

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）XXXX—2023

开路式红外可燃气体探测器校准规范

Calibration Specification for the Combustible Gas  
Detector of Open Circuit Infrared

（报批稿）

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 开路式红外可燃气体探测器 校准规范

Calibration Specification for the Combustible  
Gas Detector of Open Circuit Infrared

JJF(石化) XXXX—2023

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：中石化安全工程研究院有限公司

参加起草单位：中国计量科学研究院

青岛市计量技术研究院

中国石油化工股份有限公司西南油气分公司

霍尼韦尔自动化控制(中国)有限公司

汉威科技集团股份有限公司

梅思安(中国)安全设备有限公司

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：

胡绪尧（中石化安全工程研究院有限公司）

王 振（中石化安全工程研究院有限公司）

迟晓铭（中石化安全工程研究院有限公司）

王 琼（中石化安全工程研究院有限公司）

张 贺（中石化安全工程研究院有限公司）

姜 鸣（中石化安全工程研究院有限公司）

参加起草人：

刘沂玲（中国计量科学研究院）

夏 春（青岛市计量技术研究院）

夏明贵（中国石油化工股份有限公司西南油气分公司）

李恩华（霍尼韦尔自动化控制(中国)有限公司）

牛小民（汉威科技集团股份有限公司）

马云鹏（梅思安（中国）安全设备有限公司）

# 目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
3.1 积分浓度 .....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及其他设备.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果.....	(4)
8.1 校准记录.....	(4)
8.2 校准证书.....	(4)
8.3 不确定度.....	(4)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 开路式红外可燃气体探测器校准记录格式 .....	(6)
附录 B 校准证书（内页）格式 .....	(7)
附录 C 示值误差的校准结果不确定度评定示例 .....	(8)

# 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》、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编制。

本规范主要参考 GB 15322.4-2019《可燃气体探测器 第4部分：工业及商业用途线型光束可燃气体探测器》、JJF693-2011《可燃气体检测报警器检定规程》制定。

本规范为首次发布。

# 开路式红外可燃气体探测器校准规范

## 1 范围

本规范适用于测量范围（0~5）LEL·m的开路式红外可燃气体探测器（甲烷）的校准（收发两端的对射式），其他采用光谱吸收原理的线型光束可燃气体探测器可参照本规范。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 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 术语和定义

以下术语和定义适用于本规范。

### 3.1 积分浓度 integral concentration

可燃气体的浓度沿光路长度的数学积分值。

注1：爆炸下限（LEL）为可燃气体或蒸气在空气中的最低爆炸浓度。

注2：可燃气体的浓度以LEL为单位，光路长度以m为单位，积分浓度以LEL·m为单位。

## 4 概述

开路式红外可燃气体探测器（以下简称“探测器”）工作原理是基于气体分子的选择吸收特性，发射器发出特定波长的红外光通过气体云团，由接收器采集气体吸收后的光强变化，根据比尔-朗伯定律计算出被测气体的体积浓度。公式如式（1）所示：

$$A(\nu) = -\log_{10} T(\nu) = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = a(\nu)bc \quad (1)$$

式中： $\nu$ 是波数， $A(\nu)$ 是吸光度， $a(\nu)$ 是吸收率， $b$ 为气体吸收光程， $c$ 为被测气体浓度。

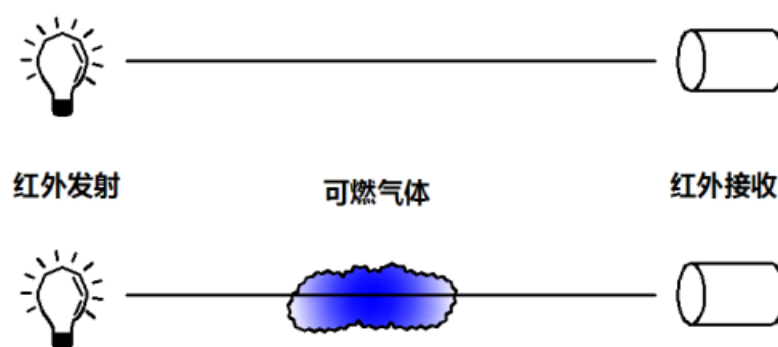


图1 开路式红外可燃气体探测器使用示意图

## 5 计量特性

具体计量特性见表1。

表1 探测器计量特性一览表

序号	项目	技术要求
1	示值误差	最大允许误差 $\pm 20\%$
2	重复性	$\leq 3\%$

注：以上指标不是用于合格性判别，仅作参考

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

#### 6.1.1 温度条件

环境温度：（0~40）℃。

#### 6.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 95%。

#### 6.1.3 其他条件

通风良好，无影响探测器正常工作的电磁场等干扰因素。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 标准装置

校准用设备名称及技术要求见表 2。标准气池示意图见图 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	标准气池：浓度约为满量程25%、50%、75%的标准气池，内充入校准用气体标准物质的扩展不确定度不大于2%（ $k=2$ ），保持标准气池内微正压。
2	重复性	标准气池内零点气体（零气池）：高纯氮气。 标准气池的单光片透光率：不低于 90%。 钢直尺的最大允许误差： $\pm 0.1\text{mm}$ 。

注：（1）采用与探测器所测气体种类相同的气体标准物质，如甲烷等。  
（2）标准气池内气体浓度的计算公式如（2）所示：

$$n = \frac{GR}{L} \times M \quad (2)$$

式中：G 为探测器满量程的百分数；n 为标准气池内气体浓度；R 为满量程；L 为标准气池长度；M 为探测器内标准气体的爆炸下限。

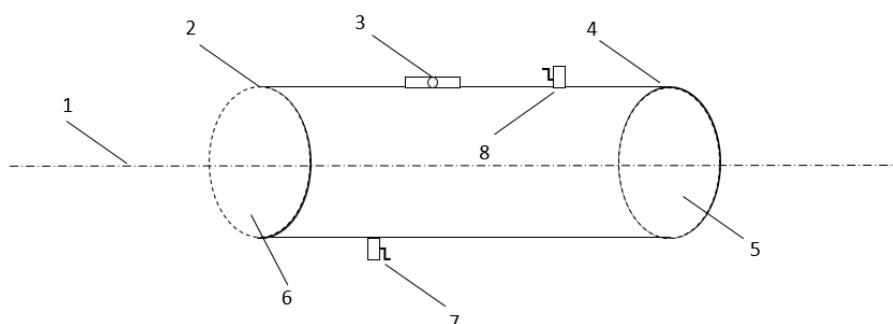


图2 标准气池示意图

1-设计光路；2-铝合金管；3-气泡水准仪；4-铝合金管；5-石英玻璃镜片；6-石英玻璃镜片；7-进气阀门；8-出气阀门

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

探测器的校准项目见表 2。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前准备及检查

##### 7.2.1.1 标准气池的准备

通入标准气体至微正压，检查标准气池气密性后，用至少 6 倍标准气池容积的气体标准物质进行置换，并封闭标准气池的出入口，保证微正压。

##### 7.2.1.2 外观检查

探测器外观完好，各按键应能正常使用，名称、型号、制造厂名称、编号、防爆标志及类型等应清晰、完整。



### 7.2.1.3 通电检查

探测器通电后, 探测器应能正常工作, 显示部分应清晰、完整。

### 7.2.2 示值误差

探测器通电预热稳定后, 按照厂家说明书要求调校设备校准探测器发射端和接收端的位置, 保障发射端与接收端中心处于完全对应状态, 然后用零气池调整探测器零点, 依次将满量程 25%、50%、75%左右的标准气池放入设备光路中, 把标准气池的一端紧贴探测器的发射端, 让光线垂直穿过气池的镜片, 读取探测器稳定示值, 每点重复测量 3 次, 按式 (3) 计算每点的示值误差 (保留 1 位小数), 取绝对值最大的为探测器示值误差 $\Delta C_i$ 。

$$\Delta C_i = \frac{\bar{c}_i - C_s}{C_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$\Delta C_i$ ——示值误差, %;

$\bar{c}_i$ ——各浓度测试点3次测量的示值算术平均值, LEL · m;

$C_s$ ——标准气池的标准值, LEL · m。

### 7.2.3 重复性

按照厂家说明书要求调校设备校准探测器发射端和接收端的位置, 保障发射端与接收端中心处于完全对应状态, 然后用零气池调整探测器零点, 将满量程 50%左右的标准气池放入设备光路中, 记录探测器稳定示值 $C_i$ , 撤去标准气池, 在相同条件下重复上述操作 6 次, 按式 (4) 计算单次测量的相对标准偏差RSD (保留 1 位小数), 作为该探测器的重复性结果。

$$RSD = \frac{1}{\bar{c}_i} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (C_i - \bar{c}_i)^2}{(6-1)}} \quad (4)$$

式中:

$C_i$ ——探测器第*i*次测量的指示值, LEL · m;

$\bar{c}_i$ ——探测器示值的平均值, LEL · m。

## 8 校准结果

### 8.1 校准记录

校准记录应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。

### 8.2 校准证书

经校准的探测器应出具校准证书。校准证书内容应符合 JJF 1071-2010 5.12 的要求。推荐的校准证书 (内页) 格式参见附录 B。

### 8.3 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。

## 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由探测器的使用情况、使用者、探测器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔，建议一般不超过 1 年。

## 附录A

## 开路式红外可燃气体探测器校准记录格式

共 页 第 页

探测器名称 \_\_\_\_\_ 型号规格 \_\_\_\_\_ 出厂编号 \_\_\_\_\_

制造厂 \_\_\_\_\_ 校准地点 \_\_\_\_\_ 探测器量程 \_\_\_\_\_

委托单位 \_\_\_\_\_ 校准依据 \_\_\_\_\_

校准日期 \_\_\_\_\_ 校准证书编号 \_\_\_\_\_

## 一、实验条件

温 度 \_\_\_\_\_ °C 相对湿度 \_\_\_\_\_ %

标准气体	浓度单位	标准气体号	浓度	钢瓶号	生产日期	有效期限	不确定度
其它主要设备名称		出厂编号	不确定度/准确等级/最大允许误差			证书编号	有效期限

## 二、校准前检查

☐符合要求 ☐不符合要求

## 三、示值误差

标准值 (LEL • m)	探测器示值 (LEL • m)			平均值 (LEL • m)	示值误差
	1	2	3		

## 四、重复性

测试次数	1	2	3	4	5	6	相对标准偏差
测量值 (LEL • m)							

## 五、校准结果的扩展不确定度:

校准员:

核验员:

## 附录B

## 开路式红外可燃气体探测器校准证书（内页）格式

校准证书编号 XXXXXX-XXXX			
校准项目	校准结果		
示值误差	标准值/（LEL·m）	探测器示值/（LEL·m）	示值误差
重复性			

校准结果的扩展不确定度：

## 附录C

## 示值误差的校准结果不确定度评定示例

## C.1 概述

C.1.1 校准方法：按照本规范对探测器进行校准。

C.1.2 环境条件：符合本规范规定的环境条件。

C.1.3 测量标准：

氮中甲烷气体标准物质：甲烷浓度：50.0%mol/mol 相对扩展不确定度为  $U_r=1\%$   $k=2$ 。

标准气池：有效光程长度：100mm、250mm、400mm，MPE：±1mm。

C.1.4 被校探测器：开路式红外可燃气体探测器，量程：（0~5）LEL·m。

## C.2 建立数学模型

## C.2.1 数学模型

示值误差测量模型：

$$\Delta C_i = \frac{\bar{c}_i - C_s}{C_s} \times 100\% \quad (C.1)$$

式中：

$\Delta C_i$ ——示值误差，%；

$\bar{c}_i$ ——各浓度测试点3次测量的示值平均值，LEL·m；

$C_s$ ——气体标准物质的标准值，LEL·m；

## C.2.2 合成标准不确定度

合成标准不确定度按公式 C.2 计算，

$$u_c^2(\Delta C) = c^2(\bar{C}) u^2(\bar{C}) + c^2(C_0) u^2(C_0) \quad (C.2)$$

## C.2.3 灵敏系数

$$c(\bar{C}) = \frac{\partial \Delta C}{\partial \bar{C}} = 1 \quad c(C_0) = -1$$

$$\text{则：} u_c^2(\Delta C) = u^2(\bar{C}) + u^2(C_0) \quad (C.3)$$

## C.3 标准不确定度评定

C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度  $u(\bar{C})$ ：

依次将标准值为 1LEL·m、2.5 LEL·m、4.0 LEL·m 的标准气池置于仪器的光路之中，重复测量 10 次，测量结果见表 C.1。

表 C.1 各校准点测量结果

(LEL·m)

标准气池 标准值	仪器示值										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值

1.0	1.13	1.15	1.19	1.12	1.13	1.11	1.13	1.14	1.14	1.13	1.14
2.5	2.66	2.71	2.72	2.73	2.68	2.71	2.72	2.70	2.71	2.71	2.71
4.0	3.98	3.99	4.00	3.97	4.01	4.06	3.99	3.97	3.99	3.98	3.99

各校准点分别按公式（C.4）计算实验标准偏差  $s$ ，

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

各校准点单次测量的标准不确定度  $u(\bar{C})$  按公式（C.5）计算，

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

各校准点的标准不确定度  $u(\bar{C})$  的结果见表 C.2。

表 C.2 各校准点的标准不确定度计算结果 (LEL • m)

标准气池标准值	$s$	$u(\bar{C})$
1.0	0.022	0.007
2.5	0.021	0.007
4.0	0.027	0.009

C.3.2 标准气池浓度定值引入的标准不确定度  $u(C_0)$ ：

标准气池浓度按公式（C.6）计算，

$$C_0 = C \times L \quad (\text{C.6})$$

式中：  $C_0$ ——标准气池的标准值 (LEL • m)；

$C$ ——标准气体浓度值 (LEL)；

$L$ ——气室两透镜之间的距离 (m)

由于  $C$  和  $L$  相互独立，不相关，则：

$$u_r(C_0) = \sqrt{u_r^2(C) + u_r^2(L)}$$

标准气池中填充的甲烷气体标准物质，相对扩展不确定度为  $U_r=1\%$   $k=2$ ，则标准气体浓度值的标准不确定度  $u_r(C)$  为 0.5%。

标准气池有效光程长度符合最大允许误差为  $\pm 1\text{mm}$  的技术要求，假设为均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则各校准点的标准不确定度  $u_r(L)$  分别为：

$$\text{校准点 } 1.0 \text{ LEL} \cdot \text{m}: u_{r1}(L) = \frac{1}{100 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.58\%$$

$$\text{校准点 } 2.5 \text{ LEL} \cdot \text{m}: u_{r2}(L) = \frac{1}{250 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.23\%$$

$$\text{校准点 } 4.0 \text{ LEL} \cdot \text{m}: u_{r3}(L) = \frac{1}{400 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.14\%$$

各校准点标准气池浓度定值引入的标准不确定度  $u(C_0)$  分别为:

$$u_1(C_0) = \sqrt{(0.5\%)^2 + (0.58\%)^2} \times 1.0 = 0.008 \text{ LEL} \cdot \text{m}$$

$$u_2(C_0) = \sqrt{(0.5\%)^2 + (0.23\%)^2} \times 2.5 = 0.014 \text{ LEL} \cdot \text{m}$$

$$u_3(C_0) = \sqrt{(0.5\%)^2 + (0.14\%)^2} \times 4.0 = 0.021 \text{ LEL} \cdot \text{m}$$

#### C.4 合成标准不确定度

##### C.4.1 标准不确定度分量一览表

各标准不确定度分量一览表见表 C.3

表 C.3 标准不确定度分量一览表

(LEL · m)

不确定度来源	标准气池标准值	不确定度符号	标准不确定度值
测量重复性引入的 标准不确定度	1.0	$u(\bar{C})$	0.007
	2.5		0.007
	4.0		0.009
标准气池浓度定值 引入的标准不确定 度	1.0	$u(C_0)$	0.008
	2.5		0.014
	4.0		0.021

##### C.4.2 合成标准不确定度计算

根据式 C.2, 合成标准不确定度按式 C.7 计算:

$$u_c(\Delta C) = \sqrt{u^2(\bar{C}) + u^2(C_0)} \quad (\text{C.7})$$

各校准点合成标准不确定度  $u_c(\Delta C)$  为:

$$\text{校准点 } 1.0 \text{ LEL} \cdot \text{m}: u_{c1}(\Delta C) = \sqrt{(0.007)^2 + (0.008)^2} = 0.011 \text{ LEL} \cdot \text{m}$$

$$\text{校准点 } 2.5 \text{ LEL} \cdot \text{m}: u_{c2}(\Delta C) = \sqrt{(0.007)^2 + (0.014)^2} = 0.016 \text{ LEL} \cdot \text{m}$$

$$\text{校准点 } 4.0 \text{ LEL} \cdot \text{m}: u_{c3}(\Delta C) = \sqrt{(0.009)^2 + (0.021)^2} = 0.023 \text{ LEL} \cdot \text{m}$$

### C.4.3 相对不确定度计算

各校准点的相对不确定度  $u_c(\Delta C)$  为:

校准点 1.0 LEL • m:  $u_{rel1}(\Delta C) = 1.10\%$

校准点 2.5 LEL • m:  $u_{rel2}(\Delta C) = 0.64\%$

校准点 4.0 LEL • m:  $u_{rel3}(\Delta C) = 0.58\%$

### C.5 扩展不确定度

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:

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

校准点 1.0 LEL • m:  $U_{rel1}(\Delta C) = 2.20\%$ ,  $k=2$

校准点 2.5 LEL • m:  $U_{rel2}(\Delta C) = 1.28\%$ ,  $k=2$

校准点 4.0 LEL • m:  $U_{rel3}(\Delta C) = 1.16\%$ ,  $k=2$