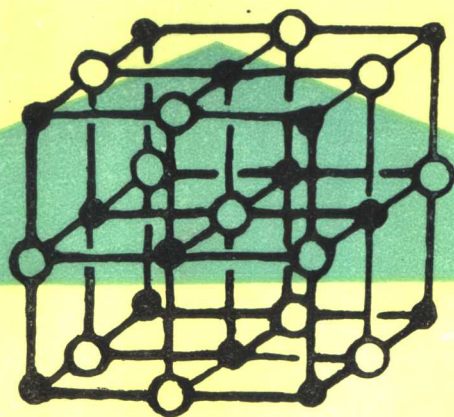


无机化学

马祥志 主编



中南工业大学出版社

无机化学

主 编：马祥志

副主编：白明良 邓焕美 梁继周



中南工业大学出版社

无 机 化 学

主 编：马祥志

责任编辑：夏仲海

•

中南工业大学出版社出版发行

湖南省轻工业专科学校印刷厂印装

湖 南 省 新 华 书 店 经 销

•

开本：787×1092 1/16 印张：17.5 字数：448千字 插页：1

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数：0001—6000

•

ISBN 7-81020-315-0/O·050

定价：5.70元

● 前 言

本书是为适应高等专科学校的教学需要,参照卫生、轻工、石油化工、环保、建工和冶金系统的专科学校的无机化学教学大纲,由十六所院校的教师联合编写而成的。在编写过程中,力求突出高等专科学校的教学特点,以基础知识、基础理论和基本技能为主线,坚持少而精的原则,对高深理论和复杂的数学推导进行简化处理,力争做到重点突出,文字简练。

化学是一门以实验为基础的学科,为使理论教学与实验教学紧密配合,在编写理论教材的同时,编有《无机化学实验》教材,配套出版发行。全套教材按总学时130规划,理论课90学时,实验课40学时,各校在使用时可根据具体情况,自行取舍。

本书由湖南医学专科学校马祥志副教授主编,辽宁省卫生职工医学院白明良副教授、湖南省轻工业专科学校邓焕美副教授和梁继周副教授为副主编。

参加本书编写工作的有(按所编章次顺序排列):马祥志(第一章)、昆明冶金专科学校刘表伦(第二章)、湖南省城市建设专科学校叶斌(第三章)、山西省轻工业学校寇玉泉(第四章)、李奠础和王常青(第十二章)、广东石油化工专科学校蒋维(第五章)、陈赵生(第六章)、许桂(第十三章)、四川广元职工医学院申明侠(第七章)、长沙大学戴曼娜(第八章)、辽宁省卫生职工医学院白明良和张晓继(第九章)、沈阳职工医学院关艳敏(第十章)、长沙工业学校戴连康(第十一章)、辽阳石油化工专科学校闻经邦(第十四章)、吉首大学付铁祥(第十五章)、湖南省轻工业专科学校邱瑞林、湖南医学专科学校李晓如和冯志明、湖南省第二轻工业学校刘守信等参加了审定工作。

本书使用我国最新颁布的法定计量单位。

编写多系统横向联系教材,困难不少,加之我们水平有限,书中不妥之处,欢迎批评指正。

编 者

1990.7.

目 录

1 气体和溶液	1
1.1 气体	1
1.1.1 理想气体状态方程式	1
1.1.2 气体分压定律	2
1.2 溶液	3
1.2.1 物质的溶解和溶解度	3
1.2.2 溶液的浓度	4
1.2.3 溶液浓度的计算	6
1.2.4 溶液的配制	8
习题	9
2 稀溶液的依数性	10
2.1 溶液的蒸气压下降	10
2.1.1 纯溶剂的蒸气压	10
2.1.2 溶液的蒸气压	11
2.2 溶液的沸点上升	12
2.2.1 溶液的沸点	12
2.2.2 溶液的沸点和浓度的关系	13
2.3 溶液的凝固点下降	14
2.3.1 纯溶剂的凝固点	14
2.3.2 溶液的凝固点与浓度的关系	14
2.4 溶液的渗透压	16
2.4.1 渗透现象和渗透压	16
2.4.2 溶液的渗透压与浓度和温度的关系	17
2.4.3 渗透压的应用	18
习题	19
3 胶体溶液	20
3.1 溶胶	20
3.1.1 溶胶的基本特征	20
3.1.2 溶胶的结构	21
3.1.3 溶胶的性质	22
3.1.4 溶胶的稳定性和聚沉	24
3.2 高分子溶液	25

3.2.1 高分子化合物	25
3.2.2 高分子溶液的性质	25
3.2.3 高分子溶液的应用	26
3.2.4 凝胶	27
习题	28
4 化学热力学基础	29
4.1 化学热力学的基本概念和术语	29
4.1.1 体系和环境	29
4.1.2 状态和状态函数	29
4.1.3 过程和途径	30
4.1.4 热、功和内能	30
4.2 热力学第一定律	31
4.2.1 热力学第一定律	31
4.2.2 焓	32
4.3 化学反应热效应	32
4.3.1 等容反应热和等压反应热	33
4.3.2 热化学方程式	34
4.3.3 盖斯定律	34
4.3.4 生成焓和燃烧焓	36
4.4 热力学第二定律	39
4.4.1 熵的意义及其应用	39
4.4.2 吉布斯自由能及其应用	41
习题	44
5 化学反应速度	46
5.1 化学反应速度	46
5.1.1 化学反应速度及其表示方法	46
5.1.2 平均速度和瞬时速变	47
5.2 反应的活化能	48
5.2.1 活化分子与活化能	48
5.2.2 活化能与反应热效应之间的关系	49
5.3 浓度对反应速度的影响	49
5.3.1 反应机理 基元反应 非基元反应	50
5.3.2 浓度与反应速度的定量关系——质量作用定律	50
5.3.3 反应级数与反应分子数	52
5.4 温度对反应速度的影响	53
5.5 催化剂对反应速度的影响	56
5.5.1 催化剂和催化作用	56

5.5.2	催化剂对化学反应速度的影响	56
5.5.3	催化剂的选择性	57
	习题	58
6	化学平衡	59
6.1	可逆反应与化学平衡	59
6.1.1	可逆反应	59
6.1.2	化学平衡	59
6.1.3	化学平衡常数	60
6.1.4	平衡常数与自由能变化的关系	63
6.1.5	化学平衡常数的应用	64
6.2	化学平衡的移动	67
6.2.1	浓度对化学平衡的影响	67
6.2.2	压力对化学平衡的影响	67
6.2.3	温度对化学平衡的影响	69
6.2.4	平衡移动原理	70
6.2.5	化学平衡移动原理的实际应用	70
	习题	71
7	电解质溶液	73
7.1	电离平衡	73
7.1.1	酸碱的电离理论	73
7.1.2	酸碱质子理论	73
7.1.3	电离度	74
7.1.4	强电解质溶液	75
7.1.5	水的电离和溶液pH值	78
7.2	弱电解质的电离平衡	79
7.2.1	一元弱酸弱碱的电离平衡	79
7.2.2	同离子效应和盐效应	80
7.2.3	多元弱酸的电离	82
7.2.4	电离常数的应用	83
7.3	缓冲溶液	84
7.3.1	缓冲溶液及pH值计算	84
7.3.2	缓冲溶液的选择和配制	87
7.4	盐类的水解	88
7.4.1	各类盐的水解及盐溶液pH值的计算	88
7.4.2	影响水解平衡移动的因素	91
	习题	92
8	难溶电解质的沉淀溶解平衡	94
8.1	难溶电解质的溶度积	94

8.1.1	溶度积	94
8.1.2	溶度积与溶解度	95
8.1.3	溶度积规则	96
8.2	沉淀的生成与溶解	97
8.2.1	沉淀的生成与转化	97
8.2.2	沉淀的溶解	101
8.2.3	同离子效应和盐效应	102
	习题	104
9	氧化还原与电化学	106
9.1	氧化还原反应	106
9.1.1	氧化数	106
9.1.2	氧化还原反应	107
9.1.3	氧化还原反应方程式的配平	107
9.2	原电池和电极电势	111
9.2.1	原电池	111
9.2.2	电极电势	113
9.2.3	影响电极电势的因素	116
9.3	电动势与反应吉布斯函数变及平衡常数的关系	118
9.3.1	电动势与反应吉布斯函数变 (ΔG) 的关系	118
9.3.2	电动势与平衡常数的关系	119
9.4	电极电势的应用	120
9.4.1	比较氧化剂和还原剂的相对强弱	120
9.4.2	判断氧化还原反应进行的方向和程度	122
9.4.3	计算原电池的电动势、设计化学电源	124
9.4.4	电势法测定溶液的pH值	126
9.5	电解和电镀	127
9.5.1	电解	128
9.5.2	电镀	131
9.6	金属的腐蚀及其防止	131
9.6.1	腐蚀的分类	131
9.6.2	金属腐蚀的防止	133
	习题	133
10	原子结构	136
10.1	微观粒子的波粒二象性	136
10.1.1	氢原子光谱	136
10.1.2	玻尔理论	137
10.1.3	实物粒子的特性——波粒二象性	138
10.1.4	波函数和几率密度	139

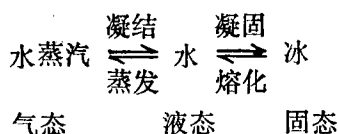
10.1.5	几率密度和电子云	141
10.2	氢原子核外电子的运动状态	143
10.2.1	主量子数 (n)	143
10.2.2	角量子数 (l)	143
10.2.3	磁量子数 (m)	144
10.2.4	自旋量子数 (m_s)	144
10.3	多电子原子核外电子运动状态	145
10.3.1	多电子原子的能级	145
10.3.2	核外电子排布的一般规律	147
10.3.3	核外电子的排布	148
10.4	核外电子排布与周期表	149
10.4.1	核外电子排布与周期表	149
10.4.2	原子结构与元素性质	151
	习题	154
11	分子结构	156
11.1	离子键	156
11.1.1	离子键的形成和特征	156
11.1.2	离子晶体	157
11.2	共价键	159
11.2.1	共价键理论	159
11.2.2	共价键的特征	164
11.2.3	共价键参数	165
11.2.4	键的极性和分子的极性	166
11.2.5	配位键	168
11.3	金属键	169
11.3.1	金属晶体	169
11.3.2	金属键	170
11.4	分子间作用力和氢键	171
11.4.1	分子间作用力	171
11.4.2	氢键	172
11.4.3	分子晶体与原子晶体	173
	习题	175
12	配位化合物	176
12.1	配位化合物	176
12.1.1	配位化合物的意义	176
12.1.2	配合物的组成和结构特征	176
12.1.3	配合物的命名	178
12.1.4	价键理论在配合物中的应用	178

12.1.5 螯合物	183
12.2 配位化合物的稳定性	184
12.2.1 配离子的形成与离解	185
12.2.2 稳定常数	185
12.2.3 配位平衡的移动	187
12.2.4 稳定常数在计算中的应用	188
习题	192
13 S区元素	193
13.1 氢	193
13.1.1 单质氢	193
13.1.2 氢原子的成键特性	194
13.2 碱金属	195
13.2.1 通性	195
13.2.2 钠和钾的化合物	198
13.2.3 钠和钾的单质及化合物的应用	200
13.3 碱土金属	201
13.3.1 通性	201
13.3.2 钙和镁的化合物	203
习题	205
14 P区元素	207
14.1 卤族元素	207
14.1.1 卤素的通性	207
14.1.2 卤素的主要化合物	209
14.1.3 卤素及主要化合物的应用	213
14.2 氧族元素	213
14.2.1 氧族元素的通性	214
14.2.2 氧和硫的单质	214
14.2.3 过氧化氢、硫化氢与金属硫化物	216
14.2.4 硫的含氧化合物	219
14.3 氮族元素	222
14.3.1 氮族元素的通性	222
14.3.2 氮和磷的单质	222
14.3.3 氨和铵盐	224
14.3.4 氮的含氧酸及其盐	226
14.3.5 磷的含氧化合物	228
14.4 碳族元素	229
14.4.1 碳族元素的通性	229
14.4.2 碳 碳酸 碳酸盐	229

14.4.3 二氧化硅 硅酸及其盐	231
14.5 硼族元素	232
14.5.1 硼族元素的通性	232
14.5.2 硼氢化物——乙硼烷	233
14.5.3 硼酸和硼砂	233
习题	234
15 d区和ds区元素	237
15.1 过渡元素通性	237
15.1.1 过渡元素的原子结构特征	237
15.1.2 过渡元素的氧化态	238
15.1.3 过渡元素离子的颜色	238
15.1.4 过渡元素单质的物理性质和化学性质	238
15.2 几种重要的过渡元素	241
15.2.1 铁	241
15.2.2 锰	243
15.2.3 铬	245
15.2.4 铜	248
15.2.5 银和金	251
15.2.6 汞	254
习题	256
附 录	258
附表一 国际单位制 (SI) 及一些常用的物理常数	258
附表二 常用酸碱溶液的浓度	260
附表三 标准电极电势	260
附表四 一些常见弱电解质在水溶液中的电离常数	262
附表五 难溶电解质的溶度积	263
附表六 一些配离子的稳定常数和不稳定常数	264
附表七 一些物质的热力学性质	265

1 气体和溶液

物质有三种聚集状态——气态、液态和固态。在一定条件下，三种聚集状态可以相互转化。如水的三态变化为：



不同状态的同种物质，化学性质相同，物理性质有所不同。

液态和溶液是两个完全不同的概念。液态是指能流动的液体状态；溶液是指一种物质分散在另一物质中所得到的均一分散系。例如，液态氯和氯水，从组成和性质上看，都是完全不同的。

本章重点讨论气体的主要特征和溶液浓度的表示方法及其有关计算。

1.1 气体

当分子间的距离比分子的直径大数千、数万乃至无数倍时，分子间的相互关系很小，物质以气态存在。由于分子间的相互作用力很小，分子间的距离可无限地增大或相应地缩小，少量气体也能均匀地充满任何形状的极大容器，也可用降温或加压的方法将气体压缩。因此，气体具有扩散性、压缩性和无定形性。互不反应的不同气体也可以任何比例相互均匀地混合。

在标准状况（温度为273K、压强为 $1.0133 \times 10^5 \text{Pa}$ ）下，1mol任何气体的体积都约为22.4L——气体的摩尔体积。非标准状况时，一定量的气体体积可用理想气体状态方程式进行计算。

1.1.1 理想气体状态方程式

气体的体积受温度和压力的制约，气体体积与温度和压强之间的关系方程式称为气体状态方程式。其数学表示式为：

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

设 V_0 为标准状况 P_0 、 T_0 下的体积。对于1mol任何气体 V_0 、 P_0 、 T_0 均为常数，代入上式得到：

$$R = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{1.0133 \times 10^5 \text{Pa} \times 22.4 \times 10^{-3} \text{m}^3}{273 \text{K} \cdot 1 \text{mol}}$$

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

(若 P 用大气压 V 用升为单位, 则 $R = 0.082 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)

R 为摩尔气体常数, 对于 n 摩尔气体, 其体积与温度和压力的关系则为:

$$\frac{PV}{T} = nR \quad \text{即} \quad PV = nRT$$

这是一个近似方程式, 称为理想气体状态方程式。所谓理想气体是指在任何压力和温度下都严格遵守该定律的气体, 理想气体是不存在的。当在温度较高 (273K 以上) 压强较低 ($1.0133 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以下) 时, 任何实际气体分子本身的体积和分子间的引力都很小, 都可视为理想气体。运用此状态方程, 对实际气体可以进行压力、温度和一定量气体所占的体积的相互换算。理论计算值与实验测定值基本相符, 表明该方程式可应用于实际气体。

例 1 在 $0.9728 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和 278 K 时, 1 g 氢占多大体积?

解:
$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{\frac{1}{2} \times 8.315 \times 278 \times 1000}{0.9728 \times 10^5} = 11.88 \text{ (L)}$$

答: 在这种状态下, 1 g 氢的体积是 11.88 L 。

1.1.2 气体分压定律

当相互不起化学反应的几种气体混合在一起, 各种气体的分子体积和分子间引力忽略不计时, 只要知道混合气体的总摩尔数, 都可按气体状态方程式进行计算。由于混合气体各组分之间互不干扰, 如同单独存在一样, 因此, 混合气体的总压力等于各组分气体分压力之总和。

混合气体中某组分气体的分压力, 是指它单独占有与混合气体相同体积时所产生的压力。混合气体的总压力等于各组分气体分压之和, 这个关系叫做道尔顿分压定律。

设有 i 种气体相混合, 则

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i$$

$$\text{由 } P_i V = n_i RT$$

$$P_i = \frac{n_i RT}{V}$$

$$\text{得: } P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i$$

$$= \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \frac{n_3 RT}{V} + \dots + \frac{n_i RT}{V}$$

$$= (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i) \frac{RT}{V} = n \frac{RT}{V} \quad (2)$$

(1) 式除以 (2) 式得:

$$\frac{P_i}{P} = \frac{n_i}{n} \quad \text{或} \quad P_i = \frac{n_i}{n} \cdot P$$

上式中 n_i/n 为某种组分气体的摩尔数与混合气体中各组分的总摩尔数之比, 称为摩尔分数。则上式可理解为混合气体中每一组分气体的分压力的大小与其摩尔分数成正比。

例 2 当温度为 300 K 时, 在体积为 0.01 m^3 的容器中, 含有 220 g 二氧化碳和 96 g 氧气, 求

混合气体的总压和二氧化碳与氧气的分压。

解 $n_{\text{CO}_2} = 220 \div 44 = 5 \text{ (mol)}$

$$n_{\text{O}_2} = 96 \div 32 = 3 \text{ (mol)}$$

$$n = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{O}_2} = 5 + 3 = 8 \text{ (mol)}$$

由 $P \cdot V = nRT$

$$P = nRT/V = 8 \times 8.315 \times 300 / 0.01 = 1995600 \text{ (Pa)}$$

又由

$$P_i = \frac{n_i}{n} P$$

得

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{5}{8} \times 1995600 = 1247250 \text{ (Pa)}$$

$$P_{\text{O}_2} = \frac{3}{8} \times 1995600 = 748350 \text{ (Pa)}$$

答：混合气体总压为1995600Pa，二氧化碳的分压为1247250Pa，氧的分压为748350Pa。

1.2 溶液

1.2.1 物质的溶解和溶解度

将少量蔗糖和泥土分别放入两只盛有蒸馏水的烧杯中，用玻璃棒搅动，得到澄清透明的糖水和浑浊的泥浆。象糖水和泥浆这样由一种或几种物质以较小的颗粒分散在另一物质中所形成的体系称为分散系。分散系中被分散的物质（如蔗糖和泥土）称为分散相或分散质；另一种物质（如水）称为分散介质。又把糖水这样澄清透明稳定的分散系称为均匀体系，它的分散相是以分子或离子的形态分散在水中，所以又称为分子分散系。而泥浆这样的浑浊的分散系称为非均匀体系，它的分散相是以比分子大得多的颗粒分散在分散剂水中，又称之为粗分散系。介于分子分散系和粗分散系之间的，还有胶体分散系，后者将在第三章中讨论，这里只讨论分子分散系——溶液。

溶液又分固态溶液（如合金）、液态溶液（如糖水）和气态溶液（如空气）。通常所说的溶液是指液态溶液，把分散相称为溶质，分散介质称为溶剂。水是最常用的溶剂。一般不指明溶剂的溶液是指水溶液。

当把溶质放入水中时，溶质表面上的分子或离子由于本身的振动以及受到水分子的撞击和吸引，便逐渐脱离原有集体而扩散到水中，这是一个物理过程，克服分子间的引力需要消耗能量，因此这一过程是吸热的。扩散的溶质分子，与水结合生成溶剂化分子，这是一个化学过程，是放热的。以上两个过程中那一个过程占优势，就决定了整个溶解过程是吸热还是放热。例如浓硫酸溶解于水时放出大量的热，硝酸钾溶解于水时吸收热量。从溶液的体积不等于溶质和溶剂单独体积之和，也可说明溶解过程不完全是溶质和溶剂间简单的机械混合，在一部分溶质的溶解过程中，伴随着复杂的物理化学变化。

在一定条件下，绝大多数物质在一定量的某种溶剂中所能溶解的量是有最大限度的。物质在一定条件（温度、压力）下，一定量溶剂溶解溶质达到饱和时，所含溶质的量称为在此

条件下,这种溶质在该溶剂中的溶解度。通常讲的溶解度是指在某一温度下100g水最多能溶解某种溶质的克数。而把室温(291—297K)下,溶解度大于10g的物质称为易溶物质,溶解度在1至10g之间的称为可溶物质,溶解度在0.1至1g之间的称为微溶物质,溶解度在0.1g以下的称为难溶物质。

溶解度必须指明温度,因温度不同时,同一物质的溶解度亦不相同。大多数固体物质的溶解度随温度的升高而增大,而气体物质的溶解度却随温度的升高而减小。气体的溶解度还与压强有关,增大压强,气体的溶解度增大。

一液体在另一液体中的溶解,谁是溶质谁是溶剂无一定的规定,常把量少的作为溶质,量多的作为溶剂;若其中有一种是水,则常以水作为溶剂。液体在液体中的溶解有三种情况,如乙醇和水,二者可以任何比例互溶,称为完全互溶;乙醚和水为部分互溶;四氯化碳与水则为完全不溶。

将四氯化碳和水注入同一烧杯中,充分摇荡后静置片刻,又明显地分为两相(两层),密度大的四氯化碳在下层,密度小的水在上层。碘既能溶于水也能溶于四氯化碳,但在同一温度下,碘在四氯化碳中的溶解度比在水中的溶解度大得多。若在四氯化碳和水的混合液中加入少量碘,摇荡后静置分层。经测定,当水层中碘的浓度分别为 $0.00023\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.00046\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.00070\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,四氯化碳层中碘的浓度分别对应为 $0.02\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.04\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.06\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。每次实验碘在水层和四氯化碳层中碘的浓度的比值分别为0.0115、0.0115、0.0116,三者近似相等。这说明在一定温度下,一种物质溶解在相互接触的两种互不相溶的溶剂中达到溶解平衡时,溶质在两相中的浓度比是一个常数。这一定律称为分配定律。

用 C_A 、 C_B 分别表示溶质在溶剂A和溶剂B中的浓度,即:

$$\frac{C_A}{C_B} = K$$

K称为分配系数,它与温度、压力以及溶质和溶剂的本性有关。

利用分配定律的原理,可以选用适当溶剂将溶解在另一溶剂中的溶质提取出来,这种操作叫萃取。萃取是用来提取和纯化某些物质常用的方法。在实际操作中,为了充分使用一定量的萃取剂以提高萃取效率,常采用少量多次的方法。例如,在1000ml碘的水溶液中溶有0.01g碘,用50ml四氯化碳一次进行萃取和每次用25ml做两次萃取,所用的萃取剂都是50ml,但用50ml四氯化碳一次萃取时,水中剩余的碘量为 $1.9\times 10^{-3}\text{g}$,而将50ml四氯化碳分两次萃取后,水中剩余的碘量为 $1.0\times 10^{-3}\text{g}$,这说明少量多次的方法萃取效率高、效果好。

1.2.2 溶液的浓度

一定量溶液中含有溶质的量或溶质与溶剂的相对含量,称为溶液的浓度。溶液的浓度可分为两大类:第一类浓度是溶液和溶质的量都用质量表示的,称为质量浓度;第二类浓度是溶质和溶液的量用体积表示的,称为体积浓度。现将常用的几种浓度表示方法简介如下:

1.2.2.1 比例浓度 (1:x)

将固体溶质1g或液体溶质1ml配成xml溶液。属于第二类浓度。如1:5的硫酸即用1ml浓硫酸配制成5ml硫酸溶液。

ppm浓度也属比例浓度, ppm是指一百万份质量的溶液中所含溶质的份数。在测定某些微量物质的含量或配制一些极稀的农药溶液时采用。如饮用水中重金属汞的最高允许浓度为0.001ppm, 即1吨水中, 汞的含量不得超过1毫克。

1.2.2.2 百分浓度

(1) 质量—质量百分浓度 符号: $\%(g/g)$

用100克溶液中含有溶质的克数表示溶液的浓度, 称为质量—质量百分浓度, 简称质量百分浓度。是最常用的一种浓度表示方法。

$$\%(g/g) = \frac{\text{溶质的质量}(g)}{\text{溶液的质量}(g)} \times 100\%$$

如10%的食盐水表示100g食盐水中含NaCl10g。

(2) 体积—体积百分浓度 符号: $\%(ml/ml)$

用100毫升溶液中含有溶质的毫升数来表示溶液的浓度, 称为体积—体积百分浓度。对于气体溶质和液体溶质, 常用这种浓度表示方法。

$$\%(ml/ml) = \frac{\text{溶质的体积}(ml)}{\text{溶液的体积}(ml)} \times 100\%$$

如人的动脉血中, 氧的含量为19.6% (ml/ml) 表示在311K时, 100ml动脉血中含氧气19.6ml。

(3) 质量—体积百分浓度 符号: $\%(g/ml)$

用100ml溶液中含有溶质的克数来表示溶液的浓度, 称为质量—体积百分浓度, 简称体积百分浓度。

$$\%(g/ml) = \frac{\text{溶质的质量}(g)}{\text{溶液的体积}(ml)} \times 100\%$$

如医疗上常用的生理盐水为0.9% (g/ml) 的氯化钠溶液, 即在100ml生理盐水中含0.9g氯化钠。

1.2.2.3 物质的量浓度 符号 $mol \cdot L^{-1}$

用1升溶液中含有溶质的摩尔数来表示溶液的浓度, 称为物质的量浓度(即体积摩尔浓度)。用符号 $mol \cdot L^{-1}$ 表示。

$$\text{物质的量浓度} = \frac{\text{溶质的物质的量}(mol)}{\text{溶液的体积}(L)}$$

物质的量浓度是常用的溶液浓度表示方法。例如 $2mol \cdot L^{-1}$ 的氢氧化钠就是1L这种浓度的溶液中, 含氢氧化钠2mol, 即含氢氧化钠80g。

此外, 还有一些实际工作中用到的浓度表示方法。如

(1) 当量浓度 符号N

用1L溶液中含有溶质的克当量数来表示溶液的浓度, 称为该溶液的当量浓度。

$$N = \frac{\text{溶质的克当量数}}{\text{溶液的体积}(升)} = \frac{\text{溶质的毫克当量数}}{\text{溶液的毫升数}}$$

物质相互作用时, 参加反应的各反应物的克当量数必定相等, 称为当量定律。

$$\text{即: } N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$$

当量浓度这一概念在我国最新公布的法定计量单位中已被废除。

(2) 质量摩尔浓度 符号: m

用1000克溶剂中含有溶质的摩尔数来表示溶液的浓度,称为质量摩尔浓度。

$$m = \frac{\text{溶质的摩尔数}}{\text{溶剂的克数}} \times 1000$$

因为这种浓度不受温度的限制,所以在某些科学实验中常用这种浓度表示方法。

(3) 毫克百分浓度 符号: $mg\%$

用100ml溶液中含有溶质的毫克数来表示溶液的浓度,称为毫克百分浓度。

$$mg\% = \frac{\text{溶质的毫克数}}{\text{溶液的毫升数}} \times 100\%$$

如医学上血清中某种离子的含量用此表示方法。血清中含钾量称为血钾为20mg%,血钙10mg%等等。

(4) 波美浓度 (简称波美度) 符号: $^{\circ}\text{Be}'$

用波美计测得溶液的密度来表示溶液的浓度叫做波美度。

波美计是密度表的一种,国际上都以288K液温来刻度作成波美计。先将波美计放入288K的纯水中,在表杆上与液面交界处刻0度线,然后放入密度为1.8429g/cm³的浓硫酸定为66度为标准,再在0与66之间等分66格,一格即为1度。在288K时,波美度与密度(d)的关系式如下:

$$\text{密度大于水的液体: } ^{\circ}\text{Be}' = 144.3 - \frac{144.3}{d}$$

$$\text{密度小于水的液体: } ^{\circ}\text{Be}' = \frac{144.3}{d} - 144.3$$

化工手册中可以查到各种溶液的密度和波美度与百分浓度的对照表,从而可以方便地得到百分浓度。

测定波美度时,将欲测液体注入容量为250—300毫升的圆筒形容器(如量筒)中,再将波美计自由地沉入液体中,注意勿使它靠在玻璃筒的壁上,则液面所在的刻度即为此液体的波美度。看刻度时,应该使视线和液面弯月面的下缘与波美计相切所得的数值才是正确的。

(5) 离子毫当量浓度 mEq/L

离子毫当量浓度是指1000毫升溶液中所含有离子的毫克当量数。

$$\text{mEq/L} = \frac{\text{离子的毫克当量数}}{\text{溶液的毫升数}} \times 1000$$

如正常人血清中Na⁺的平均含量为142mEq/L。

1.2.3 溶液浓度的计算

1.2.3.1 溶液浓度的换算

在实际运用和计算中,常需要将两种不同的浓度表示方法换算成同一种表示方法。如果是同一类的浓度表示方法的换算,可直接进行计算。

例3, 0.9% (g/mL) 的生理盐水的物质的量浓度是多少?

解:

$$\frac{0.9}{100} \times \frac{1000}{58.5} = 0.1538 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

答: 生理盐水的物质的量浓度为0.1538mol·L⁻¹。

如果是两类不同浓度之间的换算,则必须通过溶液的密度这个桥梁来进行换算。

例4, 10.00mL饱和氯化钠溶液质量为12.003g, 将其蒸干后得氯化钠晶体 3.173g。求