

水泥稳定碎石基层施工质量控制参数优化研究

戴钧

中冶检测安徽(认证)有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i1.11721

[摘要] 水泥稳定碎石基层施工质量直接影响路面性能与使用寿命。为实现施工质量参数的科学优化,本文基于智能传感器构建实时监测参数体系,探索数字孪生技术在施工过程参数采集中的应用,并结合大数据分析识别施工质量关键参数。针对施工参数优化,提出人工智能辅助的参数自适应调整技术、基于边缘计算的现场参数实时优化方法、多目标优化算法的协同控制策略及数字仿真的参数预测与校正方法,同时创新性地应用机器学习提升施工质量参数的优化水平。

[关键词] 水泥稳定碎石; 施工质量; 参数优化

中图分类号: TV523 文献标识码: A

Research on Optimization of Quality Control Parameters for Cement Stabilized Crushed Stone Base Construction

Jun Dai

Mcc inspection and certification(anhui)co.,ltd.

[Abstract] The construction quality of cement stabilized crushed stone base directly affects the performance and service life of the pavement. To achieve scientific optimization of construction quality parameters, this article constructs a real-time monitoring parameter system based on intelligent sensors, explores the application of digital twin technology in the collection of construction process parameters, and combines big data analysis to identify key construction quality parameters. For the optimization of construction parameters, this paper proposes the parameter adaptive adjustment technology assisted by artificial intelligence, the real-time optimization method of on-site parameters based on edge computing, the cooperative control strategy of multi-objective optimization algorithm, and the parameter prediction and correction method of digital simulation. At the same time, it innovatively applies machine learning to improve the optimization level of construction quality parameters.

[Key words] cement stabilized crushed stone; Construction quality; parameter optimization

引言

水泥稳定碎石基层作为路面结构的重要组成部分,其施工质量对道路性能和使用寿命起到关键作用。然而,施工过程中,传统的质量控制方法存在实时性不足、参数适配性低等问题,难以满足现代道路工程的高标准需求。近年来,随着智能传感器、大数据分析及人工智能等技术的广泛应用,施工质量控制呈现出精细化与智能化发展趋势。本文基于上述背景,探讨水泥稳定碎石基层施工质量控制参数的优化策略,旨在提升施工质量控制的科学性与可操作性,为道路工程的长效服务提供技术支持。

1 水泥稳定碎石基层施工质量控制参数的相关技术

1.1 基于智能传感器的实时监测参数体系构建

在水泥稳定碎石基层的施工过程中,智能传感器技术为实

时监测提供了一种高效的数据采集工具和方法。以压实度监测为例,通过在压路机上安装压力传感器与振动传感器,能够实时得到单位面积压实压力与振动频率。这些数据经采集模块传输到施工管理系统中,对不同施工段压实质量进行分析。以特定的道路建设项目为背景利用集成压实质量监测系统来实时记录每一次压实过程中的压力数据和行驶轨迹,这确保了压实的均匀性,并增强了基层的结构强度和持久性。对于材料含水率的监测,目前普遍采用微波湿度传感器对水泥稳定碎石材料进行湿度检测,保证水泥水化反应达到最佳状态。该传感器利用发射的微波信号探测物质中水分子反射率的不同来得到实时含水率的数据。如在某高速公路工程中引进智能湿度监测设备对摊铺材料湿度波动幅度进行准确监测,以避免施工材料因过于干燥或者潮湿而造成强度不足。此外,激光厚度传感器具有监测摊铺层厚

度的能力,并通过高精度的 ± 0.5 毫米高频测量技术,确保了每一层摊铺厚度的均匀性,从而避免了由于施工厚度偏差导致的路面性能问题。

1.2 数字孪生技术在施工过程参数采集中的应用

数字孪生技术以物理和虚拟实时交互的方式为水泥稳定碎石基层施工参数的获取提供了一个崭新的视角。在施工厚度监控方面,激光扫描设备和无人机携带的高精度摄像系统协同作用,能够实时产生施工表面数字模型,其精度可达亚毫米量级。通过结合施工设备中的全球导航卫星系统和惯性测量单元,数字孪生技术可以精确地标定施工设备的轨迹和摊铺厚度,从而实现施工质量的动态评估。在一个施工项目上,利用数字孪生平台实时分析不同摊铺速度下厚度波动情况,并对设备操作参数进行优化。对于施工含水率参数的获取,数字孪生平台将传感器网络和实时数据流技术融入其中,以保证动态地感知施工物料含水率。我们使用近红外光谱技术来测定材料的水分含量,其精确度高达0.1%。利用数字孪生系统和施工模型双向数据交互实现了施工状态的即时更新,利用虚拟仿真模拟了含水率改变对材料强度产生的影响。以某机场跑道建设为例,利用数字孪生技术,成功地预测出水分偏差可能对物料固化效果产生的影响,从而为施工现场适时调节喷洒水量提供科学的依据。另外数字孪生技术对压实度数据采集也显示出了极强的适应性。将传感器数据和虚拟模型进行联动分析可动态地产生施工区域压实状态热力图以直观地显示压实质量空间分布情况。

1.3 基于大数据分析的施工质量关键参数识别方法

将大数据分析技术应用于施工质量参数优化,着重从多源数据出发,快速、准确确定关键影响因素。以施工温度控制为例,大数据分析平台将现场传感器数据,施工设备运行数据以及环境气象数据整合在一起,确定施工材料在不同温度下强度发展过程中的关键影响因子。通过对某沿海高速项目施工材料水化反应效率进行分析,当气温处于 $22^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 范围内时施工材料水化反应最高效,为施工时间及设备操作的调整提供重要依据。在压实度关键参数识别方面,大数据平台对振动频率,压路机速度以及施加压力等关联数据进行分析,构建影响压实质量因素权重模型。利用支持向量机算法,该模型在某国道的升级改造项目中成功地识别了导致压实不均匀的主要因素,并对施工路径和设备参数进行了优化,从而显著提高了施工质量的均衡性。另外,将大数据技术运用到含水率识别上,重点是分析施工材料各批次之间波动性。通过建立一个基于主成分分析的数据降维模型,大数据平台能够迅速识别出影响水分波动的主要因素。以某市快速路建设项目为研究对象,将历史数据和实时传感器数据相结合,分析运输、存储及摊铺等环节对水分波动产生的共同作用,并制定较为准确的施工作业指导。

2 水泥稳定碎石基层施工质量控制参数优化策略

2.1 人工智能辅助下的参数自适应调整技术

在水泥稳定碎石基层施工中,人工智能技术通过实时分析施工数据,为关键参数的自适应调整提供了先进的解决方案。AI

技术的核心是深度学习算法,特别是卷积神经网络和循环神经网络,它们可以处理复杂的施工数据流并生成优化建议。例如,振动压路机上安装的压力传感器和加速度传感器每秒采集超过1000次的的数据,AI系统通过对这些数据的实时分析,动态调整振动频率和行驶速度,使压实压力保持在 $32\sim 35\text{MPa}$ 范围内。某高速公路改扩建工程中,AI系统在接收到传感器数据后,将压实频率从20Hz调整到18Hz,同时优化行驶速度,将原来的每分钟22米降低至18米,从而提高了基层的压实均匀性。在施工含水率的控制中,AI系统整合了湿度传感器和气象数据,对材料水分变化进行预测。当系统检测到含水率低于设计标准(如18%以下)时,AI算法根据水化反应模型计算所需水量,并控制喷水装置精确补水。例如,在某沿海高速项目中,AI系统通过预测湿度变化,触发喷水装置以每平方米1.8升的精度喷洒水分,确保材料的含水率稳定在目标范围内。这种实时调整策略有效避免了因含水率不足而导致的强度问题。通过这些技术案例,AI辅助的自适应调整技术展现了显著优势,为水泥稳定碎石基层施工提供了智能化支持。

2.2 基于边缘计算的现场参数实时优化方法

边缘计算技术为施工现场的参数优化带来了革命性变化。与传统的集中式数据处理不同,边缘计算通过在施工设备上部署高性能计算模块,实现了现场数据的实时处理与反馈。在水泥稳定碎石施工中,厚度、含水率和压实度等关键参数需要动态优化,而边缘计算设备可每秒处理数千条传感器数据,并直接在设备端生成调整指令。例如,在某山区道路施工中,安装于摊铺机的边缘计算模块实时分析激光厚度传感器和红外温度传感器的数据流。当检测到厚度低于设计值(如2毫米以下偏差)时,边缘计算设备向摊铺机发出减速指令,将摊铺速度从每分钟20米调整为18米,以确保厚度均匀。在湿度控制方面,边缘计算结合了微波湿度传感器和气象站数据,能够快速识别含水率波动并作出调整。在某高速公路施工中,边缘计算设备每秒处理50条湿度数据,并通过与历史施工数据的比对,建议喷水装置以每分钟2升的精度补充水分。这种精准控制避免了含水率过低导致的强度下降问题,同时降低了水分过多引起的水泥稀释风险。此外,边缘计算在施工异常检测中也具有显著优势。在某市政道路施工中,压路机上的边缘计算模块实时监控振动频率与接触压力的波动。当检测到振动频率超出设计范围($\pm 5\text{Hz}$)时,系统立即提示操作员调整振动参数或检查设备状态,从而避免了因设备异常导致的压实不足问题。通过这些技术应用,边缘计算的现场参数优化功能不仅提高了施工质量,还显著提升了效率和可靠性。

2.3 多目标优化算法在参数协同控制中的应用

在水泥稳定碎石施工中,参数之间往往存在复杂的相互制约关系,例如厚度、含水率、压实度和施工速度都需在既定目标范围内优化,而传统方法难以同时满足这些要求。通过采用多目标优化算法(如遗传算法和粒子群优化算法),施工团队能够快速在多参数之间找到平衡点。例如,在某国道改扩建项目中,施工团队利用遗传算法对摊铺速度和压实压力进行协同优化。算

法通过模拟超过1000种参数组合,选择最佳的参数对设备进行调整,使得厚度偏差控制在1毫米以内,压实度保持在设计目标范围(32~35MPa)。在某高速公路项目中,粒子群优化算法被用来平衡材料含水率和压实效率。湿度传感器和压路机传感器的数据被实时输入算法,当检测到材料含水率低于20%时,算法自动计算喷水量,并将压实压力调整至1500 kN以补偿水分不足带来的压实效果降低。这种协同控制策略有效减少了施工后的二次修补需求。此外,多目标优化算法还可应用于能源效率优化。在某城市道路施工中,施工团队通过优化设备运行路径,结合压实频率和速度的动态调整,减少了设备燃料消耗并提高了施工效率。优化后,每小时施工面积增加了15%,且施工质量保持一致。这些技术案例表明,多目标优化算法在施工参数协同控制中的应用显著提升了施工效率和质量,为施工团队提供了强大的技术工具。

2.4 基于数字仿真的施工参数预测与校正

数字仿真技术通过虚拟模型的构建与动态更新,为施工参数的预测与校正提供了科学依据。该技术整合了建筑信息模型、实时传感器数据和物理模拟工具,可实现施工过程的全方位预测。在某机场跑道施工项目中,数字仿真平台利用GNSS和激光扫描仪数据,每秒生成施工厚度的动态模型。当仿真结果显示摊铺厚度偏离目标值超过1毫米时,平台自动向摊铺机发出调整指令,将供料速率从2.5吨/分钟调整至3吨/分钟。在含水率校正中,数字仿真技术利用历史施工数据和气象数据构建多维预测模型。例如,在某高寒地区道路施工中,仿真系统预测了每小时施工材料水分蒸发量(0.3升/平方米),并提前触发喷水装置补充水分,确保含水率始终维持在目标范围内。此举显著减少了因含水率失衡导致的材料强度问题。数字仿真还被用于压实度的动态调整。在某山区道路施工中,仿真平台通过模拟不同振动频率下的压实效果,建议将振动频率从20Hz调整至17Hz,从而避免了过压导致的基层开裂问题。这些应用表明,数字仿真技术能够有效提升施工参数校正的精度和施工质量。

2.5 机器学习在施工质量参数优化中的创新应用

机器学习技术通过数据挖掘和模型训练,为施工参数优化提供了创新解决方案。在某高速公路施工项目中,随机森林算法被用来分析施工设备的历史数据与实时传感器数据,构建了施

工厚度与设备参数之间的预测模型。当实时数据表明厚度偏差达到2毫米时,模型自动生成调整建议,将摊铺速度从18米/分钟降低至16米/分钟。在含水率优化中,机器学习整合了湿度传感器和气象站数据,通过时间序列预测未来的水分变化。例如,某沿海高速项目中,机器学习模型预测了施工期间的湿度波动,并自动调控喷水装置的输出量(每分钟2.1升),确保施工材料的最佳水化反应。压实度优化方面,支持向量机(SVM)模型通过分析振动频率、土壤密度和接触压力的数据,构建了动态压实质量预测模型。在某山区公路施工中,SVM模型建议将压路机压力调整至1500kN,并实时优化振动频率,显著提升了压实质量的均匀性。这些应用案例展现了机器学习在施工质量参数优化中的巨大潜力,为智能化施工提供了强大支持。

3 结束语

水泥稳定碎石基层施工质量的精细化控制是道路工程质量提升的重要环节。本文通过构建智能化监测与优化体系,提出了基于人工智能、大数据分析与数字孪生技术的多维优化方法,显著增强了施工参数的适配性与控制精度。未来,应进一步推动技术在实际工程中的应用,加强相关数据积累与算法优化,为道路工程质量控制奠定坚实基础。

[参考文献]

- [1]郝成丽.市政道路水泥稳定碎石基层施工质量控制[J].建筑安全,2024,39(01):29-32.
- [2]陈爱民.公路路面水泥稳定碎石基层施工质量控制要点[J].交通科技与管理,2023,4(13):111-113.
- [3]贾文婧.水泥稳定碎石基层施工技术及其质量控制[J].交通世界,2023,(14):64-66.
- [4]刘汉全.水泥稳定碎石基层施工与质量控制研究[A]2023智慧城市论坛广州分论坛论文集[C].中国智慧城市经济专家委员会,中国智慧城市经济专家委员会,2023:4.
- [5]林慧源.水泥稳定碎石基层两层连铺施工质量控制[J].四川水泥,2022,(10):203-205.

作者简介:

戴钧(1977—),男,汉族,湖南人,本科,工程师,研究方向:土木工程。