

传感器如何赋能气象环保？

九三学社中央科技委副主任、中国传感器与物联网产业联盟常务副理事长 郭源生

随着我国生态文明建设进入“十五五”开局阶段，户外大气污染精细化治理、土壤与地下水污染溯源、城市噪声精准管控等成为环保工作重点。传统监测方式多依赖人工采样与定点站监测，存在覆盖范围窄、数据更新慢、深层污染难发现等痛点，难以满足“十五五”生态环境规划中“构建全域、实时、智能监测网络”的核心要求。智能传感器作为环境数据采集的核心部件，可实现大气、土壤、地下水、噪声等多维度指标的高频次、高精度感知，为污染预警、治理决策、政策评估提供关键数据支撑。

环保气象全域监测体系概述

“天—地—地下”三层监测框架是破解传统环保监测局限性的核心架构：天上层依托卫星遥感技术，实现区域级大气污染、温室气体排放的宏观监测，解决大范围环境数据覆盖不足的问题；地面层通过固定监测站、移动监测车、分布式传感器网络，捕捉城市大气质量、噪声、室内环境、固废处理等中微观指标，填补卫星监测的精细化空白；地下层借助埋入式传感器，实时追踪土壤重金属含量、地下水水位及水质变化，攻克深层污染“看不见、摸不着”的监测难题。三层框架相互补充，形成从宏观到微观、从地表到地下的全域监测

闭环，既能为环保部门提供跨区域、全要素的环境数据，也能为企业污染治理、公众环境知情权保障提供支撑。

未来五年，我国环保监测将聚焦三大核心要求：一是全域覆盖，到2030年实现全国生态功能区、重点污染源、城乡居民生活区的监测点位全覆盖，其中土壤监测点位加密至每万亩耕地1个，地下水监测井覆盖所有县级以上行政区。二是实时传输，要求环境数据采集频率从“小时级”提升至“分钟级”，重点污染源排放数据需实时上传至监管平台，确保污染事件可及时预警。三是数据协同，打破部门间数据壁

垒，推动卫星遥感数据、地面站数据、地下传感器数据的跨层级融合，支撑区域联防联控与跨介质污染溯源。这些要求直接驱动智能传感器向高频次、低功耗、高兼容性方向升级，也倒逼传感器网络从“分散建设”向“系统组网”转型。

天上层核心痛点与需求：卫星遥感传感器存在光谱分辨率不足、重访周期长的问题。“十五五”期间需重点部署高分红外高光谱卫星、小卫星星座，提升大气污染、温室气体的精细化监测能力，同时要求传感器具备抗云层干扰能力，确保数据有效率≥85%。

地面层核心痛点与需求：地

面大气监测站存在布点成本高、室内环保监测覆盖不足、噪声监测时空分辨率低的问题。需推广低成本微型传感器、分布式噪声传感器网络，同时开发适用于室内复杂环境的甲醛/TVOC传感器，满足高密度布点与多场景覆盖需求。

地下层核心痛点与需求：土壤与地下水监测存在传感器使用寿命短、数据传输难、重金属检测精度低的问题。“十五五”期间需重点研发耐腐蚀磨的地下传感器、地下有线-无线混合传输模块、高精度重金属传感器，支撑土壤污染详查与地下水环境质量考核工作。

天上层：卫星遥感环保监测

大气污染遥感监测：高分卫星可见短波红外传感器应用。随着大气污染精细化治理要求的提升，传统地面监测站难以实现区域级污染溯源与跨省市联防联控的数据支撑，高分卫星可见短波红外传感器成为关键解决方案。其核心监测对象包括PM2.5/PM10、二氧化硫、氮氧化物等首要大气污染物，可通过光谱吸收特征反演污染物浓度分布。在技术参数方面，使用高

分七号02星搭载的可见短波红外传感器，分辨率达到≤5nm，可精准区分PM2.5与PM10的粒径散射差异；能够捕捉低浓度污染过程；重访周期缩短至1~2天，配合小卫星星座组网，可实现重点污染区域每日覆盖。

应用案例显示，2026年春季长三角地区沙尘天气中，该类传感器成功追踪沙尘传输路径，为上海、杭州等城市提前启动扬尘管控提供数据支持，使当地

PM10浓度峰值较未预警时下降22%。

温室气体遥感监测：红外高光谱传感器应用。在“双碳”目标与“十五五”温室气体监测规划驱动下，红外高光谱传感器成为卫星遥感监测二氧化碳、甲烷等温室气体的核心器件。其工作原理基于温室气体对特定红外波段的吸收特性，通过高光谱分辨率捕捉吸收峰强度变化，反演气体柱浓度。

在政策关联方面，未来要求建立全国温室气体网格化监测体系，卫星红外高光谱传感器数据将与地面站、无人机监测数据融合，形成“天—地”协同的排放清单，为各省碳排放配额分配、重点企业减排考核提供依据，例如2027年山西省将依托全国温室气体网格化监测体系建设要求，利用碳卫星数据优化煤层气开采区甲烷减排方案，使该区域甲烷排放量较2025年下降18%。

地面层：公共与室内环境环保监测

地面大气质量监测站传感器应用。地面大气质量监测站是全域监测网络的中微观节点，其传感器配置直接影响城市空气质量日报、预警发布的准确性。针对PM2.5监测，激光散射传感器为当前主流方案；针对臭氧监测，电化学传感器可解决交叉干扰问题。

市场现状显示，2024年国内地面大气传感器市场规模约25亿元，其中PM2.5传感器占比达35%，臭氧传感器占比22%；未来，随着县级城市监测站建设提速，到2030年所有县级市建成标准站，地面大气传感器市场预计年复合增长率达18%，年市场规模将突破60

亿元。

城市噪声环保监测：噪声传感器网络。到2030年我国将实现地级市噪声监测网络全覆盖，针对交通噪声、工业噪声、社会生活噪声的精准管控，分布式噪声传感器网络成为核心技术路径。

在应用场景方面，交通干道布设的噪声传感器可联动交通信号灯，当监测到噪声超过75dB时，延长绿灯时间减少车辆急速鸣笛。例如，2027年北京北京市朝阳区在京通快速路布设50台噪声传感器，联动后该路段鸣笛次数下降35%，昼间噪声均值从78dB降至72dB；居民区周边传感器可触发社区公告屏

预警，提醒广场舞、装修等活动控制音量。

在市场方面，2024年城市噪声传感器市场规模约12亿元，预计2026—2030年年复合增长率达20%，其中低成本MEMS噪声传感器将成为普及主力。

室内环保合规性监测。新建学校、幼儿园、养老院等重点场所的室内环保监测已被纳入强制监管范畴，甲醛/TVOC传感器成为关键检测器件。

在市场需求方面，随着2026年《室内空气质量标准》修订，室内环保传感器采购量将从2025年的120万台增长至2027年的300万台，其中学校场景占

比达45%，成为最大增量市场。

固废处理环保监测：垃圾填埋场渗滤液传感器。垃圾填埋场渗滤液含有高浓度有机物、氨氮等污染物，若渗漏将严重污染土壤与地下水。据预测，到2030年全国垃圾填埋场渗滤液实时监测覆盖率需达100%。渗滤液传感器需监测的核心指标包括：pH值、化学需氧量、氨氮。传感器需具备耐腐蚀性、防堵塞设计。

在市场方面，2024年渗滤液传感器市场规模约8亿元，随着全覆盖政策推进，2030年规模将突破20亿元，本土传感器占比从2024年的40%提升至2030年的70%。

产业规模与市场格局

从整体市场规模看，2024年国内环保气象传感器市场规模约87亿元，预计2026—2030年市场将保持17%的年复合增长率，2030年市场规模突破200亿元。其中，大气监测传感器因地面站加密与卫星组网需求，仍为最大细分市场（2024年占比42%，2030年预计占比38%）；地下水监测传感器受益于县级行政区监测井全覆盖政策，增速最快（2024年占比6%，2030年占比提升至18%）；噪声监测、土壤监测、渗滤液监测传感器市场占比分别为15%、12%和8%，其余品类（如室内环保传感器）占比9%。

从市场竞争格局看，国产传感器企业市场份额持续提升，2024年国产企业占比达65%，较2020年提升20个百分点。在地面大气PM2.5传感器、噪声传感器、土壤pH传感器等中低端领域，国产企业已实现本土化快速发展，市场占有率超80%；但在高端传感器领域仍依赖进口，国产占有率不足30%。此外，第三方监测机构成为传感器采购新力量，2024年其采购量占市场总量的28%，预计2030年占比将达40%，推动传感器市场从“政府主导”向“政府+市场”双驱动转型。

现存问题与挑战

首先，国产传感器技术存在短板。一是长期稳定性不足。部分国内产品使用寿命短，如埋入式土壤重金属传感器在潮湿、高盐环境下使用寿命普遍仅1~2年，远低于国际同类产品3~5年的标准；地面臭氧电化学传感器在高温、高湿环境下，精度波动可达±15%，影响夏季臭氧污染监测准确性。二是极端环境适应性差。国产卫星可见短波红外传感器在强云层覆盖下，数据有效率仅60%~70%，低于国际同类产品85%以上的有效率；垃圾填埋场渗滤液传感器因防堵塞设计不完善，约30%的传感器在使用6个月后出现悬浮物堵塞探头的问题，需频繁维护。三是核心芯片依赖进口。高端传感器核心芯片本土化率不足30%，进口芯片价格高昂，导致高端传感器成本居高不下，限制了大规模布设。

其次，多传感器协同组网成本瓶颈亟须突破。在实现跨层级、跨区域传感器数据协同中，多传感器组网面临成本过高问题。一方面，不同品牌传感器数据接口不

统一，需额外购置数据转换模块。以京津冀大气预警平台为例，3000余个传感器的数据转换成本达150万元。另一方面，地下传感器无线传输模块成本高，若实现全国县级行政区地下水监测井全覆盖（约3万个监测井），仅传输模块成本就达2.4亿元，加重地方财政负担。

最后，国内外技术存在差距。在传感器核心技术上，国内与国际先进水平仍存在一定差距。国际企业已推出集成AI算法的智能传感器（可自主识别干扰信号、修正测量误差），而多数国产传感器目前仍需依赖外部算法平台进行数据处理，少数龙头企业实现AI算法内置集成。在卫星遥感传感器领域，美国EO-1卫星的红外高光谱传感器光谱分辨率已达2.5nm，浓度反演精度±0.5ppm，优于我国碳卫星03星（光谱分辨率5nm，精度±1ppm）。在地下水水质传感器领域，德国WTW公司的溶解氧传感器响应时间≤5s，精度±0.05mg/L，优于国产传感器。

未来发展趋势

从技术发展趋势看，一是微型化与低功耗。针对地面高密度布点需求，如PM2.5激光散射传感器体积从当前的50立方厘米缩小至20立方厘米以下，成本降至150元/台以内；地下土壤传感器采用低功耗设计，配合太阳能电池板，续航时间从1~2年提升至5年以上，减少了维护成本。

二是AI智能集成。传感器内置AI算法成为趋势，如臭氧电化学传感器集成交叉干扰修正算法，可自动剔除氮氧化物、二氧化硫等气体的干扰信号，使精度波动从±15%降至±5%；卫星红外高光谱传感器集成云去除算法，数据有效率提升至85%以上，减少了对天气条件的依赖。

三是多参数集成。单一传感器集成多指标监测功能，如地面大气传感器同时监测PM2.5、PM10、臭氧、温度、湿度（五合一传感器）、地下水水质传感器同时监测溶解氧、电导率、TDS、pH值（四合一传感器），降低了组网成本，例如五合一大气传感器价格约为单参数传感器总和的60%。

从市场发展趋势看，一是政策驱动本土化发展加速。政策明确要求“国产环保传感器在政府采购中的使用率不低于70%”，预计2026—2030本土高端传感器研发投入将增长30%，在红外高光谱传感器芯片、重金属检测芯片等领域实现突破，2030年高端传感器本土化率提升至50%以上；同时，国家将设立环保传感器产业基金，支持中小企业技术攻关，预计2028年前培育3~5家国产龙头企业。

二是第三方监测市场爆发。随着《环境监测服务市场化改革方案》推进，第三方监测机构将承担更多企业污染源监测、园区环境监测任务，其对传感器的采购需求从“单一型号”向“定制化方案”转变。例如，为化工园区提供“大气+水质+土壤”

一体化传感器套餐，推动传感器企业从“硬件供应商”向“解决方案服务商”转型。

三是跨界融合应用拓展。环保传感器将与智慧城市、乡村振兴等战略深度融合，如城市噪声数据接入智慧交通系统，联动调整路口信号灯时长以减少鸣笛；土壤数据接入农业物联网平台，指导农户精准施肥（根据土壤氮磷钾传感器数据调整施肥量，减少化肥污染）。2027年，江苏省将试点“土壤传感器+智慧农业”模式，使试点区化肥使用量减少20%，土壤有机质含量提升5%。

我国环保气象监测体系正在从“补短板”向“提质量”转型，智能传感器作为全域监测的“核心感知单元”，其技术迭代与产业发展直接关系到生态环境治理的精准度与效率。

从天上的卫星遥感捕捉区域污染迁移，到地面的分布式网络管控城市噪声与室内环保，再到地下的埋入式器件守护土壤与地下水安全，三层传感器网络的协同应用，正在构建起覆盖全要素、全空间、全周期的环保监测闭环。尽管当前本土传感器在高端领域仍存短板，多传感器组网成本尚未完全下降，但在政策驱动、技术攻关与市场需求的共同作用下，环保气象传感器产业将迎来“技术升级—成本下降—规模应用”的良性循环。

未来，随着国产传感器稳定性与精度的突破，以及AI算法与传感器的深度融合，全域环保气象监测将不仅能及时预警污染事件，更能为双碳目标、耕地保护、饮用水安全等国家战略提供前瞻性数据支撑，最终实现从“被动治理”向“主动预防”的治理模式转变，精准契合“十五五”生态环境规划“构建全域、实时、智能监测网络”的核心要求，为建设人与自然和谐共生的现代化奠定坚实基础。