

# 基于问题学习的探究式教学改革实践

冯 露 亢一澜 王志勇 孙 建 王世斌 贾启芬 沈 岷

**【摘 要】** 如何发挥基础课在工程教育改革中的作用,培养具有创新精神的高素质工程技术人才,是当今工程教育理论研究与教学实践面临的一个新问题。笔者对三年来在工科基础课《材料力学》课程教学中所开展的探究式教学改革实践进行了总结,教学实践表明:基于问题学习的探究式教学是一种教与学相互统一的过程,结合网络学习与团队学习等新的教学形式可以激发学生的学习热情,扩展学生课外的自主学习空间;通过具有前沿性、基础性与交叉性的问题,将工程实践中新的材料力学问题融入基于问题的学习中,有利于培养学生的创新意识,为培养高素质工程技术人才打好基础。

**【关键词】** 基于问题学习 探究式教学 工科基础课 教学改革实践 网络与团队学习方式

**【收稿日期】** 2012年9月

**【作者简介】** 冯露,天津大学机械工程学院副教授;亢一澜,天津大学机械工程学院教授;王志勇,天津大学机械工程学院副教授;孙建,清华大学水利水电系助理研究员;王世斌、贾启芬,天津大学机械工程学院教授;沈岷,天津大学机械工程学院副教授。

随着我国现代科学技术整体水平不断提高,国家工业化建设需要大量的具有扎实工程科学基础知识和掌握现代应用技术的卓越工程师,为此,近年来我国高校陆续开展了高等工程教育改革工作。基础力学课程是高等工科院校重要的技术基础课,是工科学生接触到的第一门理论学习直接联系工程实践的课程,如何发挥基础课在整个工程教育改革中的作用,培养具有创新精神的高素质工程技术人才,是当今工程教育理论研究与教学实践面临的一个新问题。

基础力学是工科院校水、土、船、机等工科专业核心的技术基础课程,主要研究工程构件的平衡、运动规律与承载能力,涉及工程构件的受力、变形和破坏问题。基础力学概念多、逻辑性强、工程背景明确,在培养学生建立工程概念、理论解决工程实际问题,具有重要的启蒙作用。随着近年来高等教育改革的推进,基础力学课程在提高课堂教学质量、完善课程体系、丰富教学内容方面卓有成效。但是,从培养卓越工程师的目标要求上看,还有不小的差距。以材料力学教学为例,目前的现状与问题是:①课程的教学模式以教师讲授为主,学生的学习主要以上课听讲和课下做作

业为主,配合相应的实验,最后是课程闭卷考试。尽管课程内容本身与实际工程紧密相连,但学生接触到的例题和作业题目是已经简化的力学模型,学生不了解如何将实际工程问题抽象为力学模型和定解条件;②作业习题内容与教材章节内容紧密相关,所涉及的知识点比较单一,学生缺少基于实际问题牵引的研究式学习,缺乏灵活运用书本知识分析实际问题的训练环节;③学生的学习心理过程以记忆与重现的被动式学习为主,缺少分析讨论、综合概括、质疑发现等主动式的学习训练环节;④学生在教学过程中的学习方式单一,例如,缺少学生擅长的或有趣的信息搜索、网络学习等方式,学生积极性不高,主动性不强,课下学习时间投入不足,影响教学效果。

基于上述现状分析,我们开展了改革教学方法的尝试,旨在探索一种以探究分析问题为导向的教与学互动的教学模式,以学生为主体,通过探究各种经过设计的与材料力学课程内容密切相关的研究问题,引导学生深入思考,提高学生们的分析和研究实际问题的能力,使学生通过网络学习、小组研讨等多样性的学习方式,启发学习兴趣,深化学习内容,打好工科学生的科学基础。

本研究得到了国家级精品课程《材料力学》,国家级力学教学团队项目,天津市教育科学“十一五”重点规划课题(ZGC121)的支持。

### 一、“材料力学”课程基于问题学习的探究式教学改革实践

2009~2011 连续三年,我们分别在天津大学机类与土木类 11 个教学班的 72 学时和 80 学时“材料力学”课程中进行了探究式教学改革试点,整体教学安排是:在开始阶段,向学生简单介绍将开展的探究式学习的基本要求,将准备好的 5 组探究性研究课题发给学生。在教学进行了二分之一左右后,学生自行或按宿舍组成 5 人左右的学习研究小组,从最初的选题,课题论证,查找资料,了解背景知识,到制定具体研究方案,实施方案,完成论文写作,乃至最终的答辩,均通过小组成员分工与合作的方式共同完成。在期末阶段,以小组为单位撰写研究报告,并以 PPT 形式进行答辩汇报,与其它小组交流研究成果。主讲教师进行总结并对各学生小组的研究成果进行点评。

#### 1. 探究性研究课题的设立。

开展探究式教学方法改革的关键环节是设计和选择探究性课题题目,对从未接触过工程实践的低年级大学生而言,要求他们自主提出与课程知识相关且难度适当的研究题目是不切实际的。为此,教师需要基于课程知识特点并结合自己的科研工作实践进行问题设计,我们共设计了 5 组类别共 30 个左右的探究性课题供学生小组选择。

第一组问题:工程构件的力学性能与承载能力分析。研究问题:① 飞机机翼的梁受弯曲与扭转模型;简化机翼结构的载荷及强度分析;② 钢轨的梁模型:“弹性地基梁”,移动载荷、轮轨疲劳概念;③ 十字辐辐式的盾构刀盘结构,简化的力学建模与载荷分布、梁结构的强度与刚度计算;④ 飞机起落架的受力强度分析,主要是考虑组合变形情况下的强度分析。

第二组问题:新材料或工程构件的力学行为探究。研究问题:① 工字梁的翼缘与腹板的应力分布,当纯弯梁的弯矩不变,截面面积不变, $t$  与  $h$  各参数变化时的受力情况?如果考虑减重,此时腹板如何设计开孔?② 比较复合层板梁的层板界面间刚性连接、柔性连接、光滑无摩擦连接三种不同界面条件时复合层板梁的承载能力(强度刚度分析);③ 美国金门大桥主钢缆(总长 70815 英里,直径 0.7 米多,由 17664 根钢丝组成)简化力学建模,结构受力与变形分析。

第三组问题:微型生物检测悬臂梁模型研究,分析微悬臂梁非线性载荷作用的力学响应与有限

变形分析。研究问题:① 微梁传感器与识别吸附,基于分子间作用力方程分析微梁传感器检测力学机理,新的物理力与粘附力所引起的微梁变形计算;② 硅微悬臂梁的光致应变效应的力学机理,考虑光生载流子的空间分布以及载流子表面复合作用下的梁形变理论;③ 硅基双层微机械悬臂梁在光热激励下的翘曲特性。

第四组问题:建筑结构与力学,了解建筑结构的力学行为,初步探析几何或结构优化等问题。研究问题:① 世界著名建筑或现代建筑概念设计中的美学与力学分析,分析其几何构型  $I(y)$ 、载荷、固结与支撑等特点,分析该结构力学设计的科学性;② 高层结构悬臂梁模型的受力分析与变形模型、优化概念;③ 高层结构悬臂梁模型在风载荷作用下的减振问题、台湾 101 大楼的柔性减振装置与相关力学分析;④ 坝体、岸堤等水利工程中结构物的受力分析和应力分析,讨论构型和物性在工程设计中的作用。

第五组问题:材料力学在生物界应用初探,包括:① 在植物的生长过程中表层结构受到来自于生长导致的力的作用,试用薄壳受内压的简单力学模型,结合植物生长特点分析:树木表面裂纹形成与生长过程之间的内在关系;结合应力状态和初等的断裂力学知识加以定性说明;② 风载荷按照  $w = kD$  吹过一棵棕榈树,讨论:若不考虑自重,树直径按什么规律变化时,树杆为等强度梁。若考虑自重和风载共同作用时,又会是什么情况。

我们在上述题目设计中,考虑学生工科专业背景,尽可能体现研究问题的前沿性、基础性和交叉性学科特点,选题主要来自前沿或热点研究领域,如近年来发展起来的微尺度纳米力学以及生物和仿生力学的相关问题;还有一些来自教师承担的工程应用类研究项目,如关于盾构机的受力分析模型。在内容设计上基本做到不超教学大纲,对涉及到的相关领域知识内容,教师尽可能列出参考文献,减少学生在进入课题阶段的学习难度。对一些专业背景比较强的研究问题,在研究深度上,不要求学生搞懂所研究问题的全部技术细节,主要要求对研究对象有正确的力学分析模型,给出定性的或半定量的分析结果,给后续课程深入学习预留空间。我们认为,这种分阶段有层次的学习符合中低年级大学生的学习认知规律。

#### 2. 探究式学习考试方式与主要考核点。

我们在探究式学习的考试方式上做了新的尝

试,考试方式避免复杂化,以提交小组研究的书面报告,以及参加PPT集体答辩作为考核内容。由教师与学生组组长共同构成答辩小组,给每组打分,小组中每位成员与组长的得分相同。考试成绩占本门课程总成绩的30%。考试内容力求体现对学生综合学习能力的考核。首先考查学生运用课堂知识,分析和解决问题的能力,要求学生针对实际工程构件,抓住载荷、物性、几何构型(含边界约束)三个关键要素,建立可以用材料力学知识分析的力学模型。考虑到有些课题的工作量与难度等因素,探究课并不要求每个问题都给出最终解答,但要求对所研究对象有正确的力学分析模型,并建立求解问题的思路与主要步骤,这是考核合格的基本要求。其次考查学生自主学习与综合学习的能力,高质量的课题研究成果需要有适当的选题深度、相对充分的研究内容、正确的研究结果、条理清晰的总结表述、规范的文字写作、图文并茂的PPT答辩。考核要求学生利用计算机网络查找相关资料,了解所选题目的工程应用背景与基本工作原理,包括补充学习一些课外相关知识、数学与绘图工具软件等。考核中也包含了对小组个人分工与团队合作这种学习方式适应性的内容,学生要在有限的时间内,保质保量地完成以问题为导向的综合学习训练内容,并最终形成小组书面报告以及PPT答辩报告,这其中离不开小组成员的集体智慧、合理分工与协同配合。

## 二、探究式教学改革实践提高了学生的综合素质

探究式教学方法给学生带来什么变化?我们在每次课程结束后向学生征求意见,并在2012年对参加第三轮教学实践的部分同学进行了匿名问卷调研。在学生反馈意见以及问卷调研的基础上,总结出学生的收获主要体现在如下方面:

### 1. 加深了学生对基础知识的理解。

与传统的教学方法相比,探究式研究问题设计考虑了前沿性、基础性和交叉性的几个要素,通过探究式、分析式学习,让学生体验到力学就在身边,运用力学知识可以分析研究许多实际问题,深化了学生对力学基本分析方法的理解,有利于培养学生的创新意识。我们在探究问题的设计中,涉及“微生物敏感的悬臂梁”、“植物与树木生长中的材料力学”、“大桥钢缆及型材构件的受力优化”、“硅梁光热引效的屈曲特性”、“机翼的弯扭模型”、“巨型掘进盾构刀盘的复合梁式结构”等问

题,引导学生深入地学习材料力学的基本理论,了解它们的实际应用,拓展学术视野,培养创新思维,打好学生的工程科学基础。从反馈意见与问卷调研结果看,大多数学生都认同这种方式有助于学习本课程和后续课程并了解其工程应用。

### 2. 激发了学生内在的学习动力。

我们在课题内容设置上力求围绕材料力学的主干内容,并且是没有标准答案的,在实际课题的探究中会涉及本门课程以外的一些领域中的应用背景与相关知识,学生需要通过网络查阅资料和部分自学。例如,有的题目涉及裂纹和复合材料方面内容,学生要在材料力学的基础上,自学部分断裂力学和复合材料力学方面的知识。在建筑结构和飞行器结构强度设计等题目研究中,学生们需要查阅飞机、钢结构和土力学方面的资料。围绕生物力学的问题,学生们需要了解植物生长中的生长应力怎么描述,它对植物的形貌和生长有什么影响?等等。探究来自身边的或工程中的力学问题,激发了学生们的探究兴趣,表现出了自己是学习主人的姿态。2008级机制三班的冯慧娟同学领导的研究小组所选研究课题的题目是“材料力学在生物界应用初探”,副题目是“树木表面裂纹的形成及形貌失稳现象的分析”,该小组的探究式问题的集体考试成绩是“优秀”。在本门课程结束后,同学们在进入大三前的暑假时间里继续课题的研究,在老师的指导下,最后完成了一篇研究论文“树木表面裂纹形成的生物力学机制”。该论文2011年发表在核心期刊《生物物理学报》上。实践表明,在探究式问题研究中,学生们激发出来的学习能量超出了我们的预估,学生投入的学习时间成倍于常规复习、做习题的时间。从调查结果来看,90%的同学在查阅与学习资料、讨论、分析等环节所投入的课外时间为10小时以上,其中68%为15小时以上;90%左右的同学在总结完成书面报告与准备答辩环节占用的课外时间为10小时以上,其中60%为15小时以上。实践表明,这是激发学生热情投入的一种教学活动。

### 3. 在探究式研究中,基于网络的自主学习成为学生们的主要学习方式。

近年来网络的迅猛发展,为“教”与“学”方式的变革创造了条件,学生们已经通过网络联通了人文、社会、艺术、时报、娱乐的巨大资源库,具备了这种信息搜索与处理的优势。我们因势利导,将网络学习与资料查询作为探究式学习中的必要

手段,学生通过网络了解所研究问题的应用背景,将各种不同的外力、结构构型、新材料应用而产生的新的材料力学问题融入探究式学习的内容中。基于网络的自主学习为学生们提供了动脑、动手以及展示学习技能的平台,其中,为了给出有说服力的研究结果,学生学习用到了 Mathematic, Matlab 等数学工具,还有 CAD 软件,还有同学利用 C++ 计算机语言编写程序,使论文涉及的计算工作简化。为了系统地表述研究结果,部分同学自学绘图工具软件 Viso, 等等。从学生反馈意见与问卷调查结果看,80% 以上的学生认为网络是最有帮助的学习工具之一。

4. 探究式学习将学生个体的学习与分组的团队学习结合起来。

以往学习过程强调学生的个人学习,包括自学也是指个人的自觉学习;但学习还有另一种有效形式,即向周围的同学学习,“三人行,必有我师”。一个学习小组,要求有分工组织、有讨论交流、有上网探索、有数据分析、有撰写总结、有报告答辩、有互询互质、有师生讨论、有小组间的展示、有团队考试答辩。在这样的学习活动中,学生体验了互学互助,互辩互进,个人能力与集体智慧汇聚所产生的学习成果。三年实践表明,高质量的探究式问题的研究成果,离不开小组成员的学习热情、个人努力与成员间的协同配合。反之,一些组织比较松散的学习小组,尽管有若干平时学习成绩优秀同学的个人努力,通常最后小组得到的成绩并不突出。问卷调查结果表明,56% 的学生认为小组学习讨论是最有效的学习方式之一。

三、探究式教学方法在基础课教学实践中的理性分析

上述探究式教学实践引发了我们对这门技术基础课程改革的理性思考,原来改革的初衷在于启发学生学习的兴趣,希望从讲课、复习、做习题、考试这一典型教学流程,迈向学生参与到教与学的进程,通过探究各种经过设计的与材料力学课程内容相关联的研究问题,深化学习的内容,联系实际,激发学生学习兴趣。通过三年的教学实践,我们感到有必要从教与学的理论上重新审视和思考这一过程。

1. 促进了教与学的互促共进。

以往教师重在“教”而轻“学”,将“学”理解为复习、习题、总结、考试。但是实践表明:学生在学习环节上有了新的投入与变化,他们基于“问题”,

寻找材料力学理论中的力学模型如何建立、了解了实际问题的多样性与力学方法概括性如何实现统一。他们探究的不只是教材上经常作为例子出现的集中力、均布载荷力,而是实际可变的、甚至是微结构的作用力;不只是均匀的金属材料,还有高分子材料,甚至是纳米尺度的新材料;不只是简单的杆构件,而是各种实际工程结构的构型。因此,从探索与研究中学生深化了对材料力学基础理论与应用方法的理解。与此同时,探究式教学方法成倍增加了教师的教学工作量,需要教师热爱、投入和研究教学。改进课堂教学质量是保障探究式教学实施的基本环节,教师要重视课堂教学中的分析式教学方式,提出问题引导学生思考,在习题讨论课中,精选一些综合的问题,培养学生运用材力知识分析和解决问题的能力。教师要在研究题目设计上尽可能体现学科的前沿性、基础性与交叉性,要从科研活动中不断地凝练和提取适合的问题。实践证明,探究式教学方法促进了教与学的相互促进,教师与学生都积极参与到教与学的互动中,提升了教学效果。

2. 提高了学生的综合素质。

“基于问题探究”的教学方法激发了学生的内在学习动力,当学生们为一个研究问题所吸引或所困扰时,就会多方寻觅解决问题的办法,学生投入的学习时间成倍于以往的课后做习题的时间,正是这种全身心的学习投入,研读思辩,用研究探寻的态度来学习,帮助学生最终抓住解决问题之真谛。在这一探究式的学习中,学生们利用网络搜索学习,提高了学习兴趣,拓展了学习广度。通过这种团队的研讨式的学习模式,学生们在“思”与“辩”的过程中深化了研究内容。这种“基于问题探究”的学习已经超越了以往学生课外“自学”的内涵,教学与素质培养实现了该课程范围内一种无声的统一与整合。

课程的教学改革取得了一定的成功,但也遇到一些新问题与困难,从几年的实践来看,有以下两个问题是应予以回答和探讨的:① 探究式的学习是否会削弱学生对材料力学基本概念与基本理论的学习与掌握?我们对这一问题的理解是:首先,与原有的教学时间相比,包括讲课量、习题数量、复习考试时间,教学时间没有减少。与此同时,探究式的问题激发了学生学习的主动性,学生在本门课程的课外学习时间增加了。以往强调的“精讲,多练”即要求课堂讲授要精,课外练习要多

的说法,在原有的教学模式中难以实现,但在探究式学习过程中实现了“精讲,多练”。另一方面,教师投入的教学时间增加了,教师们要注意课堂教学精讲,问题分析式教学,探究课要设计问题,引导讨论,考试交流等。在研究问题的牵引下,“教”与“学”投入的时间总量都大幅度增加,学生学习深入了,质量提高了,效果也较常规方法为好。当然,探究式教学实践也提出了教学管理与教学评价的新问题与困难,如何评价与鼓励教师的这种教改投入,因为学校的一切工作,都是为了培养学生。② 探究式学习中所研究的问题没有标准答案,不如原有教材中那些千锤百炼的习题答案准确,是否会将学生引入“万花筒”式学习?我们对这一问题的回答是,整个教学过程中对教学内容的基本练习并没有减少,增加了与教学内容相关的应用问题探索环节,它的特点在于激发学生的学习能量,在学习过程中联系新问题来加深对材料力学基本概念的理解,并通过课外学习了解更多的相关知识。培养学生基于“问题探究”的学习能力,学好用活书本知识,已经超越以往的学生课外“自学”的范畴,这是基础课教学中适应高素质人才培养要求的一种新的教学改革尝试。

总结三年来的教学改革实践,从教与学的理论上重新思考这一教学过程,我们认为:基于问题的探究式学习是一种教与学相互统一的教学过程,也是一种激发学生学习热情的教学活动;采用新的教学形式与手段,将学生个体的学习与分组的团队学习结合起来,培养了学生的团队精神,将探究式学习与网络学习结合起来,扩展了学生课

外的自主学习空间;通过具有前沿性、基础性与交叉性的问题,将工程实践中各种新的材料力学问题融入基于问题的学习中来,有利于培养学生的创新意识,为培养高素质工程技术人才打好基础。

发挥技术基础课在整个工程教育改革中的作用,从一门课程的角度为学生进入现代工程科技打好科学基础,拓宽学术视野,是基础课教师的一种新责任。三年来,我们在工科基础力学教学中进行了探究式教学方法的探索实践,取得了预期的效果,并有必要今后在实践中不断丰富、改进与提高。

#### 参 考 文 献

- [1] 林健:《面向卓越工程师培养的研究性学习》,《高等工程教育研究》2011年第6期。
- [2] 余寿文:《大学者,育才之谓也——中国特色高等工程教育十议》,《高等工程教育研究》2011年第2期。
- [3] 胡海岩:《对力学教育的若干思考》,《力学与实践》2009年第1期。
- [4] 陈希:《着力培养卓越工程师后备人才》,《人民日报》2010年7月9日。
- [5] 吴咏诗:《高等学校本科教学面临的挑战与改革》,《高等教育研究》2003年第2期。
- [6] 叶志明等:《把教的创造性留给老师》,《把学的主动权还给学生中国大学教学》2006年第8期。
- [7] 王世斌、郑海霞、余建星等:《高等工程教育的理念与实践》,《高等工程教育研究》2011年第1期。
- [8] 韩旭东等:《行业特色院校工科拔尖创新人才培养研究》,《西南交通大学学报》2012年第1期。

### Reform and Practice of Problem-Learning Based Research-Style Teaching

Feng Lu, Kang Yilan, Wang Zhiyong, Sun Jian, Wang Shibin, Jia Qifen, Shen Min

How to foster high-quality engineering and technical personnel with innovative spirit is a fresh problem in theoretical research and teaching practice of engineering education. This paper summarizes the research-style teaching reform and practice over three years in the basic engineering course “Mechanics of Materials”. The teaching practice demonstrates that research-style teaching based on problem learning is a unified process of teaching and learning, that students’ learning enthusiasm can be stimulated by combining network learning and team learning and that extracurricular learning space can be extended. With advanced, basic and crossed problems, some new problems related to mechanics of materials in engineering practice are introduced to learning based on problems, which contributes to the training of students’ innovation awareness and sets up comprehensive foundations for talents with high quality in engineering and technology.