

界面流变学：在分子尺度上探测界面的一种工具

表面张力不足以表征界面...

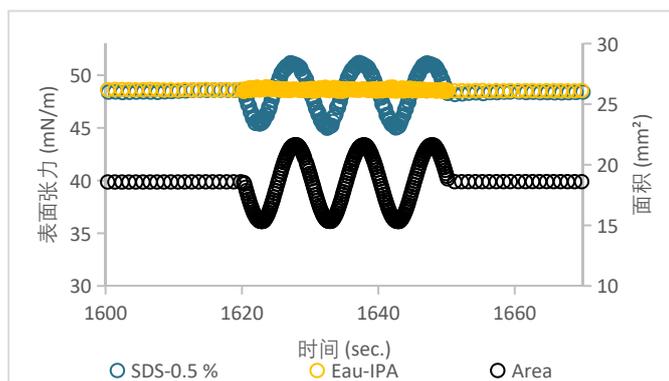
界面张力是表征分子界面活性的主要参数。除其他参数外，监测界面张力允许：

- 确定分子是否具有表面活性
- 表征分子对界面的吸附动力学
- 在某些情况下，测定该分子的界面浓度。

具有相同界面张力的两个系统可以表现出极其不同的行为。例如，向水中添加表面活性分子，如油酸钠（肥皂），可降低溶液-空气界面的界面张力值，并增强溶液的起泡性，而向水中添加乙醇，可降低界面张力，但不会使溶液形成泡沫。例如，2种溶液、3 wt%的水/异丙醇 (IPA)混合物和0.5 g/L的十二烷基硫酸钠 (SDS)水溶液显示出相似的液-气界面张力（约48 mN/m），但宏观行为非常不同。事实上，SDS水溶液会产生强烈的泡沫，而水醇混合物则没有。

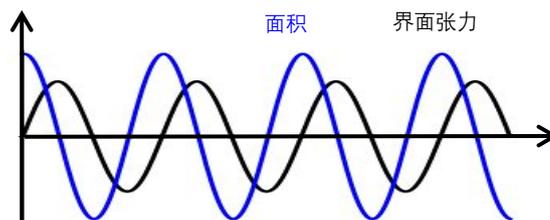
除了这种宏观差异外，两个系统的流变特性也不同。在水醇混合物（橙色点）的界面面积变化（黑色符号）期间，表面张力保持不变（橙色符号），而SDS溶液（蓝色点）的表面张力和面积之间有强烈的相关性。事实上，当界面面积增加时，观察到张力增加，当面积减少时，界面张力也降低。

界面张力值和界面面积之间的这种依赖关系可以解释为二维粘弹性。



如何测量界面的界面流变特性？

最常见的是，弹性模量和面积与表面张力之间的相位角差 φ 是根据表面张力对界面大小正弦振动的响应来获得的。



$$\text{因此 } E = |E^*| = \frac{dy}{d \ln A}, E' = |E^*| \cos \varphi \text{ and } E'' = |E^*| \sin \varphi$$

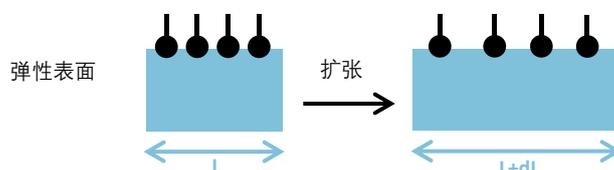
定义

界面扩张流变学根据弹性系数和粘性系数定义了应力、变形和应变率之间的关系。实际上，界面粘弹性模量可以写成：

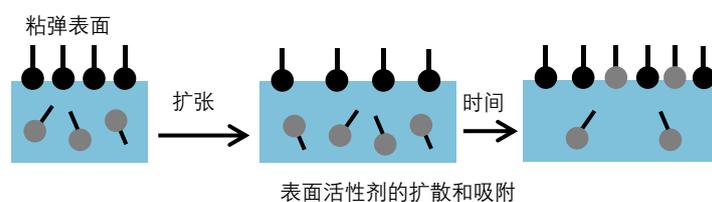
$$E^* = E' + iE''$$

E' 表示弹性模量， E'' 表示粘性模量。

- E' 可以解释为系统的弹性反作用力。该系统的行为就像表面活性剂仅在界面上一样，因此不会发生浓度平衡。



- E'' 描述变形后表面张力初始值恢复的速度。如果本体相中存在表面活性剂，则扩散到界面并发生吸附，从而导致时间依赖性过程[1]



为什么要测量界面流变？

乳液、泡沫和泡沫液体是许多工业应用（食品、化妆品、石油和天然气等）中使用的分散介质。在宏观尺度上，它们的稳定性、传输特性和力学行为等特性强烈依赖于它们的组成以及组成它们的流体-流体界面的特性 [2, 3, 4]。

例如，在液体泡沫中，当气泡由于浮力迁移到自由液气界面并与其他相邻气泡相互作用时，界面扩张导致表面活性剂覆盖率降低。为了达到平衡，表面活性剂分子迁移到拉伸区域并促使子相向薄部分流动。由于这种被称为“吉布斯-马兰戈尼 Gibbs Marangoni”的效应，减薄停止，泡沫稳定[5]。

参考文献

- [1] Hutin, Anthony. (2019). Application Notes – Theory: 5. Compression & dilatation interfacial rheology.
- [2] Langevin, D. (2000). Influence of interfacial rheology on foam and emulsion properties. *Advances in colloid and interface science*, 88(1-2), 209-222.
- [3] Lucassen-Reynders, E. H. (1993). Interfacial viscoelasticity in emulsions and foams. *Food Structure*, 12(1), 1.
- [4] Hemar, Y., Hocquart, R., & Lequeux, F. (1995). Effect of interfacial rheology on foams viscoelasticity, an effective medium approach. *Journal de Physique II*, 5(10), 1567-1576.
- [5] Marangoni, Carlo. "Sul principio della viscosita' superficiale dei liquidi stabilito dalsig. J. Plateau." *Il Nuovo Cimento* (1869-1876)5.1 (1871): 239-273.