

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2021.05.010

欢迎按以下格式引用:曹晓东,庞丽萍,柏立战,等.高等工程热力学课程“四位一体”教学模式探讨[J].高等建筑教育,2021,30(5):68-74.

高等工程热力学课程 “四位一体”教学模式探讨

曹晓东,庞丽萍,柏立战,林贵平

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院,北京 100191)

摘要:在“新工科”建设大力推进的背景下,加强学生工程应用能力的培养是高校深化教学改革的重要组成部分。高等工程热力学是一门工程应用性强的基础理论课程,作为培养研究生理论联系实际能力的一个重要切入点,该课程教学始终贯穿“新工科”人才的培养理念。通过探讨前沿教学拓展、工程案例设计、专题项目探究、综合能力考核等“四位一体”的高等工程热力学课程教学模式,着力培养学生自主学习和探究的兴趣,形成师生交流融合的学习研究共同体,构建教学相长、教学和科研相互促进的研究生工程创新能力培养的实践平台,提升学生工程应用和创新能力。

关键词:高等工程热力学;新工科;工程应用能力;四位一体;教学模式

中图分类号:G642.0;TK1 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2021)05-0068-07

随着经济和科技的快速发展,目前我国面临严峻的产业变革和激烈的全球竞争。为了适应和应对这种挑战,我国积极推进工程教育教学改革,着力培养理论与实践相结合的高素质应用型人才^[1]。在此形势下,高等院校的研究生教育十分重视理论与实践的结合^[2],尤其是在工科类研究生的课程教学方面不再局限于讲授基础理论知识,而是更注重结合工程应用案例培养学生解决实际工程问题的能力。近年提出的“新工科”人才概念就明确了对学生系统思维、问题导向、大工程观和解决复杂工程问题等方面的培养要求,这是中国科技界和教育界应对智能化信息化科技革命与产业革命,支撑服务创新驱动发展而采取的重要举措^[3]。作为一所综合性研究型高校,北京航空航天大学充分发挥学术资源丰富、学科建设前沿性强、科研实践气氛活跃等优势,致力于为研究生工程应用能力的培养提供良好平台。人机与环境工程专业作为北航的传统优势学科,一直在全国同类专业评估中排名第一。高等工程热力学是人机与环境工程专业研究生教育的重要专业基础课程,为适应“新工科”人才培养要求,多年来一直积极推进和深化课程教学改革。本文以高等工程热力学课程为切入点,探讨一种强化研究生工

修回日期:2021-05-10

基金项目:北京航空航天大学研究生精品课程建设项目“高等工程热力学教学改革项目”(20200505)

作者简介:曹晓东(1989—),男,北京航空航天大学航空科学与工程学院副教授,博士,主要从事机舱与建筑环境控制方面的研究,(E-mail) caoxiaodoo@buaa.edu.cn。

程应用能力培养的教学模式。该教学模式通过学科前沿教学,激发学生学习兴趣,活跃学生思维,开拓学生视野;通过工程案例设计,引导学生探究工程实际问题,实现从感性认识到理性认识的发展;通过专题项目探究,强化学生工程创新意识,体验完成项目的成就感;采取综合考核的方式评定学生成绩,既重视基础理论的考核,又注重学生解决实际工程问题能力的考核,以提高学生的整体学术素养和实践能力。

一、课程特点

高等工程热力学课程作为一门工程应用广泛的重要基础课程,已纳入多个工科专业研究生培养课程体系,如人机与环境工程、建筑环境与能源应用工程、热能工程、能源与动力工程、工程热物理、机械工程、化学工程等专业。研究生教育的高等工程热力学课程是对本科阶段工程热力学课程^[4-5]的深化和拓展,包括热力系统的可用能分析、热力学普遍关系式、工质热力性质计算、实际气体状态方程、热力循环组织与性能评价、多组分系统热力学和化学热力学等内容,其理论知识可用于指导实际工程中复杂热功转化循环过程的设计,对提高能量的利用效率、减少能量的损耗和新能源开发都具有重要理论和应用价值。

然而,高等工程热力学课程教学内容具有知识点繁多、概念抽象、理论性强等特点。学生在有限的课时内很难完全理解相关概念和理论,更没有精力和兴趣将所学知识与工程实践结合起来。因此,采用传统的授课方式既难以激发学生自主学习的积极性,也无法实现加强学生实践和创新能力培养的目的。鉴于此,国内的一些知名学者积极探索和研究高等工程热力学课程教学模式的改革。谭羽非^[6]对科技论文写作和开卷测试相结合的考核方式进行了实践探索,结果表明,开卷测试有助于提升学生的学习积极性和创新能力。刘青荣^[7]和张涛^[8]分别对课程的教学内容、教学方法和考核方式的改革进行了探讨,目的是提高研究生的科研和创新能力。其中,张涛特别指出高等工程热力学课程教材和参考书大多内容较多,需要首先根据所在学校学科特点建立课程框架,梳理教学内容及思路。刘迎文和雷祥舒^[9]提出一种基于互动和问题的混合教学模式,旨在有效提升学生的自主学习、团队合作和交流表达等综合能力。何茂刚等人^[10]将强调以学生为中心,精心组织、科学评价、持续改进教学活动的OBE(Outcome-Based Education)教学模式应用于工程热力学课程教学,并基于OBE工程教育理念设计“制冷循环”章节的教学内容,促进学生解决复杂工程问题能力的培养。柏金和王谦^[11]构建“线上线下教学体系”,分析混合教学模式在教学实践过程中可能面临的问题,为优化学生在线学习效果提供理论依据。

二、课程教学存在问题

在人机与环境工程专业研究生课程体系中,高等工程热力学课程起到了承上启下的重要作用。该课程一方面注重基础理论的教学,旨在巩固和深化本科阶段工程热力学的理论知识;另一方面也重视锻炼学生应用热力学原理分析和解决实际工程问题的能力。目前高等工程热力学课程教学主要存在的问题,是缺乏有效培养研究生工程应用能力的教学模式和考核机制,具体表现在如下几方面。

(一) 教材内容偏重于基础理论,有关前沿科研成果和最新技术应用的内容较少

传统教学模式过于强调理论知识的灌输,忽视对学生学科视野和工程能力的培养。在这种教学模式下,学生对热力学概念和理论的学习只能停留在背概念、解方程和做习题上,很难有效建立

起书本知识与工程实际问题之间的联系,在学科视野和创新思维上也受到限制。此外,由于理论知识学习繁杂枯燥,又缺少面向实际工程问题的接口,以致学生认为所学知识对科研工作没有帮助。因此,学生缺少明确的学习目标,缺乏学习兴趣和动力。

(二) 课程考核方式和评价标准单一

目前高校专业基础课程考核通常采用闭卷试题考试的形式,以期末考试成绩作为评价学生成绩的主要标准。这种“重知识,轻能力”的考核方式只能考查学生的知识记忆和解题技巧,却无法评价学生的实践和创新能力。为了应对最终的考试,常有部分学生围绕所谓的考试重点临时抱佛脚,死记硬背,做题刷分等。这些学生即使在考试中取得了不错的分数,对知识的理解也只是停留在书本上,依然不具备应用所学知识解决实际工程问题的能力。这些问题必将影响对研究生的培养,以及今后研究生的职业发展。

三、“四位一体”教学模式

为解决上述问题,提升高等工程热力学课程教学质量,对前沿教学拓展、工程案例设计、专题项目探究、综合能力考核相融合的“四位一体”教学模式进行了探索与实践。该教学模式坚持理论与实践并重,鼓励学生自主学习和探究,开拓学生视野,促进师生交流融合,以解决工程问题为导向,实现培养研究生工程应用和研究创新能力的目标。

(一) 前沿教学拓展

教学过程中始终遵循“新工科”建设对学生系统思维、问题导向、大工程观培养的理念,“前沿教学拓展”是培养学生系统思维的关键,是课程学习过程中将学生带到学科高站位的基点,是教师教学过程中把握问题导向的关键,是培育学生大工程观的启智教学过程。“前沿教学拓展”教学要点如下。

第一,做好高等工程热力学课程的基础教学,涉及热力学基本概念和第一定律、热力学第二定律和熵、实际气体状态方程和热力学普遍关系式等基础知识的讲解和剖析。教师在教学过程中,应从系统的角度对知识结构进行层次划分,教学中不能仅满足于按章节讲清楚各知识点,更重要的是把握重点和难点,梳理知识点之间的关联性,形成融会贯通的知识体系,为理论知识的拓展和应用打下基础。

第二,与基础教学相融合,以启迪学生创新思维为先导,以课程知识体系为系统,选择与代表性知识点相关的案例进行前沿教学拓展。教学中根据人机与环境工程专业特点和培养需求,选择工程应用性强的知识内容进行重点讲解,如热力系统的可用能(焓)分析及合理用能、工质热力性质计算、热力循环组织及性能评价等。该部分教学应紧密结合国内外相关前沿技术案例,充分体现教学内容的应用性和创新性。例如,在讲解发动机循环知识点时,引入世界航空前沿研究“佩刀”发动机案例,阐述高温废热除直接传输到机载热沉以外,还可以利用热机循环,将高温废热部分转变为可用功,之后再将剩余废热传输到机载热沉中,这种另辟蹊径的高温废热降温方法可大大减少机载热沉需求量。通过类似具体案例的讲解,提炼前沿技术中的理论知识,引导学生主动思考,透过现象看本质,让学生明白如何通过理论研究解决关键技术瓶颈。将多组分系统热力学、化学热力学、不可逆过程热力学等章节作为选学内容,教师仅进行介绍性讲解,学生可自主学习和探究。

将前沿教学与基础教学融合,其目的是通过前沿教学使学生了解前沿科研成果和工程技术,并且能够与热力学理论知识相关联,以强化学生的基础理论应用能力,培养学生的工程思维和创新

意识。

(二) 工程案例设计

教学过程中应体现“新工科”建设对学生解决复杂工程问题能力培养的要求。工程案例设计是培养学生解决复杂工程问题能力的关键,是学生结合课程学习解决复杂工程问题的实践,是培养学生理论联系工程实践能力的重要教学环节,是教学过程中教师培养学生工程应用能力的着力点。工程案例设计教学要点如下。

第一,强调实践的第一性,工程热力学的重要理论皆源于工程实践,是对实际热工过程现象的总结和升华。相较于工程热力学,高等工程热力学在理论上的提升也主要体现在从理想工况向实际工况的转变,强调工程应用的重要性。研究生学习该课程的主要目的是服务工程实践和科研创新,应克服以往教学中学生主要学习精力用在理论推导和做习题上,忽视理论联系实际,缺乏应用理论知识解决实际工程问题能力的弊端。

第二,工程案例设计是在前沿教学拓展基础上引入的,强调通过实践手段掌握和应用知识。比如,根据教学进程引入虚拟仿真软件的学习和实践,培养学生数学建模和模拟仿真的能力。通过讲解工程案例设计,使学生直面工程问题,引导学生将理论知识与工程应用密切结合。例如,在热力系统的可用能(焫)分析教学中,结合专业需求引入飞行器热管理系统综合性能评价与能量需求分析。不同型号、用途、任务的飞行器所面临的热载荷条件不同,其能量需求也不相同,需要将外环境热载荷及内部产热进行有效管理,尽可能地将直升机能量需求与热管理系统配置有效匹配起来,不仅使其温度保持在合理范围之内,而且使其热管理系统的综合性能保持最优。掌握以固定质量代偿、输出轴功代偿、引气代偿的燃油代偿评价,以及能质评价为核心的飞行器热管理系统综合性能评价理论。结合工程实例,不仅使学生能对飞行器热管理系统质量、功耗、引气代价进行量化评价,还能够对热管理系统的能质匹配性进行评估。

第三,工程案例设计应关注学生实践创新能力的培养。例如,在热力循环组织及性能评价教学中开展课程实践,布置飞行器座舱热管理系统热力循环设计大作业。学生需要应用热力循环设计与评价、系统可用能分析等知识,从综合性能和合理用能的角度出发,进行座舱热管理系统热力循环设计,在这一过程中进一步提升学生的工程应用能力。实践中有学生提出诸如一种基于滑油废热回收的热泵空调系统等一些创新性设计,该系统可以实现滑油废热的回收利用和冲压空气换向等功能。学生还应用能质分析法对该系统应用在直升机座舱环境中的热管理综合性能进行了理论分析。这些实践训练进一步加深了学生对系统和部件级的耦合热力学过程形成的认识,强化了学生在解决实际工程问题过程中的创新意识和创新能力的培养。

(三) 专题项目探究

教学过程中应全面领悟“新工科”人才概念。该概念明确了对学生系统思维、问题导向、大工程观和解决复杂工程问题等能力的培养要求。专题项目探究是培养学生系统思维、问题导向、大工程观和解决复杂工程问题等能力的融合环节,是学生结合课程学习提升实践创新能力的关键过程,是研究型教学的关键抓手,是教学过程中培养学生工程应用能力的具有可持续性的创新教学驱动系统。该驱动系统不仅在课程教学过程中,而且在学生整个职业生涯过程中都将发挥重要的创新驱动作用,这个创新驱动系统兼具强化教师和学生共同学习和研究的作用。“专题项目探究”教学要点如下。

第一,充分调动学生课程学习的兴趣,提高学生自主学习和探究的意识,克服传统教学模式以

教师为主体进行知识灌输,学生被动学习接受、缺乏学习兴趣和动力的弊端。爱因斯坦说过:“兴趣是最好的老师”。只有提高学生对知识学习的兴趣,才能引导学生自主学习和探究,培养学生的自主创新能力。现代教育案例表明,好的教学模式需要在课堂上营造自由活跃的交流氛围,以教师为主导、学生为主体,使学生的学习过程从被动变成主动。因此,在高等工程热力学课程教学过程中,教师应以创造性思维创设活跃的课堂氛围,调动学生的学习兴趣,培养学生自主学习和探究的良好习惯。

第二,以专题项目探究的模式,强化全过程的研究型教学。在工程应用性强的前沿教学部分(如系统可用能分析、工质热性质、热力循环)采用专题项目探究模式。首先由教师结合专业特点和国内外前沿技术进展,设计几个专题研究大方向,比如,高超声速飞行器、空天飞机、先进战斗机能源与热管理技术、多电飞机技术、民机环控系统技术、热管技术和人机热力系统等。基于专题大方向,鼓励学生自主学习和独立探索,引导学生根据兴趣选择专题方向,自主确定具体探究项目,如表1所示。要求学生通过查阅文献资料,分析相关的热力学概念、理论和工程案例,了解学科相关方向的前沿进展和工程实践。教师在该过程中主要起辅助作用,结合学生研究情况给予适度引导。学生需要凝练总结相关知识形成一份调研报告,以汇报答辩和课堂讨论的形式,在课堂上进行交流分享,由教师和学生共同点评。学校将学生的报告汇总成《高等工程热力学课程研讨报告集》,供师生共同学习和参考。该教学环节以专题项目探究的形式,构建课程教学师生学习研究共同体,搭建教学相长、教学和科研相互促进的研究生创新能力培养的实践平台。

表1 专题大方向和具体探究项目

专题方向	探究项目
1. 高超声速飞行器	1.1 高超声速飞行器概述
	1.2 高超声速飞行器的热防护技术
2. 空天飞机	2.1 SKYLON 空天飞机
	2.2 SKYLON 发动机换热器
	2.3 Background and Thermal Design of SR-71
	2.4 Environment Control System of SR-71
3. 先进战斗机能源与热管理技术	3.1 F-22 环境控制系统与热管理系统分析
	3.2 F-35 热管理系统
	3.3 INVENT 计划综述
	3.4 综合飞行器能量技术——INVENT 计划
4. 多电飞机技术	4.1 多电飞机发展趋势
	4.2 多电飞机电环控系统介绍及热力学分析
	4.3 电动环控及传统引气环境对比
5. 民机环控系统技术	5.1 民用客机的环控系统
6. 热管技术	6.1 脉动热管
	6.2 热管原理及航天应用示例
7. 人机热力系统	7.1 焯和焯于人体温控系统的应用示例
	7.2 基于新的热生态准则的三热源不可逆制冷机性能优化

(四) 综合能力考核

考核是课程教学的重要环节,应体现“新工科”人才综合创新能力培养的要求。实行综合考核机制对提升课程教学质量有积极作用,应建立以工程应用能力和创新能力培养为导向的综合考核机制。为保证教学效果,对基础教学、前沿教学拓展、工程案例设计、专题项目探究等方面,进行综合能力考核。将解决实际工程问题和自主学习探究的能力作为重要考核指标,融入学生最终成绩评定体系中。比如,最终成绩评定权重采用期末考试成绩占 50%,工程案例设计大作业成绩占 20%,专题项目探究汇报答辩成绩占 30%。这种考核方式,有利于鼓励和引导学生从掌握理论知识向工程应用的思维转换。同时,通过引入大作业和汇报答辩两种过程考核形式,促使学生重视工程案例设计和项目探究中的自主学习和创新意识。需要注意的是,采用这种考核方式,需要制定合理的大作业和汇报答辩成绩评判标准,以确保学生成绩评定的公正性和规范性。

四、结语

高等工程热力学课程是一门工程应用性较强的基础理论课程,是研究生理论联系实际能力培养的一个重要切入点。为适应“新工科”背景下研究生综合能力培养要求和大工程对创新人才的迫切需求,本文着力探讨了前沿教学拓展、工程案例设计、专题项目探究、综合能力考核交互融合的“四位一体”高等工程热力学课程教学模式,旨在鼓励学生自主学习和探究,开拓学生视野,促进师生交流,培养学生的创新意识,加深学生对实际工程中应用热力学概念和理论的认识,提高学生的工程创新和应用能力。通过前沿教学拓展,开拓学生的学科视野,夯实专业基础,培养创新意识;通过引入工程案例设计实践,搭建理论知识和工程应用之间的桥梁,培养学生解决实际工程问题的能力;通过基于专题项目的探究,构建师生学习研究共同体,锻炼学生自主学习、独立探索、归纳总结和交流表达的综合能力;通过采用综合能力考核的方式,强化学生理论密切联系实际的创新意识,实现培养基础知识扎实、工程应用能力强、具备自主创新意识的复合型人才的目标。“四位一体”教学模式的实施,对师生提出了更高的要求。教师需要进行大量的前期准备工作,制定完备的教学计划和考核标准,还要具备良好的引导和把控能力。学生在学习掌握理论知识的基础上,需要花费一定的时间和精力进行工程案例设计和项目探究。在教学过程中,应及时总结经验,开展教学反思,结合实际教学情况和学生反馈,对教学效果进行分析评价,依据课程培养目标和学生特点及时调整教学环节,优化过程设计。

参考文献:

- [1] 吴渊明. 理论与实践一体化教学改革探究[J]. 科教导刊, 2020(6): 37-38.
- [2] 蒋雅君, 富海鹰, 赵菊梅, 等. 全日制专业学位研究生多层次实践能力培养模式探讨——以建筑与土木工程领域为例[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(2): 64-71.
- [3] 陈婉兰. 高等教育语境下“新工科”人才培养探索[J]. 创新创业理论与实践, 2021, 4(1): 109-111.
- [4] 姚寿广, 冯国增, 许津津, 顾丛汇, 宋印东. 工程热力学系列课程的教改理念与创新教学实践[J]. 高等工程教育研究, 2019(S1): 179-181.
- [5] 常金秋. 工程热力学课程教学探讨[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(2): 61-63.
- [6] 谭羽非. 研究生高等工程热力学课程教学中开卷测试的实践探索[J]. 高等建筑教育, 2006(1): 94-96.
- [7] 刘青荣. 高等工程热力学教学过程中的改革和探索[J]. 教育教学论坛, 2020(27): 146-147.

- [8]张涛. 高等工程热力学教学改革初探[J]. 教育教学论坛, 2018(31): 242-243.
- [9]刘迎文, 雷祥舒. 高等工程热力学课程的混合式教学探索和实践[J]. 高等工程教育研究, 2019(S1): 142-144.
- [10]何茂刚, 张颖, 刘向阳. OBE教育模式在工程热力学教学中的应用[J]. 高等工程教育研究, 2019(S1): 121-123.
- [11]柏金, 王谦. 工程热力学线上线下混合式教学模式的构建与优化[J]. 高等工程教育研究, 2019(S1): 283-285.

A four-in-one teaching mode for advanced engineering thermodynamics

CAO Xiaodong, PANG Liping, BAI Lizhan, LIN Guiping

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, P. R. China)

Abstract: Under the background of development of emerging engineering education, strengthening the cultivation of students' engineering application ability is an important part of deepening the teaching reform in universities. Advanced engineering thermodynamics, as a basic theory course with strong engineering application and always implements the training concept of emerging engineering, could be regarded as an important entry point for the cultivation of graduate students' ability to integrate theory with practice. This paper discusses a "four-in-one" teaching mode of advanced engineering thermodynamics, including frontier teaching and extension, engineering case design, research project exploration, and comprehensive ability assessment. In this teaching mode, students are encouraged to study and explore independently, and an integrated learning and research community of teacher and students is formed. The practice platform of cultivating graduate students' engineering innovation ability is formed with the mutual promotion of teaching, learning, and research, and the students' engineering application and innovation abilities are enhanced.

Key words: advanced engineering thermodynamics; emerging engineering; engineering application ability; four-in-one mode; teaching mode

(责任编辑 王 宣)