

高速铁路无砟轨道裂缝预测的数字孪生建模创新实践

关键词：数据驱动建模；无砟轨道裂缝；预测模型构建；建模技术适配

数字孪生建模技术是实现物理实体“数字复刻”的核心手段，涵盖几何建模、机理建模、数据驱动建模及模型融合等关键方法，其精度与适配性直接决定虚拟模型对工程问题的“解释力”与“预测力”。高速铁路无砟轨道表面裂缝是影响线路平顺性与安全性的典型病害，裂缝的萌生、扩展受荷载、环境、材料老化等多因素耦合影响，传统建模方法难以精准捕捉非线性演化规律，亟须针对性的建模技术方案。

课题组聚焦“基于高精度巡检图像数据的高速铁路无砟轨道表面裂缝评价方法与状态预测模型研究”，构建“几何建模+数据驱动建模+模型校准”的一体化方案。首先，采用 BIM 技术进行几何建模，通过激光扫描获取无砟轨道的三维几何信息，精准还原轨道板、底座板的结构形态，为裂缝定位提供空间载体；其次，基于数据驱动建模思路，对高精度巡检图像数据进行预处理(去噪、增强、分割)，提取裂缝长度、宽度、走向等特征参数，结合历史监测数据(荷载、温度、湿度)，采用随机森林算法构建裂缝状态预测模型，挖掘特征参数与裂缝扩展速率的关联规律；最后，引入机理建模结果(如混凝土断裂力学理论)对数据驱动模型进行校准，修正极端工况下的预测偏差，确保模型既贴合实际数据规律，又符合物理力学原理。通过多种建模技术的协同应用，可实现无砟轨道裂缝从“特征提取”到“状态预测”的精准建模，为线路维护决策提供可靠的技术支撑。

思政点：以精准建模赋能工程精细化管控，彰显工匠精神；用技术创新守护高速铁路运行安全，助力交通基础设施高质量发展。