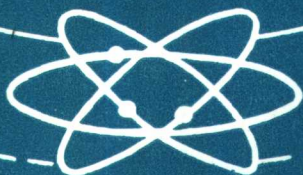


高等学校教材

真空技术

王欲知 编著



四川科学技术出版社

真 空 技 术

成都电讯工程学院 王欲知 著

四川科学技术出版社

一九八五年·成都

责任编辑：罗孝昌
崔泽海
版面装帧：李明德

真 空 技 术

王欲知 著

出版：四川科学技术出版社
印刷：四川新华印刷厂
发行：四川省新华书店
开本：787×1092 1/16
印张：18
字数：384千
印数：1—5,400
版次：1985年6月第一版
印次：1985年6月第一次印刷
书号：15298·25
定价：3.75元

前 言

本教材系由电子物理与技术教材编审委员会《真空技术》编审小组评选审定，并推荐出版。

该教材由成都电讯工程学院王欲知担任主编，清华大学何炜担任主审。编审者均依据真空技术编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为60学时，其主要内容包括真空技术的物理基础及应用技术两大部分。物理基础有气体分子运动论及固—气界面现象两章；应用技术包括真空获得、真空测量、检漏、真空系统等四章。气体分子运动论一章除了叙述一些基本定律，着重讨论输运现象、低压气体中的现象及气体的流动。固—气界面现象主要讨论与真空技术关系密切的吸附与脱附现象，如物理吸附、化学吸附、吸附与脱附的速率、吸附等温线、冷吸附与置换等，还讨论了气体在固体中的溶解、渗透与扩散。真空获得、真空测量两章着重讨论对电子物理与技术学科有较多应用的真空泵、真空计，其他不常用的只介绍其原理。真空检漏一章，除了叙述一般的原理、方法，着重讨论了质谱检漏法。真空系统一章，对系统的材料、零件、组装技术，做了必要的介绍，并化了较多篇幅讨论系统的计算问题。

讲授本课时，应着重抓住理论体系，加强基本原理的讨论及物理现象的解释；对一些叙述性较多的内容，只需要提纲挈领的讲授。本课程除了课堂讲授，还应配合以一定学时的实验课，以培养独立操作能力及加强理论联系实际，深化对课程内容的理解。

本教材主审何炜同志对全部书稿做了深入细致的审阅，并提出许多宝贵的意见。参加审阅工作的还有胡跃志同志。清华大学、浙江大学、西安交通大学、南京工学院、华南工学院等提供了本课程习题原稿。编者一并在表表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
--------------	-------

第一章 真空技术的物理基础 (一) —— 气体分子

运动论	(8)
§ 1—1 气体分子运动论的基本原理 . . .	(8)
§ 1—2 气体的压强	(15)
§ 1—3 气体分子的速率分布——麦克斯韦速 率分布律	(16)
§ 1—4 平均自由程与碰撞截面	(19)
§ 1—5 自由程长度分布律	(25)
§ 1—6 电子碰撞气体引起的电离	(26)
§ 1—7 单位时间碰壁数(碰撞频度)	(28)
§ 1—8 分子从表面的反射——余弦定律 (克 努曾定律)	(30)
§ 1—9 气体中的输运现象	(32)
§ 1—10 低压气体中的输运现象	(42)
§ 1—11 热流逸现象	(47)
§ 1—12 分子辐射计力	(50)
§ 1—13 气体在管道中的流动	(51)
§ 1—14 气体通过小孔的流动	(56)
§ 1—15 流导与流阻、传输几率	(57)

第二章 真空技术的物理基础 (二) ——固-气界面

现象 (66)

§ 2—1 固体表面对气体分子的作用力 . . . (66)

§ 2—2 物理吸附与化学吸附 (68)

§ 2—3 吸附速率 (73)

§ 2—4 脱附速率 (74)

§ 2—5 吸附等温线 (76)

§ 2—6 朗谬尔吸附等温线 (79)

§ 2—7 多分子层吸附等温线 (BET等温线) (81)

§ 2—8 混合气体的吸附——冷捕集与置换 (82)

§ 2—9 表面迁移 (85)

§ 2—10 管道有吸附作用时的非稳定气体流 (87)

§ 2—11 气体在固体中的溶解、渗透与扩散 (89)

§ 2—12 电子碰撞脱附 (93)

§ 2—13 离子轰击固-气界面 (97)

第三章 真空获得 (105)

§ 3—1 概述 (105)

§ 3—2 旋转机械真空泵 (107)

§ 3—3 蒸汽流扩散泵 (110)

§ 3—4 低温吸附泵 (117)

§ 3—5 钛升华泵 (119)

§ 3—6 热阴极吸气离子泵 (122)

§ 3—7 溅射离子泵 (124)

§ 3—8 涡轮分子泵 (129)

§ 3—9 低温泵 (133)

§ 3—10 超高真空获得技术 (137)

第四章 真空的测量 (147)

§ 4—1 概述 (147)

§ 4—2 U形真空计和压缩真空计 (149)

§ 4—3 热传导真空计 (154)

§ 4—4 热阴极电离真空计 (161)

§ 4—5 超高真空热阴极电离真空计 (173)

§ 4—6	自持放电型真空计	(181)
§ 4—7	分压强真空计	(185)
§ 4—8	其他真空计	(195)
§ 4—9	相对真空计的校准	(197)
§ 4—10	真空测量技术	(199)
第五章 真空检测		(205)
§ 5—1	概述	(205)
§ 5—2	检漏基本原理	(208)
§ 5—3	压力检漏法	(212)
§ 5—4	真空检漏法	(213)
§ 5—5	其他检漏方法	(220)
§ 5—6	标准漏孔、漏气量的测定	(221)
第六章 真空系统		(226)
§ 6—1	概述	(226)
§ 6—2	真空系统的材料	(226)
§ 6—3	真空系统的零件	(232)
§ 6—4	真空系统的组装技术	(235)
§ 6—5	典型真空系统举例	(240)
§ 6—6	真空系统的计算	(243)
参考资料		(269)
附录		
附录一 2X型旋片式真空泵型式和基本参数 (TB1250—72)		
附录二 国产玻璃油扩散泵性能简介		
附录三 K系列高真空油扩散泵主要技术性能		
附录四 国产真空泵油的饱和蒸汽压		
附录五 国产真空计一览表		
附录六 国产氮质谱检漏仪性能一览表		

绪 论

一、“真空”的概念及真空技术的基本内容

在真空技术中，“真空”泛指低于一个大气压的气体状态，换言之，同正常的大气比，是较为稀薄的一种气体状态。这种气体的特殊状态，具有一系列新的特点：首先，由于压强低于一个大气压，故一个“真空”容器，在地球上就承受着大气压的压力作用；压力的大小则看容器内外压差而定；其次，在“真空”下，由于气体稀薄，即单位体积内的分子数目较少，故分子之间或分子与其它质点（如电子、离子）之间的碰撞就不那么频繁，分子在一定时间内碰撞于表面（例如器壁）上的次数亦相对减少。这些是“真空”的最主要特点。

“真空”的这些特点，被广泛应用在工业生产、科学研究的各个领域。例如利用压力差的作用可制成真空吸盘、真空送料（液体、粉末、谷物等），这是真空的最简单的应用。空间碰撞次数减少则是真空技术得以广泛应用的最主要特点，小至普通的电子管，大至以米计的高能粒子加速器，它们内部需要良好真空，都是为了避免带电粒子或其它基本粒子遭受分子的碰撞。表面碰撞次数的减少使得在大气中本会很快损坏的各种活性表面，如光电阴极，氧化物阴极等，在真空中能很好工作并具有足够的寿命，这也是电真空器件需要良好真空的另一主要原因。目前表面物理学的迅速发展，也是与真空技术特别是超高真空技术的普遍应用紧密相关的。在超高真空下，分子碰撞于表面的次数，已减少到形成单分子层的吸附至少需要以小时计的时间；这就保证一个新鲜表面在尚未被气体严重污染之前，能够进行充分的实验研究。

真空技术的发展，从一开始就与各式各样的工业应用及科学研究相互促进。从1873年白炽灯泡发明及应用，以及后来出现的各种电真空器件，对真空技术的发展都起了关键的促进作用。第二次世界大战时期原子武器的研制，战后各种高能粒子加速器如雨后

春笋般的兴建，为了获得“最终能源”而持续了二十多年的热核反应研究，以及本世纪六十年代兴起的空间探索和宇宙航行，有力地推动了真空技术往大容积、大抽速、超高真空、清洁真空方面的发展。目前，真空技术已经发展成为一门具有物理与技术特点的独立学科，而且由于它与近代尖端科技的紧密联系，故不论在理论基础、物理现象的研究，或是在各种真空设备、工具的制造生产方面，都在极其迅速地发展。

真空技术作为一门独立学科，就其基本内容来看，可认为是由下列一些环节所组成：真空物理（包括稀薄气体物理及表面吸放气物理）、真空的获得、真空的测量、检漏、真空系统的设计及计算等。这只是最基本的内容，在特殊场合，还要根据实际需要，增添新的内容，如在真空技术中发展出真空工程，专门解决大型真空系统的设计及制造方面的问题。

二、真空技术对电真空工业的重要性

真空技术与电真空工业有着非常紧密的联系。电真空器件，顾名思义，就是其内部为“真空”环境的电子器件。电真空器件需要良好的真空，主要原因在于：（1）其原理基于利用电场、磁场等来控制电子流的运动，以达到放大、振荡、显示图像等等目的，如果器件中气体分子较多，电子流就不可避免要与分子碰撞，改变运动的规律；（2）电真空器件一般都有一个电子源、如各种热阴极、光电阴极等，它们都是一些敏感的化学性活泼表面，极易受到气体的“中毒作用”而失效，只有在“真空”中才能正常工作。基于这两个原因，不难理解：一旦电真空器件的内部真空变坏了，必然导致器件性能的改变，甚至完全失效。

例如在显象管，如果真空较差，就会导致管内电极间的高压跳火，或者使用一段时间之后出现所谓离子斑^①（因离子的长期轰击而造成的荧光屏损伤，其具体特征是光栅的中部有一暗区）。在示波管中，真空差时则出现所谓“十字形效应”，即当示波管扫描出光栅时，光栅中有一十字形亮线。对于摄像管，真空不良时主要是分辨率下降，即其输出讯号经显象管显示后图象不够清晰，这是由于摄像管内精细的电子束遭受分子碰撞、聚焦不良所致。至于对光电管及光电倍增管等，真空不良将降低光电面的灵敏度，并导致较大的噪声电流。对于图象增强器则除了降低灵敏度，还使图象出现畸变、斑点等等。近代较高级的电真空器件品种之一——电子倍增硅靶摄像管（它曾由阿波罗计划带上月球进行微光摄像，并将讯号传回地面显示图象），是由硅靶摄像管与图象增强器有机组合而成，真空变坏对它的影响是多方面的：光电阴极灵敏度的降低，绝缘变差造成高压跳火，扫描电子束聚焦不良导致分辨率下降，空间电荷使图象畸变，还有图象背景杂点较多等等。在超高频器件中，真空变差亦大多是高压跳火、噪声增大等毛病。即使是一般的收讯电子管或电视机用电子管，残余气体过多亦将造成电参量的改变、栅

^①正离子或负离子都可以造成离子斑，其机理见电子束管课程。

流增大、特性“蠕动”、噪声增大等毛病。至于电压很高的强功率发射管、X光管、高压整流管等，真空应该特别良好，否则极易发生高压击穿现象。

以上叙述了真空不良对各种器件性能的影响。至于对器件寿命的影响则更易理解，因为通常情况下器件的寿命取决于阴极的寿命，而气体对阴极的中毒作用是累积性的，随着使用时间的加长，阴极愈来愈坏，最后管子就完全不能应用了。

近年来，关于电真空器件对真空的要求，除了量的方面，还有质方面的问题。在很多情况下，单纯要求将气体抽除干净还不是问题的关键，更为重要的是剩余气体的性质。实际上，对氧化物阴极的管子主要害怕的是 O_2 、 Cl_2 、 F_2 、 S 等，而少量的 H_2 则不但没有坏处，反而能起激活阴极的作用。碱金属光电阴极必须处在相应的碱金属气氛中，否则阴极中的碱金属元素会逐渐损失，导致灵敏度降低。至于气体激光器件、离子器件，它们的性能在很大程度上取决于所充气体成份的稳定情况；如气体各成份的比例改变了，在激光器件会造成光谱分散能量不集中，在离子器件亦造成性能改变，如闸流管的引燃电压改变等等。这些例子充分说明真空的质的方面的重要性。

电真空器件中真空情况的改变，是多种多样的原因造成的。譬如抽气不彻底，工作时由于温度升高导致材料放气，电子或离子轰击电极或其它材料造成的放气，管子慢性漏气等等，都是常见的原因。要制造长寿命、高可靠、各种电参量都很稳定的电真空器件，就必须从原材料的选择、零部件的加工及处理、电极的装配、直到最后的排气、封口，都必须从真空技术的角度来严格要求。

电真空器件的电极材料，必须是蒸汽压低、含气量少的材料，如钨、钼、钽、钨等，并且应该事先进行烧氢处理，有些情况如石墨电极还需进行真空除气处理。对某些材料，为保证在器件内的真空性能，还要预先进行一些其他的处理。如显象管中的石墨涂层，必须先在大气中进行焙烧，将其所含有有机粘合剂等氧化掉，否则制成管子后它们分解出各种碳氢气体，严重影响管子性能。

对于加工好的零部件，特别是经过机械加工的零部件，油污染较多，必须用有机溶剂清洗干净。有些零部件如管泡和芯柱，还应进行漏气检查。

电真空器件的排气是最重要的一道真空加工工序。这时要在不断抽气下进行玻壳烘烤除气、电极高频加热除气或电子轰击除气，某些管子还要高压打毛刺等处理，最后就是阴极的形成：在氧化物阴极，就是分解及初步激活；在光电阴极则工序更为繁复——反应出碱金属、蒸锑、碱金属与锑反复交替进行反应等等。至于气体激光器件则有充气及特性测试等步骤。排气过程一般说来，以真空系统的真空度愈高、抽气速率愈大愈好，以无油系统比有油系统好。但在个别情况，则有例外。例如多碱光电阴极的制造，抽气速率太大就不好，因为这种阴极的形成，需要在较平衡的碱金属（ K 、 Na 、 Cs 等）气氛下与锑（ Sb ）进行反应，如果抽速太大，碱金属的蒸汽流动太快，显然不可能制出性能均匀的阴极。

对于排气完毕已经封离的器件，如有可能，还需测定它们的管内真空度（多数是粗略的估算），价值较为昂贵的器件，最好还应检查是否存在慢性漏气，肯定合格的才予

以出厂。

鉴于绝大多数材料在高温下多少都要放出一些气体，因此通常都在器件内部装有消气剂，随时吸掉放出气体。消气剂种类及其安装位置的选择，必须根据具体管种对真空性能的要求如保持何种气氛、允许的真空击穿电压等来确定。有些高级的电真空器件，还带上一个小的钛泵，更好地维持管内的真空。

以上的讨论充分说明电真空工业处处渗透着真空技术的问题。当真空技术问题未能顺利解决时，往往影响电真空器件的正常生产。

在电真空器件的科研工作中，真空技术的重要性尤其突出。关于阴极（器件的“心脏”）的任何研究，都必须在“真空”下才能进行。利用真空气体分析仪器，可以监视阴极分解、激活及寿命过程中气体成份的变化，进而可以分析这其中的机理；亦可以利用它们来研究特定成份的气体对阴极的种种影响。利用真空天秤可以测量出光电阴极形成过程中重量的变化，对了解光电发射与阴极组分的关系很有帮助。近来飞跃发展的各种表面仪器如低能电子衍射仪、俄歇电子谱仪、二次离子谱仪等，对研究阴极表面结构是一种有力的工具。至于无油清洁系统、超高真空技术，则已成为研究阴极必不可缺的基本手段了。

三、电真空技术在尖端科学及其它领域的应用

近二、三十年来，由于原子能、空间科学及微电子学等尖端科技的迅猛发展，真空技术已由原来主要的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，真空技术除了作为基础工艺、基本设备起了关键性的作用，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 从体积为几立方米的小型加速器到长达几公里的大型加速器，内部都需要抽到超高真空。在这些装置中，除了真空装置的安装、焊接、真空抽气、真空测量、检漏等基础工艺，还常涉及苛刻条件（等离子态、电磁场、分子束流、气压脉冲）下如何准确测量真空的问题、带电粒子及辐射对器壁作用引起的问题等等。

（2）宇宙航行及空间科学研究 宇宙航行的基本工具——火箭及宇宙飞船、各种仪器设备、宇宙服等以及宇航员的训练，都必须在宇宙空间模拟室中进行，它实际上就是一个巨大的超高真空室。宇宙空间中出现的各种特殊现象——如散热困难、接触面间摩擦增加、真空冷压焊、电绝缘性能变化等，都必须在真空室中预先研究，摸清规律。至于对宇宙空间气体压强及成份的探测，则有各种真空测量仪器，可供选择使用。例如磁控放电真空计，曾被送上月球，进行压强的测量。

（3）表面物理研究 表面物理的研究工作，都必须在超高真空中进行。近年来出现的各种表面分析仪器亦都属于超高真空仪器。

（4）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，需要在真空中进行提纯。在真空中进行的离子注入技术，目前已成为生产大规模、超大规模集成电路的必要手段。

(5) 真空冶金 真空炼钢可以得到含气低、氧化少、非金属杂质少的高质量钢，某些金属和合金如钛、钽、锆、铌、坡莫合金等，则必须在真空中才能熔炼，真空冶炼的变压器矽钢，磁滞损耗可降低20%以上。电弧熔炼、电子束熔炼、等离子束熔炼等新技术特别适合于熔炼特硬的金属，这些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的应用，实在种类繁多、不胜枚举。例如有机物的真空蒸馏、分子蒸馏、某些溶液的浓缩、析晶、真空浸渍、真空成形，以及某些金属(K、Na、Mg、Zn、Cd等)的真空蒸馏等，涉及化学工业、医药工业、制盐制糖工业、食品工业、电机工业等等各个领域，应用极为广泛。

四、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。作为这种量度，最直接的物理量应该是每单位体积中的分子数。但是，由于历史上的原因，真空度的高低通常都用气体的压强来表示。气体压强越低，就表示真空度越高；反之，压强越高，真空度就越低。

气体的压强是指气体作用于单位面积器壁上的压力，故其单位取决于力及面积所采用的单位。在CGS单位制中，力的单位为达因，面积单位为平方厘米，故压强单位就为达因/厘米²，一达因/厘米²称为一微巴(microbar)。在MKS单位制中，力的单位为牛顿，面积单位为平方米，故压强单位就为牛顿/米²，一牛顿/米²称为一帕斯卡(pascal)，简称帕(Pa)。帕是国际计量大会所规定的国际单位制压强单位，原则上世界各国均应采用。但因早期都用汞柱高度测量压强，故毫米汞柱(mmHg)做为压强单位仍然沿用至今，并曾将760毫米纯汞柱高规定为一个标准大气压。后来发现汞有七种同位素。所谓纯汞亦根本没有确定的密度，同一高度纯汞柱表现出来的压强并不是唯一的，要看其同位素组成比例而定。于是以汞柱规定的“标准大气压”并不标准，故经第10届国际计量大会决议，改用帕来定义标准大气压，规定：

$$1 \text{ 标准大气压 (ATM)} = 101325 \text{ 帕 (Pa)}$$

并以这样规定的标准大气压的1/760称为一托(Torr)。

以帕规定的标准大气压是绝对严格的，它在数值上与以汞柱规定的“标准大气压”几乎相等。因此一毫米汞柱亦就与一托几乎相等(1毫米汞柱=1.00000014托)，通常可以不加区别。

目前国际单位制帕的应用仍然处在过渡阶段，尚未十分普及，在本书中托与帕参杂着使用。读者只需注意到

$$1 \text{ 托} = 1.333224 \times 10^2 \text{ 帕}$$

或近似地有

$$1 \text{ 托} \approx 10^2 \text{ 帕}$$

即将托的数值放大两个数量级, 就得到粗略的帕值, 换算起来尚称方便。

除了以上两个单位, 在压强较低时也有用微米汞柱 (μHg), 它等于毫米汞柱的 10^{-3} , 即

$$1 \mu\text{Hg} = 10^{-3} \text{ mmHg}$$

近来有些国家亦有使用毫巴的, 毫巴做单位的优点是: 它本身是国际单位帕的100倍, 但它与毫米汞柱数值又较相近 (1毫巴 = 0.75毫米汞柱), 换算起来极为方便。

各种压强单位之间的换算, 见下表。

在压强高于1托时, 有时用真空百分数作为测量单位:

$$\text{真空百分数 } \delta\% = \frac{760-P}{760} \times 100\%$$

式中, P 的单位为托。

下面讨论关于真空区域的划分问题。

在只需粗略指出真空度的范围而无需示明具体数值时, 通常为了方便, 就使用真空区域的说法。真空区域的划分, 尚没有国际统一规定, 国内的划分亦各说不一, 现参考有关文献, 分为以下五个区域:

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

压 强 单 位 换 算 表

	帕 (Pa)	托 (Torr)	微米 汞柱 (μHg)	微巴 (μba)	毫巴 (mba)	大气压 (atm)	磅/英寸 ² (lb/in ²)
1 帕 (1 牛顿/米 ²)	1	7.50062×10^{-3}	7.50062	10	10^{-2}	9.86923×10^{-6}	1.450×10^{-4}
1 托 (1 毫米汞柱)	133.322	1	10^3	1333.22	1.33322	1.31579×10^{-3}	1.934×10^{-2}
1 微米汞柱	0.133322	10^{-3}	1	1.33322	1.33322×10^{-3}	1.31579×10^{-6}	1.934×10^{-5}
1 微巴 (1 达因/厘米 ²)	10^{-1}	7.50062×10^{-4}	7.50062×10^{-1}	1	10^{-3}	9.86923×10^{-7}	1.450×10^{-5}
1 毫巴	10^2	7.50062×10^{-1}	7.50062×10^2	10^3	1	9.86923×10^{-4}	1.450×10^{-2}
1 大气压	101325	760	760×10^3	1013.25×10^3	1013.25	1	14.696
1 磅/英寸 ² (1 普西)	6895	51.715	51.715×10^3	6.895×10^4	68.95	6.805×10^{-2}	1

就物理现象来说，粗真空下以分子相互碰撞为主，即分子自由程 $\lambda \ll$ 容器尺度 d ；低真空下则分子相互碰撞及分子与器壁碰撞不相上下；高真空时以分子与器壁碰撞为主，即 $\lambda \gg d$ ；超高真空下则连碰撞于器壁的次数亦很稀少了，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，以至于统计涨落现象已较严重（大于5%）常规的建立在统计规律之上的理论在这里都产生了偏离。

在真空技术实践中，各个区域一般都有相应的工艺要求、获得设备、测量仪器等等；当然，有些较好的设备、仪器，则能跨区域使用。

一般电真空器件的管内真空度如下：

白炽灯泡 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 托

收讯电子管 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 托

电子束管 10^{-7} 托

高压电子管（功率管、X射线管等） 10^{-7} 托

真空技术的物理基础 (一)

——气体分子运动论

真空技术的主要环节是真空的获得、真空的测量、真空检漏等问题。在这些环节中,出现的现象是多种多样的,有物理的、化学的、电学的、以及机械的等等。但是在这许多现象中,有一些却是共同的东西,即它们都是稀薄气体中的现象。在本章及下章中,将首先讲述与真空技术有关的稀薄气体现象及理论,作为学习后几章的共同的物理基础。稀薄气体中的现象,可分为空间现象及固—气界面现象两大类。前者属于气体分子运动论的范畴,后者则属表面物理学的领域。在本章中,只讨论气体分子运动论的有关问题;属于表面现象的问题,放在下章中讨论。

§ 1—1 气体分子运动论的基本原理

气态是物质存在的各种状态中最简单的一种状态。气态的最主要特征是,它本身既无一定形状,亦无一定体积。任一数量的气体,都能无限地膨胀而充满于任何形状与大小的容器中。气体又能均匀地混合在一起。任何不同种类的气体,不论其比例如何,都能混合成均匀状态。

一、气体基本定律

关于气体的实验研究,很早就取得了规律性的结果,并建立了相应的定律。其中较重要的有下列一些定律,称为气体基本定律。

1. 玻义耳定律:一定质量的气体,在恒定温度下,其体积 V 与压强 P 成反比:

$$V = K/P \quad \text{或} \quad PV = K \quad (1-1)$$

式中 K 为取决于温度的一个常数。

2. 盖·吕萨克定律:一定质量的气体,在恒定压强下,其体积随温度而线性增加:

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

式中: V_0 —— 0°C 时的体积,

V_t —— $t^\circ\text{C}$ 时的体积,

t ——摄氏温度,

α ——气体的体积膨胀系数, 对一切气体, 都等于 $\frac{1}{273}$ 。

如用绝对温标表示, 则体积正比于绝对温度 T ,

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

式中: T ——绝对温度,

V_T ——绝对温度 T 度时的体积。

3. 查理定律: 一定质量的气体, 在保持体积不变下, 其压强随温度而线性增加:

$$P_t = P_0 (1 + \alpha t) \quad (1-4)$$

式中: P_0 —— 0°C 时的压强,

P_t —— $t^\circ\text{C}$ 时的压强,

t ——摄氏温度,

α ——气体压强的温度系数, 对一切气体, 仍等于 $\frac{1}{273}$ 。

如用绝对温标表示, 则压强正比于绝对温度 T ,

$$P_T = P_0 \alpha T \quad (1-5)$$

式中: T ——绝对温度,

P_T ——绝对温度 T 度时的压强。

4. 亚佛加德罗定律: 相等体积的不同种类气体, 在同温度同压强下有相同的分子数。

一克分子重量的不同种类的气体, 具有同一分子数, 即 6.023×10^{23} 个, 这个数目称为亚佛加德罗常数。

5. 气体状态方程: 一定质量的气体, 其状态可由 P 、 V 、 T 三个参数来描述, 这三个参数间有下述关系:

$$PV = \frac{M}{\mu} RT \quad (1-6)$$

式中: M ——气体的质量,

μ ——该种气体的分子量,

R ——与气体种类无关的常数, 称为气体普适常数, 或简称气体常数, 其余符号意义同前。

这个方程称为气体状态方程。由于状态方程的联系, 故三个参数中实际上只有二个是独立的, 第三者可由方程定出。

气体状态方程实际上是概括了上述玻义耳定律、盖·吕萨克定律、查理定律及阿佛加德罗定律的结果。但是, 后来发现这几个定律只是在压强不太高、温度不太低时才精确成立, 如果压强太高或温度过低, 则它们对实际有较大的偏离。于是我们就将严格遵