

实用超高真空比对校准系统

李正海

(兰州物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 介绍了一种实用超高真空相对比校准系统。该装置具有结构简单、实用、不确定度小等优点, 可以满足在 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ Pa 范围内超高真空规的比对校准。

关键词 超高真空规; 比对; 校准

中图分类号: TB77

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2009)01-0045-03

COMPARISON METHOD CALIBRATION APPARATUS OF ULTRA-HIGH VACUUM

LI Zheng-hai

(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

Abstract A kind of comparison method calibration apparatus of ultra-high vacuum is introduced, which has the advantages of simplicity, practicality and small uncertainty. This apparatus can calibrate ultra-high vacuum gauge in the $10^{-7} \sim 10^{-5}$ Pa range.

Key words: ultrahigh vacuum gauge; comparison; calibration

1 引 言

超高真空规的校准一般采用动态流量法进行绝对校准, 该装置主标准器是高精度的气体微流量计, 结构复杂, 运转成本高, 校准范围在 $10^{-5} \sim 10^{-8}$ Pa 时需要 7~9 天的时间, 校准时间长, 影响客户的正常工作。为了解决对超高真空规日常校准的需求, 建立结构简单、操作方便、校准效率高、实用性强的超高真空规相对比校准系统是非常必要的。目前国内一些单位为了工作的方便和实际应用, 已建立了超高真空比对校准装置^[1]。

2 工作原理

动态法超高真空相对比校准系统的工作原理是将连续气体注入到校准室中, 通过对校准室的连续抽气, 当注入的气体与抽走的气体达到平衡时, 在校准室内建立起动态平衡压力。相对比对的原理是将参考超高真空计接到动态流量法标准装置进行绝对校准后, 与被校准的超高真空计接到同一校准室上, 通过微调阀调节校准室中的压力校准点, 当校准室中的压力校准点达到动态平衡时, 用被校准的超高真空计与参考超高真空计同时测量校准室中的压力校准点, 将测量结果直接比对, 给出压力示值的修正因子或校准曲线^[2]。修正因子的计算按照式(1)计算

$$C = \frac{p_s}{p_r} \quad (1)$$

式中 C 为修正因子; p_s 为参考超高真空计的测量值, Pa; p_r 为被校超高真空计的读数值, Pa。

3 校准系统的组成

动态法超高真空比对校准系统由真空校准形态系统、抽气系统和压力调节系统三部分组成, 如图 1 所

收稿日期: 2008-12-02.

作者简介: 李正海(1952-), 男, 陕西省子长县人, 高级工程师, 从事真空规的测量与校准技术研究。

示。图中序号 1~7 为抽气系统 ,序号 8~14 为校准系统 ,序号 15~19 为压力调节系统。

3.1 真空校准系统

真空校准系统采用了柱形结构 ,由抽气室(8)和校准室(10)两部分组成。在校准室与抽气室之间有一个圆孔板 ,圆孔的直径 $\Phi 30\text{ mm}$,圆孔对氮气的流导约为 83 L/s 。抽气室和校准室的直径均为 $\Phi 350\text{ mm}$,上校准室的赤道位置设计有 8 个 CF35 法兰备用接口 ,每个接口都通过超高真空角阀连接 ,在装卸被校超高真空规时 ,系统不需要放大气或停机 ,提高了工作效率。在抽气室的赤道位置上装有 1 个 NEG 泵 ,用于获得更低的本底压力和维持真空 ,NEG 泵装在抽气室的优点是不影响校准室的平衡压力 ,使校准室内气体的分布更接近平衡态。

气体流量用微调阀从校准室的顶部注入 ,通过一散流板使气体分子散射后在校准室形成平衡态 ,通过圆孔进入抽气室被分子泵和 NEG 泵抽走 ,在校准室中产生动态平衡的压力。真空校准系统全部采用金属密封结构 ,可承受 $250\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温烘烤 ,加速容器表面的出气 ,便于获得更低的本底压力 ,缩短抽气时间。采用柱形容器便于机械加工 ,成本比较低 ,而且能够合理布置被校超高真空规的位置。

3.2 抽气系统

抽气系统由主抽分子泵(4)、辅抽分子泵(3)、NEG 泵(6)、机械泵(1)、插板阀(5)、阀门和管道组成 ,全部采用了无油真空抽气系统。

在抽气系统的设计中 ,采用双级分子泵串联抽气。主抽泵采用 450 L/s 分子泵 ,辅抽泵选用 110 L/s 分子泵 ,前级泵选用 4 L/s 的机械泵。为了获得超高真空校准所需本底 ,在抽气室增加了 NEG 泵(6)。

为了长期维持真空系统中的真空度 ,使真空系统处在真空的工作状态 ,故在抽气室与主分子泵之间设计插板阀 ,提高了获得真空的工作效率。

4 设计的技术指标

- (1) 极限真空度 $5\times 10^{-9}\text{ Pa}$ 。
- (2) 校准范围 $10^{-7}\sim 10^{-5}\text{ Pa}$ 。
- (3) 扩展不确定度 $:U\leq 10\%\text{ }k=3$ 。

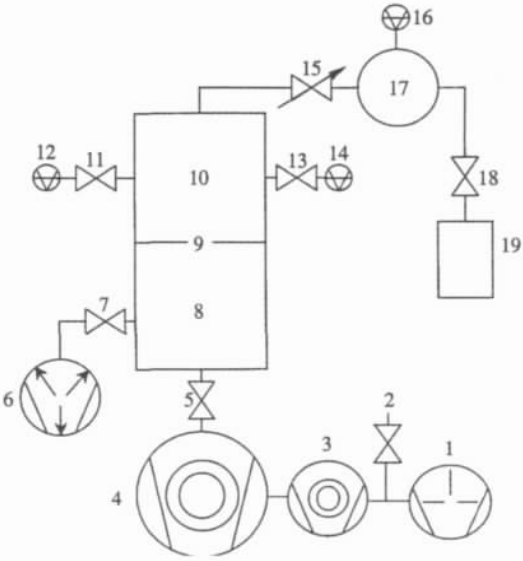
5 技术指标测试

5.1 超高真空系统极限真空度的测试

校准装置开机工作正常后 ,首先对校准装置进行烘烤除气 ,从室温开始加热 ,以 $30\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 升温 , 10 h 后超高真空系统的烘烤温度升为 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,打开 NEG 泵角阀 ,激活 NEG 泵(激活温度为 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$,激活时间 2 h) ,然后关闭 NEG 泵角阀。在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下维持 8 h 后 ,以 $30\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 的速率降温 , 10 h 后降到室温 ,打开 NEG 泵角阀对校准容器抽气 ,校准装置的真空度稳定后测得极限真空度为 $4.9\times 10^{-9}\text{ Pa}$ 。

5.2 超高真空系统校准范围的测试

用超高真空微调阀(15)调节稳压室中的压力 ,注入到校准室中 ,每个量程选择 3 个校准点 ,观测微调阀是否能够调出所要求校准范围的压力点。压力点的读数采用经校准过的 IE514 型分离规 ,数据见表 1。



1. 机械泵;2.放气阀;3. 辅助分子泵;4.主抽分子泵;5.插板阀;6. NEG 泵(常温吸气泵);7.超高真空角阀;8.抽气室;9.小孔;10.校准室;11.超高真空角阀;12.分离规;13.超高真空角阀;14.被校规;15.超高真空微调阀;16.低真空计;17.稳压室;18.调气阀;19.储气瓶。

图 1 动态法超高真空比对校准系统原理图

表 1 校准范围调节读数表

调节次数	调节点 /Pa	实际调节值 /Pa
1	3E-07	2.981 9E-0
2	6E-07	6.169 8E-06
3	9E-07	9.032 3E-06
4	3E-06	3.104 4E-06
5	6E-06	6.204 4E-06
6	9E-06	9.170 7E-0
7	3E-05	3.105 2E-05
8	6E-05	6.104 7E-05
9	9E-05	9.203 2E-05

从数据可以看出 ,能够满足校准范围的调节 ,超高真空微调阀的行程和均匀性都非常好 ,可在校准范围内调节所需的任一压力校准点。

5.3 合成标准不确定度的评定

参考规选用 IE514 型分离规 ,经超高/极高真空校准装置校准的合成标准不确定度为 2.5%。本底引入的不确定度为 1.8% ,统计不确定度为 0.54% ,则合成标准不确定度为 3.2% ,扩展不确定度 9.6%($k=3$)。

6 模拟校准

在动态法超高真空比对校准系统上 ,用分离规作参考标准对超高热阴极电离真空计进行比对模拟校准 ,主要验证微调阀的行程和稳定性 ,以及是否能够满足实际的超高真空规的校准。具体在每个量程按 3 个校准点进行校准 ,共校准 3 个量程 9 个点 ,完全能够覆盖该装置的校准范围 ,校准数据见表 2。

表 2 模拟校准数据

次 数	参考压力 /Pa	被校压力 /Pa	修正系数
1	2.696E- 07	2.72E- 07	0.991
2	6.058E- 07	5.97E- 07	1.015
3	9.165E- 07	9.39E- 07	0.976
4	2.115E- 06	2.16E- 06	0.979
5	5.499E- 06	5.62E- 06	0.978
6	8.607E- 06	8.56E- 06	1.006
7	2.044E- 05	2.02E- 05	1.012
8	5.597E- 05	5.68E- 05	0.985
9	9.381E- 05	9.48E- 05	0.990
平均值			0.995
相对实验标准偏差			0.54 %

7 结 论

超高真空相对比对校准装置 ,可以用于超高真空规的动态直接比对校准 ,结束过去用线性外推法进行超高真空规的校准 ,能够确保国防科技工业在超高真空区域真空量值的传递和统一。

参考文献：

[1] 吴冠原. 超高真空直接比较校准装置[J]. 真空,1998 (2): 15~18.
[2] 李正海. VCSE- B 型真空比对标准装置的研制[J]. 真空与低温 ,1994 (4) :191~197.