

# 科考型有缆遥控潜水器选型研究

周欣, 刘文博, 王凤军, 郑家恒, 孙杨, 赵国兴, 吴永亭

(自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 本文介绍科考型有缆遥控潜水器(ROV)国内外现状, 总结概括科考型 ROV 系统组成。以关键指标选型法为 4 500 t 级海洋综合科学考察船选定工作水深不小于 6 000 m、液压驱动、系统功率不小于 150 马力、单缆吊放、中部作业甲板安装、侧舷布放回收、集成科考设备系统的第 III 类 B 级加强型的工作级科考型 ROV, 形成适用于 4 500 t 级海洋综合科学考察船科考型 ROV 选型方案, 为国内海洋综合科学考察船运行单位选配潜水器提供经验和参考。

**关键词:** 科考型 ROV; 海洋综合科学考察船; 工作水深; 液压驱动

中图分类号: S932.9\*23 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)2-0125-10

DOI: 10.11759/hyqx20201223002

有缆遥控潜水器(remotely-operated vehicle, ROV)是一种有缆无人、具备影像获取和数据探测系统、通过脐带缆遥控操作, 使用多功能机械手和专用设备完成作业任务的装置<sup>[1-3]</sup>。有缆遥控潜水器因具备水下作业能力强、工作范围广、安全性高、作业时间不受能源限制等优点逐渐成为深海资源探测、海洋科学及地球系统科学研究等领域的关键装备<sup>[4-5]</sup>, 中国越来越多的海洋研究机构将 ROV 应用技术研究作为主要突破方向, 并将科考用途有缆遥控潜水器定义为科考型有缆遥控潜水器(简称科考型 ROV), 科考型 ROV 应用水平成为衡量海洋综合科学考察船科考保障能力的关键指标。

随着开展科考型 ROV 应用技术研究的海洋研究机构越来越多, 拥有性能优异、配置合理、工具丰富的 ROV 成为现实需求。但是国内没有可供参考的科考用途 ROV 选型方法, 引进 ROV 时面临系统组成、布放回收形式、科考设备等如何选择的技术难题。

本文选择中国现役 4 500 t 级海洋综合科学考察船为运载母船, 以深海科学考察、探测、取样以及海底观测网建设、安装和维护等工作提供技术保障为目的, 结合海洋综合科学考察船科考保障能力提升需求, 进行科考型 ROV 选型方法研究。综述科考型 ROV 国内外现状、系统组成, 提出科考型 ROV 关键指标选型方法, 为中国海洋研究机构引进潜水器提供理论依据。

## 1 科考型有缆遥控潜水器国内外现状

### 1.1 科考型有缆遥控潜水器国内外现状

国际上, 利用海洋综合科学考察船搭载科考型

有缆遥控潜水器开展科学考察和研究方面, 美国、日本、法国、英国、挪威、加拿大等国家技术领先、成果突出<sup>[6-8]</sup>, 国内外知名科考型 ROV(如表 1 所示)。其中美国伍兹霍尔海洋研究所 Melville 科考船搭载 Jason2&Medea、日本海洋科技中心 Kairei 科考船搭载 Kaiko7000 和 Hyper-Dolphin、法国海洋开发研究院科考船 L'Atalante 搭载 Victor6000 成为科考型 ROV 典型代表<sup>[9-12]</sup>, 近年来他们相继开展多次海洋环境和生物的观测、海洋地质和地球物理研究、海底取样、深海海底剖面测绘等科考活动, 取得了显著的科研成果。

在国内, 中国科学院海洋研究所“科学”科考船搭载“发现”、广州海洋地质调查局“海洋六号”科考船搭载“海狮”、自然资源部北海局“大洋一号”科考船搭载“海龙 III”, 利用上述科考型 ROV 中国在天然气水合物资源勘查、深海热液探测<sup>[6]</sup>等领域取得重大突破。

由表 1 可知, 国内外科考型 ROV 具备以下共同点: 工作级、下潜深度超过 4 000 m、水下作业部分由双多功能机械手+实时高清影像+多种测量传感器+个性化定制取样工具组成、固定搭载于海洋综合

收稿日期: 2020-12-23; 修回日期: 2021-04-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(42276153)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 42276153]

作者简介: 周欣(1987—), 硕士, 工程师, 研究方向为科考型有缆遥控潜水器及取样工具的研发、制造、科研应用, E-mail: zhouxin@fio.org.cn; 孙杨(1987—), 通信作者, 博士, 工程师, 研究方向为海洋地球物理, E-mail: sunyang@fio.org.cn

表 1 科考型有缆遥控潜水器基本信息

Tab. 1 Basic information of scientific research ROV

名称	运维机构	下潜深度	级别/ 有效载荷	母船	品牌	科考作业系统
Hyper-Dolphin	日本 JAMSTEC	4 500 m	工作级/ 100 kg	Kairei/ 4 517 t	自研	2 个七功能手、2 个高清摄像机、1 个照相机、多个监控摄像、CTD、溶解氧等
Victor6000	法国 IFREMER	6 000 m	工作级/ 200 kg	L'Atalante/ 3 559 t	自研	1 个七功能手、1 个 5 功能手、3 个摄像机、5 个照相机、多种作业工具
Jason2/Medea	美国 WHOI	6 500 m	工作级/ 200 kg	无母船	自研	3 个七功能手、1 个 4K 静态照相机、1 个高清动态摄像机、多个彩色监控摄像、多种作业工具、升降取样器
ISIS	英国 NOC	6 500 m	工作级/ 70 kg	JamesCook/ 5 401 t Discovery/ 5 952 t	自研	2 个七功能手、1 个高清摄像机、1 个照相机、1 个低照度相机、多种作业工具
KIEL	德国 IFM-GEOMAR	6 000 m	工作级/ 100 kg	Polarstern/ 17 300 t	Schilling	1 个七功能手、1 个五功能手、1 个高清录像机、2 个照相机、多种取样工具
ROPOS	加拿大 CSSF	5 000 m	工作级/ 130 kg	SONNE/ 4 952 t	自研	2 个七功能手、2 个高清摄像机、6 个监控摄像、多种取样工具
发现	中国 IOCAS	4 500 m	工作级/ 200 kg	科学/ 4 600 t	SMD	2 个七功能手、1 个高清摄像机、多个监控摄像、多种取样工具
海龙 III	中国自然资源 部北海局	4 500 m	工作级/ 200 kg	大洋一号/ 5 600 t	上海交大	2 个七功能手、2 个高清摄像机、1 个照相机、多种采样工具

科考船。不同点是既有海洋研究机构以自身技术实力研制产品，也有采用商业公司成熟型号的改进产品。世界上的 ROV 主要应用于石油和天然气工业以及离岸与近岸工程中，定位和功能不适用科学研究。科考型 ROV 肩负深海极端环境下取样作业和高质量视频影像资料获取等工作，其系统组成更复杂、集成难度更高，需增加科考专用高清视频照明系统、激光拉曼光谱仪、温盐深测量仪、多类型取样工具等。国际上仅有少数海洋研究机构具备科考型 ROV 研发、集成能力，其他海洋研究机构通过“定制+改造”方式获得科考型 ROV，“定制”是指引进商业化产品的同时对生产厂家提出个性化定制需求，例如设计增加取样工具底盘、加大有效载荷、加强主体框架强度、增加信息传输能力等；“改造”是指研发搭载于科考型 ROV 取样工具底盘的取样工具和测量设备，例如在取样工具底盘增加高速地形测量系统、岩芯钻机等。海洋研究机构自研科考型 ROV 具有符合自身科研需求、取样工具专业性强、扩展性高等优点，缺点是性价比低、系统稳定性差、产品技术升级慢；商业化产品具有稳定性强、后续升级改造空间

大、培训及维修方便等优点，缺点是科考取样工具少、扩展性低。由于中国海洋研究机构技术研发能力较为落后，4 500 t 级海洋综合科学考察船引进科考型 ROV 时采用“定制+改造”方式。

## 1.2 4 500 t 级海洋综合科学考察船科考型 ROV 保障条件

以“定制+改造”方式引进的科考型 ROV 具备技术先进、系统集成度高等优点，但科考型 ROV 系统功率、重量、体积、配套设施等要素超越 4 500 t 级海洋综合科学考察船已有船载设备，科考船应在动力供应、通讯保障、人员配置、船载设备(表 2 所示)等方面满足保障条件。

## 1.3 科考型 ROV 生产厂家国内外现状

成熟稳定的商业化产品是“定制+改造”方式获得科考型 ROV 的基础，全世界 ROV 生产厂家众多，但具备 4 000 m 以上科考型 ROV 研发生产能力的公司却屈指可数。国际上包括美国的 Oceaneering、Schilling 公司，英国的 Forum、Saab Seaeeye、SMD 公司，意大利的 Saipem 公司，荷兰的 Fugro 公司、挪威的 Ikm Subsea

表 2 4 500 t 级科考船保障条件

Tab. 2 4 500 t scientific research ship supporting conditions

参数	支撑条件
动力供应	动力定位系统, 满足科考型 ROV 安全布放、回收、水下巡航等工作需求; 大功率电源接口, 满足科考型 ROV 能源需求, 以及后续加装脐带缆管理系统;
通讯保障	全球网络通信系统, 满足科考型 ROV 在线实时问题诊断;
人员配置	船载实验室: 专业技术人员不少于 6 人, 其中领航员 1 人、操作员 1 人、导航定位系统 1 人、测量取样系统 1 人、布放回收系统 2 人; 船员: 具有动力定位系统操作证书船舶驾驶人员 4 人;
船载设备	单波束测深仪, 提供水深值参考; 超短基线定位系统或长基线系统, 科考型 ROV 水下定位; 惯性导航系统, 提供科考船的航向、姿态等数据; 全水深多波束系统, 提供工作海域海底地形地貌数据; 高精度差分 and 北斗导航定位双系统, 输出位置信息给多波束、超短基线等设备; 伸缩折臂吊, 臂展长度覆盖 ROV 安装区域, 海上吊放、转运相关设备; 工作艇, 紧急情况下辅助设备回收、搜救; 作业甲板加强, 安装 ROV 布放回收系统

公司, 法国的 TechnipFMC、Eca Group 公司等<sup>[13-16]</sup>。Oceaneering 生产的液压和电动产品都具有较强竞争力, 目前拥有 275 台工作级 ROV 用于对外租用服务, 是世界最大工作级 ROV 运营商, 其产品按照工作水深分为: 3 000 m、4 000 m、8 000 m 三个等级。Forum 公司的工作级 ROV 以液压推进产品为主, 包含 Perry 和 Sub-Atlantic 两大系列, 电动产品 Apollo 仍处于初期阶段。Schilling 公司主推液压驱动 ROV, 产品成熟稳定、价格昂贵, T4 七功能机械手为其知名产品。SMD 公司产品以液压驱动 ROV 为主, 包含 Atom、Quasar、Quantum 三个级别, 且已推出性能优异电推产品。

在国内, 天津深之蓝海洋设备科技有限公司、上海交通大学、上海振华重工集团有限公司、上海中车艾森迪海洋装备有限公司四家具备 4 000 m 以上科考型 ROV 生产能力。

## 2 科考型 ROV 系统组成

科考型 ROV 包含水下主体、布放回收及脐带缆

系统、水面控制系统、科考设备系统四部分(如图 1、图 2 所示)。水下主体和科考设备系统组成水下作业部分, 布放回收及脐带缆系统和水面控制系统固定安装在作业甲板。

### 2.1 水下主体

科考型 ROV 水下主体分为水下动力源、螺旋桨推进系统、控制传输系统、应急救援系统、水下导航定位系统、取样工具阀箱、测量传感器电子舱七部分。水下动力源作用是为螺旋桨推进系统和取样工具阀箱提供动力; 螺旋桨推进系统用于科考型 ROV 保持水下姿态、完成定向、定深、巡航、自动定位等动作指令; 控制传输系统具有控制、检测、数据传输、多路光纤转接等功能, 完成水面控制系统指令及反馈水下设备状态; 应急救援系统包含频闪信标和无线信标两部分, 用于科考型 ROV 在紧急状态上浮时海面定位; 水下导航定位系统包含惯导系统、多普勒计程仪(DVL)、避碰声呐和超短基线信标四部

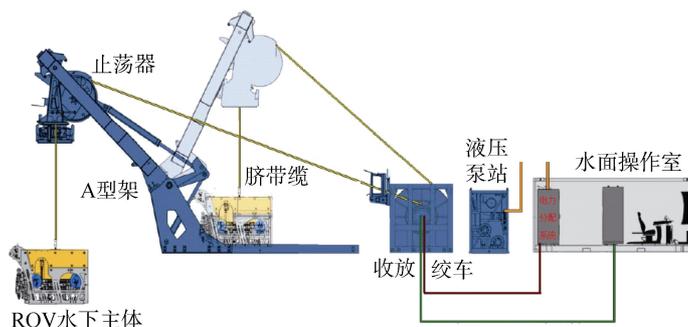


图 1 科考型 ROV 系统示意图  
Fig. 1 Scientific research ROV system

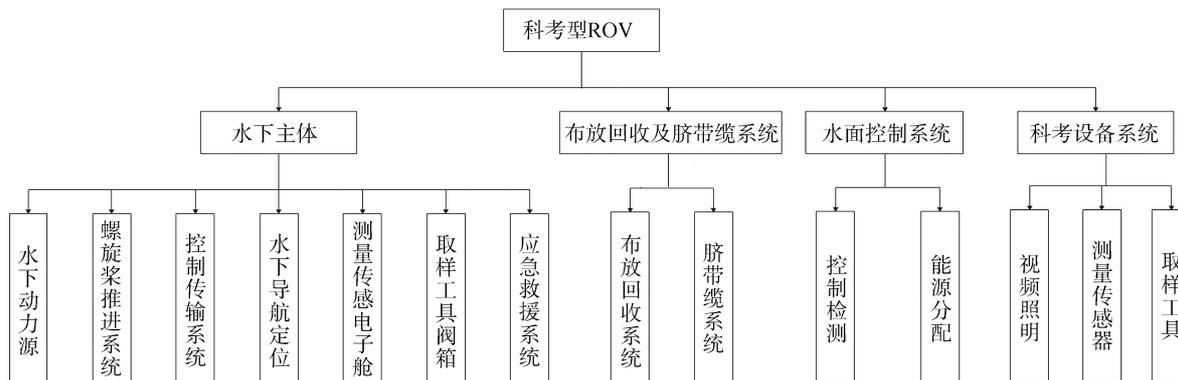


图2 科考型 ROV 系统组成

Fig. 2 Composition of the scientific research ROV system

分,作用是实时测量水下主体艏向、速度、姿态等数据;取样工具阀箱包括普通阀和大流量阀,作用是驱动液压取样工具;测量传感器电子舱用于温盐深测量仪、甲烷、多波束等传感器的数据采集传输和控制。选型时取样工具阀箱和测量传感器电子舱需冗余多路接口用于后续加装科考设备。

## 2.2 布放回收及脐带缆系统

布放回收和脐带缆系统包含布放回收系统(LARS)和脐带缆系统两部分,其中 LARS 用于科考型 ROV 布放、回收作业,包含电力和液压两种驱动形式;脐带缆系统将科考型 ROV 水下主体与工作母船连接,主要作用光纤通信、动力传输以及科考型 ROV 水下主体收放承载。每台科考型 ROV 的 LARS 组成不尽相同,通常根据科考型 ROV 水下主体吊放方式、整套系统甲板布局决定。脐带缆系统的电气和机械性能受电压降、功率损耗、传输效率、顶端拉力和底端拉力等多因素影响,因此脐带缆系统由厂家根据海洋研究机构需求的科考型 ROV 工作水深、推进功率、载荷安全拉力、搭载母船供电电压等参数来确定。

## 2.3 水面控制系统

水面控制系统(如图3所示)具有控制检测和能源分配两种功能,其中控制检测负责设备控制、飞行控制、状态检测的工作,是指挥科考型 ROV 完成定高、定向、定深、自动定位、取样等一系列动作的“大脑”;能源分配作用是动力转换、分配传输,其将运载母船提供的动力电源转换后分成两路,一路供给水下主体,一路供给 LARS 系统。水面控制系统包含 20 英寸集装箱操控室、飞行操作控制台、甲板监控终端、多路

视频显示及存储系统、高低电压配电柜,操作员座椅、科学家座椅、应急救援系统操作端等部件。



图3 水面控制系统

Fig. 3 Water surface control system

## 2.4 科考设备系统

科考设备系统是科考型 ROV 的最显著特征,是科考型 ROV 完成深海深地极端环境探测的关键装备,包括取样工具、视频照明设备、测量传感器三部分。取样工具包含多功能机械手(如图4所示)和生物、地质、化学样品取样器<sup>[17-18]</sup>(如图5、6所示),取样工具多数为定制产品,海洋研究机构根据自身需要配备;视频照明设备(如图7所示)包含科考用高清摄像头、操作员用高清摄像头、取样辅助摄像头、水下照明灯。科考用高清摄像头选择 8K、4K 分辨率产品;测量传感器包含多波束系统(如图8所示)、温盐深测量仪(如图9所示)、侧扫声呐、浅地层剖面仪、激光拉曼光谱测量仪、溶解氧、硝酸盐、甲烷、二氧化碳、高温海水测量、氧化还原电位等等。取样工具和测量传感器通常安装于 ROV 水下主体底部取样底盘,视频照明设备安装在科考型 ROV 前端。



图 4 Schilling T4 机械手  
Fig. 4 Schilling T4 manipulator



图 5 电控采水器  
Fig. 5 electrically controlled water sampler



图 6 取样工具底盘  
Fig. 6 sampling tool chassis

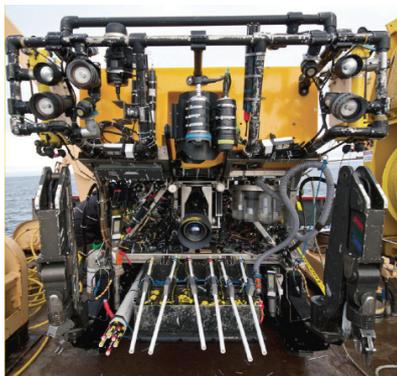


图 7 ROPOS 视频照明  
Fig. 7 video lighting



图 8 EM2040 多波束系统  
Fig. 8 EM2040 multibeam system



图 9 SBE 9 温盐深测量仪  
Fig. 9 SBE 9 CTD

科考设备系统属于科考型 ROV “定制+改造”方式中的“改造”部分, 水下主体、布放回收及脐带缆系统和水面控制系统属于“定制”部分。“改造”部分选型时海洋研究机构根据自身需要制定统一标准选型采购或自行研发。但“定制”科考型 ROV 时不同厂家水下动力源、螺旋桨推进系统、应急救援系统、水下导航定位系统、取样工具阀箱、收放绞车等型号、规格并不相同。尤其是水面控制系统为 ROV 厂家自行研发产品差异更是明显, 这就造成选型时无法用一个标准来衡量科考型 ROV 各部件。为解决上述问题本文选择用等级类型、吊放形式等能表征科考型 ROV 性能指标的参数进行选型研究, 具体方案是以等级类型、驱动方式、工作水深、系统功率表征水下主体, 以吊放形式、布置方式决定布放回收和脐带缆系统。

### 3 科考型 ROV 关键指标选型

#### 3.1 等级类型

根据国际海事承包商协会编制的《ROV 安全有效作业实用准则》, ROV 依据有效载荷、整机重量、工作能力等要素划分为五种等级(如表 3 所示)。海洋综合科学考察船搭载科考型 ROV 开展深海研究工作, 不仅要搭载测量传感器和取样工具, 还要具备较强

样品获取、运载能力及较长的水下作业时间,较大有效载荷成为满足上述需求的关键,科考型 ROV 等级

类型选择最大有效载荷所在等级。因此科考型 ROV 选定第Ⅲ类 B 级加强型的工作级。

表 3 有缆遥控潜水器等级分类表  
Tab. 3 ROV classification table

类别	等级
第Ⅰ类	纯观察级有缆遥控潜水器(ROV)
第Ⅱ类	A 级带有可配置载荷选项的纯观察级 ROV
	B 级具有轻度勘察及干预作业能力的观察级 ROV
第Ⅲ类	A 级标准的工作级 ROV, 整机重量约 1 000 kg, 负载能力小于 200 kg
	B 级加强型的工作级 ROV, 整机重量约 3 000 kg, 负载能力大于 200 kg
第Ⅳ类	A 级拖曳式水下机器人, 主要用于海底电缆的敷设作业
第Ⅴ类	原型机或项目型水下机器人
第Ⅵ类	A 级重量小于 100 kg 的水下自主航行器(AUV)
	B 级重量大于 100 kg 的 AUV

### 3.2 驱动方式

科考型 ROV 的驱动方式有三种: 液压驱动、电力驱动和管道喷气式驱动。液压驱动为工作级 ROV 主流推进方式; 电力驱动主要用于观察级产品, 近年各厂家陆续推出电动工作级产品; 管道喷气式推进方式鲜有使用。液压驱动与电力驱动相比具有众多优点(如表 4 所示), 全世界著名 ROV 公司生产的工作级 ROV 以液压驱动为主, 电力驱动产品较少, 但电力驱动因智能化高、操控性好等优势受到越来越多关注。

表 4 电力与液压驱动对比分析  
Tab. 4 Comparison between electric and hydraulic drives

项目	电力驱动	液压驱动
市场占有率	低	高
功率密度	低	高
取样工具	少	多
节能性	高	低
运维成本	高	低
环保性	高	低
操控性	高	低
可靠性	未验证	高
低速稳定性	低	高
智能化水平	高	低

科考型 ROV 需要在深海极端环境中完成各种高精度、高难度科考任务, 稳定性好、取样工具丰富成为关键。液压驱动推进方式的高功率密度、优异的低速稳定性、种类繁多的取样工具使之成为首要选择。液压驱动螺旋桨推进系统在市场占有率、运维

成本等方面也具有明显优势。因此, 科考型 ROV 选择液压驱动螺旋桨推进形式(如图 10 所示)。

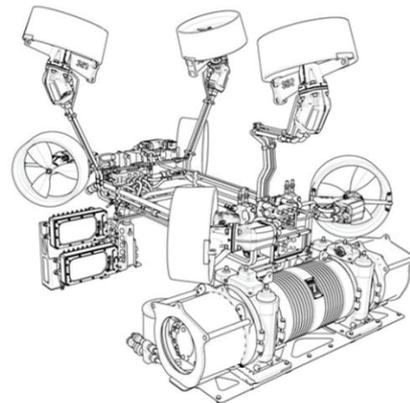


图 10 液压推进系统  
Fig. 10 Hydraulic propulsion system

### 3.3 工作水深

目前, 科考型 ROV 生产厂家提供的产品性能完全满足深海深地极端环境探测等科研需求, 工作水深无成熟等级划分, 常见工作水深为 3 000 m、4 000 m、4 500 m、6 000 m、11 000 m 等。

科考型 ROV 下潜深度记录是 10 911.4 m, 由日本海洋技术研究所研发的 KAIKO 号在马里亚纳海沟最深处创造<sup>[9]</sup>, 但 11 000 m 级产品全世界少有商业化案例, 选型时此工作水深产品不做考虑。3 000 m 级产品多为近海石油工程而设计, 系统性能无法满足深远海探测, 选型时也排除在外。4 000 m、4 500 m、6 000 m 三个工作水深产品是科考型 ROV 最优选择。

海洋研究机构从自身海洋科学考察需求出发,结合未来发展规划及资金预算情况确定科考型 ROV 工作水深。如海洋研究机构未来以大洋中脊热液探测为发展方向,世界上大多数热液区所处水深分布在 500 m 到 4 500 m 之间,主要集中在 2 000~4 000 m,尤其在 3 000 m 左右的洋脊水深发现最多,6 000 m 水深发现数量较少,工作水深 4 000 m 的科考型 ROV 可满足绝大多数需求;如海洋研究机构未来需要一台具备综合作业能力的科考型 ROV,选择工作水深 6 000 m 的科考型 ROV 能覆盖全世界 90% 的海底。因此,从综合作业能力考虑工作水深首选 6 000 m,其次选择 4 000 m;从采购成本考虑工作水深首选 4 000 m。

### 3.4 系统功率

科考型 ROV 水下设备包含水下主体和科考设备系统,系统功率满足水下主体推进功率和科考设备系统功率。水下主体推进功率是指实现定高、定深、定向、自动巡航、自动定位等功能所需要的功率;科考设备系统功率为取样工具完成科考任务的功率。

推进功率相同时螺旋桨推进系统产生的推力大小跟水下主体尺寸、重量、推进器型号及设备布局形式等要素相关,但不同型号科考型 ROV 的尺寸、框架机构、布局、重量不同,造成无法根据速度、推力需求反推计算推进功率,因此推进功率选择参考经验值。例如 SMD 公司生产的 Curvetech 380BA 推进器全额马力所需要功率为 19.48 kW; Sub Atlantic 公司生产的 SA300 推进器全额马力所需要功率为 19.70 kW,科考型 ROV 螺旋桨推进系统通常在水平方向布置四台推进器、在垂直方向布置 3 台或 4 台推进器,单一方向前进时全额马力所需要功率最小约为 58.43 kW、最大约为 78.79 kW。另外,根据统计数据第 III 类 B 级加强型工作级 ROV 额定功率通常在 73.5~294 kW,因此选定科考型 ROV 额定推进功率不小于 73.5 kW。

液压驱动的工具包含多功能机械手、岩芯钻机、生物取样器、大功率液压水泵等,所有取样工具同时进行取样作业情况较少,选型时选取最大功率取样工具功率值作为取样工具功率。常用科考取样工具中岩芯钻机功率较大,以上海交通大学“海龙 III”搭载岩芯钻机为例,其最大功率约 22.05 kW (流量 70 L/min,系统压力强 21.0 MPa);使用频率最高的多功能机械手选取 Schilling 公司的 T4 七功能机械手为例,其最大功率约 6.43 kW (流量 19 L/min,系统压力强 20.7 MPa),配备两台 T4 机械手最大功率 12.86 kW。由此可见,

取样工具功率选择 22.05 kW 可满足取样需求。

推进功率与取样工具功率相加得到需求功率  $p_1$  为 95.55 kW,通常科考型 ROV 系统功率并不能全额输出,工业级水下液压马达效率  $\eta$  约 83%,ROV 系统功率  $p$  (单位: kW) 计算方法如下:

$$p = \frac{p_1}{\eta} = \frac{95.55}{0.83} = 115.12. \quad (1)$$

实际应用中 ROV 系统功率越大,水下主体作业时稳定性、工具可扩展性就越强,但相应成本越高,从成本考虑系统功率又不宜过大,因此科考型 ROV 系统实际功率下限可选定为 110.25 kW。

### 3.5 吊放方式

科考型 ROV 吊放方式分为中继器、单缆、压载器三种<sup>[19]</sup>。中继器,即脐带缆管理系统通常是由中性缆绞车、导缆通道、对接连锁机构、液压动力单元、信息传输系统、控制系统、传感器系统以及框架结构等组成,用于连接回收布放系统和水下主体、完成水面设备与水下主体之间动力和通讯中转。中继器可以扩大 ROV 水下活动半径,消除或减小来自水面母船运动对 ROV 的影响,有效提高水下机动性。中继器可分为顶置式(如图 11 所示)和车库式(如图 12 所示),顶置式一般用于工作级,车库式一般用于观察级。单缆是脐带缆通过承重头直接连接水下主体,此方式通常在承重头端增加浮体材料保证脐带缆处于竖直状态,避免脐带缆与水下主体发生缠绕或刮蹭。压载器(如图 13 所示)系统组成、功能与中继器类似,区别在于使用形式不同。当科考型 ROV 吊放形式选择中继器或压载器时,中继器或压载器与工作母船之间以铠装脐带缆连接,中继器或压载器与水下主体之间以中性浮力的非铠装脐带缆连接;当选择单缆吊放时水下主体通过铠装脐带缆与工作母船连接(如图 14 所示)。



图 11 顶置式中继电器  
Fig. 11 Overhead TMS



图 12 车库式中继器  
Fig. 12 Garage type TMS



图 13 压载器  
Fig. 13 Ballast



图 14 单缆吊放式  
Fig. 14 Single cable hanging type

中继器、压载器、单缆三种吊放方式各有千秋,中继器、压载器结构复杂、体积庞大且需要丰富操作维护经验,对于海洋研究机构来说引进具有中继器的科考型 ROV 使用难度较大。科考取样作业区域海流、海底地形复杂,中继器、压载器方式脐带缆有卡住或自相缠绕的可能,消耗大量的作业时间,甚至造成 ROV 的丢失。此外以“向阳红 01”船为代表的新型海洋综合科学考察船通常具备动力定位系统,可以轻易实现前后左右的精确移动,无需中继器或压载器增加 ROV 在水下的灵活性。因此,海洋研究机构引进科考型 ROV 时建议选用单缆吊放形式,中继器、压载器不作为首先配置。

### 3.6 布放回收方式

科考型 ROV 布放回收方式通常有三种,分别是艏部正中、中部侧舷、中部月池。艏部正中是将整套系统布置于艏部作业甲板,船艏 A 型架加装导接头止荡器用于布放回收工作,科考型 ROV 水下主体从艏部正后方出入作业甲板。此方式无需购买独立 A 型架,具有性价比高、空间占用小的优点;缺点是科考型 ROV 出入水时离船舶螺旋桨推进系统较近且要与其他调查设备共用船艏 A 型架,此布放方式国内代表为“大洋一号”海洋综合科学考察船搭载的“海龙 III”科考型 ROV(如图 15 所示)。中部侧舷是将整套系统布置于船中部作业甲板,配备独立 A 型架或单臂吊、导接头止荡器,科考型 ROV 从侧舷出入作业甲板。此方式优点是科考型 ROV 系统不影响其他调查设备的使用,缺点是成本较高,国内典型代表为“科学”海洋综合考察船搭载的“发现”科考型 ROV(如图 16 所示)。三是中部月池,此方案中月池位于船舶中间,需要与科考船同时建造,优点是可以帮助 ROV 避开飞溅区,提高恶劣海况下作业能力,缺点是船舶设计复杂、成本较高。国内并无此类布放方式,国际上此方式典型代表为“Western Flyer”科考船搭载的“Doc Ricketts”科考型 ROV(如图 17 所示)。



图 15 艏部正中  
Fig. 15 Stern center



图 16 中部侧舷  
Fig. 16 Middle side

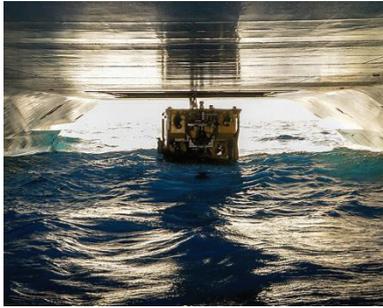


图 17 中部月池

Fig. 17 Middle moon pool

海洋科学研究科考航次涉及多学科领域交叉、多种作业形式同时进行,科考船搭载科考型 ROV 还会使用电视抓斗、重力取样器、热流探针等众多大型海洋调查设备,对于海洋综合科学考察船作业甲板空间布置和调查设备收放安全性要求较高。从作业甲板工作空间考虑,科考型 ROV 系统安装和布放回收操作应不影响对其他调查设备的使用;从科考型 ROV 布放回收操作安全性方面考虑,要求科考型 ROV 布放回收时尽量远离科考船艏推、艏侧推螺旋桨。因此,科考型 ROV 优先选择中部侧舷布放回收方式。

## 4 结论

本文通过研究科考型 ROV 选型方法为 4 500 t 级海洋综合科学考察船选定工作水深不小于 6 000 m、液压驱动、系统功率不小于 150 kW、单缆吊放、中部作业甲板安装、侧舷布放回收、集成科考设备系统的 III 类 B 级加强型的工作级科考型 ROV 系统。该研究既完善中国深海探测设备选型技术体系又能为中国新一代海洋综合科学考察船配备科考型 ROV 时提供经验和参考。

### 参考文献:

- [1] 陈宗恒, 田烈宇, 胡波, 等. “海马”号 ROV 在天然气水合物勘察中的应用[J]. 海洋技术学报, 2018, 37(2): 24-29.  
CHEN Zongheng, TIAN Lieyu, HU Bo, et al. Application of “HAIMA” ROV in gas hydrates exploration[J]. Journal of Ocean Technology, 2018, 37(2): 24-29.
- [2] 柯冠岩, 吴涛, 李明, 等. 水下机器人发展现状和趋势[J]. 国防科技, 2013, 34(5): 44-47.  
KE Guanyan, WU Tao, LI Ming, et al. The improvements and trends of the unmanned underwater vehicles[J]. National Defense Science & Technology, 2013, 34(5): 44-47.
- [3] 陈宗恒, 盛堰, 胡波. ROV 在海洋科考中的发展现状及应用[J]. 科技创新与应用, 2014(21): 3-4.  
CHEN Zongheng, SHENG Yan, HU Bo. Development and application of ROV in marine science examination[J]. Technology Innovation and Application, 2014 (21): 3-4.
- [4] 任峰, 张莹, 张丽婷, 等. “海龙 III” 深海试验与应用研究[J]. 海洋技术学报, 2019, 38(2): 30-35.  
REN Feng, ZHANG Ying, ZHANG Liting, et al. Research on the deep-sea test and application of the “Hailong III” ROV system[J]. Journal of Ocean Technology, 2019, 38(2): 30-35.
- [5] 陶军, 陈宗恒. “海马”号无人遥控潜水器的研制与应用[J]. 工程研究—跨学科视野中的工程, 2016, 8(2): 185-191.  
TAO Jun, CHEN Zongheng. Development and application of HAIMA(ROV)[J]. Journal of Engineering Studies, 2016, 8(2): 185-191.
- [6] 连链, 魏照宇, 陶军, 等. 无人遥控潜水器发展现状与展望[J]. 海洋工程装备与技术, 2018, 5(4): 223-231.  
LIAN Lian, WE Zhaoyu, TAO Jun, et al. Development status and prospects of remotely operated vehicles[J]. Ocean Engineering Equipment and Technology, 2018, 5(4): 223-231.
- [7] 许竞克, 王佑君, 侯宝科, 等. ROV 的研发现状及发展趋势[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(4): 71-74.  
XU Jingke, WANG Youjun, HOU Baoke, et al. Research status and development trend of ROVS[J]. Sichuan Ordnance Journal, 2011, 32(4): 71-74.
- [8] 连链, 马厦飞, 陶军. “海马”号 4500 米级 ROV 系统研发历程[J]. 船舶与海洋工程, 2015, 31(1): 9.  
LIAN Lian, MA Xiafei, TAO Jun. Research and development history of the “HAIMA-4500” ROV[J]. Naval Architecture and Ocean Engineering, 2015, 31(1): 9.
- [9] 路晓磊, 马龙, 张丽婷, 等. 小型水下机器人 ROV 应用研究[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(6): 66.  
LU Xiaolei, MA Long, ZHANG Liting, et al. Research on the application of small-sized ROVS[J]. Ocean Development and Management, 2015, 32(6): 66.
- [10] CHRIST R D, WERNLI R L Sr. The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles[M]. Amsterdam: Elsevier, 2013.
- [11] YUH J. Design and control of autonomous underwater robots: a survey[J]. Autonomous Robots, 2000, 8(1): 7-24.
- [12] RYU J H, KWON J H, LEE P M. Control of underwater manipulators mounted on an ROV using base force information, Proceedings of the 2001 IEEE international conference on robotics and automation, May 21-26, 2001[C]. Seoul, Korea: IEEE, 2003.
- [13] BROOKS R A. Intelligence without representation[J]. Artificial Intelligence, 1991, 147(1/3): 139-159.

- [14] 黄明泉, 徐景平, 施林炜. ROV 在海洋油气田开发中的应用及展望[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(2): 77-84.  
HUANG Mingquan, XU Jingping, SHI Linwei. Application and prospect of ROV in offshore oil and gas field development[J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(2): 77-84.
- [15] 腾宇浩, 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.  
TENG Yuhao, ZHANG Jiang, LIU Jian. Multi-functional task work package for underwater robot[J]. Robot, 2002, 24(6): 492-496.
- [16] 刘鑫, 魏延辉, 高延滨. ROV 运动控制技术综述[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2014, 28(7): 80-85.  
LIU Xin, WEI Yanhui, GAO Yanbin. Review of ROV motion control technology[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2014, 28(7): 80-85.
- [17] 晏勇, 马培菝, 王道炎, 等. 深海 ROV 及其作业系统综述[J]. 机器人, 2005, 27(1): 82-89.  
YAN Yong, MA Peisun, WANG Daoyan, et al. Development of deep SEZ ROV and its working system[J]. Robot, 2005, 27(1): 82-89.
- [18] ZANOLI S M, CONTE G. Remotely operated vehicle depth control[J]. Control Engineering Practice, 2003, 11(4): 453-459.
- [19] 赵俊海, 张美荣, 王帅, 等. ROV 中继器的应用研究及发展趋势[J]. 中国造船, 2014, 55(3): 222-232.  
ZHAO Junhai, ZHANG Meirong, WANG Shuai, et al. Application and development trend of tether management system(TMS) for ROV[J]. Shipbuilding of China, 2014, 55(3): 222-232.

## Selection method of remotely operated vehicles for marine scientific research

ZHOU Xin, LIU Wen-bo, WANG Feng-jun, ZHENG Jia-heng, SUN Yang, ZHAO Guo-xing, WU Yong-ting

(First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China)

**Received:** Dec. 23, 2020

**Key words:** scientific investigation ROV; marine comprehensive scientific research ship; operating depth; hydraulic driving

**Abstract:** This study describes the current state of remotely operated vehicles (ROVs) for marine scientific research worldwide and summarizes the composition of the ROV system. The key index selection method is developed to configure the class III type B enhanced working-level scientific research ROV for a 4 500 ton marine comprehensive scientific research ship; the ROV requires a working depth of more than 6 000 m, hydraulic drive with no less than 150 horsepower, single cable lifting, central operation deck installation, sideboard deployment-recovery, and an integrated scientific research equipment system. The scientific research ROV selection scheme established for this scientific research ship provides experience and technical reference for China's marine comprehensive scientific research ship operators to select ROVs.

(本文编辑: 杨 悦)