

水下机器人的研究现状与发展趋势

□ 彭学伦

中国船舶重工集团公司第七一〇研究所

[摘 要] 本文从水下机器人 (ROV&AUV) 的分类入手, 对水下机器人的国内外研究现状进行了简要概述, 论述了其系统组成及关键技术, 并对水下机器人的发展趋势及应用前景进行了探讨。

[关键词] 潜航体; 探测; 水下机器人

0. 引言

水下潜水器分为载人潜水器和无人潜水器两大类。其中载人潜水器人工操控机动, 水下直接观察, 便于处理复杂的问题, 但人的生命安全危险性大, 而且体积庞大、系统复杂、价格昂贵。

无人潜水器就是人们所说的水下机器人, 它适于长时间、大范围的水下作业, 近 20 年来, 水下机器人在军事及民用领域有了很大的发展。随着人类对海洋进一步认识与开发利用, 21 世纪它们必将会有更广泛的应用。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, 习惯上把它称为水下遥控运载体 (Remotely Operated Vehicle) 简称 ROV, ROV 通过电缆由母船向其提供动力, 人在母船上通过电缆对 ROV 进行遥控; 另

一类是无缆水下机器人, 习惯上把它称为水下自主式无人运载体 (Autonomous Underwater Vehicle) 简称 AUV, AUV 自带能源, 依靠自身的自治能力来管理和控制自己以完成人赋予的使命。有缆机器人都是遥控式的, 按其运动方式分为拖曳式、(海底) 移动式和浮游 (自航) 式三种。无缆水下机器人只能是自治式的, 按规划的航线自航执行任务, 它的发展前景光明, 代表了水下机器人的发展方向。

1. 水下机器人系统组成

水下机器人是一个复杂的无人系统, 用以代替人类进行复杂、艰苦甚至危险的工作, 它涉及到电子、计算机、流体、结构、材料、液压、水声、光学、电磁、导航控制等多门学科, 体现了一个国家的综合技术力量和水平。

[作者简介] 彭学伦, 男, (1964 ~), 高级工程师, 主要从事水下探测技术研究。

水下机器人的组成从结构上可划分为水面指控系统和水下潜航体两大部分。

1.1 水面指控系统

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、与水下的通信接口和脐带(电缆或光缆)等。对于AUV,脐带仅在潜航体下水前使用,用来下载和传输控制指令,制定航行计划。对于ROV,则要通过脐带和绞车对潜航体提供动力并对其进行实时遥控。

1.2 水下潜航体

按照使用目的和控制方式的不同,水下潜航体可分为流线型和框架式两种,而且一般都采用了模块化结构。主要包括水密耐压壳体 and 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。

(1)水密耐压壳体 水密耐压壳体主要由防腐耐蚀性好、强度高的材料制造,为水下机器人水下设备提供安装平台及浮力,因此,要求耐压壳体线性流畅,结构紧凑。在海洋勘测领域,使用水深要求在3000m以上,对于工程作业型水下机器人,使用水深一般在500m以内,而且以200m以内居多。

(2)动力推进系统

包括供电和推进器两部分。

对AUV而言,动力来源主要是潜航体内的电池,分为铅酸电池、银锌电池、锂离子电池等。在ROV中,主要通过脐带由母船提供动力,也有采用电池供电的。推进器又分为主推进器和辅助推进器,由推进电机、控制器和与之相配合的螺旋桨组成。主推进器一般安装在潜航体两侧,

在流线型潜航体中,也有安装在尾部的,主要用来完成前进、后退和回转运动。辅助推进器则可安装在潜航体的头部、中段或尾部,主要用于使潜航体下潜、上浮及左右横向机动。

供电系统和推进器的匹配,除满足潜航体的航速要求外,还要保证足够的续航力。

(3)探测识别系统 探测识别系统的配置与水下机器人的任务使命密切相关,一般情况下,水下电视摄像系统和探测识别声纳设备,在大范围目标搜寻探测中是不可缺少的。但在海洋调查方面,则需要搭载专用探测设备,如海底绘图设备、海底剖面设备等。

(4)电子控制系统 这是水下机器人的核心部分,由计算机和接口电路组成,是水下机器人的大脑。对AUV,潜航体下水前,已经完成航迹及其任务规划,控制系统的任务就是严格执行。对ROV,则要实时地接受并处理水面指令,同时采集潜航体自身的各种图像信息和状态信息进行处理并回送,从而实现实时遥控。

(5)执行机构

根据任务目的的不同要求,水下机器人可配备不同的执行机构,如完成专用任务的机械手、获取海洋信息的照相设备、用于搜索打捞的捕捞定位装置、海洋调查布放搭载仪器的释放装置等。

2. 水下机器人关键技术

无论是小型的观察型,还是大功率作业型水下机器人,也不论是ROV还是AUV,都必须解决总体、动力推进、综合控制、通讯与导航等关键技术。

2.1 总体技术

没有一种能够完成所有任务的水下机器人。因此首先必须根据任务使命要求,结合使用水域条件,构建系统的软硬件体系,在满足深度、速度要求前提下,提高有效载荷能力,对总体结构、潜航体流体特性、动力能源、控制模式、通讯方式进行优化配置,明确需要加载的探测定位设备、执行机构类别,进行布放、回收、应急自救方案设计,确认可靠性、维修性指标并进行合理的分配。

2.2 动力推进技术

水下机器人要具有良好的机动性和操纵性,有时还要具备高抗流作业能力和长时间连续作业能力。这就要求必须根据总体使命特点,正确选择供电方式和推进系统配置措施,开发利用高密度能源,力求动力推进系统以合理的自身体积质量,使潜航体以最小的能耗达到规定的速度和多自由度机动能力。

2.3 综合控制技术

包括对潜航体自身运行姿态、各类传感器、执行机构等的综合控制并进行显示。在AUV中,还包括利用新型控制算法对潜航体进行任务和航迹规划。综合控制技术的先进性,体现在水下机器人的可操作性、机动灵活性、实时性、对母船的广泛适应性和任务可达性等各个方面。

2.4 通讯与导航定位技术

水下机器人的作业,特别是水下目标探测搜救过程,实际上就是要解决好潜航体到哪里去、在哪里和去过哪里的问题。导航技术可以解决前一个问题,定位技术则能回答潜航体在哪里和去过哪里,而要实现上述目的,必须依

赖先进可靠的通讯和定位技术,利用水声通讯和光电通讯技术,解决各类控制指令的传输及传感器、水下电视、声呐等探测设备的信息回馈。常用的导航定位技术包括水下声波跟踪定位结合GPS的外部定位技术和多卜勒测速声纳导航、惯性导航及利用声波影像的视觉导航等方法。对于AUV系统,还必须发展高可靠性、高集成度、具有综合补偿和校正功能的智能综合导航系统,以适应AUV的自主航行。

2.5 执行机构

包括用于探测识别的水下电视和声纳设备、为了完成某项任务而配置的传感器及机械手等专用设备。水下机器人中配置多功能执行机构的比较少,因为涉及结构设计、潜航体浮力提供、机械及电气接口、控制与通讯资源占用等多方面因素。因此,执行机构必须专业、可靠、实用。

另外,水下机器人研究还涉及水下工程材料研究,精密加工技术,大深度、高海况下的密封技术,信息处理与自主识别技术,安全布放与回收技术等多项关键技术研究。

对军用水下机器人来说,还必须服从总体战术技术指标要求,满足其特殊的声磁性能要求,进行隐身技术、抗炸性能、战斗部件等专用功能设计。

3. 国内外水下机器人研究现状

有缆水下机器人(ROV)最早产生于20世纪50年代,当时主要用于执行鱼雷和水下导弹回收任务而由军方研制。美国海军1956年研制出的“开尔夫(CURV)”1号机器人在服役期间曾执

行数百次使命,其中包括从海底回收100多枚鱼雷。

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,70年代和80年代,ROV的研制获得迅猛发展,出现了海底考察、实验、采样、打捞、救助、工程施工等多种用途的水下机器人,工作性能越来越好,工作水深也越来越大。当今世界各国如美国、英国、法国、意大利、俄罗斯、日本及瑞典等国,都已开发出各种类型的水下机器人,而且各自具有一定的技术优势。水下机器人已广泛应用于经济及军事等不同领域,它已经成为水下观察和水下作业方面最为有效和最具潜力的水下开发工具。

与世界其他国家一样,我国的水下机器人研究也是从立足军事需求起步的,从“六五”开始对军用水下机器人进行探索性研究,加上国内其他科研机构、大专院校的同期研制工作,到目前军用水下机器人已经服役并正在形成系列,特别是6000m深水机器人的问世,表明我国在此领域已经取得了一定成绩。但是由于在探测技术、工艺水平、综合显控、综合导航与定位等技术上存在的差距较大,致使国产水下机器人的实际应用受到限制,目前国内在不同领域的应用客户许多是购买或租借国外现有产品,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蓬勃发展及综合国力的提高,面对不断增长的市场需求,开发研制适合我国使用需求的水下机器人就显得十分必要和紧迫。

4. 水下机器人应用前景

水下机器人已广泛应用于包括海洋工程、港口建设、海洋石油、海事执法取证、科学研究和海军防务等诸多领域,用以完成水下搜救、探测打捞、深海资源调查、海底线管敷设与检查维修、水下考古、电站及水库大坝检测等各项工作。目前市场对水下机器人的需求分观察探测型和作业型两种。观察型配备有水下电视和照相设备,针对水下特定目标进行定期观察和检查;作业型可针对不同的要求,还配备前视声纳、侧扫声纳、海底绘图、海底剖面等设备和特种机械手等,进行简单的水下作业。

随着计算机技术、微电子技术的进一步发展,军用机器人的智能将得到进一步的提高,在战争中担负更加复杂的任务。有专家估计,到2010年左右,战斗机器人将全方位地走上战场,多种不同性能的智能机器人将用于军事行动。实际上,水下机器人作为反水雷战、反潜侦察、潜援救生的有力武器装备,已经在历次海战中发挥了重要作用。

二战结束后,导弹及核武器的出现,并没有取代反水雷武器的地位。水下机器人可以在舰艇前方进行探测搜索,发现水雷目标后,用自身携带的战斗部件销毁水雷或对水雷进行标定,引导舰船顺利通过雷区。

利用水下机器人可以长时间地在水下侦察敌方潜艇、舰船的活动情况,也可以在水下对船只进行检修。目前美国、俄罗斯及英国等国已经研制出可以载弹进行水下攻击的“攻击型水下

机器人”，它们能够悄无声息地接近敌方的舰艇，对敌人进行出其不意的打击。AUV 还可由潜艇发射，使其更具隐蔽性、突防性。

另外，无论战争期间还是平时时期，水下机器人还可以定期对航道、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。

5. 水下机器人发展趋势

随着海洋经济的发展和军事需求的增加以及水下机器人技术的日渐成熟，水下机器人的发展方向也越来越明朗。

5.1 水下机器人的专业化程度越来越高

这是市场和技术的共同需求。一种型式的水下机器人不可能完成所有的任务，无论是适于高海况的大型水下机器人，还是小型观察型机器人，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。水下机器人的种类会越来越多，分工会越来越细，专业化程度会越来越高。

5.2 ROV 与 AUV 并存，ROV 更加实用可靠，AUV 技术更加成熟

从当代遥控机器人系统的发展特点来看，并不是完全追求全自治系统，而是致力于操作者与机器人的人机交互控制，即遥控加局部自主系统构成完整的监测遥控操作系统，实现实时操控和信息实时处理。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。

目前，完全自主式水下机器人（AUV）还有一些关键技术问题需要解决。今后，AUV 将向远程化、智能化发展，其活动范围在 250 ~ 5000 公里的半径内。这就要求有能保证其长时间工作的动力源。在控制和信息处理系统中，采用图像识别、人工智能技术、大容量的知识库系统，以及提高信息处理能力和精密导航定位的随感能力等。待这些技术得到解决，AUV 将成为名符其实的海洋智能机器人。

5.3 群体机器人成为现实

协同作业，共同完成更加复杂的任务，是机器人技术的发展趋势。水下机器人将利用智能传感器的融合和配置技术及通过网络建立的大范围通讯系统，建立机器人相互间及机器人与人之间的通信与磋商机理，完成群体行为控制、监测与管理及故障诊断，实现群体作业。

6. 结束语

水下机器人的研究已经取得了较大进步，正在逐步形成产业，应用范围已日趋广泛，在总体控制、智能化传感器、综合定位与导航及水下通讯等关键技术进一步成熟与发展后，水下机器人将更加智能、可靠与实用，在军事及海洋各个领域将有更加广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 罗斌. 自主式水下机器人及军用前景的探讨. 第二届海洋强国战略论坛论文集. 2003. 10.
- [2] 曲道奎. 张念哲. 机器人技术的新进展. <http://www.stcsm.gov.cn/learning/lesson>.
- [3] 赖维德. 工业机器人技术. <http://www.stcsm.gov.cn/learning/lesson>.