

文章编号: 1671-6612 (2022) 05-782-07

传热传质学课程教学内容及方法的探索与实践

胡中停 何伟 刘向华 张爱凤

(合肥工业大学土木与水利工程学院 合肥 230009)

【摘要】 “热质交换原理与设备”与“传热学”是建筑环境与能源应用工程专业(以下简称“建环”)两门重要的专业基础课,且均存在涉及面广、理论实践性强、学习难度较大等问题。在2019年合肥工业大学全面调整包括建环专业在内的培养方案和人才培养能力,且要求大量压缩专业课学时的背景下,尝试将原本开设的两门课合并为一门“传热传质学”。基于两门课主流教材内容,细致地整理了传热传质学的教学内容及学习重难点,整合删减了原有两门课重复陈述的知识点。利用智慧教学平台“雨课堂”及网络在线MOOC资源,构建了以学生为主体的线上线下混合启发式教学模式,并丰富了课程考核方式。通过教学内容及方法的探索与实践,使得在有限的课内学时,取得良好的教学效果。

【关键词】 传热学;热质交换原理与设备;传热传质学;教学改革;雨课堂;MOOC
中图分类号 G642.0 文献标识码 A

Explore and Practice on the Teaching Contents and Methods for the Course of Heat and Mass Transfer Theory

Hu Zhongting He Wei Liu Xianghua Zhang Aifeng

(College of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, 230009)

【Abstract】 As the two professional foundation courses, the “fundamentals & equipment of heat & mass transfer” and “heat transfer” are important and difficult to learn due to the wide of issues, strong theoretical practice. In 2019, the training program and talent training ability of HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) in Hefei university of technology was adjusted with the limited teaching hours. To that end, the authors tried to combine the two courses above-mentioned, i.e., the heat and mass transfer theory. The present paper provided the teaching contents, especially the key and difficult points, and integrated and deleted of the repeated knowledge points in the original two courses, which shorted the requirement of teaching hours. On the other hand, combining the intelligent networked teaching platform of “rain classroom” with the specific type of online courses called MOOC (Massive Online Open Courses), the authors constructed a student-centered online and offline hybrid and heuristic teaching model. Moreover, an multiplicate evaluation methods were introduced. Overall, through the integration and deletion of teaching content, the improvement of teaching mode and the diversification of assessment methods, good teaching effect can be achieved in the limited class hours.

【Keywords】 heat transfer; fundamentals & equipment of heat & mass transfer; heat and mass transfer theory; teaching reform; rain classroom; MOOC

基金项目: 合肥工业大学2020年教学质量与教学改革工程项目(JYQN2007); 2020年安徽省高等学校省级质量工程项目(2020sjjd099); 2019年第一批教育部产学研合作协同育人项目(201901018001、201901018002、201901018011、201901018025、201901018026)

作者(通讯作者)简介: 胡中停(1989-),男,博士,副教授, E-mail: hztwy@hfut.edu.cn

收稿日期: 2022-03-08

0 引言

合肥工业大学建筑环境与能源应用工程(以下简称“建环”)专业自2019级起并入土木类大类招生培养试点并执行2019版培养方案,新版培养方案注重在低年级实施通识教育,高年级实施宽口径的专业教育,大量压缩专业课课内学时^[1],国内很多高校的新版培养方案存在类似现象^[2]。“传热学”和“热质交换原理与设备”两门课是建环专业的主干技术基础课,是学习后续专业课的基础。原有教学计划中两门课的学时加起来为112学时,包括传热学64学时及热质交换原理与设备48学时,不符合19版培养计划的学时要求。为此,本校建环专业把“传热学”和“热质交换原理与设备”合并为一门,且删减为80学时(包括8学时的实践课程)。但是,每门课程所包含的内容并未删减,远远超出80个学时所能讲授完毕的。因此,从学生层面,存在课程进度过快,知识理解不透彻,一知半解,对问题的分析不够灵活等现象。从教师层面,在有限的课堂教学过程中很难将所有知识点详细讲述并安排习题课,我们更多关注的是能否完成教学任务,而对学生分析问题和解决问题能力的培养不够,又势必影响教学质量。结合两门课课程特点及作者教学经验,本文尝试对教学内容与方法进行探索与实践,在有限的学时内保质保量的完成教学。下文将从两门课课程教学现状出发,重点阐述教学改革思路方面的内容,主要包括教学内容的整合删减、教学手段的改进以及考核方式的多样化等方面,希望为国内高校相关专业的课程教学提供参考价值。

1 课程教学现状

在教学内容方面,《热质交换原理与设备》是将专业基础课(传热学、流体力学、工程热力学)和专业课(空气调节、制冷技术、锅炉及锅炉房设备和燃烧学等)课程中涉及到热质交换原理和设备的内容抽出,经综合整理、充实加工形成的一门课程。重点研究发生在建筑环境与设备中的热质交换原理及相应的设备热工计算方法。目前传质方面使用的主流教材是由连之伟教授主编的《热质交换原理与设备》^[3],该教材经过三次修订,最新版本为第四版,教材在内容组织上主要包括两大部分,

即传输的原理(包括传质的理论基础、传热传质问题的分析计算、空气的热湿处理、吸附和吸收处理空气的原理与方法)以及传输理论的应用部分(间壁式热质交换设备的热工计算、混合式热质交换设备的热工计算、复合式热质交换设备的热工计算、热质交换设备的优化设计及性能评价)。总体内容虽然较前几版更加清晰,但仍有部分内容略显混乱,且部分内容授课时有重复冗余之感,例如第2章2.3.6节介绍平板以及圆管对流传质问题用到的类比思想,而在第3章3.1节才给出了类比律,且3.2节再次介绍了圆管以及平板的对流传质问题。还有就是2.4节讲述了薄膜理论,在3.3节再次展示了薄膜理论的论点。

相比于热质交换原理与设备课程,传热学课程的教材种类较为丰富,其中由章熙民等教授主编的《传热学》以及陶文铨院士主编的《传热学》是国内高校相关专业目前采用的主流课程,两本教材内容均很全面,逻辑性很强^[4-6]。针对于少学时的教学现状,需要对两门课部分内容进行整合删减,例如教材有关换热器的介绍,在热质交换原理与设备课程中再次进行了部分内容的重复展现。通过调研,国内高校现有的培养方案一般是“传热学”先修,“热质交换原理与设备”后修,主要是考虑到热质交换原理与设备中设备部分涉及到暖通空调、建筑冷热源等专业课的知识,这样的教学安排虽有利于学生对知识的理解与掌握,但需要较多的教学学时,因为在后修传质教学过程教材在介绍质量传输时需要先回顾先修课程“传热学”中部分热量传递的理论,通过类比思想让学生理解抽象的质量传递理论,例如菲克定律对应傅里叶定律,浓度边界层对应温度边界层,组分传输方程对应能量方程等。在现实的教学过程中,大多数学生反映这两门课程的学习存在困难,其主要原因是上述两门课程均呈现内容多,理论性和应用性很强^[7]。理论性方面,主要指课程中涉及较多的高等数学,大学物理,流体力学、复杂的微分方程组推导、数理方程等知识。实践应用方面也涉及很多,例如导热中的肋片导热问题、对流换热中的经验公式、换热器的设计和校核、蒸发式冷却及溶液除湿问题等。对尚未学习暖通空调、建筑冷热源等专业课的学生来说,对本专业相关设备的结构和特性不熟悉,本课程听起

来容易枯燥无味,做题又无从下手,在往年的阅卷过程中,发现学生理论应用的工程问题分析失分较多。

围绕着教学教学方法改革方面,检索到众多一线教师分别对“热质交换原理与设备”或者“传热学”两门课做了大量的研究与实践,例如翻转课堂^[4]、小班教学法^[8]、问题教学法^[9]、案例教学法^[10]、专题化模式教学^[11]等。实践结果表明,各个教学手段能够取得一定的成效,例如激发学生学习兴趣,提高学生的合作能力,提高问题分析与解决的能力等。然而,部分教学方法在大量压缩课内学时背景下未必能够很好的执行。因此,上述各教学手段适用性如何,值得继续探索与实践,特别是针对合并后的传热传质课程,教学内容相比于原先的“传热学”或者“热质交换原理与设备”课程增加较多,如果还是传统的以“教师+黑板”为主体的教学模式以及采用简单地插入多媒体教学、参与式教学、专题化模式等^[12],将很难在有限的时间内讲解完所有的重难点知识以及培养学生的问题分析与解决的能力。

2 课程改革思路

2.1 优化整合教学内容

“传热学”课程内容的主体结构是以能量守恒定律为基础,以三种不同的热量传递规律为主线,介绍热传导、对流传热和辐射传热的基本定义及计算方法及换热器设计应用部分。对建筑环境与能源应用工程专业的学生来讲,就希望多了解一些通过墙体的动态传热分析及房间热(冷)负荷计算方法等方面的知识。因此,在教学内容制定方面,一方面保证有关热量传递的基本知识和基本技能,掌握传热计算的基本方法,为后续课程的学习和独立解决本专业所遇到的热工问题打下必要的基础。另一

方面,针对建环的专业培养目标,分析在建环专业领域所遇到的典型传热问题,培养学生独立利用传热学的基本理论分析和解决实际工程问题的能力。

“热质交换原理与设备”课程的基础是流体力学与传热学。该课程由传质理论部分和设备部分两大块构成,理论部分的核心是传质的理论基础,包括扩散传质与对流传质。另外还包括一些本专业涉及的空气热湿处理途径与方法、吸收和吸附处理空气的原理与方法。设备部分主要是间壁式、混合式和复合式等三大热质交换设备的热工计算等内容。

教学内容制定方面,将热质交换原理与设备课程中的传质理论基础与传热学的导热和对流合并教学,因同属于分子扩散或者对流引起的热量与质量传输。回顾流体力学动量传输基础知识,让学生建立起动量传递、热量传递和质量传递三种传递现象之前的内在联系,带着类比的思路学习热量与质量传递的相关理论,理解相关知识点。由于热辐射的独特性,可将辐射传热部分单独作为一专题讲述,基本概念很多,难于理解,例如,辐射力、黑体、灰体、漫射表面、角系数、立体角等,同时,四大基本定律往往也是学生理解的难点,因此,这部分的重点是阐述基本概念及基本定律,而对于辐射传热的计算可以简略一点。最后,通过空气调节相关概念引入本专业空气热湿处理方案与设备,紧接着介绍热质交换设备常规热工设计方法,并讨论若耦合质量传递情况时,换热器设计的区别,这样即完成了热质交换原理与设备课程中的设备部分又兼顾了传热学换热器内容。通过上述合理组织传热学、热质交换原理与设备两门课程原有的知识点,可大大减少授课时间且学生更易理解课程知识。详细课程内容的设计及授课学时安排如表 1 所示。

表 1 课程内容设计及学时安排

Table 1 Course content design and class schedule

章节	主要内容	教学重点及教学方法	学时数 (80 学时)
第一章 绪论	1.1 学习传热传质学的重要性与必要性; 1.2 传热传质学课程的研究内容; 1.3 传热传质学的学习方法	重点阐述课程在建筑能源与环境领域的应用,激发学生学习兴趣,结合案例讲解;结合传热、传质基本方式,深入介绍传热与传质异体同构的特点;简单介绍课程学习方法	2

续表1 课程内容设计及学时安排

章节	主要内容	教学重点及教学方法	学时数 (80学时)
第二章 分子传 热与传 质基础 及计算	2.1 分子传热与传质基本概念及基本原理	花时间讲透彻:温度、速度、浓度、传质(传热)通量、热导率、传质系数、热扩散系数等基本概念,重点比较傅里叶导热定律、菲克定律两个扩散定律;深入讲述热扩散方程推导过程并引出组分扩散方程	5
	2.2 稳态分子传热与传质	结合暖通专业案例及科研经历,重点分析典型一维稳态传热与传质过程,包括平板、圆筒壁、肋壁、溶液蒸发等,引出热阻(质阻)的概念、边界条件等知识;简单介绍多维稳态导热问题	5
	2.3 非稳态分子传热与传质	重点介绍(半)无限大平壁问题的理论分析解及集总参数法求解过程,简单讲述诺模图如何使用;以建材有机化学污染散发规律,说明瞬态质量扩散在其间的应用	5
	2.4 数值解法基础	讲透彻数值解法的基本思想,重点阐述热平衡法建立温度场离散方程的方法	3
第三章 对流传 热与传 质理论 基础	3.1 对流传热与传质概述	从对流传热的定义、特点,引出对流传质定义及性质;重点分析影响对流传热的因素并结合案例介绍;简单介绍对流传热问题的求解思路	4
	3.2 对流传热与传质微分方程组	简单介绍对流微分方程组的作用;简单回顾连续性方程、动量方程的内涵,重点介绍能量微分方程建立方法,让学生课后自行推导组分浓度方程,强调动量、能量和质量微分方程的异同点	
	3.3 边界层分析及边界层微分方程组	花时间讲透彻速度、温度及浓度边界层的概念、特点及意义,并比较三者的异同点;以对流传热能量微分方程为例,深入讲解边界层方程简化的思想,强调推导过程的无量纲参数,其他微分方程的简化自学	3
	3.4 动量、热量和质量传递的类比	重点讲述通过边界层相似及无量纲相似参数,深入刻画三者的类比关系,强调无量纲化过程中准则数的提出和概念;重点介绍可用类比关系由传热系数 h 计算传质系数 h_m 的刘易斯关系式及其在蒸发冷却、湿球温度计等方面的应用	2
	3.5 传热传质并存过程中的热质交换分析	简单介绍薄膜理论基本观点,重点分析传热对传质过程的影响,结合案例进行讲解;简单讲解刘易斯关系式的另一种表述,注意与前述类比率的区别	2
	3.6 相似理论	深入讲解相似理论的内涵,结合管内强制对流问题具体剖析相似原理在实验设计中的作用,研讨实验设计	3
第四章 单相对 流问题 分析与 计算	4.1 管内受迫对流换热与传质	介绍管槽内强制流动、传热及传质的特点,重点分析常壁温(浓度恒定)和常热流(传质通量恒定)两种典型对流传热(对流传质)边界下管内温度、浓度变化过程;简单介绍管内层流对流换热、对流传质关联式;重点介绍管内受迫对流传热、传质紊流实验关联式及注意事项	3
	4.2 外部流动受迫对流传热与传质	重点讲解平板层流传热分析解、外掠圆管和管束实验关联式,相应的外部受迫对流传质关联式通过类比简单引出	2
	4.3 自然对流换热	重点介绍自然对流传热过程中的相似特征数 Gr 及准则关联式的导出;大空间及有限空间准则关联式使用注意事项	2

续表 1 课程内容设计及学时安排

章节	主要内容	教学重点及教学方法	学时数 (80 学时)
第五章 凝结与 沸腾传 热	5.1 概述	简单介绍凝结换热的形式及特点	3
	5.2 膜状凝结换热分析解及计算关联式	重点介绍 Nusselt 分析解的基本思想和假设, 以及在分析解建立过程中所使用的能量守恒和质量守恒; 简单介绍凝结换热准则关联式及流态的判定; 重点分析凝结传热的影响因素	
	5.3 沸腾换热	重点讲解大空间饱和沸腾曲线各个阶段的传热特点; 简单介绍泡态沸腾机理及沸腾传热计算关联式的使用	
第六章 辐射传 热基础 及计算	6.1 基本概念	简单介绍热辐射定义特点及物体吸收反射和透射特性; 重点黑体的概念, 讲透彻定向辐射强度与辐射力的定义	2
	6.2 热辐射基本定律	花时间讲透彻黑体热辐射的三个基本定律	3
	6.3 实际物体的辐射特性 (灰体)	重点讲解实际物体的辐射和吸收特性, 引出发射率、灰体等概念; 强调基尔霍夫定律的推导过程	
	6.4 黑表面间的辐射换热	引出角系数的概念, 简单讲解角系数的性质; 重点分析空间热阻的概念以及封闭腔体辐射传热的热辐射网络法	
	6.5 视角系数计算方法	简单角系数的计算, 强调代数分析法	4
	6.6 灰表面间的辐射换热	强调有效辐射、投入辐射、重辐射表面等概念, 注重灰表面辐射表面热阻的理解; 讲解封闭空腔中多个灰表面间辐射换热的网络法, 特别注意重辐射表面与黑表面辐射网络的区别	
	6.7 辐射换热的强化与削弱	简单介绍辐射换热强化与削弱的原则, 重点分析遮热板 (罩) 的应用	
	6.8 气体辐射与吸收	介绍气体辐射辐射和吸收特点, 注意与固体辐射的区别	3
	6.9 太阳辐射	简单介绍太阳辐射的特点及达到地球表面过程中的削减因素; 介绍在建筑中利用太阳能的基础知识	
第七章 间壁式 设备热 湿处理 理论及 热工计 算	7.1 间壁式热质交换设备的型式与结构	结合多媒体动画及工程经验, 讲清楚常见的间壁式换热设备的结构及特点	4
	7.2 间壁式显热换热设备热工计算常用方法	重点介绍间壁式设备显热换热过程中涉及到的三个热平衡方程; 重点介绍对数平均温差的概念及推导过程; 介绍效能-传热单元数法; 讲清楚换热器的设计计算和校核计算的概念及方法	
	7.3 散热器及空气加热器的热工计算	简单介绍散热器与空气加热器热工计算方法及步骤	4
	7.4 表冷器的热工计算	介绍湿空气-固体表面之间的热湿交换, 重点讲解麦凯尔方程; 以干、湿工况引出表冷器的析湿系数概念, 强调干湿两工况下表冷器总传热系数、热容比、传热单元数等区别; 介绍表冷器热工计算原则和具体步骤, 特别分析透彻涉及到的热交换效率系数和接触系数	

续表1 课程内容设计及学时安排

章节	主要内容	教学重点及教学方法	学时数 (80学时)
第八章 混合式 设备热 湿处理 理论及 热工计 算	8.1 混合式换热器的形式与结构	介绍混合式热湿交换设备常见形式,结合多媒体及工程经验,重点介绍冷却塔和喷水室	3
	8.2 空气-水直接接触时的热湿交换分析	讲清楚空气和水直接接触时热湿交换原理及空气-水的状态在焓湿图上的变化过程,重点介绍热湿传递方向的判定	
	8.3 喷淋室的热工计算	介绍喷淋室热交换效率系数和接触系数概念,强调与表冷器相应概念的区别;介绍喷淋室热工计算原则、方法和具体步骤	2
	8.4 冷却塔的热工计算	讲清楚冷却数、特性数概念及作用,强调与表冷器、喷淋室相应概念的区别;介绍冷却塔热工计算原则、方法和具体步骤	3
	8.5 其他混合式设备的热工计算	主要介绍加湿器、喷射泵本身,让学生课下自学其热工计算	
第九章 复合式 设备热 湿处理 理论及 热工计 算	9.1 复合式设备的形式与结构	简单介绍复合式设备研究对象	2
	9.2 蒸发冷却装置原理及热质交换分析	讲透彻直接蒸发冷却与间接蒸发冷却原理,特别是热湿处理过程在焓湿图上的体现,并对各自的热质交换过程进行具体分析	
	9.3 蒸发冷却空调系统的热工计算	介绍直接和间接蒸发冷却空调系统形式、评价方法及热工计算具体步骤;介绍多级复合蒸发冷却空调系统及相应的空气状态变化过程	2
	9.4 温湿度独立调节空调系统	分别简要讲解温度和湿度处理常用方法,其中涉及到的有关吸附和吸收处理空气的基础知识让学生自学	2

2.2 充分利用智慧工具

合理组织重难点教学内容非常重要!然而,就相同的教学内容如何实现高效地教学效果更是重中之重。随着网络时代的快速发展,借助现在的计算机和网络工具,开发“混合式教学模式”是高校教师教学方法和教学手段的新革新^[13-15]。本文基于“雨课堂”在线教学工具,以传热传质学课程为例,探索交互式学习的教学模式,以期将该模式推广应用到其他课程的教学过程。具体如下:课前,按照教学计划通过“雨课堂”提供MOOC等教学视频及教学PPT学习资源,学生完成对教学视频等学习资源的观看和学习,并设置基础问题进行相关测试,由“雨课堂”收集统计数据,作为平时成绩依据。此外,根据课前测试答题情况,针对性设置开放型知识点的话题用于课上讨论。课堂上,采用基于问题的探究式网络教学,即留20-30分钟,由“弹

幕”形式对之前设置的问题进行深入交流讨论,课堂剩余时间对课前未设置考核的知识点简单介绍并对重难点内容进行总结,并设置随堂测试。课后,发送课堂上所授知识点小结,并预留相关作业题以加强知识点的掌握,由“雨课堂”进行复习数据监测。同时,在雨课堂网站增设“答疑”的模块,学生可以发布关于课堂或者作业存在困惑,教师可以每天登陆查看内容并解答,并根据学生互动情况给予一定的平时成绩奖励。如图1所示,利用“雨课堂”与MOOC进行线上线下相结合,可以完成知识梳理、作业布置以及论坛讨论,增加了趣味性,可调动学生的积极性,增加了师生互动空间,线上答疑解决不了的可以线下课堂完成。同时,学生看预习的进度及次数统计、知识点总结笔记、作业完成的情况等都是作为平时成绩的参考。线上课程的出现可以缩短教师的授课时间,弥补线下课程授课

时间不足的问题,教师在课上可以有更多的时间和学生互动交流。

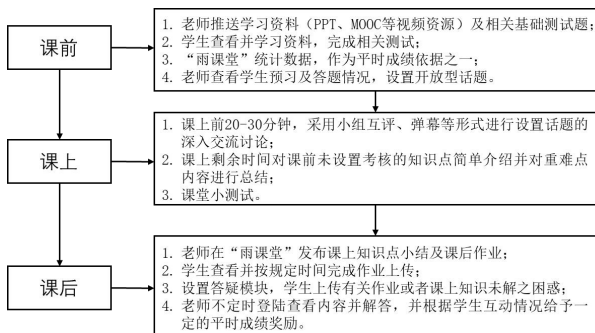


图1 基于“雨课堂”与MOOC的线上线下相结合教学模式

Fig.1 Teaching mode of combining online and offline using the rain classroom and MOOC

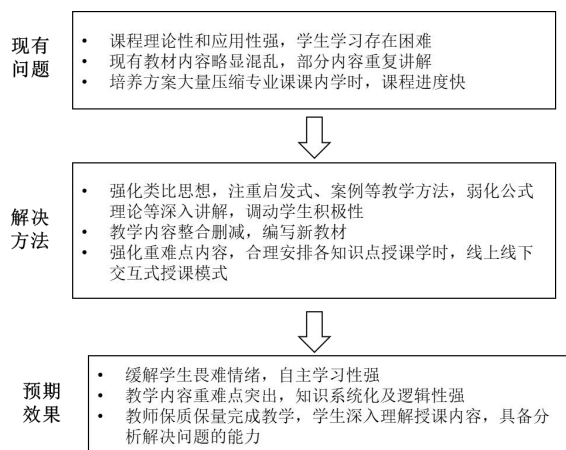


图2 现有问题-解决方法-预期效果路线图

Fig.2 Process chart of existing problem, resolve project and expectation effect

3 结语

《传热学》及《热质交换设备与原理》是两门理论性和实践性都很强的课程,加之,国内大部分高校相关专业的教学计划大量压缩学时,学生学习起来难度较大,教师也很难在有限的课内学时保质保量的完成教学任务。结合传热学、热质交换原理与设备两门课程的实践与体会,尝试将其整合成一门“传热传质学”课程。基于类比思想,重点梳理了“传热传质学”课程的教学内容,特别是重难点知识,使之知识点系统化,逻辑性更好,学生在学习时有整体性。另一方面,在课程教学中尝试采用智慧教学工具“雨课堂”及线上资源MOOC等结合,调动学生学习的积极性、保障在较短学时的情

况下获得良好的课堂教效果。

参考文献:

- [1] 王立平,沈致和,刘向华,等.大类招生与学分压缩背景下人才培养探索——以合肥工业大学建筑环境与能源应用工程专业为例[J].高等建筑教育,2020,29(3):77-85.
- [2] 彭冬根,郭兴国,胡明玉,等.建筑环境与能源应用工程专业大土木类人才培养探索[J].高等建筑教育,2017,26(1):36-40.
- [3] 连之伟.热质交换原理与设备(第3版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [4] 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.
- [5] 杨世铭,陶文铨.传热学(第4版)[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [6] 章熙民,任泽霏,梅飞鸣.传热学(第五版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [7] 张杰,刘泽华,宁勇飞.热质交换原理与设备教学方法探讨[J].中国教育技术装备,2019,(16):97-98.
- [8] 徐健,邱贵宝,张生富,等.小班教学中课程助教使用几点心得体会——以传热学为例[J].教育教学论坛,2019,(52):232-233.
- [9] 王义江,周国庆,冯伟.基于兴趣学习的传热学课程教学改革研究[J].高等建筑教育,2017,26(5):54-57.
- [10] 王瑜,张淑娟,谈美兰,等.本科生科技创新能力培养的实践与思考——以建环专业传热学课程为例[J].高等建筑教育,2021,30(2):97-102.
- [11] 吴嘉峰,陈亚平,纪光菊.“热质交换原理与设备”课程的教学改革[J].东南大学学报:哲学社会科学版,2017,19(S2):157-162.
- [12] 管勇,胡万玲,周文和,等.参与模式下热质交换原理与设备课程教学和考核方法研究[J].高等建筑教育,2018,27(4):95-99.
- [13] 何光艳,韩东太,晁阳.基于雨课堂混合式学习的传热学教学研究与实践[J].高等工程教育研究,2019,(S1):113-115.
- [14] 邢丽丽.基于精准教学的混合式教学模式构建与实证研究[J].中国电化教育,2020,(404):135-141.
- [15] 秦磊华,胡迪青,谭志虎.MOOC 教学设计的原则与策略[J].中国大学教学,2019,(11):18-23.