

“新工科”背景下的地方院校物理化学课程教学改革与实践

傅杨武*, 胡传波, 陈书鸿

重庆三峡学院环境与化学工程学院, 重庆 404020

摘要: 物理化学课程以契合新工科教育理念为改革方向, 凝练了“一新、两链、三染、四转”课程改革的实施理念, 构建了“解构-探究-建构”式教学模式。教学改革以课程资源建设为保障, 以教学模式改革为突破口, 以未来新工科工程人才核心素养培养为主要目标, 构建高效课堂, 培养学生的自学能力、科学思维能力和创新能力。

关键词: 新工科; “解构-探究-建构”式教学模式; 核心素养; 科学思维

中图分类号: G64; O6

Teaching Reform and Practice of Physical Chemistry in Local Universities under the Background of Emerging Engineering Education

Yangwu Fu*, Chuanbo Hu, Shuhong Chen

School of Environmental and Chemical Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404020, China.

Abstract: In alignment with the principles of emerging engineering education, this study introduces a reformative approach and a new teaching model for the Physical Chemistry course, encapsulated in the “Deconstructing-Exploring-Constructing” methodology. The reform aims to foster core competencies in future engineering professionals by establishing high-efficiency classrooms. Key strategies include the development of course resources as a foundation, the implementation of innovative teaching models as a pivot, and the enhancement of students’ self-directed learning, scientific thinking, and innovative capabilities.

Key Words: Emerging engineering education; “Deconstructing-exploring-constructing” methodology; Core competencies; Scientific thinking

新工科强调“以立德树人为引领, 培养未来创新型卓越工程人才”, “家国情怀、创新创业、跨学科交叉融合、批判性思维、全球视野、自主终身学习……”是未来工程人才培养标准的核心素养^[1]。课程是人才培养的核心要素, 因此在专业基础课物理化学教学中融入新工科理念, 推动能力培养与思政教育的有机融合是专业基础课程建设与教学改革的应有之义。

笔者所在学校是一所地方普通本科院校, 学科专业涵盖化工、环境、生物、食品、土木、机械等传统工程学科。由于互联网和人工智能对传统产业产生的颠覆性影响, 学校新工科建设的主要任务是对已有的传统工程学科进行转型、改造和升级, 拓展专业内涵, 改革和创新培养模式^[2]。物理化学作为一门重要的基础理论课程, 面向化工、材料、环境、食品等诸多工科专业开设。因此, 基于

收稿: 2024-06-12; 录用: 2024-08-09; 网络发表: 2024-10-16

*通讯作者, Email: fywgl@163.com

基金资助: 重庆市高等教育教学改革研究项目(233357); 重庆市高校一流本科课程(渝教高函〔2023〕78号); 重庆三峡学院一流本科课程/线上一流课程建设项目(三峡学院教〔2023〕211号, (2023)100号); 重庆三峡学院研究生教育教学改革项目(XYJG202111)

物理化学课程特点,积极探索契合新工科教育理念的物理化学教学模式就显得尤为重要。此外,2020年5月教育部印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》提出,课程思政建设要在全国所有高校、所有学科专业全面推进,坚定学生理想信念,切实提升立德树人的成效^[3]。因此,作为承载人才培养责任和发挥基石作用的课程建设与教学改革,必须结合课程特点,有机融入新工科建设理念和课程思政要求,以培育学生的家国情怀,培养学生的分析能力、思维能力和创新能力等,为培养科学基础厚、科学思维能力强、综合素质高且能实现跨界整合的新工科人才夯实基础。通过课程建设理念重塑、教学模式改革等,切实贯彻“价值塑造、能力培养、知识传授”三位一体的育人理念^[4]。

1 物理化学课程特点及教学问题

1.1 课程特点

物理化学又称为理论化学,是研究化学系统中物质的结构及其变化规律的学科,强调物理化学本身就是理念和方法,被称为“化学的灵魂”。物理化学具有“基础性、理论性、交叉性、哲学性、人文性”等基本特征。

(1) 基础性:物理化学是化学学科的大脑,在化学学科中起着重要的统领作用。其原理和方法不仅对化学乃至自然科学的发展起着至关重要的作用,对哲学和社会科学的发展也发挥着重大的影响,在新型工程技术人才培养中有着基础性作用。

(2) 理论性:物理化学是化学学科的理论基础,基本概念、定理、公式多且抽象,有利于培养学生的分析能力和科学理论思维能力。

(3) 交叉性:物理化学是化学、物理学和数学的交叉学科,用物理的理论和研究方法研究化学行为,是原理和方法跨学科运用的结果,蕴含丰富的跨学科思维方式方法,为培养学生的跨领域思维能力提供了基础。

(4) 哲学性:物理化学被誉为“化学中的哲学”,蕴含丰富的哲学思想。例如矛盾观、对立统一规律、辩证唯物的认识论等,是发展哲学思维和实施课程思政的优良载体^[5]。

(5) 人文性:物理化学的基本概念、理论及原理等蕴含丰富的人文思想,且一些内容与传统文化相互交融,可以实现学科知识教学与人文素养渗透的良性互动,提升人文素养,厚植家国情怀。

1.2 教学问题

物理化学是化学工程与工艺、环境科学与工程、材料科学与工程等专业的专业基础课。在教学实践中发现,地方普通本科院校的学生尽管具有一定的知识储备,但普遍存在以下问题:一是学习的主动性不强,内生驱动力不足;二是没有良好的思考习惯,思维能力不足;三是数学、物理等相关预备知识基础薄弱,学习难度大。课内课外,多数学生习惯知道“是什么”(基础知识:死记硬背),不愿主动思考“为什么”(科学思维:缺乏训练),不会尝试探索“怎么做”(实践能力:止步不前),不利于学生思维能力的培养。然而,学科思维能力和跨学科思维能力是未来创造者的必备素养,也是最终形成新工科工程人才跨学科整合能力的必备思维素养^[6]。

物理化学由于理论性强等原因,客观上“教”与“学”都有较大难度。如果教学设计、教学方法等不合理,加上地方院校学生本身预备知识基础薄弱、分析能力和思维能力不足等因素,会使物理化学的学习雪上加霜,学生学习的主动性越来越弱,“教”与“学”陷入两难境地,最终形成恶性循环。针对物理化学的课程特点,结合未来工程人才核心素养培养,本课程团队在课程理念重塑、教学模式改革、课程思政教学设计、团队建设等方面进行了一些探索和实践,以使物理化学课程教学能更好地适应学生发展和国家对人才培养的需求。

2 物理化学课程教学改革

2.1 课程建设框架

基于新工科教育理念、学校传统工科专业转型升级以及课程思政的内在要求,课程团队针对教

学“痛点”，以课程资源建设为保障，教学模式改革为核心，课堂教学改革为突破口，以信息技术为辅助手段，构建契合新工科工程人才核心素养培育要求的物理化学课程教学理念与方法，以期在知识传授中渗透人文精神、科学精神和家国情怀教育，发展学生的哲学思维、理论思维和跨学科思维能力等，为新工科建设人才培养夯实基础。课程建设整体框架如图1所示。

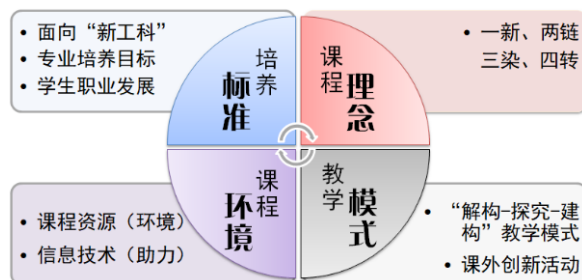


图1 课程建设框架

2.2 课程理念重塑

基于建构主义学习理论^[7]，新工科建设理念和OBE (Outcome Based Education)教育理念^[8]内在要求和联系，经过3年时间的教学实践不断完善，总结凝练出“一新、两链、三染、四转”的课程改革和实施理念，以实现学生培养从“知识获取为主向思维、能力、素养提升为主”的转化，为相关工科专业培育面向未来的新工科人才积跬步、起垒土。“一新”指的是价值取向，课程改革与建设指向新工科人才核心素养培育；“两链”指的是课程育人环境，包括线上学习链和线下学习链的改革与建设；“三染”指的是教学设计要求，教学设计要有机结合新工科教育理念、课程思政内在要求和物理化学课程特点等，内容包含人文精神、科学精神和家国情怀浸染；“四转”指的是课程目标，包含过程性目标和结果性目标，但更强调过程性目标。具体目标有四个方面，即：学习行为由被动向主动转变；思维能力由初级向高级发展；学科跨度由本学科向跨学科转化；成就目标由知识向能力转化。

2.3 教学团队组建

要实现课程“四转”目标，教学团队建设是最基本的保障条件。基于新工科教育理念，结合教学“痛点”和新工科人才核心素养要求，物理化学课程团队结合成员特长，分成3个教学小组。理论教学经验丰富的教师组建“理论教学研究组”(G1)，实践教学经验丰富的教师组建“实验/实践指导组”(G2)，创新能力强的博士教师组建“课外创新指导组”(G3)(图2)。学生培养分成三个主要阶段：理论→实验/实践→课外创新。三个阶段时间跨度从课内至课外、从开课至毕业，培养目标三段递进，即“理解与获取→实验与应用→实践与创新”。三个教学小组分别对应学生培养的三个阶段。通过将教学团队按学生培养阶段和培养目标组建，构建起学生基础知识、实验技能和创新能力培养的进阶通道，促进学生由“基础知识(思维方法、思维能力)→实践能力(科学思维)→创新能力(创新思维)”

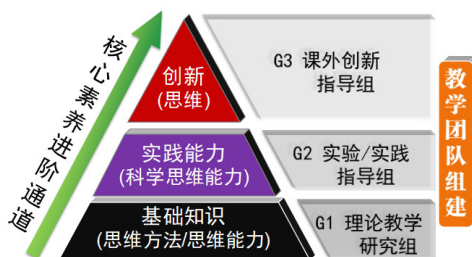


图2 教学团队与学生培养阶段关系

循序渐进发展。G3组的教学活动开展以团队教师的科研项目或学生的创新项目等为依托，学生根据兴趣选择性参加。教学团队建设要注意几点：一是要建立和完善管理制度；二是要形成合理梯队；三是要有相对固定的教研活动载体；四是要建立退出机制等。

2.4 课堂教学改革

2.4.1 教学模式改革

基于“一新、两链、三染、四转”的课程理念，重新构建了“解构-探究-建构”式教学模式(图3)。“解构-探究-建构”式教学模式强调教师解构、引导探究，学生建构，充分体现学生中心，任务驱动，破解传统课堂教学设计与教学方法吸引力不足，教学中学生在思维上参与度、探索度不深等问题。

“解构-探究-建构”式教学模式中的“解构”是教学设计的核心点，指教师在课前将学习的核心任务(主要的重难点知识)进行解析，重新建构，将核心学习任务破解成“逻辑连贯的系列小问题”。学习任务的“解构”在于分化和降低学习难度，把学生的“难点、痛点”转化成教师的“发力点、突破点”，构筑学生登山之阶梯，以“科学问题再探索→科学知识再发现”的方式引导学生探索前行，让书山有路，学海有帆。“解构”的主体是教师，基础是学情和教情，目的是降低学习难度，铺就学习阶梯，引导学生运用所知去深入分析和探究，学会思考。强调教师在对核心知识深入分析的基础上将其分解，设计成一系列逻辑连贯的小问题构筑起学生的探索路径。“探究”和“建构”的主体是学生，教师的作用是指引。教学实施中，积极引导主动探索去解决问题、获得知识，在解决问题的过程中去思考，在思考中去理解，在理解的基础上建构起属于自己的知识体系，并培养思维能力。

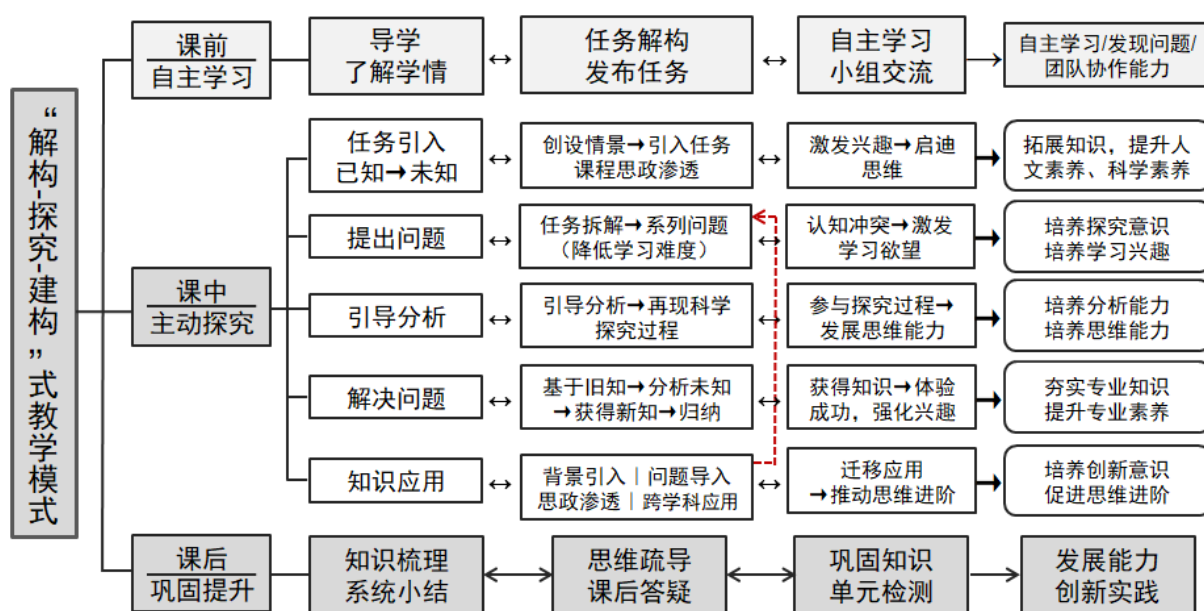


图3 “解构-探究-建构”式教学模式

教学实施程序如下：

(1) 教师全面、深刻理解教学内容，对核心教学任务(一般是重点和难点内容)进行分解和重构，将核心教学任务分解成一系列逻辑连贯的科学问题。这一系列问题应环环相扣、逐层递进，要符合学生的认知规律和有利于培养学生的逻辑思维能力，因为逻辑思维是学生形成科学思维的基石。

(2) 收集与教学内容相关的必要材料(含思考题、讨论主题等)于课前发布在课程网络平台上，并要求学生阅读思考。以物理化学(上册)第三章“3.5节 Clausius不等式与熵增加原理”为例，可以收

集材料如下：① 古诗词《临江仙·滚滚长江东逝水》(明·杨慎)、《将进酒》(唐·李白)等，对应的知识点为“实际发生的宏观过程的不可逆性”，在加深对知识理解的同时实现人文精神浸染、家国情怀培育，提升文学素养和增强课堂的趣味性；② 科学史料1：19世纪中期，德国物理学家Helmholtz将热力学第二定律运用于讨论宇宙的起源，知识延展深化学生对知识理解的同时培养学生的跨学科思维能力和科学精神等；③ 科学史料2：“热寂论”以及恩格斯站在辩证唯物主义立场上对“热寂论”的批判，知识延展深化学生对知识理解的同时培养学生的辩证思维能力和科学精神等；④ 社会发展史料：公元前220年秦统一六国前后社会变化，1949年中华人民共和国成立前后的社会变化，加深对热力学核心概念“熵”的理解以及培养跨学科思维能力的同时，厚植家国情怀(民族、国家认同感)。

(3) 课堂教学：教师将解构好的“一系列逻辑连贯的科学问题”逐一呈现，主导课堂依照“主动思考(学生)→分析问题(学生)→寻求解答(学生)→交流发言(学生)→点评(教师)”的程序展开教学，实现学生主体教师主导。

(4) 课后巩固：教师在课程平台(线上)发布讨论主题、思考题以及课后检测题，讨论主题和思考题应尽量与相关知识在实际生产生活中的应用结合，帮助学生巩固和深化对知识的理解。应注意以下几点：一是本教学模式顺利实施的前提是线上资源要精准，教师在开展线下课堂教学前要督促和检查学生是否完成相关的预习任务，否则课堂教学时学生很难跟上教学进度，当然也不能很好地贯彻“学生中心”的教学初衷；二是课堂上“学生主体”的体现，应该重点关注学生思维上的主动、深度介入，而不是形式上的课堂“热闹”起来；三是教学核心任务的“解构”要充分发挥课程团队的力量，集体讨论研究才能使之更加科学合理；四是课堂表现、线上表现(课前课后)应纳入学业评价，提升其在课程成绩评定中的占比(建议50%–60%)，强化过程评价以推动学生主动学习。

这里以《物理化学I》“第3章 热力学第二定律 第5节 Clausius不等式与熵增加原理”为例说明教学核心任务解构方法。该节的核心任务是“Clausius不等式”，既是第3章难点，也是整个热力学的难点。教学中发现，一是学生很难理解热力学第二定律文字表述与Clausius不等式之间的演变关系；二是Clausius不等式与变化过程方向与限度的内在联系，也是学生理解的难点。以上两点学生如果理解不了，就很难建构起热力学第二定律的知识谱系和整个热力学知识谱系。表1中列出了《物理化学I》“3.5 Clausius不等式与熵增加原理”这一节核心任务的解构情况和教学设计意图。

“知识建构”的核心是学生自主发现问题和解答问题。“知识建构”不仅能帮助学生更高效地掌握知识，也有利于培养学生的独立思考能力和创造性思维能力。因此，在教学实施中要善于利用一些素材和学生已有经验，引导学生主动去发现问题，并通过思考获得解答。例如，课堂上在抛出问题Q1(表1)之前，教师首先应列举一系列自然界实际发生的宏观现象，引导学生自主观察、分析、思考并寻求解答。可以先列举如下宏观过程：(1) 水的流动(可选用古诗词《将进酒》中描写黄河之水的诗句)；(2) 气流的流动(已有经验：物理知识)；(3) 电流的流动(已有经验：物理知识)；(4) 自由扩散(播放墨水在清水中的扩散视频)等。引导学生自主分析：(1) 这些宏观变化有没有方向？(2) 其逆过程能否自动发生？(3) 这些变化有没有限度？然后，教师再列举“理想气体向真空膨胀过程”“两个温度不同物体接触的传热过程”等实验宏观现象，提醒学生“从平衡的视角”来分析上述现象的方向和限度问题。这时，学生会自然而然地提出新的问题：从平衡的视角来看，变化的方向又是什么？变化的限度是什么？以上教学程序设计遵循“由浅入深，由表及里”的原则。学生在教师的引导下对核心问题抽丝剥茧，在寻求问题Q1的解答过程中，自行建构“自发变化的共同特征”相关知识。教师在选择教学素材时，除满足素材的知识性与科学性外，也要注重跨学科素材和工程应用素材的选取，并兼顾素材的多元性(如跨学科类、工程应用类、科学史料类、传统文化类等)和趣味性等，以更好地激发学生的兴趣和热情，吸引学生积极主动建构知识。另外，在知识建构过程中，教师要注意引导学生养成自我反思的习惯。

著名教育家叶圣陶先生说过：教学有法、教无定法、贵在得法。教学实践，并非所有教学内容都要采用以上统一教学模式，而是要根据具体的教学内容合理调整运用，充分利用课内课外，线上

线下,突破时空限制和学时限制。例如,对于一些学生通过自学能理解的内容,在教学设计上要以课前自学为主(通过课程平台提前发布),课中精讲或不讲,课中主要补充工程应用实例、跨学科应用、学科前沿知识等方面内容,通过讨论、交流等方式培养学生迁移运用知识的能力、科学思维能力和跨学科思维能力,推动学生思维能力向高阶思维发展。思维能力的培养、知识体系的构建等是一个长期过程,但可以通过教师的引导、学生的主动探究、课外创新活动等逐步实现。

表1 《物理化学I》“第3.5节 Clausius不等式与熵增加原理”核心任务解构

核心任务	学习阶梯	任务解构(逻辑连贯的系列小问题)	功能作用
Clausius 不等式	一级阶梯 (线上)↓(课前) 学习铺垫	【Q1】自发变化的特征是什么?	唤起记忆 ↓ 巩固旧知 (课程思政) ↓ 温故知新
		【Q2】热力学第二定律的实质是什么?	
		【Q3】卡诺定理的内容是什么?	
		【Q4】任意可逆循环过程的热温商之和等于多少?	
		【Q5】“熵”函数是热温商吗?	
	二级阶梯 (线下)↓(课中) 引导探究	【Q6】不可逆循环过程的热温商之和是否也为零?	探索新知 ↓ 思维训练 ↓ 发展能力
		【Q7】对于任意不可逆过程,体系的熵变 ΔS 与该过程的热温商之和是否相等?	
		【Q8】Clausius不等式是否揭示了变化的方向?	
	三级阶梯 (线下)↓(课中) 迁移应用 (本学科领域)	【Q9】将Clausius不等式运用于讨论绝热体系,会得到什么结论?	迁移应用 ↓ 本学科应用 (课程思政) ↓ 学科思维训练
		【Q10】将Clausius不等式运用于讨论隔离体系,会得到什么结论?	
		【Q11】将Clausius不等式运用于讨论封闭体系,会得到什么结论?	
	四级阶梯 (线下)↓(课中) 跨学科应用 (自然科学领域)	【Q12】如果把宇宙视为孤立体系,宇宙将如何演变?	迁移应用 ↓ 跨学科思维 ↓ 辩证思维能力 (课程思政)
		【Q13】宇宙是永恒存在还是有一个开端?	
		【Q14】将宇宙视为孤立体系得到的结论是否正确?	
	五级阶梯 (线上)↓(课后) 跨学科应用 (社会科学领域)	【Q15】1949年,新中国成立。请从“熵”的视角分析新中国成立前后的社会变化?(阅读历史资料→线上讨论)	迁移应用 ↓ 跨学科综合分析 ↓ 厚植爱国情怀、培养社会责任感 (课程思政)
		【Q16】社会发展过程中有哪些“熵增现象”?对人类社会可能产生什么影响?(阅读历史资料→线上讨论)	

2.4.2 课程思政教学设计

课程思政是把“立德树人”作为教育根本任务的一种综合教育理念。新工科强调以“立德树人”为引领,未来工程人才培养标准的核心素养强调“家国情怀、创新创业、跨学科交叉融合、批判性思维……”等核心要素^[1]。基于物理化学课程具有“交叉性、哲学性、人文性”等特点(如1.1所述),在教学设计中可以根据教学具体内容,选择性开展人文精神渗透、科学精神培养、家国情怀培育、哲学思维训练等,同时可以提升课堂教学的吸引力,实现专业课教学与课程思政同向同行^[9]。

物理化学教学改革中,课程组基于上述理念构建了物理化学课程思政基本模式,如图4所示。教学实施首先要深挖物理化学课程思政元素,建立“映射知识点↔思政载体↔思政元素”课程思政资源库。“映射知识点”指课程相关知识、原理、方法等;“思政载体”是与课程内容具有一致相关性的素材(或称案例),素材中所蕴含的科学原理或价值取向等应与课程内容(映射知识点)保持高度一

致，这是实现课程思政盐溶无痕的关键：“思政元素”通过“载体”无痕显化。本文同样以《物理化学I》“第3.5节 Clausius不等式与熵增加原理”进行说明，教学设计如表2所示。

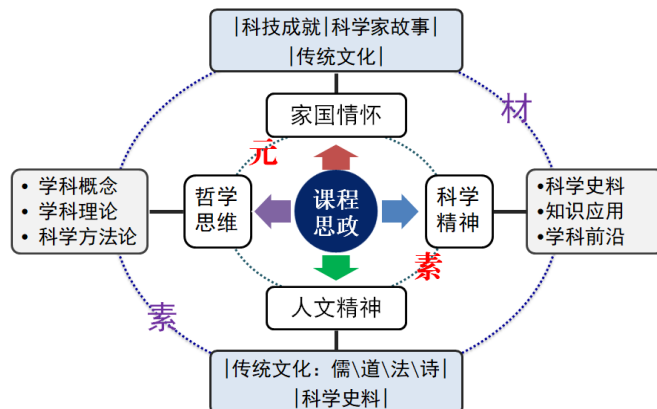


图4 课程思政教学设计

表2 《物理化学I》“第3.5节 Clausius不等式与熵增加原理”课程思政教学设计

映射知识点	思政载体(素材)	思政元素(显化)
1 自发变化的共同特征	【载体】经典文学作品：杨慎《临江仙·滚滚长江东逝水》 【学生活动】朗诵(或传唱)+分析	(1) 增强人文素养 (2) 培养文化自信
2 热力学第二定律	【载体】科学发展史料：(1)19世纪中期，德国物理学家Helmholtz运用热力学第二定律讨论宇宙起源；(2) 宇宙的起源与演化之争论；(3) 恩格斯站在辩证唯物主义的立场对“热寂论”的批判 【学生活动】讨论+交流+反思	(1) 培养辩证思维、跨学科思维能力 (2) 培养科学精神和批判精神
3 熵增加原理	【载体】社会变迁史料：历史变迁过程中的“熵增现象”(秦统一六国、新中国成立前后社会变化) 【学生活动】文献查阅+讨论+交流	(1) 培养跨学科思维能力 (2) 培养家国情怀，增强文化自信

教学实践中发现，在教学中无缝融入思政元素可以有效拓展教学的深度与广度，活跃课堂气氛，增加课堂的知识性、人文性、趣味性，提升课堂的引领性、时代性、开放性和吸引力，逐步构建起“有趣、有用、有料、有效”的高效课堂，让学生在不知不觉中思想有触动，能力有提升。

3 结语

教学改革与实践的物质基础和依托是教学资源建设，任何课程的建设与改革，都要基于学校实际建设好校本课程资源。本课程团队根据人才培养目标和教学改革目标，一是对接新工科建设理念，重构了物理化学实验体系，引入现代信息技术在物理化学实验中运用的相关内容以及反映学科前沿的实验项目，编写出版教材《基础化学实验(III)——物理化学实验》；二是建设好线上教学资源，并在教学实践中不断完善和优化。线上资源包括：教学视频、课件、课程资料(包括工程实例；学科前沿；与课程紧密结合的哲学资料、人文资源等)、课前自测题、课后测试题、综合测试题、讨论主题等。内容要丰富，尽量能充分满足教学需求和学生的个性化需求。三是同时改革了学业评价方式，包括提高过程性评价成绩占比(60%)，扩大过程性评价的内容等。教学方法的使用上，既要因材施教，更要因地制宜，不能脱离学生实际情况，也不能脱离教学内容特点。教学的终极目标并不是让学生掌握或者拥有知识，而是训练其思维，发展其能力，塑造其品行。

参 考 文 献

- [1] 钟登华. 高等工程教育研究, **2017**, No. 3, 1.
- [2] 叶民, 孔寒冰, 张炜. 高等工程教育研究, **2018**, No. 1, 24.
- [3] 中华人民共和国教育部. 高等学校课程思政建设指导纲要. [2024-10-14].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html?eqid=b04748c500024fb1000000036447884a
- [4] 委华. 中国高等教育, **2020**, No. 9, 19.
- [5] 杨桦. 化学教育, **2022**, *43* (6), 45.
- [6] 覃丽君, 王建梁. 高教探索, **2023**, No. 5, 70.
- [7] Fosnot, C. T. *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice*; Teachers College Press: New York, NY, USA, 1996; pp. 205–216.
- [8] Spady, W. G. *Outcome-based Education: Critical Issues and Answers*; American Association of School Administrators: Arlington, TX, USA, 1994; pp. 41–17.
- [9] 候雨佳, 王秀英, 贾能勤. 大学化学, **2023**, *38* (8), 44.