



中华人民共和国工业和信息化部 机械计量技术规范

JJF（机械）XXX—202X

燃料电池电动汽车试验用氢安全密闭仓校准规范

（报批稿）

Calibration Specification for Hydrogen Safety Sealed Compartment of Fuel Cell Electric Vehicle Testing

202X—XX—XX 发布

202X—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

燃料电池电动汽车试验用氢 安全密闭仓校准规范

Calibration Specification for Hydrogen

Safety Sealed Compartment of Fuel Cell

Electric Vehicle Testing

JJF (机械)XXX—202X

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：中国汽车工程研究院股份有限公司

中汽院新能源科技有限公司

参加起草单位：襄阳达安汽车检测中心有限公司

本规范委托中国机械工业联合会负责解释

本规范主要起草人：

李在春（中国汽车工程研究院股份有限公司）

许向国（中汽院新能源科技有限公司）

王 侃（中国汽车工程研究院股份有限公司）

杨青清（中汽院新能源科技有限公司）

参加起草人：

涂远扬（襄阳达安汽车检测中心有限公司）

汪啸寒（中汽院新能源科技有限公司）

谢守旭（中国汽车工程研究院股份有限公司）

贺乾坤（中汽院新能源科技有限公司）

目 录

引 言.....	III
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.....	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.....	4
8 校准结果表达.....	8
9 复校时间间隔.....	9
附录 A (资料性) 不确定度评定示例.....	10
附录 B (资料性) 燃料电池电动汽车试验用氢安全密闭仓校准原始记录参考格式	17

引 言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等规范，共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了 GB/T 24549-2020《燃料电池电动汽车安全要求》、JJG 693-2011《可燃气体报警检测器检定规程》和 JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》编制而成。

本规范为首次发布。

燃料电池电动汽车试验用氢安全密闭仓校准规范

1 范围

本规范适用于新制造、使用中和维修后的燃料电池电动汽车试验用氢安全密闭仓的校准（其它类似设备可参照本规范进行校准）。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

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

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

GB/T 24548-2009 燃料电池电动汽车术语

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

JJF 1001-2011、GB/T 24548-2009 界定的及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 密闭仓空气交换率 air exchange rate in sealed compartment

单位时间内密闭仓内部空气与外界空气进行交换的空气占密闭仓内总空气量的比例。

3.2 燃料电池电动汽车 fuel cell electric vehicle;FCEV

以燃料电池系统作为动力源或主动力源的汽车。

[来源：GB/T 24548-2009，3.1.2]

4 概述

燃料电池电动汽车试验用氢安全密闭仓(以下简称密闭仓)是一种专门用于燃料电池电动汽车的安全性能测试设备，主要用于氢燃料电池汽车整车氢气泄漏测试。密闭仓主要由仓体、电气柜、空气调节系统、温控系统、加湿除湿系统、控制系统和气体检测系统等组成。密闭仓的仓体用于给试验车辆提供密封空间，通过设备的温控系统、加湿除

湿系统等提供稳定的温湿度试验环境，在仓体顶部布置由多个氢气浓度检测传感器构成的氢气浓度检测系统，用于氢气泄漏浓度的测试。

5 计量特性

5.1 密闭仓的温度偏差、温度波动度、温度均匀度技术要求见表 1。

表 1 密闭仓温度技术要求

参数名称	最大允许误差
温度上、下偏差	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
温度波动度	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
温度均匀度	2°C

5.2 压力示值误差:不超过 $\pm 0.5\%\text{FS}$ 。

5.3 氢气浓度传感器常用技术要求见表 2。

表 2 密闭仓氢气浓度报警器技术要求

参数名称	最大允许误差
示值误差	$\pm 5\%\text{FS}$
重复性	$\leq 2\%$
响应时间	$\leq 60\text{s}$

5.4 密闭仓空气交换率:每小时的空气交换率不应大于 0.03。

注 1:以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度: $(0\sim 40)^{\circ}\text{C}$;

相对湿度: 不大于 85%;

大气压力: $(80\sim 106)\text{kPa}$;

密闭仓周围应无强烈振动及干扰气体存在。

6.2 测量标准及其他设备

测量用标准设备应经计量检定或校准，并在有效期内。标准设备的测量范围应覆盖被校密闭仓的测量范围，并具有足够高的分辨力、准确度和稳定性。允许使用满足技术要求的其他测量标准器进行校准。

6.2.1 温度测量标准

温度测量标准一般应选用多通道温度显示仪表或多路温度测量装置,通道传感器数量不少于 15 个,分辨力不低于 0.01°C ,最大允许误差: $\pm(0.15^{\circ}\text{C}+0.002|t|)$ 。

6.2.2 压力测量标准

最大允许误差: $\pm 0.1\%\text{FS}$ 。

6.2.3 氢气浓度测量标准

6.2.3.1 氢气

氢气的浓度约为满量程的 10%, 40%, 60% 及大于报警设定点浓度的氢气标准物质。氢气标准物质的扩展不确定度不大于 2% ($k=2$)。也可采用标准气体稀释装置稀释高浓度的氢气标准物质,稀释装置的流量示值误差应不大于 $\pm 1\%$,重复性应不大于 0.5% 。气体标准物质的浓度单位在使用时应换算成与被检仪器的表示单位一致。

6.2.3.2 零点气体

清洁空气或氮气(氮气纯度不低于 99.99%Vol)。

6.2.3.3 流量控制器和标定罩

流量控制器由校准用流量计和旁通流量计组成,流量范围应不小于 500 mL/min 。应配置专门的标定罩。

6.2.4 密闭仓空气交换率校准设备

秒表:分度值不大于 0.1 s 。

压力测量仪:最大允许误差: $\pm 0.1\%\text{FS}$,具有无线传输功能或记录功能。

温度测量仪:最大允许误差: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,具有无线传输功能或记录功能。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

表 3 校准项目表

序号	项目名称	
1	温度参数	温度上、下偏差
		温度均匀度
		温度波动度
2	压力示值误差	
3	氢气浓度报警器	报警功能及报警动作值

		示值误差
		重复性
		响应时间
4	密闭仓空气交换率	

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的检查

被校密闭仓的仪器名称、型号、制造厂名或商标、出厂编号、端钮标志等信息应齐全；通信端口、开关、按键和调节旋钮应无松动、损伤、脱落；通电后，各开关、按键、调节旋钮、显示屏、测量仪表和各种状态指示灯(标志)应工作正常。

7.2.2 温度的校准

7.2.2.1 温度校准点的选择

温度校准点应选择 25℃，其他校准点根据用户需要选择常用的温度点。

7.2.2.2 测量点位置

传感器布放位置为设备校准时的测量点，应布置在设备工作空间的三个不同层面上，称为上、中、下三层，每层 5 个点，中层为通过工作空间几何中心的平行于底面的校准工作面，各布点位置与设备内壁（含顶部和底部）的距离为各边长的 1/10，遇风道时，此距离可加大，但不应超过 500mm。

传感器测量点布放位置也可根据用户实际工作进行布置。

7.2.2.3 测量点数量

温度传感器测量点用 1、2、3.....数字表示，温度测量点为 15 个，温度点 15 位于设备工作空间中层几何中心处，如图 2 所示。

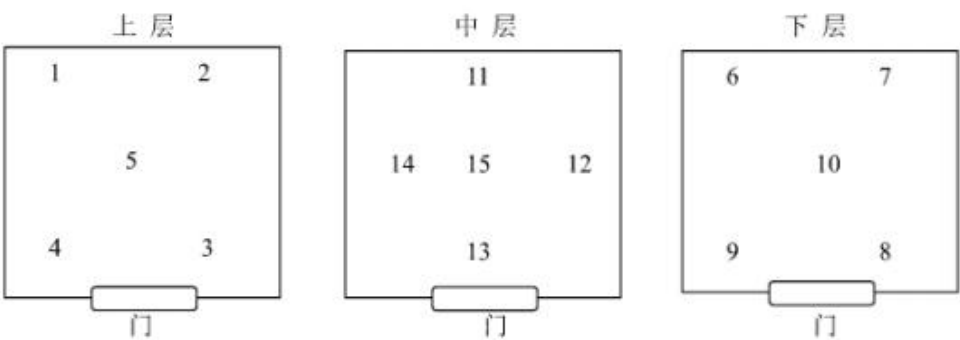


图 2 测量点的布置图

7.2.2.4 温度的校准过程

按照 7.2.2.3 规定布放温度传感器，将试验设备设定到校准温度，开启运行。试验设备达到稳定状态后开始记录各测量点温度，记录时间间隔为 2min，30min 内共记录 16 组数据，或根据设备运行状况和用户校准需求确定时间间隔和数据记录次数，并在原始记录和校准证书中进行说明。

温度稳定时间以说明书为依据，说明书中没有给出的，一般按以下原则执行：温度达到设定值，30min 后可以开始记录数据，如箱内温度仍未稳定，可按实际情况延长 30min 温度达到设定值至开始记录数据所等待的时间不超过 60min。

如果在规定的稳定时间之前能够确定仓内温度已经达到稳定，也可以提前记录。稳定时间须以密闭仓达到稳定状态为主要判断标准，应在密闭仓达到稳定状态后才开始进行校准。

7.2.2.5 温度数据处理

7.2.2.5.1 温度偏差

分别按照公式 (1) 和公式 (2) 计算温度上偏差、温度下偏差。

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (1)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (2)$$

式中：

$\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差，℃；

$\Delta t_{\min}$ ——温度下偏差，℃；

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内测量的最高温度，℃；

$t_{\min}$ ——各测量点规定时间内测量的最低温度，℃；

t_s ——设备设定温度，℃。

7.2.2.5.2 温度均匀度

密闭仓在稳定状态下，工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测试一次) 每次测量中实测最高温度与最低温度之差的算术平均值，按照公式 (3) 计算温度均匀度。

$$\Delta t_u = \sum_{i=1}^n t_{i\max} - t_{i\min} / n \quad (3)$$

式中：

Δt_u ——温度均匀度，℃；

t_{imax} ——各测量点在第 i 次测得的最高温度, °C;

t_{imin} ——各测量点在第 i 次测得的最低温度, °C;

n ——测量次数。

7.2.2.5.3 温度波动度

密闭仓在稳定状态下, 工作空间各测量点 30min 内 (每 2min 测试一次) 实测最高温度与最低温度之差的一半, 冠以 “±” 号, 取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动度校准结果, 按照公式 (4) 计算温度均匀度。

$$\Delta t_f = \pm \max[(t_{jmax} - t_{jmin}) / 2] \quad (4)$$

式中:

Δt_f ——波动度, °C;

t_{jmax} ——测量点 j 在 n 次测量中的最高温度, °C;

t_{jmin} ——测量点 j 在 n 次测量中的最低温度, °C;

7.2.3 压力的校准

7.2.3.1 用空气作为校准介质。校准时, 取下压力传感器, 并安装到压力测量标准的管路中, 使被校压力传感器和标准压力传感器在同一管路中。

7.2.3.2 示值校准前应先通电预热, 使用压力测量标准的气源进行加压, 做 1~2 次升压预压试验, 校准时升压应平稳, 避免有冲击或过压现象, 在各校准点应待压力值稳定后方可读数, 用压力标准器输入标准压力值, 分别读取各点相应的密闭仓示值。

7.2.3.3 校准点应不少于 5 个, 并均匀地分布在全量程范围内。

7.2.3.4 压力示值误差计算

按照公式 (5) 计算压力的示值误差。

$$\Delta P_i = P_{id} - P_{ib} \quad (5)$$

式中: ΔP ——第 i 校准点密闭仓压力示值误差, Pa;

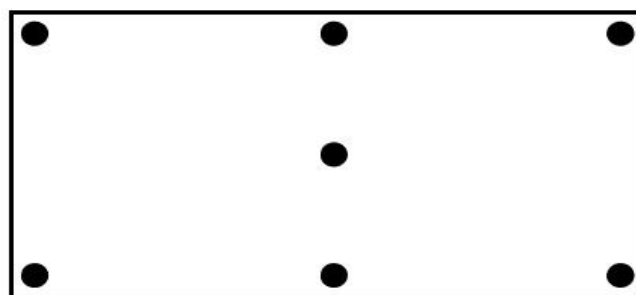
P_{id} ——第 i 校准点密闭仓的示值, Pa;

P_{ib} ——第 i 校准点压力测量标准示值, Pa。

7.2.4 氢气浓度报警器的校准

7.2.4.1 氢气浓度报警器应总共应不少于 7 个, 在密闭空间顶面两侧各均匀布置至少 3 个, 顶部几何中心布置 1 个, 安装要求见图 1。氢气浓度报警器应为扩散式, 其报警功能

应正常，密闭仓内布置的所有氢气浓度报警器都应单独进行报警功能及报警动作值的检查，示值误差、重复性、相应时间的校准。校准时应直接将相应浓度氢气标准物质通入报警器探头处。



长度方向

图1 密闭仓内氢气浓度报警器位置示意图(俯视图)

7.2.4.2 报警功能及报警动作值的检查

通入大于报警设定点浓度的气体标准物质，使仪器出现报警动作，观察仪器声光报警是否正常，并记录仪器报警时的示值。重复测量3次，3次的算术平均值为仪器的报警动作值。

7.2.4.3 报警器示值误差的校准

仪器通电预热稳定后，通入氢气标准物质，控制被检仪器所需要的流量，流量的大小依据使用说明书要求的流量。按照上述通气方法，分别通入零点气体和浓度约为满量程60%的气体标准物质，调整仪器的零点和示值。然后分别通入浓度约为满量程10%，40%，60%的气体标准物质，记录仪器稳定示值。每点重复测量3次。按式(6)计算每点 ΔC ，取绝对值最大的 ΔC 为示值误差。对多量程的仪器，根据仪器量程选用相应的气体标准物质。

$$\Delta C = \frac{\bar{C} - C_0}{R} \quad (6)$$

式中： $\bar{C}$ ——仪器示值的算术平均值；

C_0 ——通入仪器气体标准物质的浓度值；

R ——仪器满量程。

7.2.4.4 重复性

仪器预热稳定后，通入约为满量程40%的气体标准物质，记录仪器稳定示值 C_i ，撤去气体标准物质。在相同条件下重复上述操作6次。按式(7)计算的相对标准偏差

为重复性:

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (C_i - \bar{C})^2}{5}} \times 100\% \quad (7)$$

式中: s_r ——单次测量的相对标准偏差;

$\bar{C}$ ——6 次测量的平均值;

C_i ——第 i 次的示值。

7.2.4.5 响应时间

通入零点气体调整仪器零点后,再通入浓度约为满量程 40%的气体标准物质,读取稳定示值,停止通气,让仪器回到零点。再通入上述气体标准物质,同时启动秒表,待示值升至上述稳定值的 90%时,停止秒表,记下秒表显示的时间。按上述操作方法重复测量 3 次,3 次测量结果的算术平均值为仪器的响应时间。

7.2.5 密闭仓空气交换率的校准

将压力传感器和温度传感器放置在密闭仓中心位置。然后用空压机或高压气瓶给密闭仓加压,加压至仓内压力高于大气压 300Pa 以上,停止加压,让密闭仓保持全密闭状态,记录此时的压力 P_1 和温度 T_1 ,并同时开始计时。密闭至少 8 小时以后,停止计时,记录停止时刻的压力 P_2 、温度 T_2 和密闭时长 t ,并结束密闭仓密闭状态,按照公式 (8) 计算空气交换率:

$$\Delta V = \left(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1 \right) / t \quad (8)$$

式中: ΔV ——密闭仓空气交换率, h^{-1} ;

P_1 ——密闭状态开始时刻密闭仓内的绝对压力, Pa;

T_1 ——密闭状态开始时刻密闭仓内的绝对温度, K;

P_2 ——密闭状态结束时刻密闭仓内的绝对压力, Pa;

T_2 ——密闭状态结束时密闭仓内的绝对温度, K;

t ——密闭时长, h。

8 校准结果表达

经校准的密闭仓设备出具校准证书(报告),校准证书(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（如果不在实验室内进行校准）；
- 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) 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受日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对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) 对校准方法的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- 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，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由设备的使用情况、使用者、设备本身质量等因素所决定的，因此使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A（资料性）

不确定度评定示例

A.1 引言

密闭仓的校准项目主要有压力、温度、报警器浓度和空气交换率，其中压力、温度和报警器浓度等参数校准直接测量法，评定方法都可以参照压力示值误差的不确定度评定示例，所以本附录仅以压力示值误差和空气交换率的校准测量不确定度评定为例，说明密闭仓的测量不确定度评定的程序。

A.2 压力示值误差测量不确定度评定示例

A.2.1 概述

用空气作为校准介质。校准时，取下压力传感器，并安装到压力测量标准便携式压力校准器的管路中，使被校压力传感器和标准压力传感器在同一管路中，然后加压，分别读取密闭仓压力示值和便携式压力校准器示值。压力示值误差是指密闭仓示值与便携式压力校准器示值之差。

A.2.2 数学模型

$$\Delta P_1 = P_x - P_s \quad (\text{A.1})$$

式中： ΔP_1 ——密闭仓压力示值误差，Pa；

P_x ——密闭仓压力示值，Pa；

P_s ——便携式压力校准器示值，Pa。

A.2.3 方差与灵敏系数

式（A1）中， P_x 、 P_s 互为独立，因而得

$$c_1 = \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_x} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta P_1}{\partial P_s} = -1 \quad (\text{A.2})$$

故

$$u_c^2 = u^2(P_x) + u^2(P_s) \quad (\text{A.3})$$

A.2.4 不确定度来源及分析

A.2.4.1 由测量重复性引入的不确定度 u_1

把密闭仓压力传感器接入便携式压力校准器的压力管路中，通过便携式压力校准器加压到 500Pa，读取排气采样系统进口压力示值，作 10 次独立重复测量，记为 $P_{x1}, P_{x2}, \dots, P_{x10}$ ，平均值记为 $\overline{P_x}$ 。

根据公式（A4）

$$s(P_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{xi} - \overline{P_x})^2}{(n-1)}} \quad (\text{A.4})$$

算得单次测量值的实验标准差 $s(P_x)=0.17\text{Pa}$ 。

A.2.4.2 由便携式压力校准器测量误差引入的不确定度 u_2

便携式压力校准器经检定满足 0.05 级, 则最大允许误差为 $\pm 1\text{Pa}$, 服从均匀分布估计,
 $u_2 = 1\text{Pa}/\sqrt{3} = 0.58\text{Pa}$ 。

A.2.5 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 A-1 所示

表 A-1 不确定度分量

序号	来源	符号	c_i	u_i
1	测量重复性	u_1	1	0.17Pa
2	便携式压力校准器最大允许误差	u_2	-1	0.58Pa

A.2.6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.6\text{Pa}$$

A.2.7 扩展不确定度

取置信概率为 95%, 取 $k=2$, 故得:

$$U = 1.2\text{Pa} \quad (k=2)$$

A.3 每小时空气交换率的测量不确定度评定示例

A.3.1 概述

用空压机等加压装置给密闭仓加压, 使仓内压力高于大气压 300Pa 以上, 停止加压, 让密闭仓保持全密闭状态, 记录此时的压力和温度, 并同时开始计时。密闭至少一小时以后, 记录压力、温度和密闭时长, 并结束密闭仓密闭状态, 按照公式计算空气交换率。

A.3.2 数学模型

$$\Delta V = \left(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1 \right) / t \quad (\text{A.5})$$

式中: ΔV ——密闭仓每小时空气交换率, h^{-1} ;

P_1 ——密闭状态开始时刻密闭仓内的绝对压力, Pa;

T_1 ——密闭状态开始时刻密闭仓内的绝对温度, K;

P_2 ——密闭状态结束时刻密闭仓内的绝对压力, Pa;

T_2 ——密闭状态结束时密闭仓内的绝对温度, K;

t ——密闭时长, h。

A.3.3 灵敏系数

式 (A5) 中, P_1 、 P_2 强相关, 相关系数为 1, T_1 、 T_2 强相关, 相关系数为 1, 其余各分量彼此独立互不相关, 所以先对两组目关的分量分别进行代数合成, 因而得

$$c_1 = \frac{T_2}{P_2 T_1 t} \quad (\text{A.6})$$

$$c_2 = -\frac{P_1 T_2}{P_2^2 T_1 t} \quad (\text{A.7})$$

$$c_3 = -\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1^2 t} \quad (\text{A.8})$$

$$c_4 = \frac{P_1}{P_2 T_1 t} \quad (\text{A.9})$$

$$c_5 = -(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1) / t^2 \quad (\text{A.10})$$

$$\text{所以 } u_c^2 = u_a^2 + [|c_1 u(P_1)| + |c_2 u(P_2)|]^2 + [|c_3 u(T_1)| + |c_4 u(T_2)|]^2 + c_5^2 u(t)^2 \quad (\text{A.11})$$

A.3.4 不确定度来源及分析

A.3.4.1 由测量重复性引入的不确定度 u_a

用气瓶给密闭仓加压, 使仓内压力高于大气压 300Pa 以上, 停止加压, 让密闭仓保持全密闭状态, 记录此时的压力和温度, 并同时开始计时, 并计算最终每小时交换率值, 作 6 次独立重复测量, 记为 $\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_6$, 平均值记为 $\overline{\Delta V}$ 。

根据公式 (A12)

$$s(\Delta V) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta V_i - \overline{\Delta V})^2}{(n-1)}} \quad (\text{A.12})$$

算得单次测量值的实验标准差 $s(\Delta V_X) = 0.0001$, 实际测量取单次测量结果, 则 $u_a = 0.0001$ 。

A.3.4.2 P_1 引入的不确定度 $u(P_1)$

P_1 引入的不确定度主要由无线压力记录仪带来, 其最大允许误差为 $\pm 5\text{Pa}$, 服从均匀分布估计, $u(P_1) = 5\text{Pa} / \sqrt{3} = 2.9\text{Pa}$ 。

A.3.4.3 P_2 引入的不确定度 $u(P_2)$

P_2 引入的不确定度也是由无线压力记录仪带来, 其最大允许误差为 $\pm 5\text{Pa}$, 服从均匀分布估计, $u(P_2) = 5\text{Pa} / \sqrt{3} = 2.9\text{Pa}$ 。

A.3.4.4 T_1 引入的不确定度 $u(T_1)$

T_1 引入的不确定度主要由温度传感器带来, 温度传感器的最大允许误差为 $\pm 0.5\text{K}$, 服从均匀分布估计, $u(T_1) = 0.5\text{K} / \sqrt{3} = 0.29\text{K}$ 。

A.3.4.5 T_2 引入的不确定度 $u(T_2)$

引入的不确定度主要由温度传感器带来，温度传感器的最大允许误差为 $\pm 0.5\text{K}$ ，服从均匀分布估计， $u(T_2) = 0.5\text{K}/\sqrt{3} = 0.29\text{K}$ 。

A.3.4.6 t 引入的不确定度 $u(t)$

t 引入的不确定度主要由秒表带来，秒表 1h 小时最大允许误差为 $\pm 1\text{s}$ ，服从均匀分布估计， $u(t) = 1\text{s}/\sqrt{3} = 0.6\text{s}$ 。

A.3.5 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 A-2 所示

表 A-2 不确定度分量

序号	来源	符号	c_i	u_i (1/h)
1	测量重复性	u_a	1	1×10^{-4}
2	P_1 引入的不确定度	$u(P_1)$	$\frac{T_2}{P_2 T_1 t}$	3×10^{-5}
3	P_2 引入的不确定度	$u(P_2)$	$-\frac{P_1 T_2}{P_2^2 T_1 t}$	2.9×10^{-5}
4	T_1 引入的不确定度	$u(T_1)$	$-\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1^2 t}$	9.6×10^{-4}
5	T_2 引入的不确定度	$u(T_2)$	$\frac{P_1}{P_2 T_1 t}$	9.6×10^{-4}
6	t 引入的不确定度	$u(t)$	$-(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1) / t^2$	9×10^{-6}

A.3.6 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + [c_1 u(P_1) + c_2 u(P_2)]^2 + [c_3 u(T_1) + c_4 u(T_2)]^2 + c_5^2 u(t)^2} = 1.9 \times 10^{-3}$$

A.3.7 扩展不确定度

取置信概率为 95%，取 $k=2$ ，故得：

$$U = 0.004 \quad (k=2)$$

A.4 密闭仓温度测量不确定度评定示例

A.4.1 校准方法

按照本规范 7.2.2 条款进行校准。

A.4.2 测量模型

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (\text{A.13})$$

式中： $\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差，℃；

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内测量的最高温度，℃；

t_s ——设备设定温度，℃。

A.4.3 不确定度来源

不确定度来源主要有：被校对象测量重复性引入的标准不确定度分量、标准器分辨力引入的标准不确定度分量、标准器修正值引入的标准不确定度分量和标准器的稳定性引入的标准不确定度分量。

A.4.4 标准不确定度分量

A.4.4.1 温度测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在 25℃校准点重复测量 10 次，根据贝塞尔公式计算标准偏差 s ，则：

$$u_1 = s = 0.03^\circ\text{C}$$

A.4.4.2 标准器温度分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

标准器温度分辨力为 0.01℃，不确定度区间半宽 0.005℃，服从均匀分布，则分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \approx 0.003^\circ\text{C}$$

A.4.4.3 标准器温度修正值引入的标准不确定度分量 u_3

标准器温度修正值的不确定度 $U=0.1^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，则标准器温度修正值引入的标准不确定度分量：

$$u_3 = \frac{0.1}{2} = 0.05^\circ\text{C}$$

A.4.4.4 标准器稳定性引入的标准不确定度分量 u_4

以本标准器相邻两次校准温度修正值最大变化 0.10℃，按均匀分布，由此引入的标准不确定度分量：

$$u_4 = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.06^\circ\text{C}$$

A.4.5 标准不确定度分量汇总表见表 A-3

表 A-3 温度上偏差校准标准不确定度分量汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度
u_1	温度测量重复性	0.03℃
u_2	标准器温度分辨力	0.003℃
u_3	标准器温度修正值	0.05℃
u_4	标准器温度稳定性	0.06℃

A.4.6 合成标准不确定度

由于 u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 相互独立，则合成标准不确定度 u_c 按下式计算：

$$u_c = \sqrt{u_1 + u_2 + u_3 + u_4} = 0.084^\circ\text{C}$$

A.4.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，温度上偏差校准不确定度为： $U = k \times u_c \approx 0.17^\circ\text{C}$ 。

A.5 氢气浓度报警器示值误差测量不确定度评定示例

A.5.1 按照本规范 7.2.4.3 条款进行校准。

A.5.2 数学模型

$$\Delta Z = Z_X - Z_N \quad (\text{A.14})$$

式中： ΔZ ——可燃气体检测报警器的示值误差。

Z_X ——被校可燃气体检测报警器的示值。

Z_N ——标准气体浓度的实际值。

A.5.3 灵敏系数

根据测量模型，可燃气体检测报警器测量结果不确定度主要受测量重复性、可燃气体检测报警器的分辨力、标准气体浓度的不确定度等影响，由于各输入量间不相关，所以合成标准不确定度的计算公式为：

$$u_c = \sqrt{c_{1i}^2 u_{1i}^2 + c_{2i}^2 u_{2i}^2 + c_{3i}^2 u_{3i}^2} \quad (\text{A.15})$$

式中灵敏度系数为：

$$c_{1i}^2 = c_{2i}^2 = c_{3i}^2 = 1 \quad (\text{A.16})$$

A.5.4 不确定度分量的评定

校准不同的参数值时，各自的不确定度分量的数值不同，这里以满量程浓度的 40% 进行不确定度的评定。

A.5.4.1 由可燃气体检测报警器指示值引入的不确定度分量

A.5.4.1.1 由指示值测量重复性引入的不确定度分量 u_1

通入 40%LEL 的标准气体，并独立重复做 10 次实验，实验标准偏差按贝塞尔公式计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} = 0.64\% \text{LEL}$$

每次校准为 3 次重复试验，所以： $u_1 = s/\sqrt{3} = 0.64\%/1.732 = 0.37\% \text{LEL}$

A.5.4.1.2 由示值测量的分辨力引入的不确定度分量 u_2

被检报警器由于分辨力 d 引起的标准不确定度，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，标准不确定度按下式计算：

$$u_2 = d/(2k) = 0.029\% \text{LEL}$$

A.5.4.2 标准气体引入的不确定度分量 u_3

标准气体的扩展不确定度为 2%，标准不确定度按下式计算：

$$u_3 = \Delta / k = 2\% \times 40\% \text{LEL} / 2 = 0.40\% \text{LEL}$$

A. 5. 5 合成标准不确定度

各不确定度分量灵敏度系数绝对值均为 1，则合成标准不确定度按公式 (A. 15) 计算。由于分辨力和重复性有重复计算，所以二者取其较大者参与计算。可以简化为下式：

$$u_c = \sqrt{c_{1i}^2 u_{1i}^2 + c_{3i}^2 u_{3i}^2} \text{ 或 } u_c = \sqrt{c_{2i}^2 u_{2i}^2 + c_{3i}^2 u_{3i}^2}$$

重复性引入的不确定度大于分辨力引入的不确定度，所以：

$$u_c = \sqrt{c_{1i}^2 u_{1i}^2 + c_{3i}^2 u_{3i}^2} = \sqrt{0.37^2 + 0.4^2} = 0.55\% \text{LEL}$$

A. 5. 6 计算扩展不确定度

扩展不确定度 U 按下式计算，取 $k=2$ 。

$$U = k u_c = 2 \times u_c = 1.1\% \text{LEL}$$

附录B（资料性）

燃料电池电动汽车试验用氢安全密闭仓校准原始记录参考格式

校准证书编号：

委托单位：	委托单位地址：	
仪器名称：	型号规格：	
制造厂：	出厂编号：	管理编号：
校准地点：	温 度：_____℃	相对湿度：_____%
校准依据：		

校准用主要计量标准器：

标准器名称	型号	编号	不确定度（或准确度等级或最大允许误差）	测量范围	证书号/有效期	溯源机构

C.1 温度

温度设定值(℃)						温度显示值(℃)									
序号	实测温度值(℃)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
最大值															
最小值															
平均值															

上偏差 (℃)		下偏差(℃)		均匀度(℃)		波动度(℃)	
传感器安装图示:							

C.2 压力

序号	标准值(kPa)	密闭仓示值(kPa)	示值误差(kPa)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

C.3 氢气报警器

报警功能及报警动作值								
报警功能		报警设定值 (%LEL)		实测报警值 (%LEL)			报警动作值 (%LEL)	
				1	2	3		
☐ 正常 ☐ 其他								
测量重复性 (RSD):								
标准浓度 (%LEL)	指示值 (%LEL)						平均值 (%LEL)	相对标准偏差 (%)
	1	2	3	4	5	6		
40								
响应时间:								
标准浓度 (%LEL)	工作方式	响应时间测量值 (s)			响应时间 (S)	技术要求 (s)		
		1	2	3				
40	扩散式					≤60		
仪器示值误差:								
标准值 (%LEL)	指示值 (%LEL)					平均值 (%LEL)	示值误差 (%)	
	1	2	3					
10								
40								
60								

C.4 空气交换率

$P_1(\text{Pa})$	$T_1(\text{K})$	$t(\text{h})$	$P_2(\text{Pa})$	$T_2(\text{K})$	空气交换率

校准员： 年 月 日 核验员： 年 月 日