

实验观测液滴撞击倾斜表面液膜的特殊现象*

梁刚涛 沈胜强 郭亚丽[†] 陈觉先 于欢 李熠桥

(大连理工大学能源与动力学院, 辽宁省海水淡化重点实验室, 大连 116024)

(2012年10月9日收到; 2012年11月1日收到修改稿)

采用高速摄像机以 10000 帧/s 的拍摄速度对液滴撞击倾斜表面液膜的过程进行了实验观测, 分析了液滴撞击倾斜表面液膜后的铺展、水花形成以及飞溅等现象, 考察了撞击角对液滴震荡变形过程的影响; 在此基础上, 定量讨论了液滴铺展速度随时间的变化规律, 揭示了液滴撞击速度和撞击角对前、后铺展因子及初始铺展速度的影响. 观测发现, 在撞击角为 28.0° — 74.7° 范围内, 随着撞击角的减小, 液滴在液膜表面的震荡变形程度增大; 前铺展因子随撞击速度的增大而增大, 随撞击角的减小而增大; 后铺展因子随撞击速度的增大几乎不发生变化, 但是随撞击角的增大而增大; 液滴初始铺展速度随撞击速度和撞击角的升高而增大.

关键词: 液滴撞击, 倾斜液膜, 铺展因子, 铺展速度

PACS: 47.55.D—, 47.55.nd, 47.61.Jd, 47.54.De

DOI: 10.7498/aps.62.084707

1 引言

液滴撞击现象常见于工业技术中^[1-3], 例如水平管降膜蒸发器内液滴对传热管外表面液膜的冲击过程, 喷墨打印时墨滴与承印物的接触过程, 发动机中油滴对气缸壁面油膜的撞击过程等. 此外, 液滴撞击液膜作为一项基础研究, 其复杂的流动机理以及撞击后产生的奇特现象, 例如撞击后产生的皇冠状水花和飞溅现象, 一直吸引着国内外学者为之不懈努力.

众多学者对液滴撞击水平液膜的现象进行了大量的实验和数值研究. Yarin^[4], Cossali 等^[5], Vander Wal 等^[6] 研究了液滴撞击后的飞溅现象, 给出了飞溅的定义, 即有小液滴从水花边缘分离的现象, 归纳了发生飞溅时的临界参数. Cossali 等^[5] 和 Motzkus 等^[7] 将液膜界定为液膜无量纲厚度 (液膜厚度与液滴直径的比值) 小于 1 的情况, 并对液滴撞击液膜的现象进行了实验研究, 发现了两种飞溅现象: 即时飞溅和延迟飞溅. 即时飞溅指当水花正在发展时, 就有小液滴从水花边缘脱离, 而延迟飞

溅是当水花发展到最大程度时, 小液滴从水花顶部脱离的现象. Okawa 等^[8], Rioboo 等^[9] 和 Shi 等^[10] 研究了液滴撞击水平表面液膜中存在的沉积、冠状水花和飞溅现象. 梁刚涛等^[11] 采用 CLSVOF 方法数值模拟了液滴撞击液膜初期的飞溅过程, 阐述了撞击速度对冠状水花扩展过程的影响. Wang 和 Chen^[12] 的研究指出, 当液膜无量纲厚度为 0.05 时, 水花呈碗状, 且从下部开始破裂成许多小液滴. 郭加宏等^[13] 的实验结果显示, 当液膜厚度和撞击速度都较大时, 撞击后形成钟形水花, 即水花顶部出现聚拢的现象.

关于液滴撞击倾斜壁面现象的研究主要是针对液滴撞击干燥壁面过程的探索. Šikalo 等^[14] 实验观察了液滴撞击倾斜固体表面的现象, 撞击角为 2.5° — 35° . 实验结果显示, 撞击角较大时液滴会沉积在固体表面, 撞击角较小时液滴会发生反弹, 但是当壁面粗糙度增大时, 不发生反弹现象. Šikalo 和 Ganić^[15] 综合研究了液滴与表面的接触过程, 发现当液滴撞击水平固体表面和湿润表面时, 会出现沉积、飞溅现象; 撞击倾斜固体表面时, 出现铺展、飞溅、反弹和部分反弹的现象. Lunkad 等^[16] 采用

* 国家自然科学基金 (批准号: 51176017, 50976016) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: ylguo@dlut.edu.cn

VOF 方法对液滴撞击倾斜干燥表面进行了数值研究, 结果与 Šikalo 等^[14] 的实验结果符合较好. 沈胜强等^[17] 采用 VOF 方法分析了水滴撞击不同润湿性倾斜表面的铺展过程, 提出了壁面润湿特性对液滴的铺展过程的影响规律. 陆军军等^[18] 的实验结果表明, 撞击角相同时, 韦伯数越小, 液滴最大横向铺展直径也越小; 韦伯数相同, 撞击角越大, 液滴横向铺展直径越大. 因此, 当被撞击目标倾斜时, 必须考虑撞击角对撞击后液体流动过程的影响.

虽然众多学者对液滴撞击水平液膜和倾斜固体表面进行了大量的研究, 但是几乎没有文献针对液滴撞击倾斜表面液膜的流动特性进行研究. 本文采用实验观察和像素分析相结合的方法, 对液滴撞击倾斜表面液膜的行为进行观测分析, 考察撞击后出现的特殊现象, 揭示撞击速度、撞击角等因素对液滴铺展因子和铺展速度的影响规律.

2 实验装置和方法

液滴撞击倾斜表面液膜的实验装置如图 1 所示, 主要包括产生液滴的注射器和针头、承载液膜

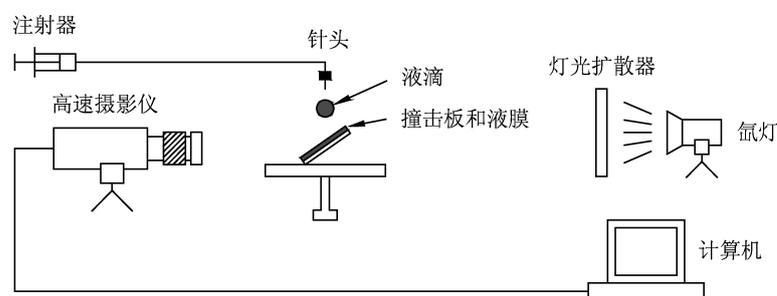


图 1 实验装置示意图

像素分析过程采用软件 MATLAB 7.1 完成, 通过参照物对测量图像进行标定. 测量液滴直径时, 由于液滴近似椭球形, 对液滴的水平直径 D_h 和竖直直径 D_v 分别测量, 则液滴的当量直径 D 为 $(D_h^2 D_v)^{1/3}$ ^[19,20]. 在本文中, 液滴和液膜均采用水作为实验流体, 液滴当量直径为 (2.13 ± 0.03) mm. 根据 Mundo 等^[21] 的结论, 当液滴直径与承载液膜的固体表面粗糙度在同一量级时, 必须考虑粗糙度的影响. 在本文中, 不锈钢板的表面粗糙度为 $0.2 \mu\text{m}$, 远小于液滴直径, 因此可以忽略粗糙度对撞击过程带来的影响. 撞击速度 v 取撞击前 0.5 ms 的平均速度, v 的范围为 $0.56\text{--}3.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,

的不锈钢板, 采集图像的高速摄像机、氙灯和灯光扩散器, 对结果进行记录存储的计算机等. 针头内径为 0.45 mm , 由注射器缓慢流出的液体在针尖处形成液滴, 当液滴的重力超过表面张力时, 液滴脱离针头. 不锈钢板粗糙度 R_a 不大于 $0.2 \mu\text{m}$, 倾角分别为 15.3° , 30.8° , 46.6° 和 62.0° , 误差为 $\pm 0.1^\circ$. 实验开始前, 在钢板上覆一层很薄的液膜, 待液膜稳定后测量液膜厚度, 采用像素分析的方法, 与覆液膜前的干燥壁面进行差值比较后可得到液膜厚度为 $80\text{--}150 \mu\text{m}$, 误差为 $\pm 4 \mu\text{m}$. 针头和撞击板之间的距离可以调整, 从而改变撞击速度的大小.

实验中采用 Phantom V12.1 高速摄像机和 Tokina 微距镜头 (100 mm , $f\text{-}2.8$), 摄像机与水平面之间的夹角为 15° . 为了得到具有足够清晰度的照片, 拍摄速度选定为 10000 帧/s , 图像分辨率为 1024×512 . 采用背光法拍摄液滴撞击过程, 光源由 350 W 的 XD-300 氙灯提供, 为了使灯光在液膜表面分布均匀, 氙灯与撞击板之间设有灯光扩散器. 由于撞击过程非常短暂, 拍摄时在图像采集软件中采用后触发的方式.

误差为 $\pm 0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

图 2 为液滴撞击倾斜表面液膜的几何模型. 定义撞击角 α 为液滴下落方向与撞击板之间的夹角, 则撞击板倾角为 $90^\circ - \alpha$, 如图 2(a) 所示. 本文 α 的值为 28.0° , 43.4° , 59.2° 和 74.7° . 由于液滴在液膜表面沿撞击点的铺展过程在倾斜方向是不对称的, 引入前、后铺展长度 x_f 和 x_b 来衡量液滴的铺展程度, 如图 2(b) 所示, 其中前铺展长度 x_f 为铺展液膜下边缘到撞击点的距离, 后铺展长度 x_b 为铺展液膜上边缘到撞击点的距离, 则液滴的前后铺展因子分别为 x_f/D 和 $-x_b/D$, 在后铺展因子前加上“ $-$ ”是为了在同一张图中区别前后因子的曲线.

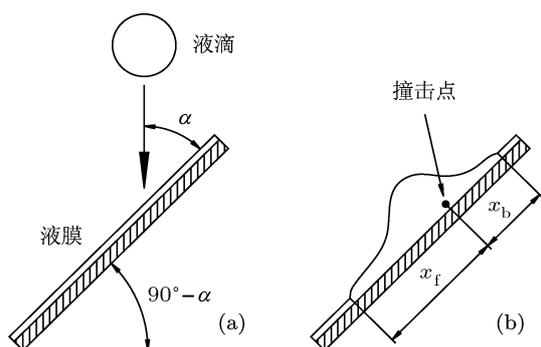


图2 液滴撞击倾斜表面液膜几何模型 (a) 撞击前; (b) 撞击后

3 实验结果分析

3.1 液滴撞击倾斜液膜的现象及分析

图3为液滴撞击倾斜表面液膜后的铺展过程, 其中 $v = 0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\alpha = 74.7^\circ$, 0 ms 对应于液滴与液膜接触前的最后一帧图像. 可以看出, 液滴与液膜接触后, 迅速在液膜表面向四周铺展, 液滴高度不断下降 (2.0 ms). 在液滴动能的作用下, 铺展液膜外边缘产生波纹 (4.0 ms), 向四周运动. 液滴铺展到一定程度时, 在液膜表面形成高于液膜表面的环形液层 (6.0 ms), 当环形液层发展到最大时, 高度较

小的液层内环出现回缩现象 (9.0—15.0 ms), 向内聚拢后在铺展液膜表面形成小突起 (27.0 ms). 突起部分接着向四周扩散, 最终形成稳定的铺展液膜 (47.0 ms). 由图3还可以看出, 在液滴铺展过程中, 并未发现铺展液膜外边缘回缩的现象, 这与液滴撞击固体壁面是完全不同的.

在图3的撞击速度下, 撞击后没有出现水花. 保持图3的撞击角 α 不变, 增大撞击速度至 $v = 1.84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 观察到液滴撞击倾斜表面液膜后产生水花, 但是没有发生飞溅的过程, 如图4所示. 此时在液滴与液膜接触的颈部区域快速产生水花 (0.2 ms), 并不断向上和四周扩展 (0.4—0.6 ms), 由于液膜厚度过小, 撞击后形成波状水花, 其形状不同于撞击水平液膜时产生的高度较大且沿撞击点对称的皇冠状水花. 撞击速度增大, 意味着液滴具有更高的撞击能量使液体克服表面张力的影响, 产生向上运动的水花, 当水花接近最大高度时, 水花顶部边缘受 Rayleigh-Plateau 不稳定性的影响, 出现多个突起的尖端 (0.8—1.0 ms), 同时水花高度开始下降. 水花从底部开始破裂, 顶部尖端瓦解, 落入到液膜中 (1.4—1.8 ms). 在水花演变的整个过程中, 没有出现小液滴从顶部尖端分离, 水花破裂时也没有发现小液滴溅射的现象, 因此飞溅并未发生.

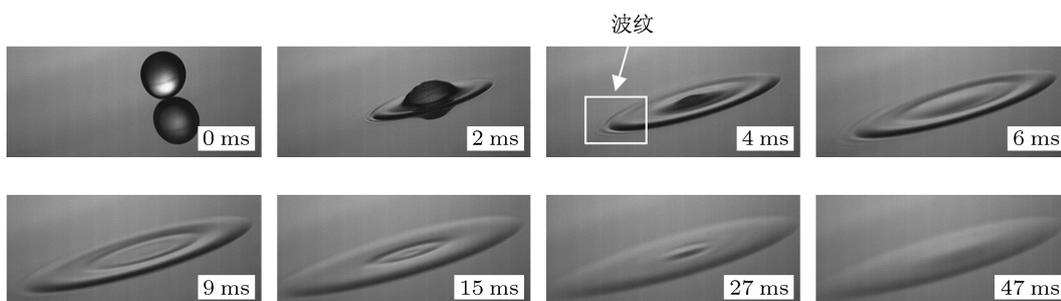


图3 液滴撞击倾斜液膜的铺展过程

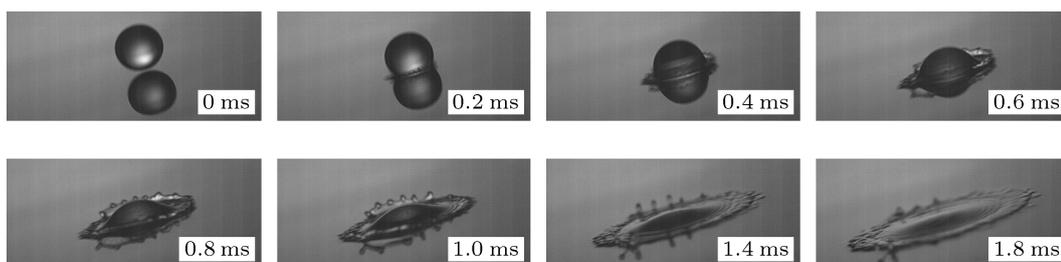


图4 产生水花而不飞溅

为了比较液滴撞击倾斜表面液膜与水平液膜两种现象的不同, 引入 Vander Wal 等^[6] 的实验观测结果. 图 5 为 Vander Wal 等^[6] 实验中液滴撞击水平液膜后产生的水花图像, 即撞击角 $\alpha = 0^\circ$ 时产生的水花, 图中实验流体为水, 液滴直径为 2 mm, 液膜厚度为 0.2 mm, 撞击速度为 $2.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 对比图 4 与图 5 可以看出, 当承载液膜的固体壁面有一定倾角时, 撞击后产生的水花形状是不同的. 撞击水平液膜时, 水花高度较大, 且呈皇冠状; 液滴撞击倾斜表面液膜时, 形成的是高度较小的波状水花.

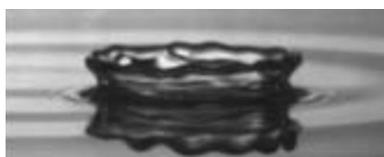


图 5 液滴撞击水平液膜产生的皇冠状水花

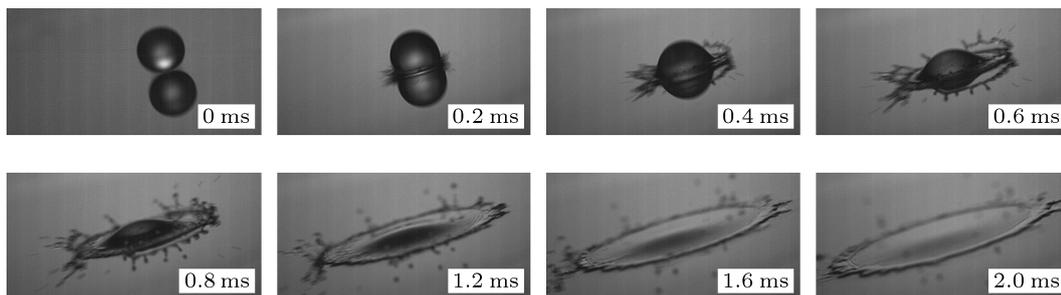


图 6 飞溅现象

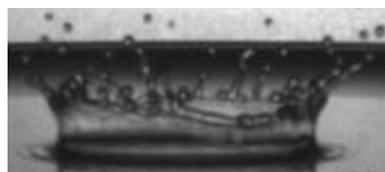


图 7 液滴撞击水平液膜产生的飞溅

飞溅现象发生时, 通过微调针头的高度, 可获取发生飞溅的临界撞击速度 v_c . 当 $\alpha = 74.7^\circ$ 时, $v_c = 2.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 59.2^\circ$ 时, $v_c = 2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 43.4^\circ$ 时, $v_c = 2.96 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 但是当 $\alpha = 28.0^\circ$ 时, 在本文的速度范围内, 并没有出现飞溅现象. 因此可以得出, 随着撞击角的减小, 发生飞溅时所对应的临界撞击速度增大. 由本文的实验得出, 液滴撞击倾斜表面液膜发生液滴飞溅时, 液滴撞击

继续增大撞击速度至 $v = 2.42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 液滴撞击倾斜表面液膜后产生了飞溅现象, 如图 6 所示. 与图 4 相同, 撞击后在颈部区域首先产生水花 (0.2 ms), 所不同的是, 图 6 中的撞击能量更高, 在水花扩展的过程中一部分能量集中于部分小液滴, 这些小液滴迅速从水花顶部边缘分离 (0.4 ms). 水花扩展到最大程度时, 顶部边缘形成的尖端受两侧水花薄膜的挤压, 从边缘脱离, 形成小液滴 (0.6 ms). 当水花破裂时, 水花破裂成大量液滴 (0.8—1.2 ms), 向四周飞去. 图 7 为 Vander Wal 等^[6] 实验中液滴撞击水平液膜后产生的飞溅现象, 液滴直径为 2 mm, 液膜厚度为 0.2 mm, 撞击速度为 $3.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 由图 7 可以看出, 飞溅时水花壁面与液膜表面几乎是垂直的. 但是当液膜表面倾斜时, 如图 6 所示, 水花与液膜表面之间的夹角明显小于 90° (0.6 ms), 且在倾斜液膜表面位置较低处的夹角小于位置较高处的夹角 (0.4 ms).

速度在垂直于液膜平面的法向速度分量 $v \cdot \sin \alpha \geq 2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

改变撞击角, 液滴在撞击初期的变形过程将有所改变. 图 8 所示为撞击角 $\alpha = 28.0^\circ$, $v = 0.63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的液滴撞击图像. 在较小的撞击角下, 液滴与液膜接触后, 液滴中与液膜接触边缘的液体开始向外流动, 形成铺展液膜, 在铺展液膜与液滴之间的颈部区域形成向内凹的环形空隙 (0.9 ms). 同时, 液滴表面产生毛细波, 沿液滴表面向液滴顶部运动 (1.6—2.6 ms). 当毛细波运动到液滴顶部时, 在顶部形成一个帽状小凸起 (2.8 ms), 随后液滴顶部产生振荡, 凸起部分下沉形成“弹坑” (3.4 ms), 在液滴下降的过程中, 液滴顶部重复出现凸起 - 弹坑震荡变形, 在顶部震荡中完成液滴在液膜表面的铺展 (5.1 ms). 通过实验观察发现, 液滴震荡变形过程只

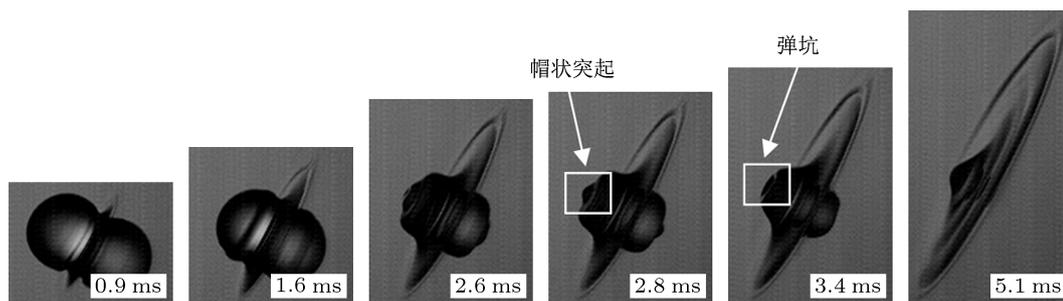


图8 液滴震荡变形过程

有在撞击角较小时出现. 分析认为, 撞击角较小时, 液滴在液膜表面除了铺展过程, 还存在明显的重力滑移, 但是当撞击角较大时, 滑移过程并不明显. 因此, 液滴震荡变形是铺展和滑移共同作用引起的, 当撞击角减小时, 液滴的震荡变形程度增大.

3.2 液滴撞击倾斜液膜的特征参数分析

为了对不同工况下的铺展因子进行比较, 定义无量纲时间 $\tau = vt/D$, 其中 t 表示时间. 图9为不同撞击角下前、后铺展因子随无量纲时间的变化曲线, α 分别为 74.7° , 59.2° 和 28.0° , 对应的撞击速度分别为 1.38 , 1.23 和 $1.37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 可以看出, 随着时间的增加, 前、后铺展因子逐渐增大, 并逐渐趋于平衡, 且前铺展因子达到平衡的时间随撞击角的增大而下降, 但后铺展因子达到平衡的时间随撞击角的增大而上升. 由图9还可以看出, 随着撞击角的增大, 前铺展因子减小, 但后铺展因子增大. 分析认为, 撞击速度在液膜平面的切向速度分量 ($v \cdot \cos \alpha$) 沿液膜表面向下, 对前铺展过程是有利的, 但是对后铺展过程意味着阻力, 当撞击角增大时, 切向速度分量减小, 因此前铺展因子减小, 后铺展因子增大.

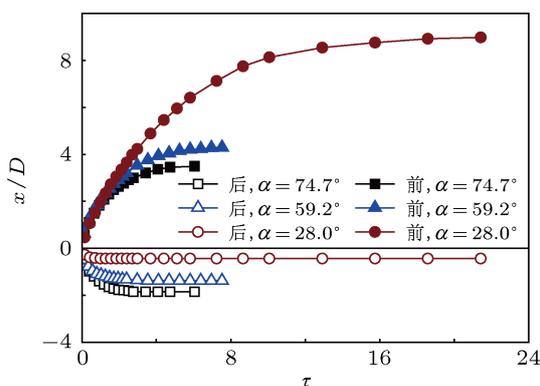


图9 撞击角对铺展因子的影响

图10为不同撞击速度下前、后铺展长度随时间的变化曲线, α 为 59.2° . 由图10可以看出, 前铺展长度随撞击速度的增大而增大, 后铺展长度在开始阶段随撞击速度的增大而增大, 但是当 $t > 6.0 \text{ ms}$ 时, 后铺展长度随撞击速度的增加几乎不发生变化.

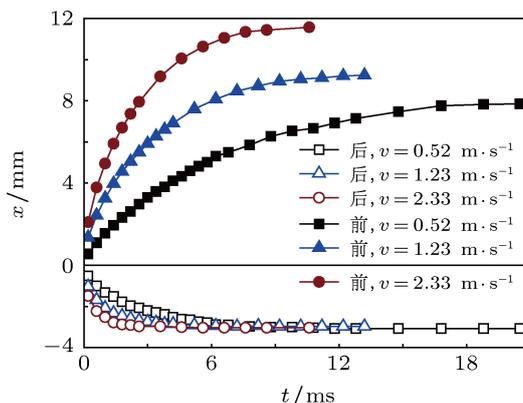


图10 撞击速度对铺展长度的影响

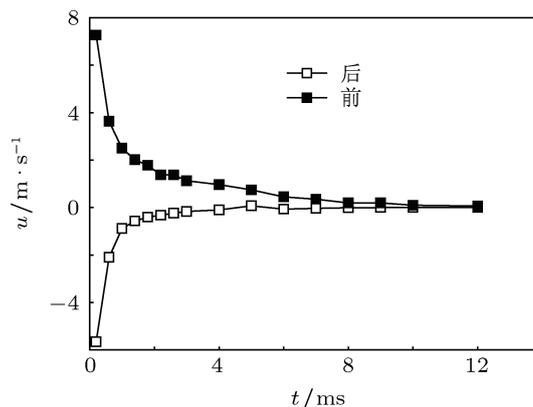


图11 铺展速度随时间的变化

图11为液滴在液膜表面的局部铺展速度 u 随时间 t 的变化曲线. 在本文中, 定义铺展速度 u 为铺展液膜前、后边缘随时间的变化率, 初始铺展速度 u_i 为撞击后 0.2 ms 时间内的平均速度, 图中撞

击速度为 $1.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, α 为 59.2° . 可以看出, 随着时间的增加, 前、后铺展速度均呈指数级递减, 当铺展速度降至初始铺展速度的 10% 以内时, 前铺展速度对应的时间为 6.0 ms , 后铺展速度对应的时间为 1.8 ms . 此外, 初始铺展速度最高, 前初始铺展速度是撞击速度的 4.3 倍, 后初始铺展速度是撞击速度的 3.4 倍. 可见, 初始铺展速度在液滴撞击倾斜表面液膜时起着非常关键的作用.

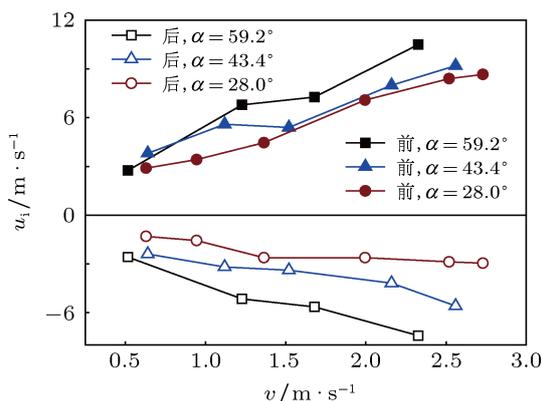


图 12 撞击角对初始铺展速度的影响

图 12 为不同撞击角下初始铺展速度 u_i 随撞击速度的变化趋势. 可以看出, 当撞击角一定时, 前、后初始铺展速度均随撞击速度的增大而增大, 以 $\alpha = 43.4^\circ$ 为例, 当撞击速度 v 由 $0.64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增加到 $2.56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 前、后 u_i 分别增加了 142.1% 和 133.3%. 分析认为, 这主要是由于撞击速度在液膜表面的切向速度分量增大 ($v \cdot \cos \alpha$) 造成的. 由图 12 还可以看出, 当撞击角增大时, 前、后初始铺展速度都增大, 这主要是由两方面的原因造成的. 一方面当撞击速度一定时, 随着撞击角的增大, 切向速度分量减小, 在图 9 中已讨论过, 切向速度分量

对前铺展过程是有利的, 但是对后铺展过程意味着阻力. 另一方面, 随着撞击角的增大, 初始液膜厚度增加, 当液滴与固体表面上的液膜碰撞时, 液体与固体壁面之间的黏性耗散减小. 因此, 两方面的不利因素使得后初始铺展速度随撞击角的增大而增大. 但是对于前初始铺展速度, 可能是由于黏性耗散减小带来的影响超过了撞击速度分量减小带来的影响, 致使前铺展速度随撞击角的增大而增大.

4 结论

本文采用高速摄影仪对液滴撞击倾斜表面液膜后的流动过程进行了观测, 讨论了观测到的三种特殊现象和液滴震荡变形过程, 由此对液滴在液膜表面的铺展特性进行了分析, 探讨了铺展因子和铺展速度的变化规律, 得到以下结论:

- 1) 当撞击角较大时, 随着撞击速度的增加, 撞击后依次出现液滴在液膜表面铺展、撞击产生不飞溅水花和产生液滴飞溅现象, 采用水作为实验流体时, 发生飞溅时的临界撞击速度随撞击角的减小而增大;
- 2) 液滴撞击倾斜液膜形成铺展时, 铺展液膜外边缘不发生回缩, 当撞击角减小时, 液滴顶部出现震荡变形;
- 3) 前铺展因子和达到平衡的时间随撞击角的升高而减小, 但后铺展因子和达到平衡的时间随撞击角的升高而增大, 撞击速度增大时, 前铺展长度增大, 但后铺展长度变化较小;
- 4) 铺展速度在撞击开始阶段变化剧烈, 但是随着时间的增加逐渐趋于平缓, 初始铺展速度最高, 且随撞击速度和撞击角的增大而增大.

[1] Bi F F, Guo Y L, Shen S Q, Chen J X, Li Y Q 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 184702 (in Chinese) [毕菲菲, 郭亚丽, 沈胜强, 陈觉先, 李熠桥 2012 物理学报 **61** 184702]

[2] Ma L Q, Chang J Z, Liu H T, Liu M B 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 054701 (in Chinese) [马理强, 常建忠, 刘汉涛, 刘谋斌 2012 物理学报 **61** 054701]

[3] Sun Z H, Han R J 2008 *Chin. Phys. B* **17** 3185

[4] Yarin A L 2006 *Annu. Rev. Fluid Mech.* **38** 159

[5] Cossali G E, Coghe A, Marengo M 1997 *Exp. Fluids* **22** 463

[6] Vander Wal R, Berger G, Mozes S 2006 *Exp. Fluids* **40** 33

[7] Motzkus C, Gensdarmes F, Géhin E 2009 *J. Aerosol. Sci.* **40** 680

[8] Okawa T, Shiraiishi T, Mori T 2006 *Exp. Fluids* **41** 965

[9] Rioboo R, Bauthier C, Conti J, Voué M, De Coninck J 2003 *Exp. Fluids* **35** 648

[10] Shi Z, Yan Y, Yang F, Qian Y, Hu G 2008 *J. Hydrodynamics B* **20** 267

[11] Liang G T, Shen S Q, Yang Y 2012 *J. Therm. Sci. Technol.* **11** 8 (in Chinese) [梁刚涛, 沈胜强, 杨勇 2012 热科学与技术 **11** 8]

[12] Wang A B, Chen C C 2000 *Phys. Fluids* **12** 2155

[13] Guo J H, Dai S Q, Dai Q 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 2601 (in Chinese) [郭加宏, 戴世强, 代钦 2010 物理学报 **59** 2601]

[14] Šikalo Š, Tropea C, Ganić E N 2005 *J. Colloid Interf. Sci.* **286** 661

[15] Šikalo Š, Ganić E N 2006 *Exp. Therm. Fluid Sci.* **31** 97

[16] Lunkad S F, Buwa V V, Nigam K D P 2007 *Chem. Eng. Sci.* **62** 7214

[17] Shen S Q, Cui Y Y, Guo Y L 2009 *J. Therm. Sci. Technol.* **8** 194 (in Chinese)

- Chinese) [沈胜强, 崔艳艳, 郭亚丽 2009 热科学与技术 8 194]
- [18] Lu J J, Chen X L, Cao X K, Liu H F, Yu Z H 2007 *Chem. React. Eng. Technol.* **23** 505 (in Chinese) [陆军军, 陈雪莉, 曹显奎, 刘海峰, 于遵宏 2007 化学反应工程与工艺 **23** 505]
- [19] Rioboo R, Marengo M, Tropea C 2002 *Exp. Fluids* **33** 112
- [20] Stow C D, Hadfield M G 1981 *P. Roy. Soc. A Math. Phys. Sci.* **373** 419
- [21] Mundo C, Sommerfeld M, Tropea C 1995 *Int. J. Multiphase. Flow* **21** 151

Special phenomena of droplet impact on an inclined wetted surface with experimental observation*

Liang Gang-Tao Shen Sheng-Qiang Guo Ya-Li[†] Chen Jue-Xian
Yu Huan Li Yi-Qiao

(School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology, Key Laboratory for Desalination of Liaoning Province, Dalian 116024, China)

(Received 9 October 2012; revised manuscript received 1 November 2012)

Abstract

The phenomena of droplet impact on an inclined solid surface covered with a pre-existing liquid film are observed using high speed camera at 10000 frames per second. The processes of droplet spreading, liquid sheet formation, splashing and droplet oscillation are observed and analyzed. From the results the relationship between spreading velocity and time is discussed quantitatively. Besides, the effects of impact velocity and impact angle on front and back spreading factors and initiatory spreading velocity are also revealed. At the impact angles ranging from 28.0° to 74.7° , it is found that with the decrease of impact angle, the deformation degree of the droplet oscillation on the film surface increases. The results also indicate that the front spreading factor can increase by increasing impact velocity or by reducing the impact angle, whereas the back spreading factor increases with impact angle increasing. The impact velocity almost has no influence on it. The initial spreading velocity can increase by increasing the impact velocity and the impact angle.

Keywords: drop impact, inclined liquid film, spreading factor, spreading velocity

PACS: 47.55.D-, 47.55.nd, 47.61.Jd, 47.54.De

DOI: 10.7498/aps.62.084707

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 51176017, 50976016).

[†] Corresponding author. E-mail: ylguo@dlut.edu.cn