

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202003049

www.dxhx.pku.edu.cn

课程专业相映衬 赋予教学生命力 ——当无机化学遇上能源化学工程专业

张欢*, 蒋琪英, 蒲琳钰, 王伟

西南科技大学材料科学与工程学院, 四川 绵阳 621010

摘要: 介绍依托能源化学工程专业进行无机化学课程教学的探索。教学中激发学生的专业使命感, 强化课程学习责任感, 将课程知识与专业内涵融合, 利用师生互问、案例讨论、课外拓展和交流、在线学习的教学方式, 使无机化学课程教学充满活力, 提高能源化学工程专业学生的学习能力和专业素养。

关键词: 能源化学工程专业; 无机化学; 案例教学; 在线学习

中图分类号: G642; O61

Course and Major Set off Each Other to Make Teaching Live: When Inorganic Chemistry Meets Energy Chemical Engineering Major

Huan Zhang*, Qiying Jiang, Linyu Pu, Wei Wang

College of Materials Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, P. R. China.

Abstract: This paper introduces the exploration of inorganic chemistry course teaching based on the energy chemical engineering major. The sense of professional mission of students is inspired, the sense of responsibility for curriculum learning is strengthened, and the curriculum knowledge is integrated into the professional connotation. The teaching of inorganic chemistry course is full of vitality due to some teaching methods including mutual inquiry, case discussion, expanding extracurricular knowledge and communication and online learning. Thus, the learning capability and professionalism of the students are improved.

Key Words: Energy chemical engineering major; Inorganic chemistry; Case teaching; Online learning

制造业是国民经济的主体, 制造业兴则国兴。为了实现制造强国战略目标, 中国政府在 2015 年 3 月提出了第一步战略目标的行动纲领《中国制造 2025》, 即到 2025 年中国迈入制造强国行列, 纲领还提出了第二步目标“到 2035 年中国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平”和第三步目标“到新中国成立一百年时, 综合实力进入世界制造强国前列”^[1]。“中国制造 2025”乃至第二步、第三步的实现, 归根结底依靠的是优秀人才, 因此培养人才是关键。培养什么样的人? 怎样培养人? 2017 年 2 月至 6 月, 教育部先后在高校召开新工科研讨会及工作会, 分别形成了“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”, 标志着高等工程教育改革新阶段的主题是新工科建设, “新工科”被称为我国工程教育的新革命^[2]。

收稿: 2020-03-16; 录用: 2020-04-25; 网络发表: 2020-06-01

*通讯作者, Email: 962003861@qq.com

基金资助: 西南科技大学教育教学研究与改革重点项目(17xzn01); 西南科技大学教育教学研究与改革项目(17xn0006); 四川省教育厅教改项目(19sjjg11); 西南科技大学教学成果培育项目(19cgy13)

节能与新能源汽车是《中国制造 2025》规划重点推动的十大领域之一^[1], 新能源材料与器件专业、新能源科学与工程是 2015 年本科专业备案与审批结果中的新工科专业, 而 2011 年新增的能源化学工程专业与两个新工科专业的发展密切相关。如何更好地让能源化学工程专业跟上新工科建设的步伐, 让培养的学生在“实现制造强国战略目标”中充分发挥作用? 教师在专业人才培养上肩负重要责任, 而专业人才的培养又体现在每一门课程教与学的方方面面。

无机化学作为能源化学工程专业的第一门专业基础课, 其教学过程直接影响学生的专业思想和学习兴趣, 并影响学生学习方法的建立和学习能力的培养。从 2014 级开始, 为了使无机化学课程教学有利于能源化学工程专业学生的发展, 笔者在教学中进行了多方面的探索与尝试。

1 激发专业使命感, 强化学习责任感

学生能否对一个专业产生兴趣, 是否有学好某一门课程的动力, 内因源于学生的社会责任感和使命感, 外因源于行业、国家和社会的需求。学生的责任感、使命感又从何而来? 任课教师的激励是重要途径之一。

如在能源化学工程专业的无机化学绪论课上, 讲到关于化学与能源的开发利用之关系时, 会提及: 化学不仅在传统能源的开发利用中起关键作用, 而且解决能源的污染问题、开发新能源都离不开化学; 新能源面临机遇和挑战: 电动汽车还未普及, 航空的未来可能是电动飞机, 电池会再次改变我们生活的方方面面, 但亟待解决的问题是电池如何能同时拥有功率大、能量高和安全性^[3]等, 使学生对自己所学专业以及今后从事领域的重要性加深认识, 萌生挑战新能源领域难题的使命感。关于为什么能源化学工程专业的学生要学习无机化学, 会谈及: 传统能源的污染与防控、新能源的开发利用等都离不开无机化学中的热化学、氧化还原反应、元素化学等知识, 使学生认识到学好无机化学对自己将来在能源化学工程领域的进一步发展中发挥作用的重要性。同时, 在无机化学的章节教学中, 凡是涉及与能源化学工程有关联的知识, 教师可以见缝插针地简介相关知识的过去、现在和未来。随着课程教学的进行, 学生的专业使命感、课程学习责任感将不断强化。

大学新生的潜力是无限的, 一旦责任感和使命感被激发, 他们将自觉地把社会需求与专业以及将要从事的事业相结合, 对社会或学科领域的关注和观察更加敏锐, 思维更加活跃, 从而促进在专业领域创新能力的形成和提升。

2 发掘教学内容, 丰富专业内涵

只有在专业课程的映衬下, 专业内涵才会逐渐丰满。对于能源化学专业而言, 无机化学知识的许多方面已经渗透到能源化学工程的研究与应用中。

(1) 热化学。化学反应发生时, 热能的释放或吸收是重要能量形式之一, 结合化学反应热效应的计算与测量, 可与世界能源的结构与消耗、能源危机、传统能源、清洁能源与可持续发展、海域可燃冰开采等相联系。

(2) 氧化还原反应。在学习原电池的组成、电极电势的计算和应用的基础上, 可分析各类化学电源的工作原理, 了解化学电源不仅可分类为一次电池、二次电池和连续电池, 也可以分为污染型电池、绿色型电池, 将化学电源和环境污染与防护相联系。

(3) 元素化学。主族元素中的 Li、Na、S、C、Sn、Pb 等元素形成的单质或化合物在电池、超级电容器上有较多应用; 副族元素中与能源化学工程关系密切的元素更多, 除贵金属 Ru、Ir、Ag 外, Ti、V、Mn、Zn、Cd、Hg、Ni 的单质或化合物广泛应用于电池作为电极材料, 如 Mn、Zn、Fe、Co、Ni、稀土元素等的氧化物或氢氧化物或它们的复合物是典型的取代贵金属的超级电容器材料; 合金储氢材料是重要的储氢材料之一, 如 Ti、Zr、Ca、Mg、V、Nb、稀土元素与 Fe、Co、Ni、Cr、Cu、Al 组成储氢合金等。

除此之外, 各种物质在能源化学工程中发挥作用的根源在于其内部结构, 电子转移过程又往往

与反应体系的酸碱性、反应物的溶解性以及配位性相关联,除此之外,所有的转化反应都离不开动力学因素。

总之,无机化学课程的基本原理和元素化学知识直接或间接地丰富了能源化学工程专业的内涵;同时,能源化学工程领域不少问题的解决离不开无机化学的基本知识和实验技术,能源化学工程的发展也将使无机化学知识得以拓展。因此教师在教学时要充分展示课程知识与专业的交融与映衬,激发学生的学习热情。

3 教学形式多样,学生参与全程

课程教学离不开教师的讲,教师口若悬河、滔滔不绝,学生专心致志、凝神静听,看似有效,实则很多学生闻过则忘。有效的教学,既要有教师的精辟讲解和引导,也要有学生的积极参与。因此,采用多种多样的形式让学生成为教学过程的主体就显得非常重要。

3.1 师教于提问间,生学于质疑中

如何让学生参与课堂?我国著名教育家陶行知先生说过:“发明千千万万,起点是一问”,因此老师提问、学生质疑是重要的方式之一。教师设置环环紧扣的问题,将一个接一个的问题抛给学生并不断启发,学生在思考和解答中掌握知识,此为教师循循善诱。

例如,“化学反应热效应”是无机化学课程较靠前的内容,教学中可设计问题:(1)在 298.15 K 时,无烟煤(以石墨计)、汽油(代表性组分为辛烷)、天然气(主要组分是甲烷)完全燃烧的热效应分别为多少?比较三者的热值(单位为 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)及三者作为燃料的优缺点,如何克服缺点?(2) 298.15 K 时,氢气完全燃烧的热效应为多少,氢能利用的优缺点?(3) 太阳能、核能等新能源有哪些特点?

在教师的引导下,学生解答问题(1),由热效应的计算得出:煤的热值 < 汽油的热值 < 天然气的热值,再进一步认识煤化工、石油化工和天然气化工的能源产品,煤作为燃料存在利用效率低、环境污染重等问题,因此有了洁净煤技术(如加工转化成煤的气化燃料、液化燃料和水煤浆燃料等);石油炼制过程中生产的重要燃料有汽油、煤油、柴油,汽油作为汽车、飞机等的燃料的主要缺陷在于防爆剂对大气的污染,因此无铅汽油的开发利用显得很重要;和石油伴生的天然气则属于易于输送、热值高的优质清洁燃料,可作为无污染或低污染动力源。

通过解答问题(2)可知,氢的热值比煤、汽油、天然气都高得多,氢能是一种理想的、有前途的二次能源,但广泛应用还需解决三个热点问题,即简易制氢方法、储运和安全性、利用的有效性。

通过解答问题(3),可认识到太阳能作为清洁能源不仅有取之不尽、用之不竭的优势,且其他新能源如生物质能、风能、海洋能等的能量也源于太阳的辐射能,有效收集和转换太阳能是使太阳能充分利用亟待解决的问题;核燃料具有能量密度高(比化石燃料高几百万倍)、核资源丰富、成本低、污染低的优点,但核废料具有放射性,需谨慎处理,同时核能利用过程中存在核泄露的风险。

通过解答以上问题,学生不仅巩固了计算热效应的方法,并对传统能源的利弊和传统能源化工的技术更新有一定认识,还对新能源的优势以及发展前景有所了解。从反应热的计算扩展到能源的有效与清洁利用以及清洁能源与可持续发展,学生将对能源化学工程有了初步的认识,为后续的无机化学中涉及与专业相关知识的深入学习打下基础。

再如,进行“碱金属和碱土金属”教学时,关于锂的特性及应用可采用提问式教学。

(1) 列出碱金属的电离能及电对 M^+/M 的电极电势:

	Li	Na	K	Rb	Cs
$I_1/(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	526	502	425	409	382
$E^\ominus/\text{V}$	-3.040	-2.714	-2.936	-2.943	-3.027

问:从 I_1 和 $E^\ominus$ 比较碱金属的活泼性是否一致?为什么?

通过解答此问题,学生将从不同角度理解金属的活泼性,得出:比较 I_1 得出 Li 是碱金属中最不活泼的金属,比较 $E^\ominus$ 得出 Li 是碱金属中最活泼的金属,然后分析 I_1 和 $E^\ominus$ 所代表的物质转化过程的

差异,从而得出产生的原因。

(2) 比较金属锂、钠与水反应的活泼性,与(1)的结论是否矛盾?

学生通过实验事实得出:从 $E^\ominus$ 数据来看,锂与水反应比钠与水反应活泼,但实际上钠比锂活泼得多,启发学生从多方面分析原因。学生将认识到:化学反应的发生不仅取决于热力学过程,还与动力学因素有很大关系。

(3) 锂电对(Li^+/Li)具有小的电极电势,使其在能源领域有什么应用?

引导学生查阅资料,深入了解锂金属电池的放电原理、锂离子电池的工作原理以及锂离子电池成为主流电池的根源;还可根据近年电池爆炸事件进一步讨论:三星的 Note 7 的电池发生了什么问题,为什么?有什么可能解决的方式?

通过问与答,学生不仅对 Li 单质及其化合物的基本性质有较深的认识,还能从热力学、动力学的角度理解其物理化学性质,并从化学电源的角度认识锂电池的优势、局限性和面临的挑战,将学生的注意力引入到能源化学工程专业领域,激发学生探索知识的欲望。

除了教师将问题抛给学生外,还要鼓励学生带着问题走进课堂、走近老师。学生通过课前预习、课堂学习或课后复习提出一些更深入的问题与老师交流,教师可以直接解答,也可以引导学生在书籍或网上寻找答案,这样不仅可以弥补课堂或教材上没有学到的知识,还可以提高学生发现问题、解决问题的能力,培养学生主动学习和善于思考的能力,而学生主动学习和善于思考是挖掘学生创造力的催化剂。

3.2 选用案例研讨,适当师生异位

案例教学是一种具有启发性、实践性,提高学生创新能力和综合素质的新型教学方法^[4]。在无机化学教学中,以和能源化学相关的案例作为知识的载体,使教理和教例一体化,能实现能源化学工程专业理论与实践的统一;同时,通过案例教学培养学生独立思考的能力、重视师生双向交流,以此激发学生的学习兴趣、引导学生做课堂的主人。

例如,在讨论“酸度对电极电势的影响”时,设计案例:

已知,二常见的电极反应及其电极电势 $\varphi^\ominus$ 为:① $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$ $\varphi_1^\ominus = 0.000 \text{ V}$; ② $2\text{H}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{O}$ $\varphi_2^\ominus = 1.229 \text{ V}$ 。针对能源化学工程专业的学生,设计以下三个讨论题目:

(1) 从理论上说明 c_{H^+} 对电极①、②的 φ 的影响? 举实例说明酸度大小对①、②中氧化剂的氧化能力的影响。

(2) 将电极反应①、②组成原电池,计算其电动势 $E^\ominus$, c_{H^+} 与电动势 E 的关系如何? 原电池反应进行的程度如何?

(3) 电极反应①、②组成原电池反应有什么实际应用? 在碱性介质中是否可行? 能否拓展?

解答题目(1)需正确应用能斯特方程式,从①、②对应的能斯特方程表达式确定 c_{H^+} 对 φ 的影响,并判断酸度对氧化剂氧化能力的影响;学生通过寻找实例把理论与实际结合起来。

对于题目(2),将电极反应①、②组成原电池时,①、②分别为负极、正极,原电池反应为: $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$, 计算得 $E^\ominus = 1.229 \text{ V}$; $E = \varphi_2 - \varphi_1$, 根据能斯特方程式可知 c_{H^+} 对正、负极的电极电势 φ_2 、 φ_1 的影响程度一样,因此电动势 E 与 c_{H^+} 无关, $E = E^\ominus$; 再利用 $K^\ominus$ 与 $E^\ominus$ 的关系式 $\lg K^\ominus = nE^\ominus/0.0592$ 计算得到 $K^\ominus = 3.3 \times 10^{41}$, 所以反应进行得很完全。

由(2)的结论可见,原电池反应 $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$ 的 E 较大,且反应进行的趋势大,因此 H_2 的燃烧反应能够以原电池方式实现能量的转化。由此进入问题(3)的解答,引入酸性氢氧燃料电池,介绍其组成、优点(发电效率高、环境污染小、比能量高、燃料范围广、可靠性高等),再引导学生设计碱性氢氧燃料电池,并拓展到讨论氢氧燃料电池和其他燃料电池的国际国内开发利用现状和发展趋势。

再如,进行元素部分“铁、钴、镍”教学时,设计的案例包括三个题目:

(1) 依据铁、钴、镍元素电势图分析三元素高氧化值化合物的氧化能力强弱顺序及低氧化值化

化合物的还原能力强弱顺序:

(2) 列举铁、钴、镍的高氧化态与低氧化态相互转化的实例;

(3) 铁、钴、镍具有多变的氧化值使其在能量的储存与转化中有什么应用? 除铁、钴、镍外, 还有哪些金属元素或哪些材料具有类似的应用?

本案例题目(1)、(2)与铁、钴、镍的化合物的基本性质密切相关, 而题目(3)与能源化学工程密切相关。(1)和(2)的结论体现出铁、钴、镍三元素都能较容易地实现不同氧化值间的转换, 因而可以应用于化学能转换领域, 由此展开题目(3)的解答, 将学生引入超级电容器(新型能源储存和转化装置)及超级电容器材料相关的讨论中。学生通过讨论可得出: 铁、钴、镍的氧化物或氢氧化物或它们的复合氧化物在储能过程中发生了高度可逆的氧化还原反应, 在电极表面形成双电层, 由此产生电容; 除铁、钴、镍外, 锰、钒、钛、锡等也具有多变的氧化值, 具有制备超级电容器材料的研发价值; 除金属含氧化合物外, 大比表面积的碳基材料和电导性好的高聚物材料均可应用于超级电容器领域; 这些超级电容器材料各有优势和缺陷, 若形成复合材料可达到优势互补的效果。在该案例的展开讨论中, 学生还将领会超级电容器在能源储存与转化过程中具有输出功率高、安全性好、循环寿命长、无污染等优点, 并了解目前超级电容器材料的研究与应用现状。

无论是无机化学的基本原理部分, 还是元素化学部分, 都能结合能源化学工程设计较多的案例用于教学, 还可以结合一些无机化学实验设计案例教学巩固无机化学理论知识。

一般来说, 教学案例涉及的知识较为广泛、深入, 教师提供案例、分配任务, 学生分组准备、课堂汇报, 课堂汇报时不应只是简单地让学生回答问题, 可以让一些学生走上讲台, 以板书或多媒体形式展示其对案例的思考并组织讨论, 教师作为听者可根据课堂实际进一步设问, 并对学生的汇报进行评价或拓展。

除了案例教学可以让学生成为课堂的主角外, 那些相对来说易于掌握的知识, 也可以鼓励一些学生系统自学后走上讲台, 言简意赅地进行讲解, 教师再进行适当补充。无机化学中适合学生做主讲人的内容有: 稀溶液的依数性、化学平衡的移动、沉淀反应、电极电势的应用、s 区元素的化合物、碳的单质及化合物、氮的部分化合物、硫的部分化合物、卤素的单质和卤化氢等。

学生要走上讲台, 必须拥有一定的知识深度和宽度, 因此师生适当异位的课堂教学方式可以倒逼学生自觉学习, 并进行深度思考, 让“培养学生的自学能力”不是停留在口头上。当然, 把讲台分给学生一部分, 并不意味着教师就可以“休息”了, 教师需要在课前根据教学内容精心设计, 课堂上要精准把握学生的观点, 课后还要进行精炼的总结, 必然会耗费更多的精力, 但是从学生的能力培养、学习效果方面来看是非常值得。

3.3 学习延伸课外, 交流拓展视野

随着社会的不断发展和进步, 国家对人才的要求也越来越高, 需要有“中国灵魂, 世界眼光”的人, 因此作为教师, 既要让学生牢固掌握专业基础知识, 也要激励学生自觉获取课外知识、拓宽视野。

与能源化学工程、无机化学均有关联的课外拓展内容较多, 除前述的传统能源、锂离子电池、燃料电池和超级电容器外, 还有锌锰干电池、锌汞电池、锌银电池、锂电池、铅蓄电池、镉镍电池、镍氢电池等化学电源, 以及太阳能、氢能等。如, 太阳能的光电转换离不开太阳能电池, 单晶硅、多晶硅、非晶硅、GaAs 等半导体材料是无机太阳能电池的主要材料; 太阳能的热电转换效率与热电转换材料有关, 主要的热电转换材料在低温区有 Bi_2Te_3 、 Sb_2Te_3 、 HgTe 、 ZnTe 等及其复合体, 在中温区有 PbTe 、 SbTe 等 PbTe 型化合物, 在高温区有 CrSi_2 、 $\text{MnSi}_{1.73}$ 、 FeSi_2 等 FeSi_2 型化合物; 氢能源技术的关键在于氢的储存与运输, 稀土镧系、钛铁系、镁系、钛锆系储氢材料和碳材料吸附储氢等各具优点和局限。各类能源能否快速、广泛、便捷地应用于生产生活实际, 取决于化学化工的专家学者能否有效地利用化学与化工的理论与技术解决能量转换、能量储存以及能量传输中存在的问题。而解决这类问题的研究文献很多, 学生通过科技期刊和网络资源广泛阅读文献资料, 能更早期地了解

能源化学工程相关研究的现状和发展趋势, 激发探索学科前沿的欲望和创新潜能, 反过来促使自己更努力地学习当下的知识。

不过, 学生个体获取课外知识是有限的, 怎样才能尽可能拓展一个教学班学生的视野呢? 近年来笔者鼓励学生通过网络资源涉猎课外知识, 进行分析和提炼后, 再与同学们一起交流, 如课前几分钟学生轮流进行小演讲, 也可以利用课外时间进行专题讨论。这些方式使学生在分享知识的同时, 语言表达能力、分析问题的能力也得到提高, 并让学生在交流讨论中体验成就感, 体会到拓展学习的意义所在。同时, 任课教师也通过项目研究、网络或学术会议充分了解学科前沿, 在课堂上适当地将自己或同行的研究成果和学科研究前沿的信息传递给学生, 这无疑对学生的学习和今后的专业发展是有益的。

3.4 线下线上并行, 教学不限时空

近年来, 信息传播技术对高等教育的影响前所未有, 随着网络技术发展而出现的在线学习逐渐成为大学生获取知识的另一渠道和又一学习方式。

笔者在最近两届能源化学工程专业的无机化学教学中, 除线下教学外, 同时让学生采用两种模式进行线上学习, 一是借助“中国大学 MOOC”网站, 在选用大连理工大学《无机化学》教材的同时, 鼓励学生学习与教材配套的大连理工大学“无机化学”在线开放课程及本校的相关在线课程资源^[5,6], 利用课程资源中的动画、演示实验、扩展阅读、学习引导、在线课程等进行课后学习; 二是根据教学实际, 除线下作业、讨论外, 在“学银在线”或其他课程平台上设置“作业”“章节测试”“期中、期末考试”“讨论”等栏目, 将一部分课后学习搬到线上。

在线学习的优点在于不受时间、空间的限制, 能使学生充分利用碎片时间, 能利用网上丰富直观的课程资源加深对所学知识的理解, “作业”若达不到设定的合格分值, 下线还可以反复思考和纠正, 因此, 在线学习是对学生线下学习的有益补充。线上学习充分调动了学生的学习积极性和主动性^[7], 学习效果明显。特别是在今年上半年的新冠疫情状态下, 高校无法按常规方式教学, 在线学习模式使教学得以正常进行, 在线学习的优越性也得到充分体现。

4 结语

能源化学工程是为国家培养“制造强国”人才的工科专业之一, 无机化学作为能源化学工程专业的第一门专业基础课, 对学生学习能力的培养和专业素养的形成有重要影响。在教学中, 发掘无机化学课程知识与能源化学工程专业内涵的融合点, 通过专业与行业以及国家发展的关系、课程与专业的映衬关系激发学生的使命感和责任感, 采用互问式教学、案例讨论、课外拓展、在线学习等多种教学方式, 促使学生在各个环节中积累专业知识、提高专业学习能力和综合素质, 从而让无机化学教学在能源化学工程专业的航船上焕发出勃勃生机。

参 考 文 献

- [1] 苗圩. 中国制造 2025: 迈向制造强国之路. 人民日报, 2015-05-26, 012.
- [2] 李华, 胡娜, 游振声. 高等工程教育研究, 2017, No. 4, 16.
- [3] 小兵手(译). 电池大突破到底何时到来? 三大难题难倒科学家. (2019-04-30) [2019-06-22]. <https://tech.sina.com.cn/mobile/n/n/2019-04-30/doc-ihvhiqax5853203.shtml>.
- [4] 王世练, 杨力斌, 张伟, 朱江. 高等教育研究学报, 2014, 37 (3), 95.
- [5] 孟长功. 无机化学(上). [2019-09-20]. <http://www.icourse163.org/course/DLUT-1001630001>.
- [6] 孟长功. 无机化学(下). [2019-09-20]. <http://www.icourse163.org/course/DLUT-1001907002>.
- [7] 邱海霞, 杨秋华, 曲建强, 李坤, 马亚鲁. 大学化学, 2020, 35 (2), 10.