

# 公路路基土壤湿度与沉降监测技术研究

马颖智

内蒙古自治区通辽市科左中旗地方道路养护中心 内蒙古 通辽 029300

**摘要：**随着交通事业的高速发展，公路路基的施工质量对整体交通系统的安全性和稳定性至关重要。土壤湿度和沉降是影响公路路基性能的两个关键因素。本文旨在探讨公路路基土壤湿度与沉降监测技术，分析现有监测方法的特点与不足，提出改进建议，为公路路基的施工和维护提供科学依据。

**关键词：**公路路基；土壤湿度；沉降监测；监测技术

## 引言

公路路基作为公路系统的重要组成部分，其稳定性和安全性直接关系到公路的整体使用寿命和服务质量。土壤湿度和沉降是影响公路路基性能的两个关键因素。土壤湿度过高会导致路基软化、强度降低，进而引发沉降；而沉降则直接影响公路的平整度和使用寿命。因此，对公路路基土壤湿度与沉降进行监测，对于保障公路的安全性和稳定性具有重要意义。

## 1 公路路基土壤湿度监测技术

### 1.1 湿度监测的重要性

公路路基土壤湿度作为道路工程服役性能的重要影响因素，其变化直接关乎道路的稳定性和耐久性以及行车安全。路基土壤湿度过高或过低，均可能导致路基材料性能劣化、结构变形乃至整体破坏。因此，准确监测路基土壤湿度，深入揭示其随季节、气候及交通荷载等因素的演化规律，对于评估道路工程状态、预测潜在风险至关重要。通过科学监测，可及时发现问题并采取有效调控措施，如调整排水系统、优化路基材料等，以确保道路工程在全寿命周期内保持优良性能，保障行车安全与顺畅。

### 1.2 湿度监测方法

#### 1.2.1 传统监测方法

在传统的土壤湿度监测技术中，称重法与烘干法占据了重要地位。称重法，顾名思义，是通过精确测量土壤样本在特定环境（如室温或特定温度）下的重量，并结合土壤的物理性质来推算其湿度含量。这种方法在实验室条件下，由于能够严格控制环境因素，因此通常能提供较为准确的湿度数据。然而，在实际应用中，称重法需要频繁取样、称重，操作过程不仅繁琐，而且耗时较长，难以满足快速、实时的监测需求。烘干法则是一种常用的传统湿度监测方法。它通过将土壤样本加热至恒重状态，即水分完全蒸发后的重量，来计算土壤的

湿度<sup>[1]</sup>。烘干法的优点在于其测量精度相对较高，能够较为准确地反映土壤的湿度状况。然而，这种方法同样存在显著的局限性。首先，烘干过程需要消耗大量的时间和能源，特别是在处理大量土壤样本时，效率问题尤为突出。其次，烘干法同样需要对路基进行取样，这不仅破坏了路基的完整性，还可能对道路的稳定性和行车安全造成潜在威胁。

#### 1.2.2 公路路基土壤湿度现代监测技术

时域反射技术（TDR）：TDR技术，作为土壤湿度监测领域的一项重要技术，其核心原理在于利用电磁波在土壤中传播速度与土壤湿度之间的紧密关联。该技术通过发射一束短脉冲电磁波，并精确测量其从发射端传播至接收端的时间差，结合电磁波在特定土壤条件下的已知传播速度，即可高效、准确地计算出土壤的湿度值。TDR技术的突出优势在于其非破坏性、实时性和高精度。它无需对土壤进行取样或破坏，从而避免了传统方法可能带来的路基损伤；同时，TDR技术能够实时提供湿度数据，为及时应对路基湿度变化提供有力支持；此外，其高精度的测量结果也为路基湿度调控和道路维护提供了科学依据。

频域反射技术（FDR）：FDR技术，则是通过测量土壤的介电常数来间接获取土壤湿度信息的一种现代监测方法。介电常数，作为土壤电学特性的一个关键指标，与土壤中的水分含量密切相关。FDR技术利用特定的传感器，将电磁波发射至土壤中，并捕捉反射回来的电磁波信号，通过分析信号的频率变化，即可推算出土壤的介电常数，进而得出土壤湿度。FDR技术的优势在于其操作简便、快速且经济高效。它无需复杂的取样和烘干过程，大大节省了监测成本和时间；同时，FDR技术还能够实现大范围、多点位的土壤湿度监测，为全面了解路基湿度状况提供了便利。

探地雷达技术（GPR）：GPR技术，作为一种先进

的地下探测技术,其在土壤湿度监测中的应用日益受到关注。GPR技术利用高频电磁波穿透地表,对地下介质进行高分辨率的探测和成像。在土壤湿度监测中,GPR技术能够清晰地揭示土壤湿度的三维分布特征,为深入理解路基土壤湿度的空间变异性提供了有力工具。尽管GPR技术具有诸多优势,如高分辨率、强穿透力等,但其应用也面临一些挑战<sup>[2]</sup>。首先,GPR设备的成本相对较高,可能限制了其在某些项目中的应用;其次,GPR数据的处理和分析需要专业的技术支持和经验积累,以确保结果的准确性和可靠性。然而,随着技术的不断进步和成本的逐渐降低,GPR技术在公路路基土壤湿度监测中的应用前景仍然十分广阔。未来,通过与其他监测技术的有机结合和综合评价,GPR技术将为路基湿度的精准管理和道路工程的长期稳定运行提供更加强有力的支持。

## 2 公路路基沉降监测技术

### 2.1 沉降监测的重要性

公路路基沉降是影响道路稳定性和行车安全的重要因素。在建设前及建设过程中,对土壤进行沉降监测至关重要。通过持续、精确的监测,可以实时捕捉土壤沉降的细微变化,及时揭示地下地基的潜在问题。这些监测数据为工程师提供了宝贵的决策依据,使他们能够迅速识别并应对可能导致地面开裂等安全隐患的沉降情况。及时采取补救措施,如调整路基设计、加固地基等,可以有效预防道路病害的发生,确保公路的长期稳定运行和行车安全。

### 2.2 沉降监测方法

#### 2.2.1 精密水准测量法

精密水准测量法作为沉降监测的传统且精确方法,其实施过程需严谨细致。首先,根据工程项目的具体要求和路基沉降监测的精度需求,明确观测的目标区域、时间周期以及所需达到的精度标准。接着,在观测区域内精心选择稳定且不易受外界干扰的位置,建立水准点,这些水准点将作为后续高程测量的基准。为确保标点的准确性和代表性,需在建筑物、构筑物或路基的关键部位安装标点,这些标点应能够全面反映沉降情况。初次测量时,使用高精度的水准仪和直尺,对每一个标点进行精确的高程测量,并记录数据至毫米级。随后,按照预定的观测周期,如每月、每季度或每年,定期重复这一测量过程。在数据处理阶段,需对测量数据进行严格的平差和误差修正,以消除各种可能的影响因素,确保数据的准确性和可靠性。

#### 2.2.2 GPS测量法

GPS测量法以其全球覆盖、实时定位的特点,在公路

路基沉降监测中得到了广泛应用。首先,根据控制网布设方案,在观测区域内均匀分布测站,并设置具有稳定中心标志的标石。这些标石应选在不易被移动或破坏的位置,以确保测量的连续性和准确性。接下来,制定详细的观测计划,包括观测时段的选择、GPS接收机的数量配置、人员设备的调度等。在野外观测阶段,于各测站上架设GPS接收机,进行长时间的静态观测。同时,详细记录测站信息,包括测站号、仪器号、仪器高、观测起止时间等,以便后续的数据处理和分析。数据传输至计算机后,利用专业的GPS数据处理软件,对观测数据进行解算和处理,得到各测站的三维坐标。通过对比不同时间点的坐标数据,可以精确计算出路基的沉降量。此外,还可以利用GPS测量数据进行沉降速率的分析,以及沉降趋势的预测。

#### 2.2.3 激光扫描测量法

激光扫描测量法以其高精度、高效率的特点,在公路路基沉降监测中逐渐崭露头角。首先,进行充分的技术准备,明确扫描的目的、要求、范围以及所需的精度和分辨率等参数。接着,根据扫描方案,在观测区域内布设足够数量和分布合理的控制点或标志物,这些控制点将用于后续的数据配准和校正。数据采集阶段,使用高性能的激光扫描仪对被测区域进行全方位、高密度的扫描。由于单个扫描站点可能无法覆盖整个观测区域,因此需要在不同位置设置多个扫描站点,以确保获取完整的点云数据。同时,还需注意扫描时的天气条件、光照情况等因素,以避免对扫描结果产生不利影响。数据处理时,首先进行点云数据的去噪、配准、降采样等预处理工作,以提高数据的质量和可用性<sup>[3]</sup>。接着,利用专业的三维建模软件,将点云数据转换为三维模型,以便进行后续的沉降分析。通过对比不同时间点的三维模型数据,可以直观地分析地表的沉降情况,并计算沉降量。

#### 2.2.4 遥感技术

遥感技术以其广阔的监测范围和快速的信息获取能力,在公路路基沉降监测中展现出巨大的潜力。首先,根据实际需求选择合适的遥感平台和传感器类型,如卫星遥感、航空遥感或无人机遥感等。接着确定数据获取的方式和时间窗口,考虑目标区域的地理位置、季节变化、天气条件等因素对遥感数据质量的影响。数据预处理阶段,对获取的原始遥感数据进行大气校正、辐射校正、几何校正等处理,以消除各种干扰因素,提高数据的准确性和可靠性。接着利用专业的遥感图像处理软件,对校正后的数据进行特征提取、分类识别等处理,提取出与沉降相关的信息。沉降监测与预测时,通过对

比不同时间点的遥感数据,分析地表的沉降情况。结合地理信息系统(GIS)技术,可以将沉降数据与地理位置信息相结合,实现沉降情况的可视化展示。此外,还可以利用机器学习、深度学习等算法建立沉降预测模型,对未来的沉降趋势进行预测和预警。

### 3 公路路基土壤湿度与沉降监测技术的应用建议

#### 3.1 深度融合多元监测技术,构建全方位监测体系

面对复杂多变的地质条件和日益增长的监测需求,倡导深度融合多种监测技术,以构建一个全方位、立体化的监测体系。在地质条件复杂的区域,GPS测量技术与激光扫描测量法的结合使用显得尤为重要。GPS技术能够精确捕捉路基的三维坐标变化,揭示路基的整体沉降趋势;而激光扫描测量法则通过构建高精度的地表模型,细致描绘出路基表面的微小形变。此外,土壤湿度传感器的引入也是不可或缺的一环,它能够实时监测土壤含水量的动态变化,为分析土壤湿度与路基沉降之间的关联提供关键数据<sup>[4]</sup>。为了进一步提升监测的准确性和全面性,还可以考虑将遥感技术、雷达监测技术以及物联网技术等融入监测体系中。遥感技术能够利用卫星或无人机平台,对大范围的路基进行高效、快速的监测;雷达监测技术则能够穿透地表,探测路基内部的微小变化;物联网技术则能够实现监测设备的智能化连接,提高数据采集和传输的效率。

#### 3.2 加强实时监测与深度数据分析,提升预警能力

实时监测与深度数据分析是提升公路路基土壤湿度与沉降监测效果的关键环节。为了实现对接路基状态的即时掌控,应建立一套高效、稳定的实时监测系统。该系统应能够自动、连续地采集土壤湿度和沉降数据,并通过网络实时传输至数据中心进行存储与分析。在数据分析方面,应充分利用大数据、云计算等先进技术,对海量监测数据进行深度挖掘和智能分析。通过构建沉降预测模型,可以根据历史数据和当前监测情况,预测未来一段时间内路基的沉降趋势和可能的风险点。同时,结合土壤湿度数据,可以深入分析湿度变化对沉降的影响机制,为制定针对性的维护措施提供科学依据。此外,为了提升预警能力,还应建立完善的预警机制。当监测

数据达到或超过预设阈值时,系统应能够自动触发预警信号,并通过多种渠道及时通知相关人员,确保他们能够迅速响应并采取有效措施。

#### 3.3 积极推广并创新应用新型监测技术,引领行业发展

新型监测技术的不断涌现为公路路基土壤湿度与沉降监测带来了新的机遇。为了保持行业领先地位并提升监测效果,应积极关注并推广这些新技术。例如,无人机遥感技术具有高效、灵活的特点,能够快速获取大范围的路基沉降信息;人工智能和机器学习技术则能够实现监测数据的智能分析和处理,提高数据分析的效率和准确性;而5G、物联网等新技术的应用则能够进一步提升监测系统的实时性和稳定性。除了推广现有新技术外,还应鼓励创新应用,探索将新技术与公路路基监测领域相结合的新途径。例如,可以尝试将深度学习算法应用于沉降预测模型中,提高预测的准确性和可靠性;或者利用虚拟现实技术构建路基沉降的模拟场景,为决策者和维护人员提供更为直观、生动的视觉体验。

### 结语

公路路基土壤湿度与沉降监测技术是保障公路安全性和稳定性的重要手段。通过综合应用多种监测技术、加强实时监测与数据分析以及推广新型监测技术,可以提高监测的准确性和全面性,为公路路基的施工和维护提供科学依据。未来,随着科学技术的不断发展,公路路基土壤湿度与沉降监测技术将不断完善和创新,为交通事业的持续发展贡献力量。

### 参考文献

- [1]李培乐.高速公路路基内部含水率监测与分析[J].山西建筑,2021,47(12):104-106.
- [2]李会,石翠萍,夏颖,等.一种新型公路路基含水率检测器系统设计[J].物联网技术,2021,11(05):11-13.
- [3]亚庆媛.软土地区高速公路路基沉降监测技术研究[J].交通世界,2024,(22):109-111+115.
- [4]吴志辉,于涛,杨维,等.高速公路填筑路基沉降监测和预测分析[J].交通世界,2024,(Z2):67-69.