

深海气候观测锚系浮标系统——白龙浮标 从填补国内空白到全球领先

16年磨一剑 “小白龙”从青岛走向深蓝



宁春林。陈小川 摄



◀白龙浮标。



▲白龙浮标从青岛走向深蓝。

从技术“跟跑”到全球“并跑”

时间回到16年前，国际组织重建印度洋观测系统，参与建设的国家可以共享观测数据。这对我国季风气候的研究以及对整个印度洋的研究意义重大。“浮标是海洋观测系统中非常重要的节点设备，当时我国深海锚系浮标技术空白，只能进口3套浮标设备投放到了印度洋。设备本身昂贵不说，外国技术人员进行设备维护，从他们出家门开始计算时间，我们要每天支付其800美元补助。”宁春林说，若要长期参与深海气候观测，无论是从科研需求、技术发展，还是经济成本考量，研发自主知识产权的深海锚系浮标系统势在必行。2009年，宁春林从中国科学院博士毕业后便来到青岛，投身深海锚系浮标的团队组建和技术研发。

此后10年是技术“跟跑”阶段。白龙浮标团队从零开始，没有成熟技术体系，便自建平台探索如何研发感应耦合模块、如何实现自主可控的数据采集、如何实现双向通信、如何保证锚系系统紧绷而不断裂等等。没有现成的实验室，便租用闲置厂房，租用叉车吊装设备……筚路蓝缕、矢志不渝，历经3年攻关，“白龙一代”原型机诞生。

此后，白龙浮标团队着手完善浮标供应链生态，从水下钢缆、尼龙绳的开发生产，到气象传感器、水文传感器的合作研发，白龙浮标模块国产化率达到95%以上。此时的白龙浮标已具备6000米级深海工作能力，观测参数涵盖海表到水下700米剖面的水温、盐度、溶解氧、海流等13项数据以及海表气象风、湿度、温度、气压、太阳辐射等12项关键指标，数据回传成功率提升至95%以上。2021年后，我国白龙浮标与全球同类深海锚系浮标在技术水平上已无明显差距，与全球先进深海浮标实现“并跑”。

从观测工具到“智能节点”

白龙浮标团队下定决心拥抱人工智能，研发白龙二代浮标。此前的浮标系统工作方式是观测海洋温度、盐度、海流、海水含氧量、浮游生物和海表风速、风向等要素指标，至于这些指标背后的气象或者海洋现象，浮标本身不具备识别能力，必须由科学家分析得出。这种模式的弊端便是会错过许多正在发生的关键自然现象的数据。

“我们搭建人工智能模型，训练模型自动识别台风、内波、涡旋等自然现

象，再把模型嵌入白龙浮标。关键自然现象发生时，如台风路过，白龙浮标自动识别，启动加密观测，将每10分钟采集一次数据加密到每1分钟采集一次数据，这样采集到的台风实时数据呈数量级提高，对台风科研价值更大。”宁春林表示，这就在深海浮标原位端实现了海洋大气现象级观测，而不再是传统要素级观测。

人工智能的作用不仅如此。传统浮标对海洋浮游生物的观察是通过摄像头记录数据，经过实验室分析后形成结论。而嵌入人工智能大模型的白龙浮标则可以实时得出具体海域浮游生物的丰富度。而且，如果浮标发现原本生活在水深700米处的浮游生物出现在300米的深度，则会提示出现海洋上升流的可能，有助于科学家验证洋流理论模型。凭借人工智能，白龙浮标不再只是一个简单的观测工具，而是海洋监测网络的“智能节点”。截至目前，白龙浮标已累计在全球布放近30次。

从单一系统到平台作业

海洋约占地球面积的71%、约占地球水体总量的97%，研究海洋需要建立综合立体的观测体系，其中移动观测平台有潜航器、漂流浮标、Argo浮标、无人船、卫星等，固定平台有锚系浮标、潜标、海床基等。锚系浮标的优点是可搭载多个传感器，可定点长期作业，这为研究季风、台风、涡旋等自然现象提供了大量的数据支撑，为极端天气预警、渔业生产和气候研究等方面提供有力支持。

在海洋中，海水密度通常不是均匀的。海水密度突然变化会导致海水流向忽然下沉，这便是“内波”。若水下平台恰好遇到内波极易引发安全事故。涡旋是指海洋中近似圆形、旋转运动的水团，范围广，从形成到结束时间较长。若内波和涡旋经过浮标，则浮标可全程记录数据，进而验证相关自然现象理论模型的准确性。“再比如台风，作为一类自然灾害，其路径可以通过卫星观测，但是强度则很难预测。白龙浮标曾全程清晰记录了一次台风数据，这对台风模型的校准颇具意义。”宁春林表示，我们每天看到的天气预报、海洋风浪预报，这其中都有白龙浮标提供的数据服务。

为了更广泛、更准确地收集数据，白龙浮标也由单一系统走向平台作业。“我们自主研发设计了波浪剖面仪，可搭载多个传感器，随波浪沿着钢缆上下移动，不需要电能驱动。波浪剖面仪可以收集海面下0-700米的观测数

据。白龙浮标研发团队还研发出GNSS波浪浮标，获得波浪数据，这样一来，白龙浮标在局部海域形成综合立体工作系统。”宁春林说，未来计划把无人潜器和无人机聚合到白龙浮标上，进一步扩展其垂直和水平的观测能力。

从“紧密耦合”到技术突破

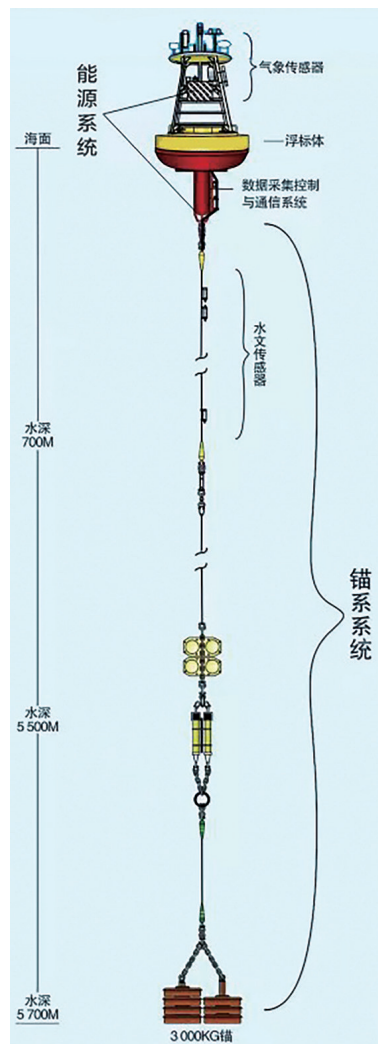
在白龙浮标研发团队办公区，三层楼高的挑空车间内摆放着数个白龙浮标体，有几个是从深海作业区收回准备进行表面涂层维护。操作车间一角的工具区摆放着不同型号几十个扳手，还有一台机床可对金属部件进行加工。采访间隙，工程师出身的宁春林合上电闸，操作起重机移动浮标体。白龙团队工程师个个身怀绝活，有做通信集成的、有做水动力分析的、有做软件的、有做结构件的。如果说科学家生产梦想，工程师则将梦想变成现实。

深海作为地球表面最大的未知领域，其科学研究近年来虽取得显著突破，但总体认知仍处于初级阶段。“在海洋科研领域，唯有科学家与工程师‘深度耦合’，才能不断拓展海洋认知的边界并提升海洋探测技术水平。白龙浮标为海洋一所科研工作者提供数据，也为高校研究所和行业单位提供数据，不仅如此，白龙团队还为科研人员提供‘定制服务’。如科研人员需要海底300米的海水含氧量，我们便在水下300米钢缆处搭载测氧模块。”宁春林表示，白龙浮标团队的科研生态便是科学家与工程师的紧密耦合。

白龙浮标有上千个零部件，每次准备出海作业前要根据科学家的科研需求，先在实验室组装测试，之后拆装运输到目标海域再进行现场组装；白龙浮标作业结束回收上船后还要立刻现场拆卸。白龙团队工程师出海、野外作业是家常便饭，有一个好体魄是对工程师的基本要求。“白龙团队还十分看重成员的心理健康发展，科学家与工程师‘深度耦合’，需团队健康文化支撑，既保障科研人员创造力自由发挥，又建立工程师全程参与的科技成果转化模式，让‘技术突破’成为团队的常态。”宁春林说。

“科研需要马拉松精神，而非短跑心态。16年磨一剑，团队锚定方向，既保持住了技术创新的‘健康节奏’，又坚守住了团队成长的‘健康心态’，还培养出20多位硕士和博士研究生。”宁春林坚信，把一件事情做到极致，就是最好的创新。

青岛晚报/观海新闻/掌上青岛记者 陈小川 图片除署名外均由受访者提供



白龙浮标示意图。