

# 准确有效检出重载铁路钢轨伤损及对策

师志峰

国能朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 河北 沧州 062350

**摘要:** 重载铁路运营中, 钢轨伤损成为影响行车安全与效率的关键因素。本文旨在探讨准确有效的钢轨伤损检测方法, 包括应用超声波、磁粉、涡流、相共振检测、探伤车、等现代化技术, 结合人工检测手段, 形成综合检测策略。针对不同类型的伤损, 提出优化钢轨材质、改良工艺、改进轨道结构、强化维护保养及提升检测智能化水平等对策, 以延长钢轨使用寿命, 保障重载铁路的安全高效运行, 降低维护成本, 提高运输效益。

**关键词:** 准确有效检出; 重载铁路; 钢轨伤损; 对策

引言: 重载铁路作为国家基础设施的重要组成部分, 承担着大量货物的运输任务。然而, 在长期的运营过程中, 钢轨作为轨道结构的关键元件, 承受着巨大的压力和磨损, 容易出现各种类型的伤损。这些伤损不仅影响铁路的运行平稳性和安全性, 还增加了维护成本和运营风险。因此, 准确有效地检出重载铁路钢轨伤损, 并采取科学合理的对策进行预防和处理, 对于保障铁路的安全高效运行具有重要意义。

## 1 重载铁路钢轨伤损类型及特点

### 1.1 钢轨伤损的主要类型

(1) 钢轨头部疲劳核伤。疲劳核伤是钢轨内部的一种严重伤损, 主要由材质缺陷气泡或非金属夹杂等、在机车车辆的动荷载重复作用下将某些细微的疲劳源逐渐扩大而形成疲劳斑痕。轨头内部出现极为复杂的应力组合, 使细微裂纹先是成核, 在列车的动荷载重复作用下形成疲劳源。这种伤损通常位于钢轨内部, 难以通过外观检查发现。随着列车的反复荷载运行, 疲劳核伤会逐渐扩展, 最终导致钢轨突然折断。

(2) 螺孔裂纹多产生于岔区内正线钢轨接头(含胶结绝缘接头)冻结接头部位, 螺栓孔裂纹属于疲劳断裂性质, 其裂纹长短不一, 裂纹方向无规律, 有向上(I、II象限)向下(III、IV象限)斜裂纹、水平裂纹(含螺栓孔单侧水平裂纹)。也有同时存在的趋向不同的裂纹。

(3) 曲线钢轨的侧磨和剥离掉块。在曲线段, 钢轨的侧磨和剥离掉块是常见的伤损形式。侧磨主要发生在钢轨的侧面, 由于列车车轮的反复摩擦, 导致钢轨侧面材料逐渐磨损。剥离掉块则是钢轨表面材料在摩擦力的作用下, 局部脱落形成的剥落掉块。

(4) 焊接接头的伤损。焊接接头是连接两段钢轨的关键部件, 也是伤损多发区域。焊接接头的伤损包括裂

纹、未焊透、夹渣等缺陷, 这些缺陷会降低接头的强度和稳定性, 进而影响轨道的平整度和列车的运行安全。

### 1.2 各类型伤损的特点及危害

(1) 疲劳核伤: 疲劳核伤具有隐蔽性和突发性, 难以通过常规检测手段及时发现。一旦疲劳核伤扩展到一定程度, 钢轨就会在毫无预兆的情况下突然折断, 对行车安全构成极大威胁。因此, 对疲劳核伤的预防和检测需要特别重视。

(2) 螺孔裂纹: 其产生原因是轨腰钻孔后强度被削弱, 产生局部应力较高、加之养护状态不良, 使接头冲击力增大, 这在大运量复线区段迎着列车运行方向轨端(驶入端)第一孔发生裂纹的频率非常高, 二是配轨采用人工钻孔, 钻孔后不倒棱形成应力集中而发生孔裂, 这在岔区配轨中居多。

(3) 侧磨与剥离掉块: 侧磨和剥离掉块会加速曲线段钢轨的磨损, 缩短其使用寿命。此外, 这些伤损还会导致轨面不平顺, 成为列车运行的安全隐患, 增加列车脱轨的风险。

(4) 焊接接头伤损: 焊接接头伤损会降低接头的强度和稳定性, 进而影响轨道的平整度和列车的运行安全。这些伤损还可能导致轨道几何尺寸的变化, 如轨距变化、高低不平、方向不良等, 进一步增加列车运行的不稳定性 and 安全隐患。

## 2 准确有效检出重载铁路钢轨伤损的方法

### 2.1 人工检测方法及其局限性

#### 2.1.1 目视检查的优缺点

目视检查作为钢轨检测的传统方法, 具有直观、操作简单等优点, 能够快速识别钢轨表面的明显缺陷, 如裂纹、剥离掉块等。然而, 其局限性较为突出。首先, 检测效果受光线、视野等环境因素影响较大, 难以发现钢轨内部的微小缺陷。其次, 检测结果高度依赖检测人

员的经验与技能水平,主观性强,易导致漏检或误判。此外,人工检测效率较低,难以满足重载铁路对高效、快速检测的需求。因此,目视检查通常作为辅助手段,需与其他先进检测技术结合使用,以提高检测的全面性与准确性<sup>[1]</sup>。

### 2.1.2 提高人工检测效率和质量的建议

为了提高人工检测的效率和质量,可以采取以下措施:一是加强检测人员的培训和教育,提高其专业素质和技能水平;二是引入辅助检测工具,如放大镜、手电筒等,以提高检测的准确性和效率;三是建立严格的检测标准和流程,规范检测人员的操作行为,减少漏检和误判的发生。

## 2.2 现代化检测技术及其应用

### 2.2.1 超声波检测技术的原理、优势及实施要点

超声波检测技术是一种基于超声波在介质中传播特性的非破坏性检测方法,广泛应用于重载铁路钢轨伤损检测中。其原理是,当超声波在钢轨内部传播时,遇到缺陷(如裂纹、气孔等)会产生反射、折射和散射等现象,通过接收和分析这些声波信号,可以精确定位缺陷的位置、大小和性质。该技术的优势在于其检测范围广、灵敏度高,能够深入钢轨内部,尤其适用于厚壁或复杂结构的检测。在实施过程中,需根据钢轨的材质、厚度和缺陷类型,选择合适的探头、频率和检测速度,以确保检测的准确性和效率。此外,超声波检测对材料无损伤,为铁路安全运营提供了可靠的技术支持,有效提高了检测的准确性和效率。

### 2.2.2 磁粉检测在钢轨表面裂纹检测中的应用

磁粉检测是一种基于磁学原理的表面缺陷检测方法。其原理是,当钢轨被磁化后,若表面存在裂纹等缺陷,则会在缺陷处形成漏磁场,吸引磁粉形成磁痕,从而揭示缺陷的存在。磁粉检测具有检测灵敏度高、操作简单等优点,特别适用于检测钢轨表面的微小裂纹。然而,磁粉检测受材料磁性的影响,对于非磁性材料或磁化困难的材料,其检测效果较差<sup>[2]</sup>。

### 2.2.3 涡流与相共振检测技术的特性及其局限性

涡流与相共振检测技术是钢轨伤损检测的重要手段。涡流检测凭借电磁感应原理,能迅速探测钢轨表面及近表面缺陷,尤其适用于焊接接头等关键部位。相共振检测则通过分析材料在特定频率下的振动响应,能够精准识别钢轨内部的微观结构异常,如裂纹、空洞等,且对深层缺陷具有较高的灵敏度。相较于涡流检测,相共振技术更适用于复杂内部结构的无损检测,能准确呈现出缺陷的形状及具体位置,但其对设备精度和人员操

作技能要求较高。相共振检测技术比较适合于钢轨、辙叉、尖轨、等特殊部位伤损的检测,能实现很直观的结果;但不能大面积应用,因检测速度慢、钢轨表面要求制备等因素。虽然某些非接触式检测技术(如类比技术)操作便捷、检测覆盖面广,但其结果易受环境干扰,可能影响准确性。因此,在应用中需全面考虑环境因素,适时融合超声波检测技术、涡流检测、磁粉或相共振检测,以实现优势互补,确保检测结果的精确性和可靠性。

### 2.2.4 机器视觉检测技术的最新进展与大型探伤车钢轨伤损检测应用

机器视觉检测技术,结合人工智能与深度学习,正成为大型探伤车钢轨伤损检测的关键技术。该技术通过模拟人类视觉功能,实现对钢轨伤损的自动识别、精确定位与高效分析。随着深度学习模型的训练与优化,大型探伤车的检测准确性和效率显著提升,展现出广阔的应用前景。然而,铁路环境的复杂性与光照条件的变化,以及钢轨表面的污染与锈蚀,均为机器视觉检测带来挑战。为克服这些难题,需不断优化检测算法,提升系统的适应性与鲁棒性。同时,加强数据采集与标注工作,为深度学习模型提供丰富多样的训练样本,以增强其泛化能力,确保检测结果的可靠性。

## 2.3 综合检测策略的制定与实施

### 2.3.1 结合多种检测技术的综合检测方案

由于各种检测技术都有其独特的优势和局限性,因此,结合多种检测技术的综合检测方案是更为理想的选择。例如,可以利用超声波检测技术检测钢轨内部的缺陷,利用磁粉检测技术检测钢轨表面的裂纹,同时结合机器视觉检测技术对钢轨进行全面、细致的自动检测。通过综合应用这些技术,可以实现对钢轨伤损的多维度、全方位检测,提高检测的准确性和可靠性。

### 2.3.2 检测计划的制定与执行

制定科学合理的检测计划是确保综合检测策略有效实施的关键。检测计划应包括检测时间、地点、方法的确定以及检测人员的分工和培训等内容。在制定检测计划时,需要考虑重载铁路的运行特点和伤损分布情况,合理安排检测时间和地点,确保检测工作的全面性和高效性。同时,还需要根据检测技术的特点和要求,选择合适的检测方法,并加强对检测人员的培训和教育,提高他们的专业素质和技能水平。在执行检测计划时,需要严格按照计划要求进行操作,确保检测工作的规范性和准确性。同时,还需要加强对检测结果的记录和分析,及时发现和处理伤损问题,确保铁路运行的安全和

稳定<sup>[3]</sup>。

### 3 针对重载铁路钢轨伤损的有效对策

#### 3.1 提高钢轨材质与热处理工艺

(1) 采用高强度、高硬度的热处理钢轨。重载铁路钢轨需具备高强度、高硬度以及良好的耐磨性和韧性,以适应复杂多变的运输环境。采用高强度、高硬度的热处理钢轨,能够显著提升钢轨的承载能力和抗疲劳性能。这类钢轨通过先进的热处理工艺,使钢材内部的组织结构得到优化,晶粒细化,从而提高钢材的力学性能和耐久性。同时,高强度、高硬度的钢轨在受到列车车轮对冲击时,能够更好地抵抗变形和损伤,延长使用寿命。(2) 优化淬火工艺,提高钢轨耐磨性和韧性。淬火是提高钢轨硬度和耐磨性的关键工艺。传统淬火工艺往往存在淬火不均、残余应力大等问题,容易导致钢轨在使用过程中产生裂纹和剥离。因此,优化淬火工艺显得尤为重要。通过精确控制淬火温度、冷却速度和淬火介质,可以确保钢轨在淬火过程中获得均匀的组织结构和较低的残余应力。此外,采用先进的感应淬火技术,可以实现对钢轨局部区域的精确淬火,进一步提高钢轨的耐磨性和韧性。

#### 3.2 优化轨道结构与铺设方式

(1) 在曲线段合理设置欠超高,减少侧磨。重载铁路在曲线段运行时,由于离心力的作用,外轨往往承受更大的压力,容易导致侧磨。为了减少侧磨,可以在曲线段合理设置欠超高。欠超高是指曲线段外轨超高值小于理论超高值的现象。通过合理设置欠超高,可以调整列车在曲线段上运行时的离心力分布,从而减少外轨的侧磨。同时,还可以采用曲线段加宽、轨底坡调整等措施,进一步降低侧磨对钢轨的影响。(2) 采用热塑性弹性体垫板增加轨道弹性。轨道弹性是影响重载铁路运行平稳性和安全性的重要因素。采用热塑性弹性体垫板,可以显著提高轨道的弹性性能。热塑性弹性体垫板具有优异的弹性和耐磨性,能够吸收列车运行时的振动和冲击,减少钢轨和扣件的磨损。此外,热塑性弹性体垫板还具有良好的耐候性和抗老化性能,能够长期保持稳定的弹性性能,延长轨道结构的使用寿命。

#### 3.3 加强钢轨维护与保养

(1) 定期进行钢轨打磨,消除微细裂纹和塑性变形层。钢轨在使用过程中,由于列车轮对的反复碾压,表面容易产生微细裂纹和塑性变形层。这些微细裂纹和塑性变形层是钢轨伤损的重要诱因。因此,定期进行钢

轨打磨显得尤为重要。通过打磨可以去除钢轨表面的微细裂纹和塑性变形层,恢复钢轨的原始形态和性能。同时,打磨还可以提高钢轨的光洁度和抗腐蚀性,进一步延长钢轨的使用寿命。(2) 对焊接接头进行再淬火处理,提高接头轨面硬度。重载铁路钢轨的焊接接头是伤损的高发区域。由于焊接过程中产生的热应力和组织不均匀性,焊接接头往往容易出现裂纹、剥离等伤损。为了提高焊接接头的硬度和耐磨性,可以对其进行再淬火处理。

#### 3.4 提高检测与维修的智能化水平

(1) 利用大数据和人工智能优化策略。大数据和人工智能技术为重载铁路钢轨伤损检测与维修提供了新思路。通过建立钢轨伤损数据库和分析模型,可实现伤损的智能化预测和预警。深入挖掘历史数据,分析伤损规律和趋势,为制定科学检测与维修计划提供依据。同时,开发智能检测算法和识别系统,实现伤损的自动识别与分类,提升检测的准确性和效率。(2) 开发智能检测系统,实现实时监测与预警。智能检测系统是实时监测与预警的核心工具。通过集成传感器、摄像头等设备,实时监测钢轨几何尺寸、表面状态及内部缺陷。利用大数据和人工智能技术分析处理数据,及时发现潜在隐患并预警,降低人工检测成本和风险。实时监测可避免伤损扩展引发安全事故,并为维修人员提供便捷的数据查询和分析功能,帮助制定更科学的维修计划,提升整体运维效率与安全性。

#### 结束语

重载铁路在国民经济中扮演着举足轻重的角色,承担着大宗货物的运输重任。然而,在长期的重载运营下,钢轨极易出现各种类型的伤损,如裂纹、磨耗和断裂等,这些伤损直接关系到铁路的安全性与稳定性。因此,准确有效地检测出重载铁路钢轨的伤损情况,并及时采取相应的维护和管理对策,对于确保铁路运营安全、提高运输效率具有重大意义。

#### 参考文献

- [1]王志文,麻奇杰,贾国强.重载铁路钢轨闪光焊接头轨底下表面伤损原因分析[J].铁道技术监督,2023,(04):40-41.
- [2]杨光,刘丰收,李闯.高速铁路钢轨服役寿命影响因素研究[J].高速铁路新材料,2022,(04):45-46.
- [3]熊龙辉,刘秀波,刘庆伟.在役钢轨浅表层伤损快速检测技术[J].中国铁路,2022,(12):118-119.