

# 铁路桥梁结构健康监测与维护策略研究

李文博

平庄煤业铁路运输公司

**摘要：**本文研究重点关注铁路桥梁结构的运维策略及健康状况监测，确保铁路交通安全、提升运输效率及优化经济效益。铁路桥梁在铁路线路中起着关键作用，其健康状况与铁路安全运营息息相关。我国铁路桥梁运维面临多重困境，随着监控设施逐渐陈旧，设备老化现象日益严重，数据解析及运用能力短缺，预防性维护策略不够凸显，资金及技术资源紧张，监管措施尚待完善等因素。运用智能技术升级监控设备以实现高效监测；搭建检测数据处理与应用体系；提升前瞻性保养支出、建立监测数据分析应用平台、加大预防性维护投入、合理配置维护资金和技术人员以及健全监管长效机制等。这些策略的执行旨在优化铁路桥梁的健康监测与维护效果，优化维护成本确保铁路运输系统稳健安全。

**关键词：**铁路桥梁结构；健康监测；维护策略；智能化监测

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6261.2023.08.088

铁路桥梁在铁路运输系统中具有举足轻重的地位，安全性、稳定性和可靠性对铁路运输效率及安全的关键作用至关重要。铁路运输需求扩张及铁路网络持续拓展推动行业发展，铁路桥梁的实时监控与维护日益重要。然而，面对监测技术飞速进步与维护需求持续上升的实际考验，现有铁路桥梁健康监控与维护体系多方疏漏。

## 一、铁路桥梁结构健康监测的重要性

### （一）确保铁路运输安全

铁路桥梁在铁路路网中占据至关重要的地位，其安全性对铁路运输整体安全具有直接作用。铁路桥梁健康监测系统实时捕获桥梁状态数据，数据处理分析结果表明，快速识别桥梁潜在安全风险，如破损、变形、腐蚀等一系列状况。运用此种监测方法，成功阻断了诸如桥梁故障导致的列车脱轨等严重安全事故发生，确保乘客与铁路职工的生命安全，铁路运输保持积极社会评价。

### （二）提高铁路运输效率

铁路运输的连续性与可靠性显著取决于桥梁状况。对铁路桥梁实施高效健康管理，我们能够实时把握其运作情况，优化行车安全以减少桥梁故障导致的铁路运输中断及延误，因此，铁路运输效能及准时率得以明显提高。实时监控数据为铁路调度的精准决策提供有力支持，提升运输管理者决策的科学性与合理性，优化运输资源配置以减少空车行驶及等待时间。

### （三）减少铁路维修维护成本

铁路桥梁健康监测系统精准评估状况，为了提升维护维修的针对性与效率，为降低盲目维修引发的资源浪费，须执行以下策略。首先，运用前沿科技对潜在损伤进行监测，以确保损伤区域能及时被发现。其次，实施针对性的修复措施以高效恢复受损区域。最后，评估

修复成果，保障受损区域功能复原。实施一系列策略以保持系统稳定运行，遏制损害蔓延势头，因此，我们有效规避了因大规模修缮或替换桥梁构件所带来的高昂开支，系统的健康监测有助于提升桥梁的使用年限，减少桥梁部件频繁更换的可能性，长期来看，此举将显著降低铁路桥梁的维护更新开支。

## 二、当前铁路桥梁健康监测与维护中存在的问题

### （一）监测系统和设备老化落后

当前铁路桥梁健康监测实践方面，陈旧的监测系统及设备技术相对落后，凸显出明显的问题。铁路桥梁检测仍主要依赖传统方法和设备，这些设备在数据采集与处理环节时常呈现效率不高、精确度不够的问题。陈旧监测设备难以适应多样生态环境，现有监测范围与精度不足以符合现阶段铁路桥梁安全监测标准，长时间操作这些设备或引发故障及性能衰退，因此，它对检测数据的可靠性与精确性具有影响。铁路桥梁健康监测受设备衰老与技术滞后的制约，效率、效果受限于安全风险提升概率。

### （二）监测数据分析应用不足

尽管我们已经积累了大量的监测数据，然而，数据分析和应用领域存在显著不足，这一因素限制了铁路桥梁健康监测实施效果的提升。另一方面是缺乏高效的数据处理与分析手段，诸多原因导致监测数据未能充分发挥其效能，潜在危险及问题难以及时辨识与预警。数据分析过程中，人工经验发挥着关键作用，缺乏系统性与自动化分析方法，这种方式效率较低，且易受个人主观因素干扰，影响了监测数据的可靠性与精确度，监测数据的整合与共享环节出现问题，数据孤岛现象限制了跨区域、跨部门数据整合及协同分析应用的发展。

### （三）预防性维护与修复作用不明显

现行铁路桥梁的检修与修复倾向于事后补救，而非注重提前预防性保养。该维护策略在桥梁损伤的早期预警和预防方面作用有限，需求与成本的大量修复及重建相应增长。未执行恰当的预维护策略与方案，小瑕疵致使桥梁维修滞后，严重损害导致维修成本增加及运维暂停时长扩展，鉴于忽视预防性维护，桥梁使用寿命或遭缩短，铁路运营的稳定性承受压力。

### （四）维护资金和技术短缺

铁路桥梁运维资金与技术资源均显短缺，健康状态监控与维护面临困境。另一方面，需实现高精度的监控，对技术及设备投入的需求较为显著，现有的资金分配很难满足这些需求，由于某种原因，使得监测与维护工作无法采用最优技术。高素质专业人才短缺现象日益凸显，现有技术与设备的潜力难以充分挖掘，降低了检测数据解析及运用成效。铁路桥梁健康管理及维护资金技术受限，铁路桥梁的安全隐患进一步加剧，导致其质量和效率受到影响。

### （五）监管措施不完善

铁路桥梁健康管理与维护机制中，监管措施仍有待完善。政策与标准监管的不足或实施失效为核心矛盾，监测与维护标准不一，需求缺失统一规定，监管部门监督检查不到位，执行监督与问责机制成效不佳，仅部分维护工作体现为表面执行，但其成效并未如愿呈现。铁路桥梁运维品质与健康状况，受监管漏洞影响，这也提升了铁路运输安全的风险程度，铁路运输稳定性面临挑战。

## 三、铁路桥梁健康监测与维护的对策

### （一）更新监测设备，实施智能化监测

技术飞速发展引领铁路桥梁健康监测迎来崭新变革。采纳了包括物联网（IoT）、大数据和云计算在内的前沿科技，监控领域自动化与智能化水平得以显著增强。光纤传感技术以其卓越的高灵敏度和强大的抗干扰能力脱颖而出，卓越者能即时察觉微妙的变动中所隐藏的结构风险，如裂缝的形成与扩展、微小的位移及形变等，这些因素是评估铁路桥梁健康状况的关键标准。同时，无线传感网络的部署在很大程度上降低了监测设备的安装与维护难度，由此，监测点的布设更具灵活性，全面覆盖桥梁各部位，确保数据的全局性与精准度，数据分析和应用的基础在于无人机巡检技术的应用，为铁路桥梁检测提供了创新方法与广阔视角。无人机配备高清晰度摄像头及多种传感器，对铁路桥梁进行全方位深入的查验，特别是在高海拔、地处偏远的桥梁工程方

面，无人能超越无人机巡检技术的优势体现。

智能化监测系统实施流程，这象征著铁路桥梁健康状况监测步入了一个新时期。该系统核心竞争力源于其卓越的数据解析与处理能力展现，充分提炼海量监测数据的信息内涵，人工智能技术能实时监测并辨识异常模式及隐含风险因素。借助，大数据技术与机器学习策略，智能化监测系统拥有实时数据分析功能，此外，它还具备其他功能，并能依据历史数据进行分析，对铁路桥梁运行状况实施全面检测与预估。智能监测系统的主要特性为高度预测性。历史与实时数据深度挖掘分析得以实现，系统拥有预判未来潜在结构问题的功能，实现从消极应对向积极预防的转变。例如，根据监测到的裂缝扩展速率，系统预测裂缝发展趋势，促使维护队伍实时采取手段阻止难题恶化。

### （二）建立监测数据分析应用平台

搭建监测数据分析应用平台的过程中，一种构思巧妙、可扩展的模块化架构显得尤为关键。该架构设计让平台轻松实现各类监测数据的接入，无论光纤传感器或无线传感网络，前沿监测技术，如无人机等，皆在其范围内。模块化设计体现了功能区域的明确划分，例如，数据采集、存储、处理及分析等环节，各模块作为独立单元，通过标准化接口实现相互沟通。这也有益于系统维护及优化，对其性能的优化具有关键作用，在未来容许采纳创新监测手段或拓展现有性能，拥有更大便捷性与应变能力，平台的可扩展性在于其能随监测需求的提升而无缝扩展，这是其关键特性。

数据处理与分析能力卓越，为监测数据分析应用平台之关键。数据预处理是数据分析的核心步骤，其结果受到深远影响，涵盖数据清洗（剔除错误或残缺数据）及数据标准化（统一各类数据来源的格式与计量单位）等方面，这些步骤旨在严格把关数据质量，这为后续探究打下了坚实的根基。数据处理能力居于平台关键地位，这至关重要，涵盖基础统计学和趋势分析两大方面，以及更为复杂的高级分析技术，涉及机器学习和模式识别。数据解析中的统计与趋势解读，揭示数据本质特征及长时间变化趋势，为了给予决策制定直观支撑。高级分析环节取决于机器学习算法的运用，利用先进算法，系统能自动解析大量监测数据，提炼异常模式及潜在结构风险，铁路桥梁健康状况的精准预测得以实现。这种预测能力具备时效性，能迅速发现问题，它具备极高的突发性特性，在特定场景中呈现出极强的适应性，预估未来维修需求，助铁路运营企业优化维护方案与资源分配，实现从消极应对向积极预防的转变。

### （三）加大预防性维护投入力度

财政支持对铁路桥梁的预防性维护具有决定性作用。现代铁路桥梁健康管理及养护技术繁多且复杂，运用高端器械与技术确保桥梁安全稳定运行。随着监测技术飞速发展如，云计算、物联网传感器及无人机巡检等技术领域，财政注入推动高新技术采购及应用，实时高效全面确保铁路桥梁健康监测顺利进行。投资领域不止于购买先进设备涵盖现有设施的优化提升，针对繁琐维护工作，研制了专用器具及设备。这些投入有助于显著提升监测精度，快速辨识并及时解决局部损伤，阻止其恶化成严重结构性难题，大幅降低紧急大修引发的费用高昂及运营停摆程度。

提升预防性维护技术研究的资金投入强度，推进铁路桥梁维护技术革新及提升显得尤为关键。技术研发有助于提高监测精度，从而为高效管理及决策提供坚实保障，运用智能科技及机器学习方法，对监测数据实施深度分析，以探测潜在的微小变异和隐匿风险，进一步寻求更高效的维护方法，例如，采用先进材料科技研发出创新维修材料，这些材料可能具有较高的耐用性和适应性，恶劣环境下持久防护能力。科技创新遍涉研发新型维护器具及设备领域，这些工具与设备的存在，有助于提高维护工作的效率、安全性及经济性。例如，自动化维护机器人在确保铁路运营不受干扰的情况下，对桥梁实施检测及适度修缮，明显减少人力投入及维护所需时长。利用尖端技术可实时监控并精准解析桥梁状况，保证系统安全稳定，长期维护费用大幅减少。政府在项目中的主导作用，联合科研机构及产业企业共同推进，显得尤为关键，协同推动科技创新，实现铁路桥梁维护技术重大突破，提升铁路安全水平，铸就技术基石。

### （四）合理配置维护资金和技术人员

铁路桥梁养护的关键在于资金确保，因此，资金分配制度的科学性及其合理性构建至关重要。各种维护项目根据紧迫性、关键性和预期收益进行分级评估，首先确保的关键项目是那些对铁路桥梁的安全性和稳定性具有重大影响的项目。同时，确保每笔投资均实现最高效益，避免资源浪费。铁路桥梁维护需求波动不断，因此，在资金与人力资源分配上，需具备灵活应对与适应变化的能力。重构一个铁路桥梁实时状况和监测数据驱动的灵活制度，优化资金投入与人力资源配置，能够高效地应对突发状况及满足不断变化的需求。该机制构建需包含周期性评估及审查环节，各项资源分配全程符合当前维护目标和规定。通过适度分配维护资金和配备技

术人员来优化管理，可持续性亦需纳入考量。涵盖打造稳定的财务路径，例如，政府资金投入及行业基金等途径保障资金稳定供给。针对技术人才，除专业培训外，还需关注其他方面，优化工作吸引力以维护员工队伍稳定，进而确保长期人才储备的稳定供应。

### （五）健全监管长效机制

各级监管机构与相关部门的职责界定及监管原则务必明确制定。涵盖制定完善的铁路桥梁健康评估与维护规范及条款，确保所有参与者遵循明确指导原则。同时，这些标准与规范须持续更新，融入新型技术迭代及累积实践经验。打造全生命周期铁路桥梁监管体系，涵盖创意、搭建、运用、保养以及废弃等多个阶段。该体系需涵盖定期现场审查、远程数据监测分析及维护记录审查等多重监管手段，确保铁路桥梁严格遵守安全规范。

监管机制的效能须经定期评估以证实其有效性。此问题关乎监测数据质量、维护工作的时效与效能，以及安全事件处理成果等多方面的评估。根据评估结论，建立反馈渠道为宜，对监管策略与措施实施及时的调整与优化。信息共享机制在长效监管机制构建中至关重要。除却监管机构与铁路运营者的情报互动，亦包含公开相关数据，优化铁路桥梁养护的透明度。高度透明化提升公众对铁路桥梁安全信心，协同构建社会监督机制，形成外部监管力度。

### 结语

铁路桥梁在铁路路网中扮演着举足轻重的角色，安全性对乘客生命财产及铁路运输的稳定高效具有直接作用。因此，铁路桥梁状态监控与保养，这既涉及技术方面，也关系到社会责任的履行。未来科技进步前景可观，社会对安全保障的需求不断攀升，铁路桥梁健康管理与维护技术及能力将大幅度提升，为确保铁路运输安全稳定，须实施一系列加固措施。

### 参考文献

- [1] 马亚丽. 预应力混凝土连续梁桥的健康研究[D]. 郑州大学, 2002.
- [2] 翟茂林. 多跨长联连续梁桥健康监测系统与运营管理技术研究[D]. 南昌大学, 2015.
- [3] 任鹏, 袁宝军. 一种基于数据融合的铁路桥梁结构健康监测方法[P]. CN202211074817.4[2022-09-2].
- [4] 农代培, 农妍. 印度一座预应力混凝土箱梁铁路桥的结构健康监测与评估[J]. 世界桥梁, 2016, 44(5): 7.