
标准压缩式真空计检定规程

(试 行)

Verification Regulation
of Standard Compression
Vacuum Gauge

JJG 261—81

本检定规程经国家计量总局于1981年7月20日批准，并自1982年11月1日起施行。

归口单位： 中国计量科学研究院

起草单位： 中国计量科学研究院

主要起草人： 王进琦

本规程技术条文由起草单位负责解释。

标准压缩式真空计检定规程

本规程适用于测量范围为 $8 \times 10^{-3} \sim 1$ Pa (低量程标准压缩式真空计) 或 $8 \times 10^{-2} \sim 10$ Pa (高量程标准压缩式真空计) 的标准压缩式真空计 (以下简称被检计) 的检定。

一、概 述

被检计的主要结构为双毛细管并具有防汞蒸汽流电磁阀 (见图 1), 其工作原理基于波义耳定律。待测压力的计算公式为:

$$p = 10^{-3} \rho g \frac{V_1 + V_2}{V_1 + V_2 + V_3} \cdot \frac{\pi D^2}{4 V_1} \times \\ \times (h_A - h_C + \delta_1)(h_0 - h_C - \delta_2) \quad (1)$$

式中: p —— 待测压力 (Pa);

ρ —— 在测量温度为 $t^\circ\text{C}$ 时纯汞的密度 (g/cm^3);

g —— 当地的重力加速度 (m/s^2);

V_1 —— 交叉口 N 面以上压缩球泡的体积 (cm^3);

V_2 —— 交叉口 N 面至上方电磁阀之间管道内的体积 (cm^3);

V_3 —— 交叉口 N 面至下方电磁阀之间腔体的体积 (cm^3);

D —— 闭毛细管的内径 (mm);

h_A, h_C —— 分别为开、闭毛细管内的汞柱顶点高度 (mm) (见图 2);

h_0 —— 闭毛细管外顶点的高度 (mm);

δ_1 —— 因两毛细管压低值不一致而造成的修正量 (简称压低值修正量) (mm);

δ_2 —— 压缩后气柱高度的修正量 (mm)。

$$\text{令 } K = 10^{-3} \frac{V_1 + V_2}{V_1 + V_2 + V_3} \cdot \frac{\pi D^2}{4 V_1}$$

则式 (1) 为:

$$p = K \rho g (h_A - h_C + \delta_1)(h_0 - h_C - \delta_2) \quad (2)$$

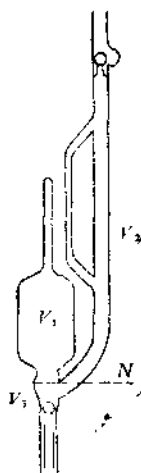


图 1

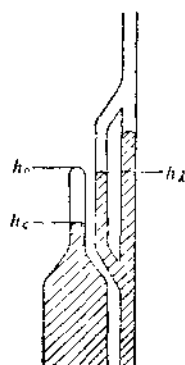


图 2

二、技术要求

1 基本误差

检 定 项 目 名 称	示 值 和 误 差
毛细管内径 D 允许范围	$1.00 \pm 0.05 \text{ mm}$
毛细管内径不均匀性 $\frac{\Delta D}{D}$	$\leq \pm 0.1\%$
低量程压缩计体积 V_1 允许范围	$1175 \pm 25 \text{ cm}^3$
高量程压缩计体积 V_1 允许范围	$125 \pm 25 \text{ cm}^3$
各项体积 V_i 的误差 $\frac{\Delta V_i}{V_i}$	$\leq 0.15\%$
压低值修正量的误差 $\Delta \sigma_1$	$\leq \pm 0.10 \text{ mm}$
气柱高度修正量的误差 $\Delta \sigma_2$	$\leq \pm 0.10 \text{ mm}$
被检计测量下限的总误差 $\frac{\Delta p}{p}$	$\leq \pm 2\%$

2 被检计应满足下列要求:

- 被检计由硬质玻璃制成, 壁厚不小于 1.5mm;
- 两毛细管内壁均匀磨毛, 管壁不应有妨碍测定汞面高度的气

泡或气丝;

- c 开、闭两毛细管应与轴线平行;
- d 被检计压缩球泡上应印有器号。

三、检 定 设 备

3 专用玻璃量器和其它检定设备

- a $0 \sim 1200 \text{ cm}^3$ $\pm 0.03\%$ 一支;
- b $0 \sim 250 \text{ cm}^3$ $\pm 0.03\%$ 一支;
- c $0 \sim 150 \text{ cm}^3$ $\pm 0.05\%$ 一支;
- d $0 \sim 50 \text{ cm}^3$ 一等标准滴定管 一支;
- e 测长仪 (测量范围不小于 $200 \text{ mm} \pm 5 \mu\text{m}$) 一台;
- f 三级天平 ($0 \sim 200 \text{ g}$), 二等标准克组和毫克组 砝码;
- g 测高仪 (测量范围不小于 $200 \text{ mm} \pm 0.01 \text{ mm}$) 一台。

4 检定用真空系统 (见图3) 一套

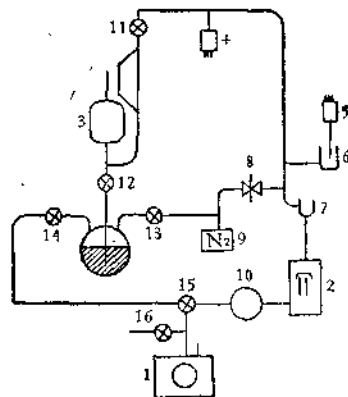


图 3

图中:

- 1—2X-2机械泵; 2— 10^{-6} Pa , 20 L/s 汞扩散泵; 3—被检计;
- 4—DL-2规管; 5—B-A规管; 6、7—冷阱; 8—针阀;
- 9—氮气源; 10—储气瓶; 11、12—上方、下方电磁阀;
- 13、14、15、16—玻璃阀

该真空系统应满足:

- a 最低压力不大于 $5 \times 10^{-6} \text{ Pa}$;
 - b 压力调节范围: $5 \times 10^{-3} \sim 1 \text{ Pa}$;
 - c 可烘烤去气。
- 5 主要辅助设备
- a 纯度不低于99.99%的氮气源;
 - b 三级汞蒸馏器一套;
 - c 高真空电离计一台;
 - d 超高真空电离计一台。

四、检 定

6 检定项目

- a 外观检查;
- b 毛细管内径的检定;
- c 毛细管内径均匀性的检定;
- d 压缩体积的检定;
- e 压低值修正量的测定;
- f 气柱高度修正量的测定;
- g 防汞蒸气阀密封性的检查。

7 检定条件

7.1 检定时环境温度为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$, 但一小时内室温变化不得超过 1°C 。

7.2 环境的相对湿度在80%以下。

7.3 被检计内汞的纯度应不低于99.999%。该汞经过酸、碱处理后再直接三次真空蒸馏注入被检计的储汞瓶内。

7.4 室内不应有明显的气流。

7.5 检定前, 必须对被检计进行仔细的清洁处理。

8 检定方法

8.1 外观检查:

外观检查按照技术要求第2条规定进行。

8.2 毛细管内径的检定:

8.2.1 用抽空的方法,在清洁的被检计闭毛细管内的中间位置,灌入一段纯度为99.999%的汞柱,其长度约为100 mm.

8.2.2 待汞柱温度与室温平衡后(即用测长仪观察汞柱长度稳定不变时)记下室温 t ,并用测长仪分别测得此段汞柱两凸面顶端间的读数差($L_1 - L_2$),见图4.

8.2.3 抽出大部分汞柱使管内仅留下一段长度约为10 mm的汞柱.此段汞柱距内顶端的位置应仍在原来的 L_1 上.用天平称得所抽出汞的质量为 m (g).

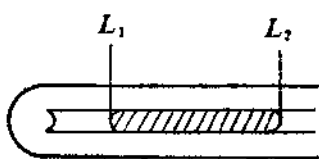


图 4

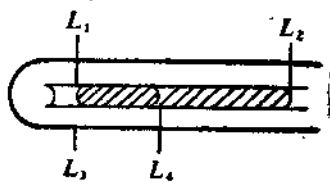


图 5

8.2.4 用测长仪测出留下这段汞柱两凸面顶端间的读数差为($L_3 - L_4$),见图5.

则所抽出的这段汞柱的有效长度为:

$$L = (L_1 - L_2) - (L_3 - L_4) \quad (3)$$

其内径值 D 为

$$D = \sqrt{\frac{4m}{\pi \rho L}} \quad (4)$$

式中: ρ 为室温 $t^\circ\text{C}$ 时的汞密度.

8.2.5 用同样方法重复以上步骤,共进行三次测量,得到内径值 D_1 、 D_2 和 D_3 ,则毛细管内径的最终结果为:

$$D = \frac{1}{3} (D_1 + D_2 + D_3) \quad (5)$$

三次测定 D 的最大偏差不应超过0.1%,若超过则需重复进行上述测量.

8.3 毛细管内径均匀性的检定:

毛细管内径的均匀性是用灌入长度约为 10mm 的纯汞连同少量蒸馏水一起抽入毛细管内测得。每使汞柱在毛细管内移动一个位置,应在用测长仪观察汞柱长度稳定不变和每次汞柱端面形状情况一致时,方可进行测量。开始使管内的汞柱处于距内顶端约 2 mm 的位置,以后每隔约 10 mm 移动一个位置,用测长仪分别测得各个位置汞柱凸面顶端间的读数为 $l_1, l_2, \dots, l_n$ (见图6), 汞柱的平均长度为:

$$l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad (6)$$

内径的不均匀性为:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{3}{2l} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (l_i - l)^2} \quad (7)$$

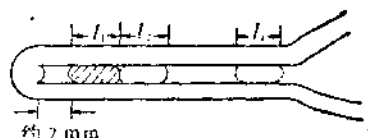


图 6

检定内径和均匀性时,各汞柱的长度均是不少于三次测量的平均值。三次测量之间的偏差,不超过 $\pm 10 \mu\text{m}$ 。

8.4 压缩体积的检定:

式(1)中的体积 $V_1, V_0 = V_1 + V_2, V_0 = V_1 + V_2 + V_3$ 均是将被检计垂直倒置,用玻璃量器注入二次蒸馏水的方法测得。蒸馏水的温度应事先与测量时的室温平衡,然后再进行各体积的测量。各体积重复测量应不少于 5 次。各体积的计算公式为:

$$\bar{V}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad (8)$$

体积的测定误差按公式(9)计算:

$$\frac{\Delta V_i}{\bar{V}_i} = \frac{|V_{i(\text{最大误差})} - \bar{V}_i|}{\bar{V}_i} \quad (9)$$

8.5 压低值修正量的测定:

将被检计接在图3的真空系统上进行测定。

8.5.1 当真空系统内的压力已低于被检计测量下限三个数量级时,由超高真空电离计记下压力值 p_0 ,由测高仪测得闭毛细管的内顶端高度 h_c ,并提升被检计的汞至闭毛细管内。在距内封顶 30 mm 以下的范围内,每隔 5 mm 提升一点。在距内封顶 30 mm 以内的范围,每隔 2~3 mm 提升一点,直至距内顶端约 2 mm 位置为止。每次提升汞柱面的上升速度要求,是在距测量点约 2 mm 处,先使汞柱面停留约 2 分钟,再以不大于 0.1 mm/s 的起始速度提升汞面,并使汞柱面逐渐减速到达测量点,然后进行抽气粗管内汞面高度 H 及闭毛细管内汞面高度 h_c 的测量。共提升 n 个点,可得闭毛细管各位置的压低值为

$$\Delta c_i = (h_{c_i} - H_i) - \frac{p_0}{K\rho g} \cdot \frac{1}{h_0 - h_{c_i}} \quad (10)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\text{当 } \frac{p_0}{K\rho g} \cdot \frac{1}{h_0 - h_{c_i}} < 0.01 \text{ mm 时}$$

式(10)简化为

$$\Delta c_i = h_{c_i} - H_i \quad (11)$$

闭毛细管的平均压低值为

$$\Delta c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta c_i \quad (12)$$

8.5.2 用同样方法提升汞至开毛细管内。在距闭毛细管内顶端上下各约 15 mm 范围内每隔约 2 mm 为一点,分别测得粗管内的汞面高度 H' 及开毛细管内的汞面高度 h_A 。共提升 m 个点,可得开毛细管各位置的压低值为

$$\Delta A_i = h_{A_i} - H'_i \quad (13)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

开毛细管的平均压低值为

$$\Delta_A = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta_{A_i} \quad (14)$$

8.5.3 压低值修正量 δ_1 可由下式计算

$$\delta_1 = \Delta_C - \Delta_A \quad (15)$$

其误差计算公式为

$$\Delta\delta_1 = \pm \frac{1}{2} |(\Delta_{A_{\text{最大值}}} - \Delta_{A_{\text{最小值}}}) + (\Delta_{C_{\text{最大值}}} - \Delta_{C_{\text{最小值}}})| \quad (16)$$

8.6 气柱高度修正量的测定:

同样将被检计接在真空系统上进行测定。汞柱提升的方法和速度同前。

8.6.1 在被检计测量下限附近处选择 m 个压力 ($i = 1, 2, \dots, m$), m 不小于 5。在每个压力下测量时, 提升汞至闭毛细管内, 在距内封顶 $8 \sim 2 \text{ mm}$ 内均匀分布 k 个点 ($i = 1, 2, \dots, k$), 测得闭毛细管内汞面在这些点上的高度 h_{ci} 及相应开毛细管内汞面顶端的高度 h_{di} , 并反复测得闭毛细管外顶端的高度 h_0 。

8.6.2 采用不等精度间接观测的最小二乘法计算每个压力 p_i 的 δ_{2i} 及其标准误差 σ_{2i} 。方法是先取 δ_{2i} 的近似值为 y_0 , 则待测值 δ_{2i} 为

$$\delta_{2i} = y = y_0 - y' \quad (17)$$

由任意一次压缩 (如 $i = 1$) 所得的直接下式计算出 $p_i/K\rho g$ 的近似值为

$$x_0 = (h_{d1} - h_{c1} + \delta_1)(h_0 - h_{c1} - y_0) \quad (18)$$

设另一未知值 $p/K\rho g = x$, 则

$$x = x_0 - x' \quad (19)$$

根据最小二乘法的法则, 可求得

$$x' = -\frac{[rb][rbl] - [rbb][rl]}{[r][rbb] - [rb][rb]} \quad (20)$$

$$y' = -\frac{[rb][rl] - [r][rbl]}{[r][rbb] - [rb][rb]} \quad (21)$$

$$\sigma_{y'} = \pm \sqrt{\frac{[r][rv^2]}{(k-2)\{[r][rb\bar{b}] - [rb][r\bar{b}]\}}} \quad (22)$$

式中: 方括号[]表示 k 个有关量的总和

$$a_i = h_0 - h_{C_i} - y_0 \quad (23)$$

$$b_i = h_{A_i} - h_{C_i} + \delta_1 \quad (24)$$

$$l_i = a_i b_i - x_0 \quad (25)$$

$$r_i = \{(2a_i^2 + 2a_i b_i + b_i^2)(\Delta h)^2 + a_i^2 (\Delta \delta_1)^2\}^{-1} \quad (26)$$

$$V_i = x' + b_{iy'} + l_i \quad (27)$$

由每个压力下求得的 y' 分别代入式 (17) 可得到 m 个修正量 δ_{2i} 及其各自的标准偏差

$$\sigma_{2i} = \sigma_{y'}$$

8.6.3 由上面求得的 m 个 δ_{2i} 值及 σ_{2i} 计算气柱高度修正量的加权平均值为

$$\delta_2 = \frac{[q\delta_2]}{[q]} \quad (28)$$

加权平均值 δ_2 的误差为

$$\Delta\delta_2 = 3\sqrt{\frac{[qu^2]}{(m-1)[q]}} \quad (29)$$

式中:

$$q_i = 1/\sigma_{2i}^2 \quad (30)$$

$$u_i = \delta_{2i} - \delta_2 \quad (31)$$

8.7 防汞蒸汽流电磁阀密封性的检查:

将被检计接在真空系统进行检查。由图3上的 DL-2 规管指示压力值。依次只关闭一个电磁阀, 若 DL-2 规管指示的压力值不大于 5×10^{-4} Pa, 则该电磁阀的密封性符合要求。

五、检定结果的处理

9 被检计的压力总误差计算公式为

$$\frac{\Delta p}{p} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta V_0}{V_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_1}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_2}{V_2}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \dots} \\ + \sqrt{\left(\frac{\Delta \sigma_1}{H_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \sigma_2}{H_0}\right)^2 + 6\left(\frac{\Delta h}{H_0}\right)^2} \quad (32)$$

式中:

$\Delta h = \pm 0.02\text{mm}$, 为测高仪本身的精度 0.01mm 加上汞面对准精度 0.01mm .

$$H_0 = (h_A - h_C + \delta_1) = (h_0 - h_C - \delta_2)$$

在压力下限时取 $H_0 = 8\text{mm}$, 则由第 1 条和公式 (32) 得被检计的总误差 $\frac{\Delta p}{p}$. 由于汞密度和重力加速度的误差很小, 在计算总误差时予以忽略.

10 经检定凡满足本规程中各项技术要求的被检计, 可定为标准计并发给检定证书. 不合格的, 发给检定结果通知书.

11 被检计的检定周期一般为五年.

附 录

附录 1

检 定 结 果

测量范围:

误 差:

压力计算公式: $p = K\rho g(h_A - h_C + \delta_1)(h_0 - h_C - \delta_2)$ 真空常数 K :压低值修正量 δ_1 :气柱高度修正量 δ_2 :

附录 2

修正量 δ_2 计算表 $h_0 =$ $x_0 =$ $y_0 =$ $\Delta h =$ $\Delta\delta_1 =$

i	h_A	h_C	b $h_A - h_C + \delta_1$	a $h_0 - h_C - y_0$	ab	i $ab - x_0$	bb	bl	r	rb	rl	rbb	$rb l$

$$x' = \frac{(rb)(rbl) - (rbb)(rl)}{(r)(rbb) - (rb)(rb)}$$

$$y' = \frac{(rb)(rl) - (r)(rbl)}{(r)(rbb) - (rb)(rb)}$$

$$\delta_2 = y - y_0 - y'$$

附录 5

中国各主要城市的重力加速度

序号	地区	重力加速度 g m/s^2	序号	地区	重力加速度 g m/s^2	序号	地区	重力加速度 g m/s^2
1	北京	9.8015 ⁴⁶	12	大连	9.8011	23	南昌	9.7920
2	上海	9.7946	13	长春	9.8048	24	长沙	9.7915
3	天津	9.8011	14	昆明	9.7836	25	乌鲁木齐	9.8015
4	广州	9.7883	15	南宁	9.7877	26	汉口	9.7836
5	南京	9.7949	16	武汉	9.7936	27	贵阳	9.7868
6	西安	9.7944	17	杭州	9.7936	28	福州	9.7891
7	太原	9.7970	18	哈尔滨	9.8066	29	拉萨	9.7799
8	沈阳	9.8035	19	兰州	9.7926	30	乌兰浩特	9.8066
9	济南	9.7988	20	合肥	9.7947			
10	郑州	9.7966	21	石家庄	9.7997			
11	成都	9.7913	22	保定	9.8003			

注：本表未列地区重力加速度值，可用下面公式算出：

$$g = \frac{9.80665 \times (1 - 0.00265 \times \cos 2\varphi)}{1 + \frac{2h}{R}}$$

式中：R——地球半径，等于 $6371 \times 10^3 m$ ，

h——测量地点的海拔高度，

φ ——测量地点的纬度。

附录 6

一个大气压下15~25℃纯汞密度表

 $\rho_0 = 13.59508(\text{g/cm}^3)$ 单位: (g/cm^3)

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
15	13.55814	5799	5765	5741	5710	5691	5667	5642	5618	5593
16	13.55569	5544	5520	5495	5470	5445	5421	5397	5372	5348
17	13.55323	5288	5274	5249	5225	5200	5175	5151	5127	5102
18	13.55077	5033	5028	5004	4979	4955	4930	4906	4881	4857
19	13.54832	4807	4783	4758	4734	4709	4685	4660	4636	4611
20	13.54587	4562	4538	4513	4488	4464	4439	4415	4390	4366
21	13.54341	4317	4292	4268	4243	4219	4194	4170	4145	4120
22	13.54096	4071	4047	4022	3998	3973	3949	3924	3900	3875
23	13.53851	3826	3802	3777	3753	3728	3704	3679	3655	3630
24	13.53606	3581	3557	3532	3508	3483	3459	3434	3410	3385
25	13.53361	3336	3312	3287	3263	3238	3214	3189	3165	3140