

并通过综合安全评价实现方案比选与优化调整，最终在实施与反馈过程中不断修正和完善交通组织策略。

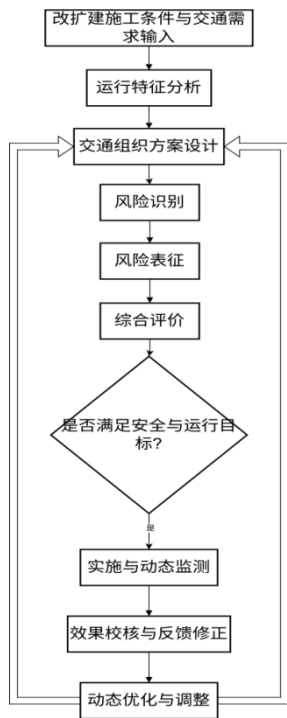


图1 高速公路改扩建工程交通组织方案设计与安全评估技术路线

4.1 基于风险识别与表征的安全评估逻辑框架

基于前文对高速公路改扩建工程交通运行特征及安全风险分析的系统分析可以看出，施工干扰条件下交通安全风险具有明显的前置性、过程性和动态演化特征，仅依赖事故统计结果或事后评价方法，难以满足交通组织方案设计阶段的安全决策需求。为此，本文在上面的章节中分析风险形成基础与演化机理的基础上，构建了面向改扩建工程交通组织方案设计阶段的安全评估逻辑框架。

该框架以改扩建施工条件和交通需求特征为输入，将交通运行状态变化作为风险识别与评价的核心切入点，形成“运行特征分析—方案设计—风险识别—风险表征—综合评价—动态优化”的闭环技术路线。其构建逻辑在于：首先，通过对施工干扰下交通流运行状态的分析，识别交通系统在不同施工阶段的运行特征及其变化规律，为交通组织方案设计提供基础依据；其次，在方案设计基础上，结合施工区空间结构特征和交通运行特性，对车道合流区、限速突变区及施工出入口等关键位置的潜在安全风险进行系统识别。在此基础上，框架进一步引入以运行状态指标和潜在交通冲突特征为核心的风险表征方法，将交通安全风险由定性判断转化为可比较、可分析的量化结果，并通过综合评价实现不同交通组织方案安全性能的整体判别。最后，通过将评价结果反馈至方案调整与实施过程，形成持续修正和优化交通组织措施的动态闭环机制。

4.2 综合安全评价方法与方案优选应用

在完成风险识别与风险表征的基础上，交通组织方案安全评估进一步进入综合评价阶段。由于不同风险指标在量纲、取值范围及敏感性方面存在差异，本文采用指标标准化与加权整合相结合的方法，对各类风险指标进行综合处理，从而形成反映方案整体安全性能的综合评价结果。

在综合评价过程中，结合改扩建工程的管理目标和施工安全控制重点，对关键风险指标赋予相应权重，使评价结果能够真实反映交通组织方案对施工条件下交通运行安全水平的影响。通过对不同方案综合评价值的比较，可实现交通组织方案的科学优选。评价结果不仅可作为方案论证阶段的重要决策依据，也可服务于施工阶段的动态管理，当施工条件或交通需求发生变化时，可通过重新评估及时调整交通组织措施，避免运行风险持续积累。

4.3 工程应用与方法适用性分析

在实际改扩建工程中，交通组织方案安全评估方法的应用应与工程管理流程相结合。在方案论证阶段，通过安全评估对不同组织方案进行对比，可有效避免仅凭经验决策带来的风险。在施工实施阶段，可结合实时交通数据对评估结果进行校核，及时发现运行状态偏离设计预期的问题。从适用性角度看，该方法适用于不同规模和交通量水平的高速公路改扩建工程，尤其在交通需求高、施工周期长的项目中，其优势更为明显。当然，评估结果的准确性仍依赖于数据获取条件和模型参数设定，需在工程实践中不断校正和完善。

5 结论

高速公路改扩建工程交通组织的复杂性决定了其交通安全问题具有显著的系统性和动态性特征。本文以施工干扰条件下交通运行特征变化为切入点，系统分析了改扩建工程交通安全风险的形成基础与演化机理，在此基础上提出了面向交通组织方案设计阶段的安全评估技术思路。研究构建了以运行状态和潜在冲突为核心的交通组织方案安全评估框架，明确了风险识别、风险表征与综合评价的技术路径。研究认为，在交通组织方案设计与实施过程中引入系统化安全评估机制，有助于提升方案科学性和施工期间交通运行安全保障水平。

参考文献

- [1] 曾涛. 高速公路建设与运营企业改扩建项目工程建设资金监管机制搭建[J]. 交通财会, 2026, (01): 40-43+50.
- [2] 王重阳. G50沪渝高速公路鸽子墩枢纽至皖鄂界段改扩建工程绿化探讨[J]. 上海公路, 2025, (04): 206-209+213+228.
- [3] 李猛. 信息化在高速公路改扩建工程管理中的创新应用探究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (12): 161-163.
- [4] 梁璠. 西兴高速改扩建工程已具备通车条件[N]. 西安日报, 2025-12-19(004).
- [5] 王克明. 高速公路改扩建工程新旧桥梁拼接施工技术研究[J]. 工程机械与维修, 2025, (12): 91-93.

Research on Common Problems and Treatment Technology of Construction Quality of Steel Flower Pipe Grouting Reinforcement

Caiwen Zeng

Shenzhen Shenko Construction Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Steel flower pipe grouting reinforcement technology, renowned for its high efficiency and cost-effectiveness, is extensively applied in complex geotechnical applications including foundation treatment, slope stabilization, and tunnel support in construction, municipal engineering, and hydraulic projects. This technique utilizes grouting holes on the side walls of steel pipes to inject cement slurry into rock-soil fractures, achieving rapid consolidation and strength enhancement while offering advantages of fast construction and minimal material consumption. However, under complex geological conditions, issues such as unstable grouting material properties, improper mix ratios, unreasonable process parameters (e.g., grouting pressure and speed), and drilling failures caused by underground obstacles or loose rock layers may lead to grouting imperfections, slurry leakage, or pipe blockages, compromising engineering stability and safety. Through case studies of typical projects, this paper analyzes root causes and proposes targeted remediation techniques, providing innovative approaches for construction quality control in this technology.

Keywords

Steel flower pipe grouting reinforcement; Common quality defects; Treatment technology; Optimization of grouting materials and process parameters

钢花管注浆加固施工质量通病及处治技术研究

曾彩文

深圳市深勘建设工程有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

钢花管注浆加固技术因高效经济的特点, 广泛应用于建筑、市政、水利等工程的地基处理、边坡稳定及隧道支护等复杂地层施工。该技术借助钢管侧壁注浆孔将水泥浆压入岩土体裂隙, 可快速胶结岩土体、提升其强度, 兼具施工快、耗材少的优势。但复杂地质条件下, 注浆材料性能不稳、配比不当, 注浆压力、速度等工艺参数设置不合理, 以及地下障碍物、松散岩层引发的钻孔故障, 易造成注浆不饱满、串浆堵管等质量问题, 影响工程稳定性与安全性。本文结合典型工程案例, 分析问题成因并提出针对性处治技术, 为该技术施工质量管控提供新思路。

关键词

钢花管注浆加固; 质量通病; 处治技术; 注浆材料及工艺参数优化

1 引言

注浆施工需严格遵循分序注浆原则, 通过跳孔注浆方式控制浆液流失, 确保加固体均匀性。施工完成后, 可选择钻孔取芯、静力触探试验、标准贯入试验 (SPT)、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验、多道明态面波试验等手段评估注浆密实度及固结体强度, 为后续工程决策提供可靠依据。

2 钢花管注浆技术概述

2.1 钢花管注浆加固技术原理

钢花管注浆加固技术采用钻孔方式将钢花管置入预定深度的地基中, 其核心原理在于通过高压注浆设备将浆液注

入地层, 钢管通常选用 $\phi 50 \sim \phi 100\text{mm}$ 热轧无缝钢管 DZ40 型地质专用管, 利用钢管径向注浆孔 (孔径 $5 \sim 8\text{mm}$, 孔间距 50cm) 将注浆材料填充、渗透、劈裂及挤密注入至松散土体或岩层裂隙中, 使浆液与土颗粒或与裂隙及孔洞周围固体介质胶结, 浆液固化后形成网状加固体, 从而提高土体粘聚力与内摩擦角, 提升地层承载力和稳定性, 降低渗透性。该技术的工艺流程包含钻孔定位、钢花管安装、浆液配制、注浆施工及效果检测等关键环节^[1]。

2.2 钢花管注浆加固施工流程

2.2.1 定位布孔参数确认

一般地质条件注浆孔设置可按横向间距 2.5m 、纵向间距 2.5m , 呈梅花形布置。在复杂地质条件下, 须通过多个试桩方案的实验参数检测成果验证: 比如杂填土 (含块石、废砼块、断砖块等建筑垃圾)、素填土、含有机质粉质黏土、

【作者简介】曾彩文 (1978-), 男, 中国广东梅州人, 本科, 工程师, 从事工程建设研究。

粉质粘土、全风化砂岩、强风化砂岩等情况，注浆孔横向、纵向间距宜调整为 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ ，呈梅花形布置。钢花管倒

刺做法调整成单管，原设计钢花管按重复利用因现场无法拔出调整为单次利用。钢花管注浆加固大样图详见图 1 所示

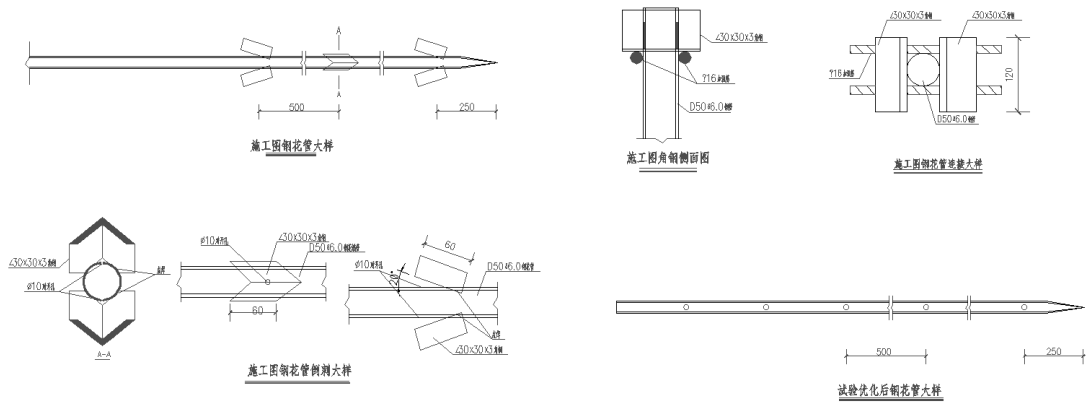


图 1 钢花管注浆加固大样图

2.2.2 钻孔清渣

采用 A6 型分体式潜孔钻机成孔，适用孔径 90-165mm，钻孔孔深可达 30m，偏斜度 $\leq 1\text{cm}$ 。

2.2.3 钢花管安装

钢花管管节长度通常按 3m、6m，接头采用丝扣连接，丝扣螺纹段长度应大于 15cm。相邻两根钢花管的接头要错接，其错接长度不小于 1.0m。钢管前端呈尖锥状，钢管外壁射浆孔用胶带螺旋密封，防止下管时堵塞，并在尾部焊接 10 加劲箍。

2.2.4 分段注浆

注浆采用强度等级 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥，水灰比 1 ~ 0.5。注浆孔施工排序应由内部到外部，同排注浆孔采用跳打注浆的方式。注浆压力填土层中 0.2 ~ 0.5MPa，填土以下坡积土层为 0.5 ~ 1.0MPa；注浆量每方土体注浆量暂取 0.2 ~ 0.4m³，注浆压力 0.5 ~ 1.0MPa，每立方土体注浆量为 0.30 ~ 0.35m³。施工过程应根据不同地质条件以试验结果为准，可进行相应调整。注浆前应进行浆液配比及注浆压力试验，以确定相关参数；浆液水灰比、注浆压力等基本参数。在施工技术规范范围内，工程实施中注浆以控制注浆量为主，注浆压力只作为参考。终止注浆条件为：注入率不大 1L/min 后，继续灌注 5min，可结束灌浆。

钢花管注浆的施工质量直接影响加固效果，注浆材料需具备适宜的流动性和渗透性以确保均匀扩散，注浆压力应根据地层特性动态调整以避免超压破坏。

2.2.5 封孔整平

二次注浆结束后割除管头，采用水泥砂浆对管头进行填补。

3 施工质量通病分析

3.1 成孔阶段质量缺陷

3.1.1 排渣困难与孔斜超标

松散岩层中钻孔易产生泥团堵塞，尤其孔深 $> 8\text{m}$ 时，

钻杆环状间隙被泥团卡死，导致排渣中断。例如梅河高速项目中，残积亚粘土含水率高，钻渣成团后卡钻率达 22%。此外，遇地下障碍物（漂石、混凝土块）易引发“蹩钻”，使钻具无法回转，孔斜偏差 $> 10\text{cm}$ 。

3.1.2 钻头脱落事故

销轴或卡扣失效：采用销轴或卡扣连接的钻头，若销轴磨损、断裂或卡扣松动、变形，无法有效固定钻头，也会引发脱落事故。如销轴长期受力疲劳断裂，或卡扣因外力冲击而变形失去卡紧作用。钻进参数不当：遇到未探明的孤石、硬夹层或破碎带等复杂地质情况，钻头可能突然受阻，产生异常应力，当钻进速度过快、钻压过大或转速过高，可能使钻头承受的应力超过其极限，导致钻头脱落。设备故障：钻机的传动系统、提升系统等出现故障，可能导致钻头在钻进或提升过程中失去控制，发生脱落。

3.2 注浆过程典型问题

3.2.1 注浆材料质量问题

注浆材料作为钢花管注浆加固工程的核心材料，其质量直接决定了注浆体的力学性能与耐久性。然而在实际工程应用中，注浆材料的质量问题频繁出现，成为影响加固效果的关键制约因素。材料性能不稳定主要表现为水泥基注浆材料的强度离散性大、外加剂活性差异显著等问题。研究表明，部分注浆材料供应商为降低成本，采用品质波动较大的原材料，如硅酸盐水泥中混合材掺量超标、粉煤灰活性指数不达标，导致浆液泌水率增大、早期强度发展缓慢，易削弱注浆体对软弱地层的承载力提升，更可能在长期荷载作用下诱发微裂隙扩展，严重时导致加固结构失效^[2]。配比设计与施工控制的偏差进一步加剧了质量问题。理论配比中水灰比、骨灰比的精准计算，需基于材料特性试验数据确定。但实际施工中，部分工程未进行浆液配合比优化试验，盲目套用常规参数，致使浆液稠度与地层渗透性不匹配。例如在卵砾石地层中采用过稀浆液，易造成浆液流失；而在黏土地层使用高黏度浆液，则可能导致充填不充分。此外，现场计量设备精

度不足、人工拌合随意性大，常导致水泥、水、外加剂的实际掺量与设计值存在系统性偏差。某工程案例显示，因未严格按配合比称量，实际水灰比超出设计值12%，造成注浆体28d抗压强度仅为设计值的68%，显著降低了加固体的刚度与抗剪性能。这种配比失控现象，使得注浆体的力学指标、凝结时间等关键参数偏离设计要求，直接导致注浆加固达不到预期的工程效果。

3.2.2 注浆工艺参数不当

注浆工艺参数的合理设置是确保钢花管注浆加固工程效果的核心环节。施工过程中，若参数控制不当将直接导致注浆体与地层的耦合作用失效，影响加固体的整体性能。注浆压力不足是常见技术缺陷之一，其表现为实际注浆压力未达到设计要求或未能适应地层渗透性变化。在低渗透性地层中，若压力参数偏低，浆液难以克服地层阻力，形成局部富集而非均匀扩散，导致加固范围显著缩小。尤其在砂卵石地层中，过低的压力还会引发浆液沿粗颗粒间孔隙流失，造成有效充填率不足。此外，压力波动控制不当同样会破坏浆液凝固的连续性，形成薄弱夹层。注浆速度与压力参数需协同控制，但施工中常出现速度与压力失衡现象。注浆速度过快易导致浆液在高压下产生离析，细颗粒成分优先流失，粗颗粒在孔道内沉积堵塞管路，形成“以堵代注”的虚假压力表象^[9]。反之，速度过慢则延长了浆液在管路中的停留时间，

水灰比失稳后易引发初凝提前，造成注浆管路堵塞。实际监测数据显示，当注浆速度超过设计值的30%时，浆液有效扩散半径将减少40%以上，而速度低于设计值20%时则易出现浆液分层沉淀。这些问题的根源在于施工人员对参数动态调整能力不足，未能根据地层反馈及时修正参数，同时部分注浆设备存在压力传感精度差、流量调节范围有限等缺陷，进一步加剧了参数控制偏差。

3.2.3 浆液充盈度不足

注浆量低于理论值（如单孔 $< 150\text{kg/m}$ ）时，表明浆液未充满钢管或周围土体。成因包括：

浆液收缩过快：未添加缓凝剂的水泥浆初凝时间 $< 30\text{min}$ ，流动性不足；

空气堵塞：注浆口未设排气孔，管内气柱压力阻浆。

压力异常与串浆

泵压骤升（ $> 2.0\text{MPa}$ ）：管路堵塞或地层密实导致浆液停滞；

压力不升：浆液沿裂隙远距离流失，如梅河高速下边坡裂缝宽达20cm，浆液泄漏率 $> 25\%$ ；

串浆：孔间距过小（ < 2 倍加固半径）时，浆液从邻孔或路面裂隙溢出，造成注浆中断。注浆异常现象成因及危害详见表1所示

表1 注浆异常现象成因及危害

异常类型	直接成因	潜在危害
喷浆提升未到设计顶面标高，坑中浆液已排空	后台投料不准； 灰浆泵磨损漏浆； 灰浆泵输浆量增大	影响加固体强度，出现注浆断层
喷浆提升到设计顶面标高剩浆过多	后台投料不准； 输浆管路部分堵塞；	加固范围不足
输浆管堵塞，爆裂	输浆管内有浆液硬结块， 喷浆口球阀间隙太小	爆管、注浆终止
串浆	孔距过小、封孔不严	注浆量分散、工效降低

3.2.4 钢花管安装缺陷

密封失效：射浆孔胶带缠绕不牢，下管时破损率达40%，导致孔眼堵塞；

连接薄弱：套管焊接不密实，注浆压力 $> 1\text{MPa}$ 时焊缝开裂风险增加30%。

4 质量通病处治技术优化

4.1 钻孔缺陷防治措施

动态排渣：每钻进1m吹孔1次，并向钻杆-套管环隙注水稀释泥团；

横销升级：采用轴承钢加工偏心钻头横销，抗剪切强度提升2.1倍；

障碍物预处理：复杂地层施工前钎探扫孔，清除石块、

树根等。

4.2 注浆过程调控技术

4.2.1 浆液改良与参数优化

添加外加剂：缓凝剂（延长初凝时间至 $\geq 60\text{min}$ ）配合速凝剂（双液注浆时水玻璃掺量3%-5%），平衡流动性与固化速度；

压力-流量协同控制：初次注浆采用自流式，二次劈裂注浆采用分段提升（每1m分段），持压时间 $\geq 10\text{min}$ 。

4.2.2 串浆及堵管应对

串浆封堵：麻纱+快硬水泥填塞串浆孔，间歇注浆降低流速；

堵管处理：停机后启用清水冲洗管路，双液系统关闭水玻璃泵改单液灌注。