

回归教育本源、以生发展为本、索行教学之道 ——结构化学课程教学研究与实践

万 坚*

(华中师范大学化学学院, 化学国家级实验教学示范中心(华中师范大学), 武汉 430079)

摘要: 努力将现代教育理念、理论、技术和方法融入到结构化学课程教学中。具体而言, 就是将课程目标层次化、教学内容国际化、教学方法现代化、教学环境信息化、教学评价多元化、研究教学案例化等六“化”固化到结构化学课程教学的全过程中。通过长期的课程教学研究与实践, 逐步构建并实施了一套适合结构化学课程的、以能力培养为导向的SC@O教学设计、过程与方法, 探索践行以知识与技能的深度教学过程为载体, 以培养学生LIC Thinking为核心的综合能力与STE@M素养的教学之道。

关键词: 结构化学; 课程教学

中图分类号: G64; O642

Searching and Practicing the “Dao” of Structural Chemistry Course Teaching and Learning: Returning to the Origin of Education and Orienting to the Development of Students

WAN Jian*

(College of Chemistry, National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, Central China Normal University, Wuhan 430079, P. R. China)

Abstract: It is unquestionable that course teaching and learning is extremely important, however, the process of teaching and learning is complicated. To make it work well, educators should continually research the cognition process and the associated psychological process of human beings, which is a complicated research area. Teaching and learning research is scientific research that can be done well or not so well. The other important reason why the process is complicated is that the teaching and learning process is “chaotic”. There is no “one-way” that people teach or learn science; all educators and learners are different. Therefore, there is no “one right way” to teach and learn science. A brief summary of what I learned, thought, and practiced for the course teaching and learning of “structural chemistry” was illustrated in this paper, especially by introducing a systematic SC@O course teaching and learning method, to address a move from teaching concrete discipline concepts and knowledge toward delivering generic skills, especially the LIC thinking skill, the STE@M skill and the ability in written and oral communication.

Key Words: Structural chemistry; Course teaching and learning

1 引言

一门本科课程的教学, 尤其是一门本科专业主干课程的教学是非常重要的, 它是本科专业人才培养质量的基石。课程教学重要但并不代表其自然就能做好。课程教学是科学研究, 涉及人在学习

*通讯作者, Email: jianwan@mail.ccnu.edu.cn

过程中的方方面面。课程教学既然是科学研究,就会有教师做得好,有教师做得不好。蔡元培先生把教师分为3类:教而不学、学而不教、又教又学,就是这个道理。在现代教育理念、理论、方法与技术日新月异的今天,一个教师如何进行课程教学的确值得反思和研究。

每位教师在从事课程教学之前,都应该认真思考并回答以下3方面的问题:为什么教/学?教/学什么?怎么教/学?即要感悟教学之道。在回答这些问题之前,教师应当首先关注、了解、学习一下现代教育理念、理论、方法与技术的变化趋势。其次要做些学科研究,了解学科前沿和动态,形成自己对学科思维、能力的深度理解^[1]。教师为什么要这样做?因为道之所存师之所存也!

以下就是本人在此感悟基础之上,在长期的结构化学课程教学过程中探索和实践总结的一些经验,供大家批评指正。在课程教学过程中,努力将现代教育理念、理论、技术和方法融入到结构化学课程教学的各个方面。具体而言,将课程目标层次化、教学内容国际化、教学方法现代化、教学环境信息化、教学评价多元化、研究教学案例化等六“化”固化到结构化学课程教学的全过程^[2]。特色在于通过长期的课程教学研究与实践,逐步构建并实施了一套适合结构化学课程的、以能力培养为导向的SC@O教学设计、过程与方法(SC@O:通过口头报告和研讨(Oral presentation and discussion)的方式完成知识框架图(Schema)和挑战性问题(Challenge question)),探索践行以知识与技能的深度学习过程为载体,培养学生LIC Thinking (LIC thinking: 逻辑(Logical)、独立(Independent)与批判性(Critical)思维)为核心的综合能力与STE@M素养(STE@M: 科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和数学(Mathematics)的教育;泛指以数学为基础的科学和技术解决工程领域问题的综合能力与素养)的教学之道,通过“深度教学”过程达到在专业主干课程教学中培养学生的综合素质与能力的教学目标。

2 课程教学设计与实施过程

结构化学课程是化学类专业的主干课程。它是从微观的角度阐明原子、分子和晶体的结构与性质的课程。其知识点可以分为量子力学基本原理及其在原子与分子体系中的应用,原子、分子和晶体结构的实验表征两大部分,后者又可根据被表征物质的形态及理论基础的不同,划分为谱学和结晶学两个不同体系。同时,我们注意到与结构化学课程内容紧密相关的理论与计算化学研究领域的最新发展,如运用第一原理方法(从头算和密度泛函理论)、分子力学和分子动力学方法研究各种分子体系的结构与性质。只有及时地把结构化学相关学科发展的新思想、新概念、新成果充实到课程知识内容体系中去,才能很好地反映结构化学课程知识体系的科学性、完整性和重要性。该门课程的学习对学生学习其他化学课程可以起到理论指导作用,对培养提高学生的逻辑思维与科学素养、拓宽学生认识化学问题的深度等有着重要的影响和帮助。

由于该课程涉及面广,又比较抽象,要求学生具有较多的数理知识和较强的空间想象能力,该课程是大学阶段化学专业课程中最难学的课程之一,且各专业学生学习结构化学的目的和要求也各不相同,给教师授课带来一定的难度。而且,与目前课程内容体系相适应的实践训练还未得到足够的重视,配套的实践环境建设也有待继续加强和完善。为了解决以上问题,在结构化学课程内容体系的组成、教学理念、教学方法、教学过程及评价等方面进行了以下“六化”的教学研究与实践。

2.1 课程目标层次化

根据学生学习的实际需求,我们按照理论化学的知识点逐渐把结构化学课程内容体系模块化、技能化、前沿化。结构化学共由6个模块组成(表1)。将课程内容体系按模块化建设,使得某些模块相对独立,可以按照学生以后的发展需求以及学生的学习层次,将知识模块组成灵活的搭配,构成相应层次需要的必修课或选修课。通过这样的课程内容体系安排,使得学生可以从自身的专业要求或自身的专业发展目标出发选择学习结构化学课程的内容。对于按复合研究性人才目标培养的基地班学生和

表1 结构化学课程涉及的6个模块

模块	模块内容
一	Some Mathematical & Physical Concepts: Recap (所需数学、物理知识点的复习)
二	The Basic Principles of Quantum Mechanics and Its Application (Chs. 7 & 8) (量子力学基本原理及其应用)
三	Atomic Structure and Atomic Spectra (Ch. 9) (原子结构与原子光谱)
四	Molecular Structure and Molecular Spectra (Chs. 10–13) (分子结构与分子光谱)
五	The Solid State (Ch. 19) (晶体结构)
六	Molecular Modeling (selected course, 分子模拟、选修课)

其他有志攻读研究生的学生, 整个模块群可以为他们提供更高的教学要求和教学服务, 使他们不但能够系统地掌握结构化学的基本原理, 而且能使他们获得一定的实际应用能力和理论计算研究能力。

2.2 教学内容国际化

通过多年的教学实践, 我们发现各大高校化学专业使用的结构化学教材的知识体系基本一致。虽然在教学内容上基本做到了重难点突出, 但从教学效果上却不利于学生建构比较清晰的化学理论知识框架体系。在这样的背景下, 我们选用国际上最权威的英文原版教材——牛津大学出版的《Atkins' Physical Chemistry》(9th ed.), 将有关结构化学课程的知识体系进行了针对性的选取并模块化(表1), 进行双语教学。该教材最大的特点是体现了学科知识的系统性与应用性。由于篇幅有限, 仅举一例。该教材第8章“量子力学基本原理的应用”中涉及了粒子的平动、振动与转动。这些知识点不仅为分子振-转光谱(第12章)的解析提供了理论模型, 粒子在平面和球面转动也为理解复杂的原子结构中电子绕核运动(第9章)提供了知识铺垫。此外, 该教材内容难度适中、更新较快, 很好地体现了学科研究的前沿与热点。作者在每章教材内容的基础上为师生构建了一套由 Checklist of key equations、Mathematical background、Further information、Discussion questions、Exercises、Problems 等组成的学习总结、解决问题、研讨拓展的教学实践体系。

2.3 教学方法现代化

在结构化学教学中, 我们综合运用知识框架图(Schema)、挑战性问题(Challenge question, CQ)、口头报告与讨论(Oral presentation and discussion)、课程论文/教案等手段实施系统的 SC@O 教学互动, 探索践行“知识的传授与能力/素养的培养并重”的教学过程, 力图解决结构化学课程教学现状中的若干难题。旨在指导学生建立自己的结构化学乃至整个化学一级学科的知识框架体系, 引导并训练学生的逻辑、独立和批判性思维(LIC Thinking)能力、口头交流与书面表达能力, 逐步培养学生解决问题、自主学习与终身学习的能力。

2.4 教学环境信息化

建成结构化学精品课程网站(<http://202.114.34.167/jghx/>)以及云课堂课程资源, 精品课程网站主要栏目包括: 教学大纲、电子教案、实践学习、在线测试、资源纵览、PBL、学科前沿、在线讨论等栏目。网络服务教学功能强大并在逐步完善过程中, 该课程网站以及华师云课堂的开通为学生在线学习提供更好的学习资源和学习条件。

2.5 教学评价多样化

除了传统的考查形式笔试、实验操作考试之外, 我们还引入了“口头报告”。与此相适应, 分数不再由任课教师一人给出, 而部分是由学生自己给出的(Self-assessment)。成绩的评价主要以每次研讨所做的报告为基础, 通过每次报告的质量来给出成绩。成绩的评价主要考虑以下几个因素: 报告人所学知识的程度, 解决方案的可行性, 问题解决的程度, 表达的流利程度。而且评价必须给出这个成

绩的理由。通过学生之间的互相评价能够让学生看到自己的优点和不足，而不是做报告只是为了让老师满意来获得高分。在这样的过程中学生也学会了如何去评价别人的工作，学习别人的优点和长处，获得更多的知识。

2.6 研究教学系统化

2.6.1 以系统构建“知识框架图/思维导图”为载体，着重训练培养学生的大概念和大格局的学科思维能力

要具备良好的化学学习与研究能力，必须具备系统化的化学理论基础知识和基本技能，从而能在整体上、宏观上驾驭整个学科体系框架。“建构主义”认为学习者将自己在认知活动中所获得的知识与经验加以总结凝练并构建成为自己的知识框架体系是学习的本质。在以教师讲授为主的教学过程中，教师往往将自我头脑中已经构建好的框架体系直接“传递”给学生，供学生直接借鉴吸收，而缺乏引导学生自身进行思维和凝练的过程。

在结构化学的课程教学过程中，我们注重系统性引导学生对知识结构的“思维再造”，注重引导学生自主根据自己的知识理解状况建构知识框架图(Schema)，以核心概念、关键方程、图形等将结构化学知识加以总结凝练。不仅仅要全面涵盖重要的核心知识点，同时要呈现出各知识点之间的逻辑关系，并在口头报告中表达出来，师生进行深度讨论。通过这样的教学互动，引导学生学习学科知识逐渐从“点”向“线、面、体”过渡。

以量子力学基本原理一章为例，学生构建了该章的知识框架图(图1)，展现出量子力学基本原理所包括的几方面内容。这种教学方式不仅有助于帮助学生梳理结构化学知识的来龙去脉，建立科学的结构化学知识体系，形成全面的关于结构化学基本学科逻辑结构和基本学习与研究思路的认识；更有助于学生反思科学研究活动的过程和结果，总结开展科学学习与研究的视角和途径，探索有待进一步学习和研究的盲点和解决策略，最终建立起清晰的化学学科体系框架，并在具体知识基础上形成化学观念。

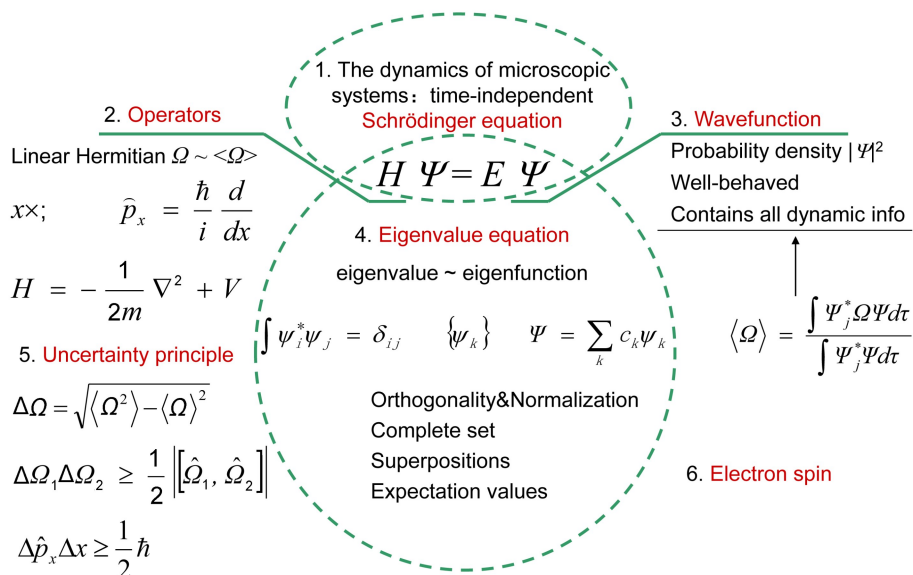


图1 量子力学基本原理知识框架图示意图

2.6.2 以由简到难的系列挑战性问题为驱动，构建结构化学深度学习的活动载体

基于挑战性问题研讨式教学方法是为了设计合理的科学活动、有效实施结构化学教学而设计的。所谓的挑战性问题是指教师提出的一些与教学内容相关的、具有探索意义和探究价值的问题，

供学生根据自己的兴趣和思维特点进行选择，以此作为科学活动的一个驱动性引导。在学习过程中，学生通过查找资料、相互讨论、动手实践等多种形式，采用合理的结构化学研究方法对这个问题进行“动手+动脑”研究，获得开放性(多样性)的结果，最后进行口头报告。

在模块二至四的教学过程中，教师选择了从简单到复杂的系列自主学习内容，组织学生开展了以挑战性问题(CQ)为驱动的自主研究性学习，并辅以口头报告加研讨形式展现深度学习结果。

例如，教师在过去的教学过程中发现，学生对类氢原子结构的球谐波函数和径向波函数的图像理解有难度，不清楚图像的来源和图像节点的性质。为此，教师向学生介绍 Matlab 软件，并提出挑战性问题：如何利用 Matlab 软件编写程序语言作图，帮助理解原子与分子轨道图像。并根据这个问题，分别提出了一套由简入深的系列挑战性问题：(1) 利用 Matlab 软件将谐振子振动波函数数字图形化，并与教材上的图形进行对比分析(图2)，以此为例说明表层理解信息(Naming something)和深层理解信息(Knowing something)的区别，重复细节(数字化)能力更是 LIC Thinking 的基础。(2) 利用 Matlab 软件将粒子围绕球面转动的球谐波函数 Y 及其 $|Y|^2$ 数字图形化。(3) 利用 Matlab 软件将类氢原子的径向函数、径向分布函数、原子轨道(径向函数 R 与球谐函数 Y 之积)数字图形化并讨论其节点问题。(4) 利用 Matlab 软件将氢分子离子的分子轨道(分子轨道理论框架下的单电子波函数近似解)数字图形化并讨论其节点与成键与反键性质。(5) 设计一个程序将矩阵对角化，为共轭体系的休克尔经验分子轨道理论的近似解提供一套矩阵算法($HC = SCE$ 在休克尔近似下变为 $HC = CE$)，并重点理解分子轨道理论的核心在于变分原理——将不可能完成的精确求解多体薛定谔方程的任务转化为近似求解体系能量函数(尝试波函数的线性组合系数为变量)的条件极值问题。

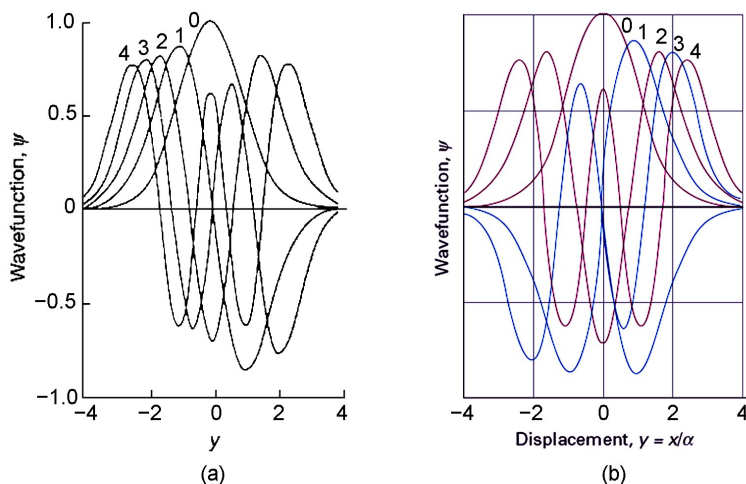


图2 《Atkins' Physical Chemistry》第7版(a)和第9版(b)中的谐振子振动波函数图像

二者不同，后者才是正确的。CQ1 训练就是要让学生知道数-形结合及数字化能力的重要性：

唯有自己有能力将波函数图形正确“表达”出来，才能知道教材图形的正确与否。

该系列挑战性问题由若干不同难度的小问题组成，根据学生的认知特点和水平逐渐提高，既防止问题太宽泛而无从下手，又逐渐向学生发出挑战以激发学生求知欲。另外，该问题的解决方法不固定，解答结果也不是唯一。它允许学生运用不同的方法来解决问题，并且将分子模拟技术融入理论课程之中，通过体验编写程序的过程，获得结构化学研究的思路，深化对理论知识的理解和掌握。在学习过程中，教师作为学生学习的引导者，对学生学习过程进行观察、把握和调配，当学生学习出现困难时，提供必要的指导和点拨。

学生通过分工合作、查找资料、熟悉软件、编写程序、运行程序、优化程序，逐渐解决了每一

个子问题。在这个过程中,学生在原有知识经验基础上主动构建对知识的理解,充分将知识内化为自己的认知。比如对球谐函数图像的认识,不再是机械地“记忆”每一个函数对应的图像,而是充分理解其本质,将原理融入图像的绘制过程,整体把握“数-形”关系,在理解的层面上深刻记忆图像的性质和形状。不仅如此,学生在学习过程中熟悉了结构化学学习与研究的基本方法,充分将结构化学的理论知识与分子模拟实践相结合,体验了以科研的视角去分析问题、解决问题、获得新知的深度学习过程,形成初步的STE@M素养。

2.6.3 以SC@O深度教学过程呈现课程教学效果,旨在提升学生综合能力与素养

所谓“研而不发则囿”,在科学活动中,通过书面报告(论文)和口头汇报(学术报告)等形式,科学生动地、多样化地展示科学活动成果,是科学工作者必须具备的能力和素质。学生在实践中解决了挑战性问题,绘制了知识框架图之后,需要完成关于学习与研究过程与结果的书面报告,同时在课堂中将自己的学习与研究过程与结果通过口头汇报的形式向教师和同学展示。这样能够让教师了解学生的学习研究过程,让同学学习与借鉴研究方法和研究结果,同时也能够接受教师与同学的批评指正,认识到自己研究的不足之处,为今后开展深入的结构化学学习与研究工作启迪思维、创设条件、打好基础。

利用书面报告和口头汇报等形式表达学习和研究过程与结果,在提高学生的基本科学研究素养的同时,也有助于从过程的角度、个性化的角度、个人全面发展的角度来开展并落实过程评价、全员评价,将过程评价与终结性评价相结合。传统的以平时成绩和期末考试成绩为唯一评价指标的评价方式,过多地局限于知识点的记忆,却不能很好地考查学生的个性化学习能力和学习方式,更难以评价学生的科学研究基本素养。利用口头报告则有效地弥补了单一评价方式的不足之处,最终达到以形成性评价促进学生学习认知水平和能力的根本目的。这种以多个角度对学习进行评价的机制,关注学习者学习过程中所表现出来的各方面能力和素质而并非简单的学习考试结果,有效促进了学习者学习的积极性,体现了过程评价与终结性评价相结合的现代教育评价理念。

3 结 语

课程教学是本科专业人才培养质量的基石。每位教师在从事课程教学过程中都在不同程度上思考和回答为什么教/学?教/学什么?怎么教/学?即感悟教学之道。我想用“道法自然·悟·又教又学”这些关键词与各位同事共勉。道是老子的“道”,更是韩愈的“道”;法是朱熹的“法”;自然是事物规律,教学过程自然要遵循教育规律,不忘初心;每个教师探索、感悟和践行教学之道、教育之道、教师之道的必由之路就是又教又学。

参 考 文 献

- [1] Wan, J. What I Observed, Learnt and Thought about Tertiary Education at The University of Sydney: Comparing, Thinking, and Planning in Science Teaching and Learning. In *The China Papers: Tertiary Science and Mathematics Teaching for the 21st Century*; King, M., Peat, M., Placing, K., Eds.; UniServe Science, The University of Sydney: NSW, 2006; pp 27–32.
- [2] 万 坚, 邓 阳, 李永健, 任彦亮. 中国大学教学, **2012**, No. 10, 46.