

基于有限元方法的四年制高职本科“桥梁工程” 课程课堂教学改革与实践

赵建峰, 潘晓宇, 汪芳芳

(浙江交通职业技术学院 路桥学院, 浙江 杭州 311112)

摘 要:文章针对四年制高职土木工程(道路桥梁工程技术)本科试点专业,阐述了基于有限元方法的《桥梁工程》课程课堂教学改革总体思路,并通过典型的教学案例设计分析,对课堂教学的内容、方法和手段等方面改革进行了探讨。在课堂中引入有限元方法,利用有限元分析软件辅助教学,以实际工程案例为依托,设计开发课程教学项目,激发学生的学习兴趣,从而提高学生解决实际工程问题的能力。

关键词:高职本科;有限元方法;教学改革

中图分类号:U44—4

文献标识码:A

文章编号:1671—9891(2017)02—0096—05

0 引言

四年制高等职业教育是高等职业教育与普通高等教育相结合的产物,是我国深化教育改革,探索发展本科层次职业教育的重要创新。从 2010 年开始,在河北省、江苏省、天津市、深圳市和浙江省等地区相继开展了四年制高职本科教育专业人才培养试点工作,持续推动着高等职业教育的改革与发展。^[1]四年制高职是培养兼具理论素养和较高实践操作能力的高素质技术型人才的本科层次的高等职业教育,它有别于专科高职与普通本科,尚处于探索发展阶段,人才培养模式及课程体系的设置相对而言不够成熟,且基本无经验可循。本文以浙江交通职业技术学院四年制高职土木工程(道路桥梁工程技术)本科试点专业为例,基于有限元方法开展“桥梁工程”课程课堂教学改革,对四年制高职土木工程试点专业人才培养模式与课程体系标准的修订完善进行了有益的探索。

1 “桥梁工程”课程教学现状分析

“桥梁工程”课程是“道路桥梁工程技术专业”的一门专业核心课程,其教学目标是:通过对课程的教学设计和实施,使学生在熟悉桥梁工程的基本构造及计算的基础上,能运用设计规范、设计手册、标准图等设计资料进行一般中小跨径桥梁结构的设计,能运用桥梁施工技术规范等技术资料组织常规桥梁工程施工。目前,该课程的教学主要存在以下三方面问题。

1.1 课程教学难度大

“桥梁工程”课程与其他课程相比其教学难度较大。桥梁结构型式复杂多样,结构设计计算过程繁琐,涉及力学、数学及专业知识的综合运用。针对三年制高职学生的课堂教学主要侧重于施工技术、施工组织与管理等内容,而在实际工程中,往往会涉及满堂支架、施工栈桥、模板工程等一些临时结构的设计验算。由于本课程中桥梁结构设计计算部分有逐渐被弱化的趋势,教师在课程教学过程中往往局限于采用传统的人工手算方法对简支梁桥进行设计计算,使学生的学习兴趣降低,从而导致学生的计算分析能力比较缺乏。即使有部分学生能够掌握传统的人工手算方法,也存在计算效率偏低、计算结果准确性无法保证等问题。

1.2 教材更新滞后

目前高职“桥梁工程”课程所采用的教材种类较多,但针对性都不强,大多是本科教材的模仿。主要存在

收稿日期:2017-02-10

基金项目:浙江省 2016 年度高等教育教学改革项目“土木工程(道路桥梁工程)技术专业四年制高职人才培养体系构建与探索”(项目编号:jg20160271);浙江省 2016 年度高等教育课堂教学改革项目“基于 BIM 技术的桥梁工程技术课堂教学改革与实践”(项目编号:kg20160662)。

作者简介:赵建峰(1989—),男,浙江江山人,浙江交通职业技术学院路桥学院助教,硕士。

如下问题:一是过于注重学科系统性,过多篇幅介绍传统的桥梁结构简化计算方法,对于结构的有限元分析计算内容严重缺乏;二是教材的更新步伐滞后于桥梁工程设计和施工技术的发展速度,因而对新的设计理念和先进施工方法的阐述不够;三是教材设计计算的算例偏少,且主要针对结构形式相对简单的简支梁桥,对于临时结构物及大跨径桥梁的设计验算少有涉及。

1.3 实训资源利用率低

随着科技的发达,有限元法在工程分析中得到了越来越广泛的应用,可用于桥梁工程结构设计、施工阶段分析及施工临时结构设计验算等方面。通过有限元分析计算软件可以精确模拟结构施工全过程的实际受力情况,满足结构精细化计算分析要求。尽管校内计算机实训室已经配置了 MIDAS 有限元分析软件(教学版),但因其与课程联系不紧密,几乎很少用于课堂教学。

2 有限元法特点及其在教学中的应用优势

有限元法(finite element method)是一种常用、高效的数值计算方法,最早可上溯到 20 世纪 40 年代。有限元法的基本思想是“化整为零”,其概念浅显,易掌握。有限元法经过半个多世纪的发展,在理论和实践上均取得了引人瞩目的成就,事实上它已发展成为工程领域中一门不可或缺的技术,同时也是科技工作者进行科学研究的有力工具。^[2]随着计算机硬件和软件的发展,众多的有限元分析软件,如 ANSYS、ABAQUS、MIDAS 等,能有效求解各类工程问题,在航空航天、机械制造、土木工程等领域得到了广泛应用。

将有限元方法引入课堂,可以将抽象的计算分析数据转化为生动的图形图像,帮助学生理解和掌握各类结构的基本概念。汪东欣针对工程电磁场课程,提出一种基于有限元法和软件相结合的新型教学方法,打破了罗列大量公式的传统课程教学手段,提高了学生对电磁场的感性认识。^[3]徐兵等在材料力学课程教学中引入有限元软件作为辅助教学手段,通过有限元技术将抽象的力学概念利用图形和动画给学生直观展示,促进其对于力学概念的掌握。^[4]李海涛等在教学活动中,通过 ANSYS 有限元软件的仿真分析,让学生能直接了解到工程结构构件的应力、应变、位移云图及构件的各种力学破坏过程和特征,加深学生对基本知识、基本概念的理解。^[5]

“桥梁工程”课程与工程力学、数学等学科联系紧密,在结构计算分析过程中涉及内力、应力、变形、应变等较为抽象的概念,对学生而言理解起来比较吃力。有限元分析软件可以通过直观形象的图形显示和建模功能将抽象的概念和数据转化为形象生动的图形,有助于减轻学生的学习难度,增强学生对结构的感性认识,激发学生的学习兴趣,培养学生的计算分析能力,从而提高课堂教学效果。

3 课堂教学改革思路

“桥梁工程”课程课堂教学改革总体思路如下:基于结构有限元分析方法,在课堂中引入有限元专用计算分析软件,结合公路行业背景,根据工程实际需求,精心设计开发课程教学项目,科学安排任务内容,成立学习小组,实施以学生为中心的教学方法,坚持项目导向、任务驱动,并编制桥梁工程课程配套的教辅资料及有限元分析软件操作使用手册。

课堂教学改革实施方案的设计流程图如图 1 所示。通过有限元分析软件仿真展现工程案例,从背景知识和工程问题出发,思考和阐释工程案例,寻求支撑理论和分析方法,根据实际工程需要开展模块化教学,设置桥梁结构设计、施工阶段分析、桥梁施工监控、临时结构设计验算、桥梁荷载试验分析等教学任务模块,充分利用多媒体教室、计算机实训室等教学资源,成立学习兴趣小组,指导学生进行建模设计分析,丰富课堂教学内容,扩展学生的知识面,努力培养学生的专业技能和计算分析能力,提高学生解决实际工程问题的能力。

4 课堂教学改革案例介绍

4.1 课程教学项目设计

工程背景:某高速公路工程位于浙江丽水缙云地区,路线全长 51.04 公里,按双向四车道设计,桥梁设计汽车荷载等级为公路-I 级。该项目的重点控制性工程为(45+80+45)m 三跨变截面预应力混凝土连续箱梁桥,沿线桥梁均采用 25 m 先简支后连续预应力混凝土预制小箱梁。由于运送预制小箱梁的需要,决定修建施工便道。

据调查,该施工便道在距离桥位 3 公里处被河流阻断,河床宽约 13.4 m。为了跨越该河流,拟建造一座

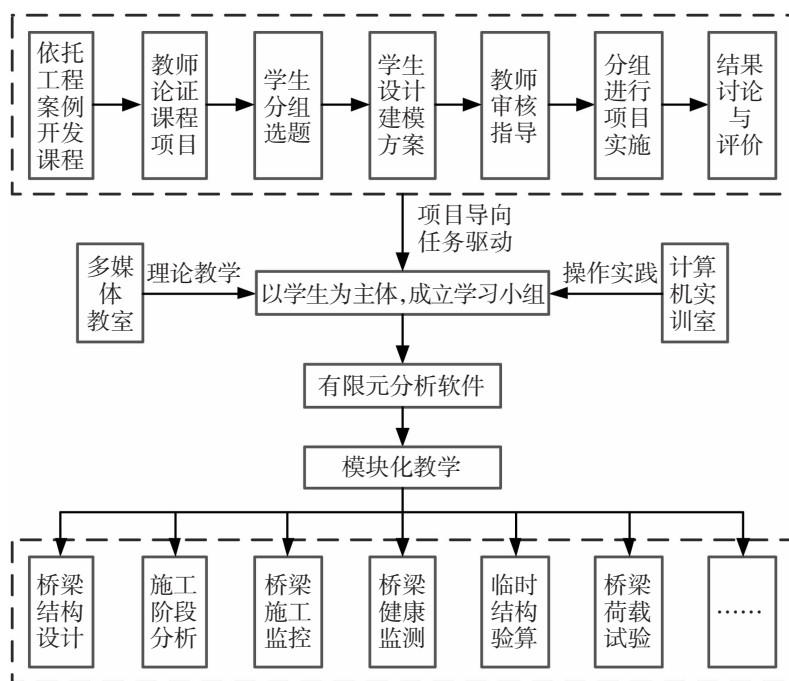


图1 “桥梁工程”课程课堂教学改革实施方案设计流程图

临时钢栈桥。上部结构采用 15 m 简支钢板梁,桥宽为 6.0 m,设计汽车荷载为挂车-120。主梁采用 Q345 钢材,工字形截面,梁高 $h_1=1\ 000$ mm,腹板宽 $b_1=40$ mm,翼缘板宽 $b_2=500$ mm,高 $h_2=30$ mm。全桥共设置 12 片工字梁,在主梁之间设有纵向联结系和横向联结系,在主梁上面铺设钢桥面。为保证临时钢栈桥安全可靠,施工单位组织人员专门进行临时结构设计验算工作。

桥梁施工阶段往往需要建造各种临时结构物,而对这些临时结构的设计验算是必不可少的。为了提高学生的计算分析能力,教案编写组根据该工程案例,设计开发了“桥梁施工临时钢栈桥设计验算”课程教学项目。

4.2 有限元计算分析方法

本工程案例中采用 MIDAS Civil 2015 桥梁专用分析软件进行建模计算,参照桥梁设计相关规范标准,采用容许应力法进行结构设计验算。

(1)有限元建模。按照设计图纸建立计算分析模型,如图 2 所示。上部结构采用梁格法进行模拟,共包括 228 个节点、379 个梁单元;支点及跨中截面各设置 1 道横隔板,横向梁格采用虚拟横梁进行模拟。为了真实模拟支座的受力情况,在主梁正下方按照支座实际布置位置建立支座节点,采用“弹性连接”中的“刚性”连接类型建立支座节点与主梁节点之间的联系,按照实际工程中支座的类型和尺寸建立边界条件。

(2)静力分析结果。运行 MIDAS Civil 软件进行结构静力分析,计算得到施工临时钢栈桥在设计荷载作用下的最不利正弯矩包络图,如图 3 所示。从图 3 可以看出,在挂车-120 荷载作用下,全桥构件的最大正弯矩

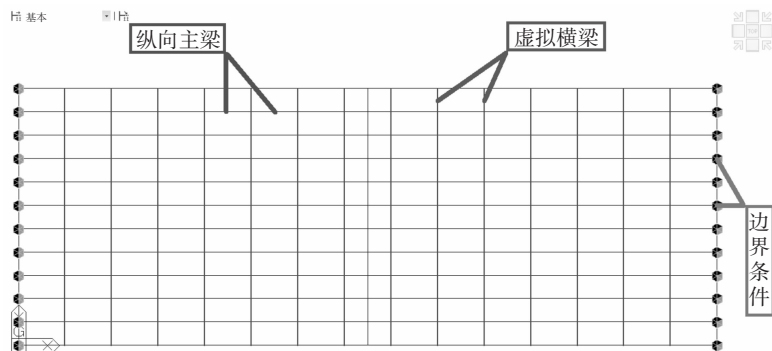


图2 施工临时钢栈桥计算分析模型

$M_{\max}=401.802 \text{ kN}\cdot\text{m}$, 计算得到对应的最大正应力 $\sigma_{\max}=20.44 \text{ MPa}$, 小于容许应力 $[\sigma]=210 \text{ MPa}$, 即强度满足设计要求。

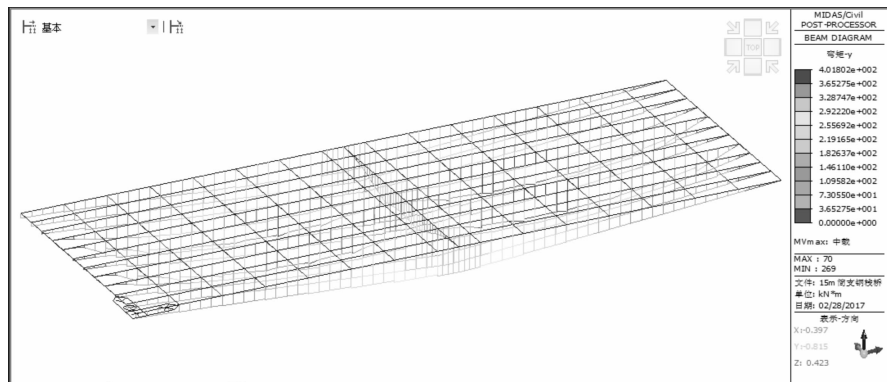


图3 挂车-120作用下结构最不利正弯矩包络图

图4为挂车-120作用下结构最大挠度包络图。由图4可知:全桥构件的最大竖向位移为3.896 mm, 小于《公路桥梁钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)规定的竖向挠度限值 $L/500=30 \text{ mm}$, 即刚度满足设计要求。

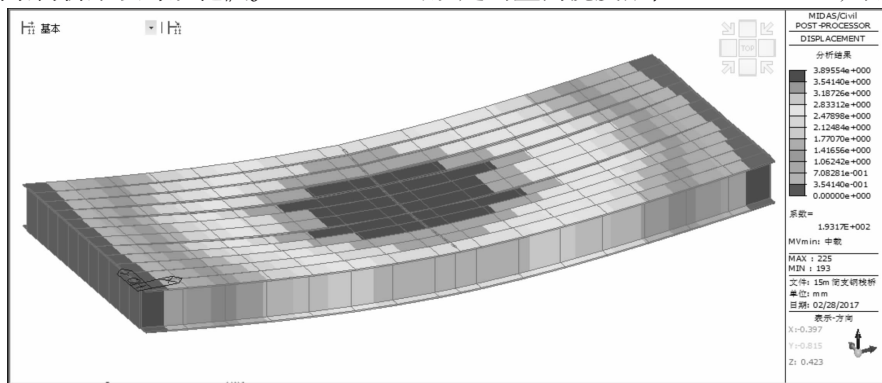


图4 挂车-120作用下结构最大挠度包络图

(3)动力分析结果。采用 MIDAS Civil 软件 Lanczos 特征值向量分析模块进行结构周期与振型分析, 采用子空间迭代法计算得到该桥竖向一阶振型, 如图5所示。由图5可知, 该桥一阶振型为竖弯, 符合简支梁主要承受竖向荷载抗弯的特点。同时, 该桥理论计算基频 $f=12.925$, 一阶频率较大, 说明结构整体刚度较大。

依据“公路桥涵设计通用规范”(JTG D60-2015)第4.3.2条中的规定, 计算得到结构冲击系数 $\mu=0.1767\ln f-0.0157=0.4365$, 由于冲击系数较大, 为了减小汽车荷载的冲击效应, 应对通过桥梁的工程车辆采取限速措施。

(4)计算结果对比验证。在使用有限元分析软件进行结构建模计算分析的基础上, 同时采用《桥梁工程》中的传统计算方法, 通过引入荷载横向分布系数的概念, 将三维空间结构简化成平面杆系构件进行计算, 按照内力影响线加载原理, 计算分析该临时结构的受力特性。对采用以上两种方法得出的计算结果进行对比验证, 两者相互校核, 从而保证模拟计算分析结果的准确性。

(5)结构设计评价。通过对施工临时钢栈桥进行了静动力计算分析, 可做出如下设计评价: 由静力分析可知: 全桥构件的最大正应力及最大竖向位移均小于规范允许的限值, 即结构强度和刚度均能满足设计要求。由动力分析可知: 该桥一阶振型为竖弯, 理论计算基频较大, 说明结构整体刚度较大。由于结构冲击系数较大, 应采取相应车辆限速措施。全桥设计符合规范要求, 各构件均有较大的安全系数。

4.3 教学拓展

在课程教学项目的实施过程中, 首先对课程理论知识进行梳理, 要求学生掌握有限元分析的基本计算原理和步骤。然后, 将学生分成若干小组, 学习应用有限元分析软件, 由教师布置学习任务, 各个小组参与建模分析全过程。同时, 在教学过程中引入讨论式教学, 指导各小组学生采用不同类型的材料、单元、荷载、网格划分方法及边界条件进行计算, 然后进行分析讨论, 评判计算结果的有效性与准确性, 让学生在计算精

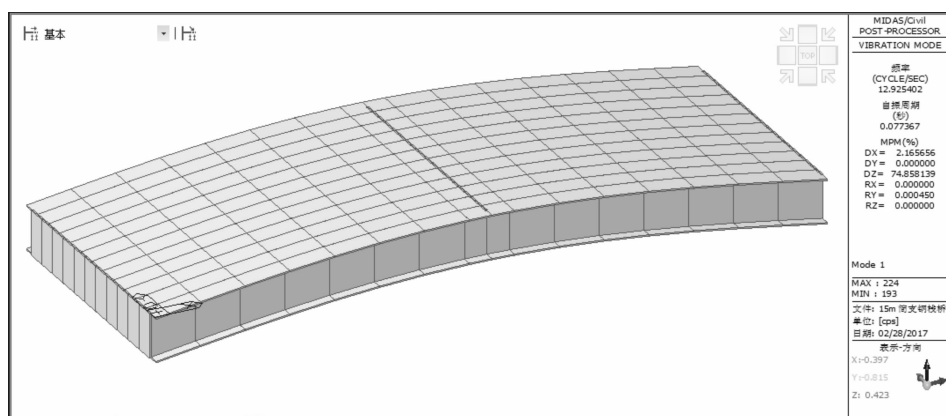


图 5 结构竖向一阶振型

度和耗费时间上取得合适的平衡点,学会举一反三,真正理解和掌握有限元法的基本思想和原理。

5 结束语

本文在四年制高职本科“桥梁工程”课程教学现状分析的基础上,对有限元方法的特点及其在教学中的应用优势进行了介绍,提出了基于有限元方法开展《桥梁工程》课程课堂教学改革的总体思路 and 方案,并通过典型教学案例设计分析,对课堂教学的内容、方法和手段等方面改革进行了探讨。有限元方法有助于降低学生的学习难度,激发学生的学习兴趣,从而提高教师课堂教学质量。

参考文献:

- [1]吴金旺,郭福春.基于构建现代职教体系的四年制高职本科教育模式研究——以浙江金融职业学院为例[J].教育学术月刊,2016(8):15-22.
- [2]徐荣桥.结构分析的有限元法与 MATLAB 程序设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [3]汪东欣,潘雅缤.基于有限元法的工程电磁场形象化教学研究与探讨[J].大庆师范学院学报,2013(6):135-138.
- [4]徐兵,尹冠生,余斌,等.基于有限元方法的材料力学教学方法改革研究[J].大学物理实验,2016(5):133-136.
- [5]李海涛,杨平,黄生,等.ANSYS 软件在工程结构课程教学中的应用[J].高等建筑教育,2014(4):137-139.

Classroom Teaching Reform and Practice for Four-year Higher Vocational Undergraduate Course "Bridge Engineering" Based on Finite Element Method

ZHAO Jian-feng, PAN Xiao-yu, WANG Fang-fang

(School of Road and Bridge, Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China)

Abstract: Focusing on four-year higher vocational Civil Engineering (Road and Bridge Engineering Technology) undergraduate pilot program, this article expounds the general idea of classroom teaching reform of *Bridge Engineering* course based on finite element method, and discusses the reform of classroom teaching content, methods and means etc through the design and analysis of typical teaching cases. The finite element method is introduced in the classroom teaching, and the finite element analysis software is used to assist teaching. Based on actual engineering cases, the course teaching projects are designed and developed to inspire students' interest in learning, so as to improve the students' ability to solve practical engineering problems.

Key words: Higher vocational undergraduate education; Finite element method; Teaching reform