

## 无人船艇发展现状与特点分析

魏连雪, 王 祎\*

国家海洋技术中心 天津

**【摘要】**近年来,无人船(USV)因其技术优势和广泛的应用前景备受关注。作为智能海洋技术装备的重要组成部分,无人船具备高效、灵活、低成本等显著优势,能够在海洋环境监测、资源勘探、国防安全以及灾害应急等领域发挥重要作用。在全球对智能海洋发展的高度重视下,无人船的研发与应用已成为国际科技和产业竞争的焦点之一。本文系统梳理了无人船的发展历程,通过对全球范围内典型国家(美国、以色列、中国等)代表性无人船艇的技术参数与应用特征进行横向比较,统计其船长与航速演进趋势,进一步剖析无人艇在军事、环境监测、灾害应急等多领域的融合应用潜力与挑战,旨在为后续技术优化与政策制定提供理论参考。

**【关键词】**无人船, 人工智能, 模块化设计, 自主控制系统, 国际比较, 应用前景

**【收稿日期】**2025 年 9 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 12 月 10 日 **【DOI】**10.12208/j.jesr.20250001

### Development status and characteristics analysis of unmanned surface vessel

Lianxue Wei, Yi Wang\*

National Ocean Technology Center, Tianjin

**【Abstract】**In recent years, unmanned surface vessel (USV) have garnered significant attention due to their technological advantages and broad application prospects. As a critical component of intelligent ocean technology, USV offer notable advantages such as efficiency, flexibility, and cost-effectiveness, enabling them to play vital roles in marine environmental monitoring, resource exploration, national defense, and disaster response. With the global emphasis on advancing intelligent ocean technologies, the development and application of USV have become a focal point of international scientific and industrial competition. This paper systematically reviews the development of unmanned surface vehicle (USV). It conducts a horizontal comparison of technical specifications and application features of representative USV from typical countries like the United States, Israel, and China. By analyzing the evolutionary trends of USV length and speed, it delves into the potential and challenges of integrating USV into multiple fields, including military operations, environmental monitoring, and disaster response. The paper provides a theoretical basis for future technical improvements and policy development.

**【Keywords】**Unmanned surface vessel; Artificial intelligence; Modular design; Autonomous control system; International comparison; Application prospects

#### 1 发展历程

1898 年,著名发明家尼古拉·特斯拉发明了第一艘遥控艇,名为“无线机器人”<sup>[1]</sup>,并在纽约中央公园进行了首次试验,自此,无人船的概念开始萌芽。然而,由于技术和需求的限制,无人船的出现并未引起重视,发展处于停滞状态。直到第二次世界大

战期间,军事需求带动了无人船的发展,在此期间,无人船主要作为一次性制导武器、欺骗性目标和靶船使用,以实现战略欺骗和作战掩护的目的<sup>[2]</sup>。20 世纪 60 年代后期,遥控扫雷艇崭露头角,美国利用“拖链式”遥控扫雷艇在越南境内完成扫雷作业<sup>[3]</sup>。在这段时期,无人艇以军事应用为突破口,拓展了其应用领

\*通讯作者: 王祎

域, 但仍旧依赖人员操控, 自主能力非常有限。

20 世纪 90 年代, 无人船技术取得了显著进展, 其应用逐渐扩展到商业、科研、环境监测和搜救等众多领域, 尤其在反潜、反水雷、海上侦察监视等方面的潜力逐渐显露。这一时期, 无人船开始融合全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)、惯性导航系统 (Inertial Navigation System, INS)、自动识别系统 (Automatic Identification System, AIS) 和卫星通信等先进技术, 显著提高了自主导航和操作能力, 无人艇初步具备自主能力。图 1 统计了自 1898 年以来收录 “USV (unmanned surface vessel, 无人船)” 关键词文献数量情况。从图中可以看出, 自 20 世纪 90 年代起, 全球学者对无人船的关注和研究呈爆发式增长。这一时期是无人船技术从实验测试走向应用的重要阶段, 为 21 世纪无人船的快速发展打下了坚实的基础。

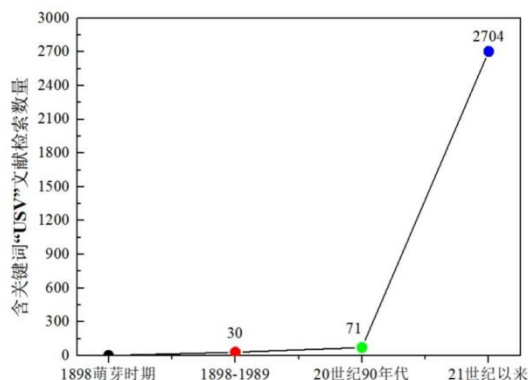


图 1 1898-2023 年收录 “USV” 关键词文献检索数量变化趋势

进入 21 世纪, 物联网、大数据、云计算、人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 等新理念、新技术突飞猛进, 无人船技术也得到空前发展, 自动化水平不断提高<sup>[4]</sup>。无人艇是 AI 与实体经济深度融合的典型产业领域, AI 技术为无人船的自主性、智能化、决策能力以及执行复杂任务提供了强有力的支持和重要机遇。图 2 统计了近 10 年收录 “USV” 和 “AI” 关键词的文献数量, 图表分为两个纵轴: 左侧蓝色轴表示含 “USV” 关键词文献数量, 右侧红色轴表示含 “AI” 关键词文献数量。从图中可以看出, 二者具有相似的发展趋势: AI 文献数量的急速增长反映了人工智能在众多领域的重要性日益提升, 而 USV 领域文献数量的持续提升也正是受益于 AI 技术的进步, 特别是在无人船的自主控制和智能化

方面。人工智能、自动化控制、传感器融合和新能源技术的进步, 使无人船具备更高的自主性和复杂任务执行能力, 应用范围从传统的海洋监测和军事侦察扩展到海洋资源开发、环境保护、救援作业等众多领域, 推动了海洋产业和国防的现代化进程。

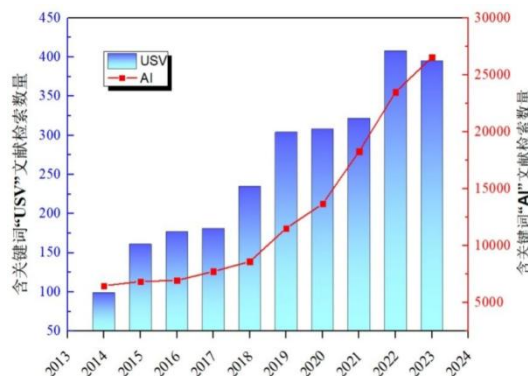


图 2 2014-2023 年收录 “USV” 和 “AI” 关键词文献检索数量

## 2 国内外发展概况

### 2.1 国外发展概况

#### 2.1.1 美国发展概况

美国是最早开展无人船艇研制的国家之一, 且高度重视智能化技术在无人系统上的应用<sup>[5,6]</sup>。美国无人船艇的发展经历了从初期的遥控与简单自动化到现代的高智能化和多功能应用的显著演变。随着计算机技术、传感器技术、人工智能和通信技术的进步, 美国无人船艇逐步具备了自主导航、环境感知、智能决策和长时间自主航行的能力。美国现代无人船艇采用模块化设计, 可以根据任务需求快速更换, 广泛应用于军事、海洋科学研究、环境监测和资源勘探等领域。

美国无人船艇种类繁多, 涵盖了不同任务和技术需求的多种设计, 其中典型代表包括 “斯巴达侦察兵” (Spartan Scout) 无人艇、“水虎鱼” (Piranha) 无人艇、“海上猎人” (Sea Hunter) 无人艇和 Submaran S10 无人水面和水下航行器 (见图 3)。

“斯巴达侦察兵” 无人艇的研发始于 21 世纪初, 主要用于增强海军的情报、监视与侦察 (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, ISR) 能力<sup>[7,8]</sup>。如表 1 所示, 该艇长 11 米, 最大航速可达 50 节, 航程 150 海里, 最大可扩展至 1000 海里。“斯巴达侦察兵” 无人艇结合了多种先进的传感器与通信技术, 具备自主控制能力, 并能够根据任务需求更换任务

模块<sup>[9]</sup>, 为后续无人艇的发展奠定了技术基础。与之相比, 2010 年由 Zyvex 技术公司研发的“水虎鱼”无人艇长 16.5 米, 但重量仅为 8400 磅(3805 千克), 这一轻量化设计源于艇体采用了碳纤维和轻型碳纳米管材料, 大幅降低了整体重量。该型无人艇可承担 ISR 以及电子战、运输、水雷战、打击海盗、搜索与救援、猎潜、港口巡逻等任务。在反潜作战领域, 美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)开发的“海上猎人”无人艇则是另一种典型应用<sup>[10]</sup>。该艇长 40 米, 重达 135 吨, 具备长达 70 天的续航能力, 最高航速为 27 节。“海上猎人”无人艇搭载了声呐、光电传感器和雷达系统, 能够执行主动与被动搜索、潜艇

定位追踪及威胁分析等任务, 广泛应用于反潜作战和海上安全保障。与前述无人艇不同, 由美国海洋航空公司研制的 Submaran S10 无人水面和水下航行器兼具水面航行和水下潜航能力, 具有独特的双重模式和自主操作能力<sup>[7,11]</sup>。Submaran S10 除在海面上执行情报搜集、环境监测等任务外, 还能够收起风帆潜入水下 200 米, 从而避开海面恶劣天气并执行更加隐秘的任务。Submaran S10 采用风能和太阳能驱动, 能够在海上持续数月进行自主任务。

美国近年来研发的无人艇在继承早期无人艇优良性能的基础上, 不断进行技术创新, 继续朝着智能化、多样化、协同化和高效化的方向发展, 为海军作战能力的提升提供更加有力的支持。

表 1 美国典型无人艇及其性能参数

美国无人艇性能参数				
船名	“斯巴达侦察兵”	“水虎鱼”	“海上猎人”	Submaran S10
船长	7 m-11 m	16.5 m	40 m	4.14 m
载重	3000-5000 lb	15000 lb	——	——
续航力	150 n mile	2500 mile	70d	数月
最大航速	50 kn	45 kn	27 kn	风力推动下可达 5 kn
特点	根据需求按模块化方式更替任务模块, “即插即用”	第一艘采用碳纤维与轻型碳纳米管材料制成的无人水面艇, 船体轻, 材料强度高	三体船型, 突出的自主航行能力	长时间执行任务, 超远程遥控, 可收起风帆潜入水下
主要任务	ISR、舰队保护、精确打击、反潜等	ISR、电子战、运输、水雷战、打击海盗、搜索与救援、猎潜、港口巡逻等	水下目标定位、精确持续跟踪	满足海上多样化任务需求



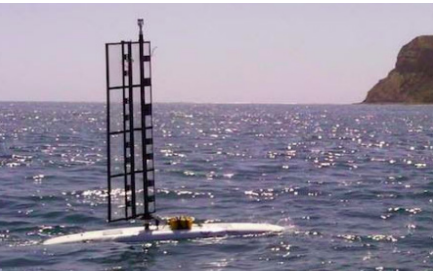
(a)



(b)



(c)



(d)

图 3 美国典型无人艇 ( (a) “斯巴达侦察兵”无人艇; (b) “水虎鱼”无人艇; (c) “海上猎人”无人艇; (d) “Submaran S10”无人艇。 )



2.1.2 其他国家发展概况

以色列拥有丰富的无人船艇研制技术，是最早深入研究无人艇技术的国家之一，在一定程度上代表了当前无人艇的先进水平<sup>[12]</sup>。2003 年，拉斐尔公司研发了“保护者”（Protector）无人艇（见图 4），用于增强海上作战能力和安全保障<sup>[13]</sup>。“保护者”无人艇为硬壳充气艇结构，艇长 9-11 米，载重 1000 千克，最大航速可达 40 节（见表 2）。其配备了多种传感器和武器系统，并在设计时考虑了隐身性能，具备复杂环境下快速响应与任务执行能力<sup>[1,7]</sup>。此外，该型无人艇的模块化设计使其能够根据不同任务需求进行配置和升级，展现出广泛的应用前景。“银色马林鱼”（Silver Marlin）无人艇是以色列 Elbit 公司

继“保护者”之后研发出的第二代多功能无人水面艇，于 2007 年初首次在海上进行试验。该艇长 10.67 米，最大航速 45 节，最大航程达 500 英里，载重 2500 公斤，主要执行部队保护、反恐、反水雷和搜救等任务。其配置的“无人水面艇自主舵手系统”能够根据环境和任务的变化自主调整航行状态，在失去远程遥控的情况下，仍能够依靠人工智能系统独立完成已下达的任务，自行计算巡逻路线并确定最佳航行速度<sup>[7]</sup>。“黄貂鱼”（Stingray）无人艇是 Elbit 公司在无人机的基础上研发的，具有船型小、隐蔽性好的特点。其有效载荷 250 公斤，航速 40 节，最大航程达 550 公里，能够完成海岸物标识别、智能巡逻、电子战争等多项任务。

表 2 以色列典型无人艇及其性能参数

以色列无人艇性能参数			
船名	“保护者”	“银色马林鱼”	“黄貂鱼”
船长	9m-11 m	10.67 m	——
载重	1000 kg	2500 kg	250 kg
续航力	——	500 n mile	550 km
最大航速	40 kn	45 kn	40 kn
特点	模块化设计，隐身性	完善的人工智能系统	船型小，隐蔽性好
主要任务	本土防御、反恐作战、部队保护、ISR 等	ISR、力量保护、反舰战、水雷战、搜索救援、港口和航道巡逻、电子战	海岸物标识别，智能巡逻，电子战等



(a)



(b)



(c)

图 4 以色列典型无人艇（(a) “保护者”无人艇；(b) “银色马林鱼”无人艇；(c) “黄貂鱼”无人艇。）

除美国和以色列外，其他国家在无人艇研发领域也取得了显著进展，各自展现出独特的技术优势和应用方向。如英国的“C-Enduro”无人艇以其超长的续航能力和多任务适应能力闻名，广泛应用于海洋勘探与监视<sup>[5]</sup>；意大利研发的“Charlie”号无人双体船，主要用于海洋微表层取样、气候监测和鱼雷探测<sup>[14,15]</sup>；日本开发的典型产品“OT-91”型水面无人艇专注于海上情报侦察和反水雷等任务<sup>[4]</sup>；俄罗斯的“Grachonok”无人艇在水雷探测和清除方面具有显著特色。由此可见，各国在无人艇技术的发展上都有不同的侧重点和应用方向，从海上监视、反潜作战到军事演习和环境监测，无人艇已成为现代海上作战和安全保障的重要工具。

2.2 国内发展概况

经过多年的技术积累和创新，我国在无人船领域取得了显著突破，多个自主研发的无人船已广泛应用于海洋监测、科学勘探、搜寻救助、灾害预警等领域。“天象一号”无人船是我国第一艘实际应用的无人驾驶沿海航行探测平台（见图5），由中国气象局和航天科工集团联合研发，曾为青岛奥运会帆船比赛提供气象保障<sup>[16]</sup>。该无人船具备自主航行、智能避障和自稳定功能，能够满足高海况下的工作能力并长时间执行海上监测任务，为海洋环境保护和科学研究提供重要的数据支持和技术保障。“领航者”无人船由珠海云洲智能科技有限公司研发，广泛应用于环保监测、科研勘探、搜索救援及安防巡逻等领域<sup>[17]</sup>。其搭载了高精度传感器和自动导航系统，具备自主航行和智能避障功能。“领航者”

号采用M型高速三体船型设计，其油电混合动力系统最高提供30节航速，并能够在五级风浪下稳定航行。该无人船支持GPS和北斗系统进行高精度定位，已实现与无人机、潜水器等设备协同作业。“海腾01”号无人艇由上海海事大学研发，具备全天候、高海况下自主航行和实时水面、水下监测能力<sup>[7]</sup>。该艇长10.5米，最大航速40节（见表3），搭载了海上溢油回收设备，在国内首次实现了高危环境下通过机器人对水面溢油进行监测与回收。“SeaFly-01”无人船是我国首款“双M型”高速智能无人艇，由四方公司武汉分基地研发<sup>[7]</sup>。该艇由碳纤维材料制作而成，全长10.25米，最高航速45节，具备全智能模式下的路径规划、循迹航行和自主避障能力。“SeaFly-01”无人船配备的智能安全评估系统能够确保其在海防巡逻、武装对抗和海底探测等领域高效、安全地完成任务。

随着水面无人艇应用市场的扩大，我国近年来涌现出许多致力于无人船艇研发的企事业单位以及高校研究院，无人船技术取得了十分显著的进步。哈尔滨工程大学船舶工程学院与深圳海斯比公司联合研制了“天行一号”无人艇，最高航速超过50节<sup>[18]</sup>；广东华中科技大学工业技术研究院研发了“HUSTER”系列无人艇，用于多艇协同技术以及无人艇-无人机配合<sup>[19,20]</sup>；上海大学无人艇工程研究院研发出了“精海”系列无人艇，可完成多样化海洋任务<sup>[21]</sup>。随着我国全面推进无人智能技术的发展与规划，我国的水面无人系统技术研究进入高速发展阶段。

表3 中国典型无人艇及其性能参数

中国典型无人艇性能参数				
船名	“天象一号”	“领航者”	“海腾01”	SeaFly-01
船长	6.5m	4m	10.5m	10.25m
载重	——	——	2t	1.5t
续航力	数百公里	上千公里	——	大于400km
最大航速	——	30kn	40kn	45kn
特点	第一艘气象探测无人船	M型高速三体船型，航行平稳高速	在国内首次实现海上溢油处理水面机器人技术及其装备的试验性应用	全球首艘“双M型”高速智能无人艇
主要任务	气象保障，智能驾驶，雷达搜索，卫星应用，图像处理与传输	环保监测，科研勘探，水下测绘，搜索救援，安防巡逻，军事应用领域	海事巡航，水文监测，进出港与过境船舶监测监视，水上消防，海上搜寻救助，沉船勘探打捞等	海防巡逻、武装对抗、海底探测等



图5 中国典型无人艇（(a)“天象一号”无人艇；(b)“领航者”无人艇；(c)“海腾 01”无人艇；(d) SeaFly-01 无人艇。）

### 3 无人船艇特点分析

#### 3.1 无人艇船长发展特点

船长是衡量无人艇性能的重要指标之一，对其稳定性和操纵性具有直接影响，同时还显著关系到无人艇的航速、载荷能力、耐波性以及航程等关键参数。一般而言，较长的船体能够在大浪中提供更好的稳定性，并容纳更多的仪器设备和更大的燃料舱，从而提升无人船的功能性和续航能力。

本文通过散点图（见图6）统计了7个国家在不同时期研发的无人艇船长分布情况。结果表明，各国研制的无人艇船长主要集中在5-15米范围内。这一长度范围内的无人艇通常具有较好的稳定性，特别是在中等波浪条件下。此外，5-15米的无人艇具备充足的空间和载重能力，能够搭载各种传感器、通信设备、导航系统及特定任务所需的其他装置。这种尺寸的无人艇能够满足监测、侦察、搜救和测

绘等多种任务的需求，并提供较长的续航时间，因而成为各国无人艇研发的主流选择。

长度小于5米的无人艇通常设计用于执行小规模或特定任务。这类无人艇因体积较小、灵活性高，适合在要求精细操作或狭窄环境下运行，具有高度的机动性和可操作性，同样受到各个国家的青睐。而20米以上的无人船由于成本、操控难度、技术挑战 and 市场需求等多重因素的限制，极少被开发和应用。随着船只尺寸的增大，自动化系统、通信设备、导航系统和动力系统的开发和集成难度显著上升，潜在的故障风险也随之增加。

尽管如此，我国和美国均已研制出船长约40米的大型无人船。这类大型无人船虽面临着高成本和复杂技术等挑战，但其在远程航行、长续航、重载荷任务中的独特优势仍具有不可替代的价值，并在一定程度上代表了在无人艇技术研发领域的高水平能



力。

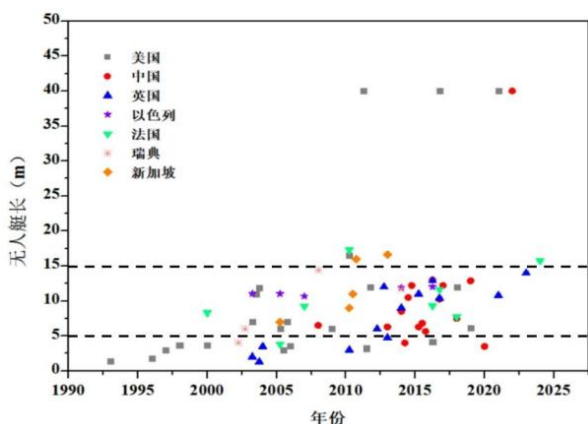


图6 各国无人船艇长度分布

### 3.2 无人艇航速发展特点

航速是无人艇设计中的关键指标之一，对任务执行效率、响应时间及复杂环境中的操作能力有直接影响。在紧急任务（如搜救、监视或应急响应）中，航速至关重要，较高的航速能够显著缩短任务响应时间，提高任务完成效率。例如，在巡逻和监视任务中，高航速不仅能使无人船航迹覆盖更广的区域，还能增加巡逻频率从而提升监控效果。此外，高速无人艇在单位时间内完成的任务数量更多，具备显著的任务效率优势。在军事应用中，高航速更是战

术机动性的核心组成部分。高速无人艇能够迅速迂回、规避威胁或发起突袭，从而在战场上占据主动地位。

然而，高航速无人艇在技术实现上也面临着诸多挑战。为了维持高速航行，推进系统的能耗显著增加，直接限制了无人艇的续航能力，从而降低了其在长时间或远距离任务中的适用性。此外，在高速航行条件下，船体的稳定性可能受到不利影响，尤其是在恶劣海况下，增加了无人艇翻覆或失控的风险。与此同时，高速航行对操控性能提出了更高要求，需要配备精密的控制系统以确保航向和稳定性。因此，无人艇设计需结合任务需求综合权衡航速、续航能力和稳定性等关键指标，以确保任务的高效完成。

本文通过散点图（见图7）统计了7个国家不同时期无人艇航速的分布特征。根据航速差异，无人艇可分为低速无人艇（最大航速小于15节）、中速无人艇（最大航速在15-30节之间）、高速无人艇（最大航速在30-50节之间）及超高速无人艇（最大航速超过50节）。统计结果显示，高速无人艇数量占主导，低速和中速无人艇数量相当，而超高速无人艇数量极少，且多数为中国研制，彰显了我国在无人艇研制技术上的巨大进步与国际领先地位。

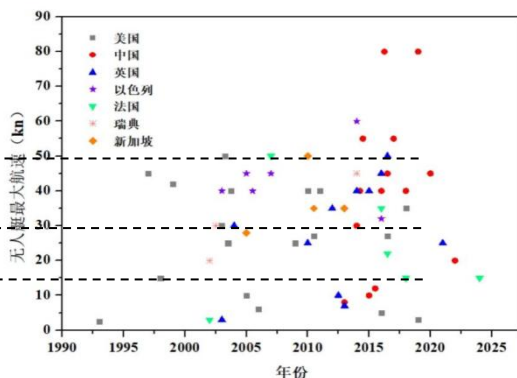


图7 各国无人船艇航速分布

## 4 无人船艇应用前景

在无人艇的设计与研发过程中，船长、航速等参数是关键指标，能够直接影响无人艇的性能、任务能力以及对环境的适应能力。因此，在设计过程中，不仅需要考虑技术实现的可行性，还必须明确其目标任务和应用场景，以确保设计能够满足实际

需求。随着无人船技术的快速发展，其在各个领域中的应用潜力逐渐显现（见图8）。多项研究成果表明，无人船通过搭载先进传感器和智能系统，能够提高效率、降低成本并保障安全，为相关领域带来创新性的解决方案。

李明等<sup>[22]</sup>研究表明，无人船通过配备高分辨率

传感器和智能系统, 能够实现渔业活动的实时监控和非法捕捞的自动识别, 同时提升水环境监测和水产养殖效率; 李能等<sup>[23]</sup>试验发现, 搭载测深系统和水质传感器的无人船, 不仅能够利用实测数据绘制水下地形图, 还可实时采集水质数据进行水库水质评估; 王魏堃等<sup>[24]</sup>研究发现, 结合数字孪生技术的无人船能够高效执行河流断面流速测量、流量估算和洪水应急监测任务, 在水文灾害风险预测中展现出广阔的应用前景; 杨飞等<sup>[25]</sup>提出的智能水上应急救援无人船系统, 能够通过 YOLOv5 深度学习算法进行落水人员识别, 并采用针孔相机定位算法精

准确定目标位置, 其自动救援模块能在接近目标 1 米内自动抛掷救生圈, 显著提高江河湖泊应急救援的成功率。

综上所述, 无人船技术已在多个领域展现出显著的应用价值。其在渔业监控、水资源管理、应急救援和水文监测等方面的成功实践, 证明了其在提升效率和保障安全方面的潜力。随着技术的不断成熟和应用场景的拓展, 无人船将在军事侦察、海洋资源开发、智能港口作业及深海科研探索等领域发挥关键作用, 成为推动全球水环境治理、水上安全应急及海洋经济发展的新动力。

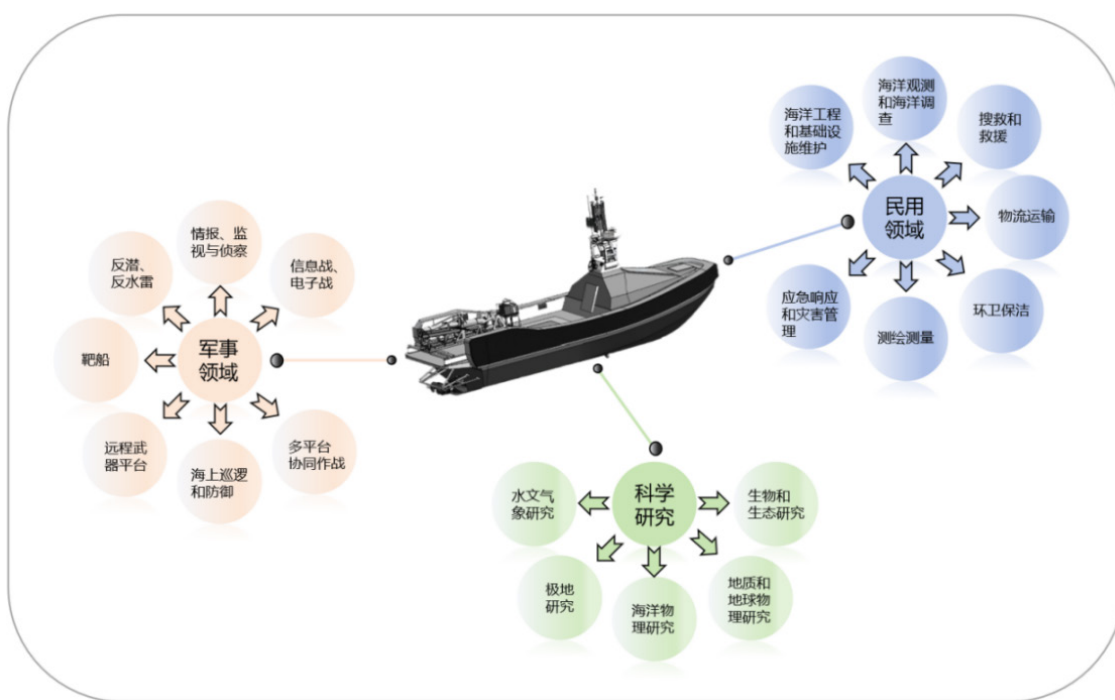


图 8 无人艇应用领域

## 5 结论

无人船艇作为海洋领域的重要装备, 已经从单纯的遥控设备发展为具备高度自主性、智能化的多功能平台。随着智能化、自动化技术的不断提升, 全球无人船的应用领域正呈现出多样化的发展趋势, 涵盖了军事、民用、科研等多个领域。随着技术不断进步, 多艘无人船组成的集群能够通过智能算法实现高效协同作业, 大幅提升任务执行效率与覆盖范围。同时, 无人船与其他平台如有人舰艇、潜艇、无人机等的深度协同将成为趋势, 借助高速通信网络和数据共享机制, 实现信息实时交互与优势互补。

未来无人船将朝着绿色能源驱动、高度自主集群协同控制方向演进, 通过智能感知网络与边缘计算实现跨平台数据协同与实时响应, 在海洋监测、环境保护、军事侦察、搜救等方面发挥更大作用, 成为海洋产业与国防现代化的重要支撑。

## 参考文献

- [1] 张树凯, 刘正江, 张显库, 等. 无人船艇的发展及展望[J]. 世界海运, 2015, 38(9):8.
- [2] 张韩西子, 倪海参, 石正坤, 等. 水面无人艇发展趋势及关



- 键技术展望[J].舰船科学技术, 2024, 46(8):108-111.
- [3] 陶雯.国外无人水面艇发展研究[R].中国电子科技集团公司第三十六研究所, 2010.
- [4] 张文拴,李争,郑瑶.国内外无人船发展现状及研发趋势[J].舰船科学技术, 2024,46(15):79-83.
- [5] 王石,张建强,杨舒卉,等.国内外无人艇发展现状及典型作战应用研究[J].火力与指挥控制, 2019, 44(2):5.
- [6] 侯瑞超,唐智诚,王博,等.水面无人艇智能化技术的发展现状和趋势[J].中国造船, 2020, 61(S01):10.
- [7] 林龙信,张比升.水面无人作战系统技术发展与应用[J].鱼雷技术, 2018, 026(002):107-114.
- [8] 聂玲, 张玲玲.无人船艇关键技术及未来发展趋势[J].船舶物资与市场, 2022, 30(7):12-14.
- [9] 李家良.水面无人艇发展与应用[J].火力与指挥控制, 2012, 37(6):5.
- [10] 李本江,高孟,罗向前.美反潜无人艇作战使用分析[J].舰船电子工程, 2012, 32(8):3.
- [11] 温俊华. 美国军民两用“无人水面和水下航行器” Submaran S10 [EB/OL]. (2017-09-20)[2018-03-21].
- [12] 张安民,周健,张豪.水面无人艇环境感知技术及应用发展[J].科技导报, 2021, 39(5):106-116.
- [13] 杨文韬.世界无人水面艇发展综述[J].现代军事, 2014(10):3.
- [14] 柳晨光,初秀民,吴青,等.USV 发展现状及展望[J].中国造船, 2014, 000(004):194-205.
- [15] Caccia M, Bibuli M, Bruzzone G, et al. Charlie, a testbed for USV research[J].IFAC Proceedings Volumes, 2009, 42(18):97-102.
- [16] 刘铁军,刘文远. 航天新光无人船 奉献科技奥运[J].航天工业管理, 2008, (08):1.
- [17] 及铁嵘.云洲智能:“万能”无人船[J].创业邦, 2014, 000(008):40-41.
- [18] 廖静.水上机器人惊艳面世 全球最快无人艇“天行一号”[J].海洋与渔业, 2018(8):2.
- [19] 王瑟.水面无人艇控制系统设计与实现[D].华中科技大学, 2017.
- [20] 刘继鹏.欠驱动水面无人艇的协同控制研究[D].华中科技大学, 2017.
- [21] 邓启文,刘书雷,沈雪石.无人装备发展新动向及影响研究[J].装备学院学报, 2016, 27(1):4.
- [22] 李明,谈名名,蒋朝伟,等.无人船在渔业智慧监管领域的研究与应用综述[J].农业工程学报, 2024, 40(22):1-13.
- [23] 李能能,张廷华,程紫微,王世杰,戴晓平,白晶,张天贝,肖峰.无人船巡航在水下地形测绘与水质监测中的应用研究[J/OL].环境保护科学. 2024-11-26 16:21:42.
- [24] 王魏堃,戴诗奇.新型智能无人船在水文灾害风险预测中的研究与应用[J].治淮, 2024(5):30-32.
- [25] 杨飞,王国永.水上应急救援无人船关键技术应用及实验研究[J].科技创新与应用, 2024, 14(4):50-54.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**