

重载铁路桥梁病害状态评估体系及整治决策研究

邓少雄

中国神华能源股份有限公司神朔铁路分公司 陕西 榆林 719316

摘要: 重载铁路桥梁在长期运营中面临多种病害挑战。本文详细划分了桥梁上部结构、下部结构及附属结构的病害类型,构建了科学合理的病害状态评估体系,明确了评估指标与层级划分。同时,阐述了病害整治的核心目标与关键影响因素,提出了针对不同结构模块的专项整治方案,并规范了整治方案筛选流程。研究成果为重载铁路桥梁病害的有效评估与整治提供了理论支撑和实践指导。

关键词: 重载铁路桥梁; 病害类型; 评估体系; 整治决策; 结构健康

引言: 重载铁路作为国家运输体系的重要组成部分,桥梁结构的健康状态直接关系到铁路运输的安全与效率。随着重载列车荷载的增加和运营强度的提升,桥梁病害问题日益凸显,对病害状态的精准评估与有效整治成为保障桥梁服役性能的关键。深入研究重载铁路桥梁病害类型、评估体系及整治决策,对于提升桥梁养护管理水平具有重要意义。

1 重载铁路桥梁病害类型划分

1.1 上部结构病害

1.1.1 梁体病害

梁体作为重载铁路桥梁上部结构的核心承重构件,病害主要源于长期荷载作用下的材料劣化与结构受力失衡。常见表现为混凝土碳化、裂缝发育及钢筋锈蚀,部分预应力混凝土梁存在预应力损失现象,T型梁等典型梁型还易出现横隔板开裂、混凝土剥落等问题,这些病害会逐步削弱梁体刚度与承载能力,影响结构服役安全性与耐久性,相关特征已在多项重载铁路桥梁研究中得到证实。

1.1.2 桥面系病害

桥面系病害集中体现为结构功能退化与防护性能下降,涵盖钢轨磨耗、轨面擦伤等轨道相关损伤,以及桥面防排水设施失效、支座转动困难或锈蚀等问题^[1]。支座作为桥面系与梁体的连接构件,其病害会导致梁体受力传递不均,进一步诱发梁体附加损伤,桥面防排水失效则会加速梁体及下部结构的侵蚀劣化,与重载铁路运营环境下的荷载特性及环境影响密切相关。

1.2 下部结构病害

1.2.1 桥墩病害

桥墩作为上部结构的支撑载体,病害主要由应力集中、荷载累积及环境侵蚀共同引发。主要表现为墩身裂缝发育、混凝土剥落、钢筋锈蚀,部分桥墩存在倾斜变

形现象,墩身衔接处因受力集中易出现裂缝扩展,这些病害会削弱桥墩承载能力,严重时可能导致结构失稳,符合重载铁路桥墩长期承受竖向荷载与横向振动的受力特点。

1.2.2 桥台病害

桥台病害多与地基变形、台后填土沉降及列车冲击作用相关,常见形式包括台身裂缝、混凝土劣化、台后填土压实度不足引发的沉降变形,进而导致桥台与梁体衔接部位出现位移偏差,影响桥面平顺性,此类病害在软土地基或填土地基路段的重载铁路桥梁中更为突出。

1.2.3 基础病害

基础病害直接关系桥梁整体稳定性,主要源于地质条件变化、地下水侵蚀及荷载长期作用。常见类型包括地基不均匀沉降、冲刷深度超标、地基掏空及基础混凝土碳化、钢筋锈蚀,这些病害会降低基础承载力,导致桥墩倾斜、梁体位移,严重时威胁桥梁运营安全,相关研究已明确基础病害与重载列车荷载及环境因素的关联性。

1.3 附属结构病害

附属结构病害虽不直接承担主要荷载,但对桥梁整体防护与运营安全具有重要影响。主要包括桥梁防护设施损坏、排水系统堵塞、伸缩装置老化失效等,这些病害会加剧主体结构的侵蚀与损伤,缩短桥梁服役寿命,需结合重载铁路运营特点进行常态化监测与维护,相关类型已纳入铁路桥梁养护技术规范。

2 重载铁路桥梁病害状态评估体系构建

2.1 评估体系构建原则

评估体系构建需立足重载铁路桥梁服役特点,坚守科学合理、全面系统、实用可行、动态适配的核心原则,各原则相互支撑、有机融合,确保评估体系的科学性与适用性。科学合理要求评估方法与指标选取贴合桥梁受力规律与病害演化特征,基于严谨理论分析与试验

研究, 杜绝主观臆断, 确保评估结果客观精准^[2]。全面系统要求评估范围覆盖桥梁所有结构部位, 兼顾病害类型、严重程度、演化趋势及影响因素, 避免出现评估盲区, 实现对桥梁病害状态的全方位把控。实用可行要求评估流程简洁规范, 指标选取兼顾检测便捷性与数据可获取性, 适配现场检测条件, 降低评估成本与操作难度, 便于工程技术人员落地执行。动态适配要求结合桥梁服役年限、荷载变化、环境侵蚀等因素, 可灵活调整评估指标与权重分配, 适应桥梁长期服役过程中的状态演变, 保障评估体系的长期适用性。

2.2 评估指标选取

评估指标选取需以桥梁结构安全与功能完好为核心导向, 结合各结构部位病害特点与受力特性, 遵循针对性、敏感性、可测性原则, 参考行业规范与学术研究成果, 筛选能够精准表征病害状态的核心参数, 构建分类清晰、贴合实际的评估指标体系。

2.2.1 上部结构评估指标

上部结构评估指标聚焦梁体与桥面系核心功能, 围绕结构损伤程度与承载能力选取关键参数。涵盖梁体混凝土碳化深度、裂缝宽度与长度、钢筋锈蚀程度、预应力损失量, 精准反映梁体结构完整性与材料劣化状态; 同时纳入桥面系钢轨磨耗程度、支座完好性、防排水系统功能状态, 兼顾桥面通行平顺性与结构防护能力, 各项指标均贴合重载荷载下上部结构损伤规律, 符合行业检测评定标准, 能够全面表征上部结构病害状态。

2.2.2 下部结构评估指标

下部结构评估指标聚焦桥墩、桥台及基础的稳定性与结构完整性, 结合重载铁路下部结构受力特点选取。包括桥墩墩身裂缝发育情况、混凝土剥落面积、倾斜量, 桥台台身劣化程度、台后沉降量, 基础地基沉降量、冲刷深度、混凝土劣化状态, 指标选取贴合工程实际检测需求, 可精准反映下部结构承载能力与服役状态。

2.2.3 附属结构评估指标

附属结构评估指标侧重其防护功能与辅助支撑作用, 选取能反映结构功能退化程度的参数。涵盖防护设施完好率、排水系统通畅性、伸缩装置老化程度, 同时考虑附属结构对主体结构的保护作用, 指标选取符合铁路桥梁养护规范要求, 可全面反映附属结构病害状态及对桥梁整体运营的影响。

2.3 评估体系层级划分

评估体系采用层级化划分模式, 结合桥梁结构层级与评估逻辑, 构建目标层、准则层与指标层三级评估结构, 层级清晰、逻辑连贯, 贴合重载铁路桥梁结构特点

与评估实践。目标层明确评估核心导向, 即全面、精准掌握重载铁路桥梁病害状态, 为养护决策、病害整治提供科学依据, 筑牢桥梁运营安全防线^[3]。准则层对应桥梁上部结构、下部结构、附属结构三大结构模块, 作为目标层的分解与支撑, 明确各结构模块的评估重点, 实现评估范围的系统化覆盖。指标层为各准则层对应的具体评估指标, 明确各指标的检测标准、评价阈值与量化方法, 将抽象的评估目标转化为具体可测的参数, 实现病害状态的系统化、层级化、精准化评估, 为后续病害整治决策提供清晰指引。

3 重载铁路桥梁病害整治决策基础

3.1 病害整治核心目标

病害整治核心目标围绕桥梁结构安全、运营效能及服役寿命三大维度展开, 聚焦破解病害引发的结构损伤与功能退化难题, 彰显重载铁路桥梁养护的核心导向。核心要义在于彻底消除病害隐患, 修复结构损伤部位, 恢复桥梁设计承载能力与正常使用功能, 保障重载列车通行的安全性与平顺性, 筑牢铁路运输安全防线。整治过程中需兼顾经济性与长效性, 在满足安全运营底线要求的前提下, 优化整治工艺与材料选择, 合理控制整治投入成本, 有效延缓病害复发周期, 最大限度延长桥梁服役年限。整治目标还需贴合重载铁路运输发展趋势, 使整治后桥梁能够适配重载列车荷载升级、运营强度提升的需求, 为铁路运输的持续稳定发展提供可靠保障, 各项目标设定均符合重载铁路桥梁养护管理的行业共识与规范要求。

3.2 病害整治关键影响因素

病害整治关键影响因素贯穿决策全过程, 涵盖结构本身、运营条件、环境条件及技术经济四个核心维度, 各维度因素相互关联、相互制约, 共同决定整治方案的适配性与可行性。结构因素聚焦桥梁病害类型、严重程度及结构损伤范围, 不同损伤特征对应差异化整治思路与技术路径, 直接主导整治方案的初步选取, 是决策的核心前提。运营因素重点关注重载列车运行密度、荷载等级及运营连续性, 整治决策需妥善协调施工与运营的关系, 合理规划施工时段与工艺, 减少对铁路运输秩序的干扰。环境因素包含大气侵蚀、地下水作用、地质条件及极端天气影响, 需结合桥梁具体服役环境, 选取耐腐蚀、适配性强的整治材料与工艺, 提升整治效果的耐久性与稳定性。技术经济因素涉及整治技术成熟度、现场施工难度、材料成本及后期维护费用, 决策过程中需在保障整治质量的基础上, 统筹兼顾技术可行性与经济合理性, 实现整治效果与成本投入的最优平衡, 相关因

素梳理均基于行业规范与工程实践总结形成。

4 重载铁路桥梁病害整治决策路径

4.1 病害整治方案分类

病害整治方案分类以桥梁结构模块为核心依据,结合病害类型、严重程度及整治技术特点,对应上部结构、下部结构、附属结构三大模块划分专项整治方案,各类方案均贴合重载铁路荷载特性与结构受力规律,参考相关学术研究成果与工程整治实践,确保方案针对性与可操作性^[4]。

4.1.1 上部结构整治方案

上部结构整治方案聚焦梁体与桥面系病害治理,针对不同损伤类型选取适配技术路径。针对梁体混凝土碳化、裂缝及钢筋锈蚀,采用表面防护、裂缝封闭、钢筋除锈加固等技术,恢复梁体结构完整性与承载能力;针对预应力损失问题,实施预应力补张拉工艺,弥补结构受力缺陷;针对桥面系钢轨磨耗、支座劣化及防排水失效,开展钢轨打磨、支座更换、防排水系统修复等作业,恢复桥面系正常使用功能,各类整治技术均符合铁路桥梁上部结构养护规范要求。

4.1.2 下部结构整治方案

下部结构整治方案围绕桥墩、桥台及基础病害防控展开,结合结构稳定性要求与损伤程度设计专项措施。针对桥墩墩身裂缝、混凝土剥落,采用裂缝灌浆、混凝土修补及外包加固等技术,增强桥墩承载能力;针对桥台台身劣化、台后沉降,实施台身修复、台后填土加固及沉降控制等作业,保障桥台结构稳定;针对基础地基沉降、冲刷及混凝土劣化,采用地基加固、冲刷防护、基础修补等工艺,提升基础承载性能,契合重载铁路下部结构长期受力特点与整治实践。

4.1.3 附属结构整治方案

附属结构整治方案侧重防护功能与辅助作用恢复,结合附属结构病害特点选取简易高效的整治技术。针对防护设施损坏,开展修补、更换作业,恢复其对主体结构的保护作用;针对排水系统堵塞,实施疏通、清淤及管道修复,保障排水通畅,避免雨水侵蚀主体结构;针对伸缩装置老化失效,进行更换、密封处理,减少列车荷载对桥梁结构的冲击,各类方案均兼顾整治成本与长

效性,符合铁路桥梁附属结构养护管理要求。

4.2 整治方案筛选流程

整治方案筛选流程遵循系统化、规范化原则,结合病害评估结果与整治目标,分阶段开展方案筛选工作。首先依托桥梁病害状态评估数据,明确各结构模块病害类型、严重程度及影响范围,结合整治核心目标,初步筛选出适配的整治方案备选清单。随后结合整治关键影响因素,对备选方案进行技术可行性分析,排查方案与现场施工条件、现有技术水平的适配性,剔除技术不成熟、施工难度过大的方案。在此基础上,开展经济合理性评估,对比各备选方案的整治成本、后期维护费用,平衡整治质量与成本投入^[5]。最后结合重载铁路运营需求,评估方案实施对铁路运营的影响,优化调整方案细节,确定最优整治方案,形成“评估筛选—技术论证—经济评估—运营适配”的完整筛选流程,确保筛选出的方案既符合规范要求,又贴合工程实际需求。

结束语

重载铁路桥梁病害评估与整治研究,通过系统分析病害类型与成因,构建了全面的评估体系,并提出了针对性的整治方案。研究成果不仅丰富了重载铁路桥梁养护的理论体系,更为工程实践提供了科学依据。通过实施精准评估与有效整治,可显著提升桥梁结构的安全性与耐久性,保障重载铁路运输的持续稳定运行,为铁路事业的高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1]殷涛.重载铁路桥梁病害的状态剖析和减灾设计及其施工技术[J].铁道技术标准(中英文),2025,7(1):39-46.
- [2]李杰.重载铁路桥梁病害综合整治加固技术分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(6):2455-2456.
- [3]关荣飞.朔黄重载铁路桥梁病害分析及维管对策研究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(11):3347-3348.
- [4]孙明德,臧晓秋,曹志峰,等.重载铁路桥梁支座病害分析及改造技术[J].铁道建筑,2021,61(10):62-64.
- [5]安生兵.重载铁路线桥偏心病害整治方法研究[J].运输经理世界,2025(31):135-137.