

材料力学课程的教学研究与实践

栗东平, 王睿, 李现敏

(河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

[摘要]材料力学是高等院校工科类专业的一门重要的专业基础课程,是衔接基础理论课程和相应专业课程的纽带,在工科类专业学生知识体系中有着重要的作用。以河北工程大学材料力学课程为背景,结合国内外材料力学课程教学改革现状和多年材料力学课程的教学经验,开展了教学内容、教学手段及考核方式等方面的研究与实践,取得了一定的阶段性成果,为培养适应新时代要求的复合型应用人才提供了一定的课程改革方面的借鉴。

[关键词]材料力学; 教学研究; 教学实践

doi: 10.3969/j.issn.1673-9477.2019.04.022

[中图分类号] G642

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-9477(2019)04-105-05

材料力学是高等院校工科类专业的一门重要的专业基础课程,是衔接基础理论课程和相应专业课程的纽带,材料力学课程在工科类专业学生知识体系中的重要性是显而易见的,随着授课学时不断地被压缩,传统的教学模式很难在规定的时间内完成教学内容、保证教学质量。因此,按照新形势下工科专业人才培养方案要求,结合材料力学课程的自身特点,修订教学大纲,调整课程教学内容,改革教学方法及手段,探索注重过程考核、弱化期末考试成绩占比的课程考核方式,采用灵活多样的教学方式,调动学生学习的主动性和积极性,提高学生学习兴趣,重视学生分析问题、解决问题的能力培养,提升学生综合能力和专业素养,是材料力学课程教学改革和实践亟待解决的问题。

一、修订教学大纲,革新教学内容

随着高等教育的改革和发展及新时代人才需求侧的持续变化,各专业人才培养方案的不断修订,材料力学课程授课学时被不断压缩;另外,各高校先后积极开展工程教育专业认证和卓越工程师计划^[1-3],给材料力学课程也提出了新的要求。因此,从工科专业材料力学的实际情况出发,按照专业培养方案要求,结合相关专业认证标准,调整材料力学课程教学大纲、革新教学内容是教学改革的首要任务^[4,5]。根据17版人才培养方案,修订材料力学教学大纲,我校材料力学课程组制定有不同学时的基本模式和土木工程专业认证模式,校内开设材料力学课程的专业可以根据专业特点在基本模式的基础上,广泛听取校内外同行、专业教师和材料力学课程教师意见,适当修订或增减。

根据各专业制定的教学大纲,革新教学内容,

做到不同类专业实行不同的教学体系和教学内容,同一专业实行统一的课程标准,包括每章节的讲授内容、重点、难点、考研点及了解内容,各内容的讲授程度把握、教学方式采用、案例选择,各类学生掌握程度要求,考核所占比例等方面均是一致的,不会因任课教师不同,知识体系而有所改变,同时考虑到材料力学课程与先修课程、后续课程间的联系和衔接,整合教学内容,调整学时分配,减少不必要的重复讲授,适应学时缩减趋势,有效保证课程教学质量。例如:后续课程学习结构力学的专业,由于结构力学课程中同样有刚架的内力计算、能量法、图乘法等内容,材料力学课程教学中则不再讲授;土木工程专业在基本变形的讲授过程中更新了部分工程实例、增加了工程实例力学模型的简化等内容;将简易法求截面内力的思想从轴向拉压变形开始讲授,改变了过去讲授弯曲变形才引入的做法;在画剪力图、弯矩图章节在原来列剪力、弯矩方程作图、微分关系作图、叠加法作图等方法的基础上,引导学生掌握通过剪力图积分计算面积作弯矩图的新思路;在计算极值弯矩时,引导学生通过微分关系求得计算极值弯矩的普遍公式等;尝试打破原有课程体系组织教学,传统的材料力学授课方式均按照轴向拉压、剪切、扭转、弯曲四种基本变形的顺序讲授,每一种基本变形均讲授内力、应力、强度计算、刚度计算等内容,保证了课程体系的系统性和完整性,但不利于同一知识点融会贯通,且内容重复、花费学时。因此,部分专业尝试按内力、应力、强度计算及刚度计算分模块讲授,突出共性,避免了重复且节约了学时,同时培养了学生的知识归纳和举一反三能力,拓展了学生对材料力学问题的分析思路,也有助于培养学生解决实际工程问题

[投稿日期] 2019-04-22

[基金项目] 河北省高等教育教学改革研究与实践项目(编号:2018GJJG247);河北工程大学校重点项目(编号:JG2016004)。

[作者简介] 栗东平(1981-),男,山西屯留人,副教授,博士,研究方向:力学教学研究。

的基本力学素养。

同时,在保证课程基本内容完整性的前提下,适当引入与材料力学相关的科研或教研成果,让学生切身感受到力学在现代工程领域中的应用,激发其学习兴趣。鼓励学生查阅有关材料力学课程教学的教研论文,建议学生关注《力学与实践》期刊的专题综述、应用研究、教育研究、力学纵横等栏目,开拓思路,激发学习兴趣,培养自学能力。

二、改革教学方法及手段,提高教学效果

改革教学方式方法,注重学生专业技能培养,不断完善实践教学体系,广泛采用案例式、“分形式”、互动式、多媒体与板书结合式教学方法,积极探索“半翻转课堂式”教学法,注重多种教学方式的综合应用,充分借助信息资源、突出多媒体教学优势,强化学生动手、创新能力的培养和训练。

(一) 案例式教学

在讲授知识点时,尽可能通过生活或工程中常见的实例引出。在讲授均匀性假设时,可以向学生列举体检时抽血化验的例子,只需几毫升的血样,就可代表全身的血液情况。在讲授各向同性假设时,可列举木材的例子,顺纹劈较横纹劈更容易断裂。在讲授应力集中时,可举例铁丝和木杆的例子,在铁丝和木杆上各开一个小口,木杆很容易沿着开口处掰断,铁丝则需要反复掰多次才会沿开口处断开,形象地说明了开口对脆性材料和塑性材料构件应力及强度的影响。例如,改革开放初期,我国从欧洲引进的价值千万的精密锻压机曲轴发生断裂,事故原因为曲轴弯曲处过渡角尺寸过小造成局部应力集中,同时曲轴表面有细小刀痕等加工缺陷,在交变荷载作用下,最终导致曲轴由于应力集中而发生断裂破坏。在讲授压杆稳定时,可通过不同长度的钢尺向同学们演示细长压杆的失稳破坏。例如,二十世纪八十年代,中科院科研楼的施工工地上,钢管脚手架在距地面 5-6m 处突然外弓,导致整座高约 50m,长约 17m,重约 60t 的脚手架瞬间轰然倒塌,死伤 10 余人,经济损失数万元,工期被迫推迟。而事故直接原因则是脚手架结构存在严重缺陷,导致整个脚手架丧失稳定性而倒塌^[6]。

当然,就地取材,随堂举例或做一些简单、直观的力学实验,更便于学生接受和理解^[7]。如:材料力学课程在讲授绪论时,粉笔便是最好的教具。粉笔的断面有很多空隙,严格意义上讲是不连续的,但对其进行宏观力学性质分析时,可认为其符合连续性假设。在讲授脆性材料轴向拉压、扭转的破坏

特征时,可以通过粉笔向学生展示脆性材料在轴向拉伸和受扭时的破坏及断面形式,引导学生分析为何轴向拉伸时沿横截面破坏,而扭转时却是沿与轴线成 45° 的斜截面破坏。又如:在讲授弯曲变形及应力状态时,教室的钢筋混凝土横梁、地面便是最好的实例。可引出横梁是如何受力;支座、荷载等如何简化;截面形式为何一般采用矩形截面,高宽比有何特征;混凝土梁中为何必须配置钢筋;梁中钢筋配置与主拉应力迹线有何关系;石材为何常作为教室的地面等一系列问题。同时,也可做一些简单的教具帮助学生理解。

(二) “半翻转课堂式”教学

M00C (Massive Open Online Course),即大规模在线开放课程,也简称为慕课,2012 年在美国知名高校得到了快速发展,2013 年复旦大学、北京大学、清华大学和上海交通大学等高校先后纷纷加入慕课阵营^[8],2017 年河北省教育厅认定和建设了高校第一批在线开放课程,我校材料力学课程获批立项,经过一年的建设,已于本年度开始线上运行。线上模块包括知识点教学视频、实验操作视频、作业库、试题库、教学课件等教学资源,同时可通过 M00C 平台进行单元测试、作业批阅、在线讨论、答疑、考试等。材料力学在线开放课程的建成,理论上为实施“翻转课堂”提供了条件,但就我校目前的实际情况而言,要实施完全翻转各方面条件还不成熟。(1)“翻转课堂”依赖于互联网,目前学校未有设置专门的在线课程教室,普通教室无线网络不能保证“翻转课堂”的有效实施。

(2)部分学生自律性差、自主学习能力弱、学习积极性不高,不能保质保量完成在线学习任务。另外,多数学生长期以来已形成了被动学习的模式,也更习惯于传统课堂教授的学习气氛,乐于课堂上与老师互动、交流。(3)传统课堂的教学模式,教师优秀的言行举止可潜移默化地影响学生,教师可根据知识点、课堂情境适时拓展,将有助于学生价值观及人生观的形成。(4)“翻转课堂”教学模式下的学生成绩认定还没有相应的配套政策,学生利用在线平台修得的课程学分是否可替代现有修读方式下的课程学分还不明确。(5)对于讲授教师而言,“翻转课堂”教学模式是否可替代现有的传统课堂教学模式、在线课程教学如何监管、工作量如何认定等均没有成型的办法。而传统教学模式教师完全主导学生,学生过于被动,随着授课学时的不断压缩,传统的教学模式很难在规定的时间内完成教学内容。

如何将“翻转课堂”教学模式和传统课堂教学模式有机的结合起来,扬长避短,“半翻转课堂式”教学很好地解决了这个问题,也为学生-教师课堂主体角色转换、相关规定和文件的出台赢得了时间。结合材料力学在线开放课程平台,“半翻转课堂式”教学为材料力学课程教学提供了全新的教学模式,即在教学中贯彻“教师线上设置知识点,学生线上自学、自测,平台反馈数据,教师针对性讲授,线上、课堂讨论答疑”的教学主线。平台反馈数据有助于了解各知识点学生的掌握程度,课堂教学更侧重于重点、难点讨论及答疑。改变了过去以教师为主体的讲授方式,真正做到学生为主体的半翻转式课堂,老师更多的责任是去解惑学生的问题和引导学生去运用知识^[9]。如:在课程讲授前,教师通过平台下达课程内容及自主测验任务点,课堂教学前通过平台反馈统计数据确定课堂重点讲授、讨论及答疑内容,对于学生通过平台已自主掌握内容则不再课堂讲授。将机械制造专业16级和17级材料力学课程期末考试卷面成绩进行了统计和对比(其中,机械制造专业16级采用传统课堂教学,17级采用“半翻转课堂式”教学)。从统计结果可以看出,机制17级的不及格率较机制16级明显降低,机制17级60-70、70-80两个分数段的学生比例显著提高,80分以上学生比例变化不大,改变了过去两级分化的卷面成绩分布。数据表明,“半翻转课堂式”的教学方式,保证了授课学时削减后材料力学课程内容的完整性和系统性,活跃了课堂气氛,激发了学生的学习兴趣,提高了教学质量,特别对中等及以下学生效果显著。

(三) “分形式”教学

“分形式”教学^[10]是从课程知识体系入手,在课程讲授过程中,把相近、相似内容概括总结,以一条主线贯穿整个分块内容,使得讲授内容更具有系统性和全局性,学生在掌握一块内容的基础上可以短时间内掌握研究方法相似的新内容,提高了学习效率,避免了相同方法重复讲授,可实现教师角色从“授之于鱼”到“授之以渔”的转变。同时,在一定程度上解决了专业基础课程内容多、学时少、学习难度大的实际问题。例如,材料力学课程在讲授四种基本变形时,改变过去每种基本变形均按内力、应力、强度及刚度计算讲授一遍的做法,而是将内力、应力及变形分成若干知识体系。(1)内力及内力图知识知识体系:以一般的受力杆件引入求解构件内力的基本方法(截面法),即内力是连续分布在截面上各点处的力系,将其向形心简化,一般

情况下可得到一个主矢和一个主矩,主矢可分解为三个分量,沿着轴向的分量即为轴力 F_N (轴向拉压的内力),平行于截面的两个分量即为剪力 F_S (剪切变形的内力);主矩也可分解为三个分量,沿着轴向的分量即为扭矩 M (扭转变形的内力),平行于截面的两个分量即为弯矩 M (弯曲变形的内力偶矩)。在此基础上总结形成求不同变形内力的简易法,即某特定截面轴力、扭矩、剪力、弯矩均为所研究部分与截面所设正方向相反的外力(外力之矩)减去方向相同的外力(外力之矩),即所研究部分外力(外力之矩)求代数之和。最后分别讲解不同变形内力图的画法(列内力方程描点作图法、微分关系简易作图法、叠加原理作图法),同时总结出不同变形内力图的简便画法。(2)应力及强度条件知识体系:应力计算公式推导时,均按照“实验-变形规律-应力变化规律-应力分布规律-应力计算公式”的推导思路,然后讲授构件强度条件(最大应力小于等于许用应力)的建立与应用。(3)变形及刚度条件知识体系:集中讲授外力作用下,杆件四种变形情况的变形计算公式推导和构件刚度条件(最大变形小于等于许用变形)的建立及应用。同样,对于每一种变形,这些问题的讲解过程非常相似,可对后出现的相似内容进行简略讲解^[11]。

(四) 多媒体与板书结合教学

随着多媒体教学硬件设施的不断完善,高校材料力学课程教学基本迈入了多媒体教学时代。通过PPT、图片、动画、视频等多媒体资源去展现材料力学课程中一些复杂图形、公式推导过程及难以用语言描述的比较抽象的教学内容,拓展学生思维,引入一些与课程内容相关的研究成果等是多媒体教学的优势。同时,材料力学课程教学学时不断缩减的人才培养模式下,多媒体教学在一定程度上也弥补了传统板书教学费时、低效、很难完成教学大纲要求的不足,多媒体教学使得难以理解的概念变得生动具体,可以在短时间内传递更多的教学信息,提高了授课效率。但同时由于教学信息量大,要求学生注意力更加集中,若一个环节没有跟上,则可能出现脱节,不能像板书教学可以及时回顾讲授过程、消化、理解,从而产生厌学反应。因此,对于课程内容中的重点、难点、典型例题的讲解,采用多媒体教学与传统板书教学相结合的讲授方法,发挥其各自特长,优势互补,方可取得最佳的教学效果。例如:利用多媒体教学在推导轴向拉压、扭转、弯曲应力计算公式时,主要的推导过程和结论呈现在黑板上,教学效果更佳;在讲授低碳钢的拉伸实验

时,实验录像可让学生了解试件在拉伸过程中的形态变化,但无法了解拉伸过程中试件的应力变化情况,此时,又可借助于有限元软件模拟整个拉伸过程,通过不同时刻的应力云图直观地显示试件在拉伸过程中的应力变化情况,通过变形动画形象地展示出试件在整个拉伸过程中的变形情况^[12],同时,在此基础上向学生介绍 SAP5、ANSYS、ABAQUS、ADINA/ADINAT、NASTRAN 等数值软件在复杂结构或构件应力计算中的应用,既加深了学生对所学知识的理解、激发了学生的学习兴趣,同时又拓展了学生的知识面。

(五) 互动式教学

在材料力学课程教学过程中,始终与学生保持互动、交流,通过学生的课堂反应,调整授课进度,有层次地强调重点、难点。适当的设置课堂讨论环节,积极引导学生在自主思考,调动学生主动学习的积极性,鼓励学生积极主动地参与到课堂中来。例如:在讲授两杆桁架求解许可载荷的例题讲解中,杆件截面面积 A 、许用正应力 $[\sigma]$ 已知。首先引导学生去思考解决该力学问题的思路,桁架中两杆均为等直杆,即是按照等直杆轴向拉压的强度条件 $F_N/A \leq [\sigma]$ 去确定,而内力 F_N 与许可载荷 F 有关,因此基本思路为:首先受力分析、画受力图;然后列平衡方程求解得到 $F_N=f(F)$;最后代入到强度条件求解各杆的许可载荷 F ,两者取较小值,作为桁架的许可载荷 F ,求解完成。此时,可引导学生考虑结构中杆件的承载能力与结构的承载能力存在何种关系,是否可按理论力学中平行四边形法则合成得到结构的许可载荷,讨论互动后给出结论,不可以按照理论力学合成法则计算,因为组成桁架的两根杆件并非同时达到各自的强度极限。在讲授利用微分关系 ($dM/dx=dF_N$, $dF_N/dx=q(x)$, $d^2M/dx^2=q(x)$) 做内力图时,可引导学生如何从数学角度判定弯矩极值及弯矩图的凹凸方向,即:一个函数 $M=f(x)$ 一阶导数、二阶导数存在,在一阶导数 $F_N=0$ 时取到极值,极值为极大值还是极小值,取决于其二阶导数 $q(x)$ 大于 0 还是小于 0,在 x 轴向右为正,弯矩轴向上为正的坐标系中, $q(x)$ 大于 0 取极小值,弯矩图则向下凸, $q(x)$ 小于 0 取极大值,弯矩图则向上凸。同时,可引导学生去考虑是否可用微分关系 $dM/dx=dF_N$ 两边求导,去反求极值弯矩,有集中力偶作用时,该如何处理等。在讲授细长压杆的稳定性时,可通过钢尺、纸片等教具向学生展示荷载作用下它们的失稳过程,让学生主动去思考为什么;在讲授梁的合理强度设计时,通过多媒体展示我国古建筑中的

抬梁,考虑为何如此设置;工程中的架桥机,为何通常在下部布置较多的轮子;在实际生活中要穿过结冰的河面时,爬过去总比走过去更安全是何种原因;大型桥梁的横断面为何采用空心的箱梁结构形式等。

在实际的课程教学过程中,应根据课程内容、学生自身特点综合运用多种教学方法。

三、改革教学考核方式,注重学生能力培养

目前大多数高校材料力学课程采用以期末考试为主的考核模式,即“一考定乾坤”。该种考核模式过程考核所占比例小,考核内容偏重理论、题型固化、评分办法单一。同时,这种考核模式的长期使用,使学生形成了平时松懈、考前突击等不良的学习习惯。而国外材料力学课程更注重过程考核,弱化期末考试在总成绩中的比例,这样有利于减轻学生负担,使学生从学期一开始就很注重所选科目的学习。如美国杜克大学土木工程专业材料力学考核方式为:作业 20%,中考 20%,实验 20%,期末 40%^[13,14]。

实际上,考核是评价学生对所学课程掌握程度和应用情况的指挥棒,好的考核方式有助于良好学风、考风的形成及良好学习习惯的养成。课程考核不仅仅是考察学生对所学知识的掌握情况,更要考察学生运用所学知识解决实际问题的能力和创新能力。因此,课程组一直致力于探索和实践材料力学课程的考核办法,原来材料力学考核方式为:实验成绩占 10%,平时成绩占 20%,期末成绩占 70%。2018 年课程组尝试改革材料力学课程考核方式,加强过程管理,加大过程考核在总成绩中的比例,开始在部分材料力学上课班级试行实验成绩占 20%、平时成绩占 20%、期末成绩占 60%的考核方式,平时成绩中增加了力学建模大作业部分,实验成绩中增加了自主创新实验设计部分。2019 年材料力学在线开放课程上线运行,为了既能调动学生线上学习的积极性,又能高效参与传统课堂讲授,课程组以总成绩包括实验、考勤、课下作业、期末成绩的考核办法为基础,明确线上知识点自学、自测、讨论在总成绩中的比例,合理调整实验、线下作业、期末考试在总成绩中的比例,探索出了一套线上学习、自测与线下作业、考试综合评定的考核方式,在 2018-2019-2 学期材料力学总成绩评定中试行实验成绩占 20%,课堂成绩占 80%的评定办法(其中,平时成绩占 20%,线上学习占 30%,期末成绩占 50%),线上学习包括知识点课程视频自学 40%,章节测验 20%,访问活跃

度 10%, 线上作业 15%, 线上考试 15%。试行的成绩评定办法大大加强了课程的过程管理及考核, 降低了考试在总成绩中的比例, 教学效果得到了很大的改善。

四、结论

材料力学作为一门重要的专业基础课程, 在工科类专业的课程体系中发挥着承上启下的重要作用, 随着社会人才需求和新形势下工科专业人才培养目标的不断变化, 传统的教学内容、教学方式和考核方式已不能完全适应时代要求, 进行必要的教学改革是社会发展的使然。积极探索和实践有助于培养学生实践能力和创新能力的教学模式, 革新教学内容, 改革教学方法及手段, 采取科学合理的考核方式, 想方设法调动学生学习的积极性, 激发学生的学习兴趣 and 创造力, 提高教学质量和教学效果, 培养出适应新时代要求的复合型应用人才是教学改革的方向和目标。

参考文献:

- [1] 彭雅轩, 王建国. 基于卓越工程师教育培养计划的材料力学课程改革方案[J]. 中国电力教育, 2014, (32): 102-103.
- [2] 周小春, 米若谷, 蒋冬蕾等. 专业认证下应用型本科土木工程人才培养方案研究—以宁波工程学院为例[J]. 宁波工程学院学报, 2016, 28(3): 69-72.
- [3] 江学良, 胡习兵, 陈伯望等. 专业认证背景下土木工程专业人才培养体系探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2015(9): 29-36.
- [4] 王放, 陈志谦. 《材料力学》课程教学改革与实践[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(2): 206-209.
- [5] 李玉兰, 张永祥, 樊小龙. 材料力学课程教学改革与实践[J]. 高等建筑教育, 2010, 19(5): 78-80.
- [6] 李颖, 冯立富, 郭书祥. 《材料力学》教学中的一些生活和工程实例[J]. 力学与实践, 2005, (27): 79-80.
- [7] 侯作富, 梅超. 教室中的材料力学实例[J]. 力学与实践, 2013, (35): 90-92.
- [8] 李晶. 基于 MOOC 背景的基础力学课程教学改革探究[J]. 长春教育学院学报, 2015, 31(15): 101-102.
- [9] 杨雪霞, 张伟伟, 李兴莉等. 基于 MOOC 平台材料力学半翻转式教学模式的探究[J]. 教育现代化, 2018, (17): 39-41, 67.
- [10] 熊红彦, 李海宝, 陈建涛. 大工程背景下系统与“分形”式教学法的研究与实践[J]. 中国大学教学, 2018, (6): 62-64.
- [11] 王明禄. 材料力学课程知识体系调整研究与实践[J]. 中国教育技术装备, 2017, (22): 90-92.
- [12] 周晓敏, 孙政. 将 ANSYS 引入材料力学课堂的教学实践[J]. 力学与实践, 2019, 41(2): 222-226.
- [13] 米红林. 国外材料力学课程教学模式与初探[J]. 科技创新导报, 2014, 2014(4): 160.
- [14] 王世斌, 亢一澜, 王燕群等. 国内外大学工科专业力学课程设置情况对比[C]. 中国力学学会学术大会, 2009.

[责任编辑 王云江]

Teaching study and practice of the course of material mechanics

LI Dong-ping, WANG Rui, LI Xian-min

(School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: As an important professional basic course for engineering majors in colleges, material mechanics is the link between basic theory courses and corresponding professional courses and plays a key role in the knowledge system of engineering majors. Based on the material mechanics course of Hebei University of Engineering, combined with the teaching reform of material mechanics courses at home and abroad and years of teaching experience of material mechanics courses, the research and practice of teaching content, teaching methods and assessment methods have been carried out, and a certain stage has been achieved. It provides a certain curriculum reform for the developing compound application talents that meet the requirements of the new era.

Key words: material mechanics; teaching study; teaching practice