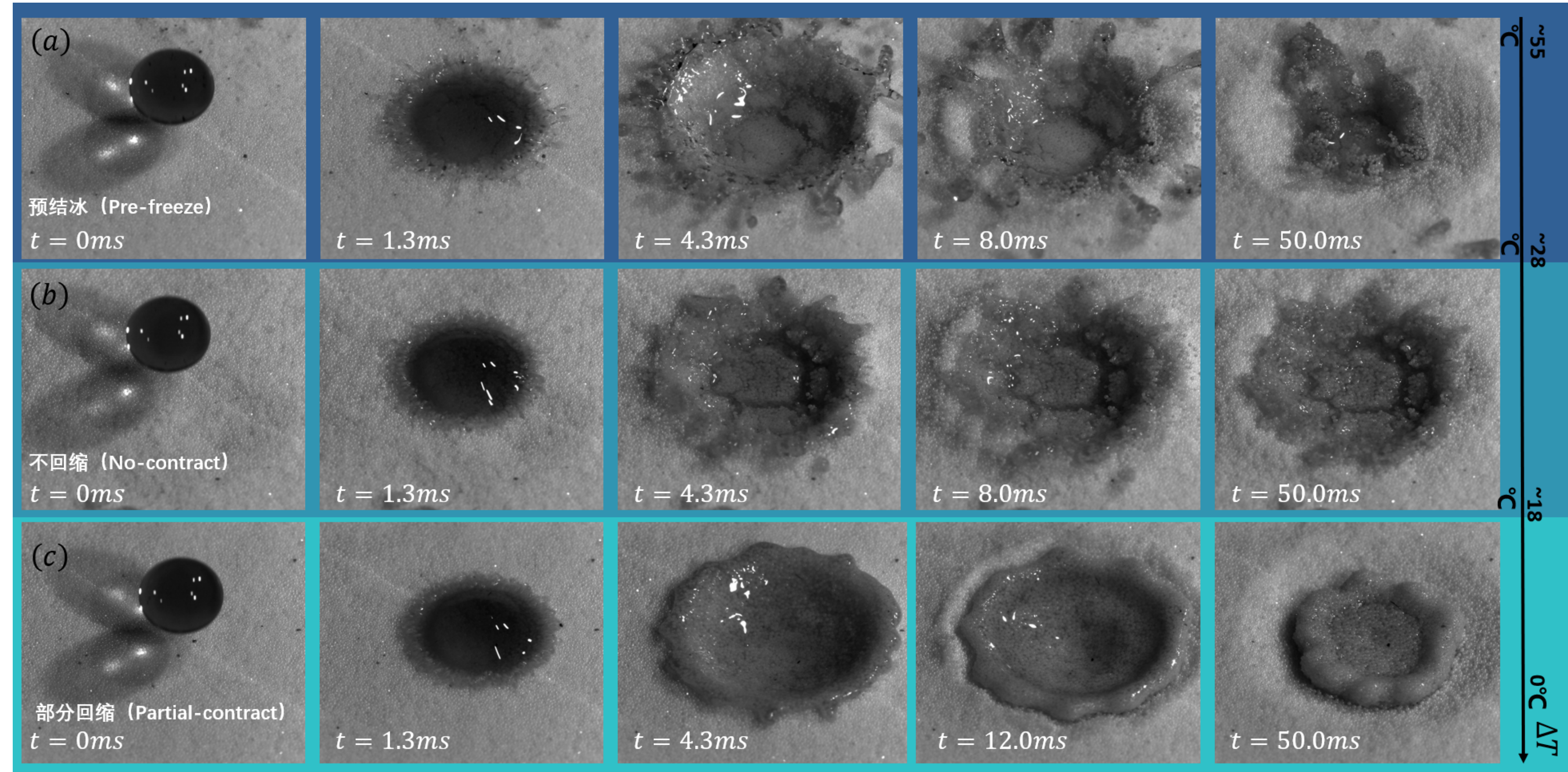


摘要

液滴撞击低温基底固化现象是动力学与热力学两种过程共同作用的结果。液滴撞击冷固板的过程中动力学和热力学往往是弱相关的 [1]。本研究引入低温颗粒基底, 相较于低温平板, 低温颗粒基底的引入, 改变了过冷液滴撞击过程中的动力学与热力学过程的耦合过程。

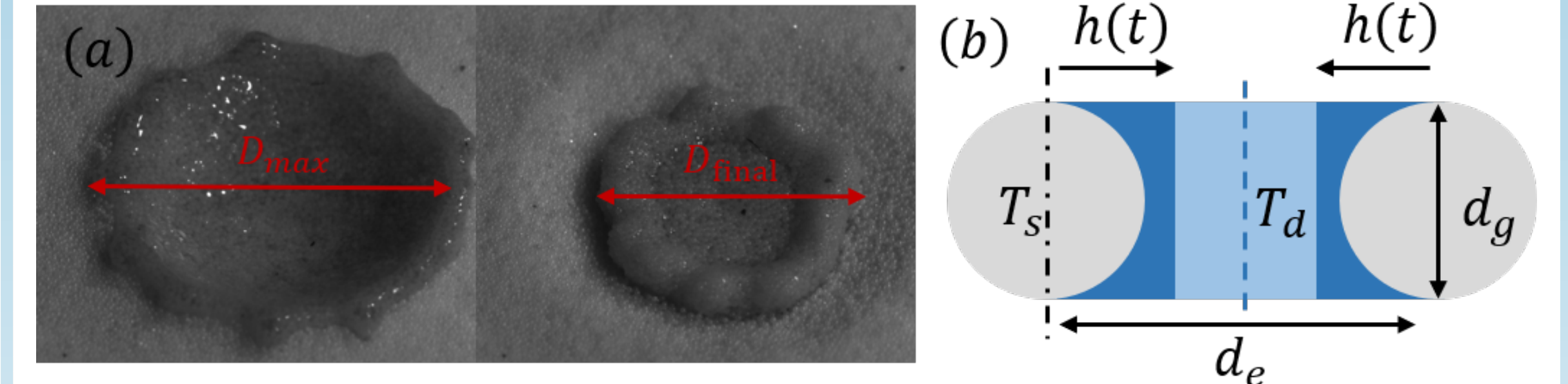
液滴撞击低温颗粒堆



- 相同撞击速度 ($v_{imp} = 2.48m/s$) 液滴撞击冷颗粒堆 (平均粒径为 $160\mu m$) 三种基本形态实验结果图, $\Delta T = T_d - T_s$, (a) 预结冰 (Pre-freeze) $\Delta T = 54.05^\circ C$, (b) 不回缩 (No-contrast) $\Delta T = 22.45^\circ C$, (c) 部分回缩回缩 (Partial-contrast) $\Delta T = 1.6^\circ C$ 。中 T_d 为液滴温度, T_s 为颗粒基底温度, 颗粒堆积分数为 0.595 ± 0.005 , 液滴温度 $T_d = 0 \sim -2^\circ C$ 。

参数计算

一维固化模型: 液滴撞击颗粒后, 颗粒与液滴会发生混合, 会显著改变液滴的铺展和回缩过程, 我们将混合部分的液体固化过程采用简化的一维固化模型。 d_g 是颗粒尺寸, $d_e = (2(1-\phi)/3\phi)d_g$ 是堆积颗粒平均当量孔隙直径。



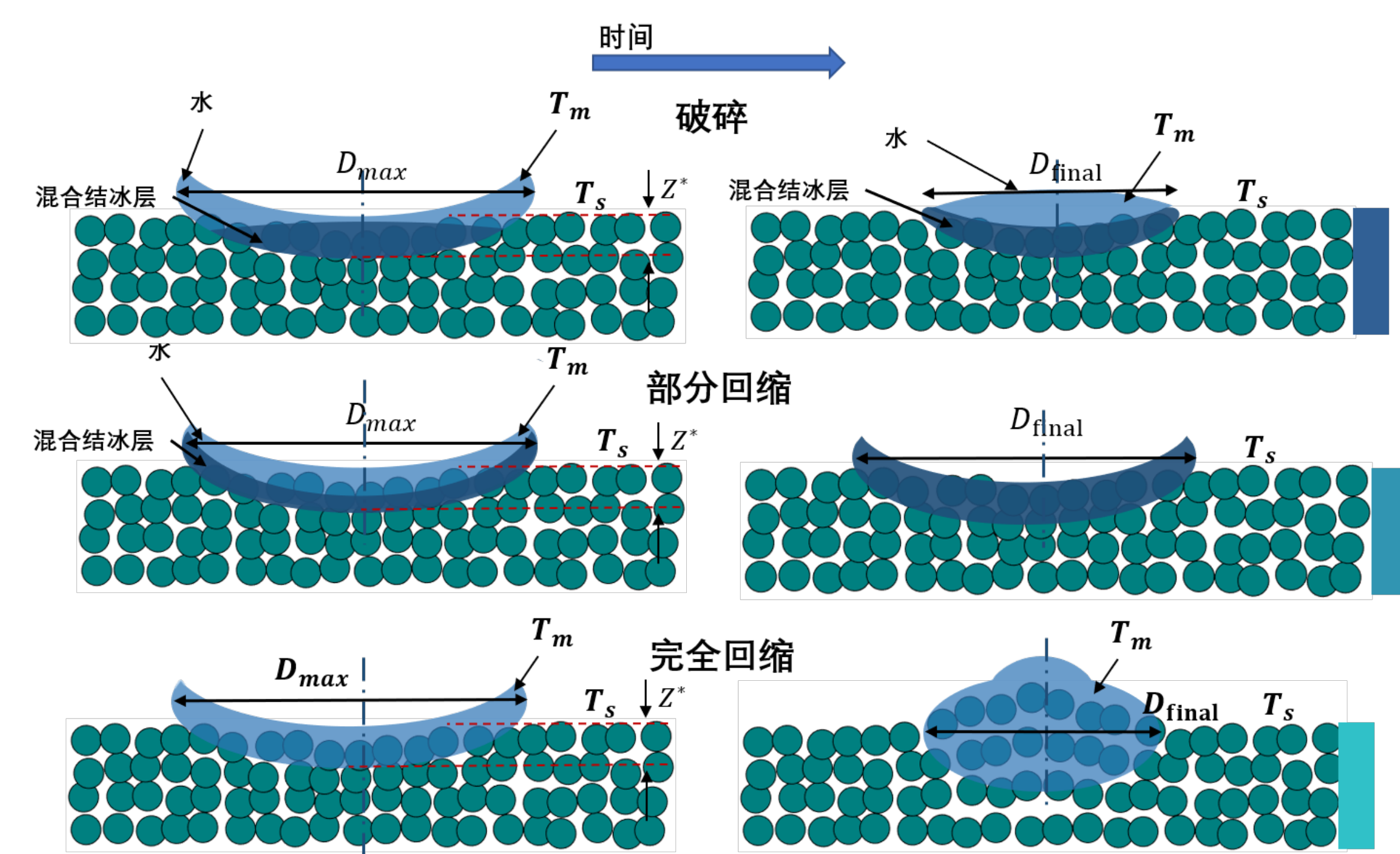
撞击作用时间 t_{imp} : D_0 是液滴直径, Z_c^* 是撞击坑深度, U_0 是液滴撞击速度 [2]。 $t_{imp} = \frac{D_0 + 2Z_c^*}{U_0}$; (1)

冻结时间 t_f : ρ_i 是冰的密度, L 水的相变潜热, d_g 是颗粒尺寸, ϕ 是颗粒堆积分数, K 是冰的热导率

$$t_f = \frac{h^2}{v_f} = \frac{\rho_i L d_e^2}{2K \Delta T} = \frac{\rho_i L d_g^2}{18K \Delta T} \frac{(1-\phi)^2}{\phi^2}; \quad (2)$$

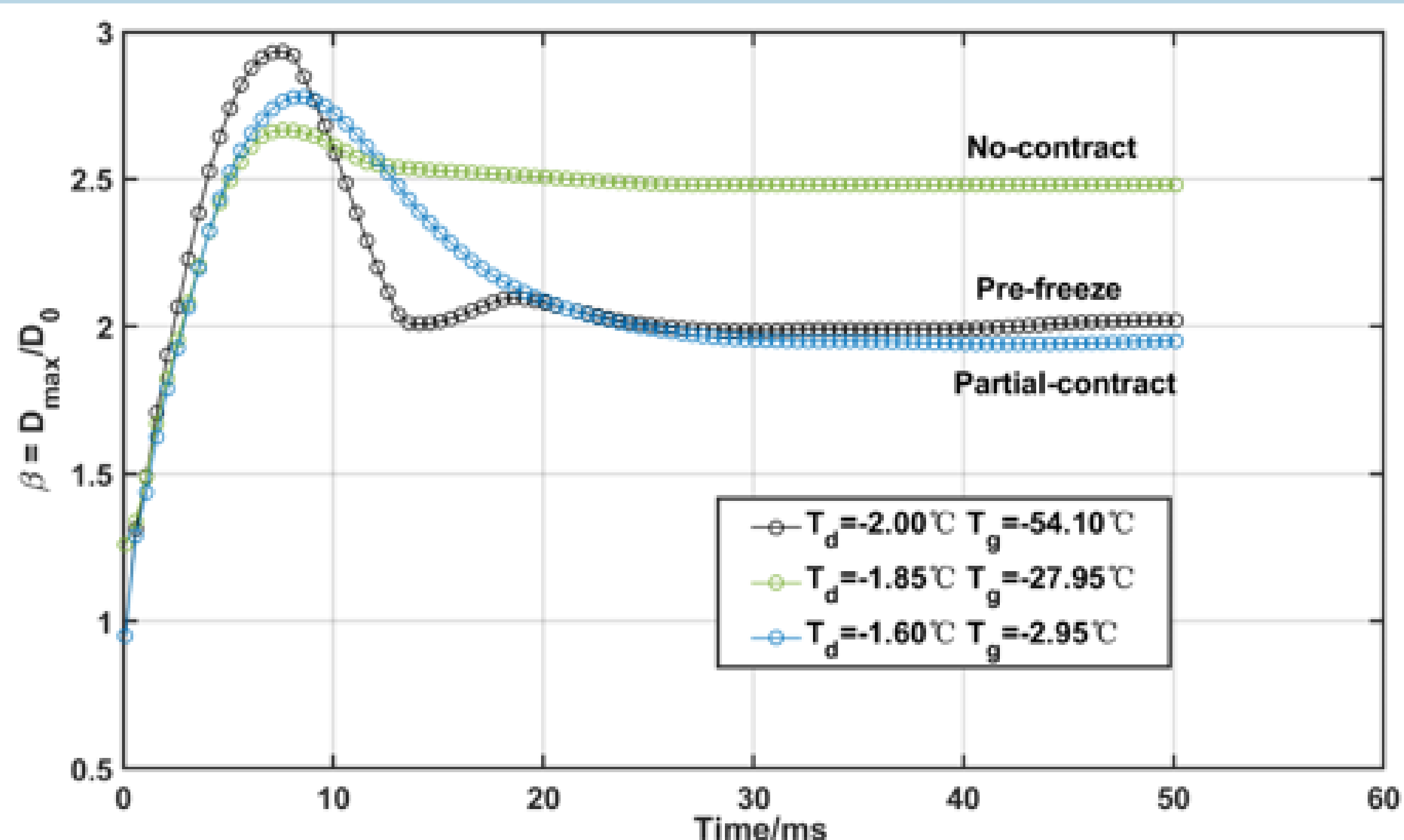
回缩度 $\Delta\beta$: D_{max} 是液滴铺展最大直径, D_{final} 是液滴回缩完成后的直径。 $\Delta\beta = \frac{D_{max} - D_{final}}{D_{max}}$ (3)

物理模型

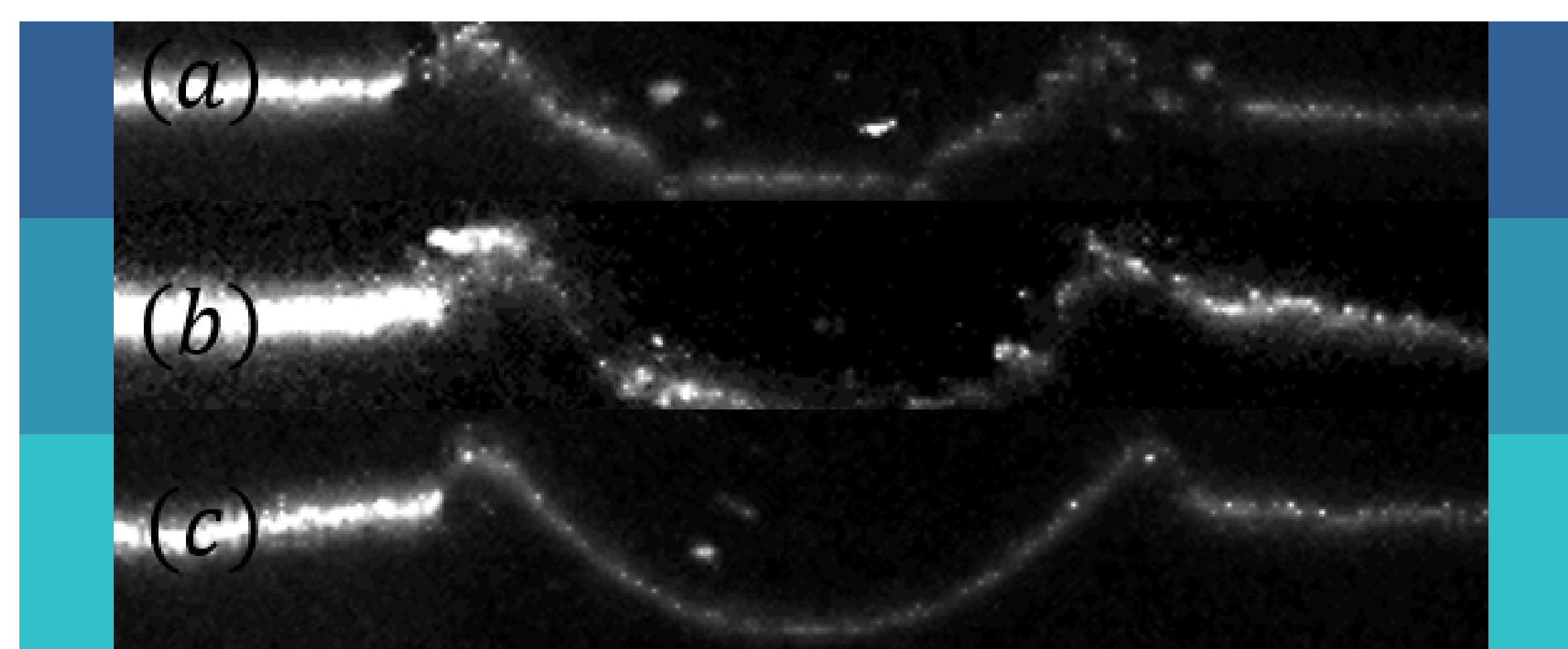


- 如图是液滴与颗粒混合部分的结冰示意图。

铺展与撞击坑深

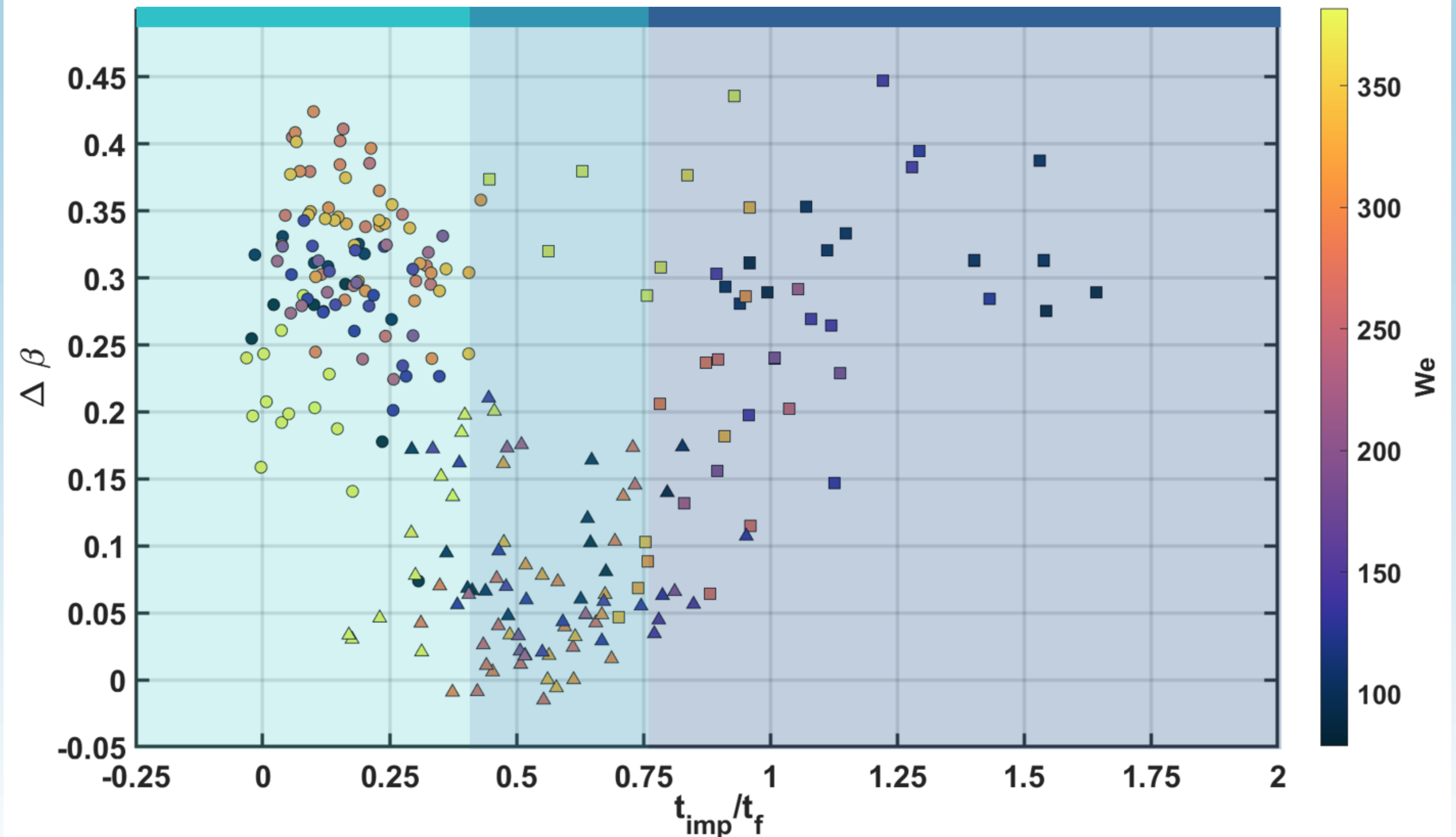


- 如图是三种相态下对应液滴铺展随时间变化。



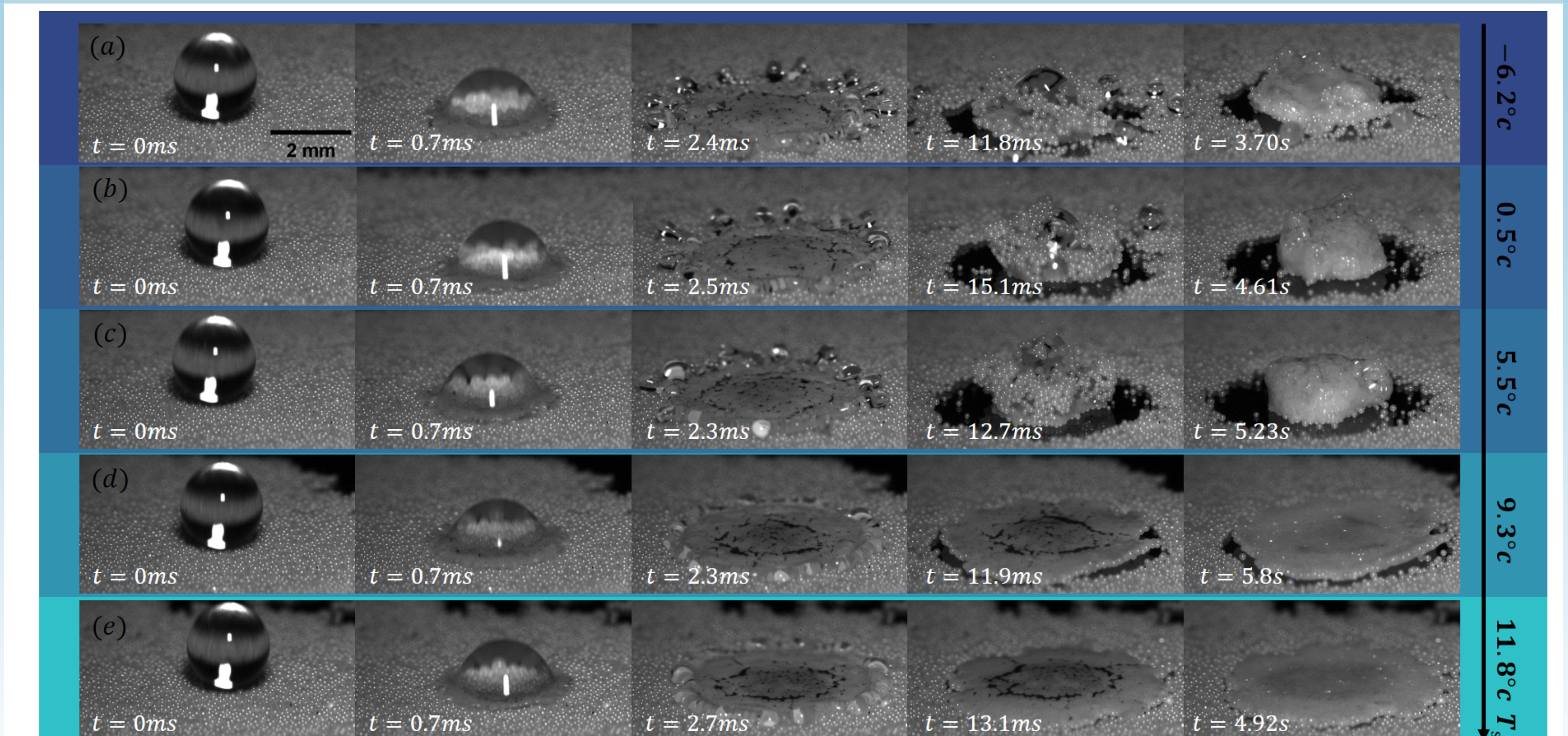
- 如图是三种相态下撞击坑截面形态。

实验相图



- 从液滴撞击冷颗粒堆 (平均粒径为 $160\mu m$) 回缩度 $\Delta\beta$ 随 t_{imp}/t_f 变化相图可以看出, 冻结时间 t_f 减少, 促进液滴动力学与其相变的相互作用, 形成了不同形态的固化物。

单层颗粒撞击实验



- 从正十六烷撞击单层颗粒对比实验可以看出, 其固化物形态基本与撞击颗粒堆保持一致, 颗粒基底的引入, 促进了液滴的固化, 改变了动力学和热力学相互作用的行为。

结论

相较于液滴撞击低温平板来说, 颗粒物的引入, 促进了液滴撞击动力学与结冰热力学的耦合过程, 使得通过撞击参数控制撞击固化形态成为可能。

[1] Wen-Zhen Fang, Fangqi Zhu, Wen-Quan Tao, and Chun Yang. How different freezing morphologies of impacting droplets form. Journal of Colloid and Interface Science, 584:403-410, 2021.

[2] Zhao S C, de Jong R, van der Meer D. Liquid-grain mixing suppresses droplet spreading and splashing during impact[J]. Physical review letters, 2017, 118(5): 054502.