

近代物理实验

周维兴 周 辉 主编

东北师范大学

近代物理实验

周维兴 周 辉 主编

东北师范大学印刷厂印刷

内部发行·L·82008

初版：3,150册 工本费：2.40元

1982年7月 2.64

前 言

1978年我校恢复开设了近代物理实验课。为此，在我系62年与63年编印的两版中级物理实验讲义的基础上，编写了新的实验讲义，经过四个年级的试用和两次修订，已经取得了一定的经验。这次又按照现行教学大纲对讲义进行了全面改写，对原已开设的实验，根据几年的教学实践做了认真修改；同时又写进了近年来新准备出的一些实验；此外，还参考了一些兄弟院校的讲义，补充了几个较基本的实验。在选题上，既有难度较大、综合性较强的实验，又有比较容易开出的基础性实验，使这本讲义具有较大的伸缩性，便于各类型学校根据实际条件选择使用。

由于我们水平有限，少数实验的教学实践还不够，书中一定存在不少缺点和错误，希望各兄弟院校教师及本书的读者多提宝贵意见，以便今后改进。

参加本书编写的人员有：马福荣（第一部分及实验四）、周维兴（实验五、七、八、十五、三十四）、金重铁（实验六、七）、张仲礼（实验九、十、十一）、程凤仪（实验十二、十五）、孔宪生（实验十三、十四）、罗新明（实验十六、十七）、钟海明（实验十八）、张明云（实验十九）、谢东立（第五部分）、邢旭（第六部分）、周辉（第七部分）、魏德祥（实验二十七、三十一）、周振铎（实验三十二）、袁永升（实验三十三）等。

周维兴与周辉进行了全书的统编工作。

姜兴波与张仲礼二位副教授工作均十分繁忙，但在这次编写工作中一直给予关心和指导，使编写工作得以顺利进行；

82年7月

目 录

第一部分 真空技术

真空技术基础知识	(1)
实验一 高真空的获得与测量	(6)
实验二 真空镀膜	(16)
实验三 膨胀法校准热偶真空计	(23)

第二部分 原子物理实验

实验四 电子衍射	(28)
实验五 密立根油滴实验	(36)
实验六 夫兰克—赫兹实验	(39)
实验七 氢、氘原子光谱	(46)
实验八 钠原子光谱	(51)
实验九 塞曼效应	(56)
实验十 双原子分子光谱	(63)
实验十一 发射光谱分析	(67)

第三部分 激光技术

实验十二 微小位移的测量	(74)
实验十三 氮分子激光器的研究	(79)
实验十四 可调谐染料激光器的研究	(81)
实验十五 全息技术	(87)

第四部分 原子核物理实验

实验十六 盖革——弥勒计数器与核衰变的统计规律	(95)
实验十七 闪烁 γ 谱仪的使用及调整	(104)
实验十八 威尔逊云室	(112)
实验十九 γ 射线和 β 射线的吸收	(119)

第五部分 X射线技术

X射线基础知识	(130)
---------	-------

实验二十	用分光计测量X射线连续谱的波长.....	(142)
实验二十一	用粉末法测定多晶体的晶格常数.....	(144)
实验二十二	用劳厄法确定单晶体的晶轴方向.....	(148)

第六部分 半导体物理实验

实验二十三	简化直流光电导衰退法测量少数载流子寿命.....	(155)
实验二十四	半导体霍尔系数与电导率的测量.....	(159)
实验二十五	$p-n$ 结理论实验验证.....	(175)
实验二十六	半导体磁阻效应.....	(185)

第七部分 磁共振技术及磁测量

磁共振的基本原理.....	(193)
实验二十七 核磁共振.....	(204)
实验二十八 顺磁共振.....	(211)
实验二十九 铁磁共振.....	(219)
实验三十 自拟性磁共振实验.....	(223)
实验三十一 软磁铁氧体基本特性的测定.....	(225)

第八部分 电子技术

实验三十二 微波传输特性和基本参量.....	(233)
实验三十三 电子式模拟——数字转换器.....	(246)
实验三十四 可编程序电子计算器的应用.....	(262)

第一部分 真空技术

真空技术基础知识

一、真空的概念及特点

“真空”是指低于该地大气压的稀薄气体状态。不同真空状态有不同的气体分子密度，在标准状态下，大气的密度为 2.687×10^{19} 个分子/ cm^3 ，而在真空度为 10^{-6} 托时，气体密度为 3.24×10^{10} 个分子/ cm^3 ，即使用最现代的抽气方法获得的最高真空仍存在几百个分子/ cm^3 。所以真空是一个相对概念，绝对的真空是不存在的。

“真空”状态的主要特点是：真空容器所承受的大气压力由容器内外压力差所决定；与大气状态下相比，气体分子密度减少，气体分子的平均自由程增大；气体分子之间或气体分子与其它粒子（如电子、离子）之间的相互碰撞就不那么频繁，分子在一定时间内碰撞器壁上的次数亦相对减少。真空的这些特点被广泛的应用到生活、生产和科研的各个领域中。

二、真空度的单位及真空区域的划分

真空度是对气体稀薄程度的一种客观量度，它本应用单位体积中的分子数来量度，但由于历史上的原因，真空度的高低通常用气体的压强来表示。气体的压强越低，就表示真空度越高；反之，压强越高，真空度就越低。所以真空度的单位就是压强的单位。在真空技术中常用的压强单位是毫米汞柱，即 0°C 时1毫米汞柱作用在单位面积上的力。常用“托”来表示。

$$1 \text{ 毫米汞柱 (mmHg)} = 1 \text{ 托 (Torr)}$$

$$1 \text{ 微米汞柱 } (\mu\text{mHg}) = 10^{-3} \text{ 托}$$

它与国际单位制压强单位帕斯卡，即1平方米的面积上作用1牛顿的力，简称为“帕”，的换算关系为：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 帕 (Pa)} &= 1 \text{ 牛顿/米}^2 \\ &= 7.50062 \times 10^{-3} \text{ 托} \end{aligned}$$

测量真空度的仪器为真空计。可由计算直接求出压强值的真空计为绝对真空计如U型计、压缩真空计及克努曾真空计。其余如热传导真空计，电离真空计等均为相对真空计，使用前必须预先用绝对真空计或真空校准系统进行校准。常用的几种真空计测量范

围如表 (V-1)。

表 (V-1) 常用真空计的测量范围

真 空 计 名 称	测 量 范 围 (托)
水银U型真空计	760~0.1
油U型真空计	100~0.01
一般型压缩真空计	$10 \sim 10^{-5}$
一般型热传导真空计	$1 \sim 10^{-3}$
高真空电离真空计	$10^{-3} \sim 10^{-7}$
高压强电离真空计	$1 \sim 10^{-6}$
B-A超高真空电离计	$10^{-3} \sim 10^{-10}$
宽量程电离真空计	$10^{-1} \sim 10^{-10}$
磁控管型放电真空计	$10^{-4} \sim 10^{-13}$

为实用方便,人们根据真空技术的应用特点,真空物理特性和真空泵、真空计的有效范围,将真空区域分为五个:

粗 真 空	760~10托
低 真 空	$10 \sim 10^{-3}$ 托
高 真 空	$10^{-3} \sim 10^{-8}$ 托
超高真空	$10^{-8} \sim 10^{-12}$ 托
极高真空	$< 10^{-12}$ 托

这样划分就其物理现象来说,粗真空以分子相互碰撞为主,即分子自由程 $\lambda \ll$ 容器尺度 d , 10托左右出现放电现象;低真空则分子相互碰撞和分子与器壁碰撞几乎相等,即 $\lambda \approx d$, 10^{-3} 托是一般机械泵极限真空度;高真空时以分子与器壁碰撞为主,即 $\lambda \gg d$, 10^{-8} 托是油扩散泵极限真空度;超高真空下则碰撞于器壁的次数亦较稀少,形成一个单分子层的时间已达到以分钟计;极高真空是一个刚开展研究的领域,其特点是分子数目极为稀少,开始出现较严重的统计涨落,经典的建立于统计规律之上的理论在这里都产生了偏离。

三、真 空 泵

用来获得真空的器械简称为真空泵。由于真空技术发展到今天所涉及的压强范围从 760 托到 10^{-14} 托,宽达十几个数量级,所以,现在还不能用任何一种真空泵来实现。表 (V-2) 列出常用的各种真空泵的类型及其运用范围。

真空泵按其抽气机理可分为两大类:一是压缩型真空泵,它是将气体由一方压缩到另一方。例如机械泵、扩散泵,分子泵等。二是吸附型真空泵,它是利用各种吸气作用将气体吸掉。例如离子泵、低温泵等。

由表可见,有些泵可直接从大气压下开始工作,如机械泵、吸附泵等,这类泵称为

表 (V-2) 真空泵的种类和运用范围

泵	压 强 (托)															抽 速 (升/秒)
	强															
	10^3	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	
1. 水 环 泵	+	+	↑	+	+	+										
2. 旋片机械泵	+	+	+	+	+	↑										
3. 吸 附 泵	+	+	+	+	+	+										
4. 罗 茨 泵	↓	+	+	+	+	+	↑									
5. 喷 射 泵			↓	+	+	+	↑									
6. 油 增 压 泵			↓	+	+	+	↑									
7. 油 扩 散 泵				↓	+	+	+				↑					
8. 涡轮分子泵						↓	+	+	+	+	+	+	+	↑		
9. 钛 升 华 泵							+	+	+	+	+	+	↑			
10. 离 子 泵							↓	+	+	+	+	+	+	+	↑	
11. 低 温 泵													+	+	+	

“前级泵”。有些泵只能从比大气压低的一定气压下开始抽气，使系统达到更低的压强，这类泵称为“次级泵”或“主泵”，如扩散泵、钛升华泵等。次级泵工作时，必须辅以一个一定的前级泵，提供其正常工作所需要的真空度。

用以比较各种真空泵性能的基本参数是：

(1) 最大工作压强：泵能够正常工作的最高压强，如果工作压强超过这一数值，泵将失去工作能力。机械泵最大工作压强为 1 个大气压，扩散泵为 10^{-2} 托。

(2) 极限压强：在被抽容器中漏气和器壁放气可忽略情况下，经过长时间的抽气之后，泵所能达到的最低平衡压强为该泵的极限压强。

(3) 抽气速率：在泵的人口口处，在任一给定压强 P_1 下，单位时间内流入泵的气体体积数为泵的抽气速率，简称为抽速，常用 S 表示。

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t} \Big|_{p=p_1} \quad [\text{升/秒}]$$

式中 ΔV —— 泵进气口处， Δt 时间内流入泵的气体体积 [升]

p_1 —— 在测定该气体体积时的进气口压强 [托]

(4) 运用范围：指泵具有相当抽气能力时的压强范围。

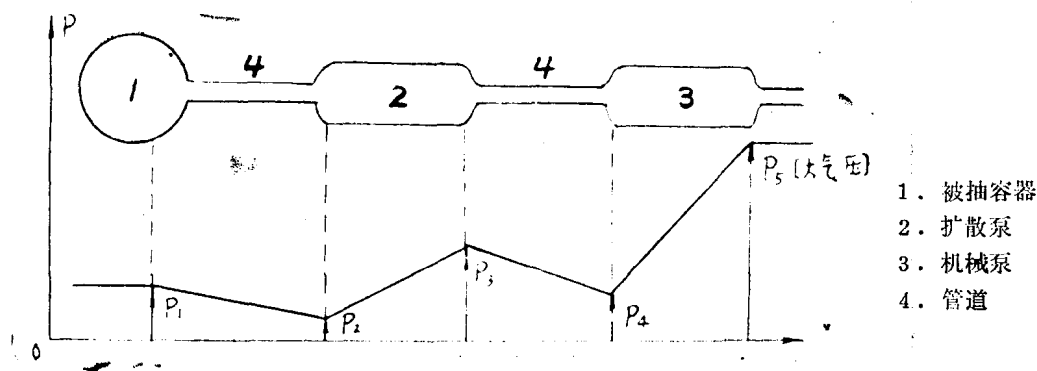
对超高真空范围内的泵，需附加二个其它的参数：抽气的选择性和残余气体的组成。

四、真 空 系 统

真空系统是由真空泵、真空计及其它元件如阀门、捕集器等，借助于真空管道，按一定要求组合而成，并具有所需抽气功能的抽气装置。它的职能是在指定时间、空间内获得真空；保持真空；确保系统内某项工艺过程或物理过程的实施。

真空系统按其结构材料分为玻璃真空系统，和金属真空系统；按其工作状态分为静态真空系统和动态真空系统。实际真空系统都存在一定漏气和放气，严格来讲都是动态真空系统。

真空系统在真空泵开始工作前，整个系统各处压强相等，泵开始抽气后，系统中压强降低，形成真空状态。图 (V-1) 是真空系统内压强分布示意图。

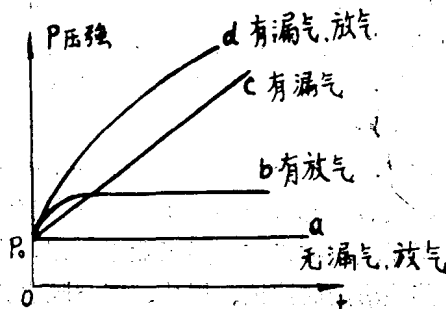


图V-1 真空系统内压强分布示意图

从图中看出,只要真空泵在工作,由于管道中存在气阻,管道中气流总是由高压流向低压的;相反,泵中的气流总是由低压流向高压的。所以,在真空系统设计中,管道尽量做到短而粗;要选好泵、配好泵;应便于维修与测量。保证具有较大的抽速,并在较短的时间内达到要求的真空度。

五、真空检漏与密封

检漏是真空技术的一个重要组成部分。组成真空系统的所有部件,在装配以前必须作密封性能的检验。真空系统的各部件接合处,最易产生漏气,常需要经过周密的检漏以后才能达到预定的真空度。一般可采用分段密封法作出 $p-t$ 曲线,如图V-2,从而可判断系统该段是否漏气。如有漏气常用加压法、火花法、堵塞法和试验气体指示法等确定漏孔部位。在检查 $10^{-8} \sim 10^{-12}$ 托升/秒这样微小的漏孔时,就要用氦质谱检漏仪、四极场质谱器等。



图V-2 孤立系统的压强变化

对检出的漏孔就要选用饱和蒸汽压低,具有足够的热稳定性和一定的机械、物理性质的真空密封物质密封。作暂时的或半永久的密封可选用真空封脂、真空封蜡、真空漆等;要作永久性密封,可用环氧树脂封胶和氯化银封接,对玻璃系统可重新烧接。

六、真空的应用

真空技术发展到今天已经广泛地渗透到各个科学技术领域,它日益成为许多尖端科学、经济建设各部门乃至人们日常生活不可缺少的技术基础。

人们利用粗低真空状态下,气体压力小,对流少,活性气体大大减少等特性,制成真空吊车、真空输送装置、暖水瓶、真空热处理炉及真空钢包出气装置等。人们又利用高真空中气体密度更小,提供清洁气氛,使在其中运动的粒子可视为不受阻碍等特征,制成真空电子管、显像管、真空镀膜机,电子显微镜等。

特别近二、三十年来,由于原子能、空间科学及微电子学等尖端科学的迅猛发展,真空技术由原来主要应用领域电真空工业,扩展到近代尖端科技中来。在尖端科技中,真空技术除了做为工艺、基本设备起了关键性作用还常常牵涉到一系列物理现象的研究。

下面列举一些真空技术在尖端科技及其它方面的应用。

(1) 原子能技术:各种粒子加速器为使被加速的粒子获得高能量,需在几百米甚至几公里长的加速器内获得超高真空。可控热核反应要求高纯的气体也必须应用超高真空技术。

(2) 宇航技术与空间科学的研究：在远离大气层的空间，如距地面 1000 公里的高空，气体压强为 10^{-10} — 10^{-11} 托，月球表面约为 10^{-12} 托。为了解宇宙空间对各种仪表和生物性能的影响，需要在地面建立巨大的超高真空宇宙模拟实验室，把各种可能的故障在地面模拟实验室中发现和消除。此外，载人宇宙飞船及宇宙服必须解决好真空密封问题。

(3) 低温超导技术：超高真空是低温绝热的最好介质，低温又是超高真空获得的重要手段之一，二者是密不可分的。

(4) 表面物理的研究和薄膜技术都离不开超高真空技术；近年来出现的各种表面分析仪器亦都属于超高真空仪器。

(5) 微电子学：近代电子计算机的广泛应用有赖于集成电路的发展，而集成电路工艺中的真空镀膜实属最基本的工艺之一。半导体工业中大量使用的超纯硅，都需在真空中进行提纯。在真空中进行离子注入技术，目前已成为生产大规模，超大规模集成电路的必要手段。

(6) 真空冶金：真空冶炼炉炼出的钢是含气低、氧化少、非金属杂质少的优质钢。某些特硬金属和合金的熔炼都必须在真空设备中进行。

至于真空技术在一般工业中应用，实在种类繁多，不胜枚举。例如有机物的真空蒸馏、某些溶液的浓缩、析晶、真空脱水、真空干燥、真空成形等。涉及化学工业、医药工业、制盐制糖工业、食品工业、电机工业等都广泛使用真空技术。就连人民日常生活中使用的灯管、真空除尘器、蔬菜水果保存等也都离不开真空技术。

实验一 高真空的获得与测量

【实验目的】

1. 掌握高真空的获得与测量之方法。
2. 了解玻璃真空系统的结构；熟悉真空泵、真空计的原理。

【实验原理】

一、真空的获得

• 真空的获得是由真空泵来完成。一般真空实验室经常使用机械泵和扩散泵，用于超高真空的是钛升华泵和低温泵。

1. 机械泵

旋片式机械泵主要由定子、转子、旋片、弹簧等组成，详见图 1—1。在圆柱形定子内有一偏心圆柱作为转子，转子外圆与定子内表面在 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。当转子沿箭头所指的方向转动时，进气口方面容积逐渐扩大而吸入气体。同时逐渐缩小排气口方面容积将已吸入气体压缩从排气孔排出。

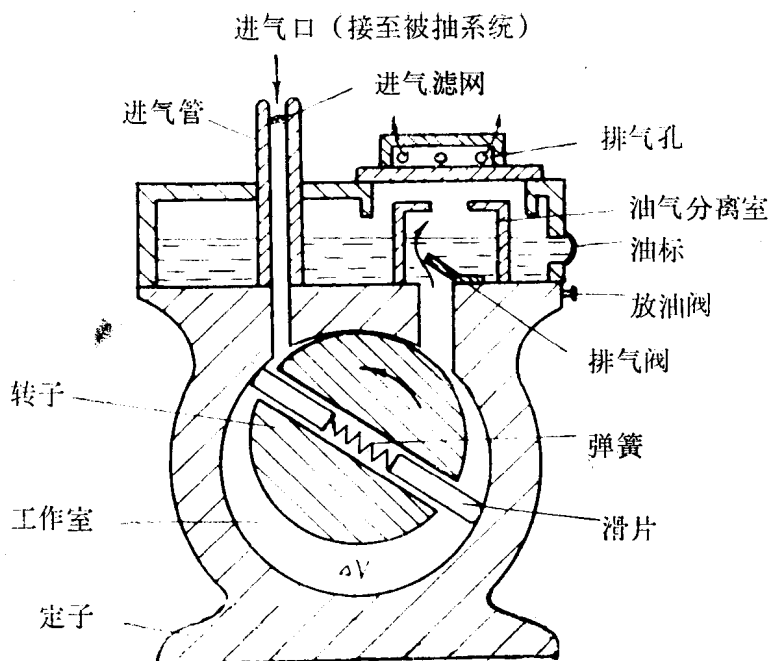


图1—1 单级旋片式机械泵工作原理图

当机械泵对体积为 V 的容器抽气时，因泵旋转一周所抽出气体体积为泵的工作体积 ΔV ，使被抽体积 V 增大了 ΔV ，设抽气前 V 中压强为 P ，转子旋转一周后 V 中压强为 P_1 ，则有：

$$PV = P_1 (V + \Delta V) \quad (P \text{ 为大气压})$$

$$\therefore P_1 = P \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right)$$

同理。设转子旋转二周后，容器 V 中压强为 P_2 ，

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right) = P \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right)^2$$

第 N 周后，则有：

$$P_N = P \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right)^N$$

若机械泵电机每分钟转 n 转，则经 t 分钟后，($N = nt$)，容器中的压强 P_t 为：

$$P_t = P \left(\frac{V}{V + \Delta V} \right)^{nt} \quad (1-1)$$

从上式可以看出，随着时间的延长，被抽容器中的压强 (P_t) 逐渐减少。但实际工作中，由于机械泵油的饱和蒸气压约为 10^{-3} 托，以及泵的结构和泵的加工精度等限制，所以每种机械泵只能抽到一定的压强，此最低压强即为机械泵的“极限压强”，一般为 $10^{-3} - 10^{-4}$ 托。

机械泵的抽气速率主要取决于泵的工作体积 ΔV 。在抽气过程中，随着机械泵进气口

压强的降低，抽气速率也逐渐减小，当抽到系统的极限压强时，系统的漏放气与抽出气体达到动态平衡，此时抽速为零（见图1—2）。目前生产的机械泵多是两个泵腔串联起来的（如图1—3），称为双级旋片机械泵，它比单级泵具有极限真空度高和在低气压下具有较大的抽气速率等优点。

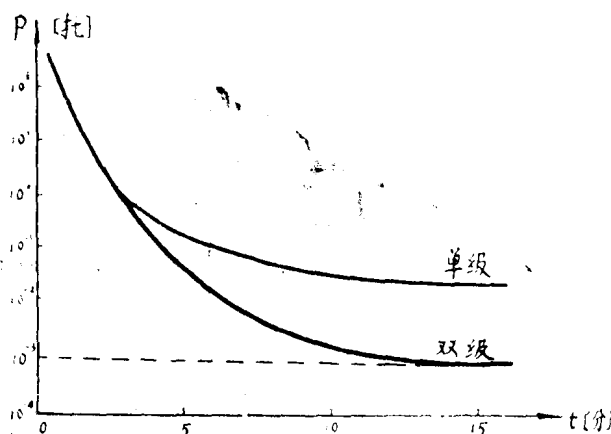


图1—2 单级和双级旋片式机械泵抽气曲线

为保证机械泵的良好密封和润滑，排气阀浸在密封

油里以防大气流入泵中。油通过泵体上的缝隙、油孔及排气阀进入泵腔，使泵腔内所有的运动表面被油覆盖，形成了吸气腔与排气腔之间的密封。同时，油还充满了泵腔内的一切有害空间，以消除它们对极限真空的影响。

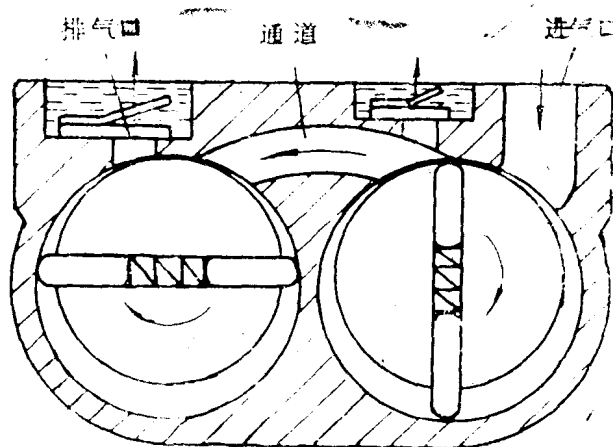


图1—3 双级旋片真空泵工作原理图

机械泵工作时，不应长时间抽大气；泵体发热至烫手程度时应采取风冷的办法冷却。在机械泵停机时，要立刻打开放气阀，防止机械泵返油至真空系统内，破坏了真空系统。

2. 油扩散泵

油扩散泵是用来获得高真空的主要设备，工作压强范围为 $10^{-4} \sim 10^{-8}$ 托，玻璃油扩散泵的结构如图1—4所示，主要由泵体，冷阱，喷嘴、导管、蒸汽流冷却水套和加热器等组成。

扩散泵油在真空中加热到沸腾温度（约 200°C ）产生大量的油蒸气，由于油蒸气经导

流管由各级喷嘴定向高速喷出,在喷嘴出口处蒸汽流中造成低压,如图 1—5, 因而使进气口附近被抽气体的压强 P 高于蒸汽流中该气体的分压强 P_0 , 所以被抽气体分子就不断地扩散到蒸汽流中。使被抽气体分子沿蒸汽流束的方向高速运动。经三级喷嘴连续作用将被抽气体压缩到低真空端由机械泵抽走。而油蒸气在冷却的泵壁上被冷凝后又返回到蒸发器中重新被加热, 如此循环工作, 就达到连续抽气的目的。

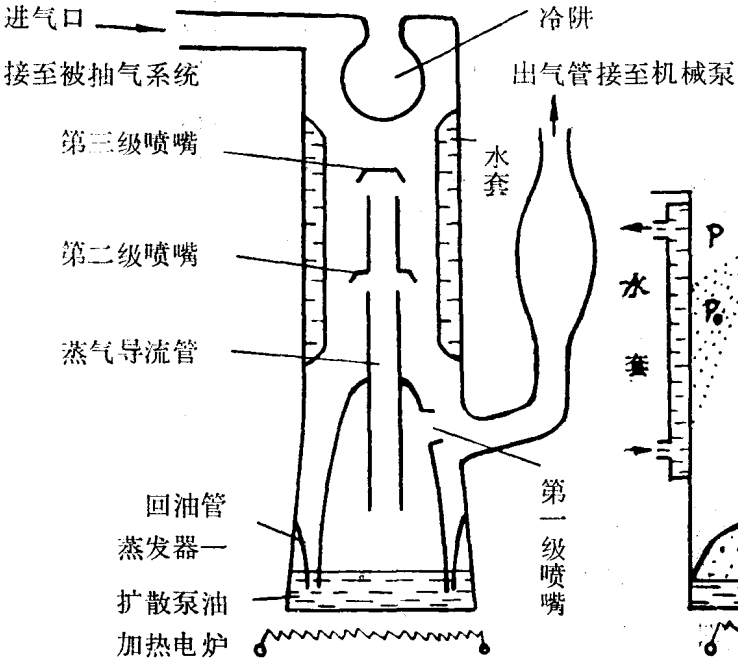


图1—4 玻璃油扩散泵结构示意图

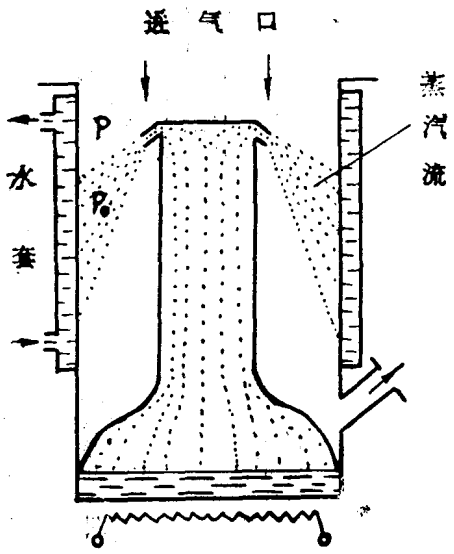


图1—5 单喷嘴油扩散泵原理图

在使用扩散泵时要注意的：开扩散泵前必须先用机械泵将系统包括扩散泵本身抽至 5×10^{-2} 托的预备真空，再通冷却水，后通电加热泵油。工作过程中必须保证冷却水畅通。停机时，应先断开扩散泵加热电源，大约过20分钟泵油降至室温后，再断冷却水源，最后断开机机械泵电源。这样操作可防止泵油氧化变质；提高真空的清洁程度；延长使用寿命；保证系统的极限真空。

3. 钛升华泵

钛升华泵出现在50年代,因它具有抽速大、极限真空度高、可获得清洁真空等优点,所以到60年代在生产 and 科研上就得到广泛应用。钛升华泵主要由泵壳和钛升华器组成,其结构原理如图 1—6 所示。泵壳一般由金属或玻璃制成,它有一定的内表面积,泵壳内盛放着钛升华器。为使钛达到升华的温度,常用的钛升华器有直接通电加热的缠绕纯钛丝式和钛钼合金丝式,还有热辐射球式,电子轰击式等。几种升华器的结构型式如图 1—7 所示。

钛升华泵是表面吸附泵的一种。它的工作过程是将钛加热到足够高的温度,钛就源源不断的升华,升华的钛沉积在泵壳上形成一层层的新鲜钛膜。被抽气体中的活性气体

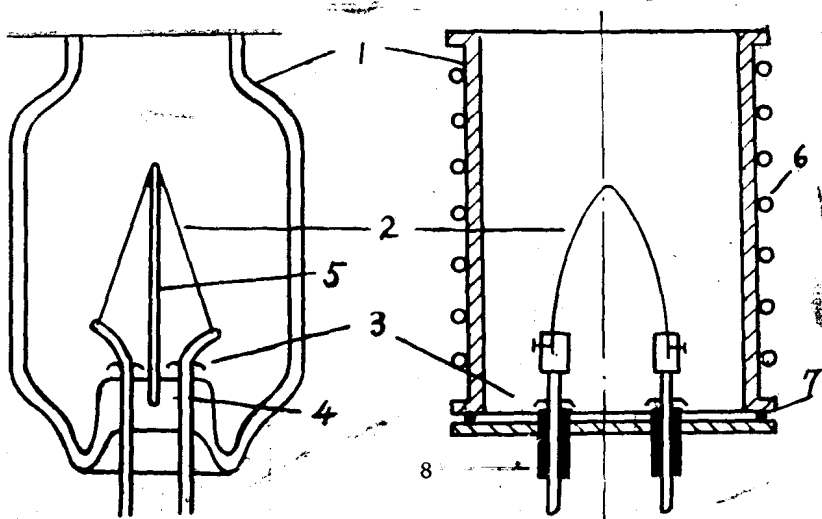


图1—6 钛升华泵结构原理

- | | | | |
|-------|---------|--------|-------------|
| 1. 泵壳 | 2. 钛丝 | 3. 屏片 | 4. 钨或钼电极 |
| 5. 撑杆 | 6. 冷却水管 | 7. 密封圈 | 8. 金属陶瓷封接电极 |

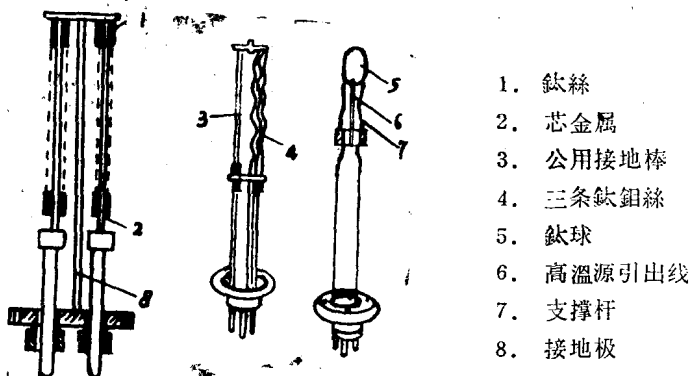


图1—7 常用钛升华器结构

分子碰撞在新鲜钛膜上，由于化学吸附，形成稳定的化合物；随后又被不断蒸发（溅射）而形成的钛膜所复盖，新鲜钛膜又继续吸附气体分子，形成了稳定的抽气。

钛升华泵需要一定（ $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 托）的预备真空才能启用。它的工作范围一般为 $10^{-4} \sim 10^{-9}$ 托。从抽气原理中知道钛升华泵主要缺点是不能排除惰性气体。

二、真空的测量

一般实验室常用由热电偶真空计和电离真空计合在一起的复合真空计来测量真空，它由热偶规管、电离规管和电测系统而构成。

1. 热电偶真空计

热电偶真空计的工作原理是利用气体分子的导热性质，通过热电偶产生的热电势来测量真空的。它由热电偶规管和电测线路构成，如图 1—8。它有一根钨或钼制成的加

热絲，另由AB、AB'两根不同金属絲组成一对热电偶，热电偶一端(热端)与热絲在A点焊接；另两头B、B'分别焊于芯柱引线，再接到毫伏表上。

在使用时，调可变电阻使加热线保持一定的情况下，热絲的平衡溫度取决于气体压强，若压强越高，气体分子碰撞热絲而带走的热量越多，因而热絲溫度越低，热电偶BAB'所产生的热电动势也越小。反之，压强越低热絲溫度越高，热电动势也越大。热电动势与压强的关系很难通过计算求出，需用绝对真空计校准得出。图1—9示国产DL—3型热电偶规管的校准曲线。

由图可知热电偶真空计的测量范围为 $1 \sim 10^{-3}$ 托。

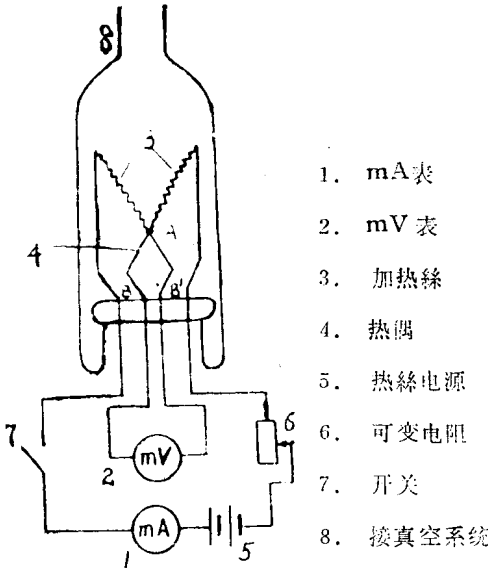


图1—8 热电偶规管及其电路原理图

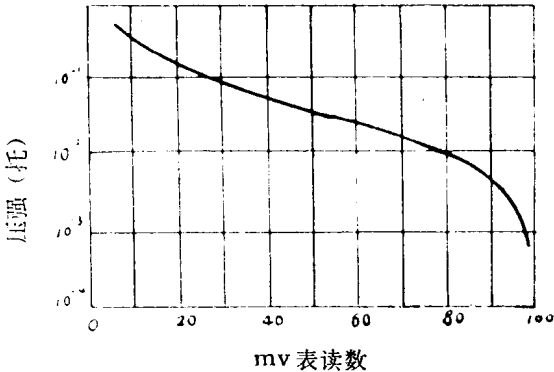


图1—9 热偶计典型校准曲线

2. 热阴极电离真空计

电离真空计由电离真空规管和测量电路两部分组成。电离真空规管直接连于被测系统或容器，它由发射电子的阴极，加速并收集电子的螺旋状的栅极（加速极），以及收集正离子的圆筒状的板极（收集极）组成。其结构类似一只三极管，如图1—10a，测量电路原理如图1—10b，

电离真空规管是利用气体分子被快速电子碰撞而电离的现象工作的。当阴极通电加热后将发射热电子，这些电子被处于正电位的栅极加速，电子向栅极飞行；飞行过程中，当电子获得的能量大于被抽气体的电离能时，电子和气体分子碰撞使气体分子电离

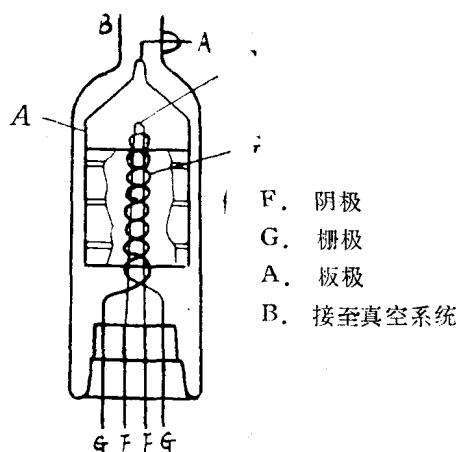


图1-10(a) DL-2型热阴极电离规管结构图。

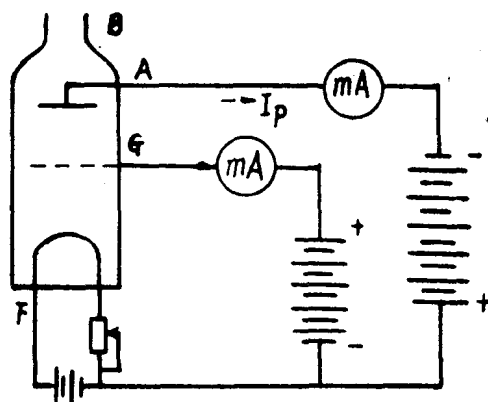


图1-10(b) 电离真空计外控接法的电路原理图。

为正离子和电子。但由于板极A处于负电位，电子受到排斥，结果就在螺旋状的栅极网附近来回振荡，直到被栅极吸收为止。正离子被处于负电位的板极吸引，在板极电路中形成正离子流 I_+ 。当阴极发射的电子流 I_e 一定，加速电子的栅极电位稳定的情况下，离子流 I_+ 正比于气体分子的密度 n ，因而也正比于气体压强，所以

$$I_+ = I_e K P \quad (1-2)$$

式中 K 是比例系数称为电离计的灵敏度，通常将电子电流 I_e 保持一定值，然后用绝对真空计来校准，绘出 I_+-P 的关系曲线，就可确定出 K 来。从(1-2)式可见只要 K 已知，就可通过测 I_+ 和 I_e 而知压强 P 。

热偶真空计和电离真空计的使用方法，请看仪器使用说明书。

三、高频火花检漏器

当真空系统安装完毕或抽气时达不到要求的真空度时，就需对系统进行检漏。对玻璃真空系统常用高频火花检漏器来检漏，其结构原理如图1-11所示。220伏的市电电源经变压器B变为3000~5000伏特的交流高压，这个交流高压使火花隙G击穿，就在LC回路中引起高频振荡，故在高频感应变压器的次级线圈 L' 中感应出高频高压，由尖端F不断对空气放电。

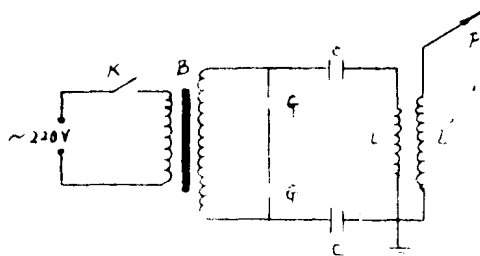


图1-11 高频火花检漏器结构原理图
K—开关；B—变压器；G—火花隙（可调）
C—电容器；L、L'—线圈；F—尖端。

由于大气对高频高压电场是一个导体，所以加在尖端的高频高压电场不仅对大气能够放电，而且对低压气体更易使之激发，引起低压气体放电。如果将放电尖端靠近玻璃真空系统，尖端放电火花穿过大气透过玻璃激发内部低压气体产生辉光放电。辉光放电的颜色随内部压强而变，如表(1-1)。