文章编号:1001-4888(2025)05-0657-09

表面张力对液滴撞击旋转壁面影响的实验研究*

杨晓军[1], 郑月瑶[2], 贾惟[3]

(1.中国民航大学 科技创新研究院, 天津 300300; 2.中国民航大学 中欧航空工程师学院, 天津 300300; 3.中国民航大学 安全科学与工程学院, 天津 300300)

摘要: 液滴撞击旋转壁面现象在工程实践中非常常见,如航空发动机旋转部件结冰多由低温条件下水滴撞击旋转部件表面引起,因此研究液滴撞击旋转壁面的动力学行为具有重要意义。本文借助高速摄像机捕捉不同表面张力液滴撞击旋转壁面的动态过程,研究了液滴撞击过程中出现的铺展和飞溅现象,以及表面张力、惯性力、切向力对液滴润湿长度的影响规律。实验结果表明:对低表面张力的液滴,随惯性力的增加,会出现环周飞溅现象,而随切向力的增加,更容易形成尾部飞溅现象;对中或高表面张力的液滴,切向力的增加会促进液滴沿切线方向铺展,而惯性力的增加会促进液滴回缩;定量分析得出在液滴撞击旋转壁面过程中,惯性力和切向力的增加会促进润湿长度的增加,表面张力的增大会抑制润湿长度的增加。

关键词: 液滴; 旋转壁面; 表面张力; 切向力; 惯性力

中图分类号: O351.2; O353.5　　**文献标志码**: A　　DOI: 10.7520/1001-4888-24-156

0 引言

液滴撞击壁面是指液滴以特定速度和角度与固体壁面发生相互作用的行为,在实际工程领域中,液滴撞击壁面现象广泛存在[1-2]。喷墨打印、喷雾冷却、金属淬火、防除冰及抗污染防腐蚀等均与液滴撞击壁面现象相关[3-4]。在航空领域[5],过冷水滴撞击航空发动机旋转整流罩或风扇叶片后冻结并出现结冰现象,随后脱落的积冰可能造成叶片损伤,甚至是结构破坏,严重威胁飞行安全。因此,国内外学者针对液滴撞击壁面后的动力学行为展开了广泛而深入的研究工作[6-7]。

YARIN[8]从理论、实验和计算等方面对液滴撞击固体壁面的研究进行了系统总结。与液滴撞击静止表面相比,液滴撞击旋转壁面的形态变化会受到切向力的显著影响,因此液滴在旋转壁面上铺展的最显著特征就是铺展的非对称性。CHEN 等[9]实验研究了液滴撞击旋转特氟龙涂层表面的动力学行为,发现冲击韦伯数及切向韦伯数均会对液滴冲击旋转壁面的动力学行为产生影响。ALMOHAMMADI 等[10]针对液滴在运动壁面上的动力学行为,基于实验数据建立了可用于预测铺展过程中不对称形态演变的模型。BUKSH 等[11]通过实验研究不同表面张力液滴在静止壁面及移动壁面上的撞击过程,发现表面张力及壁面转速均会对液滴动力学行为产生影响,最大铺展直径及达到最大铺展直径的时间也与液滴性质及壁面转速有关。LI 等[12]分析了撞击液滴的特性及其在移动表面上的行为,总结了液滴撞击过程中会出现的沉积、分裂、单指和多指 4 种形态,发现壁面速度的增加会抑制液滴的形成,同时撞击速度与壁面转速的比值在液滴冲击旋转壁面过程中起着重要作用[13-14]。ZHOU 等[15]通过实验观察到液

* **收稿日期**: 2024-10-09; **修回日期**: 2024-12-11
基金项目: 中央高校基本科研业务费项目(3122025101)
通信作者: 贾惟(1986—),男,副教授,博士生导师。主要从事多相流动力学实验和数值模拟。Email: caucjiawei@163.com

滴撞击旋转盘时呈现不对称扩散现象、指状现象和次液滴现象，冲击速度和壁面速度的增加都能促进指状现象的形成。

虽然学者们已经针对液滴撞击旋转壁面后的动态行为开展了卓有成效的工作[16-17]，但是，表面张力、惯性力及切向力对液滴撞击旋转壁面后动力学行为的影响机制仍不清楚，因此，本文通过液滴撞击低速旋转壁面的实验，对液体表面张力、冲击速度、旋转速度及撞击位置等参数进行研究，以探讨表面张力、惯性力和切向力对液滴扩散的影响。

1　实验装置及方法

实验在(20±2)℃条件下进行，控制相对湿度为(45.5±5.0)%。实验装置示意图如图1所示。实验所用铝合金旋转盘直径为20 cm，厚度为2 cm。借助8个螺丝钉及圆盘中心定位孔将铝合金旋转盘连接到电机上。实验过程中，由直流电机为圆盘提供动力，带动圆盘进行高速旋转，壁面最高转速可达3 000 r/min。测试得到圆盘外缘最大振幅为143 μm，因此圆盘振动造成的影响可忽略不计。

为实现对液滴的精确控制，实验所用液滴通过液滴发生装置生成。液滴发生装置由注射泵和针头组成，通过注射泵控制液滴生成速度，并由针头控制生成液滴的直径。通过不同内径的注射器针头将液滴直径控制在(1.80±0.03)mm。为精确调整液滴位置，设计了独立于实验平台的位移设备，通过位移设备上的升降装置及延长杆调节液滴的下落高度及撞击位置，可以实现控制液滴从距离旋转圆盘0～80 cm高度处下落到圆盘表面任意位置。同时在升降装置上安装了激光测距仪，可以实时测量液滴的下落高度。实验所用高速摄像机最大帧率可达每秒150 000帧，使用放大倍数为12倍的显微镜头捕捉液滴图像，图像分辨率为1 280×896。实验选用100 W高频无闪烁光源，为避免损坏相机的感光组件，拍摄区域通过光源反射光间接照明。

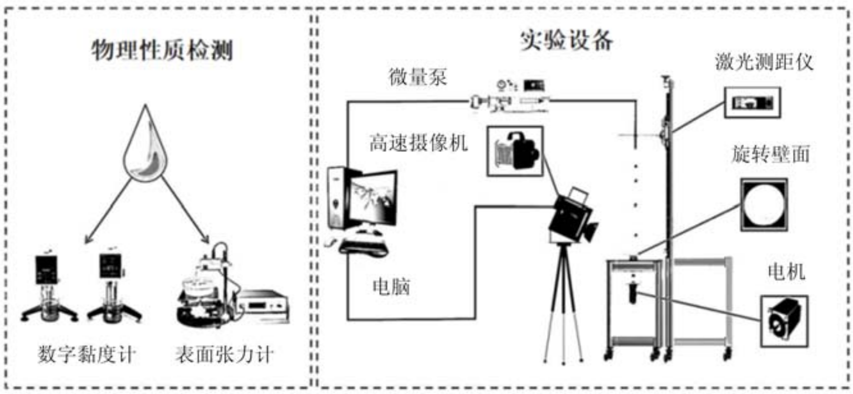


图1　实验装置示意图：(a)数字黏度计和表面张力仪；(b)液滴发生系统、旋转盘和高速成像系统

Fig.1　Schematic diagram of the experimental setup: (a) digital viscometer and surface tension meter; (b) droplet generation system, rotating disk and high-speed imaging system

通过高速摄像机捕捉撞击瞬间的侧视图快照；借助Nano Measurer软件对实验所得图像进行处理，获取液滴直径、润湿长度及移动距离。液滴撞击旋转表面的瞬时速度 v 根据撞击前的瞬时移动距离和时间间隔确定，对冲击速度的测量误差小于±0.03 m/s。壁面旋转角速度为 ω，撞击位置处半径为 R，定义撞击位置处切向速度为 v_t，通过圆周率 π 将角速度转化为线速度，本文定义 $v_t=2\pi\omega R/60$。

实验使用去离子水及体积分数为75%的酒精混合溶液配制了体积分数为18.75%的酒精溶液，实验所用溶液的物理性质见表1。

为了系统研究液滴撞击旋转壁面后的动力学规律，引入无量纲参数冲击韦伯数 We_t 和旋转韦伯数 We_n：

$$We_n=\frac{\rho v_n^2 D_0}{\sigma},\ We_t=\frac{\rho v_t^2 D_0}{\sigma} \tag{1}$$

式中：ρ 为液滴密度；D_0 为液滴初始直径；σ 为液滴表面张力。为了提高实验结果的精度，降低实验的随机误差，每组实验均重复 3～5 次后取平均值。

表 1　酒精混合溶液在 101 325 Pa 和 20 ℃条件下的物理性质

Tab. 1　Physical properties of alcohol mixtures at 101 325 Pa and 20 ℃

液体	表面张力/(N/m)	密度/(g/cm^3)	半径/mm
去离子水	0.071	0.998	1.80±0.03
18.75%酒精溶液	0.048	0.960	1.80±0.03
75%酒精溶液	0.024	0.799	1.80±0.03

2　实验结果

液滴撞击旋转壁面过程中，在惯性力、切向力及表面张力等多种作用力的影响下，液滴形态变化非常复杂。为简化描述，本文定义液滴接触壁面的时刻为 $t=0$ ms，撞击点沿壁面运动方向为前端，逆壁面运动方向为后端，如图 2 所示。

表面张力 $\sigma=0.024$ N/m 的液滴撞击旋转壁面的过程如图 3 所示，H 为液滴下落高度。$t=0.5$ ms 时，液滴接触壁面部分开始铺展，未接触壁面部分保持原有形态，壁面切向力促进前端铺展、抑制后端铺展，因此液滴呈现出不对称铺展现象。由于壁面转速较高，切向力较大，且液滴表面张力较低，液滴在撞击壁面后呈现出持续铺展的现象。$t=1.0$ ms 时，液滴后端出现破碎现象，破碎部分在 $t=2.0$ ms 时汇聚成多个小液滴，并最终与整体分离，脱离壁面。

图 2　液滴撞击旋转壁面动力学行为示意图

Fig. 2　Schematic diagram of droplet impact dynamics on a rotating wall

保持下落高度、撞击速度及壁面转速不变，改变液滴表面张力进行实验，以 $\sigma=0.048$ N/m 液滴为例(图 4)，液滴在撞击旋转壁面后仍呈现出前后端不对称的持续铺展现象，从 $t=1.0$ ms 到 $t=3.0$ ms，在切向力的作用下，液滴前端被拉伸呈尖状，而液滴后端铺展呈半圆形。与图 3 相比可见，随着表面张力的增加，液滴后端破碎现象消失。

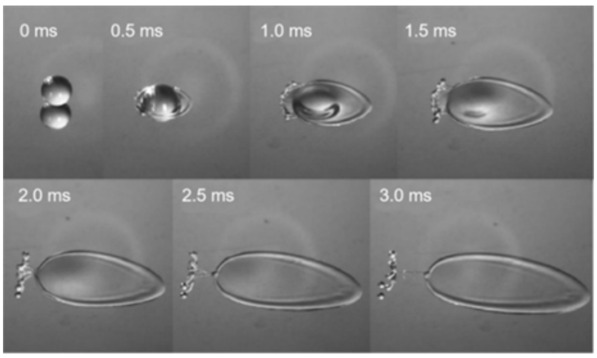


图 3　$\sigma=0.024$ N/m 液滴撞击旋转壁面

($H=10$ cm，$R=5$ cm，$\omega=500$ r/min)

Fig. 3　Droplet with $\sigma=0.024$ N/m impact on rotating wall ($H=10$ cm, $R=5$ cm, $\omega=500$ r/min)

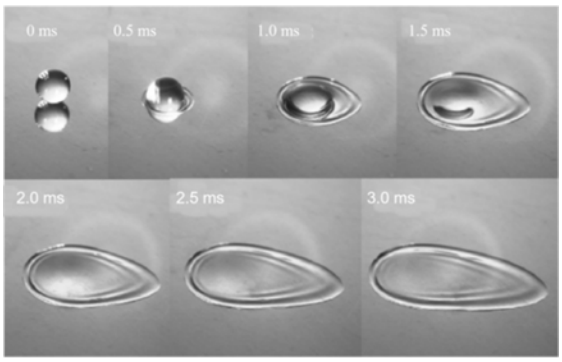


图 4　$\sigma=0.048$ N/m 液滴撞击旋转壁面

($H=10$ cm，$R=5$ cm，$\omega=500$ r/min)

Fig. 4　Droplet with $\sigma=0.048$ N/m impact on rotating wall ($H=10$ cm, $R=5$ cm, $\omega=500$ r/min)

保持液滴表面张力、下落高度及壁面转速不变，改变撞击位置，如图 5 所示，液滴撞击壁面后在惯性力和切向力的作用下持续铺展。相同时刻下，图 3 中液滴前后端不对称铺展现象比图 5 更明显，且图 3

所示工况下液滴铺展程度更大。这是由于撞击位置改变，随着偏心距离的减小，切向力也会减小，因此对铺展过程中液滴前端的拉伸作用及后端的抑制作用都减弱；同时，当偏心距离减小，尾部破碎现象也消失。

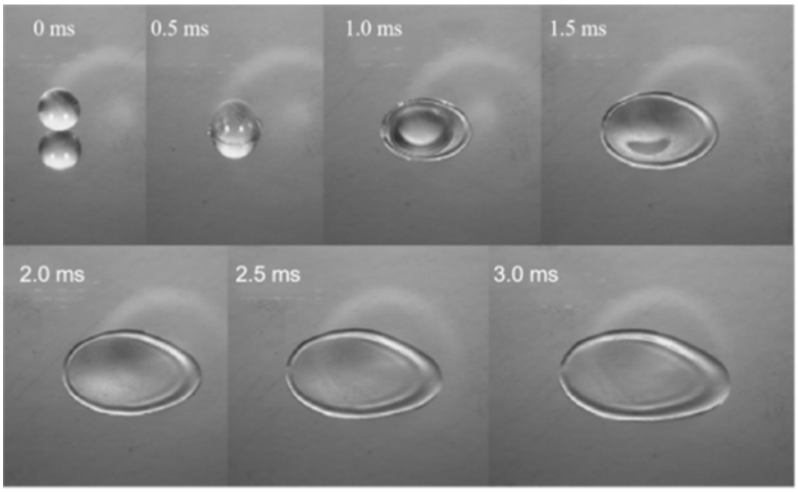


图5 σ=0.024 N/m液滴撞击旋转壁面（H=10 cm，R=3 cm，ω=500 r/min）

Fig. 5 Droplet with σ=0.024 N/m impact on rotating wall (H=10 cm, R=3 cm, ω=500 r/min)

实验观察到飞溅现象只出现在低表面张力（σ=0.024 N/m）工况下，这是由于低表面张力液滴更容易受到外部扰动而发生形变，因此在相同条件下，低表面张力液滴更容易出现飞溅现象。同时观察到，在不同 We_n 和 We_t 下 σ=0.024 N/m液滴的形态变化不同：部分工况下液滴在撞击壁面后铺展过程中四周均出现破碎现象，发生环周飞溅；部分工况下液滴只在尾部出现飞溅现象；部分工况下液滴冲击壁面未出现飞溅现象。总结了 σ=0.024 N/m的液滴在不同撞击速度、不同转速下的形态特征，如图6所示。由图6可以看出，在 We_t 和 We_n 均较低的情况下，即使是低表面张力液滴，在撞击旋转壁面过程也不会出现飞溅现象。这是由于在低 We_t 和低 We_n 条件下，液滴惯性力及壁面切向力均较小，液滴在冲击过程中受到的扰动较小，液滴处于相对稳定的状态，因此未出现飞溅现象。随着 We_n 和 We_t 的增加，液滴会出现后端飞溅及环周飞溅现象，由图6可以看出，单独增加We_t和We_n均会导致飞溅现象的出

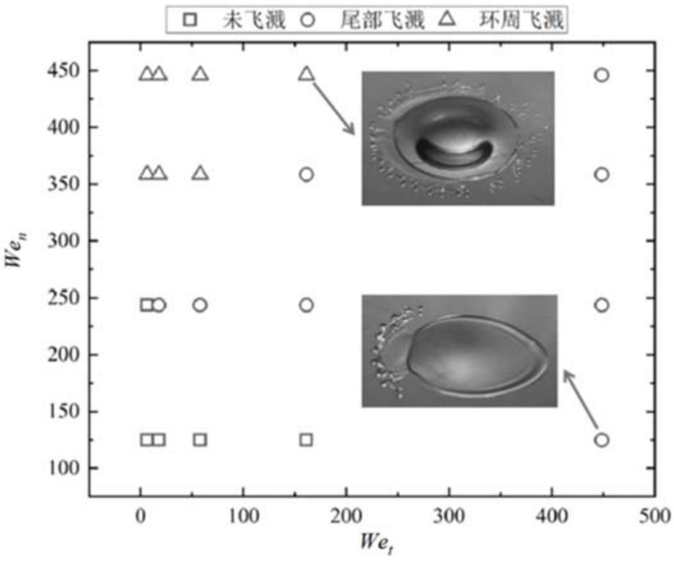


图6 σ=0.024 N/m液滴撞击旋转壁面形态特征

Fig. 6 Morphological characteristics of σ=0.024 N/m droplet impact on rotating wall

现，因此可以得出惯性力和切向力的增加均会对液滴稳定产生影响的结论。同时由图 6 也可以观察到，We_n 和 We_t 的增加对飞溅现象的影响不同。在高 We_n 条件下，液滴四周出现环周飞溅现象，这是由于液滴冲击壁面速度较大，冲击过程中液滴与壁面的相互作用更剧烈，引发液滴内部的剧烈运动，进而液滴在铺展过程中，四周出现飞溅现象。而高 We_t 的工况下，液滴后端出现飞溅现象，是由于在高壁面转速条件下，液滴后端受到的离心力和切向力均较大，因此在冲击过程中，液滴后端容易出现飞溅现象。

在不同 We_n 和 We_t 下，$\sigma=0.048$ N/m 及 $\sigma=0.072$ N/m 的中高表面张力液滴撞击旋转壁面的形态变化如图 7 所示。由于表面张力的增加，使液滴更倾向于保持原有形态，因此，在切向力及惯性力的共同作用下，实验观测时间段内，液滴呈现出持续铺展或达到最大润湿长度后回缩的现象。对 $\sigma=0.048$ N/m 的工况，如图 7(a)所示，当 We_n 低于 80 时，即使在低 We_t 条件下，液滴也呈现出持续铺展现象。在 We_t 低于 120 的区域，随着 We_n 增加，液滴出现回缩现象；但当 We_t 大于 240 时，即使在高 We_n 条件下，液滴在观测时间段内仍持续铺展。当 $\sigma=0.072$ N/m 时，如图 7(b)所示，在 We_t 低于 40 的区域内均可以观察到回缩现象；当 $We_t=63.1$ 时，低 We_n 下液滴出现持续铺展现象，而随着 We_n 增加，液滴铺展达到最大润湿长度后回缩；在 We_t 大于 170 的区域，液滴呈现出持续铺展状态。

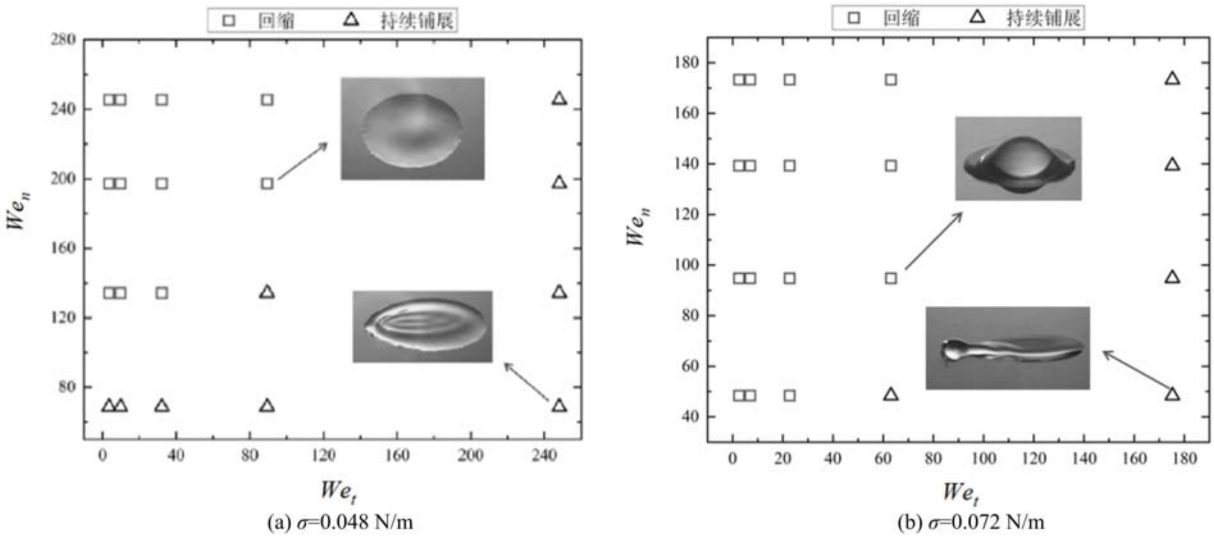


图 7　液滴撞击旋转壁面铺展形态

Fig. 7　Spreading morphology of droplet impact on a rotating wall

3　结果分析

对未出现飞溅现象的工况，提取了液滴铺展阶段的周向润湿长度。液滴撞击旋转壁面后，在惯性力和切向力的作用下铺展，定义周向润湿长度 L_θ 用以描述液滴的铺展行为。如图 8 所示，O 是旋转圆盘的圆心，A 和 B 分别为液滴铺展的后端和前端，O 和 A 之间的距离为 r_1，O 和 B 之间的距离为 r_2。θ 为直线 OA 和 OB 之间的夹角，周向润湿长度 L_θ 计算公式为

$$L_\theta=\frac{1}{2}(r_1+r_2)\theta \tag{2}$$

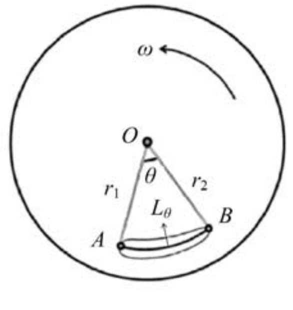


图 8　周向润湿长度示意图

Fig. 8　Diagram of circumferential wetting length

同时，定义无量纲周向润湿长度 $L_\theta{}^*$ 为

$$L_\theta{}^*=L_\theta/D_0 \tag{3}$$

3.1　表面张力

为研究表面张力对液滴铺展过程中润湿长度变化规律的影响，保持壁面转速及撞击速度不变，对比

了3种不同表面张力的液滴撞击转速壁面相同位置时无量纲润湿长度的变化情况，如图9所示。从图9可以看出，随着表面张力σ从0.024 N/m增加到0.072 N/m，液滴在不同时刻的无量纲润湿长度减小，这是由于随着表面张力增大，液滴更倾向于保持原有状态，不易发生铺展，因此表面张力对液滴润湿长度的增加起到抑制作用。

由图9还可观察到，不同表面张力液滴润湿长度变化规律不同。σ=0.072 N/m的液滴润湿长度呈现出先增后减趋势，而σ=0.024 N/m及σ=0.048 N/m的液滴润湿长度则表现为持续增加。这是由于σ=0.072 N/m的液滴表面张力较大，铺展达到最大润湿长度后，在表面张力的作用下液滴发生回缩；而σ=0.024 N/m及σ=0.048 N/m的液滴表面张力较小，在实验捕捉时间段内，液滴未出现明显的回缩现象，表现为持续铺展，润湿长度持续增加。

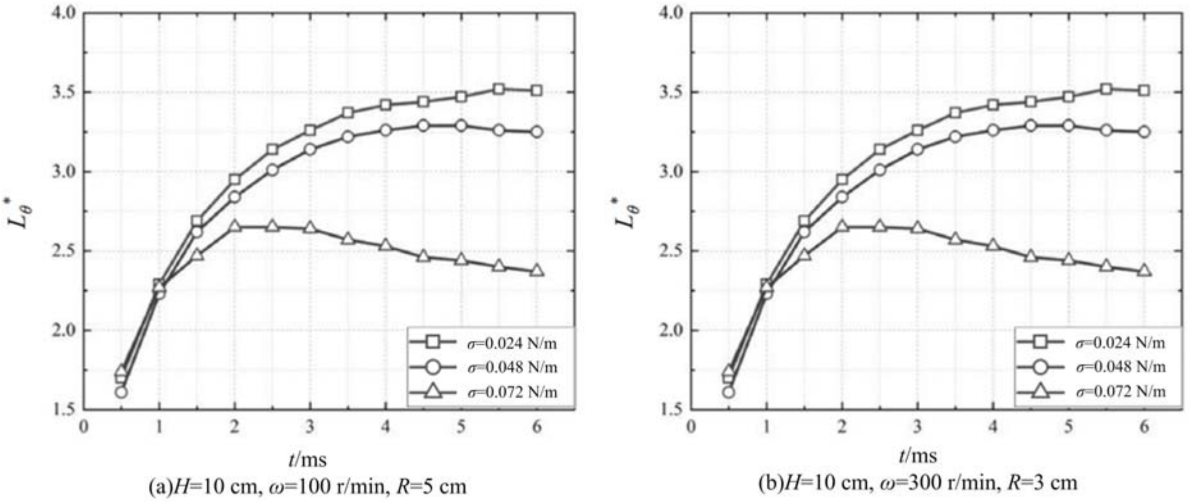


图9　不同表面张力液滴撞击旋转壁面无量纲周向润湿长度变化规律

Fig. 9　Variation rule of dimensionless circumferential wetting length of droplets with different surface tension

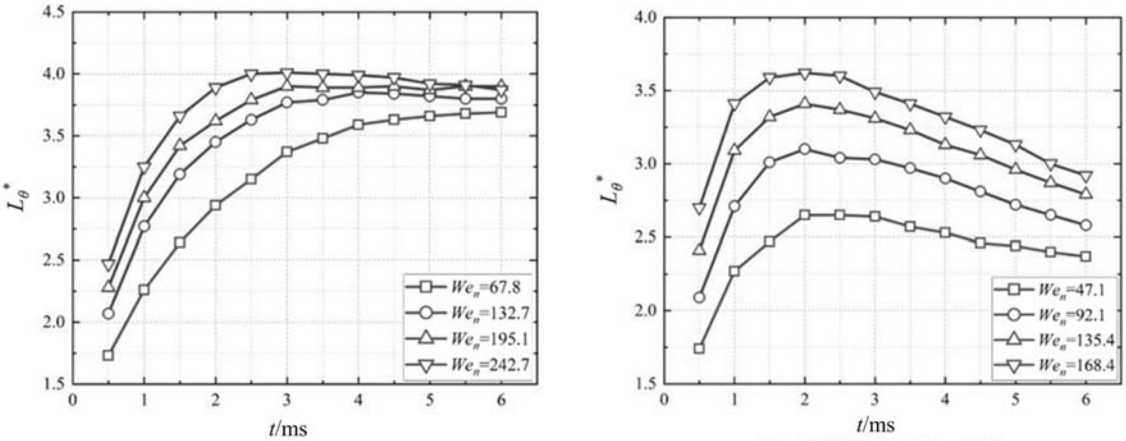
3.2　惯性力

为研究惯性力对液滴润湿长度变化规律的影响，选取σ=0.048 N/m和σ=0.072 N/m的液滴，保持壁面转速及撞击位置不变，改变液滴下落高度，记录不同We_n下液滴撞击旋转壁面无量纲润湿长度的变化规律，如图10所示。由图10(a)可以看出，随着We_n从67.8增加到242.7，液滴沿周向的最大润湿长度增加，且液滴达到周向最大润湿长度的时间提前。这是由于We_n的增加，本质上是液滴撞击壁面速度的增加，撞击速度增加会导致液滴的惯性力增大，液滴与壁面之间的相互作用更加剧烈，液滴在壁面上的铺展也更加迅速，因此冲击过程中能达到的周向最大润湿长度随之增加，达到最大润湿长度的时间也缩短。同时由图10(a)观察到We_n=242.7工况下，液滴撞击壁面后润湿长度有减小趋势，即液滴在达到最大润湿长度后有回缩倾向；而We_n=67.8工况下液滴润湿长度随时间的增加持续增加。这是由于We_n=242.7时，液滴初始动能较大，铺展达到最大润湿长度后表面张力较高，最终出现回缩现象。在图10(b)中，We_n从47.1到168.4时，σ=0.072 N/m的液滴润湿长度随时间的增加均呈现出先增后减的趋势；同时所得结论与图10(a)一致，We_n与润湿长度正相关。

3.3　切向力

σ=0.048 N/m和σ=0.072 N/m的液滴以相同We_n撞击不同转速壁面不同位置时液滴润湿长度的变化，如图11所示。

由图11(a)可以看出，保持We_n=132.7不变，随着We_t从3.5增加到224.1，液滴撞击壁面后的无量纲周向润湿长度也会增加。这是由于切向力对液滴起拉伸作用，会促进液滴在壁面上的铺展，切向力越大，促进作用越明显，因此L_θ^*随We_t的增加而增加。由图11(a)也可以观察到，We_t在中低范围时，



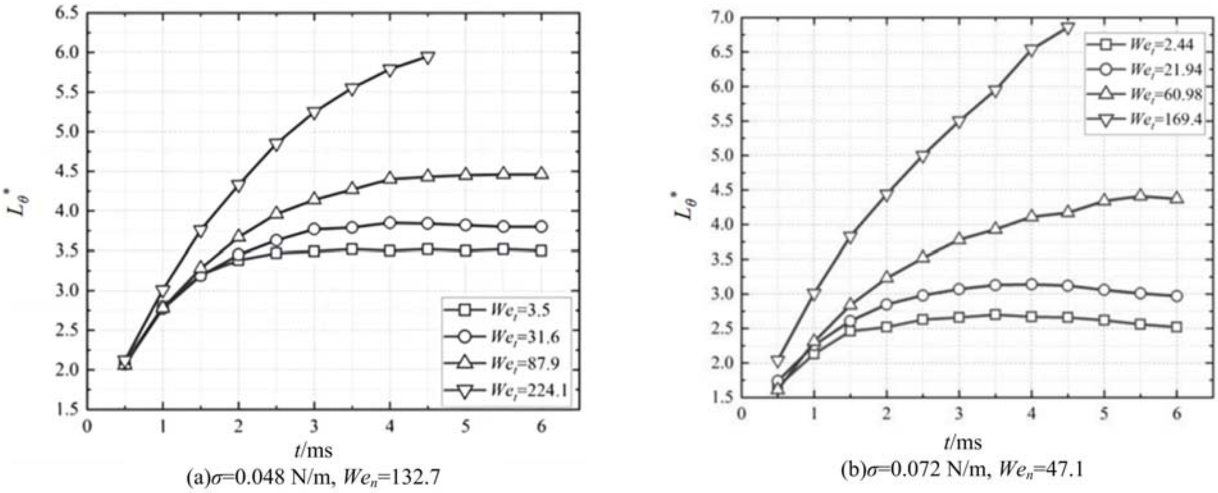
(a)σ=0.048 N/m, We_t=31.6　　(b)σ=0.072 N/m, We_t=6.78

图 10　不同惯性力液滴撞击旋转壁面无量纲周向润湿长度变化规律

Fig. 10　Variation rule of dimensionless circumferential wetting length of droplets with different inertial force

We_t 为 3.5、31.6、87.9 工况的 $L_\theta{}^*$ 曲线在 t 小于 1.5 ms 时间段几乎重合。这是由于在液滴撞击壁面的初始阶段，液滴的运动过程受惯性力主导，切向力作用不明显；而对 $We_t=224.1$ 的液滴，切向力较大，因此液滴接触壁面初始阶段，切向力的作用与其他工况相比更为明显。铺展初期 $L_\theta{}^*$ 曲线重合部分代表惯性力主导阶段，与图 11(a)相比，图 11(b)中惯性力较低，因此图 11(b)中不同 We_t 下，$L_\theta{}^*$ 曲线重合时间段较短。

由图 11(b)可以得到，在 $We_n=47.1$ 时，$\sigma=0.072$ N/m 的液滴润湿长度随 We_t 增加的变化规律与图 11(a)的一致：We_t 和液滴润湿长度正相关。



(a)σ=0.048 N/m, We_n=132.7　　(b)σ=0.072 N/m, We_n=47.1

图 11　不同切向力液滴撞击旋转壁面无量纲周向润湿长度变化规律

Fig. 11　Variation rule of dimensionless circumferential wetting length with different tangential force

4　结论

本文对不同表面张力液滴以不同速度撞击旋转壁面的形态变化及铺展过程周向润湿长度变化进行了实验研究，得到如下结论：

1)低表面张力($\sigma=0.024$ N/m)液滴在部分工况下会出现飞溅现象，切向力和惯性力对飞溅形态的影响不同：高 We_n 下液滴呈环周飞溅，而高 We_t 条件下液滴呈现出尾部飞溅现象。

2)中表面张力($\sigma=0.048$ N/m)及高表面张力($\sigma=0.072$ N/m)液滴撞击旋转壁面过程未出现飞溅

现象，实验观测时间段内呈回缩或持续铺展现象，且随 We_t 增加，更倾向于出现持续铺展状态。

3）低表面张力（σ=0.024 N/m）条件下，实验观测时间段内，液滴撞击旋转壁面后回缩现象不明显；表面张力增加到 σ=0.072 N/m 时，达到最大润湿长度后液滴回缩现象明显，且随表面张力增加，液滴铺展所能达到的最大润湿长度减小。同时，随惯性力增大，液滴铺展达到的最大润湿长度增加，铺展达到最大润湿长度的时间提前。

参考文献：

[1] 马慧敏，刘长根，李旭，等. 液滴冲击液面过程中变形特征的实验研究[J]. 实验力学，2019，34(4)：600-608 (MA Huimin, LIU Changgen, LI Xu, et al. Experimental study of deformation characteristics during the process of liquid drop impact liquid surface[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2019, 34(4):600-608 (in Chinese))

[2] 褚英志，马文来，庞宝君，等. 液滴撞击结构液靶成坑特点分析[J]. 实验力学，2004，19(3)：335-341 (CHU Yingzhi, MA Wenlai, PANG Baojun, et al. Analysis of crater forming characteristic by liquid drop striking structural liquid target[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2004, 19(3):335-341 (in Chinese))

[3] FUJISAWA N, KAWABATA H, TANAKA M. Observing the impact force and low-speed droplet behavior of wet surfaces with very-thin liquid films[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2023, 144:110836.

[4] 谭新韵，沈丽骊，孙晨. 基于数字图像相关法的透明液滴形貌测量方法[J]. 实验力学，2024，39(1)：7-16 (TAN Xinyun, SHEN Lili, SUN Chen. Transparent droplet surface morphology measurement method based on digital image correlation[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2024, 39(1):7-16 (in Chinese))

[5] AXCELL B P, THIANPONG C. Convection to rotating disks with rough surfaces in the presence of an axial flow [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2001, 25(1):3-11.

[6] POLITOVICH M K. Response of a research aircraft to icing and evaluation of severity indices[J]. Journal of Aircraft, 1996, 33(2):291-297.

[7] GOHARDANI O. Impact of erosion testing aspects on current and future flight conditions[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2011, 47(4):280-303.

[8] YARIN A L. Drop impact dynamics: Splashing, spreading, receding, bouncing…[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2006, 38:159-192.

[9] CHEN R H, WANG H W. Effects of tangential speed on low-normal-speed liquid drop impact on a non-wettable solid surface[J]. Experiments in Fluids, 2005, 39(4):754-760.

[10] ALMOHAMMADI H, AMIRFAZLI A. Asymmetric spreading of a drop upon impact onto a surface[J]. Langmuir, 2017, 33(23):5957-5964.

[11] BUKSH S, ALMOHAMMADI H, MARENGO M, et al. Spreading of low viscous liquids on a stationary and a moving surface[J]. Experiments in Fluids, 2019, 60(4):76.

[12] LI D, SHANG Y H, WANG X, et al. Dynamic behavior of droplet impacting on a moving surface[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2024, 153:111126.

[13] LI J Y, YUAN X F, HAN Q. Time evolutions of water drops impacting on a rotating disk[J]. Advanced Materials Research, 2011, 354:609-614.

[14] LI J Y, YUAN X F, HAN Q, et al. Impact patterns and temporal evolutions of water drops impinging on a rotating disc[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2012, 226(4):956-967.

[15] ZHOU Y, JIN Z Y, YANG Z G. Impingement of a water droplet onto a rotational surface[J]. Physics of Fluids, 2024, 36:012102.

[16] 杨文，张鑫玺，汪翔宇，等. 黏性对液滴偏心撞击旋转壁面铺展特性的影响[J]. 航空学报，2024，45(16)：114-128 (YANG Wen, ZHANG Xinxi, WANG Xiangyu, et al. Effect of liquid viscosity on droplet spreading after off-axis impact on a rotating wall[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2024, 45(16):114-128 (in Chinese))

[17] MOGHTADERNEJAD S, JADIDI M, JOHNSON Z, et al. Droplet impact dynamics on an aluminum spinning disk[J]. Physics of Fluids, 2021, 33(7):072103.

Experimental analysis of surface tension effect on droplet impact on rotating wall

YANG Xiaojun[1], ZHENG Yueyao[2], JIA Wei[3]

(1. Institute of Technological Innovation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China; 2. Sino-European Institute of Aviation Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China; 3. College of Safety Science and Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: The phenomenon of droplet impact on rotating walls is frequently encountered in engineering practices. For instance, icing on rotating components of aero-engines under low-temperature conditions is primarily induced by water droplet impingement on rotating surfaces. Consequently, investigating the dynamic behavior of droplets impacting rotating walls holds significant scientific and practical importance. This study employed high-speed photography to capture the dynamic processes of droplets with varying surface tensions impacting rotating walls, with a particular focus on the spreading and splashing phenomena during droplet impingement. The influence of surface tension, inertial force, and tangential force on the wetting length of droplets was systematically analyzed. Experimental results demonstrate that for droplets with low surface tension, increased inertial force induces circumferential splashing, whereas enhanced tangential force tends to generate tail-like splashing. Conversely, for droplets with medium or high surface tension, augmented tangential force promotes tangential spreading, while enhanced inertial force facilitates droplet retraction. The increase in both inertial and tangential forces contributes to the growth of wetting length, whereas elevated surface tension exerts an inhibitory effect on wetting length expansion. The phenomenon of droplet impact on rotating walls is frequently encountered in engineering practices. For instance, icing on rotating components of aero-engines under low-temperature conditions is primarily induced by water droplet impingement on rotating surfaces. Consequently, investigating the dynamic behavior of droplets impacting rotating walls holds significant scientific and practical importance. This study employs high-speed photography to capture the dynamic processes of droplets with varying surface tensions impacting rotating walls, with a particular focus on the spreading and splashing phenomena during droplet impingement. The influence of surface tension, inertial force, and tangential force on the wetting length of droplets is systematically analyzed. Experimental results demonstrate that for droplets with low surface tension, increased inertial force induces circumferential splashing, whereas enhanced tangential force tends to generate tail-like splashing. Conversely, for droplets with medium or high surface tension, augmented tangential force promotes tangential spreading, while enhanced inertial force facilitates droplet retraction. The increase in both inertial and tangential forces contributes to the growth of wetting length, whereas elevated surface tension exerts an inhibitory effect on wetting length expansion.

Keywords: droplet; rotating wall; surface tension; tangential force; inertial force