

附件 1

ICS xxxx

xx.xx

T/CSMT

团 体 标 准

T/CSMT-00*—20xx

(温室气体排放测量方法 可移动差分吸收
激光雷达法)

(Greenhouse Gas Emissions Measurement Method—Mobile Differential
Absorption LiDAR Method)

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国计量测试学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测量目标	2
5 测量原理及系统组成	3
5.1 测量原理	3
5.2 测量系统组成	4
5.3 工作条件	5
5.4 方法种类	5
5.5 性能指标	5
6 测量方法	6
6.1 测量准备	6
6.2 测量计划制定	6
6.3 测量计划实施	6
6.4 结果表示	6
7 测量报告表述	7
7.1 结果计算	7
7.2 报告格式参考附录 A	7
8 测量数据与质量控制	7
8.1 测量数据要求	7
8.2 数据质量控制要求	7
9 系统维护要求	8
9.1 系统标校	8
9.2 质量控制文件	8
附录 A	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国计量测试学会提出并归口。

本文件主要起草单位：郑州计量先进技术研究院、中国计量科学研究院、中国电子信息产业发展研究院。

本文件参加起草单位：中国环境监测总站、广东省计量科学研究院、内蒙古自治区计量测试研究院、山东省计量科学研究院、鄂尔多斯市检验检测中心、东营市河口区市场监督管理局、聊城市检验检测中心、成都市环境监测站、福建空天碳智慧科技有限公司、福建瑞碳光电精密仪器有限公司。

本文件主要起草人：臧金亮、汪洪军、林鸿、郑明月、武亮、付博亚、周军红、岳远朋、郭波、王星、罗江泽、张海港、岳建疆、章振、余赛芬、胡宇鑫、宋海宾、马路遥、杜凯伦、张文斌。

本文件为首次制定。

温室气体排放测量方法 可移动差分吸收激光雷达法

1 范围

本文件规定了基于差分吸收激光雷达技术方法的温室气体排放测量的定义、测量目标、测量原理及系统组成、测量方法、测量数据与质量控制和系统维护要求。

本文件适用于企业或区域温室气体排放速率的直接测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 34415-2017 大气二氧化碳(CO₂)光腔衰荡光谱观测系统

GB/T 34287-2017 温室气体 甲烷测量离轴积分腔输出光谱法

DL/T2376—2021 火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

温室气体 greenhouse gas

指任何会吸收和释放红外线辐射并存在大气中的气体，本文件中温室气体指二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）。

3.2

差分吸收激光雷达法 differential absorption lidar method

系统向大气中发射两个或多个波长的激光束，这些波长应处于目标气体的吸收光谱的吸收峰和吸收谷，根据两个或多个波长的回波信号进行差分计算激光共同路径上的目标气体的浓度。

3.3

距离分辨浓度分布 distance-resolved concentration distributions

沿激光测量路径间隔一定距离就会给出目标气体的浓度分布。

3.4

排放速率 emission rate

排放速率是指单位时间内向大气中排放的气体的质量。

3.5

系统盲区 system blind region

在离激光雷达非常近的一段距离范围内，激光器发射的激光光束不在接收视场内，接收望远镜接收不到大气颗粒物及分子的后向散射光，接收到的是杂散光这一区域称为激光雷达的盲区。

3.6

标准气室 standard gas cell

在本文件中，标准气室是用于填充标准气体的密封容器，两侧端口有通过激光的光学玻璃窗口。

4 测量目标

利用差分吸收激光雷达系统结合气象参数测量子系统，实现对目标区域温室气体排放（包含有组织排放和无组织排放）的直接的测量。通过温室气体空间浓度分布测量和气象信息同步测量，获得目标区域的温室气体排放速率，严格控制数据质量、满足基于测量学方法对企业和区域温室气体排放量的测算需求。

5 测量原理及系统组成

5.1 测量原理

5.1.1 温室气体排放速率测量原理

温室气体排放测量原理是通过差分吸收激光雷达系统测量获得目标区域温室气体空间浓度分布，同时利用气象测量系统获得目标区域风速风向空间分布，将温室气体空间浓度分布与风速风向分布信息结合，获得目标区域温室气体总体排放速率。测量原理如图 1 所示，其中温室气体空间浓度分布是利用可移动差分吸收激光雷达系统测量获得距离分辨浓度廓线，并通过测量光束的垂直扫描，测量获得目标区域垂直截面二维浓度分布。气象子系统同时测量获得目标区域风速风向空间分布，利用公式（1）获得目标区域温室气体排放速率数值。

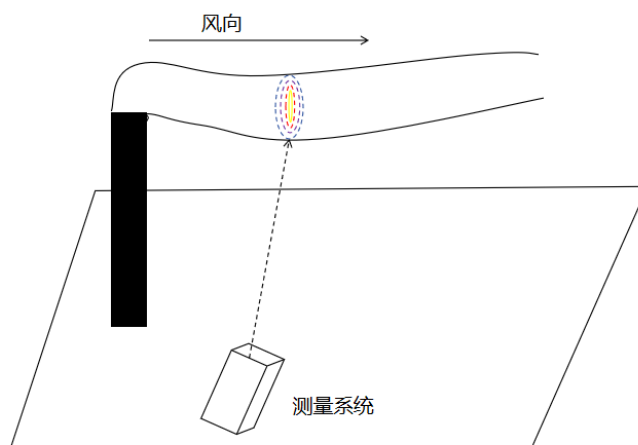


图 1 差分吸收激光雷达测量示意图

$$F = \sum_{i=1}^j C_i \cdot V_i \cdot D_i \cdot \sin \theta \quad (1)$$

式中：

F ——排放速率；

C_i ——扫描截面第 i 个点平均浓度；

V_i ——浓度 C_i 同一位置上平均风速；

θ ——扫描截面与风向的夹角；

D_i ——单位面积。

5.1.2 差分吸收激光雷达测量原理

差分吸收激光雷达技术将激光脉冲辐射传输到大气中，并测量由大气分子和气溶胶散射返回到系统的光能量获得目标气体的浓度分布廓线。差分吸收激光雷达在测量时发射两束波长十分接近的脉冲激光，这两个波长其中的一个位于待测气体吸收光谱的吸收峰处，激光束穿过待测气体时会被吸收，称为“在线波长”（“on-line”），另一个位于待测气体吸收光谱的吸收谷处，激光穿过待测气体时不被吸收或吸收很少，称为“离线波长”（“off-line”）。由于两个波长非常接近，大气中除待测气体吸收外的可变性参数（例如，散射介质和干扰化合物的差异）对于两个波长影响几乎相同。因此在返回信号中两个波长的差异是由于待测气体的吸收引起，可通过计算发射与接收信号之间的时间差，

就可以获得距离 z 处的目标气体浓度：

$$C = -\frac{1}{2 \times \Delta\alpha} \frac{d}{dz} \ln \left(\frac{S(on, z)}{S(off, z)} \right) \quad (3)$$

式中：

C 为待测气体的浓度；

$\Delta\alpha$ 为在线波长和离线波长的差分吸收系数；

S_{on} 和 S_{off} 为在线波长和离线波长的返回信号。

5.1.3 气象参数测量原理

气象参数测量主要获得目标区域风速风向空间分布信息。气象参数测量方法可以采用多普勒测风激光雷达法，也可以分布采样拟合法。

a) 多普勒测风激光雷达原理

多普勒测风激光雷达基于多普勒效应，利用激光束发射器发射一束激光束向大气中传播，当激光束与空气中的气溶胶粒子或颗粒物相互作用时，部分激光能量会被散射回到接收器。在接收到回波信号之后，利用频谱分析的方法解析回波信号，并提取出风场信息。

b) 分布采样拟合

分布采样拟合法在垂直方向不同高度部署多个高精度风速风向传感器，通过风速风向传感器对近地面不同高度的风速风向信息进行采样测量，利用不同高度风速测量数据拟合垂直风速廓线分布，风向信息采用距离目标区域最接近高度的风速风向传感器的平均值表示，垂直方向风廓线拟合方法采推荐使用如公式（2）所示的基于对数律的分布采样拟合法，也可以根据实际情况进行修正：

$$u(z) = a \times \ln(z) - b \quad (2)$$

式中：

$u(z)$ 为高度为 z 的风速；

a 和 b 为风廓线拟合系数。

5.2 测量系统组成

温室气体排放测量差分吸收激光雷达系统由激光发射单元、扫描单元、接收单元、光电转换和信号处理单元、数据采集、控制和分析单元、气象测量单元和其他辅助单元组成。

5.2.1 激光发射单元

激光发射单元是将激光进行准直、扩束和反射到扫描单元，包括激光器、扩束器和反射镜。

5.2.2 扫描单元

扫描单元是能够将激光指向目标区域的设备，具备水平 360° 和垂直 180° 旋转的功能，通常是由两个较大的反射镜和相关的机械设备组成。

5.2.3 接收单元

接收单元是用来收集微弱的散射光信号到探测器上，是由接收望远镜和反射镜组成。

5.2.4 光电转换和信号处理单元

光电转换和信号处理单元是将收集的光信号转换为电信号，并进行放大和去噪，主要由光电探测器、放大器和滤波器组成。

5.2.5 数据采集、控制和分析单元

数据采集、控制和分析单元是对电信号进行采集、处理和分析，并对整个系统各单元之间协同运行进行控制，主要由数据采集模块、计算机、控制和分析软件组成。

5.2.6 气象测量单元

气象测量单元是采集现场测量时气象信息的设备，主要由超声波风速风向仪、数据采集器和气象杆组成。

5.2.7 其他辅助单元

其他辅助单元是能够支撑测量系统正常运行的设备，主要包括电力、网络通讯、冷却设备等组成。

5.3 工作条件

5.3.1 可移动差分吸收激光雷达系统应可以在外部（-10-40）℃条件下工作。

5.3.2 可移动差分吸收激光雷达的光学系统内部应保持相对封闭、相对湿度≤50% RH，温度控制在（20±1）℃ 远离震动源。

5.3.3 可移动差分吸收激光雷达系统监测地点应处于开阔无明显遮挡区域。

5.4 方法种类

5.4.1 本方法可用于快速部署目标区域的非接触远程测量。

5.4.2 本方法适用于短期内快速核查测量，以一段时间内测量平均值评估目标区域温室气体整体排放情况。

5.5 性能指标

5.5.1 差分吸收激光雷达性能指标见表 1

表 1 差分吸收激光雷达性能指标

序号	技术参数	具体要求
1	波长数量（单一气体测量）	≥ 2
2	时间分辨率	1min-10min
3	距离分辨率	3.75m-15m
4	测量不确定度	≤ 30%
5	有效探测距离	≥ 500m
6	探测盲区	≤ 100m
7	探测灵敏度	CH ₄ : 30 (ppb·km) CO ₂ : 1 (ppm·km)

5.5.2 超声波风速风向仪性能指标见表 2

表 2 超声波风速风向仪性能指标

序号	技术参数	具体要求
1	测量范围	风速：0.1 m/s - 60 m/s 风向：0 - 359°
2	分辨率	风速：0.01 m/s 风向：1°
3	精度	风速：±3%（40 m/s）

		风向：±3°（40m/s）
--	--	---------------

6 测量方法

6.1 测量准备

6.1.1 对测量区域进行环境调研和排放类型分析。

6.1.2 初步识别潜在的干扰气体，根据历史数据和天气预报对风场进行评估，确定差分吸收激光雷达系统的测量位置和气象测量系统位置，确认系统维护和校准状态。

6.1.3 为要测量的目标气体进行激光器参数的相关设置。

6.2 测量计划制定

6.2.1 根据盛行风向和现场风向情况确定测量区域。从测量范围、下风向等技术角度和安全限制、停车和潜在障碍物等现场安全角度确定合适的测量位置，如图 2 测量示意图。

6.2.2 根据企业信息，确定可能的排放源区域和种类；识别潜在干扰物，制定可行的测量计划。

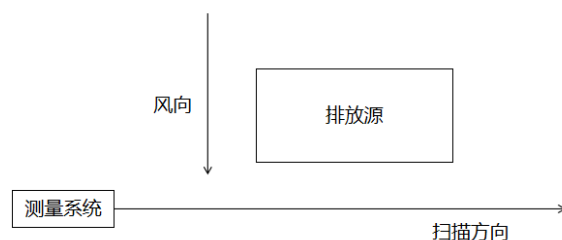


图 2 差分吸收激光雷达系统测量示意图

6.3 测量计划实施

6.3.1 按照测量计划开展测量，考虑大气条件的变化的可能性，应及时调整测量位置。

6.3.2 测量时记录测量位置、气象站位置和测量信息。

6.3.3 按测量计划完成规定的测量任务，测量过程中监视回波信号的质量、检测器等测量信息。

6.4 结果表示

6.4.1 测量完成后绘制温室气体二维浓度图、气象图和排放速率，标注测量区域名称、时间、图例。

6.4.2 可根据工作需要，与地图结合并标注重要参数信息。

7 测量报告表述

7.1 结果计算

测量结果计算应遵循 5.1.2 节和 5.1.3 节测量原理进行空间浓度分布和气象分布计算，并根据 5.1.1 节测量原理计算出排放速率。

7.2 报告格式参考附录 A

8 测量数据与质量控制

8.1 测量数据要求

8.1.1 测量数据文件应包含差分吸收激光雷达系统数据文件、气象数据文件和可能手动记录的数据文件。

8.1.2 测量数据资料应按照测量次序和测量日期命名，并保存在系统规定的文件目录下，文件目录按照测量站点命名。文件应在 24 小时内备份在外部储存介质上。

8.1.3 数据采集要求：

- a) 气象信息测量时间应同步或覆盖差分吸收激光雷达浓度测量时间；
- b) 应至少两个不同高度的风速传感器来描述风的垂直分布；
- c) 差分吸收激光雷达扫描范围应覆盖烟羽整体，至少保证在烟羽下方和上方各有 1 条扫描线；
- d) 排放速率测量应不少 3 次重复测量。

8.2 数据质量控制要求

8.2.1 为提高差分吸收激光雷达测量准确性，激光雷达系统应配置标准气室测量单元对激光系统参数进行在线监测，标准气室测量单元如图 3 所示，使用分光镜导出部分测量激光通过标准气室，在线监测激光通过标准气室前后的能量差值是否符合该波长下吸收光谱参考值。

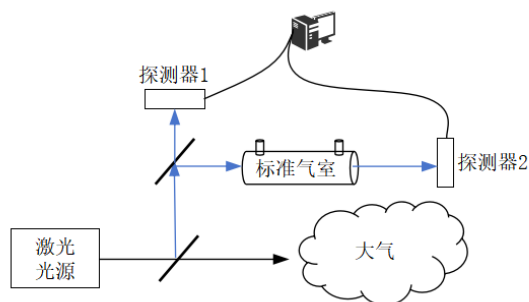


图 3 标准气室测量示意图

8.2.2 标准气室填充的气体应使用可追溯至国家计量机构或国际标准的参考气体或混合气体。

8.2.3 标准气室压力应与被测气体周围环境相同。

8.2.4 测量期间应每天至少一次激光系统光谱参数检查，确保测量系统光谱参数设置正确。

9 系统维护要求

9.1 系统标校

应对整体测量系统每年标定一次，标定应由专业人员操作，确认满足 5.5 指标性能要求。可开展正常使用。

9.2 质量控制文件

应建立完善的质量控制文件集，不限于标准操作规范、日常运行维护与质量控制规范、维修记录、校准记录等。

附录 A

XXX 温室气体排放测量报告				
测量气体种类	XX	测量编号	XX-01	
测量地点/经纬度		测量日期	XX	
标校日期(自标校一年内有效)	XX	测量方法	差分吸收激光雷达法	
质量控制参数				
标准气体	XX	浓度	XX	
标气来源	XX 公司/中国计量科学研究院	标准气室规格	XXmm	
测量数据				
序号	排放速率 1	排放速率 2	排放速率 3	平均排放速率
1				
2				
总体温室气体排放结果				