

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2020.05.018

欢迎按以下格式引用:陈涛,孙凯,尹文良.可视化结构力学教学实验初探[J].高等建筑教育,2020,29(5):133-136.

可视化结构力学教学实验初探

陈涛,孙凯,尹文良

(同济大学 土木工程学院,上海 200092)

摘要:以传统结构力学实验为基础,分析当前的课程实验教学现状,阐述结构力学教学实验可视化的必要性和可行性。为了解决现有教学实验存在的问题,让学生更好地理解力学概念,尝试将 DIC 全场应变测量系统运用于力学实验教学中,以代替传统的应变片和位移计测量。通过开展相关实验,验证结构力学可视化实验教学的可行性,进而探讨合适的结构力学教学实验方案。

关键词:结构力学;教学实验;力学概念;可视化

中图分类号:G642.423;TU311

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2020)05-0133-04

力学实验是土木工程专业类学生力学学习的重要环节。通过这些实验可以让学生了解工程结构在不同受力状况下内力的变化规律,了解不同材料的受力特性并探究如何进行结构优化等。力学实验教学将书面理论通过实验的方式验证,让无形的力学变得有形^[1],以加深学生对理论知识的理解。随着结构力学教学实验的推进,传统实验方法的不足逐渐凸显,如用应变片和位移计间接测量的方式并不够直观,试件的变形非常微小,肉眼几乎无法看到。为了获得更好的教学效果,目前国内有许多对结构力学教学实验的改革创新尝试,如虚拟仿真实验教学^[2]、自主设计新型实验模型^[3-5]等。本文从可视化的角度出发,开展可视化结构力学教学实验研究。

一、开展可视化结构力学实验的必要性

结构力学的知识源于工程实际,但因其已被简化,导致学生在理论学习时普遍感觉过于抽象。为弥补理论教学的不足,需要引入结构力学实验课程^[5-6]。以同济大学为例,目前学校开设有结构力学实验课程来辅助教学,通过桁架实验,帮助学生理解移动荷载和影响线的概念,了解桁架各类杆件及其受力特征。实践证明,这对加深学生对结构力学概念的理解、锻炼实践能力和培养创新意识确实有较大的帮助,但也存在不够直观的问题。为了进一步完善、改进现有教学实验,达到更好的教学效果,有必要开展可视化结构力学实验。

修回日期:2020-11-02

作者简介:陈涛(1980—),男,同济大学土木工程学院教授,博士生导师,主要从事结构疲劳性能评价、复合材料在土木工程中的应用研究,(E-mail)t.chen@tongji.edu.cn。

目前结构力学教学实验较为单一,实验装置、测点布置都比较固定。从丰富现有结构力学教学实验体系的角度出发,探索新的实验十分必要。丰富的教学实验能够将实际的各种模型与理论相结合,帮助学生理解理论知识。结构力学实验可视化是一个十分有意义的发展方向,不仅能使理论知识更为直观,而且还能让学生更好地参与实验,提高实验教学效果。

近年来,科技的发展日新月异,各种先进的测量仪器、新型的实验材料不断出现,并被应用于科研实验中。相比传统的实验方式,它们有着独特的优势。如数字图像相关(DIC)测量方法,以其无损、非接触、全场、高精度测量等优点广泛应用于基础力学问题的研究和工程测试中^[7]。实验的原理是不变的,但实验的工具具有必要根据现有的情况不断优化,以达到更好的教学效果。教学实验也应顺应时代发展,不断推陈出新。

二、教学实验装置的设置

可视化结构力学实验从力学基本概念出发,引导学生获得相关力学知识,了解和掌握结构力学的实验方法,并通过实践掌握试件设计、实验结果整理的方法。同时,鼓励学生发现实验误差的原因,进而提出改进方法,训练学生自主学习的能力。

本次结构力学实验为工字简支梁在集中荷载下的变形实验,实验目的是让学生了解工程试件的名称,掌握实验的基本方法,加深对相关知识的理解。同时,在实验的过程中,了解实验试件的设计,处理实验结果,并独立撰写实验报告。由于可视化实验具有全场测量的优点,实验方案可多样化,为学生自主设计实验提供了可能。学生可以在不同的测量点位或工况下进行实验,并与理论值比较。在实验结果分析方面,鼓励学生了解当前的一些分析软件,利用软件进一步分析实验结果。

(一) 实验装置的设置

结构力学中,在单位移动荷载作用下表示结构某一量值(称为影响量)变化规律的图形,被称为该量值的影响线^[9]。本实验的目的是让学生通过理论计算与实验结果比较,更深入地理解影响线的概念,同时学习 CFRP 梁的实际受力状况,了解理想计算模型与实际模型的差别。

实验装置为 CFRP(碳纤维增强复合材料)工字梁,两端简支,并采用 DIC(Digital Image Correlation)仪器进行测量。如图 1 所示,经多次实验验证,杆件类试件实验效果不佳。一是杆件的识别区域较窄,边缘识别较差。二是构件的微小振动,会使识别效果进一步降低。为确保测量精度,提高实验效果,选用识别面积更大的工字梁进行实验。经实验验证,将 CFRP 工字梁等效为杆件可行且误差较小。如图 2 所示,以跨中竖向位移为例,理论值与实测值吻合较好。

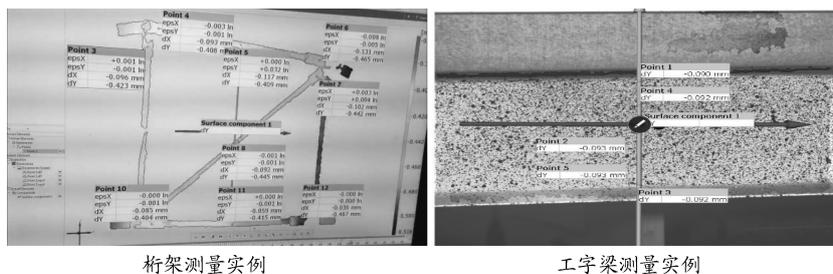


图 1 杆件类试件实验

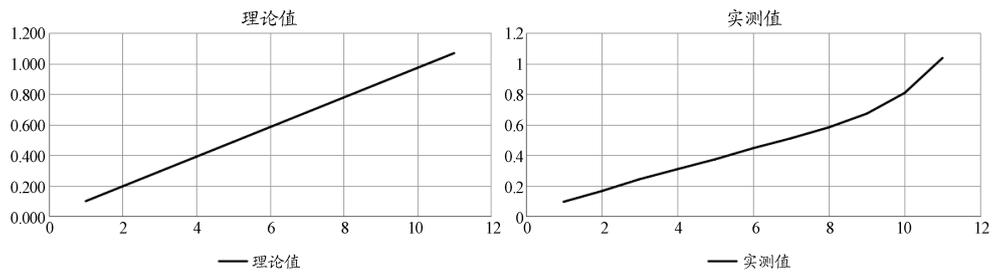


图 2 跨中位移结果

装置的尺寸如图 3 所示,纵向长 1 560 mm,横向宽 100 mm,高 50 mm,翼缘板厚度 1.4 mm。使用的是弹性模量为 162 000 Mpa 的 CFRP 材料。两端简支,能够自由转动。

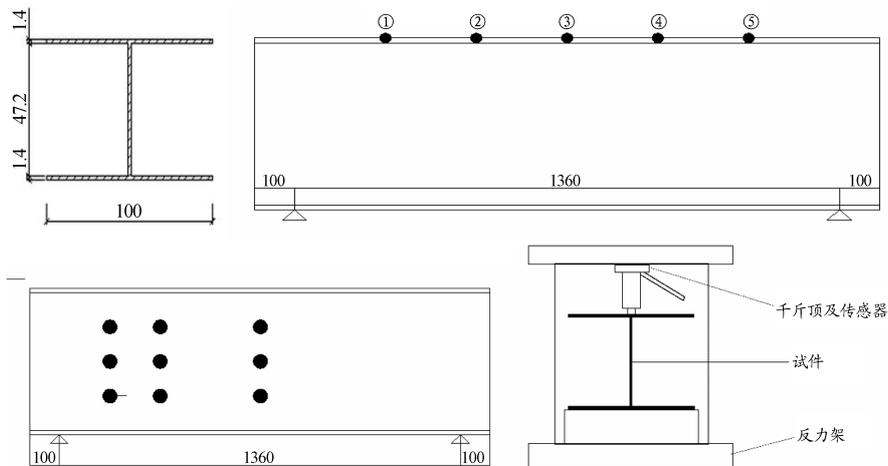


图 3 实验装置

(二) 实验过程

加载方式为简单多次加载,如图 3 所示,将千斤顶依次安装在①、②、③、④、⑤节点,加载荷载为 150 N、350 N、550 N。通过 DIC 采集结束后释放荷载,等数据处理并记录完成后再向下一个加载点施加荷载,重复采集操作。

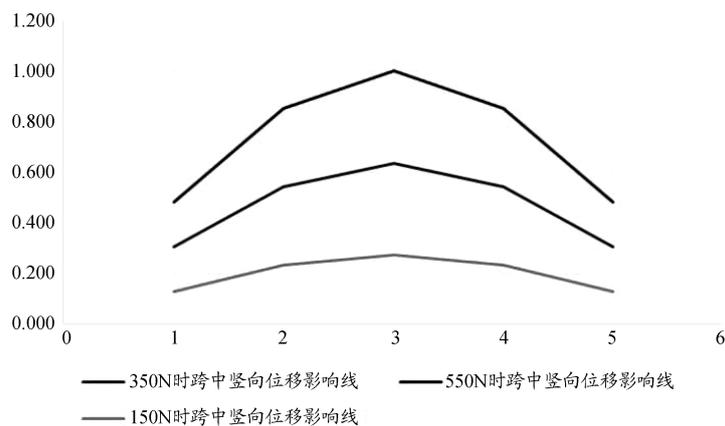


图 4 试件各部分的应变或变形情况

在合适的距离和角度,DIC 可以识别绝大部分梁体。在实验的过程中,能自动计算识别区域内的应变及位移信息,以图像的形式(图 4)显示于软件界面,并用颜色深浅加以区分,从而达到可视化的目的。通过图像与实际构件相比较,能够直观地看到试件各部分的应变或变形情况。在实验结

束后,可以导出实验数据,用于学生整理分析,对比理论数据和实际实验结果,对误差进行分析并进一步提出改进方案。

三、可视化结构力学实验的教学效果

静定结构的影响线是结构力学的重要内容,它反映了结构某一量值随荷载作用位置变动时的变化规律。通过可视化的结构力学实验不仅能从数值上得出结论,锻炼学生数值处理和独立撰写实验报告的能力,还能通过图像看到荷载作用下构件的受力、变形情况,直观地感受这种变化规律。

相比传统的实验方式,可视化教学实验的优势主要体现在三个方面:一是可视化,试件的变形直接在计算机上用图像显示,清晰易懂,便于学生将理论知识与实际相结合,进一步加深对相关力学知识的理解。二是全场测量,DIC测量时通过照片对比计算试件位移和变形,识别区域内任意一点的变形均可测得。这有利于学生进行自主设计实验并验证,摆脱固定点位的限制。三是非接触测量,不会对试件性能造成任何影响。

四、结语

可视化是目前教学实验的一个重要发展方向。同济大学以创新实验基地为依托,利用不同的实验模型进行实验,最终选取工字梁进行影响线的可视化实验。和传统的实验相比,具有可视化、全场测量等优点。

参考文献:

- [1] 陈艳华,罗才松.在“结构力学”课程中开设实验教学的实践[J].实践教学,2011(20):141-142.
- [2] 任伟杰,李春林,宋维源.结构力学虚拟仿真实验教学研究[J].力学与实践,2015,37(2):257-262.
- [3] 李修干,何芝仙,张伟.一种“结构力学”课程实验装置设计[J].重庆理工大学学报,2017(3):72-76.
- [4] 陈再现,王焕定.实验结构力学教学改革初探[J].力学与实践,2015,37(5):647-651.
- [5] 孙旭峰,陶阳.土木工程专业结构力学课程实验教学实践探讨[J].高等建筑教育,2013,22(5):133-136.
- [6] 吴俊.结构力学实践教学建设研究与应用[D].苏州:苏州科技大学,2015.
- [7] 陈在现,等.《实验结构力学》教学实验平台探究[J].力学与实践,2015,37(3):383-388.
- [8] 刘聪,陈振宁,何小元.3D-DIC在土木结构力学性能试验研究中的应用[J].东南大学学报(自然科学版),2014,44(2):339-344.
- [9] 朱慈勉,张伟平.结构力学[M].北京:高等教育出版,2016.

Preliminary study on visualization of experiment course in structural mechanics

CHEN Tao, SUN Kai, YIN Wenliang

(College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

Abstract: Based on traditional structural mechanics experiments, the current status of experiment teaching is analyzed. Furthermore, the necessity and feasibility of visualized experiment teaching course in structural mechanics is elucidated. To overcome the shortcomings of the existing teaching experiments and enable students to understand the concept of mechanics better, we try to apply DIC full-field strain measurement system to mechanics experiments teaching, replacing the traditional strain gauge and displacement gauge measurement. Through relevant experiments, the feasibility of visualization of structural mechanics experiment is verified and then a suitable experimental teaching scheme of structural mechanics is discussed.

Key words: structural mechanics; experiment course; mechanical concept; visualization

(责任编辑 王 宣)