

中国科学院物理研究所 SM8组供稿
北京凝聚态物理国家研究中心

第86期

2019年12月17日

胶体微器件的设计取得进展

胶体溶液由介观尺寸（1纳米-10微米）的粒子悬浮在流体溶剂之中所构成。由于胶体粒子和微流通道在尺寸上的天然匹配，以及胶体合成与微纳流技术的快速发展，近年来胶体粒子经常被用来制作微流器件，在微流环境中执行特定任务。胶体微器件不仅具有重要的应用价值，而且由于其工作于非平衡且热涨显著的环境中，也为研究非平衡统计物理提供了理想的模型系统。

胶体微器件的开发并不只是把宏观器件缩小到介观尺度的技术问题，因为微尺度流体环境具有与宏观尺度完全不同的物理特征，例如：（1）表面与体积比很大，以至于表面效应十分重要，（2）热涨落显著，（3）雷诺数低。如何根据微流环境的这些特点来设计新型高性能的胶体微器件是软凝聚态物理研究领域的一个热点方向。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心软物质实验室SM08组在利用胶体的各向异性泳效应设计微器件方面进行了一系列的探索。泳效应(phoresis)是一类重要的表面物理效应，它指的是外加梯度场导致的胶体粒子在溶液中的定向迁移运动，例如溶质浓度梯度导致的扩散泳、温度梯度导致的热泳。泳驱动力来源于粒子与周围非均匀流体的相互作用。对于通常的球形胶体粒子，泳力的方向平行于梯度场。SM08组的杨明成副研究员与合作者首次提出非对称的胶体粒子具有各向异性的泳效应的观点，泳力的大小及方向依赖于粒子在梯度场中的取向，并通过计算机模拟实现证明[1-3]。由于这一效应，非对称粒子可以获得垂直于梯度场的泳力分量。由两个非对称粒子组成的手性胶体结构可受到平行于梯度场的泳力矩，进而单向的自转，形成一个由扩散流驱动的微涡轮机。这样的微涡轮可用在外界的热梯度[1]或化学梯度[2]中把扩散流中的热能或化学能转化为有用功，这一类能量在大部分的应用中通常都白白流失掉了。这种扩散流驱动的微涡轮与宏观流驱动的涡轮机（例如风力发电机）工作原理有本质不同。由于微流环境中温度和化学梯度普遍存在，而且强度比宏观环境中要高很多，这种梯度驱动的微涡轮特别适用于微环境之中。

最近，软物质实验室SM08组的研究生沈明仁（已毕业）在杨明成副研究员和陈科研究员的指导下利用各向异性泳效应设计出了垂直轴微涡轮机（图1）[4]，并通过计算机模拟验证了它们的可行性。这种扩散流驱动的微涡轮的转动方向垂直于外界梯度场，与之前的微涡轮机相比它的工作时无需根据梯度场方向调整转轴指向，因而大大地提高了在大涨落的微环境中应用的灵活性。垂直轴微涡轮机的工作模式类似Darrieus类型的风力发电机，因此这一工作也建立了扩散流驱动的微涡轮机与宏观流驱动的涡轮机之间的完整对应。在胶体微流泵方面，杨明成副研究员与德国于利希研究院的合作者发现棒状胶体粒子的泳力可以导致周围流体垂直于梯度场流动，因此可以被用来设计梯度场驱动的微流泵（图2）[5]。由于强烈的流阻效应，在微米级的管道里长距离输运流体一直是微流器件中的难题，而这种胶体微流泵完美的解决了这一问题。该微流泵的重要优点是流体的流动方向与梯度场垂直，原则上可在无限长的微管道内输运流体，因而在微流芯片中具有巨大的应用潜力。

相关结果最近发表在 [Phys. Rev. Applied. 12, 034051 (2019); Phys. Rev. Applied. 11, 054004 (2019)]上。本项目获得了国家自然科学基金(批准号11874397, 11674365, 11474327, 11774393)、科技部973项目(2015CB85680)的资助。

文章链接: <https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.12.034051>

<https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.11.054004>

[1] M. Yang, R. Liu, M. Ripoll and K. Chen, *Nanoscale*, 6, 13550 (2014).

[2] M. Yang, R. Liu, M. Ripoll and K. Chen, *Lab on a chip*, 15, 3912 (2015).

[3] Z. Tan, M. Yang and M. Ripoll, *Soft Matter*, 13, 7283 (2017).

[4] M. Shen, R. Liu, K. Chen, and M. Yang, *Phys. Rev. Applied*. 12, 034051 (2019).

[5] Z. Tan, M. Yang, and M. Ripoll, *Phys. Rev. Applied*. 11, 054004 (2019).

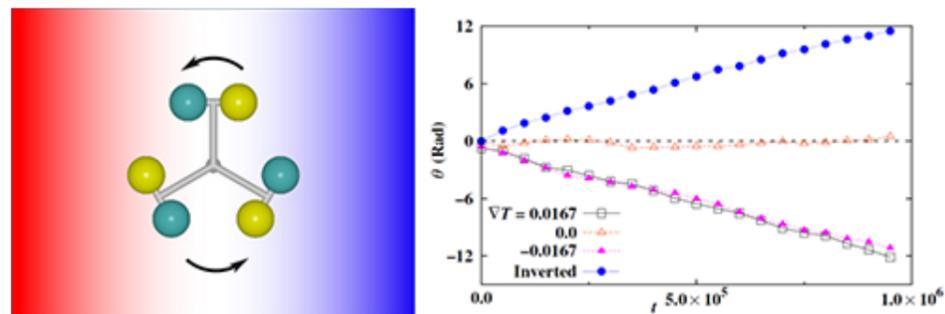


图1: (左图) 扩散流驱动的微涡轮机示意图。三对哑铃状粒子所构成的手性胶体结构处于梯度场之中, 不同的粒子颜色代表不同材料, 外加的梯度场可以是热或者化学梯度。该手性结构受到一个垂直于梯度场的泳力矩。(右图) 动力学模拟所得到的涡轮机转角与时间的关系。在泳力矩的作用下, 该胶体结构绕其中心、垂直于梯度场单向地转动。转速大小依赖梯度场的幅度, 转动方向仅取决于胶体结构的手性而与梯度方向无关。

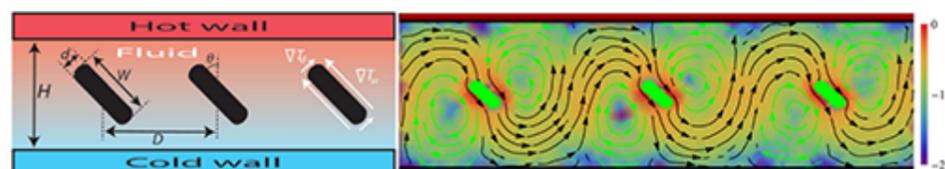


图2: (左图) 温度梯度驱动的微流泵示意图。棒状胶体粒子固定于充满液体的微通道内, 通道上下边界墙具有不同的温度。胶体粒子受到一个垂直于温度梯度(即平行于通道)的热泳力。(右图) 动力学模拟所得到的流场。固定胶体棒所受到热泳力的反作用力驱动周围流体的定向流动, 黑箭头表示净流场, 绿箭头表示蜗旋流场, 颜色代表流速。

[PhysRevApplied.11.054004\(2019\).pdf](#)

[PhysRevApplied.12.034051\(2019\).pdf](#)

公开课 微信 联系我们 友情链接 所长信箱 违纪违法举报



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES