

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×

激光甲烷遥测仪校准规范

Calibration specification for laser methane telemeters

（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

激光甲烷遥测仪

校准规范

Calibration Specification for laser

methane telemeters

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：山东省计量科学研究院

埃尔法（山东）仪器有限公司

青岛澳瑞德电子有限公司

济宁市质量计量检验检测研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：安仪智控（北京）科技有限公司

济南大学

中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司

中国石油天然气股份有限公司天然气销售陕西

分公司

中国石油兰州石化公司催化剂事业部

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：

高 捷（山东省计量科学研究院）

董晓舟（埃尔法（山东）仪器有限公司）

尹 真（青岛澳瑞德电子有限公司）

赵 鑫（济宁市质量计量检验检测研究院）

刘沂玲（中国计量科学研究院）

参加起草人：

刘煜彤（安仪智控(北京)科技有限公司）

马 嫣（山东省计量科学研究院）

史 洁（济南大学）

程梦娇（中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司）

李雯婷（中国石油天然气股份有限公司天然气销售陕西分
公司）

高 辉（中国石油兰州石化公司催化剂事业部）

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	2
5 校准条件.....	3
5.1 环境条件.....	3
5.2 测量标准及其他设备.....	3
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 激光甲烷遥测仪校准记录格式.....	8
附录 B 激光甲烷遥测仪校准证书内页格式.....	9
附录 C 激光甲烷遥测仪示值误差测量结果不确定度的评定示例.....	10
附录 D 单位换算示例.....	10

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》、GB/T 50493-2019《石油化工可燃和有毒气体检测报警设计标准》制定。

本规范为首次发布。

激光甲烷遥测仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为（0~20）%LEL m 的激光甲烷遥测仪的校准，其他测量范围的此类型仪器参考本规范进行校准。

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 概述

激光甲烷遥测仪（以下简称遥测仪）是在非接触条件下测量空气中甲烷气体浓度的设备，主要用于甲烷泄漏检测。遥测仪主要由激光收发和信号处理两个子系统构成。激光收发系统包含两束激光，一束为气体检测用红外激光，另一束为可见红/绿激光用于指示方向。发射端发出的红外激光在穿过测试气体时，一部分光被甲烷气体吸收，另一部分光通过普通的障碍物反射回到接收端，回到接收端的反射光被收集并转换成电信号传输到信号处理系统，信号处理系统通过检测激光光强被吸收的强弱来计算泄漏气体的浓度。

遥测仪的典型使用方式有云台扫描式和手持式。其结构示意图分别如图 1、图 2 所示。

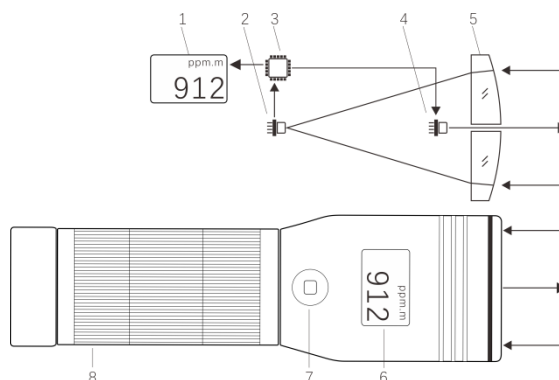


图 1 手持式遥测仪结构示意图

1—浓度显示；2—光电检测器；3—电路和算法；4—激光器；5—透镜；6—显示器；7—按键；
8—手柄和电池

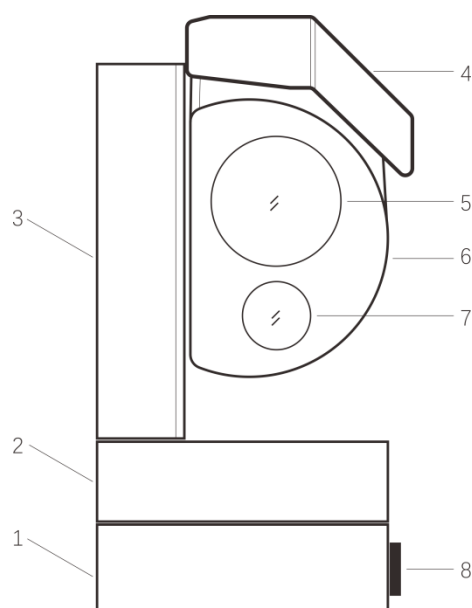


图 2 云台扫描式遥测仪结构示意图

1—云台底座；2—水平转台；3—支撑柱；4—遮阳罩；5—激光遥测窗口；6—俯仰转台；7—摄像机；
8—信息接口

4 计量特性

具体计量特性见表 1。

表 1 遥测仪计量特性一览表

序号	项目	技术要求
1	示值误差	不大于±20%
2	重复性	不大于 2%
3	报警功能和报警动作值	具有报警功能的遥测仪，在其测量范围内应具有报警设定值，当仪器示值达到报警设定值时，应有声、光或振动报警
4	漂移	零点漂移：不大于 ±2%FS
		量程漂移：不大于 ±3%FS
注：以上计量特性要求仅供参考，不作为判定依据。		

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度条件

环境温度：（0~40）℃。

5.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85%。

5.1.3 其他条件

周围无干扰气体。

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) 标准气体：空（氮）气中甲烷气体有证标准物质，其相对扩展不确定度应不大于 2%， $k=2$ ； 2) 红外线气体分析仪，不确定度不大于 2%， $k=2$ ； 3) 零点气体：采用纯度 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）；
2	重复性	4) 流量控制器：测量范围为（0~4）L/min，准确度级别不低于 4.0 级； 5) 气室：波长为 1653nm 或 1651nm 的激光透过气室玻璃时透过率在 90%及以上，气室光透射比的均匀性不应超过 0.3%；气室内部厚度值范围为（10~100）mm，不确定度不大于 0.15mm， $k=2$ ；气室红外线分析仪接口和气室进出气口三次相同测量平均值的偏差应不大于 2%；
3	漂移	6) 漫反射板：在 1653nm 波长下的光谱反射比/反射因数应在 0.50 ± 0.05 范围内，其扩展不确定度不大于 0.015， $k=2$ 。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

遥测仪的校准项目见表 2。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前检查

6.2.1.1 外观检查

目测报警器的外观，报警器不应有影响其正常工作的外观损伤，报警器表面应光洁平整，漆色涂层均匀，无剥落锈蚀现象，各部件接合处应平整。报警器连接可靠，各机械调节部件应能正常工作，各紧固件应无松动。报警器的标定罩等附件齐全，并附有使用说明书。

6.2.1.2 通电检查

报警器各按键应能正常操作和控制，报警器显示应清晰、完整。报警器应具有调校功能且能正常调节。

6.2.1.3 报警功能和报警动作值

具有报警功能的仪器，在其测量范围内应具有报警设定值，当仪器示值达到报警设定值时，应有声、光或振动报警。

6.2.2 遥测仪的调整

开机预热稳定后，按照图 3 连接各校准用设备。

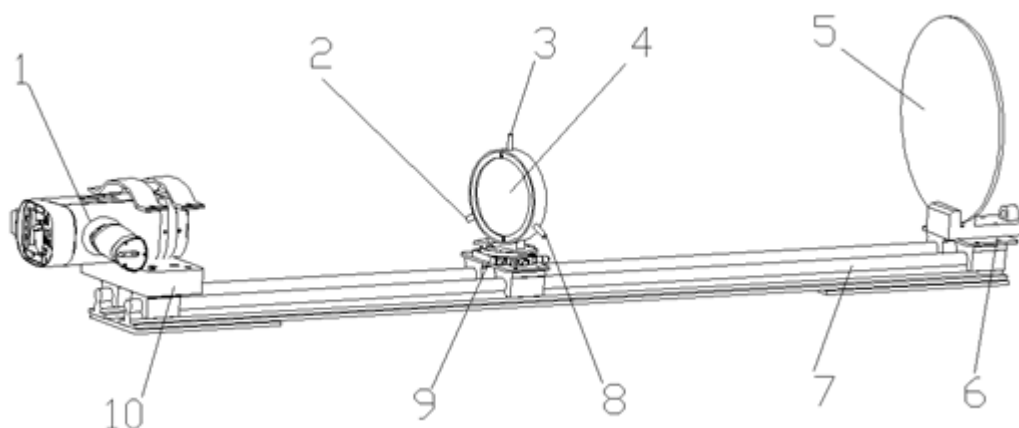


图 3 激光甲烷遥测仪计量检测装置结构图

1—激光甲烷遥测仪；2—气室出气口；3—红外线分析仪接口；4—气室；5—漫反射板；6—漫反射板固定台；
7—导轨；8—气室进气口；9—可调旋转台（带角度尺）；10—激光甲烷遥测仪固定台

校准遥测仪时，必须保证气室出气口流量计有气体排出。调整旋转台使气室倾斜 15° ，保持气室与遥测仪相距 50cm。通过红外线分析仪测量气室内甲烷气体浓度，待红外线分析仪示值在 1 分钟内最大值和最小值之间的遍差不大于 2%时，定为红外线分析仪示值稳定。对遥测仪进行调整时，按照使用说明书的要求调整零点和示值。在此后的校准过程中不得再次调整。

6.2.3 报警功能和报警动作值

按 6.2.2 设置，产生约为报警设定值 1.5 倍的测量值，当测量值超过报警设

定值时, 观察遥测仪声、光或振动报警功能是否正常, 并记录遥测仪报警时的示值。

6.2.4 示值误差

按6.2.2设置, 使用不同浓度的甲烷气体标准物质通入气室, 对测量范围大于20%LEL m的遥测仪, 分别产生1%LEL m、4%LEL m、8%LEL m、12%LEL m左右的测量值; 测量范围小于等于20%LEL m的遥测仪, 分别产生满量程5%、20%、40%、60%左右的测量值。待红外线分析仪示值稳定后, 同时记录红外线分析仪示值和遥测仪示值, 通入零点气体待示值回零后, 再产生上述测量值。每点重复测量3次, 取3次遥测仪示值的算术平均值作为各点示值, 取3次红外线分析仪示值的算术平均值乘以气室内部厚度作为校准值, 按式(1)计算遥测仪各浓度点的相对示值误差 ΔC , 结果保留0.1%。

$$\Delta C = \frac{\bar{c} - c_s}{c_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

\bar{c} ——3次示值的算术平均值, %LEL m;

c_s ——校准值, %LEL m。

6.2.5 重复性

按6.2.2设置, 使用固定浓度的甲烷气体标准物质通入气室, 对测量范围大于20%LEL m的遥测仪, 产生8%LEL m左右的测量值; 测量范围小于等于20%LEL m的遥测仪, 产生满量程40%左右的测量值。待红外线分析仪示值稳定后, 记录遥测仪示值 c_i , 通入零点气体待示值回零后, 再产生上述测量值。按照上述步骤重复测量6次, 记录各次测量数据。按式(2)计算遥测仪重复性 s_r , 重复性以单个测得值的相对标准偏差表示。

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

式中:

s_r ——单个测得值的相对标准偏差;

c_i ——遥测仪第*i*次的示值, %LEL m;

\bar{c} ——6 次示值的算术平均值, %LEL m;

n——测量次数

6.2.6 漂移

按 6.2.2 设置, 通入零点气体, 记录遥测仪稳定示值 C_{z0} 。使用固定浓度的甲烷气体标准物质通入气室, 对测量范围大于 20%LEL m 的遥测仪, 产生 12%LEL m 左右的测量值; 测量范围小于等于 20%LEL m 的遥测仪, 产生满量程 60%左右的测量值。待红外线分析仪示值稳定后, 记录稳定示值 C_{s0} , 撤去气体标准物质。云台扫描式遥测仪连续运行 4 h, 每间隔 1 h 重复上述步骤一次 (手持式遥测仪连续运行 1h, 每间隔 15min 重复上述步骤一次), 同时记录稳定示值 C_{zi} 和 C_{si} ($i=1, 2, 3, 4$)。

按式 (3) 计算零点漂移, 取绝对值最大的 Δzi 作为遥测仪的零点漂移。

$$\Delta zi = \frac{C_{zi} - C_{z0}}{R} \times 100\% \quad (3)$$

按式 (4) 计算量程漂移, 取绝对值最大的 Δsi 作为遥测仪的量程漂移。

$$\Delta si = \frac{(C_{si} - C_{zi}) - (C_{s0} - C_{z0})}{R} \times 100\% \quad (4)$$

式中: R ——遥测仪满量程值, %LEL m。

7 校准结果

7.1 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。

7.2 校准证书

经校准的遥测仪应出具校准证书, 校准结果应在校准证书上反映。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。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由遥测仪使用情况、使用者、遥测仪本身质量等

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，建议一般不超过 1 年。如果对遥测仪的检测数据有怀疑或更换主要部件及修理后，应对遥测仪重新校准。

附录 A

激光甲烷遥测仪校准记录格式

共 页 第 页

送校单位						证书编号			
遥测仪名称				遥测仪型号				出厂编号	
制造厂商						测量范围			
校准依据		JJF (石化) XX-XXXX 激光甲烷遥测仪校准规范							
校准地点				环境温度				相对湿度	
校准用气体标准物质及主要设备									
名称		编号		测量范围		不确定度/准确度等级 /最大允许误差		证书编号	
序号	校准项目	校准结果							
1	示值误差	校准值 (%LEL • m)	遥测仪示值 (%LEL m)			平均值 (%LEL m)	示值误差 (%)	不确定度	
			1	2	3				
2	重复性	校准值 (%LEL • m)	遥测仪示值 (%LEL m)						重复性 (%)
			1	2	3	4	5	6	
3	漂移	校准值 (%LEL • m)	遥测仪示值 (%LEL m)						
			0 h (0min)	1 h (15min)	2 h (30min)	3 h (45min)	4 h (60min)		
		0							
		零点漂移							
		量程漂移							

校 准 员：核 验 员：校准日期：年月日

附录 B

激光甲烷遥测仪校准证书内页格式

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 《激光甲烷遥测仪校准规范》					
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		校准值 %LEL m	遥测仪示值 %LEL m	示值误差 (%)	示值误差的扩展不确定度
重复性(%)					
漂移	零点漂移 (%FS)				
	量程漂移 (%FS)				
备注					

附录 C

激光甲烷遥测仪示值误差测量结果

不确定度的评定示例

C.1 校准方法

校准方法如本规范 6.2.4。

C.2 测量模型

遥测仪相对示值误差 ΔC 的测量模型：

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

式中：

\bar{C} ——3次示值的算术平均值，%LEL m；

C_s ——校准值，%LEL m。

C.3 方差和传播系数

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

测量模型 C.1 的灵敏系数： $\frac{\partial \Delta C}{\partial \bar{C}} = C_s^{-1} \frac{\partial \Delta C}{\partial C_s} = -\frac{\bar{C}}{C_s^2}$

则： $u_c^2(\Delta C) = (C_s^{-1})^2 u^2(\bar{C}) + \left(-\frac{\bar{C}}{C_s^2}\right)^2 u^2(C_s)$

C.4 测量不确定度来源

C.4.1 红外线分析仪引入的不确定度。

C.4.2 气室内部厚度引入的不确定度。

C.4.3 气室气体浓度不均匀引入的不确定度。

C.4.4 气室光透射比引入的不确定度。

C.4.5 漫反射板引入的不确定度。

C.4.6 测量重复性引入的不确定度。环境条件、人员操作、流量控制等各种随机因素，体现在测量重复性引入的不确定度中。

C.5 标准不确定度评定

C.5.1 测量重复性引入的相对标准不确定度分量 $u_r(\bar{C})$

测量范围为（0~20）%LEL m 遥测仪各分别通入 1.0%LEL m、4.0%LEL m、8.0%LEL m 和 12.0%LEL m 的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 测量范围为 (0~20) %LEL ·m 的遥测仪各校准点测量数据

校准值 (%LEL ·m)	测量值(%LEL ·m)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.0	1.05	1.07	1.06	1.01	1.07	1.06	1.05	1.02	1.08	1.03
4.0	4.03	4.03	4.04	4.06	4.08	4.10	4.14	4.15	4.11	4.12
8.0	7.98	8.03	7.95	7.98	8.00	7.98	8.02	8.01	7.97	7.97
12.0	11.85	11.87	11.85	11.94	11.91	11.88	11.93	11.94	11.96	11.92

各校准点分别按式 (C.3) 计算实验标准偏差, 各校准点相应的相对标准不确定度可按式 (C.4) 计算。

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

$$u(\bar{c}) = \frac{s_r}{\sqrt{n}} = \frac{s_r}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.4})$$

注: 本规范规定, 每个校准点重复测量 3 次, 取算术平均值作为遥测仪的示值, 故 $n=3$ 。

各校准点的实验标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{c})$ 的计算结果见表 C.2。

表 C.2 各校准点的实验标准偏差 s 与相对标准不确定度 $u_r(\bar{c})$ 的计算结果

测量范围 (%LEL ·m)	校准值 (%LEL ·m)	遥测仪示值 平均值 (%LEL ·m)	s (%LEL ·m)	s_r (%)	$u(\bar{c})$ (%)
0~20	1.0	1.05	0.023	2.2	1.27
	4.0	4.09	0.045	1.1	0.63
	8.0	7.99	0.025	0.31	0.18
	12.0	11.9	0.04	0.33	0.19

C.5.2 红外线分析仪引入的相对标准不确定度分量 $u_r(c_{s1})$

红外线分析仪示值扩展不确定度均为 2.0 %, 包含因子 $k=2$ 。则红外线分析仪示值不确定度引入的相对标准不确定度为:

$$u(c_{s1}) = \frac{a}{k} = \frac{2\%}{2} = 1\% \quad (\text{C.5})$$

C.5.3 气室内部厚度引入的相对标准不确定度分量 $u_r(c_{s2})$

选用 10mm 的气室, 其厚度不确定度为 0.15mm, 包含因子 $k=2$ 。则红外线分析仪示值不确定度引入的相对标准不确定度为:

$$u_r(c_{s2}) = \frac{0.15}{2 \times 10} \times 100\% = 0.75\% \quad (\text{C.6})$$

C.5.4 气室气体浓度不均匀引入的相对标准不确定度分量 $u_r(c_{s3})$

气室红外线分析仪接口和气室进出气口三次相同测量平均值的偏差应不大于 2%，假设其为均匀分，则气体标准物质的定值不确定度引入的相对标准不确定度为：

$$u(c_{s3}) = \frac{a}{k} = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.16\% \quad (\text{C.7})$$

C.5.5 气室光透射比引入的相对标准不确定度分量 $u_r(c_{s4})$

气室光透射比的均匀性不应超过 0.3%，假设其为均匀分布，气室光透射比不均匀性引入的相对标准不确定度为：

$$u_r(c_{s4}) = \frac{0.3\%}{\sqrt{3}} = 0.17\% \quad (\text{C.8})$$

C.5.6 漫反射板引入的相对标准不确定度分量 $u_r(c_{s5})$

漫反射板在 1653nm 波长下的光谱反射比/反射因数应在 0.50 ± 0.05 范围内，其扩展不确定度 $U \leq 0.015$ ， $k=2$ ，其引入的相对标准不确定度为：

$$u_r(c_{s5}) = \frac{1.5\%}{2} = 0.75\% \quad (\text{C.9})$$

C.6 合成标准不确定度

C.6.1 标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总见表 C.3。

表 C.3 标准不确定度分量汇总表

测量范围	不确定度来源		相对标准不确定度符号	相对标准不确定度
(0~20)%LEL m	测量重复性引入的标准不确定度	1.0%LEL m	$u_r(\bar{c})$	1.27%
		4.0%LEL m		0.63%
		8.0%LEL m		0.18%
		12.0%LEL m		0.19%
	红外线分析仪引入的相对标准不确定度		$u_r(c_{s1})$	1%
	气室内部厚度引入的相对标准不确定度		$u_r(c_{s2})$	0.75%

	气室气体浓度不均匀引入的相对标准不确定度	$u_r(c_{S3})$	1.16%
	气室光透射比引入的相对标准不确定度	$u_r(c_{S4})$	0.17%
	漫反射板引入的相对标准不确定度	$u_r(c_{S5})$	0.75%

C.6.2 合成相对标准不确定度

各输入量彼此独立不相关，则合成相对标准不确定度为：

$$u_{cr}(\Delta c) = \sqrt{u_r^2(\bar{c}) + u_r^2(c_{S1}) + u_r^2(c_{S2}) + u_r^2(c_{S3}) + u_r^2(c_{S4}) + u_r^2(c_{S5})} \quad (C.10)$$

校准点 1.0%LEL m: $u_{cr} = 2.26\%$

校准点 4.0%LEL m: $u_{cr} = 1.97\%$

校准点 8.0%LEL m: $u_{cr} = 1.88\%$

校准点 12.0%LEL m: $u_{cr} = 1.88\%$

C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，各校准点示值误差的相对扩展不确定度按式(C.11)计算：

$$U_r = k \cdot u_{cr}(\Delta c) \quad (C.11)$$

校准点 1.0%LEL m: $U_r = 4.6\%$ ， $k=2$ ；

校准点 4.0%LEL m: $U_r = 4.0\%$ ， $k=2$ ；

校准点 8.0%LEL m: $U_r = 3.8\%$ ， $k=2$ ；

校准点 12.0%LEL m: $U_r = 3.8\%$ ， $k=2$ 。

附录 D

单位换算示例

甲烷的爆炸下限为 5.0% VOL, 即 100%LEL=5.0%VOL。 μ mol/mol 转换成 LEL 如下公式:

$$\mu \text{ mol/mol} = \%LEL \times LEL(\%vol) \times 100$$

例如: 500 μ mol/mol

$$\frac{\mu \text{ mol/mol}}{LEL(\%vol) \times 100} = \%LEL$$

$$\frac{500\mu \text{ mol/mol}}{5\%vol \times 100} = 1\%LEL$$

即, 500 μ mol/mol=1%LEL。

遥测仪示值单位为 μ mol/mol m, 校准值由红外线分析仪示值乘以气室厚度为%VOL mm。%VOL mm、 μ mol/mol m 和%LEL·m之间转换如下公式:

$$\mu \text{ mol/mol} \cdot m = \frac{\%VOL \cdot mm \times 1000}{10000} = \%LEL \cdot m \times LEL(\%vol) \times 100$$

例如: 100 μ mol/mol m

$$\frac{100\mu \text{ mol/mol} \cdot m \times 10000}{1000} = 10\%VOL \cdot mm$$

$$\frac{100\mu \text{ mol/mol} \cdot m}{5 \times 100} = 0.2\%LEL \cdot m$$

即, 100 μ mol/mol·m = 10%VOL·mm = 0.01%VOL·m = 0.2%LEL·

m。
