

JJG

中华人民共和国国家计量检定系统

JJG 2022—89

真 空 计 量 器 具

1989年8月15日批准

1990年5月1日实施

国家技术监督局

真空计量器具检定系统

Verification Scheme of Measuring Instruments

for Vacuum

JJG 2022—89

本国家计量检定系统经国家技术监督局于1989年8月15日批准，并自1990年5月1日起施行。

起草单位： 中国计量科学研究院

本检定系统技术条文由起草单位负责解释。

本检定系统主要起草人：

费渭南（中国计量科学研究院）

参加起草人：

周起春（中国计量科学研究院）

张家英（中国计量科学研究院）

目 录

一	计量基准器具.....	(1)
二	计量标准器具.....	(3)
三	工作计量器具.....	(7)
四	真空计量器具检定系统框图.....	(8)

真空计量器具检定系统

在真空科学技术领域中，通常由“真空度”量值表示低于环境大气压的气体的稀薄程度。

根据当前真空科学技术发展的水平，真空度获得和测量的范围，已从大气压 (10^5 Pa) 至极高真空 ($<10^{-10}$ Pa)。但工业生产和科学研究中实际广泛应用的范围为 $10^{-3} \sim 10^5$ Pa。为了保证该范围内真空度量值的准确一致，制定本检定系统，进行真空量值传递，检定各级真空计量器具。

本检定系统主要适用于 $10^{-3} \sim 10^5$ Pa 范围内，计量、科研和工业部门使用的真空标准装置和真空计的检定。

一. 计量基准器具

1 真空国家基准主要用于复现和传递真空度量值，是统一全国真空度量值的最高依据。

2 真空国家基准由三个不同范围的真空装置组成：

2.1 $5 \times 10^{-3} \sim 1$ Pa 压缩式真空计装置

2.2 $1 \sim 1 \times 10^3$ Pa 压缩式真空计装置

2.3 $5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$ Pa 液体压力计装置

3 国家基准复现的量的总范围为

$$5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

4 不确定度

4.1 压缩式真空计装置

真空度计算公式为：

$$p = \rho g K h_1 h_2 \quad (1)$$

式中： ρ —— $t^\circ\text{C}$ 时汞密度；

g ——当地重力加速度；

K ——真空计常数；

h_1 ——有效汞柱面高度差；

h_2 ——压缩后气柱有效高度。

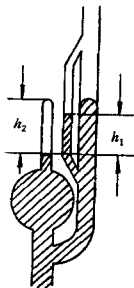


图 1

由各参数的误差引入的不确定度为：

$$\delta_1 = \sqrt{\delta_p^2 + \delta_g^2 + \delta_x^2 + \delta_{i_1}^2 + \delta_{i_2}^2} \quad (2)$$

装置真空度的不稳定性为 δ_2 ，则总不确定度为：

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (3)$$

装置在测量下限 $p = 5 \times 10^{-8}$ Pa 时，

$$\delta_1 = 1.5\%$$

$$\delta_2 = 0.2\%$$

得
$$\delta = \pm 1.7\% \approx \pm 2\% \quad (3\sigma)$$

4.2 液体压力计装置

真空度计算公式为：

$$p = \rho gh \quad (4)$$

式中： h ——液柱面的高度差。

由各参数误差引入的不确定度为：

$$\delta_1 = \sqrt{\delta_p^2 + \delta_g^2 + \delta_h^2}$$

由于在 $5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$ Pa 范围内是在静态下直接校准， $\delta_2 =$

0, 所以

$$\delta = \delta_1 = \sqrt{\delta_p^2 + \delta_c^2 + \delta_{p_0}^2} \quad (5)$$

装置在测量上限 $p = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时,

$$\delta = \pm 0.12\% \approx \pm 0.2\%$$

因此, 真空国家基准在 $5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 范围内的不确定度为:

$$\delta = \pm (2 \sim 0.2)\% (3\sigma)$$

二 计量标准器具

5 一等真空标准器有四种。

5.1 一等标准流导法真空装置

a. 测量范围

$$10^{-6} \sim 10^{-1} \text{ Pa}$$

b. 不确定度

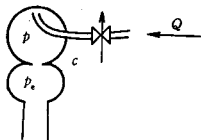


图 2

真空度计算公式为:

$$p = K \frac{Q}{c} + p_0 \quad (6)$$

式中: K ——分流比;
 Q ——气体流量;
 c ——流导;
 p_0 ——下游压强。

由上述参数误差引入的不确定度为:

$$\delta_1 = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_Q^2 + \delta_c^2 + \left(\frac{P_0}{p_0 + K \frac{Q}{c}}\right)^2 \delta_{p_0}^2}$$

装置真空度的不稳定性为 δ_2 ;

装置本底引入的不确定度为 δ_3 。

总不确定度为 $\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ (7)

装置在测量下限 $p = 10^{-6}$ Pa 时,

$$\delta_1 = 3\% \quad \delta_2 = 1\% \quad \delta_3 = 1\%$$

得 $\delta = \pm 5\% (3\sigma)$

5.2 一等标准膨胀法真空装置

a. 测量范围

$$10^{-3} \sim 10^2 \text{ Pa}$$

b. 不确定度

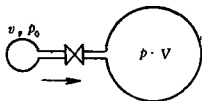


图 3

真空度计算公式为:

$$p = \frac{v}{V} p_0 \quad (8)$$

式中: v ——传递阀的容积;

V ——校准室的容积;

p_0 ——起始压强。

由上述参数误差引入的不确定度为:

$$\delta_1 = \sqrt{\delta_v^2 + \delta_V^2 + \delta_{p_0}^2} \quad (9)$$

装置本底真空度引入的不确定度为 δ_2 。

总不确定度为

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (10)$$

装置在测量下限 $p = 10^{-3}$ Pa 时,

$$\delta_1 = 3.5\% \quad \delta_2 = 1\%$$

得

$$\delta = \pm 4.5\% \approx \pm 5\% (3\sigma)$$

5.3 一等标准液体压力计

a. 测量范围

$$10^2 \sim 10^5 \text{ Pa}$$

b. 不确定度

因在静态下用国家基准液体压力计对其直接校准, 则一等标准液体压力计的不确定度为:

$$\delta = \sqrt{\delta_s^2 + \delta_m^2} \quad (11)$$

式中: δ_s ——基准器的不确定度;

δ_m ——被检装置(或计)与基准器的最大相对偏差。

装置在测量下限 $p = 5 \times 10^2$ Pa 时,

$$\delta_s = 0.4\% \quad \delta_m = 0.8\%$$

得

$$\delta = 0.89\% \approx \pm 1\% (3\sigma)$$

5.4 一等标准压缩式真空计组

a. 由 $10^{-3} \sim 1$ Pa 和 $1 \sim 10^3$ Pa 两个不同范围的一等标准压缩式真空计组成, 其总测量范围为:

$$10^{-3} \sim 10^3 \text{ Pa}$$

b. 不确定度

计算公式即为式(3)

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

装置在测量下限 $p = 10^{-3}$ Pa 时,

$$\delta_1 = 3.5\% \quad \delta_2 = 1\%$$

得

$$\delta = \pm 4.5\% \approx \pm 5\% (3\sigma)$$

一等标准流导法、膨胀法、压缩法三种真空装置一旦建成, 有些参数很难再重新测定。因此, 上述三种标准装置的周期检定是: 整台

装置通过一只稳定性不大于1%的参考真空计(例如磁悬浮转子真空计或电容薄膜真空计),用真空国家基准进行定点间接检定,验证一等装置的理论分析不确定度数值。此外,为进一步保证这些装置真空度量值的准确可靠,还应根据需要不定期的以同样办法用参考真空计在这些装置之间彼此比对,以消除可能的系统误差。

6 二等真空标准器有六种

6.1 二等标准热阴极电离真空计

测量范围为 $10^{-8} \sim 10^{-1}$ Pa (目前尚未建立)

6.2 二等标准热阴极电离真空计

测量范围为 $10^{-5} \sim 10^{-1}$ Pa

6.3 二等标准磁悬浮转子真空计

测量范围为 $10^{-3} \sim 10$ Pa

6.4 二等标准电容薄膜真空计

测量范围为 $10^{-1} \sim 10^2$ Pa

6.5 二等标准电容薄膜真空计

测量范围为 $10^2 \sim 10^5$ Pa

6.6 二等标准压缩式真空计组

由测量范围为 $10^{-3} \sim 1$ Pa 和 $1 \sim 10^3$ Pa 的两只二等标准压缩式真空计组成。

后五种二等标准器的允许误差 Δ 与式(11)相同,即

$$\Delta = \sqrt{\delta_a^2 + \delta_m^2} \quad (12)$$

在这些二等标准真空计的测量下限时,

$$\delta_a = 5\% \quad \delta_m = 8\%$$

可得后五种二等标准真空计的允许误差,均为:

$$\Delta = \pm 9.4\% \approx \pm 10\%$$

第一种二等标准热阴极电离真空计由于在 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ Pa 范围的误差是根据真空计规管的剩余电流作线性延伸求得的,因此该二等标准真空计的允许误差为:

$$\Delta = \sqrt{\delta_a^2 + \delta_m^2} + \Delta_x \quad (13)$$

式中: Δ_x ——规管剩余电流引入的误差。

在测量下限 $p = 10^{-8}$ Pa 时,

$$\delta_s = 5\% \quad \delta_m = 8\% \quad \Delta_r = 20\%$$

由式 (13) 得第一种二等标准真空计的允许误差为:

$$\Delta = \pm 30\%$$

三 工作计量器具

工作计量器具分六大类

7 热阴极电离真空计

分三个测量范围, 相应的允许误差为:

7.1 $10^{-8} \sim 10^{-1}$ Pa, $\Delta = \pm 70\%$;

7.2 $10^{-5} \sim 10^{-1}$ Pa, $\Delta = \pm 50\%$;

7.3 $10^{-3} \sim 10$ Pa, $\Delta = \pm 50\%$.

8 冷阴极电离真空计

分二个测量范围, 相应的允许误差为:

8.1 $10^{-5} \sim 10^{-1}$ Pa, $\Delta = \pm 100\%$;

8.2 $10^{-3} \sim 10$ Pa, $\Delta = \pm 100\%$.

9 电容薄膜真空计

分二个测量范围相应的允许误差为:

9.1 $10^{-1} \sim 10^2$ Pa, $\Delta = \pm 20\%$;

9.2 $10^2 \sim 10^5$ Pa, $\Delta = \pm 20\%$;

10 热偶真空计

分二个测量范围, 相应的允许误差为:

10.1 $10^{-1} \sim 10$ Pa, $\Delta = \pm 50\%$;

10.2 $10^{-1} \sim 10^4$ Pa, $\Delta = \pm 50\%$.

11 电阻真空计

分二个测量范围, 相应的允许误差为:

11.1 $10^{-1} \sim 10$ Pa, $\Delta = \pm 50\%$;

11.2 $10^{-1} \sim 10^4$ Pa, $\Delta = \pm 50\%$.

12 压缩式真空计组

总测量范围为 $10^{-3} \sim 10^3$ Pa

允许误差为 $\Delta = \pm 50\%$

工作计量器具的允许误差计算公式为：

$$\Delta = \delta_a + \delta_m + \delta_2$$

式中， δ_2 为二等标准检定工作用真空计时所用相对校准装置的真空度不稳定性，要求 $\delta_2 \leq \pm 1\%$ 。

四 真空计量器具检定系统框图

真空计量器具检定系统框图

