

我国 A rgo 浮标的设计与研究

余立中, 张少永, 商红梅

(国家海洋技术中心, 天津 300111)

摘 要: 自沉浮式剖面探测浮标是一种海洋观测平台, 首先应用在国际 A rgo 计划, 故又称之为 A rgo 浮标, 专用于海洋次表层温、盐、深剖面测量。仪器布放后自行在大海中工作 2 a 以上, 直至电源耗尽; 2004 年 11 月 8 日实验的 A rgo 浮标潜入深度已达到 1 900 m, 历时两年的浮标研究工作, 在下潜深度、上浮水面、剖面测量、数据处理、卫星传递数据等功能上已经达到国际 A rgo 组织的要求。文章详细阐述了剖面浮标的设计与研制内容和各种试验项目及所得数据, 不仅为浮标设计提供科学的实测数据, 还为今后该仪器产品化进程提供大量可靠依据和检测方法。

关键词: 剖面探测浮标; 国际 A rgo 计划; 剖面测量; 下潜深度; 温、盐、深 (CTD) 测量

中图分类号: P715.2

文献标识码: B

文章编号: 1003-2029 (2005) 02-0121-09

引言

2004 年 11 月 8 日搭载雪龙号赴南极途中实验的 A rgo 浮标在印度尼西亚爪哇岛以南的海面布放, 位置是 10.903S 115.559 E。从互联网传回的数据表明浮标布放后按照预定程序工作, 实际潜入深度已达到 1 900 m, 进行了 1 900 m 至水面的剖面测量。至此, 历时两年的 A rgo 浮标研究在下潜深度、上浮水面、剖面测量、数据处理、卫星传递数据等功能上已完全达到国际 A rgo 组织的要求。

自沉浮式剖面探测浮标是一种海洋观测平台, 首先应用在国际 A rgo 计划, 故又称之为 A rgo 浮标, 专用于海洋次表层温、盐、深剖面测量。仪器布放后自行在大海中工作 2 a 以上, 直至内装电源耗尽; 当中无法对其进行维护, 浮标借助 A rgo s 卫星定位与数据传输系统将采集资料传回。

我国剖面浮标的研究工作始于“九五”计划末期, 课题研究解决了剖面浮标的数项关键技术。“十五”863 海洋监测技术主题立项正式研制剖面探测浮标。2002 年 10 月装载 SB-41CP 型 CTD 的国产剖面浮标科研样机试制成功并在第五届国际 A rgo 科学组会议展示。经有关专家商讨, 将其命名为中国海洋剖面探测浮标, 英文名为 China Ocean Profiling Explorer 简称 COPEX。在历次海上试验中, 较成功的有在水深 1 000 m 附近, 海上连续工作 309 d, 进行了 70

个剖面测量的原理性试验。有下潜深度与理论计算和实验室深度模拟测试相符, 水深达 1 900 m 的下潜深度研究试验等, 在历次实验收集的大量实测数据, 为浮标设计提供了宝贵的计算依据。

1 浮标工作原理

1.1 功能

A rgo 浮标长期工作在海上自动沉浮, 在上浮过程采集温盐深数据。到达水面后将采集存储的数据通过 ARGOS 平台发射终端 (PTT) 传送给卫星, 借助 ARGOS 卫星系统定位及将数据传输给用户。

1.2 原理

(1) 浮标沉浮: A rgo 浮标是根据阿基米德原理, 让浸在水中的物体重量不变, 仅改变它的体积, 使物体在水中所承受的浮力发生变化。当浮力大于重力时该物体上浮, 浮力小于重力时该物体下潜。当浮标保持浮力最大时可长期漂浮在水面, 当浮标调整自身体积, 使水中重量与所在深度所承受的浮力相等时, 浮标可以处在中性状态在该深度停留。通常, A rgo 浮标在水中停留设置成三种状态: 一是水面漂浮, 进行卫星通讯和定位 3~6 h; 二是水下停留 1 000 m 水深, 此处滞留 7~10 d; 三是采集起始, 根据海洋学家的需要一般取在 2 000 m 水深处, 抵达此深度即上浮。

用于改变浮标体积的关键部件是一台单冲程柱塞泵和置于浮标体之外的可变体积皮囊。我们将皮囊制造成双腔结构, 用一坚韧的橡胶膜将皮囊分隔成两部分, 分别用来盛油和气。当柱塞泵正向行程, 将泵内的液压油推进油囊, 浮标体积就增大。反之, 油泵回程时, 油囊内的油被抽回柱塞泵,

收稿日期: 2004-12-28

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2001AA 630203)

体积就缩小。油囊的容积设计成, 从“零”体积开始, 容纳油泵推出的全部液压油后具有从水下最深点上浮到水面的最大浮力。并且, 从理论上讲, 可以通过改变其体积的变化量, 实现在水面与最深处之间的任何深度上让浮标处于中性状态。

为确保浮标漂浮在水面时的通讯正常进行, 其内部还专门设计一气囊涨缩回路, 它是由一台小气泵和单向阀、三通阀、管路, 连通气囊组成。该系统可将浮标壳体内部的剩余气体泵入气囊使之涨大, 让漂浮在水面的浮标更高的浮出水面, 抬高露出的天线, 保证通讯顺利进行。当浮标进入下潜动作, 外压将气囊内的气体压回壳体, 保证了浮标顺利下潜。

(2) 数据采集: 是一台专在剖面浮标上使用的高精度 CTD 传感器。由于浮标常年在大海工作不可回收, 因此它必须具有高稳定性和低功耗的特点。由于仪器长期在海上工作, 又不可能回收进行处理, 因此, 传感器探头污染是难以解决的难题。根据对历史数据的研究, 海洋学家认为, 大洋深度在 2 000 m 以下时, 它的温盐参数几乎不变。根据这一现象, 将浮标的剖面数据采集起始点设在 2 000 m, 上升到海面一共采集 70 组剖面数据。由于有了本台、本次的采集数据, 参照历史资料, 后期对采集到的全部数据进行同化处理工作, 就有了本台传感器所采集数据的修正依据。

(3) 浮标定位与通讯: 浮标通讯可以是单向的, 仅向卫星发送数据。它必须选用具有微功耗的发射机和可在地球表面任何位置定位及可传输相当数据量的卫星系统。该系统还应具备有在互联网传递成功运作的经验, 使用户可靠、实时接收到浮标数据。现在, 国际上通常选用的是 ARGOS 卫星定位与数据传输系统。

(4) 控制电路: 浮标内的全部执行机构必须由一台低功耗、高性能的单片机来控制, 统一指挥, 让各个部件按照实现浮标功能的要求协调工作。

令控制电路正常工作的是根据浮标工作顺序而编制的控制程序; 将压力、油泵位置信号, 结合停留深度所需的计算体积、水下停留时间、能够到达的最大深度等数据, 设计出可靠实用的工作程序控制浮标运行。

2 浮标的组成与构造

2.1 浮标的组成

根据 A rgo 浮标所具有的功能, 它必须有具备如下性能的组成部分:

(1) 有一个圆柱形耐压壳体, 确保仪器在水下 2 000 m 的密封和安全;

(2) 在壳体外部有一个与其内部部件连通, 具有可靠隔离的双腔结构的可变体积皮囊;

(3) 一台可以在水下 20 M Pa 的外压下将一皮囊体积涨大的柱塞泵及油路系统;

(4) 一台可以在水面将气囊体积涨大的气泵和气路系统;

(5) 一台 ARGOS 平台发射终端 (PTT);

(6) P I C 16 F 877 CPU 组成的微处理控制器;

(7) 一台可在大海长期工作的高精度温盐深传感器;

(8) 一次性锂电池组, 它的容量和性能需保证浮标在海上连续工作 2 a 以上。

2.2 浮标结构

浮标内部为一矩形底板——机芯, 该底板上装有柱塞泵、气泵、控制电路板、电池组等浮标内部的全部部件。机芯的另一重要用途是将浮标上中下三部分连结成一体并使其密封, 浮标外观与剖视见图 1。

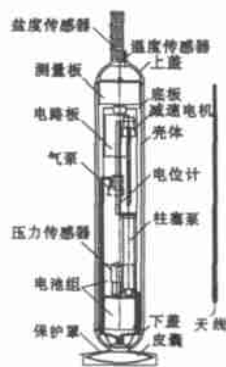


图 1 剖面浮标外观与剖视图

(1) 浮标端盖

浮标的上下端盖上面装置的部分均在标体以外, 其中: 上盖: 是一半球形壳体, 与壳体相接处采用 O 型密封圈结构。顶部平台上通常装有海鸟或 FSI 公司专为 A rgo 浮标生产的 CTD, 其外观如图 2、图 3 所示, 黑色杆状物是 ARGOS 通讯天线。



图 2 装 SB-41CP 型上盖

下端盖: 包括下端盖和皮囊, 其结构如图 4 所示。双腔

结构的皮囊及与下端盖连接部位的密封结构是设计应解决的重点, 装配后连结处密封压力实验须达 25 MPa 的耐压要求。



图3 装PSICTD的上盖

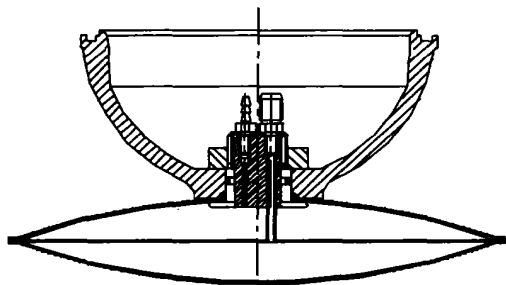


图4 下盖结构

由于剖面浮标工作是长期在水面和水下 2 000 m 交替进行, 为防止浮标体在水面低压时出现泄漏, 通常采用的是将浮标内部抽成真空状, 对外形成负压。在常压时外界就已在上下端盖预加一外压力, 确保高低压均不泄漏, 还可保护内部电子器件减少氧化现象。

(2) 高压油路和气路系统 (见图5)

油路其实很简单, 柱塞泵直通油囊。皮囊在浮标壳体之外, 处在海水包围中, 因此它所受到的外压直接反映了海洋深度。

气囊中所充的气体是浮标壳体内抽真空所剩余的残留气, 气路中需要用单向阀和三通阀实现气囊与壳体内空间在特定位置处接通与关闭。

高压柱塞泵: 柱塞泵的动力是一台微型直流电动机; 通过高减速比的微型减速器将电机转速降低和输出以较大的转矩, 使滚珠丝杠旋转带动活塞平移动, 使活塞足以推动因 20 MPa 深海压力产生 1 600 N 的阻力。图6是该泵设计的内部结构。

(3) 为保证浮标可靠上浮的专项设计

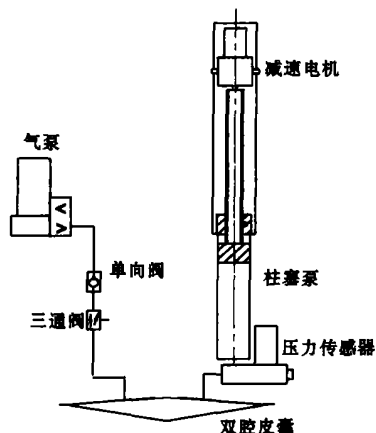


图5 油、气路原理图

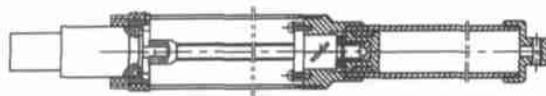


图6 高压油泵结构图

设置辅助油缸, 增大浮标的上浮能力: 海水密度随地理位置的分布会有较大区别, 要将浮标用在不同海区, 用户会遇到专业性很强的参数重新设置问题。此设计出于提高浮标上浮能力, 即确保浮标可靠上浮, 又不需用户针对不同海区的情况提出各自的要求。

从计算得知并经实验验证, 浮标从水下上浮到水面的能力与皮囊体积和浮标本身体积之比有关 (V/V_0), 该比值愈大浮标上浮能力愈强。但由于受到浮标体积与耗电量须严格限制等原因, 不能随意加大柱塞泵的油缸容积, 采用不消耗能量的预置力辅助油缸措施是加大 V/V_0 值的方法之一, 借助压缩气体或弹簧在受外力不同时其活塞位移会发生变化来增大油囊体积的变化量。设计以某一预定压力为分界, 皮囊中将有更多的油量出自辅助油缸, 从而加大 V 值, 提高浮标上浮能力。其工作原理如下, 假如设定值是 3 MPa, 在以下 3 种情况时: 一是处在水面, 外界压力 $P = 0$, 辅助缸内的油全部注入皮囊, 使之膨胀到最大, 稳定漂浮; 二是下潜, 外界压力 P 逐渐升高, 即随外界压力的升高, 皮囊中的油逐渐被压回辅助缸, 3 MPa 时皮囊收缩到最小值, 浮标可潜入到预定深度; 三是上浮, 外界压力 $P < 3$ MPa, 预置力将辅助缸油再次逐渐注入皮囊, 到达水面后皮囊又可涨到最大, 该过程有助于浮标上浮。

可以现场拆卸检修和封装的抽真空设计: 上盖结构特有的抽真空密封装置, 使未布放的浮标可以在现场拆卸浮标进行内部检修。

3 浮标控制与电路

3.1 浮标控制框图 (见图 7)

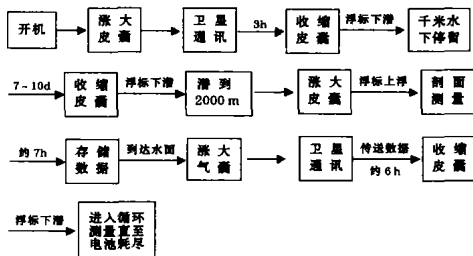


图 7 浮标控制框图

浮标的工作过程是: (1) 开机, 浮标涨大皮囊在水面漂浮, 进行 ARGOS 通讯; (2) 收缩皮囊, 浮标下潜到预定深度; (3) 到预定滞留时间, 皮囊再次收缩, 下潜到采集数据所需的深度; (4) 到达设定深度立即涨大皮囊逐渐到最大体积, 浮标上浮, 采集预定层深的数据并存储; (5) 浮标到达水面, 涨大气囊; (6) 与 ARGOS 卫星进行 6 h 通讯, 传输本次剖面测量所存储温、盐、深数据; (7) 收缩皮囊, 浮标再次下潜, 进入第二个剖面测量; (8) 循环工作直至电池耗尽。

3.2 浮标电路

(1) 电路组成: 浮标电路由控制电路、执行元件及电源组成。控制电路由一块电路板构成; 执行元件有: CTD 测量传感器、油泵电机、气泵电机、Argos 发射板等电器; 多组电池组成的电源, 通过电源控制器根据控制程序将电能提供给各个执行元件。其电路组成如图 8 所示。

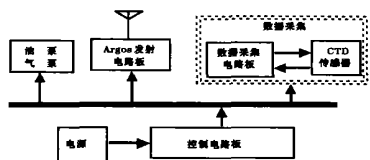


图 8 浮标电路

(2) 控制电路框图: 控制电路原理图如图 9 所示。浮标的控制程序预先写入 CPU, 中央处理器按照控制程序工作, 根据采集的压力、活塞位置等控制信号向各执行元件发出工作或停止命令, 使浮标下潜、定深漂流、上浮测量等循环往复作业。

3.3 浮标数据采集与存储

(1) 数据采集: 剖面浮标用于采集海洋次表层的温、盐、深剖面数据, 海洋学家所需的水文资料是从水深 2 000 m 处

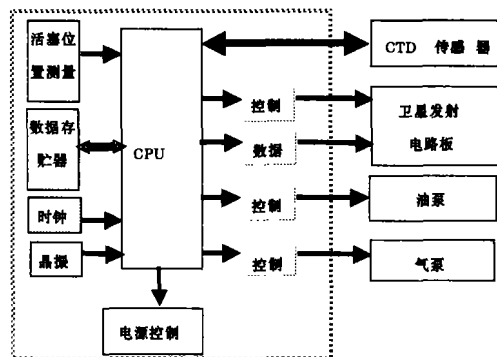


图 9 控制电路原理

向上爬升直至水面的分层数据, 按照国际 Argo 组织的认可为 71 层。因此, 浮标专用 CTD 是本仪器上的唯一测量传感器, 至今为国际浮标生产商所接受的生产厂家只有美国的 SB 和 FSI 两公司, 目前国内尚无此产品。由于剖面浮标在大海工作时间均在 2 a 以上, 因此它必须在测量准确度、高稳定性和低功耗三个指标上予以满足, 为对比电极式 (SB 公司) 和感应式 (FSI 公司) CTD 的各自特点, 我们将之装在三台样机上进行对比试用, 获取采集实测数据, 作为最优设计的依据。

(2) 数据存储: 数据存储器采用低功耗的串型 EEPROM X24128, 用来暂存每一次的剖面测量数据, 引脚 SCL 为串型时钟, 用于使所有数据随时钟同步输入器件和从器件输出; 引脚 SDA 为串型数据, 是双向引脚, 用于把数据送入器件和从器件送出数据; 它与 CPU 的连接关系如图 10 所示。

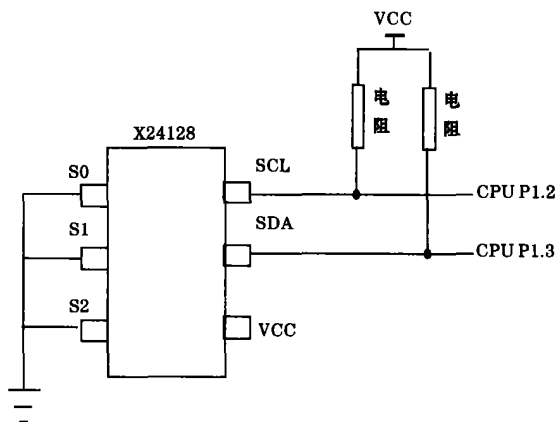


图 10 数据存储电路

3.4 浮标通讯

海洋学家希望剖面浮标的数据实现实时传输, 根据其数据量大、必须要有定位数据、不可维修的在海上任何位置独立工作数年、通讯设备功率小等特点选用 ARGOS 卫星定位与数据传输系统进行通讯。其特点是: (1) 内设 Argos 发射

平台终端 (PTT), 用户可通过 Inter 网准实时接收数据;

(2) 按国际 A rgo 计划要求传输数据, 其内容是: 浮标自身的信息: 仪器编号, ARGOS 项目号, PTT 识别 ID, 负责人, 剖面号, 下沉开始时间, 各组电池电压, 气泵工作时间, 还有漂移层温度、盐度、压力和参考深度时的活塞位置、剖面终止标志等; 每次剖面 CTD 测量数据: 压力、温度、盐度、CRC 校验值; 浮标在海面时的定位数据: 经、纬度/年/月/日/时/分/秒及卫星系统参数。(3) 数据格式与 A rgo 计划兼容。

4 浮标试验

设计是根据浮标实际工作要求进行, 在各部分的设计完成后其功能必须通过大量实验室试验予以验证切实可行, 在此基础上再进行可靠性考验。

4.1 实验室试验

实验室试验的项目有: 高压油泵和油路系统的密封试验, 高压油泵满载可靠性检验, 浮标整体耐压试验, 程序运

行及整机电路考机试验, 下潜深度标定等 5 项内容。

(1) 高压油泵满载可靠性检验

将油泵与一调压稳定的油路连接, 连通出油和进油回路。油路使油泵的出油与进油连成一循环系统, 借助油泵自身动力令整个系统在油泵升压和回程时将油形成闭路循环, 设计恰当的柱塞泵自动循环工作控制电路, 即可让油泵连续运转进行负载可靠性试验。

由于浮标在体积和重量方面的严格限制, 现只能选用 10W 以下的微型电机, 12 V 电压时最大工作电流是 1.3 A。按照现在设计的油泵尺寸, 泵压 20 M Pa 时电机的工作电流是 0.64~ 0.77 A 左右 (由柱塞泵加工及电机、滚珠丝杠组装后的误差带来的负载不均衡)。在可靠性实验过程中应认真记录在满载时的电机电流, 及时发现超过 0.8 A 电流的出现几率。若长期工作在 0.8 A 以上, 则必须检查丝杠与活塞的连接处, 将该处的摩擦损耗降至最低, 确保将电机的输出转矩主要用在活塞克服在水下高压时所需的推动力上。

研制中柱塞泵选用不同丝杠—活塞连接机构的满载试验工作电流见表 1。

表 1 油泵负载试验工作电流

项目	1	2	3	4	5	6
压力 (M Pa)	电流 (A)	电流 (A)	电流 (A)	电流 (A)	电流 (A)	电流 (A)
0	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
2	0.28	0.23	0.27	0.22	0.22	0.22
4	0.35	0.28	0.32	0.25	0.24	0.25
6	0.47	0.33	0.39	0.31	0.31	0.32
8	0.58	0.38	0.47	0.34	0.34	0.34
10	0.70	0.45	0.56	0.38	0.38	0.39
12	0.74	0.51	0.65	0.44	0.45	0.47
14	0.68	0.56	0.72	0.48	0.49	0.50
16	0.90	0.64	0.79	0.55	0.55	0.58
18	0.97	0.72	0.87~ 0.92	0.63	0.62	0.66
20	1.03	0.84	1.03	0.65	0.67	0.76
说明	使用单滚珠的轴端结构	使用多滚珠的轴端结构	使用静压载荷 0.8T 直杆关节轴承的轴端结构, 泵回程时出现明显噪声。	改进型 $\phi 4$ 推力轴承轴端结构	改进型 $\phi 4$ 推力轴承轴端结构, 保压 72h 高压启动	改进型 $\phi 4$ 推力轴承轴端结构, 保压 72h 高压启动, 运转 30 m in 后的最大工作电流

为继续考验油泵性能, 在未将油泵接入浮标系统之前, 仅靠自身满载 (20 M Pa 压力下) 自动往复运转 41 次循环 (每个循环相当于一次剖面测量) 后, 再将该油泵装入浮标, 用正式使用的浮标电路和压力传感器, 用试验控制程序, 将浮标放入可视压力罐, 进行 20 M Pa 外部静水压, 模拟海底 2 000 m 深负载试验。连续 72 h 的自动循环, 油泵满载又运转 27 个循环。试验后再对浮标全拆卸进行彻底检查, 以便继

续发现问题。实验证明, 油泵的设计和加工已达到对浮标要求的指标。

(2) 油路系统的密封试验

在正式油路安装完成后, 用油泵增压至 25 M Pa, 保压 24 h, 检验油路无泄漏为合格。

(3) 整机耐压试验

浮标组装完成, 整体放入压力罐进行外水静压力试验。

实验压力须是工作压力的 1.25 倍, 保压 12 h 以上不泄漏为合格。

(4) 下潜深度标定

浮标的设计潜入深度是由其内部所加入的配重决定, 配重的标定和验证实验是浮标要达到预定潜入深度的关键。

- 首先用压力法测算浮标体积: 全收缩皮囊, 将浮标底部栓一质量均匀的链条后放入已注淡水的可视压力罐中, 在 0~20 MPa 范围升压, 观察在升压过程中浮标上浮所提起的链条数量 (即浮力), 记录数据不少于 10 个点。

- 用实验数据计算各压力下对应的浮标体积 V_{0i} : 根据实验用水的密度 (由于温度影响当时的淡水密度不一定是 1) 和不同压力点的水密度及浮标的浮力, 应用“浮力=体积×水密度”公式可求出 10 点压力值对应的浮标体积。

- 求证压力—配重回归方程, 计算常压浮标体积 V_0 : 根据从实验得到的浮力可描绘浮力—压力曲线, 这是一条在 Y 轴上有一固定截距的斜线。从而推导出压力—配重 (浮力) 的函数关系:

$$F(p) = A \times \rho - B$$

式中: $F(p)$ 是浮力; 斜率 A 表示随深度 (压力) 变化浮标浮力的增加量; ρ 是对应压力下的水密度; 截距 B 表示浮标在空气中的重量 M_0 , 即浮力、浮标体积、水密度和浮标空气中重量的关系式:

$$F(p) = V_0 \times \rho - M_0$$

计算浮标常压下体积:

$$V_0 = [F(p) + M_0] \div \rho$$

式中: M_0 为浮标在空气中重量; ρ 为实验水常压下的密度。

- 计算 20 MPa 下浮标应加的配重 $M_{配}$: 考虑浮标在常压下所受的空气浮力 ($V_0 \times \rho_{空气}$) 和水下受压后的体积变化量 (约 0.45%), 考虑这些因素后计算浮标在 20 MPa 下的体积和成为中性状态所应加载的重量, 即 $M_{配}$ 。

- 实验确定浮标体积 V_0 : 将计算配重放入浮标壳体内, 重新放进压力罐, 升压到 20 MPa, 在此压力附近仔细寻找浮标上浮点。有必要的微调计算 V_0 值, 重新计算对应的中性点, 直到 20 MPa 压力下浮标呈中性状态的实验与计算值相符, 此时浮标体积才是要求的真正 V_0 值。

- 实验确认已测算配重的浮标在水面漂浮状况: 将最后使浮标在 2 000 m 压力下呈中性的配重放进壳体内, 安装好天线 (注意折算各丝堵的水中重量), 皮囊全涨大。观察此浮标在淡水中的漂浮状况, 保证天线部分约有 20~30 cm 在水面以上的姿态为合格。

- 折算海水环境所需的配重: 选定布放海区, 根据历史数据计算海表面和 2 000 m 水深处的海水密度, 用该密度和已确认的 V_0 计算使浮标在 2 000 m 呈中性所需的配重。计算校核装此配重的浮标在海面漂浮状态合格后即为可实际布放的浮标最后重量。

(5) 程序运行及整机电路考机试验

将装有根据浮标在海上工作过程编制运行控制程序的主控电路板、Argos 发射板、气路、油路系统、电池组等组件的正式浮标通电运行, 开机后按照浮标运行梯形图检查各个时段的运行状况。至少需检查五个周期以上的循环, 察看皮囊的涨大、缩小和卫星通讯接收的数据, 全部无任何问题才为合格。

4.2 海上实验

(1) 浮标在室内实验完成后还进行过多种海上试验, 来检测自然环境中浮标的各种功能和技术指标, 进行的实验有海上通讯实验、CTD 测量试验、潜入深度试验和可靠性实验。

以上的试验即验证了浮标的真实性能, 又可在各项实验中得到大量真实数据, 用于设计的校对和修正。

(2) 实验浮标海上布放与运行

布放时间: 北京时 2003-02-04/12: 03

布放位置: 20.75N 117.85 E

展开深度: 0~300 m

布放海况: 4 级

浮标状态: 布放后浮标漂浮姿态及电路工作均正常。

数据采集: 每个周期的数据齐全、可用, 第二周期即进入整机可靠性实验。

浮标寿命: 在海上工作到 2003 年 5 月 10 日共运行 96 d。

实验用剖面浮标于 2003 年 2 月 4 日布放在南海 20.75N 117.85E 处, 此后一直在互联网上接收浮标采集的数据, 这些首次得到的宝贵资料和一手数据用于了解浮标在下潜、水下漂移和上浮的全过程, 可描绘它在水中运动的轨迹和研究、计算水下各个过程的平均升潜速度, 将成为浮标体积、重量、浮力等计算的基本参数以及浮标工作控制程序设计的依据。

控制浮标工作过程的程序是按照我们为得到专用数据的需要来编排, 浮标上仅装有压力和温度传感器, 设定下潜深度在 1 000 m 以内。浮标工作过程是这样: 布放后先在水面停留 6 h, 进行 Argos 通讯。然后完成下潜、水下漂移和上浮、水面通讯等各个程序, 如此相同的不间断循环, 直至收不到数据为止。从传回的数据分析, 前两个多月的时间浮标工作正常, 海面漂浮、发射数据和下潜、水下停留等动作环节均按预定程序执行。由于下潜最大深度只达 270 m, 浮标受上层流的影响较大, 自布放以来一直向正西和西南方向以较快速度飘移, 直至接近海南岛南端海岸。4 月 22 日后估计因浮标搁浅其位置不再改变, 5 月 10 日 2 点收到最后一条信息。

(3) 浮标采集测量的典型曲线

时间-深度

根据采集数据整理列表 2 并绘制如图 11 的曲线。

浮标水下停留轨迹

表 2 下潜、上浮运动数据

时间 (m in)	深度 (m)	时间 (m in)	深度 (m)	时间 (m in)	深度 (m)
0	0	104	245	190	225
8	0	112	254	192	202
16	0	120	261	194	176
24	46	128	266	196	150
32	95	136	260	198	124
40	139	144	254	200	96
48	156	152	263	202	70
56	176	160	267	204	41
64	194	168	263	206	10
72	221	176	258	208	0
80	233	184	257	210	0
88	243	186	256	212	0
96	249	188	244		

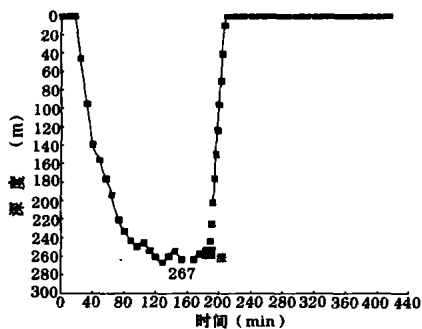


图 11 浮标升潜运动曲线

表 3 水下停留 8 h 运动轨迹的数据

时间 (m in)	深度 (m)	时间 (m in)	深度 (m)
0	0	444	41
8	0	464	41
16	0	484	55
24	7	504	43
32	35	524	48
40	45	544	61
48	46	564	61
56	43	584	60
64	48	604	54
72	41	624	53
80	39	644	65
88	37	664	70
96	42	664	74
104	43	672	14
112	34	680	0
120	46	688	0
128	44	696	0
136	46	704	0
144	52	712	0
152	46	720	0
160	39	728	0
168	41	736	0
176	33	744	0
184	34	752	0
204	34	760	0
224	38	768	0
244	30	776	0
264	36	784	0
284	28	792	0
304	30	800	0
324	34	808	0
344	26	816	0
364	31	824	0
384	40	832	0
404	33	840	0
424	41	848	0

将浮标采集的水下停留期间的数据列于表 3 并绘制图 12 所示的曲线。

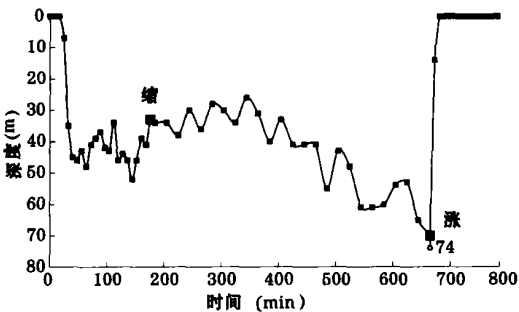


图 12 水下停留 8 h 的运动轨迹

温度剖面曲线

将浮标采集的温度剖面数据（见表 4）并绘制图 13 所示的温度剖面曲线。

浮标的定深潜入实验

2004 年 11 月 8 日搭载“雪龙号”科考船，赴南极科学考察在途经印度洋时于 115.504 E，10.921 S 位置布放一台实验浮标。在实验室标定可潜深度是 2 000 m，潜入深度控制是 1 900 m。接收数据处理后，浮标第一次潜入深度即达到 1 900 m。其温、深数据如表 5。

表 4 温度剖面数据

深度 (m)	温度 ()	深度 (m)	温度 ()
0	23.171 78	0	23.158 68
0	23.332 05	0	23.160 14
0	23.327 67	0	23.115 07
46	23.447 45	0	23.209 62
95	18.719 51	0	23.213 99
139	17.636 71	0	23.183 42
156	16.059 77	0	23.195 06
176	15.194 35	0	23.256 23
194	14.549 93	0	23.190 69
221	14.181 94	0	23.097 63
233	13.762 97	0	23.167 41
243	13.337 99	0	23.23
249	13.069 06	0	23.109 25
245	12.798 22	0	23.256 23
254	12.685 75	0	23.176 14
261	12.515 35	0	23.180 51
266	12.428 35	0	23.154 32
260	12.372 9	0	23.117 97
254	12.157 61	0	23.173 23
263	12.069 58	0	23.129 6
267	12.138 74	0	23.225 63
263	12.035 65	0	23.163 05
258	12.272 13	0	23.189 24
257	11.876 12	0	23.256 23
256	12.070 84	0	23.059 87
244	12.661 76	0	23.200 88
225	13.566 82	0	23.109 25
202	13.862 45	0	23.062 77
176	14.769 84	0	23.104 89
150	15.939 72	0	23.129 6
124	17.824 74		
96	19.864 84		

表 5 温、深观测数据

序号	深度	温度	序号	深度	温度
01	1 908.59	2.66	36	404.47	8.66
02	1 907.86	2.66	37	370.38	8.96
03	1 907.86	2.68	38	352.59	9.23
04	1 907.13	2.68	39	343.69	9.45
05	1 905.66	2.68	40	323.67	9.88
06	1 905.66	2.68	41	302.91	10.02
07	1 904.19	2.68	42	293.27	10.20
08	1 903.46	2.68	43	283.63	10.40
09	1 903.46	2.68	44	272.50	10.73
10	1 902.73	2.68	45	262.12	10.95
11	1 902.00	2.68	46	252.47	11.17
12	1 892.47	2.70	47	241.34	11.51
13	1 696.62	3.06	48	230.96	11.71
14	1 607.04	4.12	49	219.08	12.17
15	1 599.70	3.25	50	210.18	12.41
16	1 499.76	3.59	51	199.79	12.89
17	1 492.41	3.53	52	189.40	13.31
18	1 393.87	3.86	53	179.01	13.74
19	1 292.30	4.12	54	168.62	14.45
20	1 202.45	4.39	55	158.97	14.98
21	1 090.43	4.69	56	149.32	15.52
22	995.28	5.06	57	137.44	16.45
23	903.02	5.37	58	127.78	17.12
24	796.66	5.88	59	118.13	18.26
25	695.39	6.55	60	108.48	19.38
26	594.78	7.05	61	98.82	20.61
27	577.76	7.11	62	89.17	20.48
28	560.74	7.21	63	79.51	21.05
29	542.97	7.39	64	69.85	21.75
30	492.62	7.72	65	60.94	22.57
31	485.96	# NUM !	66	50.54	23.77
32	474.85	7.88	67	42.37	24.62
33	458.55	8.09	68	32.71	25.99
34	440.03	8.31	69	22.30	27.03
35	421.51	8.47	70	12.64	28.51

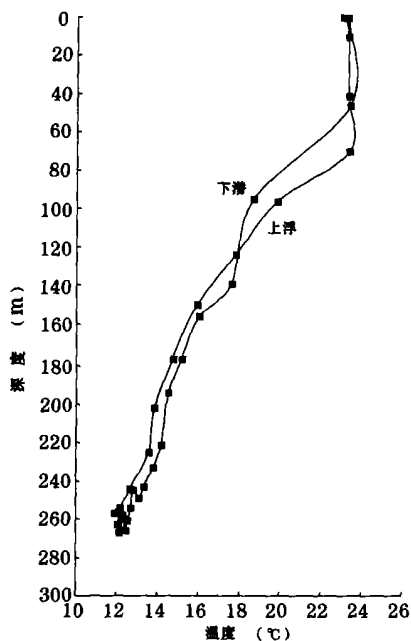


图13 温度剖面

图14是用温深观测数据(表5)描绘的温深曲线, 图中上面一条线是实验浮标的数据所描绘(在1600m处的折线是数据传输中的错误所致), 下面一条线为附近正在工作的澳大利亚科学家布放的浮标数据所描绘, 放在一起以作比较。

据统计, 2003年12月30日在站21.59°N 119.20°E布放的实验浮标, 海上工作时间已达308d, 于2004年11月1日停止工作。借助专用软件, 将接收ARGOS系统的浮标定位数据在地图上描绘它的漂流轨迹, 如图15所示。

至此, 我国剖面浮标的研制工作可进入产品定型阶段, 在这个阶段仍将有小部分改进设计工作和更加深入的研究性试验, 使之更加完善和可以正式进入试用阶段。

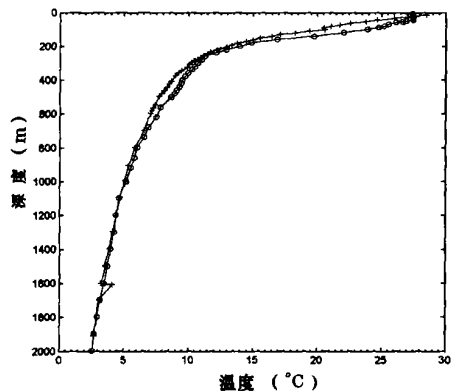
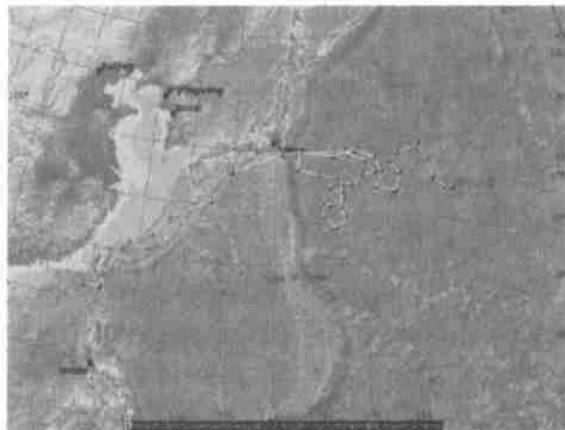


图14 温、深剖面曲线

图15 2003年12月布放的某台实验浮标漂移轨迹
(因潜入深度不够造成较大漂移)

感谢: 国家海洋局第二海洋研究所刘增宏助理研究员提供的图表资料。

Progress of China ARGO Float

YU Li-zhong, ZHANG Shao-yong, SHANG Hong-mei

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300111)

Abstract: Based on neutral float technology, Automatic Profiling Float is widely applied to ARGO Project, and so is named as ARGO Float. The development of China ARGO Float (China Ocean Profiling Explorer-COPEX) begun in 2001. At present ocean experiments have carried with COPEX and very satisfactory results have been gained in automatic control, profiling measurement, data processing and satellite communication etc. the max profiling depth is more than 1900m. This paper introduces the design characteristics and kinds of test data and provides reliable grounds and test methods for perfecting of COPEX and its commercialization.

Key words: china ocean profiling explorer; ARGO project; profiling measurement; automatic control