



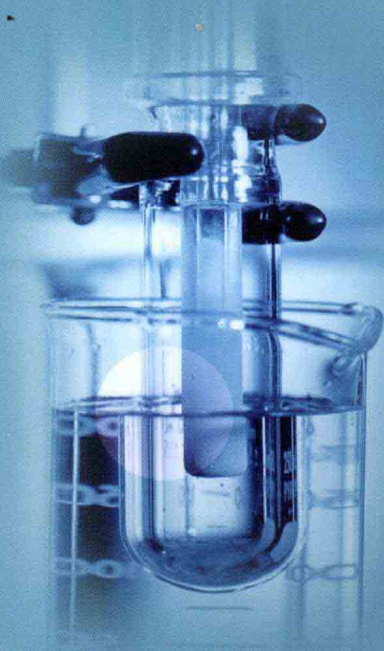
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专教育)

无机及分析化学

WUJIJIFENXIHUAXUE

童 岩 李京杰 主编



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专教育)

无机及分析化学

童 岩 李京杰 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学/童岩,李京杰主编. —北京:中国农业大学出版社,2008.7
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-81117-512-7

I. 无… II. ①童… ②李… III. ①无机化学-高等学校:技术学校-教材②分析化学-高等学校:技术学校-教材 IV. O61 O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 109441 号

书 名 无机及分析化学

作 者 童 岩 李京杰 主编

策划编辑 陈巧莲 姚慧敏 丛晓红

责任编辑 王艳欣 田树君

封面设计 郑 川

责任校对 陈 莹 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

规 格 787×980 16 开本 12 印张 214 千字 彩插 1

定 价 19.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

主 编 童 岩(郑州牧业工程高等专科学校)

李京杰(山东畜牧兽医职业学院)

副主编 李 煜(黑龙江生物科技职业学院)

张荷丽(郑州牧业工程高等专科学校)

张小华(江苏畜牧兽医职业技术学院)

金 颖(黑龙江生物科技职业学院)

参 编 李淑芝(唐山职业技术学院)

张晓丽(杨凌职业技术学院)

李爱勤(郑州牧业工程高等专科学校)

王建玲(郑州牧业工程高等专科学校)

刘淑娜(郑州牧业工程高等专科学校)

杨新玲(郑州牧业工程高等专科学校)

舒友琴(郑州牧业工程高等专科学校)

胡 平(郑州牧业工程高等专科学校)

审 稿 赵士铎(中国农业大学)

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,主要包括稀溶液的依数性、定量分析化学概论、酸碱平衡和酸碱滴定法、沉淀溶解平衡与沉淀滴定法、氧化还原反应和氧化还原滴定法、配位平衡和配位滴定法、吸光光度法等。本书将无机化学和分析化学的相关内容交叉、合并,内容循序渐进、重点突出,强化了与后续课程的衔接,体现了农林院校化学教材的特色。本书可作为农、林、牧、医、生物、食品等高职高专院校相关专业的理论课教材,也可作为成人教育相关专业的教材。

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据高职高专培养技术应用型人才的目标,本着“满足需要、力争配套、突出特色、提高质量”的原则,以农林专科教育的教学大纲和各专业培养目标为基础而编写的。本书在编写过程中以基本概念为基础,针对各专业的培养目标,突出生产和实践应用。为了使學生能较好地掌握无机化学及分析化学的基本原理、基本技能,从而培养学生分析问题、解决问题的能力,教材将无机化学和分析化学的内容有机地结合起来。教材内容循序渐进、重点突出,强化了与后续课程的衔接,体现了农林院校化学教材的特色。除绪论外,每章后附有思考题和习题,便于教学使用。本书可作为农、林、牧、医、生物、食品等高职高专院校相关专业的理论课教材,也可作为成人教育相关专业的教材。

本书由童岩、李京杰任主编,李煜、张荷丽、张小华、金颖任副主编。参加编写的还有李淑芝、张晓丽、李爱勤、王建玲、刘淑娜、杨新玲、舒友琴、胡平。全书由童岩统稿。

本书的出版得到了中国农业大学出版社的大力支持和帮助,并得到了中国农业大学赵士铎教授的大力协助,在此一并致谢。

恳切欢迎读者就书中存在的不妥之处提出批评和建议,编者对此表示诚挚的谢意。

编 者

2008年3月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 溶液	(5)
第一节 溶液浓度的表示方法	(5)
第二节 稀溶液的依数性	(10)
本章小结	(17)
思考题	(17)
习题	(18)
第三章 定量分析化学概论	(19)
第一节 分析化学概述	(19)
第二节 定量分析的误差	(21)
第三节 分析结果的数据处理	(26)
第四节 滴定分析概述	(28)
本章小结	(35)
思考题	(36)
习题	(37)
第四章 酸碱平衡和酸碱滴定法	(39)
第一节 化学平衡	(39)
第二节 弱电解质的电离平衡	(45)
第三节 缓冲溶液	(51)
第四节 盐类的水解	(56)
第五节 酸碱指示剂	(59)
第六节 酸碱滴定法	(63)
第七节 酸碱标准溶液的配制和标定	(70)
第八节 酸碱滴定法应用实例	(72)
本章小结	(75)
思考题	(76)
习题	(78)

第五章 沉淀溶解平衡与沉淀滴定法	(80)
第一节 溶度积原理	(80)
第二节 溶度积规则及其应用	(83)
第三节 沉淀滴定法	(88)
本章小结	(92)
思考题	(93)
习题	(93)
第六章 氧化还原反应和氧化还原滴定法	(94)
第一节 氧化还原反应的基本概念	(94)
第二节 电极电势	(99)
第三节 电极电势的应用	(106)
第四节 氧化还原滴定法	(108)
本章小结	(119)
思考题	(119)
习题	(120)
第七章 配位平衡和配位滴定法	(123)
第一节 配合物的基本概念	(123)
第二节 配位平衡	(127)
第三节 螯合物	(132)
第四节 乙二胺四乙酸的性质及其配合物	(134)
第五节 EDTA 滴定的基本原理	(138)
第六节 金属指示剂	(141)
第七节 提高配位滴定选择性的方法	(144)
第八节 配位滴定法应用实例	(145)
本章小结	(147)
思考题	(147)
习题	(148)
第八章 吸光光度法	(150)
第一节 吸光光度法的基本原理	(151)
第二节 显色反应和显色条件的选择	(154)
第三节 测量误差和测量条件的选择	(156)
第四节 吸光光度法及分光光度计	(158)
第五节 吸光光度法的应用	(161)

本章小结.....	(163)
思考题.....	(163)
习题.....	(163)
附录.....	(165)
表 1 国际单位制(SI)的基本单位	(165)
表 2 一些重要的物理常数	(165)
表 3 弱酸、弱碱在水中的电离常数(25 ℃)	(165)
表 4 难溶化合物的溶度积(18~25 ℃).....	(167)
表 5 标准电极电势表	(169)
表 6 一些常见配离子的稳定常数(298.15K)	(173)
表 7 国际相对原子质量表(1997 年).....	(174)
表 8 化合物的摩尔质量	(174)
参考文献.....	(178)

第一章 绪 论

一、化学的研究对象

物质的表现形式千差万别,有地球那么大的天体,也有我们肉眼看不到的微生物,还有空气、水、矿物质和各种动植物等。这些物质都在不断地发生变化。天体在演变,岩石在风化,生物在不断地新陈代谢。它们都是自然科学研究的对象。

化学是自然科学的一个分支,是一门研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学。由于学科发展的需要,传统上分为无机化学(inorganic chemistry)、分析化学(analytical chemistry)、有机化学(organic chemistry)和物理化学(physical chemistry)。无机化学的研究对象是元素及其化合物(除碳氢化合物及其衍生物外),是最早发展起来的化学分支学科。分析化学的研究对象是物质的化学组成,是研究物质化学组分的鉴定、测定方法、测定过程及有关原理的一门科学。有机化学的研究对象是碳氢化合物及其衍生物。而物理化学是根据物理现象和化学现象之间的互相关联和互相转化来研究物质变化规律的一门科学。

从古代开始就有了与化学有关的生产实践,例如制陶、金属冶炼、火药的应用等。目前,国际上最关心的几个重大问题,例如环境保护、能源的开发利用、功能材料的研究、生命现象奥秘的探索等都与化学紧密相关。

二、无机化学的发展和研究内容

化学工作者的早期研究对象为矿物等无机物,因此,无机化学是化学科学中发展最早的一个分支学科。在无机化学形成一门独立的化学分支学科以前,化学发展史也就是无机化学发展史。

人类自古就有金属冶炼、制陶等无机化学的实践活动。从医药方面来说,在中古时期我国就能制造精致的医药器具,例如铜滤药器、铜药勺、银灌药器等。在《本草纲目》中记载的无机药物就有 266 种,值得注意的是,出现了一些较为复杂的人造无机药物,如轻粉、黄矾等。

在生产实践与科学研究中人们不断发现新的元素,到 19 世纪中叶已发现了 63 种元素,测定了几十种元素的相对原子质量,并积累了相当丰富的有关元素物理性质和化学性质的资料。在 19 世纪后半期俄国化学家门捷列夫发现了元素周

期律。按照周期律预言了 15 种未知元素,这些元素后来均被陆续发现。因此,周期律的建立奠定了现代无机化学的基础,使无机化学从此摆脱了对无数个别的零散事实作无规律的罗列。特别是尖端科学技术的发展(如原子能工业、宇航、激光等)及量子力学理论和先进的光学、电学、磁学等测试技术在无机化学研究中的应用,建立了现代的化学键理论,确定了原子、分子的微观结构,使物质的微观结构与其宏观性质联系起来。

当前无机化学的发展趋势:无机化学与材料科学和生命科学的交叉,及学科间的相互渗透,形成许多跨学科的研究领域,如生物无机化学、有机金属化学、无机固体化学。

无机化学的鼓励研究领域:新型无机化合物的合成、反应、结构与性能;新型无机材料的分子设计及合成;信息光电材料;新型功能配合物、超分子化学和配位聚合物化学;无机生物效应化学基础研究,无机仿生及金属结合生物大分子化合物基础研究和放射化学基础研究;等等。

三、分析化学的发展和研究内容

化学的研究和发展与分析化学密切相关。战国末期,由于冶炼、制陶等技术的发展,以及对炼丹术的研究,在实践中积累了丰富的识别原料和鉴别产品的经验。例如,利用“丹砂烧之成水银”鉴定硫汞矿石。南北朝炼丹师(医药家)陶弘景在区别芒硝(Na_2SO_4)和硝石(KNO_3)时最早利用火焰的颜色进行试验,提出“硝石烧之有紫焰”,一个“紫”字道出了硝酸钾的火焰与硫酸钠的火焰的巨大差别,它足以鉴别这两种外形相似的物质。

分析化学的发展可分为三个阶段。

阶段一:16 世纪,天平的出现使分析化学具有了科学的内涵;20 世纪初,溶液中四大反应平衡理论形成了分析化学的理论基础,分析化学由一门操作技术变成一门科学。20 世纪 40 年代前,化学分析占主导地位,仪器分析种类少且精度低。

阶段二:20 世纪 40 年代后,进入仪器分析的发展时期。仪器分析使分析速度加快,促进了化学工业的发展;化学分析与仪器分析并重,但仪器分析自动化程度低;仪器分析的发展引发了分析化学的第二次变革。一系列重大科学发现,为仪器分析的建立和发展奠定了基础。F. Bloch 和 E. M. Purcell 建立了核磁共振测定方法,获 1952 年诺贝尔物理奖;A. J. P. Martin 和 R. L. M. Synge 建立了气相色谱分析法,获 1952 年诺贝尔化学奖;J. Heyrovsky 建立了极谱分析法,获 1959 年诺贝尔化学奖。

阶段三:20 世纪 80 年代初至今,以计算机应用为标志的分析化学第三次变

革:计算机控制的分析数据采集与处理;分析过程实现连续、快速、实时、智能;促进了化学计量学的建立。

四、无机及分析化学的研究内容

无机及分析化学是根据高等院校专业人才培养目标的需要,将无机化学和分析化学的基本理论和基本知识融为一体而形成的一门课程。无机化学部分,主要以四大平衡(电离平衡、沉淀溶解平衡、配位离解平衡和氧化还原平衡)为主线,讲述有关的化学基本理论和基本知识。分析化学部分,主要以容量分析为重点,阐述有关的基本理论、基本知识和基本技能,同时介绍吸光光度法。

与本课程有关的某些后续课程,如有机化学,仪器分析,环境化学,生物化学,土壤学,植物生理学,植物化学,食品化学,病理学,药理学,食品、饲料分析,等等,以及饲料加工学、营养学、食品理化检验、畜产品加工学等专业课的学习都需要无机及分析化学知识。生理学中生物体的代谢平衡(如酸碱平衡和水盐平衡等)都是以化学平衡理论为基础的;畜产品加工主要研究畜产品的成分、性质以及在加工过程中的变化等,这些研究都需要丰富的化学知识。因此,无机及分析化学是农、林、牧、医等高职高专农业院校的一门重要基础课。

五、无机及分析化学的教学目的

无机及分析化学的教学目的是通过学习使学生掌握与生物科学有关的化学基本理论、基本知识和基本技能,掌握以滴定分析方法为主的测定物质含量的方法,了解这些理论、知识和技能在专业中的一些具体应用。同时,由于化学是一门实验学科,故化学实验在基础化学的教学中占有重要地位。通过实验不仅可以巩固、加深和扩大所学的理论知识,更重要的是培养和训练学生的实验操作技能。培养学生的自学能力,独立操作能力,分析问题和解决问题的能力,也是无机及分析化学的重要教学目的之一。

六、无机及分析化学的学习方法

无机及分析化学提供了大量的知识信息,表面看似纷繁杂乱,实际上许多内容有一定的共性,并有一定的内在联系。在学习具体内容时,可以使用归纳总结的方法,把各个知识的“点”连贯起来变成知识体系。此外,对比的方法也是有效的学习途径之一。无机及分析化学中的一些内容,从问题的产生到处理问题的方法等,都有很多相似之处,如无机化学中的四大平衡、分析化学中的四大滴定等。找出这些内容的共性与个性,不仅有助于理解和记忆,而且能使学习深入化、知识系统化。

有效的学习环节包括课前认真预习;课堂专心听讲,做好课堂笔记;课下及时复习,独立完成作业;认真做好实验,完成实验报告;阅读参考书等。

化学是一门实践性学科,也是一门应用学科。做好实验,是学好化学的重要环节之一,也是应用化学的基础。实验前认真预习;实验中认真观察、规范操作、客观准确地记录实验现象和数据等;实验后认真分析、归纳总结,写出实验报告。学习中,除掌握教师所讲授的知识外,更重要的是学会自我学习的方法,即自学能力的培养。做好课前预习、充分利用图书馆和资料室等都是培养自学能力的重要途径。

第二章 溶 液

学习目标

- 熟悉溶液浓度常用的表示方法。
- 掌握几种常用溶液浓度表示方法间的换算。
- 掌握稀溶液的依数性及其应用。

第一节 溶液浓度的表示方法

溶液由溶剂和溶质组成。溶解其他物质的物质称为溶剂,被溶解的物质称为溶质。水是最常用的溶剂,水溶液也常简称为溶液。乙醇、汽油、冰醋酸等也可作为溶剂,所对应的溶液常称为非水溶液。溶液在工农业生产、科学实验和日常生活中都起着十分重要的作用。溶液的性质在很大程度上取决于溶质和溶剂的相对组成。因此,在实际工作中,首先需了解溶液中物质组成的量度。

一、溶液浓度的表示方法

(一)物质的量浓度

物质的量浓度是指单位体积溶液中所含溶质的物质的量。用符号 c_B 表示,即

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

式中: n_B 为溶质 B 的物质的量; V 为溶液的体积;物质的量浓度的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$,常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1. 物质的量及其单位

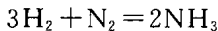
物质的量与长度、质量、时间等一样,是一个物理量,常用符号 n 表示。物质的量的单位名称为摩尔,用符号“mol”表示。摩尔的定义为:摩尔是一物系的物质的量,该物系中所包含的基本单元数与 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等(即阿伏伽德罗常数 N_A 个,约为 6.023×10^{23} 个)。

使用物质的量及其单位摩尔时,必须指明基本单元。基本单元可以是分子、原

子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合。基本单元要在量符号 n 后的括号内或 n 的右下角注明。基本单元要用元素符号或化学式表示,而不用文字说明。例如: $n_{\text{H}_2}=1 \text{ mol}$,表示以 H_2 为基本单元的物质的量是 1 mol ,它含有 N_A 个 H_2 ; $n_{2\text{H}_2}=1 \text{ mol}$,表示以 2H_2 为基本单元的物质的量为 1 mol ,它含有 N_A 个 2H_2 ; $n_{(\text{N}_2+3\text{H}_2)}=1 \text{ mol}$,表示以 (N_2+3H_2) 为基本单元的物质的量是 1 mol ,它含有 N_A 个 (N_2+3H_2) 。

物质的基本单元的确定,可以归纳为以下两种方法。

一种方法是由已知的化学(或离子)反应方程式来确定。把化学(或离子)反应方程式中各物质的化学式(或离子式)的具体表达式,包括其计量系数在内作为一个整体,确定为该物质的基本单元。例如,根据

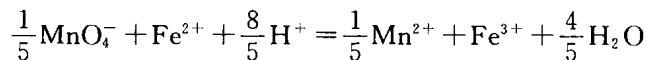


确定氢的基本单元为 3H_2 ,氮的基本单元为 N_2 ,氨的基本单元为 2NH_3 ,一般化学计算常采用这种方法。

基本单元的另一种确定方法是,根据需要先选定某物质的基本单元形式,再以该物质的基本单元配平化学(或离子)反应方程式,然后根据反应方程式确定其他物质的基本单元形式。滴定分析计算常采用此种方法。例如,在酸性条件下用高锰酸钾溶液滴定硫酸亚铁:



一般选用 Fe^{2+} 作为硫酸亚铁的基本单元,其他物质的基本单元根据配平的离子方程式来确定。



所以高锰酸钾滴定液的基本单元为 $\frac{1}{5}\text{MnO}_4^-$ 。

当同一物质选用不同的基本单元表示物质的量时,其物质的量间可以相互换算,如 $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}=1 \text{ mol}$,则 $n_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4}=2n_{\text{H}_2\text{SO}_4}=2 \text{ mol}$ 。即

$$n_{\frac{1}{2}\text{B}} = Zn_{\text{B}} \quad \text{或} \quad n_{\text{B}} = \frac{1}{Z}n_{\frac{1}{2}\text{B}}$$

使用物质的量浓度时,也应注明基本单元。同一物质用不同基本单元表示的物质的量浓度间可以相互换算。如 $c_{\text{H}_2\text{SO}_4}=0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,则 $c_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4}=2c_{\text{H}_2\text{SO}_4}=$

$0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。即

$$c_{\frac{1}{Z}\text{B}} = Zc_{\text{B}} \quad \text{或} \quad c_{\text{B}} = \frac{1}{Z}c_{\frac{1}{Z}\text{B}}$$

2. 摩尔质量

摩尔质量的定义为:物质 B 的摩尔质量,等于它的质量除以物质的量。用符号 M_{B} 表示,即

$$M_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{n_{\text{B}}}$$

式中: m_{B} 为物质 B 的质量; n_{B} 为物质 B 的物质的量;摩尔质量的 SI 单位为 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$,常用单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

摩尔质量是物质的量的导出量,使用摩尔质量时也必须注明基本单元,如 $M_{\text{NaOH}} = 40.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。摩尔质量的基本单元应与物质的量的基本单元一致。

同一物质用不同基本单元表示的摩尔质量间可以相互换算。如 $M_{\text{NaOH}} = 40.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,则 $M_{2\text{NaOH}} = 2M_{\text{NaOH}} = 80.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。即

$$M_{Z\text{B}} = ZM_{\text{B}} \quad \text{或} \quad M_{\frac{1}{Z}\text{B}} = \frac{1}{Z}M_{\text{B}}$$

(二) 质量摩尔浓度

溶质 B 的质量摩尔浓度是指单位质量溶剂中所含的溶质的物质的量。用符号 b_{B} 表示:

$$b_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{m_{\text{A}}}$$

式中: n_{B} 为溶质 B 的物质的量; m_{A} 为溶剂 A 的质量;质量摩尔浓度的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

同样,使用质量摩尔浓度时,也应注明基本单元。

由于物质的质量不受温度的影响,所以质量摩尔浓度是一个与温度无关的物理量。因此,它通常被用于稀溶液依数性的研究和一些精密的测定中。

(三) 摩尔分数

溶质 B 的摩尔分数为溶质 B 的物质的量与溶液中各组分的物质的量总和的比值。用符号 x_{B} 表示:

$$x_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{n}$$

式中: n_B 为溶质 B 的物质的量; n 为溶液各组分的物质的量总和。

对于一个两组分的溶液体系来说, 其溶质的摩尔分数 x_B 与溶剂的摩尔分数 x_A 分别为:

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

可见, $x_A + x_B = 1$ 。若将这个关系推广到任何多组分体系中, 则都存在 $\sum x_i = 1$ 。

(四) 质量浓度

物质的是指单位体积溶液中所含的溶质 B 的质量。用符号 ρ_B 表示:

$$\rho_B = \frac{m_B}{V}$$

式中: m_B 为溶质 B 的质量; V 为溶液的体积; 质量浓度 ρ_B 的常用单位为 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(五) 质量分数

溶质 B 的质量分数是指溶质 B 的质量与溶液的质量之比。用符号 w_B 表示:

$$w_B = \frac{m_B}{m}$$

式中: m_B 为溶质 B 的质量; m 为溶液的质量。

质量分数也可用百分数表示, 如将 10 g 氯化钠溶于 90 g 水, 则其质量分数为:

$$w_{\text{NaCl}} = \frac{10 \text{ g}}{10 \text{ g} + 90 \text{ g}} = 0.1$$

也可以表示为 10%。

(六) 体积分数

溶质 B 的体积分数指溶质 B 的体积与溶液的体积之比。用符号 φ_B 表示:

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V}$$

式中: V_B 为溶质 B 的体积; V 为溶液的体积。

(七) 比例浓度

对浓度要求不是十分精确的溶液, 为了减少计算和配制的麻烦, 可以用比例浓度。常用的比例浓度有两种:

(1) 溶质比溶液。药典上常见的比例浓度符号 $1 : x$, 即 1 g 固体溶质或液体溶