

中美高校化学专业课程设置及教学内容比较(一) ——高等化学教育咨询评议项目系列之三

朱亚先^{1,*} 林新萍¹ 周立亚² 郑兰荪¹

(¹厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005; ²广西大学化学化工学院, 南宁 530004)

摘要: 通过美国高校的官方网站和在美攻读博士学位留学生提供的相关材料, 调研了美国部分高校化学专业课程设置与教学内容, 通过对比分析了解中美高校化学教学的异同, 并在此基础上对我国高校化学教学提出了一些思考和建议。

关键词: 课程设置; 教学内容; 差异分析

中图分类号: O6; G64

Comparison of the Curriculums and Teaching Contents for the Major of Chemistry of Universities between China and USA (Part I)

ZHU Ya-Xian^{1,*} LIN Xin-Ping¹ ZHOU Li-Ya² ZHENG Lan-Sun¹

(¹College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China;

²School of Chemistry & Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, P. R. China)

Abstract: The paper focuses on the research of the chemistry curriculums and teaching contents in the universities at home and USA based on information from the official websites of overseas colleges and doctorate students abroad. On the basis of the comparison and analysis, we can understand the different professional course systems and teaching contents in universities between China and USA. Moreover, some suggestions and thoughts for the major problems in chemistry teaching in China are put forward.

Key Words: Curriculum; Teaching content; Analysis of the differences

1 美国高校化学专业基本情况

全美国共有大约 630 所高校可授化学学士学位, 大多数高校可授两种化学学位: ACS (American Chemical Society) 认证的学士学位、非 ACS 认证的学士学位(要求低于 ACS 学士学位)。

ACS 学位课程设置基本出发点是基本原理(广度)与化学及相关学科(深度)相结合。化学专业的课程主要分为 3 类: 化学入门课、化学基础课、化学专业课, 其中, 实验课程占了重要组成部分。

化学入门课: 化学概论/化学入门课程(Introductory or General Chemistry): 传授基本化学概念/知识, 为后面的基础课程做准备。

化学基础课: 二级学科基础课程至少安排 3 学分课程(每学分相当于 16 学时); 无机化学、分析化学、有机化学、物理化学、生物化学至少学习一学期, 有机化学和物理化学可以要求修一年, 第一学

*通讯作者, Email: yaxian@xmu.edu.cn

基金资助: 中国科学院咨询项目——我国高等化学教育问题及对策; 国家基础科学人才培养基金(J1210014)

期为基础课，第二学期为专业课^[1]。也可以开设跨学科的课程，如高分子化学。

化学专业课：各学校统筹安排，至少需要学习4门课程以加深对各二级学科的理解，获得评判性思维和解决问题的能力，也可用来专修一个学科方向。

实验课程要求：ACS规定^[1]，普通化学实验后，学生应有400学时以上的实验课程，可以是基础课，也可以是专业课；实验教学内容应包含：分子合成、化学现象的观测、化学性质的测量、物质结构的测定、现代分析仪器的使用、数据分析和计算模拟等。学生须动手使用各种现代仪器，如光谱、化学分离和电化学设备等，通过实验理解现代仪器的原理、掌握基本操作、学习如何用这些仪器来解决化学问题。

分类培养：美国很多高校存在差别化教育，化学专业有BA (Bachelor of Arts)学位、BS (Bachelor of Science)学位、ACS学位，不同类别化学课程的要求学分不同。不少学校设立荣誉班(Honor Classes)和普通班，发现具有研究潜质的化学专业“好苗子”，重点加以培养。荣誉班通常选择成绩好的学生(一般前5%)，设立特殊奖学金，专门开设荣誉班课程(约占学生总课程的1/4)，使用专用教材，教学内容更深、教学速度更快，同时要求学生参加一定的科学研究。

本科生科研要求：本科生科研可算4个学分，可相当于400实验学时中的180学时，但是需要学生撰写详细、全面的科研报告。

重视学生能力培养：美国高校注重培养学生各方面的能力，如解决问题的能力、查阅化学文献的能力、实验室安全方面的技能、交流沟通的能力、团队协作的能力等。

2 美国高校化学专业毕业学分要求

由于地域和学校的差异，美国高校的学制不同，所以毕业总学分的要求也会有所不同。常见主要是学期制与学季制。

学期制(Semesters)：一学年一般分为两个16周的学期(8月底到12月中下旬、1月初到5月中下旬)。每学期15周学习，1周考试，正式学期结束后，学生可以自由选修暑期课程。学分与学时对应关系为：每周上课1小时为1学期学分。毕业学分要求一般为120–130学分。

学季制(Quarters)：一年分为春、夏、秋、冬4个阶段，各为10周左右的时间。分别为秋学季9–12月、冬学季1–3月、春学季4–6月以及暑期7–8月。学生每年至少就读三季，夏季班提供正规课程，但为选修性质。实行学季制的学分与学时对应关系为：每周上课1小时为1学季学分，一般需要180–192学季学分才可以毕业。每个quarter学分的学时是semester的2/3左右，学季学分 $\times 0.667 \approx$ 学期学分。

表1列出了美国部分高校对化学专业本科生的毕业学分要求。总学分在120–132学分的学校一般是学期制(Semesters)，总学分在180学分左右的学校一般是学季制(Quarters)。从表1可以看到，专业必修课程占总学分比例不等，但多数在30%左右。

3 美国高校化学主要课程设置情况

根据调研情况，对美国部分高校化学主要课程开设情况进行了统计，见表2。表3列举了美国3所高校较详细的化学课程设置情况。

从表2、表3中看到，美国高校专业必修课一般包括“普通化学”、“无机化学”、“分析化学”、“有机化学”、“物理化学”(含结构化学)、“普通化学实验”、“无机化学实验”、“有机化学实验”、“分析化学实验”、“物理化学实验”等，此类课程学分所占的比重很大，以保证学生能够打下坚实的基础。部分高校将分析化学理论内容放到“普通化学”课程中，不少高校结构化学无单独开课，而是包含在“物理化学”或“化学原理”课程中。有的学校将“高等无机化学”、“生物化学”等也作为基

表1 美国部分高校毕业学分要求

学校	总学分	专业必修课 总学分要求	专业选修课 学分要求	备注
麻省理工学院 ^[2,3]	180 学分 (不含基础要求)	120 学分	24 学分 (限选)	—
加利福尼亚大学 伯克利分校 ^[4,5]	120 学分 (BS) 120 学分 (BA)	33 学分 30 学分	15 学分 + 3–4 学分 (限选)	—
斯坦福大学 ^[6,7]	180 学分 (BS)	50–55 学分	—	50 学分为较快课程 55 学分为传统课程
哈佛大学 ^[8,9]	32 courses (BS) 32 courses (Honor)	9 courses 9 courses	1 course 限选 3 courses 限选	1 course = 4 学分
康奈尔大学 ^[10–13]	120 学分 (BS) 120 学分 (Honor)	32–40 学分 36–44 学分	—	① 选择课程不一样, 学分不同 ② 获荣誉学位要求 GPA3.3 以上 + 研究(化学或相关领域研究, 不少于4学分)
哥伦比亚大学 ^[14]	124 学分 124 学分	37 学分 33.5 学分	4 学分	因入学分级不同, 专业学分要求不同
佐治亚理工学院 ^[15]	122 学分	38 学分	6 学分选修 + 6 学分的限选	—
加利福尼亚大学 圣地亚哥分校 ^[16,17]	180 学分 (BS) 180 学分 (Honor)	68 学分 68 学分	12–16 学分	学分一样、课程不同
加利福尼亚大学 洛杉矶分校 ^[18,19]	180 学分 (BS) 180 学分 (Honor)	72 学分 72 学分	4 学分	学分一样、课程不同
加利福尼亚大学 圣塔芭芭拉分校 ^[20,21]	180 学分 (BS/Honor) 180 学分 (BA)	69 学分 57 学分	12 学分 3 学分	—
华盛顿大学 ^[22–24]	182 学分 (BS)	48–51 学分	11 学分选修 + 5 学分限选	—
	185 学分 (ACS 认证)	65–66 学分	2–3 学分限选 + 5 学分选修	—
田纳西大学 ^[25,26]	126–132 学分	52 学分	3 学分	—
南卡罗来纳大学 ^[27]	120 学分 (BS)	35 学分	3 学分限选	—
	120 学分 (ACS 认证)	42 学分	—	—

基础必修课程。

美国高校对交叉学科很重视, 化学专业普遍设置了生物化学类课程, 融合了化学、生物学、信息科学和物理学等多个相关学科的理论和技术。如, 麻省理工学院和华盛顿大学将“生物化学”作为必修课程, 并开设有生物化学方面的实验课程。加利福尼亚大学伯克利分校为高年级学生开设了“化学生物学”和“生物物理化学”等课程。还有一些学校开设了化学与其他学科的交叉课程, 如法律和毒理学, 香水、气味和葡萄酒化学, 地球行星形成中的化学等方面的课程。

美国高校对实验课程都非常重视, 多数学校分别设置了基础实验和专业实验课程, “普通化学”、“无机化学”、“分析化学”、“有机化学”和“物理化学”课程都设相应的实验课程。美国高校实验课的特点是, 部分理论课与相应的实验课作为一门课程开设。例如: 加利福尼亚大学伯克利分校“普

表2 美国部分高校化学主要必修课程设置情况

学校	普化类 课程	分析类 课程	有机类 课程	无机类 课程	物化 + 结构类 课程	生化类 课程	实验类
麻省理工学院	—	—	24学分	12学分	24学分	12学分	48学分
加利福尼亚大学 伯克利分校(BS)	8学分* 含实验	—	10学分 含实验	6学分	6学分	—	3学分(另有 实验学分含 在理论课中)
斯坦福大学	5-10学分	—	8学分	6学分	9+5学分	—	17学分
哈佛大学	2 courses	—	2 courses	1 course	2 courses	1 course	1 course
康奈尔大学(BS)	2/8学分 含实验	—	8学分	4学分	8学分	—	12学分
哥伦比亚大学	7/3.5/0学分	—	0/7学分	4.5学分	8学分	—	14学分
佐治亚理工学院	8学分 含实验	8学分 含实验	6学分	3学分	6学分	—	7学分(普化 和分析课含 实验)
加利福尼亚大学 圣地亚哥分校	12学分	—	12学分	8学分	12学分	4学分	20学分
加利福尼亚大学 洛杉矶分校	4学分	—	17学分	8学分	12+4学分	8学分	19学分
加利福尼亚大学 圣塔芭芭拉分校(BS)	9学分	3学分	12学分	6学分	12学分	3学分	24学分
华盛顿大学 (ACS认证)	15学分	8学分	11学分	6学分	9学分	3学分	13学分
田纳西大学	8学分	6学分	6学分	6学分	6学分	4学分	10学分
南卡罗来纳大学 (ACS认证)	6学分	6学分	6学分	3学分	6学分	3学分	12学分

*开设的课程为“普通化学与定量分析”

通化学与定量分析”课程,每周有3小时授课、4小时的实验,“有机化学”课程每周有3小时授课、1小时的讨论和5小时的实验,康奈尔大学“普通化学”课程每周有2小时授课、4小时实验。理论课与实验作为1门课开设的优点在于内容可互相衔接,便于学生理论实验相结合,当然也有一些负面的问题,造成实验课依附于理论的局面。

美国高校选修课程分的比较细,不少高校开设一些短、细、深的课程,为将来研究生阶段打下基础。例如,麻省理工学院开设“催化反应中的有机金属化合物”、“杂环化学”、“分子结构和反应性”、“统计热力学在生物系统的应用”等课程。加州大学圣地亚哥分校开设“X射线晶体学介绍”、“生化分子结构和功能”、“酶催化化学”等。

美国多数高校课程设置层次比较明显,包含两类:一是开设多门同类、但学分不同的基础课程,供不同需求的学生选择。如,加利福尼亚大学伯克利分校开设“普通化学”1A 3学分、“普通化学”1B 4学分、“普通化学与定量分析”4+4学分等;二是开设深度递进课程,如,“有机化学”是必修基础课程,“有机化学进展”、“有机合成”、“金属有机化学”、“有机化学反应机理”等则是为学有余力的本科生开设的系列选修课程。

美国部分高校开设了一些与研究前沿、产业以及社会发展热点相关的课程,如,麻省理工学院开设了化学问题、能源、环境和社会等课程,让学生在掌握本专业基础知识的同时,掌握其他学科和工

表3 美国3所高校化学主要课程设置情况

麻省理工学院 (总学分 180 学分)	美国加利福尼亚大学伯克利分校 (总学分 120 学分, BS)	华盛顿大学 (总学分 185 学分, ACS-Certified)
必修理论课程(72 学分) 无机化学原理 I (12 学分) 有机化学 I (12 学分) 有机化学 II (12 学分) 动、热力学(12 学分) 物理化学(I) (12 学分) 生物化学(I) (12 学分) 必修实验课程(48 学分) 化学实验入门 (12 学分) 生物化学与有机化学实验 (12 学分) 有机无机化学实验 (12 学分) 物理化学实验 (12 学分) 限制选修(24 学分)四选二 无机化学原理 II (12 学分) 生物化学 II (12 学分) 高等有机化学 (12 学分) 物理化学 II (12 学分) 其他选修课程 能源技术与政策 (9 学分) 晶体结构精修 (6 学分) 晶体结构分析 (6 学分) 考古科学 (9 学分) 杂环化学 (6 学分) 化学生物前沿 (12 学分) 金属有机化学 晶体结构分析 生物无机化学 化学问题 本科生研究	必修理论课程(30 学分) 普通化学和定量分析(A, B) (8 学分) 有机化学(A, B) (10 学分) 高等无机化学(A, B) (6 学分) 物理化学(A, B) (6 学分) 必修实验课程 普通化学和定量分析实验 (学分包含在“普通化学和定量分析 A, B” 课程中) 有机化学实验 (学分包含在“有机化学 A, B”课程中) 物理化学实验(3 学分) 限制选修(3-4 学分)四选一 分析方法中的仪器方法 (4 学分) 无机合成反应 (4 学分) 有机化学-高等实验方法 (4 学分) 核技术中的放射化学方法 (3 学分) 高年级化学及相关领域的前沿研究(选修) (15 学分) 至少选择一门高年级化学课程 + 相关学科 的课程, 学生可选无机、核化学、有机、 物化等化学专业课程或物理、生物、地质 学、数学、材料科学、核科学等课程。	必修理论课程(52 学分) 普通化学(1, 2, 3) (15 学分) 无机化学(3 学分) 过渡金属(3 学分) 有机化学(1, 2, 3) (11 学分) 物理化学(1, 2, 3) (9 学分) 生物化学(3 学分) 定量分析(5 学分) 仪器分析(3 学分) 必修实验课程(13 学分) 有机化学实验(1, 2) (6 学分) 物理化学实验 (3 学分) 无机化学实验 (4 学分) 化学选修(5 学分) 5 学分的高年级化学课程 或者 400 水平以上的生物课程 一门实验课程(限选)(2-3 学分) 生物仪器分析 (3 学分) 有机化学合成技术 (2-3 学分) 结构表征的光谱学技术 (2 学分) 计算化学 (3 学分) 强烈推荐课程 本科生研究 (最多 12 学分) 本科生研究与报告作品 (最多 12 学分) 其他选修课程 专题 (1-6 学分) 专题与报告 (1-6 学分) 核化学 (3 学分) 放射化学实验 (2 学分) 材料化学 (3 学分)

程所需的知识和技能。

4 美国高校化学教学内容

表4列出加利福尼亚大学伯克利分校网站上公布的化学必修课程教学内容。通过美国高校网站的课程内容介绍, 对美国10余所高校化学课程教学内容进行了调研统计, 归纳如下:

(1) 美国多数高校为化学专业新生开设化学入门类课程, 如, 普通化学、化学原理等。在低年级课程中, 基础理论所占的比重很大, 主要介绍无机和有机化学反应、生物化学、基本化学计算、原子的量子力学的描述、元素和元素周期表(律)、化学键、实际和理想气体、热化学、热力学、酸碱和溶解平衡、氧化还原反应、化学动力学等知识。但麻省理工学院的“无机化学原理”课程, 除了介绍原

表4 加利福尼亚大学伯克利分校化学必修课程内容

课程	学分	内容	备注
普通化学与定量分析	8学分 2学期	化学基本原理。包括理想和真实气体、酸-碱和溶解平衡、氧化还原反应、热化学、熵、化学动力学、核化学和放射性、原子和元素、元素周期表、量子理论、化学键、分子结构等。授课内容结合不同领域例子和应用，如，大气、环境、材料、聚合物和计算化学、生物化学等实验主要为定量分析实验	每周3小时授课和4小时实验，低年级课程
有机化学	10学分 2学期	基础有机化学所有方面。包括命名法、主要有机化合物(包括多环和杂环)的化学和物理性质、合成方法、合成反应，反应机理等	每周3小时授课、1小时讨论、5小时实验，低年级课程
物理化学	6学分 2学期	物质的状态、粒子总能量、化学热力学、统计热力学、化学平衡、化学动力学、分子动力学、量子理论、单电子和多电子原子结构、化学键、分子间相互作用、光谱学等	每周3小时授课，高年级课程
物理化学实验	3学分	热力学、动力学、分子结构和普通物理化学实验	每周1小时授课和5小时实验，高年级课程
高等无机化学	6学分 2学期	金属和非金属化学(含物理化学原理的应用)	每周3小时授课，高年级课程
下列课程任选1门			
仪器分析与实验	4学分	使用现代仪器进行实验工作，如，原子光谱、质谱、分离、电化学和微观表征的原理、仪器和分析应用。内容强调实际样品和自主设计方案，包括实验设计讨论和实际应用，如生物分析、环境和法医等方面	每周2小时授课和8小时实验，高年级课程
无机合成与反应	4学分	无机化合物合成技术与方法：真空、除湿、高压、电化学法等等，无机化合物的动力学和机理研究	每周2小时授课和8小时实验，高年级课程
有机化学-高等实验方法	4学分	高等合成方法、化学与光谱仪器方法，为研究性实验做准备	每周1小时授课和11小时实验
核技术中的化学方法	3学分	与核科学、技术相关的化学实验、裂变过程、裂变化学、裂变反应、放射性问题研究、中子活化分析等	每周1.5小时授课和4.5小时实验

子、分子结构、热力学、酸碱性和氧化还原平衡、化学动力学、催化作用等方面的基本原理与知识外，也涉及到了分子对称性、对称操作、点群等较深内容。

(2) 虽然美国多数高校低年级课程教学内容较浅，但是深度递增较快，高年级专业课内容较深，注重加入前沿知识，增加一些在课本中没有的知识，以拓宽学生的知识面和视野。一些较深的方向性课程，通常与研究生课程相衔接。课程内容包含一些先进的技术，如，二维与三维的核磁共振技术等。加利福尼亚大学伯克利分校为高年级学生开设了“化学生物学”和“生物物理化学”等课程，不仅讲授生物化学的基本知识和原理，也将热力学和动力学原理应用于化学和生物分子结构(蛋白质、DNA和RNA)。并对生物能量学、电化学势、膜和离子通道、分子结构、分子间作用力和相互作用、生物分子光谱、高分辨率结构测定等知识进行了介绍。

(3) 美国多数高校课程内容分阶段教学，循序渐进，例如：麻省理工学院的“无机化学原理课程”就连续开设了无机化学原理I、II、III，从化学键和分子结构的原理、元素周期律、特征元素的应用，逐渐过渡到系统地介绍群论知识及应用，过渡金属配合物的电子结构、磁性质及光谱，最后强调元素与化合物的合成、结构、成键和反应机理。加利福尼亚大学伯克利分校为学生开设“化学结构与反应”课程，介绍有机化学结构、键、化学反应性，涉及有机化学的烷烃、烷基卤化物、醇、烯烃、

炔烃、共轭芳香化学、羰基化合物、碳水化合物、胺、羧酸、蛋白质与核酸化学、紫外光谱和质谱法的介绍等，也开设“有机化学”课程，介绍基础有机化学的所有内容，包括命名法、化学和物理性质，合成反应和主要类别的有机化合物等。“有机化学”课程内容比“化学结构与反应”课程内容更广泛和深入，更着重强调反应机制和多步骤的合成方法。

(4) 在实验教学内容方面，各学校各有偏重，往往根据课程的阶段性进行实验内容调整。实验内容注重设计性和综合性，同时十分重视实验室安全方面的教育。如，麻省理工学院实验教学有许多视频教程，为学生提供安全培训、基础操作和仪器操作的教学，向学生开放报废仪器，介绍仪器的内部构造和维修常识，鼓励学生自行组装成新的仪器。

(5) 美国多数高校选修课程的内容丰富并且差异较大，提倡学生跨专业进行选课。如，麻省理工学院开设了“能源技术与政策”、“晶体结构精修”、“考古科学”、“杂环化学”、“核磁共振光谱和有机结构测定”等选修课程；加利福尼亚大学伯克利分校设置的选修课程更是涉及化学专业或物理、生物、地质学、数学、材料科学、核科学等相关领域的前沿研究。

(6) 美国多数高校的部分课程教学内容来源于实际生活，注重能力培养，没有选定的教材。例如：麻省理工学院开设的“化学生物学前沿”课程，采用课堂讨论和学生报告的形式介绍界面化学、生物学和生物工程当前的研究热点，包括生物过程成像、代谢途径工程、蛋白质工程、DNA损伤的机制等内容。加利福尼亚大学伯克利分校“化学热点”课程就一个或几个社会中与化学有重大影响的相关问题与学生进行探讨交流等。

(未完待续)