

高等学校试用教材

物理化学

下 册

天津大学物理化学教研室编

人民教育出版社

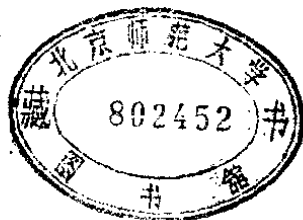
高等学校试用教材

物 理 化 学

下 册

天津大学物理化学教研室编

501133/17



人民教育出版社

高等学校试用教材

物 理 化 学

下 册

天津大学物理化学教研室编

*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

安 徽 新 华 印 刷 厂 印 装

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 17.625 字数 426,000

1979 年 5 月第 1 版 1981 年 5 月第 3 次印刷

印数 42,001—64,500

书号 13012·0360 定价 1.25 元

目 录

第七章 溶液的热力学	1
§ 7-1 稀溶液的依数性	3
§ 7-2 理想溶液的混合性质	14
§ 7-3 溶液的活度和活度系数	22
*§ 7-4 吉布斯-杜亥姆方程式	34
*§ 7-5 热力学过剩函数及其与活度系数的关系	44
*§ 7-6 正规溶液和无热溶液	48
*§ 7-7 由气液平衡数据计算实际溶液的活度系数	55
*§ 7-8 活度系数与溶液组成的关系	59
*§ 7-9 局部组成概念及其有关关联式	72
习 题	82
第八章 电化学	88
(一) 电解质溶液	89
§ 8-1 电解质溶液的导电机理	89
§ 8-2 电导、比电导和当量电导	94
§ 8-3 溶液电导的测定	98
§ 8-4 影响溶液电导的因素	100
§ 8-5 离子独立运动定律	105
§ 8-6 离子的迁移数	107
§ 8-7 电导测定的应用	114
§ 8-8 电解质溶液的活度系数	117
§ 8-9 电解质溶液理论	120
(二) 原电池	134
§ 8-10 电池的电动势	134
§ 8-11 可逆电池与不可逆电池	143
§ 8-12 原电池热力学	144
§ 8-13 电极电位和标准电极电位	150

§ 8-14 常见的几种电极·····	153
§ 8-15 浓差电池与液体接界电位·····	168
§ 8-16 电动势的测定及其应用·····	174
*§ 8-17 化学电源举例·····	186
(三) 电极过程·····	190
§ 8-18 极化现象·····	190
§ 8-19 过电位·····	194
*§ 8-20 电解时的电极反应·····	198
*§ 8-21 电化合成·····	200
*§ 8-22 金属的电化学腐蚀和防腐·····	202
习 题·····	211
第九章 表面现象 ·····	220
§ 9-1 表面能和表面自由焓·····	222
§ 9-2 润湿现象·····	227
§ 9-3 毛细现象·····	230
§ 9-4 亚稳定状态和新相的生成·····	232
§ 9-5 固体表面上的吸附作用·····	241
§ 9-6 等温吸附·····	244
*§ 9-7 吸附剂及吸附的实际应用·····	254
§ 9-8 表面活性物质·····	257
习 题·····	270
第十章 化学动力学 ·····	273
§ 10-1 化学反应的速度·····	274
(一) 化学化应的速度方程·····	277
§ 10-2 化学反应的速度方程·····	278
§ 10-3 速度方程的积分形式·····	286
§ 10-4 动力学计算举例·····	298
§ 10-5 速度方程的确定·····	312
§ 10-6 温度对反应速度的影响·····	318
(二) 反应速度理论·····	323
§ 10-7 活化能·····	325

§ 10-8 气体反应的碰撞理论	330
§ 10-9 碰撞理论与单分子反应	341
§ 10-10 过渡状态理论	344
(三) 各类复杂反应	351
§ 10-11 典型复杂反应	359
§ 10-12 连锁反应	375
§ 10-13 溶液中的反应	387
§ 10-14 多相反应	394
习 题	400
第十一章 催化作用与光化学	412
(一) 催化作用	412
§ 11-1 催化作用的通性	412
§ 11-2 单相催化反应	418
§ 11-3 多相催化反应	426
*§ 11-4 多相催化理论	439
*§ 11-5 催化剂活性及其影响因素	444
(二) 光化学	447
§ 11-6 光化学基本概念和定律	447
§ 11-7 原子和分子对光的吸收	452
§ 11-8 光化反应动力学	454
*§ 11-9 光化反应	456
*§ 11-10 温度对光化反应的影响	461
§ 11-11 光化平衡	462
*§ 11-12 现代光化学与激光化学	464
习 题	470
第十二章 胶体化学	473
(一) 胶体物系的基本概念和一般性质	473
§ 12-1 胶体物系的基本概念	473
*§ 12-2 胶体物系的制备	478
§ 12-3 胶体物系的光学性质	483
§ 12-4 胶体物系的动力性质	490

§ 12-5 胶体物系的电学性质	496
*§ 12-6 憎液溶胶胶团的结构	503
(二) 憎液溶胶的稳定和聚沉	505
§ 12-7 憎液溶胶的稳定	505
§ 12-8 憎液溶胶的聚沉	508
* (三) 乳状液、泡沫、悬浮体和气溶胶	511
*§ 12-9 乳状液	512
*§ 12-10 泡沫	520
*§ 12-11 悬浮体	522
*§ 12-12 气溶胶	526
(四) 高分子化合物溶液	535
§ 12-13 高分子溶液的渗透压和唐南平衡	537
§ 12-14 高分子溶液的粘度	541
*§ 12-15 盐析作用	544
*§ 12-16 胶凝作用、触变现象和脱水收缩	545
*§ 12-17 凝胶的溶胀	547
习 题	548
附录九 等面积图解微分法	550
附录十 速度分布与能量分布	553

第七章 溶液的热力学

将热力学的一些基本关系应用于溶液, 研究其性质及一些基本规律, 因而形成了溶液热力学。溶液方面的理论及其应用近几十年来有惊人的发展。不仅各式各样的模型理论已经建立, 并且理论涉及的范围愈来愈广, 精确度也愈来愈高。

广义地说, 由两种或多种组分所构成的固态, 液态的均相物系都称为溶液。本章主要研究液态溶液。液态溶液中包括非电解质溶液和电解质溶液等。由于电解质溶液的内容与电化学的内容有更密切的关系, 故将这部分内容编入第八章, 本章只讨论非电解质溶液。

非电解质溶液又可分为理想溶液和非理想溶液。把溶液区分为理想和非理想是很有意义的, 这不但是由于理想溶液的规律比较简单, 更重要的是它可作为非理想溶液进行比较的参考状态。通过比较使实际溶液的处理得到简化, 且有助于分析发生偏差的原因, 从而发展溶液理论, 找出规律, 作出一些科学的预示, 帮助解决生产和设计中需要解决的一些问题。

首先考虑理想溶液的热力学表示式的建立。

当温度为 T 时, 溶液中某组分 i 的气相与液相成平衡, 则在两相中该组分的化学位相等。以 μ_i^L 和 μ_i^V 分别表示组分 i 在液相和气相的化学位, 则 $\mu_i^L = \mu_i^V$ 。

若气相为理想气体, 则根据式(4-17)而得

$$\mu_i^V = \mu_i^* + RT \ln p_i$$

p_i 是溶液中组分 i 的蒸气分压, 因为是理想溶液, 所以溶液中每一个组分在整个溶液浓度范围内都服从拉乌尔定律, 则

$$p_i = p_i^* x_i$$

故 $\mu_i^L = \mu_i^V = \mu_i^*(T) + RT \ln(p_i^* x_i)$

$$\mu_i^L = \mu_i^*(T) + RT \ln p_i^* + RT \ln x_i$$

令 $\mu_i^{oL} = \mu_i^*(T) + RT \ln p_i^*$

p_i^* 是纯组分 i 的蒸气压, 在一定的温度和总压下为一定值, 所以是 P, T 的函数, 故 $\mu_i^{oL}(T, P)$ 也是温度和压力的函数。

$$\mu_i^L = \mu_i^{oL}(T, P) + RT \ln x_i$$

式中各项都是指的液相, 为了以后书写方便, 将上标 L 略去而写成

$$\mu_i = \mu_i^*(T, P) + RT \ln x_i \quad (7-1)$$

式中 $\mu_i^*(T, P)$ 是组分 i 的纯液体在指定 T, P 时的化学位。式(7-1)可以看作是拉乌尔定律的热力学表示法, 也可以看作是理想溶液的定义。凡是溶液中任一组分都遵守式(7-1)者就称为理想溶液。

然后考虑稀溶液的热力学关系式的建立。

现以组分 1 代表溶剂, 组分 2 代表溶质。组分 1 在稀溶液范围服从拉乌尔定律, 故应遵守式(7-1), 则

$$\mu_1 = \mu_1^*(T, P) + RT \ln x_1 \quad (7-2)$$

组分 2 服从亨利定律: $p_2 = kx_2$

因为 $\mu_2^L = \mu_2^V = \mu_2^{oV}(T) + RT \ln p_2$
 $= \mu_2^{oV}(T) + RT \ln k + RT \ln x_2$

令 $\mu_2^{oL} = \mu_2^{oV}(T) + RT \ln k$

故 $\mu_2^L = \mu_2^{oL}(T, k) + RT \ln x_2$

略去上标 L 写成

$$\mu_2 = \mu_2^*(T, k) + RT \ln x_2 \quad (7-3)$$

式中 $\mu_2^*(T, k)$ 是组分 2 的标准化学位, 因 k 是温度和压力的函数, 故 μ_2^* 也是温度和压力的函数。凡溶质遵从式(7-3)的溶液称为稀

溶液。

有了以上一些基础知识,我们从稀溶液入手,利用热力学的方法依次研究稀溶液,理想溶液和实际溶液中的一些特殊规律。

§ 7-1 稀溶液的依数性

当溶质溶解在溶剂中形成溶液时,使溶剂的蒸气分压较纯溶剂的蒸气压低,这种现象称为蒸气压降低。往往由此引起溶液的沸点较纯溶剂的高;溶液的凝固点较纯溶剂的低;将稀溶液和纯溶剂以半透膜隔开会产生渗透压力。稀溶液中蒸气压降低,沸点升高(若溶质不挥发),凝固点下降及渗透压力四种性质互相关连,只须知其一即能用热力学方法将其余三种求出。这四种性质都是由所含溶质分子的数目决定,而与溶质的本性无关,故称为依数性质。现在从热力学的角度来讨论。可以说明应用热力学的方法处理,所得结果确能反映客观实践的内在规律。

1. 蒸气压降低

通常纯液体在一定的温度下具有一定的蒸气压。如果溶剂中加入任何少量的溶质,必然会降低溶液中溶剂分子的浓度。因而使溶剂的饱和蒸气压减少。

根据拉乌尔定律: $p_1 = p_1^\circ x_1$

因为 $x_2 + x_1 = 1$, x_2 增大必然使 x_1 减小, p_1 下降,拉乌尔定律可以改写为

$$p_1 = p_1^\circ (1 - x_2) \quad (7-4a)$$

或

$$\Delta p = p_1^\circ - p_1 = p_1^\circ x_2 \quad (7-4b)$$

该式表示溶剂蒸气压下降与溶质摩尔分数成正比,在表 7-1 中以甘露蜜醇水溶液为例,列举了根据式(7-4b)所算出的和由实验所求得的蒸气压下降值。可以看出两者是相符的。

稀溶液溶剂的蒸气压降低的规律(拉乌尔定律)引起一系列其

表 7-1 甘露蜜醇水溶液的蒸气压下降(20°C) $p_1^0 = 0.023072 \text{ atm}$

质量摩尔浓度 m_2	溶质的摩尔分数 x_2	蒸气压下降 $\Delta P (\text{atm})$		百分误差
		$p_1^0 - p_1$ (实验值)	$p_1^0 - p_1$ (计算值)	
0.0984	0.001769	4.939×10^{-5}	4.082×10^{-5}	+1.0
0.2962	0.005307	1.213×10^{-4}	1.224×10^{-4}	+1.1
0.4938	0.008817	2.021×10^{-4}	2.034×10^{-4}	+1.1
0.6934	0.01234	2.845×10^{-4}	2.846×10^{-4}	+0.04
0.8913	0.01580	3.672×10^{-4}	3.645×10^{-4}	-0.7

它性质的规律,如溶液的沸点上升,凝固点降低,溶液的渗透压产生等,分别叙述如下。

2. 沸点升高(设溶质不挥发)

溶剂中溶解一些不挥发的溶质,则在一定温度时,由于蒸气压下降,使溶液的蒸气压小于纯溶剂的蒸气压。沸点是液体的蒸气压等于外压时的温度,在纯溶剂的沸点下,纯溶剂的蒸气压等于外压,而溶液的蒸气压显然要小于外压。要使后者的蒸气压等于外压,必须提高其温度。这种关系可用图 7-1 表示, $T - T_b = \Delta T_b$ 谓之沸点升高,升高多少与溶质浓度有关。图 7-1 中的两条曲线,分别代表纯溶剂和溶液的蒸气压与温度的关系。因为溶液的蒸气压在任何温度时均低于溶剂,所以溶液的饱和蒸气压曲线在纯溶剂的下面。如外压 $P = 1$ 大气压,纯溶剂和溶液分别在 T_b 和 T 时沸腾。所以 $T > T_b$ 。

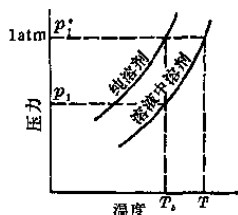


图 7-1 稀溶液的沸点上升

克劳修斯—克拉贝龙方程式是表示沸点与蒸气压力的关系式,而拉乌尔定律则表示蒸气压与浓度的关系,将两者结合在一起,则可以求出沸点升高与浓度的关系。

将克劳修斯—克拉贝龙方程式:

$$\frac{d \ln P}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

应用于溶液中溶剂的蒸气压曲线上, 由图 7-1 可知, 在温度为 T 时溶液中溶剂的蒸气压为 p_1 , 在 T_b 时其蒸气压为 p_1 。因为是稀溶液, 故可以认为 $\Delta H = \Delta H_{\text{纯}}$ 即为纯溶剂的摩尔蒸发热, 故积分上式可得

$$\int_{p_1}^{p_1^0} d \ln P = \int_{T_b}^T \frac{\Delta H_{\text{纯}}}{RT^2} dT$$

$$\ln \frac{p_1^0}{p_1} = \frac{\Delta H_{\text{纯}}}{R} \left(\frac{T - T_b}{T T_b} \right) \quad (7-5)$$

根据式(7-4a)可写为

$$\frac{p_1^0}{p_1} = \frac{1}{(1-x_2)}$$

上式两边取对数而得

$$\ln \frac{p_1^0}{p_1} = -\ln(1-x_2) \quad (7-6)$$

将式(7-6)代入式(7-5)而得

$$-\ln(1-x_2) = \frac{\Delta H_{\text{纯}}}{R} \left(\frac{T - T_b}{T_b T} \right) \quad (7-7)$$

因 T 与 T_b 两者相差很小, 故 $T_b T \approx T_b^2$ 。 $T - T_b = \Delta T_b$ 称为沸点上升。

$$\text{故} \quad -\ln(1-x_2) = \frac{\Delta H_{\text{纯}}}{R} \frac{\Delta T_b}{T_b^2} \quad (7-8)$$

函数 $-\ln(1-x_2)$ 可用幂级数展开

$$-\ln(1-x_2) = x_2 + \frac{x_2^2}{2} + \frac{x_2^3}{3} + \frac{x_2^4}{4} + \dots \quad (7-9)$$

当 x_2 很小时, x_2 的二次方及二次方以上各项都可以忽略不计。

$$\text{故} \quad -\ln(1-x_2) = x_2 \quad (7-9a)$$

将式(7-9a)代入式(7-8)而得

$$x_2 = \frac{\Delta H_{\text{融}} \Delta T_b}{RT_b^2} \quad (7-9b)$$

所以
$$\Delta T_b = \frac{RT_b^2}{\Delta H_{\text{融}}} x_2 \quad (7-10)$$

设 m 代表溶于 1000 克溶剂中溶质的摩尔数, 则:

$$x_2 = \frac{m}{\frac{1000}{M_1} + m}$$

式中 M_1 是溶剂的分子量

因为
$$\frac{1000}{M_1} \gg m$$

故
$$x_2 = \frac{m M_1}{1000} \quad (7-11)$$

将式(7-11)代入式(7-10)而得

$$\begin{aligned} \Delta T_b &= \frac{RT_b^2 M_1}{1000 \Delta H_{\text{融}}} m \\ &= K_b m \end{aligned} \quad (7-12)$$

式中
$$K_b = \frac{RT_b^2 M_1}{1000 \Delta H_{\text{融}}} \quad (7-13)$$

K_b 称为沸点上升常数, 是溶剂的特有常数。 K_b 的数值可以根据式(7-13)计算出来; 也可以通过实验的方法, 先测出 ΔT_b , 然后除以 m , 其商即为 K_b 。

下列数据为实验测定的几种液体溶剂的 K_b 。

溶 剂	K_b	溶 剂	K_b
H ₂ O	0.52	CHCl ₃	3.88
CH ₃ OH	0.80	C ₆ H ₆	2.57
(C ₂ H ₅) ₂ O	2.11	CCl ₄	5.03
C ₆ H ₅ OH	1.20	(CH ₃) ₂ CO	1.72

式(7-12)表示稀溶液的沸点升高与溶液中溶质的质量摩尔浓度成正比。该式有两种用途:

(1) 可测定溶剂的纯度(杂质的含量)。用实验的方法测出沸点升高的数值 ΔT_b , 并在已知 K_b 的条件下, 可以计算出杂质的含量 m , m 愈小则溶剂愈纯。

(2) 可测定分子量。因为只要测出 ΔT_b , K_b 为已知, 则由 $m = \frac{\Delta T_b}{K_b}$ 可以算出 m , 另外根据质量摩尔浓度的定义: $m = \frac{w_2}{M_2}$, w_2 为溶于 1000 克溶剂中溶质的质量, M_2 为溶质的分子量。

故
$$\frac{\Delta T_b}{K_b} = \frac{w_2}{M_2}$$

移项即得
$$M_2 = \frac{w_2 \cdot K_b}{\Delta T_b}$$

例 7-1 50 克 CCl_4 中溶解 0.6216 克的溶质, $\Delta T_b = 0.647$, 问溶质的分子量等于多少?

解: 已知 50 克 CCl_4 中溶解 0.6216 克的溶质, 则 1000 克 CCl_4 中溶解 w_2 的溶质,

$$w_2 = \frac{0.6216}{50} \times 1000 = 12.432\text{g}$$

$$M_2 = \frac{w_2 \cdot K_b}{\Delta T_b} = \frac{12.432 \times 5.03}{0.647} = 96.7$$

溶质的分子量为 96.7。

对于挥发性的溶质, 这方法自然不能应用, 因为溶质挥发至气相中, 有时会使溶液的总蒸气压降低, 有时反而能上升; 因此沸点有可能反而要降低。这时往往采取凝固点下降的办法来测定溶剂的纯度或溶质的分子量。

3. 凝固点下降

纯固体溶剂与溶液成平衡的温度称为溶液的凝固点。在一大

气压条件下, 纯溶剂有一定的凝固点, 但加入溶质后溶液的凝固点往往较纯溶剂低。根据相平衡的原则, 在凝固点下, 纯固体溶剂的饱和蒸气压等于其液体的饱和蒸气压。如图 7-2 所示: 纯液体溶剂的饱和蒸气压曲线 CO 和纯固体溶剂的饱和蒸气压曲线 OE 相交于 O 点, 对应于 O 点的温度 T_f 即为纯液体溶剂的凝固点, 若在溶剂中加入溶质以后, 根据蒸气压下降原理 $p_1 < p_1^*$, 溶液上呈平衡的溶剂蒸气分压 p_1 小于纯液体溶剂的饱和蒸气压 p_1^* 。故溶液在 T_f 时不会凝固, 而必须将温度降至 T , 即 EF 和 OE 的交点 E 所对应的温度, 溶液中才开始有纯固体溶剂析出, T 为溶液的凝固点。它较 T_f 低, $T_f - T = \Delta T_f$ 称为凝固点下降。

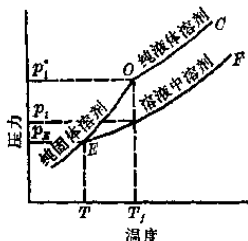


图 7-2 稀溶液的凝固点下降

将克劳修斯—克拉贝龙方程式用于 OE 线可得

$$\int_{p_E}^{p_1^*} d \ln P = \int_T^{T_f} \frac{\Delta H_{\text{融}}}{RT^2} dT$$

$$\ln \frac{p_1^*}{p_E} = \frac{\Delta H_{\text{融}}}{R} \left(\frac{T_f - T}{TT_f} \right) \quad (7-14)$$

将克劳修斯—克拉贝龙方程式用于 EF 线可得

$$\int_{p_f}^{p_1} d \ln P = \int_T^{T_f} \frac{\Delta H_{\text{蒸}}}{RT^2} dT$$

$$\ln \frac{p_1}{p_E} = \frac{\Delta H_{\text{蒸}}}{R} \left(\frac{T_f - T}{TT_f} \right) \quad (7-15)$$

将式 (7-14) 减去式 (7-15) 而得

$$\ln \frac{p_1^*}{p_1} = \frac{(\Delta H_{\text{蒸}} - \Delta H_{\text{融}})}{R} \left(\frac{T_f - T}{TT_f} \right) \quad (7-16)$$

因为

$$\Delta H_{\text{蒸}} = \Delta H_{\text{融}} + \Delta H_{\text{凝}}$$

$$\text{所以} \quad \Delta H_{\text{蒸}} - \Delta H_{\text{蒸}} = \Delta H_{\text{熔}} \quad (7-17)$$

将式(7-6)及式(7-17)代入(7-16)而得

$$-\ln(1-x_2) = \frac{\Delta H_{\text{熔}}}{R} \left(\frac{T_f - T}{TT_f} \right) \quad (7-18)$$

以后的运算与式(7-7)至(7-10)完全相似,最后可得

$$T_f - T = \Delta T_f = \frac{RT_f^2}{\Delta H_{\text{熔}}} x_2 \quad (7-19)$$

$$\Delta T_f = \frac{RT_f^2 M_1}{1000 \Delta H_{\text{熔}}} \cdot m = K_f m \quad (7-20)$$

$$\text{式中} \quad K_f = \frac{RT_f^2 M_1}{1000 \Delta H_{\text{熔}}} \quad (7-21)$$

K_f 称为凝固点下降常数,也是溶剂特有常数。 K_f 比 K_b 更易精确测定,所以式(7-20)更常用于测定分子量和溶剂纯度。

现在把几种普通溶剂的 K_f 列出如下:

溶 剂	K_f	溶 剂	K_f	溶 剂	K_f
H ₂ O	1.86	CH ₃ COOH	3.9		20.4
C ₆ H ₆	5.12		12.4		
CHBr ₃	14.4		7.27		

例 7-2 原有 500 克纯苯,有些杂质掉进苯中,测出凝固点下降 0.2048°C,问进入苯中的杂质有多少摩尔?后经分析知道进入的杂质为苯甲酸,其质量为 4.9 克。问苯甲酸的分子式?

解

$$\Delta T_f = K_f m$$

$$m = \frac{\Delta T_f}{K_f} = \frac{0.2048}{5.12} = 0.04$$

这表示 1000 克苯中含有 0.04 摩尔的杂质。因 500 克苯中进入的杂质为 4.9 克,故 1000 克苯中应含 9.8 克

$$M_2 = \frac{w_2}{m} = \frac{9.8}{0.04} = 245$$

若已知溶解进去为苯甲酸, 设其在苯中的分子式为 $(C_6H_5COOH)_x$, 单分子苯甲酸的分子量为 122, 则 $(C_6H_5COOH)_x$ 的分子量为 $122x$ 。

已知 $122x = 245$

所以 $x = \frac{245}{122} \approx 2$

故苯甲酸在苯中的分子式为 $(C_6H_5COOH)_2$

4. 渗透压力

有许多天然或人造的薄膜对于物质的透过有选择性。例如血球的膜允许 Na^+ 而不允许 K^+ 透过, 铁氰化铜的膜允许水而不允许水中的糖透过, 这种膜称为半透膜。设有一种膜允许溶剂而不允许溶质透过, 如果用这种膜把溶液与溶剂隔开, 那么溶剂就会透过半透膜而渗入溶液中, 如图 7-3 中的

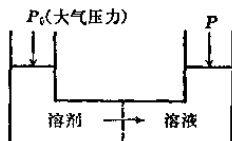


图 7-3 渗透压力的测定
(图中中间的虚线表示半透膜)

穿过半透膜的箭头所示。若在右方溶液上加大压力, 可以驱使一部分溶剂分子又从溶液这一方反渗透到溶剂那一方, 反渗透回去的溶剂分子随压力的增加而增多, 当右边溶液上边的压力增至 P , 使单位时间内反渗透回去的溶剂分子的数目, 刚好等于单位时间内由左边渗透到右边的溶剂分子的数目。这时达到渗透的动态平衡。 $P - P_0 = \pi$ 就是该溶液的渗透压力。

若图 7-3 两边的压力相等, 即 $P = P_0$ 。两边处于相同的温度条件下, 右边溶液内溶剂的化学位可以用式 (7-2) 表示为:

$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln x_1$$

图中左边为纯溶剂, 其化学位为 μ_1^0 , 在右边因为 $x_1 < 1$, 故 $\ln x_1$ 为