

公路桥梁易损性研究

文增彬

中交二公局第三工程有限公司 陕西 西安 710000

摘要：针对公路桥梁结构退化引发的安全隐患问题，本研究构建了包含数据采集、损伤识别、风险评估及维护决策的全流程评估体系。通过整合工程图纸、施工日志与监测数据，结合超声波探伤、红外热成像等无损检测技术，实现桥梁关键构件的精细化诊断。采用数理统计与数值模拟技术，建立材料性能衰减、荷载响应特征与环境侵蚀效应的量化模型，形成基于多学科交叉的易损性评估方法。实践表明，该体系能够有效定位结构薄弱部位，预测病害发展趋势，为预防性养护提供科学依据。通过构建跨部门数据共享平台与动态校准机制，显著提升评估结果的时效性与准确性，为桥梁全生命周期管理提供创新解决方案。研究成果对保障公路基础设施安全运营具有重要的理论价值与工程指导意义。

关键词：公路桥梁；易损性；风险评估

引言

本研究针对桥梁易损性评估的关键科学问题，构建了包含数据采集、损伤识别、风险评估及维护决策的全流程技术框架。通过整合工程图纸、施工日志与现场监测数据，结合超声波探伤、红外热成像等无损检测技术，实现桥梁关键构件的精细化诊断。采用数理统计与数值模拟技术，建立材料性能衰减、荷载响应特征与环境侵蚀效应的量化模型，形成基于多学科交叉的易损性评估方法^[1]。研究重点突破传统评估手段的局限性，提出动态校准机制与跨部门数据共享平台，显著提升评估结果的时效性与准确性。实践表明，该体系能够有效定位结构薄弱部位，预测病害发展趋势，为预防性养护提供科学依据。研究成果对完善桥梁养护决策体系、保障公路基础设施安全运营具有重要的理论价值与工程指导意义。

1 桥梁结构易损性评估策略

1.1 资料收集分析策略

采用设计图纸施工记录等多源信息确保资料涵盖结构设计、养护记录及事故档案依托现场调查与历史档案，实现数据横向比对剔除个别偏差，信息归集后借助数据库系统实现自动存储、检索、统计，保证格式统一且时效充足，整合多维数据构建详实信息网络为后续指标筛选、模型构建奠定扎实基础，现场采集与远程监控互为补充确保资料实时更新降低因信息滞后致判定偏差风险，严格筛查与交叉验证使收集资料客观准确为桥梁健康评估提供科学依据，通过建立跨部门数据平台实现施工单位监控机构多方联动统一数据标准，互通数据信息平台内信息经多层次审核，保证数据来源权威、数值真实利用数据挖掘与大数据分析，发现隐含规律与异常

趋势，提前识别潜在风险，持续优化信息采集流程，加强人工与自动化检测结合，提高数据采集速度与准确度各类信息经比对、交叉验证后，形成完整监控链条为桥梁健康状态动态评估提供可靠支撑^[2]。

1.2 损伤指标筛选策略

损伤指标筛选需从结构构件、材料性能、疲劳痕迹、裂缝分布等角度考虑，结合历史检验与现状监测结果，筛选指标要求具代表性、敏感性及可操作性，通过统计分析与现场验证确定各指标权重，兼顾局部与整体风险特征，指标筛选过程既依赖经验判断又借助先进计算方法确保评价结果能准确反映结构弱点。

1.3 检测技术应用策略

采用超声波检测、红外热成像、光纤传感器等先进技术各设备互为补充弥补单项检测局限，科学规划传感器布置依据结构特性合理分区设置确保监测范围覆盖关键节点，定制检测周期合理安排数据采集频率保证数据连续性和时效性，监测数据经高速传输接口自动汇总经人工智能算法分析处理后形成直观预警图谱为管理部门提供准确决策依据，设备选型坚持高精度、高稳定性原则与现场环境匹配严密降低温湿度振动等外界干扰影响，自检校准机制确保设备长期运行稳定减少故障风险，检测技术体系标准化建设使各环节数据接口统一实现多平台互联互通系统集成先进分析模块，实现从数据采集、传输、处理到反馈闭环管理，提升整体监测能力^[3]。

采用红外热成像识别温度异常区域及时发现钢筋锈蚀隐患，有效防止事故发生超声波检测技术通过高频回波解析结构微裂纹，数据精度达到毫米级为维修方案制定提供可靠依据，光纤传感器实时监测应力变化辅以大

数据分析呈现桥梁整体受力分布情况,检测数据经过统一标准处理,形成综合评估报告为决策层精准调配维修资源提供数据支撑,设备维护、数据校正、系统升级均按严格规程执行,确保各环节协调运作,工程管理部门依托检测成果制定预防性维护计划显著降低事故发生率。

2 易损性影响因素识别策略

2.1 材料性能评估策略

材料性能直接影响桥梁抗损伤能力检测指标包括抗压强度、抗拉强度、抗弯性能及耐腐蚀性,材料样本来源于生产试验现场抽检与长期监控,通过物理试验和化学分析评价各材料承受外界干扰能力,评估过程中注重样本代表性与数值精度采用统计分析方法确定性能波动范围,试验结果为结构易损风险预测提供重要参数确保判断依据扎实可靠。

2.2 荷载作用分析策略

荷载作用分析聚焦桥梁受力机理现场监测与数值模拟相互印证,精确剖析动态响应规律,采用高速传感器实时记录车辆冲击、风压变动及温度波动,构建时变荷载曲线,确保数据连续无缺,建立数学模型量化冲击强度运用回归分析揭示变量间相关关系,实现误差控制与数据校正检测仪器布设合理关键节点密布实现局部集中监控,及时捕捉异常信号,理论计算结合实验验证明确荷载分布特征,识别局部疲劳风险为局部加固提供精准依据各环节信息互通,构成全方位监测网络推动风险预防管理确保工程安全稳固运转。荷载作用分析注重时空变化规律结合数理统计与有限元仿真构建精细模型,通过数据归纳提炼关键特征,采用曲线拟合与时序分析定量描述荷载演变趋势实现多因素协同作用解析,信息处理采用先进算法进行数据挖掘有效剔除噪音干扰确保关键信息完整准确,各监测节点数据互联互通,实时汇总形成大数据平台,为后续风险预警与维护决策提供有力支撑现场动态监测与模型仿真相结合实现荷载效应全周期追踪为风险预防提供时效依据。

2.3 环境影响量化策略

各监测设备按区域和节点合理布置确保覆盖桥梁重点区域及薄弱环节,构成全时段、全区域环境数据库,借助历史数据校正实时观测值通过多元回归、时间序列及机器学习等数学模型定量描述环境变化规律和对结构退化影响,数据归一化、误差修正、噪声剔除等处理方法提升评估客观性和精确性,利用云平台实现数据共享与自动预警实时反馈异常环境信号,为桥梁维护和加固决策提供可靠依据降低材料腐蚀和疲劳风险。针对环境因素对桥梁损伤影响构建定量评估模型为关键环节,依

托实时监测数据与历史气象记录,运用统计检验与机器学习算法,建立温度降水及污染浓度与材料退化间关系模型,模型通过多变量回归和残差分析,实现各参数权重分配,定量反映环境波动对腐蚀、裂纹扩展的驱动作用数据采集精确处理严格剔除异常值确保模型输入数据准确无误,模型输出结果经验证显示环境变化可提前预警桥梁潜在风险,为预防性养护提供决策支持,采用动态更新机制不断修正模型参数实现实时反馈与风险预警确保桥梁维护措施及时调整。

3 数据分析模型建立策略

3.1 数据预处理策略

数据预处理环节包括缺失值填补、异常值剔除及数据归一化步骤,采用数学算法修正原始数据信息,保证输入数值真实反映现场状况预处理过程中注重数据完整性与一致性,避免噪声干扰确保后续统计分析基础牢固,缺失数据采用均值插补法填补,异常值检测采用标准差方法剔除,将预处理后数据信息存入数据库,供后续统计模型调用自动化程度高显著减少人工干预提高处理效率。

3.2 统计方法应用策略

统计方法在模型构建中发挥核心作用常用回归分析、方差分析及聚类技术通过数学运算揭示各变量之间内在关系,确定影响桥梁损伤程度关键因素方法应用过程中引入实验数据信息与现场监控数据信息,形成统一计算体系统计结果为风险等级划分、维护措施提供提供数据依据,多元线性回归揭示因素相关性方差分析检验组间差异聚类技术将桥梁按风险类别划分使评估结果直观明了,统计方法经历史数据信息回溯验证预测误差低证明模型稳定可靠。

3.3 模型参数校正策略

参数校正环节旨在修正初始模型消除数据偏差,确保预测准确采用迭代优化算法逐步调整参数值直至预测误差降至最低,每次迭代均结合现场监控数据信息确保模型调整与实际状况吻合,误差分析方法使模型对外界干扰敏感度降低,预测结果更趋精准参数校正后模型在多个工程案例中表现出色为工程决策提供科学依据,统计方法与参数校正互为补充确保模型具备动态调整能力,模型建立后通过实际案例验证证明其预测功能稳定、风险分级明确,数据分析模型构建遵循严谨数学原理每一步骤逻辑合理实践应用显示模型运行效果优良为桥梁安全评估提供可靠科学工具。

4 风险评估对策优化策略

4.1 风险等级划分策略

风险等级划分策略以数据分析输出为核心依据各项风险指标量化桥梁健康状态,经过数据预处理、归一化与统计回归分析,建立统一评分体系,体系内各指标权重由历史试验、现场监测与工程实践确定,通过客观计算获得综合得分依据预设风险阈值将得分划分为低、中、高三个等级,各级标准明确具体低风险结构保持常规监控,中风险构件需加强周期检测,高风险桥梁立即启动应急维修策略将各风险因子均量化计算确保分级结果客观准确,为管理部门合理配置维护资源提供依据,该方法能准确反映结构隐患分布提升资源调配效率降低事故发生概率,风险等级划分策略强调动态监控与定期校,确保分级结果始终贴近实际工况,实施过程中实时监测数据不断更新,通过迭代调整模型参数修正风险阈值保证评分体系反映最新状态,各监测节点数据互联互通,形成完整信息网络,利用大数据分析及时捕捉异常变化分级结果直接指导预防性养护与紧急维修安排实现资源最优配置,策略中采用严格误差控制与统计检验剔除噪音干扰确保每次评估精准无误。

4.2 脆弱性评估方法策略

采集桥梁材料、荷载响应、环境干扰等多源数据,利用高精度仪器与标准化流程确保数值真实可靠,依据回归分析与聚类算法计算各指标权重构建综合脆弱性指数模型,实现局部损伤与整体退化定量评估,模型采用动态更新机制实时反映结构状态变化为维护决策提供科学依据,现场数据与实验室试验互为补充相互验证提高评估准确性,该策略通过多层次、多角度分析结构健康状况确保预防措施精准落地,降低事故风险保障公共安全该方法能有效识别隐患区域,为后续加固与预防维修提供依据,促进桥梁长周期安全运行,策略经实践验证效果佳,对各类材料构件与接头部位进行局部破坏试验,获取裂纹扩展疲劳损伤等关键数据,实验结果与现场监测数据融合,经统计方法处理剔除异常值后形成可靠数据集,利用有限元仿真模拟实际受力情况,验证试验数据一致性实现多角度综合评估,随后采用敏感性分析确定各指标影响力,调整模型参数提高脆弱性量化准确度动态数据更新机制确保模型随工程状态变化而修正使评估结果始终反映真实状况多方法协同使脆弱性评估具备预测前瞻性,为维护决策与加固设计提供精准依据

实践验证结果显示,该法评估准确有效指导维修设计提升结构安全保障桥梁长寿运行无虞。

4.3 维护措施制定策略

采用高精度传感器与气象仪器定点布设于桥梁关键部位确保数据采集频率与稳定性满足工程要求比对历史气候数据与现场实时监测数据剖析环境变化与材料退化、裂纹扩展之间内在关联,通过多元统计方法与数值模拟定量描述各环境因子作用强度及持续时间,形成客观评估指标数据处理环节采用标准化校正与误差分析,剔除噪音干扰,确保结果真实反映现场环境影响,设备校准、数据传输与存储均严格执行规范实现长周期监控与动态分析,为桥梁维护决策提供科学依据,降低结构损伤风险采用回归分析、时间序列模型及机器学习算法,对温度、湿度、风速、雨量与污染浓度等环境参数进行定量关联检验,明确各因子对桥梁材料性能退化作用力度,构建数据平台汇聚历史气象记录、现场监控数据与区域环境调查结果,实现数据归一化处理确保各项指标在模型中权重合理分配模型通过不断迭代优化,自适应调整参数及时反映气候变化对材料腐蚀、裂纹扩展及应力分布的影响,策略注重数据质量控制与模型误差校正,确保评估结果具有较高预测准确性为预防性养护与加固措施制定提供定量依据。

结论:通过建立跨部门数据平台内信息经多层次审核,利用数据挖掘与大数据分析发现隐含规律与异常趋势提前识别潜在风险。持续优化信息采集流程加强人工与自动化检测结合,提高数据采集速度与准确度,未来借助云计算技术实现资料实时更新与远程调取确保监控信息及时反馈到决策中心,强化数据安全管控防范信息泄露风险提升整体管理效能推动桥梁全寿命周期管理模式落地。

参考文献

- [1]苏杨,马颖,孙治国,等.既有公路桥梁抗震性能快速评价方法[J].工程抗震与加固改造,2024,46(1):93-103.
- [2]刘振亮,赵存宝,吴云鹏,等.数据驱动的公路桥梁网络全寿命抗震韧性评估[J].吉林大学学报(工学版),2023,53(6):1695-1701.
- [3]刘振亮,苑激,李素超.地震及次生突发灾害下公路桥梁网络韧性评估[J].中国安全科学学报,2022,32(8):176-184.