

真空的获得与测量

舒星宇 201632600237

摘要：真空技术主要包括真空的获得、真空测量、残余气体分析三个部分，在实验中，主要进行前两个部分。通过实验了解部分真空泵与真空计的工作原理，经历联合使用真空泵获得高真空的过程，熟悉实验室所提供仪器的操作。

关键词：真空；真空度

0 引言

真空技术在科学实验、工业生产和近代尖端科学技术中都有广泛的应用，比如，薄膜技术、电真空技术、高能粒子加速器、表面科学、大规模集成电路制造、空间技术和材料制备等领域都离不开真空技术。

1 实验相关知识

1.1 真空的一般划分

真空的区域划分，国际上还没有统一的规定，国内也不尽一致。通常分为粗真空、低真空、高真空、超高真空、极高真空五个区域。从物理现象来看，粗真空以分子相互碰撞为主，即分子自由程 $\lambda \leq$ 容器尺寸 d ；低真空则是分子相互碰撞和与器壁碰撞不相上下；高真空时以分子与器壁碰撞为主，即 $\lambda \gg d$ ；超高真空时分子碰撞器壁的次数已很少了，形成一个单分子层的时间已达到以分钟计；极高真空时分子数已很稀少，统计涨落现象已较严重($>5\%$)，经典统计规律产生了偏差。

1.2 真空的获得

实验中利用机械泵和扩散泵来获得高真空状态。下面对它们进行一下简单的介绍。

1.2.1 机械泵

机械泵利用机械旋转产生吸气和排气过程，以获得真空。常用的是旋片式机械泵，它的主要结构见图 3-2，由定子、转子、旋片、弹簧等组成。转子在电机的带动下转动，转子的外表面与定子的内表面在图中的 A 点相切，转子槽内装有带弹簧的旋片，旋转时靠离心力和弹簧的张力使旋片的顶端与定子内壁始终紧密接触。当转子按图中方向旋转时，同时完成吸气和排气过程。排气阀采

用油封，油在工作室的内表面形成油膜，有利于润滑和 A 点的密封，但同时也会形成油的蒸汽压，限制了机械泵的极限真空度，并有可能污染真空系统。为了防止油污染，应特别防止气体倒流，例如，当系统工作一段时间后需要停机，应先关断进气管上的阀门，保持抽气状态，然后给进气管放气，最后才能给机械泵断电。

机械泵的极限真空度约为 10^{-1} Pa,它主要由机械泵油的饱和蒸汽压和泵的机械加工精度决定的。当达到极限真空度时，抽气和漏气的速度相等，真空度不再变化。如果将两个机械泵结合起来，可以将真空度再提高一个数量级

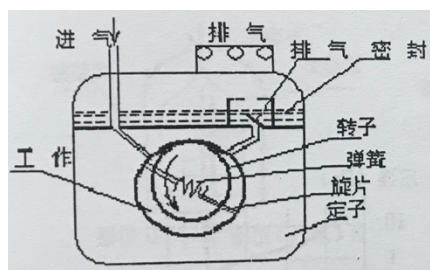


图 1 旋片式机械泵

1.2.2 油扩散泵

油扩散泵比机械泵能获得更高的真空度，它的工作压力范围是 $10^{-1} \sim 10^{-6}$ Pa,起始压强正好是机械泵的极限压强，因此，油扩散系通常要利用机械泵作为前级泵，将真空度抽到 10^{-1} Pa 才能开扩散泵。

油扩散泵是利用气体的扩散性质制作的，结构原理见图 3-3，其结构主要由泵体、喷嘴、导流管、冷却水套和加热器等部分组成。在 10^{-1} 的真空下，将扩散泵油(一种低蒸汽压的高分子物质)加热到沸腾温度，产生大量油气，经导流管高速喷出，把由进气口扩散来的气体夹带着喷向下方:油气被泵体冷凝，重新变成油，返回蒸发器，并释放出夹带的气体，气体被机械泵抽走，而油又被重新加热循环，如此反复，达到连续抽气的目的。为了防止气体扩散返回，往往需要多级喷嘴，例如 2~3 级。

扩散泵在加热前要先通冷却水，关机前要断开加热炉的电源，冷却 20 分钟以后再关冷却水，然后关上通往机械泵的阀门，最后停止机械家的工作，如果让热的油和油气通到大量的空气，油就会被氧化而变性，不能达到 10^{-6} 的真空度。

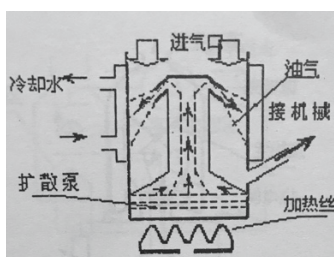


图2 油扩散泵

1.3 真空的测量

本实验测量真空用复合真空计，它是测量真空系统中气体压强的仪器。真空计的性能一般可用测量范围、灵敏度、寿命及响应时间等指标来衡量。

复合真空计是由热偶真空计和热阴极电离真空计组合而成。可测量 $10^3 \text{ Pa} \sim 10^{-5} \text{ Pa}$ 的真空。

1.3.1 热电偶真空计

这种真空计是利用气体分子的热传导性质，通过热电偶产生的电动势来测量真空的。热电偶真空计的原理见图 3-4,一端开口的玻璃壳的开口端与真空室相接，玻璃壳内的真空度与真空室内的真空度相同，外电路给加热丝通电，热电偶的一个结点与加热丝焊接或压接在 A 点，结点的温度与加热丝的温度相同。在恒定的电流下，加热丝的温度高低取决于玻璃壳内的气体压强(即真空度)，压强越大，气体传导热量越多，加热丝的温度越低，毫伏表测量出的热电动势越小;相反，压强越小，气体越稀薄，气体传导热量越少，加热丝的温度升得越高，毫伏表测量出的热电动势越大。

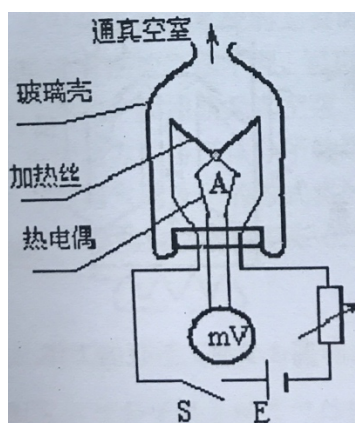


图3 热电偶真空计

1.3.2 热阴极电离真空计

电离真空计由电离规管和测量电路组成，电离规管类似于一个电子三极

管，由阴极(灯丝)、栅极和板极(收集极)组成，其结构见图 3-6。该真空计的工作过程可以描述如下:灯丝通电发热，发射电子，电子被栅极的正偏压加速而获得能量，与栅极和阴极之间的气体分子碰撞使分子电离;电子被栅极所吸收，形成栅极电流;正离子被阴极和板极之间的电压加速而飞向板极，形成板极电流。板极电流的大小取决于电子在阴极和栅极之间碰撞分子使其电离的数目，该数目正比于气体的浓度即气体的压强，所以，板流与气体的压强成正比，通过校准比例系数(该系数与气体的种类有关)，就可以用板流指示真空度。普通电离真空计的测量范围是 $10^{-1}\sim 10^{-6}\text{Pa}$ 。

2 实验方法

2.1 检查系统，关闭所有阀门。

2.2 低真空实验

- (1) 开机器阀泵
- (2) 三通阀往里推至死点
- (3) 开启真空计测量前级低真空，使系统抽至 6.7Pa 以上真空度。
- (4) 接通冷却水及扩散泵加热器，扩散泵加热约 40 分钟后即可正常工作

2.3 高真空实验

- (5) 将三通阀拉出至死点，对真空容器预抽。
- (6) 真空计换挡测量容器中的真空，使其压力小于 6.7Pa.
- (7) 开起高真空蝶阀，同时将三通阀推至里面死点。
- (8) 当低真空测量等于或小于 $1.3\times 10^{-1}\text{Pa}$ 时转至高真空测量，直至机组到极限真空度为止。

2.4 重复操作步骤

- (1) 切断真空测量，关闭高真空蝶阀，并开充气阀对容器充气。(充气完号后即刻关闭)
- (2) 打开真空容器，作好一切容器内的安装及其它准备工作。
- (3) 封闭好容器
- (4) 对容器进行预抽真空，接通低真空测量，使容器内的压力小于或等于 6.7Pa。
- (5) 将三通阀往里推至死点，打开高真空蝶阀，待真空度超过

1.3x10⁻¹Pa，转真空测量，直至所需的真空度为止。

（6）进行真空容器内的一切操作，直至操作全部结束，再按重复步骤步骤进行下一次工作。

3 实验结果

3.1 真空抽取时间压强对应关系

Time	Pa
23	0.1
24	0.08
27	0.06
33	0.036
35	0.034
36	0.032
40	0.028
50	0.022
55	0.02
68	0.016
108	0.01
129	0.0068
139	0.0064
148	0.006
180	0.005
233	0.004
312	0.0032

3.2 真空抽取图像

利用 Matlab 的插值功能使得数据更加密集，然后进行绘图。

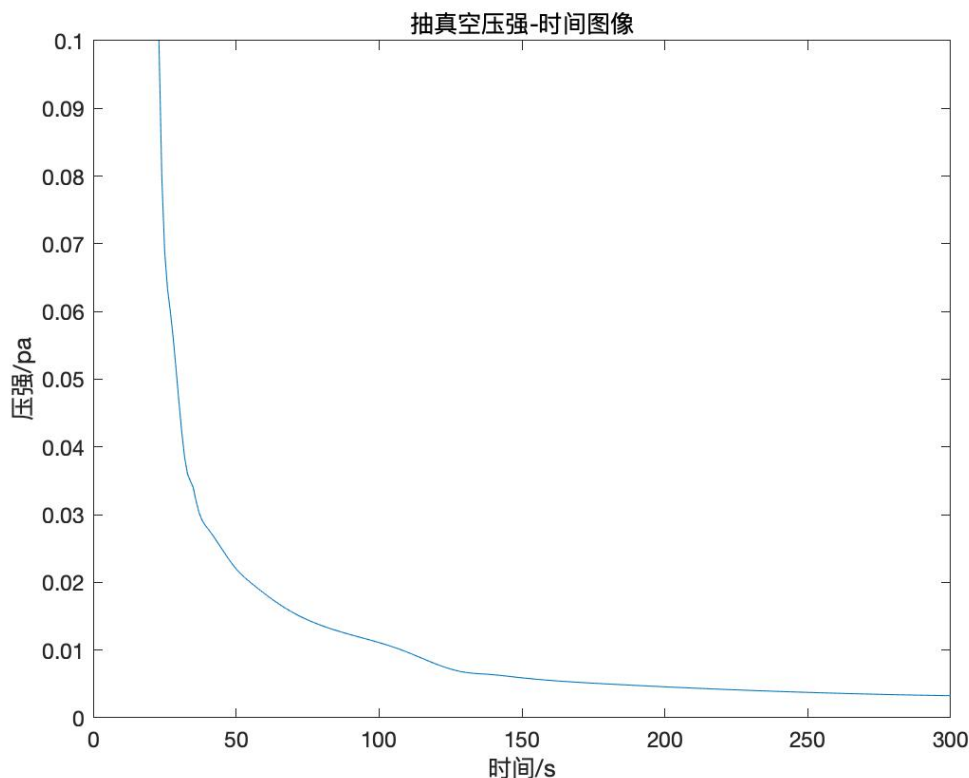


图 4 真空抽取图像

3.3 图像分析

通过观察图像发现，在抽取真空的时，一开始气压下降的速度较快，后来逐渐变慢，最后基本不变。因为一开始内外气压差较小，抽真空较为容易，后来气压差逐渐减小，抽真空逐渐变难，最后达到平衡，气压不变。

4 思考与讨论

1.机械泵“有害空间”对极限真空度及抽速有什么影响？

机械泵的定子和转子间存在影响抽真空的有害空间,会降低泵的极限真空度，泵的抽速也会随着压强降低而减小。

2.为什么油扩散泵只能在预备真空状态下工作？

油扩散泵油在高温且空气较多的情况下，会因为氧化而变性，导致泵油消耗甚至烧结。

3.为什么电离真空规管在真空度高于 $10^{-1}Pa$ 时，才能开始测量？

在真空度太低的环境下打开电离真空规管的灯丝，会导致规管阴极氧化而烧毁灯丝,损坏电离规管。

4.分析系统中影响真空度提高的环节，有什么解决的办法？

影响真空主要是由机器的工作功率、各环节的密封效率。此外，油的挥发也会影响真空度。

可以通过提高机器的工作功率，增加密封性，更换更不易挥发的油来提高真空度。

参考文献:

- [1] 《近代物理实验》，吴思诚、王祖铨主编，北京大学出版社出版，1986 年；
- [2] 《薄膜材料制备原理、技术及应用》，唐伟忠著，冶金工业出版社，1999 年；
- [3] 《第七讲、真空检验技术》，关奎之，真空，5 (1997) 42-44。

附录：（Matlab 代码）

```
x=a(:,1)

y=a(:,2)

xx=linspace(23,300,278);

yy=spline(x,y,xx);

plot(xx,yy)

title('抽真空压强-时间图像')

xlabel('时间/s')

ylabel('压强/pa')

saveas(1,'pa-t.jpg')
```