

《环境空气温室气体光声光谱法连续自动
监测仪技术要求及检测方法》
(征求意见稿)
编制说明

《环境空气温室气体光声光谱法连续自动监测仪技术要求
及检测方法》编制组

二〇二四年八月

目录

(征求意见稿)	1
1. 任务来源	3
2. 标准制定必要性、编制依据、编制原则	3
3. 主要工作过程	5
4. 国内外相关研究及标准情况	5
5. 同类工程现状调研	6
6. 主要技术内容及说明	6
7. 标准验证实验	13
8. 标准实施的环境效益与经济技术分析	16

《环境空气温室气体光声光谱法连续自动监测仪技术要求 及检测方法》编制说明

1. 任务来源

2021年，生态环境部印发《“十四五”生态环境监测规划》，《规划》提出着眼碳达峰碳中和目标落实和绿色低碳发展需要，按照核算为主、监测为辅、国际等效、适度超前的原则，系统谋划覆盖点源、城市、区域等不同尺度的碳监测评估业务，提升碳监测技术水平，逐步纳入常规监测体系统筹实施。

2021年9月，生态环境部聚焦重点行业、城市和区域三个层面，启动开展碳监测评估试点工作并取得了一定成效。从获取的数据和比对分析情况看，碳监测在服务碳排放核算、协同校验核算法以及助力城市达峰的作用初步显现。下一步聚焦于补齐碳监测能力短板，积极推进高新技术在碳监测领域的应用，要大力支持监测装备自主研发，加大集成化、自动化、智能化、小型化监测装备研发与推广力度，加强卫星遥感遥测、便携式现场快速监测、全自动实验室等设备技术验证，促进监测技术与业务的革命性创新，实现更科学、更精准、更全面、更快速。

长期以来，高端的温室气体检测仪器市场被国外少数厂家垄断，随着国内气体检测技术的快速发展，中国企业逐渐打破了这一局面，开始在中高端市场中崭露头角。国内企业通过技术创新和自主研发，逐步缩小了与国际先进水平的差距，并在一些领域形成了具有自主知识产权的核心技术，光声光谱技术就是其中之一。北京环丁环保大数据研究院（以下简称“北京环丁”）通过调研意识到光声光谱技术的先进性和领先性，联合苏州高隆智能科技有限公司历经两年的时间完成了温室气体光声光谱在线监测仪的研发。

该产品是国内光声光谱技术应用于户外温室气体在线监测的首创，现缺乏针对该技术的明确技术规范。这种缺失不仅影响了行业内部的质量控制和产品之间的互操作性，也限制了市场秩序的规范化，使得相关技术和产品难以在市场上得到广泛认可和应用。北京环丁期望通过建立一套统一的技术标准，不仅可以促进光声光谱技术在温室气体检测领域的健康有序发展，还可以确保各类产品能够在准确性、稳定性及可靠性上达到一致的高标准。此外，这也将有助于提升中国在国际环保监测技术领域的竞争力，推动国内企业的全球化进程。

鉴于此，北京环丁特向中华环保联合会（以下简称“中环协”）申报编制《环境空气温室气体光声光谱法连续自动监测仪技术要求及检测方法》的团体标准，中环协于2024年7月通过了该项团体标准立项申请（中环联字[2024]165号），并由北京环丁大数据研究院承担该标准的编制工作，参编单位有苏州高隆智能科技有限公司、北京市生态环境监测中心、清华大学碳中和研究院、北京英视睿达科技股份有限公司。

2. 标准制定必要性、编制依据、编制原则

2.1. 标准制定必要性

2021年1月，生态环境部印发《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》（以下简称《指导意见》），明确提出“加强温室气体监测，逐步纳入生态环境监测体系统筹实施”。为了贯彻落实《指导意见》的精神，要将监测作为排放量核算的重要支撑、校核和辅助手段，初步建立业务化运行的温室气体监测评估试点网络，监测数据可重点识别行业温室气体排放规律，全面了解城市温室气体源汇特征，准确评估区域温室气体

发展趋势，逐步统计全国碳排放量，加强碳监测环节的开发与利用，提高政府应对双碳的管理水平。

近几年，我国已经通过卫星遥感、气球、飞机以及地面监测站点等手段编织了一个“天—地—空”一体化温室气体立体观测网络。在一体化观测网络中，由于受到监测站点数量及高精度仪器运行与维护成本的限制，无法做到全天候追踪温室气体变化趋势，缺少及时的预警功能，并且当前温室气体监测技术标准体系尚未完善，监测数据没有统一标准，监测体系自成一套，难以协同管理。

针对上述温室气体监测网络不够完善、温室气体数据采集率低等情况，北京环丁大数据研究院提出创新设想，建立区域地面温室气体监测网，在区域范围内进行高密度户外温室气体连续自动监测设备布设，直接对地面环境进行连续的温室气体（CO₂、N₂O、CH₄、SF₆）样品采集、处理、分析。应用大数据分析及前沿气体监测技术，搭建温室气体监测评估平台，协助地方政府及生态环保部门实现行业、城市和区域尺度碳汇潜力监测，打造具有独特的数值模式和同化反演系统。

为适用于网格化使用场景，所采用的温室气体连续自动监测设备需要达到小型化、集成化、智能化、经济性、中高精度等要求。目前市场上对于温室气体的连续自动监测设备主要为离轴积分腔输出光谱法、光腔衰荡光谱法等技术原理为主，这些技术需要严格控制检测环境的温湿度，监测设备无法直接户外露天使用，需要搭建专门的站房，为设备提供恒温恒湿的环境，并对待测气体进行冷凝或干燥等预处理，不能广泛应用于环境空气网格化监测的应用场景中。而采用光声光谱法技术可以有效解决环境干扰问题，无需站房及预处理，直接户外安装，分钟级别的检测速率真正实现对环境空气的实时监测。同时该技术还具有多气体同时检测，灵敏度高，设备稳定，维护简单等优点。

早在二十年前国外已经率先采用光声光谱技术用于环境 CO₂、CH₄ 等气体的定量监测，而国内该技术还未广泛应用于环境空气监测领域。为了推动国内温室气体光声光谱法连续自动监测技术的发展及对相关产品进行有效的质量管控，急需出台相关标准，有效规范仪器生产及使用，确保仪器的质量。

2.2. 编制依据

在本规范编写过程中，参考了《HJ76-2017 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》、《HJ654-2013 环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、O₃、CO）连续自动监测系统技术要求及检测方法》、《HJ1010-2018 环境空气挥发性有机物气相色谱连续自动监测系统技术要求及检测方法》、《HJ1012-2018 环境空气和废气总烃、甲烷和非甲烷总烃便携式监测仪技术要求及检测方法》、《HJ1045-2019 固定污染源烟气（二氧化硫和氮氧化物）便携式紫外吸收法测量仪器技术要求及检测方法》等有关标准规范与技术规定。

2.3. 编制原则

本规范在制定中应遵循以下基本原则：

- (1) 本规范编写格式应符合 JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059-2012《测量不确定度评定与表示》等规范的规定。
- (2) 本规范要与国家的节能政策、环境保护政策等相一致；
- (3) 本规范要与已颁布实施的相关标准规范进行衔接；

(4) 本规范规定的技术内容及要求应科学、合理，具有适用性和可操作性。

3. 主要工作过程

2021年1月-2022年8月，北京环丁牵头组织苏州高隆智能科技有限公司进行环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪的研发工作。

2022年9月，环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪开展参数验证实验，实验室测试在北京市计量检测科学研究院进行并取得检测报告。

2023年5月，安装3台环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪在北京市生态环境监测中心开展现场运行验证。

2023年6月，根据标准化管理委员会、民政部印发的《团体标准管理规定》和《中华环保联合会团体标准管理办法（试行）》的相关要求，组织开展团体标准《环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪技术要求及检测方法》相关工作。为保证标准编制的先进性、科学性、合理性及适应性，北京环丁组织苏州高隆智能科技有限公司、北京市生态环境监测中心、清华大学碳中和研究院、北京英视睿达科技股份有限公司成立标准工作组，参与标准的制定和修订工作。

2024年7月10日，《环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪技术要求及检测方法》团体标准申报经中华环保联合会组织专家评审，符合立项条件，批准立项。

2024年7月10日-2024年9月，针对立项评审会的专家审议意见修改《环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪技术要求及检测方法》团体标准并编写《环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪技术要求及检测方法》编制说明。

2024年10月22日为加强协会团体标准《环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪技术要求及检测方法》制定的科学性、客观性和实用性，组织召开技术审查会议，针对标准文本初稿和编制说明征求专家意见。

2024年11月8日，根据专家意见进行修改，形成《环境空气温室气体光声光谱连续自动监测仪技术要求及检测方法》（征求意见稿）。

4. 国内外相关研究及标准情况

国外光声光谱技术的应用领域非常广泛，涵盖了环境监测、工业过程控制、医疗行业、科研实验等多个领域。例如，在环境监测方面，光声光谱技术可以用于监测大气中的有害气体排放和污染物浓度；在工业过程控制中，可以用于实时监测生产过程中的气体成分和浓度变化。近些年，国内在光声光谱技术研究方面也开展了大量的工作，一些产品仪器也实现了产业化推广，在高端分析仪器测量精度、环境适应性和长期稳定性等技术指标方面都获得了很大的提升。目前国内光声光谱技术已广泛应用于电力系统变压器油中溶解气体检测，对光声光谱技术在环境检测领域上的应用提供了理论基础和技术验证。

国内外现有一些关于温室气体的气相色谱法、光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法的相关标准或指南，如环境空气温室气体及其示踪物（CO₂、CH₄、N₂O和CO）光腔衰荡光谱法连续自动监测系统运行和质控技术指南（第一版）、环境空气温室气体及其示踪物（CO₂、CH₄、N₂O和CO）连续自动监测采样系统技术要求（第一版），GB/T34415-2017大气二氧化碳（CO₂）光腔衰荡光谱观测系统、GB/T34286-2017温室气体二氧化碳测量离轴积分腔输出光谱法等，但缺少光声光谱原理的温室气体监测技术的相关标准。

5. 同类工程现状调研

目前,还没有温室气体光声光谱连续自动监测仪相关功能和性能测试方法标准,行业内缺少仪器评价的统一标准,急需出台相关标准,有效规范仪器生产及使用,确保仪器的质量。同时由于温室气体光声光谱连续自动监测仪是我国自主研发的科学仪器,理应加强标准建立工作,在此基础上可以进行行业标准、国家标准和国际标准的申请工作。

6. 主要技术内容及说明

本部标准主要技术内容包含术语和定义、原理、组成与结构、技术要求、检测方法、检测规则等。

6.1. 适用范围确定:

本文件适用于环境空气温室气体光声光谱法连续自动监测仪(以下简称“仪器”)的设计、生产和检测。

6.2. 术语和定义:

对温室气体环境空气温室气体光声光谱法连续自动监测仪和关键技术指标术语进行了定义说明。

6.3. 仪器的原理、结构与组成:

6.3.1. 原理

本标准在起草的过程中对的光声光谱的技术原理、仪器工作原理进行了解释。

6.3.1.1. 光声光谱法原理:

用一束强度可调制的单色光照射到密封于光声池中的样品上,样品吸收光能,并以释放热能的方式退激,释放的热能使样品和周围介质按光的调制频率产生周期性加热,从而导致介质产生周期性压力波动,这种压力波动可用灵敏的微音器或压电陶瓷传声器检测,并通过放大得到光声信号,这就是光声效应。若入射单色光波长可变,则可测到随波长而变的光声信号图谱,这就是光声光谱。

6.3.1.2. 工作原理:

二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷每种气体只对一定波长的光子吸收能量最大,仪器采用非相干宽光源,运用与每种气体吸收频谱对应的滤光片实现分光,气态水与二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷吸收光谱存在交叉重叠,通过增加水滤光片可以交叉补偿方式消除检测过程中水气对二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷气体检测浓度的干扰。检测过程中样气以恒定流速进入采样单元,利用二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷气体相对应波长的光波来激发被测气体产生共振,微音器将共振的声音信号转化为电信号,声音信号的强度与样品中气体的浓度呈线性关系,则可通过数据分析来得出气体浓度。

6.3.1.3. 干扰与消除

根据中国环境监测总站发布的《环境空气温室气体及其示踪物(CO₂、CH₄、N₂O和CO)连续自动监测采样系统的技术要求》,文件要求“为避免水汽对温室气体监测产生影响,需根据当地的气候条件、分析仪原理及数据质量目标要求选择除水设备。”由于光声光谱原理的分析仪可通过增设水滤光片,消除检测过程中水气对待测气体的影响,本标准对“干扰与

消除”进行了说明。

结构根据环境保护部发布的《HJ654 环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、O₃、CO）连续自动监测系统技术要求及检测方法》中对仪器的组成部分进行说明，本标准在起草过程中根据光声光谱原理的连续监测仪进行组成部分说明。

仪器由采样单元、光声光谱分析单元、数据采集与传输单元构成，如图 1 所示。

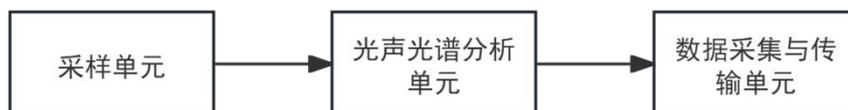


图 1 环境空气温室气体光声光谱法连续自动监测仪结构示意图

6.3.1.4. 组成

- (1) 采样单元主要由气过滤器、采样管线、采样泵、温度平衡模块、压力/流量控制模块等组成，用于环境空气中温室气体的连续自动采样。
- (2) 采样单元采样管路尽量短不超过 3m，以保证样气从室外进样口至光声光谱分析单元的驻留时间不超过 200s，材质选用耐高温、耐腐蚀和不吸附、不与二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷发生反应的材料，不影响待测气体的正常测量。
- (3) 样气在进入光声光谱分析单元之前经过温度平衡、压力控制。样气温度基本相同，压力接近于 1 个标准大气压（或为环境压力）。
- (4) 采样单元具备颗粒物过滤功能，其前端或后端具备便于更换或清洗的颗粒物过滤器，能去除粒径大于 5 μm 颗粒物，过滤器滤料的材质不吸附和与二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷发生反应。
- (5) 采样泵应为无油隔膜泵，隔膜材质选用耐腐蚀和不吸附、不与二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷发生反应的材料，推荐使用聚四氟乙烯，流量不低于 2L/min。

6.3.1.5. 光声光谱分析单元

光声光谱分析单元包括气室、滤光片、斩光盘、红外光源、微音器等部件如图 2 所示，采用光声光谱法对采集的环境空气中二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷含量进行进行准确定性和定量分析。

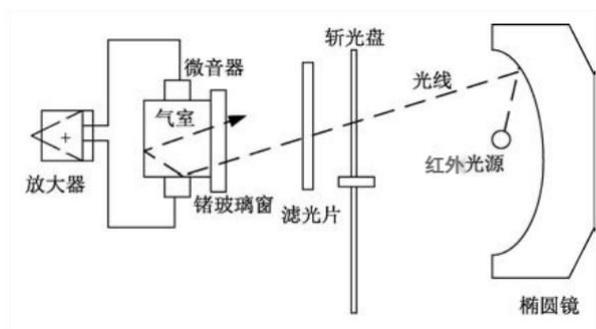


图 2 光声光谱分析单元结构示意图

6.3.1.6. 数据采集与传输单元

- (1) 数据采集与传输单元用于采集、处理、存储监测数据，并能按中心计算机指令传输监测数据和仪器工作状态信息。
- (2) 具有信号采集、存储、转换、计算功能。
- (3) 可通过仪器内置或外标的校正因子，调整线性拟合率以及截距对响应进行校正，直接输出校正后样气浓度。
- (4) 能够记录存储至少 3 个月以上的有效数据，具备查询历史数据的功能。
- (5) 内置一块可续航至少 24h 的充电电池，仪器断电后可自动保存数据；恢复供电后仪器可自动启动，恢复运行状态并正常开始工作。
- (6) 具备数字信号输出和通讯功能。
- (7) 具有中文数据采集和控制软件功能。
- (8) 具备将实时监测数据以报表或报告形式输出的功能，具有质量浓度和体积浓度单位切换功能，相关要求见标准附录 A。

6.4. 技术要求：

6.4.1. 工作条件

本标准在起草的过程中根据仪器的设计使用条件，规定了此仪器的正常工作条件。

监测仪器在以下条件中能正常工作：

- 6.4.1.1. 环境温度：-20℃~50℃；
- 6.4.1.2. 相对湿度：≤95%；
- 6.4.1.3. 大气压：80KPA~106KPA；
- 6.4.1.4. 供电电压：AC (220±22) V, (50±1) HZ。

6.4.2. 外观要求

- 6.4.2.1. 仪器表面涂、镀层无起泡、龟裂、脱落和划伤、变形等现象，金属零件无锈蚀及损伤。
- 6.4.2.2. 仪器的外壳耐腐蚀、密封性良好、防尘。仪器所有的铭牌及标志清晰、齐全、正确，且应包含以下内容：
 - a) 仪器型号；
 - b) 仪器全称；
 - c) 制造厂全称及商标；
 - d) 出厂年月及出厂编号；
 - e) 仪器输入电压、额定功率。

6.4.3. 性能指标

本标准在起草过程中，参考《HJ1012 环境空气和废气总烃、甲烷和非甲烷总烃便携式

监测仪技术要求及检测方法》、《HJ76 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》和《HJ1045-2019 固定污染源烟气（二氧化硫和氮氧化物）便携式紫外吸收法测量仪器技术要求及检测方法》中功能要求，并结合监测仪的实际运用场景（环境空气检测或固定污染源检测）制定采样监测仪、光声光谱检测分析仪、数据采集与传输设备应具备的性能指标。具体内容如下：

监测仪的测量范围为二氧化碳0~1000μmol/mol、一氧化二氮0~20μmol/mol、六氟化硫0~20μmol/mol、甲烷0~50μmol/mol，其性能指标应符合表1要求。

表 1 监测仪的性能指标要求

监测项目	二氧化碳	一氧化二氮	六氟化硫	甲烷	检测方法
检出限（μmol/mol）	≤1	≤0.05	≤0.005	≤0.05	按 HJ1012-2018 第 7.3.1 节方法执行
示值误差	≤±1%	≤±3%	≤±2%	≤±3%	按 HJ76-2017 第 7.2.3.1.1 节方法公式 16 执行
准确度	≤±1%	≤±3%	≤±2%	≤±3%	按 HJ76-2017 第 7.2.3.1.4 节方法执行
24h 零点漂移和量程漂移	≤±1%	≤±2%FS	≤±2%FS	≤±2%FS	按标准 6.4.1 方法执行
7 天零点漂移和量程漂移	≤±2%	≤±3%FS	≤±3%FS	≤±3%FS	按标准 6.4.2 方法执行
精密度	≤2%	≤2%	≤2%	≤2%	按标准 6.4.3 方法执行
平行性	≤3%	≤5%	≤5%	≤5%	按 HJ1045-2019 第 7.1.4.11 节方法执行
响应时间	≤200s				按 HJ1045-2019 第 7.1.4.4 节方法执行
分析周期	≤3min				按 HJ1012-2018 第 7.3.6 节方法执行
抗水气干扰性	具备抗水气干扰性，示值误差符合本表要求				按标准 6.4.4 方法执行

6.4.4. 安全要求

参考《GB/T15479 工业自动化仪表绝缘电阻、绝缘强度技术要求和试验方法》中相关内容，起草本标准中关于监测仪绝缘电阻、绝缘强度的标准。参考《GB/T4208 外壳防护等级（IP 代码）》中防护等级相关内容，结合仪器实际运行环境，应具备一定的防尘防水能力，本标准制定防护等级要求为：符合 GB/T4208 中对 IP55 的规定。

6.4.5. 环境适应性要求

监测仪环境适应性按《GB/T11606 分析仪器环境试验方法》中环境条件分组下的 IV 组

下进行起草,根据仪器设计时会应用于不同的环境场景,本标准起草时制定了仪器在低温、高温、恒定湿热、盐雾下的适应性。

6.4.6. 运输适应性要求

监测仪按《GB/T11606 分析仪器环境试验方法》中方法进行测试并起草制定了跌落和碰撞的适应性要求。

6.5. 检测方法

6.5.1. 试验条件

6.5.1.1. 标准物质要求

对监测仪的性能指标进行检测时,需用到零点气体和标准气体。本标准起草时,零点气体(零气)内容为:纯度 $\geq 99.999\%$ 的氮气或干扰测定的洁净空气,含有其它气体的浓度不得干扰仪器的读数;标准气体内容为:由国家计量主管部门批准的国家一、二级标准气体,二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷标准物质,其不确定度不超过 $\pm 1.0\%$ 。较低浓度的标准气体如不能满足不确定度要求,可以使用满足要求的高浓度标准气体采用等比例稀释的方式获得,等比例稀释装置的精密度应在 1.0% 以内;量程校准气体采用二氧化碳、一氧化二氮、六氟化硫、甲烷浓度在 $(80\% \sim 100\%)$ 满量程范围内的标准气体。

6.5.2. 外观检测

本标准起草时对监测仪的外观采用目视和手动检查方式。

6.5.3. 性能指标试验

6.5.3.1. 24h 零点漂移和量程漂移

待测仪器运行稳定后,通入零点气体,记录待测仪器零点稳定读数为 Z_0 ;然后通入量程校准气体,记录稳定读数 S_0 。通气结束后,待测仪器连续运行24h后(期间不允许任何校准和维护)后重复上述操作,并分别记录稳定后读数 Z_n 和 S_n 。分别按公式(1)、(2)、(4)和(5)计算待测仪器的一氧化二氮、六氟化硫、甲烷24h零点漂移 Z_d 和24h量程漂移 S_d ,按公式(3)、(6)计算待测仪器的二氧化碳的24h零点漂移 Z_s 和24h量程漂移 S_s ,然后可对待测仪器进行零点和量程校准(如果不校准可将本次零点和量程测量值作为仪器运行24h后零点和量程漂移测试的初始值 Z_0 和 S_0)。重复上述测试7次,全部24h零点漂移值 Z_d 和24h量程漂移 S_d 均应符合表1的要求。

$$\Delta Z_n = Z_n - Z_0 \dots \dots \dots (1)$$

$$Z_d = \frac{\Delta Z_n}{R} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

$$Z_s = \frac{\Delta Z_n}{S_0 - Z_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

式中:

ΔZ_n ——待测仪器运行24h后的零点变化值, $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3);

Z_0 ——待测仪器通入零点气体的初始测量值, $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3);

S_0 ——待测仪器通入量程校准气体的初始测量值, $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3);

Z_n ——待测仪器运行24h后通入同一零点气体的测量值, $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3);

R ——待测仪器的满量程值, $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3);

Z_d ——待测仪器一氧化二氮、六氟化硫、甲烷的 24h 零点漂移，%；

Z_s ——待测仪器二氧化碳的 24h 零点漂移，%。

$$\Delta S_n = S_n - S_0 \dots \dots \dots (4)$$

$$S_d = \frac{\Delta S_n}{R} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

$$S_s = \frac{\Delta S_n}{S_n - Z_n} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

式中：

ΔS_n ——待测仪器运行 24h 后的量程点变化值， $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3)；

S_n ——待测仪器运行 24h 后通入同一量程校准气体的测量值， $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3)；

S_d ——待测仪器一氧化二氮、六氟化硫、甲烷的 24h 量程漂移，%；

S_s ——待测仪器二氧化碳的 24h 量程漂移，%。

6.5.3.2.7 天零点漂移和量程漂移

待测仪器运行稳定后，通入零点气体，记录待测仪器零点稳定读数为 Z_0 ；然后通入量程校准气体，记录稳定读数 S_0 。通气结束后，待测仪器连续运行 168h 后（期间不允许任何校准和维护）后重复上述操作，并分别记录稳定后读数 Z_n 和 S_n 。分别按公式（1）、（2）、（4）和（5）计算待测仪器的一氧化二氮、六氟化硫、甲烷 7 天零点漂移 Z_d 和 7 天量程漂移 S_d ，按公式（3）、（6）计算待测仪器的二氧化碳的 24h 零点漂移 Z_s 和 24h 量程漂移 S_s ，然后可对待测仪器进行零点和量程校准（如果不校准可将本次零点和量程测量值作为仪器运行 7 天后零点和量程漂移测试的初始值 Z_0 和 S_0 ）。重复上述测试 7 次，全部 7 天零点漂移值 Z_d 和 7 天量程漂移 S_d 均应符合表 1 的要求。

6.5.3.3. 精密度

待测仪器运行稳定后，通入量程校准气体，待读数稳定后记录显示值 C_i ，使用同一浓度量程校准气体重复上述测试操作至少 6 次，按公式（7）计算一起的精密度（相对标准偏差），应符合表 1 的要求。

$$S_r = \frac{1}{\bar{C}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n - 1}} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

式中：

S_r ——待测仪器重复性，%；

C_i ——量程校准气体第*i*次测量值， $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3)；

\bar{C} ——量程校准气体测量平均值， $\mu\text{mol/mol}$ (mg/m^3)；

i——记录数据的序号（*i*=1~*n*）；

n——测量次数（*n*≥6）。

6.5.3.4. 抗水气干扰性

结合光声光谱原理的技术优势，监测仪可通过采用增加水滤光片的方法，消除水气对其它气体检测的干扰，本标准起草时，制定抗水气干扰性试验方法，内容如下：

当零点漂移、量程漂移和示值误差检测通过后，方可进行无水气干扰影响检测验证。如图 3 所示依次将混合水气的低浓度、中浓度、高浓度 3 种浓度的标准气体通向待测仪和湿度测量仪器，待测仪器读数稳定后分别记录待测仪器测量值和湿度测量仪器显示值，再通入零

点气体，重复测试 3 次。计算不同湿度下，3 种浓度标准气体示值误差，全部示值误差均符合表 1 的要求。

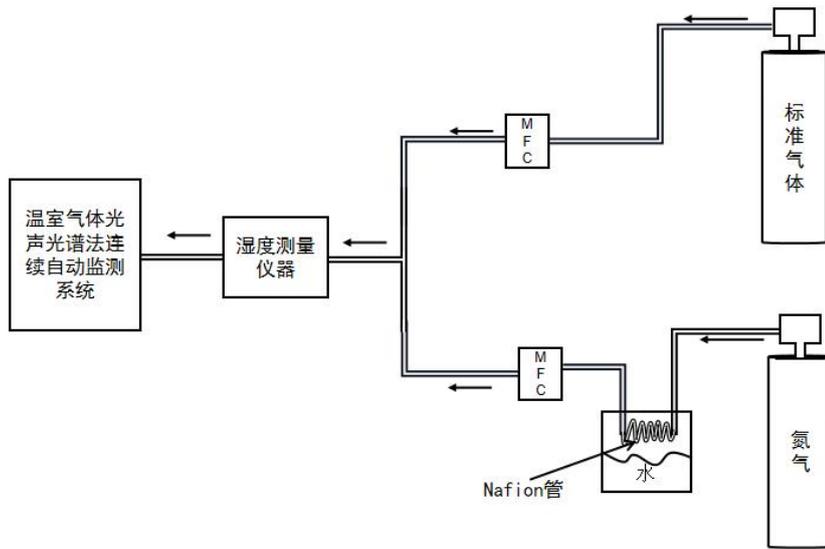


图 3 抗水气干扰实验原理图

6.6. 质量保证与质量控制

6.6.1. 量值溯源和传递要求

6.6.1.1. 用于量值传递的工作计量器具，如流量计、气压表、压力计、温度计等，应按计量检定规程和校准规范的要求进行周期性检定。

6.6.1.2. 标准气体要求参见本文 6.2.2。

6.6.2. 校准与核查

6.6.2.1. 仪器使用期间，至少每半年核查一次设备的零点漂移、量程漂移，如仪器长期未使用（超过半年），使用前也应核查设备的零点漂移、量程漂移。核查结果应满足表 1 中性能指标要求，否则应及时维护或检修仪器。

6.6.2.2. 运行状态不稳定的仪器工作气校正周期频次应加密，运行状态稳定的仪器工作气校正周期频次可适当降低。

6.6.2.3. 当仪器重要零部件维修或更换后，应重新进行计量校准，使用前应对设备进行性能指标检查，满足表 1 的各项要求。

6.6.3. 仪器校正要求

仪器校正后零点漂移和量程漂移应满足表 1 中 7 天零点漂移和量程漂移的性能要求。

6.7. 注意事项

6.7.1. 仪器应在适当的环境温度、湿度、防爆等条件下使用。

6.7.2. 测定前应检查采气管路，确保采样管路的畅通，必要时更换滤料。

- 6.7.3. 采样流量不应低于仪器规定的流量下限。
- 6.7.4. 测试前应检查仪器温控系统是否正常工作，测试环境是否达到仪器预设温度且处于稳定状态。
- 6.7.5. 采样分析过程中要保证电源连续稳定供应。
- 6.8. 检测项目
- 6.8.1. 检验分类

产品检验分出厂检验和型式检验两种，按表 2 中的规定进行。

表 2 检验项目一览表

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验
1	外观检查	5.2	6.3	√	√
2	最低检出限	5.3	5.3	√	√
3	示值误差			√	√
4	准确度			√	√
5	24h 零点漂移和量程漂移			√	√
6	7 天零点漂移和量程漂移			√	√
7	响应时间			√	√
8	精密度			√	√
9	仪器分析周期			√	√
10	仪器间平行性			√	√
11	抗水气干扰性			√	√
12	绝缘电阻			5.4.1	5.4.1
13	绝缘强度	5.4.2	5.4.2	—	√
14	防护等级	5.4.3	5.4.3	—	√
15	低温试验	5.5.1	5.5.1	—	√
16	高温试验	5.5.2	5.5.2	—	√
17	恒定湿热试验	5.5.3	5.5.3	—	√
18	盐雾试验	5.5.4	5.5.4	—	√
19	跌落试验	5.6.1	5.6.1	—	√
20	碰撞试验	5.6.2	5.6.2	—	√
注：“√”表示规定必须做的项目，“—”表示规定可以不做的项目					

7. 标准验证实验

为了验证本标准的可行性，标准编制组对温室气体光声光谱连续自动监测仪开展了验证实验。测试数据来自苏州高隆智能科技有限公司 GL-1500 型光声光谱仪，测试地点为北京和上海等地。

实验室测试在北京市计量检测科学研究院进行，根据本标准性能指标中的检测方法的主要开展示值误差、最低检出限、相应时间、分析周期、一周漂移测试等多项检测，检测结果符合标准要求，具体检测结果如下：

7.1. 示值误差实验比对结果:

检测项目	标准值 $\mu\text{mol/mol}$	测量值 ($\mu\text{mol/mol}$)			技术要求 $\mu\text{mol/mol}$	示值误差%	是否达标
		1	2	3			
CO ₂	199.8	201.209	198.617	200.723	±1%	0.4%	符合
	499.5	497.895	503.805	502.853			符合
	799.2	803.033	799.471	802.089			符合
N ₂ O	3.98	4.0221	4.065	4.124	±3%	2.3%	符合
	9.95	10.233	10.399	10.073			符合
	15.92	15.609	16.27	15.729			符合
SF ₆	3.98	3.976	3.923	3.914	±2%	-1.5%	符合
	9.95	9.863	9.908	9.922			符合
	15.92	15.633	15.627	15.792			符合
CH ₄	9.96	10.453	9.927	10.264	±3%	2.6%	符合
	24.9	25.293	25.553	25.759			符合
	39.84	39.634	38.934	39.92			符合

7.2. 灵敏度实验比对结果:

检测项目	技术要求		实测结果	是否达标
仪器最低检出限	CO ₂	≤1 $\mu\text{mol/mol}$	0.58 $\mu\text{mol/mol}$	符合
	N ₂ O	≤0.05 $\mu\text{mol/mol}$	0.04 $\mu\text{mol/mol}$	符合
	SF ₆	≤0.005 $\mu\text{mol/mol}$	0.004 $\mu\text{mol/mol}$	符合
	CH ₄	≤0.05 $\mu\text{mol/mol}$	0.04 $\mu\text{mol/mol}$	符合
响应时间	CO ₂	≤200s	178.48s	符合
	N ₂ O		178.29s	符合
	SF ₆		178.36s	符合
	CH ₄		178.70s	符合
分析周期	CO ₂	≤3min	178.14s	符合
	N ₂ O		178.16s	符合
	SF ₆		178.07s	符合

	CH ₄		177.98s	符合
--	-----------------	--	---------	----

7.3. 精准度与稳定性实验比对结果:

检测项目	技术要求		实测结果	是否达标
一周零点漂移	CO ₂	±2%	0.0%	符合
	N ₂ O	±3%FS	-0.1%FS	符合
	SF ₆		0.0%FS	符合
	CH ₄		0.0%FS	符合
一周量程漂移	CO ₂	±2%	1.2%	符合
	N ₂ O	±3%FS	2.5%FS	符合
	SF ₆		1.9%FS	符合
	CH ₄		2.5%FS	符合
精密度	CO ₂	≤2%	0.3%	符合
	N ₂ O		0.3%	符合
	SF ₆		0.5%	符合
	CH ₄		1.5%	符合
稳定性	CO ₂	±3%/6h	1.8%/6h	符合
	N ₂ O	±5%/6h	2.3%/6h	符合
	SF ₆		2.3%/6h	符合
	CH ₄		2.3%/6h	符合
浓度变化影响	CO ₂	±5%	0.9%	符合
	N ₂ O		2.2%	符合
	SF ₆		-1.8%	符合
	CH ₄		-2.3%	符合

7.4. 平行性和温湿度实验比对结果:

检测项目	技术要求		实测结果	是否达标	
平行性	CO ₂	≤3%	0.6%	符合	
	N ₂ O	≤5%	1.4%	符合	
	SF ₆		1.0%	符合	
	CH ₄		1.8%	符合	
高温试验	CO ₂	50℃持续2h, 示值误差	±1%	0.3%	符合
	N ₂ O		±3%	-1.3%	符合
	SF ₆		±2%	0.5%	符合
	CH ₄		±3%	-2.0%	符合
低温试验	CO ₂	-20℃持续2h, 示值误差	±1%	0.9%	符合
	N ₂ O		±3%	-1.1%	符合
	SF ₆		±2%	1.9%	符合
	CH ₄		±3%	2.3%	符合
恒定湿热试验	CO ₂	40℃、相对湿度93%, 持续2h, 示值误差	±1%	-0.8%	符合
	N ₂ O		±3%	-1.2%	符合
	SF ₆		±2%	-0.9%	符合
	CH ₄		±3%	-1.5%	符合

8. 标准实施的环境效益与经济技术分析

随着我国经济发展和人口增长,大量的温室气体排放引发了严重的气候变化和环境问题,对居民生活和自然生态造成了巨大的影响。本标准的实施,为建立高密度、低成本、中精度的全国温室气体地面监测网提供了一种可行思路,通过区域网格化地布设温室气体光声光谱连续自动监测仪对地面环境空气二氧化碳、甲烷等进行实时定量分析,结合反演模式“自上而下”核算区域碳汇源及变化状况,为政府部门贯彻和实施国家双碳战略提供了依据,有助于政府部门制定相关政策和进行有效监管。

(1) 有助于对区域范围内碳排放情况进行实时监测：

与已有的背景站和城市站点监测相比，采用温室气体连续自动监测仪来管控地面温室气体，无需设立采样塔及站房，可直接安装于离地面高度 3-20 米的立柱上，覆盖的面积更广，分钟级别的监测频率，可以获取海量可靠的大数据，有助于建立基础数据库。

(2) 提高温室气体排放数据的采集率和准确度，为制定更有效的环境保护政策提供科学依据。

标准对监测仪的监测精度提出了要求，保证了监测数据的可靠性和其他站点的可比性。规范的监测仪安装与验收、运行与质控技术要求，确保了监测设备的高质量运行，提升了整体环境管理水平。通过网格化监测站点的布局，实现了对不同区域温室气体的全面监测，有效识别和管理局部排放源，为制定更有针对性的治理措施及管控手段提供有力抓手。

(3) 促进温室气体减排技术的研究和应用，推动低碳经济的发展和环境的改善。

对特定区域，特定产业做连续不间断的监测，所得到的数据可以促进构建绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳、安全高效的能源体系，推动产业优化升级。

(4) 推动温室气体监测技术的创新，促进行业良性竞争

随着双碳战略的实施和推进，加强温室气体监测技术的发展和成为当务之急，本标准作为国内外首个采用光声光谱技术进行温室气体连续自动监测的技术规范，鼓励企业和研究机构开发新技术，推动相关产业链的发展，创造经济增长点，良性的行业竞争能够激发企业优化成本结构，提高产品和服务质量，增强国际竞争力。