DOI: 10.11883/1001-1455(2016)01-0113-08

细长体倾斜出水的实验研究*

赵蛟龙[1],郭百森[2],孙龙泉[1],姚熊亮[1]
(1.哈尔滨工程大学船舶工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001;
2.北京宇航系统工程研究所,北京 100076)

摘要:为了获得细长体倾斜出水空泡生成、发展及溃灭过程,基于高速摄像系统对细长体小倾角倾斜出水过程进行了实验研究。通过对比细长体垂直及倾斜带泡出水过程,分析了倾斜出水过程中体现出的新特征及其影响因素。在此基础上,对不同初始倾角及细长体头型对出水轨迹及姿态的影响规律进行了实验研究:细长体姿态及轨迹变化与其初始倾角并非线性相关,与肩空泡的闭合位置密切相关;细长体头型变钝,其水下运动过程稳定性增加。

关键词:流体力学;倾斜出水;高速摄像;细长体;空泡动态特性;初始倾角;头型
中图分类号:O352;O359 **国标学科代码**:1302514 **文献标志码**:A

物体的出水问题广泛存在于许多工程领域,也一直是流体力学研究领域的热点。但因其处于气、固、液三相交界处,受表面张力、重力、空泡、可压缩性等多种因素的作用,该问题十分复杂。关于求解该问题的物理及数学模型均十分复杂,因此也对该问题开展了大量的数值模拟和实验研究。Y. Saito 等[1]对圆柱体周围的空泡生成及对结构的溃灭过程进行了实验研究。P. Y. Liju 等[2]运用实验及 BEM 方法,对圆柱体以定速穿越水面过程进行了研究。T. Sakai 等[3]、T. H. Havelock[4]、J. P. Moran[5]均基于一定假设,对自由液面附近的物体运动进行了理论研究,取得了一些很有价值的结论。T. G. Telste[6]、M. Greenhow 等[7-8]针对水平圆柱的出水及入水问题及自由液面的非线性效应,进行了一系列实验及理论研究。王一伟等[9]利用 FLUENT 软件对航行体的全出水过程进行了数值模拟,得到了细长体周围空泡形成、发展及溃灭的演化过程。陈玮琪等[10-11]基于独立膨胀理论,建立了物体出入水过程中的非定常空泡形态计算方法,并与实验结果对比,验证了方法的有效性。罗金玲等[12]分析了 3 种典型头形的导弹出水过程中空泡溃灭对弹体的影响。张军等[13]对钝头回转体垂直及倾斜无泡出水的周围流场进行了 PIV 流场测量。T. T. Truscott[14]基于高速摄像技术,研究了射弹表面空泡形成机理,并分析了它与初始速度、几何形状和攻角的关系。魏海鹏等[15]、魏英杰等[16]对重力场中潜射导弹垂直发射过程的空泡流动进行了研究。F. Petitpas 等[17]对潜射导弹水下高速运动周围的空化流场进行了研究。张忠宇等[18]对小攻角条件下细长体定常空化形态进行了计算,系统研究了空化数、头型、攻角对空泡形态的影响。同时利用高速摄像机进行气泡类问题的机理性研究也已得到广泛应用,张阿漫等[19]、王诗平等[20]基于高速摄像技术,对单个/多个气泡在各类边界条件下的动力学特性进行了系统的实验研究,发现了一系列新的现象。但对出水过程的细长体空泡流的实验研究未见出现。由于重力场作用,细长体、空泡、自由液面之间相互作用的机理十分复杂,相关的数值研究均采取了相应的简化处理,对整个过程进行相关实验研究具有十分重要的工程价值。

本文中,基于高速摄影技术对细长体倾斜出水过程进行实验研究,以获得与细长体垂直过程不同的空泡生成、发展、溃灭等运动动态特性。同时通过实验对比,分析初始倾角及细长体头型对细长体倾斜出水运动动态特性及空泡运动过程的影响;得到具体的细长体小倾角倾斜出水过程的实验数据,通过分析实验结果得到一些规律,以期为细长体出水过程研究提供参考。

* **收稿日期**:2014-06-09;**修回日期**:2014-09-03
基金项目:国家自然科学基金项目(51279038);黑龙江省博士后科研启动基金项目(LBH-Q11136)
第一作者:赵蛟龙(1989—),男,博士研究生;**通讯作者**:孙龙泉,zhaojiaolong039@sina.com。

1 实验原理

实验设备由 4 部分构成:实验水箱箱体及发射筒、重力弹射装置、高速摄像及分析系统、照明系统,如图 1 所示。高速摄像及分析系统为 PhantomV12.1,可进行拍摄速率为 10^3 s^{-1} 的拍摄及数据分析;发射水箱为 60 cm×60 cm×60 cm 的不锈钢方形体,箱体两侧各开尺寸为 20 cm×30 cm 的观察窗,用来进行照明及摄像,观察窗材质为厚 5 mm 的透明有机玻璃板,光源侧有机玻璃板外布置一个相同大小的毛玻璃,以获得平行光源。水箱支撑架材料为方形铝型材,整个支架尺寸为 59 cm×59 cm×65 cm。

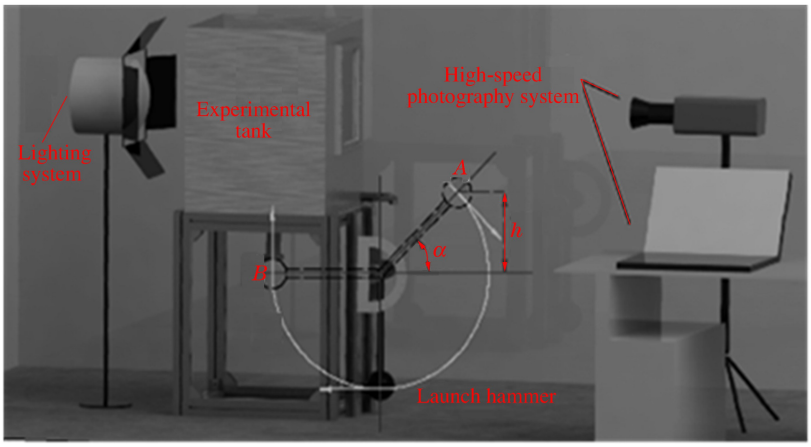

图 1 实验装置图

Fig. 1 Experimental setup

发射箱底部为发射筒,发射筒直径略大于模型直径。发射筒底部为一个可上下运动的撑杆。动力球从 A 处运动至 B 处,撞击撑杆末端,撑杆向上运动给予细长体初始运动速度,向上运动冲破发射筒口铝箔,完成整个发射过程。细长体发射过程为干发射。发射水箱内水来源为自然水源,静置 48 h,并用明矾去除水中杂质气体后进行实验。

通过控制撞锤的初始位置可改变细长体的发射速度,通过在撑杆顶端安置不同倾角的斜圆柱控制倾斜发射的角度。

2 工况设置

采用单一变量法,控制初始倾角、初始速度、不同头型为单一变量,对整个出水过程中空泡的发展过程进行研究。由于动力源与摩擦等损耗的不确定性,细长体的初始速度并不能绝对定量控制。但本文中对机理类问题进行探究,定性控制变量即能得到出水过程中空泡的动力特性变化规律,因此利用本装置开展细长体倾斜出水的实验研究。

如图 2 所示,初始条件下发射筒顶部距水面 20 cm,初始时刻释放发射锤,发射锤撞击撑杆细长体向上运动,细长体开始运动,头部出筒时刻细长体头部沿 z 向的速度为初始速度 v_0,通过改变发射锤的初始位置控制细长体的初始发射速度。在 A 处细长体完全出筒,此时的细长体轴线方向与 z 向夹角为初始俯仰角;在 C 处细长体完全出水,选取此时的细长体轴线方向与 z 向夹角为出水俯仰角。细长体从初始运动开始到位置 C 处,为整个运动过程。

针对定水深条件下细长体出水过程进行研究,3 种细长体模型如图 2 所示,3 种模型长度为 12 cm、半径为 1 cm,自上而下 3 种模型的头型的剖面倾角分别为 90°、120°、180°。

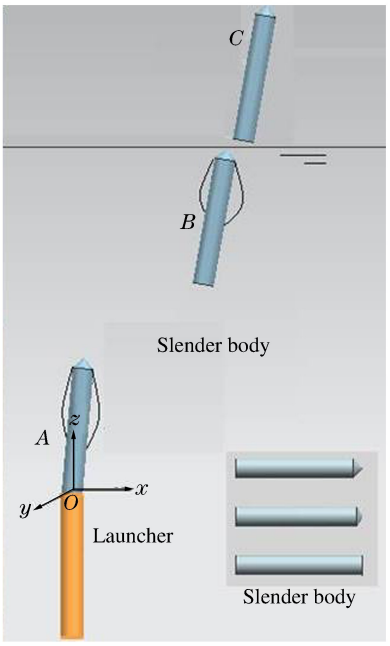

图 2 细长体出水示意图

Fig. 2 Water-exit of slender body

3　结果及分析

3.1　细长体倾斜出水现象及空泡形态

竖直圆柱倾斜出水过程表现出与垂直出水不同的现象，为展现整个过程中的不同特点，图 3 给出了相同水深、相同初始速度条件下，竖直出水与倾斜出水下的出水过程。

如图 3(a)所示，细长体的垂直出水过程中在肩部与尾部均产生随体空泡，肩部空泡与尾部空泡在细长体整个水下运动过程中不断发展，同时尾空泡有明显的脱落现象。在 40 ms 时，肩空泡的后部存在一个透光度度较低的区域，由肩空泡尾部的回射流对泡体的冲击造成。

在 61 ms 时可明显看出，细长体后部形成类似尾迹的球形空泡。在细长体上升过程中流场静压力变小，气泡内部气体外泄使泡内压力变小，气泡壁在周围流场静压作用下重新闭合。在细长体水下运动过程中，上述过程不断发生，形成周期性的外泄-闭合-外泄-闭合的脉动过程，整个脉动外泄过程将在尾空泡后部流体中形成一连串小气泡尾迹现象。这个现象在物体入水过程中已经被发现存在[10-21]，本文中证明在细长体带泡出水过程中也存在类似的现象。

细长体穿越水面过程中，肩空泡与大气联通，空泡溃灭产生的射流冲击细长体表面，加剧了空泡的溃灭过程，产生剧烈的喷溅现象，水珠喷溅速度远远大于细长体运动速度。姿态并未产生明显的变化，这说明垂直出水过程中细长体周向所受载荷并没有明显的差别。但溃灭载荷可能会对结构产生破坏，在结构设计中需对出水过程特别注意。

如图 3(b)所示，细长体倾斜出水过程与垂直出水过程相比，空泡发展过程明显不同。为方便分析，规定倾斜出水过程的细长体距水面较远一侧为背流面(上图中为细长体右侧)，另一侧为迎流面。

细长体倾斜水下运动过程中，肩空泡产生时即有明显的左右不对称现象，迎、背流面空泡长度与厚度差距均显著增大，同时肩空泡背流面长度明显增长。随着细长体向上运动，肩空泡的不对称性越来越明显。与垂直出水过程相比，背流面的肩空泡体现出更明显的脱落特性，迎流面空泡形态则较稳定。肩空泡脱落的气团向下运动，对尾空泡的形态产生影响，背流面的尾空泡形状产生明显的畸变，空泡附近的流动情况更复杂，尾空泡后部不再形成清晰的球形空泡尾迹现象。尾空泡轴向与细长体轴向方向相同，未有偏角。

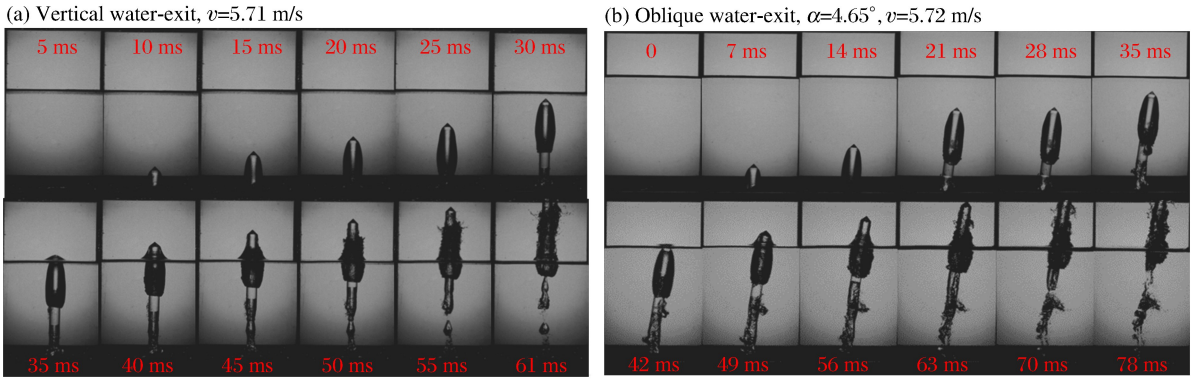

图 3　细长体垂直和倾斜出水过程的形态

Fig. 3　Dynamic features of vertical and oblique water-exit of slender body

细长体倾斜穿越水面过程也表现出与垂直出水不同的特征，自由液面喷溅高度比垂直出水高，背流面空泡溃灭强度比迎流面略强，细长体的出水姿态有明显的改变。细长体出水过程中喷溅的水花高度更高。细长体俯仰角从完全出筒时的 4.65°增加至出水时的 10.97°。图 4 为细长体垂向速度变化曲线。

由图 4 可以看出，随着水深的减小，细长体所受阻力逐渐减小，减速运动的加速度逐渐减小。相比垂直出水，细长体倾斜出水状态下速度下降较快。初始倾角会对细长体的整个水下运动过程产生明显的影响。

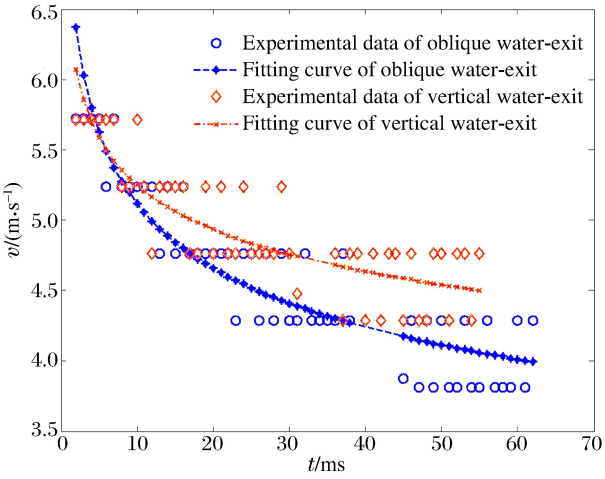

图 4 垂直和倾斜与出水过程的速度

Fig. 4 Velocities of vertical and oblique water-exit of slender body

3.2 初始倾角对空泡形态的影响

在相同初始速度的条件下，改变细长体的初始倾角，对细长体的倾斜出水过程进行实验研究。实验结果见表 1，其中 σ 为空泡数。图 5 为不同倾角下细长体出水过程。

由图 5 可知，不同初始倾角对细长体出水过程存在影响。在整个细长体水下运动过程中，随着初始倾角的增大，肩空泡的迎、背流面的长度差从 0.81 cm(α=3.4°)增加到 0.86 cm(α=4.65°)，最后增加到 1.1 cm(α=7.32°)。细长体肩部空泡不对称性加剧，背流面出现空泡脱落现象的时间也有所提前，当 α=7.32°、v=6.19 m/s 时，细长体出筒初期肩空泡即发生明显的片状脱落现象。随着细长体初始倾角增大，尾泡的长度从 3.1 cm 增加到 6.1 cm，半径呈现出先增大后减小的变化过程。

表 1 不同初始倾角细长体倾斜出水过程的倾角

Table 1 Inclination angle of oblique water-exit of slender body at different initial inclination angles

β/°	v/(m·s^{-1})	α/°	α_f/°	t_f/ms	σ
90	6.19	7.32	10.20	60	0.104
90	5.72	4.65	10.97	60	0.122
90	5.71	3.40	4.09	72	0.123

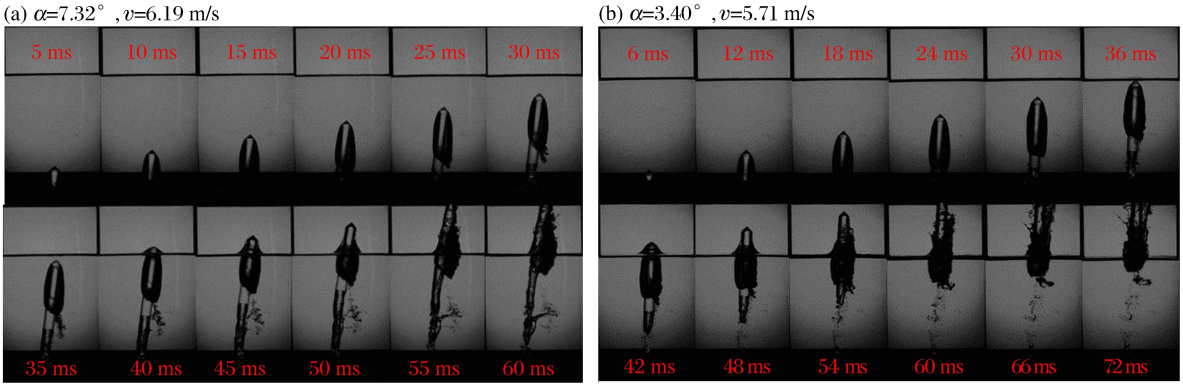

图 5 不同倾角下细长体倾斜出水过程的形态

Fig. 5 Dynamic features of oblique water-exit of slender body at different initial inclination angles

初始倾角对细长体空泡的形状也产生影响，以具有清晰边界的细长体肩空泡迎流面的长度作为比较对象，随着初始倾角的增加，空泡迎流面的长度有所减小。细长体穿越水面过程中，初始倾角增大，空泡溃灭射流不对称性变得更加剧烈，当 α=7.32°、v=6.19 m/s 时，细长体迎流面已经没有明显的溃灭冲击射流，相对应背流面的冲击区域与强度均有所增加。由于空泡溃灭过程会产生一个瞬时的高压，这种压力作用在细长体表面可能破坏了结构。空泡的长度及射流的分布区域，直接决定了承受冲击载荷的结构位置，在细长体结构强度设计过程中需考虑初始倾角的影响。

图 6～7 给出了不同初始倾角下的细长体出水过程速度及水下运动轨迹变化曲线。

由图 6 可知，细长体速度变化趋势相似，随着初始倾角的增加，细长体垂向所受的阻力逐渐增加。肩部空泡在水平方向的剖面面积增大，使细长体的垂直运动方向所受阻力增加。

由图 7 可得，垂向位移在 100 mm 范围内，细长体运动轨迹变化趋势比较陡峭，这是细长体受到发射筒的约束，导致在横向位移小。$\alpha=4.65°$的横向位移比 $\alpha=7.32°$的大，初始运动速度对轨迹有一定的影响，同时由于运动轨迹为细长体头部的位移，受到细长体转动的影响。当 $\alpha=4.65°$时，出水细长体俯仰角 $\alpha_f=10.97°$，当 $\alpha=7.32°$时，$\alpha_f=10.20°$，前者的细长体转动速度为后者的 2.2 倍；当 $\alpha=3.40°$时，$\alpha_f=4.09°$，转动速度对头部轨迹影响不大。在平动与转动的综合影响下，造成了上述情况。初始倾斜角度影响细长体周围空泡的发展过程，最终影响细长体的平动速度与旋转速度：细长体的初始倾角增大，垂向减速运动加速度增大；但对细长体旋转角速度变化的影响并不是线性的。尾空泡的一部分跟随细长体通过水气交界面，出水后剧烈的溃灭，溃灭冲击造成细长体的头部运动轨迹存在一个明显的回转。

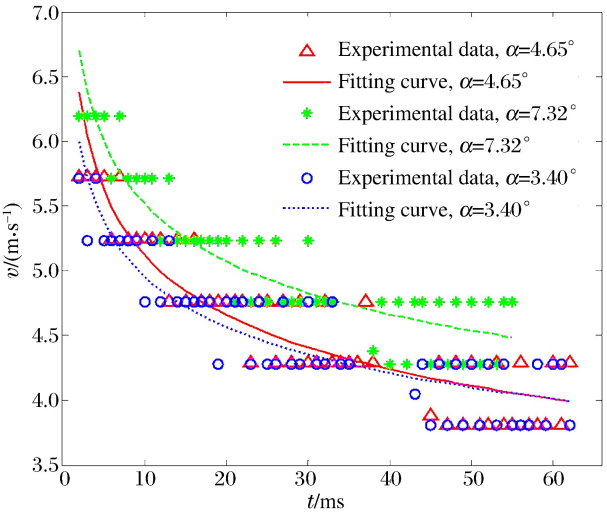

图 6　不同初始倾角出水过程的速度

Fig. 6　Velocities of oblique water-exit of slender body at different initial inclination angles

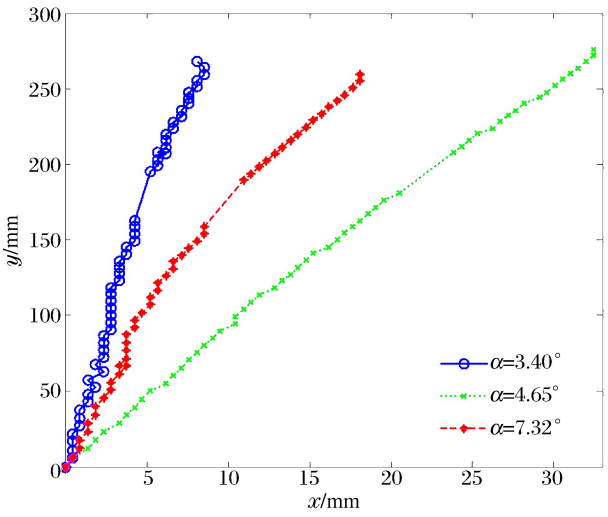

图 7　不同初始倾角出水过程头部运动轨迹

Fig. 7　Trajectory of oblique water-exit of slender body at different initial inclination angles

3.3　头部形状对空泡形态的影响

细长体头部形状对细长体周围流体的扰动，会对整个细长体的整个出水过程造成影响，本节中主要探究细长体头部形状对细长体空化出水的影响规律。图 8 为不同头型细长体出水过程。

由图 8 可知，随着细长体头型变钝，细长体肩部空泡的初始均匀度提高。与其他头型出水过程相比，180°头型下的细长体肩部空泡在形成初期迎、背流面尺寸相当，未见明显区别，肩空泡继续发展后尾部发生大片脱落，表面产生明显的褶皱现象，穿越水面过程水花喷溅高度下降，说明空泡溃灭强度下降。

图 9～10 给出了不同头型下的细长体出水过程速度及水下运动轨迹变化曲线。

由图 9 可知，初始倾角相同的情况下，细长体头型越钝，整个水下运动过程中速度变化越快，说明其受到的阻力越大。

由图 10 可知，从细长体的头部运动轨迹可以看出，在细长体穿越水面过程中，其运动轨迹存在明显的变化，这是由于空泡溃灭冲击力引起的。这种突变的趋势随着细长体头部形状的变钝而变得舒缓。同时与图 7 中 $\alpha=4.65°$比较，细长体初始速度增大，细长体肩部空泡长度变长，闭合位置靠后距离重心距离增加，空泡末端的回射流造成细长体发生更明显的偏转，初始速度的增大使细长体横向位移变大，水下运动轨迹变化剧烈。

由表 2 可知，初始倾角相同的情况下，细长体头型越钝，整个水下运动过程中旋转角速度越小，即运动稳定性越好，这种特性在超空泡领域也得到了应用。头型与圆盘空化器的机理相同，细长体头部可形成稳定的空泡，细长体的速度继续增大即可形成覆盖整个物体的超空泡，超空泡的产生可明显减小航行体水下运动过程所受的阻力。但同时，细长体头部变钝，其整个水下运动过程中头部的水动力状况恶化，因此在细长体头型设计中，需要根据实际工程需要，综合权衡确定最优形式。

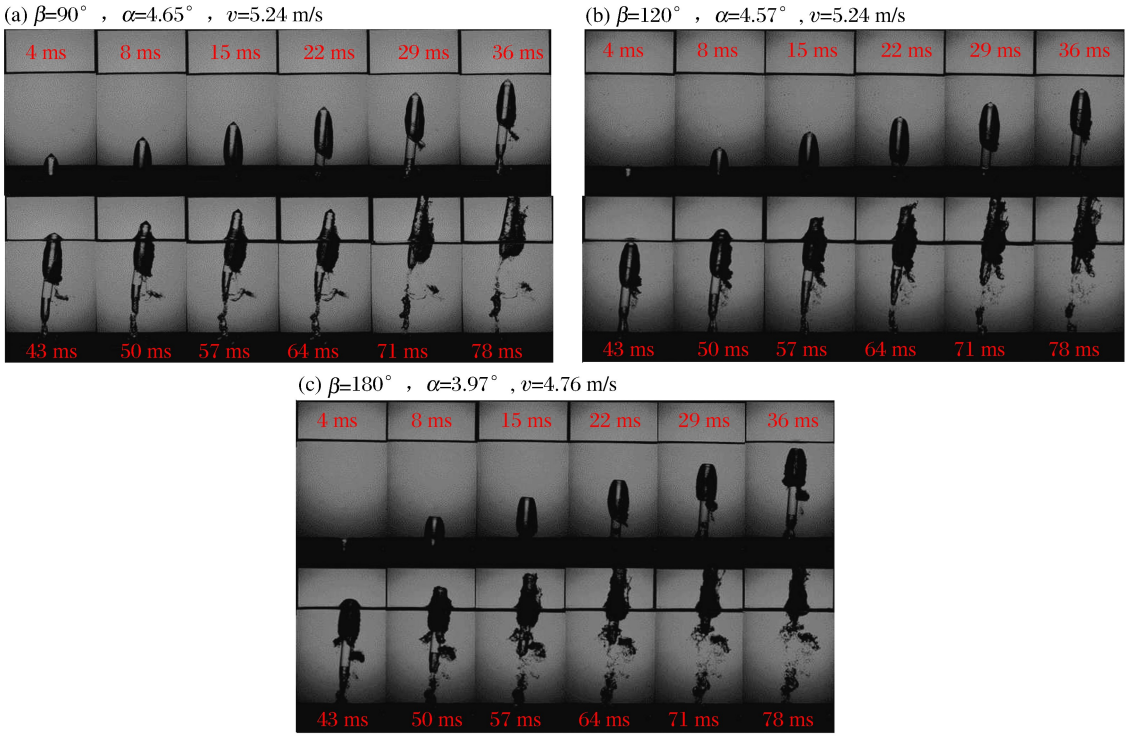

图 8 不同头型下细长体倾斜出水过程的形态

Fig. 8 Dynamic features of oblique water-exit of slender bodies with different head shapes

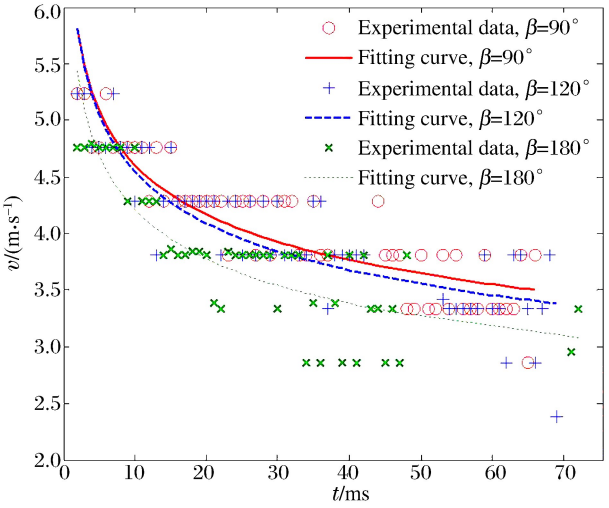

图 9 不同头型出水过程的速度

Fig. 9 Velocities of oblique water-exit of slender bodies with different head shapes

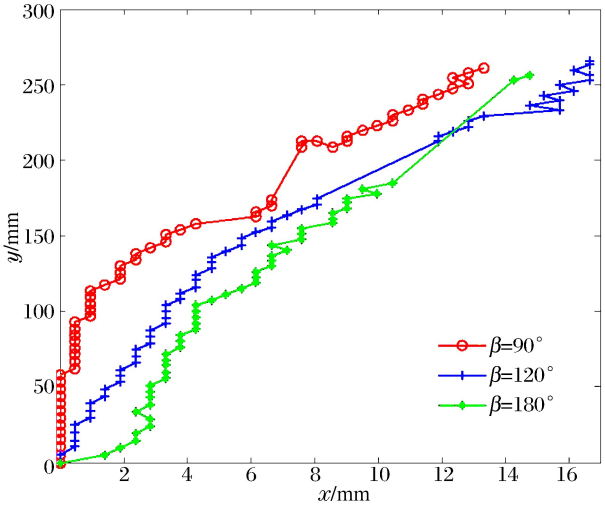

图 10 不同头型出水过程头部运动轨迹

Fig. 10 Trajectory of oblique water-exit of slender bodies with different head shapes

表 2 不同头型细长体倾斜出水过程的倾角

Table 2 Inclination angles of oblique water-exit of slender bodies with different head shapes

β/°	v/(m·s^{-1})	α/°	α_f/°	t_f/ms	σ
90	5.24	4.65	11.13	78	0.146
120	5.24	4.57	9.91	78	0.146
180	4.76	4.47	5.96	99	0.177

4 结　论

对细长体倾斜出水过程的动力学过程进行了实验研究，揭示了细长体倾斜出水过程中的局部空泡生长机理及发展变化特性。通过对实验结果的分析，得到如下结论。

(1)细长体水下运动过程中，随着周围压力与尾空泡内部压力的不断变化，尾泡表现出周期性的外泄-闭合-外泄-闭合的脉动过程，整个脉动外泄过程将在尾空泡后部流体中形成一连串小气泡尾迹现象。

(2)倾斜出水过程中，细长体所受阻力比垂直出水的大。空泡的生长及溃灭均呈现出不对称特征，这个情况的出现将极大改变细长体的出水姿态及轨迹。

(3)细长体倾斜出水过程中，随着初始倾角的增加，空泡形态不对称性及溃灭冲击载荷均呈增大趋势；细长体的旋转角速度及出水轨迹并非呈现线性变化，与细长体空泡闭合的位置有一定的关系。

(4)细长体头型变钝，细长体所受阻力增加，其周围形成的空泡对称性增强，同时其溃灭强度均有所减弱，这对细长体出水过程弹道稳定性有利。

参考文献：

[1] Saito Y, Sato K. Cavitation bubble collapse and impact in the wake of a circular cylinder[C]// Proceeding of the Fifth International Symposium on Cavitation (CAV2003). Osaka, Japan, 2003:1-6.

[2] Liju P Y, Machane R, Cartellier A. Surge effect during the water exit of an axisymmetric body traveling normal to a plane interface: Experiments and BEM simulation[J]. Experiments in Fluids, 2001,31(3):241-248.

[3] Sakai T, Husimi Y, Hatoyama M. On the resistance experienced by a body moving in an incompressible perfect fluid towards its surface[J]. Proceeding Report Society, Japan, 1933,15:4-11.

[4] Havelock T H. The wave resistance of a cylinder started from rest[J]. The quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, 1949,2(3):325-334.

[5] Moran J P. The vertical water-exit and water-entry of slender symmetric bodies[J]. Journal of the Aerospace Sciences, 1961,28(10):803-812.

[6] Telste J G. Inviscid flow about a cylinder rising to a free-surface[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1987,182:149-168.

[7] Greenhow M, Lin W M. Nonlinear-free surface effects: Experiments and theory[R]. Cambridge, Massachusetts: Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1983.

[8] Greenhow M. Water-entry and -exit of a horizontal circular cylinder[J]. Apply Ocean Research, 1988,10(4):191-198.

[9] 王一伟，黄晨光，杜特专，等. 航行体垂直出水载荷与空泡溃灭机理分析[J]. 力学学报，2012,44(1):39-48.
Wang Yiwei, Huang Chenguang, Du Tezhuan, et al. Mechanism analysis about cavitation collapse load of underwater vehicles in a vertical launching process[J]. Chinese Journal of Theoretical and Aplied Mechanics, 2012,44(1):39-48.

[10] 陈玮琪，王宝寿，颜开，等. 空化器出水非定常垂直空泡的研究[J]. 力学学报，2013,45(1):76-82.
Chen Weiqi, Wang Baoshou, Yan Kai, et al. Study on the unsteady vertical cavity of the exit-water cavitor[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2013,45(1):76-82.

[11] 陈玮琪，王宝寿，颜开，等. 物体垂直出入水的非定常空泡数学模型[J]. 应用数学与力学，2013,34(11):1130-1140.
Chen Weiqi, Wang Baoshou, Yan Kai, et al. Model of the unsteady vertical water-entry and water-exit cavities [J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2013,34(11):1130-1140.

[12] 罗金玲，何海波. 潜射导弹的空化特性研究[J]. 战术导弹技术，2004(3):14-17.
Luo Jinling, He Haibo. Research on cavitation for under-water launching missile[J]. Tactical Missile Technology, 2004(3):14-17.

[13] 张军，李英浩，金朋寿. 垂直及斜出水流场的二维及三维 TR-PIV 试验[J]. 船舶力学，2005,9(2):9-17.
Zhang Jun, Lee Y H, Kim B S. 2D and 3D time-resolved PIV experiments on flow field around vertical and inclined water-exit body[J]. Journal of Ship Mechanics, 2005,9(2):9-17.

[14] Truscott T T. Cavity dynamics of water entry for spheres and ballistic projectiles[D]. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2009.

[15] 魏海鹏,郭凤美,权晓波. 潜射导弹表面空化特性研究[J]. 宇航学报,2007,28(6):1506-1509.
Wei Haipeng, Guo Fengmei, Quan Xiaobo. Research on cavitation of submarine launched missile's surface[J]. Journal of Astronautics, 2007,28(6):1506-1509.

[16] 魏英杰,闵景新,王聪,等. 潜射导弹垂直发射过程空化特性研究[J]. 工程力学,2009,26(7):251-256.
Wei Yingjie, Min Jingxin, Wang Cong, et al. Research on cavitation of vertical launch submarine missile[J]. Engineering Mechanics, 2009,26(7):251-256.

[17] Petitpas F, Massoni A, Saurel R. Diffuse interface model for high speed cavitating underwater systems[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2009,35(8):747-759.

[18] 张忠宇,姚熊亮,张阿漫. 小攻角下三维细长体定常空化形态研究[J]. 物理学报,2013,62(20):204701.
Zhang Zhongyu, Yao Xiongliang, Zhang Aman. Cavitation shape of the three-dimensional slender at a small attack angle in a steady flow[J]. Acta Physica Sinica, 2013,60(20):204710.

[19] 张阿漫,王诗平,白兆宏,等. 不同环境下气泡脉动特性实验研究[J]. 力学学报,2011,43(1):71-83.
Zhang Aman, Wang Shiping, Bai Zhaohong, et al. Experimental study on bubble pulse features under different circumstances [J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2011,43(1):71-83.

[20] 王诗平,张阿漫,刘云龙,等. 圆形破口附近气泡动态特性实验研究[J]. 物理学报,2013,62(6):064703.
Wang Shiping, Zhang Aman, Liu Yunlong, et al. Experimental research on bubble dynamics near circular hole of plate[J]. Acta Physica Sinica, 2013,62(6):064703.

[21] 何春涛,王聪,何乾坤,等. 圆柱体低速入水空泡试验研究[J]. 物理学报,2012,61(13):134701.
He Chuntao, Wang Cong, He Qiankun, et al. Low speed water-entry of cylindrical projectile[J]. Acta Physica Sinica, 2012,61(13):134701.

Experimental study on oblique water-exit of slender bodies

Zhao Jiaolong[1], Guo Baisen[2], Sun Longquan[1], Yao Xiongliang[1]

(1. *College of Shipbuilding Engineering, Harbin Engineering University, Harbin* 150001, *Heilongjiang, China*;
2. *Beijing Institute of Astronautics System Engineering, Beijing* 100076, *China*)

Abstract: Experimental studies of the oblique water-exit of slender bodies are conducted using high-speed camera technology to capture the whole process for exploring the mechanism of the formation, development and collapse of the cavity and examining the factors that affect the cavity evolution. By comparing the process of the vertical and oblique water-exit of slender bodies, this paper analyzes how the initial inclination angle bear on the cavity evolution and the new features that are found during the formation, development and pinch-off of the cavity. The dependence of the slender body's water-exit trajectory and posture on the initial inclination angle and head shape is also discussed, illustrating that the trajectory and posture have a nonlinear relationship with the initial inclination angle, but are closely relevant to the shoulder cavity's closed position. The blunt head shape will increase the stability of the cavity and change the dynamics of the body.

Key words: fluid mechanics; oblique water-exit; high-speed camera technology; slender body; cavity dynamic characteristic; initial inclination angle; head shape

(责任编辑 丁 峰)