

粘性对滚波影响的数值研究

杨世豪¹ 周丹洋² 安翼³ 刘青泉⁴

a: 中国科学院力学研究所, 北京市海淀区北四环西路 15 号, 100190

b: 北京理工大学力学系, 北京海淀区中关村南大街 5 号, 100081

泥石流等自然流动本质上是斜坡上有水参与的颗粒流动, 其表面常见到周期性的波动现象。一些学者认为这种表面周期性波与滚波现象有关, 但到目前为止, 泥石流等非牛顿流体中是否存在传统意义上的滚波尚未得到证实。传统滚波理论由 Fr 数主导, 以浅水方程为工具, 未能考虑流体粘性的影响, 不能用于研究泥石流等流体中的表面波。本文从 Navier-Stokes 方程出发, 应用 VOF 方法捕捉自由面, 同时得到了准确的断面速度分布, 实现了滚波发生和发展的模拟; 在此基础上研究了粘性 (Re 数) 对滚波演化的影响, 分析了滚波前后的速度场分布特性; 在较大的 Fr 数 ($Fr=4.32$) 条件下研究了流体粘性的影响 ($Re\sim 300-1.5\times 10^6$), 发现在不同 Re 数条件下滚波波高和波长受粘性影响较小, 而波速和湍流特性受粘性影响较大, 当 $Re>1500$ 时, Re 越小, 波速及湍流粘性越大, 场内近坡面处的湍动能最大; $Re<1500$ 时, 波速随粘性呈线性关系; 研究还发现斜坡面上发生滚波会导致底面切应力增大, 进而造成斜坡底面侵蚀。

关键词: 泥石流; 滚波; 速度; 粘性

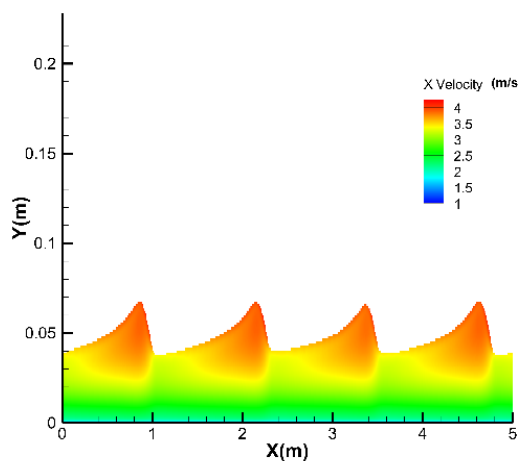


图1 粘度为0.001Pa s时的速度云图

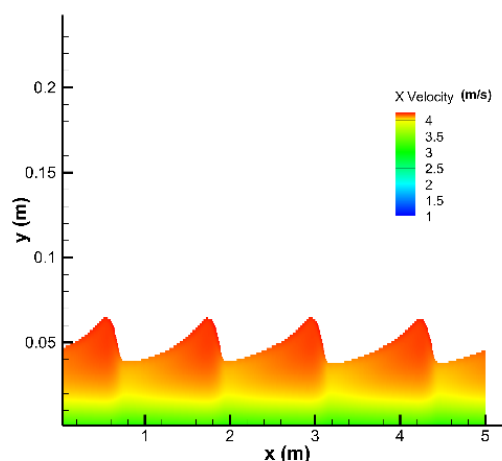


图2 粘度为0.2 Pa s 时的速度云图