

低真空的获得与测量

廖荣

中国科学技术大学 物理学院, 合肥 230026

摘要: 真空被定义为指定空间内小于一个标准大气压力的气体状态。1641年托里拆利第一次准确测量到大气压, 如今真空技术已经是科学研究和工农业生产最重要的技术之一。本实验中我们组装了一套低真空系统, 并测试了其极限真空; 观察到高频火花检漏仪的放电现象; 使用定容法测量了机械泵的抽速。

关键词: 低真空;

Acquisition and measurement of low vacuum

Rong Liao

School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026

Abstract: Vacuum is defined as a state of gas in a given space that is less than a standard atmospheric pressure. Atmospheric pressure was first accurately measured by Torricelli in 1641. Now vacuum technology has become one of the most important technologies in scientific research and industrial and agricultural production. In this experiment, we assembled a low vacuum system and tested its ultimate vacuum. The discharge of high frequency spark leak detector was observed. The pumping speed of mechanical pump is measured by constant volume method.

Keywords: Low Vacuum

1 实验原理 [1]

1.1 旋片式机械泵的原理

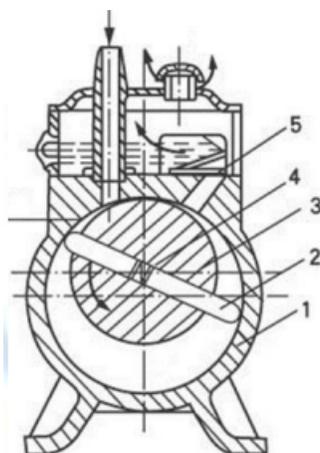


图 1: 旋片式机械泵结构图

旋片式机械泵的结构图如图1所示, 它由转子3、定子1、旋片2以及活门和油槽等组成。

泵的定子装在油槽中, 定子的空腔是圆柱形, 转子是圆柱形轮子, 它偏心地装成与定子空腔内切

位置。转子由马达带动, 可绕自己旋转对称轴转动。转子中镶有两块刮板, 刮板之间用弹簧相连, 使刮板紧贴而定子空腔内壁上, 当转子转动时, 被抽容器中的气体经过进气口到定子与转子之间的空间, 由活门及出气口排出。

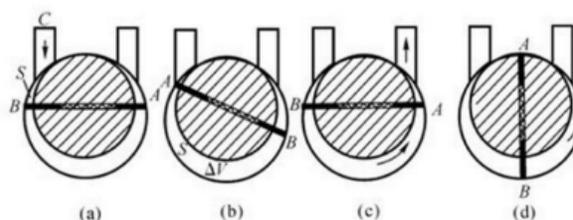


图 2: 旋片式机械泵工作原理

工作原理如图2所示。图中(a)表示两刮板转动, 上刮板B与进气口之间的体积不断增大, 这时被抽容器内气体从进气口进入这部分空间S。(b)、(c)图表示进入泵中的气体被刮板A与被抽容器隔开并被压缩到活门排出。这个过程反复不断被抽容器内的气体就不断被抽出泵外。这里泵油起到了密封和润滑的作用。

1.2 热偶真空计的原理

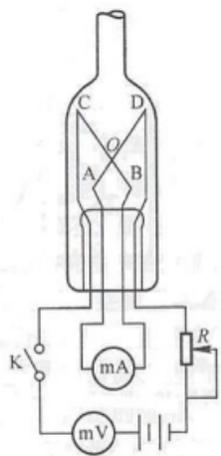


图 3: 热电偶规管及其电路原理

在玻璃管中封入加热丝 A、B 及两根不同金属丝 C 和 D 制成的一对热电偶。当 A 和 B 通以恒定的电流时，热丝的温度一定，当气体压强降低时，O 点温度升高，则热电偶 C 和 D 两端的热电动势 E 增大，由外接毫伏计读出电压升高，压强与热电动势并非线性关系，具体可以参看热偶真空计的表盘面板，分别有电流、真空度和电压的刻度。

1.3 高频火花真空检漏仪

低压气体在高压电场中被电离而导电，并发生辉光放电现象，辉光的颜色、形状，亮度将随着气压的不同而改变，因此可以通过放电现象来粗略地估计真空度。

真空度/Pa	放电颜色
大气	无色
10^2	紫红色
10^1	浅红色
10^0	灰白色
10^{-1}	玻璃荧光
10^{-1} 以下	无色

表 1: 高频火花检漏仪放电现象和对应的真空度

1.4 定容法测机械泵的抽速

设被抽空间的容积为 V ，气体压强为 P ，则所抽气体量可以用 PV 表示。设机械泵的有效抽速为

S ，则单位时间内抽出的气体量 $Q = PS$ 。此为抽气口的气体流量，同时此流量也等于气体总量的减少率，即

$$Q = -V \frac{d(PV)}{dt} \quad (1)$$

由于 V 是被抽容积，为恒量，故有

$$PS = -V \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

进一步得到抽速的计算式为

$$S = -V \frac{d(\ln P)}{dt} \quad (3)$$

2 实验器材与内容

2.1 实验器材

机械泵、真空计、真空配件、火花检漏仪。



图 4: 实验装置图

2.2 组装真空系统并测试极限真空

2.3 观察高频火花检漏仪放电现象

2.4 用定容法测抽速

2.4.1 低真空抽气速率测试

打开球阀，当热偶计指针到达 20Pa 刻度时开始计时，每扫过一个刻度记录对应时间，当等待 300s 还没经过下一刻度可以停止，记录最后的估读压强，得到 P-t 关系。

2.4.2 粗真空抽气速率测试

更换针阀，连接定容球。调节针阀读压力真空表读数，当压强从 80000Pa 降到 20000Pa 大约 30 60s 时可以。保持针阀不动，充气后再次抽真空，从 80000Pa 到 20000Pa，每隔 5000Pa 记录一次时间，得到粗真空下的 P-t 关系。

这部分数据作图给出 $\ln P$ -t 曲线并画出拟合曲线/直线。

3 实验结果与讨论

3.1 低真空抽气速率测试结果

时间 t/s	气压 P/Pa
0	20
8.72	15
32.64	10
42.27	9
52.69	8
68.85	7
93.51	6
130.90	5
159.62	4.5
189.29	4
230.07	3.5
290.78	3
379.72	2.5
519.34	2

表 2: 低真空抽气时间与气压原始数据

根据上表数据绘制得到的 P-t 图像如下

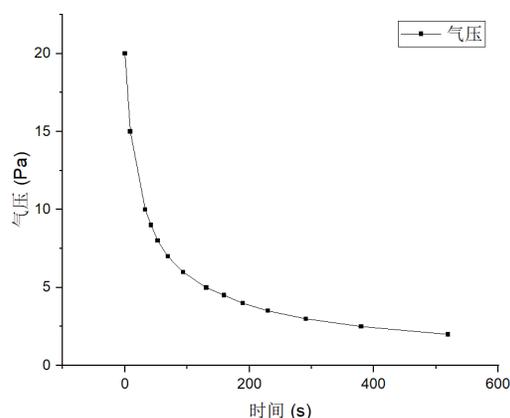


图 5: 低真空抽气 P-t 关系图象

3.2 粗真空抽气速率测试结果

时间 t/s	气压 P/Pa	$\ln P$ /Pa
0	80000	11.29
3.13	75000	11.23
6.83	70000	11.16
11.14	65000	11.08
15.47	60000	11.00
20.85	55000	10.92
26.70	50000	10.82
33.18	45000	10.71
40.29	40000	10.60
49.18	35000	10.46
59.51	30000	10.31
73.21	25000	10.13
89.71	20000	9.90

表 3: 粗真空抽气时间与气压原始数据

根据上表数据绘制得到的 $\ln P$ -t 图像如下

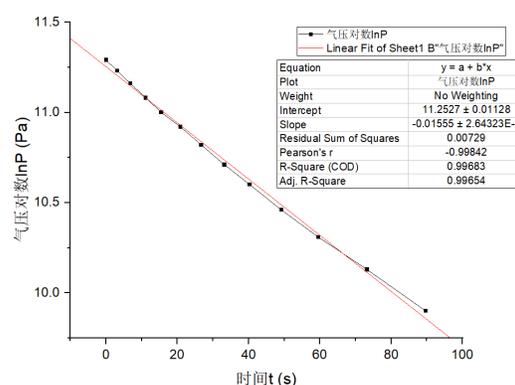


图 6: 粗真空抽气 $\ln P$ -t 关系图象

线性拟合得到 $\ln P = 11.2527 - 0.01555t$ ， $R^2 = 0.998$ ，单位为 Pa 和 s。

则带入抽速计算式有

$$\begin{aligned}
 S &= -V \frac{d(\ln P)}{dt} \\
 &= 2 \times 10^{-3} \times 0.01555 \\
 &= 3.11 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned} \tag{4}$$

参考文献

- [1] 中国科学技术大学物理实验教学中心. 低真空的获得与测量实验 (实验讲义).