

面向新工科建设 践行绿色工程理念 ——基于热学课程案例库的教改探索

房 毅

(华东理工大学物理学院, 上海 200237)

摘 要 本文基于“新工科”对新形势下人才培养目标的要求,以“热学”课程为依托,进行“绿色工程”教育的教学改革探索。本文首先厘清“新工科”与“绿色工程”教育之间的关系。随后以此为指导,梳理“热学”课程教学内容,在遵循“完整性”“普遍性”原则的基础上,进行课程案例库的开发与建设。最后将案例库用于教学改革实践活动,经受学生的检验。教学效果表明,这一改革既符合“新工科”的宗旨,又践行了“绿色工程”理念,使学生持有获得感的同时,满意度也得以持续保证。

关键词 新工科;绿色工程;热学;案例库;教改

FACING THE NEW ENGINEERING CONSTRUCTION AND PRACTICING THE CONCEPT OF GREEN ENGINEERING —EXPLORATION OF TEACHING REFORM BASED ON CASE BASE OF HEAT COURSE

FANG YI

(Physics School, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

Abstract Based on the requirements of “new engineering” for talent training objectives under the new situation, this paper explores the teaching reform of “green engineering” education based on the course of “heat”. This paper first clarifies the relationship between “new engineering” and “green engineering” education. Then, under the guidance of this, combing the teaching content of “heat” course, following the principles of “integrity” and “universality”, the development and construction of the course case base are carried out. Finally, the case base is used in the practice of teaching reform and tested by students. Teaching effectiveness demonstration that this reform not only conforms to the purpose of “new engineering”, but also practices the concept of “green engineering”, which makes students have a sense of acquisition and satisfaction.

Key words new engineering; green engineering; thermology; case base; teaching reform

伴随新一轮产业革命,新工科应运而生。2017年教育部颁布了“天大行动”,首先明确新工科人才培养目标:“要促进工科学生全面发展,把

握好新工科人才的核心能力素养;强化学生的家国情怀、全球视野、法治与生态意识;培养学生设计思维、工程思维、批判性思维和数字化思维;提

收稿日期: 2023-05-28

基金项目: 华东理工大学绿色工程基金资助项目(2019041810);华东理工大学本科教育教学改革研究立项建设项目(2022122934)。

作者简介: 房毅,男,副教授,主要从事物理教学,研究方向为新能源材料, Fangyi@ecust.edu.cn。

引文格式: 房毅. 面向新工科建设 践行绿色工程理念——基于热学课程案例库的教改探索[J]. 物理与工程, 2023, 33(6): 19-24.

Cite this article: FANG Y. Facing the new engineering construction and practicing the concept of green engineering—Exploration of teaching reform based on case base of heat course[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(6): 19-24. (in Chinese)

升创新创业、跨学科交融、自主终身学习、沟通协商和工程领导力”,这也为我们高等学校的工科教育明确了方向^[1]。

与上述传统工科、新工科相似的是:工程教育理念也在传统的基础上,与时俱进的发生变化,其中最为突出的当属绿色工程教育的出现。绿色工程教育这一理念是针对传统工程过度注重经济效益,而忽视环境效益、社会效益提出的。绿色工程理念秉承一些基本的原则,通常有两种表述:九原则、十二原则。无论是九原则,还是十二原则,其本质都是一致的^[2]。

1 “新工科”与“绿色工程”的关系

面向新工科建设,践行绿色工程理念,进行教学改革,首先必须明确“新工科”与“绿色工程”之间的关系。

复旦共识、天大行动和北京指南,构成了新工科建设的“三部曲”。在复旦共识中指出:“推动应用理科向工科延伸,推动学科交叉融合,促进科学教育、人文教育、工程教育的有机融合,培养科学基础厚、工程能力强、综合素质高的人才”^[3];在天大行动中进一步提出:“把握新工科人才的核心素养,强化工科学生的家国情怀、全球视野、法治意识和生态意识”^[1];在北京指南中,再次强调:“注重理念引领,强化工科学生的家国情怀、国际视野、法治意识、生态意识和工程伦理意识等,树立创新型工程教育理念,提升学生工程科技创新、创造能力;树立综合化工程教育理念,推进学科交叉培养;树立全周期工程教育理念”^[4]。

绿色工程理念注重工程的设计、资源的选择、方案的确立及最终实施全过程,始终如一地基于可持续发展的理念,着力协调好资源、环境、社会之间的关系,这与“新工科”教育的价值取向同向同行。以环境为例,工程实施过程造成的环境污染,要治理!这就不可避免地涉及多学科问题:物理学、化学、经济学、法律、社会学、伦理学……。政府治理环境污染,企业继续排污,光靠物理、化学方法治理显然不行;政府不让排污,科以重罚,企业却明修栈道、暗度陈仓,靠经济学方法、法律也不行;政府关停其企业,企业又另起炉灶,继续排污,这就需要考虑社会学、伦理学的问题。环境

治理看似一个并不复杂的问题,然而却是一个多学科综合的管理问题,这就对我们未来管理决策者提出了更高的要求。由此,要想让“绿色工程”理念真正落地并造福于人类社会,未来的工程技术、管理人员具备单一的专业知识是远远不够的,还必须拥有多学科知识以及人文、科学、社会交叉的背景及较高的综合素养,这恰恰与“新工科”人才培养目标相契合。

由此可见,“绿色工程”教育既是“新工科”教育的不可或缺的内容,又离不开“新工科”教育的理念引领。“绿色工程”教育客观上使得“新工科”教育的内涵更为饱满,“新工科”教育理念引领下的“绿色工程”教育不至于迷失方向。

根据“新工科”“绿色工程”理念两者的关系,我们明确了制定教学实施策略所遵循的基本原则:以新工科理念引领“绿色工程”,以“绿色工程”完善充实“新工科”。

2 热学课程案例库开发

热学是经典物理学中两个分支之一——演化物理学的唯一代表,其地位十分独特。热学又有两个分支:其中之一是描述宏观规律的经典热力学,被爱因斯坦视为“具有普遍内容的唯一的物理理论,在其基本概念适用范围内是绝对不会被推翻的。”^[5]由此可见,在应用物理系中,依托热学课程进行教学改革,对提升学生综合素养、落实新工科、绿色工程理念要求,其适宜、有效、充分性达成均应有较高的预期。

新工科的“新”,其显著特征就是结构之变——体现在专业、知识、能力、课程的结构之变。其最终可归结为通过课程建设并实施,达成上述所有结构之变^[1]。依托教学内容的案例教学有其深厚的教育学理论依据,这种教学方法可以促进隐性知识与显性知识的不断转化。具体地,通过案例的情境展示,可以达成将隐性知识外显、显性知识内化的效果。为此,我们基于应用物理系专业基础课——热学,面向新工科建设,践行绿色工程理念,进行案例库开发、建设、实施。

案例库开发、建设最为重要的环节就是内容的甄别、选取。为此,笔者确定了课程案例库建设的两大原则:一方面遵循完整性原则,即考虑这是面向一门课程的案例库,应系统完整,其案例须覆

盖到热学的每一章;另一方面遵循普遍性原则,即每章选取的案例必须具有代表性,能展示本章的普适规律。基于上述两个原则,我们对热学课程教学内容^[5]进行了梳理与研判,最终遴选出各章的案例如表1所示。

表1 各章与案例对应关系

章名	案例名
分子动理学之平衡态理论	浓缩铀的物理方法对比
分子动理学之非平衡态理论	城市热污染的绿色工程治理
热力学第一定律	绿色冰箱设计思路探索
热力学第二定律	适合中国国情的可持续发展之路探索
物态与相变	绿色相变材料

其中,城市热污染的绿色工程治理以MG动画格式展示,其余4个均以视频、图片、文本格式展现。

3 热学课程案例库教学设计实施

笔者将分别从热学理论的两个分支——宏观理论、微观理论出发,介绍其中如何依托工程案例,围绕“新工科”“绿色工程”理念,进行教学改革探索。

案例1 绿色冰箱设计思路探索

本案例依据的理论基础就是热力学第一定律,简称热一律。热一律是科学知识,将其转化为技术——循环技术(工程技术中最常见的就是热机、制冷机技术),才能服务于社会。基于绿色工程理念,一种能耗少、结构简单,且无氟利昂(造成对大气环境污染)的冰箱,成为冰箱制造业的必然选择。绿色工程理念决定了产品实现过程应考虑产品的三个属性并重的特点:环境属性——自然资源的利用率、对环境造成的影响、可拆卸性、可回收性、可重复利用性;能源属性——能耗、绿色能源可用性;资源属性——生产、制作应用的材料及其相关设备、信息等。从环境属性视角,一言以蔽之:用环保材料、产品报废后的材料可回收利用、结构设计可拆卸^[6]。这正是绿色工程九原则第三条“在所有工程活动中使用生命周期理念”的具体体现。本案例侧重工质的选择、材料的选择,并基于构思(Conceive)、设计(Design)、实现(Im-

plement)和运作(Operate)简称CDIO工程教育思路,创新问题式教学法,实施案例教学^[7]。

CDIO工程教育模式注重高校人才培养过程与企业生产产品过程相映射,这本质上为其日后真正成为一名能够应对纷纭复杂挑战的、名副其实的工程师提供了基本的保障。CDIO模式下的教学,突出的是学生主动参与学习的程度和高标准的工程教育内容及实践,这也是“新工科”建设理念的具体体现。为此,CDIO工程教育思想对构建培养工程能力和创新能力的教学方法选择具有很好的借鉴作用。基于这一思路,我们成功探索出“案例引导+自主探索+交流论辩”的问题式教学方法,并在教学过程中实施、检验。

以热力学第一定律为例,在交代清楚知识点之后,接着介绍知识转化为技术——循环技术的应用:绿色冰箱的设计。其设计思路与理念始终围绕服务于社会、增加社会责任感的视角展开。从冰箱实现原则——环境属性、能源属性、资源属性并重出发,对冰箱材料的选取、结构的设计,进行自主探索,分组讨论,最终由各组推选代表,在组间展开交流论辩。以制冷工质循环管路的材料选取为例,教师提出问题:从传热、加工、耐腐蚀等诸多方面考虑,铜管均为最佳之选,但为什么今天我们更倾向于选择铁管,甚至铝管作为替代品?要求同学自主探索。在阅读并理解大量相关文献的基础上,同学们展开激烈辩论,最终达成共识:这是以绿色工程理念为指导、以社会效益为目标,从金属的生产必然伴随有毒重金属废弃物,开采又会破坏大量土地,对环境造成影响等因素出发,折算成碳排放后,进行对比的必然选择。这体现了绿色工程九原则第一条“考虑工程过程和产品的整体性,能使用系统分析,综合利用环境影响分析工具”。

通过这种将知识传授与工程实际密切结合的、基于CDIO的问题式教学法的实施,提高了学生综合运用所学知识进行观察、分析和解决工程实际问题的能力,同时还激发了学生学习激情,拓展了学生视野。工程方法训练过程,又使得学生潜移默化,自主体验到绿色工程理念的内核所在,明确了工程师的社会责任。

案例2 浓缩铀的物理方法对比

铀是大自然赐予人类的一种低碳环保的清洁原料。²³⁵U与²³⁸U化学性质相同,但物理性质略有

差异,两者相差三个中子。在自然界,铀大约有 99.29% 以 ^{238}U 的方式而存在,而可用于核燃料或核武器的 ^{235}U ,在天然铀中占比仅为 0.71%。铀真正作为清洁原料走向实用,对 ^{235}U 浓度要求远高于其在天然铀中占比。如持续链式反应,对 ^{235}U 燃料浓度要求约为 3%;作为核动力,推进用核燃料 ^{235}U 浓度要求约为 20%;而作为核武器的核原料, ^{235}U 浓度则要求在 90% 以上。因此,铀无论用于核燃料,还是用于制造核武器,首先得将天然铀进行浓缩,而所有浓缩技术都是基于 ^{235}U 、 ^{238}U 之间微小的质量差异,进行同位素分离。

浓缩铀的方法可分为物理方法与化学方法。就物理方法而言,最常用的、总占比约九成的方法,就是热学方法。按其基于的热学基本原理不同又可分为两种:气体扩散法与气体离心法。

气体扩散法分离的理论基础是麦克斯韦速度分布。在密闭容器中装有 ^{235}U 、 ^{238}U 两种混合气体,当它们达到热平衡后,在器壁上开一足够小的孔,因轻分子的平均速度大,所以 ^{235}U 比 ^{238}U 更易逸出小孔。由此实现:器壁外收集的混合气体中,轻分子 ^{235}U 的相对丰度(轻分子与其余分子的粒子数之比)有所提高,从而实现一次浓缩。仅一次浓缩,相对丰度提高有限,如此反复,经过多级浓缩,直至所需浓度。然而在工程实现上,由于金属铀在 2500K 以上才有符合扩散法分离条件所要求的足够大铀蒸气密度,而对蒸气密度的这一要求,常温下金属铀又无法满足。实际的工程方法是:先将 ^{235}U 转换成唯一在室温下具有高蒸气密度的铀化合物—— $^{235}\text{UF}_6$,对其进行浓缩,达到预设要求后,再对其进行还原,最终可得到浓缩的 ^{235}U 。从理论演绎到工程实现,同学们实实在在地感受到工程思维的重要性和必要性。

气体离心法的理论依据是玻尔兹曼分布。用高速旋转的圆筒对筒内混合气进行分离:惯性离心力使较重组分更多趋于筒壁,从而实现筒轴处,轻组分相对丰度增加,达到浓缩的目的。

通过对表 2 两种分离方法的对比,不难发现:全球范围对浓缩铀方法选择,遵循资源耗散最小化这一共同原则。绿色工程九原则第五条“最小化资源耗散”必将成为倡导“可持续发展”的当今时代,我们不变的工程行为准则。无论上述哪种方法,在工程实践中,都涉及对贫料铀—— ^{235}U 丰度为 0.3% 的浓缩铀尾料,进行再浓缩、循环利用,这又进一步体现了九原则第四条“尽可能确保所

有原材料和能源的输入及输出的自身安全和良性循环”的绿色工程理念。而选择清洁能源铀作为核燃料,也是绿色工程九原则第二条:“保护和改善自然生态系统,保护人类健康和福祉”,第六条:“努力避免产生废弃物”的具体体现。

表 2 两种热学分离方法对比

	气体扩散法	气体离心法
单级分离系数	小	大
单台分离能力 (分离功)	大	小
能耗	大	小
投资	大	小
运行	大	小
技术	成熟	待完善
维修	简单	复杂
全球总浓缩能力 占比	25% 以下且呈 下降趋势	65% 以上且呈 上升趋势

读史使人明智,面向新工科对人才培养的要求,我们对铀浓缩案例教学的背景资料进一步挖掘,并融入课程教学过程之中。1950 年,新中国成立伊始,旋即组建了近代物理研究所,由著名的物理学家吴有训任所长;朝鲜战争期间,美国多次威胁要使用原子弹,对我国进行核讹诈。1955 年 1 月 15 日,毛泽东在中南海颐年堂主持召开会议,果断做出了建立和发展我国原子能事业的战略决策!地质学家李四光领导三支勘探队,他们以将近一年时间,风餐露宿、翻山越岭,以牺牲十余名勘探队员生命的代价,终于发掘到新中国的第一块铀矿石。1957 年《中苏国防新技术协定》:向中国提供包括两弹在内的尖端武器制造技术,并派专家来华协助研制工作。1959 年苏联撕毁协定,中国从此走上了自主研发的创新之路。此后的十余年间,全国各地的科学家、技术工人、高校毕业生共有 7 万多人陆续充实到核工业队伍。为了祖国的核事业,他们隐姓埋名,默默奉献,他们的事迹令人感动。这其中体现出的正是中国优秀传统文化的基本内涵之一——家国情怀。这是一种个人对国家和人民所表现出来的深情大爱;是对国家富强、人民幸福所展现出来的理想追求;是对祖国的一种高度认同感和归属感、责任感和使命感。在原子弹设计过程取得理论突破的物理学家邓

稼先,为了大家,不惜放弃小家,甚至牺牲宝贵的生命,学生为之深深动容;而开辟崭新的氢弹设计之路的物理学家于敏,使学生懂得国家昌盛、民族富强,必须走自主创新之路,以此激发学生创新抱负^[8]。

4 教学效果

通过绿色工程案例教学法教学改革,学生收获颇丰,也达成新工科背景下,践行绿色工程教育的目的。学生对绿色工程理念加深了认识,并融入自己的见解,在绿色专题讨论栏,对案例教学进行评价,分享学习体会。表3为学生对绿色工程案例教学评价。

此外,学生将新工科要求、绿色工程理念自觉贯穿于各项探究活动中,收获满满。以国家级大学生创新活动资助项目“声致毛细管液面升高研究”为例,李梓瑜等同学以绿色工程十二原则之四的“设计的工程产品、过程和系统要使产品质量、能源消耗、空间使用、时间利用的效益最大化”绿色理念、科学-技术-社会的教育理念为指导,基于

项目研究结论,首创性地将超声波微泵加装于输液瓶底部,以声压代替重力作为驱动源,解决了应急抢险等紧急情况下输液瓶无法高位悬挂的问题,同时令超声波微泵工作于项目研究发现的最佳工作点处,最大限度节约能源。该项目发表ESCI 研究论文1篇,其创新的实验装置获批国家实用新型专利1项,基于项目研究结论设计的输液装置参加了上海市互联网+、挑战杯大赛,分获银奖、铜奖。

5 结语

本文介绍了笔者以“新工科”为指导,贯穿绿色工程教育理念,并将此融于教学改革的实践。我们以案例库的形式,在展示教学内容的同时,潜移默化、润物无声,使学生在教学过程中经历自主探索、独立思考、跨学科交叉融合,最终达成新工科要求的学生全面发展、核心能力素养全面提升之目标。教学实践证明,这一改革行之有效,有广阔的推广空间。

表3 学生对绿色工程案例教学评价

专题	学习者	学生评价
1	朱同学	现代人类发展的很多问题都是因没有处理好人与自然的关系而引起的,绿色发展才是长久的发展之道。而要更好地实现绿色发展,创新必不可少。因此我们要在自己所学的知识基础上,锐意创新,为人类未来持续健康发展做出贡献
2	刘同学	核能,作为人类可以利用的高效清洁能源,能极大地造福人们的生活;而当核能用于制造战争武器并投入战场,则给人类带来严重危害,这体现的正是技术是一把双刃剑的特征。如何将科学转化为技术,最终服务而不是危害社会,是我们不可避免且应以“向善”之心妥善解决的问题
3	盛同学	我国力争在2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和。为实现这一目标,在绿色冰箱设计过程中,人们必须自觉践行绿色工程理念,力求做到能耗少,结构简单,且无氟。如用异丁烷取代氟利昂;用铁、铝管取代铜管;换热器报废后可回收利用等。绿色冰箱设计这一过程遵循了“注重产品的耐久性而非永久性,效益最大化,生命周期后商业化设计等”绿色工程原则
4	茂同学	我国人口众多,因此面临严重的资源短缺和环境危机,以我所学如识来看:科学家们已将熵增原理运用于城市管理,管控与城市发展相关因素,减缓熵增步伐;将熵增原理运用于社会,力求缩短贫富差距……我们还应进一步将熵增原理应用到社会生活中,挖掘开采熵,引入负熵流,以便更好地造福人类
5	夏同学	绿色技术革命,其宗旨是为了提升人类的生活质量,延长有生活品位的生命。相变材料在热力学、化学与经济学上均符合绿色工程原则:能努力避免产生废弃物,最小化自然资源的耗竭,尽可能确保所有原材料和能源的输入以及输出的自身安全和良性循环,从而保护和改善自然生态系统,保护人类健康和福祉

参 考 文 献

- [1] “新工科”建设行动路线(“天大行动”)[J]. 高等工程教育研究, 2017(2): 24-25.
The Action Route for the Construction of “New Engineering” (“Tianda Action”)[J]. Higher Engineering Education Research, 2017(2): 24-25. (in Chinese)
- [2] 辛忠, 何佳雯, 周玲. 可持续发展背景下绿色工程教育的理念与实践探索[J]. 化工高等教育, 2020, 37(2): 1-11.
XIN Z, HE J W, ZHOU L. Exploration of the concept and practice of green engineering education in the context of sustainable development[J]. Higher Education in Chemical Engineering, 2020, 37(2): 1-11. (in Chinese)
- [3] “新工科”建设复旦共识[J]. 复旦教育论坛, 2017, 15(2): 27-28.
Fudan consensus on the construction of “new engineering” [J]. Fudan Education Forum, 2017, 15(2): 27-28. (in Chinese)
- [4] 新工科建设指南(“北京指南”)[J]. 高等工程教育研究, 2017(4): 20-21.
Guidelines for the Construction of New Engineering Courses (“Beijing Guidelines”)[J]. Research on Higher Engineering Education, 2017(4): 20-21. (in Chinese)
- [5] 秦允豪. 热学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2018: 2-3, I-VIII.
- [6] 张高贤, 黄长林, 王耘, 等. 基于绿色设计思想的冰箱设计[J]. 现代机械, 2003(1): 1-4
ZHANG G X, HUANG C L, WANG Y, et al. Refrigerator design based on green design ideas[J]. Modern Machinery, 2003(1): 1-4. (in Chinese)
- [7] 陶勇芳, 商存慧. CDIO 大纲对高等工科教育创新的启示[J]. 中国高教研究, 2006(11): 81-83
TAO Y F, SHANG C H. Enlightenment of CDIO outline on innovation in higher engineering education[J]. Chinese Higher Education Research, 2006(11): 81-83. (in Chinese)
- [8] 乔咏梅. 巨大而美丽的蘑菇云—中国第一颗原子弹爆炸始末[J]. 中国档案, 2012(2): 74-75.
QIAO Y M. Huge and beautiful Mushroom cloud—The whole story of China’s first atomic bomb explosion[J]. China Archives, 2012(2): 74-75. (in Chinese)