

袖珍水翼突防潜艇的设计构想及运用研究

张博文, 王晟洵, 杨理华, 谢亚轩

(中国人民解放军海军潜艇学院, 山东 青岛 266000)

摘要 针对潜艇机动性不高以及传统水面攻击快艇隐蔽性不强的弊端, 为使二者优势互补、扬长避短, 阐述了一种袖珍水翼突防潜艇的设计构想。从设计构想、结构布局、应用研究等方面对该构想进行了分析, 研究了袖珍水翼突防潜艇的使用与发展价值及潜在的军事战术应用, 并指出了当前设计中可完善的问题。

关键词 袖珍潜艇; 水翼艇; 突防艇; 设计构想; 运用研究

中图分类号 E925.66

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2020)05-0425-06

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2020.05.011

Research on Design Concept and Application of a Midget Hydrofoil Penetration Submarine

ZHANG Bowen, WANG Shengxun, Yang Lihua, XIE Yaxuan

(Navy Submarine Academy of PLA, Qingdao 266000, China)

Abstract In view of the low maneuverability of submarines and the weak concealment of traditional surface attack speedboats, a design concept of midget hydrofoil penetrating submarine, which realizes advantageous complementarities of these two naval vessels and trumpets their strengths, is elaborated in this paper. This paper analyzes this concept from the aspects of design concept, structure layout and application research, studies the use, development value and potential military tactical application of the midget hydrofoil penetration submarine, and points out the problems that can be improved in the current design.

Key words midget submarine; hydrofoil; penetration vehicle; design concept; application research

0 引言

当今拥有常规潜艇的国家都面临着常规潜艇机动性差、航速低的弊端。为应对近海冲突和快速反应任务, 众多国家都在寻求发展一种可在濒海实现快速部署、数量庞大、攻击能力强的作战平台^[1], 对企图侵犯其领海安全的来犯之敌形成有力威慑。此类平台的列装将有力弥补现有军事装备在性能和功能上的诸多短板问题。而随着信息化作战和多兵种联合作战的发展, 数量优势明显的传统鱼雷艇和导弹艇在暴露于敌空中力量和大型水面舰艇威

胁时也无处遁形, 难以抵御。为此, 我们提出了一种既能在水面快速机动, 又能在水下隐蔽潜航的新型设计构想, 即袖珍水翼突防潜艇。

1 设计构想

袖珍水翼突防潜艇以袖珍潜艇为原型, 融合水翼艇的结构设计, 具有体积小、航速高、隐蔽性好、机动灵活、适应能力强等特点。能够兼顾高速突击艇高速性、潜艇隐蔽性、无人潜航器灵活性, 可以大大增加领域作战突防能力。如果在当今现有高速突防快艇的基础上, 增加更加现代

化、多功能化和智能化的元素，研制和应用袖珍水翼突防潜艇，将能有效提高我国海洋军事领域遂行战斗任务能力。

根据实际航行需要，袖珍水翼突防潜艇具有 3 种航行模式，在水下机动航行可使用潜航模式，该模式具有较好的隐蔽性，具体如图 1 所示。在水面航行时，可使用翼航模式，该模式具有高速高机动性，可通过水翼将艇体托起，使潜艇具有更小的阻力和更高的作战航行速度^[2]，具体如图 2 所示。在具有特殊需求的任务中，袖珍水翼突防潜艇可通过自动控制系统进入无人航行模式，在水面和潜望深度通过通信天线接受操控人员指令，在大深度下通过预设程序进行自主航行。此模式可用于高强度作战任务或长航时巡逻任务，可有效保障艇员生命安全，且可节省出大量用于生活保障系统的装（设）备空间用于装载附加任务载荷。

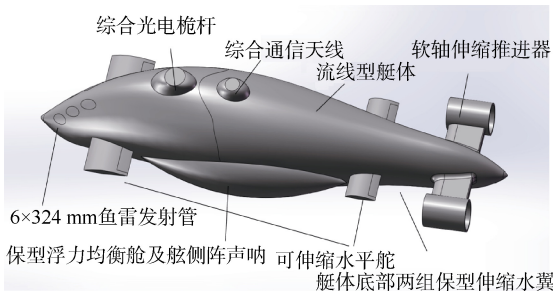


图 1 袖珍水翼突防潜艇潜航状态概念图
Fig. 1 Concept of MHPS in submersible state

综上所述，袖珍水翼突防潜艇将是一型集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多种功能为一体的综合型平台系统。整艇预估性能如表 1 所示。

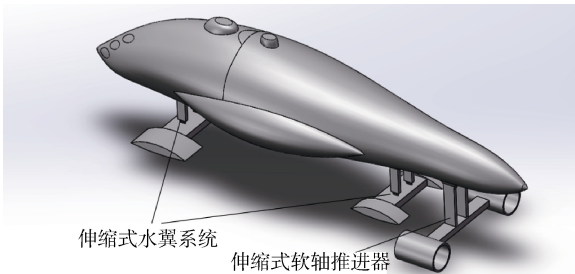


图 2 袖珍水翼突防潜艇翼航状态概念图
Fig. 2 Concept of MHPS in hydrofoil state

2 系统设计方案

2.1 全艇设计概述

袖珍水翼突防潜艇集成了传统常规潜艇的构造及水翼航行系统的机械结构。全艇呈流线形，水动力较好，艇体结构紧凑，艇内空间利用率高，可载 4~6 名艇员执行相应任务。艇体内除维持航行、观通、作战的必要舱室及管路外，还拥有独立的 2 套可伸缩保型系统，一为潜航伸缩水平舵系统，二为翼航伸缩水翼及伸缩推进器系统。因袖珍潜艇艇体较小，又为保持其基本的水声探测能力，故体积相对较大的舷侧阵声呐安装在艇体两侧艄部独立设计的保型浮力均衡水舱中。全艇动力由艇尾 2 具

表 1 袖珍水翼突防潜艇预估性能数据表
Table 1 Data table of MHPS estimated performance

项目	参数	项目	参数
水上排水量	≈90 t（半潜状态）	水下排水量	≈100 t
全长	≈20 m	全宽	≈7 m
艇员配备	雷弹操控员 舵信操控员 机电工程师 指挥军官 勤务人员	动力系统	涡轮增压柴油机 交流发电机 主推进电机 锂硫电池组 软轴矢量推进吊舱
探测能力	光电探测系统 ESM 预警系统 主动探测雷达	通信能力	短波收发天线 卫星导航天线 磁性天线
航速	水下经济航速 5 kn 翼航速度 50 kn	续航力	翼航均速 800 n mile 潜航经速 600 n mile
潜深	极限潜深 200 m	声呐	舷侧阵探测声呐 尾拖曳声呐
武装	6 枚轻型反潜鱼雷或轻型通用潜射导弹	附加载荷	合成孔径声呐、反鱼雷诱饵、反蛙人系统等

可伸缩旋转的软轴驱动推进器提供, 潜艇转向等机动也由推进器差速推进实现。

为实现上述功能, 袖珍水翼突防潜艇全艇包括 5 大部分, 即实现攻击、探测的载荷系统; 实现感知、操纵的指控系统; 实现潜航、翼航的航行系统; 实现推进、机动的动力系统; 以及支持全艇正常工作的辅助系统, 具体如图 3 所示。



图 3 袖珍水翼突防潜艇系统设计图

Fig. 3 System design of MHPS

2.2 机械结构设计

袖珍水翼突防潜艇在特种作战潜艇的基础上融合了水翼艇水翼结构, 通过合理的配置高效动力增升系统在增加流体动力、升力的同时降低高速航行阻力, 在达到一定速度后水翼的水动效应可为艇体提供一定升力, 使艇体逐渐上升, 大大减小了航行过程的兴波阻力^[3]。该部分设计主要包括水翼及升降舵设计、推进器设计及附加襟翼设计。

2.2.1 水翼及升降舵设计

袖珍水翼突防潜艇采用了一套伸缩式水翼系统和一套伸缩式升降舵结构。2 套系统分别对应 2 种航行模式, 且在模式转换时可互相配合互不影响。根据水动力学原理、动力增升技术、船舶阻力分析、复合材料应用等多门学科为本平台选择平直翼与 V 型翼尖组合。在翼航状态时平直翼为艇体提供主要升力, 当艇体发生倾斜时, 根据力的合成与分解, 对水翼整体进行受力分析, 浸水深度大的一侧水翼产生的合力比另外一侧产生的合力大得多, 这一方式所形成的恢复力矩将倾斜的艇体扶正, 大大提高了水翼潜航器自稳性^[4]。

2.2.2 推进器设计

袖珍水翼突防潜艇采用了软轴驱动的伸缩式矢量推进器。在水上翼航时柴油发动机可为其提供强劲动力, 且两具可一定角度矢量推进的推进器在不同力矩上旋转差速推进可使潜艇完成转向、急停、翻滚等机动。其翼航状态如图 4 所示。水下潜航时电机驱动可使其更为安静和隐蔽的航行, 得益于锂电池强大储电能力, 潜艇可以经济航速在水下巡弋数天之久, 在需要水下高速机动时, 也能在短时间内轻松供给全速推进所需的电能。其潜航状态如图 5 所示。

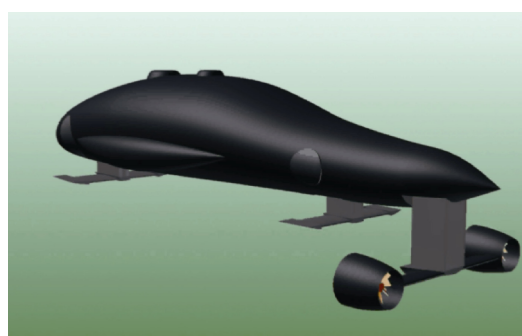


图 4 水翼及推进器展开后的水上翼航状态

Fig. 4 Foilborne state after unfolding hydrofoil and propeller

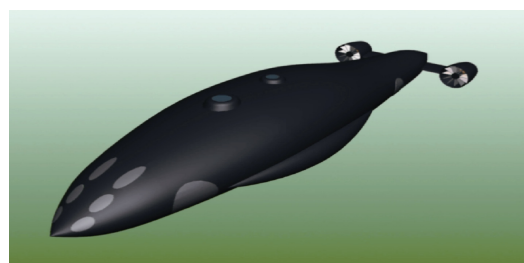


图 5 水平舵收回艇身内的水下高速航行状态

Fig. 5 Underwater high-speed navigation state after folding horizontal rudder

2.2.3 附加襟翼设计

由于袖珍水翼突防潜艇的高速高机动性, 可伸缩水平舵后部加装了不同于传统潜艇水平舵的襟翼设计。

另外, 因为平直水翼的结构特点, 可以根据海况分别对前翼和后翼的襟翼进行调整, 通过改变水翼浸入海水深度, 进而调整水翼升力, 尤其是在 V 型水翼无法恢复艇体稳定的时候, 通过调节襟翼攻角, 改变水翼浸水深度, 增大艇体扶正力矩, 使艇

体达到稳定状态^[5]。

2.3 舱室分段设计

袖珍水翼突防潜艇基本结构设计符合科学的潜艇舱室设计准则^[5]，全艇分为4个舱室和2个浮力调整水舱，具体舱室分布如图6所示。

I舱为鱼雷舱，安装有6具324 mm鱼雷发射管，两侧可附装合成孔径声呐。

II舱为指挥舱，为全艇指控中心，安装综合控

制计算机、综合通信天线、综合光电桅杆等装(设)备。另安装自动控制系统，可转换工作模式为无人潜航器模式。在载人操控模式下，全艇生命保障系统也安装于此。

III舱为柴油机舱，安装2部12缸柴油机，安置于减震浮阀之上，浮阀上安置动力吸振器，通过自适应算法控制，被动隔振与主动吸振相结合，能够大大降低动力设备产生的噪声。

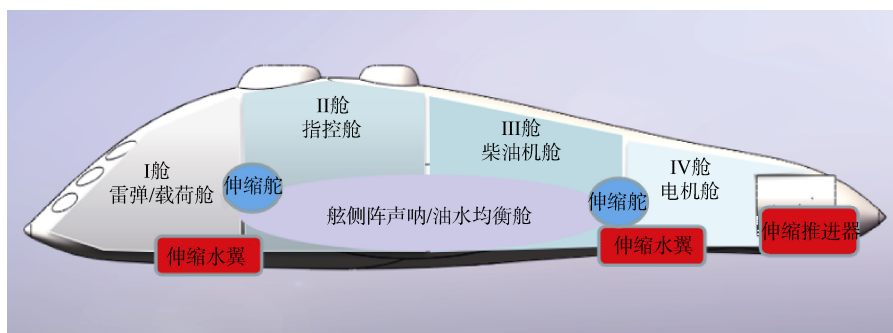


图6 袖珍水翼突防潜艇舱室布局图

Fig. 6 Cabin layout of MHPS

IV舱为推进电机舱，装备2部主推电机，由软轴装置分别连接2部推进吊舱内的三叶侧斜螺旋桨，兼顾水下隐蔽航行与水上高速航行。艇体两侧伸部贯穿I舱后部至IV舱前部的为浮力调整水舱，由高压气系统控制进排水。

2.4 动力推进设计

结合潜艇柴电机组动力原理与水翼艇串列式布局要求与动力增生原理，将两部12缸柴油机及24块锂硫电池布置于III舱，将2部推进电机并排布置于IV舱。2个涵道式全浸螺旋桨嵌入到2具推进吊舱内，为了保持推进性能的稳定，螺旋桨与主推进电机采用两根软轴连接，软轴外设有钢管保护，防止软轴自绞。在软轴和钢管之间使用四氟硅管减少软轴和钢管的磨损，提高软轴使用寿命。相较于传统单轴推进，解决了单电机在高速状态时自身产生的扭矩对船体的姿态产生的影响。

在翼航状态时，2部主推电机由柴油机直接提供能源，在潜航状态时，主推电机由锂硫电池提供动力，由于未安置潜望状态通气管，潜航状态时不具备使用柴油机供能的能力。2具螺旋桨可进行正

反转和矢量调节，转弯半径较小，保证了艇体在内河或狭窄海域的机动性能。

2.5 操纵使用设计

袖珍水翼突防潜艇出航时为水面半潜航行状态，人员就位检查全艇状态良好后，两舷浮力均衡舱注水，舵效向下，潜艇开始潜航，此时电机航行。

于潜望深度航行时，潜艇可通过综合通信天线及综合光电桅杆对外界进行感知及通信，在接受到快速部署任务后，潜艇准备进入高速翼航模式，水翼系统自艇体中伸出展开，软轴驱动推进器伸缩吊舱展开至翼航状态，高压气吹除浮力均衡水舱，潜艇由电机转入柴油机航行，舵效向上，潜艇跃出水面开始翼航，水平舵收缩至艇体内。

在抵达指定水域后，潜艇接受到隐蔽攻击任务，减缓航速，艇体入水，水平舵展开，水翼系统收缩至艇身，舵效向下，浮力均衡水舱注水，潜艇进入潜航状态，以经航速度巡弋于潜望镜深度，舷侧阵声呐及雷达保持被动警戒状态。发现目标后，潜艇锁定跟踪目标并迅速占领攻击阵位，伺机发射鱼雷。

攻击完毕后，浮力均衡水舱注水，电机全速，

舵效向下,牺牲部分储备浮力进行速潜,潜艇进入大深度静默航行状态以规避敌反潜力量围剿。待时机成熟便可通过翼航或潜航脱离攻击水域,返回母港补充油电及武备。

3 运用研究

3.1 控制策略

为使潜艇高速翼航时自动保持稳定性,运用电子技术中经常使用的PID控制器对其进行辅助控制,全自动的PID控制器无论在潜艇的无人航行模式时还是载人航行模式时都是不可或缺的控制系統,可使其达到响应快、抗干扰能力强的航行特点。

3.2 碳纤维包覆

船体从正常航行转变为翼航状态时,水翼会承受较大的冲击力,且水翼在高速行驶时产生的空泡对水翼也有较大的气蚀作用,存在局部应力过大的问题。此外,艇体在水下高速行驶时,海水的阻力对艇体造成的正应力与切应力以及水动力所引起的船体振动产生的复杂的应力与弯矩对艇体也有着很大的破坏作用^[6],一般的材料较难满足此种强度。通过局部碳纤维包覆法进行加固处理,并用真空导流技术进行整体包覆,可以大大的加大袖珍水翼突防潜艇的可靠性和使用寿命。

3.3 泛用性结构

袖珍水翼突防潜艇的基本设计思路结合了传统常规潜艇和传统水翼艇为一体的潜航器,在现有技术下,潜艇和水翼艇的现有技术已经极为成熟。水翼、耐压壳体、压载水舱、柴电机组、软轴推进器等袖珍水翼突防潜艇的关键性技术在当今已广泛运用于各船舶领域。若袖珍水翼突防潜艇经过验证试航并列装部队,除软轴推进器的推进功率问题还未得到有效解决外,其他装(设)备皆可便捷的依托现有军工设施进行量产和维护,同时也为后续型号的研发升级提供可靠条件。

3.4 战术应用

在袖珍水翼突防潜艇列装我海军后,我海军近海作战快速反应能力将得到极大的提高,主要包含以下几方面的优势。

1) 体积小、操纵灵活,濒海作战适应性高;

2) 解决了常规潜艇机动性差的弊端,可由翼航状态高速进行部署;

3) 可在任务海域水下潜伏待命并伺机进行攻击;

4) 可在敌控水域由潜航状态隐蔽机动,穿越封锁,快速打击;

5) 攻击威力可观,近岸补给方便快捷,维护成本低廉。

因此,袖珍水翼突防潜艇在以下情况下任务效能会有极大的提升。

1) 在敌舰艇编队逼近我重要水道时,其必会分割牵制我部分舰艇兵力^[7],我潜艇部队由于水下航速欠佳也难以及时进行作战部署。此时,袖珍水翼突防潜艇群可由翼航状态高速航行至作战水域并进入潜航状态,对敌舰艇编队进行突袭。

2) 若在战时或对峙局势下我潜艇部队兵力不足时^[8],袖珍水翼突防潜艇群可分别部署在水下,利用合成孔径声呐、潜望镜、雷达等进行隐蔽监视。并可根据作战态势进行翼航突袭或水下隐蔽突袭。

3) 由于水翼突防潜艇体积小、机动灵活,可由核潜艇背驼或援潜救生船等大型舰船舰载机动部署于远洋水域^[9],配合我核潜艇或航母编队执行侦察、通信、运送特战队员等特种任务。

袖珍水翼突防潜艇在高强度作战时可采用鲨群战术进行集群化作战,对敌舰队以及联合作战重要节点实施饱和攻击。此外,还可完成扫雷、反潜、反蛙人等任务,是近海防御的极佳利器。非战争时期可用其进行日常近海巡逻,水下地形、地磁、声速梯度等作战环境的采集,为海上作战提供可靠、有效的数据保障^[10]。袖珍水翼突防潜艇集成效能具体如图7所示,在功能上集成了小型攻击艇、常规潜艇、水翼突防艇及无人潜航器的相应功能。

4 关键问题

4.1 技术应用

袖珍水翼突防潜艇所涉及到的几乎所有关键技术在今各船舶领域已成熟运用或已有处在验证阶段的样品。在后续工作中的主要思路便是如何更高效地将这些技术应用组合起来,让“袖珍水翼

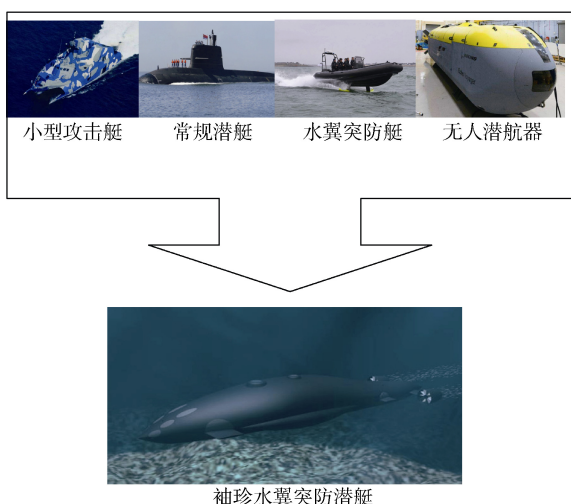


图7 袖珍水翼突防潜艇集成效能
Fig. 7 Operational Efficiency of MHPS

突防潜艇”早日成为现实。

4.2 载荷搭载

在载荷搭载方面,袖珍水翼突防潜艇由于体积小常态配备6枚324 mm轻型鱼雷或可由相同口径运载箱搭载的潜射通用导弹。在单艇单次攻击敌水面水下目标时能够取得较好的打击效果,但无法进行二次打击,需及时进行弹药补给,故应优化艇体内外构型设计及动力系统,为其提供更大有效载荷。

4.3 软件系统

在软件系统方面,应用高性能的人机交互系统与控制算法,通过前后水翼解耦以增强翼航状态及翼航潜航模式紧急变换时操作的平稳性。同时,在综导显控装置中应用更为先进的授时系统,使各系统同步性增强,避免因信号延时而产生系统失能。

4.4 航行动力

在航行动力方面,通过约束模型试验来获得较为准确的水动力学系数,进一步减小艇体航行时的阻力。优化水翼结构,进一步优化水翼阻力和水翼稳定性。改进软轴推进系统,增加软轴输出功率,保障高速推进效能。

4.5 操纵理念

未来海洋航行器的发展趋势逐渐向自动化、信息化、无人化转变,袖珍水翼突防潜艇作为一

型小型化的载人航行器,也具备无人自主作业能力,但作战效能将会有所折扣。故大力发展其无人化作战模式,提升操纵的远程化,提高水下作业的智能性,不但符合水下航行器主流发展方向,同时也能节省复杂的生命保障系统空间。进一步优化艇体结构,将是袖珍水翼突防潜艇未来发展的重中之重。

5 结束语

随着海洋航行器技术的发展,一艇多用、一型多能的自动化、智能化船艇将越来越多的出现在人们视野中。随着新时代下各国海军海洋作战体系的更新,海洋作战效能的提高,对于上述船艇的需求也日益倍增,袖珍水翼突防潜艇或与其功能相似的作战舰艇大量列装部队,并取代多型传统舰艇是一种可能的趋势,海军装备的自动化、信息化进程也将迎来全新的变革。

参考文献

- [1] 吴有生,葛纬桢.我国首制小水线面双体船[J].军民两用技术与产品,2001(2):27.
- [2] 高扬.M型高速槽道滑行艇概念设计[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2013.
- [3] 赵连恩,谢永和.高性能船舶原理与设计[M].北京:国防工业出版社,2009:293-294.
- [4] 董祖舜.快艇动力学[M].武汉:华中理工大学出版社,1991.
- [5] 苏玉民,庞永杰.潜艇原理[M].北京:国防工业出版社,2010.
- [6] 董亮,李亚政.水翼艇发展应用概述[C]//中国国际船舶及其技术设备展览会暨高性能船舶学术报告会.北京:中国船舶信息中心,2010.
- [7] 矢野一树.现代海战中的反潜战[J].现代舰船,2018(9):24-26.
- [8] 香田洋二.中日海上作战能力比较[J].现代舰船,2017(15):17-19.
- [9] 陈毅.水面无人艇基于优化的协同策略及实现的初步研究[D].镇江:江苏科技大学,2016.
- [10] 钟本基.水翼船设计研究进展[J].舰船科学技术,1981(1):59-70.

(责任编辑:肖楚楚)