

# 海洋机器人

于 东 英

海洋机器人是科学领域中的一个生长点，目前仅有很少国家如苏联、美国和日本生产了深海遥控活动系统，法国、西德、英国也研制水下机器人。海洋机器人一般用于打捞、救难、海洋调查（如海洋图、海岸线的绘制）、科学考察、搜寻海洋中的目标、敷设管道等。虽然目前各工业先进国家在研制海洋机器人的海底无人遥控系统的工艺水平和自动化方面有了很大的提高，但在浑浊海水中作业监视，防腐蚀，高压环境下电气、机械系统的可靠性，控制信号多路传输等方面问题还远远没有完全解决。海洋机器人的理论目前仍仅处于发展初步阶段。比如，海洋机器人活动于深水物质的积层中，所以在进行建立海洋机器人设计和计算的工程方法时，需考虑机器人动力学计算。计算证明，忽略在动态计算中海水密度变化，有时会带来10%的误差。在海洋机器人上应用微处理机和新软件，使主要硬件成本降低，显著改进硬件工作性能及其可靠性。操纵和控制的理论研究使能不仅有增大预程序控制的可能性，而且在仿生智能上也存在使用多种控制论技术以取得全自动的可能（虽然到目前为止，还没有海底系统具备这种能力）。所以目前已存在一种研究超越人控先进系统的研究任务。下面仅介绍几种近代先进结构的海洋机器人，供从事这个领域的研究工作者参考。

## 苏 联 方 面

苏联科学院海洋学研究所自1964年以来就开始从事研究海底遥远人控系统。其第一个系统称作“蟹”，它是第一个无人带电缆的受控器，上面装载有电视系统、录相机、绞链联结的可伸缩的机械手、液压系统、遥控系统、自备电池电源。它的抓捕标本的机械手可以在0.4米以内拾取各种形状物体。为使“蟹”可以在海床上获得一个静止和稳定状态，它的浮游活动箱底部与一个三支点平台相连，这个平台能控制包括有电视、机械手的上面部份绕垂直轴转动 $320^\circ$ 。为了电视扫描和使用同心圆工作面积范围的机械手（机械手工作外直径为3米，内直径为2.2米），此平台可倾斜 $30^\circ$ 。机械手的勺子（抓捕器）能像肘一样往回弯，并且缩回到使样品位于盛物箱的上面的地方。机械手和平台均用液压驱动。控制指令和慢幅面率电视相图（每秒10帧）通过同轴电缆与母船相连，在载频 $3.5Mc/S$ 下用频率时间分割采样技术来传递控制信号和电视图象。在母船上的步进取景器作为开关装置，通过22个通道传递信息。“蟹”在1972年在黑海1500米深处进行海洋活动试验。后来，又在里海水下100—200米处探查火山顶端。它用电视和电影摄影机在游动和静止状态下获得海床的照片，用机械手收集样品。第二种改进型“蟹二”是用于4000米深水下操作的，在4000米水下操作机械手有7个自由度，是一个模仿人手动作的遥控机械手，这种机械手曾在苏联人控潜水艇“服务者—2”上试用过。

利用两种不同的“蟹”的经验，制造出一种在运海海床上活动的浮游系统，名叫“螳

螂”，它备有推进器和一个控制板。“螳螂”与“蟹”主要不同之处是它有一个与“螳螂”相连的“海面操纵者的椅子”。它通过伺服—反馈线路重复“螳螂”俯仰和滚动动作，以产生使操纵者有亲临现场的感觉。“螳螂”的机械手中引入了预先程序化的指令，以实现包括抓捕和装载所收集标本的动作。机器人与机械手用功率为0.8、1.1和5匹液压驱动运动器驱动的，其液压马达分别为ГМ—44、HC—3和ГМ—35液压马达机组。这种机构已应用在海洋机器人“螳螂—6”和“虹鱼”上。液压马达的速度调节是用液压机组ГА—164来实现的，它是按宽脉冲调制模式工作的（用于ГМ—44和HC—3），也有用滑阀型双串级型的放大器АИ—35来实现的（用于ГМ—35）。“螳螂”的旋转液压机构系列能发出1.5到20公斤·米的旋转力矩，这种机构用来驱动机械手的执行机构和环视定位器，机械手执行装置的转动机构能保证转动115°角。微光电视的强固密封室为一种内径为400毫米、能经受700气压以下压力的半圆体。能在400气压外压力下动作的液压分配装置系列是按照航空工业中的喷嘴—节气门型系列液压机组改制出来的。在每一个直接与机械手执行机构构件相连的块体中有两个上述的分配器。机器人的液压传动系统的泵站是按母船所供电源来选用的。在使用26伏直流电源时，往往使用HC—3泵站。而用220伏交流电时，其泵站电机一般采用AB—2—22—6型电机，为了在深海高压下对电机进行压力补偿保护，此交流电机被放置在充满电机电介质填充剂的块体中，并通过弹性膜与外界液压相连。

目前，在苏联海洋机器人感觉系统基础研究发展得很少，研制工作还仅仅是开始。在“螳螂”足够宽的构架上安放着许多外界介质参量传感器以进行海洋学测量如：用来精密测量温度平均值、电导、流速、流向、声速、压力等的装置等。海洋机器人的视觉传感器是电视系统、点定位器和环视定位器。最难制作的可能是触觉传感器。绝大部份用来制作在陆上使用的触觉传感器的物理原理都不能用在海洋机器人上。在苏联近年才制成海洋机器人指上接触型触觉传感器。这种电感充油传感器在接触时间隙的变化导致电感的变化，此即机器人手指与物的接触量。现在已由列宁格勒工艺研究所技术控制论特殊结构局（ОКБТК）设计出四种海洋机器人有感觉抓捕器即：У3А—1型（有8个超音波传感器，1个光传感器，1个触觉传感器）；СЛТ—2型（有8个光学的和8个触觉的传感器）；У3А—2型（有12个超音波的和1个力传感器）；СЛТ—1型（有14个光的，26个触觉的和1个力传感器）。目前苏联学者们正致力于研究掌握更完整、深刻的由触觉元件输入的信息处理逻辑过程。实际上，建造海洋机器人的机载计算系统的研制工作还没有开始。

ОSА—3—600是一种海底直升飞机，它是由莫斯科渔船设计所设计并且总装的，它能作高度复杂的“特技飞行”。此蛋形船可以在任何高度流水中静止地“腾空”，并且根据水流自动补偿。此人控稳定器可以装载三人，潜入深海。它有异常精确的导航设备，装有照明器，并有一个收集生物和矿物标本的机械手。

## 美 国 方 面

中国湖美国海军武器研究所设计、制造的「老潜水员」科沃（*CURV*）重一吨，高1.8米，宽2.1米，长3.9米，装有液压系统、声波探测系统、定位系统和电视摄像机。它的外形象一只长方形的箱子，正个骨架用铝合金制成，上部有两只圆柱形的平衡筒，骨架的前端与侧面有两套水下电视，以供水面操纵人员审视水下情景与导航。它装有35毫米的摄影机一台。在它的身后，装有电动螺旋桨，能根据需要朝着3个方向推进。在母船的遥控下，它能

潜入750米以下水深处作业。共有5名专家在海面母船上对“科沃”进行遥控，“科沃”身上装有超声测深声纳，不断地将深度信息送给母船。“科沃”的手能模拟水上操作者双手的动作。因此，操作人员对着荧光屏控制“科沃”的机械手，就象自己亲临水下作业一样调整力的大小和动作幅度。“科沃”曾出色地在公海完成近40次武器回收任务。“科沃1号”在1965年在西班牙海床上打捞氢弹。1973年“科沃3号”打捞起一艘失事的“双鱼座”深潜艇。

美国海军部加利福尼亚州海军潜海中心发明一种深海工作系统组件 (*WSP*)<sup>\*</sup>。它是包括三个机械手和各种液压工具的综合“组件”，它完成了指定在6600米深海下的试验。这种“组件”很顺利地用于人控潜水艇 *ALVIN*、*SEACLIFF* 和 *TORTLE* (龟) 以及海洋机器人 *CURV* (科沃) III 和 *RUWS* 上，以扩展其工作能力。另外，它也可以单独由海面母船放置，控制或自控操作。此“组件”设计中有一个在海床上操作的全套工作系统而不需要为换工作项目而重新装配。它完成的试验包括回收、海底建造、按装、修理等操作，能进行钻、攻丝、上螺丝、附接等动作。它带有碘石英水下微光电视摄像机用来增大机器人的海面操作者在换工具和工作操作时的视觉。在潜水艇或机器人的正面有一个适当的视场，有良好的换工具、良好视觉和机械手活动通路。在机器人的某一点能投弃下正个的“组件”。这个“组件”的全部水下重量和稳定度要适合运载器的极限值。“组件”的骨架是由5086铝合金制造的简单管状架子，其外形是要适合于将上述主系统元件作适当安排，然后用一个在背后的连接板将它们连接起来。在机器人与“组件”之间使用一个分隔板，所有“组件”的元、部件固定在分隔板的前面，而机器人的机械、电气件在分隔板后面，这就减少了当将此组件由一机器人转移到另一机器人（或潜艇）时的修改工作。“组件”是由一个1吋直径螺栓将其分隔板连到机器人上去。当螺栓为螺栓切断机突然动作割掉后，就可以满足“组件”在机器人某点被投放的目的。进出于潜艇或机器人的电气和液压线路可由分隔板上的联结器所断开。这样，就可以易于分离和投放。在 *ALVIN*、*CURV* III 和 *RUWS* 上有一个溜放架，以防止在其相对脆弱的结构上产生应力集中。在不需要机器人供电的情况下，在溜放器上贴放一组电池组。为减少“组件”的水下重量以适应于机器人的调正量，应用一种新试制成功的35磅/呎<sup>3</sup>密度的泡沫塑料装在“组件”和溜放架上。塑料块要放置在使机器人产生良好稳定性的地方时，不防碍机械手的工作。目前，这种泡沫塑料组系列仅用在6600米深的海底，若要用于更深一点的地方，就要更换更强一点的材料。在“组件”下部主横管两端是两个简易机械手或“抓捕器”手臂，它们可以为了稳定的目的抓住和握持工件，或帮助上面的那只灵巧的机械手的工作手臂，这两只简单手臂都是液压驱动并且能形成6个预定的控制功能，包括直线伸长24吋。它们在伸直9呎时能举重250磅，其握力为500磅。灵巧的机械手由液压驱动7个动作，它装在上面中间偏右的地方，这个位置与中间上面操纵者视线（电视摄像机）的关系就象右臂和人眼之间的位置一样，这就会产生一种对于操作者来说是模拟了人所熟悉的情况。灵巧机械手的举重重量为100磅，臂的全伸长达6呎，自主液压源来的管路直通到手掌的颞中，颞配有快速脱开且在液压工具上具有相配联结部，这就使得当手臂在海底抓到工具以后，液动力可以接上并传递到工具上去，这就不需要在每一个工具上接软管了。工具由一个管状铝制握持器中的顺势刷子所握持，它位于灵巧机械手的对面，并且正好在正面视线领域之外。工具握持器可以伸长，使工具可以适应机械手直线伸长能力沿着径向被提取或置换，这样就可以减少换工具的时间。“组件”在深海作潜水员操作时所用的工具都是陆上车间

\* 以下深海工作系统组件简称“组件”。

中常用的，主要是用来实现典型水下试验所需要的功能，如：打捞操作中的扫除碎片、焊透船体、举起装置附件及抢救阀门联结件等等。工具可分为三类：转动、线动和大功率高速度（突然动作）。由于液压系统有精密控制、大功率和对水深压力不敏感等的固有优点，就像机械手和其他动作器一样，绝大部份工具都选用液压操作。转动工具用于刷、磨、切断、钻、套丝、铲片、上下螺钉等。线运动工具由一个直线动作器作动力，用于起重、扩孔、割断电缆等。大功率、高速度工具用来实现短时间内有大能量输出的切割电缆器和螺栓旋转器之用，这种工具都是简单、易操作的，但是都是在一次操作中只能用一次的工具，所以在工具握持器中要为这些工具留几个位置。“组件”的功率源由一个位于水平管结构中部下边的一个电液转换器产生。液压功率组件由两个分开的马达泵组成。第一个是低流量泵（在2000磅/吋<sup>2</sup>下流量为1.0克/分），用来操作机械手、电视摄象机摇镜装置、倾斜架和绞盘。第二个是高流量组，（在3000磅/吋<sup>2</sup>下流量为2.5克/分）用于强力工具。若低流量机组失效时，用高流量系统动作一个跨越阀以实现两者所有的功能。选择两个泵系统较之用一个泵能节约电池功率。在“组件”操作中需要有两种电源，60伏直流一般由铅酸电池组供电，用于液压源和照明。30伏直流一般由机器人供应，用于装备、仪器，投放“组件”和指令及控制。指令和控制信号、接通和断开无线电通讯线路都是通过一根同轴电缆的时间分割多路传输系统传输。上述多路传输和显示电子线路在遥控操作中都装在机器人支架的标准托板上，防水电子线路放在液压力源上端的圆形套筒中。仅仅电视器和投放作用直接由硬件操作。当确定硬件通过机器人（或深潜艇）的脐状电缆掌握110个“组件”操作功能电缆数过多时，就用多路传输技术。电子线路均放在硅油中操作，并补偿到全环境压力。“组件”上有4个500瓦碘石英灯用于照明，它们由小型60—100伏直流转换器供电。在每个电视摄象机上装有250瓦碘石英灯。选择白炽灯而不用更有效率的气体元素灯是基于在重量，费用、起动时间和总效率方面的好处。电视摄象机装在液压摇镜头盘和倾斜盘上，它们都是微光硅增强靶型的，在低功率光下工作可以减少后向散射体的亮度和增强远视场视觉，一个摄象机用来作机器人（或人控潜艇）操作之用，放置在换工具时能扩展操作者视线的位置上。第二个摄象机放在同一位置以作机器人前视之用。仔细选择“组件”各种单独元件并适当加以组合就可以形成多用途的组合。这种工具和手臂的综合可以使操作者只要具备最低限度的预教知识就可完成一项任务。他可以将“组件”放在一个特定位置上，在一个短时间内，探索出顺利完成试验的各种途径，而不需要将“组件”带到海面去重装。一个打捞的例子可以说明这个问题，例如一个操作者企图在一块船身碎片上打一个起重眼，他先张开抓捕器手臂并放下以使机器人稳定。然后，伸长工具箱，并且使灵巧机械手去提取一个低速转动工具，拉出一个钻头。然后它缩回工具箱，用机械手将钻头钻进碎片去。在钻了孔以后，他将工具前伸并调换配件。他使用机械手从一个工具夹钳中提取一个有套环螺栓，再缩回工具箱并将有眼螺栓压入船身板新钻好的洞中，这就作成了一个提升点。“组件”是美国第一个多用途工具组合体和定型工作系统，可以用在人控和遥控潜水器及海洋机器人领域内，它也可以直接由操纵手遥控操作，在一系列的成功试验中表明，在换工具方面还有要改进的地方，需要有更好的可见度包括景深、对比度和多个观察角等。

## 日 本 方 面

日本日立中央研究实验室研制出装有计算机化触觉称作（HI-T-HAND）的陆上机

器人。它可以感觉到各种物体的形状及其位置，并且按照指令将物体紧包成捆。这种机器人是有关节的，有7个自由度运动和1个平行颚抓捕机构，一个数字计算机用在主控系统。其触觉传感器是一种低接触压力金属接触器。其压力传感器是一种压力敏感导体橡皮。这种橡皮较其它元件为薄，橡皮元件本身有弹性以防止损坏握持的物体。

东京电气技术实验室研制了一种易于进行人—机械人联系技术中的相互作用系统。它有一个有关节机械手、原始计算机子程序、中间作用系统和一个改进试验的监视器。机械手是液压控制的，手臂有6个自由度，手上有触觉传感器。大部份高压油管路用一个转换连结器流过机器人机身，适宜地将油输送到各点去。每只手有两个手指，每一个手指均有其自身的小伺服马达。原始子程序形成机器人手座标和伺服角之间的座标变换并控制手的运动。机器人手座标和直角座标固定在所用的空间上。手的位置由手指尖部 ( $X, Y, Z$ ) 座标所表示，而其姿态由尤拉角所表示 ( $D, B, Y$ )。中间作用系统通过一个打印机监视机械手。

## 英 国 方 面

由苏格兰两位科学家研制出一种无人遥控潜水器 *ANGUS* (可导航通用海底探测器)。它在水下330米大陆架上活动。它有两个推进装置，其完善的导航系统使其能精确测量大面积的海床。这种潜水器可用一个比较小的母船来操作。*ANGUS* 和美国海军的 *CURV* III 潜水器的设计概念相似。

### 参 考 文 献

- [1] N.E. Stabrook et al.  
Mechanism and machine theory 1977.12. No.5 569—576
- [2] A.V. Rechnizer.  
Mechanism and machine theory 1977.1.No.1 51—56
- [3] Ястребов в.с.  
Научные проблемы робототехники изд.Наука 1980г.
- [4] Платонов А.К  
Научные проблемы робототехники изд Наука 1980г
- [5] Юревич Е.И.  
Научные проблемы робототехники изд наука.1980г.