

- 全国高等医药院校药学类实验双语教材
- 教育部普通高等教育“十五”国家级规划教材

无机化学 实验与指导

EXPERIMENT AND GUIDE
FOR INORGANIC CHEMISTRY

主编 曹凤歧

中国医药科技出版社

全国高等医药院校药学类实验双语教材
教育部普通高等教育“十五”国家级规划教材

无机化学实验与指导

(供药学类专业用)

主编 曹凤歧

中国医药科技出版社

登记证号：(京) 075 号

内 容 提 要

本书是根据高等医药院校药学类专业无机化学实验课程的教学基本要求，并融合无机化学实验教学改革成果编写的无机化学实验教材。全书共包括二部分，第一部分扼要地叙述了无机化学实验的基本原理和基本操作；第二部分，按照“基础性实验－综合性实验－设计性实验”三个层次，选编了 23 个实验，在每个基础性实验和综合性实验之后，编写了实验指导，内容包括预习要求、操作要求、注意事项、思考题和讨论。23 个实验全部采用中英文对照，便于双语教学。

本书可作为高等院校药学类各专业的无机化学实验教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学实验与指导/曹凤歧主编. —北京：中国医药科技出版社，2003.5

全国高等医药院校药学类实验双语教材，教育部普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-5067-2711-0

I. 无… II. 曹… III. 无机化学－化学实验－医学院校－教学参考资料 IV.061-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 033026 号

*

中国医药科技出版社 出版
(北京市海淀区文慧园北路甲 22 号)
(邮政编码 100088)

北京市平谷区早立印刷厂 印刷
全国各地新华书店 经销

*

开本 787×1092mm^{1/16} 印张 18^{1/4}
字数 410 千字 印数 1—5000

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

定价：30.00 元

本社图书如存在印装质量问题，请与本社联系调换 (电话：62244206)

全国高等医药院校药学类教材编委会（第一届）

名誉主任委员	吴阶平	蒋正华	卢嘉锡
名誉副主任委员	郑筱萸	林蕙青	
主任委员	吴晓明	(中国药科大学校长)	
副主任委员	吴春福	(沈阳药科大学校长)	
	黄泰康	(中国医药科技出版社社长兼总编)	
	彭师奇	(北京大学药学院院长)	
	叶德泳	(复旦大学药学院副院长)	
	张志荣	(四川大学华西药学院院长)	
委	员	(按姓氏笔画排列)	
	丁红	(山西医科大学药学院院长)	
	王广基	(中国药科大学副校长)	
	史录文	(北京大学医学部副主任)	
	朱景申	(华中科技大学同济药学院教授)	
	朱家勇	(广东药学院院长)	
	刘永琼	(武汉化工学院药学系副主任)	
	吴继洲	(华中科技大学同济药学院院长)	
	杨世民	(西安交通大学药学院院长)	
	罗向红	(沈阳药科大学教务处副处长)	
	梁仁	(广东药学院教授)	
	娄红祥	(山东大学药学院院长)	
	姜远英	(第二军医大学药学院院长)	
	姚文兵	(中国药科大学教务处处长)	
	曾苏	(浙江大学药学院院长)	

全国高等医药院校药学类教材编写办公室

主 任	姚文兵	(中国药科大学教务处处长)
副 主 任	罗向红	(沈阳药科大学教务处副处长)
	程牛亮	(山西医科大学教务处处长)
	连建华	(广东药学院教务处副处长)

编写说明

为适应我国高等医药教育的改革和发展、满足市场竞争和医药管理体制对药学教育的要求，全国高等医药院校药学类教材编委会组织编写了“全国高等医药院校药学类教材”。

本系列教材是在充分向各医药院校调研、总结归纳当前药学教育迫切需要补充一些教学内容的基础上提出编写宗旨的。本系列教材的编写宗旨是：药学特色鲜明、具有前瞻性、能体现现代医药科技水平的高质量的药学教材。也希望通过教材的编写帮助各院校培养和推出一批优秀的中青年业务骨干，促进药学院校之间的校际间的业务交流。

参加本系列教材的编写单位有：中国药科大学、沈阳药科大学、北京大学药学院、广东药学院、华西医科大学药学院、山西医科大学、同济医科大学药学院、复旦大学药学院、西安交通大学药学院、山东大学药学院等数十所药学院校。

教材的编写尚存在一些不足，请各院校师生提出指正。

全国高等医药院校药学类
教材编写办公室

2001.9.3

序

实验教学是高等药学院校最基本的教学形式之一，对培养学生科学的思维与方法、创新意识与能力，全面推进素质教育有着重要的作用。飞速发展的科学技术，已成为主导社会进步的重要因素。高等药学院校必须不断更新教学内容，以学科发展的前沿知识充实实验课程内容。

近年来，中国药科大学坚持以研究促教改，通过承担教育部“世行贷款——21世纪初高等教育教学改革项目”及立项校内教改课题等多种方式，调动了广大教师投身教学改革积极性，将转变教师的教育思想观念与教学内容、教学方法的改革紧密结合起来，取得了实效。此次推出的国家“十五”规划教材——药学专业双语实验教学系列，是广大教师长期钻研实验课程教学体系，改革教学内容，实现教育创新的重要成果。他们站在21世纪教育、科技和社会发展趋势的高度，对药学专业实验课程的教学内容进行了“精选”、“整合”和“创新”，强调对学生的动手能力、创新思维、科学素养等综合素质的全面培养。这套教材具有以下的特点：

1. 教材将各学科的实验内容进行了广泛的“精选”，既体现了高等药学教育“面向世界、面向未来、面向现代化”，也考虑到我国药学教育的现状与实际；既体现了各门实验课程自身的独立性、系统性和科学性，又充分考虑到各门实验课程之间的联系与衔接，有助于学生在教学大纲规定的实验教学学时内掌握基本操作技术，提高动手能力，养成严谨、求实、创新的科学态度。

2. 教材中新增的综合性、设计性实验有利于学生全面了解和综合掌握本门实验课程的教学内容。这一举措既满足了学生个性发展的需要，更注重培养学生分析问题、解决问题的能力 and 创新意识。

3. 教材中适当安排一些反映药学学科发展前沿的实验，有利于学生在掌握实验基本技术的同时，对药学学科的新进展、新技术有所了解，激发他们学习药学知识与相关学科的兴趣。

4. 教材以实践教学为突破口，采用双语体系编写，为实验课程改革构建数字化、信息化和外语教学的平台，有利于提高学生的科技英语水平。通过我校多年的药学系列实验课程双语教学实践，证明学生完全能够接受此套教材的教学。

国家十五规划教材——药学专业双语实验教学系列教材的陆续出版，必

将对推动我国高等药学教育的健康发展，产生积极而深远的影响。由于采用双语体系编写药学教学实验丛书尚属首次，缺乏经验，在内容选择及编写方法上的不妥之处，在所难免。欢迎从事药学教育的同行们批评赐教。

吴暖明

(中国药科大学校长、博士、教授、博士生导师)

2003年1月于南京

Preface

Experimental teaching is one of the most fundamental teaching means in pharmaceutical colleges, playing an important role in training scientific thoughts and methods, creative consciousness and ability of the students as well as in promoting quality – oriented education in all – round way. Fast – advancing science and technology has come to be an important factor in dominating social progress. Teaching materials must be updated continually in pharmaceutical colleges, especially enriching the materials of experimental courses with the most advanced knowledge in the subject.

In recent years, China Pharmaceutical University have been stressing the promotion of teaching reform on the basis of research, succeeding in stimulating teachers' enthusiasm for teaching reform by various means such as undertaking the project of teaching reform in higher education at the beginning of 21st century sponsored financially by World Bank and entrusted by the Ministry of Education as well as approving and ratifying internal programs on teaching reform. Meanwhile, it yields fruits to integrate the transforming of teachers' educational ideology into the reform of teaching materials and methods. This series of textbook of national "Tenth – five" planning – bilingual pharmaceutical experimental teaching series, is an important achievement made through studying teaching system of experimental courses for long, reforming teaching materials and carrying out educational innovation of all the teachers concerned.

Meeting the new demands for education, science and technology and social growth, they select, integrate and innovate the teaching materials of pharmaceutical experimental courses, stressing the overall cultivation of comprehensive qualities, including experimental ability, creative thought and scientific attainments. This set of textbook possesses the following features:

1. These textbooks make an extensive "selection" of the experimental materials of each subject, reflecting the goal of facing the world, facing the future and facing the modernization in higher pharmaceutical education, and taking into account the status quota and reality of our pharmaceutical education; meanwhile embodying the individuality, systematicness and scientificity of each experimental courses, which helps the students to grasp basic techniques of operation within the class hours of experimental teaching prescribed by teaching syllabus and to improve their experimental ability and finally to cultivate a scientific approach of precision, practicality and creation.

2. The comprehensive designing experiments newly supplemented in the textbooks help the students to learn totally and grasp comprehensively the teaching materials of the experimental courses, which not only meets the students' needs for individual development but also trains their ability to analyze and solve problems and cultivates their creative consciousness.

3. Some experiments representing the latest development in pharmacy are properly included in the textbooks, which helps the students to learn about new advance and technology in pharmacy and to further arouse their interests in studying pharmacy and relevant subjects while grasping some basic techniques of experiment.

4. The textbooks take experimental teaching as starting point and are compiled in a system of bilingualism and aim to set up a platform of digitalization, information and foreign language teaching for the purpose of reforming experimental courses, which serves to enhance the students' level of technological English. It has been proved that the students have no difficulty being adapted to the teaching of this set of textbook through many years of bilingual teaching practice carried out in a series of pharmaceutical experimental courses of our university.

The successive publishing of the series of textbooks used for bilingual pharmaceutical experimental teaching – the national “Tenth—five” planning textbooks, will surely produce good and far – reaching influence in promoting the sound development of higher pharmaceutical education of our country. Since it is the first time that we have compiled this series of textbook of pharmaceutical teaching experiment in a bilingual system, we lack experience and thus some defects in choice of materials and way of compilation are inevitable. Experts engaged in pharmaceutical education are welcome to give any criticisms and advice.

Wu Xiaoming

Ph. D, prof., and supervisor of doctoral candidates

President of China Pharmaceutical University

Nanjing

Jan, 2003

前 言

化学就其本源和本质而言是一门实验科学。在任何时期，新的理论的发现和检验，都要通过实验。化学实验教学是化学教学过程中的重要环节。

通过实验中的操作训练，学生能够在了解和使用仪器设备、信息工具与手段的同时，逐步养成认真细致、求实求精、有条不紊的学习习惯；通过对实验现象的观察，不断提高观察问题、分析问题、发现问题、解决问题的能力。因此，化学实验教学对学生科学思维与方法的培养、创新意识与能力的提高有着重要的作用。

本书是编者在总结多年无机化学实验教学改革、双语教学实践的基础上，借鉴和吸收其他高校在无机化学实验教学改革的经验编写而成的。本教材立足于课程的基础性，扼要地叙述了无机化学实验的基本原理和基本操作；并从药学学科的特点出发，分三章选编了 23 个实验。第四章包括以强化基本能力训练为目的的基础性实验；第五章包括以培养分析与解决较复杂问题能力为目的的综合性实验；第六章包括以增强创新意识与能力的提高为目的的设计性实验。另外，本教材在每个基础性实验和综合性实验之后，编写了实验指导，内容包括预习要求、操作要求、注意事项等。

为了提高学生的英语水平，适应双语教学的要求，我们将 23 个无机化学实验全部翻译成英文。

本教材由曹凤歧主编。编写人员有王越、熊晔蓉、黎红梅、陈亚东、李嘉宾、何海军、曹凤歧。陈颂仪、刘静、陆军农也参加了部分工作。

在我们的教学、科研及本教材的编写过程中，一直得到中国药科大学校长吴晓明教授、教务处处长姚文兵教授的支持和帮助。Wei Song 博士和 Lianshan Zhang 博士对英文的编写工作提出过许多宝贵的意见，在此一并表示衷心的感谢。

尽管在本教材的编写过程中，我们力求做到选材恰当，翻译准确，但由于编者学识水平有限，教材中定有欠妥甚至错误之处，恳请同行专家及读者批评指正。

曹凤歧

2002 年 12 月于南京

Preface

Fengqi Cao

(Nanjing, December 2002)

In terms of its origin and nature, chemistry is a science of experiment. At any time, theoretical discoveries and tests have to go through experiments. Chemistry experiment teaching is a key link in the process of chemistry teaching.

Through operation training in experiment, while students are able to understand and use apparatuses, tools and means of information, students will gradually cultivate a good study habit of working carefully, methodically, practically and improving constantly. By observation of experiment phenomena, students will be able to improve their abilities in examining, analyzing and solving problems. Therefore, experiment teaching of inorganic chemistry plays an important role in training students' thinking scientifically and methodically as well as in improving their sense and ability of blazing new trails.

Based on the summary of the reform in experiment teaching of inorganic chemistry as well as bilingual teaching of this course in both Chinese and English in recent years, by using for reference the experiences of the reform in experiment teaching of inorganic chemistry in other colleges and universities, we have compiled this book, which focuses on the foundation and briefly describes the basic operations and principles of experiments in inorganic chemistry. 23 experiments have been selected in Chapters 4, 5 and 6 in accordance with the features of courses in chemistry. Chapter 4 is on the training of basic experiments to intensify students' basic experiment skills. Chapter 5 is on comprehensive experiments to train students' abilities in analyzing and solving complicated problems. Chapter 6 is on designing experiments to improve students sense and ability of blazing new trails. Besides, after each of the basic and comprehensive experiments, we have compiled the following: (1) preview experiments; (2) operation instructions; and (3) points for attention.

In order to improve students' English and meet the demands of bilingual teaching in both Chinese and English, we have translated the 23 experiments into English.

The chief compiler is Fengqi Cao. Following are the compilers: Yue Wang, Yerong Xiong, Hongmei Li, Yadong Chen, Jiabin Li, Haijun He and Fengqi Cao. Be-

sides, Songyi Chen, Jing Liu and Junnong Lu also took part in the compiling work partially.

When compiling this textbook, we were greatly supported and helped by Professor Xiaoming Wu, President of China Pharmaceutical University; Professor Wenbing Yao, head of the Dean Office, Dr Wei Song and Dr Liaoshen Zhang gave us invaluable pieces of advice. We therefore acknowledge our sincere thanks to them for their great help.

In compiling this textbook, we have tried our best to select suitable materials and provide the users with a fine English version of the 23 experiments. However, there might still exist something improper or even erroneous due to our academic limitations. We would be most appreciative if anyone could give us further suggestions on improving this textbook.

目 录

第一部分 无机化学实验的基本原理、 基本方法与基本操作

第一章 绪论	(1)
一、化学实验的目的与任务	(1)
二、化学实验的学习方法与要求	(1)
三、实验误差及有效数字	(2)
四、化学实验室规则与事故处理	(8)
第二章 化学实验基础知识	(10)
一、常用玻璃仪器	(10)
二、水及化学试剂的规格	(13)
三、玻璃仪器的洗涤和干燥	(18)
四、干燥器的使用	(21)
五、加热	(21)
六、化学试剂的取用	(26)
七、容量瓶、滴定管、移液管的操作方法	(27)
八、试纸和滤纸	(31)
九、溶解、蒸发与结晶	(32)
十、固液分离	(33)
十一、启普发生器的使用及气体的净化与干燥	(36)
第三章 天平和酸度计的使用	(38)
一、天平的使用	(38)
二、酸度计的使用	(38)

第二部分 实 验 内 容

第四章 基础性实验	(42)
实验一 冰点降低法测定葡萄糖的摩尔质量	(42)
1 The Usage of Depression of Freezing Point to Determine the Glucose's Molecular Weight	(46)
实验二 化学反应速率与化学平衡	(50)
2 Chemical Reaction Rate and Chemical Equilibrium	(55)
实验三 酸碱滴定	(61)

3 Acid-Base Titration	(64)
实验四 弱酸电离常数的测定	(69)
4 Determining the Ionization Constant of a Weak Acid	(73)
实验五 电解质溶液	(77)
5 Electrolyte Solution	(81)
实验六 沉淀平衡	(86)
6 Precipitation Equilibrium	(90)
实验七 溶度积常数的测定	(95)
7 Determination of Solubility Product	(98)
实验八 氧化还原	(101)
8 Redox Reaction	(105)
实验九 银氨配离子配位数的测定	(111)
9 Determining the Coordination Number of $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ Complexion	(114)
实验十 配合物	(118)
10 Coordination Compounds	(123)
实验十一 卤素	(129)
11 Halogen	(134)
实验十二 氧、硫	(141)
12 Oxygen and Sulphur	(146)
实验十三 氮、磷、砷、锑、铋	(152)
13 Nitrogen, Phosphorus, Arsenic, Antimony and Bismuth	(157)
实验十四 碱金属、碱土金属	(163)
14 Alkali Metals, Alkali Earth Metals	(169)
实验十五 铬、锰、铁、钴、镍	(176)
15 Chromium, Manganese, Iron, Cobalt and Nickel	(184)
实验十六 铜、银、锌、镉、汞	(195)
16 Copper, Silver, Zinc, Cadmium and Mercury	(201)
第五章 综合性实验	(209)
实验十七 药用氯化钠的制备、性质及杂质限度检查	(209)
17 Preparation of Medicinal Sodium Chloride and Examination of Impurities' Limitation	(215)
实验十八 硫酸亚铁铵的制备	(222)
18 Preparation of Ferrous Ammonium Sulphate Hexahydrate (FAS)	(225)
实验十九 葡萄糖酸锌 $\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_7)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的制备	(228)
19 Preparation and Content Assay of Zinc Gluconate	(230)
实验二十 五水合硫酸铜的制备	(233)
20 Synthesis of Copper Sulfate Pentahydrate	(236)
实验二十一 四碘化锡的制备	(239)
21 Synthesis of Tin Tetraiodide	(241)

第六章 设计性实验·····	(243)
实验二十二 高锰酸钾的制备·····	(243)
22 Synthesis of Potassium Permanganate ·····	(244)
实验二十三 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备、组成测定及表征·····	(246)
23 Synthesis, Composition Analysis and Characterization of Potassium Trioxalatoferrate (Ⅲ) ·····	(247)
附录·····	(249)
表一 元素的相对原子质量·····	(249)
表二 一些物质的摩尔质量·····	(251)
表三 实验室常用酸、碱溶液的浓度·····	(255)
表四 实验室中一些试剂的配制方法·····	(256)
表五 常见阳离子、阴离子的主要鉴定反应·····	(258)
表六 常见阳离子与常用试剂的反应·····	(264)
表七 常见阴离子与常用试剂的反应·····	(266)
表八 常见离子和化合物的颜色·····	(268)
表九 微溶化合物的溶度积·····	(272)
表十 弱酸、弱碱在水中的解离常数·····	(274)

第一部分 无机化学实验的基本原理、 基本方法与基本操作

第一章 绪 论

一、化学实验的目的与任务

化学是一门实验性科学，化学实验是化学教学不可缺少的重要组成部分。通过实验，既能发现和发展理论，又能检验和评价理论。化学实验的目的是开拓学生智能，培养学生严肃、严密、严格的科学态度和良好的科学素养，提高学生的动手能力和独立工作能力，并为将来从事科学研究奠定坚实的基础。因而，化学实验的作用不是验证学生所学的化学理论知识，而是要通过实验，训练学生进行科学实验的方法和技能，进而使学生进一步学会对实验现象进行观察、分析、归纳、总结，培养学生独立工作、分析问题和解决问题的能力。

二、化学实验的学习方法与要求

要很好地完成实验的各个环节，除具有坚实的理论基础外，还要有正确的学习方法。

1. 认真预习

实验前应认真阅读实验教材，明确实验的目的；了解实验内容、原理和方法；清楚所用药品或试剂的等级、物化性质（熔点、沸点、密度、毒性与安全等数据）；熟悉所用仪器；设计实验装置、实验步骤；估计实验中可能发生的现象和预期结果；明确实验数据处理方法和有关计算公式。在此基础上写好实验预习报告。

2. 认真实验

依据实验的内容、方法、步骤及要求进行实验，做到遵守实验操作规程，仔细观察实验现象，结合理论认真分析实验结果，如实而详细地记录实验现象和数据。

3. 认真书写实验报告

实验报告不仅是概括和总结实验过程的文献性质资料，而且是学生通过实验获取化学知识实验过程的一个方面。

因而，书写实验报告同样是化学实验课程的基本训练内容。实验报告能从一定的角度反映科学工作者的科学态度、实际水平与能力。实验报告的格式与要求基本包括：实验名称；实验目的；实验原理；实验仪器（厂家、型号、测量精度等）；药品与试剂（纯度等

级);实验装置(流程图或表格等);实验现象及观测数据;实验结果(包括数据处理);讨论。

实验结果的讨论是实验报告的重要组成部分,它包括实验工作者学术性的体会(并非感性的表达),实验结果的可靠性与合理性评价,分析并解释观察到的实验现象。

无机化学实验大致分为三种类型,一是验证性实验;二是测定性实验;三是无机制备实验。验证性实验主要是物质性质的验证,可加深对反应原理和物质性质的理解。测定性实验主要是测定数据及数据处理过程。制备实验要写出物质制备原理、流程、原料量、产量、产率、产品质量与性质等。

三、实验误差及有效数字

化学实验过程中经常使用仪器对一些物理量进行测量,从而对体系中的一些化学性质和物理性质作出定量描述,揭示事物的客观规律。但事实上,任何测量的结果(数据)只能是相对准确,或者说是存在某种程度上的不确定(不可靠)性,这种不确定(不可靠)被称为实验误差。产生这种误差的原因,是因为测量仪器、方法、实验条件以及实验工作者本人不可避免地存在一定局限性。

对于不可避免的实验误差,实验者须了解其产生的原因、性质及有关规律,从而在实验中设法控制和减少误差,并对测量的结果进行适当处理,以达到可信的程度。

1. 绝对误差与相对误差

测量中的误差,主要有两种表示方法:绝对误差与相对误差。

(1) 绝对误差

测量值与真值(真实值)之差称为绝对误差。若以 χ 代表测量值,以 μ 代表真值,则绝对误差 δ

$$\delta = \chi - \mu$$

绝对误差是以测量值的单位为单位,可以是正值,也可以是负值,即测量值可能大于或小于其真值。测量值越接近真值,绝对误差越小;反之,越大。

实际上绝对准确的实验结果是无法得到的。化学研究中所谓真值是指有经验的研究人员用可靠(相对而言)的测定方法多次平行测定得到的平均值。可知的真值,一般有三类:理论真值、约定真值及相对真值。

(a) 理论真值 如三角形的内角和为 180° 等。

(b) 约定真值 由国际计量大会定义的单位(国际单位)及我国的法定计量单位是约定真值。

(c) 相对真值 对科技工作者而言,由于没有绝对纯的化学试剂,因而常用标准参考物质的证书上所给示的含量作为相对真值。

(2) 相对误差

绝对误差与真值的比值称为相对误差。

$$\frac{\delta}{\mu} = \frac{\chi - \mu}{\mu}$$

相对误差反映测量误差在测量结果中所占的比例,它没有单位,通常以%、‰表示。