

将思政元素融入“化学反应热”教学

吕洋, 贾颖萍, 李艳华, 钟和香, 王新平*

大连大学环境与化学工程学院, 辽宁 大连 116622

摘要: 由于化学热力学知识抽象, 因而被认为难以进行课程思政。本文以其中“化学反应热”教学内容为例, 给出我们“润物细无声”地把思政元素融入教学的实践过程, 以及实现对学生知识-能力-素质“三位一体”培养目标的点滴经验。

关键词: 课程思政; 素质培养; 化学反应热

中图分类号: G64; O6

Integrating the Ideological Elements with the “Chemical Reaction Heat” Teaching

Yang Lv, Yingping Jia, Yanhua Li, Hexiang Zhong, Xinping Wang *

College of Environment and Chemical Engineering, Dalian University, Dalian 116622, Liaoning Province, China.

Abstract: Chemical thermodynamics is often perceived as abstract, making it challenging to integrate ideological cultivation into the curriculum. In this paper, we present our practice of seamlessly integrating ideological elements into the teaching of “chemical reaction heat” and share our experiences in achieving the holistic development of students’ knowledge, skills, and qualities.

Key Words: Course ideology and politics; Quality cultivation; Chemical reaction heat

化学热力学是物理化学课程的重要内容之一, 其概念抽象难懂, 逻辑推理环环相扣, 公式推导步步递进, 因而绝大多数教师都认为, 在有限的教学时间内将该课程内容讲解清楚使学生理解和领悟已经不易, 再要求与思政内容结合以实现全方位育人, 对教师而言将是一个巨大的挑战。的确, 该部分物理化学教学内容若处理不当, 很容易出现严重的“两张皮”现象, 不仅达不到育人的目的, 还会造成理论知识在逻辑推理上的“断线”, 被学生认为是“思想说教”而反感^[1]。

经过几年的教学尝试, 我们体会到, 只要教师在思政元素的选择、引入方式和引入时机这三点上把握得当, “课程思政”不仅不会削弱学生对知识的理解, 还会激发学生的学习兴趣, 有助于教学达到“两性一度”要求^[1-4]、实现对学生知识-能力-素质“三位一体”培养的目标。本文以化学热力学中“化学反应热”这一教学内容为例, 简单介绍我们在物理化学课程思政方面所取得的一些经验。

1 思政要素

将思政元素融入教学过程的目的, 主要在于培养学生的优秀思想素质。所谓优秀思想素质, 除

收稿: 2024-02-26; 录用: 2024-05-07; 网络发表: 2024-05-21

*通讯作者, Email: dljgwxp@dlut.edu.cn

基金资助: 大连大学物理化学课程思政建设重点教改基金

指正确的世界观(爱党、爱国、爱社会主义、爱人民、爱集体)、价值观(把小我融入大我,把自己与国家、社会、公民的价值要求融为一体)和人生观(追求国家的富强、民主、文明、和谐和社会的自由、平等、公正、法治,将社会主义核心价值观作为自己的精神追求)外,还包括作为国家建设者应有的下列素质:

- | | | |
|-----|---|---|
| 会思维 | { | <ul style="list-style-type: none"> 符合辩证唯物主义认识论 科学地思维、思考、判断和逻辑推理,能够进行批判性思维 具有国家、社会持续发展意识,以及环保、安全意识 |
| 会做人 | { | <ul style="list-style-type: none"> 具有家国情怀、社会责任、科技报国和民族精神 具有实事求是、锲而不舍、追求真理的科学精神;具有精益求精的工匠精神 勇于探索和开拓创新;具有创新意识、对于科学和社会发展具有奉献精神 民主公正、团结协作、开放包容、正直诚实 |
| 会做事 | { | <ul style="list-style-type: none"> 具有大视野;能从科学认识论和方法论观察、想象和辨析事物 传承、弘扬中华优秀传统文化、知书达理、敬业 守法守信、恪守道德、维护正义 |

在物理化学教学过程中合适的知识切入点上,用合适的方法,引入与知识内容相适配的思政元素,能强烈激发学生的学习兴趣,促进学生对知识的掌握和能力的形成,实现对学生知识-能力-素质“三位一体”培养。要达到这一目的,教学过程就要从“基础知识如何传授、学生的能力如何培养、价值观如何潜移默化地塑造”这三个维度上进行设计。

2 知识结构与教学方法分析

我校化工专业物理化学教学,以一本最近出版的物理化学教材^[5]为基础进行。由基础热力学数据准确计算化学反应的热效应,是该专业本科毕业生必需掌握的能力之一^[6,7]。我校和绝大多数工科院校一样,将298 K下反应热求算安排于该专业本科生第一学年的无机化学课程,而将任意温度下反应热的求算列入物理化学课程,以便通过逐步深化教学内容的衔接,使学生能准确应用这些知识解决化工生产中的相关问题;在物质等压摩尔热容概念的基础上,通过对基尔霍夫公式的逻辑导出训练,培养学生的逻辑推理、科学创新能力。

正如广大物理化学教师所知,一个化学反应在任意温度下的反应热,需要借助该反应在一个已知温度(例如,298 K)的反应热和基尔霍夫公式求算,而引导学生推导基尔霍夫公式,借此培养学生的逻辑思维能力,需要学生较好地理解和掌握封闭系统在没有非体积功、等压、无相变、无化学变

化条件下变温过程的焓变计算公式 $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} nC_{p,m}dT$ 。

化学反应热能够通过实验测得。由于等容反应热 $Q_{V,T}$ 更容易测定,因此等压反应热 $Q_{p,T}$ 通常是借助关系式 $Q_{p,T} = Q_{V,T} + \Delta(pV)$ 得到,因而教师在本节理论课上有必要指出该测定途径,而将对知识的应用能力通过课后小组作业以及“燃烧热的测定”实验课考核。

对于聚合反应、缩聚反应,由于其产物的标准摩尔生成焓、摩尔燃烧焓数据均难以取得,因而利用化学键能估算反应热也是化工类专业学生应该具备的能力之一。此外,该估算方法无论在“使学生在工程实践中面临复杂问题时能够运用恰当的思维思考解决”“培养学生善于从事物的复杂因素中抓住其关键因素,找到解决问题的途径”的创新思维方面,还是在培养学生科学认识论和方法论方面都有非常重要的作用。因此,将该估算方法列入教学内容,可以培养学生的创新思维能力;以小组为单位讨论相关数据的合理取舍,培养学生处理复杂问题的能力和团队协作意识。

基于上述分析, 我们针对“化学反应热”一学时课(45分钟)在对学生传授知识、能力培养和思想素质教育三个维度进行了以下教学设计。

3 教学设计

3.1 知识传授

检查学生对上节课预留问题的掌握情况, 并进行总结:

(a) 对于一个只含物质B的封闭系统, 当它在没有非体积功、没有相变条件下, 定压改变温度时, 如何计算系统的 ΔH ?

(b) 对于一个没有非体积功的封闭系统, 要求算其定容过程的热 Q_V 、定压热过程的热 Q_p , 应该分别计算该系统哪个状态函数的改变量?

(c) 对于同一个封闭系统, 在没有非体积功条件下的定压热 Q_p 和定容热 Q_V , 二者之间有什么定量关系?

(说明: 就“传统小物化”^[8]而言, 其化学热力学的知识结构特点是“前归纳, 后演绎”, 而“化学反应热”教学内容刚好突出地处于其“前归纳”的基础地位。学生只有对上述三个问题有清晰认知, 才能接受本节课的新知识。为给学生足够的思考时间, 这几个问题布置于上节课后。在本课前进行相应“学情检查”, 不仅涉及本节课实施进程, 还与物理化学课程在其学习初始阶段能否打下良好的学风基础直接相关。)

引入新知识:

(1) 利用基尔霍夫公式计算等压条件下任意温度 T 下的反应热 $Q_p(T)$ 。指定温度下的等压过程热, 等于系统在相应条件下的焓变(引入导言见后面相应能力培养部分):

$$Q_p(T) = \Delta_r H_m(T) \quad (1)$$

依据状态函数的性质, 设计如下可逆过程(图1)。

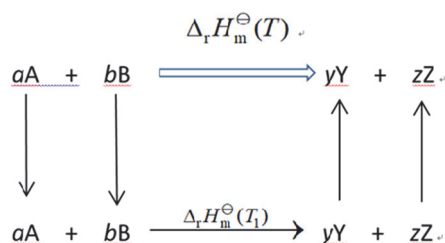


图1 通过设计途径计算 $\Delta_r H_m^\ominus(T)$

(说明: 虽然该推导还涉及多组分系统的处理方法以及 $\Delta_r H_m^\ominus(T)$ 的概念, 但由于学生已在其前置课程无机化学中学习过 $\Delta_r H_m^\ominus(298\text{ K})$ 的计算方法, 因此本节课的重点仅在于如何利用过程设计这一科学方法, 推导出基尔霍夫公式。)

如果所有反应参与物在 T_1-T 的温度区间内都不发生相变, 那么就可以推导得到下述公式(见3.2能力培养导言部分):

$$\Delta_r H_m^\ominus(T) = \Delta_r H_m^\ominus(T_1) + \int_{T_1}^T \sum_B \nu_B C_{p,m}(B) dT \quad (2)$$

再利用“演绎”方法, 给出下列更为实用的基尔霍夫公式:

$$\Delta_r H_m^\ominus(T) = \Delta_r H_m^\ominus(298\text{ K}) + \int_{298\text{ K}}^T \sum_B \nu_B C_{p,m}(B) dT \quad (\text{在} 298\text{ K}-T, \text{ B不相变})。 \quad (3)$$

(2) 由定容热计算定压热。

化学反应热也能够通过实验测定给出。由于等容反应热的测定装置简单、操作容易，因此等压反应热通常由等容反应热计算得到。这就是学生对上述问题(C)的回答：

$$Q_{p,T} = Q_{v,T} + \Delta(pV) \quad (4)$$

可燃物的等压燃烧热，就是通过“氧弹燃烧法”先测定其等容燃烧热，再借助该公式求得的。

(3) 借助键能数据估算反应热。

化学反应可以视为原子或原子团的重新排列组合，或是一些旧键拆散和新键形成的过程^[9]。拆散旧键需要吸收能量，而形成新键会放出能量。虽然分子的非键合原子之间也存在一定的作用，但相应能量与化学键能相比要小得多。因此，只要抓住了化学键能在反应前后变化(断了哪个键、生成了哪个键)这个关键点，就能从平均键能数据粗略地估算出相应反应热。

3.2 能力培养

根据我校化工专业对学生培养的“目标导向”要求，物理化学课程不仅要使学生能够用重要物理化学基础理论分析实际问题，还要培养学生抽象思维、创新应用和交流表达能力。

为提高学生分析解决实际问题的能力，对于知识点(1)基尔霍夫公式的应用(计算定压反应热)，我们在教学中采取的做法是，“精讲多练”。

为培养学生科学创新的思维方法，知识点(1)按下述导言引入：

由热力学第一定律可知，过程的热可以借助系统状态函数的改变值求得。等容过程的热，等于系统的相应热力学能变：

$$Q_v(T) = \Delta_r U_m^\ominus(T) \quad (5)$$

等压过程热，等于系统的相应焓变：

$$Q_p(T) = \Delta_r H_m^\ominus(T) \quad (6)$$

正因为如此，在很多化学专业书中，用 $\Delta_r H_m^\ominus(298\text{ K})$ 的值表述化学反应在常压、298 K进行时的热效应。

绝大多数实际工业化学反应在298 K以外的温度 T 进行。为了确保生产安全，在生产装置设计前就必需知道在相应温度 T 、确定体积或确定压强下相应化学反应的热效应，即化学反应热 $Q_v(T)$ 或 $Q_p(T)$ 。因此，准确计算确定条件下的反应热是化工专业学生必需具备的能力。那么，怎样求算在等压、温度 T 进行的反应热 $Q_p(T)$ 呢？

由公式(6)可知，求算等压过程温度 T 的反应热，就是计算系统的相应焓变，这就变成了如何求算 $\Delta_r H_m^\ominus(T)$ 的问题。

焓是状态函数。因此，在没有非体积功参与的情况下，系统经历一个由确定的始态到一个确定终态的变化时，焓变的计算不必沿实际变化的途径进行，而可以沿设定的途径进行(图1)。这样，就找到了解决问题的途径(按图1进行过程设计和推导)。我们在无机化学中已经学过了 $\Delta_r H_m^\ominus(298\text{ K})$ 的计算方法。那么，令 $T_1 = 298\text{ K}$ 就得到了公式(3)。这就是说，对于一个确定的反应而言，只要知道其298 K的定压反应热、所有反应参与物的定压摩尔热容、以及在298 K– T 温度区间所有反应参与物都不发生相变，那么它在任一反应温度 T 的定压反应热就可以直接由公式(3)计算得到。

从已有的理论出发，借助可靠的逻辑，推导给出新的科学理论，是科学创新最多的方法。该法称为“推理演绎法”。事实上，物理化学现有的理论，绝大多数都是由该法得到的。

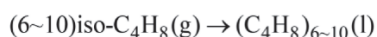
在理论应用方面，开拓学生的科学视野，让学生领会物理化学理论的应用创新，例如，让学生自己通过课后作业的形式，计算铝热剂(铝粉和三氧化二铁的混合物)发生反应 $2\text{Al(s)} + \text{Fe}_2\text{O}_3\text{(s)} \rightarrow 2\text{Fe(s)} + \text{Al}_2\text{O}_3\text{(s)}$ 时，以及化学计量配比的乙炔和氧气反应形成的乙炔焰能够达到的最高温度，体验研究人员提出将其用于铁轨“原位焊接”(见3.3“千里一根轨”)前所经历的创新思维。

对于知识点(2)，由于后期物理化学实验课“燃烧热的测定”可为相应理论与实践的结合提供更大的能力培养“空间”，因此我们在理论教学中采取做法是，当学生理解即止，而继之开阔学生的

科学视野。例如，使学生认知该等容燃烧热法，是验证新能源材料(例如，用生物秸秆代替煤燃烧、用含10%乙醇的汽油代替纯汽油)、研究高能航空燃料、高能航天燃料的重要研究手段。

对于知识点(3)我们采取的做法是，启发学生认知化学键断裂时需要吸收能量，新键生成时会放出相应能量；虽然非键原子之间距离改变对能量有一定贡献、平均键能与具体反应对应的键能之间也存在差异，但它们对反应热的影响都较小。将下述问题(图2)布置为课后小组讨论题，鼓励学生通过小组讨论完成。让学生自查必要数据，锻炼学生在复杂问题中找到解决问题方法的能力。

异丁烯在40~50 °C、强路易斯酸(例如无水 AlCl_3)的催化作用下，发生下述低聚反应



制备润滑油(基础油)。其反应热必需由冷却水带走。若按8个异丁烯分子聚合成一个8聚体考虑，估算该反应的热效应。

图2 小组讨论题

该实际问题，除反应本身外没有给出任何数据，且反应存在相变。因此，各小组需要考虑是否将 $(\text{C}_4\text{H}_8)_{6\sim 10}(\text{l})$ 摩尔蒸发焓列入估算、以及如何正确估算该蒸发焓(无法查到)。这都是学生将理论用于实际需要锻炼的内容。另外，创造必要环境，结合新知识的学习激励学生交流表达，也是培养学生的交流表达能力所需。因此，该问题通过“翻转课堂”(下次课)的形式让学生表述其计算方法和结果，以达到促进学生交流表达能力的目的。

3.3 思想素质教育

关于课程思政，我们通常根据教学内容的不同采用“画龙点睛式”“专题嵌入式”和“隐性渗透式”三种形式，将思政元素引入教学过程。

“画龙点睛式”思政，是我们在教学中通过逻辑导出使学生认知一个新知识后，再用思政元素去“点睛”，借此激发学生努力学习、报效国家所采用的思政方法。例如，在本节通过引导学生用设计可逆途径的方法得到了公式(2)后，简述德国基尔霍夫对物理化学理论发展的贡献。用“我国虽然那时积贫积弱，对化学热力学发展贡献很少，但如今随着我国国力的快速发展，我国科学家在很多领域已经开始引领世界科学的发展”的事实，鼓励学生努力学习、勇于探索、科技报国。此时这样“画龙点睛式”的思政，就把提高学生思想素质与对学生“知识传授”、创新思维的培养紧密地结合在一起，达到了三者相互促进的效果。

“专题嵌入式”思政，特别适合对学生进行思想素质教育与激发学生学习兴趣、拓展学生科学视野“并举达成”。尤其是，在拓展学生的科学视野素材中嵌入坚定中国特色社会主义道路自信，把自身发展与国家、社会融为一体等要素。

利用化学反应热的典型技术实例如下：

I 巧妙利用化学反应热，实现“千里一根轨”。

在我国高铁发展初期，高铁钢轨的“原位焊接”技术，是利用铝热剂化学反应热，原位把钢轨的端口融化对接。但是，由于相应端口受热不均，焊口处钢轨强度只能达到正常钢轨的75%左右。为了提高焊口强度，我国工程师们发扬大国工匠精神，在钢轨焊接技术上不断精益求精，现已发展为用全自动控制闪光电焊法原位焊接钢轨，然后用乙炔燃烧化学反应热(乙炔焰)对焊口原位淬火，使焊口强度非常接近正常钢轨强度，从而使我国实现了“千里一根轨”长期平稳运行，在高铁整体技术上超越了德、日等国。

II 开发高性能燃料，发展我国航空、航天技术。

高性能燃料，对航空器、航天器的推力起重要作用。在“二战”中，英国用辛烷值100号航空燃

油,使飞机爆发加速力提高了50%,因而使德国战机损失1733架,大大加速了侵略者的灭亡。要让我们“歼20”飞得更快、滞空时间更长,有效半径更大,我们需要燃烧性能更好、燃烧热值更高的燃料(如金刚烷)。我国航天研究虽然起步较晚,但我国航天技术发展速度远超世界任何国家,“建立空间站”“登月”“绕飞火星”捷报频传。

III 由生物质秸秆获取燃烧热,抑制“温室效应”。

天然气和煤的燃烧热,是世界人类生活所需热能的主要来源。我国率先提出的“双碳目标”^[10],彰显了世界大国的风范。如图3所示,我国北方正在大面积推广“生物质秸秆捆包直燃”集中供暖技术^[10-12]代替过去的燃煤供暖技术,在燃烧反应热的利用方面,不仅直接奔向了“碳中和”目标,还大幅度降低了燃料成本。



图3 我国新兴的“秸秆捆包直燃”集中供暖技术

“隐性渗透式”思政,就是指教师在教学过程中,“润物无声”地将思政元素植入对学生的知识传授和能力培养中。在教学过程中唤起学生内心深处“爱与恨”的共鸣、潜移默化地对学生进行“思想引领”和“价值塑造”。“师者,所以传道受业解惑也”^[13]。物理化学教学,虽然对学生“传道”于物理化学知识理论,对学生“启智”于相应理论的创新应用,但却不妨用我国相应领域的当代成就鼓舞学生的民族自信,用我国的伟大复兴激励学生团结互助、砥砺前行、报效国家。

以下思政案例,可较好起到对学生思想引领的效果。

为减少CO₂排放,我国努力发展电动汽车取代燃油车。现在我国电动汽车出口已跃居世界首位,而美国却试图用关税以外的方式对我国电动汽车出口进行限制,正如王毅外长指出的那样:“不追求‘跑得更快’,却试图‘绊倒别人’,看似赢了,实则输掉了自己的长远发展,也拖累了世界的进步和繁荣。”对于美国这种“无德”的做法加以评论,如“面对竞争,无论在国与国之间,还是人与人之间,这种‘无德’的做法,都是极为无耻的!”。这不仅会引领学生“强国之心”,还会对学生“如何做人”方面起到“教书育人”的作用。

对于本次课后所留的小组讨论题,教师除了对计算方法、结果给出评定外,还应对其团结协作精神“点评到位”。该异丁烯低聚反应,是一个实际制备润滑油(基础油)的反应。要确保该放热反应的温度恒定,需要用定量冷却水控温,因此估算反应热有重要的实际意义。每次各小组讨论的结果因下述意见差异而结果不同:(1) 形成C—C σ 键数(7个),但断开的C=C中的 π 键数不同(争论点:7个还是8个?);(2) 反应物呈气态而生成物为液态,在是否考虑相变焓上意见不同;(3) 考虑相变焓的,应计入气态异丁烯变为液态异丁烯的相变焓还是计入其低聚物的相变焓;(4) 因查不到低聚物的相变焓,怎样估算该相变焓意见也不同。

通过平均键能估算反应热不计入非键原子间的作用,只要成键数(7个C—C σ 键)和断键数(8个C=C中的 π 键)正确,上述四种估算结果并无太大差别。因此,只要小组讨论意见合理(如,由于该相变焓应该较小,不必计入该估算;又如,可以粗略地计入7 mol气态异丁烯变为液态异丁烯的相变焓),

教师就对其团结协作的成功性给以鼓励、肯定和表扬。这是因为，这样做不仅有利于促进学生的教学互动，还能顺势对学生进行“价值塑造”。无论是前面提及的我国已取得的高铁、航空航天技术成就，还是我国电动车技术成就，都是千百个研究者们“怀揣中国梦”协同努力的结果。个人的努力，必需融入国家的发展之中，在研究团队中取长补短，才能不断攻克技术难关，否则将一事无成。

当然，在此必需说明的是，前述思政元素在教学过程中的融入，有一个合适“度”的问题^[14]。依据教学情况，在过程中对思政内容适当选择和调整，达到“价值塑造-知识传授-能力培养”相互促进的效果，才是我们物理化学课程思政的最高境界。

3.4 对学生素质教育和能力培养的成效考核

“三位一体”教学的成功性，可通过考查学生面对实际问题能否运用已学的知识，结合中国国情，综合考虑政治、道德、法律等因素的影响，“知行合一”正确分析问题、提出合适的方案使其得到解决^[15]而得到反馈。通过实际问题对学生素质教育和能力培养“知行合一”的情况进行考核，也是对教师“三位一体”教学成功性的检验。由该教学成功性的反馈，修正教学过程，将使我们的“三位一体”教学过程对学生“价值塑造-知识传授-能力培养”变得更为有效。表1给出了我们就能力培养-课程思政专题III和IV对教学目标达成度进行考核的设计。

表1 对学生能力培养和课程思政教学目标达成度的考核

考核内容	考核形式	能力培养目标/考核标准	课程思政教学目标/考核标准
III (1) 调研你的家乡是否应用了“生物质秸秆捆包直燃”集中供暖技术。 (2) 如何通过实验得知在热量上燃烧多少吨特定的生物质秸秆可以代替一吨煤? (3) 从经济性和环保两方面分析该技术在北方是否应该推广? (4) 对于冬季不需要供暖的地区，你可否提出利用生物质秸秆燃烧热的其他方案?	课后小组报告	调研能力(1): 给出了信息来源(网上信息收集、实地考察或其他)。 应用能力(2): 提出通过测定该生物质秸秆和煤燃烧热的方法计算,或通过文献报道的燃烧热数据计算的方法;有将定容热变为定压热的思维和讨论尝试。 学科交叉能力(3): 能基于燃烧热数据和煤的价格对“生物质秸秆捆包直燃”技术的可行性作一点分析。	科学逻辑推理(3): 生物质秸秆中的碳元素来自大气中的CO ₂ , 燃烧后, CO ₂ 的净排放为0。 社会责任、环保意识(3): 减少CO ₂ 排放, 有利于环保。
VI (1) 电能除了可以来自燃烧热能外, 还可以来自哪些能源? (2) 为什么电动汽车代替燃油车可以减少CO ₂ 的排放? (3) 你如何看待美国用关税以外的方式限制我国电动汽车出口其国的做法? (4) 你认为国-国之间, 企业-企业之间, 人-人之间应该如何面对竞争? (选项: a. 努力发展自身; b. 设法阻止对手发展; c. 可以采用任何办法, 只要自己能够压倒对手)	慕课堂(填空、简答和选择答案)	宽视野(1): 光能、风能、核能、地热能、潮汐能(中至少三个)。	逻辑推理(2): 因电能可来自燃烧热能外的其他能源, 因此以电动汽车代替燃油车可减少CO ₂ 的排放。 道德、正义(3): 形成了“抑恶扬善”的共鸣。 守规守法(4): a

4 结语

在化学热力学教学中引入思政元素，只要方式得当，“火候”恰到好处，不仅不会影响对学生的“知识传授”和“能力培养”，反而会有利于激发学生的学习兴趣，促进前两个教学目标的达成，

从而全面实现对学生知识-能力-素质“三位一体”的培养目标。

参 考 文 献

- [1] 潘梦, 魏学岭, 李兴扬, 李芳, 霍朝飞. 大学化学, **2022**, *37* (10), 2108009.
- [2] 李骏扬. 中国大学教学, **2019**, 352 (12), 20.
- [3] 张树永. 大学化学, **2019**, *34* (11), 4.
- [4] 李鹏, 李志坚, 马杰. 物理与工程, **2021**, *31* (4), 310.
- [5] 王新平. 物理化学. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [6] 王新平, 王旭珍, 任素贞, 王新葵, 纪敏, 刘道胜. 化工高等教育, **2015**, No. 3, 86.
- [7] 王新平. 大学化学, **2016**, *31* (8), 8.
- [8] 张树永, 侯文华, 刘俊吉, 王新平, 万坚, 原弘, 孙宏伟, 姚加, 王志勇, 纪敏, 等. 大学化学, **2023**, *38* (6), 115.
- [9] 傅献彩, 侯文华. 物理化学(上册). 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2022: 114.
- [10] 张树永, 朱亚先, 张文清, 王玉枝, 陆靖. 大学化学, **2024**, *39* (2), 1.
- [11] 李越. “废柴”变能源 环保又省钱. 辽宁日报, 2023-11-10.
- [12] 刘趁. 秸秆变身“暖宝宝”节能又环保. 农民日报, 2024-1-23.
- [13] 曲建武, 张淼. 中国大学教学, **2022**, No. 12, 4.
- [14] 宦双燕, 王玉枝, 蔡焱, 陈增萍, 唐丽娟, 雷春阳, 刘剑波, 李永军. 大学化学, **2021**, *36* (3), 2006028.
- [15] 张树永. 中国大学教学, **2021**, No. 8, 42.