

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1833—2020

---

## 真空氦漏孔校准规范

Calibration Specification for Vacuum Helium Leaks

2020-01-17 发布

2020-04-17 实施

---

国家市场监督管理总局 发布



# 真空氦漏孔校准规范

Calibration Specification for

Vacuum Helium Leaks

JJF 1833—2020

代替 JJG 793—1992

归口单位：全国压力计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：国防科技工业真空一级计量站

浙江省计量科学研究院

上海东贝真空设备有限公司

本规范委托全国压力计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

于红燕（中国计量科学研究院）

王金库（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

李得天（国防科技工业真空一级计量站）

冯 焱（国防科技工业真空一级计量站）

陈宇航（浙江省计量科学研究院）

王金锁（上海东贝真空设备有限公司）

# 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语和计量单位 .....	( 1 )
3.1 术语 .....	( 1 )
3.2 计量单位 .....	( 2 )
4 概述 .....	( 2 )
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 .....	( 3 )
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 校准结果表达 .....	( 8 )
9 复校时间间隔 .....	( 8 )
附录 A 真空漏孔校准记录格式 .....	( 9 )
附录 B 真空漏孔校准证书内页格式 (推荐样式) .....	(10)
附录 C 校准不确定度评定示例 .....	(11)
附录 D 漏率单位换算 .....	(15)

# 引 言

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》和 GB/T 3163—2007《真空技术 术语》共同构成本规范制定的基础性系列文件。

本规范参照 BS EN 20486: 2018《无损检测 漏孔检测 气体参考漏孔校准》(Non Destructive Testing—Leak Testing—Calibration of Reference Leaks for Gases)、ASTM E908: 1998 (2012)《校准气体参考漏孔的标准方法》(Standard Practice for Calibrating Gaseous Reference Leaks)进行制定,采用了其中的基本原则,对具体方法和技术指标进行了细化、补充和修改。

与 JJG 793—1992 相比,除编辑性修改外,本规范主要技术变化如下:

——适用范围为由标准漏孔扩大到所有真空氦漏孔,测量范围向下扩展两个数量级;

——标准装置增加了流量计法校准装置和相对比较法校准装置;

——校准方法增加了流量计法和相对比较法;

——增加了不确定度评定方法和质量流量与摩尔流量的换算方法。

本规范历次版本发布情况:

——JJG 793—1992。

## 真空氦漏孔校准规范

### 1 范围

本规范适用于漏率值在  $(1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-4}) \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  范围内的真空氦漏孔的校准。

### 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 1008—2008 压力计量名词术语及定义

GB/T 3163—2007 真空技术 术语

GB/T 3164—2007 真空技术 图形符号

BS EN 20486: 2018 无损检测 漏孔检测 气体参考漏孔校准 (Non Destructive Testing—Leak Testing—Calibration of Reference Leaks for Gases)

ASTM E908: 1998 (2012) 校准气体参考漏孔的标准方法 (Standard Practice for Calibrating Gaseous Reference Leaks)

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 术语和计量单位

#### 3.1 术语

##### 3.1.1 漏孔 leak

当密闭的容器内部与外部的压力或浓度不同时，可以使气体由器壁的一侧泄漏到另一侧去的小孔、缺陷或隙缝以及渗透元件或漏气装置。

[JJF 1008—2008，定义 11.31]

##### 3.1.2 真空氦漏孔 vacuum helium leak

使用氦气作为示踪气体的、出气口压力低于 1 kPa 条件下校准和使用的漏孔。

##### 3.1.3 通道漏孔 conductance leak

可以把它理想地当做长毛细管的由一个或多个不连续通道组成的一个漏孔。

[GB/T 3163—2007，定义 6.1.2]

##### 3.1.4 渗透漏孔 permeation leak

气体通过渗透穿过薄膜（薄壁）的一种漏孔。

##### 3.1.5 漏率 leak rate

在规定条件下，一种特定气体通过漏孔的流量。

[GB/T 3163—2007，定义 6.1.9]

### 3.1.6 示漏气体 traced gas

喷在被检容器外或压缩到被检容器内可以用适当的方法和仪器进行漏隙检查的气体。

[JJF 1008—2008, 定义 11.40]

### 3.1.7 氦质谱检漏仪 helium mass spectrometer leak detector

以氦作示漏气体, 调正到对氦起灵敏反应的专门用作检查漏隙的质谱仪。

[JJF 1008—2008, 定义 11.38]

### 3.1.8 质谱计 mass spectrometer

区分不同质荷比电离粒子并测量其离子流的一种仪表。

[GB/T 3163—2007, 定义 4.5.1]

## 3.2 计量单位

漏孔漏率的计量单位是帕斯卡立方米每秒 ( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ) 或摩尔每秒 ( $\text{mol/s}$ )。

## 4 概述

真空氦漏孔(以下简称为漏孔)是一种在特定条件下提供恒定、已知氦气流量的元件, 用来校准氦质谱检漏仪的灵敏度。按照其结构, 主要可以分为两类, 一类是通道漏孔, 即泄漏元件为真实小孔, 包括毛细管型、小孔型、金属压扁型等; 另一类是渗透漏孔, 主要是用石英玻璃作为渗透元件。

漏孔通常由漏孔元件、储氦室和阀门组成, 如图 1 所示。

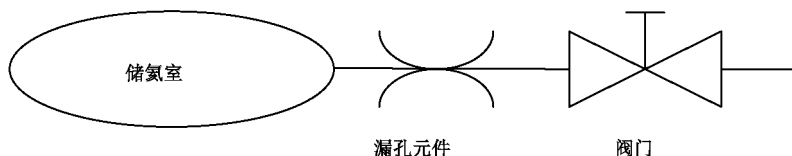


图 1 真空氦漏孔结构示意图

## 5 计量特性

### 5.1 漏率值

给出一定条件下, 真空漏孔对氦气的漏率值。如果可获得温度修正系数, 则需要给出  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  下的氦气漏率值。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 校准的环境温度为  $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , 校准过程中, 环境温度波动不超过  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 实验室内不应有明显的气体流动。

6.1.2 环境湿度不大于  $80\% \text{RH}$ 。

6.1.3 校准设备周围不应有明显的振动, 或其他干扰因素。



## 6.2 测量标准及其他设备

### 6.2.1 测量标准装置

标准装置用于提供已知的气体流量或气体量，主要有以下三种类型，可以任选其一。

——流量计法校准装置，测量范围应在  $(1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-4}) \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  范围内，相对扩展不确定度优于 10% ( $k=2$ )。

——定量气体法校准装置，测量范围应在  $(1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-4}) \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  范围内，相对扩展不确定度优于 10% ( $k=2$ )。

——相对比较法校准装置，测量范围应在  $(1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-4}) \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  范围内，相对扩展不确定度优于 20% ( $k=2$ )。

应配备多支标准漏孔，漏孔漏率值应覆盖装置测量范围的各个数量级。标准漏孔的校准不确定度不大于 10% ( $k=2$ )。

质谱计或氦质谱检漏仪应可显示不少于 3 位有效数字，15 min 稳定性应不大于 2%。

注：评估稳定性时应连续记录，或者记录时间间隔不超过 1 min。

### 6.2.2 其他设备

6.2.2.1 温度计：温度范围为  $(0 \sim 50)^\circ\text{C}$ ，不确定度优于  $0.1^\circ\text{C}$  ( $k=2$ )。

6.2.2.2 氦气源：气体纯度为 99.9%或以上。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

7.1.1 外观。

7.1.2 漏率值。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观检查

7.2.1.1 漏孔应有型号、编号、气源类型、标称漏率值、校准温度、温度系数、年衰减率等信息。

7.2.1.2 漏孔应具有与校准系统连接的密封接口。

7.2.1.3 无储氦室的漏孔应有明确的气流方向或出口端标志。

#### 7.2.2 漏率值

渗透型漏孔应无裂痕等缺陷，通道型漏孔不得堵塞。校准前，应开启漏孔前端阀门并在校准环境内放置 12 h 以上。根据标准装置的类型以及待测漏孔的要求，选择一种校准方法对漏孔进行校准。

无储氦室的通道漏孔按图 2 对待测漏孔进行配气。

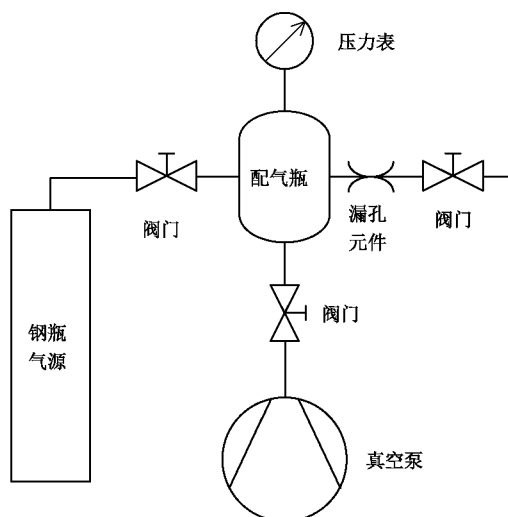


图 2 通道漏孔配气示意图

### 7.2.2.1 流量计法

按照正常程序启动真空系统，待系统进入高真空后开启质谱计，质谱计正常工作 2 h 后，才能开始校准漏孔。

按照图 3 所示，将漏孔安装于真空系统上。打开漏孔阀门 K2，待质谱计检测到真空系统中的氦气峰值稳定（通常情况下，至少需要 30 min）后，开始校准。

注：此时，阀门 K1 应处于关闭状态。

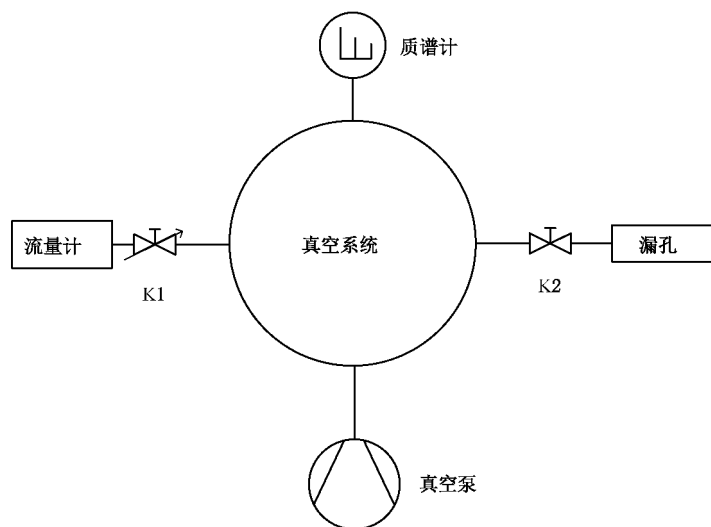


图 3 流量计法校准装置原理和漏孔连接图

校准步骤：

- 用质谱计记录漏孔氦峰离子流  $I_L$ ，并记录漏孔温度  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ )。
- 关闭阀门 K2，调节阀门 K1，使得流量计中的氦气流入真空系统，且质谱计氦峰离子流在  $I_L$  ( $1 \pm 10\%$ ) 之间，记录为  $I_F$ 。
- 按照装置的计算公式，计算得到流量计流出的氦气流量  $Q_F$ 。
- 关闭阀门 K1，用质谱计记录真空系统本底氦峰离子流  $I_0$ ，要求  $I_0 < 0.1 I_L$ 。
- 按照公式 (1) 计算漏孔漏率值：

$$Q_{LT} = Q_F \times \frac{I_L - I_0}{I_F - I_0} \quad (1)$$

式中：

$Q_{LT}$ ——漏孔温度  $T$  时的漏率值， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$Q_F$ ——流量计流入氦气流量值， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$I_L$ ——漏孔氦峰离子流，A；

$I_0$ ——真空系统本底氦峰离子流，A；

$I_F$ ——流量计氦气流入真空系统时，氦峰离子流，A。

f) 重复步骤 a) 到 e) 至少 3 遍，取其平均值  $\overline{Q_{LT}}$  作为温度  $T$  下的漏孔漏率值。

#### 7.2.2.2 定量气体法

定量气体法是指用漏孔流入真空系统的氦气量与装置测量部分流入真空系统的氦气量来进行比较，进而计算得到漏孔漏率的一种测量方法。装置测量部分给出氦气量可以通过膨胀法或流导法来得到。

按照正常程序启动真空系统，待系统进入高真空后开启质谱计，质谱计正常工作 2 h 后，才能开始校准漏孔。

按照图 4 所示，将漏孔安装于真空系统上。关闭阀门  $K1$  ( $K1'$ )，打开漏孔阀门  $K2$ ，待质谱计检测到真空系统中的氦气峰值稳定（通常情况下，至少需要 30 min）后，开始校准。

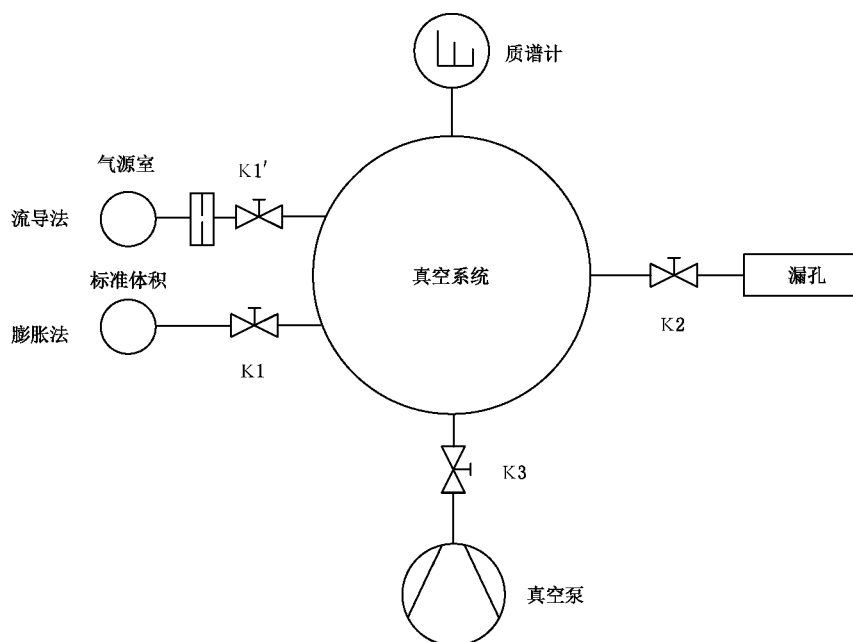


图 4 定量气体法校准装置原理和漏孔连接图

校准步骤：

a) 关闭阀门  $K3$  并开始计时，待一段时间后计时结束，用质谱计记录漏孔氦峰离子流  $I_L$  和时间  $t_1$ ，并记录漏孔温度  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ )。

b) 关闭阀门  $K2$ ，开启阀门  $K3$ ，记录质谱计本底氦峰离子流  $I_0$ ，通常要求  $I_0 < 0.01 I_L$ 。

c)

——膨胀法：将体积为  $v$  的标准体积内充入压力为  $p$  的氦气，关闭阀门 K3，开启阀门 K1，将标准体积内的气体膨胀到真空系统中，记录质谱计氦峰离子流  $I_E$ ，通常要求  $0.9I_L < I_E < 1.1I_L$ ；

——流导法：将气源室内充入压力为  $p$  的氦气，关闭阀门 K3，开启阀门 K1'，开始计时，待一段时间后，记录质谱计氦峰离子流  $I_C$  和时间  $t_2$ ，通常要求  $0.9I_L < I_C < 1.1I_L$ 。

注：时间  $t_1$  和  $t_2$  可采用计算机自带计时器计时，用质谱计软件读取。

d) 按照公式 (2) 或公式 (3) 计算漏孔漏率值：

膨胀法：

$$Q_{LT} = \frac{pv}{t_1} \times \frac{I_L - I_0}{I_E - I_0} \quad (2)$$

流导法：

$$Q_{LT} = \frac{pCt_2}{t_1} \times \frac{I_L - I_0}{I_C - I_0} \quad (3)$$

式中：

 $Q_{LT}$ ——漏孔温度  $T$  时的漏率值， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ； $p$ ——标准体积或气源室内氦气压力，Pa； $v$ ——标准体积值， $\text{m}^3$ ； $C$ ——固定流导值， $\text{m}^3/\text{s}$ ； $t_1$ ——漏孔累积的时间，s； $t_2$ ——流导法气体累积的时间，s； $I_L$ ——漏孔累积的氦峰离子流值，A； $I_E$ ——标准体积内的氦气膨胀到真空系统后，质谱计的氦峰离子流，A； $I_C$ ——流导法气体累积结束时刻，质谱计的氦峰离子流，A； $I_0$ ——真空系统本底氦峰离子流，A。e) 重复步骤 a) 到 d) 至少 3 遍，取其平均值  $\overline{Q_{LT}}$  作为温度  $T$  下的漏孔漏率值。

### 7.2.2.3 相对比较法

按照正常程序启动真空系统或氦质谱检漏仪，待系统进入高真空后开启质谱计，质谱计正常工作 2 h 后，才能开始校准漏孔。

选择与待测漏孔漏率值在同一数量级或漏率值接近的标准漏孔，按照图 5、图 6 所示，将待测漏孔和标准漏孔同时安装于真空系统或检漏仪上，标准漏孔与待测漏孔必须安装在同一位置上。打开标准漏孔阀门 K1 和待测漏孔阀门 K2，待质谱计或检漏仪检测到真空系统中的氦气峰值稳定（通常情况下，至少需要 15 min）后，开始校准。

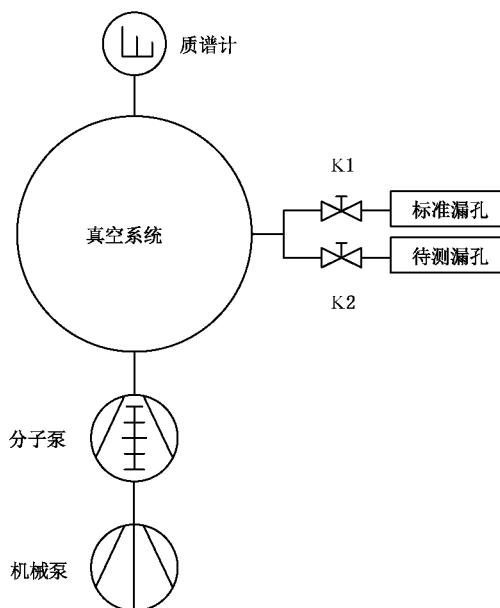


图 5 相对比较法校准装置原理和漏孔连接图（真空系统）

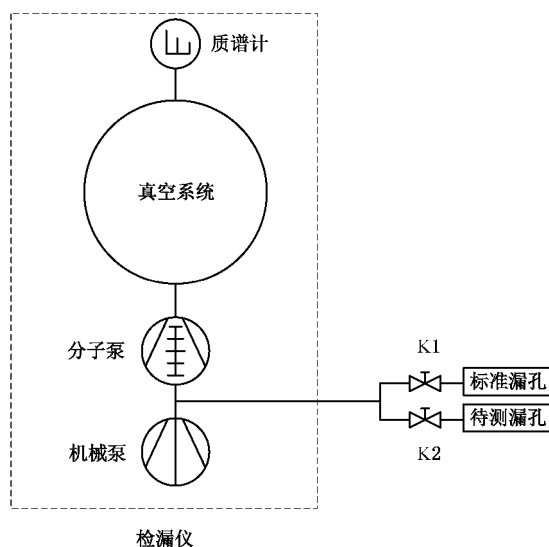


图 6 相对比较法校准装置原理和漏孔连接图（检漏仪）

校准步骤：

- 关闭阀门 **K1** 和 **K2**，记录质谱计或检漏仪本底信号  $I_0$ 。
- 开启阀门 **K1**，待稳定后记录标准漏孔信号值  $I_{\text{std}}$  和漏孔温度  $T_{\text{std}}$ 。
- 关闭阀门 **K1**。
- 开启阀门 **K2**，待稳定后记录待测漏孔信号值  $I_L$  和漏孔温度  $T$ 。
- 按照公式（4）计算漏孔漏率值：

$$Q_{LT} = Q_{\text{std}} \times [1 + (T_{\text{std}} - 23) \times \alpha_{\text{std}, T}] \times \frac{I_L - I_0}{I_{\text{std}} - I_0} \times m_1 \times m_2 \quad (4)$$

式中：

$Q_{LT}$ ——漏孔温度  $T$  时的漏率值， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$Q_{\text{std}}$ ——标准漏孔  $23\text{ }^\circ\text{C}$  的漏率值， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$T_{\text{std}}$ ——校准时标准漏孔温度,℃;

$\alpha_{\text{std},T}$ ——标准漏孔温度系数,℃<sup>-1</sup>;

$I_L$ ——质谱计或检漏仪检测到待测漏孔的信号值, A 或 Pa·m<sup>3</sup>/s;

$I_{\text{std}}$ ——质谱计或检漏仪检测到标准漏孔的信号值, A 或 Pa·m<sup>3</sup>/s;

$I_0$ ——质谱计或检漏仪本底信号值, A 或 Pa·m<sup>3</sup>/s;

$m_1$ ——质谱计线性系数 (通常  $m_1=1$ );

$m_2$ ——质谱计稳定性系数 (通常  $m_2=1$ )。

f) 重复步骤 a) 到 e) 至少 3 遍, 取其平均值  $\overline{Q}_{LT}$  作为温度  $T$  下的漏孔漏率值。

#### 7.2.2.4 数据处理

根据待测漏孔给出的温度系数, 按照公式 (5) 给出 23℃ 下的漏率值。

$$Q_{L23\text{℃}} = \overline{Q}_{LT} \times [1 - (T - 23) \times \alpha_{LT}] \quad (5)$$

式中:

$\alpha_{LT}$ ——待测漏孔温度系数,℃<sup>-1</sup>。

注: 如果待测漏孔没有给出温度系数, 则石英玻璃渗透型漏孔按照 3.5%/℃, 通道型漏孔按照 0.3%/℃ 计算。

### 8 校准结果表达

8.1 校准试验完成后, 按照本规范给出校准结果, 开具相应的校准证书, 校准证书内页格式见附录 B。

8.2 校准证书应包含以下内容:

8.2.1 漏孔类型: 通道型或渗透型 (如果可以)。

8.2.2 漏率值。

8.2.3 校准不确定度。

8.2.4 测量方法。

8.2.5 进气口压力 (如果可以)。

8.2.6 标称漏率值 (如果可以)。

### 9 复校时间间隔

漏孔的复校时间间隔建议为 1 年。

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪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时间间隔。

## 附录 A

## 真空漏孔校准记录格式

客户名称			
客户地址			
器具名称		型号/规格	
生产厂商		出厂编号	
校准日期		校准地点	
环境温度	℃	环境湿度	%RH
证书编号		其他	
标准器信息			
<b>校 准 结 果</b>			
测量次数	实测漏率值 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$	平均漏率值 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$	23 ℃漏率值 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
1			
2			
3			
⋮			
校准不确定度： 漏孔类型： 测量方法： 进气口压力： 标称漏率值：			

校准员：

核验员：

## 附录 B

### 真空漏孔校准证书内页格式(推荐样式)

证书编号：

漏率值：(23 ℃)

校准不确定度：

漏孔类型：

测量方法：

进气口压力：

标称漏率值：

以下空白



## 附录 C

## 校准不确定度评定示例

## C.1 概述

C.1.1 环境条件：温度为  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，湿度  $\leq 80\% \text{RH}$ 。

C.1.2 测量标准：相对比较法校准装置，测量范围为  $(1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-5}) \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，相对扩展不确定度为  $12\%$  ( $k=2$ )。

C.1.3 被测对象：渗氦型真空漏孔。

C.1.4 测量过程：被测漏孔在校准环境条件下放置 16 h 以上。真空系统正常开启，高温烘烤除气。待真空系统温度降至室温，将漏孔接入真空系统，真空度达到  $10^{-5} \text{Pa}$  后，开启质谱计灯丝和电子倍增器。质谱计检测到氦气分压力稳定后（约 2 h），开始校准。

## C.2 测量模型

漏孔漏率值的测量模型：

$$Q_{L23\text{ }^\circ\text{C}} = \overline{Q}_{LT} \times [1 - (T - 23) \times \alpha_{LT}] \quad (\text{C.1})$$

其中  $Q_{LT}$  的测量模型为：

$$Q_{LT} = Q_{\text{std}} \times [1 + (T_{\text{std}} - 23) \times \alpha_{\text{std}, T}] \times \frac{I_L - I_0}{I_{\text{std}} - I_0} \times m_1 \times m_2 \quad (\text{C.2})$$

式中：

$Q_{L23\text{ }^\circ\text{C}}$ ——待测漏孔  $23\text{ }^\circ\text{C}$  的漏率值， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$Q_{\text{std}}$ ——标准漏孔  $23\text{ }^\circ\text{C}$  的漏率值， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$T_{\text{std}}$ ——校准时标准漏孔温度， $^\circ\text{C}$ ；

$T$ ——校准时被测漏孔温度， $^\circ\text{C}$ ；

$\alpha_{\text{std}, T}$ ——标准漏孔温度系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ ；

$\alpha_{LT}$ ——待测漏孔温度系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ ；

$I_L$ ——质谱计或检漏仪检测到待测漏孔的信号值，A 或  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$I_{\text{std}}$ ——质谱计或检漏仪检测到标准漏孔的信号值，A 或  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$I_0$ ——质谱计或检漏仪本底信号值，A 或  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$m_1$ ——质谱计线性系数；

$m_2$ ——质谱计稳定性系数。

对于漏率值大于  $1 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  的漏孔， $I_0$  远小于  $I_L$ ，故此项可以忽略，测量模型 (C.2) 可简化为：

$$Q_{LT} = Q_{\text{std}} \times [1 + (T_{\text{std}} - 23) \times \alpha_{\text{std}, T}] \times \frac{I_L}{I_{\text{std}}} \times m_1 \times m_2 \quad (\text{C.3})$$

由公式 (C.3) 可得：

$$\begin{aligned} u_r^2(Q_{LT}) = & [c_r(Q_{\text{std}}) u_r(Q_{\text{std}})]^2 + [c_r(T_{\text{std}}) u_r(T_{\text{std}})]^2 + [c_r(\alpha_{\text{std}, T}) u_r(\alpha_{\text{std}, T})]^2 + \\ & [c_r(I_L) u_r(I_L)]^2 + [c_r(I_{\text{std}}) u_r(I_{\text{std}})]^2 + [c_r(m_1) u_r(m_1)]^2 + \\ & [c_r(m_2) u_r(m_2)]^2 \end{aligned} \quad (\text{C.4})$$

其中相对灵敏系数：

$$\begin{aligned}
 c_r(Q_{\text{std}}) &= \frac{Q_{\text{std}}}{Q_{\text{LT}}} \times \frac{\partial Q_{\text{LT}}}{\partial Q_{\text{std}}} = 1 \\
 c_r(T_{\text{std}}) &= \frac{T_{\text{std}}}{Q_{\text{LT}}} \times \frac{\partial Q_{\text{LT}}}{\partial T_{\text{std}}} = T_{\text{std}} \times \alpha_{\text{std}, T} = 23 \times 0.03 = 0.69 \\
 c_r(\alpha_{\text{std}, T}) &= \frac{\alpha_{\text{std}, T}}{Q_{\text{LT}}} \times \frac{\partial Q_{\text{LT}}}{\partial \alpha_{\text{std}, T}} = \alpha_{\text{std}, T} (T_{\text{std}} - 23) \\
 &= -0.10 \sim 0.18 (-0.02 \leq \alpha_{\text{std}, T} \leq 0.035, 18 \leq T_{\text{std}} \leq 28) \\
 c_r(I_{\text{L}}) &= \frac{I_{\text{L}}}{Q_{\text{LT}}} \times \frac{\partial Q_{\text{LT}}}{\partial I_{\text{L}}} = 1 \\
 c_r(I_{\text{std}}) &= \frac{I_{\text{std}}}{Q_{\text{LT}}} \times \frac{\partial Q_{\text{LT}}}{\partial I_{\text{std}}} = -1 \\
 c_r(m_1) &= \frac{m_1}{Q_{\text{LT}}} \times \frac{\partial Q_{\text{LT}}}{\partial m_1} = 1 \\
 c_r(m_2) &= \frac{m_2}{Q_{\text{LT}}} \times \frac{\partial Q_{\text{LT}}}{\partial m_2} = 1
 \end{aligned}$$

由公式 (C.1) 可得：

$$u_r^2(Q_{\text{L23 } ^\circ\text{C}}) = [c_r(\bar{Q}_{\text{LT}})u_r(\bar{Q}_{\text{LT}})]^2 + [c_r(T)u_r(T)]^2 + [c_r(\alpha_{\text{LT}})u_r(\alpha_{\text{LT}})]^2 \quad (\text{C.5})$$

其中相对灵敏系数：

$$\begin{aligned}
 c_r(\bar{Q}_{\text{LT}}) &= \frac{(\bar{Q}_{\text{LT}})}{Q_{\text{L23 } ^\circ\text{C}}} \times \frac{\partial Q_{\text{L23 } ^\circ\text{C}}}{\partial \bar{Q}_{\text{LT}}} = 1 \\
 c_r(T) &= \frac{T}{Q_{\text{L23 } ^\circ\text{C}}} \times \frac{\partial Q_{\text{L23 } ^\circ\text{C}}}{\partial T} = -T \times \alpha_{\text{LT}} = -23 \times 0.03 = -0.69 \\
 c_r(\alpha_{\text{LT}}) &= \frac{\alpha_{\text{LT}}}{Q_{\text{L23 } ^\circ\text{C}}} \times \frac{\partial Q_{\text{L23 } ^\circ\text{C}}}{\partial \alpha_{\text{LT}}} = -\alpha_{\text{LT}} (T - 23) \\
 &= -0.18 \sim 0.10 (-0.02 \leq \alpha_{\text{std}, T} \leq 0.035, 18 \leq T_{\text{std}} \leq 28)
 \end{aligned}$$

### C.3 输入量的标准不确定度分量评定

#### C.3.1 标准漏孔分量 $u_r(Q_{\text{std}})$

标准漏孔漏率值的不确定度包括两项，一是校准证书中给出漏率值的不确定度，通常为 5%；二是漏孔漏率随时间衰减造成偏差，通常小于 5%。

注：如果标准漏孔可调节进气口压力，使得其使用状态与校准状态一致，则漏率衰减造成的不确定度可以忽略。如果标准漏孔漏率值进行了衰减修正，漏率衰减造成的不确定度也可以忽略。

$u_r(Q_{\text{std}})$  取这两项的方和根，估计为 5%~7.1%。

#### C.3.2 待测漏孔和标准漏孔的质谱计离子流分量 $u_r(I_{\text{L}})$ 和 $u_r(I_{\text{std}})$

在本实验中，质谱计作为比较仪使用，因此取其一段时间内的读数值进行 A 类评定。对于不同漏率的漏孔，离子流值相差很大，其离散性相差也较大，因此取量值为  $10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  和  $10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  的两只漏孔分别进行评定，见表 C.1。

表 C.1 质谱计离子流不确定度评估参考

漏孔漏率	离子流	$u_r(I_L)$ 和 $u_r(I_{std})$
$10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$	$10^{-10} \text{ A}$ (电子倍增模式)	2.0%
$10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$	$10^{-11} \text{ A}$ (法拉第筒模式)	0.2%

C.3.3 质谱计线性系数分量  $u_r(m_1)$ 

由于标准漏孔与待测漏孔仅保证漏率量级一致，故由于质谱计或检漏仪线性引入的不确定度较大。当然，当标准漏孔漏率与待测漏孔漏率非常接近时，该项不确定度则较小。

如有实验证明所使用的质谱计或检漏仪线性情况，可根据实际情况评估不确定度。如没有相关实验，可参照表 C.2 来评估。

表 C.2 质谱计或检漏仪线性不确定度评估参考

条件	$u_r(m_1)$
$0.5 \leq \frac{I_L}{I_{std}} \leq 2$	3.0%
$0.2 \leq \frac{I_L}{I_{std}} \leq 5$	6.0%
$0.1 \leq \frac{I_L}{I_{std}} \leq 10$	10%

C.3.4 质谱计稳定性系数分量  $u_r(m_2)$ 

通常认为电离计的灵敏系数与真空系统的温度呈反比关系，质谱计测量原理与电离计基本相同，可参照电离计进行评定。真空系统在校准过程中，温度变化通常小于  $0.5^\circ\text{C}$ ，因此该项不确定度估计为 0.2%。

经长时间对质谱计进行监测，质谱计短时间（3 min 内）稳定性小于 0.5%。

$u_r(m_2)$  取这两项的方和根，估计为 0.54%。

C.3.5 标准漏孔和待测漏孔温度分量  $u_r(T_{std})$  和  $u_r(T)$ 

使用不确定度优于  $0.1^\circ\text{C}$  ( $k=2$ ) 的温度计测量标准漏孔和被测漏孔温度，考虑到漏孔温度均匀性和温度的波动，该项不确定度估计为  $0.2^\circ\text{C}$ ，相对不确定度为 0.87%。

C.3.6 标准漏孔和待测漏孔温度系数分量  $u_r(\alpha_{std, T})$  和  $u_r(\alpha_{LT})$ 

漏孔的温度系数采用仪器铭牌标称的温度系数，相对不确定度按 20% 估计。

## C.4 合成标准不确定度

待测漏孔在温度  $T$  的漏率值的不确定度一览表如表 C.3 所示。

表 C.3 温度  $T$  时待测漏孔的不确定度一览表

序号	符号	来源	输入量的标准不确定度 $u_r(x_i) / \%$	相对灵敏系数 $c_r(x_i)$	$ c_r(x_i)  u_r(x_i)$ $\%$
1	$Q_{\text{std}}$	标准漏孔漏率	5~7.1	1	5~7.1
2	$T_{\text{std}}$	标准漏孔温度	0.87	0.69	0.6
3	$\alpha_{\text{std}, T}$	标准漏孔温度系数	20	-0.1~0.18	0~3.6
4	$I_L$	待测漏孔信号	0.2~2.0	1	0.2~2.0
5	$I_{\text{std}}$	标准漏孔信号	0.2~2.0	-1	0.2~2.0
6	$m_1$	质谱计线性系数	3~10	1	3~10
7	$m_2$	质谱计稳定性系数	0.54	1	0.54
合成标准不确定度： $u_r(Q_{LT}) = 5.9\% \sim 13\%$ 。 扩展不确定度 $U_r(Q_{LT}) = 12\% \sim 26\%$ ， $k=2$ 。					

待测漏孔 23 ℃漏率值的不确定度一览表如表 C.4 所示。

表 C.4 相对比较法校准漏孔的不确定度一览表

序号	符号	来源	输入量的标准不确定度 $u_r(x_i) / \%$	相对灵敏系数 $c_r(x_i)$	$ c_r(x_i)  u_r(x_i)$ $\%$
1	$\overline{Q}_{LT}$	温度 $T$ 时待测漏孔漏率	5.9~13	1	5.9~13
2	$T$	待测漏孔温度	0.87	-0.69	0.6
3	$\alpha_{LT}$	待测漏孔温度系数	20	-0.18~0.10	0~3.6
合成标准不确定度： $u_r(Q_{L23\text{℃}}) = 5.9\% \sim 14\%$ 。 扩展不确定度 $U_r(Q_{L23\text{℃}}) = 12\% \sim 28\%$ ， $k=2$ 。					

#### C.5 计算合成相对标准不确定度

用同一台质谱计测量标准漏孔与待测漏孔信号，因此  $I_{\text{std}}$  和  $I_L$  是正相关。在测量模型中， $I_{\text{std}}$  和  $I_L$  的灵敏系数分别为 1 和 -1。由于这两项为非主要项，为简化评定过程，按不相关处理。其余分量均为不相关。待测漏孔 23 ℃漏率值的合成标准不确定度  $u_r(Q_{L23\text{℃}})$  为：

$$u_r(Q_{L23\text{℃}}) = \begin{cases} [5^2 + 0.6^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 3^2 + 0.54^2 + 0.6^2]^{\frac{1}{2}} = 5.9\% \\ [7.1^2 + 0.6^2 + 3.6^2 + 2^2 + 2^2 + 10^2 + 0.54^2 + 0.6^2 + 3.6^2]^{\frac{1}{2}} = 14\% \end{cases}$$

#### C.6 计算相对扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，相对扩展不确定度为：

$$U_r(Q_{L23\text{℃}}) = 2 \times u_r(Q_{L23\text{℃}}) = 12\% \sim 28\%$$

## 附录 D

### 漏率单位换算

#### D.1 概述

真空氦漏孔漏率通常有两种表述方式：质量流量和摩尔流量，其单位分别为： $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  和  $\text{mol}/\text{s}$ 。

#### D.2 单位换算

根据气体状态方程可以得到质量流量和摩尔流量的换算关系：

$$q_v = \frac{1}{RT_K} q_{pv} \quad (\text{D.1})$$

式中：

$q_v$ ——漏孔漏率值摩尔流量表示， $\text{mol}/\text{s}$ ；

$q_{pv}$ ——漏孔漏率值质量流量表示， $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

$R$ ——气体常数 [ $R=8.314\,472\,\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，扩展不确定度  $U(R)=0.000\,014\,\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$  ]；

$T_K$ ——热力学温度，K。

---





中 华 人 民 共 和 国  
国 家 计 量 技 术 规 范  
真 空 氮 漏 孔 校 准 规 范

JJF 1833—2020

国家市场监督管理总局发布

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2020年7月第一版

\*

书号: 155066 · J-3691

版权专有 侵权必究



JJF 1833—2020