

文章编号: 1002-0446(2003)04-0359-04

“CR-02”自治水下机器人在定点调查中的应用*

李一平, 燕奎臣

(中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016)

摘要: 本文介绍了“CR-02”AUV 的主要性能和技术指标, 详细介绍了“CR-02”AUV 在湖试定点调查中的应用, 为进一步的海试提供了试验数据和理论依据。

关键词: AUV; 定点调查

中图分类号: TP24 文献标识码: B

“CR-02” AUV USED IN POINT-SURVEY

LI Yiping, YAN Kuichen

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract This paper introduced the capability and parameters of “CR-02” AUV, mainly described some experiment results of “CR-02” AUV used in point-survey, provided experiment data and theoretic results for sea test of “CR-02” AUV in the future.

Keywords: autonomous underwater vehicle, point-survey

1 引言(Introduction)

自治水下机器人(Autonomous Underwater Vehicles 缩写为 AUV) 是指本身不配备电缆, 自带能源, 依靠自身的自治能力来完成使命的一类水下机器人。“CR-02”自治水下机器人(以下简称“CR-02” AUV), 是为适应国际海底区域资源调查, 特别是深海海底富钴结壳调查的需要而研制的新型深水机器人(见图 1)。钴结壳是一种分布于海底火山坡上的富含多种金属的矿物资源。由于深海海山坡的地形非常复杂, 对水下机器人的操纵控制、自治功能提出了较高的要求。

与其它的自治水下机器人相比, “CR-02” AUV 有独特的优点: 可以在深海海山区复杂地形中爬坡、避障、进行微地貌测量。为了完成上述功能, 我们在“CR-02” AUV 上安装了 8 个避碰声纳 (Obstacle Avoidance System 简称 OAS) 换能器, 用于检测 AUV 距离海底(或障碍物)的距离, 以有效的防止 AUV 碰撞到海底的障碍物(如海山顶、暗礁、山洞等), 系统如图 2 所示。在使命执行期间, OAS 系统能提供 8 个方向的信息用于防撞。同时, OAS 还为

AUV 的导航系统提供数据, 通过这些数据可以确定 AUV 距海底的高度及 AUV 前部半球范围内距离目标点的距离。

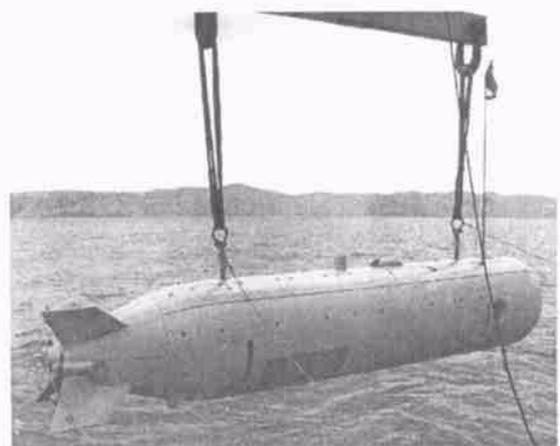


图 1 “CR-02” 6000m 自治水下机器人

Fig. 1 “CR-02” AUV

在“CR-02” AUV 进行深海调查之前, 我们在内陆湖中进行了综合湖试及调查应用, 以考核其主要控制性能。本文针对“CR-02” AUV 在湖试中作定点

* 收稿日期: 2002- 10- 31

调查应用作一介绍.

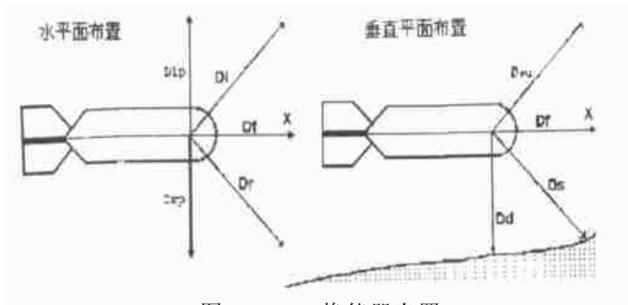


图2 OAS 换能器布置

Fig. 2 OAS Acoustic transducer units locations

2 “CR-02” AUV 的主要性能和技术参数 (Capability and main parameter of “CR-02” AUV)

“CR-02” AUV 是一台用于国际海底资源调查的 6000m 级自治水下机器人, 该机器人有:

主要用途

- 深海海底资源调查;
- 作业海区现场海洋要素的测量;
- 深海采矿场所的前期和后期调查.

主要性能:

- 按预编航线航行, 可自动回避障碍;
- 在一定高度上对海底表面资源进行摄像、录像和照相;

• 进行海底地形、地貌测量、海底浅地层剖面测量及海洋要素测量;

• 可利用长基线定位系统确定“CR-02”的轨迹, 通过下达遥控命令改变机器人的航迹和工作状态.

主要技术指标:

- 工作水深 6000m;
- 最大速度 2.3 节;
- 最大续航能力 25h;
- 连续录相时间 > 4h;
- 拍摄照片量: 3000 张;
- 避碰声纳作用距离 60m;
- 测深侧扫声纳精度 1%;
- 剖面仪地层穿透深度 50m (软泥);
- 长基线声纳定位系统作用距离 10- 12km;
- 定位精度 $\leq 20m$;
- 能源 银锌电池, 总能量 4.8kwh, 电压 24V;
- 空气中重量 1500kg;
- 主尺度 0.8m \times 4.5m (直径 \times 长度).

如前所述, “CR-02” AUV 将主要用于国际海底

区域大面积资源调查, 在特殊情况下可作为定点调查设备使用. 作为定点调查设备使用时, 可通过长基线声学定位系统准确地确定“CR-02” AUV 在水下的航迹, 实时纠正其航迹与工作状态.

3 布阵、测阵及使命准备 (responder placement and prepare mission)

“CR-02” AUV 采用长基线声学定位系统确定其水下的位置. 其基本原理是: 在海底布设三个以上的水声应答器, 这些应答器在海底的分布构成一定的几何形状, 对各应答器的坐标位置进行精密测量, 通过求解定位方程来获得“CR-02” AUV 在水下的位置信息.

在实际应用中, 首先在作业区布放三个应答器构成应答器阵, 而后进行应答器的操作能力测试及系统的标定. “CR-02” AUV 将在应答器布放的有效通讯距离范围之内工作.

本次调查的使命是对长 200m、宽 100m、面积为 20000m² 的湖底模拟结核的开采区进行实际观测. 此前, “CR-02” AUV 已调查了该区域的模拟结核分布与丰度情况, 此次调查的目的是对集矿机采集后的湖底情况进行观测, 以便为评价采集效果提供依据. 观测区的大地坐标由用户提供, “CR-02” 将在指定区域执行小范围定点调查任务.

长基线声学定位系统应答器布阵时, 考虑到试验季节的水文条件、观测区的位置及系统性能等因素, 将观测区布置在三个应答器阵内, 以充分发挥“CR-02” AUV 长基线遥控命令修正航迹的能力和观测能力. 应答器阵布设的形状呈三角形, 其大地坐标如下:

1# : X°52.762' N Y°32.043' E

2# : X°53.468' N Y°32.474' E

3# : X°53.474' N Y°31.725' E

图 3 给出了长基线声学定位系统三个应答器阵的阵位与观测区 (CBEF) 在大地坐标系中的相互位置.

本次调查中, 我们采用声学系统和光学系统相结合的方式, 声学系统远距离大范围探测开采区内集矿机水下运行轨迹, 光学系统则近距离观测集矿机陷深、采集效果. 使用的机载调查设备包括两部测深侧扫声纳、浅地层剖面仪、照相机、摄像机等.

图 4 为“CR-02” AUV 使命预编程航迹. 根据观测区的大地坐标, “CR-02” AUV 将在观测区外入水, 并按梳齿形航迹航行, 设计的航迹要覆盖整个观测

区. 本次使命“CR-02” AUV 总航程需要 160 分钟, 其中声学系统和光学系统的水下工作时间均为 80 分钟. 光学系统距湖底 1.8m 定高航行, 航行中打开摄像机、照像机, 实时记录观测状况. 声学设备使用测深侧扫声纳和浅地层剖面仪, 在距离湖底 40 米的高度大范围地对观测区进行探测.

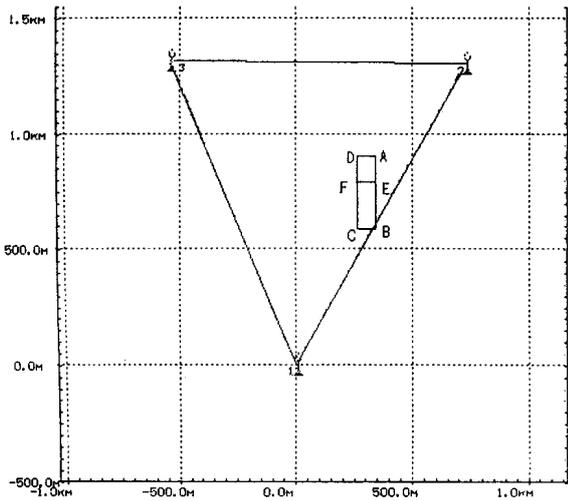


图 3 长基线声学定位系统的阵位图
Fig. 3 Long-base line acoustic positioning system transducer units locations

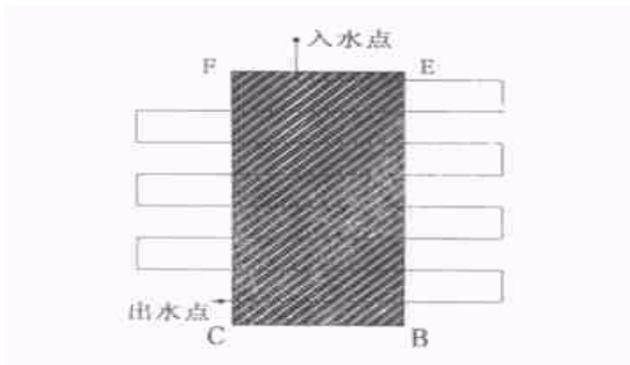


图 4 预编程航迹
Fig. 4 Programming track

4 调查结果(Research results)

根据用户提供的作业区大地坐标及有关资料, 选定“CR-02” AUV 的入水点在距观测区正北约一公里处, 以便利用遥控命令调整“CR-02” AUV 的初始航行状态和航迹, 弥补由于风、浪、流以及支持母船定位所造成的偏差及影响.

“CR-02” AUV 入水后, 首先利用遥控命令遥控其进入观测区, 然后按预编程航迹航行. 使命执行期间, 通过长基线声学定位系统监控机器人的航迹, 当机器人的航迹完全覆盖整个观测区且离开观测区后, 通过下发遥控命令结束本次使命.

调查结果表明: 使命程序完全被执行. 实际声学系统水下工作时间 100 分钟, 光学系统水下工作时间为 92 分钟.

图 5 为“CR-02” AUV 作定点观测时通过长基线声学定位系统等获得的实际航迹, 与图 4 显示的预编程航迹吻合. 图中四边形 CDEF 所围成的区域是实际湖底观测区. 图 6 为测深侧扫声纳获得的声图. 通过这张图, 我们可以清晰地看到整个观测区是由许多条带状区域所组成(横向线), 其中有些条带排列相互平行, 中间的空隙较小, 有些条带与其它条带间有一个夹角, 并且空隙较大, 这是模拟结核铺撒的分布情况. 观测区内有多处两条平行的轨迹, 在图中用粗黑线表示, 这是集矿机采矿时所留下的轨迹. 测深侧扫图与实际铺撒船的航迹相吻合. 图 7 和图 8 分别为照相机拍摄的模拟结核开采前、后的湖底照片. 通过声学 and 光学设备所探测的数据和照片, 可以清晰地看到湖底作业区和非作业区的情况, 如: 集矿机在水下运行的轨迹和履带印迹; 集矿机高压喷水冲过的痕迹; 湖底呈垄沟状排列的模拟结核; 多处被翻卷起的泥土; 以及非作业区内静静的躺在湖底的模拟结核, 虽然其表面被湖中的泥土微粒所覆盖, 但其体积大小仍可分辨.

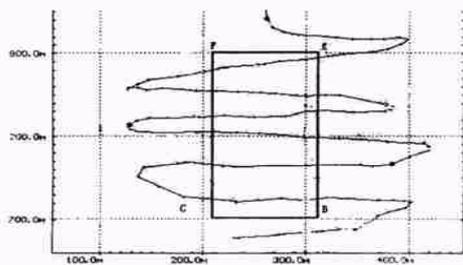


图 5 实际航迹
Fig. 5 Real track

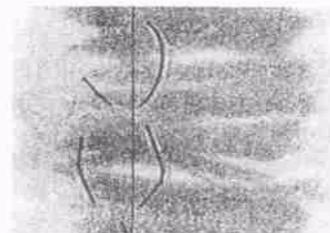


图 6 侧扫图
Fig. 6 Image of SSS

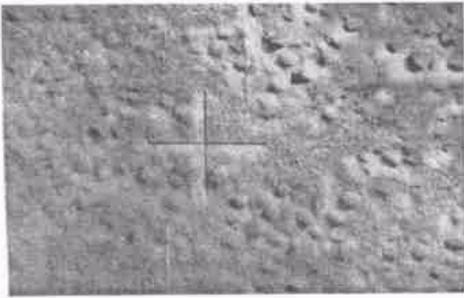


图 7 湖底照片 (采集前)

Fig. 7 Picture of lake bottom (before mining)



图 8 湖底照片 (采集后)

Fig. 8 Picture of lake bottom (after mining)

5 结论(Conclusion)

“CR-02”AUV 执行水下定点调查任务期间, 获得了大量试验数据及图象资料, 其结果令人满意. 与其它自治水下机器人相比, “CR-02”AUV 具有更突出的特性、更广泛的应用前景. 一般来讲, 自治水下机器人多用于海底大范围的搜索调查, 而在本次湖底应用中, 我们配合采矿系统, 对模拟结核的分布情况和采集情况分别进行了小范围的定点观测, 为评

价采矿系统提供了先进的技术手段. 同时也为将来参加由中国大洋矿产资源研究开发协会主持的太平洋深海综合矿产资源调查提供了先进的技术手段. 上述应用说明“CR-02”AUV 不仅可用于大范围海底调查, 还可以用于小范围定点调查作业.

作者简介:

李一平 (1963-), 女. 研究领域: 机器人控制.

(上接第 348 页)

- [8] Dean F Hougen, Maria Gini, James Slagle. Partitioning input space for reinforcement learning for control[A]. Proceedings of the 1997 IEEE International Congress on Neural Networks[C]. June 9- 12, 1997. Houston, TX, USA: 755- 760.
- [9] Yoshikazu Arai, Teruo Fujii, Hajime Asama, Yasushi Kataoka. Multilayered reinforcement learning for complicated collision avoidance problems[A]. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation[C]. May 16- 20, 1998. Leuven, Belgium: 2186- 2191.
- [10] John W Sheppard. Colearning in Differential Games[J]. Machine Learning. 1998, (33): 201- 233.
- [11] Michael L Littman. Markov games as a framework for multiagent reinforcement learning[A]. Proceedings of the 11th International Conference on Machine Learning[C]. 1994: 157- 163.
- [12] Littman M, Szepesvari C. A generalized reinforcement learning model: Convergence and applications[A]. Proceedings of the 13th International Conference on Machine Learning[C]. Bari, I-

taly. July 3- 6, 1996: 310- 318.

- [13] Junling Hu, Michael P Wellman. Multiagent reinforcement learning: Theoretical framework and an algorithm[A]. Proceedings of the 15th International Conference of Machine Learning [C]. July 24- 27, 1998. Madison Wisconsin: 115- 122

作者简介:

顾国昌 (1946-), 男, 现为哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院教授, 博士生导师. 研究领域: 机器智能, 智能机器人, 机器人行动决策和控制技术等.

申宇 (1976-), 男, 现为哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院博士研究生. 研究领域: 计算智能, 机器学习.

张汝波 (1963-), 男, 博士. 现为哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院教授. 研究领域: 机器学习, 计算智能, 智能控制, 智能机器人等.