 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10283

The Key Role and Application Research of Track Maintenance Design in the Maintenance of Heavy-haul Railway Lines

Yi Ding

China Shenhua Track Mechanized Maintenance Branch, Tianjin, 300450, China

Abstract

With the leapfrog development of railway freight volume and the regular operation of heavy-haul trains weighing 10,000 and 20,000 tons, the traction methods have been continuously optimized. However, the lateral and longitudinal impact forces on heavy-haul railway lines have continued to increase, making issues such as track irregularities increasingly prominent. Traditional maintenance models are no longer adequate to meet the operational and maintenance demands of heavy-haul railways. This paper analyzes the core connotations and implementation necessity of track maintenance design based on the practical needs of heavy-haul railway line maintenance. It elaborates on the specific roles of track maintenance design in addressing typical heavy-haul railway defects, improving maintenance quality, and ensuring transportation safety. Additionally, relevant recommendations are proposed to facilitate the implementation of track maintenance design, providing a reference for the scientific, economical, and efficient maintenance of heavy-haul railway infrastructure.

Keywords

track maintenance design; heavy-haul railway; line maintenance; precise maintenance; track defects

轨道维护设计在重载铁路线路养护中的关键作用与应用研究

丁毅

中国神华轨道机械化维护分公司，中国 · 天津 300450

摘　要

随着铁路运量跨越式发展，重载万吨、两万吨大列常态化开行，牵引方式不断优化，重载铁路线路面临的横向、纵向冲击力持续加大，轨道不平顺等病害问题日益突出，传统养护模式已难以适配重载铁路运营维护需求。本文结合重载铁路线路养护实际，分析轨道维护设计的核心内涵与实施必要性，阐述其在解决重载铁路典型病害、提升养护质量、保障运输安全中的具体作用，并提出推进轨道维护设计落地的相关建议，为重载铁路工务基础设施科学、经济、高效养护提供参考。

关键词

轨道维护设计；重载铁路；线路养护；精准维修；轨道病害

1 引言

《铁路线路修理规则》明确线路设备维修的核心任务是保持设备完整和质量均衡，保障列车安全、平稳、不间断运行，延长设备使用寿命，同时要求线路大修、中修需由专业队伍承担并完成线路平纵断面的校正与改善。重载铁路作为铁路货运的核心载体，近年来随着运量提升和牵引方式升级，线路基础设备承受的荷载大幅增加，轨道高低、方向偏差、钢轨磨耗、线桥偏心等不平顺病害频发，成为制约运输安全和线路使用寿命的关键因素。

长期以来，重载铁路线路养护主要依赖传统的人工检测和经验维修模式，以 “绳测、尺量、眼看” 为主的检测手段难以形成统一控制坐标，设备绝对位置偏差较大；养护作业多以“现状恢复”为目标，采取“头痛治头、脚痛治脚”的单一模式，诸多深度病害难以根治，反复养护不仅增加经济投入，还影响线路运营稳定性。在此背景下，轨道维护设计应运而生，其以运营实际问题为导向，以现状诊断和数据分析为基础，构建 “问题评估 - 数据分析 - 精准施策 - 数据应用” 的全流程养护模式，打破传统养护观念和作业模式，实现重载铁路线路养护的数字化、精准化升级，对推动工务基础设施维修养护技术发展、提升轨道维护质量管理水平具有重要的现实意义 [1]。

2 轨道维护设计的核心内涵与实施必要性

2.1 核心内涵

轨道维护设计是践行 “精准维修” 理念的核心路径，其核心在于全面掌握重载铁路线路实际状态，通过维修前的精细测量和系统数据分析，精准制定包含维修方法、内容、

【作者简介】丁毅（1983–），男，回族，中国北京人，本科，工程师，从事铁道工程研究。

设备配备、作业组织在内的一体化维修方案，尽最大可能恢复线路原始技术状态；对于难以恢复的病害，坚持 “因病施策、现状合规” 原则，实现 “设计指导维修” 的根本目标。

轨道维护设计的开展，需将现状测量数据与维护需求深度融合，围绕机械清筛、线桥偏心整治、平纵断面优化等重点工作，制定科学合理的技术方案，配合大型养路机械实现线路平纵断面的全面校正与改善，从根源上解决轨道不平顺等病害，同时兼顾养护经济性与作业高效性，延长线路维修周期，实现运输效益最大化。

2.2 实施必要性

2.2.1 适配重载铁路运营的刚性需求

重载万吨、两万吨大列的开行及 3+0、4+0 等牵引方式的应用，使线路承受的横向、纵向冲击力大幅提升，轨道复合不平顺病害不断累积，传统经验养护模式已无法应对重载线路的养护需求。轨道维护设计通过数字化测量和精准分析，能够针对性解决重载铁路特有的线桥偏心、钢轨严重磨耗、线路晃车等问题，弥补传统养护的技术短板，为重载铁路安全稳定运营提供技术支撑 [2]。

2.2.2 破解传统养护模式的固有弊端

传统养护模式存在检测数据不精准、养护方案无针对性、病害整治不彻底等问题，诸多病害经多次养护仍反复出现，形成 “修旧如旧” 的恶性循环。轨道维护设计以统一的控制坐标为基础，通过系统测量形成完整的设计数据体系，指导大型养路机械开展规模化、标准化作业，实现病害的系统性根治，改变粗放式养护现状，提升养护工作的针对性和有效性。

2.2.3 助力智慧铁路建设的重要举措

轨道维护设计的实施过程，本质上是铁路线路养护数字化、信息化的推进过程。通过积累海量的轨道测量数据、病害整治数据，能够建立标准化的铁路线路数据库，为智慧铁路建设提供精准、完善的基础地理信息和设备状态信息，同时推动养护作业从 “经验驱动” 向 “数据驱动” 转变，契合智慧铁路建设的发展方向。

2.2.4 提升养护经济性与运营效益的有效途径

轨道维护设计通过 “先设计后维修” 的模式，统筹规划养护作业，避免无效维护和盲目养护，减少人员、设备的重复投入；同时通过优化线路平纵断面、根治重点病害，延长钢轨、轨枕等设备的使用寿命，提升线路维修周期的稳定性，降低长期养护成本，实现养护经济投入与运输运营效益的双向提升。

3 重载铁路典型病害规律及轨道维护设计的整治作用

通过对重载铁路线路的长期勘察与设计实践，总结出线桥偏心、钢轨磨耗、线路晃车三类典型病害的发生规律，并通过针对性的维护设计实现了病害的有效整治，充分验证了轨道维护设计在重载铁路线路养护中的实际价值 [3]。

3.1 线桥偏心整治：从根源上消除结构受力偏差

3.1.1 病害现状规律

重载铁路线桥偏心病害呈现明显的共性规律：绝大多数桥梁偏心向曲线内侧偏移；重车线（上行线）偏心值显著大于下行线；小半径曲线、桥上道床厚度超标、曲线过超高区段极易出现线桥偏心。

3.1.2 病害诱发原因

一方面，长期缺乏设计数据指导的现状养护，导致病害不断累积形成轨道复合不平顺，加大无缝线路横向位移，降低轨道稳定性；另一方面，重载铁路多采用分片式混凝土预制 T 梁，其原设计标准不统一、部分存在设计缺陷，横向刚度偏低，长期受重载列车冲击后易出现结构病害，进一步诱发线桥偏心。

3.1.3 维护设计的整治作用

轨道维护设计通过反复测量对比线路中心、桥梁中心、桥墩中心数据，最大化消除测量设计误差，精细写实偏心数值；针对 T 梁横向刚度偏低的问题，结合设计数据提出技术改造和加固措施，提升梁体横向刚度、减小横向振幅；同时通过数字化调整和控制，指导线路拨道作业，精准消除偏心超限问题。实践中，通过维护设计已完成 87 座桥的专项偏心测量与整治，某特大桥上行线 328mm 的偏心超限问题经设计整治后，轨道脱轨系数、轮轴横向力等关键指标均显著改善，且可通过布设的控制点实现偏心状态的长期监测与调整。

3.2 钢轨磨耗整治：优化轮轨受力关系延长钢轨寿命

3.2.1 病害现状规律

重载铁路钢轨磨耗以曲线钢轨不均匀侧面磨耗为主，其形成与曲线圆顺度密切相关：线型不良导致钢轨受力不均是磨耗的主要诱因；小半径曲线钢轨磨耗远重于大半径曲线；轨头最大侧面磨耗点多集中在圆顺度不良曲线的后四分之一段。

3.2.2 病害诱发原因

日常养护中未对线路现状进行系统测量，仍以台账半径为依据开展大机维修和绳正法养护，导致实际曲线半径、长度、转角等控制要素发生变化，出现部分区段半径偏大、部分区段半径偏小的问题；曲线不圆顺作为轮轨横向力的激发源，改变轮对运动状态，导致导向力和冲击角异常，加剧钢轨侧面磨耗，缩短钢轨使用寿命。

3.2.3 维护设计的整治作用

轨道维护设计通过平面线型精准测量，掌握曲线实际控制要素，针对性调整曲线半径、缓和曲线长、转角等参数，实现曲线圆顺度优化；通过设计数据指导养护作业，使曲线钢轨受力均匀，减少轮轨之间的横向冲击力和冲击角，从根源上降低钢轨不均匀磨耗。在实际应用中，对 263 条平面曲线中的 148 条进行优化后，优化区段钢轨磨耗速率显著降低，使用寿命有效延长，轮轨关系实现科学匹配。

3.3 线路晃车整治：优化平纵断面线型提升运行平顺性

3.3.1 病害现状规律

重载铁路线路晃车多集中在曲线和道岔夹直线较短处、连续 20-30m 方向偏差处、平纵断面线型不良处、竖曲线半径设置不到位处及两道岔间渡线处等薄弱区段，是多种轨道病害叠加的结果。

3.3.2 病害诱发原因

重载列车轴重增加、冲击力加大，导致轨道几何尺寸变化加快，平纵断面线型不良区段的受力不均问题更为突出；部分区段线型不良使轨道振动频率与列车自身频率接近，产生共振现象，加剧线路晃车；同时，轨道连续长梁结构的特性，导致单点起道易形成范围性 “拱形” 抬升，若观测点设置不合理，将影响起道精度，进一步加剧线型不良。

3.3.3 维护设计的整治作用

轨道维护设计利用全站仪定位曲线和道岔方向，使曲线和道岔大方向保持一致，消除方向偏差叠加问题；通过测量数据控制轨道平纵断面设计，使线路受力均匀，避免共振现象发生；同时根据设计起道量科学设置相邻观测点距离，保证起道精度，优化竖曲线半径和平面线型，从根本上解决线路晃车问题。针对晃车区段的专项测量设计，为病害整治提供了精准的技术参照，整治后线路运行平顺性显著提升。

4 推进重载铁路轨道维护设计落地的建议

为充分发挥轨道维护设计在重载铁路线路养护中的核心作用，解决现存问题，实现线路养护的精准化、系统化、数字化，结合实践经验提出以下建议：

4.1 加快建立完善统一的轨道控制网（CP Ⅲ）

轨道控制网是实现轨道精准测量和维护的基础，其为轨道运营维护提供三维基准，能够全面、准确掌握病害易发区段的线路状态。目前各铁路轨道控制网建设与管理参差不齐，部分数据因管理不当无法使用。建议各单位协同推进轨道控制网建设，在重载铁路全线建成统一坐标、统一标准的 CP Ⅲ网，同时加强数据管理与维护，建立常态化的更新机制，确保控制网数据的准确性和可用性，为精准维护创造基础条件。

4.2 深入开展重载列车对轨道结构的影响研究

针对重载万吨列车开行的特点，专项开展列车运行对轨道平纵断面的影响研究，重点深入分析竖曲线病害、反向曲线对线路结构的危害机理，掌握重载荷载下轨道病害的发生、发展规律；同时推进线桥偏心治理和复合性病害的处理研究，制定针对性的整治技术标准和设计方案，为轨道维护设计提供更科学的理论支撑。

4.3 对既有重载线路开展全面细致的复测工作

鉴于重载铁路运营年限长、线路状态与原台账偏差较大的现状，建议对既有重载线路开展一次全面、系统的复测工作。通过复测优化既有线型，精准获取线路主要设备、相关设施及周边环境的地理信息，建立包含 CAD 图、平面影像图、三维立体图的标准化数据库，实现资源共享，为智慧铁路建设提供精确完善的基础依据，同时为后续轨道维护设计提供全面、准确的原始数据。

4.4 全面推行 “先设计后维修” 的作业模式

将 “先设计后维修” 作为重载铁路线路养护的核心模式，在线路大修、中修前必须开展专门的维护设计，统筹规划整治方案，实现一次整治、不留后患；同时逐步将该模式推广至一般维修捣固地段，针对不同养护等级、不同病害类型制定标准化的设计流程，配合大型养路机械实现规模化、标准化作业，彻底改变传统的现状养护模式。

4.5 加强轨道养护原始数据的管理与更新

完善的基础资料是轨道维护设计的前提，针对目前基础资料不完善、现场与台账不符的问题，建议铁路运营单位建立健全原始数据管理制度，根据线路复测和维护设计数据，及时完善设备台账；对线路改造、大中修后的竣工资料进行同步更新、归档，加强技术档案的规范化管理，确保基础资料的完整性、准确性和时效性，为轨道维护设计和日常养护提供可靠的数据支撑。

5 结语

轨道维护设计是适配重载铁路运营发展需求、破解传统养护模式弊端的关键举措，其以精准测量为基础、以数据分析为核心、以病害整治为目标、以设计指导作业为手段，构建了重载铁路线路 “精准维修” 的全新体系。在实践中，轨道维护设计对解决重载铁路线桥偏心、钢轨磨耗、线路晃车等典型病害发挥了重要作用，通过机械清筛设计、重点病害专项设计、站场设计等应用，实现了线路平纵断面的全面优化，提升了轨道养护质量和线路运营稳定性，同时积累了海量基础数据，为智慧铁路建设奠定了坚实基础。

当前重载铁路轨道养护仍存在平面线型失真、纵断面紊乱、标志标记失真、路基沉降等突出问题，对行车安全构成潜在威胁。未来需加快建立统一的轨道控制网，深入开展重载荷载对轨道结构的影响研究，对既有线路开展全面复测，全面推行 “先设计后维修” 模式，加强原始数据管理，持续完善轨道维护设计体系。

轨道维护设计作为重载铁路线路养护的重要技术支撑，其推广应用不仅能提升养护工作的科学性、经济性和有效性，延长线路设备使用寿命，保障重载列车安全平稳运行，更能推动铁路工务基础设施养护技术向数字化、智能化方向发展，为我国重载铁路高质量发展提供强有力的保障。

参考文献

[1] 赵剑.重载铁路线路维护养护优化途径分析[J].现代科技研究,2025(4).

[2] 高玉祥,时瑾,李跃鹏.基于多维修周期数据的重载铁路曲线轨道不平顺时空特征[J].铁道科学与工程学报,2026.

[3] 杨云帆,王瑞晨,常宇健,等.车轮镟修对重载机车车轮非圆化磨耗消除及演化发展影响研究[J].机械工程学报,2025(14):184-196.