

极高真空电离规的校准实验研究

成永军, 李得天

(兰州物理研究所, 真空低温技术与物理国家级重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:介绍了 2 支反磁控型冷阴极极高真空电离规和 1 支热阴极极高真空电离规的校准实验研究结果。实验设备是一台极高真空校准装置, 实验范围为 10^{-9} ~ 10^{-1} Pa, 实验气体为 N_2 。实验结果表明, 尽管 2 次校准结果的重复性较好, 但就单次校准结果来看, 每个规的灵敏度(修正因子)的最大值和最小值之间的偏差较大。因此, 极高真空电离规要得到准确的测量结果, 对其进行精确校准是非常必要的。

关键词:反磁控型冷阴极极高真空电离规; 热阴极极高真空电离规; 校准; 实验

中图分类号: TB772

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2009)04-0199-08

CALIBRATION OF EXTREMELY HIGH VACUUM IONIZATION GAUGE

CHENG Yong-jun, LI De-tian

(National Key Lab. of Vacuum & Cryogenic Technology and Physics, Lanzhou Institute of Physics,
Lanzhou 730000, China)

Abstract: Two inverted magnetron cold cathode ionization gauges and one hot cathode ionization gauge were calibrated against a (extremely high vacuum) XHV calibration apparatus over the range 10^{-9} Pa to 10^{-1} Pa with gas of N_2 . The results showed that all gauges had better repeatability. Nevertheless, as for a whole measurement course, the correction factor and sensitivity were strongly pressure dependent. Therefore, to ensure accurate pressure measurement, it is necessary to calibrate these XHV ionization gauges accurately for reliability of the application in XHV.

Key words: inverted magnetron cold cathode XHV ionization gauge; hot cathode XHV ionization gauge; calibration; experiment

1 引 言

极高真空(XHV)测量在行星际空间科学、真空表面分析、核聚变、高能加速器、真空微电子等领域具有广泛的应用价值。电离规是 XHV 测量的主要工具, 要得到准确的测量结果, 就必须对其进行精确校准, 以保证 XHV 条件下应用的可靠性。

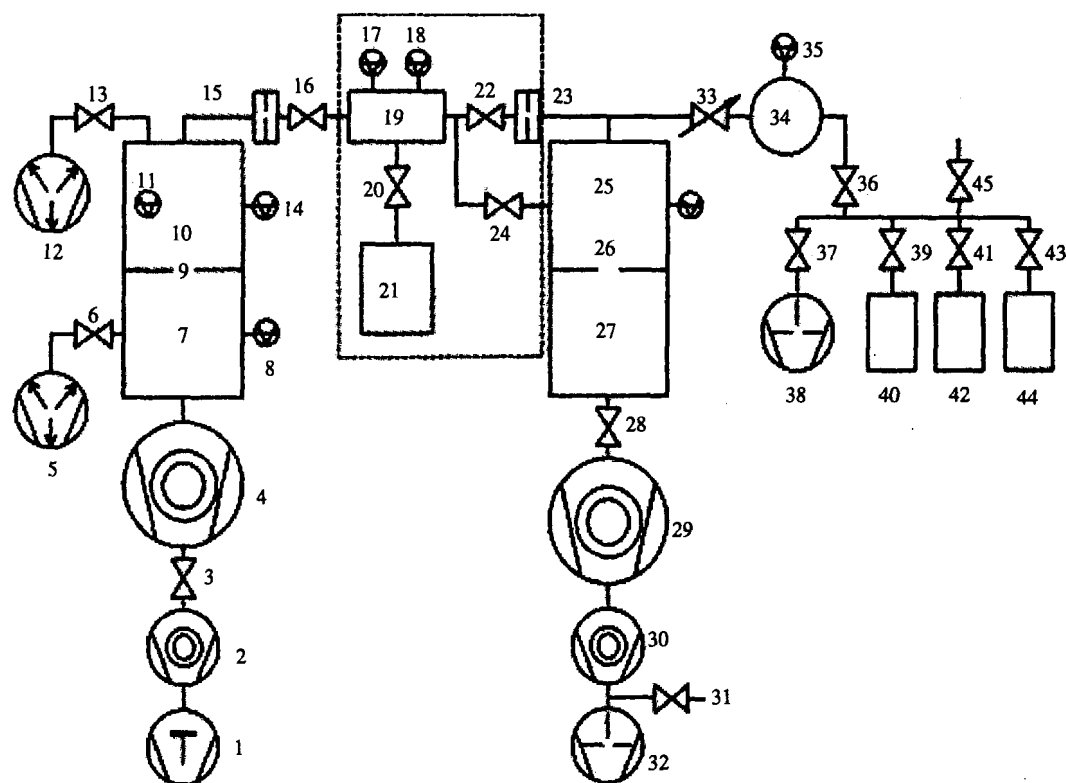
作者在一台 XHV 校准装置上对 3 支 XHV 电离规进行了校准实验, 并对实验设备、实验方法及实验研究结果进行介绍。

2 实验设备

实验设备为一台 XHV 校准装置(如图 1 所示), 该装置主要由超高真空(UHV)系统、XHV 系统、流量分流系统以及供气系统四部分组成^[1,2]。

收稿日期: 2009-09-15.

作者简介: 成永军(1975-), 男, 甘肃省会宁县人, 博士研究生, 从事真空测量与校准技术研究。



1.干泵;2,29,30.涡轮分子泵;3,6,13,16,20,22,24,2,36,37,39,41,43.隔膜阀;4.磁悬浮分子泵;5,12.NEG 泵;7.XHV 抽气室;8,11.XHV 规;9.XHV 限流孔;10.XHV 校准室;14,18.磁悬浮转子规;15,23.小孔;17.电容薄膜规;19.分流室;21.流量计;25.UHV 校准室;26.UHV 限流孔;27. UHV 抽气室;31.电磁放气阀;32,38.机械泵;33.微调阀;34.稳压室;35.低真空规;40,42,44.气瓶。

图1 XHV 校准装置原理结构图

XHV 抽气机组由磁悬浮涡轮分子泵、分子泵、干泵以及非蒸散型吸气剂泵组成。UHV 抽气系统采用双涡轮分子泵串联抽气机组,前级泵为机械泵。另外,在分子泵与抽气室之间安装了超高真空插板阀。流量分流系统通过小孔(15)和(23)分别与 XHV 和 UHV 系统相连。供气系统主要由气源、机械泵、稳压室和阀门等组成。

校准装置进行烘烤后,在 XHV 校准室中可获得约 2×10^{-9} Pa 的本底压力。

3 被校电离规

被校电离规包括:

第一支冷阴极电离规(CCG1)。传感器型号为 I-MAG423,控制单元型号为 HPS 937A,测量范围为 $1 \times 10^{-9} \sim 1 \text{ Pa}^{[9]}$ 。

第二支冷阴极电离规(CCG2)。传感器型号为 IMG for UHV,控制单元型号为 Multi-Gauge,测量范围为 $10^{-9} \sim 10^{-1} \text{ Pa}^{[9]}$ 。

第三支热阴极电离规(HCG)。传感器型号为 IE514,控制单元型号为 IM540,测量范围为 $2 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-2} \text{ Pa}^{[5,9]}$ 。

对于第一支、第二支冷阴极电离规,校准结果用修正因子 c 表示

$$c = \frac{p}{p_c - p_0} \quad (1)$$

式中 p_c 为被校冷阴极电离规的读数,Pa; p 为标准压力,Pa; p_0 为本底压力,Pa。

对于第三支热阴极电离规,校准结果用灵敏度 S 表示

$$S = S_c \cdot \frac{(p_c - p_0)}{p} \quad (2)$$

式中 S_c 为输入到分离规控制单元 IM540 内的灵敏度值, Pa^{-1} ; p_c 为被校分离规的读数,Pa; p 为标准压力,

Pa; p_0 为本底压力,Pa。

4 校准方法

4.1 动态直接比较法

磁悬浮转子规的测量范围为 $10^{-4} \sim 10^{-1}$ Pa,在此范围内,调节微调阀(33)或稳压室(34)和分流室(19)中的压力,使 XHV 校准室(10)中的压力处于 $10^{-4} \sim 10^{-1}$ Pa 范围内,则可以用磁悬浮转子规(14)的测量值对被校电离规的示值进行直接比较校准。磁悬浮转子规(14)事先在静态膨胀法真空标准上进行了校准。

4.2 压力衰减法

在分流室(19)中充入一定压力的气体,气体通过小孔(15),流入 XHV 校准室(10),再经小孔(9)被 XHV 抽气室(7)抽走。根据流量守恒定律,流过小孔(15)的气体流量等于流过小孔(9)的气体流量,即流量关系满足式(3)

$$(p_{01}-p_u)C_{15}=(p_u-p_1)C_9 \tag{3}$$

式中 P_{01} 为分流室中的动态平衡压力,Pa; p_u 为 XHV 校准室内的气体压力,Pa; p_1 为 XHV 抽气室中的气体压力,Pa; C_9 为小孔 9 的流导, m^3/s ; C_{15} 为小孔 15 的流导, m^3/s 。

实际测量中, C_9 远远大于 C_{15} ,压力 p_{01} 远远大于 p_u 。设 $R_p=\frac{p_1}{p_u}$,所以将式(3)改写成式(4)

$$p_u=p_{01}\frac{C_{15}}{C_9(1-R_p)} \tag{4}$$

从式(4)看出,压力衰减法在 XHV 校准室产生的标准压力与小孔(15)和小孔(9)的流导比成正比,与分流室中的平衡压力成正比。

分流室中的平衡压力用磁悬浮转子规(18)和 FS 13.3 Pa 的电容薄膜规(17)测量,测量范围 $10^{-4} \sim 13.3$ Pa,小孔(15)的流导为 $10^{-6} m^3/s$,所以压力衰减法的校准范围为 $10^{-9} \sim 10^{-4}$ Pa。

5 校准过程与结果

5.1 校准过程

将 3 支被校电离规安装到实验设备上后,对校准装置进行烘烤除气。烘烤程序为:温度以 30 ℃/h 的速度从室温开始升温,最终 XHV 部分的烘烤温度为 260 ℃;UHV 部分的烘烤温度为 200 ℃,分流室的烘烤温度为 230 ℃;四极质谱计、被校规和磁悬浮转子规的烘烤温度为 150 ℃。装置各部分温度达到设定值后,保温 48 h,然后以 30 ℃/h 的速度降温。当温度降到 150 ℃时,对四极质谱计和被校规除气。装置温度接近室温后继续抽气 24 h,测得 XHV 校准室极限真空度为 2.75×10^{-9} Pa,UHV 校准室极限真空度为 3.06×10^{-6} Pa。用连接于 XHV 校准室上的四极质谱计监测烘烤后的残余气体谱,主要残余气体为 H_2 ,见图 2 所示。

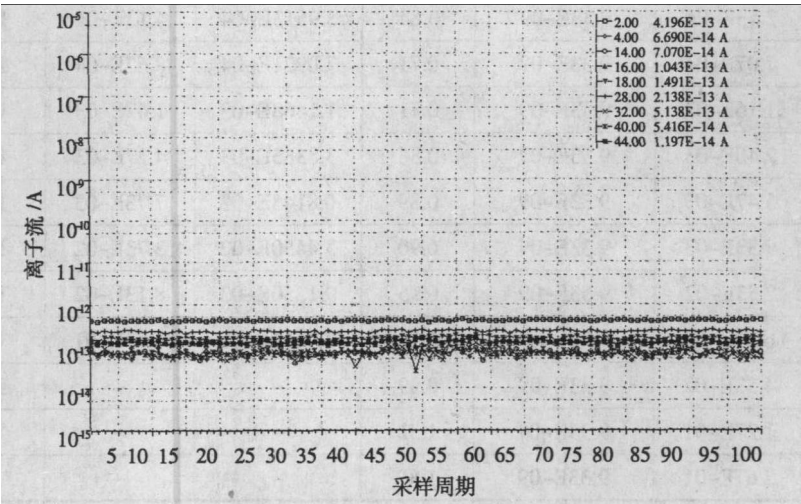


图 2 XHV 校准室内的残余气体谱

实验设备和被校规工作稳定后,采用压力衰减法和动态直接比较法从低压力到高压力用 N₂ 连续进行 2 轮校准。

5.2 校准结果

5.2.1 反磁控冷阴极极高真空电离规(CCG1)的校准

采用压力衰减法和动态直接比较法,对第一支反磁控冷阴极极高真空电离规(CCG1)在 $7\times10^{-9}\sim2\times10^{-1}$ Pa 压力范围内进行了校准,校准是在连续 2 天内进行了 2 轮,校准数据见表 1 所列。

表 1 CCG1 校准原始数据

第 1 轮校准					第 2 轮校准			
序号	标准压力 /Pa	被校规 读数 /Pa	本底压力 /Pa	修正 因子	标准压力 / Pa	被校规读数 /Pa	本底压力 / Pa	修正 因子
1	7.980E-09	2.13E-08	9.33E-09	0.67	7.298E-09	2.13E-08	1.20E-08	0.78
2	2.113E-08	3.87E-08	9.33E-09	0.72	2.418E-08	4.13E-08	1.20E-08	0.82
3	3.922E-08	6.40E-08	9.33E-09	0.72	4.269E-08	6.53E-08	1.20E-08	0.80
4	5.387E-08	8.27E-08	9.33E-09	0.73	6.603E-08	9.33E-08	1.20E-08	0.81
5	1.075E-07	1.47E-07	9.33E-09	0.78	1.017E-07	1.33E-07	1.20E-08	0.84
6	1.778E-07	2.40E-07	9.33E-09	0.77	2.299E-07	2.67E-07	1.20E-08	0.90
7	2.932E-07	3.73E-07	9.33E-09	0.81	3.661E-07	4.13E-07	1.20E-08	0.91
8	5.693E-07	7.20E-07	9.33E-09	0.80	6.075E-07	6.80E-07	1.20E-08	0.91
9	8.043E-07	1.01E-06	9.33E-09	0.80	9.738E-07	1.08E-06	1.20E-08	0.91
10	1.130E-06	1.47E-06	9.33E-09	0.78	1.165E-06	1.29E-06	1.20E-08	0.91
11	1.261E-06	1.60E-06	9.33E-09	0.79	4.174E-06	4.40E-06	1.20E-08	0.95
12	3.878E-06	4.80E-06	9.33E-09	0.81	7.671E-06	8.93E-06	1.20E-08	0.86
13	8.313E-06	1.11E-05	9.33E-09	0.75	1.251E-05	1.47E-05	1.20E-08	0.85
14	1.418E-05	1.87E-05	9.33E-09	0.76	4.324E-05	5.20E-05	1.20E-08	0.83
15	3.548E-05	4.80E-05	9.33E-09	0.74	7.446E-05	8.93E-05	1.20E-08	0.83
16	7.379E-05	1.01E-04	9.33E-09	0.73	1.118E-04	1.33E-04	1.20E-08	0.84
17	1.571E-04	2.27E-04	9.33E-09	0.69	2.4974E-04	2.67E-04	1.20E-08	0.94
18	2.117E-04	2.53E-04	9.33E-09	0.84	3.9513E-04	4.13E-04	1.20E-08	0.96
19	5.044E-04	7.07E-04	9.33E-09	0.71	7.0921E-04	8.67E-04	1.20E-08	0.82
20	8.185E-04	1.16E-03	9.33E-09	0.71	1.1468E-03	1.47E-03	1.20E-08	0.78
21	2.061E-03	2.40E-03	9.33E-09	0.86	3.8365E-03	4.27E-03	1.20E-08	0.90
22	4.854E-03	5.47E-03	9.33E-09	0.89	6.8143E-03	7.73E-03	1.20E-08	0.88
23	8.410E-03	9.33E-03	9.33E-09	0.90	3.4450E-02	3.73E-02	1.20E-08	0.92
24	2.394E-02	2.53E-02	9.33E-09	0.95	9.1850E-02	8.13E-02	1.20E-08	1.13
25	7.112E-02	6.27E-02	9.33E-09	1.13	2.4661E-01	1.33E-01	1.20E-08	1.85
26	4.479E-02	4.53E-02	9.33E-09	0.99	-	-	-	-
27	1.674E-01	1.27E-01	9.33E-09	1.32	-	-	-	-
28	5.029E-01	2.67E-01	9.33E-09	1.89	-	-	-	-

CCG1 的修正因子随标准压力变化的关系曲线如图 3 所示。

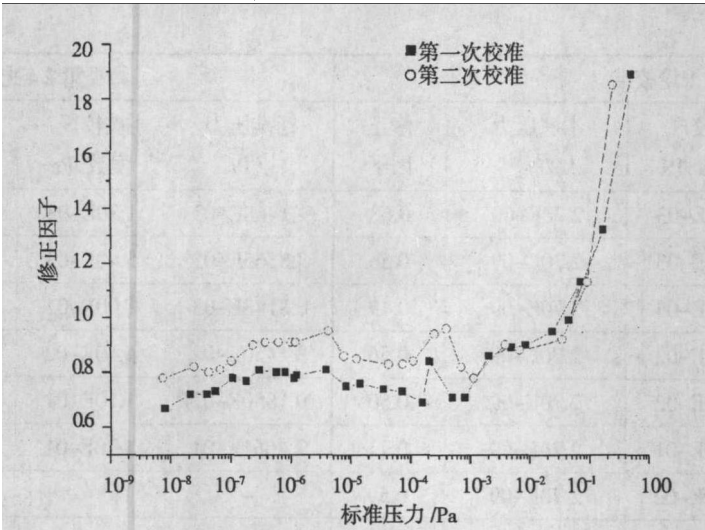


图3 CCG1的修正因子随标准压力变化的关系曲线

从校准结果看,2次校准的重复性较好。当标准压力低于0.01 Pa时,2次校准的CCG1修正因子最大值与最小值之间的偏差分别为26%和19%。当标准压力大于0.01 Pa时,CCG1接近测量上限,修正因子持续增大。

5.2.2 反磁控冷阴极极高真空电离规(CCG2)的校准

与校准CCG1类似,对第二支反磁控冷阴极极高真空电离规(CCG2)在 $7\times10^{-9}\sim1\times10^{-1}$ Pa压力范围内进行了2轮校准,校准数据见表2所列。

表2 CCG2校准原始数据

第1轮校准					第2轮校准			
序号	标准压力 /Pa	被校规读数 /Pa	本底压力 /Pa	修正因子	标准压力 / Pa	被校规读数 /Pa	本底压力 / Pa	修正因子
1	7.980E-09	3.60E-09	2.70E-09	8.87	7.298E-09	3.20E-09	2.50E-09	10.43
2	2.113E-08	6.20E-09	2.70E-09	6.04	2.418E-08	5.60E-09	2.50E-09	7.80
3	3.922E-08	1.00E-08	2.70E-09	5.37	4.269E-08	1.00E-08	2.50E-09	5.69
4	5.387E-08	1.40E-08	2.70E-09	4.77	6.603E-08	1.70E-08	2.50E-09	4.55
5	1.075E-07	3.20E-08	2.70E-09	3.67	1.017E-07	2.80E-08	2.50E-09	3.99
6	1.778E-07	6.00E-08	2.70E-09	3.10	2.299E-07	7.30E-08	2.50E-09	3.26
7	2.932E-07	1.10E-07	2.70E-09	2.73	3.661E-07	1.30E-07	2.50E-09	2.87
8	5.693E-07	2.50E-07	2.70E-09	2.30	6.075E-07	2.30E-07	2.50E-09	2.67
9	8.043E-07	3.70E-07	2.70E-09	2.19	9.738E-07	4.00E-07	2.50E-09	2.45
10	1.130E-06	5.40E-07	2.70E-09	2.10	1.165E-06	5.00E-07	2.50E-09	2.34
11	1.261E-06	6.20E-07	2.70E-09	2.04	4.174E-06	1.80E-06	2.50E-09	2.32
12	3.878E-06	2.00E-06	2.70E-09	1.94	7.671E-06	3.30E-06	2.50E-09	2.33
13	8.313E-06	4.80E-06	2.70E-09	1.73	1.251E-05	6.30E-06	2.50E-09	1.99
14	1.418E-05	9.20E-06	2.70E-09	1.54	4.324E-05	3.10E-05	2.50E-09	1.39
15	3.548E-05	2.90E-05	2.70E-09	1.22	7.446E-05	6.10E-05	2.50E-09	1.22
16	7.379E-05	7.00E-05	2.70E-09	1.05	1.118E-04	8.20E-05	2.50E-09	1.36
17	1.571E-04	1.60E-04	2.70E-09	0.98	2.4974E-04	2.10E-04	2.50E-09	1.19
18	2.117E-04	2.20E-04	2.70E-09	0.96	3.9513E-04	3.80E-04	2.50E-09	1.04
19	5.044E-04	7.20E-04	2.70E-09	0.70	7.0921E-04	7.40E-04	2.50E-09	0.96

(续表 2)

第 1 轮校准					第 2 轮校准			
序号	标准压力 /Pa	被校规读数 /Pa	本底压力 /Pa	修正因子	标准压力 / Pa	被校规读数 /Pa	本底压力 / Pa	修正因子
20	8.185E-04	1.20E-03	2.70E-09	0.68	1.1468E-03	1.30E-03	2.50E-09	0.88
21	2.061E-03	3.70E-03	2.70E-09	0.56	3.8365E-03	5.40E-03	2.50E-09	0.71
22	4.854E-03	9.90E-03	2.70E-09	0.49	6.8143E-03	1.00E-02	2.50E-09	0.68
23	8.410E-03	1.50E-02	2.70E-09	0.56	3.4450E-02	6.40E-02	2.50E-09	0.54
24	2.394E-02	4.80E-02	2.70E-09	0.50	9.1850E-02	1.10E-01	2.50E-09	0.83
25	7.112E-02	1.00E-01	2.70E-09	0.71	2.4661E-01	1.70E-01	2.50E-09	1.45
26	4.479E-02	7.60E-02	2.70E-09	0.59	-	-	-	-
27	1.674E-01	1.50E-01	2.70E-09	1.12	-	-	-	-
28	5.029E-01	2.00E-01	2.70E-09	2.51	-	-	-	-

CCG2 的修正因子随标准压力变化的关系曲线如图 4 所示。

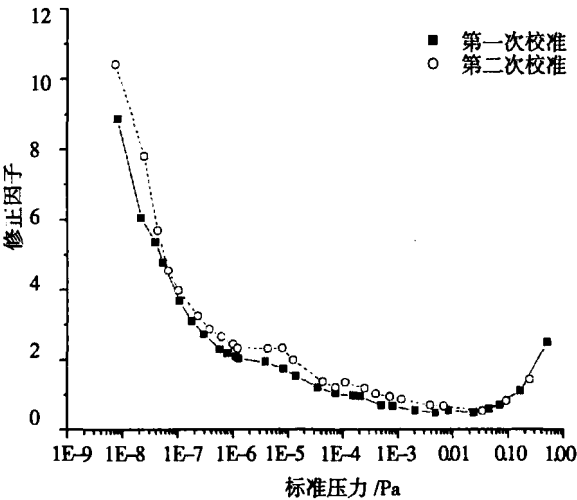


图 4 CCG2 的修正因子随标准压力变化的关系曲线

从校准结果看,2 次校准的重复性也较好,但在小于 0.1 Pa 校准范围内,CCG2 的修正因子随标准压力的增大而一直递减变化。当标准压力大于 0.1 Pa 时,CCG1 接近测量上限,修正因子又持续增大。

5.2.3 热阴极极高真空电离规(HCG)的校准

与校准 CCG1 和 CCG2 类似,对第三支热阴极极高真空电离规(HCG)在 $7\times10^{-9}\sim6\times10^{-3}$ Pa 压力范围内进行了 2 轮校准,校准原始数据见表 3 所列。

表 3 HCG 校准原始数据

第 1 轮校准					第 2 轮校准			
序号	标准压力 /Pa	被校规读数 /Pa	本底压力 /Pa	灵敏度 / 10^{-2}Pa^{-1}	标准压力 / Pa	被校规读数 /Pa	本底压力 / Pa	修正因子
1	7.980E-09	1.25E-08	4.62E-09	6.52	7.298E-09	1.68E-08	9.87E-09	6.27
2	2.113E-08	2.56E-08	4.62E-09	6.55	2.418E-08	3.26E-08	9.87E-09	6.21
3	3.922E-08	4.39E-08	4.62E-09	6.61	4.269E-08	5.17E-08	9.87E-09	6.47
4	5.387E-08	5.84E-08	4.62E-09	6.59	6.603E-08	7.46E-08	9.87E-09	6.47
5	1.075E-07	1.10E-07	4.62E-09	6.47	1.017E-07	1.08E-07	9.87E-09	6.37

(续表 3)

第 1 轮校准					第 2 轮校准			
序 号	标准压力 /Pa	被校规 读数 /Pa	本底压力 /Pa	灵敏度 / 10^{-2}Pa^{-1}	标准压力 / Pa	被校规 读数 /Pa	本底压力 / Pa	修正 因子
6	1.778E-07	1.80E-07	4.62E-09	6.51	2.299E-07	2.30E-07	9.87E-09	6.32
7	2.932E-07	2.93E-07	4.62E-09	6.49	3.661E-07	3.67E-07	9.87E-09	6.44
8	5.693E-07	5.60E-07	4.62E-09	6.44	6.075E-07	5.98E-07	9.87E-09	6.39
9	8.043E-07	7.93E-07	4.62E-09	6.47	9.738E-07	9.62E-07	9.87E-09	6.45
10	1.130E-06	1.12E-06	4.62E-09	6.52	1.165E-06	1.15E-06	9.87E-09	6.46
11	1.261E-06	1.26E-06	4.62E-09	6.57	4.174E-06	4.11E-06	9.87E-09	6.48
12	3.878E-06	3.87E-06	4.62E-09	6.58	7.671E-06	7.51E-06	9.87E-09	6.45
13	8.313E-06	8.12E-06	4.62E-09	6.44	1.251E-05	1.22E-05	9.87E-09	6.43
14	1.418E-05	1.38E-05	4.62E-09	6.42	4.324E-05	4.20E-05	9.87E-09	6.41
15	3.548E-05	3.44E-05	4.62E-09	6.40	7.446E-05	7.23E-05	9.87E-09	6.41
16	7.379E-05	7.22E-05	4.62E-09	6.46	1.118E-04	1.09E-04	9.87E-09	6.44
17	1.571E-04	1.56E-04	4.62E-09	6.56	2.497E-04	2.60E-04	9.87E-09	6.87
18	2.117E-04	2.11E-04	4.62E-09	6.58	7.092E-04	4.21E-04	9.87E-09	6.83
19	5.044E-04	5.23E-04	4.62E-09	6.84	1.147E-03	7.34E-04	9.87E-09	6.85
20	8.185E-04	8.43E-04	4.62E-09	6.80	3.837E-03	1.19E-03	9.87E-09	7.04
21	2.061E-03	2.15E-03	4.62E-09	6.88	6.814E-03	4.09E-03	9.87E-09	7.19
22	4.854E-03	5.19E-03	4.62E-09	7.06	-	-	-	-
23	8.410E-03	9.02E-03	4.62E-09	7.08	-	-	-	-

HCG 的灵敏度随标准压力变化的关系曲线如图 5 所示。

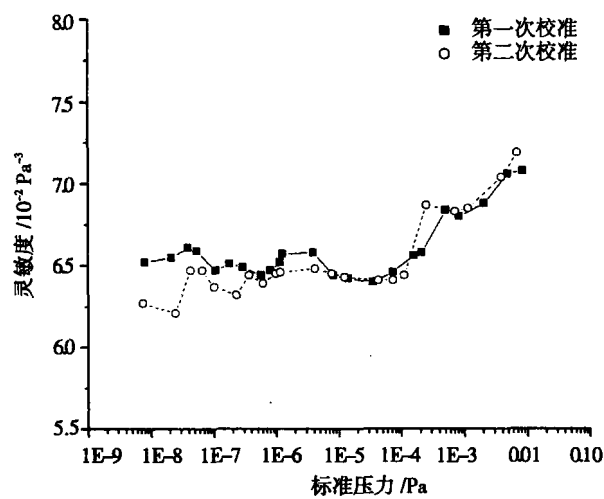


图 5 HCG 的灵敏度随标准压力变化的关系曲线

从图 5 可以看出,2 次校准的重复性也较好。当标准压力低于 1×10^{-3} Pa 时,2 次校准结果的平均值分别为 $6.54 \times 10^{-2} \text{ Pa}^{-1}$ 、 $6.47 \times 10^{-2} \text{ Pa}^{-1}$,与厂家给出的灵敏度值 $6.6 \times 10^{-2} \text{ Pa}^{-1}$ 的偏差分别为 0.9%、1.9%。当标准压力低于 1×10^{-3} Pa 时,2 次校准 HCG 灵敏度最大值与最小值之间的偏差分别为 6.5%和 9.4%,均在生产厂家所给测量精度 10%之内^[7]。当标准压力大于 1×10^{-3} Pa 时,HCG 接近测量上限,HCG 的灵敏度偏离线性,灵敏度持续增大。

6 结 论

通过对不同厂家生产的 2 支反磁控型冷阴极极高真空电离规和 1 支热阴极极高真空电离规进行校准,结果表明:

(1)冷阴极电离规是非线性规,尽管各个生产厂家已通过各种途径做了线性化处理,但校准结果还不能证明冷阴极电离规在这方面的性能得到明显改进,因此使用冷阴极电离规者在参考厂家的说明时应特别引起注意;冷阴极电离规如果不对其进行校准,会引起很大的测量误差。

(2)在热阴极电离规的线性测量范围内,要达到生产厂家所给出的测量精度,对其进行校准也是非常必要的。

参考文献:

- [1] 李得天,李正海,郭美如,等. 超高 / 极高真空校准装置的研制[J].真空科学与技术学报,2007,26(2):92 ~ 96.
- [2] 李得天,郭美如,邱家稳,等. 分流法超高 / 极高真空校准装置性能研究[J].真空,2007,44(6):1 ~ 6.
- [3] MKS. HPS series 937A high vacuum multi-sensor system operation and maintenance manual[M].MKS technology for productivity, 1998.
- [4] VARIAN. Multi-gauge controller instruction manual[M].VARIAN vacuum technologies, 2007.
- [5] LEYBOLD. IONIVAC IM540 ionization gauge controller operating manual[M].LEYBOLD vacuum, 2005.
- [6] 李得天. 热阴极与冷阴极电离规计量学特性比较研究[J].真空与低温,2003,9(2):85 ~ 92.
- [7] CHUNG K H, HONG S S, SHIN Y H, *et al.* Hot cathode ionization gauge calibration with the KRISS ultra-high vacuum standards[J]. metrologia, 1999, 36:675 ~ 679.

《真空与低温》期刊学术论文 中英文摘要撰写标准

为了让学术期刊论文以更高的质量走向国际,以利于国际科技界对中国科技事业的了解和交流,有必要规范中英文摘要的撰写标准:

一、中英文摘要要是应用符合中英文语法的文字语言,以提供文献内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明确切地论述文献重要内容的短文。

二、中英文摘要必须符合“拥有与论文同等量的主要信息”的原则。为此,中英文摘要应重点包括 4 个要素,即研究目的、方法、结果和结论。在这 4 个要素中,后 2 个是最重要的。在执行上述原则时,在有些情况下,中英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围,以及具有情报价值的其他重要的信息。当前学术期刊上中英文摘要的主要问题是要素不全,繁简失当。

三、中英文摘要的句型力求简单,通常应有 10 个左右意义完整、语句顺畅的句子。

四、中英文摘要不应有引言中出现的内容,也不对论文内容作诠释和评论,不得简单重复题名中已有的信息;不用非公知公用的符号和术语;不用引文,除非该论文证实或否定了他人已发表的论文;缩略语、略称、代号,除了相邻专业的读者也能清楚理解的以外,在首次出现时必须加以说明;科技论文写作时应注意的其他事项,如采用法定计量单位,正确使用语言文字和标点符号等。

敬请各位作者按上述标准撰写论文中、英文摘要,且相互对应。篇幅在 300 字以内。