

# 利用高速 DIC 对音叉进行振动分析



理解结构部件的振动行为在各种机械设计过程中都很重要。理解特定结构如何振动（包括其共振频率和模态形状）可以帮助工程师确定运行参数和进行寿命估算。传统上，工程师使用基于传感器的测量和技术（包括加速度计和激光多普勒振动计（LDV））进行振动分析，但这些技术有自己的局限性。

这就是数字图像相关（DIC）的用武之地。DIC 利用高速摄像机和专用软件来测量变形、位移和应变。该技术由于其多个优势而迅速普及。与加速度计和 LDV 不同，它本质上是一种非接触式技术，可生成瞬时全场位移图而不是单点值，通常比传统传感方法更快、更便宜。

DIC 可以应用于包括振动分析在内的多个领域。在本文中，我们将探讨 LaVision 的一组研究人员如何利用该技术研究音叉的振动行为。通过使用正确的高速摄像机（在本例中为一对 Phantom v1612），该研究小组证明了 DIC 在进行结构振动分析时可以获得始终如一的精确结果。

## 实验

LaVision 是激光成像系统的领先供应商。该公司的产品组合包括高级 DIC 系统和软件,适用于全场位移、形状和衍生材料应变的光学测量。LaVision 的研究人员使用了两台 Vision Research 高速摄像机和 LaVision 成像软件将 DIC 应用于音叉的振动分析。

这一对 Phantom v1612 可在不影响图像质量的情况下实现振动分析所需的高帧速率。首先,它们可以在全 100 万像素分辨率下每秒拍摄高达 16,000 帧,同时提供 16 Gpx/s 的吞吐量。它们还具有极高的光敏性,非常适用于需要比普通摄影更多光线的高速应用。为此,v1612 集成有一个曝光指数 (EI) 功能,可通过增加摄像机的 ISO 来增亮图像。

研究人员选择了一种简单的不锈钢音叉作为研究对象,其共振频率为 432 Hz。在测试之前,他们在两个叉子的表面上涂了斑点图案。然后,他们用水平撞击左边叉子产生的冲击载荷来激励音叉。摄像机以 5,000 fps 的速率进行拍摄,其高分辨率捕捉到了斑点油漆图案的精细视觉纹理。所有图像采集、数据处理和后处理均在 DaVis 8.3 激光成像软件中进行。

### 超灵敏的 PHANTOM v1612

在进行 DIC 分析时,5,000 fps 很快。为了以如此高的速度进行拍摄,研究人员需要高灵敏度的摄像机。Phantom v1612 集成了多种高级功能,可以在这两者之间平衡,这使它成为需要以超高速捕获高分辨率图像的研究人员、科学家和工程师的绝佳工具:

- 28  $\mu\text{m}$  像素可收集大量光线,从而产生 32,000D (单色) 和 64,000D (彩色) 的高原生 ISO
- 在所有帧速率和分辨率下,最小曝光时间为 1  $\mu\text{s}$  和 500 ns (使用快速选配件)
- 极限动态范围 (EDR) 功能,可在单个帧内提供两种不同的曝光,使过度曝光的区域也包含图像细节
- 曝光指数 (EI) 控件,通过调整影调曲线实现降噪来增加摄像机的 ISO



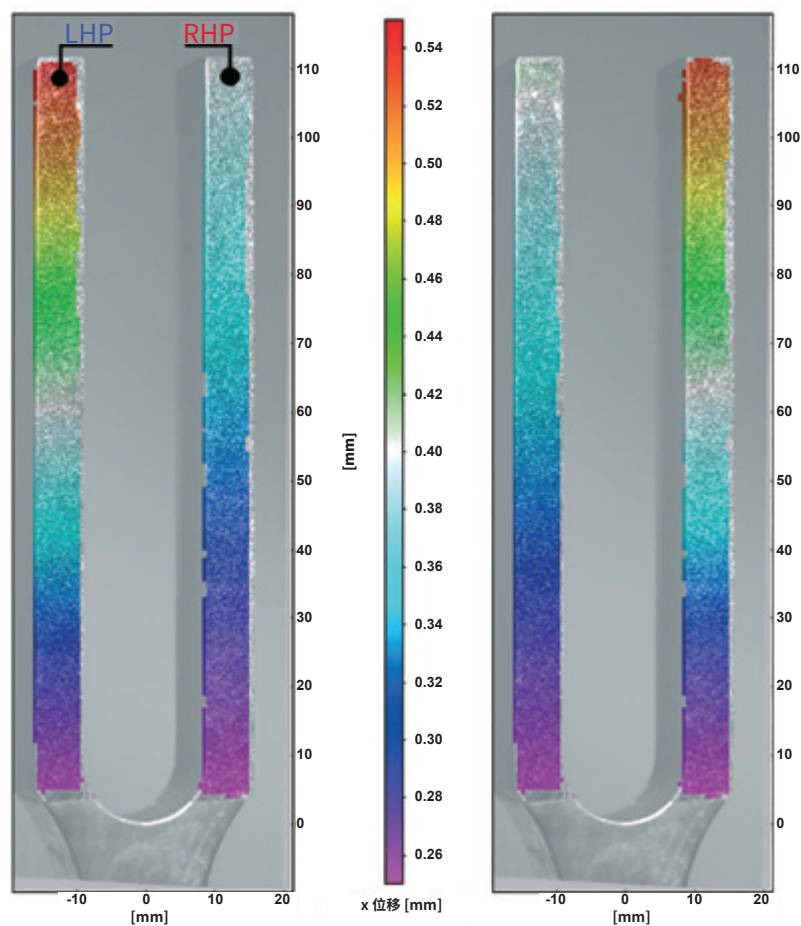
对于他们的 DIC 实验,研究人员使用了两台高速 Phantom v1612 摄像机,可以在全分辨率下拍摄高达 16,000 帧。

## 处理 DIC 结果

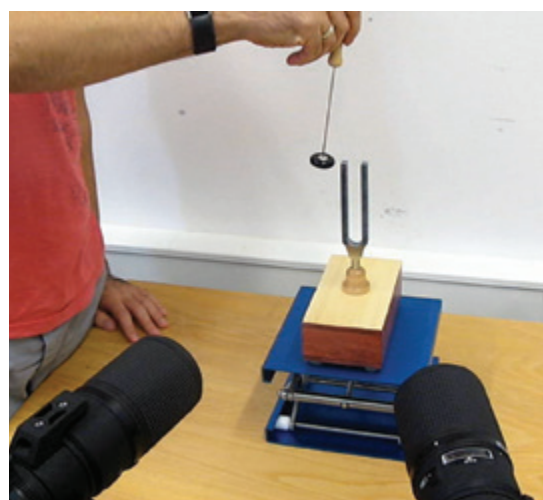
使用这种全场测量技术的一个优点是能够选择物体表面上所需点或区域的任何位置。研究人员在两个叉子上各选择了一个任意点——右叉上一个点和左叉上一个点。通过对这两个点的位移数据进行采样，他们获得了用于后处理的时域信号。根据这些数据，研究人员还得出了音叉振荡的速度和加速度。

使用 DaVis，研究人员然后将功率谱密度函数应用于由这两个点提供的位移数据，得到了信号的快速傅里叶变换 (FFT)。通过傅里叶分析，他们能够将信号从其原始时域转换为频域的代表形式。由于音叉被设计为在一个特定频率下振动，因此 FFT 仅在 432 Hz 处显示一个峰值。研究人员为避免信号混叠以 864 Hz 的奈奎斯特速率进行了采样。

除了使用 DIC 位移数据识别音叉的频率峰值之外，研究人员还通过在 DaVis 中提取操作变形振型 (ODS) 来激发音叉的振动模式。

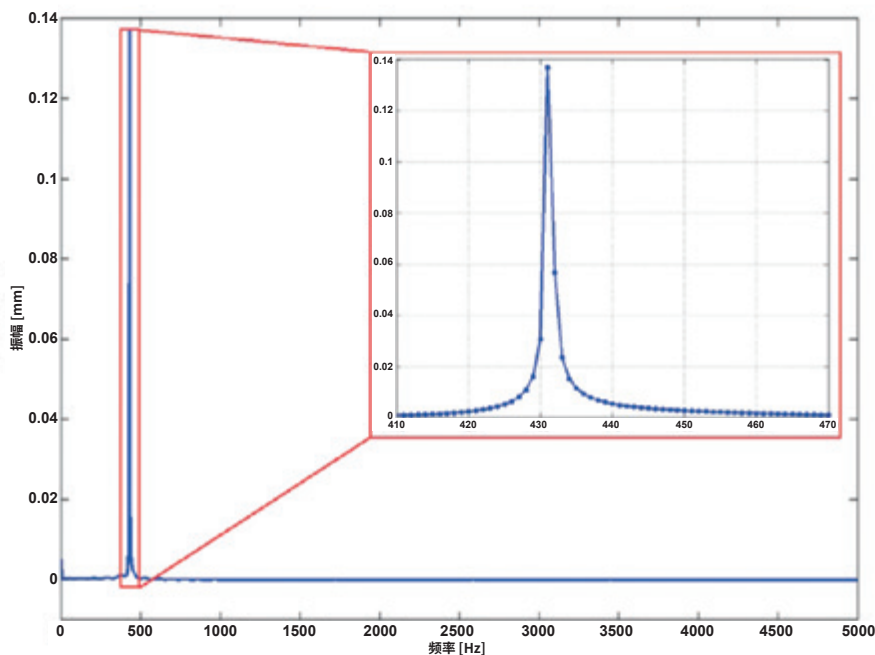


使用 DaVis 8.3，研究小组处理了音叉叉子上两个点处的位移数据。



当摄像机以 5,000 fps 的速度拍摄图像时，研究人员激发了一个共振频率为 432 Hz 的不锈钢音叉。

“本实例表明，使用高速摄像机和高级计算机软件组合的 DIC 可以对结构进行成功的振动分析。”



通过对数据应用功率谱密度函数，研究人员确定了音叉的共振频率为 432 Hz。



研究小组还使用 DIC 数据生成了音叉振动模式的操作变形振型 (ODS)。

## 结论

本实例表明，使用高速摄像机和高级计算机软件组合的 DIC 可以对结构进行成功的振动分析。Phantom v1612 摄像机提供了所需的分辨率和帧速率，确保了 DIC 分析的成功。使用这种技术，研究人员可以轻松地提取额外的测量数据，确定结构的共振频率，甚至生成其振动模式的动画。这些结果可以与加速度计或振动计数据进行比较，同时也可用于开发传统传感技术。

封面图片由 Warped Perception 提供



某些 Phantom 摄像机符合出口许可标准。有关更多信息，请访问 [www.phantomcameras.cn/export](http://www.phantomcameras.cn/export)。