

“热力学”课程与教学改革

工科优势高校的新工科建设实践

——探索融会贯通式“工程热力学”能源化工专业基础课教学

关国强,樊栓狮

(华南理工大学 化学与化工学院,广东 广州 510640)

[摘要]专业基础课的良好教学质量是专业人才培养质量的重要保障。本文以南方某工科优势高校的“工程热力学”教学现状分析为例,针对现有专业基础课教学中存在的学生知识应用能力不足的问题,探讨了构建整体知识结构和激发学生热情的重要性。通过强化课程内外知识的流动和迁移,融会贯通式教学得以实施,促进了能源化工新工科专业人才培养质量的提升。

[关键词]新工科;能源化学工程;工程热力学;融会贯通式教学

Practice of Emerging Engineering Education for Universities with Engineering Advantages ——Exploration of Knowledge Integration Teaching Method in Compulsory Course of Engineering Thermodynamics for Energy Chemical Engineering Major

Guan Guoqiang, Fan Shuanshi

Abstract: Good teaching quality of compulsory course is important insurance to professional training. In the example of the university with engineering advantages, located in the southern China, both the teaching and learning conditions in the course of Engineering Thermodynamics were analyzed. To improve the students' ability of using knowledge, the importance of complete knowledge system and exciting the enthusiasm to learn was comprehensively analyzed. The knowledge integration teaching method by enhancing the knowledge flow and transformation was presented to facilitate the talents cultivation of emerging engineering education in energy chemical engineering.

Key words: Emerging engineering education; Energy chemical engineering; Engineering thermodynamics; Knowledge integration teaching

当代科技日新月异,已超出“摩尔定律”的预测。超速发展的时期需要跨时代的人才培养战

略,“办好高等教育事关国家发展”^[1],培养适应新时代、满足中国社会主义发展需要的工程人才是

实现中华民族伟大复兴的重要保障。“新工科建设”已成为当代高等教育的旗帜,对“新工科”内涵的纵深研究与广泛探索为不同层次的人才培养工作指明了宏观发展方向。

工程热力学是国内不少“双一流”大学热能动力、能源化工、建筑与环境等专业的重要基础课。作为多学科交叉应用的基础,该课程具有较大的知识容量,学生的学习效果不理想,他们离“灵活应用知识解决实际问题”相距甚远。为促进学生对知识的融会贯通,培养其解决实际问题的能力,工程热力学从前期提倡“多媒体教学”^[2-3]转变为近期积极吸收应用国际优秀教研成果,提出采用“基于问题的学习”“启发和对比式”和“多元融合”等先进的教学方法^[4-6]。国内工程热力学主要在能源动力类院校开设,课程教学偏重于结合热能和动力工程的学科应用。能源化学工程是战略性新兴产业相关专业,是化学工程在未来一段时期内快速发展的新增长点。工科优势高校在化学工程学科背景下的“工程热力学”教学研究较少^[7],但其课改方法对化工类本科专业教学具有较大的参考意义。因此,本文基于南方某“双一流”大学能源化学工程专业的“工程热力学”教学现状分析,探讨了“融会贯通式”教学方法的具体实施及其对专业人才培养的促进作用。

一、工程热力学教学的问题案例分析

(一)知识僵化,流动性不足

大学课程的知识难度显著高于中学,专业知识的理解和掌握需要建立在抽象思维的基础上,如微积分基础的极限概念、线性代数的子空间概念等。由于课程难度增加、知识继承性强,因此大学课程具有较强的联系性。在化学工程学科背景下,工程热力学作为专业基础课程,既要求学习者有良好的高等数学和物理化学知识基础,又作为前置课程融合应用于化工原理等课程,对知识迁移性有较高的要求。同时,工程热力学课程的知识容量较高,不仅包括经典热力学的知识,还延伸到气体动力学、动能设备、热能工程和制冷工程等多学科领域。

我们通过对教学结果的反思,认为以往工程热力学教学效果较差的主要原因是教学中较单调

地讲授知识点,未能有效地将数量庞大的知识点进行融会贯通。在教学方面,我们过去以“应试教育”为主导,突出知识学习技巧,存在较严重的“填鸭式教学”的弊端^[8]。知识点的学习是以往工程热力学课程教学的主要内容,但知识点的引入和导出需要高等数理基础,而同学们普遍未形成应用数理知识的自觉性,对知识点的由来往往是“似懂非懂”。教学中强调知识点,学生在学习时也相应将知识点全盘接收。工程热力学课程涉及的知识点数量十分庞大,在没有透彻理解的前提下,完全靠记忆学习知识点无疑是十分困难的。解决问题的过程中需要综合应用多个知识点,但学生尚未建立起这些知识点的内在联系,只能机械地针对特定问题应用某个知识点。这种不能灵活应用和融合知识的模式化解题技巧很难适应实际问题的多样性。由此可见,强化知识的可迁移性、降低知识记忆量、提高学生的知识流动性和应用灵活性将有益于工程热力学等大知识容量的专业基础课的教与学。

(二)学生热情度低,缺乏主动性

初等教育的学习强度很大,同学们为迎接高考,往往连健康睡眠都难以保证^[9]。大学生正处于身心发育的重要时期,所谓“修身在正其心者,身有所忿懣,则不得其正”,不少经历高强度初等教育的同学在高等教育阶段显露出较严重的“心不正”。大学阶段家庭和学校的监管力度相对减弱,学生在课堂内外的自由度骤增,不少同学对课程学习的投入度和专注性都大幅降低,许多同学表示“自己都不相信这是大学的自己”。由于学习目标缺失、热情殆尽,不少同学只是惯性地维持中学阶段养成的学习方法和习惯。然而不同于初等教育,高等教育目标直接决定了大学知识的深度与广度、课堂形式与内容都显著区别于中小学。同学们往往难以适应这种变化,因此对工程热力学等大知识容量的专业基础课的学习效果不理想。

在具有中国特色的社会主义新时期,实现中华民族的伟大复兴离不开具有创新精神的人才,而调动学生的学习主动性对培养创新精神具有重要作用^[10]。在长期“填鸭式教学”的影响下,学生

的创新能力较弱,而以往的工程热力学教学也难以有效引导学生提高学习兴趣。在严重缺乏内驱的学习意愿和繁重的课程作业等多重压力下,学生大多以完成课程学习、达到考试要求为目标。这就导致工程热力学的学习与前置的高等数理基础脱节,学生也无法很好地将其应用于后置化工原理等专业课程的学习中。

二、融会贯通式教学方法实践

使学生对所学知识达到融会贯通,培养其解决实际问题的能力,历来是课程教学所追求的目标。针对以往工程热力学教学中存在的知识流动性不足和学生学习积极性低的问题进行教学改革与创新,是当前工程教育研究的前沿问题之一。为了提高工程热力学的教学效果,促进新工科建设,我们提出采用融会贯通式教学方法,其核心是将散乱的知识点汇聚成解决问题的“线”,用各种解决问题的“线”编织知识体系的“面”。在近年工程热力学教学中,教师努力激发学习热情,做好课程内外两个方面知识的融会贯通。

(一)整体构建知识结构,激发学生学习热情

工程热力学课程的知识点较多,同学们往往“只见树木不见森林”。我们充分利用“双一流”大学的优秀教师资源,由能源化工领域的资深教授担任课程负责人,在课程伊始就“高屋建瓴”地概括工程热力学在现实生活的应用意义,通过大量贴近现实的知识应用实例,引起同学们的学习兴趣。在唤醒学生的求知欲后,教师概括介绍工程热力学的主要内容是“研究热功转换的基本热力学原理及其在工程中的应用”,再进一步介绍课程整体知识结构(见图1),将知识点分为“热力学基本原理及关系、工质性质、工程应用”三大模块,前两个模块是后续各种工程应用的共同基础。

(二)强化知识流动和迁移,促进学科内知识融合

工程热力学与其他热力学相关课程的最大区别在于其强调热力学原理在实际工程领域的应用,因此该课程重点讲授气体与蒸汽的流动、压气机、气体动力循环、蒸汽动力循环和制冷循环5类工程应用,而且每类工程应用中还有若干子应用

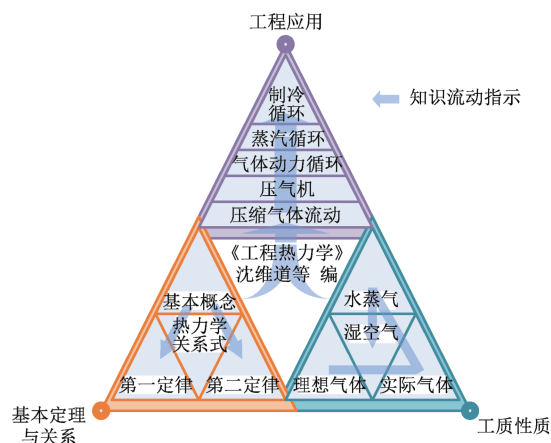


图1 工程热力学课程知识结构及流动方向示意图

类型,涉及的公式和知识点有上百个。为了引导同学们掌握这些知识的应用,教师在教学中充分强调课程内部知识的流动性和迁移性,如将工程应用抽象简化为多个基本热力过程组合而成的复合过程。尽管多种多样的工程应用涵盖5章内容,但基本热力过程只有“等压、恒容、定温和绝热”4种。它们又可进一步用“多变过程”概括。由此,5章近300页内容可归纳为3页的多变过程热功计算问题,而热和功的计算又是应用热力学原理和基本方法的自然结果。教师在课程教学中先对基本热力学原理和方法进行充分、透彻地讲解,然后重点讲授多变过程的热力学本质,并在具体的热功计算中贯彻和应用热力学基本原理和方法,最后通过介绍各种工程应用教会学生如何将实际工程中的复杂问题转化为抽象、概括的基本问题,并在多种工程问题的解决过程中进一步实践和应用热力学基本原理和方法。在理清问题抽象过程的假设和前提条件的基础上,学生充分认识了实际问题中知识的局限性,逐步形成了以“工程师的角度看待和解决问题”的思维。

(三)多学科知识融合,提升课程教学效果

为加深同学们对热力学原理和基本方法的认识和理解,工程热力学教学中还应融合课外知识,特别是工程热力学涉及的基础数理知识。数学被哲学家认为是“上帝描述自然的符号”和“打开科学大门的钥匙”,但大部分同学缺乏自觉应用数学知识的能力,不少同学甚至觉得“大一学的微积分

等基础数学课程在后续学习中并没有什么用”。这是由于知识僵化、缺乏流动性,无法固着并形成应用能力,造成学生“学一门,忘一门”。因此,我们在工程热力学教学中努力融合数理知识,既为前置的数理知识提供应用的舞台,又从数理角度加深学生对热力学问题的理解。如“平衡状态”和“状态参数”是经典热力学基础概念,虽然教材对此给出了清晰、明确的定义,但同学们只能背出定义,不能根据定义判断“怎样的参数是状态参数”,更无法“设计实验证实某参数是状态函数”。笔者也曾以此作为博士研究生入学考试题目,结果无人能在实验操作层面合理解答。教学中教师要强调工程热力学知识与“微积分”知识的融合,指明热力学中“状态”的数学本质就是“状态空间的函数值”,而“平衡状态”是指该函数具有“连续可微”的性质,“状态参数”实质就是全微分函数。这样一来,学生就知道可以利用微积分中的“全微分判据”方便地判定特定参数是否为状态参数,进而设计出“状态参数的实验测定方法”。教学中通过跨学科的知识融合,展现从不同角度描述问题的方法,不仅能使同学们重拾即将忘却的知识,还能促进其对工程热力学知识点的理解和应用。

除了与基础数理知识融合外,工程热力学教学中还应融合近现代科学研究的成果。如理想气体是热力学十分重要的基础工质,实际教学中发现,同学们虽对理想气体状态方程都很熟悉,但不清楚“实际气体在何种状态能近似为理想气体”,进而无法在实际问题分析中应用“理想气体”。为此,我们在讲授理想气体相关内容时,融合了分子动力学研究的方法和成果,从单个刚性小球与器壁碰撞产生的力作用出发,结合“微积分”和“物理化学”的知识推导出理想气体状态方程,既向学生展现了数理知识的应用,又使学生更好地理解理想气体模型的本质。

此外,能源化学工程专业开设的工程热力学课程教学内容还应与化学工程专业课相结合。守恒方程是动量、热量和质量传递的基础,也是各种形式能量转化的基本法则。工程热力学教学中要以守恒方程为中心,应用守恒定律导出热力学定

律及其在特定应用环境下的具体表达式。如热力学第一定律的文字表达是同学们所熟知的,但其在应用第一定律时往往机械地套用公式,这样的学习方法不仅记忆量大,而且缺乏灵活性。为此,我们从“系统边界进出能量差为系统内的能量变化”出发,自然地应用“热力系统”和“能量”等基本概念导出通用的热力学第一定律表达式,进而对特定体系进行简化,获得相应的能量平衡方程,如对于稳定流动体系可导出伯努利方程、换热器热平衡方程等。这就将热力学第一定律的学习转变为已有知识和方法的应用,既提高了学生对公式、定理的理解程度,又降低了记忆强度。同时,这种知识流动也促进了学生对跨课程知识的理解,为其他专业课程学习奠定了基础。

三、教学成效

在 2013—2015 级能源化学工程专业的工程热力学课程中实施了融会贯通式教学后,同学们的课程考试成绩有了较大的提高,如表 1 所示。相对于采用传统教学方法的 2011—2012 级同学的成绩,采用融会贯通式教学法的学生成绩平均和中位分数分别提高了 8.0 分和 7.5 分。采用 Shapiro-Wilk 和 F 检验分析成绩分布特征,结果显示,置信度为 95% 时两组成绩的正态性检验 p 值都远小于阈值 0.05,而 F 值 1.551 大于阈值 1.285,说明两组成绩分布都偏离标准正态分布,其方差特征也不同(即非齐次)。图 2 所示的成绩分布图也直观表明了偏正态分布的特征。我们进一步采用非参数方法分析两组成绩样本是否存在统计显著性差异,结果显示, U 检验的 p 值 1.006×10^{-9} 远小于 0.05,说明 2013—2015 级同学的成绩显著优于 2011—2012 级同学,即开展融会贯通式教学有助于提高学生考试成绩。

课程教学方法的优化显著提升了同学们的专业知识应用能力,促进了人才培养质量的提升。学生普遍反映热爱化工学科,同时对能源化工专业未来的发展报以积极、开放的心态。这也在一定程度上揭示了 2013 级能源化工专业毕业生比化学和化工其他专业毕业生具有更高就业率、读研比例和平均薪酬待遇的原因。

表1 工程热力学课程采用融会贯通式教学前后学生成绩统计结果($\alpha=0.05$)

	最高分	最低分	平均分	中位分	正态检验 p 值	F 值	U 检验 p 值
2011—2012 级	95	24	63.6	64.5	7.838×10^{-8}	1.551	1.006×10^{-9}
2013—2015 级	96	10	71.6	72.0	2.158×10^{-4}		

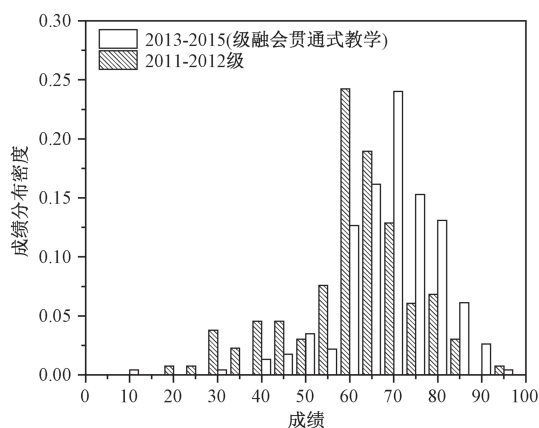


图2 能源化工专业工程热力学采用融会贯通式教学前后的学生成绩分布对比

四、结语

工程热力学是以培养学生分析、解决实际问题的能力为依归的重要专业基础课。在充分调动学生学习积极性的基础上,采用融会贯通式教学有助于学科内的知识迁移,既降低了学生的记忆负荷,又强化了其对课程整体知识结构的掌握。新工科建设是促进人才培养的系统工程,核心课程的教学质量是该复杂系统的重要基础环节。因此,我们应积极研究和探索融会贯通式教学,通过增进课程间的知识融合,为学生构建更完善的工程应用型知识体系,促进新工科建设。

(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 习近平. 习近平致清华大学建校 105 周年贺信 [EB/OL]. [2016-04-22]. http://news.xinhuanet.com/politics/2016-04/22/c_1118711427.htm.
- [2] 袁薇, 朱群志, 沈坤全, 等. “工程热力学”课程教学改革研究 [J]. 中国电力教育, 2012(21): 62-63.
- [3] 谭羽非. 突出专业特点改革工程热力学课程教学的研究与实践 [J]. 高等建筑教育, 2004(1): 39-43.
- [4] 耿凡, 陈宁, 王迎超. 工程热力学课程引入 PBL 教学模式的探讨 [J]. 中国电力教育, 2014(12): 90-91.
- [5] 张宏远, 陈克, 岳峰丽, 等. “卓越计划”创新模式的工程热力学课程教学改革与实践 [J]. 大学教育, 2016(8): 153-154.
- [6] 宋福元, 张国磊, 孙宝芝. 多元融合的工程热力学课程教学模式研究 [J]. 教育与职业, 2015(7): 89-91.
- [7] 林健. 面向未来的中国新工科建设 [J]. 清华大学教育研究, 2017(2): 26-35.
- [8] 王艳娟. “填鸭式”教育退出舞台的必然性 [J]. 现代教育, 2012(Z3): 96.
- [9] 张千帆. 高考压力从哪里来? ——中国优质高等教育资源稀缺的制度根源及其改革方案 [J]. 政法论坛, 2016(5): 97-110.
- [10] 严宗毅, 苏卫东. 在流体力学教学中调动学生学习主动性, 培养创新精神 [J]. 力学与实践, 2001(3): 53-55.