

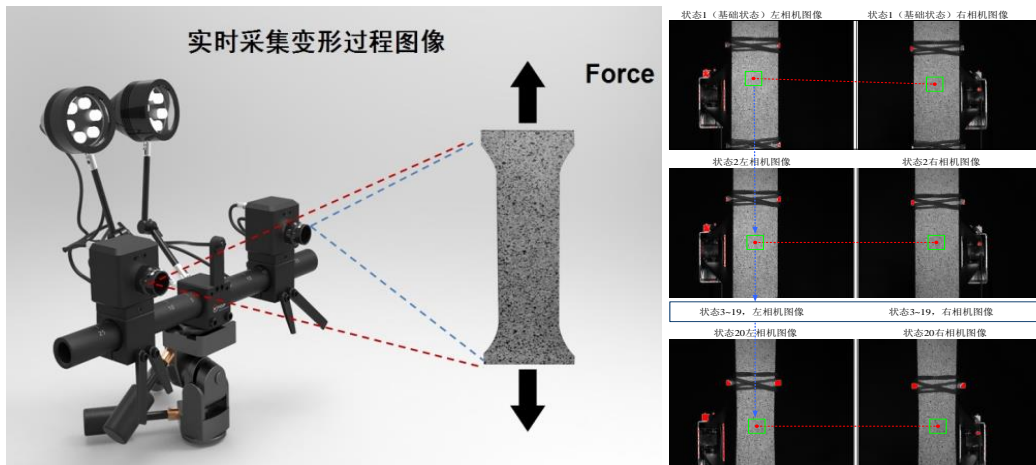
XTDIC 三维全场应变测量分析系统

1.1 系统介绍



图：XTDIC 三维全场应变测量分析系统外观

XTDIC 三维全场应变测量分析系统，结合数字图像相关技术 (DIC) 与双目立体视觉技术，通过追踪物体表面的散斑图像，实现变形过程中物体表面的三维坐标、位移及应变的测量，具有便携，速度快，精度高，易操作等特点。



图：系统测量原理及散斑图像追踪过程

系统组成：统主要由测量头、控制箱、标定板、标志点、计算机及检测分析软件等组成。系统应该包含系统测量头（含两台高速工业相机、进口相机镜头，带万向手柄可调节 LED 光源）、相机同步控制触发控制箱、系统标定板、系统可移动支撑架、动态采集分析软件、载荷加压控制通讯接口、计算机系统等组成。

1.1 主要应用

XTDIC 三维数字散斑动态变形测量分析系统是实验力学领域中一种重要的测试方法，其主要应用有：

在材料力学性能测量方面：DIC 已成功应用于各种复杂材料的力学性能测试中。如火箭发动机固体燃料、橡胶、光纤、压电薄膜、复合材料以及木材、岩石、土方等天然材料的力学性能的检测中。值得注意的是，DIC 被广泛应用于破坏力学研究中，包括裂纹尖端应变场测量、裂纹尖端张开位移测量以及高温下裂纹尖端应变场测量等。

在微观力学测量方面：借助于扫描电子显微镜(SEM)、扫描隧道电子显微镜(STEM)以及原子力显微镜(AFM)，DIC 被越来越多地应用于微观力学测量。最近，数字散斑相关方法还被应用于物体表面粗糙度的测量中。

在损伤与破坏检测方面：DIC 被应用于多种复杂材料 如岩石、炸药材料的破坏检测中。DIC 还被应用于一些特殊器件，如陶瓷电容器、电子器件，电子封装的无损检测研究中。

在生物力学测量方面：DIC 被应用于测量手术复位后肱骨头在内旋转及前屈运动下大小结节的相对位移量，以及颈椎内固定器对人体颈椎运动生物力学性能的影响等。

对于大中专院校的研究教学应用，本系统开展各种软组织、金属及复合材料性能测试、力学性能测试分析、有限元分析验证等研究和教学实验，具有大至 1000%应变测量范围，并可以实时计算、实现动态全场的应变变形测量。在土木工程的相关研究中 如四点弯试件、半圆弧试件、悬臂梁实验，对应完整实验设计方案，以非接触式的方式提升研究手段，提高研究能力。亦可为学生提供可视化的教学工具，让学生的基础学习课程变得直观和可视，使复杂问题简单化、抽象问题直观化、隐蔽问题可视化。

1.2 系统功能

(1) 基本测量功能：

- **※测量幅面**：支持几毫米到几米的测量幅面，可以根据需求定制测量幅面。
- **测量相机**：支持百万至千万像素、低速到高速、千兆网和 Camera Link 等多种相机接口，控制软件最大支持采集帧率 10 万 fps。
- **※相机标定**：支持多个相机（可多于 8 个）多种测量幅面的标定，支持外部拍摄图像标定。
- **※测量模式**：三维变形测量，同时支持单相机二维测量。
- **※实时计算**：采集图像的同时，可以实时进行三维全场应变计算，具备在线和离线两种计算处理模式。
- **计算模式**：具备自动计算和自定义计算两种模式。
- **测量结果**：全场三维坐标、位移、应变数据等动态变形数据，应变模式有工程应变、格林应变、真实应变等三种。
- **多个检测工程**：系统软件支持多个检测工程的计算、显示及分析。
- **※支持系统**：支持 32 位、64 位 windows 操作系统，具备 64 位计算和多线程加速计算功能。

(2) 分析报告功能

- **※18种变形应变计算功能**：X、Y、Z、E 三维位移；Z 值投影；径向距离、径向距离差；径向角、径向角差；应变 X、应变 Y 和应变 XY；最大主应变；最小主应变；厚度减薄量；Mises 应变；Tresca 应变；剪切角。
- **※坐标转换功能**：321 转换、参考点拟合、全局点转换、矩阵转换等多种坐标转换功能。
- **※元素创建功能**：三维点、线、面、圆、槽孔、矩形孔、球、圆柱、圆锥。
- **※分析创建功能**：点点距离、点线距离、点面距离、线线夹角、线面夹角、面面夹角。
- **数据平滑功能**：均值，中值，高斯滤波等多种平滑功能。
- **数据插值功能**：自动和手动两种数据插值模式。
- **材料性能分析**：自动计算材料的弹性模量和泊松比等参数。
- **三维截线功能**：可对三维测量结果进行直线或圆形截线分析。
- **曲线绘制功能**：所有测量结果均可以绘制成曲线图。
- **成形极限分析功能**：可绘制和编辑 FLD 成形极限曲线。
- **视频创建功能**：可将测量过程二维图像或者三维测量结果制作成视频并输出保存。
- **数据输出功能**：测量结果及分析结果输出成报表，支持 TXT，XLS，DOC 文件的输出。

(3) 采集控制功能

- **※采集控制箱**可以实现测量头的控制、多个相机的同步触发、多路模拟量和开关量数据采集、输入和输出信号控制。
- **相机同步控制**：多相机外同步触发信号。
- **※外部采集通讯接口**：支持外部载荷如微电子万能试验机等外部载荷联机采集通讯接口，通过串口通讯或者模拟量实时采集外部的加载力、位移等信号，并与三维全场应变测量数据实现同步，实现应力和应变数据的融合和统一。
- **光源控制**：可以实现测量过程中不同补光需要的 LED 光源控制。

(4) 预留扩展接口：

- **※多测头同步检测接口**：可以支持 1~8 个测头的多相机组同步测量，相机数目任意扩展，可以同步测量多个区域的变形应变，适用于不同实验条件需求下的变形应变测量。
- **※显微应变测量**：配合双目体式显微镜，系统可以实现微小视场的三维全场变形应变检测，并可支持扫描电镜、原子显微镜等显微图像的应变数据计算。
- **※大尺寸全方位变形接口**：支持摄影测量静态变形系统，实现全方位变形和局部全场应变检测数据的融合和统一。

1.3 技术指标

	指标名称	技术指标
1.	※核心技术	多相机柔性标定、数字图像相关法
2.	测量结果	三维坐标、全场位移及应变，可视化显示及测量过程的视频录制输出，测量结果及数据输出成报表，支持 TXT，XLS，DOC 文件的输出。
3.	※测量幅面	支持 1mm-4m 范围的测量幅面，并配备相应编码型标定

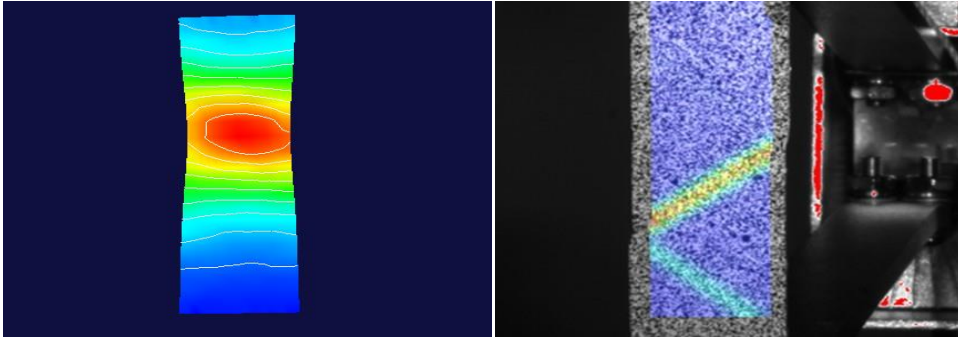
		板标定架，可定制更多测量幅面。
4.	※测量相机	支持百万至千万像素相机，支持低速到高速相机，支持千兆网和 Camera Link 等多种相机接口，控制软件最大支持采集帧率 10 万 fps)
5.	相机标定	简单快捷，需要可支持任意数目相机的同时标定，支持外部图像标定
6.	※位移测量精度	0.005 像素
7.	※应变测量范围	0.01%-1000%
8.	※应变测量精度	0.001%
9.	测量模式	三维变形测量，可兼容二维测量
10.	※实时测量计算	采集图像的同时，实时进行全场应变计算
11.	※系统控制	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 采集控制箱可以实现测量头的控制、多个相机的同步触发、多路模拟量和开关量数据采集、输入和输出信号控制。 ◇ 相机同步控制：多相机外同步触发信号。 ◇ 外部采集通讯接口。 ◇ 光源控制：可以实现测量过程中不同补光需要的 LED 光源控制。
12.	多测头同步测量	可以支持 1~8 个测头的多相机组同步测量，相机数目任意扩展，可以同步测量多个区域的变形应变，适用于不同实验条件下需求下的变形应变测量。
13.	※载荷采集通讯接口	需要提供软组织测试试验中的外部载荷如电子气压计、微电子万能试验机外部载荷联机采集通讯接口，通过串口通讯或者模拟量实时采集外部的加载力、压力、位移等信号，并与三维全场应变测量数据实现同步，实现压力、应力和应变数据的融合和统一。
14.	※可定制性	可满足土木工程学科实验的要求进行定制开发及载荷加载设备的接口开放，能提供软件的著作权证等证明材料。
15.	系统软件	软件需采用 64 位计算，满足大数据的高速计算需求。
16.	系统兼容性	支持 32 位和 64 位 Windows 操作系统。

1.4 应用案例

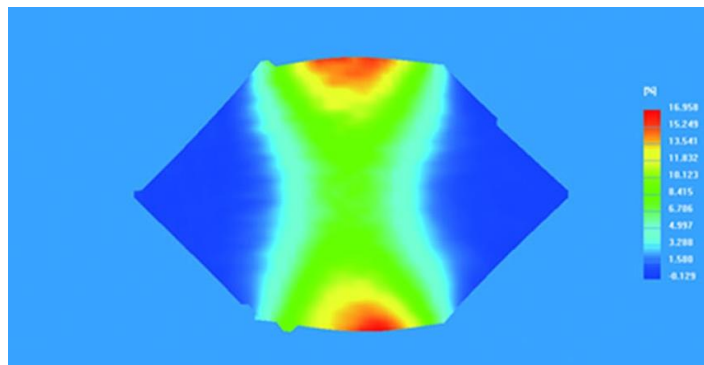
(1) 材料实验

利用 XTDIC 系统测量钢件、铝件在单向及双向拉伸过程中材料的三维全场变形和应变。实验设备：

- (a) 万能拉伸试验机
- (b) XTDIC 三维数字散斑动态应变测量分析系统
- (c) 试件：钢试件，铝试件



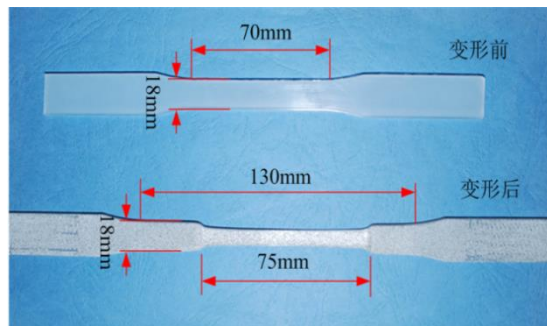
钢试件和铝时间单向拉伸应变场

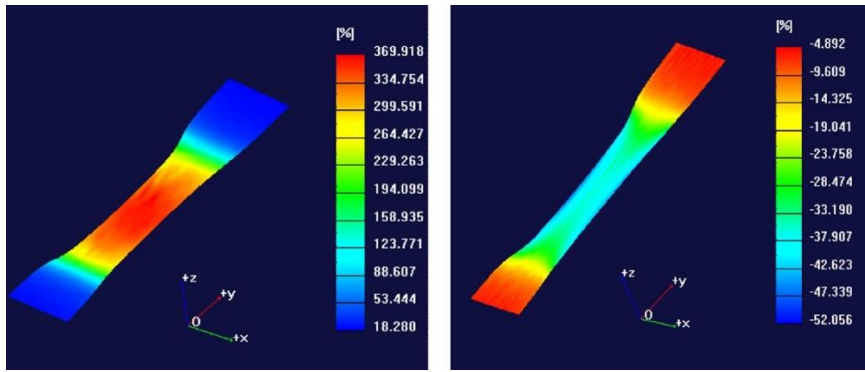


双向拉伸实验变形场

(2) 复合材料大变形拉伸实验

变形前试件的有效区域的尺寸为 $70 \times 18 \times 4 \text{mm}$ 。对比试件变形前后的尺寸变化可以发现，试件的中间区域发生了不小于 400% 的大变形。

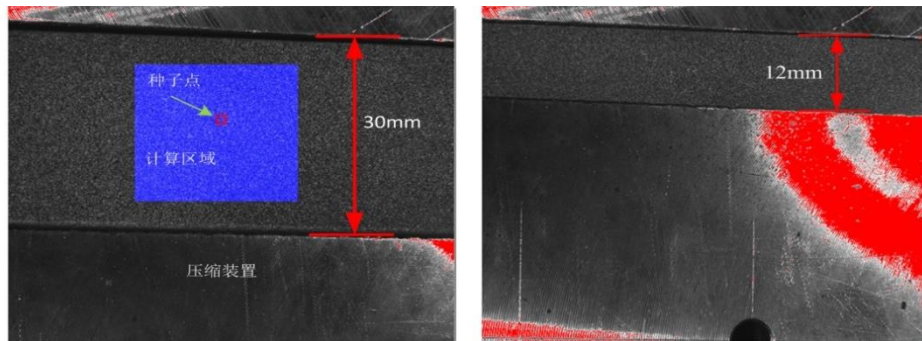




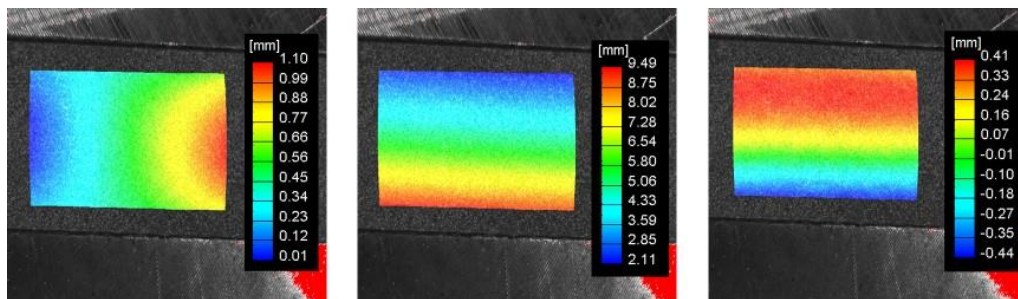
大变形拉伸最大及最小主应变测量结果

(3) 泡沫材料大变形压缩实验

变形前后泡沫的厚度由 30mm 减至 12mm，平均压缩量约为 60%。



变形前后

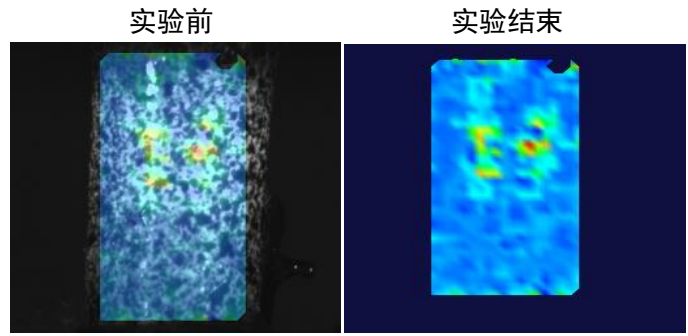


测量结果

(4) 钛合金试件压缩变形实验

对于氧化处理的钛合金试件，高 5mm，直径 3mm。使用万能材料试验机进行压缩，同时使用 XTDIC 系统测量试件在变形过程中各个状态下的应变场信息。





变形状态主应变分布 (压力 7902.252N, 压缩量 0.485mm)

(5) 木材变形测量实验

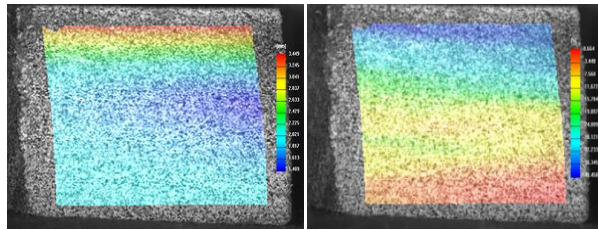
实验内容:

1. 通过压缩实验获取木材的杨氏模量和泊松比
2. 通过弯曲实验获得木材在弯曲变形时的变形场信息。

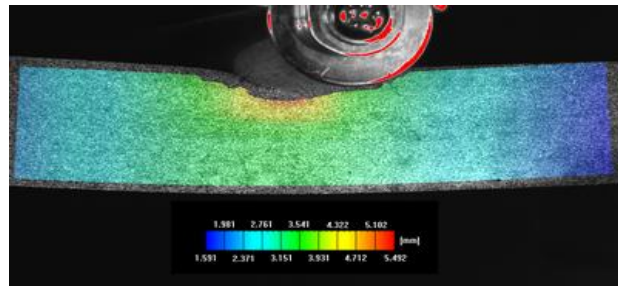
实验结果:

杨氏模量: 14.77GPa

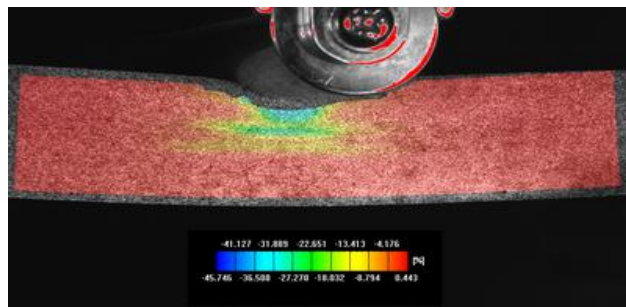
泊松比: 0.7817



木材压缩试验位移变形场 木材压缩试验 Ex 应变场



三点弯曲试验载荷为 2413.09N 时的位移变形场

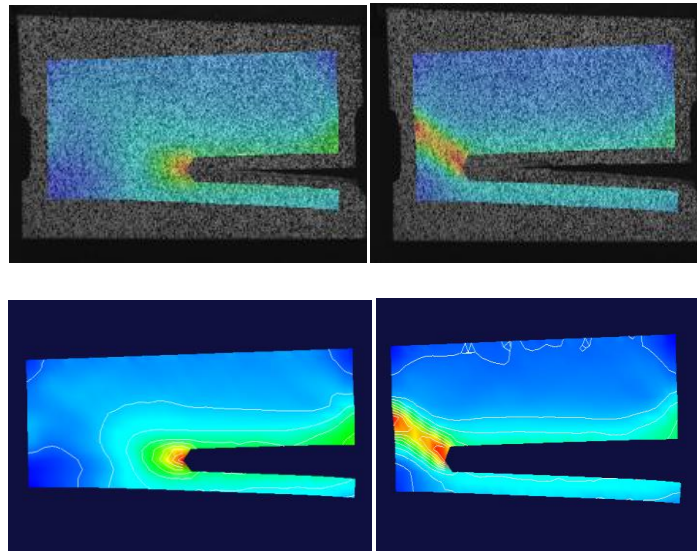


三点弯曲试验载荷为 2413.09N 时的 Ex 应变场

(6) 裂缝生长实验

XTDIC 非常适合于材料断裂力学研究。系统提供的全场应变分布, 裂纹增长

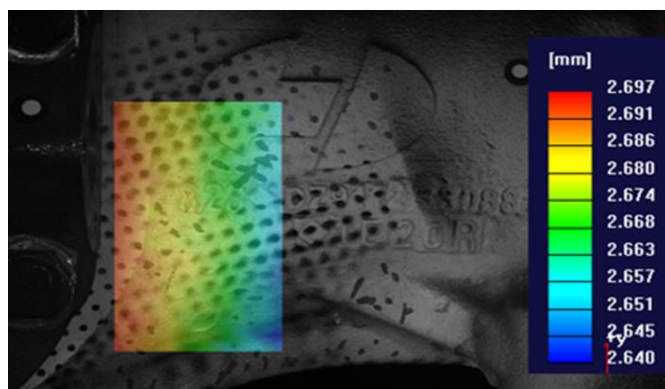
路径可以分析计算材料的断裂特性参数。



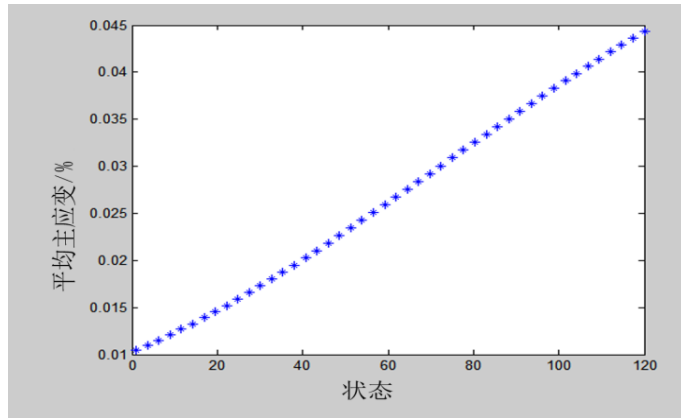
断裂过程中的应变分布

(7) 车车桥加载变形实验

近年来,利用室内试验设备,通过车桥的模拟加载进行可靠性试验,越来越受到各大汽车和车桥制造厂的重视。本项目将XTDIC用于某车桥厂的卡车车桥模拟加载试验的变形测量中,取得了良好的效果。



车桥应变测量结果



被测区域平均主应变曲线

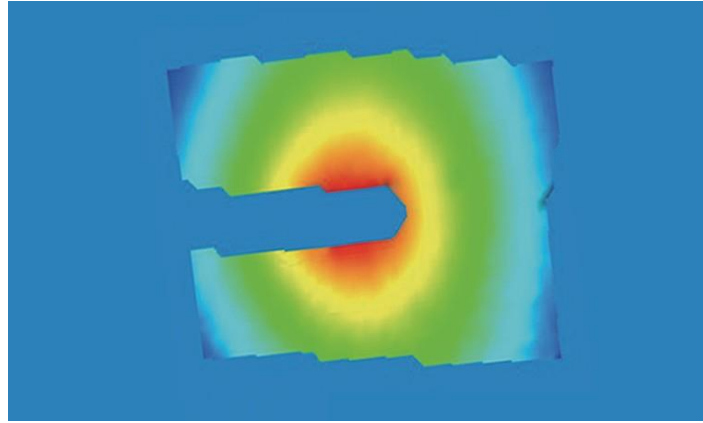
该项目将XTDIC系统用于金属薄板焊接时产生的高温变形的测量。实验结果表明：与传统方法相比，XTDIC系统可以更全面、更直观、更高效地测量金属薄板焊接过程中的表面三维变形和应变场，且精度较高，为研究焊接变形规律提供一种有效手段。



焊接变形测量现场



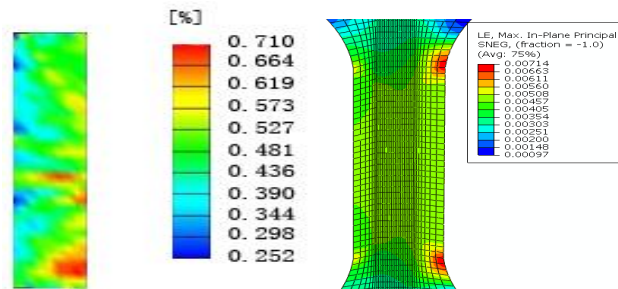
图像采集



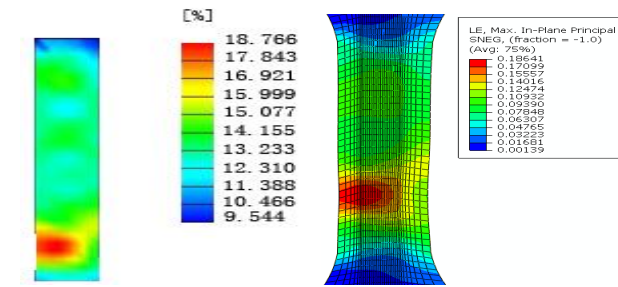
变形测量结果

(8) 有限元分析 (FEA) 验证

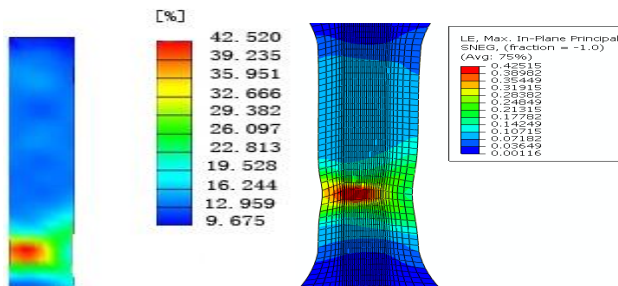
在固体力学、实验力学领域，有限元模拟可以在一定程度上代替实验手段，但由于单元划分、形函数的选取、迭代参数的选定和材料模型的建立，正确的初值和边界条件以及适当准则判据的选择都会对模拟的精度和结果产生重要的影响。因此，很有必要对有限元分析 (FEA) 结果进行验证。本实验采用 XTDIC 数字图像相关系统，不仅实现了有限元分析的验证，而且所得的测量结果还可以进一步指导 FEA。



t=21.78s



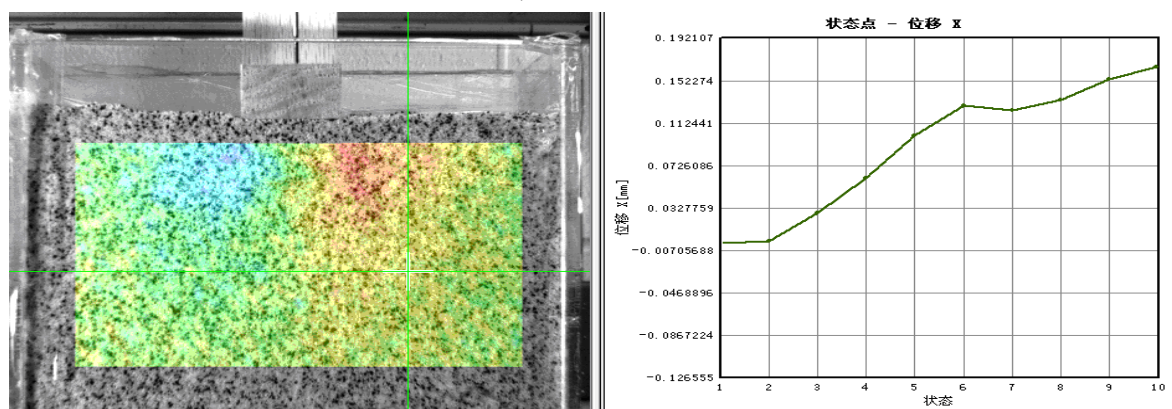
t=275.4s



t=336s

(9) 沙土变形测量

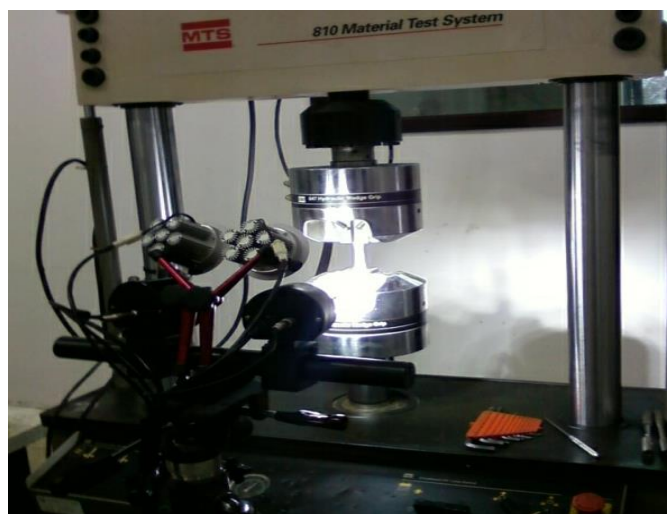
沙土的变形特性是土木工程学科的研究重点，由于传统的测量方法和测试手段的限制，无法方便测量。本实验采用XTDIC数字图像相关系统应用于传统的沙土试验中，实现沙土表面位移、应变等变形信息的同步测量，克服了传统测量方法的不足。沙土由透明的器皿盛放，可通过上部的压头对其进行压缩。



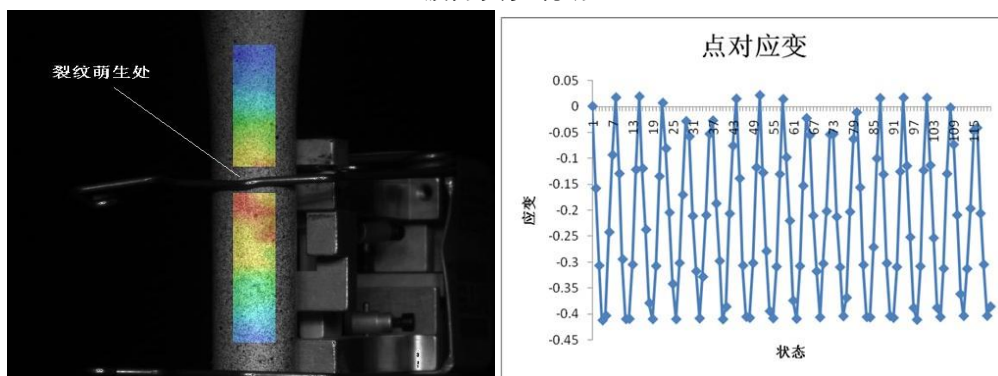
沙土变形实验测量结果

(10) 疲劳实验

疲劳实验频率：0.2HZ
 最大应变：1%个应变
 相机采集速速：2HZ
 试件材料：钛，直径 10mm



疲劳实验现场



应变分布及点对应变曲线