

“浮星”自持式剖面浮标研究现状及进展

刘家林¹, 李醒飞^{1*}, 杨少波¹, 李洪宇², 徐佳毅¹

(1. 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072; 2. 山东科技大学 机械电子工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 自持式剖面浮标在水中自由沉浮, 具有隐秘性好、易投弃、体积小、重量轻、移动速度慢和制造成本低的特点, 可用于长期、连续海洋观测及水下安全监视。文中介绍了全球 Argo 海洋观测网, 综述了自持式剖面浮标发展历程及国内外研究现状。针对国产自持式剖面浮标不能满足现代海洋观测的需求, 设计了 2 000 m 以下水深工作的“浮星”自持式剖面浮标, 填补了国内空白。“浮星”采用可变体积式浮力调节装置、硼硅玻璃球体作为耐压壳体, 可搭载 CTD、溶解氧等多种传感器, 具有定深悬停、卫星定位和双向通讯等功能。目前, 工程样机顺利通过实验室测试、南海海试、西太平洋可靠性测试, 实现了 4 000 m 水深下潜, 验证了承压密封、浮力调节、通信控制等多项功能指标及整体可靠性、稳定性, 为逐步实现全水深工作奠定基础。

关键词: 浮星; 自持式剖面浮标; 海洋观测; Argo

中图分类号: P715.2

文献标志码: A

文章编号: 1003-2029(2019)06-0017-07

由自持式剖面浮标组成的全球 Argo 实时海洋观测网, 自 1999 年投放第 1 个设备以来, 经过近 20 年的发展, 已经陆续投放了约 15 000 个浮标, 现已形成由 3 799 个浮标组成的实时海洋观测网络, 覆盖全球无冰层的国际公共海域^[1-2]。全球免费共享的 Argo 观测数据为科学家们展示出一幅更加完整、清晰、立体的海洋演变图像, 使预报预测更加精准^[1]。Argo 由原来单一的 CoreArgo, 派生出 BGC Argo, Deep Argo, Argo 的未来(Argo2020)将会进入一个崭新的全球、全水深、多学科海洋观测时代。Argo2020 计划目标是自 2020 年起至 2025 年, 建成一个由 2 500 个 Core Argo 浮标、1 200 个 Deep Argo 浮标和 1 000 个 BGC Argo 浮标组成的综合性全球海洋立体实时观测网, 在对 0~2 000 m 无冰层覆盖的国际公共海域水温和盐度进行观测的同时, 向边缘

海及南、北极季节性冰覆盖的海域、深海以及生物地球化学领域拓展^[1,3]。

自持式剖面浮标具有易投弃、体积小、重量轻、移动速度慢、制造成本低的特点, 不受天气条件和恶劣海况的影响, 几乎可以一年四季、不分昼夜地在全球海洋的绝大部分海域工作^[1,4]。

1 国内外研究现状

1955 年, 英国国家海洋学研究所(National Institute of Oceanography, NIO)的 John Swallow 和美国的 Henry Stommel 同时独立提出中性浮力的概念: 压缩性小于海水的物体在海水表面的负浮力较小时, 下沉过程中随着浮力的不断增大, 当到达某一深度时浮力和重力恰好相等, 此时物体将会悬浮,

收稿日期: 2019-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61503283); 海洋高端装备配套技术及装备产业创新孵化基地子任务(BHSF2017-27); 天津市自然科学基金资助项目(重点项目)(16JCZDJC30100); 天津市重点研发计划科技支撑重点资助项目(18YFZCSF00620); 天津市重点研发计划院市合作资助项目(18YFYSZC00120)

作者简介: 刘家林(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为海洋环境监测技术。E-mail: liujl@tju.edu.cn

通讯作者: 李醒飞(1966-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为多传感器融合技术、机电惯性器件与系统以及海洋环境监测技术。

E-mail: lixf@tju.edu.cn

随海水漂流,可以用于测量海流。同年,Swallow 制造出第一台中性浮力的浮标,浮标由两根 3 m 长的铝管制成,重约 10 kg,在海面具有 38 g 的负浮力,设计悬浮深度为 1 000 m^[5]。

1.1 自持式剖面浮标的发展历程

自持式剖面浮标基于中性浮力的概念发展而来,通过搭载传感器自动往复运行、中性浮力深度漂流、卫星定位和通信,使大规模、长期海洋观测和 underwater 安全监视成为可能。在海洋观测领域,相比于船载平台费用高、短期、不连续等缺点,自持式剖面浮标具有明显优势,海洋观测的巨大需求不断推动自持式剖面浮标的发展。

1988 年,美国斯克利普斯海洋学研究所(Scripps Institution of Oceanography, SIO)的 Russ Davis 和美国韦伯研究公司(Webb Research Corporation, WRC)的 Doug Webb 研制出第一台真正意义上的自持式剖面浮标 Autonomous Lagrangian Circulation Explorer (ALACE)^[6]。1994 年,法国 IFREMER 和 TEKELEC/MARTEC 合作研制出 MARVOR 浮标^[7]。1998 年,法国 IFREMER 在 MARVOR 浮标基础上制造出 PROVOR 浮标^[8]。针对 ALACE 浮标使用过程中发现的问题,美国 SIO 的 Russ Davis 等于 2000 年研制出 Sounding Oceanographic Lagrangian Observer (SOLO) 浮标,美国 WRC 研制出 Autonomous Profiling Explorer(APEX)浮标^[9]。加拿大 Metocean 公司在法国 MARTEC 公司提供 PROVOR 浮标关键部件的基础上实现 Metocean-Provor 浮标的商业化,美国伍兹霍尔海洋学实验室根据 SOLO 浮标设计资料开发出 WHOI-SOLO 浮标,2001 年日本 Tsurumi-Seiki(TSK)公司研制出 New Profiling Float of Japan (NINJA)浮标,NINJA 浮标采用齿轮电机驱动柱塞杆进出耐压壳体的方式,调整其体积,实现所受浮力的调节^[10]。2003 年,中国国家海洋技术中心研制出 China Ocean Profiling Explorer(COPEX)浮标^[11]。2007 年,中国船舶重工集团公司第 710 研究所开始研制 HM2000 浮标^[12]。

海洋多要素观测的数据可以有效改进初级生产力的估算,提高对海洋碳循环、营养盐和包括整个海洋食物链在内的生态系统的认知,解决诸如海洋碳吸收、海洋酸化、海洋缺氧和海洋低氧区等严重影响海洋生态系统健康的问题^[1]。自持式剖面浮标,由原来搭载单一传感器,逐渐发展成为能够搭载多个传感器如 CTD、溶解氧传感器、硝酸盐传感器、后向散射计、辐照度计、叶绿素荧光计以及黄色

物质荧光计进行海洋多要素同时观测。

随着自持式剖面浮标向着可靠性更高、制造成本更低、寿命更长、运行剖面数更多的方向发展,自持式剖面浮标不断满足个性化使用需求,同一产品逐渐发展成为一个系列,不断涌现出具有特定功能的产品。0~2 000 m 水深工作的自持式剖面浮标有 APEX 系列、SOLO 系列、PROVOR 系列、ARVOR 系列、NAVIS 系列、NINJA 系列、S2A、NOVA、FLOAT、SOLO_II、S2X、ALTO、NEMO 等^[3]。

海洋占地球表面的 71%,全球 84%的海洋水深超过 2 000 m。深海巨大的热容量和碳储存量对地球系统的生物地球化学循环和水循环有着重要的调控作用,深海巨大的热容量及热输送能力变化的观测、机理认识以及预测能力,影响着气候系统中长期变化的预测能力与水平,因此各国纷纷开始研制深海观测平台。其中,用于 2 000 m 以下水深工作的深海自持式剖面逐渐发展起来,解决耐高压可靠的壳体、浮力调节装置成为关键。日本的 Deep NINJA^[13]、法国的 Deep ARVOR^[14]、美国的 Deep SOLO^[3]、Deep APEX 已经应用于 Deep Argo 海洋观测中,结构外形如图 1 所示,性能对比如表 1 所示^[3,16-17]。



图 1 国外深海自持式剖面浮标

1.2 国内深海型自持式剖面浮标的发展

国内生产的 COPEX、HM2000 浮标仅能在 0~2 000 m 水深工作,2 000 m 以下水深观测所需自持式剖面浮标全部依赖进口,为了打破国外技术封

表 1 国外深海自持式剖面浮标性能对比

型号	研制单位	质量/kg	工作范围/m	剖面个数	耐压壳体	可搭载传感器	特点
Deep NINJA	JAMSTEC、 TSK	50	0~4 000	50~70	外直径约 25 cm 的铝 合金	SBE-41、RINKO AROD-FT	避冰层、防触底,多 冲程柱塞泵系统
Deep ARVOR	IFREMER、 NKE	26	0~4 000	150	碳纤维和环氧树脂缠 绕而成的圆柱体(外直 径 145 mm、长 120 cm)	SBE-41、 Aander-aa 4330	自动压载、轻松部 署,避冰层、防触底
Deep SOLO	SIO-IDG、 MRV	25	0~6 000	251	外直径为 13 inch 的 玻璃球	SBE-61	被动防触底 探测线
Deep APEX	Teledyne Webb Research	--	0~6 000	133	外直径为 17 inch 的 玻璃球	SBE-61、Aander- aa4831、RINKO AROD-FT	高度计防触底

锁,填补过国内空白,2016 年天津大学、山东大学、中国海洋大学、上海海洋大学、青岛海山海洋装备有限公司等多家单位开始研制 2 000 m 以下水深工作的自持式剖面浮标。其中,天津大学研制的“浮星”自持式剖面浮标,顺利通过实验室测试、南海海试、西太平洋可靠性测试,实现了 4 000 m 水深下潜,验证了承压密封、浮力调节、通信控制等多项功能指标及整体可靠性、稳定性,为逐步实现海洋全水深工作奠定基础。

2 “浮星”自持式剖面浮标总体设计

“浮星”自持式剖面浮标采用可变体积式浮力调节装置,根据阿基米德原理,在自身重量不变的情况下,通过改变体积大小,调节受到的浮力,实现下潜、上浮,在中性浮力深度定深悬停,循环往复工作,直至携带的电量耗尽,不会对海洋造成二次污染。“浮星”自持式剖面浮标结构如图 2 所示^[18]。天线使卫星通讯和定位成为可能;耐压壳体和防护罩提供安全可靠的工作空间;CTD 传感器用于测量海水

的温度、盐度、深度;直流电机驱动高压柱塞泵用于将内油箱中的液压油排出到外油囊中,增大外油囊的体积;舵机驱动球阀,用于排油、回油过程中选择不同的导通路径;控制系统用于控制浮标的整体协调运行;电池组用于提供正常运行所需的电能;气泵、电磁阀用于调节外气囊体积。

2.1 防护装置

防护装置由耐压壳体、防护罩组成。

2.1.1 耐压壳体 为了保证浮力调节装置、控制系统、电池组在水下高压环境中正常工作,需要一个耐压壳体将这些装置安放其中。“浮星”耐压壳体是由两个半球组成的球体,外直径为 17 inch,耐压深度可达 6 700 m。通过在球体表面打孔的方式,实现球体内外的连通。为了保持良好的密封性,使用胶带将两个玻璃半球密封,并将球体内部保持负压状态。耐压壳体由硼硅玻璃材料制成,具有热膨胀率低、不易破碎、透明度极高、抗压强度大、重量轻、价格适中、性价比极高、永不腐蚀、无污染、环保、无磁性、不导电的特点。

2.1.2 防护罩 防护罩采用中性浮力的聚乙烯材料,内部空间用于放置球形耐压壳体、外油囊、外气囊,防止耐压壳体受到撞击损坏,固定外油囊、外气囊位置,使浮标在水中保持竖直状态;外部边缘区域用于放置传感器。

2.2 浮力调节装置

由液压系统和气动系统组成的浮力调节装置用于调节外油囊、外气囊的体积,改变浮标受到的浮力。浮力调节装置原理示意图如图 3 所示^[19]。

2.2.1 液压系统 液压系统由高压柱塞泵、单向阀、球阀、管件组成。排油过程:球阀关闭,高压柱塞泵将液压油通过单向阀流入外油囊;回油过程:球阀开启,在内外压差情况下,液压油通过球阀流入

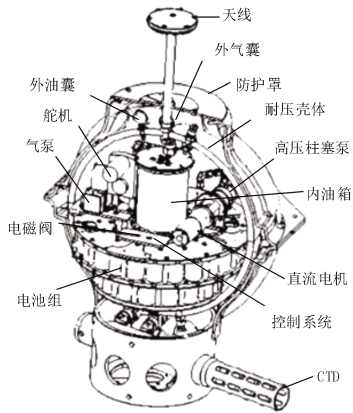


图 2 “浮星”结构

内油箱。液压系统作为浮力调节的核心机构,通过排油过程,增大外油囊体积,使浮标体积增大,浮力大于重力,浮标上浮;通过回油过程,减小外油囊体积,使浮标体积减小,浮力小于重力,浮标下沉。液压系统作为最大的耗电系统,高压柱塞泵的使用效率严重影响浮标的续航能力。因此在浮标上浮过程中采用分阶段排油的方式,减少高压柱塞泵在同一高压环境中的过度使用,节省能耗。为了避免浮标上浮至在近水面位置高压柱塞泵的大量低效率使用,节省能耗,因此添加气动系统。

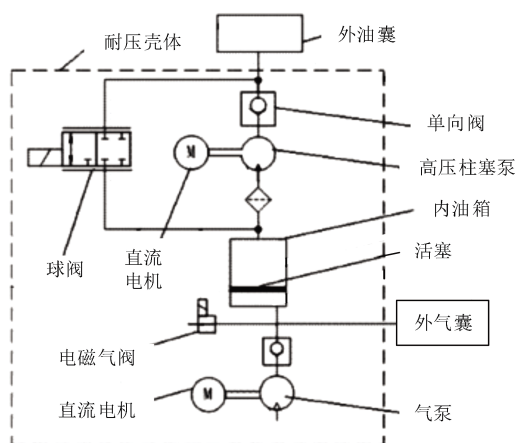


图3 浮力调节装置原理示意图

2.2.2 气动系统 气动系统由气泵、电磁气阀、外气囊组成。浮标上浮至近水面位置,启动气泵,将玻璃球体内部气体通过气管和电磁气阀输出到外气囊,使外气囊体积增大,浮力增加,浮标上浮,使天线更多地露出水面,便于卫星定位和通讯。

2.3 控制系统

控制系统由控制算法和控制电路组成。控制算法包括定深控制、全海域自动中性浮力配平、不同运动模式等。控制电路由主控芯片、时钟、晶振、各个功能电路组成。控制系统通过接收到的远程控制指令,选择相应的运动模式。通过 CTD 传感器测量的温度、压力、电导率数值和浮标下一个控制执行指令,计算浮力调整的大小,控制液压系统进行排油或者回油动作,使浮标达到预定状态。在下潜、上浮、定深漂流运动过程中通过搭载的传感器测量数据,并进行存储。到达水面后进行卫星定位,并将定位信息、传感器采集数据、浮标状态信息通过卫星双向通讯发送至地面监控中心。发送完毕后,将会接收到监控中心发送的确认信息及控制指令信息,对接收到的控制指令信息确认无误后,浮标将开始下一个剖面运动。如遇到卫星通讯信号差或者海况

恶劣,造成多次发送不成功的情况下,控制系统将按照上一个设定信息再次进行剖面运动或者下潜至某一安全深度停留一段时间再次上浮。

“浮星”自持式剖面浮标具备北斗卫星、GPS 定位,北斗短报文、铱星、Argo 卫星双向通信,可根据不同的需求,进行相关组合。通讯系统包括通讯控制电路、定位模块、通讯模块、天线、天线杆、天线罩。通讯控制系统对接收到的数据进行压缩、加密、发送。其中,控制系统结构框图如图 4 所示。

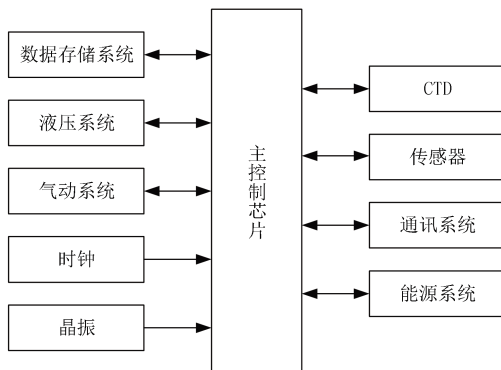


图4 控制系统结构框图

2.4 能源系统

能源系统采用一次性高能 ER34615 锂离子电池成组技术,由一个个独立的额定电压为 3.6 V、额定容量 19 Ah 的锂离子电池通过串并联组成,输出电压为 26~30 V。可根据单个电池电量、浮标剖面运行模式、剖进数,进行增加或减少电池个数,满足浮标运行所需电量。通过电源管理系统,可以使地面控制人员及时了解电量的剩余量,便于设定合适的控制参数。

3 试验验证

为了验证各项设计的可行性、合理性、是否达到设计指标,对工程样机实施了实验室测试、南海海试、西太平洋可靠性测试。

3.1 实验室测试

3.1.1 耐压密封测试 将玻璃球体密封放入打压罐中进行保压 6 h 的 42 MPa 压力环境测试,试验后浮标耐压壳体完好,无泄漏,验证了玻璃球体的耐压性能。

3.1.2 高压驱动系统测试 采用 40 MPa 恒压装置代替外油囊进行排油、回油往复运行,测试液压系统是否能够在水下高压环境中正常进行排油、回

油。试验顺利完成,验证了液压系统的可靠工作性能。图 5 为耐压密封测试及高压驱动系统测试现场。

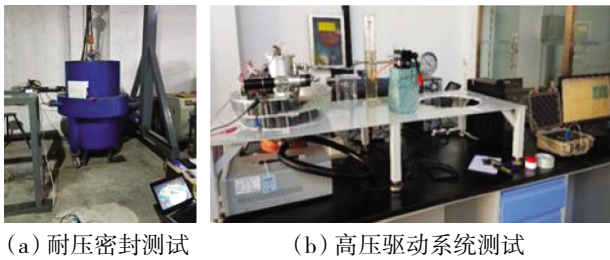


图 5 实验室测试

3.2 南海海试

2018 年 7 月 24 日,在南海水深为 3 700 m 海域(17.752 28~18.348 852 °N,114.358 800~114.962 721 °E) 布放 1 套浮标。浮标自动连续稳定运行 26 个剖面,最大下潜深度 3 550.3 m,数据传输成功率达到 99.9%。本次海试的顺利进行,验证了“浮星”在 4 000 m 水深工作的浮力驱动、耐压设计、采集通讯等关键技术的可行性和设备的可靠性。图 6 为南海海试图片。

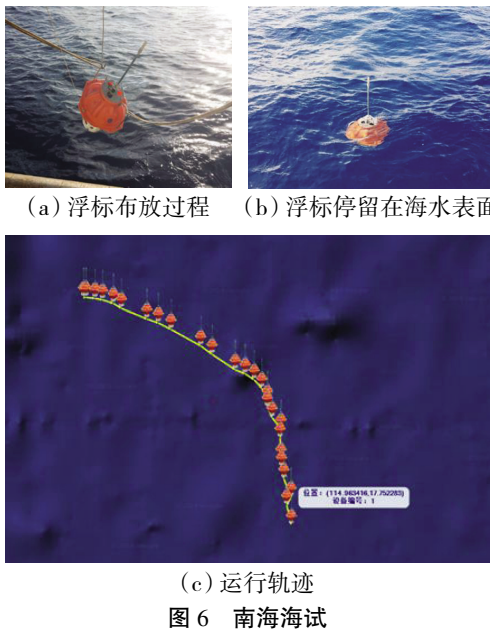


图 6 南海海试

3.3 西太平洋可靠性测试

2019 年 3 月,搭乘“海大号”科考船前往西太平洋海域进行可靠性测试,现场图片如图 7 所示。试验装置由潜标平台和装有滑轮组的待测试浮标组成,将滑轮组穿入潜标平台浮体和重力锚之间的绳索中,一同投入海中。到达设定深度后,待测试浮标通过排油、回油,沿着绳索上下做剖面运动,绳索上的节点限制待测试浮标运动范围。待测试浮标通过搭载的压力传感器每隔 100 s 测量一次,并对测量数

值进行存储。浮标反复排油、回油,使浮标在限制深度范围内反复做剖面运动,验证“浮星”浮标在 4 000 m 处长期工作的稳定性和可靠性,是否能够正常沉浮运动,是否能够达到设计要求的剖面数。测试完成后,通过读取待测试浮标存储的测量数值,得出浮标测试结果。西太平洋测试结果如表 2 所示。



图 7 西太平洋可靠性测试

表 2 西太平洋测试结果

样机	试验类型	试验时长/h	测试段深度/m	有效剖面数	剖面平均压力差/dbar	样机状态
2#	试验装置测试	5.75	3 200~3 300	3	100.0	正常
1#	可靠性测试	173.10	3 955~4 055	105	82.7	正常
2#	可靠性测试	175.55	4 080~4 180	62	100.0	电池电量耗尽

3.3.1 试验装置测试 为了验证潜标测试平台是否可靠、是否能够达到极限测试目的、布放回收方案是否可行、“浮星”号浮标能否正常上浮下潜,配重是否合适等项目,在水深约为 3 415 m 的西太平洋海域(16.446 893 °N,134.962 297 °E)进行。布放前进行参数设定使 2# 浮标处于 3 200~3 300 m 深度范围,完成布放,进行测试。测试结束后 2# 浮标完成回收,浮标外形完整,内部真空度正常,正常上浮、下潜,运行 3 个剖面。经过计算潜标测试平台布防下潜速度约 2 m/s、回收上浮速度约 1.5 m/s,为后续的潜标测试平台布放回收工作提供参考依据。

3.3.2 “浮星”自持式剖面浮标可靠性测试 可靠性测试在水深约 4 214 m 的西太平洋海域(19.005897 °N,142.002541 °E)进行。布放前,进行参数设定,使 1# 浮标处于约 3 955~4 055 m 深度范围,2# 浮标处于约 4 080~4 180 m 深度范围。测试完成后,两台浮标顺利回收,经检查两套浮标外形

完整,未发生漏气进水现象。1# 浮标有剩余电量,读取真空度正常,通过数据分析 1# 浮标正常工作;2# 浮标回收后,发现电池电量耗尽。此次可靠性测试验证了“浮星”自持式剖面浮标的整体可靠性、稳定性。在 4 000 m 水深处连续运行 7 d、105 个剖面,采集数据完整,系统整体结构可靠稳定,达到了设计要求。1#、2# 浮标运行剖面分别如图 8~图 9 所示。

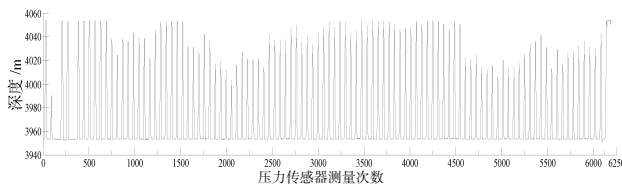


图 8 1# 运行剖面

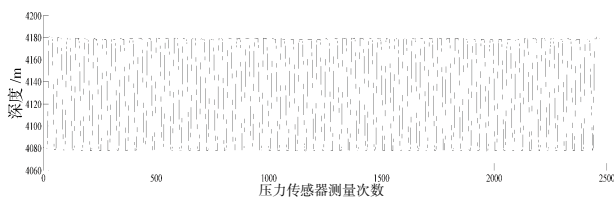


图 9 2# 运行剖面

Deep Argo 海洋观测网中使用的深海自持式剖面浮标完成 1 个 0~4 000 m 剖面运动需要 10~15 d。从海表面下潜至漂流深度,漂流一段时间后再次下潜至 4 000 m 深度,然后上浮至海水表面,为一个完整的剖面运动。此次西太平可靠性测试让待测试浮

标置于水下 4 000 m 高压环境中做剖面运动,这种高能耗、短时间的极限测试模式,证明了“浮星”自持式剖面浮标完全有能力在 0~4 000 m 水深范围内按照 Deep Argo 中的剖面运动模式运行不少于 100 个剖面,为下一步“浮星”自持式剖面浮标搭载传感器在 0~4 000 m 水深范围进行长期连续工作奠定基础。

4 总结及展望

“浮星”自持式剖面浮标的研制成功,填补了国内自持式剖面浮标在 2 000 m 以下海域工作的空白,为逐步实现全水深工作奠定基础。海洋观测的多样化需求,不断推进自持式剖面浮标的发展,向着下潜深度更深、搭载能力更强、观测时间更长、性能更加稳定可靠的方向发展。自持式剖面浮标作为一种海洋观测平台,可以搭载物理、声学、生物地球化学等多种传感器,广泛应用于海洋剖面要素测量和水下安全监视。通过船只、飞机投放至目标海域后,在水中自由沉浮,测量海洋剖面数据和探测目标信息,上浮至水面后,以卫星通讯的方式进行数据传输。不仅可以组建遍布全球海洋的观测网络,为科学家提供实时的海洋观测数据,还可以组建水下监视平台,为防灾减灾、海洋生物资源开发、重要海区的水下环境安全保障提供支持。

参考文献:

- [1] 中国 Argo 实时资料中心. Argo: 一支监测实时海洋的“水下舰队”[EB/OL]. [2019-06-17]. <http://www.argo.org.cn/index.php?m=content&c=index&f=show&catid=40&contentid=686>.
- [2] Argo home.Positions of the floats that have delivered data within the last 30 days [EB/OL]. [2019-05-19]. <http://www.argo.ucsd.edu/statusbig.gif>.
- [3] The twentieth Argo Steering Team. 20th meeting of the International Argo Steering Team[EB/OL]. [2019-06-17]. <http://www.argo.ucsd.edu/iast20.pdf>.
- [4] 中国 Argo 实时资料中心.自动剖面浮标和水下滑翔机在海洋组网观测中的应用[EB/OL]. [2019-06-17]. <http://www.argo.org.cn/index.php?m=content&c=index&f=show&catid=40&contentid=635>.
- [5] Swallow J C. A neutral-buoyancy float for measuring deep currents[J].Deep-Sea Research, 1955, 3(1): 74-81.
- [6] Davis R E, Webb D C,Regier L A, et al. The autonomous lagrangian circulation explorer (ALACE)[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 1992,9(3): 264-285.
- [7] Ollitrault M, Cortes N, Loaec G, et al. MARVOR float present results from the SAMBA experiment [C]/IEEE Conferences. Proceedings of OCEAN S'94, Brest: IEEE, 1994:III/17-III/22.
- [8] Loaec G, Cortes N, Menzel M, et al. PROVOR: A hydrographic profiler based on MARVOR technology [C]/IEEE Oceanic Engineering Society. OCEANS'98. Conference Proceedings (Cat. No.98CH36259), Nice, 1998: 42-45.
- [9] Davis R E, Sherman J T, Dufour J. Profiling ALACEs and other advances in autonomous subsurface floats [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2001, 18(6): 982-993.

- [10] Ando K, Izawa K, Mizuno K, et al. Results of field experiments and laboratory tests of domestic profiling float (NINJA)[R]. Japan: JAMSTECR, 2003.
- [11] 余立中. 我国的海洋剖面探测浮标—COPEX[J]. 海洋技术, 2003, 22(3): 47–55.
- [12] Liu Zenghong, Wu Xiaofen, Xu Jianping, et al. China Argo project: progress in China Argo ocean observations and data applications [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 36(6): 1–11.
- [13] Argo Media Center. A deep NINJA float courtesy of JAMSTEC [EB/OL]. [2019–06–17]. http://www.argo.ucsd.edu/DeepNINJA_highres.jpg.
- [14] Argo Media Center. A deep arvor float courtesy of NKE[EB/OL]. [2019–06–17]. http://www.argo.ucsd.edu/Deep_Arvor.jpg.
- [15] Teledyne Webb Research. Teledyne marine vehicles comparison brochure [EB/OL]. [2019–06–17]. http://www.teledynemarine.com/Lists/Downloads/Teledyne%20Marine%20Vehicles%20Comparison%20Brochure_2019-3-12-19.pdf.
- [16] Zilberman N, Maze G. Report on the deep Argo implementation workshop [EB/OL]. [2019–06–17]. <http://www.argo.ucsd.edu/DAIW1report.pdf>.
- [17] Float Users Group Workshop. Report from the 2nd float and CTD technical workshop[EB/OL]. [2019–06–17]. http://www.argo.ucsd.edu/Report_floattechnicalworkshop_2017.pdf.
- [18] 李醒飞, 王强. 深海自持式剖面智能浮标系统: CN, 108248762A [P]. 2018–07–06.<http://dbpub.cnki.net/grid2008/dbpub/detail.aspx?dbcode=SCPD&dbname=SCPD2018&filename=CN108248762A>.
- [19] 李醒飞, 王强. 深海浮力调节系统: CN, 207955965U [P]. 2018–10–12.<http://dbpub.cnki.net/grid2008/dbpub/detail.aspx?dbcode=SCPD&dbname=SCPD2018&filename=CN207955965U>.

Research Status and Progress of the "FUXING" Autonomous Profiling Float

LIU Jia-lin¹, LI Xing-fei¹, YANG Shao-bo¹, LI Hong-yu², XU Jia-yi¹

1. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong Province, China

Abstract: The autonomous profiling float can freely descend and ascend in the water. Because of its features of secrecy, easy to deployment, small volume, light weight, slow moving and low manufacturing cost, it can be used for long-term and continuous ocean observations and underwater safety monitoring. This paper introduces ocean observations with the global Argo array, and summarizes the development history of autonomous profiling floats and the present research status at home and abroad. According to the fact that the domestic autonomous profiling floats cannot meet the needs of modern ocean observations, the "FUXING" autonomous profiling floats with working depths beyond 2 000 m are designed to fill the technological gap. The variable buoyancy engine adjusts buoyancy by changing itself volume. The spherical glass made of borosilicate is used as a pressure housing. It has sufficient capacity to load CTD, dissolved oxygen sensor and other devices. The floats can hover at a setting depth. Satellites determine its position at the sea surface, and the floats transmit their data and receive control command via the satellites. At present, the engineering prototype has successfully passed some tests in the laboratory, the South China Sea, and the Western Pacific, verifying a number of functional indicators such as pressure housing seal, buoyancy regulation, communication control, and overall reliability and stability. It has also successfully descended to 4 000 m laying foundation for the gradual realization of full-depth work.

Key words: FUXING; autonomous profiling float; ocean observation; Argo