

开拓超高真空的世界(一)

—支撑高技术的基础

姜祥祺 杨锡良 译 (原文作者 小宫宗治)

编者按：本刊从本期将连载日本著名真空科学家小宫宗治先生于1985年在日本正式出版的科普图书一开拓超高真空的世界。全书共分10个部分。小宫宗治先生深入浅出地全面介绍了超高真空技术与高技术发展的关系，其中有不少内容还属于80年代以来的新的研究成果。在真空科普书籍为数甚少的今天，我们约请复旦大学物理系的姜祥祺、杨锡良同志全文译出这本书，以此奉献给许许多多关心本刊的年轻的读者。本刊在刊登这本译著的时候，仅仅在个别地方略有删节。

目 录

一、为提高一个数量级而奋斗

地球浮在真空中；真空技术的曙光；从水银真空泵到油真空泵；真空度怎样测定？真空技术的大转变

二、真空工业发展和应用的历程

真空在机械中的利用；真空的化学利用；朗缪尔的薄层理论；真空的物理应用；真空在生物中的应用；真空工业所属部门的发展

三、最惊人的发展—利用真空的镀膜工业

真空中镀膜的方法；什么叫做真空镀膜？真空中的蒸发现象；物质的温度和饱和蒸汽压的关系；在基底上蒸镀；在塑料上蒸镀；蒸发源；真空蒸镀随着电子工业而飞速发展

四、卷绕蒸镀

金属化纸质电容；金银纸的原材料；移影贴纸及其应用的推广；阳光热选择性反射—吸收膜；高密度记录带；面向大生产的薄膜—原材料

五、离子镀膜

什么是离子镀膜？湿式电镀及其环境问题；空心阴极放电法；碳化物、氮化物的离子镀膜；特种钢工具寿命的延长；金色、耐蚀硬膜的制备；半导体工艺中，离子镀膜是否适用？

六、等离子加工技术—溅射

放电现象；什么是溅射？离子流和表面刻蚀速率的关系；溅射镀膜的特征；重大而实用的进展—平面磁控溅射源；溅射镀膜小结

七、超高真空(一)—清洁真空的获得

清洁真空与超高的真空技术；物理吸附和“超级蜂”；“超级蜂”行动(吸着时间的确定)；油蒸汽分子的奇异行动；油蒸汽分子的返流；用油扩散泵难以获得清洁真空；超高真空泵三足鼎立；水蒸汽分子的吸附和脱附；烘烤的作用

八、超高真空(二)—表面科学与分子束外延生长

表面科学和超高真空技术；硅面上的固有超晶格结构；电子衍射与反向晶格；什么叫做

俄歇电子谱、俄歇电子？只对表面灵敏的化学分析，俄歇电子谱和深度方向分析；分子束外延生长；为何要选砷化镓来制造超大规模集成电路元件

九、不断发展的等离子体离子束应用技术

现代半导体工厂；活性气体离子刻蚀；极限线宽为几何？等离子体产生的基底损伤；高速中性粒子的产生；等离子体化学气相沉积；非晶态材料太阳能电池；什么是离子注入？等离子体离子束应用技术小结

十、大型工程与超高真空技术的未来

真空技术的现状；核聚变与清洁等离子体；高能粒子加速器与同步辐射光；铝合金超高真空系统；对今后的发展有重要影响的真空中的微粒的研究

一、为提高一个数量级而奋斗

地球浮在真空中

如果飞向宇宙空间，可以知道那里全是超高真空。因此，想做有关超高真空的实验，最简单的方法是带了实验仪器飞向宇宙空间，这是以往的科学幻想世界也未必想到的。

在地球和月球正中附近的真空度，一般说是 10^{-7} （1千万分之一）牛顿/米²。而太阳和地球的中间附近的压力，比上述数值还低，只有其百分之一（ 10^{-9} 牛顿/米²）。这一带的真空是极好的超高真空（见图1.1）。

我们所在的太阳系是属于宇宙银河系，这个银河系象田径运动中的铁饼的那样平坦形状。太阳系处在离开“铁饼”中心一半左右的地方。在这个“铁饼”边缘处压力是 10^{-14} （百兆分之一）牛顿/米²，而在银河系正中附近的压力约为此值的1千倍，即 10^{-11} 牛顿/米²。

把我们所在的地球想象为地球号宇宙飞船，这已被越来越多的人所接受，因而说地球是浮在超高真空之中是十分恰当的。

在上面已把牛顿/米²作为压力的单位。在国际单位制中，把压力单位定义为帕斯卡；简写成帕。在本书后文中均使用帕作为压力的单位。实际上，虽然这个单位对于新接受教育的人来说是很好的，然而对于已在生产实践中日夜使用真空的人来说，总觉得不能从帕的数值立刻知道真空度的情况，必须在头脑中进行一次换算才能理解。他们习惯于使用实用单位托。

压力单位间的换算如表1.1所列。

真空技术的曙光

17世纪意大利物理学家托里拆利（1608—1647）在1643年发现了“托里拆利真空”。1641年托里拆利去佛罗伦萨，得到了伽利略的知遇。在伽利略生命的最后三个月中，托里拆利和年轻的维维安尼一起作为他的助手工作着。伽利略死后，已经成为佛罗伦萨科学院研究员的托里拆利，根据和维维安尼一起做过的实验确证了“托里拆利真空”。

发现的经过大致如下所述：先是伽利略对于抽水泵不能把十米以下的部位吸上来这件事很注意，而又不能对该现象进行解释。学生托里拆利认为这个现象表示了大气压的存在。

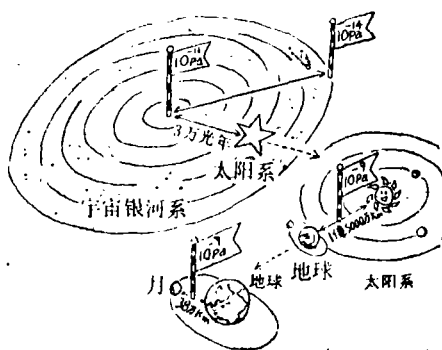


图1.1 宇宙银河系的真空

表 1.1

压 力 单 位 的 换 算

	1 牛顿/米 ²	帕	托	毫米汞柱
1 牛顿/米 ²		1	0.0075	0.0075
1 帕	1		0.0075	0.0075
1 托	133	133		1
1 毫米汞柱	133	133	1	
1 大气压	1.013×10^5	1.013×10^5	760	760

• 对于只考虑数量级的问题，可记着 1 托约等于 100 帕，像 10^{-10} 托就是 10^{-8} 帕那样运算就可以了。

如以水的比重为 1，则水银的比重为 13.6，所以就可认为十米的水高就相当于 78 厘米的水银高。因而他就把 1 米长度左右的、一端封闭的玻璃管中充满了水银，然后将它倒立，让开一端插入水银槽中。于是玻璃管中水银柱的一部份将注入槽中，但当玻璃管中的水银柱液面下降到比水银槽中的液面高 76 厘米时，水银柱就停止不动了。

托里拆利认为在玻璃管中汞柱上部的空间内形成了真空。事实上这个思想是正确的。真空度的实用单位托就是为了纪念他而取名的。

法国哲学家帕斯卡 (1623—1662) 得知这个发现后，就在平地上和高山顶上重复同样的实验，发现山顶上的水银柱高度要比地上的低，而且作出了玻璃管中的水银柱是由大气压上去的结论。压力的国际单位就是以他的姓来命名的。

在 1654 年，德国的政治家、物理学家葛利克 (1602—1686) 做了被称为“马德堡半球”的有名实验。根据表示当时情况的出版画册来看，是把直径为 40 厘米左右的两个半球合在一起，把其中抽成真空，然后在两侧各用 8 匹马进行牵拉。这个实验应当说是表示真空威力最巧妙的显示。

葛利克是当时的马德堡市市长。这个城市现在东德。自古以来它就是一个繁荣的城市，是联结柏林、汉诺威、莱比锡等城市，沿易北河的商业交通要地。这个实验使众多的人看到了大气从四周给予抽成真空的球的压力的大小。

葛利克所用的半球是用铜制成的，在半球併合处使用了用蜡和松节油浸过的、轮形的皮垫圈（也说为衬垫）。在这以前的 1650 年，葛利克从扬水泵中得到了启发，制造了往复运动的活塞式抽气泵，这可以说是真空泵的首次使用。

用这个泵能达到的极限压力大约是几千帕。

从水银真空泵到油真空泵

建立近代真空泵的基础是德国的实验物理学家盖德 (1878—1945)。

盖德发明的初期的旋转泵是使用水银作为封闭液。这种手摇泵很长时期用于在白炽灯泡和 X 光管的排气中。这个真空泵必须以水流泵作为辅助泵，能使 1 千帕开始排气，达到 0.1 帕的极限压力。

盖德的油旋转泵发明于 1909 年 (图 1.4)，这个泵的结构直到现在还仍被广泛使用。与水银旋转泵相比，其旋转速度快，因而相应的排气速率也大，不要辅助泵，可在大气中把压缩的气体排出。盖德初期的油旋转泵的极限压力为 1 帕。

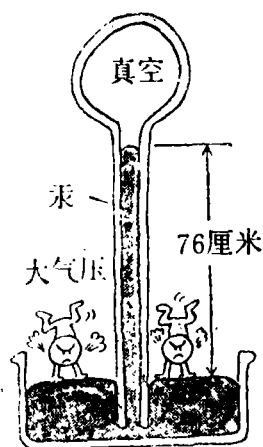


图1.2 表示托里拆里真空的水银柱

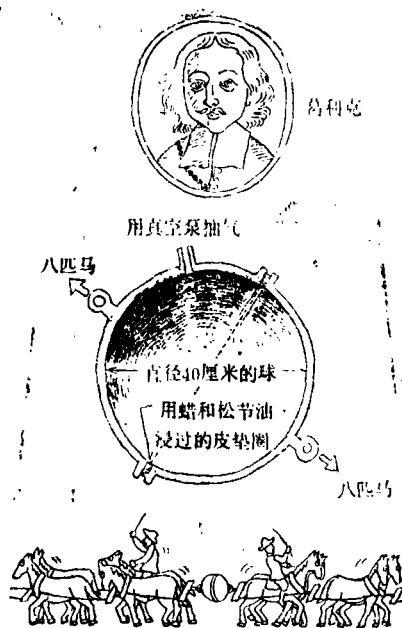


图1.3 葛利克和马德堡半球

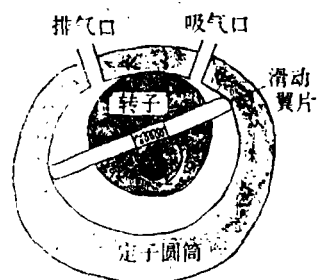


图1.4 盖德式油旋转泵

下面说说扩散泵。盖德关于扩散泵的最早的论文是在1915年发表的。在由辅助泵排气的抽气管道中从A向B有水银蒸汽流动。在管的中间有个狭缝C，飞入到狭缝中的气体分子将被卷入到汞蒸汽流中而被运送到辅助真空泵一侧，这就是这种泵的原理。盖德认为，气体分子飞入，扩散到水银蒸汽流中，是作为这种泵的作用的最重要的事，故取名为扩散泵。

但是，从现在的观点来看，似乎有些奇怪。真正起作用的扩散泵的实现，还必须加入其他重要的新观念。

另一个伟大的科学家朗谬尔对盖德的扩散泵原理提出的异议。他认为象盖德所说的，与从狭缝中喷出的水银蒸汽相反的气体分子扩散不是重要的，必须要沿着水银蒸汽流飞入气体分子。由于这个原因，他认为把喷咀中喷出的汞蒸汽流在壁上凝结是最重要的。朗谬尔的泵与盖德的泵相比，具有更大的排气速率。

克劳福德想出了更优异的方法，那就是把朗谬尔的凝结泵的喷咀改成扩口型的喷咀。可以知道，当制成这样的喷咀后，汞蒸汽流在喷咀的喉口处达到了声音的速度，而在扩口的部位处达到了超音速，并以定向成束方式飞出。他认为这是对泵的排气起主要作用。

克劳福德的想法是正确的，直到现在，扩散泵的设计中还采纳了他的观点。

过去的扩散泵就这样一直采用水银。在20世纪的最初的四分之一的时间内，可以说所有使用真空的物理实验全是依靠水银扩散泵进行的。这一点也不夸大。

英国梅特洛波利顿·维卡斯电气公司的技师本奇在1928年发表了用石油精馏得到的高沸点馏份来代替水银作为扩散泵的工作液。

实际上，这是一个了不起的发明。这是由于如果使用水银的话，在真空容器中将会充满着相应于水银的饱和蒸汽压的水银蒸汽，而在室温时，水银的饱和蒸汽压就达到0.1帕左右。为了取除这些水银蒸汽，必须在扩散泵的上方预先设置一个液态空气冷阱（用液体空气

产生的低温冷面，把从扩散泵中升上来的汞蒸汽进行凝结的装置）。

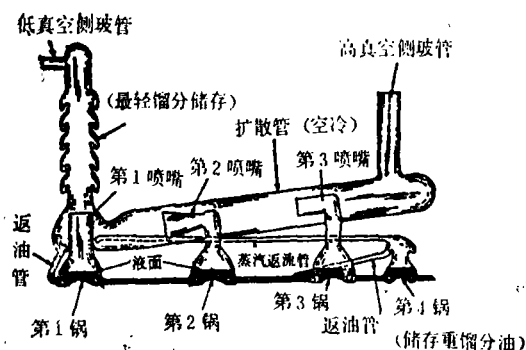


图1.5 希克曼型

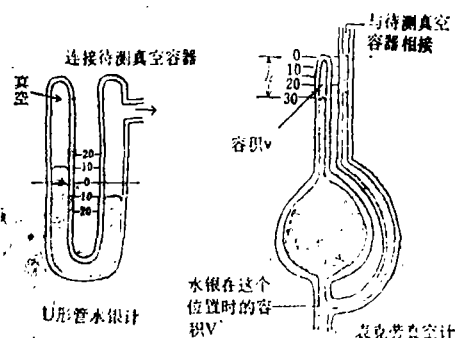


图1.6 U形管和麦克劳真空计

对于本奇的油扩散泵，它不需要上述冷阱，就可获得 10^{-4} 帕真空度。由于如此容易得到这样的高真空，因而原来使用汞扩散泵的人们都竞相把它改换成油扩散泵。

在使用油扩散泵之后，不能忘记的重要发明是美国的依斯脱曼·柯达公司的技师希克曼的分馏泵（图1.5）。

他想出了使扩散泵一边工作一边将所采用的工作液体—石油进行精馏的办法。这也叫做分馏。

即使在现在，还是有喜欢使用希克曼玻璃泵的研究工作者。在希克曼泵中有四个分开的返油锅，其中只有最重馏份的油仅在自己一个加热锅中反复蒸发、凝结，第二重馏份的油在最近高真空一侧的喷嘴中喷出，再次重馏份的油在次近高真空一侧的喷嘴中喷出，最轻馏份的油则从最近辅助真空泵一侧的喷嘴中喷出。希克曼泵的最优越之处就是自动地把泵油按馏份很好地分离到四个油锅中。

原东京大学教授熊谷宽夫先生，作为日本真空协会每年举办的夏季大学校长，曾对年轻的听众说过令人难忘的话：“所谓好的机器，是在机器使用过程中，会一点一点变得好起来。分馏式油扩散泵就是其中最好的例子。”

现代的油扩散泵中都纳入了希克曼的分馏观点。

真空度怎样测定

像托里拆利的水银柱那样也可作为真空计使用。它与水银U形管真空计相当。如取一端的基准压力为零毫米汞柱，于是只要读取与被测真空容器相连一端的水银柱高度。高度是20毫米的话，则说压力为20毫米水银柱高（即 2.7×10^3 帕）。如果水银液面差能读到0.1毫米，则这个真空计的测定下限达10帕级。

虽然也是读取水银柱液面差，但能测量更低压力的是麦克劳真空计。这是利用波义耳定律的测定方法。测量压力的下限随玻璃球泡的体积和毛细管的尺寸不同而有所不同，如果球泡的体积为1升、毛细管的内径为1毫米，则能读到 10^{-2} 帕。

这个真空计的发明是登载在1874年英国的科学期刊“哲学杂志”上，由于发明者的名字和当时电视中人们熟知的麦克洛特警察的字母同样拼写，所以也称为麦克洛特计。

关于测定方法的原理，请参阅图1.6就很容易理解。它是设法将水银液面升高，把处在大

容积中的稀薄气体压缩到小的容积中去,增高了气体压力,因而两端的水银液面差就能读取。

现在,虽然麦克劳真空计在工厂中都不使用,但是它作为测量真空度的标准,仍是一种十分重要的真空计。在日本,真空度的标准也是使用麦克劳真空计决定的。真空度标准的管理是由日本通产省工业技术院的电子技术综合研究所承担的。

利用真空计测量压力的方法有:(1)直接测量压力;(2)测量与压力有关的气体参量;(3)测量气体分子的密度。后两种真空计在研究所和工厂中使用较多。下面对第(2)类真空计的皮拉尼真空计和第(3)类真空计的代表电离真空计进行简单的说明。

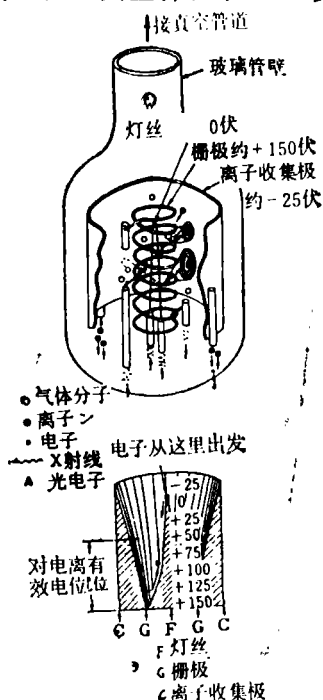


图1.7 电离规

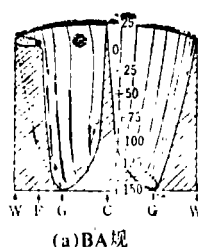
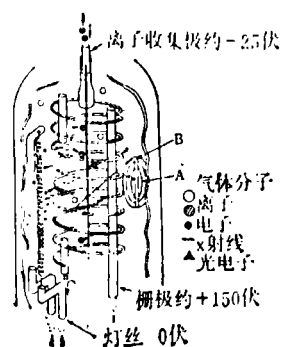


图1.8 BA规

如果考虑1厘米左右长的管中情况:其压力从大气压到一万帕级的范围,即使降低了压力,其中还会产生对流。但在1000帕到1帕间时,就不会产生对流。在此范围中,管中气体分子的热传导是压力的函数,随压力变化而变化。如果压力再降低,气体分子的热传导就没有影响了,仅仅由热丝的辐射热起作用。因为这个辐射热与压力无关,所以,它就决定了真空测量的下限。

在分子热传导有影响的压力范围中,如要把张紧在管中心的热丝温度稳定在 200°C 上,则随着管内压力的改变,给予热丝的热能输入也必须作相应改变,使用这种原理的有皮拉尼真空计,已广泛使用。

皮拉尼真空计的最早论文是由皮喇尼提出的,发表在1906年德国物理学会会刊上。也就是,这种真空计的使用已经经历80年。

三极型电离真空计的发明是在电灯泡和热电真空管的研究过程中进行的。追溯其历史,在1916年美国科学院学报上写有论文的伯克勒是发明者。从普及的意义上看,在1912年的“物理学评论”上登载的达许曼和弗朗特的论文的贡献是很大的。

电离真空计（普通又称为电离规）是热电子三极管研究过程中发明的真空量具（图1.7）。

阴极（灯丝）如图1.8那样接零电位，栅极接正电位以收集电子，板极接负电位以收集离子。从灯丝发射出来的电子在栅极附近来回振荡，最终被栅极捕获。在电子来回振荡期间，它会和真空中残留的气体分子发生碰撞。被碰撞的气体分子的一部分，会失去原来具有的电子而成为正离子。如果打上栅极的电子数一定，到达板极上的离子数和真空中残留的气体分子数成正比例。电离真空计就是把这个现象利用在真空度的测定上。

对此可用下式表示：

$$\text{压力（帕）} = \frac{\text{离子流（安）}}{\text{电子流（安）}} \cdot \text{常数}$$

这个常数被称为电离规的灵敏度，其单位为1/帕。

真空计的测量上限是当上述关系式不成立时的压力。那是电离规中气体分子数与电子数相比时，超过某一比例过多时的压力值。对于一般的电离规而言，其上限为1帕数量级。测量下限是 10^{-8} 帕数量级。

决定这个真空计的测量下限是流过板极而与压力无关的电流。这个残余电流的产生长期中是个谜。

这个谜的解开打开了第二次世界大战以后超高真空技术飞速发展的大门。

总之，这种三极型电离真空计在1921年以后被广泛地使用在真空测量中。而且，是作为在高真空领域中测量可靠性高的，仅此一种的实用真空计，它的重要性是很高的。

真空技术的大转变

前节中述及的达许曼在第二次世界大战后四年即1949年出版了他的著书“真空技术的科学基础”。这本书是集在这以前的真空技术的大成。

达许曼的真空技术教科书（1949年初版）以气体分子运动论为开端，纳入了真空泵、真空计、吸着、吸气剂、蒸发、解离和氧化等内容。在其最后一章的一个小节中，记述了“在封离电子管中超高真空的产生”的论题。在书中还有一个记述：如果把真空保持在当时的技术极限上，可以推断其大致的真空度应比上述的真空度更好，然而电离规的指示值仍为 10^{-8} 帕真空度。也可以说处在以下状态：真空获得的进展似乎已超越的一定的界限，而还没有办法测量它的真空度（当然，在1968年的拉费蒂的修订本中，这一节就完全被改写了。）。

在几个先驱者的研究之后，西屋公司的研究者伯雅德和阿尔培特在1954年发表了值得一说的完全逆转的电离真空计，它把达许曼电离真空计的测量下限一下子推进了两个数量级。伯雅德和阿尔培特的改革如下所述。

以前的三极管型电离真空计其离子收集极具有较大的面积并包围在栅极（收集电子的电极）外面（图1.8）。因而：

（1）在这种状态下，电子一打到栅极上，从栅极表面就会产生软x射线；

（2）这个射线与光线相同要向四周辐射；

（3）离子收集极也接收到软x射线的辐射，由于这个原因，在该处就会放出光电子。因为这个光电子流很微弱，在压力较高的场合，它被收集极上的离子流淹没而不能读取到。但当真空度非常高时，流入的离子流就变得很小，光电子放出的影响就显示出来了。

从电流角度来观察，离子（正）的进入和电子（负）的放出其结果是同方向的，所以光电子

的放出能看作为在离子流测定计中留有的残余电流。

伯雅德和阿尔培特的办法是出乎人们意外的。他们认为由于软 x 射线照射了较大的面积，所以光电流就较大，如果把被照射的面积尽可能缩小，就可以得到改进。到那时为止，当时谁也没有注意到这一点。可是，采用一般的减少收集极面积的办法，则规管的灵敏度就要下降，两者不能兼顾，仍不能达到推进测量下限的目的，但是他们是在不牺牲规管灵敏度的前提下减少了收集极的面积，那是把以前的三极管的电极设置完全颠倒过来实现的。

由于他们的改变，真空规的软 x 射线的下限推进了两个数量级。以前只达到 10^{-6} 帕级，而现在就可一直读到 10^{-8} 帕级了。

在1953年和1954年，阿尔培特和西屋公司的研究者们一起，在美国应用物理杂志上发表了两篇重要论文。第一篇论文是“超高真空的获得和测量的新发展”，第二篇论文是“超高真空Ⅰ—阻止达到极低压的因素”。

说超高真空技术是从阿尔培特的论文开始是很确切的，一点也言不过实。

这篇论文对于因战争创伤还未完全复原的日本的真空技术研究者来说，犹如接受了从新世界引入的教科书。

我常把达许曼的教科书和阿尔培特的论文的对比说成以下这样：“达许曼的书相当于在真空技术领域中的旧圣约书，在这个范围中展开的世界是气体分子运动论的世界、空间占优势的世界。与此相反，阿尔培特以后的相当于新圣约书，在这个范围中展开的世界是表面科学世界、表面占优势的世界。”

本书的目的就是要说一些。当超高真空能被我们获得后，将能开拓什么样的新的光辉灿烂的世界？以应用为中心逐渐进行叙说，然而也新发表一些作为最最基础的真空泵，即所谓“超高真空泵三足鼎立”的泵。

在阿尔培特的论文里真空泵还是用的油扩散泵（希克曼型）。他们很辛苦地使用了这个泵以得到超高真空。然而不久，由于油扩散泵会沾污超高真空系统，渐渐就不使用了。

油蒸汽分子会污染超高真空系统是一个与表面科学相关的，十分重要的话题。

二、真空工业发展和应用的历程

真空在机械中的利用

马德堡半球实验告诉人们：大气压力是巨大的。实际上，每1厘米²的面积上，大气压力约为1公斤；每1米²上竟达10吨。用真空泵对石油罐抽气，罐壁很快内陷，最后将变成十分难看的样子。这是因为铁质罐壁承受不了大气压力的缘故。对汽油桶抽气的情况稍好一些，最终也难以承受大气压力。千万不要作对玻璃瓶抽气的事情。它与石油罐不同，抽气后，玻璃瓶有可能碎裂，瓶渣四溅而伤人。

利用真空环境与大气间的压差的实例比比皆是。例如，真空夹具。磁性夹具可以吊运铁板，却与铝板、铜板、玻璃、胶合板等无缘。这时就可以采用真空夹具。真空夹具是用橡胶吸盘放在板上，在其中间抽气。在半导体工厂中可以用类似的方法运送硅片。机器人用带有吸盘的手运送薄片。真空镊子甚至可以拣出极其微小的物体。真空在机械上的利用历史已较为悠久。

真空的化学应用

实际上，抽真空就是使空气逐渐稀薄。即使空气中的主要成分氮和氧的含量逐渐减少。

抽氧对于一个重大的发明作出了重要的贡献，这就是电灯的发明。

1879年，美国的大发明家爱迪生（1847—1931）成功地发明了白炽灯。在此以前的两年之内，他曾用过1500多种材料来制作灯丝。终于历尽艰辛，在实验室内采用白金灯丝得以成功。由于价格高昂，难以普及。

白炽灯发明成功的关键在于碳灯丝的采用和抽真空。即便在少量的氧气中加热，碳灯丝也会燃烧并生成一氧化碳、二氧化碳。对爱迪生说来，抽真空实际上就是在抽除氧气。

在白炽灯发明的两年之后，爱迪生用日本京都（石清水八幡宫境内）的竹纤维制作成灯丝，制成了寿命较长的白炽灯泡。在当时，这是引人注目的话题。当然，用京都的竹纤维制成的碳灯丝在不久即被钨灯丝所取代（1910年）。然而，这个伟大的发明毕竟与日本产生了这样的联系，令人自豪。

与此有关的另一件事是唐津一先生（松下产业顾问）告知的。松下幸之助先生非常敬佩爱迪生，并在门真市的中央研究所正门前的树丛中安放着他认为是他的恩师的爱迪生的半身像。大约在三年之前，松下公司的美籍雇员和干部与松下先生进行了一次愉快的交谈。其中，一位美国人询问松下先生：“你最尊敬的人是谁？”松下先生当即回答：“爱迪生”。在场的美国人掌声四起、经久不息。

本书中将会两次提到朗缪尔，在这里得介绍一下这位伟大的化学家所建立的功勋。

朗缪尔在钨丝灯泡中充入惰性气体，成功地抑止了钨的蒸发。充气灯泡的发明归功于朗缪尔。

朗缪尔正确的认为薄膜的厚度是由钨原子与气体分子之间碰撞的平均自由程决定的。室温时空气分子的平均自由程在1帕时为6.5毫米。平均自由程随压力的降低而增大。即平均自由程和压力成反比例关系。

在钨丝灯泡中，6.5毫米的平均自由程仍嫌太长，必须充入压力为几十帕的惰性气体。

抽除氧气，直到氧的含量可以忽略不计为止。它作为真空的化学应用已在不少的领域获得了广泛的应用。50年代，日本率先达到工业规模的真空应用是钢、钛的真空精炼；油脂、果汁的真空处理等等。这些应用始终着眼于产生一个防止氧化的真空环境。

特别需要指出的是：战后的日本，推动真空技术不断发展直至能在重工业中获得应用的直接需要是钛的精炼。在化学中，钛是极其活泼的金属，钛的精炼的全过程几乎都必须在真空条件或非活性气体中进行。这是真空产品随着钛的精炼设备的扩大而不断的大型化的时代。这时，油扩散泵、机械泵也不断大型化。

朗缪尔的双层理论

美国的物理化学家朗缪尔（1881—1957）是一位在与真空有关的众多领域内作出杰出贡献的学者。1932年，因在界面化学等方面的成就而荣获诺贝尔奖金。从美国哥伦比亚大学毕业后，赴德国哥廷根大学留学，期满后回国。从1909年起在通用电气公司的研究所工作。在基础和应用研究中成绩卓著，给人类留下了钨丝灯泡、热电子管、原子氢焊接技术、吸附、蒸发和凝聚理论等不朽的业绩。

朗缪尔研究了钨丝灯泡。发现在真空条件下处于白炽状态的钨灯丝会使内壁逐渐变黑，灯丝相应变细。这是因为钨被蒸发后沉积于内壁的缘故。为了抑止蒸发，想到了把惰性气体

充入真空灯泡中，具体的想法是这样的。

……灯丝表面钨的蒸发量取决于加热温度以及这个温度下的饱和蒸气压。无论如何难以

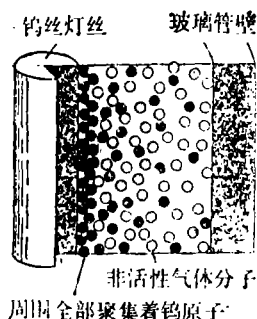


图2.1朗谬尔的薄层理论模型

阻止钨原子的不断蒸发。如果钨原子在飞行空间中能与气体分子相碰，那么就不仅仅是真空蒸发的问题，而且必须考虑飞行途中的碰撞问题了。如果钨原子在到达内壁之前能有几十次的碰撞，那么除了蒸发以外，还须考虑在气体分子中的扩散。于是自然想到了在这种状态下的蒸发和扩散平衡。即在钨丝蒸发时，除了扩散平衡以外，还应考虑反向流向灯丝的钨原子。在极其接近灯丝的薄层内，纯粹是蒸发区。薄层的厚度为由灯丝发出的钨原子未与气体分子发生一次碰撞的距离。朗谬尔把这个钨层称为钨的薄层。薄层中聚集着钨原子，其外乃是气体分子。这是一个由灯丝发出的钨原子向气体中扩散的模型(图2.1)。后人把这个理论称为朗谬尔薄层理论。

真空的物理利用

如上所述，气体分子间以及电子、离子与气体分子的相互碰撞都是由平均自由程决定的。常温的空气分子在1帕时的平均自由程为6.5毫米； 10^{-2} 帕时为65厘米。如果局限在小型真空容器中进行试验，那么气体分子只会是在壁与壁之间来回运动。

虽然电子、离子的能量和大小与气体分子不尽相同，然而它们与气体分子相互碰撞的平均自由程仍然由真空度所决定。可以近似沿用气体分子的平均自由程。正因为如此，真空容器中残存的气体分子的运动，会以与容器大小相比拟的平均自由程的压力为界限，产生出截然不同的行为。这不是化学作用、机械作用，只能是对所有气体分子都会发生的物理作用。在真空应用中，不乏有纯物理利用的实例。现举两个实例加以说明。

在当代的日常生活中，过去被称为真空管的电子管已不多见了。即便如此，电视显像管、微波炉中的磁控管……仍在家庭中使用着。这些电子管内，始终保持着低于 10^{-4} 帕的压力，使其气体分子的平均自由程远远大于管子的尺寸。真空中的蒸发也是出于同样的考虑。

第二次世界大战以后，真空技术在工业中的早期应用是维生素的分子蒸馏。把在大气中加热容易被破坏的重油成分在真空中蒸馏。需要进一步蒸馏的物质，用分子蒸馏法来制取。蒸发面和凝聚面相向放在近距离之内。从蒸发面蒸发的油蒸汽分子必须无碰撞地直接到达凝聚面。这时，分子蒸馏的工作压力仍由油蒸汽分子的平均自由程来决定。

真空在生物中的应用

能够在真空中生存的动物是没有的。在真空容器中放置的植物中的水分，也会在抽气过程中不断发挥。水分在真空中的发挥是很快。

最初曾是航天食品的速溶咖啡、速溶酱油粉末、速溶肉汁等许多真空干燥食品正在进入普通居民的家庭。

医药工业中，不耐高温的药品通常是用冷冻干燥方法制成的。从战后不久，已用真空冷冻干燥技术生产青霉素、链霉素等药品。

把培养液按剂量注入试管，浸入液氮中快速冷却。在保持低温条件下抽真空。其中的水份将直接升华。最后在试管形成能够在常温下长期保存的粉末。

对于冷冻干燥的要求是快速冷却，使细胞内的水份变成冰晶。还要求在干燥过程中不要

生成较大的冰晶。冰晶粒一旦变大，就会破坏细胞膜。晶粒将随着冰温的升高而增大。

这个方法适用于医学上作为标本的切片。各个大学、研究所均用此法来得到薄薄的切片试样。

利用水分的蒸发使蔬菜温度下降的方法叫做真空预冷法。这项工作最初是由长野县农场开展的。适用于高原蔬菜如莴苣、菠菜等的预冷。把蔬菜放在皱纹纸的包装袋中，然后放入真空容器快速抽气。随着水份的蒸发，蔬菜的温度下降。与单纯的冷藏车冷却法相比较，这个方法预先降低了蔬菜自身的温度，然后放入冷藏车运到市场销售，可以不降低蔬菜的新鲜程度。真空预冷法已经在国内普及。表2.1列出了真空预冷与其它贮藏法的保鲜时间的比较。

表 2.1 各种蔬菜、水果的有效保鲜贮存时间的比较

水果蔬菜	方 法	冷藏库(天)	包装贮藏(天)	通风预冷(天)	真空预冷(天)
芹	菜	8	10—20	30	50
莴	苣	3	10—20	30	50
菠	菜	7—10	10—20	28	50
草	莓	2	5—10	30	50
桃		3—8	10—15	30	50
荷兰芹	菜	4	5—10	20	50
卷	心 菜	8	10—15	20	50
西	红 柿	30			67
青	笋	3—4	4—6	14	21
青	豌豆	4—7	7	14	30
鲜	蘑 菇	2—3			14
菊		7—10			35

青森县用控制气体组分的方法可以使苹果长期保鲜。了解了贮藏过程中气体与蔬菜、水果、花的成熟的关系，从而把苹果存放在某些特殊的气体中。最近将这种贮存方法改为在一定的真空状态下进行，取得了更长时间的保鲜效果。这项工作已经逐渐为人们所认识，尽管目前还处于试验阶段，但应用前景是相当光明的。

在低温条件下存放植物，可以理解为使植物冬眠。对真空工作者来说，利用真空和控制真空中的气体组分来达到最大限度地减少植物的呼吸，抑制成熟期是一件引人注目、富有意义的工作。

真空应用的大树

真空工业的发展和应用的历程，林主税曾经作过如下的概括：

“以工业使用为目的的真空技术的实质性的萌芽，可以认为起始于曼哈顿计划。在这个计划中，氦检漏仪、大型金属真空容器已经成为常规设备。积累了金属卤化物在真空中的生成和收集的知识。

50年代，真空的应用已涉及钢铁、钛、油脂、果汁等方面。50年代后期，已尝试将真空

蒸镀应用于塑料、玻璃。

60年代前半期,以金属材料为中心,不断推动着真空装置的大型化。美苏开始研究真空技术在航天中的应用。后一项工作尽管对普通产业和人民生活没有很大的影响,但是,在不久的将来,它的重要性将会日益提高。

从60年代后半期开始,电子管、半导体工业开始兴起。也可以说,真空工业逐渐成为一种正式的生产手段正在不断深入,直到今天。”

我们可以把真空技术各个领域中的应用比喻成为一个蓬勃发展的参天大树。从第三部分开始,将逐项介绍重要的真空应用。

图2.2是根据日本真空协会的统计,把真空应用各个领域的产值而绘成的图表。圆的面积是全年总产值;扇形面积为单项产值。

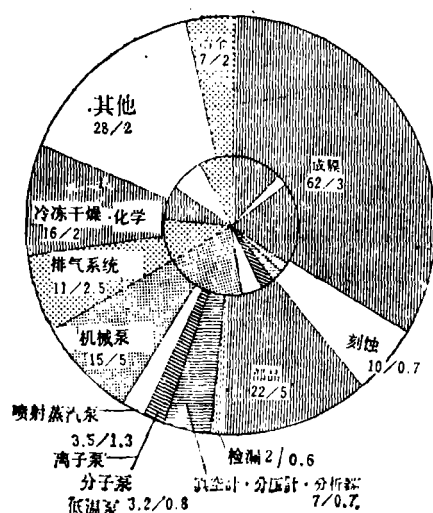


图2.2 1973年（1—3月）与1983年（1—3月）各真空领域产值的比较（单位：亿日元）

1983年和1973年相比较,增长率最大的是镀膜工业。10年内的产值增长20多倍。

1973年,镀膜和真空冶金设备的产值相差无几,10年以后却完全不同了。这一增长归结于电子工业的需要量的不断扩大。真空镀膜技术已成为一项十分重要的技术。

更正

本刊今年第二期中18页图5与19页图6排版有误,即图5的图是图6,图6的图是图5。两图的图题及图注无误。特此更正,请作者和读者原谅。

编辑部