

第一章 溶液

人体的生命过程与溶液有密切的关系，血液、淋巴液、组织间液等都是溶液，体内一系列的新陈代谢都必须在溶液中进行，如食物的消化和吸收、营养物质的输送以及废物的排泄，都离不开溶液。

溶液是物质以分子、原子或离子状态分散在另一种物质中所形成的均匀而稳定的体系。通常所说的溶液是指液态溶液。水是最常用、最重要的溶剂。一般不指明溶剂的溶液都是指水溶液。

第一节 溶液浓度的表示方法

溶液的浓度是指在一定量溶液或溶剂中所含溶质的量。溶液的性质常与溶液的相对组成有关，根据不同的需要，溶液的浓度可用不同的方法表示。医学上常用的溶液浓度的表示方法有以下几种。

一、物质的量浓度

在法定计量单位制中，物质 B 的“物质的量浓度”（amount of substance concentration）也称为物质 B 的“浓度”。符号为 c_B 或 $[B]$ ，定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V 。即：

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-1)$$

浓度的 SI 单位是 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。医学上常用的单位是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。注意使用浓度时必须指明基本单元。

【例 1-1】药典上规定注射用生理盐水的规格是 0.5L 生理盐水中含 4.5gNaCl。计算注射用生理盐水的物质的量浓度。

解：已知 $m(\text{NaCl}) = 4.5\text{g}$ ， $M(\text{NaCl}) = 58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ， $V = 0.5\text{L}$

$$\because n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{4.5\text{g}}{58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.077\text{mol}$$

$$\therefore c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V} = \frac{0.077\text{mol}}{0.5\text{L}} = 0.154\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

答：注射用生理盐水的物质的量浓度为 $0.154\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ （即 $154\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ）。

二、质量浓度

质量浓度又称 B 的质量浓度，定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V ，用符号 ρ_B 表示。

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-2)$$

质量浓度的 SI 单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。医学上常用的单位是 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，即体积单位用 L，而表示质量的单位可以改变。临床上用固体物质配制的溶液常用质量浓度表示。如 $9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 的生理盐水、 $50\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液等。

【例 1-2】临床上乳酸钠 ($\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$) 注射液的质量浓度为 $112\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，注射 10ml 此注射液，进入体内的乳酸钠为多少克？

解： $\rho(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) = 112\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ $V = 10 \times 10^{-3}\text{L}$

$$\therefore \rho_B = \frac{m_B}{V}$$

$$\therefore m(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) = \rho(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) \times V = 112\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 10 \times 10^{-3}\text{L} = 1.12\text{g}$$

答：注射 10ml 此乳酸钠注射液，有 1.12g 乳酸钠进入体内。

【例 1-3】生理盐水的物质的量浓度为 $0.154\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，计算生理盐水的质量浓度。

解： $\therefore n_B = c_B \cdot V$, $m_B = n_B M_B = c_B V M_B$

$$\therefore \rho(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V} = c(\text{NaCl}) \times M(\text{NaCl}) = 0.154\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

答：生理盐水的质量浓度为 $9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

通过计算可以得出物质 B 的质量浓度 ρ_B 与物质的量浓度 c_B 之间的关系为：

$$\rho_B = c_B \cdot M_B \quad (1-3)$$

世界卫生组织建议：在医学上表示体液组成时，凡是已知相对分子质量（或相对原子质量）的物质，均应使用物质的量浓度；对于少数相对分子质量尚未准确测定的物质，则可以使用质量浓度。对于与体液组成相同的注射液，世界卫生组织提出，在绝大多数情况下，推荐在注射液的标签上同时写明质量浓度和物质的量浓度。例如，血液中 Na^+ 、 Cl^- 、葡萄糖的含量用物质的量浓度表示，则静脉注射用氯化钠注射液和葡萄糖注射液的标签上应同时标明物质的量浓度和质量浓度。

三、质量分数

质量分数用符号 ω_B 表示。质量分数就是物质 B 的质量 m_B 除以溶液的质量 m 。即

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-4)$$

质量分数的单位是 1。在表示量值时，符号 1 一般不明确写出。但要注意，物质 B

和溶液的质量单位必须相同。量值很小时也可这样表示, 如我国食品卫生标准 GBn51-77 规定, 食品中黄曲霉毒素 B_1 的允许含量为: 大米及食用油 $\omega_B \leq 10 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 其他粮食、豆类、发酵食品 $\omega_B \leq 5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

常用试剂的商品溶液如硫酸、盐酸、硝酸、氨水等都是用质量浓度来表示含量。如浓硫酸 $\omega_B = 0.98$ 。

【例 1-4】市售浓盐酸 $\omega_B = 0.36$ ($\rho = 1.18 \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$), 计算其物质的量浓度。

解: 已知 $M(\text{HCl}) = 36.5 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\rho = 1.18 \text{kg} \cdot \text{L}^{-1} = 1.18 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

$$\because m_B = \omega_B \cdot m = \omega_B \cdot \rho \cdot V,$$

$$\begin{aligned} \therefore c(\text{HCl}) &= \frac{n(\text{HCl})}{V} = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl}) \cdot V} = \frac{\omega(\text{HCl}) \cdot \rho}{M(\text{HCl})} \\ &= \frac{0.36 \times 1.18 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}}{36.5 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 11.6 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

答: 市售浓盐酸物质的量浓度为 $11.6 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

四、体 积 分 数

体积分数的符号是 φ_B 。定义为物质 B 的体积 V_B 除以混合物的体积 V , 即

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (1-5)$$

显然体积分数的单位同样是 1。也可以用百分数表示。

医学上常用体积分数来表示溶质 B 为液体的溶液的组成。例如, 医疗常用的消毒用酒精的体积分数为 0.75 (或 75%) ; 正常人红细胞的体积分数为 0.37~0.50。

【例 1-5】如何用无水酒精配制 500ml 体积分数为 0.75 的消毒用酒精溶液?

解: 根据式 (1-5), 所需纯酒精的体积为:

$$V_{\text{酒精}} = \varphi_{\text{酒精}} \times V = 500 \text{ml} \times 0.75 = 375 \text{ml}$$

答: 量取 375ml 纯酒精, 加水稀释至 500ml, 就可配制成 500ml 消毒用酒精溶液。

五、分 子 浓 度

分子浓度定义为物质 B 的分子数 N_B 除以溶液的体积 V 。分子浓度用符号 C_B 表示。

$$C_B = \frac{N_B}{V} \quad (1-6)$$

分子浓度的 SI 单位是 m^{-3} , 医学上常用的单位是 L^{-1} 。

医学临床上常用分子浓度来表示体液中细胞的含量, 如成人血液中红细胞的分子浓度的正常参考值为 $3.8 \times 10^{12} \text{L}^{-1} \sim 5.5 \times 10^{12} \text{L}^{-1}$ 。

第二节 溶液的渗透压

人体的体液组成与维持人体正常生理功能密切相关, 而体液的渗透压在其中起着必

要的调节作用。临床上给病人大量补液时要特别注意溶液的浓度和用量，否则将会产生不良后果，甚至造成死亡。这也和溶液的渗透压有密切的关系。

一、渗透现象和渗透压

若将一滴蓝墨水滴进一杯水中，很快就会使整杯水染成蓝色。在盛有浓糖水的杯子中，在液面上小心地加入一层清水，过一会儿，上面的水也有甜味了，最后得到浓度均匀的糖水。以上现象是由于溶质分子和溶剂分子相互扩散的结果。在任何纯溶剂和溶液之间、或两种不同浓度的溶液之间，都有扩散现象发生。

如果我们用一种半透膜（semipermeable membrane），把水和溶液隔开，情况就不同了。半透膜是一种只允许某些物质（小分子、离子，如水分子）透过、而不允许另一些物质（大分子，如蛋白质等）透过的薄膜，鸡蛋膜、动物的肠衣、膀胱膜、细胞膜和毛细血管壁等都是半透膜。将鸡蛋内液装在一支上口用鸡蛋膜扎紧的倒置长颈漏斗中，然后把盛有鸡蛋内液的漏斗置于盛有蒸馏水的烧杯中，调整漏斗的高度，使鸡蛋膜内、外液面处于同一水平位置。数小时后，将会看到长颈漏斗的液面升高了。如图 1-1。

为什么会如此呢？我们知道，水分子可以从膜内和膜外向两个方向透过鸡蛋膜，而蛋白质分子不能透过。由于纯水中所含水分子的数目要比同体积的鸡蛋内液多，因此在相同时间内，从纯水透过鸡蛋膜进入鸡蛋内液的水分子比从鸡蛋内液透过鸡蛋膜进入纯水的水分子多。于是我们看到，水分子由纯水透过鸡蛋膜进入鸡蛋内液，使长颈漏斗的液面升高。我们把这种溶剂分子透过半透膜进入溶液的扩散现象称为渗透现象，简称渗透。两种不同浓度的溶液用半透膜隔开，亦会产生渗透现象。

产生渗透现象必须具备两个条件：一是有半透膜存在；二是半透膜两侧溶液的浓度（应为渗透浓度）不同。由于渗透作用，长颈漏斗内鸡蛋内液的液面逐渐上升，其静水压也随之增大，它阻止鸡蛋外液的水向鸡蛋内液中渗透，使水分子由鸡蛋外液透过半透膜进入鸡蛋内液的速率逐渐降低，当液面上升到一定高度时，就会出现水分子进出半透膜的速率相等的动态平衡，于是液面停止上升。这种恰能阻止渗透现象继续发生，而达到动态平衡的压力（等于液面升高所产生的静水压力），称为渗透压（Osmotic pressure）。换言之，当溶液与纯溶剂用半透膜隔开时，为了阻止渗透现象的发生而施加于溶液液面上的额外压力称为该溶液的渗透压。渗透压用符号 Π 表示，SI 单位为 Pa 或 kPa。渗透的方向总是从纯溶剂向溶液一方或稀溶液往浓溶液一方渗透。

两种不同渗透浓度的溶液用半透膜隔开，要阻止渗透进行，也需在浓度较高的溶液

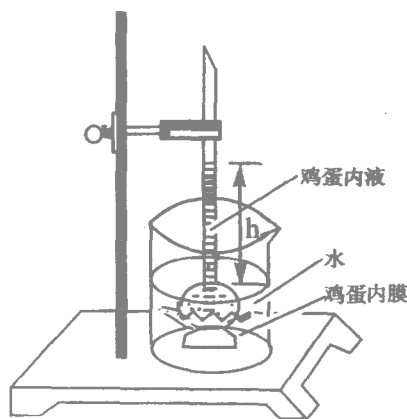


图 1-1 溶液渗透现象示意图

液面上施加一额外压力,但是此压力并非浓溶液或稀溶液的渗透压,而只是两种溶液的渗透压的差值。

二、渗透压与浓度、温度的关系

溶液的渗透压与溶液的浓度和温度有关。1877 年德国植物学家 Pfeffer 通过蔗糖溶液的渗透压实验发现如下两个规律:

1. 当温度一定时,溶液的渗透压与溶液的浓度成正比。
2. 当溶液的浓度一定时,溶液的渗透压与热力学温度成正比。

1886 年,荷兰物理学家 Van't Hoff 根据以上实验结果进一步总结出稀溶液的渗透压与溶液的浓度、温度的关系为:

$$\Pi = c_B RT = \frac{n_B}{V} RT \quad (1-7)$$

式中: Π ——溶液的渗透压 (Pa) c_B ——B 的物质的量浓度 ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)
 T ——热力学温度 (K) R ——气体常数 (即 $8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

用此式时可采用 SI 单位,对于以 SI 单位的倍数或分数表示的物理量,最好先统一化为 SI 单位,以免造成运算错误。当 c_B 的单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, Π 的单位对应为 kPa。

从上式可以看出,一定温度下稀溶液的渗透压只与单位体积溶液内溶质质点的物质的量(或颗粒数)成正比,而与溶质的本性无关。对于电解质的稀溶液,计算渗透压时应考虑电解质的电离。在渗透压公式中必须引进一个校正系数 i 。

$$\Pi = i c_B RT \quad (1-8)$$

i 在数值上为 1mol 电解质在溶液中能够离解出离子的物质的量。如 NaCl 和 CaCl_2 , i 分别为 2 和 3。

例如,在 37°C 时, $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液与 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液的渗透压分别为:

$$c(\text{葡萄糖}) = c(\text{NaCl}) = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.3 \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\Pi(\text{葡萄糖}) = 0.3 \times 10^3 \times 8.31 \times (273 + 37) = 772.8 \times 10^3 (\text{Pa})$$

$$\Pi(\text{NaCl}) = 2 \times 0.3 \times 10^3 \times 8.31 \times (273 + 37) = 1545.6 \times 10^3 (\text{Pa})$$

可以利用渗透压公式来测定、计算生物大分子的相对分子质量:

$$\because c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B}{M_B V} \quad \Pi = c_B RT = \frac{m_B}{M_B V} RT$$

$$\therefore M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V}$$

【例 1-6】将 10.0g 某大分子物质溶于 1L 水中配成溶液,在 27°C 时测得该溶液的渗透压为 0.37kPa,求这个大分子物质的相对分子质量。

解: $\because m = 10.0\text{g}$, $T = 300\text{K}$, $V = 1.0\text{L}$, $\Pi = 0.37\text{kPa}$, $R = 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1}$

$$\therefore M = \frac{mRT}{\Pi V} = \frac{10.0 \times 8.314 \times 300}{0.37 \times 1.0} = 6.7 \times 10^4 (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$$

答：此大分子物质的相对分子质量为 6.7×10^4 。

三、渗透压在医学上的意义

(一) 渗透浓度

任何溶液都具有一定的渗透压。当温度一定时，渗透压的大小只与单位体积溶液内溶质的分子和离子的质点总浓度成正比，而与溶质的本性无关，因此医学上用溶质的分子和离子总浓度的高低来比较溶液渗透压的大小。在溶液中能产生渗透效应的各种溶质的分子和离子的总浓度称为渗透浓度，用 c_{os} 表示，其常用的单位是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

对于非电解质稀溶液，渗透浓度与物质的量浓度相等；对于强电解质稀溶液，渗透浓度等于溶液中离子的总浓度。

例： $1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖， $c_{os}(\text{葡萄糖}) = 1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

$1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl}$ ， $c_{os}(\text{NaCl}) = 1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}^+ + 1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Cl}^- = 2\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

$1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$ ， $c_{os}(\text{CaCl}_2) = 1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}^{2+} + 2\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Cl}^- = 3\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

【例 1-7】计算 $50\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液和 $9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 生理盐水的渗透浓度。

解： $50\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液： $c_{os} = \frac{50\text{g} \cdot \text{L}^{-1}}{180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.278\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 278\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

$9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 生理盐水： $c_{os} = \frac{9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 2 = 0.308\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 308\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

答： $50\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液的渗透浓度是 $278\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。 $9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 生理盐水的渗透浓度是 $308\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 1-1 列出了血浆中各种能产生渗透作用的物质的平均浓度。

表 1-1 血浆中各种能产生渗透作用的物质的平均浓度

物 质	$c/\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	物 质	$c/\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$
Na^+	144	SO_4^{2-}	0.5
K^+	5	氨基酸	2
Ca^{2+}	2.5	肌酸	0.2
Mg^{2+}	1.5	乳酸盐	0.12
Cl^-	107	葡萄糖	5.6
HPO_4^{2-}	1	蛋白质	1.2
HCO_3^-	27	尿素	4

(二) 等渗、低渗和高渗溶液

相同温度下，渗透压（或渗透浓度）相等的两种溶液，称为等渗溶液。渗透压（或渗透浓度）不相等的两种溶液，相对而言，渗透压（或渗透浓度）相对较高的称为高渗

溶液；渗透压（或渗透浓度）相对较低的称为低渗溶液。

医学上是正常人血浆的渗透压（或渗透浓度）为标准来衡量溶液渗透压的相对高低。规定凡渗透浓度在 $280\sim 320\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内的溶液为等渗溶液（isotonic solution）；低于 $280\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液称为低渗溶液（hypotonic solution）；高于 $320\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液称为高渗溶液（hypertonic solution）。临床上常用的等渗溶液有 $9\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液、 $50\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液、 $19\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 乳酸钠溶液和 $12.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 溶液等。

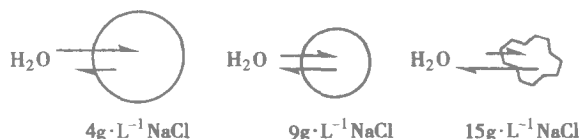


图 1-2 不同浓度 NaCl 溶液对红细胞的影响

临床上给病人大量输液时必须使用等渗溶液。否则，红细胞将变形或被破坏，失去生理功能。这可通过红细胞在不同浓度的 NaCl 溶液中的形态变化来说明其原因。将红细胞置于低渗 NaCl 溶液（如 $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液）中，则水分子透过细胞膜进入红细胞内液，使红细胞逐渐膨胀甚至破裂。这种现象医学上称为溶血。如果将红细胞置于高渗 NaCl 溶液（如 $15\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液）中，则红细胞内的水分子透过细胞膜进入 NaCl 溶液，使红细胞逐渐皱缩，这种现象医学上称为胞浆分离。如图 1-2 所示。只有将红细胞置于等渗溶液（如 $9\text{g}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液）中，红细胞形态才不发生变化，才能保持正常的生理功能。

由于某种治疗上的需要，输入少量高渗溶液也是允许的，只是应注意滴注速度和用量（当高渗溶液缓慢注入体内，即可被体液稀释成等渗溶液）。

临床上，除了补液需要等渗外，医疗药物制剂也要考虑等渗。比如给病人换药时，通常用与组织细胞液等渗的生理盐水冲洗伤口，如用纯水或高渗盐水则会引起疼痛。当配制眼药水时也必须与眼粘膜细胞的渗透压相同，否则也会刺激眼睛而疼痛。

（三）晶体渗透压与胶体渗透压

正常人体中，体液能够维持恒定的渗透压，对于水、盐代谢过程是极为重要的。血浆中含有各种无机盐和大量的蛋白质，因而具有相当大的渗透压，约为 770kPa 。其中由小分子物质所产生的渗透压称为晶体渗透压，占血浆总渗透压的绝大部分，约为 766kPa 。由各种蛋白质所产生的渗透压称为胶体渗透压，仅占 4kPa 。这是因为大分子物质的相对分子量远远大于小分子物质的相对分子量，而且小分子物质中的无机盐在水中能电离出更多的离子，所以在血浆中的蛋白质的颗粒数目比无机盐类离子少得多，而溶液的渗透压只与单位体积内所含溶质的微粒数成正比，而与溶质种类无关，故胶体渗透压比晶体渗透压低得多。

晶体渗透压的功能是调节细胞内、外水的相对平衡；胶体渗透压的功能是调节毛细血管内外水和盐的相对平衡及维持血容量。因此晶体渗透压和胶体渗透压在体内起着不

同的作用。

人体内的细胞膜、毛细血管壁等都是半透膜，但它们的通透性不同。细胞膜对物质有选择性地透过，由于晶体渗透压远大于胶体渗透压，因此水的渗透方向由晶体渗透压决定。如体内缺水就会导致细胞外液的晶体渗透压升高，使细胞内的水分子向细胞外渗透，造成细胞失水引起口渴；当大量饮水或补给大量葡萄糖溶液时，会使细胞外液渗透压降低，这样细胞外液的水分子就会通过细胞膜向细胞内渗透，使细胞膨胀，严重时导致水中毒。

毛细血管壁间隔着血液和组织间液。由于蛋白质等大分子不能通过毛细血管壁，而小分子物质可透过毛细血管壁，所以晶体渗透压虽大，但对维持毛细血管内外水分子相对平衡方面不起多大作用。虽然血浆中的胶体渗透压较小，但对维持血液与组织间液的盐水相对平衡方面却起着重要作用。例如因某种原因使血液中蛋白质含量显著减少，胶体渗透压过低，则过量小分子包括水分子从毛细血管向组织间液中渗透，引起水肿。医疗上要防止因失血导致的胶体渗透压降低，常采用输血或用代血浆输液，以避免患者血容量之不足。

习 题

- 分别计算下列溶液物质的量浓度和质量浓度：
 - 商品试剂浓硫酸含 H_2SO_4 98%，密度 $1.84\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ；
 - 4.5g NaCl 配制成 500ml 的生理盐水；
 - 将 100ml 的 $2.78\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液稀释到 1000ml。
- 临床上输液用的生理盐水和葡萄糖溶液的质量浓度为多少？如果各取 100 毫升溶液混合，与血浆相比较，此溶液是否等渗溶液？为什么？
- 糖尿病人和正常人血液中的葡萄糖的质量浓度分别是 $1.80\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.85\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。假设糖尿病人和正常人血液渗透压的差异就是因为血液中葡萄糖浓度不同所致，试计算在体温 37°C 时此渗透压之差值。
- 正常人血浆中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的物质的量浓度分别是 $2.5\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $27\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，化验测得某病人血浆中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的质量浓度分别是 $300\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试通过计算判断该病人血浆中这两种离子的含量是否正常。
- 某患者需补充 0.05molNa^+ ，应补多少克 NaCl？如果用生理盐水（质量浓度 $9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ）补 Na^+ ，需要多少毫升生理盐水？
- 某患者需用 500ml $100\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液，若用 $500\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液和 $50\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液进行配制，需要这两种溶液各多少毫升？
- 什么叫做渗透现象？产生渗透现象的条件是什么？
- 蛙肌细胞内液的渗透浓度为 $240\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，若把蛙肌细胞分别置于质量浓度为 $10\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}\text{Na}^+$ 溶液中，将各呈什么形态？
- 将 5.0g 鸡蛋白溶于水并配制成 1.0L 溶液，在 25°C 时测得该溶液的渗透压为 306Pa，计算鸡蛋白的相对分子质量。

(卢苏)

第二章 胶体溶液

构成机体组织和细胞的基础物质，如蛋白质、核酸、糖原都是胶体物质，血液、细胞液、淋巴液等都具有胶体的性质，许多药物也是以胶体溶液的形式进行生产和使用。本章将对胶体溶液的基础知识和基本性质作简单介绍。

第一节 分散系

一种或一种以上物质分散在另一种物质之中所形成的系统称为分散系统（dispersed system，简称分散系）。分散系中被分散的物质称为分散相或分散质（dispersed phase）；起分散作用的物质，也就是分散相周围的介质称为分散介质或分散剂（dispersed medium）。例如，NaCl 分散在水中成为盐水溶液，碘分散在酒精中成为碘酒，油分散在水中成为乳状液，泥土分散在水中成为泥浆，它们各自成为一个分散系。其中 NaCl、碘、油、泥土是各自分散系的分散相（分散质），而酒精、水是分散介质（分散剂）。

如果按照分散相粒子直径不同来区分，分散系可分为粗分散系、胶体分散系和分子分散系三类，如表 2-1 所示。

表 2-1 分散系按分散相粒子大小分类

分散相粒子直径	分散系类型	分散相粒子的组成	性 质				实 例
			扩散速率	能否过半透膜	系统相数	系统稳定性	
<1nm	分子分散系（真溶液）	小分子或离子	快	能	单相	稳定	生理盐水、葡萄糖溶液
1~100nm	溶胶	胶粒（分子、离子、原子的聚集体）	慢	不能	多相	不稳定	氢氧化铁溶胶 硫化砷溶胶
	胶体分散系 高分子溶液	高分子	慢	不能	单相	稳定	蛋白质溶液 核酸溶液
>100nm	粗分散系	粗粒子	极慢	不能	多相	不稳定	泥浆牛奶

粗分散系是分散相粒子直径大于 100nm 的分散系，属多相不稳定系统，凭肉眼或普通显微镜能看到分散相的颗粒。由于分散相颗粒较大，足以阻止光线通过，所以粗分

散系是浑浊的、不透明的。粗分散系主要包括悬浊液 (suspension) 和乳状液 (emulsion)。

胶体分散系 (colloidal dispersed system) 是分散相粒子直径在 $1\sim 100\text{nm}$ 之间的分散系, 包括溶胶 (sol) 和高分子溶液 (solution of high molecule)。溶胶的分散相粒子是由许多分子、原子或离子组成的聚集体, 分散相与分散介质之间存在界面。溶胶是高度分散的多相系统, 具有很大的表面积和很高的表面能, 是不稳定系统。高分子溶液是单个的大分子或大离子, 分散相能自动均匀地分散到分散介质中, 分散相与分散介质之间没有界面。高分子溶液是单相稳定系统。许多蛋白质、原生质、淋巴液、血液甚至病毒等, 几乎都以接近于胶体分散系的形式存在。因此, 研究它们常需应用胶体的知识。

分子分散系是分散相粒子直径小于 1nm 的分散系, 又称为真溶液或溶液 (solution)。溶液是分散相以单个小分子或小离子的形式均匀地分散在分散介质中所形成的分散系。溶液是一种高度分散的单相稳定系统。由于分散相颗粒很小, 不能阻止光线通过, 所以溶液是透明的。习惯上把溶液中的分散相称为溶质, 把溶液中的分散介质称为溶剂。水是一种最常用的溶剂, 通常不指明溶剂的溶液就是指水溶液。

第二节 界面现象和乳状液

对于相互接触的不同聚集状态的物质, 在相与相之间必然存在着界面 (interface)。在两相之间的界面上物质的性质有显著的变化, 因而会产生许多独特的现象, 人们把这种在相间界面上发生的物理化学现象统称为界面现象, 又称为表面现象。固相或液相与气相接触的界面习惯上称为表面。在一般情况下, “界面”和“表面”两词可通用。

一、表面能和表面张力

表面现象的发生首先和分散体系表面所具有的表面能 (interface energy) 有关。我们以液体和气体构成的表面为例。在液体内部, 分子之间的作用力互相平衡 (图 2-1 中的 A 分子), 合力为零, 因此, 处在液体内部的分子可以任意移动而无需做功。但处在表面的分子则不同, 液体内部分子对它的吸引力大, 而气体对它的吸引力小, 合力指向液体内部 (图 2-1 中的 B 分子), 所以液体表面都有自动缩小的趋势。若要增大表面, 就必须克服内部分子的引力, 将内部分子移向表面而作功, 所作的功以势能 (位能) 的形式储存于表面分子。因此, 表面层的分子要比内部分子多出一部分能量, 这一能量称为表面能。若在等温等压条件下就称为表面自由能。通常把在此条件下, 单位表面上所具有的表面能称为比表面自由能 (简称比表面能, 亦称表面张力), 以 σ 表示, 单位

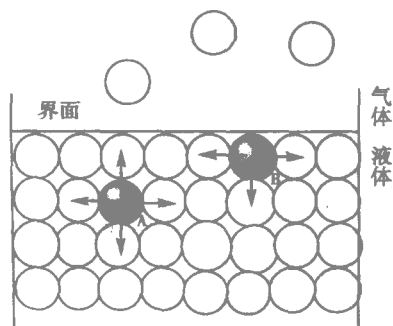


图 2-1 表面张力的来源 (示意图)

焦耳·米⁻²。表面能 (E) 等于比表面能 (σ) 与表面积 (A) 的乘积, 即:

$$E = \sigma \times A$$

对于一定量的物体, 其表面积和表面能随着分散度的增加而迅速增加。例如, 1 克重的水珠, 表面积为 $4.84 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 表面能为 $3.5 \times 10^{-5} \text{ J}$ 。若将其分散成直径为 10^{-9} m 的微小水珠, 则其总表面积达到 6000 m^2 , 表面能高达 434 J 。

物体有自动降低其位能的趋势, 如高物易落, 水向低流。物体的表面能也有自动降低的趋势, 而且表面能越大, 降低的趋势也越大。液体表面能的减小可以通过下面任何一种自动过程来实现, 即自动地减小 A 或自动减小 σ , 或者两者都自动减小。

纯液体的 σ 在一定温度下是一个常数, 因此表面能的减小, 只能通过减小 A 的办法来实现。例如水珠和汞滴总是呈球形, 因为体积同样大小的物体, 球形的表面积最小。而在溶液中表面积不变的条件下, 表面能的减小只能通过减小 σ 的办法, 即通过液体表面从周围介质中自动吸引其它物质的分子、原子或离子聚集在其表面来降低它的比表面能, 这就是吸附作用。

事实证明, 不仅在液体-气体界面上存在着表面能, 而且在任何两相, 例如固体-气体、液体-液体、固体-液体等的界面上, 同样存在着表面能, 同样地有自动降低其表面能的趋势。

二、液体界面上的吸附和表面活性物质

在一定温度下, 纯液体的表面张力有一定的值。若在纯液体(如水)中加入溶质, 由于溶液中不同的溶质分子或多或少地占据着液体的表面, 溶液的表面张力将随之改变。表面张力随溶液而变化大致有两种情况。第一种是表面张力随溶质浓度增加而升高, 如 NaCl 、 Na_2SO_4 、 NH_4Cl 、 KNO_3 等无机盐类, 以及蔗糖、甘露醇等多羟基有机物; 第二种情况是在一定范围内, 表面张力随溶质浓度的增加而降低, 如肥皂、磺基苯磺酸盐(合成洗涤剂)等。我们称第一种情况中表面张力随浓度增加而增加的物质为表面非活性物, 它们的表面张力比纯液体的大, 为了使体系的表面能趋向最低, 溶质分子就自动浓集于溶液内部, 以使表面能不致增大太大。当这种作用与溶质分子的扩散(力图使溶质分子均匀分布)之间建立平衡时, 溶液表面的浓度小于溶液内部的浓度, 我们称这种吸附为负吸附。在第二种情况中, 表面张力随浓度增大而降低的物质, 叫做表面活性物质 (surfactant or surface active agent); 其溶液的表面张力比纯液体的小, 故自动浓集于表面以降低表面张力, 结果使溶液表面的浓度大于溶液内部的浓度, 我们称这种吸附为正吸附 (positive adsorption)。

表面活性物质的分子中一般含有两种基团: 一种为亲水性基团 (hydrophilic) 或称憎油性基团, 一般为极性基团, 如 $-\text{OH}$ 、 $-\text{CN}$ 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{COONa}$ 、 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{SO}_3\text{Na}$ 等; 另一种为憎水性基团或称亲油性基团 (lipophilic), 一般为非极性基团, 它多半是直链带侧链或带苯环的有机烃基。

表面活性物质在溶液表面的排列是有规律的定向排列。当它溶于水中时, 分子中的亲水基团由于受极性水分子的吸引而向下, 而憎水基团则被排斥而朝向空气。当浓度较

大时，分子垂直排列构成单分子吸附层（图 2-2）。

在两种互不相溶的液液界面上，也存在表面张力，这种表面张力等于两液体表面张力之差。当向该体系中加表面活性物质时，也会发生类似于溶液表面的情况，即表面活性物质在液液界面上作定向排列，以自动降低表面能（图 2-3）。

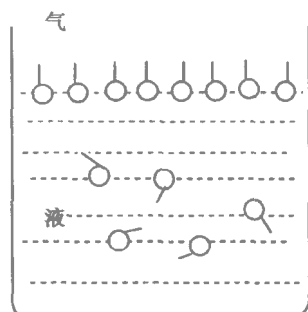


图 2-2 表面活性物质在液气表面的定向排列

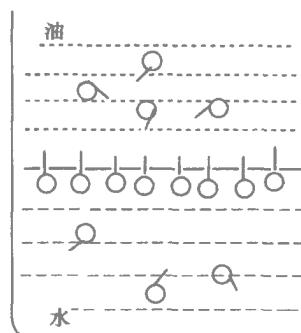


图 2-3 表面活性物质在液液界面的定向排列

三、乳状液和乳化作用

乳状液是一种液体以细小微粒（分散相）均匀分散在另一种互不相溶的液体（分散介质）中所形成的多相分散系。例如，当我们把少量油和水放在一起剧烈振荡时，则得到油为分散相水为分散介质的乳状液。但这些乳状液很不稳定，一旦振荡停止，小油滴（或小水滴）就会自动合并而分成两层。这是因为在形成乳状液的过程中，水和油之间的表面能有很大的增加，而具有很大表面能的分散系是极不稳定的，在其中将进行自动减小表面能的过程。当油和水分为两层时，体系的表面能是最小的，故油和水的乳状液能自动分层。

要制得比较稳定的乳状液，通常加入能降低两相之间表面张力的表面活性物质，以增加体系的稳定性。例如，蛋白质、肥皂、胆固醇、卵磷脂、有机酸等都有这样的作用。这种具有稳定乳状液作用的表面活性物质称为乳化剂（emulsifying agent）。

将少量油加入到适量的水中，并加入少量肥皂作为乳化剂，在振摇后就可以得到均匀稳定的乳状液，这种使乳状液易于形成并变得稳定的作用，称为乳化。牛奶是典型的乳状液，它是由微小脂肪液滴分散在水中形成的分散系。由于牛奶中的蛋白质起到了乳化剂的作用，所以牛奶具有一定的稳定性。

乳化剂为什么能使乳状液稳定呢？一方面，乳化剂是表面活性物质，能被吸附在分散相（油滴）和分散介质（水）之间的界面上，降低了表面张力和表面能，使乳状液变得稳定；另一方面，当乳化剂吸附于两相间的界面时，乳化剂分子的极性基部分伸向极性液层（水层），非极性基部分伸向非极性液层（油层），在两相界面上呈定向排列，形成乳化剂的单分子保护膜，阻止油滴之间的聚合并，从而增加了分散系的稳定程度。

(图 2-4)。

常见的乳状液一相是水溶液,简称“水”(W);另一相是有机溶剂,简称“油”(O)。显然,不论是“水”还是“油”都可以作为分散相,也可以作为分散介质。凡是“油”分散在“水”中称为“水包油”型乳状液,以“O/W”表示(图 2-4a);反之,水分散在“油”中的称为“油包水”型乳状液,以“W/O”表示(图 2-4b)。按此分类法,牛奶、豆浆、农药乳剂等属于 O/W 型,而原油属于 W/O 型。

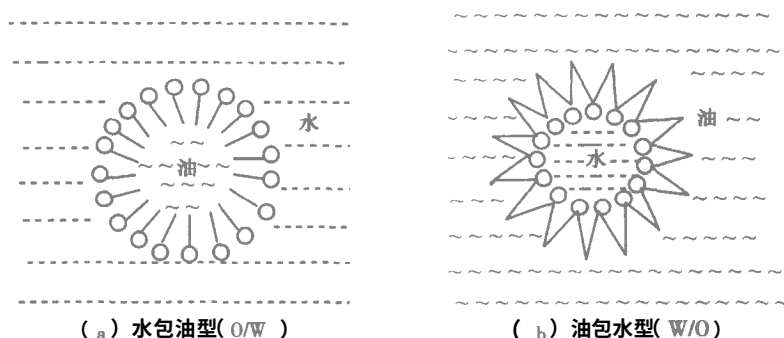


图 2-4 乳状液示意图

乳状液和乳化现象在生物学和医学上有很重要的意义。脂类在体内的消化、吸收和运输,在很大程度上依赖于乳化作用的帮助:乳化作用增加了脂类与消化液的接触面,大大加速了脂类的消化和吸收。牛奶是天然乳剂,所以它是易于消化并营养丰富的食品。药用油类常需乳化后才能作为内服剂,其目的是便于吸收并尽量减少扰乱胃肠的消化过程。此外,消毒和杀菌用的药剂常制成乳剂,以增加药物与细菌的接触,提高疗效。

第三节 溶胶

一、溶胶的性质

(一)溶胶的光学性质

当在暗室里让一束光通过溶胶时,在与光束垂直的方向上可以观察到溶胶有一个圆锥形的光柱(图 2-5)。这种现象就称为丁铎尔(Tyndall)现象。

丁铎尔现象的产生,与分散相粒子的直径及入射光的波长有关。当分散相粒子直径大于入射光的波长时,则主要发生光的反射,如粗分散系反射入射光而浑浊;当分散相粒子直径小于入射光的波长时,则发生光的散射,即光波在绕过粒子前进时,同时又会从该粒子的各个方向传播,这时粒子本身好像是个发光体,而无数个发光体的综合结

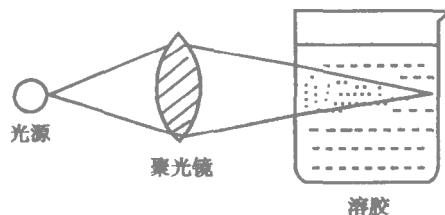


图 2-5 丁铎尔现象

果,就产生了丁铎尔现象。此时观察到的光称为散射光(也称乳光)。可见光的波长在 $400\sim 760\text{nm}$ 之间,而溶胶的分散相粒子的直径在 $1\text{nm}\sim 100\text{nm}$ 之间,小于可见光的波长。因此,当可见光照射溶胶时,发生明显散射作用而产生丁铎尔现象。真溶液由于分散相粒子直径太小,对光的散射作用甚微,观察不到丁铎尔现象;高分子溶液中的分散相粒子被一层分散质分子裹住,对光的散射作用很弱,也观察不到丁铎尔现象。因此,可利用丁铎尔现象鉴别溶胶。

(二)溶胶的动力学性质

1. 布朗(Brown)运动

若将一束强光通过胶体溶液,在旁边用超显微镜观察,可以看到胶粒在介质中不停地作不规则运动,如图 2-6 所示。这种无规则的运动就称为布朗运动。溶胶分散相粒子的布朗运动是由于分散介质分子不断地由各个方向撞击胶粒时,其合力未被互相抵消所引起的,如图 2-7 所示。由于合力在不同时间指向不同的方向,因此胶粒的运动方向时刻都在发生改变,形成了不规则的曲折运动。

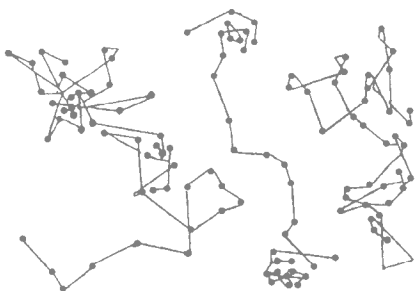


图 2-6 布朗运动示意图

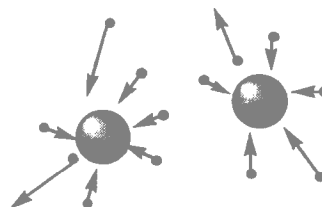


图 2-7 胶粒受介质分子冲击示意图

2. 扩散

当溶胶的不同区域存在浓度差时,溶胶的分散相粒子自动地从浓度高区域向浓度低区域迁移的现象称为溶胶的扩散(diffusion)。胶粒的布朗运动必然使溶胶表现出扩散现象,溶胶分散相粒子的扩散是以布朗运动的方式进行的。实验表明:溶胶分散相粒子的扩散速率与体系的粘度、温度及粒子大小有关,温度越高、分散相粒子越小,扩散速率就越快;而介质粘度越大则扩散速率就越慢。由于溶胶的分散相粒子比真溶液的分散相粒子大得多,因而移动速率要比真溶液的分散相粒子慢得多。

3. 沉降(sedimentation)

与扩散相反,在重力场中溶胶的分散相粒子受重力作用而下沉,这种现象称为沉降。悬浊液中的分散相粒子大而重,在重力作用下很快发生沉降,可认为不存在扩散现象。溶胶的分散相粒子较小,扩散与沉降两种作用同时存在,扩散使溶胶浓度趋向均匀一致,而沉降则使分散相粒子趋向下沉。当扩散速率与沉降速率相等时,系统处于平衡状态,这种平衡状态称为沉降平衡(sedimentation equilibrium)。达到沉降平衡时,溶胶分散相粒子的浓度从上到下逐渐增大,底部浓度最大,呈现出浓度随高度而变化的一

定分布,如图 2-8 所示。由于溶胶分散相粒子大小不等、沉降速率不一,在达到沉降平衡时,大小不同的分散相粒子按高度进行分布。基于这个原理,在实际工作中可将分散相粒子按不同大小进行分级筛选。

(三)溶胶的电学性质

如图 2-9 所示,在 U 形管中加入红棕色的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶胶,然后小心地在 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶胶的液面注入无色 NaCl 溶液,使溶胶与 NaCl 溶液之间有清晰的界面。将电极插入 NaCl 溶液中,通入直流电。一段时间后,可以看到负极一端界面上图 2-8 沉降平衡示意图

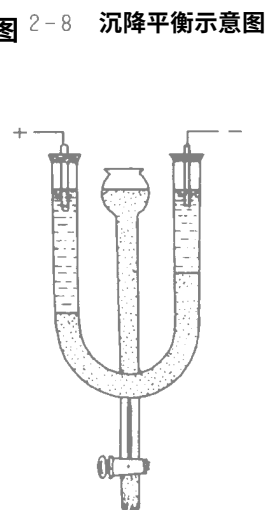
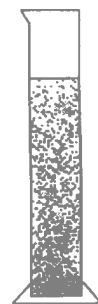


图 2-9 电泳装置

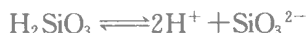
升,而正极一端界面下降,这表明 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶胶向负极移动。这种在直流电场的作用下,溶胶的分散相粒子在分散介质中定向移动的现象称为电泳 (electrophoresis)。溶胶能产生电泳现象,说明溶胶的分散相粒子是带有电荷的。根据溶胶的分散相粒子在电泳时移动的方向,可以确定它们所带的电荷。带正电荷的分散相粒子电泳时移向负极,带负电荷的分散相粒子电泳时移向正极。

电泳的应用很广泛,生物化学常用电泳法来分离各种氨基酸、蛋白质和核酸等,医学临床上利用血清的“纸上电泳”可以协助医生诊断患者是否患有肝硬化。

溶胶分散相粒子带有电荷的主要原因有吸附和解离两种作用。

溶胶的分散相粒子的表面积很大,容易吸附溶液中的离子,当吸附阳离子时分散相粒子带正电荷;吸附阴离子时则带负电荷。实验表明:与分散相粒子具有相同或类似组成的离子优先被吸附,这一现象称为法扬斯规则 (Fajans rule)。例如,用 AgNO_3 溶液和 KI 溶液来制备 AgI 溶胶,若 AgNO_3 溶液过量,分散相粒子优先吸附了有相同组成的 Ag^+ 粒子而带正电荷;若 KI 溶液过量,则优先吸附 I^- 离子而带负电荷。

除了胶粒表面吸附电荷外,胶粒带电也可能是由于表面分子的电离作用而引起的。当溶胶的分散相粒子与分散介质接触时,表面上的分子可能发生离解,有一种离子进入分散介质中,使分散相粒子带有电荷。例如,硅酸溶胶的分散相粒子是由许多硅酸分子聚集而成的,表面上的硅酸分子在水分子作用下可以发生如下离解:



离解出的 H^+ 离子进入水中,而 SiO_3^{2-} 留在分散相粒子的表面,结果使分散相粒子带负电荷。

二、胶团的结构

物质的结构决定物质的性质,弄清溶胶分散相粒子的结构对研究其性质至关重要。

现以 AgI 溶胶为例说明溶胶分散相粒子的结构。

假定制备 AgI 溶胶时 KI 溶液过量, AgNO_3 稀溶液与 KI 稀溶液混合后生成 AgI, 若干个 (以 m 表示, m 约为 1000) AgI 聚集成为直径为 1~100nm 的固体粒子, 它是溶胶的分散相粒子的核心, 称为胶核。胶核具有很大的比表面 (单位质量或单位体积物质具有的表面积), 很容易吸附离子。由于 KI 过量, 此时溶液中有 K^+ 、 NO_3^- 和 I^- 离子, 根据 Fajans 规则, 胶核优先吸附一定数目 (以 n 表示, n 的数值比 m 要小得多) 的 I^- 离子而带负电荷, 由于静电作用, 带负电的表面吸引带相反电荷的离子 (即 K^+ 离子) 保持电中性, 这样应有 n 个 K^+ 离子受到吸引, 但由于热运动, 只有 $n-x$ 个 K^+ 离子被胶核表面吸附的 I^- 离子所吸引形成了吸附层。胶核和吸附层构成了胶粒, 由于吸附层的 K^+ 离子比 I^- 离子少 x 个, 因此胶粒带 x 个单位负电荷。在吸附层外面, 还有 x 个 K^+ 离子疏散地分布在胶粒周围形成一个扩散层, 胶粒和扩散层构成了胶团, 如图 2-10 所示。

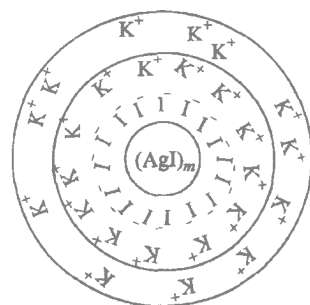
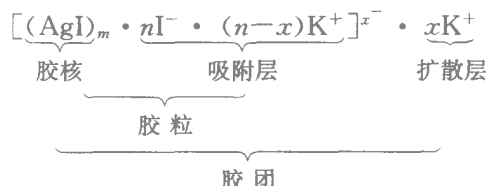
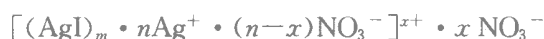


图 2-10 KI 过量时 AgI 胶团结构示意图

该胶团的结构也可用简式表示如下:



制备 AgI 溶胶时 AgNO_3 溶液过量, 胶核则优先吸附 Ag^+ 离子, 所形成胶团的结构简式为:



从胶团的结构来看, 胶粒是带电的, 但整个胶团是电中性的。在外电场作用下, 胶粒作为一个整体向某一电极移动, 而扩散层中带相反电荷的离子则向另一电极移动。

三、溶胶的聚沉

溶胶是一个热力学不稳定系统, 因为它高度分散, 胶粒具有很大的比表面, 其表面能很高, 这样使得胶粒处于不稳定状态中, 从而有强烈相互聚集减小比表面的趋势。然而, 经过净化后的溶胶在一定条件下能暂时稳定地存在较长时间。溶胶之所以能够暂时稳定存在, 其主要原因是: (1) 同种胶粒一般带有同种电荷, 胶粒之间的静电斥力使它们不易聚集变大; (2) 在胶团吸附层中的离子都有一层溶剂化 (水化) 膜, 这层膜既阻碍了胶粒之间的聚集, 又阻碍了胶粒与异号电荷离子的结合, 因而提高了稳定性; (3) 胶粒在介质中的布朗运动可使其不致因重力而沉降。

溶胶的稳定性是暂时的、相对的和有条件的, 只要减弱或消除溶胶暂时稳定存在的

因素,就能使胶粒聚集成较大的颗粒而沉降。这种使胶粒聚集成较大的颗粒而沉降的过程称为聚沉 (coagulation)。聚沉胶体是破坏胶体的一种重要措施。促使溶胶聚沉的因素很多,如电解质的作用、带相反电荷溶胶的相互作用、溶胶的浓度及温度等。其中溶胶浓度的增大和温度的升高都将使胶粒之间的相互碰撞次数增大,从而降低了溶胶的稳定性。

(一)电解质的聚沉作用

溶胶对电解质十分敏感,加入少量电解质就能使溶胶聚沉。这是由于加入电解质后,离子浓度增大,与胶粒带相反电荷的离子挤入吸附层,减少甚至完全中和了胶粒所带的电荷,使胶粒之间的斥力减小,相互碰撞时就会聚集成较大颗粒而聚沉。

实验表明:电解质主要起聚沉作用的是与胶粒带相反电荷的离子(异号离子),而且异号离子所带电荷越多,聚沉作用越强。

(二)溶胶的相互聚沉作用

把带有相反电荷的两种溶胶混合,也能使溶胶聚沉,这称为溶胶的相互聚沉现象。溶胶的相互聚沉有很大的实际意义。例如,用明矾净水就是利用明矾 $[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ 在水中水解产生的带正电的 $Al(OH)_3$ 溶胶和水中带负电的胶体污物(主要是 SiO_2 形成的溶胶)发生相互聚沉而共同沉降下来的。墨水通常是有机染料的溶胶,两种墨水所用的染料可能带有不同的电荷,因此,同一支钢笔混用两种墨水时,常会遇到胶体的相互聚沉而发生堵塞。

(三)加热

很多溶胶在加热时也能发生聚沉。加热能增加胶粒的动能和相互碰撞机会,同时减少了胶粒表面吸附的离子,因而降低了胶粒所带的电荷,碰撞时就会结合在一起聚沉下来。

四、溶胶的制备和净化

(一)溶胶的制备

制备溶胶就是要将分散相粒子分散成直径介于 $1\sim 100nm$ 之间的分散系。制备溶胶的方法原则上有两种:一种是使固体颗粒变小的分散法;另一种是使小分子或小离子聚集成胶粒的凝集法。

1. 分散法——“大分小”

分散法是用适当的方法在稳定剂存在下将固体颗粒分散成胶粒,常用的分散法有研磨法和胶溶法等。

研磨法是用胶体磨把大颗粒固体磨细,在研磨的同时加入丹宁酸或明胶作稳定剂。工业上用的胶体石墨、颜料、医用硫胶体等都是胶体磨磨制成的。

胶溶法是一种使暂时凝聚起来的分散相又重新分散的方法。把新生成的沉淀经洗涤