

内 容 简 介

本书包括真空技术的物理基础及应用技术两大部分。物理基础部分由气体分子运动论及固—气界面现象两章组成；应用技术部分包括真空获得、真空测量、检漏、真空系统等四章。本书取材较新颖，科学系统性较完整，对问题的阐述力求做到理论严谨、概念准确。

本书是大专院校全国统编教材，可供真空电子技术、真空设备制造、真空技术、激光器件、表面物理、电子物理、电光源技术等专业作为教材。对从事真空技术生产、科研的工程技术人员及应用真空技术（如热核反应、宇航及空间科研、真空冶金、微电子学）的科研人员，均有一定参考价值。

真 空 技 术

王欲知 编著

四川人民出版社出版

（成都盐道街三号）

四川省新华书店发行

成都印刷一厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张16.25 插页5 字数431千

1981年1月第1版

1982年2月第3次印刷

印数：6.701—9.700

书号：K7118·489

定价：2.16元

责任编辑：崔泽海 罗孝昌

目 录

绪 论

第一章 真空技术的物理基础(一)——气体分子运动论

§1—1 气体分子运动论的基本原理	11
§1—2 气体的压强	20
§1—3 气体分子的速率分布——麦克斯韦速率分布律	24
§1—4 平均自由程与碰撞截面	28
§1—5 自由程长度分布律	38
*§1—6 电子在电极间的碰撞次数分布律	42
§1—7 电子碰撞气体引起的电离	48
§1—8 单位时间碰壁数(碰撞频度)	50
§1—9 分子从表面的反射——余弦定律(克努曾定律)	52
§1—10 气体中的输运现象	54
§1—11 低压气体中的输运现象	70
§1—12 热流逸现象	78
§1—13 分子辐射计力	83
§1—14 气体在管道中的流动	85
§1—15 气体通过小孔的流动	92
§1—16 流导与流阻、传输几率	93

第二章 真空技术的物理基础(二)——固-气界面现象

§2—1 概述	101
§2—2 固体及其表面	103
§2—3 固体表面对气体分子的作用力	105
§2—4 物理吸附与化学吸附	109
§2—5 吸附速率	114
§2—6 脱附速率	122
§2—7 吸附等温线	125

§2—8	朗缪尔吸附等温线	130
*§2—9	多分子层吸附等温线 (BET等温线)	133
*§2—10	其他吸附等温式	136
§2—11	混合气体的吸附——冷捕集与置换	141
§2—12	表面迁移	147
§2—13	管道有吸附作用时的非稳定气体流	151
§2—14	气体在固体中的溶解、渗透与扩散	156
§2—15	电子轰击固—气界面	165
§2—16	离子轰击固—气界面	180

第三章 真空获得

§3—1	概述	198
§3—2	旋转机械真空泵	202
§3—3	蒸汽流扩散泵	207
§3—4	低温吸附泵	219
§3—5	钛升华泵	227
§3—6	热阴极吸气离子泵	232
§3—7	溅射离子泵	238
§3—8	涡轮分子泵	251
§3—9	低温泵	261
*§3—10	容积吸气剂泵	266
§3—11	超高真空获得技术	267
*§3—12	抽气速率的测量	275

第四章 真空的测量

§4—1	概述	278
§4—2	U形真空计和压缩真空计	281
§4—3	热传导真空计	289
§4—4	热阴极电离真空计	300
§4—5	超高真空热阴极电离真空计	316
§4—6	自持放电型真空计	334
§4—7	分压强真空计	342
*§4—8	其他真空计	360

*§4—9	电真空器件内部真空度的测量	369
*§4—10	相对真空计的校准	371
§4—11	真空测量技术	375

第五章 真空检漏

§5—1	概述	379
§5—2	检漏基本原理	382
§5—3	压力检漏法	389
§5—4	真空检漏法	391
*§5—5	其他检漏方法	407
§5—6	标准漏孔、漏气量的测定	412
*§5—7	探查法检漏的理论	416

第六章 真空系统

§6—1	概述	421
§6—2	真空系统的材料	422
§6—3	真空系统的零件	437
§6—4	真空系统的组装技术	444
§6—5	典型真空系统举例	454
§6—6	真空系统的计算	458

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	国产氮质谱检漏仪性能一览表
附录五	国产真空计一览表
附录六	国产真空泵油的饱和蒸汽压

参考资料

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）之间的碰撞就不那末频繁，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，大至以公里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。目前表面科学的迅速发展，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一个单分子层的吸附气体，至少需要以小时计的时间；这就使得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60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，因此不论在理论基础、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，都在极其迅速的发展。

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，在某些特殊场合，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。电真空器件所以需要良好的内部真空，主要原因在于：（1）它本身的工作原理基于利用电场、磁场等来控制电子流在空间的运动，以达到例如放大、振荡、显示图像等等目的，如果器件中气体分子较多，电子流就不可避免地要与分子碰撞，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。

例如在显像管，如果真空较差，就会出现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块）。在示波管中，真空差时则出现所谓“十字形效应”，即将示波管扫描出一光栅时，光栅中有一十字形亮线。对于摄像管，真空不良时影响主要是导致分辨率的下降，即它所摄出的讯号经显像管显示后是模糊的像，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，真空不良将大大降低光电面的灵敏度，并产生较大的噪声电流。对于图像增强器则除了降低灵敏度，还使图像出现畸变、杂点等等。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像），是由硅靶摄像管内装上一图像增强器所组成，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降低，空间电荷使图像畸变，还有图像背景杂点较多等等。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是明显的，因为通常情况下器件的寿命取决于其阴极的寿命，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使用了。

近年来，关于电真空器件对真空的要求，除了量的方面，还有

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。

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，更为重要的还是剩余气体的性质。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。曾经有人将一已制好的三碱阴极（它的表面为一铯层所覆盖）用真空转移办法转放到一个超高真空容器中，结果发现一定时间后阴极的光电灵敏度下跌了。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；如气体各成分的比例改变了，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他材料造成的放气，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、镍等，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。如显像管中的石墨涂层，必须先在大气中进行焙烧，将其所含有机粘合剂等材料氧化掉，否则它们将在真空中分解成各种碳氢气体，严重影响管内真空性能。

对于加工出来的零部件，特别是经过机械加工的零部件，油污较多，必须用有机溶剂清洗干净。有些零部件如管壳或芯柱，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，K、Na、Cs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。

鉴于所有材料在高温下多少都要放出一些气体，因此绝大多数器件都在内部装有消气剂，随时吸掉任何放出气体。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。

由以上的讨论，充分说明电真空工业中处处渗透着真空技术的问题。在真空技术问题未能顺利解决时，往往甚至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、激活及寿命过程中的气体成份变化，从而可以进一步分析这其中的机理；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成的关系很有帮助。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、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，真空技术除了做为基础工艺、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，内部都需要抽到高真空或超高真空；受控核聚变中的环流器，内部需要抽到超高真空。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，就被送上月球，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，都需在真空中进行提纯。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、电机工业等等各个方面，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。做为这种量度，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($1\text{毫米汞柱} = 1.00000014\text{托}$)，通常可不加以区别。

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，在本书中托与帕渗杂着使用。读者只需注意到

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

或极为近似地有

$$1\text{托} \approx 10^2\text{帕}$$

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($1\text{毫巴} = 0.75\text{毫米汞柱}$)，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。

在只需粗略地指出真空度的范围而无需指出具体数值时，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

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

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

就物理现象来说，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 ；低真空则分子相互碰撞和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 $\lambda \gg d$ ；超高真空下则碰撞于器壁的次数亦较稀少了，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%），经典的建立于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	$10^{-6} \sim 10^{-7}$ 托
高压电子管（功率管、X射线管等）	$10^{-7} \sim 10^{-8}$ 托

第一章 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,后者则属表面科学的领域。在本章中,只讨论气体分子运动论的有关问题;属于表面科学的问题,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,都能无限制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

对于气体的实验研究,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℃时的体积；

V_t ——t℃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为绝对温度， V_T 为绝对温度 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℃时的压强；

P_t ——t℃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为绝对温度， P_T 为绝对温度 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从这几个定律的气体定义为理想气体，而概括了这些定律的公式（1—6）就称为理想气体状态方程。

在方程（1—6）中，如令 $M = \mu$ ，意即取1个克分子的气体，则有

$$PV = RT \quad (1-7)$$

这就是克拉泊龙方程。

气体普适常数 R 的单位及数值要视 P 、 V 所用单位而定。

如用 C·G·S 单位，则

$$R = 8.315 \times 10^7 \text{ 尔格/度} \cdot \text{克分子}$$

如能量用卡表示，则

$$R = 1.987 \text{ 卡/度} \cdot \text{克分子} \approx 2 \text{ 卡/度} \cdot \text{克分子}$$

在真空技术中，压强常用托，体积用升，则

$$R = 62.36 \text{ 托} \cdot \text{升/度} \cdot \text{克分子}$$

二、气体分子运动论基本假设

上述一些定律只是实验总结出来的规律，关于它们的内在联系，以及气体中的许多现象，都需要进一步得到统一的解释，于是发展起来了气体分子运动论的理论。它的基本论点如下：

（1）任何气体均由大量微小的质点所组成，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。