

新工科背景下材料力学课程教学改革与实践¹⁾

韩铁林²⁾ 马凯 胡义锋 王砚

(西安理工大学土木建筑工程学院, 西安 710048)

摘要 材料力学作为一门能解决工程实际问题的独立学科, 在机械、航空航天等工科专业的基础课与专业课间起桥梁作用, 也是后续力学课程的理论基础。本文通过分析材料力学课程的特点与现状, 针对现行教学中存在的问题, 提出课程教学方法的改革方案与研究思路, 并从课堂理论教学和实验教学两方面进行了探讨。同时讨论了如何加强实验教学和理论教学的有机结合、完善考核制度和课程达成度等, 以期达到提高教学质量、培养新工科背景下高素质创新型人才的目的。

关键词 材料力学, 课堂理论教学, 实验教学, 教学改革, 创新能力

中图分类号: O341 文献标识码: A doi: 10.6052/1000-0879-23-574

TEACHING REFORM AND PRACTICE OF MECHANICS OF MATERIALS COURSES IN THE CONTEXT OF NEW ENGINEERING SCIENCES¹⁾

HAN Tielin²⁾ MA Kai HU Yifeng WANG Yan

(School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract Mechanics of materials, as an independent discipline that can solve practical engineering problems, plays the role as a bridge between the basic courses and professional courses of mechanical, aerospace and other engineering specialties, and is also the theoretical basis for subsequent mechanics courses. This paper analyzes the characteristics and status quo of the mechanics of materials course, and puts forward the reform plan and research ideas of the course teaching method by analyzing the problems existing in the current teaching, and discusses the two aspects of classroom theoretical teaching and experimental teaching. At the same time, it discusses how to strengthen the organic combination of experimental teaching and theoretical teaching, the improvement of the assessment system and the degree of achievement of the course, etc., with a view to improving the quality of teaching and cultivating high-quality and innovative talents in the context of new engineering disciplines.

Keywords mechanics of materials, classroom theory teaching, laboratory teaching, teaching reform, innovative ability

材料力学是高等学校工科学生的一门重要的专业技术基础课, 也是与工程实际紧密结合的、为其设计提供必要理论支撑的基础课之一, 具有很强的工程实践性, 在航空航天、土木、机械和力学等工程技术领域有着广泛的应用^[1]。它既是

后续本科专业课程学习的奠基石, 又可作为一门具有完整体系的独立学科用以解决工程实际问题^[2]。材料力学课程的学习对本科阶段的学生在力学知识的储备上起到了基础作用, 同时也培养了其分析和解决实际工程问题的能力。

2023-11-10 收到第 1 稿, 2024-03-21 收到修改稿。

1) 陕西省自然科学基金(2021JQ-463)、省级教改一般项目(23BY050)和国家自然科学基金(11302167)项目资助。

2) 韩铁林, 博士, 副教授, 研究方向为岩石断裂力学、冻融损伤及风化效应, 微胶囊自修复混凝土。E-mail: s3050210133@163.com

引用格式: 韩铁林, 马凯, 胡义锋等. 新工科背景下材料力学课程教学改革与实践. 力学与实践, 2024, 46(5): 1096-1107

Han Tielin, Ma Kai, Hu Yifeng, et al. Teaching reform and practice of mechanics of materials courses in the context of new engineering sciences. *Mechanics in Engineering*, 2024, 46(5): 1096-1107

材料力学分为课堂理论教学和实验教学两部分。由于其概念和公式推导多、知识点繁琐、逻辑推导性强、难以展开阐述，加之学生空间想象力差难以理解，易使学生学习过程中感到枯燥，这就对材料力学的教学方法提出了新的挑战。实验教学是高等工科院校整个教学内容中极其重要的组成部分，它在加深学生对理论概念和基本假设的理解，巩固学生理论知识，提高学生操作能力和增强学生工程意识等方面都具有十分重要的意义。

然而，材料力学教学总体上存在学生理解程度不够、概念和计算方法容易混淆、没有独立做题思路、考试成绩不理想等问题。针对上述这些问题，本文开展材料力学的理论教学和实验教学的改革与研究；同时，探讨如何加强理论教学和实验教学的有机结合，及如何改革考核制度等。以期达到激发学生学习力学的兴趣，提高教学质量，助力新工科背景下高素质创新型人才培养的目标。

1 材料力学课程的特点

为积极应对新一轮科技革命和产业变革的需要，在新工科背景下，更新人才培养理念，逐步改进人才的培养模式，专业课的教学改革势在必行。材料力学是高等学校工科学生一门重要的专业技术基础课，是与工程实际紧密结合的基础课之一，也是学生培养方案中的核心课程。新工科背景立足高校教育改革，以厚基础、宽口径、强能力和高素质为培养目标，结合新时代工业发展趋势与应用现状，对高校学生的专业知识与素质培养等要求有了明显的提高。同时，在材料力学教学过程中，除了传统理论知识的讲授外，还需加强学生创新能力的培养。因此可以借鉴国内外“跨学科”的教学方式，通过优化教学方法与手段、融入交叉学科的理念、改革考核制度等措施对材料力学的课程教学进行改革与探索。

然而，现有的材料力学教学重理论、轻实践，缺乏对学生创新能力的培养，因此需要改变材料力学传统的教学模式来适应高校教育的改革，以期探索出适应新工科背景下创新型、复合型人才的培养模式。材料力学作为高校学生接触较早的、

能解决工程实际问题的一门重要的专业技术基础课，具有以下几个课程特点。

1.1 逻辑性强与公式推导多

材料力学开设在基础课—高等数学和理论力学之后，涉及高等数学中的基础知识有微积分和微分方程等；涉及理论力学的基础知识有约束和约束力、受力分析与受力图、力系简化理论等，其中，受力分析和一般力系的平衡条件及平衡方程是材料力学求解问题的基础；理论力学主要研究刚体在力作用下的平衡及运动规律，材料力学以变形固体为研究对象，主要研究杆件的承载能力及变形等失效问题。比如，求解杆件内力的截面法，假想沿着所求截面将杆件截开，再通过列平衡方程求解静定杆件的内力。

材料力学主要研究杆件在拉压、剪切、扭转和弯曲工况下的强度、刚度及稳定性问题。其中，涉及衡量强度的物理量——应力，其求解公式推导过程极其繁琐。材料力学以实验为基础，在实验基础上，通过引入平面假设，刻画变形几何条件并辅以材料物理关系及静力平衡条件，经过理论推导得出应力的计算公式。应力公式推导的过程具有较强的逻辑性，这对学生的数理逻辑及理解能力的要求相对较高。

1.2 基础性强

材料力学是工科类本科课程中最为重要的一门专业技术基础课，是后续相关专业课（如结构力学、钢结构、地基基础、混凝土结构设计原理等）的必要基础。结构力学中求解超静定问题时采用的图乘法就基于材料力学中弯矩图的绘制方法；混凝土结构设计中涉及受弯构件承载力计算、截面设计、钢筋配制及选型等均需利用材料力学中弯曲强度和刚度条件来验算混凝土结构的安全性；钢结构利用材料力学中的强度理论对焊缝强度进行计算，等等。另外，材料力学实验在工程中也有广泛的应用，如测试材料的力学性能及残余应力，评定热处理工艺等。上述这些专业课均涉及材料力学中的杆件内力、应力计算、强度等。由此可见，材料力学的基础性较强。

1.3 知识点繁琐

材料力学是被公认的老师难教，学生难学的

一门专业基础课,主要是由于其知识量较大,概念多,且学时有限等。主要涉及的内容有:杆件轴向拉压的强度和变形计算、剪切、扭转的强度和刚度计算、弯曲变形强度、弯曲位移计算、超静定结构求解、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定等。这说明该课程涉及的知识点多,繁琐且关联性不大。例如,梁弯曲变形章节中涉及截面法求弯矩和剪力、正应力和切应力公式推导,位移计算、强度和刚度条件等内容,这些知识点繁琐且多,相互间不关联,这不仅增加了教师授课的难度,而且增加了学生的学习难度,对学生的主动学习能力和理解能力有了更高的要求。

除了上述课程特点外,目前高校为全面提高学生的综合素质、培养学生的创新能力,增加了许多与实际工程紧密联系的课程,从而造成专业基础课的课时大幅度减少,材料力学课程表现出新的课程特点。

(1) 课程学时大幅度减少。课程学时由原来80学时压缩到64或56或48学时,但课程教学大纲要求的授课内容并未减少,这给课堂教学带来了很大挑战,教师很难按时完成教学任务;另外,减少的学时大部分为实验学时,这就弱化了实验教学在加深学生对理论概念理解,及与理论教学相互促进上的积极作用。(2) 小班教学减少,合班增多。随着高考招生规模扩大,授课班级人数逐渐增加,合班教学导致课堂教学效果相对较差。(3) 多媒体教学虽然能够图文并茂,将抽象的理论知识具体化、形象化,有助于学生掌握理论知识,但是如果利用不当则会适得其反,导致学生抓不住重点,严重影响课堂教学的效果。(4) 普遍存在学生对已学高等数学、理论力学课程内容有所遗忘的现象。大部分学生对教师和教材的依赖性较大,他们虽然掌握了一定的理论基础,但基础知识相对薄弱,导致分析解决问题能力较差。

2 材料力学课程亮点

材料力学作为一门注重理论联系实际科学,纵观材料力学课程发展史,其中不乏一些课程亮点,详见如下。

(1) 柯西在解决固体强度问题时提出了应力

概念,从而引入张量的概念。(2) 在求解梁的弯曲应力问题中,经历了多位科学家的不懈努力才最终确立中性层的概念:1638年伽利略提出应力平均分布的观点,没有中性层概念;1686年马略特提出中性层在梁的最下面;1687年胡克指出梁的一侧受拉、一侧受压;1798年吉拉德指出梁凹面受压、凸面受拉;1713年帕朗提出中性层距受拉一侧与梁总高之比为9:11;1773年库伦提出静力学分析的截面法;1826年纳维正确指出了中性层的位置。(3) 求解超静定问题的方法引申讨论。力法正则方程的提出历经麦克斯韦(最早求解过超静定桁架并最早得到力法方程的初步形式)和莫尔(细化了麦克斯韦的工作并确定了力法方程最终的典则形式)两人的努力。(4) 压杆稳定性问题中蕴含(静态)分岔问题(最早被认识的分岔问题)、变分原理的基本思想及运动稳定性理论的基因。以上4点均是材料力学课程中未深入讨论的内容,体现了材料力学作为固体力学入门基础课程的特色。

3 材料力学课程教学现状分析

3.1 课堂理论教学

传统的课堂教学模式以教师讲授知识为中心,教师占绝对主导地位,并未很好起到激发学生在学习兴趣的作用。课堂授课内容多局限于课本理论知识,对理论联系实际及其应用方面的重视程度不够,难以引导学生形成创造性思维,最终导致教学效果不甚理想。学生往往被动地接受知识,在课上很难长时间保持注意力集中,在课后仅凭机械的记忆公式和定理来完成作业,但未能形成相应的力学推导思维,容易混淆概念或在做题时很难突破原有的思维定式;另外,部分学生仅仅为了平时成绩才来上课,且平时作业多以抄袭为主,这部分学生对材料力学课程的重视程度不够。

学生理解能力参差不齐,空间想象力相对比较弱,很难理解理论知识与概念。例如,在学习应力状态这一章节时,要求学生熟练掌握基本变形的正应力和切应力的概念和计算方法,理解其正负号规定及掌握切应力互等定理等,在此基础上学习研究一点的应力状态。对一个包围该点的微小正六面体——应力单元体进行分析;应力单

元体的特点：各边长均为一阶无穷小量，每个面上应力均匀分布，每对相互平行面上的性质相同

的应力大小相等（如图 1 所示）。

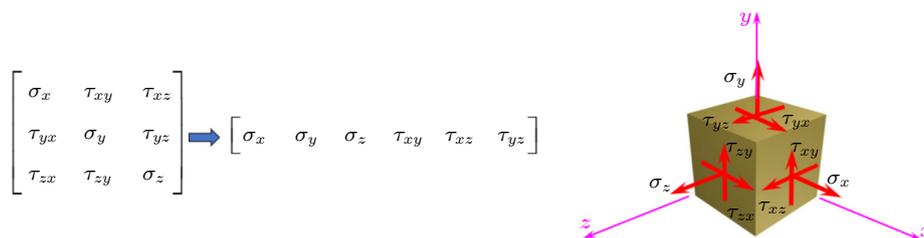


图 1 一点的应力状态及其刻画

组合变形中，同一截面上不同点力的作用效果不同，其应力状态也不同，如图 2 所示。1, 3 点受到扭矩作用下的切应力和弯矩作用的正应力；2, 4 点位于中性轴上，根据弯曲变形正应力和切应力在横截面上的分布规律可知，正应力为零，只有切应力作用。由于学生的空间想象力差，难以理解应力单元体 6 个面上的受力情况，加之扭转和弯曲变形学习间隔过长，学生对相应知识点有所遗忘，这些均导致学生对基本变形横截面上应力分布规律记不住或模糊不清。因此，学生在学习这一章节时，听不懂、不理解、一头雾水，加之本章的知识点和公式繁多，又要注意符号问题，导致学生考试时常常丢分。

属材料的拉伸与压缩、扭转、弯曲及弯扭组合变形等项目，大多数学校理论教学与实验教学是分开进行的，由于它们之间间隔较长，以及学生课程繁多等原因，学生在做实验时早已忘记或模糊了相关理论知识，导致实验课的教学效果不佳^[3]。

3.2 实验教学

长期以来，传统的实验教学处于理论教学的从属地位，以验证、演示性实验居多，内容上相对比较单一。大部分学生对实验课的重要性认识不够，在教师演示实验后，仅按照实验步骤机械地完成实验并填写实验指导书，导致学生间相互抄袭实验报告，这就失去了实验的实际意义；这不仅影响学生自主学习的积极性，而且还影响学生综合分析问题能力的培养，导致学生的创造性思维很难得到训练。同时，随着现代科学技术的发展，新材料、新方法的不断涌现，使得传统的材料力学实验显得比较单一，加上现有的实验设

实验教学对培养学生的动手能力和创造性思维、加深理论知识的理解等方面有着不可替代的作用。当前我国高校工科专业材料力学实验有金

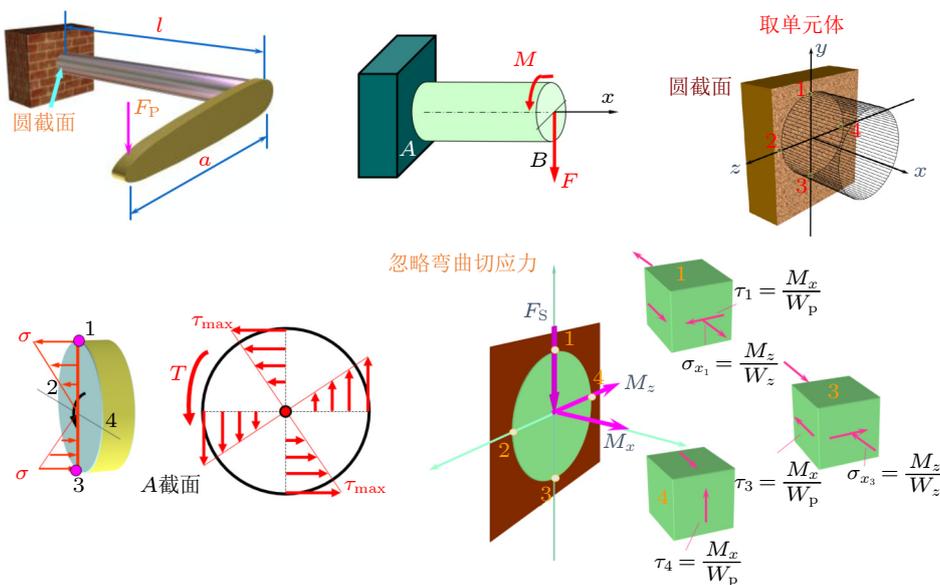


图 2 弯扭组合变形时同一截面不同点的单元体

备和测试技术陈旧,导致学生所学与工程实际严重脱节,将来一旦步入工作岗位就会无所适从。另外,随着各大高校高考招生规模的扩大,本科生数量日益增多,现有的实验设备很难满足教学上的需求,这导致上课时很多学生围着实验设备“看”实验,与实验的目的严重背离,从而失去了实验教学在培养学生动手能力、分析问题能力等方面的优势。加之学生对实验课的兴趣不大,不理解实验的目的和重要性,导致实验教学效果不明显。

4 材料力学教学内容与教学方法改革

由于材料力学基础性较强,在如何提高教学效果、培养学生用力学思维解决实际工程问题的能力等方面,是授课教师一直努力的方向^[4]。同时,随着科学技术的不断发展与创新,只有材料力学传统教学方法的改革与更新,才能适应科学技术创新和现代教学改革的需要。紧跟国家新工科建设下高素质人才的培养方针,在材料力学教学过程中需要不断引入新的理念与新的方法,同时还需要不断地进行教学内容与教学方法的改革与完善,这样培养出来的新型人才才能应对新的工程实际问题,面向未来。

4.1 课程理论教学

4.1.1 阶梯式和模块化教学,因材施教

随着教学的改革,课程学时有所减少,这就需要教师在课程教学的过程中,不断优化授课内容的知识体系与结构,采用阶梯式教学,以主线贯穿始终,将整体内容分成几大模块(如图3所示)。材料力学第1章~第5章(含附录I)分别对轴向拉压、扭转和弯曲变形的内力、应力、强度、变形和刚度展开研究与分析,是理论体系的基本内容。在基本理论的基础上,展开与3种基本变形相关的超静定问题、应力状态与强度理论、组合变形及压杆稳定问题的研究(第6章~第9章),为材料力学的提升部分。扩展部分(第10章和第11章)采用能量法解决复杂变形的刚度问题,并对动载荷下的应力进行计算。

结合图4,每一种基本变形的研究思路为:截面法求内力→内力图→应力→强度→变形→刚



图3 阶梯式教学内容结构

度;推导应力计算公式基本思路:实验观察→平面假设→变形几何学方面→物理学方面→静力学方面→推导出应力计算公式。以学生所学专业中的实际工程问题为焦点,对基本变形的力学行为进行研究,并采用模块化的教学模式分别从内力、应力和变形3个模块展开讲授(如图3)。比如,在内力模块中,以“截面法”研究思路为贯穿线,将其应用到拉压、扭转、剪切和弯曲基本变形中求解内力。加强理论知识与学生所学专业实际工程的联系,既可以增强与所学内容之间的联系,又可以提高学生运用材料力学知识解决实际问题的能力,采用模块式的教学方法不仅可以避免内容的反复讲授,而且能很好应对学时缩短的情况。

由于文化基础差异,导致学生对概念和理论的理解不透彻,在学习相关方法和解题时常常遇到困难。为了达到课程的培养目标,这就需要授课教师采用不同的教学方法,因材施教,分层次教学。基本部分的教学内容,以“必需、够用”为原则,面向全体学生,要求学生必须掌握基础知识,形成规范分析问题和解决问题的思维;可以采用“总结式”的教学方法(如图4),比如:任一种基本变形均从外力→内力→应力→应变进行分析;强度是局部问题,刚度是整体问题;四大基本变形的强度公式:应力=内力/截面系数,等等,通过对基本变形的反复强调与总结,强化学生对概念的理解能力,要求学生掌握基本变形强度和刚度求解及分清它们间联系与区别,为后续超静定问题,组合变形及应力状态和强度理论的学习打下坚实的基础。提升部分的教学内容,建

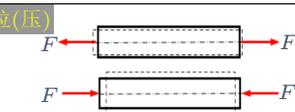
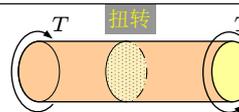
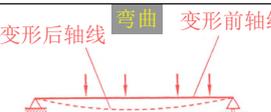
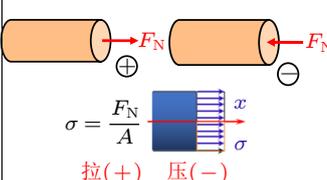
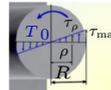
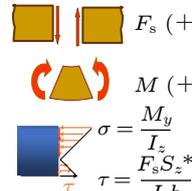
 <p>拉(压)</p>	 <p>扭转</p>	 <p>弯曲 变形前轴线 变形后轴线</p>
 <p>$\sigma = \frac{F_N}{A}$</p> <p>拉(+) 压(-)</p>	<p>右手螺旋法则</p>  <p>圆轴</p> <p>$\tau_\rho = \frac{T\rho}{I_P}$</p> <p>$I_P = \frac{\pi d^4}{32}$</p> 	 <p>$F_s (+)$</p> <p>$M (+)$</p> <p>$\sigma = \frac{M_y}{I_z}$</p> <p>$\tau = \frac{F_s S_z^*}{I_z b}$</p>
<p>$\sigma_{\max} = \frac{F_N \max}{A} \leq [\sigma]$</p> <p>$F_N \max \leq A[\sigma]$</p> <p>$A_{\min} \geq \frac{F_N \max}{[\sigma]}$</p>	<p>$\tau_{\max} = \frac{T}{W_p} \leq [\tau]$</p> <p>$W_p \geq \frac{ T _{\max}}{[\tau]}$</p> <p>$T _{\max} \leq W_p[\tau]$</p>	<p>$\sigma_{\max} \leq [\sigma] \quad \tau_{\max} \leq [\tau]$</p> <p>$W_z \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]}$</p> <p>$M_{\max} \leq W_z[\sigma]$</p>
<p>纵向 $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \sigma = E\varepsilon$</p> <p>横向 $\varepsilon' = -v\varepsilon$</p> <p>当 $\sigma < \sigma_p$ 有 $\Delta l = \frac{F_N l}{EA}$</p> <p>$EA$ 为拉压刚度。</p> <p>超静定问题(三方面):</p> <p>平衡关系(受力图);</p> <p>变形关系(变形图);</p> <p>物理关系。</p> <p>力与变形一致性。</p>	<p>$\gamma = \frac{\tau}{G}, \tau = G\gamma$</p> <p>当 $\sigma < \sigma_p$ 有 $\varphi = \frac{Tl}{GI_P}$</p> <p>$GI_P$ 为扭转刚度。</p> <p>G, I_P, T 在 l 段为常数, 否则要分段。</p>	<p>纯弯曲: $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$</p> <p>横力弯曲: $\frac{1}{\rho(x)} = \frac{M(x)}{EI}$</p> <p>$EI$ 为弯曲刚度。</p> <p>叠加法: $EIw'' = -M(x)$</p> <p>计算: $\rightarrow w' = \theta$</p> <p>边界条件: $\rightarrow w$</p> <p>1. 支座约束;</p> <p>2. 连续条件(光滑)</p>
<p>$\Delta l_{\max} \leq [\Delta l]$</p>	<p>$\varphi' = \frac{T}{GI_P} \times \frac{180}{\pi} \leq [\varphi']$</p>	<p>$\frac{w_{\max}}{l} \leq [\frac{w}{l}]$</p> <p>$\theta_{\max} \leq [\theta]$</p>
<p>$V_\varepsilon = W = \frac{F_N^2 l}{2EA}$</p>	<p>$V_\varepsilon = W = \frac{T^2 l}{2GI_P}$</p>	<p>$V_\varepsilon = W = \int \frac{M^2(x)}{2EI} dx$</p>

图 4 基本变形知识点总结

立在学生掌握基本理论知识、熟练运用相关知识求解问题的基础上，主要解决复杂问题的强度与刚度问题，面向 80% 左右的学生；对于这部分内容，教师可采用“对比式”的教学方法，与求解基本变形的相关情况进行对比，引导学生了解它们之间的区别与联系，激发学生自主寻找求解问题所需的新知识、新方法，从而顺利过渡到提升部分内容的学习上。采用“引导式”的教学方法开展扩展部分的教学内容，这部分知识的综合性较强，问题复杂多样，面向 30% 左右的学生，强化学生基本理论部分和提升部分的理论知识，着重培养学生的力学思维 and 解决综合问题的能力，从而达到求解复杂问题的强度刚度问题、计算动载荷下应力的能力。这部分内容主要针对参加力学竞赛和考研的学生，旨在为学生提供平台，不占用过多的课堂学时，让学生学会利用课余时间自主安排学习，强化学生力学思维能力的培养，从“学

会”达到“会学”。

4.1.2 拓展式教学，教研结合

材料力学建立至今已经历了 300 多年的历程，随着科技的不断进步与发展，在工程实践与应用中不断涌现出很多新型材料，加之实验设备与技术的不断完善与提高，这就对材料力学的课程内容提出了新的要求。其中，涉及的理论知识领域要求更加宽阔丰富，在学生掌握课本中经典材料性能的基础上，还需让学生了解目前材料科学正在研究的新领域。然而，现有的教材内容并未涉及最新科技成果，面对材料力学改革后学时减少的现状，在经典理论的基础上增加新的内容亦是不可能的，导致学生毕业后不能适应实际工程建设需要。

采用拓展式教学方法，以培养新工科背景下的创新型人才为目标，优化和整合原有的教学内容和结构以缩短学时（比如阶梯式与模块化教

学),对于最新科技成果中涉及的新材料、新方法与新理论,通过引入专题介绍,利用节省下来的学时邀请专家开展相关讲座、科研成果展示等;加强师生间的互动,比如,提早安排本科生进入教师科研团队,开展相关新技术的学习与研究,为毕业论文做准备,亦或是指导学生参加创新创业训练计划项目和“互联网+”项目,让学生了解材料科学研究的新领域,以竞赛和科研方式促进学生学习。如何将材料力学的传统理论知识与教师的最新科研成果结合,既是科技发展的表现,又是工匠精神的深刻体现。在传授学生传统理论知识的同时,结合课本内容引入最新科研成果,既可以开阔学生的眼界,又能激发学生与时俱进、不断探索与创新的精神。比如,在第7章应力状态和强度理论的学习中,结合工程实际介绍新材料在不同状况下的强度失效破坏问题,让学生了解强度理论在保证工程实际构件安全问题上所起到的绝对重要的作用,这就需要充分发挥科研在传统材料力学授课中的积极作用,实现教研结合,使学生的知识结构能适应现代科技发展和工程建设的需要。

4.1.3 可视化教学,人机结合

材料力学旨在培养学生解决实际问题的能力,在理论知识讲授的基础上,也需适当锻炼学生的实践能力。但材料力学具有理论多、概念抽象等特点,给学生的学习带来一定的困难。这就需要教师在传统板书教学的基础上,融入新的教学手段(如PPT、数值模拟和flash动画等)来加深学生的理解。对章节的知识点以及公式的推导过程可采用板书的形式与学生一起推导,增加学生的参与感,再将相应的工程实例采用多媒体呈现给学生,这不仅可以使授课过程生动活泼,也可以将抽象的概念和理论可视化、形象化,帮助学生理解基本概念与理论;定期采用多媒体对知识点进行总结回顾整理,找出规律帮助学生理解记忆(如图4所示),促进学生在理解的基础上掌握教学内容,优化教学效果和提高教学效率,从而提高学生解决实际问题的能力。

以教师为主导的“一言堂”授课模式注定不能满足新工科背景下教学改革的要求,以目标问题为导向的教学方法可以很好解决这个问题:结合

课程授课内容和工程实例布置一些任务或问题给学生,由学生搜集相关资料制作PPT,通过课堂汇报讨论的形式呈现出来,讨论中学生们各抒己见,既能开阔学生的思路,又能培养学生力学思维的创造性和增加学生的参与度;同学们相互学习、相互启发,由此激发学生思考问题和学习兴趣。以目标问题为导向的教学方法可以促进学生动脑动手能力的培养,同时教师课后及时答疑,启发、鼓励学生分析问题与解决问题。学生既能讨论自己感兴趣的问题,将原本枯燥的课堂教学变得生动有趣,也能直观感受到材料力学知识在实际工程中的应用,激发学生的学习兴趣,培养学生的力学思维和探索创新的精神,从而提高了学生分析研究问题的能力。

4.1.4 案例式教学,思政引领

材料力学作为一门来源于工程实际,又服务于工程的专业基础课程,具有应用范围广、密切联系工程实际等特点。案例式教学是材料力学课程理论与工程实际紧密结合的一种有效的教学形式^[5],它不是简单套用公式解决工程实际问题,而是将工程实际问题抽象为力学问题并建立相应的力学模型再予以解决,能很好弥补课后作业的不足,更能让学生抓住工程实际的主要矛盾,逐渐树立分析解决问题的意识,还可以从实际案例中吸取经验教训,养成举一反三与深入思考的习惯,增强专业责任感和使命感。这就需要授课教师具有利用课堂基础知识解决工程专业实际问题的理念,关注与专业相关的热点问题,通过多种途径搜集整理相应的工程实际案例,从中萃取出合适的教学案例,提供给学生分析、思考。

材料力学建立至今已有300多年,经历了几代力学家的艰苦探索与创造才逐渐形成一门系统的学科。其中每一位力学家的传奇人生都蕴含着许多的教育内涵,结合材料力学发展概述讲述给学生,让学生感受当时艰苦环境下力学专家们探索问题的艰辛,一步一个脚印地向前走,不断积累经验,不断提高自己,不断追求卓越;同时,培养学生踏实肯干和刻苦钻研的探索精神,为日后自己克服困难、顽强拼搏打下基础。此处,引用清代诗人郑燮的诗句:“一节复一节,千枝攒万叶。我自不开花,免撩蜂与蝶”^[6]。当代大学生应

该跟竹子一样,在大学 4 年里认真学好每一门课程,一点一滴为自己打好基础,一步一个脚印,不断提高自己(一节复一节),扎实的专业基础知识才能为自己搭建知识“大厦”(千枝攒万叶),才能在将来的工作中灵活运用所学知识解决工程实际问题。如果将来继续深造,成为一名研究生甚至博士生,更要学习竹子的精神,踏实肯干,刻苦钻研,同时也要耐得住寂寞,顽强拼搏,做好研究(我自不开花,免撩蜂与蝶),通过自己的努力与刻苦研究获得创新性成果,为祖国科学技术发展添砖加瓦。

以中国十大最疯狂工程为例,让学生意识到知识点的重要性,任何一个微小的知识点都对超级工程有至关重要的影响;作为未来工程师的学生均扮演着工程设计中一枚枚小小螺丝钉,弘扬中国传统螺丝钉精神,让学生对工程师职责感到职业自豪与骄傲,踏踏实实工作;弘扬新时代工匠精神,技精于心,匠心于行,为中华民族伟大复兴贡献出自己平凡却又不普通的一份力量。

教师针对不同章节的授课内容引入工程案例^[7],比如:著名的美国塔科马悬索桥事故,被拉断的钢索为轴向受拉的杆件,另外,破坏时桥面产生极度扭转,可通过直观的视频冲击引起学生强烈的学习兴趣,激发学生学习的积极性与主动性。压杆失稳方面,由于大桥个别压杆失稳导致整个加拿大魁北克大桥发生坍塌事故;韩国汉城三丰百货大楼,由于盲目扩建、加层,致使大楼四五层立柱不堪重负而产生失稳破坏,大楼倒塌;2005 年 8 月 21 日在北京西单发生特大垮塌事故,起因是在浇筑混凝土的过程中脚手架突然发生失稳坍塌,等等,以此引导学生发现压杆稳定性条件要比强度条件更加严苛,引起学生的高度重视和警醒。另外,讲授提高压杆稳定性措施——选择合理的材料时,选择优质材料可以提高细长压杆的稳定性。常言道:“好钢要用在刀刃上,人尽其才,物尽其用,才能够两全其美”。当代大学生是祖国的未来,是国家未来的主力军,应该找到自己的兴趣爱好,掌握相应的本领和专业知

识,才能为祖国建设添砖加瓦,而每一份子都是祖国大厦的基本材料,打铁还需自身硬,所以我们都有义务成为一种优质的材料,否则可能会被时代所淘汰;但反观当代大学生,大多不注重自身体育锻炼,心理承压能力差,长此以往,很难肩负起建设现代化祖国的重任。因此,每一位学生都应该从现在做起,从自己做起,保持良好的生活作息,积极锻炼身体,端正学习态度,做好人生规划和事业规划,争取早日成为祖国的栋梁之才。

工程案例需紧密结合专业实际、最新科技成果,有利于促进“填鸭式”教学模式逐渐转变为研究型教学模式,培养学生力学思维能力,这对培养新工科背景下的新型科研人才起到重要的作用。

4.2 实验教学

4.2.1 更新教学观念

传统的材料力学实验教学是以教师为主导,学生跟着实验教师的思路,但却忽视了学生的接受能力,学生处于被动接受地位,没有时间去思考,只能按部就班地完成实验,特别对于基础差或没听课的同学,完全不知道如何下手,这种“走马观花”式或“依葫芦画瓢”式的实验教学,仅仅是为了验证理论,没达到培养学生动手能力、思考能力的目的,这就失去了实验教学的意义。实验教学与理论教学同等重要,两者间相互促进、相辅相成,但大多数工科院校普遍存在重理论轻实验的现象,这严重影响材料力学的实验教学效果。只有课堂理论教学与实验教学并重,改变轻实验的现状,才能实现培养学生的动手能力,激发学生学习的兴趣,从整体上改善材料力学的教学效果。

4.2.2 完善教学模式

大多高等学校材料力学的实验课是与理论课分开的,由于专职实验岗老师有限,导致实验教学任务繁重,目前大多实验教师采用机械式重复讲授方式,这不利于学生获取新知识。实验课一般安排在理论讲授后,由于间隔过长,导致学生对已学内容有所遗忘甚至模糊不清。一个实验项目大约持续 2 小时,实验教师讲授实验相关内容及演示实验等大约需要 30~50 分钟,留给学生思考和开展实验的时间并不多,学生只能机械地按照实验步骤完成实验,缺少对实验的理解与结果分析,达不到实验教学的目的。因此,需要改

革与完善现有的实验教学模式。

课前实验预习能很好解决这个问题。教师课前提供实验教学视频等资料供学生预习,同时布置预习任务,以此来督促学生做好预习工作。这不仅可以避免教师机械式重复教学产生疲劳,提高了教师上课的积极性,而且给教师留足了时间指导学生操作设备、分析数据等;学生课前通过预习熟悉了实验流程、操作步骤和数据处理等,再开展相关实验,就可以达到事半功倍的实验教学效果。

4.2.3 整合教学内容

实验教学内容也应随着科学技术的进步不断的更新与完善。教师如何在有限的实验学时内提高实验内容的深度,实现实验内容的博而精、广而新?首先,结合现有的实验设备和实验内容,调整和完善实验方案,适应科技进步。比如,对一些简单的实验内容(如拉伸实验),实验相对比较单一,可操作性小,达不到培养学生创新能力的目的,对于简单的试验项目可以让学生根据课余时间自主预约实验室开展相应的实验内容,将节省下来的学时放在复杂实验项目上,如完善与改进电测法测量弯曲正应力实验;其次,根据教学大纲和新工科背景下对高层次人才的需求,明确材料力学实验教学的目的与任务,重新制定与完善实验课程大纲,打破各实验项目教学内容间的隔阂,加深它们之间的融合,消除彼此间的重叠内容,以期达到内容新、学时少、效果好的整合完善的目标。

4.2.4 调整教学方法

调整实验教学的方法,采用自主参与式的学习。通过基础实验,学生不仅可以加深对理论的认识,而且可以培养独立动手操作实验的能力,从而形成科学研究问题的方法认识。通过改善实验与课程理论教学相分离的模式,可以避免以往学生以观摩实验和验证理论为主的情况,进而自己动手开展实验。比如,在推导拉压杆的应力计算公式前,学生可分组自主预约实验室,并在实验教师的指导下亲自动手开展实验,学生面对操作失误,实验失败等情况可以先运用已学知识进行分析与思考,再与实验教师进行讨论,教师也可以从旁引导、启发学生注意观察实验现象,直

至顺利完成实验;再回到理论课堂与教师一起推导应力的计算公式,这不仅巩固了学生的理论知识,而且激发学生自主学习的积极性,加强学生分析问题和解决问题的能力,培养学生科研的基本素质。

5 加强实验教学与理论教学的有机结合

材料力学的理论教学与实验教学是相辅相成、相互促进的:理论教学可以使學生掌握实验相关的理论知识,为实验打下理论基础;实验教学可以加深学生对概念与现象的理解,促进学生对理论知识的学习。然而,目前大多数高校材料力学理论教学与实验教学是相分离的,弱化了两者间的相互作用^[8]。

材料力学中有些概念或现象需要结合实验才能加深学生的理解,如塑性材料在拉伸过程中呈现出的滑移线现象、屈服现象、颈缩现象以及压杆失稳等,仅依靠理论的讲授难以让学生理解与接受,唯有亲历实验过程才能加深学生的印象,促进理解。然而,分离开来的理论教学与实验教学,弱化了实验在加深学生对概念理解上的促进作用,加上理论继续授课和学生课程繁多,实验时学生可能早已忘记相关知识,导致实验效果不佳。

拓展式教学、教研结合的教学模式可以培养学生分析问题、解决问题的科研能力,促进学生逐渐形成创新性力学思维。比如,每种基本变形的应力推导步骤为:提出问题→设计实验→观察实验现象→平面假设→结合几何物理静力学关系→推导应力计算公式→实验验证。分离开来的理论教学与实验教学,只能“填鸭式”机械地让学生被动接受理论知识,缺乏实验促进理论知识的意识,导致教学效果差。由此可知,理论教学与实验教学是不可分割、相互促进的。

对于上述问题,需要不断地完善和改革现有的实验教学方式,加强实验教学与理论教学的有机结合,或设置同堂开课的教学模式。可以从以下几个方面进行完善、改革和规划。

5.1 合理规划实验班级

随着本科招生规模的扩大,学生人数不断增加,由于实验教学设备和实验教师有限,可根据专业类别合理规划实验班级的人数,以20人左

右为宜。保证每个学生都能动手操作实验,避免“应付”式的学习和互抄实验报告的现象,从而锻炼学生动手操作及分析问题、总结问题的能力。目前很多高校都没实施实验教学与理论教学有机结合或同堂开课的教学模式,可以在一些小班级先行示范,待学校的基础设施和实验师资得到发展后,再将这种教学模式推广向更多的班级直至全校。

5.2 建立开放式实验教学平台

随着工业化的发展及新工科背景下对培养高素质人才的要求,在工程教学认证的大背景下除了提高理论教学的质量外,还需保证实验教学质量,完善与配备实验所需的实验设备,搭建开放式的实验教学平台,以满足学生自主学习的需求。

此外,可以制作相关网站,涵盖实验相关内容的讲解视频、实验结果分析、数据处理等资料以供学生预习,实验前学生可以全方位地预习,为开展实验做好充分准备;实验教师在线查看学生的预习情况,待预习审核通过后,学生就可以自主申请实验,以 20 人为一组(不分专业),可以避免认识的同学间相互抄实验报告;实验时,实验教师讲解预习情况和实验中经常遇到的问题,待实验教师强调完实验注意事项后学生再独立开展实验,实验结束后教师总结实验完成情况,课后学生独立完成实验报告并在线提交。

另外,门禁系统的引入,在一定程度上缓解了教师课前点名浪费时间的困扰,又为实现实验室预约开放提供了可能。可借此条件,促进学生主动开展实验与研究,激发学生对实验课的兴趣,鼓励学生在现有实验项目的基础上设计新的实验方法,培养学生的创新能力,以及自主设计研究型实验项目、解决实际问题的科研能力。通过建立开放式实验教学平台,不仅可以提高实验设备的利用率,实现一人一仪器,也可以缓解了实验师资不足,便于实验教师掌握学生的实验情况,及时进行指导,保证实验顺利进行。

5.3 完善与更新实验设备

随着科技的发展,不断涌现出很多新型材料。现有的实验设备相对比较老旧,无法满足目前的实验教学任务,也难以适应复杂的实际工程需求。

此外,实验设备长时间静置不用,易造成无法正常使用,学校不仅需要对试验设备与技术不断完善与更新,而且对实验教学提出了新的要求。通过完善与更新实验设备,既满足了传统实验项目的要求,又可以满足综合性实验项目、引进新型材料及科研的要求。

为了激发学生实验学习的主动性和积极性,培养学生的创新与科研能力,可以在传统实验项目的基础上,增设综合性的实验项目。学生通过操作新型实验设备独立完成拉、压、扭、弯综合性实验,从而加深了对组合变形下(复杂荷载作用下)杆件破坏的理解,这不仅可以帮助其提高理论学习与工程实践相结合的认识,而且有助于提高学生分析总结和解决实际问题的能力。

5.4 建设实验教学团队,提升教师素质

随着教学的改革,材料力学实验课也需要不断地改革与完善,这是每一位实验教师持续传承与接力的过程。开展实验教学培训,提升教师队伍的整体素质,发挥“传帮带”作用,打造一支优良的实验师资队伍,同时,发挥优秀实验团队和骨干实验教师的引领作用,加强对新进实验教师的培训,充分发挥带头示范作用。实验教师在学习前人优秀教学方法与经验的基础上,不断学习、积累,逐渐形成适合自己的教学方法。同时,还需对新入职的青年教师开展实验室培训和实践,不断提高实验教学团队的教学水平。

5.5 改变实验考核制度

传统的实验考核主要是以实验报告的质量和实验课考勤为主,形式比较单一。一些不重视实验的学生相互抄袭实验报告,既难以对学生是否掌握实验、动手能力、分析总结实验数据能力等进行综合评价,又难以调动学生主动学习的积极性,导致很难全面了解课程的教学质量。因此,实验教师需要采用全面的、综合性的考核方式对学生的实验过程进行考核,转变以结果评价为主的考核方式。

实验考核的重点应放在学生对实验的掌握程度、动手能力、分析与总结问题的能力上。针对目前实验课考核的现状,应从实验的主动性、实验预习情况、动手能力和实验报告这 4 方面进行

综合评定, 加强过程考核, 提高实验教学的效率。

6 考核制度的反思

材料力学课程采用传统闭卷考试方式, 为了确保“通过率”, 考试范围遵从培养大纲, 基本离不开书本和教师授课的内容, 考试的重难点几乎不变, 导致每年考试的题型几乎一样, 极大地降低了学生学习的积极性。这导致学生平时不用功, 考前仅突击1~2周就可以轻松过关, 甚至可以拿到高分。显然, 现行的考核制度与新工科背景下培养创新型高素质人才的目标相悖。因此, 需要加强日常教学的管理, 加大过程考核的力度, 突破传统的考试方式, 采用平时成绩(课前预习+考勤+课堂讨论+作业)、实验成绩和期末卷面成绩三位一体的全方位、多角度、全过程的综合考核方式, 综合测评学生最终的课程成绩。

期末总评结束以后, 依据课程目标达成度评价机制, 依据培养方案和教学大纲中规定的与材料力学课程培养目标对应的考核环节资料, 确认各考核环节的权重, 以学生考核结果为分析样本, 分别计算各课程培养目标考核的平均分, 根据各项数据进行成绩达成度情况的分析, 并以此来评价课程的教学效果(如图5~图7)。教师根据课程达成度结果, 全面掌握学生的学习情况。如遇不合理的情况, 可以合理地调整, 以期提高材料力学的教学效果, 为后续课程教学的改革与持续改进提供依据和建议。

2020级城市地下工程专业由于疫情的影响采用线上教学, 材料力学的期末考试成绩并不理想。作为一门专业技术基础课, 宜采用线下板书与多媒体相结合的教学模式。由此, 2021级和2022

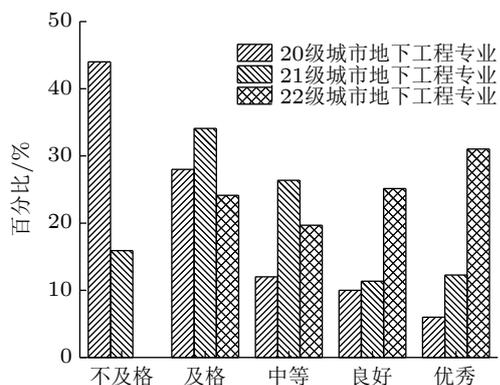


图5 各分数段人数占比

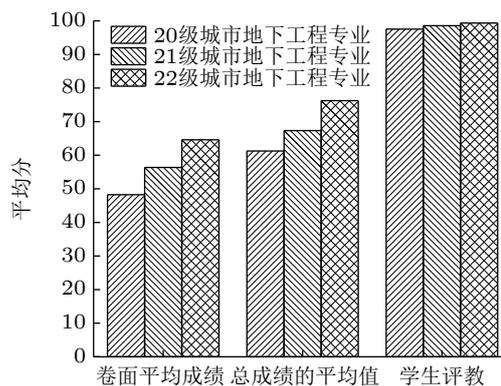


图6 各年级课程平均分

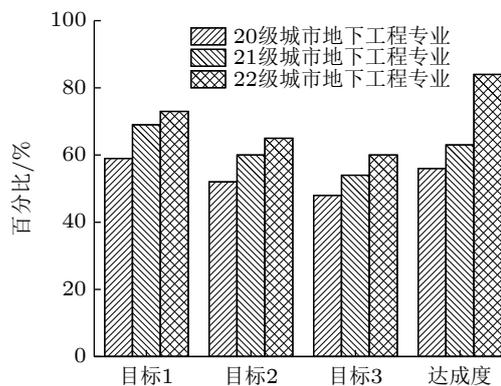


图7 目标达成度及总达成度

级城市地下工程专业增加了过程考核, 从图5和图6可以看出, 实施教学改革之后(相对于2020级), 课程的及格率、优良率、卷面成绩和总成绩均有改善与提高; 2022级学生的不及格率为零, 这表明材料力学的教学模式改革取得了一定的成果。

由图7可知, 相对于2020级城市地下工程专业学生的课程目标达成度及总达成度, 实施教学改革后, 2021级和2022级课程目标达成度及总达成度均有所提高, 表明大部分学生已掌握了材料力学理论知识和方法, 也具备了运用力学概念和理论分析解决工程实际问题的能力。

7 结论

本文分析了材料力学的课程特点和目前的教学现状, 针对目前材料力学理论教学和实验教学中存在的不足, 提出了教学内容与教学方法的改革思路与措施, 从阶梯化和模块化教学, 因材施教、拓展式教学, 教研结合、可视化教学, 人机结合、案例式教学, 思政引领这几个方面对理论

教学的教学内容与方法进行改革;从更新教学观念、完善教学模式、整合教学内容和调整教学方法这 4 个方面对实验教学的教学内容与方法进行改革。针对目前理论教学与实验教学相分离的现状,提出了加强实验教学与理论教学有机结合,并对目前的考核制度进行了反思,突破传统的考试方式,需要加强日常教学的管理,加大过程考核的力度,采用全方位、多角度和全过程的综合考核方式,综合测评学生最终的课程成绩,以完成课程目标达成度,为后续课程教学的改革和持续推进提供依据和建议,培养新工科背景下高素质复合型的创新人才。

参 考 文 献

- 1 王云洋,蒋楚,肖磊等.新工科背景下基于铸铁扭转实验的材料力学课程思政教学改革研究.大学物理实验,2021,34(1):112-116
Wang Yunyang, Jiang Chu, Xiao Lei, et al. Political in mechanics of materials course based on the torsion experiment of cast iron under the background of emerging engineering education. *Physical Experiment of College*, 2021, 34(1): 112-116 (in Chinese)
- 2 刘德军,左建平,周宏伟等.OBE 理念下的材料力学教学方法改革与实践.力学与实践,2021,43(1):112-119
Liu Dejun, Zuo Jianping, Zhou Hongwei, et al. Reform and practice of the teaching method for materials mechanics based on OBE concept. *Mechanics in Engineering*, 2021, 43(1): 112-119 (in Chinese)
- 3 王海涛.材料力学实验教学实践与探索.教育教学论坛,2019(12):271-273
Wang Haitao. Practice and exploration on experimental teaching for materials mechanics. *Education Teaching Forum*, 2019(12): 271-273 (in Chinese)
- 4 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.力学与实践,2018,40(5):543-549
Fan Qingshan, Yin Yajun, Tang Jingjing, et al. Reform teaching, innovative teaching--the practice and experience of teaching reform of “mechanics of materials” course. *Mechanics in Engineering*, 2018, 40(5): 543-549 (in Chinese)
- 5 杨庆生,叶红玲,杜家政等.基础力学课程教学与课程思政的协同建设与实践.力学与实践,2021,43(6):955-958
Yang Qingsheng, Ye Hongling, Du Jiasheng, et al. Cooperative construction and practice of course teaching and ideological education of basic mechanics. *Mechanics in Engineering*, 2021, 43(6): 955-958 (in Chinese)
- 6 王晓强,田雪.《材料力学》压杆稳定性原理的课程思政教学探索.创新教育研究,2021,9(6):1632-1635
Wang Xiaoqiang, Tian Xue. Exploration on ideological and political teaching of the principle of compression bar stability in “mechanics of materials”. *Creative Education Studies*, 2021, 9(6): 1632-1635 (in Chinese)
- 7 曲淑英,卢龙玉,宋良等.材料力学课程思政教学实践:以“压杆稳定”为例.力学与实践,2021,43(6):959-963
Qu Shuying, Lu Longyu, Song Liang, et al. Practice for ideological and political education in the course of material mechanics. *Mechanics in Engineering*, 2021, 43(6): 959-963 (in Chinese)
- 8 蒋树农.材料力学理论与实验教学相结合的改革探索.科教文汇,2012(22):107-108
Jiang Shunong. Reformation exploration of the combination of theoretical and experimental teaching for mechanics of materials curriculum. *Journal of Science and Education*, 2012(22): 107-108 (in Chinese)

(责任编辑:郭丽雅)