

# 铁路钢轨探伤及伤损原因分析

郝金宝

国能朔黄铁路公司肃宁分公司 河北 沧州 062350

**摘要:** 本文深入探讨了铁路钢轨探伤及伤损原因,概述了磁粉探伤、超声波探伤等主流探伤技术,并详细分析了钢轨核伤、接头伤损、纵向裂纹、轨底裂纹及波浪形磨耗等常见伤损类型及其成因。提出了提高钢轨制造质量、优化轨道几何尺寸、加强轮轨系统维护等预防措施,以减少钢轨伤损,保障铁路运输安全。

**关键词:** 铁路钢轨;探伤;伤损原因;预防措施

## 引言

钢轨作为铁路轨道系统的关键部件,其健康状况对铁路运输安全至关重要。钢轨在使用过程中不可避免地会产生各种伤损,如核伤、裂纹、磨耗等。这些伤损不仅影响列车运行的平稳性和舒适性,还可能引发严重的安全事故。因此,加强铁路钢轨探伤及伤损原因分析,采取有效预防措施,对于保障铁路运输安全具有重要意义。

### 1 铁路钢轨探伤技术概述

铁路钢轨探伤检测是通过使用各种探伤设备和技木,对铁路钢轨进行无损检测,以发现其内部存在的缺陷和损伤。这些缺陷和损伤可能是由于制造、运输、安装和使用过程中的各种原因引起的,如果不及时发现和处理,将会对铁路运输安全造成潜在的威胁。目前,常用的铁路钢轨探伤技术主要包括电磁探伤、超声波探伤和射线探伤等。

磁粉探伤是铁路钢轨探伤技术中的关键一环,它基于铁磁性材料在磁化后表面缺陷处形成漏磁场的原理。通过在被测钢轨表面施加磁场并撒上磁粉,磁粉会被漏磁场吸附并聚集在缺陷处,形成可见的磁痕,从而直观地指示出缺陷的位置和形状。磁粉探伤具有检测灵敏度高、操作简便、成本低廉等优点,广泛应用于铁路钢轨表面及近表面缺陷的检测。在铁路钢轨探伤中,磁粉探伤是确保钢轨安全、延长使用寿命的重要手段之一。

超声波探伤是利用超声波在介质中的传播特性,通过发射超声波并接收其反射回波,从而检测钢轨内部的缺陷和损伤。这种方法具有检测精度高、对操作者技能要求低等优点,因此在一些特殊情况下得到了应用。超声波探伤能够精确检测钢轨内部的裂纹、核伤等缺陷,并可以通过波形分析确定缺陷的性质和位置。超声波探伤对于钢轨表面的微小缺陷可能不够敏感,且受到钢轨材质和几何形状的影响较大。

渗透探伤是铁路钢轨探伤技术中的一种重要方法,

它利用毛细现象原理,将含有染料的着色或荧光渗透剂涂覆在钢轨表面。在毛细作用下,渗透剂渗入表面开口的缺陷中,随后通过清洗、显像等步骤,使缺陷在光照下形成放大的图像,从而便于观察和判断。渗透探伤具有操作简单、设备简便、灵敏度高等优点,尤其适用于检测钢轨表面的裂纹、气孔等缺陷。在铁路钢轨探伤中,渗透探伤常作为其他无损检测方法的辅助手段,以确保钢轨的安全性和可靠性。

### 2 铁路钢轨伤损类型及原因分析

#### 2.1 钢轨核伤

钢轨核伤从超声波探伤专业上称为轨头横向裂纹,是钢轨伤损中危害最大者之一。核伤主要产生的部位在钢轨头部内侧,随着核伤直径增大,钢轨承载能力急剧下降,在高速重载的使用环境下极易发生钢轨折断。钢轨在冶炼和轧制过程中存在的材质不良问题,如白点、气泡、非金属夹杂物、偏析和缩孔残余等缺陷,这些缺陷在列车载荷的重复作用下会逐步扩展形成核伤。钢轨制造过程中由于工艺不良或操作不当导致的内部缺陷,如轧制不均、淬火工艺不良等,也会成为核伤形成的源头<sup>[1]</sup>。随着钢轨通过总重的积累,列车车辆反复荷载的作用会使钢轨内部产生疲劳裂纹,这些裂纹逐渐扩展形成核伤。特别是在曲线地段、大坡道地段以及钢轨小腰和道岔基本轨等受冲击力大的地段,更容易产生疲劳核伤。

#### 2.2 钢轨接头部位伤损

钢轨接头是线路的薄弱环节,其伤损主要包括螺孔裂纹、下颏裂纹和马鞍型磨耗等。钢轨轨腰在钻螺栓孔后强度被削弱,螺孔周边产生较高的局部应力;螺孔钻制不良、有毛边缺口或钢轨锈蚀等都会使螺孔周边产生应力集中,进而形成螺孔裂纹。在有缝线路中,机车车轮跃过钢轨轨缝时对接头产生较大的冲击力,导致裂纹发生率上升。钢轨接头养护工作不到位会导致道床板结、低接头、轨枕空吊等问题,增加机车对接头的冲击

力,从而加剧螺孔裂纹的产生。

### 2.3 钢轨纵向水平和垂直裂纹

钢轨纵向水平和垂直裂纹主要是由于钢轨制造工艺不良或使用过程中受到过大的偏载所致。制造工艺不良可能导致钢锭中的缺陷在轧制成钢轨后成为纵向裂纹,而使用过程中的偏载,如轨道几何尺寸不良、车轮踏面擦伤或剥离等,都可能引起钢轨局部应力集中,进而产生纵向或垂直裂纹。

### 2.4 钢轨轨底裂纹

轨底裂纹是钢轨伤损中较为常见的一种类型,钢轨在使用过程中,轨底容易受到潮湿和污染,长期以往会形成锈蚀。锈蚀不仅削弱了钢轨的截面强度,还可能导致应力集中,进而形成裂纹。在重载和高速运行条件下,钢轨底部会受到巨大的压应力。如果轨底材质不良或存在缺陷,就可能在压应力作用下产生压溃,进而形成裂纹。对于无缝线路,焊接接头处的残余应力也是轨底裂纹产生的一个重要原因。焊接过程中,由于加热和冷却的不均匀性,会在接头处产生较大的残余应力。这些残余应力在列车通过时会产生交变应力,导致轨底产生疲劳裂纹。

### 2.5 钢轨波浪形磨耗

波浪形磨耗是钢轨顶面沿长度方向呈现出的周期性高低不平的磨耗形态,列车运行时,车轮和钢轨之间会产生动力作用。如果轨道几何尺寸不良、车轮踏面形状不良或轮轨间存在较大的摩擦系数,就会导致动力作用加剧,从而引起钢轨波浪形磨耗。钢轨的材质和硬度对其耐磨性有很大影响。如果钢轨材质不良或硬度过高,就容易导致磨耗不均匀,进而形成波浪形磨耗。轨道的养护维修工作对防止波浪形磨耗也至关重要。如果道床板结、轨枕失效或扣件松动等问题得不到及时处理,就会加剧车轮对钢轨的冲击和振动,从而加速波浪形磨耗的形成。

## 3 钢轨伤损的预防措施

### 3.1 提高钢轨制造质量

首先,应严格筛选原材料,确保使用的钢材具有优异的力学性能和化学稳定性,避免使用含有杂质、气泡或夹杂物的原材料。这要求生产企业与供应商建立长期稳定的合作关系,对原材料进行严格的检验和测试<sup>[2]</sup>。其次,采用先进的冶炼技术是提高钢轨质量的重要手段。通过优化冶炼工艺,如采用真空脱气、精炼等先进技术,可以降低钢中的有害元素含量,提高钢的纯净度和均匀性。合理的合金化设计也是提高钢轨性能的关键,通过添加适量的合金元素,可以显著改善钢的强度、韧

性、耐磨性等综合性能。在轧制过程中,应严格控制轧制温度、轧制速度、轧制压下量等工艺参数,确保钢轨的几何尺寸和内部组织达到设计要求。先进的轧制技术和设备能够更精确地控制轧制过程,减少轧制缺陷的产生。此外,对轧制后的钢轨进行严格的热处理,如淬火、回火等,可以改善钢轨的力学性能和内部组织,提高其抗疲劳、抗磨损等能力。最后,加强钢轨生产过程中的质量检测和监控也是必不可少的。通过采用先进的检测技术和设备,如超声波探伤、磁粉探伤等,可以及时发现并处理钢轨内部的缺陷和裂纹等伤损问题。建立完善的质量管理体系和追溯机制,确保每根钢轨都能追溯到其生产过程和原材料来源,为后续的维护和更换提供有力支持。

### 3.2 优化轨道几何尺寸

为有效预防钢轨伤损,铁路维护部门应建立完善的轨道几何尺寸检查机制,实现定期检查与实时监测相结合。利用高精度测量设备和现代化信息管理系统,对轨道的轨距、水平、高低、方向、三角坑等关键几何参数进行全面而细致的测量。基于测量结果,及时进行精细调整,确保所有参数均符合设计规范及安全运输标准,从而保持轨道的平顺性和稳定性,减少因几何尺寸不良引起的轮轨作用力集中,进而延缓钢轨伤损的发生。对于曲线地段和大坡道地段等特殊地形条件,由于其特殊的动力学特性和运输条件,更易发生钢轨伤损。优化曲线半径,尽量采用较大的曲线半径以减少轮轨间的横向作用力;设置合理的超高和轨底坡,确保列车通过时轮对能够自然对中,减少偏磨;增加曲线段的轨枕数量和刚度,采用高强度或特殊材质的钢轨,以及加强轨道下方的道床支撑,以提高曲线的整体稳定性和承载能力。合理设计坡度,避免过陡的坡度变化以减少列车牵引和制动时的冲击力;在大坡道段增设制动电阻或采用其他先进的制动控制技术,降低列车下坡时的制动热负荷对钢轨的损害;加强道床排水和防护,防止因雨水冲刷导致路基下沉,进而影响轨道几何尺寸的稳定性。

### 3.3 加强轮轨系统维护

制定科学合理的检查周期,如每日巡检、月度详查、年度全面评估等,确保车轮和钢轨的状态得到持续监控。利用先进的检测技术和设备,如超声波探伤仪、激光测量仪等,对车轮的踏面磨耗、裂纹、剥离以及钢轨的轨头压溃、波磨、核伤等进行精准检测。建立轮轨状态数据库,记录每次检查的结果,并运用大数据分析技术,识别潜在的伤损趋势和模式。通过设定预警阈值,对接近或超过安全标准的部件提前发出预警,以便

及时采取措施。若发现车轮或钢轨存在严重磨损、裂纹或其他缺陷,应立即启动快速响应机制,组织专业团队进行现场勘查并制定维修方案。对于无法修复或修复成本过高的部件,应及时安排更换,避免故障扩大影响行车安全。制定详细的维修作业指导书,明确维修步骤、技术要求和质量标准,确保维修工作规范、高效进行。加强维修人员的技能培训,提高其专业水平和应急处理能力。采用先进的润滑技术和产品,如固体润滑剂、高分子润滑剂等,提高轮轨间的润滑性能。根据线路条件、运行速度等因素,合理调整润滑剂的种类、用量和施加方式,确保轮轨间始终保持适当的润滑状态。良好的润滑状态能够显著降低轮轨间的摩擦系数和动力作用,从而减少磨损和热量产生。

### 3.4 提高焊接接头质量

确保设备定期维护保养,处于最佳工作状态。制定并执行严格的焊接工艺标准,包括预热温度、焊接速度、焊后处理等各个环节,确保每一道工序都符合质量要求。根据不同材质、规格的钢轨,优化焊接参数,确保焊接接头的强度和韧性达到设计要求<sup>[1]</sup>。利用现代化监测技术,如红外热成像、超声波检测等,对焊接过程进行实时监控,及时发现焊接过程中的异常情况。严格控制焊接现场的环境条件,如温度、湿度、风速等,避免因环境因素导致的焊接质量问题。采用X射线、超声波等无损检测技术,对焊接接头进行全面检测,发现并记录内部缺陷、裂纹等隐患。对已完成的焊接接头进行定期复检,特别是在运输初期和高负荷运行阶段,及时发现并处理可能发生的裂纹扩展等问题。建立焊接接头质量数据库,对检测数据进行统计分析,识别潜在的质量问题趋势,为后续的焊接工艺改进提供依据。

### 3.5 加强轨道养护维修

道床作为支撑轨枕、分散列车荷载并传递至路基的重要结构,其状态直接影响轨道的稳定性和钢轨的受力情况。定期清理道床,包括清除杂草、碎石、泥土等杂物,保持道床清洁、排水畅通,是防止道床板结、减少轨道下沉和变形的关键步骤。需检查并维护道床排水系统,确保雨水和其他水源能迅速排出,避免积水对轨道结构的侵蚀和损害。轨枕作为支撑钢轨的重要部件,其状态直接影响钢轨的稳定性和安全性。定期检查轨枕的完好性,包括检查是否有裂纹、腐朽、断裂等情况,

若发现失效轨枕,应立即更换,以防其影响轨道几何尺寸和钢轨受力状态。扣件作为连接钢轨与轨枕的关键部件,其紧固状态直接影响钢轨的固定性和稳定性。定期检查并紧固扣件,防止因松动导致的钢轨位移和伤损。利用先进的测量设备和技术,定期对轨道的几何尺寸进行精确测量,包括轨距、水平、高低、方向等参数,确保轨道几何尺寸符合设计要求。根据测量结果,对轨道进行精准调整,消除超限偏差,恢复轨道的平顺性和稳定性。

### 3.6 采用先进探伤技术

随着科技的进步,探伤技术不断革新,为铁路安全提供了更加可靠的技术保障。积极引进国内外先进的钢轨探伤设备,如激光探伤仪这些设备具备更高的检测精度和灵敏度,能够更准确地识别钢轨内部的微小缺陷和裂纹。在选择设备时,注重其智能化、自动化水平,以及数据处理和分析能力,确保设备能够快速、高效地完成探伤任务,并生成详尽的检测报告。建立严格的钢轨探伤检测制度,明确检测周期和检测标准,确保对全线路钢轨进行定期的全面探伤检测。通过定期检测,可以及时发现并处理潜在的伤损问题,防止其恶化。在定期检测的基础上,根据线路运输情况、天气条件、车辆荷载等因素,灵活安排不定期的抽检工作。特别关注重载线路、弯道、隧道等特殊地段的钢轨状态,提高检测的针对性和有效性。

### 结束语

综上所述,铁路钢轨探伤及伤损原因分析是确保铁路运输安全的重要工作。通过不断优化探伤技术、提高钢轨制造质量、加强轨道养护维修等措施,可以有效减少钢轨伤损的发生,延长钢轨使用寿命,提高铁路运输的安全性和可靠性。随着科技的不断进步和铁路行业的持续发展,铁路钢轨探伤及伤损预防工作将取得更加显著的成效。

### 参考文献

- [1]王炳辉.普速铁路钢轨探伤及伤损原因分析[J].减速顶与调速技术,2022(1):25-27.
- [2]马丹丹.普速铁路钢轨探伤及伤损原因分析[J].车时代,2024(4):70-72.
- [3]毛少虎.客货混跑普速铁路钢轨防断工作探讨[J].铁道技术监督,2019,47(08):38-41.