

我国海洋水文调查设备的发展历程

路晓磊^{1,2}, 陈默¹, 王小丹¹, 周寅¹

(1. 国家海洋局北海海洋技术保障中心 青岛 266033; 2. 哈尔滨工程大学水声技术国防科技重点实验室 哈尔滨 150001)

摘要: 中华人民共和国成立 70 年来,我国海洋调查技术在各方面都取得了突破性进展。文章简要叙述了我国海洋水文调查的历史及发展,着重介绍了我国海洋水文调查中的温盐观测设备、海流观测设备、海浪观测设备、海洋浮标和潜标设备的发展历程,剖析了我国海洋水文调查设备发展中存在的问题。最后,提出尽快出台国家层面顶层设计和长远规划,从政策层面鼓励支持企业投入前沿基础研究和核心技术研发,加强军民融合、实现军民优势互补等相应的建议。

关键词: 海洋调查;水文调查;物理海洋;海洋设备;发展历程

中图分类号: P715

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2020)09-0044-05

Developing History of Marine Hydrologic Survey Equipment in China

LU Xiaolei^{1,2}, CHEN Mo¹, WANG Xiaodan¹, ZHOU Yin¹

(1. North China Sea Marine Technical Support Center of the State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China; 2. National Laboratory of Underwater Acoustic Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: The paper firstly described the history and development of marine hydrological survey of China. Then the developing history of the equipment for temperature and salt observation, ocean current observation, wave observation, ocean buoy and submarine buoy in China's marine hydrology survey was emphatically introduced. Finally, the problems existing in the development of marine hydrological survey equipment of China were analyzed. Suggestions were proposed as follows: the top-level design and long-term planning of "maritime power" at the national level should be introduced as soon as possible, encouraging and supporting enterprises to invest in cutting-edge basic research and core technology research from the policy level, strengthening military-civilian integration to complement each other's strengths.

Key words: Marine survey, Hydrologic survey, Physical oceanography, Marine equipment, Developing history

0 引言

中华人民共和国成立 70 年来,我国的海洋调查

技术在各方面都取得了突破性进展。海洋水文调查作为海洋调查的基本内容之一,也经历了从无到

收稿日期: 2019-12-12; 修订日期: 2020-08-25

基金项目: 国家重点研发计划海洋环境安全保障重点专项(2017YFC1405×××)。

作者简介: 路晓磊, 工程师, 硕士, 研究方向为物理海洋调查和海洋装备的集成应用

有,能力从弱到强的转变,调查设备不断更新换代,许多设备从调查初期的仿制到如今自主研发,实现了从“跟跑”到“并跑”再到“领跑”的跨越式发展。

海洋水文调查要素一般包括:水温、盐度、海流、海浪、透明度、水色、海发光等^[1],其中透明度、水色、海发光观测较为简单,本研究着重介绍我国温盐、海流、海浪观测设备以及海洋浮标和潜标的发展历程。海洋水文调查跨度时间长,涉及设备众多,本研究仅就所掌握的资料对重点设备进行梳理和总结。

1 海洋水文调查的发展历程

1958年9月至1960年12月开展的“全国海洋综合调查”开启了我国大规模海洋水文调查的序幕,此次调查历时2年多,完成了91条断面、624个大面站、327个连续站的调查^[2]。通过这次调查初步掌握了我国近海海洋要素的基本特征和变化规律,出版了多部专著,改变了我国缺乏基础海洋资料的局面,为我国海洋科学发展奠定了基础。全国海洋综合调查结束后,在国家科学技术委员会海洋组领导下,在渤海、黄海海域开展了“近海海洋标准断面调查”^[3],并一直持续到今天。20世纪70年代我国开展了“东海大陆架调查”和“南海中部调查”^[4]。此后我国陆续开展了一系列的重大专项调查及国际合作调查。如1975—1980年开展的“第一次全国海洋污染基线调查”,1980—1987年开展的“全国海岸带和海涂资源综合调查”^[5],1985—1990年中美在赤道和热带西太平洋开展的海洋大气相互作用合作科学考察,1986—1992年开展的“中日黑潮合作调查”^[6],1988—1995年开展的“全国海岛资源综合调查”,1996—2002年开展的“第二次全国海洋污染基线调查”^[7],2000—2003年开展的“西北太平洋海洋环境调查与研究”,2004—2012年开展的“中国近海资源环境综合调查与评价”专项调查^[4]等。2012年国家海洋局启动实施了“全球变化与海气相互作用”专项,标志着我国的海洋调查全面进军深远海。此外,我国还开展了一系列的南北极科学考察、大洋科考调查等。我国的海洋水文调查技术在上述调查中取得了突破性进展,调查手段不断丰富,调查设备也越来越先进。

2 海洋水文调查设备的发展历程

我国在海洋水文调查中使用的调查设备随着科学技术的发展而不断更新换代,大致可分为3个阶段。第一阶段为20世纪80年代以前,调查设备主要是机械式的,体积普遍较大,操作较为复杂,精度和稳定度较差^[8],如表面温度表、颠倒温度表、双联浮筒测流装置、印刷海流计、直读式海流计、手摇绞车等;第二阶段为20世纪80年代至21世纪初期,随着电子技术的快速发展,逐渐开始使用以电子计算机和自动化为主的装备,测量精度、灵敏度、稳定度等大大提高,如温盐深剖面测量系统(CTD)、声学多普勒流速剖面仪(ADCP)等;第三阶段为21世纪至今,随着传感器技术、通信技术和遥感技术的发展和广泛应用,除了CTD、ADCP等设备不断升级外,结合实时、自主式、长时间序列观测的需要,出现了船载测波雷达、自沉降式剖面测量系统(Argo浮标)、抛弃式温盐深剖面测量系统(XBT、XCTD)以及潜标、浮标观测系统等,发展趋势呈现网络化、智能化。

2.1 温盐观测设备

20世纪80年代前,温盐观测设备主要依赖进口设备和仿制的国外某些常规产品,设备基本都是纯机械式的,如颠倒温度表、表面水银温度表、机械式深度温度计、氯度滴定计等。1965—1966年和1971—1976年的两次全国海洋装备会战推动了我国海洋仪器设备的发展,突破了一些关键技术,研制成功了多种设备,如SZC4-1型自容式温盐深自记仪、SZC5-1温盐深自记仪、SZC3-1温盐深探测仪等。但受制于国内的工业和电气化水平,并没有形成产品生产能力。

20世纪80年代,我国成功研制了最大工作深度分别为60 m、1 000 m、3 000 m、6 000 m的实时传输和自容式的温盐深剖面仪。如国家海洋局海洋技术研究所研制的SZC11型6 000 m温盐深自记仪,在1985年的西北太平洋锰结核调查和1987年中日联合黑潮调查中发挥了重要作用。1984年,国家海洋局第三海洋研究所研制了SZC7-2型抛弃式温深仪^[9]。

“九五”以来,温盐传感器在国家“863”计划的

支持下快速发展,攻克一些关键技术,取得了一批高新技术成果,但距离世界先进水平还有一定的差距,特别在深远海调查设备方面差距更大。我国深远海调查中,温盐测量主要有船载观测、走航观测、锚系观测和抛弃式观测等4种方式。其中:船载观测中最常用的直读式CTD为SBE 911plus CTD,自容式CTD为SBE 917 CTD;走航观测中常用的CTD有MVP200、MVP300等;锚系观测中常用的CTD有SBE37、SBE39等;大范围的海洋调查中常辅以抛弃式温盐深仪(XCTD)和抛弃式温深计(XBT)等,常用的有日本TSK公司的XCTD和XBT。此外,根据海洋调查的不同需求,CTD上一般还会搭载各类传感器,如溶解氧、pH、浊度和叶绿素等传感器。

2.2 海流观测设备

20世纪80年代前,我国的海流观测设备主要是纯机械式海流计,如厄克曼海流计、印刷海流计。代表性产品是天津气象海洋仪器厂仿制的HLJ1型印刷海流计,它曾在我国早期海流观测中发挥过重要作用并一直沿用至80年代中期^[9],其流速为3~148 cm/s,流向为0°~360°(精度±5°),印刷时间间隔为5、10、15、20、30、60分钟6种,最长连续工作时间为57天,最大使用深度为250 m(HLJ1-1型)和1 200 m(HLJ1-2型)。

20世纪80年代,主要使用直读式海流计、数字式转子海流计和声学海流计。如:青岛海洋大学研制的SLC9-2型直读式海流计,适用于锚定船上进行200 m以浅不同深度处的水流速度和流向观测,同时它还可以用浮子把探测器漂离船体测量表层流速和方向^[10];海洋技术研究所研制的SLY5-1型海流计和中国科学院海洋研究所研制的SLC16-1型海流计,流速测量范围分别为0.02~2 m/s、0.03~3.5 m/s,流向测量范围不变,精度略有提高,均为±4°数字式转子海流计^[11]。中国科学院海洋研究所和国家海洋局第三海洋研究所先后研制成功声学多普勒海流计。此外,国外的海流观测设备逐步进入中国市场,如挪威安德拉RCM系列海流计、日本ALEC公司的AEM213-D型直读式电磁海流计等。

20世纪90年代后,随着声学多普勒流速剖面(ADCP)技术的发展,ADCP成为主要的海流观测设备。根据安装方式的不同,ADCP可以分为走航式、坐底式、锚系式、拖曳式等几种。目前国际上领先的ADCP生产企业有美国的TRDI公司、挪威的诺泰克公司等。我国的“雪龙2”号、“向阳红01”号、“向阳红06”号、“科学”号等远海调查船均装备了TRDI公司的OS-38型船载走航式ADCP。定点式ADCP主要用于潜标、浮标等观测平台中,常用的调查设备有TRID公司的WHS-300 kHz、WHS-600 kHz、诺泰克公司的“阔龙”“浪龙”系列等。我国从20世纪80年代后期开始ADCP的相关技术攻关和样机研制工作,“七五”期间,中国科学院声学所研制了拖曳式ADCP试验样机^[12];“八五”期间,国家海洋局对走航式ADCP进行了立项研制并完成了试验样机^[13];“九五”期间,中国科学院声学所和国家海洋局海洋技术研究所共同负责了国家“863”计划ADCP相关关键技术攻关和样机研制,并通过了“863”专家组验收。目前国产ADCP产品中,中国船舶715研究所生产有SLS系列自容式ADCP和SLC系列走航式ADCP,中国科学院声学所研制的RIV300、RIV600、RIV1200系列自容式ADCP等,部分产品性能已能达到国际先进水平。

2.3 海浪观测设备

20世纪80年代之前,海浪观测手段主要依靠人工测波,利用望远镜、秒表等辅助设备,用纯人工的方法观测波浪要素^[14]。80年代中后期开始使用岸基光学测波仪^[15],也属于人工观测。90年代,随着浮标技术的不断进步,波浪浮标成为海浪观测的主力设备,波浪浮标一般都采用球体设计,以便具备良好的随波性。山东省科学院海洋仪器仪表研究所、国家海洋技术中心、中国海洋大学先后研制了SBF3-X型、SBA3-2型、SZF型波浪浮标。荷兰Datawell公司生产的MARK型“波浪骑士”(Waveriders)波浪浮标,作为国际上公认领先的测波设备也在国内广泛应用^[16]。目前,除波浪浮标外,海浪测量设备主要还有海洋卫星和测波雷达,如“海洋二号”系列卫星,包括2011年发射的HY-2A卫星、2018年发射的HY-2B卫星以及2018年

发射的中法海洋卫星(CFOSAT)等,可对海面风场、海流、海浪、海面温度等海洋动力环境参数进行全天时、全天候监测。测波雷达方面,国家海洋技术中心、哈尔滨工程大学、中国海洋大学等均研制了相关的X波段测波雷达样机^[17],也引进了如德国OceanWaves公司生产的WaMos II测波雷达等相关设备。

2.4 海洋浮标和潜标

我国的海洋浮标研制起步于1965年,首套浮标为船型结构^[18]。20世纪70年代,山东省科学院海洋仪器仪表研究所自主研制了HFB-1型海洋水文气象浮标,曾在我国的海洋环境观测中发挥过重要作用。20世纪80年代之后,在国家“863”计划等项目的支持下,研制成功了直径3~10 m的一系列浮标产品,如FZF2-1型(后发展为FZF2-2型、FZF2-3型、FZF3-1型)、FZF4-1型等大型海洋资料浮标,直径均为10 m^[19]。海洋资料浮标能够长期、连续、全天候自动观测,可以获取海洋水文、气象、水质、生态、动力等海洋环境参数^[20]。我国的海洋资料浮标在性能上总体达到了国际先进水平,可完全满足我国近海长期业务化观测需求。2012年,由国家海洋局第一海洋研究所自主集成研发的我国首套深海浮标“白龙浮标”布放安达曼海,2019年,中国第35次南极考察队在西风带布放了我国首个西风带环境监测浮标。此外,我国也研制了海洋剖面观测浮标(Argo浮标)、通量观测浮标、核辐射监测浮标、海冰浮标、光学浮标、声学浮标、赤潮浮标、波浪浮标、子母浮标、通信中继浮标等专用浮标^[21]。

潜标系统作为海洋调查的重要设备之一,一般由水下部分和水上甲板单元组成。水下部分主要包括主浮体、探测传感器、缆绳、玻璃浮球、声学释放器、重力锚等组成^[22]。我国潜标系统的研制工作始于20世纪80年代,经过30余年的发展,我国的潜标技术在设计建模、布放深度、系统回收率和可靠性等方面已经达到世界先进水平。中国海洋大学首次在我国南海建设了国际上最大规模的区域潜标观测网。2017年,中国科学院深海科学与工程所在马里亚纳海沟“挑战者”深渊中布放回收了万米锚系潜标系统,获得了深渊中多层深度近一

年的温盐和海流连续观测数据。

3 问题及建议

3.1 存在的问题

经过几十年的发展,我国的海洋水文调查设备获得了飞跃性发展,取得了丰硕的成果,成功解决了一些关键核心技术,有的产品性能已经达到了国际先进水平,但也存在着很多问题。主要表现为:①海洋传感器核心技术依然落后,面临“卡脖子”问题。虽然我国已能自主研发部分传感器,但在精度、可靠性、稳定性等方面与国外传感器相比仍处于劣势,大部分设备仍处于集成创新阶段。②产业化水平低,技术研发与资本市场未能有效结合。由于海洋设备研发周期长、耗资大、需求有限,因此投资风险较高,资本参与的积极性不高,研究机构主要为高校和科研院所,经费主要依靠国家拨款,设备也主要用于科研项目,没有形成需求驱动,产学研未能有效结合。③用户对于部分国产产品信心不足,购买意愿低。

3.2 建议

(1)建议尽快出台国家层面“海洋强国”的顶层设计和长远规划,从政策层面鼓励支持企业投入前沿基础研究和核心技术研发,激发创新活力。制定相应的利益共享和分配机制,提高企业积极性,充分利用资本力量,加快科技成果转化。

(2)加强军民融合,实现军民优势互补。完善军民协同创新机制,促进军民科技互融互通和转化应用。整合运用军地科研力量和资源,引导军地科研人员加强基础技术研究,联合攻关核心技术,补齐核心技术短板。

参考文献

- [1] 汤毓祥,张洪亮,胡筱敏,等.GB/T 12763.2-2007.海洋调查规范第2部分:海洋水文观测[S].北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2007.
- [2] 徐渡.1958-1960:全国海洋综合调查[J].海洋科学,2010,34(4):109-110.
- [3] 宫芳然.我国近海水文断面监测三十年[J].海洋环境科学,1990,9(2):39-45.
- [4] 孙志辉.回顾过去展望未来:中国海洋科技发展50年[J].海洋开发与管理,2006,23(5):7-12.

- [5] 熊永柱. 海岸带可持续发展研究评述[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(2): 13-18.
- [6] 熊学军. 中国近海环流及其发生机制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [7] 许丽娜, 王孝强. 我国海洋环境监测工作现状及发展对策[J]. 海洋环境科学, 2003, 41(1): 63-68.
- [8] 牟健. 我国海洋调查装备技术的发展[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(10): 78-82.
- [9] 朱光文. 我国海洋探测技术五十年发展的回顾与展望(一)[J]. 海洋技术, 1999, 18(2): 1-16.
- [10] 黄霞. 声学多普勒海流流速测量系统的研究与实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2007.
- [11] 张旭光. 低功耗自容式机械海流计的研制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- [12] 马淳燕. 宽带相控多普勒测流技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [13] 杜亚文. ADCP 数据处理及软件优化设计[D]. 南京: 东南大学, 2017.
- [14] 齐勇, 闫星魁, 郑姗姗, 等. 海浪监测技术与设备概述[J]. 气象水文海洋仪器, 2015, 32(3): 113-117.
- [15] 周庆伟, 张松, 武贺, 等. 海洋波浪观测技术综述[J]. 海洋测绘, 2016, 36(3): 39-44.
- [16] 毛祖松. 我国近海波浪浮标的历史、现状与发展[J]. 海洋技术, 2007, 30(2): 23-27.
- [17] 王静, 唐军武, 张锁平. 雷达技术在海洋观测系统中的应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2012, 29(2): 59-64.
- [18] 王波, 李民, 刘世萱, 等. 海洋资料浮标观测技术应用现状及发展趋势[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(11): 2401-2414.
- [19] 赵聪蛟, 周燕. 国内海洋浮标监测系统研究概况[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(11): 13-18.
- [20] 李民, 盛岩峰, 袁新, 等. 国内大型海洋水文气象资料浮标的现状及发展方向[J]. 气象水文海洋仪器, 2002, 19(11): 1-4.
- [21] 陈鹿, 潘彬彬, 曹正良, 等. 自动剖面浮标研究现状及展望[J]. 海洋技术学报, 2017, 34(2): 1-9.
- [22] 毛祖松. 海洋潜标技术的应用与发展[J]. 海洋测绘, 2001, 21(4): 57-58.