

生态环境监测技术创新思考

博 凯 古洪亮 邵 斌 马恩慧

浙江中一检测研究院股份有限公司 浙江 宁波 315000

摘 要：本文围绕生态环境监测技术创新展开研究，分析了当前生态环境监测技术面临的挑战与瓶颈，探讨了物联网、遥感、人工智能等新兴技术在监测领域的应用潜力，并提出了技术创新方向与实践路径。研究指出，技术创新是提升生态环境监测能力、支撑环境治理科学决策的关键，未来需加强多技术融合与跨学科协作，推动监测技术向智能化、精准化、高效化发展。

关键词：生态环境监测；技术创新；物联网；遥感技术；人工智能

引言：随着全球气候变化、环境污染与生态退化问题的加剧，生态环境监测作为环境治理的基础环节，其重要性日益凸显。传统监测技术受限于时空覆盖不足、数据时效性差、分析能力弱等问题，难以满足动态化、精细化的环境管理需求。在此背景下，技术创新成为突破监测瓶颈、提升监测效能的核心驱动力。本文从技术现状出发，探讨创新方向与应用场景，为生态环境监测技术升级提供参考。

1 生态环境监测技术创新的背景与意义

1.1 全球环境治理需求

当前气候变化、生物多样性丧失、环境污染等全球性危机已对人类生存与发展构成重大威胁。联合国可持续发展目标（SDGs）明确将“清洁饮水与卫生设施”“气候行动”“陆地生物”等纳入核心议程，对环境监测的时效性、精准性和覆盖范围提出更高要求。例如，SDG6要求到2030年实现普遍获得安全饮用水，需依赖实时水质监测技术评估治理成效；SDG13则依赖对温室气体排放、森林覆盖率等指标的长期追踪。在此背景下，全球环境监测技术正加速向“天地空”一体化方向发展。通过卫星遥感、无人机巡查、地面传感器网络协同作业，构建“天基-空基-地基”立体监测体系。例如，欧洲哥白尼计划利用多光谱卫星监测全球大气污染、森林火灾等动态变化，为跨国环境治理提供数据支撑。我国“高分”系列卫星、风云气象卫星等也逐步融入全球环境监测网络，推动技术标准化与数据共享。这一趋势不仅提升了环境数据的获取能力，更为全球协同治理提供了科学依据。

1.2 国家政策驱动

我国“双碳”目标（2030年前碳达峰、2060年前碳中和）与生态文明建设战略，对环境监测技术提出双重驱动：（1）高精度监测需求：碳排放核算、污染源溯源

等需依赖高分辨率传感器与模型算法。例如，碳监测卫星可实现区域碳排放通量反演，为碳交易市场提供数据基础。（2）全覆盖网络构建：政策要求在重点流域、工业园区、城市群等区域部署密集监测站点，形成“点-线-面”立体监测格局。如长江经济带生态环境监测网络已覆盖11省市，实现水质、空气、土壤等多要素协同监测^[1]。监管模式从“末端治理”向“过程管控”转变，进一步强化了实时监测与预警技术的必要性。例如，通过物联网传感器实时监控工业废水排放，结合AI算法预测污染扩散路径，可提前3-6小时发出预警，为应急响应争取时间。

1.3 技术进步的机遇

物联网、大数据、AI等技术的成熟为监测技术升级提供了核心驱动力：（1）物联网与传感器技术：低功耗、高灵敏度传感器的研发使环境参数实时采集成为可能，成本降低至传统方法的1/10。（2）大数据与AI分析：通过机器学习算法处理海量监测数据，可识别污染模式、预测环境风险。例如，利用深度学习模型分析空气质量数据，准确率达90%以上。（3）公众参与与技术倒逼：公众环境意识提升（如“蔚蓝地图”等项目）倒逼监测数据透明化、可视化。区块链技术可确保数据不可篡改，增强公众信任。

2 生态环境监测技术的现状与瓶颈

2.1 传统监测技术的局限性

传统环境监测依赖人工采样与实验室分析，存在显著滞后性。例如，水体化学需氧量（COD）检测需经过采样、运输、预处理、仪器分析等流程，耗时长达数小时至数天，难以应对突发污染事件。2025年某化工园区苯泄漏事故中，因依赖传统采样方法，污染扩散范围在6小时内扩大至周边5公里区域，凸显实时监测的缺失。此外，固定监测站点布局稀疏，全国地级市空气质量监测站点平均密度不足1个/100平方公里，导致区域性、流域

性污染事件（如太湖蓝藻暴发）无法及时预警。

2.2 现有技术体系的短板

针对复杂环境介质的监测技术尚不成熟。水体中重金属污染物的形态分析（如甲基汞、铅离子）仍依赖液相色谱-质谱联用技术，设备成本高、操作复杂，基层监测机构难以普及。土壤污染监测中，挥发性有机物（VOCs）的现场快速检测设备准确率仅60%-70%，无法满足精准溯源需求^[2]。多源数据融合能力不足进一步制约监测效能。环境监测数据来源包括卫星遥感、无人机巡查、地面传感器网络等，但不同平台的数据格式、时间分辨率、空间精度差异显著。例如，某流域水环境监测中，卫星影像空间分辨率达30米，而地面浮标数据精度为厘米级，两者融合时需通过复杂算法进行时空配准，导致结果可靠性存疑。

2.3 典型问题与技术瓶颈突破路径

（1）突发环境事件应急响应滞后：以2024年某河流重金属污染事件为例，我国应急响应机制暴露出明显滞后性，污染源追溯耗时长达72小时，且高度依赖人工排查和经验判断。相比之下，欧美国家已采用“水质指纹识别技术”，能在2小时内迅速锁定污染源。此外，我国应急监测设备老化严重，超60%的省级监测站设备陈旧，无法应对新型污染物挑战。（2）长期监测数据标准化缺失：全国环境监测站点数据记录格式不一，跨区域整合难度大，数据质量参差不齐。生态监测网络长期监测数据仅30%通过质量控制体系认证，难以支持科学决策。

（3）技术转化与人才短缺：高校与企业研发脱节，科研成果难以产业化。环境监测复合型人才匮乏，具备AI算法、大数据分析能力的专业人员占比不足5%，制约新技术应用。（4）法规与标准滞后：环境监测领域法规不完善，数据造假行为频发。现有校准规范难以适配新型传感器技术，影响监测准确性。（5）技术瓶颈突破路径：为应对上述挑战，需加快“天地空”一体化监测体系建设，推动卫星遥感、无人机、地面传感器协同作业。研发低成本、高灵敏度的现场快速检测设备，如纳米材料传感器。构建国家环境监测大数据平台，实现数据标准化融合。完善应急监测技术储备，建立污染源指纹数据库。同时，加强产学研合作，培养复合型监测人才，为环境监测技术创新提供坚实支撑。

3 生态环境监测技术创新方向与关键技术

3.1 物联网与传感器技术

低功耗、高灵敏度环境传感器是物联网监测体系的核心。当前基于纳米材料（如石墨烯、量子点）的传感器已实现ppm级污染物检测，功耗较传统设备降低70%，

寿命延长至5年以上。例如，某企业研发的“土壤多参数集成传感器”可同步监测pH值、电导率、重金属离子浓度等12项指标，体积缩小至信用卡大小，适用于农田、矿山等复杂地形。未来需突破传感器自校准技术，减少人工维护频率，并开发适用于极端环境（如深海、极地）的抗干扰传感器。无线传感网络（WSN）的构建需解决偏远地区通信难题。通过LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术，可实现传感器数据远程传输，覆盖半径达10公里以上。下一步需优化网络拓扑结构，提升节点容错率，并探索太阳能、风能等分布式供电方案，延长设备续航。

3.2 遥感与无人机技术

高光谱与激光雷达（LiDAR）的结合，为环境监测提供了“立体化”视角。高光谱成像可识别水体叶绿素a、悬浮物等200余种物质，分辨率达米级；LiDAR则能穿透植被冠层，获取地形、植被三维结构数据。例如，在太湖蓝藻监测中，高光谱与LiDAR协同作业，使藻类分布预测准确率提升至85%。未来需研发机载多光谱-LiDAR一体化设备，降低搭载成本，并开发自动化解译算法，实现“即采即分析”。无人机群组协同作业是应对大范围监测需求的关键。通过5G通信与AI调度算法，可实现数十架无人机同步飞行、任务分配与数据融合。例如，在黄河流域生态调查中，无人机群组在24小时内完成1000平方公里区域的高清影像采集，效率较传统人工方式提升10倍^[3]。需突破无人机续航瓶颈（当前最长滞空时间仅6小时），并研发抗电磁干扰技术，保障复杂环境下的数据安全。

3.3 人工智能与大数据分析

机器学习算法在污染溯源与预警中展现出强大潜力。基于深度学习的污染扩散模型，可结合气象、地形等多源数据，预测污染物传输路径，提前48小时发出预警。例如，某城市利用LSTM神经网络预测PM2.5浓度，准确率达92%。未来需开发联邦学习框架，实现跨区域数据协同训练，同时构建污染源指纹数据库，提升溯源精度。环境数据知识图谱的构建，将推动监测数据从“信息孤岛”向“知识网络”转变。通过关联分析技术，可挖掘数据背后的生态关联（如水质与土地利用、气候变化的关系）。

3.4 区块链与数字孪生技术

区块链技术为监测数据可信共享提供了解决方案。通过智能合约与分布式账本，可实现数据从采集、传输到存储的全流程不可篡改。例如，某环保企业将水质监测数据上链，监管部门、公众可通过区块链浏览器实时

验证数据真实性。需开发轻量化区块链协议,降低设备存储与计算成本,并探索跨链互操作标准。数字孪生模型是虚拟环境与现实监测的桥梁。通过数字孪生技术,可构建城市、流域等生态系统的虚拟镜像,模拟不同政策干预下的环境响应。例如,雄安新区利用数字孪生技术优化白洋淀生态补水方案,减少实地试验成本。需突破高精度建模技术,并开发物理-数字交互接口,实现虚拟模型与实际设备的实时联动。

4 技术创新应用场景与实践探索

4.1 大气环境监测

城市空气质量网格化监测系统作为大气污染防治的“神经末梢”,通过高密度部署监测站点(每平方公里1-2个),结合物联网与边缘计算技术,实时发布PM_{2.5}、臭氧、二氧化氮等污染物浓度及空间分布。北京市利用该系统精准识别污染热点区域,实施“一区一策”管控,PM_{2.5}年均浓度大幅下降。无人机监测则为工业园区VOCs排放监管提供了新手段,高光谱传感器无人机快速扫描识别特征气体浓度,助力精准执法。未来需攻克无人机续航与抗干扰技术,并开发VOCs排放源自动识别算法。

4.2 水环境监测

水质自动监测浮标结合AI算法,实现了污染预警与溯源的智能化。浮标搭载多参数传感器与AI摄像头,实时监测水体质量并识别异常。太湖流域的浮标系统通过机器学习算法,显著缩短了蓝藻暴发预警时间,并提高了溯源准确率^[4]。水下机器人为底泥污染监测提供了三维成像能力,深入水底生成污染物分布图,辅助修复方案设计。某河流治理项目中,水下机器人精准定位重金属污染深度,为清淤工程提供了科学依据。

4.3 土壤与生态监测

便携式光谱仪利用X射线荧光光谱技术,实现了土壤重金属污染的快速检测,指导修复工程高效实施。某污

染场地修复中,光谱仪显著提升了修复效率并降低了成本。eDNA技术为生物多样性监测开辟了新途径,通过采集样本中的DNA片段识别物种组成与分布。长江流域利用eDNA技术发现了多种濒危鱼类,为生态保护提供了有力支持。未来需进一步突破DNA提取与比对技术,降低检测成本,推动eDNA技术的广泛应用。

4.4 应急监测与决策支持

突发环境事件应急响应平台集成了多源数据与模拟模型,构建了“监测-预警-决策”闭环。平台融合卫星遥感、无人机、地面传感器数据,通过机器学习算法预测污染扩散路径,辅助应急资源调配。某化工泄漏事故中,平台迅速生成污染范围图,有效指导了疏散工作。数字孪生技术通过构建目标区域的虚拟镜像,结合气象、地形数据模拟污染扩散路径,提升了决策的科学性。某城市利用数字孪生模型优化了酸雨应急预案,显著减少了酸雨损失。

结语

生态环境监测技术创新是应对环境挑战、推动绿色发展的必由之路。未来需进一步强化多技术融合,突破传感器稳定性、数据融合等关键瓶颈,同时完善政策法规,保障数据安全与共享。通过产学研用协同创新,构建智能化、精准化的监测体系,为生态文明建设提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]刘洪忠,赵长昆.生态环境监测及环保技术研究[J].皮革制作与环保科技,2023,4(2):75-76,79.
- [2]张国龙.生态环境监测及环保技术探究[J].山西化工,2023,43(3):219-220.
- [3]苏振翠,王栋,孙鹏宇.生态环境监测及环保技术研究[J].清洗世界,2023,39(9):157-159.
- [4]李嘉宾.生态环境监测及环保技术发展分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(1):75-77.