



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 无机化学

第五版

Inorganic Chemistry

天津大学无机化学教研室 编

王建辉 崔建中 王兴尧 秦学 修订

高等教育出版社

“二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 无机化学

第五版  
Inorganic Chemistry

天津大学无机化学教研室 编

王建辉 崔建中 王兴尧 秦学 修订

高等教育出版社·北京

## 内容提要

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材和面向 21 世纪课程教材。本书继承了第四版教材“拓宽基础、更新内容;严控深度,突出应用;联系实际,反映国情;渗透工程意识,培养创新能力”的基本思想,保持经典教学内容基本不变,增加相关的实验或虚拟仿真实验视频链接,充分利用视频冲击,加深学生学习印象和学习效果;增加疑难问题及解答链接,方便学生自学解惑;增加历史逸闻和人物简介链接,提高学生的学习兴趣和兴趣;增加知识拓展链接,使学生了解前沿研究,拓宽学生的知识面。本书充分利用现代信息技术,使传统的纸质教材向数字化、信息化、可视化教材转变。全书共 17 章,包括化学反应原理、物质结构基础、元素化学、无机合成及与生态环境有关的无机化学知识。

本书可作为高等学校化工、应化、制药、环境、材料、冶金、地质、轻工、纺织、医学等各类专业无机化学课程教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

无机化学/天津大学无机化学教研室编;王建辉等  
修订.--5 版.--北京:高等教育出版社,2018.6  
ISBN 978-7-04-049848-6  
I. ①无… II. ①天… ②王… III. ①无机化学-高等学校-教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 107361 号

策划编辑	付春江	责任编辑	付春江	封面设计	张楠	版式设计	张杰
插图绘制	杜晓丹	责任校对	王雨	责任印制	耿轩		

出版发行	高等教育出版社	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码	100120	网上订购	<a href="http://www.hepmall.com.cn">http://www.hepmall.com.cn</a>
印 刷	北京市鑫霸印务有限公司		<a href="http://www.hepmall.com">http://www.hepmall.com</a>
开 本	787mm×1092mm 1/16		<a href="http://www.hepmall.cn">http://www.hepmall.cn</a>
印 张	33	版 次	1985 年 11 月第 1 版
字 数	730 千字		2018 年 6 月第 5 版
插 页	1	印 次	2018 年 6 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	68.00 元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 49848-00

# 无机化学

(第五版)

天津大学无机化学教研室

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1237035>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



重要通知 | APP下载



无机化学 (第五版)

本书在维持经典教学内容不变的基础上, 增加相关的实验或虚拟仿真实验视频链接, 充分利用视频冲击, 加深学生学习印象和学习效果; 增加疑难问题及解答链接, 方便学生自学解惑; 增加历史逸闻和人物简介链接, 提高学生的学习兴趣; 增加知识拓展链接, 使学生了解前沿研究, 拓宽学生的知识面。

本书充分利用现代通讯技术, 使传统的纸质教材向数字化、信息化、可视化教材转变。

用户名:  密码:  验证码:  7 8 6 4 忘记密码?  注册  记住我(30天内免登录)

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。



<http://abook.hep.com.cn/1237035>

# 第五版前言

《无机化学》第四版自 2010 年出版以来,在高等学校无机化学课程教学中得到更为广泛的应用,并取得良好的教学效果。为此,在 2015 年获得天津市优秀教学成果一等奖。这主要得益于主编杨宏孝先生、颜秀茹教授“拓宽基础、更新内容;严控深度、突出应用;联系实际、反映国情;渗透工程意识、培养创新能力”的修订主导思想,合理地处理了经典与现代、理论与实践、基础与前沿、深度与广度、知识与能力、继承与创新之间的关系,充分体现了工科化学教材的特点。

随着网络、多媒体等现代科学技术的应用和现代移动通信终端的普及,极大地拓展了人们获取知识的途径。与此同时,当代大学生更希望通过移动通信终端获取视频、图像、文本等教学支持资料。因此,编者为了适应教学发展新形势的需要,对本书进行了信息化、可视化方面的改造。

本书第五版在继承前版教材的优点、保留其经典教学内容的基础上,在以下几方面进行了创新:

## 1. 传统的纯纸质教材向信息化、可视化教材转变

增加相关实验或虚拟仿真实验的视频链接,充分利用现代化手段加强视频冲击,加深学习印象和学习效果。增加疑难问题及解答的链接,方便学生自学解惑。

## 2. 培养科学素养

增加人物简介链接,介绍与教材内容相关的著名化学家,增加学生对科学发现过程的了解,培养学生的科学思维、创新意识。增加历史逸闻链接,介绍化学家的名人轶事,提高学生的学习兴趣。

## 3. 远瞻学科前沿

增加“石墨烯”“有机金属框架结构材料”“纳米材料”等前沿知识、概念介绍的链接。引入前沿新知识,反映时代科技发展,增加学生对学科前沿的了解,培养学生对化学的学习兴趣。

总之,本书保留了第四版教材的经典教学内容,致力于教材信息化、可视化,力图实现教材的人性化,使学生在孤灯下阅读不感孤独,自有“老师”陪伴;字里行间能感到“老师”的存在,熟读深思中似能与“老师”对话;遇到困难,及时能得到“老师”的帮助。

本书内容按化学原理、物质结构、元素化学、无机化学与生态环境四部分展开,共分 17 章。由王建辉教授担任主编,各章节执笔人分别是王建辉教授(前言、第 1、2、9、11、15 章),崔建中教授(第 3、6、7、8 章),王兴尧教授(第 12、13、14、16 章),秦学教授(第 4、5、10、17 章)。高洪苓副教授提供实验视频资料。书中带有“\*”的部分为选读内容或选做思考题、习题。

限于编者水平,书中难免有纰漏之处,敬请读者不吝赐教!

编 者

2017 年于天大北洋园

# 第四版前言

本书第三版自 2002 年出版以来,在高等学校无机化学课程教学中得到更为广泛的使用,取得良好的教学效果,为此,在 2005 年获得国家级教学成果二等奖。这与前两版的主要编者马福华、孙玲、沈君朴老师的工作是分不开的。

本次修订的主导思想是:拓宽基础,更新内容;严控深度,突出应用;联系实际,反映国情;渗透工程意识,培养创新能力;力图处理好经典与现代、理论与实践、基础与前沿、深度与广度、知识与能力、继承与创新的关系,努力体现工科化学教材的特色。

本书第四版在继承前版教材“选材恰当、系统性好、深浅适中、逻辑性强、利于教学”等优点的基础上,在以下几方面有所创新:

## 1. 突出应用,渗透工程意识,体现工科教材的特点

除了引入“化学与化工”“物料、能量衡算在化工生产中的作用”“应用电化学”“海水淡化、硬水软化、天然水净化”“酶催化”等应用性内容外,还增设专章介绍无机物合成原理、方法及技术。

## 2. 追踪科技发展,及时充实、更新内容

例如,在氯碱工业生产、氢气的制法、非常规氢键、非化学计量化合物、纳米物质的特异性、晶体的缺陷等方面都引入新的内容。

## 3. 培养自学能力

自学能力是创新的基础能力之一,从大学一年级开始即着手培养学生的自学能力至关重要,为此特设专章——“元素化学综述”,让学生通过自学去完成。

## 4. 拓宽视野

本书把原来的“化学博览”栏目扩展为“拓宽视野”。例如,增加了“微观物质的深层次剖示”“物质的介观层次”“元素的起源、演化和在自然界中的循环”“生态系统的功能”“我国矿产、海洋、盐湖的自然资源”等阅读材料,以扩展学生的知识面。

使用本书请注意以下几点:

(1) 本书可作为工科高等学校化工、制药、材料、冶金、轻工、纺织、环境、地质等专业以及理科应用化学专业无机化学基础课程教材使用。

(2) 本书中加有“\*”号者为选读内容或选作思考题、习题。

(3) 本书采用数据主要取自 J.A. Dean. Lange's Handbook of Chemistry. 15th ed(1999), 并以 CRC Handbook of Chemistry and Physics. 78th ed(1997—1998) 等手册的数据予以补充。

(4) 本书配套的教学资源有:无机化学学习指导(颜秀茹主编);无机化学电子教案(崔建中主编);无机化学实验(杨秋华主编)。

本书由杨宏孝、颜秀茹(执行)担任主编。全书共 17 章,各章执笔人分别是杨宏孝(第 1、2、3、5、6、7 章及第 4 章氧化还原反应部分)、颜秀茹(第 13、14、15、16、17 章),崔建中(第 8 章),王建辉(第 9、11 章),王兴尧(第 12 章),秦学(第 10 章及第 4 章应用电化学部分)。电子教案由崔建中、鲁凡丽、田昀制作完成,崔建中担任主编。

本书作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,曾得到教育部和天津大学领导的指导和资助。东华大学郑利民教授对本书进行了详细审阅,提出许多宝贵的修改意见;高等教育出版社朱仁、岳延陆编审对本书各版的编写始终给予指导和帮助,翟怡、李颖、张楠、尹莉等同志,对出版本书在策划、编辑加工、设计、绘图等方面付出了不少心血,在此一并表示衷心感谢。

为了不断提高教材质量及水平,书中纰漏之处,敬请读者不吝赐教。

编者

2009 年夏于津大园



# 第二版前言

本书第二版自 1992 年出版以来,在高校无机化学教学中得到广泛使用,并取得过良好的教学效果。随着现代科学技术的高速发展和我国社会经济体制的急剧变化、国际高等教育模式世纪性的变迁,在新形势下有必要对本书第二版进行修改,以适应 21 世纪无机化学教学的需要。

本次修订无机化学教材的主导思想是“跟上时代,适应国情;联系实际,突出应用;继承特色,适度创新;精心策划,利于教学”,主要体现在以下几方面。

## 1. 更新内容,跟上时代

在确保无机化学基础课教材性质的前提下,努力跟踪现代科技发展和反映现代无机化学前沿;注意更新理论、概念、内容及方法;采用我国国家标准 GB 3102.8—93 所规定的量、单位及其符号;选用较新的数据。

## 2. 联系实际,突出应用,适应国情

紧密联系我国化工生产实际;恰当反映在能源、材料、信息、环境及生命等方面社会关注的热点;让学生了解我国元素的自然资源、无机化学发展的概况,以及我国著名无机化学家的工作成果。选材时注意控制理论深度、着重突出应用。

## 3. 继承特色,适度创新

继承前版教材系统性好、逻辑性强、利于教学的特点。在教材体系、内容及形式上有所创新,例如引入了无机非水溶液中的无机反应、固相反应;化学振荡反应;光化学反应、超声化学反应、等离子体反应、摩擦反应;晶体的缺陷;非整比化合物;无机化学与生态环境等内容,以适度突破“水溶液体系—平衡态—热化学反应—理想结构—整比化合物—元素周期系”的无机化学教材传统体系。

## 4. 精心策划,利于教学

在教学实践的基础上,吸取兄弟院校无机化学老师们的教学经验,把教材内容划分为“必读”(基本内容)“选读”(供不同专业、不同课时者选用)和“化学博览”(拓宽知识面)三个层次。为了弥补元素化学部分内容的不足,在附录处编进了常用氧化剂、还原剂及其反应产物,常见阴、阳离子的主要鉴定方法的内容。另外,编写了与本书配套的教学参考书——《无机化学习题解析》。

本书内容按化学反应原理、物质结构、元素化学、无机化学与生态环境四部分展开,共分15章。由杨宏孝教授担任主编,各章执笔人分别是杨宏孝教授(前言,第1、2、3、4、5、6、7章),凌芝教授(第9、10、11、12章),颜秀茹教授(第8、13、14、15章)。

使用本书请注意以下几点:

(1) 本书可作为工科高校学校化工、材料、冶金、轻工、纺织、环境、地质等专业及理科应用化学专业无机化学基础课程教材使用。

(2) 本书中加有“\*”号者为选读内容或选作思考题、习题。

(3) 本书采用数据主要取自 J. A. Dean Lange's Handbook of Chemistry 15th ed (1999),并以 CRC Handbook of Chemistry and Physics 78th ed(1997—1998)等手册的数据予以补充。

本书承蒙华东石油大学董松琦教授详细审阅并提出许多宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。在编写过程中还得到南京大学忻新泉教授、北京大学周公度教授、中国科学技术大学赵化侨教授、高等教育出版社朱仁编审的帮助和指点,以及引用了有些专家、学者如清华大学宋心琦教授的论文内容、中国地质博物馆郭克毅研究员的矿物图片等,在此一并表示诚挚的谢意。

本书作为国家教育部“九五”规划的重点教材,今天得以面世,这与在立项研究中曾得到教育部及天津大学教务处的指导和经费资助是分不开的。本教材自第一版起,经历过两次修订,教研室内的马福华、孙玲、沈君朴等老师对教材建设做出过重要贡献,在此由衷表示敬意。

为了不断提高教材质量及水平,书中纰漏之处,敬希读者不吝赐教。

杨宏孝 凌芝 颜秀茹

2000年冬于津大园

# 第二版前言

本书第一版自 1984 年出版以来,在工科高等学校无机化学教学中得到了广泛使用。无机化学学科的发展、课程教学基本要求和法定计量单位制的贯彻实施,中学化学教学大纲的修订都对无机化学教材建设产生一定影响;教学实践的经验亟待反映到无机化学教材中去,为此我们对本书第一版作了修订。

这次修订,在继续保持第一版教材选材适当、系统性好、文字通俗易懂等特点的基础上,侧重注意到以下几点:

- (1) 体现无机化学课程教学的基本要求;
- (2) 与中学化学教学大纲(1990 年修订本)内容衔接;
- (3) 加强理论联系实际,渗透应用意识;
- (4) 适当更新内容;
- (5) 尽可能渗透辩证唯物主义和科学方法论;
- (6) 发挥习题在复习、巩固所学知识和开发学生智力方面的多种功能。

本书与第一版相比较,明显的变化是:(1) 化学原理部分以无机化学反应为主线,结构部分加强结构与物性之间的联系;(2) 把原来第三章(单相电离平衡)和第四章(多相电离平衡),第十三章(碳族元素)和第十四章(硼族元素)分别并成一章讨论;(3) 适当精简和更新了内容,如删去电势-pH 图、软硬酸碱理论、酸碱电子理论,增加了多重平衡规则、离子水合焓、实际晶体、非化学计量化合物、有机金属化合物等内容;(4) 元素部分加强了与环境、生产、生活的联系;(5) 充实、提高了习题内容,并且把复习、思考题从原习题中分出来,以利于教学,其中加有\*号者表示该题难度较大或属非基本要求。

全书分上、下两册,上册包括第 1—7 章,下册包括第 8—18 章。书中加有\*号或用小号字排印的均属非基本内容,供因材施教之用。参加修订版编写工作的有凌芝(第 1、4、13 章和第 8 章的 1—3 节)、沈君朴(第 2、3 章)、杨宏孝(第 5、6、7 章)、马福华(第 9、10、11、12、14 章和第 8 章第 4 节)、孙玲(第 15、16、17、18 章),颜秀茹、杨桂琴参加了习题的选编和验算工作,全书由杨宏孝修改、统稿,由马福华、杨宏孝定稿。

修订后的初稿曾在 1989 年广州召开的工科无机化学课程教学指导小组扩大会议上进行过初审,大连理工大学、华东化工学院为主审单位。根据审查意见修改后再经大连理工大学袁万钟、隋亮教

授进行复审。初、复审中提出的宝贵意见对我们的修订工作很有帮助,在此表示由衷的感谢。本书修订过程中得到校内外、教研室内外许多同志的关心、支持和帮助,借此机会一并表示感谢。

限于我们的水平,书中纰漏之处,敬希读者不吝赐教。

编者

1991年春于津大园

# 第一版前言

本书是根据1980年8月教育部审定的高等工业学校无机化学教学大纲(草案)的基本要求编写的。编写过程中参考了1982年5月高等学校工科化学教材编审委员会关于无机化学教学大纲的补充说明。本书可供高等工业学校化工类各专业用作无机化学课程的教材。

本书初稿于1981年5月完成后,经本校近两年的教学实践,于1983年3月在工科无机化学教材评选会上评审通过。会议认为本书基本符合无机化学教学大纲的要求,并对本书提出了进一步修改的意见。

编写本书时,根据我们教学实践中的体验,结合当前工科无机化学教学的实际,侧重考虑了以下几点:

(1) 在内容的选材方面,力求符合工科无机化学教学大纲的要求。注意精选内容,尽量删去与中学化学重复的部分,又要保持课程本身的系统性。

(2) 注意教材内容起点适当,与现行的全日制十年制学校高中化学教材衔接。尽量使内容选材的深广度和分量适当,以便在规定的教学时数内完成。

(3) 注意理论联系实际。加强基本理论在元素化学部分的应用;在元素化学部分适当联系生产和生活实际。

(4) 力求便于自学。在篇幅允许的范围内,叙述力求循序渐进、深入浅出、通俗易懂;计算有例题;有些章节后附有本章节的内容小结,以利于学生系统掌握和巩固所学的知识。

(5) 根据教育部1978年关于教材采用国际单位制的通知精神,本书基本采用国际单位制。但是鉴于目前教学的实际情况,对于个别计量单位如大气压(atm)等仍暂时沿用。

(6) 本课程的总学时数(包括实验)为140学时。本书中打\*号部分,不属教学基本要求,可根据教学需要灵活选用。

参加本书编写工作的有沈君朴(第1—5章),杨宏孝(第6—8章)、马福华(第9—16章)、孙玲(第17—20章),全书由杨宏孝统稿并由马福华复核。在本书编写过程中,得到教研室许多教师的大力协助和支持,因此本书实际上是我们教研室教师共同努力的成果。

本书修改过程中,得到了工科无机化学教材编审小组的具体指导;南京化工学院张瑞钰、合肥工业大学孔荣贵、华东纺织工学院

谢洛琳、浙江工学院刘国毅、北京化工学院李秀琳和成都科技大学沈敦瑜对本书提出了许多宝贵的修改意见；特别是工科无机化学编委曹庭礼，受工科无机化学教材编审小组的委托担任本书修改后的复审，付出了辛勤的劳动。在此，对以上曾热情帮助过我们的各位老师一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中存在缺点和错误在所难免，诚恳希望读者批评指正。

天津大学化工系普通化学教研室

1983年6月

# 目 录

第 1 章 化学反应中的质量关系和能量关系 .....	1
1.1 物质的聚集态和层次 .....	1
1.1.1 物质的聚集态 .....	1
1.1.2 物质的层次 .....	2
1.2 化学中的计量 .....	2
1.2.1 相对原子质量和相对分子质量 .....	2
1.2.2 物质的量及其单位 .....	3
1.2.3 摩尔质量和摩尔体积 .....	4
1.2.4 物质的量浓度 .....	4
1.2.5 气体的计量 .....	5
1.2.6 化学计量化合物 .....	7
1.3 化学反应中的质量关系 .....	7
1.3.1 应用化学反应方程式的计算 .....	7
1.3.2 化学计量数与反应进度 .....	8
1.3.3 物料衡算在化工生产中的作用 .....	10
1.4 化学反应中的能量关系 .....	10
1.4.1 基本概念和术语 .....	10
1.4.2 反应热和反应焓变 .....	12
1.4.3 应用标准摩尔生成焓计算标准摩尔反应焓变 .....	14
1.4.4 能量衡算在化工生产中的作用 .....	16
[拓宽视野] 化学与化工 .....	17
思考题 .....	18
习题 .....	19
第 2 章 化学反应的方向、速率和限度 .....	22
2.1 化学反应的方向和吉布斯自由能变 .....	22
2.1.1 化学反应的自发过程 .....	22
2.1.2 影响化学反应方向的因素 .....	23
2.1.3 热化学反应方向的判断 .....	25
2.1.4 使用 $\Delta_r G_m$ 判据的条件 .....	27
2.2 化学反应速率 .....	28
2.2.1 反应速率的定义 .....	28
2.2.2 化学反应的活化能 .....	29
2.2.3 影响化学反应速率的因素 .....	31
2.3 化学反应的限度 .....	35
2.3.1 可逆反应与化学平衡 .....	35

2.3.2 平衡常数 .....	36
2.3.3 化学平衡的计算 .....	39
2.4 化学平衡的移动 .....	42
2.4.1 浓度对化学平衡的影响 .....	42
2.4.2 压力对化学平衡的影响 .....	43
2.4.3 温度对化学平衡的影响 .....	45
2.4.4 催化剂和化学平衡 .....	46
[拓宽视野] 极端条件对化学反应的影响 .....	47
思考题 .....	48
习题 .....	50
<b>第3章 酸碱反应和沉淀反应 .....</b>	<b>53</b>
3.1 水的解离反应和溶液的酸碱性 .....	53
3.1.1 酸碱的解离理论 .....	53
3.1.2 水的解离反应和溶液的酸碱性 .....	53
3.2 弱电解质的解离反应 .....	55
3.2.1 解离平衡和解离常数 .....	55
3.2.2 解离度和稀释定律 .....	56
3.2.3 弱酸或弱碱溶液中离子浓度的计算 .....	56
3.2.4 多元弱酸的分步解离 .....	57
3.2.5 解离平衡的移动 同离子效应 .....	59
3.2.6 缓冲溶液 .....	60
3.3 盐类的水解反应 .....	61
3.3.1 水解反应和水解常数 .....	61
3.3.2 分步水解 .....	62
3.3.3 盐溶液 pH 的近似计算 .....	63
3.3.4 影响盐类水解度的因素 .....	63
3.3.5 盐类水解的抑制和利用 .....	63
3.4 沉淀反应 .....	64
3.4.1 难溶电解质的溶度积和溶解度 .....	64
3.4.2 沉淀反应 .....	66
3.4.3 沉淀的溶解和转化 .....	71
3.4.4 沉淀反应的应用 .....	73
[拓宽视野] 近代酸碱理论简介 .....	74
思考题 .....	75
习题 .....	76
<b>第4章 氧化还原反应与应用电化学 .....</b>	<b>79</b>
4.1 氧化还原方程式的配平 .....	79
4.1.1 氧化数法 .....	79
4.1.2 离子-电子法(或半电池法) .....	80



* 4.1.3 无机物与有机物之间发生的氧化还原反应方程式的配平 .....	81
4.2 电极电势 .....	84
4.2.1 原电池 .....	84
4.2.2 电极电势的产生 .....	85
4.2.3 电极电势的测定 .....	86
4.2.4 影响电极电势的因素 .....	87
4.2.5 电极电势的应用 .....	89
4.3 氧化还原反应的方向和限度 .....	92
4.3.1 氧化还原反应的方向 .....	92
4.3.2 氧化还原反应的限度 .....	93
4.4 电势图及其应用 .....	94
4.4.1 元素标准电极电势图及其应用 .....	94
* 4.4.2 $\Delta_r G_m^\ominus - N$ 图 .....	96
4.5 实用电池 .....	98
4.5.1 一次电池 .....	98
4.5.2 二次电池 .....	99
4.5.3 锂离子电池 .....	100
4.5.4 燃料电池 .....	100
* 4.6 电解 .....	101
4.6.1 电解精制金属 .....	101
4.6.2 电解抛光、加工 .....	101
* 4.7 电镀 .....	102
* 4.8 金属腐蚀与防腐 .....	103
4.8.1 金属的腐蚀 .....	103
4.8.2 金属腐蚀的预防 .....	103
[拓宽视野] 无机非水溶液中的无机化学反应 .....	104
思考题 .....	106
习题 .....	108
<b>第5章 原子结构与元素周期性</b> .....	<b>110</b>
5.1 原子和元素 .....	110
5.1.1 原子的组成和元素 .....	110
5.1.2 原子轨道能级 .....	111
5.2 原子结构的近代概念 .....	112
5.2.1 电子的波粒二象性 .....	112
5.2.2 概率 .....	112
5.2.3 原子轨道 .....	113
5.2.4 电子云 .....	114
5.2.5 量子数 .....	115
5.2.6 原子的观察和操纵 .....	116
5.3 原子中电子的分布 .....	117