

doi:10.13582/j.cnki.1674-5884.2015.09.012

# “简明弹性力学”课程教学中学生 创新意识的培养

钟新谷,王修勇

(湖南科技大学 土木工程学院,湖南 湘潭 411201)

**摘要:**简明弹性力学是土木工程专业本科生最经典的力学基础课程之一,具有极强的理论性,授课难度大。如何老课新讲,并在课程教学中培养学生的创新意识,是值得深思的问题。基于教学过程,通过对课程历史发展的讲授,使学生获得创新启示;基于理论推导基本假定的学习,对“大胆假设,小心求证”的科学研究方法获得感性认识;在教学过程中演绎知识的巩固性、可辨性和可利用性,举例说明了举一反三、触类旁通创新思维形成的意义。该授课方法可为相关力学课程教学提供有益参考。

**关键词:**弹性力学;课程教学;科学假设;逻辑思维;探索与创新

**中图分类号:** TU6, G642

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5884(2015)09-0039-04

简明弹性力学课程是非力学专业固体力学课程体系中最基础、最普遍、最重要的课程之一。弹性力学的理论框架以牛顿刚体力学体系与拉格朗日的分析力学体系为基础,早于19世纪中叶形成,基本理论体系至今未有变化。弹性力学建立的偏微分方程组是解决实际工程问题的基础<sup>[1]</sup>,但直接求解不易,只能得到某些特定边界条件下的理论解。弹性力学课程理论性和应用性都很强,注重对力学一般规律的总结,在基本假设的前提下具有完整的逻辑性。该课程的学习要求学生具备扎实的数学功底、良好的力学基础和较强的逻辑思维,其教学难度大<sup>[1-2]</sup>。如何在教学过程中激发学生的探索欲望并培养其创新意识,是授课教师应深思的问题。

## 1 “温故而知新”,引导学生学习力学发展史,从前人的创造中获得启示

从哲学上讲,“温故而知新”具有方法论的普遍指导意义,新的知识来源于对既有理论知识的加工、深化和升华,“温故”深刻反映了人类认识世界的一般方式和过程。对于非力学专业的力学系列教材中,诸如理论力学、工程力学、材料力学、弹性力学、结构力学等,在绪论章节主要讲述教材的主要内容及其应用,少有讲述力学的发展史。笔者认为弹性力学课程本身是讲述力学的一般规律,有必要让学生了解力学学科发展过程中的重要知识结点创新过程中的人物背景、过程特点、知识结构及其逻辑递进关系。通过该内容针对性的讲解,让学生了解力学发展给科技进步和人类文明带来的重大影响。此举可激发学生的学习热情、培养专业兴趣和素养;另一方面使学生受到创新精神的熏陶,认识创新的过程,得到创新的启示。授课时列出中国科学史、世界科学史的相应参考书,让学生写出读书报告。遗憾的是,以牛顿刚体力学体系与拉格朗日分析力学体系为理论基础的弹性力学理论框架并未在中国产生,教授过程中注意讲述近代力学发展的中国科学家的贡献,提高民族自豪感,同时引导学生积极思考近代科学没有在中国产生的原因,提高学生的责任意识。

收稿日期:20150512

基金项目:教育部高教司创新试验区课题(教高函200927);土木工程专业校企合作人才培养示范基地项目(145811)

作者简介:钟新谷(1962-),男,湖南宁乡人,教授,博士,主要从事桥梁工程相关的教学和科学研究。

## 2 “大胆假设,小心求证”,重视基本假设教学,激发学生探索欲望与创新意识

科学研究和发展均遵循由浅入深、循序渐进的过程。基于已知的科学定律、事实和原理,可对研究对象提出假定性的合理推测,再基于该假定进行严密的逻辑论证可得出新的科学原理。科学假定并非主观臆断,也并非一般的推测,而是以可靠的科学事实和经得起实践检验的科学原理为基础,具有严密的逻辑性、科学性和客观性。显然假设具有客观真实性和合理性,但既然是假定必有一定的适用范围,即在一定的条件下假设不再成立。这本身并不矛盾,因为假设的真实性与假定性是辩证统一的。弹性力学课程绪论中有5个基本假设<sup>[1-2]</sup>,这些基本假定本身就包含有丰富的力学原理和哲学含义,是贯穿全课程知识的基础。因此,在授课时应格外予以重视,应该站在拓展学生未知领域的广度和培养学生辩证思维的高度讲解基本假设,将其来龙去脉讲清楚。

如小变形假设在弹性力学的公式推导中有极为广泛的应用<sup>[1-2]</sup>,一般从三个方面讲解:1)假定物体在外作用力或者其他外界因素(包括温度等非直接荷载)作用下,其变形忽略不计,即认为物体变形与自身几何尺寸相比为可忽略的高阶小量。2)于是可知,在研究弹性体的平衡问题时,认为外因所致变形为小变形,即可以不考虑因变形所引起的物体几何尺寸变化。3)同理可以忽略物体位移、应变和应力等分量的高阶小量,使其基本方程成为线性的偏微分方程组。部分教案中通过台劳级数展开式说明小变形的概念:

$$u(x+dx) = u(x) + \frac{du}{dx}dx + \frac{1}{2} \frac{d^2u}{dx^2}(dx)^2 + \dots \quad (1)$$

忽略高阶微量:

$$u(x+dx) \approx u(x) + \frac{du}{dx}dx \quad (2)$$

得到小变形的应变公式:

$$\varepsilon_x = \frac{u(x+dx) - u(x)}{dx} \approx \frac{du}{dx} \quad (3)$$

在推导过程中同样忽略高阶微量,得到应变表达式:

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{du}{dx} \right)^2 \quad (4)$$

据迭加原理,有:

$$u(x+dx) + p(x+dx) = u(x) + p(x) + \frac{du}{dx}dx + \frac{dp}{dx}dx + \frac{1}{2} \frac{d^2u}{dx^2}(dx)^2 + \frac{1}{2} \frac{d^2p}{dx^2}(dx)^2 + \dots \quad (5)$$

$$\varepsilon_{(u+p)x} = \frac{u(x+dx) - u(x)}{dx} + \frac{p(x+dx) - p(x)}{dx} = \frac{du}{dx} + \frac{dp}{dx} = \varepsilon_{ux} + \varepsilon_{px} \quad (6)$$

对于格林(Green)应变张量:

$$\varepsilon_{xu} + \varepsilon_{xp} = \frac{du}{dx} + \frac{dp}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{du}{dx} + \frac{dp}{dx} \right)^2 = \frac{du}{dx} + \frac{dp}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{du}{dx} \right)^2 + \frac{du}{dx} \cdot \frac{dp}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dp}{dx} \right)^2 \neq \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{du}{dx} \right)^2 + \frac{dp}{dx} + \frac{1}{2} \left( \frac{dp}{dx} \right)^2 \quad (7)$$

由上述推导过程可知,如果同样忽略高阶微量,采用同样的方法简化求解应变张量,则迭加原理并不适用。显然在向学生讲授小变形假设时,不能简单的认为忽略高阶微量,就适用变形和力的迭加原理。这里通过提出问题,让同学们思考、学习,并选择适当时候进行讨论,提高学生对假设科学性的认识能力。

## 4 加强对既学知识的巩固和利用,培养学生解决问题和创新的能力。

所谓创新,就是对既有知识进行组合、提炼或转换的过程<sup>[3-4]</sup>。创新必须有两个前提:即丰富的既

有知识和创新的灵感。按照现代信息加工心理学的观点,解决问题能力以及创新能力的差异,在于知识的可利用性、可辨别性和巩固性掌握程度<sup>[5]</sup>。因此,在实际教学过程中,应有意识地注重上述各方面能力的培养,并付诸实践。弹性力学课程的学习内容除去力学的定理、定律外,从数学角度讲并没有新的内容,公式的推导和变换方法全来自于所学的高等数学和线性代数法则。如:当物体某一斜面上的切应力为零,此时其正应力即为主应力<sup>[1-2]</sup>。因此,可列出非齐次线性方程组:

$$\begin{aligned} l(\sigma_x - \sigma) + m\tau_{yx} &= 0 \\ m(\sigma_y - \sigma) + l\tau_{xy} &= 0 \end{aligned} \tag{8}$$

由上式得:

$$\frac{m}{l} = \frac{\sigma - \sigma_x}{\tau_{yx}}, \frac{m}{l} = \frac{\tau_{yx}}{\sigma - \sigma_y} \tag{9}$$

由(9)得到:

$$\sigma^2 - (\sigma_x + \sigma_y)\sigma + (\sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2) = 0 \tag{10}$$

上述推导学生可以理解,但对于空间问题有:

$$\begin{aligned} (\sigma_x - \sigma)l + \tau_{xy}m + \tau_{xz}n &= 0 \\ \tau_{xy}l + (\sigma_y - \sigma)m + \tau_{yz}n &= 0 \\ \tau_{xz}l + \tau_{yz}m + (\sigma_z - \sigma)n &= 0 \end{aligned} \tag{11}$$

如由(11)式求解空间问题,似乎显得复杂。如果利用学习过的线性代数齐次线性方程组的非零解,系数行列式等于零,无论是平面问题还是空间问题都变得十分简单,由(8)、(11)得:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma \end{vmatrix} = 0 \tag{12}$$

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0 \tag{13}$$

如果学生对线性代数知识没有利用巩固,则无法理解上述变换过程。在弹性力学及其他力学课程的教学过程中这样的例子相当多,需要授课教师在教学过程中充分把握并针对性的讲解。如在研究结构稳定问题的临界荷载、结构固有频率的求解时也会出现类似问题。基于该教学方式,学生既复习了旧知识,又学习了新理论,具有较好的学习效果。

5 从简单孕育着的复杂的辩证关系,培养学生解决复杂问题的能力

复杂问题往往是由多个存在有机联系的简单问题集合而成。问题的复杂性与简单性并不是绝对的,而是可以相互转化的;问题本身也是互为依存的,由一系列中介串联和过渡的共存体。简单问题孕育着复杂的辩证关系,可由案例教学进行演绎。也就是说在教学过程中将复杂问题简单化,复杂问题的教学过程即为抽丝剥茧、化繁为简的过程。该教学模式既便于学生学习并掌握复杂的理论推导过程,又有利于提高学生解决复杂问题的综合能力,认知科研的方法论。如艾雷(Airy)应力函数推导过程<sup>[1-2]</sup>:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + F_y &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

对于常体力而言,上述平衡方程的解由特解和通解组成:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{15}$$

上述偏微分方程组的求解看似复杂,但可由简单偏微分方程恒等式和剪应力相等演绎为艾雷(Air-y)应力函数求解:

$$\frac{\partial(\partial f/\partial y)}{\partial x} = \frac{\partial(\partial f/\partial x)}{\partial y} \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} \quad (16)$$

式(15)可改写为:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} &= \frac{\partial(-\tau_{yx})}{\partial y} \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= \frac{\partial(-\tau_{xy})}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

由(16)、(17)式,可知存在某函数满足:

$$\frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} = 0 \quad (18)$$

通过对上述复杂问题的简单演绎与讲解,一方面树立了学生面对复杂问题的自信心;另一面,提高了学生解决复杂问题的能力,使其认知了科研方法和过程。

## 6 举一反三,触类而旁通,培养学生的发散思维能力

如何基于弹性力学的知识框架,在实际教学中注重培养学生的发散思维是该课程教学的共性问题。举一反三,闻一而知十,乃学者用功之深,穷理之熟,然后能融会贯通,以至于此(语出《朱子全书·学三》)。引而伸之;触类而长之;天下之能事毕矣(语出《周易·系辞上》)。先人对此有深刻的理解。要获得举一反三,触类旁通的发散思维能力,需要扎实的力学基本功底,即需要利用知识的巩固性、辨识性和利用性。在案例教学过程中通过不断的演绎、提炼和总结,并予以及时引导,在潜移默化的过程中培养学生的发散、迁移和创造思维能力。例如在讲解应力函数时,如何利用已熟知的逆解法与半逆解法求解平面问题应力函数;又如楔形体的楔顶与楔面受力可演绎到半无限体受集中力、面力作用等;基于某种单元有限单元刚度的建立过程,可演绎各类单元刚度方程的建立和广义单元结点内力的推导过程。实践表明,采用该种教学模式,既有利于学生利用熟知的理论知识理解较难的知识点,做到深入浅出,循序渐进;又能引导学生积极思考,培养其发散思维能力和创新意识。

## 7 结语

弹性力学是经典的力学课程之一,它的每个成果都蕴含着创新思维。如何通过课程教学培养学生的力学基本功底和创新素质,是大学教师均应认真思考的问题。基于教学过程,通过对课程历史发展的讲授,使学生获得创新启示;基于理论推导基本假定的学习,对“大胆假设,小心求证”的科学研究方法获得感性认识;在教学过程中演绎知识的巩固性、可辨性和可利用性;进而举例说明举一反三、触类旁通创新思维形成的意义。在教学过程中培养大学生创新思维和素质是每一位大学教师义不容辞的责任。

## 参考文献:

- [1] 徐芝纶. 弹性力学简明教程第3版[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [2] 徐芝纶. 弹性力学(上册)第4版[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [3] 王冀生. 超越象牙塔[J]. 高等教育研究,2003,24(1):1-6.
- [4] 肖少北. 论人的创造性及其培养[J]. 江西社会科学,2002,5:123-125.
- [5] J. S. 布鲁贝克. 高等教育哲学[M]. 杭州:浙江教育出版社,1987.

(责任校对 晏小敏)