

# 梯度应变作用下的表面黏附输运力学\*

陈少华<sup>1</sup>,王超<sup>2</sup>,陈磊<sup>2</sup>

(1. 北京理工大学先进结构技术研究院,北京 100080;

2. 中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室,北京 100190)

微/纳米颗粒的定向输运在微电子机械系统以及生物医学领域有着重要的应用前景。尽管已有一系列微纳米输运技术,如基于温度梯度、电压、表面刚度梯度等,但实际操作及实现精确控制仍存在一些复杂问题。

通过实验、理论及分子动力学模拟的方法,系统研究了基底应变梯度场对表面输运行为的影响,提出了应变梯度驱动表面颗粒定向输运的新概念,并揭示了其中的物理机制。建立了颗粒/薄膜/基底实验系统,颗粒放置于薄膜之上,拉伸薄膜导致薄膜/基底间的界面裂纹形成并扩展,界面裂纹前方的薄膜内部产生应变梯度场,且随裂纹扩展而定向移动;当薄膜内的应变梯度场运动至颗粒下方时,颗粒发生定向运动,且颗粒运动速度受裂纹扩展速度、应变梯度及初始黏附区域的影响。进一步建立了二维及三维气泡/薄膜黏附接触模型,分别考虑薄膜受均匀应变场及非均匀应变场的作用,发现均匀应变场只能引发气泡与薄膜接触区域的变化,而非均匀应变场则导致气泡发生滚动;理论给出气泡在非均匀应变场作用下发生起始滚动及稳态滚动的判据,与实验结果一致。针对该输运机理,开展了分子动力学数值模拟,进一步从能量角度解释了输运驱动力的物理根源,给出更直观的物理图像。最后将该黏附输运力学机制用于设计一种纳米注射器,能成功实现纳米颗粒或纳米液滴的输运,为纳米药物注射提供了新思想,亦从力学角度解释了受精卵在输卵管节段波作用下黏附输运的生物现象。

## References:

- [1] CHEN L, CHEN S H, GAO H J. Biomimetic study of rolling transport through smooth muscle contraction [J]. Colloid Surf B, 2014, 123: 49-52.
- [2] CHEN L, CHEN S H. Rolling motion of an elastic cylinder induced by elastic strain gradient [J]. J Appl Phys, 2014, 116: 164701.
- [3] CHEN L, CHEN S H. Adhesion of a gas-filled membrane on a stretched substrate [J]. Int J Solids Struct, 2015, 69/70: 189-194.
- [4] WANG C, CHEN S H. Motion driven by strain gradient fields [J]. Sci Rep, 2015, 5: 13675.

\* 通讯作者: 陈少华,男,教授. E-mail: shchen@bit.edu.cn