

基于专业认证的土木工程专业弹性力学与有限元课程教学过程研究

钟新谷

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:基于专业认证的“成果导向”,论述了弹性力学与有限元课程与毕业达成度的关系,以此根据学校办学定位、毕业要求,以专业素养教学为载体,培养从业能力为目标,论述了其课程教学大纲、教学方案、考核方式的构建原则,明确了课程教学过程中校院、教师、学生运行主体的自我、外部介入的持续改进措施,考核管理权力相互辩证关系,教师在课程教学过程中主体地位与作用。

关键词:成果导向;毕业达成度;弹性力学

中图分类号:G642.0

文献标志码:A

文章编号:1674-5884(2017)09-0028-06

《教育部关于普通高等学校本科教学评估工作的意见》(教高[2011]9号)指出,建立健全以学校自我评估为基础,以院校评估、专业认证及评估、国际评估和教学基本状态数据常态监测为主要内容,政府、学校、专门机构和社会多元评价相结合,与中国特色现代高等教育体系相适应的教学评估制度,即“五位一体”本科教学评估制度。普通高等学校本科教学工作审核评估(简称审核评估)是“五位一体”中院校评估的一种模式,审核评估主要看被评估对象是否达到了自身设定的目标。专业认证也是“五位一体”中院校评估的一种模式,主要看被评估对象是否达到了相应的标准,其标准由通用标准和专业补充标准组成。审核评估与专业认证在结论方面相同:只有合格和不合格。如果学校申请专业认证,其标准就成为自身设定的目标之一,审核评估复盖了专业认证的内容,应该按专业认证的标准进行评估。

专业认证《华盛顿协议》于1989年由来自美国、英国、加拿大、爱尔兰、澳大利亚和新西兰6个国家的民间工程专业团体发起和签署。该协议主要针对国际上本科工程学历(一般为四年)资格互认,确认由签约成员认证的工程学历基本相同,并建议毕业于任一签约成员认证的课程的人员均应被其他签约国(地区)视为已获得从事初级工程工作的学术资格。2016年6月2日上午,在马来西亚吉隆坡举行的国际工程联盟大会上,我国中国科学技术协会成为《华盛顿协议》第18个正式成员,土木工程专业也正式成为认证专业之一。

1 课程教学与毕业要求达成度的关系

中国工程教育专业认证协会秘书处颁布了工程教育认证通用标准和土木工程专业的专业补充标准^[1],一级指标内容如图1所示。“华盛顿协议”成员国所互相承认的也就是经过工程专业培养的学生所具备的职业素养和从业能力,即“教育成果”。认证标准的其他内容都是围绕其对培养目标和毕业要求的贡献度来评价的。“成果导向”意味全体合格毕业生能够达成的培养目标和毕业要求,集中体现了学校和专业培养能使学生走向工程职业岗位时具备“教育成果”——职业素养和从业能力;学校培养目

收稿日期:20170710

基金项目:国家质量工程“地方院校土木工程人才培养模式创新区”(2009)

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、工程力学教学与研究。

标和专业毕业要求“期望”“承诺”的素质和能力确实成为了学生表现的现实(包括毕业时和毕业后一段时间)。“成果导向”的认证理念非“教育输入”(教师教了什么),而是按设定的标准考察学生达到毕业要求标准的达成度,结论即合格与不合格。考察显然分为两个层面:学校管理,教师教学。学校管理制定的培养目标和为实现培养目标所制定系列政策文件均需要通过管理人员管理

行为与教师教学行为实现。学校所制定系列政策文件正确性和执行度决定了教师教学行为有效性。学校所制定系列政策文件与毕业要求达成度一致性相符合。学生毕业要求达成度的最重要决定因素是教师教学行为。教师教学行为分为课程教学与实践教学行为,有效课程教学行为是达到实践教学标准的前提,显然教师课程教学行为是决定学生毕业要求达成度的基础。如何理解毕业要求 12 条^[1]与课程教学的关系,在课程教学中如何贯彻“成果导向”的认证理论是每个教师必须认真思考和执行的。

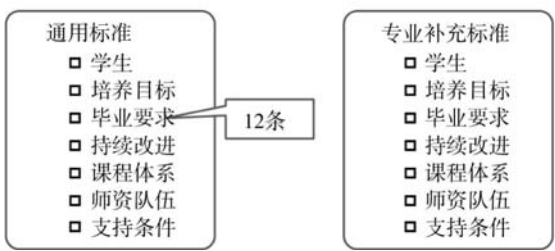


图1 土木工程专业认证通用标准与专业补充标准示意图

2 弹性力学与有限元课程性质与毕业要求的对应关系

2.1 弹性力学与有限元课程性质

一般情况在理论力学、材料力学课程基础上设置弹性力学及有限元课程。理论力学课程基于质点(刚体),研究其运动规律(牛顿三大定律),解决质点(刚体)力的作用与运动规律问题。材料力学与结构力学课程主要是借助一定的假设,在分析中简化了数学推导,或者说舍弃了数学严格性,但在保证精度的前提下为工程计算提供了简便算法。弹性力学则是一般弹性体(例如杆、板、壳、挡土墙、堤坝和地基、其它组合等结构)在外力作用下或由于温度改变等原因所产生的应力、应变和位移。从数学上讲弹性力学问题归结为在边界条件下求解微分方程组,属于微分方程的边值问题。对于实际工程问题,由于边界条件、受力状况的复杂性,往往难以求得理论的解答,基于微分方程组近似解有限元法,为复杂边界条件、受力状况的有力手段。弹性力学注重对一般力学问题的理解,强调概念,拓展视野,为解决复杂的工程力学问题提供基础理论准备,有限元法为解决复杂工程问题提供方法依据。

2.2 与毕业要求的对应关系

在土木工程专业补充标准^[1]中的课程体系虽没有具体的弹性力学与有限元课程,但弹性力学与有限元课程性质表明,其教学内容所承载的专业素养与能力培养与毕业要求的工程知识、问题分析、研究、终身学习等四个方面高度关联。该课程性质将使学生获得利用数学、弹性力学、工程基础解决复杂工程力学计算的基本方法,利用力学原理,基于数值近似方法掌握建立复杂工程的力学模型建立方法。显然弹性力学的内容十分广泛,涉及行业众多,同时将培养学生自主学习和终身学习的意识。

3 根据毕业要求确定教学内容、教学方案、考核方式

培养目标和毕业要求是专业认证的关键标识,属于管理层的顶层设计,是明确“培养什么人”的问题。围绕培养目标和毕业要求所建立的课程体系,其相应的课程教学内容、教学方案、考核方式是培养目标和毕业要求实现的基础,显然需要教师在充分领会培养目标和毕业要求的“期望”“承诺”前提下,确定教学内容、教学方法、考核方式,并保证合格的学生达到毕业要求,提供可供考察的过程证明材料,建立基于反馈的持续改进措施。

基于专业认证标准对于不同的学校,相同专业达到毕业要求的合格标准应该是一致的,但并没有统一的量化标准,需要教师们在充分理解学校办学目标和专业培养目标、毕业要求、教学大纲基础上确定教学方案。专业认证的毕业要求 12 条中主要是两个方面:职业素养和从业能力,以职业素养教学为载体,培养从业能力。传统的教学注重专业职业素养,忽视从业能力培养,所以教学方案应该包括职业素

按毕业要求制定相应教学方案后,考核方式与考核结果决定持续改进方式与方法,传统的单一笔试和平时成绩相结合考核方式不能全面反映学生知识能力与毕业要求的达成度,对课程持续改进的意义并不明显。实际上考核从管理学讲是权力体现。教师对教学过程有明确的管理权力,教师了解学生是否达到了教学方案所要求的知识与能力的基本目标即为考核过程,基于考核过程教师权力在于对学生给出合格与不合格结论。教师使用权力迫使达不到目标学生加强学习,达到合格目标,教师权力最终对达不要求学生给予不合格考核结论,所以说考核方式是教师权力的体现。不同的教师对教师权力理解和体现形式具有多样性,表明了考核方式的多重性与复杂性,并取决教师综合个性与特点,考核方式从某种意义上没有唯一,但考核结果是一致的。显然单一的考核方式不是最佳选择,考核方式应该包括但不限于课堂发言讨论、实训、实验、课后作业、讨论、课堂测试、小论文或读书报告、案例分析(分组讨论等),应分阶段给出成绩,根据各阶段考核结果提出相应的改进教学措施,同时对没有达到目标的学生给出相应的警告,并提出达到目标的要求。相对传统的单一考核方式分阶段、综合考核方式需要教师有更多的教学投入。总体讲教师权力体现是通过一定的考核方式监督、管理使学生获得达到毕业要求的知识、能力,合理确定考核方式是教师本身的责任和义务。

制定课程教学持续改进措施应根据实现毕业要求的教学过程中各主体行为的权力、责任、义务制定。课程教学过程中各主体行为运行图 2,三个主体分别为校院、教师、学生。以学生达到毕业要求为目标三个主体在没有外部权力介入下均能实现自我不断持续改进,院校通过不断改善学校办学环境,老师以对学生考核结果为依据不断改进教学效果,学生自己不断提高学习自觉性。但自我改进效果有限时,需要外部权力的介入,学生学习的自觉性、积极性的提高需要教师通过考核结果给予警告,如果不持续改进面临不合格考核结论,在多次警告无效情况下,最终给予学生课程学习不合格考核结论。课程教学运行主体的中间环节是教师,通过听课、反馈认为教师教学效果面临课程教学达不到毕业要求目标时,院校运用权力责令教师限期改正等措施仍达不到目标时,教师面临暂停上课、进修学习、调整其岗位等改进措施等。

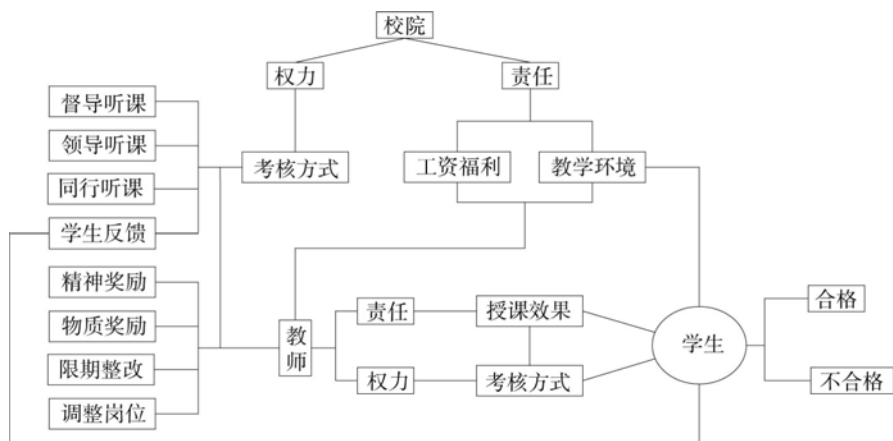


图2 课程教学持续改进“三位一体”运行示意图

总体讲制定持续改进措施着重在教师和校院两个主体,措施包含2个方面,内部循环和外部权力介

入。院校针对课程教学的持续改进措施应注意保持教师授课的独立性与个性特征。教师自我的持续改进措施应根据考核结果,特别是根据阶段考核中学生合格比例,检讨教学过程的不足,采取调整教学方案、讲授技巧、增加作业与作业讲解等措施,充分运用教师权力,激活学生自我持续改进学习方式、激发学生学习积极性和自觉性,教师在授课前应告知考核方式、毕业要求知识与能力目标,考核合格标准等。笔者在弹性力学与有限元课程教学实践中教师应有如下持续改进措施:1)第一堂课告知教师对课堂管理、课程考核的权力,如缺课、迟到等允准次数;2)考核学生的数学力学基础,据此调整教学计划与方案;3)告知学生通过本课程学习获得的知识与能力对在后续学习阶段的重要性,并与实际工程相结合;4)分章告知学习的知识点与能力培养方式;5)分章告知学生考核方式与标准,对不合格学生的处理方式,如规定一段时间重新考核等。

5 结语

专业认证、审核性评估过程中,课程教学的三个运行主体中最重要是教师,中心是学生主体达到毕业要求,教师应充分理解学校办学定位、专业培养目标,所教授的课程对毕业要求的贡献度,在此基础上制定教学方案、课件、考核方式、自我不断持续改进的措施,同时不断提高学术水平和声誉,达到不通过运行教师权力,激活学生学习自觉性和积极性的无为而治的最高境界。

参考文献:

[1] 中国工程教育专业认证协会秘书处. 工程教育认证通用标准和土木工程专业的专业补充标准[Z]. 2016.

附录 弹性力学与有限元课程教学方案(部分)

1 绪论(3学时)

教学内容:弹性力学的研究对象和任务、弹性力学与其它课程的关系。

教学要求:弹性力学研究对象和任务(毕业要求);掌握刚体、变形体区别与联系、研究方法(扩展)。

教学方案:1)提出问题:理论力学、材料力学的研究对象是什么?2)理论力学研究刚体、材料力学是根据一定假定研究特殊结构结构力与变形关系。3)引出弹性力学研究对象、研究方法 with 理论力学、材料力学区别,强调是一般弹性体,一般力与变形规律的研究。4)能力:培养学生总结归纳能力,指出刚体与变形体区别联系,刚体的运动规律是基于牛顿三大定律。变形体是研究力与变形关系,其运动规律同样符合牛顿三大定律。

教学内容:1)体力、面力、应力、应变和位移的基本概念及符号规定。2)弹性力学的基本假定。

教学要求:弹性力学的基本假定(毕业要求);不满足弹性力学基本假定的研究对象与应用(扩展与提高)

教学方案:1)复习基本概念:体力、面力、应力、应变和位移的基本概念及符号规定。2)讲述假定的概念。3)讲述5个假定的工程背景,通过回顾先前学习力学课程逐一讲解5个假定和实际意义。通过提出问题,让同学们思考,并选择适当时候进行讨论,提高学生的对假定科学性认识能力。4)作业:提交不满足弹性力学基本假定的研究对象与应用的读书报告。5)能力:讲解假设的真实性与假定性的是辩证统一。“大胆假设,小心求证”,激发学生的探索欲望与创新意识。在一定的条件下假设不再成立,面临新的问题,如连续—非连续,小变形—大变形的转换等,形成新学科与力学分支。在一定条件下创新思维往往对传统的假定的否定。通过讲解不满足弹性力学基本假定的研究对象与应用,培养创新意识与能力。5个假定是贯穿全课程的知识结构,应格外予以重视,重点讲解,站在拓展学生未知领域、培养辩证思维的高度讲解其基本假定。通过作业培养学生查阅文献能力。

教学内容:刚体力学与分析力学发展简要历史。

教学要求:刚体力学与分析力学发展简要历史(扩展)。

教学方案:1)作业:谈谈近代科学为什么没有在中国产生原因(参考书:李约瑟《中国科学技术史》,董光壁《中国近现代科学技术史》等)。2)能力:“温故而知新”,引导学生学习力学的发展史,从前人的创造中获得启示。对于非力学专

业的力学体系教材(理论力学、材料力学、弹性力学、结构力学、工程力学)在绪论章节少有讲述力学的发展史,作为弹性力学课程本身是讲述弹性体力学一般规律,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的人物背景、过程特点、知识结构、逻辑递进关系,其发展给人类文明和科技的进步带来的重大影响,激发了学生的学习热情、对专业的热爱以及为科学献身的崇高理想。从而使学生受到创新精神的熏陶,得到创新的启示,潜移默化的感染和教育。列出中国科学史、世界科学史的相应参考书,让学生写出相应的读书报告。以牛顿刚体力学体系与拉格朗日的分析力学体系的弹性力学的理论框架没有在中国产生,教授过程中注意讲述近代力学发展的中国科学家的贡献,提高学生民族自豪感,引导学生积极思考近代科学没有在中国产生的原因,提高学生创新的责任意识。通过作业培养学生查阅文献能力。

2 平面问题——基本理论(15 学时)

教学内容:1)应力微分平衡方程。2)剪力互等定理。

教学要求:应力微分平衡方程(毕业要求)。

教学方案:1)提出问题:复习高等数学微分 $f(x+dx)$ 与 $f(x)$ 关系,引出 $\sigma(x+dx)$ 与 $\sigma(x)$ 关系,给出微元体图,引导学生课堂推导微元体的应力变化关系。2)基于力平衡方程,引导学生推导微元体应力微分平衡方程,注意讲解推导过程高阶微量的处理方法。提出问题:力学平衡问题的基本方程是什么?力平衡方程,力矩平衡方程。由学生课堂利用力矩平衡方程得到剪力互等定理,观察学生推导的正确性,对典型错误推导给予正确讲解,告知学生掌握应力微分平衡方程是毕业要求的知识点。3)能力:注意培养学生应用高等数学知识解决力学问题能力,同时注意培养应用力平衡方程,力矩平衡方程解决复杂问题的分析能力。

教学内容:一点的应力状态、斜截面应力状态(含边界条件)。

教学要求:主应力概念、大小、方向(毕业要求)。

教学方案:1)预备知识:复习向量分解与合成知识,基于矩形体应力状态分析斜截面应力状态。2)给出斜截面图,再次提示弹性体力平衡的两个方程:力平衡方程,力矩平衡方程。引导学生课堂推导斜截面应力。观察学生推导的正确性,对典型错误推导给予正确讲解,告知学生掌握斜截面应力特征是毕业要求的知识点。3)以提问方式引导学生思考是否存在某个斜截面的切向应力为0的情况,导出主应力的概念。引导学生课堂推导斜截面切向应力为0时的法向应力表达式,演示主应力大小、方向的推导过程。告知学生掌握主应力概念、大小、方向是毕业要求的知识点。同时举例说明主应力大小方向在混凝土桥梁工程的重要性。4)能力:注意培养学生应用高等数学知识解决力学问题能力,当斜面上的切应力为零时正应力为主应力,有非齐次线性方程组:

$$l(\sigma_x - \sigma) + m\tau_{yx} = 0 \quad (1)$$

$$m(\sigma_y - \sigma) + l\tau_{xy} = 0。$$

由上式得:

$$\frac{m}{l} = \frac{\sigma - \sigma_x}{\tau_{yx}}, \frac{m}{l} = \frac{\tau_{yx}}{\sigma - \sigma_y}。 \quad (2)$$

由(2)得到:

$$\sigma^2 - (\sigma_x + \sigma_y)\sigma + (\sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2) = 0。 \quad (3)$$

提示学生还有利用线性代数学习过的知识同样可以得到上式。线性代知齐次线性方程组非零解,系数行列式等于零,由(1)得:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

学生很有可能对上述推导只有模糊记忆,引导学生学习过的课程与学习中课程的逻辑递进关系,引导复习相关数学知识,让学生在学习过程中逐步理解知识的利用性、辨别性、巩固性对解决问题的重要性。向学生指出:齐次线性方程组非零解,系数行列式等于零更具有普遍意义,在分析结构稳定特征值、动力特性振型经常要用到。

教学内容:1)平面应力问题和平面应变问题。2)几何方程、物理方程。3)相容方程。

教学要求:1)平面应力问题和平面应变问题特征,平面问题几何方程、物理方程、相容方程概念与推导方法(毕业要求)。2)由几何方程得到刚体位移,表明弹性力学研究的问题包含了弹性体的刚体运动与弹性体的变形(提高)。3)平面问题物理方程的三个参数并不相互独立,推导相互关系(扩展)。

教学方案:1)以实际三维工程为背景,进行多个学生提问,同时提示如何向二维平面问题进行简化。2)抽象平面问

题模型:提出二类平面的受力特征;进步提问请同学回答日常中可能观察到的不同平面问题的实例,并给予正确解释。3)交待学生平面问题的特征是毕业要求知识点,指出后面阶段学习主要围绕两类问题展开。4)给出某点位移图及位移 $u(x,y), v(x,y)$, 与平衡方程类似,引出位移 $u(x+dx,y)$ 与 $u(x,y)$ 关系;得到 $x+dx, y+dy$ 的位移,演示正应变与切应变的与位移关系,同时利用 PPT 文档,某点位移图及位移 $u(x,y), v(x,y)$, 学生课堂再次推导,并检测学生掌握情况,及时做补充讲解。5)提出问题:如果应变为 0,弹性体是否有位移? 引导学生对为 0 时,几何方程积分,分析位移,引导应变为 0 进存在刚体位移。6)提出问题:三个几何方程是否相互独立,引导利用方程微分关系,得到相容方程,表明三个几何方程并不相互独立。7)物理方程:从一般应力与应变物理关系,应有 9 个参数描述关系,满足基本假定的弹性体只有三个参数,弹性模量、剪切模量、泊松系数,但并不相互独立,以作业形式让学生推导相互关系。8)作业:弹性模量、剪切模量、泊松系数相互关系,有多种方法,要求学生查阅文献。9)能力:以平面问题为主线,培养学生面对实际复杂工程,复杂的问题简化能力,进一步注意培养学生应用高等数学知识解决力学问题能力。

教学内容:1)边界条件。2)圣维南原理。

教学要求:1)边界条件种类,圣维南原理基本概念,积分边界条件应用(毕业要求)。2)边界奇异的实际工程处理方法(扩展)。

教学方案:1)复习平面问题的两类基本方程:平衡微分方程、几何方程、相容方程、物理方程。2)问题求解:位移、应力、应变涉及积分、与微分,如何根据确定边界条件,求解积分常数,引导出微分边界条件、积分边界条件。3)提出问题:集中力边界条件(存在数学奇异,面积为零)处理问题,请学生回答,并举例说明。引出圣维南原理。4)利用圣维南原理处理边界条件数学奇异,采用积分边界条件。这里向学生揭示两个方面的问题:数学奇异点在理论上成立的,在实际钢筋混凝土工程中如何处理边界上的集中荷载,一是钢筋构造措施(如螺旋钢筋等),二是实验研究,或两者结合。5)能力:通过边界条件学习,注意培养学生应用力学原理解决复杂工程问题能力。

教学内容:常体力的平面问题与艾雷(Airy)应力函数。

教学要求:常体力概念,给出相容方程后应能推导应力函数(毕业要求)。

教学方案:1)复习平面问题的两类基本方程:平衡微分方程、相容方程。2)问题求解:基于平衡微分方程引导学生应用微分方程通解与特解,求平衡微分方程通解与特解,相应的条件。3)提出问题:体力分量是否常数(常体力),对应的平衡微分方程通解与特解如何求解? 引出常体力情况下可以分为通解与特解。4)复习高等数学,指出特解满足的条件,提出特解的可通解。5)提出问题:特解是否应满足边界条件? 通过提问让学生理解边界问题重要性。6)能力:提出 $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)$ 与 $\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)$ 是否恒等? 比较通解下的微分方程,在提示情况下向学生提问。提示学生:问题的复杂性往往是由多个简单问题集合或是多个简单问题内存在有机联系的集合,问题的复杂与简单性既然互为依存,简单孕育着复杂的辩证关系,培养学生解决复杂的问题能力。

对于常体力的上述平衡方程由特解和通解组成:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

上述偏微分方程组的求解看似复杂,但可能通过简单偏微分方程恒等式和剪应力相等演绎为艾雷(Airy)应力函数求解:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \quad (6)$$

由(5)改写为:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} &= \frac{\partial(-\tau_{yx})}{\partial y} \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= \frac{\partial(-\tau_{xy})}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

通过上述反复演绎与讲解得到艾雷(Airy)应力函数。这个过程到培养学生面对复杂问题的自信,复杂的问题关键理解其本质,培养学生面对复杂问题,找到本质点的能力。

(责任校对 王小飞)