

基于学科大概念的“物质结构与性质”高三化学专题复习

——以“含锡物质”为例

上海市第二中学 丁彦桢

摘要：以“探究锡元素及含锡物质的结构与性质”为例，在分析陌生元素和物质的过程中构建“物质结构与性质”模块中原子结构与元素性质、分子结构与性质、晶体结构与性质的重要思维模型，复习活化相关知识，促进“结构决定性质、性质反映结构”大概念的形成，发展学生的宏观辨识与微观探析、证据推理与模型认知等学科核心素养。

关键词：物质结构与性质；高三专题复习；大概念

1 教学主题内容及教学现状分析

本节课是选择性必修课程模块2——物质结构与性质的高三复习课。以探讨锡元素及含锡物质的性质为主题，涉及核心知识有：（1）原子结构与元素的性质，涉及原子结构、元素在元素周期表中的位置、元素的性质三者的“位、构、性”关系模型的建立。（2）共价分子的空间结构，涉及共价键的本质和特征，以及运用相关理论对简单分子的中心原子杂化类型、空间结构、分子极性、分子极性等性质进行解释和预测。（3）微粒间的相互作用和晶体的性质，涉及了物质的构成微粒、微粒间相互作用与晶体类型、物质性质的关系。本节课在探究活动中复习这些核心知识，活化学生的“惰性知识”，提高提取、利用信息的能力，以及运用相关理论和模型，从原子结构和物质结构分别分析元素性质和物质性质的能力，促进“结构决定性质，性质反映结构”这一学科大概念的形成，发展“宏观辨识与微观探析”、“证据推理与模型认知”等学科核心素养。

在《普通高中化学课程标准（2017年版2020年修订）》（以下简称《新课标》）中，强调以真实情境为测试载体，以实际问题为测试任务，新等级考的题型也转变为在真实情境下运用化学知识解决实际问题，以求测试出学生具有的学科核心素养水平^[1]。这样的测试原则，要求学生避免将知识学成仅仅知道，不会应用的“惰性知识”，而是要将知识内化为能拿来应用在实际问题中的“活性知识”，在将知识活化的过程中，发展学生的学科核心素养。

基于此，本节复习课围绕锡元素设计真实情境，组织学生探究锡元素及含锡物质的性质，在探究活动中提高学生物质结构与性质这一模块下相关知识的应用能力，促进学生习得“活性知识”，促进化学学科核心素养的发展。

2 学情分析

（1）经过新授课的教学，学生已知道教材中熟悉、常见物质的结构与性质，并且知道

高中阶段学习的物质结构相关理论和模型。但是遇到陌生物质，学生还难以调用出合适的理论和模型分析它们的结构与性质。在解决问题时，背景资料中的有效信息与所学的相关知识不易形成联系，反映出提取脑中知识的线索单一，在面对复杂情境时感受不到知识的激活点。

(2) 学生已知道可以通过分析微粒间的相互作用力来分析物质的性质。但是在实际应用的过程中，常常出现运用错误的知识解释相关性质的情况。如错误地通过比较共价键能分析分子的熔沸点；或用范德华力或氢键解释分子的热稳定性等。这反映出学生目前对知识应用边界的认识还尚不清晰。

3 教学思想与创新点

3.1 陌生又熟悉，用“旧知识”解决“新问题”，提高实际问题解决能力

复习课的目的旨在提高学生对旧知识的应用能力，物质结构方面的知识需要与物质的性质相联系，探究陌生物质的性质对学生来说是一项具有挑战性的任务，在运用熟悉知识分析陌生物质的过程中，学生既能在知识的应用过程中提高解决问题的能力，也能在具有挑战性的问题解决过程中激发出学习的兴趣，感受到运用知识顺利解决问题的快乐。

锡元素是位于第5周期的主族元素，在高中阶段并不深入研究该元素及其形成物质的性质，但是含锡物质作为古代五金（金、银、铜、铁、锡）之一，自古以来就有应用，现代含锡物质在生产生活中的应用更加广泛，是一个适合在高中阶段进行探究的“陌生元素”。锡元素的电负性为1.8，其元素性质在具有金属性的同时还能表现出一定的非金属性，使得含锡物质的结构与性质具有丰富的探究价值。锡的两种同素异形体：白锡和灰锡，分别是金属晶体和共价晶体，锡的卤化物会因为卤素元素电负性的差别，形成离子晶体或分子晶体^[2]。

因此，学生在探究锡元素和各种含锡物质性质的过程中，能充分调动所学的物质结构知识，在知识应用中提高用熟悉知识解释陌生问题的迁移能力，形成用理论联系实际的思维方式，提高解决实际问题的能力，促进“宏观辨识与微观探析”、“证据推理与模型认知”等学科核心素养的发展。

3.2 发展构性分析的一般模型，助力学科大概念的形成

通过建立构性分析的一般模型，可以更好地把握知识的应用边界，有效避免解决问题时概念模糊或混淆的情况发生。本课首先通过分析锡元素的原子结构判断锡元素的性质，强化学生针对元素的“位、构、性”分析模型，促进“原子结构决定元素性质”这一概念形成。

含锡物质丰富的晶体类型反映出其构成微粒和微粒间作用力的多样性，是构建“物质结构（微粒、作用力、晶体类型）—物质性质”这一针对物质的分析模型的理想载体。通过分

析白锡的构成微粒解释其良好的导电性，再从构成微粒和作用力的角度解释 SnCl_4 和 SnF_4 的熔点差异，使学生在知识运用过程中感受构成物质的微粒和作用力的差异，体会知识应用边界。接着从配位键和氢键的角度解释 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 熔点高于 SnCl_4 的原因，进一步理解微粒间作用力与物质性质之间的密切联系。最后通过综合分析比较灰锡和白锡的性质，对灰锡的构成微粒及微粒间作用力进行分析，得出灰锡是共价晶体的结论，在探究和讨论中逐渐形成物质构性分析的一般模型，联系孤立知识，活化惰性知识，使知识结构化，促进“结构决定性质，性质反映结构”大概念的形成^[3]，发展学生的化学学科核心素养。

本节课建立的构性分析一般模型见图 3.1。

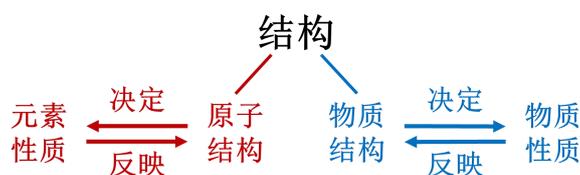


图 3.1 构性分析一般模型

3.3 模型直观化，晶体结构可视化软件助力结构相关知识的深化

微粒、微粒间作用力等物质结构方面的知识属于微观世界的概念，在学习的过程中，因为微观世界的“看不见、摸不着”天然带来了学习障碍。本课借助晶体结构可视化软件（软件名称 VESTA）将晶体结构以模型的形式可视化，以此解决如白锡晶体密度的计算、 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 中微粒间作用力的分析、灰锡晶体类型的验证等问题。通过信息化技术将微观结构可视化的手段有助于搭建微观世界和宏观世界的认知桥梁^[4]，促进学生“宏观辨识与微观探析”、“证据推理与模型认知”等学科核心素养的发展。

4 教学目标

(1) 通过对锡元素的位置、结构、性质信息的分析，深化对“位—构—性”关系的理解，能从元素周期表位置和原子结构等角度分析陌生元素的性质。

(2) 能运用物质结构的相关理论和模型，分析含锡物质的性质和晶体的构成微粒、微粒间作用力、分子的空间结构等结构信息的关系，形成“结构决定性质，性质反映结构”的化学思维。

5 教学流程

本复习课的教学流程见图 5.1。

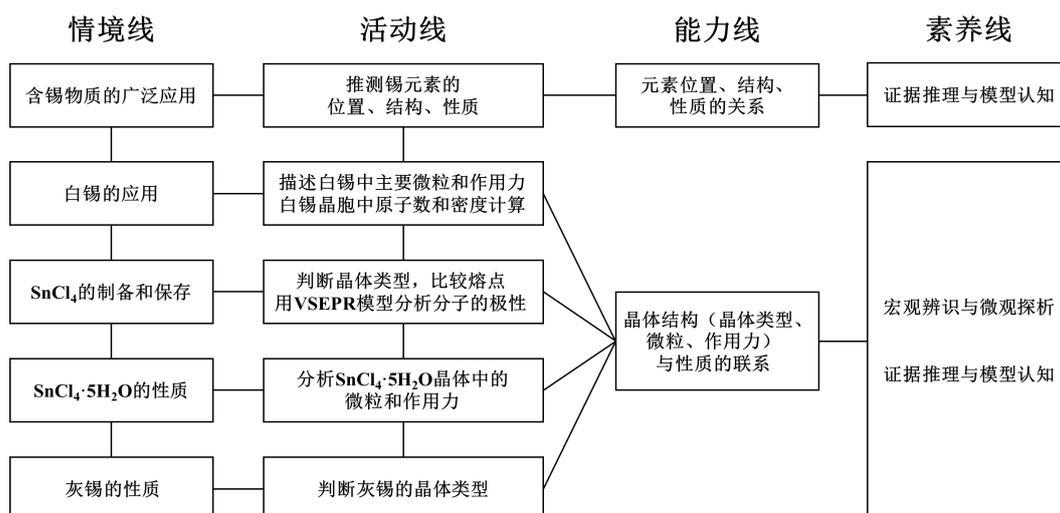


图 5.1 教学流程

6 教学实录

6.1 环节一：锡元素的结构与性质

[教师问题] 锡元素的原子序数是 50，分析锡在元素周期表中的位置和价电子排布信息。进一步推理锡的元素性质（金属性/非金属性，最高/最低化合价等）？

[学生回答] 锡元素具有金属性、最高化合价为正 4 价。

[教师归纳] 元素的位置、结构信息能帮助我们认识元素的性质，从而认识元素组成的某些物质的性质。

设计分析：利用有限的信息，利用元素的“位、构、性”模型分析锡元素的元素周期表位置和原子结构信息，进一步推理出锡元素的元素性质。在分析陌生元素的过程中发展“证据推理和模型认知”的核心素养。

6.2 环节二：白锡

[教师] 展示白锡的广泛应用。

[教师问题] 结合白锡的用途，思考构成白锡的主要微粒及微粒间作用力是什么呢？

[学生回答] 主要微粒是金属正离子和自由电子，微粒间作用力是金属键。

[教师讲述] 锡是金属元素，电离能较小，价电子容易脱离原子核的束缚成为自由电子，金属原子变成金属正离子，两种微粒通过金属键构成金属晶体，因为金属原子紧密堆积距离较近，自由电子能在整个晶体中移动，为白锡带来了良好的导电性。

[教师问题] 根据白锡的晶胞示意图计算白锡晶胞中含有的锡原子数目，根据晶胞的相关信息，列出白锡晶胞密度的表达式。（白锡的晶胞见图 6.1）

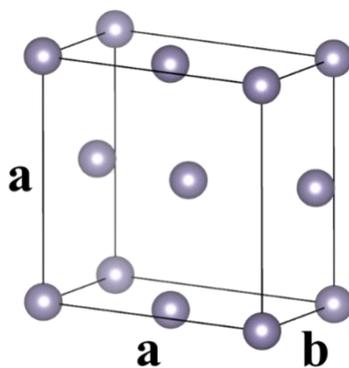


图 6.1 白锡的晶胞

[学生] 分析、计算。

设计分析：从锡的金属性出发，以白锡的物理通性为切入口，认识物质的性质还和物质的构成微粒和微粒间作用力有密切联系，建立金属晶体的结构与金属通性的联系，并能解释白锡有良好导电性的原因，为之后环节中灰锡的晶体类型判断打下基础。强化了晶胞中原子数和晶胞密度的计算方法，过程中也反映了微观结构和宏观性质之间的联系。发展了学生宏观辨识与微观探析的核心素养。

6.3 环节三：锡的卤化物

[教师问题] SnCl_4 广泛应用于电镀、有机合成、材料等领域。请根据 SnCl_4 的制备和保存流程（见图 6.2），思考 SnCl_4 的晶体类型，晶体的构成微粒和微粒间作用力是什么？

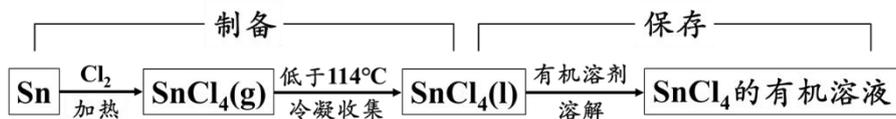


图 6.2 SnCl_4 的制备、保存流程

[学生回答] SnCl_4 沸点较低（ 114°C ），构成微粒是 SnCl_4 分子，微粒间作用力是范德华力。

[教师问题] 在工业中除了 SnCl_4 还有其他锡的卤化物也有所运用，它们的熔点有所不同（见表 6.1），同学们能解释原因吗？

表 6.1 锡的卤化物的熔点

锡的卤化物	SnF_4	SnCl_4	SnBr_4
熔点/ $^\circ\text{C}$	705	-33	31

[学生回答] SnCl_4 和 SnBr_4 都为分子晶体，结构相似，相对分子质量 $\text{SnBr}_4 > \text{SnCl}_4$ ，范德华力 $\text{SnBr}_4 > \text{SnCl}_4$ ，所以熔点 SnBr_4 大于 SnCl_4 。 SnF_4 是离子晶体，熔化克服离子键，离

子键强度一般大于分子间作用力，所以 SnF_4 的熔点大于 SnCl_4 和 SnBr_4 。

[教师问题] SnCl_4 是分子晶体，根据流程图中的信息，同学们能找到依据判断 SnCl_4 分子的极性吗？

[学生回答] SnCl_4 易溶于有机溶剂，是非极性分子。

[教师问题] 除了通过相关性质之外，还可通过 VSEPR 模型，分析 SnCl_4 分子的结构和性质信息，请同学们进行分析。 SnCl_2 也是一种锡的卤化物，请尝试分析 SnCl_2 分子的结构和性质。

[学生] 分析 SnCl_4 和 SnCl_2 的结构和性质。（回答见表 6.2）

表 6.2 SnCl_4 和 SnCl_2 的结构分析表

分子式	Sn 的成键电子对数	Sn 的孤电子对数	Sn 的价层电子对数	价层电子对的空间结构	分子空间结构	分子极性	Sn 原子杂化轨道类型
SnCl_4	4	$\frac{4-4\times 1}{2}$	4	正四面体	正四面体	非极性分子	sp^3
SnCl_2	2	$\frac{4-2\times 1}{2}$	3	平面三角型	角型	极性分子	sp^2

设计分析：本环节选取锡的卤化物，研究晶体类型和化合物性质之间的关系，本环节借助制备 SnCl_4 的工业流程，要求学生从流程操作中找到合适的证据，判断晶体类型，并用晶体、元素电负性等知识解释锡的卤化物性质的递变性。在确定 SnCl_4 是分子晶体的基础上通过 VSEPR 模型分析 SnCl_4 和 SnCl_2 的极性，强化学生对分子结构与性质的分析能力。发展学生宏观辨识与微观探析、证据推理与模型认知的核心素养。

[教师问题] 为了运输、储存、使用的方便， SnCl_4 常被制成水合物 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 在常温常压下是固体，熔点 56°C 。请根据 SnCl_4 和 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的晶体结构，思考 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 熔点较高的原因。

[学生回答] 在 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的结构中，两个水分子通过配位键形成了二水合四氯化锡配合物分子，再通过外界的三个水分子形成氢键进行连接。配位键和氢键的形成提升了晶体结构中的分子间作用力，使结晶水合物有更高的熔点。

[教师讲述] SnCl_4 和 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的实例体现了微粒和微粒间作用力的变化，带来了物质结构的变化，导致了物质性质的变化。

SnCl_4 和 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶体结构见图 6.3。

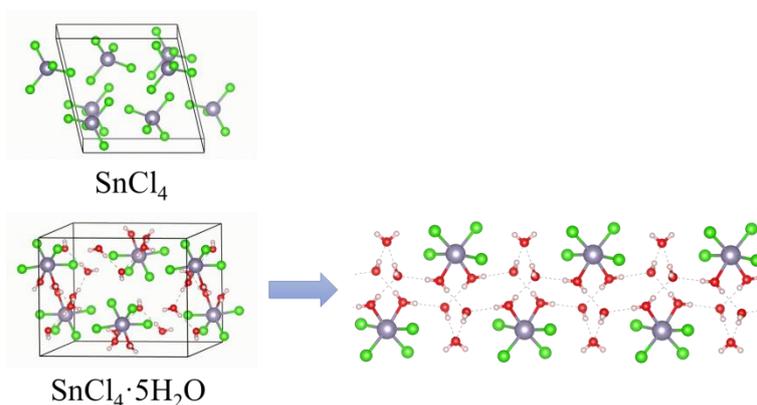


图 6.3 SnCl_4 和 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶体结构

设计分析： $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的结构复杂，学生要发现结构中的氢键和配位键是一个难点，运用了模拟软件将晶体结构直观化，有利于学生能力找到结构中的氢键和配位键，也深化了配合物和氢键的相关知识，利用微观结构的具现化，发展了学生宏观辨识与微观探析、证据推理与模型认知的核心素养。

6.4 环节四：灰锡

[教师] 展示白锡变为灰锡的转变过程，展示两种晶体的 X 射线衍射分析结果。

[教师问题] 通过白锡和灰锡的一些物理性质，尝试判断灰锡最有可能的晶体类型。

[学生] 通过排除法，分析灰锡的晶体类型。（回答见表 6.3）

表 6.3 分析灰锡晶体类型的过程

锡单质	白锡	灰锡	分析过程
导电性	导电	不导电	1) 单质形成的晶体，排除离子晶体。 2) 固态不能导电，排除金属晶体。 3) 微粒间距变大导致了电子难以离开所属原子的范围，构成晶体的微粒可能是原子。
电子	可以自由移动	不可以自由移动	
密度 g/cm^3	7.285	5.769	
微粒间距	近	远	

[教师] 为确定灰锡的晶体类型，展示灰锡的晶体结构，锡原子之间以共价键结合形成空间网状结构，说明灰锡为共价晶体。（见图 6.4）

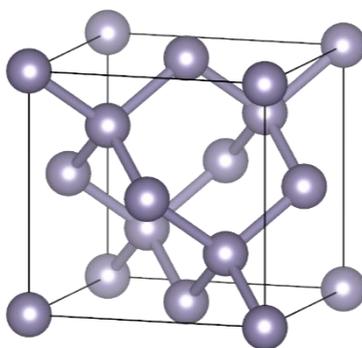


图 6.4 灰锡的晶体结构

[教师问题] 尝试从晶体结构角度解释灰锡与金刚石具有相似结构，但是熔点和硬度均远小于金刚石的原因。

[学生回答] 两种晶体都为共价晶体，结构相似，但是碳元素和锡元素同主族，原子半径 $\text{Sn} > \text{C}$ ，共价键键长 $\text{Sn}-\text{Sn} > \text{C}-\text{C}$ ，键能反之，所以灰锡的硬度和熔点比金刚石低很多。

[教师总结] 通过本节课的学习，我们认识了锡元素的性质，以及白锡、锡的卤化物、灰锡等含锡物质的性质，在探究过程中，我们发现：原子结构的信息能帮助我们认识元素的性质，微粒种类、作用力、晶体类型等晶体结构的信息能帮助我们认识各种物质的性质。结构的相似性和递变性，带来了性质的相似性和递变性。人类对元素性质和物质性质的不断探究，其实就是对原子结构和物质结构的不断探索。

设计分析：从宏观现象和 X 射线衍射分析的结果，说明白锡转变为灰锡时发生了晶体结构的变化。引导学生运用排除法，从微粒和作用力的角度排除金属晶体和离子晶体的可能性。随后进一步深入分析电子从“离域”到“限域”的过程，确定微粒种类是原子，结合晶体结构模型确定灰锡是共价晶体。灰锡的熔点低、硬度低的性质又可通过键长键能来合理解释，使得学生的知识体系活化。在整个分析过程中发展学生宏观辨识与微观探析、证据推理与模型认知的核心素养。

6.5 板书设计

本节课的板书设计见图 6.5。

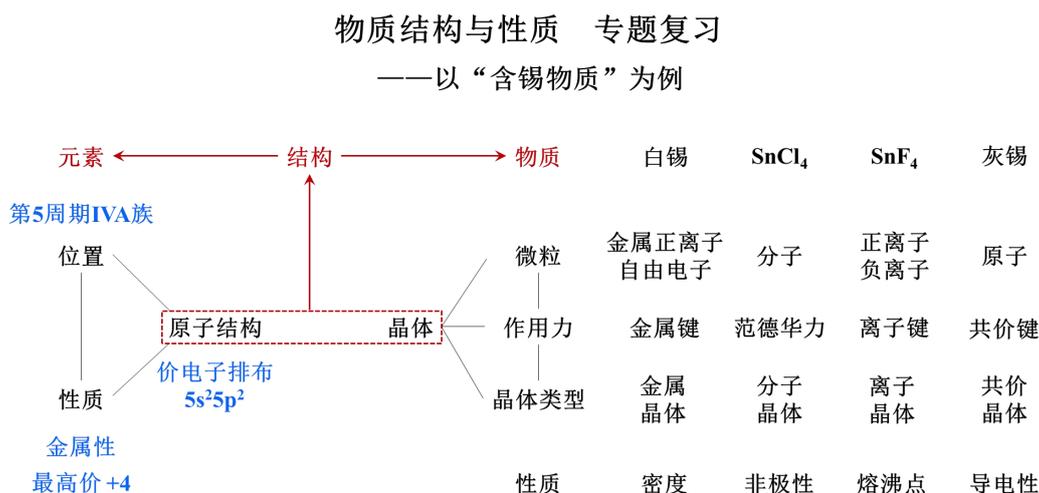


图 6.5 以含锡物质为例的物质构性分析思维模型

7 教学反思

《新课标》强调物质结构与性质模块的教学要注重培养学生运用结构相关理论解决实际问题的“应用”能力。教学实践表明，教师在课堂上引导学生逐步解决陌生元素和陌生物质的结构与性质问题有助于学生提升知识的应用能力。“锡元素及含锡物质”这一课堂主题的选取充分考虑了学生的最近发展区，营造了“陌生但熟悉”、“有趣且真实”的情境。同时锡元素能组成结构与晶体类型多样的物质，为“结构决定性质，性质反映结构”这一大概念的形成提供了丰富的实例素材，助力活化学生所学知识，并在探究物质结构与性质之间关系的过程中，建立起泛用性更强的“构性分析一般模型”，促进了宏观辨识与微观探析，证据推理与模型认知等核心素养的发展。最后，本课中创新地运用晶体模拟软件构建了晶体的三维模型，克服了传统教学手段难以展示陌生物质结构的问题，拓宽了学生的思维，也为高中课堂教学设计带来了新视角和新方法。

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). 北京: 人民教育出版社, 2018
- [2] 郝润蓉, 方锡义, 钮少冲. 无机化学丛书第3卷. 北京: 科学出版社, 2011
- [3] 王换荣, 肖中荣. 化学教学, 2023, 9: 25~28
- [4] 李嘉琪. 化学教育(中英文), 2022, 43(9): 69~75