

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2022.03.009

欢迎按以下格式引用:陈学彬,卓献荣,李雪梅,等.基于产业导向的数字化建模与仿真人才培养模式探索——以工程流体力学教学为例[J].高等建筑教育,2022,31(3):63-69.

基于产业导向的数字化建模与 仿真人才培养模式探索 ——以工程流体力学教学为例

陈学彬,卓献荣,李雪梅,李金成

(仲恺农业工程学院 城乡建设学院,广东 广州 510225)

摘要:《中国教育现代化 2035》聚焦教育发展的突出问题和薄弱环节,指出要推动教育与产业发展有机衔接、深度融合,丰富并创新课程形式。数字化建模与仿真是信息技术能力培养的关键内容,新时期对高等院校的教学改革具有重要意义。当前应用型大学在数字化建模与仿真人才培养方面不能较好地满足企业的人才需求,要求高校以产业需求为导向在课程内容上进行教学改革。工程流体力学为仲恺农业工程学院的“校级优秀课程”,在提升人才培养质量上发挥重要作用。教学团队积极利用现代信息技术,引入计算流体动力学仿真“三层次”教学方法,通过讲解和操作带领学生由浅入深的工程实例,为进一步提升课程和产业需求的适配性奠定基础。

关键词:工程流体力学;教学改革;数字化建模与仿真;产业导向

中图分类号:G642.0 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2022)03-0063-07

在过去十年中,各高校按照《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》对专业和课程进行调整,以更好地适应就业市场和经济社会发展需求^[1]。2018年,《教育部关于狠抓新时代全国高等学校本科教育工作会议精神落实的通知》(教高函〔2018〕8号)指出,各高等院校要加强学习过程的管理,对每一门课程的教学内容进行全方位梳理,淘汰部分“水课”、打造一批“金课”,切实提高课程的教学质量^[2]。2019年,《中国教育现代化 2035》进一步聚焦教育发展的突出问题和薄弱环节,指出要充分利用现代信息技术,推动教育与产业发展有机衔接、深度融合,丰富并创新课程形式,引导高校及时调整课程建设^[3]。数字化建模与仿真作为信息技术能力培养的关键内容,是当前

修回日期:2021-06-07

基金项目:2019年广东省高等学校教学改革项目(KA200190148)

作者简介:陈学彬(1989—),男,仲恺农业工程学院讲师,博士,硕士生导师,主要从事流体力学的基础与应用研究,(E-mail) chxueb@foxmail.com。

教育急需重视的环节^[4-7]。因此,新时期基于产业导向的数字化建模与仿真人才培养对高校教学改革具有重要意义。

应用型大学是指以应用型为办学定位,以培养具有较强社会适应能力和竞争能力的高素质应用型人才为目标的本科高等院校。当前中国正处于产业转型升级关键期,各产业的首要任务是从高速增长转变为高质量发展,社会急需大量掌握数字化建模与仿真技术的综合性应用型人才,在流体力学领域尤其如此。当前应用型大学在数字化建模与仿真人才培养方面不能较好地满足企业的人才需求,这要求高校以产业需求为导向,以工程流体力学为例的重要基础理论课程培养向数字化建模与仿真人才的改革方向发展,从而及时满足产业人才新需求。

基于此,仲恺农业工程学院工程流体力学教学团队结合课程特点,积极利用现代信息技术,基于产业导向,在传统教学中引入数字化建模与仿真教学,使学生能更好地在流体力学理论学习过程中联系工程实际。

一、课程现状分析与思考

流体力学主要研究流体平衡和运动规律及实际应用,是应用面比较广的专业基础课,在能源、土木、机电、航空、化工、水利和海洋等领域起重要作用。工程流体力学侧重解决工程中出现的具体问题,虽然在一定程度上弱化了理论公式推导,但是对应用型本科学生来说,仍存在着基本概念多、公式复杂和内容抽象等特点,学生普遍感觉枯燥乏味、难学,存在畏难、厌学情绪。当前工程流体力学课程教学普遍仍存在以下几个方面的问题。

(一) 教学内容设计偏重理论推导,与工程实际结合不足

工程流体力学既包含自然科学的基础理论,又涉及工程技术科学方面的应用,属于理论性和实践性较强的专业基础课,其研究方法可直接用于科学研究和工程设计。由于目前该课程仍偏重理论推导,选用的例题和练习题过于理想化,与实际应用存在相脱离的情况,这使得学生在课程学习后不知如何应用,这就造成了刚毕业学生接触流体力学工程问题时不能采用有效方法为企业解决实际问题的。

(二) 教学方法单一,呈现“灌注”式教学,学生理解困难

流体力学课程的特点是抽象、枯燥、难懂,应用的数学知识较多,常处于“教师难讲、学生难懂”的状态。虽然流体与日常生活密不可分,但其物理现象不直观、基本概念较抽象,这使得学生无法从简单的教材图片中想象复杂的流动过程,更难谈及“透过现象看本质”。虽然当前课程数学大量采用多媒体技术(图片、动画乃至影像资料),但没有实验体系支撑的纯理论教学依然无法真正摆脱“灌注”式的教学模式。

(三) 部分教学内容陈旧,符合时代发展要求的新内容未及时充分引入课程教学

流体力学通常的研究方法包括理论分析、物理实验和经验公式。理论分析以理论公式为主,物理实验为解释基本流体力学问题的实物模型实验,经验公式为基于理论公式和物理实验而建立的针对实际流体力学问题的经验估算方法。这3种研究方法是传统流体力学教学中的重点内容,但在面对实际复杂工程问题时,尤其是局部细节优化方面,传统手段往往难以做出准确预估,甚至预

估错误。该类问题适合用符合时代发展要求的数字化建模与仿真技术解决,然而这部分教学内容未及时引入课堂教学。

二、教学改革

(一) 计算流体力学

数字化建模与仿真手段是基于计算机虚拟仿真技术发展起来,属于计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)。随着近年来计算机技术的高速发展,数字化建模与仿真技术取得了长足进步,其作为一项多学科交叉的数值模拟分析技术,受到科技界和工程界的重视。以美国福特汽车为例,在引用数字化建模与仿真技术后,新车的开发周期由原来的 36 个月降低为 12~18 个月,开发后期设计修改率减少 50%,原型车制造和实验成本减少 50%,投资收益提高 50%。丰田和马自达等汽车行业也因数字化建模与仿真技术的应用大大受益,减少了实机测试的次数和成本,缩短了开发周期,大大提高投资收益。计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)是数字化建模与仿真手段在流体力学中的应用,属于 CAE 的一部分。借助 CFD 技术,可以得到流场内任意位置的流动细节,包括速度、压力、能量损失、压力脉动、湍动量和漩涡等,从而在流体工程的设计和优化等方面发挥重要作用。CFD 基本思想可以归结为:把原来在时域及空间域上连续的物理量的场,如速度场和压力场,用一系列有限个离散点上变量的集合来代替,通过一定的原则和方式建立起关于这些离散点上场变量之间的代数方程组,然后求解代数方程组以获得场变量的近似值。

目前,诸多企业和科研院所大量应用 CFD 技术进行生产实际分析,并将这些技术视为产品开发的重要工具,在美的、格力等大型企业甚至已经把 CFD 技术当做产品创新驱动的源泉之一,因此,CFD 分析计算及优化设计已成为流体分析工程师必须掌握的技术之一。目前已经有高校在课堂教学中引入 CFD 以加深对流体力学理论知识的验证和引申,使教材理论与相关工程实际相结合,但是在流体力学数值仿真人才培养方面与企业的需求仍存在一定的不足。从近期各企业对流体力学工程师大量招聘需求信息看出,流体力学人才培养不能较好的满足现阶段的产业人才新需求,这要求高校必须尽快基于产业导向,将数字化建模和仿真技术纳入到工程流体力学课程教学改革中。

(二) 教学改革探索与实践

以应用型本科高校仲恺农业工程学院工程流体力学课程为改革对象,基于产业导向,通过在教学过程中引入 CFD 数值仿真技术,一方面,使学生理论联系实际,提升数字化建模与仿真能力;另一方面,在 CFD 数值仿真过程中,涉及流体计算模型的选择(如拉格朗日/欧拉描述、定常/非定常、层流/湍流、单相流/多相流),边界条件的赋予(如速度、压力),流场信息后处理(如速度场、压力场、涡量),流场优化(如以减少流动损失为目的、以减小阻力为目的)等方面,这又可以使学生进一步巩固流体力学理论知识。在教学过程中通过由浅入深的工程实例分析解决生产实际遇到的问题,充分调动学生的积极性,使学生掌握 CFD 数值分析方法,拓宽知识面,加强教学与工程应用之间的有机结合。本次教学改革实践采用 CFD 仿真“三层次”教学方法,将 CFD 数值实验划分为由浅入深的 3 个层次,分别为基础概念解释实验、基本物理现象实验和综合扩展应用实验。这 3 个层次复杂程度依次递进,有机联系又相互区别,可分别满足不同教学阶段的需求。图 1 为 CFD 仿真“三层次”教学实践示意图。

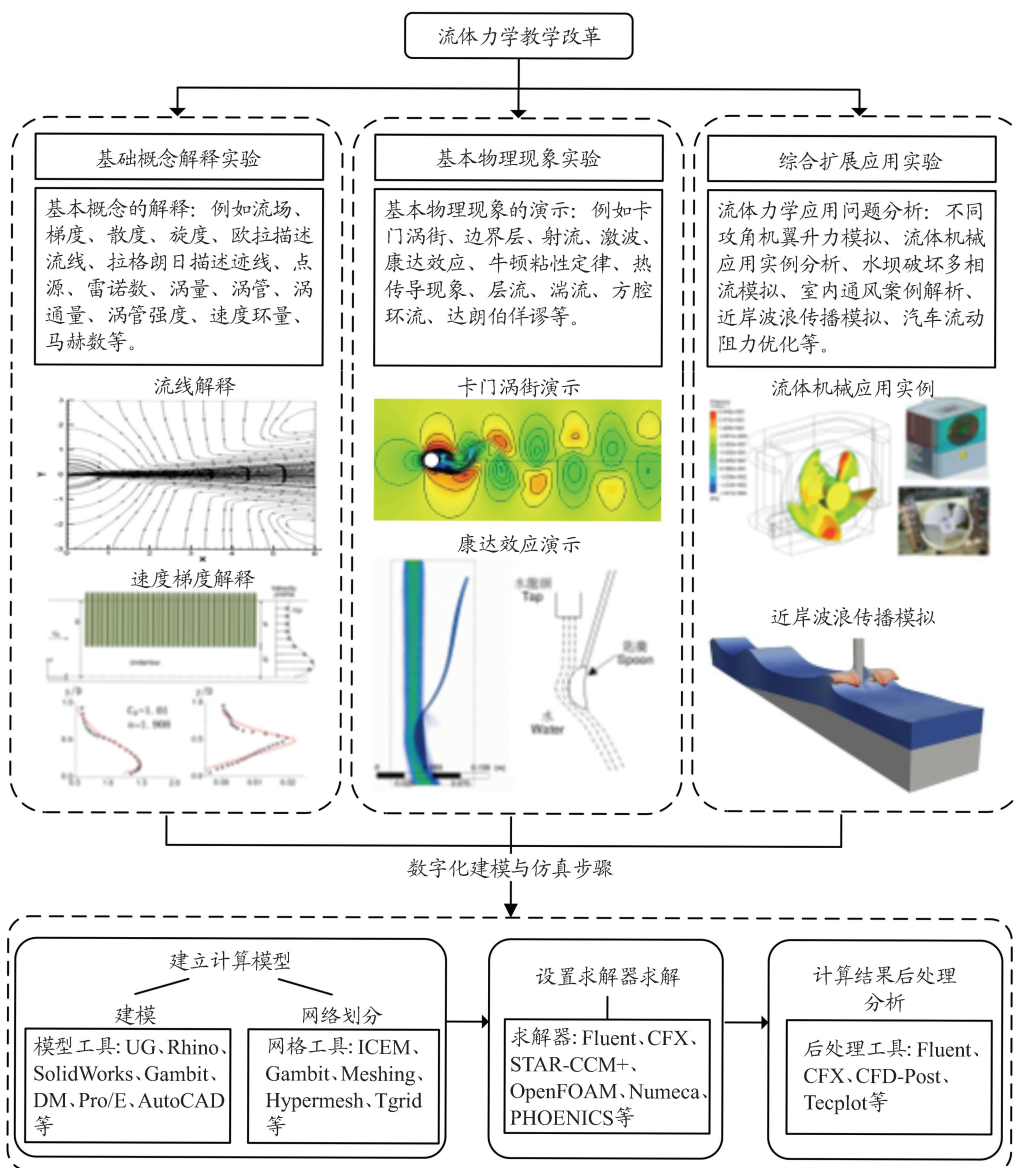


图1 CFD仿真“多层次”教学实践

1. 基础概念解释实验

该部分为流体力学课程基本概念解释,例如流场、梯度、散度、旋度、欧拉描述流线、拉格朗日描述迹线、点源、雷诺数、涡量、涡管、涡通量、涡管强度、速度环量和马赫数等。这种基础演示实验具有建模简单、计算过程用时短等便于课堂教学的特点,演示实验能在课堂上直接完成模型和仿真计算,这既能够帮助学生加深流体力学基本概念理解,又能够使学生对软件的使用有初步了解。

2. 基本物理现象实验

该部分为流体力学课程基本物理现象演示,例如卡门涡街、边界层、射流、激波、康达效应、牛顿粘性定律、热传导现象、层流、湍流、方腔环流和达朗伯佯谬等。这种基本物理现象实验与基础概念解释实验相比,建模更复杂,计算耗时更长,因此,教师在课下完成建模和计算,课堂主要介绍建模过程及原理,重点分析数值计算结果,具体仿真过程由学生课下或在上机实验中完成。该阶段有助于学生理解流体力学基本物理现象,认识流体力学基本物理规律,使得学生能掌握一定程度的数值建模和仿真手段,为综合扩展应用实验奠定基础。

3. 综合扩展应用实验

该部分为流体力学知识在工程中的实际应用案例分析,例如不同攻角机翼升力模拟、流体机械应用实例分析、水坝破坏多相流模拟、室内通风案例解析、近岸波浪传播模拟和汽车流动阻力优化等。该部分数值实验课程建立在前两部分实验课程的基础上,不仅能进一步提高学生的数字化建模和仿真能力,而且在课程设计上具有独特的效果。

细分工程案例,根据不同专业学生调整课程实验设置。仲恺农业工程学院涉及流体力学课程的专业包括给排水科学与工程、土木工程专业和能源与动力课程等。考虑到不同的专业涉及到的未来产业方向是有所区别的,课程中根据学生的专业类别进行工程案例细分,实现课程中工程案例与专业的精准对接。例如给排水科学与工程专业可讲解水坝破坏多相流模拟、管道阻力优化设计和污染物浓度扩散等工程案例,土木工程专业可讲解近岸波浪传播模拟、阶梯式溢流面水力特性规律研究和水流对桥墩影响的数值模拟分析等,能源与动力课程专业可讲解不同攻角机翼升力模拟、流体机械应用实例分析和室内通风案例解析等工程案例。由于 CFD 应用范围较广,不同产业对 CFD 的要求也不尽相同,有的强调复杂模型的建模能力,有的更强调仿真分析和编程能力,因此,不同专业学生通过细分工程案例的学习,可以强化自身在数字化建模与仿真某些特定模块的能力,从而为今后从事的相关行业奠定知识基础。

建立开放式实验,改革课程考核机制,培养自主设计能力。目前,工程流体力学教学多采用传统的考试方法,考试命题常拘泥于书本,记忆多,理解少,知识的应用更少,忽略了对学生综合能力的考核。以单纯检验知识掌握程度为标准,学生平时不学习,考试前“突击”,做几个典型题,也可能考出好成绩,但考完即忘,无法打下扎实的基础。开放式实验设计的目的就是让学生在平时课程中根据自身兴趣和未来从事工作方向,自主选择典型工程应用实例,自己动手查找和收集资料,建立系统模型,最后完成计算和分析。在这个过程中,学生有机会运用仿真工具进行设计,巩固所学专业知 识,同时也培养了学生的自主设计能力,避免学生学习缺乏主动性,忽略对知识的全面理解和融会贯通。同时该开放式实验的建立有利于全面考核学生的综合素质,进一步鼓励思维活跃、求学好问和注重实际应用的学生得高分,从而避免出现学习方法僵硬、善于死记硬背的“高分低能”现象。

邀请行业专家走入课堂,为学生讲解企业的人才需求导向。在完成工程应用实例课堂讲授后,学生虽然掌握了工程实例的分析,但是由于并未深入企业科研一线,对企业的人才需求较模糊。课程教学团队教师拥有丰富的企业研发经历,以文章第一作者为例,该教师有 3 年在中国家电制造龙头企业美的集团从事产品基础与应用研发工作经历,从最初的先行研究工程师升任为最年轻一批的先行研究主任工程师,达到企业中流体技术专家级别。在负责新入职员工流体技术培训时,该教师深刻认识到企业的人才需求与高校人才培养衔接存在不少问题。通过邀请经验丰富的行业专家走进课堂,为学生讲解企业中的实际工程问题、企业目前的前沿科研成果、企业面临的技术瓶颈和企业中流体技术上下游专业分工合作情况,让学生能够以产业目标需求为导向,在课程中有目的的学习和吸纳知识,学以致用,最终掌握流体力学数值分析方法的学生能更好地跟进企业工作并提高就业质量,避免培养出“只懂高大上理论,不会贴实际设计”的人才现象。

三、课堂建设成效

(一) CFD 数值仿真实验与传统流体力学课程的结合性提升

在将 CFD 数值仿真实验应用到传统流体力学课程的实践中,容易出现结合不理想的情况,而造

成这方面的原因包括课程设置不合理、工程仿真案例挑选不合理和学生课后自主学习安排不理想等。由于二者的结合不理想,未能做到相辅相成,学生容易把数值分析手段当成额外的课程负担,未能意识到数字化建模与仿真能力的培养能带来的有益价值。项目采用的 CFD 仿真“多层次”教学方法,根据理论课程进展,由浅入深将 CFD 仿真案例结合进理论教学,形成二者的有益互补结合。课程在学校人才培养和专业建设上起着承上启下的作用,因此,其良好建设也进一步推动后续其他专业课程的学习,进而促进了人才培养质量的提升。课程教学团队近几年平均每年承担约 13 个班级(每班约 30~35 人)的教学任务,每年为社会输送相关专业人才约 400 人。课程结束后,学生教学评价均分在 90 分以上,达到学校优秀水平。

(二) 流体力学课程人才培养和产业需求的适配性提升

当前流体力学课程教学存在的问题是不能较好地将课程理论融入实践。企业往往需要组织行业专家对应届毕业生进行重新培训,这将花费企业不少人力和财力成本。由于高校培养的 CFD 数值仿真人才与企业的需求存在脱钩现象,使得企业不能靠自身力量来解决一些关键流体力学问题,只能求助于科研院所或者高校专家甚至放弃研究,这给产品开发和创新带来了诸多不利因素。本教学改革通过在综合扩展工程实验中根据不同专业学生细分工程案例来强化自身在数值化建模与仿真某些特定模块的能力,建立开放式实验和改革课程考核机制来培养学生的自主设计能力和自主创新能力,引进行业专家走入课堂使学生能及时掌握企业的人才需求导向从而能够在课程中有目的的学习和吸纳知识,达到学以致用目的,最终切实提升流体力学课程人才培养和产业需求的适配性。由于与产业适配性的提升,这也一定程度上促进了学习过该课程的学生前几年就业率接近 100%,2020 年疫情期间学生就业率超过 90%,培养的人才深受珠三角地区企业好评。

四、结语

以仲恺农业工程学院工程流体力学课程为教学改革对象,引入数字化建模与仿真教学,使学生在流体力学理论学习过程中能更好地联系工程实际。基于 CFD 仿真“多层次”教学方法,并结合由浅入深的工程实例,可培养学生分析解决问题的能力,从而充分调动学生的主观能动性。在以学生为中心的教学改革实践中,通过提升学生的工程实践能力,一方面有助于提升学生毕业后的整体就业率,另一方面也为国家经济发展提供与产业对口的更多高素质专业人才,继而推动中国产业进一步转型升级。

工程流体力学数字化建模与仿真人才培养过程中,不能完全把重心放在数值模拟能力的训练提升上。数值模拟能力的培养是基础理论教学的辅助手段,其重要作用在于一方面使得学生能够理论联系实际,解决实际问题,另一方面通过可视化的建模分析过程达到强化理解理论知识的目标。以工程实际中常见的外流圆柱扰流为例,圆柱所受理论阻力可分为摩擦阻力和压差阻力,其中,摩擦阻力由流体的粘滞性引起,而压差阻力由边界层的分离引发的低压尾涡引起。在 CFD 模拟时,依据理论知识,可发现不同雷诺数下,低压尾涡区在不断变化。同时,基于理论知识对圆柱面进行积分,可得到摩擦阻力和压差阻力的具体分配随雷诺数的变化结论。在对总阻力进行分析时发现,总阻力是振荡的,通过流场信息显示,这是由于圆柱后尾涡交替甩出,形成了卡门涡街。在进行阻力优化时,可以理论知识为指引,在不同雷诺数下判断哪个分力贡献大,从而采取不同的减阻策略。总的来说,在数值模拟教学中,要不断强化基础理论知识。学生掌握深厚的基础理论知识后,在解决实际问题时,尤其是挑战性较大的多物理流动问题时,能够以理论知识为指引,透过 CFD 展示的基础流动现象看到问题的本质,进而根据需要进一步处理,可对 CFD 工具进行二次开发,达到

创新目的。

致谢

感谢美的集团首席工程师游斌博士(流体力学教授级高工)、产品经理马列、流体技术专家蔡序杰博士对仲恺农业工程学院的流体力学人才培养做出的积极贡献和提出的宝贵建议。

参考文献:

- [1] 国家中长期教育改革和发展规划纲要工作小组办公室. 国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年) [EB/OL]. (2010-07-29) [2021-12-25]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A01/s7048/201007/t20100729_171904.html.
- [2] 教育部. 教育部关于狠抓新时代全国高等学校本科教育工作会议精神落实的通知[EB/OL]. (2018-08-27) [2021-12-25]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201809/t20180903_347079.html.
- [3] 新华社. 中共中央、国务院印发《中国教育现代化2035》[N/OL]. 人民日报, 2019-2-24 [2021-12-26] <http://cpc.people.com.cn/n1/2019/0224/c419242-30898683.html>.
- [4] Chryssolouris G, Mavrikios D, Papakostas N, et al. Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2009, 223(5): 451-462.
- [5] Negahban A, Smith J S. Simulation for manufacturing system design and operation: literature review and analysis[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2014, 33(2): 241-261.
- [6] Mourtzis D, Papakostas N, Mavrikios D, et al. The role of simulation in digital manufacturing: applications and outlook[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2015, 28(1): 3-24.
- [7] 张霖, 周龙飞. 制造中的建模仿真技术[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(6): 1997-2012.

Research on talent training mode of digital modeling and simulation based on industry orientation: a case of engineering fluid mechanics teaching

CHEN Xuebin, ZHUO Xianrong, LI Xuemei, LI Jincheng

(School of Urban and Rural Construction, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, P. R. China)

Abstract: China's Education Modernization 2035 focuses on the explicit problems and weak parts in education, and points out that it is necessary to strengthen the connection and integration of education and industrial development, and enrich and innovate curriculum forms. Digital modeling and simulation are the key content in the training of information technology ability, and the cultivation quality is of great significance to the teaching reform in universities. At present, application-oriented universities can not well meet the needs of enterprises in the cultivation of digital modeling and simulation. This requires universities to carry out industry-oriented teaching reform in curriculum contents. Engineering fluid mechanics is a school-level excellent course in Zhongkai University of Agriculture and Engineering, which plays an important role in improving the quality of talent cultivation. The teaching team actively uses modern information technology by introducing a three-level teaching method with computational fluid dynamics (CFD) simulation. The curriculum reform lays a foundation for further improving the adaptability of courses to industry needs by leading students to operate various engineering applications from simple cases to complex cases.

Key words: engineering fluid mechanics; curriculum reform; digital modeling and simulation; industry-oriented

(责任编辑 邓云)