

TRACKER™H

自动悬滴界面流变仪

高温 & 高压

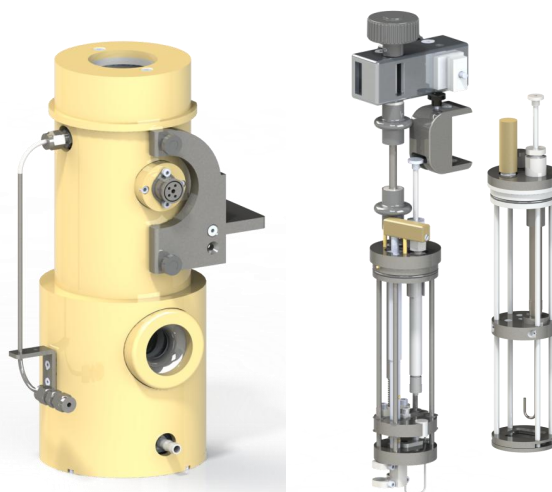


TRACKER™ H – 压力范围 200bar

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**200 bar**和**200°C**的测试环境下，执行界面流变测试和测量表/界面张力，以及在最高**100bar** 和**200°C**测试环境下，执行接触角测试。

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/液或液/液或固/液界面。借助旋转平台，无需打开压力腔可进行多次躺滴测量。

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。

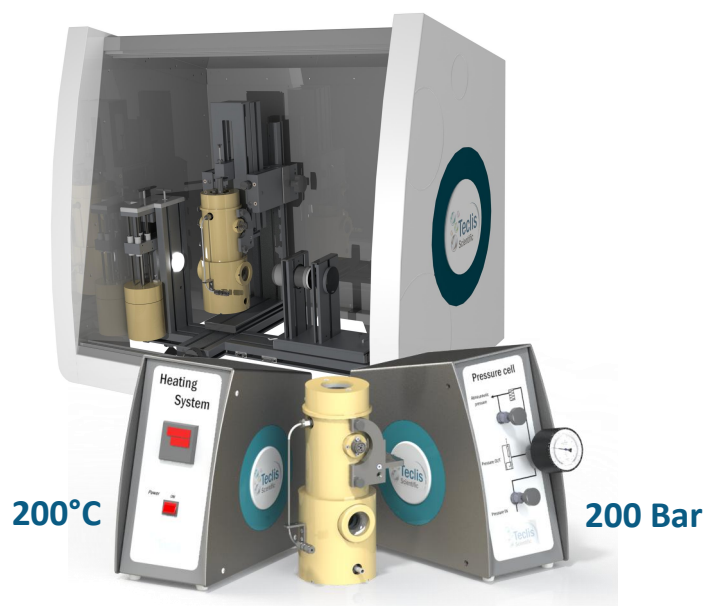


测试装置

独立的温度探针测量压力腔内的液体温度。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。

液滴形状分析通过蓝宝石舷窗进行。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。



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 (液/固)
•	动态接触角
•	表面活性剂吸附
•	刚性系数
•	温度 / 压力

应用：	
•	超临界二氧化碳环境下
•	原油或沥青测试
•	聚合物熔融
•	带压环境下的接触角
•	甲烷环境下的研究

技术规格	
压力 / 温度	最高 200bar / 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)

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：

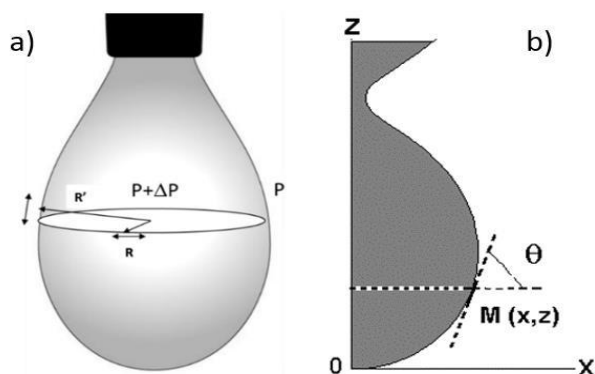


Figure 1.a/滴的表面曲率
b/滴表面某点M的坐标

- 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
ρ₁ 和 *ρ₂* 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。

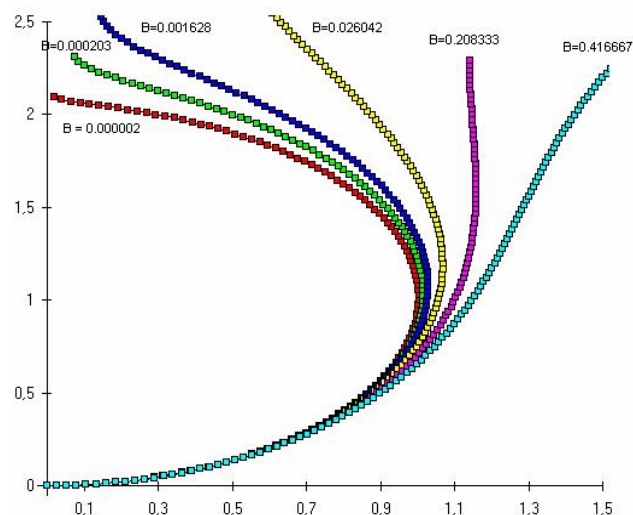


Figure 2 不同邦德数值下的滴轮廓

	<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™ 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。

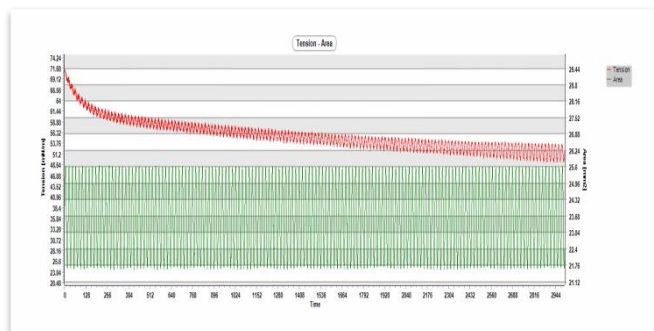
粘弹模量的计算可以更好的理解如何改变界面弹性模量或粘性模量, 并将其与泡沫与乳液稳定性关联起来。

TRACKER™ 实现的界面流变研究

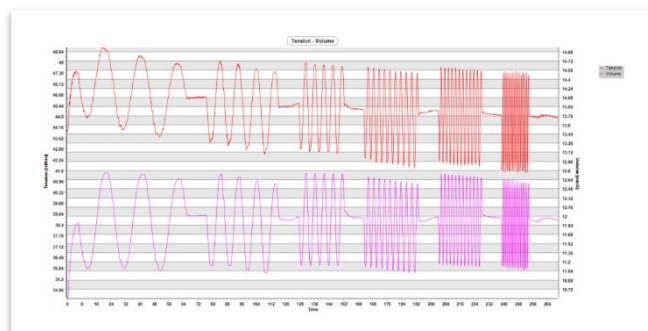
TRACKER™ 软件可精确控液滴的体积或面积, 并同时执行正弦变化, 其频率和振幅由用户确定。从基本的单频振荡到复杂的测试方案含多个振荡步骤, 所有测量参数都可以独立设置或更改, 即使在测试过程中:

- 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。

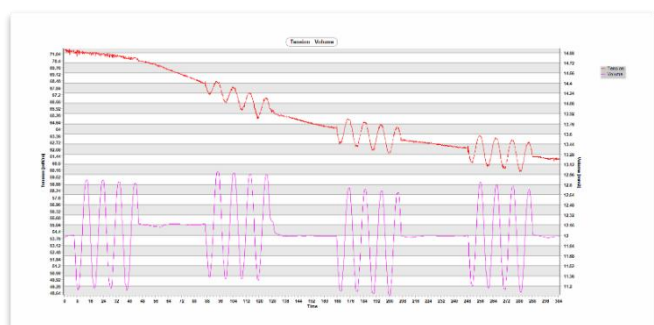
使用TRACKER™界面流变测试实例



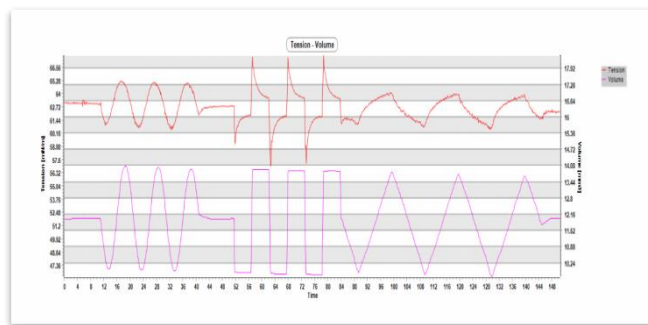
Ex 1: 吸附动力学中的面积变化测试



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

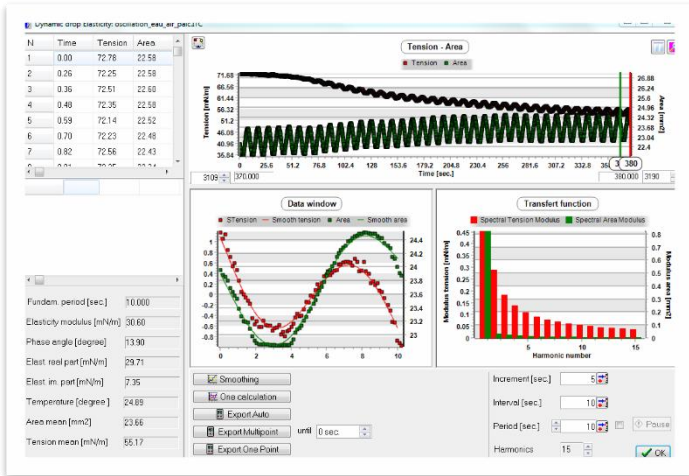
TRACKER™ 自动多功能界面流变仪

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。



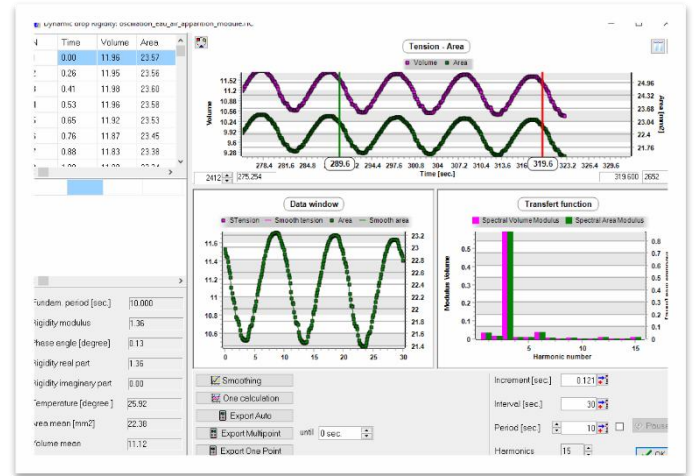
粘弹模量计算实例

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

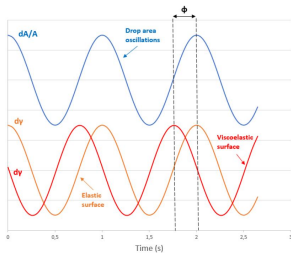
界面形变由界面面积A (压缩 & 扩张) 的改变而变化。界面对这种形变的响应表现为表面张力 γ 的变化。

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。

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

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

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

