

文章编号:1009-2722(2015)05-0051-06

海底监测技术之海底观测网络

郑红霞^{1,2,3}, 张训华^{3*}, 赵铁虎³, 齐 君³

(1 中国海洋大学, 青岛 266003; 2 中国石油大学(华东) 青岛 266580; 3 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘要:海底观测网络的出现改变了人们观测海洋的方式, 成为了海洋科学界新的研究热点。通过介绍现有观测技术的局限性, 探讨了海底观测网具有的特征及功能, 总结了各国的研究进展, 指出了我国大陆架科学钻探中海底观测网建设应考虑观测内容及部署原则。

关键词:海底观测网络; 大陆架科学钻探; 实时观测; 原位观测; 地震监测

中图分类号:P714

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.05009

新世纪伊始, 海底观测系统作为一个崭新的科学视点日益凸显, 借助该系统, 人们可以通过各种安装在海底的监测仪器和设备实现对深海的长期、实时观测与监测^[1]。海底观测技术的兴起, 把人类带到了一个前所未有的观测平台, 开创了海洋科学研究的新篇章, 迈进深海研究的新纪元。

1 现有技术的局限性

19 世纪晚期以来, 通过航海从船上测量取得数据是人们认识海洋的主要方式, 但基于这种断断续续、星星点点的观测数据得出的结论具有局限性, 产生了较多的错觉和误会。例如, 直到 20 世纪初期, 海底地形测量一直采用测绳重锤测量法, 把绳子的长度当做水深, 此法不仅费时、费力, 而且测量精度低、数据量少, 将这些寥若晨星的测

点绘制在图纸上, 只能说明海底地形单调、平坦^[1]。

进入 20 世纪, 遥测、遥感对地观测技术的出现, 使得人们建立全新、实时、动态的对地观测系统成为可能, 这是地球观测技术的卓越进展^[2]。人类终于能够离开地面, 从空间全面获取地球信息, 得到全球性、动态性的图景信息。遥感技术提供了海量数据, 使人类迈入了“数字地球”和“地球系统”研究的新阶段^[3]。然而, 遥测、遥感技术的主要观测对象在于地面与海面, 其采用的各种波缺乏深入穿透的能力, 即难以穿透平均约为 3 800 m 的海水层观测到大洋海底, 因此, 人类对深海海底仍旧知之甚少。

汪品先院士指出, 地球科学研究可以通过 3 个观测平台进行, 第 1 个平台为地面与海面; 第 2 个平台为空中的遥测、遥感; 第 3 个平台为在海底建立的观测网。其中, 海底观测网能对海洋进行实时原位观测, 把传统的从海面看海底的“从上向下看”观测模式转变成从海底看海面的“从下往上看”模式, 彻底解放了观测者的视角, 具有随时了解海底情况的优势^[1-3]。

2 海底观测网

海底观测网为建设在海底的地球观测平台,

收稿日期:2014-10-01

基金项目:国土资源部海洋地质调查专项(GZH201100202); 渤海海峡跨海通道地壳稳定性调查评价(GZH201200504)

作者简介:郑红霞(1980—), 女, 在读博士, 讲师, 主要从事海洋测绘、海洋地质与地应力数值模拟等方面的研究工作。E-mail: zhenghongxia@163.com

* 通讯作者:张训华(1961—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事海洋地球物理和大地构造等方面的研究工作。E-mail: xun-huazh@vip.sina.com

由光电缆、基站、传感器和各种观测仪器等组成,通过光缆联网供电和传递信息,对大气,大洋水层的物理性质、化学性质,水层中的生物,海底以下的岩石、流体和微生物进行实时和连续的长期观测,实时传输数据与图像,供人们研究与分析^[1,2]。海底观测网高度融合了海洋科学技术和海洋工程技术,预示着科学上的革命性变化,成为海上权益之争的新手段和各国竞相建立的新目标。

现行的地质调查手段,无论是直接观测——深潜取样,还是间接观测——地球物理观测,只能从深海取得或浅层或零星或间接的信息、数据或样本,远远满足不了地球科学系统研究的要求。在现代科学研究中,对于动态的过程,不管是海流、风向、地震、海啸还是火山爆发,都要求连续观测,只摄取个别镜头的考察无济于事。因此,在海底建立观测点,进行持续、实时、动态、过程化的监测,才是解决某些现代地球科学问题的关键。

在大洋洋底的钻孔里埋置仪器,可获取高信噪比、高灵敏度的信号与可靠的数据,是海底监测的有效手段之一。因此,20 世纪 90 年代初,大洋钻探计划(ODP)利用密封的深海钻井,成功地测定了地壳内流体的温度、压力变化,而且意外地获得了板块形变和地震的信息^[3,4]。另外,在深海热液区安置传感器、摄像机等观测仪器,可以实地实时地监测现代金属成矿过程,以及“深部生物圈”、“黑暗生物群”的活动状况。因此,观测点布置在海底是海底观测网的一个基本特征。

目前,各种海底观测技术都面临着能量供应与信息传递的双重困难。海底观测网可以通过电缆或光纤将安装在海底或埋置在钻孔中的各种观测仪器连接,为各个观测点提供能量,同时,收集、传输数据、图像与信息,进行长期、连续的自动化、智能化监测。海底观测网可以进行三维立体观测,向下能监测海底甚至深部,向上能观测大洋水层,还可以具有可扩展性,通过节点连接深海观测站,以供不同领域的人们研究使用^[1-4]。上述方式不受电池寿命、损坏等能源所限,摆脱了天气、船时等局限,避免了数据获取延迟等缺陷,人们可在研究室或者实验室通过网络实时监控深海实验,顺利发布各种观测命令,及时获取监测数据。能源供应和信息提取的自动化、网络化,观测的实时

化是海底观测网的另一个基本特征。

3 海底观测网的作用

3.1 海底地震监测

深海海底的地壳最薄,离地球的深部也最近,是探索地球内部过程的捷径。世界上 80% 的地震和火山发生在大洋中脊及俯冲带,地震和火山为地球内部运动的直接表现形式^[4]。因此,海底观测最早的主题为地震,在海底甚至海底钻井的基岩里放置地震仪,可以大幅度的提高地震信号的灵敏度和信噪比。从 1991 年开始,将地震仪放置在大洋钻探(ODP)的钻孔中,建立了大洋地震网。第 1 个观测站点设置在夏威夷西南方水深约 4 000 m、井深约 300 m 的海底玄武岩里,4 个月内记录了 55 次远距离的地震信息^[5]。海底观测点上收集的信息可以通过光纤电缆向岸上传递,同时进行能源的传送。为降低建网成本,可以利用退役的海底电缆。例如,上世纪末期,美国利用退役的越洋电缆,在加利福尼亚与夏威夷间建成海底地震观测网;日本利用关岛到冲绳、本州的退役电缆,建立深水地震监测站^[6]。

3.2 原位观测

海底观测网的观测不仅贵在实时,而且贵在实地,即在原位进行观测、分析。地球科学研究的一般做法为野外现场取样,室内研究分析,此种做法改变了研究样本的生存生活环境,导致室内分析的结果与实际情况出入较大。如深海的许多生物,取上来即死亡;热液的 Ph 值、温度,采回来即改变;沉积物本来的团粒一经采样其物理结构即改变^[5,6]。通过海底观测网,可改变传统的研究模式,做到把实验室中的仪器放置到海里去做样品分析。例如浮游生物研究中,在海中放置下潜流式细胞计,完成自动、连续的测量,而不必取样;在海中放置水下显微镜、细胞计等,使其成像,通过光纤电缆,将水中的图像发回至实验室,全面分析、鉴定、统计海中从硅藻到细菌各种不同大小的浮游生物;在海中放置 DNA 探针,测量海中生物的基因,从而发展建立了“微生物海洋学”新学科^[1-6]。总之海底是探测生命起源和极端环境生

物学的理想场所,而原位观测是探测生命起源和极端环境生物学的理想手段。

4 各国的研究进展

4.1 美国

美国海军最早进行海底观测, 声波监听系统既可以监听鲸鱼和地震, 又可以监听潜艇。2006年6月, 美国通过了“海洋观测计划(OOI)”, 2007年起建, 预计使用寿命30年。OOI由近海、区域、全球3大海底观测系统组成, 其中区域海底观测网最为关键, 即东北太平洋的“海王星”计划。该计划由美、加两国联合投资, 美国为主, 加拿大占1/3。美国承担蒙特雷湾海洋科学观测站MARS(图1)的建设, 而加拿大承担VENUS观测站的建设。但美国由于对外战争, 科研经费不到位, 由加拿大于2009年建成。美国的OOI推迟到2009年9月才开始建设, 计划2014年建成启用。

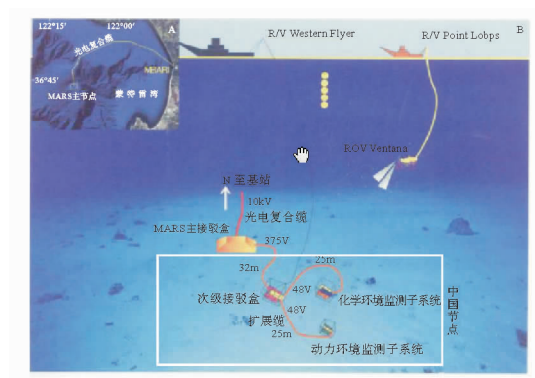


图 1 MARS 系统示意图

Fig. 1 Sketch of the MARS System

美国的 MARS 分为 2 期工程,一期工程需要完成电力和通讯两用光缆的铺设,所有水下观测仪器设备及相关装置的安装,最大水深 900 m,光缆全长 52 km;二期工程将于 2013 年结束并投入运行^[7]。加拿大的 VENUS 观测站设在水下约 3 000 m 的海床上,用 800 km 的电力通讯光缆在海底围成一个与岸基站联通的回路。VENUS 与 NEPTUNE 构成了加拿大的海底观测网 ONC (Ocean Network Canada)。

4.2 加拿大

2009年12月,被世界上称作最大的海底有线局域网的“海王星”(NEPTUNE)正式建成。“海王星”海底观测网位于胡安·德富卡板块上横跨太平洋的一段海床,由超过2 000 km的光纤电缆连接上千个海底观测设备(图2、3)。光纤电缆由温哥华岛西海岸出发,穿过大陆架,布置于深海平原上,向外延伸到活火山脊扩张中心,最终形成一个回路。在海底研究的关键区设置网络节点,在每个节点安置设备,设备重达13 t,内部安装有数以百计的观测仪器。网络节点可以接受来自不同传感器、观测设备、研究仪器获取的数据。目前的“海王星”有5个节点,预计将来还要安装6个节点。正式启动之后,“海王星”通过海底仪器和传感器获取数据,并将其直接从太平洋底传到互联网上^[8]。

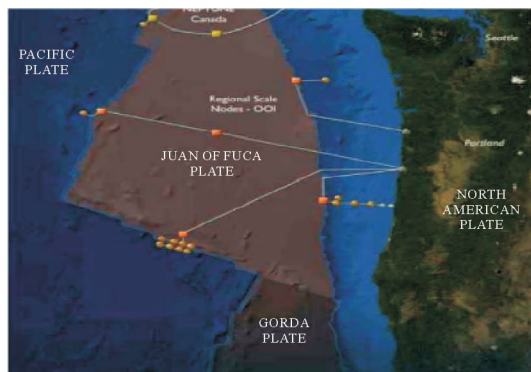


图 2 “海王星”网络布局

Fig. 2 The layout of NEPTUNE network

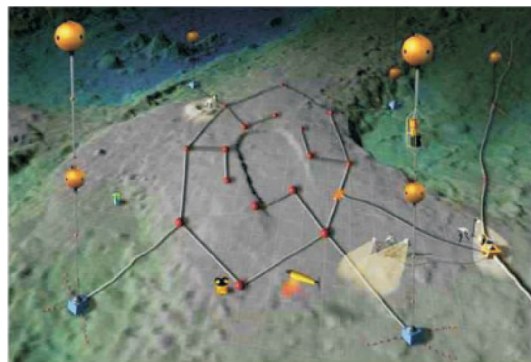


图3 “海王星”观测网络海底节点示意图

Fig. 3 Nodes of the seafloor observatory network of NEPTUNE

借助“海王星”海底观测系统,可对深海进行 3 大领域研究:①板块构造,特别是美国加拿大西海岸外的板块构造,这一研究将有助于预测地震,并能准确预测、估计地震所产生的影响;②水气交互与洋流,探测强风期间水和大气的作用,以及跟踪暖、冷水相混,更好地了解海洋对气候的影响,同时,还将研究太平洋沿岸对鱼产量有决定性影响的南部富氧洋流;③深海生态系统,已有研究得知,深海生态系统至少由 1 000 万种生物组成,具体观察深海生物在自然环境变化时如何反应。

4.3 日本

日本位于太平洋板块与欧亚板块的交汇处,火山、地震频发。一直以来,板块俯冲带上的震源区为日本地球科学研究中关注的焦点。20 世纪 80 年代以来,日本把地震仪安装在其附近海域的大洋钻探井孔中,建立深海监测台站,与陆地台站结合,监测地震。日本现已建造了世界上最先进的科学钻探船“地球号”,并开始进行深海钻探,计划将洋壳打穿。

2003 年 1 月,日本提出了 ARENA (Advanced Real-Time Earth Monitoring Network in the Area)计划,由日本东京大学主持,将沿着俯冲带海沟建造跨越板块边界的观测站网络,利用铺设于海底的缆式网络,及星罗棋布的配置于海底网络上的观测器,开展海底勘察,如图 4、5 所

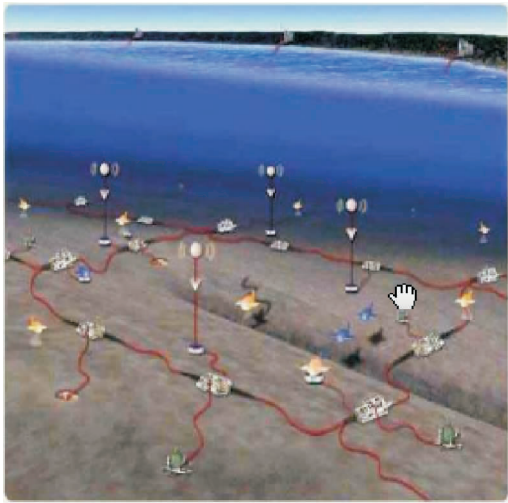


图 4 ARENA 网络系统构成示意图

Fig. 4 Sketch of the ARENA System

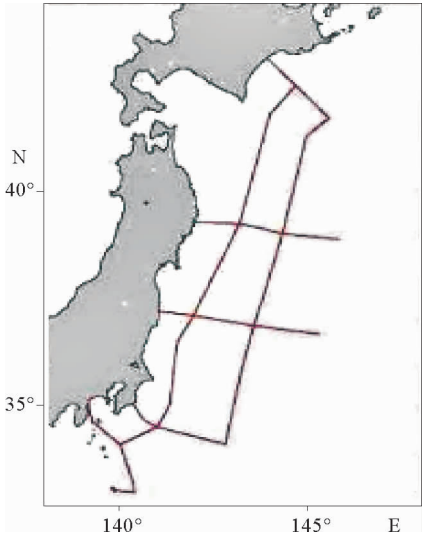


图 5 ARENA 网络光纤连接示意图

Fig. 5 The optical fiber connection of the network ARENA System

示。该计划旨在通过海底观测网络,构筑起海洋学、地球物理学、地震学,以及海水资源、海底能源开采等多学科、跨领域的试验验证、科学研究、深海海洋工程应用平台。它的建成将实现建立在基于海洋作业船、深潜器 (ROV、AUV) 等多种水下、海底作业技术基础上的跨世纪深海空间站的梦想^[9]。

DONET 网络 (地震海啸观测监测系统,图 6) 是日本继 ARENA 网络之后在伊豆半岛东南海附近地震源区铺设的海底观测系统。该系统由 20 个观测点密集展布,各观测点都设置有宽频带

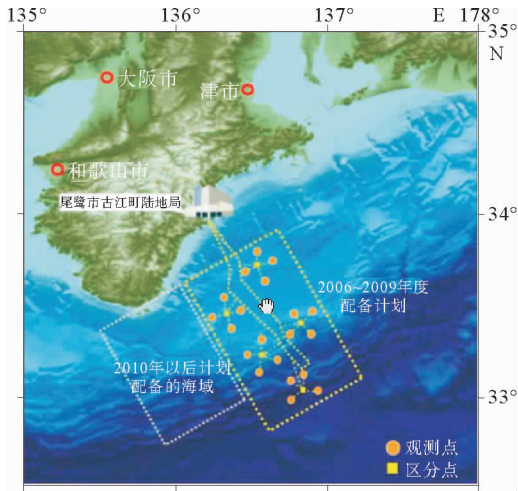


图 6 DONET 观测系统示意图

Fig. 6 Sketch of the DONET System

地震仪、强震仪、高精度水压仪、压差仪、水中地震检波器、温度计等传感器群,用以高精度、实时监测东南海的地震及地震源区地壳活动^[10]。

4.4 欧盟

2004 年,法、德、英等国制定了欧洲海底观测网计划(ESONET,图 7),针对大西洋、北冰洋、黑海、地中海不同海域的科学问题,精选 10 个海区设站建网,进行长期海底观测^[1]。ESONET 约有 5 000 km 的海底电缆,主要目的为地球物理学、化学、海洋学、生物学和渔业等学科部门提供长期战略性监测。与 NEPTUNE 不同,ESONET 不是一个完整的海底监测网络,而是由不同地区间的网络系统组成的联合体。

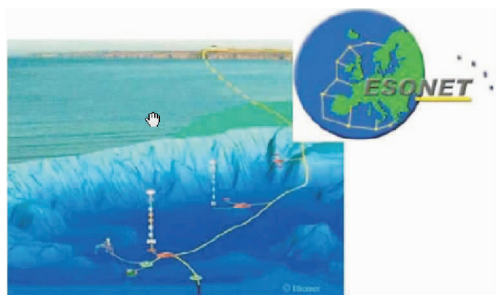


图 7 ESONET 网络示意图

Fig. 7 Sketch of the ESONET System

4.5 中国

近年来,在海洋“863”计划和地方建设的推动下,我国已经在沿海周边地区初步建立起海监船、航空、航天等立体监测体系,大大提高了海洋环境观测监测和预报能力^[11-13],但其目标为海面的环境监测和风暴潮、台风等的预警,并未涉及海底。直至 2007 年,“海底长期观测网络试验节点关键技术”被列入国家 863 计划;2009 年,东海海底观测小衢山试验站顺利建成并运行^[14],这是我国建成的第 1 个海底综合观测试验系统。2011 年 4 月,我国自主研发的海底观测网组核心部件在美国蒙特利湾海底顺利完成布放,并与美国 MARS 海底观测网并网运行^[14,15]。此后,东海海底观测网也投入建设。从浅海观测走向深海观测,同样做海底观测,东海和南海的情况完全不同,不同的海域、不同海底和海水,意味着建网的环境和科学

研究的目标都不同^[16-19]。

2011 年开始实施的大陆架科学钻探项目设置了 5 个科学目标,包括地层格架、构造演化、环境变迁、源汇过程、实时监测。该项目计划充分利用钻探钻孔,开展大陆架地区的观测网建设和实时监测工作。这是我国开展“海底观测网络”建设中非常重要的一步,必将对其发展带来重大机遇。我国的大陆架观测网络建设应在借鉴国外经验基础上,根据我国陆架地质环境和面临的实际需求考虑观测内容,坚持“从易到难,由近及远”的原则部署监测工作。

5 结论

海底观测网是一种全新的研究途径,为观测地球过程开辟了全新的前景^[20,21],是 21 世纪地球系统科学领域的新突破。海底观测技术是当前国内外海洋学界最热的话题,是最令人瞩目的国际之争;同时也必将推向全球,实现海底联网的国际化^[22,23]。目前,各国都处在起步阶段中,我国只要加大投入,联合攻关,便能大大缩短与发达国家在海洋研究领域的差距^[1-4]。

总之,中国正经历着百年不遇的良机,我国科学界应抓住时机,在未来的国际权益与安全之争中处于主动地位,在这场新的突破中对人类作出应有的贡献。

参考文献:

- [1] 汪品先. 从海底观察地球——地球系统的第三个观测平台[J]. 自然杂志, 2007, 29(3): 125-130.
- [2] 汪品先. 关于建设海底观测平台的建议[J]. 学会, 2005, (5): 2-52.
- [3] 汪品先. 穿凿地球系统的时间隧道[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2009, 39(10): 1 313-1 338.
- [4] Favali P, Beranzoli L. Seafloor Observatory Science: A review [J]. Annals of Geophysics, 2006, 49(2/3): 515-567.
- [5] 汪品先. 南海——我国深海研究的突破[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(3): 1-4.
- [6] 汪品先. 深海沉积与地球系统[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(4): 1-11.
- [7] 彭晓彤, 周怀阳, 吴邦春, 等. 美国 MARS 海底观测网络中国节点试验[J]. 地球科学进展, 2011, 26(9): 991-996.
- [8] 李建如, 许惠平. 加拿大“海王星”海底观测网[J]. 地球科学进展, 2011, 26(6): 656-661.

[9] 廖又明. 解读日本 ARENA(新型实时海底监测电缆网络)计划[J]. 船舶, 2005(4):20-25.

[10] 金田义行. 日本先进的实时海底观测网[J]. 国际地震动态, 2011(11):5-6.

[11] 李彦, 罗续业. 海洋监测传感器网络概念与应用探讨[J]. 海洋技术, 2006, 25(4):33-35.

[12] 郭忠文, 罗汉江, 洪锋, 等. 水下无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(3): 377-389.

[13] 朱光文. 海洋监测技术的国内外现状及发展趋势[J]. 气象水文海洋仪器, 1997(2):1-14.

[14] 许惠平, 张艳伟, 徐昌伟, 等. 东海海底观测小衢山试验站[J]. 科学通报, 2011, 56(22):1 839-1 845.

[15] 金翔龙. 海洋地球物理研究与海底探测声学技术的发展[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(4):1 243-1 249.

[16] 莫杰, 肖菲. 世界深海技术的发展[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(6):65-70.

[17] 莫杰, 肖菲. 深海探测技术的发展[J]. 科学, 2012(5): 11-15.

[18] 莫杰. 深海研究与海洋强国——“第一届深海研究与地球系统科学学术研讨会”综述[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(12):27-29.

[19] 高振会, 史先鹏. 深海技术与可持续发展[J]. 海洋开发与管, 2011, (7):41-46.

[20] 陈鹰, 杨灿军, 陶春辉, 等. 海底观测系统[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.

[21] 薛志刚, 金波, 李德骏, 等. 海底观测网络的监测信息系统研究[J]. 轻工机械, 2010, 28(4): 83-86.

[22] 黄霞. 海底原位地球化学传感器的研制与应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.

[23] 宋忠强. 海底动力环境监测系统的设计与实现[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.

SEAFLOOR OBSERVATION TECHNOLOGY:
SEAFLOOR OBSERVATION NETWORK

ZHENG Hongxia^{1,2,3}, ZHANG Xunhua^{3*}, ZHAO Tiehu³, QI Jun³

(1 Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2 China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China; 3 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: The emergence of the sea floor observation network has changed the way people observe the ocean, and become one of the hot topics of marine geosciences. In this paper, we presented the limitation of current monitoring technology, analyzed the characteristics and functions of the sea floor observation network, summarized the developments of the foreign countries, and discussed the application of the seafloor observation network in the Continental Shelf Drilling Program of China.

Key words: sea floor observation network; Continental Shelf Drilling Program; real time observation; in-situ observation; earthquake monitor