

# 高铁轨道板温度应力变化对结构稳定性的影响研究

罗 清

中铁一院集团南方工程咨询监理有限公司 广东 珠海 519000

**【摘 要】**：高铁轨道板在长期运行中受到昼夜及季节温差影响，温度变化引起的应力累积成为影响结构安全与耐久性的关键因素。本文通过建立温度场与应力场耦合模型，分析轨道板在不同温度梯度下的应力分布规律，并探讨温度应力变化对结构稳定性的影响机理。研究表明，当温度应力超过临界阈值时，轨道板可能发生局部开裂或整体翘曲，严重威胁运行安全。结合数值模拟与工程案例，提出降低温度应力影响的设计与施工建议，为高铁轨道板的安全维护与优化设计提供理论依据。

**【关键词】**：高铁轨道板；温度应力；结构稳定性；数值模拟；安全维护

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.033

## 引言

高铁列车以高速运行对轨道结构提出更高要求，其中轨道板作为核心承载部件，其性能直接影响列车平稳性与线路安全。由于昼夜及季节温差变化，轨道板内部会产生复杂的温度应力，当这些应力不断累积并超过结构承受能力时，极易引发裂纹、翘曲等破坏现象，进而危及列车运行安全。通过深入分析温度应力变化规律，明确其对轨道板稳定性的影响，可为优化轨道设计和维护策略提供理论支持。本研究从温度应力分布特征出发，结合模拟计算与工程实例，对轨道板的结构响应进行探讨，以期为高铁安全运营提供参考。

## 1 温度应力变化引发的结构问题

高铁轨道板在运行过程中受到昼夜温差和季节变化的影响，轨道板表面与内部产生明显的温度梯度。这种温度梯度主要来源于日照辐射、空气温度变化以及列车高速运行所带来的气流扰动，使得轨道板不同部位出现不均匀受热现象。受热后，轨道板材料内部各点的热膨胀不一致，形成附加应力，这些应力在连续积累下会引起局部区域产生残余应力集中。当温度骤降或升高时，轨道板内部的热应力会迅速变化，导致结构产生瞬态响应，对轨道稳定性造成冲击。

在温度应力的长期作用下，轨道板容易出现细微裂纹，这些裂纹沿着板体弱化区域扩展，逐渐演变成贯穿性损伤。温度变化还会造成轨道板发生翘曲变形，导致轨道几何尺寸偏差增加，从而影响列车运行的平顺性。温度应力作用下的结构损伤不仅表现为表层剥离，还会深入到内部结构层，使得轨道板与基础层之间的结合力降低，进而引发脱空与松动问题。随着应力持续累积，轨道板承载能力下降，产生结构失稳的隐患。

在实际工程中，部分高速铁路路段因夏季高温和冬季严寒交替作用，轨道板出现大范围翘曲及边缘开裂现象。通过现场检测发现，这些损伤区域普遍存在温度梯度异常和应力分布不

均问题，局部板体内部的压应力超过设计极限，导致结构变形不可逆。由于温度变化具有周期性和突发性特点，轨道板在某些极端天气条件下会产生大幅度形变，使得扣件系统与轨道板之间的力学关系发生改变，轨道整体稳定性随之减弱。持续的温度应力作用最终会使轨道板出现疲劳破坏，加速高铁线路结构劣化过程，并增加维修与更换的难度与成本。

## 2 温度应力作用下的稳定性分析

温度应力对轨道板结构稳定性的影响具有复杂性和隐蔽性，通过建立温度场与应力场耦合模型可以更准确地描述轨道板在不同工况下的受力状态。温度场模型以轨道板所处环境的气象参数和列车运行热源为基础，结合轨道结构材料的热传导系数和比热容等热物理参数，模拟不同温度变化条件下轨道板内部的热分布情况。应力场模型则考虑轨道板与基础层、扣件系统及轨枕之间的接触关系，将温度场计算结果作为边界条件输入，通过有限元方法计算轨道板在受热与冷却过程中的应力变化规律。通过这类耦合模型能够清晰反映轨道板内部的应力集中区域和潜在失稳位置，为后续的安全评估提供定量依据。

在不同工况下，轨道板的温度分布和应力分布存在显著差异。在高温暴晒环境中，轨道板表层迅速升温，内部温度上升滞后，产生明显的上下温差，形成弯曲型温度应力，使板体出现翘曲趋势；在夜间降温或寒冷气候中，轨道板表层快速冷却，而内部保持相对较高温度，造成反向温度梯度，使轨道板出现拉应力集中。当列车频繁高速通过时，轮轨作用引发的动荷载叠加在温度应力上，使得轨道板在纵向和横向产生耦合作用，导致某些局部区域出现应力峰值，超过材料的屈服强度，进而诱发裂纹扩展和结构变形。这种叠加效应在大跨度无砟轨道段表现更为明显，尤其在桥梁过渡段和隧道出口处，温度变化与结构约束条件相互作用，形成复杂的应力场分布。

通过模拟分析与现场监测结果比对，发现导致轨道板失稳的关键因素包括温度梯度幅值、结构约束条件、材料性能差异

以及基础层的刚度变化。温度梯度幅值过大时,轨道板内部不同位置的热膨胀不协调,使得板体内部产生高水平的残余应力,成为诱发失稳的重要驱动力。结构约束条件不合理,例如扣件系统夹持力不足或轨道板与基础结合面存在空隙,会使局部区域无法均匀传递应力,导致应力集中现象加剧。材料性能不一致也是影响因素之一,当轨道板混凝土各区域存在热膨胀系数差异时,温度应力分布将更加不均匀,易产生内裂。基础层刚度变化则会改变轨道板的受力边界条件,使得部分区域承受额外的弯矩与剪力,进而削弱整体稳定性。

### 3 温度应力影响的控制与优化策略

降低温度应力对轨道板的不利影响,需要在设计阶段进行针对性优化,通过调整轨道板结构参数与材料特性来减缓温度变化引发的应力集中。设计时应选择具有良好热稳定性的混凝土材料,并控制材料中粗细骨料及外加剂的配比,以降低热膨胀系数差异。轨道板厚度与横向配筋布局需结合实际气候条件进行优化,使内部温度梯度更均匀,减少上下层温差造成的弯曲效应。在轨道板与基础层结合部位增加缓冲层或减应力层,可有效分散因热胀冷缩带来的附加应力。同时,扣件系统需具备一定的柔性,以吸收部分温度变形,减轻轨道板与钢轨之间的约束冲突。对于易受极端温度影响的路段,可在设计中预留伸缩缝,保证结构在受热或降温时具有一定自由变形空间,从而降低裂缝与翘曲的风险。

在施工与养护过程中,温度应力控制需要贯穿各环节。施工阶段应严格控制混凝土的浇筑温度与养护环境,使初始温度应力保持在合理范围内,减少因早期温度变化产生的残余应

力。轨道板浇筑完成后应采用保温或降温措施,保持板体温度变化缓和,避免因温差过大导致早期裂纹形成。基础层施工时必须确保平整度与刚度均匀,防止局部区域产生应力集中。养护阶段应建立轨道板温度与应力的长期监测体系,通过传感器实时记录轨道板的温度场与应力场数据,结合大数据分析及时识别异常变化趋势。在温度骤升或骤降期间,应采取临时限制列车速度或增加检测频次的措施,降低温度应力突变对结构造成的冲击。

为保障线路长期安全运营,需建立完善的综合管理机制,将设计、施工、维护各环节形成闭合控制链。运营管理中应根据不同季节及气候条件制定温度应力预防方案,提前安排养护计划。对于温度应力风险较高的区段,需增加定期检测频率,结合监测数据进行趋势预测,并制定分级响应措施。管理部门应建立轨道板健康评估体系,对检测数据进行动态分析,及时判断轨道板的稳定性状态并采取修复措施。通过信息化手段实现温度应力监测与维护调度的智能化,提高应急响应能力,形成预测、预防、控制相结合的全周期管理模式,从源头降低温度应力对轨道板结构稳定性的影响,确保高铁线路长期处于安全可控状态。

### 4 结语

温度应力是影响高铁轨道板结构稳定性的关键因素,通过对温度场与应力场的耦合分析,明确其对结构变形和破坏的作用规律。结合优化设计、科学施工及智能化维护管理,可有效降低温度应力带来的风险,保障高铁线路长期安全与高效运营。

### 参考文献:

- [1] 王建国.高速铁路轨道板温度场分布特性研究[J].铁道科学与工程学报,2022,19(4):56-63.
- [2] 刘志强.温度应力作用下无砟轨道结构稳定性分析[J].铁道工程学报,2023,40(2):78-85.
- [3] 赵宏伟.高速铁路轨道板裂纹形成机理及控制措施[J].铁道标准设计,2021,37(6):44-50.