

863计划海洋领域海洋监测技术(818)主题办公室 编

21

世纪初海洋监测高新技术 发展战略研讨会 论文集



海军出版社

THE JOURNAL OF THE AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION

PUBLISHED WEEKLY
CHICAGO, ILL., U.S.A.

Vol. 111, No. 1
January 1, 1933



THE JOURNAL OF THE AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION
PUBLISHED WEEKLY
CHICAGO, ILL., U.S.A.

21 世纪初海洋监测高新技术 发展战略研讨会 论文集

863 计划海洋领域
海洋监测技术(818)主题办公室 编

X/9

B

19
海洋出版社

2000 年·北京

内 容 简 介

本文集收集“21 世纪初海洋监测高新技术发展战略研讨会”论文 42 篇。这些论文反映了我国科技工作者在海洋监测技术领域已取得的一些重要成果及对 21 世纪初我国海洋监测高新技术发展战略的思路。内容主要涉及观测系统及平台、生态环境渔场监测、光学监测、遥感监测、雷达监测等方面。

本文集可供有关领导和科技工作者参考及图书馆收藏。

图书在版编目 (CIP) 数据

21 世纪初海洋监测高新技术发展战略研讨会论文集 /
李启虎主编. —北京: 海洋出版社, 2000

ISBN 7-5027-4928-4

I .2... II .李... III .海洋监测-技术发展-发展战略-研讨会-论文集 IV .X834-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 10617 号

责任编辑 陈茂廷

责任印制 刘志恒

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京四季青印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1029 1/16 印张: 14.5

字数: 370 千字 印数: 1~1000 册

定价: 35.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

《21 世纪初海洋监测高新技术发展战略研讨会论文集》

编辑委员会

主 编:李启虎

副主编:袁业立 郑立中

委 员:惠绍棠 韩士鑫 施 平
李加红 殷忠斌 曹红杰

前 言

我国是一个发展中的海洋大国。大陆海岸线长 18 000 km，海岛 6 500 多个。根据 1994 年 11 月 16 日生效的“联合国海洋公约”，划归我国管辖的海域有 300 多万平方公里。利用和开发海洋是我国进入 21 世纪的重要议题。海洋高技术的发展直接与我国国家利益密切相关，包括海洋权益、减灾防灾、资源探测、环境保护等。

在国家科技部有关部门的指导下，国家 863 计划海洋领域海洋监测技术(818)主题专家组于 1998 年 11 月 29 日至 12 月 1 日在青岛组织召开了“21 世纪初海洋监测高新技术发展战略研讨会”。参加这次会议的有来自全国各地的近 70 个单位的 200 名代表。在这些代表中，除了一些长期从事海洋监测技术研究的老专家之外，还有一大批年轻的科技工作者。

这次会议的目的是汇集国内从事海洋监测技术领域工作的科技工作者，就我国下一步该领域的发展战略提出看法和发表意见；同时检阅我国青年一代海洋科技工作者的学术成果和对未来海洋高技术发展的思路。

会议通过 3 天的学术交流和特邀报告，达到了预期目的。

“818”办公室把参加本次会议的部分报告汇编成册，供有关领导和科技工作者参考。

本次会议是在青岛海洋大学举行的，会议得到了青岛海洋大学领导和有关同志的通力支持。我们在此表示衷心的感谢。

李允武同志在本文集的编辑过程中发挥了重要的作用，我们一并表示感谢。

李启虎

1999 年 6 月 18 日

目 次

关于我国海洋自动观测仪器和平台技术发展问题的若干建议	孙仲汉	1
海洋环境监测及其卫星—浮标、潜标技术	李 平 鄢 锦 肖 灵	13
“水下自航式海洋观测平台”技术研究的建议	康寿岭 张志忠 褚柳宁	20
海洋资料浮标技术研究	王军成	26
水下机器人在海洋监测中应用前景探索	沈稼焕 罗 斌	30
六自由度稳定平台在海洋自动监测中的应用	范文涛 应科科 倪火才	33
无人机海监遥系统技术发展现状与应用前景	李紫薇 刘煜彤	38
具有实时传输功能的浪、潮、流测量系统	唐原广 李世山	42
海洋生态环境污染监测光纤生物传感器	王小如 庄峙厦 陈 曦 孙大海	44
加强海洋监测高技术研究推动我国远洋渔业的发展	沈新强 沈惠民	48
利用原生动物污染指示种对海洋增殖环境的监测	宋微波 朱明壮	52
赤潮的早期探测系统	陆斗定	56
海洋渔业资源生态监测技术	梁振林	61
海洋生态环境监测与系统集成技术	吴德星 高会旺 唐学玺 王江涛 梁振林	65
海底地形地貌与水下声成像技术	张春华	69
海洋声速场的经验正交函数描述及其应用	周士弘	73
海洋声层析技术	肖 灵 李 平 鄢 锦	79
条带海底地形地貌测绘技术研究	李海森 朱志德 徐新盛	82
声相关海流剖面仪 (ACCP)	王长红	86
海洋声学技术 (水声遥测技术)	朱维庆	90
浅海声信道高速率数据传输技术研究	许肖梅	95
关于在海洋监测领域中更好地发展和利用水声技术的几点建议	钟铁成 李 军	102
合成孔径声呐 (SAS) 发展概况	孙大军 张殿伦 田 坦	105
海洋声层析监测技术	乐肯堂 郑大钧	110
水下被动声监测海洋	蒋国健 林建恒 常道庆	113
21 世纪海洋光学观测技术展望	丁永耀 王岩峰	116
世纪之交的海洋光学监测技术	曹文熙	127
光纤化学和生物传感器在海洋测量中的应用	李毛和 张美敦	144
开展机载海洋监测激光雷达系统的开发研究	卢益民 曾洪涛	149

海洋实时监测的激光布里渊散射方法	刘大禾	152
机载激光布里渊散射遥测海洋环境参数	胡企铨 陆雨田	160
海洋遥感监测现状与发展	刘建强	162
海洋遥感技术发展的机遇与挑战	李 炎 潘德炉 黄韦良	169
海洋环境污染与灾害卫星遥感业务化监测系统研究	赵冬至	174
SeaWiFS 与 AVHRR 资料几何复合方法	毛志华 黄海清 朱乾坤 潘德炉	179
海洋遥感动态信息系统技术研究	宋平舰 黄卫民 张 杰	185
卫星遥感监测辽宁海域环境污染技术	黄凤荣 李栖筠	187
雷达对海洋的监视	唐劲松 张春华 李启虎	190
多基高频地波雷达海态遥感技术	袁业术 权太范 董华春	203
高频天波雷达海洋环境监测	杨子杰 吴世才 柯亨玉 文必洋 石振华	208
高频天波超视距雷达在海洋遥感中的应用	焦培南 凡俊梅	215
高频地波雷达在海洋领域中的若干应用	柯亨玉 吴世才 杨子杰 文必洋	221

关于我国海洋自动观测仪器和平台技术发展问题的若干建议

孙 仲 汉

(国家海洋局海洋技术研究所, 天津 300111)

摘 要 分析了 90 年代尤其是最近几年国外海洋自动观测仪器和平台技术的发展动态, 根据国内的技术基础和实际需要, 对 21 世纪初期我国海洋自动观测仪器和平台技术的发展问题提出了建议。

关键词 海洋自动观测技术 海洋观测仪器 海洋测量平台 发展动态 发展战略

1 引言

海洋观测是研究海洋、开发海洋和利用海洋的基础。海洋观测仪器和海洋测量平台是海洋观测的工具和手段。当今时代是“信息时代”, 就人类与自然界的关系来说, 首先要获取信息, 然后才谈得上处理信息、传播信息、利用信息, 因此, 获取信息是最基本、最重要的一环。从这个意义上说, 海洋自动观测仪器和平台技术是海洋事业中基础的基础。

我国是个海洋大国, 但还不是海洋强国。我国的海洋经济发展、海洋开发利用、海洋减灾防灾、海洋环境保护、海洋综合管理、海洋科学研究、海洋权益斗争和海洋军事活动等, 都需要从海洋自动观测仪器和平台技术获得支持。拥有先进的海洋自动观测仪器和平台技术是我国成为海洋强国必要的前提条件之一。

海洋自动观测仪器和平台技术是海洋产业中的一个重要分支。例如, 挪威政府就把海洋观测技术作为一项创汇产业推向世界, 挪威贸易委员会专门印发了《挪威对海洋观测系统的贡献》进行宣传, 挪威首相特地在世界环境和发展委员会的一次讲演中介绍挪威 OCEANOR 公司的产品——Seawatch 系统^[1]。与世界上先进的海洋国家相比, 我国的海洋经济产值在国内生产总值中所占的比例还不高, 我国海洋自动观测仪器和平台技术在海洋经济中的比重更是微乎其微。欲使我国拥有强大的海洋产业, 势必要求海洋自动观测仪器和平台技术也有一个大的发展。

海洋自动观测仪器和平台技术涵盖的范围广泛。其中一些技术, 我国还缺乏相应的研究基础和迫切需要的用户。因此, 本文不准备全面叙述海洋自动观测仪器和平台技术各个方面的发展动态。文中所跟踪分析和建议发展的, 仅限于我国已有一定的工作基础或相关的工作基础, 又是国家需要、近期内可能较快推广使用的技术。由于了解的情况有限, 挂一漏万在所难免, 请识者指正。

2 90 年代国外海洋自动观测仪器和平台技术发展动态

90 年代特别是最近几年国外海洋自动观测仪器、海洋自动测量平台和海洋自动观测系统

的发展大体上有 3 个特点：(1) 80 年代末期、90 年代初期一些引人注目的海洋自动观测仪器在技术上有了新的突破；(2) 某些海洋自动观测平台的边界互相交叉、逐步融合，出现了新的形式；(3) 海洋自动观测系统朝着增加测量项目和提高实时性两个新的方向发展。

2.1 80 年代末期 90 年代初期引人注目的一些海洋自动观测仪器在技术上的新突破

2.1.1 声学多普勒海流剖面仪 (ADCP)

世界上第一台商品化的 ADCP 生产于 70 年代中期；1985 年后 ADCP 逐渐普及；进入 90 年代 ADCP 的使用更加普遍。在 80 年代窄带 ADCP 技术 (NBADCP) 的基础上，90 年代相继发展了宽带 ADCP 技术 (BBADCP)、相控阵 ADCP 技术 (PA-ADCP)、声相关海流剖面测量技术 (ACCP) 以及测量一个水平上海流分布的 ADCP 技术。这 4 种技术中，前 3 种我国已在跟踪研究，这里不赘述；第 4 种国内尚未引起太多的注意，有必要一提。

普通的 ADCP，不论是船载式/拖曳式/坐底式，还是自容式/直读式，均测量一个垂直面上的海流分布。在多数情况下它们能够满足使用需要，但在某些情况下，例如测量特别狭窄海峡的海流，则会遇到问题。许多狭窄的海峡往往是交通要道，其海流特别是涨、落潮流很大。海流的实时信息对于在这种海峡航行的船舶安全至为重要，但在航道的中央却难以长期使用坐底的、直读的 ADCP 测流，原因是海流强大、交通繁忙，坐底的、直读的 ADCP 不便布放和维护，另外，强流不断冲动 ADCP 和水下电缆，可能使其挪位或遭受损坏。现实的需要促使 ADCP 技术从垂直方向测量朝水平方向测量发展。美国斯克里普斯海洋研究所、RD 仪器公司、SonTek 公司和日本无线电公司均开展了这方面的研究工作。例如，日本无线电公司研制的样机从一个换能器发射水平方向的声束。声束沿着 7 个方位顺序发射，两次发射方位相差 10° ，时间相差 1 s。由一个单独的声束可以测量发射方位上的一个海流分量，使用相邻的、方位相差 10° 的两个声束即可计算出水平面上的流速和流向。7 个声束每 7 s 提供一组扇形面上水平海流分布。换能器用 6 912 个基元（垂直方向 144 个，水平方向 48 个）来形成狭窄声束。样机水平方向最大测量距离 500 m，测量单元尺度 10~99 m，1995 年 11 月在 Kanmon 海峡进行了试验^[2]。

2.1.2 波浪、潮汐和海流综合测量设备

波浪、潮汐和海流是海洋中 3 种重要的动力要素。若使用一种仪器设备同步测量这 3 种要素，了解它们的相互关系和综合效应，对于海洋工程和海洋研究很有意义。以前的仪器设备只能测量其中一种或两种要素。80 年代末期、90 年代初期开始出现波浪、潮汐和海流综合测量设备，其采用的技术不断翻新，发展到今天大致有 3 种类型。

(1) 利用压力传感器和矢量海流计技术形成的波浪、潮汐和海流综合测量设备

其代表性产品是美国 Woods Hole 仪器系统有限公司的 SeaPac 2100 型以及 InterOcean 系统公司的 S4ADW 型方向性波浪、潮汐和海流计。两者均用精密石英压力传感器测量动态压力，用人工磁场电磁海流计测量两个水平流速分量，然后进行波浪能谱和方向谱分析，得出有效波高、有效波周期、跨零周期、谱峰周期、波峰周期、最多波向、平均水位、海流两个平均分量、平均流速和流向、29 项分潮和余流等。

1997 年美国 Falmouth 科学公司 (FSI) 推出一种三维波浪海流计 (3D-ACM WAVE)。它用微切削加工的硅压力传感器代替石英压力传感器，用普通的三维声学海流计代替电磁海流计。在同样的测量准确度下，硅压力传感器比石英压力传感器价格便宜约一半；在数据处理中，三维的声学海流计又比二维的电磁海流计更具优势。因此，从长远的角度看，这种三维波浪海流计似乎更有发展潜力。

利用压力传感器和矢量海流计技术所形成的波浪、潮汐和海流综合测量设备目前在市场上占有相当的份额。其不足之处是：第一，虽然仪器标称的使用深度达几十米，但由于动态压力随着深度迅速衰减，仪器能够正常工作的深度实际有限。对压力式波浪/潮位计来说，厂商建议使用的深度仅 $5 \sim 15 \text{ m}$ ^[3]。第二，压力谱转换为波浪谱是基于一定的理论作出的，在海况恶劣时理论本身的适用性受到挑战，据之进行计算，可信度必然下降。

(2) 利用坐底式 ADCP 技术形成的波浪、潮汐和海流综合测量设备

这类设备分成两种：

一种利用坐底式 ADCP 进行海流剖面测量，同时在设备上增加第五个声束或压力传感器测量波浪和潮汐（相当于附设一个声学波浪/潮位计或压力式波浪/潮位计），如美国 EDO 公司的 APC-600 型声学剖面海流计和 SonTek 公司的 Argonaut-XR 型垂向累计声学多普勒海流计。这种设备只能得到波高参数，不能得到波向参数。

另一种既利用坐底式 ADCP 的 4 个声束测量海流剖面，又提取其信息计算波向谱，进而得出波浪的各种特性参数。国外从 80 年代后期开始这项研究，目前尚未见到正式产品。我国亦在开展相应的研究，此不详述。

与第（1）种技术所形成的波浪、潮汐和海流综合测量设备比较起来，第（2）种技术能够同时进行整个剖面的海流测量，这是一个明显的优点。它的局限性则与第（1）种技术相同。诚如某些研究者指出的那样，海面所包含的波浪信息最丰富，只要有可能，应当在海面直接测量。全球定位系统（GPS）的出现提供了这样的机会，于是第（3）种类型的测量设备应运而生。

(3) 种用差分 GPS 技术形成的波浪、潮汐和海流综合测量设备

GPS 于 1994 年全面建成。目前其应用沿着两个方向发展：一是用于各种交通工具、飞行器和机动兵器的导航和动态定位；二是用于地球动力学研究的超高精度的静态测量。把差分 GPS 技术与锚泊浮标技术结合起来进行波浪、潮汐和海流综合测量，是 GPS 技术用于地球流体力学研究的一个实例。

90 年代初，为了配合欧洲遥感卫星 ERS-1 的试验，德国天文物理大地测量研究所（IAPG）专门研制了 3 套用于校准 ERS-1 上雷达高度计的锚泊浮标。浮标上安装 GPS 接收机、倾斜传感器和膝上型计算机。GPS 天线位于浮标顶部。浮标可在以锚块为中心的、以 $2 \sim 3$ 倍水深为半径的圆圈内随波浪和海流运动。在陆地参考站上安装另外一台 GPS 接收机。在差分方式下，通过测量 GPS 载波信号的相位值来确定浮标天线相对于陆地参考站天线的三维位置，准确度达厘米数量级。根据浮标和陆地参考站的测量数据可以得出：瞬时海平面和平均海平面；分立波高和平均波高；海流（潮流）速度和方向的变化。1991 年秋 3 套浮标在北海工作了 3 个月。

其后，南非科学和工业研究委员会（CSIR）使用普通的转动式波浪浮标校准装置，对安装有 GPS 载波相位接收机的波浪浮标进行了专门的动态试验，得到了类似的结果^[4]。

1997 年挪威 OCEANOR 公司率先在市场上推出了商品化的、使用差分 GPS 技术的 Smart-800 型波向浮标。它通过测量浮标在正北、正东和垂直方向上的速度得到波浪数据。其陆地参考站可以是浮标系统岸站的一个组成部分（即把一个专用的 GPS 接收机安装在岸站内），也可以直接利用用户已有的差分订正信号源。浮标的 GPS、UHF 天线和接插件全部封闭在球形的聚乙烯壳体内，没有外露部件，布放回收甚为方便^[5]。

2.1.3 岸基雷达

70年代以来,利用岸基雷达探测海流、波浪和风的技术迅速发展,已在美国、英国、法国、日本、德国、澳大利亚等国家应用。90年代岸基雷达技术继续发展,体现在使用上就是产品形成系列,互相配套,满足不同的需要。下面列举 CODAR 和 EuroGOOS 两个例子,从中可窥一斑。

美国 CODAR 海洋传感器有限公司 (COS) 的 SeaSonde 1993 年上市,工作频率 12~25 MHz,在距离元总数 32 个的条件下,距离分辨率 3~1 km,最大探测距离 96~32 km。在标准的 SeaSonde 问世后,最近几年 CODAR 公司根据使用的需要又开发了下面几种型号:(1) Offshore WaveSonde (海上型 SeaSonde),安装于海上固定石油平台、锚泊钻井船或其他浮动平台,用于监测平台附近的波向谱和表层海流(重点是海浪)。(2) Hi-Res SeaSonde (高分辨率型 SeaSonde),主要满足在某些场合(例如海湾和港口)使用时所要求的高分辨率。工作频率改用 VHF (47~50 MHz)。在距离元总数 32 个的条件下,分辨率 300 m,探测距离 9.6 km。Hi-Res SeaSonde 1996 年试验,1997 年上市。(3) EEZ SeaSonde (专属经济区型 SeaSonde),用于满足 200 n mile 专属经济区监测的需要。工作频率约 5 MHz。EEZ SeaSonde 1998 年 4 月完成海上试验^[6]。

“全球海洋观测系统”(GOOS)是联合国教科文组织政府间海洋委员会 (IOC) 1989 年倡议建立的,1992 年为联合国环境与发展大会所接受并写入《21 世纪议程》。1997~2007 年为 GOOS 的试点实验阶段;2007 年起 GOOS 将全面运转,成为一个永久性的业务观测系统。在 GOOS 建成前,有些地区先行成立区域性的 GOOS,如欧洲 16 个国家、30 个政府机构在 1994 年 12 月成立欧洲地区的 GOOS (EuroGOOS)。1996~1997 年 EuroGOOS 对其成员目前和将来所需要使用的仪器和技术进行了一次系统的调查,1998 年春季公布了调查结果。EuroGOOS 优先需要的 14 项技术是:卫星技术和飞行计划;飞机监测,轻巧型机载分光光度计系统 (CASI);岸站验潮仪;岸基的多种探测距离的近海雷达;锚泊浮标和有关的仪器;表层漂流浮标和有关的仪器;次表层漂流浮标和剖面探测器;船载“仪器包”;拖曳体和起伏式拖曳系统;声学层析技术和声学测温技术;自治式潜器 (AUV);数据管理技术;业务化的数值模式,超级计算机,数据同化;数值模式输出显示,图形,产品分发。对其中的岸基近海雷达技术,调查认为:MIROS 微波雷达、X 波段雷达、高频海面波浪雷达 (HF SWR) 和高频天波雷达这 4 种岸基近海雷达均能提供表层海流、海面风和波谱数据,但分辨率和探测距离各不相同,分别为 500 m、10 km、180 km 和 1 500 km。在战略要地应该联合使用这些系统,以便为欧洲海域提供完整的、网格化的风-浪-流实时数据。探测距离更远的系统目前处于样机试验阶段,EuroGOOS 正在分析这种综合测量技术的潜力^[7]。

2.1.4 营养盐现场自动分析仪

营养盐监测对于海洋环境保护、海洋水产养殖和海洋化学生物研究具有重要意义。营养盐仪器的难点在于实现水下现场自动测量。与过去相比,90 年代可以说是营养盐水下现场自动测量技术快速发展的时期,出现了多种形式的仪器。其设计思路大体上有两种:一种是直接测量法,即利用传感器在水下直接测量营养盐;另外一种“微型实验室”法,即把目前实验室内行之有效的营养盐比色分析方法搬到水下,研制类似于水下微型实验室的仪器,把海水抽到仪器内测定。两者相比,前者结构简单,可以快速采样,使用方便,可惜技术上难度大,尚未进入实用阶段;后者则已经商品化,成为当前营养盐测量仪器的主流。下面列举 90 年代营养盐测量仪器的 5 种形式,其中前两种属于直接测量法,后 3 种属于微型实验室法。

(1) 离子选择电极式

90 年代中期, 美国 YSI 公司、HYDROLAB 公司和澳大利亚 Greenspan 技术有限公司等相继在自己原有的多参数水质监测仪上增加测量铵盐、硝酸盐或氯化物的离子选择电极 (ISE)。有关的产品介绍均宣称这些仪器可以在近海使用, 但由于 ISE 受到温度、酸度、离子强度和其他干扰离子的影响, 实际准确性和可靠性并不尽如人意; 有的公司干脆承认其硝酸盐和铵盐传感器只适用于淡水。

(2) 光学传感器式

1995 年英国南安普敦海洋学中心 (SOC) 海洋技术部 (OTD) 研制了一种海洋硝酸盐传感器 (MNS)。它采用新颖的光学方法, 不需要消耗化学试剂。它快速响应, 测量速率达 2 Hz, 能够使测得的硝酸盐数据具有与电导率、温度及深度相同的空间分辨率^[8]。这种传感器如投入实用, 无疑将会深受欢迎, 有关厂商亦准备接手投产, 但迄今未见正式上市。

(3) 渗透式

美国蒙特雷湾水族馆研究所 (MBARI) 研制的 OsmoAnalyzer 渗透泵硝酸盐分析仪通过水的分子扩散作用驱动渗透泵, 以半渗透膜使饱和盐溶液与淡水分离, 经过流动注射式的管道推进样品和试剂, 利用比色分析法测定亚硝酸盐/硝酸盐。90 年代中期 OsmoAnalyzer 在“百慕大试验站锚泊系统” (BTM) 上进行试验, 悬挂于水下 80 m 和 205 m 处, 每 5~10 min 取一次读数, 每 4 d 用标准泵和空白泵进行一次自校, 每次布放工作 4 个月左右^[9]。

(4) 非压力平衡式

德国 ME 公司研制的 APP4002/APP4004 型营养盐自动分析仪以比色分析原理为基础, 其核心部件是一个获得专利的泵激光度计。仪器工作深度 5 m, 水下免维护的工作时间 8 星期, 定期自校。仪器的检测限、灵敏度和准确度见表 1^[10]。90 年代前期, ME 公司与德国造船和核能研究中心 (GKSS) 合作, 在欧洲海洋领域高技术计划 (EUREKA - EUROMAR) 第 417 号项目“海洋环境遥控测量和综合监测系统” (MERMAID) 中, 成功地把该仪器应用于 3 个试验站 (海上平台、锚泊浮标和导航灯船)。其后, ME 公司、GKSS 和德国海事水文局 (BSH) 合作, 计划 1997~1999 年在 BSH 管辖的监测网 (10 个站) 上正式使用该仪器。

表 1 ME 公司 APP4002/APP4004 型营养盐自动分析仪技术指标

仪器技术指标	磷酸盐	亚硝酸盐/硝酸盐	铵盐	硅酸盐
检测限 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	0.20	0.14	0.50	0.35
灵敏度 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	0.04	0.01	0.03	0.05
准确度 ($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)	0.16	0.10	0.38	0.20
最小处理时间 (min)	8	20	12	15

(5) 压力平衡式

1996 年英国 W.S. 海洋系统有限公司推出 NAS-2E 型营养盐分析仪, 使用湿化学比色分析方法测定亚硝酸盐/硝酸盐、磷酸盐, 定期自校。到 1997 年 3 月约有 50 套 NAS-2 系列的营养盐分析仪在世界各地使用, 包括在英国南安普敦海洋学中心的 SONUS 浮标和挪威 OCEANOR 公司的 Seawatch 浮标上使用。研制者称 NAS-2E 型是目前世界上唯一经过证明的、能够在现场业务使用的营养盐分析仪。NAS-2E 型不同于离子选择电极式, 其数据能够直接与实验室标准分析方法比较; 不同于光学传感器式, 其工作不受高浓度悬浮物的影响;

不同于渗透式,其测量属于离散采样,可以准确反映营养盐时间系列值的动态性质,捕捉重要的异常事件;不同于非压力平衡式,其工作深度可达 250 m,工作时间可达 60 d。

英国 Chelsea 仪器有限公司 (CI) 1998 年推出 AQUA^{sensor} MARK III 营养盐和化学成分监测系统,采用流动分析技术测定硝酸盐和磷酸盐,也可加进其他流动分析的方法。在实验室、陆地站、剖面仪、拖曳体和锚泊浮标上均可使用。采集海面至 50 m 深度的数据。可以自校^[11]。

2.2 某些海洋自动观测平台的边界互相交叉逐步融合出现的新形式

下面以 3 对自动观测平台(表层漂流浮标——锚泊资料浮标;自治式拉格朗日循环探测器——起伏式拖曳体;绷紧式锚泊浮标系统——潜标测量系统)为例,分析它们如何交叉、融合。

2.2.1 表层漂流浮标——锚泊资料浮标

表层漂流浮标历史悠久,但一直到 1978 年 Argos 卫星定位和数据收集系统建立之后才获得迅速发展,90 年代中期全世界大约有 1 500 个表层漂流浮标在海上工作。从技术上看,90 年代表层漂流浮标发生了 3 个明显的变化。

(1) 过去表层漂流浮标主要用于大洋,随着全球定位系统 (GPS) 的建立,精确定位成为可能,开始出现了一批可供(或专供)沿海使用的表层漂流浮标,如法国 SERPE-IESM 公司的 SC25/SC25G 型、加拿大 Seimac 有限公司的 C-AST 型、日本 Toyo 通讯设备有限公司的 C-2383 型等。这些漂流浮标都同时配备了 GPS 接收机和 Argos 发射机,利用 GPS 和 Argos 双重定位,通过 Argos 或其他通讯手段传输数据。

(2) 过去表层漂流浮标几乎都是消耗式的,随着沿海漂流浮标的出现,它们变成可以回收的了。对这类漂流浮标来说,最后是否回收取决于浮标购置费与船时人工费的比较。

(3) 过去单个漂流浮标上测量的参数有限,现在增多了。在某种意义上说,单个漂流浮标测量的参数已经足以跟常规的锚泊资料浮标相提并论。例如,90 年代中期美国国家资料浮标中心 (NDBC) 按照价值工程原则设计的风速风向漂流浮标 (VE WSD),测量风速、风向、气温、气压和表层水温,还测量加速度^[12]。再如,美国海军海洋局 (NAVOCEANO) 从 1987 年开始在世界大洋实施一项业务化的漂流浮标计划,每年在海上保持 200~250 个漂流浮标,仅测量气温、气压和表层水温;进入 90 年代,美国海军则在“战争技术保障:战术海洋学”(TOWS)计划中研制 AN/WSQ-6 系列的多参数漂流浮标,测量风速、风向、气温、气压、表层水温、各层水温(温度链)、全向环境噪声和波浪方向谱^[13]。

在传统的消耗式的表层漂流浮标朝着可回收方向发展的同时,传统的可回收的锚泊资料浮标则朝着消耗式方向发展。90 年代中期,美国伍兹霍尔海洋研究所 (WHOI) 和海军研究实验室 (NRL) 联合研制了一种沿海地区使用的、廉价的、消耗式的海洋学锚泊测量系统 (XMOOR)。全套系统安装在一个直径 17.5 cm、长度 1.67 m、重量 45.5 kg 的圆柱体内,着水后自动完成整个布放过程,对不同水深能够自动调节缆绳。XMOOR 测量气温、气压、水温(25 层)、电导率和深度(各 3 层),数据通过卫星或无线电传输,使用寿命 3 个月。XMOOR 的试验样机用船舶投放,最终目标是利用飞机投放^[14]。

从表层漂流浮标和锚泊资料浮标的发展趋势看出:今后很可能出现一种介于这两种形式之间的自动观测平台,配上水帆即成为表层漂流浮标,配上锚系即成为锚泊资料浮标。

2.2.2 自治式拉格朗日循环探测器——起伏式拖曳体

与表层漂流浮标相对应的另一类海洋自动观测平台是次表层漂流浮标(中性浮标)。它所

受的浮力呈中性,在水下预先选定的等压层或等温层中漂流,根据其踪迹推算所处水层的海流。次表层漂流浮标主要有 4 种形式:(1) SOFAR (声学定位测距系统),70 年代初期出现,利用水声跟踪定位(从漂流浮标发射声信号),目前已不用。(2) RAFOS,1985 年出现,利用水声跟踪定位(漂流浮标只接收声信号)。(3) ALACE (自治式拉格朗日循环探测器),1990 年出现,不需水声跟踪,漂流浮标定期升至海面利用卫星(Argos)跟踪定位。(4) MARVOR,1993 年出现,卫星(Argos)跟踪定位和水声跟踪定位相结合。在后 3 种形式中,ALACE 发展最快,并且衍变出一系列新品种。这些品种与其他形式的海洋自动观测平台交叉、融合的特点突出。

ALACE 是美国斯克里普斯海洋研究所和 Webb 研究公司(WRC)联合研制的。其工作过程为:布放后首先在一定的深度上漂流若干星期;然后自动上升到海面,并在上升过程中进行剖面测量;在海面停留 1 d 左右,通过 Argos 定位并传送剖面测量的数据;尔后自动下潜;抵达原来的深度后继续漂流;如此定期循环升降几十次,在电源耗尽后废弃于海上。ALACE 最大工作深度 2 000 m,工作寿命 5 年,剖面测量的参数包括电导率、温度、深度、荧光和环境噪声。至 1998 年 4 月,Webb 公司已为 8 个国家 25 个研究机构提供了 1 100 多套 ALACE。

90 年代 ALACE 技术的发展主要表现在两个方面:

(1) 从单纯使用电池发展为兼用温差能源

ALACE 原来完全依靠电池供电。90 年代中期 Webb 公司研制了一种以海水温差作为能源的热机(称为“SLOCUM 热机”),并把它应用到 ALACE 上,靠它驱动 ALACE 升降。当设备在温跃层中运动时,热机从温暖的表层海水吸收热量,然后在较冷的深水里排放热量。设备中原有的电池专供测量和通讯使用。

使用 SLOCUM 热机的 ALACE 式设备有两种结构:

一种称为 SLOCUM 剖面仪。它一方面由热机推动沿着垂直方向升降,另一方面由所在深度的海流推动沿着水平方向漂流。这种剖面仪与原来的 ALACE 相似,差别仅在于升降动力的来源不同。SLOCUM 剖面仪样机 1995 年 10 月在马尾藻海试验。1998 年夏季试验第二套样机。

另一种称为 SLOCUM 滑翔器。它一方面通过热机改变浮力上下运动,另一方面通过调整壳体上水平升降翼和垂直稳定板的角速度,利用水力以一定的速度沿着水平方向滑翔,其踪迹为一锯齿线,最大航程 40 000 km,预期寿命 5 年。SLOCUM 滑翔器目前处于研制阶段,样机已进行过水槽试验^[15]。

(2) 工作海区由大洋发展至沿岸

ALACE 原来用于大洋,属于消耗式设备。最近 4 年,Webb 公司把它发展成为沿岸使用的、可以回收的、通用的运载工具,称为“多次往返式剖面仪”。其循环深度、循环次数、上升/下降速率、剖面测量方式等均可编程控制;数据传输手段可在 UHF 通讯、卫星通讯和电缆直接传送中任选一种;可从没有专用设施的小船布放,也可以在布放点之间拖曳。多次往返式剖面仪 1997 年夏季样机试验,1998 年夏季正式试验^[16]。

通过上面分析可以看出:ALACE 技术已经和起伏式拖曳体技术自然地融合在一起了,SLOCUM 剖面仪/滑翔器和多次往返式剖面仪今后很可能代替某些拖曳体(甚至某些自治式潜器)。特别值得一提的是:这两项研究均列入最近 5 年美国商业部“小型任务创新研究计划”(SBIR)。SBIR 遴选项目的原则是:具有创新性和可行性;满足商业部(美国国家海洋

大气局隶属于商业部)的迫切需要;与正在进行的研究有关;能够商业化。从这些原则不难想见上述两项研究的高技术含量。

2.2.3 绷紧式锚泊浮标系统——潜标测量系统

锚泊浮标系统和潜标测量系统从 70 年代起分别在国外广泛使用;80 年代中期两者互相结合,形成绷紧式锚泊浮标系统;90 年代这种系统有了新的发展。

目前世界上规模最大的绷紧式锚泊浮标系统是美国、法国、日本、韩国和台湾合作布设的“热带海洋大气阵列”(TAO)。它是“热带海洋全球大气计划”(TOGA)的一个关键组成部分,包含了 69 套绷紧式锚泊浮标系统,布放在太平洋 $8^{\circ}\text{N}\sim 8^{\circ}\text{S}$ 、 $137^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{W}$ 之间水深 3 500~4 500 m 的海区。阵列使用直径 2.4 m 的、玻璃纤维制作的、圆环形的 ATLAS 浮标(自治式温度链采集系统),测量风速、风向、气温、相对湿度和表层水温。浮标下面悬挂仪器的绷紧式锚泊系统有两种类型:一种只测量各层水温,在表层到 500 m 深度的电缆上配置了 10 个温度传感器和 2 个压力传感器;另一种以测量海流为主,分层悬挂矢量测量海流计(VMCM)/矢量平均海流计(VACM)/声学多普勒海流计、温度和电导率记录器。少数系统上还有雨量计、短波辐射计和生物-化学传感器等,供特殊研究用。TAO 阵列 1984 年 12 月开始布放,1994 年 12 月全部完成;目前保持业务运行;今后将成为“全球海洋观测系统”(GOOS)的一个重要组成部分^[17]。

绷紧式锚泊浮标系统的另一典型应用是美国的“百慕大试验站锚泊系统”(BTM)。它建立于 1994 年 6 月,是一个专供海洋仪器设备进行长期试验的深海锚泊系统,同时用于卫星遥感数据的真实性检验。表 2 列出了在 BTM 上悬挂的进行长期试验的仪器设备以及为了比测和收集试验站的背景资料而加挂的配套仪器。所有水下仪器设备的测量数据都通过感应式调制解调器耦合,利用一根单芯的、公共的锚泊缆绳实时传送给海面浮标(回路的另一部分由海水完成)。这种数据传输方式是 BTM 与 TAO 阵列的一个明显区别,也是绷紧式锚泊浮标系统技术在 90 年代的一个进步。目前 BTM 计划仍在执行,系统每次海上工作时间约 4 个月^[9]。

2.3 海洋自动观测系统两个新的发展方向

90 年代的海洋自动观测系统明显地朝着增加测量项目和提高实时性两个方向发展。70 年代和 80 年代也都作过同样的努力,但成效以 90 年代最为突出。

(1) 增加系统的测量项目

随着计算机技术和通讯技术的发展,目前各种海洋自动观测系统在系统控制、数据采集、处理和传输方面的技术水平相差不大;不同系统之间的差距主要表现在测量项目及其使用的传感器/仪器/设备上。

例如,美国国家资料浮标中心(NDBC)管理着 71 个锚泊资料浮标站、68 个海滨-海洋自动气象站(C-MAN)和 30 个高空剖面仪地面观测站。多年来 NDBC 一直努力在这 3 类站上推广通用的数据采集、处理和传输系统,至今已经推出了 6 代。其中第 6 代“多功能采集和报告系统”(MARS)1993 年完成样机,经过几年的试验和评价,1997 年起逐步在海上使用。MARS 准备扩展的测量项目是现有测量项目的 1 倍。

再如,德国海事水文局(BSH)原来管理着波罗的海和北海的一个称为 MARUM 的监测网。90 年代中期它与德国造船和核能研究中心(GKSS)合作,准备把欧洲海洋领域高技术计划(EUREKA-EUROMAR)第 417 号项目“海洋环境遥控测量和综合监测系统”(MERMAID)的成果推广应用到 MARUM 站上,增加一系列海洋化学和生物项目,构成一个智能

化的海洋污染监测网。其已有的和计划增加的测量项目见表 3。可以预计，这个计划一旦完成，MARUM-MERMAID 将会成为世界上测量项目最齐全、高技术装备程度最高的海洋自动观测系统。

表 2 百慕大试验站锚泊系统 (BTM) 悬挂的仪器设备一览表 (布放点水深: 4 554 m)

仪器设备名称		数量	悬挂深度
新研制的仪器设备	多参数锚泊系统 (MVMS), 测量水温、海流和光学特性 (包括 660 nm 光衰减系数、受激叶绿素荧光强度、有效光合作用辐射、683 nm 自然荧光天底方向上行辐射亮度等)。	2 套	49 m、100 m
	锚泊光学系统 (MORS), 测量 6 个波长的下行光谱辐照度和天底方向上行光谱辐射亮度、683 nm 自然荧光强度、标量辐照度、有效光合作用辐射、倾斜、深度、温度等。	2 套	14 m、33 m
	生物光学系统 (BIOPS), 测量叶绿素荧光、有效光合作用辐射、9 波长的光谱衰减系数和光谱吸收系数。	2 套	19 m、86 m
	OsmoAnalyzer 渗透泵硝酸盐分析仪	3 套	80 m(2 套)、205 m
	痕量元素串行采样器系统 (MITESS)	1 套	43 m
	感应式调制解调器遥测系统		
配套的仪器设备	3D ACM 三维声学海流计	1 套	68 m
	声学多普勒海流剖面仪 (ADCP)	1 套	204 m
	S4 海流计		
	自容式温度记录器 (TPOD)	6 套	2 m、21 m、52 m、69 m、75 m、150 m

表 3 德国海洋环境遥测测量和综合监测系统 (MERMAID) 测量项目一览表

MARUM 测量项目	MERMAID 比 MARUM 增加的 测量项目 (1996~1999 年)	MERMAID 计划增加的测量项目
风速/风向	延时荧光	光合作用辐射 (PAR)
气温	光衰减	辐射平衡
气压	多色光衰减	降水量
湿度	磷酸盐	测雨雷达
能见度	硝酸盐	降水沉淀物
总辐射	亚硝酸盐	荧光 (叶绿素)
水温 (5~7 层)	铵盐	颗粒/絮凝物尺寸
电导率 (2 层)	硅酸盐	直接采水
溶解气 (2 层)	有机污染物采样	
放谢性 (1~2 层)	痕量金属采样	
流速/流向 (2 层)		
潮位		

(2) 提高系统的实时性

以往的海洋自动观测系统基本上属于“定时观测系统”，即按照一定的间隔（例如 1 h、3 h 或 6 h）定时进行观测，用户如果在这段时间间隔内需要使用数据，系统所能提供的只是前一个时次的数据。这种工作方式对于一般使用来说已经足够，但在某些情况下则不敷需要，例如，重要港口日常的作业管理和航行调度，有害物质泄漏时的紧急响应，风暴潮袭击期间的抗灾救灾等，都希望海洋自动观测系统提供实时的、而不是前一个时次的数据。现实的需要