

AI 驱动的水泥稳定碎石基层精细化管理研究

刘 敏

武汉市汉阳市政建设集团有限公司 湖北 武汉 430050

【摘要】：水泥稳定碎石基层属于路面结构的主要承载层，它的施工质量及效率好坏直接影响到市政道路的使用寿命和通行安全。传统的施工工程管理依靠人工经验，存在着技术管控粗放、成本管控碎片化等状况，不能满足现代市政工程高质量、低成本的建设需求。本文以 AI 技术为主导，从水泥稳定碎石基层施工技术控制重点入手，简要加入精细化管理的思想，探究 AI 在混合料配合比优化、施工过程精准控制、质量实时监测等重要方面应用途径，联系工程实际检验 AI 技术对改善施工技术、改良成本控制的实际成效，给水泥稳定碎石基层施工精细化管理赋予技术支撑和操作参照。

【关键词】：人工智能；水泥稳定碎石基层；精细化管理；全生命周期

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.040

1 引言

目前，水泥稳定碎石基层施工管理还存在着很多不足。从技术上讲，混合料配合比设计依靠传统的试验方法，效率低，不能适应原材料性能的变化，施工过程中的摊铺厚度、碾压参数等关键指标的控制依靠人工经验，容易造成压实度不均、离析等质量隐患。从成本角度来讲，在传统的管理模式下，对于材料的消耗、机械的使用、人工的投入等各个方面的成本要素都存在碎片化的现象，不能够进行精确的核算并加以动态的优化，从而容易造成资源的浪费以及成本的超支。人工智能技术迅速发展，给解决上述问题提供新的途径。AI 技术有数据处理、智能分析、实时调控等优势，可以实现施工各个环节的精准控制，同时通过成本要素的动态监测和智能优化，使成本精细化管理和技术管控有机地融合在一起。本文主要研究 AI 驱动下施工技术的优化，挖掘出 AI 技术在施工水泥稳定碎石基层中应用的价值，提供理论和实践相结合的研究成果。

2 相关理论基础

随着我国市政基础设施建设的迅速发展，水泥稳定碎石基层由于强度高、稳定性好、耐久性强等特点，在市政道路、城市快速路等工程的基层施工中得到了广泛应用，包含混合料制备、运输、摊铺、碾压和养护等各个环节，施工技术水平的的好坏直接影响基层工程质量，成本控制的好坏又影响工程建设经济效益。

2.1 市政水泥稳定碎石基层施工核心技术

水泥稳定碎石基层施工主要的技术有混合料的制备、施工实施和质量控制。混合料制备要达到骨架密实型级配的要求，保证强度、稳定性、抗裂性能符合要求，关键是配合比的准确设计，要综合考虑水泥掺量、集料级配、含水率等各方面因素的影响。施工实施阶段，摊铺、碾压为关键工序，摊铺厚度、速度要均匀一致，碾压参数应根据混合料性质及时调整，防止产生欠压、漏压或者过压的情况。养护阶段要控制好温度和湿度，保证基层强度稳步提高，减少裂缝出现。

水泥稳定碎石基层施工的技术控制重点是保证各个环节的精准协同，克服原材料波动、环境因素给施工质量带来的影响，依靠技术优化降低资源消耗，为成本精细化管理打下基础。

2.2 精细化管理核心内涵

精细化管理是以精准化、动态化、全过程为特点，把成本控制融入到工程施工的各个环节中，重点放在材料、人工、机械等主要成本上，用准确的核算、及时的监测、合理的配置来达到成本的合理控制。水泥稳定碎石基层施工的成本精细化管理主要依靠技术优化来减少材料浪费、提高施工效率，从而达到成本节约的目的，比如通过优化混合料配合比来降低水泥用量，通过精准施工来减少返工成本等。

2.3 AI 技术在工程管理中的核心应用原理

本文所用到的 AI 技术主要有机器学习、物联网、北斗定位、智能监测等，主要的应用原理就是通过数据采集、分析、建模来实现施工环节的智能决策和精准控制。机器学习可以借助历史施工数据、原材料性能数据来创建预测模型，从而改良施工参数，物联网技术可以对施工设备、原材料、施工环境等数据展开实时采集，创建起全流程数据闭环，北斗定位技术可以精准定位施工设备的轨迹，保证施工工序的规范性，智能监测技术可以及时捕捉到施工质量指标，从而发现质量隐患并作出及时的调整。

3 AI 驱动市政水泥稳定碎石基层施工技术优化路径

根据水泥稳定碎石基层施工的技术特点，AI 技术主要应用于混合料配合比优化、施工过程精准控制、质量实时监测这三个主要方面，通过技术的深度优化来间接达到成本精细化管理的目的，防止出现技术内容泛化的现象。

3.1 AI 驱动混合料配合比智能优化

混合料配合比是决定水泥稳定碎石基层质量的关键，传统的配合比设计采用试验法，需要多次制备试件、检测性能，效率低、不能适应原材料性能波动的影响，容易造成水泥、集料等材料的浪费，增加成本。采用机器学习算法，配合比可以得

到智能优化的结果，保证质量又考虑成本。

首先建立数据集，收集不同批次原材料的性能数据，包括水泥强度等级、集料级配、石屑替代率、磷石膏掺量等，以及对应的混合料7天抗压强度、劈裂强度、干缩系数等性能指标数据，加入材料成本数据，得到完整的样本数据集。其次用机器学习算法建立配合比优化模型，以原材料参数为输入，以混合料性能达标和成本合理为目标，用模型训练来优化水泥掺量、集料级配、石屑替代率等关键参数。用响应面法和机器学习相结合的方法建立原材料参数与混合料性能之间的映射关系，准确预测出不同的配合比下混合料的性能，选择出综合性能最好、成本最低的配合比方案。

实践证明，用人工智能技术对配合比改良模型进行设计可以大大缩减设计周期，避免以前试验的无序性，根据材料即时质量作出即时改进，减少材料浪费。相比传统的配合比设计而言，采用AI进行优化，可以使得水泥的用量更加合理，石屑等替代材料得到了更好的利用，从而改善混合料的综合性能，并且还可以减少材料的成本。

3.2 AI 驱动施工过程精准管控

水泥稳定碎石基层施工的摊铺、碾压环节，传统的控制方式依靠人工操作和经验判断，容易造成摊铺厚度不均、碾压参数不合理等问题，造成基层平整度、压实度不合格，需要返工处理，增加施工成本和工期。人工智能技术依靠物联网、北斗定位、智能控制三者相结合来达到施工过程精准管理的目的。

在摊铺环节，把毫米波雷达、红外热成像仪、北斗定位模块装到摊铺机上，用物联网技术实时采集摊铺厚度、速度、混合料温度等数据，传送到AI控制平台。AI平台根据事先设定好的参数以及实时数据进行对比分析，自动调节摊铺机摊铺速度、厚度，保证摊铺均匀。同时用红外热成像仪检测混合料温度场分布，防止由于温度不均造成的离析现象，保证摊铺质量。

碾压时用带有压力传感器、加速度计和北斗定位系统的智能压路机，建立压力、振动、轨迹三维数据模型。AI平台可以实时获取压路机压实遍数、压实度、碾压轨迹等数据，用热力图的形式直观地显示出压实薄弱区域，并且会自动调节压路机的振幅、频率来达到靶向碾压的效果，保证每平方米的压实质量都符合标准。该种精确的管控模式可以防止欠压、漏压等状况的发生，进而缩减返工率，并且加快施工进度，缩减机械与人力的成本。

另外，利用人工智能技术能够对施工设备实施协同控制，用智能调度算法对混合料运输车、摊铺机、压路机等设备的作业过程作出合理的安排，缩减设备的闲置时间，提升设备的利用率，从而削减机械的使用成本。

3.3 AI 驱动施工质量实时监测

施工质量监测是保证水泥稳定碎石基层施工质量的重要

环节，传统的施工质量监测方法为抽样检测，检测滞后、覆盖面小，不能及时发现质量隐患，容易造成后期返工，增加成本。依靠人工智能技术的智能监测系统，可以实现对质量指标的实时全面监测，并且可以对发现的质量问题给出及时的修正建议。

创建AI智能监测系统，把传感器、无人机、视频监控等设备融合起来，达成施工全过程的质量监测。混合料制备过程中，采用传感器实时监测混合料的水泥用量、含水量、级配等指标，AI平台自动判断是否符合设计要求，发现有偏差时立即反馈给拌合站进行调整，防止不合格的混合料进入施工环节。施工过程中利用无人机航拍加图像识别技术实时监控摊铺平整度、碾压轨迹等，用AI算法对表面裂缝、离析等质量隐患进行识别并定位到具体位置并发出预警。利用温度、湿度传感器对养护环境进行实时监测，通过环境数据的反馈，使养护方案能够自动调整，保证基层强度稳步提高，减少裂缝出现。

4 工程实践验证

为了检验AI驱动技术在水泥稳定碎石基层施工中的应用效果，选取某市政道路水泥稳定碎石基层施工为试验项目，该工程基层设计厚度为20cm，施工长度为1.2km，包含混合料制备、运输、摊铺、碾压、养护等环节。试验组用的是以人工智能为基础的施工技术与成本精细化管理模式，对照组用的是传统的施工管理方式，比较两组施工技术指标、成本控制效果、施工效率。

4.1 试验方案设计

试验组使用本文提出的人工智能驱动的技术方案，即用机器学习算法来优化混合料的配合比，结合石屑代替集料和磷石膏掺量的优化，得到最佳的配合比；摊铺、碾压环节使用智能设备，通过AI平台进行精准控制；搭建AI智能监测系统，对全过程质量进行实时监测。成本控制依靠人工智能来改善材料的消耗，调整设备的调配从而达到成本实时控制并且精确管理的目的。对照组用传统配合比试验设计、人工操作控制、抽样检测的方式，成本控制采用传统核算的方法。

4.2 实践效果分析

4.2.1 技术指标对比

试验组混合料7天抗压强度平均值为5.7MPa、劈裂强度平均值为0.48MPa，均大于对照组的4.5MPa、0.40MPa；基层压实度合格率为98.5%，平整度偏差控制在3mm以内，均好于对照组的88%、5mm以内；裂缝发生率为1.2%，比对照组低得多。经由实践得知，AI驱动技术能较好地改善施工技术水平，保证基层施工质量。

表 1 试验组与对照组施工技术指标对比

对比指标	试验组 (AI 驱动模式)	对照组 (传统模式)
7 天抗压强度平均值	5.7MPa	4.5MPa
劈裂强度平均值	0.48MPa	0.40MPa
基层压实度合格率	98.5%	88%
平整度偏差	≤3mm	≤5mm
裂缝发生率	1.2%	6.5%

4.2.2 成本与效率对比

试验组施工周期比对照组缩短了 12%，机械利用率提高了 20%，人工投入减少了 18%；材料浪费率降低了 2.3%，比对照组的 8.7% 要低很多。从成本上来说，试验组单位面积施工成本比对照组低 10.5%，主要是由于材料用量的优化、返工成本的减少和施工效率的提高所造成的。图 3-14 可以看出，借助人工智能驱动技术提升施工技术水平的同时，也可以很好地对成本进行精细化管控，从而改善工程经济效益。

表 2 试验组与对照组成本及效率指标对比

对比指标	试验组 (AI 驱动模式)	对照组 (传统模式)
施工周期缩短比例	12%	0
机械利用率提升比例	20%	0

参考文献:

- [1] 刘杨.市政工程施工过程中的成本管理与效益分析[J].住宅与房地产,2026,(05):101-103.
- [2] 牛海涛.市政工程项目造价成本控制和管理的分析[J].今日财富,2026,(04):97-99.
- [3] 郑秋红.探讨市政造价成本上升的成因及控制途径[J].中国住宅设施,2025,(12):46-48.
- [4] 周琦云,岳龙,何瑞.市政工程中基于 BIM 的进度与成本协同控制研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(22):151-153.

对比指标	试验组 (AI 驱动模式)	对照组 (传统模式)
人工投入减少比例	18%	0
材料浪费率	2.3%	8.7%
单位面积施工成本降低比例	10.5%	0

4.2.3 实践结论

该工程实践证明, AI 驱动技术可以很好地解决传统施工水泥稳定碎石基层的技术管控粗放、质量隐患多、成本控制不力等难题, 依靠配合比智能优化、施工过程精准控制、质量实时监测等方式, 不但可以提高施工技术深度、工程质量, 而且可以间接地达到成本节约的目的, 满足市政工程高质量、低成本建设的要求, 有较好的实践应用价值。

5 结论

本文主要研究 AI 驱动的水泥稳定碎石基层施工精细化管理, 以技术深度为主线, 简单地加入成本管控的内容, 得到如下结论, 一是 AI 技术可以有效地改善水泥稳定碎石基层施工的技术控制水平, 利用机器学习、物联网、北斗定位等技术进行混合料配合比智能优化、施工过程精准管控、质量实时监测, 解决传统施工中出现的难题; 二是 AI 驱动技术同成本精细化管理的适度融合, 依靠技术优化削减材料浪费、加快施工进度、削减返工成本, 达成成本的合理控制, 不需要对成本核算的细节做过多的展开就可以达到管控的效果; 三是工程实践证明 AI 驱动技术是可行的、有效的, 可以提高施工质量、缩短工期、降低成本, 给水泥稳定碎石基层施工的精细化管理提供可靠的技术支持。