

# 水下机器人的发展现状

任福君<sup>1</sup>, 张 岚<sup>2</sup>, 王殿君<sup>1</sup>, 孟庆鑫<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工程大学机电学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 佳木斯大学机械工程学院, 黑龙江 佳木斯 154007)

**摘 要:** 介绍了国内外典型水下机器人的性能特点, 阐述了国内外水下机器人发展的历史及现状, 总结了水下机器人发展中存在的一些关键问题, 并对未来水下机器人领域的发展动向作出了展望

**关键词:** 水下机器人; 水下作业; 潜水器; 遥控

**中图分类号:** TP242.3 **文献标识码:** A

## 0 前 言

机器人技术是集运动学与动力学理论、机械设计与制造技术、计算机硬件与软件技术、控制理论、电动伺服随动技术、传感器技术、人工智能理论等科学技术为一体的综合技术。它的研究与开发标志着一个国家科学技术的发展水平, 而其在各种机械领域的普及应用, 则显示了这个国家的经济和科技发展的实力。世界上许多国家为了推进本国的机器人开发事业, 打入竞争日益激烈的国际高科技市场, 不惜投入巨大的人力、财力来推动机器人技术的发展, 开发出了许多类型的机器人。机器人的应用领域也逐渐从人工环境扩展到了水下和宇宙。随着人口数量的增长和科学技术水平的不断提高, 人类已把海洋作为生存和发展的新领域, 海洋的开发与利用已经成为决定一个国家兴衰的基本因素之一。从而使水下机器人具有更加广阔的应用前景。水下机器人设计是一项综合性的复杂工程, 技术密集度高, 是公认的高科技, 它的研制水平体现了一个国家的综合技术力量。

水下机器人一般可以分为两大类: 一类是有缆水下机器人, 习惯称为遥控潜水器(Remote Operated Vehicle, 简称 ROV); 另一类是无缆水下机器人, 习惯称为自治潜水器(Autonomous Underwater Vehicle, 简称 AUV)。此外, 按使用的目的分, 有水下调查机器人(观测、测量、试验材料的收集等)和水下作业机器人(水下焊接、拧管子、水下建筑、水下切割等作业); 按活动场所分, 有海底机器人和水中机器人。

水下机器人在 20 世纪 50 年代初诞生时, 由于所涉及的新技术还不够成熟, 电子设备的故障率高, 通信的匹配以及起吊回收等问题没有很好解决, 因此发展不快, 没有受到人们的重视。到了 60 年代, 国际上开始两大开发技术, 即宇宙和海洋开发, 促使远距离操纵型机器人得到了很快的发展。在最近的 20 多年内, 由于海洋开发与军事上的需要, 尤其是水下机器人本体所需的各种材料及技术已得到了较好的解决, 水下机器人才得到了很大发展, 开发出了一批能工作在各种不同深度, 进行多种作业的机器人, 可用于石油开采、海底矿藏调查、救捞作业、管道敷设和检查、电缆敷设和检查、海上养殖、江河水库的大坝检查及军事等领域。相信随着开发海洋的需要及技术的进步, 适应各种需要的水下机器人将会得到更大的发展。

## 1 国外水下机器人的发展现状

国外从 20 年代开始现代潜水器研制, 一直到 60 年代, 主要是向深度挑战。1934 年, 美国潜水器潜入 914m 深度。1960 年, 人类终于下潜到海洋最深处 10913m, 即太平洋马里亚纳海沟。60 年代, 以美国“阿尔文”号深潜器为代表的第二代潜水器得到发展。这类潜水器带有动力, 还配置了水下电视、机械手等, 不仅可以观察, 还可以进行一些简单作业和海洋资源调查等任务。“阿尔文”号以铅酸电池作为动力, 下潜深度 3658m。1961 年, 美国首先在潜水艇“脱里埃斯特”号装上机械手臂。1963 年, 美国开始执行深海发展计划,

在许多潜水调查船上安装机械手臂 1966年1月,美国人使用了一个名叫“科沃”的机器人,把因轰炸机失事落到700多米深海底的一颗氢弹安全地打捞起来

1970年,美国深潜救生艇DSRV下水,最大下潜深度1069m,并配有7自由度机械手,一次可营救24名人员 1979年,美、英联合进行DSRV救援演习获得成功,这是人类历史上第一次在水下由救生艇,向另一潜艇进行人员转移 70年代中后期,新一代无人遥控潜水器ROV使潜水器发展到了鼎盛时期 水下机器人开始大量取代过去由载人深潜器和潜水员所承担的工作,尤其是在大深度和危险的区域,发挥了更大的优势 海底调查机器人(SIR系统)是一个海底检测和检查用的机器人系统,履带式移动,装备着各种传感器和仪器 水下电视、照相设备以及现场土质试验装置 它可在母船操纵下下潜到70米深的海底,检测100米见方的区域 除了上述有缆水下机器人以外,还有一种无缆水下机器人,整个外形象一个鱼雷 它由母船通过声波进行遥控,能按给定的航道、深度,以每小时6海里的速度航行 在最大速度时续航时间为6小时

DU PLUS II型水下机器人是英国DU PLUS公司1987年研制成的一种新型水下机器人,它的独到之处是可按有人、无人或有人加遥控等工作方式来使用 它的作业深度为750m,在载入时,由于水下视觉较直观,在水下摄影、观察和水下机动作业都比较方便

HYBALL水下机器人是英国HYDROVISION有限公司于90年代开发研制的最新产品 它具有操纵简单、成本低廉、保养维修方便、性能先进可靠、功能齐全等优点 HYBALL水下机器人完全由水面控制单元内的计算机控制,操作员只要在水面使用操纵杆,便可控制机器人前进、后退、侧推、上升或下潜

水下机器人在军事领域中也具有极高的利用价值和良好的发展前景 美国海军正积极研制更加先进的水下机器人 制式遥控探雷系统RMS(V)是1994年8月由洛克希德·马丁公司开始研制的,它是一个半潜式的遥控潜水器,装有前视声纳及可变深度的扫雷声纳 RMS(V)可由水面作战舰只携带,舰队到达雷区时,该系统可在战舰前行驶,并对3-61米深的海中沉底雷及锚雷进行探测、分类及定位,使舰队可以绕过水雷前进 1996年底,该公司开始研制RMS(V)3型系统,它采用了新的潜水器,长7.3米,重5443公斤,从空中和水下都难发现它 母舰通过一条低数据率的无线电路控制潜水器,而RMS(V)则通过一条高数据率的单向线路将测得的水雷数据传送给母舰,因而很难被敌人截获

美国海军还于1996年底开始设计长期水雷侦察系统,2000财年开始研制 这种潜水器将装载洛杉矶级核潜艇及美国新型攻击型潜艇上 此外,海军还打算在LMRS的基础上,换上不同的传感器负载,去完成海洋监视、情报及战术等各种特殊任务 此外,从1996年开始,美国海军作战中心的海岸系统研究所对基础技术进行了探索性研究,重点研究了海浪区潜水器的改进及潜水环境下的作业 研究提出的一种方案是,在一个无人潜水器(UUV)中装入一群(20-25个)机器人,由一艘军舰在距海岸25-30英里处放出机器人并在那里等候,机器人在水底爬向准备登陆的通道,搜索水雷及其它障碍物,并清除这些障碍物

近年来,随着仿生学研究的不断进步,许多水下机器人科研工作者又将注意力集中到长期生活在水下,特别是能在水中自由遨游的鱼类的游动机理的研究上 鱼类长期生活在水下,进化出了性能完备的游动机能和器官 利用鱼类游动机理推动机器人在水下浮游的想法伴随着仿生学、材料学、自动控制理论等学科的发展成为现实 日本名古屋大学的福田敏男提出了一种基于鱼类胸鳍游动推进机理由压电陶瓷推动两个对称模片摆动的微型水下浮游机器人,进行了一系列研究,并研制了试验样机 美国佛罗里达中心大学的科研人员正在研制一种微电子鱼水下机器人“MERF”,该机器的驱动系统完全由形状记忆合金制成,主要由控制、运动、驱动、悬浮、传感等5个子系统组成 其主要目的是模仿自然界的鱼类,通过鱼尾的摆动实现机器人的水下浮游;研制一种无噪声的水下驱动系统,使机器人更接近所要观察、研究的水下生物;采用一种“能量循环”的方法,实现大范围、长时间的水下作业 此外,日本和美国在电磁马达驱动仿生机器鱼等方面也进行了大量的系统研究,取得了大量的研究成果,均成功的研制出了试验样机

## 2 国内水下机器人的发展现状

我国从70年代开始较大规模地开展潜水器研制工作,20多年来,先后研制成功以援潜救生为主的7103艇(有缆有人)、I型救生钟(有缆有人)、QSZ单人常压潜水器(有缆有人)、8A4水下机器人ROV(有缆无人)和军民两用的HR—01 ROV, RECON IV ROV及CR—01A 6000m水下机器人AUV(无人无缆)等,使我国潜水器研制达到了国际先进水平。I型救生钟是我国第一代潜水钟,主要实施海上援潜救生,它以湿救为主,兼顾干救,下潜深度130m,一次可救助艇员6~8人。在良好海况下,失事艇座沉海底倾角不大时,也可以与失事艇救生平台对口干救。

80年代中,我国开始研制作业型载人潜水器,典型代表是QSZ单人常压潜水器。80年代末,中国船舶工业总公司组织二所二校联合攻关,研制8A4水下机器人。其目标是研制一台以军用援潜救生为主兼顾海洋油气开发,具有局部智能的无人缆控作业型水下机器人—ROV。它有三个显著的技术特征:总体性能好于当时国内正在研制的各种缆控潜水器,技术层次上区别于“863”无缆水下机器人;吸取引进的AMETEK2006 ROV先进技术,按作业要求,改进其不足之处;以援潜救生为主,逐步实现抢险救生作业智能化。8A4水下机器人工作深度为600m,设有中继站,巡航半径为150m,配有五功能锚定手和六功能作业手,并配有六种作业工具支持。8A4水下机器人1993年通过海试。

同时期,我国ROV另一典型代表是RECON IV水下机器人,它是沈阳自动化所引进美国PERRY公司的关键技术研制成功的,在南海石油平台作业中投入商业应用,并拟在海军各救捞大队配备使用。上海交通大学和加拿大ISE公司通过政府合作方式,联合研制成功Hysub 10及Hysub 40 ROV。RECON-IV-300-SIA水下机器人是中国科学院沈阳自动化研究所“七五”期间从美国PERRY公司引进RECON水下机器人技术的基础上自行研仿而成的,水下工作时机动性和活动半径较大,其国产化率达90%以上。

进入90年代,我国深潜器研制取得了重大突破,其典型代表是“探索者”号1000m无人无缆遥控潜水器和“CR—01A”6000m无人无缆遥控潜水器AUV。1994年10月“探索者”号在西沙群岛近海域成功地下潜到水下1000米深处,成为我国到达深海的先驱者,专家一致认为“探索者”号无缆水下机器人整机功能、主要技术性能指标均达到国际90年代最先进的同类型水下机器人水平。“CR—01A”借助了俄罗斯的有关技术力量,其设计深度为6000m。1995年10月,在夏威夷附近海域,成功地下潜到5300m,拍摄到海底锰结核矿分布情况,获得了清晰的海底录像、照片和声纳浅剖图,收集到大量珍贵数据。它的试验成功,使我国能够对海沟以外的占世界海洋面积的97%的大洋海底进行精确、高效、全覆盖地观察、测量、储存和进行实时传输,并能精确绘制深海矿区的二维、三维海底地形地貌图。还建立了以资源库、环境库、和文件库组成的“大洋矿产资源研究开发数据库”,推动了我国海洋技术的发展,并使我国在无人无缆自治水下机器人领域里一步跨越了20年,表明我国已成为继美、法、俄、日等国之后,能研制6000m深潜器的国家之一,为今后大洋锰结核矿探测和大规模开采,创造了先决条件。

“CR—01”继1995年在太平洋完成深海功能试验之后,经历了一年半的工程改造,于1997年5月20日到6月27日,又一次在太平洋圆满地完成了各项洋底调查任务,获得了大量的数据和资料。“CR—01”性能优异,可靠性高,能执行遥控命令,是一项高新技术成果,也是863计划的一个重大成果。这两次深海试验的成功表明,我国研制的第一代6000米水下机器人制造技术已经成熟,从而使我国的水下自治机器人制造技术达到了世界先进水平。同时期,国内也开始了基于仿生学原理的水下机器人的研究工作。目前,哈尔滨工程大学正在进行基于蠕动原理水下机器人的研究工作,并取得了顺利的进展。

## 3 水下机器人技术发展中的几个问题

除了机器人领域中普遍存在的系统发展方式、编程语言与编程方式、传感器的引入及机器人本体上的进化等共性问题以外,水下机器人技术还存在一些特殊问题。

水下机器人的援潜救生作业是世界各国潜水器研制的首要目标 但是在实际应用中, 由于海况的复杂性, 离真正实现快速、有效援潜救生的理想目标尚有一段距离 不久前俄罗斯潜艇失事后的救援失败, 充分说明了这一点 水下机器人动力定位的控制问题是一个有待研究的问题 水下机器人的回收问题是一个至今还没有完全解决的问题 远距离水下通信和水下机器人的能源问题也是亟待解决的难题

## 4 水下机器人发展的展望

21 世纪将是海洋的世纪, 随着技术的进步, 各式各样的水下机器人将以更快的速度发展起来 从控制方式来看, 将采用遥控、监控、预编程、局部自治或其组合等, 这会使水下机器人的应用更加广泛

未来的水下机器人应该具有象鱼一样的推进效率、高的游动速度以及极好的运动灵活性能, 同时, 提高它的通用性, 并且希望其具有一定的人工智能, 可以根据内部信息和环境信息稳定可靠地自主作业, 能够代替人在需要的深水环境中担负起自动或半自动的决策任务, 以适应未来开发和探测海洋的需要 水下机器人的高度智能化也将是广大科技工作者努力的方向 此外, 还希望能降低水下机器人本体和控制装置的成本, 提高其使用寿命等

### 参考文献:

- [1] 刘军考, 陈在礼, 陈维山, 王力纲 水下机器人新型仿鱼鳍推进器[J]. 机器人, 2000(5): 427- 432
- [2] 袁幼零 以发展中国机器人事业为己任[J]. 机器人技术与应用, 2000(1): 5- 10
- [3] 陈建平 我国潜水器发展状况及存在的问题[J]. 机器人技术与应用, 1999(2): 7- 9
- [4] 余雄, 唐晓东 国内外几种水下机器人的性能对比与分析[J]. 机器人技术与应用, 1997(1): 18- 20
- [5] 蒋新松 未来机器人技术的发展方向[J]. 机器人技术与应用, 1997(2): 2- 5
- [6] 史美功, 俞学廉 工业机器人[M]. 上海, 上海科技出版社, 1987
- [7] 辛建成 美国海军未来的水下机器人[J]. 机器人技术与应用, 2000(3): 19- 21
- [8] 李成桐 对中国机器人产业的思考[J]. 机器人技术与应用, 2000(4): 2- 6
- [9] 郭巧 现代机器人学[M]. 北京, 北京理工大学出版社, 1999
- [10] 陈泊真, 汪广海 中国海洋工程的发展与展望[J]. 钢结构, 2000(1): 3- 6
- [11] Sfakiotakis M, Lane D M, Bruce J, Davies C. Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion[J]. IEEE Journal of Ocean Engineering, 1999, 24(2): 237- 252

## DEVELOPMENT STATE OF UNDERWATER VEHICLES

REN Fu-jun<sup>1</sup>, ZHANG Lan<sup>2</sup>, WANG Dian-jun<sup>1</sup>, MENG Qing-xin<sup>1</sup>

(1. Mechanical and Electrical College, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi, 154007, China)

**ABSTRACT:** This paper introduces the functions and characteristics of underwater vehicles in the world, introduces the development history and state of the vehicles, and sums up the key questions in developing the vehicles at the present time. At last, this paper looks ahead the developing tendency of underwater vehicles in the future.

**KEY WORDS:** underwater vehicle; underwater operating; operated vehicle; remote contro