

普通化学

东北工学院化学教研室编

人民教育出版社

普通化学

东北工学院化学教研室编

人民教育出版社

1975年·北京

普通化学

东北工学院化学教研室编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

1974年12月第1版 1975年4月第1次印刷

书号 13012·07 定价 0.84 元

前 言

在无产阶级文化大革命前,我院钢冶系普通化学教材的内容,由于受修正主义教育路线的影响,存在着片面强调打基础,盲目追求“广、博、深”,缺乏针对性等问题。

文化大革命以来,我们在毛主席革命路线的指引下,在校党委的领导下,走出校门,同工农兵一起批判修正主义教育路线,批判资产阶级世界观,深入开展教育革命,在三大革命实践中进行普通化学新教材的试编。

编写新教材时,我们以《实践论》和《矛盾论》为指导,努力宣传毛泽东思想,贯彻辩证唯物主义,由浅入深,由近及远,由简单到复杂,按照实践、理论、再实践不断地进行提高。同时结合钢铁生产的实际,确定了以高温为主低温为辅的教材新体系,使教材更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。

为了便于自学,除了在文字和图表上多加注意外,也提供了思考题、作业题、课堂讨论、参观和调查研究的内容。各章各节,包括其中的练习,注意培养学员分析问题和解决问题的能力。

在编写过程中,听取了有经验的老工人、专业教师和工农兵学员的宝贵意见,也参考并学习了兄弟院校——如大连工学院铸工和金相专业教育革命的经验。本教材编出后,曾在我院的工科试验班和文化革命后第一届工农兵学员中试用,在批林批孔运动中,又在此基础上进行了修订。

教育革命正在蓬勃发展,无论在政治思想上和技术业务上,由于水平所限,我们做的是很不够的。错误在所难免,希望同志们批评指正。我们决心以此为起点,在毛主席革命路线的指引下不断前进。

东北工学院化学教研室

1974年4月

目 录

前 言

第一章 气 体

§ 1 气体的通性	1
§ 2 气体状态方程式	4
§ 3 分压定律	11
§ 4 气体反应	16
§ 5 化学反应的热效应	20
练习	25

第二章 化学平衡

§ 1 化学反应速度	29
§ 2 化学平衡	36
§ 3 化学平衡常数	39
§ 4 化学平衡的移动	44
练习	51

第三章 溶 液

§ 1 液体的性质	54
§ 2 溶液的浓度	59
§ 3 溶解度和分配定律	65
§ 4 电解质溶液的酸碱性	70
§ 5 溶液中进行的化学反应	77
练习	82

第四章 元素周期表与原子结构

§ 1 元素周期表	86
§ 2 原子结构	94
§ 3 原子结构与元素周期表	99
§ 4 元素性质与原子结构的关系	107
练习	111

第五章 氧化和还原	
§1 氧化和还原的电子理论	114
§2 原电池和电极电位	117
§3 分解压	125
§4 元素的氧化还原顺序	128
§5 金属腐蚀	132
练习	138
第六章 化学键与晶体结构	
§1 离子键理论	141
§2 共价键理论	148
§3 晶体结构	155
§4 硅酸盐结构	162
§5 金属和合金的结构	166
练习	170
第七章 主族元素	
§1 单 质	172
§2 卤化物	185
§3 氧化物	188
§4 含氧酸及其盐	196
§5 其他二元化合物	202
练习	207
第八章 副族元素	
§1 副族元素概述	209
§2 单 质	216
§3 氧化物	224
§4 间充化合物	229
练习	235
第九章 镧系元素和锕系元素	
§1 镧系元素	237
§2 锕系元素和放射性	242
§3 原子核反应	248
§4 示踪原子的应用	252
练习	255
附表	257

第一章 气 体

§ 1 气体的通性

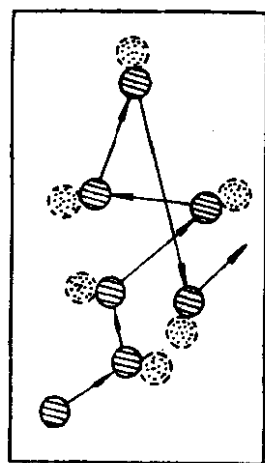
辩证唯物论者认为世界是物质的。日常生活中接触到的水、空气、煤炭,钢铁冶炼中的矿石、铁水、炉渣、炉气等,都是物质。自然界中一切纯净物质都是由决定这种物质性质的最小微粒——分子聚集而成。分子则由参加化学反应的最小单位——原子组成。氧气就是由两个氧原子组成的氧分子聚集而成,水由两个氢原子和一个氧原子组成的水分子聚集而成。

一切物质都在永远不停地运动着。正如伟大的革命导师恩格斯高度概括的那样:“运动是物质的存在方式。”构成物质的分子也在不停地运动。水的沸腾、冰的熔化,都证明水分子在不停地运动着。水在普通的温度和压力下呈液态,在高温时可以变成气态的水蒸气,在低温时又可变成固态的冰。蒸气、水和冰是水的三种聚集状态。一般地说,自然界中所有物质都可以有气、液、固三种聚集状态。在常温下铁是固态,到 1535°C 时变成液态,在 2755°C 以上就成气态。通常所说的固体、液体、气体,全是指在普通的温度及压力下物质存在的状态。

空气与水及铁的状态不同。在常温常压下空气是气体,水是液体,而铁则是固体。固体有一定的形状;液体有流动性,没有一定的形状,但是有表面;气体则没有一定的形状,也没有表面。大家都知道,一切物质都是由不断运动着的分子组成的。构成固体的粒子既互相吸引,又互相排斥,在一定的位置上振动,因此有一定的形状;液体内分子间的距离比固体的要大,分子间的互相吸力

比固体的要小,只能把液体内分子的运动限制在一定的范围内,所以没有一定的形状,而具有流动性,有一定的表面;气体则不然,分子间相距很远,分子间的引力可以忽略不计,分子可以自由运动,因此气体没有一定形状,能很快地充满在整个容器中。

气体的体积实际上就是容器的容积。分子本身的体积是很小的, H_2 分子的直径为 2.92\AA , N_2 分子为 3.7\AA , O_2 分子为 3.58\AA , 其他简单的气体分子的直径也都是几个 \AA ^①。气体分子间的距离要比分子本身大上几千倍。由此可见,气体内大部分是空的。那么,为什么又说气体能很快地充满整个容器呢? 那是因为气体分子在高速度的运动着。以氢气为例,在通常情况下,氢分子平均每秒钟移动 200000 厘米。当然,个别的分子可以运动得快一些或者慢一些。虽然气体分子运动的速度很快,但是由于气体分子的互相碰撞,



气体分子与器壁的碰撞,使每个分子移动的距离受到了限制(图 1-1)。在通常情况下,氢分子移动 1.6×10^{-5} 厘米就会与另一个氢分子相撞。氢分子每秒钟碰撞的次数多达 $200000 / 1.6 \times 10^{-5}$ 次,即 1.2×10^{10} 次。由于气体分子间的互相碰撞,所以气体分子运动的方向也在不断地改变。这就使气体分子很

图 1-1 分子的互相碰撞 快的充满整个容器。

气体分子运动的理论不但可以说明气体的体积,还可以说明气体的其他一些性质。放在箱子里的樟脑日久变小,打开箱子可嗅到樟脑的气味;贫下中农在田里用氨水施肥,我们很远就能闻到氨的气味;在高炉炼铁放渣时,用高压水冲渣做成水渣,这时我们就可以嗅到硫化氢的臭鸡蛋味。这些都表明有臭味的气体在空气

① $1\text{\AA}(\text{埃}) = 10^{-8}$ 厘米。由于分子和原子的大小常为 10^{-8} 厘米数量级,所以分子或原子的大小用 \AA 做单位。又,这里所说的分子直径指分子可以接近的最小距离。

里运动着。

一种气体在另一种气体内的运动称为扩散。由于气体能互相扩散，因此几种气体如果装在一个容器里，它们可以混和得很均匀。用做平炉炼钢燃料的高炉煤气就是 CO_2 、 CO 和 N_2 等均匀的混和气体。空气是 N_2 和 O_2 等均匀的混和气体。在一般情况下， N_2 的体积占空气体积的 78%， O_2 占 21%。在钢铁冶炼中，为了提高炉温，缩短冶炼时间，使空气中氧的浓度增加到超过 21%，这样的空气叫做富氧空气。把这种含氧较高的富氧空气鼓入高炉（或把空气和氧分别鼓入炉内，在炉内混和），进行冶炼，称为富氧鼓风。一般进行富氧鼓风炼铁时，氧的浓度在 23~30% 之间；炼钢时用的富氧风，氧的浓度有时高达 40%。

一克分子物质，其中所含的分子个数相同，都是 6.02×10^{23} 个，这叫做阿伏加德罗常数。但是一克分子气体的体积比一克分子液体或者固体的体积要大得多。在标准状况下，也就是在 0°C 和 1 大气压下，任何一克分子气体所占的体积都是 22.4 升。这个体积称为气体的克分子体积。一克分子的铁，也就是 55.85 克的铁，只有 0.007 升；它比一克分子气体体积小 3200 倍。一克分子的水，也就是 18 克水，只有 0.018 升；它比一克分子气体体积小 1250 倍。由于气体的体积比固体或液体大得多，所以它的密度比液体或固体小得多。气体的密度常用每升中所含的克数表示。氧在标准状况下的密度为 $32\text{克}/22.4\text{升} = 1.41\text{克/升}$ ，氮的密度则为 $28\text{克}/22.4\text{升} = 1.25\text{克/升}$ 。因为各地空气的组成基本相同，空气虽然是一种混和物，为了计算方便起见，可求得空气的平均分子量是 28.8。在标准状况下，空气的密度是 $28.8\text{克}/22.4\text{升} = 1.29\text{克/升}$ 。

压缩气体可以使气体分子间的距离缩小。装在钢筒里的氧、氮、氢、氩、二氧化碳等，都是被压缩了的。被压缩了的空气叫压缩空气，可以做为动力。采矿用的风镐就以压缩空气膨胀时的压力

为动力。

高速运动的气体分子对器壁的不断撞击就产生压力。物理学上,器壁每单位面积上所受的力称为压强,但在化学上,由于习惯的关系,称为气体的压力。如果忽略地球的引力作用,那么空气在地球上的压力到处都是相等的。本教材所用的压力单位有大气压和毫米汞柱两种。1 大气压=760 毫米汞柱。工业上也常讲表压,表压加上 1 大气压就是气体的实际压力。高炉炉顶一般表压为 0.5~0.7 大气压,则炉顶上气体的实际压力就是 1.5~1.7 大气压。

水蒸气遇冷可以凝结成液体水,其他气体也同样可以通过降温和加压的方法使它变成液体。把气体变成液体的过程叫做液化。实际上,对于某些气体,如氧气、氮气、氢气等在 -110°C 时,即使在 2000 大气压下,也不能液化。这是因为增大压力固然可以缩短分子间的距离,但是分子在不停地作无规则运动,这种运动使分子不易靠拢,而这种运动的剧烈程度与温度有关。这样只有把温度降低到一定程度,再加压力,才能使气体液化。将气体变成液体,体积大大减小,便于贮存和运输。比如,有石油的地方常常有天然气,天然气是甲烷和少量的乙烷、丙烷、丁烷等均匀的气体混和物;这些烷烃在常温下都是气体,但丙烷、乙烷和丁烷经过压缩后很容易液化,甲烷也溶入其中,这就是液化煤气。液化煤气贮存在高压筒中,在不易铺设管道的地方供家庭及其他动力用。

§ 2 气体状态方程式

使用气体时通常是量它的体积。例如氧气顶吹转炉炼钢,每炼 1 吨钢需用 $51\sim 58$ 米³ 的氧气。高炉每炼 1 吨铁,约能产生 $3500\sim 4000$ 米³ 的高炉煤气。钢铁冶炼所用的气体燃料大都按体积来计算。大家都知道,一克分子的任何气体,在标准状况下都是

22.4 升。但我们常用的气体燃料的体积，鼓风的风量大都不是在标准状况下测得的。所以，讨论气体体积与温度、压力之间的关系是很有实际意义的。

气体体积和压力的关系 对于一定量的气体（如一克分子的气体），当温度一定时，增加压力，气体的体积就会减小。根据这个道理，把大量的氧气、氢气、氮气、天然气等气体压缩在体积很小的钢筒内，供各地使用。“对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析。”那么在温度一定时，气体体积的变化与压力之间有什么数量上的关系呢？通过科学实验可以得出一条规律，它的结果可用图 1-2 来说明。

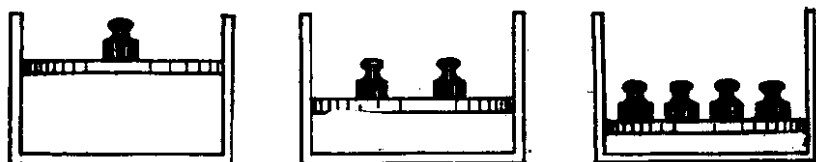


图 1-2 气体体积与压力的关系

在一个装有能上下自由移动的活塞的容器中，贮有一定量的气体。当活塞上加一块砝码时，容器里的气体是 12 升；再加一块相同的砝码时，则体积减至 6 升；若加四块相同的砝码，则体积减至 3 升。可以看出，虽然各次压力与体积不相同，但每次两者的乘积是一样的，即

$$1 \times 12 = 2 \times 6 = 4 \times 3 = \text{常数}$$

今以 V 代表气体的体积，以 P 代表活塞上的压力。以 V_1, P_1 ； V_2, P_2 ； V_3, P_3 分别代表不同状况下的气体体积和压力，则得

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 = \dots = PV = \text{常数}$$

也可得出

$$P_1 / P_2 = V_2 / V_1$$

上述公式若用文字叙述则为：一定量的气体，在同一温度下，气体的体积与压力的乘积是一定值。或说，温度不变时，一定量气体的

体积与它所受的压强成反比。这就是通常所说的玻意耳定律。

气体体积与气体压强之间的关系，根据气体分子运动理论是容易理解的。当气体体积减小至原来的一半时，单位体积内的分子个数就比原先的多了一倍，气体分子碰撞器壁的次数就增多了一倍，压强也就增大了一倍。

例 将常温下 1 大气压 75 米³ 氧气装入体积为 0.5 米³ 的钢筒中，此钢筒中氧气的压强是多少？

解 氧气的量一定。温度不变。原氧气体积 $V_1=75$ 米³，原来的压强 $P_1=1$ 大气压。现在钢筒的体积 $V_2=0.5$ 米³。设现在的压强为 P_2 ，根据公式 $P_1V_1=P_2V_2$ ，则

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{75 \text{ 米}^3 \times 1 \text{ 大气压}}{0.5 \text{ 米}^3} = 150 \text{ 大气压}$$

气体体积与温度的关系 一定量的气体，在压强不变的情况下，升高温度，气体的体积就会膨胀；降低温度，体积就会缩小。通过实验精确地测得，对任何气体，温度每升高 1°C，气体的体积就增加 0°C 时体积的 1/273；每降低 1°C，则减小 1/273。若把气体的温度由 0°C 升高到 t °C，以 V_t 表示 t °C 时气体体积， V_0 表示 0°C 时气体体积，则气体体积与温度之间存在下列关系：

$$V_t = V_0 + \frac{t}{273}V_0 = V_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right) = V_0 \left(\frac{273+t}{273} \right)$$

或

$$\frac{V_0}{V_t} = \frac{273}{273+t}$$

式中 $\frac{t}{273}V_0$ 一项表示温度升高 t °C 后，气体膨胀增大的体积。若温度降低，则气体体积减小，这就是说，0°C 以下 t 是负数。由式可见，假使把气体冷却到 -273°C 时，气体体积便没有了。当然，这是不可能的，因为物质是不会消灭的；而且所有气体没有冷却到这个温度就已先凝结为液体或变成固体了。这个式子对于液体和固

体是不适用的。但是 -273°C 这个温度有它理论的意义。我们称这个温度为绝对零度。从绝对零度算起的温度称为绝对温度。符号为 T ，单位为 K 。^①它比摄氏温度 t 高 273 度，也就是 $T=273+t$ 。如果用绝对温度 $T\text{K}$ 代替摄氏温度 $t^{\circ}\text{C}$ ，那么上列公式就变为

$$\frac{V_0}{V_t} = \frac{T_0}{T_t}$$

或

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = \frac{V}{T} = \text{常数}$$

此式表示，一定量的气体，当压力不变时，气体的体积与绝对温度成正比。

另外，对一定量的气体，若保持气体体积不变，那么温度每升高 1°C ，气体压力的增量就等于摄氏零度时的压力的 $1/273$ 。同理，可以用公式表示压力与温度的关系为

$$P_t = P_0 + \frac{t}{273}P_0$$

$$\frac{P_0}{P_t} = \frac{T_0}{T_t}$$

或

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P}{T} = \text{常数}$$

此式表示，对一定量的气体，当体积不变时，气体的压力与绝对温度成正比。对一定量的气体来说，气体的体积或压力与绝对温度成正比，这个规律称为查理定律。

前已讲过，气体分子都在极快的运动中，因而具有动能。由于气体分子的动能与绝对温度成正比，所以升高温度，气体分子的动

^① 我国从1973年1月1日起采用1968年国际实用温标(IPTS-68)。根据IPTS-68，绝对零度精确地说应为 -273.16°C 。以前写绝对温度时都带一个小圆圈，如 273°K 。新的规定删去小圆圈，如 273K 。

能增大, 气体分子运动的速度加快, 每单位时间内碰撞器壁的次数增多, 压力也就增大。若升高温度, 又保持气体压力不变, 那就得使每单位时间内碰撞器壁分子数不变, 则必须减少每单位体积内的分子数, 亦即增大气体的体积。

例 将一筒 15°C 时为 150 大气压的氧气, 移至高炉旁 600°C 的高温区使用, 如果氧气钢筒的耐压能力为 450 大气压, 问有无爆炸危险?

解 装氧气的钢筒体积不变。原温度 $T_1 = 273 + 15 = 288\text{K}$ 。原压力 $P_1 = 150$ 大气压。现温度 $T_2 = 273 + 600 = 873\text{K}$ 。设现在气体的压力为 P_2 , 根据公式 $P_1/T_1 = P_2/T_2$, 则

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{150 \text{ 大气压} \times 873\text{K}}{288\text{K}} = 454.7 \text{ 大气压}$$

此时氧气的压力为 454.7 大气压, 超过了钢筒的耐压能力, 有爆炸的危险。

气体状态方程式 对一定量的气体来说, 气体的体积、压力和温度是三个变量, 它们之间存在着一定的关系。上述两个气体定律指出, 当一个变量固定时其他两个变量之间的关系。但实际上, 气体的体积、压力和温度常常同时发生变化。例如, 炼铁时就是把冷空气加热到 1100°C 左右, 以一定压力送入高炉。若冷风的温度、压力和体积分别为 T_1 、 P_1 和 V_1 , 热风的温度、压力和体积分别为 T_2 、 P_2 和 V_2 , 为了更全面的研究冷风和热风之间的关系, 就得

联合使用上述两个定律。这可按照图 1-3 所示, 分两步进行。

第一步, 由 I 到 III。保持原来压力 P_1 不变, 把气体温度由 T_1 加热到 T_2 ; 在此同时体积随着改变到

图 1-3 温度、压力与气体体积的关系 V' 。按照固定压力下, 气体体积与温度的关系可得:

$$\frac{V'}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ 或 } V' = \frac{T_2}{T_1} V_1$$

第二步,由Ⅲ到Ⅱ。保持温度 T_2 不变,气体的压力由 P_1 改变到 P_2 ,体积则由 V' 改变到 V_2 。因为温度保持不变,按照气体体积与压力的关系可得

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V'} \quad \text{或} \quad V' = \frac{P_2 V_2}{P_1}$$

由上列两式可得

$$\frac{T_2 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1} \quad \text{或} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

同理,当气体的温度、压力和体积不断变化时,则存在下列关系:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \dots = \frac{PV}{T} = \text{常数}$$

若气体的量是1克分子时,则上式的常数常用 R 表示。 R 是对任何气体都适用的气体常数。由此得到

$$\frac{PV}{T} = R \quad \text{或} \quad V = R \frac{T}{P}$$

此式表示1克分子任何气体的体积、温度和压力之间的关系。对于 n 克分子的气体来说,气体体积就增到 n 倍,则

$$V = nR \frac{T}{P} \quad \text{或} \quad PV = nRT$$

这就是化学上常用的气体状态方程式。

已知标准状况下气体的克分子体积为22.4升,也就是当 $n=1$ 克分子, $P=1$ 大气压, $T=273\text{K}$ 时, $V=22.4$ 升。把这些数值代入气体状态方程式,则得

$$R = \frac{1 \text{ 大气压} \times 22.4 \text{ 升}}{1 \text{ 克分子} \times 273 \text{ K}} = 0.082 \text{ 升} \cdot \text{大气压} / \text{克分子} \cdot \text{K}$$

由此式可以看到 R 是有单位的,并且 R 的数值与压力和体积的单位有关。

当压力用毫米汞柱表示,体积用毫升表示时,则

$$R = \frac{760 \text{ 毫米汞柱} \times 22.4 \times 1000 \text{ 毫升}}{1 \text{ 克分子} \times 273\text{K}}$$

$$= 62400 \text{ 毫升} \cdot \text{毫米汞柱} / \text{克分子} \cdot \text{K}$$

例 在 750 毫米汞柱的压力下, 27°C 时 1 克分子气体的体积应是多少?

解 已知 $P = 750$ 毫米汞柱, $T = 273 + 27 = 300\text{K}$, $n = 1$, $R = 62400$ 毫升·毫米汞柱/克分子·K。代入气体状态方程式, 得

$$V = \frac{1 \times 62400 \times 300}{750} = 24960 \text{ (毫升)}$$

因为物质的重量 W (克) 被它的克分子量 M (克/克分子) 除得克分子数 n , 即 $n = W / M$, 代入气体状态方程式, 则得

$$PV = nRT = \frac{W}{M}RT$$

所以根据气体状态方程式, 也可求得已知条件下的气体的重量。

例 20°C 时, 测知在 10 升的氧气瓶中氧气的压力为 100 大气压, 试求瓶中氧的重量?

解 已知 $P = 100$ 大气压, $T = 273 + 20 = 293\text{K}$, $V = 10$ 升, $M_{O_2} = 32$ 克/克分子, $R = 0.082$ 大气压·升/克分子·K。代入气体状态方程式得

$$W = \frac{PVM}{RT} = \frac{100 \times 10 \times 32}{0.082 \times 293} = 1334 \text{ (克)} = 1.334 \text{ (公斤)}$$

上述的气体定律都是在一定条件下, 从实验中总结出来的。这些定律只能反映实验范围内的客观事实, 所以都有一定的局限性和近似性。气体状态方程式对于一些难液化的气体(如 N_2 、 O_2 、 H_2 等)在常温下适用的压力范围较大; 但对一些容易液化的气体(如 NH_3 、 CO_2 、 SO_2 等), 如果温度较低, 即使在 1 大气压下也有显著的偏差。不过, 这并不降低气体状态方程式的实际意义, 因为大多数冶金过程都是在温度较高、压力不大的情况下进行的。所以一般地讲, 气体状态方程式在冶金过程中是适用的。

为什么气体状态方程式对不易液化的气体在高温和低压下适用呢? 这是因为在这种条件下气体体积较大, 气体分子本身的体