铁道钢轨磨耗成因及打磨维修工艺研究

高琳琳

中国铁路上海局集团有限公司徐州工务段，江苏 徐州 221009

DOI:10.61369/ETQM.2026080040

摘　　要： 伴随我国铁路列车运行速度、轴重和发车密度的不断提高，钢轨磨耗问题也越来越严重，会对列车运行的平稳性和安全性造成很大影响。本文对列车载荷作用、钢轨材质与制造工艺、列车运行特性、线路环境与轨道状态的钢轨磨耗主要原因进行梳理，并对打磨维修工艺进行分析，提出了各个工艺的适用场景以及关键技术参数。研究成果可以为铁路养护维修工作提供科学的依据，对延长钢轨使用寿命、降低运营成本具有重要的作用。

关 键 词： 钢轨磨耗；磨耗成因；钢轨打磨；维修工艺

Research on the Causes of Railway Rail Wear and the Sanding Maintenance Process

Gao Linlin

Xuzhou Track Maintenance Section, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Xuzhou , Jiangsu 221009

Abstract: With the continuous improvement in China's railway train operating speeds, axle loads, and departure frequencies, rail wear has become increasingly severe, significantly impacting train operational stability and safety. This paper identifies the primary causes of rail wear attributable to train loads, rail material and manufacturing processes, train operating characteristics, and track environment conditions, analyzes grinding and maintenance techniques, and specifies their applicable scenarios along with key technical parameters. The research findings provide a scientific basis for railway maintenance operations and play a crucial role in extending rail service life and reducing operational costs.

Keywords: rail wear; causes of wear; rail grinding; maintenance techniques

引言

铁路是国民经济大动脉、关键基础设施和重大民生工程，是综合交通运输体系的骨干和主要运输方式之一。钢轨作为轨道交通的重要承载部件之一，承受来自车轮周期载荷的作用，其表面产生滚动接触疲劳层。随着我国高速铁路、重载铁路的快速发展，列车运行速度、轴重、发车密度不断增大，钢轨所受的载荷条件越来越复杂，磨耗速度明显加快，不仅造成轨道养护成本增加，而且会埋下安全隐患。因此，对钢轨磨耗产生原因进行深入分析，改进打磨维修工艺，能够保证铁路运输的安全，并且降低运营成本。

一、铁道钢轨磨耗成因

（一）列车载荷作用

列车运行时所受的各种载荷，是造成钢轨磨耗的主要原因。列车车轮与钢轨之间的接触并不是理想的线接触，而是有一定的接触面积，当列车通过时，接触区域会产生很大的压力，压力随列车轴重的增大而增大[1]。重载列车的轴重一般较大，长时间运行会造成钢轨接触面产生塑性变形，车轮和钢轨之间存在相对滑动现象，从而引起摩擦作用，使轨头表面金属不断被消耗掉。另外，列车启动、制动时，车轮与钢轨之间会产生纵向滑动，滑动摩擦会使钢轨端部及曲线地段磨耗加剧，在车站进出站、坡道等处，列车速度变化较快，钢轨磨耗更加严重。不同种类的列车载荷特性存在差别，客运列车高速运行时，摩擦速度加大，压力增大，会加重钢轨磨耗，长期积累下来会造成钢轨表面出现鱼鳞状裂纹、轨头磨耗等病害。

（二）钢轨材质与制造工艺

钢轨本身的材质特性、制造工艺，对其抗磨耗能力的强弱起着很大作用。目前我国铁路使用的钢轨主要为高碳钢材质，常用的牌号有 U71Mn、U75V 等，这些钢轨虽然具有较高的强度和硬度，布氏硬度可达280-320HB，但是由于材质的均匀性影响着其抗磨性能。如果钢轨制造过程中，出现材质偏析、非金属夹杂等缺陷，便会使钢轨表面硬度分布不均匀，局部地方由于硬度不足逐渐开始出现磨损情况，从而造成整体磨耗速度变快[2]。同时，钢轨的热处理工艺也会对钢轨的耐磨性能产生影响，合理的淬

作者简介：高琳琳（1988-），男，江苏徐州人，汉族，职称：工程师，学历：本科，研究方向：铁道工程。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

火、回火工艺能够提高钢轨表面硬度和韧性，减小磨耗损伤，如果热处理工艺不合理，则会造成钢轨脆性增大，在载荷作用下容易产生裂纹、剥落，间接加重磨耗。

（三）列车运行特性影响

钢轨是支撑列车运行的重要基础设施，列车的高速、重载、高密度运行使钢轨磨耗问题日益突出。钢轨的过度磨损会对列车行车的平稳性、安全性、乘车舒适性以及车辆和轨道各零部件的使用寿命造成极大的危害。高速行驶的列车（350km/h以上）会使车轮和钢轨之间接触频率明显增加，每小时接触次数可达数万次，每次接触都会产生冲击载荷，长期反复的冲击会造成钢轨表面疲劳磨损，出现微小裂纹并慢慢扩展[3]。重载列车的轴重一般都大于25t，会造成钢轨接触应力超过材料的屈服极限，产生塑性变形，摩擦产生的热量又会改变钢轨表面的金相组织，使珠光体组织发生变化，降低其硬度和耐磨性。高密度运行会减少钢轨的养护间隔时间，磨耗损伤不能及时修补，长时间累积下来会造成钢轨性能急剧下降，甚至引发安全事故。

（四）线路环境与轨道状态

铁路线路的运营环境比较复杂，各种外部因素长时间的影响会使钢轨磨耗加快[4]。在自然环境之中，高温容易造成钢轨出现热应力裂纹，雨雪会改变钢轨表面的润滑状况，加大摩擦系数，从而加重磨耗。不同的环境因素对于钢轨磨耗影响程度具有差异，具体表现如下表1所示。

表1不同环境因素对钢轨磨耗的影响程度及表现

环境因素类型	影响程度	具体表现
自然环境（高温/严寒）	中等	钢轨表面产生热应力裂纹、材质韧性下降，磨耗速度加快10%—20%
雨雪天气	较强	表面润滑条件变差，摩擦系数提升30%以上，粘着磨耗加剧
曲线地段（小半径）	极强	外轨侧面磨耗严重，年磨耗量可达5—8mm，易出现轨头剥离
轨道不平顺	中等	接触应力分布不均，局部磨耗集中，形成磨耗坑

轨道状态的好坏也和钢轨磨耗有关，轨距偏差、轨道不平顺、道床捣固不密实等都会造成车轮与钢轨接触不良，接触应力分布不均，局部区域磨耗加重，形成恶性循环，进而缩短钢轨的运营寿命，见表1中轨道不平顺的具体影响表现。

二、铁道钢轨打磨维修工艺

（一）预打磨工艺

新钢轨在制造、运输和铺设过程中，不可避免地会产生轧制划痕、表面氧化皮、焊接接头错边、轨头轮廓偏差等初始缺陷，这些缺陷都会加快列车运行初期钢轨磨耗和疲劳裂纹的产生速度[5]。预打磨是钢轨投入运营前的最后一道质量控制工序，一般在新线开通前或者钢轨更换完成后72小时内进行。打磨速度控制在2-4km/h，采用多遍递进式的作业方式，通过粗磨消除明显的表面缺陷和焊接不平顺，利用精磨修整表面平整度和轨头圆弧半径。经过科学规范的预打磨，可以有效地防止新钢轨运行初期出现鱼鳞纹、剥离掉块等早期病害，改善列车运行平稳性，降低轮轨噪声，为线路开通后的长期安全稳定运行奠定基础[6]。

（二）预防性打磨工艺

为了从源头上减少由于钢轨磨耗而造成的安全隐患，预防性打磨已经成为铁路养护维修的重要方式[7]。这种工艺主要对已经出现轻微磨耗，但是没有明显损伤的钢轨进行打磨，去除钢轨表面的疲劳层（厚度一般在0.05 ~ 0.1mm之间），使钢轨的几何外形和表面粗糙度恢复到正常水平（Ra0.8 ~ 1.6μm），提高钢轨的抗磨性能及接触状态。预防性打磨的核心是早发现、早处理，一般在钢轨磨耗量达到0.2mm到0.5mm之间，还没有出现裂纹、剥落等病害时进行。打磨时应根据钢轨磨耗情况确定打磨深度，一般控制在0.1mm ~ 0.3mm之间，防止过度打磨造成钢轨截面减小、强度降低。同时对打磨速度（一般为3 ~ 5km/h）和打磨角度加以控制，使钢轨表面变得平滑、平整，减小车轮与钢轨间的摩擦阻力。预防性打磨需要根据铁路运营计划来安排，一般选择在列车运行间隙进行，避免影响到铁路的正常运输，通过定期预防性打磨，可以有效延长钢轨的使用寿命30%到50%，减少以后的养护费用[8]。

（三）修理性打磨工艺

当钢轨出现明显的磨耗、裂纹等损伤时，修性打磨可以有效地恢复钢轨的正常几何尺寸和表面状态，消除安全隐患。这种工艺主要对已经出现轨头磨耗超标、鱼鳞状裂纹、局部剥落等病害的钢轨进行打磨，打磨深度一般为0.3 ~ 1.0mm，根据损伤程度精确控制，深度大于0.5mm的裂纹打磨深度应大于裂纹尖端0.2mm以上。修理性打磨前需要使用超声波检测、视觉检测等方法对钢轨损伤情况进行全方位检测，确定损伤的位置、范围和程度，制定个性化的打磨方案[9]。打磨时先去除非损伤区的疲劳层及缺陷，再逐渐修整钢轨外形，保证钢轨轨头轮廓符合TB/T2344-2012标准要求，接触应力分布均匀。对裂纹比较严重的部位应分段打磨，防止裂纹扩大，打磨完毕后对钢轨表面进行抛光，提高表面光滑度。修理性打磨可以迅速解决钢轨局部损伤的问题，恢复钢轨的承载能力，保证列车运行安全，是铁路应急养护维修的重要工艺。

上述三种钢轨打磨维修工艺的核心适用场景与作业要求如下表2所示。

表2：钢轨三种打磨维修工艺核心信息汇总

工艺类型	核心适用场景	关键打磨深度	核心作业目标	工艺类型
预打磨工艺	新钢轨铺设完成后、新线开通前，存在初始制造/铺设缺陷的新钢轨	0.2mm ~ 0.3mm		预打磨工艺
预防性打磨工艺	已出现轻微磨耗、无明显损伤的在役钢轨	0.1mm ~ 0.3mm	去除钢轨表面疲劳层，恢复钢轨正常外形，延长钢轨使用寿命	预防性打磨工艺
修理性打磨工艺	已出现明显磨耗超标、裂纹、剥落等病害的在役钢轨	0.3mm ~ 1.0mm	消除钢轨病害，恢复钢轨正常几何尺寸与承载能力，消除行车安全隐患	修理性打磨工艺

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

三、打磨工艺技术要求

（一）打磨前检测与方案制定要求

打磨前应对钢轨进行全面检查，使用钢轨轮廓仪、超声波探伤仪等仪器采集轨头磨耗、裂纹、表面缺陷、轨道几何尺寸等数据。根据线路类型、行车参数和养护记录来分级评价钢轨损伤，确定打磨的重点地段。根据该方案制定专项打磨方案，确定打磨深度、速度、角度、遍数、余量，准确对接天窗计划，落实作业时间、人员分工、安全防护措施[10]。

（二）打磨过程质量控制要求

打磨作业严格按照规定的方案进行，利用实时监测系统动态地控制参数，打磨深度误差控制在 ±0.05mm以内。采用多遍递进式作业，先粗磨、精磨、抛光，对曲线、接头、道岔等特殊部位减小打磨速度，改变打磨角度，避免打磨死角和过度打磨。在作业过程中对打磨的质量进行定期的核验，并对参数的偏差及时作出修正，严禁出现违章盲目施工的情况。

（三）打磨后验收标准

打磨完成后按照 TB/T2344-2012标准进行验收，轨头轮廓应符合设计要求，踏面、侧面打磨偏差≤ ±0.1mm，表面粗糙度合格。钢轨表面无裂纹、剥离、划痕，深度大于0.1mm的缺陷要全部清除，1m范围内平直度偏差≤0.2mm。不合格区段需要返工复磨，直到指标合格为止，验收资料及时归档保存。

四、结论

总体而言，我国铁路具有线路环境复杂、路网规模大、行车速度高、运营列车多样等特点，对铁路养护维修提出了更高要求。钢轨磨耗通常由诸多因素引起，列车载荷、材质工艺、运行状况、线路环境等都会对磨耗造成影响，科学合理的打磨维修工艺能减缓磨耗损伤，改善钢轨性能。针对性使用各种打磨工艺可以延长钢轨使用寿命，降低养护成本，促使铁路养护维修工作向着精细化、科学化的方向前进，为我国铁路事业高质量发展提供保证。

参考文献

[1]金能龙，李庆丰，郭丽丹.铁路道岔钢轨打磨技术研究[J].铁路采购与物流，2025,20(08):63-66.

[2]宋小春.铁路小半径曲线钢轨磨耗防治策略探索[J].现代制造技术与装备，2025,61(07):162-164.

[3]刘桂双，魏夕凯，王凯，等.基于钢轨磨耗及摩擦系数的重载铁路曲线钢轨润滑方案研究[J].高速铁路新材料，2025,4(01):63-67.

[4]王文刚，汤宇轩，王蒙，等.重载铁路小半径曲线钢轨磨耗对列车运行安全性的影响[J].铁道建筑，2025,65(10):25-30.

[5]周杰.淮池铁路小半径曲线钢轨磨耗防治措施[J].铁道建筑，2024,64(09):41-46.

[6]马思远，王树国，杨东升，等.高速道岔钢轨打磨廓形及磨耗规律试验研究[J].铁道建筑，2024,64(08):1-6.

[7]杨光，李闯，李晨光，等.高速铁路钢轨轨端不平顺劣化原因分析[J].高速铁路新材料，2024,3(03):15-19.

[8]张翼，董立群，李金良，等.普速铁路钢轨状态评估研究[J].铁道技术监督，2024,52(03):39-44.

[9]徐鹏，吴潇，刘永乾，等.钢轨铣磨和打磨对钢轨滚动接触疲劳和磨耗的影响[J].铁道建筑，2023,63(05):34-38.

[10]王平，宋娟，杨春凯，等.实测轮轨蠕滑曲线对钢轨磨耗影响分析[J].西南交通大学学报，2024,59(05):1034-1042.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.