

## 53 降雨击溅对坡面薄层流动的影响研究

安翼 刘青泉

中国科学院力学研究所, 流固耦合系统力学重点实验室, 北京, 100190

坡面薄层流动是流域产流的关键过程, 深化对坡面流动的认识对发展流域产流模型、提高模型的精度和适应性具有重要意义。长期以来, 水文模型中的降雨过程和坡面汇流过程通常分开考虑, 降雨一般被简化为坡面流的质量源项, 而其动力学影响均被忽略。近年来不少实验研究发现: 抑制降雨击溅会显著增加坡面产流量; 同时降雨击溅也会对土壤表层结皮的产生以及颗粒的分选产生显著作用, 进而影响坡面与流域水文过程。本文即以降雨击溅对坡面薄层水流的影响为目标, 综合采用数值和理论分析方法, 探讨雨滴击溅过程中的物理机制, 讨论不同雨滴大小、速度、垫层水深、坡度等条件下, 雨滴击溅对土壤结皮和水流阻力的影响规律。

本文基于无网格的SPH方法建立了单雨滴击溅模型, 运用数值模拟完整重现了单雨滴击溅过程中皇冠射流的生成过程, 以及击溅区域内的压力过程, 对皇冠射流发展过程的模拟结果与前人实验结果吻合良好。通过对不同击溅条件下的射流和压力特征进行数值模拟分析, 得到了单击溅过程中的质量和动量输运估计, 获得了击溅中心区域的压力时空分布, 讨论了其中规律, 并分析了击溅条件与结皮以及增阻等问题的关系。在此基础上, 基于概率分析以及概化的击溅输运和结皮模型, 建立了实际降雨条件下多雨滴击溅所产生的宏观质量、动量输运, 以及结皮的计算方法, 讨论了其对于坡面薄层流动的影响。

研究表明: 在单雨滴击溅过程中, 击溅的质量输运以及结皮效应随着垫层水深的增加而迅速衰减, 即当坡面流动较浅时(如降雨初期或大坡度区域等)雨滴击溅过程对坡面薄层水流的影响不能简单地简化为质量源项, 而在坡面水流较深的区域则仅需考虑击溅对薄层水流的层间速度掺混作用; 击溅的影响在大雨强条件下更为明显, 在坡面流流量较小的条件下, 多雨滴耦合所产生的质量和动量输运不可忽略。坡度对于击溅过程至关重要, 大坡度会增强击溅的质量输运效应但削弱结皮效应。

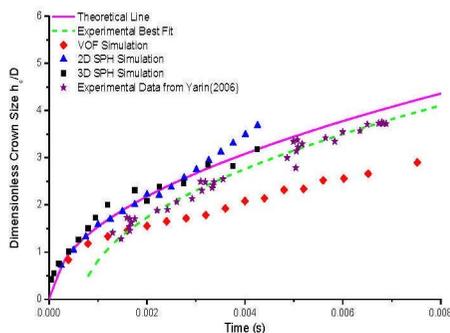


图1. 模拟与实验的对比: 无量纲皇冠大小的时间演化

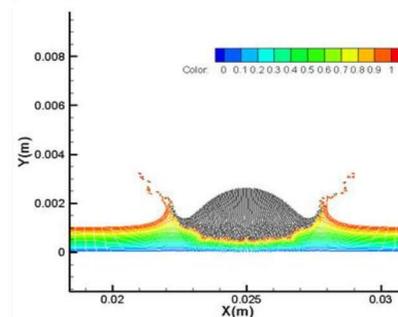


图2. 浅垫层击溅过程中的掺混图像(灰色为雨滴, 彩色表征垫层液体的初始位置)

**关键词:** 坡面流; 击溅; 产流; 阻力; 结皮

<sup>53</sup>资助项目: 国家自然科学基金(11202216, 11372326)