



动态热机械分析仪

# 不仅只是一台DMA

## 功能最丰富的动态机械特性分析平台

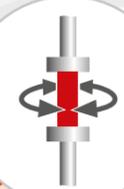
MCR 702e MultiDrive 是市场上一个用途多样且功能强大的平台,适用于对液体、软固体和固体样品进行动态机械分析 (DMA)。该设备采用全新的线性马达和 MCR 流变仪中著名的 EC 马达技术。利用这款一流的线性马达,可以在一台仪器上实现拉伸、弯曲和压缩模式下的 DMA 以及热机械分析 (TMA)测试。

此外,凭借安东帕广受好评的 MCR 流变仪中著名的同步 EC 马达技术,您可以进行扭摆方向的测量。这样,可实现最高精度的扭摆模式 DMA 和所有流变测量。

这个无与伦比的四合一功能配合多功能软件 RheoCompass™ 为动态机械材料特性分析开创了全新的可能性。

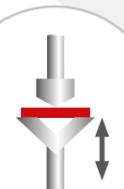
1 扭摆模式的动态机械分析

$G^*$



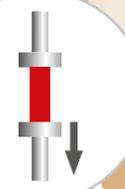
2 弯曲、拉伸和压缩模式下的动态机械分析

$E^*$



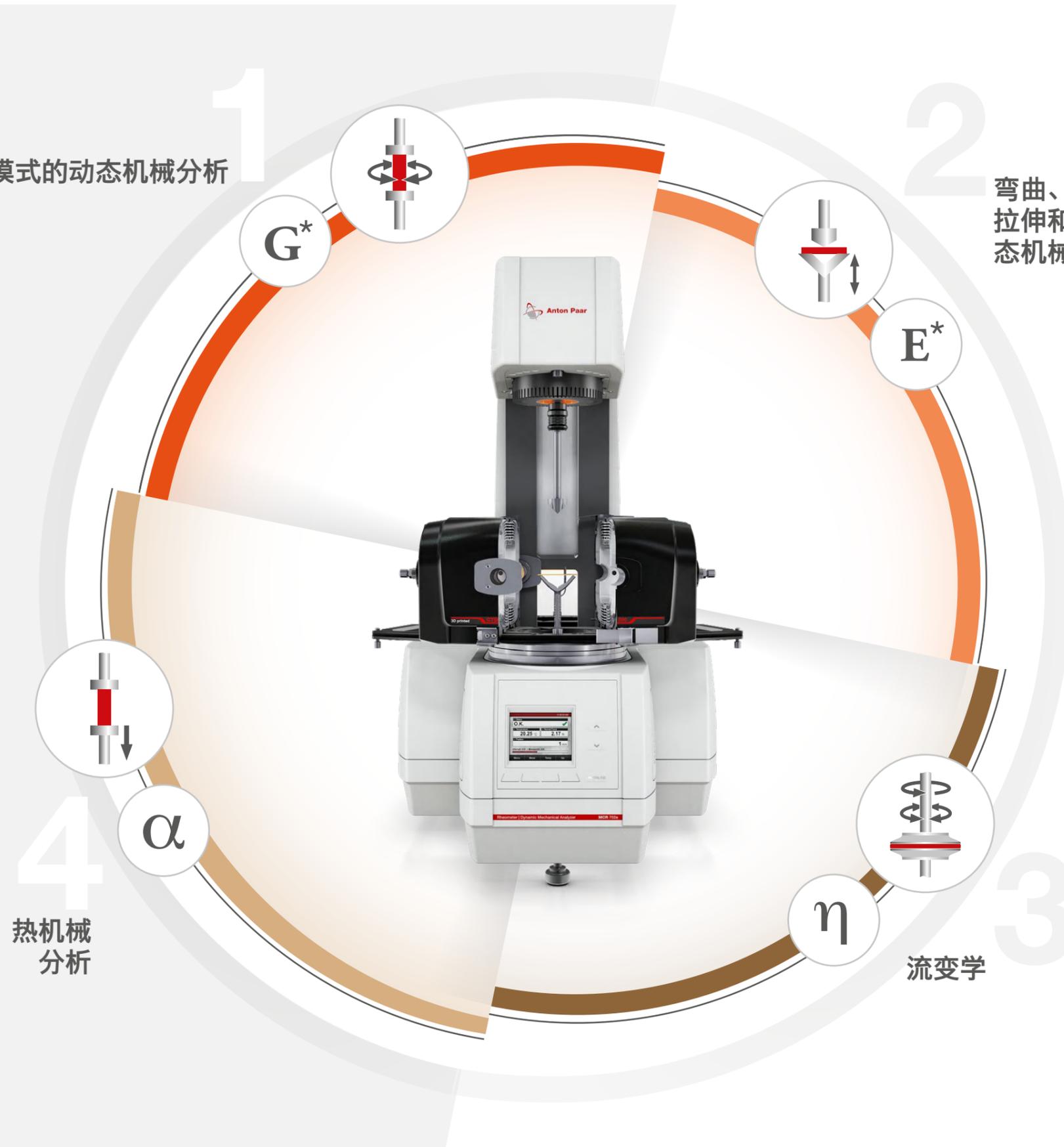
4 热机械分析

$\alpha$



3 流变学

$\eta$



# 多种测量模式

通过上部同步直流 EC 马达与下部动磁线性马达组合, MCR 702e MultiDrive 是全球首款适用于扭摆和线性方向动态机械、热机械分析以及空气轴承流变仪的多功能材料力学和流变测量设备。安东帕产品为工业应用和科学研究提供了充分灵活性。利用 MCR 702e MultiDrive , 您可以选择适当的方法分析从固态到液态的各种材料的特性, 并获得最可靠的结果。

## 选择最符合要求的测试模式

线性马达

旋转马达

线性马达工作



在该模式下, 旋转马达置于一个固定位置, 而线性马达则用于控制力或位移。配合测量夹具(如三点弯曲、单悬臂、双悬臂、拉伸、压缩模式下的 DMA 夹具)使用时, 该模式适用于进行精确的“经典”动态机械分析。此外, 您还可以在该模式下执行蠕变恢复测试、恒定应力或应变测量以及热机械分析。

## 线性马达

## 旋转马达

旋转马达工作



在该模式下,线性马达被置于一个固定位置,而旋转马达则用于控制剪切应变或剪切应力。与可用夹具联合使用时,如圆形和矩形固体夹具(SCF,SRF)、平行板或锥板夹具,该配置可为扭摆模式的动态机械分析和流变测量开创新的可能性。

## 旋转马达

单马达测试模式



在该模式下,移除了线性马达,测量设备转变为传统的旋转流变仪。移除了线性马达的设备可以装配任何测量系统、控温系统和/或安东帕 MCR 系列流变仪现有的专用附件,以便对您的样品进行标准和复杂的流变分析。移除线性马达后,可在下面安装第二套旋转马达,以利用流变仪的所有测量模式进行高级流变测量。

# 关键优势

## 在 DMA 和流变测量中实现最高灵活性的先进理念

在一台测量设备中将线性马达和旋转马达结合使用,不仅可实现线性和扭摆方向的真正动态机械分析,而且还可以进行流变测量,以获得最符合您材料应用要求的特定类型的特性分析。

## 独特的马达设计—空气轴承技术

由于其独特设计,线性 and 旋转马达的空气轴承都可为动态机械分析和流变测量提供极高的灵敏度,与高品质 MCR 流变仪系列保持同一水平。

## 精确的力值测量和较大的位移范围

由于动磁马达采用优化设计并选用高级材料,线性马达具有最低的磁滞性。这样就可以在最大 40 N 的力值范围内进行高精度测量,以便在 9.4 mm 位移范围内以最高精度表征软硬材料,这正是用于拉伸测试的优势所在。

## 以最高分辨率测定位移

测量设备中采用线性光学编码器来测定位移,这种光学技术可在亚纳米范围内以高分辨率进行稳定的应变测量。

## 优化的测量系统,确保结果的高度再现性

这种创新型设计—通过计算流体动力学 (CFD) 进行了优化—可确保样品内部的温度梯度可以忽略不计,从而实现可靠的高精度结果。每个测量系统都包括一个集成的温度传感器,置于靠近被夹样品的位置,以便测量样品的实际温度,并在整个温度范围内实现最高可再现性。

## 所有附件均可轻松安装,并自动配置

更换测量系统时,使用经过验证的 QuickConnect 连接器,操作更加简便,因为无需使用螺纹,也无需进行任何额外的调准程序。Toolmaster™ 是一款非接触全自动工具识别和配置系统,用于识别所有可用的测量系统。这样就可以节省更换测量系统和附件的时间,并防止出错,同时无需在软件中手动输入当前使用的配置或复杂的测量系统数据。



MCR 702e Space MultiDrive

## 最大工作空间需求的理想选项

其裸露的支撑板为您提供最大的工作空间,可轻松与所有 MCR 流变仪附件组合使用,尤其是对于各种流变学应用以及其他外部设备(例如共聚焦显微镜)。由于该仪器带有一个外部电子箱,因此在安装条件(例如安装在手套箱中)方面提供了最大的灵活性。

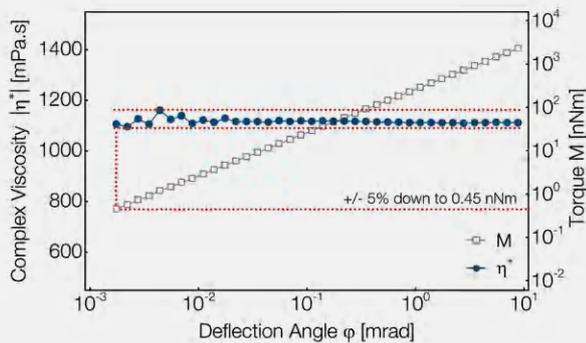


# 独特的马达技术— 实现最高精度的关键技术

## 旋转马达

### 基于永磁同步 EC 马达

- 转子内置永磁材料 ①
- 线圈会在定子中产生磁极
- 线圈中输入电流的旋转运动使转子产生无摩擦的同步运动
- 由轴向②和径向③空气轴承固定,既可在 DMA 模式下对高刚度样品进行特性分析,也可以进行低扭矩流变测量。



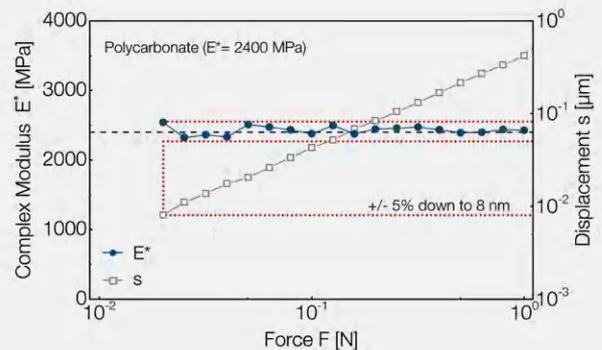
### 测量优势

- 定子电流与扭矩之间成线性关系,可实现低至 0.5 nNm 扭矩的精确测量(参见上图)
- 马达中无热量产生,具有更好的热稳定性,无温度引起的信号漂移,永久扭矩高达 230 mNm
- 瞬时产生的磁场可快速控制扭矩

## 线性马达

### 动磁马达技术

- 装有永磁体的轻型传动轴 ④
- 定子线圈⑤会产生一个磁场,并影响传动轴的轴向运动
- 由于独特的磁场技术,只需最低电流即可实现位移,且可使用光学编码器测量位移。
- 由径向⑥和扭转⑦空气轴承固定,既可在拉伸、弯曲和压缩模式下进行 DMA 低力值测量,也可在拉伸模式下对高刚度材料进行 DMA 分析



### 测量方面的优势

- 磁场技术可确保力的测量具有出色的信噪比(低至 0.5 mN)
- 马达设计可实现出色的热管理,即使在载荷较高(高达 40 N)以及测量时间较长的情况下也可消除温度引起的信号漂移
- 光学编码器结合最精确的线性马达可提供出色的位移范围(从 9.4 mm 至 10 nm)(参见上图)

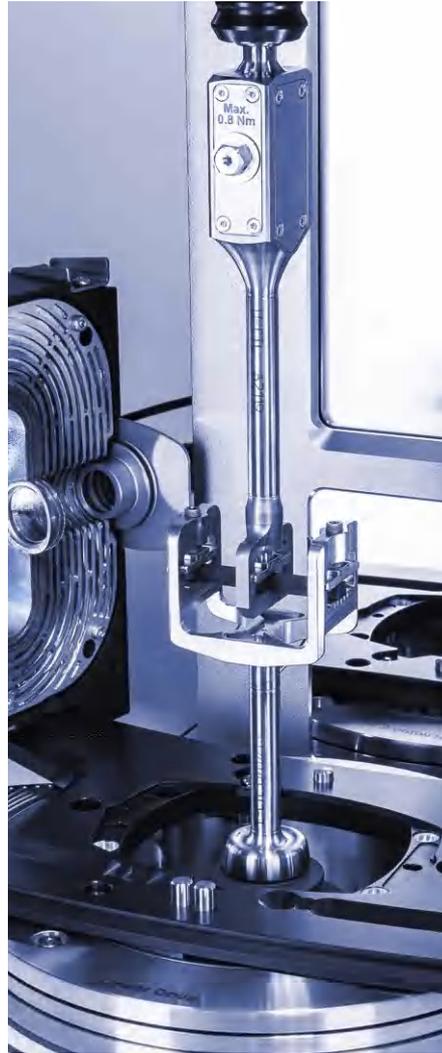


# 测量系统



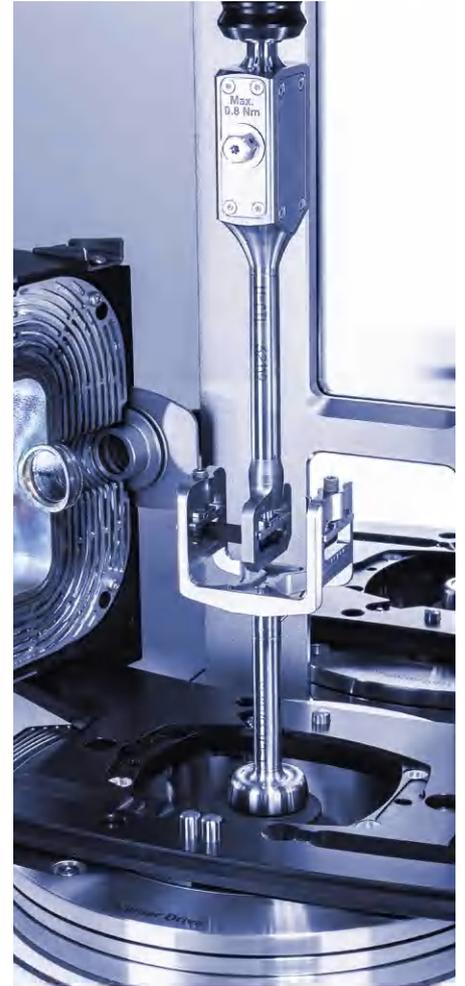
三点弯曲夹具

样品两端放在两个可移动样品架上，静态轴则位于样品的中点处。由于没有多余的样品夹持，所以由约束而导致的测量误差可降至最低。此测量系统适用于表征刚性材料，例如复合材料和热塑性材料在  $T_g$  温度以下的表征，金属和陶瓷的表征。



双悬臂梁

在这个测量系统中，样品两端固定在两个加持点上，样品中点处有一个中心夹具。由于采用了加持方式，此测量系统也适合测量可能会下垂的低刚度材料。



单悬臂梁

样品固定在中心夹具与一个端部夹具测量系统中，该系统可用于测量长度较短的样品。与双悬臂类似的是，此测量系统使您能够表征可能下垂的材料。例如，热塑性材料和弹性体。

- ✓ 集成式温度传感器可实现最高可再现性的样品温度测量

您将获得

- ✓ CFD 优化设计可确保样品内部温度梯度保持最低

- ✓ 坚固耐用的测量系统可确保刚性样品的特性分析，无柔量问题



压缩夹具

针对压缩模式下的 DMA,可使用传统的平行板测量系统。样品置于上下测量平板之间,且受单轴载荷的影响。这种变形模式对于泡沫、弹性体和其他软固体(如食品和凝胶)的特性分析尤为有用。



拉伸和扭摆模式的矩形固体夹具

在该测量系统中,样品垂直放置,固定在上部和下部夹具上,并呈现单轴变形趋势。该测量系统的特殊设计可确保不同厚度的样品均可以与测量系统的轴心准确对齐来进行测量。用这种方法,薄膜、纤维以及细实心棒的测量结果均可获得良好的再现性。除了动态机械分析,该测量系统还适合测量实心棒材的热膨胀。

将该测量系统与旋转马达结合使用可实现扭摆模式下的动态机械分析,与使用线性马达在拉伸模式下的 DMA 测量互补。因此,首次能够在同一个实验中同时测量样品的杨氏模量和剪切模量,而无需更换样品、测量系统或任何其他附件。用这种方法可测定完整的材料特性,而无需将数据从拉伸模式下的 DMA 转换成扭摆模式下的 DMA,反之亦然。

✓ QuickConnect 功能可快速更换测量系统而不必使用螺纹连接

✓ Toolmaster™ 功能支持自动识别工具和配置,而无需在软件中进行任何手动设置

✓ 自动的零间隙/零角度调准确保测量系统的精确可再现性定位,没有复杂的对齐程序

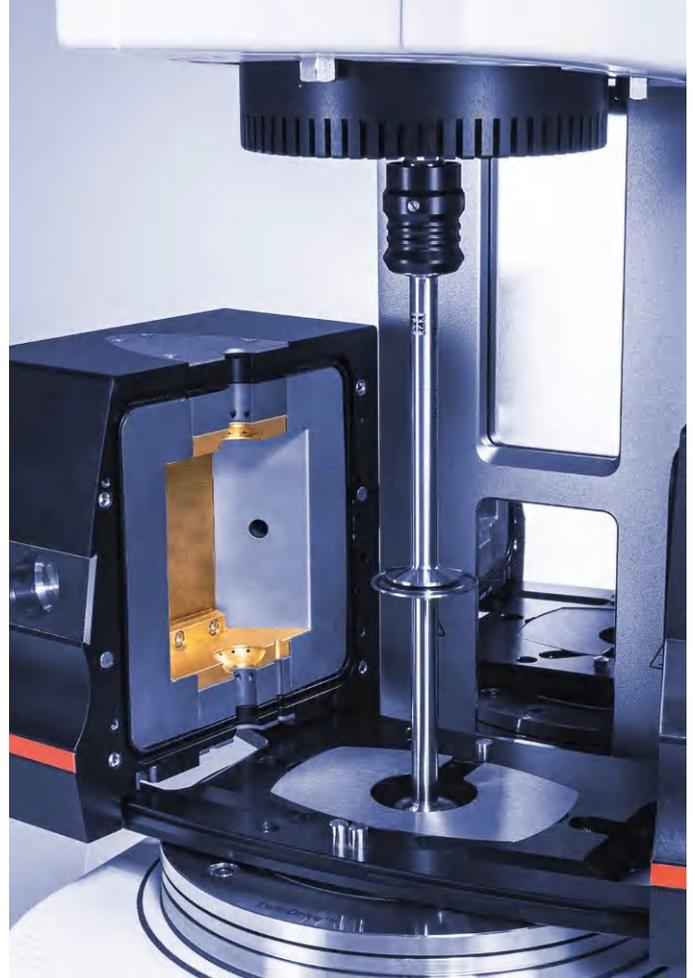
# 温度控制和湿度控制模块

安东帕提供各种专为 DMA 和流变学特定测量需求而设计的对流控温系统 (CTD), 此温控设备涵盖的温度范围为  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  至  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 可使用空气或惰性气体控温。所有系统均可轻松更换, 并可确保在整个温度范围中实现精确的温度控制。



用于 CTD  
180 HR 的湿度控制附件

- 此附件可连接至 CTD 180 HR, 适用于 DMA 和流变测量夹具。
- 外部湿度发生器可控制产生 5 % 至 95 % 的相对湿度, 并受实际温度影响
- 用于研究湿度对材料的干燥、软化和固化的影响



CTD 180 HR

基于 Peltier 控温的对流辐射控温原理

- 温度范围:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  至  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 无需任何额外的制冷设备, 如机械制冷或液氮

✓ 通过系统内部均匀的气体流动进行温度控制, 从而实现高精度控制

✓ 采用低气体流速, 以最大程度减小因空气涡流或吹干样品而对测量造成的不利影响

✓ 低气体(吹扫气)消耗量, 即可以降低运行费用, 又可以确保低扭矩和力值测量的精确性



CTD 600 MDR的低温模块

**模块 1: EVU 20适用于温度低至-160 °C的情况**

- 主动控制液氮蒸发以及连续将氮气输入 CTD 600 MDR 中
- 根据所需温度优化液氮消耗量,以降低运营成本
- 具有自动切换功能,可在高于环境温度时将气源切换到空气或惰性气体(例如氮气),以覆盖CTD 600 MDR 的整个温度范围

**模块 2: 机械制冷系统,温度低至-90 °C**

- 使用压缩气体(空气或惰性气体)
- 通过自动连续地从冷却气体切换到温暖气体(取决于温度),将能耗、噪声和热量排放降至最低
- 如果内部安全法规禁止使用液氮,则是完美的选择。



CTD600MDR

**基于对流辐射的先进温度控制系统**

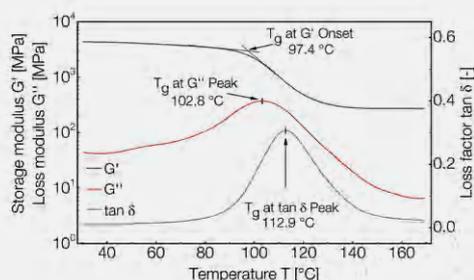
- 温度范围:-160 °C 至 600 °C
- 创新的 3D 金属打印生产技术,即使在最低和最高温度下也可进行精确而稳定的温度控制
- 数码相机选项可用于观察测量效果,例如下垂、滑移、断裂或最佳可见相变

适用所有 MCR 流变仪附件

通过移除线性马达,MCR 702e MultiDrive 可用作 CMT(马达与传感器一体)流变仪。在单测量头模式下可以与任何温度控制附件配套使用,并且可以与任何特殊的功能附件配套,有无数种功能附件可选。此外,安东帕还提供针对特定应用的定制产品,例如用于浸入液体的固体的 DMA 夹具,可与任何一次性或定制夹具组合的测量杆,甚至用于在高达 1000 °C 的温度下进行材料表征的方案。如欲获取完整信息,请访问安东帕网站。

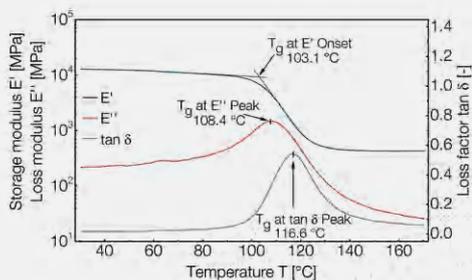
# MCR 702e MultiDrive — 功能最丰富的动态机械特性分析平台

利用其四合一功能, MCR 702e MultiDrive 可为动态机械特性分析提供最全面的测量模式。例如, 以下四种测量描述了聚合物行业中的关键应用, 可表征和优化典型复合材料。利用 MCR 702e MultiDrive, 可通过单一设备以卓越的品质完成所有这些测量任务。



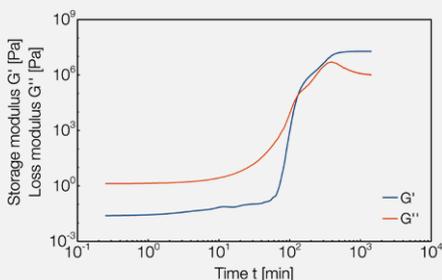
## 1. 扭摆模式动态机械分析

为确定碳纤维聚合物 (CFRP) 的粘弹特性和最高工作温度, 通常需要绝对的模量值。该示例显示了在使用旋转马达的情况下, 扭摆模式中的 DMA 结果。图中显示了测量  $T_g$  (起始  $G'$ 、峰值  $G''$  和峰值  $\tan \delta$ ) 的三种常用方法。



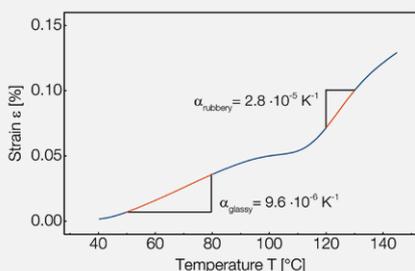
## 2. 弯曲模式动态机械分析

该示例显示了 CFRP 在弯曲模式下的 DMA 结果。较之于扭摆模式下的 DMA 结果, 弯曲模式下的 DMA 结果表明聚合物复合材料的粘弹特性在很大程度上取决于变形模式。基于各向异性材料的特性, 在弯曲模式 DMA 和扭摆模式 DMA 下显示出不同的玻璃化转变温度。



## 3. 流变学

环氧树脂通常用作 CFRP 的聚合物基体, 其机械特性会在交联反应期间发生变化。通过进行恒温振荡时间扫描, 可轻松测量交联的起点和速率、 $G'$  和  $G''$  的交点, 以及最终机械性能。因此, 可控制和改进树脂的特性, 以确保获得高品质产品。



## 4. 热机械分析

了解热膨胀特性对于产品设计和仿真至关重要。在大约 100 °C 条件下可开始看到不连续的尺寸变化, 这与 DMA 测试确定的玻璃态转变温度密切相关。结果表明, 在橡胶态与玻璃态下材料的热膨胀系数 (CTE) 值不同。

# 技术规格

	单位	技术参数
<b>拉伸、弯曲和压缩DMA 测试的线性马达</b>		
最大载荷	N	40
最小载荷	N	0.0005
最大位移	µm	9400 <sup>(1)</sup>
最小位移	µm	0.01
最大频率	Hz	100
最小频率	Hz	0.001
最高温度	°C	600 (950) <sup>(2)</sup>
最低温度	°C	-160 <sup>(3)</sup>
最大加热速率	K/min	35 <sup>(2)</sup>
最大制冷速率	K/min	30 <sup>(3)</sup>

<b>扭摆DMA和流变模式的旋转马达</b>		
最大扭矩	mNm	230
旋转模式最小扭矩	nNm	1
振荡模式最小扭矩	nNm	0.5
最大偏转角(设定值)	µrad	∞
最小偏转角(设置值)	µrad	0.05
最大角速度	rad/s	314
最小角速度	rad/s	0 <sup>(4)</sup>
最大角频率	rad/s	628 <sup>(5)</sup>
最小角频率 <sup>(6)</sup>	rad/s	10 <sup>-7</sup> <sup>(7)</sup>
法向力范围	N	-50 至 +50
最大温度范围	°C	-160 至 +1000

有关单旋转马达模式下的一般特性、测量夹具、功能附件和技术规格的详细信息,请参阅 MCR Evolution 手册。

特性	
拉伸、弯曲和压缩模式下进行 DMA 分析	✓
扭转模式下进行 DMA 分析	✓
流变学	✓
热机械分析	✓
Toolmaster™, 测量夹具	✓
Toolmaster™, 控温附件	✓
测量夹具的无螺纹快速连接器	✓
T-Ready™	✓
低温模块, 液氮蒸发单元	○
低温模块, 机械制冷模块	○
湿度控制模块	○

✓ 标配 | ○ 选配

<sup>1)</sup> 振荡最大位移 ± 4500 µm

<sup>2)</sup> 与 CTD 600 MDR 结合使用。标准测量夹具的使用温度可达 350 °C, 可根据要求提供测试温度高达 600 °C 的测量夹具结合 CTD 1000, 可根据要求提供高达 950 °C 的定制解决方案

<sup>3)</sup> 与 CTD 600 MDR 和低温选件结合使用

<sup>4)</sup> 在控制剪切应力 (CSS) 模式下; 在控制剪切速率 (CSR) 模式下, 取决于测量点持续时间和采样速率

<sup>5)</sup> 使用多波功能可以提高频率, 如 942 rad/s (150 Hz) 或更高, 取决于测量系统和样品

<sup>6)</sup> 将频率设置在 10<sup>-4</sup> rad/s 以下没有实际意义, 因为测量一个点持续时间为 1 天以上

<sup>7)</sup> 理论值(每个循环的持续时间 = 2 年)



## Anton Paar

**Anton Paar®** GmbH  
Anton-Paar-Str. 20  
A-8054 Graz  
Austria - Europe  
Tel: +43 (0)316 257-0  
Fax: +43 (0)316 257-257  
www.anton-paar.com

### 安东帕中国

#### 上海(中国总部)

中国上海市合川路2570号  
科技绿洲三期2号楼11层  
邮编: 201103  
电话: +86 21 2415 1900  
传真: +86 21 2415 1999  
销售热线: +86 400 820 2259  
售后热线: +86 400 820 3230  
E-mail: info.cn@anton-paar.com  
中国官网: www.anton-paar.cn  
在线商城: shop.anton-paar.cn

#### 北京

北京市朝阳区八里庄陈家林甲2号  
尚8里文创园 A座202室  
邮编: 100025  
电话: +86 10 6544 7125  
传真: +86 10 6544 7126

#### 广州

广州市越秀区水荫路117号  
星光映景大厦1902-1904室  
邮编: 510095  
电话: +86 20 3836 1699  
传真: +86 20 3836 1690

#### 沈阳

辽宁省沈阳市皇姑区崇山东路11号  
利星行广场707室  
邮编: 110031  
电话: +86 24 3175 9301  
传真: +86 24 3175 9301

#### 成都

中国成都市金牛区蜀西路9号丰德  
羊西中心901室  
邮编: 610036  
电话: +86 28 8628 2862  
传真: +86 28 8628 2861

#### 西安

西安市雁塔区南二环东段396号  
秦电大厦926室  
邮编: 710061  
电话: +86 29 8523 5208  
传真: +86 29 8523 5208

### 本公司产品总览

#### 实验室与在线应用中的密度、浓度、黏度以及折光的测量

- 液体密度及浓度测量仪器
- 饮料分析系统
- 酒精检测仪器
- 啤酒分析仪器
- 二氧化碳测量仪器
- 精密温度测量仪器

#### 流变测量技术

- 高级流变仪
- MultiDrive 流变仪

#### 黏度测量

- 黏度计
- 落球式黏度计
- 旋转流变仪/黏度计

#### 化学与分析技术

- 微波消解/萃取
- 微波合成

#### 高精密光学仪器

- 折光仪
- 旋光仪
- 拉曼光谱仪

#### 石油石化测试仪器

- 闪点、常压蒸馏、氧化安定性
- 针/锥入度、软化点
- 燃料油、润滑油等常规测试

#### 表面力学性能测试仪器

- 微/纳米力学测试系统
- 微/纳米压痕仪
- 划痕测试仪
- 摩擦磨损测试仪
- 原子力显微镜

#### 材料特性检测

- 小角X射线散射仪
- 固体表面Zeta电位分析仪

#### 颗粒表面

- 激光(微米/纳米)粒度仪

#### 固体材料直接表征

- 比表面积、孔径分析仪
- 化学吸附仪
- 蒸汽吸附仪
- 压汞仪
- 薄膜孔径分析仪
- 真密度计
- 振实密度计

安东帕在线商城



安东帕微信公众号

