

演示教学法在钢结构课程教学中的应用

王卫华, 彭兴黔

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:在钢结构课程学习中,常常有不少学生会遇到某些抽象概念一时难以准确理解的现象。通过 ABAQUS 有限元数值模拟演示,用具体实例将抽象概念直观形象地表达出来,可有效解决学生对某些知识点容易混淆或难以理解的问题。文章通过钢结构的连接、受弯和轴压构件等不同教学内容,举例说明演示教学法在钢结构课程教学中的应用,帮助学生更快地掌握钢结构的基本原理及其相关知识。

关键词:钢结构;演示教学;数值模拟;ABAQUS;教学研究

中图分类号:G642.4;TU391

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2014)06-0070-04

钢结构课程是土木工程专业最重要的专业必修课程之一,该课程具有较强的理论性和实践性。倘若学生在学习过程中没有很好的空间想象能力,则很难把图纸所表达的内容与实际建筑钢结构产品对应起来,从而也不能把自己的设计理念用图纸准确清晰地表达出来^[1]。随着计算理论和计算机技术的发展,钢结构课程的基本内容和知识结构也在发生不断的改进和完善;新型材料和冶炼、制备技术的发展进一步促进了钢结构产业的长足发展。在当今社会“时间就是效益”的理念下,如何加快建设施工速度、充分发挥钢结构的产业优势等问题显得比以往更为紧迫突出,这也对土木工程专业的技术人员和科研人员提出了更高的要求。因此,在钢结构课程教学中,需要对传统的“填鸭式”课堂教学模式进行改革,教师应更加注重培养学生综合学习和解决问题的能力。

一、演示教学法

演示教学法的基本含义是指教师借助某种道具或多媒体,通过具体的事例或实物对一些抽象概念进行说明,从而把一些抽象的知识、原理简明化、形象化,帮助学生加深对知识、原理的认识和理解^[2]。演示教学法可以分为提出主题、说明目标、开展演示和练习强化四个步骤,与教育学中的情景(感受)教学法有些相似。郭小农等开展了钢结构基本原理试验教学的探讨,提出开展实验演示教学的重要性和操作方法,他把钢结构实验课程分为:认识实验、演示试验和自主实验三部分。认识实验为第一个层次,主要目的是了解钢结构实验

收稿日期:2013-08-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51208217);华侨大学高层次人才科研基金(11BS417)

作者简介:王卫华(1980-),男,华侨大学土木工程学院讲师,博士,主要从事钢与混凝土组合结构研究,

(E-mail)whwang@hqu.edu.cn。

的流程和方法;演示实验为第二层次,主要目的是通过试验加深学生对钢结构基本概念和基本理论的认识;自主实验为第三层次,主要目的是帮助学生深入掌握钢结构的基本原理和理论,培养学生的自主研究的精神和科研素质^[3]。李素娟对比较教学法在钢结构教学中应用的研究,主要通过内容特征的对比来强化课程的知识结构^[4]。

实验演示教学法具有形象直观、能真实展现钢结构构件各种力学反应和破坏形态的优点,也可提高学生的动手能力,但尚存在一些不容忽视的不利因素:试验准备周期长、操作复杂,且存在一定的危险因素,费用也较昂贵等。因此,需要寻找一种可有效替代实验演示而且又直观形象的演示方法。ABAQUS 非线性有限元软件具有较强的非线性运算能力,结合相应的试验测量数据和现象,对有限元模型进行验证,在数值模型的基础上,可详尽展示钢结构构件受力过程的应力、应变、挠度、局部屈曲、整体失稳等模型特征或数值,且模拟构件的受力过程也可输出为动画,来重现钢结构构件整个受力过程的应力分布变化、应变变化、位移或挠度、破坏模态等等。ABAQUS 有限元数值模拟演示具有操作速度快、费用低、结果可重复展现等优点。在结合实验演示的基础上,本文重点介绍 ABAQUS 数值模拟演示在钢结构基本原理课程中的应用情况。与传统的课堂教学相比,其具有形象、直观的特点,可充分调动学生对钢结构课程学习的兴趣和积极性。

二、数值模拟演示在钢结构课程教学中的应用

(一)钢结构的连接

钢结构的连接主要包括焊接、栓接和铆接三种形式。铆接传力可靠,塑性、韧性均较好,但由于其制作费工且劳动强度高^[5],只在一些特殊工程中应用。这里主要介绍 ABAQUS 数值模拟在焊接和栓接教学中的演示效果。

焊缝按照其截面形状可分为对接焊缝和角焊缝,两者截面上的区别在教材中有较为详细的论述,可以满足大多数学生课堂学习和理解的需要。而不少学生在理解不同对接接头焊件宽度或厚度相差 4 mm 以上的对接焊缝需要放坡时,会存在不同程度的理解困难,甚至有学生在课堂教学结束后,还要专门询问坡口焊的位置、形状等直观概念。因此,可以基于 ABAQUS 有限元软件建立不同宽度或厚度的三维

实体模型,设置焊缝单元,通过不同厚度差的对接焊缝受力分析,向学生演示该类型焊缝的构造起因(减少应力集中)、焊接位置和形状等几何信息,使得学生对该部分内容形成相对直观的概念,加深印象。相似的问题还常出现在有单面或者双面搭接板的角焊缝连接传力分析和钢结构连接例题的受力分析中,由于部分学生对三维几何形体缺乏清晰直观的感受,导致在讲解多数例题时不能准确及时地理解结构的传力途径,进而导致其内力计算的错误分析。

对于焊接残余应力,课程大纲要求主要掌握焊接残余应力的种类、产生的原因及其影响,其中焊接顺序和施焊方向会对残余应力的大小和分布产生影响。而不少学生在学习和理解时,常常把相关因素混淆起来。可以通过数值模拟的方法,建立两块连接板和焊缝单元,焊缝单元的弹性模量随温度升高而降低,对焊缝单元预先施加温度,然后依据不同的焊接顺序和焊接方向利用单元生死技术对焊接单元依次降温,最终可以在连接构件中显示与教材所述残余应力分布图形规律相似的残余应力分布图。通过改变不同初设参数,可以让学生对焊接残余应力的主要原因及分布形式有清晰而深刻的印象。同时还可变换焊件的边界(固定或自由),以引导学生深入思考和理解残余应力对静定或超静定结构的影响。

连接板的受剪螺栓群验算包括连接板的净截面强度验算和被连接件的净截面强度验算,在同强度情况下,通常取二者之间厚度较小的净截面来验算强度,但是对于连接板和被连接件的最不利截面通常不在同一位置,因此,必须清楚理解该连接的内力传递和破坏形式,方能对连接强度进行正确的验算。尤其是错排螺栓排布时,净截面破坏除了第一破裂面(直线)外还可能出现在第二破裂面(折线)处。在课堂教学中,可通过 ABAQUS 有限元软件建立带连接板的受剪螺栓连接模型,然后进行受力分析,通过截面内力的输出,为学生详细展示每一排螺栓截面处的内力大小;此外,还可建立错排螺栓排布时的连接板模型,通过改变螺栓孔直径,使得最小净截面分别位于直线排布的螺栓孔和折线排布的螺栓孔处,通过拉伸分析,为学生展示破坏截面发生于直线或折线时的情况,如图 1 所示。

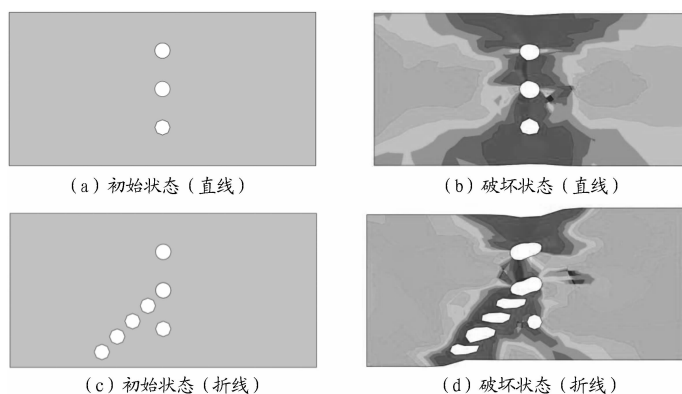


图1 连接板的直线破坏和折线破坏示意图

(二) 工字钢梁的整体失稳、局部失稳和强度破坏

钢结构的受弯构件需进行强度验算、局部稳定验算和整体稳定验算等,其中强度验算以最大应力小于材料屈服应力为准则(考虑截面塑性发展),局部稳定通过构造措施(宽厚比)来保证,整体稳定验算通过整体稳定系数来进行验算。在学习过程中,由于学生缺乏对整体失稳形态的直观概念,往往采用死记硬背的方式将整体稳定系数公式生搬硬套,在作业或者考试中常常出现各种不应该发生的错误。以工字钢梁为例,在 ABAQUS 有限元模型中通过改变翼缘和腹板的宽厚比、侧向约束等,使工字钢梁分布产生强度破坏、局部失稳或整体失稳的破坏形态,并通过整个加载过程的慢速动画演示,引导学生对各种破坏形态的产生条件进行深入讨论,并最终准确理解掌握,如图 2 所示。同时,还可对工字钢梁的端部约束条件进行变化,说明教材中的整体稳定验算所需要的边界条件,是端部可以在梁平面内转动并有可靠的防侧向倾覆措施,以加深学生对后续梁柱节点构造处理的理解和掌握。

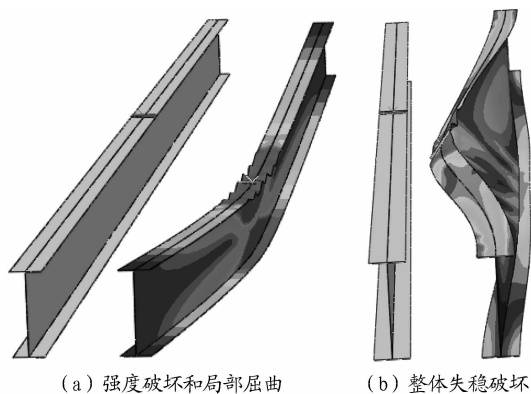


图2 工字钢梁的破坏形态对比

(三) 轴心受压构件

细长的轴心受压构件的破坏形态一般是整体失

稳,理想轴心压杆的屈曲形式有 3 种:弯曲屈曲、扭转屈曲和弯扭屈曲。对于一般双轴对称的截面,其屈曲形式一般为弯曲屈曲;某些薄壁十字形截面在一定条件下可能产生扭转屈曲;单轴对称截面绕对称轴屈曲时会发生弯扭屈曲。由于该部分内容截面分类较细,难以在课堂教学的短时间内让学生准确掌握重点内容,学生即使临时记住了文字内容,也可能由于缺乏直观概念而很快遗忘相关知识。可分别建立双轴对称截面、薄壁十字形截面和单轴对称截面的有限元数值模型,设定不同边界条件,使其分别发生弯曲屈曲、扭转屈曲和弯扭屈曲,如图 3 所示。通过相应的变化动画展示,可使学生直观认识到不同截面形式的理想轴心压杆在不同边界条件时会发生相应的屈曲失稳形式,帮助学生快速理解单轴对称截面、双轴对称截面以及特殊截面等的轴心压杆计算方法上的异同。

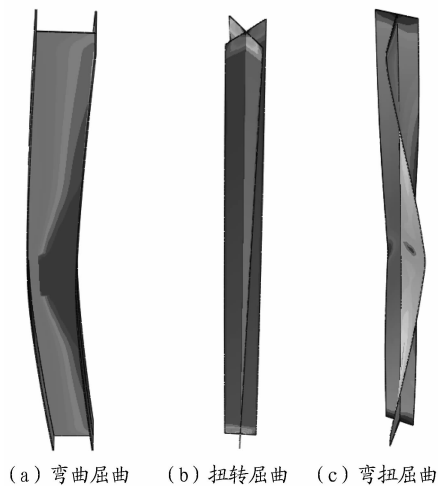


图3 理想轴心压杆的屈曲形式

结合教材中的理论公式推导过程,可对上述理想轴心压杆的边界条件(固接、铰接等)进行变化,以展示不同边界条件对压杆计算长度的影响;还可进一步在钢材的材料模型中增加塑性阶段,进行弹塑

性分析。在 ABAQUS 数值模型中加入实测初始缺陷,可考虑残余应力、初弯曲或初偏心对轴压构件的影响,与教材中在正弦半波假定下的理论推导公式进行对比说明,可有效化解学生在学习力学公式推导过程中的枯燥感,加深其对各种初始缺陷因素对轴心压杆影响规律的理解和掌握。

三、结语

在适量试验演示的基础上,通过 ABAQUS 有限元软件可以建立相应的数值模型,通过试验测量数据和试验现象的对比分析,可对数值模型的相关参数设置加以验证,并在此基础上根据相应教学内容开展不同截面形式、边界条件或改变加载方式的钢结构构件的数值教学演示,通过荷载一位移曲线、应力(应变)分布云图、破坏形态等各种指标的对比分析,可充分展示各因素对钢结构力学性能指标的影响程度,甚至在特定情况下,对具体指标进行量化分析。通过演示教学,把钢结构课堂教学中的难点和容易混淆的知识进行细化分解,让学生对难以理解的概念或形态有直观的认识和理解,帮助其更好地

掌握钢结构的基本理论知识。

实验教学演示法具有真实、直观的特点,通过典型的试验现象和破坏过程可给学生演绎复杂的钢结构概念和理论知识。但实验教学演示具有准备周期长、费用昂贵等无法避免的缺点,尤其是尺寸或数量巨大的试验试件、复杂的边界或加载条件等,都使得实验演示教学法无法在众多高校的钢结构课程教学中加以普及应用。

参考文献:

- [1] 孙德发,刘俊英,牛志荣,等. 钢结构课程教学改革探索与实践[J]. 高等建筑教育,2012, 21(1): 66-68.
- [2] 网易博客. <http://lilili645.blog.163.com/blog/static/117648385200962274531665>
- [3] 郭小农,王伟,蒋首超,等. 钢结构基本原理实验教学探讨[J]. 高等建筑教育, 2011, 20(1): 149-154.
- [4] 李素娟. 比较教学法在钢结构设计原理课程中的应用[J]. 高等建筑教育, 2011, 20(4): 85-88.
- [5] 刘声扬,王汝恒. 钢结构—原理与设计[M]. 2版. 武汉理工大学出版社,2010.

Application of demonstrative teaching method in steel structure course

WANG Weihua, PENG Xingqian

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, P. R. China)

Abstract: Some abstract concept often could not be accurately understood by students in the basic principles of steel structure course. Through numerical demonstrative teaching method using finite element software ABAQUS, the abstract concept can be vividly manifested with specific examples to solve the problems that hardly to understand. The application of demonstrative teaching method was illustrated in the steel structure course of connections, bending elements and axial compressive members, in the purpose of helping student master the basic principles of steel structure.

Keywords: steel structure course; demonstrative teaching method; numerical model; ABAQUS; teaching research

(编辑 王 宣)