
力学所发现全受限颗粒输运新现象和新机制

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25169.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，中国科学院力学研究所微纳米流体力学团队利用自主研发的颗粒动力学程序，探讨了球腔内低雷诺数流体中的单颗粒动力学特征（图1a）。该工作为后续研究全受限环境中更复杂的颗粒输运奠定了基础，并为细胞内物质输运、微流控封装技术、微液滴反应器等应用提供了理论支撑。相关研究成果发表在《流体力学杂志》（Journal of Fluid Mechanics）上。

全受限（total confinement）低雷诺数流体中的颗粒输运对细胞内药物、蛋白质、病毒等物质的输运、微流控封装技术、微液滴反应器等应用颇为重要。为掌握颗粒输运规律，各国学者从单颗粒系统出发，探究了球腔内颗粒的运动规律。尽管学界已在静止球腔内中性（neutrally buoyant）球形颗粒输运方面取得了进展，但关于腔内非球形、非中性颗粒与非静止球腔中颗粒输运及其基本运动规律有待研究。

该团队分析了静止腔体中颗粒受力运动情况。当外力平行或垂直于颗粒-腔体连心线时，研究计算得到圆球、长球、扁球颗粒（图1b）的水动力迁移率。研究发现，迁移率在球腔中心最大，并随颗粒与壁面径向距离的减小而降低。受形状各向异性影响，长球和扁球颗粒的迁移率会随颗粒旋转轴与颗粒-腔体连心线的夹角（颗粒姿态角）而变化。

研究发现，当外力不平行也不垂直于颗粒-腔体连心线时，颗粒会朝垂直于外力方向漂移（图2a）。该研究揭示了颗粒漂移源于受限诱导的迁移率张量各向异性。在球腔对称面上，圆球颗粒的漂移速度呈中心对称分布（图2b）。研究显示：当颗粒靠近腔体中心（壁面）时，漂移速度会随颗粒径向位置的增加而升高（降低）；颗粒与腔体的尺寸比越大，同一位置的归一化漂移速度越大（图2c）。除空间位置、颗粒受限程度之外，长球和扁球颗粒的漂移速度还与颗粒姿态角呈正弦函数关系。

在实际应用中，当细胞、液滴随流体运动时，通常会同时呈现平动和转动两种运动模式，而转动会导致其内部产生旋转流。基于此，该团队探讨了颗粒在腔内旋转流中的运动。当颗粒密度大于（小于）流体密度时，颗粒在旋转流中受离心（向心）力作用。研究表明：在腔内任一位置释放颗粒，受离心力作用的颗粒最终会进入球腔对称面内的稳定轨道（图3a）；受向心力作用的颗粒最终会运动到同一驻点（图3b）。上述成果为微液滴内不同密度颗粒的汇聚与分离提供了新思路。

与球形颗粒不同，旋转流使非球形颗粒（图3c）上产生旋转诱导力矩。而该力矩会改变颗粒姿态角。经数学推导，科研人员获得了一般椭球颗粒所受旋转诱导力矩的解析表达式。研究进一步发现，受旋转诱导力矩影响，长球和扁球颗粒的姿态角存在不同的稳态和亚稳态。这些状态与2008年美国加州理工学院John F.

Brady团队发现的胶体悬浮液中椭球颗粒运动状态类似，但背后的力学机制不同。

研究工作得到中国力学学会青年人才蓄水池项目的支持。

[论文链接](#)

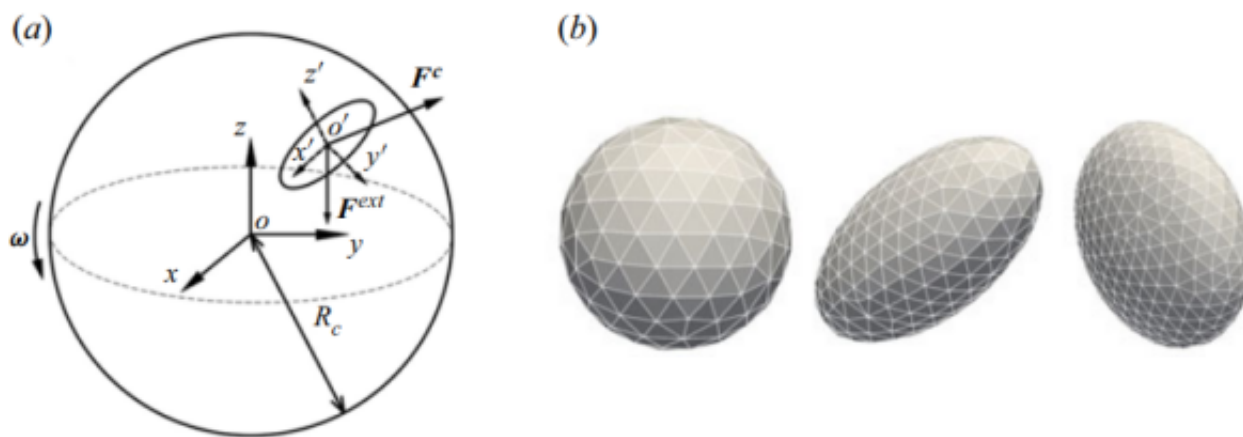


图1. (a) 球腔内低雷诺数流体中单颗粒运动的模拟系统示意图；(b) 圆球、长球、扁球颗粒的离散化模型。

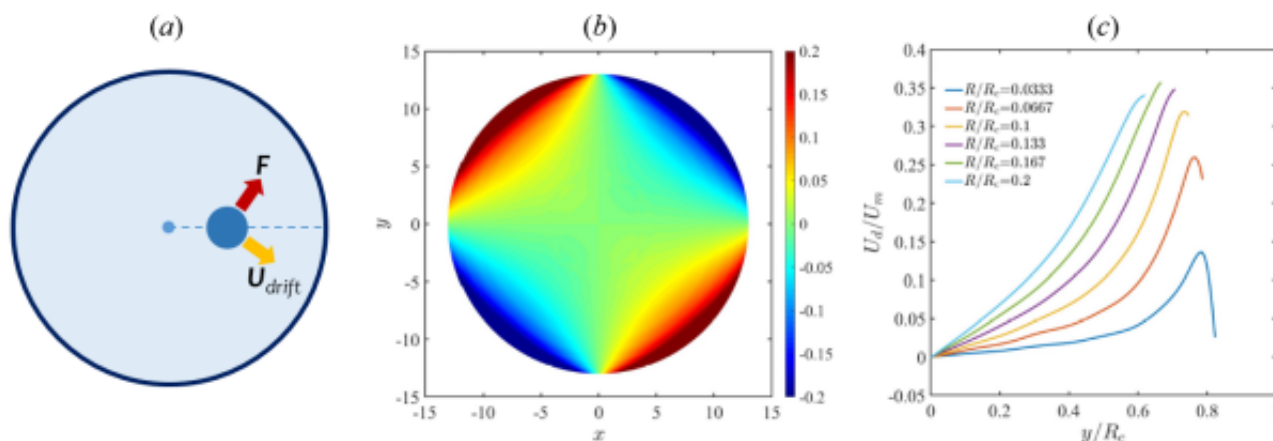


图2. (a) 球腔内颗粒在外力（红色箭头）作用下产生漂移速度（黄色箭头）；(b) 球腔对称面内球形颗粒漂移速度分布图；(c) 不同受限程度下颗粒的归一化漂移速度随空间位置的变化。

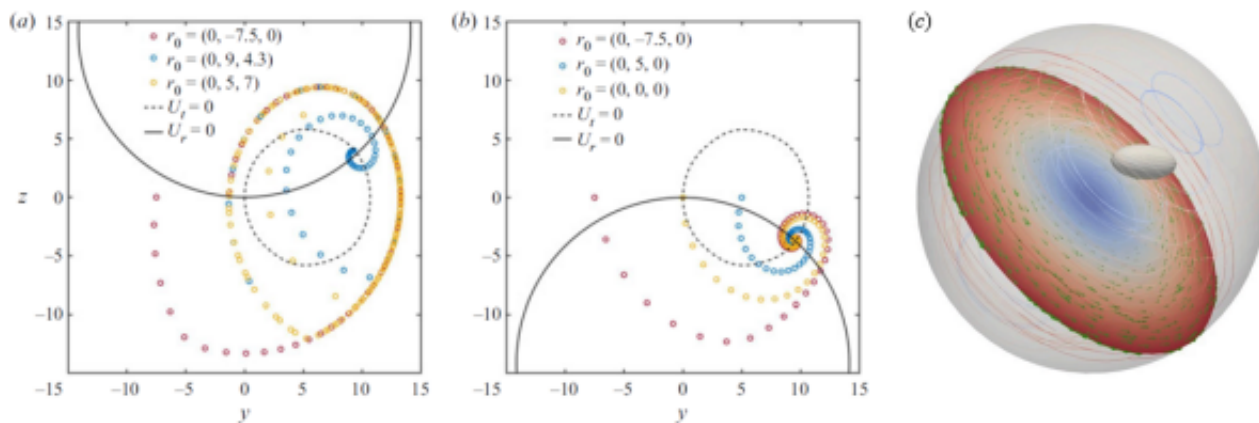


图3. (a) 腔内旋转流中受离心力颗粒的轨迹；(b) 腔内旋转流中受向心力颗粒的轨迹；(c) 旋转流中椭球颗粒的模拟截图。

研究团队单位：力学研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发