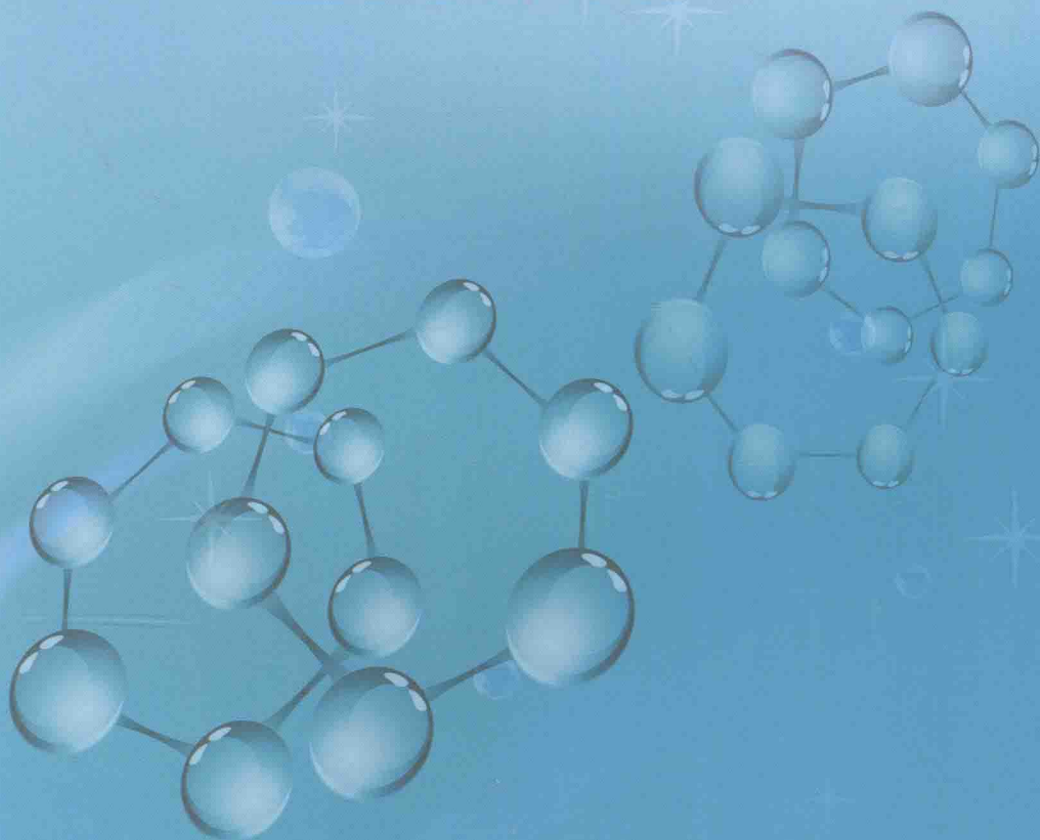


工科基础化学实验系列教材

综合化学实验

主 编 江元汝 董社英
副主编 陈双莉 陈利君



科学出版社

工科基础化学实验系列教材

综合化学实验

主 编 江元汝 董社英
副主编 陈双莉 陈利君

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书分为上下篇。上篇为化学研究初步训练,包括8章,主要包括化学研究方法、化学实验基本原理与方法、实验设计方法、合成与制备的基本方法、分离与提纯的基本方法以及物质表征的基本方法。在一级学科层面突出化学综合素质培养、研究方法训练,培养综合运用基础化学实验技能解决实际化学问题的能力、查阅文献资料的能力、设计实验的能力以及操作、使用近代仪器和图谱解析的能力。下篇为实验部分,包括基础应用性实验20个、综合性实验10个、设计研究性实验25个,注重应用实践性和多学科交叉渗透性。

本书可作为高等工科院校化学、化学工程与工艺、应用化学等专业高年级本科生的化学专业实验教材以及环境工程、材料科学、冶金工程等相关专业的实验选修教材,也可作为相关专业研究生实验参考书。

图书在版编目(CIP)数据

综合化学实验/江元汝,董社英主编. —北京:科学出版社,2015.5

工科基础化学实验系列教材

ISBN 978-7-03-044259-8

I. ①综… II. ①江 ②董… III. ①化学实验-高等学校-教材
IV. ①O6-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 087472 号

责任编辑:陈雅娴 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015年6月第一次印刷 印张:16

字数:310 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

工科基础化学实验系列教材

编写委员会

主 编 江元汝

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

党方方	董社英	郭育涛	韩选利
何盈盈	江元汝	孟晓荣	谢会东
杨 琴	张 良	张思敬	赵亚娟
周元臻			

“工科基础化学实验系列教材”编写说明

化学是 21 世纪的中心学科,是一门实用的创造性的学科。大学化学教育已经渗透到理、工、文、法、经、管等各个学科。基础化学实验教学是化学及相关学科高等教育的重要组成部分,对于培养具有创新意识、创新思维能力及创新实践能力的高级专门人才,具有独特的作用。

“工科基础化学实验系列教材”主要是针对非化学化工类工科院校基础化学实验学时相对较少、实验经费与实验设备条件相对薄弱的现状,结合工科院校近化学类的材料科学与工程、冶金工程、环境科学与工程等学科与基础化学的密切联系,以及不同学科专业对基础化学教学要求和基础化学实验改革与建设项目的实施情况,遵循“厚基础、宽口径、重素质、强能力”的教育理念,立足基础,面向应用。“工科基础化学实验系列教材”建设围绕培养具有较强实践能力和创新意识的应用研究型人才的基本要求,按照传授知识与培养能力并重、知识的深度和广度相统一、基础与前沿并举、理论与实践相结合四项基本原则制定了编写思路。

本系列教材包括《大学化学实验》、《分析化学实验》、《有机化学实验》、《物理化学实验》和《综合化学实验》。实验教学体系在保证基础知识、基本能力培养的同时,注意实验课程理论体系的相互交叉与相对独立性,注意各门基础实验的交叉与融合,理论教学与实验教学之间的关系,利于不同学科专业选用。在实验教学内容方面,各门实验课程都减少了验证性实验内容,取代以设计性、综合性实验项目。各门实验课程以“宽口径、厚基础、求创新、重能力”为目标设置了综合性、设计性实验和开放性实验项目,将“基础化、专业化、个性化、国际化”紧密结合,重视培养不同专业的通用人才。在实验内容选取上注重与专业实践相结合,将先进的科研成果引入基础实验。在《大学化学实验》中针对土木工程学院学生开设了“混凝土溶蚀规律测定”实验项目,在《分析化学实验》中针对环境与市政工程学院学生开设“水硬度测定”、“工业污水 COD 测定”等实验项目,针对材料与矿业学院开设“硅酸盐全分析”等与科研、工程和社会应用实践密切联系的实验项目。《综合化学实验》除了设置了化学研究方法 & 基础化学实验基本理论与技术的理论教学内容,还有以物质的制备—分离—表征—应用为主线的在学科层面及实验方法层面的综合化学实验,将化学实验基本理论知识与实验研究方法融入教材,利于不同学科专业选用。本系列教材建立并实现了以能力培养为核心的分层次、立体化的工科基础化学实验教学体系。

“工科基础化学实验系列教材”获得陕西省基础化学实验教学中心建设项目、

西安建筑科技大学学科重点培育计划人才培养专项、西安建筑科技大学重点教材建设项目资助。

由于编者水平和经验有限,本系列教材中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

“工科基础化学实验系列教材”编写委员会

2013年4月

前 言

化学实验是实施全面化学教育的一种最有效的教学形式。进入 21 世纪,化学与材料、能源、环境、生命等学科相互交叉、相互渗透,发展迅速,成果显著。

综合化学实验是化学相关专业必修实验课程,是本科生在完成各门基础化学实验之后向毕业论文阶段过渡的重要教学环节。本书的编写注重化学实验技术知识及研究方法的系统化、规范化,强调化学学科知识及各种实验技术的综合化。

本书突出化学综合素质培养,在进一步巩固和加深学生在基础化学实验中已得到训练的操作技术和技能的同时,增加一些先进的实验技术,其中主要是苛刻条件合成技术。本书注重培养学生综合运用基础化学实验技能解决实际化学问题的能力,查阅文献资料的能力,设计实验的能力,操作、使用近代仪器和图谱解析的能力。在综合化学实验中融入专业特色的设计性实验内容,体现化学与材料、生命和环境等应用领域的交叉渗透,使教学更接近于科研和生产实际。

本书综合了无机化学、分析化学、有机化学和物理化学等化学分支学科中的重要实验方法和技术,在化学一级学科的层面上安排教学过程。在综合性实验部分,每一个实验都包含了两个或更多的二级学科的内容,通过各分支学科的结合训练学生解决综合性问题的能力,进一步提高科学思维能力和创新意识。

本书上篇主要是化学研究方法,化学实验基本原理与方法,实验设计方法、合成与制备的基本方法,分离与提纯的基本方法以及物质表征的基本方法。下篇实验内容包括基础应用性实验、综合性实验和设计研究性实验。许多教师将多年科研成果改编成相应的实验,有部分根据文献和研究成果开发的新实验。

本书由江元汝、董社英担任主编,陈双莉、陈利君担任副主编,邢远清、何盈盈、韩选利、郭育涛、赵亚娟、周华凤、韩果萍、史玲、陈双莉、杨琴、张思敬、王娟、何志仙、党方方、王康康、张国、张良、付义乐、姚亚红等参与了编写。

本书参考了大量文献资料,编写中还参考了兄弟院校的实验教材,在此一并致谢,感谢许多默默无闻的被引用资料的原作者。

本书在内容的选编中难免存在疏漏,不妥之处在所难免,期望读者不吝赐教。

编 者

2015 年 3 月

目 录

“工科基础化学实验系列教材”编写说明

前言

上篇 化学研究初步训练

第 1 章 综合化学实验总述	3
1.1 综合化学实验的内涵	3
1.2 综合化学实验目标	3
1.3 综合化学实验的研究技术	4
1.4 综合化学实验主要内容	4
1.5 综合化学实验发展	5
第 2 章 化学实验中科学思想方法	8
2.1 观察	9
2.2 想象.....	12
2.3 调查.....	14
2.4 模拟.....	15
2.5 组合.....	18
2.6 实验.....	20
2.7 推理.....	23
第 3 章 化学实验设计方法	28
3.1 单因素试验设计.....	29
3.2 正交试验设计.....	30
3.3 均匀试验设计.....	31
第 4 章 合成与制备方法	34
4.1 选择合成路线的基本原则.....	35
4.2 合成与制备方法分类.....	36
4.3 无机物的常规制备方法.....	37
4.4 低温固相化学合成.....	39
4.5 微波合成.....	39
4.6 无机合成发展趋势.....	40
4.7 有机合成路线设计的基本方法.....	42

4.8	软化学合成	45
4.9	合成化学的热点领域	48
第5章	分离与提纯技术	49
5.1	分离的化学原理	49
5.2	分离方法分类	50
5.3	合成与制备中常用的分离与纯制	52
5.4	色谱分离技术	54
5.5	萃取技术	61
5.6	离子交换	64
5.7	膜分离	65
5.8	分子蒸馏	66
第6章	化合物的一般鉴定与表征	68
6.1	紫外-可见吸收光谱	68
6.2	红外光谱	69
6.3	核磁共振波谱	71
6.4	质谱	73
6.5	拉曼光谱法	76
6.6	X射线衍射谱	78
第7章	复杂物质分析	79
7.1	复杂物质分析的任务及过程	79
7.2	复杂物质分析常用的方法	84
7.3	复杂物质分析结果的可靠性	86
第8章	化学文献的查阅和利用	88
8.1	化学文献的类型和特点	88
8.2	化学文献的情报资源和检索手段	89

下篇 实验部分

第9章	怎样做好化学实验	93
9.1	明确实验的意义和目的	93
9.2	掌握学习方法	93
9.3	遵守实验规则	94
9.4	注意实验安全	95
9.5	养成良好的实验室工作习惯	97
9.6	实验室的应急处理	98
第10章	基础应用性实验	100

实验一 环境友好产品——过氧化钙的合成及含量分析	100
实验二 微波合成磷酸锌	103
实验三 可逆温致变色材料的制备及其性质表征	106
实验四 由蛋壳制备丙酸钙	108
实验五 由煤矸石制备硫酸铝	110
实验六 羧甲基纤维素的制备	113
实验七 高岭土中杂质铁的去除与增白	115
实验八 洗衣粉中活性组分与碱度的测定	118
实验九 周期性化学振荡反应	120
实验十 黏合剂与泡沫塑料的合成和制备	124
实验十一 食品中维生素 C 含量的测定——直接碘量法	126
实验十二 阿司匹林的合成及分析	128
实验十三 紫外光催化消解-分光光度法测定蔬菜中有机磷农药残留量	132
实验十四 应用电化学实验(一)	135
实验十五 应用电化学实验(二)	137
实验十六 应用电化学实验(三)	140
实验十七 废水电化学净化	144
实验十八 天然产物有效成分——黄连素的提取	146
实验十九 绿色植物色素的提取及色谱分离	147
实验二十 天然香料肉桂醛的提取	149
第 11 章 综合性实验	153
实验二十一 三草酸合铁(Ⅲ)酸钾的制备、组成测定及表征	153
实验二十二 槐米中芦丁的提取与分离	161
实验二十三 芦丁的水解及其水解产物的分离和鉴定	166
实验二十四 金属酞菁的合成及表征	169
实验二十五 二茂铁及其衍生物的合成、分离及表征	171
实验二十六 固体超强酸的制备与表征	176
实验二十七 高分子导电材料——聚苯胺的合成	179
实验二十八 无催化胺醛树脂的合成	182
实验二十九 水热法制备纳米氧化铁	184
实验三十 日常食品的质量检验	186
第 12 章 设计研究性实验部分	191
实验三十一 由废铝箔制备水处理絮凝剂——聚碱式氯化铝	192
实验三十二 化学沉淀法制备高纯 α - Al_2O_3 纳米粉末	193
实验三十三 含钼废催化剂中钼的化学回收	194

实验三十四	氧化铜矿制备硫酸铜·····	195
实验三十五	从菱锌矿制备锌系列化合物·····	195
实验三十六	从含镍废渣中提取硫酸镍·····	196
实验三十七	从化学实验废液中回收 Ag 和 CCl_4 ·····	197
实验三十八	由硫铁矿烧渣中制取硫酸亚铁·····	197
实验三十九	双酚 A 的合成 ·····	198
实验四十	苯叉丙酮的合成·····	199
实验四十一	植物中矿物元素的分离和鉴定·····	200
实验四十二	植物生长调节剂 2,4-D 的合成 ·····	200
实验四十三	胃舒平药片中铝和镁含量的测定·····	201
实验四十四	Diels-Alder 环加成反应 ·····	202
实验四十五	对香豆酸的合成·····	202
实验四十六	席夫碱及其铜配合物合成·····	203
实验四十七	黄酮类化合物的提取与分离·····	204
实验四十八	光信息记录材料——三甲川菁染料电化学行为研究·····	205
实验四十九	手性高效液相色谱法正相拆分麻黄碱对映体·····	206
实验五十	废干电池的综合利用·····	207
实验五十一	硫化锌的合成·····	209
实验五十二	苯乙烯菁染料的合成·····	210
实验五十三	CaWO_4 的合成与发光性能表征 ·····	211
实验五十四	电化学阳极氧化降解高浓度有机污染物废水·····	212
实验五十五	结晶法制备大颗粒磷酸二氢钾·····	213
附录	·····	214
附录一	化学实验室的安全防护·····	214
附录二	温度的测量与控制温标·····	218
附录三	真空技术·····	234
附录四	常用的热浴与冷浴·····	240

上篇 化学研究初步训练

化学是 21 世纪的中心学科。化学与环境、能源、材料及生命等学科的交叉与相互渗透,使化学的应用日趋广泛与深入,也促进了化学学科本身的发展与创新。化学研究是利用基本化学原理、化学知识和实验方法与手段,针对化学问题而进行的创造性劳动过程,这一过程的成果能说明某一新的化学现象,或丰富化学基本理论,或发现新的具有特殊性能的化合物,从而推动化学及相关学科发展。化学是一门实验学科,化学基本实验技能、化学实验基础理论对创新性人才的培养十分重要。科学的研究方法,实验设计的方法,化合物合成与制备方法,物质分离与提纯方法,物质结构与形貌表征等方法,这些系统的知识对创新能力的培养十分重要。尤其是在现代化学发展日新月异、研究对象越来越复杂、研究内容越来越丰富、新理论和实验手段层出不穷的时代,只有经过系统训练、掌握广博扎实的化学实验和相关领域知识的人,才能够进行系统深入的化学研究。从这一点出发,为了使化学、应用化学及近化学相关专业学生系统地掌握化学实验研究方法、化学实验基本理论与知识,掌握实验基础技能,对化学研究有初步的认识,为今后从事创造性劳动奠定基础,特编写这部分内容。

第1章 综合化学实验总述

1.1 综合化学实验的内涵

综合化学实验是一门多学科交叉、多种实验方法与技能融合的独立实验课程。综合化学实验包含学科综合和方法综合。课程注重基本知识、基本技能和基本素质的培养,实践一体化、多层次、开放式实验课教学模式。

学科综合:综合化学实验在化学一级学科层面上设课,包括无机化学、分析化学、有机化学、物理化学及高分子化学等。综合化学实验内容广泛,既涵盖化学各二级学科,又包括环境化学、材料化学等应用领域。

方法综合:除了实验内容综合以外,实验方法的综合也是重要部分。综合化学实验涉及无机物和有机物制备的一般方法,分离与提纯的一般过程,有分析化学包括仪器分析中物质定性、定量分析常规方法和物质结构、形貌及形态等的化学表征方法,有物理化学中热、光、电、色、磁等性能表征及表面孔径、比表面积、氧化还原性等表征,还有结构与性能相关性等。因此,综合化学实验是涉及多学科、应用多种方法的大综合。研究性综合化学实验教学模式在促进实验教学改革、提高教学质量中的作用日益凸显。

1.2 综合化学实验目标

综合化学实验课程的指导思想是使学生在实验中了解科学研究的前沿进展,领悟科学探索和研究的方法,提高综合实践能力和创新能力。通过综合化学实验教学,为学生后续课程的学习、毕业设计以及将来从事科学研究打下良好的基础。

综合化学实验目标是:使学生熟练掌握基本化学实验技能,培养学生综合运用化学研究方法和基础化学知识,融会贯通“四大化学”的能力,培养学生分析问题、解决问题的能力。综合化学实验以无机物、有机物或者二者结合的复合物及具有一定应用性能的材料为实验目标物,从其合成、组成分析、结构表征到性能与应用,对学生进行物质合成的系列程序训练。相比于基础化学实验只是化学研究的片段训练,综合化学实验进入了一个新层次,这正是科学研究的完整过程训练,有利于提升学生的科学研究思维水平。综合化学实验是把物质的制备、提取、分离、提纯,有关物理常数及杂质含量的测定,物质的化学性质、物质组成的确定以及应用等内容归纳在一起的实验,能够体现实验方法、技能训练的综合性。

1.3 综合化学实验的研究技术

综合化学实验是把物质的合成与制备或天然物的提取、分离、提纯、有关物理常数及杂质含量的测定、物质的化学性质、物质组成的确定等内容归纳在一起的实验。在综合化学实验中,每个实验都融入了教学大纲所要求的大部分基本技能,如萃取、蒸馏、重结晶、抽滤、物质合成及分析等,把过去单一进行的操作训练有机组合,贯穿于实际问题中。实验有较强的连续性和综合性,如“原料→粗产品、纯品→鉴定”,以及“常量→半微量→微量”,使学生的思维形成连续过程,有利于培养科学研究综合能力。在实验安排中,注意化学物质的“结构→性质→应用→制备→测定”这一系列技能的整体关系,通过单元基本操作技能训练,提高对实验化学课程的教学内容、教学手段的全面了解和掌握,同时加强培养各种基本操作技能与训练的动手能力。

1.4 综合化学实验主要内容

综合化学实验是融合无机化学实验、分析化学实验、有机化学实验、物理化学实验等基础实验内容于一体的重要专业课。教学模式有课堂教学、实验训练及开放性实验等。综合化学实验课堂教学包括:化学研究方法,化学实验基本原理与技能的相关理论知识,物质(无机物、有机物、功能材料)的制备方法与原理,混合物(包括天然产物)的分离与提纯方法,化合物组成结构及性能的表征方法等。综合化学实验课堂教学应将化学基本研究方法、基本实验理论、基本实验技能在教学过程中融会贯通,实验内容包括:实验方法选择,合成路线设计,有机物、无机物结构表征方法的互相印证与补充关系,无机物制备方法和原理,有机合成的基本思路及技术,确定有机化学反应机理的方法,紫外光谱、红外光谱、质谱、核磁共振波谱在有机物鉴定中的分析实例,复杂体系的综合分析,样品的取样、保存、预处理、分解和溶解,波谱联用技术等。实验内容还包括有机合成设计、金属有机及元素有机化学、生物有机化学、天然产物化学、物理有机化学、药物化学、膜分离技术、纳米材料技术、仿生合成技术、化学实验绿色化原理、提高化学反应原子经济性的途径等现代化学实验的发展。化学研究基本训练包括:实验设计的一般步骤,单因素试验设计方法,多因素试验设计方法及试验优化设计等综合研究设计技术,通过多步骤有机合成、有机电化学合成、药物合成、中药化学成分研究、合成产物的表征手段,强化综合运用化学知识的能力,把化学物质的“特性、结构和制备”的关系完整地呈现。实验内容强调基础应用性,联系材料、生命、环境、能源等学科,注重学科与实验方法的综合。

1.5 综合化学实验发展

现代化学发展总趋势表现为因社会生产与生活需求不断提高,学科综合进一步发展,由于学科交叉而产生的分支学科进一步分化。在宏观层次($>100\text{nm}$)上,形成了研究化学体系在凝聚态中的物理化学行为及其反应的凝聚态化学;在介观层次($1\sim100\text{nm}$)上,形成了研究至少一个维度的尺寸在 100nm 以下的原子或分子的集合体的物理化学行为和反应的纳米化学;在微观层次($<1\text{nm}$)上,核化学和基本粒子化学开辟了高能化学领域。在运动形式上,沿着物质运动形态层次发展,如涵盖所有运动形式(包括社会运动形式)的环境化学,涵盖生命运动、思维运动和社会运动的生命化学等。在这些发展中,应用化学促进了化学进展前沿的综合与分化。应用化学是化学科学转化为生产力的关键环节。它既有别于具有基础性和学科性的基础化学,也有别于化学工程和工艺学,具有应用性和综合性。例如,化学理论应用于能源研究形成的能源化学就综合了无机化学(氢能、太阳能)、有机化学(燃料电池)、物理化学(海水盐差发电)、生物化学(生物质能源)和核化学(核发电)等化学分支学科。未来一段时间,化学发展的热点研究对象是符合以下限定条件的多分子体系:多个分子构成的分子组装体或分子聚集体,具有高级有序结构,在分子聚集体内分子间是通过弱相互作用结合的。这些分子体系包括分子间化合物及超分子体系,少数分子(如酶和底物、离子和冠醚、小分子和环糊精)形成的复合物及小分子缔合物。多分子体系研究的基本化学问题主要包括:分子如何通过弱相互作用构筑成分子聚集体,进一步构成自然界物体;如何模拟自然界构筑具有高级结构的分子聚集体;低级结构与高级结构的关系;高级结构与分子聚集体性质和功能的关系;具有高级结构的物体中发生的化学过程;在高级结构中的物质传递、信号传输以及调控和修复的机理;凝聚态和分散态中的高级结构等。要从分子层次解释自然,如地球科学、天文学、环境科学、生命科学和材料科学中研究损伤、损耗、疾病、衰老、老化、退化、演化等过程的本质都需要大时间跨度过程,即进行宽时间域的研究,所需时间少则几年、几十年,多则几十亿年。研究的基本化学问题主要有:极快和极慢的反应的组合问题,跟踪复杂反应组合,测定在时间和空间坐标上发生的事件顺序,推导反应相关性规律,模拟复杂反应组合发生的事件顺序;在有组织状态下的反应系统内发生的化学过程研究,如生物体中硬组织的形成过程,虽然贯穿其中的是热力学和动力学控制的碳酸钙或磷酸钙的结晶形成与排列过程,但是,它是受整体生物指挥、细胞指导、基质调控等上级控制的,与非生物体系的无机盐晶体形成大相径庭。化学实验发展的趋势可以归纳为:多学科的综合化、化学实验手段的现代化、实验工艺和产品的绿色化。

因为学科的相互渗透、相互融合,现代化学实验偏重于综合性,如生物问题常

和化学紧密相关。今天的化学家需要懂得更多的物理学和生物学知识。新的学科方向,如化学物理、高分子物理、生物物理等学科间的融合,生物无机、金属有机、有机固体等学科间的汇合,都说明了化学正向邻近的学科扩展,或者说邻近的学科正向化学渗透。

化学实验手段是制约化学科学研究的一个非常重要的方面,发展分析和测试的新方法,并依靠计算机技术,使化学的“耳目”以及据以工作的信息趋于灵敏和可靠,这是现代化学实验发展的必然方向。

在现代化学实验中,新的实验手段的发明和创造,往往导致化学科学研究的重大突破。现代化学实验使用了很多灵敏、精确和快速的实验手段,仪器现代化的特点尤为突出。红外、核磁、顺磁和质谱等手段的联用,X射线荧光、光电子能谱、扫描电子显微镜、电子探针、拉曼激光光谱、分子束、中子衍射、皮秒激光光谱等现代化的实验技术和手段能精确地进行化学定量检测,从而大大促进了化学实验手段的精密化。

计算机技术和激光技术是推动化学迅速发展的极大动力。计算机提供的多种数据库在世界范围内联网,中小型工作站的使用使得大至分子设计、药物设计,小至结构显示、图形设计等进一步发展。计算机在化学实验中的应用主要有:化学反应条件的预测,利用计算机提高测试选择性及灵敏度,计算机辅助有机合成,计算机模拟化学实验,利用计算机处理实验数据等。各种各样的化学数据库和图像显示技术使分子设计达到了较高的水平,计算机辅助的药物合成已经有效地进行。各种计算机工作站已经普遍地用于化学的不同领域。计算机在化学实验中已成为重要的手段。各种仪器的联机使用和自动化,不仅用于电分析化学、谱学、微观反应动力学、平衡常数的测定、分析仪器的控制、数据的存储与处理等,而且能使经典的化学实验操作达到控制的自动化。激光技术的出现使化学家对化学反应的动力学研究达到了分子水平。用激光技术研究化学反应、物质结构越来越广泛。飞秒激光如果用来探索电子在分子中的运动会有极其广阔的应用空间。

化学的前沿发展还表现在传统分支学科不断革新,如无机化学中的新化合物(原子簇化合物、桥联多核配合物)、新物相(超分子、金属纳米材料),有机化学中的新方法(多样性导向的有机合成)、新反应(不对称催化)和新试剂(离子液体),分析化学中的新领域(生物电分析化学)、新手段(光化学传感器和免疫传感器),物理化学中的新理论(电子密度泛函理论、态-态反应动力学)等。随着科学技术的迅猛发展,多层次的研究体系也是未来的发展趋势。现代化学已从传统的只注重研究原子和分子的反应和变化规律发展为整体化多层次,形成了许多新的研究层次(如分子片、超分子、多分子聚集态等),从而形成了多层次的化学研究体系:原子层次的化学、分子片层次的化学、分子层次的化学、超分子层次的化学、宏观聚集态化学、介观聚集态化学、复杂体系的化学等。在化学实验的发展方面注重方法的先进性、