

大一化学

(上册)

J.瓦塞 K.N.特鲁布拉德 C.M.诺布勒 著

科学出版社

大一化学

(上册)

J. 瓦塞 K. N. 特鲁布拉德 C. M. 诺布勒 著

北京化工学院应用化学系无机化学教研室 译

李琇琳 凌永乐 校

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书是目前美国流行的一本供物理、生物等专业和工科院校一年级学生学习普通化学用的教科书。全书由浅入深反复阐述化学中的基本概念和理论,也列述了各族元素和化合物,并专章论述了核化学、有机化学、生物化学、热力学第一定律、热力学第二定律和化学动力学等内容。各章附有内容提要、术语和概念、问题和习题;书末附有习题解答、重要数据和数学推导。全书共分30章,中译本分上、下两册出版。上册为前16章。

本书可作为大专院校化学、物理、生物和工科等专业师生的参考书,也可供中等学校化学教师和广大化学工作者学习参考。

Jürg Waser Kenneth N. Trueblood Charles M. Knobler

CHEM ONE

(2nd ed.)

McGraw-Hill, 1980

大 一 化 学

(上 册)

J. 瓦塞 K. N. 特鲁布拉德 C. M. 诺布勒 著
北京化工学院应用化学系无机化学教研室 译

李琇琳 凌永乐 校

责任编辑 赵世雄 林长青

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年8月,第一版 开本: 787×1092 1/16

1987年8月第一次印刷 印张: 17 3/4

印数: 0001—5,200 字数: 402,000

统一书号: 13031·3455

本社书号: 4959·13—4

定价: 4.20 元

译者前言

美国加利福尼亚理工学院化学系J. 瓦塞和加利福尼亚大学化学系K. N. 特鲁布拉德、C. M. 诺布勒合著的《大一化学》(Chem One)一书的内容, 可与我们的教学内容较好地配合。为向国内读者, 特别是大学一年级学生介绍此书, 我们将它翻译出版。译文中有不妥之处, 请予批评指正。

原书共30章, 分上、下两册翻译出版。参加翻译的有我教研室凌永乐、马四元、程敏、张熙春、钟爱珍、郑庆道、郑瑞华、董淑莲、王金玲、王尚荣、苗兰、王先琪、薛石雷、侯元雪、李玉珍、朱全荪、张承曾同志, 还邀请张宏炎等同志参加翻译。全文由李琇琳和凌永乐校订。

序 言

《大一化学》(Chem One)是供专科或大学物理、生物和工程专业一年级学生使用的一本化学教科书。第二版是按四年前出版的第一版进行了相当大的修改而成的。

我们一直力求避免在论述中产生不够确切和过分简化的缺点。可是,对具有这样目的的一本书来说,每一课题就不一定从高深的水平开始。我们试图利用周密的定义、相当全面的解释和许多例题以及类似的练习,为乐意学习的学生提供掌握基本概念并能运用它们的方法。那些基础知识不足的学生可阅读Emily Maverick为这一版编写的《学习指导》(Study Guide),这样会使学习容易一些。

书中某些概念反复出现多次。首先在前面几章中进行介绍,接着在中部章节中较深入细致地加以阐述,最终又在最后八章叙述化学的讨论中加以应用。这种编排可较好地概括统一的化学主题,使概念随深度增加而重复出现,具有符合教学法的优点。此外,还能使学生在学习这门课程的早期阶段进行重要的实验室实验。例如,误差、化学计算和气体都在第3章和第4章中详细讲述,而周期表、价键、三维结构和水溶液中的反应也在本书前面三分之一的部分中进行初步讨论。从第11章到第13章,详细论述化学平衡,以利于及早引入定量实验操作(例如滴定)。这些实验操作需要了解溶液中的化学平衡。量子理论、原子和分子结构以及周期表的详细论述编排在中部(从第14章到第18章)。不过,这几章完全可以看作一个整体,可以提前(例如放在第7章或第10章后面),或者移后(放在第22章后面)。教学顺序可不按本书的编排而作变动。由于早在第四周或第五周就涉及一些溶液的实验课程,所以第4章(气体)和第7章可以移后,而把第8章和第9章提前。

我们主要还是使用国际单位制,因为目前受过训练的那些人在他们大部分工作中无疑都使用国际单位。不过,我们还保留了atmosphere(大气压)、torr(托)和angstrom(埃)这些单位。我们赞成使用cubic centimeter(立方厘米),但未完全放弃相同的单位milliliter(毫升),因为学生将使用按毫升刻度的玻璃仪器。表头、曲线图中坐标轴的标记符号和方程式都采用“斜线”表示法。按照这种规定,有量纲的量除以它们的单位就得到无量纲的数。例如,我们写出 $\log(P/\text{atm})$,就表示一个数的对数,这个数就是以大气压表示的压力除以单位大气压。我们在引用每一国际单位时,都对这个国际单位的规定作出解释。第1章中叙述了国际单位制而更详尽的讨论放在附录A中。

为了适应教师和学生的需要,或因时间的限制,任何一本这样的综合性书籍都可以省略或删除一些课题或章节。在许多章中,我们尝试着把较高深的和不十分重要的材料放在稍后面,以使它们可以很方便地被删略。书中有些章节可以留给学生自己阅读,而不必在课堂上详细讲述。例如第7章可以独立看成是结构化学的引言。教师如果觉得需要,经过有选择的删节,至少能够留有三周的时间讲授本书的最后两章——有机化学和生物化学。这两章在第二学年课程中往往还会碰到,但也有许多学生在第一学年后并不再继续学习化学。在我们看来,这些内容即使不包括在正规课程内,任何一本普通化学

教科书都有必要为这类学生介绍现代化学中的这些重要领域。

下面列出一些与第一版不同的较重大的改变：

1. 例题的数目增加到165个，而且每一例题后都附有类似的练习，学生们可以利用这些练习检验他们的理解程度。

2. 章末的问题和习题数增加约三分之一，特别加强了一些直截了当的、比较简单的问题。

3. 每一章结束时有一内容提要，并列出新的术语和概念，附有引入每一术语或概念的课文页码，可使学生在复习时和课文联系起来，而不会是毫无关联的个体。

4. 本版的许多章节完全重写，许多材料重新组编，虽然整个课文缩短了一些，但却增添了三章。新增加的是氧化和还原（第10章）、核化学（第28章）和早期的周期表概念（放在第2章中）。

5. 利用微积分符号详细推导的公式已移入附录C，在讲述热力学和动力学章节的课文中只提结果。

6. 克式量浓度 (formality) 这一概念和有关的符号 F 已经删除，因为教师中很少有人把克式量浓度和摩尔浓度加以区分。当量 (equivalent weight) 和当量浓度 (normality) 也已删除，因为它们主要是应用在实验教材中，而且需要时从那里也易于学习（不过保留了它们的原理，例如在问题9-14到9-17，10-9和10-10中）。

此次修订中，我们从洛杉矶加利福尼亚大学及其他地方许多学生和同事们意见、建议和批评中受益匪浅。在这些入当中特别要提出的是David Adams, Robert Allen-doerfer, Daniel, Atkinson, Kyle Bayes, James, Espensen, Jerry, Kasper, Ed Lingafteler, Sam Markowitz, Emily Maverick, George Miller, Verner Schomaker, Bernice Segal, Arden Slotter和Charles West. 我们还同样非常感谢。以各种方式对第一版作出过贡献的那些人们，其中有Jay M. Anderson, Bill Benjamin, John P. Chesick, Deirdre Devereux, Ed Friedrich, Jenny Glusker, James B. Ifft, Daniel Kivelson, Caroline Lanford, Richard Marsh, James D. McCullough, Kathy North, Julian L. Roberts, Jr., Raymond J. Suplinskas Judy Swain, Julie Swain, Robert Weiss和Alan Wingrove.

我们感谢设计全书版面的Janet Bollow, 绘制新图的Judith McCarty, 誊清草稿的John Hannon和耐心监督并促进各个阶段编辑和出版工作的Donald Jackson, Sibyl Golden和Charles Hess, 赞赏他们的职业作风和才能。最后我们还要特别感谢Delna Jacobs, 在反复修订过程中的打字技能和良好的持久精神，使我们的工作较顺利地而愉快地完成。

J. 瓦塞
K. N. 特鲁布拉德
C. M. 诺布勒
(凌永乐译)

致 同 学

本书内容难易相差很大。一些课题基本上可看成是中学化学的复习，而另一些对所有学生来说则是崭新的，有时甚至是抽象的。许多课题在书中反复讨论，以使你们在学习过程中越来越熟悉它们。这些课题首先以基本的、定性的水平提出来，然后是较详细的、常常是定量的论述，最后又在大量化学事实的系统化和解释，即所谓“叙述化学”中加以应用。

本书内容不是都容易理解的。我们和化学界的大多数同事过去学习它们时，对其中许多地方花了不少力量，即使现在对某些方面也还要认真思考。不过，我们总设法使你们学习时不感到吃力。新词汇在书中第一次下定义时用斜体字（中译本用黑体字——译者）表示，每一章中新的关键术语和概念都列在该章的末尾，并标出参见页码，以助查找它们在该章介绍和讨论的地方。每一章的结尾都有内容提要，在学完这一章内容后，要养成阅读内容提要的习惯，以保证你们理解这一章的全部要点。在学习每一章之前，也可以浏览一下这个内容提要以获得一个全章的概貌，这是很有益处的。

许多插图都有详细的说明，目的在于阐明各图和相应的课文。要养成认真阅读它们的习惯。大多数章节中有许多例题，目的是告诉你们如何把原理和方法应用到一些特定的情况。例题后都附有一系列似的练习。如果你们已经彻底领会例题，就能容易地做练习。每章末都附有大量问题和习题，可以帮助你们加强运用化学概念的能力。

互见参考（指穿插在课文中括号里注明的章节——译者）把分散在不同章节中的有关概念和事实紧密联系起来。在学习一个新课题时，有时会感到难于了解其中的内在联系和识别它们的一般原理，这些互见参考有助于扩大眼界。书末的附录A和B是有关专题（单位和化学命名法）完备的论述，你们可能要经常查阅。附录C是化学热力学（第19章和第20章）和化学反应速度（第22章）中所使用的数学方程的微积分推导。附录D列出经常需要查阅的各种数据表。附录E给出书中全部练习和每章末尾奇数号问题和习题的答案。

随本书出版的《学习指导》（Study Guide）（无中译本——译者）可能会很有用处，特别是对于那些化学基础知识薄弱的同学，彻底理解书中那些物理或数学背景材料是必不可少的。随本书出版的《题解和补充材料》（Solutions and Supplementary Material）（无中译本——译者）对每章末尾的问题和习题给出详细的题解和答案。另外它还包含一些课题的补充材料。这些课题可能引起某些同学的兴趣，但在本书的内容中得不到圆满的解答。

我们建议，当你们在学习中遇到困难时（一定会不止一次地遇到），就在初次粗读后把较难懂的部分暂时搁置一下，稍后再仔细学习，记下关键性的词汇和概念，并且常常合起书本迅速默诵。要回顾例题题解的演算步骤，并检验解算细节。要反复做练习。如果开始你对某些新课题只能部分理解，甚至对它产生了错误的认识，也不必焦急。开始错了，后来得到纠正，往往能使人吃一堑长一智，因为它所赋予的明辨是非的能力是

那些完全不曾考虑过这些问题的人所不能得到的。

要经常保持批判的态度，不要简单地接受一切来自似乎权威的任何论述。尽量应用你自己的理智，寻求内在的连贯性。我们努力避免错误，但是完全避免是不可能的。

学习是一个艰苦探索的过程，需要经过多方面的训练。所有这些郑重的告诫和劝勉应当仍然不会掩盖这样一个事实——化学事业乃是化学家们一生志趣之所在。我们希望你们也能这样做，你们也一定会这样做的。

J. 瓦塞

K.N. 特鲁布拉德

C.M. 诺布勒

(马四元译)

目 录

序言

致同学

1 绪论

- 1-1 化学是一门自然科学 (1) 1-2 物理量的单位和量纲 (2) 1-3 物质、混合物和聚集状态 (4) 1-4 Dalton 和他的先辈们: 关于原子的早期概念 (7) 1-5 原子现代概念的出现 (9)
- 内容提要 (15) 术语和概念 (15) 问题和习题 (16)

2 原子、分子和周期表

- 2-1 原子和原子量 (17) 2-2 分子和摩尔 (19) 2-3 化学性质的周期性 (24) 2-4 现代周期表 (25)
- 内容提要 (27) 术语和概念 (27) 问题和习题 (28)

3 化学计算: 化学式和化学方程式所表明的定量关系

- 3-1 误差和有效数字 (30) 3-2 计算中的精密度 (33) 3-3 化学式 (34) 3-4 化学方程式 (37) 3-5 化学计算的一般原理 (38) 3-6 化学式和百分组成 (39) 3-7 参加反应的物质的量 (41)
- 内容提要 (47) 术语和概念 (47) 问题和习题 (47)

4 气体的性质

- 4-1 引言 (51) 4-2 能和温度 (52) 4-3 理想气体 (54) 4-4 分子运动论和理想气体定律 (64) 4-5 Maxwell-Boltzmann分布 (71)
- 内容提要 (72) 术语和概念 (73) 问题和习题 (73)

5 液体和相变

- 5-1 液态 (77) 5-2 相变和蒸气压 (79)
- 内容提要 (86) 术语和概念 (87) 问题和习题 (87)

6 原子间和分子间力

- 6-1 背景 (90) 6-2 原子中的电子 (91) 6-3 离子键 (91) 6-4 共价键 (93) 6-5 van der Waals力 (94) 6-6 氢键 (98)
- 内容提要 (99) 术语和概念 (100) 问题和习题 (100)

7 化学物质的分类

- 7-1 分子组成的单质和化合物 (102) 7-2 共价固体 (103) 7-3 高聚物 (106) 7-4 金属 (107) 7-5 离子化合物 (107) 7-6 不同种类物质的小结 (109) 7-7 物质的一些其他分类 (111)
- 内容提要 (113) 术语和概念 (114) 问题和习题 (114)

8 溶液

- 8-1 溶液 (115) 8-2 浓度单位 (117) 8-3 溶液的依数性 (120) 8-4 胶体溶液 (126) 8-5 物质的分离 (127)
- 内容提要 (129) 术语和概念 (130) 问题和习题 (130)

9 酸、碱和离子溶液

- 9-1 酸、碱和盐 (133) 9-2 水溶液中的水合氢离子和质子转移反应 (137) 9-3 pH和溶液的化学计算 (139) 9-4 氧化物的酸性、碱性和两性 (141) 9-5 盐的水溶液 (142) 9-6 络离子 (144)
内容提要 (146) 术语和概念 (147) 问题和习题 (147)

10 氧化和还原

- 10-1 氧化和还原反应 (151) 10-2 氧化态和氧化还原方程式的配平 (154) 10-3 氧化还原反应的化学计算 (159) 10-4 歧化反应 (159)
内容提要 (160) 术语和概念 (160) 问题和习题 (160)

11 化学平衡导论

- 11-1 背景 (162) 11-2 定性研究 (163) 11-3 平衡定律 (166) 11-4 关于气体的均相平衡 (172) 11-5 补充的一般说明和例子 (175)
内容提要 (179) 术语和概念 (180) 问题和习题 (180)

12 水溶液中的离子平衡：酸和碱

- 12-1 引言 (183) 12-2 酸和碱的强度 (183) 12-3 平衡计算：电离和水解 (188) 12-4 缓冲溶液 (193) 12-5 酸和碱的滴定 (197) 12-6 多元酸 (201)
内容提要 (205) 术语和概念 (206) 问题和习题 (206)

13 溶度积和多相平衡

- 13-1 引言 (210) 13-2 离子固体和水溶液间的平衡：溶度积原理 (210) 13-3 pH变化对弱酸盐溶解性的影响 (215) 13-4 气体与固体反应引起的多相平衡 (217)
内容提要 (221) 术语和概念 (221) 问题和习题 (221)

14 粒子、波和量子化

- 14-1 粒子和波的性质 (224) 14-2 光和电磁辐射 (227) 14-3 粒子的波动性 (235)
内容提要 (237) 术语和概念 (237) 问题和习题 (237)

15 原子结构

- 15-1 Rutherford的原子模型 (239) 15-2 Bohr的氢原子模型 (240) 15-3 物质波和波函数 (242) 15-4 原子轨函和能级 (245) 15-5 电子自旋和Pauli不相容原理 (251) 15-6 波动力学和测不准原理 (252)
内容提要 (253) 术语和概念 (253) 问题和习题 (253)

16 周期性和电子结构的关系

- 16-1 周期表中的一般关系 (255) 16-2 原子结构和化学性质的周期性 (259) 16-3 轨函能量和化学性质 (267)
内容提要 (270) 术语和概念 (270) 问题和习题 (270)

1 绪 论

“实验乃一切真理之母，不是来自实验的科学和不以明确实验面终结的科学都是虚假的和充满错误的。”

Leonardo da Vinci

“通常说，这是甜、苦、热、冷；通常说，这是颜色。实际上都是原子和虚空。”

希腊哲学家Demokritos (公元前五世纪)

1-1 化学是一门自然科学

自然科学 近三个世纪以来，现代科学已经迅速发展得如此广泛而深入，甚至连最聪明的人也需要充分学习和思考，才能掌握其中的一部分。这主要是因为科学的成果是累积的——科学是建立在早期所观察和了解到的事物的基础之上并加以扩展的。它是通过实验观察、想象推理、根据这种推理而得出的预言和为检验这些预言所做的实验之间的相互作用而发展起来的。随着人们不断地对自然界进行系统的观察和归纳，科学被人为地划分成“不同的”领域，接着又被再划分，这完全是因为人的生命太短暂而智慧又太有限，不可能学习已经观察到的和假设的一切。

这些不同的自然科学学科曾一度被认为是物理学、化学、生物学、地质学和天文学，但是现在这些领域又被分成许多分支学科，范围也在扩大。它们不仅包括几种学科互相渗透的部门，例如地球物理学（地球的物理学）和生物化学（生物的化学），而且，发展到今天，还包括这样一些领域，在这些领域里，许多经典的自然科学方法得以综合，并用来研究现实世界特定的问题。例如，海洋地质学包括对海洋的物理学、化学、生物学和地质学等方面的有关研究，行星科学则涉及到太阳系成员的所有前述学科的综合研究。

化学 化学研究的是物质的组成、结构和性质，反应后物质的转变和伴随这些反应的各种能量的变化。化学家主要关心的是通常存在于地球上的物质的性质和反应，本书的大部分就是讨论化学的这些方面。但是，天体观察和空间探索使我们有充分理由相信，所讨论的一般原理是能够更广泛应用的。

由于化学涉及许多广泛的活跃领域，因而又把它大致再分为许多分支。按所关心的重点不同，有几种不同的划分方法。可以根据所涉及物质种类来划分，例如有机化学研究含碳元素的化合物（实际上有数百万种），而无机化学研究不含碳元素的物质。但这并非是截然分隔的，例如碳酸盐矿物虽然含碳，却被认为是无机物。

另外一种分类方法的重点在于我们可能实行的操作和反应类型。最早的两个主要化学领域是分析化学和合成化学。分析化学测定化合物或混合物组分的本性和比例；合成化学从一些物质创制另一种物质。根据化学与其他领域的相互渗透，人们还把化学分成

物理化学、生物化学、地球化学、宇宙化学等等。最后用“理论化学”和“描述化学”这两个显然不同的词来区分，常常一个指的是概念、原理和理论；另一个指的是实验观察到的事实。

现代化学的许多实验方法，例如光谱的方法和用X射线衍射确定结构的方法，最初被认为是物理学家发展起来的。同样地，现代理论化学主要是以热力学、统计力学和量子力学为基础的，原来认为它们也都是属于理论物理的范畴。但是，相互作用总不会全是单方面的，许多现代物理中的重要思想又起源于化学：物质的原子本性，是由John Dalton (1766—1844) 定量地确立的，而且在大多数物理学家毫无保留地接受它之前的将近一个世纪中，已经是许多化学家的想法的一部分了。化学与其他学科，特别值得注意的是与生物学和地质学之间的相互联系，也是大量的和重要的。

需要提醒注意的是关于化学的词汇。你将碰到许多新的术语，其中大多数都有明确规定的含义。你不仅必须仔细地学习这些含义，以便掌握如何运用这些术语并了解它们和有关术语的区别，而且有时候你还必须注意避免把这些术语与生活用语中的相同词汇相混淆——这些相同词通常是(虽然不总是)比较概括而又比较含糊的。例如，能、功、热和力这些词，在物理和化学中的意义就比在日常谈话中更有限制；另一方面，盐和醇的意义则更为普遍，它们指的是物质的种类，而不是特定的一种物质。有些定义是数学上的，用于数学计算。少数科学术语的意义是多重的，而每一种意义却又十分精确，只有按上下文才可能确定在某种特定情况下它的确切意义。例如，中和这个词可以指不存在过量的正电荷或负电荷，也可以指不存在过量的酸或碱。这些可能含混的词往往是指明了的，但是你还是应该对它们特别注意。

1-2 物理量的单位和量纲

计算中单位的处理 许多物理量需要用单位和数目标明，如长度、时间或质量。假如说距离是12.5，就不够，必须标明距离或长度的单位，例如英尺或米或英里。把物理量和单位结合在一起，就认为具有量纲。量纲可以根据与这个量有关的另一些被认为是“基本”的单位(如长度、时间和质量)计算确定。例如，面积的量纲是长度的平方(长度²)；体积的量纲是长度的立方(长度³)；速度的量纲是长度·时间⁻¹。量纲是物理量的特征属性，而这个量带有的单位是随特定的标度或测量制定的相对标准而定的。因此，长度可以按厘米、米、千米或英里量度，而速度按米每秒(m·s⁻¹)或小时每英尺(foot·h⁻¹)量度。纯数，例如具有相同量纲的两个量的比率，称为无量纲。

在给出具有量纲的某个量的数值时，必须同时给出数值和这个数值所用的单位。如果我们用V代表某个固体的体积，这个固体占体积5.02cm³，我们要写成

$$V = 5.02\text{cm}^3$$

在涉及任何量的任何计算中，数值和单位两者都按算术和代数的普通规则进行处理。因此如果刚才谈到的这个固体的质量m是12.72g，它的密度ρ(希腊字母，读音为rho)按定义是质量与体积的比率，由下式得出：

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{12.72\text{g}}{5.02\text{cm}^3} = 2.53\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} \quad (1-1)$$

在作业中，总是要标出每一个量的单位，并且在每一步计算中都要带着这个单位。坚持这种练习，就使错误减至最少，又能比较容易正确记住某些定义。

例题1-1 由质量和密度求体积 已知一块木材质量 m 为10.3g，密度 ρ 为 $0.97\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，求它的体积。

解 体积必定有量纲（长度³）。因此，即使你记不清密度的定义，也会知道用这两个给出量（质量和密度）间的关系，必定会得出带有长度³量纲的答案。正确的结果是把质量除以密度得到的，这明显是（1-1）式的重新排列：

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10.3\text{g}}{0.97\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}} = 10.6\text{cm}^3$$

这个答案确有体积的量纲，它的单位是立方厘米。

假如你忘记了密度的定义，并用 ρ 乘 m

$$m\rho = 10.3\text{g} \times 0.97\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} = 10.0\text{g}^2\cdot\text{cm}^{-3}$$

这个结果不可能是正确的。它完全不具备恰当的单位，不可能是体积。

练习1-1 假定汽油的价格是 $70\text{cent}\cdot\text{gal}^{-1}$ ，以 $\text{dollar}\cdot\text{ton}^{-1}$ 表示的价格是多少？（米制的）吨规定为 $1\text{ton} = 10^3\text{kg}$ ，汽油的密度是 0.70gcm^{-3} ， $1\text{gal} = 3.79\text{L}$ 。

SI单位 本书用的大多数单位是SI单位（SI为国际单位制的国际符号），SI单位是1960年国际计量会议正式通过的。这些单位自1964年以来在美国国家标准局使用。SI中的七个单位，如米（m）、千克（kg）、秒（s）和摩尔（mol），称为**基本单位**。原因是所有其他单位都是从这些基本单位导出的，或者用因子10，100或（更多地）1000去乘（或除）基本单位，或者是将基本单位结合起来得到的。倍数或分数单位的例子是千米（ $1\text{km} = 1000\text{m}$ ），厘米（ $1\text{cm} = 10^{-2}\text{m}$ ），克（ $1\text{g} = 10^{-3}\text{kg}$ ）和毫克（ $1\text{mg} = 10^{-6}\text{kg}$ ）。结合单位的例子是体积单位 m^3 和 cm^3 ，速度单位 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。本书中所用的单位并不都是SI单位，例如压力单位用大气压（atm）和托（ $1\text{atm} = 760\text{torr}$ ）（见4-1节）。我们也常用体积单位升和毫升（ $1\text{ml} = 10^{-3}\text{L} = 1\text{cm}^3$ ）。

对于SI更多的细节，列在附录A第一部分中，你们应该学习。

物理量的无量纲数值 习惯上把物理量的符号，如体积 V 或质量 m ，看作是含有它的量纲的量。符号相当于这样的乘积

$$\text{物理量} = \text{数值} \times \text{单位}$$

物理量使用的符号并不意味着也不应该意味着任何特别选定的单位。另一方面，如果物理量的符号用一个适当的单位去除，结果是一个纯数，这个数就是以这个单位计的数量值。例如， $m/\text{g} = 50$ 意思是质量50g， $V/\text{cm}^3 = 40$ 意思是体积 40cm^3 。曲线图的坐标轴常常用这样的纯数标出，数值表纵行中的数值也是如此。要是一个表中的一纵行标出表头 d/mm ，这一纵行中的数就是以毫米计的 d 值。将 d/mm 的分子和分母都用1000乘，所得到的等价表头应当是 $1000d/\text{m}$ ；所给出的数仍然是以毫米计的距离，表中数为5就表示：

$$1000d/\text{m} = 5 \text{ 或 } d = 5 \times 10^{-3}\text{m} = 5\text{mm}$$

前面表示比率所用的符号（例如 V/cm^3 或 $\frac{V}{\text{cm}^3}$ ）为表示不同单位间的转换因子提供了一种简便的方法。例如从 $1\text{inch} = 25.4\text{mm}$ 这个等式，我们可以引出这样的关系：

$$\frac{25.4\text{mm}}{1\text{inch}} = 1$$

这种关系就可以用来从英寸换算到毫米，或者作相反转换。

例题1-2 单位换算 一塑料游泳池罩的厚度 $d=6\times 10^{-3}\text{inch}$ (“8mil”), 以毫米表示的 d 是多少?

解 我们应用英寸和毫米间 $25.4\text{mm}/\text{inch}=1$ 的关系式, 由于用1乘没有变化, 结果得到

$$6\times 10^{-3}\text{inch}=6\times 10^{-3}\text{inch}\times\frac{25.4\text{mm}}{\text{inch}}=0.15\text{mm}.$$

练习1-2 根据 $3600\text{s}/1\text{h}=1$, $1.609\text{km}/1\text{mile}=1$ 和 $1000\text{m}/1\text{km}=1$ 的关系, 计算一辆旅行汽车以 $55\text{mile}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度行驶时, 折合成多少 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1-3 物质、混合物和聚集状态

物理和化学性质 描述物质最简单的方法是根据它的性质. 物质的**物理性质**, 诸如颜色、密度、熔点和溶解性, 是不受此物质和其他物质(或者和它本身)的化学反应影响的. 物理性质一般是描述物质对温度或压力变化等外部影响的反映. 例如由于温度或压力变化导致的体积改变; 又如当一物质用白色光照射时, 反射出的特殊颜色. 物质的**化学性质**指的是该物质在同其它物质一起存在时所表现的性质, 特别是关于它与其它物质(或与自身)反应生成性质不同的新物质, 或者是它在特定条件下并不参与反应的那些性质. 例如, 黄色固体硫与氧气反应生成刺激性气体二氧化硫, 绿色气体氯与银白色金属钠反应生成无色固体氯化钠(食盐).

化学性质和物理性质之间没有明显的界限. 物质与光的相互作用可能不只是显示它的颜色, 而且也可能引起化学反应, 照像的感光乳剂就是这样. 电流可以引起化学变化; 激烈的打击可能导致爆炸物的爆炸(一种化学变化). 同样地, 物质在水中的溶解通常伴有溶解的粒子和水分子之间的化学相互作用.

纯物质和混合物 术语**物质**(或**纯物质**)是指一种具有特定物理性质和化学性质以及固定组成的物料. 有一些我们日常生活中应用的物质就是纯物质, 例如糖、盐、铜和银.

多数常见的物质——牛奶、醋、黄铜、空气、尘埃、混凝土——是各种物质的混合物*. 混合物没有固定的组成. 因此混合物就没有纯物质那样明确固定的一种或多种性质. 例如, 它们可能没有确定的熔点或沸点, 或者它们含有用肉眼就可以看出的几种不同的组分. 即使**表面看来**象是由单一物质组成的, 也还可以把它们分离成性质不同的几种物质. 要完成这种分离, 可以采用加热或利用一种合适的溶剂进行处理等方式.

混合物可以分为均相的(整个样品性质均一)和非均相的. 均相混合物叫做**溶液**(见第8和第9章). **均相**和**非均相**两个概念的含义在下一节中进一步讨论.

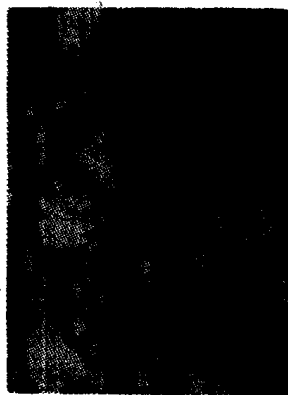
宏观观点和微观观点 对化学现象的解释和说明涉及到两个不同的观点——宏观和微观观点. 宏观世界是自然界中我们感官能直接感到的那一部分. 在普通使用中, 它包括能用肉眼观察到的所有现象. 但是, 在化学和有关的领域内, 所有那些不是原子或分子规模的现象都被认为是**宏观的**(macroscopic, 希腊文makros, 大); 而那些发生

*即使是“纯”物质——蒸馏水、精制糖、电解精铜, 也不可避免地含有痕量杂质, 不过杂质仅为纯物质本身的百万分之几, 在特殊情况下甚至可以获得更高的纯度. 晶体管中使用的锗在常规生产中是一千万个锗原子中只有一个杂质原子.

在原子级别和分子级别的现象则是微观的(microscopic, 希腊文mikros,小)。

化学的主要目标之一是在微观的水平上,依据原子与分子的性质和它们的相互作用对宏观现象做出解释。因此,本书始终注意宏观观点和微观观点之间的相互作用。

相 如果一种物料的宏观性质(例如密度或在其中的光速和声速)各部分都是相同的,就称此物料是**均相的**。如果物料是由不同性质的宏观区域组成,并且由宏观的明显界面分开,就说它是**非均相的**。非均相体系中的那些均匀部分就叫做**相**(phases,希腊文phainein,出现)。例如,一块花岗岩含有三种主要固相——石英、长石和云母。一缸有冰块的水中含有液相和固相的水,在水面上含有一些水蒸气的空气是第三相,气相。



花岗岩

在某些情况下,一个单相区域也可能并不是严格均相的。液体或气体的密度在不同高度的点上是不同的,其它的性质也可能不同。这些差别常常是微小的。值得注意的是,在单相区域内,性质是随着位置连续地而又缓慢地变化着;但是,在越过新相界面时,性质的变化是突然的。

例题1-3 常见物料分类 (a) 海水是纯物质还是混合物?

解 海水容易分离,将其中的水蒸发,得到纯水和盐渣,因此它是混合物。

(b) 下列物质是均相的还是非均相的? 海滩上或沙漠中的砂子、田野上的泥土、雪球、自来水、糖或盐的晶体。

解 回答这类问题唯一可靠方法是利用实验(也就是仔细观察)。你也许已经熟悉所有这些物料,并且能够有把握地回答。如果不能,我们建议你仔细研究它们。当你进行研究时,你将可能观察到以下情况:大多数砂子显而易见是**非均相的**,是由完全不同物料的各别微粒组成的,这些物料具有不同的颜色、硬度和其它性质;几乎任何田野上的泥土都是**非均相的**,由某些腐烂的植物体、砂子、各种碎石、微小的有机体和多种其它东西组成;雪球主要是由冰的晶体(雪)组成,但常常含有一些液体水,因此是**非均相的**;自来水虽然几乎总是混合物,却常常是**均相的**,除非水中含有某种沉淀物;糖或盐的晶体是**均相的**,虽然你所得到的晶体也许太小,或者你用的方法又很有限,致使你不会毫不犹豫地相信。

练习1-3 将下列物料分类为纯物质或混合物: (a) 蒸馏水、(b) 一块木材; 分类为均相或非均相; (c) 铜丝、(d) 枫糖浆和(e) 巧克力片冰淇淋。

聚集状态 物体常见的三种聚集状态是固态、液态和气态。液态和固态也叫做凝聚态或凝聚相。它们的密度通常比气体的大得多,而固相的密度一般又比相应的液相稍大。

例题1-4 固体和气体的密度 一块 5.00cm^3 的固体二氧化碳(干冰)重 7.80g 。(a) 它的密度是多少?

解 应用(1-1)的密度定义,我们写出

$$\text{固体二氧化碳的密度} = \rho = \frac{m}{V} = \frac{7.80\text{g}}{5.00\text{cm}^3} = 1.56\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$$

(b) 在 0°C 和 1atm 的压力下,气体 CO_2 的密度是 $1.98 \times 10^{-3}\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。在这些条件下, 7.80g 气体二氧化碳占有体积多少升?

$$\text{解 } V = \frac{m}{\rho} = \frac{7.80\text{g}}{1.98 \times 10^{-3}\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}} = 3.94 \times 10^3\text{cm}^3 \times \frac{1\text{L}}{1000\text{cm}^3} = 3.94\text{L}$$

请注意，为了把答案从立方厘米换算为升，我们已经应用 $1\text{L}=1000\text{cm}^3$ 这个规定。

练习1-4 (a) 15.20g黄铜块的体积为 1.810cm^3 ，密度是多少？(b) 21.50g水银（密度是 $13.55\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ）的体积是多少？

比较这三种状态宏观和微观的描述(图1-1)是有启发的。固体具有抗拒企图改变它原来形状的体积的宏观性质。液体也难于压缩，它呈现出和它充满的容器同样的形状*。气体，只要不计地心引力的影响，就均匀地充满它可能达到的全部空间。

关于微观水平，我们从描述气体开始。气体的分子自由地移动，分子间的距离比分子本身大得多。例如在通常温度和压力条件下，大约是10个分子的直径。分子间的力是小的，除许多相互碰撞外，分子总是高速地自由运动，均匀地充满容器，不会是容器的这一部分分子超过另一部分。气体产生压力是气体分子与容器壁无数次碰撞的结果。

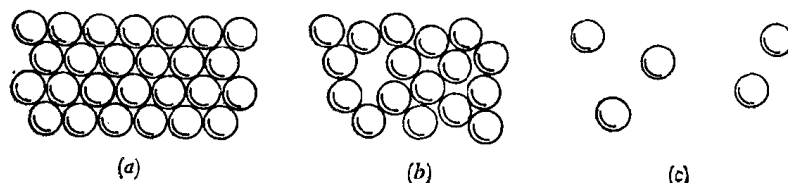


图1-1 (a) 结晶体 (b) 液体 (c) 气相的原子概貌

球代表分子或原子。(a) 为规则排列，而且相邻分子是彼此接触的；(b) 为不规则排列，但相邻分子间仍然是接触的；(c) 为不规则排列，大多数分子彼此相距较远。

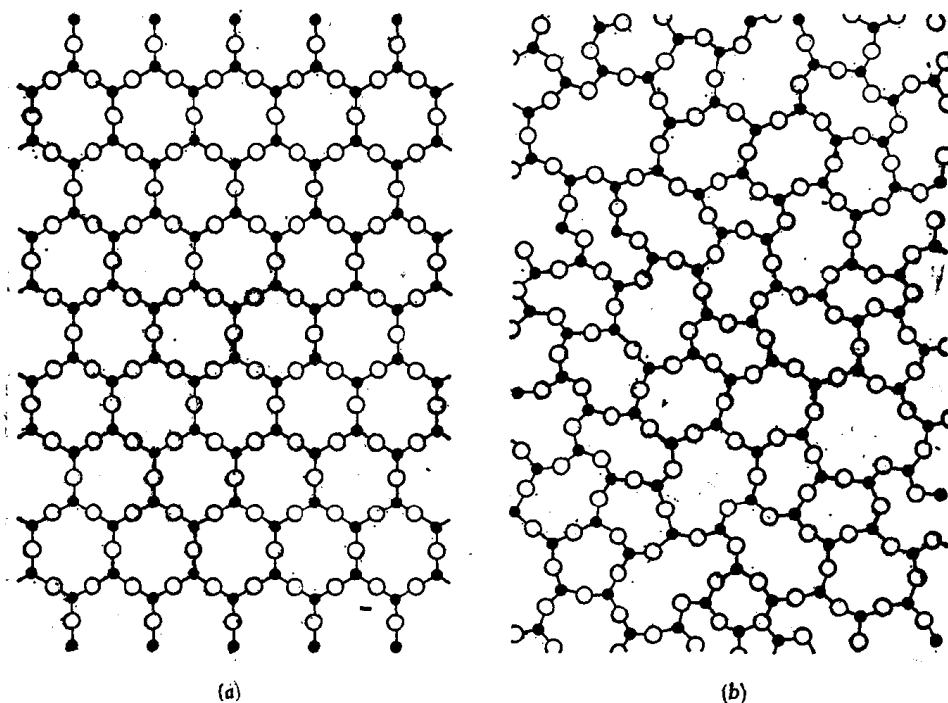


图1-2 (a) 结晶物质和 (b) 无定形物质的二维模型

在结晶物质中排列是有规则的，并且长距离保持不变。无定形物质具有不规则排列。图1-3中绘出结晶固体的示意简图。

另一方面，固体分子是紧密堆积的，并且在固定位置上振动，随着温度上升，来回

*液滴和不受地心引力的较大量的液体由于表面张力而趋向于形成球形，也就是说，表面张力力求使液体的表面积最小。

运动的距离越来越大。在固体中，分子只是偶然地脱离和交换位置。固体难于压缩，因为分子间距离太短时就强烈排斥，固体抵制形状的其他变化是由于把分子紧密连接在一起的力的作用。

液体中分子的堆积稍微松散些，并且分子间不断地彼此滑动*。分子间仍然有足够的吸引力把它们连接在一起。当液体受压缩时，也就是当分子靠得更近时，就出现强大的排斥力。因此，说明了液体抗拒改变它的体积而不是抗拒改变它的形状。

在结晶固体中，分子排列很有规律。除了一些小的缺陷外，这种规律性扩展到整个晶体（图1-2a和1-3）。因而影响到它的宏观性质。非结晶固体，称为**无定形固体**，它们的分子排列或多或少是无序的（图1-2b）。

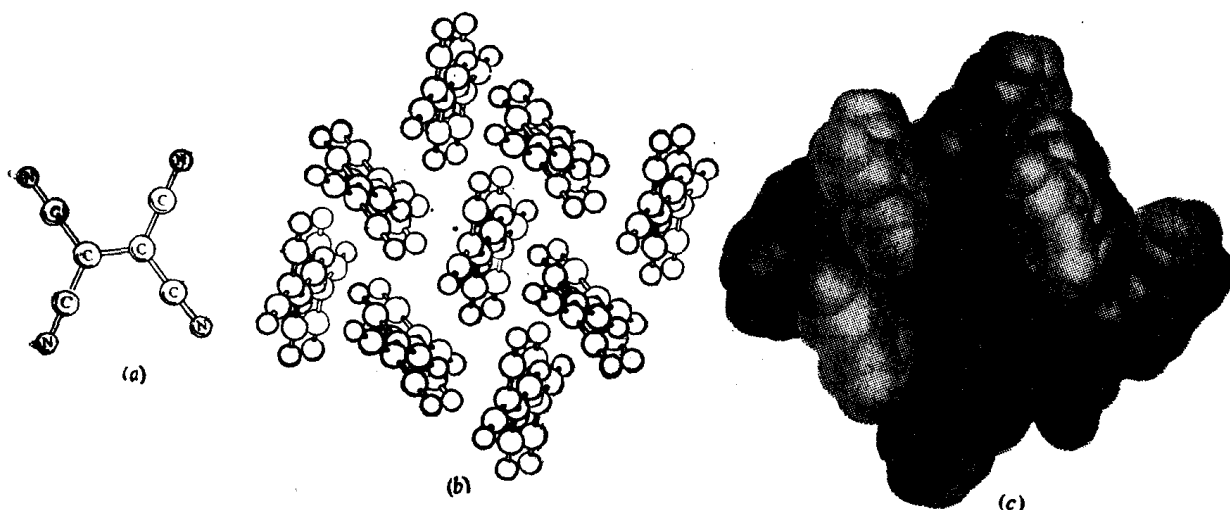


图1-3 一种分子晶体的结构

这个分子是四氰基乙烯，(a)中用球-棍模型表示。分子中所有的原子处于一个平面上。(b)中表示晶体中的分子排列。(c)中分子按它们的相对大小（“堆积”半径）表示。(c)图略去最接近观者的那一层右下方的分子，绘出一个较好的堆积图。

1-4 Dalton和他的先辈们：关于原子的早期概念

一切物质都具有基本的组成（或元素），这一概念至少早在公元前五世纪就由Leukippos和Demokritos提出的**原子**（atomistic，希腊文α，不；tomos，可分的）论中阐明。按照这个理论，所有的物质被认为是由不可分割的和不可破坏的粒子（原子）组成，它们彼此在形状、重量、相对位置和取向上不同，但是本质没有区别。物质性质的不同被认为是由原子的不同构造和不同结合所引起的。于是，象水这样的液体就应该是**由光滑的圆球形的原子组成的**，这些原子易于相互滚动；而象铁这样的固体，就应该是**由不同于组成水的那些原子组成的**，组成铁固体的原子是参差不齐的、形状粗糙的，这才容许它们紧贴在一起时形成固体物质。

这些早期的原子概念残存至今，形式已经重大修改，但是许多世纪以来它们仍然部

*液体中分子永不停止的运动，是由悬浮在液体中微小颗粒的无序运动表明的。这是十九世纪初英国植物学家Robert Brown用显微镜首先观察到的，因此称为Brown运动。