

第12篇 气体吸收

编写人 麦本熙 时 钧

审校人 施亚钧

非455/0503

重要物理量符号说明

符号	物理量	工程单位 (kg为重量或力)	SI单位 (kg为质量)	物理单位 (g为质量)
A	吸收因数 (= L_M/mG_M)	—	—	—
a	相接触面积	$1 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$= 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$= 0.01 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$
C	溶液浓度	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^3$	$\odot 1 \text{ kmol}/\text{m}^3$	$= 0.001 \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^3$
D	扩散系数	$1 \text{ m}^2/\text{h}$	$= 2.778 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$= 2.778 \text{ cm}^2/\text{s}$
E	亨利系数	1 atm	$= 1.013 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$	$= 1.013 \times 10^6 \text{ dyn}/\text{cm}^2$ $= 1.013 \text{ bar}$
G	气体重量(或质量)流速	$1 \text{ kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	$\odot 2.778 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$	$= 2.778 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$
G_M	气体摩尔流速	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	$\odot 2.778 \times 10^{-4} \text{ kmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$	$= 2.778 \times 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$
g	重力加速度	$9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ $= 1.27 \times 10^8 \text{ m}/\text{h}^2$	$= 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$	$= 981 \text{ cm}/\text{s}^2$
H	亨利系数	$1 \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{mol}$	$= 1.013 \times 10^5 (\text{N}/\text{m})\text{m}^3/\text{kmol}$	$= 10^3 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{g}\cdot\text{mol}$
H_G, H_{OG}, H_L, H_{OL}	传质单元高度	1 m	$= 1 \text{ m}$	$= 100 \text{ cm}$
h	填充层高度	1 m	$= 1 \text{ m}$	$= 100 \text{ cm}$
K	平衡常数(= y/x)	—	—	—
K_G, k_G	气相总、分(膜)传质系数	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{atm}$	$= 9.869 \times 10^{-6} \text{ kmol}/\text{m}^2\cdot\text{s} (\text{N}/\text{m}^2)$	$= 2.778 \times 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{atm}$
K_{Ga}, k_{Ga}	气相总、分(膜)体积传质系数	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^3\cdot\text{h}\cdot\text{atm}$	$= 2.741 \times 10^{-9} \text{ kmol}/\text{m}^3\cdot\text{s} (\text{N}/\text{m}^2)$	$= 2.778 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^3\cdot\text{s}\cdot\text{atm}$
K_L, k_L	液相总、分(膜)传质系数	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ($\text{kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^3$)	$= 2.778 \times 10^{-4} \text{ kmol}/\text{m}^2\cdot\text{s} (\text{kmol}/\text{m}^3)$	$= 0.02778 \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s} (\text{g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^3)$
K_{La}, k_{La}	液相总、分(膜)体积传质系数	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ ($\text{kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^3$)	$= 2.778 \times 10^{-4} \text{ kmol}/\text{m}^3\cdot\text{s} (\text{kmol}/\text{m}^3)$	$= 2.778 \times 10^{-4} \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^3\cdot\text{s} (\text{g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^3)$
k_I	一级反应常数	1 s^{-1}	$= 1 \text{ s}^{-1}$	$= 1 \text{ s}^{-1}$
k_{II}	二级反应常数	$1 \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{mol}\cdot\text{s}$	$= 1 \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{mol}\cdot\text{s}$	$= 1000 \text{ cm}^3/\text{g}\cdot\text{mol}\cdot\text{s}$
L	液体重量(或质量)流速	$1 \text{ kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	$\odot 2.778 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$	$= 2.778 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$
L_M	液体摩尔流速	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	$\odot 2.778 \times 10^{-4} \text{ kmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$	$= 2.778 \times 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$
m	平衡常数(= y/x)	—	—	—
N, N_P	塔板数	—	—	—
N_A	传质速率	$1 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	$\odot 2.778 \times 10^{-4} \text{ kmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$	$= 2.778 \times 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{mol}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$
N_G, N_{OG}, N_L, N_{OL}	传质单元数	—	—	—

P, p, p _v	总压, 分压, 蒸汽压	1 atm	= 1.013 × 10 ⁵ N/m ²	= 1.013 × 10 ⁶ dyn/cm ² = 1.013 bar
s	距离	1 m	= 1 m	= 100 cm
R	气体常数	848 kg · m/kg · mol · °K	○8.314 × 10 ³ J/ k mol · K	= 82.06 atm · cm ³ / g · mol · °K
T	绝对温度	1 °K	= 1 K	= 1 °K
t	温度	1 °C		= 1 °C
	时间	1 h	= 3600 s	= 3600 s
u	线速度	1 m/s	= 1 m/s	= 100 cm/s
V	体积	1 m ³	= 1 m ³	= 10 ⁶ cm ³
x	液相中某组分的摩尔 分率	—	—	—
y	气相中某组分的摩尔 分率	—	—	—
z	扩散方向上的距离	1 m	= 1 m	= 100 cm
γ	重度	1 kg/m ³		
	增强因数	—	—	—
μ	粘度	1 kg · s/m ²	= 9.81 kg/m · s	= 98.1 g/cm · s
ν	运动粘度	1 m ² /h	= 2.778 × 10 ⁻⁴ m ² /s	= 7.778 cm ² /s
	化学计量比	—	—	—
ρ	密度	1 kg · s ² /m ⁴	= 0.102 kg/m ³	= 1.02 × 10 ⁻⁴ g/cm ³
σ	表面张力	1 kg/m	= 9.81 N/m	= 9810 dyn/cm
τ	应力	1 kg/m ²	= 9.81 N/m ²	= 98.10 dyn/cm ²

附注: 上列单位有少数是习用单位, 并非严格的工程单位或物理单位 (例如有些单位中的时间以时表示而不是以秒表示, 有些压力单位用大气压表示)。上列符号与单位是本篇中通常用的表示法, 但亦有个别地方未能完全遵照此表所列, 遇有出入, 当以该处所作说明为准。

12.1 引言

气体吸收是一种或多种气体溶解于液体的过程，它是化学工业中应用相当普遍的一种单元操作。这个操作的目的是：① 为了回收气体（或蒸汽）混合物中某一组份（或几个组份）；② 为了制备一种气体（或蒸汽）与液体的混合物以适应生产的需要；③ 为了防止污染或腐蚀作用，将气流中某一有害组份除去。

吸收操作的逆过程，即将液体混合物中的某一可挥发性组份转移至气体中，称为脱吸或气（汽）提。本篇的内容主要涉及这两类连续操作所用的工业设备的设计计算问题。

表12-1列出了工业上若干重要的气体吸收过程。

表 12-1 工业上重要的气体吸收体系

溶 质	溶 剂	试 剂	工 业 重 要 程 度		
			高	中	低
CO ₂ , H ₂ S	水	.....	x		
CO ₂ , H ₂ S	水	一乙醇胺	x		
CO ₂ , H ₂ S	水	二乙醇胺	x		
CO ₂ , H ₂ S	水	三乙醇胺	...	...	x
CO ₂ , H ₂ S	水	二胺异丙醇	...	...	x
CO ₂ , H ₂ S	水	甲基二乙醇胺	...	...	x
CO ₂ , H ₂ S	水		x		
CO ₂ , H ₂ S	水	氨	...	x	
CO ₂ , H ₂ S	水	氢氧化钠, 氢氧化钾	...	x	
CO ₂ , H ₂ S	水	.....	...	x	
CO ₂	碳酸丙烯酯	.....	...	x	
CO ₂	甘油三醋酸酯	.....	...	x	
CO ₂	丁氧基二乙烯乙二醇醋酸酯	.....	...	x	
CO ₂	甲氧基三乙烯乙二醇醋酸酯	.....	...	x	
HCl, HF	水	.....	x		
HCl, HF	水	氢氧化钠	x		
Cl ₂	水	.....	x		
SO ₂	水	.....			x
SO ₂	水	氨	...	x	
SO ₂	水	.....	...	x	
SO ₂	水	二甲基苯胺	...	x	
SO ₂	水	氢氧化钙, 氧	...	...	x
SO ₂	水	硫酸氢氧化铝	...	x	
NH ₃	水	.....	x		
NO ₂	水	.....	x		
HCN	水	氢氧化钠	x		
CO	水	铜氨盐类	x		

为了使气流与液体连续接触，可以采用填充塔或板式塔。在少数情况下也有用喷洒塔的。通常气体与液体采用逆流方式通过设备，以获取最大的吸收率。在实验室中，为了研究气体吸收的机理以及操作因素的影响，也有用湿壁塔、搅拌槽以及其它机械辅助装置。

在各种气体吸收设备中，被吸收组份从气相中传递到液相中的速率决定于发生在气液界面两侧的扩散过程。例如将二氧化硫与空气的混合物与水接触，因二氧化硫可溶于水而空气则不然，气相中的二氧化硫将会逐步通过扩散而到达水面，溶解而且在水中扩散形成溶液。因此气体溶解而形成溶液的速率决定于在气液两相中的扩散速率。

气体吸收过程可以大致分为两类：物理吸收及化学吸收。

12.1.1 物理吸收

在这类操作中溶解的气体与溶剂或溶剂中某种成分并不发生任何化学反应。在这种情况下，溶解了的气体所产生的平衡蒸汽压与溶质及溶剂的性质，以及体系的温度、压力和浓度有关。吸收过程的推动力等于气相中气体的分压与溶液中溶质气体的平衡蒸汽压之差。

这类吸收过程可以分为单组分吸收和多组分吸收两者。前者是指只有一个组分溶解于液相中，后者则指多种组分的溶解。严格地讲，某些惰性气体（即指气体混合物中不溶解的部份）也会或多或少地溶解在液体中，不过在设计计算时往往略去不计。

在实际生产中，纯粹的物理吸收并不普遍。工业上可举出的实例有：用重油吸收烃类蒸汽或用水去吸收醇类或酮类物质。前者在石油炼制工业中应用较广，一般为多组份的吸收。后者则属于溶剂回收的范围，往往是单一组份的溶解。空气、氧或氢在水中的溶解可以说是纯粹的物理吸收，但没有实际意义。二氧化硫、氯气或氨在水中的吸收严格地说，应列入化学吸收的范围。

12.1.2 化学吸收

在很多情况下，溶解的气体与溶剂或与溶剂中某一组分发生化学反应，这都属于化学吸收的范围。很明显，一种快速发生的化学反应将溶解的气体转变成其它的物质，必将有助于吸收，这样可以减少气体的平衡分压，从而增加溶剂对于气体的吸收能力。这种技术已在化学工业中得到广泛应用，使能迅速而有效地除去混合气中的某些组份。例如，用氢氧化钙浆液吸收二氧化硫或用氢氧化钠或碳酸钠溶液吸收二氧化碳。还有一些重要的实例就是用稀硫酸吸收三氧化硫而得浓硫酸或发烟硫酸，以及用水吸收氧化氮混合气而得硝酸。

在溶剂中所发生的反应有可逆与不可逆之分。在前一类反应中，溶剂中必然存在着一些溶解的气体，因此液面上必有平衡气压，其大小决定于温度、浓度及平衡常数。在后一类反应中，被吸收的气体的平衡气压等于零。用一乙醇胺吸收空气中的二氧化碳是可逆反应，而用氢氧化钠溶液吸收二氧化碳则是不可逆反应。溶剂中有效组分所能增加吸收速率的程度决定于溶剂中有效组分及气体的浓度、溶质和溶剂的反应速率以及体系的温度和压力。

任何一种酸性气体（如氯化氢、二氧化硫）可以有效地用含有氢氧化钠的水溶液除去。任何碱性气体如氨可以用硫酸去吸收。这些都是不可逆反应，既吸收了溶质，也消耗了溶剂。总的来说，这是不经济的。比较实际可行的方法是采用可逆的吸收过程。在吸收了溶质之后，溶剂可以用加热或者减压或者变更酸碱度的方法使其再生，从而可以反复使用。用醇胺类水溶液吸收二氧化碳或硫化氢就是工业上普遍采用的方法，因为醇胺和酸性气体的反应是可逆的。

化学吸收中也常有多组分吸收的实例，如用醇胺溶液吸收 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ ；又如用水吸收 $\text{CO}_2 + \text{NH}_3$ 或 $\text{H}_2\text{S} + \text{NH}_3$ 。

文献中大量的数据集中于单组分的物理吸收。而工业上很多过程是具有化学反应的多组分吸收。因此设计之前往往需要中间试验或者实验室的数据。

12.2. 气体溶解度

关于气体在液体中的溶解度，至今已发表了许多数据。这些实测值主要收录在下列几本著作中：

- ① International Critical Tables (I.C.T) Vol. III (1928)
- ② Landolt-Börnstein: "Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik" Bd II, 2b (1962)
- ③ Seidell, A., W.F. Linke: "Solubilities of Inorganic and Metal Organic Compounds" 4th Ed. Vol. I. (1958). Vol II (1965)
- ④ Stephan, H., T. Stephan: "Solubilities of Inorganic and Organic Compounds" (1963)

此外，在下列两篇综合评论中也有若干经过整理的溶解度数据：

Battino, R., H.L. Clever: Chem. Rev. **66**, 395 (1966)

Wilhelm, E., R. Battino: Chem. Rev. **73**, 1 (1973)

还有，日本化工学会自1963年开始，每年刊行的“物性定数”也收录了不少溶解度数据。本书各表所列数据，主要引自Perry化工手册所辑。

12.2.1 气体溶解度的表示方法

(1) Bunsen 系数或吸收系数 (a)

Bunsen 系数的定义是：一个单位体积的溶剂所吸收的换算到标准状态下 (273.15 K, 1 atm) 的气体体积；吸收是在气体分压为 1 atm 和测量温度为 T 时进行的。

(2) Ostwald 系数 (L)

Ostwald 系数的定义是：一个单位体积的溶剂所吸收的气体体积，两者均在温度为 T，气体分压为 P_g 的情况下，即

$$L = V_g / V_s$$

式中 V_g 为溶解的气体体积， V_s 为溶剂体积。

如果气体的溶解度很小，可以假设溶液是理想的，压力的影响可以略去不计，则这两个系数之间的关系可用下式表示：

$$L = a \left(\frac{T}{273.15} \right)$$

这两种表示方法常见于早期的文献中。还有一些其它的表示方法，也都是大同小异。Friend 和 Alder^[1] 曾对此进行了讨论，并指出了在工程计算中的应用。

目前，溶解度表示方法比较普遍采用摩尔分率或者用亨利常数。

(3) 亨利 (Henry) 定律常数 (E、H 及 K 或 m)

对于溶解度较小的体系，往往适用亨利定律，亦即溶解度与气相中溶解的气体的分压成比例，即

$$p = H \cdot C \quad (12-1)$$

式中 p ——气体的分压, atm.

C ——液相中溶解气体的浓度, 通常用单位体积中的重量表示, 例如 $\text{kg} \cdot \text{mol}/\text{m}^3$,

H ——比例常数, 常称亨利系数或亨利常数, 单位为 $\text{m}^3 \cdot \text{atm}/\text{kg} \cdot \text{mol}$ 。

如溶液浓度用摩尔分率表示, 则上式将改写为

$$p = E \cdot x \quad (12-2)$$

式中 p ——气体分压, atm.

x ——溶液中气体的摩尔分率

E ——仍称亨利常数, 单位为 atm.

对于压力不高的体系, 可以假设道尔顿分压定律是适用的, 故式 (12-2) 又可写成:

$$\left. \begin{aligned} y &= mx \\ y &= Kx \end{aligned} \right\} \quad (12-3)$$

或

式中 y ——气相中可溶气体的摩尔分率

m 、 K ——通常称为平衡常数, 实质上仍是亨利常数的又一种表示方法。

这三个亨利常数的关系如下式所示:

$$E = C_T H = Pm \quad (12-4)$$

式中 C_T ——溶液的总浓度, $\text{kg} \cdot \text{mol}/\text{m}^3$

P ——气相总压, atm.

12.2.2 各种气体在水中的溶解度数值

(1) 遵循亨利定律的情况

表12-2表示若干难溶性气体在水中的 E 值。 E 值越大, 气体的溶解度越小。 E 值随温度的升高而增大。

当气体总压超过大约 5atm, 分压大于 1atm 时, 即使是表12-2所列出的难溶性气体, 亦将不遵循亨利定律。

关于压力对于亨利常数的影响, 可以通过下式计算:

$$\ln\left(\frac{\phi y P}{x}\right) = \ln E + \frac{V_2^\infty (P - P_{VP_1})}{RT} \quad (12-5)$$

式中 ϕ ——气相的逸度系数

P ——系统的压力

V_2^∞ ——在无限稀释的液相中溶质气体的总摩尔体积, 见表12-3

R ——气体常数

某些气体在一些溶剂中的典型 V_2^∞ 值见表12-3。

如计算气体在混合溶剂中的溶解度, 其近似方法可用下式计算:

$$\ln E_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^n x_i \ln H_i \quad (12-6)$$

式中 E_{mix} ——溶质气体在混合溶剂中的亨利常数

H_i ——溶质气体在溶剂 i 中的亨利常数, 均为在体系温度 T 时之值

x_i ——溶剂 i 的摩尔分率, 不计入溶质

(2) 不遵循亨利定律的情况

溶解度大的气体一般不遵循亨利定律, 如氨、氯、二氧化硫等在水中的溶解度即是如此。

表 12-2 若干气体在水中的亨利常数E之值 (E - atm)

气 体	E × 10 ⁻⁴															
	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃	45℃	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
氮	12.9		12.6		12.5		12.4		12.1		11.5					
氢	5.79	6.08	6.36	6.61	6.83	7.07	7.29	7.42	7.51	7.60	7.65	7.65	7.61	7.55	7.51	7.45
氧	5.29	5.97	6.68	7.38	8.04	8.65	9.24	9.85	10.4	10.9	11.3	12.0	12.5	12.6	12.6	12.6
空气	4.32	4.88	5.49	6.07	6.64	7.20	7.71	8.23	8.70	9.11	9.46	10.1	10.5	10.7	10.8	10.7
一氧化碳	3.52	3.96	4.42	4.89	5.36	5.80	6.20	6.59	6.96	7.29	7.61	8.21	8.45	8.45	8.46	8.46
氧	2.55	2.91	3.27	3.64	4.01	4.38	4.75	5.07	5.35	5.63	5.88	6.29	6.63	6.87	6.99	7.01
甲烷	2.24	2.59	2.97	3.37	3.76	4.13	4.49	4.86	5.20	5.51	5.77	6.26	6.66	6.82	6.92	7.01
一氧化氮	1.69	1.93	2.18	2.42	2.64	2.87	3.10	3.31	3.52	3.72	3.90	4.18	4.38	4.48	4.52	4.54
乙烷	1.26	1.55	1.89	2.26	2.63	3.02	3.42	3.83	4.23	4.63	5.00	5.65	6.23	6.61	6.87	6.92
乙烯	0.552	0.653	0.768	0.895	1.02	1.14	1.27									
丙烯		0.365 ^①	0.446	0.523 ^①	0.599 ^①											
臭氧	0.194	0.218	0.248	0.288	0.376	0.457	0.598	0.878	1.20		2.74					
COS	0.092	0.117	0.148	0.182	0.219	0.259	0.304									
氧化亚氮		0.117	0.141	0.166	0.198	0.225	0.259	0.302								
二氧化碳	0.0728	0.0876	0.104	0.122	0.142	0.164	0.186	0.209	0.233	0.257	0.283	0.341				
乙炔	0.072	0.084	0.096	0.108	0.121	0.133	0.146									
硫化氢	0.0268	0.0315	0.0367	0.0423	0.0483	0.0545	0.0609	0.0676	0.0745	0.0814	0.0884	0.103	0.119	0.135	0.144	0.148
溴	0.00213	0.00275	0.00366	0.00466	0.00593	0.00737	0.00905		0.0133		0.0191	0.0251	0.0321	0.0404		

① 内插值

表 12-3 25°C时气体在液相中的 V_1^g 值 cm^3/mol

	H ₂	N ₂	CO	O ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	SO ₂
乙醚	50	66	62	56	58					
丙酮	38	55	53	48	55	49	58	64	...	68
乙酸甲脂	38	54	53	48	53	49	62	69	...	47
四氯化碳	38	53	53	45	52	54	61	67	...	54
苯	36	53	52	46	52	51	61	67	...	48
甲醇	35	52	51	45	52	...	...	...	...	43
一氯代苯	34	50	46	43	49	50	58	64	...	48
水	26	40	36	31	37	...	...	...	...	33
在沸点时纯溶质的摩尔体积	28	35	35	28	39	42	50	55	40	45

虽然这些气体在水中能够离解，其大部份或一部份成为离子，但存在于液相中未离解的气体浓度与气相中气体的分压之间，一般认为亨利定律仍然是成立的。在表12-4至12-7中以液相中溶质摩尔分率 x 与气相中分压 p 之间的关系来表示氨、氯、二氧化硫、氯化氢在水中的溶解度。但表中的 x 不仅表示没有离解的气体，而且包含了离解的那部分在内的全部浓度之值。

藤田^[2]整理研究了许多作者有关二氧化硫-水系统的溶解度数据，在气体分压 $p > 0.025$ atm的情况下，下列经验公式成立：

$$x = aP + bP^{1.2} \quad (12-7)$$

其中 a 、 b 都可由下列关系式中求得

$$\left. \begin{aligned} \log a &= (1282/T) - 5.939 \\ \log b &= (1368/T) - 7.232 \end{aligned} \right\} \quad (12-8)$$

式中 T - 体系的绝对温度，°K

对于氯-水系统的溶解度，藤田给出了类似于二氧化硫的经验式如下：

$$x = a'P + b'P^{1.3} \quad (12-9)$$

式中的系数采用表12-8中的值。在 $p = 0.0066 \sim 1.0$ atm的气体分压范围内，由此式所得的计算值与表12-5中的实测值相比较，误差在1%以内。

表 12-4 氨在水中的溶解度

kg-NH ₃ 100kg-H ₂ O	$x \times 10^2$	P atm							
		0°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	50°C	60°C
100	51.4	1.25							
90	48.8	1.03							
80	45.8	0.837	1.30	1.91			4.34		
70	42.5	0.658	1.03	1.54			3.63		
60	38.8	0.500	0.790	1.24			2.80		
50	34.6	0.362	0.578	0.903			2.00		
40	29.7	0.250	0.396	0.618		0.946	1.40		
30	24.1	0.157	0.250	0.392		0.597	0.911		
25	20.9	0.118	0.190	0.298		0.463	0.703	0.09	
20	17.5	0.0842	0.136	0.218		0.342	0.520	0.784	1.10
15	13.7	0.0562	0.0922	0.150		0.236	0.359	0.533	0.767
10	9.57	0.0330	0.0550	0.0916		0.145	0.220	0.325	0.475
7.5	7.35	0.0233	0.0393	0.0658		0.105	0.158	0.236	0.343
5	5.02	0.0147	0.0251	0.0417		0.0671	0.101	0.151	0.217
4	4.06		0.0212	0.0328		0.0528	0.0800	0.120	0.170
3	3.08		0.0149	0.0239	0.0309	0.0389	0.0592	0.0883	0.124
2.5	2.58			0.0197	0.0255	0.0321	(0.0459) ①	(0.0733)	0.101
2	2.07			0.0158	0.0201	0.0254	(0.0395)	(0.0586)	0.0803
1.6	1.66				0.0158	0.0201	(0.0317)	(0.0467)	0.0641
1.2	1.25				0.0120	0.0151	(0.0241)	(0.0351)	0.0478
1.0	1.05				0.00974		(0.0203)	(0.0292)	0.0397
0.5	0.526				0.00447				

①外插值

表12-5 氯在水中的溶解度

P		$x \times 10^4$											
atm	mmHg	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C	110 °C
0.0658	5	1.24	1.15	1.12	1.08	1.06	1.02	0.990	0.959	0.918	0.892	0.864	0.844
0.0132	10	1.73	1.53	1.46	1.41	1.36	1.32	1.27	1.22	1.17	1.13	1.10	1.07
0.0395	30	3.10	2.60	2.38	2.23	2.10	2.01	1.92	1.83	1.76	1.69	1.66	1.60
0.0658	50	4.36	3.44	3.08	2.82	2.62	2.47	2.36	2.24	2.13	2.05	1.98	1.93
0.132	100	7.08	5.28	4.51	4.01	3.65	3.38	3.17	2.98	2.84	2.72	2.62	2.54
0.197	150	9.67	6.93	5.77	5.01	4.49	4.11	3.83	3.59	3.38	3.23	3.11	3.04
0.263	200	12.1	8.51	6.97	5.97	5.25	4.77	4.41	4.50	3.87	3.67	3.53	3.41
0.329	250	14.5	10.0	8.11	6.86	5.99	5.37	4.94	4.58	4.29	4.09	3.92	3.77
0.395	300		11.5	9.23	7.73	6.68	5.94	5.42	5.02	4.69	4.47	4.27	4.12
0.461	350		13.0	10.3	8.54	7.32	6.50	5.89	5.45	5.07	4.82	4.60	4.44
0.526	400		14.5	11.4	9.41	7.96	7.04	6.38	5.84	5.44	5.17	4.91	4.73
0.592	450		15.9	12.4	10.1	8.60	7.55	6.82	6.26	5.81	5.50	5.23	5.02
0.658	500		17.4	13.5	11.0	9.23	8.07	7.23	6.62	6.15	5.81	5.51	5.30
0.724	550		18.7	14.5	11.7	9.82	8.56	7.67	6.98	6.45	6.10	5.80	5.58
0.790	600		20.2	15.6	12.5	10.4	9.04	8.08	7.35	6.77	6.39	6.07	5.85
0.855	650		21.6	16.6	13.3	11.1	9.53	8.49	7.71	7.11	6.71	6.39	6.09
0.921	700		23.1	17.5	14.0	11.6	9.99	8.88	8.05	7.43	7.00	6.62	6.33
0.987	750		24.5	18.5	14.8	12.2	10.5	9.27	8.38	7.73	7.26	6.89	6.59
1.05	800		25.9	19.5	15.5	12.8	11.0	9.68	8.75	8.05	7.55	7.13	6.83
1.18	900			21.5	17.0	13.9	11.9	10.4	9.42	8.63	8.10	7.66	7.31
1.32	1000			23.5	18.5	15.1	12.8	11.3	10.1	9.23	8.62	8.13	7.77
1.58	1200			27.5	21.4	17.4	14.6	12.7	11.3	10.3	9.65	9.09	8.68
1.97	1500			33.6	25.8	20.6	17.2	14.9	13.2	12.0	11.1	10.5	9.98
2.63	2000			43.3	33.1	26.1	21.5	18.4	16.2	14.7	13.6	12.7	12.0
3.29	2500			53.2	40.3	31.5	25.7	21.9	19.2	17.2	15.9	14.8	14.0
3.95	3000				47.6	36.9	30.0	25.3	22.1	19.7	18.2	16.9	15.9
4.61	3500				55.1	42.4	34.3	28.9	25.0	22.3	20.5	18.9	17.9
5.26	4000				62.6	48.0	38.5	32.3	27.9	24.9	22.7	21.0	19.8
5.92	4500				70.2	52.7	42.9	35.7	30.8	27.3	24.9	23.1	21.7
6.58	5000				78.0	59.3	47.2	39.3	33.7	29.8	27.2	25.1	23.6

表12-6 二氧化硫在水中的溶解度

$\frac{\text{kg-SO}_2}{100\text{kg-H}_2\text{O}}$	$x \times 10^3$	P atm								
		0 °C	7 °C	10 °C	15 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	
20	53.3	0.850	0.865							
15	40.5	0.624	0.838	0.955						
10	27.4	0.405	0.549	0.624	0.746	0.918				
7.5	20.7	0.300	0.404	0.459	0.551	0.680	0.905			
5.0	13.9	0.195	0.261	0.297	0.355	0.442	0.595	0.875		
2.5	6.98	0.0908	0.121	0.138	0.167	0.212	0.284	0.424	0.603	
1.5	4.20	0.0500	0.0671	0.0776	0.0934	0.121	0.164	0.245	0.350	
1.0	2.80	0.0307	0.0408	0.0487	0.0579	0.0776	0.104	0.159	0.226	
0.7	1.96	0.0200	0.0271	0.0311	0.0368	0.0513	0.0684	0.115	0.153	
0.5	1.40	0.0130	0.0178	0.0205	0.0254	0.0342	0.0474	0.0750	0.108	
0.3	0.843	0.00671	0.00908	0.0104	0.0132	0.0186	0.0259			
0.2	0.562	0.00368	0.00487	0.00605	0.00750	0.0112	0.0155			0.0408
0.15	0.422	0.00250	0.00342	0.00408	0.00500	0.00763	0.0107	0.0170	0.0263	
0.10	0.281	0.00158	0.00197	0.00230	0.00290	0.00421	0.00618	0.00987	0.0158	
0.05	0.141	0.000789	0.000921	0.000987	0.00105	0.00158	0.00224	0.00368	0.00618	
0.02	0.0562	0.000392	0.000395	0.000395	0.000395	0.000658	0.000789	0.00105	0.00171	

表12-7 氯化氢在水中的溶解度

kg-HCl 100kg-H ₂ O	x × 10 ²	Patm							
		0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	50 °C	80 °C	110 °C	
78.6	28.0	6.71 × 10 ⁻¹	1.11						
68.7	24.8	1.71 × 10 ⁻¹	3.07 × 10 ⁻¹	5.25 × 10 ⁻¹	8.25 × 10 ⁻¹				
56.3	21.8	3.82 × 10 ⁻²	7.42 × 10 ⁻²	1.39 × 10 ⁻¹	2.47 × 10 ⁻¹				
47.0	18.9	7.50 × 10 ⁻³	1.55 × 10 ⁻²	3.09 × 10 ⁻²	5.86 × 10 ⁻²	7.04 × 10 ⁻¹			
38.9	16.1	1.32 × 10 ⁻³	2.99 × 10 ⁻³	6.45 × 10 ⁻³	1.30 × 10 ⁻²	1.86 × 10 ⁻¹	8.19 × 10 ⁻¹		
31.6	13.5	2.30 × 10 ⁻⁴	5.66 × 10 ⁻⁴	1.32 × 10 ⁻³	2.86 × 10 ⁻³	4.70 × 10 ⁻²	2.47 × 10 ⁻¹		1.00
25.0	11.0	4.16 × 10 ⁻⁵	1.11 × 10 ⁻⁴	2.70 × 10 ⁻⁴	6.32 × 10 ⁻⁴	1.17 × 10 ⁻²	7.17 × 10 ⁻²		3.33 × 10 ⁻¹
19.05	8.60	7.37 × 10 ⁻⁶	2.11 × 10 ⁻⁵	5.63 × 10 ⁻⁵	1.39 × 10 ⁻⁴	2.91 × 10 ⁻³	2.05 × 10 ⁻²		1.09 × 10 ⁻¹
13.64	6.31	1.30 × 10 ⁻⁶	4.01 × 10 ⁻⁵	1.16 × 10 ⁻⁵	3.08 × 10 ⁻⁵	7.24 × 10 ⁻⁴	6.13 × 10 ⁻³		3.68 × 10 ⁻²
8.70	4.12	1.55 × 10 ⁻⁷	7.67 × 10 ⁻⁷	2.34 × 10 ⁻⁶	6.78 × 10 ⁻⁶	1.79 × 10 ⁻⁴	1.76 × 10 ⁻³		1.22 × 10 ⁻²
4.17	2.02	2.37 × 10 ⁻⁸	9.08 × 10 ⁻⁸	3.16 × 10 ⁻⁷	1.01 × 10 ⁻⁶	4.53 × 10 ⁻⁵	5.13 × 10 ⁻⁴		4.08 × 10 ⁻³
2.04	0.998		1.54 × 10 ⁻⁸	5.79 × 10 ⁻⁸	1.99 × 10 ⁻⁷	8.42 × 10 ⁻⁶	1.25 × 10 ⁻⁴		1.22 × 10 ⁻³
						1.84 × 10 ⁻⁶	3.22 × 10 ⁻⁵		3.68 × 10 ⁻⁴

氨-水系统在低浓度 ($x < 0.01$) 下是遵循亨利定律的。藤田给出了在此情况下亨利常数 E 值, 见表12-9。

表12-8

温度 °C	a' × 10 ⁴	b' × 10 ⁴
0	33.0	5.46
10	19.3	5.38
20	13.2	5.44
30	9.38	5.45
40	6.90	5.31
50	5.40	5.18
60	4.20	5.05

表12-9 氨-水系统的亨利常数 E

温度 °C	0	10	20	30	40	50	60
E	0.270	0.460	0.760	1.21	1.90	2.82	4.20

E 的单位为 atm

12.2.3 有机液体蒸汽在水中的溶解度

有机蒸汽在水中的溶解度原则上是利用在恒温下测得的双组份系统气液平衡数据来求得的。但这些恒温的气液平衡数据大部份是在气液浓度比较高的条件下得出来的, 而在气体吸收中所遇到的低浓度下的实测值则极少。藤田^[1]对丙酮、甲醇、乙醇的蒸汽与水的汽液平衡关系的实测值进行了研究整理, 作出了蒸汽分压 P 与液相摩尔分率 x 的关系而以温度为参数的图表。

对于这些蒸汽在低浓度范围内的平衡关系, 亨利定律可以适用, 亨利常数 E 可由下列经验式计算:

丙酮蒸汽 ($x < 0.01$, $t = 15 \sim 45^\circ\text{C}$):

$$\log E = 7.165 - (2040/T) \quad (12-10)$$

甲醇蒸汽 ($x < 0.10$, $t = 10 \sim 50^\circ\text{C}$):

$$\log E = 5.478 - [1550/(t + 230)] \quad (12-11)$$

乙醇蒸汽 ($x < 0.01$, $t = 20 \sim 80^\circ\text{C}$):

$$\log E = 7.580 - (2390/T) \quad (12-12)$$

12.2.4 气体在非水纯液体中的溶解度

对化学工程师来说, 气体在非水纯液体中的溶解度具有很大的意义。归入上述类别的溶质与溶剂之间可能的组合非常多。●

● 在“I.C.T”等溶解度表中列出大多数已有的数据, 可查 I.C.T. 第三卷 261~270 页所列表格。

表12-10列出了某些气体在各种溶剂中的溶解度。由表可以看出，各种气体在不同溶剂中的溶解度（除水而外）相差不大。

表 12-10 用摩尔分率表示气体的溶解度数据 $t = 25^\circ\text{C}$ 分压 $P = 1 \text{ atm}$

溶剂 \ 气体	He	Ne	Ar	H ₂	N ₂	O ₂	CO ₂	CH ₄	\bar{v} (cm ³ g mol)
水	0.068	0.082	0.254	0.142	0.119	0.231	—	0.248	18.07
正己烷	2.604	3.699	25.12	6.315	14.02	19.3	—	50.37	131.62
正辛烷	2.397	3.626	24.26	6.845	13.04	20.83	—	29.27	163.54
正十四烷	2.249	3.340	26.50	—	—	—	—	—	261.31
异辛烷	3.083	4.593	29.21	7.832	15.39	28.14	138.7	29.66	166.10
环己烷	1.217	1.792	14.80	4.142	7.61	12.48	76.0	32.75	108.75
苯	0.771	1.118	8.815	2.580	4.461	8.165	97.30	20.77	89.41
甲苯	0.974	1.402	10.86	3.171	5.74	9.09	101.3	24.14	106.86
间二甲苯	1.121	1.619	—	4.153	—	—	—	—	123.47
正过氧庚烷	8.862	—	53.22	14.03	38.80	55.08	208.2	82.56	227.33
六氟苯	2.137	3.455	23.98	—	17.95	24.18	220	38.42	115.79
四氯化碳	—	—	13.51	3.349	6.480	12.01	105.3	28.70	97.09
一氯苯	0.691	0.979	8.609	2.609	4.377	7.910	98.06	20.47	102.27
硝基苯	0.350	0.436	4.448	—	—	4.95	99.80	—	102.72
甲醇	0.595	0.814	4.491	—	2.747	4.147	55.78	8.695	40.73
乙醇	0.769	1.081	6.231	2.067	3.593	5.841	63.66	12.80	58.68
丙酮	1.081	1.577	9.067	2.996	5.395	8.383	185.3	18.35	74.01
二甲苯氧化硫	0.284	0.368	1.54	0.761	0.833	1.57	90.8	3.86	71.37

所有摩尔分率 $\times 10^4$

12.2.5 碳氢化合物在油中的溶解度

碳氢化合物与油的气液平衡关系可用通用的平衡常数 K 表示如下：

$$y = Kx \quad (12-13)$$

此处 y 、 x 为该组分在气相与液相中的摩尔分率。在总压不高的情况下， K 值仅随温度与压力而变，与组成几乎无关。

在拉乌尔定律及道尔顿定律适用的情况下， K 值可按式求得：

$$K = p_v / P \quad (12-14)$$

式中 P 为总压， p_v 表示该组分在纯态下的蒸汽压。当总压在几个 atm 以下时，由此式所得之 K 值与实测值大体一致，但随着总压的升高而逐渐偏离。如用逸度代替压力来计算 K 值，则压力高至 10 多个 atm 时，与实测值仍然一致。图 12-1 给出从甲烷到正辛烷共 12 种碳氢化合物在 1 atm 下 K 值与温度的关系。1 atm 以上的 K 值可参阅本手册第十一篇蒸馏中给出的相应图表。

12.2.6 气体在盐类水溶液中的溶解度^①

气体在一般盐水溶液中的溶解度小于在纯

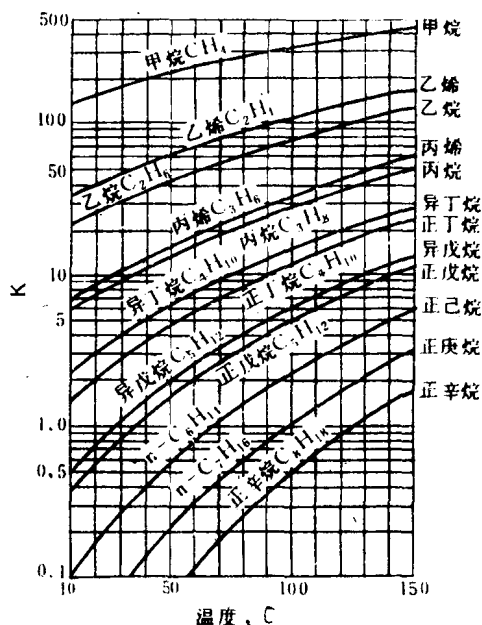


图 12-1 碳氢化合物气体的平衡常数 (1 atm)

① 在 I. C. T. 和 Seidell-Linke 等专著中有这类溶解度的实测值。

水中的溶解度，这是“盐类效应”的现象。对于电解质盐类，设气体在盐水溶液中的溶解度为C，在纯水中的溶解度为C_w，盐水溶液的离子强度为I，则三者之间有下列的关系：

$$\log(C/C_w) = -K_s I, \quad I = \left(\frac{1}{2}\right) \sum C_i Z_i^2 \quad (12-15)$$

式中的C_i、Z_i各为水溶液中的离子浓度与离子价，K_s为盐类效应系数，它随电解质及溶质气体的种类、温度等而异。Van Krevelen^[4]给出了下式用以推算K_s之值：

$$K_s = i_g + i_+ + i_- \quad (12-16)$$

式中i_g、i₊、i₋之值由溶质气体及溶液中正负离子的种类所决定。表12-11至12-13列出了所采用之值。

若水中加入非电解质，一般说来，气体的溶解度下降。如果加入的非电解质的浓度在2 kg-mol/m³以下时，其溶解度可按式计算：

$$\log(C/C_w) = -K'_s C_s \quad (12-17)$$

K'_s (m³/kg-mol) 的值仅由非电解质的种类决定，与气体的种类以及温度等几乎无关。表12-14给出了几种非电解质的K'_s值。

表 12-11 i_g 值

气 体	i _g	
	15°C	25°C
H ₂	0.002	-0.001
O ₂	0.033	0.019
N ₂ O	0.006	0.001
CO ₂	-0.010	-0.017
H ₂ S	—	-0.039
NH ₃	—	-0.050
C ₂ H ₂	—	-0.011
SO ₂	—	-0.105

表 12-12 i₋ 值

离 子	i ₋	离 子	i ₋
H ⁺	0	Ca ²⁺	0.051
NH ₄ ⁺	0.031	Ba ²⁺	0.060
K ⁺	0.071	Mn ²⁺	0.046
N ₄ ⁺	0.094	Fe ²⁺	0.049
Mg ²⁺	0.046	Co ²⁺	0.058
Zn ²⁺	0.046	Ni ²⁺	0.059

表 12-13 i₊ 值

离 子	i ₊	离 子	i ₊
NO ₃ ⁻	0	OH ⁻	0.061
I ⁻	0.005	SO ₄ ²⁻	0.021
Br ⁻	0.011	CO ₃ ²⁻	0.021
Cl ⁻	0.021		

表 12-14 K'_s 值

非电解质	分子量	K' _s
乙 醇	46	0.015
尿 素	60	0.015
甘 油	92	0.035
水合氯醛	165	0.035
蔗 糖	342	0.150

【例12-1】推算温度为25°C，分压为1atm时CO₂在1 MNa₂SO₄水溶液中的溶解度，以kg-mol/m³表示。

【解】先求得CO₂在水中的溶解度。已知p = 1atm，由表12-2查得亨利常数E = 0.164 × 10⁴atm，由式(12-2)算出水中CO₂的摩尔分率x = 1/(0.164 × 10⁴) = 6.10 × 10⁻⁴。液体的重度可用25°C时水的重度，其值为997kg/m³，将x值换算成kg-mol/m³得C_w = (997)(6.10 × 10⁻⁴)/[(44)(6.10 × 10⁻⁴) + 18(1 - 6.10 × 10⁻⁴)] = 3.38 × 10⁻²kg-mol/m³。然后计算在Na₂SO₄水溶液中的溶解度C：1M水溶液的离子强度I = (1/2)(2 × 1² + 1 × 2²) = 3.0kg-mol/m³。由表12-11, 12-12, 及12-13查得i_g = -0.017, i₊ = 0.094, i₋ = 0.021。因此K_s = -0.017 + 0.094 + 0.021 = 0.098。再引用式(12-15), log(C/C_w) = -(0.098) × (3.0) = -0.294。将求得的

C_w 值代入本式求得 C 值:

$$C = (3.38 \times 10^{-2}) (10^{-0.29}) = 1.72 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{mol} / \text{m}^3$$

此结果与文献所载之值有良好的一致性。

12.2.7 各种溶剂中乙醚蒸汽的溶解度

乙醚蒸汽的回收常用某种液体吸收剂如硫酸或间甲酚来吸收。图12-2与图12-3所示为乙醚蒸汽在各种溶剂中的溶解度。除丁醇外所有给出溶解度曲线的温度条件皆为20℃。丁醇曲线则为15℃。

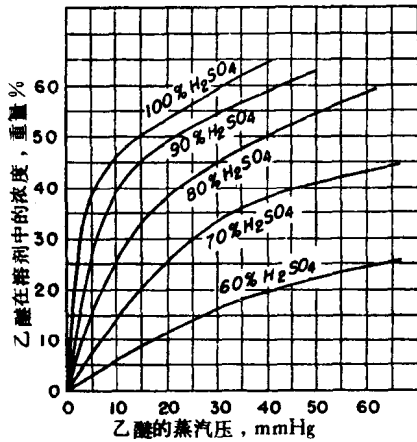


图 12-2 20℃时乙醚在几种不同浓度的硫酸水溶液中所形成的蒸汽压

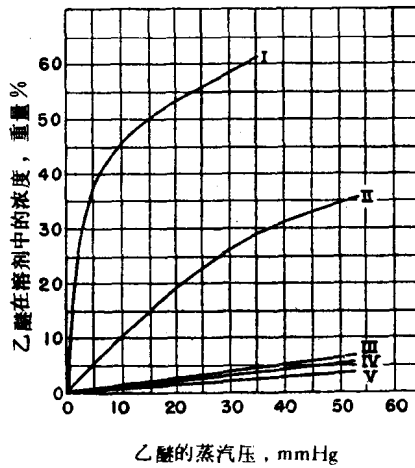
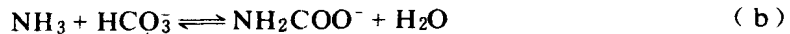


图 12-3 乙醚在几种溶剂的溶液中的蒸汽压

曲线	溶剂	温度 C
I	100% 硫酸	20
II	间甲酚	20
III	戊醇	20
IV	丁醇	15
V	乙醇	20

12.2.8 二氧化碳与硫化氢在氨水中的溶解度

当二氧化碳溶解于氨水溶液中时, 下列离子平衡式成立。



Van Krevelen, Hoftijzer与Huntjens¹⁵提出用质量作用定律以及 N_2 、 C 与离子平衡来表示溶液的组成以及 NH_3 与 CO_2 的平衡分压。质量作用常数随温度与离子强度而异。图12-4与12-5给出了典型的计算结果。图12-4表明溶解组分随 R 而变化的关系, R 为在20℃时, 全部被溶解的碳原子与被溶解的氮原子的比值。图12-5表明计算分压随 R 以及氨的总浓度 n 在20℃时的变化关系。其计算值与Van Krevelen等人的实验值接近一致。

氨水中的硫化氢溶液包含有离子反应



溶液中硫离子浓度与 HS^- 离子相比可以忽略不计。Van Krevelen等人测定了质量作用常数, 发现它与离子强度及温度有关。使用这些数值以及适用于 CO_2 与 NH_3 的那些平衡数据, 即可计算 H_2S 的平衡分压。表12-15给出了一些典型数据。在含有硫化氢的溶液面上, CO_2 与 NH_3 的分压值与含有一定数量氨但不含硫的溶液的数值接近一致, 不过氨量要根据实际溶液中氨

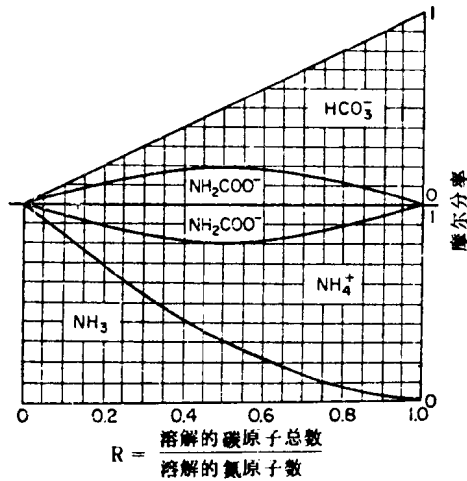


图 12-4 CO₂在氨水溶液中的平衡数据, 20℃时溶解组分的变化, 氨的总浓度 n = 2.0 N

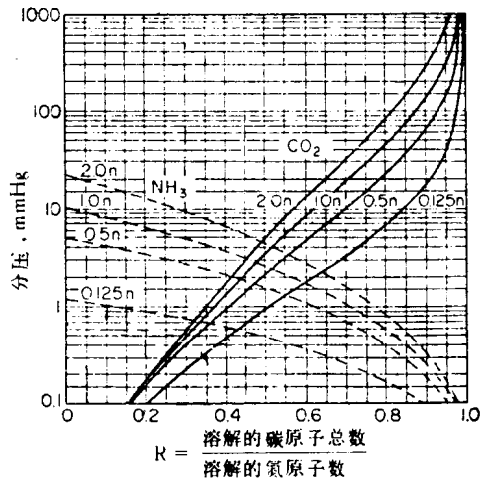


图 12-5 CO₂在氨水溶液中的平衡数据, 20℃时分压计算值, n 为总氨浓度

表 12-15 H₂S与NH₃及CO₂的水溶液平衡时典型分压数据^①

溶液的组成 g·mol/l			H ₂ S的分压 mmHg	
总NH ₃	总CO ₂	总H ₂ S	实测值	计算值
1.17	0.41	0.184	11.7	11.5
1.13	0.21	0.290	12.1	12.3
2.16	0.94	0.360	38.4	34.4
2.16	0.40	0.60	27.0	25.5

① 温度为40℃

的摩尔数减去H₂S的摩尔数计算。因此, 含有这三种气体的溶液面上NH₃与CO₂的分压值能从不含硫的溶液数据表中查得。

表12-16列出了温度为80℃时对NH₃-H₂S-H₂O体系实测数据的一部分。

表 12-16 NH₃-H₂S-H₂O体系液面上NH₃和H₂S的平衡分压

摩尔浓度		NH ₃ 的分压 (mmHg)	H ₂ S的分压 (mmHg)	摩尔浓度		NH ₃ 的分压 (mmHg)	H ₂ S的分压 (mmHg)
NH ₃	H ₂ S			NH ₃	H ₂ S		
0.960	0.971	12.0	2389	5.538	5.305	72.6	12140
1.063	1.452	4.36	8556	9.245	7.935	208	9506
2.332	1.151	136.0	319	10.201	5.983	597	1916
5.112	1.143	574	94.8	22.627	5.561	2285	241

引自J. E. C. Process Des. Dev. 17(3) 226 (1978)

12.2.9 酸性气体在烷基醇胺类溶液中的溶解度

用于提纯CO₂与NH₃的吸收过程包括用某种碱溶液来吸收CO₂。这是一种特殊类型的吸收, 溶解气体与吸收剂发生化学反应而形成一种结合得不牢固的化合物。一些有机碱类如一

乙醇胺、二乙醇胺与三乙醇胺常用于CO₂与H₂S的吸收。

表12-17给出了0~75℃时各种浓度乙醇胺溶液上的CO₂蒸汽分压(Mason与Dodge^[6])。Jones, Froning与Clayton^[7]所发表的CO₂、H₂S以及这两者的混合物在一乙醇胺水溶液中的溶解度数据,经校正后给出列在表12-18中。溶液中含15.3% (重量)的胺,相当于2.5N。有关CO₂在一乙醇胺溶液中的溶解度数据,还可参阅:

Reed与Wood [Trans. Am. Inst. Chem. Engrs., **37**, 363 (1941)]

Reed (U. S. patent, 2, 399, 142)

Lyudkovskay与Liebush [J. Appl. Chem. (U. S. S. R), **23**, 145 (1949)]

Muhlbauer与Monaghan [Oil Gas. J. **55**, 139 (1957)]

有关H₂S的溶解度数据,可参阅:

Riegger, Tartar与Lingafelter [J. Am. Chem. Soc., **66**, 2024 (1944)]

Liebush与Sneerson [J. Appl. Chem (U. S. S. R) **23**, 145 (1950)]

Reed (见上引)

Muhlbauer与Monaghan (见上引)

Atwood, Arnold与Kindrick [Ind. Eng. Chem., **49**, 1439 (1957)]

Bottoms [Ind. Eng. Chem., **23**, 501 (1931)]

表12-17A 一乙醇胺溶液的平衡数据

温度,℃	胺当量值	CO ₂ 分压 mmHg	液体浓度 mole CO ₂ /mole 胺	温度,℃	胺当量值	CO ₂ 分压 mmHg	液体浓度 mole CO ₂ /mole 胺
0.0	0.5	745.8	1.110	25.0	5.0	98.7	0.563
0.0	0.5	256.3	0.990	25.0	5.0	44.6	0.539
0.0	0.5	45.3	0.817	25.0	5.0	10.6	0.507
0.0	0.5	10.6	0.675	50.0	5.0	677.0	0.574
25.0	0.5	735.7	1.004	50.0	5.0	245.3	0.527
25.0	0.5	251.8	0.886	50.0	5.0	71.5	0.505
25.0	0.5	99.6	0.795	50.0	5.0	10.4	0.453
25.0	0.5	44.2	0.720	75.0	5.0	518.1	0.493
25.0	0.5	10.8	0.607	75.0	5.0	142.6	0.460
50.0	0.5	661.3	0.880	75.0	5.0	54.8	0.418
50.0	0.5	228.3	0.757	0.0	9.5	752.4	0.622
50.0	0.5	40.1	0.596	0.0	9.5	272.2	0.592
75.0	0.5	475.8	0.685	0.0	9.5	79.2	0.568
75.0	0.5	130.3	0.584	0.0	9.5	11.4	0.538
75.0	0.5	50.0	0.476	25.0	9.5	735.9	0.588
0.0	2.0	754.4	0.600	25.0	9.5	252.2	0.554
0.0	2.0	206.1	0.776	25.0	9.5	99.0	0.532
0.0	2.0	79.4	0.718	25.0	9.5	44.8	0.519
0.0	2.0	11.4	0.601	25.0	9.5	11.1	0.495
25.0	2.0	736.4	0.795	50.0	9.5	701.3	0.538
25.0	2.0	252.2	0.697	50.0	9.5	255.3	0.522
25.0	2.0	98.6	0.623	50.0	9.5	74.3	0.492
25.0	2.0	44.2	0.589	50.0	9.5	10.8	0.443
25.0	2.0	10.6	0.527	75.0	9.5	559.7	0.468
50.0	2.0	668.2	0.698	75.0	9.5	153.1	0.458
50.0	2.0	183.1	0.607	75.0	9.5	56.7	0.424
50.0	2.0	70.9	0.556	25.0	12.5	749.1	0.548
50.0	2.0	19.1	0.489	25.0	12.5	256.3	0.518
75.0	2.0	477.0	0.560	25.0	12.5	45.4	0.521
75.0	2.0	130.6	0.474	50.0	12.5	716.2	0.525
75.0	2.0	51.1	0.430	50.0	12.5	259.5	0.501
0.0	5.0	751.5	0.761	50.0	12.5	196.0	0.495
0.0	5.0	272.2	0.679	50.0	12.5	75.6	0.483
0.0	5.0	206.2	0.649	50.0	12.5	10.9	0.467
0.0	5.0	80.1	0.600	75.0	12.5	629.9	0.479
0.0	5.0	11.5	0.600	75.0	12.5	168.1	0.453
25.0	5.0	742.9	0.657	75.0	12.5	64.2	0.395
25.0	5.0	254.9	0.601				

表 12-17B 二乙醇胺溶液平衡数据

温度, °C	胺当量值	CO ₂ 分压 mm Hg	液体浓度 mole CO ₂ /mole 胺	温度, °C	胺当量值	CO ₂ 分压 mm Hg	液体浓度 mole CO ₂ /mole 胺
0.0	0.5	750.7	1.119	50.0	2.0	71.0	0.489
0.0	0.5	272.7	1.044	50.0	2.0	10.2	0.302
0.0	0.5	271.6	1.035	75.0	2.0	488.6	0.464
0.0	0.5	79.1	0.883	75.0	2.0	133.3	0.356
0.0	0.5	11.0	0.741	75.0	2.0	51.1	0.263
25.0	0.5	732.3	0.987	0.0	5.0	755.1	0.762
25.0	0.5	249.6	0.912	0	5.0	206.3	0.683
25.0	0.5	97.9	0.797	0	5.0	79.4	0.638
25.0	0.5	44.3	0.714	0	5.0	11.4	0.526
25.0	0.5	11.0	0.551	25.0	5.0	741.1	0.661
50.0	0.5	666.4	0.883	25.0	5.0	253.6	0.589
50.0	0.5	241.2	0.778	25.0	5.0	44.8	0.506
50.0	0.5	70.8	0.588	50.0	5.0	682.4	0.562
50.0	0.5	10.1	0.336	50.0	5.0	246.1	0.491
75.0	0.5	474.5	0.630	50.0	5.0	71.8	0.414
75.0	0.5	129.8	0.456	50.0	5.0	10.4	0.254
75.0	0.5	50.0	0.355	75.0	5.0	520.0	0.403
0.0	2.0	751.0	0.936	75.0	5.0	142.6	0.327
0.0	2.0	272.1	0.837	75.0	5.0	54.9	0.242
0.0	2.0	80.1	0.752	25.0	8.0	744.0	0.582
0.0	2.0	11.5	0.604	25.0	8.0	268.4	0.553
25.0	2.0	735.5	0.753	25.0	8.0	78.4	0.480
25.0	2.0	729.0	0.813	50.0	8.0	703.5	0.515
25.0	2.0	249.9	0.717	50.0	8.0	193.0	0.458
25.0	2.0	99.3	0.633	50.0	8.0	74.5	0.387
25.0	2.0	44.3	0.553	50.0	8.0	10.6	0.250
25.0	2.0	10.5	0.451	75.0	8.0	574.0	0.368
50.0	2.0	668.4	0.680	75.0	8.0	155.9	0.302
50.0	2.0	242.3	0.562	75.0	8.0	58.9	0.215
50.0	2.0	183.8	0.343				

表 12-17C 三乙醇胺溶液平衡数据

温度, °C	胺当量值	CO ₂ 分压 mm Hg	液体浓度 mole CO ₂ /mole 胺	温度, °C	胺当量值	CO ₂ 分压 mm Hg	液体浓度 mole CO ₂ /mole 胺
0.0	0.5	756.4	1.100	25.0	2.0	99.5	0.316
0.0	0.5	258.9	0.943	25.0	2.0	45.4	0.209
0.0	0.5	100.3	0.805	25.0	2.0	11.0	0.0930
0.0	0.5	45.6	0.645	25.0	2.0	1.4	0.0332
0.0	0.5	10.7	0.378	50.0	2.0	662.8	0.382
25.0	0.5	739.3	0.921	50.0	2.0	230.3	0.216
25.0	0.5	253.6	0.715	50.0	2.0	88.7	0.130
25.0	0.5	99.3	0.512	50.0	2.0	40.4	0.0791
25.0	0.5	44.5	0.375	50.0	2.0	9.4	0.0346
25.0	0.5	10.5	0.191	75.0	2.0	485.9	0.158
50.0	0.5	658.7	0.623	75.0	2.0	132.6	0.0771
50.0	0.5	229.1	0.408	75.0	2.0	51.2	0.0518
50.0	0.5	88.2	0.262	25.0	3.5	731.0	0.595
50.0	0.5	44.3	0.162	25.0	3.5	420.0	0.484
50.0	0.5	8.3	0.0812	25.0	3.5	183.0	0.312
75.0	0.5	474.7	0.327	25.0	3.5	46.6	0.143
75.0	0.5	129.9	0.177	25.0	3.5	31.6	0.114
75.0	0.5	50.1	0.116	25.0	3.5	10.0	0.0620
25.0	1.0	723.0	0.805	25.0	5.0	738.6	0.453
25.0	1.0	259.6	0.612	25.0	5.0	266.4	0.258
25.0	1.0	96.7	0.424	25.0	5.0	98.7	0.115
25.0	1.0	43.4	0.294	25.0	5.0	77.8	0.108
25.0	1.0	10.8	0.161	25.0	5.0	44.5	0.0729
25.0	1.0	1.4	0.0587	25.0	5.0	10.6	0.0292
0.0	2.0	752.0	0.954	50.0	5.0	678.8	0.142
0.0	2.0	259.3	0.818	50.0	5.0	234.2	0.0682
0.0	2.0	100.4	0.662	50.0	5.0	41.2	0.0248
0.0	2.0	45.8	0.484	75.0	5.0	534.7	0.0669
0.0	2.0	10.7	0.263	75.0	5.0	146.6	0.0302
25.0	2.0	734.0	0.715	75.0	5.0	56.1	0.0133