

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202303002

www.dxhx.pku.edu.cn

本科化学类专业化学实验教材中的分析仪器

李伟红, 雷杰*

复旦大学化学系, 上海 200433

摘要: 梳理了部分国内综合性院校本科化学类实验的课程设置及所用化学实验教材, 同时简单介绍了科学仪器的分类。针对各类化学实验教材中分析仪器部分的内容重复、更新不及时、深度不够等问题, 提出了解决方案, 希望能对今后化学实验教材的编写提供不同的视角和有益的借鉴。

关键词: 化学实验教材; 分析仪器; 仪器分析实验; 物理化学实验; 有机化学实验; 无机化学实验

中图分类号: G64; O6

Analytical Instruments in Chemical Experiment Textbooks for Undergraduate Chemistry Majors

Weihong Li, Jie Lei *

Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

Abstract: This paper summarizes the curriculum setting and textbooks for chemical experiment course of undergraduate chemistry majors in certain domestic comprehensive universities and briefly introduces the classification of scientific instruments. Solutions are provided for the problems of duplicate content, infrequent updates, and insufficient depth of analytical instruments in various chemical experiment textbooks. It is hoped that different perspectives and useful recommendations for the preparation of future chemical experiment textbooks are provided herein.

Key Words: Chemical experiment textbook; Analytical instrument; Instrumental analysis experiment; Physical chemistry experiment; Organic chemistry experiment; Inorganic chemistry experiment

1 引言

教材建设是课程建设的基础之一, 是教师教学经验的结晶。实验课教学在化学人才培养中占据十分重要的地位, 化学实验教材是培养学生基本实验技能、创新能力和科研素养的重要载体。我国最早的实验课程体系建立在化学二级学科的基础上, 对应的实验教材也是按此分类的。多年来, 不断有关于实验课程体系改革的方案提出, 比如2000年左右, “以实验技术要素为主线”的改革方案曾得到大家认可, 方案对原有的按学科划分的基础实验进行了组合调整, 出现了诸如“无机化学和化学分析实验”“仪器分析和物理化学实验”等实验课程^[1,2], 并有对应教材出版^[3-6], 由于历史原因, 当时大部分教材仍沿用了早期的教材名称^[7,8]。吉林大学改革方案中的化学实验系列教材, 分为基础化学实验、综合和设计化学实验两个层次, 其中基础化学实验系列教材, 第一版分上册(无机化

收稿: 2023-03-02; 录用: 2023-04-07; 网络发表: 2023-04-12

*通讯作者, Email: jielei@fudan.edu.cn

基金资助: 复旦大学2022年课程思政教育教学改革研究课题(FD2022F023); 复旦大学2021年度第一批本科教学研究与改革实践项目(FD2021A115); 复旦大学化学系本科教学内涵提升项目

学和化学分析实验)、中册(有机化学实验)和下册(物理化学和仪器分析实验),但之后的版本中仍沿用了传统名称:物理化学实验分册、化学分析实验分册和有机化学实验分册等^[9,10]。复旦大学的无机化学和化学分析课程无论是教材,还是课程具体实施都整合的很彻底^[6],但是其仪器分析和物理化学实验(上、中、下)课程在2022年重新恢复为仪器分析实验和物理化学实验(上、下)两门课程。南京大学牵头,组织江苏省十五所高校编写的系列教材包括了《无机化学实验》《有机化学实验》《物理化学实验》《分析化学实验》《仪器分析实验》《无机及分析化学实验》《普通化学实验》《化工原理实验》《综合化学实验》等^[11]。由于各个高校的教改思路不同,因此我国目前的实验课程体系和教材呈现多样化的形式。按照张树永等的建议可以将目前的实验教学体系分为三大类^[12],对应的实验教材也可以分为三大类,目前大部分的实验教材名称仍采用了传统的五大化学体系名称^[7,8,13-31],部分学校采用了延伸设计体系和一体化体系^[3-6,9,10,32-34],最近几年增设了化学生物学实验和能源化学实验等,也有对应的教材出版^[35-37]。关于课程体系和教材改革的历史等在此不展开赘述。复旦大学化学系近期计划出版系列化学实验教材,因此需要从各个角度分析、比较已出版的本科化学类专业的实验教材,本文拟从各类实验教材中所涉及分析仪器的角度进行归纳总结,并提出建议。为了抓住主线、突出重点,本文按照普通化学实验、无机化学实验、无机化学和化学分析实验、有机化学实验、仪器分析实验、物理化学实验等几类教材进行阐述。

2 分析仪器简介

不同科学仪器的方法原理、仪器结构和操作方法等差别很大,较难按照统一的标准进行分类。中国分析测试协会建议,科学仪器可以分为分析仪器、物理性能测试仪器、计量仪器、天文仪器、海洋仪器、地球探测仪器等^[38]。分析仪器可以进一步分为通用分析仪器 and 专用分析仪器两大类。通用分析仪器主要包括电化学分析仪、光谱分析仪、波谱分析仪、色谱分析仪、质谱分析仪、热分析仪等。专用分析仪器主要是指不同应用学科领域测定某些特定对象的分析仪器,如生物医学领域的酶联免疫分析仪、核磁共振成像仪等;环境分析仪器中的各种气体监测仪、水质监测分析仪等;另外还有元素分析仪、水分测定仪、样品前处理仪等等。很多专用分析仪器是根据应用对象不同,在通用分析仪器基础上,进行结构等专门化设计、加工而成。在目前的本科化学类专业化学实验教材中主要涉及的是各种商品化的通用分析仪器。

分析仪器的应用领域几乎已经涉及到理工科的所有领域。按照目前高校的专业分类,理学中的物理学、化学、大气科学、海洋科学、生物学等;工学中的材料科学与工程、化学工程与技术、食品科学与工程;农学中的土壤学、植物营养学、农药学等专业;医学中的药学、中医学、基础医学、临床医学等,都会涉及到分析仪器的使用。

目前分析仪器的发展趋势大致有以下几个方面:分析仪器进一步微型化、集成化、智能化;分析仪器的灵敏度、选择性和分析速度进一步提升;分析仪器与计算机、信息科学理论的更深入结合;分析仪器在科研、临床等领域的专门化应用。

3 各类教材中的分析仪器现状及存在的问题

3.1 现状

面向大一学生的普通化学实验教材中,一般包括各种天平、电导率仪、酸度计、分光光度计和浊度计等分析仪器^[13,14]。

部分高校将无机化学实验和化学分析实验开设为一门课程,不同高校的教材名称有:无机化学与化学分析实验、无机及化学分析实验、无机及分析化学实验等,对应的教材中的仪器装置主要涉及各种天平、电导率仪、酸度计和分光光度计等^[3,6,33,34]。部分高校两门课程仍各自开设,对应的无机化学实验教材中常包括各种天平、电导率仪、酸度计、分光光度计和气压计等^[15-19];对应的化学分析实验教材中的分析仪器主要涉及各种天平、酸度计、分光光度计等^[10,20,21]。

有机化学实验教材中的仪器装置主要涉及阿贝折射仪、分光光度计、气相色谱仪、红外光谱仪、核磁共振波谱仪、高效液相色谱仪等^[22-24]。

仪器分析实验教材中涵盖了大部分的分析仪器^[25-28]，包括：酸度计、电化学工作站、紫外-可见分光光度计、分子荧光分光光度计、红外光谱仪、核磁共振波谱仪、原子吸收分光光度计、原子发射光谱仪、气相色谱仪、高效液相色谱仪、毛细管电泳仪和质谱仪等。不同教材中会有差异，比如部分教材中还介绍了拉曼光谱仪、原子荧光分光光度计、离子色谱仪、热重分析仪、X射线衍射仪、扫描电镜和圆二色光谱仪等。

物理化学实验教材中的仪器装置主要涉及各种温度计、气压计、阿贝折射仪、旋光仪、比重计、热重分析仪、分光光度计、酸度计、电导率仪、X射线衍射仪、气相色谱仪、核磁共振波谱仪、电位差计等^[29-31]。

以上所有实验教材中涉及到仪器装置有27种，其中有少量仪器严格来说并不属于分析仪器，这部分仪器及其严格归属并不是本文讨论的重点。综合化学实验教材中一般不包括单独的仪器介绍。其他如化工原理实验、高分子化学与物理实验、化学生物学实验和能源化学实验等此处不做讨论。

3.2 存在的问题

国内某综合性大学化学系目前所用实验教材中所涉及到的部分分析仪器见表1，其中重复率最高的仪器是酸度计及电极，4/5的教材都有提及，而且均是从方法原理、仪器结构和仪器使用方法等方面进行全面介绍。3/5的教材涉及到的仪器有气相色谱仪、核磁共振波谱仪、分光光度计，其中分光光度计在普通化学实验教材中只提及仪器结构和仪器操作步骤，并未介绍方法原理。2/5的教材涉及到的仪器有电导率仪和红外光谱仪。剩余其他21种仪器装置中，还有6种(天平、气压计、阿贝折射仪、高效液相色谱、热重分析仪和X射线衍射仪)也是在2本教材中均有涉及的。同时，很多实验教材关于分析仪器部分的更新不及时，例如部分实验教材还停留在指针式pHS-2型酸度计和721型分光光度计这两款经典仪器上。另外，各类教材中均缺乏关于分析仪器的深度教学内容，比如仪器的附件功能开发、仪器的维护和维修、仪器的组装和研发等。

按照目前综合性院校的化学学科培养方案，普通化学实验、无机化学实验、分析化学实验、有机化学实验、仪器分析实验和物理化学实验都是化学系学生的必修(必选修)课程。这就导致本科生会在不同阶段的实验教材中反复学习到同一种仪器，而且很多时候内容严重重复，成为学生培养环节中的不利因素。

表1 某综合性大学所采用实验教材中的部分分析仪器统计

分析仪器	方法原理	仪器结构	仪器操作步骤
酸度计及电极	A、B、D、E	A、B、D、E	A、B、D、E
气相色谱仪	C、D、E	C、D、E	C、D、E
核磁共振波谱仪	C、D、E	C、D、E	C、D、E
分光光度计	B、D	A、B、D	A、B、D
电导率仪	A、D	A、D	A、D
红外光谱仪	C、D	C、D	C、D

A、《普通化学实验》；B、《无机化学与化学分析实验》；

C、《有机化学实验》；D、《仪器分析实验》；E、《物理化学实验》

4 建议

4.1 通过统编教材的模式分层次介绍分析仪器

建议本科化学类专业的实验教材采用统编教材的模式，由总主编协调各类分析仪器在各层次教材中的分布。考虑教材内容的完整性，同一种仪器需要在不同教材中多次出现时，建议根据使用教材学生的学情，循序渐进分层次介绍。比如关于酸度计，低年级学生使用的普通化学实验教材中，

可以重点介绍仪器和电极的使用方法及注意事项等,由于仪器型号繁多且更新换代较快,很多时候教材再版的速度与仪器更新的速度并不匹配,因此该部分建议以新形态的形式介绍,比如二维码的形式,这样便于在网络后台随时进行更新。高年级学生使用的仪器分析实验等教材中则重点介绍仪器原理和结构等,限于篇幅等因素,方法原理建议放在对应理论课中介绍。之后的物理化学实验中,只需要有针对性地介绍具体实验中涉及到的知识,比如某种电极的制作等。再比如红外和核磁等传统有机四大谱方面,有机化学实验中可重点介绍谱图解析方面的知识;仪器分析实验中可以着重介绍方法原理、仪器设计思想、仪器结构和仪器使用等方面内容;物理化学实验中同样可以结合具体实验介绍仪器的一些拓展应用,比如原位红外技术、二维核磁共振等。对于由于各种原因,暂时无法做到统编教材的,也可以据此模式在不同教材中分层次介绍分析仪器。

4.2 按照不同分析任务统筹安排分析仪器

传统二级学科分类中,有机化学以及无机化学中会介绍各种类型化合物谱学的基本特征和规律,物理化学中则讲授各种分析方法的理论基础,仪器分析中重点讲授常用的各种分析仪器的基本构造和原理。为了解决上述传统二级学科分类中知识分散讲授的问题,很多高校设有谱学导论课程^[39],但该理论课程没有直接对应的实验课程,在各化学实验教材中分层次介绍分析仪器可以解决上述问题。可以依据不同分析任务在不同教材中分别介绍分析仪器,分析仪器是仪器分析实验的主体,分析化学实验(含仪器分析实验)的主要任务包括定性分析、定量分析和结构分析,但是现行的仪器分析实验比较侧重定量分析;物理化学实验同样会用到大量分析仪器,现行的物理化学实验侧重于物理量、物理化学参数的测量。分层次介绍分析仪器时,结构解析方面的实验及仪器使用方法可以穿插在有机化学实验教材中,材料结构表征方面的实验及仪器则可以安排在物理化学实验教材中,仪器分析实验教材仍将侧重点放在定量实验方面,并适当扩充定性方面的分析仪器。

4.3 仪器分析实验教材中的分析仪器

分析仪器均是由不同部分的部件组成,对每种部件的制造都是一项考验。分析仪器的质量好坏,涉及方方面面,从设计思想、元器件、制造工艺,到装配调试等,每一个环节最终都会影响到仪器的质量及其可靠性。关于电子技术和机械制造等方面的内容,复旦大学版的仪器分析实验教材中曾单独设立章节进行介绍^[8],但是由于化学类专业的学生缺乏相关基础知识,因此该内容最终成为“无源之水”,在最新版的教材中我们删去了该章节^[28]。术业有专攻,关于制造工艺和元器件等方面,国内有对应的仪器科学与技术学科(含精密仪器及机械、测试计量技术及仪器两个二级学科),可以引导感兴趣的同学去修读该类专业的课程;同时,目前很多元器件都可以购买和代加工,因此对化学类专业的学生来说更重要的是能从化学的角度提出需求。在今后的仪器分析实验教材中需要加强仪器历史和设计思想方面的知识,加强仪器的维护和维修、仪器附件功能的开发等方面的知识,还需要兼顾分析仪器在不同领域的应用及分析仪器的最新进展等。

5 结语

本文比较了国内部分综合性院校的实验课程设置及各类化学实验教材,重点归纳整理了各类教材中的分析仪器。针对各教材中分析仪器更新不够及时的问题,可以将更新速度较快的内容,比如仪器使用方法等,采用二维码等新形态呈现,实现纸质教材和电子教材的结合。针对各类教材中分析仪器内容重复、深度不够的问题,对于同一类仪器,建议结合学情,精心设计,统筹分工,在不同教材中分层次展开介绍。在低年级教材中侧重仪器的应用,高年级教材中侧重仪器原理、仪器组成、仪器拓展功能的开发及仪器设计思想。同时还可以依据不同分析任务在不同教材中分别介绍分析仪器。希望以上总结及解决方案能对今后化学实验教材的编写提供不同的视角和有益的借鉴。另外,还可以从其他视角来对各种实验教材进行总结、比较,比如实验室用水、化学试剂、玻璃器皿和气体钢瓶等关于实验的一般知识,各种实验教材之间也需要统筹安排、避免重复。通过这类“纵向”的比较、总结,有利于构建“由基础实验-综合实验-研究性实验构成的多层次实验教学体系”^[40]。

参 考 文 献

- [1] 陆靖, 吴性良, 姚子鹏, 范康年. 高等理科教育, **2000**, *34* (6), 55.
- [2] 徐息良, 吴性良, 姚子鹏, 陆靖. 大学化学, **2001**, *16* (6), 21.
- [3] 徐家宁, 瑞芝, 张寒琦. 基础化学实验(上册). 无机化学和化学分析实验. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] 徐家宁, 张锁秦, 张寒琦. 基础化学实验(中册). 有机化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 徐家宁, 朱万春, 张忆华, 张寒琦. 基础化学实验(下册). 物理化学和仪器分析实验. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [6] 赵滨, 马林, 沈建中, 卫景德. 无机化学与化学分析实验. 上海: 复旦大学出版社, 2008.
- [7] 复旦大学等编. 庄继华等修订. 物理化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [8] 吴性良, 朱万森. 仪器分析实验. 第2版. 上海: 复旦大学出版社, 2008.
- [9] 朱万春, 张国艳, 李克昌, 徐家宁. 基础化学实验. 第2版. 物理化学实验分册. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [10] 马强. 基础化学实验. 第3版. 化学分析实验分册. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [11] 姚开安, 方惠群, 孙尔康, 张剑荣. 大学化学, **2020**, *35* (10), 141.
- [12] 张树永, 张剑荣, 陈六平. 大学化学, **2016**, *31* (9), 1.
- [13] 沈建中, 马林, 赵滨, 卫景德. 普通化学实验. 上海: 复旦大学出版社, 2006.
- [14] 北京大学化学与分子工程学院普通化学实验教学组. 普通化学实验. 第3版. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- [15] 武汉大学化学与分子科学学院实验中心. 无机化学实验. 第2版. 武汉: 武汉大学出版社, 2012.
- [16] 天津大学无机化学教研室编, 杨秋华主编. 无机化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [17] 大连理工大学无机化学教研室编, 牟文生主编. 无机化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [18] 北京师范大学, 东北师范大学, 华中师范大学, 南京师范大学编, 赵新华主编. 无机化学实验. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [19] 郎建平, 卞国庆, 贾定先. 无机化学实验. 第3版. 南京: 南京大学出版社, 2018.
- [20] 北京大学化学与分子工程学院分析化学教学组. 基础分析化学实验. 第3版. 北京: 北京大学出版社, 2010.
- [21] 武汉大学. 分析化学实验(上册). 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2021.
- [22] 李妙葵, 贾瑜, 高翔, 李志铭. 大学有机化学实验. 上海: 复旦大学出版社, 2006.
- [23] 北京大学化学与分子工程学院有机化学研究所编. 张奇涵, 关烨第, 关玲修订. 有机化学实验. 第3版. 北京: 北京大学出版社, 2015.
- [24] 兰州大学编. 王清廉, 李赢, 高坤, 许鹏飞, 曹小平修订. 有机化学实验. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [25] 杨万龙, 李文友. 仪器分析实验. 北京: 科学出版社, 2008.
- [26] 张剑荣, 余晓冬, 屠一锋, 方惠群. 仪器分析实验. 第2版. 北京: 科学出版社, 2009.
- [27] 贾琮, 马玖彤, 宋乃忠. 仪器分析实验. 北京: 科学出版社, 2016.
- [28] 雷杰, 吴性良. 仪器分析实验. 第3版. 上海: 复旦大学出版社, 2023.
- [29] 北京大学化学学院物理化学实验教学组. 物理化学实验. 第3版. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [30] 东北师范大学等校编, 孙文东, 陆嘉星主编. 物理化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [31] 孙尔康, 高卫, 徐维清, 易敏. 物理化学实验. 第3版. 南京: 南京大学出版社, 2022.
- [32] 孟长功, 田福平, 宿艳, 徐铁齐, 王春燕, 姜文凤. 基础化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [33] 郑春生, 杨南, 李梅, 崔春仙. 基础化学实验(无机及化学分析部分实验). 天津: 南开大学出版社, 2001.
- [34] 李巧云, 张钱丽. 无机及分析化学实验. 第2版. 南京: 南京大学出版社, 2016.
- [35] 刘磊, 陈鹏, 李宜明. 化学生物学实验. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2015.
- [36] 浙江大学化学系编, 曾秀琼, 吴起主编. 化学生物学实验. 北京: 科学出版社, 2014.
- [37] 庞欢, 陈铭, 鞠剑峰, 何平, 薛怀国. 能源化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2023.
- [38] 中国分析测试协会. 分析测试仪器评议——从BCEIA'2017仪器展看分析技术的进展. 北京: 中国质检出版社&中国标准出版社, 2018.
- [39] 金若水, 吴性良, 谢高阳. 大学化学, **1998**, *13* (6), 12.
- [40] 张树永, 朱亚先, 张剑荣. 大学化学, **2018**, *33* (10), 1.