

国内外海底观测网络的建设进展

张伙带, 张金鹏, 朱本铎

(国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州 510760; 中国地质周查局广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要:海底观测网络是海底技术发展的新领域, 它将各种观测仪器放到海底, 可对海水层、海底和海底以下的岩石进行长期动态的观测, 并实时将数据传回到陆地。简介了国内外主要的海底观测网络, 重点跟踪了它们的最新建设进展。

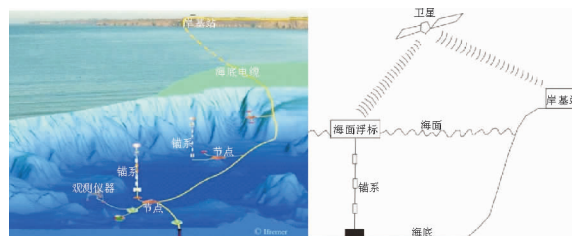
关键词:海底观测网络; 海水层; 海底地震监测; 海啸预警

中图分类号: TP274.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16028/j.1009-2722.2015.11010

随着技术的发展, 卫星遥感和海面浮标已能监测海洋表面变化, 但是卫星遥感难以穿透厚重的海水层观测海底。传统的海底科学考察主要利用船只进行海底的地质地球物理调查, 获取例如海底地形、海底地层结构等信息, 但调查船只能进行短暂的考察, 难以获取海底随时间变化的信息。因此, 海底的科学研究需要新的技术手段。海底观测网络技术的出现翻开了海底科学研究崭新的一页。它具有长期、动态、实时的优势, 相对卫星遥感和地面观测系统, 海底观测网络被形象地称为地球观测系统的第 3 个平台。海底观测网络可应用于海底天然气水合物、海底地震监测和海啸预警、海底热液活动等方面的研究^[1-6]。

海底观测网络是指将各种观测仪器安装到海底, 对海水层、海底和海底以下的岩石进行长期、动态、实时的观测。目前海底观测网的组网方式主要有 2 种: 一种是利用海底光电复合缆(以下称海底电缆)将海底观测仪器和陆地基站连接起来(图 1 左); 另一种是无海底电缆连接, 海底观测仪器通过电池供应电力和海面浮标发送卫星数据(图 1 右)。两种组网方式各有优缺点: 第 1 种方

式中, 海底电缆能长期供应电力和快速传输数据, 但耗费大, 适合离岸较近的海域; 第 2 种方式中, 电力供应和数据传输受到限制, 但是相对经济, 适合离岸较远的海域。



图片源自 <http://www.esonet~emso.org/>

图 1 海底观测网的两种主要组网方式

Fig. 1 Comparison of two main undersea observatory networks

前人国内外海底观测网(图 2)已展开过许多调研^[7-13], 本文在前人研究的基础之上, 重点介绍国内外海底观测网建设方面的最新进展。

1 国外海底观测网络的建设进展

1.1 加拿大海王星海底观测网

加拿大海王星海底观测网 The North East Pacific Time Integrated Undersea Networked Experiment, Canada (NEPTUNE Canada) 于 2009 年建成

收稿日期: 2015-05-04

基金项目: 大洋项目(DY125-13-R-02); 国土资源部海底矿产资源重点实验室基金(KLMMR-2013-B-05); 广州海洋地质调查局局控项目(GZHJK2014001)

作者简介: 张伙带(1985—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: z183514387@126.com



图 2 国外主要海底观测网和国内海底观测网位置分布图

Fig. 2 Distribution map of main undersea observatory network at home and abroad

并运行,其实时数据可在 <http://www.oceannetworks.ca/> 下载,是目前世界上最具代表性的海底观测网。海王星海底观测网位于加拿大温哥华岛西南岸外的胡安·德·夫卡板块(图 3)。组网方式是利用海底电缆,将各个节点连接到岸基站,每个节点可连接多台海底观测仪器。

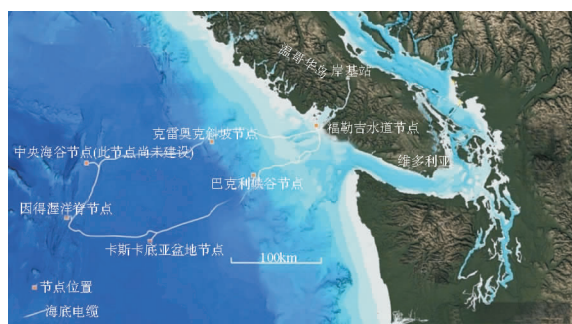
图片源自 <http://www.oceannetworks.ca/>

图 3 加拿大海王星海底观测网位置

Fig. 3 Neptune undersea observation network of Canada

1.2 加拿大金星海底观测网

加拿大金星海底观测网 Victoria Experimental Network Under the Sea (VENUS)。金星海底观测网位于加拿大维多利亚和温哥华之间的沙利旭海水深 300 m 以内的地方(图 4),2006 年建设完成,实时数据可在 <http://venus.unic.ca/data> 网站下载。金星海底观测网主要为海底观测

技术提供试验基地,同时也研究与海洋生物、海洋化学相关的主题。

图片源自 <http://www.oceannetworks.ca/>

图 4 加拿大金星海底观测网位置

Fig. 4 Venus undersea observatory network of Canada

1.3 美国 OOI 海底观测网

美国 OOI 海底观测网 (Ocean Observatories Initiative) 包括 3 个子网:区域网、近海网和全球网(图 5)。其中区域网与加拿大海王星海底观测网同处于胡安·德·夫卡板块;近海网位于美国的东、西两岸;全球网位于美洲两侧的南北高纬度海域。

美国 OOI 海底观测网目前正在建设中,2011 年开始安装,并计划于 2015 年完成安装(图 6)。美国 OOI 海底观测网采用了 2 种组网方式。区域网采用的是海底电缆连接方式;全球网离陆地比较远,采用的是无海底电缆连接方式,依靠电池

供应电力和海面浮标传送卫星数据;近海网兼用了 2 种组网方式。



图片源自 <http://oceanobservatories.org/>

图 5 美国 OOI 海底观测网位置

Fig. 5 American OOI undersea observatory network



图片源自 <http://oceanobservatories.org/>

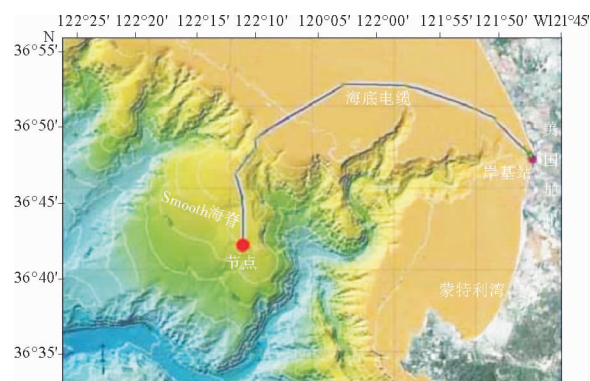
图 6 美国 OOI 海底观测网的安装计划

Fig. 6 The installation plan of the US OOI undersea observatory network

1.4 美国 MARS 海底观测网

美国 MARS 海底观测网(Monterey Accelerated Research System)位于蒙特利湾(图 7),是美国和加拿大深海海底观测网络组网设备的主要试验场所,也是国际深海海底观测网络组网设备的

主要试验场所。例如,2011 年 4—10 月,MARS 为我国同济大学深海观测设备进行了“中国连缆观测站试验”(图 8)。



图片源自 <http://www.mbari.org/mars/>

图 7 美国 MARS 海底观测网位置

Fig. 7 MARS undersea observatory network of the US

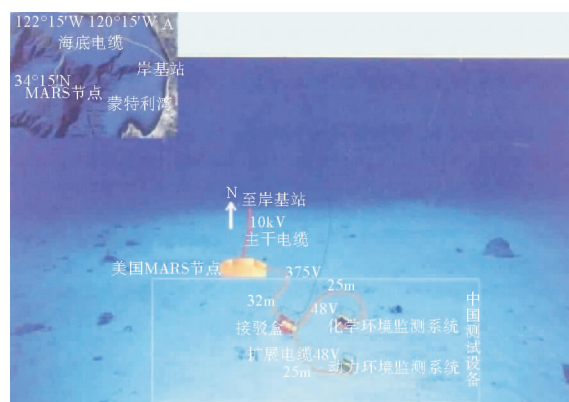


图 8 美国 MARS 海底观测网的中国测试设备海底布放示意图(据文献[14])

Fig. 8 Chinese test equipment distribution in the US MARS undersea observatory network (from reference[14])

1.5 欧洲海底观测网

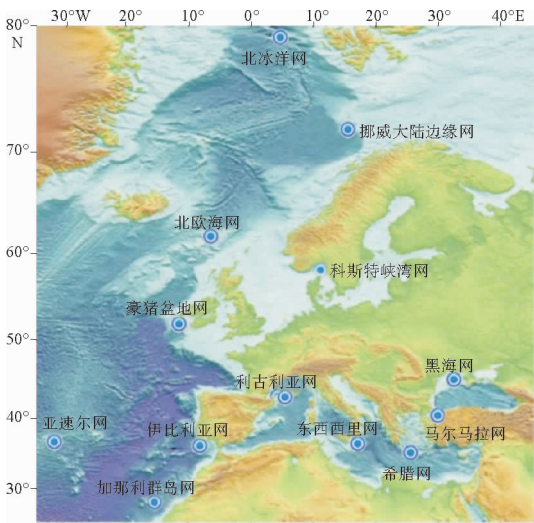
欧洲海底观测网与加拿大海王星海底观测网的目的相似,是对海底和海水层的地球物理学、化学、生物化学、海洋学、生物学等进行长期观测。但它又与加拿大海王星海底观测网不同,其并非是一个完整的区域性海底观测网络,而是由不同海域的区域网组成(图 9),且不同区域网有不同的研究主题和支持国家(表 1)。

欧洲海底观测网最新的进展是在 2014 年 3

表 1 欧洲海底观测网的 13 个区域网(源自 <http://www.esonet~emso.org/>)

Table 1 13 regional network in European undersea observatory network

区域网	主持国家	相关机构	科学研究主题
Arctic Ocean(北冰洋网)	德国	德国阿尔弗雷德-魏格纳极地与海洋研究所	气候变化,包括天然气水合物分解和甲烷释放对气候的影响
Black Sea(黑海网)	罗马尼亚	罗马尼亚海洋地质与环境地质研究所	地质灾害、海底天然气水合物甲烷泄漏、泥火山等
Hellenic Arc(希腊网)	希腊	希腊海洋研究中心—海洋研究所	地震和海啸活动、气候变化、生物地球化学活动、海底甲烷渗漏、油田开发的长期观测等
Western Ionian Sea(或 East Sicily) (东西西里网)	意大利	意大利国家地球物理与火山研究所、意大利国家研究委员会、意大利国立核子物理研究所	地震、海啸、气候变化
Iberian Margin(伊比利亚网)	葡萄牙、西班牙、意大利	意大利国家研究委员会、意大利国家地球物理与火山研究所、西班牙国家研究委员会、西班牙加泰罗尼亚理工大学	地震、海啸
Ligurian Sea(利古利亚海网)	法国	法国海洋开发研究院、法国国家科学研究中心、	海底斜坡稳定性、生物地球化学、海洋生态环境
Mamara Sea(马尔马拉海网)	土耳其、法国	土耳其伊斯坦布理工大学、土耳其博阿齐奇大学、法国海洋开发研究院、意大利国家地球物理与火山研究所	气体喷发与地震的关系
MoMAR(或 Azores) (亚速尔网)	法国、葡萄牙	法国海洋开发研究院、法国国家科学研究中心、法国巴黎地球物理学院、葡萄牙亚速尔群岛大学	洋中脊热液口活动及周围的生物群落
Nordic Sea(北欧海网)	瑞典等	—	洋流
Norwegian Margin (挪威大陆边缘网)	挪威、德国、法国	挪威特罗姆瑟大学、德国阿尔弗雷德-魏格纳极地与海洋研究所、德国海洋科学研究所、法国海洋开发研究机构	泥火山、海底天然气水合物稳定性
Porcupine Abyssal Plain(豪猪盆地网)	英国	英国气象局	生物地球化学
Koster Fjord(科斯特峡湾网)	瑞典、德国	瑞典哥德堡大学、德国不来梅大学	传感器测试中心
PLOCAN(加那利群岛网)	西班牙	加那利群岛海洋平台	物理海洋与生物地球化学

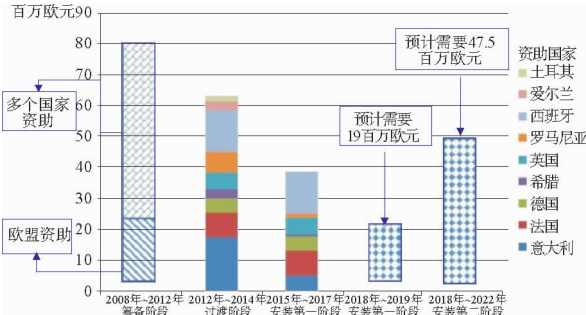


图片源自 <http://www.esonet~emso.org/>

图 9 欧洲海底观测网

Fig. 9 European undersea observatory network

月召开了第 4 次基金会议,明确了建网计划的下一步安排(图 10)。根据计划,欧洲海底观测网将于 2015 年开始安装:第 1 阶段(2015—2019 年)



图片源自 <http://www.esonet~emso.org/>

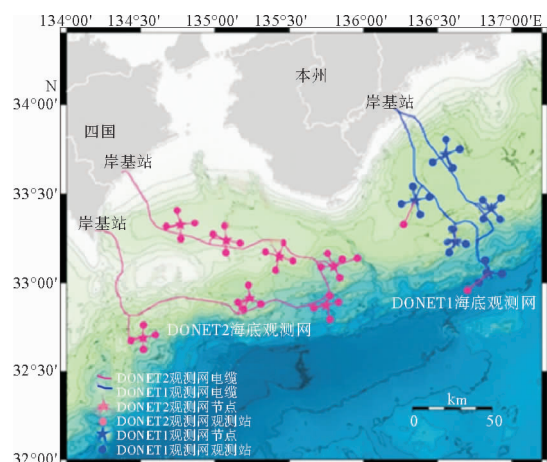
图 10 欧洲海底观测网的安装进度安排

Fig. 10 The installation schedule of European undersea observatory network

将完成北冰洋网、黑海网、希腊网、东西西里网、利古利亚海网、马尔马拉海网、亚速尔网、豪猪盆地网和加那利群岛网等的建设;第 2 阶段(2018~2022 年)将完成伊比利亚网和挪威大陆边缘网等的建设(图 10)。

1.6 日本 DONET 海底观测网

日本 DONET 计划 Dense Ocean-floor Network System for Earthquakes and Tsunamis,译为“地震和海啸海底观测密集网络”。该计划于 2006 年立项,目标是在日本的“南海海槽”建设海底观测网,其中包括 DONET1 和 DONET2 海底观测网(图 11),它的主要观测目的是地震监测和海啸预警。DONET1 海底观测网于 2006 年开始建设,于 2011 年完成建设;DONET2 海底观测网已经安装了 3 个节点和 1 个观测站,其余的节点和观测网计划于 2015 年完成安装。



图片源自 <http://www.jamstec.go.jp/jamstec/~e/index~e.html>

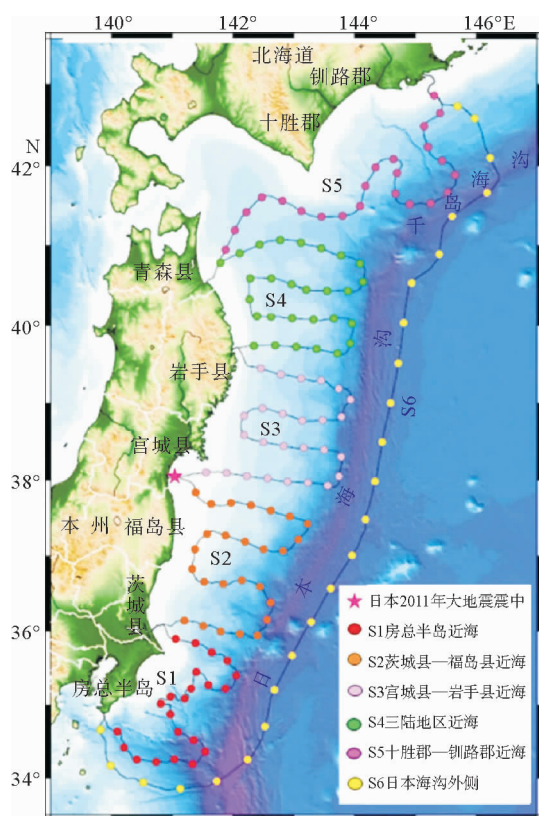
图 11 日本 DONET1 和 DONET2 海底观测网位置

Fig. 11 Japan DONET1 and DONET2 undersea observatory network

1.7 日本海沟海底地震海啸观测网(在建)

2011 年日本大地震发生后,日本防灾科学技术研究所开始建设“日本海沟海底地震海啸观测网”。“日本海沟海底地震海啸观测网”将在日本东边海岸和日本海沟(图 12)之间设置 150 个地震仪,并于 2013 年 7 月 9 日开始在房总半岛近海开始铺设工作,预期在 2015 年投入使用。

“日本海沟海底地震海啸观测网”与日本 DOENT 海底观测网在结构上有所不同。它直接用海底电缆连接到地震仪和海啸仪,无节点(图 12);而 DOENT 海底观测网是“节点型”,通过节点的分支装置连接各种传感器(图 11)。



图片源自 <http://www.bosai.go.jp/>

图 12 “日本海沟海底地震海啸观测网”位置

Fig. 12 Japan trench ocean bottom seismic tsunami undersea observatory network

2 国内海底观测网的建设进展

2.1 台湾 MACHO 海底观测网

台湾地区位于环太平洋地震带上,影响台湾的地震 70% 发生在海域。为了弥补台湾陆地地震站观测范围的不足,台湾气象部门地震测报中心打算效仿日本,实施了“台湾东部海底电缆观测网”计划 Marine Cable Hosted Observatory(MACHO),因简称与“妈祖”近似,而称“妈祖”计划。MACHO 计划于 2007 年通过,以地震和海啸监测为主,最初设想如图 13 所示,但由于后来经费

大大缩减,2011 年 11 月只完成第 1 期建设(图 14),未来能否继续开展第 2 期建设,取决于台湾气象部门能否获得后续支持。

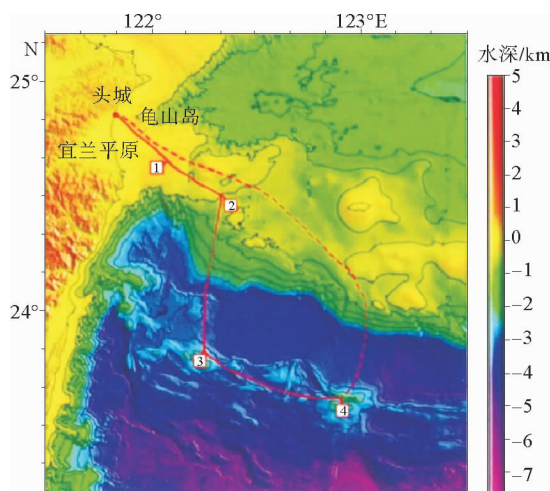
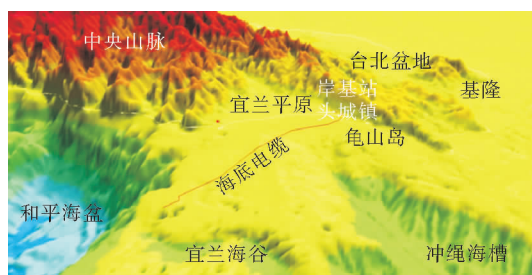


图 13 MACHO 计划最初的建设构想图

Fig. 13 The initial concept map of MACHO plan



(图片来源自 <http://scweb.cwb.gov.tw/macho~web/>)

图 14 台湾 MACHO 已经建成的海底观测网位置

Fig. 14 The location of the built Taiwan MACHO undersea observatory network

2.2 东海海底观测网

2006 年,在上海市科学技术委员会的资助下,同济大学承担了“海底观测组网技术的试验与初步应用”重大科技攻关项目,并于 2009 年 4 月在上海附近的东海近岸浅水区建成海底观测试验站——小衢山海底观测试验站(图 15)。试验站的科学主题是研究长江口的泥沙输运和港口安全、观测海洋的生态环境变化等。2011 年,在上海市科学技术委员会的资助(约 4 000 万)下,同济大学正在进一步推动“东海海底观测网”的建设,计划在 5 年内完成。东海海底观测网选址于舟山群岛以东的内陆架上,普陀青浜岛附近,水深约

50 m,投资约 4 000 万,电缆预计全长约 750 km。

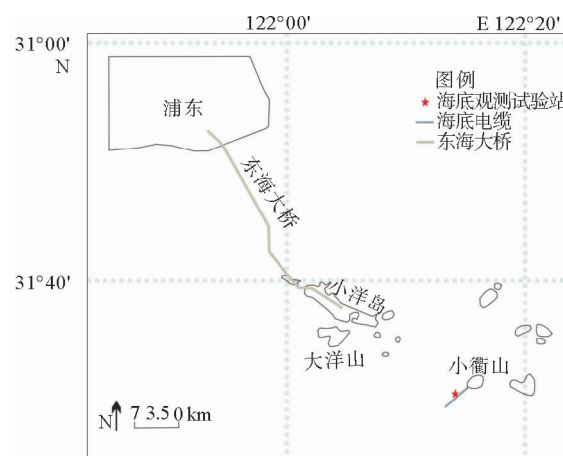


图 15 小衢山海底观测试验站位置示意图

(据文献[15])

Fig. 15 Xiaoqushan seafloor observatory in the East China Sea(from reference[15])

2.3 南海海底观测网

近年来在南海的海底观测建设进展如下:

2009 年 4 月,“中国科学院声学研究所南海声学海洋综合观测实验站”挂牌成立。

2009 年 10 月,陵水基地初具雏形,依托 863 项目“岸基光纤阵列水声综合探测系统”,开始布放我国第 1 条海底光纤探测系统。

2011 年,中科院投资 7 800 万元,在陵水站建设 9 600 m² 的“南海海洋技术与系统试验研究基地”(1 期);同年,科技部投资 4 000 万元,在距陵水基地岸边 100 km 处,布放了第 2 套岸基光纤探测系统。

2012 年,科技部决定投资 2.5 亿在陵水基地建设我国首个“南海海底观测网试验系统”。

2013 年 5 月,南海首个海底观测示范系统在三亚建成。三亚海底观测示范系统由岸基站、2 km 长电缆、3 个节点、11 个主接驳盒和 1 个次接驳盒、3 套观测设备组成,岸基站提供 10 kv 高压直流电,接驳盒布放在 20 m 水深的海底。三亚海底观测示范系统是中国科学院重大科技基础设施预先研究项目,由中国科学院南海海洋研究所牵头,沈阳自动化所和声学研究所参与。其中,沈阳自动化所承担了水下接驳盒、岸基站监控系统 and 数据管理系统等研制工作。

3 结束语

目前,世界上的主要海洋国家都在纷纷建设海底观测网,国内海底观测网的发展起步相对较晚,但是在国家和地方政府的重视和大力支持下,发展迅猛。

目前,国内参与到海底观测研究和建设的相关单位有同济大学、浙江大学、中国海洋大学、上海交通大学、厦门大学、广东海洋大学、华东师范大学、清华大学深圳研究生院、中国科学院南海海洋研究所、中国科学院沈阳自动化研究所、中国科学院声学研究所、国家海洋局第二海洋研究所、山东省科学院海洋仪器仪表研究所、中天科技有限公司、成都赛威讯信息技术研究所、中国船舶重工集团 710 所、广州海洋地质调查局等。海底观测网是海洋技术发展的新领域,同时是一项庞大的工程,单靠一个单位的力量是难以完成的。因此,我们要加强国际合作,学习国外优秀经验,吸取失败教训,同时还要加强国内合作,一起建设海底观测网。

参考文献:

- [1] Hester K C, Dunk R M, White S N, et al. Gas hydrate measurements at Hydrate Ridge using Raman spectroscopy[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007, 71:2947-2959.
- [2] 张艳伟, 范代读, 许惠平. 东海海底观测网小衢山试验站记录的 2010 年智利海啸信号分析[J]. *科学通报*, 2011, 56(32):2732-2740.
- [3] Isaac V F, Evgueni A K, Josef Y C. Japan's 2011 Tsunami; Characteristics of Wave Propagation from Observations and Numerical Modelling[J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2013, 170: 1295-1307.
- [4] Thomsen L, Barnes C, Best M, et al. Ocean circulation promotes methane release from gas hydrate outcrops at the NEPTUNE Canada Barkley Canyon node[J]. *Geophys. Res. Lett.* 2012, 39:1-6.
- [5] Laura L, Wilson R, Riedel M, et al. Temporal variability of in situ methane concentrations in gas hydrate-bearing sediments near Bullseye Vent, Northern Cascadia Margin[J]. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2013, 14(7):2444-2459.
- [6] Xu G, Jackson D R, Bemis K G, et al. Observation of the volume flux of a seafloor hydrothermal plume using an acoustic imaging sonar[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* [J], 2013, 14:2369-2382.
- [7] 陈 鹰, 杨灿军, 陶春辉, 等. 海底观测系统[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [8] 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):125-131.
- [9] 马伟锋, 崔维成, 刘 涛, 等. 海底电缆观测系统的研究现状与发展趋势[J]. *海岸工程*, 2009, 28(3):76-86.
- [10] 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.
- [11] 上海海洋科技研究中心, 海洋地质国家重点实验室. 海底观测——科技与技术的结合[M]. 上海: 同济大学出版社, 2011.
- [12] 李正宝, 杜立彬, 刘 杰, 等. 海底观测网络研究进展[J]. *软件学报*, 2013, 24(增刊 1): 148-157.
- [13] 李 彦, Kate Moran, Benoit Pirenne. 加拿大“海王星”海底观测网络系统[J]. *海洋技术*, 2013, 32(4):72-80.
- [14] 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.
- [15] 许惠平, 张艳伟, 徐昌伟, 等. 东海海底观测网小衢山试验站[J]. *科学通报*, 2011, 56(22):1839-1845.

WORLD PROGRESS OF UNDERSEA OBSERVATION NETWORKS

ZHANG Huodai, ZHANG Jinpeng, ZHU Benduo

(Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources,

Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China; Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The Undersea Observation Network is a new branch of submarine technology. Within the network, various observation instruments are installed on the seafloor to observe the changes in seawater, seabed and the rocks under the seabed during a rather long time span and to send data back to land immediately. This paper briefs the main undersea observation networks in the world with focuses on the progress in recent years.

Key words: undersea observation network; seawater layer; undersea earthquake monitoring; tsunami warning