

# ACQTEC

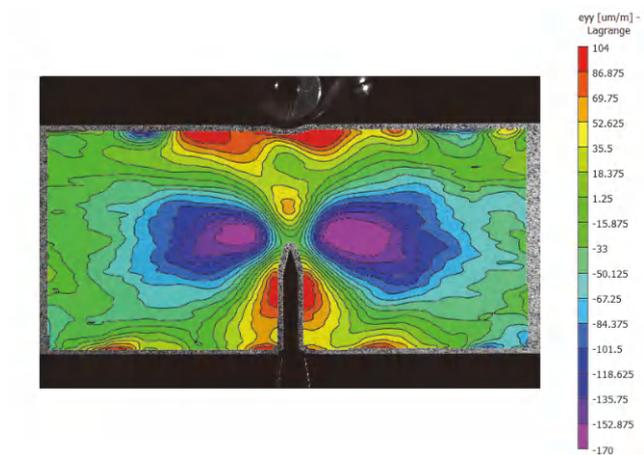
## 微尺度力学原位加载与DIC 测量解决方案

LOADING AND DIC MEASUREMENT SOLUTIONS FOR MICROSCALE MECHANICAL BEHAVIOR



# ACQTEC

## 科研级微观/介观尺度原位加载与 DIC 测量方案



高置信度测量技术

MEASUREMENT WITH CONFIDENCE



适用于显微镜与扫描电镜的

## 介观尺度万能原位加载试验系统

μTS Micro Test System

受限于可见光波长的衍射极限，光学显微镜分辨率只能达到 250nm。而数字图像相关(DIC)测量技术，则是一种可达到小于 0.1 像素位移解析度的功能强大的图像后处理技术。两相结合可获得可见光条件下的分辨率为 25nm 的 2D 全场位移数据。通过这种方式，可以在不需要 AFM 或 SEM 的情况下进行纳米长度尺度研究。此外，还可发挥光学显微镜快速图像采集的优势。

在光学显微镜下进行材料原位试验的主要挑战是试件的离面运动。要实现 25nm 位移场分辨率所需的高放大率也意味着景深会很小。几微米的离面运动也足以导致图像失焦。Psylotech 的 μTS 介观尺度原位加载系统独特的结构设计可限制试验过程中试件的离面位移，使得这一精密仪器非常适合于以下应用：

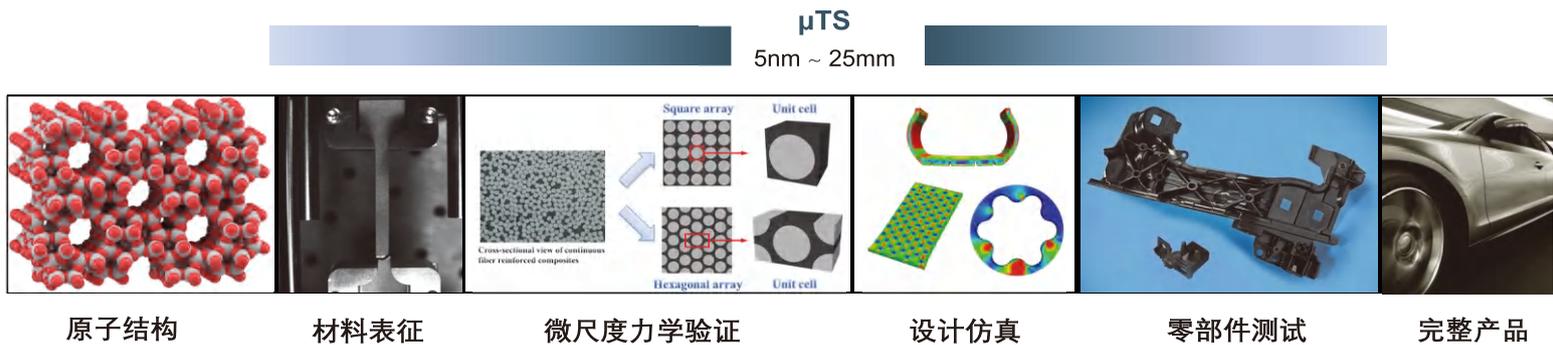
- 连续模型验证，通过多尺度试验进行有限元分析验证
- 微尺度试件测试，用以促进材料开发，而所需试件样本数量可以很少
- 前所未有的多功能性，可用于实现新的实验技术测试



## 连续模型验证 Continuum Model Validation

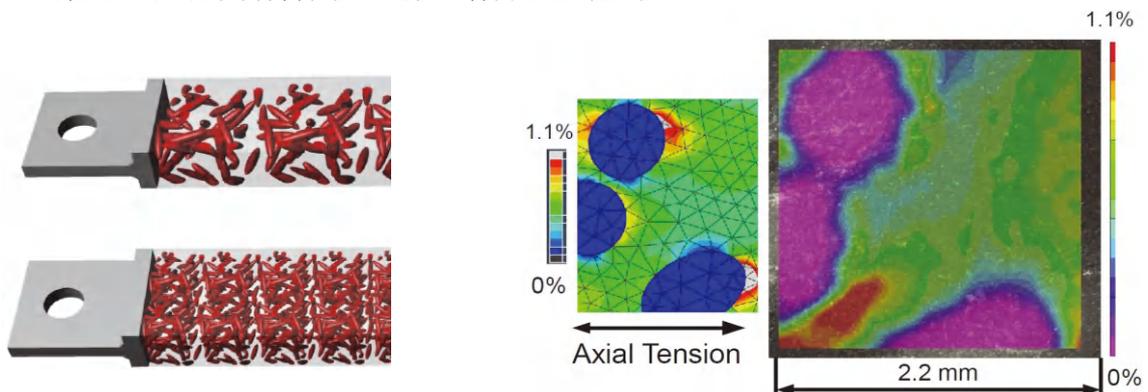
在有限元分析(FEA)中, 为实现合理的计算时间, 通过假定材料的机械性能是均匀的, 用以限制单元的尺寸。Psylotech 的 μTS 是一种可跨越 6 个尺度量级的验证连续模型工具。通过数字图像相关(DIC)和优化的显微镜光学系统, 可在力学性能测试过程保持全场位移分辨率低至 0.1 像素。这意味着位移场中的分辨率高达 25 nm, 应变场中的分辨率高达 0.01%。

以复材铺层为例。通常 FEA 假定均匀的各向异性材料行为。在给定的铺层测试中必须在多个方向上通过实验确定。如果铺层被修改或基质材料被改变时, 应该进行新的测试以重新定义材料性质。多尺度试验提供了一种工具, 可以更好地理解纤维之间以及纤维和基质之间的相互作用。通过更小尺度的测试数据, 可以对任何分层的连续属性进行建模, 跳过额外的实验步骤并加快组件开发时间, 还可以更好地理解小尺度相互作用和小尺度失效机制, 进而从根本上改善材料性能。



## 微型样品测试 Miniature Sample Testing

在新材料研究和开发中, 样品产量可能太小, 无法生产出符合 ASTM 标准的全尺寸, 加之纳米颗粒增强复合材料的高成本问题。假设需要五个样品进行测试以产生统计相关数据, 最终机加工的狗骨试件可能会被证明所需成本过高。而通过结合 DIC 的局部应变测量, μTS 可以在更小的样品上执行精确的测试, 从而在可用于测试的材料较少时提供同样高质量的数据。



## ■ 前所未有的多功能性

Psylotech 的  $\mu$ TS 系统所具有的广泛的应用功能，将其与目前市场上的任何其他显微镜下的系统区分开来。除了新的实验技术外，这些特性为材料测试应用提供了新的可能性。其中包括：

### • 丰富的夹具类型

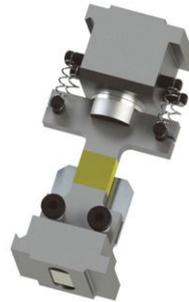
作为一种通用的通用测试系统， $\mu$ TS 可以进行多种力学性能测试。夹具选项包括：Arcan、拉伸、薄膜拉伸、压缩、弯曲等。这些夹具还适用于断裂力学测试。



• Dogbone Grip



• Dogbone Mini Grip



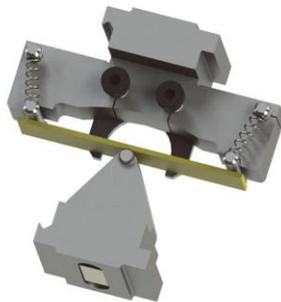
• Compression Grip



• Clamp Grip



• Arcan Grip



• 3 Point Bending Grip



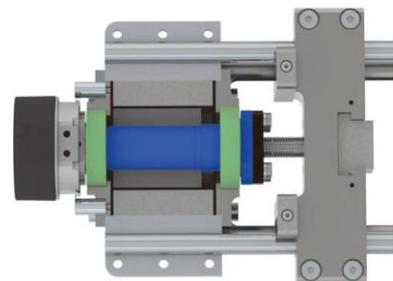
• 4 Point Bending Grip



• Platform Grip

### • 滚珠丝杠伺服作动器

与丝杠作动器相比，低摩擦、直接驱动的滚珠丝杠执行器有助于实现精确的运动控制，速度跨越了 8 个数量级。凭借接近标准伺服液压通用测试框架的峰值速度性能， $\mu$ TS 可有效用于阶梯载荷和载荷控制实验。该系统还可以在十字头位移传感器控制或电机驱动轴位置控制下运行。



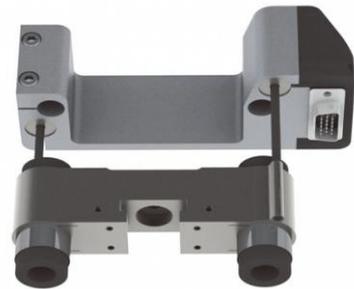
- **高分辨率载荷传感器**

与应变式传感器相比，Psylotech 使用具有更高灵敏度的电容式双量程载荷传感器。凭借更高的灵敏度和信噪比，独有的传感器技术将分辨率提高了 100 倍，即使 1600N 传感器也可以提供亚毫牛(mN)级分辨率。高分辨率降低了为小力值测试时安装较小载荷传感器的必要性。该载荷传感器可提高实验室效率，节省安装和载荷系重新调整所需的时间。



- **高分辨率十字头位移传感器**

Psylotech 使用电感式位移传感器直接在十字头位置测量局部应变。其量程范围为 25 毫米，分辨率为 25 纳米，允许在尽可能靠近样品的情况下进行非常小的受控移动。系统两侧的支撑柱可以根据试件的标距进行调整。Psylotech 可根据用户要求提供定制的支撑柱长度。



- **X 向补偿平台选配**

可选配的横向补偿平台 X-Stage 可以在整个测试过程中将关注区域保持在显微镜物镜的视野范围内。这是通过控制软件实现的，该软件通过用户输入调节比率将 X-Stage 从动于移动的十字头。TS 直接安装在 X-Stage 顶部，包含了所有需要的安装硬件。X-Stage 能够涵盖整个主要测试阶段的行程。



- **LabVIEW 控制软件**

秉承为实验人员提供开发新技术工具的主旨，Psylotech 为用户提供了对 LabVIEW 源代码的访问功能，包括闭环控制。高级用户可以自行编程调整以满足他们的特定需求或个人喜好。



## • 温度环境腔

通过与光学显微镜兼容的温度控制模组可加速热机械模型的验证。该试验箱允许进行-100°C至+450°C的试验时同步精确的DIC、载荷值和十字头位移值测量。稳定性优于0.5°C，并能够在几分钟内通过快速线性的温度调整实现整个温度范围的涵盖。低温试验通过液氮连接与高流速鼓风机集成，可确保试样周围温度分布均匀。

- 10KN可选配800°C、1600°C温度环境箱



## ■ 型号规格

最大试验力值)	100N	1.6KN	4.5KN	10KN
力分辨率 *	50 μN	800 μN	2.5mN	5 mN
行程(mm) *	40	40	26	70
定位控制精度 (nm)	<5	<5	<5	<25
最小位移加载速率 (nm/s)	12	12	3	60
最大位移加载速率 (mm/s) *	145	145	36	175
位移峰值加速度 (m/s <sup>2</sup> )	10	10	0.6	7
主机尺寸 L×W×H (mm) *	220x100x54	300x100x54	180x100x71	650x200x123
自重 (kg)	1.3-2.2	1.5-2.5	1.5	23
闭环控制频率	1.6MHz(电流), 16KHz(速度), 8KHz(定位), 500Hz (输出)			
电源	120/240V @ 50/60Hz			

注：\*号参数可根据用户要求及具体应用定制。另25KN版本可定制。

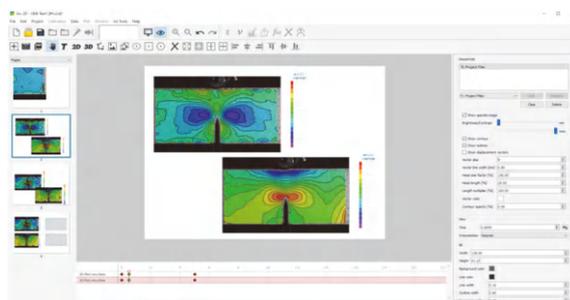


## VIC-2D™ 全场数据分析测量系统 —— 适用于显微镜/扫描电镜的 DIC 测量技术



### ■ 系统概述

VIC-2D 平面场数字图像相关系统已被验证为全球市场最高效和最稳定的 2D DIC 系统，利用我们优化的 DIC 数字图像相关算法为平面试件上的力学测试提供全场数据的二维位移和应变测量。



### ■ 系统优势

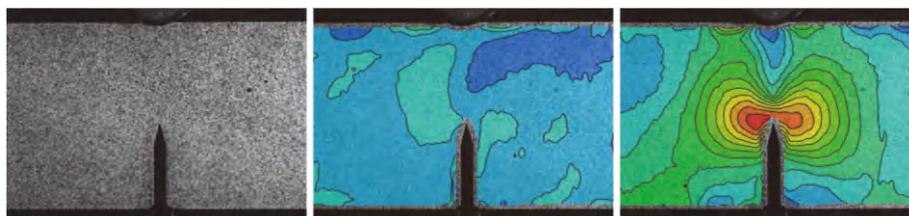
- 最大数据处理速度高达 500,000 数据点/秒\*
- 扫描电镜高放大倍率下电子束漂移导致的图像失真数据校正技术
- 内置显微镜光学畸变失真校正功能
- 支持多种应变张量选项计算全场应变信息
- 可测量平面位移和超过 2000% 的应变结果，测量分辨率可低至 10 个微应变

### ■ 系统功能

- 导入有限元数据以可视化并将其与测量数据进行比较，并将其导入新的图形框架
- 以 PDF 和超高清视频格式（720p 到 4K）创建可用于发布出版物的高分辨率图像
- 使用可缩放的字体查看 2D 和 3D 图上的高分辨率等值线
- 使用全新的用户友好界面，支持对象的位置、比例、不透明度、旋转等进行动画处理
- 使用多线程渲染引擎创建高质量的视频
- 使用集成的自适应运动模糊技术为快速移动的对象创建逼真的动画
- 为每个项目保存无限数量的数据提取
- 配合 Vic-Snap 2D 图像采集软件可以轻松控制数字图像传感器和实时评估图像质量\*\*

\* 基于 Intel Core i9 或 AMD Threadripper 处理器单 CPU 算力

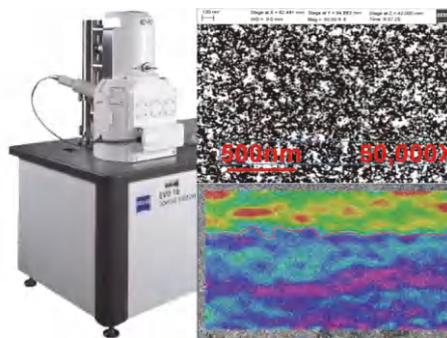
\*\* 具体参考 Vic-Snap 可直接驱动图像传感器品牌与型号



## ■ VIC-2D 扫描电镜原位测量应用

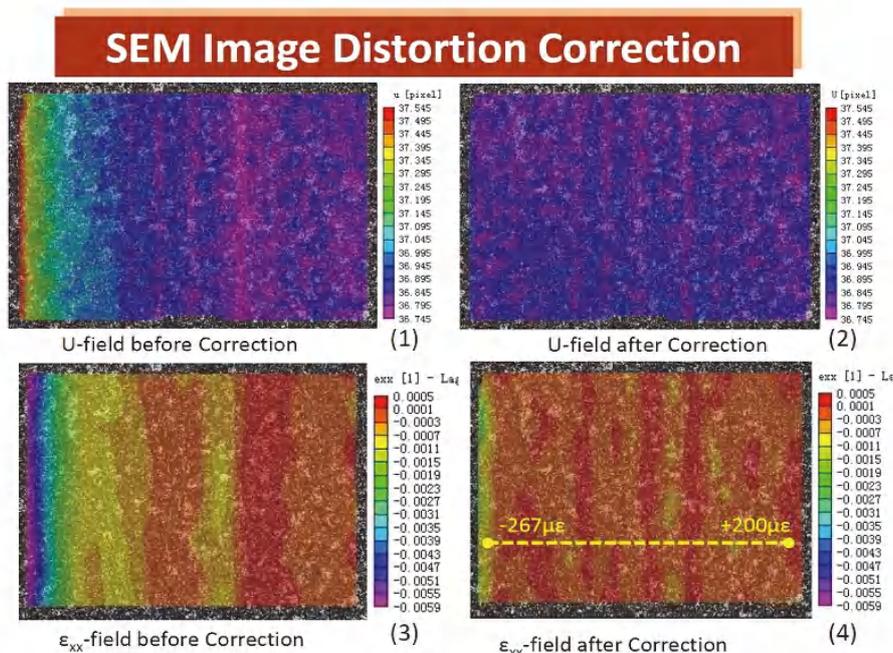
近年来随着更多的可应用于扫描电镜真空腔内的原位加载和环境试验装置的普及，极大的促成了扫描电镜从微纳尺度的观察设备到试验/测量系统的升级。

而当我们试图使用 SEM 的图像数据做更准确的变形/位移场定量分析的时候，普遍存在的一个问题就是 SEMs 在高放大倍率下拍摄图像时，由于电子束漂移导致的图像几何失真。针对这一问题，Correlated Solutions 公司在 Vic-2D 中提供了修正这些漂移失真和噪声的功能。如下图所示，我们可以看到在图像变形校正前/后的 X 向最大主应变的极值相差有数倍之多，这意味着漂移造成的偏差甚至远远超过了试样本身实际的最大变形，极大的影响了我们在微观尺度对材料力学行为的理解和判断。



为解决这一非参数化的图像几何失真和噪声问题，VIC-2D SEM 的提供了包括特定的漂移校正用参考图像采集、失真校正和试验图像采集、校正和数据分析的修正流程。这包括：

- 获取特定的校正参考图像
- 使用 Vic-2D 完成失真校正
- 获取试验对象图像
- 使用 Vic-2D 分析获取失真校正后的试验数据结果



- 图示为Correlated Solutions为Intel 芯片制程工艺开发项目数据引用

## ■ VIC-3D MICRO 3D显微镜原位测量应用

Correlated Solutions 公司出品的 Vic-3D Micro 系统是 Vic-3D 系列测量解决方案产品线的新成员，该系统可配合原位加载试验机在高放大倍数下实现精确的 3D 位移和应变测量。



### • 技术背景

由于 3D 数字图像相关技术具有出色的准确性、稳健性和易用性，因此已广泛应用于常规尺度应变测量。但是，对于需要高放大倍数的样品，3D 测量仍很难实现，这主要是由于缺乏具有足够景深的光学元件以从不同视角获取 3D 分析所需的两张高放大率图像。

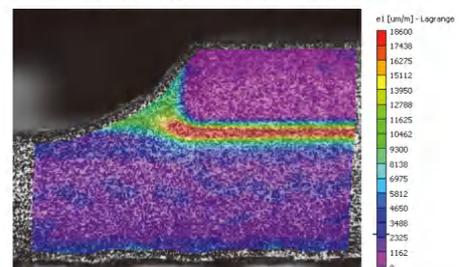
立体显微镜克服了这些景深限制。然而，立体显微镜的内部结构妨碍了使用传统模型（例如 Seidel 镜头失真）对图像失真进行适当校正。这些未经校正的图像将导致形貌和应变测量产生严重的偏差。事实上，观察中数千微应变的偏差量级并不鲜见。

为了克服这个问题，Correlated Solutions 公司专门为 VIC-3D MICRO 3D 显微镜系统开发了一种易于使用的标定方法，该方法不会遇到与传统参数失真模型相关的问题。该标定方法计算立体显微镜的非参数畸变场，并已被证实可完全消除测量中的形貌和应变偏差。

### • 系统特性

- 视场范围（变焦范围）：0.8mm-7mm
- 3D 坐标，位移，速度和多种应变张量的全场测量
- 3D 自动标定
- 强大的数据可视化工具
  - 数据云图显示可以覆盖在测试样本的图像上
  - 根据用户定义的线条和圆圈从 3D 图中提取数据
  - 用于统计分析、应力 - 应变曲线等数据的后处理工具
- 通过 FLEXPort™ 数据工具和全新的 Iris 图形引擎方便地输出数据
  - 数据可以以 Tecplot / 纯 ASCII, Matlab 和 STL 格式输出
  - 节点数据可以轻松提取用于 FEA 验证

First Principal strain at 110 °C  
(by DIC method)  
芯片热应变(侧面, 显微测量)



■ 图示来自TSMC项目



适用于 X 射线断层扫描成像设备的

### xTS 原位加载试验系统

Mechanical Testing System

In X-ray Tomography Imaging System

Psylotech 的 xTS 是一种设计用于 X 射线断层成像系统内的原位加载机械测试系统。xTS 在 CT 扫描过程中是载荷系旋转而非框架本体，从而解决了传统加载装置存在的支撑柱干扰 X 射线的问题。通过旋转载荷系还允许将探测器放置在尽可能靠近样品的位置，对射线能量有更高的利用率。

该系统是基于 Psylotech 的运动控制平台，是专门设计用来限制离面运动的系列仪器中的一款，以着重改善成像质量。例如，在光学显微镜下，离面运动的标准偏差已被证明小于 1 微米。而控制离面运动对于 X 射线断层扫描同样很重要，因为它的分辨率可以达到 2 微米或更小。

Psylotech 专利的加载框架设计通过：1/加载对称、2/高加工精度和 3/直接驱动丝杠作动器控制样品的离面运动，高精度的制造公差小于 0.005mm 的基准面与设计对称性相结合，有效控制了额外的弯矩。关键的是，作动器实现了运动部件的绝对最少化，伺服电机的转子即是驱动螺母，丝杠随着螺母的转动而转动。最少化的运动部件可减少误差累积，保持精度。

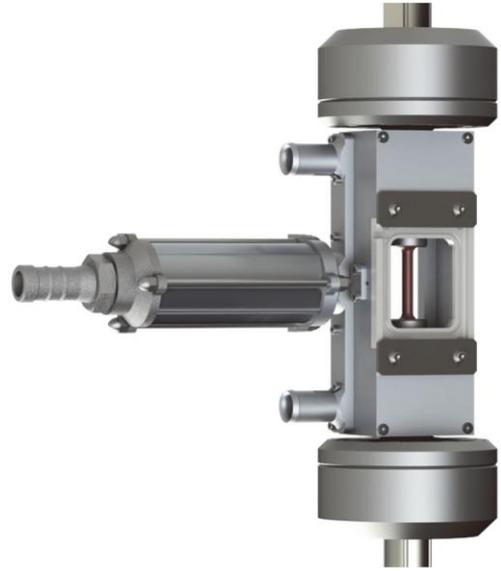
直接驱动滚柱丝杠还有另一个重要的优点，相较于采用齿轮箱或皮带传动装置的加载框架，该设计不会引入额外的弯矩，而这些力会导致框架的扭曲变形，会使样品从初始加载平面偏离。而 Psylotech 的 xTS 没有变速箱，它通过直接驱动消除了这种扭曲力。

与其他系统相比，直接驱动伺服还具有相当的速度优势，因此每次断层扫描可以在更短的时间内完成。此外，样品旋转的测量直接来自用于 26 位的伺服反馈编码器。26 位分辨率意味着 xTS 可以识别 0.0000054 度的旋转信号。

除了可以施加轴向载荷，xTS 还具有扭转试验能力。同样的，扭转伺服作动器是由零齿隙的谐波驱动，也不会产生额外的弯矩。这些伺服系统控制丝杠的旋转，丝杠按减速比从属于螺母，以控制位移和角度位置。高刚性的结构和直接驱动载荷系减少了转角测量的误差。

最后，xTS 还可以配置温度环境腔。该环境腔前后各有一个窗口，以允许 X 射线通过。为使内部体积最小化，可将该室旋转 90 度，以容纳轴向或梁弯曲样品。减小体积可提高效率、简化控制并提高温度均匀性。

总之，Psylotech 的 xTS 通过对称性设计、精密的加工品质和直接驱动作动器的组合，独特地控制了样品在测试过程的离面运动。因为数字体相关的分辨率可以小到 2 微米，所以控制离面运动对于 X 射线断层成像非常重要。xTS 还提供 26 位的角度分辨率并保有未来增加环境腔的扩展潜力。



- 低温 -55°C
- 高温 300°C, 800°C, 1600°C 以上规格温度环境箱可选配

### ■ 型号规格



技术指标项	详细参数				
力值 (KN)	1.6	4.5	10	18.9	45
力分辨率 (mN)	3	10	20	40	5000
扭矩额定值 (Nm)**	5		60		300
行程 (mm)*	40	24	25	25	100
最大加载速度 (mm/s)	145	36	175	90	2
主机高度 (mm) *	450		236		850
角度编码器分辨率	26-bits (0.0000056°)				
轴承跳动量 (μm)	2.5		4		8
标称质量 (kg)	6		24		65

注：\* 参数可根据用户要求及具体应用定制

\*\* 可选配置项

## VIC-Volume

### 体积应变/内应变测量软件

—— 适用于断层扫描图像的 Digital Volume Correlation (DVC)软件

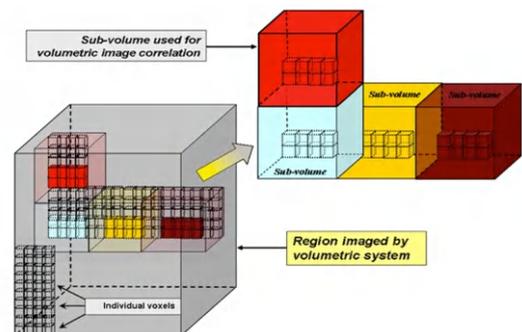
由 Correlated Solutions 公司推出的 Vic-Volume 软件是 VIC 数字图像相关产品线的一个令人兴奋的补充。Vic-Volume 利用来自 X 射线或 CT 扫描仪等断层扫描设备的体积图像来测量施加载荷下样品的内部变形。

Vic-Volume 分析获取的图像，并创建样品内部行为的三维体积位移和应变数据。得到的数据是变形数据的全场等值线图，可以查看、动画展示和提取实现 FEA 验证。



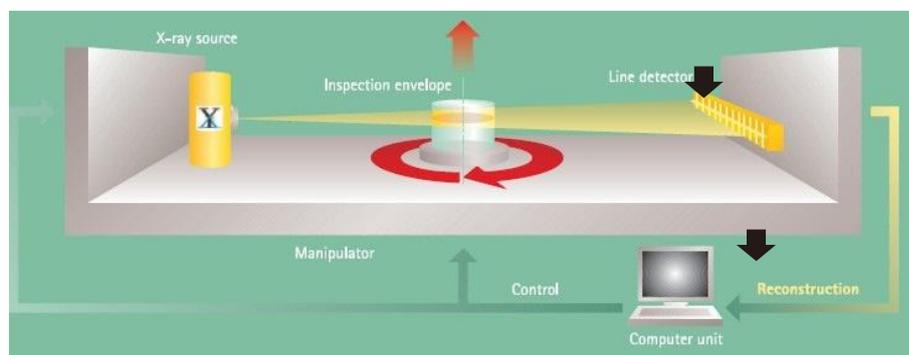
#### ■ 技术背景

数字图像相关技术 (DIC) 因其准确性，稳健性，多功能性，灵活性和整体易用性而广泛流行于全球的科学家，研究人员和工程师之中。DIC 通常使用白光机器视觉数码相机来进行二维和三维表面变形和应变测量。自 1998 年以来，Correlated Solutions 公司提供了交钥匙方式的 2D 和 3D DIC 系统，并继续为其不断增长的产品线开发和添加新的先进 DIC 产品。最近，CSI 开发了新的软件 Vic-Volume，以利用 X 射线或 CT 扫描仪的实用图像测量施加静态载荷下物体的体积变形(内应变)。



#### ■ 测量设置

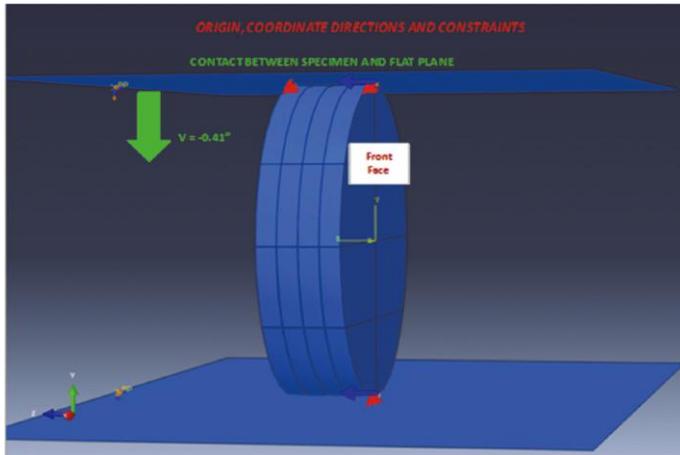
下图显示了在测试过程中如何采集图像的典型设置。断层扫描仪获取特定深度坐标处的图像，



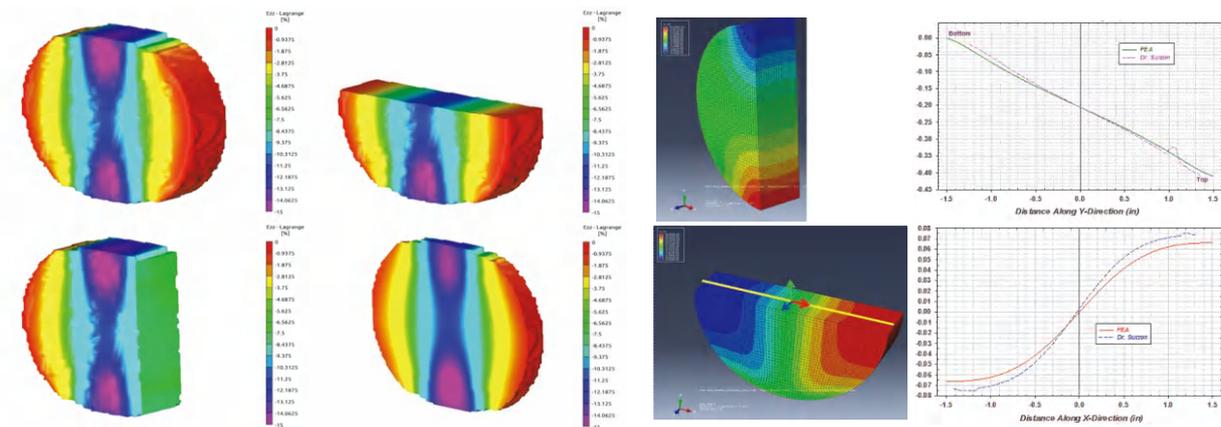
CT inspection using line detector

然后 Vic-Volume 分析图像切片以构建由体素 (Voxels) 组成的 3D 体积。各个体素是子卷的构建块，其中包含体积图像关联数据。

## ■ 案例参考



橡胶圆盘安装在两个夹头之间，并以已知的增量从 CT 扫描仪获取一组参考图像。然后分析每个“切片”数据以计算静态体积测量结果。在圆盘经受压缩载荷后，CT 扫描仪在相同位置再次获取图像。DIC 算法用于计算构成 3D 体积的每个单独体素处的体积变化或变形。



VIC-Volume数据与FEA比较验证

## ■ 技术特性

- 通过“Tweening”方法可方便的进行 AOI 选择
- 半自动化的初始预测计算
- 针对准确性进行了优化，可减少非线性优化以减少偏差和插值伪影
- 高度先进的内存管理允许分析巨大的体积数据集并提高计算效率
- 基于体积 3D 位移和应变信息



**研索仪器科技（上海）有限公司**

上海市盈港东路7799号虹桥宝龙中心A座

<https://www.acqtec.com>

[info@acqtec.com](mailto:info@acqtec.com)

+86 (21) 3412 6269

400-050-5810