

轨道交通扣件系统全生命周期管理的数字孪生理论实践

关键词：数字孪生基础理论；扣件系统伤损演化；全生命周期管控；理论落地转化

数字孪生的核心价值在于通过物理实体与虚拟模型的精准映射、实时交互，实现复杂系统的智能化管理，其基础理论体系(定义内涵、核心特征、发展历程、体系架构)是支撑工程场景落地的“底层逻辑”。轨道交通扣件系统作为连接钢轨与轨枕的关键部件，具有分布广、数量多、受力复杂的特点，其伤损状态直接影响线路安全，而传统管理模式难以精准捕捉全生命周期(制造、安装、运维、退役)的伤损演化规律，亟须理论支撑构建系统化管控方案。

围绕“基于数字孪生模型的轨道交通扣件系统伤损状态全生命周期演化机理研究”，以数字孪生基础理论为核心支撑，逐一拆解四大核心要素的工程映射：将扣件实体(含传感器、执行器)明确为物理实体层核心，通过应变、振动传感器采集全生命周期运行数据；基于几何建模技术、物理建模技术构建虚拟模型层，还原扣件的结构特征与力学响应规律；借助 OPCUA 通信协议搭建数据连接层，实现物理与虚拟数据的实时传输与同步；结合 AI 算法构建智能分析层，挖掘伤损演化与荷载、环境的关联机理。同时，依据数字孪生全生命周期管理理念，梳理扣件从设计阶段的虚拟验证、运维阶段的实时监测到退役阶段的性能评估全流程，明确各阶段理论应用的重点，实现从“概念认知”到“工程机理分析”的深度转化，为后续技术研发奠定坚实的理论根基。

思政点：以基础理论破解工程难题，筑牢交通设施安全根基；用系统思维引领技术创新，践行交通强国使命担当。