Waters™ | TA Instruments

探索业内更精密的动态热机械分析仪

探索
一款全新的
动态热机械
分析仪
来提供

无可比拟的
灵敏度

卓越的
性能

更高的
通用性

DISCOVERY DMA | 动态热机械分析仪

TA仪器诚邀您体验业内首屈一指的动态热机械分析仪，Discovery DMA 850。以畅销全球的DMA的卓越技术为基础， 全面提升DMA性能， 可以在宽泛的温度范围内实现准确且可重复的力学性能测试。获取优质DMA数据从未如此简单！

特点和优势：

- 非接触式轻质电机，可提供0.1mN至18N的连续力控制，能测量从柔到刚的各种材料
- 无摩擦低柔量的空气轴承，确保优异的力控制灵敏度和准确度
- 独特的光学编码器技术，可在25mm的连续运动范围内提供0.1nm的分辨率，实现最终测试的多功能性
- 全新的DirectStrain™ 和智能Auto-Ranging控制，允许您测量更大范围的样品硬度和频率，一次实验即可获得绝佳数据
- 两种专用的环境系统可供选择，从而在最相关的测试条件下实现准确的响应性控制
- 独一无二的机械制冷系统，不需要液氮就可实现-100°C的温度控制
- 特制的轻质高刚度夹具，易于使用，确保数据的可重复性
- 创新“APP式”触摸屏，让操作者获得简单流畅的One-Touch-Away™ 触摸控制体验
- 功能强大的TRIOS软件，为新入门用户和资深用户设计了独立测试界面，可简化设置和操作
- 加热炉享有业内**独一无二**的五年质保，恪守质量承诺，值得用户信赖

DMA850
35.00 °C
0.00 mm
DISCOVERY
DMA850

技术 | 驱动系统

响应型直驱电机

DMA 850的非接触式电机可在整个25mm的运动范围内施加动态和静态形变，为所有模式和夹具位置提供优异的控制。

该电机采用高性能轻质复合材料制成，可更大限度地提高轴向和扭转刚度，同时更大限度地降低系统惯量。精密的电子控制元件**可在0.1mN至18N的最大连续范围内实现极快的电机控制**。这使得系统可凭借更高水平的灵敏度和准确度探索各种材料的特性。精密的控制还可以显著提高瞬态响应的速度，包括50ms的阶跃位移响应，以及准确度提高100倍的应力控制。

与提供大力值或高分辨率、或需要单独低质电机来进行线性移动的同类竞争电机设计不同，DMA 850实现了连续范围的线性移动和高分辨率的力测量。

刚性、无摩擦的空气轴承

非接触式驱动电机直接将力传递给矩形的空气轴。该空气轴由8个多孔石墨空气轴承引导。压缩空气流入形成无摩擦表面，从而使空气轴呈“漂浮态”。空气轴承直接与马达驱动轴和样品夹具相连接，可实现25mm的无摩擦位移。驱动轴的矩形形状完全消除了离轴运动。

目前唯有TA仪器的DMA采用精密的空气轴承技术。没有这种设计特征的仪器采用无支持设计时变形控制较差，或者采用弹簧引导设计时降低了灵敏度。

宽量程、高分辨率光学编码器

与同类竞争仪器中使用的LVDT相比，光学编码器是基于光栅的衍射原理，可在非常宽的范围内提供超高分辨率。由于光学编码器具有高达0.1nm的极佳分辨率，使得极其微小的振幅也可以被精确测量。光学编码器灵敏度的提升，结合精密的马达控制，**位移控制可降低至之前的1/100，甚至可对低至5nm的位移进行控制。**

非接触式电机、无摩擦空气轴承和宽量程光学编码器提供前所未有的灵活性，适用于各种规格的样品，包括实验中存在蠕变、膨胀或收缩的材料，以及静态或瞬态形变的应用。

轻质、
高刚度样品夹具
加热炉
刚性铝铸件
空气轴承
驱动电机
光学
编码器
空气轴承
DMA850
35.00
0.00
DISCOVERY
DMA850

技术 | 机械设计

准确的机械性能测量是建立在将电机施加的所有的形变完全传递到样品的基础上，同时消除外部因素（如系统共振、热漂移或框架变形）产生的各种影响。

优化的机械性能

DMA 850的关键驱动元件安装在高刚性铝铸件内，该铸件紧固在经FEA优化的仪器框架上。市面上其他产品体系则基于可移动、可悬挂或软质框架，这种设计在样品刚度和系统共振的双重影响下使有效测试频率范围受到限制。DMA 850的刚性设计克服了这一局限性，可在更广泛的测试频率和样品刚度范围内提供准确的模量和tan δ。

温控传感器

传感器受温度控制，可以消除样品或实验室环境温度变化引起的漂移。因此，即使在极端条件下，也能为材料的机械性能表征提供最稳定的平台。DMA 850是目前唯一一款具有温度控制力和位移传感器的商用DMA仪器，拥有无与伦比的测量稳定性和准确度。

快速校准

采用全新的机械系统后，常规校准变得比以往更简单快速。与之前的DMA技术相比，快速、强大的校准程序可引导用户获得更高的测量准确度，同时**时间缩短80%**。您可缩短在维护仪器上花费的时间，从而将其用在获取有价值的材料信息上。

经过优化的铸件和
力学框架可提供
无与伦比的测量准确度

FEA优化的仪器基座

附件 | 环境控制系统

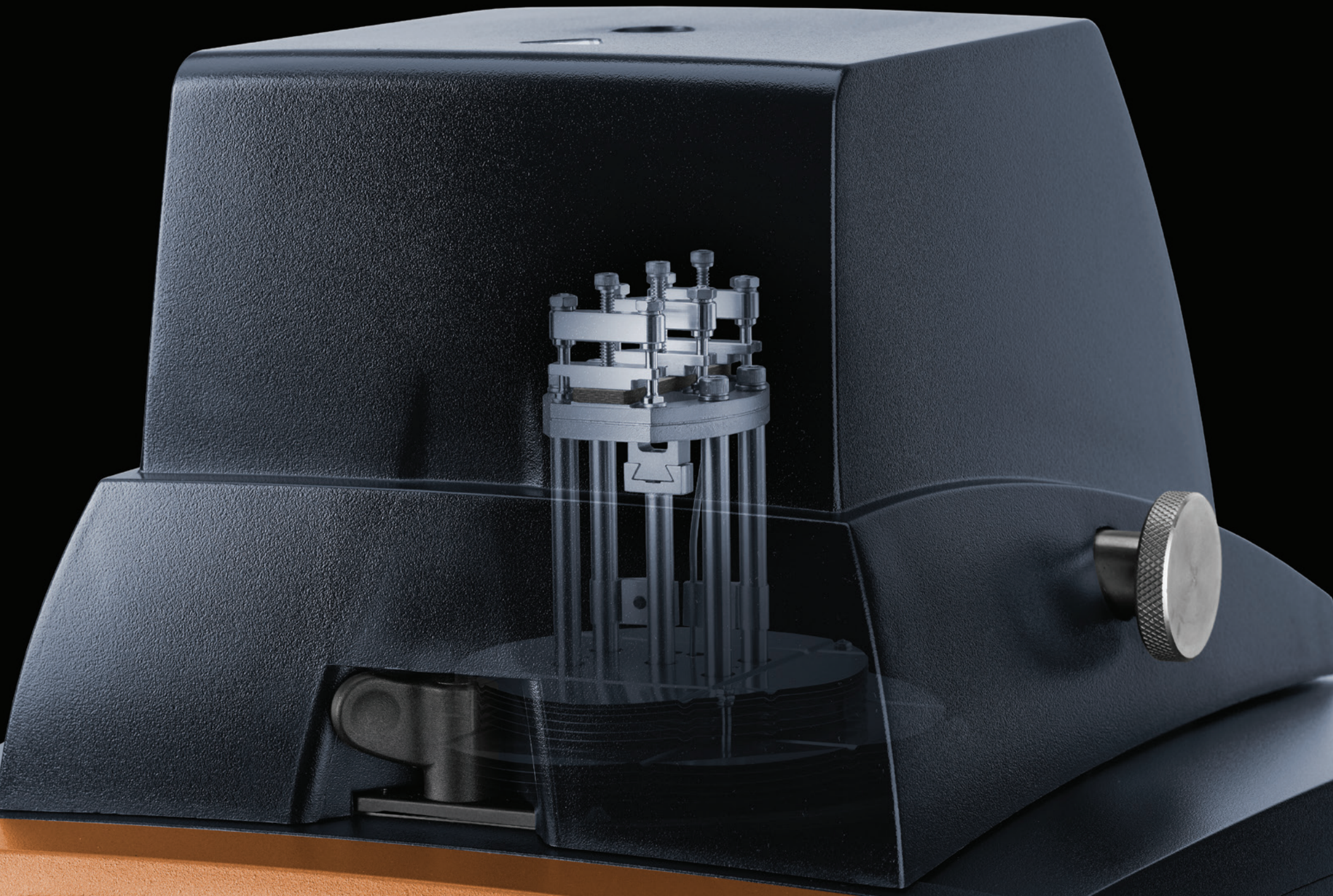
DMA 850提供两种专用环境系统：标准加热炉以及用于湿度和温度控制的DMA-RH附件。安装简便，便于根据需要在系统之间切换。所有的环境系统和附件均由TA仪器制造，专为进行高性能DMA测量和无缝集成而设计。

标准加热炉

DMA 850的标准加热炉是一个宽量程双线缠绕炉，可在-160°C至600°C实现均匀的温度控制。这种设计可在执行加热、冷却和恒温操作的整个温度范围内提供高效、精确的温度控制。标准加热炉可与四种可选冷却附件的任意一种组合使用，实现低温控制，满足您的测试要求。

无论采用何种变形模式，高灵敏度热电偶都与样品极为接近，提供具有代表性的样品温度测量。

业界领先的**环境控制系统**



附件 | 环境控制系统

DMA-RH附件

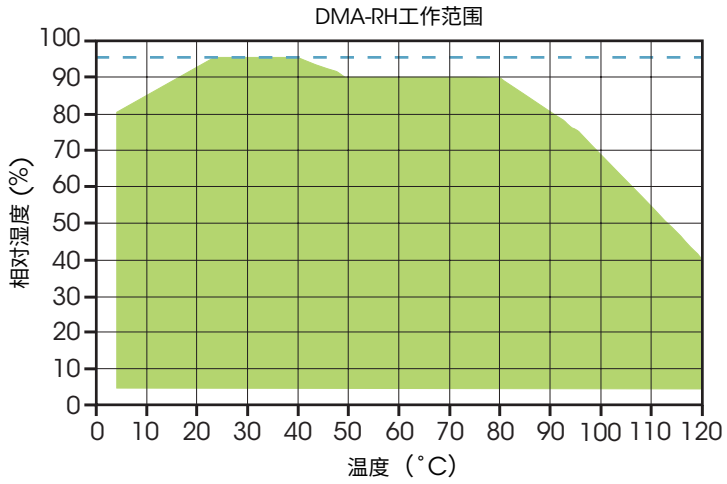
这种精密的环境系统为DMA实验提供了准确的样品温度和相对湿度控制。专为优化机械性能测试而设计的湿度和温度控制室，可为各种工作条件下的测试提供稳定、可靠的温度和湿度控制。冷凝现象经常出现在湿度受控环境中，导致无法准确控制相对湿度，该系统能够有效避免这一问题。稳定且响应迅速的Peltier元件精确控制样品温度，同时已校准的数字式质量流量控制器可输送规定比例的预热气体以达到目标湿度。

DMA-RH附件是完全集成单元，包括下列硬件组件:

1. 样品室直接安装在DMA上。样品室内的帕尔帖元件确保温度的精确控制，精度可达±0.1°C。样品室适用标准的DMA夹具（拉伸、悬臂和三点弯曲）。
2. 对蒸汽输送管道加热，将温度维持在湿气的露点温度之上，避免其冷凝且保证准确的测量结果。
3. DMA-RH附件包含增湿器和电子元件，用于连续监测和控制样品室的温度和湿度。

DMA-RH附件可提供
更广泛的温度和相对湿度范围

温度范围	5至120°C
温度准确度	±0.5°C
加热/冷却速率	最大±1°C/min
湿度范围	5至95% 参见工作范围图表
湿度准确度	5至90% RH: ±3% RH >90% RH: ±5% RH
湿度变化速率 （增湿和降湿）	2% RH/min（固定）



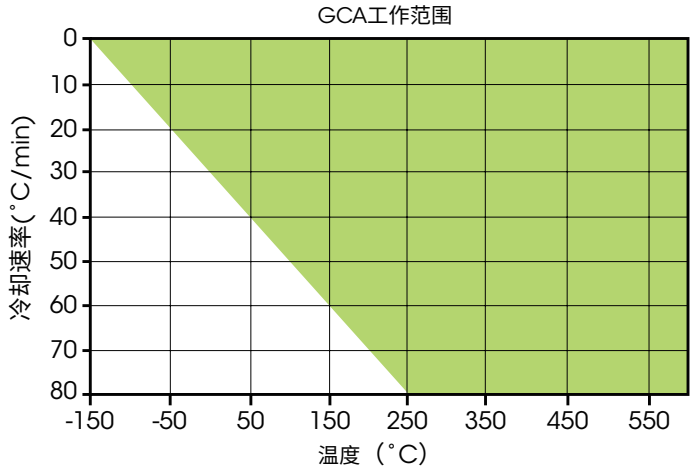
1
2
3
TA Instruments
DMA850
35.00 °C
0.00 mm
DISCOVERY
DMA850

附件 | 冷却系统

液氮冷却附件（GCA）

GCA可将DMA 850的工作范围扩展到-150°C。GCA通过控制液氮汽化产生的冷却氮气实现降温，还可通过编辑程序实现在测试完成后自动填充液氮罐。

GCA在DMA 850的整个工作范围（-150°C至600°C）内提供冲击或可控冷却速率。一般来说，最大冷却速率与安装的夹具和样品热性质密切相关。下图是可控冷却速率的典型范围*与温度的关系。



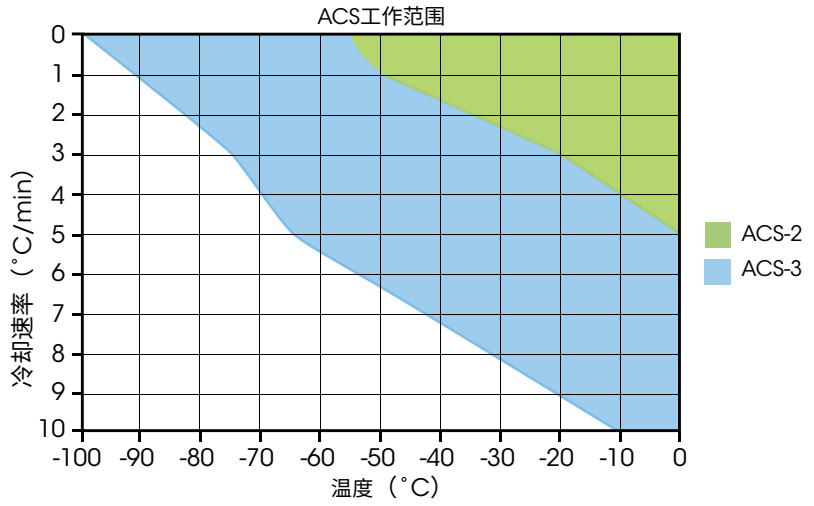
*根据实验室条件和安装的夹具系统，实际性能可能略有不同。

氮气吹扫冷却器（NPC）

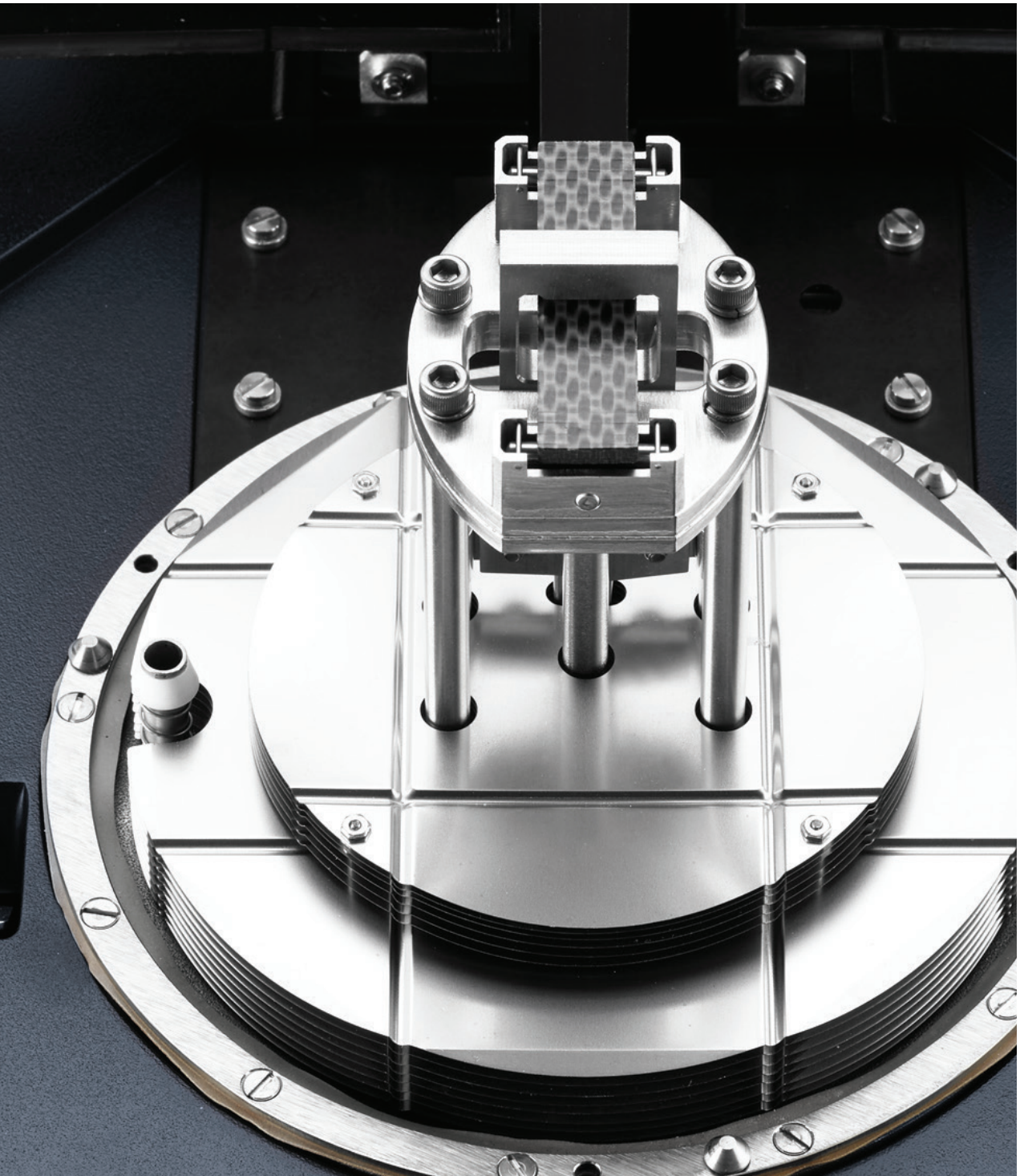
NPC是一种经济型冷却附件，可急剧降温至-160 °C并进行可控升温。该创新设计将氮气（2至8bar，30L/min）先吹入热交换器（浸没在一个装有2.5L液氮的杜瓦瓶中）然后进入加热炉内。紧凑的设计更大限度地减少了空间需求，急剧降温能力使其成为提高低温实验测试效率的理想选择。

机械冷却系统（ACS）

全新的ACS具备独有的气流冷却系统，无需使用液氮即可实现低温测试。两种型号可供选择：ACS-2和ACS-3。制冷系统采用多级级联压缩机设计，利用压缩空气（7bar，200L/min）作为冷却介质。当连接到配备标准加热炉的DMA 850时，ACS-2和ACS-3的最低运行温度分别为-50 °C和-100 °C*。这款制冷系统无需使用液氮，可以避免相关危害，并提供丰厚的投资回报。



附件 | 夹具设计

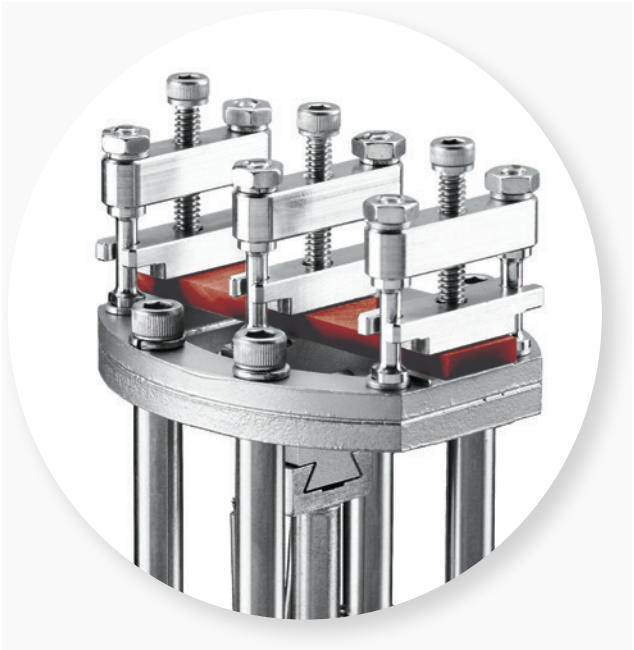


DMA 850具有全套变形类型的夹具，可对各种样品进行准确分析，并模拟实际工艺或应用条件。每个夹具均进行了优化，大大提高准确性和易用性。

夹具特性和优势:

- 高刚度、轻质量设计，可提供更高的模量准确度
- 低热惯性设计，可缩短温度平衡时间并优化转变温度测量准确度和精度
- 单独的夹具刚度校准，确保模量准确性和可重复性，尤其是不同操作人员之间
- 简单的燕尾槽连接，便于安装和自对齐，提高精度并缩短安装时间
- 组件高度集成，有限数量的独立组件可减少复杂性、错位和测量误差
- 专为难度较大的测试，如粉末和浸泡在流体中的材料，提供了创新型设计
- 全新的拉伸、压缩和剪切夹具，可进一步简化对准并使样品加载更具可重复性，显著提高夹具易用性

目前唯有TA仪器提供开箱即用的现成夹具，无需同类竞争产品所必需的复杂安装程序。



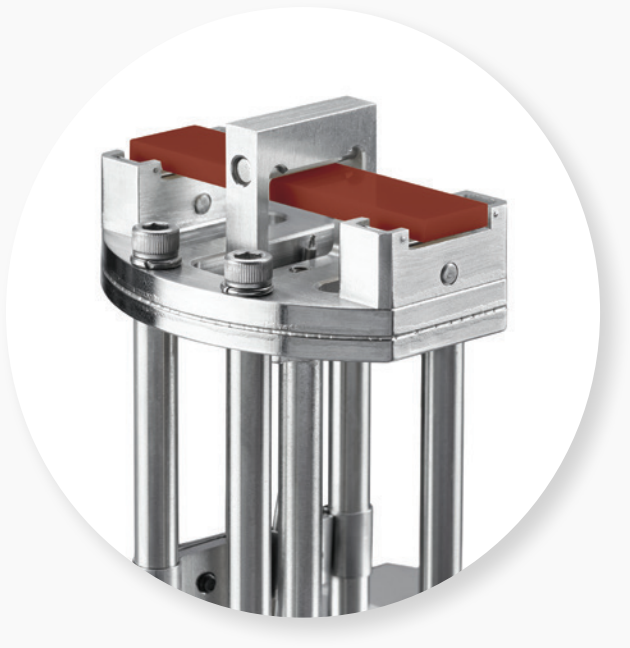
双/单悬臂

悬臂弯曲夹具是用于评估热塑性材料和高阻尼材料（如弹性体）比较好的通用模式。三种样品长度可供选择：8mm、20mm和35mm。悬臂夹具可选用单悬臂或双悬臂，双悬臂尤其适用于研究载体承载的热固性材料的固化性质。

拉伸

拉伸夹具适用于薄膜和纤维的单轴变形。在振荡实验中，仪器采用恒定或动态追踪来施加静态载荷，避免了样品的弯曲和不必要的蠕变。全新设计的薄膜拉伸夹具简化了夹持结构，使其易用性和夹持均匀性均得以提高，并可有效防止样品滑动。可视的引导线可辅助薄膜样品的对齐，一体式支架也能够简化纤维测试。DMA 850可连续移动，使得拉伸状态下装载样品变得特别方便。

附件 | 夹具设计

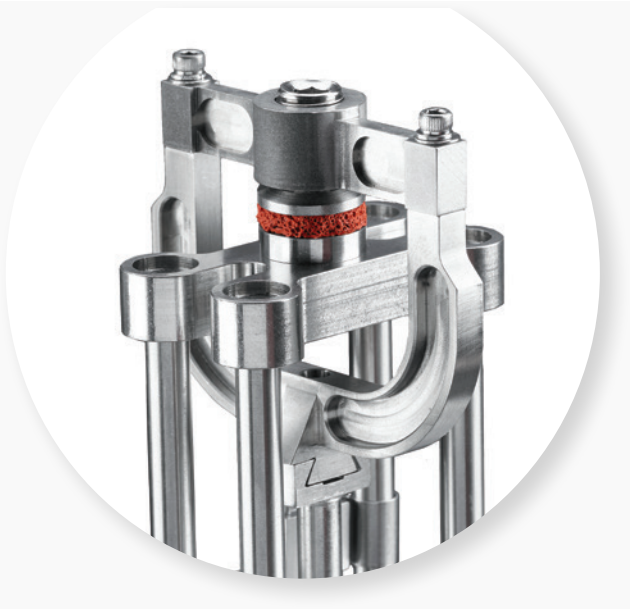


三点弯曲

三点弯曲或自由弯曲通常被认为是一种“纯”的变形模式，因为夹持效应被消除了。可提供5mm、10mm、15mm、20mm和50mm的跨距，适合各种刚度和尺寸的样品。20mm和50mm跨距还可选择独特的低摩擦夹具，采用滚珠轴承支架设计，通过调节和考虑试样的扭曲或弯曲，提高模量准确度和可重复性。

剪切三明治

两块材质相同、大小一致的样品在固定板和移动板之间剪切以测量剪切模量G。此模式适用于软质材料，如凝胶、压敏胶和高粘度树脂。



压缩

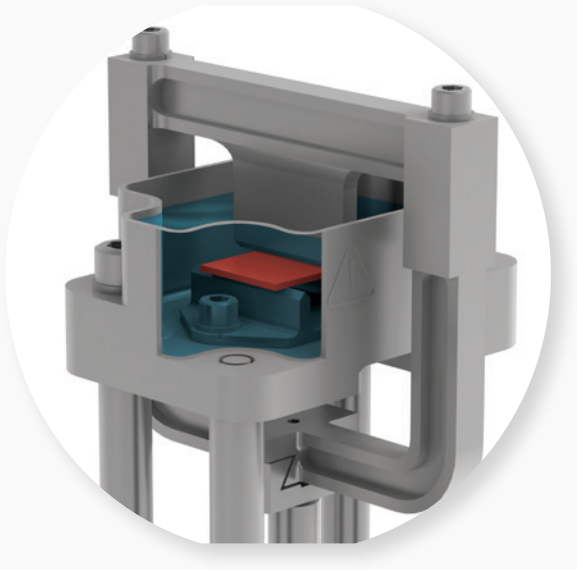
平行板压缩夹具最适合于低到中等模量的材料，如泡沫和弹性体。也可将其用于膨胀或收缩测试、粘合剂的黏性测试、O形橡胶圈的压缩变形等等。全新的自动对准结构既保证了上下板的平行性，又提高了应变和力的均匀性，同时简化了用户交互，提高了模量的准确性和精确度。

标准压缩夹具包括直径为15mm和40mm的平行板，专为低到中等刚度的块状样品的测试而设计。穿透夹具专门为更高刚度的材料而设计，通过使用较小的探头进行局部测量：半球形，1mm穿透探针，和6mm平板。

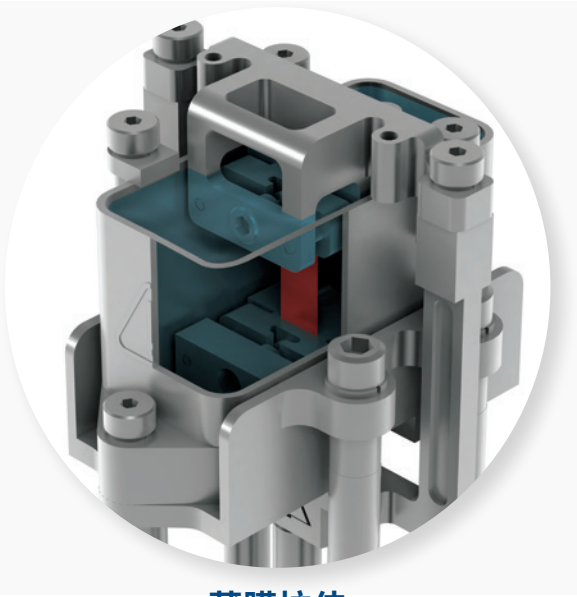
粉末夹具

松散粉末的转变温度很难通过力学性能技术进行测量。DMA 850的粉末附件与双悬臂夹具配合使用，并将动态力学分析的高灵敏度与简单的粉末样品制备相结合，进而测试松散粉末材料的转变温度。

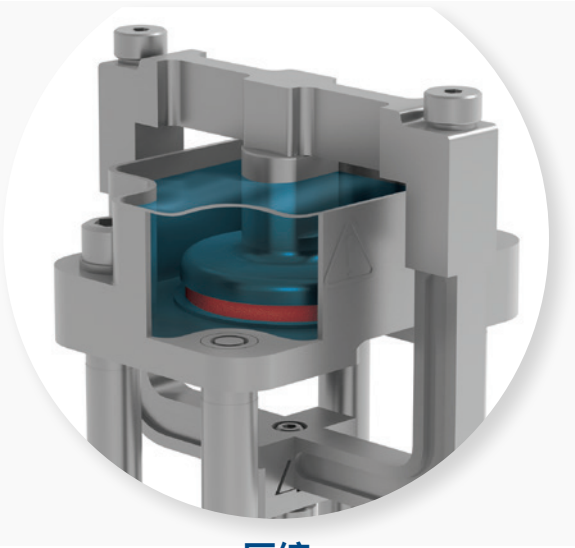
附件 | 浸泡式夹具



三点弯曲



薄膜拉伸



压缩

浸泡式夹具

DMA 850的浸泡式夹具旨在为流体环境中的机械性能测试提供理想的测试条件，最高温度可达150°C。

- 通过放置在浸泡槽内且靠近样品的热电偶获取准确的样品温度
- 惰性不锈钢结构和密封设计可确保与各种流体的兼容性
- 由标准加热炉提供温度控制，无需额外的循环器或环境系统

变形模式和样品尺寸

双/单悬臂	8/4*mm（L），最大15mm（W）和5mm（T） 20/10*mm（L），最大15mm（W）和5mm（T） 35/17.5*mm（L），最大15mm（W）和5mm（T）
三点弯曲	5、10或15mm（L），最大15mm（W）和7mm（T） 20mm（L），最大15mm（W）和7mm（T） 50mm（L），最大15mm（W）和7mm（T）
拉伸 薄膜/纤维 纤维	5至30mm（L），最大8mm（W）和2mm（T） 5至30mm（L），5 denier（0.57 tex）至0.8mm（直径）
剪切	10mm²（面积），最大4mm（T）
压缩	15和40mm（直径），最大10mm（T）
浸泡 拉伸 压缩 三点弯曲	固定值为15mm（L），最大8mm（W）和2mm（T） 25mm（直径），最大10mm（T） 5、10或15mm（L），最大15mm（W）和7mm（T）

*双、单悬臂的测量长度

技术 | “APP”式触摸屏

DMA850
Status: Running
35.0°C
TA-0265-2016
35.00 °C
Measure
Temperature
0.00 mm
Position
Motor Mode
Lock
Unlocked
Float
Preload
Frequency
Tempo
Modulus
DMA850
Status: Idle
50.0°C
Serial Number: DMA-0261
Machine ID: QC Unit 2
Location: Building C
IP Address: 192.168.000.005 (DHCP)
TRIOS User: JSMITH
TRIOS Host: ComputerName
TRIOS IP Addr: 192.168.000.001
Touch Calibration
Network Settings
System Messages
Service Information

革新性DMA性能触手可及

DMA 850采用全新的One-Touch-Away™ APP式触摸屏，重要功能触手可及，显著提高了易用性。

- 人体工学设计，便于查看和操作
- 功能丰富，可简化操作并提升用户体验

APP式触摸屏包含:

- 开始/停止实验
- 设定温度
- 设定夹具位置
- 切换马达模式
- 测量样品
- 实时信号
- 一目了然的测试和仪器状态

APP式触摸屏、功能强大的全新TRIOS软件以及快速简单的校准程序无缝协作，可显著改善实验室工作流程并提高实验效率。

技术 | TRIOS软件

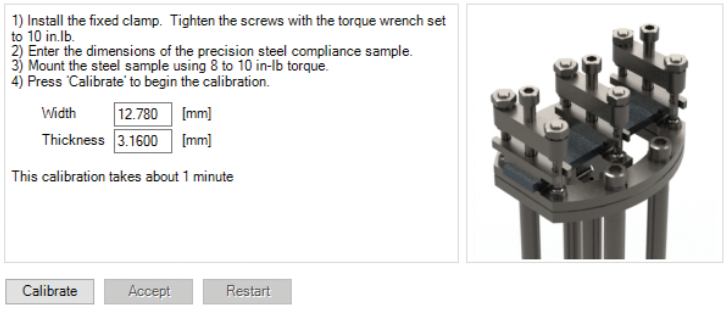
TA仪器的软件包使用前沿的技术对热分析仪器和流变仪器进行仪器控制、数据采集以及数据分析。直观的用户界面可简单高效地编写实验程序，并在运行实验与查看分析数据之间轻松切换。

TRIOS功能:

- 一台计算机和软件包可控制多台仪器
- 叠加显示并比较各种技术（包括DSC、TGA、DMA、SDT、TMA和流变仪）的测试结果
- 无需序列号，终身免费升级
- 一键重复分析操作，可提高工作效率
- 自动生成自定义报告，包括：实验详细数据、数据图表和分析结果
- 可轻松将数据导成纯文本、CSV、XML、Excel®、Word®、PowerPoint®和图片格式
- 选配的TRIOS Guardian具有电子签名功能，用于审计跟踪和确保数据完整性

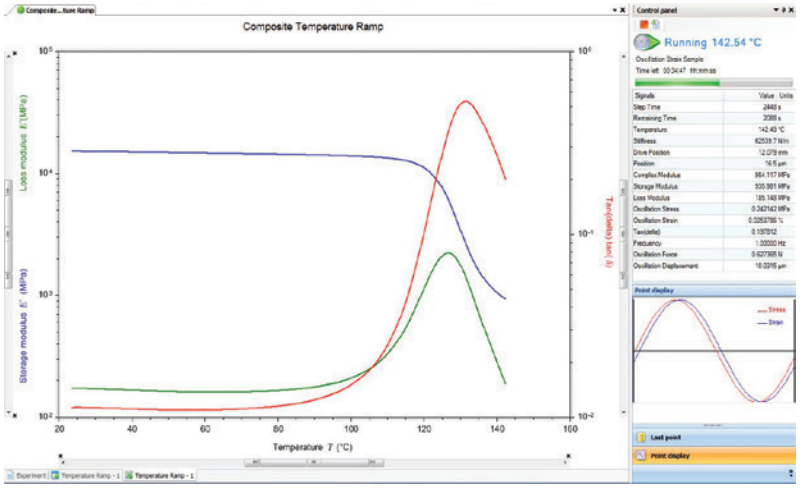
快速简单校准

即使用户之前没有DMA使用经验，也可通过TRIOS软件轻松校准夹具和DMA 850！逼真的图像和清晰的说明可指导操作人员完成简单的步骤，从而减少培训时间。校准报告可提供一目了然的校准状态，并确保数据完整性。



完整的数据记录

先进的数据采集系统自动保存所有相关信号、当前有效校准和系统设置。每个数据点的波形均可显示为Lissajous图，并直观地展示应力和应变之间的关系。这些全面的信息对方法开发、程序编辑和数据验证非常重要。



功能全面的控制和分析软件!

完整的数据分析功能

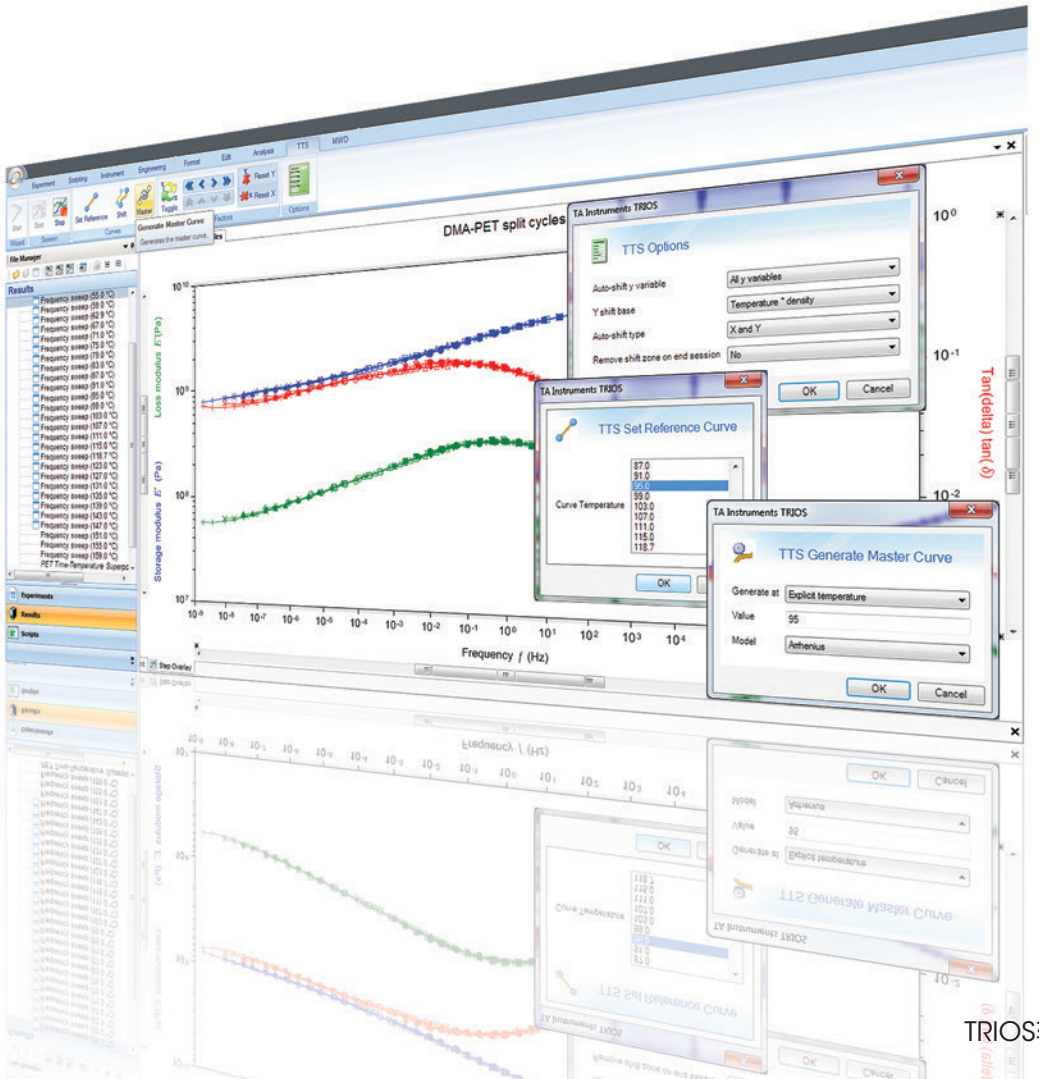
即使在实验过程中，也可以使用全套相关分析功能进行实时数据分析。无缝集成了强大且全面功能的TRIOS软件，可针对材料特性得出有价值的结论。

标准DMA分析功能:

- 起始点和终止点分析
- 信号最大值和最小值
- 信号变化
- 模量交叉点
- 特定X或Y点的曲线值
- 一阶导数和二阶导数
- 曲线下方区域的面积
- 峰高
- 峰积分和累积积分
- 数学拟合：直线、多项式或指数

高级分析功能:

- 时间-温度叠加分析（TTS），具有自动曲线平移和生成主曲线功能
- 活化能计算
- WLF系数计算
- Cole-Cole和Van Gurp-Palmen图
- 内置模型用于：松弛谱、模量相互转换以及蠕变振荡分析
- 使用用户定义的变量和模型进行高级自定义分析



技术 | TRIOS软件

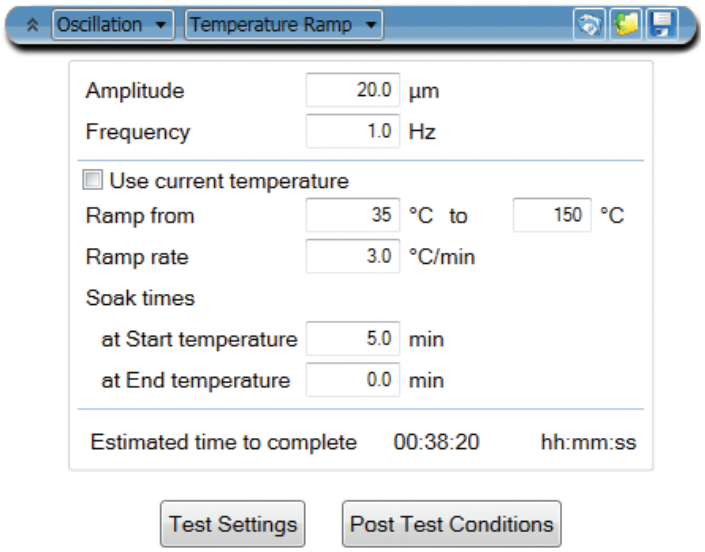
实验设计

DMA 850由功能强大的TRIOS软件进行仪器控制和数据分析，该软件具有革命性多级测试程序界面。DMA *Express*界面简化了DMA编程方式，便于新用户使用。而DMA *Unlimited*界面取消了测试限制，为高级用户提供了前所未有的实验设计灵活性。TRIOS软件使得 DMA实验从未如此简单和强大。

DMA*Express*

全新**DMA *Express***界面专为新用户以及具有简单明确的实验需求的用户而设计。实验设置细节以易于选择的独立窗口呈现，并预先填有合理的默认参数。对于常规使用和常见测试类型，**DMA *Express***能够缩短培训时间，降低实验设计中出现错误的可能性，同时确保可靠性。

测试模式	可选测试模板
振荡	频率扫描、应变扫描、应力扫描、温度扫描、温度斜坡、时间扫描、温度扫描(多频)/TTS、温度斜坡(多频)、疲劳测试
应力控制	蠕变、蠕变回复、蠕变TTS、恒应力
应变控制	应力松弛、应力松弛TTS、恒应变
速率控制	应变斜坡、应力斜坡



DMA *Unlimited*∞

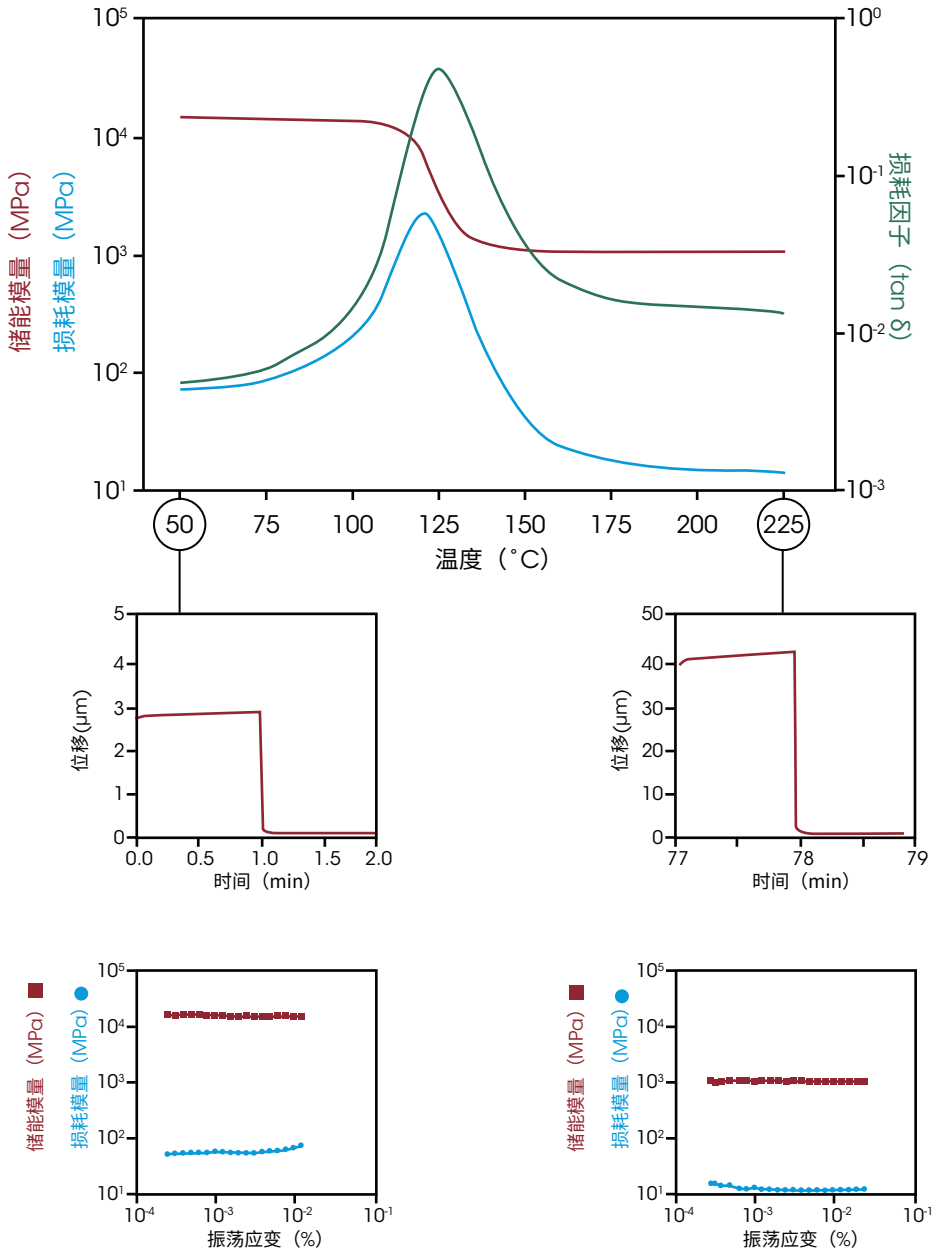
DMA *Unlimited*界面有助于实现DMA 850强大的新功能，单次实验可以进行任意测试模式和热处理的排序组合。DMA 850通过23种测试步骤的无限制组合，可实现对任意复杂真实工艺过程的完美模拟，这方面完全超越了传统的DMA。可选步骤包含核心的**DMA *Express***里面的测试模式、样品热处理、变形、步骤终止（达到阈值时）、重复步骤等功能。，没有做不到，只有想不到!

其他实验控制:

- 平衡或跳转至设定温度，设置目标温度下的保留时间
- 设定或增加相对湿度，设置目标RH下的保留时间
- 设定或增加力/应力
- 设定或增加位移/应变
- 循环并重复之前的步骤
- 打开、关闭数据存储，设置数据采点间隔
- 控制马达状态，设置外接设备的开关，液氮罐自动续填

无限测试排序

DMA 850采用先进的系统架构，开创了前所未有的机械性能测试可能性，不受传统DMA仪器固有限制的束缚。测试程序首次可设计为包含可用测试类型的任意组合，包括振荡、瞬态、应变和应力控制、机械和热处理等等。借助这项全新的功能，DMA 850可在单一实验中的各种测试条件下执行完整的材料表征，或者在应用机械处理后立即进行表征。这种新功能几乎可以在任意测试条件下实现完整的材料表征。

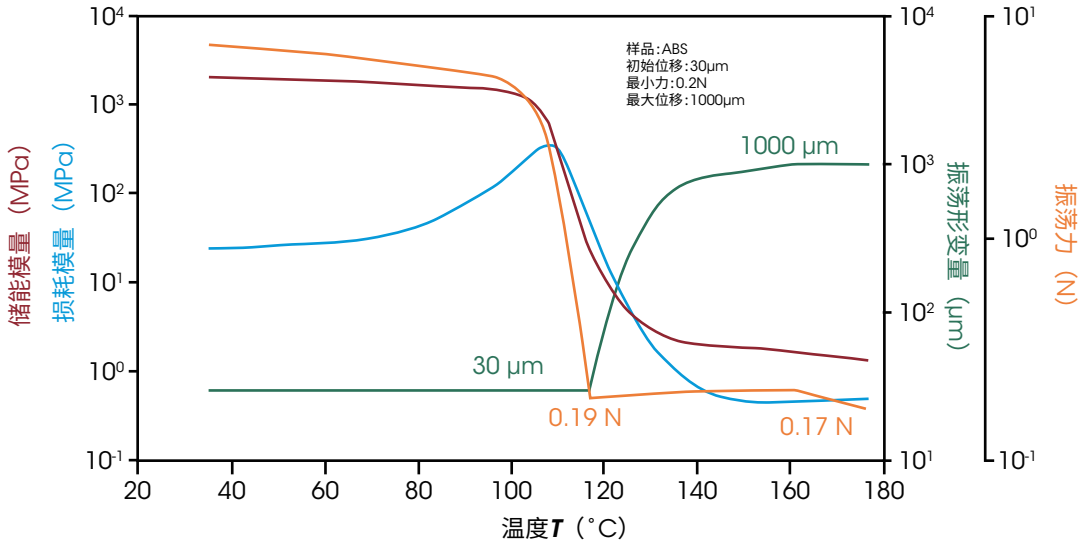


在动态振荡升温实验前后均进行了蠕变回复和应变扫描。
所有数据均从单个实验中采集。

高级控制为您带来...

全新的智能Auto-Ranging

材料的模量可能在很短的时间或温度范围内发生几个数量级的变化，因而实验参数的选择可以决定实验的成败。如果选择的形变太大，则可能导致样品蠕变过度，反之，则会影响力的灵敏度。全新的智能Auto-Ranging功能使得在设置初始实验条件时避免臆测，并可确保力和形变量自动保持在用户自定义的合理范围内。程序设置完成后即可放心离开，**此后的每一次测试您均可获得优质数据**。

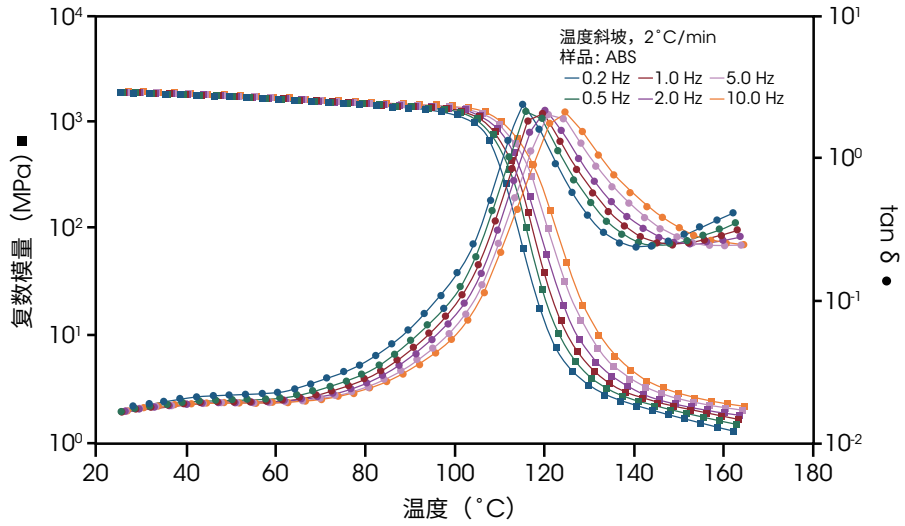


进一步的材料表征

全新DirectStrain

增强型驱动系统、更快速的电子元件和全新的数字信号处理器（DSP）控件，支持在DMA 850上实现全新的应变控制。DirectStrain是一种实时应变控制，可在样品和测试条件比较棘手的情况（例如剧烈变化的材料或软质材料的高频测试）下提供更快速准确的测量。即使在快速变化的转变过程中，DirectStrain也能保证数据采集的一致性，相比于传统DMA技术，**应变准确度提高了50倍**。

本例中，DirectStrain技术使得单个温度斜坡实验（典型升温速率为2°C/min）即可获得**六个频率**下的模量和tan δ曲线，无需逐一测试。

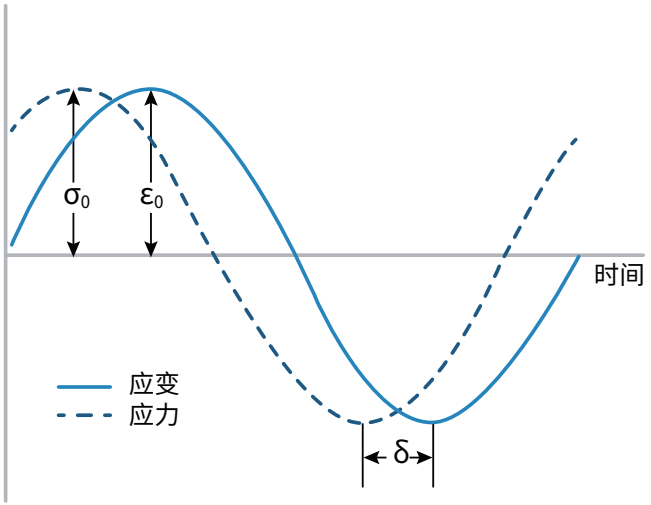


DirectStrain具备以下优点:

- 实时应变控制，实现快速准确的测量
- 应变准确度提高50倍
- 测量速度提高35%
- 避免迭代控制方法中常见的过冲或下冲现象
- 提高软质材料在高频下的准确度
- 即使在快速升温速率下也能保持一致的数据采集

动态热机械分析

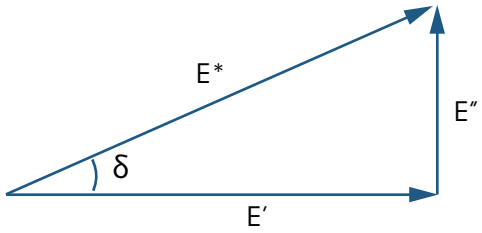
动态热机械分析（DMA）是用于评估材料在各种环境因素（如温度、时间或湿度）中的力学性质。对于简单的弹性材料，最常测量的机械特性是刚度或杨氏模量（***E***）。然而，对于聚合物和复合材料等更复杂的材料，仅凭该值无法准确描述其力学性能变化。这些材料表现出既具有弹性特征，又具有黏性（阻尼）特征，因此被描述为黏弹性。



小幅振荡是测量黏弹特性最常用的测试程序。在这种测试模式下，样品在给定频率和振幅下按正弦形式变形（应变），同时测量样品抵抗变形的力（应力）*。控制软件使用本实验中采集的信息来生成大量重要的材料特性，这些特性描述了整体形变阻力（复数模量），以及该阻力的弹性分量（储能模量）和黏性分量（损耗模量)。振荡实验常与温度曲线结合来表征热转变，如玻璃化转变、熔融、结晶、固化和老化等。

材料的黏弹性通常与观察时间或测试频率*f*相关，许多材料在足够长的时间的情况下趋向于松弛。因此，必须在一系列测试频率下采集准确数据才能充分描述材料性能。

在较小的测试振幅下，材料的黏弹性能与应变无关。这个形变区域被称为线性黏弹区，它最直接反映了分子结构，并且可以预测产品整体性能。对于某些材料，这种线性黏弹性区可能非常小，尤其是在填充体系或交联网络中。因此，极小形变的控制对获取有意义、可重复且可操作的结果而言至关重要。

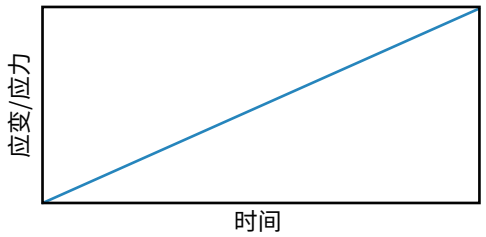


ε_0	应变振幅
σ_0	应力振幅
δ	相位角
$E^* = \sigma_0 / \varepsilon_0$	复数模量 *总形变阻力*
$E' = E^* \cos \delta$	储能模量 *弹性、类固阻力*
$E'' = E^* \sin \delta$	损耗模量 *黏性阻力、阻尼*
$\tan \delta = E'' / E'$	损耗因子 *黏性阻尼与弹性阻力之比*

*Discovery DMA 850也可很好地实现应变或应力控制，并且测得的材料性能相同。

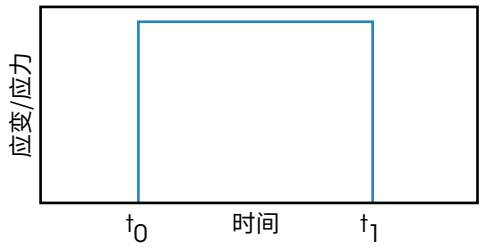
其他测试模式

除振荡实验外，DMA 850还可用于其他的一系列变形模式，从而补充材料表征信息或允许对材料进行机械处理。DMA 850的新功能可在单次实验中通过测试模式或控制类型的任意组合实现这些形变形式以及振荡测试。



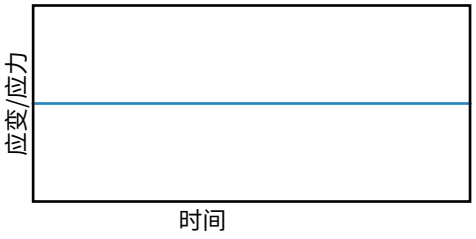
应力-应变曲线

采用应力控制或应变控制模式，获得瞬时应力和应变曲线。该曲线通常用于测量模量和机械失效。也可用于在动态测试前提供已知应变或应力处理的历史。



蠕变和应力松弛

瞬态实验即瞬时施加恒定的应力（蠕变）或应变（应力松弛），并监测样品形变或应力随时间的变化。瞬态实验可作为振荡测试的补充方法，用于测量材料黏弹性能，特别适用于长时松弛。这些程序通常模拟相关应用条件，且在模拟可能超出线性黏弹区范围的形变时尤其有用。这些瞬态步骤后通常跟随一个松弛步骤，可表征观察到形变的可逆或不可违程度。



恒应力和恒应变

当样品加热或冷却时，恒应力和恒应变实验会保持样品的恒定变形。这些实验用于测量在热引发转变时发生的收缩或松弛过程。

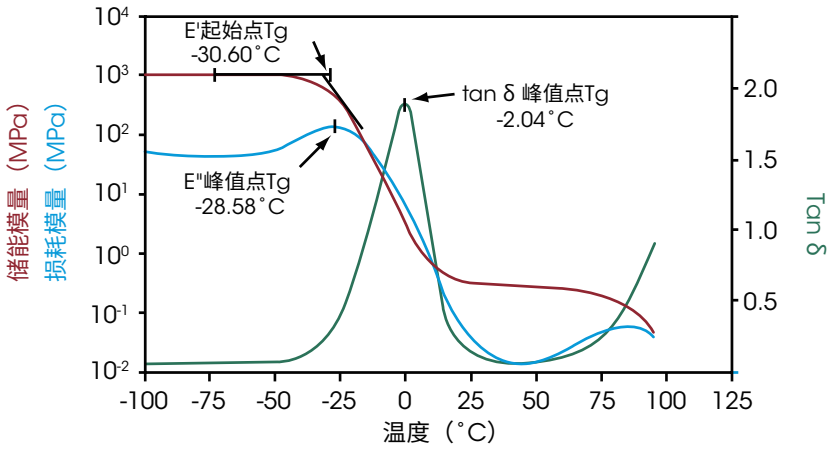
DMA 850可测量的典型特征和行为包括:

- 弹性模量（E）
- 剪切模量（G）
- 复数模量（E*、G*）
- 储能和损耗模量（E'、E"、G'、G"）
- 损耗因子（tan δ）
- 玻璃化转变
- 次级转变
- 熔融和结晶
- 软化
- 松弛特性
- 频率影响
- 蠕变和回复
- 应力松弛
- 时温叠加（TTS）
- 黏性流动
- 动态疲劳
- 冲击强度
- 韧性
- 弹性
- 应力-应变曲线
- 收缩力
- 复合材料
- 共混物成分
- 相分离（聚合物共混物、共聚物…）
- 材料缺陷
- 填料效应
- 取向效应
- 添加剂效应
- 老化（物理或化学）
- 凝胶化
- 交联反应
- 交联密度
- Mullins效应

技术 | 应用

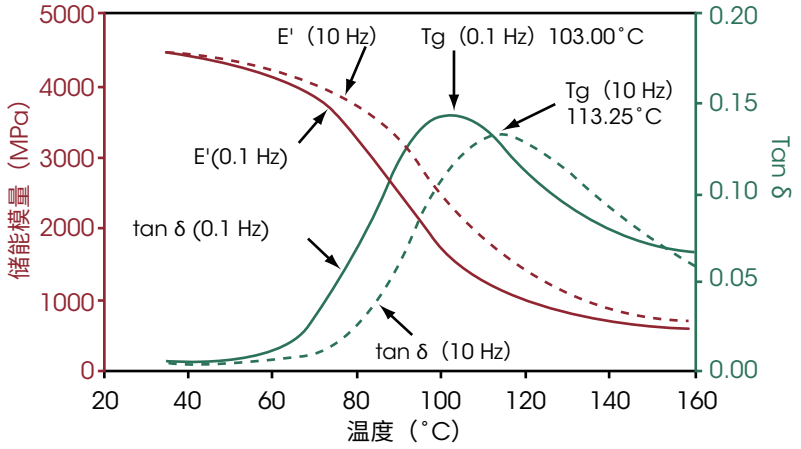
聚合物材料的Tg测定

玻璃化转变温度Tg是聚合物材料最常用的技术参数。测量Tg的方法多种多样，但DMA测量Tg的灵敏度远高于其他方法。右图给出了某压敏胶采用拉伸夹具、1Hz频率的DMA扫描曲线。Tg可用储能模量E'的起始温度点、损耗模量E"的峰温或tan δ的峰温来表征。此外不仅仅是Tg温度，各种黏弹参数的绝对值也十分重要。



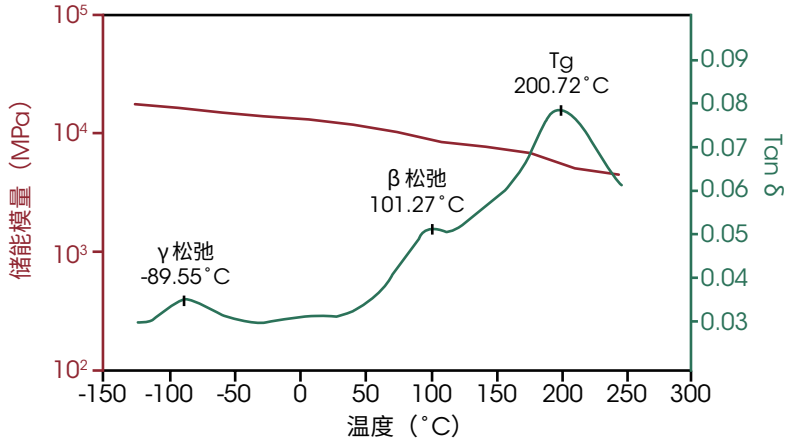
频率对PET模量和玻璃化转变的影响

由于Tg具有动力学成分，它受形变频率（速率）的影响较大。随着测试频率的提高，分子链段的松弛将发生在更高的温度，因而Tg随频率的增加向高温方向移动，如右图所示。此外，在玻璃化转变区域中，tan δ峰的形状、强度和储能模量在转变区的斜率均受到频率的影响。对于材料的最终使用，了解温度和频率对材料的影响是十分重要的。



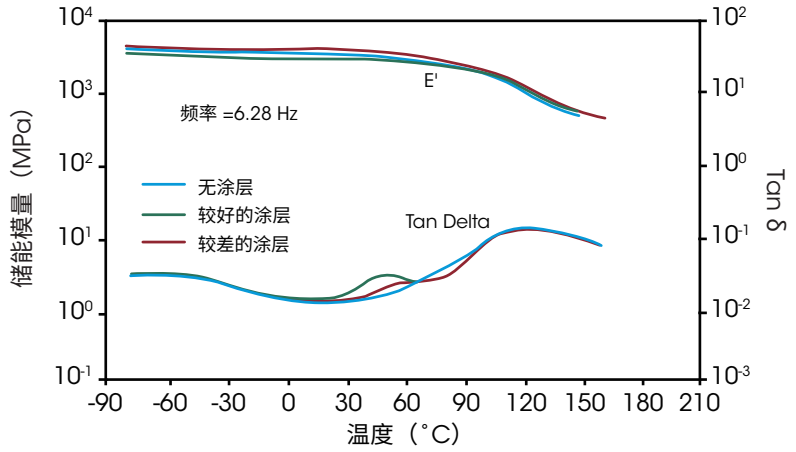
乙烯基酯的次级转变测量

DMA是少有的对材料的β和γ转变非常灵敏的技术之一。次级转变反映的是伴随分子主链振动的侧链、基团的运动或侧链基团的内旋转。这些转变发生在Tg以下，通常低于室温。材料的次级转变常常影响其抗冲击性能和其他最终使用性能，因而次级转变温度和范围的测量显得尤为重要。右图中的数据是采用三点弯曲模式得到的，同时证明了三点弯曲夹具可测量刚度较大的复合材料。



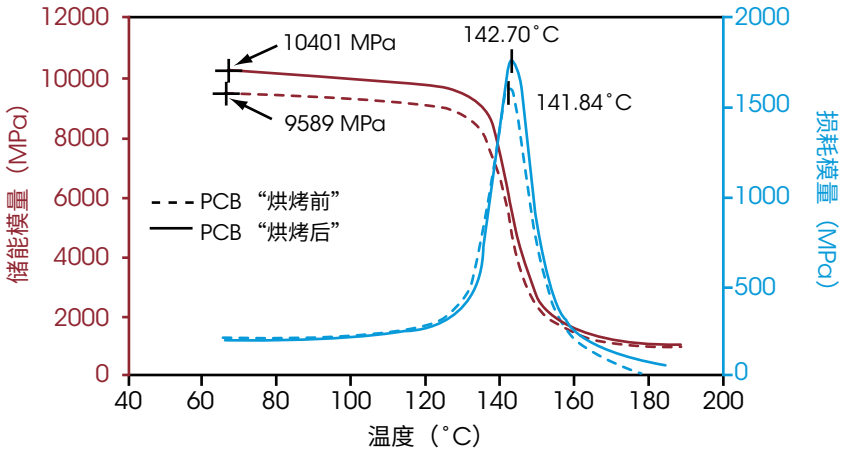
薄膜粘接涂层的作用效果

右图显示的是三种PET样品在拉伸夹具中的DMA曲线：均匀的粘接层样品性能良好；非均匀的粘接层样品的性能较差；另一个是无粘接涂层样品。性能好的样品由于粘接剂引起的tan δ转变峰的温度约为40°C；而性能较差的样品在此区间只显示一很小的峰。据此区别，可进行涂层工艺和产品的质量控制。



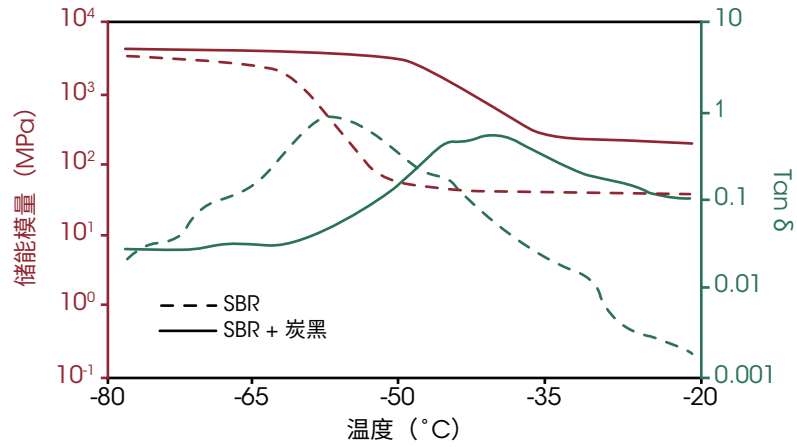
印刷线路板的表征

印刷线路板（PCB）一般是由玻璃纤维与热固性树脂固化层压而成。由于PCB中使用的树脂量很少，因此表征PCB的Tg常常很困难。右图是一典型的PCB在单悬臂夹具中的温度扫描。可以非常清晰地鉴别Tg，样品在烘烤前后的差异表明了进一步交联对Tg和绝对模量都有明显的影响。



炭黑在弹性体中的作用

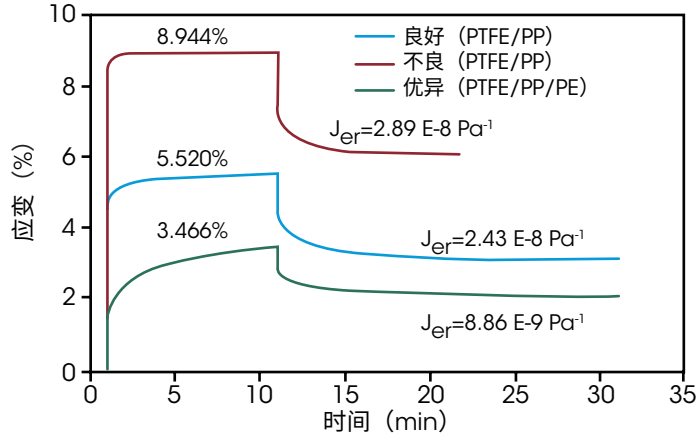
另一个十分普遍的应用就是考察填料和添加剂对材料黏弹性的影响。右图显示的是炭黑对SBR橡胶储能模量E′和tan δ的影响。该实验采用双悬臂夹具进行测试。由图可知，添加炭黑提高了储能模量的绝对值，并极大程度提高了Tg温度。实际工业生产中，了解填料和添加剂对材料的影响是十分关键的。



技术 | 应用

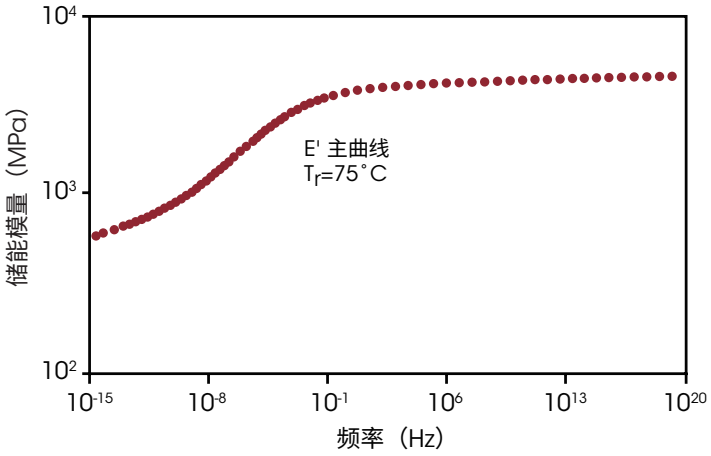
用蠕变表征包装薄膜

在热成型工艺中，将薄膜下拉到加热的模具中以形成所需形状。采用蠕变-回复模式，可预估产品制造的稳定性。右图是包装薄膜在拉伸夹具中的测试数据，在回复阶段，可计算得到平衡回复柔量（J_{er}）如果样品的柔量太高，即J_{er}值过高，那么在成型温度下材料的弹性可能太低以至于无法保持所需的形状。



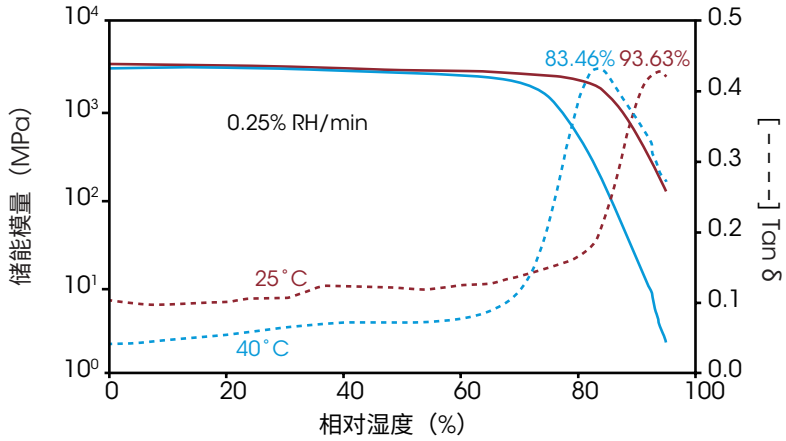
用时间/温度叠加（TTS）预测材料性能

充分的理论证明，TTS技术可用于预测超出仪器的频率范围或时间尺度下的性能。采用的数据通常是在一个温度范围内一系列步阶恒温的多频扫描。选择参考温度平移曲线，生成符合WLF或Arrhenius方程的平移因子，最后获得特定温度下的主曲线。右图是PET薄膜样品的主曲线。使用这种方法，我们就可以预估在超高频率（短时间）或极低频率（长时间）下的性能。



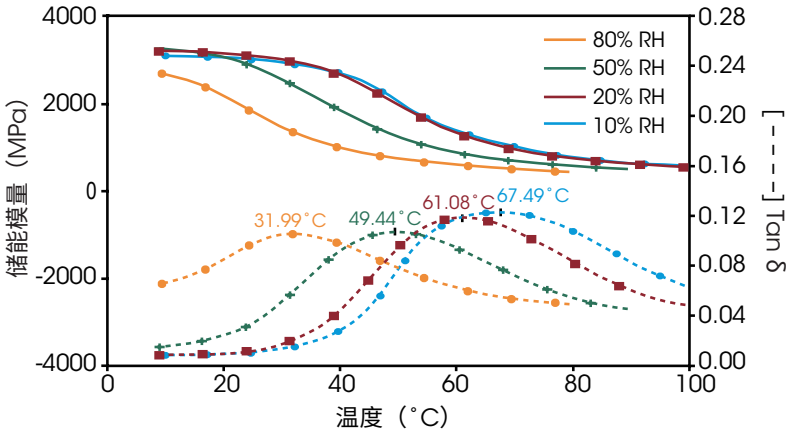
药用明胶胶囊分析

明胶胶囊广泛用于制药和膳食补充领域。明胶储存在低湿度环境中时非常稳定。然而，与水结合时会形成半固态凝胶，显著影响其力学性能。本示例中的数据表明了分别在25°C和40°C下增加相对湿度对从胶囊侧壁切取的明胶样品的影响。随着相对湿度的增加，材料会发生多步转变，导致在约80% RH时模量显著降低。该转变可在储能模量和tan δ信号中观察到。



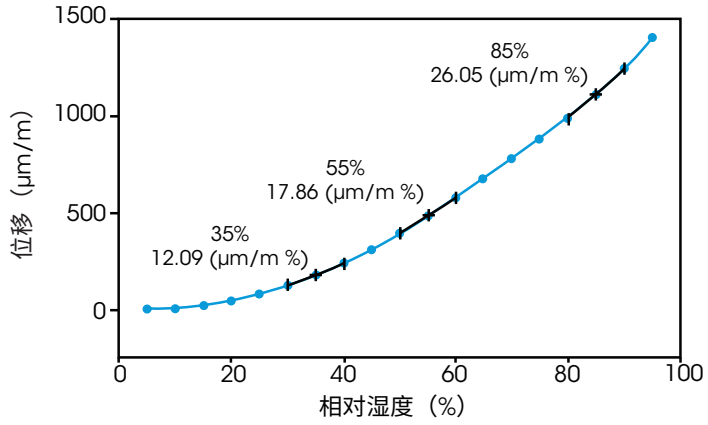
相对湿度对尼龙6玻璃化转变的影响

水对尼龙6（PA6）的增塑作用非常明显，因此其机械性能强烈依赖于周围环境的RH。右图是安装有湿度附件的DMA测试相对湿度对PA6玻璃化转变的影响。样品采用单悬臂夹具、1Hz频率并在不同的恒定RH条件下进行分析。显然，施加的相对湿度显著地影响了材料的机械性能和玻璃化转变。



吸湿膨胀系数的测量（CHE）

吸湿性定义为物质通过吸收或吸附，从周围环境中吸引水分子的能力。湿气吸附对材料机械性能的影响可通过吸湿膨胀系数（CHE）来定量描述，该系数表征了材料尺寸变化与周围环境相对湿度变化的关系。右图数据为PA6在DMA-RH上的测试结果。随着相对湿度的增加，样品发生膨胀。计算曲线的斜率即可得到材料的CHE值。



技术 | 特点和技术规范

技术规范	
最大力	18N
最小力	0.0001N
力分辨率	0.00001N
频率范围	0.001至200Hz
动态形变范围	±0.005至10,000μm
应变分辨率	0.1nm
模量范围	10^3至3x10^{12}Pa
模量精确度	±1%
tan δ灵敏度	0.0001
tan δ分辨率	0.00001
温度范围	标准加热炉: -160至600°C RH附件: 5至120°C

环境系统	温度范围	加热/冷却速率	吹扫气体
标准加热炉	-160˚C至600˚C	20˚C/min 加热 10˚C/min 冷却	空气、氮气、氩气、氦气
DMA-RH附件	5˚C至120˚C	± 1˚C/min	可控湿度 5%至95% RH

功能

标配	选配
TRIOS软件，包括**DMA *Express***和**DMA *Unlimited***	标准加热炉
35mm单/双悬臂夹具	DMA-RH附件
应变控制包括全新DirectStrain	拉伸夹具
应力控制	三点弯曲夹具
APP式触摸屏	压缩夹具
无限测试排序	粉末夹具
TTS分析	剪切三明治夹具
振荡：应变扫描、频率扫描、温度斜坡 (单频、多频)、温度步阶(单频、多频/TTS)、时间扫描、疲劳测试	漫泡式夹具
应变控制：应力松弛、应力松弛TTS、恒应变	GCA
应力控制：蠕变、蠕变回复、蠕变TS、恒应力	NPC
速率控制：应变斜坡和应力斜坡，获得应力-应变曲线	ACS-2或ACS-3
样品调节：温度、预加力或位移	符合21 CFR11规定的TRIOS Guardian软件

美洲

美国 特拉华州 纽卡斯尔

美国 犹他州 林登

美国 明尼苏达州 伊甸草原

美国 伊利诺伊州 芝加哥

美国 加利福尼亚州 科斯塔梅萨

加拿大 蒙特利尔

加拿大 多伦多

墨西哥 墨西哥城

巴西 圣保罗

欧洲

德国 胡尔霍斯特

德国 埃施博恩

英国 埃尔斯特里

比利时 布鲁塞尔

荷兰 埃滕-卢尔

法国 巴黎

西班牙 巴塞罗那

意大利 米兰

波兰 华沙

捷克共和国 布拉格

瑞典 索尔纳

丹麦 哥本哈根

亚洲及澳大利亚

中国 上海

中国 北京

日本 东京

韩国 首尔

中国台湾 台北

中国 广州

马来西亚 八打灵再也

新加坡

印度 班加罗尔

澳大利亚 悉尼

Waters™ | TA Instruments

扫描二维码关注
TA仪器微信公众号

© 2025 TA Instruments. 版本号：202505
TA仪器保留所有版权和解释权。若有修改，恕不另行通知。

沃特世-TA仪器

上海市浦东新区东育路255弄5号前滩世贸中心一期B座23楼01单元
咨询热线：800 (400) 820 2676转6号线
联络邮箱：TA_China@waters.com (主机附件询价及市场活动)
TAChina_Application@waters.com (应用技术支持)
TAChina_Service@waters.com (售后服务及配件询价)
TAChina_CG@waters.com (耗材询价)
TAChinaOrder_Logistics@waters.com (订单查询)
官方网址：www.tainstruments.com.cn