

实施研究型教学的创新之路

◆ 范钦珊 / 殷雅俊 / 陈建平 / 郭光林

提高教学质量,培养创新人才是我国高等教育永久的命题。对于课程教学而言,需要解决以下问题:怎样使课堂教学具有吸引力?怎样才能基于书本而又超越书本?怎样启发、引导实现教学互动?怎样在课程教学中培养创新精神和创新能力?针对上述问题,从2001年开始,我们在清华大学的“材料力学”、“理论力学”、“工程力学”等课程教学中进行研究型教学的尝试。2006年,研究项目“在内容体系改革的基础上推进课程的研究型教学”在教育部“高等学校教学质量与教学改革工程”项目中获批立项。经过10年在清华大学、南京航空航天大学、南京工业大学等多所高校全过程教学实践,提出了“教师在教学中研究,在研究中教学;学生在学习中研究,在研究中学习”的研究型教学理念;在课程教学内容中坚持“力学概念和理论与工程案例相结合”、“兴趣与挑战相结合”的机制;在教学过程与教学方法上坚持“引导与激励相结合”、“课内学习与课外研究相结合”的研究型教学措施,不仅解决了长期以来制约我们课程教学的难题,而且在更高层次上提高了教学质量、培养创新人才,在实施过程中取得了显著的成效。

一、教学内容重在学术深度,基于和超越书本

深度是指基本教学内容深层次的内涵。追求教学内容的深度,可以帮助学生加深对于基本教学内容的理解,激发学生的钻研和创新精神。我们从以下方面挖掘基本教学内容的深度。

1.从力学基本理论挖掘基本教学内容的深度

基础力学的基本概念、原理看似简单,但如果不能深刻理解,就只能死记硬背。如果能够引导学生从更深层次上理解,就可能使学生创造性地应用这些概念、原理以及公式去分析解决复杂的工程实际问题。例如“功互等定理”和“位移互等定理”,常规上只涉及集中力、集中力偶及线位移和角位移。在讲授时,我们引导学生深化理解,使其认识到其中的“力”是广义的;可以是集中力或集中力偶,也可以是线上或面积上的分布力;“位移”也是广义的;可以是线位移和角位移,也可以是面积和体积,从而大大地拓

宽了学生的思路。

又如,“小摆动理论”是“非线性摆动理论”的线性化。常规教学只讲线性微分方程及其解,但“小摆动”到底有多大?线性解的误差有多大?这是工程中必须回答的问题。我们在教学过程中,分别将线性解和二阶近似解与Metalab的计算结果相比较,澄清近似解与精确解之间的误差,不仅使学生认识到线性解的近似性,而且掌握了提高摆动理论精确度的途径和方法。

有时为深化教学内容,我们将自己的科学研究成果转变为课程的教学内容。例如,讲压杆稳定性理论,在讲清临界屈曲概念的基础上,引入后屈曲的概念和思想。从理论和实验两个方面证明:细长压杆的临界点的平衡是稳定的,细长压杆在临界点之后仍然具有承载能力。这一成果纠正了传统教学中认为临界点的平衡是随遇的不正确概念,已经应用于工程实践。

2.从工程实例挖掘基本教学内容的深度

力学概念、原理和公式看似枯燥无味,如果在讲解时引进工程实例,情况就不一样了。例如讲“截面惯性矩”概念时,我们问“高层建筑为什么大都是中空的”?通过深入讨论,能够说明:同样的横截面面积,空心截面的抗弯及抗振能力优于实心截面。于是枯燥的概念变成了活生生的现实,从工程实际的层面提高了基本教学内容的深度。

3.从工程事故挖掘基本教学内容的深度

大多数工程事故特别是灾难性事故都包含力学因素。科学地分析事故的力学原因,对于学生很有吸引力。例如在讲解强度问题时,先介绍某高层建筑施工时坍塌的过程,再从力学上分析坍塌的原因:设计时错误地将悬挂楼板螺栓上的偏心载荷当作轴向载荷。讲剪切问题,介绍某高楼施工时错误地省略了楼板与立柱连接的柱帽,使连接处楼板承受的剪应力大大增加,导致结构坍塌。这些内容引起学生共鸣:“有深度,易理解,印象深”。

4.从学科发展史挖掘基本教学内容的深度

在教学中引入相关的力学史,有利于提高基本教学内容的深度。在讲授梁弯曲时,介绍伽利略在实验基础上最

早创建的梁的理论。当时只有脆性材料,因而其理论今天看来是错误的。后来法国科学家纳维在世界首本“材料力学”手稿中重复了伽利略的错误,但2年后手稿正式出版时,错误被纠正了。错误得以纠正,是因为纳维到英国考察了悬索桥,发现材料不是脆性材料而是韧性材料。讲述这段历史,加深了学生对于梁理论的理解,使学生认识到,科学发展与时代密切相关,科学家也会犯错误。

二、教学过程重在启发引导,实现师生互动

研究型教学需要活跃的课堂学术氛围。教师要具有深厚的学术功力,敢于对传统教学内容中某些模糊概念和不正确的理论加以澄清和纠正;敢于对陈旧的分析与计算方法加以改造;善于从力学视角对灾难性工程事故加以分析和诠释;善于在课程教学中提出学术性的反问题。加深基本教学内容的深度,提高课程教学的学术性和挑战性。与此同时,我们还要采取多种方法激发学生听课的热情和积极性,使他们不仅带着耳朵和眼睛来上课,而且带着大脑来上课。

采用参与式教学,鼓励学生参与教学,在参与中学习。例如在理论分析和推导公式时,教师首先交代清楚:问题的性质是什么,解决问题的方法是什么;然后,在定性分析的基础上作定量分析,请学生一起参与分析与公式推导。

设计一些与基本教学内容有关但又需要深入探索的力学问题,组织好课堂互动与讨论。有时留出一些疑问,激励学生带着疑问去寻找答案,在寻找答案的过程中边研究、边学习,不仅可以加深对于基本概念与基本理论的认识和理解,而且可以掌握问题的深层次内涵。例如,在讲解静不定的例题时,同学们对于所得到的结果感觉有点“怪异”。我们没有作解释,而是提出了3个问题请他们去研究:这个结果到底是正确的还是错误的?如果是正确的,怎样证明?如果是错误的,错在哪?第二天,就有2位二年级的同学将结果发给教师。第一,他们选择不同的静定基本系统得到相同的结果。第二,解释了看似“怪异”但又可以理喻的理由。第三,找到了产生“怪异”的原因,是忽略了轴向力。他们发现:如果考虑轴向力,横杆产生缩短变形,竖杆将要弯曲,为了保持刚结点的直角,横杆相继发生弯曲。通过深入探索,他们给出了完整的解答,形成了一篇论文《“材料力学”研究型学习中的一点体会——从一道例题的“怪异”结果想到的》,发表在核心刊物《力学与实践》(2012年34卷)上。

课堂讲授要给学生留出适当的思维空间。但留在哪,留多大,怎么留?难度很大。为此需要精心设计能够刺激和引导学生思维的问题。设计这些问题,要看对象,分层次。设计的问题有两类:大多数学生通过积极思维都能够被启发且有所收获;为少数优秀学生设计的,使高水平的学生也有发挥的空间。教师可以自问自答、教师问学生答、学生问大家答。研究型教学模式,不仅要培养学生“分析问题和

解决问题的能力”,而且更要培养学生“提出问题的能力”,特别鼓励学生自己提出问题。有同学说:上这种课“思想不敢开小差,不知道老师什么时候提问,不知道会问什么问题,不知道会不会问到自己”。

三、课外学习重在探究与研究,激励创新

研究型教学鼓励学生“在学习中研究,在研究中学习”,不满足于书本上知识,要研究书本没有的东西。为此,我们鼓励学生查阅与教学内容相关的科研和教学论文,培养搜集资料、阅读文献的能力,养成研究问题的好习惯。

传统的课外作业,大多是模仿式的,就是模仿教材中的例题,套用书上的公式。学生完成这类作业,主要是应付“差事”,没有积极性,更谈不上培养创新思维能力。现在,我们在基本题训练基础上,鼓励学生探索一些“学习研究问题”。这可以是基本教学内容的延伸和扩展,也可以是工程实际有关的理论问题,还可以是力学建模问题。例如,课堂上我们讲直杆拉伸,但课外让学生研究锥形杆拉伸,论证锥形杆拉伸时横截面上必然存在非均匀分布的剪应力,且平截面假定不再成立。一位学生先用近似方法完成了理论验证,又用ANSYS分析软件进行了数值论证。她研究了不同锥度的杆,并与直杆公式相比较,发现当锥度小于 10° 时,二者误差小于3%。到目前为止,我们没有看到国内外相关的报道。

设计一些带有探究和研究型的“开放式思维案例”,作为学生课外学习研究的资源。在材料力学教学中,设计了国内外教材都没有的学术性的反问题。例如,在“应力状态分析”一章中,给定一个应力状态,只能绘出一个应力圆,这是正问题;在开放式思维案例中,给定一个应力圆,请同学找出相应的应力状态,答案不是唯一的。这对于本科二年级的学生来讲,是一种挑战。

一些具有挑战性的开放式思维案例,对于激励学生的创新思维至关重要。有时,所产生的效果连我们教师自己都没有想到。2012年下半年,我们在北京工业大学为二年级“卓越工程师”班进行“材料力学”研究型全过程教学中,进行到第6周时,先让学生根据梁的支承和作用在梁上的载荷,画出梁的剪力图和弯矩图,这是正问题,只能有一个解答。一周之后,我们给学生出了一道关于梁内力图的反问题:已知梁的剪力图和弯矩图,要求确定梁的支承和作用在梁上的载荷。这是我们作为经典一直保留的反问题,在清华大学和南京航空航天大学等学校用了10年,学生和教师都只给出两个解答。北京工业大学卓越班范思仪同学,在给出两个结果之后,又给出了一个新的答案。我看到这个答案当时一愣:似乎有点问题。为了慎重,我既没点头,也没摇头。结果助教判卷时给了一个叉。几天后,这位同学来答疑,认为她的结果是正确的,当时来答疑的两位男生现场帮她作了验算,证明她的结果是正确的。我们又

校核一次;3个结果中梁的支承形式和支承位置虽然不同,但三者的受力(包括载荷和约束力)却是完全相同的,因而具有相同的剪力图和弯矩图。

在参与研究型教学改革中,全体学生形成了自觉、自主、自我约束的良好学风,绝大多数学生的课外作业以及课外研究都是独立完成的。10年来,作为成果完成单位的3所学校期末考试成绩的优秀率也保持在15%—30%之间。

四、实验教学重在自主设计,培养全过程的实验技能

传统实验教学模式是规定性的:规定学生必须做什么,只能做什么,不能做什么。研究型实验教学模式是设计性的:不告诉学生必须做什么,要求学生思考,自己能做什么?

改革梁弯曲实验。传统做法是在梁上布置好测点,学生测量这些点的应力分布,证明梁理论的正确性。这种传统实验模式没有悬念,没有吸引力,学生兴趣不大,效果甚微。我们在梁上不同位置布置三组测点,同时,在两个加力点以内和以外,分别布置两个45度方向的测点。将试样交给学生,不告诉学生要作什么实验,而是请学生思考:根据提供的试样以及实验室的条件,确定可以作什么实验;然后自己制订实验方案,进行实验获取所需要的数据;对实验数据分析,比较和研究,让他们自己得出结论:弯曲理论在哪些位置是正确的?在哪些位置是近似的?在哪些位置是不成立的?为什么加力点以内45度测点,没有数据显示,而加力点以外的45度的测点,则有数据显示。两个课时的实验,学生所得到的不仅仅是实验结果以及对弯曲理论认识的深化,更重要的是他们自主实验的意识、独立进行实验设计和获取实验数据的能力得到培养与提高。国防科技大学的学生在实验后的感想中写道:“这次实验给我们一个非常大的惊奇:那就是做实验完全由自己支配,自己决定,是一个开放性、发散性的实验,这在以前做实验的时候是很少的。在实验中我们学会了合作,学会了没有目标下的思考,学会了给自己定目标,给自己定实验目的,这或许就是创新的感觉吧!创新对于我们来说真的太重要了!”“我们在实验过程中通过分析,对实验装置中可能存在的错误进行了分析,并排除了其中的错误,而不仅仅只相信仪器,不仅仅相信理论,因为我们的学习并不是一个照抄理论知识的过程,更注重的是对知识的理解,对知识的创新吸收!”这是说有一组在那个不应该有数据显示的45度测点,居然测出数据,同学们怀疑测点方向有误。实验后,揭开那个测点,果然如此。

鼓励学生自己设计实验。例如,工程中的桁架,理想力学模型都是铰链连接杆系,但工程连接方式各种各样,哪些可以简化为铰链?哪些近似可以?哪些不可以?我们先通过视频让学生观看实际桁架结构,然后让学生设计实验方案,验证实际连接方式能否简化为铰链。

五、考试考核重在刺激思维鼓励创新,形成诚实学风

研究型教学需要研究型考试考核方法,主要考核学生灵活应用基本概念、基本理论的能力、分析和解决问题的能力以及创新思维能力。我们通过资格考试、水平考试、随堂测试、研究论文4个方面综合评价学生的学习成绩,激励他们独立完成作业、建立正派学风,提高了合格率和优秀率,杜绝了考试作弊现象。

资格考试。考试内容为平时作业,方式为闭卷。100分中达到75分者可取得课程学分,在总成绩中记入60分,并获得水平考试资格。资格考试的目的,是确保课程基本要求的教学质量,加强学风建设,遏制抄袭作业现象。95%以上的同学对资格考试都很重视,抄袭作业现象大大减少。

水平考试。主要考查上述几种能力,占总成绩的40%。其内容不在难度,重在基本教学内容的深度,考题没有繁琐的公式推导和数字运算,重在灵活应用与创新思维。例如,有一次期末考试出了一道4次静不定问题,求6根杆的受力,汇交力系只有2个独立的平衡方程,还需要4个补充方程。按照定式思维,不仅繁琐而且费时。考试结束后,一个同学懊恼地说:那道题1个小时都没做出来;旁边的一位同学说:我只用了不到5分钟。他利用对称性分析,6根杆变成3根杆;再利用反对称性分析,中间杆不受力,最后变成2根杆,两个方程就把问题搞定了。

随堂测试。为了鼓励学生参与课程教学,参与讨论,积极思维,每章最后都有随堂测试,其命题原则与形式与水平考试相似。答题正确的计点数,累计10点得1分,计入总成绩。随堂测试不仅提高了课堂教学效率,而且在新的层面上实现了师生互动。

研究论文。主要考查学生综合应用基本教学内容、计算机分析和实验方法综合解决问题的能力。学生的论文经老师评审或通过答辩,分数计入总成绩,特别突出者可获得免试资格。

研究型教学的成效在全国大学生力学竞赛中得到充分展示:2009年(第七届),清华大学学生取得团体特等奖;南京航空航天大学学生先后获得多项个人优秀奖,其中,2007年(第六届)获得一、二、三等奖各1项;2009年(第七届),获得二等奖2项、三等奖6项;20011年(第八届)获得二等奖2项、三等奖5项。另外,2008年,南京航空航天大学学生丁力被中国力学学会评为全国优秀力学学生,并获全国徐芝纶力学优秀学生奖(唯一的一个一等奖)。

[本文为教育部高等教育教学改革立项项目“在内容体系改革的基础上推进课堂的研究型教学”的课题研究成果。参与者还有李俊峰、高云峰(清华大学);唐静静(南京航空航天大学);何斌(南京工业大学)]

【作者单位:范钦珊、殷雅俊,清华大学;陈建平,南京航空航天大学;郭光林,南京工业大学】

(责任编辑:吴绍芬)