

普通化学

上册

浙江大学

普通化学教研组编

1980年7月

绪 言

化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中能量关系的科学。

研究化学的经典方法是从观察和记述现象开始。当探寻关于现象的解释时，人们力求深入地洞察现象的本质，阐明现象发生的原因，确定现象可能发生的条件。为此，就必须进行实验。

由观察或实验所得的事实，仅仅是感性知识。经过分析、综合、归纳，提高到理性知识以后，而提出假说、理论或定律。人们为了验证自己对于说明现象的一些想法，或者所体会到的一些规律性，就需要再进行实验。

由现象的认识提高到科学的理论或定律，是由感性认识到理性认识的一种飞跃。理论和定律不可能是绝对准确的，而只是接近于真实，其接近的程度主要取决于当时的科学技术水平。但是理论和定律的近似性，并不削弱其实际意义。

总之，实践是检验真理的唯一标准。实践、认识，再实践再认识，这种形式循环往复以至无穷，而实践和认识之每一循环的内容，都比较地进到高一级的程度。这就是辩证唯物论的全部认识论，这就是辩证唯物论的知行统一观。这也就是我们研究科学的唯一正确的方法。

在科学技术和生产的发展中，化学起着一定的作用。运用化学变化的规律，可以制备各种产品。例如，电子工业需要的高纯半导体材料，绝缘材料；机械工业需要的耐磨、耐腐蚀材料；以及新兴能源的开拓，提高人们健康水平需要的医药等等。

又如对工业产品，不仅在成分的分析，性能的鉴定等方面需要用到化学知识，即使在使用时，原材料的选择、保管、维护等，也都要用到化学知识。如金属的腐蚀与防止，塑料、橡胶的防老化等等。

总之，科学技术和生产越发达，对化学提出课题越多，化学这门科学所起的作用就越显著。同时，人们需要了解掌握的化学知识也越来越深了。

在高等工科学校教学计划中，普通化学是一门基础课，是培养又红又专高级工程技术人员所必需的课程。

本课程的教学目的是，使学生掌握必需的化学基本理论、基本知识和基本技能；了解这些理论、知识和技能在工程上的应用；培养分析和解决一些化学实际问题的能力；培养辩证唯物主义观点；为今后学习和工作打下一定的化学基础以适应四个现代化的需要。

本课程讲课内容包括化学基本理论和单质、化合物部分。前者主要是化学平衡、溶液、电化学、物质结构等，后者主要是单质、无机化合物、络合物、有机化合物等。

在内容安排上，基本理论是先宏观后微观，从一般化学平衡理论开始，进而讨论化学热力学的基础知识，并在离子平衡和电化^学平衡中加以应用。物质结构理论联系周期系，并反映近代结构理论的基础知识。单质和化合物以通性为主，并阐述结构和性质的关系。基本理论与叙述部分适当地穿插，以加强相互联系。

通过学习，应该掌握知识，而更重要的是提高自学能力，如阅读能力、解题能力等。掌握知识和提高自学能力是相互促进的。掌握知识是提高自学能力的基础，提高自学能力又是掌握知识的重要条件。为此，应该独立思考，深入钻研，而辅以教师的指导和同学的帮助。

普通化学实验是本课程不可缺少的一个重要环节。通过实验课应该加深理解，巩固并扩大所学习的基本理论和基本知识，熟悉基本操作技能，并培养独立地观察现象、分析现象和作出结论的能力以及科学工作方法。

上册目录

绪言	1
第一章物质的聚集状态	1—1
§ 1—1 聚集状态	1—1
§ 1—2 气体定律	1—6
§ 1—3 溶液	1—11
本章小结	1—25
复习思考题	1—26
习题	1—27
第二章化学反应速度与化学平衡	2—1
§ 2—1 化学反应速度	2—1
§ 2—2 化学平衡	2—16
§ 2—3 焓、熵和自由焓	2—31
本章小结	2—42
复习思考题	2—44
习题	2—47
第三章电解质溶液	3—1
§ 3—1 电解质的电离	3—1
§ 3—2 同离子效应和缓冲溶液	3—7
§ 3—3 盐类的水解	3—12
§ 3—4 酸碱的质子理论	3—20
§ 3—5 酸碱指示剂和酸碱滴定	3—22
§ 3—6 多相离子平衡	3—26
本章小结	3—39
复习思考题	3—41
习题	3—43

四章 氧化还原与电化学	4	1
§ 4-1 氧化还原反应	4	1
§ 4-2 原电池和电极电位	4	10
§ 4-3 电解	4	26
§ 4-4 金属腐蚀及其防止	4	36
§ 4-5 化学电流	4	43
本章小结	4	46
复习思考题	4	48
习题	4	49

第一章 物质的聚集状态

内容提要 介绍物质的几种主要聚集状态与物理性的关系。着重阐明气体状态方程式和分压定律。应用相平衡的观点，解释浓度对稀溶液蒸气压下降、沸点上升和凝固点下降的影响。

宇宙是由物质构成，物质是占有空间和具有质量的任何东西。它能作用于我们的感官而引起感觉，但它的客观存在并不以人们的直观感觉为转移，物质永远处于不断地运动中，其运动具有几种基本的形式，如机械运动、物理运动、化学运动和原子运动等。每种运动形式都有其独特的规律而成为不同自然科学研究的对象。化学是研究物质的化学运动形式的科学，它研究物质的组成、结构、性质和化学变化的规律，包括从组成物质的分子、原子和离子等粒子（微观粒子）的结构特征来解释物质在界面上的各种宏观现象。

各种物质都是由微观粒子聚集而成，由于微观粒子间作用力的差别，物质的聚集状态也有所不同，常见的聚集状态有气态、液态和固态三种，在特定的环境条件下，物质还可以其他聚集状态（如等离子体等）形式存在。下面将分别介绍物质的几种主要聚集状态及其与物质宏观性质的关系。

§ 1-1 聚集状态

任何物质总是和他周围的其他物质相联系着的，为了科学研究的需要，常把被研究的对象和环境隔离开来，这种被研究的对象叫做体系，体系中任何具有相同的物理性质和化学性质的部分叫做相，相与相之间有明确的界面隔开，例如一杯浮着冰块的水，包含着水的液相和固相，加上水与空气和水蒸气所形成的气相，一共有三个相。一个相并不一定是一种物质，气体混合物和溶液虽然是几种物质组成，但由于其内部是完全均匀的，所以属于单相体系（只包含一相的体系），聚集状态相同的物质在一起，并不一定是单相体系。例如几种不相溶的

在高等工科学校教学计划中，普通化学是一门基础课，是培养又红又专高级工程技术人员所必需的课程。

本课程的教學目的是，使学生掌握必需的化学基本理论、基本知识和基本技能；了解这些理论、知识和技能在工程上的应用；培养分析和解决一些化学实际问题的能力；培养辩证唯物主义观点；为今后学习和工作打下一定的化学基础以适应四个现代化的需要。

本课程讲课内容包括化学基本理论和单质、化合物部分。前者主要是化学平衡、溶液、电化学、物质结构等，后者主要是单质、无机化合物、络合物、有机化合物等。

在內容安排上，基本理论是先宏观后微观，从一般化学平衡理论开始，进而讨论化学热力学的基础知识，并在离子平衡和电化^学平衡中加以应用。物质结构理论联系周期系，并反映近代结构理论的基础知识。单质和化合物以通性为主，并阐述结构和性质的关系。基本理论与叙述部分适当地穿插，以加强相互联系。

通过学习，应该掌握知识，而更重要的是提高自学能力，如阅读能力、解题能力等。掌握知识和提高自学能力是相互促进的。掌握知识是提高自学能力的基础，提高自学能力又是掌握知识的重要条件。为此，应该独立思考，深入钻研，而辅以教师的指导和同学的帮助。

普通化学实验是本课程不可缺少的一行重要环节。通过实验课应该加深理解，巩固并扩大所学习的基本理论和基本知识，熟悉基本操作技能，并培养独立地观察现象、分析现象和作出结论的能力以及科学工作方法。

是气体分子对四壁碰撞的结果。此外，由于气体密度很小，分子间的空隙很大，使气体具有压缩性。

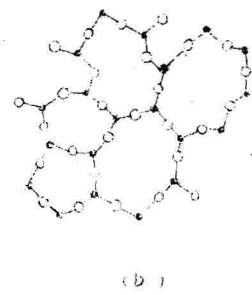
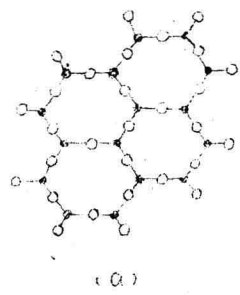
组成固体的微粒，紧密地堆积在一起，不能自由移动，只能在一定的位置上作热振动。温度越高，振动越剧烈，偶尔偶有微粒能克服结合力而变换位置或将脱击来。由于这些微粒在距离很近时能产生强的斥力，所以固体是不易压缩的；同时由于微粒间的结合力，使固体不易改变形状。

由图 1-1 可以看出，液体中组成微粒间的距离比气体小得多，而接近于固体。因此，当固体熔化时，一般密度仅减小 10~15%；而当液体气化时，一般密度要减小 99.0%~99.9%。在液体中某些区域的微粒几乎是紧密地堆积着，而在另一些区域，由于堆积的不规则性，产生一些空隙。因为液体的分子是在不停地滑动，这些空隙就不可能有固定的大小和形状，它们也随之而不停地产生、消灭、移动或变化，但总的来说液体中由于空隙的存在，增大了分子间的平均距离，因而减小了密度。又由于空隙给分子提供了活动的空间，所以使液体具有流动性和打散性。

固体又可分为晶体和非晶体两大类。绝大多数的固体物质是晶体，例如矿石、金属、合金及许多的无机化合物和有机化合物等。晶体是由微粒（分子、原子、离子）在空间有规律地排列而成。因此，晶体一般都有一定的几何外形和固定的熔点。此外，晶体的某些物理性质在不同的方向上是不同的，晶体的这种特征叫做各向异性。例如测试石墨晶体的电导率时发现，在与石墨层平行方向上的电导数值要比垂直方向的数值大 10^4 倍。说明石墨晶体在不同方向的导电性不同。又如，在云母片上塗一层均匀的蜡，以烧热的金属丝接触一点，在点的周围，蜡熔化的形状呈椭圆形，说明云母片在不同方向的导热速度不同。此外，晶体容易沿某一方向裂开，这种现象叫做解理。例如方解石（ CaCO_3 ）可以裂成小菱形体；食盐可以碎成小立方体；云母可以撕成薄片等。显然，晶体的解理性也是一种各向异性。

非晶体固体如玻璃、沥青、松香等，也叫做无定形固体，它们没有固定的熔点，只有软化的温度范围，当温度升高时，

它慢之变软，直到最后成为流动的熔融体。其实无定形固体就可以看成是一种在凝固点以下的温度存在的液体，即过冷液体。因此无定形固体和液体类似。其内部微粒的排列没有象晶体那样严格的规律性。但是由于微粒的堆积较紧密，微粒本身的形状就会造成一定程度的规律性。微粒若为带正电荷的离子，则属于离子将优先被相反电荷的离子所包围，故规律性有所加强。图 1-2 为氧化铝晶体与非晶体结构的比较。只有内部微粒具有



• — 铝离子 ○ — 氧离子

图 1-2 (a) 氧化铝晶体中离子的排列 (三维整齐)
(b) 无定形氧化铝中离子的排列 (三维整齐)

严格的规则结构的物质才是各向异性的，因此无定形固体和液体都是各向同性的物质，气体也是各向同性的。

某些固体虽然没有晶体那样三维空间的规则结构，但是具有一维或二维空间的规则结构，这样的固体也是各向异性的。例如许多天然生物组织中的物质如橡胶、蚕丝、头发和纤维等当拉伸时其分子能排成彼此平行的行列，表现出各向异性。事实上，应用电、机械或其它力的作用，往往能使物质内部的微粒排列整齐，从而导致宏观上的各向异性。

虽然一般说来液体是各向同性的，但也有例外，当分子的大小在不同的方向差别很大时，在某些情况下，这种分子倾向于彼此平行排列，其结果就产生了各向异性。这种液相叫做液晶（液态晶体）。例如有一些长分子的有机化

物^①，当受热由晶体向液体转化的过程中，能生成液晶。其分子排列的规则程度介于晶体与液体之间，因此它们既象水和油那样可以倾流，又象水晶石那样从不同方向看去透光程度不同。图 1-3 为一种液晶（向列液晶）的分子排列与晶体和液体分子排列的对比，可见液晶分子排列是介于有秩序与无秩序之间的。

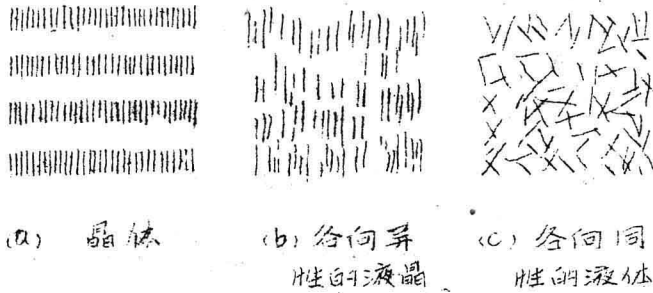


图 1-3 晶体、向列液晶和液体分子排列的对比

一种化合物可以有多种不同的液晶相，每种液晶都有独特的颜色，当温度改变时，由于液晶不同相之间的转变导致颜色的显著改变，可用于测定物质表面温度的微小变化，广泛地应用于金属表面探伤、电子计算机、彩色电视、全息照像及医学等方面。

在我们生存的地球及类似的星球中，物质主要以固、液、气三态存在，然而，物质的变化是无穷无尽的，宇宙的空间也是广袤无限的。随着科学的发展，人们还在不断地探索并发现新的物态。例如气体在高温和电磁场的作用下，其组成的原子就会电离成带电的离子和自由电子，由于它们所带的电荷符号相反，数目相等，这种状态叫做等离子体。

① 例如甲亚胺化合物（亚胺基 $>N-H$ ），其通式为：
 $X-CH=N-Y$ ，X 表示烷氧基（ $-OR$ ），Y 表示烷基（ $-R$ ）或酰氧基（ $-O-C(=O)-R$ ）。

离子态。根据温度的不同，等离子体可分为两类：太阳表面的氢等离子体，地球大气上层的电离层等，属于高温等离子体，它们的温度可以从几千度到几十万度以上；在生产和日常生活中见到的焊接电弧、日光灯、闪电等，属于低温等离子体，它们的温度可以从常温到几千度。等离子态是一种暂时的平衡状态。在一定的条件下，这些带电的质点相互碰撞而重新结合时，有的将放出大量的热量，工业生产上可利用这种热量来加工、焊接和冶炼金属，还可以把这种热量直接变为电能来发电。

§ 1-2 气体定律

在物质的三态中，唯有气体能通过测量其压力（ P ）、体积（ V ）和绝对温度（ T ）^①来确定其质量的多少，这三者的关系，可用气体状态方程式来表示。

一、气体状态方程式

气体状态方程式又叫理想气体方程式^②，其表达式为：

$$PV = nRT \quad (1-1)$$

因为摩尔数 n 等于质量 W 被摩尔质量 M_G 除，所以

$$PV = \frac{W}{M_G} RT \quad (1-2)$$

式中 R 是比例常数，叫做摩尔气体常数，其数值随压力和体积的单位不同而改变。如果体积以升（ l ）为单位，压力以大气压（ atm ）为单位，已知 1 摩（ mol ）气体在 $273.15 K$ 和 1 大

① 绝对温度 T 的单位名称是开尔文，中文符号开，国际符号 K ， $T = 273.15 + t$ （ t 表示摄氏温度）。

② 气体状态方程式只是一个近似的方程式。严格说来，只有在分子本身没有体积和分子之间没有引力的情况下，才是完全准确的。这样的气体叫做理想气体。但是在一般情况下（如温度不低于 $0^\circ C$ ，压力不高于 1 大气压），应用气体状态方程式计算所得的结果接近实际情况。

气压所占的体积为 22.414 升，代入式 (1-1) 中，

$$1 (\text{atm}) \times 22.414 (\text{l}) = 1 (\text{mol}) \times R \times 273.15 (\text{K})$$

$$R = \frac{1 (\text{atm}) \times 22.414 (\text{l})}{1 (\text{mol}) \times 273.15 (\text{K})} = 0.08206 (\text{l} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$$

如果体积以米³为单位 (1 米³ = 10³ 升)；压力以帕斯卡为单位 (中文符号帕，国际符号 Pa；1 大气压 = 1.0133 × 10⁵ 帕) 计算可得：

$$R = \frac{1.0133 \times 10^5 (\text{Pa}) \times 22.414 \times 10^{-3} (\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})}{273.15 (\text{K})}$$

$$= 8.315 (\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ 或 } 8.315 \text{ J}^{\text{①}} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$$

例 1-1 当温度为 288 K，压力为 2.53 × 10⁵ 帕时，向 200 升的窖口中能容纳多少摩尔 CO₂ 气体？

解：从式 (1-1) 可得 $n = \frac{PV}{RT}$

将有关数据代入

$$n = \frac{2.53 \times 10^5 \times 200 \times 10^{-3}}{8.315 \times 288} = 21.1 (\text{mol})$$

答：能容纳 21.1 摩尔 CO₂ 气体。

例 1-2 0.896 克气态化合物 (由氮、氧两元素组成) 在 730 毫米汞柱和 28.0°C 情况下占有体积 524 毫升，求气体的分子量及分子式。

解：从式 (1-2) 可得 $M_G = \frac{WRT}{PV}$

应该注意，R 的单位是 l · atm · K⁻¹ · mol⁻¹，有关数据的单位必须与此一致，方可代入公式计算。

$$M_G = \frac{0.896 \times 0.08206 \times 301}{\left(\frac{730}{760}\right) \times \left(\frac{524}{1000}\right)} = 43.9 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

根据氮、氧的原子量 $2 \times 14 + 16 = 44$

答：此气体的分子量为 44，分子式为 N₂O。

① 功单位焦耳，中文符号焦，国际符号 J，Pa · m³ = J。

气体状态方程式可以从气体分子运动论推导。设有一立方器皿（图 1-4），每边长为 l ，器皿内有质量为 m 的分子共 N 个。可以假定三分之一的分子（ $N/3$ ）是沿 x 轴方向运动；三分之一沿 y 轴方向运动；三分之一沿 z 轴方向运动，分子的平均速度为 u 。设想一个分子沿 x

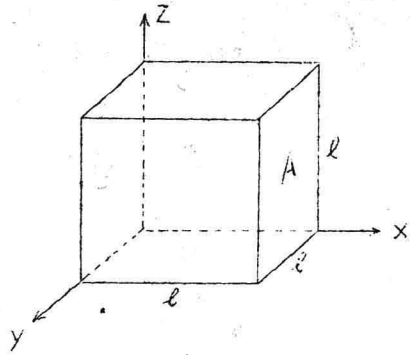


图 1-4 气体器皿

轴从左向右运动，其动量为 mu ，碰到右器皿壁 A 后，由于碰撞是完全弹性的，分子将以速度 $-u$ 弹回，其动量为 $-mu$ 。因此每个分子碰撞一次，分子的动量改变为 $2mu$ 。每个分子每秒碰撞 $u/2l$ 次，这样每个分子每秒的动量改变 $2mu \times u/2l = mu^2/l$ 。与 A 壁碰撞的 $N/3$ 个分子在每秒内总动量改变 $\frac{N}{3} \times mu^2/l$ ，这就是作用于 A 壁的力。由于压力 P 为单位面积上所受的力，而 A 的面积是 l^2 ，因此

$$P = \frac{\text{力}}{\text{面积}} = \frac{1}{l^2} \times \frac{N}{3} \times \frac{mu^2}{l} = \frac{N}{3} \times \frac{mu^2}{l^3}$$

l^3 为器皿的体积 V ，

$$P = \frac{N}{3} \times \frac{mu^2}{V} \quad \text{或} \quad PV = \frac{1}{3} N mu^2 = \left(\frac{2N}{3}\right) \left(\frac{mu^2}{2}\right)$$

因为物体在运动中的动能 $E_k = \frac{mu^2}{2}$ 。

$$\text{于是} \quad PV = \left(\frac{2N}{3}\right) \left(\frac{mu^2}{2}\right) = \frac{2}{3} N E_k \quad (1-3)$$

分子的平均动能与绝对温度成正比。

$$E_k = kT \quad (1-4)$$

分子数 N 与分子的摩尔数 n 成正比。

$$N = k' n \quad (1-5)$$

将式(1-4)与式(1-5)代入式(1-3)中,

$$PV = \frac{2}{3} (k'n) (kT) = n \left(\frac{2}{3} k'k \right) T$$

式中 $\frac{2}{3} k'k$ 项完全由常数构成, 此项即为气体状态方程式中的摩尔气体常数 R 。

二. 分压定律

在化学与科学实验中所遇到的气体常是气体混合物。如果这些不同的气体在一起不发生化学变化, 而且它们的分子本身的体积很小, 分子之间的引力也小到可以忽略不计, 因此它们就互不干扰如同单独存在一样。混和气体中每种气体都对四壁施加压力, 根据气体分子运动论可以设想, 一种组成分子对四壁碰撞的频率不因其他分子的存在而改变。因此气体混合物的总压力等于各组分气体所施压力的总和。组分气体所施的压力叫做该气体的分压力, 等于该气体单独占有与混和气体相同体积时所产生的压力, 因此也可以说混和气体的总压力等于各组分气体的分压力之和, 这是道尔顿 (J. Dalton) 在 1802 年发现的, 叫做道尔顿分压定律。

根据气体状态方程式 $PV = nRT$,

$$P = \frac{n}{V} RT \quad (1-6)$$

式中 n/V 表示单位体积中的摩尔数, 上式说明在一定的温度下, P 值随 n/V 值而改变, 即单位体积中摩尔数增加, 气体的压力就增加。

若以 P_A 和 P_B 分别表示两种混和气体的分压, n_A 和 n_B 分别表示它们的摩尔数, V 为混和气体的体积, 则从

$$P_A = \frac{n_A}{V} RT \quad (1-7)$$

$$P_B = \frac{n_B}{V} RT \quad (1-8)$$

混和气体的总压力 P 则为

$$P = P_A + P_B = \frac{n_A + n_B}{V} RT$$

设 n 为混和气体的总摩尔数，即 $n = n_A + n_B$ ，那么，上式就可写成

$$P = \frac{n}{V} RT$$

由此可见，气体状态方程式不仅适用于个别气体，也适用于气体混合物。

将式(1-6) 分别除以式(1-7) 及式(1-8)，可得到

$$\frac{P_A}{P} = \frac{n_A}{n} \quad \text{或} \quad P_A = \frac{n_A}{n} P$$

$$\frac{P_B}{P} = \frac{n_B}{n} \quad \text{或} \quad P_B = \frac{n_B}{n} P$$

某组分气体的摩尔数与混和气体的总摩尔数之比，叫做该气体组分的摩尔分数。上列式子说明，某气体的分压就等于该气体的摩尔分数乘以总压。用压力表测量混和气体的压力，得到的是总压力，直接测量组分气体的分压是很困难的，一般在实验中是通过混和气体进行气体分析^①。根据所测出的各组分体积分数 ($V_{分}/V_{总}$) 来计算该组分的分压，因为气体在同温同压下摩尔数与体积成正比，所以各组分的摩尔分数等于它的体积分数。也就是说，通过混和气体总压力的测定和气体体积百分组分 (体积分数 $\times 100\% = \text{体积}\%$) 的分析，就可以计算出各气体组分的分压。

例 1-3 在 18°C 和 750 毫米汞柱压力下，取 200 毫升煤气进行分析，煤气中含 CO 59.4%， H_2 10.2%，其他气体 30.4%。求煤气中 CO 和 H_2 的分压与样品中 CO 和 H_2 的摩尔数。

解：根据分压定律， CO 的分压 P_{CO} 和 H_2 的分压 P_{H_2} 分别为

$$P_{\text{CO}} = \frac{750}{760} \times 59.4\% = 0.586 \text{ (atm)}$$

① 一般的气体分析是利用不同的吸收剂去吸收不同的气体组分。例如用 KOH 吸收 CO_2 ，用蒸三酚的碱性溶液吸收 O_2 。混和气体通过某吸收剂后减小的体积被总体积去除，即为该气体组分的摩尔分数。

$$P_{H_2} = \frac{750}{760} \times 10.2\% = 0.101 \text{ (atm)}$$

已知 $V = 0.200 \text{ (l)}$ $T = 273 + 18 = 291 \text{ (K)}$

根据气体状态方程式

$$n_{CO} = \frac{P_{CO}V}{RT} = \frac{0.586 \times 0.200}{0.082 \times 291} = 0.0049 \text{ (mol)}$$

$$n_{H_2} = \frac{P_{H_2}V}{RT} = \frac{0.101 \times 0.200}{0.082 \times 291} = 0.00084 \text{ (mol)}$$

答：煤气中 P_{CO} 和 P_{H_2} 分别为 0.586 大气压和 0.101 大气压，样品中 CO 和 H_2 的摩尔数分别为 0.0049 和 0.00084。

我们常用排水集气的方法收集气体，这种在水上收集的气体都含有水蒸气，因此必须从测得的总压力中减去水蒸气的分压力，以求得该气体的压力。在一定温度时，水蒸气的压力是固定的，可从第 1-16 页表 1-1 中查出。

例 1-4 在 15°C 和 760 毫米汞柱时，在水面上收集 500 毫升 CO_2 ，这些 CO_2 经干燥后，在标准状况时体积是多少？

解：查表 1-1 可知 15°C 时水的蒸气压力为 12.8 毫米汞柱，因此 CO_2 的分压为 $760 - 12.8 = 747.2$ (毫米汞柱)。

从式 (1-1) 可推知 $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T}$ ，已知

$T = 273 + 15 = 288 \text{ K}$ ， $V = 500$ 毫升， $P = 747.2$ 毫米汞柱；
在标准状况下， $T_0 = 273 \text{ K}$ ， $P_0 = 760$ 毫米汞柱，
代入上式计算可得

$$V_0 = \frac{PV T_0}{T P_0} = \frac{747.2 \times 500 \times 273}{288 \times 760} = 466 \text{ (ml)}$$

答：在标准状况时 CO_2 的体积为 466 毫升。

§ 1-3 溶液

由二种或多种组分所组成的均匀体系，叫做溶液。这个定义可以适用于任何聚集状态，包括气体混合物、液态溶液和固态溶液（固溶体）。一般所谓溶液是指液态溶液。所有的溶液都是由溶质和溶剂组成的，通常把溶液中占大部分的组分叫做

溶剂，而少部分的组分叫做溶质。水是最常见的溶剂，水溶液也可简称为溶液。

一、溶液的浓度单位

溶液的性质常与溶液中溶质和溶剂的相对含量有关。我们把一定量的溶液或溶剂中所含溶质的量，叫做溶液的浓度。化学上常用的溶液浓度单位是用“摩尔”表示的浓度单位，根据其定义的不同有下列三种。

1. 摩尔分数浓度

溶液的浓度用溶质的摩尔数占全部溶液摩尔数的分数来表示的叫做摩尔分数浓度。假如某溶液是由 A、B 两种组分形成的，它们在溶液中的摩尔数分别为 n_A 和 n_B ，则

$$\text{组分 A 的摩尔分数} = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

$$\text{组分 B 的摩尔分数} = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

一般用符号 x 表示组分的摩尔分数，上式变为

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

摩尔

在讨论溶液的浓度和物理性质之间的关系或溶质和溶剂的关系时经常要用摩尔分数浓度单位。

2. 重量摩尔浓度

溶液的浓度用 1000 克溶剂中所含溶质的摩尔数来表示的叫做重量摩尔浓度用小写字母 m 表示。例如 1 摩尔氯化钠水溶液是在 1000 克水中含有 1 摩尔钠离子和 1 摩尔氯离子。在计算溶液的凝固点和沸点时要用到重量浓度单位，但由于称量液体溶剂的重量是很不方便的，所以在实验室中一般不使用重量摩尔浓度单位。

3. 体积摩尔浓度

溶液的浓度用 1 升溶液中含溶质的摩尔数来表示的叫做体积摩尔浓度（简称摩尔浓度），用大写字母 M 表示。例如 0.2 M $BaCl_2$ 溶液是在 1 升溶液中含有 0.2 摩尔钡离子和 0.4 摩尔氯离子。因为一定体积摩尔浓度的水溶液，一般可用称量少量固体