

# 数值试验在提高材料力学课程教学效果中的作用

张娟霞<sup>1</sup>, 郭献章<sup>1</sup>, 周秀艳<sup>1</sup>, 梁正召<sup>2</sup>

(1. 东北大学 秦皇岛分校, 河北 秦皇岛 066004; 2. 大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

**摘要:**把“真实破坏过程分析数值试验系统”(RFPA)引入材料力学课程教学中,通过数值试验的教学,并利用数值试验结果,使理论教学与实践教学相结合,激发学生的兴趣,加深学生对课堂理论知识的正确理解和对实验现象的正确解释,从而促使学生的理论水平和实践技能得到全面提高,推动材料力学课程教学整体水平的提高。

**关键词:** 材料力学, 教学效果, 数值试验, 破坏过程

**中图分类号:** TU5-42

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-2909(2009)06-0126-04

材料力学是高等学校理工类学科诸多专业的必修课,是一门专业基础课,要求学生能够深刻理解基本力学理论,并能够联系实际解释构件的破坏问题。在教学中,材料力学基本理论提供了解决基本力学问题的有用方法,而材料的基本力学性质试验(包括单轴压缩、拉伸、剪切和弯曲试验等)是必不可少的环节。要求通过力学试验既能够深化和巩固学生所学的基本理论知识,又能够培养学生良好的分析解决问题的能力。但是,传统试验所得到的结果和信息十分有限,用成熟的数值方法及计算机程序进行材料变形与破裂过程的数值试验将成为必要的补充。在理解数值模拟方法及其程序的基础上,用程序进行材料破坏过程的数值试验,将为材料力学的研究和教学提供一个全新的思路和方法。

数值试验不同于数值模拟。数值试验<sup>[1-2]</sup>是指利用数值计算方法研究力学的各种问题,数值模拟主要是通过数值计算方法再现已知的现象,强调运用数值模拟的结果,加深对实际实验中观测到的已知现象的解释。此数值试验已成功运用于岩石力学实验教学<sup>[3-5]</sup>。本文的数值模拟是建立在力学模型和数值方法基础上,再现已知的试验结果,拓宽学生的思路,让学生从感性上加深对知识的理解。

## 一、数值试验的实施过程

材料力学的数值试验是通过 RFPA 来实现的,在数值试验中,数值模拟方法承担着物理试验中“试验机”的作用,与真实的万能试验机相比,数值试验具有使用灵活、试验成本显著降低的特点。数值试验好比虚拟的加载试验系统,它由

收稿日期:2009-10-12

基金项目:河北省“十一五”教育规划课题(06020546);河北省科技攻关课题(07215616);国家自然科学基金资助项目(10672028,50778046)

作者简介:张娟霞(1973-),女,东北大学秦皇岛分校讲师,博士,主要从事工程力学及混凝土破坏研究,

(E-mail) zhang\_juanxia@126.com。

欢迎访问重庆大学期刊社 <http://qks.cqu.edu.cn>

4部分组成:材料破坏过程分析系统、构造实体模型、应力分析求解器、渐进破坏模型和后处理器。通过计算机对任意设计的不同材料的模型进行拉、压、弯、剪等试验。通过数值计算,学生可方便地选择材料模型(数值试样)进行加载和试验结果处理,并根据自己的需要,得到各种数据。

## 二、实验教学尝试

RFPA“真实破坏过程分析系统”软件已能对材料力学常规试验进行数值试验。通过在工程力学和材料力学课程实验教学中一学年的教学尝试,效果显著,极大地激发了学生的学习热情。另外,教师在教学过程中也可将数值试验结果<sup>[6-10]</sup>直接用于课堂授课,可以说是对传统教学的一个很好的补充。

## 三、课堂授课案例

利用数值试验结果,在授课过程中结合理论进行分析,帮助学生理解,在掌握理论的基础上,鼓励感兴趣的学生做一些数值试验。案例分析如下:以梁的强度问题为例,在外力作用下,梁的横截面将产生剪力和弯矩两种内力。很多情形下,剪力和弯矩沿梁长度方向的分布是不均匀的。对梁进行强度计算,需要知道哪些截面可能最先失效,这些横截面称为危险面。剪力和弯矩最大的截面就是首先要考虑的危险面。弯曲时,由于横截面上应力非均匀分布,失效最先从应力最大点处发生,因此,进行弯曲强度计算不仅要考虑内力最大的“危险截面”,而且要考虑应力最大的点,即:“危险点”。

为了分析构件在外力作用下,剪力和弯矩、危险面、危险点及构件破坏情况,建立数值模型(基体材料为脆性的混凝土,梁中在受拉部位配置钢筋)。其对应的剪力图和弯矩图,以及纯弯曲截面上的正应力分布分别如图1、2所示。由图可知,梁在受力点之间部分为纯弯曲部分,此部分截面为危险截面,其截面上正应力分布如图2所示。

由工程力学分析可知,在中性轴的上部分为压应力,下部分为拉应力,由于脆性材料,抗压不抗拉,所以其危险点为两受力点之间梁的下边缘部分。这时,给出数值试验计算四点弯曲的破坏过程图,如图3所示。由此可知:裂纹萌生在两加载点之间梁的下边缘部分,也就是梁的危险点部分,之后,随着外加荷载的增加,裂纹扩展,可以看出,裂纹的产生都是由拉应力产生的,直至最后裂纹贯通,失去承载能力。

图4是钢筋混凝土梁最后破坏时拉应力分布图。由此可知,钢筋在梁的受拉部位,主要承受拉应力。两个主要裂纹之间,在梁的受拉部分,出现了等间距裂缝现象。这时需要教师引导和帮助学生理解“为什么在梁的受拉部位配置钢筋:脆性材料抗压不抗拉,钢筋属于韧性材料,在结构中主要承担拉应力。”在此基础上,在进行梁的强度设计时,将危险点,危险截面,及材料的选择,不同材料的结构配置联系在一起,帮助学生理解掌握教材理论知识。

## 四、结语

利用RFPA“真实破坏过程分析系统”软件进行工程力学试验项目的数值模拟,是对传统教学方式的一种有益补充,虽然该实验不能完全取代常规的工程力学实验,但是对于辅助教学有一定意义,而且也可得到常规试验不能得到的力学现象和大量数据信息。

从实践效果来看,把数值试验的结果用于课堂授课有着非常重要的意义,它可以帮助学生理解理论知识,并把理论和实践有机地联系起来,使学生对结构构件的变形及破坏过程有了更直观和深入的认识。

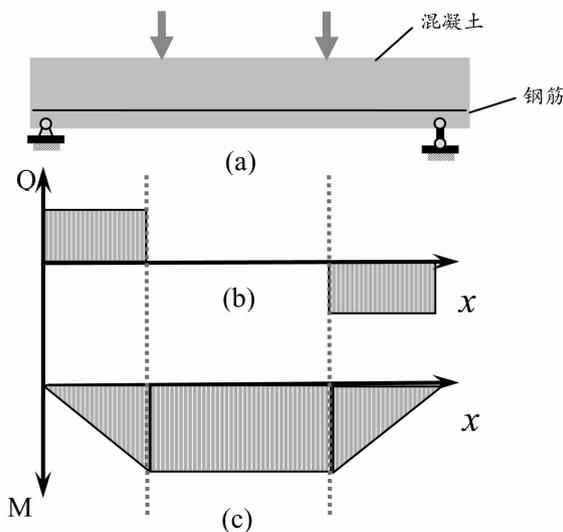


图1 数值试验的结构模型

(a) 剪力图 (b) 弯矩图 (c)

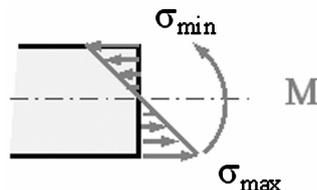


图2 横截面上的正应力分布

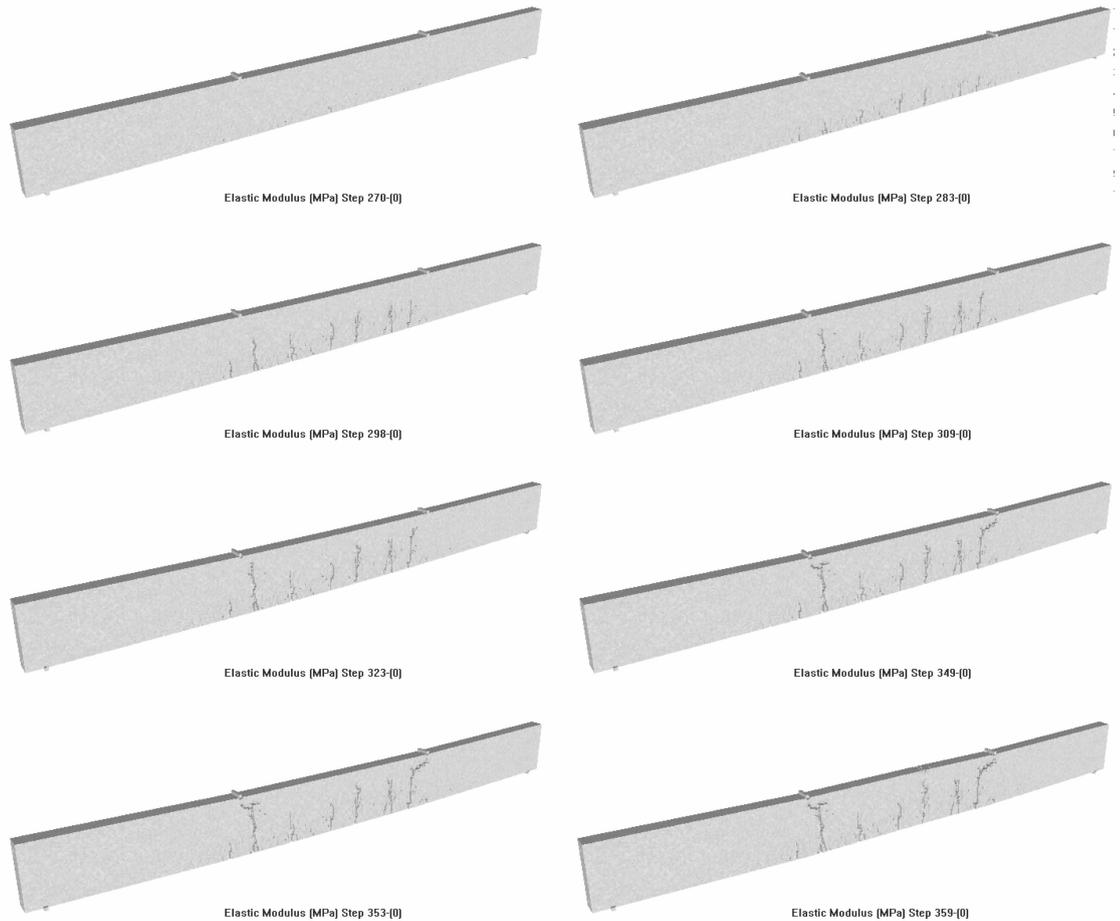


图3 数值试验结果:钢筋混凝土梁破坏过程图

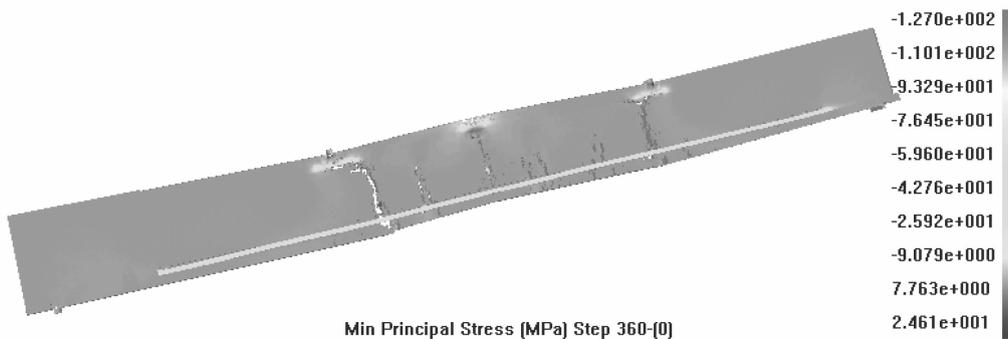


图4 钢筋混凝土梁破坏过程中应力分布图

参考文献:

- [1] 朱万成,唐春安,梁正召,等. 应用数值试验方法,推进岩石力学实验的教学[J]. 力学与实践,2004,26(2):76-77.
- [2] 张娟霞,唐春安. 钢筋混凝土破坏机理——数值试验[M]. 沈阳:东北大学出版社,2008.
- [3] 唐春安,朱万成. 混凝土损伤与断裂—数值试验[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 王述红,唐春安,朱万成,等. 数值试验在岩石力学实验教学中的应用[J]. 实验技术与管理. 2003, 20(6): 140-143.
- [5] 唐春安,王述红,傅宇方. 岩石破裂过程数值试验[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [6] 张娟霞,唐春安,梁正召,张亚芳. 受拉钢筋混凝土构件三维破坏过程的数值试验研究[J]. 计算力学学报, 2007,24(4):453-458.
- [7] 张娟霞,唐春安,寇绍全,梁正召,徐涛. 受拉钢筋混凝土构件破坏过程中的等间距裂缝形成机理[J]. 应用力学学报,2007,24(4):646-652.
- [8] 杨菊英,张娟霞,王大国,徐涛. FRP加固钢筋混凝土梁破坏机理的数值试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报

- (自然科学版),2007,26(2):232-234.
- [9] 张娟霞,唐春安,朱万成,梁正召,吴献. FRP 加固混凝土构件中裂纹扩展规律的数值模拟[J]. 工程力学, 2006, 23(12):143-148.
- [10] 张娟霞,郭献章,周秀艳. 数值试验在材料力学课程教学中的应用[J]. 高等建筑教育,2009,18(3):128-130.

## Using Numerical Test to Improve Teaching Effects of Material Mechanics

ZHANG Juan-xia<sup>1</sup>, GUO Xian-zhang<sup>1</sup>, ZHOU Xiu-yan<sup>1</sup>, LIANG Zheng-zhao<sup>2</sup>

(1. Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China;

2. Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** A numerical test system named Realistic Failure Process Analysis (RFPA) was introduced into materials mechanics course teaching, and the numerical test results were applied into the classroom teaching to help students' understanding the elementary knowledge. On this basis, many mechanics phenomena and data information can be obtained through the numerical test, but it can not be obtained by the experiments. Thereby, students can have direct viewing and in-depth recognition on deformation and failure process of the structure specimen. A case about beam strength is analyzed in the paper. It helps students to integrate theory with practice, stimulate interests of study and research of students, train research quality, therefore to improve the whole teaching effect of materials mechanics.

**Keywords:** materials mechanics; teaching effect; numerical test; failure process.

(编辑 梁远华)