

水下无人系统 及其装备发展论证

Shuixia Wuren Xitong Jiqi Zhuangbei Fazhan Lunzheng

陈强 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



扫码添加我的微信，我拉你进读书交流群



扫码关注公众号：老高书单

QQ:415163919 网址：www.gaomengze.com

水下无人系统及其装备发展论证

陈 强 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了水下无人系统装备和技术的基本知识;针对水下无人系统装备发展宏观论证、装备型号研制立项综合论证和装备预研项目立项综合论证三种论证类型,阐述了军事需求分析、主要作战使用性能和战术技术指标论证,以及装备研制(预研项目)方案论证和评估的内容、思路、流程和方法等,并给出了部分论证应用示例。本书可作为从事水下无人系统装备论证、研制、管理和使用的科技人员、管理人员和部队使用人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水下无人系统及其装备发展论证/陈强编著.—北京:
国防工业出版社,2018.4
ISBN 978-7-118-11566-6

I. ①水… II. ①陈… III. ①可潜器—研究
IV. ①U674.941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 066521 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天津嘉恒印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 14¼ 字数 262 千字

2018 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

自序

水下无人系统体现了海军装备信息化、智能化、无人化和网络化的发展趋势。水下无人系统的发展和部署使用,将会深刻改变未来海上战争形态和作战样式。了解和深刻领会水下无人系统及其装备发展特点和规律,对于水下无人系统装备论证、研制、使用和保障具有重要意义。水下无人系统装备发展论证,是以军事需求为牵引,以国家科学技术和经济发展水平为依据,通过科学的理论和方法,对其装备发展进行系统分析、设计和评估的活动。水下无人系统装备发展论证研究成果,对于确保水下无人系统装备健康发展和科学使用具有非常重要的意义。吸收和借鉴国内外水下无人系统装备发展研究成果,归纳和总结水下无人系统装备发展论证工作经验,对于促进我国水下无人系统装备健康发展,以及更好地开展水下无人系统装备发展论证、研制和使用保障工作具有积极意义。

全书共分九章。第一章水下无人系统发展概述,主要描述水下无人系统概念,国外水下无人系统发展历程和概况、主要做法和发展趋势,水下无人系统地位和作用。第二章水下无人飞行器,主要描述典型水下无人飞行器,水下无人飞行器组成及功能、特性和参数、基本特征、主要特点、使命任务和装备划分。第三章水下无人系统,主要描述典型水下无人系统,水下无人系统的组成和功能、特性和参数、使命任务和装备划分。第四章水下无人系统技术,主要描述水下无人系统技术构成、技术作用和关键技术。第五章水下无人系统自主性和自主技术,主要描述水下无人飞行器系统自主概念、自主与控制能力、自主等级,无人系统自主技术现状和未来发展等。第六章水下无人系统装备发展论证背景知识,主要描述水下无人系统装备发展论证所需的背景知识。第七章水下无人系统装备发展军事需求分析,主要描述宏观论证、型号研制立项论证和预研项目立项论证中的军事需求分析。第八章主要作战使用性能论证,主要描述型号研制立项论证中的主要作战使用性能要求论证和战术技术指标论证。第九章水下无人系统装备发展方案论证及评估,主要描述水下无人系统装备研制初步总体方案论证,初步总体方案与装备效能评估,以及水下无人系统预研项目方案论证和项目研究预期结果评估。

在本书编撰过程中,引用了国内外有关书籍、研究报告和技术资料的相关内

容,对主要引用的成果和技术资料在相关章节中列出了相应的参考文献。作者对能引用他们的成果感到十分荣幸并表示由衷的谢意,对相关资料的著作权方表示衷心感谢。特别要感谢中国船舶重工集团 714 所提供的国外水下无人系统装备发展技术资料。

由于作者水平有限,对一些问题的理解还不深刻,书中不当之处敬请读者批评指正。

作者
2017年6月

目 录

第一章 水下无人系统发展概述	1
1.1 引言	1
1.2 水下无人系统概念的建立	1
1.3 国外水下无人系统发展历程和概况	2
1.3.1 发展历程	2
1.3.2 发展概况	4
1.4 国外水下无人系统发展主要做法	8
1.5 国外水下无人系统发展趋势	12
1.6 水下无人系统地位和作用	16
第二章 水下无人航行器	18
2.1 引言	18
2.2 典型水下无人航行器	18
2.2.1 Remus 系列航行器	18
2.2.2 “金枪鱼”系列航行器	25
2.3 水下无人航行器组成及功能	32
2.4 水下无人航行器特性和参数	35
2.5 水下无人航行器基本特征	36
2.6 水下无人航行器主要特点	37
2.7 水下无人航行器使命任务	37
2.8 水下无人航行器装备划分	41
第三章 水下无人系统	44
3.1 引言	44
3.2 典型水下无人系统	44
3.2.1 先进水下作战系统	44
3.2.2 远期水雷侦察系统	45
3.2.3 持久濒海水下监视系统	48
3.2.4 分布式敏捷反潜系统	50
3.3 系统及体系结构的概念和属性	52

3.3.1	系统的概念和属性	52
3.3.2	体系结构的概念和属性	53
3.4	水下无人系统的组成和功能	56
3.4.1	水下无人系统的组成	56
3.4.2	水下无人系统的功能	56
3.5	水下无人系统特性和参数	60
3.6	水下无人系统使命任务	61
3.7	水下无人系统装备划分	62
第四章	水下无人系统技术	65
4.1	引言	65
4.2	水下无人系统技术构成	65
4.3	水下无人系统技术作用	69
4.4	水下无人系统关键技术	70
第五章	水下无人系统自主性和自主技术	72
5.1	水下无人航行器系统自主性	72
5.1.1	水下无人航行器系统自主概念	73
5.1.2	水下无人航行器自主与控制功能分配	73
5.1.3	水下无人航行器自主与控制能力	77
5.1.4	水下无人航行器自主等级	80
5.2	无人系统自主技术	90
5.2.1	无人系统自主技术定义描述	91
5.2.2	无人系统自主技术现状	92
5.2.3	无人系统自主技术未来发展	93
5.2.4	无人系统自主能力中的关键问题	96
第六章	水下无人系统装备发展论证背景知识	99
6.1	引言	99
6.2	水下无人系统装备发展论证类型	99
6.2.1	水下无人系统装备发展宏观论证	100
6.2.2	水下无人系统装备型号研制论证	102
6.2.3	水下无人系统装备预研项目立项论证	102
6.3	水下无人系统装备任务知识	104
6.3.1	水下无人系统装备任务及分解	104
6.3.2	水下无人系统装备任务功能	107
6.3.3	水下无人系统装备任务能力	108

6.4	武器装备效能评估知识	119
6.4.1	武器装备效能的定义	119
6.4.2	武器装备效能度量的分类	120
6.4.3	武器装备效能评估的步骤	121
6.4.4	武器装备效能评估的方法和模型	121
第七章	水下无人系统装备发展军事需求分析	124
7.1	引言	124
7.2	宏观论证中的军事需求分析	124
7.3	型号研制立项论证中的军事需求分析	126
7.3.1	军事需求分析内容和流程	126
7.3.2	威胁目标分析	126
7.3.3	战场环境分析	128
7.3.4	使命任务分析	129
7.3.5	作战对象/目标分析	130
7.4	预研项目立项论证中的军事需求分析	131
第八章	主要作战使用性能论证	133
8.1	引言	133
8.2	主要作战使用要求论证	133
8.2.1	主要作战使用要求论证的内容和流程	133
8.2.2	水下无人航行器系统基本组成和功能	133
8.2.3	水下无人航行器系统总体作战使用要求	134
8.2.4	水下无人航行器系统主要作战使用环境与条件	135
8.2.5	水下无人航行器系统使用方式分析	136
8.2.6	水下无人航行器系统装备使用流程分析	138
8.2.7	水下无人航行器系统任务能力要求论证	141
8.3	主要战术技术指标论证	145
8.3.1	主要战术技术指标的分类	145
8.3.2	主要战术技术指标的论证要求	145
8.3.3	主要战术技术指标的论证流程	146
8.3.4	主要战术技术指标的作用和意义	147
8.3.5	主要战术技术指标的特征	147
8.3.6	水下无人航行器系统特征性指标论证	147
8.3.7	水下无人航行器系统通用性指标论证	150
8.3.8	水下无人航行器系统主要战术技术指标体系	156

第九章 水下无人系统装备发展方案论证及评估	160
9.1 引言	160
9.2 水下无人系统装备宏观发展方案论证及评估	160
9.2.1 水下无人系统装备宏观发展方案论证	160
9.2.2 水下无人系统装备宏观发展方案评估	161
9.3 水下无人系统研制初步总体方案论证及评估	162
9.3.1 水下无人系统研制初步总体方案论证	162
9.3.2 水下无人系统研制初步总体方案及装备效能评估	171
9.4 水下无人系统装备预研项目方案论证及评估	181
9.4.1 预研项目研究范畴和基本定位	181
9.4.2 预研项目立项论证的内容、思路、流程和方法	182
9.4.3 预研项目方案论证	184
9.4.4 预研项目预期结果评估	185
附录一 美军水下无人航行器主计划简介	186
附录二 美军无人系统路线图简介	202
附录三 美军无人系统路线图及水下无人系统研发部署时间综合表	210
附录四 美军水下无人系统军事需求	213
附录五 论证的基本知识和论证方法	215
附录六 有关术语、定义和释义	216

第一章 水下无人系统发展概述

1.1 引言

无人系统是美国国防部在2007年12月颁布的《2007—2032年无人系统路线图》中正式提出的概念。无人系统包含无人机系统、无人地面车辆和无人海上系统,无人海上系统包含水面无人系统和水下无人系统^[1]。美军已经将无人系统赋予了军事用途,将其视为美军武器装备的重要组成部分。如无特别说明,本书所说的无人系统是指军用无人系统,水下无人系统是指军用水下无人系统。水下无人系统是全军武器装备的重要组成部分,也是海军装备的重要组成部分。发展指的是事物由小到大、由简单到复杂、由低级到高级、由旧到新的运动和不断变化的过程。水下无人系统的发展过程经历了与其他武器装备大致一样的发展过程,并且仍处于快速发展的上升通道,其发展历程是武器装备发展的缩影。

1.2 水下无人系统概念的建立

美国国防部在《2007—2032年无人系统路线图》中对无人系统给出了有效定义。无人平台是一种带有动力的不载驾驶员的运载器,可以自主操作或遥控操作,可以是一次性的或是可回收的,可搭载致命或非致命的任务载荷。但是,弹道或半弹道运载工具、巡航导弹、炮弹、鱼雷、水雷、卫星和自主传感器(无推进装置)均不属于无人平台。无人平台是无人系统的主要组成部分。

人们常将舰艇动力视为舰艇的“心脏”,舰艇声呐、雷达视为舰艇的“耳目”,舰艇通信系统视为舰艇的“耳目和神经系统”,舰艇指挥控制系统视为舰艇的“大脑”。这种将舰艇装备拟人化的描述和表达,易于人们认识和理解舰艇装备的地位作用和组成及功能。同样将无人平台称为机器人或智能机器人,能更好地理解 and 认识无人平台及无人系统的地位作用和组成及功能。美国国家标准与技术研究所(NIST)于2008年发布的无人系统自主分级方案中,给出了无人系统的定义:“一个装有动力装置的物理系统,主要部件上没有操作人员,为实现分配的任务而作用于物理世界。它可以是移动的,也可以是固定的。导弹、火箭

及其弹药以及火炮不被视为无人系统。”该定义的含义：一是它是机器人装置，上面不能搭载人员，机器人装置是无人系统中接受任务并对既定目标开展行动的主要实体。二是通常会存在人机交互装置，并且是系统功能的组成部分，用于给无人系统指定和分配目标。在各种应用领域中，人机交互装置可以被称为操作控制装置。三是当需要采用有人或无人子系统来完成目标时，这些系统就属于无人系统的一部分。当然，在完成目标的背景下它们必须担当辅助性角色。这里的有人子系统可以是搭载舰艇或飞机等，无人子系统可以是机器人的布放回收装置和能源补给装置等^[2]。为了充分体现无人系统的广泛军事用途和武器装备本质属性，本书综合以上两种定义，对无人系统给出如下定义：无人系统是以机器人为主体的系统。它是指一个装有动力装置的物理系统，主要功能部件上没有操作人员，该物理系统为实现分配的任务而作用于物理世界。

水下无人系统是以水下机器人为主体的无人系统。水下机器人包括水下无人航行器(Unmanned Underwater Vehicle, UUV)或自治式无人潜器(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)、遥控无人潜器(Remotely Operated Vehicle, ROV)、海底无人值守的智能传感装置等。辅助部分包括人机交互的操控装置和布放回收等使用保障装置。水下无人系统主要是以水下无人航行器为主体的无人系统。这里的“主要”是指不排除由遥控无人潜器构成的水下无人系统，也不排除由水下无人航行器和其他武器及传感装置共同构成的水下无人系统。

水下无人航行器是不带电缆或仅带信号光缆的无人潜器，包括航行器和滑翔器，航行器依靠自带能源推进，以航行为主要运动方式；滑翔器自带少量电能或通过海水温差能作为动力，借助艇体上的水平翼，以水下滑翔为主要运动方式。水下无人航行器以自主控制为主，偶尔借助人员遥控操作。遥控无人潜器以人员遥控操作为主，操作人员一直在控制回路中对其进行监视和操作。本书重点阐述以水下无人航行器为主要骨干构成的水下无人系统的装备发展及其装备发展论证问题。

1.3 国外水下无人系统发展历程和概况

1.3.1 发展历程

水下无人航行器已有 50 多年发展历史。20 世纪 50 年代末为无人无缆潜器诞生期，美国华盛顿大学应用物理实验室开始研发世界上第一艘水下无人航行器，即 SPURV(Self Propelled Underwater Research Vehicle(s))无人无缆潜器。这艘潜器排水量 480kg，航速可到 4kn，航行时间约 6h，最大深度 3000m，主要承

担水文调查任务。六七十年代为发展缓慢期,从60年代中期起,人们开始对无人无缆潜器产生兴趣,美国等国家开始研发无人无缆潜器。70年代进入自治式潜器特殊应用时期,典型产品如先进无人搜索系统 AUSS 等。

20世纪八九十年代为水下无人航行器概念原型开发、试验、使用时期,从1988年到1994年,美国海军研究单位以及有关大学、公司,积极研究和开发水下无人航行器技术,不断进行理论和试验的探索性研究。1988年,美国海军和美国国防部高级研究计划署(DARPA)制订了第一个《水下无人航行器发展主计划》。1990—2000年为军用水下无人航行器迅速发展时期,1994年美国海军研究局制定了《1995—2010年十五年水下无人航行器科学技术》规划,明确了水下无人航行器的优先使命为反水雷、监视、情报搜集和战术海洋测量等,主要研究方向为能源和推进技术、制导和控制技术、精确导航技术、水声通信技术和主被动隐身技术。1996年,美国海军制订《2000—2035年美国海军技术》规划,将水下无人航行器技术列为重大项目,并提出了相应的技术要求。该时期典型产品如近期水雷侦察系统、Hugin 3000水下无人航行器、“海马”水下无人航行器、“斯洛克姆”滑翔器、“海洋滑翔者”滑翔器、潜用“飞行插头”水下无人航行器等。

2000—2010年为商业市场增长和军事应用推广时期,2000年4月美国海军提出了2030年前水下无人航行器发展主计划。主计划明确了水下无人航行器在军事应用方面的7类使命、4种作战的特征能力,以及主要关键技术,对技术领域进行了风险评估,确定了2030年前水下无人航行器发展路线图。7种使命包括情报监视侦察、反水雷、气象学和海洋学、通信和辅助导航、反潜战、自治武器平台、后勤支援和补给。4种作战特征能力,即海上侦察能力、水下搜索和测量能力、通信/辅助导航能力和潜艇跟踪及循迹能力。主要关键技术包括通信、导航、能源、推进器、任务设备、传感器、数据处理和自主等技术。2004年9月美国海军又提出了新的主计划,提出了9类使命任务,包括情报监视侦察、反水雷、反潜战、检查与识别、海洋调查、通信和导航网络节点、载荷输送、信息战和时敏目标打击。主要关键技术包括自主、能源、传感器和传感器处理、通信与网络和交战/人工干预等技术。该计划提出要研发便携式(排水量小于45kg)、轻型(排水量226kg左右)、重型(排水量1350kg左右)和巨型(排水量10t左右)4个级别的水下无人航行器,它们在任务载荷、标准及其他通用系统方面有尽可能多的共同点。该时期典型产品如“金枪鱼”(Bluefin)-21BPAUV、REMUS 6000、REMUS 600和“护身符”等水下无人航行器。在2003年“自由伊拉克行动”中,美国海军第一特种清扫队使用REMUS 100水下无人航行器对乌姆盖斯尔港口航道进行雷区探测,标志着水下无人系统使用迈上了一个新台阶。

2010年后是水下无人系统概念逐渐成熟和装备快速发展时期,2007年12月美军以正式文件的形式明确提出无人系统概念,美国国防部颁布了具有划时代意义的无人系统路线图,即《2007—2032年无人系统路线图》,将无人机系统、无人地面车辆和无人海上系统的发展相结合,首次提出了统一的无人系统路线图。明确表示未来25年美国将逐步组建一支完善和先进的无人系统部队,实现与有人系统及无人系统之间的无缝链接,在动态环境中既可独立承担任务,也可与其他作战单元协同完成复杂任务。此后,美国国防部先后颁布了《2009—2034年无人系统路线图》《2011—2036年无人系统综合路线图》《2013—2038年无人系统综合路线图》等,即每隔两年更新无人系统路线图。该时期美军水下无人系统研发和部署快速发展,典型产品为“持久濒海水下监视系统”(PLUS-Net)、深海作战系统、LDUUV大型水下无人航行器、先进水下作战系统、“海德拉”水下无人预置系统等。2014年4月美国使用“蓝鳍金枪鱼”系统在南印度洋搜索失事的MH370飞机。2016年12月15日美国海军侦察船“鲍迪奇”号(Bowditch)在南中国海苏比克湾附近投放一艘“斯洛克姆”滑翔器实施海洋环境参数测量,被我国海军“南救510”号打捞救生船查获。这些水下无人系统的实用事例,让世人再一次领略了水下无人系统在军事领域中的应用,也初步显现了其在海军装备中的地位和作用。

1.3.2 发展概况

以下按照时间段给出国外典型水下无人系统发展概况^[3]。

1. 1960—1980年

1973年,美国海军海洋系统中心开始研发先进无人搜索系统 AUSS,以应对美国海军“长尾鲨”号和“蝎子”号核潜艇沉没以及氢弹丢失在海底这类事件。1983年 AUSS 完成制造并下水,1994年交给海军海难救助公司和潜水部。1987年,人们称无人无缆潜器为 AUV(Autonomous Underwater Vehicle),翻译为自治式潜器或水下无人航行器。20世纪七八十年代,美国麻省理工学院开发了6个 Odyssey AUV,1994年进行了冰下作业;美国伍兹霍尔海洋研究所开发了 ABE AUV,完成了第一次科学研究任务。

2. 1980—2000年

(1) 美国。近期水雷侦察系统由美国诺斯罗普·格鲁曼公司于1994年开始研制,该系统含有2艘重型鱼雷大小的水下无人航行器,主要承担探测水雷任务,1999年底作为“洛杉矶”级攻击型核潜艇的制式装备交付美国海军海上系统指挥部。美国波音公司于1999年开始承担远期水雷侦察系统研发工作,该系统由近期水雷侦察系统改进而成,第一套系统于2002年11月交付美国海军。美

国国防部高级研究计划署和宾夕法尼亚大学于 1997 年开始牵头研制“海马”水下无人航行器,第一艘于 2000 年交付美国海军。2000 年,在美国伊里湖对“海马”进行了首次试验。2001 年,“海马”先后搭载在美国海军的 T-AGS 64 和 T-AGS 60 海洋调查船上,在墨西哥湾进行了海上试验。2003 年 1 月,美国海军“佛罗里达”号(原 SSBN-728,现改为 SSGN)核潜艇使用弹道导弹发射管对“海马”进行了发射试验(图 1-1(a))。美国海军水下作战中心于 1996 年提出“曼塔”水下无人航行器方案。该航行器主要任务是:侦察和探测敌潜艇;攻击敌潜艇;在两栖作战中,由攻击型核潜艇携带,沿海浅水区隐蔽进行各种探测、侦察。2000 年 8 月和 9 月间进行了包括一个基本情报/监视和侦察(ISR)载荷及通信作业的试验。2001 年进行了包括热学成像仪、雷达侦察仪和无线以太网通信系统等的试验。2002 年,美国提出了潜艇整体化保形携带大型“曼塔”的概念设想(图 1-1(b))。美国韦伯研究公司于 1992 年开展“斯洛克姆”滑翔器研制工作,1995 年研制出滑翔器样机,1998 年进行了水域滑翔试验,2003 年成功在巴拿马进行了海试,2005 年韦伯研究公司宣布“斯洛克姆”温差能滑翔器研制成功,2006 年 11 月美国海军首次从“布法罗”号核潜艇的干式遮蔽舱中布放了一艘“斯洛克姆”滑翔器。该滑翔器工作时间 5 天,在夏威夷瓦胡岛海域搜集并传回了大量海洋环境信息。

(2) 加拿大。加拿大 ISE 公司为美国和加拿大国防部开发了 Theseus UUV(图 1-1(c))。1996 年,该型 UUV 在 500m 冰下成功敷设 190km 光纤电缆,执行任务总行程 365km,所用时间 50h。

(3) 英国。英国南安普顿海洋研究中心研发的 Autosub UUV 用于科学家监视海洋,1998 年完成第一次科学研究任务。

(4) 挪威。挪威 Kongsberg Simrad 公司研发的 Hugin 3000 UUV 于 2000 年交付给美国 C&C 公司(图 1-1(d))。

3. 2000—2010 年

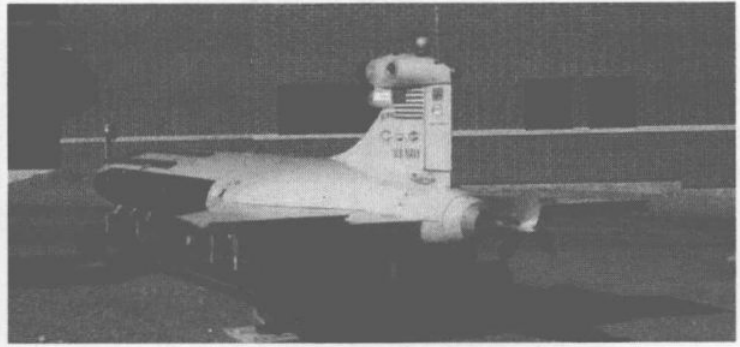
该时期,世界先进海洋国家大力研发和装备水下无人航行器及其系统。

(1) 美国。BPAUV 系统由美国海军研究所和金枪鱼(Bluefin)机器人公司于 2000 年后开始研发。主要承担濒海作战中的水雷探测和猎扫、环境情报收集、水中爆炸物探测、海底探察和监视等任务,为战场准备提供支持。美国海军在 2005 年购入一套“金枪鱼”-21 BPAUV,首套系统于 2006 年交付,装备于濒海战斗舰首舰“自由”号上进行了测试,并在 2007 年再购入一套配备于濒海战斗舰的二号舰“独立”号上。

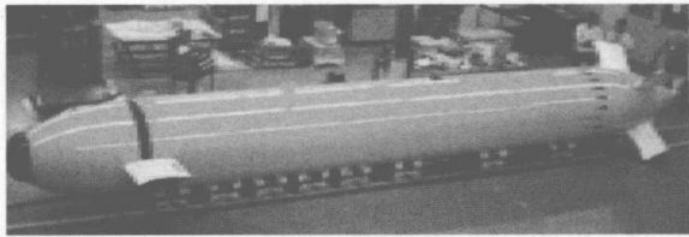
(2) 英国。“护身符”航行器由英国 BAE 系统公司水下系统部研发。主要承担反水雷、海底测量和战术海洋学等任务。首艘于 2006 年交付,在 2006 年 11



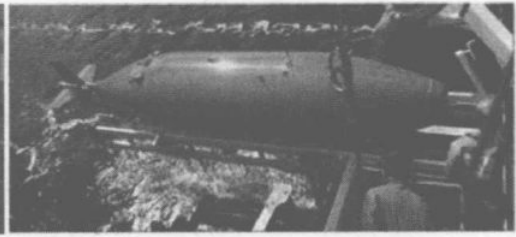
(a) 美国“海马”UUV改进型



(b) 美国“曼塔”UUV



(c) 加拿大Theseus UUV



(d) 挪威Hugin 3000 UUV

图 1-1 国外 UUV 外观图

月进行了一次海试并取得突破性进展,首次在海面上遥控发射了“喷水鱼”灭雷具。

(3) 法国。阿里斯特(Alister)3000 航行器由法国 ECA 公司在 2001 年 4 月开始研发。主要承担水下结构检查、辅助海底管线敷设、海底调查等任务。2002 年底完成研制,并在地中海首次对其进行了海上试验。

(4) 德国。“海獭”MK II 航行器由德国 ATLAS 公司消化吸收了原丹麦马丁公司 MARIDAN 600 航行器技术后研制而成。军事上主要承担反水雷、反潜战、情报/监视和侦察、快速环境评估、检查、救生、水面情报收集、反恐和部队保护、海上安全和特种部队支持等任务。民用上主要承担海上石油和天然气田调查、海底矿物勘察、海底通信电缆线路勘察和敷设后检查、海底管线预敷设线路勘察、搜索和救援、海洋学调查作业任务等。2005—2006 年,“海獭”MK II 成功完成了多次海上猎雷试验。

(5) 挪威。“休金”1000 航行器由挪威国防研究机构和 Kongsberg 公司联合研制。在军事应用方面,主要承担反水雷、快速环境评估、反潜战等任务。在民用方面,主要承担港口、海上石油设施、海底电缆管线和海底各种军事设施的监视及检查等任务。2001 年开始,挪威海军将 Hugin 概念引入反水雷任务中,用于探测锚雷和沉底雷。首套系统于 2005 年交付挪威海军。

(6) 加拿大。Explorer 航行器由加拿大国际水下工程公司于 2001 年开始研发。主要承担海洋水文调查等任务。2004 年第一艘交付给法国研究局,2006 年

第二艘完成了 5000m 深度的海洋科学试验,证明其具有高可靠性和低运行成本。

(7) 日本。r2D4 航行器由日本东京大学研究和开发,由三井工程和造船公司完成硬件制造。主要承担三维海底地形构造观察、海水层大范围监测等任务。2003 年 7 月,完成硬件制造和软件组装并下水。2005 年 8 月,进行了海底测量试验,应用侧扫声呐拍摄了大量照片,CTD 测量仪也带回了数据。URASHIMA 航行器由日本海洋科学技术中心于 1998 年开始研发。主要承担海水采样、海底地形、海底构造等调查和测量任务。2000 年 3 月底三菱重工完成首艘建造,并交付给日本海洋科学技术中心。2000 年后开展了多项海上试验,包括水声通信图像传输、燃料电池、深潜、远航程试验。

4. 2010 年至今

美国是研究和开发水下无人航行器最早、产品类型和研究单位最多、技术水平最高的国家,也是首次提出无人系统概念并首次制定无人系统路线图的国家。2000 年后,美国已经具备了将不同类型水下无人航行器构成水下无人系统协同执行任务的能力。2007 年后,美国加快了水下无人系统研发和部署的步伐。

美国海军研究局于 2006 年开始组织研发“持久濒海水下监视系统”(PLUS-Net)。该系统由多个固定式和移动式传感器节点及通信节点组成,由 SSGN 核潜艇搭载部署。主要任务是水文测量、海底成像、海洋噪声和水下目标噪声侦测,生成濒海环境态势图。估计该系统已形成初始作战能力。美国海军研究局于 2011 年提出研发 LDUUV 大排水量航行器,该航行器长 13.5m,直径 1.5m,通过水面、水下和空中平台投放,能够长时间在水下停留,携带 MK54 型鱼雷等武器。除了能够执行情报监视侦察、水下搜索与监视、中继通信、辅助导航、反水雷等任务外,更重要的是由于任务载荷容量增大将具备跟踪潜艇能力。美国国防部高级研究计划署于 2011 年提出“深海作战系统”项目,即目前所说的分布式敏捷反潜系统(DASH)中的“鲨鱼”子系统(SHARK)。2013 年 4 月的试验表明,水下无人航行器的通信和机动探潜能力能够满足分布式敏捷反潜概念的需要。2016 年 5 月,分布式敏捷反潜系统中的“鲨鱼”子系统完成了海试,估计近期将会部署使用。美国国防部高级研究计划署于 2011 年提出“海德拉”(Hydra)项目和 UFP 项目。“海德拉”系统是一种新型的可包含无人飞行器、无人航行器、传感器和武器的水下无人预置系统。主要用于在局部海域内实施隐蔽突袭作战。系统激活后可释放无人飞行器、导弹或无人航行器、鱼雷等,对附近海空目标实施火力打击。该项目仍处于开发中。UFP 系统是一种深海水下无人预置系统,主要用于在局部海区内建立信息战系统。系统的深海耐压舱内布置一个或多个运载器,系统在收到指令时,将运载器从置于水下的 UFP 节点中布放,运