

铁路桥梁智能化运维的数字孪生工程落地实践

关键词：铁路桥梁运维；数字孪生应用；智能监测预警；工程价值转化

数字孪生技术在土木工程中的应用，核心是将理论、建模、数据技术深度融入实际工程场景，破解传统建造与运维中的低效、高风险、难管控等痛点。铁路桥梁作为交通基础设施的关键枢纽，具有跨度大、结构复杂、所处环境恶劣的特点，其健康状态直接关系到线路通行安全，但传统运维依赖人工巡检，存在响应滞后、隐患漏判等问题。基于此，数字孪生技术为桥梁全生命周期智能运维提供了全新解决方案。

课题组依托“铁路桥梁智能化数字工程模型构建与应用研究”，推动数字孪生技术在铁路桥梁运维中的深度落地。首先，构建桥梁全维度数字孪生模型：基于 BIM 技术搭建几何模型，精准还原桥墩、梁体、支座等构件的结构形态；融合有限元分析技术建立物理模型，输入材料属性、力学参数，模拟桥梁在荷载、地震、风荷载作用下的响应规律；整合历史运维数据、监测数据建立行为模型，捕捉结构老化与伤损演化特征。其次，搭建实时监测体系：在桥梁关键部位（梁体跨中、桥墩底部）部署应变、位移、加速度传感器，结合无人机巡检获取表面状态图像，将数据通过 5G 网络实时传输至数字孪生平台，驱动虚拟模型动态更新，以实现物理桥梁与虚拟模型的“同步呼吸”。最后，开发智能应用功能：基于模型进行伤损状态评估，通过 AI 算法预测潜在故障（如支座老化、梁体裂缝扩展），提前发出预警；模拟不同维护方案的效果（如加固方案对结构受力的影响），优化维护策略，降低运维成本。通过这一系列工程实践，数字孪生技术有效提升了铁路桥梁运维的智能化水平，实现从“被动维修”向“预测性维护”的转型，彰显了技术赋能土木工程的实际价值。

思政点：以科技赋能守护重大交通基础设施安全，践行民生责任；用工程实践推动行业转型升级，彰显科技报国初心。