**《基于排放直接测量的企业温室气体排放因子校准规范》实验报告**

关于计量校准规范《基于排放直接测量的企业温室气体排放因子校准规范》中需要进行的实验内容如下所述。

# **1 实验装置**

表1 实验装置

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 技术要求 | 用途 |
| 1 | 烟道流量标准装置 | 1）流速测量技术要求：  测量范围：（1~30）m/s，  俯仰角测量范围：(-45~45)°，  偏航角测量范围：(-45~45)°；  2）截面面积测量技术要求：  水力直径测量范围：（0.3~13m）；  3）流量测量技术要求：  流量准确度等级：（1~5）级； | 用于测量烟道内平均流速、截面面积、并计算流量 |
| 2 | 含水标气发生装置 | 1）含湿量测量范围：（0~40）%MPE：±5%（相对误差）  2）烟气浓度测量范围：  O2: （0~25）%  CO2:（0~50）%  CO: （0~10000）μmol/mol  NO: （0~3000）μmol/mol  NO2: （0~500）μmol/mol  N2O: （0~500）μmol/mol  SO2: （0~3000）μmol/mol  CH4: （0~10000）μmol/mol  浓度MPE：±1%（相对误差） | 用于测量烟气组分及浓度 |

# **2实验内容**

对某企业进行温室气体排放因子相对偏差校准。

# **3实验结果**

## 3.1实验过程

根据本校准规范中相关内容进行企业温室气体排放因子相对偏差校准。

实验过程如下：

按照校准规范的相关要求对被校企业进行温室气体烟道排放和无组织排放测量，获取企业温室气体排放总量，结合企业提供的燃料活动数据进行排放因子计算，并以此为标准值对企业采用的温室气体核算排放因子进行校准。

## 3.2数据计算方法

### 3.2.1 烟道温室气体排放测量

a）烟道截面参数测量

1）烟道内校准方法

① 确定烟道截面面积测量位置，应与流速测量截面位置相同。

② 将套管尺或测深钢卷尺插入烟道检测孔中，使标准器插入方向垂直于烟道轴线，将标准器端部接触到烟道壁面最远端，读取检测孔外沿对应长度；对于圆形烟道，在垂直于烟道轴线的平面内，摆动标准器，寻找测量长度最大的方向，重复测量3次；对于矩形烟道垂直于烟道轴线的平面内，摆动标准器，寻找测量长度最小的方向，重复测量3次；矩形烟道需在测量截面相邻两边检测孔上分别进行操作。

③ 测量检测孔外沿到烟道近端内壁面长度。

④ 按照下式计算烟道截面面积。

圆形公式：

 （1）

式中：

*A*——烟道截面面积，m2；

*D*——圆形烟道远端内壁面到检测孔外沿距离，m；

*d*——圆形烟道近端内壁面到检测孔外沿距离，m。

矩形公式：

（2）

式中：

*A*——烟道截面面积，m2；

*L*1*，L*2——矩形烟道远端内壁面到检测孔外沿距离，m；

*e*1*，e*2——矩形烟道近端内壁面到检测孔外沿距离，m。

⑤ 也可使用激光测距仪、三维激光扫描仪等标准器测量烟道内截面面积。

2）烟道外校准方法（仅适用于单层材质烟道）

① 确定烟道截面面积测量位置，应与流速测量截面位置相同。

② 将钢卷尺或皮尺环绕测量截面处烟道外壁，使用水平仪保证标准器位于垂直于烟道轴线的同一平面内，读取烟道外壁周长，重复测量3次。

③ 使用测厚仪测量烟道壁厚；对于圆形烟道，在5个不同位置进行测量后取平均值；对于矩形烟道，在相邻两个边上分别在5个不同位置进行测量后取平均值。

④ 按照下式计算烟道截面面积

圆形公式：

 （3）

式中：

*A*——烟道截面面积，m2；

*L*——圆形烟道外壁周长，m；

*e*——管道壁厚，m。

矩形公式：

（4）

式中：

*A*——烟道截面面积，m2；

*L*1*，L*2——矩形烟道外壁长和宽，m；

*e*1*，e*1*'*——矩形烟道长边两侧壁厚，m；

*e*2*，e*2*'*——矩形烟道宽边两侧壁厚，m。

⑤ 也可使用全站仪、三维激光扫描仪、激光追踪仪等标准器测量烟道外壁周长。

3）如在烟道中使用套管尺、测深钢卷尺进行测量，应考虑温度对标准器测量结果的影响，按式（5）进行修正。如在烟道中使用激光测距仪、三维激光扫描仪等标准器测量时，需考虑烟道内温度对测量结果的影响。

 （5）

式中：

*L*m——标准器读数在烟气温度下对应的实际长度，m；

*L*0——标准器读数在标准温度下的长度，m；

*α*m*——*标准器材质线性膨胀系数，℃-1；

*t*m——烟气中标准器温度，℃；

*t*0——标准参比条件下温度，℃。

4） 如烟道截面面积在停机状态下进行校准，需对所测截面面积进行温度修正，按式（6）计算。

（6）

式中：

*L*h——运行状态下烟道截面特征长度（圆形截面直径或矩形截面边长等），m；

*L*c——停机状态下烟道截面特征长度（圆形截面直径或矩形截面边长等），m；

*α——*烟道材质线性膨胀系数，℃-1；

*t*h——运行状态下烟道温度，℃；

*t*c——停机状态下烟道温度，℃。

注：停机状态是无烟气通过烟道的状态。

b）烟道截面平均轴向流速测量

① 对于每个检测孔，测量前，将标准装置的三维皮托管插入烟道中，开机运行5min后，开始测量。

② 在测量过程中保持烟道流速波动小于5%。

③ 按照附录C的布点方式对测量截面上每条测量线的测量点逐次进行流速测量，读取标准装置上每个测量点的流速、俯仰角和偏航角（计算方法及公式见附录D），每个测量点重复测量3次，在每个测量点的总测量时间不少于1min。

测量点轴向流速按式（7）计算。

 （7）

式中：

*v*a*ij*——标准装置第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气轴向流速，m/s；

*vij*——标准装置第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气流速，m/s；

——标准装置第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气俯仰角，°；

——标准装置第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气偏航角，°；

注：一组测量为完成全部检测孔对应测量线上所有测量点的一组测量。

测量截面轴向平均流速按式（8）计算。

 （8）

式中：

——标准装置第*i*组测量的测量截面轴向平均流速，m/s；

*v*a*ij*——标准装置第*i*组测量中第*j*个测量点的烟气轴向流速，m/s；

*wj*——标准装置第*j*个测量点的烟气轴向流速的权重系数（依据附录B确定）；

*n*——测量点数量；

④ 标准装置在每条测量线测量1次烟道静压，并记录。

⑤ 每组测量结束后，读取CEMS在校准期间流速测量数据，计算流速相对标准偏差，相对标准偏差应≤5%，否则该组测量结果无效。

⑥ 重复2~5几个步骤进行不少于3组测量。

烟道温室气体排放速率按式（9）计算。

 （9）

式中：

——第i次测量的烟道温室气体排放速率，tCO2e/h；

烟道温室气体排放速率与该组测量时间段的乘积为该时段内企业的烟道温室气体排放量。

 （10）

式中：

——第i组测量时间段内企业烟道温室气体排放量，tCO2e；

——校准时间段，h。

### 3.2.2 温室气体无组织排放测量

采用快速测量系统或小区域反演系统对企业厂区内温室气体无组织排放进行测量，测量步骤参照系统操作说明。温室气体无组织排放测量与烟道排放测量同步进行，在相同时间段内对校准边界内已识别的无组织排放源进行与烟道排放测量对应次数的温室气体无组织排放测量，测量结果与时间的乘积为该时间段内企业温室气体无组织排放量。

 （11）

式中：

——第i组测量时间段内企业温室气体无组织排放量，tCO2e；

——第i组测量的温室气体无组织排放速率，tCO2e/h；

——校准时间段，h。

### 3.2.3企业温室气体排放量

企业温室气体排放量按式（12）计算。

 （12）

式中：

——第i组测量时间段内企业温室气体排放量，tCO2e；

### 3.2.4 活动数据采集

在开展烟道和无组织排放测量的同时，同步进行活动数据采集。

### 3.2.5 企业温室气体排放因子

企业温室气体排放因子按式（13）计算。

 （13）

式中：

——第i组测量的企业温室气体排放因子，单位与活动数据单位相匹配；

——第i组测量时间段内采集的活动数据，单位根据具体排放源确定。

### 3.2.6 企业温室气体排放因子相对偏差

同步获取测量时间段内企业采用的温室气体排放因子，第i组测量的温室气体排放因子相对偏差按照式（14）计算。

 （14）

式中：

——第i组测量的温室气体排放因子相对偏差，%；

——第i组测量时间段内企业采用的温室气体排放因子，单位与活动数据单位相匹配。

企业温室气体排放因子相对偏差可按式（15）计算。

 （15）

式中：

*n*——测量次数。

### 3.2.7 重复性

企业温室气体排放因子相对偏差的重复性按式（16）计算。

 （16）

式中：

——企业温室气体排放因子相对偏差的重复性，%；

——多次测量结果相对偏差的最大值；

——多次测量结果相对偏差的的最小值。

*dn*——级差系数。

极差系数值见表2。

表2 *dn*数据表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *n* | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *dn* | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 | 2.70 | 2.85 | 2.97 | 3.08 |

## 3.3 实验数据处理及不确定度评定

在规范规定的校准条件下，对企业温室气体排放因子进行校准。以排放因子测量结果为参考标准，计算企业温室气体排放因子相对偏差并对其进行不确定度评定。具体实验步骤参考本规范第七节中的校准方法，以某大型燃煤电厂校准数据为例。

表3 原始数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 测量时间（h） | 企业采用的排放因子（kg.CO2/kg） | 燃煤消耗测量值（t） | 烟道温室气体排放速率（tCO2e/h） | 温室气体无组织排放速率（tCO2e/h） |
| 1 | 3.8 | 1.86 | 346.54 | 165.32 | 3.39 |
| 2 | 3.1 | 1.91 | 276.00 | 163.91 | 3.47 |
| 3 | 3.2 | 1.90 | 270.71 | 159.87 | 3.40 |

### 3.3.1 测量模型

企业温室气体排放因子相对偏差按照式（17）计算。

 （17）

式中：

——企业温室气体排放因子相对偏差；

——校准时间段内企业采用的温室气体排放因子；

——企业温室气体排放因子测量值。

由表3和式（17）计算可得企业温室气体排放因子相对偏差。

表4 企业温室气体排放因子相对偏差

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 烟道温室气体排放量（tCO2e） | 温室气体无组织排放量（tCO2e） | 校准边界内温室气体排放总量（tCO2e） | 燃煤消耗测量值（t） | 排放因子测量值（kg.CO2/kg） | 排放因子相对偏差（%） | 重复性（%） |
| 1 | 628.22 | 12.89 | 641.11 | 346.54 | 1.85 | 0.54% | 1.86% |
| 2 | 508.12 | 10.76 | 518.88 | 276.00 | 1.88 | 1.60% |
| 3 | 511.58 | 10.89 | 522.48 | 270.71 | 1.93 | -1.55% |

### 3.3.2 不确定度分量

由测量模型可知，企业温室气体排放因子相对偏差不确定度主要由企业提供的温室气体排放因子和温室气体排放因子测量引入。

 （18）

式中：

——企业温室气体排放因子相对偏差合成相对标准不确定度；

——由企业提供的温室气体排放因子引入的不确定度分量；

——由温室气体排放因子测量引入的不确定度分量。

3.3.2.1 由企业提供的温室气体排放因子引入的不确定度

企业提供的温室气体排放因子的不确定度与企业排放源、燃料种类等有关，本次参与校准的企业为电力企业，燃料为标准煤，其温室气体排放因子为2.493 tCO2e/t，相对扩展不确定度为7.6%（k=2）。由此引入的不确定度分量为。

3.3.2.2 温室气体排放因子测量引入的不确定度

由规范第7节式（12）、（13）和（14）可知，温室气体排放因子测量引入的不确定度主要由烟道温室气体排放量测量、温室气体无组织排放测量和燃煤活动数据三部分组成。

 （19）

式中：

——企业温室气体排放量测量值相对不确定度；

——企业燃煤活动数据的相对不确定度；

——烟道温室气体排放测量引入的不确定度分量；

——温室气体无组织排放测量引入的不确定度分量。

3.3.2.3 烟道温室气体排放量测量不确定度分量

烟道温室气体排放量测量不确定度由计量装置校准证书得到。由校准证书可知，烟道排放计量装置测量不确定度为5.0%（k=2），因此可得烟道温室气体排放量测量不确定度分量。

3.3.2.4 温室气体无组织排放量测量不确定度分量

同上，温室气体无组织排放量测量不确定度由快速测量系统校准证书得到。由校准证书可知，快速测量系统测量不确定度为25%（k=2），计算可得烟道温室气体排放量测量不确定度分量12.5%。

3.3.2.5 温室气体活动数据测量不确定度分量

企业燃煤活动数据的不确定度由测量仪器的有效检定、校准证书或自校准评价结果给出，本次校准过程中由活动数据测量引入的相对标准不确定度为。

### 3.3.3 企业温室气体排放因子相对偏差不确定度

由上述计算结果，各不确定度分量结果见表E.3。

表5 企业温室气体排放因子相对偏差不确定度分量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 符号 | 标准不确定度 | | |
| 1 | 2 | 3 |
| 企业提供的温室气体排放因子引入的不确定度分量 |  | 3.80% | | |
| 烟道温室气体排放测量引入的不确定度分量 |  | 15.71 tCO2e | 13.17tCO2e | 13.19tCO2e |
| 温室气体无组织排放测量不确定度分量 |  | 1.61 tCO2e | 1.34tCO2e | 1.36tCO2e |
| 温室气体排放量测量值 |  | 641.11 tCO2e | 518.88tCO2e | 522.48tCO2e |
| 燃煤活动数据引入的不确定度分量 |  | 1.385% | | |
| 测量重复性引入的不确定度分量 |  | 1.08% | | |
| 温室气体排放因子相对偏差合成不确定度 |  | 4.856% | 4.902% | 4.895% |

由表5和式（18）计算可得，企业温室气体排放量相对偏差合成不确定度为，扩展不确定度为，（k=2）。