



StrainMaster

先进数字图像相关 (DIC) 测试系统
用于材料应变, 位移和形貌的光学全场测量



LAVISION

FOCUS ON IMAGING



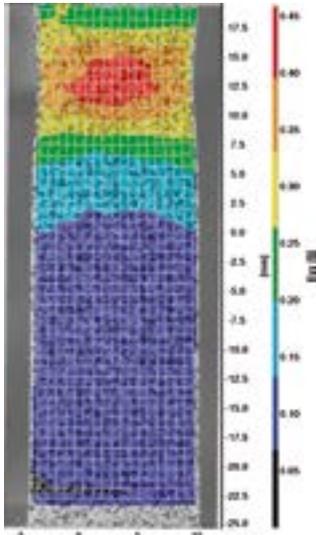
StrainMaster

用光学技术
测量全场应变

LaVision公司采用最先进的数字图像相关(DIC)处理算法和最高质量性能的硬件组件构成了一套完备的StrainMaster材料分析测试系统. StrainMaster的应用涵盖了几乎所有的工业门类, 通过计算机数据记录和传输接口, 快速准确地提供对材料行为研究测试的结果。

StrainMaster系统包含从可现场操作运行的便携式测量机到高度专门化配置组建的实验室应用装置等系列产品. 所有系统都可根据用户的个别需求进行个性化定制以满足工业领域和科研应用领域众多需求目标. 和许多常规数字图像相关(DIC)测试系统不同, LaVision的StrainMaster测试系统对被测样件的散斑图样质量不敏感. 在许多情况下, 材料的自然表面图像就足够用来进行分析并可得到高精度的位移和应变数据。

相关应用



- ▶ 拉伸, 压缩和弯曲试验
- ▶ 材料特性表征
- ▶ 超快撞击和爆炸
- ▶ 高温环境
- ▶ 裂纹检测
- ▶ 颗粒流
- ▶ 周期性疲劳
- ▶ 亚表面缺陷
- ▶ 流体结构相互作用



用户可以选择一套完备的即开即用的StrainMaster测试系统, 也可以只选单独的软件平台用于导入分析从其他外部装置如扫描电子显微镜(SEM)获得的图像数据. StrainMaster系统提供了一个完备的解决方案. 数据管理系统能够驱动硬件, 采集图像, 处理数据, 验证数据并显示及导出信息. LaVision公司的图像相关处理过程的特点是所有处理过程的相关信息都是透明可见的, 用户可以选择进行后处理的模式. 虽然智能平顺对于常规材料在弹性模态区域的测试是合适的, 但在其它存在不可预测的局部非连续性的情况下则不适用. 使用LaVision的系统, 用户可以提前核查原始数据结果, 然后决定选择何种所需的滤波方法和参数。

系统特色



- ▶ 完整的相机集成, 包括高速相机
- ▶ 控制器集成模数(A/D)转换器, 可以同步记录加载信号
- ▶ 全面控制后处理过程, 随时调用察看原始数据
- ▶ 结构紧凑, 坚固耐用的机械结构
- ▶ 在一个统一的软件平台上实现硬件控制, 分析, 数据管理等全面任务
- ▶ 数据处理快速, 准确。
- ▶ 实时应变规拉伸仪模式, 可输出经过标定的模拟信号用于应变控制
- ▶ 精心设计的MATLAB®数据兼容交换组件, 数据导出包括ABAQUS® INP兼容格式

巴西圣保罗大学Ribeirao Preto牙科学院
R. Tioffi 博士友情提供

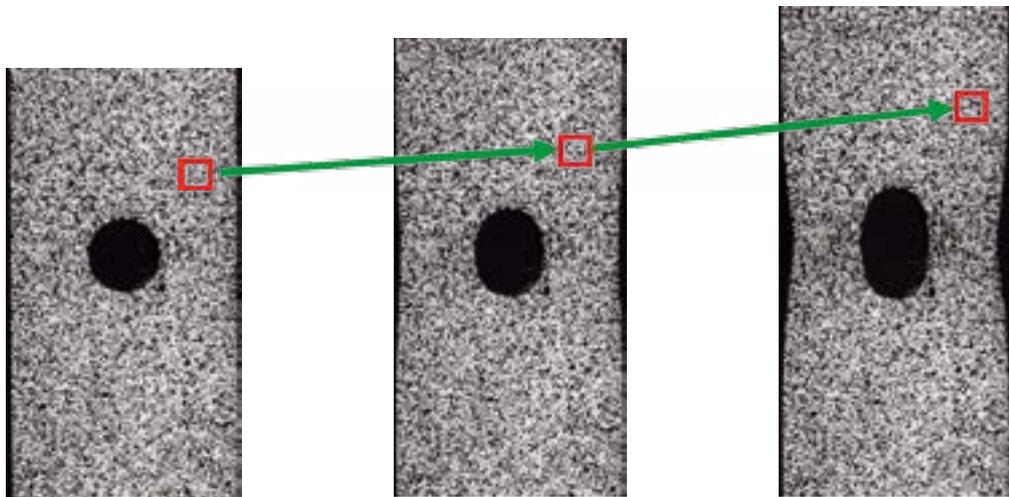
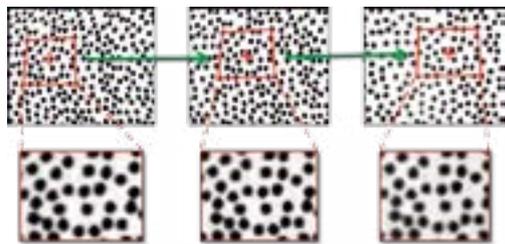
StrainMaster

数字图像相关

数字图像相关(DIC)是一种从一个显示被测样件某种形变的图像序列,计算出局部位移的方法。这些图像被离散化细分为小的 $N \times N$ 像素单元。算法程序追踪每个这些小单元中的图案。图案之间的匹配达到最大化(或者等价地说差异最小化)的位置给出了该区域的局部位移。对整个图像上的每个小单元重复上述过程就可以给出全部数据给出的场图像,这就如同在样件表面安装了成千上万的虚拟拉伸机和应变规一样。不仅如此,采用立体相机拍摄布置并进行相应的标定程序,DIC还能给出垂直于平面的位移以及表面形貌的变化。

StrainMaster的数字图像相关(DIC)软件平台采用亚单元形变的最小二乘法拟合(LSM)结合灰度图象的高阶样条插值方法来匹配样件表面图样。

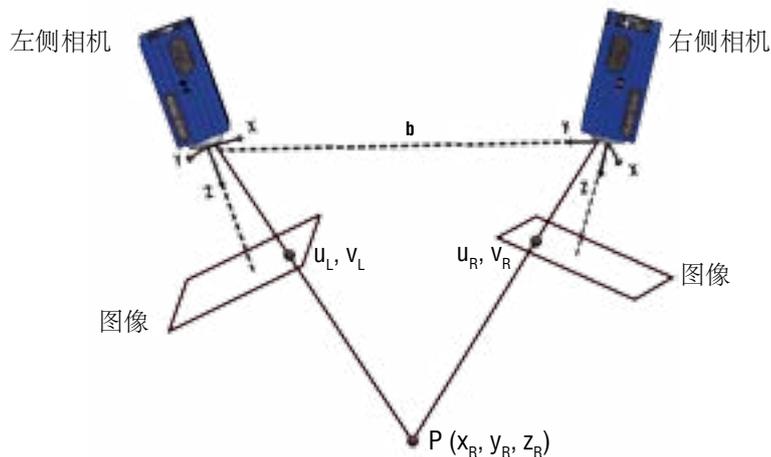
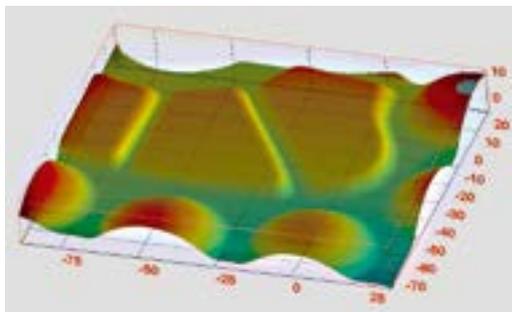
匹配局域
亚单元图案



通常用样件没有形变时的初始状态(一般选择图象序列中的第一幅)作为参考来计算相对位移场。在形变相对较小的情况下,第 N 幅图像的图案直接和前面的参考图象进行比对匹配。但是对于大形变情况,局域图象存在显著变化,此时采用一种微分求和方法进行匹配运算。这种算法先在相邻两幅图像间进行匹配运算然后再在拉格朗日坐标系(随体坐标系)进行求和相加。

3D 立体DIC

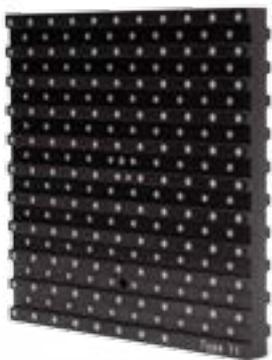
在3D立体数字图像相关(DIC)系统中两台相机对样件表面进行成像记录。需要对相机系统进行标定来建立原始图像和测量空间的对应关系。通过对相机拍摄记录图象的图案进行匹配并应用标定模型,可以算出样件表面高度和 z 向位移。这种深度方向上透视成像记录系统和人类的双目立体视觉系统的工作原理类似。





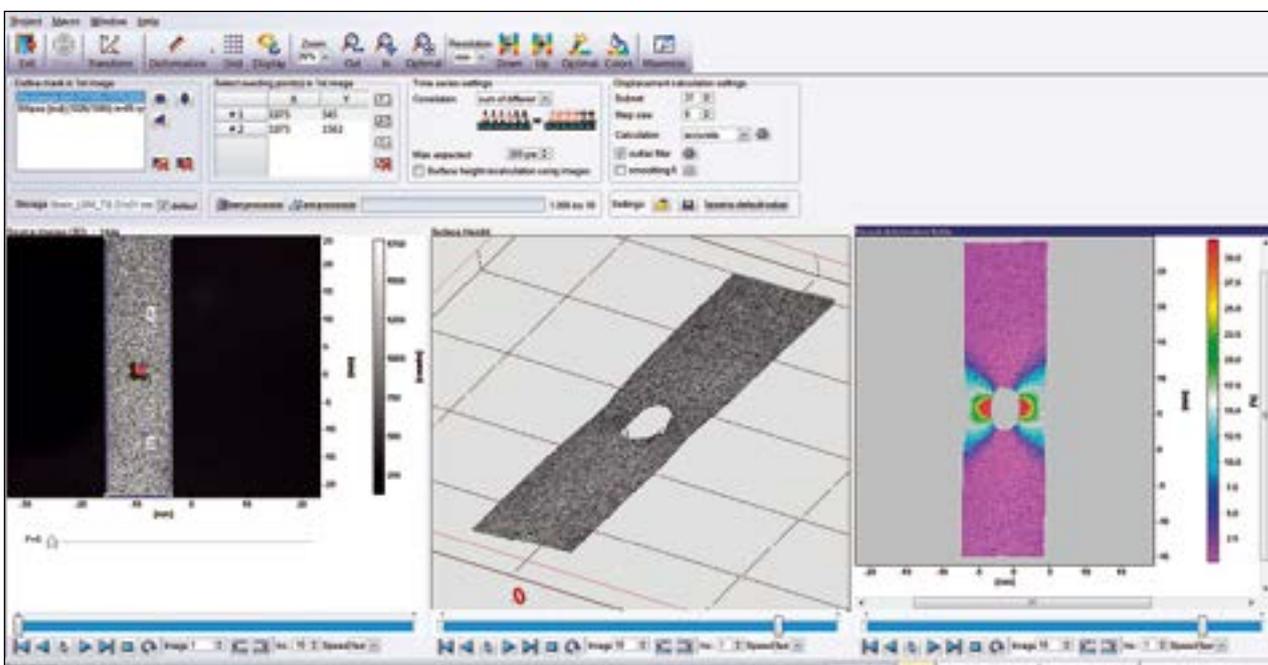
StrainMaster

数字图像相关 (DIC) 综合软件平台



StrainMaster系统软件平台具有简洁合理的工作流程, 用户能够高速快捷地获得可靠的分析处理结果。

- ▶ 仪器设置优化助手, 包括焦距和动态范围定量指示状态条。
- ▶ 60秒内完成单视场3D标定。先进多项式标定模式, 可用于立体显微镜测量等应用。
- ▶ 通过图像记录界面控制实现精确同步的图像和模拟量输入数据采集, 或导入独立的外部相机拍摄数据。
- ▶ 灵活丰富的掩模设置功能, 自动精确选择感兴趣的测试区域。
- ▶ 可设置时间序列处理模式, 亚单元定义参数和处理运算方法类型等多种参数。
- ▶ 后处理之前可以检查原始数据的质量。
- ▶ 应变计算 (拉格朗日, 冯米斯, 屈雷斯加)
- ▶ 在表面设置应用虚拟拉伸仪和应变规
- ▶ 生成报表或导出数据 (数据格式包括MATLAB® 和 ABAQUS®)



先进处理算法

除了常规易用界面, StrainMaster得益于加载在功能强大的DaVis软件平台之上, 可提供研究环境所需的丰富灵活的特色功能。用户可以预先设定的参数执行批处理模式来处理多批次图像数据。用户也可以在处理过程中加入用户自定义的宏命令。软件提供了众多极为全面的处理函数, 例如非线性滤波, 智能算法掩模等等。获得一组结果数据之后, 用户可以自动生成报表, 直接读入MATLAB®平台或导出为某种特定格式。

双向控制和数据接口

- ▶ MATLAB® 数据兼容格式
- ▶ ABAQUS®兼容格式
- ▶ 点云
- ▶ 影片
- ▶ 标准图像和文本格式

还可以将多种格式的文件 (Word®, Excel®, PDF, PowerPoint®) 导入到你的DaVis实验项目中。



StrainMaster

完全控制

DaVis平台具有完备的硬件控制功能，无需用户自行准备制作触发装置或多个单独的控制程序。借助DaVis软件平台用户还可以设定建立循环数据采集或特殊时序控制模式。

- ▶ 常规和高速相机
- ▶ 用于模拟信号数据采集的数据标签功能
- ▶ 位移台
- ▶ 脉冲光源

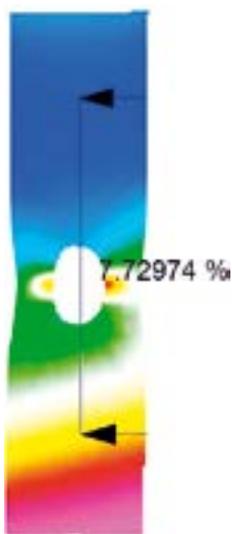
StrainMaster控制器可以实现对周期事件，如疲劳测试，的锁相记录，亦可简单直接地实现对如霍普金森压杆实验这样高速事件的后触发同步。

运行在实时模式下，或者作为后处理，可以在测试样件表面“安装”虚拟拉伸计或应变规。这种光学方法相对于通常的机械传感器装置具有如下若干优点：

- ▶ 非接触
- ▶ 无需事先选择确定安装拉伸计的位置。
- ▶ 试样损毁不会危及测试设备
- ▶ 可以对浸入溶液内或极端环境试验舱内的试样进行测试。

在实时模式下，虚拟拉伸计测量的应变结果可以通过一个16位D/A转换器输出一个比例电压信号。用户即可凭此构建一套应变控制机制。数字图像相关（DIC）技术的美妙之处在于它能够将拉伸计和全场应变测量的结果进行比对。这种比对经常显示数字图像相关（DIC）测量给出的全场结果可以给出对材料特性远为深入精细的信息。

和有限元法模拟结果进行比较并验证模拟的有效性是应变全场实验数据的一个普遍应用。为适应这一应用需求，测量结果可以导出为ABAQUS®INP格式，从而用户可以将实验结果和模拟结果用ABAQUS®后处理器进行比较，更进一步用户还可考虑将实验数据作为模拟分析的边界条件。

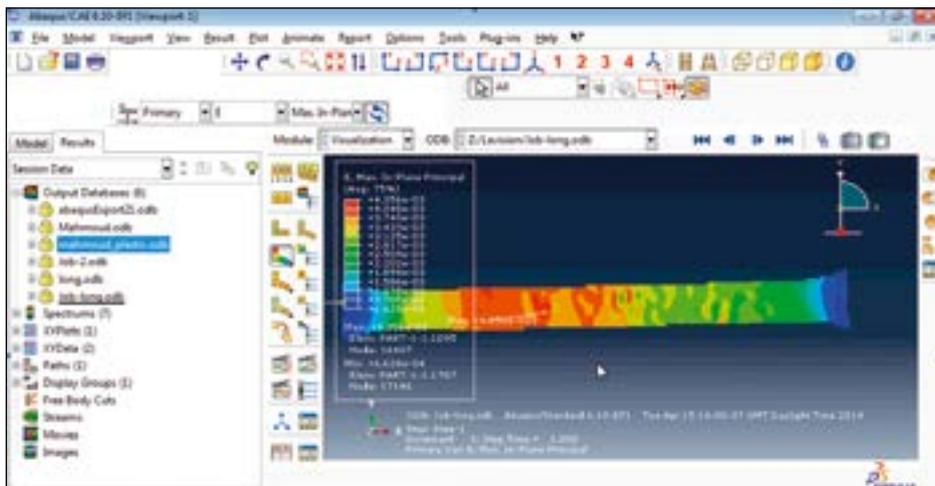


开孔拉伸测试图像和测试结果
(页 3,4,5),牛津大学, C.R. Siviour教授
和R.C. Reed教授友情提供

有限元分析



裂纹生长分析



StrainMaster包含裂纹发展分析模块用于辨识跟踪材料裂纹的演化，报告裂纹长度和裂纹开口。这一模块适用于无散斑表面，所需硬件系统和常规StrainMaster相同。



StrainMaster

用于工业
和研究测试

航天航空



试样-失效测试
南安普顿大学J. Barton教授友情提供

StrainMaster应用案例繁多，跨越几乎所有研究领域，能够测试从微观到米量级尺度的样件。此处展示部分案例，更多详细的案例介绍将以应用技术报告的形式单独提供。

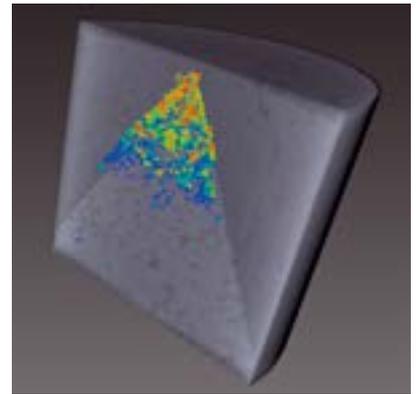
复合材料广泛应用于航天和其他需要高性能材料的领域，特别是那些特别需要考虑速度和机动性的场合。在高应变率加载的情况下，例如在那些承受冲击和爆炸加载的场合，全场记录数据丰富的成像测量技术，可用来更好地分析理解复合材料的行。为。

显示测试案例来自南安普顿大学。采用英斯特朗（Instron）VHS 高应变率试验机测试复合材料样件。开发了一种和红外成像技术同步采集记录数据的测试方法并利用热弹性预应力分析（TSA）方法进行更深入的计算分析。这一类测试数据对于验证和优化计算模拟结果价值非凡。

在当前和未来多种原子核裂变反应堆的规划设计中，石墨是一种重要的材料。石墨减速剂的结构完整性对先进气体反应堆（AGRs）的安全运行至关重要。辐射氧化效应会导致核石墨材料强度的退化，同时快中子辐照会造成材料空间尺寸改变，两种效应叠加将会导致反应堆核心的损伤。

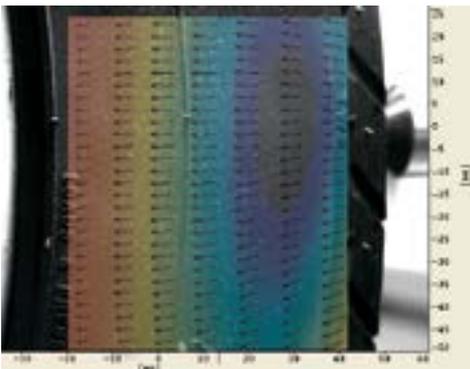
能源

数字体相关(DVC)成功地用于分析核石墨材料的X射线计算机断层扫描(X-Ray CT)图像。采用这种技术可以计算表面之下，材料内部全体积的形变和应变结果，测量加载情况下材料裂纹开口形变，进而在原始图像可分辨之前揭示裂纹的存在。



尖形断裂试验样件中稳定裂纹的应变可视化测量。牛津大学J. Marrow教授友情提供

汽车

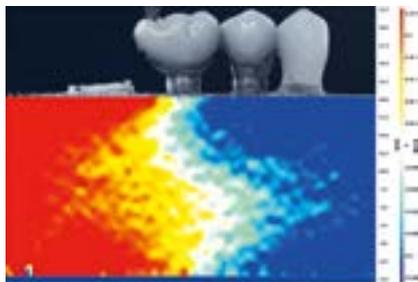


汽车工业所用材料性能和用这些材料加工的零部件是影响汽车安全性的关键也是设计研发重量轻燃油经济性高汽车所需要考虑的重要因素。随着汽车污染物排放控制标准和目标的与日提高，汽车研发工程师们需要研究现代汽车结构中的每一个方面，为此，更有必要深入了解常规和复合材料的完整性。

StrainMaster可用于研究板材形变或排气管伸缩，也可用来研究动态形变，例如轮胎挤压。采用高速相机作成像记录设备，或采用锁相记录方式，甚至能够对在道路上行进中汽车的转动轮胎进行测量。

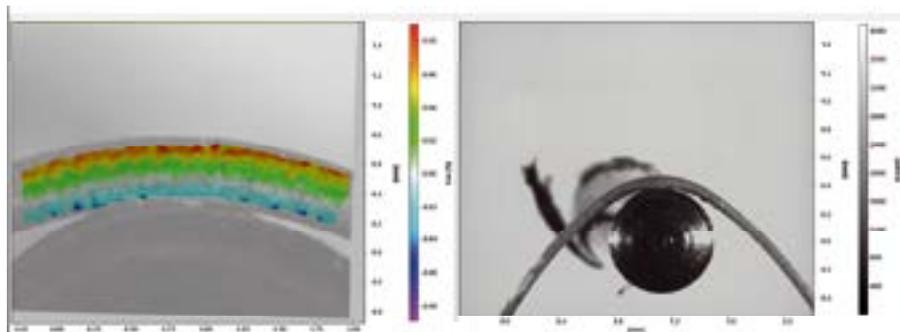
StrainMaster

生物医学领域



牙科植入修复材料分析, 巴西圣保罗大学, *Ribeirao Preto* 牙科学院, *R. Tiozzi* 博士友情提供

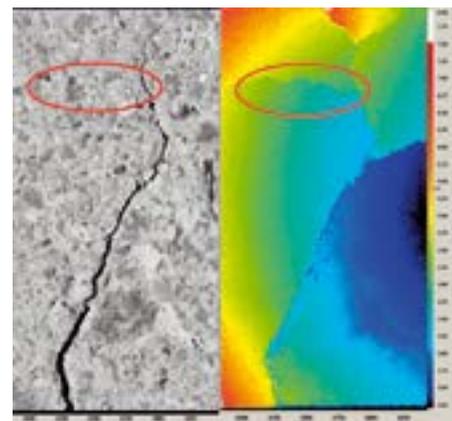
DIC和DVC已经成功应用于皮肤组织, 骨骼, 牙齿(见左图)和移植物等测试对象. 生物医学应用的测试视场通常很小, 需要特殊的光学组件才能完成. 对Vascutek Ltd. 公司的血管内支架植入系统使用的镍钛诺形状记忆合金材料的研究就是一个这样的实例. 使用配备了立体显微镜的StrainMaster测量系统可以获得对小尺度(< 0.5 毫米直径)镍钛诺丝功能行为的了解。



显示了镍钛诺丝测试样品表面压缩和伸长应变图。Vascutek Ltd. 公司友情提供。

土木工程

StrainMaster特别适合应用与土木工程领域, 对混凝土结构的梁弯曲度或裂纹传播过程进行测量和分析。在右图显示的实例中, 使用DIC方法对位于混凝土结构某个部位的裂纹进行了辨识。混凝土结构本身固有的纹理图案使得这种材料特别适合进行DIC分析和测试。



Identification of cracks propagating through concrete, courtesy of Dr. J. Lord, National Physical Laboratory

艺术作品和文物保护



N. Luxford 博士友情提供, 伦敦大学学院可持续遗产研究所

古董家具的材料通常比较脆弱易受潮湿度变化的影响; 在历史性民居或老式博物馆建筑中, 潮湿度往往很难控制。因此, 在显著损伤出现之前辨识一块家具材料, 壁画或挂毯的应变热点对及时采取措施保护这些珍贵文物是非常有帮助的。

利用材料的自然纹理图案, 在肉眼可见之前, 进行数字图像相关 (DIC) 测试分析来辨识缺陷的产生。左图显示的实例中, 就检测分辨出镶嵌装饰品表面一块区域的隆起 (黑色椭圆环内)。

其他众多应用领域

- ▶ 地质学岩石形变研究
- ▶ 结构健康状态监测
- ▶ 海洋构造和构成
- ▶ 食品和饮料工业

这两页只给出了可能的应用案例中的一小部分。LaVision公司的网站相关网页给出了更多, 更详细的应用实例和报告, 敬请浏览查阅。



StrainMaster

升级组件和
特殊应用

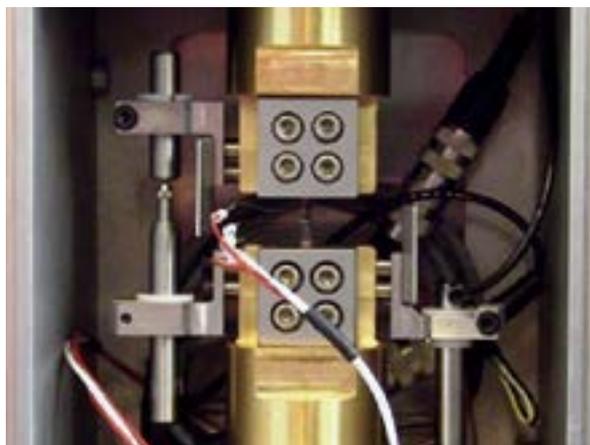
结构对象承受动态，冲击，碰撞或爆破载荷的情况下认识应变率对材料行为的影响是十分重要的。能够获得全场丰富数据的成像测试技术可提供对复合材料，金属和塑料等材料在承受高应变率形变的情况下的特性更好的理解和认识。高速StrainMaster系统完整地集成了kHz量级重复频率的高速相机。



小尺度显微数字图像相关 (DIC)



了解认识微尺度部件的力学和材料行为是极富挑战性的，对微电子或生物医学材料的应力应变行为缺乏详细信息。LaVision公司提供基于立体3D 数字图像相关 (DIC) 的立体显微测量系统。这种系统可以用来搜集分析在压毫米尺度上的全场形貌和应变数据。这一信息对于复杂有限元模拟结果有效性验证具有同寻常的价值。



曼彻斯特大学材料学院 *B. Grant* 博士等友情提供

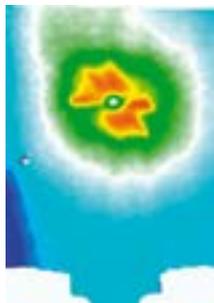
高温数字图像相关(DIC)测量



确认拟用于高温环境下材料的力学和热物理性质，要求测试系统具有可测量高温加载状态下的应变响应这一核心关键能力。在发电厂，汽车引擎和燃气轮机等工业领域，材料可能会运行在超过常温极限的状态，此时这种高温加载测试应变响应功能就显得格外重要，可以大显身手。LaVision公司可以提供在照明，光学元件及被测样件表面制备等诸多方面精密设计配置的用于高温环境的数字图像相关 (DIC) 测试系统。



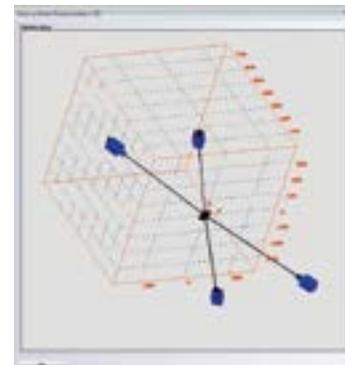
StrainMaster 多相机系统



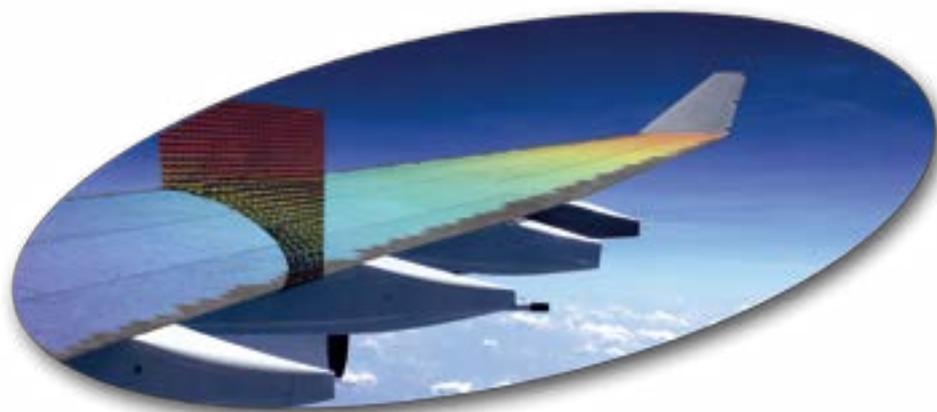
冲击碰撞致损的平板材料样件的厚度分布图。布里斯托大学 X. Sun先生和 S. Hallett博士友情提供

流体结构相互作用(FSI) 流动和表面形变联合分析

独具特色的双平面双侧标定靶盘可以在一个坐标系中对超过两台进行标定。先进的PTUX控制器能够控制这些相机精确地同步运行，例如，可以对一个平板测试样件的两面进行表面应变测量。



空气或水的流动和某个表面结构形貌相互作用会导致流体流动通道的改变，这一变化反过来会导致施加于表面的压力发生变化并进而影响表面形状。这种流体和结构的相互作用会对导致周期性或循环的不稳定性从而产生所谓的流体诱导振动（FIV）。LaVision可以提供同时定量测量流体和表面行为的集成测试系统。通过将粒子成像测速（PIV）系统和数字图像相关（DIC）技术有机地结合起来，我们能够为用户提供可以测量研究流体相互作用（FSI）行为的组合式集成系统。



红外温度和应变 联合测量分析

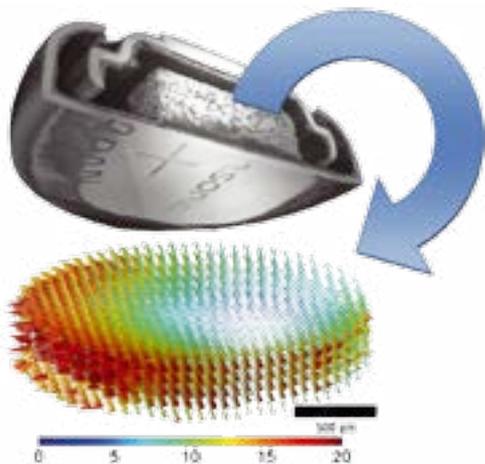
材料和零部件经常会承受力和热的联合作用, 为此设计和测试工程师们必须清楚在这种联合作用下材料或零件的应变响应。将红外成像相机和StrainMaster系统相结合便可以同时测量记录温度和应变分布, 并将两种测试结果进行关联分析。StrainMaster系统可以很容易地进行标定并把红外相机拍摄的图片导入到DaVis的应变测试测试项目中。





StrainMaster

进入表面内部



电池重构图像的切面图样和应变矢量分布，显示了充电后状态下的膨胀效应。曼彻斯特大学材料学院D. Eastwood博士友情提供

StrainMaster的数字体相关 (DVC) 是数字图像相关 (DIC) 技术的一项强大的发展，可以提供全体积3D应变和位移测量。例如，在下面展示的模拟地壳构造板块“沙箱”的测量案例中，DVC分析系统跟踪相邻体积图像间材料内部自然具有或人为添加的图案纹理的变化。DVC测量所得到的3D全场位移和应变图可以让用户真实地了解表面之下材料的行为，并据此对复杂模拟的结果进行验证。下面还展示了在基地材料和翘起结构之间剪切带的发展和演化过程的可视化测量。



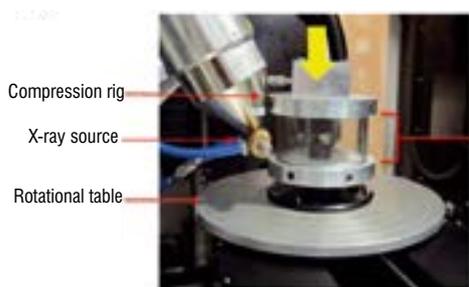
用数字图像相关 (DVC) 方法对3D X-射线断层扫描模拟试验结果进行层析应变分析。图片由伦敦大学皇家霍洛威学院地球科学系J. Adam博士友情提供

数字体相关 (DVC) 是很少的几种能够验证材料表面之下的应变行为模拟结果的技术之一。

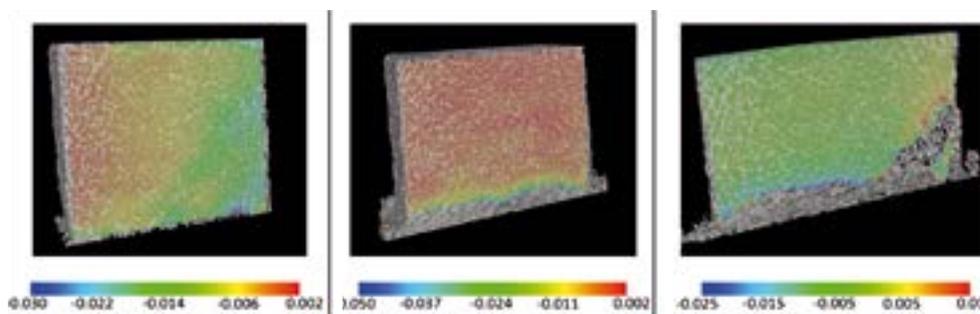
- ▶ 可以采用任何体视成像测量所得的数据，对尺度大小无限制。
- ▶ 可获得全体积内3-维 3-分量 (3D3C) 位移场
- ▶ 在图像上可见之前辨识裂纹和断裂
- ▶ 具有刚体平移和旋转校正和体对准调整子程序
- ▶ 每个测试体内对1百万个节点进行分析运算
- ▶ 先进的可变形问询体和多重迭代直接相关算法
- ▶ 位移场的精度优于0.01体像元

使用X光计算机断层扫描(CT)所获得的图像作为分析源数据

数字体相关 (DVC) 的处理素材图像通常来自于X-射线断层扫描 (X-射线 CT) 系统，同样也可以取自核磁共振成像 (MRI)，共聚焦显微镜，光学相干断层扫描 (OCT) 或者对于透明介质的光学层析重构图像。对于透明介质的光学层析重构，LaVision公司可以提供其专利的重构算法作为系统的可增加功能选项。



完整的试验装置，黄色箭头显示压缩方向



第1, 3, 6 次压缩的应变Ezz分量图。南安普顿大学生物工程科学研究组, F. Gillard博士友情提供图像

相关应用

生物力学对象如骨骼移植体，自身具有天然的内生纹理，特别适合做数字体相关 (DVC) 分析，例如可以用数字体相关 (DVC) 方法确定骨骼组织和植入物的相对运动。上面显示的是压缩试验中的骨组织。但是数字体相关 (DVC) 还适用于更多应用领域，包括颗粒流和粉末压制成型，复合材料测试，泡沫，混凝土等等。



StrainMaster

结构紧凑便携的
数字图像相关(DIC)系统
可灵活升级

LaVision的便携型StrainMaster是一款结构紧凑,重量轻,即开即用的2D和3D数字图像相关系统,用于形貌,形变和应变测量。LaVision的便携型StrainMaster系统测量对象尺寸范围大,可以适应众多需要兼具灵活性和移动性的应用领域。用户使用这款设备,可以快速得到整个材料表面全场的测量数据。在研发StrainMaster便携型的硬件配置时,我们参考了用户的反馈,借鉴了我们在用户现场应用数字图像相关(DIC)设备的经验,发挥了多年来我们在科研和工业领域研制提供光学测量系统的成熟知识和经验。

标准2D StrainMaster

常规**2D StrainMaster** 支架系统包括:

- ▶ 稳定性极佳的重负载三角架
- ▶ 1米长坚固稳定重量轻的导轨
- ▶ 1台相机云台,安装在滑动底座上
- ▶ 1套LED照明光源,安装在滑动底座上

3D 立体StrainMaster 升级

常规**3D StrainMaster** 支架系统包含上面所列**2D** 系统组件以及:

- ▶ 另外一套相机云台安装于滑动支架之上
- ▶ 另外一套LED照明光源,安装于滑动底座之上

可选机械附加组件

- ▶ 附加更多导轨,适用远距离测量应用
- ▶ 更长的导轨,适用于相机分开距离更大的应用
- ▶ 测试试验机安装系统
- ▶ 垂直测量适配器



StrainMaster 控制器

StrainMaster控制器是系统的核心组件,所有硬件系统的触发均由其在计算机软件平台控制下完成。该控制器采用USB3.0标准接口和计算机相连并可安装在相机导轨上。StrainMaster控制器构成如下:

- ▶ 相机和脉冲LED装置电源
- ▶ 同步控制板,输出同步线缆信号间同步精度可达0.05 超级精密水平
- ▶ 模数A/D转换器,带有8路输入通道和2路输出通道(可选件)



附件

LaVision公司熟悉科学研究需求特点,所系统配置具有高度的灵活性以完成具有挑战性和创新性的测试。我们提供了型号功能众多的可增配选项和附件,包括特制的镜头,散斑图案制备所需装置以及照明设备。

- ▶ 系列c-口, f-口和特殊接口镜头
- ▶ 适用于非常规,包括高温测试应用所需的照明光源和滤光片
- ▶ 油漆喷雾器用于微小尺度散斑制备,预印制贴膜,以及具有超高弹性的专用应变漆以避免在高应变测试场合油漆出现起层翘起和断裂



StrainMaster

系统部件

根据应用需求, LaVision的 **StrainMaster** 系统可以配置多种光源和相机. 典型产品如下表所列:

常规相机	型号	技术特点
	Imager <i>E-lite</i> 2M Imager <i>E-lite</i> 5M	紧凑, 高灵敏度, CCD 相机。2 或 5 百万像素, 高速千兆以太网接口。帧频14 Hz*。
	Imager <i>X-lite</i> 8M Imager <i>X-lite</i> 11M Imager <i>X-lite</i> 16M Imager <i>X-lite</i> 29M	先进逐行扫描, 完全可编程CCD 相机, 图像质量高, 同时具有高的空间分辨率。可提供 8, 11, 16, 29 百万像素型号。帧频1.7 至 8.5 Hz*。

高速相机	型号	Features
	Imager MX 4M	高性价比, 高空间分辨率CMOS 相机。4百万像素, 帧频最高可达 180 Hz*。
	Imager pro HS 4M	4百万像素, 难以置信的高图像质量, 高速数据传输全像素帧频可达1279 Hz。
	HSS 5.1 HSS 6 HSS 8 HSS X HSS Z	1 百万像素 CMOS 相机。帧频可达 3.6 至 25.6 kHz*。灵敏度高。
	Phantom v411 Phantom v711 Phantom v341 Phantom v641 Phantom v1211 Phantom v1611 Phantom v2011 Phantom v2511	

* 和系统配置相关

LaVisionUK Ltd

Downsview House / Grove Technology Park
 Grove / Oxon / OX12 9FF / United Kingdom
 E-Mail: sales@lavisisionuk.com
 www.lavisisionUK.com
 Phone: +44-(0)-870-997-6532
 Fax: +44-(0)-870-762-6252

LaVision GmbH

Anna-Vandenhoeck-Ring 19
 D-37081 Goettingen / Germany
 E-Mail: info@lavisision.com
 www.lavisision.com
 Tel.: +49-(0)5 51-9004-0
 Fax: +49-(0)551-9004-100

北京欧兰科技发展有限公司

北京市海淀区上地十街1号
 辉煌国际中心1号楼1006室
 电邮: oplan@263.net
 www.oplanchina.com www.dpiv.cn
 电话: +86-10-62623871, 62616041, 62621809
 传真: +86-10-59713638