



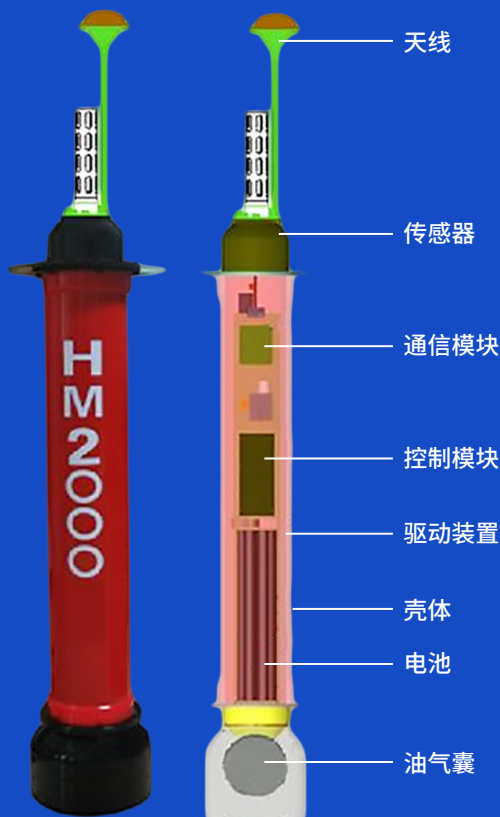
# 海洋观测中的

# “哨兵”与“潜伏者”



文图 / 许建平 (自然资源部第二海洋研究所)

在我们生存的蓝色地球上，海洋不仅是生命的摇篮，更是调节全球气候的“蓝色心脏”。为了读懂海洋的“心跳”，科学家们要像医生一样，对海洋进行长期“体检”。在这场探索深蓝的征途中，有两位“勇士”功不可没——一位是随洋流漂流、巡视全球的“哨兵”，另一位则是深藏不露、定点值守的“潜伏者”。



▶ 自动剖面浮标外形与内部结构

## 漫游的“哨兵”

想象一下，一个1米多长、只有40公斤左右的水下机器人，从船上被轻轻推入大海。它没有螺旋桨，却能下潜、上浮，还能悬停漂移，在大洋中独自工作3~5年——这就是自动剖面浮标。由于它广泛服务于国际Argo计划（地转海洋学实时观测阵）及其建设的全球海洋观测网，所以被科学家亲切地称为“Argo浮标”。

那么，Argo浮标是怎么工作的呢？

## 浮力原理的精妙应用

其实，无论是“哨兵”还是“潜伏者”，它们能在深海自如工作，离不开古希腊学者阿基米德发现的浮力原理：浸没在液体中的物体受到向上的浮力，其大小等于物体排开液体的重量（ $F_{浮} = \rho_{液} g V_{排}$ ，其中 $F_{浮}$ 表示浮力， $\rho_{液}$ 表示液体密度，



$g$  表示重力加速度， $V_{排}$  表示物体排开液体的体积）。

Argo 浮标长得像个结实的氧气瓶，但它的内部结构非常讲究：耐压壳体内部储存着高密度的液压油，而底部外挂的保护罩内则包裹着一个可伸缩的“气囊”（油气囊）。

### “油水置换”魔术

Argo 浮标在海中上下沉浮，可不是简单的“充气”与“放气”，而是一场精密的“油水置换”魔术。

下潜时，油泵（驱动装置）将壳体内的高密度液压油保留在体内，此时浮标整体“干货”多、“虚胖”少，平均密度大于海水，便会如自由落体般下沉，下潜到 1000 米深处时悬停并随洋流自由漂移 9 天。到了第 10 天，浮标会执行一个关键动作：再次下潜



## 知识拓展

### 强大的海洋观测“哨兵”队

更酷的是，今天的 Argo 浮标还可以远程遥控！科学家坐在办公室里就能让它们改变下潜深度（6000 米水深以上任意选择）或测量周期（1 ~ 10 天内任选）。

这些浮标大多由商船、帆船等“机会船”投放，过程非常简单，十几分钟就能完成一枚。目前，全球海洋中已有超过 4000 个浮标“哨兵”在同时工作，中国自主研发的“北斗剖面浮标”也加入了这支队伍，用北斗卫星导航系统进行定位和传输观测数据。截至 2026 年 4 月，全球海洋观测“哨兵”已经累计收集了近 320 万条海洋剖面数据——这是过去 100 多年全球所有科考船采集总量的 6 倍多！并且，这些数据免费向全世界开放，可以直接上网查看。



到 2000 米或者 6000 米深处的测量剖面底部悬停。

上浮时，油泵将壳体内部的油注入外部皮囊。皮囊膨胀，将保护罩内的海水从底部排水孔排出。这样一来，浮标的总体积大幅增加（排开更多海水），但总质量没变，平均密度变小，便像气球一样轻盈上浮。一路上它会不断测量海水的温度、电导率（可以换算为盐度）和压力（可以转换为深度）等多达 9 个环境参数。

到达海面后，浮标通过顶部的卫星天线，把这条“剖面”数据传回陆地上的实验室，然后再次下潜到 1000 米深处，开启下一个 10 天的循环——如此周而复始，直到电池耗尽。

## 深藏不露的“潜伏者”

如果说浮标是四处巡逻的单兵，那潜标就是一个藏在海底的秘密基地。

### “潜伏者”的水下舞蹈

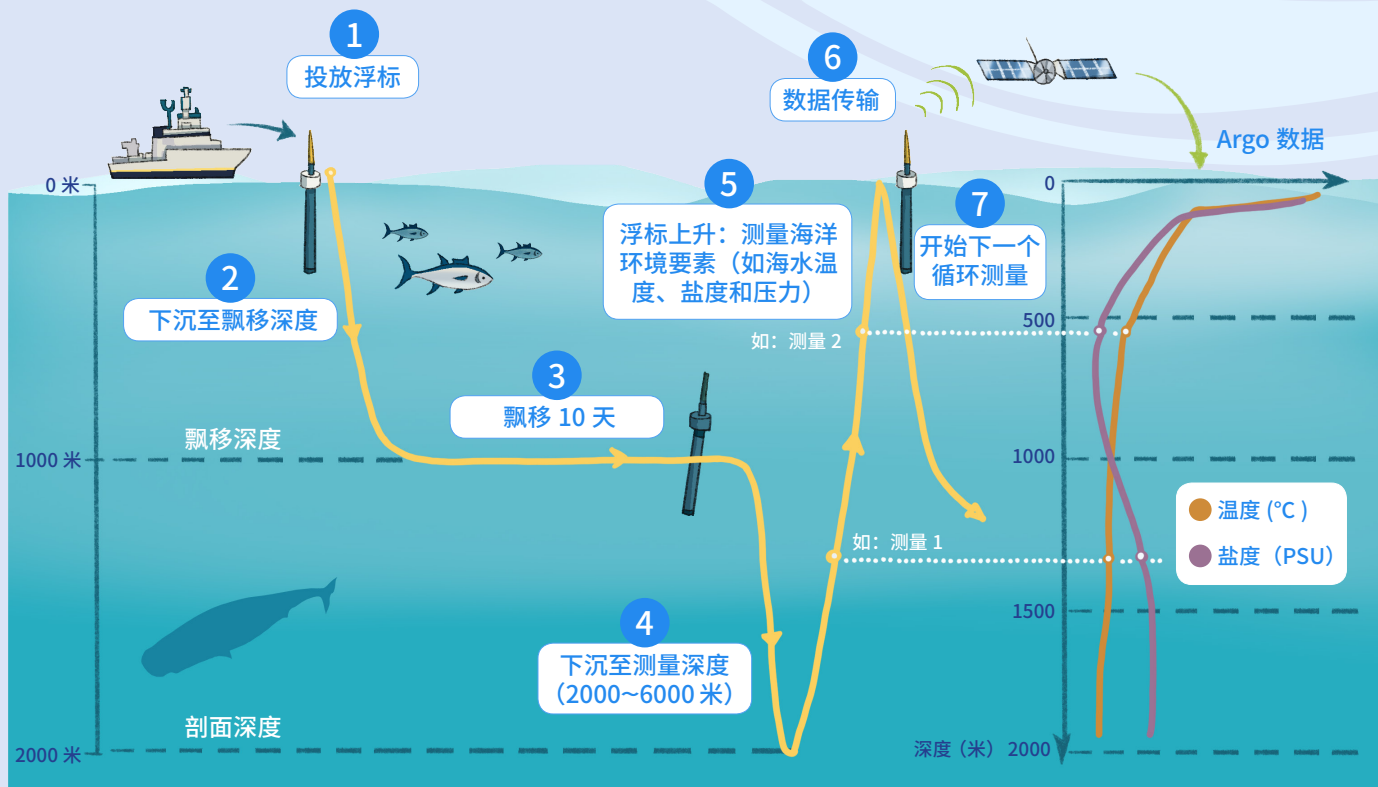
潜标系统由主浮体、缆绳、各种传感器、释放器、浮球和沉重的锚块组成，布放方式就像一支精心编排的水下舞蹈：科考船先把主浮标放入海中，然后一边漂移一边有序地放出缆绳，按照预设方案依次挂上上层、中层和深层的观测仪器，比如电导率、温度和压力（CTD）传感器或 ADCP 仪 / 海流计；最后，才将重力锚投入海中——锚块会拉着整个系统缓缓沉向海底。

当主浮标即将消失在海面时，船上的定位系统会精确记下这个位置，方便之后回收时，能快速找到这位“潜伏者”。

### “潜伏者”已实现“现场直播”

潜标最大的特点是定点、长期、隐蔽。它完全藏在水面以下，不会被大风大浪或船只干扰，能以极高的时间分辨率（分钟级）连续记录数月甚至一整年，捕捉海温、盐度、海流等海洋环境参数的细微脉动，内波的起伏和深海湍流，特别适合布设在台风路径上、海峡通道或深海沟。

传统潜标需要回收后才能读取数据，就像过去用胶片相机拍了照片，要等胶卷冲洗后才能看到。但现在的实时潜标已经可以“现场直



► 自动剖面浮标测量过程图

播”——数据通过水下链路传给海面通信浮标，再通过卫星即时发回陆地。科学家们因此能在第一时间发现海啸前兆或台风引起的海况变化，为防灾减灾争取宝贵时间。

## 一动一静，联手守护海洋

### 自动剖面浮标胜在“广度”。

它以低廉的成本和灵活的方式，提供了全球海洋大尺度的背景场数据，然而，它时间分辨率低，且难以在近岸浅海复杂地形中作业。

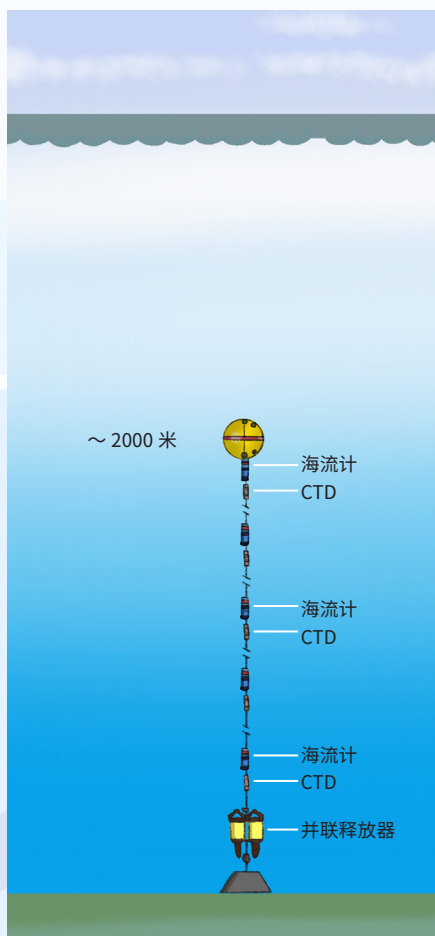
### 潜标则胜在“深度”与“精度”。

它像地面上的雷达站，紧盯关键区域（如赤道太平洋、西太平洋暖池）的细微变化，能解析内波、湍流等小尺度过程，并能直达海底观测深层海流。但它的覆盖面窄，布放回收依赖大型科考船，成本高昂。

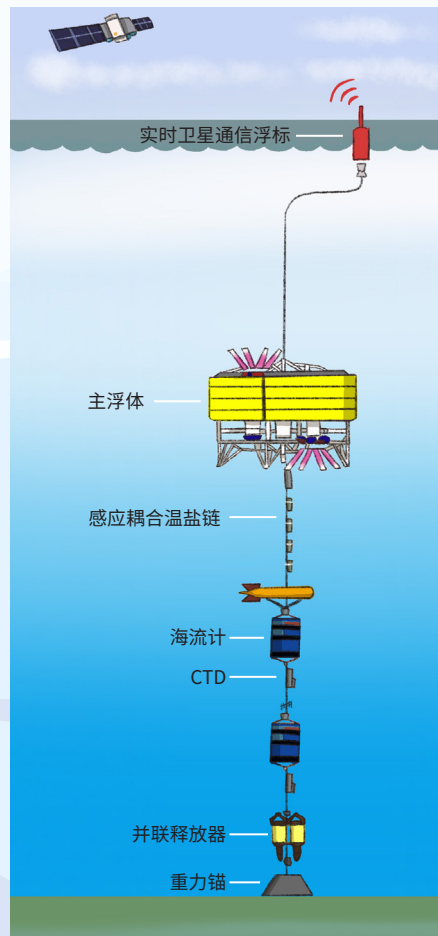
虽然自动剖面浮标和潜标性格迥异，但在海洋观测网中缺一不可。例如在热带太平洋（ENSO 监测区），Argo 浮标网勾勒出大范围的海温异常分布，而锚定的潜标则精确记录着赤道潜流的实时强弱。在深海沟或关键海峡，实时潜标监测深层水的流动，周边的 Argo 浮标则提供上层海洋的边界条件。

**海洋科学从来不是遥不可及的“象牙塔”，海洋更是人类的共同家园。下次当你看到蔚蓝的大海时，不妨想一想，在那波光粼粼之下，正有无数的“哨兵”和“潜伏者”在默默工作，等待着你们去发现、去守护、去探索那无尽的深蓝奥秘。**

（责任编辑 / 关鹿鹿 美术编辑 / 周游）



▶ 传统（全潜式）潜标系统



▶ 实时（半潜式）潜标系统

## 小贴士

### 你的海洋探险随时可以开始

4月3日，中国诞生了第一个由公民众筹捐赠的Argo浮标！它搭乘“向阳红10号”科考船在西太平洋被成功投入大海。这枚浮标被世界气象组织授予统一编号——6999988。任何人都可以在国内外Argo官方网站上找到它，查看它的漂移轨迹和每一条实测剖面。

在国内，“深蓝百万里”环球科考行动正在搭建更多公众参与的平台。未来，你也可以通过众筹或者认领一枚浮标，和家人、同学一起看着它从太平洋传回数据，随时登录Argo数据网站，看看今天有多少浮标正在你感兴趣的海域工作。



扫码跟随“向阳红10号”科考船  
在西北太平洋  
投放国内首个众筹Argo浮标