

LADCP 在富钴结壳调查中的应用

李琦, 郭斌斌

(中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510075)

摘要: 简单介绍了 LADCP 设备的组成及工作方法, 阐述了基于 LDEO 软件包进行数据后处理及质量控制的关键步骤。通过对在太平洋某海山测得的海流剖面资料进行处理分析, 简要说明 LADCP 在富钴结壳调查中的应用。目前海山区的底流资料仍很匮乏, 底流情况对富钴结壳成矿因素的影响研究有待进一步开展。在深水大洋较深水层中声学反射体数量较少, 单个 LADCP 换能器的有效量程减小, LADCP 的观测效果受到明显影响, 使用双 LADCP 系统可大大增加其有效量程。

关键词: LADCP; 富钴结壳调查; 数据后处理; 质量控制

中图分类号: P714; P591

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2015.09008

富钴结壳又称钴结壳或铁锰结壳, 是一种层状、水生沉积成因的铁锰氧化物聚合体, 因富含锰、铁、钴、镍等金属元素而具有重要的经济价值, 成为各发达国家竞相争夺的对象。随着科学技术的进步, 越来越多的调查设备和技术手段应用到富钴结壳的调查当中, 人们对海底富钴结壳的认识不断深入。通过调查研究, 国内外学者对结壳的形态、结构构造、矿物组成、地球化学特征、生长机制、分布规律等方面进行了较为系统的研究和论述, 但对结壳的成因及其中元素的来源仍存在争议。

在结壳的成矿物质来源方面, 学者们认为主要有外源、内源和水成 3 个方面。其中水成来源与大洋水层结构、水化学和水动力有关, 包括水化学结构、碳酸盐系统和含氧量及其垂直分布带、水动力学特征、大洋生物生产力、海底岩石海解作用等。在结壳成因和成矿机制方面, 根据成矿物质来源不同, 提出了“水成说”、“成岩说”以及“热液

成因说”等假说。从富钴结壳的水生沉积成因来看, 不管其成矿物质最初源自何方, 在海洋中都要通过海水这一中介介质来传送, 即海水是富钴结壳的直接成矿物质来源, 而且海水通过洋流运动等可以使其中的元素分布混合并均匀化。

海底底流在结壳的成因上具有非常重要的作用, 特别是南极底层流(AABW), 其是维持太平洋海山斜坡强氧化环境的主要因素, 可能同时起着输运部分成矿元素的作用^[1]。

笔者拟通过介绍 LADCP 的设备组成、工作方法、数据处理及质量控制, 并结合在太平洋海山区的实测数据分析, 简要说明其在富钴结壳调查中的应用。

1 设备介绍及工作方法

LADCP 是 Lowered Acoustic Doppler Current Profiler 的简称, 以美国 RDI 公司生产的 Workhorse Sentinel 300K(WHS300)型 LADCP 为例, 其拥有 4 个和垂直方向成 20°角排列的凸型换能器, 内置罗经、温度和倾斜传感器, 可满足走航、锚系及投放式测量需要。其工作频率为 300 kHz, 采用自容式数据采集模式, 耐压 6 000

收稿日期: 2015-05-25

基金项目: 中国大洋协会国际海域资源调查不开发“十二五”项目(DY125-13-R-04)

作者简介: 李琦(1984—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海洋水文调查方面的研究工作。E-mail: liqi3412@163.com

m,额定量程为110 m,大量程模式下达165 m。具有底跟踪功能,可以测量ADCP对地的速度和方向。

LADCP作业一般采用LADCP/CTD捆绑式测量,即将自容式ADCP固定在CTD框架上,从海面以一定的速度下放到近底层,再从近底层提升到海面,得到每个测站由表及底的整个水柱的海流剖面资料。这样就使得在测量实施过程中不增加机械动作的情况下多获取了瞬时海流剖面的观测资料,并且很好地保证了海流资料和温、盐、深资料的同步性,在加强资料互补性的同时延拓了它们的利用空间。其优点明显地表现为完整的海流垂直剖面结构、很高的海上作业可操作性和广阔的观测海域范围,可以在CTD调查的所有测站上实施观测,从而获得大范围、准同步、全剖面的海流实测资料^[2]。

单个LADCP测量不能同时顾全对表层和近底层的海流观测,因为换能器向下时不能对表层进行观测,向上时不能对近底层进行观测,致使水柱的流速剖面不够完整。在设备数量足够的情况下,人们一般利用一上一下、同步观测的双LADCP,并采用LADCP/CTD捆绑式测量模式进行LADCP观测。

2 基于LDEO软件包的数据处理及质量控制

目前LADCP数据处理的方法主要有:剪切法^[3]和逆方法^[4]2种。逆方法是构造矩阵进行求解线性方程组的一种方法。它的基本原理是认为LADCP观测到的流速是海水真实的运动速度和仪器本身不规则运动速度之和,从而构造一个超定的线性方程组进行求解,这里的未知数即为海水真实流速和仪器运动速度,仪器的每次观测可认为是一个方程,从而构成方程个数远大于未知数的个数,最终得到误差最小的海水流速值。相对剪切法,逆方法的一大优点在于能充分利用附加信息,比如高精度GPS资料和船载ADCP资料,使获得的绝对流速更大程度上逼近真实的绝对流速。但是,在深水观测时,在接近海底处,该方法却不能准确地判断出海底的深度,也不能较好地计算出近海底处的流速剖面,田川和徐霄

阳^[5]提出综合利用相关数参量及样本点数目变化剖线的信息,可以有效地判断海底的深度,并且能够准确地给出近海底处流速剖面结果。

基于逆方法的软件包是由Martin Visbeck在哥伦比亚大学Lamont-Doherty Earth Observatory(LDEO)实验室工作时编写的(简称LDEO软件包)。该软件包是以MATLAB语言为基础编写的代码,目前使用范围较广,国内很多专家学者对逆方法的原理及对应的软件包程序的使用都进行了讨论^[6-11]。

LDEO软件包包含近百个MATLAB语言的m文件,对LADCP数据的处理总体上可分为5个部分:①对所有程序中需要的参数进行设置;②读入要处理的LADCP数据及其他CTD、GPS、SDCP等参考数据,并将不同的数据进行融合;③对数据质量进行多次控制;④利用逆方法求解绝对流速剖面;⑤结果显示。

原始数据的质量控制是LADCP数据处理中一个重要的问题。在读入LADCP原始数据时会进行最基本的质量控制,去除一些坏数据。进一步的质量控制中具体包括以下几方面:①去除全体数据中的异常值;②磁偏角的旋转;③垂向速度限制;④水平速度限制;⑤去除仪器入水前出水后的无效数据;⑥解决仪器beam系统固有问题;⑦解决仪器磁罗盘的固有问题;⑧校正仪器倾角;⑨倾角以及倾角方差限制。

在数据后处理过程中,以上步骤可以对数据质量进行有效地控制。

3 实测数据分析

2014年“海洋六号”船对太平洋A海山站位进行温盐深测量,该站位位于海山山顶边缘,水深约1470 m。同步投放了2台WHS 300 kHz LADCP,其中一台LADCP换能器垂直朝上(1号换能器);另一台换能器垂直朝下(2号换能器),获得了测站的CTD—LADCP同步观测数据。LADCP的设置参数为:层厚8 m,层数14层,盲区4 m,采样间隔1 s,合样时间1 s。从图1上可以看出,在该海区800 m以浅的深度范围内,单个换能器的有效量程为80 m左右;之后随着水深的增加而逐渐减小,超过1000 m深度后,有效

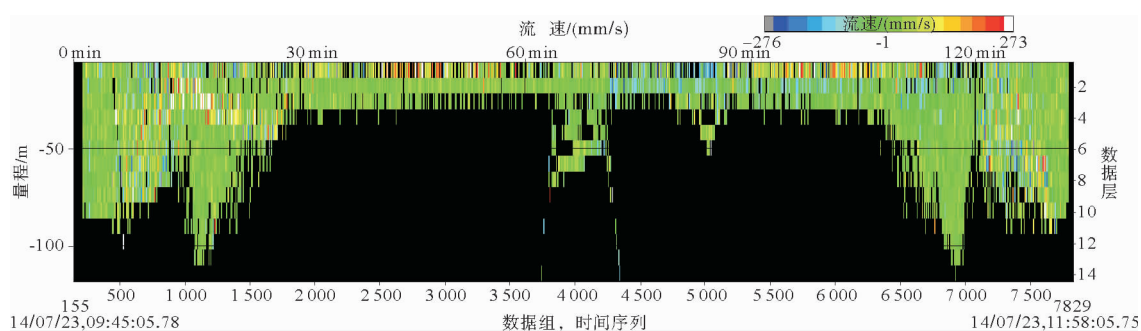


图1 A海山测站 LADCP 原始数据时间序列

Fig. 1 Time series of LADCP raw data from the station of the seamount A

量程降为 25 m 左右。且 BIN 1 的数据较差, 单个换能器在深水范围内实际可用深度单元仅为 3 个左右, 这与大洋深水范围内数量较低的声学反射体有关。但在使用双 LADCP 系统时, 有效量程可大大增加(图 2)。

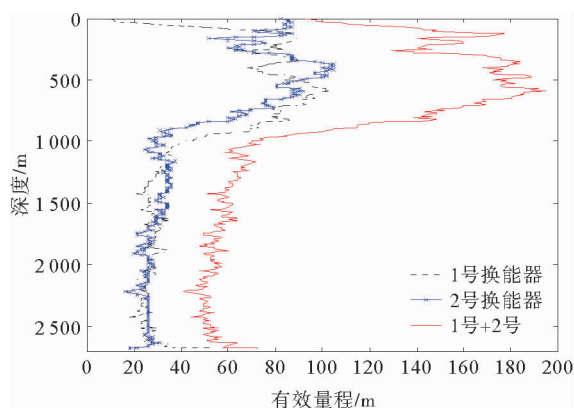


图2 LADCP 有效量程剖面

Fig. 2 Profile of the effective measurement range of the LADCP

利用 LDEO 软件包, 将采集得到的 LADCP 原始数据与 CTD、GPS、船载 ADCP 数据进行融合处理, 得到了该测站的垂直流速剖面(图 3)。可以看出, 70 m 以浅的表层水为 E 向流, 最大流速达 0.27 m/s。表层以下到水深 1 100 m 的水层为 W 向流, 并分别于 160、392、624、912 m 处存在较大的 W 向流, 其中 160 m 深度处形成剖面最大流速, 约为 0.32 m/s; 1 200 m 至底层逐渐转为 E 向流, 底层流速大小约为 0.14 m/s, 这与同期在该海域进行的锚系海流观测结果较为一致。该海域流系主要受 W 向的北赤道流(NEC)控制, 70 m 以浅的东向流很可能是受到了局地风场的影

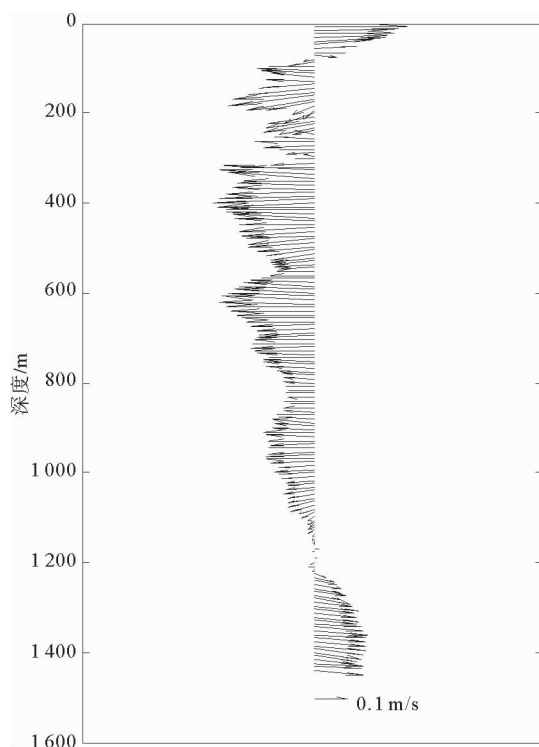


图3 A海山测站全水深流速剖面(向右为东方向)

Fig. 3 Full scale velocity profile from the station of the seamount A

响; 而底层流受南极底层流(AADW)控制的可能性较大。

4 结语

LADCP 作为一种较新的测流方式, 正在得到越来越广泛的关注和应用, 随着 ADCP 测流技术的发展以及数据处理方法的改进, 如今 LADCP 已能够获取较为可靠的底层流数据, 可为海山

区富钴结壳的调查及其成因分析提供资料,基于逆方法的LDEO软件包可对LADCP数据进行有效的处理及质量控制。但目前海山区底流资料仍很匮乏,底流情况对富钴结壳成矿因素的影响研究有待进一步开展。

在深水大洋较深水层中声学反射体数量较少,单个LADCP换能器的有效量程减小,LADCP的观测效果受到明显影响,而使用双LADCP系统可大大增加其有效量程。

参考文献:

- [1] 武广海,刘捷红. 海山当地物源和南极底层水对富钴结壳成矿作用的影响——来自海山周围水柱化学分析的证据[J]. 海洋学报,2012,34(3):92-98.
- [2] 熊学军,郭炳火,胡筱敏. LADCP观测和资料后处理的关键技术[J]. 海洋技术,2003,22(4):32-36.
- [3] Firing E, Gordon R. Deep ocean acoustic Doppler current profiling [C]// Proceedings of the IEEE Fourth Working Conference on Current Measurements, 3-5 April, Clinton, Maryland, 1990: 192-201.
- [4] Visberk M. Deep Velocity profiling using Lowered Acoustic Doppler Current Profilers: Bottom track and inverse solutions [J]. Journal of Atmospheric and Ocean Technology, 2002, 19(5): 794-807.
- [5] 田川,徐霄阳. 基于LADCP观测获取近海底处流速剖线的改进方法[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,2013,43(10):106-109.
- [6] 熊学军,胡筱敏,于非,等. 投放式声学多普勒海流剖面仪的盲区优化和数据处理误差控制[J]. 海洋技术,2006,25(1):107-114.
- [7] 郭心顺,杨庆轩,康建军,等. LADCP数据处理方法的探讨及其对应软件包的使用[J]. 海洋技术,2006,25(4):1-6.
- [8] 谢玲玲,熊学军,杨庆轩,等. LADCP配置文件和数据质量控制的参数设定[J]. 海洋技术,2009,28(1):19-23.
- [9] 谢玲玲,郭心顺,张艳伟,等. LADCP底跟踪参考速度问题分析[J]. 海洋技术,2013,32(2): 1-6.
- [10] 谢玲玲,尚庆通. LDEO软件包处理LADCP数据的过程详解[J]. 中国科技信息,2012(16):88-89.
- [11] 杨成浩,廖光洪,袁耀初,等. ADCP观测得到的2008年4月吕宋海峡流速剖面结构[J]. 海洋学报,2013,43(10): 106-109.

APPLICATION OF LADCP TO CO-RICH CRUSTS SURVEY

LI Qi, GUO Binbin

(Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510075, China)

Abstract: The components and the working principles of the LADCP are introduced in this paper. Discussed are also the key steps of data post-processing and quality control based on the LDEO software package. Through the processing and analysis of the current data of the seamount in the Pacific Ocean, the application of LADCP to Co-rich crusts survey is illustrated briefly. The current data of the bottom water are very rare now. The measurement range of the single-LADCP transducer decreases because of the few scatters in the deep ocean. The LADCP measurement is affected significantly. However, the measurement range of the transducer can increase obviously when double-LADCP system is used.

Key words: LADCP; co-rich crusts survey; data post-processing; quality control