

Janus 微球自扩散泳动实验研究

郑旭¹, 武美玲², 宫春亮², 孔繁栋³, 崔海航², 李战华¹

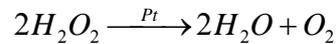
1. 中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室
2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院
3. 中国计量学院计量测试工程学院

E-mail: zhengxu@lnm.imech.ac.cn

摘 要

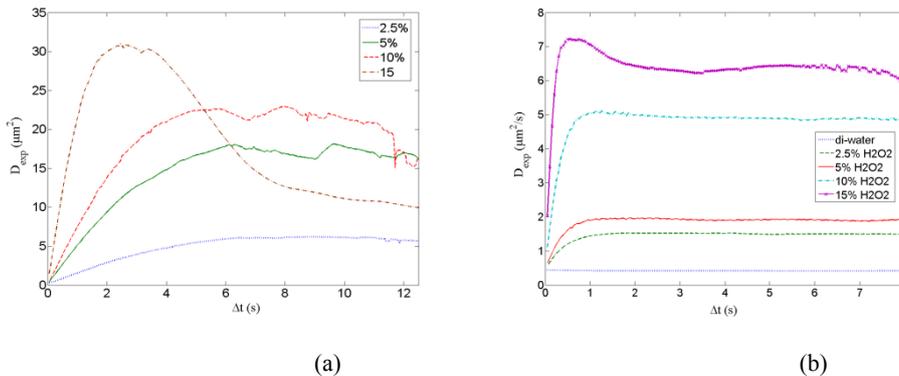
微流控中, 基于颗粒表面物理场梯度的界面泳动效应(interfacial phoretic effect)常常被用于实现对微纳米尺度颗粒的输运, 比如常见的粒子在电场驱动产生的电泳运动, 及溶液浓度场作用引起粒子的扩散泳动(diffusion-phoresis)^[1]。近来发现, 利用微球表面与溶液反应产生的非对称浓度场, 也可以驱动微球自发运动。这种自扩散泳动(self diffusion-phoresis), 不需要消耗额外能量建立外界物理场却可以驱动微球运动^[2], 这为生物医药领域强化微纳米颗粒输运以及环保领域快速消除污染实现水净化等实际应用提供了有力的手段^[3-4]。微纳粒子的自扩散泳动涉及浓度梯度对粒子的驱动与粒子本身的扩散运动。本文将测量 Janus 双面微球在过氧化氢(H₂O₂)溶液中的自扩散泳动实验测量^[5], 并定量给出等效扩散系数。

实验采用二氧化硅(SiO₂)材质的微球, 在半个表面喷镀铂(Platinum), 构成 Janus 微球。过氧化氢 H₂O₂ 会在 Pt 表面发生如下催化反应:



(1)

反应后会产生更多的水和氧气分子, 从而在 Pt 表面一侧形成更高的浓度驱动微球运动。我们发展了一套跟踪不对称微球轨迹的图像处理方法, 并由此分别观测了 $\phi 2\mu\text{m}$ 和 $\phi 1\mu\text{m}$ 的 Janus 微球在不同浓度的 H₂O₂ 溶液(0-15%)中的运动。实验中每种工况统计的微球个数超过 1000 个, 相应的位移量高达 40 万。测量结果给出了微球的均方位移及位移的概率密度分布, 并由此得到了 Janus 微球自扩散泳动的有效扩散系数(图 1)。实验结果显示: H₂O₂ 溶液浓度增高或者粒径增大, 都能导致 Janus 微球自扩散泳动更剧烈, 使有效扩散系数比同样粒径粒子在纯水中的扩散系数增大 100 倍以上。

图 1. $\phi 2\mu\text{m}$ (a)和 $\phi 1\mu\text{m}$ (b)的 Janus 微球在不同浓度的 H₂O₂ 溶液中的有效扩散系数

参考文献

- 1 R. Golestanian, T. B. Liverpool and A. Ajdari. Designing phoretic micro- and nano-swimmers. *New J. Phys.* 2007, Vol. 9, 126.
- 2 J. R. Howse, R. A. L. Jones, A. J. Ryan, T. Gough, R. Vafabakhsh and R. Golestanian. Self-motile colloidal particles: From directed propulsion to random walk. *Phys. Rev. Letter.* 2007, Vol. 99, 048102.
- 3 S. J. Ebbens and J. R. Howse. In pursuit of propulsion at the nanoscale, *Soft Matter*, 2010, Vol. 6, 726–738.
- 4 K. M. Douglass, S. Sukhov and A. Dogariu. Superdiffusion in optically controlled active media. *Nature photonics*, 2012, Vol. 6, 834-837.
- 5 Xu ZHENG, Meiling WU, Chunliang GONG, Haihang CUI and Zhanhua SILBER-LI. Measurement of Diffusiophoretic Motion of Janus Micro-particles. 12th Asian Symposium on Visualization, Tainan, Taiwan, May, 2013.