

海底流动地震观测台阵

文/曹凝^{1*} 朱日祥²

1 中国科学院计划财务局 北京 100864 2 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029

【关键词】科研装备 海底流动地震观测台阵

1 科学背景

海洋资源特别是海洋油气等矿产资源的勘探和开发与国民经济发展关系重大。被动大陆边缘盆地的陆坡区及深海平原区发现了许多大型油气田,水深从300m到3 000m。深水区的坳陷中沉积巨厚,采用常规的反射地震方法所采集的资料中,中深层地震信号微弱,干扰严重,地震反射信噪比低,难以满足地质解释的需要。传统的地震反射资料(multichannel seismic, MCS)难于揭示深部地层信息,因此海底地震仪(Ocean bottom seismometer, OBS)和MCS组合探测技术越来越受到重视。

OBS流动观测台阵是进行地壳结构及其与油气盆地之间相互关系研究十分有效的探测手段,成为目前海底地壳内部结构和地球动力学研究的新的发展方向。

多年来,OBS技术一直为少数发达国家所垄断。我国台湾地区近年来正在建立主要用于科学研究的OBS共享平台,也是在美国的帮助下开展的。作为我国内地海底地震仪研制的主要单位中科院地质与地球物理所,在863计划的长期支持下,从九五期间就开始研制OBS,于2003—2008

年成功研制出拥有自主知识产权的OBS第一代(2Hz—100Hz, 3通道)与第二代(2Hz—100Hz, 4通道),打破了国外的垄断,使我国跻身于国际上少数拥有OBS技术的国家之列。

在国家重大科研装备研制项目支持下,地质与地球物理所于2007年6月启动了新一代OBS的研制工作。新一代OBS具有宽带、高频两套传感器,可同时接收人工震源与天然地震两种震源。另外,通过制作一定数量的OBS形成观测台阵,还可以开展示范性应用。该台阵的建立不仅可应用于海洋划界等国家目标和海洋地质结构以及地球动力学等科学研究,在深水油气勘探、自然灾害监测(海底地震、火山、海啸预警)等方面发挥巨大作用,更重要的是,可以打破国外长期的技术封锁与限制,具有巨大的社会 and 经济效益。

2 装置综述

该项目的总体研制目标是在第一代3通道和第二代4通道高频OBS的基础上,进一步研制由40台第三代7通道(3个宽频带60秒—50Hz地震计通道,3个高频4.5Hz—150Hz地震计通道,1个水听器通道)OBS和配套设备及软件系统组成的海底流动观测台阵。

第三代OBS具备7通道数据采集能力,可同

* 中科院计划财务局副局长。E-mail:zbc@cashq.ac.cn
收稿日期 2011年12月17日

时接收高频人工震源和天然地震激发的地震信号,实现对海区不同深度地质结构的同步探测。可实现水下定位、定向、数字信标回收,最大工作水深6 000m,连续记录时间为4个月,最大海底滞留时间为6个月,地震仪具有自动开锁、调平、调零等功能,数据动态范围大于120dB。

OBS受体积重量的限制,内部结构紧凑,对功耗、容量、可靠性等指标有着严格的要求。另外,宽带OBS的工作环境非常恶劣,海底高水压、地形起伏、海洋底流、不确定的基底耦合状态等诸多环境因素都可能会对OBS的记录性能产生不利影响。因此,针对OBS的环境性能测试确定该项目研制工作的核心与重点,项目从5个方面进行了关键技术攻关。

(1)水声通讯模块。水声通讯模块是海底地震仪实现水下测距定位和回收释放功能的电子设备。该项目基于FPGA器件,研制成功了采用数字解调方式的水声通讯模块。利用FSK(Frequency-shift keying)码调制传输,译码采用基于PLL(Phase locked loop)锁相环的解调电路,大大降低了制作工艺难度,提高了可靠性,性能与国外同类产品相当,成本仅有其1/10。

(2)脱钩机构。脱钩机构是仪器安全回收的关键设备,在水声通讯模块的控制下脱钩机构通过电腐蚀方式使仪器舱球与沉耦架之间实现脱离,仪器上浮回收。脱钩机构置于仪器的顶部,与国外同类仪器相比具有更强的耦合刚度和更好的耦合性能。同时,装置安装非常方便,20分钟内即可完成海底地震仪脱钩机构的安装和测试。

(3)常平机构。在该项目的研制方案中,利用姿态传感器和步进电机对地震仪的姿态进行控制和调节,姿控调整的范围从前两代设备不足10度扩展为30度左右,体积

和重量也有所降低。

(4)采集器系统。该系统包括前放电路设计、仪器时钟调试以及低功耗的A/D转换电路、时间服务电路、数据存储电路和逻辑控制电路等,采集器功耗低于120mW,整机功耗低于250mW,大大优于国际同类仪器水平(1W左右)。采集器系统的前放电路工作稳定,共模抑制比大于100dB,具有高抗干扰能力。采用温补晶振构成的振荡电路作为内部时钟,在0℃~4℃温度范围内其精度优于 5×10^{-8} 。运用增量调制模数转换模块使仪器的动态范围超过120dB。

(5)电源配置。OBS采用可充电锂电池,呈环状固定在玻璃舱球的下部。可对电池的充放电状态和电压进行检测,以便用户根据每个电池的充电电量和充电时间等信息,及时发现电池性能降低或失效的情况。内置电源管理模块能实时监督电池的电能储量,当电量低于某一预定值,地震仪会自动关闭除水声通信之外的所有耗电设备,使地震仪在海底滞留6个月以上仍能正常回收。

该项目研制的OBS自2010年以来经历了154台次海上试验性示范应用,并在渤海和南海开展了海陆联合地震观测。这些示范应用成果显示仪器在各次海试中,工作稳定、采集数据良好,实用性强,表明仪器的主要技术指标满足我国海洋深部结构和资源调查的需求。2011年10月9日,中科院组织了“海底流动地震观测台阵”项目验收会。验收委员会专家一致认为:该台阵的建立与应用填补了国内该型装备空白,提高了我国海底地震观测技术水平,项目研制的海底地震仪在声学应答与释放回收装置实现国产化,整机功耗低于国外同类仪器,姿控地震计优于国外同类产品等3项关键技术方面实现了突破。



中国科学院

3 组织与管理

为保证研制项目的顺利实施,研究所组建了项目管理工作组和专家委员会,根据《国家重大科研装备研制项目管理办法(试行)》规定,实施单位法人负责制,项目监理制和合同管理制,明确各自职责,按全面质量管理的要求管理整个研制流程,保证仪器研制过程中合作伙伴在设计、加工测试、试验、海上作业等方面强强联合,优势互补。

项目管理工作组由研究所各个职能部门主管组成,主要负责研制项目执行期间的人力与技术资源的调配与协调,为项目实施提供或创造实验室、动力、网络等一系列必要条件;对仪器研制进度和经费使用进行监督,监理实验室的管理规章制度,协调研究所与外单位的合作关系;监督各个研究环节及进度节点的任务完成情况。另外,项目管理工作组聘请有相当工作经验积累的人员作为项目质量内审员。内审员对项目质量小组负责。

项目专家委员会由研究所内外从事海洋科学、地震仪器研制的知名科学家组成。专家委员会向项目管理工作组负责,是研究所领导下的咨询委员会,负责海底地震观测台阵的研制方案,制定和审核技术指标、技术路线和具体海试方案,对于研制工程中遇到的问题进行质询与建议,监督各个研究环节及进度节点的任务完成情况,交流国外相关产品的最新信息,为研制仪器走向产业化提供信息和咨询。

该项目在实施过程中分为2个子项目组,子项目负责人分别制定详细的研制进度表,严格按照计划进度执行;由项目负责人定期检查、督促;经费严格遵守预算制,专款专用,项目负责人总体协调。

为保证40台(套)OBS的质量都符合设计要求,具有高的质量品质,项目组设置2名子项目质量监督员专门对OBS按照工艺流程加工测试进行监督。项目组成员要根据子项目质量监督员的建议进行修改,并将改正情况报告项目负责人。

该项目在研制过程中,采用企业广泛采纳的6S(整理(SEIRI)、整顿(SEITON)、清扫(SEISO)、规范(SEIKETSU)、素养(SHITSUKE)、安全(SE-CURITY))工作模式,并聘请具有相关管理经验的人员负责仪器研制现场的管理工作。

4 应用

2010年以来,该项目研制的OBS在多个海区经过了150余台次的海上作业,仪器回收率超过98%,数据完整率超过95%。

西南印度洋中脊试验。作业时间为2010年2月5—24日。5台国产宽频带OBS搭载“大洋一号”科考船在西南印度洋中脊复杂地形和3000米水深下工作20天,获得了良好的数据记录,投放6台次全部顺利回收。同时观测的法国2台宽带OBS无数据记录。

渤海海陆联合观测。第一阶段作业时间为2010年3月20日—4月10日。投放国产OBS28台、德国22台、法国3台。国产仪器与进口仪器沿测线交替投放。OBS全部回收,数据完整。22台德国Geopro公司OBS丢失1台,回收的仪器中有10台没有有效数据。第二阶段作业时间为2011年8月3日—20日。投放国产OBS20台、德国20台。国产仪器与进口仪器沿测线交替投放。全部回收,数据完整。德国Geopro公司OBS丢失1台,后由渔民打捞送回。

南海海陆联合观测。2010年7月,在国家基金委地质地球物理开放航次中使用了该项目OBS,在南海北部海陆联合深地震探测试验中用于记录大容量气枪震源激发的地震信号。在2条测线共投放6台次,全部顺利回收,时钟记录与数据记录均正常。德国Geopro公司OBS在1条测线投放的8台仪器时钟全部出现错误。

南海深海盆三维OBS地震观测。两岸合作航次,作业时间为2010年12月11日至2011年3月22日。投放了3个国家的3个型号的OBS。该项目研制的OBS投放8台,回收7台,回收率87.5%,德

国 Geopro 公司高频 OBS 投放 15 台,回收 11 台,回收率 66.6%;由台湾合作方提供的法国 Sersel 公司 MicroOBS(高频)投放 17 台,但由于恰遇台风不能及时回收,而该仪器留海时间较短,待 3 个月返回工作海区后仅回收 8 台,回收率 47%。该项目研制的 OBS 在 3 个月留海期间还记录了一系列天然地震事件。同期工作的进口高频 OBS,仅装配有高频检波器,没有记录天然地震信号的能力。

国家基金委南海深部结构探测。2011 年 5—6 月,该项目 OBS 首次在南海中央海盆 4 000 多米水深海域大批量投入使用,航次中前后共投放该类型仪器 52 台次,全部成功回收,回收率 100%,在南海扩张中脊等深部结构调查中发挥了重要作用。圆满完成国家基金委重大研究计划重点支持项目南海中央海盆三维 OBS 探测与扩张脊深部地震结构研究的海上调查任务,南海北部地球物理科学考察的 OBS 探测任务,为国家基金重大项目记录到宝贵的实测数据,标志着 OBS 仪器各项技术在实际应用中又迈出关键一步。

5 发展展望

受技术手段的限制,在该项目启动之初,我国通过国际合作在南海北部陆缘总共完成了 7 条测线,共 74 台次的海底地震探测。在项目结束之际,该项目研制的 OBS 就参加了超过 7 条测线的海底地震探测,投放次数 150 余次,这些成果表明 OBS 当前在海底地震观测方面的应用已得到了海洋

科学研究与资源调查单位的广泛重视,必将为我国海底地震观测的发展提供重要的科研支撑,并形成良好的应用前景。

该项目可在海上流动地震观测之前,根据用户的研究目标设计相应的台阵观测系统,综合水深、台站位置、震源特性等计划和作业方案;海上流动观测作业结束后,根据用户要求进行观测数据的格式转换、地震事件提取、数据预处理等其它后续技术支持。

不仅如此,通过建立海底流动地震观测台阵,可为国内海洋科学研究、油气勘探生产、海洋地质调查、海区地震监测等部门提供仪器装备,并在观测技术、数据处理、分析解释等方面提供全方位的技术服务。海底流动观测台阵建立后,将通过互联网实现数据及信息的发布。各用户单位可根据实际需要定制、购买或租赁 OBS 等观测设备,也可采取提供观测经费由研究所代为开展观测作业,获取的数据将实现双方共享。

目前,OBS 工程化研究已列为科技部“十二五”863 计划海洋领域第一批启动的项目,于 2012 年初正式启动。除此以外,为提高 OBS 的国产化率,研究所积极与相关单位合作,重点研制耐压舱体、电化学地震传感器、深水水听计、深水换能器等关键部件,目前相关工作已取得显著进展。

