

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2015.02.013

结构分析中有限元法课程建设 研究与实践

文国治, 李正良, 王达淦, 晏致涛, 陈名弟

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:随着复杂工程结构及巨型结构的大量出现,在土木、水利等工程专业本科生中加强结构分析能力(包括电算能力)的培养显得尤为迫切。笔者将结构力学中的“矩阵位移法”和弹性力学中的“有限元法”有机结合,按照培养创新型高级专门人才的要求建设了结构分析中的有限元法课程,精心编写并出版了该课程所用的教材和电算程序。根据该课程的特点,对课堂教学、上机实习和考试等教学环节进行了改革,充分发挥教师的主导作用和学生的主体作用,取得了良好的教学效果。

关键词:结构分析;有限元法;课程建设

中图分类号:G642.3

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2015)02-0053-04

一、加强结构分析能力的培养是课程建设的初衷

在土木、水利等本科工程专业的教学过程中,通过前期基础课程和专业基础课程的学习,学生初步具备了对计算工作量不大的简单结构进行结构分析的能力。如通过结构力学课程经典理论的学习,学生可以对静定平面杆系结构进行分析,也可用力法或位移法等方法分析未知量较少的超静定平面杆系结构,计算其内力和位移。通过弹性力学基本理论的学习,学生可求出几何形状规则(如矩形或圆形)、边界条件简单(如四边固支或四边铰支)的结构在单一荷载(如均布荷载)作用下的内力解析值。

随着各行各业现代化建设的深入开展和城镇化建设的加速推进,房地产和土木工程建筑行业已成为国家的重要支柱产业,与之相伴的是大跨度结构、高层高耸结构等各种复杂结构和巨型结构的出现。这些结构中,有些是形状、边界、荷载等较复杂的连续体板壳结构或实体结构,有些虽是杆系结构,但却是空间杆系结构或计算工作量庞大的平面杆系结构,还有些是杆系结构与连续体结构的组合体。无论对以上哪种结构进行分析,都必须利用数值分析法才能进行,学生既有知识已明显不足。

在一般本科院校开设的结构力学课程体系,通常都要介绍适合数值分析的矩阵位移法。但有的仅讲述了矩阵位移法基本原理而未涉及程序使用,有的虽然让学生使用了部分程序,却较少或几乎不涉及对空间杆系结构的分析。实际工程中较为复杂的连续体结构,必须要用弹性力学有限元法对其进行分析,这方面的知识学生更是欠缺。

收稿日期:2014-10-08

作者简介:文国治(1963-),男,重庆大学土木工程学院副教授,主要从事土木工程研究,(E-mail)gz-wencd2@sina.com。

基于以上现状,为加强学生利用计算机进行结构分析的能力培养,笔者作了有益的探索。在改革教学体系和课程内容的基础上,将结构力学中的矩阵位移法和弹性力学中的有限元法结合,建设了结构分析中的有限元法课程,并编制了教学用计算机程序。

二、精心编写教材是课程建设的核心

结构分析中的有限元法课程建设,首先要根据专业培养目标的要求,特别是培养创新型高级专门人才的要求,改革教学体系和课程内容,并制定相应的课程教学大纲,然后确定教材的编写原则,并精心组织教材和教学资料的编写。

(一)认真改革课程教学体系和教学内容

近年来,在多次讨论并征求意见的基础上,全国土木工程专业指导委员会制定了《土木工程专业规范》。该专业规范将土木工程专业的培养目标明确为:培养适应社会主义现代化建设需要,德智体美全面发展,掌握土木工程学科的基本原理和基本知识,获得工程师基本训练,能胜任建筑、桥梁、隧道等各类土木工程设施的设计、施工与管理,具有扎实基础、宽厚专业知识和良好实践能力与一定创新能力的高级专门人才。根据该专业规范制定的培养目标,应按照“宽口径、厚基础、高素质、强能力”的要求培养土木工程专业学生。

为了培养具有宽厚力学基础的创新型土木工程专业人才,对结构力学和弹性力学课程体系和教学内容进行了改革。将结构力学中的基础部分内容,包括静定结构的内力与位移计算、超静定结构的内力与位移计算以及影响线等开设为结构力学 I。将结构力学中的专题部分内容,如结构动力学、结构的稳定计算以及结构的极限荷载等,开设为结构力学 II。将结构力学中的矩阵位移法与弹性力学中的有限元法结合在一起,建设了结构分析中的有限元法课程。通过结构力学 I、结构力学 II 和弹性力学等课程的教学,面向土木工程宽口径夯实力学基础,培养学生的力学素质。

在确定结构分析中有限元法课程的教学内容时,必须充分体现培养创新型高级专门人才这一要求。为此,既要介绍矩阵位移法的基本原理,也要讲述将该基本原理应用于各种平面和空间杆系结构的分析方法,还要介绍应用弹性力学有限元法分析连续体结构的方法。另外,在该课程的教学过程中,应注意培养学生的电算能力,使学生初步具备使用、编

制计算机程序分析复杂结构的能力,同时,也为其在今后的学习和工作中正确选择和有效使用大型的综合性程序打下基础。

在改革教学体系和教学内容的基础上,制定了结构分析中的有限元法课程教学大纲,包括理论课教学大纲和上机实习大纲。

(二)反复推敲教材的编写原则

教材是课程内容的载体,也是教学改革成果的集中体现,其在课程建设过程中具有举足轻重的作用。为了将教学体系和课程内容改革的成果内化到教材中,经多次讨论,明确了在教材的体系方面“有机结合”,教学程序的编制方面“直接过渡”,教学辅助资料方面“配套建设”的编写原则。

在教材的体系组织方面,要将矩阵位移法与弹性力学有限元法有机结合,先以平面刚架结构为例,讲清讲透矩阵位移法的基本原理和计算步骤。其他平面和空间杆系结构与平面刚架结构不同之处(如单元刚度矩阵的分析等)应详讲,相同之处(如整体刚度矩阵的形成方式等)可略讲。考虑到弹性力学有限元法的计算步骤与矩阵位移法基本相同,在重点讲解不同之处(如单元位移模式、应力应变关系等)后,可将矩阵位移法计算步骤直接应用于弹性力学有限元法。另外,在教材中还要适当介绍动力学方面的有关内容。

在教学程序的编制方面,要由基本原理直接过渡到计算机程序,并将 C 语言作为编程语言。譬如,在讲完用矩阵位移法计算平面刚架结构的基本原理和计算步骤后,直接将计算步骤转变为程序框图、基本原理转变为计算程序。由于目前计算机的内存足够大、运行速度足够快,程序编制时可不必要再涉及一些编程技巧(如总刚度矩阵的等带宽存储或变带宽存储等)。考虑到大多数院校的算法语言课开设 C 语言这一实际情况,以及目前国际上有限元编程的发展趋势,教材中选用 C 语言作为编程语言。

在教学辅助资料方面进行配套建设,一是建设多媒体课件,二是建设上机实习指导资料。由于课程中的公式符号较多,且计算步骤中大量采用矩阵运算,因此,特别适合采用多媒体手段进行教学。课程是实践性较强的一门课程,必须通过大量的上机实习,学生才能真正掌握有限元法的基本原理。故在编写教材的同时,既要同步建设与之配套的多媒体课件,也要建设上机实习指导资料,并提出上机实

习的具体要求。

(三)精心组织教材的编写实施

在确定教材的编写原则后,结合教学大纲的要求精心制定编写大纲,认真统一编写格式,反复推敲编写内容,配套建设教辅资源。

首先,精心制定编写大纲。由主编制定出教材的编写大纲,该编写大纲细化到每一章节的每一个具体知识点。在召集参编教师多次讨论定稿后,分发给每一位进行编写。

考虑到学时有限,教材中安排了六章内容,分别是矩阵位移法基本原理及平面刚架的计算、矩阵位移法计算各种杆系结构、杆系结构的自由振动分析、弹性力学的基本方程、弹性力学平面问题、弹性力学空间问题。为了减少教材篇幅,部分计算程序和上机操作指导以光盘的形式提供。

其次,认真统一编写格式。在给各位参编教师分配编写内容的同时,主编还选择了部分典型内容进行编写,制定出编写样张供大家参考。在编写样张中,对教材的编排方式进行了统一约定,如章节的编号方式、各节里大小标题的编号方式、插图的表示方法、各种物理量的表示方法、符号(包括上下标)的正斜体、图文的对应方式、需强调内容的表示方法,等等。此外,还对插图的绘制方法进行了统一规定,包括线宽大小、支座的绘制、箭头的大小、尺寸线的标注方法等,并制作成基本图素提供给各位编者。通过这一系列的措施,既保证了教材的编写质量,也统一了不同编者的编写风格。

第三,反复推敲编写内容。各位编者在明确自己承担的编写内容后,根据编写原则和编写大纲的要求,在学习借鉴其他优秀教材或专著的基础上,认真组织材料进行编写。叙述时既要严密、严谨,又要做到通俗易懂、循序渐进。例题和习题要精选,以训练学生对基础知识的掌握为主。编者将完成的初稿交给主编审阅后进行修改,反复修改讨论后,形成最终的教材文稿。

最后,配套建设教辅资源。为了方便学生学习和教师教学,按照教材立体化建设的要求,配套建设了适用于该教材的多媒体课件。另外,还建设了上机实习辅助资料,如上机实习指示书、上机实习任务书、上机实习作业等。

三、提高教学质量是课程建设的宗旨

教学改革和课程建设的最终目的是提高教学质

量,而提高教学质量必须针对“教”和“学”两个方面进行改革。

(一)充分发挥教师的主导作用以提高教学质量

结构分析中的有限元法课程具有公式复杂、计算量大且理论与上机实习联系紧密的特点,这就决定了不可能也不应该以期末考试作为衡量学生学习效果的唯一标准。经认真讨论,确定了期末考试占50%,平时作业占20%,上机实习占30%的综合成绩评定标准。根据这一标准,教师在课堂教学、平时作业布置及检查、上机实习指导等各方面,都要付出更多心血。

在课堂教学方面,除了改革教学方法和教学手段,将多媒体教学手段与传统教学手段和谐统一,充分发挥各自的优势外,还要考虑哪些内容需要详细讲解,哪些内容需要引导学生自学,哪些内容需要让学生通过上机实习加深理解。如:第一章矩阵位移法基本原理及平面刚架的计算需要详细讲解,第二章在讲清各种杆系结构与平面刚架结构的不同之处后,具体计算步骤和算例可让学生自学。

在布置平时作业时,应考虑哪些内容需要学生完成书面作业以进一步掌握,哪些内容需要学生撰写课程小论文以加深理解。如第一章需布置书面作业,第五章用有限元法解弹性力学平面问题可布置小论文。学生通过撰写论文的形式,加深对有限元法的分析过程理解。无论对书面作业或课程小论文,都要认真批改,以评定学生20%的平时成绩。

上机实习作业应与课堂教学内容和平时作业相辅相成。对必须掌握的内容,例如使用教材提供的程序对各种结构进行分析计算等,可布置作业,同时要布置选做作业让学生自编小程序计算简单结构或修改已有程序计算复杂结构,要加强上机实习指导和考察,以检查学生完成上机实习作业的情况,据此评定其30%的上机实习成绩。

(二)切实发挥学生的主体作用以提高学习质量

近几年来,在重庆大学土木工程专业结构分析有限元法课程教学中,一开始就宣布了以上评定成绩的标准。学生明确了在理论课学习、平时作业完成以及上机实习作业完成等各方面的要求和考核标准后,学习更加积极主动,取得了满意的学习效果。

在课堂学习中,无论是出勤率或是认真听课的情况,都大有好转。由于学生知道,占总成绩50%的期末考试内容将主要出自教师在课堂上重点讲解的

内容,因此,除个别学生因故偶尔缺课外,几乎没有无故缺课的学生。

平时作业布置了两次书面作业和一个课程论文,大家都能按时完成,上机实习作业也完成得较好。在总共六次上机实习课中,除第一次让学生熟悉操作环境而未布置作业外,其他五次均布置了作业。所有学生都保质保量完成了必做作业,部分学生还完成了选做作业。在教师的指导下,有的学生编写了计算连续梁、平面桁架的小程序,有的学生修改了教材提供的平面刚架计算程序,增加了支座移动和温度变化引起结构内力计算内容等。

四、结语

经过两年多的努力,从课程教学体系和教学内容的改革,到教材编写原则和编写大纲的确定,再到教材的编写及教学程序的编制,适用于土木、水利等工程专业的《结构分析中的有限元法》教材(含教学光盘)于2010年4月由武汉理工大学出版社正式出版,取得了阶段性的成果。该教材将矩阵位移法与弹性力学有限元法有机结合、基本原理与计算程序有机结合。教材建设是一个长期性和系统性的工作,随着学科体系的不断发展、教学方法和手段的不

断更新、教学成果的不断积累,今后将对教材和教学程序等进行修改完善。

近几年来,根据结构分析中的有限元法课程的特点,对理论课教学、实践性教学和考试等环节进行了改革,充分发挥教师的主导作用和学生的主体作用,注重教与学各环节的过程管理,取得了较好的教学效果。

参考文献:

- [1] 赵更新. 土木工程结构分析程序设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [2] 文国治, 李正良. 结构分析中的有限元法[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2010.
- [3] 萧允徽, 张来仪. 结构力学 I [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 陈名弟, 萧允徽, 张来仪, 等. “十一五”国家级规划教材《结构力学》编写体会[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007(S): 156-157.
- [5] 文国治, 陈奕柏, 王达詮. 土木工程专业应用型本科结构力学教材编写启迪[J]. 高等建筑教育, 2009, 18(6): 40-42.

Research and practice of curriculum construction for the finite element method in structural analysis

WEN Guozhi, LI Zhengliang, WANG Daquan, YAN Zhitao, CHEN Mingdi

(Civil Engineering College, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: With the appearance of complex project structures and large numbers of mega-structure, it is particularly urgent for the civil and hydro-power engineering undergraduates to strengthen the structure analysis capabilities (including computerized ability) training. We organically combined the matrix displacement method of the structural mechanics with the finite element method of the elasticity, built the course of finite element method in structural analysis in accordance with the demand of innovative advanced expertise training, and prepared and published the textbook and computer programs with C language carefully. Some teaching reforms were carried out according to the characteristics of the curriculum from aspects of classroom instruction, hands-on practice, teaching, and examinations so as to develop the leading role of teachers and students, which had achieved a good teaching effect.

Keywords: structural analysis; finite element method; curriculum construction

(编辑 周沫)