

文章编号: 1002-0446(2005)01-0082-08

深海 ROV 及其作业系统综述*

晏勇¹, 马培荪¹, 王道炎², 高雪官¹

(1, 上海交通大学机器人研究所, 上海 200030; 2, 上海交通大学水下工程研究所, 上海 200030)

摘要: 介绍了目前世界上主要的深海 ROV 及其作业系统配置情况, 以便为 ROV 作业系统的总体设计提供相关参考。然后分别针对水下机械手的研制思路和水下作业工具的研究状况及难点等进行了分析与评述, 给出了相关建议。

关键词: 水下机器人; ROV; 作业系统; 机械手; 作业工具

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

Development of Deep Sea ROV and Its Working System

YAN Yong¹, MA Pei-sun¹, WANG Dao-yan², GAO Xue-guan¹

(1. Research Institute of Robotics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Underwater Engineering Research Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: To give a reference for the overall design of ROV (remotely operated vehicles), typical ROVs and their working systems in the world are introduced in this paper. For the ROV status and difficulties of subsea manipulators and underwater tools, key points are discussed and analysed, and trends and suggestions are given for the future research work.

Key words: underwater robot; ROV; working system; manipulator; tools

1 引言 (Introduction)

ROV (Remotely Operated Vehicle) 是当前海洋探索研究最主要的工具之一, 作业系统是 ROV 的重要组成部分, 它对机械手和作业工具等均提出了较严格的技术要求。

针对下潜深度大于 1000 m 的深海 ROV, 本文着重介绍其机械手、作业工具等技术的研究和发展现状, 并对其中的主要问题和关键技术进行了总结, 以便为研究 ROV 作业系统的总体设计、机械手选型、作业工具研制等工作提供研究思路。

2 深海 ROV 及其作业系统 (Deep sea ROV and its working system)

2.1 ROV 及其作业系统概述

ROV 的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, 其研制水平体现了一个国家的综合技术力量。世界上主要的海洋大国如美国、俄罗斯、日本、英国和法国等都先后开发了多种型号的 ROV, 用于不同的任务和不同的工作深度, 其中比较领先的是日本和美国^[1~3]。ROV 作业系统主要包

括机械手及作业工具。

通常, 作业型水下机器人的前端都装有两个机械手, 分工合作。配置方式为:

- 右舷机械手为作业型机械手, 较为灵活, 作业精度高, 自由度相对较多, 一般 5~7 个, 控制系统多采用主从式电液伺服控制。

- 左舷机械手主要作为定位型机械手, 较为简单, 但臂力强大, 能可靠实施 ROV 悬浮作业的定位功能, 并可兼顾部分作业任务, 其自由度一般较少, 3~5 个即可, 控制系统可采用简单的开关控制方式。

根据 ROV 作业任务的不同, 对作业工具的需求可粗略地分为两类: 一类为完成常规的水下作业任务, 可选配一些较为标准、通用的作业工具。这些工具大多都具有标准的接口, 可购买也可自行研制。另一类为完成一些特定的作业任务, 例如各种用途的样品采集, 由于取样对象千差万别, 特性各异, 所以大多需要专门研制相应的采样工具及样品盛装器皿, 且需要相关学科的专门知识, 因而具有较高的难度。但这一点恰好又是 ROV 的研究和用途中最有价值的体现之一^[4,5]。

* 收稿日期: 2004-05-20

2.2 典型 ROV 及其作业系统配置简介

在 ROV 研究及应用领域内, Kaiko 和 Victor 6000 是两台值得关注的典型代表, 分别见图 1 和图 2.

Kaiko 海沟号, 是全世界下潜深度最大的 ROV, 可达 11000 m. Kaiko 由日本海洋科学与技术中心 JAMSTEC 研制并拥有, 其生产厂商为 EMS. 1995 年 3 月,



图 1 日本 JAMSTEC 的 Kaiko
Fig.1 Kaiko, JAMSTEC, Japan

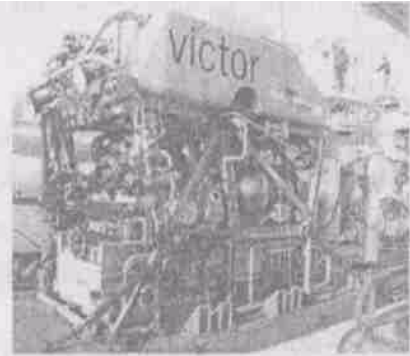


图 2 法国 Ifremer 的 Victor 6000
Fig.2 Victor 6000, Ifremer, France

Victor 6000 是法国 Ifremer 与德国、英国的相关机构合作设计制造并共同拥有的 ROV, 最大下潜深度为 6000 m. 该 ROV 从 1999 年开始进行了很多科学考察活动, 科学文献中能查获的相关论文较多. Victor 6000 是一台采样功能非常丰富的 ROV, 所搭载的作业工具和采样器值得继续调研. 资料表明: 它最初只配置了一只机械手, 即 Maestro, 后来根据实际应用的

Kaiko 下潜至马里亚纳海沟的底部, 创下了迄今为止 ROV 潜水最深的记录, 并首次精确测得海沟底部的深度为 10911.4 m. 但 2003 年 6 月 30 日 JAMSTEC 宣布, Kaiko 已于 5 月 29 日丢失. Kaiko 是世界上独一无二的 ROV, 其丢失是海洋科学界乃至整个科学技术领域的重大损失^[6].

需要又增加了一只, 即 Sherpa, 才形成了目前的配置^[7~9].

表 1 给出了目前世界上主要海洋调查机构拥有的 ROV 及其基本配置情况, 从中可看出深海作业系统的主要构成方式和要素均比较接近, 但具体性能和工具则各有不同^[6~14].

表 1 世界主要海洋调查机构拥有的 ROV 及其基本配置情况
Table 1 ROVs Owned by world main ocean exploring institution and their working systems

机构名称 (生产厂家)	ROV 名称 及型号	最大下潜 深度 (m)	机械手	主要作业工具
日本 JAMSTEC (EMS)	Kaiko	11000	2 个七功能机械手, 均为主从式.	5 个摄像机, 1 个照相机; 海水温度盐分测定器等.
法国 Ifremer	Victor 6000	6000	1 个主从式七功能机械手 Maestro, 1 个开关式五功能机械手 Sherpa.	3 个摄像机, 5 个照相机; 可移动采样篮, 全钛取样管, 岩心钻取器, 海水取样器, 动物群体采样器等.
美国 WHOI	Jason 2/ Medea	6000	2 个七功能机械手: Schilling Orion, Kraft Predator II.	9 个摄像机, 3 个照相机; 可选配多种作业工具包, 升降式取样器等.
加拿大海洋科学 研究所 (ISE)	ROPOS	5000	1 个七功能机械手, Kodiak (Magnum); 1 个五功能机械手.	3 个摄像机; 可分隔旋转采样盘, BioBox 生物容器, 可变速抽取式液体采样器等.
美国 WHOI	Alvin	4500	2 个七功能机械手.	1 个摄像机, 1 个照相机; 深海沉淀物去芯取样器, 深海海水取样器等.
美国 MBARI	Tiburion	4000	2 个力反馈型七功能机械手, Schilling Conan, Kraft Raptor.	2 个摄像机; 可根据任务搭载多种作业工具包, 如锯钻工具及采样工具等.
日本 JAMSTEC (EMS)	Dolphin 3K	3300	1 个主从式七功能机械手, 1 个开关式五功能机械手.	3 个摄像机, 1 个照相机; 海底地面温度计等.
日本 JAMSTEC (EMS)	Hyper Dolphin	3000	2 个七功能机械手, 均为主从式.	3 个摄像机; 采样工具篮.
美国 MBARI (ISE)	Ventana	1850	2 个七功能机械手: Schilling Titan3, ISE Magnum.	3 个摄像机, 8 个照相机; 锯钻工具等.

2.3 ROV作业系统的构成与选型

通常可根据下潜(作业)深度对 ROV 进行大致分类,因为这涉及到承受压力和密封等关键技术问题.在深度小于 3000m 的范围内,商用 ROV 产品选择面比较宽^[15~18],容易获得较为理想的性价比搭配;当深度大于 3000m 时,可供选择的商用 ROV 产品较少,虽可定制但价格不菲,此时大多采用的方式是自行制作或“组装+改造”.

(1) 下潜深度 1000 m ~ 1500 m

主要有 DSSI 公司(Deep Sea Systems International)的 Max Rover MK-1、Mini Max 2000 MK-1;美国 SeaEye 公司的 Panther Plus、Puma、Tiger、Lynx;英国 Hydrovision 公司的 Demon;美国 Canyon Offshore 公司的 Scorpion 等.

例如 Panther Plus 的最大下潜深度为 1000m,配置 2 只七功能机械手,可选 Hydro-Lek 公司产品;提供 4 个视频通道,具备变焦、聚焦功能等.见图 3.



图 3 美国 SeaEye 公司的 Panther Plus

Fig.3 SeaEye Panther Plus, USA

(2) 下潜深度 2000 ~ 2500 m

主要有 DSSI 公司的 Max Rover MK-2、Mini Max 2000 MK-2;Hydrovision 公司 Demon、Diablo;Canyon Offshore 公司 Triton XL、Triton XLS 等.

例如 Triton XLS 的最大下潜深度为 2500m,配置 1 个七功能机械手 Schilling Titan3;1 个五功能机械手 Schilling RigMaster;1 个摄像机,1 个照相机;可选配工具包.见图 4.

(3) 下潜深度 3000 m 左右

主要有 DSSI 公司的 Max Rover MK-3、Mini Max 2000 定制型号;Canyon Offshore 公司 Quest、Triton ST;Hydrovision 公司 Demon、Venom 等.

其中 Max Rover 系列各型号之间支持向上升级,

可配置 2 个四—七功能机械手,多选择英国 Hydro-Lek 公司产品;可选配各种工具,如锯钻工具、缆索切割器等;还配有 3 个摄像机、1 个照相机.见图 5.



图 4 美国 Canyon Offshore 公司的 Triton XLS

Fig.4 Canyon Offshore Triton XLS, USA



图 5 美国 DSSI 公司的 Max Rover

Fig.5 DSSI Max Rover, USA

而 Hydrovision Demon 最大下潜深度为 3000m,配置 1 个七功能、1 个五功能机械手,多为 Kraft TeleRobotics 公司产品;3 个摄像机,并提供 5 个彩色或 SIT 摄像机接口;为接驳附加的传感器或工具,还提供 3 个 24V、4 个 110V 电源接口.见图 6.



图 6 英国 Hydrovision 公司的 Demon

Fig.6 Hydrovision Demon, UK

(4) 下潜深度 4000 m 以上

由于 ROV 设计和使用的特殊性,各公司均可针对用户要求提供定制服务,例如 DSSI 公司 Max Rover 可定制 4000 m 或 6000 m 两种,而 Mini Max 2000 也有 6000 m 一种。

2.4 深海 ROV 作业系统的构筑

如前节所述,ROV 通常都提供 1~2 个机械手,其自由度的数目通常为 3~7 个,具体配置与工作性质及需求密切相关;而作业工具方面,除了机械手可以装配的通用工具以外,考虑到 ROV 的观测和采样功能,大多都提供一些基本的摄像、视频通道。

在构筑 ROV 项目时,目前大多数研究机构均已逐渐由自制转向集成的形式,即着重进行 ROV 总体功能和性能的规划,然后购买合适的 ROV 框架、部件或者直接向相关公司定制整机,而将更多的精力集中到研制适合自身用途的相关工具上去。

在深海 ROV 作业系统的研发过程中,一般首先根据下潜深度的要求设计或选择合适的 ROV 本体(框架);然后根据水下作业的目的和性质、要求等,确定机械手的自由度数目和控制方式,进而再设计或选择具体的作业和采样工具等。

3 深海 ROV 机械手的选型 (Selection of deep sea ROV manipulators)

3.1 ROV 机械手概述

水下机械手的分类通常有两种方法:第一种是按照操作方式,分为主从式和开关式。另一种是从控制的角度,分为速度控制型、位置控制型以及力反馈型。

主从式机械手基本上就是指位置控制型机械手,采用位置—位置型伺服系统,主动手的瞬时动作被从动手完全复映,以实现主动手与从动手的位姿空间保持对应关系的目标。

开关式机械手也就是速度控制型机械手,它通过开关的方式来控制机械手的起停和运动方向,开关启动后即以一种可控的固定速度进行运动。

力反馈型机械手是指机械手运动构件的作用力可以被反馈到操作者,形成力感并应用于进一步的控制当中。由于水下环境特别是深海作业时能见度差,以力感来补充视觉反馈信息对于执行各类分散的作业是必要的而且高效的。作为一种方法,力反馈可以应用在位控型机械手上,也可以应用在速控型机械手上。

速控型机械手较位控型结构简单,价格低廉,容易操作和维修,所以得到了相对较为广泛的应用。但

水下作业的日趋复杂使得位控型机械手的应用也越来越广,它能有效节省操作时间。而同时带有位置控制及力反馈的机械手,其作业的执行将会更准确,效率也更高。

一般而言,位控力反馈型机械手的价格较之同样规格普通速控型要贵 4~7 倍,没有力反馈的位控型机械手的价格则介于上述二者之间。

3.2 ROV 机械手的特殊性

与 ROV 本体一样,ROV 机械手也首先需要考虑作业深度的问题。其次需选择驱动源,目前有全电力驱动、电液混合驱动、全液压驱动 3 种方式。液压驱动的优点是功率大、体积小、结构紧凑、操纵灵活,可在一定范围内进行组合以提高其灵活性。由于电力驱动的弱点在于对密封性的要求非常高,因此目前仍是液压驱动的应用最广。

ROV 机械手还要求重量轻、装载体积小、运动范围大,并具有很强的抗腐蚀能力。这使得在材料选择、机构与结构设计、表面工艺等方面都具有与普通机械手不同的要求。

3.3 典型 ROV 机械手介绍

典型的七功能 ROV 机械手均具有 6 自由度+手爪的结构,自由度配置方式和顺序大多比较类似,为 6R1P,所不同的主要在于各关节运动角度的范围大小。

商用 ROV 机械手产品中较为常见的有美国 Schilling 公司的 Orion、Conan、Titan3 以及 Rigmaster;加拿大 ISE 公司 Magnum 3~7F;美国 WS&M 公司 The Arm 66 及 MK37 Arm;英国 Hydro-Lek 公司的 HLK-MA4、MB4、EH4、EH5、HD5、HD6/6B/6R、CRA6 等;美国 Kraft 公司的 Grips、Predator II 和 Raptor 等。表 2 给出了 4 个典型型号的特性参数比较。

(1) Orion 7P:这是一种紧凑而灵巧的七功能位控型机械手,由于重量轻,非常适合在对运载体积有要求的水下机器人上使用;功能丰富,宜用作 ROV 右手以完成绝大部分海底作业;操作简单,性能可靠,零部件通用性强,维护方便。如图 7 所示^[19]。

(2) Magnum 7F:可以是主从式也可以是开关式,还可加上力反馈控制方法,这就使得用户能根据不同的应用要求来进行选择。该机械手可以完成的功能非常丰富,且强劲有力,接插件设计使其能抵抗非常强的冲击力,整个手臂的装载空间也很小。如图 8 所示^[20]。

表2 四款典型商用 ROV 机械手特性参数比较

Table 2 Characteristic parameters of four typical commercial ROV manipulators

公司名称	Schilling Robotics Systems, Inc.	International Submarine Engr.	Western Space and Marine, Inc.	Hydro Lek, Ltd.
产品型号	Orion 7P	Magnum 7F	The Arm 66	HLK-HD6
设计水深	3000 m	1250 m	1800 m	2100 m
工作范围	1.8 m	1.5 m	1.7 m	1.0 m
空气中重量	107 kg	71 kg	145 kg	28 kg
水中重量	73 kg	—	97 kg	22 kg
最大负载能力	250 kg	295 kg	45.5 kg	30 kg
腕部最大力矩	170 Nm	190 Nm	163 Nm	38 Nm
手爪张开距离	152 mm(6in)	75 mm(3in)	127 mm(5in)	154 mm(6in)
最大抓力/扭矩	453 kg	150 kg	150 kg	14 Nm
绕基座摆动	120°	50°	180°	120°
肩部俯仰	120°	90°	120°	110°
肘部俯仰	120°	130°	180°	110°
腕部俯仰	120°	115°	100°	90°
腕部摆动	120°	120°	115°	90°
腕部旋转	360°	360°	200°	360°
液压源要求	3000psi, 1.5 - 5 GPM, 10 - 200cSt	1250psi, 10LPM, 25 micron abs.	3000psi, 2 GPM, 5 - 25 micron abs.	210bar, 18LPM
电源要求	50/60 Hz, 90 ~ 260 VAC	—	24 VDC, 25 A	50/60 Hz, 220 ~ 240/415 VAC
报价价格	\$ 99,750	\$ 70,000 ~ 250,000	\$ 280,000 +	—



图7 美国 Schilling 公司的 Orion

Fig.7 Schilling Orion, USA

(3) The Arm 66:它采用了力反馈方法,能提供非常良好的灵巧性、速度及负载能力,在美国 Navy DSV-3 深潜器前4年的零服务纪录验证了其可靠性.全面的压力补偿方案使其轻松适应1800m的深海作业,更大的深度也可通过对一些特殊环节进行除气及预负载补偿来实现.如图9所示^[21].

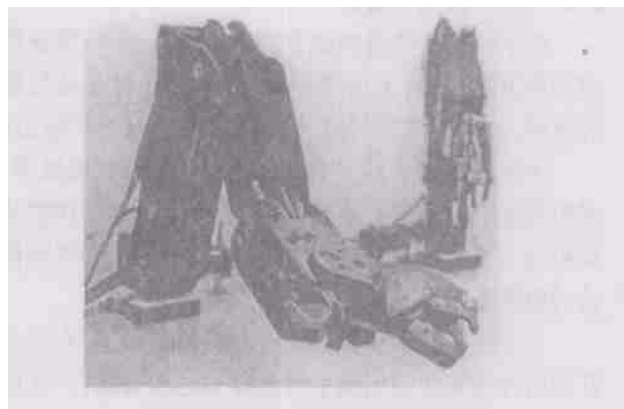


图8 加拿大 ISE 公司的 Magnum

Fig.8 ISE Magnum, Canada

(4) HLK-HD6:是强有力的六功能机械手,可以承受较重的工作负荷,适用于新兴的较小及中型工作级 ROV.该机械手支持两种不同的装载方式,可用作 ROV 右手或左手.目前在 MAX Rover 和 Panther 等 ROV 上均有应用.如图10所示^[22].

(5) 此外值得关注的还有美国 Kraft TeleRobotics 公司的两款 ROV 机械手: Predator II 以及 Raptor.前者

最大伸展距离可达 2 m, 最大举力 90 kg, 价格仅 \$ 119, 000, 因此是在要求宽作业范围和大负载能力时的首选; 其灵活性也非常高, 腕部俯仰和摆动角度可达 200°, 力矩为 136 Nm. 而 Raptor 结构更为紧凑, 灵活性高, 功能也很强, 还可承受较重负载, 是作业级 ROV 机械手的理想选择. 两款机械手均专为深潜器设计, 内置了控制阀, 无需另外配备, 有效减小了对装载容积的要求^[23], 如图 11 所示.

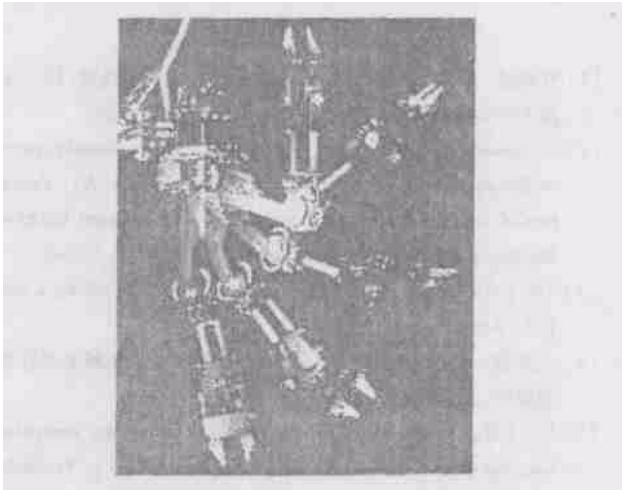


图 9 美国 WS&M 公司的 The Arm 66

Fig.9 WS&M The Arm 66, USA

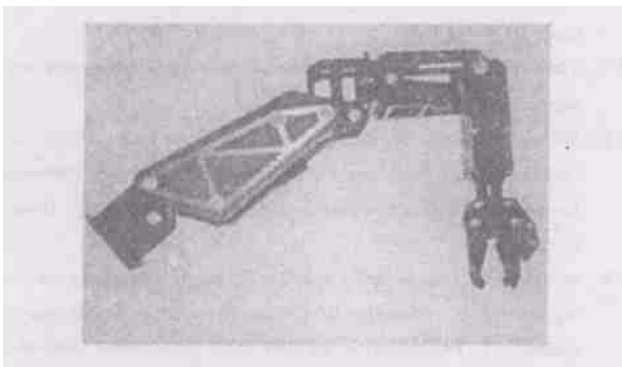


图 10 英国 Hydro-Lek 公司的 HLK-HD6

Fig.10 Hydro-Lek HLK-HD6, UK

3.4 ROV 机械手的设计与选型

在 ROV 机械手设计和选型中, 应着重考虑如下几方面的因素:

6 最大工作范围: 根据作业目的并结合装载体积的尺寸限制来进行综合考虑;

6 运动的灵活性: 包括自由度数目、关节结构形式、各关节运动范围等;

6 负载能力: 这包括整个手臂承受的载荷能力以及手腕、手爪的负载能力;

6 控制方式: 根据作业要求并结合价格因素, 考

虑位控型或速控型, 并决定是否采用力反馈控制.

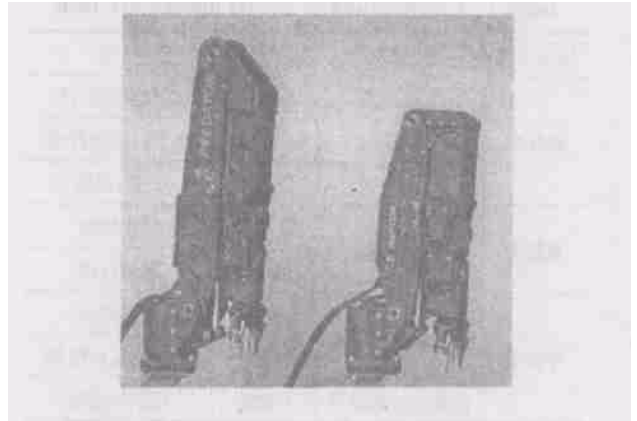


图 11 美国 Kraft 公司的 Predator II 和 Raptor

Fig.11 Kraft Predator II and Raptor, USA

4 水下作业工具及其接口技术 (Underwater tools and its interface)

4.1 常用水下作业工具

随着海底打捞及勘探技术的发展, 单一功能的水下机械手及作业机具已远不能满足人们的要求了. 为提高作业能力及作业水平, 要求机械手能够搭配多种作业机具乃至自行更换, 这就需要 ROV 带有包含多种作业机具的工具包和一只带有自动对接腕的作业机械手.

水下作业工具分为通用水下工具和专用水下工具两种^[24]:

通用水下工具是指适应多种作业任务的水下工具, 一般指的是机械手手爪. 作为一些专用水下工具及采样器具的安装基座, 机械手的运用扩展了水下作业系统的工作空间.

专用水下工具主要用于完成一些特定的水下作业, 可用来扩大水下机械手的作业能力和效率. 常见的专用水下作业工具大致有: 清洗刷、砂轮锯、冲击钻、剪切器、夹持器、冲击搬手、冲洗枪等, 分类情况见表 3. 这些工具的研制越来越注重具有标准的尺寸和接口.

4.2 水下作业工具与接口技术的特殊要求

目前水下作业工具大多都采用液压系统作为其动力驱动源, 水下机械手与水下工具共同使用一个液压源和控制装置. 水下机械手与作业工具之间的接口技术, 除了在几何尺寸、夹持位置等机械参数上需要相互匹配之外, 还应提供液压油路对接的通道, 这又在密封和承压等问题上提出了较为特殊的要

求。

表 3 常用专用水下作业工具的分类

Table 3 Classification of special underwater tools

运动方式	动力形式	工具名称	用途
旋转型	摆线马达	清洗刷	水下结构物清洗
	高速马达	砂轮锯	水下切割和打磨
	低速马达	水下钻具	钻眼、攻丝
直线型	直线油缸	剪切器	钢缆切割
		夹持器	沉物打捞
冲击型	冲击油缸和马达	破碎锤	岩石破碎
		冲击扳手	螺栓拧紧和松开
	往复油缸和马达	冲洗枪	沉积物清除

作业工具自动更换方面仍处于实验室研究阶段,在更换作业工具时既要实现机械手腕与工具之间的机械连接定位,又要完成工具与手腕间的油路对接,通过手腕为作业工具提供所需的液压动力。油路自封接头是液压自动对接腕的重要组成部分,它连接着手腕与工具间的油路,负责油路的导通与关闭。目前常见的油路导通方式有两种:机械式自封接头靠机械方式导通油路,压差式自封接头则靠油压差开启油路^[25]。

5 研究现状分析与建议 (Status analysis and suggestions)

深海作业和取样型 ROV 是当前海洋探索领域内的主要热点之一,其作业系统主要包括机械手与作业工具。国内相关研究机构在研制中需着重关注如下两方面的问题:

(1) 机械手的选型与配置方面,一般配备两个机械手,可外购也可以自制。国外的产品比较成熟,可选范围大,但在应用和改进上可能有一定的局限性,且成本较高;自行研制可使得功能与应用紧密结合,且具有易于改进、成本较低等优点,但需要较高的技术储备和一定的研制周期。针对我国的实际情况,建议采用如下的方式来进行:

6 在时间紧、经费较充足的情况下:可采用全外购的方式,配置一只七功能机械手,一只五—六功能机械手。此方式具有操作性能好、研制周期短的特点。

6 在时间较为宽松或经费比较紧张的情况下:建议右舷外购一只六—七功能主从式或速控型机械手;左舷自制一只四—五功能机械手。此方式价格适中,性能可以较好地满足应用需求,且比较易于在后

续的研发中进一步扩充和升级。

(2) 水下作业工具的选型与研制方面,可分为两种情况:

6 一般的作业工具可以购买成熟产品,性能稳定,接口符合标准要求,能满足大多数作业的需求;

6 比较特殊的作业和采样工具等应当自行研制,只要接口遵照所选用机械手的尺寸和接口标准的要求,是完全可以加载和使用的。

参考文献 (References)

- [1] 任福君, 张岚, 王殿君, 等. 水下机器人的发展现状[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2000, 18(4): 317 - 320.
- [2] Smallwood D, Bachmayer R, Whitcomb L. A new remotely operated underwater vehicle for dynamics and control research[A]. Proceedings of the 11th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology[C]. Durham, USA: 1999. 370 - 377.
- [3] Yuh J. Design and control of autonomous underwater robots: a survey[J]. Autonomous Robots, 2000, 8(1): 7 - 24.
- [4] 孟庆鑫, 张铭钧, 张今瑜, 等. 水下机器人作业机械手的研究与发展[J]. 应用科技, 1996, 23(4): 22 - 25.
- [5] Ryu J H, Kwon J H, Lee P M. Control of underwater manipulators mounted on an ROV using base force information[A]. Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. Seoul, Korea: 2001, vol. 3. 3238 - 3243.
- [6] Kaiko[EB/OL]. <http://www.jamstec.go.jp/jamstec/rov/kaiko.html>, 2003 - 12 - 20.
- [7] Victor 6000[EB/OL]. <http://www.ifremer.fr/fleet/systemes-sm/engins/victor.htm>, 2003 - 10 - 13.
- [8] Michel J L, Klages M, Barriga F J, et al. Victor 6000: design, utilization and first improvements[A]. Proceedings of The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference[C]. Hawaii, USA: 2003. 7 - 14.
- [9] Marchand E, Chaumette F, Spindler F, et al. Controlling the manipulator of an underwater ROV using a coarse calibrated pan/tilt camera[A]. Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. Seoul, Korea: 2001, vol 3. 2773 - 2778.
- [10] AMNH underwater tools[EB/OL]. <http://www.amnh.org/national-center/expeditions/blacksmokers/jason.html>, 2003 - 12 - 20.
- [11] Submersible ROPOS ROV[EB/OL]. <http://www.ropos.com/>, 2004 - 4 - 28.
- [12] NOAA ocean explorer[EB/OL]. <http://oceanexplorer.noaa.gov/>, 2004 - 6 - 9.
- [13] WHOI marine operations - NDSF vehicles overview[EB/OL]. <http://www.whoi.edu/marine/ndsf/vehicles/>, 2003 - 10 - 13.
- [14] MBARI - vessels & vehicles[EB/OL]. <http://www.mbari.org/dmo/vessels-vehicles/vessels.htm>, 2003 - 10 - 13.
- [15] DSSI - Underwater ROVs and components[EB/OL]. <http://www.deepseasystems.com/>, 2003 - 10 - 13.
- [16] Canyon - ROV services[EB/OL]. <http://www.canyonrov.com/rov-equipment.shtml>, 2003 - 10 - 13.
- [17] Manufacturers of electric powered ROV systems[EB/OL]. <http://>

www.seaeye.com/index.html, 2003 - 10 - 13.

- [18] SMD hydrovision - underwater ROVs, vehicles, curvetech and tidal energy products[EB/ OL]. <http://www.smdhydrovision.com/products/>, 2004 - 6 - 9.
- [19] Schilling robotics[EB/ OL]. <http://www.schilling.com/>, 2003 - 10 - 13.
- [20] ISE group of companies[EB/ OL]. <http://www.ise.bc.ca/>, 2003 - 10 - 13.
- [21] Welcome to western space and marine Inc.[EB/ OL]. <http://www.wsminc.com/>, 2003 - 12 - 20.

[22] Hydro Lek innovative design engineering[EB/ OL]. <http://www.hydrolek.com/>, 2003 - 12 - 20.

- [23] Kraft TeleRobotics company index[EB/ OL]. <http://www.krafttelebotics.com/>, 2003 - 10 - 13.
- [24] 滕宇浩, 张将, 刘健. 水下机器人多功能作业工具包[J]. 机器人, 2002, 24(6): 492 - 496.
- [25] 张立勋, 刘乃钊, 王启明, 等. 水下机器人作业机械手液压自动对接腕[J]. 机床与液压, 1996, 24(2): 33 - 35.

作者简介:

晏 勇 (1973-), 男, 博士后. 研究领域: 机器人控制.

(上接第 72 页)

- [8] Liu J T, An G, *et al.* RH6-based multi-robots teleoperation experimental system[A]. IEEE International Conference on Robotics, Intelligent System and Signal Processing[C]. Changsha: 2003. 820 - 824.
- [9] 吴水华, 刘景泰. 遥操作机器人系统软件组织体系结构[J]. 机器人, 2003, 25(7): 731 - 736.
- [10] Brooks R A. Intelligence without representation[J], Artificial Intelligence, 1991, 147(1 - 3): 139 - 159.

作者简介:

刘景泰 (1964-), 男, 博士生导师. 研究领域: 机器人, 自动控制, 智能控制等.

孙 雷 (1977-), 男, 博士研究生. 研究领域: 机器人控制, 遥操作机器人.

陈 涛 (1976-), 男, 博士研究生. 研究领域: 机器人控制, 遥操作机器人.

《机器人》网站正式开通

本刊网站已正式开通, 网址为: <http://robot.sia.cn>, 欢迎大家提出宝贵意见. 本刊今后将不再接收纸本稿件以及电子邮件稿件, 请各位作者到本刊网站在线投稿, 注意: 填全所有的作者姓名; 写全通信作者的联系方式, 以便必要时联系; 记住自己的用户名、密码, 以便修改稿件、个人资料, 查询稿件进展情况. 欢迎广大读者、作者继续支持《机器人》, 共同促进中国机器人事业的进步.