

牙膏除了具有医疗和卫生效果外，还应保证在清洁时口腔内有愉快的感觉。泡沫的形成在这两个方面都起着关键作用：它对牙膏的清洁效果很重要，只要泡沫不太多通常认为是令人愉快的。

因此，优化泡沫的起泡性和粘稠度是牙膏配方开发的重要一步。如果使用适当的测量方法预先测试泡沫形成，可以减少昂贵耗时的试验研究。对生产过程中的质量保证同样重要。

作为方法评估的一部分，我们选用适当的测量方法，对三种牙膏配方进行了一系列测试，客观比较它们的起泡行为。通过软件控制的搅拌器，对稀释后的样品进行重复发泡，以便量化其发泡能力，并测试泡沫结构。这些结果，使我们能清楚分辨不同配方之间的泡沫性能的差异。

背景

几乎所有牙膏配方都包括表面活性剂作为发泡剂。泡沫确保了抛光、釉质强化和其他活性成分在清洁过程中的均匀分布。特别是细孔泡沫，确保即使是难以接近的区域也更容易到达。此外，泡沫产生的增大的表面也加强了清洁效果。所有的牙膏配方都包括表面活性剂，但过多泡沫通常并不让人舒适。此外，如果泡沫是大尺寸的，即每单位体积只有几个气泡，那么它也没有所需的表面膨胀度。这使得起泡行为成为牙膏的一个关键质量特征。

牙科护理产品在推出或其配方调整之前，要经过昂贵且耗时的试验组研究。泡沫分析可提前减少所需的试验次数。此外，用可重复方法进行的泡沫测量为评估配方提供了客观标准，该配方可与试验组研究的成功相关。如果以这种方式优化配方，常规泡沫分析在质量保证范围内也有帮助。

试验部分

样品准备

三种不同配方的牙膏 A, B, C 参与测试。其中两个样品含有十二烷基硫酸钠(十二烷基硫酸钠, SDS)作为发泡剂和一种椰油酰胺丙基甜菜碱 (CAPB)。

牙膏	发泡剂
Sample A	SDS
Sample B	SDS
Sample C	CAPB

牙膏样品测试

制备 10g/L 的悬浮液。将 2.5 g 样品加入 60 mL 蒸馏水中并搅拌 5 分钟。然后使用超声波将悬浮液匀化 5 分钟，并将其体积填充至 250 mL。溶液的制备和随后的测量在 25°C 的温度下进行。

测试方法和参数

采用动态泡沫分析仪 DFA100 测量泡沫高度。用泡沫结构模块-FSM 对气泡结构进行了补充测

定。

使用 DFA100，样品可重复发泡。上下泡沫边界（液体/泡沫和泡沫/气体）在泡沫期间和泡沫之后由 LED 条和与其相对的线路传感器条捕获。

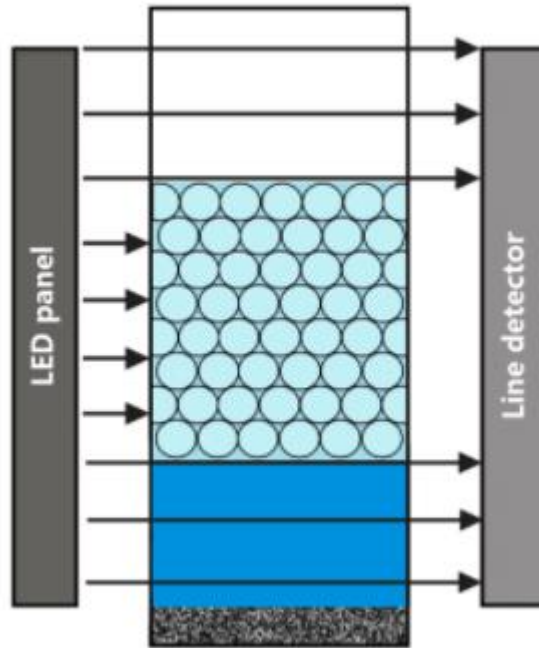


图 1:动态泡沫分析仪 DFA100 泡沫高度测量图

泡沫高度测量值用高度曲线表示，该曲线记录了泡沫在发泡阶段的形成及其随后的衰减。

泡沫结构模块——FSM 能够对泡沫结构进行实时测试。它使用一个特殊的棱镜，借助摄像机捕捉玻璃样品管侧面的所有泡沫图片。通过视频图像分析计算泡沫结构及其随时间变化的气泡大小和数量。

动态泡沫分析仪 DFA100 泡沫高度测量图

测量值用高度曲线表示，该曲线记录了泡沫在发泡阶段的形成及其随后的衰减。

沫结构模块——FSM 能够对泡沫结构进行并行测试。它使用一个特殊的棱镜测量柱，借助摄像机捕捉玻璃侧面的所有泡沫薄片。通过视频图像分析计算泡沫结构及其随时间的变化。

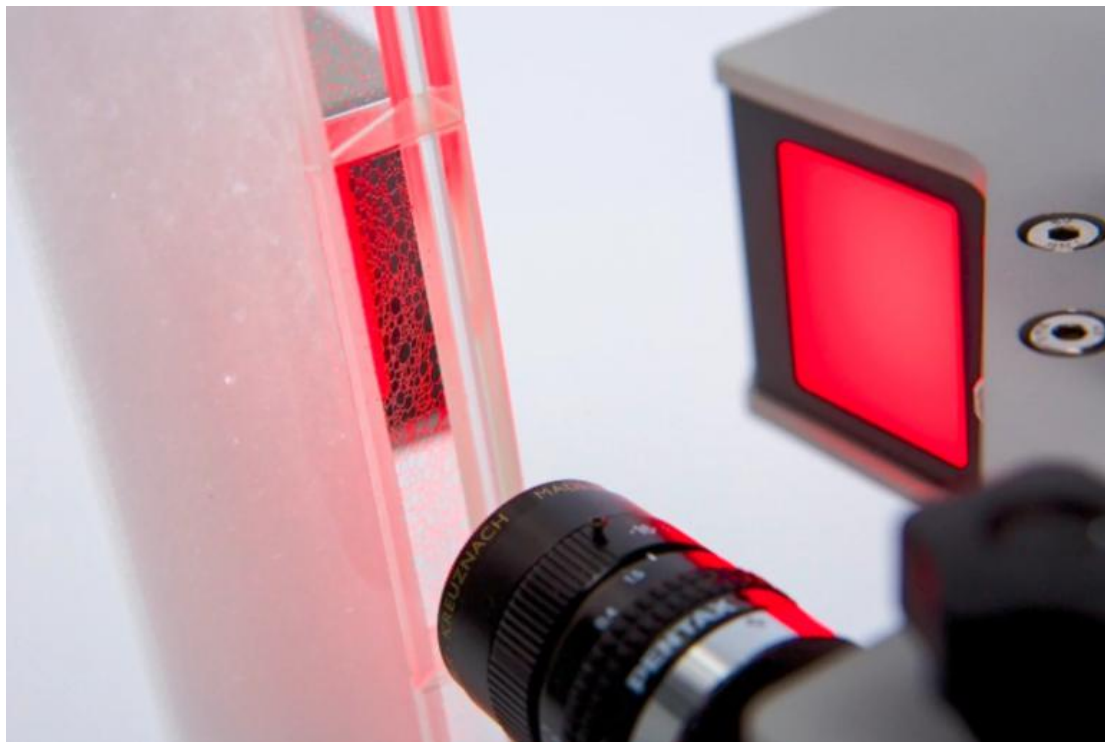


图. 2: FSM 泡沫结构模块：泡沫湿润在棱镜上的摄像头视图

DFA100 提供多种发泡方法的选择。试验中采用了带有双搅拌叶片的搅拌模块。搅拌更接近于清洁牙齿时产生泡沫方式，而不是用气体鼓泡式起泡。每次测量使用 50 毫升的体积，以 4000 转/分的速度搅拌 40 秒。总测量时间为 900 秒。在发泡 40 秒后，记录 860 秒的衰减行为。每个样品测量两次，测试再现性。

测量过程中出现的最大高度，直接体现了样品的起泡能力。搅拌起泡模块，并非在曲线的峰值处测量，因为搅拌过程中的漏斗状湍流的影响。相反，峰值后曲线的断点对最大起泡总高度起着决定性作用。

结果

起泡性

测量过程中出现的最大高度，直接体现了样品的起泡能力。搅拌起泡模块，并非在曲线的峰值处测量，因为搅拌过程中的漏斗状湍流的影响。相反，峰值后曲线的断点对最大起泡总高度起着决定性作用。

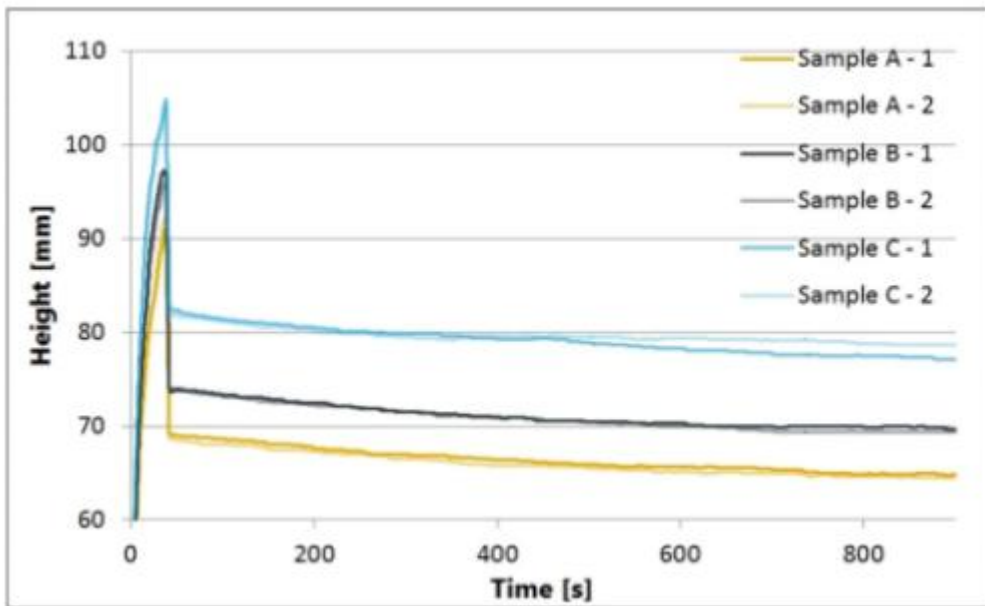


图 3: 三种牙膏总高度随时间的变化, 每种牙膏重复测量一次

泡沫性能随着顺序样品 A-样品 B-样品 C, 有显著增加, 这表明具有 CAPB 表面活性剂的样品泡沫性最强。然而, 由于牙膏中形成泡沫的表面活性剂的浓度尚不确定, 因此只能就清洁过程中形成的泡沫强度得出结论, 而不能就使用的发泡剂的功效得出结论。

泡沫衰减

所有样品的衰减速率相同 (见图 3), 换句话说, 它们都可以形成相对稳定的泡沫。这对于牙齿护理是有益的, 因为形成的泡沫不会立即衰减, 因此可以更均匀持久地分布。样品之间在泡沫量方面的显著差异很长时间内可以保持不变。然而, 在清洗过程中泡沫的不断再生使得稳定性不如起泡能力重要。

泡沫数量

全部三个样品, 都会产生细密泡沫, 泡沫数量也相应增加; 泡沫形成后短时间内差异很小。换句话说, 所有的泡沫都能产生所需的较大的表面积。

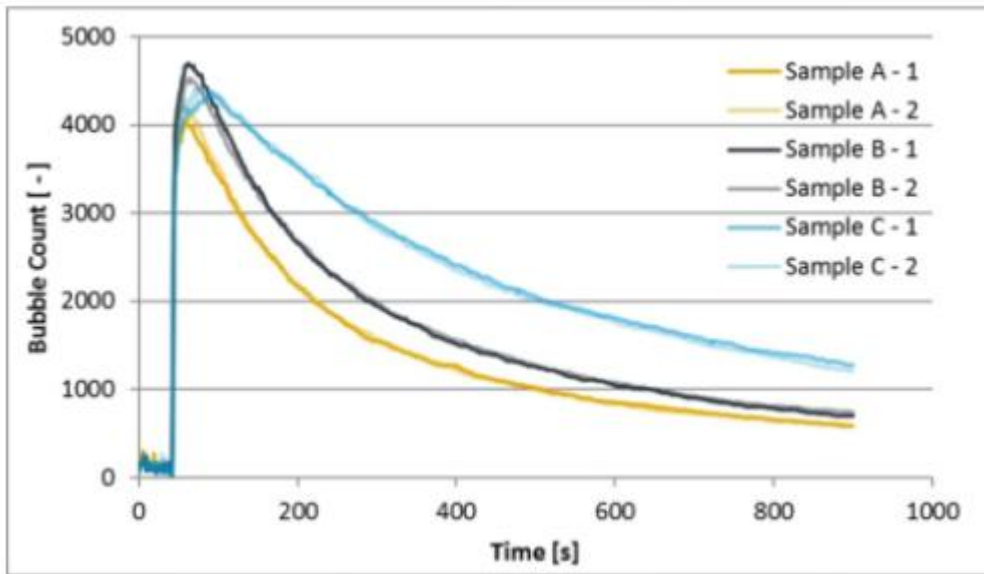


图 4: 三种牙膏配方随时间变化的气泡数量，每种配方重复测量一次

泡沫随后的衰变伴随着气泡数量的减少和更大气泡的同时形成。这一过程在三个样品中以不同的速度进行，最快的是样品 A，其次是样品 B 和样品 C。在样品 A 和样品 B 的情况下，气泡的快速膨胀并不构成任何很大的缺点，因为泡沫在清洗过程中重新形成。与泡沫的初始体积一样，随着时间的推移，初始泡沫结构也比其发展更为相关。

重现性

在泡沫高度和泡沫结构时，重复测量曲线叠加得非常好。这证明了用所提出的方法，测量泡沫具有良好的重现性。

结论

用动态泡沫分析仪 DFA100 及其泡沫结构模块 FSM 对三种牙膏配方进行测试。

测试的重点是泡沫的体积和起泡数量，因为这两个泡沫特性对牙齿护理特别重要。

测试结果具备非常好的重现性，这表明我们采用的测量方法可以清楚地显示出不同配方样品牙膏起泡行为的差异。结果表明，以 CAPB 为发泡剂（与其他两种配方中的 SDS 不同）的被检配方中，样品 C 所形成的泡沫体积最大，气泡较少，稳定性相对较好。

这种测试结果起初无需对样品的质量进行比较，因为最大泡沫体积不一定是评估最佳产品的标准。它可以与判断为成功配方的结果相关联。因此，本文提出的测量方法可用于为新产品的优化提供客观参数，并可以显著减少常规上必要的试验数量。这种泡沫分析的方法，非常适合生产过程中的常规质量控制。