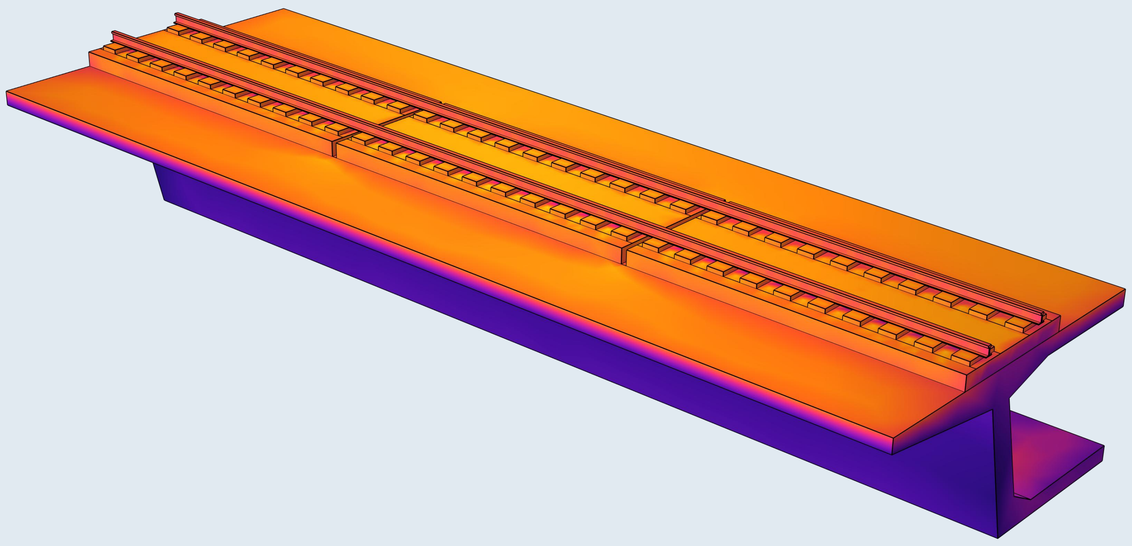


基于 COMSOL Multiphysics 多场耦合桥上钢管双块式无砟轨道结构热力性能仿真

夏季实测环境荷载下轨道结构温度场演化、热应力响应及疲劳寿命特性的有限元仿真研究

黎智豪[1]，张诗浩[1]

1. 深圳大学 土木与交通工程学院

摘 要

夏季太阳辐射与环境温度的共同作用易引起桥上钢管双块式无砟轨道显著的温度梯度及热应力，进而影响轨道结构的长期服役性能与疲劳耐久性。本研究针对桥上钢管双块式无砟轨道结构，基于COMSOL软件建立多物理场耦合数值模型，分析其热-力耦合行为。研究在夏季实测环境温度辐射条件下，钢管混凝土轨道结构的温度场分布、热应力演化并评估轨道结构的疲劳性能。仿真工作采用固体力学、固体传热及表面对表面辐射三个物理场接口，实现热-力-辐射耦合分析。几何模型依据实际桥上轨道设计尺寸构建，包含钢管、混凝土核心、双块式轨枕、底座板及箱梁。轨道结构与环境进行对流辐射换热，太阳辐射通过外部辐射源及环境温度边界条件施加；结果显示：热应力主要集中在轨枕表面及钢管内壁与混凝土交界面，钢管混凝土中心最大纵向应力为1.86MPa；轨枕与钢管的连接部位为疲劳损伤的高发区域。

研究方法

本研究旨在通过COMSOL有限元模拟探究太阳辐射作用下市域铁路桥上钢管混凝土无砟轨道的热力性能。研究结构如下：基于太阳辐射理论，建立了桥上钢管混凝土轨枕埋入式无砟轨道三维热辐射模型。对钢管混凝土轨枕埋入式无砟轨道的缩尺模型开展自然环境试验，以验证所建立的热辐射模型。最后结合环境实测数据，如图1所示，通过固体传热、固体力学及表面对表面辐射的耦合求解，获得结构温度场和热应力响应，并进一步结合疲劳分析，评价轨道结构的疲劳寿命特征，从而揭示夏季太阳辐射作用下桥上钢管双块式无砟轨道的热力辐射耦合响应及潜在疲劳薄弱区域。

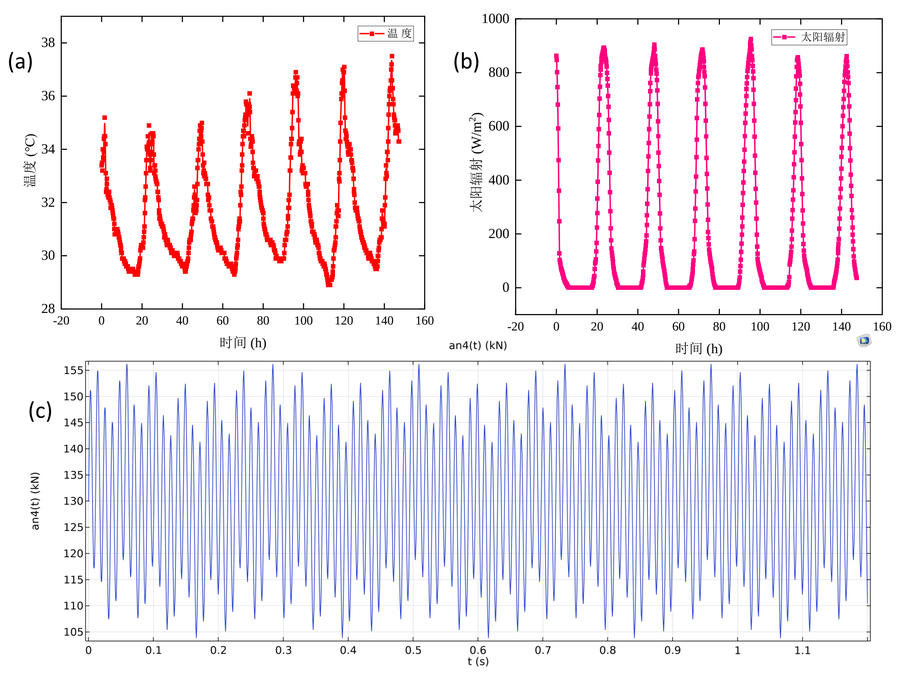


图1. 实测环境温度与太阳辐射； 模拟160km/h列车荷载: (a)温度 (b)太阳辐射 (c)列车荷载

结 论

本研究针对桥上双块式无砟轨道，基于COMSOL构建了三维热阻模型，分析夏季太阳辐射及环境温度作用下轨道结构的温度场、热应力及疲劳响应。如图2所示，主要结论如下：太阳辐射显著影响轨道结构温度分布，并加剧结构内部温度梯度及热应力响应。钢管混凝土构件中心最大纵向应力达到1.86MPa，较高应力主要集中于轨枕表面及钢管内壁—混凝土界面附近。轨枕与钢管连接区域为疲劳损伤的高发位置，其疲劳寿命值为1.29×10^{8}，表现出较高的长期服役风险。

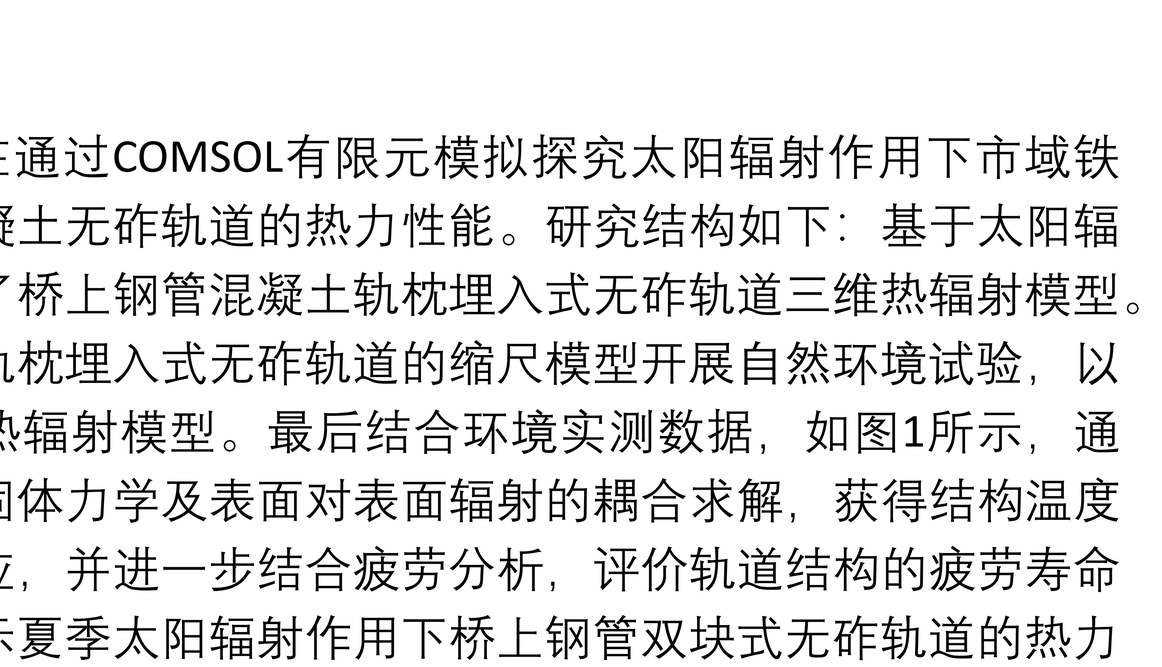


图2. 轨道结构应力响应及疲劳寿命； (a) 轨道板应力云图 (b) 轨道板应力截面图 (c) 轨道板疲劳寿命云图 (d)轨道板疲劳寿命截面图