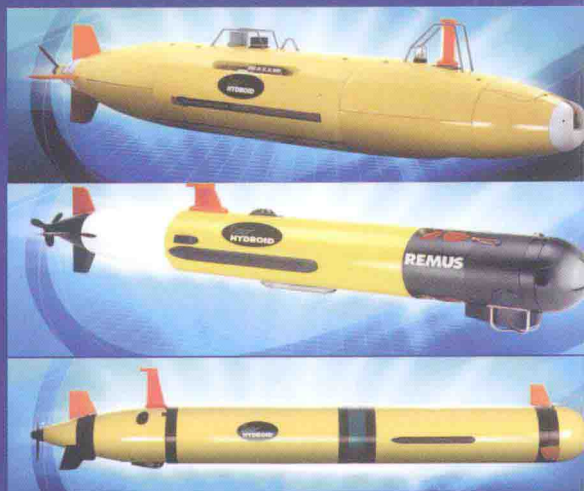


陈强 编著

水下无人航行器

Unmanned underwater vehicle



国防工业出版社

National Defense Industry Press

水下无人航行器

陈强 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是关于水下无人航行器的发展、性能、构造、基本原理、基本知识和装备技术发展诸多方面的专著。

本书介绍了国外水下无人航行器的发展历程、发展特点和发展趋势;描述了水下无人航行器的主要用途、工作模式、主要特点和基本特征;论述了水下无人航行器装备定位、系统组成、功能、性能、构造;总结提出了水下无人航行器技术的内涵、分类和作用意义,以及水下无人航行器装备总体、系统和设备的基本工作原理与专业知识,并给出了国外在相关技术领域的应用实例。

本书内容丰富,资料翔实,涉猎技术领域多,可作为从事水下无人航行器装备论证、研制、管理和使用的科技人员和管理人员的参考书和工具书,也可作为水下无人航行器相关专业的本科生和研究生教材,还可作为相关专业人员解决实际问题的参考,有助于广大军事爱好者认识和了解水下无人航行器。

图书在版编目(CIP)数据

水下无人航行器/陈强编著. —北京:国防工业出版社,
2014. 1
ISBN 978-7-118-09135-9

I. ①水... II. ①陈... III. ①无人驾驶—可潜器—
研究 IV. ①U674. 941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 271339 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 21½ 字数 492 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 58.00 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

序

水下无人航行器是一种不依赖母船供电、遥控或自主控制、能回收和反复使用、能长期在水下自推进航行或滑翔的无人潜器。通过配置任务载荷执行作战或作业任务。具有使用风险低、任务重构能力强、隐蔽性好、成本低、作业效率高、使用灵活等特点。水下无人航行器在海洋科学调查、海上石油开发、水下勘察、水下目标探查、海上搜救和打捞等民用方面已开始得到较为广泛的应用。水下无人航行器代表了海上军事装备智能化、无人化和隐身化发展趋势。它可以在对载人平台有高度危险或不可能达到的海域进行活动,延伸载人平台的探测和作战范围。通过与己方水下、岸上、海上、空中、太空的各种情报侦察、预警探测、通信导航、指挥控制等信息支援装备和设施,以及舰艇、飞机等主战装备协同使用和灵活运用,可以为己方兵力提供情报侦察、预警探测、目标指示、信息对抗、通信导航和隐蔽攻击等手段,是海军作战力量的倍增器。

作者长期从事水下无人航行器装备论证研究工作,主持并完成多项水下无人航行器论证课题,多项研究成果被采纳,主持水下无人航行器装备预研、型号科研、军内科研、维修改革等多项课题研究工作,具有较为扎实的武器装备论证理论基础和较为丰富的海军装备知识,熟悉和掌握国内外水下无人航行器装备和技术发展趋势。本书是作者在查阅国内外大量资料基础上,结合长期的水下无人航行器论证研究工作经验,经过资料整理、分析、归纳和筛选之后,再经翻译、撰写、修改、审查和统稿,历经三年独立完成的。

全书共分六章,较全面地介绍了水下无人航行器发展过程、国外典型装备情况、主要用途、工作模式、主要特点、基本特征;论述了水下无人航行器装备定位,总体和主要系统组成、功能、性能及应用情况,国外装备发展特点和发展趋势;分析和阐述了水下无人航行器总体设计理论和方法,各系统基本原理、基本知识和关键技术;总结和归纳了作为机器人特征的水下无人航行器自主性问题,给出了国外自主性研究的重点及应用情况等。这对了解和掌握国外水下无人航行器研发应用的学科理论、借鉴和吸收其产品设计思路和方法、系统和全面地掌握其发展现状和趋势,并促进我国水下无人航行器发展具有非常重要的意义。

本书从武器装备技术推动、需求牵引和发展规律等角度,描述了水下无人航行器的产生背景、主要用途、发展特点和发展趋势,具有思想性;从军事装备学的角度,研究和描述了水下无人航行器的主要特点、基本特征、装备归类、基本功能、使命任务、装备分类和使用方式等涉及装备定位方面的内容,纠正了一些错误认识,澄清了一些模糊概念,具有理论性;从武器装备完整性角度,详细描述了水下无人航行器各系统组成、功能和性能,以及相关配套系统设备,具有系统性;从充分反映水下无人航行器最新科技成果角度,描述了近年来国外水下无人航行器相关学科和专业技术研究领域的理论方法、设计方法、产品特

性、试验方法和结果、应用和使用情况等,具有时代性。

本书以从事水下无人飞行器装备管理和研制人员、相关专业大专院校师生为主要读者对象,兼顾军事爱好者的需求,按照反映和普及装备基本知识,清晰描述装备总体概念和系统构成,充分体现学科理论体系和工程专业技术体系,易于查阅、学习、理解、掌握有关知识要点等要求,由浅入深地展开各章节,具有针对性、学术性和实用性。本书是一部学术专著,读者阅读本书可开阔眼界,扩大知识面,对科技人员做好科研工作将有启迪作用。本书还可作为装备管理、使用、维修人员和相关专业本科生、研究生以及有关业务人员的阅读参考书。预期本书的出版将对推动我国水下无人飞行器的发展做出有益贡献。

李炜

2013年7月于北京

前 言

20 世纪 50 年代末期,美国华盛顿大学应用物理实验室,开始研发世界上第一艘无人无缆潜器——SPURV。该无人潜器 60 年代初期投入作业,70 年代中期才见到成效。80 年代以后,随着微电子、计算机、人工智能和致密能源等高新技术的发展,以及海洋工程和军事方面的需要,水下无人航行器引起国外工业界、科研单位和军方的关注。90 年代后,美国军方投入大量人力、物力和财力,积极发展军用水下无人航行器。2000 年后,国外研发和投入使用的军用水下无人航行器越来越多。尽管水下无人航行器发展历史不长,但其在民用和军事领域的应用正展现出广阔的发展前景。

实施海洋强国战略和开发海洋、利用海洋的热潮,使人们越来越关注海洋技术的发展。水下无人航行器是先进的海洋工程装备,也是新型海上军事装备。目前,国内还没有一本系统介绍国外水下无人航行器发展情况和水下无人航行器技术原理方面的学术专著。针对这方面的潜在需求,作者对多年跟踪国外水下无人航行器发展情况的研究成果进行了梳理,并补充相关研究内容后,经过整理编著形成此书。水下无人航行器是运用高新技术研制的海洋工程装备和海上军事装备,涉及多种学科和工程技术。由于本书是面向不同读者的,要照顾到各方面的要求,在介绍原理性时着重阐述其物理本质,尽量少用数学公式和专业符号表达,以求增加可读性和信息量,便于读者从宏观和整体上了解水下无人航行器涉及的学科和工程技术范围,掌握水下无人航行器的基本概念、基本知识、基本原理和未来可能的发展趋势。

本书第 1 章描述了水下无人航行器基本概念和产生背景,介绍了水下无人航行器发展过程以及美国军方水下无人航行器发展计划,比较全面地介绍了主要国家特别是美国典型水下无人航行器装备发展情况和主要性能情况。第 2 章描述了水下无人航行器在军事和民用方面的主要用途,总结了水下无人航行器工作模式、主要特点和基本特征。第 3 章论述了军用水下无人航行器装备定位,总结和分析了水下无人航行器的归类,分析和提出了军用水下无人航行器基本功能、使命任务、装备分类和使用方式。第 4 章是全书的重点,论述了水下无人航行器总体概念、主要系统组成和功能、航行器载体结构、航行器总体外形、航行器总体布置、航行器主要特性和参数;比较全面地介绍了水下无人航行器能源和推进系统、控制系统、导航系统、通信系统、任务载荷系统和母船(艇)布放回收系统以及相关设备、传感器的功能、作用、性能、特点及应用情况。第 5 章也是全书的重点,总结提出了水下无人航行器技术的内涵、分类和作用意义,论述了水下无人航行器总体技术中的航行器总体设计技术、航行器性能化技术、航行器结构设计与材料应用技术;论述了水下无人航行器能源及推进技术等技术涉及的基本原理和关键技术,给出了研究和应用实例;总结和归纳了作为机器人特征的水下无人航行器自主性问题,包括自主性内涵、自主

性水平描述、自主能力发展需求和发展路线、自主控制组件功能分配、自主控制体系结构、自主导航、国外自主性研究的重点及应用情况等。第6章描述了水下无人飞行器发展趋势和展望。

本书是作者长期探索水下无人飞行器发展的理论和技术问题,并在多年科研实践经验积累的基础上撰写的。很多内容是作者多年研究成果,有些是公开发表的文章,有些内容不一定成熟,有些是针对作者思考和困惑中的问题,在查阅相关科技文献以及专业书籍基础上,经过学习理解、比较分析和总结提炼后形成的。书中的研究成果、思想观点、图表数据、理论模型、框架流程等贡献出来供大家参考。

本书在撰写过程中,汲取了大量的外部资料,包括各国相关研究机构、大专院校、公司的研究报告、会议论文和产品介绍,以及期刊、杂志、网站的信息资料等,还引用了专家学者相关研究成果和技术资料,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。作者对这些专家学者在这一领域所做出的贡献表示崇高的敬意,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!

由于作者水平有限,对一些问题的理解还不准确,书中错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2013年7月

目 录

第 1 章 水下无人航行器发展回顾	1
1.1 水下无人航行器的基本概念	1
1.2 水下无人航行器的产生	1
1.2.1 载人潜器及遥控潜器的发展	1
1.2.2 水下无人航行器的产生背景	5
1.3 水下无人航行器的发展	6
1.3.1 美国水下无人航行器的发展	6
1.3.2 英国水下无人航行器的发展	18
1.3.3 法国水下无人航行器的发展	19
1.3.4 德国水下无人航行器的发展	20
1.3.5 挪威水下无人航行器的发展	21
1.3.6 加拿大水下无人航行器的发展	22
1.3.7 俄罗斯水下无人航行器的发展	24
1.3.8 日本水下无人航行器的发展	26
参考文献	27
第 2 章 水下无人航行器的主要用途及特点	29
2.1 国外水下无人航行器的主要用途	29
2.2 水下无人航行器在民用领域的主要用途	31
2.3 水下无人航行器在军事领域的主要用途	31
2.4 水下无人航行器的工作模式	32
2.5 水下无人航行器的主要特点	33
2.6 水下无人航行器的基本特征	33
参考文献	35
第 3 章 军用水下无人航行器的装备定位	36
3.1 水下无人航行器的归类	36
3.2 军用水下无人航行器的基本功能	38
3.3 军用水下无人航行器的使命任务	39
3.4 军用水下无人航行器的装备分类	40
3.5 军用水下无人航行器的使用方式	42
参考文献	43

第 4 章 水下无人航行器系统	44
4.1 水下无人航行器总体	44
4.1.1 航行器总体概念	44
4.1.2 航行器系统组成和功能	46
4.1.3 航行器载体结构	47
4.1.4 航行器总体外形	47
4.1.5 航行器总体布置	49
4.1.6 航行器主要特性和参数	54
4.2 水下无人航行器能源及推进系统	61
4.2.1 能源系统	61
4.2.2 能源系统应用情况	63
4.2.3 推进系统	64
4.2.4 推进系统应用情况	65
4.3 水下无人航行器控制系统	69
4.3.1 控制系统构成	69
4.3.2 航行器操纵控制(制导/自动驾驶)性能	69
4.3.3 控制处理器软件结构	70
4.4 水下无人航行器导航系统	72
4.4.1 导航系统特点和要求	72
4.4.2 捷联惯导系统	73
4.4.3 水声计程仪	74
4.4.4 罗经	76
4.4.5 全球定位系统	77
4.4.6 捷联惯导/水声计程仪组合导航	77
4.4.7 罗经/水声计程仪组合导航	78
4.4.8 其他组合导航	78
4.4.9 水声定位系统	78
4.4.10 回声测深仪	82
4.4.11 测高仪	82
4.4.12 导航系统和设备综合配置情况	82
4.4.13 导航系统和设备应用情况	84
4.5 水下无人航行器通信系统	85
4.5.1 通信系统特点和用途	85
4.5.2 水声通信	86
4.5.3 无线电通信	88
4.5.4 卫星通信	88
4.5.5 光缆通信	89
4.5.6 以太网通信	89
4.5.7 通信系统综合配置情况	90

4.6	水下无人航行器任务载荷系统	93
4.6.1	任务载荷类别及组成	93
4.6.2	侦察探测和海洋测量设备	95
4.6.3	信息对抗设备	110
4.6.4	水中武器和弹药	111
4.6.5	水下作业工具	112
4.6.6	任务载荷综合配置情况	112
4.6.7	任务载荷应用情况	116
4.7	水下无人航行器布放回收系统	118
4.7.1	水面舰船及其布放回收系统	118
4.7.2	潜艇及其布放回收系统	121
	参考文献	127
第5章	水下无人航行器技术	129
5.1	水下无人航行器技术内涵	129
5.2	总体技术	129
5.2.1	总体设计技术	129
5.2.2	航行性能优化技术	133
5.2.3	结构设计与材料应用技术	181
5.3	能源及推进技术	189
5.3.1	能源技术	189
5.3.2	推进技术	194
5.4	控制技术	198
5.4.1	自动控制理论和技术	198
5.4.2	智能控制理论和技术	201
5.4.3	控制在航行器中的应用	206
5.5	导航技术	214
5.5.1	捷联惯性导航技术	214
5.5.2	水声导航技术	219
5.5.3	卫星导航技术	223
5.5.4	组合导航技术	227
5.5.5	协同导航技术	231
5.6	通信技术	236
5.6.1	通信系统概述	237
5.6.2	海军通信技术特点	239
5.6.3	航行器通信技术特点	240
5.6.4	水声通信技术	240
5.6.5	无线电通信技术	252
5.6.6	卫星通信技术	253
5.6.7	光缆通信技术	262

5.7	目标探测技术	263
5.7.1	声纳目标探测技术	263
5.7.2	光学目标探测技术	268
5.7.3	电子侦察技术	270
5.7.4	目标协同探测技术	271
5.8	海洋环境观测技术	273
5.8.1	概述	273
5.8.2	水下滑翔器技术	274
5.8.3	水声测量技术	278
5.8.4	水文测量技术	280
5.8.5	海洋观测系统技术	281
5.9	信息对抗技术	283
5.9.1	水声对抗技术	283
5.9.2	电子对抗技术	286
5.10	鱼雷武器发射或布放技术	286
5.10.1	潜艇鱼雷发射装置	286
5.10.2	水下无人航行器鱼雷发射/布放装置	287
5.11	水下作业技术	288
5.11.1	概述	288
5.11.2	机器人及其技术	289
5.11.3	遥控潜器及其技术	290
5.11.4	自主式潜器水下作业技术	291
5.12	舰艇布放回收技术	296
5.12.1	水面舰艇布放回收技术	296
5.12.2	水面无人航行器布放回收技术	299
5.12.3	潜艇布放回收技术	299
5.13	水下无人航行器自主性	304
5.13.1	无人飞行器自主性	304
5.13.2	无人航行器自主性	305
5.13.3	自主控制技术	315
5.13.4	自主导航技术	320
	参考文献	323
第6章	水下无人航行器发展趋势及展望	327
6.1	国外水下无人航行器发展特点	327
6.2	水下无人航行器装备发展趋势	329
6.3	水下无人航行器展望	332
	参考文献	332
	致谢	333

第 1 章 水下无人航行器发展回顾

1.1 水下无人航行器的基本概念

水下无人航行器是由英文 Unmanned Underwater Vehicle(UUV)翻译而来。Unmanned 译为无人, Underwater 译为水下, Vehicle 直译为交通工具、车辆等。对于海上交通工具, Vehicle 可指为船只、潜器等。潜器或潜水器是以水下为主要活动场所的海上交通工具。按照有无人员, 潜器分为载人潜器和无人潜器; 按照控制方式, 无人潜器可分为遥控潜器和自主式潜器。遥控潜器(Remotely Operated Vehicle, ROV), 是在潜器后面拖带电缆, 由操作人员控制其航行和作业的潜器。拖带电缆的 ROV 依靠母船提供能源进行航行和作业, 拖带电缆除了能提供能源外, 还能传输声光信号, 以支持母船控制 ROV 和 ROV 回传周围环境信息、目标信息和自身状态信息。AUV 即自主(治)式潜器(Autonomous Underwater Vehicle), 是自带能源、自推进、自主控制的潜器。它不需要母船通过拖带电缆供电。此时, 母船可通过信号光缆或声、无线电或卫星等通信方式对潜器进行有限监督和遥控, 潜器也可将周围环境信息、目标信息和自身状态信息回传给母船。

本书所说的 UUV 即指自主式潜器。UUV 可译为水下无人航行器、无人水下航行器、无人潜航器、无人潜器和无人水下运载器等, 本书译为水下无人航行器。水下无人航行器是一种可长期潜入水下, 依靠自带能源、自推进、遥控或自主控制, 通过配置任务载荷执行作战或作业任务, 能回收和反复使用的潜器。

1.2 水下无人航行器的产生

1.2.1 载人潜器及遥控潜器的发展

载人潜器, 是配有驾驶员和工作人员, 并由驾驶员在潜器舱内操作的潜器。英文为 Human Occupaied Vehicles(HOVs), 或者 Manned Submersible。主要用于在深海海洋调查、水下探测和打捞等作业, 探测失事舰船和航天飞机, 进行深海观察和海洋科学研究等。

世界上第一艘载人潜器叫 Argonaut, 是由西蒙·莱克于 1890 年制造的。从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期是载人潜器发展的鼎盛时期, 其技术发展得较为成熟, 此后逐渐进入低谷。“阿尔文”(Alvin)号载人潜器(图 1-1), 是美国于 1964 年研制的著名潜器。该潜器重量 17t, 长 7.1m, 宽 2.6m, 高 3.7m, 最大速度 2kn, 巡航速度 0.5kn, 自持力 10h, 可载 3 人, 下潜深度 4500m, 主要用于深海作业。1966 年“阿尔文”号经过深潜 500 次, 发现了从 B-52 飞机上掉入大西洋深海里的氢弹。1986 年测定了失事的“泰坦尼克”号位置。俄罗斯于 2000 年交付了“露西”号载人潜器。该潜器排水量 25t, 长 8m, 宽 3.9m, 高 3.85m, 可载 3 人, 下潜深度 6000m, 经济航速 2.5kn 时的续航力 8n mile, 主要用

于在深海作业。日本 1986 年开始研制“深海”6500 号载人潜器(见图 1-2)。该潜器采用钛合金材料制造,选择了能量密度大、寿命长的油浸锌电池作为动力源,最高航速 2.5kn,可载 3 人,下潜深度 6500m,主要用于在深海调查作业,1989 年成功进行了 6500m 深海试验,并交付给日本海洋科技中心。法国 1984 年研制了“鹦鹉螺”(Nautilus)号载人潜器(见图 1-3)。该潜器长 8m,宽 2.7m,高 3.81m,空气中重 19.5t,活动半径 15km,正常自持力 13h,可载 3 人,下潜深度 6000m,最高航速 1.7kn,用于深海作业。深海作业的载人潜器,一般工作深度在 1000m 以上,装载人员 3~4 人,重量十几吨,航速不高,最大航速小于 4kn,续航力不大,活动半径一般在 20km 以内^[1,2]。

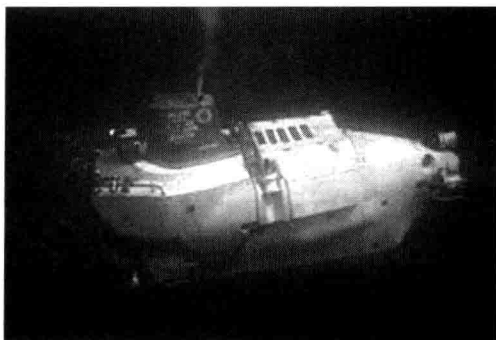


图 1-1 美国“阿尔文”号载人潜器



图 1-2 日本“深海”6500 号载人潜器

深潜救生艇(Deep Submergence Rescue Vehicle, DSRV)是用于对失事潜艇的人员进行水下营救的载人潜器。1966 年,美国开始研制世界上第一艘深潜救生艇“艾瓦隆”(Avalon)号(见图 1-4)。该艇长 15m,直径 2.4m,水面排水量 30t,水下排水量 37t,可容纳 3 名艇员,每次可救 24 人,最大潜深为 1524m,最高航速 5kn,3kn 时续航力为 90n mile,1970 年建成下水。该艇可由核潜艇搭载,在一次潜艇艇员救生演习中,成功搜索到失事潜艇,并将 100 余名艇员成功转运到母艇。继美国之后,苏联、英国、法国、瑞典、意大利、日本等国相继建造了类似的深潜救生艇。深潜救生艇,通常重量为 20~50t,每次可救 10~35 人,航速 3~5kn,续航力 10n mile 以上,最大下潜深度大于 300m^[3]。

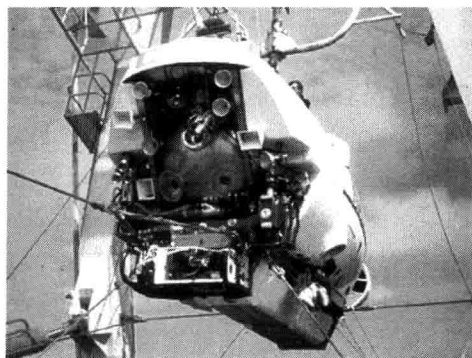


图 1-3 法国“鹦鹉螺”号载人潜器

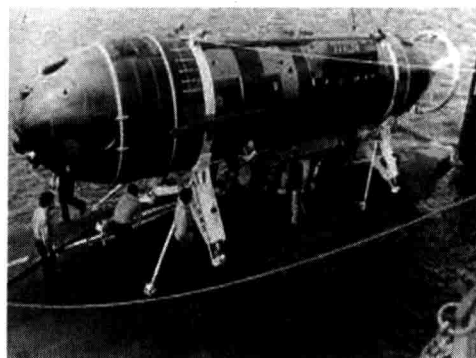


图 1-4 美国“艾瓦隆”号深潜救生艇

遥控潜器(ROV)是一种无人遥控的潜器,主要用于水下探测、深海打捞、救生和海洋科学调查等。1960 年,美国研制成功了世界上第一艘 ROV——CURV1(见图 1-5)。最

初,美国海军将 CURV1 用于寻找丢失在水下的鱼水雷等武器。1966 年,CURV1 与载人潜器配合在西班牙海域成功打捞起一枚氢弹,由此引起了极大的轰动,ROV 技术开始引起人们的重视。1973 年,采用 ROV 成功救出失事潜艇的艇员。另外,当时发生的石油短缺使得油价提高,刺激着近海石油开发业的发展,同时也促进了 ROV 的迅猛发展,ROV 产业已开始形成。随后,ROV 在海洋研究、近海油气开发、矿物资源调查取样、水下打捞以及探雷、猎雷、灭雷等方面都获得广泛的应用。

1988 年美国研制成功并交付的 Jason 号遥控潜器(见图 1-6),工作深度 6500m,重量(含使用工具)3.7t,航速 1.5kn,装备有成像声纳、海水取样器、水下电视机、照相机和照明灯光等设备,从母船上通过电缆接收动力电和控制信号。在服役期间,共下潜 253 次,在海底累计运行 4683h,最长的一次是 117h,该型潜器于 2001 年退役。第二代更先进的潜器于 2002 年下水^[4]。日本研制的 UROV7K 遥控潜器(见图 1-7),工作深度 7000m,航速 1.5kn,长 2.8m,宽 1.8m,高 2.0m,重量 2.7t,装备有水下电视机、照相机、避障声纳、测深仪等设备。法国研制的 Victor 6000 遥控潜器(见图 1-8),工作深度 6000m,航速 1.5kn,长 3.1m,宽 1.8m,高 2.1m,重量 4.0t,负载重量 600kg。

用于海洋开发等的民用作业型 ROV 一般为框架式结构,航速低,续航力小,工作深度大。小型电动 ROV 工作深度在 300m 以内,电动 ROV 工作深度可达到 6000m;电动液压推进 ROV,作业能力强,可举起重约 450kg 的物体;重作业型 ROV,可举起重 5000kg 的物体。

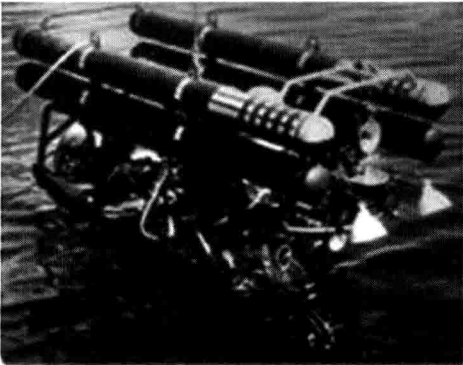


图 1-5 美国 CURV1 号遥控潜器

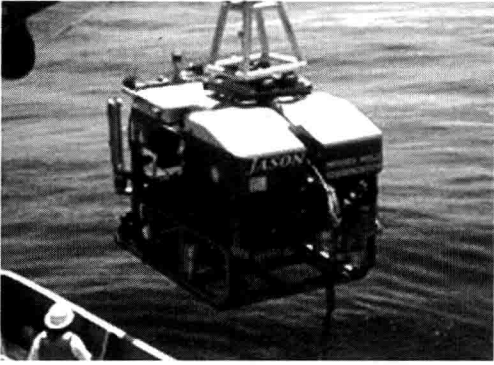


图 1-6 美国 Jason 号遥控潜器

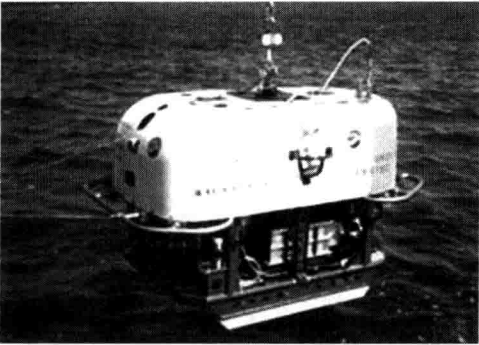


图 1-7 日本 UROV7K 遥控潜器



图 1-8 法国 Victor 6000 遥控潜器

20 世纪 70—80 年代,军用 ROV 主要用于反水雷。缆控式灭雷具是 ROV 的一种具体应用。灭雷具是一个通过电缆遥控的航行器,灭雷具上装有:识别水雷用的电视摄像机和高分辨率声纳;监测灭雷具航向、深度和姿态的传感器;指示灭雷具位置的声脉冲发生器和应答器;灭雷用的灭雷炸弹和爆破切割刀等。母船上的灭雷具显控台通过脐带电缆与灭雷具相连,利用遥控指令控制灭雷具机动、进行投弹或挂爆破割刀等灭雷作业。与灭雷具状态有关的数据和观测到的图像,通过脐带电缆传回显控台进行显示和记录。

PAP104 (见图 1-9)是法国于 1972 年成功研制的世界上第一个灭雷具。PAP104 系列灭雷具由法国航空研究与制造公司(ECA)于 1967 年开始研制,共研制了五代。PAP104 MK3 是首型出口灭雷具,装备时间为 1972 年,装载平台为猎/扫雷舰艇。该型灭雷具长 2.9m,宽 1.2m,高 1.3m,总重量(含炸弹) 750kg,炸弹重量 126.5kg,炸药重量 90kg,电缆长度 2000m,电缆直径 1.5mm,最大潜水深度 300m,最大航速 6kn,续航时间 15~30min,由自身携带的电池供电、推进,可以急转弯,带有水下摄像机和闪光灯^[8]。

“双鹰”灭雷具是瑞典研制的第三代灭雷具,其外形尺寸为长 2.05m,宽 1.29m,高 0.45m,总重 250kg,使用水深 500m,最大前进航速 5kn,倒退速度 3kn。其外形呈扁平形,它装有 8 个推进器,除尾部两个主推进器外,另外还有 6 个推进器(两个横向、四个垂直推进器),故机动性能好。以彩色和黑白摄像机为探测和识别水雷的主要传感器,也可以用电子扫描声纳代替一个摄像机。该系统可通过 600m 或 1000m 的脐带电缆与母船相连,母船通过脐带电缆为灭雷具供电保证其航行,此外,脐带电缆中还有三根光缆进行声纳、视频信号和控制指令的传输。

AN/SLQ-48(V)(见图 1-10)是美国海军 1983 年装备的灭雷具。长 3.8m,直径 0.92m,重量 1.13t,工作水深 500m,航速 5~6kn,离舰距离 500m,脐带电缆长 1070m,脐带电缆直径 13mm,灭雷炸弹为 MP2,重 44kg,灭雷割刀为 MP1,探雷装置主要为微光电视、照明灯和高分辨率声纳。该型灭雷具装备两部微光电视,首部一台用于识别水雷,后上部一台用于监视脐带电缆和收放装置,并配有照明灯。除微光电视以外,首部还有一台高分辨率声纳。顶部有水声应答器,以保证舰艇对灭雷具的跟踪。脐带电缆不仅可以传输指令和声纳与微光电视的搜索和识别信息,还可为灭雷具提供电源,以给各种设备供电,并使主推进器和辅助推进器工作,保证灭雷具工作时间不受限制。通常灭雷具的尺寸和重量小于作业型 ROV,采用流线外形,具有 5~8kn 的较高航速,工作深度 200~500m,重量小于 2t,脐带电缆长度一般为 1000~2000m^[9]。



图 1-9 法国 PAP104 灭雷具

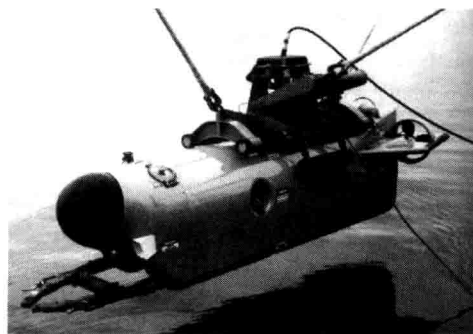


图 1-10 美国 AN/SLQ-48 灭雷具

1.2.2 水下无人航行器的产生背景

20 世纪 50 年代末期,美国华盛顿大学应用物理实验室,开始研发世界上第一艘无人无缆潜器——SPURV(Self Propelled Underwater Research Vehicle(s))。60 年代初期投入作业,70 年代中期才见到成效。这艘潜器排水量 480kg,航速可达 4kn,航行时间约 6h,最大深度 3000m,主要用于水文调查。从 60 年代中期起,人们开始对无人无缆潜器产生兴趣。但是,由于技术上的原因,致使无人无缆潜器的发展徘徊多年。

80 年代以后,随着微电子、计算机、人工智能和致密能源等高新技术的发展,以及海洋工程和军事方面的需要,无人无缆潜器引起工业界、科研单位和军方的关注。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。AUSS 是一种无人无缆潜器,1983 年 AUSS 完成制造并下水。1987 年,人们称无人无缆潜器为 AUV。20 世纪 90 年代,重新掀起了 AUV 的理论研究热潮。90 年代初期,美国麻省理工学院开发了 6 个 Odyssey AUV,1994 年进行了冰下作业。期间,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。加拿大 ISE 公司为美国和加拿大国防部开发了 Theseus AUV,1996 年,该型 AUV 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 50 h。美国 REMUS AUV 研发始于 1967 年,20 世纪 90 年代后才公开相关的研发和试验情况。英国南安普顿海洋研究中心研发的 Autosub AUV 用于科学家监视海洋,1998 年完成第一次科学研究任务。挪威 Kongsberg Simrad 公司研究的 Hugin 3000 AUV 于 2000 年交付给美国 C&C 公司。

由于 AUV 不依赖母船供电,并以无人自主控制为主要航行控制和作业控制方式,因此,摆脱了遥控潜器依靠拖缆与母船紧密联系导致机动受限的束缚,活动范围明显扩大,机动性大为改善,作业效率显著提高。因此,人们将无人无缆潜器又称为自主(治)式潜器 AUV。考虑到自主(治)式潜器实际水下作业时要实现完全自主难度很大,因此,母船(艇)有时还需要通过水声或光缆等通信方式对潜器实施遥控监视,潜器也要回传一些必要信息。这种遥控监视与早期的 ROV 已经完全不同了,潜器通常是自主控制,有时接收母船(艇)的指挥控制。由于自主式潜器主要特征由原来的“深潜”转向了“航行”,良好的航行机动性能成为潜器的主要特征,因此,人们将 Vehicle 译为航行器,并将无人无缆自主式潜器(AUV)和仅带有信号光缆的无人遥控潜器(ROV)称为 UUV(Unmanned Underwater Vehicle),译为水下无人航行器。

美国海军所说的 UUV(见图 1-11),即指无人、自带能源、自推进、自主控制(预编程或实时自适应使命控制)或最低程度监控、无缆(除了数据光缆)的潜水器或潜器。俄罗斯海洋科学技术研究所将 UUV 定义为,能够在预定海域深度范围内,按照预编程轨迹航行并完成需要作业的装有仪器和设备的潜器。根据上述定义可知,半潜式潜器、由母船供电的遥控潜器、水下拖体和海底爬行体等不属于 UUV。另外,水下无人航行器是多次反复使用的,因此,鱼雷、自航水雷、一次性灭雷具和自航式诱饵等一次性使用的水中兵器或水声对抗装备也不属于水下无人航行器。

从国外研发和列装的水下无人航行器情况分析,部分水下无人航行器是由研制载人

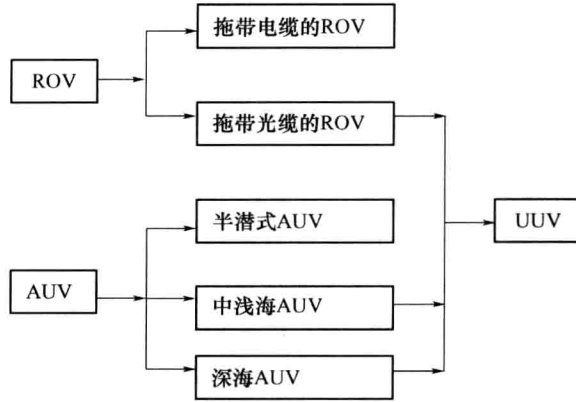


图 1-11 UUV 定义示意图

潜器和遥控潜器的单位研制的,如伍兹霍尔海洋研究所、金枪鱼机器人公司、美国海军空间和海战系统中心等。水下无人航行器继承和采用了许多载人潜器和遥控潜器的技术,包括总体结构和材料技术、水下机电设备技术、导航技术、控制技术和传感器技术等。水下无人航行器重点需要发展的技术主要包括:不依赖母船供电后,应保证水下无人航行器具有较大水下续航力的能源技术;不依赖母船控制后,能自主控制与母船保持联络的自主控制技术和水声通信技术;不依赖母船控制后,保证能准确定位和安全航行的高精度自主导航技术;保证能在一定海况和深度下,实施大范围机动航行和作业的航行器水动力技术;军用水下无人航行器则需要保证能在敌近岸海域实施隐蔽作战的隐身技术等。

1.3 水下无人航行器的发展

1.3.1 美国水下无人航行器的发展

冷战结束以后,美国军方认为未来海上战争的焦点将集中于作战对象国家的沿岸浅水海域,美国海军应该具备在该水域进行海洋监视、情报收集、反潜战和反水雷战的能力。因此,尽管水下无人航行器出现时间不长,美国海军已敏锐地注意到其具有的军事应用潜力,认为水下无人航行器在浅水海域作战具有很大优势,可支持美海军执行上述四种任务。为此,美国海军投入大量经费,支持美国海军研究单位以及有关大学、公司开展该领域的研究和开发,并于 1998 年首次装备了潜艇搭载可用于在浅水区域探测水雷的水下无人航行器。为满足美国海军转型军事需求、规范和指导水下无人航行器的发展,美国军方非常重视水下无人航行器发展计划的研究、制定和实施,于 1988 年、1994 年、1996 年、2000 年、2005 年和 2009 年制定了不同版本的军用水下无人航行器发展计划,明确了水下无人航行器使命任务、能力要求和需要攻克的关键技术,有力牵引和保证了美国军用水下无人航行器的持续发展。

1. 美国水下无人航行器发展计划^[5-6]

1988 年,美国海军和国防高级研究计划局制定了水下无人航行器计划,该计划的目的是要证明水下无人航行器具有完成一些重要任务的能力。按照执行的任务,分为水下