



“分子空间结构”的单元教学设计*

王广扬¹ 经志俊²

(1 江苏省灌云高级中学 江苏 灌云 222200; 2 南京市第九中学 江苏 南京 210018)

摘要:聚焦学科理解与模型认知,围绕“价层电子对分析”“VSEPR 模型”“杂化轨道理论”等单元学习内容,设置“认识分子空间结构的多样性及其影响因素”“学会预测分子的空间结构”“探究 CH_4 、 NH_3 、 H_2O 键角差异的成因”“运用杂化轨道理论解释 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 空间结构”“建构 VSEPR 模型与杂化轨道理论的内在联系”“体验高考真实问题解决”等教学环节,引导学生有序落实学习内容的认知进阶。

关键词:分子空间结构;VSEPR 模型;杂化轨道理论;学科理解;模型认知

文章编号:1002-2201(2023)11-0015-05

中图分类号:G632.4

文献标识码:B

“分子空间结构”是《物质结构与性质》的学习内容,是发展学生“宏观辨识与微观探析”“证据推理与模型认知”等学科核心素养的重要素材。该学习内容具有理论性强、抽象度高的特点,学习难度较大。

“分子空间结构”包含“价层电子对分析”“VSEPR 模型”“杂化轨道理论”三部分核心内容,不同版本教材在“VSEPR 模型”“杂化轨道理论”呈现顺序和“中心原子价层电子对”分析方法上呈现不同选择(见表1)。

一、单元学习目标

学习目标是素养发展的预期。制订教学目标既

要明确学科核心素养的发展目标、规划学科核心素养的发展路径,又要关注学习目标是否达成的评价。依据《普通高中化学课程标准(2017 年版)》对本单元学习的内容要求与学业要求,从学习目标可评价的原则出发,制订如下单元学习目标:

1. 基于典型案例认识分子空间结构的多样性,初步认证分子空间结构的影响因素。
2. 理解孤电子对数的计算公式,进而掌握中心原子价层电子对数的分析方法。
3. 基于价层电子对间的静电排斥,结合库仑定律($F = q_1 \cdot q_2 / r^2$)建构 VSEPR 模型,并运用 VSEPR 模

认知水平上的差异。

总之,聚焦大概念的建构实施整合性教学,是课程改革不断深化的诉求。充分发挥大概念“统”的思想进行教学资源的有效整合,有助于学生形成良好的、稳定的知识结构,进而转化为解决具体问题的思路与方法,从而支撑学科核心素养的落地。

参考文献

- [1] 王磊. 基于大概念统领多维课程内容,外显学习主题的核心素养发展要求——义务教育化学课程标准课程内容修订重点[J]. 课程·教材·教法, 2022, 42(8): 47-54.
- [2] 胡欣阳,毕华林. 化学大概念的研究进展及其当代意蕴

[J]. 课程·教材·教法, 2022, 42(5): 118-124.

- [3] 李松林. 以大概念为核心的整合性教学[J]. 课程·教材·教法, 2020, 40(10): 56-61.
- [4] 阎文红,郭文华. 科学教育中的大概念:内涵、价值及实现[J]. 教育理论与实践, 2019, 39(29): 22-25.
- [5] 何彩霞. 化学学科核心素养导向的大概念单元教学探讨[J]. 化学教学, 2019(11): 44-48.
- [6] 中华人民共和国教育部. 义务教育化学课程标准(2022 年版)[S]. 北京:北京师范大学出版社, 2022.
- [7] 毕华林,王雨. 《义务教育化学课程标准(2022 年版)》解读——物质的组成与结构[J]. 化学教育, 2022, 43(17): 14-18.

(本文编辑:阳 木)

* 江苏省教学研究“十三五”重点课题“基于高中化学学业质量标准的教学与评价研究”(课题编号:2019JK13ZB04)研究成果;江苏省教育科学“十三五”重点自筹课题“基于学业质量标准的高中化学核心素养评价指标体系研究”(课题编号:Bb/2020/02/63)研究成果;江苏省教育科学“十四五”自筹课题“新课程标准观照下促进学生化学认识发展的教学实践研究”(课题编号:D/2021/02/716)研究成果。

型判断分子的空间结构。

4. 运用杂化轨道理论解释 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 分子空间结构,并基于典型案例发掘中心原子轨道杂化方式与价层电子对数的内在联系。

5. 基于知识关联与认识思路结构化建构 VSEPR 模型预测分子空间结构、杂化轨道理论解释分子空间结构的认知模型。

表 1 不同版本教材的多元呈现^[1-4]

教材	内容编排	价层电子对数推算
人教版	先 VSEPR 模型,后杂化轨道理论	孤电子对数 = $(a - xb)/2$ [a ——中心原子价电子数, x ——配位原子个数, b —— 配位原子最多接受电子数]
沪教版	先杂化轨道理论,后 VSEPR 模型	AB _n 中 A 原子孤电子对数 = σ 键电子对数 + 孤电子对数 (A 的价电子数 - n 个 B 的 单电子总数)/2
鲁教版	先杂化轨道理论,后 VSEPR 模型	中心原子孤电子对数 = (中 心原子的价电子数 - 其他原 子的未成对电子之和)/2
苏教版	先杂化轨道理论,后 VSEPR 模型	AB _n 中 A 原子价电子对数 = (A 的价电 子数 + n 个 B 提供的价电子数)/2

二、单元学习任务

学习任务是深度学习的引擎。方向明确,适度整合,具有一定思维张力的学习任务,是学生学什么、怎么学的清晰向导,任务完成情况又是评价学生学得怎么样的重要依据。

“预测分子空间结构”与“解释分子空间结构”是本单元学习的两大核心任务,“掌握中心原子孤电子对数的分析方法”是问题解决的关键抓手。鉴于此,本单元设置如下学习任务:

1. 依据“ CO_2 、 H_2O 、 BF_3 、 NH_3 、 CCl_4 等分子的比例模型及键角数据”,描述上述分子的空间结构。

2. 阅读教材,建构“中心原子价层电子对”的概念、交流对“中心原子上的孤电子对数 = $(a - xb)/2$ ”的理

解,掌握中心原子上价层电子对数的分析方法。

3. 基于价层电子对间的相互排斥,建构并理解“价层电子对数为 2~4 分子的 VSEPR 模型”,并运用该模型预测分子的空间结构。

4. 阅读教材,理解原子轨道杂化的意义、方式及电子云分布;运用杂化轨道理论解释 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 分子的空间结构。

5. 探究 VSEPR 模型与杂化轨道理论的内在联系,建构预测与解释分子空间结构的认知模型。

三、单元难点突破

“预测分子空间结构”“解释分子空间结构”的核心策略均可聚焦为“模型认知”,而理解模型既是问题解决的关键又是必须突破的难点。基于库仑定律形成“价层电子对或杂化轨道电子云彼此间维持最大距离才能形成稳定结构”的观点,是理解 VSEPR 模型或杂化轨道电子云空间伸展情况的有效策略^[5](见表 2)。

表 2 跨学科突破学习难点

模型及理论	模型理解切入点
VSEPR 模型	价层电子对相互排斥 电子对间保持最大距离  库仑定律: $F = q_1 \cdot q_2 / r^2$
杂化轨道理论	杂化电子云相互排斥 电子云间保持最大距离  库仑定律: $F = q_1 \cdot q_2 / r^2$

四、单元内容结构化

知识建构环节,聚焦认识思路落实内容结构化。引导学生基于价层电子对或杂化轨道电子云相互排斥、键的极性能否相互抵消的视角深度理解 VSEPR 模型、杂化轨道理论、分子极性的由来,掌握预测或解释分子空间结构、判断分子极性的方法(见图 1)。

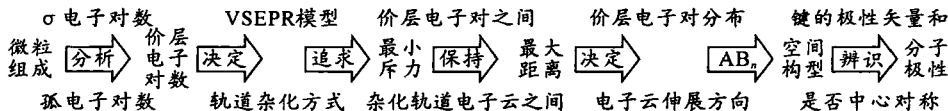


图 1 基于认识思路的内容结构化

单元总结环节,聚焦知识关联落实内容结构化,

帮助学生形成基于逻辑关系梳理知识脉络、整合学



习内容,形成问题解决所需要的知识与方法体系(见表3)。

表3 基于知识关联的内容结构化

价层电子对数	2	3	4
VSEPR模型	$\text{A}-\text{B}$	$\text{A}-\text{B}_2$	$\text{A}-\text{B}_3$
微粒组成	AB_2	AB_3	AB_4
空间构型	直线形	平面三角形	正四面体形
孤电子对数	0	0	1
轨道杂化方式	sp	sp^2	sp^3
电子云伸展			

五、单元教学流程

1. 认识分子空间结构的多样性,初步认证分子空间结构的影响因素

情境素材1如图2所示。

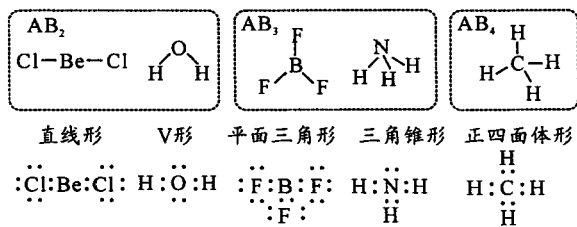


图2 多样的分子空间结构

设计意图:基于典型案例引导学生认识分子空间结构的多样性,并初步得出分子组成及中心原子是否具有孤电子对影响分子的空间结构的结论。

2. 学会预测分子的空间结构

(1) 掌握价层电子对数分析方法。

情境素材2如图3所示。

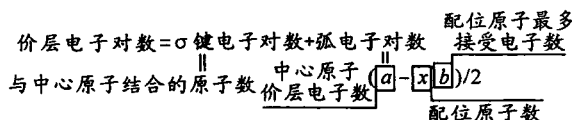


图3 价层电子对分析模型

设计意图:指导学生阅读教材,理解孤电子对计算公式,掌握价层电子对数与 σ 键电子对数、孤电子对数间的关系。

(2) 分析中心原子价层电子对数。

情境素材3如表4所示。

表4 中心原子价层电子对数分析例举

分子	中心原子	a	x	b	孤电子对数	σ 键电子对数	价层电子对数
CS_2	C	4	2	2	0	2	2
SO_2	S	6	2	2	1	2	3
BF_3	B	3	3	1	0	3	3
SiH_4	Si	4	4	1	0	4	4
PCl_3	P	5	3	1	1	3	4

设计意图:要求学生结合案例,填写表4中2~7列。训练学生运用公式计算孤电子对数的技能,得出研究对象中心原子分别具有“2对”“3对”“4对”价层电子对的三类情况。

(3) 基于中心原子价层电子对数建构 VSEPR 模型。

根据库仑定律, $F = kq_1q_2/r^2$, 情境素材4如表5所示。

表5 价层电子对数与 VSEPR 模型

价层电子对数	2	3	4
VSEPR模型	$\text{A}-\text{B}$	$\text{A}-\text{B}_2$	$\text{A}-\text{B}_3$

设计意图:基于物理学中的库仑定律,引导学生形成“要形成稳定结构,价层电子对之间必须寻求最小排斥,从而保持最大距离”的认识,进而建构并理解 VSEPR 模型。

(4) 预测常见分子空间结构。

情境素材5如表6所示。

表6 VSEPR 模型与分子空间结构

分子	价层电子对数	VSEPR模型	空间结构
CS_2	2	$\text{A}-\text{B}$	直线形
SO_2	3	$\text{A}-\text{B}_2$	V形
BF_3	3	$\text{A}-\text{B}_3$	平面三角形
SiH_4	4	$\text{A}-\text{B}_4$	正四面体形
PCl_3	4	$\text{A}-\text{B}_3$	三角锥形

设计意图:引导学生依据 VSEPR 模型与分子组成,综合分析分子空间结构,辩证认识 VSEPR 模型与

分子空间结构的关系。
情境素材 6 如表 7 所示。

表 7 VSEPR 模型与微粒空间结构

分子	中心原子	a	x	b	孤电子对数	σ 键电子对数	价层电子数对	VSEPR 模型	空间结构
HCN	C	4	1/1	1/3	0	2	2	$\text{:}\text{--}\text{A}\text{--}\text{:}$	直线形
HCHO	C	4	2/1	1/2	0	3	3	$\text{:}\text{A}\text{:}$	平面三角形
NO_2^-	N	$5+1=6$	2	2	1	2	3	$\text{:}\text{A}\text{:}$	V 形
NH_4^+	N	$5-1=4$	4	1	0	4	4	$\text{:}\text{A}\text{:}$	正四面体形
SO_3^{2-}	S	$6+2=8$	3	2	1	3	4	$\text{:}\text{A}\text{:}$	三角锥形

设计意图:将研究对象从两种元素组成的分子拓展为较为复杂的离子或两种元素形成的分子,进一步试练基于微粒组成、运用 VSEPR 模型预测微粒空间结构的能力。

(5)建构预测微粒空间结构的思维模型。
预测微粒空间结构的思维模型如图 4 所示。

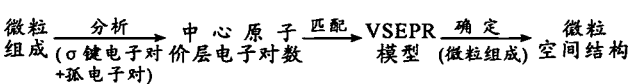


图 4 思维模型

设计意图:基于认知,归纳出运用 VSEPR 模型预测微粒空间结构的一般思路,发展学生模型建构与模型认知的素养水平。

3. 探究 CH_4 、 NH_3 、 H_2O 键角差异的成因
情境素材 7 如图 5 所示。

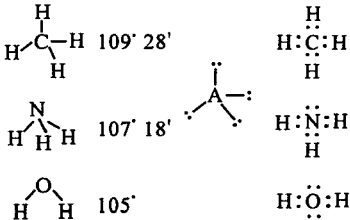


图 5 VSEPR 模型与键角关系

设计意图:引导学生基于 VSEPR 模型和三种分子的电子式,认识到价层电子对中 σ 键电子对、孤电子对间彼此排斥的强度不同。并从价层电子对间的相互排斥“孤电子对~孤电子对>孤电子对~σ 键电子对>σ 键电子对~σ 键电子对”的视角解释 CH_4 、

NH_3 、 H_2O 键角的差异。

4. 科学解释 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 的空间结构
情境素材 8 如图 6 所示。

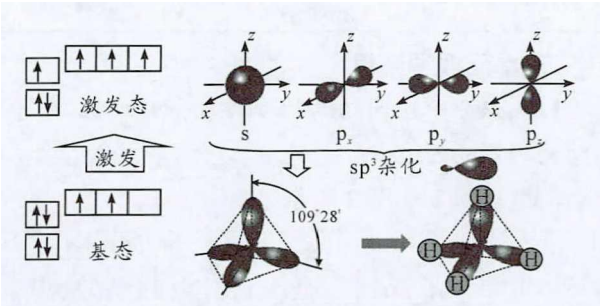


图 6 CH_4 空间结构的形成

设计意图:基于 CH_4 分子具有正四面体结构的事实,引导学生认识分子中的 C—H 键完全相同;再从共价键的饱和性入手,认识到要结合 4 个氢原子的碳原子首先要从基态转变为激发态;要形成完全相同的 C—H 键,激发态碳原子的 1 个 2s 轨道、3 个 2p 轨道须进行重组形成 3 个等价的 sp^3 杂化轨道;杂化轨道为寻求最小排斥力分别向正四面体的 4 个顶点伸展,从共价键的方向性出发,认识到要形成电子云的最大重叠,氢原子的 1s 电子云必须沿着碳原子杂化轨道的伸展方向与碳原子结合,从而形成正四面体形空间结构。

情境素材 9 如图 7 所示。

设计意图:引导学生基于乙烯分子空间结构的事实,形成碳原子的原子轨道采用 sp^2 的杂化方式,形成 3 个相同的 sp^2 杂化轨道并向平面三角形的 3 个顶



角方向伸展,每个碳原子分别与2个氢原子及另一个碳原子通过 sp^2 杂化轨道形成 σ 键;2个碳原子未杂化的p轨道与 sp^2 杂化轨道所处平面垂直,并形成 π 键。由于 π 键的形成接近了2个碳原子核间的距离,导致碳碳双键的键长比碳碳单键短。

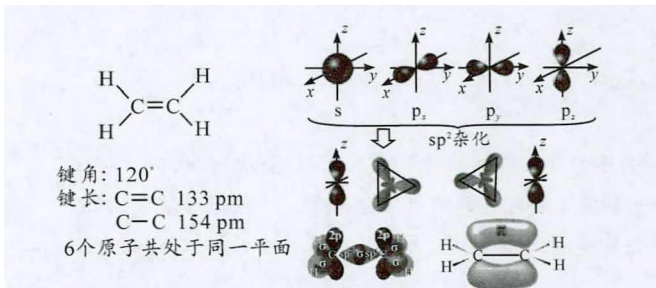


图7 C_2H_4 空间结构的形成

情境素材10如图8所示。

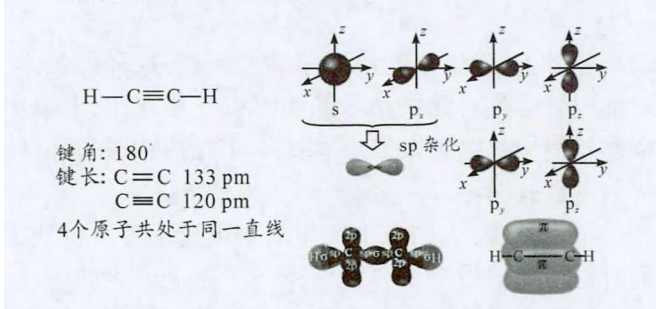


图8 C_2H_2 空间结构的形成

设计意图:引导学生自主分析或小组讨论,运用杂化轨道理论解释 C_2H_2 的直线形空间结构,以及碳碳三键的键长比碳碳双键短的事实,发展学生模型认知的素养水平。

5. 探寻轨道杂化方式的决定因素,建构VSEPR模型与杂化轨道理论的内在联系

情境素材11如表8所示。

表8 情境素材11

分子组成	AB_4	AB_3		AB_2		
空间结构	正四面体形	平面三角形	三角锥形	直线形	V形	
轨道杂化	sp^3	sp^2	sp^3	sp	sp^2	sp^3
典型案例	CH_4	BF_3	NH_3	CO_2	SO_2	H_2O
孤电子对数	0	0	1	0	1	2
价层电子对数	4	3	4	2	3	4

设计意图:引导学生基于典型案例,综合分析中

心原子轨道杂化方式与分子组成、空间结构、孤电子对数、价层电子对数的关系,形成中心原子轨道杂化方式取决于价层电子对数的结论。进而把握VSEPR模型与杂化轨道理论的内在联系,优化预测与解释微粒空间结构的认知模型(见图9)。

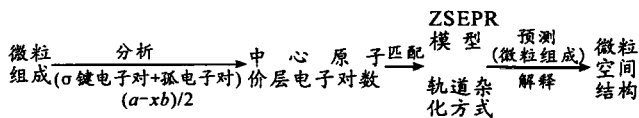


图9 预测与解释微粒空间结构的认知模型

6. 体验高考真实问题解决

情境素材12:(1) $FeSO_4$ 隔绝空气受热分解生成 SO_2 、 SO_3 、 Fe_2O_3 。 SO_2 分子的空间构型为____,其中S原子的杂化类型为____。

(2)乙二胺($H_2NCH_2CH_2NH_2$)是一种有机化合物,分子中氮、碳的杂化类型分别是____、____。

设计意图:节选自高考真题,通过学生在问题解决中的表现,反馈教学效果,评价学生学科核心素养发展水平和学业质量达成状况。

本单元教学设计聚焦学科理解与模型认知,以“认识分子空间结构的多样性及其可能的影响因素”“学会预测分子的空间结构”“探究 CH_4 、 NH_3 、 H_2O 键角差异的成因”“解释 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 空间结构”“建构VSEPR模型与杂化轨道理论的内在联系”“体验高考真实问题解决”等六个教学环节,引导学生完成认知进阶,通过内容结构化和跨学科解决问题等策略引领学生深度理解学习内容。

参考文献

- [1] 吴国庆. 普通高中教科书 物质结构与性质[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 43-59.
- [2] 王颖华. 普通高中教科书 物质结构与性质[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2021: 37-42.
- [3] 陈光巨. 普通高中教科书 物质结构与性质[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2021: 45-55.
- [4] 王祖浩. 普通高中教科书 物质结构与性质[M]. 南京: 江苏凤凰教育出版社, 2021: 97-103.
- [5] 经志俊. 基于等级评价的备考策略: 知识点的精减与整合[J]. 化学教学, 2015(10): 28-31.

(本文编辑:阳 木)