

一种用于矿难透水救援的双工水下机器人研究

张先奎 杨帆

(中国船舶重工集团公司 750 试验场)

摘要 本文分析了潜器用于矿难救援的困难及所需条件,认为小型的遥控水下机器人可完成部分未垮塌和堵塞透水巷道的水下探测、简单的水下作业和物品投递等工作。提出了一种具备 ROV/AUV 双工模式的矿难透水救援双工水下机器人。既能由水面设备通过脐带缆完成水下机器人本体的供电和功能控制,执行短距离透水巷道的水下作业任务,又能由水下机器人本体自带蓄电池组供电,由水下机器人本体自主完成功能控制,执行较远距离(或脐带缆缠绕情况下)的简单水下救援任务。

关键词 水下机器人 ROV AUV 矿难透水救援

0 引言

矿难透水事故是矿山事故的一个重要组成部分。随着矿山建设的迅猛发展,尽管采矿技术设备也在不断改进提高,人们对矿山安全工作也一再加强,但各种事故仍时有发生。水下透水事故不仅是一个占比相对较高,同时又是事故初期矿工生存概率比较高,救助可能性相对较大的事故。“3·28”王家岭煤矿透水事故、“6·3”郊南煤矿透水事故的救援工作,就充分地说明了这一情况。

矿山透水事故的救助,在过去多以强排水和水面救护为主,这样救援的周期就会很长,甚至根本不能在有效期限内完成救援任务。从现实情况看传统的排水抢险还将保持着救助的重要地位,但也一定要同步开展水下救援,以形成综合性的救助体系。

矿山透水水下救援在技术设备上与其他水下救助是基本相近的,主要有两种作业:一是潜水员作业,分为轻潜水和管供潜水;二是潜器作业,潜器包含水下机器人和载人潜器。潜水员作业成败决定因素是水质、水深和透水矿道长度,包括矿道环境、是否跨层救助等。潜器水下救援成功的关键是矿难后的水下环境对潜器机动航行的允许情况如何,在绝大多数巷道里都会有两个问题:一是空间尺寸在最佳状态,也就是矿车不并停,不出轨堵塞巷道,也无巷道倒塌情况下载人潜器才可能使用;二是巷道障碍,从目前看要投入载人潜器的使用,所有巷道都必须进行适应性改造,主要是坑木、电缆和矿顶锚栓等的清理。这极大地限制了载人潜器在矿难透水救援中的应用。而小型的遥控水下机器人则可完成部分未垮塌和堵塞巷道的水下探测、简单的水下作业和物品投递等工作^[1]。

本文提出的一种具备 ROV/AUV 双工模式的矿难透水救援水下机器人具有 ROV 和 AUV 两种工作模式。既能在 ROV 工作模式，由水面控制器通过脐带缆完成水下机器人本体的供电和功能控制，执行近距离的水下作业任务，又能切换到 AUV 工作模式，由水下机器人本体自带蓄电池组供电，由本体自主完成自身功能控制，执行巷道内的简单水下作业任务，适用于落差大、距离长的透水巷道的水下救援任务。

1 系统组成

水下机器人系统采用 ROV/AUV 双工模式设计，在透水巷道不长、的情况下，水下机器人正常工作由水面单元通过脐带缆供电和控制完成水下作业任务（ROV 工作模式）；在透水巷道较长或脐带缆被巷道内杂物缠绕的情况下，水下机器人切断脐带缆并自动切换到自带电池供电的自主航行工作模式（AUV 工作模式）。

水下机器人系统由载体系统（主体）、观测系统、控制系统、动力推进系统组成，系统组成框图如图 1 所示。

水下机器人系统布置如图 2 所示。

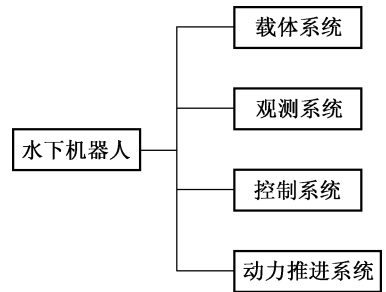


图 1 水下机器人系统组成框图

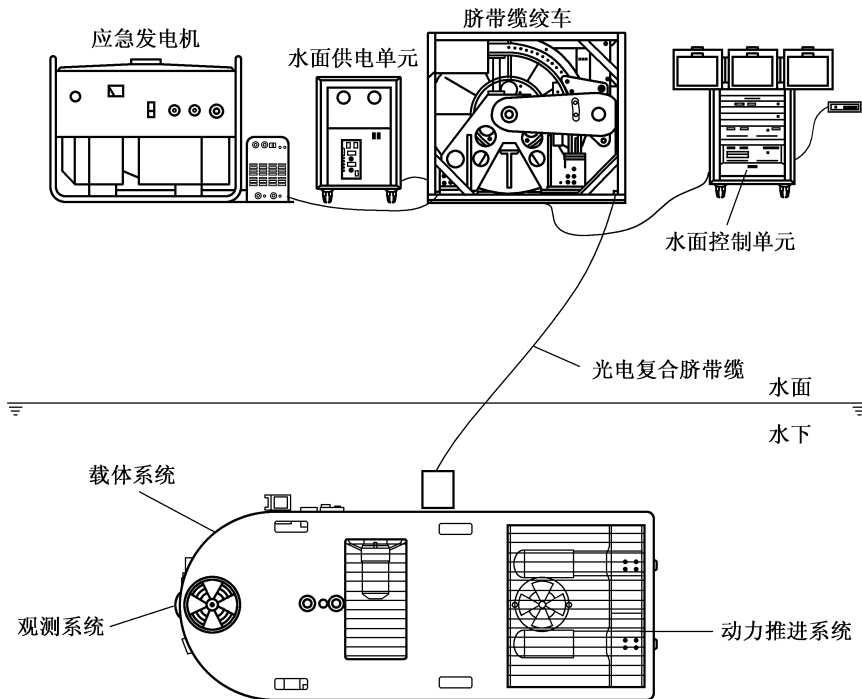


图 2 水下机器人系统布置

水下机器人系统工作示意图如图 3 所示。

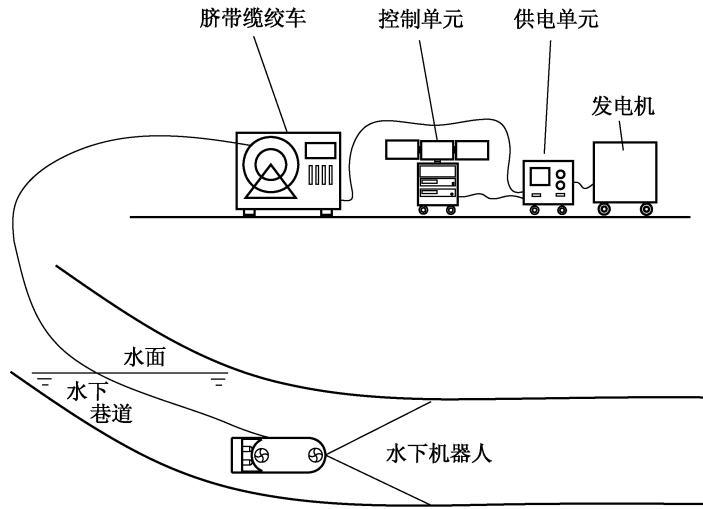


图 3 水下机器人系统工作示意图

2 工作原理

2.1 ROV 工作模式

在 ROV 工作模式下，外部 380 V AC 电源接入动力推进系统的水面供电单元，经 380 V AC/3000 V DC 电源变换器转换为 3000 V DC 电源，通过过渡缆、脐带缆绞车、光电复合缆、充油均压式脐带缆接线箱，到达电力舱，由电力舱内的 3000 V DC/250 V DC 电源变换器转换为 250 V DC 电源，分别供给推进器控制舱和电子舱（图 4）。在不具备外部 380 V AC 电源输入条件时，可用动力推进系统配备的应急发电机供电，供电原理相同。

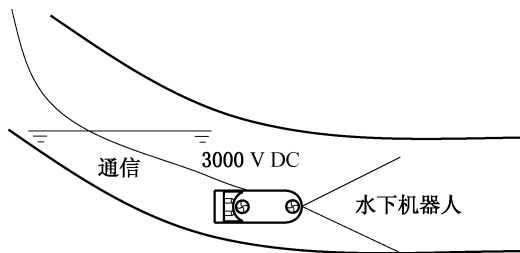


图 4 ROV 工作模式

操作人员通过控制系统的水面控制单元对整个水下机器人系统的功能进行控制，并通过水面控制单元对作业情况及设备工作情况进行观察和记录，完成水下救援任务。水面控制单元有多台显示器，分别用于显示系统的水下摄像机视频、系统状态参数信息和声纳的工作画面。水面控制单元内置综合业务光端机、HD - SDI 录像机、主控计算机和彩色图

像声呐控制器，通过光电复合缆内置的光纤与水下部分进行通信和数据传输。

观测系统对水下机器人外部工作环境进行观测，同时对内部的设备进行检测，并将获取到的全部信息传输给控制系统的控制计算机，经综合业务光端机光电转换，通过光纤传输至控制系统的水面控制单元。

ROV 模式工作原理框图如图 5 所示。

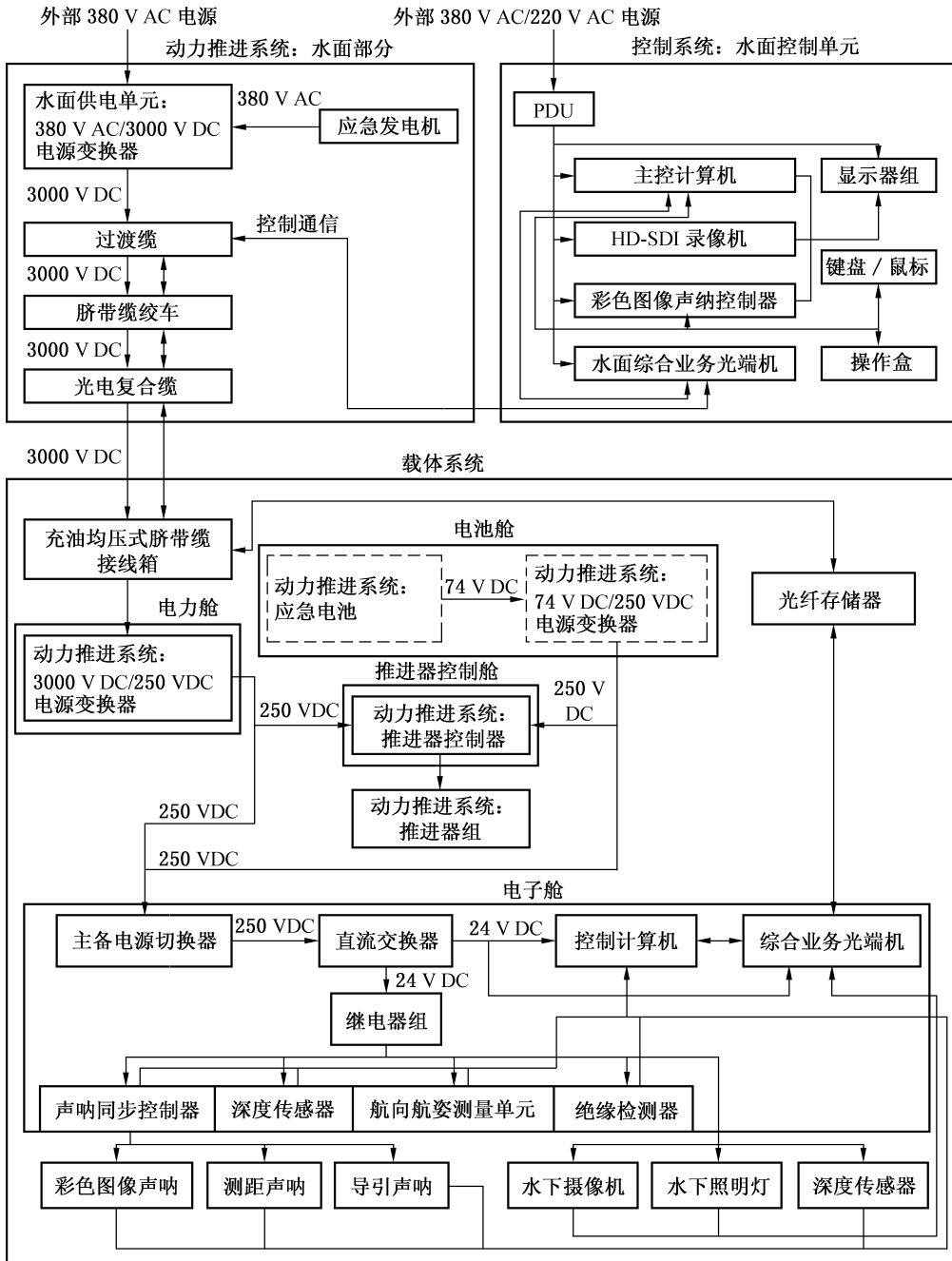


图 5 ROV 模式工作原理框图

2.2 AUV 工作模式

在 AUV 工作模式下，水下机器人切换到自带电池供电模式，由电池舱内的应急电池提供 74 V DC 电源，经 74 V DC/250 V DC 电源变换器转换为 250 V DC 电源分别供给推进器控制舱和电子舱（图 6）。

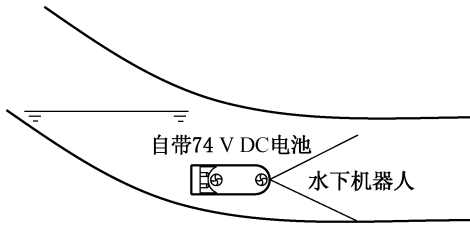


图 6 AUV 工作模式

此时观测系统处于部分工作状态，对水下机器人航行相关的外部工作环境进行观测，同时对内部的设备进行检测，并将获取到的信息传输给控制系统的控制计算机，由控制系统水下控制单元对水下机器人内外信息进行处理分析，根据控制算法对动力推进

系统进行控制输出，实现水下机器人自主航行及救援功能。

AUV 模式工作原理框图如图 7 所示。

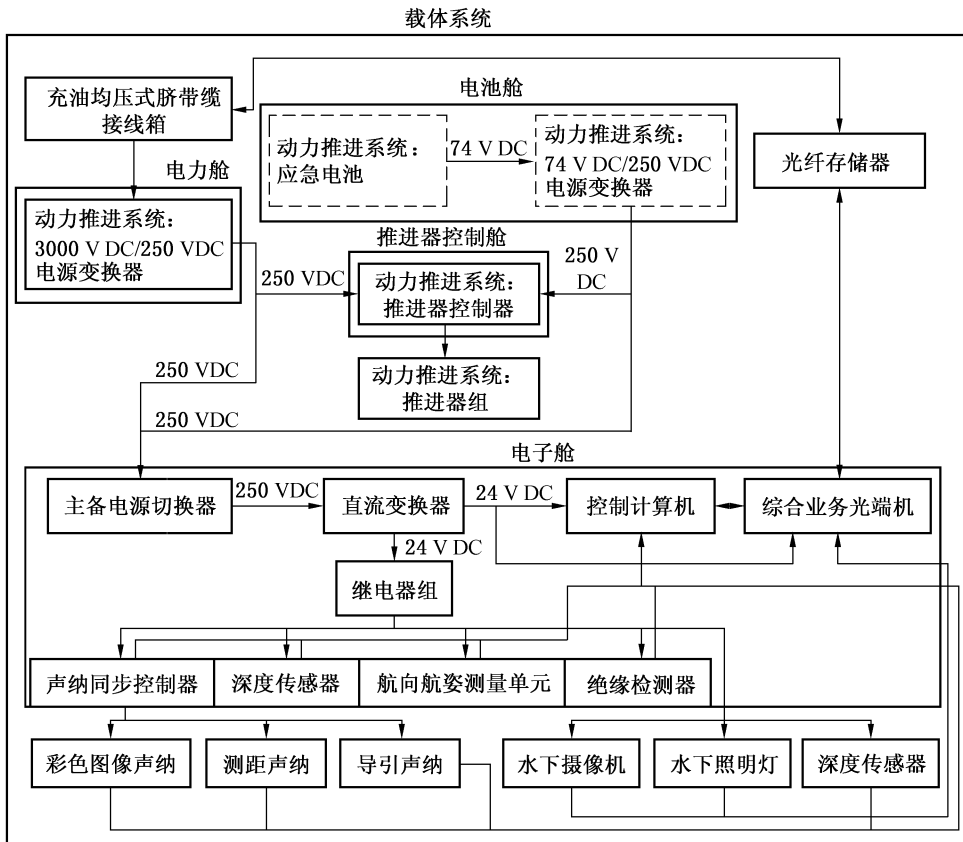


图 7 AUV 模式工作原理框图

3 难点技术

3.1 巷道内远程收放

在透水巷道内,杂物较多,航行条件差,水位落差大、隧洞距离长,脐带缆拖曳阻力较大且容易发生脐带缆缠绕的情况,需要对脐带缆释放和回收进行特殊设计和考虑。在脐带缆被缠绕无法解脱的情况下,水下机器人通过脱缆机构将脐带缆与水下机器人主体解脱,水下机器人控制脱缆机构内部的小型光纤收放机构释放线导光纤,并启动内置电池供电,水下机器人由自带电池供电,水面控制单元通过通信光纤远程控制水下机器人作业。在通信光纤被扯断的情况下,水下机器人自动切换到 AUV 工作模式,由自带电池供电,自主航行开展救援。

3.2 水下机器人的综合控制

控制系统用于水下机器人水下运动的精确控制。由于水下环境较为复杂,要求可对水下机器人水下运动精确控制,并且要在极短的时间内反应和反馈,这就要求系统能够对设备参数进行精确测量和反馈,以及对控制信号进行精确微调,对各种应急状态及时处理等。

3.3 管道中的声导引

在透水巷道环境下,水下机器人工作环境较为狭小,且距离较远,存在较多的水道折弯,在这类水域中使用声呐,声波在复杂封闭水域中传播存在多途反射和混响,方向和传播时间存在不确定性,给远距离探测图像声呐以及引导声呐的使用带来挑战。尤其对于引导声呐,系统处于 AUV 工作模式时,水下机器人的返航方向信息主要来自于引导声呐,因此必须为图像声呐、引导声呐设计良好可靠的滤波电路、发射机、接收机等,同时设计高精度换能器基阵,以降低不利水域环境下多种因素对声呐系统的影响。

3.4 推进控制器的实时响应

在透水巷道环境下工作时,推进控制器还必须能实时有效地执行来自控制系统的指令,以确保水下机器人机动灵活、工作可靠。为此推进控制器需采用容余、保护、自动复位等有效措施,以保证水下机器人在各种工况下指令得到有效的执行。

4 结束语

本文提出了一种用于矿难透水救援的双工水下机器人。该水下机器人,能用于完成部分未垮塌和堵塞巷道的水下探测、简单的水下作业和物品投递等工作。该水下机器人具备两种工作模式,既能由水面遥控作业,也能脱开脐带缆自主航行完成救援任务并返回入水点。

参 考 文 献

- [1] 郑发顺. 遥控水下机器人系统在水库大坝水下检查中的应用[J]. 水利信息化, 2014 (4).
- [2] 刘甜甜, 秦峰, 朱晓勇, 等. 水下自主导航机器人系统[J]. 兵工自动化, 2012 (11).
- [3] 李福年. 陈慕雄, 田维坤. ROV 原理及在阿海水电站工程中的应用[J]. 云南水力发电, 2013 (3).