

不同含水率条件下路基弯沉检测结果变化规律研究

段文杰

云南路一试验检测有限公司 云南 大理 671099

【摘要】：为探究不同含水率对路基弯沉检测结果的影响规律，以路基填料为研究对象，采用室内试验与现场检测相结合的手段，控制其他影响因素恒定，系统测定不同含水率条件下的路基弯沉指标，剖析含水率与弯沉值的量化关联及变化规律。研究表明，路基弯沉值随含水率升高呈非线性递增，含水率低于最佳含水率时，弯沉值增长平缓；超过最佳含水率后，弯沉值急剧攀升，且含水率对路基弯沉的影响程度，与填料类型、压实度存在内在关联。本研究明确了含水率与路基弯沉的变化特征，为路基施工含水率管控、弯沉检测结果校正及路基工程质量管控，提供了坚实的理论支撑与可行的实践参考。

【关键词】：路基；含水率；弯沉检测；变化规律；质量管控

DOI:10.12417/2811-0528.26.10.017

引言

路基作为道路工程的关键承重结构，其承载性能直接决定道路的使用寿命、运行稳定性及行车安全，弯沉值是评判路基承载能力与结构完整性的核心技术指标，实现弯沉值精准检测对路基工程全过程质量管控具有至关重要的意义。含水率作为路基填料最敏感的物理参数之一，直接影响填料的压实特性、强度特征与力学响应，极易造成弯沉检测结果偏离真实值，降低质量评价的准确性与客观性。本文在前期研究基础上，系统探究不同含水率条件下路基弯沉检测结果的变化规律，深入揭示含水率对弯沉值的作用机理，提出全过程优化控制策略，为解决现场检测失真难题、完善施工管控体系、提升道路工程建设质量提供坚实理论依据与实用技术支持。

1 不同含水率条件下路基弯沉检测相关背景及问题阐述

路基弯沉检测是路基工程质量验收与运营维护的核心环节，检测结果的精准度直接关联道路工程设计的合理性、施工的规范性及后期使用的安全性。含水率作为路基填料的核心物理属性，全程贯穿路基施工、检测及运营各阶段，其波动会直接改变填料颗粒间的作用力、孔隙分布状态及力学强度，进而对弯沉检测结果形成实质性影响。实际工程里，路基填料含水率受气象变化、地下水埋深、施工洒水管控等多重因素作用，往往偏离最佳含水率范围，造成弯沉检测数据与实际承载能力脱节，引发检测结果失真、质量评价偏差等现象，既拖慢工程验收进度，还可能埋下路基不均匀沉降、路面开裂等安全隐患。厘清不同含水率条件下路基弯沉检测的相关背景，清晰剖析含水率诱发的弯沉检测难题，是推进后续影响分析、优化检测技术的基础，更是破解工程实际困境、提升路基质量管控效能的关键。

2 不同含水率对路基弯沉检测结果的影响分析

不同含水率对路基弯沉检测结果的影响，本质上是通过改变路基填料的内部结构与力学性能实现的，其作用规律具有显著的阶段性特征和量化关联性，并与填料物理性质、压实状态紧密耦合。当路基填料含水率处于较低水平时，颗粒间咬合作用强、孔隙分布均匀，土体抗剪强度与承载能力处于优良状态，在此条件下开展弯沉检测，所得数值整体偏低且稳定性良好，波动幅度较小，主要原因在于低含水率下填料结构密实，能够有效抵抗检测荷载产生的变形，弯沉响应受控且规律稳定。随着含水率逐渐升高，水分逐步填充颗粒空隙，削弱颗粒间黏聚力与内摩擦角，填料整体力学性能呈渐进式下降，路基承载效能相应降低，弯沉检测值随之平稳上升，变化速率相对缓和^[1]。当含水率超过最佳含水率临界值后，多余水分在孔隙中形成自由水膜，破坏土体骨架结构，导致路基承载力急剧衰减，弯沉检测值进入快速增长阶段，此时含水率的微小波动即可引发弯沉值的显著跳变，检测数据稳定性大幅降低。此外，填料类型、颗粒级配、压实度等因素会对含水率敏感性产生调节作用，同类含水率变化下不同填料的弯沉响应幅度存在差异，但整体“低含水率稳定、中含水率缓升、高含水率骤增”的三段式变化规律保持一致。系统揭示这一影响机制与变化特征，可为后续检测全过程优化、数据修正模型构建及质量管控策略制定提供坚实的理论依据。

3 基于含水率影响的路基弯沉检测优化方法

3.1 检测前含水率精准控制方法

3.1.1 填料含水率预处理管控

填料含水率的均匀性是保障弯沉检测结果精准的关键前提，检测实施前需对路基填料开展全面预处理作业。结合路基填料的具体类型、颗粒级配及天然含水率状况，采用分层晾晒、

分区洒水、多点调控的精细化方式，将填料含水率逐步调控至最佳含水率附近的合理区间，从源头规避局部含水率偏差过大造成的检测数据失真问题。预处理全过程中，按照路基填筑厚度分层布设取样点位，实时监测并记录含水率变化，确保各层填料含水率保持均衡一致。同时严格控制晾晒时长与洒水量，避免过度干燥或过量补水破坏填料原有结构，防止路基力学性能受损，为后续弯沉检测营造稳定、均匀、可靠的工作条件，提升检测基础条件的规范性与一致性。

3.1.2 检测区域含水率实时监测

为精准掌握检测区域路基含水率的实时分布状况，保障弯沉检测环境稳定可控，应在正式检测前12小时内对目标区段开展全覆盖、高密度的含水率动态监测。监测作业采用便携式快速含水率检测仪，依据路基宽度与检测范围按规范均匀布设监测点位，形成网格化监测体系，确保全区域无死角、无盲区覆盖，真实反映路基含水率的空间分布与变化趋势。在监测过程中对数据进行实时采集、记录与分析，及时识别含水率超出合理区间的异常部位，一旦发现偏差立即采取针对性调控措施，通过补水、翻晒、通风等方式将含水率调整至标准范围内^[2]。通过全过程实时监测与闭环调控，可有效消除局部含水率不均带来的系统误差，保证弯沉检测在稳定、一致的环境条件下进行，大幅提升检测数据的真实性、可靠性与可比性，为后续数据分析与质量评价奠定坚实基础。

3.2 检测过程中含水率同步调控方法

3.2.1 检测时段含水率动态把控

检测时段的科学选取是降低环境干扰、稳定路基含水率的重要环节，需结合现场实时气象条件综合研判，严格避开降雨、高温暴晒、强风等易造成含水率剧烈波动的恶劣天气时段，优先选择气温稳定、光照适中、无降水干扰的窗口期开展弯沉检测作业，最大限度削弱外部环境对路基含水率的不利影响。在检测实施全过程中，应遵循“测沉即测水”的同步原则，每完成一处测点的弯沉测试后，立即对同一位置进行含水率测定并完整记录相关数据，建立弯沉值与含水率一一对应的实时关联数据库。通过全过程动态把控与数据联动采集，可真实反映检测状态下的路基实际状况，为后续开展数据修正、提升检测结果精准度提供可靠支撑。

3.2.2 检测荷载与含水率协同控制

在路基弯沉检测全过程中，应建立含水率与检测荷载联动调控机制，根据现场实时测定的含水率状况动态调整加载参数，改变传统固定荷载检测模式难以适应路基状态变化的弊端，从源头避免检测结果失真。针对含水率偏高、土体软化、承载力显著降低的区域，适当降低检测荷载等级，防止路基在

荷载作用下出现过量塑性变形，确保检测数据能够真实反映结构受力响应；对于含水率偏低、土体密实度高、结构稳定的区域，则严格按照规范标准荷载开展测试，保证检测结果的规范性与横向可比性^[3]。通过依据含水率实时状态差异化匹配荷载参数，实现检测条件与路基物理状态的精准适配，有效降低环境因素带来的测试误差，显著提升弯沉检测结果的可靠性、准确性与工程现场适用性。

3.3 检测后数据修正优化方法

3.3.1 基于含水率的弯沉数据修正模型构建

依托现场检测全过程同步采集的弯沉指标与含水率对应数据，结合工程实际工况、填料特性及场地地质条件，构建专用于路基工程的含水率—弯沉数据修正模型。模型构建过程中，综合考虑填料类型、颗粒级配、压实程度、填筑厚度及环境条件等关键影响因素，采用数理统计与回归分析相结合的方法，对不同含水率区间进行科学划分，精准确定各区间对应的弯沉修正系数，形成完整且可操作的修正计算体系。通过该模型对原始弯沉检测数据进行逐点校正，可有效剔除含水率波动产生的系统误差，排除非荷载因素对检测结果的干扰，使修正后的数据更贴近路基真实承载状态，大幅提升检测结果的可信度，为路基工程质量评价与施工管控提供精准、可靠的量化支撑。见图1所示：



图1 基于含水率的弯沉数据修正模型构建流程图

3.3.2 修正数据的合理性验证

为确保弯沉数据修正结果真实可靠、符合工程实际,需对校正后的弯沉数据开展全方位、多维度的合理性验证。验证工作严格遵循路基设计规范、施工质量验收标准及现场检测技术规程,通过对比不同含水率区间内校正前后的弯沉数值变化,系统分析修正模型的拟合精度、误差分布及适用范围,科学检验模型的合理性与工程适用性。同时,选取同类填料、相近压实条件的工程检测数据进行横向对比与交叉验证,结合现场实测结果对异常数据进行甄别、剔除与复核,保证数据的真实性与有效性。通过多层次验证体系的综合判定,进一步提升修正后弯沉数据的精准度与稳定性,为路基工程质量评价、施工动态管控及后续工程决策提供坚实可靠的数据支撑。

4 路基弯沉检测优化方法的应用成效

4.1 弯沉检测数据准确性显著提升

依托含水率影响下构建的路基弯沉检测全流程优化技术体系,通过检测前填料含水率精细化预处理、检测全过程动态协同调控以及检测后数据系统化校正等多环节深度融合,能够有效剔除含水率波动带来的系统误差与外部干扰,从根本上提升弯沉检测数据的精准度与可靠性。该优化方法在工程现场应用后,检测结果与路基真实承载能力之间的契合度大幅提高,成功解决了传统检测模式下因含水率波动引发的数据失真、质量评价偏离等长期存在的技术难题^[4]。同时,检测数据的稳定性与一致性显著增强,同一检测区域不同时段的弯沉值离散程度明显减小,可真实、客观地反映路基实际力学性能与结构状态,为路基工程质量科学评定提供坚实可靠的数据支撑,有效避免因检测误差导致的工程误判,为后续施工优化与质量管控决策提供精准依据。

4.2 路基施工质量管控水平得到优化

该优化方法将含水率管控贯穿于弯沉检测全过程,以检测环节的严格要求为抓手,反向推动路基施工阶段含水率控制由粗放式管理向精细化管控转型,使施工组织安排、工序衔接与现场操作更加规范有序。在检测前的填料预处理阶段,施工单位需对路基填料进行分区、分层的含水率调控与均匀化处理,

确保填料含水率稳定处于最佳压实区间,从而显著提高路基整体压实均匀性与结构密实度,有效规避因含水率偏高或偏低引发的压实不足、土体松散、局部开裂等常见质量隐患。在检测实施阶段,通过含水率实时监测与动态调控机制,能够及时发现施工过程中的管控漏洞,快速指导现场调整摊铺厚度、碾压参数、洒水及晾晒工艺,形成“检测—反馈—调控”的闭环管理体系,从源头提升路基成型质量,推动路基工程质量管控朝着精细化、标准化、智能化方向持续升级。

4.3 工程施工效率与经济性得到改善

优化后的路基弯沉检测方法从源头降低了因含水率波动导致的数据失真问题,显著减少现场返工、重复检测与工序停滞现象,有效压缩检测周期,提升整体施工流转效率。传统检测模式下,含水率控制不当极易造成弯沉检测不合格,需反复调整含水率并多次复检,不仅大幅增加人工、设备与时间成本,还严重制约施工进度。应用本优化技术后,检测一次性合格率显著提升,复检次数明显减少,直接降低检测环节的资源消耗^[5]。同时,依托精准含水率管控与数据修正体系,可科学优化施工组织与工序安排,减少填料过度处理、洒水晾晒失衡等浪费现象,实现施工资源高效配置。该方法在保障工程质量的同时,实现施工效率与经济效益协同提升,可为同类道路路基工程的弯沉检测与质量控制提供成熟可行的实践借鉴。

5 结语

本文围绕不同含水率条件下路基弯沉检测结果的变化规律开展系统研究,梳理相关背景及工程实际难题,深入剖析含水率对弯沉检测结果的影响特征,厘清二者变化关联及阶段性规律,针对性提出涵盖检测前预处理、检测中调控、检测后数据校正的全方位优化技术,并通过实际应用检验其可行性与实用价值。研究表明,优化后的检测技术可大幅提升弯沉检测数据精准度,完善路基施工质量管控效能,改善工程施工效率与经济性,为路基弯沉检测及质量管控提供坚实理论支撑与可行实践参考。后续可结合各类路基填料特性,细化优化方法应用流程、完善弯沉数据校正模型,使其更契合工程实际,为路基工程质量提升提供更有有力保障。

参考文献:

- [1] 陈秋荣.基于回弹弯沉检测技术的路基承载力评估方法[J].福建建材,2024,(11):30-33.
- [2] 吕述旗.地震波检测含水率变化下土基回弹模量的方法研究[D].郑州大学,2023.
- [3] 田雨.公路路基施工过程中的压实质量控制与评估方法[J].工程机械与维修,2025,(05):129-131.
- [4] 张明星.一种处理城市道路路基土高含水率的措施[J].技术与市场,2022,29(10):84-87.
- [5] 苏力辉.含水率对路基压实质量的影响[J].交通世界,2025,(28):58-60.