doi:10. 11835/j. issn. 1005-2909. 2024. 04. 010

欢迎按以下格式引用:陈磊磊,李嘉琪,顾成军,等. 新工科背景下材料力学教学体系探索与实践——以土木交通大类专业为例[J]. 高等建筑教育,2024,33(4):76-83.

新工科背景下材料力学教学体系探索与实践
——以土木交通大类专业为例

陈磊磊[a], 李嘉琪[a], 顾成军[b], 姜益军[b], 刘建勋[b]

(东南大学 a.交通学院;b.土木工程学院,江苏 南京　211189)

摘要:新工科背景下,工科专业的培养目标和方式不断发生变革,高校肩负着培养高素质复合型新工科人才的使命,课程成为教学改革的重要落脚点。材料力学作为工科专业的基础课程,在培养创新型工程技术人才方面具有重要意义,其课程教学改革势在必行。教学团队分析了材料力学课程的教学现状,针对课程强理论性、逻辑性、工程实践性等特征,课程教学中存在的教学内容枯燥、推导过程抽象、评价体系生硬等问题,以OBE(Outcome Based Education)理念为基础,充分利用信息化资源优势,在课程教学内容、讲授方式、考核方式等方面进行了创新探索,提出了"Interest+Understand+Application"的创新教学体系(简称为"IUA"创新教学体系),旨在提升学生学习兴趣、深化学生内容理解、强化学生知识应用。东南大学土木交通大类专业对该教学体系进行了实践,包括引入工程案例、利用校内及在线资源丰富课堂形式、改进课程评价方式等。通过评估学生课堂满意度调查、学生知识掌握能力、学生课外实践成果等,证明了该教学体系改革成效显著。

关键词:材料力学;课程教学;课程评价;教学体系

中图分类号:G642　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1005-2909(2024)04-0076-08

我国正处于从制造大国向制造强国转型的关键阶段,以主动适应新一轮科技革命和产业变革的要求,支撑服务创新驱动发展。自2017年2月以来,教育部积极推进新工科建设[1-2]。新工科的提出,为建设教育强国注入了新的引领力量,也赋予了高校培养新型科技创新领军人才的重要使命。对于高校而言,新工科是基于服务国家发展战略新需求、应对国际竞争新形势、贯彻立德树人新任务而提出的深化工程教育的改革新方向[3],"教""育"并重,培养德才兼备的新型工程师逐渐成为高校工科的培养目标[4]。课程是人才培养的核心要素,课程质量直接影响着学生的发展[5],因此,推进高等教育创新、深化教育教学改革、全面提高教学质量,需以课程体系改革作为重要落脚点。

修回日期:2023-06-16

基金项目:江苏省学位与研究生教育教学改革课题(JGKT23_C003)

作者简介:陈磊磊(1985—),男,东南大学交通学院副教授,博士,主要从事交通基础设施数字孪生研究,(E-mail)chenleilei@seu.edu.cn。

材料力学是土木交通类专业学生直接面向工程设计的重要技术基础课程。在新工科背景下，该课程不仅需要传授学生基础力学理论知识和培养学生解决力学问题能力，而且需要创新教学模式，重视课程的学科交叉和学生工程力学素质的提高，使教学目标具体化、教学内容时代化、教学方法多样化。本文从课程教学内容、教学方法、考核方式等多方面对材料力学课程教学体系进行全面探索与实践。通过多元化的教学改革，提高学生学习兴趣，培养学生多学科交叉融合、研究及创新能力，为高素质复合型的新工科人才培养奠定坚实基础。

一、材料力学教学现状

作为一门工科专业必修的学科基础课，材料力学课程为结构的合理设计提供强度、刚度和稳定性分析的基本理论和方法。该课程具有很强的理论性和逻辑性[6]，其研究内容为线弹性小变形构件，分析模型建立时引入了诸多假设，分析过程中存在较多忽略不计的近似处理方法，推导的结论需要进一步验证可靠性。课程内容包括基本变形、应力应变分析、强度理论、压杆稳定、组合变形等各种问题，受力与变形公式多样，难以用统一的理论概括，学生理解记忆难度大。此外，材料力学还具有很强的工程实践性[6]，课程内容所研究的力学模型均为实际工程的抽象简化，学生应当通过课程学习加强理论与实践的联系，提高发现和解决工程实际问题的能力，以满足新工科背景下社会对复合型创新人才的需求。课程本身的专业性、强理论性和逻辑性往往会导致学生对教学内容缺乏兴趣，而以教师课堂讲授为主的“填鸭式”授课模式可能使问题更突出。长期以来，材料力学的教学过程都存在如下难题。

（一）教学内容枯燥，学生缺乏兴趣

传统的教学过程围绕教材中的理论公式和例题展开，这种固定的教学内容和单一的讲授方式易导致学生对课程缺乏兴趣，特别是材料力学课程定理和公式内容众多，理论抽象和计算公式繁杂使枯燥的教学更加索然无味。同时，材料力学课程知识点之间衔接紧密，上个知识点的掌握程度可能决定下个知识点的理解难度，很多学生在学习过程中存在“一鼓作气，再而衰，三而竭”的现象，缺乏继续学习的兴趣与动力，往往只想依靠老师总结知识点、作业照猫画虎，缺乏学习主动性。因此，在教学过程中要采用多元化的教学形式，提高学生的学习兴趣和学习主动性。

（二）推导过程抽象，学生理解困难

作为一门基础力学课程，材料力学包含大量抽象的理论推导内容，一定程度上考验学生的计算能力和逻辑能力，并且教材中内容较多，按照课本循规蹈矩式的教学方式往往无法有效串联各个知识点。面对知识点较多的章节时，学生呈现出难以把握内容重点，学了新内容忘记旧内容的现象。传统的材料力学教学大多遵循教材结构安排，围绕“拉扭弯剪”四种基本变形展开。这种方式虽然便于教学内容的组织，但是无形中割裂了学生的认知。碎片化的认知不利于学生整体知识结构体系的构建。因此，在教学过程中既要重视教材内容，又要注意知识结构和框架的及时梳理。以基本理论、概念和计算方法的掌握为血肉，以杆件的强度、刚度、稳定性的知识框架导图为骨骼，帮助学生全面掌握材料力学内容、深化理解材料力学的内涵。

（三）评价体系生硬，学生死记硬背

材料力学作为一门与实际工程联系紧密的学科，学生如何将理论知识转化为能力应用于工程实践是十分关键的。目前，以考试为主的评价方式导致学生过分注重概念、公式和解题技巧等，而忽略对问题的深入探索和实践动手能力培养。学生在日常学习中缺乏积极性，往往仅通过期末考试前的死记硬背来获得高分，对课程的深层学习意义和广泛应用领域知之甚少。实际上，工程问题

千差万别，现有的理论体系只是对工程问题的一种简化。虽然单一的课程考核方式能够短期内提高学生的理论掌握和公式计算能力，但是在深化学生对理论知识的理解和应用，培养学生创新实践能力等方面效果有限。因此，在学习过程中必须将理论知识与工程案例有机结合，以实践引领理论学习是提升教学效果的关键。

二、创新教学体系理念

（一）新工科背景下人才发展需求

新工科建设是近年来我国高等教育人才培养面向未来、主动求变、影响最大、范围最广的改革之一，是构建具有中国特色、世界水平的工程教育体系的有力推手[7]。与传统工科相比，面向未来新经济发展的新工科更加强调学科的实用性、延续性、交叉性、综合性。新工科人才应当具备较强的实践能力、创新能力和国际竞争力，是具有学科交叉融合特征的高素质复合型人才。除了在技术上要求卓越，新工科人才还应当兼具深厚的家国情怀和人文素养，成为能够担当民族复兴大任的卓越工程师。因此，新工科背景下的课程建设应当紧密围绕人才培养目标，注重课程体系通专融合，及时将科技发展的最新成果引入课堂教学，体现课程知识的前沿性、广阔性[8]。同时，积极利用信息技术手段进行教学方法的改革创新，运用探究式教学、混合式学习等多元化教学方式，引导学生加大学习投入，挖掘学生科研潜能，增强学生掌握知识的成就感。

（二）基于OBE理念的教学模式

新工科背景下，如何创新教学体系、提高学生的学习兴趣和主动性、培养学生的实践创新能力和工程力学素养已成为材料力学课程改革亟待解决的问题。兴起于20世纪90年代的OBE教学理念（Outcome Based Education，成果导向教育或目标导向教育）为此提供了解决方案。该理念教学提倡成果的实用性，强调成果不仅是学生所知、所了解的内容，而且包括能应用于实际的能力，要求学生从解决固有答案问题的能力拓展到解决开放问题的能力[9]。OBE理念以学生为中心展开，鼓励通过自主性和探究性的学习方式激发学生的学习兴趣，教师是课堂的引领者而非传统意义上的知识传授者，课程的实施应由学生和教师作为主体共同完成。OBE理念以学生学习成果为导向，教育结构和课程体系被视为手段而非目的，强调教学成果应兼顾生活的重要内容和技能，并注重其实用性，否则将成为易忘记的信息和片面的知识[10]。OBE理念以持续改进为重点，鼓励采取多元的评价标准，按照反向设计原则设计课程，分阶段对成果进行评价，从而全面掌握学生的学习效果。

三、“IUA”创新教学体系的构建

东南大学教学团队以OBE理念为基础[9]，结合新工科人才的培养要求，经多年探索实践，提出了“Interest+Understand+Application”的创新教学体系（简称为“IUA”创新教学体系），如图1所示。该体系充分利用信息化的特点及优势，通过多媒体资源展示丰富的工程情境，提升学生对材料力学的学习兴趣与动力、深化学生对基础知识的理解与掌握、强化学生对工程问题的判断和解决能力，落实学生知识、能力、素养三方面培养，提升学生的自我价值和职业责任感，培养适应未来创新挑战的应用型人才。

（一）“抛锚式”课程设计，提升学生学习兴趣（Interest，I）

“哪里没有兴趣，哪里就没有记忆。”要想帮助学生更好更快地掌握知识，兴趣无疑是最好的老师。因此，该体系采用“抛锚式”课程设计，旨在通过构建完整而真实的问题情境，激发学生的学习兴趣和需求，凭借自己的主动学习、生成学习，亲身体验识别目标、提出目标、达到目标的全过程[11]。

根据学生专业特点，通过剪辑影像资料或制作动画资源来创设与教学内容相关的工程情境，并在教学过程中给出线索，让学生去寻找解决问题的方法。一方面，工程情景的创设能够提高学生的学习兴趣，使知识点更自然地引入课堂教学；另一方面，情境能够结合学生专业背景，帮助学生提前熟悉专业内容，埋下科研的种子。同时，引导学生将实际工程问题简化为力学模型，理论与实践相联系，提高其工程应用能力。以此解决学生缺乏学习兴趣的教学难题。

（二）“启发式”课堂教学，深化学生内容理解（Understand，U）

“学而不思则罔，思而不学则殆。”单纯机械地学习而不去钻研巩固理论、公式、方法的真正含义，就不能合理有效地利用知识，甚至会陷入迷茫。一味地空想，仅激发学生的学习思考兴趣，不进行实实在在的钻研，则易一无所得。因此，课程设计不能只停留在激发学生兴趣层面，还需要引导学生理解知识。本体系采用“先启发+再讲授+后练习”的教学方法：首先，抛出问题引导学生思考解决；其次，充分利用有限元软件动态直观地展示杆件的受拉、受弯、受扭、受剪等变形过程，并引导学生发现变形过程中的力学规律，深化学生对理论知识的理解；最后，进行课堂互动练习，采取分组讨论、学生讲解、思维导图、头脑风暴等方式帮助学生搭建系统的知识体系，培养分析和解决问题的能力。同时，借鉴“翻转课堂”思路，在教学过程中充分依托超星学习通、中国大学MOOC等软件平台，采用“线上+线下”混合的教学组织形式，提升学生学习效率与效果。以此解决学生理解困难的教学难题。

（三）“多维度”课程评价，强化学生知识应用（Application，A）

“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。”仅仅通过教材学习和试卷测验，学生往往难以深入掌握理论知识。为适应新工科人才的培养需求，提高学生将知识转化为实践的能力，还需“躬行”，深入理解知识，巩固教学成果。因此，在课程评价方面，材料力学对学生的考核不仅依据考试成绩，而且采用“多维度”的评价方式，综合评价学生知识掌握程度：一是注重过程性评价，在课堂上设置与教学内容相呼应的力学问题或改变某例题的边界条件等，检验学生主动思考的能力；二是注重综合性评价，布置与课程内容相关的开放式工程问题，拓展学生思维，评价学生对知识的综合掌握能力。根据学生的阶段性评价结果因材施教，找差距、明方向、补短板；三是注重课程反馈，通过制作调查问卷，收集学生对教学内容或资源的反馈，并在此基础上持续改进教学方法，完善教学体系。以此解决学生知识转化不足的教学难题。

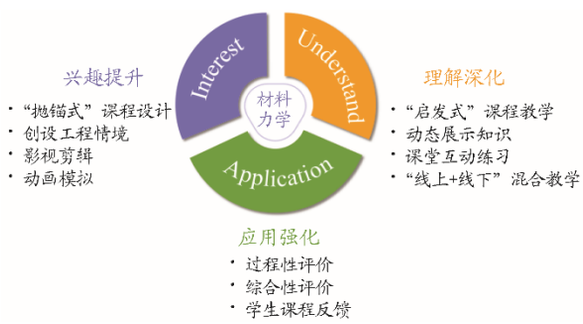


图1　“IUA”创新教学体系

四、“IUA”创新教学体系的实践

国家需要能够将力学基本知识与实际工程有效结合、有较强的工程及结构创新意识、适应新工科要求的土木工程师[12]。根据以上教学设计，东南大学在土木交通类专业学生中对“IUA”创新教学体系进行了具体实践，多措并举，改革与创新了材料力学课堂的教学方式。

（一）引入工程热点事件，提升学生学习兴趣

课程教学内容要有吸引力，才能激发学生的学习兴趣[13]。在讲授具体理论公式之前，应当首先挖掘学生兴趣点。在此基础上，选择合适的多媒体资源用于创设课程情境，使学生能够从“问题”出发，进入主动学习状态。对土木交通大类学生而言，结合其专业分析，学生较为感兴趣的对象应当是典型工程案例，如港珠澳大桥、无锡高架桥侧倾等。因此，课程中采取三维动画或网络视频等，制作相关多媒体教学资源，根据教学内容进一步设计相关问题与线索。例如，在讲述梁的受力与挠度计算时，创设工程情境、设计相关问题作为课堂教学切入点，包括“从材料力学的角度来分析，桥梁是怎样实现千米级跨越的？”“整个桥梁可以如何简化，拉索的受力特征如何？”等问题，再引导学生思考可能的受力情况，带领学生一起探究桥梁模型的简化，从而围绕情境展开课堂知识点的教学，如图2所示。

图2 自制大桥设计分析过程模拟动画

新工科人才的培养不仅应当注重技术和能力的提高，而且应当注重思想品德的培养。课程改革强调新工科与课程思政并举，着力打造通专融合的材料力学教学体系。在工程情境的创设中融入思政元素，落实高校立德树人根本任务，实现育人价值[14]。对土木交通大类专业学生而言，结合具体真实案例进行分析，一方面，能够使思政内容融入专业教学，避免思政与专业课程“两张皮”的现象；另一方面，真实的案例更容易引起学生的情感共鸣，使学生自然地接受思政理念，激励其学习的内生动力。例如，在讲述压杆稳定问题时，将加拿大魁北克大桥失稳事件作为具体实例，引导学生认识到对待工程应当认真谨慎，对待生命应当充满敬畏，如图3所示。青年要担负起身为工程师的责任，强化学生的工程伦理教育。

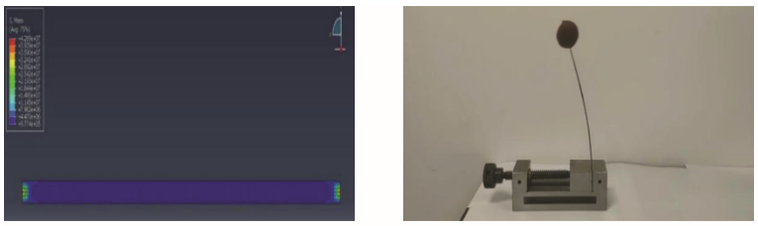
图3 思政元素引入示例——魁北克大桥

（二）丰富课堂教学形式，深化学生知识理解

对于力学理论中较为抽象的概念，可采用多种方式动态展示具体知识，以增加知识的生动性。讲述圣维南原理时，以数值模拟的形式展示，当小梁两端的力系用静力等效力来代替，只改变了区域附近的内力分布，对于远处的影响较小，如图4(a)所示。同时，鼓励学生课后主动探索有限元软件的使用方法，探究圣维南原理的其他表现形式或情况。主动学习总结会带给学生较大的成就感。

讲述杆件稳定性时，通过杆件失稳的互动课堂试验帮助学生直观理解压杆的临界平衡和临界荷载概念，如图4(b)所示。在课程教学中设计一些小型的实验进行课堂互动，教师和学生一起通过实验证明推论，有利于加深学生对知识的印象。

此外，可充分利用学校优势资源，灵活选择上课地点和上课方式。讨论工程实际问题和进行小组展示时，选择配备可活动的桌椅和多块展示屏的智慧教室；进行习题讲解时，鼓励互帮互助和思维发散，既节约时间又能够增强学生的学习兴趣。例如，讲解弯曲应力理论时，带领学生在虚拟实验室测定弯曲梁的正应力及分布规律。在教学课堂之外，充分利用雨课堂等互联网平台和资源，在课前或课后设置与土木交通专业相关的开放性实际问题与工程问题，激发学生探索问题的兴趣，提高学生知识转化能力。



(a)圣维南原理小梁模型　　(b)压杆平衡试验

图4　动态展示理论知识

（三）改进课程评价方式，强化学生知识应用

材料力学的教学目标除了促进学生掌握基本理论和概念，还强调培养学生应用专业知识处理问题的能力[15]。期末考试对学生的学习水平和实践应用能力的判定具有局限性，在实际教学中也应当注重过程性考核，综合评价学生知识掌握程度。为检验教学效果，在课程考核中设置了过程性评价和综合性评价两个维度。在过程性评价方面，通过平时作业、试验考核、案例分析、课堂互动等方式，检验学生的学习效果。例如，在知识点教学前后，分别对同一问题展开讨论互动，检验学生的知识掌握程度。在教学前引入独柱墩桥面板的开裂问题，讲述弯曲正应力的相关知识点，再启发学生运用所学知识解决该问题，如图5所示。前后呼应的教学方式，不仅能进行过程性评价，而且能提高学生的课堂参与度和积极性。在综合性评估方面，除了根据测验与考试对学生的知识掌握能力进行评估，还鼓励学生参与各类竞赛或创新训练项目，检验其解决实际问题的能力。为使课程体系能够不断进步完善，同步设计了课程评价问卷。学生完成本学期教学任务后可对课程进行评价打分，打分内容包含两部分：一是学生对课程内容、考核方式、教师表现等方面的满意程度；二是学生自身的知识掌握程度等。教师根据每位学生的反馈意见寻找不足之处，不断完善教学体系。

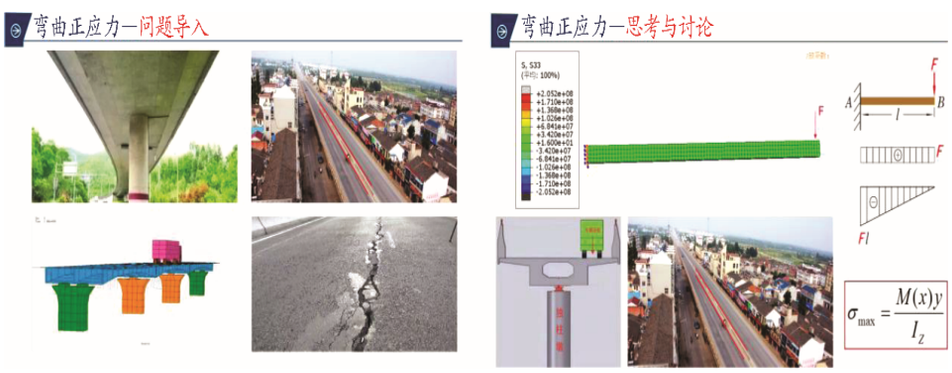


图5　基于前后呼应问题设置的过程性评估

五、“IUA”创新教学体系的成效

材料力学课程的创新教学已应用于8个土木交通大类班级，选课学生近400人。教学内容趣味性的增加调动了学生上课的积极性，学生线上平台的总体参与度提高了40%。同时，采用动画模拟、课堂讨论、线上练习、思维拓展等丰富多样教学方式，加深了学生对知识的理解，学生期末考试卷面平均成绩提高了12.2%。创新的教学体系改变了学生对材料力学课程的认知。根据问卷调查的反馈结果显示，课程成效明显，学生对知识掌握程度的评价多集中在“对材料力学基本概念和方法有明确认识”“能够分析计算材料强度、刚度、稳定性”“具备分析力学问题的能力”等；学生对课程整体的评价多集中在“课堂氛围活跃”“老师讲解生动”“课程与专业联系紧密”“教学方式合理”等。同时，通过加强课程的过程性评价和综合性评价，学生整体创新意识和分析处理问题能力明显提升，相关力学竞赛报名人数由52人提高至65人，提高了24%。学生多次获得省部级以上奖项，包括国际大学生工程力学竞赛团队赛一等奖、江苏省力学青年创新创业大赛一等奖等。综上所述，基于OBE理念提出的“IUA”创新教学体系在土木交通大类的教学过程中，有助于学生的快速掌握和深入理解知识，取得了“润物细无声”的育人成效，值得进一步推广应用。

六、结语

材料力学是一门与实际工程联系紧密的基础学科，本文结合新工科的培养目标，探讨了材料力学教学现状，从课程教学现阶段存在的问题入手，以OBE理念为基础，利用信息时代丰富的多媒体资源对材料力学课程教学方法进行了创新探讨，提出了基于“Interest+Understand+Application”的创新教学体系。结果表明，在教学内容方面，教学内容应更紧密地结合实际工程案例，以问题导向的方式进行教学，提高学生的学习兴趣，同时在工程案例中融入思政教育，教导学生担负起工程师的责任；在课堂形式方面，要充分利用多媒体资源，如试验视频、有限元软件等动态展示知识，通过学习软件实现“线下+线上”混合教学，丰富课堂教学形式，加深学生对知识的理解；在课程评价方面，过程性考评与综合性考评并行，鼓励学生参与课堂互动、参加相关竞赛等，培养学生知识转化能力，为后续专业课程的学习和高素质复合型新工科人才的培养打下坚实基础。

参考文献：

[1] 汪振华，袁军堂，乔莉. “新工科”背景下高等教育机械类专业课程教学方法探讨[J]. 高教学刊，2021，7(14)：100-103.
[2] 杨凤，刘军，吴旻. 新工科背景下土木工程专业“材料力学”的教学改革与实践研究[J]. 东华理工大学学报(社会科学版)，2021，40(3)：285-288.
[3] 罗文斌，晁自胜，范金成. 新工科背景下《材料现代研究方法与测试技术》课程体系建设实践与探索[J]. 高分子通报，2022(8)：111-115.
[4] 武鹤，孙绪杰，杨扬，等. 面向“新工科”的智慧建筑学院土木工程专业人才培养研究与实践[J]. 高等建筑教育，2021，30(1)：10-16.
[5] 段淑倩，时刚，闫长斌，等. 新工科与双一流建设背景下隧道工程课程智慧教学改革探索[J]. 高等建筑教育，2020，29(6)：30-39.
[6] 范钦珊，殷雅俊，唐静静，等. 改革教学，创新教学——“材料力学”课程教学改革实践与体会[J]. 力学与实践，2018，40(5)：543-549.
[7] 王世斌，顾雨竹，郝海霞. 新工科教育创新发展的三维度结构解析[J]. 中国高教研究，2019(10)：68-74.
[8] 刘维尚，袁丽. 新工科人才培养模式探索[J]. 中国高等教育，2021(2)：13-15.
[9] 李彦龙，杜书廷. 基于OBE理念的地方高校应用型课程建设——以基础工程课程为例[J]. 高等建筑教育，2020，29(3)：128-135.

[10] 于敏,缑瑞宾,但文蛟,等. OBE导向下专业基础课程知识体系重构方法研究——以“材料力学”课程为例[J]. 浙江水利水电学院学报,2021,33(5):84-86.
[11] 顾建民,沈其娟. 以教促学 推进课堂教学改革[J]. 中国高等教育,2013(S2):48-49,65.
[12] 宋宜祥,黄达,王玲. 面向新工科的“土木工程施工”课程教学改革与实践[J]. 居业,2021,13(9):136-137.
[13] 孙晓辉,苏栋,姬凤玲. 土力学课程教学中的趣味性、启发性及思政融入型教学实践[J]. 高等建筑教育,2021,30(6):93-99.
[14] 蒋水华,夏陈玮,章浩龙,等. 土力学课程思政教学方法探索[J]. 高等建筑教育,2021,30(6):81-86.
[15] 董侨,陈雪琴. 培养独立创新能力的工程学科研究生教育——美国土木与交通工程专业研究生课程设置思考[J]. 高等建筑教育,2021,30(4):31-37.

Exploration and practice of teaching system of materials mechanics under the background of emerging engineering education

CHEN Leilei[a], LI Jiaqi[a], GU Chengjun[b], JIANG Yijun[b], LIU Jianxun[b]

(*a. School of Transportation*; *b. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, P. R. China*)

Abstract: Under the background of emerging engineering education, the training objectives and methods of engineering majors are constantly changing. Colleges and universities are entrusted with the mission of cultivating high-quality compound emerging engineering education talents. Curriculum becomes an important foothold of teaching reform. Material mechanics, serving as a foundational course within engineering disciplines, plays a pivotal role in the cultivation of innovative engineering professionals, and it is imperative to reform the course teaching. The teaching team analyzes the current teaching situation of materials mechanics, such as deeper theory, logic and engineering practice of the course itself, as well as problems existing in the course teaching such as uninspiring content, incomprehensible derivation process and rigid evaluation system. Based on the concept of outcome based education(OBE), the teaching team leverages the wealth of informational resources to explore the course content, teaching methods and assessment methods, and proposes the innovative teaching system of interest+understand+application (IUA). This system is designed to amplify student engagement, enrich comprehension of the material, and bolster the application of theoretical knowledge in practical contexts. The teaching of civil engineering and transportation in Southeast University is used as an example for practical research, by introducing engineering cases, enriching the classroom form by using internal and network resources and improving the course evaluation method. The effectiveness of the reform is tested through the survey of students' classroom satisfaction, students' knowledge mastery ability, and students' extracurricular practice results.

Key words: material mechanics; course teaching; course evaluation; teaching system

(责任编辑　代小进)