

化 验 员 必 读

(修订本)

徐昌华 编

江苏科学技术出版社

再 版 说 明

《化验员必读》自1982年问世以来，数次印刷，共发行了十多万册。它以简明、实用的特点，赢得工厂化验员的广泛欢迎，我们至今仍不断接到读者求购信函。

随着科学技术和生产的发展，书中的部分内容显得陈旧或单薄，很有必要进行全面修订。为此，由作者约请诸松渊同志，共同完成了这次修订工作。修订大致包括以下几个方面，某些章节作了调整，如将溶液部分移到第一章，试剂部分移到第二章，内容也有所增删；所有单位都按法定计量单位重新命名；增加了分析方法实例和仪器分析种类；每章都增补了思考与练习的内容。

对本书中存在的问题，仍请读者随时指正。

江苏科学技术出版社

1988年2月

前 言

从事化验工作的青年同志，会因为自己工作的重要性而感到自豪，也会因难以读懂专业书籍、熟练掌握分析化验技能而感到焦急。本书便是针对这种情况编写的，主要供具有初中以上文化程度的从事化验工作的同志作入门学习用。

书中介绍了化验基础知识、常用仪器、分析方法及操作技术、溶液配制、数据处理和安全技术等知识，并对一些有发展前途的先进分析方法作了简介。考虑到许多中小工厂的现状，书中特别列出了常用化验仪器的规格和价格，以便选购，并介绍了几种仪器的自制方法。

本书曾请在工厂从事多年化验工作的同志看过，认为材料的编选比较合适。南京师范学院化学系吕汝荣老师对全书进行了认真的审订，许文鏖老师也提出了宝贵的意见，在此表示衷心感谢。

恳请读者进一步批评指教。

编 者

1981年5月

目 录

第一章 基础知识

第一节 溶解度和溶液的浓度.....	1
第二节 化学反应速度和化学平衡.....	12
第三节 电解质和电离平衡.....	18
第四节 沉淀反应.....	31
第五节 络合物.....	37
第六节 氧化还原反应.....	42
思考与练习.....	49

第二章 玻璃仪器和化学试剂

第一节 玻璃仪器.....	53
第二节 玻璃仪器的洗涤和干燥.....	95
第三节 简单的玻璃加工技术.....	101
第四节 化学试剂.....	111
思考与练习.....	118

第三章 常用分析方法及基本操作技术

第一节 天平.....	122
第二节 重量分析.....	144
第三节 容量分析.....	171
第四节 比色分析.....	214
第五节 电位分析法.....	240
第六节 色谱法.....	249
第七节 物质物理常数的测定.....	259
第八节 试样的准备.....	276

思考与练习	287
第四章 纯水和标准溶液的制备	
第一节 纯水及其制备	291
第二节 标准溶液的配制和标定	303
思考与练习	307
第五章 数据处理	
第一节 误差	308
第二节 有效数字及运算规则	313
第三节 电子计算器与常用对数的使用	315
第四节 原始记录、数据处理和分析报告	325
思考与练习	327
第六章 安全知识	
第一节 安全操作注意事项	329
第二节 不幸事故的急救和处理	330
思考与练习	335
附录	336
一、国际原子量表	336
二、弱酸和弱碱的电离常数	337
三、难溶化合物的溶度积常数	338
四、络合物稳定常数	340
五、标准电极电位	341
六、重量分析换算因数	343
七、容量分析换算因数	344
八、一些酸的化学式及名称	346
九、一些常用酸碱的浓度	347
十、常用稀酸和稀碱的配制	348
十一、常用试纸的制备	349
十二、酸、碱、盐的溶解性表	350
十三、常用酸、碱溶液的浓度和密度	351

十四、标准溶液的配制和标定.....	353
十五、缓冲溶液的配制.....	370
十六、定量和定性化学分析滤纸的规格.....	371
十七、可燃性气体的燃点和混和气体的爆炸范围.....	372
十八、思考与练习参考答案.....	373

第一章 基础知识

化学分析(又称化验)综合了化学、数学和物理等多方面的知识,用以鉴定物质的组成,测定物质各组成部分的含量。在生产实践中,化学分析对生产既起着指导和协助的作用,又起着控制和监督的作用,并且还为新产品、新工艺的研制提供依据。

学习基础知识,掌握与化验相关的理论及计算,对于学习化验的基本操作,掌握各种化验方法,更好地理解化验的原理有着重要的作用。

第一节 溶解度和溶液的浓度

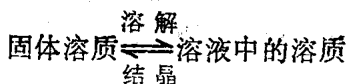
溶液属于分散系之一。它是一种物质(或几种物质)以分子或离子状态分散在另一种物质中所形成的均匀体系,所以均匀性和稳定性是所有溶液的共性。分散系还包括浊液(悬浊液或乳浊液)和胶体溶液(又称溶胶)。它们之间的区别见表1-1。

表1-1 溶液、浊液、溶胶的比较

类 别 性 质	溶 液	浊 液	溶 胶
分散在水中的微粒 分散微粒的直径大小	分子或离子 小于 10^{-9} 米	大量分子的集合体 $10^{-7} \sim 10^{-3}$ 米	高分子或大量分子的集合体 $10^{-9} \sim 10^{-7}$ 米
均 匀 性	均 匀	不 均 匀	均 匀
稳 定 性	稳 定	不 稳 定	稳 定

溶液由溶剂和溶质所组成。水是常用的良好溶剂。用水作溶剂的溶液称为水溶液。有些有机物质也常作为溶剂，如酒精、汽油、苯等等，以这些物质作溶剂的溶液统称为非水溶液。当固体或气体溶于液体形成溶液的时候，固体或气体是溶质，液体是溶剂。当两种液体互相溶解形成溶液时，常把量少的称为溶质，而把量多的那种液体称为溶剂。

溶质均匀地分布在溶剂中的过程叫做溶解。与此同时，溶解在溶剂中的溶质重新从溶液中析出的过程叫做结晶。当溶液中溶质的量达到一定值时，结晶的速度等于溶解的速度，于是结晶和溶解达成动态平衡：



在一定温度下，溶解和结晶达到动态平衡的溶液叫做饱和溶液。在一定温度下还能继续溶解溶质的溶液叫做不饱和溶液。假使在一定温度下溶液中所含溶质的量超过该温度下饱和溶液中所含溶质的量，这种溶液叫做过饱和溶液。过饱和溶液是一种不稳定状态，只要往其中投入一小颗溶质晶体（称为晶种），在很短的时间内，所有过量的晶体都会析出来，这时过饱和溶液就转变为饱和溶液。有时轻微的振动，摇晃，用玻璃棒摩擦盛溶液的器皿壁等，也会破坏溶液的过饱和状态。十水硫酸钠($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、硫代硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)等都比较容易形成过饱和溶液。

一、溶解度

在一定温度下，饱和溶液中所含溶质的量称为该溶质在

该温度下的溶解度。通常以一定温度下，某物质在100克溶剂中制成饱和溶液时所溶解的克数，叫做某物质在某温度的溶解度。

各种物质的溶解度不同，习惯上把在室温时，溶解度大于10克的物质叫做易溶物质；溶解度在1~10克之间的物质叫做可溶物质；溶解度在0.01~1克之间的物质叫做微溶物质；溶解度小于0.01克的物质叫做难溶物质或不溶物质。

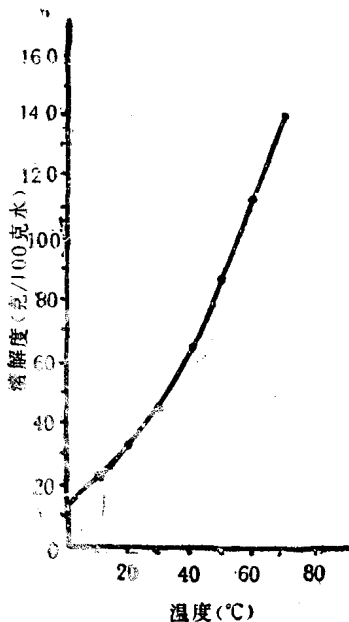


图1-1 硝酸钾在水中的溶解度曲线

绝大多数固体，其溶解度随温度升高而增大。但是也有少数固体，如氢氧化钙和醋酸钙等，它们的溶解度随温度的升高而减少。

溶解度曲线能清楚地表明溶解度和温度的关系，以硝酸钾为例，根据硝酸钾在不同温度下的溶解度就可以绘制出溶解度曲线(图1-1)。

例 把30℃的25克碘化钾饱和溶液蒸干，得到15克碘化钾，计算30℃时碘化钾的溶解度。

温度(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70
溶解度(克/100克水)	13.3	20.9	31.4	45.8	63.9	85.5	110.0	138

解 根据溶解度的定义和题中的数据，可以得到下列关系：

关系式：	溶液——溶质——溶剂
关系量：	25克 15克 25 - 15 = 10克
已知量、未知量：	x 100
列比例：	$\frac{15}{x} = \frac{10}{100}$
求未知量：	$x = \frac{100 \times 15}{10} = 150 \text{克}$

所以，30℃时碘化钾的溶解度为150克。

这里我们介绍的解题方法叫做关系式法，它可以归纳为下面几句话：

关系式，关系量，
这是根据不能忘。
已知未知是条件，
条件对准关系量。
上下相比列比例，
求出未知即完毕。

二、溶液的浓度

我们把在一定量溶液中所含溶质的量叫做溶液的浓度。
溶液的浓度有各种不同的表示方法。

1. 质量百分浓度

溶液的浓度用100克溶液中所含溶质的克数来表示的，叫做质量百分浓度。用%表示。

$$\text{质量百分浓度} (A\%) = \frac{\text{溶质的质量(克)}}{\text{溶液的质量(克)}} \times 100\%$$

例 怎样把95%的酒精稀释成50%的酒精?

解 溶液稀释以后, 总量是增多了, 但溶质的量是不变的。而溶质的量等于溶液的质量百分浓度和溶液质量的乘积, 所以有关质量百分浓度的稀释、混和或加入溶质一类的问题一般可按下式进行计算:

$$m \times A\% + n \times B\% = (m + n) \times C\%$$

式中 m 和 n 分别代表混和前两种溶液的质量, 它们的浓度分别为 $A\%$ 和 $B\%$, 混和后溶液的质量为 $(m + n)$, 浓度为 $C\%$ 。如果用纯溶剂进行稀释, 可将纯溶剂的浓度当作零; 如果加入纯溶质, 则可将纯溶质的浓度当作100%。

设需用 m 份95%的酒精和 n 份水,

则
$$m \times 95\% + n \times 0 = (m + n) \times 50\%$$

解得

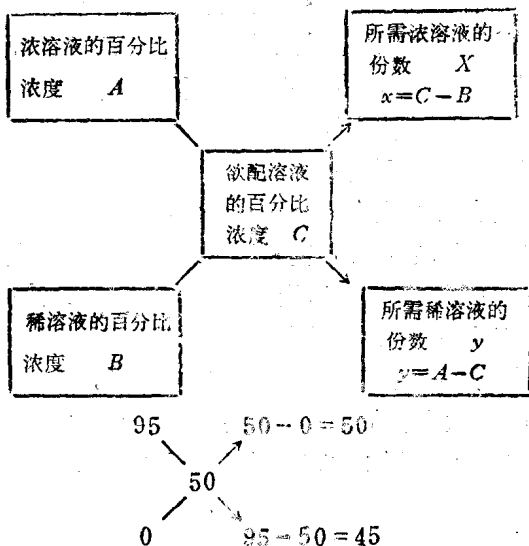
$$\frac{m}{n} = \frac{10}{9}$$

所以取10份95%的酒精和9份水相混和, 就能稀释成50%的酒精。

解这类题目还可用十字交叉法(见下页)进行计算, 这是一种表明浓稀两种溶液混和时, 它们的质量比的计算方法。所以, 所需浓溶液质量与水质量之比为50:45, 即为10:9。

2. 摩尔浓度

摩尔是物质的量的单位。1摩尔物质的质量称为摩尔质量, 它表示 6.02×10^{23} 个微粒的质量, 摩尔质量的单位为克/摩尔(g/mol), 在数值上等于元素的原子量或物质的分子量。例如, 1摩尔Na的质量为23克, Na的摩尔质量是23克/摩尔。1摩尔 H_2O 的质量为18克, H_2O 的摩尔质量是18克/摩尔。



一定量的物质所含的物质的量（常被称为摩尔数）可用下式进行计算：

$$\text{物质的量（摩尔）} = \frac{\text{物质的质量（克）}}{\text{该物质的摩尔质量（克/摩尔）}}$$

摩尔浓度是指1升溶液中所含溶质的物质的量，单位是摩尔/升（mol/l）*。

$$\text{溶液的摩尔浓度 } M (\text{摩尔/升}) = \frac{\text{溶质的物质的量 } n (\text{摩尔})}{\text{溶液的体积 } V (\text{升})}$$

例如1摩尔/升的氢氧化钠溶液，是表示在1升溶液中含有1摩尔的氢氧化钠，即含有40克氢氧化钠，或100毫升溶液中含有0.1摩尔的氢氧化钠，即含有4克氢氧化钠。

溶液中所含溶质的物质的量

*严格地说，摩尔浓度应称为物质的量浓度，其单位以前常表示为M，现废除不用，改用摩尔/升。

$$n = M \cdot V \quad (1)$$

而溶质的物质的量又可以从它的质量 W 和摩尔质量 G_m 来计算:

$$n = \frac{W}{G_m} \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式, 可得

$$M \cdot V = \frac{W}{G_m} \text{ 或 } W = M \cdot V \cdot G_m \quad (3)$$

(3)式表示溶液摩尔浓度与溶质质量的关系, 是重要的计算公式。其中 G_m 可查表获得, 所以已知 W 、 M 、 V 中的任意两个数值, 就可以求出未知的第三个数值。

例1 欲配0.5摩尔/升氢氧化钠溶液200毫升, 问需称取固体氢氧化钠多少克?

解 1摩尔NaOH质量是40克, 所以要配200毫升0.5摩尔/升的NaOH溶液需固体NaOH的质量是:

$$W = M \cdot V \cdot G_m = 0.5 \times 0.2 \times 40 = 4 \text{ (克)}$$

所以欲配0.5摩尔/升氢氧化钠溶液200毫升, 要称取固体氢氧化钠4克。

例2 如何由12摩尔/升浓盐酸配制成0.3摩尔/升盐酸5升?

解 稀释前后溶质的质量或物质的量没有变化, 所以

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

式中 M_1 、 M_2 和 V_1 、 V_2 分别代表稀释前后溶液的摩尔浓度和体积。

根据题意, 设需要 V_1 体积的12摩尔/升盐酸,

$$\text{则 } V_1 = \frac{M_2 V_2}{M_1} = \frac{0.3 \times 5}{12} = 0.125 \text{ (升)}$$

所以取12摩尔/升浓盐酸0.125升加水稀释至总体积为5升,搅匀后即得0.3摩尔/升的盐酸溶液。

例3 计算配制2升0.5摩尔/升的 FeSO_4 溶液时,需用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 多少克?

解 在用含有结晶水的固体试剂配制溶液时,应扣除所含结晶水的量。

FeSO_4 的分子量为152, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的分子量为278。每升溶液中,含0.5摩尔的 FeSO_4 (质量76克),相当于用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 139克(0.5摩尔)。

所以,需用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

$$2 \times 139 = 278 \text{ (克)}$$

3. ppm (质量百万分比浓度)

某一物质100万份质量中,含有若干份质量的另一种物质,则另一物质的含量即为若干ppm。ppm适合于表示极稀溶液的浓度,以及微量物质的含量。

例 需要用25ppm的赤霉素(生长激素)溶液喷洒水稻,问1克纯赤霉素应溶于多少公斤水才可配制成25ppm的赤霉素溶液?

解 设需溶于 x 克水中

$$1 : x = 25 : 1000000$$

$$x = \frac{1 \times 1000000}{25} = 40000 \text{ (克)}$$

所以需溶于40公斤水中。

4. 比例浓度

比例浓度实际上也是百分浓度,它用来表示原装浓试剂与溶剂的比例,单位常以体积表示,使用起来很方便。例如:

1:2的盐酸,它表示1毫升的市售浓盐酸和2毫升的水相混合。

5. 当量浓度*

当量浓度在容量分析中用得最多。因为当两种物质相互完全反应时，它们的当量数一定相等，而它们的质量克数不一定相等，它们的物质的量也不一定相等，因此，使用当量浓度，可简化计算。

在非氧化还原反应中，当量是指物质与1.008份质量的氢或8份质量的氧相作用或相置换的量。在氧化还原反应中，当量是指物质得失1摩尔电子的量。

物质的当量以克作单位时，称为该物质的克当量。物质的质量 W 与克当量 E 、克当量数 n_E 之间，有如下的关系

$$n_E (\text{克当量}) = \frac{W (\text{克})}{E (\text{克})}$$

当量浓度是指1升溶液中所含溶质的克当量数，或1毫升溶液中所含溶质的毫克当量数，通常用 N 来表示。

$$\text{溶液的当量浓度 } N (N) = \frac{\text{溶质的克当量数 } n_E (\text{克当量})}{\text{溶液的体积 } V (\text{升})}$$

例如，在1升氢氧化钠溶液中，含有1克当量的氢氧化钠（质量是40克），那么该溶液的当量浓度就是 $1N$ 。

将上面两个式子联系起来，得

$$n_E = N \cdot V = \frac{W}{E}$$

$$W = N \cdot V \cdot E$$

这个式子表示出溶液当量浓度与溶质质量的关系，也是一个重要的计算公式。

溶液的体积用升作单位时， $N \cdot V$ 是克当量数。在滴定

*SI制中没有当量浓度这一说法，因实际工作中仍在使使用，故暂保留。

或进行其它反应时，溶液的体积常用毫升为单位，这时， $N \cdot V$ 就是毫克当量数。

1克当量 = 1000毫克当量

根据当量定律，物质按等当量数进行化学反应。所以，当两种溶液相互反应时

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

或
$$N_1 V_1 (\text{毫升}) = \frac{W_2}{E_2/1000}$$

N_1 、 N_2 和 V_1 、 V_2 分别代表两种溶液的当量浓度和它们相互作用时所消耗的体积。 W_2 和 E_2 分别代表一种物质消耗的质量和它的克当量。 $E_2/1000$ 是它的毫克当量，可查表获得。这是容量分析中进行计算的重要关系式。

例 将36N硫酸50毫升，稀释为2N的硫酸溶液，问稀释后溶液体积为多少？

解 溶液稀释前后，溶质的毫克当量数没有变化，即

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{N_1 V_1}{N_2} = \frac{36 \times 50}{2} = 900 (\text{毫升})$$

所以稀释为2N的硫酸溶液的体积为900毫升。

物质的当量随反应的不同而改变，例如 H_2SO_4 与 NaOH 反应，若生成 Na_2SO_4 ，则它是二元酸，当量是硫酸分子量的 $\frac{1}{2}$ ，即49；若生成 NaHSO_4 ，则它相当于一元酸，当量就等于分子量，即98。对配好的同一溶液，若反应时当量不同，当量浓度也就不同了，这是使用当量浓度时应加以注意的。不过在分析工作中所用的化学反应大多是固定的，因此使用当量浓度还是相当方便的。

6. 溶液浓度的相互换算

表示溶液浓度的方法概括起来可以分为两大类。一类是质量浓度，表示溶液中溶质和溶液的相对质量（如质量百分浓度）。另一类是体积浓度，表示一定体积溶液中所含溶质的量（如摩尔浓度），配制这类溶液时，应注意这里的体积是指配成溶液后的体积。溶液的体积常不等于溶剂与溶质体积之和，温度的改变也会引起溶液体积的变化。

溶液浓度的相互换算，实质上是以下两个方面的换算：一是溶质的质量（克数）与溶质的物质的量或克当量数的相互换算；二是溶液的质量（克数）和溶液的体积（毫升数）之间的相互换算。第一方面的换算关系是

溶质的质量（克）= 溶质的摩尔质量 × 物质的量

溶质的质量（克）= 溶质的克当量 × 克当量数

利用溶液的密度可以进行溶液质量与体积之间的换算，
因为

$$\text{溶液的密度（克/毫升）} = \frac{\text{溶液的质量（克）}}{\text{溶液的体积（毫升）}}$$

所以

溶液的质量（克）= 溶液的体积（毫升）× 溶液密度（克/毫升）。有关溶液的密度可以在化学手册中查得。

如果以 M 表示溶液的摩尔浓度； N 表示溶液的当量浓度； $A\%$ 表示溶液的质量百分浓度； ρ 表示溶液的密度（克/毫升）； G_m 表示溶质的摩尔质量； E 表示溶质的克当量。则溶液浓度间的相互换算关系可用下面一些公式来表示

$$M = \frac{\rho \times 1000 \times A\%}{G_m}$$

$$N = \frac{\rho \times 1000 \times A\%}{E}$$