

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2017.02.036

欢迎按以下格式引用:李岳,蔡靖,宗一鸣,等. PBL模式在工程有限元课程教学改革中的应用[J]. 高等建筑教育. 2017,26(2):144-147.

PBL模式在工程有限元课程教学改革中的应用

李岳,蔡靖,宗一鸣,宋歌

(中国民航大学 机场学院,天津 300300)

摘要:以经典悬臂梁结构为案例,将基于问题的学习模式(Problem-based Learning)引入工程有限元分析课程教学改革。通过分阶段设计研究问题并给出开放性建模方法,以实现深层次的知识整合,打破以往章节内容界限。根据研究生教育特点科学制定教学计划和评价标准,充分发挥学生自主探索和研究精神,将教师从以往繁重的讲座教学中解放出来。实践教学效果表明:PBL模式可适应不同能力学生学习需要,有效缓解课时分配压力,促进课堂交流与学习氛围形成,符合当前研究生科研能力培养要求。

关键词:PBL模式;有限元分析;教学改革

中图分类号:G642.0

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2017)02-0144-04

有限元分析在各类复杂工程结构的仿真计算和设计优化中发挥着重要的作用,是土木工程专业研究生必修的一门实践应用性课程^[1]。工程有限元教学既包含有限单元法基本原理,又涉及ABAQUS等主流商业软件操作使用,课程知识信息量大,公式推导繁琐,是联系理论与实践的重要纽带。显然,传统的本科式讲座教学方法(Lecture-based Learning)无法满足研究生阶段培养要求^[2]。

基于问题的学习模式(Problem-based Learning)最早由美国Barrows教授于1969年提出,其核心思想是以学生为中心,通过设置具体的有实际意义的问题情境,引导学生自主探索与合作,在问题求解过程中掌握其背后的知识点,从而形成完整的实践技能^[3]。笔者在与法国航空航天大学(ISAIE)交流过程中发现,PBL模式在国外有限元类课程教育中已广泛采用,与目前国内大学普遍采用的LBL教学模式相比,PBL模式在培养学生独立思考和实践能力等方面更具优势。

对此,本文以经典悬臂梁结构为分析案例,将PBL模式引入工程有限元分析课程教学改革实践,强调学生的学习主体地位,重视教师的启发和指导作用。通过分阶段设计研究问题并给出开放性建模方法,实现深层次知识整合,打破以往章节内容界限。根据研究生教育特点,科学制定教学计划和评价标准,合理优化学时分配,促进学生科研能力培养。

收稿日期:2016-05-25

基金项目:中央高校基金项目(3122014B004);中国民航大学教育教学改革研究课题(CAUC-ETRN-2015-46);中国民航大学研究生课程建设项目(10501205);中国民航大学校级精品建设工程—结构检验(CAUC-2016-B1-09)

作者简介:李岳(1984-),男,中国民航大学机场学院讲师,博士,主要从事机场场道工程研究,(E-mail)leoliyue@163.com.

一、教学模式特征比较

(一) LBL 教学模式

传统 LBL 模式下,工程有限元教学主要是由“理论讲解”和“上机实习”两部分组成。其中,“理论讲解”内容包含杆系结构、弹性力学平面问题、平面问题高次单元、弹性力学轴对称问题、弹性薄板与弹性薄壳等基础知识。教师逐一推导矩阵形成和方程求解过程,教学形式与一般力学课程较为相近。在此基础上,根据不同章节特点设计“上机实习”算例,传统 LBL 教学模式基本形式如图 1 所示。

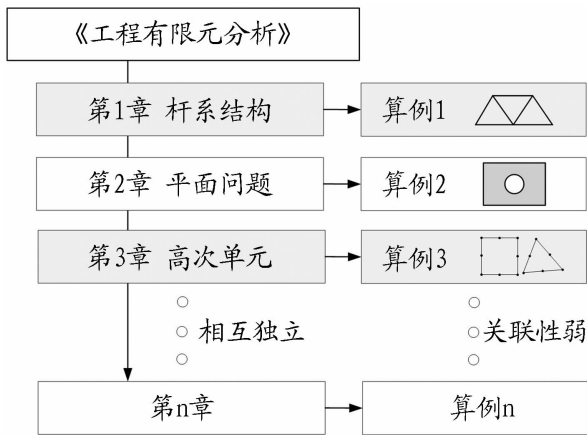


图 1 LBL 教学模式示意图

LBL 教学模式主要存在以下三方面问题:1) 学生被动接受知识灌输,课堂氛围枯燥固化,不利于调动学习积极性,容易产生厌学情绪;2) 上机算例相互独立且数量分散,缺乏系统性和关联性,学生疲于模仿教师建模操作,独立思考能力训练不足;3) 过多的算例加重了教师讲解和演示负担,造成课时紧张局面,对具体问题的讨论浅尝辄止,不利于提高学习质量。

(二) PBL 教学模式

PBL 教学以预设问题为先导,将教学活动设置在有具体意义的任务情境中。学生作为学习主体直接面对“研究问题”,教师则主要发挥激励和指导作用^[4]。学生在自主探索和求解过程中了解并掌握隐含在背后的相关知识点,实现“理论讲解”与“上机实习”环节的相互融合和紧密衔接。

通过选取适合的经典理论或科研项目,可依据 PBL 模式要求分层次分阶段设计研究问题^[5]。从而打破不同章节间的知识“藩篱”,扩展单一算例知识范围,实现教学内容整合目标。PBL 教学模式示意

图如图 2 所示。

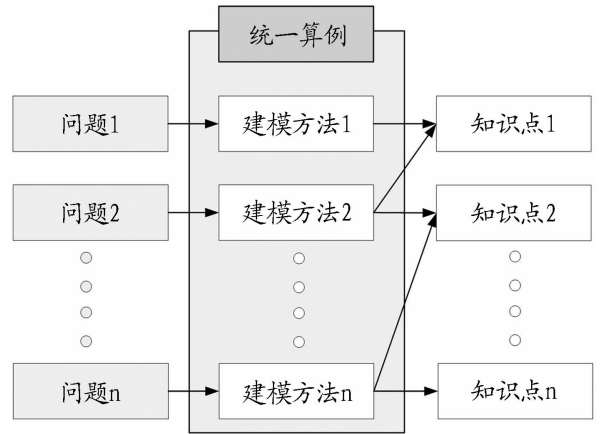


图 2 PBL 教学模式示意图

二、PBL 模式下课程改革实践

(一) 课程改革总体思路

工字型截面悬臂梁是以往有限元教学中的一类经典案例,学生通过上机建模操作,对照《材料力学》中梁的内力变形计算理论,掌握梁单元与实体单元的使用和分析方法(如图 3)。

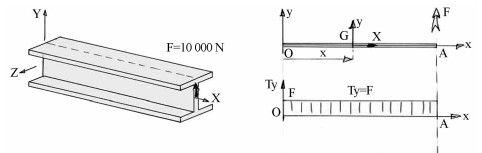


图 3 工字型截面悬臂梁结构的受力变形问题

选取该案例进行教学改革具有以下优点:1) 模型形式简单,建模方便且容易掌握;2) 有系统完整的解析解,便于分析结果的校核;3) 悬臂梁是很多复杂结构的基本组成元素,研究问题具备普遍性和代表性。参考国外 PBL 教学经验,从研究问题设计、建模方法拓展、教学计划和评价标准制定等方面开展工作,以获得切实可行的教学方案。

(二) 研究问题设计

如前文介绍,研究问题是 PBL 教学模式的核心,也是学生开展独立研究的线索和依据。从学生学习能力和认知规律出发,分阶段设计以下研究问题。

问题(1):材料力学中关于欧拉梁的基本假设是否合理?内力和挠度变形计算理论精度如何?如有能力请进一步比较铁木辛柯梁理论。

问题(2):采用实体单元“1:1”模拟悬臂梁结构是否精度更高?会增加多少计算成本(用时)?《钢结构》中有关截面应力的计算理论是否准确?

问题(3):外力作用下翼缘发生平面外弯曲且腹板为平面内变形,能否利用壳单元和平面单元简化

分析? 如何实现不同类型单元之间的耦合连接?

问题(4): 如果将上下翼缘视作中间腹板边缘处的“加强筋”, 能否改用梁单元模拟? 对计算精度有何影响? 请与前组模型结果进行比较。

问题(5): 悬臂梁关于截面中心轴线对称, 能否对模型“取一半”分析? 对计算效率提升有多大帮助? 需要增加哪些边界条件?


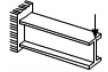
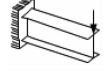
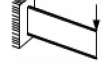
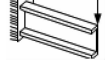

问题(6): 单点集中力的假定是否合理? 如何等效为梁端竖向均布力? 荷载施加方式对分析结果会有哪些影响?

可以看出, 上述问题始终围绕“如何提高求解精度和计算效率”这一核心目标展开, 关系衔接紧密且难度逐步提高, 使学生能够在独立思考过程中得到系统性的训练。

(三) 建模方法拓展

丰富的建模方法是保证 PBL 教学问题开放性的重要前提, 可以为学生提供多种技术路径。对应上小节中的研究问题提出以下六种建模方法, 计算简图和单元类型在表 1 中列出。

表 1 悬臂梁问题建模方法参数表

模型编号	模型简图	使用单元类型	教学模式
Model1		梁单元 B21/B31 B22/B32	LBL /PBL
Model2		实体单元 C3D8R /C3D20R	LBL /PBL
Model3		壳单元 S4R 平面单元 CPE4	PBL
Model4		壳单元 S4R/ 梁单元 B31/B32	PBL
Model5		实体单元 C3D20R “取一半分析”	PBL
Model6		实体单元 C3D20R “等效为均布力”	PBL

考虑到建模时选取的单元阶数和网格划分密度也会对计算结果产生影响, 因而, 可在上述模型基础的上衍生出多种“子模型”, 灵活满足不同教学班规模和分组需要。

(四) 教学计划与评价标准制定

根据 PBL 教学模式要求制定教学计划, 按班级规模划分 5~6 个研究小组, 每组 3~4 人。具体按

照以下过程展开。

第一阶段, 保留必要的“课堂讲解”学时, 重点讲解矩阵形成、坐标转换、边界条件处理和平衡方程建立等理论知识, 使学生掌握有限元分析求解基本思想。

第二阶段, 在教师指导下全班统一研究前两组预设问题, 完成对应的建模分析工作。学生对软件操作流程有系统认识, 配合必要的课后练习, 掌握独立建模求解能力。

第三阶段, 教师给出开放性的后续研究问题, 分小组讨论并开展建模竞赛, 教师在各小组中巡回指导并提供必要的技术支持, 尽量不干扰学生独立思考。

第四阶段, 各小组讨论计算结果并将研究过程撰写成文(word 文档), 由教师汇总各组研究报告后在课堂讲评, 逐一解答研究问题, 阐述背后相关知识点, 使学生形成全面认识。

考虑到不同研究问题难度存在客观差异, 单纯以结果准确性作为学生成绩评价标准是不合适的。因而, 从培养学生研究能力目标出发, 将多因素综合纳入成绩评价标准, 根据各个分组及个人表现具体打分, 各项目分值如表 2 所示。

表 2 课程成绩评价标准制定

评价项目	评价标准	分值
研究问题能力 (团队)	a. 能否发现问题核心?	15
	b. 能否提出解决方案?	
	c. 能否独立查询相关文献?	
建模分析能力 (团队)	a. 建模操作是否规范?	20
	b. 关键技术是否处理得当?	
	c. 是否存在粗心大意?	
报告撰写质量 (团队)	a. 报告书格式是否规范?	25
	b. 数据提取图表绘制合理?	
	c. 文字表达是否连贯通顺?	
答辩环节情况 (团队)	a. 是否掌握了相关知识点?	15
	b. 回答老师提问情况?	
	c. 回答其他小组提问情况?	
团队协作水平 (个人)	a. 小组中角色和任务分担?	25
	b. 团队配合与协作态度?	
	c. 是否有独创性的贡献?	

三. 知识整合与效果分析

(一) 深层次知识整合

基于 PBL 模式提出的六种建模方法相关知识点分布如表 3 所示。可以看出: 1) 传统 LBL 教学仅要

求学生完成前两组建模分析,知识内涵挖掘不足,知识整合水平偏低;2) PBL 教学建模使用的单元类型更加丰富,且同一类型单元在不同建模过程中能多次体现;3) PBL 教学涉及的建模技术问题更多,相关知识呈现矩阵式分布,打破了不同章节之间内容界限;4) 多种模型具有统一的理论基础,学生能够将精力集中在问题分析和仿真计算上。

表 3 悬臂梁问题分析模型知识点分布

模型编号 Model No.	1	2	3	4	5	6
Beam 单元使用	√			√		
Solid 单元使用		√			√	√
Shell 单元使用			√			
Plane 单元使用			√	√		
不同单元耦合			√	√		
截面重合问题			√	√		
对称边界条件			√		√	
分布荷载施加			√			√
单元阶数影响	√	√	√	√	√	√
材料力学理论验证	√	√	√	√	√	√
钢结构理论验证		√	√		√	√

(二) 教学效果分析

通过连续三个学期的教学实践,学生反馈结果表明应用 PBL 模式进行工程有限元教学具有以下优点。

(1) 能够适应不同水平学生学习要求。PBL 教学的分组竞争模式对于学习能力较强的同学具备吸

引力,使其能够充分发挥所长,快速成长成为各组中的领导者,对其他同学的学习带动作用明显,学生知识接受程度优于传统 LBL 模式。

(2) 有利于改善学习环境,缓解课时压力。由于 PBL 模式下教师角色的转换,需要与学生共同“面对”研究问题,师生沟通方式更加灵活多元,课堂讨论气氛热烈,互动参与程度提高,研究小组在兴趣驱使下投入课后时间讨论并完善结果。

(3) 符合研究生阶段能力培养要求。采用 PBL 教学模式能够使学生在有限元课程教学范围内了解科研过程的各个环节,有利于形成良好的科研习惯,分组研究模式也促进了团队协作研究能力的提高。

参考文献:

- [1] 郑翔, 顾乡. 有限元分析课程引入问题式学习(PBL)教学探索[J]. 力学与实践, 2011, 33(6), 88-91.
- [2] 杜翔云. PBL: 大学课程的改革与创新[J]. 高等工程教育研究, 2009(3): 29-35.
- [3] 刘红, 袁杰. PBL 对研究生教学改革的启示[J]. 高等建筑教育, 2007, 16(3), 16-19.
- [4] 刘璐, 古继宝. PBL 教学方法的理论与实践探讨[J]. 研究生教育研究, 2004(2): 40-44.
- [5] 曾磊, 许成祥, 刘昌明. 基于问题的学习方法在土木工程教学中的应用[J]. 高等建筑教育, 2009, 18(6): 98-101.

Application of problem-based learning method in the teaching reform of finite element course for engineering

LI Yue, CAI Jing, ZONG Yiming, SONG Ge

(Airport College, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, P. R. China)

Abstract: In this paper, the problem-based learning(PBL) method was applied in the teaching reform of finite element analysis course of engineering by taking the classical cantilever beam structure as a sample. The independent exploration spirit of students was encouraged, while the teacher was released from the heavy work of lecture and demonstration. In order to achieve the goal of knowledge integration, a series of research problems and open modeling approaches were presented and suggested in sequence, which helped to break the limits of knowledge between different chapters. The teaching program and evaluation criterion were also improved and modified according to the educational feature of graduate student. Practical teaching results indicated that the PBL method can be suitable for students with different learning abilities, which was beneficial to relieve the pressure of class hour distribution. The in-class communication and learning environment were also promoted in this way, which was in good accordance with the training requirement of scientific research capacity of graduate students.

Keywords: problem-based learning; finite element analysis; teaching reform