

高温高压 TRACKER™ H

为表征严苛条件下表/界面特性而设计



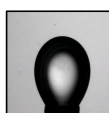
关于表面张力& 界面流变

表界面张力在我们日常生活中起着重要的作用。许多工业应用正在利用界面张力现象，并且要求表征分散体系(如泡沫和乳液)以及固体的表面能。

TRACKER™自动悬滴界面流变仪帮助您轻松、精确地表征两种不相溶液体之间的界面特性。测量提供了有价值的数
据，节省了配制产品的时间和金钱。

测量原理

TRACKER™通过对液滴或气泡的形状进行数值分析来确定两种不相溶液体之间的动态界面张力。有两种不同的配置可供选择：

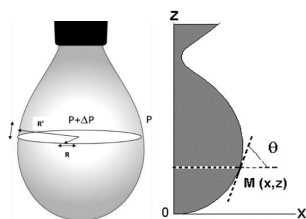


上升滴/泡法: 轻相样品滴入装有重相液体的样品池中。



下悬滴/泡法: 重相样品滴入装有轻相液体的样品池中。

TRACKER™软件使用算法分析液滴的轮廓，并将其与基于Young-Laplace方程的模型进行拟合，以确定表面张力、界面张力或接触角。



$$\Delta P = \gamma \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

the pressure difference caused by the curvature of the surface is proportional to the average curvature, the proportionality coefficient being precisely the interfacial tension

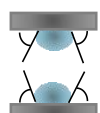
TRACKER™软件通过在特定的频率和振幅下控制液滴体积或面积的变化，来研究界面的流变特性。

软件具有自动调节功能，确保了高精度、可重复的测量。每秒最多纪录60帧。测量过程中，软件实时记录并计算测量结果。

测量范围



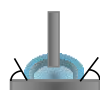
表/界面张力测量: 测量表面张力(气/液)，界面张力(液/液)。



接触角: 测量液体和固体界面的接触角，计算固体表面自由能，表征固体的润湿状况。



界面流变: 通过有规律的控制液滴体积或面积的变化，获取粘弹模量，计算出表面/界面扩张流变信息。



动态接触角: 测量液滴体积变化时的前进角和后退角

数据 & 测量

- 粘弹模量: 弹性模量 & 粘性模量
- 张力随时间变化 (精度 0.01 mN/m)
- 接触角
- 温度: 最高 200°C
- 压力: 最高 700bar
- 液滴体积/面积
- 刚性系数
- 邦德数
- 临界胶束浓度

应用实例

原油: 破乳剂性能，表面活性剂对采油的影响，原油/岩石/液体三相的动态接触角。

化妆品: 乳液稳定性，物理化学配方，乳液/固体表面动态接触角。

食品: 食品包装，冷冻前乳液的稳定性(冰淇淋)，蛋白质、糖或酒精对气泡尺寸的影响。

沥青: 润湿性，不同温度下的乳液特性，动态接触角。

燃料配方: 表征乳液的聚合和润湿性。

润滑油: 接触角(润滑油/材料)，表面活性剂对润湿性的影响。

TRACKER™ 自动多功能界面流变仪

TRACKER™全自动多功能界面流变仪用于研究界面流变性，测量表面/界面张力和接触角。

凭借智能的模块化设计，TRACKER™适应于多种应用，并允许您选择一个或多个模块和选件来适配仪器：

- 相转换模块
- Piezo压电式高频振荡选项
- 压力感应器测量拉普拉斯压力
- 自动测量临界胶束浓度
- 压力腔200°C/200bar

测量设备

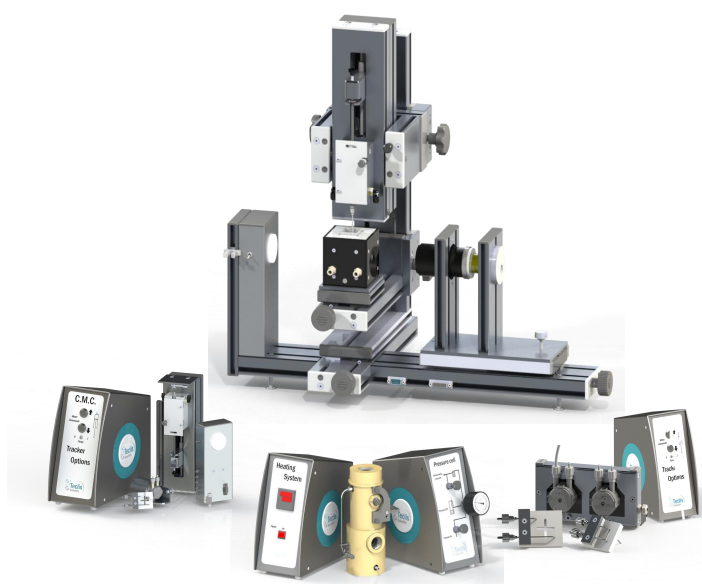
TRACKER™配备恒温夹套样品池，其底部集成了一个磁力搅拌器，用于实验过程中改变溶液浓度时混合样品。

通过使用循环浴，样品池和注射器的温度都可以控制在最高90°C，配有温度探头，可记录样品或样品套的温度值(精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$)。

温度探头的数据与样品结果一起自动记录在软件中，因此，密度值可以根据实际温度进行调整。

TRACKER™配备了可移动平台，可以调整水平度，以测量液体和固体之间的静态或动态接触角。

TRACKER™可以提供一个保护外罩，在实验操作时防止光照，保护仪器不受灰尘影响。



光学系统

TRACKER™配备了分辨率为1440x1080像素的单色CCD相机和远心镜头。该相机记录速度高达238帧/秒(fps)，满足大多数应用需求。当研究非常快速的现象时，可更换成快速相机(最高539fps)。

储存在软件中的失真校正用于校正所获得的图像，以获得最大的测量精度，因此，可以获得低于像素(0.2px)的分辨率。

光源以均匀恒定的方式照射样品，亮度的波动在256个灰阶中小于 ± 10 个灰度变化。光源有两种发光强度，可以适用于普通或需要更高光密度的实验测试。

数据 & 测试

- 界面流变—界面粘弹性
 - ✓ 弹性模量
 - ✓ 粘性模量
- 表面张力(液/气)
- 界面张力(液/液)
- 接触角和表面能(液/固)
- 前进角和后退角
- 刚性系数
- 临界胶束浓度(CMC)
- 温度

应用

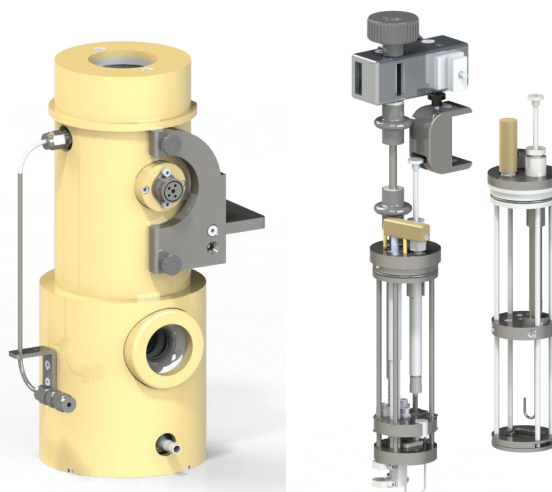
- 表面活性剂的表征
- 表面活性剂的效率与效力
- 使表面饱和的表面活性剂的数量
- 表面活性剂在表面上的行为
- 表面润湿性
- 生物表面活性剂的特性(蛋白质，脂类...)
- 表面活性剂的界面竞争
-

TRACKER™H – 压力范围 200bar

TRACKER™H是一款全自动悬滴界面流变仪，配有可移动的压力腔，可在最高温度**200°C**和最高压力**200bar**的测试环境下，测量界面流变和表/界面张力，以及在最高温度**200°C**和最高压力**100bar**的测试环境下，测量接触角。

压力腔可轻松连接到TRACKER™。注射器和样品支架封闭在金属腔中。TRACKER™H设计用于测量下悬或上升两种状态的气/液、液/液或固/液界面。借助旋转平台，无需打开压力腔可进行多次接触角测量。

注射器活塞从腔外进入腔内，可以自动控制。压力腔通过气体控制箱连接压力源，比如：气瓶或者控压机等。

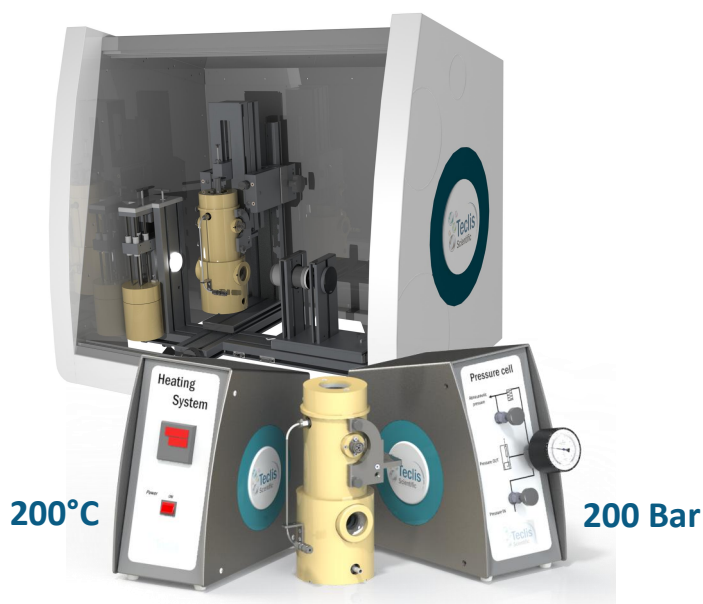


测试装置

独立的温度探头测量压力腔内液体的温度。通过使用外部循环水浴或电加热模块来控制压力腔温度。温控单元独立控制电加热单元对压力腔加热，并显示设置温度和腔内实际温度。

该模块的设计易于拆卸便于清洁。

液滴形状分析透过蓝宝石视窗进行。温度和压力参数以及测量设置均由软件控制。数据实时计算。



应用：

- 超临界二氧化碳环境下
- 原油、沥青测试
- 熔融聚合物
- 带压环境下的接触角
- 甲烷环境下的研究

数据 & 测试

- 界面流变- 粘弹模量
- 表面张力(气/液)
- 界面张力(液/液)
- 接触角和表面能(液/固)
- 动态接触角(前进角和后退角)
- 表面活性剂吸附
- 刚性系数
- 温度/压力

技术规格

压力/温度	最高压力200bar/最高温度200°C
气体	超临界 CO ₂ ，氮气，氩气，空气，CO ₂ ...
气体接口尺寸	不锈钢管连接压力腔和气箱(外径1/8"OD，长度 1米)

软件

界面张力可通过具有旋转对称性的液滴轮廓来计算。

液滴的实际形状是界面张力和重力效应相互作用的结果。界面张力使液滴呈球形，而重力使液滴拉长，因此液滴变成梨形，或者在材料平面上形成座滴的形状。如果这些对立效应的绝对值相同，就有可能最终确定轮廓的形状，以及液滴与其支撑物之间的接触角。

该计算基于两个基本方程：

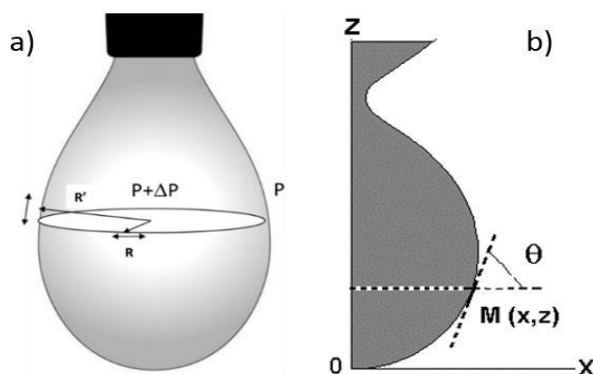


图 1.a/液滴的表面曲率
b/液滴表面某点M的坐标

- Laplace-Young方程表明表面曲率引起的压力差与平均曲率成正比，比例系数等于界面张力。

$$\Delta P = \gamma \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

R 和 R' 为主要滴面半径
 ΔP 是跨界面的压力变化 (图 1.a).

- 第二个方程是基于在任何水平面上的力的平衡：

$$2\pi \cdot x \cdot \gamma \cdot \sin\theta = V \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g + \pi \cdot x^2 \cdot p$$

p 是施加在液滴表面的压力
 γ 是界面张力
 R 和 R' 为主要滴面曲率半径
 x 是以 z 为纵坐标的子午线的横坐标
 θ 是 $M(s)$ 的切线与轴 Ox 的极角
 V 是平面下流体的体积
 ρ_1 和 ρ_2 是流体密度
 g 是重力加速度
(图 1.b).

液滴的形状仅取决于非维度的形状因子，名为形状因子或邦德数：

$$Bo = \frac{g\Delta\rho}{\gamma b^2} = \frac{c}{b^2}$$

$\Delta\rho$ 是两种流体的密度差
 g 是重力加速度
 b 是液滴顶点曲率半径的倒数
 γ 是界面张力
 c 是毛细管常数 $c = \frac{g\Delta\rho}{\gamma}$

Bo 值越小，液滴越像球形，测量精度越低(图2-3)。为了增大 Bo ，必须增大液滴顶点的曲率半径，从而增加液滴的体积。液滴的形状越像梨形，测量效果越准确。

邦德数的值也会受到由于相机镜头的光学畸变和液滴的垂直度造成的误差的影响。

精确测量液滴形状的一个很好的指标是 Bo 大于 0.1。

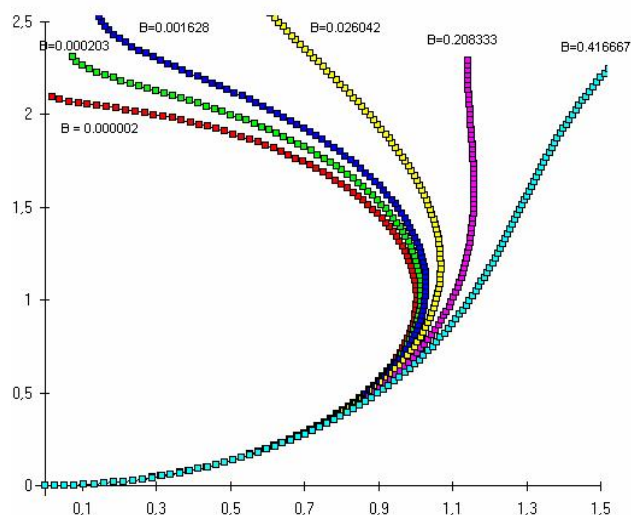


图 2 不同邦德数值下的液滴轮廓

	Bo = 0.1	Bo = 0.01
Gaussian noise (mm)	Relative error	Relative error
0.001	0.25 %	2.3 %
0.005	1.7 %	12.15 %
0.009	2.2 %	28.6 %
0.013	2.7 %	27.6 %
0.017	2.4 %	42.0 %
0.021	5.0 %	53.7 %

图 3 根据 2 个 Bo 值的高斯噪声，由液滴的拉普拉斯分布给出的相对误差

TRACKER™ 全自动多功能界面流变仪

TRACKER™ 自动执行精确的测量，产生可靠的结果，并执行可重复的操作。

接触角测量可以确定液体的润湿性和固体的表面能。接触角测量可在手动或软件(可选)自动驱动的液滴上进行。接触角可以通过放置在固体上表面或下表面的液滴来计算。一旦液滴脱离针头并接触固体，测量就开始了。

表面和界面张力的测量是根据流体的密度，用上升或下悬的液滴或气泡进行的。

随着时间的测量(Ex1)，可以确定平衡时的表面张力和表面活性剂分子的吸附动力学。

界面流变学(Ex2)测量的粘弹模量通常与泡沫或乳液的稳定性相关。界面流变学有助于更好地了解不溶性表面活性剂、可溶性表面活性剂、不可逆吸附的可溶性表面活性剂的性质及其在界面上的反应特性。

TRACKER™ 软件控制液滴体积或面积，以便：

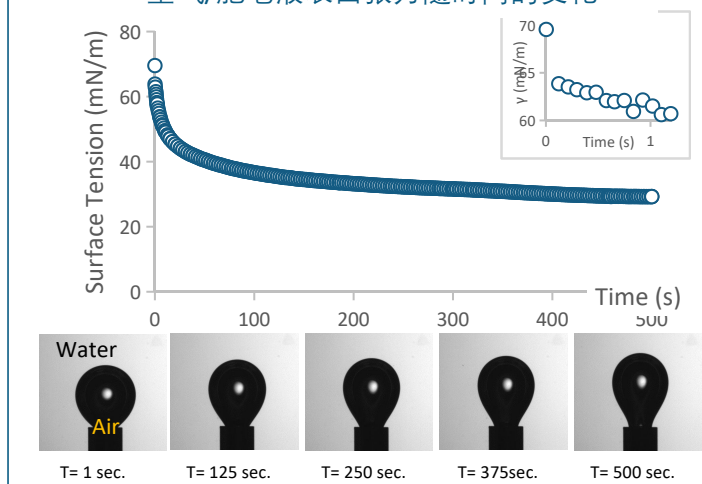
- 在实验过程中保持恒定的液滴体积/面积
- 提供液滴体积/面积的正弦变化，其频率和振幅可由用户编程，以便确定膨胀粘弹模量
- 提供具有突然变化的线性状态：脉冲

所获得的数据是实时处理的(高达76或539幅图像/秒)。设置数据、图像和结果存储在ITC文件中，并且不可更改。

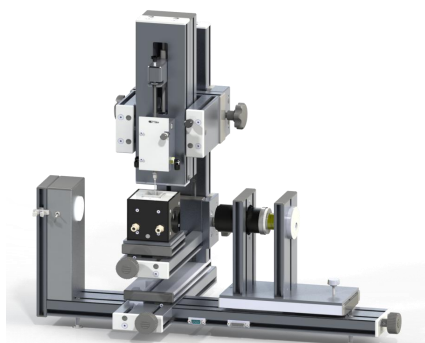
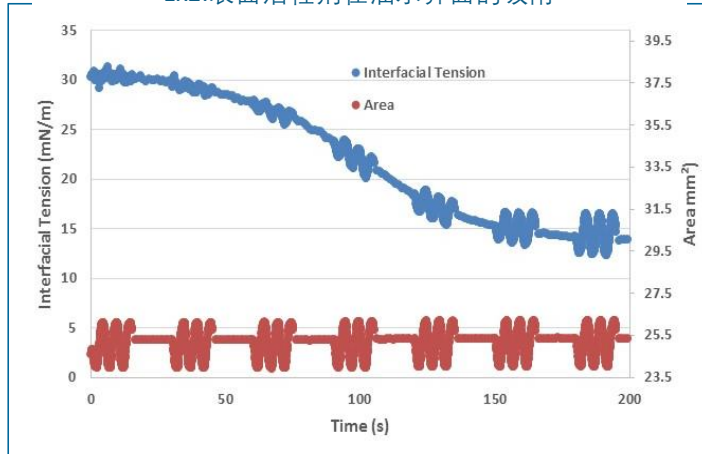
所有测量结果都可以在软件中直接进行比较。

记录的图像可以在后期处理中重新计算。

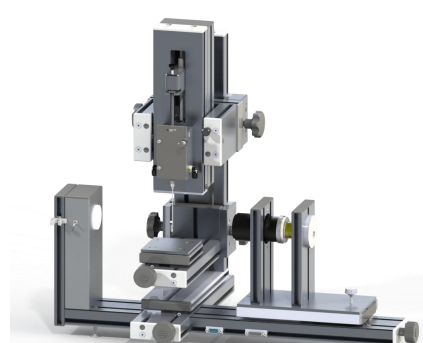
Ex1:空气/肥皂液表面张力随时间的变化



Ex2:表面活性剂在油水界面的吸附



粘弹模量和表/界面张力测量的仪器状态



接触角测量的仪器状态

界面扩张流变学(Interfacial Dilatational rheology) 是研究简单或复杂界面层的平衡和动态特性的有力工具，包含对表面活性剂、蛋白质、聚合物或微纳米颗粒的研究。

界面流变学可以更好地了解界面上的表面活性剂、蛋白质、聚合物或微纳米颗粒的特性。此外，它还可以**研究吸附-解析**现象以及在界面上可能发生的相互作用。这在界面动力学以及结构对配方性能贡献方面，可以揭示至关重要的信息。

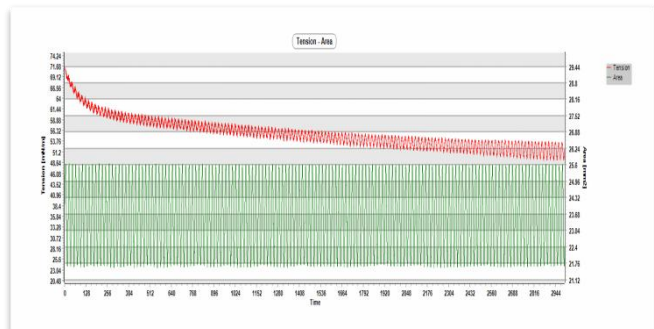
粘弹模量的计算可以更好地了解界面的弹性模量和粘性模量是如何改变的，并将其与泡沫和乳液的稳定性关联起来。

TRACKER™实现的界面流变研究

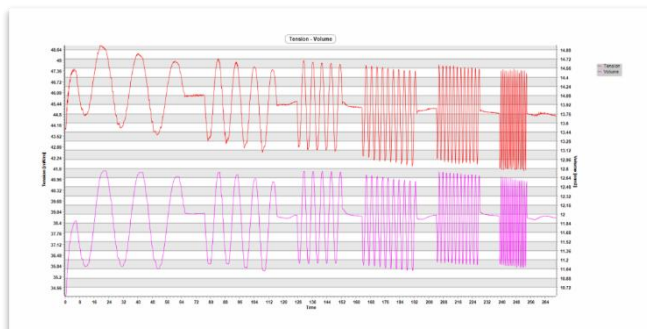
TRACKER™软件能够精确控制液滴或气泡的体积或面积，并同时执行正弦变化，其频率和振幅由用户确定。从基本的单频振荡到包含多个振荡步骤的复杂测量方案，所有测量参数都可以独立设置或更改，即使在测量过程中：

- 振荡频率: 从0.001Hz到2Hz，压电模块下最高可达10Hz
- 液滴体积变化: 从 $\pm 0.1\mu\text{l}$ 到 $\pm 100\mu\text{l}$ ，压电模块下最高可达 $\pm 4\mu\text{l}$
- 体积变化最小速度: $0.01\mu\text{l/s}$
- 体积变化最大速度: $20\mu\text{l/s}$
- 时间: 振荡期间，液滴或气泡的面积可在N小时内保持相对恒定，含气/液界面。

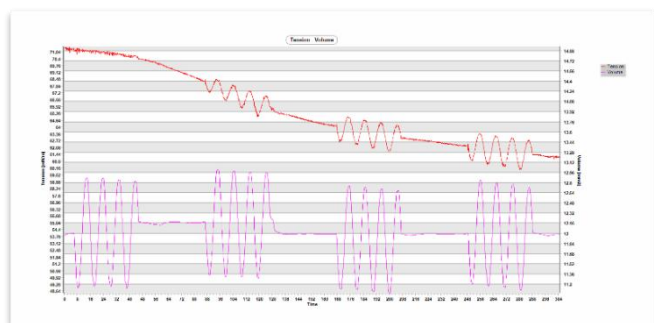
使用TRACKER™界面流变测量实例



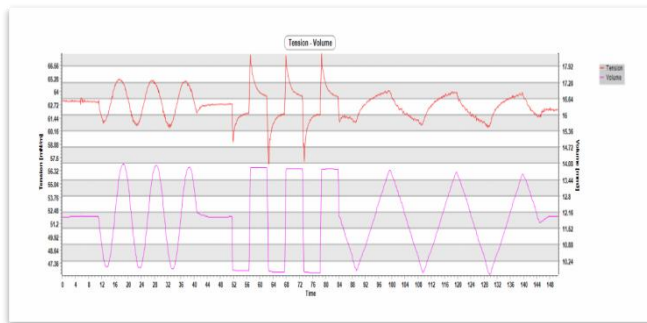
Ex 1: 吸附动力学中的面积变化测量



Ex 2: 液滴体积变化下的频率扫描模式



Ex 3: 液滴体积变化或恒定下的不间断测试



Ex 4: 同振荡频率下的不同振幅模式变化

TRACKER™ 自动多功能界面流变仪

粘弹模量

粘弹性计算可以在测量过程中执行。

$$E = d\gamma / (dA/A)$$

测量中的原始数据(液滴图像或测量结果)被记录并保存, 且可以在测量后打开进行重新分析和/或重新评估。



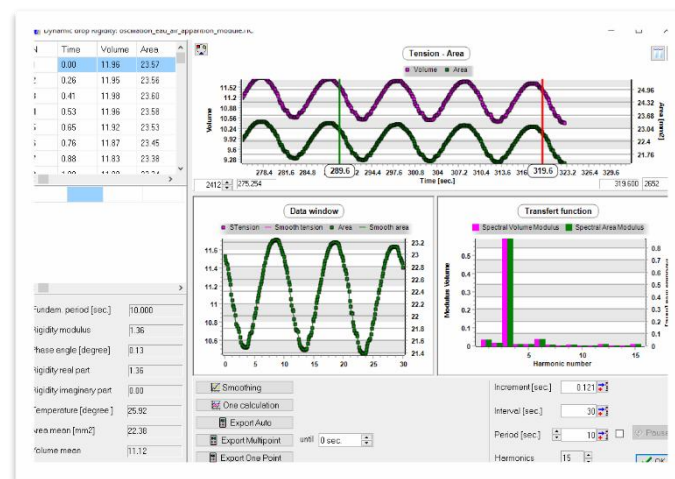
粘弹模量计算实例

刚性模量

刚性模量的计算可以在测量过程中执行。

$$\text{Rigidity} = (dV/V) / (dA/A)$$

它可以突出表面膜的外观。



刚性模量计算实例

压缩 & 扩张界面流变

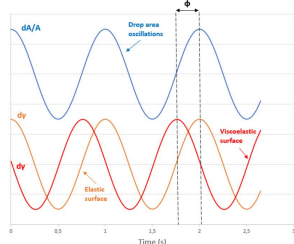
界面形变随界面面积A (压缩 & 扩张) 的改变而变化。界面对这种形变的响应表现为表面张力 γ 的变化。

粘弹模量可以定义为表面张力随表面积形变而变化。

$$E = d\gamma / (dA/A) = d\gamma / d\ln(A)$$

因此, 压缩/扩张的粘弹模量是面积形变(dA/A)与应力表面张力(N/m)之间的比例系数。

如果形变随时间变化, 则可计算出应力与形变速度对应的表面粘度的比值。如果表面以频率 ω 和振幅 ΔA 做正弦扩张和压缩, 对于粘弹性表面, 应变变化和表面张力之间可能发生相移 θ 。



粘弹模量E表征为复数, 实部E'代表所存储和可回收的能量, 而虚部E''对应于耗散机械能的机制。

$$E = |E| \cos(\theta) + i |E| \sin(\theta)$$

$$E' = |E| \cos(\theta)$$

$$E'' = |E| \sin(\theta)$$

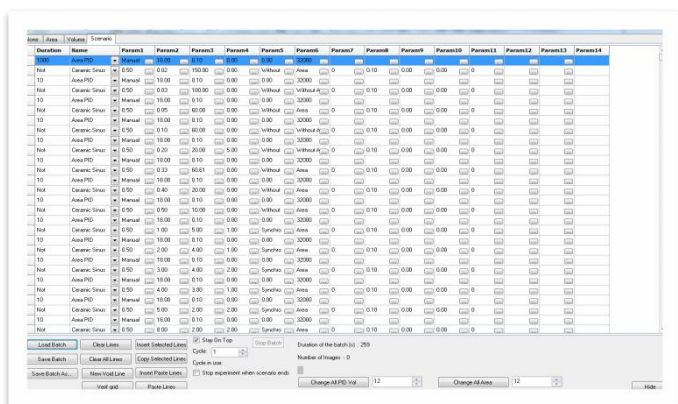
TRACKER™ 自动多功能界面流变仪

批处理: 方案管理

批处理功能可以编写一个测量方案，在测量过程中对液滴/气泡执行无限数量的测量步骤或动作。

所有测量参数都可以独立设置或更改，即使在测量过程中：

- 液滴面积/体积调控
- 振荡频率
- 振幅
- 周期
- 测量时间

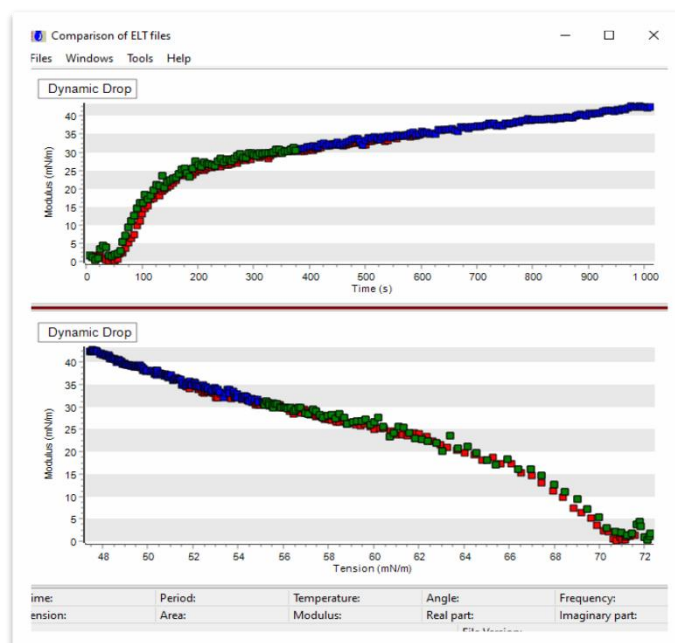


批处理设置实例

测量结果比较

液滴图像或测量结果的原始数据被记录并保存下来，多个测量数据可以直接在软件中打开进行比较。液滴图像或测量数据也可以在测量后打开进行重新分析。

多个模量测量结果也可以直接在软件中比较，无需事先导出数据。



模量比较实例

公司介绍

法国泰克利斯(TECLIS Scientific)仪器公司，致力于开发专业的界面科学仪器并提供全面表征泡沫和乳液等分散体系的相关技术及咨询服务。公司提供整套的测试仪器，用于研究和了解液体/液体、固体/液体和气体/液体的表界面特性。TECLIS采用创新技术开发仪器和软件解决方案，方便研究者使用。

作为TECLIS公司中国区独家代理，东方德菲将继续秉承“因专业而领先”的理念，与TECLIS公司一起为您提供最先进的泡沫分析仪和界面流变仪，并以快捷的方式为您提供专业的技术服务。

 **北京东方德菲仪器有限公司**
Beijing Eastern-Dataphy Instruments Co.,Ltd.

地址：北京市海淀区紫竹院路69号中国兵器大厦1010 室

联系电话：010-68920257 68920269 68920275/76/77

网址：www.edcc.com.cn 邮箱：info@edcc.com.cn