轻量化智能监测技术在农村公路日常养护中的实践

伏　军

宁夏固原市西吉县公路养护中心　宁夏　固原　756200

摘　要：轻量化智能监测技术结合了传感器、物联网、人工智能等前沿科技，在农村公路的日常养护方面有巨大的发展潜力和优势：设备轻便易于部署；数据采集快速准确；系统低功耗节能；具备智能分析及预警等功能，并且可以在实践中进行路面病害实时监测、桥梁结构安全监测以及交通流量与荷载监测，还可以对养护决策起到辅助作用如病害趋势预测、方案的效果与成本评估、资源合理分配等等，能够提高养护效率、降低成本，保证农村公路的安全畅通，未来的应用前景十分广泛。

关键词：智能监测技术；农村公路；日常养护

引言：农村公路作为农村地区的基础设施，在促进农村经济的发展和保证居民出行方面起着至关重要的作用；但农村公路分布广且路况复杂，采用传统的日常养护方式存在着效率低下、成本较高以及无法进行全面监测的问题。而轻量化的智能监测技术是一种新型的技术手段，它结合了多种先进的科学技术如：传感器、物联网、人工智能等等，并具备轻便易部署、数据采集准确度高、低功耗节能等特点。因此，利用该技术进行农村公路日常养护可以有效解决传统养护方式存在的问题并能够实现实时、全面地监测公路情况以供养护决策参考。

1 轻量化智能监测技术概述

轻量化智能监测技术是结合各种先进技术的一种新型监测手段，在农村公路日常养护等方面有着巨大的应用潜力，并以其高效、精准、便捷等特点给传统的监测方式带来革新的力量。这种技术包括传感器技术、物联网技术和人工智能等各种前沿科技。其中，传感器用于收集相关数据并实时感知农村公路的相关物理量（例如：路面的平整度、桥梁的应力应变等等），并通过物联网技术将其快速且稳定的传送到监测中心；然后利用人工智能对所获取的数据进行深入分析和处理，从中挖掘出有用信息，进而为养护决策提供科学依据。相较于传统监测技术而言，轻量化智能监测技术的优势在于打破传统技术在设备和数据处理等方面的限制，用更灵活、高效的方式来达到监测目的[1]。在设备方面，采用小型化、集成化的设计理念，使设备更加小巧便携，在农村公路复杂环境下易于安装和部署；在数据处理上，利用先进的算法和模型，可快速准确地分析数据并及时发现问题。

2 轻量化智能监测技术特点

2.1 设备轻便易部署特性

设备轻便易部署特性是轻量化智能监测技术的突出优势。（1) 设备体积小。通过高度集成的方式把传感、采集、通信等单元集成为一个整体，整个系统重量和体积大大减小了，可以由一个人轻松搬运到需要的地方，适用于各种复杂的安装空间；（2）安装方式灵活且容易。既可以使用磁吸固定方式安装，也可以进行绑扎或粘贴等方式安装，在现场不需要任何专门施工机具和大量的土建配套工作，短时间内就可以在施工现场完成设备安装，并投入正常使用。（3）供电自主灵活。内部自带高能量密度锂电池作为电源供应，配合低功耗的设计能够长时间保持不需维护的状态，同时还具备太阳能辅助充电功能，摆脱了固定的电源束缚，适合于没有电力的偏远地区部署。（4）免调试快速上线。设备出厂时已经预先设置好相关参数，到了现场直接搜寻网络、注册上线就完成了全部操作过程，无需专业的人员在现场进行调试与标定，极大地降低了部署时间并对技术人员的要求。(5) 组网扩展方便高效。设备之间可以通过无线方式进行自组网，或者以即插即用式的扩展模式加入现有的监测网络中，新添加的监测点会自动地被纳入已有的监测网络当中，从而实现了监测规模的伸缩性，满足分期建设以及动态调整的需求。

2.2 数据采集高效精准性

数据采集高效精准性是轻量化智能监测技术核心价值的体现。(1) 多类型的参数同时采集。一台设备可以搭载多个不同种类的传感器，在同一时刻完成对振动、温度、位移、应变等多个物理量的同时采集，无需使用

多套设备分别收集导致的数据难以统一的时间点；（2）高采样的精度保证。通过选用高分辨率模数转换芯片以及低噪声信号调理电路，并辅以温度补偿算法，使得采集到的数据幅值精度及时标精度能够达到工程分析的要求；（3）动态采样策略调节。根据被监测对象状态的变化，自动调整采样频率，当处于异常时段时提高采样频率，平稳时段则适当减小采样频率，兼顾了数据质量和设备功耗之间的平衡关系；（4）边缘预处理提效。在设备中自带一定的边缘计算能力，对于原始数据做初步的滤波去噪、特征提取和异常初判后只上传有效的特征数据和告警信息，减少了冗余数据的传输负担；（5）数据质量自动校验。对采集数据进行完整性和合理性的自动检验，自动发现并标记出异常数据段，借助于多源数据的交叉验证方式来保障上传数据的真实性可靠性。

2.3 系统低功耗节能优势

轻量化智能监测技术在农村公路日常养护中系统的低功耗节能的优势非常明显：首先是在硬件的设计方面，采用了低功耗芯片、节能类型的传感器等设备，它们能够在保障监测精度的前提下大大减少自身的能耗；比如本文选择使用的微控制器具有智能休眠的功能，在没有需要采集数据的时候会自动进入低功耗的状态，并只保持必要的系统功能，当有监测的需求时可以快速地唤醒工作，从而有效地减少不必要的电能消耗。其次在软件算法层面，优化数据采集和传输的方式，避免无效的数据被采集和传输[2]。合理设定数据采集的时间间隔，根据实际农村公路的使用情况以及环境的变化而改变数据采集频率，在交通量少的时间里降低采集频率以达到既能满足监测的要求又能降低系统功耗的目的。同时还有能源管理机制，本文可以利用太阳能等可再生资源来给系统提供能量。配备了高效太阳能电池板和储能装置，在白天光照充足的条件下将太阳能转化成电能存储起来，供系统在夜晚或者光线不足的情况下使用，进一步减少对于传统能源的依赖性并降低了运营的成本，也符合绿色环保的理念发展。

2.4 智能分析与预警功能

轻量化的智能监测技术的智能分析与预警功能，在农村公路日常养护中具有重要作用。利用其强大的算法和大数据处理能力，可以对收集到的大量公路数据进行深入挖掘和准确分析。在智能分析方面，能够自动识别出公路出现的各种病害类型（如：裂缝、坑注），并对其严重程度以及发展趋势做出评价；通过比较不同时期的数据，预测病害发展速度，从而帮助养护部门作出正确的决定。例如根据裂缝的长度、宽度的变化来判断是否需要及时地进行修补。而预警功能则是根据上述分析的结果，当检测发现公路情况超过了设定的安全阈值，则会立刻发出警告信号。预警的方式多种多样，有短信、邮件或系统的弹窗等形式，保证养护人员能够第一时间获得相关信息[3]。而且，还可以根据不同类型的病害和风险等级给出相应处理建议。

3 轻量化智能监测技术在农村公路养护中的实践应用

3.1 路面病害实时监测应用

路面病害实时监测应用是轻量化智能监测技术在农村公路养护中的基础场景。（1) 裂缝发育动态跟踪。在路面出现较多裂缝的地方布设轻量化裂缝计，实时监测裂缝宽度和长度的扩展趋势，了解病害的发展速度，并以此作为决定是否需要养护的重要参考。（2) 坑槽沉陷自动识别。通过搭载于车辆上的轻量检测设备及路面状态传感器来自动识别并定位记录路表面存在的坑槽、沉陷等病害，代替以往的人工巡检工作，提升巡查范围与次数。（3) 路基含水量监测。在容易发生水害地段埋设土壤含水量传感器，及时掌握路基含水状态的变化，提前预警由于水侵蚀造成的翻浆、唧泥等问题的发生概率。（4) 重点路段视频监控。在急弯陡坡、桥头涵顶等关键位置安装太阳能供电的轻量监控设备，实时上传路面状况图片到后台，管理人员可随时查看现场路况病害信息。（5) 病害数据平台管理。将各个监测点的数据汇集起来形成一个县级养护管理平台，自动生成病害台账以及变化曲线，完成病害从发现-跟踪处治的全周期闭环管理。

3.2 桥梁结构安全监测实践

在农村公路养护实践中，轻量化的智能监测技术应用于桥梁结构的安全监测是保证桥梁安全运行的一次创新尝试。传统的桥梁监测需要依靠人工进行定期巡查，但这种方式费工耗时且难以全面覆盖所有区域；而采用轻量化智能监测技术，则可以通过在桥梁重要位置布置各种类型的传感器来对结构的状态进行立体式地感知，其中主要监测的内容可以概括为四大部分——结构响应监测、环境及荷载监测、几何形态监测以及视频辅助监测。在实际操作过程中，在农村公路桥梁上布设了多种类型传感器，并实时跟踪桥梁结构的运行情况。如在包场大桥和货隆大桥的重要部位布设了图像法动位移检测仪、压电加速度传感器、目标靶、简易感知报警装置、高清摄像头等各种各样的传感器，它们就像是桥梁的“智能感知神经”。能够对桥面和主梁裂缝发育程度、结构受力变化、基础沉降位移、船舶撞击危险等等关键性的安全指标进行 24 小时不间断的捕捉[4]。一旦发现桥

梁出现了病害征兆就会立刻发出警报信号，帮助管理单位准确地找到问题所在并及时作出警示提醒，以便他们能迅速有针对性地采取相应的养护措施。

3.3 交通流量与荷载监测

交通流量与荷载监测是评估公路使用状态和损耗速率的重要手段。（1）车流量自动统计分析。在主要乡道出入口处设置轻量化的微波或者压电式的车检器，在全时段内自动统计交通流量数据，了解车流的变化趋势，并以此作为养护计划安排的基础性参考依据。（2）超限超载动态监测。在重要的运输通道上安装轻量式的动态称重设备，对经过该道路的车辆轴重情况进行不停车检测，自动识别超限超载车辆并对之抓拍取证，遏制超载对路面造成的破坏。（3）车型结构比例分析。通过监测设备获取的车长、轴数等相关参数，自动分类统计客货比及重载车辆占比较大的情况，以判断重载交通给路段路面带来的累积损伤程度；（4）车速运行状态监测。实时收集断面上的车速数据，分析车速分布特点以及急刹频发的位置区域，识别车辆制动对路面造成集中的磨耗位置，指导重点段落加强养护巡查工作。（5）荷载谱的数据深度应用。将流量荷载数据同路面病害监测数据联系起来，建立起交通荷载与路面性能衰减之间的对应关系，从而实现根据实际荷载计算养护周期的目的。

3.4 养护决策辅助支持应用

在农村公路养护中运用轻量化智能监测技术对于养护决策具有重要的辅助作用，能够给养护决策提供全面而准确的数据依据；在公路的关键部位安装传感器可以及时获取路面状况、交通流量、环境等因素信息，并经过智能分析得到公路当前的健康状态和存在的问题。在此基础上，针对公路病害发展趋势做出预测：比如可以根据路面裂缝的扩展速度和规律来提前判断什么时候会对行车安全产生影响，以便为制定养护计划赢得宝贵的时间。此外，还可以评估各种养护方案的效果和成本[5]。通过对不同的养护方案下公路养护效果和资金投入情况加以比较，以公路的实际情况和未来的使用需求为基础，为决策者提供一个量化的参考。并且还能够合理的分配养护资源，根据各个路段实际需要的人力、物力和财力，有针对性地配置，防止不必要的浪费。这对于农村公路而言尤其重要，因为其养护资源往往较为有限，采用这样的辅助支持的应用方式无疑会大大提高养护效率和效益，保证农村公路的安全畅通。

结语

未来，在农村公路日常养护中使用轻量化的智能监测技术将会更加广泛和深入，并且随着技术的不断革新，设备的性能会得到提升，监测的精准度和可靠性也将得到提高，可以更好地感知公路的细微变化；与其它技术的融合也将会越来越紧密（例如：结合大数据、云计算），通过对海量的监测数据进行深度挖掘和分析，给养护决策提出更有前瞻性建议等。成本还会继续下降，使更多的农村地区都能够承担得起并获得更好的覆盖范围；另外，智能监测技术还可以促进农村公路养护方式的变化，由过去的被动养护转向主动预防，为农村公路的长久稳定运行保驾护航。

参考文献

[1] 张楚研, 倪安宁, 崔毓伟, 等. 智能巡检模式下的农村沥青公路技术状况评价 [J]. 江苏大学学报（自然科学版）,2026,47(3):354-361+372.

[2] 李贵祥, 陈克, 操礼军, 等. 基于 BIM 技术的农村公路桥梁轻量化监测 [J]. 工程建设与设计,2026,(10):90-92.

[3] 张盼. 智能化日常养护管理系统在普通干线公路中的应用 [J]. 智能城市,2025,11(2):94-96.

[4] 赵茜, 王薇. 自动化检测技术是农村公路科学养护发展的趋势 [J]. 智能城市应用,2025,8(9):34-37.

[5] 王利. 农村公路智慧养护管理体系构建分析 [J]. 运输经理世界,2025,(11):115-117.