

## 结构化学混合式教学与小班课教学介绍 ——晶体结构部分

刘岩\*, 朱月香, 来鲁华

北京大学化学与分子工程学院, 北京 100871

**摘要:** 简要介绍了北京大学结构化学的混合式教学以及“晶体的点阵结构和晶体的性质”这部分内容的小班讨论课情况。

**关键词:** 晶体结构; 结构化学; 混合式教学; 小班讨论

**中图分类号:** G64; O6

## Introduction to Blended and Small-Class Teaching in Structural Chemistry: Exploring the Structure and Properties of Crystals

Yan Liu\*, Yuexiang Zhu, Luhua Lai

College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, China.

**Abstract:** This paper provides a brief overview of the blended learning approach in structural chemistry at Peking University, as well as details on the small-group discussion sessions focused on the topic of “lattice structures and properties of crystals”.

**Key Words:** Crystal structure; Structural chemistry; Blended teaching; Small-class teaching

北京大学从2012年起开始实施大班授课和小班研讨相结合的“小班课教学”。北京大学化学与分子工程学院(以下简称北大化学学院)结构化学基础课从2013年在大班授课的基础上,分成小班上讨论课和模型实习课,并于2020年开始引入混合式教学。教学环节包括线上看慕课视频自学,线下大班讲授及小班讨论课和模型课。希望通过多种教学模式调动学生的主动式学习<sup>[1]</sup>,促进学生的主动性、能动性和独立性的培养。前文<sup>[2,3]</sup>简要介绍了结构化学小班课教学的基本情况<sup>[2]</sup>和量子力学部分的一次讨论课—态叠加原理<sup>[3]</sup>,本文以“晶体的点阵结构和晶体的性质”的教学为例介绍我们在结构化学混合式教学与小班教学的情况。

### 1 课程内容和教学方式

晶体结构在科学研究和技术发展中具有重要作用。掌握晶体结构的基础知识,是后续深入了解和探索物质的构造和性质的基础。北京大学化学与分子工程学院结构化学基础课晶体结构部分的主要教学内容包括晶体结构的周期性和点阵、晶体结构的对称性、点阵的标记和点阵平面间距、空间群和晶体结构的表达、晶体的性质、晶体的衍射、固体能带理论、球的密堆积、金属单质的结构、

典型离子晶体的结构、离子半径、离子键和点阵能以及离子晶体的结晶化学规律。

“晶体的点阵结构和晶体的性质”部分的教学内容主要通过如图1所示的2次线上教学，2次大班线下教学，1次小班讨论课和1次小班模型课共6个环节完成。

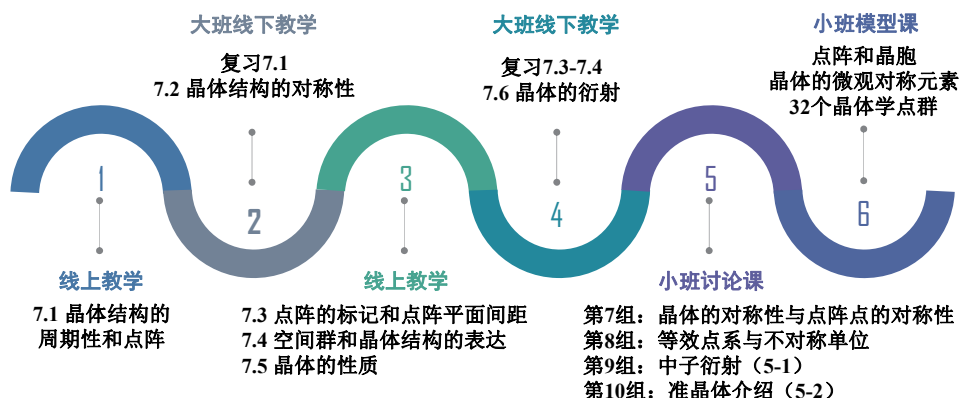


图1 “晶体的点阵结构和晶体的性质”教学内容安排及教学方式

图中小班讨论课分组参见<sup>[2]</sup>

## 2 混合式教学

每年选修结构化学课的学生人数约160–190人，学生的基础不同，需求不同，接受能力有差异。通过线上慕课教学环节<sup>[4,5]</sup>，学生可以按自己的节奏选择反复观看或倍速学习教学视频，并完成自测和线上单元测试。进入线下大班面对面教学环节时，同学可以带着问题听课，教师可以就重点和难点问题有针对性地进行讲授。通过线上和线下混合教学，可以增强学生自主学习能力，提高学习效率，帮助学习有困难的同学达到基本要求，给优秀的同学提供更多的知识和学习空间。

## 3 小班讨论课

小班讨论课内容分为两部分，第一部分由学生总结复习课上内容。第二部分由同学就指定文献和大家讨论与课堂内容相关的主题。

小班讨论课的主要教学流程包括：

- 1) 主讲同学提前3–5天将PPT初稿提交给老师；
- 2) 老师根据每个学生的情况进行个性化指导。对于基础较强的同学，讲述内容广度和深度可以适当扩展；基础稍弱的同学在老师答疑指导下完成全部“规定动作”的归纳和总结；
- 3) 学生根据老师的修改建议完善和修改PPT和讲稿；
- 4) 在正式主讲前，学生可以约老师进行试讲；
- 5) 讨论课上正式主讲并与同学讨论相关问题；
- 6) 主讲同学根据讨论交流情况进一步完善最终版PPT和讲稿，并将以上资料在网盘上共享。

“晶体的点阵结构和晶体的性质”部分选取的课上内容是“晶体的对称性与点阵点的对称性”以及“等效点系与不对称单位”。图2的教学课件是主讲同学在复习讲解《晶体学国际表》<sup>[6]</sup>中“等效点系”的知识点时使用的一页幻灯片。强调了在计算特殊位置的等效点的个数的公式中，对称元素的阶次只考虑独立的对称元素，不是所有对称元素对应阶次的乘积。这是学习“等效点系”知识点时同学们容易出现的错误。

如图3所示，主讲课内容的同学不是简单重复教科书和教师课件的内容，需要围绕重点和难点内容对知识点进行梳理和归纳总结。通过小班讨论课上对课堂内容的复习总结，可以督促学生阶段性地梳理所学内容，帮助同学发现问题，避免问题的累积。同时，可以充分发挥优秀学生的作用，促进同学间学习方法的交流和学习思维的碰撞。

2. 等效点系的举例:

No. 63 *Cmcm*

晶系 正交晶系

空间点阵型式  $C_{2v}$  正交

晶体学点群  $D_{2h}$

阶次 8

注意: 特殊位置的等效点的个数=一般的个数÷对称元素带来的阶次!

上式成立条件是只考虑独立的对称元素!

Positions	Multiplicity	Wyckoff letter	Site symmetry	Coordinates	点阵点的位置
16 h	1			(0, 0, 0)+	( $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$ )+
8 g	8	g	$..m$	$x, y, \frac{1}{2}$	$x, y, \frac{1}{2}$
8 f	8	f	$m..$	$0, y, z$	$0, \bar{y}, z + \frac{1}{2}$
8 e	8	e	$2..$	$x, 0, 0$	$\bar{x}, 0, 0$
8 d	8	d	$\bar{1}$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$
4 c	4	c	$m2m$	$0, y, \frac{1}{2}$	$0, \bar{y}, \frac{1}{2}$
4 b	4	b	$2/m..$	$0, \frac{1}{2}, 0$	$0, \frac{1}{2}, 0$
4 a	4	a	$2/m..$	$0, 0, 0$	$0, 0, 0$

《晶体学国际表》

一般位置的等效点系: (1)  $x, y, z$ ; (2)  $\bar{x}, \bar{y}, z + \frac{1}{2}$ ; (3)  $x, y, \bar{z} + \frac{1}{2}$ ; (4)  $x, \bar{y}, z$ ; (5)  $x, y, \bar{z}$ ; (6)  $x, y, z + \frac{1}{2}$ ; (7)  $x, \bar{y}, z + \frac{1}{2}$ ; (8)  $x, y, z$

特殊位置的等效点系:  $(\frac{1}{2}, y, \frac{1}{2})$ ;  $(\frac{1}{2}, \bar{y}, \frac{1}{2})$ ;  $(\frac{1}{2}, y, \frac{1}{2})$ ;  $(\frac{1}{2}, \bar{y}, \frac{1}{2})$

一般位置的等效点数目=点阵点数目÷阶次

特殊位置的等效点数目=点阵点数目÷阶次

主讲: 张子璇同学

图2 “等效点系与不对称单位”教学课件一

摘自2023年小班讨论课

3. 等效点系、不对称单位与点阵点 (结构基元) 的关系

晶胞内容物=结构基元×点阵点=不对称单位×对称性 (等效点系可反映)

晶胞原子 (或分子) 数=结构基元中原子 (分子) 数×点阵点个数

=不对称单位中原子 (分子) 数×等效点系中等效点个数

区别: 结构基元只能按点阵点的排布平移从而形成晶胞, 但不对称单位可以经过各种微观对称元素进行操作从而形成晶胞

等效点个数=点阵点个数×点群阶数÷所在独立对称元素阶数乘积

因此结构基元一般是不对称单位的整数倍

主讲: 张子璇同学

图3 “等效点系与不对称单位”教学课件二

摘自2023年小班讨论课

第二部分的主题文献选取了与晶体结构相关的中子衍射及准晶介绍两个主题。这里以中子衍射这个主题为教学案例。我们自编了“中子衍射技术”补充材料, 并选取了中文文献“中子散射技术及其应用”<sup>[7]</sup>和英文文献“Neutron Diffraction by Paramagnetic and Antiferromagnetic Substances”<sup>[8]</sup>作为讨论文献在小班课上讨论。

文献内容概要: 中子散射技术是研究物质微观结构和动态的重要手段。“中子衍射技术”补充材料和中文文献介绍了中子散射的基本原理和特点, 列举了中子散射技术在晶体结构(如, 测定氢原子位置、在重元素中分辨轻元素、区分近邻元素等)、晶格动力学、生物分子相关研究领域中的典型应用。英文文献介绍了中子衍射技术在磁结构测定中的应用。

思考题: 1) 为什么慢中子可以用来研究物质的微观结构和微观动力学性质? 2) 为什么导致X射线衍射的主要物质为电子? 3) 中子衍射可应用于物质微观结构的分析, 它与X射线衍射和电子衍射相比, 有哪些优缺点? 4) 举例说明中子衍射技术在MnO磁结构测定中的应用。

通过文献阅读, 加深同学们对衍射两要素(衍射方向和衍射强度)的理解, 了解X射线、中子分别与物质相互作用的共性和区别(图4), 以及中子衍射技术在化学前沿研究中的应用<sup>[9]</sup>。

#### 4 小班模型实习课

“晶体结构”部分安排了三次模型实习课, 主要内容参见《结构化学基础(第5版)习题解析》<sup>[10]</sup>。

1) 根据有关晶体结构模型讨论“点阵和晶胞”“晶体的微观对称元素”以及“32个晶体学点群”。学生通过观察晶体的结构模型, 重点理解和掌握结构基元、点阵点、晶胞和点阵型式等概念的正确含义和相互关系。练习“如何从一个模型或图像抽象出点阵?”“如何判断一组点阵是否正确?”。通过画晶胞结构投影图, 掌握典型晶体中的“微观对称元素”。通过观察模型, 结合动图软件, 熟练掌握32个晶体学点群的对称元素, 并能通过特征对称元素判断所属晶系。

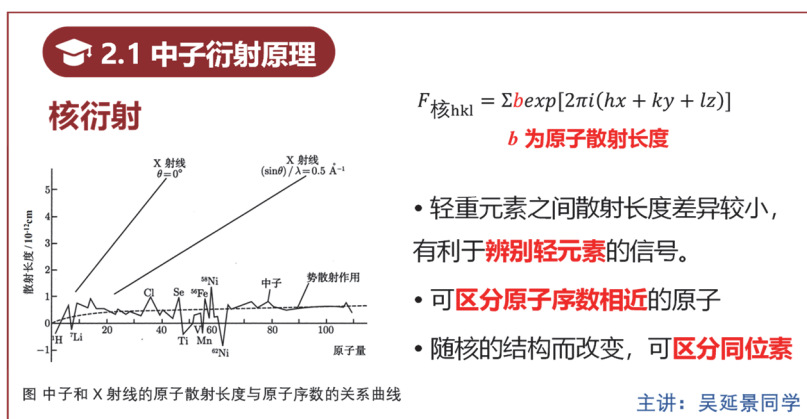


图4 “中子衍射技术”教学课件三

摘自2023年小班讨论课；图中关系曲线来源<sup>[9]</sup>

- 2) 搭建等径圆球的密堆积模型，讨论金属单质的结构。
- 3) 根据典型晶体结构模型，讨论离子晶体的结晶化学规律。

模型实习课每班人数控制在20人以下，学生先观察晶体结构模型，完成模型实习报告，然后由学生轮流主讲，共同讨论，最后由教师总结。

## 5 结语

小班讨论课需要注意的一个主要问题是如何保证以同学为主讲人的教学环节的教学效果。这里需要教师投入较多的时间和精力。通过个性化指导，帮助具有不同学习能力和表达能力的学生顺利地站上讲台，完成“教学任务”。学生完成从听懂到能讲清楚的蜕变，也就意味着这部分内容掌握了。

从2013年开展小班讨论课教学(2020年开始混合式教学)，十年的教学实践表明，教学的目的不仅是教会学生知识，更应以学生的发展为中心，通过课程的学习，培养和提高学生的科学素养和多方面的能力。

**致谢：**感谢结构化学教学组全体成员，感谢提供小班讨论课课件的张子璇和吴延景同学，感谢北京大学2013–2023年十年间选修结构化学课程的同学积极参与小班讨论并提出宝贵建议。

## 参 考 文 献

- [1] 余文森, 吴刚平, 刘良华. 解读教与学的意义. 上海: 华中师范大学出版社, 2005.
- [2] 朱月香, 来鲁华. 大学化学, **2017**, 32 (7), 8.
- [3] 朱月香, 厉建龙. 大学化学, **2018**, 33 (2), 40.
- [4] 中国大学慕课网. [2023-02-24]. <https://www.icourse163.org/course/PKU-1205697803>
- [5] 中国大学慕课网. [2023-04-28]. <https://www.icourse163.org/course/PKU-1002521004>
- [6] Space-Group Symmetry. In *International Tables for Crystallography Volume A*, 5th ed.; Hahn, T. Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2005; pp. 111–718.
- [7] 叶春堂, 刘蕴韬. 物理——前沿进展, **2006**, 35 (11), 961.
- [8] Shull, C. G.; Strauber, W. A.; Wollan, E. O. *Phys. Rev.* **1951**, 83 (2), 337.
- [9] 姜传海, 杨传铮. 中子衍射技术及其应用. 北京: 科学出版社, 2012.
- [10] 周公度, 段连运. 结构化学基础习题解析. 第5版. 北京: 北京大学出版社, 2017.