

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2024.02.019

欢迎按以下格式引用:罗清海,涂敏,陈国杰,熊军.“两性一度”要求下传热学实验教学改革探索[J].高等建筑教育,2024,33(2):136-142.

# “两性一度”要求下传热学 实验教学改革探索

罗清海,涂敏,陈国杰,熊军

(南华大学土木工程学院,湖南衡阳 421001)

**摘要:** 重塑课程教学是一流课程建设亟需探讨的课题。结合教育部《关于一流本科课程建设的实施意见》精神,分析了传热学课程特点,总结了目前传热学实践教学的不足,提出了新形势下传热学综合性实验教学改革思路,并针对对流换热的实验教学改革案例,进行了基于“两性一度”的教学思路分析和成效分析。突破实验室课堂教学的时空约束,不拘一格改革实验教学,强化自主性、体验性、综合性的拓展训练,注重知识融通、技能锻炼、思维引导和思想引领融于一体,是落实三全育人、立德树人理念的有效路径。

**关键词:** 两性一度;实验教学;拓展训练;三全育人

**中图分类号:** G642.42

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-2909(2024)02-0136-07

2018年11月24日,时任教育部高等教育司司长的吴岩在第十一届“中国大学教学论坛”上作了“建设中国金课”的主题报告,提出了“两性一度”的金课标准。“两性一度”,即高阶性、创新性、挑战度。所谓“高阶性”,就是知识能力素质的有机融合,是要培养学生解决复杂问题的综合能力和高级思维。所谓“创新性”,是课程内容反映前沿性和时代性,教学形式呈现先进性和互动性,学习结果具有探究性和个性化。所谓“挑战度”,是指课程有一定难度,需要跳一跳才能够得着,对教师备课和学生课下有较高要求。“两性一度”为立德树人的课程建设指明了实践路径和评价导向,是一流课程建设的基本原则。

2019年10月24日,教育部发布《关于一流本科课程建设的实施意见》(以下简称《意见》)。《意见》的指导思想是:“以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,贯彻落实党的十九大精神,落实立德树人根本任务,把立德树人成效作为检验高校一切工作的根本标准,深入挖掘各类课程和教学方式中蕴含的思想政治教育元素,建设适应新时代要求的一流本科课程,让课程优起来、教师强起来、学生忙起来、管理严起来、效果实起来,形成中国特色、世界水平的一流本科课程体系,构建更高层次人才培养体系。”<sup>[1]</sup>

综合性实验教学是实验教学改革的重要方向。综合性实验教学是深化一流课程建设的重要切

修回日期:2022-03-21

基金项目:湖南省教育科学“十四五”规划课题(编号XJK22CGD013)

作者简介:罗清海(1969—),男,南华大学土木工程学院教授,博士,主要从事建筑环境控制与节能、高等工程教育研究,(E-mail)673808769@qq.com。

入点,有利于提升课程学习的广度和深度,增加课程学习的难度和挑战性<sup>[2]</sup>。综合性实验可以帮助学生理解较复杂的专业原理,掌握大型仪器的操作、专业软件的应用与数据分析方法<sup>[3]</sup>。综合性实验提高了学生的学习兴趣和创新能力,为提升学科交叉背景下的实验教学水平提供了新思路<sup>[4]</sup>。综合性实验项目涵盖知识点较多,能够为后续的毕业设计和科学研究工作创造条件<sup>[5]</sup>。综合性实验通过自主完成实验操作及数据处理等环节,可以激发学习能动性,培养团队意识和创新思维,锻炼分析能力和实践技能<sup>[6-7]</sup>。

结合“两性一度”标准的要求,重塑课程教学,是新形势下三全育人、立德树人的要求;结合课程特点,反思传统实验教学模式的不足,整合教育教学资源,不拘一格改革教学模式,强化自主性、开放性、综合性实验拓展训练,是一流课程建设亟需探讨的课题。

## 一、传热学课程特点

思维导向作用强。传热学课程是专业核心课程,是公共基础课与应用性知识为主的专业课之间承上启下的课程,是构建专业科学知识体系的基础,也是培养专业逻辑思维、创新思维的基础。传热学课程理论性强,专业关联课程较多,课程之间和课程内知识点逻辑联系紧密,工程数学、流体力学、工程热力学等先导课程的学习会对本课程和后续专业课程的学习产生累积、放大效应。

专业关联面广。传热学课程内容与生活、生产关联紧密,理论联系实际,既能感受传热学课程的趣味性,也能体现热科学、热技术发展的深远与无限。注重“冷暖”体验中对热工原理的感悟,有利于培养知行合一、举一反三的工程意识和系统思维,强化相关知识体系的理解和融通,提升解决实际问题的能力。

思政元素丰富。中华民族五千年文明史中,热科学、热技术相关的成就光辉灿烂,青铜、陶瓷、印刷、火药,等等都代表着当时世界最高水平,是推动世界文明进程的重要力量。特别是新中国成立以来,热科学、热技术的发展为国家战略性工程、“卡脖子”技术等方面的突破性成就提供了有力支撑,也充分展现了科技工作者们的精忠报国情怀<sup>[8]</sup>。

## 二、传热学实践教学现状

目前高校实验课主要是配合理论教学,开设演示性、验证性教学实验,各高校实验资源差异较大,实验教学的项目数量、内容、标准难以统一,教学成效也必然参差不齐。部分高校传热学实践教学仅限于针对热传导、热对流、热辐射等知识点设置的基础性、演示性、验证性实验,如导热系数、换热系数测定,换热器性能测定等,基础实验之外的拓展性训练欠缺。作为专业基础课,传热学实践教学存在以下局限或不足。

### (一) 不能体现“两性一度”要求

常规演示性、验证性实验教学项目思维导向性不强,知识拓展性不足,仅结合章节知识点编写教学大纲和操作规程,实验内容单薄,操作程序简单,主要目标在于促进对相应理论知识的理解,并不强调对章节、课程、专业之间的知识融通。另外,某些地方院校、新建本科院校受实验资源、师资水平等因素的制约,实验课的开设一定程度上是为了满足教学大纲、专业评估等各类考核指标的基本要求,开放性、综合性、设计性、体验性实验开设不足,高阶性、创新性、挑战度训练目标难以体现。

### (二) 不能体现专业核心课程价值要求

传热学实验教学的重要目的是增强专业感性认识,形成专业判断直觉,锻炼专业实践技能,并能依托实验过程将知识点关联“结网”,可以更好地“捕鱼”,但内容单薄的基础性实验不利于碎片化知识点的整合,也不利于系统思维的培养。另外,与基本概念及原理相关的演示性、验证性实验,在

约束条件下实验过程较规范化,实验结果较理想化,即便演示、验证效果良好,也难以使学生形成触类旁通的专业系统思维和创新意识,难以培养现代工程思维和工匠精神。

### (三) 不能适应现代教学节奏和内容密度要求

互联网、VCR、VR等现代技术日益在教育领域广泛渗透,突破了传统教学模式的时空局限,拓展了知识传播、技能训练的渠道,开阔了思维引导、思想启迪的视野,由此引发教学模式、体系的深刻变革。但是,内容集中、单薄的演示性、验证性实验项目设备投入高,场地空间需求大,难以发挥现代信息、仿真等技术的集成优势,难以适应现代教学节奏紧凑、内容密度大的要求。资源条件相对欠缺、办学积淀相对薄弱的地方高校、新建院校,不能快速构建满足实验教学需求的实验室体系。

## 三、“两性一度”要求下实验教学改革目标

### (一) 构建机制化三全育人体系

热的利用与热传递的控制在生产生活中无处不在。创新实验教学思路,对传统的实验教学模式和体系进行改革,突破演示性、验证性教学实验的不足,开设综合性、设计性、体验性实验,是落实三全育人、立德树人理念的有效途径。一方面,借助虚拟仿真实践教学平台、数值模拟中心、校外实习基地等校内外实验教学资源,形成机制化的产教融合、协同育人体系。另一方面,将现实生活情境中的典型热工过程自主设计成体验性实验或数值模拟实验。通过不同条件下实验数据、结果的对比分析,培养勤于思考的专业自觉,感受自然科学与生活、艺术渗透交融的魅力。

### (二) 体现“两性一度”实验教学要求

高阶性。高阶性强调知识与训练有机融合,构建传热学课程与先导课程、后续专业课程的知识关联网络与思维导图,培养学生解决复杂热工问题的综合能力和系统思维。在训练中抓住主要矛盾,把握矛盾主要方面,培养专业直觉和见地。

创新性。创新性强调发挥“互联网+”优势,突破时空约束和资源局限。课程内容反映前沿性和时代性,教学形式呈现先进性和互动性,学习结果具有参考性和独特性,注重沉浸式探索和综合性分析,在知行合一的体验及感悟中培养创新意识。

挑战度。挑战度强调课程应具有一定难度,针对教师备课和学生预习两个方面提出了较高要求,旨在实现因材施教,教学相长。教师需优化教学设计,考虑学生知识、技能基础和个人兴趣,制定个性化实验方案,强化实验综合性、拓展性、创新性和体验性。

### (三) 提升实验教学综合素养进阶层次

知识目标。理解热传导、对流、辐射等基本概念及相关原理,理解专业领域中典型的综合传热的机理及影响因素,理解场耦合、场协同原理,理解相似、模拟等传热学实验研究基本原理和方法,了解传热学实验技术、工程技术发展现状和研究前沿、热点。

能力目标。通过综合性、设计性实验项目训练,培养解决较复杂热工问题的工程系统思维,以及工程设计和运行管理的创新思维,构建先导课程、热工课程以及后续专业课之间的知识关联网络,学会结“网”捕“鱼”的学习和探索模式,知识、技能结构持续提升,专业感悟、见地持续自新。

价值目标。理解中华优秀传统文化、生态文明建设中的热科学、热技术,理解热工领域中“失之毫厘,谬以千里”的精妙与机理,理解现代信息、技术环境下的新工匠精神的内涵。能在专业工作中体现辩证唯物主义,树立社会主义生态文明观,坚定“四个自信”,强化“人与自然是生命共同体”。

## 四、综合性实验教学改革要求与案例

### (一) 综合性实验的要求

结合课程特点探索实验教学新模式是一个永久性的课题,新形势下传热学实验教学改革的建

设性探索具体包括与虚拟实验平台、多媒体技术结合<sup>[8]</sup>,加强数字化建设<sup>[9]</sup>,问卷调查<sup>[10]</sup>、翻转模块化<sup>[11]</sup>教学模式创新等。综合性实验是指实验内容、原理及分析涉及对本课程知识的综合应用,或本课程与相关课程知识的综合应用,学生需要运用特定一门课程或相关联的若干门课程的知识、技能和方法完成复合型实验内容,实现综合训练的目标。

传热学综合性实验应体现以下五点。(1)实验内容涉及流体力学、工程热力学等课程的知识点,或相关联课程的知识点。(2)实验呈现主要实验参数控制下的不同典型工况,实验现象、结果、结论对比鲜明。(3)实验分析需要一定的工程数学技巧,以及MATLAB、Excel等专业软件的应用基础。(4)实验数据可以作为ANSYS等专业软件数值模拟实验、虚拟实验的验证或对比数据。(5)实验内容在生产生活中可以复制或重现,实验结果和结论可以为热工自主控制设计与实验提供参考。

## (二) 对流换热综合实验

### 1. 实验内容

(1)实验感知对流换热的影响因素,如流动状态、相变、换热表面特性、流体物理性质等。(2)实测流体流量、温度、压力等参数,计算雷诺数 $Re$ 、努谢尔特数 $Nu$ 、对流传热系数 $h$ 与换热系数 $k$ 等数据。(3)用准则方程计算努谢尔特数 $Nu$ 、对流传热系数 $k$ ,在对数坐标上绘制努谢尔特数 $Nu$ 、雷诺数 $Re$ 的实验值、计算值变化曲线,并做比较分析。

### 2. 实验平台

基于对流换热综合实验训练目标设计实验平台,主要部件包括1台数据分析电脑、3个套管式换热器、1个蒸汽发生器、1个水泵、2个风机、1个管翅式换热器、3个流量计,以及温度、压力数据采集传感器若干。套管换热器的外管形式一致,设观察窗、照明灯等观察部件,内管分别为翅片管、光滑管、扰流管。数据可以自动采集、传输,计算机自行计算出雷诺数 $Re$ 、努谢尔特数 $Nu$ 、对流传热系数 $h$ 与换热系数 $k$ 等数据。实验装置如图1所示。可选择和调节的参数主要包括三部分。(1)热交换实验工质,蒸汽、空气、水。(2)换热器内管形式,翅片管、光滑管、扰流管。(3)可调节状态参数,流体流量、温度、压力。



图1 对流换热综合实验台

### 3. 拓展训练

(1)数值模拟实验。基于ANSYS、MATLAB等软件的对流换热数值模拟分析,实验数据与模拟数据的对比分析和相互验证,深入理解对流换热的机理及其影响因素。(2)自身体验性实验。基于对流换热相关知识理解,对生活中的对流换热现象进行自主控制设计或实验,增强课程的学习趣味性,培养专业敏感、直觉和创新意识。(3)关联知识融通。构建流体力学、工程热力学、传热学等课

程中与对流换热关联的知识网络,领会层流到紊流、相变等换热现象变化中所包含的矛盾论等哲学原理。(4)“冷暖”文化感悟。中国传统文化中有很多元素与对流换热密切相关,深入理解对流换热机理,会激发新的哲理感悟,如“吹面不寒杨柳风”“春江水暖鸭先知”等。

2020年春季学期,传热学课程以网上授课的方式开设自主实践项目。教学班学生93人,学生参与率100%。完成自主实践11~15项的学生11人,占11.83%;完成6~10项的学生44人,占47.31%;完成1~5项的学生38人,占40.8%。此外,完成成语、谚语和诗词“另类解读”26条及以上的学生18人,占19.35%;完成11~25条的学生70人,占75.27%;完成1~10条的学生5人,占5.38%。记录传热学体验日记26篇及以上的学生11人,占11.83%;完成11~25篇的学生64人,占68.82%;完成1~10篇的学生18人,占19.35%。

拓展训练实验案例为烧开水实验,学生自主观察对流换热,包括五个阶段。一是准备阶段。用一口较大容积的锅烧开水,固定若干支精度为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度计,感温包分别靠近壁面、中心等不同位置。如果条件许可,采用大玻璃容器代替烧锅,便于现象观测。二是设置阶段。改变容器盛水深度,改变热源和加热方式,如柴火、炭火外加热,热得快内加热等,加热位置设置为底部、侧面、上面等。三是观测阶段。水由凉变热,再到沸腾的过程中,有哪些现象、参数变化,如气泡、温度、声音的变化等。四是分析阶段。不同加热方式下的热过程分析,及其与沸腾现象差异的关联性分析。五是解释阶段。分析“开水不响,响水不开”“扬汤止沸”此类现象的原理。

#### 4. 实验报告

综合性实验报告内容包含基本内容和拓展内容,中等及以上实验成绩必须有较系统的拓展性内容。基本内容主要包括实验室工作的描述、记录、整理和分析,拓展性内容是选择性、开放性内容,学生可结合个人兴趣、条件自主安排。拓展内容可以是文字描述、数据记录,也可以结合设计图纸、实物照片、情景影像资料等。

(1)基本内容。实验目的、原理、内容说明,以及实验平台介绍;实验过程描述、数据记录和分析,包括公式拟合、数据图表和误差分析等;对流换热机理及影响因素分析。对流换热关联知识网络图如图2所示。(2)拓展内容。与对流换热紧密相关且融合中国传统文化元素的科学、哲理、情怀感悟;实验数据与数值模拟数据的对比分析、相互验证;生活情景中对流换热控制的自主设计和体验性实验,包括内容描述、过程记录、现象和数据分析等。

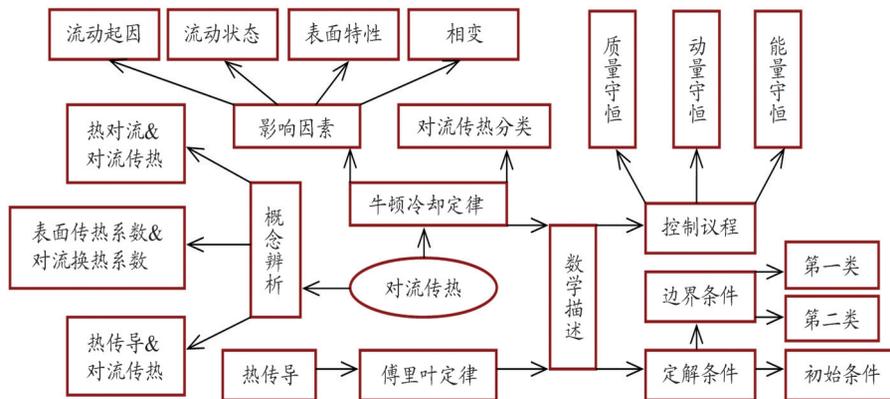


图2 对流换热知识关联图

## 五、综合性实验教学“两性一度”分析

《意见》明确指出:“以提升教学效果为目的创新教学方法。强化课堂设计,解决好怎么讲好课

的问题,杜绝单纯知识传递、忽视能力素质培养的现象。强化现代信息技术与教育教学深度融合,解决好教与学模式创新的问题,杜绝信息技术应用的简单化、形式化。强化师生互动、生生互动,解决好创新性、批判性思维培养的问题,杜绝教师满堂灌、学生被动听的现象。”<sup>[1]</sup>课程教学需要结合《意见》要求,创新课程教学设计和课程模式,激发学习兴趣,引导深入思考,实现由知识传递到思维训练、价值引领、思想升华的教学目标进阶。对流换热综合实验教学的“两性一度”教学目标分析如表1所示。

表1 对流换热综合实验“两性一度”教学目标分析

	知识目标	能力目标	价值目标
提升高阶性	综合关联课程知识,理解对流换热机理及其影响因素的关联性	理解专业领域复杂对流传热问题,构建对流换热现象中流体力学、工程热力学、传热学关联知识系统化思维导图	马克思主义辩证法在工程问题中的体现、应用
突出创新性	工程技术中对流换热的控制,关联因素的妥协与平衡	综合性实验设计,在实验教学中集成应用专业软件、信息技术和互联网技术	科技发展的时代性、递进性、民族性、世界性
增加挑战度	理解场耦合、场协同原理,对流传热中的哲理	基于梯度化认知目标的实验参数设置、数据处理和机理解释;数值模拟实验与物理平台实验数据的对比分析	知行合一,探索精神、工匠精神培养

## 六、综合性实验教学成效分析

突破传统课堂的时空约束,重塑实验教学,践行立德树人、知行合一的教育理念,既是“两性一度”的要求,又是三全育人的要求。深化三全育人教育教学改革是提高教育成效的关键。三全育人是对当下育人内容、载体、资源的整合,更是对长远育人格局、体系、标准的重新建构。深化三全育人,“全”是关键。实施三全育人综合改革,必须聚合校内外各类育人资源,实现育人主体、时间、空间三个维度的有效协同,实现人人、时时、处处育人<sup>[12]</sup>。传热学综合实验改革探索目标就是构建三全育人大格局,实现全员育人无缺位,让学生成长过程的所有关联主体深度参与育人;全过程育人无断档,留心处处皆学问,在生活、学习交融的探索、体验、感悟中自省自新;全方位育人无空白,突破传统课堂时空约束和第一、第二课堂界限,在知行合一的历练中实现德智体美劳全面发展。

传热学综合性实验教学的改革突出了传热学课程思维导向作用强,教学内容与生产、生活、文化关联紧密,渗透深远的特点,巩固了专业基础课、核心课的地位,体现了“互联网+”时代特色。综合性实验教学改革的开放性、拓展性有利于激发学生的创新内驱力,让传热学实验课程由被动性应付变成主动性爱好,由程序性教学环节变成沉浸式求知探索,增强了教学成效的内在保障。同时,传热学综合性实验教学的改革有利于借助“互联网+”等现代技术体系的优势,创新基层教育教学组织、运行机制,组建教学共同体或教学联盟,跨主体、跨学科、跨区域、跨行业实现教育教学资源共享,从而弱化不同院校、学科之间的教学资源差异,增强了教学成效的外在保障。

## 七、结语

重塑实验教学,发挥现代技术的优势,创新实验教学模式,强化实验内容体验,由基本原理演示、理论验证进阶为综合性实验,使实验成为知识重构、思维训练和思想引领的综合素养培养载体。将知识传授、能力培养和价值引领三者融为一体,是新形势下课程建设的根本目的,是立德树人,培

养德才兼备创新型人才的必然要求。

传热学综合性实验教学应改革教学设计,突破传热学专业基础课实验教学内容单薄、形式单一等限制,杜绝碎片化、纯粹化知识传递,杜绝实验教学单一化、形式化、程式化重复。注重教学互动与模式创新,注重系统思维、专业直觉和创新意识的培养,注重不拘一格、知行合一的综合素养拓展训练,鼓励自主设计拓展性、趣味性实验,激发专业兴趣和探索内驱力。

综合性实验教学改革体现了三全育人的要求,结合了当代学生的心智特点,巩固了传热学课程的学科特点和专业地位,借助“互联网+”等技术优势,增强了教学成效的内在、外在保障。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部. 关于一流本科课程建设的实施意见[EB/OL]. [2021-11-20]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191031\\_406269.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191031_406269.html).
- [2] 赵鲁杭,邹玲,翁登坡,等. 基于一流课程建设思维的蛋白质相关系列性综合性实验教学内容的设计与教学实践[J]. 医学教育研究与实践,2021,29(3):346-349.
- [3] 卢玉坤,孙凤跃,刘铂旭,等. 多酸分子组装、结构与性能的综合性能实验设计[J]. 实验技术与管理,2021,38(6):56-61.
- [4] 陈国博,李苓,高先池. DFT导向的物理化学综合性实验教学探索[J]. 实验技术与管理,2021,38(4):231-234.
- [5] 周莹,杨丽峰,张艳. “那格列奈的合成与鉴定”综合性药学实验设计[J]. 实验技术与管理,2021,38(4):218-222.
- [6] 王秋芬,缪娟,张成立. 生物质废弃物碳作为锂离子电池负极材料研究的综合性实验设计[J]. 化学教育(中英文),2021,42(8):58-62.
- [7] 熊健,林海宇,刘向君,等. 基于任务驱动的岩石物理课程综合性实验教学设计——以岩石热物理参数测定为例[J]. 实验室研究与探索,2021,40(2):222-226.
- [8] 张程宾,韩群,陈永平. 基于MATLAB的传热学课程虚拟仿真实验平台设计[J]. 实验技术与管理,2020,37(1):132-136.
- [9] 吴里程,康灿. 传热学“五位一体”实验教学模式改革与实践[J]. 高等工程教育研究,2019(S1):240-242.
- [10] 孟婧,陈思远,张晓鹏,等. 基于问卷调查探讨传热学演示实验教学新模式[J]. 高等工程教育研究,2019(S1):227-229.
- [11] 杜文静,辛公明,陈岩,等. 基于“翻转模块化实验”的传热学课程教学改革[J]. 高等工程教育研究,2019(S1):235-236.
- [12] 何旭娟. 高校“三全育人”的四个着力点[N]. 中国教育报,2020-03-30(5).

## Reform of experiment teaching of heat transfer course under the requirement of two characteristics and one degree

LUO Qinghai, TU Min, CHEN Guojie, XIONG Jun

(School of Civil Engineering, University of South China, Hengyang 421001, P. R. China)

**Abstract:** Reshaping curriculum teaching is an urgent issue in the construction of first-class curriculum. Combining with the spirit of Implementation Opinions on the Construction of First-class Undergraduate Courses of the Ministry of Education, the characteristics of heat transfer course are analyzed, the shortcomings of the current practical teaching are summarized, the reform idea of experiment teaching is put forward under the new situation, and in view of the experimental teaching reform case of convective heat transfer, the teaching idea analysis and effectiveness analysis based on two characteristics and one degree are conducted. Breaking through the time-space constraints of laboratory classroom teaching, reforming experimental teaching without sticking to one pattern, strengthening independent, experiential, and comprehensive expand training, and integrating knowledge fusion, skill training, thinking enlightenment and thought guidance, are effective ways to implement the concept of three-all education and moral education.

**Key words:** two characteristics and one degree; experiment teaching; expand training; three-all education

(责任编辑 代小进)