量检验

软弱地层水泥-水玻璃双液注浆加固宜根据设计要求采用静载法、标贯试验，或采用静力触探法、动力触探法等方法进行检验，并结合实际效果综合评价加固效果^[2]。

(1) 检验点应布置在下列部位:有代表性的孔位, 施工过程中出现异常情况的部位, 地基情况复杂可能对注浆质量产生影响的部位。

(2) 检验点的数量应满足软弱地层水泥-水玻璃双液注浆加固设计要求。当设计无具体要求时, 检验点的数量宜为施工孔数的1%, 且不宜少于3点。

(3) 质量检验应在注浆固结体强度达75%或注浆结束7d后进行。

(4) 软弱地层水泥-水玻璃双液注浆质量检查结果满足设计要求的承载力和注浆固结体强度的90%以上, 注浆质量可认为合格。

3 铁路路基注浆加固技术的优化与创新

3.1 材料选择与性能优化

随着工程技术的不断进步, 对注浆材料的要求也日益提高。为了满足铁路路基加固的复杂需求, 注浆材料不仅要具备高强度、耐久性, 还需适应各种地质环境和施工条件。(1) 注重物理和化学性能, 确保其能够满足铁路路基加固的特定要求。例如, 针对地基中的软弱层或空洞, 我们选择流动性好、渗透能力强的注浆材料, 以确保浆液能够充分填充并固结这些区域。针对不同地质条件, 如高含水量、高渗透性等, 我们选用具有相应性能特点的注浆材料, 如添加改性剂的水泥浆或聚合物注浆材料, 以提高其抗渗性、耐久性和适应性。(2) 材料研发和改进。通过引入先进的纳米技术和复合材料技术, 提高注浆材料的强度和耐久性, 我们关注注浆材料的环保性能, 选用无毒、无污染的材料, 以减少对环境的负面影响。我们还通过优化注浆材料的配比和施工工艺, 降低其成本, 提高施工效率, 实现经济效益和环境效益的双赢。(3) 优化加固技术的关键环节。通过选用合适的注浆材料和不断优化其性能, 我们可以为铁路路基提供可靠的加固效果, 确保铁路运营的安全和稳定^[1]。

3.2 施工工艺的优化与提高效率

随着技术的不断进步和工程实践的积累, 传统的注浆施工工艺已经难以满足现代铁路建设对高效率、高精度和高质量的要求。(1) 设备升级和改造。引入先进的注浆设备和自动化控制系统, 能够实现注浆过程的精确控制和高效作业。例如, 采用高压注浆泵和流量控制系统, 可以精确控制注浆压力和注浆速度, 确保浆液能够

均匀、快速地注入地基中。(2) 特殊环境与地质条件, 对施工工艺进行针对性的优化。通过合理布置注浆孔、调整注浆参数和采取适当的注浆顺序, 可以提高注浆效果并减少施工时间。例如, 在软弱地基区域, 采用分段注浆的方式, 逐步加固地基, 可以避免一次性注浆引起地基变形和沉降。(3) 引入信息化与智能化技术。通过利用地质雷达、无人机等先进设备对施工现场进行实时监测和数据采集, 可以及时了解注浆效果和地质条件的变化, 为施工工艺的调整和优化提供科学依据。利用大数据分析和人工智能技术, 可以对注浆施工过程中的各种参数进行智能优化和预测, 进一步提高施工效率和质量。

3.3 引入智能化施工技术

随着人工智能、物联网和大数据分析等信息技术的蓬勃发展, 智能建筑科技的运用不但提高了建筑施工效率, 还在品质管理、安全管理以及能源优化等方面显示出极大潜能。第一, 在铁路路基注浆加固工程中, 智能化施工技术通过集成高精度传感器、智能控制系统和数据分析平台, 实现了对注浆过程的实时监控和智能决策。通过传感器网络, 可以实时采集注浆压力、流量、温度等关键参数, 确保注浆过程的精确控制。第二, 智能化施工技术还通过数据分析平台, 对注浆过程中的大量数据进行深度挖掘和分析, 为施工方案的优化提供科学依据。

结束语

自进行注浆加固工程建设一年多来, 本段路基铺面从未发生开裂、渗漏的情况, 路基下降率达到国家有关规定, 承载能力明显提高, 实现了很高的经济性和社会效益。注浆材料加固工艺现已比较完善, 但对建筑设计与施工的专业素养要求较高, 具体实施时各企业必须严格遵照技术标准实施, 这也是保证质量合格的有力保障。

参考文献

- [1]周前忠, 吴县荣, 翟秀平.注浆法在加固铁路路基中的应用[J].江西建材, 2018(5): 136-137.
- [2]周峰.铁路顶涵工程路基注浆固化技术质量控制[J].现代物业: 新建设, 2019, 13(8): 41-44.
- [3]张寒, 李晓林.注浆法在路基加固处理中的应用[J].中国市政工程, 2018, 6(16): 32-33.