

道路桥梁隧道工程高压灌浆加固施工技术研究

崔向美

天津众诚工程检测技术有限公司 天津 300392

摘要：文章聚焦道路桥梁隧道工程高压灌浆加固施工技术。阐述其理论基础，包括原理、材料选择与适用范围。详细介绍施工要点，涵盖前期准备、分场景工艺优化及关键控制点。构建施工质量控制与检测评价体系，涉及全流程质量控制、核心检测技术及评价体系构建。通过系统研究，旨在为道路桥梁隧道工程高压灌浆加固施工提供全面技术指导，保障工程质量与安全，提升工程长期稳定性和使用性能。

关键词：高压灌浆；道路桥梁；隧道工程；加固技术；施工工艺

引言：道路桥梁隧道工程作为交通基础设施的关键部分，其安全性和稳定性至关重要。然而受地质条件、环境因素及长期使用等影响，工程易出现病害，影响正常运营。高压灌浆加固技术凭借其独特优势，成为处理工程病害、提升结构性能的重要手段。深入研究该技术在道路桥梁隧道工程中的应用，优化施工工艺，加强质量控制，对保障工程质量、延长工程使用寿命、确保交通畅通安全具有重大现实意义。

1 高压灌浆加固技术理论基础

1.1 高压灌浆原理

高压灌浆加固技术核心原理是借助高压设备将灌浆材料以预定压力注入岩土体或结构裂缝中，通过材料的渗透、填充、胶结及固化作用，改善原有介质的物理力学性能，形成整体稳定的加固体系。高压作用使灌浆材料突破介质孔隙或裂缝阻力，实现深层渗透扩散，不仅能填充细小孔隙和裂缝，还能挤压周边松散介质，提升其密实度。同时，灌浆材料固化后与原介质形成牢固的复合结构体，有效传递荷载，增强整体承载力和稳定性^[1]。该原理基于流体力学渗透理论与材料固化胶结原理，通过控制灌浆压力、流量和时间，精准调控加固范围和效果，满足不同工程的加固需求，是道路桥梁隧道工程中常用的隐蔽性加固核心原理。

1.2 材料选择与性能要求

高压灌浆材料的选择需结合工程地质条件、加固目标及施工环境，核心性能需满足渗透力、固化强度、耐久性及兼容性要求。常用材料包括水泥基灌浆料、化学灌浆料及复合灌浆料，水泥基材料适用于孔隙较大的岩土体，需具备良好的流动性、凝结时间可调性，28天抗压强度不低于30MPa，且收缩率小、抗渗性强。化学灌浆料如环氧树脂类，适用于细小裂缝加固，需具备高渗透性、粘结强度高及耐腐蚀性，固化后体积收缩小，能与

混凝土、岩石等基材紧密结合。复合灌浆料结合两者优势，适配复杂地质条件。材料需满足环保要求，无有毒有害物质释放，低温或高温环境下性能稳定，抗冻、抗碳化及抗老化性能达标，确保加固效果长期可靠，避免因材料性能不足导致二次病害。

1.3 适用范围与工程条件

高压灌浆加固技术适用于道路、桥梁、隧道工程中多种病害处理及地基、结构加固场景，涵盖岩土体加固、裂缝修补、防渗堵漏等领域。道路工程中可用于路基沉降、不均匀变形及路面裂缝加固；桥梁工程适用于桥墩基础加固、支座底部脱空填充、梁体裂缝修补；隧道工程可处理围岩松散、衬砌裂缝、渗漏水等问题，还可用于超前支护加固。其适用的工程地质条件包括砂土、粉土、粘性土、岩石等各类地层，尤其对松散破碎岩土体、存在裂缝的混凝土结构加固效果显著。施工需满足一定工程条件，需具备稳定的施工作业面，确保高压设备安装调试顺利；地层含水量需控制在合理范围，避免影响灌浆材料固化；周边无易燃易爆及精密设施，高压作业及化学材料使用需符合安全规范，同时需提前探明地下管线分布，防止施工冲突。

2 道路桥梁隧道工程高压灌浆加固施工技术要点

2.1 施工前期准备工作

施工前期准备工作是保障高压灌浆加固施工质量和安全的前提，需从勘察设计、设备调试、材料检验及现场布置多方面开展。首先需开展详细地质勘察和工程病害检测，明确岩土体分布、裂缝尺寸、渗漏水位置等参数，结合检测结果编制专项施工方案，确定灌浆压力、孔位布置、灌浆顺序等关键参数。其次进行设备选型与调试，选用压力等级适配的高压灌浆泵、注浆管、搅拌机等设备，调试设备压力稳定性、流量控制精度，确保无泄漏、运行正常^[2]。材料进场前需严格检验，核查出厂

合格证、性能检测报告,抽样送检确认各项指标达标,按要求存储材料,防止受潮、变质。同时完成现场布置,清理作业面,标记孔位,搭建安全防护设施,设置警示标识,排查周边安全隐患,组织施工人员技术交底和安全培训,明确操作规范和应急处置措施,确保施工有序开展。

2.2 分场景施工工艺优化

2.2.1 道路工程高压灌浆加固

道路工程高压灌浆加固是提升道路结构稳定性的关键手段,需依据路基、路面不同病害类型,精准优化施工工艺,增强加固的针对性与有效性。对于路基加固,采用梅花形布置灌浆孔,孔距严格控制在1.5-2.5米,孔径50-80毫米,依据路基深度科学确定孔深,确保穿透松散层直达稳定地层。运用分段灌浆工艺,从下至上逐段加压灌注,压力精准控制在1.5-3.0MPa,每段灌浆完成后闭浆稳压5-10分钟,有效防止材料流失。路面裂缝加固时,先全面清理裂缝,剔除松散杂物,用封缝材料封闭裂缝两端及表面,预留注浆口和排气口。选用低粘度化学灌浆料,压力控制在0.5-1.0MPa,缓慢灌浆至排气口溢出浆液后封堵。施工中,优化灌浆顺序,从路基沉降严重区域向轻微区域推进,路面裂缝按从一端到另一端顺序灌注,同时严格控制浆液凝固时间,避免影响道路正常运行,确保加固后路基承载力均匀,路面裂缝完全闭合,恢复道路使用功能。

2.2.2 桥梁工程高压灌浆加固

桥梁工程高压灌浆加固针对不同结构部位,精细优化工艺,切实保障桥梁整体稳定性。桥墩基础加固采用钻孔灌注桩旁注浆工艺,围绕桥墩基础合理布置灌浆孔,孔深入持力层1-2米。采用高压喷射灌浆与常规灌浆相结合的方式,压力精准控制在2.5-4.0MPa,浆液选用高强度水泥基灌浆料,确保浆液充分渗透至基础周边岩土体,有效提升承载力。支座底部脱空加固时,先顶起桥梁支座,彻底清理底部杂物,科学布置注浆孔,采用低压慢灌工艺,压力控制在0.3-0.8MPa,选用微膨胀灌浆料,灌注至浆液饱满且不再下沉后停止,稳压养护。梁体裂缝加固需区分受力裂缝与非受力裂缝,受力裂缝采用压力灌浆结合碳纤维加固,压力控制在1.0-1.5MPa,选用环氧树脂灌浆料;非受力裂缝可采用低压灌注工艺。施工中优化孔位布置,避开桥梁主筋,精准控制灌浆速度,避免浆液对结构造成二次损伤,养护期间禁止车辆通行,确保加固效果达标,保障桥梁安全运行。

2.2.3 隧道工程高压灌浆加固

隧道工程高压灌浆加固需紧密适配隧道围岩条件和

病害类型,全面优化工艺,确保施工安全与加固质量。围岩松散加固采用超前小导管灌浆工艺,小导管间距30-50厘米,倾角10-15度,长度3-5米,浆液选用水泥-水玻璃双液浆,压力控制在1.0-2.0MPa,快速凝固形成超前支护拱,有效防止围岩坍塌。衬砌裂缝及渗漏水加固时,先全面排查裂缝走向、宽度及渗水量,对渗水裂缝采用“先堵水后灌浆”工艺,先注入止水浆液封堵水源,再注入结构加固浆液;干裂缝直接灌注加固浆液,压力控制在0.8-1.2MPa。隧道底部加固采用梅花形布置灌浆孔,孔深至隧道底板以下稳定地层,采用分段灌浆工艺,从隧道两侧向中间推进,压力控制在2.0-3.0MPa,有效提升底板承载力^[3]。施工中优化通风和排水措施,避免浆液稀释,实时监测围岩变形,依据变形数据灵活调整灌浆压力和速度,确保加固后隧道围岩稳定,衬砌结构抗渗性和承载力显著提升,保障隧道安全畅通。

2.3 施工过程关键控制点

高压灌浆加固施工过程的关键控制点,需全面覆盖灌浆参数、施工操作、安全防护以及现场监测等多个方面,以此确保施工质量和安全万无一失。在灌浆参数控制上,压力、流量和浆液配比是核心要素。施工过程中,要实时精准监测灌浆压力,压力过高可能致使岩土体或结构遭受破坏,压力过低则会影响浆液的渗透效果,需依据不同的地质条件以及施工反馈情况,动态灵活地调整压力参数。同时,要严格按照既定配比搅拌浆液,精确控制搅拌的时间和速度,以此保证浆液的均匀性。并且,详细记录浆液的流量和灌注量,通过这些数据准确判断灌浆的饱满程度。施工操作控制方面,要严格规范钻孔、清孔、灌浆的流程。钻孔完成后,必须仔细清理孔内的杂物和积水,防止其影响浆液的粘结效果。灌浆时,要按照预定的顺序有序推进,若采用分段灌浆的方式,要确保各段之间衔接紧密,避免出现空洞等质量问题。安全控制点不容忽视,高压设备的操作以及化学材料的使用都存在一定风险。施工人员务必佩戴好防护用品,防止浆液接触皮肤和呼吸道,造成身体伤害。施工现场要设置安全防护栏,有效防止高空坠落和机械伤害等事故的发生。现场监测需实时跟踪围岩或结构的变形情况以及渗水量的变化。一旦发现异常,要立即停止施工,对施工方案进行调整优化,待问题解决后再复工,确保施工全过程处于可控状态。

3 高压灌浆加固施工质量控制与检测评价体系

3.1 施工全流程质量控制

高压灌浆加固施工全流程质量控制需贯穿事前、事中、事后三个阶段,构建闭环管控体系。事前控制重点

为方案审核、材料检验和设备调试,审核专项施工方案的可行性和针对性,修正不合理参数;严格执行材料进场检验制度,不合格材料严禁使用;全面调试施工设备,确保各项性能达标。事中控制聚焦施工操作和参数管控,安排专人旁站监督,规范钻孔、清孔、灌浆等操作流程,实时记录灌浆压力、流量、浆液配比等数据,对关键工序实行交接检验,上道工序不合格不得进入下道工序。事后控制核心是养护管理和初期检测,按规范要求浆液养护,控制养护环境温度和湿度,确保材料充分固化;养护期间禁止扰动加固区域,定期检查加固部位外观,排查裂缝、渗漏等问题。同时建立质量追溯体系,完善施工记录,确保每道工序可追溯,及时整改质量隐患,保障整体加固质量。

3.2 核心质量检测技术

高压灌浆加固的核心质量检测技术,需紧密结合工程类型与加固目标,精心选用针对性检测方法,以全面且精准地评估加固效果。地质雷达检测在路基、隧道围岩及衬砌加固检测中优势显著。它借助电磁波反射信号,能清晰判断浆液填充范围、密实度,还能敏锐察觉是否存在空洞。其检测精度高、操作便捷,可实现无损检测,为工程安全提供可靠依据。钻芯取样检测主要针对水泥基灌浆料加固部位。在加固区域随机选取点位钻孔取芯,通过对芯样的抗压强度、粘结强度及浆液胶结情况进行分析,能直观呈现加固质量。取样后,需及时对钻孔进行二次灌浆封堵,避免影响工程整体性。渗透试验用于防渗加固检测,通过精准测量加固区域岩土体或结构的渗透系数,可有效评估抗渗性能是否达标。超声波检测则适用于混凝土结构裂缝加固检测,依据超声波传播速度和幅值变化,能准确判断裂缝是否完全闭合、浆液胶结质量。检测过程中,必须严格按规范布置检测点位,保证检测结果具有代表性和准确性。一旦发现检测不合格区域,要及时采取补灌浆措施,确保高压灌浆加固工程质量可靠、万无一失。

3.3 质量评价体系构建

高压灌浆加固质量评价体系构建需围绕加固效果、

施工过程及长期稳定性,建立多维度评价指标体系。核心评价指标包括加固体力学性能、渗透性能、外观质量及结构稳定性,力学性能指标涵盖抗压强度、粘结强度、承载力提升幅度,需满足设计及规范要求;渗透性能指标针对防渗加固,渗透系数需达到预定标准;外观质量无明显裂缝、渗漏、空鼓等缺陷;结构稳定性通过后期监测数据评估,变形量控制在允许范围^[4]。评价流程分为施工过程评价、初期质量评价和长期稳定性评价,施工过程评价基于施工记录和旁站监督结果,评估工序合规性;初期评价在养护完成后,结合检测数据判断加固效果;长期评价通过定期监测,跟踪加固部位性能变化。同时建立评价标准分级体系,分为优秀、合格、不合格三个等级,不合格区域需制定整改方案并复检,确保加固工程质量符合工程使用要求,保障道路桥梁隧道工程长期安全运行。

结束语

道路桥梁隧道工程高压灌浆加固施工技术研究意义重大。通过对其理论基础、施工要点及质量控制与检测评价体系的深入探讨,为实际工程提供了系统全面的技术指引。在实际应用中,需严格遵循相关规范和流程,精准把控各环节,确保施工质量。未来,随着技术不断发展,应持续优化创新,提升高压灌浆加固技术水平,更好地应对复杂工程挑战,为交通基础设施的稳定运行和可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]杨世政.道路桥梁隧道工程施工难点和质量控制措施分析[J].运输经理世界,2024,(18):100-102.
- [2]王宇锋.道路桥梁隧道工程高压灌浆加固施工技术研究[J].工程机械与维修,2024,(06):166-168.
- [3]刘鹏,董其畅.道路桥梁隧道工程高压灌浆加固施工技术研究[J].科技资讯,2025,23(11):136-138.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2411-5042-3067.
- [4]钟鸣,谢永康,刘亭玉.公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术的应用[J].大众标准化,2022(9):59-61.