

Study of Hydrodynamic Characteristics for Planing Craft in Regular Wave of Self-Navigation Mode

Ling Jie^{1,*}, Dou Peng²

¹Vocational Education Center, Zhenjiang Campus of Army Military Transportation University, Zhenjiang, China

²College of Port Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing, China

Email address:

lj.198912@163.com (Ling Jie), 624851596@qq.com (Dou Peng)

*Corresponding author

To cite this article:

Ling Jie, Dou Peng. Study of Hydrodynamic Characteristics for Planing Craft in Regular Wave of Self-Navigation Mode. *Science Discovery*. Vol. 6, No. 6, 2018, pp. 455-464. doi: 10.11648/j.sd.20180606.22

Received: September 3, 2018; Accepted: October 19, 2018; Published: November 8, 2018

Abstract: Based on the computational fluid dynamics software FINE/Marine numerical simulation is performed to study hydrodynamic characteristics of the high speed planing craft in self-navigation mode, where the wave height(H) is 0.2 meters and the value set for wave lengths(λ) are 0.5L, 1L, 1.5L, 2L. According to the relation between planing craft's motion response and different wave periods, analysis of the distribution of pressure, velocity and water in the bottom of the boat was done. And the variation of the parameters such as lift, resistance, heave, pitch and wet area with wave period was studied. The results show that hydrodynamic characteristics of planing craft changes periodically with time, and the peak of the resistance reaches its maximum when the wave length is equal to the captain. The heave and pitch angles reach dynamic equilibrium, and the oscillation period is about the encounter period of planing craft in the wave. There is often a slamming phenomenon, the fluid from the bottom of the boat and diffuses toward the tail, can catch the obvious spray phenomenon. In addition, the FINE/Marine software is proved to be feasible for the numerical simulation of planing craft in regular waves, which provides the theoretical foundation for the later study of spray resistance of planing craft.

Keywords: Planing Craft, Regular Wave, Self-Navigation Mode, Hydrodynamic

滑行艇在规则波中自航模式下的水动力特性研究

凌杰^{1*}, 窦朋²

¹职业教育中心, 陆军军事交通学院镇江校区, 镇江, 中国

²港口海岸与近海工程学院, 河海大学, 南京, 中国

邮箱

lj.198912@163.com (凌杰), 624851596@qq.com (窦朋)

摘要: 为研究滑行艇在波浪中的水动力特性, 本文基于流体力学软件FINE/Marine, 完成了高速滑行艇在自航模式下, 波高 $H=0.2\text{m}$ 和不同波长 $\lambda=0.5L$ 、 $1L$ 、 $1.5L$ 、 $2L$ 下滑行艇水动力特性的数值预报。根据滑行艇运动响应和不同波浪周期的关系, 对滑行艇艇底压力、速度、水相分布等进行分析, 研究了阻力、升沉、纵摇以及湿面积等参数随波浪周期的变化情况。结果表明: 滑行艇水动力性能随着时间呈现周期性变化, 当波长等于船长时, 滑行艇阻力峰值最大; 升沉量和纵倾角达到动态平衡, 振荡周期约为滑行艇在波浪中运动的遭遇周期; 常伴有砰击现象, 流体从艇底上涌并向尾部扩散, 可以捕捉到明显飞溅现象。并且验证了FINE/Marine软件对滑行艇在规则波中的数值模拟是可行的, 为后期滑行艇喷溅阻力研究提供理论基础。

关键词：滑行艇，规则波，自航，水动力

1. 引言

船舶高速航行时，船体受到的动载荷和运动响应具有很复杂的强非线性特性，包含了水动力/气动力耦合作用载荷、自由面变形的流动分离和湍流、航行的纵向稳定性、随浪中的横甩、底部砰击与舷侧喷溅等瞬态非线性问题，且容易受到波浪和海流等环境载荷的影响，这些载荷对船舶的安全性能及其工作性能有很大的作用。因此，研究滑行艇在波浪中的水动力特性对滑行艇及其他高性能船舶的水动力性能及运动预报具有非常重要的理论意义和工程实用价值[1-4]。目前对滑行艇的水动力特性进行研究主要依靠数值模拟和模型试验[5]，其中数值模拟技术不需要耗费时间和资金进行模型的建造和试验的准备，具有较好的时效性和经济性[6]。因此为了研究波浪中的水动力性能，本文采用FINE/Marine软件模拟了规则波下滑行艇的自航模式，在此基础上对不同的波长模型进行了对比和分析。

2. 计算模型

2.1. 模型参数

滑行艇模型的尺寸采用某滑行艇艇型[7]，利用SolidWorks软件建立三维计算模型，如图1所示，主尺度如表1所示。

表1 滑行艇模型主尺度。

主尺度	参数	主尺度	参数
总长 L/m	2.75	重心 l_g/m	1.048
总宽 B/m	0.78	艇重量 m/kg	125.4
吃水 d/m	0.17	斜升角 $\beta/^\circ$	24.65
初始攻角 $\alpha/^\circ$	0	纵向转动惯量 $I_y/(kg\cdot m^2)$	53

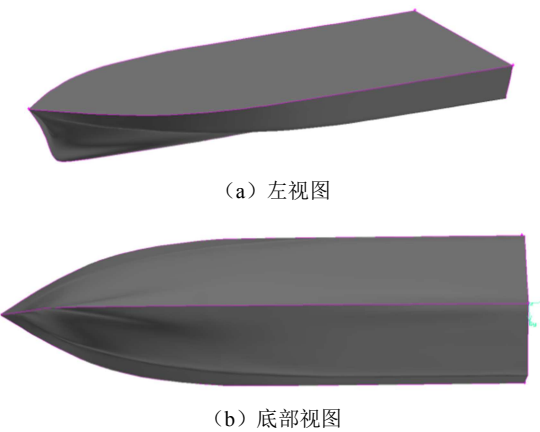


图1 三维滑行艇计算模型。

2.2. 计算工况

通过速度边界造波的方法定义速度入口的速度分量，模拟滑行艇以30kn航速，在三级海况波高0.8m，不同波长

$\lambda=0.5L$ 、 $1L$ 、 $1.5L$ 、 $2L$ 倍艇长的波浪中航行，共4个工况，开展滑行艇在空气和波浪载荷作用下滑行艇自航模式下的运动响应预报和喷溅特性的研究，航速和波高按1:4进行缩尺，具体工况及参数如表2所示。

表2 计算工况。

工况	波高 $H(m)$	航速 $V(m/s)$	波长 $\lambda(m)$	波浪周期 $T(s)$	遭遇周期 $T_e(s)$
D1	0.2	3.86	1.38	0.94	0.26
D2	0.2	3.86	2.75	1.33	0.46
D3	0.2	3.86	4.13	1.63	0.65
D4	0.2	3.86	5.50	1.88	0.81

艇长2.75m,重心的X轴坐标位于0点，在艇前 $x=2.0m$ 、 $2.5m$ 、 $3.0m$ 、 $3.5m$ 、 $4.0m$ 、 $4.5m$ 设置波高监测点，检测曲线如图2所示，波浪在传播的过程中由于存在粘性，波浪略有衰减，遭遇周期为0.648s，与理论遭遇周期误差0.3%，有较高拟合度。图3是艇体前0.5m处波形和理论波形对比图，可以看出波峰较为突出，波谷较为平坦，波形吻合较好。

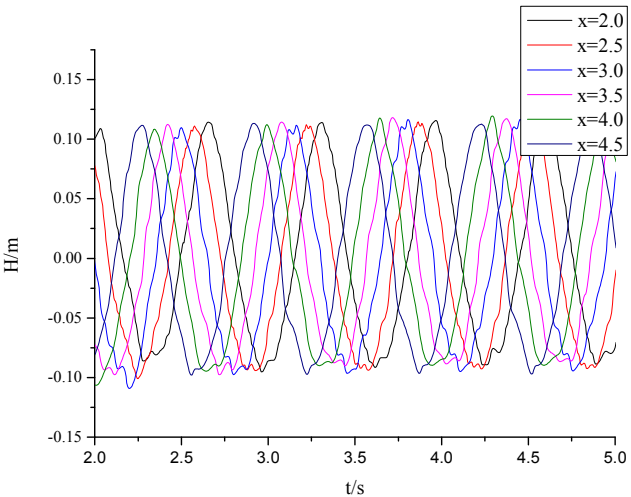


图2 各浪高检测点处波高历史曲线。

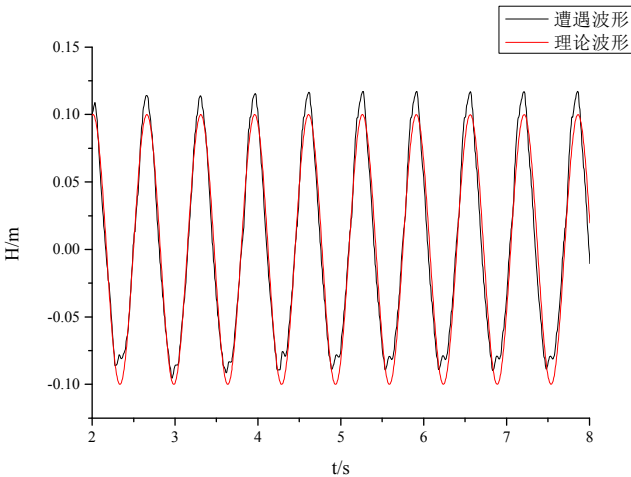


图3 艇体前遭遇波形与理论波形对比。

3. 数值计算方法

3.1. 网格划分

利用FINE/Marine中Hexpress模块对滑行艇模型进行网格划分: 船模距入口2.5倍船长 L , 距出口4.0 L , 距上下边界分别1 L 和2 L , 左右边界3.0 L , 如图4所示[8]。

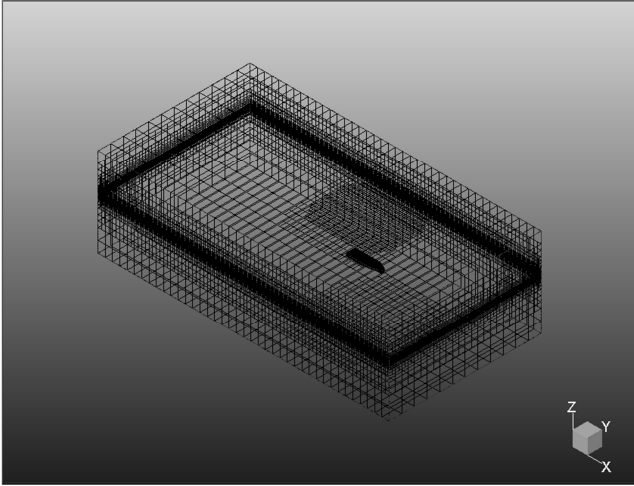


图4 计算控制区域。

3.2. 数值求解和边界条件

基于FINE/Marine进行高速滑行艇纵向三自由度运动响应预报, 参数设置如下: 三维非定常双相流, 选用SST-Menter湍流模型, 采用滑行艇三个自由度运动, 前进采用随体网格, 升沉和纵摇采用弹簧法, 湍流方程采用中心差分格式离散, 动量方程采用中心差分格式离散, 自由面采用混合自由面捕捉与重构相结合格式离散, 压力速度耦合求解算法[9]。

固体边界条件均设置为带壁函数壁面, 计算域上下边界采用指定压力条件中可静变压力条件; 计算域左右边界设置为远场条件; 计算域前后边界设置为造波器。整个计算物理模型选择采用非定常条件, 在非定常计算过程中, 取时间步长 $\Delta t=0.005s$, 每个时间步长内的最大内迭代步数设置为8步。

不计滑行艇的横荡、艏摇及横摇, 在滑行艇纵向三自由度的基础上添加人工阻尼项, 得到滑行艇的升沉纵摇运动控制方程如下:

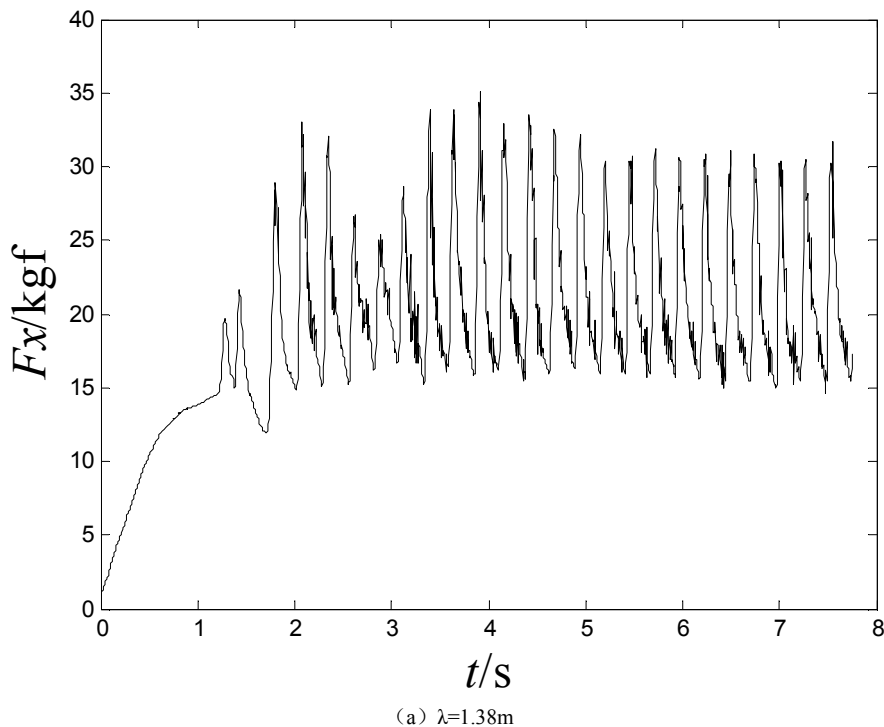
$$\begin{cases} m(\ddot{z} - \dot{\theta}u) = Z - D_h \dot{z} \\ I_y \ddot{\theta} = M_y - D_p \dot{\theta} \end{cases}$$

式中: m 为艇体的质量; ω 为艇体垂向速度; u 为滑行艇前进速度; Z 为艇体垂向合力; θ 为纵摇角; M_y 为艇体纵摇力矩; I_y 为艇体对 y 轴的转动惯量; D_h 为垂荡人工阻尼系数, 取值0.1; D_p 为纵摇人工阻尼系数, 取值0.1[10]。

4. 滑行艇数值计算结果处理和分析

4.1. 滑行艇升阻力数值计算结果

本文开展了高速滑行艇在自航模式下, 波高 $H=0.2m$, 航速 $V=3.86m/s$, 不同波长 $\lambda=0.5L$ 、1 L 、1.5 L 、2 L 时流场和滑行艇性能的数值模拟, 模拟的时间根据滑行艇遭遇波浪周期而定。图5、图6给出了滑行艇总阻力历时曲线和升力历时曲线, 体现了滑行艇在规则波下阻力和升力随时间变化的规律。可以看出滑行艇的升阻力为周期性变化趋势, 变化周期约等于各工况的遭遇周期。当波长等于船长时, 滑行艇阻力峰值最大, 升力峰值随波浪周期增加而增加。



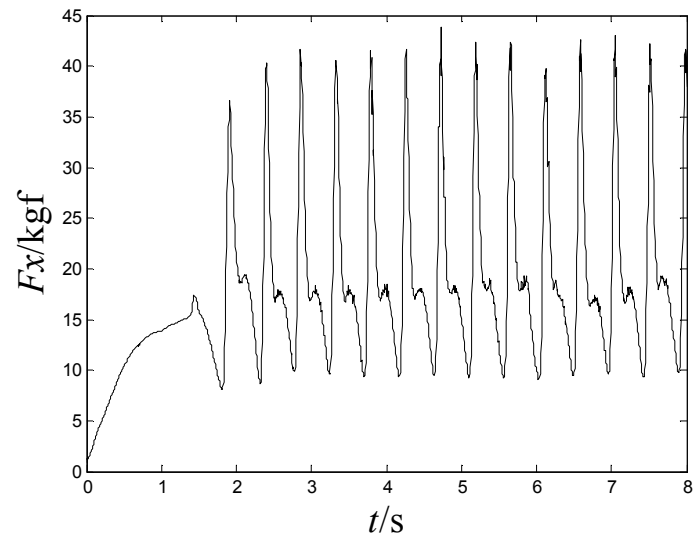
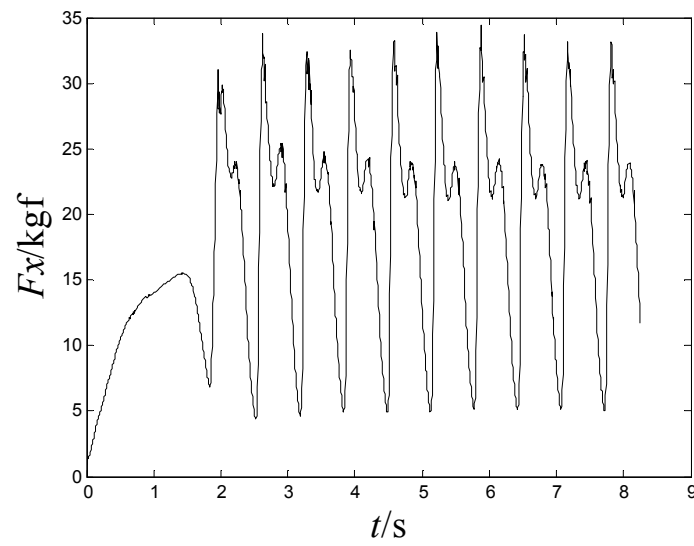
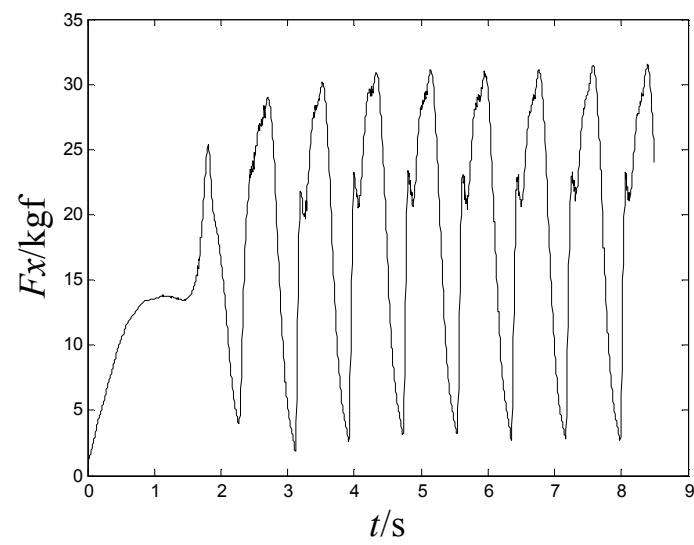
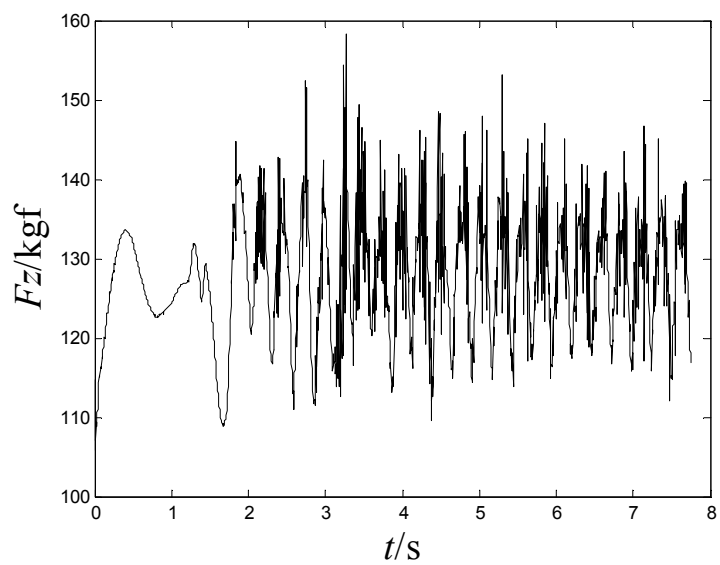
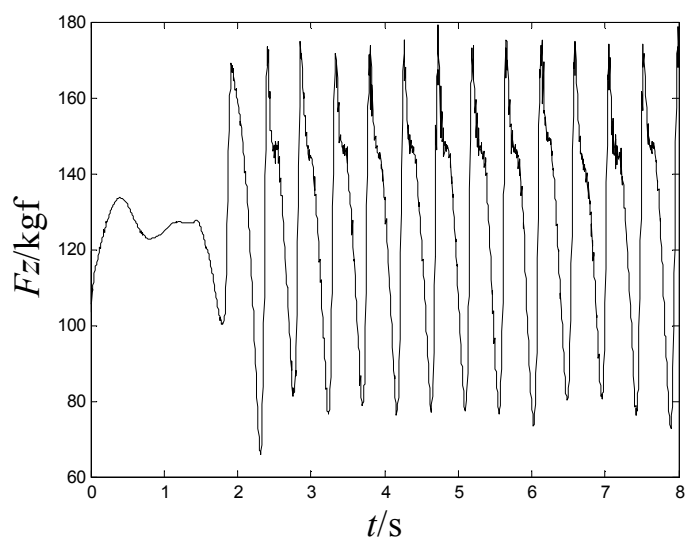
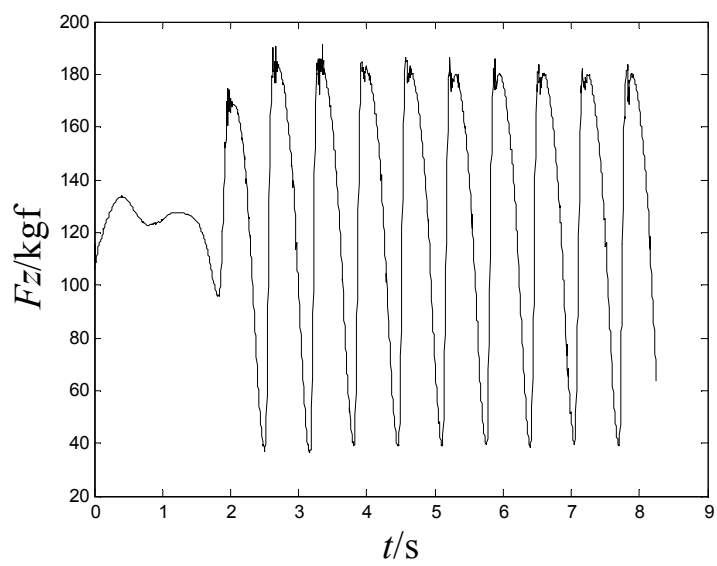
(b) $\lambda=2.75\text{m}$ (c) $\lambda=4.13\text{m}$ (d) $\lambda=5.50\text{m}$

图5 滑行艇在不同波浪周期下阻力.

(a) $\lambda=1.38\text{m}$ (b) $\lambda=2.75\text{m}$ (c) $\lambda=4.13\text{m}$

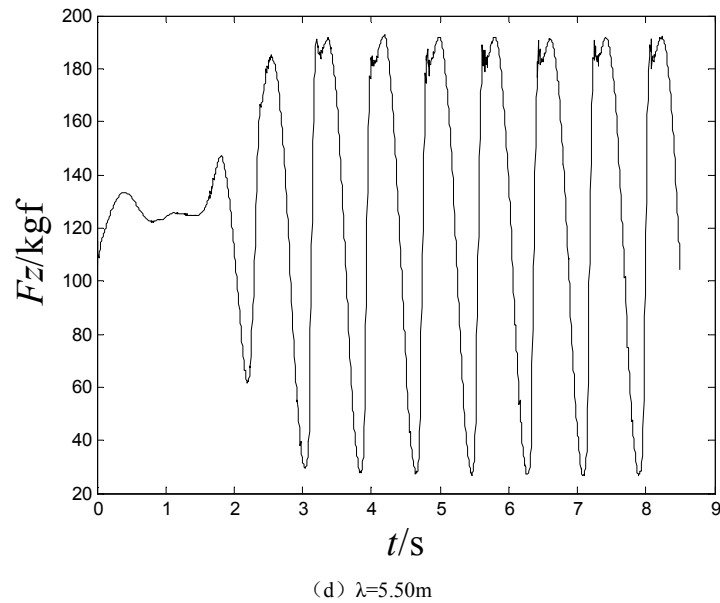
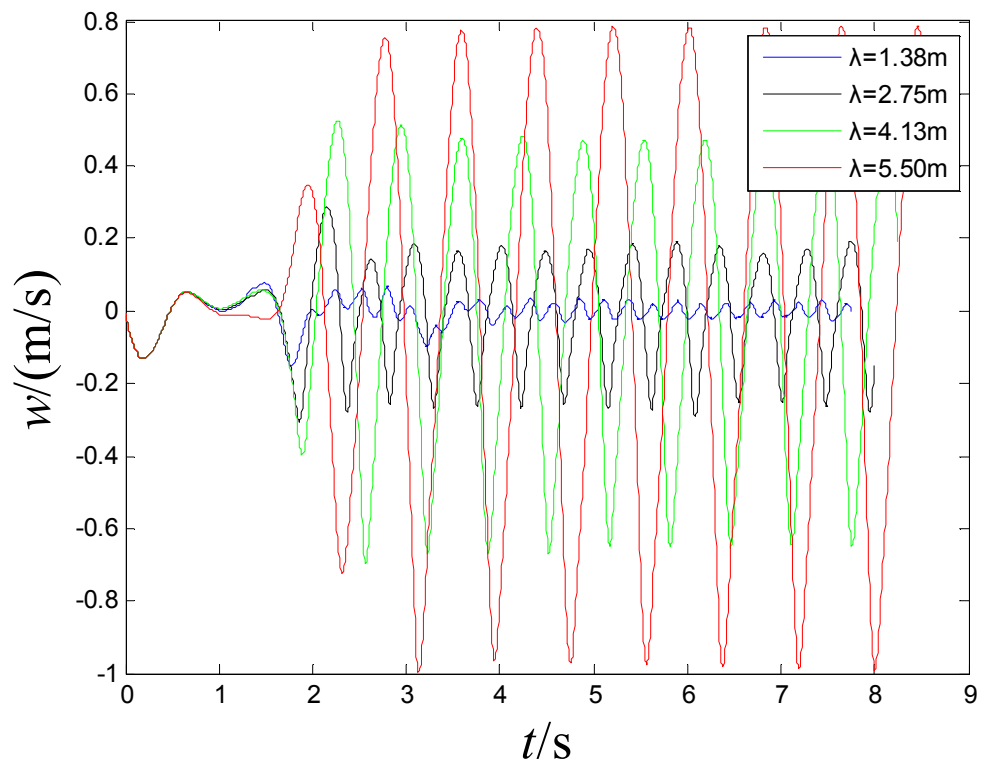
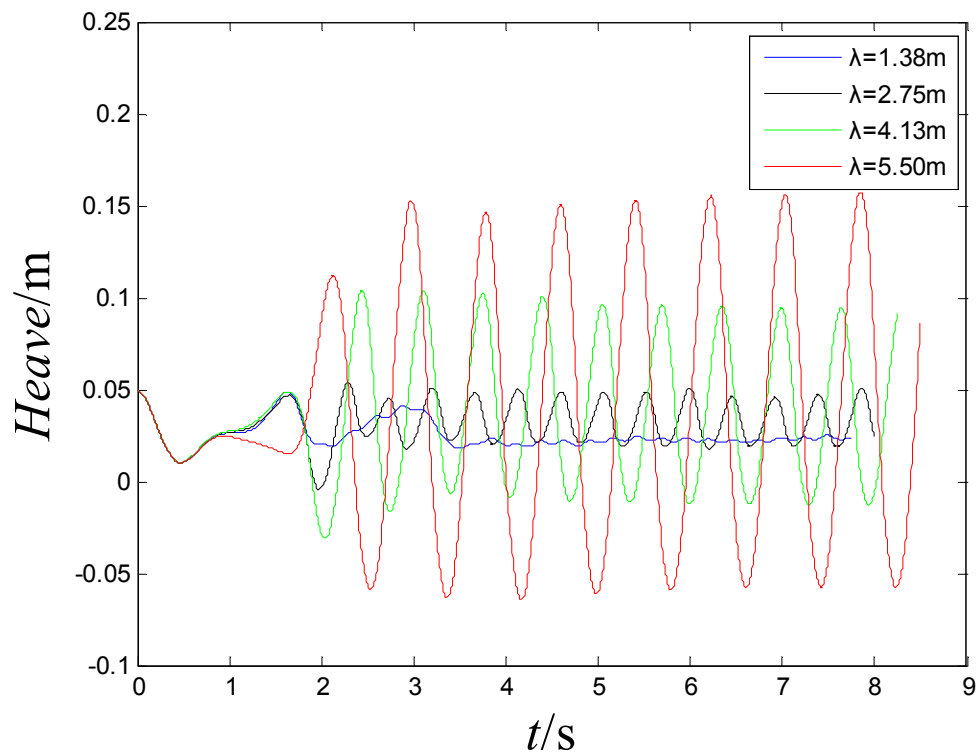


图6 滑行艇在不同波浪周期下阻力。

4.2. 滑行艇升沉、纵摇运动特性分析

滑行艇在规则波高速航行，艇艏遭遇波浪时会向上抬起，重心升高，随波浪产生周期性变化并达到动态平衡。图7给出了不同波浪周期下滑行艇垂荡速度和升沉量历时曲线，可以看到滑行艇在 $\lambda=0.5L$ 、 $1L$ 、 $1.5L$ 、 $2L$ 下垂荡方向的运动达到动态平衡，呈现周期性变化，波长越小滑行艇运动波动越小。

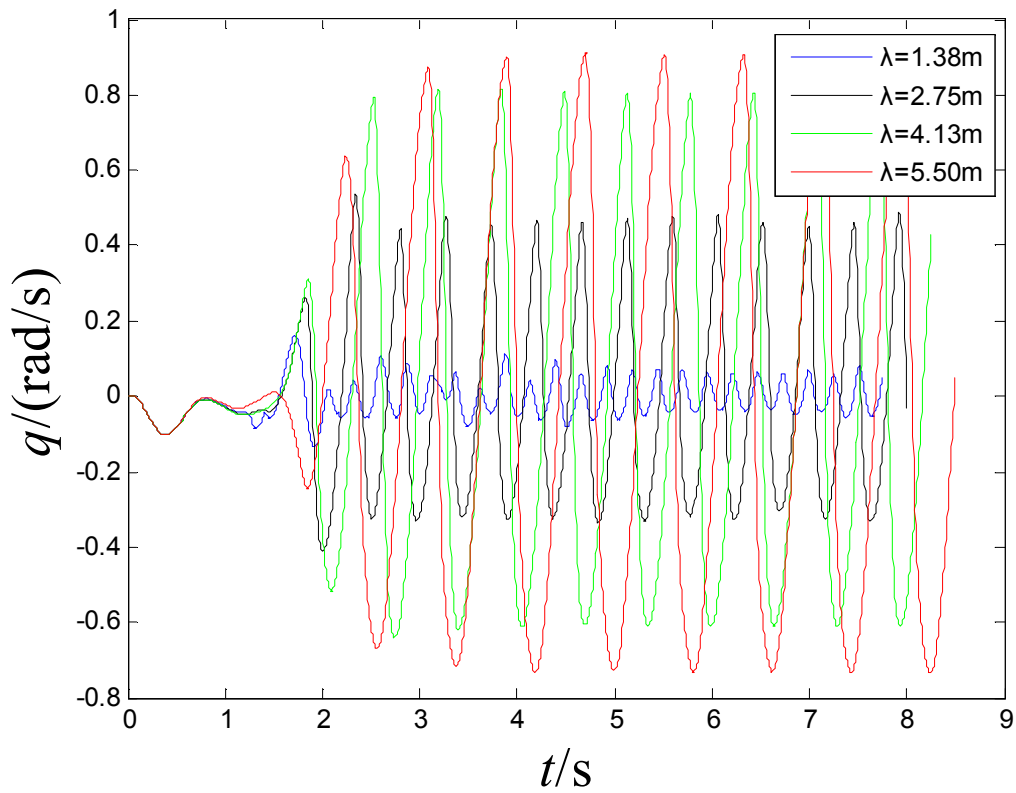




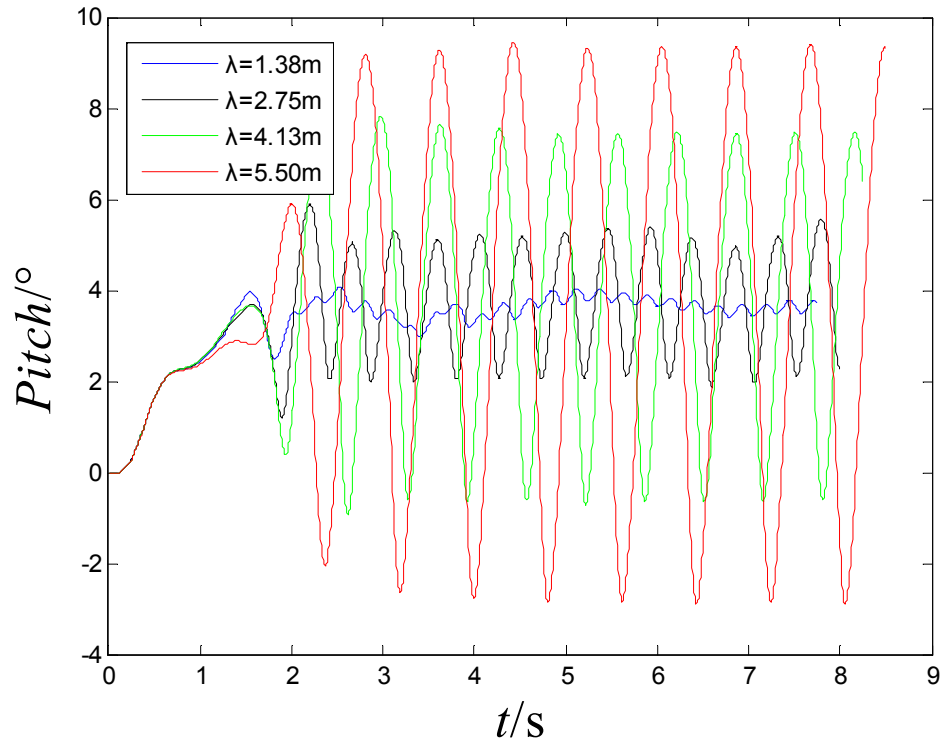
(b) 升沉量历时曲线

图7 不同波浪周期下滑行艇垂荡速度和升沉量历时曲线。

图8给出了不同波浪周期下滑行艇纵摇角速度和纵倾角历时曲线，可以看出滑行艇纵倾角也趋于动态平衡，变化周期约等于波浪遭遇周期，在 λ 为2倍船长5.50m时，纵倾角变化峰值达到 9° ，波长越小滑行艇纵倾角变化幅值越小。



(a) 纵摇角速度历时曲线。

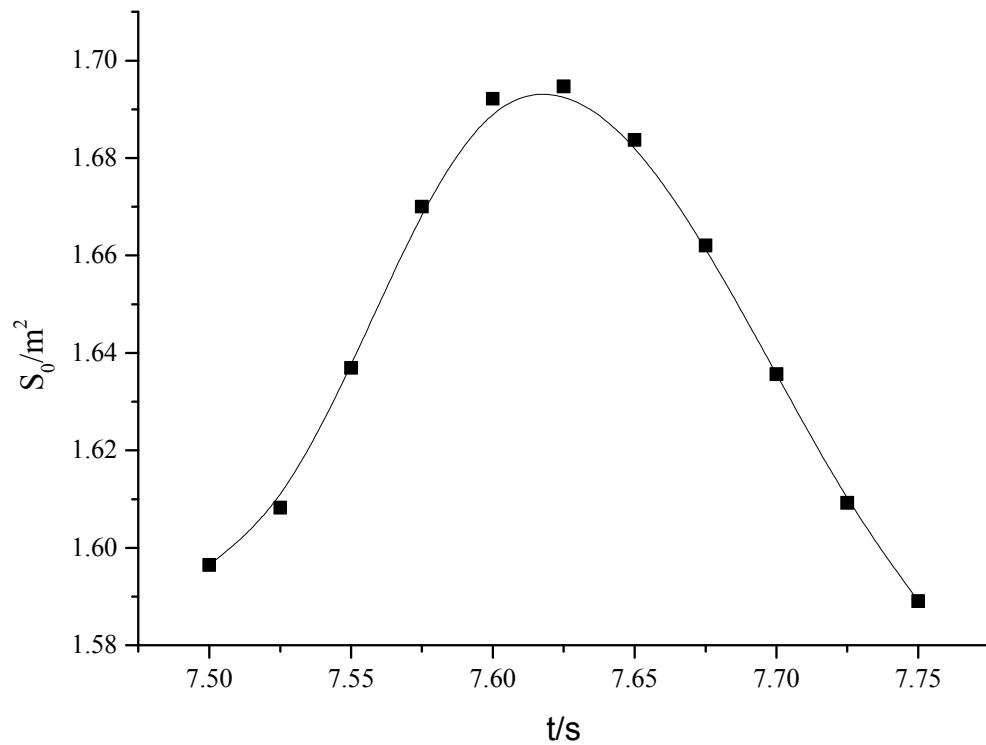


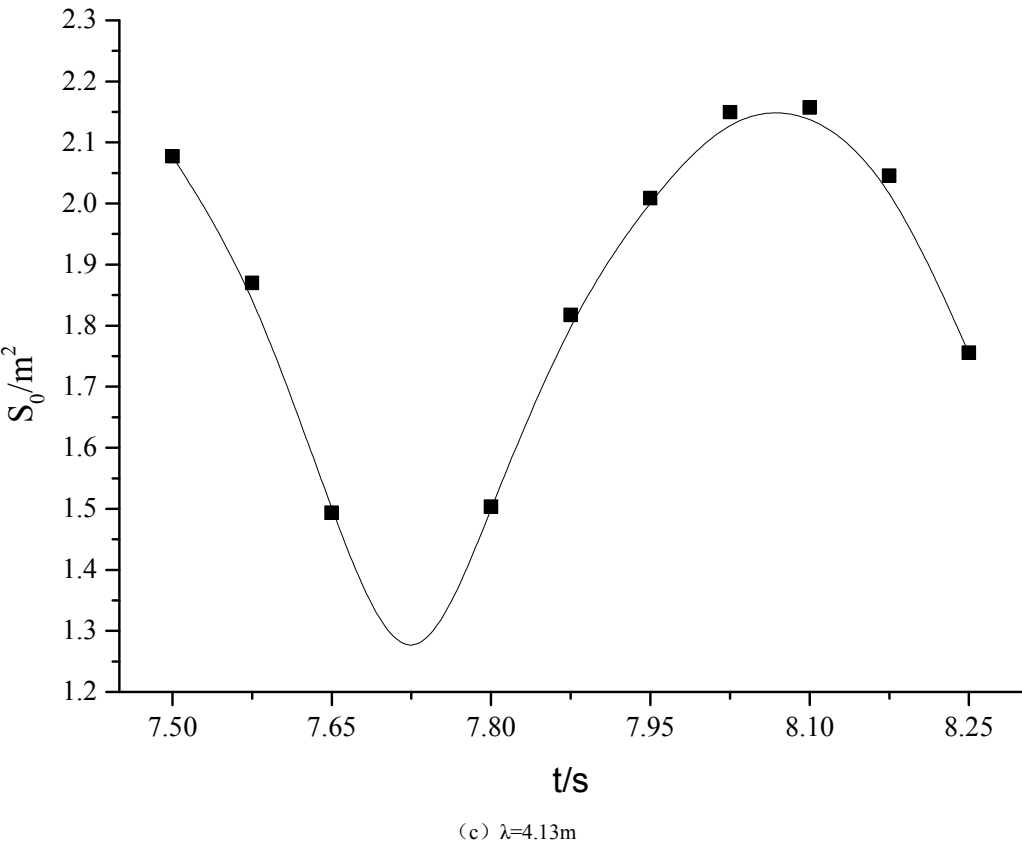
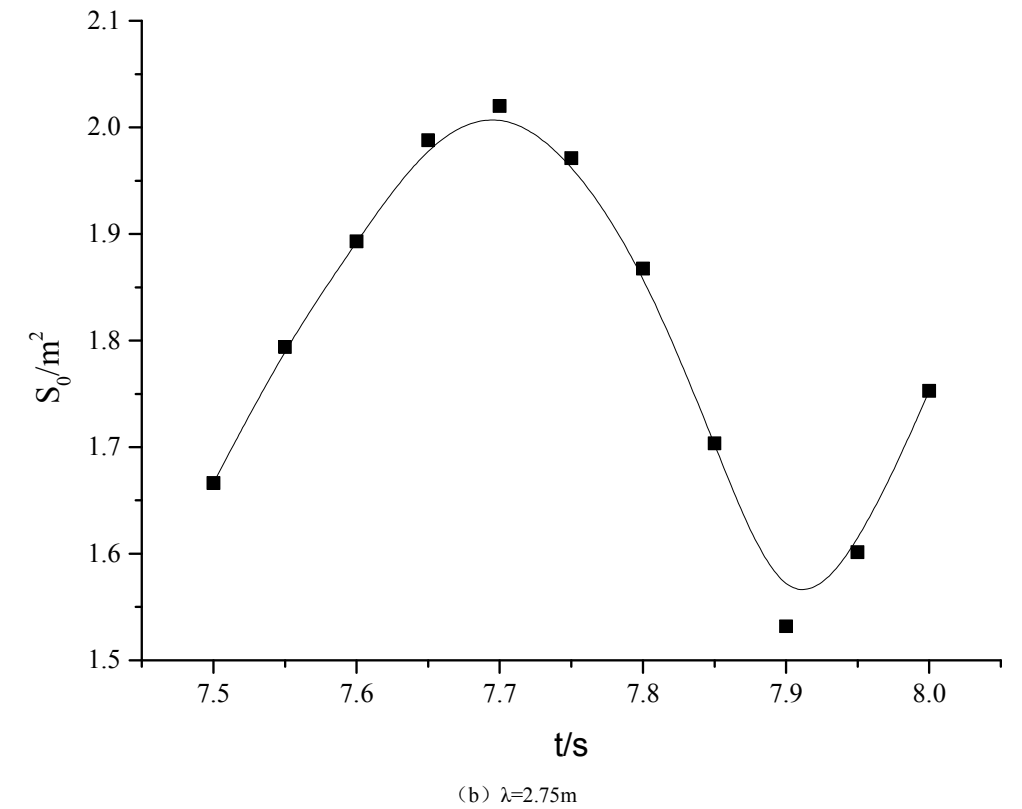
(b) 纵倾角历时曲线

图8 不同波浪周期下滑行艇纵摇角速度和纵倾角历时曲线。

4.3. 滑行艇艇底湿面积分布

图9给出了不同波长下艇底湿面积 S_0 曲线，可以看出不同波长下滑行艇湿面积 S_0 随时间周期性变化。湿面积 S_0 的幅值随着 λ 的增加而增加，因为 λ 的增加导致升沉量的幅度增加，重心高时艇体湿面积较小，重心低时发生砰击现象，导致湿面积增加。当艇体经理波峰时，湿面积峰值出现跳跃性增加，而在波峰离开船体时，谷值出现跳跃性减少。

(a) $\lambda=1.38\text{m}$



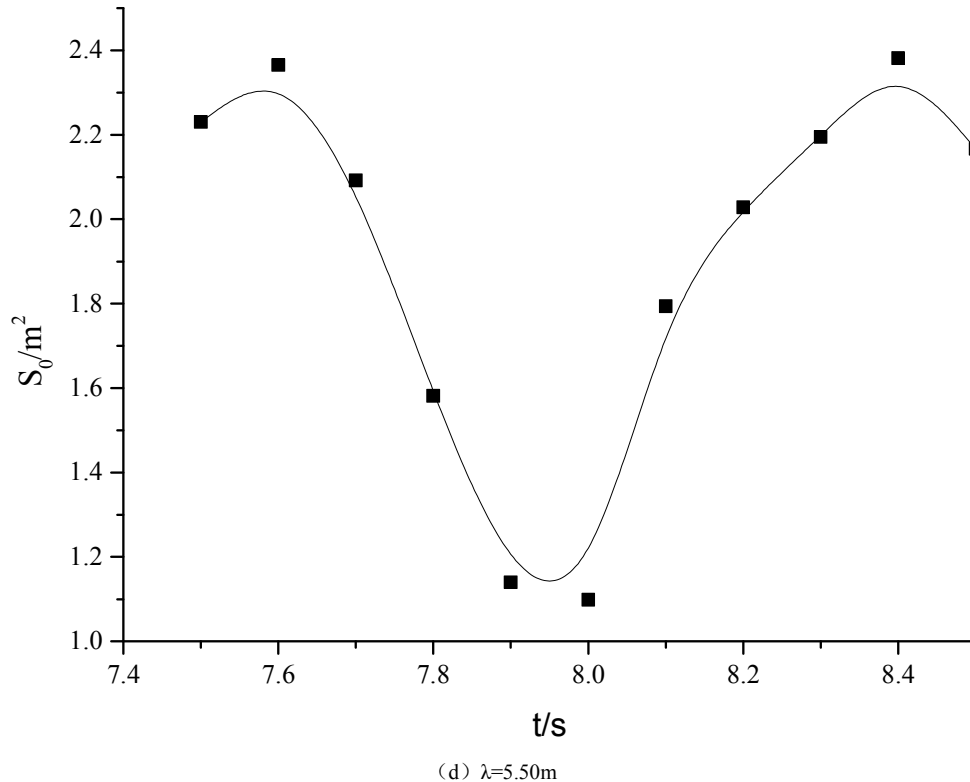


图9 不同波长下艇底湿面积曲线。

5. 结论

本章对滑行艇进行三维建模,利用速度边界入口造波模拟了波高 $H=0.2\text{m}$,波长 $\lambda=0.5L$ 、 $1.0L$ 、 $1.5L$ 、 $2.0L$ 的规则波,令滑行艇以航速 $V=3.86\text{m/s}$,开展了共4个工况下滑行艇在规则波自由模式下的水动力性能数值模拟。得到以下结论:

(1) 当波长等于船长时,滑行艇阻力峰值最大,升力峰值随波浪周期增加而增加。

(2) 滑行艇在规则波高速航行时升沉量和纵倾角随着时间呈现周期性变化,并达到动态平衡,振荡周期约为滑行艇在波浪中运动的遭遇周期。航速不变,随着波长增加,升沉量和纵倾角幅值随之增加,在波长为2倍船长时,升沉量幅值为型深的0.45倍,纵倾角最大值达到 9° 。

(3) 滑行艇艇底湿面积呈现周期性变化,变化周期约为遭遇周期,随着 λ 增加,常伴有砰击现象,流体从艇底上涌并向尾部扩散,水气相分布较混乱,并可以捕捉到明显飞溅现象。

参考文献

[1] 陈淑玲,周丹枫,张宇.某滑行艇模型瞬态水动力特性数值分析[J].2017,31(5):666-670。

- [2] Castro I P, Robins A G. The flow around a surface-mounted cube in uniform and turbulent streams[J]. Journal of Fluid Mechanics. 1977(2): 307-335.
- [3] Martinuzzi R, Tropea C. The flow around surface-mounted, prismatic obstacles placed in a fully developed channel flow[J]. Journal of Fluids Engineering. 1993,15:113-118.
- [4] 邹劲,王瑞宇,孙寒冰等.三体滑行艇纵向运动稳定性的数值模拟[J].船舶,2015,(5):40-45。
- [5] 董文才,郭日修.滑行艇阻力研究进展[J].船舶力学,2000,4(4):68-81。
- [6] YOUSEFI R, SHFAGHAT R, SHAKERI M. Hydrodynamic analysis techniques for high-speed planing hulls[J]. Applied ocean research,2013,42:105-113.
- [7] Savitsky D. Origin and Characteristics of the Spray Patterns Generated by Planing Hulls [J]. Journal of Ship Production & Design, 2011, 27(27):63-83.
- [8] 魏子凡,井升平,杨松林.新型高速艇的CFD模拟和对比分析[J].中国舰船研究,2016,11(4):22-28。
- [9] 凌宏杰,王志东,李鑫,吴娜.高速滑行艇约束模式下的喷溅阻力特性研究[J].哈尔滨理工大学学报,2013,34(1):15-20。
- [10] 朱克勤,彭杰.高等流体力学[M].北京:科学出版社,2017。