

铁路曲线地段钢轨侧磨预警与修复技术研究

郭 星

国家能源集团新朔铁路大准铁路分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010010

【摘 要】：铁路曲线地段的钢轨侧磨问题已成为影响轨道交通安全的重要因素。针对这一问题，提出了基于侧磨预警的监测与修复技术研究。研究表明，通过实时监测钢轨侧磨程度并结合轨道几何状态，能够有效预测其发展趋势，为修复提供科学依据。本文将探讨钢轨侧磨形成的原因、检测技术、修复方法以及预警机制的应用。研究的最终目标是通过技术创新与实施，提高铁路曲线地段钢轨的使用寿命，确保轨道运行的稳定性与安全性。

【关键词】：钢轨侧磨；曲线地段；预警技术；修复技术；铁路安全

DOI:10.12417/2811-0722.25.12.026

引言

铁路曲线地段的钢轨侧磨问题，长期以来困扰着铁路运输系统的安全运行。曲线处的轨道由于长期受到车辆的动态作用以及不同轨道几何状态的影响，容易出现钢轨磨损现象，特别是在曲线半径较小的区域，侧磨现象更加明显。这不仅影响了钢轨的使用寿命，也增加了维护成本和事故风险。随着现代铁路对安全性要求的提升，传统的维护模式已无法满足日益增长的需求，亟需开发有效的预警与修复技术。本研究将重点关注钢轨侧磨的预警机制与修复技术，以期通过技术手段有效提高铁路运行安全。

1 铁路曲线地段钢轨侧磨问题概述

（1）钢轨侧磨的形成原因

钢轨侧磨是轨道几何状态、车辆运行状况和钢轨材质等多因素共同作用的结果。在铁路曲线地段，车辆转弯时，轮轨接触力的不均匀导致钢轨侧面磨损，尤其在曲线半径较小的路段，内外轨之间摩擦力差异较大，使侧磨现象更加严重。轨距扩展、轨道不平顺以及车轮与轨道的磨损等因素也加剧了侧磨。车辆运行的速度、荷载及轮径变化对磨损程度产生影响。钢轨的材质和加工工艺也在其抗侧磨能力上起到关键作用，硬度较低或质量不合格的钢轨更容易出现磨损。综合来看，钢轨侧磨是多种因素相互作用的结果，涉及到轨道结构、车辆运行特性及钢轨物理性能等方面。

（2）钢轨侧磨对铁路安全的影响

钢轨侧磨不仅会影响钢轨的使用寿命，还直接威胁到铁路的运行安全。侧磨现象会导致钢轨表面出现较深的凹陷或者裂纹，这些损伤会降低钢轨的承载能力，进而增加事故发生的风险。侧磨加剧了轮轨间的摩擦力，导致车辆的运行不稳定，增加了机车的牵引阻力，并且可能引起轨道的几何变形，进一步加剧磨损，形成恶性循环。长期未处理的钢轨侧磨，还可能导致钢轨发生疲劳断裂或者局部失稳，严重影响铁路运输的安全性及可靠性。过度磨损还会导致频繁的维修，增加铁路维护的成本。对于铁路曲线地段的钢轨侧磨问题，必须采取有效的监

控与治理措施，以确保轨道的稳定性和安全性。

（3）现有处理措施的局限性

目前，铁路曲线地段钢轨侧磨问题主要依赖定期检查、磨耗监测和轨道修复等手段进行处理。然而，这些措施的效果受到多种因素的限制，存在一定局限性。定期检查可以及时发现部分侧磨问题，但无法覆盖所有潜在风险点，也不能预测磨损发展趋势。磨耗监测虽然能提供准确的磨损数据，但在修复和预警方面仍存在不足。传统的钢轨修复方法，如磨轨和换轨，虽然延长了钢轨的使用寿命，但对于曲线地段的侧磨问题无法从根本上解决。这些修复方法在实施过程中可能面临技术复杂性、修复周期长和高昂成本等问题，影响了治理效果。为克服这些局限性，结合更先进的监测技术和修复手段，提升钢轨侧磨的治理效果和效率显得尤为重要。

2 钢轨侧磨的监测与预警技术

（1）侧磨监测技术的发展趋势

铁路交通需求的增加使得钢轨侧磨问题日益突出，传统人工检查方式已无法满足现代铁路安全性和效率的需求。钢轨侧磨的监测技术正向智能化、自动化和高精度方向发展。目前，常用的监测技术包括轨道几何状态监测、轮轨接触力监测、振动监测和图像识别等，这些技术能够实时采集铁路运行数据，并通过数据分析及时发现钢轨侧磨问题，尤其是在早期阶段。随着传感器技术和数据处理能力的提升，钢轨侧磨的监测逐步向远程监控和数据集成化发展，提高了监测精度，减少了人力投入。人工智能算法的引入，使得钢轨磨损的自动识别和预测成为可能，能够通过大数据分析预测磨损趋势并进行早期预警。这些新兴技术为铁路运营提供了更为精准和高效的监测手段，显著提升了铁路运行安全性和管理效率。

（2）预警系统的构建与应用

为有效应对铁路曲线地段钢轨侧磨问题，构建一个基于数据分析与实时监控的预警系统变得尤为重要。现代预警系统通过对钢轨的实时监测数据进行收集与分析，能够及时检测到侧磨的初期迹象，并通过算法预测其发展趋势。预警系统通常包

括数据采集、数据传输、数据存储、数据分析与预测、告警输出等关键环节。通过高精度传感器采集钢轨的运行数据，将数据传输至中央处理系统，系统根据预设的模型进行实时分析，评估钢轨磨损的风险程度，并及时发出预警信号。该系统不仅能够提前预测钢轨侧磨的发生，还能根据预测结果指导修复工作的优先级排序，提高铁路维护工作的科学性与有效性。随着人工智能与大数据技术的发展，预警系统的智能化程度越来越高，能够提供更为精确的预测结果，并根据历史数据持续优化预测模型，进一步提升预警的准确性与实时性。

（3）数据采集与处理方法的优化

数据采集与处理技术是实现钢轨侧磨监测与预警的基础。当前，数据采集方法主要依靠轨道传感器、视频监控与激光扫描等技术，这些设备可以实时监测钢轨的几何状态、磨损程度以及车辆运行参数等信息。然而，传统的采集方法在准确性、实时性和覆盖范围上存在一定局限性。随着技术的进步，新的数据采集技术，如物联网技术、无线传感器网络和无人机监测等，正在逐步应用于铁路监测领域。这些新技术能够覆盖更广泛的轨道区域，并能在极端环境下稳定工作，显著提升数据采集的效率和准确性。在数据处理方面，采用高效的数据融合与处理算法，可以将来自不同传感器的数据进行整合，形成全面的铁路状态数据。结合机器学习与人工智能技术，数据处理的精度和速度不断提升，从而使得钢轨磨损的检测和预警更为准确及时。通过不断优化数据采集与处理方法，能够有效提升钢轨侧磨监测系统的整体性能，确保铁路运行的安全性与稳定性。

3 钢轨侧磨修复技术的研究进展

（1）常见修复方法及其效果

钢轨侧磨的修复方法主要包括磨轨、换轨和涂层修复等。磨轨是目前最常用的修复方法之一，通过专用磨轨机去除磨损表面的物质，以恢复钢轨的平整度和轨道几何状态。磨轨方法简便且成本较低，但对于严重磨损的钢轨，效果有限，且需要定期进行，修复周期较短。换轨方法适用于钢轨磨损较为严重的情况，通过更换磨损钢轨来恢复轨道的正常使用。然而，换轨的成本较高，且施工周期长，影响正常铁路运输。涂层修复技术是一种新兴的修复方式，通过在钢轨表面涂覆耐磨涂层，能够有效提高钢轨的抗磨损能力。该方法在提升钢轨使用寿命方面具有一定优势，但对操作技术要求较高，且涂层的持久性仍需要进一步验证。选择合适的修复方法需要根据钢轨磨损的程度、修复成本以及施工时间等因素进行综合考虑。

（2）修复技术的创新与应用

近年来，随着新材料和新工艺不断发展，钢轨修复技术也在不断创新。近年来逐渐应用于钢轨修复的激光修复技术，能够通过高能激光加热钢轨表面，消除表面微裂纹，并重新恢

复钢轨的硬度和强度。这种方法修复效果显著，可以避免传统修复方式中的钢轨更换问题，但在技术上要求较高，成本较为昂贵。另一项创新修复技术是利用超声波检测技术结合智能修复系统，在实时监测到侧磨的过程中，通过智能机器人自动修复钢轨表面，降低了人工操作的难度，并提高了修复精度。3D打印技术也开始在钢轨修复领域展现出潜力，通过打印特殊的金属材料来填补钢轨表面磨损的部位，为修复工作提供了更高的精度与灵活性。这些新技术的应用，不仅提高了钢轨修复的效率，也为修复质量提供了更加可靠的保障。

（3）修复技术的未来发展方向

钢轨修复技术未来将向更加智能化、高效化和个性化的方向发展。在智能化方面，随着人工智能和大数据技术的逐步应用，未来的修复技术将能够根据不同的轨道状况，自动选择最合适的修复方法，并且能够在修复过程中实时调整修复策略，以应对不同的磨损情况。在高效化方面，修复时间的缩短将成为关键目标，未来修复技术将力求在最短时间内完成钢轨的修复工作，减少对铁路运输的影响。环保与节能将成为修复技术发展的重要方向，通过使用绿色材料和节能技术，降低修复过程中的能耗与污染。个性化修复技术也将在未来得到广泛应用，针对不同类型、不同材料的钢轨，制定量身定制的修复方案，以提高修复效果和使用寿命。

4 钢轨侧磨预警与修复技术的实际应用

（1）应用案例分析

在实际应用中，某铁路局针对曲线地段的钢轨侧磨问题，结合高精度传感器、激光扫描仪及数据处理系统，实现了对钢轨磨损情况的实时监控。通过建立实时监测平台，能够对钢轨的几何状态、磨损程度进行动态评估，并对可能存在风险的区域及时发出预警信号。该系统成功应用于某条重点铁路线路，经过多次监测和数据反馈，系统不仅及时识别出了钢轨侧磨的严重区域，还帮助维护人员提前制定了有效的修复方案，避免了因侧磨问题导致的严重事故。该应用案例展示了钢轨侧磨预警与修复技术的实际效果，验证了智能监测和修复技术在提升铁路安全性方面的巨大潜力。

（2）修复技术在铁路曲线地段的实施

针对曲线地段的钢轨侧磨问题，某铁路运输公司实施了一系列针对性的修复措施。结合智能化监测平台，工程师能够在轨道出现侧磨初期进行修复，而不是等到严重磨损后才进行处理。针对曲线地段的特殊情况，修复工作更加注重钢轨表面涂层的施加，通过采用耐磨涂层大大提高了钢轨的使用寿命。这一修复技术的实施，不仅降低了修复成本，也缩短了修复时间，最大限度减少了对铁路运输的影响。该修复技术还通过数据反馈不断优化，使得修复工作更具前瞻性和准确性。

（3）预警与修复技术的协同效果

钢轨侧磨的预警与修复技术结合使用,能够大幅度提高铁路运营的安全性与效率。预警系统能够实时监测钢轨的运行状况,并在早期阶段发现侧磨问题,从而提前采取修复措施。修复技术则可以根据预警信息,及时在最需要的地方进行针对性修复,避免了不必要的过度修复工作。这种协同效应使得铁路公司能够更加精确地安排维护工作,提高了轨道的运行稳定性,减少了维修成本和事故发生率。预警与修复技术的协同作用还能够使得维护工作更加灵活,能够根据不同的侧磨风险进行动态调整,提高了铁路系统的应对能力和工作效率。

5 钢轨侧磨技术发展趋势与未来展望

(1) 智能监测与修复技术的融合

未来,智能监测与修复技术的融合将成为钢轨侧磨治理的关键方向。通过融合人工智能与物联网技术,未来的监测系统将能够实时分析钢轨磨损的趋势,并提前预测可能出现的磨损区域。在此基础上,修复技术将能够根据实时数据自动调整修复方案,实现钢轨的个性化修复。智能化的监测与修复技术将极大提高铁路系统的管理水平,提升钢轨的维护效率和安全性。

(2) 新材料与新工艺的应用前景

新材料和新工艺的应用,将为钢轨侧磨的修复提供更多创

新的解决方案。高耐磨性合金材料和纳米涂层材料的研发,将有助于提升钢轨的抗磨损能力,减少侧磨现象的发生。新的修复工艺,如激光修复、3D打印等技术,将能够提供更高精度、更低成本的修复手段。这些新材料和新工艺的应用,将推动钢轨修复技术的发展,为铁路运输提供更为可靠的保障。

(3) 铁路钢轨侧磨治理的综合策略

为了有效应对钢轨侧磨问题,未来的治理策略应当采用综合性的方法。除了继续优化预警与修复技术外,还需加强对铁路曲线地段轨道几何状态的维护,通过定期检测、及时调整轨道状态,减少钢轨的磨损。结合先进的监测与修复技术,逐步形成钢轨侧磨的全方位管理体系。通过综合策略的实施,不仅能够减少钢轨磨损对铁路安全的威胁,还能有效延长钢轨的使用寿命,降低维修成本,提高铁路运输的整体效率。

6 结语

本文研究了铁路曲线地段钢轨侧磨的形成原因、影响以及监测与修复技术的应用。通过探讨钢轨侧磨问题的现状与挑战,分析了现有技术的局限性,并提出了基于智能监测与修复技术的解决方案。这些技术的结合不仅有效提高了铁路安全性,还为铁路运维提供了科学的管理手段。随着新技术的不断进步,钢轨侧磨问题的治理将更加精细化、智能化,为铁路行业的可持续发展提供更加可靠的保障。

参考文献:

- [1] 张云,陈杰.钢轨侧磨的成因与防治对策研究[J].铁道工程学报,2022,39(3):12-19.
- [2] 刘亮,王嘉.钢轨侧磨监测技术的现状与发展趋势[J].铁路科技,2023,47(2):23-30.
- [3] 赵东,李梅.基于数据融合的钢轨磨损智能预警系统研究[J].智能交通,2023,29(4):45-52.
- [4] 徐雷,杨磊.钢轨修复技术的创新与应用[J].铁道建筑,2022,40(6):55-62.
- [5] 黄鹏,李华.新型修复技术在钢轨侧磨治理中的应用[J].交通技术,2023,41(1):33-40.