

TRACKER™

自动多功能界面流变仪



关于表面张力& 界面流变

表面张力和界面张力在我们的日常生活中起着重要作用。许多工业应用正在利用界面张力现象，并且要求表征分散的系统，例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2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。

测试原理

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。

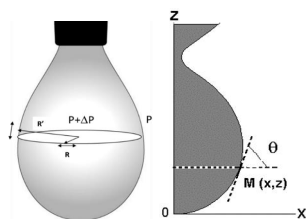


上升滴/泡法: 轻相样品滴入装有重相的样品池中。



下悬滴/泡法: 重相样品滴入装有轻相的样品池中。

TRACKER™软件使用算法来分析液滴轮廓，并将其拟合到Young-Laplace方程的模型中，以计算表面张力，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

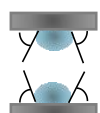
TRACKER™ 软件通过控制频率和幅度下降量或面积的变化，来研究界面的流变性。

软件的自动调节功能可确保高精度且可重复的测量。每秒最多可以记录60帧。测量过程中，软件实时记录测量值并计算。

测试范围



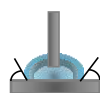
表/界面张力的测量: 测量气/液，或者液/液之间的界面张力。



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



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



动态接触角: 控制滴体积变化测量前进角和后退角

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
- 温度范围: 最高 200°C
- 压力范围: 最高 700bars
- 滴体积/面积
- 刚性系数
- Bond 系数
- 临界胶束浓度的测量

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: 冷冻前乳液的稳定性(冰淇淋)，蛋白质影响，糖或酒精对泡尺寸与分布影响。

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: 润滑油/材料 接触角，表面活性剂在润湿性的影响。

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。

凭借其智能的模块化设计, TRACKER™可适应多种应用, 并允许您选择一个或多个模块和选件来选择与您的应用相匹配的仪器:

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

测试设备

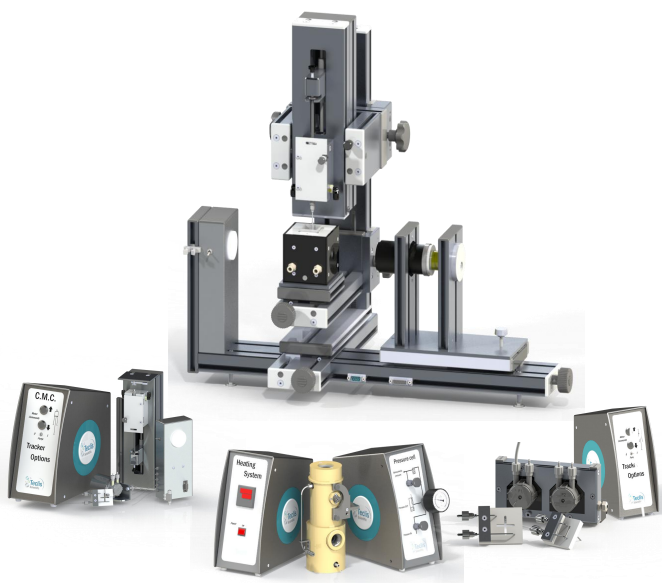
TRACKER™配备了一个带恒温胶套的样品池, 其底部集成了一个磁力搅拌器, 用于在实验过程中改变溶液浓度时混合样品。

通过使用循环浴, 样品池和注射器的温度都可以控制在90°C。设有感温探头, 可记录样品或样品套的温度(精度为± 0.2°C)。

来自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™配备了一个可移动的平台, 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, 在实验操作时可以防止光照, 保护仪器不受灰尘影响。



光学系统

TRACKER™配备了分辨率为640x480像素的单色CCD相机和远心镜头。该相机最多可记录每秒60帧/秒 (fps) 的图像, 可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600 fps)。

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 (0.2 px) 的分辨率。

光源以均匀、恒定的方式照射样品。256个像素中, 一个像素的灰度变化只有±10个灰度的变化。光源有2种发光强度, 以适应较高光密度的溶液。

数据 & 测试

- 界面粘弹性
 - ✓ 弹性模量
 - ✓ 粘性模量
- 表面张力
- 界面张力
- 接触角和表面能
- 前进角和后退角
- 刚性系数
- 临界胶束浓度的测量 (CMC)
- 温度

应用

- 表面活性剂的表征
- 表面活性剂的效率与效力
- 使达到表面饱和的表面活性剂的数量
- 表面上表面活性剂的表现行为
- 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™ 自动多功能界面流变仪

软件

界面张力可由具有旋转对称性的滴轮廓来计算。

液滴的实际形状是由界面张力和重力效应相互作用的结果。界面张力使滴呈球形，而重力使滴拉长，因此滴变成梨形，或者在无柄滴的情况下变平。如果这些对立效应的绝对值相同，就有可能确定所产生的轮廓的形状，以及滴与其支撑物之间的接触角。

该计算基于两个基本方程：

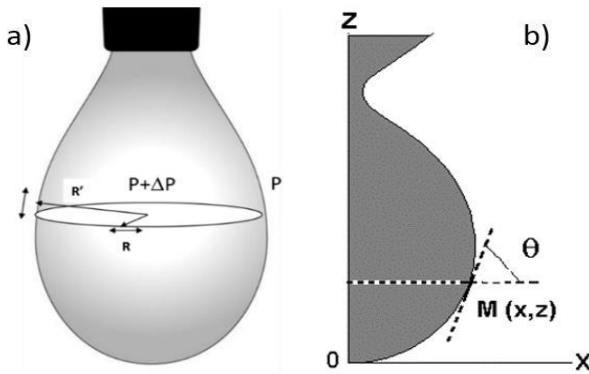


Figure 1.a/滴的表面曲率
b/滴表面某点M的坐标

- 拉普拉斯-杨方程表述了表面曲率产生的压强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'* 为滴面主要半径
 ΔP 是跨界面的压力变化
(Figure 1.a).

- 第二个方程是基于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 施加在滴表面的压力
γ 界面张力
R 和 *R'* 滴面主要曲率半径
x 是以*z*为做的的子午线的横坐标
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
(Figure 1.b).

滴的形状只取决于非维度的形状因子，名为形状因子或邦德数：

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

Δρ 为两种流体的密度差
g 是重力加速度
b 是滴顶点曲率半径的倒数
γ 是界面张力
c 毛细管常数 $c = \frac{g\Delta\rho}{\gamma}$

Bo 越低，滴的球形程度越高，测量的精度越低 (Figure 2-3)。为了增大 *Bo*，必须增大滴顶点的曲率半径，从而增大滴的体积。滴的形状越梨形，测量效果越好。

邦德数的值也会受到相机镜头的光学变形和滴垂直度的误差影响。

精确测量液滴形状的一个良好指标是 *Bo* 数值高于 0.1。

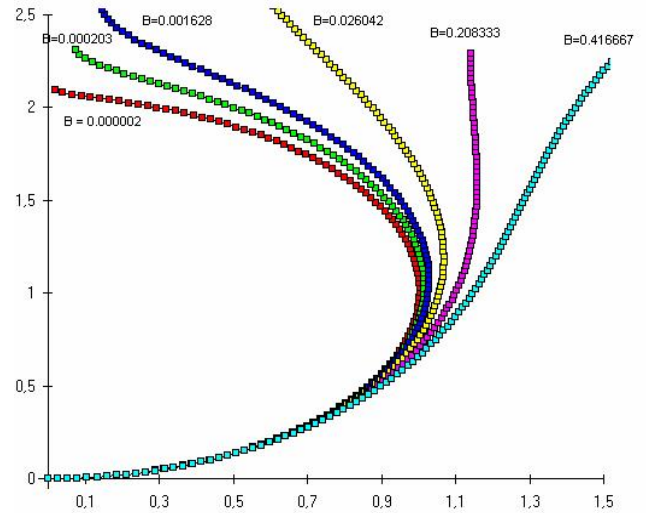


Figure 2 不同邦德数值下的滴轮廓

	<i>Bo</i> = 0.1	<i>Bo</i> = 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 %

Figure 3 根据2个*Bo*值的高斯噪声，由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™ 是自动执行精确的测量，产生可靠的结果和执行可复制的操作。

接触角测量可以确定液体的润湿性和固体的表面能。接触角测量可以在手动或软件（选件）自动驱动的液滴上进行。接触角可以通过放置在固体表面上或下表面的液滴来计算。当液滴脱离针头并接触到固体时，测量就开始了。

表面张力和界面张力的测量是根据流体的密度，用上升或下悬液滴或气泡进行的。

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)测量的粘弹性模量通常与泡沫或乳液的稳定性相关。界面流变学可以更好地了解不溶性表面活性剂、可溶性表面活性剂、具有不可逆吸附性的可溶性表面活性剂及其在界面上的反应的特性。

TRACKER™ 软件控制滴体积或面积，以便：

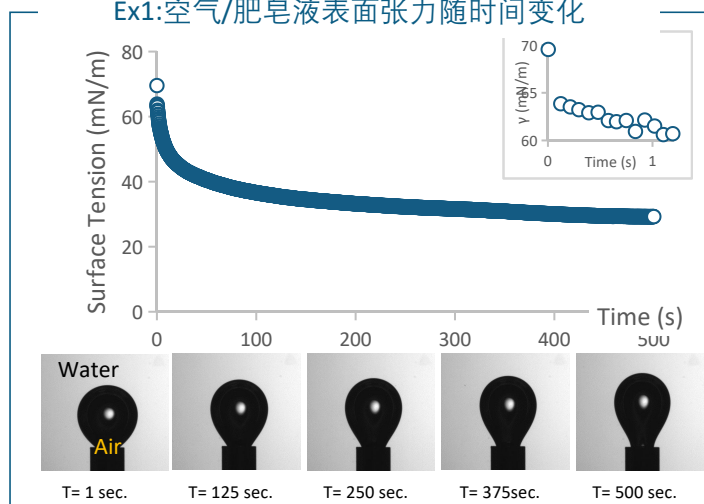
- 在实验过程中保持恒定的滴体积/面积
- 提供滴体积/面积的正弦变化，其频率和振幅可由用户编程。这些实验用于确定膨胀粘弹模量
- 提供具有突然变化的线性状态：脉冲

所获得的数据是实时处理的（最高可达每秒60幅图像）。设置数据、图像和结果都存储在ITC文件中，不可更改。

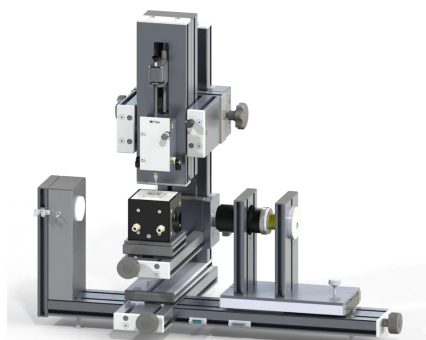
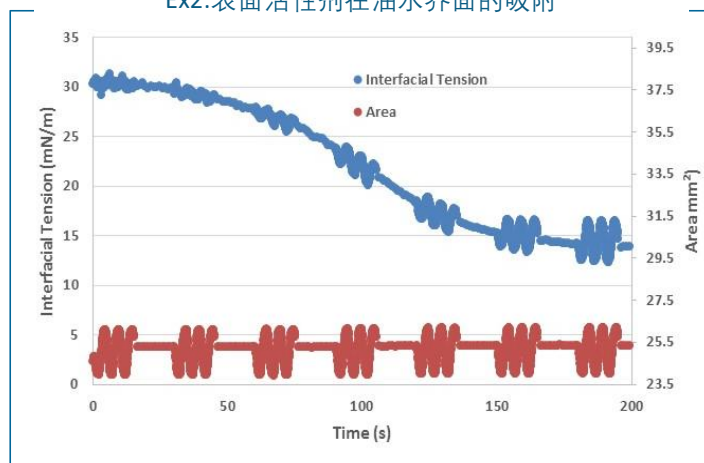
所有的测量结果都可以直接在软件内进行比较。

记录的滴图像可以在后期处理中重新计算。

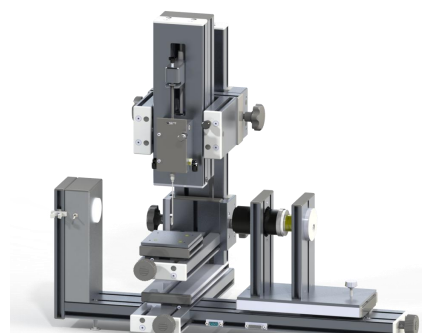
Ex1:空气/肥皂液表面张力随时间变化



Ex2:表面活性剂在油水界面的吸附



粘弹模量和表/界面张力测试的仪器状态



接触角测试的仪器状态

TRACKER™ 自动多功能界面流变仪

面扩张流变学(Interfacial Dilatational rheology) 是研究简单或更复杂界面层的平衡和动态特性的强有力的工具, 包含对表面活性剂、蛋白质、聚合物或者微米-纳米颗粒的研究。

界面流变学可以更好的了解界面上的表面活性剂、蛋白质、聚合物或微米-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。这些可以揭示有关界面动力学以及结构对配方性能贡献的重要信息。

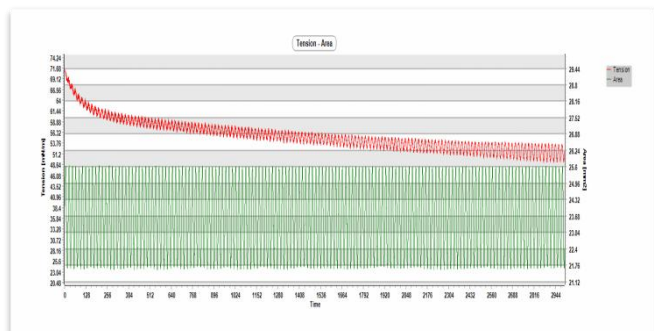
粘弹模量的计算可以更好的理解如何改变界面弹性模量或粘性模量, 并将其与泡沫与乳液稳定性关联起来。

TRACKER™ 实现的界面流变研究

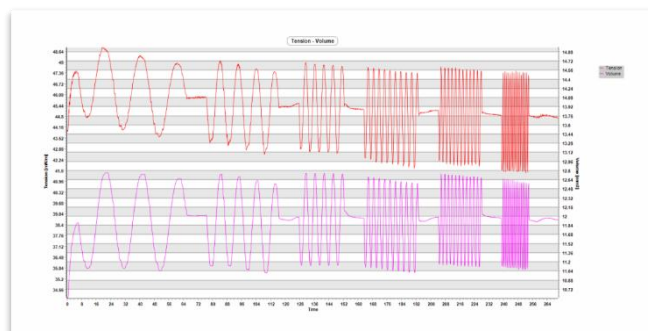
TRACKER™ 软件可精确控液滴的体积或面积, 并同时执行正弦变化, 其频率和振幅由用户确定。从基本的单频振荡到复杂的测试方案含多个振荡步骤, 所有测量参数都可以独立设置或更改, 即使在测试过程中:

- 振荡频率: 从 0.001Hz 到 2Hz 和在压电模块下增至 10Hz
- 滴体积变化范围: 从 +/- 0.1 μl 到 +/- 100 μl 和压电模块下最高为 +/- 4 μl
- 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: 振荡期间滴或泡的面积可在N小时内保持相对恒定, 含气/液界面。

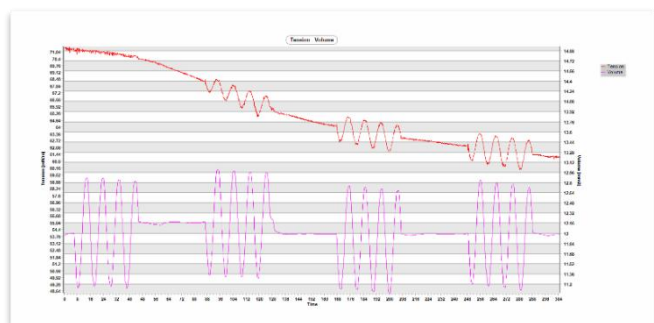
使用TRACKER™界面流变测试实例



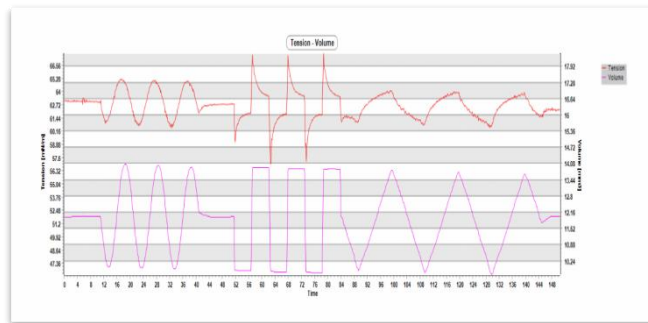
Ex 1: 吸附动力学中的面积变化测试



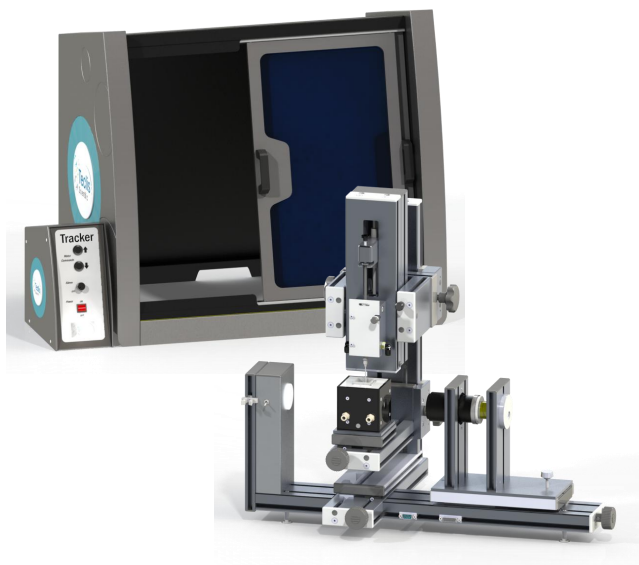
Ex 2: 滴体积变化下的频率扫描模式



Ex 3: 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



功能

- 界面粘弹性
 - ✓ 弹性模量
 - ✓ 粘性模量
- 表面张力
- 界面张力
- 接触角和表面能
- 前进角和后退角
- 刚性系数
- 临界胶束浓度的测量

配件系统

TRACKER™ 配备分辨率为640x480像素的单色CCD相机和远心镜头。相机最高可记录每秒60帧 (fps) 图像，适用大多数应用。当捕捉极快速现象时，可选用快速相机 (最高每秒600帧 (fps))。

软件中含失真校正功能用于校正采集的图像，以实现最大的测量精度。因此，可以分析分辨率低于像素 (0.2 px) 的图像。

光源均匀稳定的照亮样品，光源的发光强度可调。一个像素的灰度变化在256个灰度值中变化 ± 10 个灰度。光源具有2个发光强度，以适应具有更高光密度的溶液。

测试单元

TRACKER™ 配套恒温夹套样品池。测试过程中，如果溶液浓度发生变化，可在样品池中放入磁力搅拌子搅拌溶液。

通过使用循环水浴，可将样品池和注射器的温度控制在最高90°C。仪器备有温度传感器，记录样品或恒温夹套的温度 (精度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$)。

来自温度探针的数据与样品结果一起自动记录在软件中。因此，软件可根据实际温度调整密度值。

TRACKER™ 安置在保护外罩内，在实验中可避免光污染和保护仪器免受灰尘影响。

应用

- 表面活性剂的表征
- 表面活性剂的效率与效力
- 使达到表面饱和的表面活性剂的数量
- 表面上表面活性剂的表现行为
- 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
-

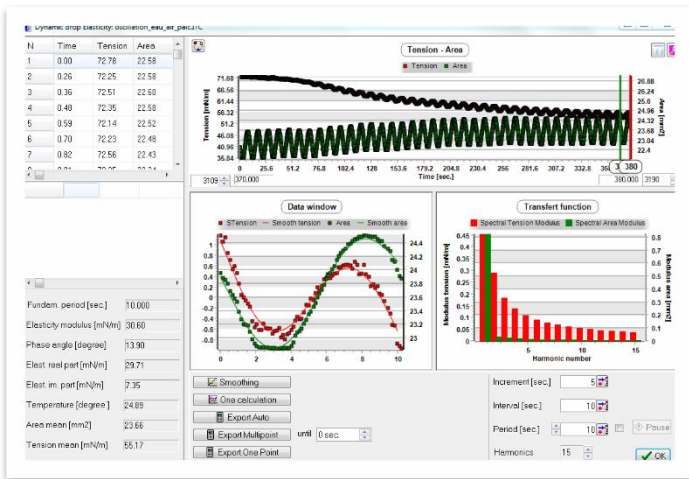
TRACKER™ 自动多功能界面流变仪

粘弹模量

粘弹性计算可以在测试过程中执行。

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

测试中的滴图像或原始数据可被记录并保存。这些数据可以在测试后打开进行重新分析和/或重新评估。



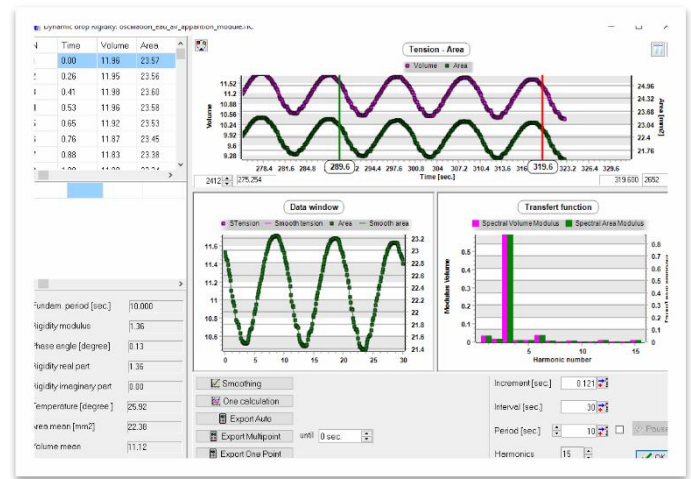
粘弹模量计算实例

刚性模量

刚性计算可以在测试过程中执行。

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

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

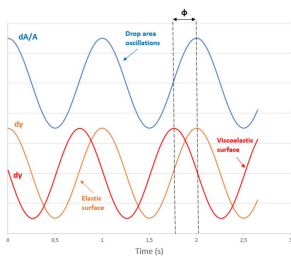
界面形变由界面面积A (压缩 & 扩张) 的改变而变化。界面对这种形变的响应表现为表面张力 γ 的变化。

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/扩张的粘弹模量是在面积形变(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可以表征为复数，其实部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。

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

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

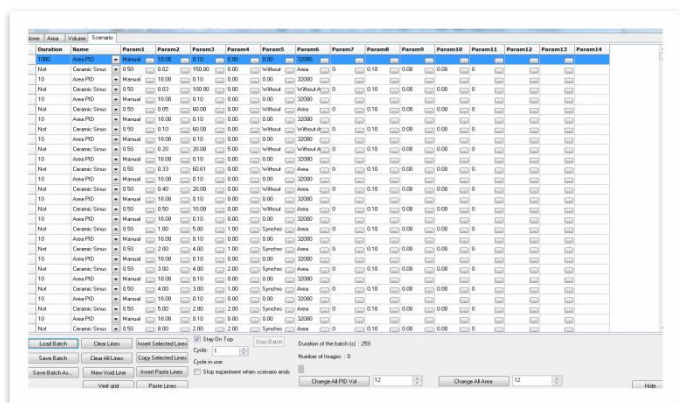
$$E'' = |E| \sin(\theta)$$

批处理: 方案管理

使用批处理功能，可以编写一个在测量过程中对液滴/气泡执行的无限数量的测量步骤或动作的测试方案。

所有测量参数都可以独立设置或更改，即使在测量过程中：

- 滴面积/体积调控
- 频率振荡
- 振幅
- 周期
- 测试时间

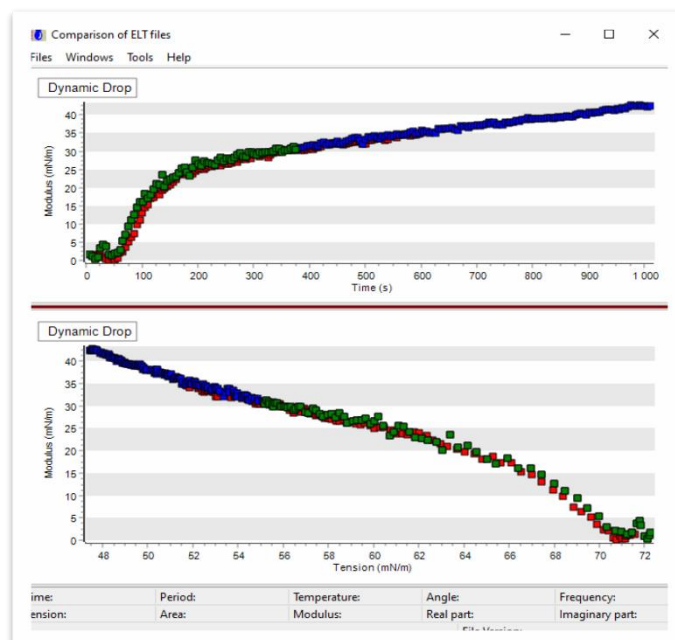


批处理设置实例

测试结果比较

滴图像或测试的原始数据可被记录并保存。多个测试结果数据可以在软件中同时比较。

多个模量测试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