

基于深度强化学习的钢桥面铺装施工工艺参数优化

吴智模

合肥优才工程信息科技有限公司 安徽合肥

【摘要】钢桥面铺装施工工艺参数对铺装质量与耐久性影响重大。本研究聚焦于将深度强化学习技术引入钢桥面铺装施工工艺参数优化领域。通过构建精准的深度强化学习模型，对包括温度控制、碾压遍数、材料配比等关键施工工艺参数进行系统优化。详细分析了模型在不同工况下的学习与决策过程，验证其能有效提升钢桥面铺装施工工艺参数的合理性，显著改善铺装质量，降低施工成本，提高施工效率。深度强化学习为钢桥面铺装施工工艺参数优化提供了创新性且高效的解决途径，具有重要的理论与实践意义。

【关键词】钢桥面铺装；深度强化学习；工艺参数；优化；施工质量

【收稿日期】2025 年 6 月 14 日

【出刊日期】2025 年 7 月 15 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250111

Deep reinforcement learning-based optimization of steel bridge deck paving process parameters

Zhimo Wu

Hefei Youcai Engineering Information Technology Co., Ltd, Hefei, Anhui

【Abstract】 The construction process parameters of steel bridge deck paving significantly influence paving quality and durability. This study focuses on applying deep reinforcement learning technology to optimize these parameters. By developing a precise deep reinforcement learning model, we systematically optimized key construction parameters including temperature control, compaction passes, and material mix ratios. Through detailed analysis of the model's learning and decision-making processes under different working conditions, it was verified that this approach effectively enhances the rationality of construction parameters, significantly improves paving quality, reduces construction costs, and increases efficiency. Deep reinforcement learning provides an innovative and efficient solution for optimizing steel bridge deck paving process parameters, demonstrating significant theoretical and practical implications.

【Keywords】 Steel bridge deck paving; Deep reinforcement learning; Process parameters; Optimization; Construction quality

引言

钢桥面铺装作为桥梁工程的关键环节，其施工质量直接关乎桥梁的使用寿命与行车安全。传统施工工艺参数多依赖经验确定，难以适应复杂多变的施工环境，易导致铺装病害频发。随着交通量增长与桥梁建设规模扩大，迫切需要更科学的方法优化施工工艺参数。深度强化学习凭借强大的自主学习与决策能力，为解决这一难题带来新契机，本研究旨在探索其在钢桥面铺装施工工艺参数优化中的应用。

1 深度强化学习在钢桥面铺装中的原理剖析

深度强化学习作为人工智能领域的前沿技术，

将深度学习与强化学习的优势进行系统性整合，为钢桥面铺装施工工艺参数优化提供了新的解决思路。深度学习以其强大的表征学习能力，能够自动从海量、复杂的施工数据中提取关键特征。在钢桥面铺装场景下，施工现场的环境温度、湿度、钢桥面板表面粗糙度、锈蚀程度等多元异构数据，均可通过深度神经网络进行编码与抽象，转化为适合决策分析的特征向量。这些特征向量既保留了原始数据的核心信息，又去除了冗余干扰，为后续的优化决策提供了高质量的数据基础。

强化学习则赋予系统自主决策与优化的能力。在钢桥面铺装过程中，深度强化学习模型构建的智

能体充当“虚拟施工管理者”角色。该智能体基于提取的环境特征，依据预设的奖励机制，对沥青混合料的拌和温度、摊铺速度、碾压遍数等施工工艺参数进行组合调整^[1]。在低温环境下，智能体可能尝试提高沥青混合料的拌和温度，并降低摊铺速度，以确保材料在摊铺过程中保持良好的流动性。每次参数调整后，施工结果通过质量检测反馈给智能体，智能体根据奖励信号判断决策的优劣，若铺装平整度、压实度等指标达标或超出预期，则给予正向奖励；反之则给予负向奖励。

深度强化学习的动态优化特性使其特别适用于钢桥面铺装这类复杂的施工场景。钢桥面铺装施工过程受环境条件、材料特性等多种因素动态影响，传统方法难以实现实时、精准的参数调控。而深度强化学习模型凭借其强大的自适应能力，能够实时感知施工环境变化，快速调整施工工艺参数。随着施工数据的不断积累，模型持续迭代优化，逐渐形成一套针对不同施工场景的精准决策体系^[2]。这种动态优化过程不仅提高了施工参数的适配性，还显著增强了钢桥面铺装施工的智能化与自动化水平，为实现高质量、高效率的施工目标提供了技术保障。

2 钢桥面铺装施工工艺参数现存问题阐述

当前钢桥面铺装施工工艺参数的确定方法主要依赖经验驱动，这种模式存在明显的局限性。在工程实践中，施工团队往往依据过往类似工程的经验确定关键工艺参数，缺乏系统性的科学分析。不同团队的经验水平参差不齐，导致参数选取标准不一，施工质量难以保证。以沥青混合料摊铺温度的确定为例，部分团队可能仅参照历史数据，未充分考虑钢桥面板的材质特性、环境风速等因素对材料温度散失的影响，从而造成摊铺温度控制不当。这种经验主导的参数确定方式，使得施工过程缺乏精准性与规范性，难以适应现代钢桥面铺装工程日益增长的高质量需求。

传统参数优化方法对复杂施工环境因素的综合考量不足，进一步制约了钢桥面铺装施工质量的提升。钢桥面铺装施工环境复杂多变，环境温度、湿度、风速等因素均会对施工工艺参数的适配性产生显著影响。在高湿度环境下，沥青混合料易吸收水分，导致其粘性与流动性发生变化，原有的碾压参数可能无法达到预期的压实效果^[3]。传统参数优化方法多采用静态、单一的调控策略，难以实时捕捉

并响应环境因素的动态变化。这种局限性使得施工过程中参数调整滞后，无法及时弥补环境变化对施工质量的负面影响，增加了铺装层出现病害的风险。

现有施工工艺参数确定方法在应对新材料、新工艺应用时也存在显著不足。随着材料科学与施工技术的不断发展，新型沥青混合料、创新施工设备在钢桥面铺装工程中得到广泛应用。这些新材料、新工艺的性能特点与传统材料、工艺存在较大差异，原有的参数确定方法难以直接适用。新型高粘弹改性沥青混合料具有独特的流变特性，其拌和、摊铺、碾压参数需重新探索与优化^[4]。但由于缺乏科学的参数优化方法，施工团队往往采用“试错法”进行参数调整，不仅效率低下，还可能因参数设置不当导致材料性能无法充分发挥，造成资源浪费与质量隐患。

3 基于深度强化学习的工艺参数优化流程详述

基于深度强化学习的钢桥面铺装施工工艺参数优化流程始于数据收集与整理。首先，通过在施工现场部署传感器网络，实时采集环境温度、湿度、风速等环境信息，以及钢桥面板的几何尺寸、表面状态等结构信息。记录已采用的施工工艺参数，包括沥青混合料的配合比、拌和温度、摊铺速度、碾压压力等，以及对应的铺装质量检测结果，如平整度、压实度、渗水系数等。这些数据涵盖了施工过程的全要素，构成了丰富且具有代表性的数据集。为确保数据质量，需对原始数据进行清洗、标注与归一化处理，剔除异常数据，统一数据格式，为后续模型训练提供可靠的数据支撑。

模型构建与训练是深度强化学习优化流程的核心环节。在模型搭建阶段，需结合钢桥面铺装施工的特点，选择合适的深度神经网络结构与强化学习算法框架。深度神经网络可采用卷积神经网络(CNN)或循环神经网络(RNN)，以有效提取施工数据中的空间与时间特征。强化学习算法方面，深度Q网络(DQN)、策略梯度算法(PG)等均可作为备选方案，具体根据实际需求与计算资源进行选择。在模型训练过程中，将预处理后的数据集输入模型，智能体在虚拟施工环境中模拟不同工况下的施工过程，通过不断尝试各类工艺参数组合，依据奖励机制获得反馈。奖励机制设计紧密围绕铺装质量核心指标，对平整度、压实度等关键参数设置不同权重，引导智能体学习最优参数策略^[5]。通过大量的迭代训练，模型逐渐掌握不同施工状态与最优参数之间

的映射关系，形成稳定的决策模型。

在实际施工应用阶段，深度强化学习模型展现出强大的实时优化能力。模型通过与施工现场的传感器网络实时连接，动态获取环境与施工状态信息。基于训练得到的决策模型，智能体快速分析当前施工状态，输出最优的施工工艺参数。施工人员依据模型建议进行操作，并将施工过程中的实际数据与质量检测结果及时反馈给模型^[6]。模型根据新的反馈数据，进一步优化自身策略，形成“数据采集 - 模型决策 - 施工执行 - 结果反馈 - 模型优化”的闭环优化体系。这种持续迭代的优化过程，使模型能够不断适应施工现场的动态变化，持续提升施工工艺参数的优化效果，保障钢桥面铺装施工质量的稳定与提升。

4 深度强化学习优化工艺参数的效果总结

基于深度强化学习的钢桥面铺装施工工艺参数优化技术在实际工程应用中展现出显著的综合效益。在铺装质量提升方面，通过精准的参数调控，有效改善了铺装层的平整度与压实度。传统施工中因参数控制不当导致的铺装层裂缝、车辙等病害得到明显抑制。深度强化学习模型能够根据环境与材料特性的变化，动态调整施工工艺参数，确保沥青混合料在摊铺与碾压过程中达到最佳密实状态，从而增强铺装层的结构强度与耐久性。这不仅提升了钢桥面的使用性能，还显著延长了铺装层的使用寿命，降低了后期维护成本。

施工效率的提升是深度强化学习优化工艺参数的另一重要成果。传统施工中因参数调整不当导致的返工、修补等问题在深度强化学习的辅助下得到有效解决。模型通过实时分析施工状态，提供精准的工艺参数建议，减少了施工过程中的无效操作与时间浪费^[7]。施工人员无需反复进行参数试错，能够直接按照模型推荐的参数进行施工，显著缩短了施工周期。深度强化学习模型还能根据施工进度与资源配置情况，优化施工工序安排，实现施工资源的高效利用，进一步提升了整体施工效率。

深度强化学习在施工成本控制方面也发挥了重要作用。通过科学优化材料配比与施工工艺参数，有效减少了材料浪费与设备损耗。模型能够根据不同工况精确计算所需材料用量，避免因参数不合理导致的材料过度使用或浪费。在设备使用方面，合理的施工参数设置降低了设备的运行负荷，减少了设备故障与维修次数，延长了设备使用寿命^[8]。这些

成本节约措施不仅提高了工程建设的经济效益，还推动了钢桥面铺装施工行业的绿色可持续发展。深度强化学习技术的应用，为钢桥面铺装工程的高质量、高效率、低成本建设提供了强有力的技术支持。

5 结语

本研究成功将深度强化学习应用于钢桥面铺装施工工艺参数优化，显著改善了施工质量、效率与成本控制。未来，随着深度学习算法的不断创新以及施工数据的持续积累，深度强化学习在钢桥面铺装领域的应用将更加深入与广泛。一方面，模型的精度与适应性有望进一步提升，能够应对更为复杂多变的施工环境与多样化的工程需求。另一方面，深度强化学习可与其他先进技术，如物联网、大数据分析等深度融合，实现施工过程的全面智能化监控与参数实时优化，为钢桥面铺装技术的发展开辟新的广阔前景。

参考文献

- [1] 吴德旭.南京铁心桥钢桥面热拌环氧混凝土铺装施工工艺[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(12):85-87.
- [2] 刘昆,张皓东,刘衍锋,等.高韧冷拌树脂 RAC-13 在九江二桥钢桥面铺装的应用研究[J].上海公路,2025,(01):153-156+172+235.
- [3] 吴德旭.热拌环氧混凝土桥面铺装技术应用研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(03):131-133.
- [4] 李鑫.某公路桥梁项目钢桥面铺装中高强高韧混凝土施工技术分析[J].运输经理世界,2024,(11):74-76.
- [5] 姜兴碧.环氧沥青钢桥面铺装施工技术分析[J].科技创新与应用,2024,14(09):158-161.
- [6] 颜俊键,张温庭,陈搏.南沙大桥钢桥面铺装防腐层施工工艺[J].黑龙江交通科技,2024,47(03):86-88.
- [7] 陈龙.城市快速路高架桥钢桥面双层 SMA 铺装体系施工技术[J].石材,2024,(01):128-132.
- [8] 张垒,应鹏,朱瑶之,等.超高性能混凝土组合式铺装结构在钢桥面铺装中的应用研究[J].上海公路,2023,(04):153-157+212-213.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS