

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF××××—××××

烟气 HCl、CO 连续监测系统校准规范

Calibration Specification for Continuous Monitoring Systems for

Hydrogen Chloride and Carbon Monoxide in Flue Gas

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

烟气 HCl、CO 连续监测系统 校准规范

Calibration Specification for Continuous
Monitoring Systems for Hydrogen Chloride
and Carbon Monoxide in Flue Gas

JJF ××××—××××

归口单位：全国生态环境监管专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国测试技术研究院化学研究所

四川省生态环境监测总站

四川省成都生态环境监测中心

上海市环境监测中心

浙江省生态环境监测中心

本规范委托全国生态环境监管专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引言.....	(III)
1 范围.....	(1)
2 术语和计量单位.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(1)
5 校准条件.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
7 校准结果表达.....	(5)
8 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 示值误差的测量不确定度评定示例.....	(6)
附录 B 烟气 HCl、CO 连续监测系统校准原始记录格式(参考).....	(13)
附录 C 校准证书内页格式(参考).....	(16)

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列文件。

本规范的制定参考了 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》和 HJ 76-2017 《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》。

本规范为首次发布。

烟气 HCl、CO 连续监测系统校准规范

1 范围

本规范适用于烟气 HCl、CO 连续监测系统的校准。

2 术语和计量单位

2.1 满量程

根据实际应用需要设置烟气 HCl、CO 连续监测系统的最大测量值，单位： $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 。

2.2 系统响应时间

系统响应时间指从烟气 HCl、CO 连续监测系统采样探头通入标准气体的时刻起，到气体分析仪示值达到标准气体标称值 90% 的时刻止，中间的时间间隔，单位：s。

2.3 零点漂移

在仪器未进行维修、保养或调节的前提下，烟气 HCl、CO 连续监测系统按规定的时间运行后通入零点气体，仪器的读数与零点气体初始测量值之间的偏差相对于满量程的百分比。

2.4 量程漂移

在仪器未进行维修、保养或调节的前提下，烟气 HCl、CO 连续监测系统按规定的时间运行后通入量程校准气体，仪器的读数与量程校准气体初始测量值之间的偏差相对于满量程的百分比。

3 概述

烟气 HCl、CO 连续监测系统（以下简称仪器）主要用于监测固定污染源烟气中气态污染物 HCl、CO 的浓度。仪器主要由高温取样系统和高温测量系统组成，使得从取样探头取样、传输、样品处理到分析的全过程，被测烟气的温度都保持在烟气露点以上。高温取样系统主要包括带加热过滤器的高温取样探头，高温条件运行的测量/反吹/校准阀组、伴热取样管线、高温取样泵，高温流量计和加热样气传输管线等；高温测量系统主要包括高温气体分析仪。其中，高温气体分析仪的测量原理主要包括高温傅立叶变换红外光谱法和高温气体滤波相关红外光谱法等。

4 计量特性

仪器的计量性能指标见表 1。

表 1 计量性能指标

校准项目	技术指标			
	HCl		CO	
示值误差	<100 $\mu\text{mol/mol}$ (163 mg/m^3 , 标准状态)	$\geq 100 \mu\text{mol/mol}$ (163 mg/m^3 , 标准状态)	<200 $\mu\text{mol/mol}$ (250 mg/m^3 , 标准状态)	$\geq 200 \mu\text{mol/mol}$ (250 mg/m^3 , 标准状态)
	$\pm 6\%$ F.S.	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$ F.S.	$\pm 7\%$
系统响应时间	400 s		200 s	
重复性	2%			
零点漂移	$\pm 2.5\%$ F.S.			
量程漂移	$\pm 2.5\%$ F.S.			

注：(1) 以上各项指标不适用于合格性判定，仅供参考；

(2) 标准状态：温度为 273 K，压力为 101.325 kPa 时的状态。本规范中的 HCl、CO 质量浓度均为标准状态下的干烟气浓度。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：(15~35) $^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.2 环境湿度：相对湿度 $\leq 85\%$ 。

5.1.3 大气压：(80~106) kPa。

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

注：低温、低压等特殊环境条件下，仪器设备的配置应满足当地环境条件的使用要求。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 气体标准物质

氮中氯化氢有证气体标准物质，相对扩展不确定度不大于3% ($k=2$)；当采用气体稀释装置时，稀释后的标准气体的相对扩展不确定度不大于3% ($k=2$)。

氮中一氧化碳有证气体标准物质，相对扩展不确定度不大于2% ($k=2$)；当采用气体稀释装置时，稀释后的标准气体的相对扩展不确定度不大于2% ($k=2$)。

5.2.2 零点气体

采用纯度为99.999%的氮气。

5.2.3 电子秒表

最大允许误差不超过 ± 0.10 s/h。

5.2.4 流量计

(0~5) L/min, 准确度级别不低于4.0级。

5.2.5 减压阀及气体管路

应使用不易与氯化氢气体发生反应或吸附的材质,如不锈钢阀和聚四氟乙烯管路。

6 校准项目和校准方法

在调整仪器的零点和示值,以及进行示值误差、重复性、系统响应时间、零点漂移和量程漂移等校准项目时,零点气体和气体标准物质须与样品气体通过的路径一致,即零点气体和气体标准物质均应通过仪器的预设标气传输管线输送至采样探头,再由样气传输管线经过样品处理后进入测量系统进行分析。

6.1 仪器的调整

仪器运行稳定后,按照仪器设定采样流量从预设管线通入零点气体,待读数稳定后,调整仪器的零点;再按照相同流量通入浓度约为满量程 80% 的气体标准物质,待读数稳定后,调整仪器的示值与气体标准物质浓度值一致。

6.2 示值误差

按照 6.1 进行仪器调整后,以相同流量通入浓度约为满量程 20% 的气体标准物质,待示值稳定后,记录仪器示值,然后通入零点气体,使之回零后,再通入上述浓度的气体标准物质。重复测量 3 次,按公式 (1) 计算 3 次示值的算术平均值 \bar{C} 。按相同步骤测量浓度约为满量程 50%、80% 的气体标准物质。

当 HCl 满量程 $\geq 100 \mu\text{mol/mol}$ (163 mg/m^3) 及 CO 满量程 $\geq 200 \mu\text{mol/mol}$ (250 mg/m^3) 时,按公式 (2) 计算各浓度点的示值误差 ΔC ; 当 HCl 满量程 $< 100 \mu\text{mol/mol}$ (163 mg/m^3) 及 CO 满量程 $< 200 \mu\text{mol/mol}$ (250 mg/m^3) 时,按公式 (3) 计算各浓度点的示值误差 $\Delta C'$ 。

$$\bar{C} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 C_i \quad (1)$$

$$\Delta C = \frac{\bar{C} - C_s}{C_s} \times 100\% \quad (2)$$

$$\Delta C' = \frac{\bar{C} - C_s}{R} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

C_i ——各浓度点第 i 次测量的示值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

C_s ——气体标准物质浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

R ——满量程， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 。

6.3 重复性

通入浓度约为满量程 50% 的气体标准物质，待示值稳定后，记录仪器示值，然后通入零点气体，使之回零后，再通入上述浓度的气体标准物质。重复测量 7 次，按公式（4）计算单次测量的相对标准偏差 s_r 作为仪器的重复性。

$$s_r = \frac{1}{C} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{7-1}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

C_i ——第 i 次测量的示值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

\bar{C} ——7 次示值的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 。

6.4 系统响应时间

按照 6.1 进行仪器调整后，以相同流量通入零点气体，待读数稳定后，再通入浓度约为满量程 80% 的气体标准物质，同时用秒表开始计时。观察仪器示值，至读数开始跃变起，记录管线（标气传输管线、样品传输管线）传输时间 T_1 ；继续观察并记录仪器示值上升至气体标准物质浓度值 90% 时的仪表响应时间 T_2 。系统响应时间为 $T_1/2$ 和 T_2 之和，重复测定 3 次，取平均值。

6.5 零点漂移和量程漂移

按照 6.1 进行仪器调整后，以相同流量通入零点气体，待示值稳定后，记录零点读数初始值 Z_0 ；然后通入约为满量程 80% 的气体标准物质，待示值稳定后，记录读数初始值 S_0 ，撤去气体标准物质；待系统连续运行 4 h（期间不允许任何校准和维护）后，通入零点气体，记录仪器稳定示值 Z_n ，再通入约为满量程 80% 的气体标准物质，记录仪器稳定示值 S_n 。按公式（5）计算零点漂移 ΔZ_n ，按公式（6）计算量程漂移 ΔS_n 。

$$\Delta Z_n = \frac{Z_n - Z_0}{R} \times 100\% \quad (5)$$

$$\Delta S_n = \frac{S_n - S_0}{R} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

R ——满量程， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 。

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或校准报告应至少包含以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- 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) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- 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) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

建议复校时间间隔为一年。

附录A

示值误差的测量不确定度评定示例

A.1 测量方法

依次通入浓度约为满量程 20%、50%、80%的气体标准物质，待示值稳定后，记录仪器示值，每个浓度点重复测量 3 次，取 3 次示值的算术平均值与气体标准物质浓度值比较得到示值误差。

A.2 测量模型

A.2.1 当 HCl 满量程 $\geq 100 \mu\text{mol/mol}$ (163 mg/m^3) 及 CO 满量程 $\geq 200 \mu\text{mol/mol}$ (250 mg/m^3) 时，测量模型为：

$$\Delta C = \frac{\bar{C} - C_s}{C_s} \times 100\% = \left(\frac{\bar{C}}{C_s} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

ΔC ——示值误差；

C_s ——气体标准物质浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

\bar{C} ——3 次示值的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 。

A.2.2 当 HCl 满量程 $< 100 \mu\text{mol/mol}$ (163 mg/m^3) 及 CO 满量程 $< 200 \mu\text{mol/mol}$ (250 mg/m^3) 时，测量模型为：

$$\Delta C' = \frac{\bar{C} - C_s}{R} \times 100\% \quad (\text{A.2})$$

式中：

$\Delta C'$ ——示值误差；

C_s ——气体标准物质浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

\bar{C} ——3 次示值的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

R ——满量程， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 。

A.3 合成方差和灵敏系数

根据 A.2.1 测量模型，由于各输入量间不相关，所以合成方差为：

$$u_{\text{crel}}^2(\Delta C) = u_{\text{rel}}^2(\bar{C}) + u_{\text{rel}}^2(C_s) \quad (\text{A.3})$$

根据 A.2.2 测量模型，由于各输入量间不相关，所以合成方差为：

$$u_c^2(\Delta C') = c_1^2 u^2(\bar{C}) + c_2^2 u^2(C_s) \quad (\text{A.4})$$

其中，灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{1}{R}, \quad c_2 = -\frac{1}{R}$$

A.4 标准不确定度评定

A.4.1 标准物质引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(C_s)$ / 标准不确定度 $u(C_s)$

A.4.1.1 当 HCl 量程为 (0~200) mg/m^3 时，选用浓度约为满量程 20%、50%、80% 的三种 HCl 气体标准物质，即浓度约为 40 mg/m^3 、100 mg/m^3 、160 mg/m^3 的 HCl 气体标准物质进行示值误差项目的校准。

由 HCl 气体标准物质证书可知，三种气体标准物质的认定值分别为：41.2 mg/m^3 、101 mg/m^3 、162 mg/m^3 ，三种气体标准物质的相对扩展不确定度均为： $U_{\text{rel}}=3\%$ ($k=2$)，则三个浓度测量点由气体标准物质引入的相对标准不确定度均为：

$$u_{\text{rel}}(C_s) = \frac{U_{\text{rel}}}{k} = \frac{3\%}{2} = 1.5\%$$

当 HCl 量程为 (0~150) mg/m^3 时，选用浓度约为满量程 20%、50%、80% 的三种 HCl 气体标准物质，即浓度约为 30 mg/m^3 、75 mg/m^3 、120 mg/m^3 的 HCl 气体标准物质进行示值误差项目的校准。

由 HCl 气体标准物质证书可知，三种气体标准物质的认定值分别为：30.8 mg/m^3 、75.4 mg/m^3 、120 mg/m^3 ，三种气体标准物质的相对扩展不确定度均为： $U_{\text{rel}}=3\%$ ($k=2$)，则三个浓度测量点由气体标准物质引入的相对标准不确定度均为：

$$u_{\text{rel}}(C_s) = \frac{U_{\text{rel}}}{k} = \frac{3\%}{2} = 1.5\%$$

各浓度测量点由气体标准物质引入的标准不确定度为：

$$30.8 \text{ mg}/\text{m}^3: u(C_s) = u_{\text{rel}}(C_s) \times 30.8 \text{ mg}/\text{m}^3 = 1.5\% \times 30.8 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0.462 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$75.4 \text{ mg}/\text{m}^3: u(C_s) = u_{\text{rel}}(C_s) \times 75.4 \text{ mg}/\text{m}^3 = 1.5\% \times 75.4 \text{ mg}/\text{m}^3 = 1.131 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$120 \text{ mg}/\text{m}^3: u(C_s) = u_{\text{rel}}(C_s) \times 120 \text{ mg}/\text{m}^3 = 1.5\% \times 120 \text{ mg}/\text{m}^3 = 1.8 \text{ mg}/\text{m}^3$$

A.4.1.2 当 CO 量程为 (0~300) mg/m^3 时，选用浓度约为满量程 20%、50%、80%

的三种 CO 气体标准物质，即浓度约为 60 mg/m³、150 mg/m³、240 mg/m³ 的 CO 气体标准物质进行示值误差项目的校准。

由 CO 气体标准物质证书可知，三种气体标准物质的认定值分别为：59.8 mg/m³、151 mg/m³、241 mg/m³，三种气体标准物质的相对扩展不确定度均为： $U_{\text{rel}}=2\%$ （ $k=2$ ），则三个浓度测量点由气体标准物质引入的相对标准不确定度均为：

$$u_{\text{rel}}(C_s) = \frac{U_{\text{rel}}}{k} = \frac{2\%}{2} = 1\%$$

当 CO 量程为（0~200）mg/m³ 时，选用浓度约为满量程 20%、50%、80% 的三种 CO 气体标准物质，即浓度约为 40 mg/m³、100 mg/m³、160 mg/m³ 的 CO 气体标准物质进行示值误差项目的校准。

由 CO 气体标准物质证书可知，三种气体标准物质的认定值分别为：40.2 mg/m³、101 mg/m³、163 mg/m³，三种气体标准物质的相对扩展不确定度均为： $U_{\text{rel}}=2\%$ （ $k=2$ ），则三个浓度测量点由气体标准物质引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(C_s) = \frac{U_{\text{rel}}}{k} = \frac{2\%}{2} = 1\%$$

各浓度测量点由气体标准物质引入的标准不确定度为：

$$40.2 \text{ mg/m}^3: u(C_s) = u_{\text{rel}}(C_s) \times 40.2 \text{ mg/m}^3 = 1\% \times 40.2 \text{ mg/m}^3 = 0.402 \text{ mg/m}^3$$

$$101 \text{ mg/m}^3: u(C_s) = u_{\text{rel}}(C_s) \times 101 \text{ mg/m}^3 = 1\% \times 101 \text{ mg/m}^3 = 1.01 \text{ mg/m}^3$$

$$163 \text{ mg/m}^3: u(C_s) = u_{\text{rel}}(C_s) \times 163 \text{ mg/m}^3 = 1\% \times 163 \text{ mg/m}^3 = 1.63 \text{ mg/m}^3$$

A.4.2 重复测量引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\bar{C})$ / 标准不确定度 $u(\bar{C})$

按照规范要求，在进行示值误差项目校准时，各浓度点重复测量 3 次，其 3 次测量的示值平均值与气体标准物质浓度值比较求得示值误差。则重复测量引入的相对标准不确定度/标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(\bar{C}) = \frac{C_{i\text{max}} - C_{i\text{min}}}{1.69 \times \sqrt{3} \times \bar{C}}$$

$$u(\bar{C}) = \frac{C_{i\text{max}} - C_{i\text{min}}}{1.69 \times \sqrt{3}}$$

式中：

$C_{i\text{max}}$ ——3 次重复测量的示值最大值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

$C_{i\min}$ ——3次重复测量的示值最小值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 ；

\bar{C} ——3次示值的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 或 mg/m^3 。

重复测量引入的相对标准不确定度/标准不确定度按照实际校准数据计算。
烟气 HCl、CO 连续监测系统示值误差校准数据及重复测量引入的相对标准不确定度/标准不确定度见表 A.1~A.4。

表 A.1 HCl 重复测量引入的相对标准不确定度

HCl 量程	C_s (mg/m^3)	C_i (mg/m^3)	\bar{C} (mg/m^3)	ΔC	$u_{\text{rel}}(\bar{C})$
(0~200) mg/m^3	41.2	38.86	39.203	-4.8%	0.58%
		39.22			
		39.53			
	101	100.97	100.950	-0.1%	0.20%
		100.65			
		101.23			
	162	159.65	160.437	-1.0%	0.37%
		161.37			
		160.29			

表 A.2 HCl 重复测量引入的标准不确定度

HCl 量程	C_s (mg/m^3)	C_i (mg/m^3)	\bar{C} (mg/m^3)	$\Delta C'$	$u(\bar{C})$ (mg/m^3)
(0~150) mg/m^3	30.8	31.95	32.000	0.8% F.S.	0.34
		32.52			
		31.53			
	75.4	73.36	73.653	-1.2% F.S.	0.18
		73.89			
		73.71			
	120	120.67	120.713	0.5% F.S.	0.27
		120.34			
		121.13			

表 A.3 CO 重复测量引入的相对标准不确定度

CO 量程	C_s (mg/m^3)	C_i (mg/m^3)	\bar{C} (mg/m^3)	ΔC	$u_{\text{rel}}(\bar{C})$
(0~300) mg/m^3	59.8	58.23	58.407	-2.3%	0.38%
		58.82			
		58.17			
	151	148.75	148.257	-1.8%	0.25%
		147.68			
		148.34			
	241	241.75	241.760	0.3%	0.13%
		242.21			
		241.32			

表 A.4 CO 重复测量引入的标准不确定度

CO 量程	C_s (mg/m ³)	C_i (mg/m ³)	\bar{C} (mg/m ³)	$\Delta C'$	$u(\bar{C})$ (mg/m ³)
(0~200) mg/m ³	40.2	37.62	37.940	-0.9% F.S.	0.24
		38.31			
		37.89			
	101	103.03	103.033	0.8% F.S.	0.19
		102.75			
		103.32			
	163	162.55	162.573	-0.2% F.S.	0.32
		162.12			
		163.05			

A.5 合成相对标准不确定度 $u_{\text{crel}}(\Delta C)$ / 合成标准不确定度 $u_c(\Delta C')$

主要标准不确定度汇总见表A.5、A.6。

表A.5 HCl示值误差的测量不确定度分量汇总表

HCl 量程	标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
(0~200) mg/m ³	$u_{\text{rel}}(C_s)$	气体标准物质引入的 相对标准不确定度	41.2 mg/m ³ : 1.5% 101 mg/m ³ : 1.5% 162 mg/m ³ : 1.5%
	$u_{\text{rel}}(\bar{C})$	重复测量引入的 相对标准不确定度	41.2 mg/m ³ : 0.58% 101 mg/m ³ : 0.20% 162 mg/m ³ : 0.37%
(0~150) mg/m ³	$u(C_s)$	气体标准物质引入的 标准不确定度	30.8 mg/m ³ : 0.462 mg/m ³ 75.4 mg/m ³ : 1.131 mg/m ³ 120 mg/m ³ : 1.8 mg/m ³
	$u(\bar{C})$	重复测量引入的 标准不确定度	30.8 mg/m ³ : 0.34 mg/m ³ 75.4 mg/m ³ : 0.18 mg/m ³ 120 mg/m ³ : 0.27 mg/m ³

当 HCl 量程为 (0~200) mg/m³ 时, 合成相对标准不确定度为:

$$41.2 \text{ mg/m}^3: u_{\text{crel}}(\Delta C) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{C}) + u_{\text{rel}}^2(C_s)} = \sqrt{(0.58\%)^2 + (1.5\%)^2} = 1.61\%$$

$$101 \text{ mg/m}^3: u_{\text{crel}}(\Delta C) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{C}) + u_{\text{rel}}^2(C_s)} = \sqrt{(0.20\%)^2 + (1.5\%)^2} = 1.51\%$$

$$162 \text{ mg/m}^3: u_{\text{crel}}(\Delta C) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{C}) + u_{\text{rel}}^2(C_s)} = \sqrt{(0.37\%)^2 + (1.5\%)^2} = 1.54\%$$

当 HCl 量程为 (0~150) mg/m³ 时, 合成标准不确定度为:

30.8 mg/m³:

$$u_c(\Delta C') = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{C}) + c_2^2 u^2(C_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{150 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.34 \text{ mg/m}^3)^2 + \left(-\frac{1}{150 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.462 \text{ mg/m}^3)^2} = 0.38\%$$

75.4 mg/m³:

$$u_c(\Delta C') = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{C}) + c_2^2 u^2(C_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{150 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.18 \text{ mg/m}^3)^2 + \left(-\frac{1}{150 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (1.131 \text{ mg/m}^3)^2} = 0.76\%$$

120 mg/m³:

$$u_c(\Delta C') = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{C}) + c_2^2 u^2(C_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{150 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.27 \text{ mg/m}^3)^2 + \left(-\frac{1}{150 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (1.8 \text{ mg/m}^3)^2} = 1.21\%$$

表A.6 CO示值误差的测量不确定度分量汇总表

CO 量程	标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
(0~300) mg/m ³	$u_{\text{rel}}(C_s)$	气体标准物质引入的 相对标准不确定度	59.8 mg/m ³ : 1% 151 mg/m ³ : 1% 241 mg/m ³ : 1%
	$u_{\text{rel}}(\bar{C})$	重复测量引入的 相对标准不确定度	59.8 mg/m ³ : 0.38% 151 mg/m ³ : 0.25% 241 mg/m ³ : 0.13%
(0~200) mg/m ³	$u(C_s)$	气体标准物质引入的 标准不确定度	40.2 mg/m ³ : 0.402 mg/m ³ 101 mg/m ³ : 1.01 mg/m ³ 163 mg/m ³ : 1.63 mg/m ³
	$u(\bar{C})$	重复测量引入的 标准不确定度	40.2 mg/m ³ : 0.24 mg/m ³ 101 mg/m ³ : 0.19 mg/m ³ 163 mg/m ³ : 0.32 mg/m ³

当 CO 量程为 (0~300) mg/m³ 时, 合成相对标准不确定度为:

$$59.8 \text{ mg/m}^3: u_{\text{crel}}(\Delta C) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{C}) + u_{\text{rel}}^2(C_s)} = \sqrt{(0.38\%)^2 + (1\%)^2} = 1.07\%$$

$$151 \text{ mg/m}^3: u_{\text{crel}}(\Delta C) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{C}) + u_{\text{rel}}^2(C_s)} = \sqrt{(0.25\%)^2 + (1\%)^2} = 1.03\%$$

$$241 \text{ mg/m}^3: u_{\text{crel}}(\Delta C) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{C}) + u_{\text{rel}}^2(C_s)} = \sqrt{(0.13\%)^2 + (1\%)^2} = 1.01\%$$

当 CO 量程为 (0~200) mg/m³ 时, 合成标准不确定度为:

40.2 mg/m³:

$$u_c(\Delta C') = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{C}) + c_2^2 u^2(C_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{200 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.24 \text{ mg/m}^3)^2 + \left(-\frac{1}{200 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.402 \text{ mg/m}^3)^2} = 0.23\%$$

101 mg/m³:

$$u_c(\Delta C') = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{C}) + c_2^2 u^2(C_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{200 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.19 \text{ mg/m}^3)^2 + \left(-\frac{1}{200 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (1.01 \text{ mg/m}^3)^2} = 0.51\%$$

163 mg/m³:

$$u_c(\Delta C') = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{C}) + c_2^2 u^2(C_s)} = \sqrt{\left(\frac{1}{200 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (0.32 \text{ mg/m}^3)^2 + \left(-\frac{1}{200 \text{ mg/m}^3}\right)^2 \times (1.63 \text{ mg/m}^3)^2} = 0.83\%$$

A.6 相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\Delta C)$ / 扩展不确定度 $U(\Delta C')$

取包含因子 $k = 2$ ，则： $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2u_{\text{crel}}(\Delta C)$ ， $U(\Delta C') = 2u_c(\Delta C')$ 。

当 HCl 量程为 (0~200) mg/m^3 时，相对扩展不确定度为：

41.2 mg/m^3 ： $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2u_{\text{crel}}(\Delta C) = 2 \times 1.61\% = 3.22\%$ ，取 $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 3.3\%$ 。

101 mg/m^3 ： $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2u_{\text{crel}}(\Delta C) = 2 \times 1.51\% = 3.02\%$ ，取 $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 3.1\%$ 。

162 mg/m^3 ： $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2u_{\text{crel}}(\Delta C) = 2 \times 1.54\% = 3.08\%$ ，取 $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 3.1\%$ 。

当 HCl 量程为 (0~150) mg/m^3 时，扩展不确定度为：

30.8 mg/m^3 ： $U(\Delta C') = 2u_c(\Delta C') = 2 \times 0.38\% = 0.76\%$ ，取 $U(\Delta C') = 0.8\%$ 。

75.4 mg/m^3 ： $U(\Delta C') = 2u_c(\Delta C') = 2 \times 0.76\% = 1.52\%$ ，取 $U(\Delta C') = 1.6\%$ 。

120 mg/m^3 ： $U(\Delta C') = 2u_c(\Delta C') = 2 \times 1.21\% = 2.42\%$ ，取 $U(\Delta C') = 2.5\%$ 。

当 CO 量程为 (0~300) mg/m^3 时，相对扩展不确定度为：

59.8 mg/m^3 ： $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2u_{\text{crel}}(\Delta C) = 2 \times 1.07\% = 2.14\%$ ，取 $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2.2\%$ 。

151 mg/m^3 ： $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2u_{\text{crel}}(\Delta C) = 2 \times 1.03\% = 2.06\%$ ，取 $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2.1\%$ 。

162 mg/m^3 ： $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2u_{\text{crel}}(\Delta C) = 2 \times 1.01\% = 2.02\%$ ，取 $U_{\text{rel}}(\Delta C) = 2.1\%$ 。

当 CO 量程为 (0~200) mg/m^3 时，扩展不确定度为：

40.2 mg/m^3 ： $U(\Delta C') = 2u_c(\Delta C') = 2 \times 0.23\% = 0.46\%$ ，取 $U(\Delta C') = 0.5\%$ 。

101 mg/m^3 ： $U(\Delta C') = 2u_c(\Delta C') = 2 \times 0.51\% = 1.02\%$ ，取 $U(\Delta C') = 1.1\%$ 。

163 mg/m^3 ： $U(\Delta C') = 2u_c(\Delta C') = 2 \times 0.83\% = 1.66\%$ ，取 $U(\Delta C') = 1.7\%$ 。

附录B

烟气 HCl、CO 连续监测系统校准原始记录格式（参考）

校准日期：

记录编号：

证书编号					
委托方	名称：	校准员			
	地址：	核验员			
样品名称					
型号/规格					
制造厂/商					
出厂编号					
校准环境 条件	地点：				
	温度：	°C	相对湿度：	%	
备注					
本次校准所用的校准器具					
名称	编号	测量范围	不确定度或准确度等级 或最大允许误差	证书编号	有效期至
依据技术文件：					

1、示值误差

HCl 量程	C_s	C_i	\bar{C}	$\Delta C/\Delta C'$	
CO 量程	C_s	C_i	\bar{C}	$\Delta C/\Delta C'$	

2、重复性

HCl 量程	C_s	C_i	\bar{C}	s_r	
CO 量程	C_s	C_i	\bar{C}	s_r	

3、系统响应时间

HCl 系统响应时间/s		CO 系统响应时间/s	
测量值	平均值	测量值	平均值

4、零点漂移和量程漂移

HCl 量程	Z_0	Z_n	ΔZ_n
	S_0	S_n	ΔS_n
CO 量程	Z_0	Z_n	ΔZ_n
	S_0	S_n	ΔS_n

附录 C

校准证书内页格式（参考）

校准证书第 3 页

校准结果

校准项目	校准结果
示值误差	
重复性	
系统响应时间	
零点漂移	
量程漂移	

示值误差测量结果的不确定度：

以下空白

第x页 共x页