

基于 CFD 的槽道滑艇阻力性能研究

邢晓鹏, 邵文勃, 马山, 邵飞

(哈尔滨工程大学船舶工程学院, 哈尔滨, 150001, Email:mashan0451@126.com)

(陆军工程大学野战工程学院, 南京, 210042, Email:shaofei@seu.edu.cn)

摘要: 滑艇具有阻力小、航速高、成本低等优势, 在军事民用方面应用广泛。近年来槽道滑艇发展迅速, 相对于普通滑艇槽道滑艇兴波阻力小, 在高速时具有更好的阻力性能和优良的耐波性能。本研究基于 STAR-CCM+开展了单体滑艇阻力预报, 预报结果与已有的试验数据对比吻合较好。在此基础上研究了某双体槽道滑艇的静水阻力性能, 探究了不同重心纵向位置、片体底部倾斜角度、槽道高度对双体槽道滑艇静水阻力性能的影响, 并分析各个影响因素对双体槽道滑艇静水阻力性能的作用机理。

关键词: 双体槽道滑艇; 静水阻力; CFD 技术

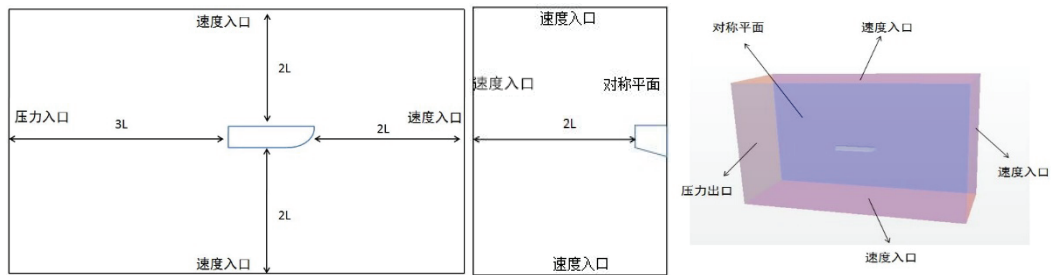
1 引言

同国外相比, 我国现有的登陆艇要么航速较低, 要么载重量偏低, 导致我国在重载高速登陆艇(载重量大于 50t、航速大于 30kn)的船型设计、耐波性能、快速性能等方面与国外相比仍然有较大的差距。基于此研究开展了对双体槽道滑艇相关船型设计和水动力性能研究。双体槽道滑艇高速滑行时, 槽道顶部会处于通气状态并形成空气润滑层, 从而减少船体受到的摩擦阻力, 此外空气润滑层还具有缓冲、减振的作用。双体槽道滑艇可以利用甲板面积大, 稳性也更好; 两个片体的推进器间距较大, 因此具有较好地操纵性能; 艇体引起兴波更小, 能量损耗更少。随着 CFD 技术的发展国内外很多学者利用 CFD 技术研究滑艇的静水阻力性能, Subramanian 等^[1]运用商业 CFD 软件 FLUENT 计算了槽道滑艇与无槽道滑艇在高速直航运动时的总阻力以及艇底压力分布情况, 并将计算结果与模型试验结果进行了对比, 证明了 CFD 技术的可行性; 孙华伟^[2]使用 STARCCM+探究了网格质量、湍流模型、时间步长对单体滑艇阻力性能模拟精度的影响, 将 CFD 模拟结果与模型试验结果以及 SIT 法估算结果进行了对比验证了数值模型的可靠性。

基金项目: 陆军装备预研项目(30110030103)、国家自然科学基金(51879058)

2 CFD 模拟方案及验证

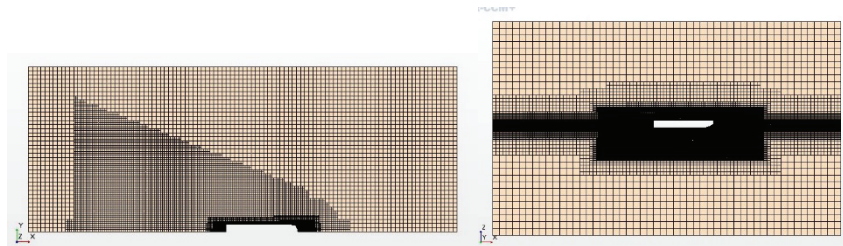
为总结 CFD 模型经验，首先开展了单体滑行艇静水航行阻力粘流模拟研究。选取的滑行艇模型来自于 Fridsma^[3]于 1969 年进行的系列试验。试验中滑行艇模型的底部斜升角为 10° ，长宽比为 4（船长 1.143m、船宽 0.2286m），型深 0.143m，由于滑行艇为直航运动，且滑行艇关于中纵剖面左右对称，因此可以取一半流域计算，从而大幅减少网格数目，提高计算的效率。计算域的范围如图 1 所示（L 为艇长）：



(a) 计算域侧视图 (b) 计算域正视图 (c) 计算域三维图

图 1 计算域及边界条件

为了防止波浪在边界处发生反射，在上游入口、下游出口以及远离艇体一侧设置了消波区。高速滑行艇静水阻力模拟，船体表面网格尺寸选定为船长的 4%~9%，能够获得较好的模拟精度^[4]，本研究取船体表面网格尺寸为船长的 7%进行计算。为了清晰地捕捉流场，对自由面，特别是船行波区域进行了网格加密，考虑到船首曲率变化较大，船尾在高速状态下会产生空穴，因此在船首及船尾处也进行了加密。对近壁面的网格处理通常采用壁面函数法，将船体表面的网格节点设置为等比分布的六层，节点分布系数 $r^*=1.2$ ， y^+ 为无因次化后的第一层网格的厚度，此次模拟中 y^+ 取 100。按照上述方法生成的网格总数约 95 万，网格情况如图 2 所示。



(a) 网格划分俯视图 (b) 网格划分侧视图

图 2 流体域网格划分情况

对滑行艇静水阻力预报采用运动域方法开放垂荡和纵摇两个自由度，时间步长通常取

为 $0.005 \sim 0.01L/U$ ，其中 L 为船长，本次验证时间步取为 $0.005L/U$ 。

如图 3 所示，在各个工况下计算得到的升沉值、纵倾角略小于试验值，但差距不大。各航速下的静水阻力结果除了个别工况的误差略大于 5% 外，其他工况的误差均小于 5%，这说明该 CFD 模拟方案可较为精确地计算滑行艇的总阻力值。

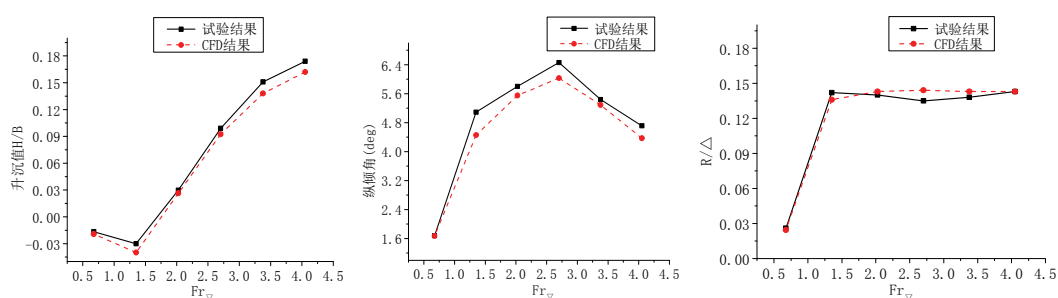


图 3 单体滑行艇重心升沉、纵倾、静水阻力 CFD 结果同试验结果对比

3 双体槽道滑行艇静水阻力性能模拟

针对设计的双体槽道滑行艇（横剖面示意图见图 4，折角线长 36m，型宽 8m，槽道宽度 3.4m，艏部成喇叭形开口，方艏），按照经验验证后的 CFD 模拟方案进行了静水阻力性能的计算，并分析了重心不同纵向位置、片体底部倾斜角度、槽道高度对双体槽道滑行艇静水阻力性能的影响。滑行艇模型缩尺比为 10，实船的航速为 10 节~35 节（每隔 5 节取一个）六种工况，对应船模速度为 1.63m/s~5.69m/s，对应的体积傅汝德数为 0.705~2.466。大部分工况下滑行艇处于半滑行状态。



图 4 滑行艇片体底部倾斜角及槽道高度示意图

3.1 重心纵向位置对双体槽道滑行艇静水阻力性能的影响

重心纵向位置的不同会直接影响不同航速下滑行艇的浮态，从而影响其静水阻力性能。这里重心纵向位置用重心到尾封板的纵向距离占滑行艇总长的比重来表示。重心纵向位置取 0.45, 0.4, 0.35 三组，比较不同航速下滑行艇的静水阻力性能与浮态如下：

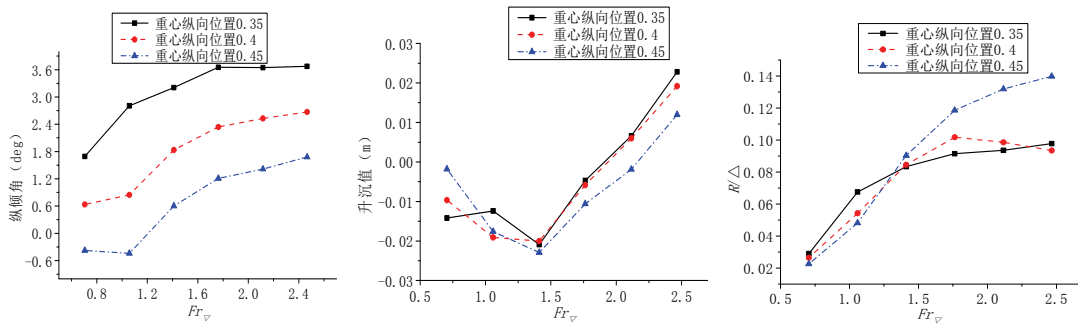


图 5 不同重心纵向位置对不同航速下滑行艇纵倾、升沉、阻力的影响

在各个工况下若重心纵向位置保持不变，随航速的增大，纵倾角也会随之增大。重心纵向越靠船艏纵倾角越小。重心纵向位置 0.45 一组在低航速时，滑行艇出现了小倾角的埋艏现象。三组不同的重心纵向位置计算得到的重心垂向位置几乎都是在体积傅汝德数为 1.4 时下沉到最低。航速继续增大，重心垂向位置随之上升。在高速状态下，重心位置 0.35、0.4 两组得到的升沉值比较接近。重心纵向位置越靠后，重心垂向位置上升越高。

重心纵向位置对槽道滑行艇的静水阻力性能有较大影响。当体积傅汝德数小于 1.3 低航速状态下，重心纵向位置越靠后，总阻力越大。当体积傅汝德数大于 1.3 时，重心纵向位置越靠前，总阻力越大。在高航速的工况下，重心纵向位置 0.35 一组的阻力性能最优。

如图 6 所示随航速增加，船行波越来越明显，其夹角越来越小。船行波发生的位置越来越靠后。因为随航速增加滑行艇纵倾和升沉增加，船艏水线向后方移动，尾部空穴变长。

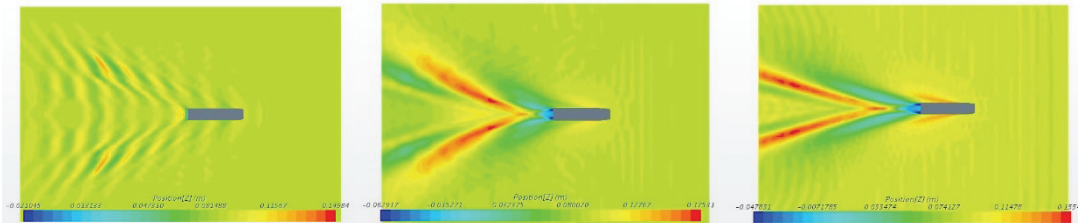


图 6 重心纵向位置 0.35L，航速 1.63m/s、4.07m/s、5.69m/s 时滑行艇周围的兴波情况

3.2 片体底部倾斜角度对双体槽道滑行艇静水阻力性能的影响

片体底部形状呈倒 V 型，不同的片体底部倾斜角会对滑行艇静水阻力性能产生影响。这里取片体底部倾斜角度为 0° ， 5° ， 9° 3 种（图 4），重心纵向位置取距艏封板 0.35L，对滑行艇静水阻力性能进行对比分析。

模拟结果如下图 7 所示，改变片体底部倾斜角对双体槽道滑行艇的纵倾角基本没有影响；增大片体底部的倾斜角，会使得双体槽道滑行艇的水下部分变得尖瘦，方形系数减小，滑行艇重心的升沉值减小，吃水增大；从对阻力性能的影响来看，适当增大片体底部倾角有利于改善中高航速段的阻力性能。

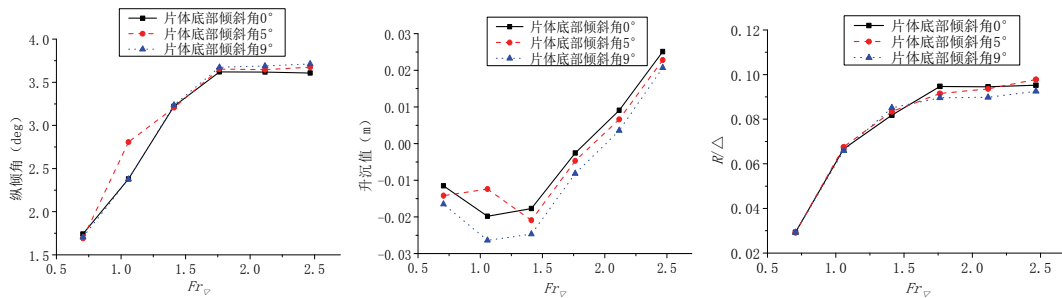


图7 不同片体底部倾角对不同航速下滑行艇纵倾、升沉、阻力的影响

3.3 槽道高度对双体槽道滑行艇静水阻力性能的影响

取五组槽道高度（图4）分别为30mm、40mm、50mm、60mm、70mm。重心距尾封板0.35L，片体底部倾斜角取5°，对滑行艇静水阻力性能进行对比分析。

从结果可以看出具有不同槽道高度的滑行艇在相同工况下的纵倾角基本相等，可以认为槽道高度对滑行艇的纵倾角基本没有影响。而滑行艇的重心升沉随槽道高度的变化规律非常明显，槽道高度越低，会增大槽道内气体的压缩性，从而有利于艇体的抬升。从整个航速段的阻力结果来看，槽道越低越有利于降低滑行艇的阻力。

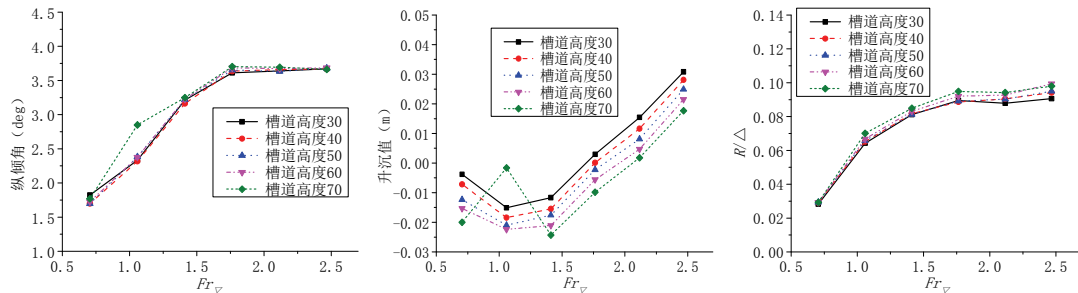


图8 不同槽道高度对不同航速下滑行艇纵倾、升沉、阻力的影响

4 结论

本研究首先采用CFD方法对单体滑行艇静水阻力进行了数值预报，与模型试验结果吻合较好，验证了数值模型的可靠性。而后再模拟计算了双体槽道滑行艇静水阻力性能，得到以下结论：在过渡航速段，滑行艇重心纵向位置在0.35L时艇体抬升较高，阻力性能较好；适当提高滑行艇底部的横向斜升角有利于降低滑行艇的阻力；槽道高度较低时增大了槽道内气体的压缩性，有利于抬升艇体，从而降低了滑行艇静水阻力。

参 考 文 献

- 1 V Anantha Subramanian, P. V. V. Subramanyam, N Sulficker Ali. Pressure and drag influence due to tunnels in high-speed planing craft[J]. International Shipbuliding Progress, 2007 (54):25-44.
- 2 孙华伟.滑行面形状对滑行艇阻力与航态影响数值分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2012.
- 3 姬朋辉.基于CFD的倒V型槽道滑行艇阻力性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2016.
- 4 Gerard Fridsna. A systematic study of the rough-water performance of planing boats.

Research on the resistance performance of the channel pianningcrafe based on CFD

XING Xiao-peng, SHAO Wen-bo, MA Shan, SHAO Fei

(Collage Of Shipbuilding Engineering,Harbin Engineering University ,Harbin, 150001.

Email:mashan0451@126.com)

(College of Field Engineering, Army Engineering University,Nanjing,210042.

Email:shaofei@seu.edu.cn)

Abstract: The planning craft has the advantages of low resistance, high speed and low cost, and it was widely used in military and civilian. In recent years, the channel planning craft has developed rapidly. It has smaller wave making resistance than the ordinary planning craft. It has better resistance performance and excellent sea keeping performance at high speed. The resistance of the single planning craft was predicted by STAR-CCM+, and the results agree well with the result of the experiment. Based on this, the calm water resistance performance of the double-body channel planning craft and the influence of the different longitudinal position of the center of gravity, the inclination angle of the sheet in the bottom , the height of the channel on the resistance performance of planning craft were studied. The influence mechanism of each influencing factor on the clam water resistance performance of the double-body channel planning craft was analyzed.

Key words: Double-body channel planning boat; Calm water resistance; CFD technology