

# 数字图像相关方法与教具相融合的材料力学 实验教学实践

刘万荣 田忠喜 张巍 彭超 倪振强

聊城大学建筑工程学院

**摘要:** 为了提高学生对材料力学实验的理解能力,本文首先通过实验教具向学生演示材料的弯曲变形,然后引入数字图像相关方法开展材料的弯曲破坏力学实验。实践表明,将前沿的数字图像可视化处理方法应用到材料的弯曲实验教学中,让复杂的应变场演化实现可视化,真正实现科研与教学相长,形成了“实验教具演示+全场应变可视化实验”的实验教学模式。通过实验,学生能够更直观地理解材料力学的理论知识,将课本上的抽象概念转化为具体的实践操作,这有助于加深记忆并巩固所学内容。其次,实验可以提升学生的实践操作能力。既让学生通过实验教具亲自动手体验材料的弯曲变形等现象,又通过数字图像可视化方法让学生看到了实际材料的变形破坏过程,既避免了老师和学生之间思维传导的误差,又激发了学生的学习兴趣,取得了良好的教学效果。

**关键词:** 实验教学; 数字图像相关; 弯曲; 教具

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6288.2024.09.009

## 引言

材料力学是机械、土木、航空航天等工科专业的基础课程,也是解决这些实际问题的理论基础,主要研究材料在载荷作用下的变形、应力和破坏失效<sup>[1-3]</sup>。材料力学实验对理论知识的进一步理解和验证有重要意义。目前材料力学实验通常涵盖材料的实验有:拉伸实验;梁弯曲实验;弯扭组合实验以及压杆稳定实验等。大多数院校在实验中主要采用电测法,电测法是采用贴应变片在试件上,通过试件变形导致试件上的应变片变形,最终通过应变仪读出应变值。该方法操作简单但是误差较大。而且在材料力学部分实验中材料变形很小,很难直观看到材料的变形,一定程度上阻碍学生对理论知识的理解。随着科学技术的发展,一些新方法、新理论、新材料的涌现给各行各业的发展创造了条件。数字图像相关方法(digital image correlation, DIC)就是目前前沿的一种材料变形测试方法<sup>[4-6]</sup>。它能够实现对材料破坏全程的非接触、全场变形可视化监测。该测试方法已经在工程领域发挥了重要的作用,该测试方法已经在很多领域得到了广泛的应用,对分析材料变形过程中应变场具有明细的优势。

材料力学的理论知识比较抽象,很多都是力学推到以及公式的转化,部分学生在学习过程中很难理解其中的力学原理。教具教学在课堂教学中一直是一种传统的教学方式,但是对促进教学起到了很好的作用。那么实验教具引进到实验教学中也能起到很好的辅助实验教学作用。实验教具不仅有助于理论知识的巩固和应

用,更能提升学生的实践能力、创新思维以及科学素养。具体来说,工科实验教具的作用主要体现在以下几个方面:巩固和深化理论知识;提升实践能力,通过实际操作,学生可以锻炼自己的动手能力、观察能力和解决问题的能力。这种实践能力的提升对于工科学生来说至关重要,有助于他们更好地适应未来的工作需求;培养创新思维,鼓励学生进行实验设计和创新,通过尝试不同的实验方法和操作过程,学生可以培养自己的创新思维和解决问题的能力;提高科学素养,通过使用工科实验教具进行实验和观察,学生可以更加深入地了解科学知识的应用和实际意义。这有助于提高学生的科学素养,使他们能够更好地理解和应对现代工程技术的挑战。综上所述,工科实验教具在工科教育中具有不可替代的作用。它们不仅有助于提升学生的理论水平和实践能力,更能培养他们的创新思维和科学素养。因此,工科教育应充分重视实验教具的使用,为学生提供更多的实践机会和创新空间。实验教具携带方便、演示过程简单、很好地突破了材料力学抽象教学的瓶颈<sup>[7-8]</sup>,可以通过客观现象反映出材料的变化规律,能够大大加深学生对材料力学各阶段学习的理解。因此,本文采用前沿的数字图像相关方法和教具相融合的手段开展材料力学实验教学实践。通过将前沿的测试手段应用到基础的力学实验当中,培养学生的创新意识和实践能力,最终提高实验教学效果。

## 一、数字图像相关方法弯曲实验教学探索

数字图像相关方法已经在很多领域得到了广泛应

用。数字图像相关方法在弯曲实验教学中的应用探索，是一个结合了数字图像处理技术和材料力学性能测试的综合性课题。这种方法的探索不仅有助于提升实验教学的效果，还能为材料科学领域的研究提供新的技术手段。首先，需要了解数字图像相关方法的基本原理。这种方法主要是通过对数字图像进行处理和分析，提取出图像中的有用信息，进而实现对材料性能的测试和评估。在弯曲实验教学中，利用数字图像相关方法来观察和分析材料在弯曲过程中的变形和应力分布情况，从而更准确地评估材料的弯曲性能。在实验教学探索中，设计一系列的实验步骤。首先，准备实验所需的材料和设备，包括材料样本、数字相机、计算机以及相关软件等。然后，对材料样本进行弯曲加载，并通过数字相机实时拍摄材料在弯曲过程中的变形图像。接下来，利用数字图像相关方法对拍摄到的图像进行处理和分析，提取出材料的变形信息和应力分布情况。最后，根据分析结果对材料的弯曲性能进行评估和比较。在实验过程中，需要注意一些关键技术和问题。首先，图像采集和处理的质量对实验结果具有重要影响，因此需要选择适当的拍摄参数和图像处理算法，以确保图像信息的准确性和可靠性。其次，由于材料在弯曲过程中可能会发生复杂的变形和应力分布，因此需要采用先进的图像分析技术来准确提取这些信息。此外，还需要考虑实验数据的准确性和可靠性问题，以及如何通过多次实验和对比分析来验证实验结果的可靠性。通过数字图像相关方法在弯曲实验教学中的应用探索，我们可以更好地了解材料的弯曲性能，为材料科学领域的研究提供新的技术手段。同时，这种方法的探索也有助于提升实验教学的效果，培养学生的实践能力和创新精神。未来，我们可以进一步拓展数字图像相关方法在其他领域的应用，为实验教学和科学研究提供更多的可能性。需要注意的是，进行实验前需要认真阅读实验教程，明确实验目的、步骤和原理，预习相关的理论知识。在实验中，要严格遵守实验室的规章制度，遵守仪器设备的操作规程，细心观察并记录各种实验数据。实验后，还需要认真完成实验报告，包括分析结果、处理数据、绘制曲线及图表等。

弯曲实验是材料力学的实验之一，材料弯曲实验对理解材料力学中的弯曲应力和弯曲位移有很好的辅助作用，是对理论公式的进一步验证和理解。下面详细分析数字图像相关方法在材料弯曲变形破坏实验中的应用。

### （一）实验设备及实验方法

在实验教学中，教师首先对实验系统、基本原理和步骤等进行说明并适当演示，测试完毕后对 DIC 图像处理方法进行介绍。实验具体操作流程如下。

在教学中，我们首先向学生讲解 DIC 测试的原理、工程应变和真实应变概念及其计算方法，进一步明确材料弯曲变形测试的目的和应用重点。本文所用数字图像测试系统由试验机、弯曲试件、CCD 相机、LED 照明光源、数字图像采集与处理系统等组成。本实验主要可以分为两个阶段：第一个阶段进行实验操作，首先给试件喷射散斑材料，然后将试件放到试验机上进行力学实验，直到试件破坏为止，在实验过程中拍摄试件的整个破坏过程。第二个阶段为实验数据处理操作，对第一阶段拍摄的图片在计算机软件上进行处理，最终得到整个试件破坏的应变场分布云图。

实验开始前，在试件表面均匀喷涂黑白散斑：首先，选择试件表面平整且孔洞较少的一侧进行喷涂。然后，先将白色哑光喷漆手动均匀喷洒在试件表面，以形成一层底色。待白色哑光喷漆凝固后，再将黑色哑光喷漆均匀喷洒在白色图层上。这样，试件表面就会形成高反差的散斑图。并且喷涂散斑分布均匀且大小适中。CCD 相机除清晰捕捉试件表面散斑外，其轴线还需与试件表面垂直。将试件放在两个支撑点之间，然后通过试验机慢慢的在试件的中间给它施加力，试验机进行逐渐加载至试件完全断裂，同时采用 CCD 相机连续摄取试件表面数字图像。实验完成后，教师先展示怎么处理 DIC 测试数据，以及在数据处理过程中可能会遇到的一些问题向学生们进行讲解，同时解答学生在实验过程中的疑问。最终连同试件的测试数据和连续拍摄的试件表面数字图像提供给学生，用于后续数据处理与实验分析等。

### （二）实验结果分析

通过前面试件弯曲破坏实验，然后采用 DIC 数字图像处理得到的不同时间下材料断裂时应变图。从图可以看出刚开始加载时试件没有变形，整个应变场比较小而且比较均匀；随着试验机的逐渐加载，当加载到 16s 时，在试件的底部出现了一个向上延伸的应变增大区，使得该处出现了明显的裂缝；随着应力的继续加载当加载到 65s 时，试件的裂缝逐渐向上扩展，应变逐渐增大，裂缝已经超出了试件的中心位置；当加载 85s 时，试件的裂缝继续向上扩展，应变逐渐增大，裂缝几乎贯穿试件，试件发生断裂破坏，试件在该处发生断裂（如图 1 所示）。

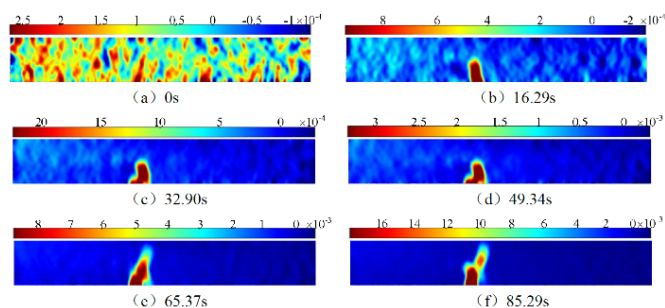


图1 DIC实验试件断裂过程

通过DIC能够清楚地再现试件的整个破坏过程,该实验可以知道在试件的上表面受压应力作用,在下表面受拉伸作用,使得学生对材料在弯曲作用下的断裂有个清楚的认识,进一步加深了对弯曲作用下,材料上下表面受力特征。

## 二、教具辅助实验教学探讨

实验当中很多的现象不能直观地观察到,通过教具辅助教学就能清楚地了解材料的变形情况。比如材料力学实验中的弯曲实验,该试验台是目前学生材料力学实验主要仪器。该实验用的材料弹性模量很大,在加载的过程中变形很小,用肉眼很难看到材料的变形,只能通过应变仪测出材料的应变,不能直接看到材料的变形。因此,在实验教学过程中先通过教具演示,就能直观地看到材料的变形位置以及变形特征,让学生对材料的变形有个最初的认识。横梁在重力作用下发生了弯曲变形。通过实验教具让学生了解材料的弯曲变形,然后通过具体的基础实验理解弯曲变形以及弯曲变形包含的力学原理。

通过实验教具演示之后,再让学生进行实验操作。学生在弯曲实验实际操作过程中,学生动手能力普遍得到了提高,教具演示对辅助实验教学起到了很大的促进作用。

通过实验,学生能够更直观地理解材料力学的理论知识,将课本上的抽象概念转化为具体的实践操作,这有助于加深记忆并巩固所学内容。其次,实验可以提升学生的实践能力。在实验中,学生需要亲自动手进行各种操作,如材料的制备、测试、分析等,这有助于培养学生的动手能力,让他们掌握实验技能和方法。此外,材料力学实验还能培养学生的创新思维和解决问题的能力。在实验过程中,学生可能会遇到各种预料之外的情况和问题,这时就需要他们运用所学知识进行分析和解决,这有助于培养学生的独立思考和解决问题的能力。最后,实验还能让学生更好地了解材料力学的应用。通过实际操作,学生可以更直观地感受到材料力学在各个领域的应用,如土木、机械、航空航天等,这有助于增强学生对专业的兴趣和热情。

## 结语

本论文将变形测试技术应用到材料力学实验教学中,将前沿的科研成果数字图像可视化处理方法应用到材料的弯曲实验教学中,让复杂的应变场演化实现可视化,真正实现科研与教学相长的现象。通过这个实验,我们可以测定材料的机械性能,分析实验数据,建立材料力学中的结论和定律,并验证它们的正确性。同时,实验也是材料力学教学中的一个重要环节,它对于提高学生的综合素质、培养实践能力与创新能力具有极其重要的作用。形成了“实验教具+全场应变可视化实验+力学实验操作”的三位一体的实验教学模式。既让学生通过实验教具亲自动手体验材料的弯曲变形等现象、又通过数字图像可视化方法让学生看到了实际材料的变形破坏过程,最后通过实际操作实验掌握和理解材料力学包含的基本实验原理。最终培养学生的创新思维和解决问题的能力,并增强学生对专业的兴趣和热情。

## 参考文献

- [1] 王林,赵雅慧.数字图像相关测试技术在材料力学实验教学中的应用[J].力学与实践,2020,42(2):232-236.
  - [2] 吴凤琳,张东升.数字图像相关法观测剪切应变场教学实验[J].力学与实践,2018,40(6):693-695.
  - [3] 刘萍华.20年来我国材料力学实验课程教学改革文献综述[J].力学与实践,2009,31(6):67-69.
  - [4] 何巍,张宸,方棋洪等.基于数字图像相关方法的材料力学实验教学探索[J].力学与实践,2022,44(3):687-692.
  - [5] 邵新星,陈捷,马沁巍等.实时三维数字图像相关方法在材料力学教学中的应用[J].力学与实践,2021,43(5):776-782.
  - [6] 段洪元,宫文然,郭保桥等.高温数字图像相关方法中的制斑和图像处理技术[J].清华大学学报:自然科学版,2019,59(6):425-431.
  - [7] 冯永哲,余帮建,段敬文等.材料力学教具的研发与设计[J].2020,11(13):20-24.
  - [8] 王海涛.材料力学实验教学实践与探索[J].教育教学论坛,2019,(12):271-273.
- 作者简介:刘万荣,男,1989年12月,福建省政和县人,汉族,博士,副教授,研究方向:岩土力学。
- 基金项目:聊城大学实验教学研究项目(3111624069);聊城大学教改项目(311162027);中国成人教育协会“十四五”成人继续教育科研规划课题(2021-022Y);2022年山东省研究生教育优质课程建设项目(SDYKC2022169)。