

摘要：对于悬浮液和乳剂来说，配制两相分散液可以使产品的稳定性更好或保质期更长。粒子大小和表面电荷（Zeta电位）都是影响悬浮液稳定性的重要物理性质。本文解释说明了如何利用粒子大小和Zeta电位来提高分散液的稳定性。

分散液（固体/液体）和乳剂（液体/液体）都是两相分散，溶剂为连续相，而颗粒或乳状液滴构成分散相。在稳定的分散体中，分散相的粒子大小随时间保持一致并保持悬浮状态。不稳定的乳状液会相分离，油相“奶油化”到溶液顶部，或者由于聚集或Ostwald成熟，乳状液滴会随时间而增加。不稳定的悬浮液会絮凝/聚集，然后沉降到底部，如图1所示。

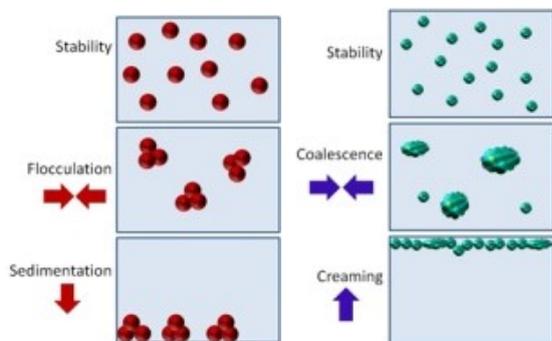


图1：稳定与不稳定

创建稳定的分散体需要控制连续相和分散相的化学和物理性质。通过选择表面活性剂，改变浓度、盐浓度、pH值，可以使连续相的化学性质得到优化。通过在表面（固态稳定）上添加聚合物涂层或/和增加表面电荷（静电稳定），可以使分散的相位更加稳定。当粒子表面没有电荷时，粒子相互紧密地接近，容易聚集，进而降低分散系的稳定性。但如果粒子表面电荷足够，粒子会像磁铁一样相互排斥，且永不接近聚合，如图2所示。

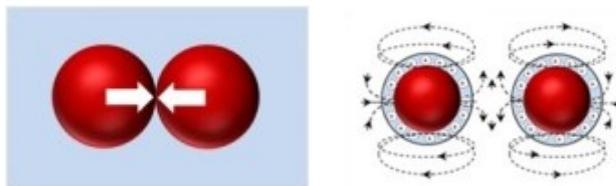


图2：吸引粒子聚集（左），排斥粒子分离（右）

从测量的角度看，表面电荷是用Zeta电位分析表征的。如图3所示，Zeta电位是距离粒子较短距离内的电位，单位为mV。在悬浮液上施加电场并通过电泳光散射检测粒子的运动来测量。粒子运动的方向决定了电性（+或-），而速度决定了电荷的大小。运动可以通过检测频移（相位多普勒）或相移（相位分析光散射或PALS）来分析。

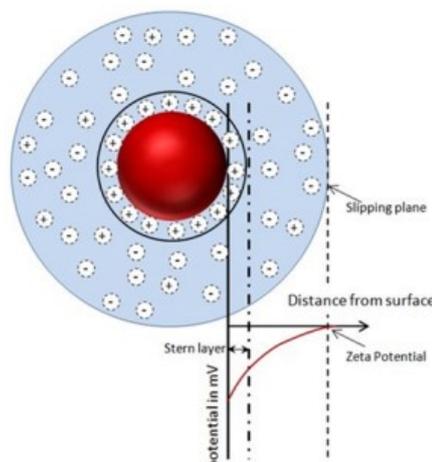
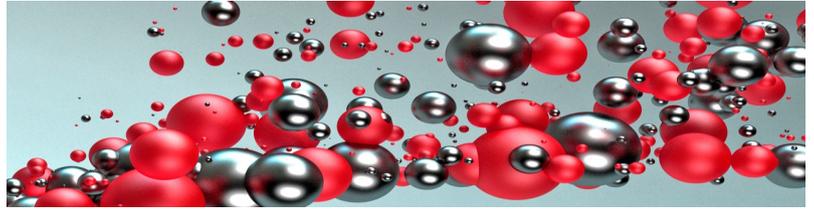


图3：Zeta电位



Zeta电位测量的主要结果是电泳迁移率 μ ，然后使用以下方程式计算Zeta电位： $\zeta = \eta\mu / \epsilon$ ，在这里， ζ =Zeta电位， η =溶剂粘度， μ =电泳迁移率， ϵ =溶剂介电常数。zeta电位的正负电荷不重要，重要的是绝对值大小，较高的Zeta电位绝对值表明分散的稳定性得到了改善。不同种类的分散体需要不同的电荷值以增强稳定性，如图4所示（仅粗略代表）。

样品类型	Zeta电位
仅金属	>40mV
金属氧化物	>30mV
聚合物	>20mV
乳液	>10mV

图4: Zeta电位稳定性指南

通过改变Zeta电位来增加稳定性通常仅对平均粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的小颗粒起重要作用，但乳液的粒径可能会更大。

等电点（IEP）：分散体系中的等电点是指Zeta电位为0时的pH值。这是进行Zeta电位测量的一个常见原因，因为IEP表明了可能导致分散不稳定的表面化学条件，如图5所示。

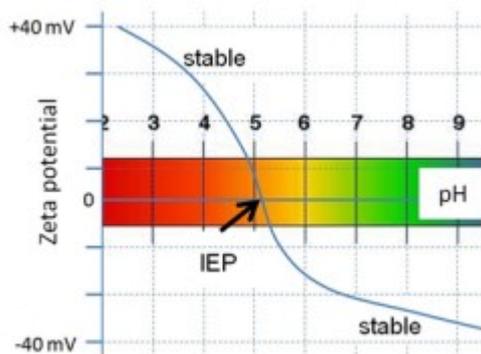


图5: 等电点

结论：食品乳剂

通过用弱酸从pH6.8滴定到3.2来改变食品乳液的pH值。在每个pH值下，使用PALS技术（外加电场=4 v/cm）进行了七次测量，并报告了平均值。图6中显示了Zeta电位与pH的情况。

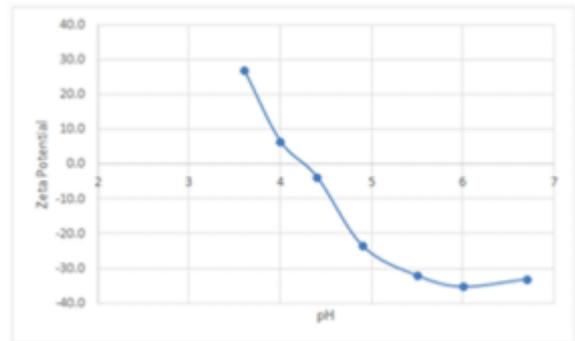


图6: Zeta电位与pH

图7显示了pH值为6.5时乳液样品的粒径分布，图8显示了pH值为3.5时乳液样品的粒径分布。注意，较低pH值时液滴粒径（302-496 nm）急剧增加时，表明乳液处于不稳定状态。

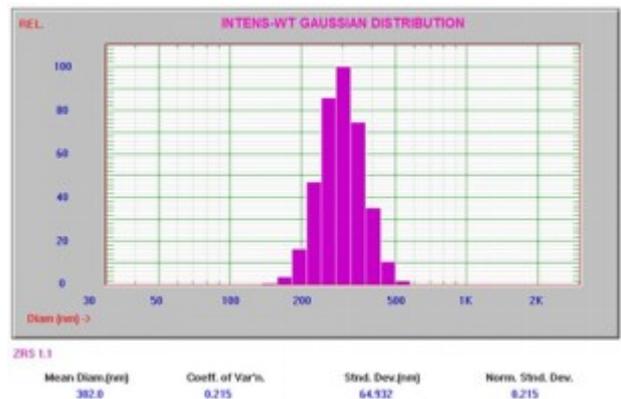


图7: pH值为6.5时的粒径, Zeta电位=-34 mV

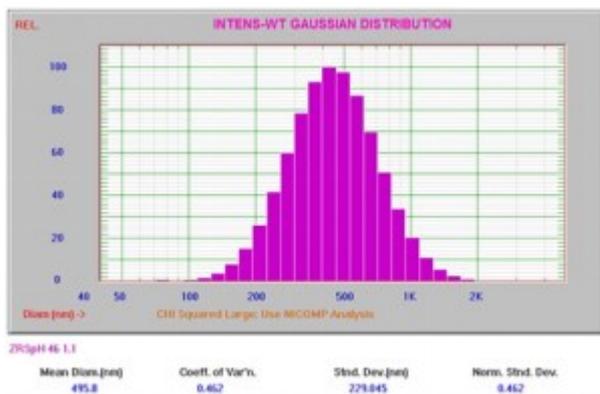
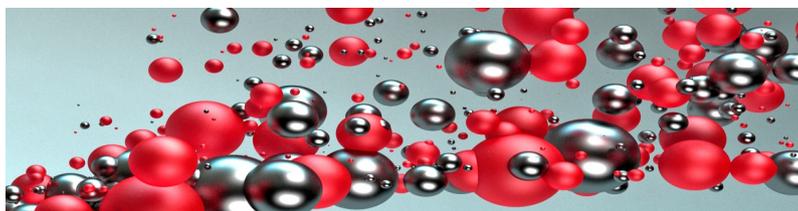


图8: pH值为4.6时的粒径, Zeta电位=-9.8 mV

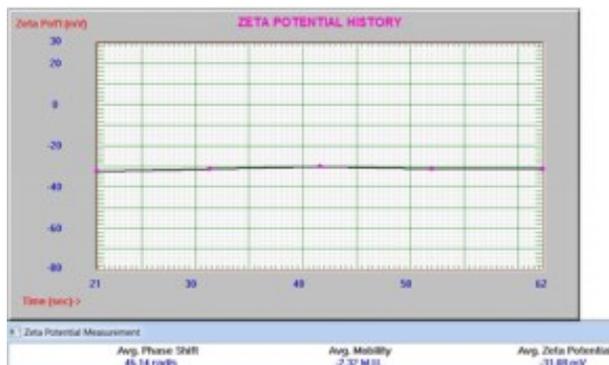


图10: ZnO在pH为11.2时的Zeta电位

结论: 氧化锌悬浮液

购买了氧化锌 (ZnO) “纳米粉末” (Sigma-Aldrich#544906), 以研究pH值对zeta电位和粒径的影响。用Igepal CA-630非离子表面活性剂分散制备所有样品, 并用超声波探头 (2) 超声3分钟。pH值为6.9和11.2的zeta电位值如图9和10所示。请注意, 即

图11显示了粒径的变化, 从pH 6.9时198 nm处的单峰到pH 11.2时204和573 nm处的双峰分布。当zeta电位接近零时, 悬浮液不稳定并开始聚集。



使接近零, Zeta电位的结果也非常稳定。

图9: ZnO在pH为6.9时的Zeta电位

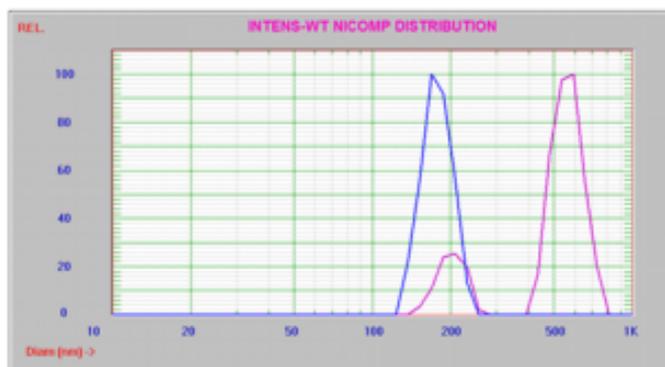


图11: ZnO在pH6.9 (蓝) 和11.2 (粉) 时的Zeta电位