

半隐式光滑粒子动力学方法

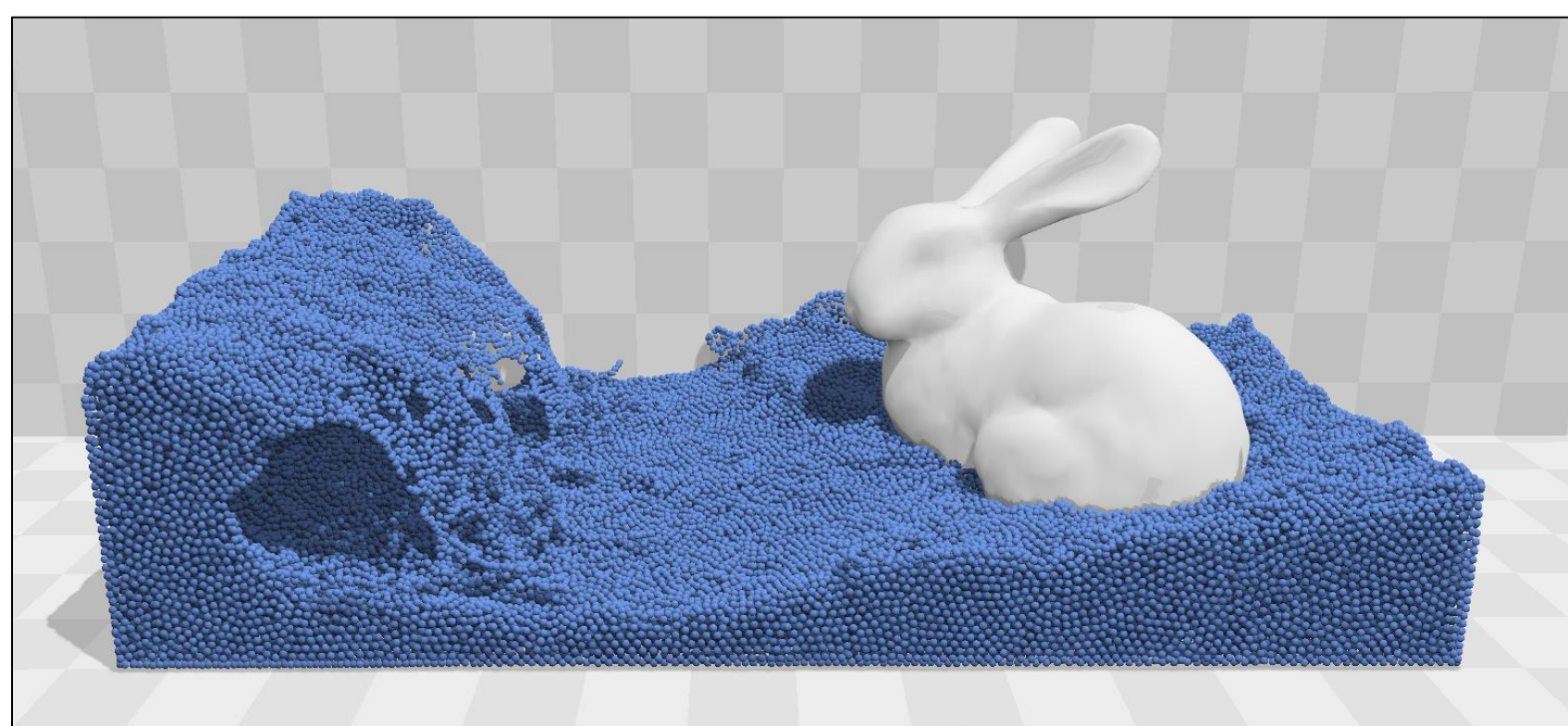
何小伟*, 刘树森, 郭煜中, 石剑, 乔颖

Computer Graphics Forum (Eurographics), 2025

联系方式: xiaowei@iscas.ac.cn

背景

- 流体可压缩性建模和仿真一直以来都是流体模拟的重点和难点;
- 以PBD为代表的不可压缩流体求解器在解决非线性问题时受参数影响大。



方法

流体压缩性 \longrightarrow 非线性约束优化问题 \longrightarrow 半隐式连续迭代

目标函数

$$\psi = \frac{1}{2h^2} m \|\mathbf{x} - \mathbf{x}^*\|^2 + \mu \sum_i B(\lambda_i) \quad \lambda_i = \frac{\rho_i}{\rho_0} \quad h: \text{time step} \quad \mu: \text{a constant}$$

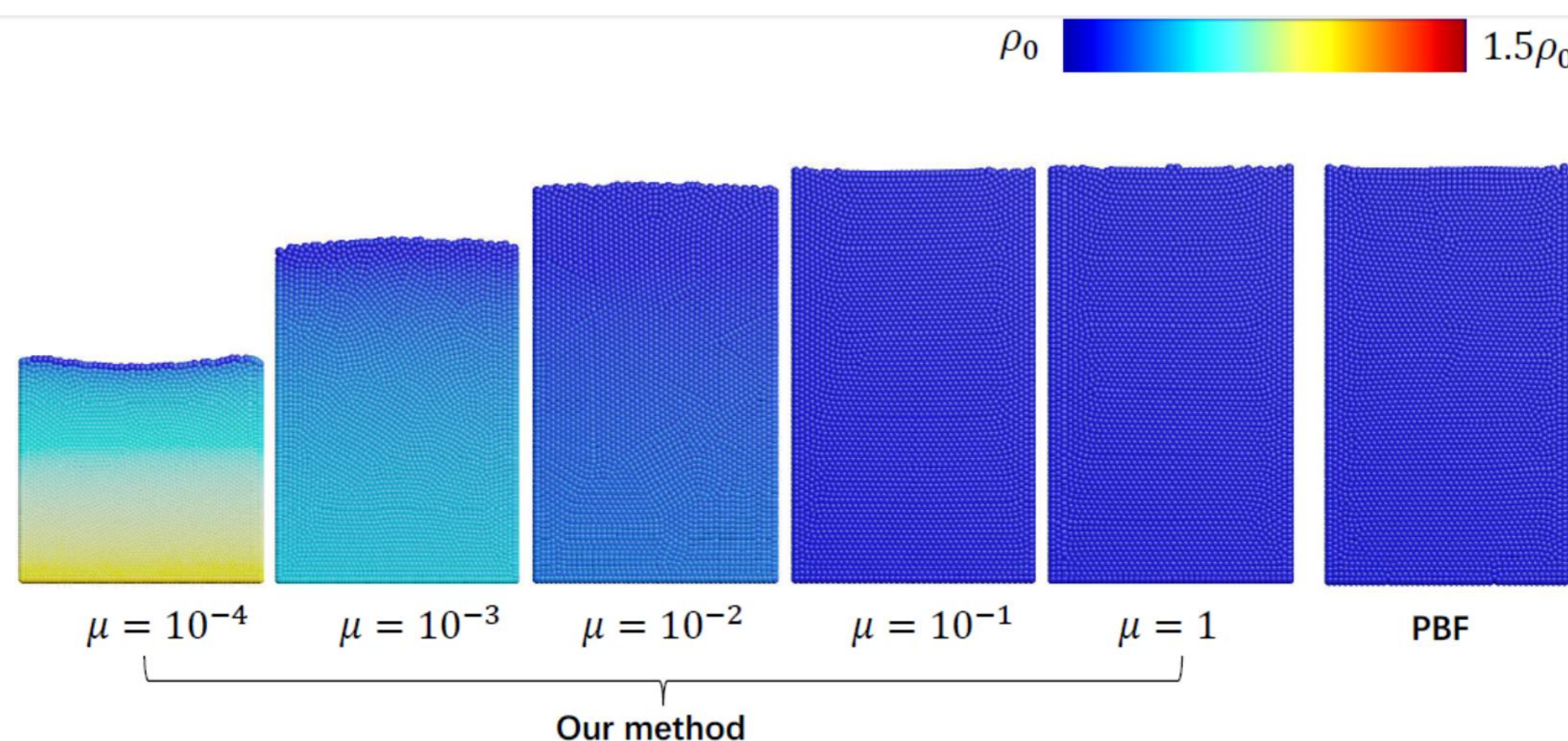
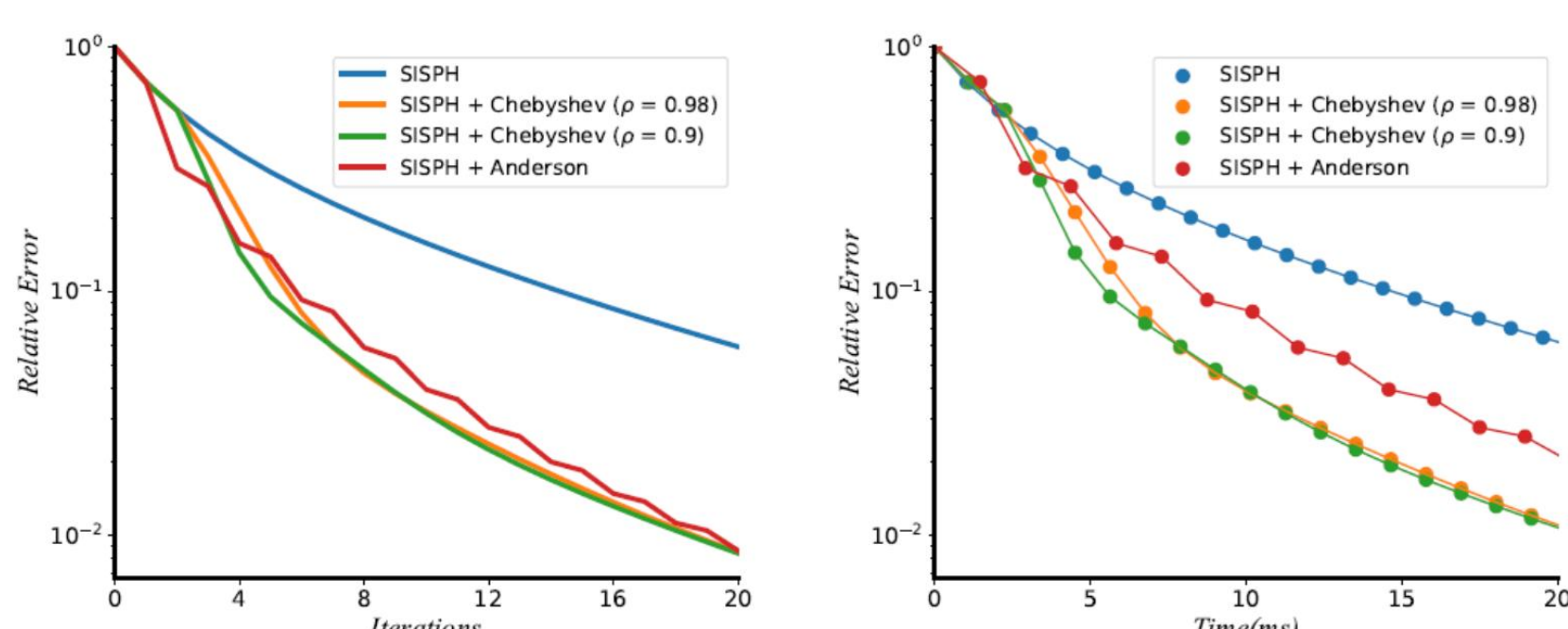
Momentum potential Bulk energy

数值求解

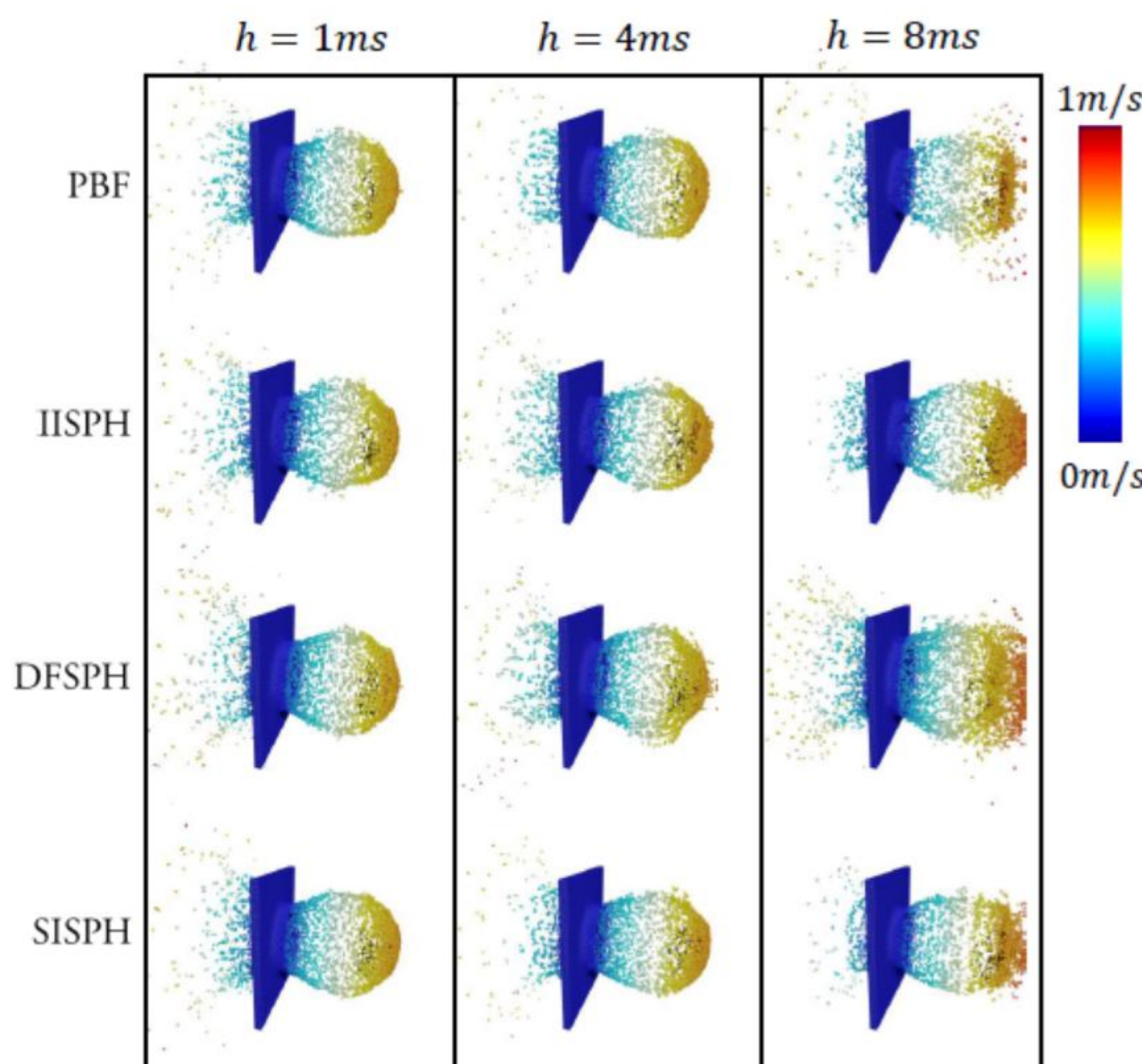
$$\mathbf{x}_i^{k+1} = \frac{\mathbf{x}_i^* + \sum_j (A_{ij}^{k-} + A_{ji}^{k-})(\mathbf{x}_j^k - \mathbf{x}_i^k) + \sum_j (A_{ij}^{k+} + A_{ji}^{k+})\mathbf{x}_j^k}{1 + \sum_j (A_{ij}^{k+} + A_{ji}^{k+})}$$

结果验证

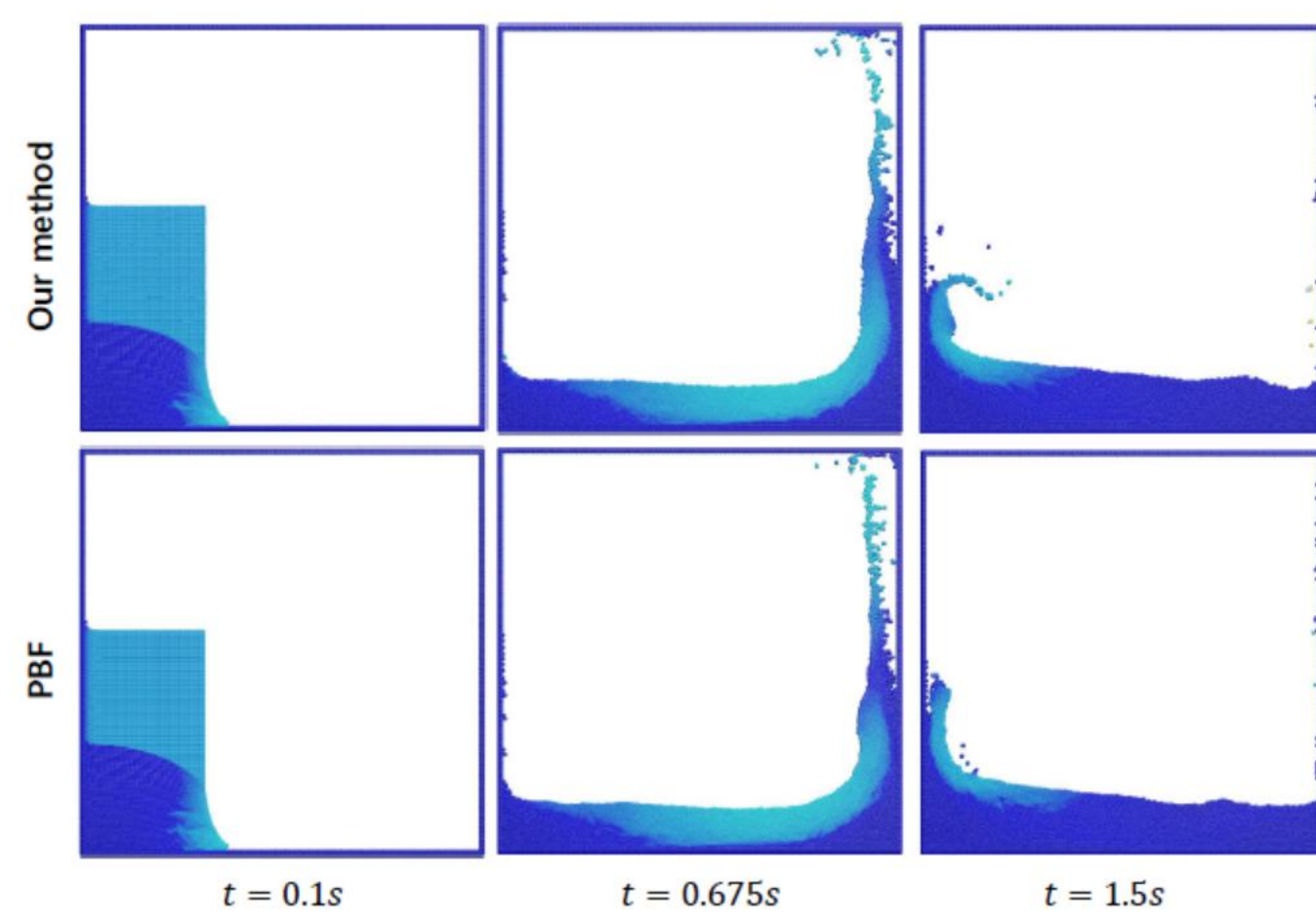
收敛性分析



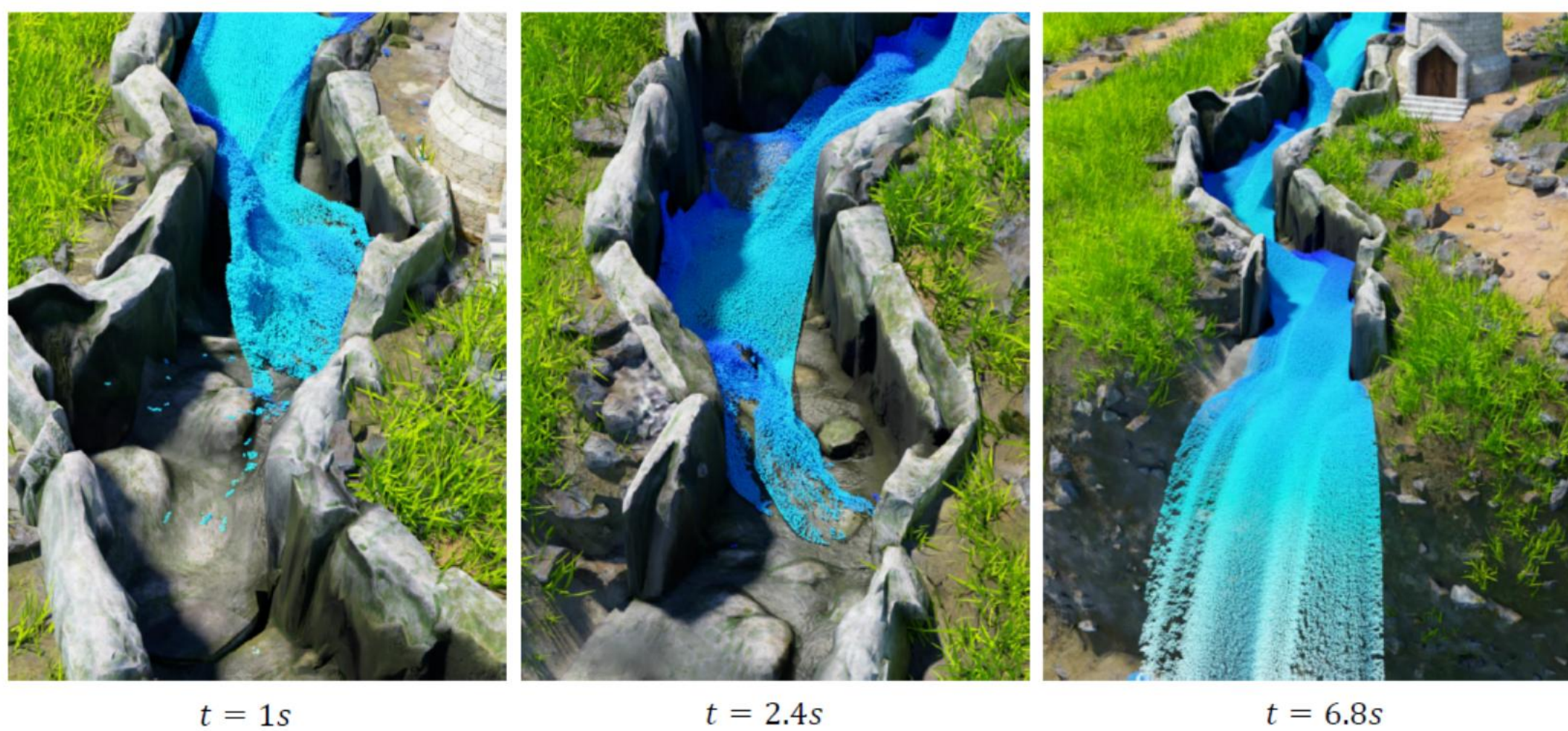
不同流体压缩性模拟



不同方法对比分析



与PBF对比



实时瀑布模拟

总结

- 提出一种适用于统一建模不可压缩与可压缩流体的半隐式光滑粒子动力学方法;
- 通过半隐式连续迭代削弱了数值参数对仿真计算精度的影响;
- 实现基于GPU的实时流体仿真。