



光电科学与工程专业规划教材

真空技术

Vacuum Technology

李军建 王小菊 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

光电科学与工程专业规划教材

真空技术

李军建 王小菊 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分7章,介绍了气体分子在空间的行为、固体—气体界面现象等真空物理基本理论,以及真空的获得、真空的总压强测量、分压强测量、真空检漏和真空系统设计等真空技术内容。

本书可作为大专院校相关专业的教材及参考书,也可供从事真空技术研究、应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

真空技术 / 李军建,王小菊编著. —北京:国防工业出版社,2014.6
光电科学与工程专业规划教材
ISBN 978-7-118-09462-6

I. ①真… II. ①李… ②王… III. ①真空技术—教材 IV. ①TB7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 096494 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 13³/₄ 字数 311 千字
2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

前 言

真空物理与技术已广泛应用到几乎所有的科学和工业领域,主要应用领域是电真空器件、薄膜技术、信息显示技术、宇航技术、核能技术、表面科学等方面,真空物理与技术已成为现代物理学和现代工程科学的一个基础学科。

本书主要用于电子技术类院校中真空技术课程的教学,也适合从事真空技术研究和应用的工程技术人员自学。本书的宗旨是让读者掌握和了解基本的真空物理和真空技术知识,能够应用这些知识操作、设计基本的真空系统。本书在撰写过程中,力求系统、简明地介绍真空物理和技术的基本理论、基本技术和设备,突出基本概念,叙述尽量深入浅出,避免过于繁复的数学推导,并注意原理和技术之间的有机联系。书中还引用了大量的图表,体现了真空技术工程性很强的特点。

本书的绪论简要介绍了真空技术所研究的对象,以及真空技术的发展历史和在现代工程科学中的应用;第1章和第2章分别介绍了气体分子在空间中的运动,以及气体—固体界面上吸附—脱附现象等真空物理基本理论;第3、4、5、6章分别介绍了真空获得、真空测量和真空检漏等真空技术的基本知识,第7章讨论了真空系统的原理结构及应用。各章均编有习题。

本书的绪论、第1章、第4~7章由李军建编写,第2、3章由王小菊编写,全书由李军建统编。

本书假定读者已具备大学物理、高等数学、统计物理、电路分析等方面的基本知识。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

绪论	1
0.1 真空的特点及真空技术的基本内容	1
0.2 真空度的单位及真空区域的划分	1
0.3 真空技术的发展历史及其在科学研究和生产中的作用	2
第1章 气体分子在空间的行为	4
1.1 气体分子的基本特性	4
1.1.1 气体基本定律	4
1.1.2 气体分子运动论	6
1.1.3 气体的压强	10
1.1.4 气体分子的速率分布	12
1.1.5 平均自由程	14
1.1.6 自由程长度分布律	17
1.1.7 气体分子的有效直径和碰撞截面	18
1.1.8 电子碰撞分子引起的电离	20
1.2 碰撞频度与余弦定律	22
1.2.1 碰撞频度	22
1.2.2 余弦定律	23
1.3 气体中的输运现象	24
1.3.1 常压气体中的输运现象	24
1.3.2 低压气体中的输运现象	32
1.4 热流逸现象	37
1.4.1 稳定非平衡状态下的气体参数	37
1.4.2 热流逸现象	38
1.5 气体在管道中的流动	39
1.5.1 气流状态 流量	39
1.5.2 气体在管道中的黏滞性流动	40
1.5.3 气体在管道中的分子性流动	42
1.5.4 气体通过孔眼的流动	43
1.6 流导 传输几率	44
1.6.1 流导	44
1.6.2 长圆管的流导	45
1.6.3 孔眼的流导	46

1.6.4	短圆管的流导	46
1.6.5	传输几率	49
	习题	50
第2章	固体—气体界面现象	53
2.1	气体分子在固体表面的吸附	53
2.1.1	固体表面对气体分子的作用力	53
2.1.2	物理吸附	54
2.1.3	化学吸附	57
2.2	吸附过程动力学	60
2.2.1	吸附几率和吸附速率	60
2.2.2	吸附时间	63
2.3	表面脱附	64
2.3.1	热脱附	64
2.3.2	电子诱导脱附	67
2.3.3	其他类型的脱附	67
2.4	平衡吸附量	68
2.4.1	平衡吸附方程	68
2.4.2	物理吸附等温线	68
2.4.3	化学吸附等温线	68
2.4.4	混合气体的吸附	70
2.5	吸附分子在固体表面的迁移	71
2.6	气体在固体中的溶解、扩散和渗透	73
2.6.1	溶解	73
2.6.2	扩散和渗透	76
2.7	材料的放气率	78
2.8	材料的蒸气压、蒸发率及化合物的分解压强	80
2.8.1	材料的蒸气压	80
2.8.2	蒸发率	81
2.8.3	化合物的分解压强	83
	习题	84
第3章	真空获得	86
3.1	概述	86
3.1.1	真空泵的分类	86
3.1.2	真空泵的基本参数	87
3.2	机械真空泵	88
3.2.1	旋片式机械真空泵	88
3.2.2	旋片式机械真空泵的特性和运用	90
3.2.3	无油机械真空泵	92
3.3	油扩散泵	95

3.3.1	扩散系的原理和结构	95
3.3.2	扩散系的工作特性	99
3.3.3	扩散系的运用	102
3.4	低温吸附系	104
3.4.1	分子筛的特性	104
3.4.2	低温吸附系的原理和结构	105
3.4.3	低温吸附系的特性和运用	106
3.5	钛升华系	109
3.5.1	钛升华系的原理和结构	110
3.5.2	钛升华系的特性与运用	110
3.6	溅射离子系	112
3.6.1	溅射离子系的原理和结构	112
3.6.2	溅射离子系的工作特性	115
3.6.3	溅射离子系的运用	117
3.7	涡轮分子系	118
3.7.1	涡轮分子系的原理和结构	118
3.7.2	涡轮分子系的工作特性	121
3.7.3	涡轮分子系的运用	123
3.8	低温凝聚系	123
3.8.1	低温凝聚系的原理和结构	124
3.8.2	低温凝聚系的工作特性	126
3.9	真空泵的选择	129
	习题	130
第4章	真空的总压强测量	133
4.1	概述	133
4.2	绝对真空计	133
4.2.1	弹性变形真空计	134
4.2.2	电容薄膜真空计	135
4.2.3	U形真空计与压缩真空计	136
4.2.4	压敏电阻真空计	137
4.3	相对真空计	138
4.3.1	热传导真空计	138
4.3.2	电离真空计	143
4.4	真空测量技术	149
4.4.1	真空计的选择及运用	149
4.4.2	真空计的校准	151
	习题	153
第5章	真空的分压强测量	155
5.1	质谱仪的结构和参数	155

5.2	磁偏转质谱仪	157
5.3	四极场质谱仪	159
5.4	识谱技术	163
5.5	质谱分析技术的应用	167
	习题	168
第 6 章	真空检漏	170
6.1	概述	170
6.1.1	真空检漏的意义	170
6.1.2	真空系统是否有漏孔的判断	171
6.1.3	漏孔的定义	171
6.1.4	容许漏率	172
6.2	真空检漏的原理	172
6.2.1	压强差的利用	172
6.2.2	示漏气体与探测器	173
6.2.3	检漏的响应过程	173
6.2.4	检漏方法的性能指标	174
6.3	高压检漏法	174
6.4	真空检漏法	175
6.4.1	高频火花检漏法	175
6.4.2	真空计检漏法	176
6.5	氦质谱检漏法	176
6.5.1	氦质谱检漏仪的原理	177
6.5.2	氦质谱检漏仪的主要参数	178
6.5.3	氦质谱检漏技术	179
6.6	真空检漏技术	181
	习题	181
第 7 章	真空系统	183
7.1	概述	183
7.2	真空系统的材料	184
7.2.1	结构材料	184
7.2.2	辅助结构材料	185
7.2.3	真空密封材料	186
7.3	真空阀门	187
7.4	真空系统的制造和组装技术	191
7.4.1	不可拆连接	191
7.4.2	可拆卸连接	193
7.5	典型真空系统	195
7.5.1	低真空系统	195
7.5.2	高真空系统	195

7.5.3 超高真空系统	196
7.6 真空系统的计算	200
7.6.1 真空系统的抽气方程	200
7.6.2 主泵和前级泵的配合	201
7.6.3 真空系统中压强的分布	202
7.6.4 真空系统的真空度和抽气时间的估算	203
习题.....	206
参考文献.....	209

绪 论

0.1 真空的特点及真空技术的基本内容

“真空”一词在社会科学中的含义是“什么都没有的空间”，而在自然科学中，“真空”并不是一无所有的状态。从自然科学的观点，“真空”是泛指气体压强低于一个大气压的稀薄气体状态。

真空的特点如下：

- (1) 在地球上的真空容器内外存在压力差。
- (2) 气体分子数密度小,分子之间或分子与其他粒子(如电子)之间的碰撞频度低。
- (3) 气体分子与容器表面的碰撞频度低。

真空的这些特点,被广泛应用于科学研究和工业生产中,如利用压力差可以制成真空吸盘、真空送料机等。空间中气体分子碰撞次数的减少,可以减少带电粒子、中性粒子在空间运动中的碰撞损失。气体分子与物体表面的碰撞次数的减少,可以避免表面物质与气体发生化学反应,也可以减少气体分子在表面上的吸附数量,有利于获得化学活性很强的表面,使表面的分析和研究成为可能。现代电子器件中各种薄膜的制备,良好的真空环境是不可或缺的。

真空技术作为一门独立学科,其基本内容是真空物理(包括气体分子之间相互作用及气体分子与固体表面之间相互作用的规律)、真空的获得、真空的测量、真空容器的检漏及真空系统的设计。

0.2 真空度的单位及真空区域的划分

1. 真空度的单位

真空度是对气体稀薄程度的客观量度。量度真空最直接的物理量应该是气体分子密度,即单位体积里的气体分子数。由于技术上直接测量气体分子的密度很困难,而测量与气体分子密度密切相关的物理量——压强,却比较容易,故真空度的量度通常用气体压强来表示。气体压强越低,表示真空度越高;反之亦然。

国际单位制中,压强的单位是帕斯卡(Pascal),简称为帕(Pa),其定义是 $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$,这是国际真空学会规定和我国法定的压强计量单位。

真空技术历史上曾用毫米汞柱(mmHg)作为压强单位,由于汞有多种同位素,世界各地汞的相对密度略微不同,会产生压强的测量误差,于是又采用标准大气压(atm, 1013250dyn/cm^2)、托(Torr, $1\text{atm} = 760\text{Torr}$)以及工程大气压(kg/cm^2)、毫巴(mbar,

① $1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N}$ 。

10001dyn/cm²)等作为压强单位,此外还有普西(磅/英寸²)等单位。由于这些单位都不很严格,现在均已被废除,但是由于历史习惯的原因,在某些文献中还在使用这些单位。

帕(Pa)与常见的毫米汞柱(mmHg)、托(Torr)、标准大气压(atm)等真空度单位的换算关系如下:

1 Pa = 1 N/m²
1 Torr = 133 Pa
1 atm = 760 mmHg = 101325Pa
1 mmHg = 1.00000014 Tor ≈ 1Tor

帕(Pa)与常用压强单位之间的换算关系见表0-1。

表 0-1 常用压强单位换算

单位	帕	托	大气压	微巴	千克/厘米 ²	磅/英寸 ²
1 Pa	1	7.5006 × 10 ⁻³	9.8692 × 10 ⁻⁶	10	1.01972 × 10 ⁻⁵	1.4503 × 10 ⁻⁴
1 Torr	1.33322 × 10 ²	1	1.31579 × 10 ⁻³	1.33322 × 10 ³	1.35951 × 10 ⁻³	1.9337 × 10 ⁻²
1 atm	1.01325 × 10 ⁵	760	1	1.01325 × 10 ⁶	1.03323	1.4695 × 10 ¹
1 μbar = 1 dyn/cm ²	10 ⁻¹	7.5006 × 10 ⁻⁴	9.8692 × 10 ⁻⁷	1	1.01972 × 10 ⁻⁶	1.4503 × 10 ⁻⁵
1 kg/cm ²	9.80665 × 10 ⁴	7.3556 × 10 ²	9.6784 × 10 ⁻¹	9.80665 × 10 ⁵	1	1.4223 × 10 ¹
1 psi	6.8948 × 10 ³	5.1715 × 10 ¹	6.8046 × 10 ⁻²	6.8948 × 10 ⁴	7.0307 × 10 ⁻²	1

2. 真空区域的划分

目前用人工方法获得的真空度最高为 10⁻¹²Pa 量级。真空技术涉及的压强数值范围很宽,从 10⁵ ~ 10⁻¹³Pa 有 19 个数量级,为了运用的方便,一般将真空划分为以下几个区域:

- 粗真空 10⁵ ~ 10² Pa
- 低真空 10² ~ 10⁻¹ Pa
- 高真空 10⁻¹ ~ 10⁻⁶Pa
- 超高真空 10⁻⁶ ~ 10⁻¹⁰ Pa
- 极高真空 <10⁻¹⁰ Pa

必须指出的是,以上的真空区域的划分不是任意的,而是与真空物理、真空获得、真空测量等真空技术的基本原理和发展过程密切相关的。

0.3 真空技术的发展历史及其在科学研究和生产中的作用

中国人在先秦时期就发明了一种真空器械——“火罐”,但真正科学意义上的真空技术的研究始于 1643 年,当时意大利科学家托里拆利(Torricelli)把一端密封的长管注满水银并倒放在盛有水银的槽里时,发现了水银柱顶端存在的真空,并第一次测量了大气压的

压强。1650 年,帕斯卡发明了活塞式抽气泵,葛利克(Guericke,1654)利用活塞泵在一个由两个直径为 119cm 的半球合成的球体中排除了气体,然后在球体的两边各用 8 匹马拉而不能拉开球体的实验中,证明了大气的强大压力。真空技术的初创时期延续到电灯的发明,在这段时期内,在气体定律的基础研究等方面取得了重大的理论和实验成就(如玻意耳定律、查理定律、盖·吕萨克定律、阿伏伽德罗定律、玻尔兹曼定律、麦克斯韦分子速率分布律、气体分子运动论的建立,压缩式真空计、汞柱真空泵的发明等)。在这一阶段,人类学会了获得和应用粗真空和低真空。

阴极射线管(1879)、白炽灯(1879)、X 射线管(1895)等发明,表明了低分子密度空间的用途,而低真空的获得和测量技术是产生这些发明的技术基础。真空二极管(1902)、真空三极管(1907)等电真空器件的发明,将人类引入了 20 世纪上半叶的电讯时代,同时也促使人们发明出能获得和测量高真空的汞扩散泵和电离真空计等设备。在此期间,真空技术在真空冶金、真空浸渍、真空成形、真空蒸馏等方面的应用,促进了冶金工业、化学工业、医药工业、食品工业等领域的发展。20 世纪下半叶,科学技术的发展需要更高的真空度,这促使了溅射离子泵、B-A 电离真空规等仪器设备的问世,真空技术进入了超高真空时代。

20 世纪 40~50 年代,发明了半导体器件、晶体二极管和三极管,这些固体电子器件小而耐用,在小功率低频电子设备中开始替代电子管,继而引发了微电子技术革命,使固体电子器件在绝大多数应用领域逐渐取代了电真空器件,但这一结果并不是真空技术学科的终结,相反的是开创了真空技术学科发展的新天地。现代半导体器件、集成电路、电子薄膜器件、新型平板显示器件等的研制和生产不仅离不开真空镀膜、真空外延等各种真空仪器设备,还对真空的质量提出了更高的要求,如真空度须达到超高真空并要求无油污染等;另外,现代尖端科学,如表面科学、粒子加速器、等离子体物理和热核聚变、超纯度材料冶炼、宇宙空间模拟研究等都需要超高真空和极高真空技术,这大大促进了真空技术的发展,真空技术在获得发展的同时,它本身也成为了现代科学技术和产业不可或缺的基础之一。

部分科学研究与工业中涉及的真空区域如表 0-2 所列。

表 0-2 部分研制和工业中所需的真空度范围

粗真空				低真空			高真空					超高真空					Pa
10 ⁵	10 ⁴	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰		
真空成形				电子器件							表面研究						
机械运输				光电器件							半导体加工						
真空冶炼				电子显微镜							空间模拟						
薄膜加工				真空干燥							粒子加速器						

第 1 章 气体分子在空间的行为

1.1 气体分子的基本特性

气态是物质存在的 4 种状态(即气态、液态、固态和等离子体)中最简单的状态。气态的主要特征是:气体没有一定的形状,也没有一定的体积。任一数量的气体,都能无限制地充满于任何体积和形状的容器中。不同种类的气体,不论其比例如何,都能均匀地混合在一起。

1.1.1 气体基本定律

对于气体的宏观特性,早在 17 世纪一些科学家就进行了大量的实验和理论研究,得到了一系列的气体定律。

1. 玻意耳定律

一定质量的气体,当温度保持不变时,其压强 p 和体积 V 的乘积等于常量,即

$$pV = \text{常量} \quad (1-1)$$

式中的常量由气体的性质、质量和温度决定。

2. 盖·吕萨克定律

一定质量的气体,当压强保持不变时,其体积 V 与温度 t 成正比,即

$$V_t = V_0(1 + \alpha t) \quad (1-2)$$

式中: V_0 为 0°C 时气体的体积; V_t 为 $t^\circ\text{C}$ 时气体的体积; α 为气体的体积膨胀系数,实验测定对于各种气体都有 $\alpha \approx 1/273$ 。

如果 t 用绝对温标,式(1-2)可表示为

$$V_T = V_0 \alpha T \quad (1-3)$$

式中: T 为绝对温度(K); V_T 为绝对温度为 T 时气体的体积。

3. 查理定律

一定质量的气体,在体积保持不变的情况下,其压强与温度成正比,即

$$p_t = p_0(1 + \alpha t) \quad (1-4)$$

式中: p_t 为 $t^\circ\text{C}$ 时的压强; p_0 为 0°C 时的压强; α 为气体的温度系数,实验测定对各种气体都有 $\alpha \approx 1/273$ 。

温度 t 若采用绝对温标,式(1-4)可表示为

$$p_T = p_0 \alpha T \quad (1-5)$$

4. 阿伏伽德罗定律

相等体积的不同种类的气体,在同温度同压强下有相同的分子数。一克分子质量,即

1 摩尔 (mol) 的不同种类的气体, 含有 6.023×10^{23} 个分子, 这个数目称为阿伏伽德罗数。
标准状态 (1 标准大气压, 0°C) 下, 1cm^3 体积中的分子数为 2.687×10^{19} 个, 这个数值称为洛希脱密数。

5. 气体状态方程

一定质量的气体, 其状态可由 p 、 V 、 T 3 个参数来描述, 3 个参数间的关系为

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \tag{1-6}$$

式中: M 为气体的质量; μ 为该气体的相对分子质量; R 为气体普适常数; T 为气体的绝对温度。

可见, p 、 V 、 T 等 3 个气体状态参数中, 只有两个是独立的, 另一个参数可以从气体状态方程导出。

气体普适常数 R 的单位, 要根据式 (1-6) 中 p 、 V 采用的单位而定。如果用国际单位制 (SI 制), 则有

$$R = 8.315 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \tag{1-7}$$

如果能量用 cal 表示, 则有

$$R = 1.987 \text{ cal}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \tag{1-8}$$

如果压强的单位用 Torr, 体积的单位用 L, 则有

$$R = 62.36 \text{ Torr} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \tag{1-9}$$

一些物质的相对分子质量、分子质量和分子直径列于表 1-1 中。

表 1-1 一些物质的相对分子质量、分子质量及分子直径

物质	化学符号	相对分子质量	分子质量/ 10^{-24}g	分子直径/nm
氢	H_2	2.02	3.35	0.275
氦	He	4.00	6.64	0.218
甲烷	CH_4	16.0	26.6	0.419
氨	NH_3	17.0	28.2	0.443
水	H_2O	18.0	29.9	0.468
氖	Ne	20.2	33.5	0.260
氮	N_2	28.0	46.5	0.375
氧	O_2	32.0	53.1	0.364
氯化氢	HCl	36.5	60.6	0.446
氩	Ar	39.9	66.2	0.367
二氧化碳	CO_2	44.0	73.0	0.465
汞	Hg	201	334	0.626

以上几个定律只在压强不太高、温度不太低时才精确成立, 否则有较大的偏差。严格遵守这几个定律的气体定义为理想气体, 而式 (1-6) 称为理想气体状态方程。

理想气体的理论模型如下:

(1) 气体分子本身的体积与它的活动空间 (即整个气体体积或容器体积) 相比是微不足道的; 在考虑分子的运动时, 可以将分子看成几何点。

(2) 分子之间没有相互作用力, 除了碰撞之外每个分子的运动是完全独立的, 不受其

他分子的影响。

真实的气体与理想气体的不同点在于,真实气体分子体积不为零,分子之间有相互作用力,当压强比较高、温度比较低时,分子之间的作用力可能使分子间结合更紧密而形成液体,或者说气体被液化了,而理想气体分子间的作用力可以忽略不计,永远不会液化。

某些真实气体的行为,如氢、氮、氧、惰性气体等,在大气压和室温下很接近于理想气体。在压强小于低真空和室温的情况下,有更多种类的气体的行为接近于理想气体,可以完全使用理想气体模型和气体状态方程而不必加以修正。

真实的气体分为两类,一类是“永久气体”,另一类是“蒸气”。当某种气体的温度处于它的临界温度以上时,无论怎么压缩该气体的体积(即增加它的压强),都不能使其液化;当某种气体的温度处于其临界温度以下时,则可压缩其体积使其液化。一些气体的临界温度值如表 1-2 所列。实际应用中以室温(15~25℃)为界,凡临界温度高于室温的气体称为蒸气,凡临界温度低于室温的称为永久气体。

表 1-2 一些气体的临界温度值

气体	化学符号	临界温度/℃	气体	化学符号	临界温度/℃
氦	He	-267.9	氩	Kr	-63
氢	H ₂	-239.9	氙	Xe	16.6
氮	N ₂	-147.1	二氧化碳	CO ₂	31.1
一氧化碳	CO	-139.0	氟利昂 22	CHF ₂ Cl	96.0
氙	Ar	-122.0	四氯化碳	CCl ₄	263.0
氧	O ₂	-118.8	水蒸气	H ₂ O	347.0
甲烷	CH ₄	-82.1	汞蒸气	Hg	>1550

压缩蒸气使其一部分转化为液态后停止压缩,气相分子与液体分子间就处于不断交换分子的动平衡中,气态分子数不再减少,液态分子数也不再增多,此时蒸气的压强称为饱和蒸气压。某种蒸气的饱和蒸气压的大小只取决于温度。各种元素物质的饱和蒸气压与温度的关系见图 1-1。

压缩蒸气时,蒸气的压强是否遵守气体状态方程,要看蒸气的压强是否小于其饱和蒸气压,如果小于饱和蒸气压,就遵守气体状态方程。当压缩蒸气体积使其压强达到饱和蒸气压时,部分蒸气将开始液化;如果继续压缩蒸气的体积,则有更多的气相分子转化为液态,而气相分子的压强仍是饱和蒸气压,不遵守气体状态方程。永久气体在任何压强下都不会被液化,永远遵循气体状态方程。

1.1.2 气体分子运动论

上述气体基本定律是与气体的压强、体积等宏观性质有关的实验定律,与气体的微观性质,如分子的质量、运动速度、动量等没有联系。为了从理论上对许多气体现象进行解释,就必须在理论上建立气体的宏观性质与气体分子的微观性质的直接联系,这个理论就是气体分子运动论,其基本假设如下:

(1) 任何气体均由大量微小的质点组成;对于单一气体,这些质点是完全相同的;这些微小质点称为分子。

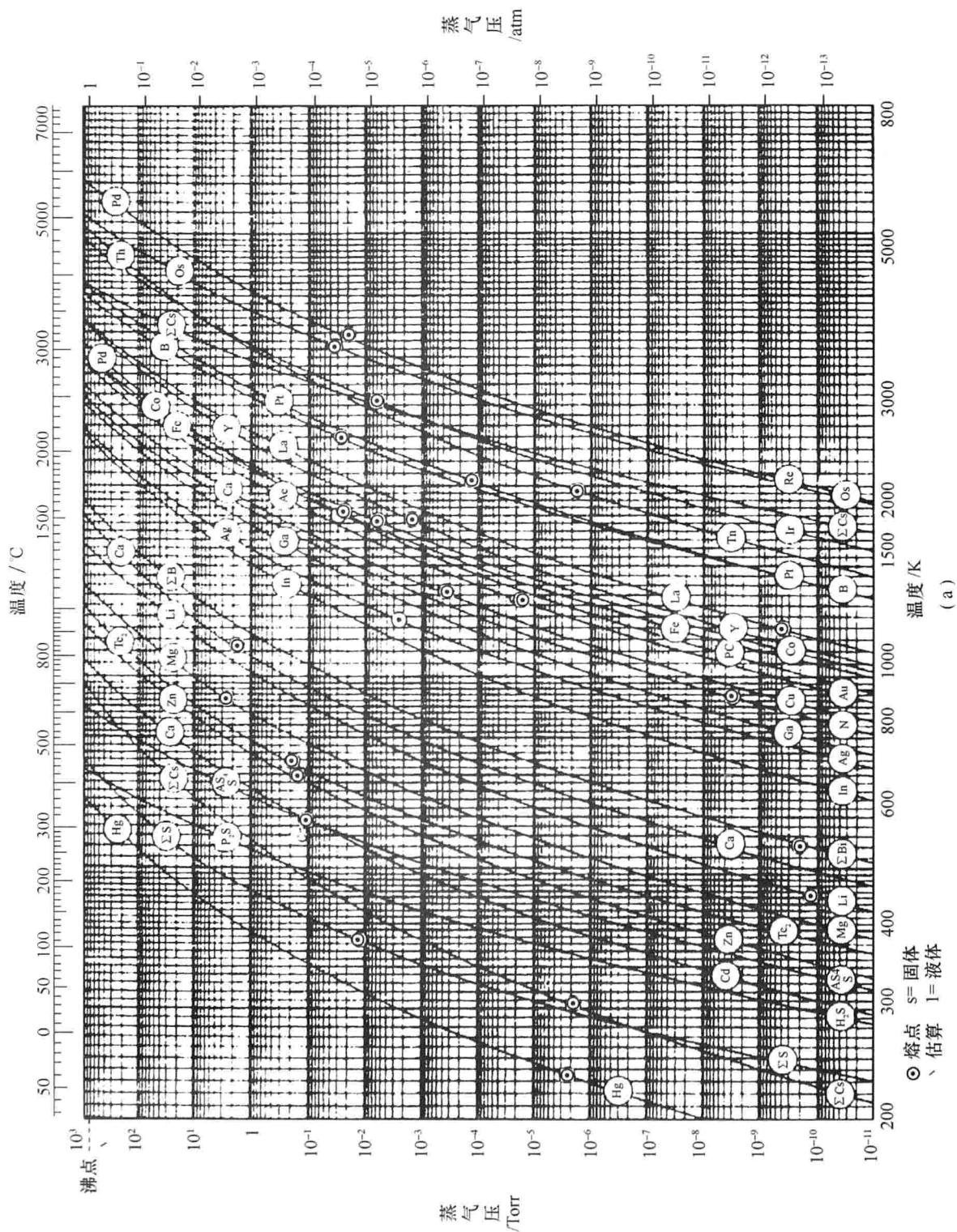


图 1-1 元素的饱和蒸气压曲线

