

铁路隧道衬砌裂缝智能识别技术研究

谭明松

上海华东铁路建设监理有限公司 上海

【摘要】铁路隧道衬砌裂缝的智能识别技术对于提高隧道建设与运营的安全性具有重要意义。传统的裂缝检测方法依赖人工检查或基础的自动化设备，存在检测效率低、误差大等问题。随着人工智能、计算机视觉及深度学习技术的快速发展，基于图像处理和机器学习的智能识别技术逐渐成为解决这一难题的有效手段。本文探讨了铁路隧道衬砌裂缝的智能识别技术的应用，重点分析了现有技术的优势与局限，并提出了适用于隧道衬砌裂缝识别的优化方案。通过数据集的构建和模型训练，提升裂缝检测的准确性和效率，为隧道衬砌的维护和管理提供有效的技术支持。

【关键词】智能识别技术；铁路隧道；衬砌裂缝；深度学习；图像处理

【收稿日期】2025年4月15日 **【出刊日期】**2025年5月12日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000174

Research on intelligent identification technology for cracks in railway tunnel linings

Mingsong Tan

Shanghai East China Railway Construction Supervision Co., Ltd. Shanghai

【Abstract】The intelligent identification technology for cracks in railway tunnel linings is of great significance for enhancing the safety of tunnel construction and operation. Traditional crack detection methods rely on manual inspection or basic automated equipment, which have problems such as low detection efficiency and large errors. With the rapid development of artificial intelligence, computer vision, and deep learning technologies, intelligent identification technology based on image processing and machine learning has gradually become an effective means to solve this problem. This paper discusses the application of intelligent identification technology for cracks in railway tunnel linings, focuses on analyzing the advantages and limitations of existing technologies, and proposes an optimization scheme suitable for crack identification in tunnel linings. Through the construction of datasets and model training, the accuracy and efficiency of crack detection are improved, providing effective technical support for the maintenance and management of tunnel linings.

【Keywords】 Intelligent identification technology; Railway tunnels; Lining cracks; Deep learning; Image processing

引言

铁路隧道作为重要的交通设施，其安全性和稳定性直接关系到运输效率与乘客安全。衬砌裂缝是铁路隧道常见的病害之一，若不及时修复，可能导致结构安全性下降，甚至引发重大事故。传统的裂缝检测方法虽然已得到广泛应用，但由于其依赖人工或传统设备，检测过程不仅繁琐且存在较大误差，难以应对隧道复杂的施工环境。随着智能化技术的发展，人工智能，尤其是深度学习和图像处理技术，逐渐被应用于隧道裂缝的检测和识别中，为解决这些问题提供了新的思路。本文将研究铁路隧道衬砌裂缝智能识别技术的现状与挑战，探讨如何通过高效的图像识别与深度学习技术提

升裂缝检测的准确性和效率，以此为铁路隧道的安全管理提供技术支持。

1 铁路隧道衬砌裂缝的传统检测方法与问题分析

铁路隧道衬砌裂缝是影响隧道结构安全的常见病害之一，传统的裂缝检测方法主要依赖人工检查、机械检测与传统的图像识别设备。这些方法在实际应用中存在一定的局限性。人工检查需要大量人力，且无法持续监测隧道的各个位置，容易受到环境因素的影响，导致漏检或者误判。人工检查通常需要频繁停工，既影响施工进度，也存在安全隐患^[1]。机械检测虽然能够提高检测效率，但仍然不能适应复杂的隧道结构，且设备的可操作性差，容易受到工作环境的限制。狭窄的隧道空

间和复杂的地理环境使得传统机械设备难以高效、准确地对隧道进行全面检测。

图像识别技术作为一种辅助检测方法在过去几十年间逐渐得到应用，然而传统的图像识别技术存在图像处理能力不足的问题，往往难以应对隧道内部环境光线不均、裂缝形态复杂等多种挑战。传统方法难以快速、准确地分析和识别不同类型的裂缝，导致检测结果无法满足高效性和准确性的双重要求。随着铁路建设规模的扩大，隧道衬砌裂缝的检测已逐渐从传统的人工和机械检测转向现代化技术手段，但仍然存在技术无法精准匹配复杂环境的瓶颈。这些问题要求我们探索更加先进、智能化的裂缝检测技术，以提高检测精度和效率。

在实际应用中，铁路隧道衬砌裂缝的传统检测方法依赖大量的人工或机械设备，导致其检测精度和效率较低，且容易受到环境和设备条件的限制。为了突破传统检测方法的局限性，需要借助现代化技术，尤其是图像处理和深度学习技术来提升隧道衬砌裂缝的检测能力。现代化检测技术可以克服传统方法的不足，为铁路隧道的安全管理提供更加精准、及时的技术支持。智能化的裂缝识别技术不仅能够提升隧道的安全性，也能降低运营成本，为铁路系统的高效运行提供技术保障。

2 智能识别技术在隧道衬砌裂缝检测中的应用

随着科技的进步，智能识别技术，尤其是基于计算机视觉的图像处理技术，已成为解决铁路隧道衬砌裂缝检测问题的重要手段。智能识别技术利用高分辨率的图像采集设备对隧道衬砌进行实时监控，通过图像识别算法分析图像中的裂缝特征，快速、准确地识别裂缝的类型、位置和大小。与传统人工检查方法相比，智能识别技术具备显著的优势。它能够大幅度提高检测效率，减少人工操作的误差，并且可以进行 24 小时不间断监测。智能识别技术通过数据存储与云计算平台的结合，可以实时上传并处理大量数据，为隧道的长期监控和管理提供有效支持。

智能识别技术不仅能提高裂缝检测的效率，还能显著提高其准确性。采用深度学习等算法，结合大量裂缝图像数据进行模型训练，可以在实际检测中做到高精度识别。随着算法的不断优化，智能识别技术已经能够准确地识别出各种复杂形态的裂缝，无论是微小裂缝还是较大裂缝，都能够做到准确检测，并及时反馈检测结果^[2]。这种技术应用不仅提高了检测的准确性，也减少了人为因素的干扰，避免了人工检查时可能存在

的漏检和误判现象。智能识别技术的推广应用还可以有效降低隧道衬砌裂缝的维护成本，为隧道的日常管理提供重要支持。

智能识别技术的优势不仅体现在检测精度和效率上，还在于它可以对隧道衬砌裂缝进行实时监测和动态管理。通过图像采集设备对隧道的定期或不定期巡检，智能识别系统能够不断积累数据，为后续的检测提供更加全面、准确的参考。通过建立数据库和数据模型，系统能够对隧道衬砌的健康状况进行长期监测，及时发现潜在问题，提前进行修复，防止裂缝发展为更严重的结构性问题。智能识别技术还能够根据不同的检测需求进行灵活调整，满足不同铁路隧道的个性化检测需求，为铁路隧道衬砌裂缝的管理和修复提供技术保障。

3 基于深度学习的铁路隧道裂缝智能识别模型优化

基于深度学习的裂缝智能识别技术是近年来人工智能领域的一项重要突破。深度学习能够通过大量数据的训练，自动提取裂缝的特征信息，建立高效、精准的裂缝识别模型。传统的裂缝检测方法往往依赖于人工特征提取，效果有限。相比之下，深度学习能够根据输入的图像数据，通过层层神经网络自动提取图像特征，避免了人工干预，显著提升了检测精度。在铁路隧道衬砌裂缝的检测中，基于深度学习的技术可以有效识别出细小的裂缝，甚至是裂缝的微小变化，提前预警潜在的结构问题。

深度学习模型的优化对于提高铁路隧道裂缝智能识别准确性至关重要。随着技术的不断进步，通过优化神经网络的结构和参数，深度学习模型能够逐步提升对裂缝特征的识别能力。尤其是卷积神经网络（CNN）作为一种强大的深度学习算法，已被广泛应用于铁路隧道裂缝识别中。CNN 通过多层卷积操作，能够自动从图像中提取局部特征，从而高效地捕捉裂缝的形态信息。为了进一步提高识别精度，优化 CNN 模型中的各项参数显得尤为重要^[3-6]。通过调整卷积核的大小、层数以及激活函数的选取，可以使得模型更好地适应不同类型裂缝，提高其对细微裂缝的识别能力。深度学习技术的优势在于其具备自适应能力，能够根据新环境和新数据不断调整和优化，从而保证在不同情况下依然能够高效且准确地进行裂缝识别。

深度学习技术的应用不仅提高了裂缝识别的效率，还对铁路隧道的长期监测和维护提供了技术支持。通过智能识别系统的不断优化，铁路隧道的裂缝检测可

以实现自动化、智能化和精准化。随着数据量的增加，深度学习模型将不断从中学习，提升识别精度。这种基于深度学习的铁路隧道裂缝智能识别模型，将为铁路隧道的安全管理提供重要的技术支持，特别是在复杂环境下，深度学习能够有效克服传统方法的局限性，提供更加可靠的裂缝检测结果。

4 铁路隧道衬砌裂缝智能识别技术的实践与挑战

铁路隧道衬砌裂缝智能识别技术的应用在实践中展现出了巨大的潜力，但在实际操作过程中，也面临一些挑战。隧道环境的复杂性对裂缝识别技术提出了较高要求。隧道内的光线条件通常较差，且存在湿气、灰尘等环境因素，这些都会影响图像的清晰度和质量。对于智能识别技术来说，如何在这种复杂的环境条件下保证裂缝检测的高效性和准确性，是一个需要解决的重要问题^[7]。为了解决这个问题，必须采用高分辨率图像采集设备，并结合图像增强技术，改善图像质量，提升识别精度。

智能识别技术的普及面临着数据问题。深度学习模型的训练依赖大量的高质量图像数据，而铁路隧道的裂缝种类繁多，形态复杂，且各地区、不同类型的隧道可能存在各异的裂缝类型。某些隧道可能存在因结构老化而产生的微裂缝，而另一些则可能是由地质变化或外力作用引起的大规模裂缝。这些裂缝形态的多样性要求数据的采集和标注必须具备高度的针对性。收集足够多且多样化的裂缝图像数据，建立适合的数据仓库，是技术应用中的一大挑战^[8]。数据的标注和清洗工作也非常繁琐，需要专业人员精确地标注每一处裂缝的位置、大小及类型。该过程不仅耗时耗力，还需确保标注的准确性，以保证训练模型的质量，从而提升识别的准确率和可靠性。

智能识别技术的应用虽然能够大幅提升铁路隧道衬砌裂缝的检测效率，但其在实际操作中的效果仍然受限于硬件设施和算法的优化水平。目前，尽管深度学习技术已经取得了一定的突破，但仍然存在一些问题，比如计算资源的消耗较大，实时性要求较高。如何优化算法，使其在保证高精度的提高处理速度，减少资源消耗，仍然是当前亟待解决的问题。

5 结语

铁路隧道衬砌裂缝的智能识别技术，尤其是基于深度学习的算法，正逐步成为提升隧道安全管理效率的重要工具。通过优化神经网络结构和算法，结合高质量的图像数据和实时反馈，智能识别技术能够高效、准确地检测隧道裂缝，减少人工操作的误差，并提高检测效率。尽管该技术在实际应用中仍面临数据采集与环境适应等挑战，但随着技术的不断发展和优化，未来有望在铁路隧道的维护与管理中发挥更大作用。智能识别技术的推广应用，将为隧道的安全运营提供有力保障，推动铁路建设进入更加智能化、高效化的新时代。

参考文献

- [1] 张国军. 单线铁路隧道衬砌智能蒸汽及跟模养生台车设计及应用[J]. 凿岩机械气动工具, 2025, 51(06): 16-18.
- [2] 郭世杰. 高速铁路隧道全工序智能装备机械化配套施工方法研究[J]. 自动化应用, 2025, 66(09): 147-149.
- [3] 程朝, 李树茂, 蔺诗瑶, 等. 基于智能化识别的铁路隧道多连通域映射函数求解[J]. 四川建筑, 2025, 45(01): 137-139+142.
- [4] 田阳, 刘桂卫, 崔庆国, 等. 铁路隧道衬砌病害轻量化智能检测技术研究[J]. 铁道工程学报, 2025, 42(02): 85-90.
- [5] 吴克烽, 许贵阳, 白堂博. 基于无人机巡检的铁路隧道口墙体裂缝智能检测技术[J]. 北京交通大学学报, 2025, 49(02): 115-122+134.
- [6] 姬彬波, 谭成伟, 刘恒, 等. 铁路隧道工程建设施工安全现状及应对策略[J]. 交通节能与环保, 2024, 20(S2): 215-220.
- [7] 陈立杨, 刘洋. 一种基于智能识别算法的铁路隧道表面缺陷综合检测技术[J]. 中国科技信息, 2024, (12): 123-125.
- [8] 唐清婧怡. 基于深度学习的隧道衬砌脱空病害雷达图像智能识别与病害等级评定[D]. 石家庄铁道大学, 2024.

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