

# 真空知识

原子能出版社

刘玉魁



Zhenkong  
Zhishi



# 真空知识

刘 玉 魁 著  
王 朝 驹 审

原子能出版社

## 内 容 简 介

本书是一本关于真空技术的普及读物。全书分七节，包括真空常识、怎样得到真空、如何测量真空、真空系统操作与维护、真空系统的简单计算、漏气现象及真空装置的清洁处理等。

本书以通俗易懂的语言和简明直观的插图，深入浅出地介绍了有关真空知识，并侧重于解决真空设备生产和操作中所发生的实际问题。本书是从事真空技术工作的人员和青年学生的益友；也是有关管理人员学习真空专业知识的普及教材。书中的知识对其他工程技术人员及真空爱好者了解真空知识亦颇为有益。

真空知识

刘军魁 著

王朝驹 审

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

重庆印制一厂印刷

(重庆后街79号)

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32 ·印张5.125 ·字数111千字

1987年12月北京第一版·1988年8月重庆第一次印刷

印数 1—1700

统一书号：15175·852 定价：1.75元

ISBN 7-5022-0110-6/TB·2

# 前 言

真空为人类的生产劳动及科学实验开创了别开生面的环境。现代许多边缘科学技术无不与真空息息相关，如宇宙空间中遨游的人造卫星、地面与空间的渡船——航天飞机、取之不尽用之不竭的能源——受控核聚变、能量为几百亿电子伏的巨型加速器、高纯度半导体器件、超大规模集成电路、超精细加工、新材料制备、表面研究等都离不开真空。真空技术在人们日常生活中的应用也触目皆是，如食品罐头、电灯泡、保温瓶、酱菜、果脯、奶粉、各种饮料、日用镜子以及绚丽多彩的金银丝纺织品等的生产都与真空有不解之缘。

那么，什么是真空，真空环境有那些特点，真空有什么用途，真空对生产会产生什么经济效益，如何得到真空，真空系统如何配置，真空设备怎样维护，使用中发生问题怎么办，真空度达不到如何处理等，这些问题都可从本书中找到满意的回答。另外，作者在社会调查中发现不少使用真空设备的单位，由于操作者缺乏真空装置的清洁处理知识，使真空设备不能发挥应有的经济效益，本书针对这一问题作了专门论述，以引起重视。

本书编写时，得到各级领导及中国真空学会普及教育委员会主任黄振邦教授、副主任杜维东同志的关怀与支持。写作过程中又得到陈秀英、李晋梅同志的帮助，在此致以谢意。由于作者水平所限，书中难免有错误和不当之处，望读者指正。

作者 刘玉魁  
于兰州物理研究所

# 目 录

<b>一、真空常识</b> .....	1
(一) 大气与真空.....	1
(二) 真空量度单位.....	5
(三) 真空环境的特点.....	6
(四) 真空技术的应用.....	9
<b>二、怎样得到真空</b> .....	47
(一) 获得真空的基本方法.....	47
(二) 什么是真空泵.....	50
(三) 气体传输泵.....	52
(四) 气体捕集泵.....	66
<b>三、如何测量真空</b> .....	76
(一) 测量真空度的基本方法.....	76
(二) U形管真空计.....	78
(三) 麦氏计.....	78
(四) 热偶真空计及其使用与维护.....	81
(五) 电离真空计及其使用与维护.....	82
(六) B-A真空计及其维护.....	85
(七) 使用规管时应注意的事项.....	87
<b>四、真空系统操作与维护</b> .....	92
(一) 何为真空系统.....	92
(二) 油扩散泵真空系统.....	97
(三) 溅射离子泵——钛升华泵真空系统.....	108

<b>五、真空系统的简单计算</b> .....	114
(一) 真空管路的流导.....	114
(二) 真空装置极限真空及工作压强.....	122
(三) 怎样计算真空泵的抽速.....	126
(四) 抽气时间的计算.....	128
<b>六、漏气现象</b> .....	130
(一) 漏气对真空设备的影响.....	130
(二) 漏孔表示方法及真空装置的允许漏率.....	132
(三) 易漏气部位.....	133
(四) 常用检漏方法.....	135
(五) 堵漏.....	143
<b>七、真空装置的清洁处理</b> .....	145
(一) 真空元件为什么要作清洁处理.....	145
(二) 清洁真空零件的方法.....	146
(三) 特殊清洁处理方法.....	150
(四) 清洗实例.....	153

# 一、真空常识

## (一) 大气与真空

地球周围有一层厚厚的大气层，它像屏障一样保护着地球，为人类的生存提供了条件。

人类的生活一刻也离不开空气。那么空气是由哪些成分构成的呢？经过科学家们分析得知，它是由许多看不见的不同元素气体分子混合而成的，主要有氮气和氧气。其中，氮气占百分之七十八，氧气占百分之二十，其它气体如氩、二氧化碳、氖、氦、氪、氙、氢、甲烷等仅占空气成分的百分之二。

气体分子是非常小的，如果把它看作一个小球，直径只有 $10^{-8}$ 厘米。即使把它放大一千万倍，其直径也只有1毫米左右。小球虽小，但个数很多，每立方厘米中有 $2.7 \times 10^{19}$ 个，如果把这些小球一个挨着一个排成一队，长度可达二百七十万公里，而地球子午线长是四万零八公里，粗略地估算可绕地球六十七圈半。

气体分子处于无规则的运动之中，与物体相碰，会产生压力。在标准状态下，作用于海平面上的压强值是760毫米汞柱高，此值称做标准大气压。

意大利物理学家托里拆利在1643年最先测得了此值。他把一端封闭的长玻璃管盛满水银，然后再把它倒放在水银盘中，如图1.1所示，管中水银面下降到760毫米为止。为什么不继续下降呢？这是因为水银柱产生的压强恰好与大气产生

的压强相等，两者处于平衡，所以水银面不再下降。这个实验证明了大气有压力，并且测得的压强值是760毫米水银柱高。在管的顶端，由于水银下降，形成了真空，人们称之为托里拆利真空。

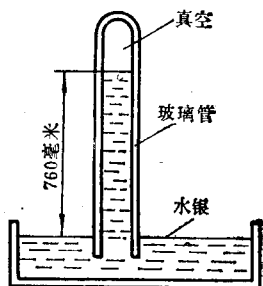


图1.1 托里拆利大气压试验

大气既然有压力，我们怎么感觉不到受压力的作用呢？这是因为身体各处都受到相同的压强作用，各个方向的压强相互抵消了。若物体一面是真空，另一面是大气，那么这个力就相当可观了。1651年葛利克（1602—1686年）在德国马德堡用两个直径为119厘米的半球合起来，球中抽成真空，每个半球套上八匹骏马，并向相反方向驱赶两边的马。开始，两个半球没有被马拉开，直到十六匹马全都使足了力气才被拉开，这就是闻名于世的马德堡半球实验，见图1.2。

什么是真空呢？真空是相对大气压而言的，如果在一个密闭容器中，其内部气体压力低于周围大气压，或者每立方厘米的体积中的气体分子数小于 $2.7 \times 10^{19}$ 个，那么此时容器中的气体状态就称之为真空。所谓真空并非容器中没有气体分子，而是气体分子少了。用现代最好的抽气方法，能得到的最好的真空度是 $10^{-15}$ — $10^{-16}$ 托，然而每立方厘米体积中仍有几百个气体分子。

在日常生活中，所遇到的真空现象触目皆是，如用玻璃管吸水（见图1.3），管中空气被吸出来，其中形成了真空，杯中的水在大气压力的作用下进入玻璃管中。又如塑料挂钩，把它往光滑的壁上一按，就粘在壁上了。这是因为小塑





图1.2 马德堡半球实验

料碗中的空气被挤出来形成了真空，大气压力的作用使挂钩粘在壁上。还有注射器吸药水，皮老虎吹灰尘，抽油器打油，钢笔吸墨水，以及吸奶器吸奶等。类似的例子不胜枚举。

中华民族的古代劳动人民对真空的认识及利用要比托里

拆利和葛利克的研究约早一千年。早在春秋战国时期，我国就创造了“排囊”（见《老子》、《墨子》），它相当于皮老虎之类的鼓风机，用于炼铁。排囊在工作时要利用真空吸入空气，这是获得真空的最原始的方法，在当时条件下，这是很宝贵的发明。

西周时，为了计时创造了刻漏。其原理是利用水壶中水面高度与时间的关系来计时。壶与壶之间利用了渴鸟来引水，如图

1.4所示。这种渴鸟相当于现代的虹吸管，这是世界上最早利用真空现象的引水方法。



图1.3 玻璃管吸水形成真空

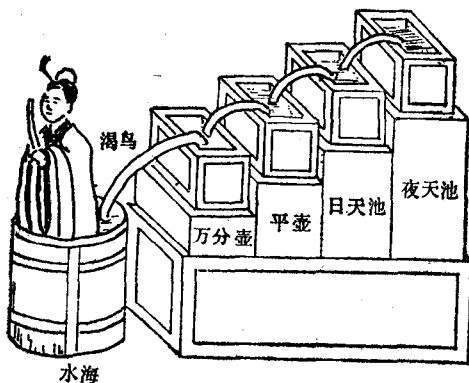


图1.4 刻漏计时器

除此之外，还有战国时期创造的一直流行于民间的拔火罐也利用了真空原理。当火罐中的纸燃烧后，其中气体由于

热而外溢，降低气体密度，使罐中空气密度小于周围大气密度，当罐中空气温度降低后火罐就产生了真空。靠空气压强差作用使其牢固地吸在皮肤上。

这些都是我国古代劳动人民在真空技术上所创造的光辉成就，将永远载入人类文明的史册。

## (二) 真空量度单位

生活中要比较两个物体的轻重，用称来称一称它们的重量就知道了，布的多少用尺来量一量长度也就知道了，前者可以以“千克”为单位，后者可以以“米”为单位。那么真空的高低用什么量来量度呢？通常以真空度这个概念来衡量某空间真空状态的好坏。

真空度以压强单位来表示，如某容器中气体压强是10毫米汞柱高，我们就说容器中真空度是10毫米汞柱。除了毫米汞柱外，还有“托”、“帕”等压强单位。毫米汞柱单位是由大气压值得到的，一个标准大气压为760毫米汞柱。

由于毫米汞柱书写不方便，为纪念托里拆利对真空研究所做出的贡献，德国首先把一毫米汞柱命名为一托，那么大气压值即为760托。1958年以后，世界各国也相继使用了“托”作为压强单位表示真空度。

在国际单位制中，压强单位为牛顿/米<sup>2</sup>。1969年由法国建议，国际计量委员会通过一项决议，给牛顿/米<sup>2</sup>一个专用名称，称为帕斯卡。这是为纪念十七世纪法国著名数学家、物理学家帕斯卡而命名的。帕斯卡简称为“帕”。1971年第十次国际计量大会正式采用“帕”这个压强单位表示真空度我国也将“帕”作为法定的压强单位，并用来表示真空度。

这三个表示真空度的单位之间的关系如下：

$$1\text{毫米汞柱}=1\text{托}=\frac{1}{760}\text{大气压};$$

$$1\text{帕}=7.5\times 10^{-3}\text{托}.$$

为比较真空度好坏，又划分为五个真空区：低真空、中真空、高真空、超高真空、极高真空。它们所包含的真空度范围如下：

低真空  $1\times 10^5$ —100帕( $750$ — $7.5\times 10^{-1}$ 托)；

中真空  $100$ — $10^{-1}$ 帕( $7.5\times 10^{-1}$ — $7.5\times 10^{-4}$ 托)；

高真空  $10^{-1}$ — $10^{-5}$ 帕( $7.5\times 10^{-4}$ — $7.5\times 10^{-8}$ 托)；

超高真空  $10^{-5}$ — $10^{-12}$ 帕( $7.5\times 10^{-8}$ — $7.5\times 10^{-15}$ 托)；

极高真空  $<10^{-12}$ 帕( $<7.5\times 10^{-15}$ 托)。

### (三) 真空环境的特点

真空环境与大气相比有许多特点，人们正是利用这些特点为人类服务。

#### 1. 真空环境造成了压强差

一个大气压值是每平方米的面积上受到约101325牛顿的作用力，即101325牛顿/米<sup>2</sup>。若从1大气压降到千分之一大气压，那么每平方米面积上所受的作用力变为101.325牛顿/米<sup>2</sup>。可见大气与真空之间的压差约等于1大气压。

设有一直径为1米的圆板(见图1.5)，一侧为真空，另一侧为大气，此时作用于圆板上的力可以用圆板面积乘以压差得到，其值为76491.87牛顿。人们可以用此力来运输物品和过滤液体。

#### 2. 真空环境的氧和水分含量显著减小

真空环境使分子密度降低，氧和水分含量减少，这对大

气下易氧化或易腐烂物质的制备或保存是非常有利的。如电灯泡中的灯丝温度有几千度，在大气中会立刻烧毁，只有把灯泡抽成真空再充入惰性气体才能使用。再如罐头可以较长时间存放不发霉，也是因为其内部是真空状态，减少了氧气，使它不变质。

### 3. 真空环境中的物质沸点降低而蒸发速度加快

物质的沸点是随着压强而变化的。众所周知，在高山上的食品煮不熟，需要用高压锅才行，这是因为高山上的气压低，水的沸点降低了。大气压下水的沸点是 $100^{\circ}\text{C}$ ，当气压（真空度）为 $5.1 \times 10^4$ 帕，沸点下降到 $81^{\circ}\text{C}$ ；如果真空度提高到 $1.3 \times 10^5$ 帕，水的沸点就下降到 $10^{\circ}\text{C}$ 了。这意味着真空度为 $1.3 \times 10^5$ 帕时，只需把水加热到 $10^{\circ}\text{C}$ 就会沸腾。

真空中由于气体分子密度低，即单位体积中的分子数少，对蒸发出来的分子碰撞较少，使它们很容易跑掉，这就使蒸发速度加快。

我们可以利用真空中物质沸点低及蒸发速度加快的特点来分离物质、干燥材料、保存物品。如利用真空环境生产炼乳和奶粉，保存血浆，提纯金属等。

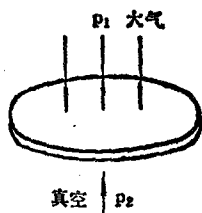


图1.5 圆板所受作用力

### 4. 真空环境中材料能迅速脱气

各种材料在大气压下总会吸附一些气体，当材料处于真空环境时，由于周围气体分子密度低，所含的气体会自动放出来，这种现象叫做脱气，也叫出气。利用此现象可进行钢水脱气，陶瓷泥浆脱气，以及浸渍材料脱气等。

## 5. 真空环境可降低热量传递

放在桌上的一杯开水，不到半个小时就变冷了。而保温瓶中的开水，经过一昼夜还是热的。这是因为瓶胆夹层抽成了真空，使瓶胆向外传递的热量减少的缘故。利用此现象可进行真空隔热，制造低温液体贮存器，如杜瓦瓶等。

## 6. 真空中电绝缘性能好

在一定的真空度下，真空环境比大气压下的绝缘性能好。如有两对同样能耐压3万伏的电极板，在空气中需要几厘米的间距，而在真空中只需要几毫米。在天气潮湿时，空气的绝缘性能还要下降。利用此现象可制造高压大电流真空开关。

## 7. 真空环境使气体分子平均自由程增大

气体分子处于无规则的热运动中，大气压下每走0.06微米就与另一个气体分子相碰撞，随着压强的降低，所走的距离越来越大，在 $1.3 \times 10^{-4}$ 帕真空度下，走50米才与另一个气体分子相碰撞，我们把分子连续两次碰撞所经过的距离累加后取平均值，此值称做平均自由程。一般室温下的平均自由程由下式给出：

$$\lambda = \frac{6.7 \times 10^{-8}}{p}, \quad (1-1)$$

式中  $\lambda$ ——平均自由程(米)；

$p$ ——真空度(帕)。

同样，在真空中运动的电子、离子、原子的平均自由程也会增大。利用真空这种特性可以制造真空镀膜机、显像

管、电子管、电子显微镜以及加速器等。

## 8. 真空环境使表面形成单分子层的时间增长

没有吸附气体分子的表面，用气体分子一个挨一个排满一层所用的时间，叫做形成单分子层时间。而每平方米面积上布满一层分子大约需要 $8 \times 10^{18}$ 个分子，若知道每秒打到此面积上的分子数，那么形成单分子层时间就可以求得了。

单位时间打到单位面积上的分子数与真空度有关，对于室温下的空气表示为

$$\phi = 2.9 \times 10^{22} p \quad (1-2)$$

式中， $\phi$ ——每秒钟入射到每平方米面积上的分子数(个/米<sup>2</sup>·秒)，此值也称分子入射率； $p$ ——真空度(帕)。

将形成单分子层所需的分子数被入射率除，便可得到不同真空度下形成单分子层的时间。按此方法计算，大气压下形成单分子层需要 $2.9 \times 10^{-9}$ 秒，时间是极短的，所以大气压下表面是粘满气体分子的。随着真空度的升高，时间愈来愈长，真空度为 $1.3 \times 10^{-8}$ 帕时，为 $2.2 \times 10^4$ 秒 $\approx 6$ 小时，在此真空度下，可以得到粘附气体分子少的表面。此时，使用表面仪器可以进行表面物理、表面化学的研究。

## (四) 真空技术的应用

### 1. 真空技术应用介绍

真空技术的应用十分广泛，从每平方厘米上有上百万个电子元件的超大规模集成电路，到几公里长的巨型加速

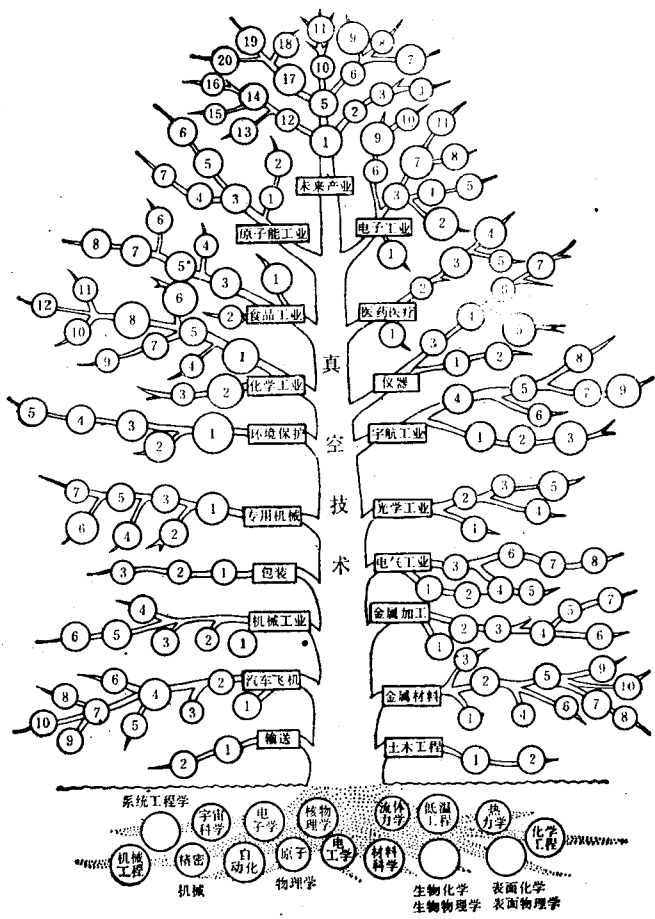


图1.6 真空应用的领域

- 输送: 1—吸引; 2—吸附。  
 汽车、飞机: 1—溶解; 2—淬火; 3—烧结; 4—精密铸造;  
 5—蒸镀; 6—氮化; 7—硬焊; 8—焊接; 9—蒸  
 镀; 10—检漏。



- 机械工业: 1—精密铸造; 2—烧结; 3—浸渍; 4—压铸; 5—焊接, 束加工; 6—淬火, 氮化。
- 包 装: 1—蒸镀; 2—成形; 3—包装。
- 专用机械: 1—真空焊接; 2—真空成形; 3—蒸镀; 4—溅射; 5—淬火, 氮化; 6—干刻蚀; 7—材料。
- 环境保护: 1—无公害工艺, 淬火、电镀; 2—脱水; 3—废物处理; 4—离子镀; 5—分析仪器。
- 化学工业: 1—蒸馏、分馏; 2—纤维精染; 3—纸干燥; 4—精馏; 5—浓缩; 6—石油精制; 7—蒸发; 8—干燥、冷冻干燥; 9—结晶; 10—升华; 11—过滤; 12—浸渍。
- 食品工业: 1—农副产品储存; 2—包装; 3—脱水、浓缩; 4—食物保存; 5—速冷; 6—浸渍; 7—干燥; 8—冷冻干燥。
- 原子能工业: 1—蒸镀; 2—溅射; 3—材料、冶金; 4—泵; 5—加速器; 6—检漏; 7—绝热。
- 未来产业: 1—真空排气; 2—表面分析; 3—气体分析; 4—计量; 5—薄膜制作; 6—蒸镀; 7—等离子体气相沉积; 8—溅射; 9—离子镀; 10—超微粒子; 11—等离子体应用; 12—蒸馏; 13—烧结; 14—冶金; 15—绝热; 16—浸渍; 17—干刻蚀; 18—焊接; 19—离子刻蚀; 20—束加工。
- 电子工业: 1—真空浸渍; 2—离子镀; 3—蒸镀; 4—溅射; 5—干刻蚀; 6—排气; 7—离子注入; 8—烧结; 9—电子束焊接; 10—检漏; 11—晶体生长。
- 医药医疗: 1—灭菌; 2—浓缩; 3—干燥; 4—蒸馏; 5—保存。
- 仪 器: 1—X射线; 2—电子衍射; 3—反应堆; 4—加速器; 5—质量分析; 6—电镜; 7—表面仪器。
- 宇航工业: 1—材料; 2—蒸镀; 3—离子镀; 4—环境试验; 5—计量; 6—溅射; 7—绝热; 8—研究装置; 9—各种机构。
- 光学工业: 1—干刻蚀; 2—蒸镀; 3—溅射; 4—分析仪器; 5—离子镀。
- 电气工业: 1—干燥; 2—浸渍; 3—蒸镀; 4—脱气; 5—真空成形; 6—排气; 7—检漏; 8—干燥。
- 金属加工: 1—压延; 2—烧结; 3—精密铸造; 4—热处理; 5—淬火; 6—氮化; 7—钎焊。
- 金属材料: 1—蒸馏; 2—溶解、铸造; 3—还原; 4—脱气; 5—烧结; 6—热处理; 7—单晶; 8—干燥; 9—精炼; 10—材料试验。
- 土木工程: 1—吸引; 2—干燥。