

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202308050

www.dxhx.pku.edu.cn

## 中英高校无机化学课程比较研究

焦扬<sup>1</sup>, 朱亚先<sup>2</sup>, 孟长功<sup>3</sup>, 王颖霞<sup>4</sup>, 韩喜江<sup>5</sup>, 胡涛<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>大连理工大学化学学院, 辽宁 大连 116023<sup>2</sup>厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005<sup>3</sup>大连大学环境与化学工程学院, 辽宁 大连 116622<sup>4</sup>北京大学化学与分子工程学院, 北京 100871<sup>5</sup>哈尔滨工业大学化工与化学学院, 哈尔滨 150001

**摘要:** 对7所英国罗素大学集团高校本科阶段无机课程的课程设置、教学内容、考核方式等进行了调研和分析, 通过比较两国无机化学课程特点和教法的异同, 为我国高校无机化学课程教学改革提供一些参考。

**关键词:** 无机化学; 中英高校比较; 课程内容; 教学改革

**中图分类号:** G64; O6

## A Comparative Study of Inorganic Chemistry Courses between Chinese and UK Universities

Yang Jiao<sup>1</sup>, Yaxian Zhu<sup>2</sup>, Changgong Meng<sup>3</sup>, Yingxia Wang<sup>4</sup>, Xijiang Han<sup>5</sup>, Tao Hu<sup>1,\*</sup><sup>1</sup> School of Chemistry, Dalian University of Technology, Dalian 116023, Liaoning Province, China.<sup>2</sup> School of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China.<sup>3</sup> College of Environment and Chemical Engineering, Dalian University, Dalian 116622, Liaoning Province, China.<sup>4</sup> College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, China.<sup>5</sup> School of Chemistry and Chemical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China.

**Abstract:** This study investigates and analyzes the curriculum design, teaching content, and assessment methods of inorganic chemistry courses in seven Russell Group universities in the UK. By highlighting the similarities and differences in course characteristics and teaching methodologies between the two nations, the findings offer insights to inform potential teaching reforms for inorganic chemistry courses in Chinese universities.

**Key Words:** Inorganic chemistry; Comparison of Chinese and UK universities; Course content; Teaching reform

无机化学作为化学领域的一个重要分支, 是一门历史悠久又充满活力的学科<sup>[1]</sup>, 研究范围非常广泛, 对于每一个化学化工类专业的学生, 无机化学都是其学习其他专业课程的重要基础。无机化学的学习对于综合运用化学原理和方法分析、解决和研究化学专业问题, 培养化学思维起到了不可替代的作用。

为了深化我国高校无机化学教学改革, 创新教学模式, 拓展教学内容, 完善教学质量评估体系,

收稿: 2023-08-10; 录用: 2023-08-28; 网络发表: 2023-09-12

\*通讯作者, Email: inorchem@dlut.edu.cn

基金资助: 教育部化学类专业无机化学类课程调研与教学建议项目; 教育部化学类专业基础理论课程虚拟教研室建设项目; 国家质量工程“无机化学一流课程建设”项目

本文调研了英国部分高校本科无机化学课程的开设情况, 并与我国高校本科生无机化学课程教学现状进行了比较与分析, 相关研究数据及结果如下。

## 1 英国高校开课基本情况

英国高等教育机构共有几百所大学, 获得中国教育部认可的共有150多所, 其中比较有名的是24所英国罗素大学集团院校, 均为一流研究型大学。我们从中选取了7所院校, 对其本科阶段无机化学课程情况进行了调研。表1的数据均来源于各高校化学系或化学学院相关网站信息, 也有一些数据由英国高校在职教授、赴英国高校深造的学生提供。

表1 英国部分高校无机化学课程设置情况

| 序号 | 学校                      | 开课学年    | 开课门数(课程性质)   |
|----|-------------------------|---------|--------------|
| 1  | 剑桥大学 <sup>[2]</sup>     | 1-4年均开设 | 4 (必修, 模块选修) |
| 2  | 伦敦大学学院 <sup>[3]</sup>   | 1-3年均开设 | 5 (必修)       |
| 3  | 伦敦帝国理工学院 <sup>[4]</sup> | 1-3年均开设 | 7个模块(必修)     |
| 4  | 爱丁堡大学 <sup>[5]</sup>    | 1-4年均开设 | 6 (必修)       |
| 5  | 曼彻斯特大学 <sup>[6]</sup>   | 1-3年均开设 | 6 (必修)       |
| 6  | 布里斯托大学 <sup>[7]</sup>   | 1-3年均开设 | 3 (必修)       |
| 7  | 诺丁汉大学 <sup>[8]</sup>    | 1-3年均开设 | 4 (必修3+选修1)  |

从表1中数据我们可以看出, 英国各高校开设的无机化学课程的共同点是开课学年比较长, 7所高校在本科阶段均开设无机化学相关课程, 1-2年主要为必修课, 3-4年会根据需求设立选修课。但与国内高校化学课程教学二级学科分类清晰不同, 大部分学校的课程都是无机有机、无机物化、无机分析并行。例如剑桥大学在大一学年开设的化学IA课程, 秋季学期共有两个模块, 一个模块是分子的形状和结构, 属于无机化学知识, 另一个模块则是有机化学反应和机理, 属于有机化学内容。在布里斯托大学大一开设的科学的构筑单元课程中, 包括三个主题: 结构, 变化和分析, 在完成结构内容学习之后, 还讲授了如何通过光谱学数据确定结构的方法, 将无机化学、分析化学两个学科内容很好地融合在一起。

此外, 曼彻斯特大学、伦敦帝国理工学院等校的课程设置比较特殊, 本科阶段均采用模块化教学。例如在帝国理工学院化学系大学一年级, 学生共需要完成8个必修模块和3个选修模块, 其中与无机化学相关的必修模块有4个, 有机化学、分析化学模块各一个, 其余2个必修模块为引导模块和实践模块。

## 2 英国高校无机化学课程内容

从英国各高校本科阶段无机化学课程的教学内容来看, 各高校相关课程的名称和教学内容差异非常大, 我们选取了比较有代表性的几所学校进行比较, 如表2。

剑桥大学、伦敦大学学院以及爱丁堡大学的课程设置比较传统, 例如剑桥大学, 开设的课程名称为化学。这门课程分别以罗马字母I-III代表课程层次由低到高, A、B代表课程开设在不同年级, 如化学IA开设在大学一年级; 化学IB则开设在大学二年级。在同一年开设的课程, 不同的学期用学期的首字母代表, 如M表示课程开设在秋季学期(Michaelmas Term), L表示课程开设在春季学期(Lent Term)。

从课程内容上看, 每门课程都包含若干模块, 例如化学IA包含4个无机化学课程模块, 分别为: 分子的形状和结构(18讲)、化学热力学和平衡(9讲)、化学反应动力学(6讲)、无机材料化学(12讲)。其余年级和模块内容如表2所示。

表2 英国部分高校无机化学课程名称及教学内容

| 学校     | 课程名称                                             | 开课年级 | 主要教学内容                                                          |
|--------|--------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------|
| 剑桥大学   | 化学IA                                             | 一年级  | 分子的形状和结构, 热力学和平衡, 化学反应动力学, 无机材料化学                               |
|        | 化学IB                                             | 二年级  | 对称性和成键, 分子能级和热力学, 过渡金属配合物的结构、成键及反应, $p$ 区元素的结构和成键               |
|        | 化学II                                             | 三年级  | A course: A1: 无机化学I—结构和成键<br>B course: B1: 无机化学II—过渡金属反应和有机金属催化 |
|        | 化学III                                            | 四年级  | M1: 无机材料<br>M2: 生物无机化学<br>M8: 主族有机金属<br>L7: 化学动力学               |
| 伦敦大学学院 | 化学基础(Chemical Foundations)                       | 一年级  | 原子结构, 分子结构, 化学反应原理, 酸碱理论                                        |
|        | 基础无机化学( Basic Inorganic Chemistry)               | 一年级  | 金属晶体, 布拉格方程, 配位化合物, 氮族元素单质及磷的化合物                                |
|        | 无机化学(Inorganic Chemistry)                        | 二年级  | 水溶液化学, 分子轨道理论及其应用, 配位场理论, 晶体结构及确定晶体结构的实验方法                      |
|        | 无机化学高级专题(Advanced Topics in Inorganic Chemistry) | 三年级  | 铜系元素和锗系元素, $f$ 区元素和 $d$ 区元素性质比较, 有机金属化合物的合成及其机理, 材料的能带及其应用      |
|        | 无机环、链、簇(Inorganic Rings, Chains and Clusters)    | 三年级  | 环、链和簇的含义, 使用电子计数规则来预测其结构, 描述无机环、聚合物和团簇的合成、结构和键合, 纳米材料           |
| 帝国理工学院 | 核心模块: 化学语言                                       | 一年级  | 探索如何表述化学的结构和概念, 学习如何绘制和命名各种分子                                   |
|        | 核心模块: 结构和键合——原子结构和分子轨道                           | 一年级  | 熟悉用于预测分子结构的简单工具, 并使用理论模型来解释分子和其他化学结构中的成键                        |
|        | 核心模块: 热力学和动力学                                    | 一年级  | 在宏观层面上探索用于解释化学反应和化学平衡的主要理论和研究方法                                 |
|        | 核心模块: 元素化学——从氢到铀                                 | 一年级  | $s$ 区、 $p$ 区、 $d$ 区、 $f$ 区元素及其化合物, 掌握其概念及变化规律                   |
|        | 核心模块: 电子状态和化学键                                   | 二年级  | 根据量子力学模型理解电子状态及化学键的形成                                           |
|        | 核心模块: 固体、液体和界面                                   | 二年级  | 用热力学物理量描述系统状态, 相和界面, 计算在化学反应中热力学物理量的变化                          |
|        | 核心模块: 高等化学专题一                                    | 三年级  | 高级合成技术, 材料化学                                                    |
| 爱丁堡大学  | 化学1A                                             | 一年级  | 原子、分子和元素周期表, 化学键和分子轨道理论, 热化学                                    |
|        | 化学1B                                             | 一年级  | 氢的化合物, 化学平衡和电化学, 物质状态, 过渡金属                                     |
|        | 化学2                                              | 二年级  | 反应动力学, 化学热力学, 主族元素化学, 过渡金属有机化学, 金属有机化合物的合成                      |
|        | 化学3A                                             | 三年级  | 分子对称性与电子结构, 反应动力学, 结构与成键                                        |
|        | 化学3B                                             | 三年级  | 化合物的合成、反应和性质: 主族元素, 过渡金属和有机金属化学, 无机合成                           |
|        | 高等无机化学                                           | 四年级  | 主族化学, 合成无机化学, 高等有机金属化学/催化和无机材料, 重点是无机化合物在催化、先进材料、生物学和医学等各个领域的应用 |

(待续)

(续表2)

| 学校     | 课程名称          | 开课年级 | 主要教学内容                                                                                                                                                        |
|--------|---------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 曼彻斯特大学 | 化学入门          | 一年级  | 原子轨道和波函数简介, 分子轨道简介, 共价键理论, 分子轨道理论和价键理论的应用, 分子形状, 立体异构, 化学反应基础, 原子和分子间力, 气体和液体, 固体                                                                             |
|        | 能量与变化         | 一年级  | 热力学第一定律: 热力学能、热、功、焓和热容, 热力学第二定律: 熵、自发变化和吉布斯能, 化学势, 平衡常数, 热力学第三定律, 反应动力学, 量子力学, 薛定谔方程                                                                          |
|        | 配位化学          | 一年级  | d区过渡金属元素特征, 配位化合物的结构, 配合物晶体场理论, 配合物分子轨道理论, 配合物的液相反应, $d^n$ 离子在八面体和四面体场中的分裂, 配合物的电子光谱                                                                          |
|        | 群论: 基础与应用     | 二年级  | 对称元素, 点群, 特征标表等                                                                                                                                               |
|        | 无机化学          | 二年级  | 了解s区和p区元素规律性变化趋势, 并应用这些规律解决化学问题; 了解并应用与主族化合物相关的各种键合模型和概念, 包括: 硬-软酸碱理论、路易斯酸/碱、溶液中的物种、化合价与氧化态、离域键合、韦德规则、无机芳香性、弱配位阴离子。了解并能够应用于化学问题, d区有机金属化合物有效原子序数规则, 反应类型和键合模型 |
|        | 核心化学4         | 三年级  | 无机晶体的结构和性质: 晶体结构, 成键类型和非成键电子对无机晶体固体结构和性质的影响, 金属键、能带理论和电子传导, 晶体中的缺陷、非化学计量比和离子传导                                                                                |
| 布里斯托大学 | 化学的构筑单元       | 一年级  | 化学热力学, 化学平衡, 原子结构和特性、元素周期表, 预测分子构型, 分子轨道理论                                                                                                                    |
|        | 化学的核心概念       | 二年级  | 元素周期律, 周期性, d区元素, 分子的有序和无序, 分子的形状和轨道, 化学反应热力学和动力学, 固态化学                                                                                                       |
|        | 化学的艺术         | 三年级  | 分子轨道与合成化学, 群论, f区元素                                                                                                                                           |
| 诺丁汉大学  | 结构、周期性和配位化学导论 | 一年级  | 原子和分子结构, 化学键, 路易斯结构式, 分子的形状和对称性, 分子间作用力, s区和p区元素性质及其规律, 过渡金属元素及其配合物化学                                                                                         |
|        | 普通无机化学        | 二年级  | 有机金属化合物的合成、成键及反应, 利用对称性和群论解释红外光谱和核磁共振波谱                                                                                                                       |
|        | 生物无机和金属配位化学   | 三年级  | 大环, 超分子和生物无机化学, 及其在金属提取和合成中的应用, 金属在生物系统中的重要性, 金属蛋白和酶的活性中心结构与其生物学功能之间的关系                                                                                       |
|        | 无机化学专题        | 三年级  | 绿色化学和可持续发展化学中无机化学过程和反应机理                                                                                                                                      |

有些高校课程名称则打破传统, 独具特色。例如布里斯托大学1–3年均开设与无机化学相关的课程, 且均为必修课。第一学年开设的课程名为化学的构筑单元(Building Blocks of Chemistry), 类似于国内高校的化学导论课, 涉及原子结构和特性、周期表, 预测分子构型等; 第二学年的课程名为化学核心概念(Core Concepts in Chemistry), 主要讲授无机化学的核心内容, 包括: 元素周期律、d区元素、分子结构、化学反应热力学和动力学等; 第三学年的课程名为化学的艺术(The Art of Chemistry), 涵盖一部分高年级无机化学教学内容, 如分子轨道与合成化学、群论、f区元素的规律性等。

伦敦大学学院的无机化学课程体系也非常有特色, 他们是将理论课与实验课内容有机结合, 尤

其是在高年级无机化学课程中,把采用实验方法确定晶体结构与课程内容有机结合,打通了从理论到实践的路径。

从课程内容的递进关系看,基本所有的高校大学一年级都需要完成化学基本概念、基本理论的构筑;到了大学二年级和三年级,逐渐开始二级学科相关内容的加深;到了三年级和四年级,会开设更加深入的课程内容,如“高等无机化学”(Advanced Inorganic Chemistry)、无机化学高级专题等,以及对化学学科思考更为深入的课程,如化学的艺术、无机化学专题(绿色和可持续发展化学)等。这能够为更多有志于在化学研究领域深耕的学生提供更为广阔的空间和指引。

从课程内容的完整性来看,纵观整个课程体系,基本所有高校的无机化学类课程都涵盖了化学基础知识、化学热力学、化学动力学、物质结构基础、元素化学、无机合成技术、有机金属化合物、原子簇化合物、生物无机等内容,但究其细节可以发现,在元素部分多数高校强调的是元素的周期性和周期变化规律,没有全部讲授 $s$ 区、 $p$ 区、 $d$ 区、 $f$ 区元素单质和化合物的知识,而是选取其中比较有代表性的部分进行讲解,强调其结构、成键以及性质变化规律特点,这与国内高校的课程教学存在较大差异。

### 3 英国高校无机化学课程考核方式

在不同的英国高校中无机化学课程的考核方式有所不同,大体包括两种方式:终结性考试,以及过程考核与终结性考试相结合。其中过程考核的形式主要包括作业、练习小测、大论文和口头报告。

例如曼彻斯特大学所采用的考核方式比较传统,在6门课程中,除了群论课程考试含有20%的实践成绩以外,其余5门无机化学相关课程均采用终结性考试,最终笔试占比为100%。

其余高校绝大部分课程则采用了过程考核与终结性考试相结合的方式。例如剑桥大学一年级和二年级课程的考核方式均为笔试占比80%,实践占比20%;在三年级课程的考核中,实践占比增至25%;到了四年级,课程考核中的实践占比增至50%;帝国理工学院的考核方式与之类似,如图1。

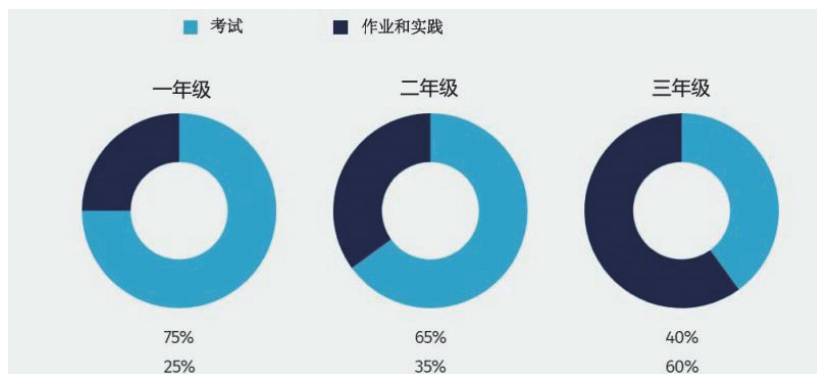


图1 帝国理工学院不同学年课程考核分数占比图

这种根据本科学年制定的考核方式比较符合人才培养客观规律,因为学生在低年级主要以夯实学科基础理论为主,但也要重视能力的培养,因此实践部分占比相对较低。但到了高年级,由于对学生高阶能力提出更高要求,同时学科知识也需要通过实践进行检验,做到理实结合,因此增加实践部分分数占比有利于让学生为将来从事科研和实际工作做好准备。

### 4 英国高校无机化学课程的特点

在几所英国高校中,无机化学课程最大的特点是模块化教学。无论是剑桥、爱丁堡这样的课程设置比较传统的高校,还是帝国理工学院这种按模块设课的高校,都把本科阶段化学课程教学分成了若干模块,这些模块根据知识的难度和循序渐进关系,在二级学科进行组合,分散在1-4年级的课

程教学中。模块设计更注重知识的应用性而不是完整性,物质结构、元素部分知识架构并不完整,但与应用结合得比较紧密。

英国高校无机化学课程授课的第二个突出特点是给学生的学习指引非常细致。大部分高校在给学生的课程指导手册或网站导航中,都明确了每门课程包含的具体模块和学习要求,这为学生进行自主学习提供了明确的指引,也为教师后续工作提供了很好的铺垫。例如剑桥大学每门化学课程都有一份电子版课程导引,里面包含课程基本信息、上课时间地点、课程具体内容安排、考核要求、学习资料等,例如2022–2023学年化学II课程手册内容多达36页。

此外,英国高校的由多个二级学科组成的多模块课程,会由多位教师共同授课。例如曼彻斯特大学的“化学入门”课程,是由Prof. M. Anderson领衔的6位教师组成的教学团队共同授课;剑桥大学大二学年的“化学B”课程,由8位教师共同授课。当然,更多的课程主讲教师只有一位,配备助教,这与国内高校教学情况比较一致。

在英国高校无机化学课程教学还有一个突出特点就是参考书多。大多数课程都会提供一份书单,包括课程所需要的参考书,参考书大多3本以上,有的多达7–8本。例如曼彻斯特大学Alan Brisdon教授主讲的大二学年无机化学课程,书单中共列出7本参考书,包括:Pearson的《无机化学》第三版;Oxford的《无机化学》第五版;Oxford的《化学结构与反应》第二版等。甚至个别多个二级学科组成的多模块课程,每个模块会给出一个书单,这对学生提出了非常高的要求,需要在课外花费大量的时间进行阅读和扩展,这从另一方面也大大提升了学生主动学习的能力,也能够提升学生归纳整理汇总知识的能力。

## 5 我国无机化学课程情况分析

我国高校无机化学教学以紧跟时代发展,适合国情为宗旨,按照教育部高等学校化学类专业教学指导委员会(以下简称化学教指委)制订的《化学类专业教学质量国家标准》<sup>[9]</sup>(以下简称“质量标准”)的规定设计教学基本内容。并在“质量标准”的基础上,制订了《化学类专业化学理论教学建议内容》(以下简称“建议内容”),进一步细化并拓展了无机化学的教学内容,“质量标准”和“建议内容”还鼓励各校根据具体情况增加特色内容。

2022年,化学教指委以问卷形式,对国内135所高校无机化学课程教学进行了调研<sup>[10]</sup>,结果表明:各高校本科一年级无机化学教学主要内容包括:化学热力学初步、化学平衡、化学反应速率、酸碱电离平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原反应、配位化合物、原子结构与元素周期律、化学键与分子构型,以及元素部分。此外在高年级,有45.42%的专业开设了配位化学课程、38.33%的专业开设了中级无机化学课程,还有一些交叉学科课程,如无机材料化学、生物无机化学课程等。

与国外高校不同的是,过去10年,在我国伴随线上课程资源的不断丰富并逐渐普及,已有71.67%的高校采用线上线下混合式教学,且有36.25%的专业实施了翻转课堂教学法,传统的师讲生听的“讲座式”教学占比不断降低。

从考核方式上看,国内高校无机化学课程的考试以多元化考核占主导,有85.41%的专业选择了4种及以上的考核方式,包括期末考试、作业、平时测验、研讨、论文等。其中有接近60%的专业将期末考试在总成绩的比重设为50%–60%,这一数据比英国高校课程有了显著降低,这说明国内高校更注重过程性考核在人才培养过程中的作用和影响。

## 6 结语

中英两国各高校的无机化学课程,都是伴随时代发展,围绕本国学生的知识水平、学习习惯,以及本科阶段专业人才培养目标进行设置的。从教学内容上看,国内课程更注重完整性,国外课程更注重实用性;从教学方法上看,国外比较传统,国内则与时俱进,注重教学创新;从考核方式上看,国内外都比较注重过程考核,方式也都比较丰富和灵活。当然,通过这次比较,我们也能够汲

取一些国外课程教学的优势和特色,如开展模块化教学、为学生提供更明确的课程导引,督促学生广泛阅读、提高学生自主学习能力,增加各类型研讨和报告以提升学生的综合能力等。

**致谢:**感谢伦敦大学化学系Rhianna Betts、帝国理工学院化工系宋启磊教授对我们所需的资料给予的帮助,为我们提供英国高校无机化学课程的详细信息。

### 参 考 文 献

- [1] 朱亚先, 匡勤, 汪骋, 黄荣彬, 杨士桃, 郑兰荪. 大学化学, **2020**, 35 (8), 1.
- [2] [2023-08-09]. <https://www.ch.cam.ac.uk/teaching/course-guides>
- [3] [2023-08-09]. <https://www.ucl.ac.uk/module-catalogue/modules/inorganic-chemistry/CHEM0014>
- [4] [2023-08-09]. <https://www.imperial.ac.uk/study/courses/undergraduate/chemistry-bsc/>
- [5] [2023-08-09]. <http://www.drps.ed.ac.uk/22-23/dpt/utchmtbbsch.htm>
- [6] [2023-08-09]. <https://www.manchester.ac.uk/study/undergraduate/courses/2024/00544/bsc-chemistry/course-details/#course-profile>
- [7] [2023-08-09]. <https://www.bris.ac.uk/unit-programme-catalogue/RouteStructure.jsa?byCohort=N&cohort=Y&routeLevelCode=1&ayrCode=24%2F25&modeOfStudyCode=Full+Time&programmeCode=2CHEM001U>
- [8] [2023-08-09]. <https://www.nottingham.ac.uk/studywithus/ugstudy/courses/UG/2023/Chemistry-BSc-Hons-U6UCMSTY.html>
- [9] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准(上). 北京: 高等教育出版社, 2018: 130-137.
- [10] 朱亚先, 周立亚, 匡勤, 王凡, 王颖霞, 郑兰荪. 大学化学, **2022**, 37 (11), 2205037.