

天津市地方计量校准规范

JJF(津)XX-2023

火电厂烟气二氧化碳排放连续监测 系统计量校准规范

Calibration Specification for CO₂ Continuous Emission Monitoring System

in Flue Gas Emitted from Thermal Power Plants

(报批稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

火电厂烟气二氧化碳排放连续 监测系统计量校准规范

Calibration Specification for
CO₂ Continuous Emission Monitoring System
in Flue Gas Emitted from Thermal Power Plants

JJF(津)XX-20XX

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

参加起草单位：国网天津市电力公司电力科学研究院

天津市贰拾壹站检测技术有限公司

天津市长津微检测技术有限公司

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

王晓明 (天津市计量监督检测科学研究院)

王振国 (天津市计量监督检测科学研究院)

甘智勇 (国网天津市电力公司电力科学研究院)

参加起草人：

江宁川 (天津市计量监督检测科学研究院)

徐一飞 (天津市贰拾壹站检测技术有限公司)

边 疆 (国网天津市电力公司电力科学研究院)

汪苏卿 (天津市长津微检测技术有限公司)

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其他设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 外观检查.....	4
7.2 二氧化碳监测部分.....	4
7.3 烟气流速示值误差.....	6
7.4 烟气温度示值误差.....	6
7.5 烟气湿度示值误差.....	6
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	8
附录 A 测量结果扩展不确定度评定示例.....	9
附录 B 校准原始记录格式.....	188
附录 C 校准证书内页格式.....	21

引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。本规范的校准项目和校准方法主要参照 HJ 75-2017 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范、JJF 1585-2016《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》、DL/T 2376-2021《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》的相关内容。

本规范为首次发布。

火电厂烟气二氧化碳排放连续监测系统计量校准规范

1 范围

本规范适用于火电厂烟气二氧化碳排放连续监测系统（以下简称“CO₂-CEMS”）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1585-2016 《固定污染源烟气排放连续监测系统校准规范》

HJ 75-2017 《固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范》

DL/T 2376-2021 《火电厂烟气二氧化碳排放连续监测技术规范》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

3.1 二氧化碳排放连续监测系统(CO₂-CEMS) CO₂ continuous emission monitoring system
实时、连续监测固定源烟气中二氧化碳浓度和二氧化碳排放量所需要的全部设备，简称 CO₂-CEMS。

[DL/T 2376-2021 术语和定义 3.3]

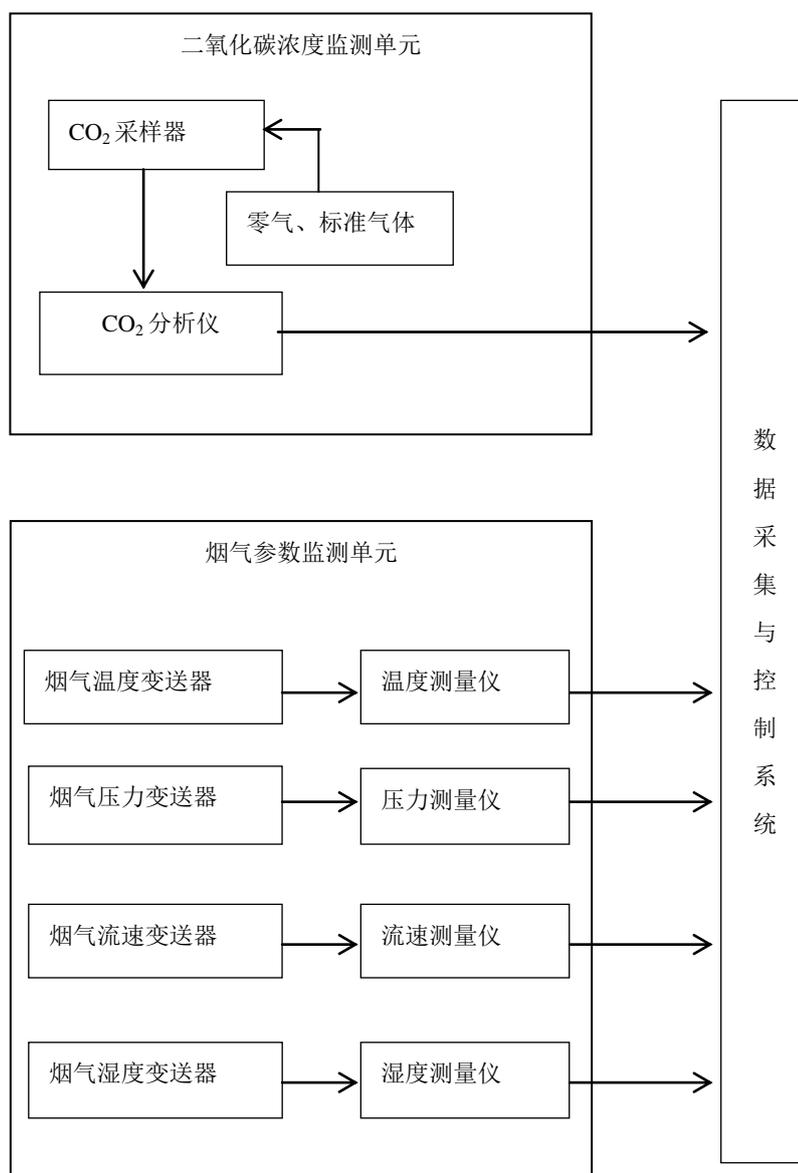
4 概述

4.1 系统组成

CO₂-CEMS 由二氧化碳浓度监测单元、烟气参数监测单元、数据采集与控制系统等组成，如图 1 所示。也可在现有气态污染物 CEMS 上增加二氧化碳浓度监测单元，借助现有数据自动处理和传输设备，实现二氧化碳排放连续监测。

4.2 系统结构

CO₂-CEMS 系统结构主要包括样品采集和传输装置、预处理设备、分析仪器、数据采集和传输设备及其他辅助设备。

图 1 CO₂-CEMS 系统示意图

5 计量特性

CO₂-CEMS 的主要计量特性见表 1。

表 1 主要计量特性指标

校准参数	项目	计量特性
二氧化碳浓度	系统响应时间	≤200s
	零点漂移 [*]	不超过±2.5%FS
	量程漂移 [*]	不超过±2.5%FS
	示值误差	不超过±5%

表 1 (续) 主要计量特性指标

校准参数	项目	计量特性
二氧化碳浓度	重复性	$\leq 2\%$
烟气流速	示值误差	≤ 10 m/s 时, $\pm 30\%$
烟气温度	示值误差	$\pm 3^\circ\text{C}$
烟气湿度	示值误差	烟气绝对湿度 $>5.0\%$ 时, 相对误差不超过 $\pm 25\%$; 烟气绝对湿度 $\leq 5.0\%$ 时, 绝对误差不超过 $\pm 1.5\%$ 。

注:

- 1、带“*”项目, 不具备试验条件时可忽略。
- 2: 以上技术指标不用于合格性判别, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度: 室内环境温度(15~35)℃; 室外环境温度(0~40)℃。

6.1.2 相对湿度: $\leq 85\%$ 。

6.1.3 供电电压: AC (220 \pm 22) V, (50 \pm 1) Hz。

6.1.4 校准环境应无影响仪器正常工作的电磁场和干扰气体。

6.1.5 校准现场应保证通风并采取安全措施。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 气体标准物质

二氧化碳气体标准物质(以下简称“标气”), 相对扩展不确定度不大于 1.5% ($k=2$)。

当采用气体稀释装置时, 稀释后标气的相对扩展不确定度应满足上述要求。

6.2.2 零点气体(零气): 采用纯度不小于 99.99%的氮气。

6.2.3 烟气流速测量装置

6.2.3.1 选用 S 型皮托管作为测量装置时, 需满足以下要求:

- 1) 皮托管系数 $K=0.81\sim 0.86$;
- 2) 测量范围 (5~30) m/s;
- 3) 示值误差不超过 $\pm 2.5\%$ 。

6.2.3.2 选用三维球形皮托管或超声波流量计作为测量装置时, 需满足以下要求:

1) 测量范围 (5~30) m/s;

2) 扩展不确定度不大于 2% ($k=2$)。

6.2.4 测温仪: 测量范围 (0~350) °C, 最大允许误差不超过 ±1°C。

6.2.5 秒表: 分度值不低于 0.01s, 日差不超过 ±0.5s。

6.2.6 湿度传感器: 分度值不低于 0.1%, 最大允许误差不超过 ±4%。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

仪器的显示应清晰完整, 各调节器部件应能正常工作, 各紧固件应无松动。仪器不应有影响其正常工作的外观损伤, 产品铭牌需清晰、完整、牢固, 正确标示产品型号、出厂编号、生产厂家等。

7.2 二氧化碳监测部分

7.2.1 零点漂移和量程漂移

通入零气, 待系统稳定后, 记录零点示值初始值 A_{z0} , 然后通入满量程值 (80%±10%) 的标气, 待示值稳定后记录量程示值初始值 A_{s0} 。每隔 10min 通入零气, 记录零点示值 A_{zi} , 再通入上述浓度标气, 记录量程示值 A_{si} ($i=1, 2, 3, 4$), 连续重复操作 4 次, 按公式 (1) 计算零点漂移。

$$\Delta A_z = \frac{\text{Max}|A_{zi} - A_{z0}|}{R} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

ΔA_z —零点漂移, %;

A_{z0} —初始的零点值, %;

A_{zi} —第 i 次的零点值, %;

R —仪器满量程值, %。

按式 (2) 计算量程漂移。

$$\Delta A_s = \frac{\text{Max}|(A_{si} - A_{zi}) - (A_{s0} - A_{z0})|}{R} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

ΔA_s —量程漂移;

A_{s0} —初始仪器显示值, %;

A_{si} —第 i 次仪器显示值, %。

7.2.2 系统响应时间

系统通入零气, 待示值稳定后, 通入满量程值 ($80\% \pm 10\%$) 的标气, 稳定后读取仪器初始值, 撤去标气, 通入零气, 让仪器回零, 仪器显示稳定后, 再通入上述浓度的标气, 同时用秒表记录仪器显示值上升至初始值 90% 所用的时间。重复上述步骤 3 次, 取 3 次测得值的算术平均值作为系统的响应时间。

7.2.3 示值误差

通入零气, 调节零点。然后通入满量程值 ($80\% \pm 10\%$) 的标气, 调整仪器显示浓度值与标气浓度值一致。仪器经上述校准后, 按照零气、满量程值 ($80\% \pm 10\%$) 的标气、零气、满量程值 ($50\% \pm 10\%$) 的标气、零气、满量程值 ($20\% \pm 10\%$) 标气的顺序通入监测系统, 待显示浓度值稳定后读取测试结果。重复测量 3 次, 取 3 次示值的算术平均值作为系统各浓度点的示值, 按公式 (3) 计算各浓度的示值误差。

$$\delta = \frac{\bar{A} - A_s}{A_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

δ —浓度示值相对误差, %;

\bar{A} —每种浓度 3 次示值的算术平均值, %;

A_s —标气浓度标称值, %;

i —第 i 种浓度的标气。

7.2.4 重复性

按照 7.2.3 中的方法校正系统零点和示值后, 通入满量程值 ($50\% \pm 10\%$) 的标气, 待显示稳定后, 得到测量值。上述步骤重复 6 次, 重复性按照公式 (4) 计算。

$$s_r = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (A_j - \bar{A})^2}}{\bar{A}} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

s_r —重复性, %;

A_j —仪器第 j 次的测量值, % ($j=1, 2, \dots, 6$);

\bar{A} —6 次示值的算术平均值, %;

n —测量次数, $n=6$ 。

7.3 烟气流速示值误差

将烟气流速测量装置按照说明书的要求放置在现场操作平台, 将测速装置放入系统测试断面, 设置采样间隔为 5s, 采样时间为 5min, 进行烟气流速测量, 记录采样时间内的平均流速值作为测量值, 重复测量 6 次。被校烟气流速 CMS 和流速测量装置同时进行流速测量, 取对应时间段内烟气流速 CMS 所测量的流速平均值作为被校系统的测量值, 得到 6 组烟气流速测量装置和烟气流速 CMS 的测量值。按照公式 (5) 计算流速示值误差。

$$\Delta v = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \left(\frac{v_i - v_{si}}{v_{si}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中:

Δv —流速示值误差, %;

v_i —第 i 次烟气流速 CMS 测量的烟气流速平均值, m/s;

v_{si} —第 i 次烟气流速测量装置测量的烟气流速平均值, m/s ($i=1, 2, \dots, 6$)。

7.4 烟气温度示值误差

将测温仪放入烟气温度 CMS 测试断面, 与被校烟气温度 CMS 温度探头安装位置一致。被校烟气温度 CMS 和测温仪同时进行烟气温度的测量, 每 3 分钟读取一次示值, 连续读取 6 组烟气温度 CMS 和测温仪的示值, 按照公式 (6) 计算烟气温度示值误差。

$$\Delta T = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (T_i - T_{si}) \quad (6)$$

式中:

ΔT —烟气温度示值误差, °C;

T_i —第 i 次烟气温度 CMS 测量的烟气温度值, °C ($i=1, 2, \dots, 6$);

T_{si} —第 i 次测温仪测量的烟气温度值, °C。

7.5 烟气湿度示值误差

将湿度传感器放入烟气湿度 CMS 测试断面，与被校烟气湿度 CMS 湿度探头安装位置一致。被校烟气湿度 CMS 和湿度传感器同时进行烟气湿度的测量，每 3 分钟读取一次示值，连续读取 6 组烟气湿度 CMS 和湿度传感器的示值，分别按照公式（7）、（8）计算烟气湿度示值绝对误差和相对误差。

$$\Delta X = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (X_i - X_{si}) \quad (7)$$

$$R_{es} = \frac{\Delta X}{\bar{X}_{si}} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

ΔX —烟气湿度示值绝对误差，%；

R_{es} —烟气湿度示值相对误差，%；

X_i —第 i 次烟气湿度 CMS 测量的烟气湿度值，%（ $i=1, 2, \dots, 6$ ）；

X_{si} —第 i 次湿度传感器测量的烟气湿度值，%；

\bar{X}_{si} —6 次湿度传感器测量的烟气湿度算术平均值，%。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由使用者根据仪器使用情况、仪器本身性能等因素决定,建议复校时间间隔不超过1年。在相邻两次校准期间,如果对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后应对仪器重新校准。

附录 A

二氧化碳浓度示值误差测量结果不确定度评定示例

A.1 测量方法

开机后，先通入零气对仪器校零，随后通入固定浓度的标准气体，稳定后记录仪器显示值 A_i ，测试结束后，再次通入零气清洗气路，重复以上步骤，测量 3 次。测量平均值与标准值之差，除以量程即为示值误差。

A.2 测量模型

$$\delta = \frac{\bar{A} - A_s}{A_s} \times 100\%$$

式中：

δ —浓度示值相对误差，%；

\bar{A} —每种浓度 3 次示值的算术平均值，%；

A_s —气体标准物质浓度标称值，%。

因为各分量互不相关，则：

$$u^2(\delta) = c_1^2 u^2(\bar{A}) + c_2^2 u^2(A_s)$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial \bar{A}} = \frac{1}{A_s} ; c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial A_s} = -\frac{\bar{A}}{A_s^2}$$

A.3 标准不确定度的评定

以二氧化碳标准气体（以下简称“标气”）浓度值为 41.6% 为例，对测量结果做不确定度评定。

A.3.1 测量重复性引入的标准不确定度

根据 7.2.1 的方法，用此标气对系统重复测量 10 次，结果如下表 A.1 所示：

表 A.1 二氧化碳质量分数测量值

标准值/ %	测量值/%									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41.6	42.3	41.8	42.0	41.9	41.7	41.8	42.2	42.3	42.0	42.1

测量值的平均值:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^{10} A_i}{10} = 42.0\%$$

试验标准差为:

$$s(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (A_i - \bar{A})^2}{n-1}} = 0.21\%$$

实际测量时,以3次测量的算术平均值作为测量结果,故由测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(\bar{A}) = \frac{s(\bar{A})}{\sqrt{3}} = 0.12\%$$

A.3.2 标准气体引入的标准不确定度

由气体标准物质证书可知, $U_{\text{rel}} \leq 1.0\%$, $k=2$, 其引入的标准不确定度为:

$$u(A_s) = \frac{U}{k} = \frac{1.0\% \times 41.6\%}{2} = 0.21\%$$

A.4 标准不确定度分量一览表

表 A.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	灵敏系数 (%) ⁻¹	不确定度分量 (%)
测量重复性	$u(\bar{A})$	0.02	0.12
标准气体	$u(A_s)$	-0.02	0.21

A.5 合成标准不确定

以上各分量互不相关,故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{(0.02 \times 0.12)^2 + (-0.02 \times 0.21)^2} = 0.5\%$$

A.6 扩展不确定度

取 $k=2$, 则 $U=0.5\% \times 2 = 1.0\%$

烟气流速示值误差测量结果扩展不确定度评定

A.7 测量方法

将烟气流速测量装置按照说明书的要求放置在现场操作平台，将测速装置放入系统测试断面，设置采样间隔为 5s，采样时间为 5min，进行烟气流速测量，记录采样时间内的平均流速值作为测量值，重复测量 6 次。被校烟气流速 CMS 和流速测量装置同时进行流速测量，取对应时间段内烟气流速 CMS 所测量的流速平均值作为被校系统的测量值，得到 6 组烟气流速测量装置和烟气流速 CMS 的测量值，按公式计算示值误差。

A.8 测量模型

$$\Delta v = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \left(\frac{v_i - v_{si}}{v_{si}} \right) \times 100\%$$

式中：

Δv —流速示值误差，%；

v_i —第 i 次烟气流速 CMS 测量的烟气流速平均值，m/s；

v_{si} —第 i 次烟气流速测量装置测量的烟气流速平均值，m/s ($i=1, 2, \dots, 6$)。

因为各分量互不相关，则：

$$u^2(\delta) = c_1^2 u^2(v_i) + c_2^2 u^2(v_{si})$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial v_i} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial v_{si}} = -1$$

A.9 标准不确定度的评定

A.9.1 测量重复性引入的标准不确定度

根据 7.3 的方法，用烟气流速测量装置（S 型皮托管）对系统流速重复测量 10 次，结果如下表 A.3 所示：

表 A.3 流速测量值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值 m/s	6.2	6.3	5.9	6.1	6.6	6.3	6.0	5.8	6.2	6.4

测量值的平均值:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^{10} v_i}{10} = 6.2(\text{m/s})$$

试验标准差为:

$$s(v_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (v_i - \bar{v})^2}{n-1}} = 0.24\text{m/s}$$

实际测量时,以6次测量的算术平均值作为测量结果,故由测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(v_i) = \frac{s(v_i)}{\sqrt{6}} = 0.10\text{m/s}$$

A.9.2 烟气流速测量装置引入的标准不确定度

根据规范要求,流速测量装置(S型皮托管)最大允许误差 $\pm 2.5\%$,按均匀分布计算,其引入的标准不确定度分量为: $u(v_s) = \frac{2.5\% \times 6}{\sqrt{3}} = 0.09\text{m/s}$

A.10 标准不确定度分量一览表

表 A.4 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量 (m/s)
测量重复性	$u(v_i)$	1	0.10
流速测量装置	$u(v_s)$	-1	0.09

A.11 合成标准不确定

以上各分量互不相关,故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{0.10^2 + 0.09^2} = 0.13\text{m/s}$$

A.12 扩展不确定度

取 $k=2$, 则 $U=0.3\text{m/s}$

烟气温度示值误差测量结果扩展不确定度评定

A.13 测量方法

将测温仪放入烟气温度 CMS 测试断面,与被校烟气温度 CMS 温度探头安装位置一致。被校烟气温度 CMS 和测温仪同时进行烟气温度的测量,每 3 分钟读取一次示值,连续读取 6 组烟气温度 CMS 和测温仪的示值,按公式计算示值误差。

A.14 测量模型

$$\Delta T = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (T_i - T_{si})$$

式中:

ΔT —烟气温度示值误差, °C;

T_i —第 i 次烟气温度 CMS 测量的烟气温度值, °C ($i=1, 2, \dots, 6$);

T_{si} —第 i 次测温仪测量的烟气温度值, °C。

因为各分量互不相关,则:

$$u^2(\Delta T) = c_1^2 u^2(T_i) + c_2^2 u^2(T_{si})$$

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial T_i} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial T_{si}} = -1$$

A.15 标准不确定度的评定

A.15.1 测量重复性引入的标准不确定度

根据 7.4 的方法,用测温仪对系统流速重复测量 10 次,结果如下表 A.5 所示:

表 A.5 温度测量值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/°C	50.1	50.0	50.1	50.1	49.9	49.9	50.1	50.2	50.1	50.1

测量值的平均值:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i}{10} = 50.1(\text{°C})$$

试验标准差为:

$$s(T_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} = 0.10^{\circ}\text{C}$$

实际测量时，以 6 次测量的算术平均值作为测量结果，故由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(T_i) = \frac{s(T_i)}{\sqrt{6}} = 0.04^{\circ}\text{C}$$

A.15.2 测温仪引入的标准不确定度

根据规范要求，测温仪最大允许误差不超过 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布计算，其引入的标准不确定度分量为： $u(T_s) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12^{\circ}\text{C}$

A.16 标准不确定度分量一览表

表 A.6 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量 ($^{\circ}\text{C}$)
测量重复性	$u(T_i)$	1	0.04
测温仪	$u(T_s)$	-1	0.12

A.17 合成标准不确定

以上各分量互不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{0.04^2 + 0.12^2} = 0.13^{\circ}\text{C}$$

A.18 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 $U=0.3^{\circ}\text{C}$

烟气湿度示值误差测量结果扩展不确定度评定

A.19 测量方法

将湿度传感器放入烟气湿度 CMS 测试断面,与被校烟气湿度 CMS 湿度探头安装位置一致。被校烟气湿度 CMS 和湿度传感器同时进行烟气湿度的测量,每 3 分钟读取一次示值,连续读取 6 组烟气湿度 CMS 和湿度传感器的示值,按公式计算示值误差。

A.20 测量模型

$$\Delta X = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (X_i - X_{si})$$

式中:

ΔX —烟气湿度示值绝对误差, %;

X_i —第 i 次烟气湿度 CMS 测量的烟气湿度值, % ($i=1, 2, \dots, 6$);

X_{si} —第 i 次湿度传感器测量的烟气湿度值, %。

因为各分量互不相关,则:

$$u^2(\Delta X) = c_1^2 u^2(X_i) + c_2^2 u^2(X_{si})$$

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial X_i} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial X_{si}} = -1$$

A.21 标准不确定度的评定

A.21.1 测量重复性引入的标准不确定度

根据 7.5 的方法,用湿度传感器对系统湿度重复测量 10 次,结果如下表 A.7 所示:

表 A.7 温度测量值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/%	99.3	99.8	99.7	99.4	99.3	99.5	99.3	99.6	99.9	99.2

测量值的平均值:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = 99.5(\%)$$

试验标准差为:

$$s(X_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0.24\%$$

实际测量时，以 6 次测量的算术平均值作为测量结果，故由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(X_i) = \frac{s(X_i)}{\sqrt{6}} = 0.10\%$$

A.21.2 湿度传感器引入的标准不确定度

根据规范要求，湿度传感器最大允许误差不超过±4%，按均匀分布计算，其引入的

标准不确定度分量为： $u(X_s) = \frac{4\%}{\sqrt{3}} = 2.3\%$

A.22 标准不确定度分量一览表

表 A.6 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量 (%)
测量重复性	$u(X_i)$	1	0.10
测温仪	$u(X_s)$	-1	2.31

A.23 合成标准不确定

以上各分量互不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{0.10\%^2 + 2.31\%^2} = 2.31\%$$

A.24 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则 $U=4.6\%$

附录 B

校准原始记录格式

仪器名称：_____ 仪器型号：_____ 出厂编号：_____

制造厂：_____ 送校单位：_____ 校准依据：_____

校准用标准器具和配套设备：_____ 校准地点：_____

校准环境： 温度：__℃ 湿度：__%RH 大气压力：__kPa 校准日期：_____

B1、外观检查：符合要求 不符合要求

B2、零点和量程漂移

系统量程				
标准气体浓度	零点/%		量程/%	
	初始值 Z_0	读数值 Z_i	初始值 Z_0	读数值 Z_i
零点漂移/%FS				
量程漂移/%FS				

B3、响应时间

标准气体浓度 标称值/%	响应时间 (T) /s			
	1	2	3	平均值

B4、CO₂示值误差

标准气体		满量程（20%±10%）的标气	满量程（50%±10%）的标气	满量程（80%±10%）的标气	备注
标称值					
实测值	1				
	2				
	3				
	平均值				
示值误差/%					

B5、重复性

标准气体 浓度标称 值/%	示值/%						相对标准 偏差/%
	1	2	3	4	5	6	

B6、烟气流速

项目	测量数据/（m/s）											
	系 统 1	实 际 1	系 统 2	实 际 2	系 统 3	实 际 3	系 统 4	实 际 4	系 统 5	实 际 5	系 统 6	实 际 6
流速 示值 m/s												
示值 误差 /%												
示值 误差 平均 值/%												

B7、烟气温度

项目	测量数据					
	1	2	3	4	5	6
CO ₂ -CEMS 系统示值 /°C						
测温仪示 值/°C						
示值误差 /°C						
示值误差 平均值 /°C						

B8、烟气湿度

项目	测量数据					
	1	2	3	4	5	6
CO ₂ -CEMS 系统示值 /%RH						
湿度传感 器示值 /%RH						
示值误差 /%RH						
示值误差 平均值 /%RH						

附录 C

校准证书内页格式

证书编号:

校准结果

校准项目	校准结果	测量结果扩展不确定度 $U(k=2)$
零点漂移/%		/
量程漂移/%		/
响应时间/s		/
示值误差/%		
重复性/%		/
烟气流速示值误差/%		
烟气温度示值误差/°C		
烟气湿度示值误差/%		

