



从大概念“尺度与结构”角度构建深度思维课堂

——以“晶体结构”为例

张道年*

(佛山市第一中学 广东佛山 528000)

摘要 氯化钠与氯化铯的阴阳离子个数比相同但晶胞结构却有很大差别。用模型建构、数学计算等方式并融合“尺度与结构”等大概念思维,引导学生循着科学家的科学研究方式思考问题。

关键词 模型建构 化学计算 核心素养 尺度与结构 思维课堂 大概念

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2021050174

1 问题的提出

化学计算问题常以图像、曲线、晶胞等表征形式呈现,学生运用表征信息,循着识别、列关系式、数学计算的思维路径解决问题,思维过程包括学科观念、关键能力和必备品格等3个方面(图1)。例如当问题以晶胞模型的形式出现时,信息输入后在学生头脑中进行加工,学生若能对表征形式较为了解就可以顺利列出式子并进行数学运算。但是大部分学生空间想象能力并不强,所以对晶胞模型这种三维表征形式的掌握程度并不好,因此在遇到晶胞等立体结构时都会因为思路“卡壳”而列不出计算式,思维陷入僵局,得分不高就属正常了。

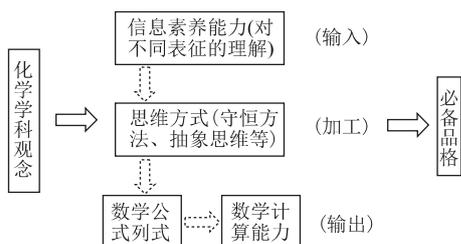


Fig 1 The key ability is an important part of solving chemical calculation questions

图1 关键能力是化学计算解题的重要部分

《科学教育的原则与大概念》提出了10项科学教育原则以帮助学生理解周围的自然世界,简而言之就是利用大概念进行课堂教学设计的思路,这早就成为了中学化学教研的主要研究路径^[1-2]，“尺度与结构”诠释了微粒体积不同造成物质性质的差异,例如氯化钠和氯化铯的熔沸点差异就很大。微观结构是学生难以理解的地方,学生的空间想象能力有限,若教学素材不当课堂就会成为“抽象派的艺术殿堂”,所以适当引导以提升学生的化学深度思维尤

为重要。长期以来部分学生认为化学是“散杂乱”的代名词,因为很多的化学知识好像是靠记忆获取。其实这种看法较为片面,是浅层思维的化学课堂造成的,化学知识是有规律可循的,因此可以通过优化课堂教学素材实现学生思维的提升,因此“深度思维课堂教学”的构建就显得尤为重要了。氯化钠和氯化铯都是离子化合物,在物质内部依靠阴阳离子的相互作用力聚在一起,2种物质的阴阳离子数目之比都是1:1(图2),但晶胞却有非常明显的差异,最突出的莫过于阴阳离子的配位数分别是6和8(表1)。这个差异平时无论是学生还是教师并不关注,但一经提出却无法说清原因。学生因难以直接观察物质内部的微观结构,所以对物质结构与性质之间的关系只是浅层了解,若要实现深度思维必须要创新课堂教学设计。本文采取乒乓球模型模拟氯化钠和氯化铯的晶胞微观结构,让学生亲身感受阴阳离子的堆积,用数据的差异体会晶胞的区别。学生在面对复杂情境时不但需要感性认识,更需要理

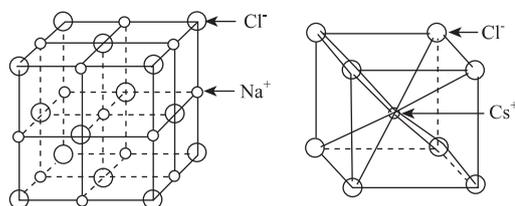


Fig 2 Unit cell model of sodium chloride (NaCl) and cesium chloride (CsCl)

图2 氯化钠(NaCl)和氯化铯(CsCl)的晶胞模型

表1 2种离子晶体的配位数

Table 1 Coordination number of two ionic crystals

晶胞类型	NaCl	CsCl
配位数	6:6	8:8

* 通信联系人, E-mail: zhangdaonian@126.com

性知识,用模型建构和数学计算相结合的方式帮助学生更好地理解微粒结构与物质性质之间的关系。

2 乒乓球模拟微粒的堆积及运动

学生的化学计算题正确率低的原因并非是因为数学计算能力差,更多地应该是对表征信息理解不足造成的,也是化学素养不高的一种表现。因此若要提高学生的计算题正确率就需要提升学生化学表征的理解水平。从图2氯化钠和氯化铯的球棍模型可见 Na^+ 和 Cs^+ 周围的氯离子的配位数是不同的,在“键球模型”中原子与原子之间并没有相切,学生也难以理解教材中所说的“晶体中正负离子的半径比(r_+/r_-)是决定离子晶体结构的重要因素”的真正内涵,所以深度思维课堂需要的是创新性教学素材,便于学生从更新更高的角度看三维空间的结构,例如用乒乓球模型模拟氯化钠和氯化铯晶胞的堆积等。虽然化学研究集中在原子和分子层面,但是微观结构却不能被学生直接观察,因此学生缺乏感性素材,难以实现课堂教与学的有效互动。“尺度与结构”指出微粒的微观结构与宏观性质间存在着某种必然的联系,例如纳米技术研究的就是颗粒大小处于1~100纳米范围内材料的性质,因此“尺度与结构”也必将成为高中化学课堂培养学生化学学科核心素养的重要载体。马薇^[3]等用泡沫球模拟原子(或离子),用扭扭棒模拟化学键实现了学生可以“直接观察”晶胞等微观结构的目标。模型构建的优点是晶胞结构呈现得非常清晰,但仅仅是静态的模型,要真正理解微粒堆积的原理与规律还是有很多不足的。任红雷^[4]等使用乒乓球模拟微观粒子,实现了“原子的运动”,网络上也可见使用乒乓

球模型^[5]实现金属晶胞的堆积,为本文的教学设计提供了必要的实践经验。乒乓球堆积模拟金属原子的堆积,实现“科学探究与实践”的课堂教学功能,同时将离子晶体中阴离子的堆积看作金属原子堆积的“思维延伸”,实现课堂教学的深度思维。探究氯化钠和氯化铯晶胞的结构差异可以从阴离子堆积方式的差异看起,氯化铯和氯化钠中氯离子的堆积方式分别按照简单立方堆积、面心立方最密堆积的方式,而阳离子则看作为“穿插”于阴离子堆积后的空隙中。笔者展示了自制教具中乒乓球的2种“堆积”方式(图3),左边盒中的乒乓球是“四配位”的,而右边盒中的乒乓球是“六配位”的,从左向右经过振动就可以轻而易举地实现,而从右向左就很难实现了,这种现象符合大自然的基本规律。

【问题1】 单层乒乓球哪种堆积方式最优?

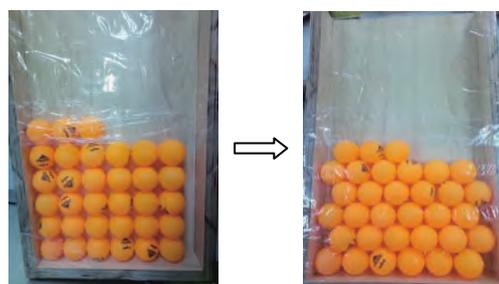


Fig 3 Simulation of stable stacking mode of single layer table tennis with self-made teaching aids

图3 用自制教具模拟单层乒乓球的稳定堆积方式

【问题2】 层与层的乒乓球是如何堆积的?

层与层之间的堆积分为非密置层和密置层这2种情况,见图4和图5。

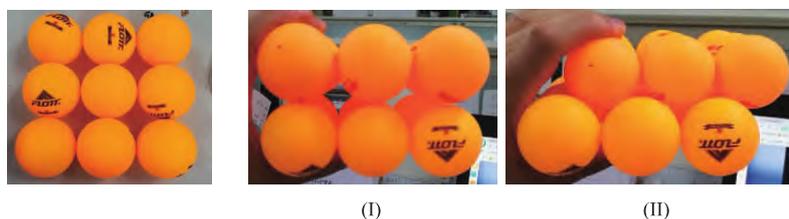


Fig 4 Stacking method of table tennis balls with two non close layers

图4 两层非密置层的乒乓球的堆积方式

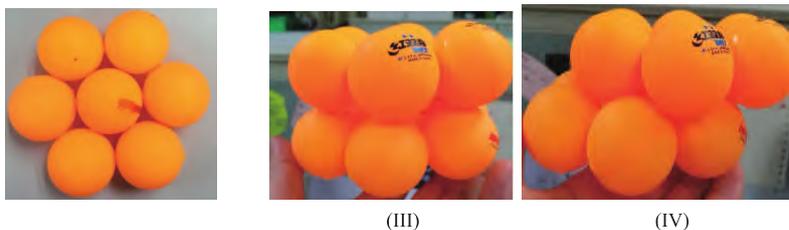


Fig 5 Stacking method of table tennis with two close layers

图5 两层密置层的乒乓球的堆积方式

【问题3】图6中(I)(II)(III)(IV)的4种堆积方式,哪一种堆积方式最稳定?哪一种堆积方式最不稳定?

理解单层原子最优堆积方式后再分析层与层之

间的堆积。当单层堆积是密置层、层与层之间是错位排布时就是最优的堆积方式(即IV),而当单层堆积是非密置层、层与层之间相切时则是最差的堆积方式(即I)。



Fig 6 Comparison of four different stacking methods of monolayer atoms

图 6 4种不同的单层原子堆积方式的比较

表 4 金属晶体原子的 4 种堆积方式

Table 4 Four stacking modes of atoms in metallic crystals

简单立方堆积	体心立方堆积	六方最密堆积	面心立方最密堆积
			

金属晶胞由于最小微粒是相同原子,所以采取乒乓球模型建构的方式实现了学生的直观观察,与大自然的规律是相一致的,离子晶体中阴离子的堆积与金属原子的堆积方式是非常类似的。表4乒乓球模型呈现简单立方堆积、体心立方堆积、六方最密堆积和面心立方最密堆积等4种类型。将这种抽象的微观结构转化为直观的教学素材,自然而然地就拓展了课堂思维深度,避免由于学生空间想象能力的薄弱而导致对化学问题认识的模糊化。

3 从“尺度与结构”的角度理解离子晶体配位数的教学

金属晶胞4种堆积方式中最常见的2种,即简单立方堆积和面心立方堆积,金属原子之间是相切的。将该模型堆积方式“迁移”至离子晶体,理想的离子晶胞模型就是阴离子紧密相切,表5中 $r(\text{Cl}^-)$ 和 $r(\text{Na}^+)$ 分别是181 pm和95 pm,因此 Cl^- 和 Na^+ 的半径比大约是2:1,而 $r(\text{Cl}^-)$ 和 $r(\text{Cs}^+)$ 分别是181 pm和169 pm,因此 Cl^- 和 Cs^+ 的半径比大约是4:3.7。根据阴阳离子半径比的尺寸大小,笔者指导学生们在课前寻找合适的球体来模拟3种不同类型的离子。用乒乓球(直径4.0 cm)模拟氯离子(Cl^-)、自制黏土球(半径3.7 cm)模拟铯离子(Cs^+)、白色泡沫球(直径2.0 cm)模

拟钠离子(Na^+),见图7。

表 5 3种离子半径数据^[6]

Table 5 Radius data of three ions

离子类型	Na^+	Cs^+	Cl^-
离子半径/pm	95	169	181

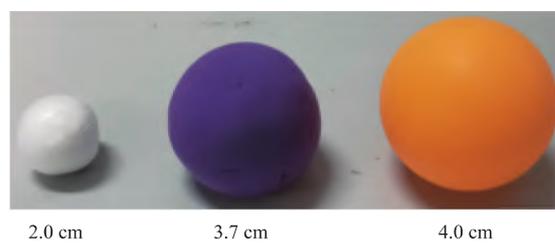
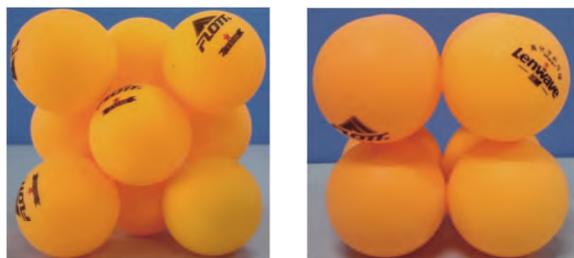


Fig 7 The rigid sphere model of three ions (from left to right Na^+ , Cs^+ and Cl^-)

图 7 3种离子(从左到右, Na^+ 、 Cs^+ 和 Cl^-)的刚性球模型

用胶水将乒乓球粘在一起,拼制出氯离子(Cl^-)的面心立方最密堆积和简单立方堆积模型(图8),然后再将 Na^+ 或 Cs^+ 嵌入到氯离子堆积的缝隙中去,这种方式将三维的立体结构用乒乓球模型实物化。当“阴离子”堆积完成后,再继续将“阳离子”嵌入到空隙中就会发现氯化钠和氯化铯的模型堆积方式出现了“分歧”。按照面心立方最密堆积的氯离子,其八面体缝隙是可以“镶嵌”钠

离子的(图9),但是八面体缝隙难以再“塞入”铯离子(图10),原因显而易见就是铯离子比钠离子体积大一些,所以当铯离子“镶嵌”到氯离子的空隙中时势必会破坏氯离子原有的堆积方式。事实上氯化铯中氯离子是按照简单立方的堆积方式,但由于铯离子半径较大,所以氯离子间的相切结构并不好(图11)。可见乒乓球、泡沫球或者塑料球可以直观地模拟出微观结构中离子之间的相对位置。



(a) 氯离子面心立方紧密堆积 (b) 氯离子简单立方紧密堆积

Fig 8 Two stacking models of chloride ions

图8 2种氯离子的堆积模型

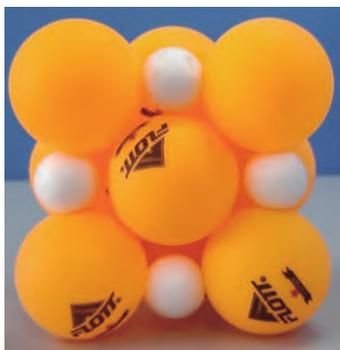


Fig 9 Schematic diagram of sodium chloride unit cell simulation

图9 氯化钠晶胞模拟示意图



Fig 10 Chloride ion (Cl^-) and cesium ion (Cs^+)

图10 氯离子(Cl^-)与铯离子(Cs^+)

4 教学反思

当教师熟练地掌握教材和拥有深厚广博的化学知识,深知学生的思维缺陷才能“对症下药”。微粒的大小不同,物质的性质就会有所不同,例如



Fig 11 Simulation of cesium chloride unit cell

图11 氯化铯晶胞模拟示意图

氯化钠和氯化铯在熔沸点、密度、折射率、配位数等方面都是不同的就缘于此。但是由于学生难以准确把握微粒大小关系,也没有实物提供参考,所以就会造成思维障碍。即便是球棍模型,由于模型的侧重点在于让学生清晰地了解微粒与化学键的相对位置,而对微粒的运动方式、能量最低原理等内容是难以展现的,因此运用乒乓球模型是非常有必要而且有很强的实践意义。“宏观辨识与微观探析”是化学学科核心素养的重要一环,而“尺度和结构”是大概念的重要概念,二者结合就是本文的核心。模型建构的感性认识远强于理性认识,模型比较直观,便于观察,而化学计算则是理性认识强于感性认识,因为数据相对直观,便于比较,所以二者结合就能够从不同方面增强学生对氯化钠和氯化铯晶胞的认识。只有明确了思维途径,多从显性方面准备教学素材学生才容易接受,更加尊重结果。

4.1 运用乒乓球模型了解晶胞基本结构

当氯离子(Cl^-)按照面心立方最密堆积后就会出现若干个空隙,根据尺寸匹配的原则钠离子(Na^+)会“钻进”八面体空隙里,但若换成铯离子(Cs^+)就无法“钻进去”,铯离子(Cs^+)采取的“方案”是“杀出一条血路来”,促使氯离子(Cl^-)的紧密堆积结构“变形”,最终氯离子的堆积方式成了“变形”的简单立方堆积,上述推理过程是典型的“结构与性质”关系的体现,属于“尺度与结构”的范畴。综上所述,氯化钠和氯化铯配位数不同的原因是阳离子半径有大有小,所以在氯化铯晶胞中阳离子就将阴离子“拨到一边”,因此阴阳离子半径之比是非常重要的数据,它能够让学生更加清晰地认识到晶胞结构不同的原因。结构与性质之间的关系用模型呈现出来,虽然与模型相关的计算在高中阶段属于相对较难内容,但正是由于结构模型的正向作用有效地降低了计算的难度。乒乓球模型从想

象到实物,学生在纸上作图,从三维到二维,这种创新的方式让学生看得更清晰、理解得更充分。

4.2 用数学计算深度理解离子晶体的晶胞结构

为了能够让学生更好地理解氯化钠和氯化铯晶胞的区别,课堂设计时将难度适当拔高,可以采用计算的方式促进学生对晶胞结构的理解。因为学生已经认识了乒乓球模型,对晶胞结构已经有了一定程度的理解,所以可以依据2个典型的紧密堆积的模型将“晶胞侧面”和“内部斜面”抽离出来,将三维结构转化为二维平面。因为学生已有了对乒乓球模型的感性认识,所以思考起来会更加轻松,因此化学计算正确率较之以前也提高了不少,同时用易于直观对比的数据,学生非常清晰地理解为什么2种晶胞的配位数是不同的。本节课的设计是基于前期的调研,教师非常了解学生化学计算差的原因是因为对化学素材的表征形式并没有真正地理解,因此当提出“为什么氯化

钠和氯化铯的阴阳离子配位数不同”时学生就会不知所措。三维结构在学生头脑中难以直接转化为二维,用乒乓球建构模型,学生的直观感受更深。再将三维转化为二维平面,推动了学生思维的发展,构建了深度思维的课堂。

参 考 文 献

- [1] 喻俊,叶佩佩. 化学教育(中英文), 2020, 41(9): 41-45
- [2] 王维臻. 化学教育(中英文), 2019, 40(13): 23-27
- [3] 马薇,孟丽慧,刘立波. 化学教育, 2016, 37(23): 73-77
- [4] 任红雷. 云南化工, 2018(S1): 111-112
- [5] 匡三. 花巨资用乒乓球演示两种晶体结构 [EB/OL]. (2020-12-31) [2021-07-31]. <https://www.bilibili.com/video/av628402619/>
- [6] 人民教育出版社课程教材研究所. 普通高中课程标准实验教科书: 物质结构与性质(选修3). 北京: 人民教育出版社, 2009: 79

Constructing Deep Thinking Classroom of Crystal Structure from the Perspective of “Scale and Structure”

ZHANG Dao-Nian*

(Foshan No. 1 Middle School, Foshan 528000, China)

Abstract The number ratio of cation and anion of sodium chloride and cesium chloride is the same, but the crystal cell structure is very different. This paper uses the methods of model construction and mathematical calculation, and integrates the thinking of big concepts such as “scale and structure”, so as to guide students to think in the way of scientific research by scientists.

Keywords model construction; chemical calculation; core literacy; scale and structure; thinking classroom; big concepts