

优质课例

基于复杂分子结构模型建构的项目教学案例*
——探秘血红蛋白王 全¹ 陈 颖² 沈煜新³ 魏 锐¹ 邹紫微¹ 王 聪¹ 王 磊^{1,4**}

(1. 北京师范大学化学学院 北京 100875; 2. 北京市海淀区教师进修学校 北京 100089;

3. 北京市大兴区第一中学 北京 102600; 4. 北京师范大学未来教育高精尖创新中心 北京 100875)

摘要 本研究基于可视化软件 VESTA 和生物大分子空间结构数据库 (PDB) 将血红蛋白的结构模型可视化, 切割出其功能单元“血红素”并将其晶胞内分数坐标转化为可供学生搭建的三维直角坐标。在课堂上尽可能还原了科学家破解复杂分子结构的一般方法及步骤, 学生在项目实施过程中动手搭建血红素原子位置模型, 利用键长数据判断原子间的成键关系, 并利用模型解释血红蛋白载氧和中毒的机理, 发展了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 证据推理与模型认知 血红素 模型 模型建构 空间结构 键长

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2020030243

“物质结构与性质”是《普通高中化学课程标准 (2017 年版)》(以下简称新课标) 规定的选择性必修课程的模块之一, 也是化学学业水平等级性考试的必考模块^[1]。新课标要求学生通过该模块的学习不但要掌握关于物质微观结构的具体知识, 还要建立研究和认识物质结构的思路方法, 即基于哪些证据、经过怎样的推理过程、如何建立结构模型、形成对物质结构及性质的理论解释等, 这也是“证据推理与模型认知”素养的重要表现^[2]。

北京等多个省市自 2003 年版课标施行十余年以来, 由于本地高考方案的设置中“物质结构与性质”模块不在考试范围内, 大部分学校教师没有该模块的完整教学经验, 对该模块教学内容缺少系统认识, 大部分教师和学生都认为该模块的知识抽象且不好理解^[3]。已有的教学课例中, 大多数教师将物质结构模块内容处理成静态的知识, 即便给学生提供二维的图片和示意图或让学生搭建三维实物模型, 也仅是通过球棍模型^[4]或 3D 打印等新型教具^[5]让学生重现分子空间结构, 并不强调分子空间结构模型的建构思路, 即基于哪些证据、经过怎样的推理路径而建立模型。此外, 由于实验条件的限制, 学生几乎没有体验过复杂分子结构模型的建构过程。因此, 学生在上述过程中只能以辨识记忆为主的方式学习具体知识, 并未有效发展其化学学科能力及核心素养。

为完成新课标对结构模块的教学要求及学生核心素养的发展要求, 研究者采用北京师范大学魏锐团队开发的教具 (见表 3), 参考“新世纪”鲁科版高中化学新教材选择性必修“物质结构与性质”第 3 章微项目——“青蒿素分子结构的测定”的设计理念, 开发新的项目内容主题, 设计项目学习活动^[6], 让学生分析和利用实验数据, 使用泡沫板、竹签、泡沫球、坐标纸等教具搭建血红蛋白的空间结构模型, 体会破解生物大分子的一般方法与步骤。

1 项目内容主题分析

1.1 项目教学内容分析

2017 年版课标中“物质结构与性质”模块对分子结构及其研究方法的学习提出了具体的内容要求和学业要求^[1,7], 见表 1。

为达成上述要求, 教学中需要用一种结构确定、复杂程度适当且学生感兴趣的物质作为学生开展结构研究的对象。血红蛋白是一种重要的生物大分子, 学生在生物学科中对其生命功能已有初步了解。血红蛋白的载氧^[8]和 CO 中毒^[9]的生命机理均有较为明确的研究结论, 其结构借助于晶体 X 射线衍射技术已被科学家破解^[10]。本项目选取学生既熟悉又没有深入了解的血红蛋白作为研究对象, 以探秘血红蛋白的载氧功能, 搭建血红蛋白分子中载氧功能基团——血红素的分子模型为项目驱动任务展开教学。

* 北京师范大学化学学院化学教育研究团队“新课标、新教材、新教学、新评价”高端备课教学改进项目

** 通信联系人, E-mail: wangleibnu@126.com

表 1 2017 年版课标中的内容要求和学业要求

Table 1 Content requirements and academic requirements in the curriculum standard (2017)

主题	内容要求	学业要求
主题 2: 微粒间的相互作用与物质的性质	2.3 分子的空间结构: 结合实例了解共价分子具有特定的空间结构, 并可运用相关理论和模型进行解释和预测。知道分子的结构可以通过波谱、晶体 X 射线衍射等技术进行测定	能根据给定的信息分析常见简单分子的空间结构, 能利用相关理论解释简单的共价分子的空间结构
主题 3: 研究物质结构的方法与价值	3.2 研究物质结构的方法: 认识物质的空间结构可以借助某些实验手段来测定, 通过这些手段所获得的信息为建立物质结构模型或相关理论解释提供支撑。知道原子光谱、分子光谱、晶体 X 射线衍射等是测定物质结构的基本方法和实验手段 3.3 研究物质结构的价值: 初步认识物质的结构与性质之间的关系, 了解生命科学中许多重大问题的解决均需要物质结构理论与分析测试技术的支持	能说明 X 射线衍射等实验手段在物质结构研究中的应用

学生通过项目实践, 以小组合作的方式完成模型的搭建、修正和完善, 体会晶体 X 射线衍射技术、空间坐标、键长等数据如何帮助科学家破解分子结构, 体会血红素结构和载氧生物功能的关系。了解破解生物大分子结构的一般方法和步骤, 建立研究大分子的思维模型, 着重发展“宏观辨识与微观探析”“证据推理与模型认知”等核心素养。

该项目是一个跨学科(化学、生物、物理)、跨主题(结构、有机、无机)的富有挑战性的科学模型建构微项目, 适合学生在已学习有机化合物分

子结构、晶体的基本概念, 生物学科的蛋白质, 物理学科的光的衍射, 数学学科的空间坐标等内容之后进行。

1.2 血红素结构数据转换及学习资源准备

笔者通过生物大分子空间结构数据库(Protein Data Bank)检索出 M. F. Perutz 等人测定的血红蛋白结构^[10], 导出其 cif 文件, 通过 VESTA 软件将其进行可视化重现, 见图 1(左), 经过一系列处理, 筛选出了其中的功能单元——血红素, 见图 1(右)。

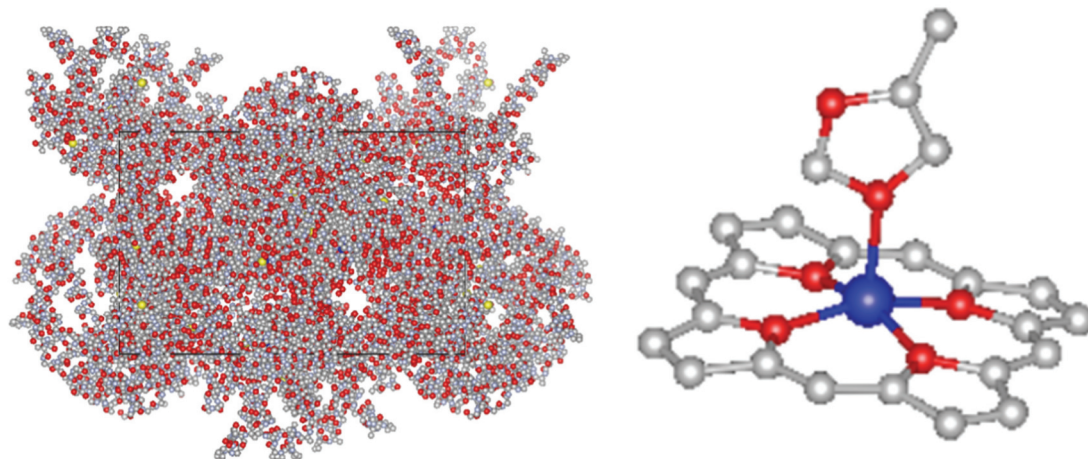


Fig 1 Haemoglobin (left) and Heme (right) in VESTA

图 1 通过 VESTA 软件重现的血红蛋白(左)和血红素(右)

笔者通过 VESTA 的模拟得到了 PDB 数据库中血红素的晶胞参数、各个原子的分数坐标^[10], 利用晶胞参数对分数坐标进行多次转换, 将其转化成了实验材料允许、可供学生搭建的厘米级原子三维直角坐标, 见表 2。统计血红素分子内重要原子间的距离, 将其转化成宏观键长数据, 见表 3。

同时, 笔者按照北京师范大学魏锐团队的设计准备了相应的实验材料, 以供学生搭建血红素的分子结构模型, 见表 4。

2 项目教学目标确定

2.1 学情分析

2.1.1 已有基础

学生已经初步了解研究有机物的一般过程; 知道研究有机化合物的常用方法有元素分析法、质谱仪、核磁共振氢谱、红外光谱等, 初步掌握光的衍射等基本原理解; 已初步形成了化学键的概念; 初步了解蛋白质的组成元素, 知道蛋白质是氨基酸脱水缩合成多肽的高分子, 了解蛋白质是人体生命功能的物质基础, 知道血红蛋白的主要生物功能是载氧。

表 2 血红素的三维直角坐标

Table 2 Three dimensional rectangular coordinates of Heme

原子编号	原始数据/Å			搭建模型可用坐标/cm		
所有 N	α	B	C	X	Y	Z
N1	0.600 98	0.391 25	0.411 22	9.00	14.91	28.49
N2	0.576 82	0.409 96	0.414 94	15.17	16.72	22.52
N3	0.528 89	0.399 56	0.393 85	11.74	14.20	10.68
N4	0.540 50	0.431 86	0.384 53	22.39	11.72	13.55
N5	0.546 61	0.438 56	0.436 61	24.60	22.62	15.06
N6	0.534 62	0.406 74	0.447 13	14.11	25.37	12.10
中心 Fe						
Fe	0.542 83	0.417 55	0.416 04	17.67	18.37	14.12
所有 C						
C1	0.635 97	0.406 98	0.419 50	14.19	15.22	37.14
C2	0.611 69	0.405 84	0.416 62	13.81	15.62	31.14
C3	0.596 83	0.417 48	0.418 95	17.65	16.74	27.47
C4	0.579 59	0.394 12	0.410 33	9.949	15.61	23.21
C5	0.542 34	0.453 49	0.357 43	29.52	5.84	14.00
C6	0.545 04	0.448 16	0.383 67	27.77	11.35	14.67
C7	0.551 41	0.458 54	0.403 93	31.19	15.42	16.24
C8	0.550 15	0.454 04	0.428 56	29.71	20.75	15.93
C9	0.552 50	0.465 44	0.449 91	33.46	25.22	16.51
C10	0.550 24	0.456 94	0.470 43	30.66	29.71	15.96
C11	0.546 56	0.440 16	0.462 70	25.13	28.20	15.04
C12	0.543 89	0.427 98	0.479 51	21.11	31.92	14.38
C13	0.538 73	0.412 24	0.471 76	15.92	30.47	13.11
C14	0.536 15	0.398 94	0.489 06	11.50	34.28	12.47
C15	0.530 84	0.385 86	0.474 79	7.23	31.45	11.16
C16	0.529 31	0.390 46	0.448 49	8.74	25.88	10.78
C17	0.523 68	0.380 44	0.427 71	5.44	21.67	9.39
C18	0.522 24	0.384 78	0.402 30	6.87	16.29	9.03
C19	0.513 73	0.374 75	0.380 91	3.56	12.06	6.93
C20	0.515 16	0.383 34	0.360 05	6.39	7.54	7.28
C21	0.524 92	0.398 98	0.367 81	11.55	8.79	9.69
C22	0.528 63	0.411 18	0.351 05	15.57	5.05	10.61
C23	0.534 59	0.426 92	0.359 63	20.76	6.64	12.09
C24	0.535 82	0.440 74	0.342 86	25.32	3.00	12.39

表 3 血红素分子内的键长数据

Table 3 Bond length data within the Heme molecule

键	实际键长/Å	转换后的键长/cm
C—C	1.54	6.16
Fe—N	2.20	8.80
C—N	1.38	5.52

表 4 搭建血红素分子的实验材料

Table 4 Experimental materials for building Heme molecules

实验材料及规格			
材料	规格	数量	作用
泡沫球	直径 30 mm	31 * 组数	模拟 Fe、N、C 原子
竹签	长 35 cm	31 * 组数	作为 Z 坐标轴
泡沫板	50 cm * 36 cm * 4 cm	1 * 组数	作为 XOY 平面
坐标纸	50 cm * 30 cm	1 * 组数	粘贴在泡沫板上，方便确定 XOY 坐标
直尺	长 20 cm	1 * 组数	方便确定 Z 轴坐标，测量原子间距
马克笔	黑色、蓝色、粉色	3 * 组数	用于标记 Fe、N、C 原子
长牙签	长 15 cm	36 * 组数	连接成键原子

2.1.2 可能存在的障碍点

笔者通过学生问卷实施了前测，依据前测结果、第 1 轮教学实施经验，结合本项目的教学目标，概括出学生待发展的能力要点：

(1) 学生对于化学键的认识片面，认为化学键就是球棍模型中的“棍”，对多原子分子中，用什么证据来判断 2 个相近原子之间存在化学键，缺少思路和方法；

(2) 不清楚晶体 X 射线衍射 (XRD) 这种科技手段如何测定有机物结构——用什么方法获得数据，能测得什么数据，如何通过数据推定结构等；

(3) 不了解科学家破解分子的方法、研究生物大分子结构的一般思路与方法；

(4) 对蛋白质的结构有迷思概念，认为蛋白质就是氨基酸缩聚成的有四级结构的天然大分子，不知道里面还有非常重要的功能基团，因此不能从微观水平建立蛋白质功能和结构的关联。

2.1.3 待发展的能力

理解研究生物大分子结构的一般思路方法；在了解晶体 X 射线衍射法的原理基础上，利用 XRD 技术得到分子空间相对位置的数据信息；利用数据确定微观原子的空间相对位置并转化成相应的实物模型；利用键长数据确定分子中化学键的存在位点，进一步理解化学键是原子或离子间的一种强相互作用；基于血红素中卟啉环的结构特点认识血红蛋白载氧的生物功能。

2.2 项目教学目标

基于上述的教学背景、教学内容及学情分析，从 5 个化学学科核心素养维度概括提炼本项目的学生学习目标如下：

(1) 了解晶体 X 射线衍射技术的基本原理, 建立利用原子空间坐标探析微观世界的角度和思路, 体会通过键长判断共价键类型的方法, 将难以想象的复杂分子微观空间结构转化成宏观可视的模型。(宏微结合)

(2) 从结构角度理解血红素载氧/中毒的原理——配位键的形成。(变化观念)

(3) 由晶体 X 射线衍射技术得到分子的坐标信息, 能够利用分子的空间坐标建立实物模型, 能利用模型与键长信息推理出成键类型。(证据推理与模型认知)

(4) 体会科学家破解分子结构的方法及意义, 建立研究复杂分子结构的思维模型, 创造性地将大分子的功能单元实体化。(科学探究与创新意识)

(5) 具有探索未知(大分子结构)、崇尚真理(科学表征得到数据)的意识。(科学精神)

3 项目任务及教学流程

本项目成果主要包括学生自主搭建的血红素结构模型, 以及在模型建构过程中学生发展的认识物质结构的角度和研究有机大分子的一般思路与方

法。

项目实施需要约 1 小时, 共分为 6 个环节。环节 1 为项目引入, 学生回忆与蛋白质有关的知识及生物功能等, 以科学家视角研究蛋白质, 引出“结构”为研究大分子的入手点; 环节 2 为初探结构, 学生用化学用语简述研究分子结构的方法, 教师总结学生提出的方法, 并利用胰岛素、血红蛋白的结构示意图制造认知冲突, 使学生感受到破解大分子结构的难度, 进而认识到晶体 X 射线衍射技术的必要性并了解该技术; 环节 3 为搭建模型, 学生利用资料中提供的坐标数据, 初步搭建血红素分子模型; 环节 4 为完善模型, 学生利用化学键数据, 完善血红素模型; 环节 5 为功能解密, 学生利用模型解释血红素载氧、中毒过程, 环节 6 为思路概括, 学生总结研究有机物大分子的思路及方法, 建立研究复杂分子结构的思维模型, 并以诺贝尔奖和中国科学家的贡献为素材, 进一步体验探索未知、崇尚真理的科学精神。环节 3 到环节 5 是项目的核心任务, 其具体的学生活动、教师支持及设计意图见图 2。

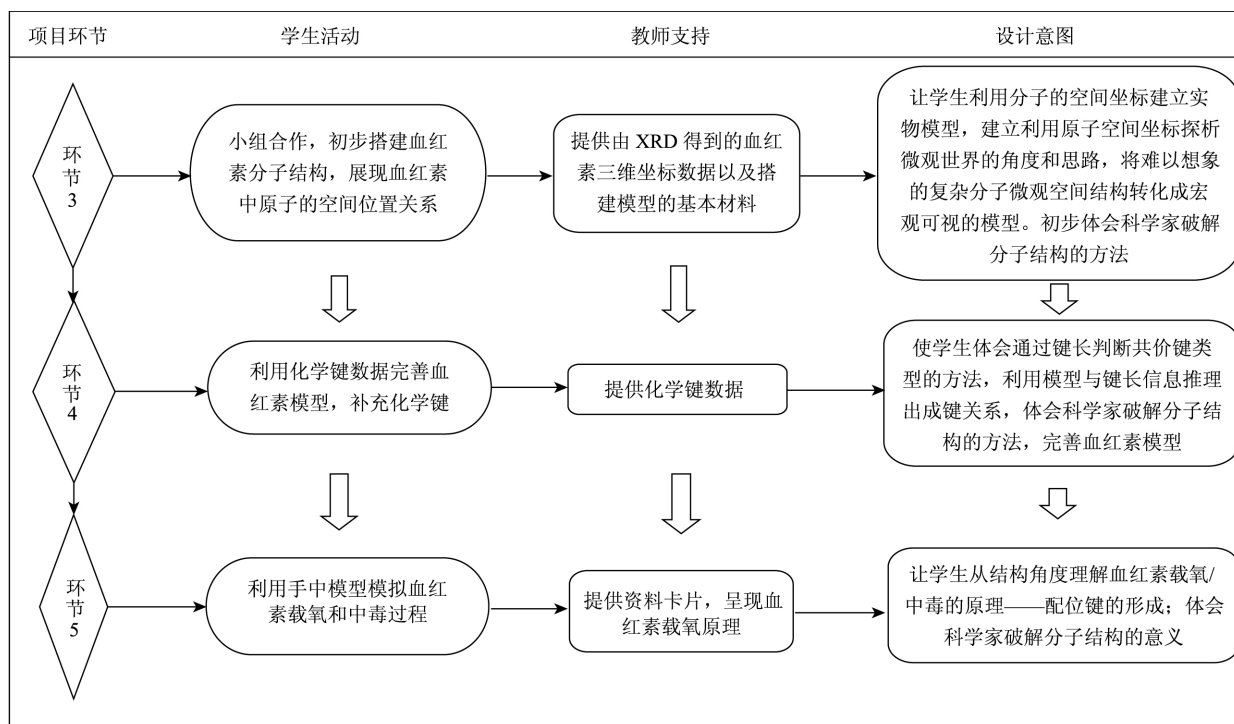


Fig 2 Teaching process

图 2 教学流程

4 项目实施过程

项目学习实施过程以核心任务(环节 3、环节 4 和环节 5)为例, 呈现项目活动中的关键师生教学行为, 从教学行为记录中可以看到项目实施的具

体过程及实施效果。

4.1 环节 3: 利用坐标数据, 初步搭建模型

【教师过渡, 提出驱动性问题】我们刚才看到的这个图就是用 XRD 的方法得到的血红蛋白分子

的一个晶胞,其分子量巨大,而认识蛋白质的生命功能需要从其功能单元开始,因此,我们截取了其功能单元——血红素,它是专门负责载氧的结构单元。那么科学家如何想象血红素的结构呢?

【提供数据,布置任务】下面我给大家数据(表 2),左侧是原始数据,很小,微观埃米级别,我们无法想象,因此老师将它按比例扩大,变成右侧的数据,宏观厘米级别。请大家利用老师提供的泡沫板、泡沫小球和竹签子,还原它们的空间位置。建议: X、Y 轴用泡沫板和坐标值, Z 轴用竹签;竹

签插到泡沫板底(泡沫板厚 4 cm);所有小球均表明原子序号,可将铁、氮原子染色,更好区分。

【学生以 4~6 人小组的方式展开讨论与合作,初步搭建模型,教师走动循环指导】

【展示模型,组间互评,提出问题】小组代表展示初步搭建的模型(图 3)。小组之间互相评价,主要汇报内容为组内搭建的过程和组间的区别:如是否标号、是否染色、竹签插得是否直。有部分学生发现问题:结构模型当中缺少化学键,但在面对追问时,不知该如何补充。

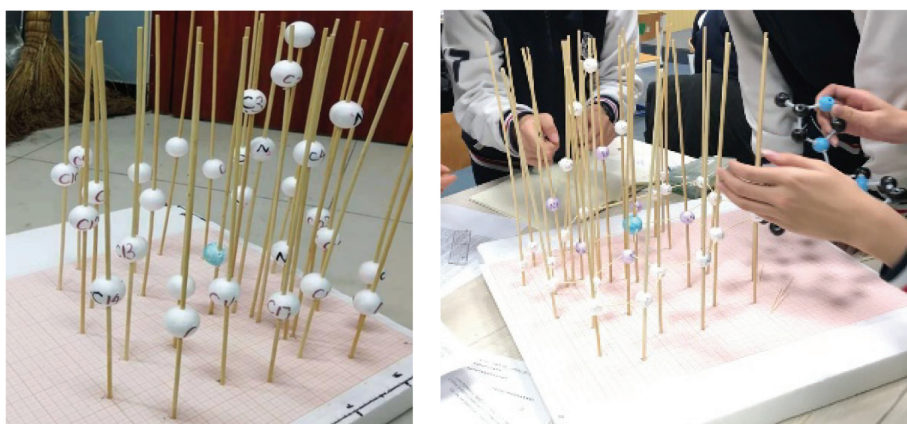


Fig. 3 Heme model initially constructed by the students

图 3 学生初步搭建的血红素模型

【教师点评、追问】各组之间的模型搭建得各有特色,整体效果出色,都将微观的分子坐标转化成了宏观的小球位置,将难以想象的复杂分子微观空间结构宏观化。但你搭建完成后,得到血红素分子的确切“结构”了吗?

【学生沉默或表示否定】

【教师追问】为什么没有得到血红素的具体结构呢?

【学生回答】无法判断原子间的成键关系,模型中缺少化学键。

4.2 环节 4: 利用化学键数据,完善血红素模型

【教师提问】请大家观察我手中的模型(图 4),回答问题:这个模型中都有哪些原子?这些原子又是如何组成分子的?

【学生回答】有铁、有氮、有碳。原子之间存在化学键,通过化学键形成分子。

【教师追问】那么如何判断原子之间是否有化学键呢?

【学生回答】利用核磁可以知道有几种 C 和几种 H,利用红外光谱可以知道有哪些官能团,但是通过这 2 种手段判断不全……

【教师追问】那么大家觉得还缺少什么信息?可以向老师要,老师提供给大家。

【教师提示】已知原子之间形成的化学键长通常是固定数据,请大家再想想如何确定原子之间的成键关系?可以小组讨论

【学生讨论并回答】可以测量原子之间的距离,如果符合化学键长度,就应该存在化学键,反之就不存在。

【教师点评】大家的判断非常正确,科学家也确实是按照化学键长的数据来判定原子之间的成键情况的,老师将需要用到的键长数据整理好了,并且帮大家从微观的埃米级转换成了宏观的厘米级(见表 3),下面就请大家利用牙签和键长数据完善我们的血红素模型吧。

【学生活动,完善模型】以 4~6 人小组合作,基于键长数据判断原子间是否成键,把牙签截成合适长短的化学键,使成键原子之间相互连接。教师走动循环指导。

【学生展示与交流】小组代表展示搭建的模型(图 4),组间交流搭建得是否正确,成键关系是否一致,基于化学键长数据进行二轮修正。

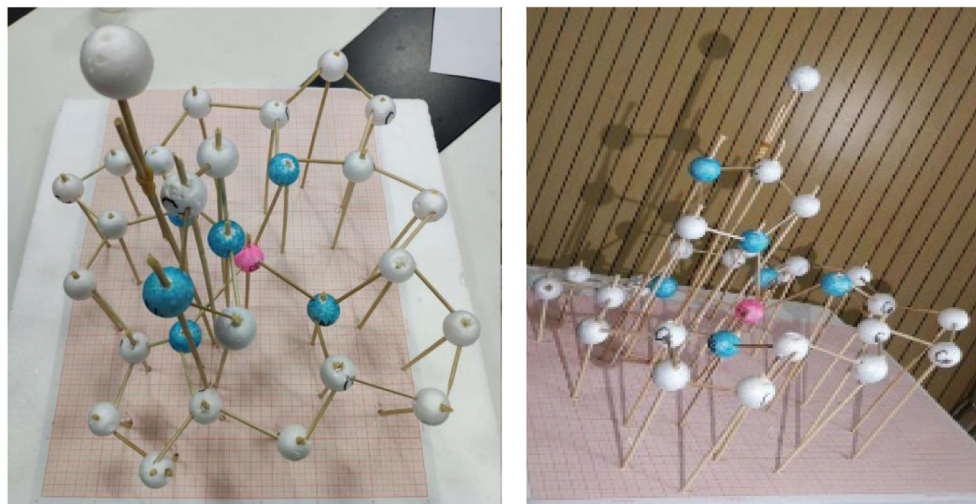


Fig. 4 Heme model constructed by the students

图 4 学生搭建的血红素模型

4.3 环节 5: 利用模型, 从结构角度理解血红素载氧、中毒原理

【教师点评与过渡】大家搭建的血红素模型都比较精致, 并且已经通过讨论修正了模

型, 那么现在请大家借助你手中的模型和资料卡片 (图 5), 说明血红蛋白是如何实现载氧功能的, 以及人为何会在 CO 浓度较高时中毒?

血红蛋白中的配位键

在血液中, 氧气的输送是由血红蛋白来完成的。那么, 氧气和血红蛋白是怎样结合的呢? 载氧前, 血红蛋白中 Fe^{2+} 与卟啉环中的 4 个氮原子和蛋白质链上咪唑环的氮原子均通过配位键相连。此时, Fe^{2+} 没有嵌入卟啉环平面, 而是位于其上方约 0.08 nm 处 [图 2-3-7 (a)]。载氧后, 氧分子通过配位键与 Fe^{2+} 连接, 使 Fe^{2+} 滑入卟啉环中 [图 2-3-7 (b)]。

图2-3-6 血红蛋白中的配位键

(a) 载氧前 (b) 载氧后

图2-3-7 载氧前与载氧后血红蛋白中 Fe^{2+} 的配位情况

由于一氧化碳分子也能通过配位键与血红蛋白中的 Fe^{2+} 结合, 并且结合能力比氧气分子与 Fe^{2+} 的结合能力强得多, 从而导致血红蛋白失去载氧能力。当一氧化碳的浓度超过一定量时, 会导致人体因缺氧而中毒。

Fig. 5 Information card: coordination keys in hemoglobin

图 5 资料卡片: 血红蛋白中的配位键

【学生基于模型讲解载氧原理】我们可以看到现在血红素模型中, Fe 并没有在卟啉环平面中,

而是位于其上方, 而载氧后, 氧分子通过配位键与 Fe^{2+} 连接, 使滑入 Fe^{2+} 卟啉环中, 形成更加稳定

的结构, 因此血红蛋白可以与氧气结合。但是 CO 分子也能通过配位键与 Fe^{2+} 结合, 且结合能力比氧气分子强, 所以当 CO 浓度较大的时候, 会“占掉”氧气的位置, 使血红蛋白无法结合氧气, 导致人体因缺氧而中毒。

5 基于访谈的学生学习效果分析

表 5 学生访谈结果

Table 5 The results of student interview

问题	学生主要观点	评论
通过本节课的学习, 你觉得有什么收获? 让你印象深刻的地方是什么?	生 1、2、3: 搭建小球活动印象最深刻。 生 1: 了解了生物大分子的结构探查方法, 可以用晶体 X 射线衍射, 用衍射原理大致推断出它的结构。 生 1: 键长的意义, 之前都忽略掉这个参数的作用了, 现在发现它可以和原子间距作对比, 确认是否成键。 生 2: 之前对生物大分子的研究是空白的, 而今天面对这么庞大的分子, 利用 XRD 这种方法就可以探查结构, 同时发现键长的重要意义, 发现原来原子之间放在那里是不成键的, 把键搭出来还是很神奇的。 生 3: 感觉这节课的生物大分子很复杂, 需要很多很高端的方法, 比如什么键长、电子云都出来了, 最终搭建出了模型	这节课的核心任务——血红素的模型搭建活动十分成功, 学生们印象深刻并收获丰富, 完成了教学目标: 学生了解晶体 X 射线衍射技术的基本原理, 建立利用原子空间坐标探析微观世界的角度和思路, 体会通过键长判断共价键类型的方法, 将难以想象的复杂分子微观空间结构转化成宏观可视的模型。能利用晶体 X 射线衍射技术得到分子的坐标信息建立模型, 能利用模型与键长信息推理出成键关系
这节课前后, 对于成键的认识有哪些发展?	生 1: 键就是一种相互作用, 小分子的时候用一些基本方法就够了, 这节课发现原子之间成键不那么好确定, 可以借助键长数据判断。 生 2: 可以利用电子式、分子式来判断他们如何成键, 成几个键	学生丰富了对于化学键、键长的认识, 了解通过键长判断共价键类型的方法, 能利用模型与键长信息推理出成键关系
如何分析 DNA 分子的结构?	生 1: 就感觉传统的核磁共振、质谱这些好像也没法直接得出它的结构, 因为它相对来讲比较大。 生 1: 还是和这节课一样。晶体 X 射线衍射, 看到它的空间坐标, 再利用原子间距判断成键规律, 去看是否能成键	本节课知识与方法的迁移应用, 学生能够体会科学家破解分子结构的方法, 建立复杂分子结构研究的思维模型, 并自主将其应用到其他情境素材中

6 项目教学反思及改进建议

本项目虽然是跨学科、跨主题的科学模型建构项目, 对教师和学生都有很大的挑战性, 但通过研究团队对学习资源和项目任务的精心设计, 项目实践有效地帮助学生突破了认识障碍, 达成了素养发展目标。本项目的教学特色体现在:

(1) 小组合作搭建模型、完善模型, 学生的课堂参与度非常高, 学生感兴趣, 模型非常直观, 对学生的视觉冲击很大。

(2) 将物理技术和化学研究手段相结合, 解决生物学蛋白质功能的问题, 让学生体会到学科之间的深入融合, 不再孤立地看待学科差距。

(3) 通过模型搭建和化学键数据使用的过程, 深入了解研究生物大分子的一般方法, 摒弃了传统的讲授式上课形式, 初步建立科学研究的一般思维模型。

(4) 大量使用数据, 培养学生重视数据、利用证据进行推理的“证据推理与模型认知”素养。

(5) 利用模型, 讲解血红素的载氧原理, 理解生物大分子的生物功能的实现。

在项目实施后, 对 3 名学生进行了访谈。访谈的主要目的是了解学生能力目标达成情况, 包括对化学键的认识发展、迁移研究复杂分子思路方法的能力等。笔者整理了访谈中学生的主要观点, 基于学生观点概括出教学效果的相关评论, 见表 5。

此外, 血红素模型建构的学习资源及教学工具是本项目的一大创新点, 笔者使用 VESTA 软件, 生物学晶体数据库 PDB 等资源重现血红蛋白的分子坐标信息, 再根据信息准备实验材料。上述过程需要克服以下困难:

(1) 项目中模型建构的数据需要教师通过一系列文献或数据库的检索, 再利用软件可视化, 读取其中的重要参数, 并进行微观—宏观的转化才能够供学生使用。

(2) 对实验材料的要求较高, 需要准备表 4 中出现的泡沫球、竹签、泡沫板、坐标纸、直尺、牙签等教学用具供学生搭建模型。

将宏观—微观结合的数据转化和教具准备, 给学生探索物质结构提供了活动保障, 对于教育同行们探索结构模块的教学也具有启示价值。广大教育同行在进行类似的模型搭建项目教学时, 可以更换情境素材, 选取更为贴近高考、考查频率更高的官能团, 此举对于学生复习并应用有机化学的基础知识和认识角度^[11-12]可能有着更大帮助。

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—3
- [2] 房喻, 徐端钧. 普通高中化学课程标准 (2017 年版) 解读. 北京: 高等教育出版社, 2018. 9: 135—136
- [3] 公孙国超. 2017 年版课标下“物质结构与性质”教学研究. 昆明: 云南师范大学硕士学位论文, 2019: 1
- [4] Richard N. Zare. Visualizing Chemistry. Journal of Chemical Education, 2002, 79 (11): 1290
- [5] Dean Natalie L, Ewan Corrina, McIndoe J. Scott. Journal of Chemical Education, 2016, 93 (9): 1660—1662
- [6] 王磊, 陈光巨. 化学教育 (中英文), 2019, 40 (17): 9—19
- [7] 王磊, 魏锐. 化学教育 (中英文), 2018, 39 (9): 48—53
- [8] 涂丽云, 邹永旸. 广西农学院学报, 1985 (2): 51—60
- [9] 赵慧卿, 汪显阳. 化学教育, 2004, 25 (3): 4—6
- [10] Perutz M F, Fermi G, Poyart C, et al. journal of molecular biology, 1993, 233 (3): 0—545
- [11] 周冬冬, 王磊, 陈颖. 化学教育 (中英文), 2018, 39 (19): 1—7
- [12] 邢苗苗, 王春, 李君. 化学教育 (中英文), 2019, 40 (9): 52—56

Project Teaching Case Based on Complex Molecular Structure Model Construction: Exploration of Heme

WANG Quan¹ CHEN Ying² SHEN Yu-Xin³ WEI Rui¹ ZOU Zi-Wei¹ WANG Cong¹
WANG Lei^{1,4**}

(1. College of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Haidian Teacher Training College, Beijing 100097, China;

3. Daxing No. 1 Middle School, Beijing 102600, China;

4. Beijing Advanced Innovation Center for Future Education, Beijing 102206, China)

Abstract The 2017 high school chemistry curriculum standard adjusts the curriculum structure. Material structure and nature are one of the modules of the optional compulsory courses. The curriculum standard requires students to master not only the specific knowledge about the microstructure of matters, but also establish the method of research and recognize the microstructure of matters, develop the core competence in discipline such as evidence reasoning and model cognition. Based on the visualization software VESTA and the Protein Data Bank (PDB), this study visualizes the structural model of hemoglobin, cuts out its functional unit “heme” and converts its intracellular fractional coordinates into three-dimensional cartesian coordinates for students to build. In the classroom, the general methods and steps of scientists to solve complex molecular structures are restored as much as possible. Students construct the heme atomic position model during project implementation, use the bond length data to judge the bond relationship between atoms, and use the model to explain the mechanism of hemoglobin oxygenation and poisoning. The core competence in discipline such as evidence reasoning and model cognition has been developed.

Keywords material structure and properties; evidence reasoning and model cognition; heme; model, modeling; spatial structure; bond length