

级联式 ROV 的设计及典型应用研究

李孟学, 孙庆鹏*

(中国人民解放军 92213 部队, 广东 湛江 524064)

摘要 首先, 介绍了 ROV 的分类、特点、组成和应用场景, 并基于现实问题提出级联式 ROV 的设计构想, 简要说明了级联式 ROV 的特点与组成。然后, 从整体控制技术、整体设计技术、水下布放回收技术、母船与级联式 ROV 之间的通信技术、冗余设计和模块化设计技术、水声与电磁防护技术 6 个方面探讨了级联式 ROV 设计需要解决的关键技术和解决措施。最后, 对级联式 ROV 典型的应用场景进行了举例说明。

关键词 级联式; ROV; 设计; 应用

中图分类号 TP242.3

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2021)05-0357-005

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2021.05.002

Research on Design and Typical Application of Cascaded ROV

LI Mengxue, SUN Qingpeng*

(Unit 92213 of PLA, Zhanjiang 524064, China)

Abstract This article first introduces the classification, characteristics, composition and application of ROV. The design concept of cascaded ROV is put forward based on practical problems, and the characteristics and composition of cascaded ROV are explained briefly. The key technologies and solutions that need to be solved in the design of cascaded ROV are discussed from six aspects, i.e. overall control, overall design, underwater deployment and recovery, communication between mother ship and cascaded ROV, redundant design and modular design, underwater acoustic and electromagnetic protection technology. Finally, the typical applications of cascaded ROV is illustrated with examples.

Key words cascaded; ROV; design; application

0 引言

随着科技的进步和海洋资源的开发与利用, 国内外关于水下遥控机器人 (ROV)^[1-3]的研究十分火热, 其行业竞争也非常激烈。目前国内外投入使用 的 ROV 数量众多, 这些 ROV 在各个行业发挥了重要作用。为了更好地掌握不同类型 ROV 的特点, 需要对其进行分类: 从 ROV 的重量来分, 可以分为超大型、大型、中型、小型、微型; 从功能

来分, 可以分为观察级和作业级; 从作业能力强弱来分, 可以分为作业级和重载作业级; 从动力提供方式来分, 可以分为液压驱动和电动。

ROV^[1-3]具有作业适应性强、功率大、功能扩展灵活、作业时间不受限制等优势, 可以支撑复杂的探测设备和较大的作业机械。它的信息和数据传递交换方便快捷、数据量大、总体决策水平较高, 是人类开展水下活动不可或缺的装备, 也是世界上数量最多、应用最广泛、类型最复杂、功能最强大

收稿日期: 2021-08-19

作者简介: 李孟学 (1973-), 男, 高级工程师, 主要从事水下装备试验保障和应用技术研究。

*通信作者: 孙庆鹏 (1990-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事水下装备试验保障和应用技术研究。

的潜水器。

ROV 的组成^[3-4]主要包括 ROV 本体、中继器 (TMS 或 depressor)、脐带缆、吊放回收系统、甲板操作控制系统、电力传输系统、机械手、作业工具包等。其中, ROV 本体、脐带缆、甲板操作控制系统、电力传输系统为基本配置, 其余部分可根据系统规模、作业需求进行配置。根据系统所处的位置, ROV 系统又可以分为水面和水下 2 个部分, 水面部分主要包括脐带缆、吊放回收系统、甲板操作控制系统, 水下部分包括 ROV 本体、中继器、机械手和作业工具包, 水面部分和水下部分由脐带缆连接。系统电源由母船提供, 水面部分起控制水下部分的作用。同时, 水下 ROV 工作状况及视频图像、声呐图像经脐带缆实时传输至工作母船。

当前, ROV 的应用^[1-3]十分广泛, 市场十分广阔, 归纳起来主要有 3 点: 1) 海洋科学考察^[5]; 2) 海洋资源^[6-8] (包括油气、天然气水合物、固体矿产资源等) 勘探开发; 3) 水下作业^[9-10]。

为进一步提升 ROV 的应用空间, 需要更新 ROV 的设计理念, 突破传统思路的束缚, 本文结合现实生活中可能遇到的实际情况, 提出级联式 ROV 的设计构想并进行了初步研究, 下面就级联式 ROV 的特点、组成、关键技术和应用场景进行介绍。

1 级联式 ROV 的主要特点

级联式 ROV 是多个 ROV 之间的级联, 其级联方式是大中型 ROV 内嵌或者挂载 1 个或多个小型 ROV, 从而实现多个 ROV 之间的级联。一般来说, 大中型 ROV 具有抗流能力强、动力充足、下潜速度快、稳定性能好、负载能力强等优点, 小型 ROV 具有阻力小、机动灵活等优点。如果将大中型 ROV 的优点和小型 ROV 的优点进行综合, ROV 执行任务的效率将会得到进一步提高。基于以上考虑, 设想采用大中型 ROV 携带小型 ROV 至预定海域执行任务, 大中型 ROV 主要执行战略投送任务, 小型 ROV 主要执行具体作业任务, 则可以突破以往作业方式对 ROV 性能的束缚。

2 级联式 ROV 系统的组成

级联式 ROV 系统主要由甲板控制单元、脐带缆、绞车、中继器(缆管理系统等)、级联式 ROV 本体等组成, 如图 1 所示。其中, 甲板控制单元既可以同时显示多个 ROV 水下的视频信息和声呐信息, 又可以显示多个 ROV 在水下的位置信息、运动信息和状态信息。根据水下环境的特点, 可以分别控制多个 ROV 同步执行不同的作业任务。脐带缆主要用于传输各类信号, 水面部分和水下部分的通信全靠脐带缆进行传输。中继器主要起到信号中继作用, 同时可以减小海流对 ROV 本体的影响, 需要根据具体水深考虑是否需要中继器。级联式 ROV 本体是大中型 ROV 和小型 ROV 组成的混合体, 级联式 ROV 本体由于体积较大、重量较重, 抗各种复杂海况影响的能力较强, 可以准确地到达预定作业海域, 小型 ROV 在预定海域脱离大中型 ROV 后即可执行作业任务。

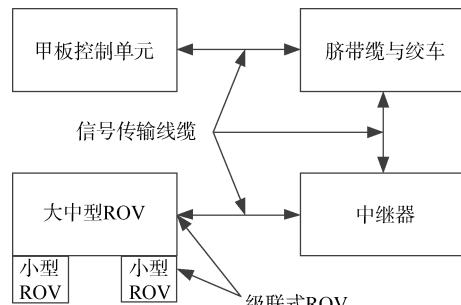


图 1 级联式 ROV 系统组成
Fig.1 System composition of cascaded ROV

级联式 ROV 本体中, 大中型 ROV 和小型 ROV 之间有 1 个可靠的分离回收装置, 该装置在级联式 ROV 下潜和回收过程中能够确保两者可靠固定, 在执行任务过程中能够可靠释放小型 ROV, 执行任务完毕后能够可靠回收小型 ROV。该装置主要由缆绳释放回收模块、小型 ROV 固定与释放模块、释放与回收引导模块、监测模块等组成。

3 级联式 ROV 的关键技术及解决措施

级联式 ROV 设计是一种全新的设计理念, 但是其设计技术相对比较成熟, 在进行设计时可以充

分借鉴大中型 ROV 的设计理念来提高设计效率。在具体进行设计时, 除常规 ROV 设计需要考虑的关键技术外, 还需要重点把握的关键技术及解决措施主要有以下几个方面:

1) 整体控制技术。

级联式 ROV 在进行设计时, 需要重点考虑甲板控制单元如何进行显示、如何对级联式 ROV 进行控制、如何对级联式 ROV 进行监控等。在进行具体设计时, 对于甲板控制单元显示界面和级联式 ROV 的控制问题, 有以下 2 种解决措施: ①采用分散控制, 即通过设置多个显控单元, 每个显控单元显示并控制 1 个 ROV, 并且每个显控单元都配有控制手柄; ②采用集中控制, 即所有的显示和控制信息都集中在 1 个显控单元上, 通过切换不同的控制通道实现对不同 ROV 的显示与控制。对于水下级联式 ROV 的控制, 同样可以分为集中控制和分散控制。集中控制模式下不同 ROV 之间的运动存在一定程度的关联, 分散控制模式下不同 ROV 之间的运动没有相互影响。从总体上说, 级联式 ROV 的控制分为 4 种模式, 分别是水面分散控制水下分散控制、水面分散控制水下集中控制、水面集中控制水下分散控制、水面集中控制水下集中控制。在进行设计时具体采用何种控制模式, 需要根据级联式 ROV 执行任务的不同进行确定。

2) 整体设计技术。

级联式 ROV 整体结构布局与单个 ROV 结构布局存在较大的差异, 在进行设计时要重点考虑以下几个方面: ①多个 ROV 之间的整体平衡技术。在进行级联式 ROV 设计时, 要对系统各部位充分进行配平, 防止级联式 ROV 在水下运动时摇晃幅度过大或发生翻滚现象。②单个 ROV 的平衡技术。级联式 ROV 到达预定海域后, 大中型 ROV 和小型 ROV 之间进行分离。分离后的大中型 ROV 和小型 ROV 各自要有较好的平衡性, 不能因为大中型 ROV 与小型 ROV 的分离导致两者在水中的状态都发生变化, 即分离后大中型 ROV 与小型 ROV 都能够各自保持平衡。③整体空间布局技术。级联式 ROV 的整体空间布局要合理, 不能对推进器、机械手的功能发挥有影响, 不能对声呐、视频设备

等探测设备有遮挡。④水下固定及释放技术。级联式 ROV 在未执行任务时要能够可靠固定, 使用时要能够可靠释放, 并且大中型 ROV 与小型 ROV 的分离与结合要能够方便迅速。⑤整体抗流技术。级联式 ROV 整体设计的流线型要好, 迎流面积要尽可能小, 整体抗流能力要强。

3) 水下布放回收技术。

水下布放回收技术包括级联式 ROV 的整体布放回收技术以及大中型 ROV 和小型 ROV 的水下分离与结合技术。级联式 ROV 的整体布放回收技术相比传统 ROV 的布放回收技术复杂很多, 由于其体积较为庞大, 设计较为精细, 部件较多, 在进行布放回收时对海况的要求很高, 常用的布放回收设备主要是折臂吊车、A 型架等。当级联式 ROV 到达预定作业海域后, 小型 ROV 要与大中型 ROV 进行分离, 此时大中型 ROV 上控制小型 ROV 状态的解锁装置要能够可靠解锁, 解锁后的小型 ROV 要能够在甲板操作人员的控制下逐渐远离大中型 ROV, 并且小型 ROV 的脐带缆要能够自动收放。当小型 ROV 执行完作业任务后, 小型 ROV 在甲板操作人员的控制下逐渐接近大中型 ROV, 并且在接近过程中小型 ROV 的脐带缆能够自动收回, 在脐带缆的引导和甲板操作人员的控制下, 小型 ROV 与大中型 ROV 逐渐接近并精准汇合, 小型 ROV 归位后能被大中型 ROV 可靠锁住。

4) 母船与级联式 ROV 之间的通信技术。

母船与级联式 ROV 之间的通信非常复杂, 涉及到电力信号传输、控制信号传输、视频信号传输、声呐图像信号传输。由于通信距离较远, 脐带缆较长, 为提高信号传输速率, 防止出现卡顿情况, 母船到级联式 ROV 本体之间的视频信号、声呐图像信号采用光纤进行通信, 级联式 ROV 内部采用电信号进行通信。级联式 ROV 本体上设计有综合配线板, 从该配线板可以引出多条线路分别给大中型 ROV 和小型 ROV 提供能源、传输控制信号、视频信号和声呐图像信号, 同时还引出部分线路用于控制小型 ROV 脐带缆的收放、小型 ROV 的固定与解锁。在进行通信系统设计时, 要充分考虑系统整体的功率大小、控制线缆数量多

少、光纤线缆数量多少，同时要预留有备用的电力信号传输线、控制信号线、光纤信号线，当在执行任务过程中如果部分线缆发生故障，能通过更换备用线缆继续执行任务。

5) 冗余设计和模块化设计技术。

级联式 ROV 整体要采用冗余设计，当部分元器件损毁后设备要能够正常工作，即使无法正常工作也要确保级联式 ROV 可以安全回收。级联式 ROV 整体结构采用模块化设计，当部分器件发生故障后，通过更换备用模块可以快速恢复至正常工作状态。

6) 水声与电磁防护技术。

级联式 ROV 携带的声呐等探测设备较多，当多个声呐同时开机时，声呐之间如果频率相差不大会产生相互干扰，为避免这种情况出现，在具体设计时可以采用不同频率的声呐，从而避免声呐之间相互干扰。同时，当无法避免声呐设备之间的相互干扰时，可以错峰错时进行工作，从而消除干扰。级联式 ROV 内部使用的电信号、控制信号、视频信号、声呐图像信号都是采用电信号进行传输的，为防止电磁辐射的干扰，需要对信号进行屏蔽，防止电磁频谱泄漏对周围电信号传输的影响。

4 级联式 ROV 的典型应用场景

级联式 ROV 的设计目的是为了能够在特定的环境执行特殊的任务，下面就级联式 ROV 几种典型的应用场景进行说明。

4.1 大深度水下目标搜寻与打捞

在进行大深度水下目标搜寻时，由于 ROV 下潜深度很大，脐带缆释放的长度会很长，由于脐带缆在海流的作用下会受到很大的作用力，这将对 ROV 水下机动性能造成很大的影响，严重时可能导致 ROV 无法正常执行作业任务。为提高 ROV 在大深度作业时的效率，传统的思路是在脐带缆上加配重块，但当深度很大时仅仅靠增加配重块这种方式来减小海流对脐带缆的影响效果并不是很明显。此时，如果采用级联式 ROV 进行水下作业可以克服以上不足。级联式 ROV 水下目标搜寻与打捞的具体思路是：操控级联式 ROV 下潜到作业海

区，观察作业海区周围环境后使级联式 ROV 坐底或者定高在某一高度，解锁小型 ROV 并操作小型 ROV 执行水下目标搜寻任务。甲板操控人员可以根据大中型 ROV 和小型 ROV 上携带的摄像机和声呐探测设备实时观察到 ROV 周围的环境，当小型 ROV 发现目标后即可执行对水下目标的打捞任务，如果水下目标太大，小型 ROV 发现目标后还可以引导大中型 ROV 协助打捞。水下作业完毕后，首先操纵小型 ROV 与大中型 ROV 汇合，小型 ROV 归位后及时上锁并固定，之后甲板操作人员回收级联式 ROV。

4.2 大深度水下管道、隧道探摸

当 ROV 需要执行大深度水下管道、隧道探摸时，如果采用小型 ROV 进行探摸作业会发生小型 ROV 无法下潜至该深度，或者即使下潜至该深度，由于脐带缆缆绳释放长度较长且受海流影响较大，发生小型 ROV 无法正常执行任务的情况。如果采用大中型 ROV 进行作业尽管可以克服海流对脐带缆的影响，但是由于脐带缆缆绳释放长度较长，ROV 体积较大，其机动性能同样受到很大影响。如果管道附近地形比较狭窄、隧道洞口比较小，大中型 ROV 执行任务过程中可能会被卡住。为避免以上情况，采用级联式 ROV 是一个较好的解决办法，具体工作思路是：操控级联式 ROV 至水下管道、隧道附近，首先对作业海区环境进行观察，然后选取有利地形坐底或者定高，解锁并释放小型 ROV 执行探摸作业，作业完毕后操纵小型 ROV 与大中型 ROV 汇合，小型 ROV 归位后及时上锁并固定，之后甲板操作人员回收级联式 ROV。

4.3 大深度且具有危险性的水下特殊场景作业

当海底发生火山喷发、石油泄漏时，为迅速了解险情并做出应对处置方案，需要首先使用 ROV 进行水下观察并获取水下态势信息。当炸弹未爆、船舶破损沉入海底时，如果对危险物或者船舶进行打捞，同样需要了解其水下的环境信息。此时如果采用大中型 ROV 执行大深度作业任务，由于脐带缆缆绳释放长度较长，水下环境又较为复杂，ROV 在水下的机动性能将受到很大影响。如果 ROV 在进行观察作业时发生脐带缆缠绕会

导致 ROV 的回收非常困难, 严重时 ROV 有可能会丢失。为尽量减小可能发生的损失, 同时完成水下特殊作业任务, 采用级联式 ROV 非常合适。级联式 ROV 如果只用小型 ROV 进行探测作业, 由于其机动性能强, 其作业效率非常高, 并且即使在执行任务过程中小型 ROV 损坏或者丢失, 其造成的损失也较小。

4.4 大深度水下精细化作业

当大深度海底布设各类传感器时, 由于海流的影响, 经常会出现传感器被泥沙掩埋的情况, 这会导致传感器失灵或者探测效果变差。即使传感器没有被泥沙掩埋, 传感器长期布设海底时, 海蛎子会在上面附着, 长此以往也会对传感器的性能造成影响。为恢复传感器的性能, 传统的解决方法主要有 2 种: 1) 将传感器打捞出水, 清理干净后重新布放; 2) 打捞成本较高时, 在该位置重新布放 1 个新的传感器。尽管以上 2 种方法可以解决传感器的探测性能问题, 但也存在效费比、低资源浪费的现实问题, 如果可以在水下对传感器进行维护, 则成本会大大降低, 采用级联式 ROV 可以实现这一目的。具体解决思路是: 级联式 ROV 下潜至作业海域, 观察海域周围环境后坐底或者在水下定高, 解锁并操作小型 ROV 逐渐靠近传感器。如果传感器被泥沙掩埋, 则使用机械手将传感器从泥沙中取出并采用喷水装置对传感器进行清洗。如果传感器重量较大, 大中型 ROV 的机械手可以予以协助。当传感器上附着有海蛎子时, 小型 ROV 的清洗刷可以对海蛎子进行清除, 从而消除海蛎子对传感器性能的影响。

4.5 大深度需要多个 ROV 配合的作业

水下环境十分复杂, 有时候仅仅依靠单个 ROV 难以完成水下作业任务, 传统的解决思路是同时布放 2 个或多个 ROV, 这些 ROV 既可以多条船布放, 也可以从同一条船布放。但是, 在海流的影响下, 母船的位置会发生变化, 这有可能导致多个 ROV 在下潜过程中发生脐带缆缠绕问题。如果出现这种情况, ROV 将无法完成作业任务, 并且 ROV 回收的风险会非常高, 严重时会造成个别

ROV 丢失。采用级联式 ROV 可以避免发生 ROV 丢失情况, 级联式 ROV 进行水下作业时仅有 1 根主缆, 不存在脐带缆缠绕问题, 末端解锁并释放的多个小型 ROV 可以朝不同的方向出发, 从而避免脐带缆末端缠绕。即使级联式 ROV 末端发生了脐带缆缠绕问题, 大中型 ROV 也可以将小型 ROV 带回水面进行处置, 从而避免了 ROV 的丢失。

5 结束语

本文基于现实问题的考虑, 提出了级联式 ROV 的设计构想, 并对需要解决的关键技术和解决措施进行了分析, 最后举例说明了级联式 ROV 的应用场景, 有较强的系统性实用性。本研究对于提升 ROV 的作业性能、拓宽 ROV 的作业范围具有一定的现实意义, 同时也为从业人员开展更深入的研究提供了参考。

参考文献

- [1] 连琏, 陶军, 马夏飞, 等. 无人遥控潜水器技术[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2018.
- [2] 中国造船工程学会《船舶工程》编辑部. ROV 技术手册[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2018.
- [3] 陈鹰, 连琏, 黄豪彩, 等. 海洋技术基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2018.
- [4] 刘贵杰, 谭华. 水下机器人现代设计技术[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [5] 陈宗恒, 盛堰, 胡波. ROV 在海洋科学科考中的发展现状及应用[J]. 科技创新与应用, 2014 (21): 3-4.
- [6] 曾亚骏, 马辰. ROV 技术在海洋工程建设中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(4): 193-195.
- [7] 龙光阳. ROV 在水下采油树安装和检修中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(3): 126-128.
- [8] 陈雷, 陈军强, 陶泊宏. ROV 在导管架检测技术中的方法与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(8): 63-64.
- [9] 邹建文, 施炎武. 水下机器人在 OBN 海底布放中的应用[J]. 海洋石油, 2021, 41(2): 109-114.
- [10] 梁家豪, 汪国春, 廖昌忠, 等. 小型水下机器人在复杂浅海海域地震采集作业中的应用[J]. 物探装备, 2021, 31(2): 90-93.

(责任编辑: 曹晓霖)