**中华人民共和国国家计量技术规范**

《温室气体无组织排放监测系统校准规范》

实验验证报告

《温室气体无组织排放监测系统校准规范》编写组

2025年4月

目 录

一、实验目的 1

二、温室气体无组织排放监测系统 1

三、实验条件 2

3.1 环境条件 2

3.2 实验地点 2

3.3 标准装置 2

四、计量特性技术指标 3

五、实验过程 3

5.1 校准前准备 3

5.2 示值误差 4

5.2.1 排放源定位示值误差 4

5.2.2 温室气体排放量示值误差 5

5.3 示值重复性 6

5.3.1 排放源定位示值重复性 6

5.3.2 温室气体排放量示值重复性 6

六、实验数据 7

七、结论 8

# 一、实验目的

温室气体无组织排放监测系统主要用于监测区域、园区、企业等范围的温室气体无组织排放源的位置和排放速率。该系统组件包括采样单元、温室气体浓度监测单元、气象监测单元、数据采集与控制单元、计算单元和其他辅助单元等，系统测定目标区域内无组织排放源温室气体浓度和气象信息，监测数据通过控制单元传输至计算单元，得到排放源的位置（经纬度信息）和排放量的测量结果。

本实验详细介绍了基于可控释放装置校准温室气体无组织排放监测系统的原理和方法，辅助理解校准规范的内容。本实验的目的是为了验证该规范校准方法和计量特性指标的适用性和可靠性，为此，编制组基于可控释放装置对温室气体无组织排放监测系统——差分吸收激光雷达测量系统进行了全面实验验证。

# 二、温室气体无组织排放监测系统

本实验温室气体无组织排放监测系统为差分吸收激光雷达系统（Differential Absorption Lidar, DIAL），该系统采用先进的红外遥感探测技术，包括激光单元、气室单元、出射光路单元、接收望远镜和数据采集单元五部分组成。DIAL交替发射两束波长十分接近的激光，一束波长位于待测气体分子的吸收峰上，能够对气体强烈吸收作用，一束波长位于待测气体吸收谷或吸收峰外，对气体几乎或很少的吸收作用，根据两束激光返回信号，可计算出激光雷达不同距离处气体浓度。

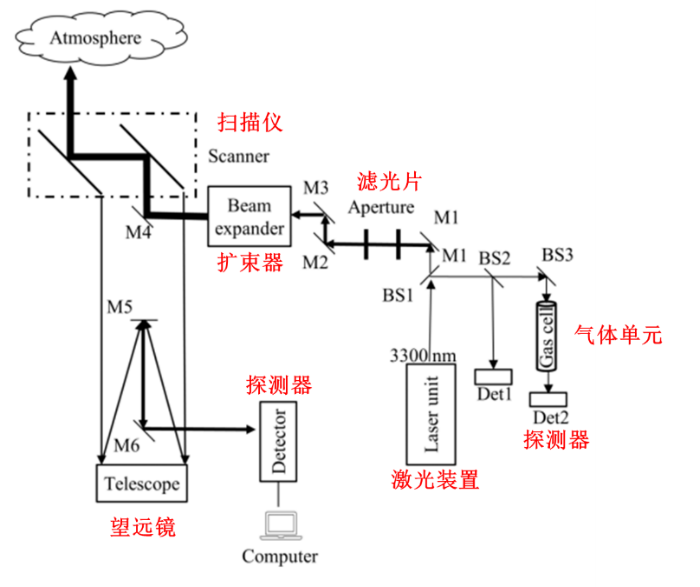


图1 差分吸收激光雷达红外系统框图（M1-M6 反射镜 BS1-BS3 凹面镜）

DIAL可在不中断正常的生产活动的情况下，远程跟踪和量化复杂排放源的排放情况，精准锁定主要排放源空间位置，实现温室气体的空间分布实时监测和排放量的量化评估。

本实验用DIAL测量参数如下：

**表1 差分吸收激光雷达系统主要技术参数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **参数** | **参数值** | **单位** |
| 1 | 脉冲宽度 | 9 | ns |
| 2 | 重复频率 | 10 | Hz |
| 3 | 激光能量 | 15 | mJ |
| 4 | 在线波长（on -line） | 3416.8 | nm |
| 5 | 离线波长（off-line） | 3417.7 | nm |
| 6 | 望远镜直径 | 500 | mm |
| 7 | 温室气体排放量测量范围 | 0 ~18 | kg/h |

# 三、实验条件

## 3.1 环境条件

天气情况，大气可见度好。温度：22.6℃，湿度：52%RH。

## 3.2 实验地点

郑州市高新区野外场地一空旷区域。

## 3.3 标准装置

可控释放装置（Controlled Release Facilities，CRF）为本实验的标准装置，该装置可根据需要按比例混合多种气体，并以设定的速率排放到空气中，从而模拟无组织排放源，为校准实验提供参考值。

CRF由标准气体、气体质量流量控制器、释放装置、控制系统等模块组成。气体质量流量控制器可以根据设定流量发送的电信号自动控制气体流量，不受使用条件和气压的影响。本实验采用CRF可同时控制四个独立的排放源，每个排放源均由气体质量流量控制器构成，通过控制系统精确控制标准气体的流量，监测仪器状态，实时记录存储数据，便于后期分析；释放装置的排放高度、水平方向、口径等可调节，以模拟现实场景中不同特性排放源，支撑无组织排放监测的计量校准。本实验采用的CRF最大的排放速率为50kg/h。

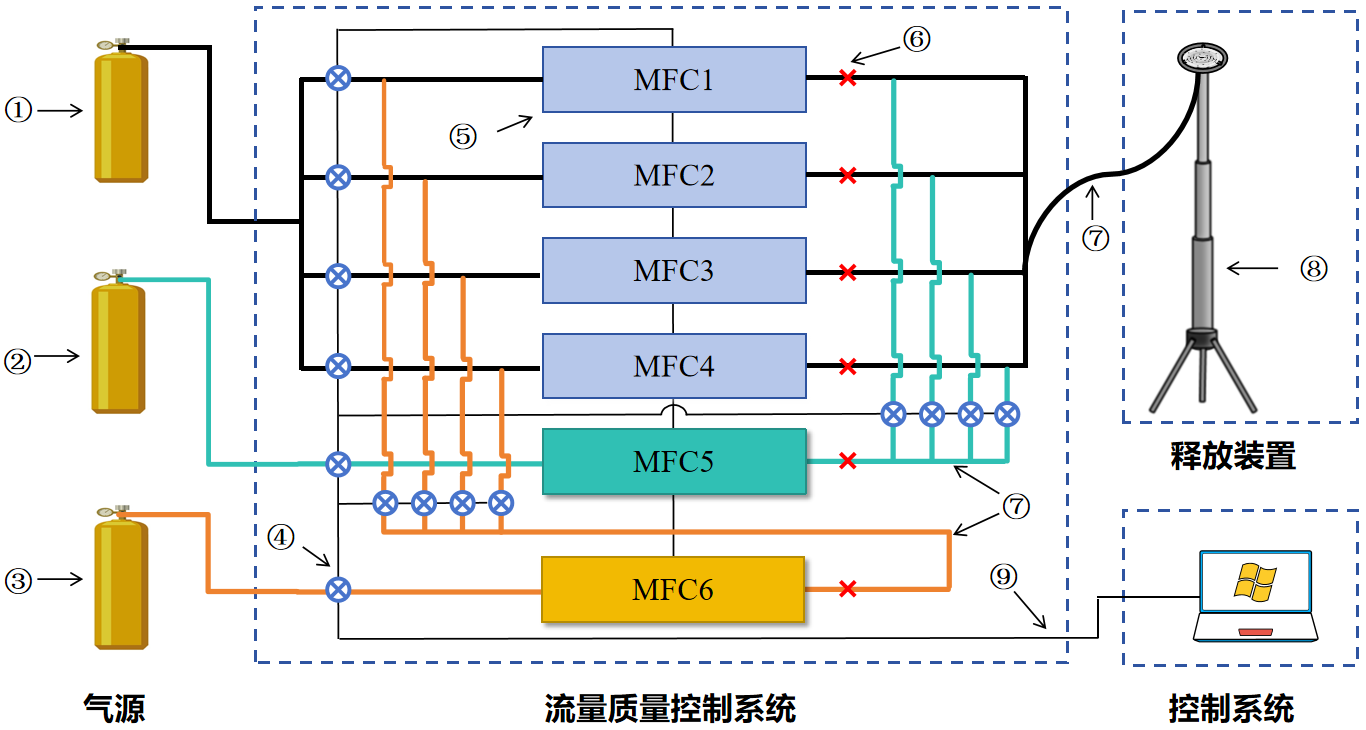


图2可控释放装置示意图（①标准气体源；②干扰气体源；③吹扫气体源；④电磁阀；⑤质量流量控制器（MFC），MFC1-MFC4为4个独立标准气体质量流量控制器，MFC5为干扰气体质量流量控制器，MFC6为吹扫气体流量质量控制器；⑥止回阀；⑦输送气体的橡皮管道；⑧升降杆；⑨控制信号线。）

除了可控释放装置，本次实验用到的校准装置还包括GPS和甲烷标准气体，其中甲烷标气纯度＞99.9%，可控释放装置和GPS均经过校准，计量性能符合该规范的要求。具体如下：

**表2 计量标准装置技术指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **设备名称** | **技术指标** |
| 1 | 可控释放装置 | 排放量不确定度 2%（*k*=2） |
| 2 | 甲烷标准气体 | 纯度＞99.9% |
| 3 | 全球定位系统（GPS）接收机 | 定位精度<10m |

# 四、计量特性技术指标

按照本规范规定的方法和步骤，采用CRF对DAIL的计量性能指标进行校准，以CRF释放的排放源位置和排放量为参考值，以差分激光雷达系统测量的定位和测量排放量为测量值，计算测量值的示值误差和重复性。通过实际测量确定规范规定的技术指标是否科学合理，校准方法是否方便可行。

# 五、实验过程

## 5.1 校准前准备

在郑州高新区一处空旷且无污染源的场地，将可控释放装置、差分吸收激光雷达和甲烷气体等仪器设备搬运至测量场地，并根据技术说明书正确安装相关设备，所有测量用设备通电，并按规定时间预热和调试。

实验场地内各仪器设备的位置如图3和图4所示。实验中，DIAL与风速风向传感器获得数据的时间戳设置为一致，DIAL扫描截面与风向近似垂直，为了便于测量，将通过软管连接CRF的释放口提升至离地面10 m的距离。

DIAL测量示意图

**图3 基于可控释放装置的差分吸收激光雷达排放测量实验示意图**



**图4测量实验场地实况**

## 5.2 示值误差

### 5.2.1 排放源定位示值误差

首先，CRF经预热稳定后，连通甲烷标气，以3 kg/h的排放速率释放甲烷标准气体，等待装置的气体排放量达到稳定状态，开启DIAL，重复测量3次，每次DIAL测量得到的排放源中心点经纬度坐标为（）， 通过全球定位系统（GPS）接收机确定的CRF释放点经纬度坐标为（），记录数据。将GPS接收机确定的CRF释放点坐标与被校准DIAL测量排放源中心点坐标转换成同一坐标系下的直角坐标（）和（），转换方法参考JJF 1942—2021。

每个校准点单次排放源定位误差计算公式：

（1）

式中：

; ；

——排放源定位误差，m；

——测试数据X轴方向分量；

——测试数据Y轴方向分量；

——CRF释放点X轴方向分量；

——CRF释放点Y轴方向分量;

*i*——第*i*次测量，*i*= 1, 2, 3。

按公式（2）计算被校准系统的定位示值误差，

（2）

式中：

­——系统的排放源定位示值误差，m；

——测量次数，*n* = 3。

重复上述步骤，调整可控释放装置排放速率，设定校准点分别为5 kg/h和15 kg/h，按照公式（2）排放源定位测量结果的示值误差。

### 5.2.2 温室气体排放量示值误差

CRF经预热稳定后，连通甲烷标气，以3 kg/h的排放速率释放甲烷标准气体，等待装置的气体排放量达到稳定状态，开启DIAL，重复测量3次，每次DIAL获得的目标温室气体排放量为。取3次示值的算术平均值作为被测系统的排放量示值，计算公式，

（3）

式中：

——第i次测量获得的排放量，kg/h；

——被测系统的排放量示值，kg/h ；

*i*——第*i*次测量，*i*= 1, 2, 3。

——测量次数，*n* = 3 。

无组织排放监测系统排放量相对示值误差计算公式：

（4）

式中：

——CRF针对目标温室气体的排放量设定值，kg/h ；

——无组织排放监测系统测量排放量示值，kg/h ；

——无组织排放监测系统测量排放量相对示值误差，%。

重复上述步骤，调整可控释放装置排放，设定校准点分别为5 kg/h和 15 kg/h，按照公式（4）排放源排放量测量结果的示值误差。

## 5.3 示值重复性

### 5.3.1 排放源定位示值重复性

CRF经预热稳定后，连通甲烷标气，以7 kg/h（约DIAL满量程50%）的排放速率释放甲烷标准气体，开启DIAL，重复测量6次，每次DIAL测量排放源中心点坐标测量值为（），转换为直角坐标系（），则DIAL排放源定位的重复性以相对标准偏差表示，计算公式如下：

； （5）

（6）

（7）

式中：

——测试数据X轴方向分量；

——测试数据Y轴方向分量；

——6次测量的X轴方向平均值；

——6次测量的Y轴方向平均值；

——第*i*次排放源定位测量值与平均值的误差，m；

——6次测量的算术平均值，，m；

——排放源定位相对标准偏差，%；

*n*——测量次数，*n* = 6。

### 5.3.2 温室气体排放量示值重复性

CRF经预热稳定后，连通甲烷标气，以7 kg/h（约DIAL满量程50%）的排放速率释放甲烷标准气体，开启DIAL，重复测量6次，每次排放量测量值为。无组织排放监测系统排放量定量的重复性以相对标准偏差表示，计算公式：

（8）

式中：

——排放量测量相对标准偏差，%；

——第*i*次测量的示值，kg/h ；

——6次示值的算术平均值，kg/h ；

*n*——测量次数，*n* = 6。

# 六、实验数据

以校准点为3 kg/h为例，说明校准结果的计算过程。如表3所示，使用激光测距仪测量的差分吸收激光雷达的排放源定位误差分别为3 m、3.5 m和3.2 m，根据公式（2）计算得到排放源定位示值误差为3.2 m。差分吸收激光雷达系统连续测量的排放量结果分别为2.95 kg/h、3.25 kg/h和2.79 kg/h，平均值为2.99 kg/h，根据公式（4）计算得到相对示值误差为-0.1%。同样，当设定校准点为5 kg/h和15 kg/h s时，差分吸收激光雷达的排放源定位误差分别为5.2 m 和4.2 m ，排放量相对示值误差分别为-2.1%和-4.7%。

重复性计算过程，当设定校准点为7 kg/h时，根据公式（5）和（6）计算差分吸收激光雷达的定位测量值与平均值的误差分别为3.6 m、3.2 m、3.6 m、3.7 m、3.5 m和3 m，根据公式（7）计算标准偏差，测量重复性为3.8%。差分吸收激光雷达的排放量测量值分别7.0 kg/h、7.01 kg/h、7.32 kg/h、6.91 kg/h、7.10 kg/h和7.07 kg/h，根据公式（8）计算标准偏差，测量重复性为1.96%。

**表3 差分吸收激光雷达系统校准记录**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **排放源定位(m)** | | | | | |
| CRF校准点 | 测量值与标准值的定位误差 | | | 平均值 | 示值误差 |
| 3 kg/h | 3 | 3.5 | 3.2 | 3.2 | 3.2 |
| 5 kg/h | 5 | 5.1 | 5.4 | 5.2 | 5.2 |
| 15 kg/h | 4.5 | 4.3 | 4 | 4.2 | 4.2 |
| CRF校准点 | 测量值与平均值的定位差 | | | 平均值 | 重复性 |
| 7 kg/h | 3.6 | 3.3 | 3.6 | 3.5 | 3.8% |
| 3.7 | 3.5 | 3.5 |
| **排放量（**kg/h**）** | | | | | |
| CRF校准点 | 测量值 | | | 平均值 | 示值误差 |
| 3 kg/h | 2.95 | 3.25 | 2.79 | 2.99 | -0.1% |
| 5 kg/h | 5.07 | 5.22 | 4.39 | 4.89 | -2.1% |
| 15 kg/h | 14.06 | 14.74 | 14.07 | 14.29 | -4.7% |
| CRF校准点 | 测量值 | | | 平均值 | 重复性 |
| 7kg/h | 7.0 | 7.01 | 7.32 | 1.96 | 1.96% |
| 6.91 | 7.10 | 7.07 |
| 校准员： 核验员： 日期： | | | | | |

如表2所示，当校准点为3 kg/h时，排放源定位示值误差（3.2 m）不超过最大允许误差（30 m）；排放量示值误差（-0.1%）不超过最大允许误差（±20%）；类似的，当校准点为5 kg/h和15 kg/h时，排放源定位示值误差和排放量示值误差均不超过限值。

当校准点为7 kg/h时，排放源定位测量结果的重复性（3.8%）小于重复性限值（5%），排放量测量结果的重复性（1.96%）小于重复性限值（5%）。因此，该系统排放源定位及排放量的示值误差和重复性校准项目均符合规范计量技术要求。

# 七、结论

本实验利用《温室气体无组织排放监测系统校准规范》，使用可控释放装置作为计量标准装置，对温室气体无组织排放监测系统—差分吸收激光雷达系统进行校准，校准过程表明该规范校准方法具有可适用性，校准数据表明本规范计量技术要求的技术指标规定合理，能够满足温室气体无组织排放监测系统的量值溯源需求。