



中学
化学

溶液与浓度计算

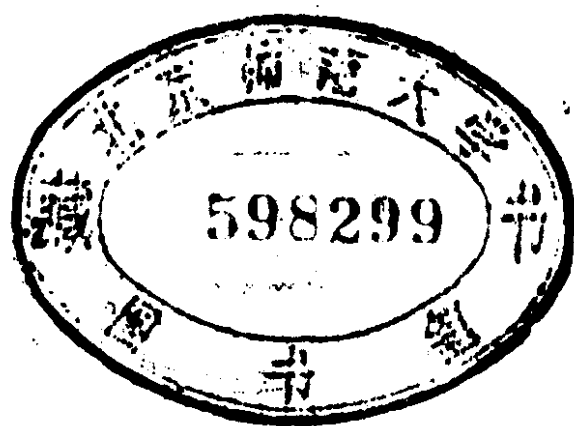
鲍立平

浙江人民出版社

中学化学
溶液与浓度计算

鲍立平

JU1180/03



浙江人民出版社

内 容 提 要

本书叙述中学化学中有关溶液的基本知识和溶液浓度的计算方法。在计算方法上，全部采用公式计算。还选编了一些工农业生产上应用溶液的计算题。

本书主要供中学生自学和中学化学教学参考。

中学化学溶液与浓度计算

鲍 立 平

*

浙江人民出版社出版

浙江新华印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

开本：787×1092 1/32 印张：9

1979年2月第 一 版

1979年2月第一次印刷

印数：1—500,000

统一书号：7103·1044

定 价：0.63 元

前 言

化学计算是学习化学理论知识和解决有关化学实际问题的基本技能。化学计算的速度和精确度，对于提高学习和工作的效率关系十分密切。中学化学计算的重点在有关溶液问题的计算。过去有关这方面的计算是采用比例法逐步计算的，这种计算方法最大的缺点是繁杂，学生不易掌握。作者在多年的教学实践中，分析了有关溶液计算问题的类型，以及学生学习中感困难、易犯错误的问题，系统地整理出一套有关物质溶解度和溶液浓度的计算公式。其中，在物质溶解度的计算上，提出对结晶水合物与无水物的计算公式，应该有所不同；在应用溶液进行化学反应的计算上，提出也用公式进行计算。

全书各章各类问题的计算公式的推导都是从基本定义、定律或原理出发的，并指明它们的物理意义。还选择了一些较典型的例题，进行具体的计算。对于那些可以有几种解法的问题，也作了解法上的比较，便于读者学会最简捷的解题方法。还选编了一定数量的练习题和习题，供读者练习之用。练习题着重要求读者纠正一些常犯的错误和训练运用公式计算的技能；习题则注意收集一些工农业生产中有关溶液的计算问题，以培养读者分析问题和解决问题的能力。读者在学习时，除学会公式推导及理解它的物理意义外，要着重学会运用公式计算的技能，并要经过反复的练习，才能达到迅速的、精确的计算。

本书在数字计算和结果取值上，是用四位对数与反对数进行近似计算的，并且注意各种量的单位。在计算过程中，把单位的变换关系在算式中表示出来。这样，虽然使计算增加点麻烦，但是保证了计算结果的准确。

本书可供中学生和具有初中文化程度的青年自学，也可供中学化学教学参考。

本书是作者在业余编写的。由于初次尝试和业务水平所限，书中错误和不妥之处恳切希望读者批评指正。

本书承蒙杭州大学化学系金松寿教授审阅，给予指导，作者在此表示深切的谢意。

鲍 立 平

1977年12月于浙江省义乌市义亭中学

目 录

第一章 有关溶液的基本知识 (1)

§ 1. 溶液和物质的溶解过程 (3)

§ 2. 物质的溶解度 (10)

§ 3. 溶液浓度的表示法和配制法 (18)

第二章 有关溶解度的计算 (30)

§ 1. 计算在一定温度下物质的溶解度 (31)

§ 2. 饱和溶液的溶质、溶剂和溶液质量的计算 (35)

习题一

§ 3. 饱和溶液的结晶或溶解的计算 (50)

§ 4. 浓缩或稀释饱和溶液时的结晶或溶解的计算 (61)

习题二

第三章 百分比浓度的计算 (75)

§ 1. 已知溶质和溶剂 (或溶液) 的质量, 求溶液的百分比浓度 (76)

§ 2. 配制一定量的某百分比浓度的溶液所需溶质和溶剂质量的计算 (80)

§ 3. 用一定量的溶质 (或溶剂) 配制某百分比浓度溶液的计算 (85)

习题三

§ 4. 溶液百分比浓度的改变的计算 (91)

习题四

第四章 克分子浓度的计算 (126)

§ 1. 已知溶液的体积和溶质的数量, 求溶液的克

分子浓度·····	(128)
§ 2. 配制一定体积的某克分子浓度的溶液所需溶质数量的计算·····	(131)
§ 3. 用一定量的溶质配制某克分子浓度的溶液体积的计算·····	(135)
习题五	
§ 4. 溶液克分子浓度的改变的 计算·····	(141)
习题六	
第五章 当量浓度的计算 ·····	(153)
§ 1. 已知溶液的体积和溶质的数量, 求溶液的当量浓度·····	(154)
§ 2. 配制一定体积的某当量浓度的溶液所需溶质数量的计算·····	(157)
§ 3. 用一定量的溶质配制某当量浓度的溶液体积的计算·····	(160)
习题七	
§ 4. 溶液当量浓度的改变的 计算·····	(166)
习题八	
第六章 溶解度、浓度各种表示法的换算 ·····	(177)
§ 1. 百分比浓度与克分子浓度的换算·····	(177)
§ 2. 百分比浓度与当量浓度的换算·····	(180)
§ 3. 克分子浓度与当量浓度的换算·····	(184)
§ 4. 物质的溶解度与溶液的浓度的换算·····	(186)
习题九	
第七章 应用溶液进行化学反应的计算 ·····	(198)
§ 1. 应用百分比浓度的计算·····	(200)
§ 2. 应用克分子浓度的计算·····	(213)
§ 3. 应用当量浓度的计算·····	(222)
习题十	

习题答案		(238)
附录 I	本书应用的主要符号说明表	(246)
附录 II	重要元素的符号、原子量和常见化合 价表	(247)
附录 III	某些物质的名称、分子式和分子量表	(248)
附录 IV	配制某浓度(质量%)的溶液时所需溶质 与溶剂的质量比表	(254)
附录 V	某些物质在水里的溶解度表	(260)
附录 VI	在15℃时波美度与比重对照表	(264)
附录 VII	在15℃时盐酸的比重与浓度对照表	(265)
附录 VIII	在15℃时硫酸的比重与浓度对照表	(266)
附录 IX	在15℃时硝酸的比重与浓度对照表	(268)
附录 X	在15℃时氢氧化钠溶液的比重与浓度对 照表	(269)
附录 XI	在15℃时氢氧化钾溶液的比重与浓度对 照表	(270)
附录 XII	在 15℃ 时氨水的比重与浓度对照表	(271)
附录 XIII	在氧化—还原反应中, 某些氧化剂与还原剂 的价态变化表	(272)
附录 XIV	四位对数与反对数表	(275)

第一章 有关溶液的基本知识

什么是溶液呢？它具有哪些特点呢？有比较才能鉴别。让我们先来做三个实验吧！取三个试管，分别加入少量的泥土、植物油和纯净的食盐，再注入约三分之一试管水，并加以振荡，观察发生的现象。

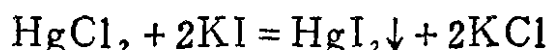
泥土与水振荡以后，得到的是浑浊的液体。这种液体里悬浮着肉眼能看得见的固体的小颗粒，这种小颗粒是巨大数量的分子的集合体。由于泥土比水重，放置一段时间，就会逐渐下沉。这种散布着固体微小颗粒的液体叫做悬浊液。浑浊的河水是悬浊液。农业上用来杀灭害虫的可湿性六六六药液也是悬浊液。

植物油与水振荡以后，得到的是乳状的浑浊的液体。这种液体里散布着微小的油滴，这种小油滴也是巨大数量的分子的集合体。油滴比水轻，放置一段时间，就会逐渐浮起来。这种散布着微小液滴的液体叫做乳浊液。牛乳是乳浊液。农业上用来杀灭害虫的滴滴涕乳剂也是乳浊液。

食盐与水振荡以后，得到的却是澄清的、透明的、均一的液体。这种液体，只要水分不减少、温度不变化，不管放置多久，食盐是不会分离出来的。象这种液体我们就叫它为溶液。

实践经验还使我们知道，两种能够起反应的固体混和在一起，反应进行得很慢；如果把这两种固体先分别配制成溶液，然后把两种溶液混和，反应就进行得很快。例如把同样是干燥

的、白色粉末状的氯化汞〔 HgCl_2 〕和碘化钾〔 KI 〕放在研钵里研磨，粉末只略显黄色。把同样是无色的氯化汞和碘化钾的溶液混和时，立即生成橙红色的碘化汞沉淀。这两个实验，所用的反应物是相同的，它们的化学反应方程式也应该相同的，即：



不同的只是反应快慢不一样。当氯化汞与碘化钾以固体混和时，只有固体颗粒表面的分子互相接触，所以反应进行得很慢。而把它们配制成溶液时，两种固体颗粒都分散成为分子（实际上是离子），分子在溶液中能迅速运动，碰撞的机会增多，所以反应进行得很快。因此在化学实验上，要使两种能起反应的固体进行反应时，只要这两种固体能够溶于水的，总是把它们溶于水先制成溶液，然后把两种溶液混和，让它们在溶液中进行化学反应。溶液在化学反应中的应用是很广泛的。

不仅如此，在化工上，如酸、碱、盐、化肥、农药和许多医学药品的生产，也都是借于溶液中进行的。在农业上，植物所需要的多种养分，也要成为溶液，植物的根部才能吸收。许多农家肥料，如人粪尿、厩肥等，在施用以前都要经过腐熟的过程，目的之一，是使复杂的难溶的有机物，变成简单的易溶的物质，以便能溶解在土壤溶液里，供农作物吸收。通常使用化学肥料，也是先配制成溶液后再施用。人类和动物从食物里摄取的养分，也是经过消化，变成溶液，才能吸收。总之，溶液在科学研究、工农业生产和日常生活中，都具有重大的实际意义。所以我们必须懂得有关溶液的基本知识，学会溶液的配制和计算的方法。

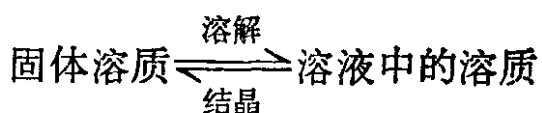
§ 1. 溶液和物质的溶解过程

通常所说的溶液，是指液体溶液。它是由溶质和溶剂组成的。一般说来，凡是用来溶解别种物质的液体叫做溶剂；凡是被溶剂所溶解的物质叫做溶质。例如食盐溶解在水里，水就是溶剂，食盐就是溶质。在有的时候，遇到两种都是液体，例如水和酒精，彼此也能溶解制成溶液。这时，溶剂和溶质不易确定，通常就把其中分量较多的一种叫做溶剂，把分量较少的一种叫做溶质。但是这种区分只有相对的意义。水是自然界中数量最多、分布最广、溶解别种物质能力很强的一种溶剂，是最常用的溶剂，但并不是唯一的溶剂。在某些情况下，另外一些液体，如汽油、酒精等也被用来做溶剂。当我们的衣服沾上油渍时，可用汽油来揩刷，就是因为汽油有着溶解油类的能力。医药上的碘酒是碘的酒精溶液。用水做溶剂的溶液叫做水溶液；用酒精做溶剂的溶液叫做酒精溶液。通常没有指明溶剂的溶液，就是指水溶液，化学上常用的溶液都是水溶液。水溶液是一类最普遍、最重要的溶液。本书所讨论的溶液，指的也是水溶液。

我们在前面已经讲过，溶液是一种澄清的、透明的、均一的液体。但这只是讲了溶液的表面现象，还不是溶液的本质的东西。要真正认识溶液，首先必须搞清楚物质是怎样溶解的，只有了解物质溶解过程的本质，才能比较正确、比较全面地回答“什么是溶液”这个问题。

以固体溶质在水里的溶解过程来讲，当固体溶质放到水里时，固体表面的微粒（分子或离子）由于本身的振动和水分子的吸引作用，便渐渐地离开固体表面进入水分子之间，并通过

扩散作用，均匀地分散到水的各个部分，这个过程叫做溶解。与此同时，溶液中还进行着另一个相反的过程，就是那些已经溶解的溶质微粒（分子或离子）在溶液中不断运动，其中有些溶质微粒当碰到尚未溶解的固体表面时，又被吸引住而重新回到固体表面上来，这个过程叫做结晶。显然，结晶与溶解是相互对抗的，它们是物质溶解整个过程中的一对矛盾。在开始时，溶液里溶质的分子（或离子）数很少，结晶速度比溶解速度要小得多，溶解成为矛盾的主要方面，整个过程表现为固体溶质在不断地溶解。但随着固体的不断溶解，溶液里溶质分子（或离子）数渐渐地增多，则结晶速度也增大。这样，必将会达到结晶速度与溶解速度相等，即在单位时间内从固体上进入溶液中的分子（或离子）数和从溶液中返回到固体上的分子（或离子）数相等。此时，在表面上看来溶解过程似乎停顿了，而实际上只是“固体溶质”的溶解与“溶液中的溶质”的结晶，成了动态平衡，即：



这种状态，叫做溶解平衡。这种状态下的溶液，就叫做饱和溶液。饱和溶液是能与过量的溶质成平衡状态的溶液。在通常，饱和溶液这个名词也可以这样讲：在一定温度下，不能再继续溶解某种溶质的溶液，叫做这种溶质的饱和溶液。反之，还能继续溶解某种溶质的溶液，叫做这种溶质的不饱和溶液。在这里要注意的是，不要认为饱和溶液一定很浓，或者不饱和溶液一定很淡。对于同一种溶质的溶液，我们说，在一定温度下，它的饱和溶液总要比不饱和溶液浓些，那是完全正确的。但是对不同溶质的溶液，就不能这样讲了。因为，从饱和溶液和不饱和溶液的定义来看，溶液是饱和还是不饱和，关键在于它能不

能继续溶解溶质，而不在于溶液的浓或淡。由于各种物质的溶解能力不同，有些物质的溶解能力很小，即使它的饱和溶液，仍然是很淡的。例如熟石灰，在 20°C 时，在100克水里最多只能溶解0.165克。这已是一种饱和溶液，但它是很淡的溶液。与此相反，有些物质的溶解能力很大，即使它的溶液已是很浓，也还不一定是饱和溶液。例如蔗糖，在 20°C 时，如果在100克水里已经溶解了200克，这应该说是很浓了，但它并不是饱和溶液，因为它还能继续溶解一些蔗糖。所以，在通常配制饱和溶液时，总是用稍微过量的溶质，以便确定配制成的溶液，是否真正达到了饱和，并且用过量的溶质保持着与溶液相接触。

在配制溶液时，常常会遇到，刚配好的溶液的温度比原来水（溶剂）的温度低些或高些。这是什么道理呢？这是由于溶质溶解在水里时，同时发生两个变化过程：一个是溶质的分子（或离子）克服了它们相互间的吸引力，向水分子之间扩散，这是物理变化过程，这个过程要吸热；另一个是溶质分子（或离子）与水分子相互吸引，结合成为水合分子（或水合离子），这是化学变化过程，这个过程会放热。在整个溶解过程中，如果物理变化过程强于化学变化过程，则吸热成为矛盾的主要方面，此时就表现为溶液温度降低；如果化学变化过程强于物理变化过程，则放热成为矛盾的主要方面，此时就表现为溶液温度升高。

由此可见，物质溶解的过程是一个物理—化学变化的过程。其溶液是由溶质、溶剂和它们相互反应的生成物组成的均一状态的混和物。但是，溶液的质量*仍等于溶质的质量与溶剂的质量之和。即：

* 过去在一般的化学书里叙述物质含量的多少都讲“重量”，实际上应该讲“质量”。质量的单位与重量的实用单位相同，有毫克、克、公斤、吨等。

溶液质量 = 溶质质量 + 溶剂质量

记为* $C = A + B$

如果溶液的数量用体积（毫升或升）计算时，则溶液的质量应等于溶液的体积与溶液的比重**（克/毫升或公斤/升）之积。即：

溶液质量 = 溶液体积 × 溶液比重

记为 $C = V \cdot d$

在配制溶液时，为了加速溶质在水里的溶解，常常采取研细、搅动、振荡和加热等方法。因为溶解固体物质时，溶解的速度跟固体的颗粒大小很有关系。颗粒愈小，它跟水的接触总面积愈大，就愈容易溶解。所以一般对于颗粒较大的和难溶的固体，应事先放在研钵里研细后再用水溶解。但是并不是所有的固体都能研磨的，那些容易吸收空气中水分或某种气体的固体（例如氢氧化钠[NaOH]极易吸收水分和二氧化碳而变质）和受到机械作用易引起爆炸的固体（例如硝酸铵[NH₄NO₃]），在溶解前就不能研磨了。至于，把溶质加入到水里后，常用玻璃棒搅动、振荡或加热，这都是为了增加溶质颗粒与水分子的碰撞机会，以加快溶质在水里的溶解速度。

跟溶解相反，有时也需要把分散在溶液中的溶质结晶析出。在溶质结晶时，常会自然形成一定形状的固体，这种固体叫做晶体。晶体的形成是构成晶体的微粒（分子或离子），在

* 本书所用符号的物理意义请看附录 I 说明表。

** 在化学上溶液的比重是指溶液的质量与同体积 4℃ 时水的质量的比值，所以比重没有单位。单位体积里的质量，叫做密度。密度的单位可以有克/厘米³、公斤/分米³、吨/米³等。由于 4℃（严格地讲，只在 3.98℃）时水的密度为 1 克/厘米³，所以溶液的比重与密度在数值上是相等的，计算时可以用密度的单位作为比重的单位。同时，1 厘米³ = 1 毫升、1 分米³ = 1 升、1 米³ = 1000 升。

结晶过程中有规则地排列的结果。从水溶液中析出的晶体，即使它的表面是完全干燥的，但在它的里面常常会含有水，而且在一定质量的这种晶体里所含水的质量是一定的，是符合定组成定律*的。这是由于在溶液中，溶质分子（或离子）与水分子之间存在着化学结合作用（这种结合作用可叫做水合作用）的缘故。因而在结晶过程中，当溶质分子（或离子）有规则地排列时，这些水分子也就跟入晶体中了。晶体里所含定量的水叫做结晶水。含有结晶水的物质叫做结晶水合物。例如明矾 $[\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 、石膏 $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 、胆矾 $[\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ 、绿矾 $[\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ 等，都是常见的结晶水合物。

从水溶液中析出的晶体，也不是都含有结晶水的。例如在常温常压下，从溶液中结晶出来的食盐晶体，就不含结晶水。虽然食盐溶解时，也与水分子相结合，但是结合得很不牢固，所以结晶时不成为结晶水合物析出。

固体物质的表面上或孔隙里，常常会附着一些水分，这叫做湿存水。湿存水跟结晶水不同，它只附着在固体的表面上，而且数量是不固定的。当固体的表面积愈大，则附着的水的数量也就愈大。

在结晶水合物里，水分子与溶质分子（或离子）结合得并不牢固。有些结晶水合物，只要将它置于干燥的空气中，就会自然地失去一部分或全部结晶水。例如晶体的洗濯碱 $[\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]$ 在空气中，很容易转变成白色粉末 $[\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ ；晶体的芒硝 $[\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]$ 在空气中，能很快地转变成无

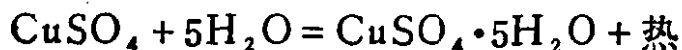
* 定组成定律是化学上的一个基本定律，它是说“任何纯净的化合物都有固定的组成”，不管它是从什么地方取得的，或是用什么方法制取的。定组成定律也有叫定比定律。但后者通常是这样说“当生成某化合物时，各元素按一定的重量比相互化合。”两个名称，两种说法，虽有所不同，但基本精神是一致的。

水的白色粉末。结晶水合物在常温下失去结晶水的现象叫做风化。与此相反，有些晶体（有无水晶体，也有含水晶体）则能够吸收空气中的水分，并能溶解于这些水分里，在其晶体表面形成溶液。晶体在常温下吸收空气中的水分并逐渐溶解的现象叫做潮解。例如将无水氯化钙晶体 $[\text{CaCl}_2]$ 露置在空气中时，极易吸收空气中的水分变成二水氯化钙 $[\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ ，然后又能进一步水合变成六水氯化钙 $[\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 。因而无水氯化钙通常用来作为干燥剂。

结晶水合物分解成无水物和水时，或者无水物和水结合成水合物时，还常常伴有明显的热的现象。例如蓝色的硫酸铜晶体分解成白色的无水硫酸铜和水时，需要加热。这个反应的化学方程式是：



相反，白色的无水硫酸铜遇水变成蓝色硫酸铜时，会有明显的放热现象。这个反应的化学方程式是：



以上，结晶水合物与无水物的这种相互转化，它们的质量，可以用下列公式进行换算：

$$\text{无水物质量} = \text{结晶水合物质量} \times \frac{\text{无水物分子量}}{\text{水合物分子量}}$$

$$\text{记为} \quad A_{\text{无水物}} = A_{\text{水合物}} \cdot \frac{M}{M + x\text{H}_2\text{O}}$$

式中， M^* 代表无水物的分子量。 $M + x\text{H}_2\text{O}$ 代表水合物的分子量，其中 x 代表结晶水的分子数。

* 为了适应习惯上对符号的应用，本书确定 M 写成正体时代表无水物的分子量，写成斜体（ M ）时代表克分子浓度。

在结晶水合物的溶液中，由于水合作用的缘故，原来作溶剂用的水，已有相当的一部分为溶质分子（或离子）所结合，被结合的水分子与只起一般“溶剂”作用的水分子相比，变成不那么自由了。因此在结晶水合物的溶液中，原来作溶剂用的水，是呈现为两种状态的。其中一部分，是被溶质分子（或离子）所结合，成为“水合状态”；另一部分，则只起一般“溶剂”的作用，处于较为“自由状态”。两种状态的水的相对含量，是可以随着溶液中，溶质含量的多少和被溶质的每个分子所结合的水分子数的多少而改变的。不同的溶质分子所结合的水分子数是不同的，同种溶质分子所结合的水分子数还跟温度有关。当溶液温度升高时，由于各个溶质分子和水分子的动能都会增加，原来为溶质分子所结合的水分子，就有可能克服相互间的引力，而离开溶质分子，重新变成较能自由移动分子。此时，对于各个溶质分子所结合的水分子数是减少了，但对于较为“自由状态”的水的总量却是增加了。因此，在较高温度下，从溶液中析出的晶体里含结晶水较少或不含。例如硫酸镍的晶体，在 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 时结晶的是 $\text{NiSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ；在 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 时结晶的是 $\text{NiSO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ；在 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 时结晶的是 $\text{NiSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 。碘化钠的晶体在常温时结晶的是 $\text{NaI}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，如果高于 40°C 时结晶的就不含结晶水了。食盐在常温时结晶是不含结晶水的，但在 -7°C 时结晶的，每个 NaCl 分子就会带有2个水分子，如果在 -23°C 时结晶的就会带有10个水分子了。

在一定温度下，在一定量的某种结晶水合物的溶液里，所含“结晶状态”的水（简称结晶水）的质量，可以这样计算：

$$\text{结晶水质量} = \text{结晶水合物质量} \times \frac{\text{结晶水分子量}}{\text{水合物分子量}}$$