

小型光弹教学实验装置的研究和改进

徐青青, 张丹丹, 黄凌燕, 黄跃平

(东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 小型光弹仪是以透射光弹实验为基础, 吸取传统光弹仪的核心概念, 去繁就简, 着眼于本科教学的验证性实验和演示性实验。在满足本科教学精度要求的基础上, 去除传统仪器上泰迪补偿等高精度但复杂的部分, 同时参考电测试验中仪器的结构, 在简单的仪器架上设计了多种实验。在此基础上, 验证了本科教学中学生自主研究和改进的可行性。

关键词: 光弹实验教学; 可行性; 可靠性; 适用性

中图分类号: G642.423; O348.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1002-4956(2009)04-0233-04

Research and improvement of teaching experiment instrument of miniature photoelasticity

Xu Qingqing, Zhang Dandan, Huang Lingyan, Huang Yueping

(School of Civil Engineering, Southeast university, Nanjing 210096, China)

Abstract: Based on the transmission photoelasticity experiment, absorbing the core concept of traditional photoelasticity instrument, under the basis of satisfying with the teaching requirement for undergraduates, simplifying the structure of the traditional photoelasticity instrument, the developed miniature photoelasticity instrument can perform several experiments. The improvement of the instrument gives the conclusion of feasibility for self research and improvement in the teaching process for undergraduates.

Key words: experiment teaching of photoelasticity; feasibility; reliability; applicability

传统光弹仪是以透射光弹实验为基础的光弹仪, 它具有精度高的优点, 但是传统光弹仪成本高, 视场小, 无法让很多学生同时观看, 更无法让学生动手操作, 并且由于其精密、结构复杂的特性, 容易让学生产生恐惧、畏难的心理, 因此难以让学生清楚地了解什么叫光弹性实验, 其原理又是什么, 学生只能看到一些漂亮的条纹而已, 因此无法达到教学的目的。

我们曾经在研究中采用简单的实验仪器完成光弹实验, 用于验证纯弯曲四点和三点弯的结论, 发现虽然我们采用的仪器比较简单, 精度比传统仪器稍低, 但结果仍然与理论解吻合较好。受此启发, 我们觉得如果将我们的实验仪器进一步改造, 完全可以用于本科实验教学。所以我们利用低成本资源, 制作了能够完成材料力学等基本实验内容、简单明了的小型光弹实验装置。这种装置由于其简明、直观、易懂、易操作, 不仅

可以克服传统光弹仪带给学生的压迫感和畏惧心理, 还能激发学生的新奇感, 引发学生一探究竟的兴趣, 更重要的是, 由于其成本低廉, 制作方便, 可以做到让所有的学生人手一台, 自主研究。

1 传统光弹仪

图1为传统光弹仪的照片, 图中右图为演示实验装置。传统光弹仪仪器庞大, 价格昂贵, 携带不便。由于仪器珍贵, 所以不可能让每个学生都自己去操作, 导致学生兴趣不浓, 看完以后很快就忘, 更缺少让学生进行思考的环节。

如图2所示为原来的测力装置, 其采用一个冻结有预应力的纯弯曲梁的切块, 其两面都贴有偏振片, 对其条纹变化与所加压力关系进行标定, 并进行线性拟合。

实验表明, 传统光弹仪的测量力装置虽然可用于验证性实验, 但用于新的光弹装置, 则测量精度不能满足要求。为此, 我们将测力装置进行了改进。从电子秤上拆下其传感器部分, 安装到我们的装置上, 并对其进行了标定, 精度得到了提高。

收稿日期: 2008-10-22

基金项目: 东南大学 SRTTP 项目(NO. 08052021)

作者简介: 徐青青(1987—), 女, 江苏省扬州市人, 本科生

通信作者: 黄跃平(1959—), 男, 安徽省徽州人, 本科, 工程师, 力学实验中心主任。

2 小型光弹仪

我们的改进着重于仪器的结构简单和经济。改进

后的装置如图 3 所示。

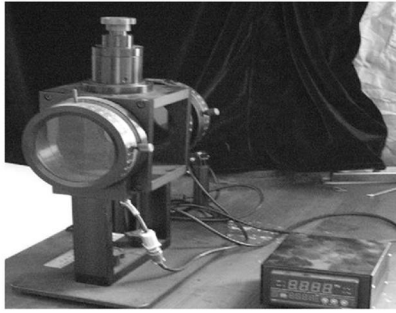


图 1 传统光弹实验仪科

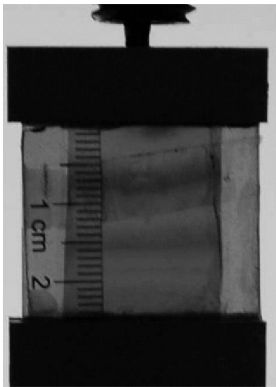


图 2 原测力装置

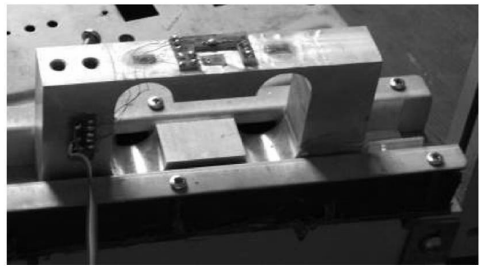


图 4 改进装置的测力部分

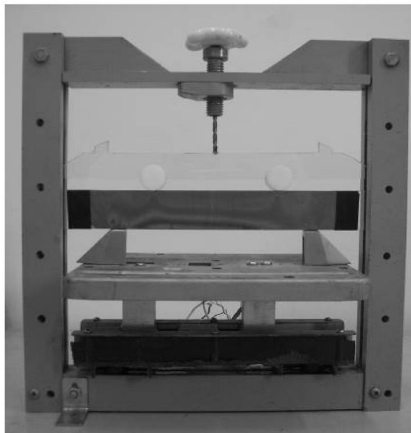


图 3 改进装置

小型光弹仪分为 3 部分,即加力装置、测力装置和安装试样部分。加力装置采用螺母旋紧以及分力梁,测力装置采用普通电测装置,整个结构一目了然。

2.1 适用性分析

该装置可以很方便地完成弯曲实验,验证材料力学的基本定律。

为了完成拉压实验,我们在装置的面板和用于加力的螺栓上安装了自制的夹头。考虑到传感器无法测量拉力,可在面板上先放置一定重量的物块,施加预压力。在此基础上可测出应力集中系数。

除此之外,我们正在设计用该装置来完成悬臂梁弯曲应力和直梁拉伸应力的实验。

对于学生应用而言,如果希望能继续深入研究,那么在这个装置基础上进行改进也十分方便。

对于课堂教学所需的演示实验仪器,只需采用图 5 所示的装置,即在聚碳酸酯材料表面贴上偏振片,只要加力就能立即有明显的光弹现象,直观,易懂,易携带。



图 5 演示实验装置

2.2 精度分析

2.2.1 理论分析

传统的光弹实验装置之所以复杂,在于它采用泰

迪分析仪的方法来提高精度,并用 1/4 波片来消除等倾线。下面用理论分析的方法证明,在本科实验教学中,没有这两者,仍然可以达到我们所需要的精度。

首先是 1/4 波片。等倾线的方向与主应力方向呈 0° 或 90° 角,当试件中应力分布不均匀时,部分主应力方向与偏振片的方向一致或互相垂直,因而显示为一片黑色(暗场)或透明无色(亮场);而在本科常规实验中,纯弯曲、拉伸的主应力方向分布都很均匀,即当主应力方向与偏振片方向一致或互相垂直时,整个试件都没有条纹,这是实验时所不取的。我们的实验建立在主应力方向与偏振片方向呈锐角的情况下,因此没有必要加 1/4 波片。

其次是精度。以纯弯曲为例,在传统光弹实验中的白光实验一般采用的条纹级数为 3~4 级,单色光的级数一般会更高些,以提高精度。此时若没有泰迪补偿法,可以估读到 0.5 级。我们在做电测测纯弯曲时,在梁的上下表面都贴上应变片,并采用全桥以抵消拉扭带来的误差。这一思想也可以用于光测。用于教学实验的光测材料往往不一定完全消除了加工造成的残余应力,因而在实验时读到的零级条纹不一定在应力为零处。因此,在纯弯曲实验中,我们可以采取从下向

上读条纹级数差的办法来得到相对条纹级数。这样得到的条纹级数可以达到 0.25 级。

由 Jones 向量和 Jones 矩阵可以得到平面偏振光场暗场中出射光的光强 I 为

$$I = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2} = \frac{1}{2} \sin^2 2\theta (1 - \cos \delta). \quad (1)$$

亮场中出射光的光强 I' 为

$$I' = \frac{1}{2} \sin^2 2\theta (1 + \cos \delta) + 1. \quad (2)$$

$$I - I' = -\sin^2 2\theta \cos \delta - 1.$$

其中 θ 为主应力方向与水平轴的夹角, δ 为相位差。

可以看到,在暗场中,相位差为 $2n\pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) 时,出现黑色条纹;在亮场中,相位差为 $(2n-1)\pi$ ($n = 1, 2, \dots$) 时,出现黑色条纹,当两者相减后,由于实际光强总为非负值,取其绝对值,相位差为 $\frac{\pi}{2} + n\pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) 时,即出现黑色条纹,即,条纹精度被再次提高,可估读到 0.125 级。

2.2.2 实验论证

小型光弹仪得到的光弹实验图如图 6 所示,图 6 中共有 6 个图,分别标为(a)、(b)、(c)、(d)、(e)和(f)。

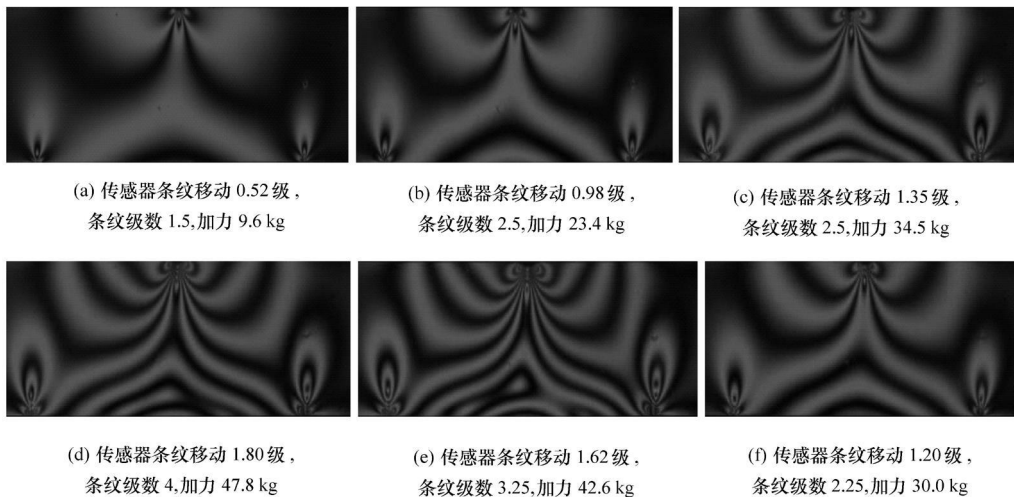


图 6 实验结果图

实验采用图 2 的装置,分别读出传感器条纹移动级数和试样下边缘中心处的条纹级数,由传感器条纹移动的级数得到所加的力的大小,进而得到试样下边缘中心处主应力差值(作为理论值);由试样下边缘中心处的条纹级数得到其主应力差值(作为实验值),将两者进行比较。由于分力梁有一定的重量(0.328 kg),因此需要对理论值进行修正。

根据条纹数 N ,可以由公式(3)计算出主应力差的实验值:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{Nf}{d}. \quad (3)$$

式(3)中 f 为材料常数, d 为样品厚度。

根据传感器的读数,我们可以由式(4)(式(4)中 α_1 取+, α_2 取-)推出主应力差的理论值由式(5)确定。

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}, \sigma_y = 0. \quad (4)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_2)_{\text{理}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2}. \quad (5)$$

实验取值: $f = 6.5 \times 10^3 \text{ N/m}$, $h = 45 \text{ mm}$, $l = 150 \text{ mm}$,

$d=4.5\text{ mm}$ 。

结果见表 1。表 1 中的理论值由式(5)算得, 实验

值由式(3)得到。

表 1 下边缘中心应力计算值

图形	荷载/ kg	移动条纹数 N	理论值			$(\sigma_1 - \sigma_2) / \text{MPa}$	
			σ_x / MPa	τ_{xy} / MPa	$(\sigma_1 - \sigma_2)_{\text{理}} / \text{MPa}$	实验值	修正值
(a)	9.6	1	0.774	0.346	1.31	1.445	1.35
(b)	23.4	1.5	1.887	0.849	2.54	2.334	2.57
(c)	34.5	2.5	2.782	1.252	3.74	3.611	3.78
(d)	47.8	4	3.855	1.735	5.19	5.777	5.22
(e)	42.6	3.25	3.432	1.547	4.62	4.694	4.66
(f)	30.0	2.25	2.419	1.089	3.26	3.250	3.26

采用改进之前的实验装置, 进行了三点弯曲的验证性实验, 分析结果表明, 虽然这种小型光弹仪的精确度不如传统光弹仪, 但是也已经足够了。

改进后的装置的误差来源: 力传感器不精确, 对于测力装置, 人眼可以分辨到 0.5 mm, 而且标定的时候也存在误差。另外, 上述图形的条纹级数并非整数级, 估计条纹数会有误差。

改进后的装置, 由于用了电子秤的核心部分, 所以力传感器的误差会减少很多。

3 结束语

考虑到小数级条纹识别的困难, 我们打算用 Matlab 编一段程序读取条纹的光强和颜色, 并处理条纹。如果条件允许, 我们打算用 CCD 采集图片, 然后用自编的软件处理, 相信将会使实验更加完善。

在这次对光弹仪改进的过程中, 我们(学生)学到了很多, 对于现成的实验方案, 我们一向只关注如何完成, 却很少去想怎么去改进。在动手之前, 我们也觉得改进实验装置是一件很难的事情, 设计、制作、改进

这一系列过程的实践, 让我们体会到世上无难事, 只怕有心人。这个过程中我们学到了很多, 同时特别感谢指导老师黄跃平老师在我们的研究探索过程中所给予的大力支持与帮助。

参考文献(References):

- [1] 天津大学材料力学教研室光弹组. 光弹性原理及测试技术[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 计欣华, 邓宗白, 鲁阳, 等. 工程实验力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] (英) 柯斯克, (英) 罗伯逊. 光弹性应力分析[M]. 王燮山, 黄杰藩, 金炎, 等译. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [4] 周向东, 张大志, 王铁光. 改革实验教学 培养学生创新能力[J]. 东北大学学报: 社会科学版, 2000, 2(3): 220-222.
- [5] 杨少红, 章向明, 曾晓玲. 改造材料力学实验室 提高实验教学效果[J]. 实验室研究与探索, 2006, 12(25): 1608-1610.
- [6] 王钦亭. 基于 MATLAB 的光弹条纹提取技术[J]. 河南理工大学学报, 2006, 25(5): 424-428.
- [7] 唐晨, 佟景伟, 李鸿琦, 等. 基于颜色特征的等差线提取方法[J]. 天津大学学报, 2001, 34(6): 754-756.

(上接第 211 页)

5 结束语

本系统的功能涵盖了高等学校实验室教学管理中的主要方面, 如教师、学生的预约, 管理员的管理, 以及实验室课程和实验的查询、修改等。该系统性能稳定, 为实现实验教学管理信息化、网络化、科学化提供了平台, 提高了高校实验室管理的水平。

参考文献(References):

- [1] Holzner S. 21 天学通 Visual Basic. NET 2003 中文版[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.

- [2] 张玉平. ASP.NET+SQL 组建动态网站[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] 杨浩. VB.NET 入门经典[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [4] 刘世弘, 王玉英, 邓丽曼, 等. 校园房屋土地实现真三维可视化管理的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2008, 25(4): 100-104.
- [5] 屈泳, 张文勇. 高等学校数字化实验室的研究与实现[J]. 实验技术与管理, 2007, 24(11): 146-148.
- [6] 傅绕, 钟乐海. 基于 Web 的师生交流系统的设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2007, 3(5): 1211-1212.
- [7] 颜桂炀, 林深, 郑柳萍. 实验教学信息平台建设的探索与实践[J]. 宁德师专学报, 2007, 19(4): 337-339.
- [8] 刘思周. 利用实验室信息管理系统创建合并院校的数字化实验室[J]. 忻州师范学院学报, 2004(3): 124-125.