

中华人民共和国工业和信息化部
石油和化工计量技术规范

JJF（石化）××××-202×

激光甲烷气体检测报警器校准规范

Calibration Specification for Laser Methanol Gas Detectors and
Alarms

（报批稿）

202×-××-××发布

202×-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

激光甲烷气体检测 报警器校准规范

JJF（石化）XXXX-202X

Calibration Specification for Laser

Methanol Gas Detectors and Alarms

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：济宁市质量计量检验检测研究院

山东恒量测试科技有限公司

山东省计量科学研究院

参加起草单位：曲阜市市场监管服务中心

安仪智控（北京）科技有限公司

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

赵 鑫（济宁市质量计量检验检测研究院）

尚文博（济宁市质量计量检验检测研究院）

岳宗龙（山东恒量测试科技有限公司）

高 捷（山东省计量科学研究院）

杨新光（济宁市质量计量检验检测研究院）

参加起草人：

屈兴亮（曲阜市市场监管服务中心）

李恩华 [安仪智控（北京）科技有限公司]

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(1)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 测量标准及其他设备.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(3)
6.1 校准项目.....	(3)
6.2 校准方法.....	(3)
7 校准结果.....	(6)
7.1 校准记录.....	(6)
7.2 校准证书.....	(6)
7.3 不确定度.....	(6)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 激光甲烷气体检测报警器校准记录格式.....	(7)
附录 B 激光甲烷气体检测报警器校准证书内页格式.....	(9)
附录 C 激光甲烷气体检测报警器示值误差测量结果不确定度评定示例.....	(10)
附录 D 响应时间测量结果不确定度评定示例.....	(14)

引 言

本规范依据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》和JJF 1059.1—2012 《测量不确定度评定与表示》等基础性系列规范进行制定。

本规范主要参考GB 12358-2006 《作业场所环境气体检测报警仪通用技术要求》及GB/T 50493-2019 《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》编制而成。

本规范为首次发布。

激光甲烷气体检测报警器校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为 $(0\sim 100) \times 10^{-2}$ mol/mol，或 $(0\sim 100)\%$ LEL 量程激光甲烷气体检测报警器的校准。

2 引用文件

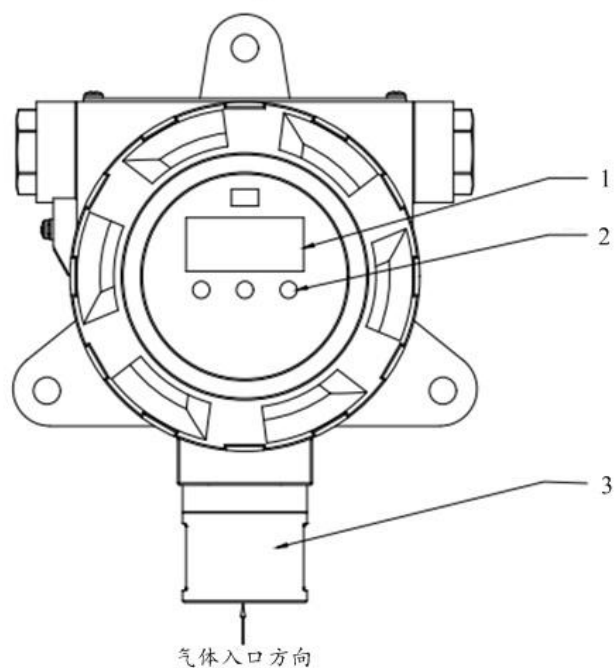
本规范引用了下列文件：

JJF 1071 国家计量校准规范编写规则

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。

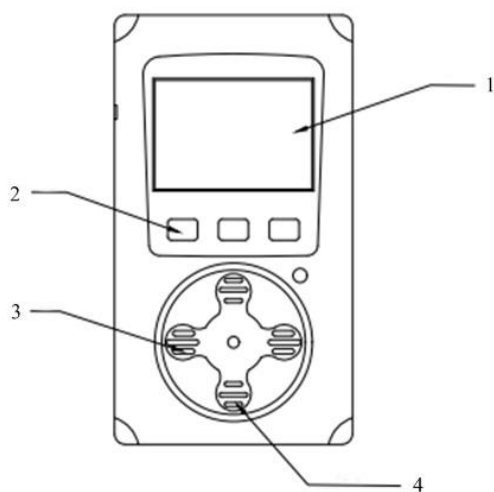
3 概述

激光甲烷气体检测报警器（以下简称报警器）适用于作业场所中甲烷气体浓度的检测和报警。报警器的检测原理是激光光谱吸收原理。报警器主要由激光探头、信号处理单元、报警单元、显示单元等部分组成。当报警器显示值大于报警设定值时，具有声、光或振动报警。按照使用方式可分为固定式和便携式。



1—显示器；2—指示灯；3—传感器

图1 固定式报警器结构示意图



1—显示器；2—按键；3—传感器；4—进气口

图 2 便携式报警器结构示意图

4 计量特性

具体计量特性见表 1。

表 1 报警器计量特性一览表

序号	项目		技术要求
1	示值误差	$(0\sim 100)\times 10^{-2}\text{mol/mol}$	$\pm 0.06\times 10^{-2}\text{mol/mol}$ 或 $\pm 6\%$ 满足其一即可
		$(0\sim 100)\% \text{LEL}$	$\pm 3\% \text{LEL}$
2	重复性		不大于 2%
3	响应时间		不大于 20s
4	漂移	零点漂移	$\pm 1\% \text{FS}$
		量程漂移	$\pm 2\% \text{FS}$
注：1. FS 指报警器满量程值；2. 以上各项指标不适用于合格性判定，仅作参考。			

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度条件

环境温度： $(0\sim 40)^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85%。

5.1.3 其他条件

工作环境应无影响报警器正常工作的电磁场及干扰气体，校准现场应保持通风并采取安全措施。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求
1	示值误差	(1) 氮中甲烷有证气体标准物质，相对扩展不确定度不大于 2%， $k=2$ 。
2	重复性	(2) 零点气体：采用纯度为 99.999%的氮气或合成空气（由纯度为 99.999%的氮气和 99.999%的氧气配制）。 (3) 流量计：测量范围（0~1.5）L/min，准确度级别不低于 4 级。
3	响应时间	(1) 氮中甲烷有证气体标准物质，相对扩展不确定度不大于 2%， $k=2$ 。
4	漂移	(2) 零点气体：采用纯度为 99.999%的氮气或合成空气（由纯度为 99.999%的氮气和 99.999%的氧气配制）。 (3) 流量计：测量范围（0~1.5）L/min，准确度级别不低于 4 级 (4) 电子秒表：分度值不大于 0.1s。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

报警器的校准项目见表 2。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前检查

6.2.1.1 报警器和设备

减压阀及气体管路：应使用不易与甲烷气体发生反应或吸附的材质。

6.2.1.2 外观检查

目测检查报警器的名称、型号、制造商、出厂编号等标识，设备应能正常运行。

6.2.1.3 报警功能和报警动作值的检查

通入浓度约为报警设定值 1.5 倍的气体标准物质，当示值超过报警设定值时，观察报警器声、光或振动报警功能是否正常，并记录报警器报警时的示值。

6.2.2 示值误差的校准

按照报警器说明书的要求对报警器进行预热，预热稳定后，按图2所示连接气体标准物质、流量计和被校报警器。校准泵吸式报警器时，应保证旁通流量计有气体放出。校准扩散式报警器时，应按照报警器使用说明书的要求调节流量。若报警器说明书中没有明确要求，则流量宜控制在 (500 ± 50) mL/min。用零点气体调整报警器的零点，用满量程50%的气体标准物质调整报警器的示值。

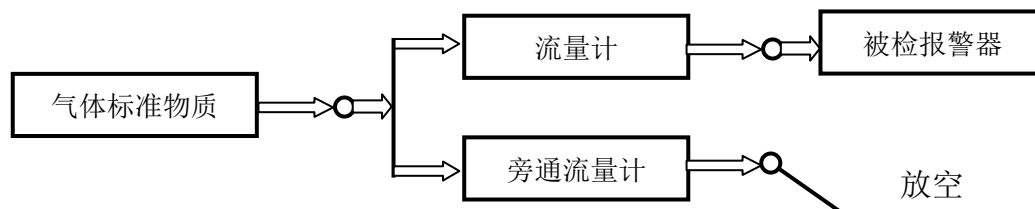


图1 报警器校准示意图

对于量程为 $(0 \sim 100) \times 10^{-2}$ mol/mol 的报警器依次通入浓度约为满量程20%、50%、80%的气体标准物质；对于量程为 $(0 \sim 100)$ %LEL 的报警器依次通入约为10%LEL、40%LEL、60%LEL的气体标准物质。待示值稳定后，记录报警器示值，每个浓度点重复测量3次，取3次示值的算术平均值 \bar{C} 作为报警器各浓度点的示值，按照式（1）或式（2）计算各浓度点的示值误差 ΔC ，结果保留到 0.1×10^{-2} mol/mol 或1% LEL。

$$\Delta C = \bar{C} - C_s \quad (1)$$

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

式中：

ΔC ——示值误差；

\bar{C} ——3次示值的算术平均值；

C_s ——气体标准物质浓度值。

6.2.3 重复性的校准

通入零点气体使报警器示值回零，对于量程为 $(0 \sim 100) \times 10^{-2} \text{ mol/mol}$ 的报警器通入浓度约为满量程 50% 的气体标准物质；对于量程为 $(0 \sim 100) \% \text{LEL}$ 的报警器通入约为 40%LEL 气体标准物质。待示值稳定后，记录报警器示值 C_i 。重复测量 6 次，重复性以单个测量值的相对标准偏差表示。按照式 (3) 计算报警器的重复性 s_r 。

$$s_r = \frac{1}{\bar{C}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (C_i - \bar{C})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (3)$$

式中： s_r ——报警器重复性，%；

C_i ——报警器第 i 次测量的示值；

\bar{C} ——6 次报警器示值的算术平均值；

n ——测量次数 ($n=6$)。

6.2.4 响应时间的校准

通入零点气体使报警器示值回零，对于量程为 $(0 \sim 100) \times 10^{-2} \text{ mol/mol}$ 的报警器通入浓度约为满量程 50% 的气体标准物质；对于量程为 $(0 \sim 100) \% \text{LEL}$ 的报警器通入约为 40%LEL 气体标准物质。待示值稳定后，读取报警器示值，然后撤去气体标准物质，通入零点气体使报警器示值回零，再通入上述浓度的气体标准物质，同时启动秒表，待报警器显示值到达稳定示值的 90% 时停止计时，记录秒表读数。重复测量 3 次，取 3 次测得值的算术平均值作为报警器的响应时间，按照式 (3) 计算响应时间 \bar{t} ，结果保留 0.1s。

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \quad (4)$$

式中:

\bar{t} ——响应时间, s;

t_1 ——第1次响应时间, s;

t_2 ——第2次响应时间, s;

t_3 ——第3次响应时间, s;

6.2.5 漂移的校准

报警器的漂移包括零点漂移和量程漂移。

通入零点气体使报警器示值回零, 读取稳定示值记为 C_{zo} , 对于量程为 $(0 \sim 100) \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ 的报警器再通入浓度约为满量程80%的气体标准物质; 对于量程为 $(0 \sim 100) \% \text{LEL}$ 的报警器再通入约为60%LEL气体标准物质。读取稳定示值记为 C_{so} 。对便携式报警器连续运行1h, 每间隔15 min通入零点气体读取报警器稳定示值 C_{zi} , 再通入上述气体标准物质读取报警器稳定示值 C_{si} ($i=1,2,3,4$); 固定式报警器连续运行4h, 每间隔1h重复上述步骤1次。

按照式 (5) 计算零点漂移, 取绝对值最大的 ΔZ_i , 作为报警器的零点漂移。

$$\Delta Z_i = \frac{C_{zi} - C_{zo}}{R} \times 100\% \quad (5)$$

按照式 (6) 计算量程漂移, 取绝对值最大的 ΔS_i 作为报警器的量程漂移。

$$\Delta S_i = \frac{(C_{si} - C_{zi}) - (C_{so} - C_{zo})}{R} \times 100\% \quad (6)$$

式 (5) 与式 (6) 中:

ΔZ_i ——零点漂移, %FS;

C_{zo} ——初始零点值;

C_{zi} ——第 i 次零点值;

ΔS_i ——量程漂移, %FS;

C_{so} ——初始仪器示值;

C_{si} ——第 i 次仪器示值;

R ——报警器满量程。

7 校准结果

7.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽记录测量数据和计算结果,推荐的校准记录格式见附录 A。

7.2 校准证书

经校准的报警器应出具校准证书,校准结果应反映在校准证书上。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071-2010 中 5.12 的要求,推荐的校准证书内页格式见附录 B。

7.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度,评定示例见附录 C、附录 D。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由报警器的使用情况、使用者、报警器本身质量等因素所决定的,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,建议不超过 12 个月。如对报警器的检测数据有怀疑或报警器更换主要部件及修理后应对报警器重新校准。

附录 A

激光甲烷气体检测报警器校准记录格式

共 页第 页

基本信息							
委托单位		原始记录号		校准证书号			
报警器名称		规格型号		设备编号			
生产厂家				委托单位地址			
环境温度	℃		相对湿度	%			
校准前检查							
1. 外观检查符合要求 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>							
2. 报警功能和报警动作值的检查							
报警功能				报警动作值			
校准结果							
1. 示值误差							
气体标准物质浓度值	示值 1	示值 2	示值 3	平均值	绝对误差	相对误差	
扩展不确定度 ($k=2$)							
2. 重复性							
气体标准物质浓度值	1	2	3	4	5	6	\bar{c}
							s_r
3. 响应时间							
气体标准物质浓度值	响应时间测量值/(s)						
	1	2	3	响应时间			
扩展不确定度 ($k=2$)							

4. 漂移							
时间	0h 0min	1h 15min	2h 30min	3h 45min	4h 60min	ΔZ_{\max}	ΔS_{\max}
零点							
示值							
标准器							
名称	编号	证书编号	测量范围	有效期	不确定度或准确度等级或 最大允许误差		
校准依据：JJF（石化）xxxx-202x 激光甲烷气体检测报警器校准规范							
校准地点				校准日期	年	月	日
备注							

校准员：

检验员：

附录 B

激光甲烷气体检测报警器校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX					
校准机构授权说明					
校准的技术依据 JJF (石化) XX-XXXX 《激光甲烷气体检测报警器校准规范》					
校准环境及地点					
地点					
环境温度		环境湿度			
校准使用的计量(基)标准装置					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量(基)标准证书编号	有效期至	
校准项目		校准结果			
示值误差		气体标准物质	报警器示值	示值误差	示值误差的扩展不确定度 ($k=2$)
重复性					
响应时间(s)					
报警功能和报警动作值					
漂移	零点漂移 (%FS)				
	量程漂移 (%FS)				
备注					

附录 C

激光甲烷气体检测报警器示值误差测量结果的不确定度评定示例

C.1 校准方法

校准方法见本规范 6.2.2。

C.2 测量模型

示值误差的测量模型见式 (C.1) 或 (C.2)：

$$\Delta C = \bar{C} - C_s \quad (\text{C.1})$$

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

式中：

ΔC ——示值误差；

\bar{C} ——3次示值的算术平均值；

C_s ——气体标准物质浓度值。

方差和灵敏系数

$$u_c^2(\Delta C) = \left(\frac{\partial \Delta C}{\partial \bar{C}}\right)^2 u^2(\bar{C}) + \left(\frac{\partial \Delta C}{\partial C_s}\right)^2 u^2(C_s) \quad (\text{C.3})$$

灵敏系数：

$$C_1 = \frac{\partial \Delta C}{\partial \bar{C}} = 1 \quad C_2 = \frac{\partial \Delta C}{\partial C_s} = -1$$

$$C_1' = \frac{\partial \Delta C}{\partial \bar{C}} = \frac{1}{C_s} \quad C_2' = \frac{\partial \Delta C}{\partial C_s} = -\frac{\bar{C}}{C_s^2}$$

式中：

$u_c(\Delta C)$ ——示值误差的测量不确定度；

$u(\bar{C})$ ——报警器测量重复性引入的不确定度分量；

$u(C_s)$ ——气体标准物质的定值引入的不确定度分量。

C.3 测量结果不确定度评定

C.3.1 标准不确定度来源

激光甲烷气体检测报警器示值误差测量结果的不确定度来源主要有气体标准物质的定值引入的标准不确定度分量 $u(C_s)$ 和报警器的测量重复性引入的不确定度分量 $u(\bar{C})$ 。环境条件、人员操作、流量控制和被校仪器等各种随机因素,体现在报警器的测量重复性引入的不确定度分量。

C.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{C})$

对量程 $(0\sim 100)\times 10^{-2}\text{mol/mol}$ 的报警器依次采用浓度值为20.5、51.6、81.2的甲烷气体标准物质进行示值校准,重复测量10次。具体测量数据列于表C.1。

表 C.1 各校准点测量数据

气体标准物质 浓度值/ $\times 10^{-2}\text{mol/mol}$	报警器示值/ $\times 10^{-2}\text{mol/mol}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20.5	20.8	20.8	20.9	20.8	20.7	20.8	20.9	20.8	20.8	20.9
51.6	51.8	51.9	51.8	51.9	51.8	52.0	51.9	52.0	51.9	51.9
81.2	81.8	81.9	81.7	81.8	81.9	81.8	81.7	81.9	81.6	81.9

对量程 $(0\sim 100)\% \text{LEL}$ 的报警器依次采用浓度值为10%LEL、40%LEL、60%LEL的甲烷气体标准物质进行示值校准,重复测量10次。具体测量数据列于表C.2。

气体标准物 质浓度值 /%LEL	报警器示值/%LEL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	10	10	10	10	9	10	11	10	10	9
40	40	40	40	41	40	39	40	40	41	40
60	60	61	60	62	60	60	61	62	60	61

各校准点分别按照公式(C.4)计算标准偏差,相应各校准点的标准不确定度可按照公式(C.5)计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (C_i - \bar{C})^2}{10-1}} \quad (\text{C.4})$$

$$u(\bar{C}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.5})$$

注：本规范规定，每个校准点重复测量 3 次，取算术平均值作为报警器示值，故 $n=3$ 。

各校准点的标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{C})$ 的计算结果见表 C.3

表 C.3 各校准点的标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{C})$ 的计算结果

气体标准物质浓度值	报警器示值平均值	s	$u(\bar{C})$
$20.5 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$20.8 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$0.06 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$0.03 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
$51.6 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$51.9 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$0.07 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$0.04 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
$81.2 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$81.8 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$0.11 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	$0.06 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
10%LEL	10%LEL	0.57%LEL	0.33%LEL
40% LEL	40% LEL	0.57%LEL	0.33%LEL
60% LEL	61% LEL	0.82%LEL	0.47%LEL

C.3.3 甲烷气体标准物质定值引入的标准不确定度分量 $u(C_s)$

采用的甲烷气体标准物质，其定值扩展不确定度为 2 %，包含因子 $k=2$ 。则甲烷气体标准物质的定值不确定度引入的标准不确定度为：

$$u(C_s) = \frac{C_s \times 2\%}{2} \quad (\text{C.6})$$

各校准点的标准不确定度如下：

校准点 $20.5 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ ： $u(C_s) = 0.21 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$

校准点 $51.6 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ ： $u(C_s) = 0.52 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$

校准点 $81.2 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ ： $u(C_s) = 0.81 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$

校准点 10%LEL： $u(C_s) = 0.1\% \text{LEL}$

校准点 40% LEL： $u(C_s) = 0.4\% \text{LEL}$

校准点 60% LEL: $u(C_s)=0.6\%LEL$

C.4 合成标准不确定度

C.4.1 标准不确定度分量表

标准不确定度分量见表 C.4。

表 C.4 标准不确定度一览表

标准不确定度分量		不确定度来源	标准不确定度值
$u(C_s)$	$20.5 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	甲烷气体标准物质 引入的标准不确定度	$0.21 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
	$51.6 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$		$0.52 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
	$81.2 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$		$0.81 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
	10%LEL		0.1%LEL
	40% LEL		0.4%LEL
	60% LEL		0.6%LEL
$u(\bar{C})$	$20.5 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	测量重复性引入的标准不确定度	$0.03 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
	$51.6 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$		$0.04 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
	$81.2 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$		$0.06 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$
	10%LEL		0.33%LEL
	40% LEL		0.33%LEL
	60% LEL		0.47%LEL

C.4.2 合成标准不确定度

合成标准不确定度 $u_c(\Delta C)$ 按式 (C. 7) 计算。

$$u_c(\Delta C) = \sqrt{u^2(\bar{C}) + u^2(C_s)} \quad (\text{C.7})$$

校准点 $20.5 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$: $u_c(\Delta C) = 0.21 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ 或 $u_{\text{crel}}(\Delta C) = 1.02\%$

校准点 $51.6 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$: $u_c(\Delta C) = 0.52 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ 或 $u_{\text{crel}}(\Delta C) = 1.01\%$

校准点 $81.2 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$: $u_c(\Delta C) = 0.82 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ 或 $u_{\text{crel}}(\Delta C) = 1.01\%$

校准点 10%LEL: $u_c(\Delta C) = 0.35\%LEL$ 或 $u_{\text{crel}}(\Delta C) = 0.04\%$

校准点 40% LEL: $u_c(\Delta C) = 0.52\% \text{LEL}$ 或 $u_{\text{crel}}(\Delta C) = 0.02\%$

校准点 60% LEL: $u_c(\Delta C) = 0.76\% \text{LEL}$ 或 $u_{\text{crel}}(\Delta C) = 0.02\%$

C.5 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$, 则各校准点示值误差的扩展不确定度按式 (C. 8) 计算:

$$U = k \cdot u_c(\Delta C) \quad (\text{C.8})$$

校准点 $20.5 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$: $U = 0.42 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ 或 $U_{\text{rel}} = 2.1\%$ $k=2$

校准点 $51.6 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$: $U = 1.04 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ 或 $U_{\text{rel}} = 2.1\%$ $k=2$

校准点 $81.2 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$: $U = 1.64 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$ 或 $U_{\text{rel}} = 2.1\%$ $k=2$

校准点 10%LEL: $U = 0.7\% \text{LEL}$ $k=2$ 或 $U_{\text{rel}} = 0.08\%$ $k=2$

校准点 40% LEL: $U = 1.1\% \text{LEL}$ $k=2$ 或 $U_{\text{rel}} = 0.04\%$ $k=2$

校准点 60% LEL: $U = 1.6\% \text{LEL}$ $k=2$ 或 $U_{\text{rel}} = 0.04\%$ $k=2$

附录 D

响应时间测量结果不确定度评定示例

D.1 校准方法

通入零点气体使报警器示值回零，通入浓度约为满量程 50 % 的气体标准物质，待示值稳定后，读取报警器示值，撤去气体标准物质，待报警器回零后，再通入上述浓度的气体标准物质，同时启动秒表，待报警器显示值到达稳定示值的 90 % 时停止计时，记录秒表读数，重复测量 3 次，取 3 次测量值的算术平均值作为报警器的响应时间，结果保留到 0.1 s。

D.2 测量模型

响应时间测量模型如式 (D.1)：

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \quad (\text{D.1})$$

式中：

\bar{t} ——响应时间，s；

t_1 ——第1次响应时间，s；

t_2 ——第2次响应时间，s；

t_3 ——第3次响应时间，s；

D.3 测量不确定度的评定

D.3.1 测量不确定度来源

响应时间测量结果的不确定度由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{t})$ 和电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u(t_s)$ 。

D.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{t})$

通入浓度约为 $51.6 \times 10^{-2} \text{ mol/mol}$ 的甲烷标准气体，用秒表测量响应时间，重复测量 10 次。具体测量数据列于表 D.1。

表 D.1 重复测量 10 次的结果

单位: s

气体标准物质浓度值	响应时间									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$51.6 \times 10^{-2} \text{mol/mol}$	11.2	12.3	10.8	11.8	12.6	11.6	11.9	12.2	12.1	10.9

其算数平均值为:

$$\bar{t} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} t_i = 11.7\text{s} \quad (\text{D.2})$$

采用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 s :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_i - \bar{t})^2}{10-1}} = 0.61\text{s} \quad (\text{D.3})$$

式中:

t_i ——第 i 次测量结果, s;

\bar{t} ——10 次测量结果的平均值, s。

实际测量以 3 次测量的算术平均值作为测量结果, 故标准不确定度:

$$u(\bar{t}) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.35\text{s} \quad (\text{D.4})$$

D.3.3 电子秒表最大允许误差引入的标准不确定度 $u(t_s)$

电子秒表的最大允许误差为 $\pm 0.1\text{s}$, 区间半宽度为 0.1s , 假设为矩形分布,

($k_{95}=1.65$), 则:

$$u(t_s) = \frac{0.1\text{s}}{1.65} = 0.06\text{s} \quad (\text{D.5})$$

D.3.4 标准不确定度分量表

标准不确定度分量见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度分量表

单位：s

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值
$u(\bar{t})$	测量重复性引入的不确定度	0.35
$u(t_s)$	电子秒表最大允许误差引入的不确定度	0.06

D.4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u(\bar{t})^2 + u(t_s)^2} = \sqrt{0.35^2 + 0.06^2} = 0.36s \quad (\text{D.6})$$

D.5 扩展不确定度

$$U = ku_c = 2 \times 0.36s = 0.72s \quad (k=2) \quad (\text{D.7})$$