

阮爱国, 李家彪, 陈永顺等. 国产 I-4C 型 OBS 在西南印度洋中脊的试验. 地球物理学报, 2010, 53(4): 1015~1018, DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.04.026

Ruan A G, Li J B, Chen Y S, et al. The experiment of broad band I-4C type OBS in the Southwest India ridge. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2010, 53(4): 1015~1018, DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.04.026

国产 I-4C 型 OBS 在西南印度洋中脊的试验

阮爱国¹, 李家彪¹, 陈永顺², 丘学林³, 吴振利¹,
赵明辉³, 牛雄伟¹, 王春龙², 王显光²

1 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012

2 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871

3 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301

摘 要 介绍了在 DY115-21 航次第 6 航段西南印度洋中脊构造调查中, 中国科学院地质与地球物理研究所研制的 5 台 I-4C 型海底地震仪(OBS)的试验情况. 在不同的水深点(2370~3534 m)共投放 OBS 6 个台次, 全部投放和回收成功. OBS 内置电化学式和外置机械式两种上浮释放系统都成功动作, 取得了船载气枪震源的地震数据. 但仍存在三个主要问题: 第一, 上浮后的 GPS 应答搜寻系统无效果; 第二, 夜间回收时所需的灯光明亮度较差; 第三, 外在结构不利于海面上的姿态控制和打捞.

关键词 I-4C 型海底地震仪, 设备性能, 回收率, 西南印度洋中脊

DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.04.026

中图分类号 P315

收稿日期 2010-03-16, 2010-03-30 收修定稿

The experiment of broad band I-4C type OBS in the Southwest India ridge

RUAN Ai-Guo¹, LI Jia-Biao¹, CHEN Yong-Shun², QIU Xue-Lin³, WU Zhen-Li¹,
ZHAO Ming-Hui³, NIU Xiong-Wei¹, WANG Chun-Long³, WANG Xian-Guang²

1 *Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China*

2 *Institute of Earth and Space Science of Beijing University, Beijing 100871, China*

3 *South China Sea Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China*

Abstract Five I-4C type broad band ocean bottom seismometer (OBS) made by the Institute of Geology and Geophysics, CAS together with other OBSs were used in the survey of Southwest India Ridge during the sixth section of DY115-21 cruise. This paper describes in detail the experiment process of the five I-4C type broad band OBS. These five OBS were deployed 6 times in various water depth sites(2370~3534 m) and all recovered successfully. The inner electrical and chemical releasing system and the extra added mechanical releasing system both operated successfully. Seismic data of mid ridge produced by air gun array was recored. But the experiment showed this type OBS still exists some faults as follows. (1) The GPS locating and receiving system used for seeking floated OBS on sea surface was invalid; (2) The light from OBS was too weak to seek floated OBS during night; (3) The outer structure of OBS was not convenient for cathing OBS from water due to its bad floating pose.

Keywords I-4C OBS, Equipment function, Recovering rate, Southwest Indian Ridge

基金项目 中国大洋协会十一五研究课题(DYXM-115-02-3-01)资助.

作者简介 阮爱国, 男, 1963 年生, 博士, 任国家海洋局海底科学重点实验室责任研究员. 主要从事海底地震仪探测和海底构造研究.

E-mail: Ruanag@163.com

1 引言

海底地震仪(Ocean Bottom Seismometer, 简称 OBS)是海洋地震观测和勘探的重要设备,既可以用于主动地震勘测也可以用于天然地震观测^[1]. 由于 OBS 是与海底面直接接触,因此除了 P 波外还可以接收 S 波, OBS 的布设和陆地地震仪一样,可以进行广角地震勘测,探测深度较大,这两点是 OBS 不同于海洋多道地震的最大特点. 我国的海底地震仪的研制和使用相比先进国家是比较晚的. 近年来在国家多个渠道和项目的支持下,我国在 OBS 的引进和实际应用中都已取得了显著进展^[2], 尤为重要的是国产 OBS 的研制已取得了很大的成功,并进行了多次试验和实际应用^[3,4]. 但作为新的科研产品,还需在实践中作进一步的检验,对存在的问题需要不断地发现和改进. 2010 年 1~3 月间, DY115-21 航次第 6 航段西南印度洋中脊构造调查,集中了 4 种型号 41 台短周期和宽频带 OBS, 其中国产宽频带 I-4C 型 OBS 5 台. 以前多次海上作业实践显示,国产 OBS 在释放上浮系统方面还存在一些问题,影响了回收率,因此,本次海上作业国产 I-4C 型 OBS 的试验重点为释放上浮系统和外部结构. 本文拟对这 5 台 OBS 的试验过程和结果作较详细描述,指出存在的问题,并提出对该型 OBS 进行改进的建议.

2 I-4C 宽频 OBS 的主要性能指标

与国外产品相比,在设计原理、地震计、记录器等主要方面都是一致的. 主要差异体现在外部结构、上浮系统、电源系统、数据读取方法. 国产 I-4C OBS 的设计适应了国际上技术发展的趋势,采用了一些新技术,如可充式锂电池、蓝牙输入参数读取数据和 GPS 通讯等. 主要性能指标简述如下.

(1) 地震计

仪器舱内集成了姿控宽带三分量地震计,频带 60 s~50 Hz, 一个水听器. 由于没有机械零点和锁摆问题,使 OBS 的工作可靠性提高. 频带宽和 4 分量设计与国外同类产品类似,长周期 60 s 比国外产品的 30 s 更大些,但高频比国外产品的 100 Hz 偏小.

(2) 记录器

前放电路在信号输入端加配一阶无源 LC 低通抗混叠滤波器,采用极低噪音精密双运算放大器构成仪器放大电路,且有很高的抗干扰能力. 曾在南海

的 973 项目中将国产 OBS 与德国 OBS 进行了共同作业试验,结果表明国产 OBS 的数据其后续波质量更好些. A/D 采用 4 阶 $\Sigma\Delta$ 增量调制器,动态范围大于 120 B,数据容量 16 G,整体功耗小于 0.3 W,内部时钟精度优于 5×10^{-8} . 这些指标与同外国类产品相当,功耗属于较小的一类. 采用蓝牙技术进行参数设置和数据的读取,且速较高达 2M 字节/s,符合国际技术发展趋势.

(3) 电源

采用了 11.1V 的 10AH 锂电池 8 枚. 可以在数十小时内完成充电. 内置了一个电源管理模块,当能量低于某一预定值时,可以自动关闭所有耗电设备,使 OBS 在海底滞留一年以上还能回收. 这一点与国外产品不同,例如德国 GeoPro 产品是将记录器、声学释放器和融断电路独立开来.

(4) 上浮释放和外部结构

采用的玻璃球为国外进口,最大工作水深为 6000 m,与国外产品相当,可以满足多数条件下的海洋调查要求. 以前多次海上作业发现该型 OBS 的主要问题是脱钩释放系统,在上船之前,研制单位对该型 OBS 的电化学释放系统进行了改进,主要措施是燃烧线变细,燃烧线段变短. 为保险起见,增加了另外一种释放系统,采用机械转动技术,并增加了一个浮球. OBS 通过第一种电化学系统固定在第二种机械系统上,再将其固定在沉耦架上. 甲板声学应答单元为进口的国际上流行设备,可靠性高. OBS 上浮后的搜寻方法主要有两个,一是用 GPS 无线数传模块,二是频闪灯. 而国外产品,如德国和法国的 OBS 都采用无线电发送和接收技术.

3 试验过程和结果

DY115-21 航次第 6 航段西南印度洋中脊综合地球物理调查,自 2010 年 1 月 31 日从毛里求斯 Louis 港起航至 3 月 7 日返航靠港,历时 1 个多月. 调查船为我国最先进的海洋地球物理调查船“大洋一号”. 本航段的重点是洋中脊构造的 OBS 勘测. 使用 OBS 41 台:19 台德国 GeoPro 公司制造的短周期 OBS,5 台国产 I-4C 型宽频带 OBS(以上 24 台 OBS 为国家海洋局第二海洋研究所拥有),法国 IPGP 研究所提供了 15 台短周期 OBS 和 2 台宽频带 OBS.

2010 年 1 月 31 日下午在水深 3318m 的海区对国产 I-4C 型 OBS 1 台进行了投放和回收试验. 投放

结束后 3 h,在确保 OBS 抵达海底之后,开始上浮回收试验.试验的第一步是用甲板声学单元向电化学释放系统发射水下释放指令;第二步是 30 min 后,用甲板声学单元向机械释放系统发射水下释放指令.随后在预计的时间和地点附近先后发现 OBS 和浮球及机械释放系统的主要部件声学应答器,并打捞成功.上浮的平均速度为 50 m/min.

2 月 5 日凌晨开始 OBS 投放.考虑到 OBS 的回收作业可能会在夜间进行,为了上浮后海面搜索和打捞的方便,将 OBS 与浮球用绳子连接在一起,以便利用 OBS 内置的闪光灯,同时确定在随后的回收作业时,电化学释放和机械释放同时动作,这与上述试验中两种释放动作间隔 30 min 不同.4 台国产 I-4C 型 OBS 被投放在 A 区中心点(以往航次发现热液喷口的地方)周边 5 km 范围内,各台站均在洋中脊中轴附近的峡谷内. I-4C001 台水深 3534 m, I-4C003 台水深 2574 m, I-4C005 台水深 3051 m, I-4C006 台水深 3172 m. I-4C004 台被投放在 B 区(热液活动平静区)的洋中脊中轴线上,地形上为隆起区,水深 2370 m.

枪阵放炮完成后, OBS 回收作业从 2 月 21 日上午开始. I-4C001 台回收从 18:00 开始,海面能见度尚好.定点停船后,释放指令发射和应答的测距数据较为稳定地变小,确认 OBS 已上浮.采用 GPS 定位应答系统和甲板望远镜及肉眼观察搜寻. GPS 方法始终无法收到定位应答信号.在预定时间内没有发现上浮的 OBS.经 1 个多小时的搜寻,肉眼在 300 m 左右的地方发现了 OBS.在船靠近后又发现了浮球及连带的机械释放系统,它们与 OBS 之间的连接绳已脱落, OBS 和浮球分两次打捞.由于 OBS 和浮球外套上的挂钩点朝下,所以打捞工作十分困难.打捞上船后,确认 OBS 的燃烧线熔断.随后在夜间 22:00 许对 I-4C003 台进行释放和回收.释放指令发射和应答的测距数据较为稳定地变小,确认 OBS 的已上浮.在预定时间很快由肉眼发现 OBS 和浮球及连带的机械释放系统,两者连在一起.待船调头后目标丢失,随后一直没有发现目标,直至次日凌晨 3:00 左右又由肉眼再次发现目标,由于 OBS 与浮球连在一起,一次打捞成功,并确认 OBS 的燃烧线熔断.从中我们得出的结论是, OBS 内置闪光灯在球内的位置不理想,发出的光线太弱, GPS 定位和应答系统在实际海上作业时船体运动的条件下是不可行的.白昼的作业可能是有利的.所以我们调整了计划,将后面 3 个站位 I-4C 型 OBS 的回收工

作安排在白天进行.图 1 为 I-4C 型宽频带 OBS 上浮后的现场的照片,可以看出其上浮姿态不好.



图 1 国产 I-4C 型宽频带 OBS 回收现场照片
Fig. 1 An in situ photo of I-4C OBS recovering

2 月 23 日 14:10~17:50 先后回收了 I-4C006 台和 I-4C005 台.两者在释放指令发射、应答的测距数据和确认 OBS 的上浮过程都很顺利.在预定的时间和点位,很快地由肉眼锁定目标. OBS 和浮球及连带机械释放系统都连在一起,很快打捞上船,每一台的释放打捞均只用了 1.5 h.确认 OBS 燃烧线熔断.2 月 24 日在 B 区对 I-C004 台进行释放回收,过程也非常顺利,与上述两台基本相同.

图 2 为 I-4C001 台记录的一个折合时间地震剖面.可以看出,地震记录效果很好,最大偏移距可达 100 km 左右,主要震相直达水波、基底下部折射 Pg、莫霍面反射 PmP 和折射 Pn 都清晰可辨,为后续的反演提供了保证.

4 存在的问题

经过 DY115-21 航次第 6 航段的 OBS 海上试验和实际作业,可以看出国产宽频带 I-4C 型 OBS 已具备较好的深海作业能力,但仍然存在一些技术问题.(1)灯光系统存在位置不当、光线透出不够的问题.夜间在波浪汹涌的海面间断性地闪烁容易丢失目标.相比之下,其他类型的 OBS 在夜间较容易发现.(2)GPS 定位和应答方法在不停摇晃的船上不能发挥锁定目标的作用.与之相反,本航段其他类型 OBS 使用的无线电应答和锁定、配合望远镜和肉眼搜寻的方法却十分奏效,无一失误.(3)没有安装红色或黄色的旗子是一明显的缺陷.在白天的自然光的条件下,在波浪粼粼的海面上,色彩鲜艳的旗子对于目标的搜寻是十分有用的.其他类型的 OBS 都

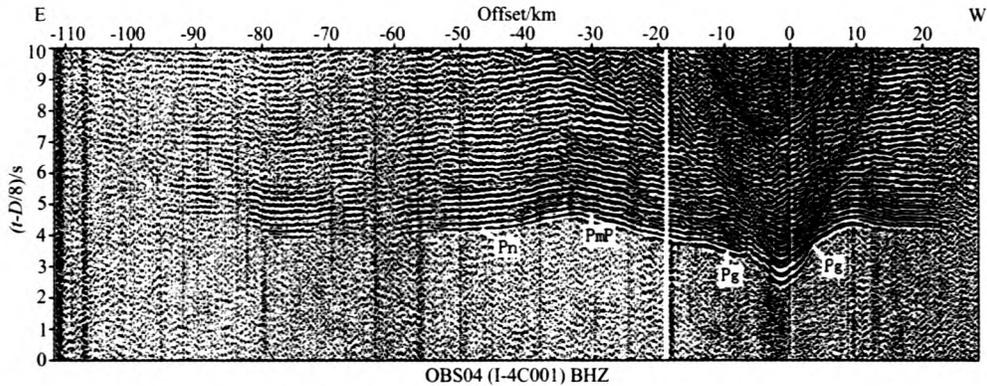


图 2 I-4C001 台记录的一个折合时间地震剖面

Fig. 2 One of the time reduced seismic sections recorded at I-4C001 station

安装了旗子,效果很好。(4)OBS 的重心偏高,造成上浮后顶面朝下底部朝上的姿态,既不利于搜寻,也不利于打捞。这方面法国产的 OBS 由于浮球较大且置于顶部,上浮漂移时姿态很好且稳定。(5)OBS 和浮球上外置的挂钩钢环偏小,稳定性不好,不利于从船上向下挂吊钩。除此之外,还有一个问题值得注意,即在读取数据前需要进行 GPS 授时以便获取记录器的时钟漂移,但在摇晃的船甲板上,需数小时的较长时间后才能进行,甚至无法进行。

5 结论及建议

本次 OBS 调查,国产 I-4C 型宽频带 OBS 的 6 个台次的投放和回收均获得了成功,回收率达到了 100%。说明国产 I-4C 型宽频带 OBS 的研制是成功的,在总体上已具备较为完整的内外配置和工作能力。在 3 分量拾震器、水听器、记录器、释放发射指令、测距应答、工作水深、连续记录能力和数据存储等主要方面都表现优良。尤其是采用了不开球充电、参数设置和读数的蓝牙技术大大方便了工作,提高了效率,这一点对于海上多条剖面的连续作业是十分重要的。

根据本次试验所发现的问题,并参照国外 OBS 的优点,我们提出如下改进建议,以使 I-4C OBS 性能更为完善:(1)将 GPS 定点搜寻改为无线电应答搜寻,这是该型 OBS 最急需改进的一点,对安全回收具有重要意义。(2)燃烧线熔断技术已被证明是成功的,没有必要再安装机械转动释放系统,这样就可以大大减轻设备重量,改善海面漂浮时的姿态并利于打捞。(3)将闪光灯位置进行改动,并在外套上开若干孔口以便光线的透出,并改间断性闪光为持续的灯光。再是设法增加一面桔黄或红色的旗子,旗杆

长在 1 m 左右。这样就可以不分昼夜地回收。(4)将 OBS 的重心降低,可以使用双球系统,或者外加浮力材料做成的环圈,这是改善海面漂浮姿态的又一措施。再是将挂钩改成较大较高的半圆环,并使之牢靠固定,保持竖直,这样可大大方便用钩子打捞。(5)改进 GPS 授时系统的稳定性,这对于节省在船上读取和存储数据所需时间和后续的数据处理时对时间漂移的校正是十分重要的。

致谢 参加 DY115-21 航次第 6 航段西南印度洋中脊构造调查的其他科考队员和全体船员为 OBS 调查工作的顺利完成付出了辛勤劳动。同时向中国大洋协会的领导和航次组织者表示衷心的感谢。

参考文献 (References)

- [1] 阮爱国,李家彪,冯占英等. 海底地震仪及国内外发展状况. 东海海洋, 2004, **22**(2): 19~27
Ruan A G, Li J B, Feng Z Y, et al. Ocean bottom seismometer and its development in the world. *Donghai Marine Science* (in Chinese), **22**(2): 19~27
- [2] 阮爱国,丘学林,李家彪等. 中国海洋深地震探测与研究进展. 华南地震, 2009, **29**(2): 10~18
Ruan A G, Qiu X L, Li J B, et al. Wide aperture seismic sounding in the marine seas of China. *South China Journal of Seismology* (in Chinese), 2009, **29**(2): 10~18
- [3] 游庆瑜,刘福田,冉崇荣等. 高频低功耗海底地震仪研制. 地球物理学进展, 2003, **18**(1): 173~176
You Q Y, Liu F T, Ran C R, et al. High frequency micro-power ocean bottom seismograph. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2003, **18**(1): 173~176
- [4] 王嘹亮,张志荣,阎 贫等. 潮汕拗陷地壳结构探测初步成果. 南海地质研究, 2003, **15**: 62~67
Wang L L, Zhang Z R, Yan P, et al. The primary results of the crustal structure investigation of Chaoshan depression. *Geological Research of South China Sea*, 2003, **15**: 62~67