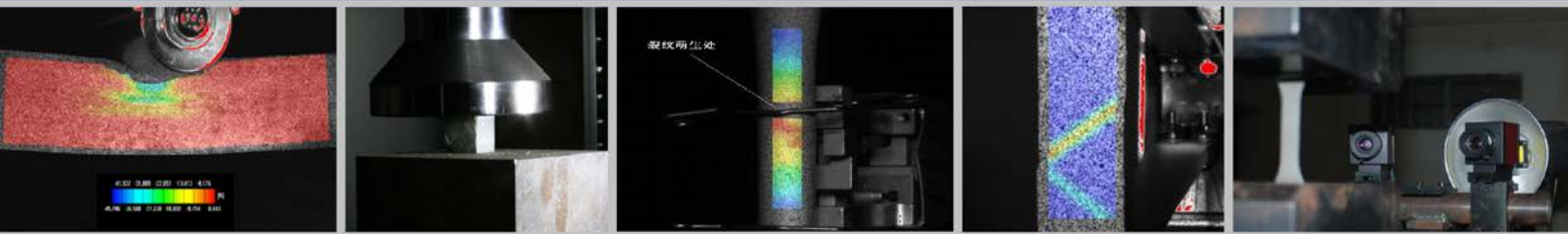




西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

XTDIC 三维全场变形应变测量系统



苏州西博三维科技有限公司

西安交通大学模具与先进成形技术研究所

地址：苏州市工业园区仁爱路 99 号 B6 幢 3 楼

电话：0512-6260953 传真：0512-6260953

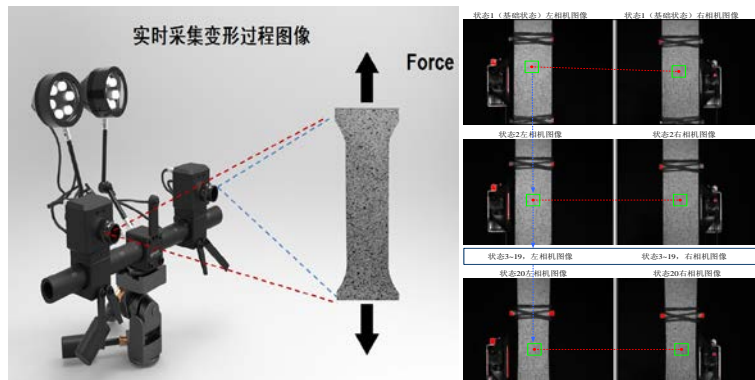
邮箱：sales@3dthink.cn support@3dthink.cn

网址：www.3dthink.cn www.xjtudic.com

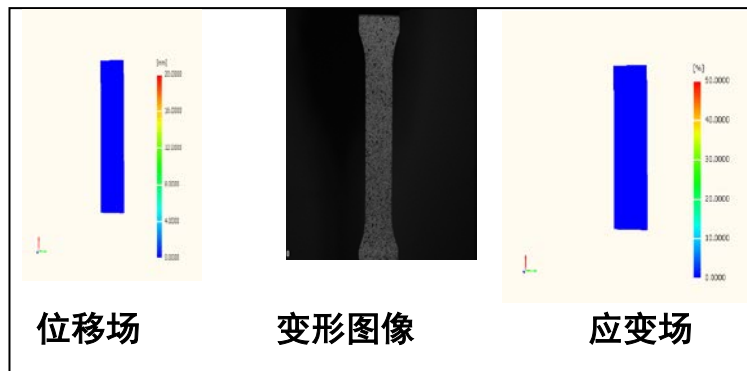


DIC 数字散斑三维全场变形测量与分析系统

DIC 数字散斑三维全场变形检测分析系统主要采用数字散斑相关方法，结合双目立体视觉技术，采用两个工业摄像头，实时采集物体各个变形阶段的散斑图像，利用图形相关算法进行物体表面变形点的立体匹配，重建出匹配点的三维空间坐标。对位移场数据进行平滑处理和应变信息的可视化分析，从而实现快速、高精度、实时、非接触式的三维应变测量。主要测量原理如下：



系统测量原理及散斑图像追踪过程



一、应用范围

DIC 数字散斑三维全场变形检测分析系统用于三维变形场测量,成为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。

在细观力学测量方面: 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细观力学测量。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。

典型应用范围:

- 应变计算、强度评估、组件尺寸测量、非线性变化的检测
- 先进材料(CFRP、木材、内含 PE 的纤维、金属泡沫、橡胶等)
- 零部件试验(测量位移、应变)
- 材料试验(杨氏模量、泊松比、弹塑性的参数性能)
- 生物力学(骨骼、肌肉、血管等)
- 微观形貌、应变分析(微米级、纳米级)
- 断裂力学性能
- 有限元分析(FEA)验证
- 三维全场振动分析
- 高速变形测量
- 动态应变测量,如疲劳试验
- 谐振、冲击和噪声激励
- 蠕变和老化过程的特性分析
- 成形极限曲线 FLC 测定
- 各种各向同性和各向异性材料变形特性

二、 功能特色

- ◆ 系统技术先进：国内首个自主研发的数字图像相关法三维变形测量系统；自主知识产权的核心算法，技术指标达到国外先进水平。
- ◆ 系统应用范围广：可用于机械、材料、力学、建筑、土木等多个学科的科学研究与工程测量中，适用于大部分材料，实时获得被测物全场三维坐标、位移、应变数据。
- ◆ 系统配置灵活：支持几毫米到几米的测量幅面；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；支持任意数目相机的同时标定，支持外部图像标定。
- ◆ 系统兼容性强：同时兼容单相机二维测量和多相机三维测量；兼容 32 位、64 位系统。
- ◆ 辅助功能强大：具备圆形标志点动态变形测量功能；具备刚体物体运动轨迹姿态测量功能。
- ◆ 扩展接口丰富：具备万能试验机接口，实时采集试验机的力、位移等信号；具备杯突试验机接口，可以测量材料的 FLC 曲线；具备体式显微镜接口，可以实现微小型物体的三维全场变形应变检测；支持多相机组同步测量，可以同步测量多个区域的变形应变；系统具备多路 A/D 输入、多路 D/A 输出、多路开关量输入和输出，并可灵活进行扩展。

三、 主要技术指标

序号	指标名称	技术指标
1.	核心技术	工业近景摄影测量、数字图像相关法
2.	测量结果	三维坐标、全场位移及应变
3.	测量幅面	支持 4mm-4m 范围测量幅面，更多测量幅面可定制
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
5.	相机标定	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	0.01pixel
7.	应变测量范围	0.01%-1000%
8.	应变测量精度	0.005%
9.	测量模式	兼容二维及三维变形测量
10.	实时测量	采集图像的同时，实时进行全场应变计算
11.	多测头同步测量	支持多相机组同步测量，相机数目任意扩展，可同步测量多个区域的变形应变
12.	动态变形模块	具备圆形标志点动态变形测量功能
13.	轨迹姿态测量模块	具备刚体物体运动轨迹姿态测量功能
14.	试验机接口	实时同步采集试验机的力、位移等信号
15.	FLC 接口	配合杯突试验机进行 Nakazima 试验，可以测得材料的 FLC 成形极限曲线
16.	显微应变测量	配合双目体式显微镜，可实现微小型物体的三维全场变形应变检测
17.	系统兼容性	兼容 32 位、64 位系统

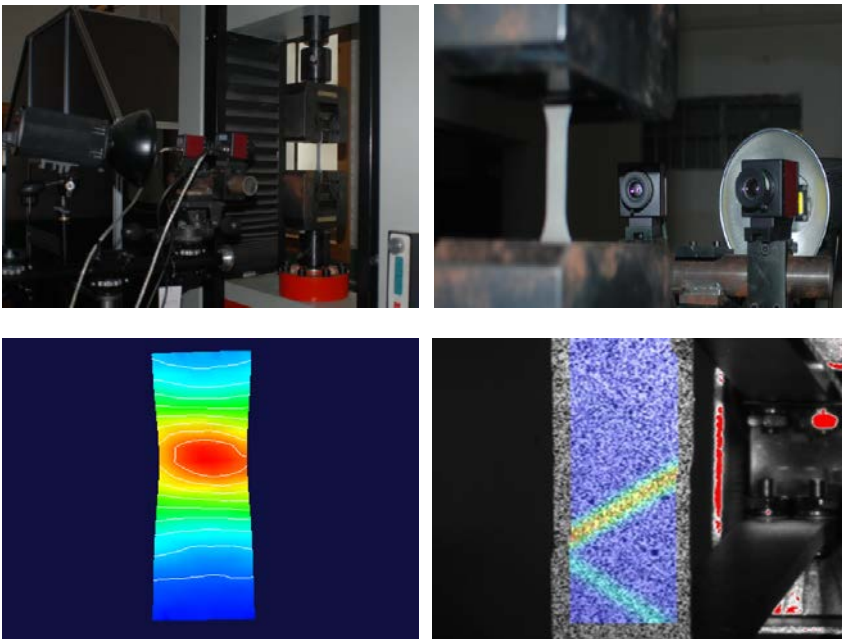
四、 应用案例

1. 材料实验

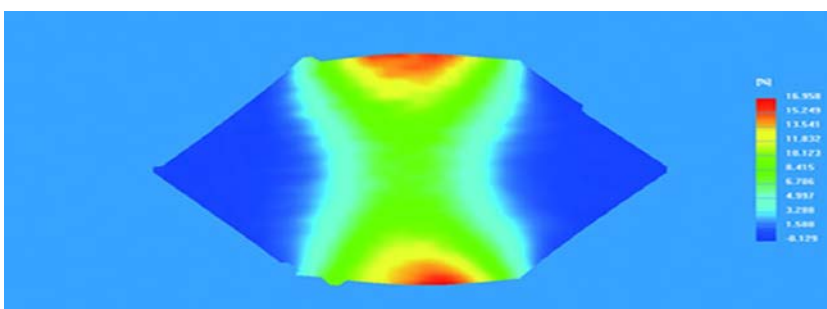
利用 XTDIC 系统测量钢件、铝件在单向及双向拉伸过程中材料的三维全场变形和应变。

实验设备：

- 1) 万能拉伸试验机
- 2) XTDIC 三维数字散斑动态应变测量分析系统
- 3) 钢试件，铝试件



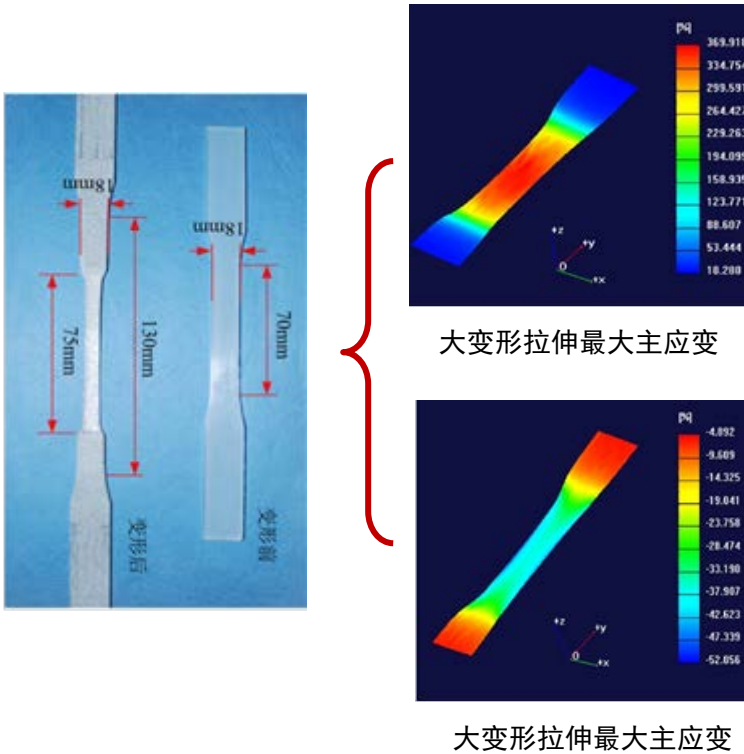
钢试件和铝时间单向拉伸应变场



双向拉伸实验变形场

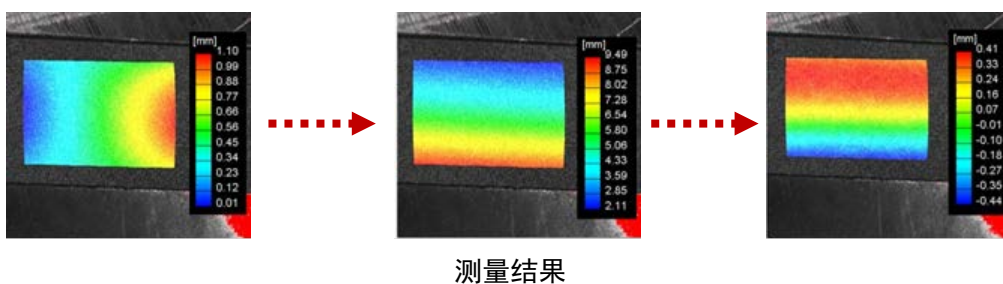
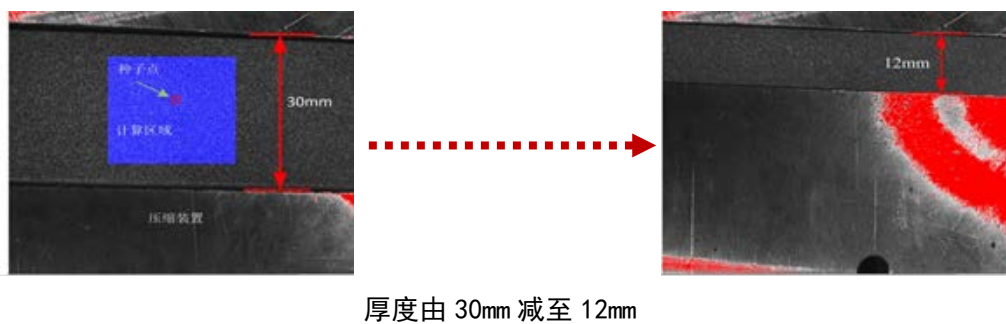
2. 复合材料大变形拉伸实验

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。



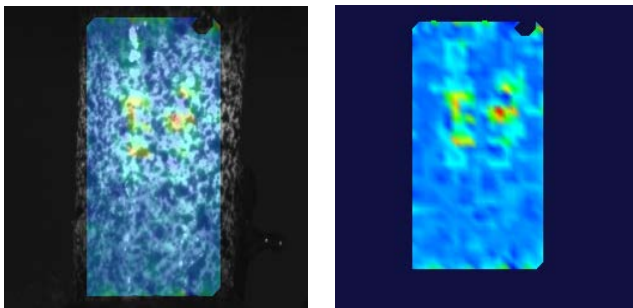
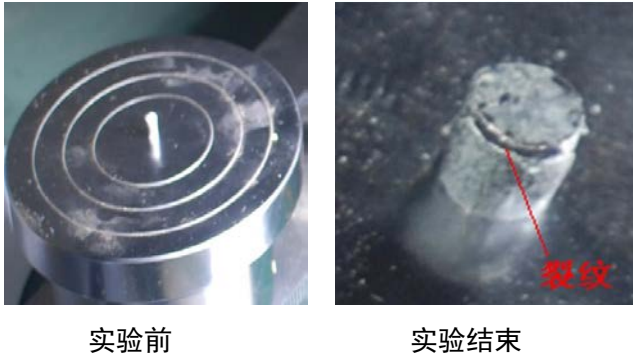
3. 泡沫材料大变形压缩实验

变形前后泡沫的厚度由 30mm 减至 12mm，平均压缩量约为 60%。



4. 钛合金试件压缩变形实验

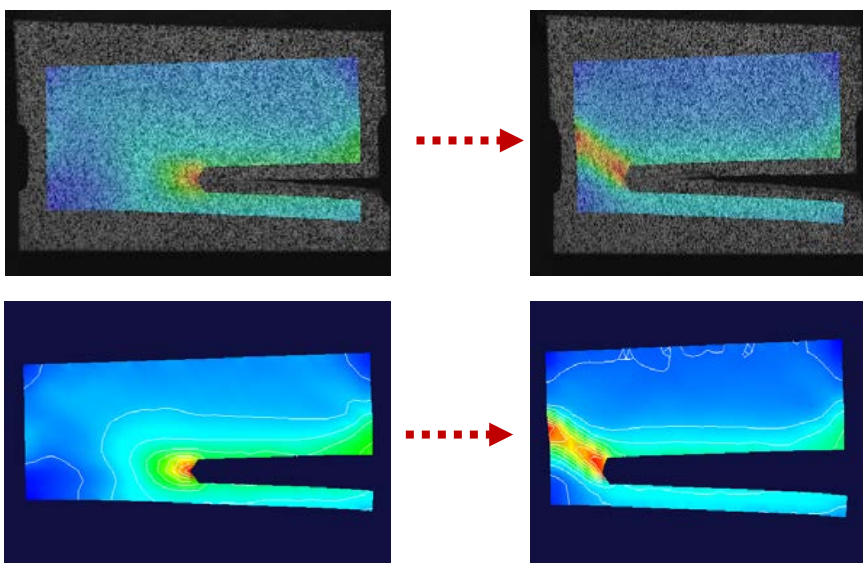
对于氧化处理的钛合金试件，高 5mm，直径 3mm。使用万能材料试验机进行压缩，同时使用 XTDIC 系统测量试件在变形过程中各个状态下的应变场信息。



变形状态主应变分布（压力 7902.252N，压缩量 0.485mm）

5. 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

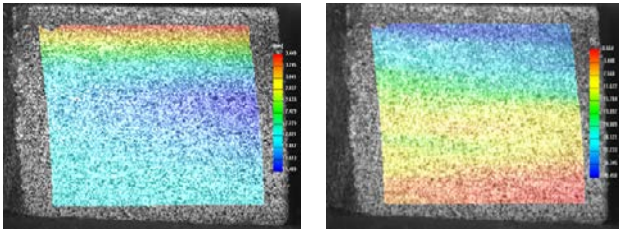
6. 木材变形测量实验

实验内容：

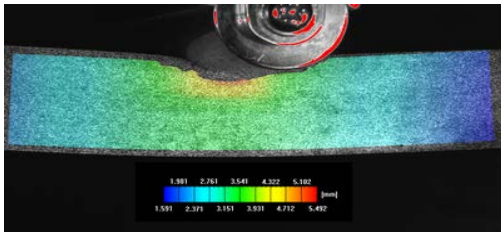
- 1.通过压缩实验获取木材的杨氏模量和泊松比
- 2.通过弯曲实验获得木材在弯曲变形时的变形场信息。

实验结果：杨氏模量：14.77GPa

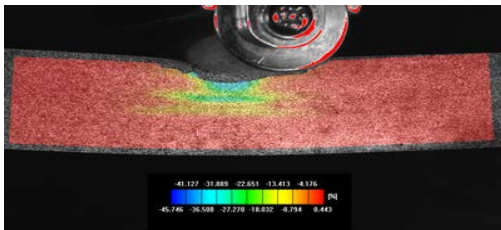
泊松比：0.7817



木材压缩试验位移变形场 木材压缩试验 Ex 应变场



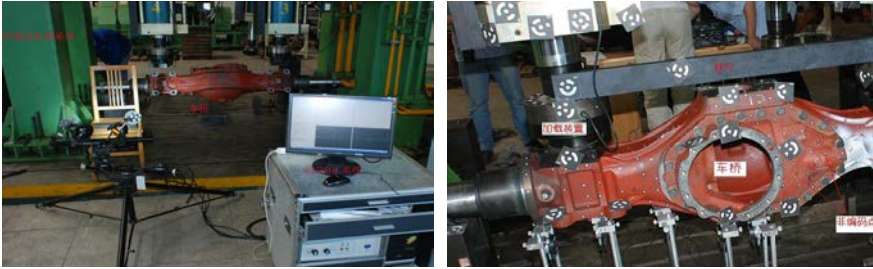
三点弯曲试验载荷为 2413.09N 时的位移变形场



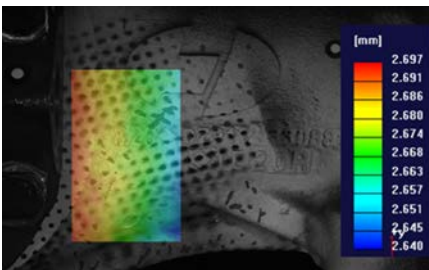
三点弯曲试验载荷为 2413.09N 时的 Ex 应变场

7. 车车桥加载变形实验

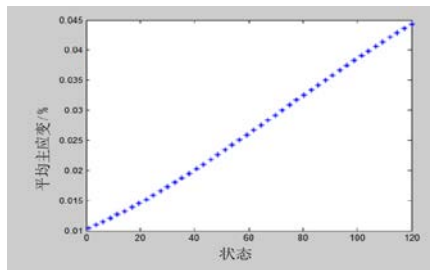
近年来，利用室内试验设备，通过车桥的模拟加载进行可靠性试验，越来越受到各大汽车和车桥制造厂的重视。本实验将 XTDIC 用于某车桥厂的卡车车桥模拟加载试验的变形测量中，取得了良好的效果。



测量现场



车桥应变测量结果



被测区域平均主应变曲线

8. 测量材料 FLC 曲线

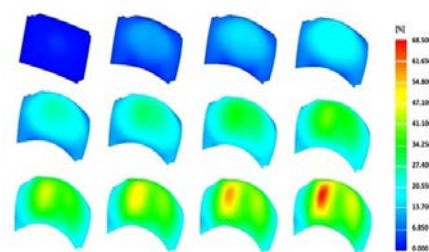
成形极限曲线(Forming Limit Curve, FLC) 用于测量的材料在受到拉伸、胀形或拉伸胀形结合时能够达到的变形程度。XTDIC 系统与杯突实验机相结合,可以测量板料的成形极限曲线。



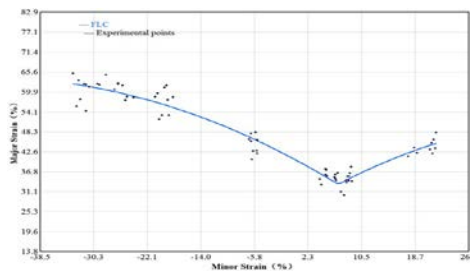
FLC 板料成形试验机



杯突实验试件



试件在不同阶段的应变分布



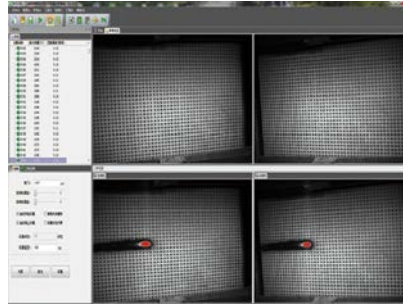
测得的 FLC 曲线

9. 焊接变形测量

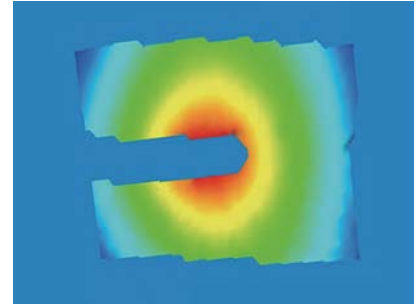
该实验将 XTDIC 系统用于金属薄板焊接时产生的高温变形的测量。实验结果表明：与传统方法相比，XTDIC 系统可以更全面、更直观、更高效地测量金属薄板焊接过程中的表面三维变形和应变场，且精度较高，为研究焊接变形规律提供一种有效手段。



焊接变形测量现场



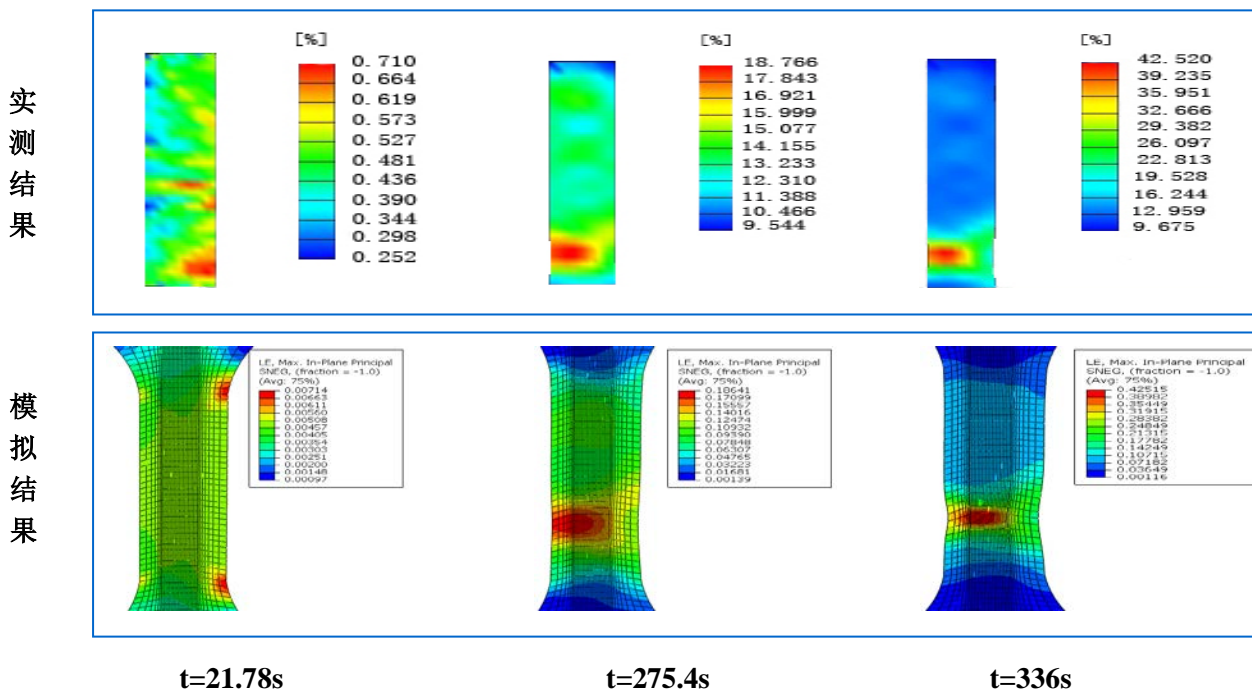
图像采集



变形测量结果

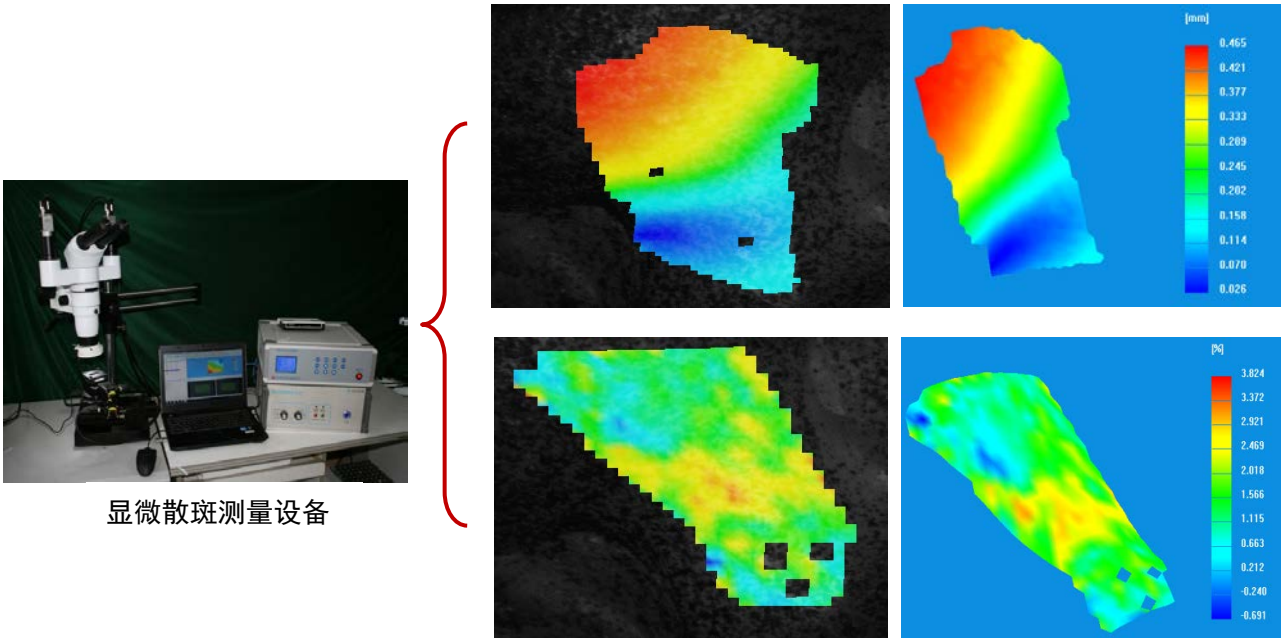
10. 有限元分析 (FEA) 验证

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。



11. 显微变形应变测量

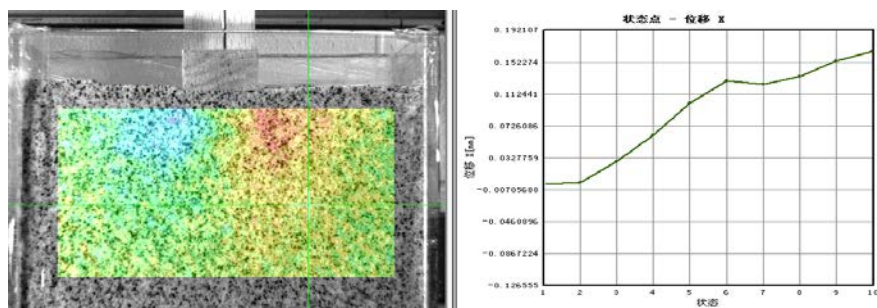
XTDIC 系统将数字图像相关法与体式显微镜技术结合，可以测量微小型物体的三维变形及应变场，对于微结构件的力学性能测试具有重要意义。



XTDIC 测量的鸡腿骨关节部位的受力变形场

12. 沙土变形测量

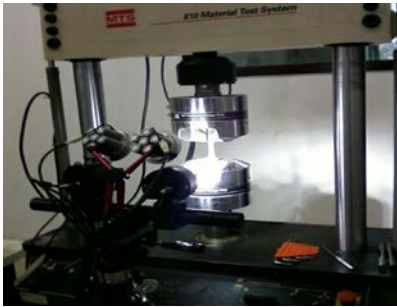
沙土的变形特性是土木工程学科的研究重点，由于传统的测量方法和测试手段的限制，无法方便测量。本实验采用 XTDIC 数字图像相关系统应用于传统的沙土试验中，实现沙土表面位移、应变等变形信息的同步测量，克服了传统测量方法的不足。沙土由透明的器皿盛放，可通过上部的压头对其进行压缩。



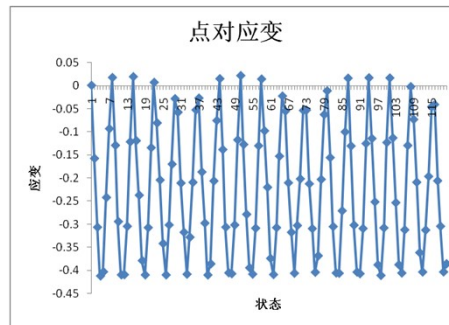
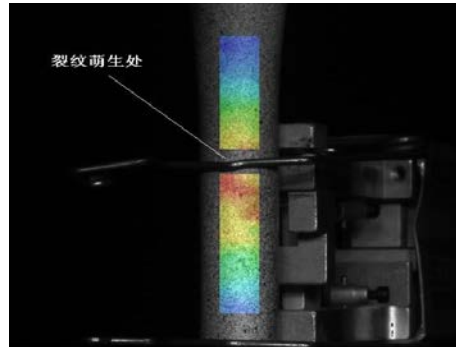
沙土变形实验测量结果

13. 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



疲劳试验现场



应变分布及点对应变曲线