

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202301040

www.dxhx.pku.edu.cn

国内外代表性结构化学教材教学内容的比较

孙宏伟^{1*}, 万坚²¹南开大学化学学院, 天津 300071²华中师范大学化学学院, 武汉 430079

摘要: 选取具有代表性的10本国内外结构化学教材进行了教学内容对比研究。介绍了国内结构化学教材的发展历史和特点, 从内容、习题和特色几方面比较了国内外教材的差异, 并为今后结构化学教材的建设提出了相应的建议。

关键词: 结构化学; 教材建设; 教学内容; 对比研究; 建设建议

中图分类号: G64; O64; N43

Comparison of Teaching Contents of Representative Structural Chemistry Textbooks at Home and Abroad

Hongwei Sun^{1,*}, Jian Wan²¹ College of Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, China.² College of Chemistry, Central China Normal University, Wuhan 430079, China.

Abstract: In this paper, 10 representative structural chemistry textbooks at home and abroad are selected for comparative study of teaching contents. The development history and characteristics of domestic structural chemistry textbooks are introduced. The differences between domestic and foreign textbooks are compared in terms of content, exercises and characteristics. The corresponding suggestions for the construction of structural chemistry textbooks in the future are put forward.

Key Words: Structural chemistry; Textbook construction; Teaching content; Comparison study; Construction suggestions

结构化学是现代物理化学学科的重要分支, 是在原子、分子水平上讨论物质的性质与空间结构和电子结构之间关系的科学。结构化学课程是化学专业本科生重要的基础理论课, 在化学及相关专业课程体系中具有重要的地位。在学习结构化学以前, 化学给学生的印象只是实验科学, 所学习的各种知识主要来源于经验总结。作为物理化学的一部分, 结构化学是以量子力学等数理方法为基础, 通过建立简单模型→逻辑推理→实践验证→模型修正完善→指导实践的思路来解决化学中的本质性问题, 对强化学生的理论思维极为重要, 是化学从经验走向理性的重要阶梯。在结构化学的学习中, 不仅让学生掌握结构化学相关的基本知识, 而且要求学生能深刻理解“性质反映结构, 结构决定性质”这一基本原理, 使学生能从更高水平上理解各种化学的现象。

目前国内结构化学课程, 在理科和师范化学类相关专业为必修课, 化工等工科类专业多为选

收稿: 2023-01-31; 录用: 2023-02-13; 网络发表: 2023-03-06

*通讯作者, Email: sunhw@nankai.edu.cn

基金资助: 教育部2022年高等教育中外教材比较研究重点项目(化学类专业核心课程教材国内外对比研究); 教育部高等学校化学类专业教学指导委员会教研项目(H20200506)

修, 课程主要在综合性大学和师范类院校开设。结构化学课程一般包括量子力学基础、原子结构、分子结构(化学键理论、分子对称性)、晶体结构(晶体学基础、结晶化学)和光谱等基本内容。

2018–2022年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会受教育部委托, 对中外化学类核心课程教材进行对比研究, 项目组成立了物理化学教学比较研究组。作为物理化学的一部分, 结构化学课程在国内绝大多数高校中是单独开设的, 且相比于国外物理化学课程, 其讲授内容的广度和深度都有所不同。结构化学教材在国内多为独立出版, 因此在教材比较研究中将单独对结构化学部分进行研究, 以期今后的结构化学教材建设提供有益的借鉴。

1 国内结构化学教材建设的历史

20世纪50年代初, 国内高等教育进行了大规模院系调整, 参照莫斯科大学的教学计划, 国内综合性大学化学系增加了结构化学课程, 这是国内结构化学课程的开端。在欧美等国家的化学教学体系中, 并没有结构化学这门课, 其与结构化学内容相关的课程为物理化学、量子化学、分子光谱和结晶学等。最初结构化学开设两门课程——物质结构和结晶化学。

1956年, 教育部邀请卢嘉锡、唐敖庆、吴征铠和徐光宪四位先生共同编著《物质结构》教材, 1957年完成一半初稿(图1)。由于四位先生抽不出共同的时间来完成另一半, 而国内又急需出版一本《物质结构》教材, 因此请徐光宪先生以北京大学开课6年的物质结构讲义为基础修改整理, 于1959年12月由高等教育出版社出版(图2)^[1], 1961年改为上下两册出版。该书印刷20余万册, 为国内结构化学教材的范本, 不但被综合性大学的化学系选用, 而且师范大学的化学系、工科大学的化工、冶金、染化、材料甚至少量物理和金属物理等系都采用该教材, 影响巨大。该书于1988年获“全国优秀教材特等奖”, 是化学学科唯一获此殊荣的教材^[2]。

在编写《物质结构》教材初稿时, 四位先生就提议将物质结构和结晶化学合并讲授。1965年, 根据教育部1964年修订的《物质结构教学大纲(初稿)》, 徐光宪先生编写了《物质结构简明教程》(图2), 全书分为三大章: 量子力学基础与原子结构、研究分子和晶体的实验方法、化学键理论和分子及晶体的结构。教材内容与现在国内结构化学教材基本一致。1957年和1961年, 唐有祺先生和王文亮先生分别编著出版了《结晶化学》。这些结构化学教材一直使用到20世纪80年代。

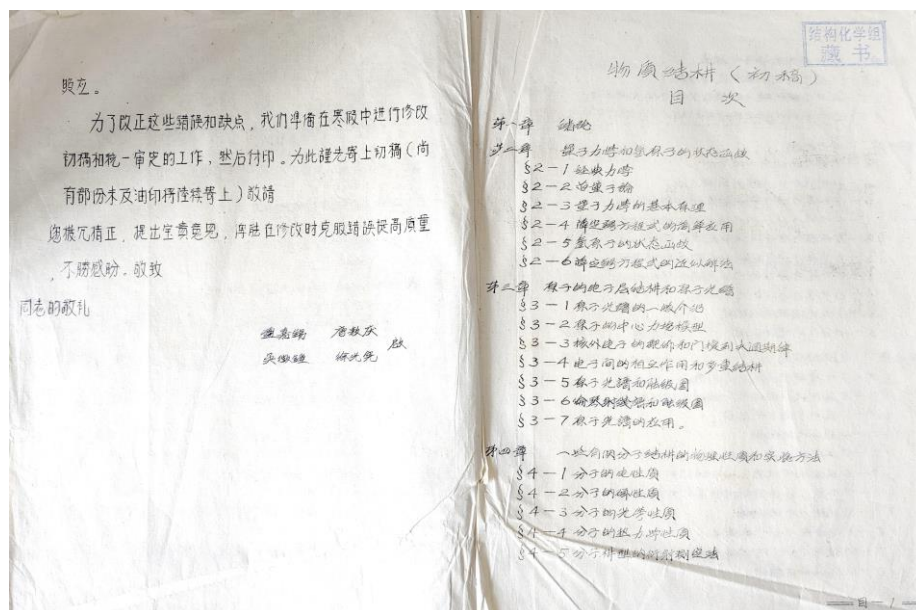


图1 卢嘉锡、唐敖庆、吴征铠和徐光宪四位先生共同编著的《物质结构》初稿

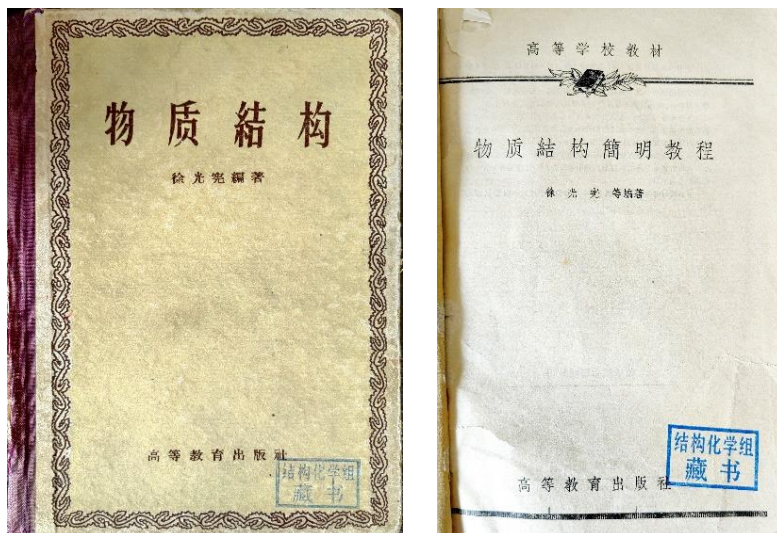


图2 徐光宪先生编著的《物质结构》和《物质结构简明教程》

将物理化学和结构化学合并编写的教材，包括1976年出版的吉林大学等校编写的《物理化学基本原理》，其下册为结构化学内容，共三章：原子结构基础、分子结构与化学键理论、晶体结构基础。1979年胡英等编著的《物理化学》(下册)为结构化学部分，包括晶体、量子力学基础、化学键与分子间力等内容，该教材一直持续更新，2022年出版了第7版。

1979年，北京大学谢有畅、邵美成以六十年代以来在北京大学讲授的结构化学课程为基础，编写了《结构化学》(上下册)，上册四章，以电子结构部分为主，包括量子力学基础和原子结构、共价键与分子结构、配位键与络合物结构、分子的立体构型和分子对称性；下册十章，包括晶体结构四章、谱学等六章。1979年何福成、朱正和编著了针对工科化工、材料类专业的《结构化学》教材，全书共五章：原子结构和量子力学基础、分子结构和共价键理论、晶体结构、分子的电性、磁性和分子间力、分子光谱。

20世纪80年代到90年代，国内代表性的结构化学教材主要有以下几种：北京大学周公度的《结构化学基础》，1989年第1版，2017年第5版；潘道皐等编著的师范类教材《物质结构》，1983年第1版，1989年第2版；郭用猷(吉林大学、山东大学)等编著的《物质结构基本原理》，1983年第1版，2015年第3版；江元生著《结构化学》，1997年出版。范康年等编著的《物理化学》包含结构化学部分，1992年第1版，2021年第3版。

进入21世纪，新编著的结构化学教材更显著地带有各高校的教学特点，代表性的有王荣顺主编(东北师范大学、华东师范大学、西北师范大学)的师范类教材《结构化学》，2003年第1版，2016年第2版；兰州大学李炳瑞编著《结构化学》(多媒体版)，2004年第1版，2020年第4版(彩色版)；厦门大学林梦海等编著《结构化学》，2004年第1版，2019年第4版；以及南开大学孙宏伟编著的《结构化学》，2016年第1版。后三本教材为国家级精品课程的配套教材。

由于结构化学作为必修课主要在综合类大学和师范类大学的化学相关专业开设，因此后面教材的对比总结将重点关注这两类院校的教材。

2 国内结构化学教材的几个特点

20世纪50年代结构化学课程设立之初，结构化学的相关理论基础和实验基础还处于发展阶段，理论知识体系尚未完善，因此国外也没有所谓的经典教材可直接使用或借鉴参考。国内结构化学课程在最初开设时，其讲授内容既参考了国外相关教材、专著和结构化学领域的研究成果，同时也融入了以卢嘉锡、唐敖庆、吴征铠、徐光宪和唐有祺先生等为代表的第一代结构化学开设教师的思想。

20世纪50年代开始,唐敖庆、卢嘉锡、吴征铠和徐光宪先生开办了物质结构讲习班,为全国高校培养了一批理论化学方面的教师,结构化学教学体系也逐步开始建立,这使得我国大学的结构化学本科教学达到了国际先进水平。国内结构化学教材有以下几个特点:

一、国内外结构化学教材及教学内容差异较大。国内结构化学的教学内容没有直接对应的国外教材,与结构化学关系最为密切的是国外的物理化学教材,其量子力学基础、原子结构、分子结构和光谱等部分与国内教材相近,但晶体学、结晶化学等方面的内容,在国外则只能在晶体学、无机化学等教材中找到部分相关内容。

二、国内结构化学教材有明显的学校特性。由于20世纪50年代结构化学设立时各校分别开设,并没有统一可以借鉴的教材,因此各院校的结构化学课程体系有显著的学校特点。如北京大学的课程体系由徐光宪和唐有祺先生创立;厦门大学的物质结构课程由卢嘉锡先生开创,张乾二先生完善建立;吉林大学则由唐敖庆先生创立;南开大学结构化学由朱剑寒先生创立,赖城明先生发展完善等等。各院校对结构化学各部分内容的教授课时不同、知识点讲授思路也有各自的风格,这也同样反映到各院校的教材中。

三、部分内容调整剥离。21世纪初,国内大学专业必修课课时调整普遍压缩了结构化学的课时,为保障核心内容的教学,对结构化学的部分内容进行了调整,如将配合物结构和谱学等部分内容调整到其他课程或新开选修课中,因此21世纪编写的教材,其总篇幅普遍要少一些。

四、结构化学理论和实验方法更新快。国内各教材在新理论和实验方法的选取上侧重不同,增加的非核心内容存在差异。

3 国内外结构化学教材对比

3.1 对比教材的选取

为进行国内外教材的比较,我们选取了国内具有代表性的六本教材的最新版本,其中前两本为20世纪80年代影响最大的代表性教材,虽然现在已不直接作为教材在高校中使用,但仍为结构化学最重要的参考书:徐光宪先生编著的《物质结构》第一版,1988年获全国优秀教材特等奖;潘道皐等编著的《物质结构》第一版,1988年获全国优秀教材二等奖。后四本为现今较为广泛使用的教材,其中周公度、段连运编著的《结构化学》影响最大,其第5版于2021年获全国优秀教材二等奖;其余三本为结构化学国家级精品课程的配套教材。国外教材则选择了四本具有代表性的物理化学教材,用于对比的10本代表性教材见表1。

表1 用于对比研究的国内外结构化学代表性教材

序号	书名	作者	出版社	出版年份/版次
1	《物质结构》	徐光宪, 王祥云	高等教育出版社	1987 (2nd)
2	《物质结构》	潘道皐、赵成大和郑载兴等	高等教育出版社	1989 (2nd)
3	《结构化学基础》	周公度, 段连运	北京大学出版社	2017 (5th)
4	《结构化学》	厦门大学化学系物构组	科学出版社	2019 (4th)
5	《结构化学》	李炳瑞	高等教育出版社	2020 (4th)
6	《结构化学》	孙宏伟	高等教育出版社	2016 (1st)
7	<i>Atkins' Physical Chemistry</i>	P. Atkins; J. de Paula; J. Keeler	Oxford University Press	2018 (11th)
8	<i>Physical Chemistry</i>	Ira N. Levine	McGraw-Hill	2008 (6th)
9	<i>Physical Chemistry</i>	Robert G. Mortimer	Academic Press	2008 (3rd)
10	<i>Physical Chemistry</i>	Robert J. Silbey; Robert A. Alberty; Mounqi G. Bawendi	John Wiley & Sons, Inc.	2005 (4th)

3.2 教学内容比较

国内结构化学教材编写的历史沿革决定了国内教材大多数是独立成册编撰的,而国外相关教材内容大多统编于物理化学(大物化)教材之中。国内外教材所涉及结构化学部分的内容见补充材料表S1,按国内结构化学的教学习惯,将教材内容划分为量子力学基础、原子结构、分子结构(包含分子对称性)、谱学和晶体结构五大部分,其中的知识点参考了2013–2017年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会编写的“化学类专业化学理论教学建议内容”^[3]。为比较国内外教材在相关内容上的篇幅大小,按页数计算了各部分所占比例(国外物化教材比例的分母为结构化学部分的总页数)。

从教材内容看,国内外教材存在显著差异。

1) 量子力学基础部分。国内外教材均包含了微观粒子的波粒二象性、不确定性关系、量子力学基本假设和箱中粒子(平动)等重要部分;相比而言,国外物理化学教材中,这部分知识点涉及范围更广,内容讲授更深,如涉及厄米算符性质、正交归一性、不确定关系的推导等内容,另外为与振转光谱内容匹配,同时便于学生分步理解类氢原子体系的薛定谔方程的求解过程及其物理含义,国外教材在量子力学章节中多包含了转动(刚性转子)和振动(谐振子)的量子力学处理部分。在篇幅上,国内教材量子力学基础部分(4.5%–11.7%)普遍低于国外教材(17%–22.3%)。

2) 原子结构部分。国内外教材所包含的知识点和总篇幅均类似,大部分教材比例在10%–16%之间,其差异是各部分知识点讲授的深度有所不同。国内在角动量耦合和原子光谱项的讲授上比较深入,国外教材则在全电子波函数(自旋空间轨道的Slater行列式)、Hartree-Fock方法等处所用的笔墨较多。

3) 分子结构部分。国内教材的总篇幅和涉及的知识点明显多于国外教材,其中最大的差别是离域 π 键和共轭分子结构(HMO)以及配位场理论方法两部分。国内结构化学重点章节——Hückel分子轨道理论部分,在国外的四本教材中,Atkins和Silbey仅介绍了波函数和能级的求解方法,未涉及许多重要的内容(如布居分析等);Mortimer则将这部分内容作为附录,Levine将HMO纳入计算化学部分只作了概述。配位场部分是国内教材的特色,国外教材均不包括该部分内容。分子结构部分总篇幅比例国内外相差较大,国内多超过40%,国外则在25%左右。

4) 谱学部分。国内外教材均包括了分子振转光谱、电子光谱和核磁等内容,但在篇幅上相差较大(厦门大学因谱学单独授课未包含在教材中)。21世纪初,国内高校在压缩专业必修课课时时,谱学内容在结构化学课程中的讲授课时显著压缩(或单独开课),因此与20世纪80年代教材比较,谱学部分所占比例大幅缩减(从约20%减少到5%左右),与国外教材的25%–37%相差较大。

5) 晶体结构部分。国内外教材无论篇幅和知识点均差异较大。国内教材包括晶体学基础(点阵、晶体对称性)、结晶化学(金属和离子晶体)以及X射线衍射部分,为结构化学课程中空间结构的重要部分(国内高校现在使用的后4本教材占比23.2%–33.5%);国外教材中,Atkins的晶体内容占“结构部分”的15.5%,涵盖上述基本内容以及晶体材料的光电磁性质的简介,其他3本教材仅为简要介绍(占比5.6%–8.6%)。

总的来说,国外教材主要讲授电子结构部分,与国内50年代开设的“物质结构”课程类似,而空间结构部分(尤其是晶体结构部分,其对应于50年代的“结晶化学”课程)篇幅较少,这是国内外教材差别最大的地方。此外,国外教材谱学部分内容显著多于国内教材。国外统计热力学相关章节也大多安排在“结构”部分,而国内则是安排在“物理化学”教材中。

3.3 例题与习题的比较

在增强学生自主学习方面,例题与习题发挥着非常重要的作用。由于国内外课堂教学方式的差异,国内教材更偏向于知识讲解,多数教材并没有明确的例题,习题也相对较少,而国外教材则配套有大量的多种类型的例题与习题。

以量子力学基础部分为例,各教材例题和习题类型、题数见表2。显然,国外教材编写了形式多样,可以多方面引导学生学习、考核学生知识理解和知识运用能力的例题和习题。Atkins在例题中有

Brief illustration (12)和Example (16), 总数为28题; 例题Example配套Self-text (16), 习题有Discussion questions (19), Exercises (69), Problems (81), Integrated activities (6), 共181题。

表2 国内外重要结构化学教材量子力学基础部分例题与习题数目对比

教材	徐光宪	潘道皐	周公度	厦门大学	李炳瑞	孙宏伟	Atkins	Levine	Mortimer	Silbey
例题	0	0	2	0	0	5	Brief illustration 12	10	39	21
数目							Example 16			
习题	23	思考题7	22	32	20	38	Self-text 16	Exercises 10	Exercise 42	Problems 61
数目		习题15					Discussion questions 19	Problems 73	Problems 116	Computer Problems 11
							Exercises 69			
							Problems 81			
							Integrated activities 6			

3.4 教材特色

国外教材: Atkins在教材编排上进行了大量创新, 包括: 1) 采用新的模块化编排方式, 将章节变更为“焦点”(FOCUS), 每个焦点编排了不同的“主题”(TOPIC); 2) 在公式推导中增加注释形式; 增加“The chemist’s toolkits”提供数学背景知识; 3) 网站提供“deeper look”便于师生扩展知识并了解更高级计算细节; 4) “How is that done”提升对公式推导的理解; 5) 在例题中增加“Collect your thoughts”等内容等。Silbey在习题中设计了Computer Problems, 鼓励学生用计算机计算或绘图来深入理解知识内容。

国内教材在新媒体技术应用上有所创新。如李炳瑞的教材中用二维码提供了大量分子和晶体结构的3D动画、拓展知识、网络文献等媒体文件; 孙宏伟的教材为MOOC配套的“iCourse教材”, 可以通过扫描二维码观看课程的全部MOOC视频, 方便读者直接学习。

4 结构化学教材未来建设的思考

通过对比研究, 明确了国内教材的优势和不足, 在今后的结构化学教材建设中应注意以下几点。

(1) 坚持自己的空间结构优势。国内教材电子结构和空间结构并重, 相较于国外教材, 其空间结构部分优势明显: 晶体结构部分包含了晶体学基础(点阵、点阵面指标和分数坐标等)、晶体对称性(宏观点群和微观空间群)、结晶化学(金属晶体、离子晶体、共价和分子晶体、结晶化学规律)等内容, 知识体系完整, 方便学生掌握现代晶体结构分析理论基础, 部分国内学校还配套开设了结构化学模型实习部分, 非常有利于学生建立微观结构的概念, 教学效果反映良好, 这是我们在教材建设中需要保持的。

(2) 加强量子力学基础内容, 提升化学专业学生理论基础。相较于国外教材, 国内结构化学教材对作为电子结构的理论基础——量子力学部分讲授较浅, 缺少实例讲解和量子力学理论思想内容。考虑到国内多数高校在化学本科教学中没有开设量子化学相关的必修课程, 为适应当代化学结构理论的发展, 建议在结构化学课程内容中加强量子力学基础部分, 将量子力学概念讲清楚, 使学生建立量子力学思想, 为今后从事研究工作打好基础。

(3) 加强教材中的计算化学部分。计算化学内容可以看作是结构化学中电子结构部分的升级版, 与科研实践密切相关, 相关理论基础是现代化学研究的重要支撑之一, 国外教材普遍增加了这部分的篇幅。建议在开设专门的计算化学实践类课程前, 结构化学课程在讲授电子结构基础上, 拓展介绍计算化学相关内容, 可以起到事半功倍的效果。

(4) 加强谱学部分的深度和广度。作为现代化学研究的另一个重要支撑, 谱学是研究化学微观结构和反应本质的重要基础, 尤其是在目前微观结构观测表征手段不断日新月异的背景下, 增加谱

学基础理论的讲授, 对学生掌握前沿结构分析仪器的应用和先进研究手段意义重大。建议加强谱学原理和最新应用的内容, 为学生掌握现代结构分析方法打下良好基础。

(5) 加强例题、习题的编写。与国外教材相比, 国内教材更重视知识讲授的完整性, 对例题和习题重视不足。建议在今后结构化学教材的编写中, 应增加例题和习题的种类和数量, 方便学生通过练习全面提升学习掌握知识和应用知识的能力。

5 结语

通过对国内外结构化学相关教材的对比, 探讨了国内外教材的特点和优势, 明确不足, 为今后结构化学教材的建设提出一些建议。

补充材料: 可通过链接<http://www.dxxh.pku.edu.cn>免费下载。

参 考 文 献

- [1] 章慧. 大学化学, **2021**, 36 (4), 2102048.
- [2] 徐光宪. 大学化学, **1989**, 4 (6), 15.
- [3] 2013–2017年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会. 大学化学, **2016**, 31 (11), 11.