

## 面向新能源研发人才培养的大学化学教学

周尧<sup>1</sup>, 杨焦<sup>2</sup>, 张月皎<sup>1,\*</sup>, 李君涛<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 厦门大学能源学院, 福建 厦门 361102

<sup>2</sup> 四川省成都市郫都区第一中学, 成都 611730

**摘要:** 大学化学是新能源人才培养的必修课程, 一般设置在低年级。本文基于多年教学、科研实践, 结合我国大一新生心理特征及学习习惯, 对大学化学主体内容进行板块化梳理, 探讨课程内容与微纳功能材料研发的关联, 剖析大学化学教育可培养的第一性原理思维等高阶思维能力, 升华大学化学教学, 助力我国新能源产业亟需的研发人才培养。

**关键词:** 新能源产业; 研发人才培养; 大学化学; 微纳功能材料; 高阶思维能力

**中图分类号:** G64; O6

## College Chemistry Teaching in Cultivating Research-and-Design Talents for the New Energy Industry

Yao Zhou<sup>1</sup>, Jiao Yang<sup>2</sup>, Yuejiao Zhang<sup>1,\*</sup>, Juntao Li<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> College of Energy, Xiamen University, Xiamen 361102, Fujian Province, China.

<sup>2</sup> No. 1 Middle School in Pidu District, Chengdu 611730, China.

**Abstract:** College chemistry is a compulsory course for developing new energy talents, typically offered in the early years of university education. Based on years of teaching and research practice, and considering the psychological characteristics and learning habits of Chinese freshmen, this paper organizes the main content of college chemistry into structured modules. It explores the relationship between course content and the development of micro-nano functional materials, analyzing how college chemistry education can cultivate advanced thinking abilities such as first-principles thinking. It is expected to contribute to the cultivation of research-and-design talents urgently needed in China's new energy industry.

**Key Words:** New energy industry; Cultivation of research-and-design talents; College chemistry; Micro-Nano functional materials; Higher-order thinking.

### 1 引言

全球气候变暖的大背景下, 碳达峰、碳中和目标的提出必将促使我国能源结构发生变革, 非化石能源占比将上升, 能源利用效率与效益需进一步提升, 并将构建以可再生能源为主体的电力系统, 提升终端电气化水平, 以氢能为代表的低碳能源亦将得到规模化推广应用<sup>[1,2]</sup>。“双碳目标”驱动下, 据国际能源局等权威机构统计数据, 在可再生能源发电、电化学储能、动力电池、电解水制氢等新能源领域, 我国在技术先进性、产业链完善程度、产业体量等方面均具有显著竞争力。

收稿: 2024-04-22; 录用: 2024-07-01; 网络发表: 2024-07-22

\*通讯作者, Emails: zhangyuejiao@xmu.edu.cn (张月皎); jtli@xmu.edu.cn (李君涛)

基金资助: 福建省教育厅2023年本科高校教育研究项目(FBJY20230253)

无论是现有化石能源体系的降本增效, 还是新型绿色能源产业的崛起, 提升“各类物质及能量定向转化过程中能量转化效率与元素转化效率”始终是上述领域各个环节的终极目的。在这一背景下, 相关专业学科人才, 尤其是能源-化学-材料学科交叉的研发型人才的培养与储备尤其重要。作为集中论述物质-能量转化规律的基础课程, 大学化学承担着对相关人才培养的重要使命<sup>[3]</sup>。通过对这一课程的系统学习, 可帮助学生从理性、科学的角度, 采用微观-介观-宏观等多尺度, 以动态、思辨的眼光, 理解、认知、探索客观世界物质-能量转化过程的本质, 把握影响各类物质-能量转化过程热力学及动力学的主要矛盾, 从而帮助学生建立系统的理论知识储备, 为其后续从事无论是经验型亦或是创新型的生产活动提供针对性理论指导<sup>[4]</sup>。

笔者多年来一直从事电化学能源储存与转换所需的微纳功能材料的创制以及电化学过程界面相关的科学研究, 有丰富的化学相关前沿科研实践经验; 同时, 还为低年级本科生、研究生讲授能源-化学-功能材料相关基础课程多年, 对本科生及研究生这两大群体集体性学习特点及思维习惯有较深认识。特别是在指导多名硕士、博士生从事电化学能源材料相关的科研活动中, 笔者深刻体会到, 当学生对物质-能量转化过程的本质缺乏理解, 对化学中的基础概念的认知僵硬、机械、思维定势化, 且无法做到将理论与实际结合时, 其设计实验、开展实验、分析数据、捕获规律等能力均将受到显著影响, 往往导致“事倍功半, 甚至事倍无功”的后果。

基于上述考虑, 本文从笔者自身教学、科研经验出发, 对大学化学课程内容进行系统解剖、重构, 结合学习对象的心理特点与思维习惯, 同时综合考虑内容的难度与衔接性, 解析大学化学各部分内容的内在逻辑, 分析课程理论与电化学储能、氢能等领域所需的微纳功能材料创制过程的关联, 通过实例解析该课程内容教学对学生辩证思维、科学思维以及第一性原理思维的培养, 探讨“双碳”政策下大学化学教学在新能源人才培养与储备中的重要作用。

## 2 大学化学教学进程分析

### 2.1 大一新生心理特点及学习习惯分析

对于化学、化工、材料、能源、环境等相关专业学生, 大学化学(亦有相关教材称之为普通化学), 尤其是元素化学等相关内容, 一般开设在大学一年级上学期。笔者在多年授课过程中发现, 大学一年级学生在思维方法上有其独特性, 了解学生思维及心理特点对于帮助他们快速接纳、吸收新思想、培养新思考方式很有裨益。我国初高中阶段化学学科教育侧重对已有现象、性质、理论在接受, 注重对现象、反应方程式等的记忆; 学生接受的多为简化、确定性概念, 且这些概念多已先入为主, 导致学生习惯用固定模式分析问题、解决问题。例如, 初高中化学中, 化合物中的元素常以固定价态出现, 如MgO与Mg(OH)<sub>2</sub>中氧均被认为是-2价。但实际上, 任意化学键兼具离子键与共价键成分, 同一离子与不同对离子成键, 其价电子受力不同, 其相对原子核运动轨迹亦不同。因此, 比“价态”更为准确的描述应为离子的“氧化态”, 其可以通过X射线光电子能谱技术测试电子结合能来表征。事实上, 只要微观化学环境不同, 元素氧化态就可存在差异, 这是理解多相催化剂活性位点空间不一致性的重要基础, 也是从事催化相关研发人员所需具备的基本常识。

此外, 近三十年来, 微纳功能材料、电化学储能与转换等与化学息息相关的新领域, 在科研界及产业界都获得了飞速发展, 但是初高中阶段的学习多聚焦于基础知识识记, 在深度、前瞻性、与实际应用场景关联性等方面难免欠缺。仍以阳离子氧化态为例, FeOOH或Fe(OH)<sub>3</sub>中铁离子按照初高中价态定义应为+3, 但实际上, 其表面铁离子的氧化态与其尺寸、缺陷等密切相关; 当其为量子点时, 或该化合物中存在铁离子缺陷时, 其中铁离子的氧化态高于常见的Fe<sup>3+</sup>, 常写为Fe<sup>(3+δ)+</sup>; 并且, 当有阴、阳离子缺陷时, 氢氧化铁计量比不再为1:3<sup>[5]</sup>。但是, 受惯性思维影响, 大一新生在大学化学学科的学习中普遍受“考试”驱动, 对授课者、课本依赖性较强, 较易接受“确定性”知识与结论, 对有争议性或开放性的知识点, 特别是当与初高中所学不一致的时候, 学生易感到不适与困惑, 进而产生畏难、厌学情绪。

因此, 考虑到大学一年级新生还延续了高中时代学习特点, 笔者在执教过程中体会到, 对大学化学课程内容的讲授应遵循“由易及难, 由宏观及微观, 由具象及抽象”这一特征, 循序渐进, 由浅入深, 而后深入浅出, 让大一新生逐步适应, 摆脱初高中学习惯性, 建立起新的学习习惯。因此, 这需要授课者对整体课程内容进行全局性规划, 授课者清楚“先学什么, 后学什么, 各部分内容间有何逻辑联系”, 可帮助授课者把握教学进程, 也利于学生紧跟课程进度。

## 2.2 大学化学课程内容板块化及各板块特征、关联分析

基于课程内容逻辑、难易程度及多年从教过程中学生反馈, 如图1所示, 笔者将大学化学主要内容分为以下三个部分:

第一部分包括“溶液-溶胶基本性质”“酸碱解离平衡”“沉淀-溶解平衡”“氧化还原及电化学”等内容。该部分内容主要描述液体、固体的宏观性质, 较为直观, 部分内容或概念在初高中已多有涉及, 因此, 先讲授该部分内容有利于大一新生接受、适应大学的学习节奏, 也为第二部分内容起到“热身”作用。

第二部分内容包括原子轨道理论、离子键理论、价键理论、离域 $\pi$ 键、分子轨道理论及配位化学。该部分内容微观、抽象, 较难凭直觉理解, 是整个课程内容较难部分。从第一部分内容“热身”后, 此时大一新生已经对大学校园生活有一定认识和把握, 学习上也逐渐体会到大学与初高中的差异并已进行一定自我调整, 这些均有利于学生克服第二部分内容的挑战。事实上, 笔者也曾将该部分内容放置在课程伊始, 试图以此激发学生学习兴趣, 但发觉“事与愿违”, 对大部分学生而言, 特别是初高中没有接触该部分内容的学生, 当他们无法理解或接受原子轨道的相关概念时, 自信心受挫, 会增加其心理压力。

第三部分内容是元素化学, 包括s区、p区、d区等元素化合物的周期律、具体化合物的物化性质等, 较为具体、易理解, 但偏零散。从内容逻辑看, 该部分内容与前两部分的内容密切, 可以看成是前两部分内容知识点“具象化”, 因此在第三部分内容的学习过程中, 需要经常回顾前两部分的知识点, 该过程再次帮助学生加深对前两部分内容的理解与记忆, 同时可在三部分内容间建立关联, 由此完成课程知识体系的系统构建。

需要指出的是, 虽然有机化学亦是大学化学的重要组成部分, 但是考虑到有机化学相关内容主要以碳元素为核心, 围绕碳-碳键、碳-氢键、碳-氧键等化学过程深入展开, 其涉及的知识点及理论可独立自成体系, 且有机化学的学习一般安排在大一下学期或大二, 因此本文讨论的大学化学教学内容未包含有机化学部分。此外, 掌握图1中所涉及的大学化学相关知识, 特别是原子轨道、分子轨道等理论, 对于有机化学的学习亦至关重要, 是学生后续学习有机化学的基础。

图1中给出的三大板块, 每一个板块都包含多个章节, 看似分散, 内容繁多, 但实则“主旨鲜明”, 各有“使命”, 理解每一板块的“宗旨”, 可帮助学生融会贯通, 构建课程脉络, 并利于“学以致用”。

其一, 第一板块内容从普适性角度清晰定义或定量描述了自然界中物质、能量的静态、动态变化、转变过程及不同客体间的各种作用力类型与逻辑关系, 包含有大量需要学生理解、记忆的术语、普适性规律等。与初高中时代的感性、定性认知相比, 通过对该部分课程内容的学习, 本科生应对常见物理-化学过程形成理性、定量认知。如图2所示, 通过对能斯特方程的学习, 学生应能理解“物质浓度或活度”与“体系能量”之间的定量关系, 进而可定性预判或定量分析沉淀剂、络合剂的引入对离子的氧化还原行为的调控作用, 氢燃料电池中阴极为氧气分压、氢气背压对电池电压等的影响规律与趋势等内容。

其二, 描述了微观尺度原子、分子内部以及分子之间带电荷粒子之间的作用关系, 并建立了微观结构与物质的介观、宏观物理-化学性质与过程的关联。因此学生需掌握原子-分子轨道的构建准则与理论, 理解电子-原子核、电子-电子、原子核-原子核之间的作用规律是统一各种物理、化学现象及过程的根本。仍以电极电势为例, 电对的标准电极电势 $E^{\ominus}$ 本质取决于其原子核对外层价电子的库

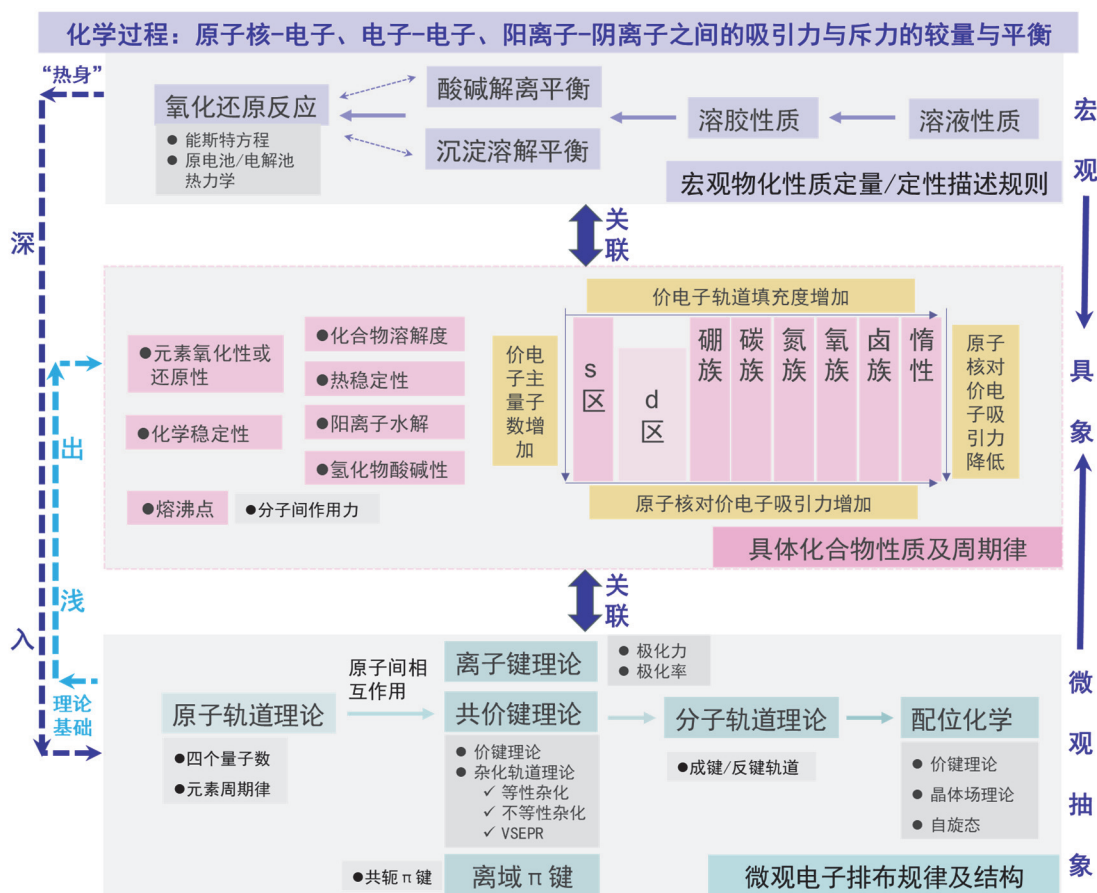


图1 大学化学课程内容板块化剖析

伦约束力；原子半径主要取决于外层电子主量子数，半径越大，则越易失去外层电子，体现为还原性越强， $E^0$ 越小。再如，阳离子配位后，外层价电子轨道填充度提升，显然与水合离子相比，其将较难从还原性元素攫取电子，这是参比电极 $E_{\text{AgCl}/\text{Ag}}^0$ 的标准电极电势低于 $E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0$ 的本质原因(图2)。

其三，描述了具体单质、化合物的物理、化学性质的特性、共性或周期律，以及常见物质在不同条件(即不同驱动力)下与周围环境产生相互作用的方式与结果。在学习该部分内容时，无论是授课

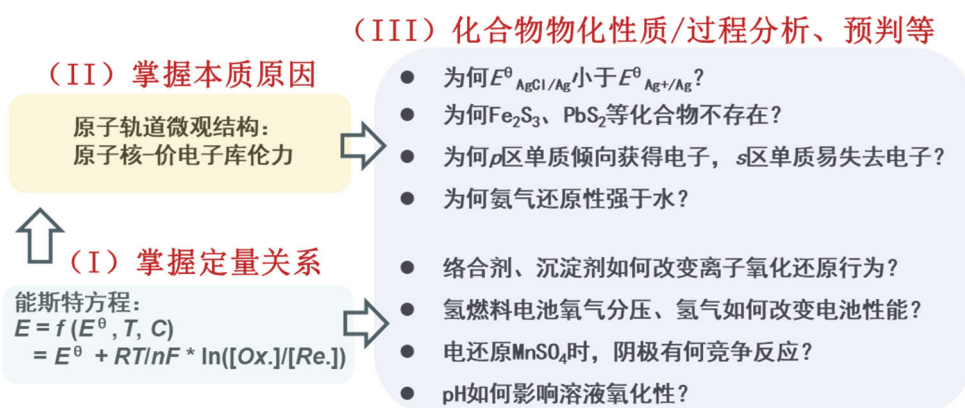


图2 大学化学的三个层次内容及相互关联

以氧化-还原过程相关内容为案例

者亦或是学习者，应有意将其与前两部分相关知识点关联(图2)。还以氧化还原电势为例，当某物质溶于水时，是否仅存在溶解行为？氧的标准电势 $E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^0$ 为1.23 V，则理论上标准电势高于1.23 V的氧化型单质如 $\text{F}_2$ 可将水分子中荷负电的氧元素氧化成高价价态；其本质是面对 $\text{F}_2$ 时，由于F原子半径更小，电负性更大，将“攫取”水分中的氧元素的外层价电子。

### 3 理论如何联系实际：大学化学与相关研发活动关联剖析

无论是化石能源的渣油加氢、合成氨、甲醇、水煤气变换过程所需的多相催化剂，还是新能源领域氢-电转换所需的电催化剂、碳基材料、锂离子及金属-空气等二次电池所需的正负极材料，亦或是环保领域的涂料、污水处理等所需的吸附剂等，微纳功能粉体材料，尤其是无机及无机-有机复合物微纳功能材料，是上述体系核心材料之一。微纳功能材料的“构-效关系”是研发过程中的难点，针对性高效设计高性能、低成本微纳功能材料是相关科研活动的终极目的。大学化学，尤其是无机化学部分，是微纳功能材料相关研发过程必备基础。因此，结合笔者多年科研经验，以此为实例，分析大学化学学习与能源-化学-材料科研活动二者之间关联，对于帮助学生在后续从事研发时活学活用有重要意义。

与大型结构性材料相比，微纳功能材料通常具有较大比表面积，即使对于元素组成相同的微纳功能材料，其微观局域电子结构、介观孔结构、体相及表面的物化性质及吸附、催化等性能表现可能存在显著差异，这高度依赖于具体合成过程。“由下至上”的溶液化学过程是几乎所有合成微纳功能材料必经的环节<sup>[6]</sup>。如图3所示，笔者总结了微纳功能合成过程中，常规调控的工艺条件、所涉及的反应类型及所借助的物理-化学过程，以及决定微纳功能材料性能的主要微观、介观结构特征及物理化学性质。在微纳材料合成过程中常常难以避免均相-多相，溶液-溶胶、分离-分散等相或聚集态的变化，这些变化过程本身与微纳颗粒表面性质、介观结构以及溶剂、添加剂等各类化学物质的相互作用有密切关系。



图3 微纳功能材料研发的工艺条件、反应类型、物-化过程及主要调控的微观-介观结构及物理-化学性质归纳

图3中所有提及的术语均与大学化学课程内容密不可分。事实上,以化学为核心的能源材料的研发过程可看成是图3中不同工艺条件、不同反应类型、不同物理-化学过程的排列组合,在该过程中创造出新的物质或结构、新的功能或元素能源利用效率更高的路径。这即是“化而生万物,学以致无穷”的体现。如锂电镍钴锰基三元正极材料常借助共沉淀反应制备前驱体,为实现均匀共沉淀,须考虑各过渡金属离子的溶度积常数,须对pH进行管控,这就涉及酸碱解离平衡及沉淀溶解平衡的知识。再如阴阳离子交换反应也被广泛用于制备纳米材料,例如,为可控合成 $\text{Ag}_2\text{S}$ 纳米小球,首先采用简易可控、形貌尺寸均一的 $\text{Cu}_2\text{O}$ 纳米小球作为硬模板,通过控制第一轮阴离子交换(本质为 $\text{S}^{2-}$ 换 $\text{O}^{2-}$ ),控制该阴离子交换过程速率,合成 $\text{CuS}$ 纳米;接着,通过第二轮阳离子交换(本质为 $\text{Ag}^+$ 换 $\text{Cu}^{2+}$ ),通过引入络合剂等策略控制该阳离子交换过程速率,成功获得形貌、尺寸均一可控的 $\text{Ag}_2\text{S}$ <sup>[7]</sup>。这些工业和科研中的实例本质是大学化学课程内容的灵活运用,将图3中涉及的特定科研、工业生产场景与理论知识点关联,使“抽象”概念“具象”化,可帮助学生建立理论“指导”实践的“抓手”,为学生日后“理论联系实际”打下基础。

而研发过程中理论与实践脱节会严重影响效率。现进一步以溶液、溶胶这两个简单概念为例说明研发过程中理论与实践的关联。笔者在指导硕士、博士研究生过程中,发现学生经常混用、误用溶液、溶胶的概念;有博士研究生甚至试图通过常规离心的操作将阳离子从溶液中分离。我们知道,溶液中溶质与溶剂为离子-分子级别均匀混合,其中阳离子以溶剂化状态存在;而溶胶中为纳米粒子,在介观尺度其可视为均相系统,但在原子微观尺度其为多相系统,且存在丁达尔现象,因比表面积大热力学上不稳定,而动力学上因热运动又比悬浮液等具有高的稳定性。掌握溶液与溶胶中微观粒子因尺度差异引起的受力及行为差异,则可在功能纳米材料研发时,在不借助更高端的表征手段的前提下,实现肉眼预判或预估所得样品的分散性等基本性质。笔者指导的研究生在称量自己合成的纳米碳时,可看到黑色碳粉快速从药品勺上掉落,而商业碳粉出现沾勺、飞散现象;同样体积下合成碳粉质量显著大于商业碳粉;分散在含表面活性剂溶液中搅拌时可以看到商业碳粉样品液体上方泡沫维持黑色较长时间,而合成样品液体上方泡沫很快发生固液分离,泡沫很快变为透明。实验者在这些常规操作过程中若能捕捉上述信息,则无需氮气吸-脱附曲线或扫描电镜等表征亦可初步判断其合成的碳粉比表面积远低于商业样品,进而发现样品催化活性低下的可能原因。可惜,理论与实践的脱节导致该研究生长时间错过了该样品释放的信息,造成效率低下。课堂上结合此类实例,可帮助本科生提前认识到“化学实验会自己说话”,如同中医的“望闻问切”,只有对溶液、溶胶化学相关理论知识有系统掌握及深入理解,方可及时捕获微纳功能材料合成、表征、使用过程中释放出的重要信息,做到“有的放矢”,提高试错过程的命中率。

课堂上结合这些研发过程中真实的案例,不管是成功的“故事”还是失败的“事故”,不仅可提升课堂趣味性,同时也可帮助启发学生,使其认识到只有具有足够专业知识储备,方可“温故知新”,拓展已有知识边界。即使是在人工智能等可取代人类重复体力劳动的未来,仍需从业者对基础原理、基本术语等的系统掌握与理解,以提高其研发过程的针对性及效率。

#### 4 大学化学教育应培养的高阶思维能力分析

在当前信息爆炸及人工智能飞速发展时代,对于研发人员而言,比专业知识的学习与储备更为重要的是创造力的培养;在具备专业知识的同时,还应具有从多尺度、联系、辩证地看待问题和第一性原理的思维习惯,同时应具有浓厚探索或求知欲,方可灵活调用其知识储备库,开展创造性活动。通过大学化学的系统学习,学生将获得化学专业知识的储备,在结构化学、无机元素化学、配位化学以及部分物理化学等方面构建专业知识体系,为其后续进一步学习有机化学、分析化学、物理化学等更为专业的知识奠定基础。与此同时,鉴于大学化学的内容特点,笔者认为其对良好思维习惯及高阶思维能力(包括理解力、分析力、综合力、比较力、概括力、抽象力、推理力、论证力、判断力等)的培养有重要作用,以下将结合实例逐点阐述。

#### 4.1 辩证性思维的培养

辩证性思维要求坚持用联系、全面、发展的眼光看待问题，杜绝孤立、静止、片面性；通过具体问题具体分析，抓住问题的主要矛盾。化学学科对各类化合物宏观性质与微观结构的因果或构效关系进行了大量讨论；诸多化合物物理-化学性质及过程千变万化的表相下，实质是微观原子-分子结构及相互作用的集体性体现，本质是“原子核-电子间、电子对-电子对及分子之间的吸引力与排斥力的斗争及平衡”。在该过程中，学生需要具备系统综合、分析、比较、概括、抽象的思维能力，方可搭建起“宏观性质”与“微观结构”的桥梁，实现“知其然”，“更知其所以然”，进而可从不同角度描述、解释、分析物理-化学现象，从各类不同表相下抽象出共同本质实质。

以阳离子极化力或阴离子极化率相关知识点为例，纵向上，应抓住“阳离子极化力本质是其原子核对外层电子的库伦引力的体现，因此取决于阳离子半径、价态、电子构型等”；横向上，应能认识到，阳离子水解能力、相关化合物溶解度、熔沸点、碳酸盐热稳定性等多种看似散乱、不相关性质的变化趋势实则与极化力/极化率密切相关，由此形成“纵横交错、相互关联”的知识网络(图4a)。

此外，化学作为一门实验性学科，其主要原因在于其“变化多端”，“结构”与“性质”之间的因果关系常为复杂非线性，难以预测；元素组成、排列组合方式、环境状态、量的改变、作用顺序都可能导致体系完全不同。图4a中给出了一些随着时间、作用方式、浓度等改变体系将发生“质变”的例子。以 $\text{OH}^-$ 与金属离子的相互作用为例，当 $\text{Cu(II)}$ 等过渡离子与低浓度 $\text{OH}^-$ 共存时形成的是氢氧化物沉淀；但若 $\text{OH}^-$ 浓度足够高时，则会形成水溶性配位离子；铝矿中铝的提取、纯化等过程即是利用了该原理。因此，在讲授大学化学过程中，授课者应先意识到辩证性思维在本课程中的体现，进而通过相关学习与训练加深学生对辩证性思维的体会。

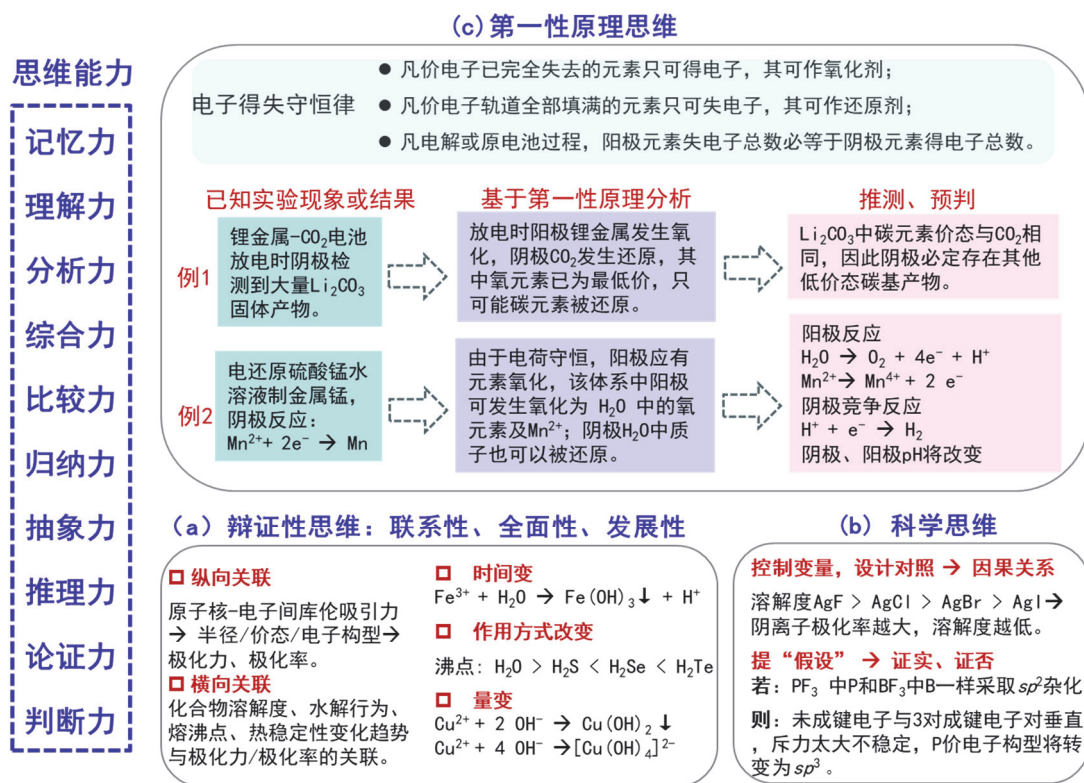


图4 大学化学教育可培养三类高阶思维能力

## 4.2 科学思维(或科研思维)的培养

在科研探索过程中, 基于已有知识体系和现象“提出假说”, 进而设计有效对照试验, 对所提“假说”进行证实或证否, 以进一步修正“假说”是常见研究路径。显然, 所提假说的有效性以及实验设计的针对性均至关重要。此类思维习惯与能力并非天生, 而是通过后天训练获得, 其本质目的是从复杂变量中找出相关变量的逻辑或映射关系。从数学关系上, 设置“单因素对照试验”是最常见、最有效反映两个变量之间逻辑关系或相关性的实验手段。

事实上, 大学化学教学中, 控制“单因素”对照试验方法在讨论化合物物化性质时有广泛应用。如图4b所示, 通过比较 $\text{Ag}^+$ 与不同卤素离子形成的化合物的溶解度, 得出结论“阴离子极化率越大, 则溶解度越低”。该因果关系暗含的条件是“阳离子相同(或具有一定限制条件), 仅阴离子种类改变”; 当阳离子与阴离子种类同时改变, 该结论可能不再成立, 因此, 基于单因素实验, 须警惕所得结论或规律的普适性及外延性。

提出“假说”, 基于“假说”进行推理、演绎这一能力同样在大学化学的学习过程中有广泛运用。授课者可引导学生灵活运用已有理论和认知, 逐步推理, 对现有结论自行证实或证否; 通过该类思维训练, 可激发学生的探索欲或能动性<sup>[8]</sup>。例如, 在学习价键理论时, 基于“各电子对之间斥力最小”这一准则, 学生可自行推测相关化合物的电子构型。如当采用 $\text{BF}_3$  (B为 $sp^2$ 杂化, 含有 $\pi_4^0$ 离域键)的成键方式分析 $\text{PF}_3$ 时, 则可发现因P原子价层电子轨道填充度高于B, 不满足离域 $\pi$ 键的形成条件, 此时未成键电子与 $\sigma$ 键电子对斥力太大, 最终P只能采取不等性 $sp^3$ 方式存在, 方可使价层电子对间斥力最小(图4b)。

## 4.3 第一性原理思维的培养

尽管归纳法、演绎法、追根溯源思维在化学学习、科研中多有运用<sup>[9]</sup>, 但在多年的科研过程中, 笔者深深体会到, 采用另一更重要思维, 即第一性原理思维, 对于打破惯性认知、快速抓住问题关键有意想不到的妙处。归纳、演绎侧重从表象总结、概括或抽象出内在统一规律; 而第一性原理思维即从事物的本质或源头出发, 直指问题关键。第一性原理思维的培养首先要求学生具备大量的“第一性原理储备”, 即其知识库需要足够丰富; 在此基础上, 还需培养学生从第一性原理出发思考问题的能动性。

图4c给出了笔者基于“电解或原电池过程元素电子得失守恒律”, 运用第一性原理思维, 对当前电化学能源领域两个热门研究课题的判断。案例一中,  $\text{Li-CO}_2$ 电池中阴极常检测到大量 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , 常规表征手段未检测到其他产物, 因此针对该电池的研究常聚焦在碳酸锂的生成与分解上。但由“电子守恒律”可知, 碳酸锂中无任何元素发生还原, 阴极一定还有其他低价态碳基产物, 否则阳极失去的电子与阴极得到的电子不等。显然, 该例子中, 采用第一性原理思维, 可发现当前实验检测手段的不足, 带来新的思考。案例二源自笔者走访过的一家电解硫酸锰制金属锰厂, 我们只需要知道阳极反应(电还原 $\text{Mn}^{2+}$ )和具体电解液组成, 结合相关原理, 即使不采用任何先进表征手段, 亦可判断阳极的反应类型以及阴极可能的竞争反应, 从而助力电解过程降本增效。

事实上, 只要掌握了“元素电子得失守恒律”这一准则, 则对任意电解或原电池过程, 例如锂离子电池、锂金属电池、各类电解制绿氢过程、燃料电池过程等, 不管阴极、阳极反应的化合物在形式上多么复杂多变, 只需甄别两极发生价态变化的元素, 则可快速把握过程本质, 并由此可指导开发新的物理-化学过程, 为降本增效服务。以电解制氢为例, 该过程目标为绿氢, 通过阴极质子还原完成; 从第一性原理出发, 阳极只要为氧化失电子过程即可, 并非一定为水分子电氧化(水电氧化需要的热力学电势高), 因此可以开发其他阳极替代过程, 偶联制氢; 正是基于该思路, 笔者发展了一种对热力学可自发的原电池通电, 实现超低电压偶联制氢的方法<sup>[10]</sup>。理论上, 只要掌握了氧化还原相关章节知识, 通过运用第一性原理, 即使没有科研经验的本科生都具备上述提及的“诊断”“预判”及“创造”能力。但如何有意识地主动将这些原理运用到实际科研、工业场景, 则需要针对性训练。在该课程的学习中, 可通过课堂讲授、书面考核等方式, 引导或启发学生灵活运用其所学的

知识,对科研、工业界一些实际问题进行分析讨论,培养其第一性原理思维习惯。在该过程中,学生将体会到“温故知新、举一反三”的快乐,这将形成正反馈,提升其思维能动性<sup>[11]</sup>。

## 5 结语

面对全球性能源与资源危机、生态与环境危机,我国率先提出了“碳达峰、碳中和”,并已付诸实践;在“双碳目标”引领下,中国在新能源制造业领域取得了快速发展,在全球范围内具有明显竞争力。具有创新能力的新能源专业研发人才的培养与储备对于维持我国新能源领域的技术优势至关重要。由于其学科内容特点,大学化学不仅是化学相关专业知识体系的重要组成部分,与新能源的材料基础——微纳功能材料的合成、表征、物化性质等有直接而密切关联;且大学化学教育对于培养学生的高阶思维能力(特别是辩证思维、科研思维以及第一性原理思维)具有独特优势。

为深化、升华大学化学教学质量,使其更好地服务于当下我国新能源行业亟需的研发型人才培养,在教学过程中,一方面,大学化学从教者需要跟踪科技前沿、把握新能源相关产业发展趋势与关键技术,将科研实践的经验与教训与课堂理论知识传授动态、灵活结合。另一方面,从教者需要立足学科内容本身,对学科内容进行重新架构,带领学生,以“探索”姿态,以“发展与联系”的眼光,对课程内容进行多维度的学习、剖析与解读,在此过程中,通过大量实例,培养学生思辨、科学以及第一性原理逻辑思维能力,并建立对客观物质世界的理性、科学认知。

## 参 考 文 献

- [1] 2030年前碳达峰行动方案(国发〔2021〕23号). [2024-07-11]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/26/content\\_5644984.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/26/content_5644984.htm)
- [2] 财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见(财资环〔2022〕53号). [2024-07-11]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-05/31/content\\_5693162.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-05/31/content_5693162.htm)
- [3] 华彤文,王颖霞,卞江,陈景祖.普通化学原理.第4版.北京:北京大学出版社,2013:1-8.
- [4] 刘园园,于瑞雪.化学工程, **2024**, *52* (2), 102.
- [5] Wu, Y. J.; Yang, J.; Tu, T. X.; Li, W. Q.; Zhang, P. F.; Zhou, Y.; Li, J. F.; Li, J. T.; Sun, S. G. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 26829.
- [6] Zhou, Y.; Li, J. T.; Sun, S. G. *Coord. Chem. Rev.* **2017**, *352*, 291.
- [7] Pang, M. L.; Hu, J. Y.; Zeng, H. C. *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 10771.
- [8] 李佳慧.广东化工, **2024**, *51* (3), 179.
- [9] 侯华,王宝山.大学化学, **2021**, *36* (7), 127.
- [10] Xie, S. J.; Zhen, C. H.; Chen, H. W.; Cao, D. Q.; Zhang, J.; Zhou, Y.; Li, J. T.; Sun, S. G. *J. Phys. Chem. C* **2022**, *126*, 17002.
- [11] 江文.化工设计通讯, **2023**, *49* (12), 136.