

环境空气中二氧化硫监测现状分析与改进建议

朱荣孙

中检西北生态技术(陕西)有限公司 陕西西安 710068

摘要:我国环境空气中二氧化硫监测已形成多技术协同体系,紫外荧光法、电化学传感器法等主流技术广泛覆盖城市自动站与便携设备。但农村及背景区域监测站点密度不足,导致区域污染传输研究存在盲区;部分传感器受共存气体干扰精度下降,时空分辨率难以捕捉瞬时污染峰值。建议通过构建“空天地”一体化网络、研发抗干扰传感器、完善数据质控体系等措施,提升监测网络的空间覆盖与数据可靠性。

关键词:环境空气;二氧化硫;监测现状;改进建议

引言

二氧化硫(SO₂)是大气污染的关键指标物,其浓度变化直接反映工业排放与区域环境质量。当前,我国环境空气SO₂监测已形成覆盖城市、乡镇的多级网络,但面临农村站点密度不足、传感器易受共存气体干扰、监测数据时空分辨率不均等问题,导致污染源与精准防控存在短板。本文从技术、网络、管理三方面剖析现状,提出优化监测布局、提升设备抗干扰能力等改进策略。

一、环境空气中二氧化硫监测现状分析

(一)主流监测技术分类与原理

(1)化学分析法:作为传统监测手段,碘量法依托氧化还原滴定反应,通过测量消耗碘标准溶液的体积计算SO₂浓度,操作简便但耗时较长,适用于实验室精准分析;甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法为国家推荐标准方法,利用SO₂与甲醛形成稳定加成化合物,再与副玫瑰苯胺反应生成紫红色络合物,通过分光光度计测定吸光度定量,兼具准确性与可靠性,广泛用于环境监测实验室常规分析。(2)电化学传感器法:核心为定电位电解法,传感器内工作电极、对电极与参比电极形成电解体系,SO₂在工作电极发生氧化反应产生电流,电流大小与SO₂浓度呈线性关系,响应速度快(通常几秒至几十秒)、体积小,是便携式监测设备的核心技术,但易受NO_x、H₂S等共存气体干扰,需定期更换传感器以保证精度。(3)光学监测技术:紫外荧光法利用SO₂分子在紫外光照射下激发产生荧光,荧光强度与浓度成正比,检测限低(可达ppb级)、稳定性好,是城市空气自动监测站的主流技术;差分吸收光谱法(DOAS)通过分析气

体分子对不同波长光的吸收差异,实现对SO₂等多组分的同时监测,适用于区域环境遥感监测,可获取空间分布信息。(4)遥感与卫星监测:通过卫星搭载的紫外/可见分光光度计等传感器,接收大气对太阳辐射的散射与吸收信号,反演全球或区域尺度SO₂柱浓度分布,具有覆盖范围广、监测频次高的优势,可用于追踪火山喷发、工业排放等大范围SO₂污染事件,但空间分辨率相对较低,需结合地面监测数据校准。

(二)监测设备与自动化水平

(1)固定式自动监测站:主要配备紫外荧光法SO₂分析仪,结合温度、湿度、流量等辅助设备,实现24小时连续采样、分析与数据输出,监测数据通过专用网络实时上传至省级或国家级环境监测平台,具备数据异常报警、远程质控等功能,是评估城市空气质量达标情况的核心基础设施,目前全国地级及以上城市已实现全覆盖,但部分偏远地区站点密度仍需提升。(2)便携式监测设备:以定电位电解法为主,部分采用傅里叶变换红外光谱技术,设备重量通常在5-15kg,支持现场快速检测(检测时间1-5分钟),适用于污染源周边应急监测、移动源(如柴油车)排放追踪及监测站比对核查,但受环境温湿度影响较大,需每周至每月进行零点、跨度校准,否则易出现数据漂移^[1]。(3)物联网(IoT)与大数据应用:北京、上海、深圳等城市已试点建设智能监测网络,通过部署小型化、低功耗传感器(如电化学传感器阵列),结合物联网技术实现监测数据实时传输至云端平台,同时整合气象数据、交通流量数据等,利用大数据分析模型实现SO₂污染溯源、浓度预测与预警,部分平台已向公众开放实时监测数据查询服务,但传感器网

络的长期稳定性与数据一致性仍需技术优化。

二、环境空气中二氧化硫监测网络布局与数据质量评估

(一) 监测站点覆盖现状

(1) 城市区域：监测站点布局以功能需求为导向，重点集中于工业集中区、交通枢纽及人口密集的核心城区，形成以城市为单元的监测骨干网络。此类站点多与空气质量自动监测系统衔接，服务于城市污染日常监管与达标考核。但在部分中小城市及县域城区，受资金投入与技术能力限制，站点布设密度不足，存在监测盲区，难以全面反映城市内部不同功能区的SO₂浓度差异。

(2) 农村与背景区域：作为区域污染传输研究的关键节点，农村及背景区域的监测站点数量严重不足，布局呈现“点状分散”特征，多集中于国家级自然保护区或生态功能区，缺乏系统性覆盖。稀疏的站点密度无法构建完整的区域污染传输路径监测链条，难以精准识别跨区域SO₂迁移规律及背景浓度本底值，制约了区域联防联控决策的科学性。

(二) 数据采集与处理流程

(1) 采样频率：采用“自动连续监测+人工定期核查”的双重频率体系。固定式自动监测站按标准化规程每5分钟记录一次瞬时浓度数据，每日生成288个有效数据点，支撑小时均值、日均值等统计指标计算；人工采样则根据监测目的调整频次，常规监测每日1-4次，应急监测可加密至每小时一次，采样时段需覆盖污染高峰与低谷期，确保数据时间代表性。(2) 数据审核机制：建立“全流程多层级”质控审核体系。实验室分析环节通过同步测定标准质控样、每批样品附带10%-20%平行样，验证数据精密度与准确度；数据传输后依托自动化平台开展逻辑校验，通过设定合理阈值剔除仪器故障、停电等导致的异常值；最终由专业人员进行人工复核，对可疑数据结合气象条件、污染源排放情况综合判定，确保数据可追溯、可信任^[2]。

(三) 数据质量评估与问题

(1) 准确性问题：化学分析法的准确性高度依赖操作规范性，显色时间、温度控制等环节的细微偏差均会导致结果失真，需通过严格人员培训与流程管控降低误差；电化学传感器受交叉干扰影响显著，NO₂、CO等共存气体易引发响应信号叠加，导致浓度测定值偏高，需通过传感器筛选与算法补偿提升抗干扰能力。(2) 代表性不足：部分站点选址未严格遵循《环境空气质量监测

点位布设技术规范》，存在靠近局部污染源、受建筑物遮挡或处于地形低洼静风区等问题，未充分考虑地形阻隔、气流扩散等气象与地理因素，导致监测数据无法代表区域平均污染水平，存在“局部替代整体”的偏差风险。(3) 时空分辨率限制：传统人工采样频次较低，难以捕捉工业瞬时排放、交通高峰等引发的SO₂浓度峰值；固定式站点虽实现连续监测，但空间覆盖存在间隙，无法精准刻画污染扩散的动态过程，尤其在复杂地形区域，数据的空间连续性不足，制约了污染溯源的精准性。

三、环境空气中二氧化硫监测的改进建议与实施路径

(一) 技术升级与智能化

(1) 推广高精度光学监测技术：针对传统化学分析法操作繁琐、耗时较长的局限，逐步将紫外荧光法等高精度光学技术作为主流监测手段，优先在城市自动监测站、重点污染源监测点完成技术替换。实施中需制定分阶段推广计划，先在省级以上监测站试点应用，验证技术稳定性后向地市级、县级监测机构普及，同时配套建立光学监测设备定期校准规范，确保设备长期保持低检测限、高稳定性的技术优势。(2) 研发抗干扰电化学传感器：联合高校、科研机构与企业开展技术攻关，通过优化传感器电极材料、改进信号处理算法，增强传感器对SO₂的特异性识别能力，降低NO₂、CO等共存气体的交叉干扰。研发过程中需建立统一的抗干扰性能测试标准，对传感器在不同浓度干扰气体环境下的响应误差进行严格验证，推动研发成果转化为标准化产品，满足便携式监测设备的精度需求^[3]。(3) 构建“空天地”一体化监测网络：整合卫星遥感、无人机监测与地面监测资源，形成多层级监测体系。利用卫星遥感实现大范围SO₂柱浓度监测，掌握区域污染分布趋势；通过无人机搭载小型化光学或电化学监测设备，对地形复杂区域、高污染风险区域开展机动监测；依托地面自动站与微型监测站形成密集监测节点，三者数据实时联动，填补农村、偏远地区等地面监测盲区，提升监测网络的空间覆盖完整性。

(二) 监测网络优化

(1) 动态调整站点布局：引入大气扩散模型，结合区域地形地貌、气象条件、污染源分布数据，模拟SO₂污染传输路径与浓度分布规律，识别监测薄弱区域。基于模拟结果制定站点动态调整方案，对覆盖重叠、数据代表性差的站点进行迁移或撤销，在污染传输关键节点、

浓度高值区域科学增设监测点，确保站点布局与污染特征匹配，提升数据对区域污染状况的表征能力。(2) 提升重点区域监测密度：在工业园区、交通干道、燃煤电厂周边等SO₂排放高风险区域，加密布设微型监测站。微型监测站需具备体积小、成本低、易部署的特点，可实现对重点区域的网格化覆盖，实时捕捉局部区域SO₂浓度变化，为污染源精准管控提供高频次、高空间分辨率的数据支撑，同时与固定式自动站数据互补，完善监测网络层级。

(三) 数据质量强化管理

(1) 建立全国统一的监测数据质控体系：由国家生态环境部门牵头，制定覆盖采样、分析、数据审核全流程的标准化技术规范，明确各环节操作要求、质量控制指标与误差允许范围。统一规范质控样浓度、平行样测定比例、数据异常判定标准，要求各级监测机构严格执行，同时建立跨区域质控核查机制，定期开展全国范围内的监测数据比对与质量抽查，确保不同地区、不同机构的监测数据具有可比性。(2) 引入区块链技术确保数据不可篡改：将监测数据从采集、传输到存储的全流程纳入区块链系统，利用区块链去中心化、分布式记账的技术特性，实现每一条数据的生成时间、来源、修改记录均可追溯，杜绝数据人为篡改。同时搭建面向公众的数据查询平台，公众可通过平台实时获取经区块链存证的监测数据，提升监测数据的透明度与公众信任度^[4]。

(四) 政策与法规完善

(1) 修订《大气污染物综合排放标准》：结合当前环境质量改善需求与技术发展水平，进一步严格SO₂排放浓度限值与总量控制指标，明确不同行业、不同规模企业的差异化排放要求，对高排放行业实施更严格的管控标准。同时完善标准配套的监测要求，明确企业自行监测的数据上报频次、格式与质量责任，确保排放标准与监测工作协同衔接。(2) 推行排污许可制：将SO₂排放纳入排污许可核心管控内容，要求排污单位必须安装符合标准的在线监测设备，并与生态环境部门的监管平台实现数据实时联网。明确排污单位对监测数据的真实性、准确性负责，对未按要求安装监测设备、数据造假的行为设定严格的处罚措施，通过排污许可与在线监测

的联动，实现对SO₂排放的全过程监管。

(五) 人员培训与公众参与

(1) 定期组织监测技术人员培训：建立分层级的培训体系，针对实验室分析人员，重点开展化学分析法、光学监测技术的操作规范与误差控制培训；针对现场监测人员，强化设备校准、采样布点、应急监测等实操能力培训。培训频率设定为每年不少于2次，同时引入考核机制，将培训考核结果与人员岗位资格挂钩，确保监测技术人员具备扎实的专业能力，减少人为操作对数据质量的影响。(2) 开展环保科普教育与公众参与：通过政府官网、社交媒体、科普宣传册等渠道，普及SO₂污染危害与监测知识，提升公众环保意识。开发并推广环保移动应用，设置SO₂污染举报功能，公众可通过拍摄照片、上传位置信息，举报疑似SO₂超标排放行为，生态环境部门对举报信息及时核查处理并反馈结果，形成“政府监管+公众监督”的协同治理模式，推动全社会共同参与SO₂污染防控。

结束语

环境空气中二氧化硫的有效监测是精准治污、改善空气质量的关键基石。当前监测体系虽已取得阶段性成果，但仍需在技术迭代、网络优化、数据管理等方面持续突破。未来，随着高精度光学监测普及、“空天地”一体化网络构建及区块链等新技术的应用，监测数据的代表性、准确性与可信度将进一步提升。唯有坚持技术创新与制度完善并举，方能为二氧化硫污染长效治理提供坚实支撑，助力实现“蓝天保卫战”目标。

参考文献

- [1] 武小刚. 提高焦化尾气二氧化硫自动监控设备准确性的分析和对策[J]. 山西化工, 2022, 42(6): 193-194.
- [2] 陈星. 定电位电解法测定烟气二氧化硫的干扰因素及消除方法[J]. 石化技术, 2020, 27(4): 136-137.
- [3] 张绮纯. 环境空气二氧化硫采样及分析的质量控制[J]. 中国资源综合利用, 2021, 36(06): 142-143.
- [4] 王玮, 杜晓庆. 探讨空气中二氧化硫的两种测定方法[J]. 低碳世界, 2020, (03): 39-40.