

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

氧气透过率标准膜校准规范

Calibration Specification for Standard Films of Oxygen Transmission Rate

(征求意见稿)

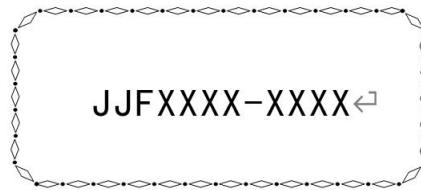
XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

氧气透过率标准膜 校准规范

Calibration Specification for Standard
Films of Oxygen Transmission Rate



归口单位：全国医学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：广州计量检测技术研究院

山东省计量科学研究院

本规范委托全国医学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张吉焱（中国计量科学研究院）

曹远航（中国计量科学研究院）

参加起草人：

唐小军（广州计量检测技术研究院）

薛瑞丹（中国计量科学研究院）

崔涛（山东省计量科学研究院）

目 录

引 言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
3.1 氧气透过率	(1)
3.2 氧气透过率标准膜	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 氧气透过率值	(2)
5.2 氧气透过率测量重复性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 试验气体	(2)
6.3 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 外观	(3)
7.2 氧气透过率值	(3)
7.3 氧气透过率测量重复性	(4)
8 校准结果表达	(4)
8.1 校准记录	(4)
8.2 校准结果的处理	(4)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 校准原始记录（推荐）格式样式	(6)
附录 B 校准证书内页（推荐）格式样式	(7)
附录 C 氧气透过率值校准结果测量不确定度评定示例	(9)
附录 D 氧气透过率标准膜校准装置测量不确定度评定	(11)

引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1《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规范。

本规范的制定参考了GB/T 1038.1—2022《塑料制品 薄膜和薄片 气体透过性试验方法 第1部分：差压法》和JJF 2181—2024《塑料薄膜和薄片氧气透过率测试仪校准规范》。

本规范为首次发布。

氧气透过率标准膜校准规范

1 范围

本规范适用于氧气透过率标准膜的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 2181 塑料薄膜和薄片氧气透过率测试仪校准规范

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

JJF 2181 界定的及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 氧气透过率 oxygen transmission rate

在规定的试验条件下，在试样两侧单位压力差（单位氧气分压差）的作用下，稳定透过时单位时间内透过单位面积试样的氧气的量。通常用单位 $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ 表示。

注：对具有特定面积的试样或包装件的氧气透过率，通常用单位 $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ 表示。

[来源：JJF 2181—2024，3.1]

3.2 氧气透过率标准膜 standard film of oxygen transmission rate

用于校准氧气透过率测试仪的氧气透过率示值相对误差和测量重复性，且可重复使用、具有定值的氧气透过率标准膜片。

[来源：JJF 2181—2024，3.3]

4 概述

氧气透过率标准膜通常采用开孔铝箔封装薄膜材料制作而成，具有确定的氧气透过率值，且可重复使用，其封装结构和外观如图 1 所示。氧气透过率标准膜一般由三种规格组成，包括：高氧气透过率标准膜、中氧气透过率标准膜和低氧气透过率标准膜，分别对应高、中、低不同氧气透过率值。氧气透过率标准膜是校准氧气透过率测试仪的专用标准器具，主要用于氧气透过率示值和测量重复性的校准。

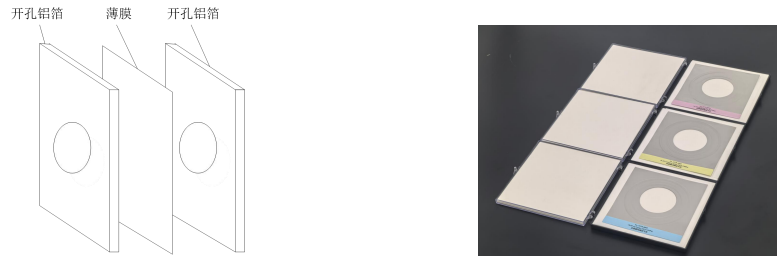


图 1 氧气透过率标准膜封装结构和外观示意图

5 计量特性

5.1 氧气透过率值

高氧气透过率标准膜的氧气透过率值应大于 $0.25 \text{ cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$;

中氧气透过率标准膜的氧气透过率值应在 $(0.10 \sim 0.20) \text{ cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ 范围内;

低氧气透过率标准膜的氧气透过率值应小于 $0.05 \text{ cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$;

氧气透过率值的相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}}=6\%$ ($k=2$)。

5.2 氧气透过率测量重复性

氧气透过率测量重复性应不大于 3%。

注: 以上所有指标不用于合格性判别, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度: $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$;

相对湿度: 不大于 85%。

其他: 无明显影响校准结果的振动、电磁干扰等。

6.2 试验气体

试验气体为干燥高纯氧气, 纯度不小于 99.999%。

6.3 测量标准及其他设备

6.3.1 电容薄膜真空计

测量范围 $(0 \sim 1333) \text{ Pa}$, 修正因子相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=0.02\% \sim 1.50\%$ ($k=2$)。

6.3.2 数字压力计

测量范围 $(0 \sim 200) \text{ kPa}$, 示值误差平均值扩展不确定度 $U=0.03 \text{ kPa}$ ($k=2$)。

6.3.3 温度传感器

测量范围至少满足（10~40）℃，显示温度扩展不确定度 $U=0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ （ $k=2$ ）。

由关键部件 6.3.1~6.3.3 构成的氧气透过率标准膜校准装置（以下简称标准膜校准装置），或具有同等校准功能的设备，氧气透过率测量范围满足（5~2000） $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24\text{ h} \cdot 0.1\text{ MPa})$ ，相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=4\%$ （ $k=2$ ），不确定度评定过程见附录 D。

6.3.4 投影仪

X 轴方向测量范围（0~150）mm，Y 轴方向测量范围（0~100）mm，示值误差测量结果扩展不确定度 $U=1.5\text{ }\mu\text{m}$ （ $k=2$ ）。

6.3.5 数显卡尺

测量范围（0~150）mm，示值误差校准结果扩展不确定度 $U=0.01\text{ mm}$ （ $k=2$ ）。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观

7.1.1 氧气透过率标准膜各组成部分应完整齐全，且具有唯一性标识，明确标示编号、测量方向、规格等信息。

7.1.2 外观应不存在影响正常使用的缺陷。

7.2 氧气透过率值

7.2.1 任选一张氧气透过率标准膜，按照标示的测量方向将其正确封装在标准膜校准装置测试腔中，试验气体为干燥高纯氧气，温度设置为 23℃，相对湿度设置为 0%，测量状态设置为“pkg”包装模式。然后对该氧气透过率标准膜进行测量，读取标准膜校准装置给出的氧气透过率测量值，重复测量 3 次，按照公式（1）计算得到该氧气透过率标准膜的氧气透过率值。

$$OTR = \overline{OTR} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n OTR_i \quad (1)$$

式中：

OTR ——氧气透过率值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24\text{ h} \cdot 0.1\text{ MPa})$ ；

$\overline{OTR}$ ——氧气透过率平均值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24\text{ h} \cdot 0.1\text{ MPa})$ ；

OTR_i ——第 i 次氧气透过率测量值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24\text{ h} \cdot 0.1\text{ MPa})$ ；

n ——重复测量次数。

7.2.2 按照 7.2.1 依次对高、中、低氧气透过率标准膜进行校准，分别得到高、中、低氧气透过率标准膜的氧气透过率值。

7.3 氧气透过率测量重复性

7.3.1 根据 7.2.1 测得的 3 次氧气透过率测量值，采用极差法按照公式（2）计算被校氧气透过率标准膜的氧气透过率测量重复性。

$$s_{OTR} = \frac{OTR_{max} - OTR_{min}}{1.69 \times \overline{OTR}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

s_{OTR} ——氧气透过率测量重复性，%；

OTR_{max} ——3 次氧气透过率测量值中的最大值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ；

OTR_{min} ——3 次氧气透过率测量值中的最小值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ；

$\overline{OTR}$ ——氧气透过率平均值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ；

7.3.2 按照 7.3.1 依次对高、中、低氧气透过率标准膜的氧气透过率测量重复性进行计算。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准原始记录推荐格式见附录 A。

8.2 校准结果的处理

校准证书内页推荐格式见附录 B。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- 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收日期；
- 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) 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) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- 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, 不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 12 个月。

由于复校时间间隔的长短是由氧气透过率标准膜的使用情况、使用者和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时间间隔。

附录 A

校准原始记录（推荐）格式样式

客户名称		证书编号		温度	℃	相对湿度	%
生产厂商		型号规格		出厂编号			
客户地址				校准依据			
校准地点	使用的计量基（标）准装置 /主要仪器						
外 观							
氧气透过率 标准膜	氧气透过率						
	测量值 $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24\text{h} \cdot 0.1\text{MPa})$			平均值 $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24\text{h} \cdot 0.1\text{MPa})$		测量重复性	
	高						
	中						
	低						
氧气透过率值的相对扩展不确定度：							
校准员				校准日期	_____年_____月_____日		
核验员				接收日期	_____年_____月_____日		
说 明							

附录 B

校准证书内页（推荐）格式样式

B.1 校准证书第 2 页

证书编号：XXXXXXXX-XXXX				
校准机构授权说明				
校准所依据/参照的技术文件（代号、名称）				
校准环境条件及地点：				
温度： ℃		地点：		
相对湿度： %		其它：		
校准使用的计量基（标）准装置（含标准物质）/主要仪器				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)
第 页 共 页				

B.2 校准证书第 3 页

证书编号: XXXXXXXX-XXXX

校 准 结 果

1、外观:

2、氧气透过率值和测量重复性:

氧气透过率 标准膜	氧气透过率值 $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24\text{h} \cdot 0.1\text{MPa})$	氧气透过率 测量重复性
高		
中		
低		
氧气透过率值的相对扩展不确定度:		

——以下空白——

说明:

声明:

校准员:

核验员:

第 页 共 页

附录C

氧气透过率值校准结果测量不确定度评定示例

依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》的要求，对氧气透过率标准膜的氧气透过率值校准结果进行测量不确定度评定，包括各标准不确定度分量的评定与分析、合成标准不确定度以及扩展不确定度的计算。

C.1 测量方法

在温度满足 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%，且无明显影响校准结果的振动、电磁干扰等环境条件下，使用标准膜校准装置按照 7.2 对一套被校氧气透过率标准膜的氧气透过率值进行测量。标准膜校准装置的氧气透过率测量范围至少满足 $(5 \sim 2000) \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ，相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=4\%$ ($k=2$)。

C.2 测量模型

利用标准膜校准装置对氧气透过率标准膜进行校准，可建立如公式 (C.1) 所示测量模型：

$$OTR = \overline{OTR} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n OTR_i \quad (\text{C.1})$$

式中：

OTR ——氧气透过率值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ；

$\overline{OTR}$ ——氧气透过率平均值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ；

OTR_i ——第 i 次氧气透过率测量值， $\text{cm}^3/(\text{pkg} \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ；

n ——重复测量次数。

C.3 不确定度来源

不确定度来源主要有：

- (1) 标准膜校准装置引入的相对标准不确定度 u_1 ；
- (2) 氧气透过率平均值引入的相对标准不确定度 u_2 。

C.4 不确定度评定

- (1) 标准膜校准装置引入的相对标准不确定度 u_1

标准膜校准装置的氧气透过率测量相对扩展不确定度为 $U_{\text{rel}}=4\%$ ($k=2$)，则由其

引入的相对标准不确定度为：

$$u_1 = 2\%$$

(2) 氧气透过率平均值引入的相对标准不确定度 u_2

利用标准膜校准装置对氧气透过率标准膜在温度为 23 °C, 相对湿度为 0% 的测试条件下进行测量, 重复测量 3 次, 测量重复性要求不超过 3%, 则氧气透过率平均值引入的相对标准不确定度按照公式 (C.2) 计算:

$$u_2 = \frac{3\%}{\sqrt{3}} = 1.7\% \quad (\text{C.2})$$

C.5 相对合成标准不确定度

各不确定度分量互不相关, 按照公式 (C.3) 计算, 即可得到氧气透过率标准膜氧气透过率值的相对合成标准不确定度, 不确定度分量一览表如表 C.1 所示。

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{C.3})$$

表 C.1 氧气透过率标准膜值的不确定度分量一览表

不确定度来源	u_i	u_{crel}	$U_{\text{rel}} (k=2)$
标准膜校准装置引入的相对标准不确定度	2.0%	3%	6%
氧气透过率平均值引入的相对标准不确定度	1.7%		

C.6 相对扩展不确定度

氧气透过率标准膜氧气透过率值的相对扩展不确定度按照公式 (C.4) 计算:

$$U_{\text{rel}} = k \times u_{\text{crel}} (k=2) \quad (\text{C.4})$$

综上分析, 氧气透过率标准膜氧气透过率值的相对扩展不确定度为 $U_{\text{rel}} = 6\%$ ($k=2$)。

附录D

氧气透过率标准膜校准装置测量不确定度评定

依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》的要求，对氧气透过率标准膜校准装置进行测量不确定度评定，包括各标准不确定度分量的评定与分析、合成标准不确定度以及扩展不确定度的计算。

D.1 测量方法

标准膜校准装置采用差压法（压力传感器法）测量原理，主要由测试腔、低压传感器（电容薄膜真空计）、高压传感器（数字压力计）、温度传感器和真空泵等组成，典型结构如图 D.1 所示。将试样装夹在测试腔内，试样将测试腔分为相互独立的低压腔和高压腔。对低压腔和高压腔抽真空，然后向高压腔充入试验气体氧气，低压传感器测量低压腔内的压力增量。当氧气透过速度随时间变化稳定后，可确定试验气体由高压腔透过试样到低压腔的气体量与时间的函数关系。通过对试验结果的计算，即可得到试样的氧气透过率。

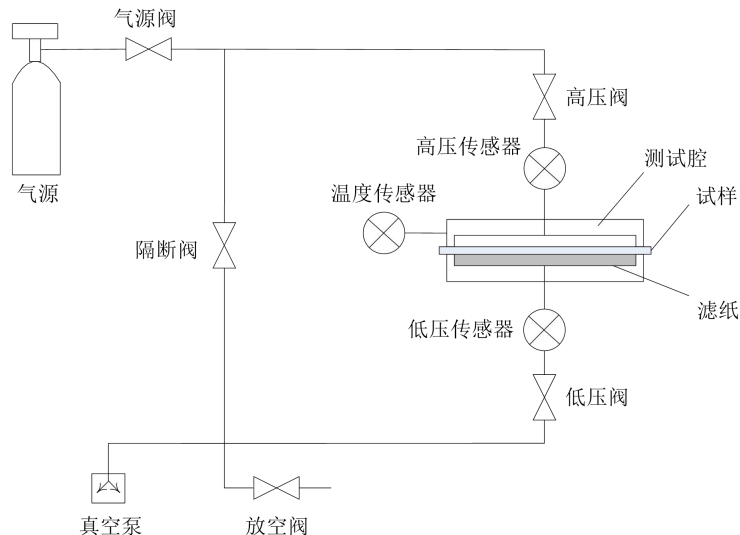


图 D.1 标准膜校准装置测量原理及典型结构示意图

D.2 测量模型

采用差压法测量原理的标准膜校准装置，可建立如公式（D.1）所示的测量模型：

$$OTR = \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{1}{p_1 - p_2} \quad (D.1)$$

式中：

OTR ——试样的氧气透过率， $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ；

$\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ——在稳定透过时，单位时间内低压腔气体压力变化的算数平均值， $\text{Pa}/24 \text{ h}$ ；

V ——低压腔体积， cm^3 ；

S ——试样的渗透面积， m^2 ；

T_0, p_0 ——标准状态下的温度（ 273.15 K ）和压力（ $1.0133 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 0.1 \text{ MPa}$ ）；

T ——试验温度， K ；

$p_1 - p_2$ ——试样两侧的压差， Pa 。

灵敏系数如公式（D.2）所示：

$$\begin{aligned}\frac{\partial OTR}{\partial V} &= \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{1}{S} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{1}{p_1 - p_2} \\ \frac{\partial OTR}{\partial S} &= \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{-V}{S^2} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{1}{p_1 - p_2} \\ \frac{\partial OTR}{\partial T} &= \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{-T_0}{p_0 T^2} \times \frac{1}{p_1 - p_2} \\ \frac{\partial OTR}{\partial (p_1 - p_2)} &= \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{-1}{(p_1 - p_2)^2} \\ \frac{\partial OTR}{\partial (\frac{\Delta p}{\Delta t})} &= \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{1}{p_1 - p_2}\end{aligned}\quad (\text{D.2})$$

各分量互不相关时，合成标准不确定度如公式（D.3）所示：

$$u_c(OTR) = \sqrt{\left[\frac{\partial OTR}{\partial V} \times u(V) \right]^2 + \left[\frac{\partial OTR}{\partial S} \times u(S) \right]^2 + \left[\frac{\partial OTR}{\partial T} \times u(T) \right]^2 + \left[\frac{\partial OTR}{\partial (p_1 - p_2)} \times u(p_1 - p_2) \right]^2 + \left[\frac{\partial OTR}{\partial (\frac{\Delta p}{\Delta t})} \times u(\frac{\Delta p}{\Delta t}) \right]^2} \quad (\text{D.3})$$

相对合成标准不确定度和相对扩展不确定度如公式（D.4）所示：

$$u_{\text{crel}}(OTR) = \sqrt{\left[\frac{u(V)}{V} \right]^2 + \left[\frac{-u(S)}{S} \right]^2 + \left[\frac{-u(T)}{T} \right]^2 + \left[\frac{u(p_1 - p_2)}{p_1 - p_2} \right]^2 + \left[\frac{u(\frac{\Delta p}{\Delta t})}{\frac{\Delta p}{\Delta t}} \right]^2} \quad (\text{D.4})$$

$$U_{\text{rel}} = k \times u_{\text{crel}}(OTR) \quad (k = 2)$$

D.3 不确定度来源

不确定度来源主要有：

（1）低压腔体积引入的标准不确定度 $u(V)$ ；

- (2) 试样的渗透面积引入的标准不确定度 $u(S)$;
- (3) 试验温度引入的标准不确定度 $u(T)$;
- (4) 试样两侧的压差引入的标准不确定度 $u(p_1-p_2)$;
- (5) 单位时间内低压腔气体压力变化的算数平均值引入的标准不确定度 $u(\frac{\Delta p}{\Delta t})$ 。

D.4 不确定度评定

D.4.1 低压腔体积引入的标准不确定度 $u(V)$

低压腔由测试腔的下腔、连接组件以及低压传感器构成。利用投影仪、数显卡尺等设备对低压腔各部件几何尺寸进行测量，带入体积公式 (D.5)，即可计算得到低压腔体积 V 。

$$\begin{aligned} V_1 &= \pi \times R_1^2 \times h_1 \\ V_2 &= \frac{1}{3} \times \pi \times R_2^2 \times h_2 \\ V &= V_1 + V_2 + V_3 \end{aligned} \quad (D.5)$$

式中：

V ——低压腔体积， cm^3 ；

V_1, V_2, V_3 ——圆柱体积，圆锥体积，低压传感器体积， cm^3 ；

R_1, R_2 ——圆柱底面圆半径，圆锥底面圆半径， cm ；

h_1, h_2 ——圆柱高，圆锥高， cm 。

灵敏系数如公式 (D.6) 所示：

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_1}{\partial R_1} &= 2\pi \times R_1 \times h_1 \\ \frac{\partial V_1}{\partial h_1} &= \pi \times R_1^2 \\ \frac{\partial V_2}{\partial R_2} &= \frac{2}{3} \times \pi \times R_2 \times h_2 \\ \frac{\partial V_2}{\partial h_2} &= \frac{1}{3} \times \pi \times R_2^2 \end{aligned} \quad (D.6)$$

各分量互不相关时，合成标准不确定度如公式 (D.7) 所示：

$$\begin{aligned}
u(V_1) &= \sqrt{\left[\frac{\partial V_1}{\partial R_1} \times u(R_1)\right]^2 + \left[\frac{\partial V_1}{\partial h_1} \times u(h_1)\right]^2} \\
u(V_2) &= \sqrt{\left[\frac{\partial V_2}{\partial R_2} \times u(R_2)\right]^2 + \left[\frac{\partial V_2}{\partial h_2} \times u(h_2)\right]^2} \\
u(V) &= \sqrt{[u(V_1)]^2 + [u(V_2)]^2 + [u(V_3)]^2}
\end{aligned} \tag{D.7}$$

由校准证书可知，投影仪示值误差测量结果扩展不确定度为 $U=1.5 \mu\text{m}$ ($k=2$)，则标准不确定度为 $0.75 \mu\text{m}$ ；数显卡尺示值误差校准结果扩展不确定度为 $U=0.01 \text{ mm}$ ($k=2$)，则标准不确定度为 0.005 mm 。经计算，由低压腔体积引入的标准不确定度 $u(V)=0.09 \text{ cm}^3$ 。

D.4.2 试样的渗透面积引入的标准不确定度 $u(S)$

试样的渗透面积由测试腔的几何结构决定。利用投影仪等设备对测试腔几何尺寸进行测量，带入面积公式 (D.8)，即可计算得到渗透面积 S 。

$$S = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{D.8}$$

式中：

S ——圆面积， m^2 ；

D ——圆直径， m 。

灵敏系数如公式 (D.9) 所示：

$$\frac{\partial S}{\partial D} = \frac{\pi}{2} \times D \tag{D.9}$$

合成标准不确定度如公式 (D.10) 所示：

$$u(S) = \sqrt{\left[\frac{\partial S}{\partial D} \times u(D)\right]^2} \tag{D.10}$$

由校准证书可知，投影仪示值误差测量结果扩展不确定度为 $U=1.5 \mu\text{m}$ ($k=2$)，则标准不确定度为 $0.75 \mu\text{m}$ ，测试腔密封时密封圈微量变形最大不超过 0.2 mm ，由此引入的标准不确定度为 0.11 mm 。经综合计算，由试样的渗透面积引入的标准不确定度 $u(S)=0.13 \text{ cm}^2$ 。

D.4.3 试验温度引入的标准不确定度 $u(T)$

试验温度由温度传感器实时监测得到。由校准证书可知，显示温度扩展不确定度为

$U=0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($k=2$)，则由试验温度引入的标准不确定度 $u(T)=0.10\text{ }^{\circ}\text{C}=0.10\text{ K}$ 。

D.4.4 试样两侧的压差引入的标准不确定度 $u(p_1-p_2)$

试样两侧的压差由高压传感器（数字压力计）和低压传感器（电容薄膜真空计）实时监测得到。基于差压法测量原理可知，试样两侧的压差在 0.1MPa 量级，低压腔压力测量引入的标准不确定度相比高压腔压力测量引入的标准不确定度可忽略不计。由校准证书可知，高压传感器（数字压力计）示值误差平均值扩展不确定度为 $U=0.03\text{ kPa}$ ($k=2$)，则标准不确定度为 0.015 kPa 。采用比较法校准，可得高压腔压力测量引入的标准不确定度为 22 Pa ，则由试样两侧的压差引入的标准不确定度 $u(p_1-p_2)=22\text{ Pa}$ 。

D.4.5 单位时间内低压腔气体压力变化的算数平均值引入的标准不确定度 $u(\frac{\Delta p}{\Delta t})$

因为氧气透过率测量是一个渗透平衡的过程，单位时间内低压腔气体压力变化的算数平均值 $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ 随被测试样的不同而不同，测量采用 $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ 波动比例控制方式来确定试验是否结束。当 $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ 波动小于等于结束比例 C 时，认为相同的时间间隔内低压腔气体压力变化保持恒定，试验结束。由校准证书可知，低压传感器（电容薄膜真空计）修正因子相对扩展不确定度为 $U_{\text{rel}}=0.02\%\sim 1.50\%$ ($k=2$)，则相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}=0.01\%\sim 0.75\%$ ，采用比较法校准，可得低压腔压力测量引入的相对标准不确定度为 $0.02\%\sim 1.06\%$ 。通过设置结束比例 C 以及低压腔气体压力变化量的测量，单位时间内低压腔气体压力变化的算数平均值引入的标准不确定度 $u(\frac{\Delta p}{\Delta t})$ 按照公式 (D.11) 计算：

$$u_1\left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right) = \frac{C \times \frac{\Delta p}{\Delta t}}{2\sqrt{3}}$$

$$u_2\left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right) = \sqrt{\left[\frac{u(\Delta p)}{\Delta t}\right]^2 + \left[\frac{-\Delta p}{\Delta t} \times \frac{u(\Delta t)}{\Delta t}\right]^2} \quad (\text{D.11})$$

$$u\left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right) = \sqrt{\left[u_1\left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right)\right]^2 + \left[u_2\left(\frac{\Delta p}{\Delta t}\right)\right]^2}$$

D.5 相对合成标准不确定度

按照公式 (D.4) 计算，即可得到标准膜校准装置的氧气透过率相对合成标准不确定度，不确定度分量一览表如表 D.1 所示。

表 D.1 标准膜校准装置不确定度分量一览表

不确定度来源 X_i	$\frac{u(X_i)}{X_i}$	u_{crel}	$U_{rel} (k=2)$
低压腔体积	0.98%	2%	4%
试样的渗透面积	0.34%		
试验温度	0.04%		
试样两侧的压差	0.03%		
单位时间内低压腔气体压力变化的算数平均值	1.69%		

D.6 相对扩展不确定度

按照公式（D.4）计算，标准膜校准装置的氧气透过率相对扩展不确定度为 $U_{rel}=4\%$ （ $k=2$ ）。

中华人民共和国
国家计量技术规范
XXXXXXXXXX 校准规范
JJFXXXX—XXXX
国家市场监督管理总局发布