

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202302064

www.dxhx.pku.edu.cn

基于高阶思维能力的物理化学STS习题设计与实践 ——以“热力学基本定律”为例

陈亚苟*, 冯佳米, 王长号, 张颖, 白翠娥

陕西师范大学化学化工学院, 西安 710119

摘要: 在高等教育高质量、现代化发展的趋势下, 对学生高阶思维能力的培养成为高等教育发展的重要方向。本文在对高阶思维能力与STS (Science, Technology, Society)教育内涵理解的基础上, 梳理STS习题中实物条件、数量条件、特征条件、闲置条件等已知条件与高阶思维能力培养的关系, 设计物理化学STS习题。以热力学基本定律为例, 结合教学目标、学情、高阶思维能力培养的STS习题设计规划, 建立其知识点与STS教育结合的双向明细表, 考虑习题题型和难度, 采用习题的筛选、改编、自编形式进行STS习题设计, 并应用于物理化学教学实践, 促使学生高阶思维能力的提升, 为物理化学习题内容、形式的改进提供了新思路。

关键词: 高阶思维能力; STS习题设计与实践; 热力学基本定律

中图分类号: G642.1; O6

Design and Practice of Physical Chemistry STS Exercises to Cultivate Higher-Order Thinking Skills: “Fundamental Laws of Thermodynamics” as an Example

Yashao Chen*, Jiami Feng, Changhao Wang, Ying Zhang, Cuie Bai

College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China.

Abstract: With the emerging trend of high-quality and modern higher education, cultivating higher-order thinking skills among students has become an important strategy for higher education development. Based on our understanding of the connotation of higher-order thinking skills and STS (science, technology, and society) education, this study organized the known conditions in STS exercises using the relationship between physical, quantitative, characteristic, and idle conditions and the cultivation of higher-order thinking skills. Considering the fundamental laws of thermodynamics in physical chemistry as an example, a two-way list of knowledge points combined with STS education was established by integrating teaching objectives, learning situations, and STS exercise planning, which was conducive to higher-order thinking skill cultivation. Considering the type and difficulty of STS exercises, they were designed in the form of selection, adaptation, and self-compilation and practically applied in physical chemistry teaching. These STS exercises promoted the higher-order thinking skills of students *via* problem solving. Thus, this study provides a novel approach to improve the content and forms of physical chemistry exercises.

Key Words: Higher-order thinking skills; Design and practice of STS exercise; Fundamental laws of thermodynamics

为推进高等教育的高质量发展, 教育部提出“两性一度”的课程建设标准, 将学生高阶思维能

收稿: 2023-02-27; 录用: 2023-05-08; 网络发表: 2023-05-15

*通讯作者, Email: yschen@snnu.edu.cn

基金资助: 教育部产学合作协调育人项目(221004650113758)

力的培养作为高等教育发展的重要方向。物理化学作为化学及相关专业的专业基础课程,其课程内容具有较强的开放性和广泛的应用性,同时具有较强的基础性、深刻性、研究性,因此可实现在问题情境中拓宽学生的视野,提升学生的高阶思维能力^[1]。

1 高阶思维能力与STS习题

高阶思维是学生在解决问题的过程中产生的反思问题、探究问题和批判性思考等高水平心智活动的过程,涵盖了批判性思维、创造性思维和解决问题等能力^[2,3]。这三种能力由相关的亚能力组成,其中批判性思维能力包含分析、推理、判断、评价等亚能力,创造性思维能力包含洞察、想象、预测、计划、生成等亚能力,解决问题能力包含理解、应用、分析、评价等亚能力^[4]。

STS (Science, Technology, Society)习题是指体现STS教育思想的习题。“科学”指科学的理论知识和方法,是认识世界的理论指导;“技术”是将科学的原理和方法具体应用于解决各种工程问题的方法,是改造世界的有利手段;“社会”则引导学生社会实践过程中逐渐形成正确的价值观,最终实现科学、技术与社会的有机融合。田丹指出STS习题与普通习题的基本构成相差不大,均是由“条件+问题”所构成。但是STS习题在条件的选取和预置中,与科学、技术和社会的相关性更高,设置的问题更生动和丰富、更有难度^[5]。高俊、杨耀彬等人通过在化学教学中融入STS教育理念,添加STS教育素材,以强化学生对知识点的理解,促进学生学科素养的提升^[6,7]。

2 物理化学STS习题设计规划

结合高阶思维能力的内涵,考虑物理化学课程特点,从STS习题的题型和难度、已知条件特点等方面进行STS习题的设计分析。

2.1 STS习题的题型、难度设计分析

为了在情境问题解决的过程中培养学生的高阶思维能力,设计习题时应融合STS理念,习题难度以中、难两个层次为主^[8]。其中,批判性思维能力的培养应注重概念、观念的辨析梳理,着眼于学生判断、推理能力的发展,以中等难度的客观题、证明题为主;对解决问题能力的培养应注重知识在实际情境中的应用,题型以中、难层次的计算题为主;对创造性思维能力的培养,应注重情境问题的产生和设计,以及学生综合应用知识能力的发展,进行客观题的情境启发设计、主观题的过程设计,以中、难层次为主。本研究将STS习题的平均难度分为易(I)、中(II)、难(III),题型分为选择题(A)、填空题(B)、证明题(C)、计算题(D)四种类型,题型、难易程度与高阶思维能力培养的对对应关系如表1所示。

表1 STS习题的题型、难度与高阶思维能力培养的对对应关系

高阶思维能力	习题难度	题型
批判性思维能力	II	A > B > C > D
解决问题能力	II、III	D > C > A/B
创造性思维能力	II、III	D > A/B > C

2.2 STS习题已知条件设置分析

通常已知条件包含实物条件、数量条件、特征条件、闲置条件等。杨季冬等人认为培养高阶思维能力在于新的情境问题的创设^[9]。STS习题的已知条件与高阶思维能力培养的相关性分析如表2所示。

3 高阶思维能力培养的物理化学STS习题设计与实践

以热力学基本定律的高阶思维能力培养为例进行物理化学STS习题设计与实践。在对热力学的教学目标、知识逻辑、学生水平等梳理基础上,分析热力学知识点与高阶思维能力培养之间的关系,

采用筛选、改编、自编三种方式进行STS习题的设计与实践,并对高阶思维能力培养的STS习题设计案例进行分析。

3.1 STS情境素材与热力学知识点的融合

在分析章节重难点的基础上,建立热力学知识点与STS教育结合点的明细表如表3、表4所示。

表2 STS习题的已知条件与高阶思维能力培养的相关性分析

高阶思维能力	实物条件	数量条件	特征条件	闲置条件
批判性思维能力	熟悉情境或熟悉情境的新方面	多,且具有干扰性	具有隐含性	可不设计
解决问题能力	熟悉情境、熟悉情境的新方面或陌生情境	实际情况数据	相较于批判性、创造性思维能力特征条件,隐含程度更大	设计较少
创造性思维能力	熟悉情境、熟悉情境的新方面或陌生情境	实际情况数据	隐含程度大	设计较多

表3 热力学第一定律内容与STS教育结合点举例

知识点	STS教育结合点
热力学第零定律	科学—温度的定义和温度的测量方法
热平衡现象	科学—温度计的使用原理,固体热容的比较
热力学第一定律	科学—焦耳热功当量实验,第一类永动机的不可能性,热机能量的转化 社会—生产、生活中能量守恒与转化定律的应用
Carnot循环	科学—Carnot循环提出的背景,热机工作原理
焦-汤系数	技术—工业生产中节流压差控制,气体液化
几种热效应	科学—量热计的测量原理 技术—量热实验,加热包和热水器等设计原理
可逆过程	技术—平衡温度和压力下的相变过程分析
绝热反应-非等温反应	技术—爆炸反应的最高温度计算,气体膨胀开采矿山

表4 热力学第二定律内容与STS教育结合点举例

知识点	STS教育结合点
自发过程	社会—电池放电,金属腐蚀,改良碱性土壤
热力学第二定律	科学—热力学第二定律的发展历史,遵循自然和尊重自然的哲学思想,化工产品研发中的热力学分析,材料合成反应的设计 技术—第二类永动机的不可能性
Carnot定理、热机	科学—Carnot定理的历史意义,蒸汽机的发展历史,热机效率,冰箱和空调制冷效率 技术—高效率的装置设备设计,压气机余隙容积的设计
Clausius不等式和熵增加原理	科学—热寂论问题,能量危机的解释 社会—水结冰等自发性的判断,社会活动的有序性,生态系统的熵变原理,信息熵
亥姆霍兹自由能、吉布斯自由能	科学—纳米、陶瓷材料制备中的热力学分析,废渣处理等反应自发性,晶型稳定性的判断,电池功率 技术—物质保存条件确定,反应器选择,反应条件选择
状态函数间的关系	社会—生命体系运转,药物合成,防腐蚀 科学—铁丝燃烧产物的解释,物质熔点随压强的变化 社会—磁热效应
热力学第三定律	科学—绝对零度不能达到原理,低温下凝聚系统的熵变,超导材料的发现

3.2 热力学知识点与高阶思维能力培养的关系

将科学研究前沿、科学发展史、工业生产等情境与卡诺原理、热、功、焓变、热容等知识相联系,可以促进学生创新思维能力的培养。如卡诺原理的辨析、金纳米晶局部加热治疗癌症中的热能计算、爆炸反应开采矿山中的能量计算等。促进学生批判性思维能力的培养,如弹式量热计中热力学能变与焓变状态函数间关系的辨析、热机做功相关的列车运行情境、药物合成可行性判断的情境等。促进学生解决问题能力的培养,如汽车运行中轮胎内能、空调短口径的空气节流膨胀过程中的温度变化、电炉加热链轨节的能量效率计算等真实情境问题的解决。

3.3 高阶思维能力培养的STS习题编制

3.3.1 筛选STS习题

物理化学已有的高质量STS习题,可以为本研究提供重要的参考。在充分考虑习题题型、难度、题目情境的新颖性和人文性等因素的基础上,我们通过物理化学参考书、高校对外公开的历年考研试题等途径搜集了部分符合培养目标的习题。具体筛选的原则包括:(1) 习题融合STS情境素材且情境问题切合性好;(2) 习题符合物理化学课程教学目标,为热力学基本定律部分的重要内容;(3) 习题的实物、数量、特征、闲置条件等已知条件有利于学生高阶思维能力的培养。

例1 有研究报道,可以通过金纳米晶吸收可见光(平均吸收波长为520 nm)来局部加热生物体,从而实现杀死病毒、治疗癌症等目的。如果选择性地将金纳米晶结合到一个5 g的癌组织里面,能使癌组织从310 K升到318 K。假定:① 局部加热快,热量不会扩散到周围组织;② 癌组织的主要成分是水, $C_{V,m} = 75 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。试计算金纳米晶最少需要吸收多少个光子()。

- A. 4.36×10^{20} B. 1.57×10^{21} C. 5.14×10^{21} D. 1.57×10^{11}

参考答案:选项A。

【分析】此题选自彭笑刚编著的《物理化学讲义》^[10],习题情境为技术—科研情境,已知条件设置方面,以金纳米晶对生物体健康的重要作用构建实物条件,热容等属性量、温度等变化量形成数量条件,金纳米晶的应用介绍为闲置条件,学生在识别特征条件为等容变化后进行习题的作答。问题的设置考查了学生对状态函数热力学能变化计算的能力,习题难度为III。学生在合理构建实物模型的基础上,通过洞察力、想象力、设计与生成能力,解决方案的设计和修正,促进了创造性思维能力的发展。

3.3.2 改编STS习题

改编已有物理化学习题是获得物理化学STS习题的重要途径。在分析教材、查阅资料后,通过知识点与STS素材结合的明细表,指导对习题进行STS改编。改编时重点考虑:(1) 建立双向明细表,了解已有习题的实际应用,进而搜集知识点应用领域的STS素材;(2) 基于收集的STS素材,设计习题与STS素材的结合方式;(3) 规划设计习题的题型、难易程度、已知条件等,依据设计规划改编STS习题。

例2 当方解石型 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 转化为文石型 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 时,摩尔热力学能变化为 $0.21 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,计算当压力为100 kPa时摩尔焓变与摩尔热力学能变化的差值。已知方解石型、文石型 CaCO_3 的质量密度分别为 2.71 、 $2.93 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

改编例2 压力为100 kPa时,某同学用差示扫描量热仪(DSC)测量得出方解石型 CaCO_3 转化为文石型 CaCO_3 的摩尔焓变为 $0.21 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,进而估算出该过程中的摩尔热力学能变化亦为 $0.21 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。请通过焓与热力学能的关系验证该同学估算的合理性。已知方解石型、文石型 CaCO_3 的密度分别为 2.71 、 $2.93 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

【分析】此题选自P. Atkins编著的*Physical Chemistry*第11版^[11],主要考查学生对焓变与热力学能变化关系的理解。考虑学情,学生对气体焓变和热力学能变化关系的练习较多,熟悉其中的知识联系,但易忽略固体、液体焓变与热力学能变化的关系。本题以学生批判性思维能力的培养为目的,题型以证明题的形式呈现,合理构建了科学—实验情境,联系实验中采用差示扫描量热仪测定等压

热效应的原理,由学生通过热力学计算判断估算的合理性,习题难度为II。学生通过信息分析、知识归类比较、方案选择、合理推理判断,促进批判性思维能力的培养。

3.3.3 自编STS习题

由于很多习题在编制时并未考虑STS的要求,所以通过筛选和改编能够获得的STS习题的数量有限,自编成为主要的方式。自编STS习题首先需要符合知识、能力和素质发展目标,即符合学生知识掌握水平的预期效果,符合高阶思维能力培养的需要,具有时代性、发展性,能够培养学生可持续发展能力。编写时应注重:(1)依据考查知识的重难点、学情的分析、高阶思维能力培养要求,设计考查某知识点对应习题的难度层次、情境设计内容;(2)针对高阶思维能力特点设置已知条件,其中实物条件应符合知识点应用的情境,要简洁明确。数量条件、特征条件符合实际。可以设置部分闲置条件调节题目的难易程度,帮助学生了解情境问题的全貌,锻炼学生的阅读能力、提取信息的能力。

例3 某自加热软罐头利用 $\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} = \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$ 反应放热加热食物。若软罐头的热容为 $400 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$,计算将软罐头从 298 K 加热到 353 K 所需的热量。已知 CaO(s) 、 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 、 $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ 、 $\text{OH}^{-}(\text{aq})$ 的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 分别为 -634.9 、 -285.8 、 -542.8 、 $-230 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。若反应热利用率为80%,则所需CaO的质量为多少克?

参考答案: 22.0 kJ 、 18.75 g 。

【分析】本题来源于生活中的自加热锅,从使用原理情境设计入手,通过已有的化学基础知识获得加热原理,即氧化钙与水反应为放热反应。情境条件设计方面,以社会—生活情境设计,学生虽然熟悉自热罐头,但对其加热原理可能并不了解,可以促进思考日常应用背后的科学原理,培养其探究精神。在特征条件方面,学生需要识别利用反应热加热物质的过程,具有一定的隐含性。在数量条件方面,学生通过阅读习题获得氧化钙、水等物质的标准摩尔生成焓等常规数值,同时提供热利用率,符合实际应用情境,增加计算难度,习题难度为II。学生在对数量条件、实物条件、特征条件明确的基础上进行氧化钙用量的计算,通过逻辑思考、合理归纳、综合应用,促进学生解决实际问题能力的培养。

3.4 STS习题实践

为测试STS习题改革的效果,我们以热力学第二定律STS习题为例,选取本校化学专业大二37名本科生,选取13个STS习题,采用随堂闭卷测试,测试时间为50 min。使用Winsteps 3.66.0对测试题的信度、效度、项目与被试整体难度值、拟合度等进行定量分析。6个单选题、4个填空题属于客观题,分析时采用0-1的计分方式;3个主观题,分析时采用分步计分的方式。基于Rasch模型对测试卷的整体质量进行分析,包括单维性分析、怀特图分析、拟合度分析等。发现测试题的信度、效度较高,对学生能力的评估具有稳定性,绝大多数题与整套题的测量目标一致;学生平均能力水平略大于测试题平均难度,测试题整体难度中等。

4 结语

本研究尝试了STS习题设计,从习题的难易程度、题型种类、已知条件设置等方面,结合物理化学教学目标、学情、高阶思维能力培养进行了STS习题设计。教学实践结果表明,STS习题有利于学生批判思维、解决问题和创造性高阶思维能力的培养,有利于促进学生未来的可持续发展。STS习题设计对物理化学教师提出了更高要求,需要教师从物理化学视角积累生活、生产中的STS教育素材,设计联系实际应用的物理化学STS习题。

参 考 文 献

- [1] 郭东升,阮文娟,朱志昂. 化学教育(中英文), 2021, 42 (18), 70.

-
- [2] 邢立峰, 王惠惠. 教育现代化, **2017**, *4* (40), 217.
- [3] 杨翊, 赵婷婷. 清华大学教育研究, **2018**, *39* (5), 54.
- [4] 汪茂华. 高阶思维能力评价研究[博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2018.
- [5] 田丹. 旨在培养高中生物理深刻性思维品质的STS习题设计研究[硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2017.
- [6] 高俊, 韩红霞, 徐建强. 广州化工, **2018**, *46* (12), 153.
- [7] 杨耀彬, 张健, 袁阳阳. 吉林化工学院学报, **2022**, *39* (2), 1.
- [8] 李树祥. 物理教学, **2022**, *44* (3), 13.
- [9] 杨季冬, 王后雄, 童文昭. 化学教学, **2018**, *375* (6), 37.
- [10] 彭笑刚. 物理化学讲义. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [11] Atkins, P.; Paula, J. D.; Keeler, J. 物理化学. 侯文华, 等译. 北京: 高等教育出版社, 2021.