

**NETZSCH**



# 动态热机械分析仪 DMA 242 E Artemis

方法，技术，应用

Leading Thermal Analysis ■

# 动态热机械分析仪

## DMA 242 E Artemis

动态热机械分析仪（DMA）是一种用于测定材料粘弹性性质的必不可少的工具。

DMA 242 E Artemis 动态热机械分析仪配备易于使用的 Proteus<sup>®</sup> 测量与分析软件，能够快速方便地表征材料的动态热机械性能与频率、温度、时间的关系。

DMA 242 E Artemis 为模块化设计，可以配备冷却系统，种类丰富的样品支架，还有更多的特殊配置可选，这使得它可以适应非常宽广的应用范围，成为材料研究人员的理想选择。

### 扩展配件

- 浸入式容器，用于将样品浸入到某种液体介质中进行测量。
- 与介电固化分析仪DEA 288 Epsilon 联用，可同步测量材料的粘弹性与介电性质变化。典型的应用如：对树脂的固化过程进行跟踪测试。
- 外接紫外光源，测量光固化样品的固化过程或材料的老化过程。
- 外接湿度发生器，测量湿度对材料的动态热机械性质的影响。

### 下挂式装样设计

装样操作方便，易于更换不同种类的支架。

### 测量气氛可控 (惰性/氧化性气氛)

可根据需要建立反应环境。

### 多种多样的冷却选项

两种可选的冷却方式：液氮系统可线性冷却至 -170°C；带 vortex 管的压缩空气冷却系统能够冷却到 0°C。



#### 最大力范围24N

适合于非常坚硬样品的测量。若将量程限定在 8N 范围内，则分辨率将进一步提高。

#### 20mm行程的步进电机

能够精确测量出样品在 DMA 测试过程中的长度变化。这对 DMA 242 E Artemis 支持的各类测试（如蠕变、松弛、TMA 模式等）非常重要。

#### 可选配超过30种不同的样品支架

为不同样品的测试提供最佳解决方法。

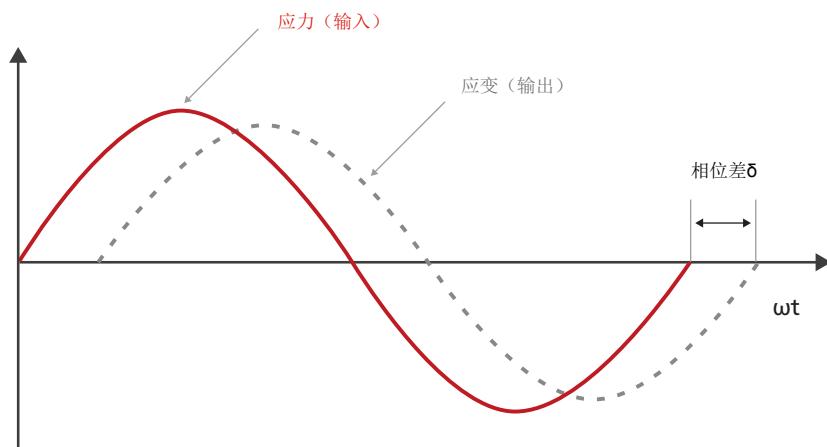
业界首屈一指的多功能DMA

动态热机械分析是在可控的温度、频率程序下，测量材料的粘弹性性质的变化。在各类材料中，以聚合物的粘弹性表现最为典型。

在测试过程中，对样品施加一个正弦波形的作用力（应力 $\sigma$ ），由此样品产生正弦波形的形变（应变 $\epsilon$ ）。包括聚合物在内的众多材料在这种作用力方式下会表现出粘弹行为，即同时表现弹性特性（例如，理想弹簧）与粘性特性（例如，理想粘壶）。这一粘弹行为将导致应力与应变曲线产生一定的位错，该位错即为相位差 $\delta$ 。

通过傅立叶变换，可将应变信号 $\epsilon$ 拆分为与应力信号同相位的实部，以及相差 $90^\circ$ 相位角的虚部。由此可计算得到储能模量 $E'$ （与应力波形同相位，代表振荡能量的可逆的储存与释放），以及损耗模量 $E''$ （与应力波形相差 $90^\circ$ 相位角，代表振荡能量的不可逆的损耗）。

## 测量原理



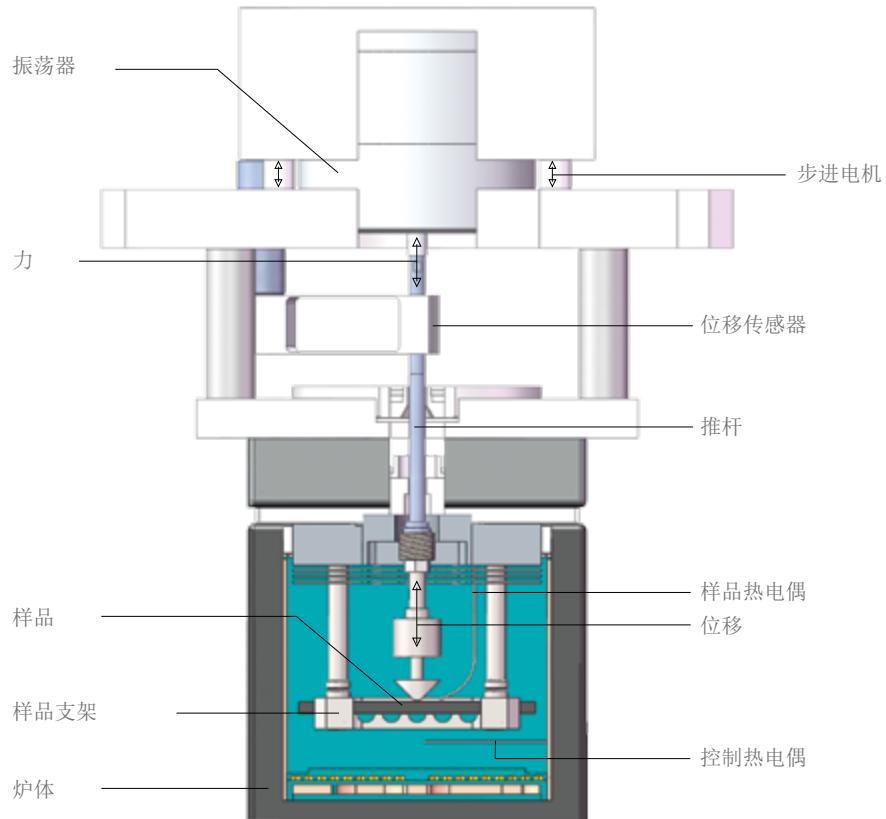
DMA – 测量原理

损耗模量与储能模量的比值，称损耗因子  $\tan\delta$  ( $\tan\delta = E''/E'$ )。

通常，储能模量  $E'$  与材料的刚性相关，而损耗模量  $E''$  与振荡能量转换为热量的部分相关。 $\tan\delta$  则为机械阻尼的表征，与粘弹性体系的内部摩擦有关。

## 数据结果

DMA复数变量	实部	虚部
复数模量 $E^*$	储能模量 $E'$	损耗模量 $E''$
剪切模量 $G^*$	储能剪切模量 $G'$	损耗剪切模量 $G''$
柔量 $D^*$	$D'$	$D''$
总振幅 $A^*$	$A'$	$A''$
样品总振幅 $As^*$	$As'$	$As''$
总的样品力 $Fs^*$	$Fs'$	$Fs''$
刚度 $c^*$	$c'$	$c''$
常规变量		
静态力变化 $dL$		
偏移量 Offset		
总的动态力 $F_{dyn}$		
静态样品力 $F_{stat}$		
损耗因子 $\tan\delta$		



# 动态热机械测试 —— 应用于聚合物的研发与质量控制

## R&D

DMA 方法是一种非常灵敏的工具，可帮助使用者获取聚合物与复合材料机械特性的重要数据，因此广泛应用于众多工业领域（例如汽车工业）的产品研发过程中。

## 质量控制

对于塑胶产品的相互比较（如与标准物，或与竞争公司的产品作比较）， $\alpha$  与  $\beta$ -相转变温度是十分重要的基础数据。我们的 DMA 专家可以帮助您，为特定的应用领域寻找合适的测量方法。

### DMA 测量信息

- 与材料的刚性与阻尼特性相关的数据（一系列条件下的模量、损耗因子等数据）
- 与高分子混合物的组分与结构有关的数据（相容性）
- 高交联度/无定形/半结晶聚合物与复合材料的玻璃化转变温度
- 固化/后固化
- 老化
- 蠕变与松弛
- 应力与应变扫描
- 多频率测试
- 使用时温叠加功能 (TTS) 预测材料行为
- 浸入式测试



## DMA 242 E Artemis

温度范围	-170°C ... 600°C (不同冷却系统)
温度精度	± 0.2°C
升温速率	0.01 ... 20 K/min
频率范围	0.01 ... 100 Hz
最大力范围	24 N (分辨率: 动态力0.001 N, 静态力0.002 N)
高分辨率力范围	8 N (分辨率: 动态力0.0003 N, 静态力0.0006 N)
应变振幅	最大± 240 µm
振幅分辨率	0.5 nm (专利技术 DE 4309530C2)
形变范围	最大 20 mm
模量范围	10 <sup>3</sup> ... 10 <sup>6</sup> MPa
阻尼范围 ( $\tan\delta$ )	0.005 ... 100
$\tan\delta$ 分辨率	0.00005
可选冷却设备	<ul style="list-style-type: none"><li>液氮制冷 (最低冷却至-170°C)</li><li>机械制冷 (最低冷却至-50°C)</li><li>压缩空气制冷 (vortex管, 最低冷却至0°C)</li></ul>
形变模式	<ul style="list-style-type: none"><li>三点弯曲</li><li>单/双悬臂</li><li>剪切</li><li>拉伸</li><li>压缩/针入</li></ul>
特殊测量模式	<ul style="list-style-type: none"><li>Iso-strain</li><li>TMA模式</li><li>蠕变/松弛</li><li>应力/应变扫描模式</li></ul>
样品形状	取决于具体的形变模式 (例如三点弯曲, 最大的样品尺寸为: 长60mm, 宽12mm, 厚5mm)
可选附件	<ul style="list-style-type: none"><li>浸入式样品容器 (支持各种模式, 温度范围仅取决于溶剂)</li><li>湿度发生器</li><li>紫外光源</li><li>介电固化分析仪 (DEA)</li></ul>

## 技术参数

# 不同模式的样品支架

适合于各种应用

样品支架	样品尺寸			典型应用
单/双悬臂	自由弯曲长度*	最大宽度	最大厚度	
标准	(2x)1 mm	12 mm	5 mm	塑料, 弹性体
	(2x)5 mm	12 mm	5 mm	
	(2x)16 mm	12 mm	5 mm	
	(2x)17 mm	12 mm	5 mm	
标准 (坚固夹持)	17 mm	12 mm	5 mm	航空器材中使用的纤维增强聚合物的玻璃化转变温度
自由推杆	20 mm	12 mm	5 mm	非常坚硬样品, 如: CFRP
三点弯曲	自由弯曲长度*	最大宽度	最大厚度	
标准	10 mm	12 mm	5 mm	纤维增强或高度填充的塑料, 金属, 陶瓷
	20 mm	12 mm	5 mm	
	40 mm	12 mm	5 mm	
	50 mm	12 mm	5 mm	
尖锐支点	20 mm 40 mm	12 mm 12 mm	5 mm 5 mm	坚硬的纤维增强或高填充聚合物, 金属
拉伸	最大自由拉伸长度*	最大直径/宽度/厚度		
标准	15 mm	6.8 mm		
压缩/针入	最大直径	推杆直径 (mm)	最大厚度	
标准	15 mm	0.5, 1, 3, 5, 15	6 mm	松软样品, 如橡胶
	30 mm	0.5, 1, 3, 5, 15, 30	6 mm	
剪切	最大直径/宽度/高度	最大厚度	横截面积	
光滑表面	15 mm	6 mm	225 mm <sup>2</sup>	粘合剂, 弹性体
粗糙表面	15 mm	6 mm	225 mm <sup>2</sup>	粘合剂, 涂料

注: 样品的长度必须长于此处列出的自由弯曲与自由拉伸长度。

DMA 242 E Artemis 适合于各种样品的测试，包括液体、高填充热固性树脂、金属、陶瓷等等。为了获取准确的结果，需要针对不同的材料或应用选择最合适的测试条件。因此，耐驰公司开发了多种多样的样品支架、配件和测量模式。



三点弯曲样品支架



单/双悬臂样品支架



拉伸样品支架



压缩/针入样品支架（提供一系列不同规格的框架和推杆，适应不同的测试参数）

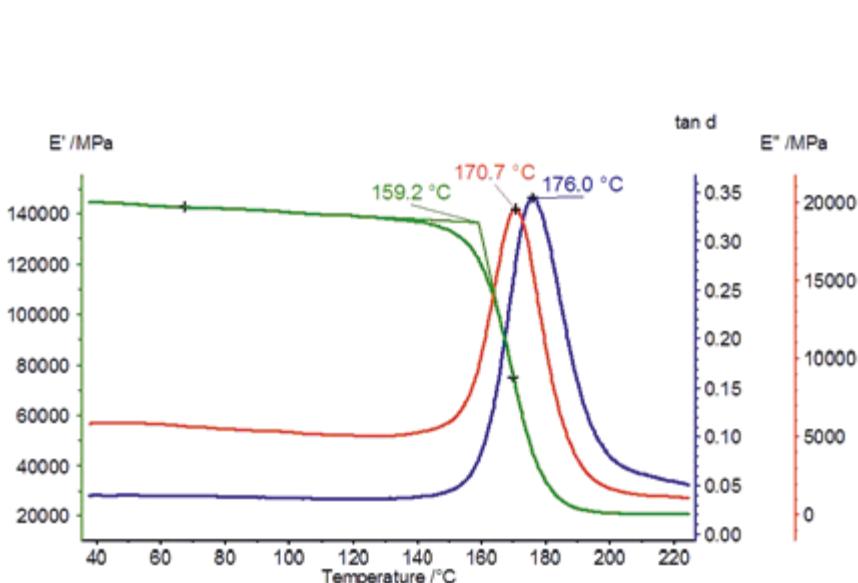
剪切样品支架

特殊样品支架	样品尺寸			典型应用
压缩/针入	最大直径	推杆直径	最大厚度	
石英推杆/自由氧化铝压片	15 mm	5 mm	6 mm	绝热泡沫材料
液体样品容器	7 mm	3 mm	2.5 mm	高粘度糊状样品的固化
球形推杆	容器直径: $\varnothing$ 19 mm, 容器高: 15 mm 球形推杆头: $\varnothing$ 8 mm			粘性样品的固化
用于UV固化的熔融石英窗片	15 mm	15 mm	6 mm	UV-敏感材料的固化
用于DMA-DEA同步测量	15 mm	15 mm	6 mm	反应性树脂的固化



用于测量高粘度液体与糊状样品的压缩模式样品支架，带样品容器

单悬臂+自由推杆样品支架，特别适用于高刚性材料测试



高刚性碳纤维增强环氧树脂的DMA测量图谱  
样品支架：单悬臂+自由推杆，20mm跨距  
测量参数：升温速率3K/min，频率10Hz，振幅±40μm

### CFRP的杨氏模量

带自由推杆的单悬臂样品支架是为精确测量非常坚硬的样品而特别设计的。样品的一端被紧紧地固定住，另一端则使用自由推杆进行振荡测试。

左图所示为某一碳纤维增强环氧树脂的DMA测试结果。图中可见样品在 50°C 的储能模量高达 145000Mpa，表明该材料的模量甚至比金属钛更高。由于环氧基材的玻璃化转变，储能模量曲线在 159°C (起始点) 之后出现下降，相应的损耗模量峰值为 171°C，损耗因子峰值为 176°C。

## 用于绝热泡沫材料的样品支架

泡沫材料与绝热材料的导热系数非常低，如果使用标准的金属推杆，可能会导致热量散失。对于这类应用，我们推荐使用熔融石英推杆，带氧化铝材质的自由压片，用于压缩模式下的测量。



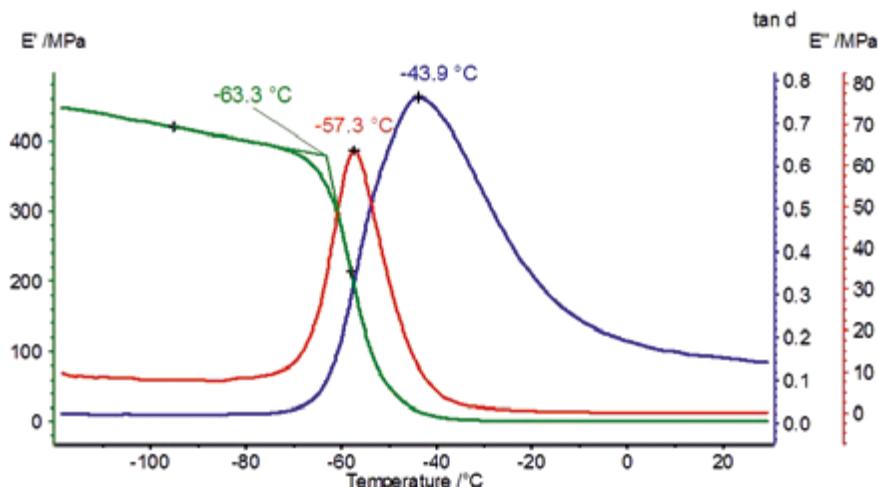
熔融石英推杆，带自由氧化铝压片

## 泡沫材料的粘弹性

在建筑行业，不管是新建筑，还是旧建筑翻修，绝热泡沫材料在其中正扮演着越来越重要的角色。在墙体材料中使用绝热泡沫，能够减少通过墙体的热损耗，有效地降低能源消耗。

左图显示了对于某一绝热泡沫样品的测试结果。温度范围 -120...30°C，频率 10Hz。

图中储能模量曲线约从 -63°C 开始下降，相应的损耗模量峰温为 -57°C， $\tan\delta$  峰温为 -44°C。这一过程由材料的玻璃化转变所致，决定了材料的使用温度下限。



对于绝热泡沫的压缩模式测量

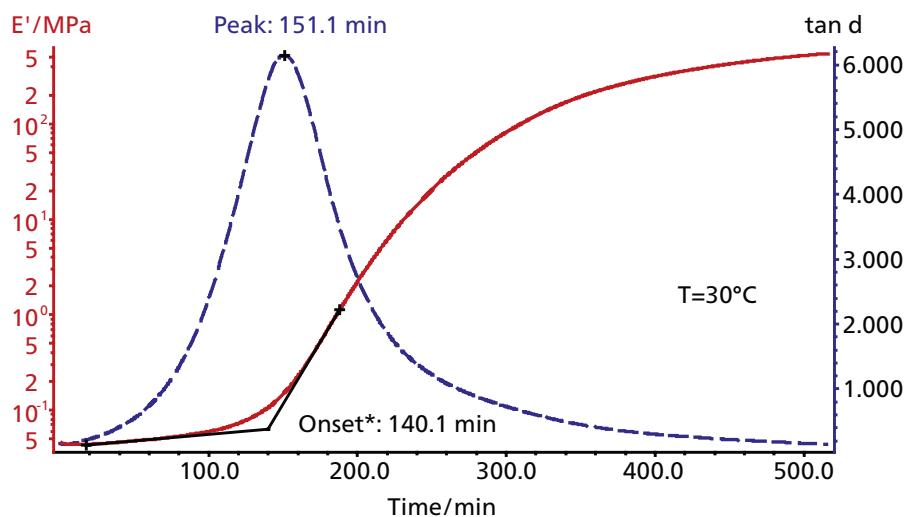
样品厚度：5mm

样品支架：压缩，带熔融石英推杆/氧化铝片

测量参数：-120...30°C, 2K/min; 频率10Hz, 振幅±30μm

## 液态环氧粘合剂的固化

下图显示了 DMA 对某一液态环氧粘合剂的测量结果。测量使用带有容器和球形推杆的特殊样品支架，该支架是为液体固化测试而特别开发的。在时间坐标下起始点 140min 之后储能模量的快速上升是由固化反应所致，与  $\tan\delta$  曲线上 151min 的峰相对应。在曲线末尾储能模量尚存在缓慢上升趋势，表明在 500min 内固化尚未完全结束。



使用球形推杆样品支架的DMA测量图谱  
样品：环氧树脂  
样品支架：压缩模式样品支架，带容器，以及球形推杆  
测量参数： $30^\circ\text{C}$ 恒温，频率1Hz，振幅±20μm



带球形推杆与容器的特殊样品支架，用于高粘度液体的固化测试

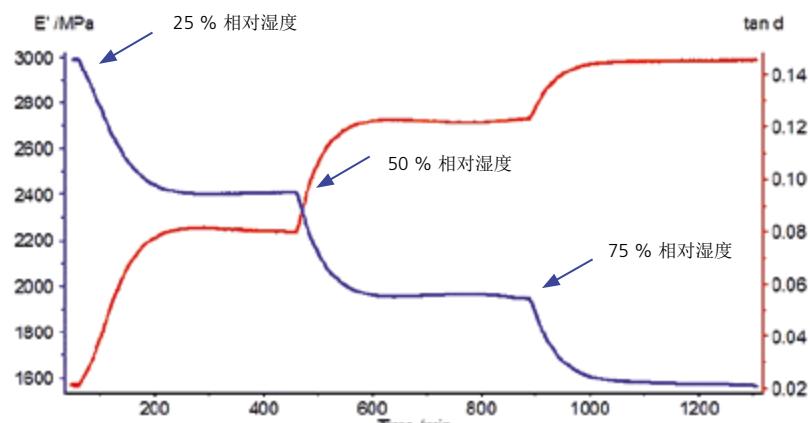
# 多种多样的可选附件

## 针对各特殊应用的特殊附件

除了种类非常丰富的样品支架之外，DMA 242 E Artemis 还提供了大量的其他可选附件，例如湿度发生器。这一附件可用于研究潮湿环境下，某些水敏感的样品，如聚酰胺或聚酯材料的动态机械性能的变化。

### 湿度对于聚酰胺薄膜的机械性能的影响

在右图例子中，对一片聚酰胺薄膜进行了干燥，并在拉伸模式下，使用湿度发生器进行了测量。在测量的开始阶段，湿度发生器处于关闭状态，储能模量稳定在约 3000Mpa。随后切换为 25% 相对湿度气氛，此时聚合物的储能模量快速下降，最终稳定在约 2400Mpa 的平台上。最后依次将相对湿度提升至 50% 与 75%（分别在 7 小时与 14 小时后），储能模量出现进一步降低。这些结果显示了湿度含量对聚酰胺的储能模量有非常大的影响，因为水在聚合物内部起到了增塑剂的作用。



DMA 使用湿度发生器的测量图谱

样品：聚酰胺薄膜（厚度：50μm）

样品支架：拉伸

测量参数：恒温30°C，频率1Hz，振幅±75μm

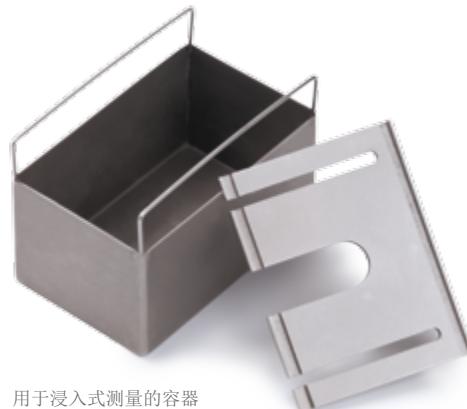
湿度发生器参数：在30°C下分别控制相对湿度25%，50%，75%；吹扫气： $N_2$ ，10ml/min

\*感谢University of Applied Sciences in Merseburg的Prof. Dr. T.Rodel与M.Wendt提供的测量数据与讨论



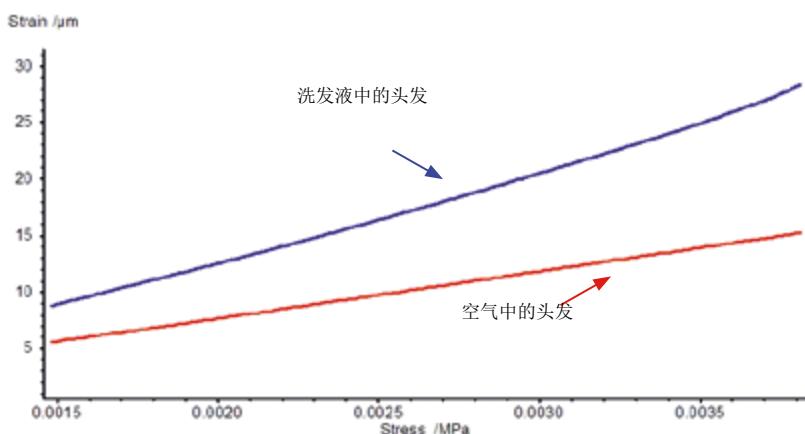
## 浸入式容器：在液体介质中进行测量

浸入式容器可与任何现有的样品支架配套使用，以研究特定的液体介质对于材料粘弹性的影响。由于测试是将浸入式容器安装在标准炉体之内，因此可任意控制液体介质的温度，其唯一的温度限制仅取决于液体的挥发 / 分解温度。



### 洗发液对于头发丝的影响

右图为头发丝的应力 - 应变扫描图谱。图中红色曲线为空气中测量结果，蓝色曲线则为将头发丝浸入到水 / 洗发液的混合液体中的测量结果。两次测试使用了相同的头发丝，控制应力从 0.1N 变化到 1N，并测量相应的应变。图中可见两条曲线的斜率有一定差别，相比之下蓝色曲线的斜率较大，表明在水 / 洗发液混合介质中头发的储能模量较低，即在洗发液中头发会变得较为柔软。



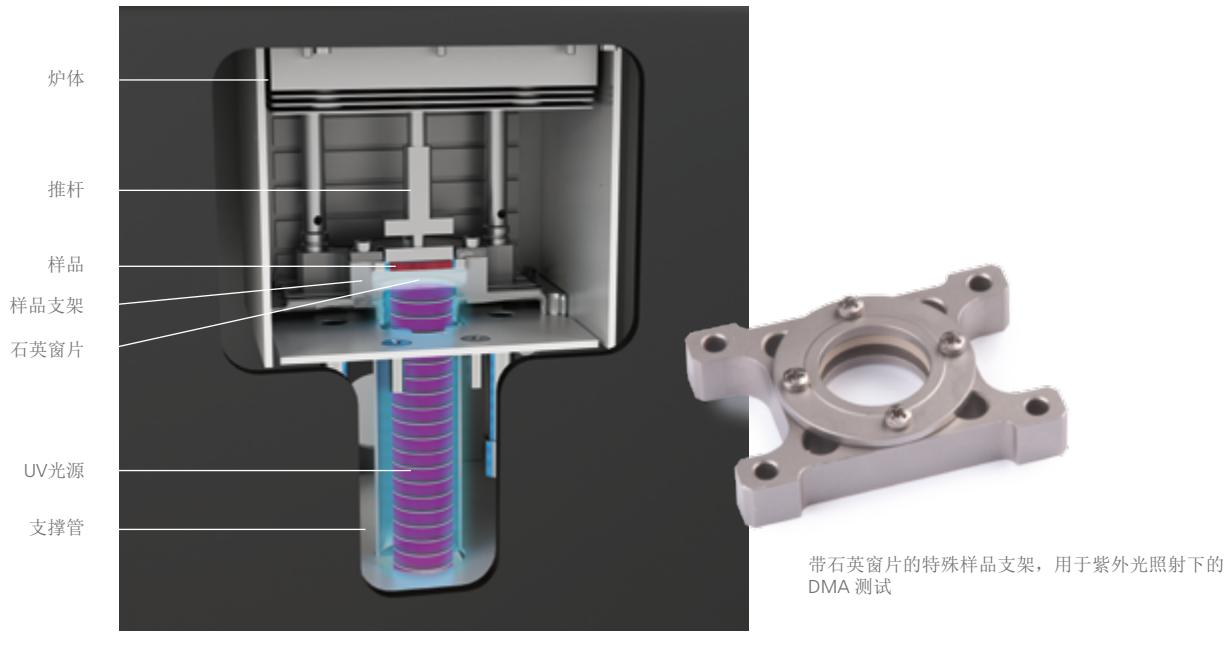
洗发液对于头发柔软度的影响

样品：人类头发（直径在70 $\mu\text{m}$ 至80 $\mu\text{m}$ 之间）

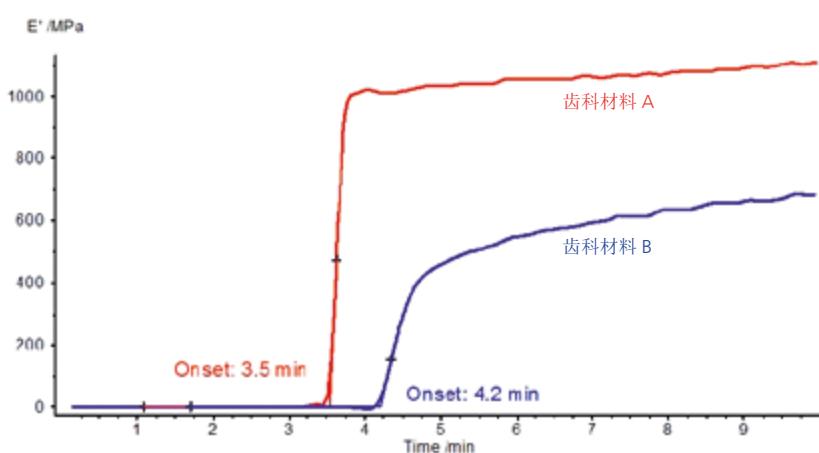
测量参数：拉伸模式，温度25°C，频率1Hz，力从0.1N扫描至1N。

## 光固化：UV附件

DMA 242 E Artemis 的炉体可以连接到 UV 光源，用于测量 UV 敏感材料的固化过程。这一测试配套使用特殊的压缩模式样品支架，允许紫外光透过熔融石英窗片照射到样品上。



DMA 242 E Artemis 连接紫外光源的结构示意图



对两种齿科材料的固化行为的比较

测量参数：压缩模式，温度30°C，频率10Hz，振幅±15μm

## 两种齿科材料的光固化比较

左图对两种齿科材料在紫外光照条件下的固化行为进行了比较。齿科材料 A 的储能模量（红色曲线）在 3.5min 后开始急速上升；齿科材料 B（蓝色曲线）的反应相比 A 则约迟了一分钟，而且通过比较两条曲线的斜率得知，B 材料反应速率明显较慢。最终两者储能模量差异明显，齿科材料 A 为 1100MPa，齿科材料 B 为 700MPa。

## DMA-DEA联用：一次进行两种测量

DEA（介电固化分析）是一种通过监控离子粘度的变化来测定树脂固化行为的测量方法。在 DMA-DEA 联用测试中，将 DEA 传感器插入到 DMA 的特殊的压缩模式样品支架上，使 DEA 与 DMA 测量在相同的温度程序下同步进行。

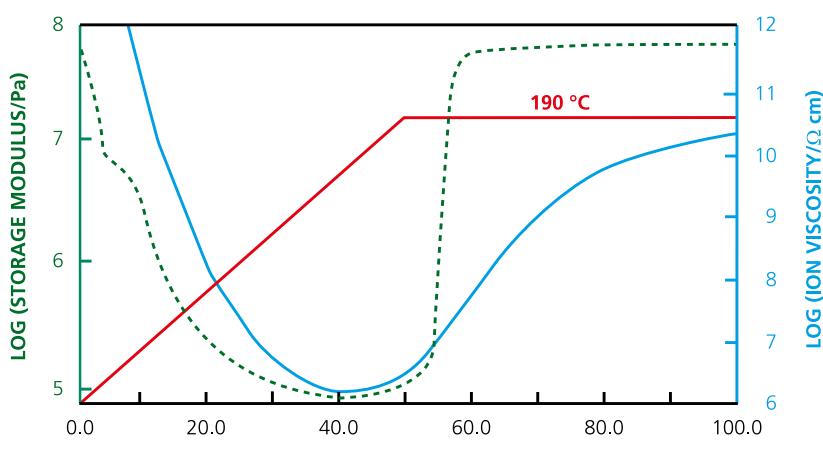


DMA-DEA联用样品支架

### 环氧树脂的DMA-DEA联用测试

右图对某一环氧树脂样品进行了同步 DMA-DEA 联用测试。温度程序为从室温加热至 190°C，随后保持恒温。在升温起始阶段，随着样品的软化，储能模量与离子粘度曲线出现连续下降。其后随着固化反应的开始发生，储能模量出现快速上升，显示了 DMA 在固化起始阶段的检测灵敏性。

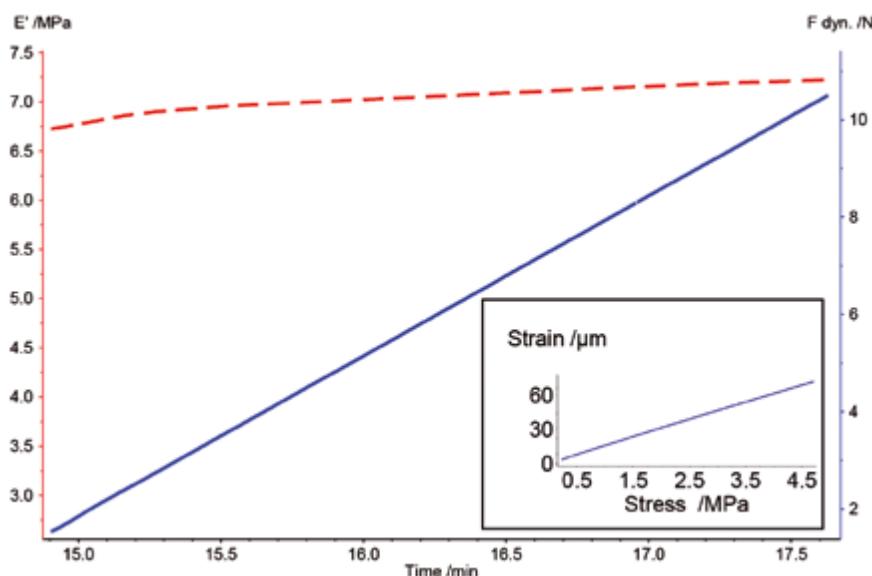
在 190°C 恒温过程中，储能模量基本趋于稳定不变。而 DEA 方法对于后期固化的检测更为灵敏，表现为恒温过程中离子粘度的持续上升。在 100min 后离子粘度曲线仍未完全走平，表明固化反应事实上在 100min 后仍未充分完成。



环氧树脂的固化  
样品支架：用于DMA-DEA联用的特殊的压缩模式支架  
测量参数：室温...3K/min...190°C...恒温；频率10Hz

# 不同的测量模式

## 更大的作用力，获取更多的信息



某一天然橡胶的应力-应变测试，样品厚度2.01mm

样品支架：直径15mm的压缩支架

测量参数：室温，频率10Hz

全新的 DMA 242 E Artemis 可在最大 24N 条件下工作。在这一宽广的力值范围内，可以研究非常厚而坚硬的样品，特别对于压缩与拉伸模式较为有利。右图在压缩模式下对某一天然橡胶样品进行了应力 - 应变扫描测试。最大静态力设置到了 12N，动态力则从 0.5N 扫描至 10.5N，并测量了相应的应变。左侧大图所示为动态力（蓝色）与储能模量（红色）曲线，小图所示则为应力 - 应变关系曲线，从曲线的线性度可知测试在胡克范围内进行。



压缩模式样品支架



## 静态模式：蠕变，松弛，TMA

除了动态测量之外，DMA 242 E Artemis 也支持三种不同的静态模式测试：蠕变，松弛，TMA。

在蠕变模式下，对样品施加恒定的静态力，随后测量相应的形变量。

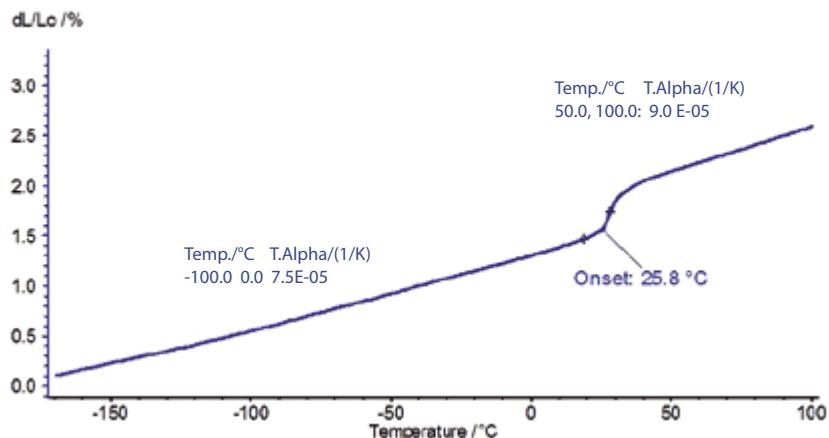
松弛模式测试的则是维持某一设定的静态形变量所需的静态力的变化。

TMA 模式测量的是材料的热膨胀，即在样品上施加一个很小的静态力，测量样品随温度上升相应的长度变化。

### TMA模式：PTFE的热膨胀

在本例中，使用 DMA 242 E Artemis 的 TMA 模式，在 -170°C...100°C 温度范围内，对 PTFE 的长度变化进行了测量。

在测量开始阶段，样品长度呈现线性增长。26°C 出现一个转折台阶，与 PTFE 从有序状态到无序状态的转变有关。



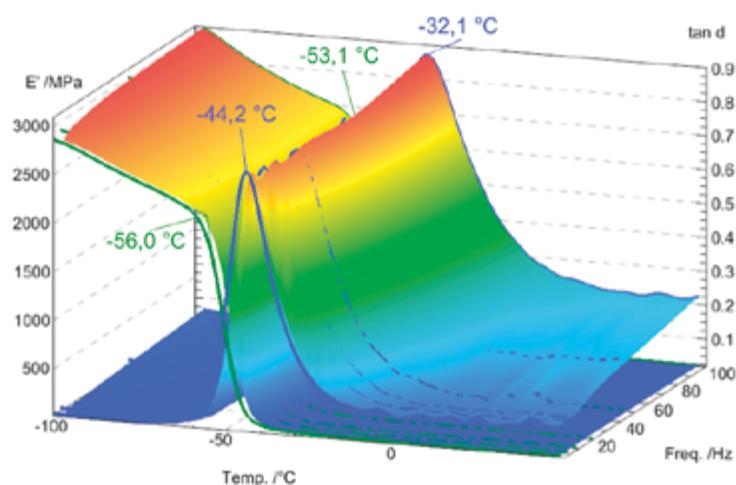
PTFE的TMA测量  
样品支架: TMA压缩模式  
测量参数: -170°C...2K/min...100°C, 静态力: 0.1N

# 对样品的多频测量



双悬臂样品支架

DMA 242 E Artemis 除了可执行多频测量外，也可以三维图的形式表现测量结果。在 3D 图谱中，可直观地观察到所测样品的粘弹性随温度与频率的变化。



橡胶样品粘弹性测试的3D图谱

样品支架：双悬臂2×16mm

样品厚度：2.66mm；宽度：7.77mm

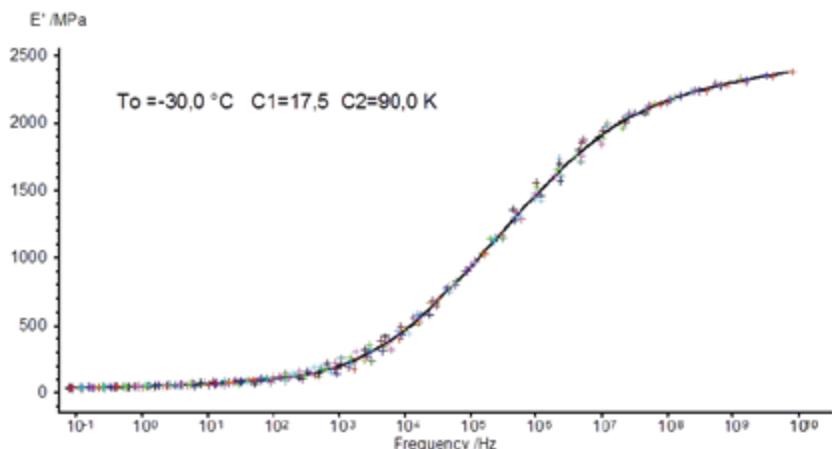
测量参数：-100°C...2K/min...50°C，频率：1, 5, 10, 20, 50, 100Hz，振幅：±40μm

左图使用 DMA 对某一橡胶样品的粘弹性进行了测定。温度范围 -100°C...50°C，频率 1...100Hz。

图中显示了储能模量与损耗因子对温度 / 频率的变化关系。在具体的某一频率下，随着材料发生玻璃化转变，储能模量  $E'$  将下降，损耗因子  $\tan\delta$  则将出现峰值。对于不同频率的比较，则随着频率的升高，玻璃化转变将显著地升高到更高的温度。图中标注的数值是在 1Hz 和 100Hz 时，储能模量曲线的起始点温度，以及损耗因子曲线的峰温。

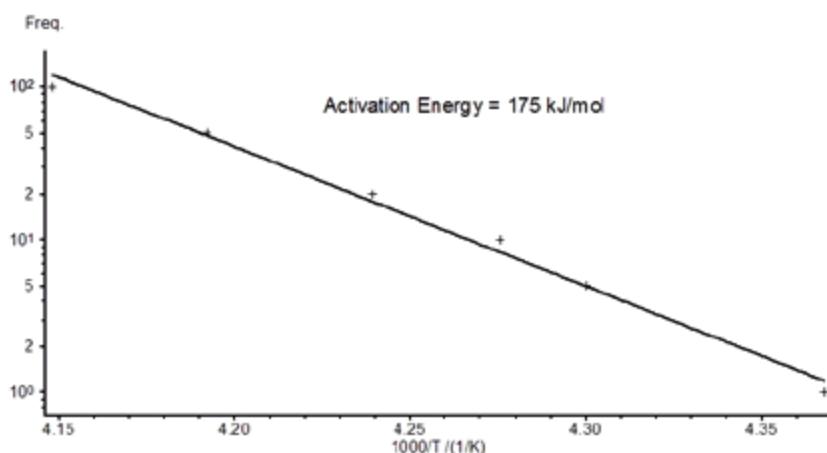
## 橡胶的主曲线与Arrhenius图

根据时温等效原理和 WLF (Williams-Landel-Ferry) 方程, 利用一条常规的 DMA 多频扫描曲线, 能够外推得到一定参考温度下的主曲线(Master Curve), 可覆盖实际测试所不可能达到的非常宽广的频率范围, 轻松而快速地获取聚合物的粘弹行为(包括  $E'$ ,  $E''$ ,  $\tan\delta$  等参数) 对频率的函数关系。



橡胶的主曲线, 参考温度-30°C

在左图示例中, 对橡胶样品在参考温度  $-30^\circ\text{C}$  下的储能模量主曲线进行了计算。基于 WLF 方程, DMA 软件计算出了  $C1$  与  $C2$  平移因子。外推频率最高达到了  $10^{10}\text{Hz}$ 。



橡胶的Arrhenius曲线

此外, Proteus<sup>®</sup> 软件可计算玻璃化转变的活化能。为了进行这一计算, 左图在绝对温度倒数的坐标下对损耗因子 ( $\tan\delta$ ) 对频率对数的关系进行了作图, 并对数据点进行了线性拟合, 根据其斜率计算了活化能。对于该橡胶的玻璃化转变, 计算得到的活化能为 175kJ/mol。

# DMA 242 E Artemis -- Proteus®软件

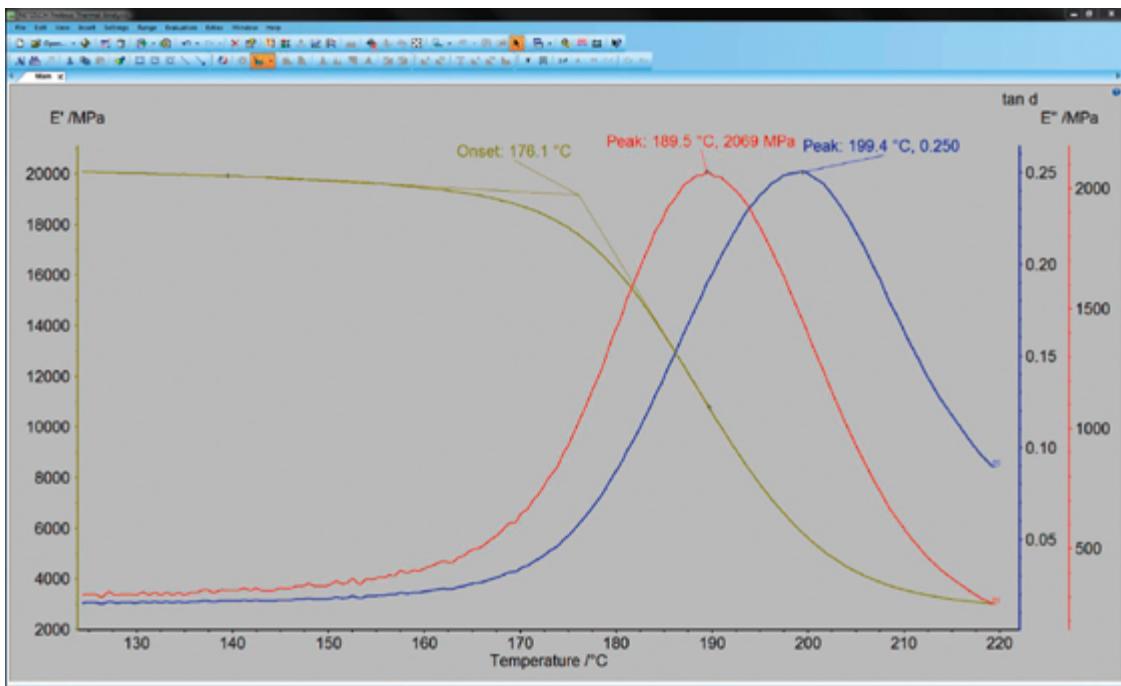
DMA 242 E Artemis 运行在 32 位与 64 位 Windows® 操作系统下，包含了所有必要的测量功能和数据分析功能。这一软件包具有极其友善的用户界面，包括易于理解的菜单操作和自动操作流程，并且适用于各种复杂的分析。

## 软件整体特性

- 与多种操作系统兼容，如：XP Professional®, Vista® (Enterprise, Business), Windows 7 (Professional®, Enterprise®, Ultimate®)
- 多任务：可同时进行测量和分析
- 多模块：可在一台计算机上同时进行最多4台仪器的测量
- 综合分析：可在同一张图谱中对DSC/TGA/STA/DIL/TMA/DMA/DEA等不同类别的测量数据进行分析比较
- 最多支持对64条曲线在同一界面中进行分析与比较。这些曲线可以来自不同的测量，也可来自同一测量的不同片段
- 多窗口：多个子分析窗口可保存在同一分析文件中，用于后续载入与继续分析
- 打印功能支持9种不同语言的报告单
- 分析图谱可自由导出到剪贴板，或导出为通用格式的图形文件，如EMF, PNG, BMP, JPG, TIF, PDF等
- 可将原始数据或经过分析处理后的测量数据导出为ASCII文件，以便后续使用高级软件（如峰分离软件）进行进一步的数据处理
- 邮件支持：与邮件系统互动，将测量过程中的出错信息，以及测试完成后的数据文件发送到指定邮箱中
- 支持测量过程中的实时数据分析（snapshot）

## DMA测量软件的功能特性

- 支持多个可编程的温度段（等温，动态）或温度步阶，在单频或多频下进行测试；可为每一温度段独立地设置力值，形变振幅与频率
- 测量过程中的实时曲线显示：支持最多8个独立可选的坐标轴。支持在线缩放，支持时间/温度坐标切换，支持当前温度段与完整曲线的切换显示
- 仪器校正：动态质量校正，空系统校正，系统刚度校正，相滞校正，温度校正
- 振荡控制：支持应力控制，应变控制。对于测试过程中粘弹性发生显著变化的材料，可选择特殊混合模式（应变控制，带额外的力限值）



典型的 DMA 测量图谱：显示  $E'$ ,  $E''$  与  $\tan\delta$  随温度的变化过程

## 内置的特殊测量模式

- 蠕变模式
- 松弛模式：形变范围最大20mm（取决于样品尺寸，以及所选择的支架的几何尺寸）
- 应力扫描模式
- 应变扫描模式
- TMA模式
- 两种力值范围：大力值范围（24N）  
高解析度力值范围（8N）

## DMA数据分析的功能特性

- 标准图谱：储能模量  $E'$ , 损耗模量  $E''$ , 损耗因子  $\tan\delta$
- 一阶与二阶微分
- 主曲线：频率坐标下的曲线外推
- 测量图谱支持4个独立的坐标轴。如：储能模量  $E'$ , 损耗模量  $E''$ , 损耗因子  $\tan\delta$ , 振幅。
- 3D图：多频测量结果可以3D图形式进行展示。例如观察玻璃化转变温度随频率的变化。
- Arrhenius图：转变活化能计算
- Cole-Cole图：以图形化方式显示  $\log(E'')$  或  $\log(\tan\delta)$  随  $\log(E')$  的变化关系。这一变换既可针对原始数据，也可针对计算得到的主曲线。
- 图形化显示测量过程中样品本身长度的变化。其绝对坐标 ( $dL/\mu\text{m}$ ) 支持所有类型的样品支架；相对坐标 ( $dL/L_0$ ,  $dL/L_0/\%$ ) 支持压缩、拉伸类型的样品支架
- TMA模式：图形化显示样品在静态力作用下的长度变化过程 ( $dL$ )。支持系统膨胀修正 (calibration correction)。对于动态升温测试，可计算膨胀系数 (CTE)。
- 图形化显示材料的蠕变与松弛行为
- 应力-应变图谱：图形化显示应力/应变扫描测试结果



耐驰集团总部位于德国，是一家国际化的技术型公司，拥有包括分析与测试，研磨与分散，泵系统三大业务—为您最高层次的需求提供量身定制的解决方案。

## 耐驰——引领热分析技术趋势 ■

耐驰的 130 个销售和制造中心遍及全球 37 个国家，有超过 3000 名员工，保证为客户提供最及时快捷的专业服务。耐驰一直是热分析，量热和热物性测量行业的绝对领导者。我们在广阔的工程技术应用方面具有 60 余年的丰富经验，精湛的生产工艺水准，和全方面的解决方案，能够超乎想象地满足您的需求。耐驰公司自 1996 年在中国上海设立第一个代表处，目前已在北京，广州和成都等个城市设立了分支机构和维修站。凭借其优异的仪器性能，强大的技术支持和完善的售后服务，耐驰迅速在竞争激烈的热分析市场中脱颖而出，近几年在中国的市场份额一直位居热分析仪公司榜首。迄今，耐驰仪器在国内已拥有 2000 多家用户，包括工业领域的研发及质量检验部门，各知名高校研究所，国家权威产品检验部门及国防前沿材料研究领域的国家重点实验室等。

[www.ngb-netzschi.com.cn](http://www.ngb-netzschi.com.cn)



扫描二维码获得更多耐驰信息

## 德国耐驰仪器制造有限公司

### 上海总公司：

上海市外高桥保税区富特北路456号1#楼第3层A部位  
电话： 021-5108 9255  
传真： 021-5866 3120 邮编： 200131

### 广州分公司：

广州市越秀区先烈中路69号东山广场22楼01室  
电话： 020-8732 0711  
传真： 020-8732 0707 邮编： 510095

### 西安办事处：

西安市高新区唐延路35号旺座现代城C座1701室  
电话： 029-8744 4467  
传真： 029-8745 1817 邮编： 710065

### 北京分公司：

北京市海淀区知春路1号学院国际大厦1603室  
电话： 010-8233 6421  
传真： 010-8233 6423 邮编： 100191

### 成都分公司：

成都市武侯区佳灵路5号红牌楼广场3号楼1411室  
电话： 028-8652 8518  
传真： 028-8652 8718 邮编： 610017

### 沈阳办事处：

沈阳市和平区太原街16-2号万达新天地1号楼810室  
电话： 024-3107 8423  
传真： 024-3107 8423 邮编： 110000