

探讨手持式 FTIR 光谱仪的人机工程学设计与测量质量之间的关系

应用简报

材料测试

作者

Alan Rein、John Seelenbinder
和 Frank Higgins
安捷伦科技公司



前言

专为实验室设计的光谱仪与现场原位检测时使用的光谱仪有着很大的不同。例如，实验室使用的仪器通常设计用于水平的平面（如工作台）上，然而手持式光谱仪通常要用于几乎所有场合。实验室用 FTIR 光谱仪中采用的干涉仪，在上述的水平条件下工作性能良好。但是处于竖直状态时，这些干涉仪几乎不能工作。鉴于此，安捷伦手持式 FTIR 系统采用了创新的干涉仪设计理念，可以在多种应用要求条件下得到同等质量的数据。

与光机设计同样重要的是，人机工程学考量在优化手持式 FTIR 光谱仪的过程中也起到了关键的作用。众所周知，伸开手臂手持物体时，二头肌需要提供的力量要大于手持物体重量数倍。因此，长时间手持一个哪怕非常轻的物体也会非常得累。换言之，这种状态也会影响到手持式 FTIR 光谱仪所采集数据的质量，因为通常来讲需要从多个干涉仪采集约 10 到 30 秒的数据以提高信噪比。在所有光谱测量当中，样品与光线焦点的位置将会极大地影响所采集数据的质量。当样品处于红外光的最佳焦点处时，采集的数据质量是最高的。在使用手持式 FTIR 时，使用者手持光谱仪贴近样品。使用者若能保持光谱仪系统焦点稳定，则可以采集最佳质量的数据。但是当使用者感觉累或肌肉紧张时，其身体的稳定性将会变差。

当然，这意味着相对于较重的光谱仪，较轻的光谱仪系统更受欢迎，但这仅仅是问题的冰山一角。整个系统的重心也需要优化。如果光谱仪的重心位于手持部位的上方，使用者的肌肉会迅速疲劳，导致不必要的动作进而影响数据质量。相反，如果一个系统的重心经过合理的设计，在采集数据的过程中可以降低肌肉的紧张感并减少晃动的可能性。

鉴于上述原因，Agilent 4300 手持式 FTIR 的设计在轻量化的同时，实现了完美的平衡，非常适合手持操作。这些人机工程学考量，同时结合了超短的内部光学路径、高稳定性的光学构造以及低噪声的电子器件，使得用户可以获得最佳的光谱数据和最精确的结果。

在本应用简报中，我们将向大家展示采用出色人机工程学设计的 4300 手持式 FTIR 光谱仪，在实际应用中采集高质量数据方面的优势。

4300 手持式 FTIR 设计中的人机工程学

- 重量 — 1.95 kg (4.8 lbs)，4300 是目前最轻的手持式 FTIR 系统。该重量包括两块锂离子电池、内置计算机和样品接口的重量
- 重心 — 4300 手持式 FTIR 系统的中心位于把手的中间，正好在开关处。（如图 1 中所示）这意味着手腕承受较小的力矩从而获得更加的身体稳定性
- 控制开关 — 当手持该系统时，食指正好放在控制开关上



图 1. Agilent 4300 手持式 FTIR。重心位于把手的中心，如图上的黑点所示。此设计使得仪器在用户手中平衡性更好，使用舒适度更高以便连续进行数据采集

- 用户界面 — 无论 4300 手持式 FTIR 的位置和外界的光强如何，其旋转式屏幕非常易读
- 样品接口选择 — 更换样品接口仅需一只手在数秒之内即可完成

方法和测量

为了说明人机工程学设计在采集数据质量上的优势，我们将采用模型试验对新一代 4300 手持式 FTIR 与上一代 Agilent 4100 Exoscan 系统进行对比。ExoScan 系统比 4300 手持式 FTIR 系统重 1 kg (2.2 lbs)，而且重心位于手持位置上方约 10 cm 处。

本研究中的数据收集自一系列应用于航空复合材料中的涂层材料。涂层由六种不同的样品组成：环氧树脂、底漆、底层、上层 1、上层 2 和上层 3。所有样品均安装于高约 2.1 m 的墙上，然后采用手持的方式对其进行测量。以经验丰富的技术人员完成所有测量，样品的高度需要伸出手臂进行测量。所有测量均采用反射式样品接口，在分辨率为 8 cm^{-1} 的情况下分别对背景和样品进行了扫描，整个测量时间为 8 秒。即使在这么短的测量时间下，良好的人机工程学设计发挥的作用也是值得认可的。

同时采用 4100 ExoScan 和新型 4300 手持式 FTIR 两种仪器，对以手持式测得的谱图在几个方面进行了比较。首先，建立一个复合材料涂层中数种物质的谱库。在收集数据建立谱库的过程中，每台仪器都放置在桌面上，使样品正好放置于光斑的焦点处，并在数据采集过程中保持静止。将桌面谱库与手持测量结果进行相关分析，并且对相关系数进行比较。此外，也对位于 $2750\text{--}2550\text{ cm}^{-1}$ 处的基线噪音也进行比较。造成非吸收区域基线噪音的原因可能是在整个测量过程中焦点发生移动。

结果和讨论

使用 4300 手持式 FTIR 和 4100 ExoScan 光谱仪采集的数据存在着明显的差别（如图 2 中所示）。可以看出，对于环氧树脂样品，两个系统均采集到典型的镜面反射数据。4100 ExoScan 的数据中噪声成份更高，特别是在基线区域。同时，还会影响到 1700 、 1480 、和 1325 cm^{-1} 附近的峰形。该峰形的微小变化将会影响到仪器测量涂层由于添加剂或者氧化损伤造成微小损伤的能力。

通过谱库对比结果可以看出，4300 手持式 FTIR 具有更优异的性能。由于对比谱库是由每台设备独自构建的，相关系数小于理想值 ($R^2=1.0$) 的原因在于样品聚焦的不稳定性。谱库实验的数据列于表格 1 当中。在两台 FTIR 光谱仪采集的 18 组数据中，有 14 组是 4300 手持式 FTIR 采集的数据，其相关系数要高于用 4100 ExoScan 采集的数据。此外，4300 手持式 FTIR 收集数据的平均相关值要高于 4100 ExoScan 的平均值。而且，更为有趣的是 4300 手持式 FTIR 相关系数的标准偏差仅为 4100 Exoscan 的一半。标准偏差的结果表明，考虑了人机工程学设计的 4300 手持式 FTIR 获得的数据具有更高的一致性和可重复性。

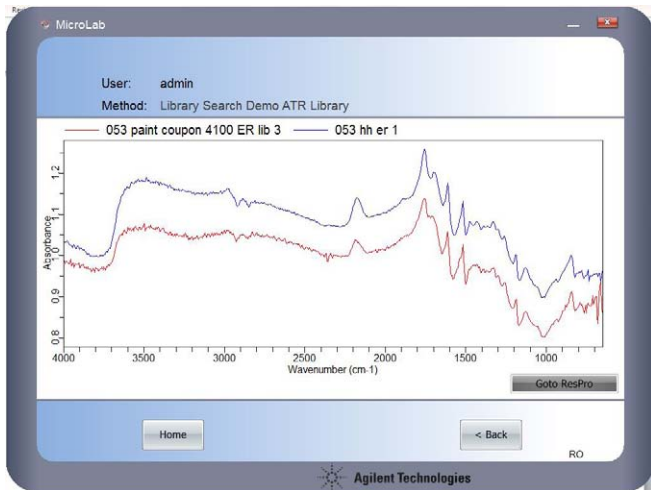


图 2. 采用 4100 Exoscan 和人机工程学设计最佳的 4300 手持式 FTIR 对环氧树脂进行检测，并对采集的数据进行比较。4300 手持式 FTIR 光谱仪的数据具有较小的基线噪音和更好的谱带解释。因为即使是对头顶上方的样品进行测量，用户也可以稳定地手持该设备

表 1. 手持设备谱库测试实验的结果与静止设备测试结果之间的关联。平均相关性的提高和标准偏差的降低表明更加重视人机工程学设计的 4300 手持式 FTIR 具有更好的适用性

样品	4100 ExoScan 相关性	4300 手持式 FTIR 相关性
环氧树脂	0.981	0.991
	0.980	0.996
	0.987	0.995
底漆	0.912	0.980
	0.936	0.977
	0.931	0.989
底层涂层	0.994	0.992
	0.994	0.997
	0.993	0.998
上层 1	0.987	0.957
	0.988	0.986
	0.973	0.960
上层 2	0.985	0.998
	0.990	0.999
	0.990	0.992
上层 3	0.989	0.990
	0.985	0.998
	0.989	0.982
平均值	0.977	0.988
标准偏差	0.024	0.012

此外，我们对各个样品测试的基线噪音进行了对比。对 2750–2550 cm^{-1} 区域的 RMS 噪声进行了测量。该区域没有吸收峰。随着落到检测器上光强的降低，基线噪音会增加。采用外接反射模式接口，落到探测器表面的光强（也即基线噪音）与样品焦点的准确度直接相关。将仪器非常稳定地置于样品焦点处，可使基线噪音最小化。结果汇总于表 2 中。尽管两台仪器都显示出优异的性能，但 4300 手持式 FTIR 的平均基线噪音要比 4100 Exoscan 低 35%。

表 2. 采用 4100 Exoscan 和 4300 手持式 FTIR 测量涂层样品时，在 2750–2550 cm^{-1} 波段的 RMS 噪音。4300 手持式 FTIR 的人机工程学设计更佳，结果显示其基线噪音也较低

样品	4100 ExoScan 基线噪音	4300 手持式 FTIR 基线噪音
环氧树脂	0.00197	0.00133
	0.00316	0.00165
	0.00240	0.00145
底漆	0.00196	0.00084
	0.00199	0.00063
	0.00157	0.00066
底层涂层	0.00252	0.00281
	0.00297	0.00269
	0.00242	0.00262
上层 1	0.00160	0.00080
	0.00155	0.00080
	0.00165	0.00099
上层 2	0.00150	0.00093
	0.00155	0.00097
	0.00155	0.00081
上层 3	0.00183	0.00097
	0.00164	0.00063
	0.00137	0.00119
平均噪音	0.00196	0.00126

结论

便携式、手持式光谱仪的设计和制造必须考虑其使用的环境。这些考量因素要扩展至光机、电子、软件、用户界面和服务等领域。同等重要的是用户的舒适性，我们发现人机工程学设计优异的光谱仪可以采集到更高质量的数据。由于这些因素需要光谱仪具有较高的物理稳定性，同时可以在不同的环境和方位中采集到良好的数据。此外，由于采用了人机工程学的设计，4300 手持式 FTIR 可以减轻用户的疲劳感。

优异的人机工程学设计是 Agilent 4300 手持式 FTIR 的主要产品发展目标。该设计同时增强了用户体验和采集信息的质量。对于经常要进行现场测试的应用，4300 手持式 FTIR 是理想的选择。

www.agilent.com

安捷伦对本资料可能存在的错误或由于提供、展示或使用本资料所造成的间接损失不承担任何责任。

本资料中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技（中国）有限公司，2014
2014年2月26日，中国印刷
出版号：5991-4108CHCN



Agilent Technologies