

# 通过声悬浮技术实现飘浮

声音是一种强大的力量。在合适的条件下，它可以操纵和改变物质的形态。制药行业正在借助于声悬浮技术来解决高质量药品输送系统一直存在的需求，特别是作为病患治疗的扩展技术而变得更加个性化。

作者: LAURA BOWEN

在美国能源部的阿贡国家实验室，Kamlesh Suthar 和 Chris Benmore 正在努力实现用于改变药品制造的声学技术。该团队借助多物理场仿真来改善他们的声悬浮器——一种通过产生声波来提升和操控物质的装置。

## 声控制药

阿贡国家实验室正在研究一种方法来更有效地生产和输送医药产品：在化学品旋转和飘浮于空气中时混合它

们。在受控环境中，悬浮器提供了一个无容器和无污染的空间，用于产生高纯度的无定形化学品。根据阿贡国家实验室的团队介绍，“许多无定形药物与聚合物进行混合，使它们可以长时间地保持稳定。”在 Suthar 的声悬浮器中，驻波每个波节的中点处，分子聚成液滴，并形成小球（见图 1）。液滴飘浮在两个小型压电换能器之间，液滴间相距几毫米，并轻轻地旋转、悬浮。声波的大小和频率略高于可听范围（160 dB



图 1：声悬浮器产生使液滴悬浮的驻立声波。悬浮器包含两个换能器，每个换能器均涂有一层薄薄的用于控制波型的泡沫。

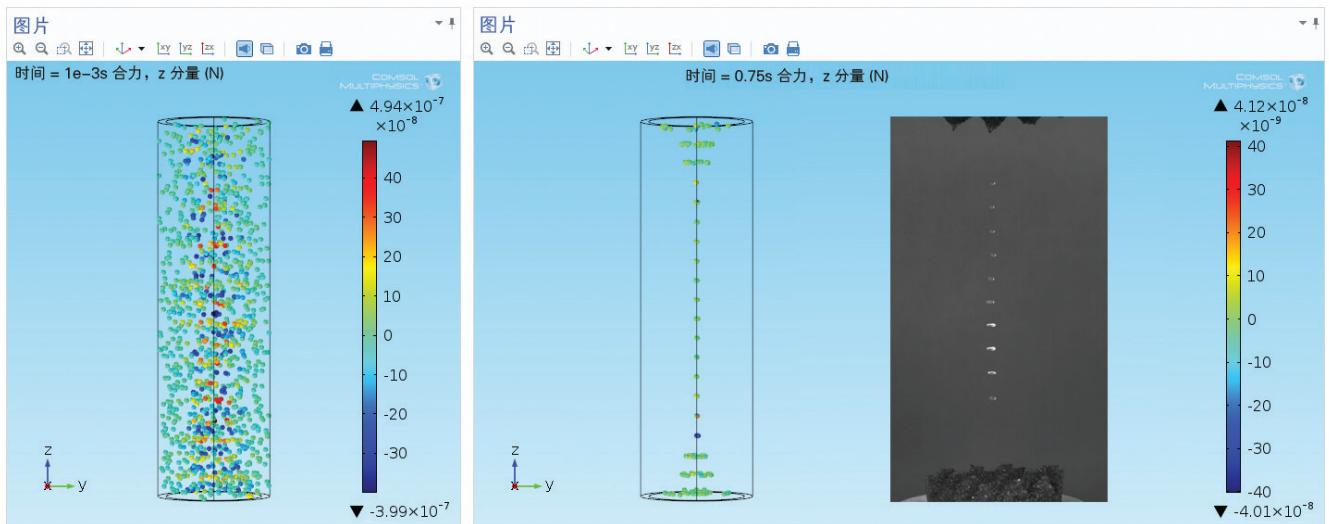


图 2：粒子在  $t=0.001$  时的初始分布（左）。粒子在  $t=0.75$  时聚集成液滴，以及物理粒子分布的照片（右）。

和 22 KHz), 产生具有高压带压力腔的声驻波。换能器将电能转换成声压。由 Suthar 和 Benmore 设计的方法是一种可用于开发药品的强大技术。人体吸收和处理无定形化学会更为容易, 因为它们的可溶性和生物利用度高于结晶形药品。

## 声辐射力的提升作用

设计正好适合控制粒子运动的几何形状对于悬浮器的功能至关重要。在该实验中, 几个制衡力共同作用, 产生一种以可控方式使粒子飘浮的现象 (见图 2)。液滴的声辐射力、粒子-粒子相互作用、曳力、重力和表面张力都需要考虑在内。由聚苯乙烯制成的高斯形泡沫具有特定的模式, 被设计用于消除由换能器产生的任何不需要的声波, 沿每个换能器边缘作为滤波器使用时, 可产生几乎无干涉均匀反射的驻波。

这些参数会导致粒子垂直排列, 然后迅速形成液滴。由于液滴会不断地水平运动, 所以它们会保持在期望的垂直位置。

## 声学仿真如何与实验相比较

该团队利用 COMSOL Multiphysics® 的仿真来证实他们在 APS (先进光子源) 进行的基于同步加速器的 x 射线实验, APS 是西半球可以以亮度最高的储存环产生 x 射线束流的设施。他们使用了 COMSOL 中的声学模块和粒子追踪模块。他们首先考虑的是压电换能器的频率和材料属性, 以及任何可能影响悬浮器的热效应。然后, 他们用试错方法来确定可以让他们控制各个液滴形成方式的泡沫几何。此外, 他们还考虑了改变粘度和表面张力会如何影响它们的形

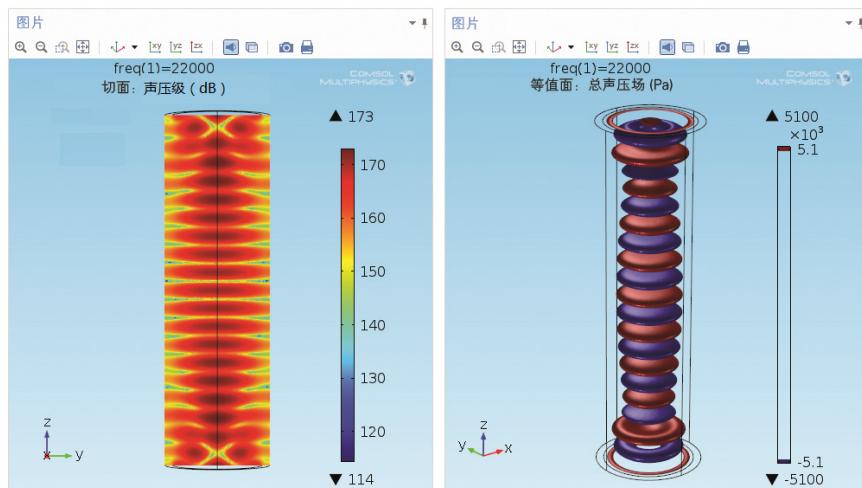


图 3: 频率为 22 KHz 的压力驻波产生的规律声压级 (左) 和具有交替压力值的压力腔 (右)。

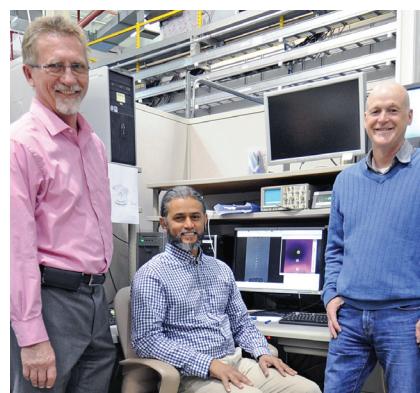
状。通过干涉可以产生的液滴结构, 被 Suthar 映射到流固耦合 (FSI) 仿真。他使用 CFD 模块和水平集方法考虑了所有相关效应; 水平集方法是一种在仿真过程中追踪不同介质间界面的数值方法。使用水平集方法来控制声学模式中各种偏移量下的液滴形状, 帮助 Suthar 实现了球形液滴并且可以控制液滴相互作用的方式。

当研究人员通过实验来验证他们的设计时, 他们发现仿真结果与他们在 APS 拍摄的高速照片中的液滴行为一致。仿真结果显示声场分布 (见图 3) 也与实验结果相类似。

Suthar 解释说: “通过压力波的相长干涉, 我们可以得到具有正压和负压压力腔的驻波。在这些压力腔内, 声音大致达到水滴悬浮的水平。所以如果您喷洒水雾, 水滴会被推到中央, 并由于平衡力的作用而悬浮。”

阿贡国家实验室的研究人员借助多物理场仿真来巩固他们的设计。随着科学家们继续打磨其声波悬浮器的

设计, 创新的可能性将是无限的。药品开发人员将能够控制浓度、液滴大小和药品中每种化学品的含量。阿贡国家实验室的发现在全球医疗界有着广泛的应用。新的资源和机器可能意味着真正改变人类生活的进步, 这对于患者来说尤为真切。■



阿贡国家实验室的团队, 从左到右: Patric Den Hartog、Kamlsh Suthar 和 Chris Benmore。