

市政道路路基回弹弯沉检测季节影响与数据校正方法研究

黄 龙

重庆市渝北区建设工程质量检测所 重庆 400000

【摘 要】：市政道路路基回弹弯沉检测数据易受季节环境干扰，引发检测数值偏差与验收结果失真。常规校正模式适配性不足，难以覆盖多因子耦合作用影响，文章分析温湿度、降水、冻融循环等季节条件对路基弯沉检测的作用机理，依托全年现场对比试验，探究不同工况下弯沉数据的误差规律与差异特征。季节变化决定检测误差的正负表现，春融季、夏季检测数值存在正向偏移，秋冬季节多呈现负向误差，冻融循环会破坏土体原有结构，多因子耦合作用会放大检测偏差。研究基于实测数据构建含温度、湿度、冻融、坡度的四维耦合校正模型，补足传统单一校正方法的不足，可为市政道路路基弯沉检测与工程质量验收提供有效技术支撑。

【关键词】：路基回弹弯沉；季节影响；温湿度；冻融循环；校正模型

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.016

引言

路基回弹弯沉是市政道路路基承载能力与施工质量的核心评判指标，检测数据关系道路验收效果与长期运营安全。低等级市政道路路基埋深较浅、填筑层厚度不足，对温湿度波动、降水及冻融环境变化反应灵敏，检测结果易出现季节性偏差。现有单一季节校正方式未兼顾多环境因子叠加作用，不能区分土体湿度可逆变化与冻融永久损伤，极端工况校正偏差突出，易造成路基质量误判，诱发道路后期各类病害。本文依托四季现场试验，分析季节环境干扰原理，归纳检测误差演变特征，建立多因子耦合校正模型，提升路基弯沉检测的工程应用效果。

1 市政道路路基回弹弯沉检测的季节影响因素及作用机理

1.1 温湿度季节变化对路基弯沉检测的综合影响

季节温湿度联动变化会影响贝克曼梁法路基回弹弯沉检测。低等级市政道路路基埋深浅、填筑层薄，土体对温湿度变化反应灵敏，检测数据季节偏差明显。夏季高温造成路基浅层孔隙水膨胀，削弱土颗粒接触作用，增大塑性变形，弯沉实测数值偏大。秋冬低温干燥环境收紧土体结构，提升回弹模量，弯沉检测数值整体偏小^[1]。融雪及降雨渗入路基会提高土体含水率，含水率超最优区间3至5个百分点后，路基抗剪强度衰减，弯沉正向偏差可达20%以上。温湿度相互叠加，夏季高温高湿与春融低温富水环境下检测偏差最明显。路段实测数据表明，同点位夏季未校正弯沉值为34.2（0.01mm），冬季数值为26.1（0.01mm），单因子校正难以消除检测系统误差。

1.2 降水与冻融循环的季节性干扰作用机制

降水与冻融循环是路基弯沉检测的主要季节性干扰因素，

土体孔隙水状态发生改变会改动路基回弹模量，造成检测数据出现偏差。雨季持续积水堆积于路基底部，破坏细粒土填料状态，诱发翻浆、弹簧土等病害，荷载作用会增加土体永久变形，弯沉数值随积水时长与含水率升高持续上升。冬季路基孔隙水冻结成冰晶，扩大土体孔隙并破坏颗粒结构，春融后内部形成渗水通道。规范数据表明，三次冻融循环可将粉土路基模量折减5%至15%。城郊支路实测工况显示，粉土质砂路基冬季弯沉均值27.3（0.01mm），春融后未校正均值33.8（0.01mm）。降水引发的湿度变化具备可逆性，冻融造成的土体结构损伤为永久性，校正体系需要增设对应修正参数。

2 不同季节路基回弹弯沉检测试验与数据差异分析

2.1 季节性弯沉检测试验方案与检测标准

本次四季弯沉对比试验采用5.4m标准贝克曼梁法，遵照JTG3450-2019检测规程开展作业。试验车辆轴载、胎压、传压面积均满足规范要求，测点提前清理规整，阻隔外部震动干扰，降低瞬时环境因素对检测的影响。测点布设于道路轮迹带，按10m间距固定布设，全年点位保持恒定，保证四季数据可纵向对照。试验逐季度采集路基含水率、土体温度、近期气温、路面坡度等参数，冰冻阶段同步记录冻融深度。检测以三级道路0.84可靠指数计算弯沉代表值，统一固定设计容许值，对原始数据完成多维度校正并建立分层对比体系。配套室内三轴试验测定不同工况填料回弹模量，降低测点离散性对试验数据的干扰。

2.2 四季工况下路基弯沉检测数据统计分析

城郊市政支路作为本次四季试验路段，路基填料为粉土质砂，设计弯沉容许值31.5（0.01mm），全程获取126组有效检测数据。春融季路基含水率异常且伴随冻融损伤，未校正弯

沉均值 33.7 (0.01mm)，超标测点占比 31%。夏季高温高湿软化土体结构，弯沉均值 32.4 (0.01mm)，超标测点占比 18%。秋季环境条件适宜检测，弯沉均值 29.8 (0.01mm)，测点数值均满足规范要求。冬季土体冻结后刚度提升，弯沉均值 26.6 (0.01mm)，整体检测数值偏低。数据离散特性存在季节差异，春夏季数据波动幅度更大，坡度超 8% 的路段弯沉波动较平缓路段高出 12% 至 16%，坡度与季节环境叠加会扩大检测数据差值。

2.3 季节环境下弯沉数据误差规律与差异特征

市政路基弯沉检测季节误差存在规律分段，春融季、夏季出现正向误差，秋冬季以负向误差为主，偏差幅度依次为春融季、夏季、冬季、秋季^[2]。土体含水率偏离平衡状态会影响检测结果，每变动 1 个百分点，弯沉正向偏差提升 4.2%，路基温度每上浮 10℃，偏差增加 2.7%，冻融作用可带来 5% 至 12% 的永久正向误差。填料土质影响偏差波动范围，细粒土路基季节偏差明显大于粗粒填料路基。季节环境因子存在叠加效果，高温高湿与冻融高水工况会放大单项误差，极端环境下因子校正残留误差超 10%，无法契合验收标准。秋冬环境贴近检测基准，整体误差低于 5%，简单因子校正即可满足检测精度要求（见图 1）。

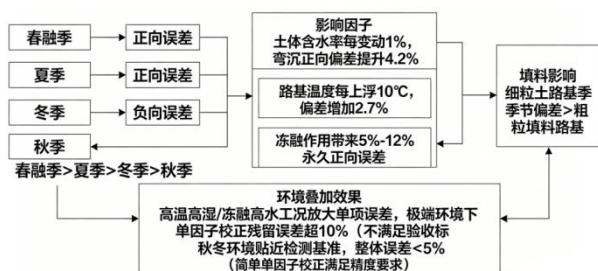


图 1 季节环境下弯沉数据误差规律与差异特征

3 适配季节影响的路基回弹弯沉数据校正方法构建

3.1 常规季节校正方法梳理与现存问题剖析

现行市政弯沉检测校正手段包含温度、湿度及季节系数校

正，各类方法在工程实操中均存在固有缺陷。温度校正只作用于沥青面层，忽略路基刚度的季节变化，无法完整还原真实检测偏差。湿度校正不能分辨降水扰动与冻融结构损伤的区别，春融阶段校正残留误差偏高。固定季节系数通用性不足，难以适配路段坡度、土质、水位的局部差异。传统校正模式分离各类环境因子，不考虑多因素叠加放大效果，极端季节工况校正误差可达 12% 至 18%。检测人员常简化计算流程，省略湿度修正步骤，造成验收结果失真，工程中多次出现春季单一温度校正达标通车后，路基产生翻浆病害的安全隐患。

3.2 基于季节多因素的弯沉数据校正模型构建

研究依托规范基础公式构建四维耦合校正模型，纳入温度、湿度、冻融、坡度因子，更新弯沉计算方式，新增坡度与冻融修正系数，弥补传统校正体系短板。模型优化原有校正逻辑，依托路面坡度核算修正数值，针对不同测点落实差异化校正^[3]。温湿度修正参数由实测数据动态计算得出，摆脱传统固定经验取值模式。冻融频次与路基土质可增设修正参数，抵消土体永久结构损伤造成的检测偏差。高温高湿与融冻高水工况可采用 1.10 至 1.30 倍补偿系数，弱化多因子叠加引发的误差。模型按既定步骤迭代运算，适配市政短路段及地质差异路段，计算流程可追溯核验，有效提升检测实用效果。

4 结语

文章聚焦市政道路路基回弹弯沉检测的季节干扰问题，阐释温湿度、降水、冻融循环对检测工作的影响机制，全年四季现场试验可直观体现各季节弯沉数据的误差特征与量化规律，土质条件与路面坡度会和季节环境产生耦合作用。传统校正模式存在诸多不足，文章搭建四维多因子耦合校正模型，调整原有校正流程与参数体系，改善单一校正模式精度不足的缺陷。研究成果可抵消季节因素诱发的检测系统误差，规避路基验收判定失误风险，助力市政道路路基检测工作实现标准化、精准化发展，具备较高的工程应用价值。后续可依托区域多年气象实测数据优化模型系数，适配各地气候差异，便于现场检测人员快速套用，推广至同类市政路基质量管控项目。

参考文献:

- [1] 郭振宇.回弹弯沉检测技术在市政路基路面检测中的应用[J].建材发展导向,2025,23(16):7-9.
- [2] 牛红伟.公路路基施工中回弹弯沉检测方法的应用[J].黑龙江科学,2025,16(4):104-107+111.
- [3] 李燕,范鑫.公路路基路面检测回弹弯沉检测法研究[J].交通科技与管理,2025,6(4):67-69.