

第一部分 静态学

关于化学反应,日常生活中到处可见。例如 煤炭、燃油、木材、作物秸秆等燃烧过程,钢铁、金属器具等腐蚀过程,塑料、橡胶等老化过程,食物的腐败过程以及人体内食物的消化和吸收过程等等。在这些过程中,反应物发生了化学变化,伴随着出现一些现象:如液态、固态物质在视觉中消失,颜色、强度、气味等变化,发光、放热、发声等现象。面对各种各样的化学反应和现象的多样性,该如何去认识和研究呢?首先要考虑的是变化发生的可能性即给定条件下,反应物能否正向进行转化为产物(即反应的方向问题)?若能,则反应进行的程度如何(即平衡问题)?伴随着物质的转化常有能量的转化如放热等(即能量转化问题)。像这些研究状态及其变化趋势的问题属于静态学内容。在此基础上,要进一步研究反应物转化为产物的快慢问题(即化学反应速度问题),这属于动力学范畴。这是实践中最重要的内容之一。同时还要研究反应系统中各物质的结构(包括组成),物质的结构决定其性质(环境一定时),从而与反应的可能性密切相关,同时对反应速度的大小有直接影响。与此同时,反应的可能性与反应速度虽是截然不同的,但又有相互关联之处。由此可见,静态学、结构学、动态学三方面既有相对独立性,又有相互联系性,综合起来构成对化学系统整体的近似描述。

把系统分成静态、动态、结构三方面去认识和研究,不仅在化学系统中,而且在其他学科如物理学、生物学,甚至经济学、政治学等也是这样,只是各学科三方面的具体内容和处理方法有差异。

认识和研究最终目的在于应用,本课程重点讨论上述理论在定量分析和农业科学中的某些应用。

第一部分重点讨论反应系统的静态学问题,应该明确,在气相或水介质(环境)中进行的化学反应是我们讨论的重点,为此先介绍气相和溶液中物质的组成量度及溶液的一些性质(包括胶体溶液)。然后,重点讨论溶液中化学平衡和反应方向问题。

1 溶液和胶体

溶液是由两种或两种以上的组分所组成的均匀混合物。它包括气体混合物、液态溶液和固态溶液（固溶体）。空气是我们最熟悉的气态溶液；日常生活用的水是含有一定矿物质的液态溶液；固态溶液也很普遍，许多合金都属于这个范畴。一般所谓溶液是指液态溶液，且不特指时都是水溶液。

胶体是高度分散的多相体系，具有很大的表面积和表面能，从而呈现出特殊的表面性质，如吸附现象等，使胶体体系具有一些特殊的物理化学性质。

溶液和胶体广泛存在于自然界中，它与生命过程及其现象有着密切的关系，如生物体内营养物质及代谢物需要具有流动性的溶液来运输，各种生理生化反应需要水溶液这个环境。因此，要介绍有关溶液和胶体的一些基础知识，具体要求如下：

1. 熟练掌握常用浓度的表示方法和计算。
2. 掌握稀溶液的依数性及其作用。
3. 熟悉胶体的基本概念、结构及其性质等。
4. 了解高分子溶液，表面活性物质，乳浊液的基本概念和特征。

1.1 溶液中物质的组成量度

溶液的性质在很大程度上取决于溶质与溶剂的相对含量。因此，在涉及溶液的定量工作中，都必须指明物质的组成量度。下面介绍几种常见的溶液组成量度的表示方法。

1.1.1 物质的量浓度

B 的物质的量浓度是指 B 的物质的量除以混合物的体积。通常我们所说的溶液的浓度就是指溶液的物质的量的浓度。用符号 $c(\text{B})$ 或 $[\text{B}]$ 表示^①，即

$$c(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{V} \quad (1-1)$$

式中， $n(\text{B})$ 为溶质 B 的物质的量，单位为 mol ； V 为溶液的体积，单位为 m^3 或 L ，常用 L ，故浓度的单位常用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

根据 SI 规定，使用物质的量单位“ mol ”时，要注明物质的基本单元。物质的量浓度 $c(\text{B})$ 的单位是由基本单位“ mol ”推导得到的，所以，在使用它时也必须注明所表示物质的基本单元。

例如， $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 与 $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的两种溶液，尽管浓度表示的数值相同，但前者基本单元是“ H_2SO_4 ”，后者基本单元是“ $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ ”，所以，它们所表示的

^① 本书采用 $[\text{B}]$ 表示平衡浓度， $c(\text{B})$ 表示任意浓度。

1 L 溶液中含 H_2SO_4 的质量是不同的, 分别为 9.80 g 与 4.90 g。

1.1.2 质量摩尔浓度

溶液中溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量, 称为溶质 B 的质量摩尔浓度。其数学表达式为:

$$b_{\text{B}} = \frac{n(\text{B})}{m_{\text{A}}} \quad (1-2)$$

式中, b_{B} 为溶质 B 的质量摩尔浓度, 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$; $n(\text{B})$ 为溶质 B 的物质的量, 单位为 mol ; m_{A} 是溶剂的质量, 单位为 kg 。质量摩尔浓度与体积无关, 故不受温度改变的影响。它常用于稀溶液依数性的研究和一些精密测定中。

1.1.3 物质的量分数

B 的物质的量与混合物的物质的量之比, 称为 B 的物质的量分数, 其数学表达式为:

$$x(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{n} \quad (1-3)$$

式中, $x(\text{B})$ 为 B 的物质的量分数, $n(\text{B})$ 、 n 分别为 B 的物质的量和混合物的物质的量, 单位都是 mol 。

对于任一多组分体系 $x(i) < 1$ 。且 $\sum x(i) = 1$ 。

除以上介绍的溶液组成量度表示方法外, 还常用中学所学的质量百分数, 各种表示方法可以互换, 如实际应用中常涉及到质量百分数 ($a\%$) 与物质的量浓度 $c(\text{B})$ 的转换。若溶液中溶质 B 的质量为 $m_{\text{B}}(\text{g})$, 摩尔质量为 $M(\text{B})(\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1})$, 物质的量为 $n(\text{B})(\text{mol})$, 质量百分数为 $a\%$, 物质的量浓度为 $c(\text{B})(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$, 溶液的体积为 $V(\text{L})$, 密度为 $\rho(\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$, 则 $c(\text{B})$ 与 $a\%$ 的关系为:

$$\begin{aligned} c(\text{B}) &= \frac{n(\text{B})}{V} \\ &= \frac{m_{\text{B}}}{M(\text{B}) \cdot V} = \frac{\rho \cdot V \cdot a\%}{M(\text{B}) \cdot V} = \frac{\rho \cdot a\%}{M(\text{B})} \end{aligned} \quad (1-4)$$

[例 1-1] 已知浓硫酸的密度为 $1.84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 硫酸的质量分数为 96.0%, 试计算 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 以及 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$

解: 根据公式:

$$c(i) = \frac{\rho \cdot a\%}{M(i)}$$

则有

$$\begin{aligned} c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{a\% \cdot \rho}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} \\ &= \frac{96.0\% \times 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}}{98.0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \\ &= 18.0(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) &= \frac{a\% \cdot \rho}{M\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)} \\
 &= \frac{96.0\% \times 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}}{49.0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \\
 &= 36.0 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})
 \end{aligned}$$

计算结果表明,同一溶液,由于基本单元不同,其浓度表示的数值不相同。

[例 1-2] 欲配制 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液 500 mL,问应取密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的质量分数为 96.0% 的硫酸多少毫升?如何配制?

解 根据上题的计算结果,密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$,质量分数为 96% 的硫酸,其 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 36.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 溶液稀释时,稀释前后溶质的物质的量不变,即

$$c(i)V(i) = c'(i)V'(i) \quad (1-5)$$

则有

$$\begin{aligned}
 V\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) &= \frac{c'\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)V'\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)}{c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)} \\
 &= \frac{0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.500 \text{ L}}{36.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.0014 \text{ L} = 1.4 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

因溶液体积与溶质的基本单元选择无关,所以, $V\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 与 $V(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 表示相同的意义。因此,该溶液的具体配制方法为 取密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$,质量分数为 96.0% 的浓硫酸 1.4 mL,缓慢加入盛有适量去离子水的烧杯中,并不断搅拌,使其混合均匀,冷却后转移到 500 mL 容量瓶中,用去离子水稀释至刻度,即得 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 500 mL 溶液。

1.2 气体的计量

关于气体的量,可以用物质的量 n 来表示。但是,实际上常用更易测量的气体的体积或压力来表示,即用一定温度和压力下气体的体积,或者一定温度和体积下气体的压力来量度气体。这就要求建立 n, p, V, T 之间的关系, n, p, V 及 T 是决定气体状态的参数,因此,把确定气体的 n, p, V, T 之间的关系式称为气体状态方程。

1.2.1 气体状态方程

根据气体的热胀冷缩性质,研究一定量 (n) 气体,在一定压力 (p) 下,气体的体积 (V) 随温度 (T) 的变化,实验表明: $V \propto T$, 即气体的体积与温度成正比。

根据气体的可压缩性,研究一定量 (n) 气体,在一定的温度下,气体体积随压力的变化,实验表明: $V \propto 1/p$, 即气体的体积与压力成反比。

在 T, p 一定时,研究气体的体积随气体的物质的量 n 的变化,实验表明: $V \propto n$ 即气体的体积与其物质的量成正比。

综合上述实验结果可得 $V \propto \frac{nT}{p}$, 以 R 作比例系数, 则:

$$V = R \frac{nT}{p} \quad \text{或} \quad pV = nRT \quad (1-6)$$

这就是理想气体 ① 状态方程。

式中, p 为气体的压力 (气体施加于单位面积器壁上的力), 单位为 Pa 或 kPa; V 为气体的体积, 单位为 m^3 或 L; T 为气体的热力学温度, 单位为 K; n 为气体的物质的量, 单位为 mol; R 称为气体常数, 其数据及单位为 $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

由理想气体状态方程可知: 用一定温度和压力下的体积 ($V = \frac{RT}{p}n$) 或一定温度和体积下的压力 ($p = \frac{RT}{V}n$) 可以计量气体。但应注意, 理想气体状态方程只适用理想气体或近似可当做理想气体处理的实际气体。

1.2.2 气体分压定律

实际中的气体往往是多组分的气体混合物, 混合气体中各组分的相对含量可用组分气体的分压力来表示, 某组分气体的分压力 $p(i)$ 是指该组分 i 单独存在, 并和混合气体有相同体积和相同温度时所具有的压力。由于理想气体分子间没有作用力, 一种气体的压力不因其他气体的存在与否而改变, 因此, 混合气体的总压力 (p) 应等于各组分气体的分压 $p(i)$ 之和, 即

$$p = \sum p(i) \quad (1-7)$$

该结论称为混合气体分压定律, 它还有另一种形式:

$$p(i) = x(i)p \quad (1-8)$$

即混合气体中, 气体 i 的分压 $p(i)$ 等于其物质的量分数 $x(i)$ 与总压 p 之积。

(1-7), (1-8) 两式均可用理想气体状态方程导出 (读者可试导一下), 因而, 只有理想气体才严格遵守, 实用时应避免低温, 高压条件下使用分压定律。

[例 1-3] 如图 1-1 所示, a 室与 b 室联通, 当活塞关闭时 a 室内盛有 2.00 mol A 气体, 其压力为 100 kPa; b 室内盛有 1.00 mol B 气体, 其压力为 200 kPa。打开活塞, 两室气体混合, 但不发生化学反应。假定温度不变, 求混合后的总压力 p 与各组分的分压 $p(i)$ 。

解: 按题意分析:

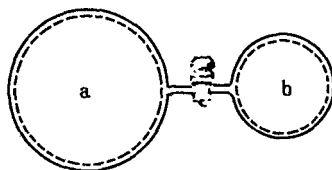


图 1-1

	单独 a 室	单独 b 室	混合后
温度不变(K)	T	T	T
物质的量 (mol)	$n(A) = 2.00$	$n(B) = 1.00$	$n = n(A) + n(B) = 3.00$
压力(kPa)	$p(A) = 100$	$p(B) = 200$	$p = ?$
体积(L)	$V(A) = \frac{n(A)}{p(A)}RT$	$V(B) = \frac{n(B)}{p(B)}RT$	$V = V(A) + V(B)$

由于 $V = V(A) + V(B)$

$$= \left[\frac{n(A)}{p(A)} + \frac{n(B)}{p(B)} \right] RT$$

①理想气体: 气体分子间无作用力, 气体分子本身接近于没有体积。

$$\text{并且 } V = \frac{n}{p} RT = \frac{n(A) + n(B)}{p} RT$$

上两式恒等,则

$$p = \frac{\frac{n(A)}{p(A)} + \frac{n(B)}{p(B)}}{\frac{n(A)}{p(A)} + \frac{n(B)}{p(B)}} = \frac{\frac{2.00}{100} + \frac{1.00}{200}}{\frac{2.00}{100} + \frac{1.00}{200}} = 120(\text{kPa})$$

混合后得

$$p(A) = x(A)p = \frac{n(A)}{n(A) + n(B)}p = \frac{2.00}{2.00 + 1.00} \times 120 = 80(\text{kPa})$$

$$p(B) = p - p(A) = 120 - 80 = 40(\text{kPa})$$

1.3 稀溶液的依数性

溶质溶于溶剂中形成的溶液,其性质涉及两个方面的问题:一是由溶质本身的性质决定的,如溶液的颜色、气味、酸碱性等,这些性质可用于了解溶液中化学反应的发生情况,二是与溶质本身的性质无关,仅由溶质的数量决定的,如难挥发的非电解质稀溶液的蒸气压降低,沸点升高,凝固点下降和溶液的渗透压等。这些性质只随溶液中溶质的数量而变化,且溶液越稀,越有规律性,故称为稀溶液的依数性也称为稀溶液的通性。

1.3.1 溶液的蒸气压降低

在一定的温度下,纯液体都有一定的饱和蒸气压(简称蒸气压)①,实验证明,溶剂中溶有任何一种难挥发的非电解质时,溶液的蒸气压都会下降。因此,相同温度下溶液的蒸气压总是低于纯溶剂的蒸气压。根据实验结果总结出了定量的关系式

$$\Delta p = K_{\text{蒸}} b_B \quad (1-9)$$

式中, $\Delta p = p^\circ - p$ 为溶液的蒸气压降低值, p° 和 p 分别为纯溶剂的饱和蒸气压和溶液的蒸气压,单位为 Pa; b_B 为溶液的质量摩尔浓度,单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$; $K_{\text{蒸}}$ 在一定温度下(溶剂一定)为一常数。式(1-9)表明:在一定温度下,难挥发的非电解质稀溶液的蒸气压降低与溶液的质量摩尔浓度成正比,而与溶质的本性无关。

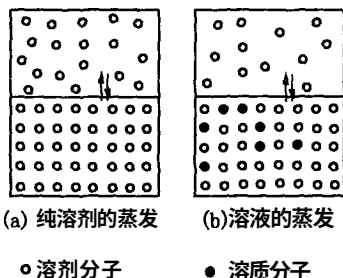


图 1-2 纯溶剂和溶液的蒸发示意图

溶液的蒸气压降低,是由于纯溶剂中加入一定量非挥发性溶质后,使溶剂分子在液相中的相对含量降低,溶液表面部分地被溶质粒子占据着,减少了单位面积上溶剂的分子数,单位时间内逸出液面的溶剂分子数相对减少,所以达到平衡时,溶液的蒸气压比纯溶剂的饱和蒸气压低,且随非挥发溶质含量的增加而成比例降低。如图 1-2 所示。

溶液的蒸气压降低对植物生长过程有着重要作用。当外界气温突然升高时,引起有机体细胞中可溶物大量溶解,从而增加细胞液的浓度,降低了细胞液的蒸气压,使水分蒸

①一定的温度下,当液体的蒸发速度与凝结速度相等时,液面上的蒸气分子达到饱和,此时饱和蒸气所产生的压力称为饱和蒸气压,简称蒸气压。

发减慢，表现了一定的抗旱能力。

1.3.2 溶液的沸点升高和凝固点下降

一定的压力下，纯物质都有固定的沸点和凝固点。当加入难挥发的溶质后，由于溶液的蒸气压降低而使溶液的沸点升高和凝固点降低。

当溶液的蒸气压等于外界压力时，液体沸腾，此时的温度叫做沸点。由图 1-3(a)可见，溶剂是水时，纯水在 373.15 K 时(T_b°)，水的蒸气压(p_A°)与外界大气压相等 (101.3 kPa)，开始沸腾。由于溶液的蒸气压低于纯溶剂——水的蒸气压($p < p_A^\circ$)故至 373.15 K 时溶液还不能沸腾，欲使溶液的蒸气压等于外压 101.3 kPa，必须升高温度(直到 T_b)，水溶液开始沸腾。而且，溶液越浓，其蒸气压降低值越大，则溶液沸点升高值越大，定量关系为：

$$\Delta T_b = K_b b_B \tag{1-10}$$

式中， $\Delta T_b = T_b - T_b^\circ$ 为溶液的沸点升高值， T_b 、 T_b° 分别为溶液和纯溶剂的沸点，单位为 K； b_B 为溶质的质量摩尔浓度，单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ； K_b 是只与溶剂有关的沸点升高常数，单位为 $\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

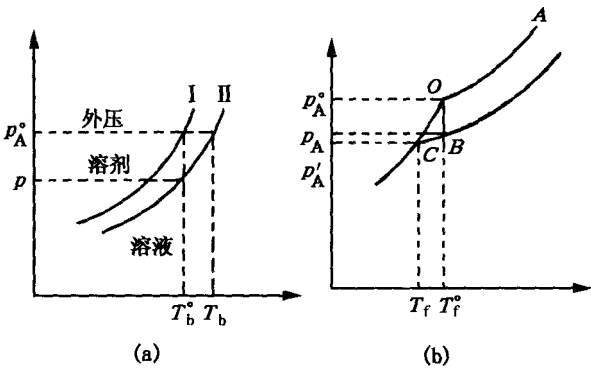


图 1-3 稀溶液的沸点升高 (a)和凝固点降低(b)示意图

几种常见溶剂的沸点和沸点升高常数见表 1-1。式(1-10)表明 难挥发非电解质稀溶液的沸点升高与溶质的质量摩尔浓度成正比，而与溶质的本性无关。

表 1-1 几种溶剂的 T_b 和 K_b

溶 剂	T_b/K	$K_b/\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
水(H_2O)	373.15	0.52
苯(C_6H_6)	353.35	2.53
四氯化碳(CCl_4)	351.65	4.88
丙酮[(CH_3) ₂ CO]	329.65	1.71
三氯甲烷(CHCl_3)	334.45	3.63
乙醚($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$)	307.55	2.16

由图 1-3(b)可见，在 273.15 K (T_f°)时，水和冰的蒸气压相等(p_A°)，因此，冰与水共存，即 273.15 K 为水的凝固点。但在该温度下，溶液的蒸气压(p_A)低于冰或水的蒸气压，冰与溶液不

能共存。若在溶液中加入冰，冰就要融化。从图上还可看到，冰的蒸气压和溶液的蒸气压都随着温度降低而减小，但前者降低的幅度大。因此将溶液温度降低到 273.15 K 以下某一温度 (T_f) 时，冰的蒸气压与溶液的蒸气压相等 (p_A')。此时溶液内开始析出冰，而溶质并不析出，这个温度 (T_f) 称为溶液的凝固点。故溶液的凝固点总是低于纯溶剂的凝固点。

与溶液沸点升高一样，溶液的凝固点降低与溶液的质量摩尔浓度成正比，而与溶质性质无关即：

$$\Delta T_f = K_f b_B \quad (1-11)$$

式中， $\Delta T_f = T_f^\circ - T_f$ 为溶液的凝固点下降值， T_f°, T_f 分别为纯溶剂和溶液的凝固点，单位为 K； K_f 为只与溶剂有关的凝固点下降常数，单位为 $K \cdot kg \cdot mol^{-1}$ 。

表 1-2 列举了几种常见溶剂的 K_f 值。

表 1-2 几种溶剂的 T_f 和 K_f 值

溶 剂	T_f/K	$K_f/kg \cdot mol^{-1}$
水(H ₂ O)	273.15	1.86
苯(C ₆ H ₆)	278.66	5.12
硝基苯(C ₆ H ₅ NO ₂)	278.85	6.90
萘(C ₁₀ H ₈)	353.35	6.80
醋酸(CH ₃ COOH)	289.75	3.90
环己烷(C ₆ H ₁₂)	279.65	20.2

根据溶液的沸点升高和凝固点降低，可测定物质的摩尔质量。由于凝固点降低常数比沸点升高常数大，实验误差小，且达到了凝固点时有晶体析出，易于观察，故常用凝固点降低的方法测定相对分子质量。

[例 1-4] 有一质量分数为 1.0% 的水溶液，测得其凝固点为 273.05 K。计算溶质的相对分子质量。

解 先求溶液的质量摩尔浓度，设取 100.0 g 水溶液为计算基准，则溶质为 1.0 g 水为 99.0 g

$$b_B = \frac{1.0/M(A)}{99.0} \times 1000$$

$$\text{查表得 } T_f^\circ = 273.15 \text{ K } K_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta T_f = 273.15 - 273.05 = 0.10 \text{ (K)}$$

代入 $\Delta T_f = K_f \cdot b_B$ 得

$$0.10 = 1.86 \times \frac{1.0/M(B)}{99.0} \times 1000$$

$$M(B) = \frac{1.86 \times 1.0 \times 1000}{0.10 \times 99.0} = 188 \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$$

故溶质的相对分子质量为 188。

稀溶液的凝固点降低法，除用以测定可溶物分子量外，也常用来测定细胞液和土壤溶液的浓度。此外，植物的抗寒性也与凝固点降低有关。严冬季节，植物细胞中可溶物强烈溶解，增大细胞液的浓度，使细胞液的凝固点下降，从而预防细胞冻裂，表现出抗寒能力。

1.3.3 溶液的渗透化

首先观察一实验现象，图 1-4(a) 是一个连通容器，左右两边分别盛有蔗糖溶液和纯水，中

间用半透膜（只让水分子通过，蔗糖分子不能通过）隔开。最初，连通器两边的玻璃柱中液面装成相同高度。放置一段时间后，玻璃柱内的液面高度不再相同，糖溶液液面上升、纯水液面下降，随放置时间延长，两液面高度差值增大，直到等于 h 时两液面不再改变。像这种溶剂（水）通过半透膜而进入溶液的现象称为渗透。

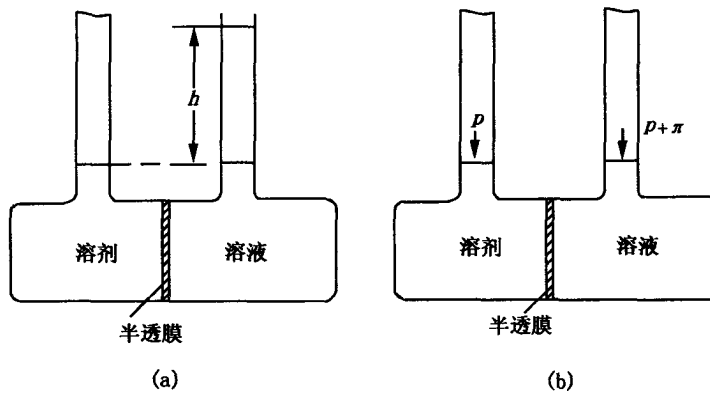


图 1-4 渗透压示意图

发生上述现象是由于半透膜只允许水分子通过所造成，单位体积内纯水中的水分子比糖溶液中的水分子多，因此单位时间内纯水穿过半透膜进入糖溶液的水分子数比糖溶液中水穿过半透膜进入纯水中水分子数多。从表面上看只是水通过半透膜进入糖溶液，于是糖溶液的液面升高。随着糖溶液的液面升高，静压增大，使糖溶液中水分子通过半透膜的速度加快，糖溶液液面上升速度减慢。当两玻璃柱内液面高度差达一定值 h 时，水分子向两个方向渗透的速度相等，渗透作用达到平衡，因此半透膜两边的液面不再发生改变。

如果我们在糖溶液液面上增加一额外压力（ π ），见图 1-4(b)恰使渗透作用停止，即使半透膜两边液面维持相同的高度，则此额外压力值 π 称为该溶液的渗透压。稀溶液的渗透压大小在实验基础上，总结出定量关系式

$$\pi V = n(B)RT$$

$$\text{或 } \pi = \frac{n(B)}{V}RT = c(B)RT \quad (1-12)$$

式中， π 为溶液的渗透压，单位为 Pa； $c(B)$ 为溶液的物质的量浓度，单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ； R 为气体常数为 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ； T 为热力学温度，单位为 K。

式（1-2）表明，稀溶液的渗透压与溶液的浓度和绝对温度成正比，而与溶质的本性无关。

渗透现象不但发生在有半透膜隔开的纯溶剂和溶液之间，同样也发生在用半透膜隔开的两种不同浓度溶液之间，因它们的渗透压不同，当半透膜两侧溶液浓度相等时（温度也相同），渗透作用达到平衡，这种溶液称为等渗溶液。

渗透作用对生物的生命现象有着十分重要的作用。由于植物体中细胞壁的原生质起着半透膜的作用，因此植物体能自外界吸收水分，使植物体各部分保持撑紧状态，茎叶伸展，更好地进行光合作用。土壤溶液的渗透压与植物体细胞液的渗透压的高低，对植物生长发育也有直接影响。当植物体细胞液的渗透压大于土壤溶液渗透压时，植物才能正常生长。一般来说，植物

体细胞液的渗透压为 405.2~2 026 kPa,黑钙土的渗透压为 253.2 kPa,而盐碱土的渗透压可高达 1 266 kPa,因此生长在盐碱土中渗透压不很高的植物不能通过细胞膜从土壤中吸收水分,相反造成水分从植物体渗入土壤的反渗现象,故盐碱地不利于植物生长。施肥过多,也会发生类似的反渗现象使植物凋萎。

渗透作用对动物和人类的生活也有密切关系。人和动物的组织内许多薄膜(如细胞膜、血球膜等)都具有半透膜的性质;血浆、细胞液、胃肠液等都有一定的渗透压。当人们饮水后,水渗入血液,使血浆渗透压降低。这时水分就由血液渗透输送到各个组织,最后由肾脏排出。对高等动物注射或输液时,也应注意使用等渗溶液,如 0.9%的生理盐水或 5%的葡萄糖溶液,否则就会由于强烈的渗透作用而引起血球膨胀或萎缩造成严重后果。在生产上,人们还常利用渗透作用进行海水的脱盐淡化,溶液的浓缩(反渗透技术)。

以上讨论的四种依数性——只与溶液的质量摩尔浓度成正比,而与溶质的本性无关,要注意其适用范围,不适用于浓溶液和电解质溶液。

[例 1-5] 有一蛋白质的饱和水溶液,每升含有蛋白质 5.18 g。已知在 293.15 K 时,溶液的渗透压为 413 Pa,求此蛋白质溶液的相对分子质量。

解 根据公式:

$$\pi = c(B)RT$$

得
$$M(B) = \frac{m_B RT}{\pi V} = \frac{5.18 \times 8.314 \times 293.15}{413 \times 10^{-3} \times 1} = 30\,569 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

即该蛋白质的相对分子质量为 30 569。

1.4 胶体溶液

1.4.1 分散系和分散度

(1)分散系

一种或几种物质被分散成细小的粒子,分布在另一种物质中所形成的体系,称为分散系。分散系中被分散的物质称为分散质;容纳分散质的物质即分散质所处的介质称为分散剂。例如黏土分散在水中成为泥浆等。在我们的周围有各种各样自然的或人造的分散系。若按聚集状态分类,则有表 1-3 所列各种分散系。分散质和分散剂都可以是液体、固体、或气体,它们两两组合起来构成表中 9 种类型的分散系;若按分散质粒子的大小分类,常把分散系分为 3 类,见表 1-4。

表 1-3 按聚集状态分类的各种分散系

分散质	分散剂	实 例	分散质	分散剂	实 例
气	气	空气,家用煤气	固	液	泥浆,油漆
液	气	云,雾	气	固	泡沫塑料,木炭
固	气	烟,灰尘	液	固	肉冻,硅胶
气	液	泡沫,汽水	固	固	红宝石,合金,有色玻璃
液	液	牛奶,豆浆,农药乳浊液			

表 1-4 按分散质粒子大小分类的各种分散系

分子或离子分散系 (粒子直径小于 1 nm)	胶体分散系 (粒子直径在 1~100 nm 之间)		粗分散系 (粒子直径大于 100 nm)
低分子物质溶液 (分散质是小分子)	高分子溶液 (分散质是大分子)	胶体溶液 (分散质是分子的小集合体)	浊液 (分散质是分子的大集合体)
最 稳 定	很 稳 定	稳 定	不 稳 定
电子显微镜也不可见	超显微镜可觉察其存在		一般显微镜可见
能透过半透膜	能透过滤纸,不能透过半透膜		不能透过紧密滤纸
单 相 体 系		多 相 体 系	

表 1-4 中胶体分散系包括胶体溶液(又称溶胶)和高分子化合物溶液两类。高分子化合物溶液的分散质都以单个分子存在,所以形成的溶液不存在物理界面,是单相体系,如淀粉溶液、蛋白质溶液等,溶胶中分散质粒子较大(1~100 nm 的分子的小集合体),每个粒子都是一个小的晶体或无定形物质的碎片,分散质与分散剂之间存在着物理界面,是一个多相体系,如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶胶和 As_2S_3 溶胶等。

(2)分散度

溶胶是固-液共存的多相体系,相与相之间存在着界面(习惯上也称为表面),分散质分散得越细,表面积就越大。通常用比表面(S_0)来表示分散系的分散程度,即单位体积所具有的表面积

$$S_0 = \frac{S}{V} \quad (1-13)$$

式中, S_0 、 S 分别为分散质的比表面和总表面积,单位分别为 m^{-1} 和 m^2 ; V 为分散质的总体积,单位为 m^3 。

显然,比表面积 S_0 随体系分散程度增大而增大。当一定体积的物质被分割时,分散程度愈高,粒子愈小,比表面积则愈大。例如边长 1 cm 的立方体,它的总表面积为 6 cm^2 ,比表面积 S_0 为 $6 \times 10^2 \text{ m}^{-1}$,若将其分割为边长 1 nm 的小立方体,则其面积达 $6 \times 10^7 \text{ cm}^2$,比表面积 S_0 为 $6 \times 10^9 \text{ m}^{-1}$,两者均增加了 1000 万倍。可见胶体分散系是分散程度很高的体系,具有很大的比表面积,正是这个原因溶胶具有某些特殊的性质。

1.4.2 溶胶的性质

(1)溶胶的光学性质

当一束光照射到透明的溶胶上时,在与光线垂直方向观察,可以清楚地看到在光的通路上出现一条发亮的光柱,这种现象叫做丁达尔效应,见图 1-5。丁达尔效应是胶体所特有的现象,因此可利用此鉴别溶液和胶体。

丁达尔效应的产生是由于溶胶粒子对光的散射而形成的。当光线照射到分散质粒子上时,可发生两种情况:如粒子直径大于入射光的波长,光就从粒子的表面上按一定的角度反射,在含有尘埃的空气中和粒子粗大的悬浊液中,可以观察到这种

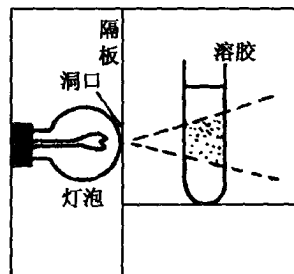


图 1-5 丁达尔效应

现象；假如粒子直径小于入射光的波长（可见光的波长为 $400\sim 760\text{ nm}$ ），这时粒子本身就是一个光源，向各个方向发出光线即发生光的散射。溶胶粒子的直径为 $1\sim 100\text{ nm}$ ，小于可见光的波长，因此可见光通过溶胶时，便发生光的散射，出现丁达尔效应。

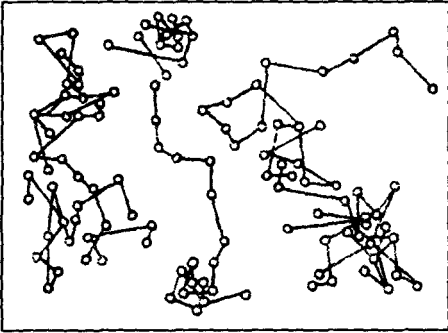


图 1-6 布朗运动

(2) 溶胶的动力学性质

在超显微镜下观察到溶胶的散射现象的同时；还可看到表征溶胶粒子的发光点，在做无休止、无规则的运动(图 1-6)，这就是布朗运动。

溶胶粒子产生布朗运动的原因，首先是溶胶粒子与其他粒子一样，本身具有热运动；其次，它还不断地受到分散剂粒子从各个方向的碰撞。在粗分散系中，由于分散质粒子的质量和体积比分散剂粒子大得多。因此它受到的碰撞力与其本身的重力相比可以忽视。即便在某一瞬间受到一合力，但由于其质量较大位移也不明显。而溶胶粒子则不同，由于其质量和体积都

很小，所以在单位时间内所受到的力也较少，容易在瞬间受到冲击后产生一合力。又因为本身质量小，所以受合力后会产生较大的位移。该位移也因分散剂粒子的无规则（热运动）碰撞而无规则。两方面原因都使溶胶粒子的运动表现为布朗运动。

(3) 溶胶的电学性质

图 1-7 为溶胶电学性质实验的装置，在一带有漏斗的 U 形管底部注入红棕色氢氧化铁溶胶，小心在溶胶上面注入少许水，使溶胶与水之间有清晰的界面。在水中（如图 1-7）分别插入两电极，通电一段时间后，可以看到红棕色的界面向负极上升，而另一边界面则下降。这表明氢氧化铁溶胶粒子带正电荷。如果用黄色的硫化砷溶胶做同样的实验，则硫化砷溶胶粒子将向正极移动，说明硫化砷溶胶粒子带负电荷。

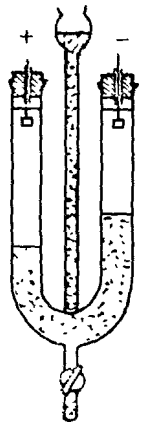
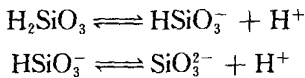


图 1-7 电泳管

我们把电场中分散质粒子在分散剂中的定向移动称为电泳，这很像电场中离子在溶液中的迁移。电泳实验表明：溶胶粒子是带电的，根据它移动的方向可确定其所带电荷的符号。溶胶粒子为什么会带有电荷呢？其主要原因有：

①解离作用。有些溶胶是通过分散质粒子表面分子的解离而获得电荷的。例如，硅酸溶胶粒子是由许多硅酸分子组成的，在粒子表面上的 H_2SiO_3 分子可以解离 H^+ 进入溶液，从而 SiO_3^{2-} 和 HSiO_3^- 留在表面，使溶胶粒子带负电荷：



②吸附作用。

1.4.3 表面能、吸附及胶团结构

(1) 表面能

物体表面的分子和内部分子所处的环境不同，因而所具有的能量也不同。例如，在液体内部的分子，受到四周分子的引力是均衡的，其合力为零；而处于液体表面的分子就不同，在它的

一边是气体。同液体相比，气体的密度小于液体的密度，故表面分子受到来自气体分子的引力较小，而受到液体内部分子的引力较大，其合力不等于零，即受到一个指向液体内部的拉力（图 1-8）因此液体表面积有自动的收缩到最小的趋势。反之，如果要液体内部的分子迁移到表面，就必须克服这种向内的拉力而做功。被迁移出来的分子形成新的表面，所消耗的这部分功就储存在表面分子中，即转化为分子的位（势）能，使体系总能量增加。表面分子比内部分子多出的这部分能量，称为表面能。显然体系的分散程度越大，表面积也越大，表面能也就越大。

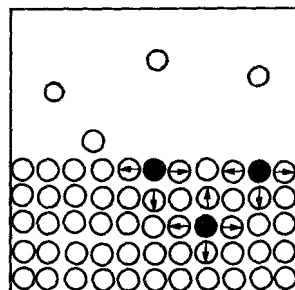


图 1-8 气液两相界面示意图

实践证明，不仅在气体和液体界面上存在着表面能，而且在任何两相界面上都存在着界面能（也称表面能）。相界面上的表面能都有自发减少的趋势，液体表面能的减少可以通过自发缩小表面积的方法或加入表面活性物质降低单位面积上的表面能的方法来实现；固体表面能的减少可通过表面吸附来实现。

(2) 吸附作用

固体表面的特性之一是吸附作用，如活性炭对水溶液中有机色素的吸附，硅胶对空气中水分的吸附，像这种一种物质的原子或分子自动聚集到另一种物质的表面上的过程称为吸附。

溶胶是高度分散的固-液共存的多相体系，具有很高的表面能。固态的分散质为降低表面能，其表面会吸附溶液中的组分。其中离子选择的吸附对溶胶粒子带电具有重要作用。一般认为固体表面优先选择吸附与它组成相似的离子。以 AgBr 固体为例，如果溶液中存在 AgNO_3 ，则由于 Ag^+ 是 AgBr 固体的组成离子，因此 Ag^+ 被优先吸附而使固体表面带正电荷， NO_3^- 则在溶液中，一方面受吸附态的 Ag^+ 吸引，另一方面本身有热运动，致使它在溶液中形成一定的分布状态；如果溶液中存在 KBr ，则由于 Br^- 是 AgBr 固体的组成离子，所以 Br^- 被优先吸附而使固体表面带负电， K^+ 则在溶液中，并有一定的分布状态。离子选择吸附不仅使溶胶粒子带电，而且对胶团结构的形成有重要意义。

(3) 胶团结构

溶胶的许多性质与其内部结构有关，根据大量的实验事实，人们提出了溶胶的双电层结构。现以 AgNO_3 溶液与 KI 溶液混合制备 AgI 溶胶为例来说明溶胶的结构。

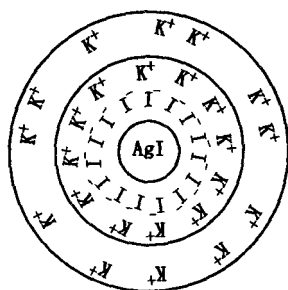
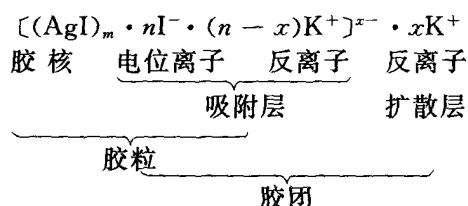


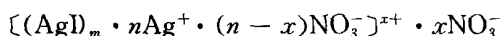
图 1-9 KI 过量时形成的 AgI 胶团结构示意图

在 KI 过量时，溶液中 Ag^+ 与 I^- 反应生成 AgI ，大量的 AgI 分子聚集成 $1 \sim 100 \text{ nm}$ 范围的颗粒作为胶核。此时溶液中还有 NO_3^- 、 K^+ 、 I^- 等，由于胶核选择吸附 I^- ，使胶核带上负电荷， I^- 称为电位离子。溶液中与电位离子电荷符号相反的 K^+ 是反离子，其中一部分反离子 K^+ 受电位离子吸引被束缚在固体表面附近形成吸附层，在吸附层外面还有一部分反离子形成扩散层，胶核和吸附层形成一个运动单位称为胶粒。胶粒和扩散层组成胶团。图 1-9 给出 KI 过量时形成的 AgI 胶团结构示意图，其结构式如下：

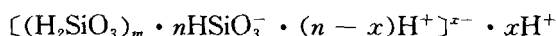
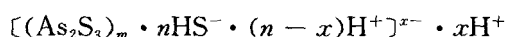
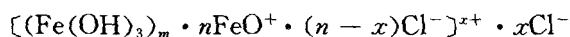


从胶团结构可以看出：整个胶团是电中性，但胶粒是带电的。在外电场作用下，胶粒作为运动单元向某一电极移动，而扩散层及离子则向另一电极移动。因此，胶团在电场作用下的行为与电解质很相似。

当 AgNO_3 过量时， AgI 胶团结构式为：



同理，氢氧化铁、三硫化二砷和硅酸的胶团结构式可分别表示如下：



1.4.4 溶胶的稳定性和聚沉

实际中常常涉及到溶胶体系，有时需要它稳定，如染色过程中有机染料分散于水中；有时却需要破坏它，如净化水时要破坏泥沙形成的溶胶。因此只有了解溶胶稳定的原因，才能选择适当条件使溶胶稳定或破坏。

(1) 溶胶的稳定性

溶胶稳定性可以从两个方面来分析，即动力学稳定性和聚结稳定性。

动力学稳定性是指在重力作用下分散质粒子不会从分散剂中沉降而分离出来，溶胶在重力场内，由于强烈的布朗运动，使它在分散剂中能均匀分布，而不致向下沉积，所以溶胶是动力稳定体系。

聚结稳定性是指在放置过程中，不会发生分散质粒子的相互聚结。尽管溶胶体系具有很大的表面积和表面能，使分散质粒子有自动聚集，合并变大降低表面能的趋势。但是，由于溶胶的双电层结构存在，当两个相同电荷的胶粒相互靠近到一定程度时，胶粒之间就会产生静电排斥作用使其分开，从而阻止了粒子的聚结合并；另外胶粒和反离子都是溶剂化的。这层溶剂化膜（在水溶液中即为水化膜）有一定的强度，也起到阻止粒子的合并作用。因此，胶粒带电和溶剂化膜的作用使溶胶具有聚结稳定性，也是溶胶稳定存在的原因。

(2) 溶胶的聚沉

在分散系中，分散质粒子相互合并而变大，最后从分散剂中分离出来的过程称为聚沉。从表面上看，聚沉表现为溶胶颜色的改变，或从澄清变为混浊。溶胶变浊是因为粒子变大到足够程度后，不发生光的散射而发生在不同方向上光的反射的结果。

促使溶胶聚沉的因素很多，例如溶胶的浓度过大时，胶粒间距离变近，粒子碰撞次数增多，易合并变大。长时间加热，致使吸附的电位离子减少，胶粒的电荷减少，水化程度同时变小，也容易聚沉。在各种因素中，最重要的是电解质的作用。加入少量强电解质能加速溶胶聚沉，其

原因是加入电解质后，溶液中的离子浓度加大；一部分离子进入扩散层，迫使扩散层中的反离子向吸附层靠拢，使吸附层反离子增多，扩散层反离子减少，扩散层厚度变薄。因而胶粒所带电荷减少、溶剂化膜变薄。当胶粒所带电荷减少和溶剂化膜变薄到一定程度时，胶粒的热运动足以克服胶粒间的排斥作用和溶剂化膜的阻力，从而胶粒相互碰撞而聚沉。

电解质对溶胶的聚沉作用主要是与胶粒所带电荷相反的离子，而这些离子的聚沉能力，与离子价数有关。离子的价数越高对溶胶的聚沉作用就越大。

两种带相反电荷的溶胶，以适当的比例互相混合，也可以互相聚沉。这里带相反电荷的胶粒也可看做是一种电解质的作用，因此可以互相聚沉、自然界里江河入海口附近所沉积的泥砂三角洲、土壤中存在的带正电荷的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 溶胶与带负电荷的硅酸、黏土粒和腐殖质溶胶相互聚沉而形成土壤团粒结构、都是溶胶聚沉的实例。

1.5 高分子溶液和乳浊液

1.5.1 高分子溶液

(1) 高分子溶液

高分子化合物是指相对分子质量在 1 000 以上的大分子，生物体内许多有机化合物（如蛋白质、核酸、淀粉以及人工合成的塑料等）都是高分子化合物。它们是由一种或多种小的结构单元联结而成。例如，蛋白质分子的小单位是氨基酸，淀粉是许多葡萄糖分子缩合而成。大多数高分子化合物是线状或线状带支链，长达几百万纳米，但其截面积只相当于一个普通分子大小。即使是纯的高分子化合物，其分子大小也不完全一样，平常所说的高分子化合物的相对分子质量，实际上都是指平均相对分子质量。高分子化合物溶于适当的溶剂中，就成为高分子化合物溶液，简称高分子溶液。

高分子溶液具有溶胶和真溶液的双重性质：高分子溶液是单相体系，溶质分子和溶剂之间没有界面，有很好的亲和力。但它的相对分子质量很大，可高达数十万或数百万。它的单分子与溶胶的多分子聚集的胶核粒子大小差不多，因此又具有一般真溶液所没有的特性，如扩散速度慢，不能透过半透膜等，这与溶胶的性质相似，因此在分散系的分类中被列为胶体分散系。

(2) 高分子溶液与溶胶性质的比较

高分子溶液与溶胶相比，其根本的区别在于两者的热力学稳定性不同。高分子溶液是单相体系，高分子化合物和溶剂有很大的亲和力，它能逐步吸收溶剂形成很厚的溶剂化膜而溶胀，最后自动溶解而成溶液。假如用蒸发等方法除去溶剂后再加入溶剂仍能自动溶解，因此高分子溶液在热力学上是稳定的体系。而溶胶则是多分子聚集体，是高度分散的多相体系，胶核不溶于溶剂，溶胶粒子与溶剂间没有很大的亲和力，不能用自动分散来获得，要用特殊方法制备。溶胶聚沉后，不能用再加入溶剂的方法而使它复原。所以溶胶在热力学上是不稳定的体系。在 高分子溶液中，由于溶质和溶剂之间没有明显的界面，对光的散射作用很弱，丁达尔现象不明显。此外，高分子化合物还有一项与真溶液和溶胶都不相同的特征，那就是它有很大的粘度。这与高分子化合物链状结构和高度溶剂化的性质有关。

(3) 高分子化合物溶液的盐析和保护作用

前面已经讨论过电解质对于溶胶的聚沉作用。溶胶对电解质是很敏感的，但对于高分子溶

液来说,加入少量的电解质,它的稳定性并不受影响。由于高分子物质中常含有大量的 $-\text{OH}$ 、 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{NH}_2$ 等亲水基团,这些基团的水化作用很强烈,因此在溶液中的高分子化合物具有很厚的水化膜,这就使得它们能够稳定地存在于溶液内而不易聚沉。要使高分子化合物从水溶液中聚沉下来,必须加入大量电解质,以实现去水化膜和去电荷作用。这种加入大量电解质而使高分子化合物溶液聚沉,使高分子化合物析出的作用,称为盐析作用。

若在溶胶里加入适量的高分子溶液,就能降低溶胶对电解质的敏感性,提高其对电解质的稳定性,这种作用就是高分子溶液对溶胶的保护作用。由于一般高分子化合物是高度水化、链状卷曲的线形分子,因此很容易吸附在胶粒表面上,包住了胶粒,这就等于在溶胶粒子外面加了一层水化膜阻碍胶粒间接触和聚沉,因而大大增强了溶胶的稳定性。保护作用在生理过程中具有重大意义。例如,在健康人的血液中所含的难溶盐,如碳酸镁、磷酸钙等都是以溶胶的状态存在的,并且被血清蛋白等保护着,当发生某些疾病时,保护物质在血液中的含量减少,从而使溶胶发生聚沉而堆积在身体各部位,使新陈代谢发生故障,形成肾脏、肝脏等结石。

1.5.2 表面活性物质

表面活性物质是溶于溶剂(水)后能显著降低溶剂(水)的表面能的物质。从分子结构上看,其分子都包含有极性部分和非极性部分,极性部分为 $-\text{OH}$ 、 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{SO}_3\text{H}$ 等亲水基因;非极性部分为烃链等疏水基团。如肥皂($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$)是最常见的表面活性物,烃链 $-\text{C}_{17}\text{H}_{35}$ 是疏水基, $-\text{COONa}$ 是亲水基。许多天然物质如磷脂、胆碱、蛋白质等也都是表面活性物质。表面活性物质溶于水后,亲水基溶于水中,疏水基则翘出水面,结果使其分子聚集在水相的表面,到达一定程度后即形成一个几乎是单分子的薄膜;如为水油两相,则亲水基溶于水、疏水基溶于油,在相界面上形成一个薄膜,显著降低了界面能(表面能)。

1.5.3 乳浊液

一种液体分散在另一种互不相溶的液体中所形成的体系称为乳浊液。乳浊液属于粗分散系,被分散的液滴直径为 $100\sim 500\text{ nm}$,用普通显微镜即可分辨。如牛奶就是微小的脂肪液滴被均匀分散在水中所组成的乳浊液。乳浊液常分为两类:一类是“油”(这里把不溶于水的有机液体统称为油)分散在水中所形成的体系称为水包油(油/水)型乳浊液,如牛奶、豆浆、农药乳剂等。另一类是水分散在“油”中所形成的体系,称为油包水(水/油)型乳浊液,如石油。

我们知道把油和水放在容器里加以快速搅拌,能形成乳浊液,但它很不稳定,一旦停止搅拌,分散的小液滴会自动合并,迅速形成两个互不相溶的液层。要得到稳定的乳浊液,通常必须有第三组分乳化剂存在。乳化剂大都是表面活性物质,它存在于相界面,能显著降低界面能(表面能),从而使乳浊液稳定。乳化剂分为亲水性乳化剂和亲油性乳化剂,使用亲水性乳化剂如钾(或钠)肥皂、蛋白质、动物胶等,能形成油/水型乳浊液。使用亲油性乳化剂如钙肥皂、高级醇(或酸)类、石墨等,能形成水/油型乳浊液。乳浊液和乳化剂在农业生产上应用广泛,如农药、植物生长调节剂等多是不溶于水的有机物,将它与乳化剂配合后,即可与水混合成乳浊液进行使用,这样就做到用少量药剂均匀地喷洒在作物茎叶表面,提高药剂效率降低成本。在人体的生理活动中乳浊液也起重要作用。例如食物中的脂肪在消化液(水溶液)中是不溶解的,但经过胆汁中胆酸的乳化作用和小肠的蠕动,使脂肪形成微小的液滴,其表面积大大增加,有利于肠壁的吸收。此外乳浊液也广泛用于制药、食品、制革、涂料、石油钻探等各个领域。

思考题

1. 溶液组成量度的表示法主要有哪些？比较各种表示法的适用范围。推导：物质的量浓度与质量分数的关系
2. 稀溶液通性中哪些性质与溶剂的性质有关？这些性质在动、植物的生长中所起的作用如何？
3. 回答下列问题：
 - (1)为什么在冰冻的田上撒些草木灰，冰较易融化？
 - (2)施肥过多为什么会引起作物凋萎？
 - (3)为什么海水较河水难结冰？
4. 难挥发物质的溶液，在不断沸腾时，它的沸点是否恒定？在冷却过程中它的凝固点是否恒定？为什么？
5. 为什么稀溶液定律不适用于浓溶液和电解质溶液？
6. 把一块冰放在温度为 273.15 K 的水中，另一块冰放在 273.15 K 的盐水中，问有什么现象？
7. 解释下列现象：
 - (1)明矾为什么能净水？
 - (2)用井水洗衣服时，为什么肥皂的去污能力较差？
 - (3)江河入海口为什么常常形成三角洲？
8. 溶胶具有聚集稳定性的原因是什么？为什么电解质能使溶胶聚沉？
9. 什么是表面能？表面能对胶体的形成和稳定性有何影响？
10. 利用溶液的依数性设计一个测定溶质相对分子质量的方法。
11. 盐析作用和聚沉作用有什么区别？
12. 说明表面活性剂用做乳化剂的原理？

习题

1. 计算下列各题：
 - (1)冰醋酸含 CH_3COOH 的质量分数为 99.5%，密度为 $1.05 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，计算 $c(\text{CH}_3\text{COOH})$ ， $b(\text{CH}_3\text{COOH})$ 。
 - (2)浓磷酸含 H_3PO_4 的质量分数为 85.0%，密度为 $1.75 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，计算 $c(\frac{1}{3}\text{H}_3\text{PO}_4)$ 。
 - (3)浓硫酸密度为 $1.84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，质量分数为 96.0%，计算 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。
 - (4)浓氨水的密度为 $0.898 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，质量分数为 28.0%，计算 $c(\text{NH}_3)$ 。
2. 通常用做消毒剂的过氧化氢溶液中过氧化氢的质量分数为 3.0%，这种水溶液的密度为 $1.0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，计算这种水溶液中过氧化氢的质量摩尔浓度、物质的量浓度和摩尔分数。
3. 测知人体的肺气中含有 N_2 、 O_2 、 CO_2 ，它们的比例(以物质的量分数计)分别为 0.805、0.140、0.055。若肺中的压力为 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，310.15 K 时的水的饱和蒸气压为 $6.25 \times 10^3 \text{ Pa}$ ，计算上述各组分的分压。
4. 计算 5.0% 的蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)水溶液与 5.0% 的葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)水溶液的沸点。
5. 医学上用的葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)注射液是血液的等渗溶液，测得其凝固点下降为 0.543℃：
 - (1)计算葡萄糖溶液的质量分数。
 - (2)如果血液的温度为 37℃，血液的渗透压是多少？
6. 在 20℃ 时，将 5 g 血红素溶于适量水中，然后稀释到 500 mL 测得渗透压为 0.366 kPa，试计算血红素的相对分子质量。
7. 孕甾酮是一种雌性激素，它含有 9.5% H、10.2% O 和 80.3% C，计算它的实验式，在 5.00 g 苯中含有 0.100 g 的孕甾酮的溶液在 5.18℃ 时凝固，孕甾酮的相对分子质量是多少？分子式是什么？
8. 某难挥发非电解质的水溶液凝固点为 -1.000°C ，试求其沸点及 25℃ 时溶液的蒸气压。已知 25℃ 时水