

高速铁路工程建设中的施工质量控制技术研究

叶 刚

渝黔铁路有限责任公司 重庆 沙坪坝 400038

【摘 要】：高速铁路作为现代交通基础设施的重要组成部分，其工程建设质量直接关系到运营安全和服务水平。本研究针对高速铁路工程建设中的施工质量控制技术进行深入分析，构建了包含质量控制标准、组织管理体系和信息化平台的综合质量控制体系。通过对路基、桥梁、隧道等关键工程结构的施工质量控制技术进行系统研究，提出了基于动态监测、预应力优化、围岩稳定性评估等先进技术的质量控制方法。同时，探讨了无损检测、智能化检测设备以及大数据分析等现代检测评估技术在施工质量控制中的应用。

【关键词】：高速铁路；施工质量控制；无损检测；智能化检测；质量管理体系

DOI:10.12417/2811-0528.25.23.065

随着我国高速铁路网络的快速发展和技术水平的不断提升，高速铁路工程建设规模日益扩大，技术要求愈加严格。高速铁路具有速度快、精度高、安全性要求严等特点，其施工质量控制面临着前所未有的挑战。传统的质量控制方法已难以满足现代高速铁路工程建设的需求，迫切需要建立更加科学、系统、智能化的质量控制技术体系。当前，国内外在高速铁路施工质量控制领域已积累了丰富的实践经验，但在质量控制标准统一性、检测技术先进性、管理体系完善性等方面仍存在不足。因此，深入研究高速铁路工程建设中的施工质量控制技术，探索构建适应新时代发展要求的质量控制体系，对于提升工程建设水平、确保运营安全、推动行业技术进步具有重要的理论意义和实践价值。

1 高速铁路工程施工质量控制体系

1.1 高速铁路工程质量控制标准与规范

高速铁路工程质量控制标准与规范是确保施工质量的基础依据，其建立需要综合考虑国际先进标准和国内实际情况。通过对比分析欧洲、日本等发达国家的高速铁路质量控制标准，结合我国地质条件、气候环境和技术水平特点，建立了涵盖轨道几何参数、结构物变形控制、材料性能指标等多维度的质量控制标准体系。该体系明确规定了路基工程沉降控制标准不超过 15mm、桥梁结构变形限值、隧道断面尺寸偏差等关键技术指标，并建立了相应的检验批划分原则和验收程序。同时，针对不同地区的工程特点，制定了差异化的质量控制指标，如软土地区路基处理标准、高原地区混凝土施工质量要求等，形

成了既统一规范又因地制宜的质量控制标准框架，为施工质量控制提供了科学的技术依据。

1.2 施工质量控制组织架构与管理体系

施工质量控制组织架构与管理体系是确保质量控制措施有效实施的关键保障，需要建立多层次、全覆盖的组织管理模式。在项目层面，设立以项目经理为核心的质量管理委员会，下设质量管理部、技术部、安全部等职能部门，形成横向协调、纵向贯通的组织架构。建立健全质量责任制，明确各级管理人员、技术人员、作业人员的质量职责，实行质量终身责任制和质量事故追责机制。构建涵盖施工准备、过程控制、检验验收、缺陷整改等全过程的质量管理流程，设置关键控制节点和停工检查点，确保每道工序都在受控状态下进行^[1]。同时，建立质量例会制度、质量巡检制度、质量考核制度等管理制度，通过定期质量分析、问题整改跟踪、经验总结推广等方式，不断完善质量管理体系，提升质量管理水平。

1.3 施工质量控制信息化管理平台

施工质量控制信息化管理平台是提升质量管控效率和精度的重要手段，通过集成现代信息技术构建智能化的质量管理体系。平台采用物联网、云计算、大数据等先进技术，建立覆盖施工现场的数据采集网络，实时监测关键质量参数如混凝土温度、路基沉降、桥梁变形等，并自动上传至云端数据库进行存储和分析。系统具备质量预警功能，当监测数据超出设定阈值时，自动发出预警信息并推送至相关责任人，实现质量问题的及时发现和处理。

作者简介：叶刚 1992 年 4 月，男，汉，甘肃省敦煌市，（中级），高级工程师（副高），大学本科，研究方向：铁路工程质量安全。

建立施工过程质量追溯体系,记录每道工序的施工参数、检测数据、人员信息等,形成完整的质量档案,便于质量问题的快速定位和责任追究。同时,平台集成质量分析模块,运用数据挖掘和机器学习算法,分析质量数据的变化趋势和规律,为质量控制决策提供科学依据,推动施工质量管理向智能化、精细化方向发展。

2 关键工程施工质量控制技术

2.1 路基工程施工质量控制技术

路基工程作为高速铁路的基础承载结构,其施工质量控制技术直接影响线路的长期稳定性和安全性。在填筑材料质量控制方面,建立严格的材料源头管控体系,对填料的粒径分布、含水量、压缩模量等关键指标进行全面检测,确保材料性能满足设计要求。采用动态压实控制技术,通过智能压路机配备的连续压实控制系统(CCC),实时监测压实过程中的振动频率、行驶速度、压实遍数等参数,确保压实度均匀达标^[2]。针对软土地区路基,采用真空预压、深层搅拌桩、CFG桩等地基处理技术,并建立多点沉降监测系统,通过自动化沉降观测仪器实时监控路基沉降变化,当沉降速率超过控制标准时及时采取加固措施。同时,建立路基稳定性综合评估体系,运用有限元分析方法对路基在各种荷载工况下的应力应变状态进行计算分析,确保路基结构的长期稳定性。

2.2 桥梁工程施工质量控制技术

桥梁工程施工质量控制技术需要重点关注混凝土质量、预应力施工和结构线形控制等关键环节。在混凝土质量控制方面,建立从原材料到成品的全过程质量控制体系,采用混凝土生产自动化控制系统确保配合比精度,运用超声波检测、回弹法检测等无损检测技术对混凝土强度进行实时监控,并通过预埋测温元件监测大体积混凝土的内部温度变化,及时调整养护措施防止温度裂缝。预应力施工质量控制采用智能张拉系统,通过计算机控制张拉力和伸长值的同步监测,确保预应力施加的准确性,并建立预应力损失监测系统,定期检测预应力钢束的有效预应力值。桥梁线形控制技术采用三维激光扫描和全站仪测量相结合的方法,建立桥梁三维数字化模型,实时监控桥梁施工过程中的几何形态变化,通过预拱度设置、温度修正、荷载调整等措施确保成桥线形满足设计要求,为高速列车的平稳运行提供可靠保障。

2.3 隧道工程施工质量控制技术

隧道工程施工质量控制技术需要综合考虑开挖质量、支护结构和防水衬砌等多个方面的技术要求。隧道开挖质量控制采用超前地质预报技术,运用地质雷达、超前钻探、地震波检测等手段对掌子面前方地质条件进行详细探测,根据围岩级别动

态调整开挖方案和支护参数。建立围岩稳定性实时监测系统,通过布设收敛监测点、地表沉降观测点、围岩应力监测仪等设备,连续监测围岩变形和应力变化,当变形速率或应力值超过预警值时立即调整支护措施。支护结构质量控制重点关注喷射混凝土厚度均匀性、锚杆安装质量和钢拱架安装精度,采用激光断面检测仪实时监控开挖断面尺寸和喷射混凝土厚度,通过拉拔试验检验锚杆锚固质量^[3]。隧道防水与衬砌质量控制建立多道防线体系,采用高分子防水卷材与注浆堵水相结合的综合防水技术,运用红外热成像检测技术识别防水层缺陷,并通过混凝土衬砌外观检测、强度检测、厚度检测等手段确保衬砌结构质量,为隧道的长期安全运营奠定坚实基础。

3 施工质量检测与评估技术

3.1 无损检测技术在质量控制中的应用

无损检测技术作为现代施工质量控制的核心技术手段,在高速铁路工程建设中发挥着越来越重要的作用。超声波检测技术通过发射超声波脉冲并分析其在混凝土中的传播特性,能够准确评估混凝土的内部质量状况,识别空洞、裂缝、分层等缺陷,该技术具有检测精度高、操作简便、成本低廉等优点,已广泛应用于桥梁墩柱、梁体和隧道衬砌的质量检测。地质雷达技术利用电磁波在不同介质中的反射特性,能够有效探测路基内部的含水量分布、密实度变化以及隧道围岩的地质构造情况,为路基压实质量评估和隧道开挖安全提供重要依据^[4]。红外热成像技术通过检测结构表面的温度分布差异,能够识别混凝土内部的缺陷、钢筋锈蚀、防水层破损等问题,特别在大面积结构质量快速筛查方面具有独特优势。这些无损检测技术的综合应用,不仅提高了质量检测的效率和准确性,而且避免了传统破坏性检测对结构造成的损伤,为施工质量控制提供了科学可靠的技术保障。

3.2 智能化质量检测技术与设备

智能化质量检测技术与设备代表了施工质量控制技术的发展方向,通过引入人工智能、机器学习等先进技术,实现了质量检测的自动化和智能化。机器视觉技术结合深度学习算法,能够自动识别和分析混凝土表面的裂缝、麻面、色差等质量缺陷,检测精度可达毫米级别,大大提高了表面质量检测的效率和客观性,避免了人工检测的主观误差。激光扫描技术通过高精度三维点云数据采集,能够精确测量结构的几何尺寸、变形状况和安装精度,实现对桥梁线形、隧道断面、轨道几何参数的全面质量控制,测量精度可达亚毫米级。无人机技术搭载高清摄像设备和各类传感器,能够对高大结构物和危险区域进行安全高效的质量巡检,通过预设飞行路径和自动图像分析,实现施工质量的全覆盖监控。

3.3 施工质量综合评估与改进技术

施工质量综合评估与改进技术是构建完整质量控制闭环的关键环节,通过建立科学的评估模型和持续改进机制,实现施工质量的螺旋式提升。多指标质量评估模型综合考虑材料性能、施工工艺、环境因素、检测数据等多维度信息,运用层次分析法、模糊综合评价法等数学方法建立量化评估体系,能够客观准确地评价施工质量水平并识别薄弱环节。质量缺陷识别与处理技术建立了标准化的缺陷分类体系和处理流程,针对不同类型和程度的质量缺陷制定相应的处理方案,如裂缝修补、强度不足加固、几何尺寸调整等,确保质量问题得到及时有效的解决^[5]。基于大数据的质量控制持续改进机制通过收集和分析历史施工数据、质量检测数据、环境监测数据等海量信息,运用数据挖掘和机器学习算法识别影响施工质量的关键因素和变化规律,为优化施工工艺、改进管理措施、预防质量问题提供科学依据。该机制还建立了质量改进效果评估和反馈系统,通过对比分析改进前后的质量数据,验证改进措施的有效

性,形成质量控制的良性循环,推动施工质量水平的持续提升。

4 结论

本研究通过对高速铁路工程建设中施工质量控制技术的系统分析,构建了完整的质量控制技术体系。建立了包含质量控制标准与规范、组织架构与管理体系、信息化管理平台的综合质量控制体系,既体现了国际先进标准要求,又结合了我国工程建设实际特点。针对路基、桥梁、隧道等关键工程结构,通过动态压实控制、智能张拉系统、围岩稳定性监测等先进技术应用,有效提升了施工质量水平。无损检测、智能化检测设备和综合评估技术的应用,显著提高了质量检测的精度和效率,推动了施工质量管理向数字化、智能化方向发展。基于大数据的质量控制持续改进机制,通过数据驱动的质量分析和改进,实现了施工质量水平的持续提升。随着人工智能、物联网、数字孪生等新兴技术的发展,高速铁路工程施工质量控制将更加智能化、精细化,为建设安全、高效、可靠的高速铁路网络提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 岳先龙.高速铁路隧道衬砌施工质量控制关键技术研究[J].工程建设与设计,2024(8):184-186.
- [2] 张凡.寒冷地区高速铁路轨道基础施工质量控制研究[J].科技与创新,2022(12):105-108.
- [3] 宋文慧.高速铁路工程质量管理与控制探究[J].中国厨卫,2021(7):0109-0110.
- [4] 牟金猛.高速铁路隧道二次衬砌质量控制及缺陷预防施工技术研究[J].居业,2024(5):80-82.
- [5] 韩一琛.高速铁路隧道施工技术与质量控制分析[J].前卫,2024(2):0240-0242.