

水中机器人基础及实践

海洋孕育了生命、连通了世界、促进了发展,对人类社会生存和发展具有重要意义。地球上海洋接近 90% 的面积是超过 1000m 的深海。深海蕴藏着丰富的油气、矿产、生物等战略资源。深海更是认识海洋,解决生命起源、地球演化、气候变化等重大科学问题的前沿领域。地球上深度超过 6500m 的区域是深渊区域,最深的马里亚纳海沟“挑战者深渊”的深度接近 11 000m。深渊被认为是驱动地球系统地质、生命、环境演化的关键一环,而由于研究技术手段的限制,人类对深渊的了解还十分有限。随着计算机、通信、能源技术的不断发展,水下机器人正在成为人类探索海洋、认识海洋和开发海洋最重要的技术装备之一。

近年来,水下机器人在海洋科学研究、深海资源勘查、海洋工程及战略高技术等领域得到了广泛应用。通常,水下机器人可分为自主水下机器人(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)和遥控水下机器人(Remotely Operated Vehicle, ROV)。

AUV 自带能源,可以自主航行,能够执行大范围探测任务,但作业时间、数据实时性、作业能力有限。ROV 依靠脐带电缆提供动力,水下作业时间长,能够实现数据实时传输,作业能力较强,但作业范围有限。近年来发展的混合式水下机器人——自主遥控水下机器人(Autonomous & Remotely Operated Vehicle, ARV)结合了 AUV 和 ROV 的优点,自带能源,通过光纤微缆实现数据实时传输,既可实现较大范围的探测,又可实现水下定点精细观测及轻作业,是信息型 AUV 向作业型 AUV 发展过程中出现的新型水下机器人。

“十一五”以来,我国重点部署了 4500 米级、6000 米级和 11 000 米级深海技术装备的研制,并积极开展应用,取得了一批有影响力的成果。在“十四五”规划中,我国要在深海、极地等前沿领域实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目。其中,深海探测、海洋资源开发利用等已成为新兴战略性领域。

3.1 水中机器人的国内外发展现状

3.1.1 国外水中机器人发展现状

国外水下机器人研究已有近 70 年的历史。以美国为代表的西方发达国家,先后研发了 ROV、AUV、ARV,以及水下滑翔机等多种不同类型的水下机器人,主要用于深海资源勘查、海洋科学考察和军事应用等领域。目前全球有上百家 ROV 制造商,正在使用的 ROV 数以千计,而且还在继续增长。其中,美国、加拿大、英国、法国和日本等发达国家在 ROV 领域处于领先地位,占据了绝大部分的商用市场份额。

国外水下机器人技术的发展主要是以美国、日本及欧洲发达国家为代表,他们的技术达

到了目前全世界水下机器人研究的较高水平。其中著名的研究机构有美国麻省理工学院实验室(MIT sea grant's AUV)、日本东京大学机器人应用实验室(Underwater Robotics Application Laboratory,URA)等。美国是比较早发展水下机器人技术的国家,目前他们的研究应用于海洋开发、军事作战、海底探查等各个领域。美国麻省理工学院于1994年研究开发Odyssey水下机器人,长2.15m、直径0.59m、排水量140kg,能够完成两个科学任务:标注海冰图,能够帮助研究北冰洋的海冰机制;在海底逡巡检测大洋山脊火山喷发现状。美国的新罕布什尔州自主水下系统研发所与俄罗斯远东科学院水下技术研究所一起联合开发的太阳能自主水下机器人,是一艘具有超过一年续航力的太阳能自主水下机器人。美国夏威夷大学研制的全方位的智能导航(Omni-Directional Intelligent Navigator,ODIN)是一个以球形模型出现的水下机器人,采用Motorola 68030中央处理器,在陆地上以图形工作站监视水下机器人的姿态和位置,观测海底地貌。

日本智能机器人研究重点集中在无人有缆潜水器的研制上。无人有缆潜水器的工作方式是由水面母船上的工作人员,通过连接潜水器的脐带提供动力,操纵或控制潜水器,通过声呐、水下电视等专用设备进行观察,还能通过水下机械手进行水下作业。这种无人有缆潜水器可以应用在海底遥控作业、海底遥测和海水传动技术等方面。日本研制的R2D4水下机器人长4.4m、宽1.08m、高0.81m,最大可潜至海底4000m深度,主要用于深海和热带海区相关矿藏的探查,同时自主收集数据,用于探测海底火山喷涌状态、沉船、海底矿产资源和海底生物等。此外,以东京大学生产技术研究所的浦环教授领导的实验室课题组先后开发了包括Twin-Burger1、Twin-Burger2、PIEROA150、PIEROA250、Tri-Dog1、Tantan等多个型号的观察型智能水下机器人,在水下机器人虚拟仿真方面做出了许多突破性的工作。

此外,在欧洲,英国自1998年以来开始研究水下机器人,以确定军用可能性和工程上需要克服的技术难点。已经开发成功的“AUTOSUB-1”AUV是一部用于研究海洋海流、温度等科学要素的水下机器人,也具有相当大的军事应用前景。法国国家海洋开发中心于1980年建造了“逆戟鲸”号无人无缆潜水器,该潜水器最大潜水深度可达到6000m。“逆戟鲸”号潜水器先后进行过130多次深潜作业,成功完成了太平洋和地中海海底电缆事故调查、太平洋海底锰结核调查、海底峡谷调查、洋中脊调查等重大课题任务。此外,法国国家海洋开发中心也建造“埃里特”声学遥控潜水器,主要应用于海底油机设备安装、水下钻井机检查、油管敷设、锚缆加固等复杂作业。值得一提的是,“埃里特”声学遥控潜水器的智能程度总体要比“逆戟鲸”号高。

3.1.2 国内水中机器人发展现状

中国智能水下机器人技术研究开始于20世纪80年代中期,主要的研究机构包括中国科学院沈阳自动化所和哈尔滨工程大学等。中国科学院沈阳自动化所蒋新松院士领导设计了“海人一号”遥控式水下机器人试验样机,之后“863计划”的自动化领域开展了潜深1000m的“探索者”号智能水下机器人的论证和研究工作,做出了非常有意义的探索性研究。中国科学院沈阳自动化所与俄罗斯合作共同开发了观察型、预编程控制的CR-01无缆水下机器人,工作水深为6000m。该机器人成功完成太平洋深海考察工作,已经达到实用水平。为适应国际海底区域资源调查,特别是深海海底锰结核调查的需要,研究所和俄罗斯专家们研制成功了新型CR-02系列深水机器人,可勘测海底地形地貌,同时测量海底浅地

层剖面和各种海洋科学要素。

在水下机器人研制方面,与国外水下机器人发展历史相比,国内水下机器人技术研究起步比较晚,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差距,致使国产水下机器人在实际应用方面受到限制;机动性、抗流能力及作业能力稍显不足,因此,随着我国海洋开发事业的蓬勃发展和综合国力的提高,开发研制适合我国实际使用需要的水下机器人变得十分必要和紧迫。

3.2 初识水中机器人的硬件

以乐智水中机器人(见图 3-1)为例,了解水中机器人的基础知识。乐智水中机器人具有硬件模块化的特点,不同的模块可以实现不同的功能,便于研究再开发。整体采用先进的烤漆工艺做到滴水不漏,配有标准的电源、通信总线接口。

乐智水中机器人的头舱主要有水下拍照、水下摄像、水面 WiFi 通信、舱内温湿度监测的功能。摄像头用于实现水下拍照、水下摄像的功能,周围有 8 个指示灯用于补充光线,避免因光线原因造成图像不清晰等状况。集成板上有 WiFi 通信模块,在集成板上闪烁蓝光,以实现无线通信的目的。旁边有相关温度、湿度传感器,主要用于检测头舱温湿度状态,避免因温度、湿度过高造成接触不良等问题。

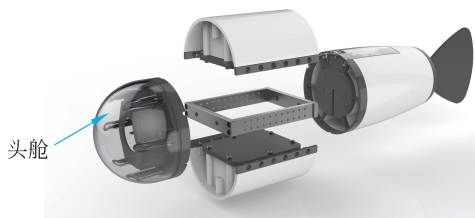


图 3-1 乐智水中机器人

螺旋桨推进舱如图 3-2(a)所示,其功能主要有双防水电机独立推进、螺旋桨推进方向可控、转速可调、转速可反馈、编程实现丰富的运动模式。螺旋桨推进舱主要由两个独立防水电机、两个舵机及集成板组成。防水电机主要作用是水中机器人提供动力,也就是被人们所熟悉的螺旋桨。两个舵机在这一部位,用于控制螺旋桨的仰俯角,以实现在水中的多种动作。集成板与主控板相连,实现电机转速控制反馈、舵机角度控制反馈,最终实现控制水中机器人运动的目的。



图 3-2 乐智水中机器人螺旋桨推进舱

标准舱如图 3-2(b)所示,主要有标准的防水功能舱段调整内部配重片,实现浮力、姿态调节,与尾舱配合,可作为备用电源舱段。标准舱主要由配重片和集成板两部分组成,配重片用于调节浮力及水中机器人的位姿。集成板的作用是与其他模块连接进行通信。同时标准舱可以用于添加一些所需传感器,以便于让水中机器人实时地感应周围环境的变化,从而做出一定的反应。

尾舱如图 3-2(c)所示,尾舱主要由仿生推进装置、动力电源提供装置、内部实现温湿度环境监测装置组成。尾舱主要由主控板,树莓派,温度、湿度传感器,电池,尾部舵机组成。一般,水中机器人的主控板用于控制执行烧录的程序代码,以此实现人们想要的功能。树莓派用于图像的传输,将摄像头中得到的图像,处理并通过头舱的 WiFi 通信模块传输给控制端,从而达到实时传输图像的效果。相关温度、湿度传感器,主要用于检测尾舱温湿度状态,避免因温度、湿度过高造成的接触问题,从而造成不必要的损失。电池为水中机器人持续提供电能以维持水中机器人的正常运行。尾舱上部有多项指示灯,用于显示电量。尾部舵机通过控制舵机角度的变化,实现仿真推进。

3.3 本章小结

本章概述了国内外水中机器人的发展现状,以乐智水中机器人为例详述了水中机器人的基本硬件组成以及各部件的作用及工作原理,为设计制作水中机器人提供了理论基础和实践参考。

3.4 思考题与习题

1. 水中机器人在国内外发展的差异主要体现在哪些方面?
2. 国内水中机器人发展面临哪些主要挑战和机遇?
3. 推进系统如何影响水中机器人的操控性和效率?
4. 水中机器人在环境监测中的应用有哪些优势和局限?
5. 未来水中机器人技术发展的主要趋势是什么?
6. 思政拓展思考题

水中机器人作为海洋探索和水下作业的重要工具,其发展现状能够反映一个国家的海洋科技实力。请讨论我国在推动水中机器人发展过程中面临的机遇与挑战,并探讨如何通过科技创新加强我国海洋强国建设。