

【自动化技术】

ROV 的研发现状及发展趋势

许竞克¹,王佑君¹,侯宝科²,杨立浩¹

(1. 第二炮兵工程学院,西安 710025;2. 总后建筑工程研究所,西安 710032)

摘要:介绍了遥控式水下机器人(ROV)的系统组成及其特点;对国内外 ROV 的发展情况进行了概述;分析了当前 ROV 研究中的关键技术,包括运动控制、导航定位、视觉传感、水下潜航体及仿真技术;进一步探讨了 ROV 的发展趋势;最后对 ROV 在军事及民用上的应用情况及前景进行了总结和预测。

关键词:ROV;研发现状;发展趋势

中图分类号:TH6

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)04-0071-04

海洋中蕴藏着丰富的生物资源和矿产资源,随着陆地资源的枯竭,海洋资源的开发利用对人类发展和社会进步的推动作用越趋明显。随着石油、天然气等海洋资源的开发从近海延伸到深海,水下机器人(也称无人潜水器)因其安全、高效、作业深度大、能在水下长时间工作而日益成为开发海洋资源的重要工具。

按照无人潜水器与水面支持设备(母船或平台)间联系方式的不同,水下机器人可以分为两大类:一类是有缆水下机器人,即遥控水下机器人(remotely operated vehicle,ROV);另一类是无缆水下机器人,即自治水下机器人(autonomous underwater vehicle,AUV),自带能源,依靠自身的自治能力来管理和控制自己。

ROV 因其经济性好、下水出水灵活性好、环境适应性好、作业效率高、使用有效等优点,得到了迅速发展。随着功能及可靠性的迅速提高,ROV 越来越被广泛地应用于海洋资源开发、水下工程、海底调查、打捞作业等领域。

1 ROV 的系统组成及特点

ROV 系统的组成,从结构上可划分为水面指控系统和水下潜航体 2 部分^[1]。

水面指控系统包括主控计算机、操控系统、跟踪定位系统、显示系统、与水下的通信接口、动力源、脐带电缆(电缆或光缆)及收放系统。脐带电缆在提供机器人动力和仪器电源的同时,还担负着下传指令、命令,上传状态和信息数据的任务,是信号传输的通道,常常是由特种电缆、同轴电缆或光、电复合电缆构成,并且具有足够的强度,一旦出现故障,能够将机器人拉回水面。收放系统担负着将 ROV 由岸或船上吊放入水和从水中回收 ROV 的任务。

水下潜航体主要包括水密耐压壳体和动力推进、探测识别与传感、通讯与导航、电子控制及执行机构等分系统,其外

形结构主要有流线型和框架式 2 种,一般都采用了模块化结构。

ROV 通过与水面相联的脐带电缆获取能源,动力充足,作业时间不受能源的限制,可搭载较多的仪器设备;信息和数据的传递和交换方便快捷、数据量大;操作者在水上控制 and 操作,工作环境安全;其运行和控制等由水面功能强大的计算机、工作站与操作员通过人机交互的方式来进行,人的介入使得许多复杂的控制问题变得简单,可以实现实时控制潜水器的运动状态,实时观察潜水器探测的目标信息和声纳视频图像,作业效率更高,其总体决策能力和水平较高,应对环境能力更强。此外,ROV 没有电池舱,重量和体积要小于同级别的 AUV,技术要求和成本也相对较低。但其活动范围受到脐带电缆的制约,特别是在复杂水下环境下易造成缠绕事故^[2]。

2 国内外 ROV 发展情况

ROV 是最早得到开发和应用的无人潜水器,其研制始于 20 世纪 50 年代。1960 年美国研制成功了世界上第一台 ROV-“CURV1”。1966 年它与载人潜器配合,在西班牙外海找到了一颗失落在海底的氢弹,引起了极大的轰动,从此 ROV 技术开始引起人们的重视。由于军事及海洋工程的需要及电子、计算机、材料等高新技术的发展,20 世纪 70 年代和 80 年代,ROV 的研发获得迅猛发展,ROV 产业开始形成。1975 年,第一台商业化的 ROV-“RCV-125”问世。

经过半个多世纪的发展,ROV 已经形成一个新的产业——ROV 工业。全世界 ROV 的型号在 270 种以上,超过 400 家厂商提供各种 ROV 整机、零部件以及 ROV 服务。小型 ROV 的质量仅几千克,大型的超过 20 t,其作业深度可达 10 000 m 以上。在 ROV 技术研究方面,美国、加拿大、英国、法国、德国、意大利、俄罗斯、日本等国处于领先地位。

收稿日期:2011-01-13

作者简介:许竞克(1985—),男,硕士研究生,主要从事水下机器人机械系统研究。

美国的 MAX Rover 是世界上最先进的全电力驱动工作级 ROV, 潜深 3 000 m, 自重 795 kg, 有效载荷 90 kg, 推进器的纵向推力 173 kg, 垂向推力 34 kg, 横向推力 39 kg, 前进速度为 3 knots, 能在 2.5 knots 的水流中高效工作。英国 Sbu-Atlantic 公司推出作业型 ROV-COMANCHE 载有 2 个具有 7 项功能的机械手, 装载了 7 个推进器。日本海洋技术研究所研制开发的“海沟”号 ROV(KAIKO)(图 1)是目前世界上潜深度最大的 ROV, 装备有复杂的摄像机、声呐和一对采集海底样品的机械手。1995 年, 该 ROV 下潜到马里亚纳海沟的最深处(1 022 m), 创造了世界纪录。它可将一种微小的单细胞有孔虫, 从马里亚纳海沟海床沉积物中拔出来^[2]。



图 1 “海沟”号 ROV

目前, ROV 在海洋研究、近海油气开发、矿物资源调查取样、打捞和军事等方面都获得广泛的应用, 是当前技术最成熟、使用最广泛、最经济实用的一类潜水器。国外比较有代表性的 ROV 如表 1 所示。

国内从事 ROV 开发的科研机构主要是中国科学院沈阳自动化研究所、上海交通大学及哈尔滨工程大学及中国船舶研究中心等。从 20 世纪 70 年代末起, 中国科学院沈阳自动化研究所和上海交通大学开始从事 ROV 的研究与开发工作, 合作研制了“海人一号”ROV, 潜深 200 m, 能连续在水下进行观察、取样、切割、焊接等作业。此后, 沈阳自动化研究

所在“海人一号”的基础上, 于 1986 年开始先后研制了 RECON-IV-300-SIA-01、02、03 型 ROV, “金鱼号”轻型观察用水下机器人和“海蟹号”水下工程用六足步行机器人。1993 年 11 月, 我国在大连海湾进行了“8A4 水下机器人”海上试验, 标志着我国在 ROV 方面的研究进入了一个新的阶段。

上海交通大学的产品较多, 从微型的观察型 ROV 到重达数吨的深水作业型 ROV, 潜深从几十米到数千米不等。尤其是“海龙 II 型”作业 ROV 系统(图 2), 重量 3.25 t, 潜深达 3 500 m, 带 TMS、DP 和 VMS 系统和 2 个机械手及自动升沉补偿绞车, 技术性能达到世界先进水平, 代表了国内 ROV 研发最高水平。



图 2 海龙 II 型 ROV

但是, 由于在探测技术、工艺水平、导航与定位等技术上与国外存在较大差距以及国内需求较少, 国产 ROV 并不多, 产品主要集中在上述几个单位, 从事应用型 ROV 产品开发的较少。国内 ROV 用户绝大部分使用进口产品, 不仅价格高、配套服务难, 而且有些产品并不适合中国海区的使用特点, 机动性、抗流能力及作业能力都显不足。因此, 随着我国海洋开发事业的发展 and 不断增长的市场需求, 开发研制适合我国使用需求的 ROV 就显得十分必要和紧迫。国内具有代表性的 ROV 性能参数如表 2 所示。

表 1 国外 ROV 性能参数

名称	生产国家	潜深/m	尺寸($L \times W \times H$)/mm	质量/kg	速度/节
H300	法国	300	840 × 600 × 470	65	2.5
ROV3.1	法国	150	450 × 270 × 210	6	3.5
TrigerFish	美国	150	1 093 × 533 × 406	30	2
Stealth2	美国	300	762 × 560 × 460	38	2.5
SeaLion	美国	300	1 168 × 558 × 381	56.7	2.5
seamor	加拿大	300	355 × 355 × 472	16	3
Stingray	美国	350	990 × 460 × 460	32	3

表2 国内 ROV 性能参数

名称	类型	研发单位	工作深度/m	重量/kg	速度/节
YQ2 型	作业型	沈阳自动化所	300	700	3
海潜Ⅱ号	作业型	沈阳自动化所	300	777	3.2
海极号	作业型	沈阳自动化所	200	550	3
SJT-5	观察型	上海交通大学	150	12	2
SJT-10	作业型	上海交大	200	250	2.5
海龙Ⅱ	作业型	上海交大	3 500	3 250	3.5

3 现阶段研究的关键技术

3.1 运动控制技术

ROV 的运动控制是其完成制定任务的前提和保障。由于 ROV 水动力系数不确定、运动惯性比较大、机械手的作业运动影响机器人本体的运动力学特性、负载的变化会引起重心和浮心的改变,且存在海流等随机干扰,其动力学模型难以确定,而且具有强耦合和非线性的特点,导致 ROV 难于控制。随着 ROV 应用范围的扩大,对其自主性、运动控制的精度和稳定性的要求都随之增加,如何提高其运动控制性能成了研究的重要课题^[3]。

3.2 导航定位技术

精确的导航与定位是 ROV 成功执行任务的基本要素。由于水下机器人非线性动力学特性及水介质的特殊性等因素的影响,实现水下机器人的远距离及长时间、大范围内的精确导航是一项艰难的任务。目前可应用的水下导航技术主要有惯导、航位推算、声学导航、地球物理导航,每一种导航方法,其精度、可靠性都还无法满足水下机器人发展的需要,因此进一步发展高可靠性、高集成度、成本低、组合式、具有多用途和能实现全球导航的智能综合导航系统,是水下机器人导航技术的发展方向^[4-5]。

3.3 视觉传感技术

水下机器人依靠各种传感器获取水下目标和环境信息,最直观的信息来自视觉传感器,它将数据可视化,给出直观结果。视觉传感器可分为水下摄像机、高分辨率成像声纳、剖面声纳,现有的视觉探测系统可以满足在水质较好或轻度浑浊的水下环境中探测需要。发展可以满足重度浑浊水下环境探测需要的视觉传感系统是一个世界性课题,也是现在亟待解决的技术难题^[4]。

3.4 水下潜航体技术

为降低成本,满足 ROV 不断发展的使用需要,须突破现有水下潜航体设计中的障碍。在这方面需进一步转化和开发的技术有:水下低比重、耐腐蚀、高强度结构材料;大深度、低比重浮力材料;高性能、高可靠性、标准化和系列化 ROV 推进器;标准化水下电缆和密封接插件;标准化电子控制模

块;多功能水下机器人。

3.5 仿真技术

由于 ROV 工作在复杂的水下环境中,对其测试比较困难,因此在水下机器人的方案设计阶段,要进行仿真技术研究,包括平台运动仿真和控制硬、软件的仿真,以评估其性能,缩短研制周期,降低费用。

4 ROV 的应用现状

世界上的海洋大国如美国、俄罗斯、日本、英国和法国等都开发了多种型号的 ROV 系统,用于不同的使命任务和不同的工作深度。

民用方面,ROV 在海洋救助与打捞、海洋石油开采、水下工程施工、海洋科学研究、海底矿藏勘探、远洋作业等方面正发挥着非常重要的作用。目前世界上大约有 1 000 多个作业型 ROV 在运行,主要集中于石油和天然气工业以及离岸与近岸工程中。归纳起来,ROV 在民用上主要有几个方面的应用^[2]:

- 1) 海底安装。包括海底管道及电缆的开沟埋设,水下输油管道的连接、检测,海底安装物的维护和修理。
- 2) 水下钻探和建造支持。包括从视频观察、监测安装、操作支持到维修。
- 3) 管线检测。包括跟踪水下管线以检测漏点,确定管线的安全状态和保证安装合格等。
- 4) 扫查。在管线、电缆和其他离岸设备安装之前,对环境进行必要的视频和声学扫查。
- 5) 平台观测。监测工作平台的腐蚀、堵塞,定位破损,查找裂缝,估计海洋生物污染。
- 6) 码头及码头桩基、桥梁、大坝水下部分检修、冲撞破损评估,航道排障,港口作业。
- 7) 水下物体的定位和回收。搜寻、定位和回收打捞失事航天飞行器、舰船的残骸及其他丢失物体。
- 8) 通信支持。包括对海底通信电缆的埋设、监察和修理及回收等。
- 9) 废物清除,平台清刷,清理水库坝面、拦污栅等。
- 10) 科学考察、研究。包括水环境、水下生物的观测、研

究,海洋考察,冰下观察,水下考古,海洋地质或地球物理学研究,深海测量,海底剖面测绘,海底取样,海洋水文研究,以及深水矿藏勘探等。

ROV 在军事领域中也具有极高的利用价值和良好的发展前景。ROV 技术最先也是始于军事应用,用途主要集中在浅海的排雷、海岸情报收集、侦察、监视等,也可以在水下对船只进行检修,对航道、训练场、舰艇机动区实施定期或不定期检查,保障这些水域的作业安全。世界各先进国家海军装备的军用无人潜水器大多是 ROV,比较有代表性的有美国的遥控探雷系统 RMS(V)、法国的 PAPI04、德国的企鹅-B3、瑞典的海鹰等。总体而言,ROV 在军事中的应用主要涉及几个方面^[6-7]:

1) 水下侦察及情报搜集。进行雷区监视和海上通道等情报搜集任务,在一些海军人员和潜艇无法进入的海域,进行情报搜集、监视和侦察。

2) 水雷探测与反制。

3) 军港工程的水下维护。

4) 水中试验武器装备的打捞与回收。

5) 失事潜艇的营救。

6) 通信中继。在某些通信受到限制的海域,可以利用 ROV 作为通信接口,完成指挥中心与潜艇、水面舰船之间以及与其他平台之间的通信任务。

7) 战术水文资料的搜集。对特殊海域的海洋环境资料(如潮汐、深度、海流等水文条件)和影响战术活动的因素(航运情况、渔业活动等)进行监视和数据统计,建立数据库,供战时使用。

8) 作为未来的水下无人作战平台。

5 ROV 发展趋势

ROV 具有安全、经济、高效和作业深度大等特点,在世界上得到越来越广泛的应用。加大 ROV 的研制力度,提供性能更高、经济性更好的 ROV 设备,是市场的必然需求。现阶段 ROV 的发展趋势体现在以下几个方面^[1-6]:

1) 向高性能方向发展。随着计算机技术及水下控制、导航定位、通信传感技术的快速发展,ROV 将具有更高的作业能力、更高的运动性能、更好的人机界面,便于操作。

2) 向高可靠性发展。ROV 技术经过多年的研究,各项技术正在逐步走向成熟。ROV 技术的发展将致力于提高观察能力和顶流作业能力,加大数据处理容量,提高操作控制水平和操纵性能,完善人机交互界面,使其更加实用可靠。

3) 向低成本、小型化和自动化方向发展。为了适应 ROV 不断扩大的应用领域,ROV 技术将会向体积小、兼容性

高及模块化方向发展,突破现有水下潜航体设计中的障碍。由于国际间的技术合作愈加密切,高兼容性和模块化技术的应用将大幅度降低 ROV 的制造成本。先进技术的发展,特别是高效电池技术,已可以使 ROV 在特定工作区域以电池作能源,自动化程度将逐步提高。

4) 向更大作业深度发展。地球上 97% 的海洋深度在 6 000 m 以上,称之为深海,随着海洋油气等资源的开发日益走向深海,必然要求 ROV 向更大作业深度发展。目前世界各国都在加大力度研制潜深超过 6 000 m 的深水 ROV。

5) 专业化程度越来越高。任何一种 ROV 不可能完成所有的任务,它们都将只针对某个特殊的需求,配置专用设备,完成特定任务,其种类会越来越多,分工会越来越细,专业化程度会越来越高。

6) 新概念 ROV 即将出现。多媒体技术、临场感技术及虚拟现实技术等新型技术在 ROV 中的应用将产生新一代全新概念的 ROV。

6 结束语

随着开发利用海洋资源的进程和关键技术的日趋成熟,可以预期,ROV 会在作业能力、小型化及可靠性方面获得突破,适应能力将更好,应用会更广泛,在海洋资源开发利用、海底探测、水下工程、水下救助、军事和国防建设等方面将发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 彭学伦. 水下机器人的研究现状与发展趋势[J]. 机器人技术与应用,2004(4):44-47.
- [2] 桑恩方,庞永杰,卞红雨. 水下机器人技术[J]. 机器人技术及应用,2003(3):8-11.
- [3] 胡明茂. 开架式水下机器人系统辨识与控制技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007:4.
- [4] 桑恩方,沈郑燕,高云超. 水下机器人关键技术研究[J]. 机器人技术与应用,2008(4):13-15.
- [5] 刘朝骏. 遥控潜器的现状与未来[J]. 国外舰船工程,2003(5):40-44.
- [6] 张文瑶,袁达夫,胡晓棠. 水下机器人的发展、军事应用及启示[J]. 中国修船,2006,19(6):37-38.
- [7] 兰志林,周家波. 无人水下航行器发展[J]. 国防科技,2008,29(2):13-14.

(责任编辑 刘 舸)