

自驱动颗粒沉降的相关动力学特性研究

亓婷婷, 林建忠, 欧阳振宇

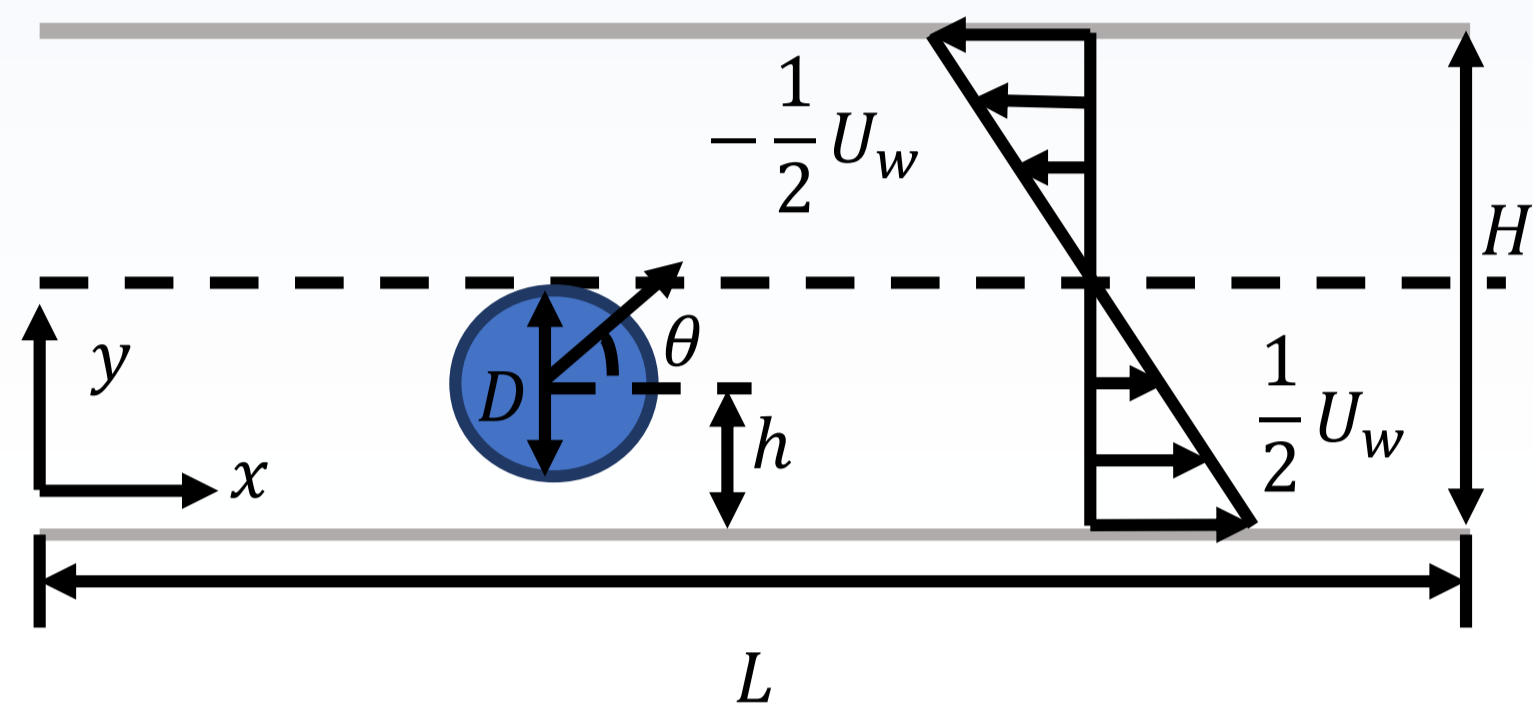
浙江大学航空航天学院流体工程研究所

meczjlin@public.zju.edu.cn

一、研究介绍

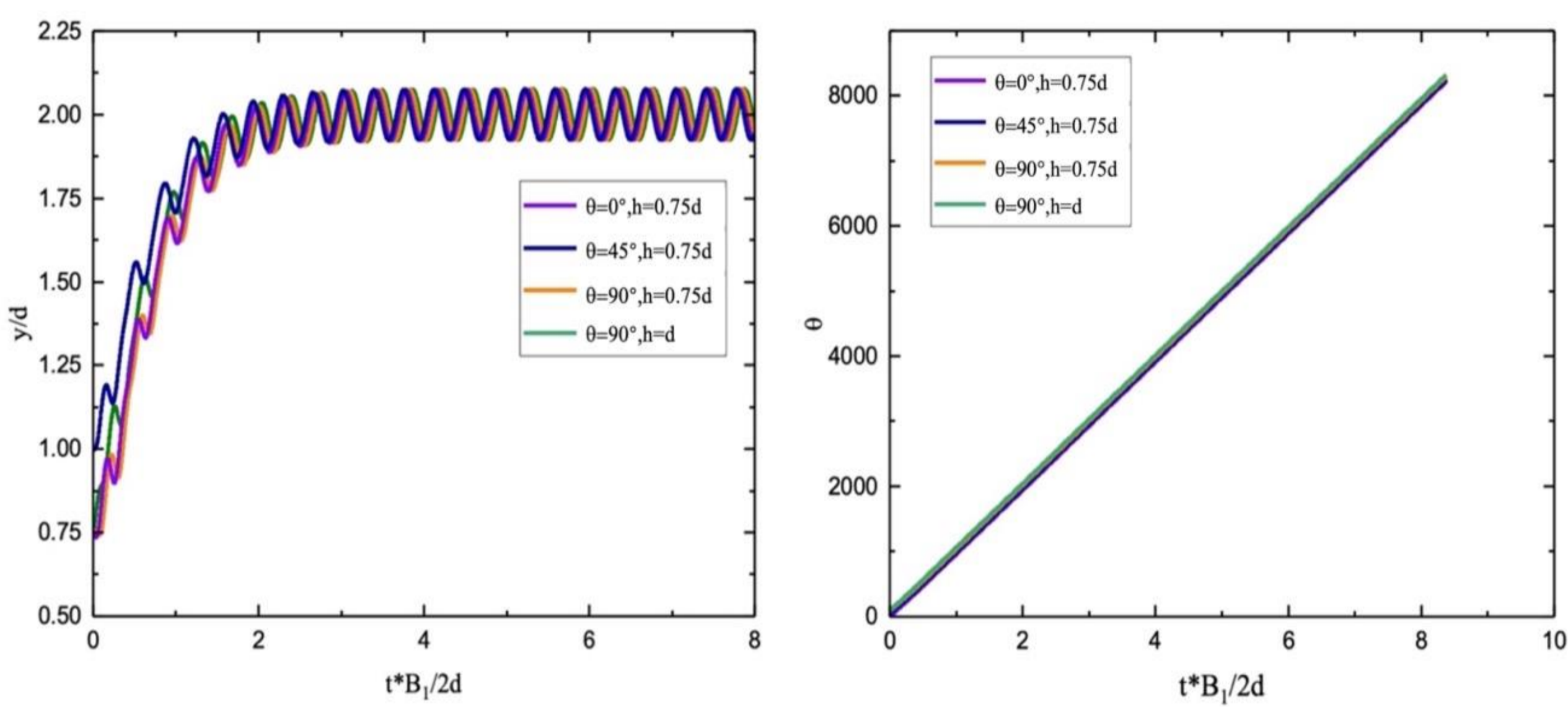
- 研究背景: 自驱动颗粒的各种运动在医学、生物物理学以及工程应用中有着重要的作用。特别地, 自驱动颗粒在流场中的运动会受流体运动的影响。
- 科学问题: 在对于自驱动颗粒受剪切流场影响的研究方面, 仍然缺乏关于各种物性参数对颗粒运动特性和稳定平衡位置影响的研究。
- 研究亮点: 采用格子玻尔兹曼-浸没边界法 (LB-IB) 研究了单个二维“squirmer”型自驱动颗粒在简单剪切流中的运动特性, 分析游动雷诺数、槽道雷诺数、阻塞率对自驱动颗粒运动模式的影响。

二、squirmer的初始位置



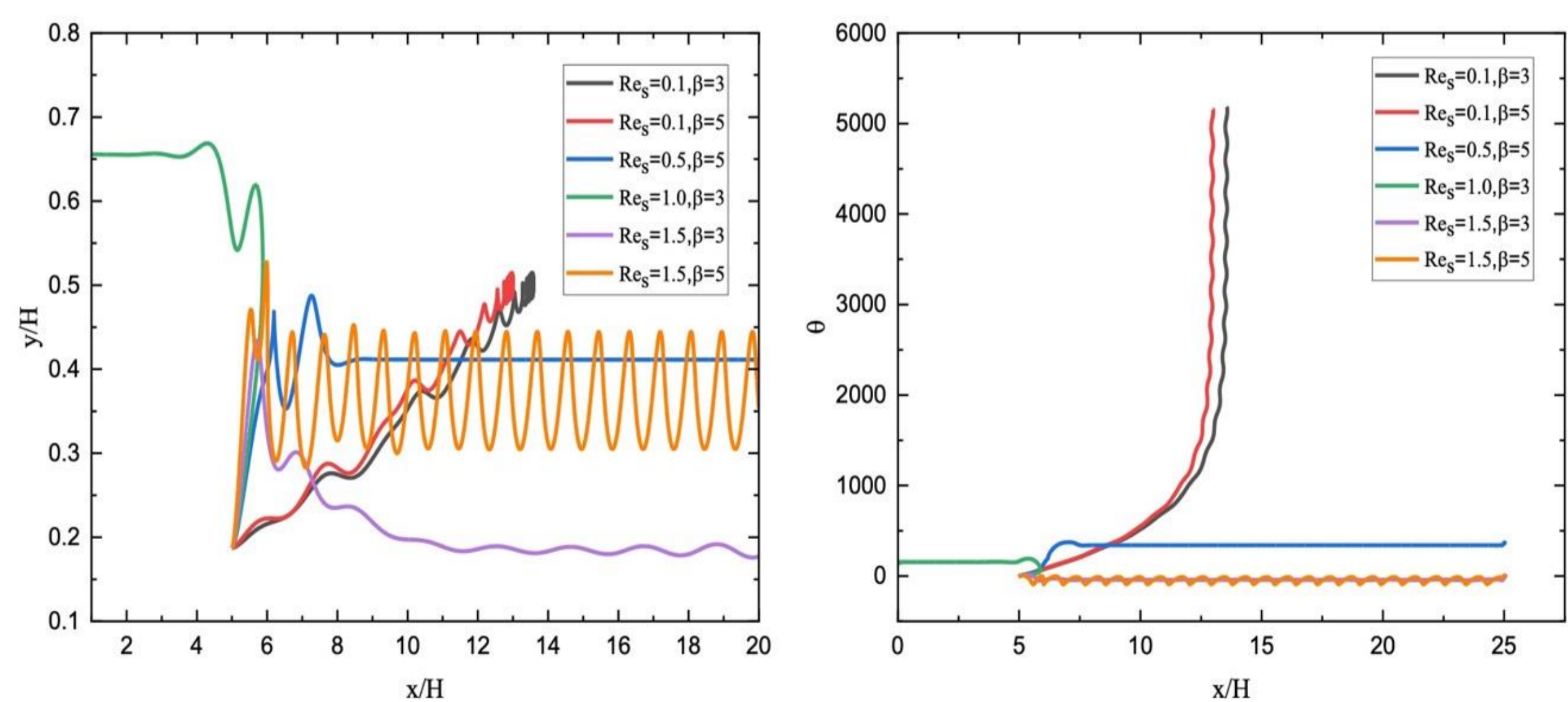
三、结果与讨论

1. 初始条件对squirmer在剪切流中运动的影响



- 从squirmer的游动轨迹和取向角随时间的变化, 可以看出squirmer的游动与初始条件无关。

2. 游动雷诺数 Re_s 对squirmer在剪切流中运动的影响



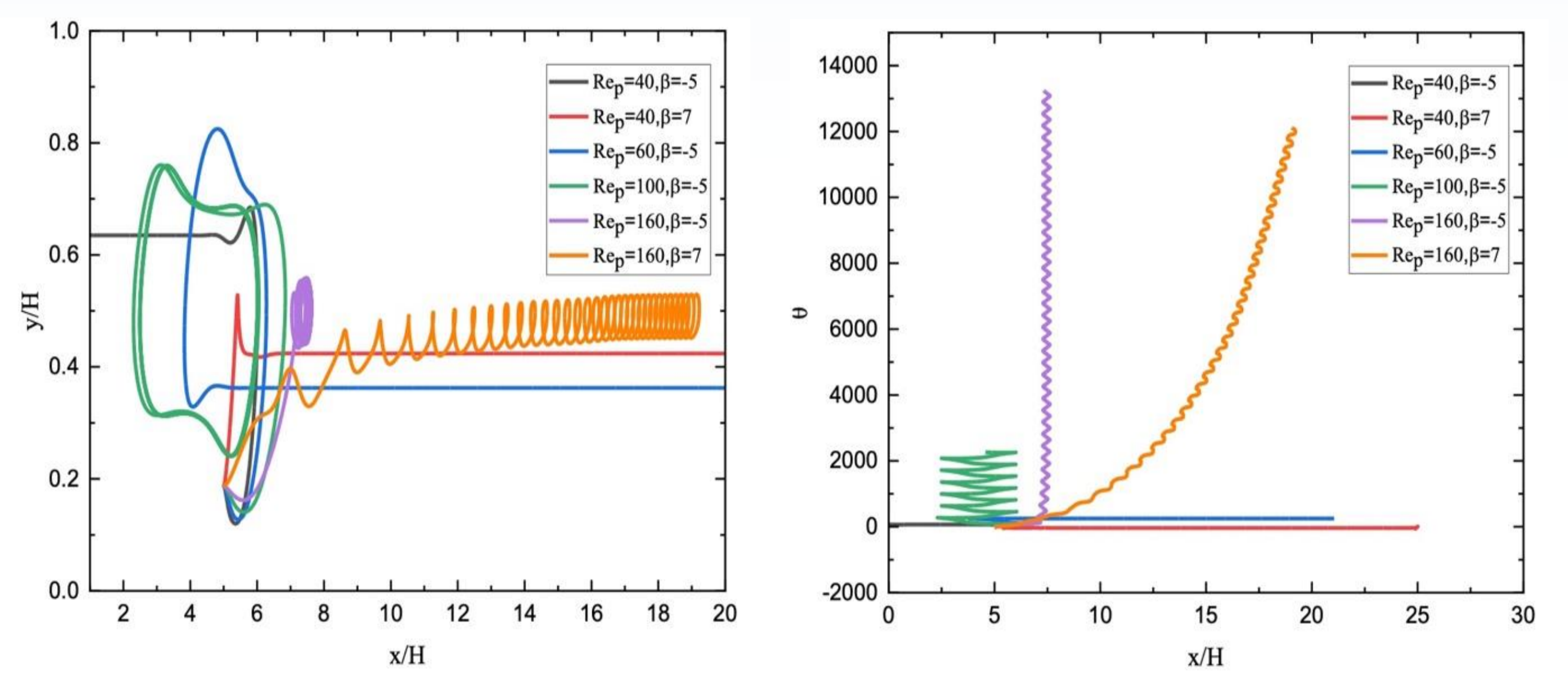
- 当游动雷诺数 Re_s 继续增加时, squirmer受壁面的吸引增强, 会在壁面附近形成吸引振荡模式或者振荡模式。
- 游动强度增加时, 会导致squirmer逃离壁面, 并在距壁面一定位置处形成周期性稳定运动, 这是因为游动强度 β 的增加使得squirmer自驱动能力增强而远离壁面。

四、结论

- 模拟单个squirmer在剪切流中的游动, 发现了其运动存在水平模式、吸引模式、吸引振荡模式以及混沌模式四种典型的运动模式。
- 增大游动雷诺数 Re_s 会改变squirmer的游动模式, 使其从“翻滚”的混沌模式到中心线上方或下方稳定游动的水平模式, 再到壁面附近的吸引振荡模式或者振荡模式。
- 保持游动雷诺数不变的情况下, 增大游动强度 β 会增强squirmer的自驱动能力进而推动其远离壁面。
- 当槽道雷诺数为 $Re_p=40-60$ 时, squirmer会在槽道中心线的上方或下方形成稳定的水平游动模式, 而继续增大槽道雷诺数, 会导致squirmer的游动轨迹形成闭环、螺旋状游动甚至是混沌模式。
- 增大阻塞率 κ , 会使squirmer的运动逐渐变得稳定, 即从振荡模式、吸引振荡模式转化为水平运动模式。

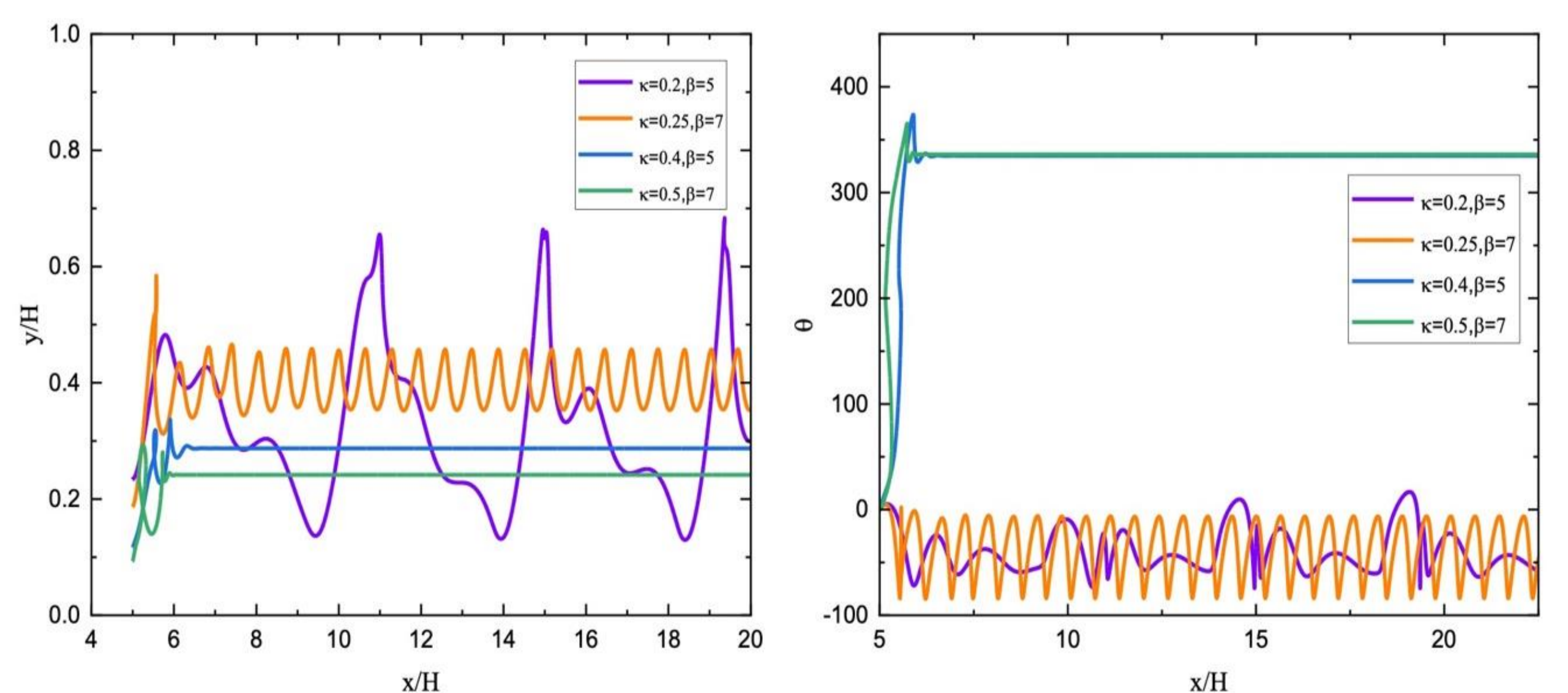
三、结果与讨论

3. 槽道雷诺数 Re_p 对squirmer在剪切流中运动的影响



- 当 $Re_p=40$ 时, puller会向流场的出口方向游动, 并在中心线的下方形成稳定的游动轨迹, 而pusher则会受壁面吸引, 与壁面碰撞后向相反的方向游动, 并且越过中心线向入口方向游动, 最终在中心线的上方形成稳定的游动轨迹。
- 增大槽道雷诺数 Re_p 会使自驱动颗粒由稳定的游动状态逐渐变化为螺旋状运动或不停的旋转。这是因为槽道雷诺数 Re_p 增大意味着剪切强度增大。

4. 阻塞率 κ 对squirmer在剪切流中运动的影响



- 随着阻塞率的增加, squirmer由周期运动模式($\beta=7$)、吸引振荡模式($\beta=5$)均发展成水平运动模式, 并在靠近下壁的位置稳定运动。
- 这是因为在简单剪切流中增加槽道阻塞率使得侧壁对squirmer的吸引增强, 因而改变了squirmer所受总力矩的大小, 使得其变成水平的稳定运动。