

【学科视点】

化学聚集思想的内涵及其教学价值

李雪源 郑长龙 陈 彬 李存璞 邝文波 苗冬雁

【摘要】理解化学聚集思想的内涵,厘清物质的化学聚集层次和路径,基于电子结构、空间结构和聚集结构,结构化地认识粒子由一到多的过程,基于聚集单元和聚集方式认识聚集体结构,基于聚集体视角认识结构和性质的关系,形成系统和科学的化学聚集思想,提升高中教师的化学聚集思想学科理解水平,深入探寻和挖掘化学聚集思想的教学价值。

【关键词】化学聚集思想;聚集单元;聚集方式;聚集体;结构决定性质

《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》选择性必修2物质结构与性质下的主题2——微粒间的相互作用与物质的性质中,物质聚集状态首次成为课程内容,“知道在一定条件下,物质的聚集状态随构成物质的微粒种类、微粒间相互作用、微粒聚集程度的不同而有所不同。知道物质的聚集状态会影响物质的性质,通过改变物质的聚集状态可能获得特殊的材料。”主题3——研究物质结构的方法与价值的学业要求中,明确提出“能举例说明物质在原子、分子、超分子、聚集态等不同尺度上的结构特点对物质性质的影响”^[1]。

物质有7种聚集状态:气、液、固、等离子体、超固态、玻色爱因斯坦凝聚态和费米子凝聚态,其中和化学密切相关的是前4种聚集状态。每一种聚集状态下的物质都有多种聚集态,本文所说的物质聚集态是指宏观物质表现出的样态。高中化学教师如何理解物质的聚集状态,是否形成了基于化学视角认识物质聚集的一般思路和方法?基于学科理解,有必要对“物质是如何聚集的”进行探究,即化学微观粒子如何聚集成宏观物质?

基于化学视角探究化学微观粒子如何聚集为聚集体,是人类认识宏观世界的重要思维方式,也是创造新物质、开发新材料的重要基础。

本研究旨在经典化学聚集思想的基础上,结合当代化学科学研究的最新成果,建构现代化学聚集思想并揭示其教学价值。

一、化学聚集思想的内涵

化学聚集思想是认识原子聚集得到分子,再聚

集为宏观物质的一般思路和方法,物质聚集有多路径和多层次,探究物质聚集的路径和层次,结构化地认识粒子由一到多的过程,深刻理解和体会聚集思想的内涵,是形成化学聚集思想的必备途径。基于系统科学思想^[2],聚集体既是一个物质系统也是一个功能系统(图1),对于聚集体系统我们从以下3个问题来认识。

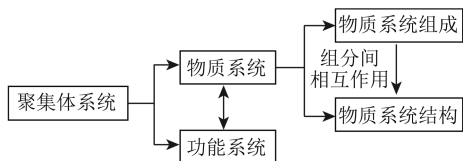


图1 基于系统科学思想认识聚集体的认知模型

(一)构成聚集体物质系统的最小功能性成分是什么——聚集体物质系统的组成

聚集体物质系统的组成有2个认识视角:基本成分视角和功能性成分视角^[3]。例如,基于基本成分视角,NaClO由钠元素、氯元素和氧元素构成,在实际问题解决中,往往是基于功能性成分来认识物质,NaClO的组成微粒 ClO^- 决定了其氧化性、漂白性等重要性质及应用^[4], Na^+ 和 ClO^- 是NaClO最小的功能性成分,探寻构成聚集体系统的最小功能性成分,对于研究聚集体物质系统具有重要的价值。笔者在研究中提出“聚集单元”,聚集单元是构成聚集体的基本结构单元,它标识了聚集体的组成,是基于聚集思想对聚集体物质本性的一种反映。以往人们对物质成分的认识主要是从原子、分子的视角,聚集单元则是构成聚集体物质系统的最小功能性成分,是对

物质成分认识的拓展。

聚集单元的种类是多样的,例如金刚石,基于相互作用视角,其聚集单元为2个碳原子构成的结构基元,碳原子间通过共价键作用,形成空间立体网状结构,基于空间几何视角,其聚集单元为金刚石晶胞,在空间通过几何拓扑得到宏观金刚石晶体;又如,碳原子和氧原子通过共价键聚集得到二氧化碳分子,二氧化碳分子作为聚集单元继续聚集得到宏观二氧化碳气体;再如,一些分子受到环境影响既可以单体形式存在,也可以二聚体形式存在^[5]。聚集单元的尺寸是多样的:超分子材料的聚集单元为尺寸较大的超分子,离子液体的聚集单元为较大尺寸的阴阳离子,单原子催化剂的聚集单元是尺寸非常小的单个原子。

(二) 构成聚集体物质系统的最小功能性成分是如何相互作用的——聚集体物质系统的结构

基于基本成分视角,原子通过化学强相互作用——如共价键、离子键、金属键等,聚集得到分子、离子、晶体结构基元、高分子、超分子等,这一过程是聚集的第一层次,也是一直以来科学研究和教学研究高度关注的层次。基于第1层次基本粒子间的相互作用,我们可以找到聚集单元,聚集单元是第1层次聚集的结果,也是第2层次聚集的开始。聚集单元之间的相互作用方式和空间几何关系即为聚集体的聚集结构,其建构了聚集的第2层次,也是聚集体物质系统结构的重要组成部分。

聚集单元的聚集方式同样具有多样性,基于相互作用视角,聚集单元的聚集方式有化学强相互作用和化学弱相互作用。例如,水分子之间通过氢键和范德华力聚集为宏观水;又如钠离子和氯离子形成的结构基元通过离子键聚集为氯化钠晶体。基于几何拓扑视角,聚集单元可通过有序聚集得到晶体,也可以通过无序聚集得到非晶体。例如,聚集单元都为硅氧四面体,聚集方式是否有序使得二氧化硅呈现规则的晶体和不规则的非晶体等多种聚集态。

基于以上认识视角和认识思路,基于对各类聚集体物质系统成分及成分间相互作用的研究,基于对无机化学、结构化学相关教材的深入研究,本研究团队经过高度的抽提和凝练,以相互作用和几何拓扑2个视角,建构了物质的化学聚集路径认知模型(图2)。该认知模型具有高度统摄性,不仅可以结构化地认识物质的化学聚集,也凸显了聚集单元的核心价值。2022年诺贝尔化学奖授予“点击化学和生物正交化学”^[6],通过小单元简单高效拼接实现功能分子的化学合成,这些重要的小单元即为认知模

型中的广义分子(聚集单元),基于其基本功能性成分的结构特征,通过聚集建造复杂的聚集体大楼。

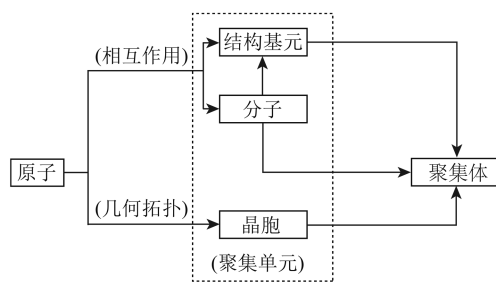


图2 物质的化学聚集路径认知模型

(三) 聚集体物质系统与其功能系统是如何关联的

聚集体功能系统指的是基于聚集体性质的聚集体性能和应用,聚集体物质系统与其功能系统的关联,体现了化学学科的基本观念——结构决定性质。

一直以来,基于大学和高中化学教材的教学研究,结构决定性质有以下2方面体现:(1)原子的电子结构决定了元素的性质:如金属性、非金属性、电离能、电负性等;原子结合得到分子,分子的电子结构和空间结构决定了物质的性质:如物质的氧化性、还原性、酸性、碱性、稳定性、极性等。例如,钠原子的电子结构决定了其第一电离能很小,氟原子的电子结构决定了其电负性非常大,氮气的电子结构,决定了其非常稳定,二氧化碳和二氧化硅的电子结构和空间结构决定了二者的性质有非常大的差异。(2)以晶体作为研究对象时,既要考虑最基本粒子的电子结构和空间结构,也要考虑粒子的堆积结构,晶胞无隙并置得到晶体的过程体现了晶体的拓扑结构。所谓晶体的拓扑结构是指晶体之间以某种方式相互连接在一起,每一个物体都能找出对应的拓扑结构,拓扑结构一定程度上决定着物质的性能,例如,WO₃晶体的不同拓扑结构对其电致变色性能具有显著的影响^[7]。笔者将上述已有的结构决定性质的认识思路称为狭义的结构决定性质(下页图3),其狭义性表现在没有区分分子和分子聚集得到的聚集体之间性质的区别,除晶体外,对于其他的宏观聚集态,并没有形成系统和完善地认识其结构与性质的思路和方法。

物质的性质仅由组成的基本粒子决定吗?答案显然是否定的。李存璞在研究中发现,至少21个水分子组成的分子团,才与宏观1滴水的光谱基本吻合^[8]。宏观水聚集体的结构既包含基本粒子的电子结构和空间结构,也包括其聚集单元水分子聚集得到聚集体的聚集结构。

探究聚集体物质系统与其功能系统的关联,需在

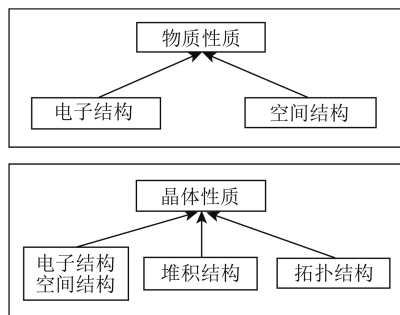


图3 结构决定性质认知模型

狭义的结构决定性质的基础上,进一步拓展新观念:聚集体结构决定聚集体性质。认识聚集体结构有两个视角,(1)基本成分视角即分子视角,体现为电子结构和空间结构,既涵盖了狭义的结构决定性质,又体现了基本化学粒子构成聚集单元的结构特征;(2)功能性成分视角即聚集单元视角,聚集单元聚集为聚集体的过程体现了物质的聚集结构,两部分共同构成了基于聚集思想的构性关系认知模型(图4)。

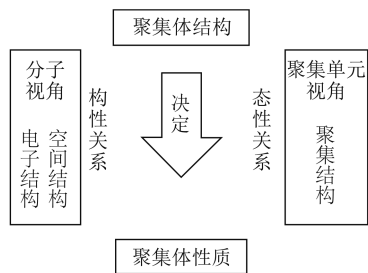


图4 基于聚集思想的构性关系认知模型

聚集单元视角的建构,是聚集体功能系统研究的基础,例如,当我们研究纳米金材料时,既可以基于金原子的电子结构来认识其稳定性,也可以基于其聚集单元纳米金颗粒来认识其聚集结构,正是因为其聚集单元特殊的表面效应和小尺寸效应,才使得纳米金聚集体成为一种特殊的聚集态,使其在光学、声学、电学、磁学和化学反应等方面有特殊的性能,并在多个领域发挥重要的作用^[9]。

二、化学聚集思想的教学价值

化学聚集思想具有重要的教学价值,高中化学教师深刻体会化学聚集思想的内涵,建构其多层次、多路径的认知模型,形成认识聚集态的结构化思维方式和方法,将学科理解转化为课堂教学,引导学生建构化学聚集的认识视角和认识思路,对学生学科核心观念的形成和学科核心素养的发展具有重要的意义。

(一) 建构认识宏微关联的结构视角

宏微结合是化学学科重要的核心素养,也是基于化学视角认识和研究物质的一般思路。在以往的

化学研究中,由一到多的研究,是基于物理化学视角,物理化学研究3个层次:宏观层次、微观层次和微观到宏观的过渡层次,3个不同层次的普遍规律建筑在热力学、量子力学和统计力学等物理学科基础之上,联系宏观和微观的层次基于统计力学得以建筑,统计力学以大量微观粒子构成的宏观系统作为研究对象,从物质的微观运动形态出发,利用统计平均的方法,由粒子的微观性质,来获得各种宏观性质(见图5)。

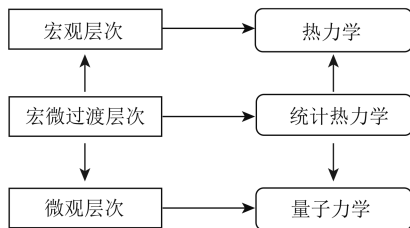


图5 物理化学视角下的宏微结合

化学聚集思想的建构,聚集层次的认识,聚集单元的探寻,聚集结构的提出,则是基于结构视角实现了由1到多(1个化学粒子到大量化学粒子的聚集体),建立了宏观和微观的联系。微观视角,我们可以研究组成物质基本粒子是什么、探究基本粒子的结构和性质;宏观和微观的过渡层次,我们探寻物质的聚集单元结构和性质;宏观层次基于聚集结构认识宏观物质的结构和性质,以上化学研究的思路和方法,建构了结构视角下的宏微结合^[10](见图6)。

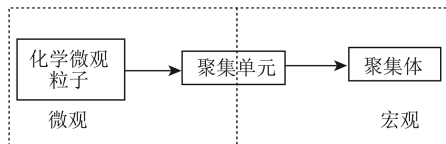


图6 结构视角下的宏微结合

(二) 基于“态性关系”丰富了“构性关系”的内涵

以往的学习中,学生形成了“构性关系”这一核心观念,前面的研究中,我们已经论证了狭义构性关系的局限性,提出了基于聚集思想的构性关系认知模型。物质的聚集结构决定了聚集体的聚集状态,物质的聚集结构,决定了聚集体的某些性质和性能。笔者提出“态性关系”,指的是物质的聚集结构(聚集状态)与物质性质或性能之间的关系,是构性关系在聚集体层次的一种反映,丰富了“构性关系”的内涵。

态性关系的提出是结构决定性质这一基本化学观念的重大突破,建立态性关系的观念,建构基于聚集结构认识聚集体性质的视角,对化学研究和教学具有重大的意义和价值。例如在教学实践中,研究催化剂对化学反应的影响,学生自主探究,通过改变

催化剂的聚集单元尺寸,实现由普通催化剂到纳米催化剂的进阶,基于“态性关系”,学生可以再进阶提出单原子催化剂^[11],逐步感受聚集状态的改变对聚集集体性质和性能的影响。

(三) 基于聚集态丰富了化学物质多样性的内涵

化学物质具有多样性,一直以来学生对物质多样性的理解,多基于物质组成成分的多样性。例如,化学元素有 118 种,这些化学元素构成的化学物质种类繁多,尤其利用碳成键的多样性,实现多种有机物的设计和合成。

值得学生深入思考且能引发学生观念提升的是,即使物质的组成成分相同,也会呈现不同的聚集态。水晶、石英、沙子是不同聚集态的二氧化硅;金刚石、石墨、足球烯是不同聚集态的碳单质;不同聚集态的氧化铝,如 α 氧化铝和 γ 氧化铝,呈现出不同的性质和性能,这些物质的多样性源于不同的聚集结构。事实上,每一种物质聚集态的独特样态,都是电子结构、空间结构和聚集结构的综合体现,聚集思想的提出,丰富了物质多样性的内涵,即基于聚集思想认识聚集态的多样性,基于聚集态多样性认识化学物质的多样性。

(四) 为认识物质的聚集态提供了新的认识视角和认识思路

认识物质的聚集态有聚集单元和聚集方式两个视角,聚集单元的认识又有聚集单元种类和聚集单元尺寸两个思路,聚集单元的种类和聚集单元的尺寸均具有多样性。聚集方式的认知有化学相互作用方式和空间几何方式两个思路,聚集单元之间相互作用有化学强相互作用——离子键、金属键和共价键,也有化学弱相互作用——范德华力和氢键;聚集单元之间的空间几何方式有有序聚集和无序聚集,或介于两者之间的部分有序聚集。

物质的聚集状态是高中化学课程的新内容,基于上述认识视角和认识思路(图 7),结构化地认识聚集体和聚集态,具有高度统摄性和可迁移性,对高中化学教学设计与实施具有重要的指导价值。

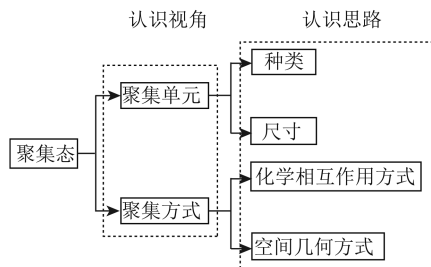


图 7 聚集态的认识视角和认识思路结构化模型

例如,在教学过程中,设计引导学生基于聚集单元的尺寸来认识离子液体,通过调整阴阳离子的尺寸,控制离子键强弱,形成稳定性强、低熔点的离子液体。学生建构了化学聚集思想,不仅可以应用创新思维分析和认识聚集态物质,也可以通过设计聚集单元和聚集方式,提出创造具有特定性能物质的新思路。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020:40-44.
- [2] 苗东升. 系统科学精要[M]. 北京:中国人民大学出版社,2016:22-25.
- [3] 郑长龙. 大概念的内涵解析及大概念教学设计与实施策略[J]. 化学教育,2022,43(13):6-12.
- [4] 李晓倩,刘翠,王磊,等. 氧化还原反应复习的项目式教学设计与实施——探秘“84”消毒液[J]. 化学教育,2020,41(17):43-48.
- [5] 张红漫. 水溶液中亚甲蓝分子聚集状态的研究[J]. 分析科学学报,2004,20(6):573-576.
- [6] 李劫,王初. 大道至简——2022 年诺贝尔化学奖“点击化学与生物正交化学”[J]. 中国科学基金,2022,36(6):931-933.
- [7] 邵光伟,于瑞,傅婷,等. 三氧化钨晶体拓扑结构生长行为及其电致变色性能[J]. 物理学报,2022,71(2):333-341.
- [8] 李存璞. 至少多少个水分子,才能叫一滴水?[EB/OL]. (2021-02-07). <https://mp.weixin.qq.com/s/lMgJSouGfmLN2U77YWeg>.
- [9] 徐鸣. 当金遇到纳米——从大众的宠儿到科学家的掌上明珠[J]. 化学教育,2019,40(11):1-7.
- [10] 胡英. 物理化学[M]. 北京:高等教育出版社,2014:1-5.
- [11] 孙磊,郑长龙. 基于尺度视角下的“催化剂”拓展课教学[J]. 化学教育,2020,41(5):17-25.

【作者简介】李雪源,东北师范大学教育学部(吉林 长春 130024),东北师范大学附属中学(吉林 长春 130021);郑长龙(通讯作者),东北师范大学化学教育研究所(吉林 长春 130024);陈彬,东北师范大学化学学院(吉林 长春 130024);李存璞,重庆大学化学化工学院(重庆 400044);邝文波,大连市第二十四中学(辽宁 大连 116014);苗冬雁,大连教育学院(辽宁 大连 110021)。

【原文出处】摘自《化学教育》(京),2023. 19. 22~27

【基金项目】东北师范大学教师教育“揭榜领题”重大项目“学科理解视域下化学教学理论新体系的构建研究”(项目编号:JSJY20220101)。