

交通工程视角下高速公路桥梁技术管理创新路径探索

张峰

广东广州 510000

DOI:10.61369/UAID.2024120016

摘要： 本文从交通工程视角探讨高速公路桥梁技术管理创新路径，分析现存问题，提出智能养护技术创新、物联网监测系统构建、劣化预测模型及养护决策树模型构建等措施，还涉及应急管理体系建设、处置预案优化、新技术试点应用及技术规程编制等，对提升桥梁安全性与可靠性意义重大。

关键词： 高速公路桥梁；技术管理创新；智能养护

Exploring the Innovative Path of Highway Bridge Technology Management from the Perspective of Traffic Engineering

Zhang Feng

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article explores the innovative path of highway bridge technology management from the perspective of transportation engineering, analyzes existing problems, proposes measures such as intelligent maintenance technology innovation, construction of Internet of Things monitoring system, deterioration prediction model and maintenance decision tree model construction, and also involves the construction of emergency management system, optimization of disposal plan, pilot application of new technologies, and formulation of technical regulations, which are of great significance for improving bridge safety and reliability.

Keywords： highway bridges; technological management innovation; intelligent maintenance

引言

随着交通工程的发展，高速公路桥梁技术管理面临新挑战。2023年颁布的《公路工程技术标准》旨在推动行业发展，保障桥梁质量安全。欧美日等发达国家在该领域发展成熟，我国在借鉴国际经验基础上，结合国情完善相关规范，但在新技术应用等方面仍有提升空间。当前交通流量增长、材料性能衰减、检测手段滞后等问题突出，亟待创新管理路径。通过BIM+GIS集成、物联网监测、劣化预测模型、养护决策树等技术创新，以及应急管理体系建设、技术规程编制等，推动高速公路桥梁技术管理智能化、科学化发展。

一、高速公路桥梁技术管理发展现状与挑战

（一）国内外技术管理体系演进

欧美日等发达国家在高速公路桥梁技术管理体系方面发展较早且成熟。以美国为例，从早期侧重于结构安全的基础检测，逐步发展为涵盖全生命周期管理的体系，在材料性能监测、结构健康评估模型等方面成果显著^[1]。欧洲多国注重协同管理，将桥梁技术管理与区域交通规划深度融合，形成一体化的技术标准与规范。日本凭借先进的抗震技术，构建起针对地震频发地区特点的桥梁技术管理体系，在抗震设计、震后快速评估与修复等方面经验丰富。我国现行《公路桥涵养护规范》在借鉴国际经验基础上，结合自身交通流量、地质条件等实际情况逐步完善，目前其

技术框架在桥梁检查、评定、养护决策等方面已形成较为系统的流程，但在新技术融合应用、精细化管理等方面，与发达国家相比仍面临挑战，需进一步创新发展。

（二）新时期技术管理突出问题

在交通工程视角下，高速公路桥梁技术管理在新时期面临诸多突出问题。随着交通流量增长，荷载标准提升，现有桥梁设计荷载可能无法满足实际需求，埋下安全隐患^[2]。同时，桥梁材料在长期使用过程中性能逐渐衰减，而对材料性能变化的精准评估与应对措施存在不足。此外，检测手段滞后也是一大难题，传统检测方法效率低、精度有限，难以全面及时地发现结构内部的细微损伤与潜在病害。这些问题相互交织，使得特大桥梁集群化运维面临严峻的质量安全挑战，不仅影响桥梁使用寿命，还可能危

及行车安全与交通畅通，亟待通过创新技术管理路径加以解决。

二、智能养护技术创新路径

(一) BIM+GIS技术集成应用

在高速公路桥梁智能养护技术创新路径中，BIM+GIS技术集成应用具有重要意义。借助 BIM 技术，可构建精准的桥梁数字孪生模型，详细呈现桥梁的几何结构、构件信息等，实现对桥梁结构受力的仿真模拟，深度剖析桥梁在不同荷载工况下的力学响应，从而提前发现潜在结构安全隐患^[9]。与此同时，GIS技术能对多源监测数据进行空间可视化表达。通过将桥梁监测数据与地理空间信息相结合，以直观的地图形式展示桥梁的地理位置、周边环境及监测数据的空间分布特征。在此基础上，研究并设定合理的预警阈值标准，当监测数据超出阈值时及时发出预警，为高速公路桥梁的智能养护提供科学、高效的技术支撑，实现养护决策的精准化与智能化。

(二) 物联网监测系统构建

高速公路桥梁的物联网监测系统构建，关键在于设计基于分布式光纤传感的桥梁健康监测方案。分布式光纤传感技术能够实现桥梁结构的连续监测，可精准捕捉桥梁在不同环境与荷载作用下的细微变化。通过在桥梁关键部位铺设光纤传感器，可实时获取振动、应力、位移等数据。同时，提出振动、应力、位移多参数协同分析算法^[4]。该算法能整合多源数据，挖掘数据间隐藏的关联与规律，全面评估桥梁的健康状况。这种多参数协同分析相比单一参数分析，能更准确地识别桥梁潜在病害，为桥梁养护决策提供科学依据，实现高速公路桥梁养护从传统经验型向智能数据驱动型的转变。

三、全寿命周期管理机制创新

(一) 决策支持系统开发

1. 劣化预测模型构建

在高速公路桥梁劣化预测模型构建中，应用 Weibull 分布理论建立混凝土碳化深度预测方程是关键一环。Weibull 分布理论在可靠性分析等领域应用广泛，其能有效描述混凝土碳化这一随时间变化的过程。通过该理论，可精准刻画混凝土碳化深度与时间的关系。同时，考虑到环境因素对桥梁劣化影响显著，耦合环境温湿度修正因子十分必要。环境温湿度的变化会加速或减缓混凝土碳化进程，将温湿度修正因子融入预测方程，能使预测模型更贴合实际情况，提高预测的准确性与可靠性，为高速公路桥梁的全寿命周期管理提供更有有效的决策支持^[5]。

2. 养护决策树模型

养护决策树模型是高速公路桥梁全寿命周期管理决策支持系统的关键部分。基于运用 AHP - 熵权法确定的技术状况评价指标权重，构建养护决策树模型。此模型以桥梁技术状况指标为节点，根据权重及预设的判别标准进行分支，直观呈现不同技术状况下的养护决策路径。例如，当某关键指标低于特定阈值，决策

树指向紧急维修策略；若指标处于一定范围，则导向常规保养或中期维护。通过这样的树形结构，为养护人员提供清晰的决策指引，使其能依据桥梁实际技术状况，快速且科学地制定养护策略，提升养护决策的准确性与效率^[6]。

(二) 应急管理体系建设

1. 风险评估指标体系

在交通工程视角下高速公路桥梁的应急管理体系建设中，风险评估指标体系至关重要。构建的桥梁运营风险量化评估模型包含 12 个一级指标与 36 个二级指标。一级指标涵盖结构安全、交通荷载、环境影响等方面。结构安全指标反映桥梁自身结构的稳固程度，交通荷载考量过往车辆对桥梁的作用，环境影响则关注气候、地质等外界因素。二级指标对一级指标进行细化，例如在结构安全下，可能有构件损伤程度、结构变形量等。通过这样一套全面且细致的指标体系，能对桥梁运营风险进行量化评估，及时发现潜在风险点，为制定科学有效的应急管理策略提供依据，助力高速公路桥梁全寿命周期管理机制创新^[7]。

2. 应急处置预案优化

在交通工程视角下的高速公路桥梁应急处置预案优化方面，基于 FEMA 框架制定分级响应机制，根据桥梁事故的严重程度、影响范围等因素，明确不同级别响应的启动条件、责任主体和处置流程，确保在面对各类突发事件时能够迅速、有序地做出反应。设计智能调度系统，实时收集路况、桥梁结构状态等信息，利用大数据和人工智能技术，精准调度救援资源，提高救援效率。同时，构建资源配置模型，综合考虑救援需求、资源储备情况，科学合理分配人力、物力资源，避免资源浪费或不足。通过这些措施对高速公路桥梁应急处置预案进行优化，以更有效地应对各类突发状况，保障桥梁全寿命周期内的安全稳定运行^[8]。

四、典型工程实践验证

(一) 沪昆高速湘江大桥试点应用

1. 技术应用实施路径

在沪昆高速湘江大桥试点应用新型碳纤维加固技术时，严格遵循特定施工工艺。先对桥梁需加固部位进行表面处理，确保平整、清洁，去除油污、灰尘等杂质^[9]。随后，依据设计要求精确裁剪碳纤维布，并均匀涂抹配套的粘结剂，将碳纤维布仔细粘贴于处理好的部位，用滚筒等工具反复滚压，保证粘贴牢固、无气泡。施工过程中，严格把控粘结剂涂抹厚度、碳纤维布粘贴位置等关键参数。完成施工后，按照质量验收标准进行全面检测，通过三维激光扫描获取数据，并与施工前数据对比，生成直观的三维激光扫描数据对比图，清晰展示加固效果，确保加固质量达到预期，为高速公路桥梁技术管理创新提供可靠实践依据。

2. 经济效益对比分析

在沪昆高速湘江大桥试点应用中，通过提供全周期成本核算数据表，清晰地展现出预防性养护与传统养护模式在经济效益上的差异。数据表明，预防性养护较传统模式节省维护费用 23.7%^[10]。这一显著的数据差值，充分证明了预防性养护在高速

公路桥梁技术管理中的优势。传统养护模式往往侧重于事后维修，所需的人力、物力成本较高，且可能因维修不及时影响桥梁正常使用，带来间接经济损失。而预防性养护提前介入，对潜在问题进行处理，有效降低了维修成本，延长了桥梁使用寿命，提升了整体经济效益。这不仅为沪昆高速湘江大桥的长期稳定运营提供了有力支持，也为其他高速公路桥梁技术管理提供了极具价值的参考。

（二）粤港澳跨海通道群联检系统

1. 系统架构设计

在粤港澳跨海通道群联检系统的系统架构设计中，从交通工程视角出发，需全面考量高速公路桥梁技术管理创新。系统架构设计应构建先进的多塔斜拉桥集群监测物联网拓扑结构。通过该结构，实现对桥梁各类数据的高效采集与传输，将传感器等设备获取的数据有序汇聚。同时，对数据中台模块进行科学功能配置，数据中台需具备数据存储、清洗、分析等功能，存储海量监测数据，清洗去除噪声与无效数据，运用专业算法对有效数据进行深度分析，为桥梁技术管理提供精准决策依据，从结构安全评估到维护策略制定等方面，全面助力高速公路桥梁技术管理的创新实践，确保粤港澳跨海通道群的安全与高效运营。

2. 异常诊断案例

在某粤港澳跨海通道工程中，群联检系统针对桥梁索力进行实时监测。在一次日常巡检时，系统发出索力异常预警。技术人员迅速通过频谱分析图查看索力数据波动情况，从图中清晰可见，索力频谱出现明显偏离正常范围的峰值，与理论频谱差异显著。与此同时，梳理处置时间轴发现，从预警发出到技术人员到达现场仅用时15分钟，随后立即开展详细检测与分析，2小时内初步确定索力异常原因为局部锈蚀导致索体弹性模量变化。紧接着，在6小时内制定出针对性的修复方案，开始实施索力调整与锈蚀处理工作。通过这一典型实例，充分展现了群联检系统异常诊断及后续处理的高效性与准确性。

（三）标准化体系推广研究

1. 技术规程编制

在高速公路桥梁技术管理创新路径探索中，技术规程编制意义重大。制定的桥梁智能养护技术规程框架涵盖8章46节，详

细明确各项关键参数指标。这些参数指标包括桥梁结构健康监测的关键数据，如应力应变、振动频率等，为桥梁的安全状态评估提供量化依据；养护周期及作业标准，规范养护作业流程与时间节点，确保养护工作科学合理开展；检测技术的选用标准，根据不同桥梁类型和环境特点，选择适宜的无损检测、外观检测等技术，提高检测精准度。通过严谨编制技术规程，为高速公路桥梁智能养护提供标准化、规范化的操作指南，推动交通工程领域桥梁技术管理向智能化、科学化迈进。

2. 跨区域协同机制

在某高速公路桥梁跨区域工程实践中，验证基于区块链技术的养护数据共享模式及权限管理矩阵对于跨区域协同机制的推动作用。该高速公路横跨多个地区，不同区域的养护管理标准与数据格式存在差异。借助区块链技术搭建养护数据共享平台，确保各区域养护数据真实、不可篡改且实时同步。同时，依据不同参与主体的职责，精心设计权限管理矩阵，明确各区域管理部门、养护单位等在数据查看、修改、更新等方面的权限。通过这一实践，有效解决了跨区域间数据沟通不畅、协同困难的问题，实现了养护资源的合理调配，显著提升了跨区域高速公路桥梁养护管理效率，为基于区块链技术的跨区域协同机制标准化体系推广提供了有力支撑。

五、总结

交通工程视角下对高速公路桥梁技术管理创新路径的探索，有着重要意义。所凝练的技术管理创新体系，为15万公里高速公路桥梁的运维安全提供了坚实的理论支撑，有助于从根本上提升桥梁在长期使用过程中的安全性与可靠性。随着科技的飞速发展，5G + AI技术深度融合是必然趋势，这将为高速公路桥梁技术管理带来更多可能，如实现更智能高效的监测与维护。同时，鉴于行业的发展和新需求，适时修订现行《公路工程技术标准》相关条款十分必要，通过更新标准，能确保高速公路桥梁技术管理与时代发展同步，更好地保障桥梁工程质量与安全，推动交通工程领域不断进步。

参考文献

- [1] 沙拉木·艾买提. 伊犁河谷高速公路桥梁方案研究 [D]. 长安大学, 2022.
- [2] 韩子阳. 高速公路桥梁全生命周期碳足迹研究 [D]. 南昌工程学院, 2023.
- [3] 董文君. 基于建养一体的高速公路桥梁安全风险演变机理研究 [D]. 上海应用技术大学, 2023.
- [4] 慕晟杰. 安全生产视角下清远市治理高速公路客货运汽车交通违法研究 [D]. 华南理工大学, 2021.
- [5] 周甜甜. 价值创造视角下跨界颠覆性创新路径研究 [D]. 广东工业大学, 2023.
- [6] 冉辉. 高速公路桥梁混凝土工程施工技术管理分析 [J]. 运输经理世界, 2023(29):109-111.
- [7] 杨宏永. 高速公路桥梁混凝土工程施工技术管理难点分析 [J]. 工程建设与设计, 2021(14):205-207.
- [8] 邓军婷. 高速公路桥梁施工过程中技术管理与质量控制分析 [J]. 运输经理世界, 2023(26):110-112.
- [9] 肖峰. 高速公路桥梁施工过程中技术管理与质量控制分析 [J]. 运输经理世界, 2023(36):68-70.
- [10] 曾硕. 高速公路桥梁外侧防撞护栏创新设计分析 [J]. 建筑, 2021(4):75-76.