

高等学校教材

CAI 普通化学教程

丁廷桢 俞开钰 蔡作乾 张克铨

高等教育出版社



高等学校教材

CAI普通化学教程

丁廷桢 俞开钰

蔡作英 张克钰

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 提 要

本书是我国第一本带磁盘的基础化学教科书。它包括三篇：第一篇化学原理（分为四章：一、溶液化学，二、化学反应一般规律，三、过渡元素与配位化合物，四、固体化学。），第二篇化学实验（含最基本的八个化学实验），第三篇计算机辅助普通化学教学。CAI课件共有十一张磁盘，既能够跟课本各章内容紧密配合，起到智能化的辅导作用，又可以进行化学实验模拟。“原理-实验-软件”三位一体是本套教材的一大特色。此外，书中严格使用了我国法定计量单位。

本书供高等工科院校非化工类专业使用，也可供其他院校师生参考。

本书经清华大学周昕教授审阅，刘芸教授对计量单位作了审定。全书统稿由丁廷楨完成。

《CAI普通化学教程》课本及课件编制组成员

丁廷楨	俞开钰	蔡作乾	张克铨	朱素渝	何立仪
卫泳波	徐功骅	董晓梅	王 岩	要翠仙	王利珍
任艳萍	阮宏鹏	陈小江			

高等学校教材

CAI普通化学教程

丁廷楨 俞开钰
蔡作乾 张克铨

高等教育出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
中国科学院印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 15.375 插页 1 字数 390 000
1994年6月第1版 1994年6月第1次印刷

印数 20·001—4 885

ISBN7-04-004602-4/O·1303

定价 7.65 元

序 一

电子计算机的发明和应用是本世纪发展高技术的最重要成就之一。电子计算机应用与社会科学、自然科学以及技术科学的相结合极大地提高了人类的智能水平和推动了社会的文明进步。所以，邓小平同志说：“学电子计算机要从娃娃抓起”，这是非常明智的见解。由于我国的国民经济、教育和科技的发展水平比较落后，电子计算机知识的学习和在各方面的应用比较迟缓和较不普遍。小学里设电子计算机学习课的仅是凤毛麟角，中学也仅是少数先进学校添设了电子计算机课。在高等学校里也只在设有测试计算中心的重点学校才会有成批的计算机，设课供学生选修。在化学科学的研究工作中，量子化学与结构化学的理论计算已较普遍地应用了电子计算机运算，但把电子计算机应用于化学课程的教学，则仍然是我国高等学校教学改革中的一项有待开展的工作。清华大学和太原工业大学率先在工科普通化学课中对电子计算机辅助教学进行了数年的努力尝试，取得了很好效果，编写出一套把化学原理-实验-电子计算机辅助教学软件紧密结合起来的教材。这是一项非常有价值的教学改革实验，是值得工科院校师生对之表示欢迎的。我愿对该书和磁盘的出版表示热烈的祝贺。

这本电子计算机辅助普通化学教程(CAI普通化学教程)的三个组成部分都充分体现了改革精神。第一篇化学原理部分既重视了与中学化学的衔接，又与通常的普通化学教本不同，在纪实化学方面避免了与中学教材的重复叠加，只向学生讲授中学没有学过的过渡元素和稀土元素化学，使传统学习内容得到了较大程度的精简。在理论部分则从溶液化学入手，以化学热力学和物质结构理论为主线，提高学生的理论知识水平，用以指导纪实化学的学习，贯彻了理论联系实际的原则。更有特色的是本书增加了一章固体化学新内容，为工科学生接触近代发展的与高科技有关的材

EAS 100

料科学打下初步基础，这是极有远见的改革尝试，我对此表示赞许。原理部分文字叙述简洁，通顺流利，便于阅读，有利于学生自学，这也是本书的许多优点之一。

本书的第二篇为与理论教学相配合的化学实验部分，精选了八个基本必做实验，也体现了精简原则。第三篇为电子计算机辅助教学部分，与化学原理和实验的教学紧密配合，学生可以独立上机进行人机对话，接受智能辅导、答疑和进行化学实验的形象化模拟。工科普通化学学习的主要矛盾是学生课业多、负担重，化学课学时少而需学习内容有一定分量。把电子计算机应用于辅助教学无疑会提高学生的学习兴趣，对提高学习效率和减轻学生学习负担起到良好的作用。清华大学和太原工业大学在普通化学教学中的这些改革尝试，必将在普通高校课程改革中起到领先和模范作用，这是无可置疑的。我希望他们的改革经验会在一般高校中逐步得到推广。

南开大学化学系

申泮文代序^①

1993年3月

^① 申泮文教授系中国科学院院士。

序 二

——师生关于普通化学课程的对话——

新学年伊始，化学教师每每都要与刚跨入大学的新生们座谈普通化学课程的学习问题，以下是他们进行的一番对话。

学生甲：当我拿着手头这本《CAI普通化学教程》时，觉得挺新鲜。什么叫做CAI？我还从未听说过。

教师：《CAI普通化学教程》这本化学教科书带有计算机软件（磁盘）。所谓CAI，它是计算机辅助教学（Computer Assisted Instruction）的简称。CAI是现代教育的一种新手段，是教育技术领域的一个重大进步与变革。简单地说，CAI是利用计算机来辅助传统的课堂教学。例如，答疑辅导、习题作业、测验考试、实验预习和实验数据处理等教学环节，都可通过计算机来完成。

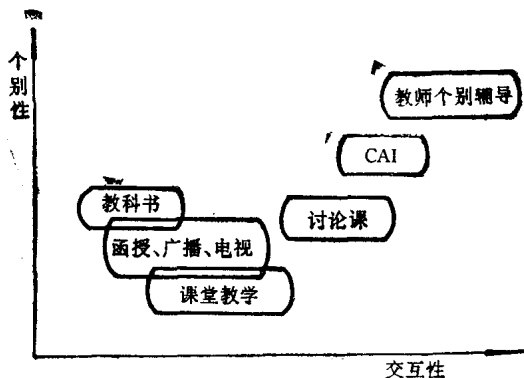
学生乙：在大学里，每门课程都有CAI吗？

教师：不是的。首先需具备必要的CAI硬件环境，比如要有足够数量的计算机等，但是，更重要的是要结合各门课程的具体要求，编制出用于CAI的教学软件，称为课件（Course ware of CAI）。我们在普通化学课中正式引入CAI，始于1988年，所编汉字化课件经过清华大学和太原工业大学两所学校数千学生的多次试用，不断修改，渐臻完善。现在，书中每章内容以及化学实验都有了与之匹配的教学软件，可供同学们复习与自学之用。你们一上大学，就能接触计算机，采用CAI这种先进的教学手段来学习普通化学课程，应当说这是一种幸运。

学生丙：采用CAI有哪些好处呢？

教师：从教育心理学和教育测量学的角度来看，判断一种教学方式（或学习方式）的优劣，通常选其最重要的两个因素，即个别性（Individualization）和交互性（Interactivity）来衡量。右图将诸种教学方式作了比较。此图表明，最佳的教学方式

首推个别辅导，其次就属计算机辅助教学 (CAI)。此外，CAI还具有计算机模拟功能强，反馈信息丰富而迅速、存贮容量大，以及人工智能和管理功能等突出的优点。因而，这种人机教学系统普遍受到学生的欢迎。比如，一个学生在谈到CAI的收获时，写道：“平时课外作业，当周交下周才发回，而做CAI练习时，却立即可以从屏幕上获得反馈信息，非常自由，毫不紧张，若遇困难按键求助，马上就能得到相应的提示，使自己茅塞顿开”。另一个学生的体会是：“CAI化学课件采用了‘菜单式’运行，使得每个同学可以按自己的胃口‘点菜进餐’，不仅学习兴趣盎然，而且便于掌握自己的学习进程。”



各种学习方式比较图

学生乙：我在中学时学过一点Basic语言，我们对上计算机确实都很感兴趣。老师，您能不能再讲讲，CAI对化学课有什么特别的功用吗？

教师：CAI的功能是多方面的，其智能化的特点最为突出。比如“人机对话”的方式，比起电视录像的电化教育手段来，甚至更容易取得良好的教学效果。众所周知，化学是一门实验性很强的学科，因此，实验是普通化学课程的重要组成部分。然而，

由于学时有限，教学计划中所安排的化学实验课时数不可能很多。在这方面，计算机模拟化学实验可大显身手，并收到事半功倍之效。

学生丁：老师，什么叫做“模拟计算机实验”，我还是不明白。

教师：不是叫做“模拟计算机实验”，而应称为“计算机模拟化学实验”，也就是说，在计算机上进行化学实验的模拟。这种模拟把计算机和化学实验这两个本来毫不相关的事物，紧密联系在一起，换句话说，好像是在计算机上完成了化学实验。现以酸碱滴定实验的模拟为例，在计算机屏幕上显示出相当逼真的滴定管和锥形瓶（尚可摇动）等实验装置，通过键盘操作可实现快速、中速乃至逐滴加入溶液，当滴到反应终点时，可以看到颜色的突变。而且还可显示出实验数据和滴定曲线等。概括起来讲，计算机模拟实验作为化学实验课的一个补充手段，具有如下显著优点：

(1) 模拟过程形象生动，简明易懂，既有科学性又富于趣味性，利于激发学习兴趣，增强教学效果，有助于在较短的时间内了解某一化学实验的方法与技术，并掌握实验原理。

(2) 模拟实验不仅可以快速再现需时很长的实验，而且它不受化学实验室时间和条件的限制，可按自己的意愿改变“实验条件”，并观察其变化规律，从而获得更多的实验结果。

(3) 可以不受实验仪器和试剂的限制，模拟做某些一时尚不能真正动手的实验。例如，剧毒、易爆、易燃等有危害和不安全的实验，或反应太快或太慢的实验，以及贵重仪器的实验等等。

总之，计算机模拟 (Computer Simulation) 作为 CAI 的一个组成部分，日益受到 CAI 课件制作者的重视，发展很快。

学生戊(女)：听了老师的介绍，我真想马上就能上机试试看，但是，我是来自边远省份的少数民族学生，中学从未接触过

计算机，所以心里又有些害怕，我能用好CAI吗？

教师：我们制作课件时，已经考虑到了我国中学生计算机教学远未普及的现状。大家不必担心，无需计算机的基本知识和操作经验，只要根据屏幕上的操作指示，是能够很容易和很快学会运行CAI课件的。况且，CAI毕竟还只是课程教学中的一个辅助环节，它不能替代实验课，更不能代替讲课，请同学们注意，学习不能只凭兴趣，否则，就可能出现喧宾夺主，或主次不分的情况，这样对课程的学习极为不利。

学生己：这是不是意味着，CAI也不能替代手头的这本书，是吗？

教师：说得对。课本是教材的主体，更为重要。

学生甲：我粗翻了一下书，从目录到内容好象与中学化学课本都很不一样。

教师：是的。大学基础课程（普通化学属基础课）的教学不应是在中学水平上知识数量的简单累加，而应在理论分析和处理问题的方法上有质的提高。因此，本书的内容和取材与中学化学相比较，肯定会有许多变化和发展。不仅如此，与目前国内流行的普通化学教材比较，本书体系上的最大特点是，将化学基础理论和化学实验编汇在一起，同时引入CAI基础知识。这样，本书不仅在于介绍化学基础知识，而且可以作为学生从事化学实验和进一步获取新知识的工具。我们在第一篇化学原理的编写过程中，总结了过去普通化学教学的经验，并参考外国化学课程的发展趋势，对普通化学课程的理论体系作了较大的变动，概括地说，就是抓住两条贯穿于整个课程的基本线索：一是阐述化学变化的宏观规律，引入化学热力学，论述化学反应的方向、限度及其与能量的关系；二是揭示物质微观结构与性质的内在联系。两条主线一个共同特点，即尽可能地在普通化学课中反映本学科的新内容和进展。比如状态函数（焓、吉布斯函数、熵）、近代原子结构、杂化轨道和配合物晶体场理论等近代化学理论，都比

中学化学有了大幅度的提高。本书在编写时，注意使内容结合工科特点，跟踪化学学科的发展及其与相邻学科的相互渗透，并反映化学与材料、环境以及生命科学等的关联。本篇内容包括下列四章：第一章溶液化学和第二章化学反应一般规律，着重从物质变化与能量变化的角度讲述化学的基本原理；第三章过渡元素与配位化合物，结合过渡元素描述原子结构特征，针对配合物讨论近代化学键理论，并有选择地介绍了若干过渡元素（包括稀土元素）的性质及其实际运用；第四章固体化学，突出化学在材料科学中的应用，充分体现化学与现代科技的发展息息相关，展现了十分广泛的化学应用前景，同时介绍了许多诸如非整比化合物、缺陷及缺陷方程、非平衡态等新的化学概念。

学生丙：在同学中有一种说法，学习化学就是靠死记硬背，而且容易忘掉，我也有同感。不过，在中学时我特别喜欢做实验，化学实验给人的印象很深，我希望在大学里能做更多的实验。

教师：化学是研究物质的组成、性质及其变化的一门学科。自然界的化学元素和化合物的种类十分繁多，迄今已经发现的化合物有多少种？（学生甲插话：有六百万种。学生丙说：有八百万种。）这些都是过去的数目。近廿年来化学发展极为迅速，目前在《美国化学文摘》上登记注册的化合物已超过一千万种^①，发生的化学现象更是千变万化。因此在学习化学课时，特别是学习元素及化合物的具体性质时，会感到事实材料非常丰富，不易抓住主要的内容。所以，必要的记忆仍是需要的。但是，光靠呆读死记并不能学好功课。应当懂得：物质性质和化学变化虽然是形形色色的，但是其中所遵循的客观规律则是可以被人们认识的。因此，学习化学，不仅要记住必要的事实材料（中学化学已具备

^① *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 1028(1989)—February 26, 1989, C & FN.

了这方面相当数量的知识),而且更要注意对其规律性的了解。掌握规律,就能举一反三。你们如果能在整个化学课程的学习过程中,紧紧抓住上边讲的化学反应规律和物质结构与性质的关系这两条基本线索,那么就能领会各章内容之间的内在联系,并将各部分知识系统起来,而不致觉得内容过于纷繁和不易掌握了。

至于谈到化学实验,它是普通化学课的一个重要环节。化学是一门以实验为基础的实验性很强的科学,要很好掌握化学基本理论和事实材料,就必须亲自进行实验。化学实验能力对理工科人才具有重大的积极作用,实验课是训练和培养学生动手能力的良好途径,学会和掌握几项主要的化学实验基本功,如称量、洗涤、加热、搅拌、沉淀、过滤、溶液配制以及基本化学物理常数测定等,对于今后从事的专业实践活动将会有直接或间接的帮助。由于目前我国的一些中学受教学条件限制,能够完成中学化学教学大纲所规定的化学实验还不足半数,而且多为三四人一组做实验(学生戊插话:我们就是五人一组,而且多数实验都是由教师演示,自己亲自动手做得很少)。因此,在大学里要求每个同学独立完成实验,以加强化学实验能力的锻炼和培养。实验课的重要性绝不亚于课堂讲授。对待实验课也不能光从兴趣出发。实验课的目的,在于学会从事化学实验的基本技能,巩固与扩大课堂所获取的化学知识,培养观察思考、分析判断、比较推理和概括综合的能力。一句话,就是不仅要通过讲(听)课学习化学,而且要通过实验学习化学。此外,由于普通化学实验是上大学后的第一门基础实验课,因而对培养学生严谨的科学作风具有特殊的重要性。所以应自觉地从一开始就注意树立起实事求是的科学态度和养成严格、准确、细致、整洁的良好科学习惯。

学生丙:一学期我们能做几个实验?

教师:一般必须完成规定的七至八个实验。对学有潜力的同学,还可自选增做一至五个实验。

学生丙:我一定要多选做几个实验。在中学时,课表安排太

死，几乎没有自由支配的时间。

教师：大概是为了应付高考，时间都被淹没在“题海”之中了吧。大学与中学的学习很不一样，一个最大的特点就是，主要靠自学。无论是课堂与实验，或是作业与CAI，每一个教学环节都提倡自学多思。只有善于自学，才会学有前途。我希望同学们能够尽快适应从中学到大学的学习转变，既注重理论知识的学习，又强调能力的培养。

学生(众)：老师今天的谈话给我们很大启发，我们一定努力学好化学课。

教师：我相信大家是会认真学习而且一定能够学好化学课的。现在，我们可以就普通化学课的学习问题作一简要的结论。

普通化学是一门工科大学大多数专业学生必修的基础课程，它简明地阐述化学的基本原理和知识，是化学与工程技术间的桥梁，是培养素质优良的现代工程技术专家知识结构和能力的重要组成部分，这是其一。

第二，讲课和实验课是普通化学教学的两个主要环节，应给以同等重视，既要掌握化学基本理论和知识，又要掌握化学实验基本技能。

第三，CAI是一种行之有效的获取知识的现代教育先进手段，应充分发挥它辅助化学教学的积极作用，使之能更好掌握课本及实验的主要内容。

第四，不仅普通化学课，而且整个大学的学习过程都要强调自学及其能力的培养。爱因斯坦(A. Einstein, 1879~1955, 德国)说过：“如果一个人掌握了他的学科的基础理论，并且学会了独立思考和工作，他必定会找到自己的道路，而且比起那种主要以获得细节知识为其培训内容的人来，他一定会更好地适应进步和变化。”

最后，我衷心希望和预祝大家学好普通化学，并做到德智体全面发展，成为实现祖国现代化的有作为的建设者。

序 三

——致普通化学教师——

毋庸讳言，长期以来工科普通化学课程教学曾遇到过许多困难，客观条件不利是问题的一个方面，而课程本身的改革跟不上形势发展，满足不了客观需要，则是问题的另一个方面。当前，国家经济建设迅速发展，世界现代科技日新月异，化学教育面临新的挑战，普通化学教学形势严峻，课程改革任重而道远。

清华大学和太原工业大学坚持把普通化学作为一门必修的基础课程，并在课程的体系内容、化学实验、教学方法和手段等方面积极从事改革。《CAI普通化学教程》就是两校部分化学教师的共同实践和总结，尽管尚不十分成熟，我们还是乐于将它奉献给广大的学生和读者，特别愿意献给辛勤耕耘于教学第一线的普通化学教师们，目的在于相互交流课程建设的经验，提高教学质量，争取能够开创出普通化学教学的新局面。

《CAI普通化学教程》包括两个有机的组成部分。其一是主体课本（共三篇：化学原理、化学实验和计算机辅助普通化学教学），另一个是CAI课件（即与课本配套的教学软件，共11张磁盘）。在编写和制作这套教材的过程中，我们力求能够做到下述各点：

1. 以1990年《全日制中学化学教学大纲（修订本）》为教学的起点，同时参照《高等工业学校普通化学课程教学基本要求》（1987）。强调基础（化学的基本概念、基本知识和基本规律，以及它们的相互联系），突出应用（工程实际和当今社会关注的材料、能源、环境和生命科学等方面的问题）。因此，理论起点较低，而应用终点较高，不失为本书的一个特点。

2. 贯彻循序渐进和少而精的原则。比如，全书理论部分仅四章，先从解离平衡和溶液中的两类化学反应（离子互换反应和

氧化还原反应)讲起,便于与中学化学相衔接;然后,讨论化学反应中的能量变化,引入热力学基本概念,得出化学反应的方向和限度的宏观规律。这样安排内容,使学生能够逐步而适时地实现在学习方法上由中学到大学的转变。物质结构方面的内容没有单独设章,而是结合过渡元素介绍原子结构,结合配位化合物阐述化学键理论,结合固体化学讨论晶体结构,这样做,一来有利于解决普通化学学时少与内容多的矛盾,二来使得物质结构知识有了实际应用的“落脚点”,而这也正是以往普通化学教学中令人感到困惑的一个问题。

3. 与实验课密切配合。本书编入学生必做的八个最基本的化学实验,教学实践表明,化学实验在普通化学课程教学中占有重要地位,只要认真抓好这一教学环节,学生就大有收获。

4. 现代科学发展的一个显著特征是高度分化与高度综合的辩证统一,而学科间的相互交叉、相互渗透以及边缘学科的频频产生则是现代科学技术的发展趋势。固体化学正是在材料科学和固体物理的推动下逐渐从无机化学中形成的一门新的边缘学科。在传统的化学课程中固体通常是最薄弱的一部分内容。比如,过去在普通化学课讲晶体时,一般只讲理想的几种晶型,可是一旦涉及固体材料的工程性能,就离不开晶体结构的缺陷。缺陷已成为现代固体化学的核心内容之一,可不可以在普通化学课程中引入和如何引入这些内容呢?回答是肯定的,我们引导学生从溶液化学领域跨入与发展新材料有关的固体化学中去。无需具体讲述各类材料中存在的缺陷,而主要是用化学语言(即缺陷符号及缺陷方程)描述缺陷的一般特征及其对晶体性能的影响,与此同时,很自然地讲述了非整比化合物、掺杂和非平衡态物质等新的内容。这样处理,普通化学课程内容的更新顺理成章,其特点是减少纯粹化学的成分,而增加了应用化学的成分,突出化学在材料科学中的应用,充分体现化学与现代科技的发展息息相关,并展现了十分广泛的化学应用前景。学生在课堂上听这部分内容的讲授

时，表现出异常的专心和浓厚的兴趣，且不难理解。足见，这也可以成为普通化学课程中，理论联系实际和正确处理经典内容与现代化化学内容之间关系的一种有效途径。

5. 认真使用国家法定计量单位，严格按照国家标准来描述和表达化学领域中的量和单位，名称、符号、图、表、方程式尽量规范，化学名词术语参照全国自然科学名词审定委员会公布的《化学名词》（科学出版社，1991）一书订正。

6. 积极采用和逐步推行CAI现代化教育手段，促进教学方法的改革。教科书和与之匹配的CAI教学软件同时出版发行，是本套教材的时代特征。在一大一普通化学课程中采用CAI，不仅能起到智能化的辅助作用，而且将使学生在获取知识的手段、方法和思维方面发生新的变革，这是符合世界现代化教育手段的发展趋势的。

综上所述，体系新，内容精，循序渐进，强调基础，结合实际，推行法定计量单位，采用CAI教学手段，“理论-实验-软件”三位一体等，这些构成了本教材的基本特点。然而，我们深知，普通化学课程的改革与建设，并非几轮教学实践就能全部完成的。因此，《CAI普通化学教程》只反映现阶段我们对普通化学课程的认识水平和教学工作状况。它虽然经过两校数届学生的试用效果亦好，但毕竟还不很成熟，课本和课件中的缺点、错误和疏漏之处在所难免，所以我们诚恳地希望，能够听到来自各个方面，尤其是来自普通化学教师们的意见和建议，以期修订再版时使其更臻完善，倍受欢迎。

最后需要说明一点，作为体现课程教学内容和教学方法的知识载体——课本和课件是紧密配合、相辅相成的，因此，配套使用效果最佳。但是，由于我国各高校的条件不尽相同，特别是在计算机的硬件环境方面发展很不平衡。所以，我们在编写课本和制作课件时，已经考虑到了这些因素。各学校从实际情况出发，各取所需，将本套教材的课本和课件分离选用，也是可以的。对

于那些单独使用教科书的读者，或单独使用CAI软件的用户，在其使用过程中所提出来的各种批评与意见，我们同样是十分欢迎和表示衷心感谢的。

编 者

1993年3月于清华园

目 录

第一篇 化学原理

第一章 溶液化学	1
第一节 弱电解质的解离平衡	3
一、水的解离平衡	4
二、溶液的pH值和pOH值	5
三、弱酸弱碱的解离平衡	7
第二节 溶液中化学反应规律（一）	14
一、缓冲溶液	15
二、溶度积规则	23
三、配合物溶液	35
四、离子互换反应的方向和限度	44
第三节 溶液中化学反应规律（二）	50
一、原电池和电极电势	50
二、Nernst方程式	60
三、氧化还原反应进行方向的判断	70
四、氧化还原反应进行程度的计算	74
五、电极电势的实际应用	78
第四节 稀溶液的依数性	96
一、蒸气压降低	97
二、沸点升高	102
三、凝固点降低	105
四、渗透压	109
五、强电解质溶液的依数性	112
本章基本要求	114
习题	115
第二章 化学反应一般规律	121
第一节 化学反应中的能量变化	122