

# 黑潮延伸体综合观测浮标的研制与应用

陈店<sup>1</sup>, 任国庆<sup>2\*</sup>, 魏兆强<sup>2</sup>, 江帆<sup>1</sup>, 马昕<sup>3</sup>, 陈朝晖<sup>2,3</sup>

1. 中国海洋大学信息科学与工程学部, 青岛 266100;

2. 中国海洋大学海洋高等研究院, 青岛 266100;

3. 中国海洋大学, 物理海洋教育部重点实验室, 青岛 266100

\* 联系人, E-mail: [renguoqing@ouc.edu.cn](mailto:renguoqing@ouc.edu.cn)

2022-11-17 收稿, 2023-01-03 修回, 2023-01-06 接受, 2023-01-16 网络版发表

崂山实验室科技创新项目(LSKJ202201601)资助

**摘要** 浮标是获取水文、气象等环境参数的重要观测技术手段,是现代海洋环境立体监测系统的重要组成部分。西太平洋黑潮延伸体海域是全球海洋动力过程最为复杂、海洋-大气相互作用最为关键的区域之一,也是全球系统性海洋观测相对缺乏的海区之一,传统的大型海气浮标很难在该海区长期存活。基于此,中国海洋大学研发了一种适用于中纬度海区高海况条件下的大型海气综合观测浮标系统(China Kuroshio Extension Observatory, CKEO)。该系统面向深远海大浪、强流、狂风等复杂的工作环境,对高海况下的浮标系统、深水锚系系统、观测系统等做了针对性设计,增强了浮标在高海况下的稳定性和可靠性。截至2022年底,该系列浮标已连续在位工作3年,支撑了对黑潮延伸体海域海-气物质能量交换等科学问题的研究,为“透明海洋”立体观测网络提供了重要的深远海长期观测节点。

**关键词** 浮标, 黑潮延伸体, 深海综合观测, 锚系系统

海洋与全球气候变化、水循环等都有密切联系,深入认识海洋动力过程及其所引起的能量物质循环是理解和应对极端天气与气候变化的关键<sup>[1,2]</sup>。海洋浮标是海洋环境自动观测平台,是现代海洋环境立体监测系统的重要组成部分,然而在我国周边海区,尤其是“两洋一海”关键海区,由于受到水深、天气和复杂海况的影响,传统的大型海气浮标难以在该海区长期存活<sup>[3~7]</sup>。特别是在全球海洋动力过程最为复杂、海洋-大气相互作用最为关键的西北太平洋中纬度海区,其流量大、流速强,国际上在该海区也仅有美国一套大型观测浮标(Kuroshio Extension Observatory, KEO)长期在位运行<sup>[8]</sup>。

中国海洋大学自2017年起针对西北太平洋中纬度海区的动力过程及海气相互作用过程开展系统研究,

致力于长时间序列实时观测平台的构建,研制出了一种适合该海区的大型海气观测浮标系统——CKEO系列浮标。目前,CKEO浮标能够在西太平洋中纬度海区高海况的恶劣环境中连续、稳定的工作,并已连续在位工作3年,为实现关键站位海气界面核心参量的长期定点连续可靠观测奠定了技术基础。

## 1 CKEO浮标系统构成

CKEO浮标包括浮标系统、观测系统、锚系系统、电控和通信系统及陆基数据接收子系统等。浮标系统包括浮标体、浮标塔、护舷、固定支架、连接缆等,为各传感器提供工作平台、获取浮标的姿态位置信息,并为通信和供电等方面提供支撑。观测系统包括表层观测和剖面观测。表层观测设备包括风速风向传

**引用格式:** 陈店, 任国庆, 魏兆强, 等. 黑潮延伸体综合观测浮标的研制与应用. 科学通报, 2023, 68: 2250–2257

Chen D, Ren G Q, Wei Z Q, et al. Development and application of the Kuroshio extension comprehensive observation buoy (in Chinese). Chin Sci Bull, 2023, 68: 2250–2257, doi: [10.1360/TB-2022-1187](https://doi.org/10.1360/TB-2022-1187)

感器、温湿度传感器、气压传感器、长短波辐射传感器、雨量计、波浪传感器、二氧化碳传感器等多种测量设备,实时观测海表面的气象水文数据.剖面观测设备包括水温传感器、海流传感器、温盐深传感器等设备,这些传感器安装在包塑钢缆上,通过感应耦合的方式将观测数据传输到浮标的数据采集处理系统,可安装剖面最多可达35层.锚系系统采用松弛式系留结构,水下观测部分支持在500 m以浅实现多传感器感应耦合式测量,回收时采用声学释放器进行回收.电控和通信系统要对各观测设备进行加断电控制,并控制观测数据的采集、处理与存储,最后通过通信传输系统将处理后的数据发送到陆基站服务器,通过数据展示系统进行处理.

### 1.1 浮标总体结构

CKEO浮标总体设计由浮标体、浮标塔架、锚系等组成.浮标体为圆饼状筒体,其上为浮标塔架,下部与锚系相连.塔架总体为桁架型结构,顶部设计为圆碗形,其上搭载了各类传感器、铱星通信系统、电源系统、安全警示系统等设备.锚系包括重力锚、锚链、感应耦合电缆等,是水下测量设备定深定点工作的可靠支撑.浮标体为浮标的正常工作提供漂浮浮力,同时给测量子系统、供电子系统、通信子系统、水下锚系系统等提供稳定支撑.

西北太平洋黑潮延伸体海域离中国沿岸较远,海况复杂,在极端海况下可能出现浮标倾覆的情况,浮标体必须尽量降低浮心和重心,提高浮标的稳定性.基于此,CKEO浮标体采用镁铝合金材质,镁铝合金本身不锈,强度高,密度较小,采用该材质的标体,整体强度高于通用的闭孔发泡浮标,且相比于泡沫材质的浮标,镁铝合金整体质量增加不到20%,在标体内部填充闭孔发泡材料,保证在浮标受到撞击后不至于进水沉没.浮标下部锚系悬挂方式采用航道航标的锚系悬挂架构,利用标体外侧的两个受力点,设计了悬臂结构,锚系连接在悬臂结构的下方,这种悬臂分离受力结构,保证了浮标在水面能够一直处于相对竖直的状态,在极端海况下不易倾倒.在标体下部设计了专门的电池舱,内部安装多块铅酸蓄电池,保证了浮标浮心与重心的分离,并使得整体重心处于水下部分,稳性增强.

浮标初稳性计算如图1所示,根据中华人民共和国《海船法定检验技术规则》得出浮标的初稳性高度为1.83 m,远高于规定的最小高度0.15 m;横倾角为30°时,

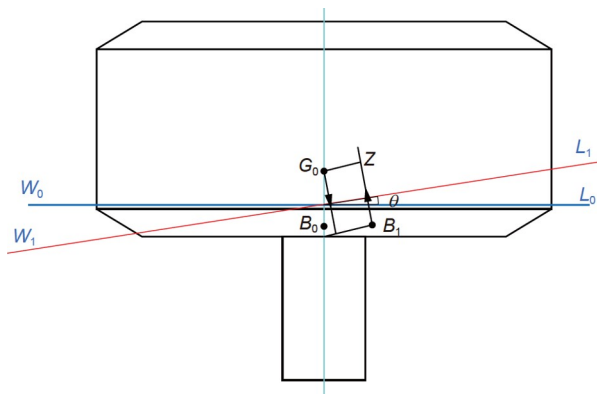


图1 初稳性计算示意图.  $W_0L_0$ : 正浮状态时水线位置,  $W_1L_1$ : 倾斜角度为 $\theta$ 时水线位置,  $G_0$ : 浮标重心位置,  $B_0$ : 正浮状态时浮心位置,  $B_1$ : 倾斜角度为 $\theta$ 时浮心位置,  $G_0Z$ : 复原力矩  
 Figure 1 Schematic diagram of initial stability calculation.  $W_0L_0$ : Water line position in positive floating state,  $W_1L_1$ : Water line position when the tilt angle is  $\theta$ ,  $G_0$ : Buoy center of gravity position,  $B_0$ : Center of buoyancy position in positive buoyancy,  $B_1$ : Center of buoyancy position when the tilt angle is  $\theta$ ,  $G_0Z$ : Restoring moment

静稳性力臂为0.435 m, 高于规定的最小力臂0.2 m; 最大静稳性力矩对应横倾角大于50°, 远大于规定的最小角度30°. 综合计算结果, 浮标的标体稳性完全符合规范要求. 技术指标如表1所示.

### 1.2 观测系统

CKEO浮标的观测系统主要由表层观测设备和剖面观测设备组成.水上部分主要搭载了GMX600自动气象站、50203雨量计、Model SPP总辐射计、Model PIR长波辐射计、HMP155温湿度传感器、LI-7500DS空气CO<sub>2</sub>和PTB210气压计等气象传感器.水下部分主要搭载了SBE-37SM温盐深传感器(conductivity temperature depth, CTD)、WHS300-I声学多普勒流速剖面仪(acoustic doppler current profiler, ADCP)、CO<sub>2</sub>-Pro CV水下CO<sub>2</sub>、Brizo波浪传感器和小阔龙单点海流计,如图2所示.这些传感器观测技术相对成熟,适用于海上长期观测.观测要素指标如表2所示.

### 1.3 锚系系统

大型观测浮标的系留结构一般分为紧绷式和松弛式两种.由于黑潮延伸体海区海流强、海况高,锚系会产生很强的静拉力,紧绷式结构在高动力负荷下容易发生破坏而导致锚系断裂.相比于紧绷式系留结构,松弛式系留结构的深长比大,允许浮标在极端海洋环境下进行相对自由的移动,锚系不容易断裂,所以CKEO

表1 CKEO浮标标体的技术指标

Table 1 Technical indexes of CKEO buoy body

指标名称	指标值
浮标体尺寸	$\Phi 2.6\text{ m}\times h 2.2\text{ m}$
浮标浮心	1.25 m
浮标重心	1.55 m
浮标初稳性高度	1.83 m
稳性衡准数	1.5
最大工作水深	$\geq 5000\text{ m}$
剖面最大观测水深	$\geq 500\text{ m}$
观测要素	海洋气象: 风速、风向、气温、相对湿度、气压、雨量、太阳辐射量; 表层要素: 水温、盐度、波浪要素; 剖面要素: 500 m以内温盐深、流速; 生化要素: 二氧化碳、溶解氧、浊度、叶绿素、pH
维护周期	$\geq 1\text{ a}$
电池续航能力	$\geq 1600\text{ Ah}$
工作温度	$-15\sim 50^{\circ}\text{C}$
正常使用年限	$\geq 10\text{ a}$

浮标采用松弛式系留结构, 水下观测部分采用感应耦合的方式进行测量, 回收时用声学释放器进行回收. 锚系结构如图3所示.

一般大型浮标的锚系方式采用的是浮标体底部单

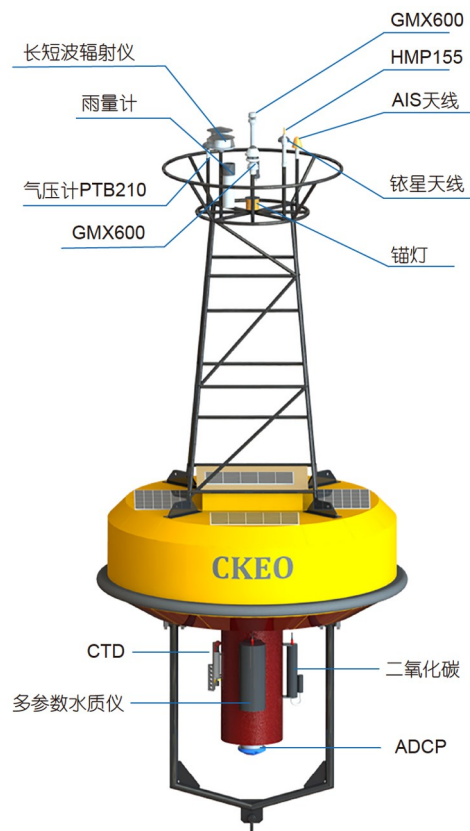


图2 浮标主体挂载传感器情况  
Figure 2 Sensor mounted on the buoy body

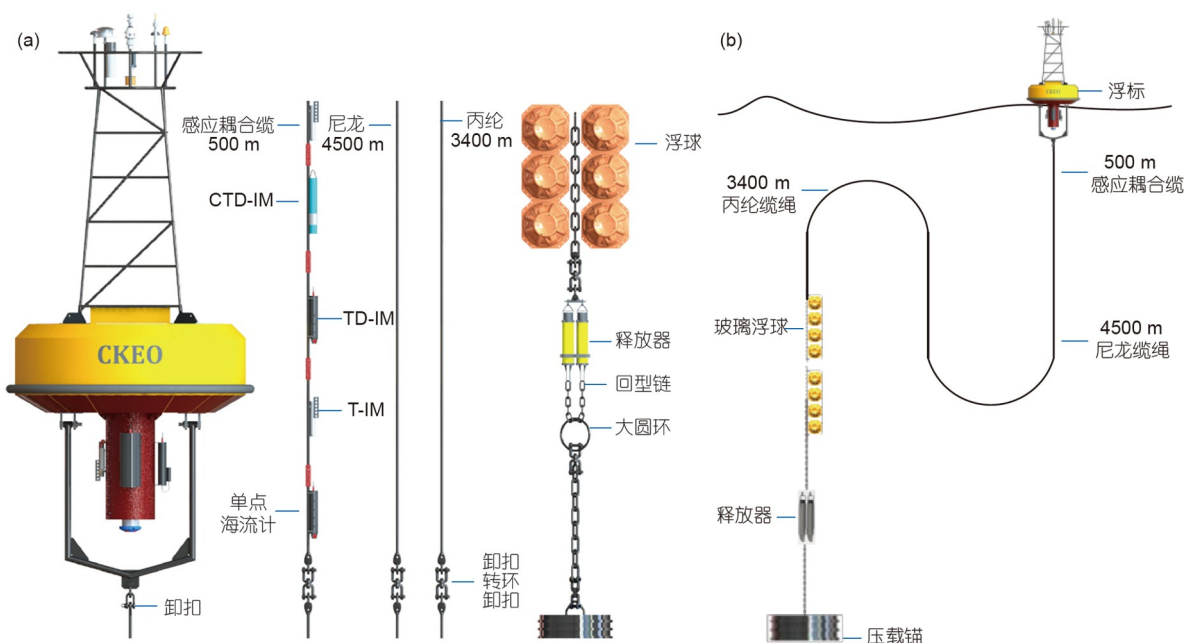


图3 锚系系统的结构组成. (a) 锚系系统组成; (b) 松弛式系留结构

Figure 3 Structural composition of mooring system. (a) Composition of mooring system; (b) loose mooring structure

表 2 CKEO浮标观测要素指标

Table 2 Indicators of CKEO buoy observation elements

参数类别	具体参数	测量范围	测量准确度	分辨率
气象	风速	0.1~60 m/s	±3%(0.1~40 m/s) ±5%(>40 m/s)	0.1 m/s
	风向	0°~360°	±3°(0.1~40 m/s) ±5°(>40 m/s)	0.1°C
	温度	-40~70°C	±0.3°C @ 20°C	0.1°C
	湿度	0~100%	±2% @ 20°C(10%~90% RH)	1%
	气压	300~1100 hPa	±0.2 hPa(25°C) ±0.3 hPa(-40~60°C)	0.1 hPa
	雨量	0~50 mm	±1 mm	1 mm
	长波辐射	4~50 μm	±3 μV/(W m <sup>-2</sup> )	3 μV/(W m <sup>-2</sup> )
	短波辐射	295~2800 nm	±8 μV/(W m <sup>-2</sup> )	8 μV/(W m <sup>-2</sup> )
水文	水温	-5~45°C	±0.002(-5~35°C) ±0.01(35~45°C)	0.0001°C
	压力	0~1000 m	满量程的0.1%	满量程的0.002%
	波高	0~20 m	±0.5%	优于1%
	波向	0°~360°	±10°	优于1%(3°)
	电导率	0~70 mS/cm	±0.003 mS/cm	0.0001 mS/cm
生化	CO <sub>2</sub>	0~10000 ppm(1 ppm=10 <sup>-6</sup> L/L)	±0.5%	0.01 ppm
	溶解氧	0~500%空气饱和度	0~200%(±1%或1%) 200%~500%(±5%)	0.1%空气饱和度
		0~50 mg/L	0~20 mg/L(±0.1 mg/L或1%) 20~50 mg/L(±5%)	0.01 mg/L
	浊度	0~4000 FNU	0~999 FNU(0.3 FNU或±2%) 1000~4000 FNU(±5%)	0~999 FNU(0.01 FNU) 1000~4000 FNU(0.1 FNU)
	叶绿素	0~400 μg/L Chl 0~100 RFU	线性: R <sup>2</sup> >0.999, 与罗丹明WT 连续稀释相关(0~400 μg/mL) 检出限: 0.09 μg/L Chl	0.01 μg/L Chl 0.01 RFU
	pH	0~14	±0.1(校准温度±10°C范围内) ±0.2(全温度量程)	0.01
剖面	温度	-5~+45°C	±0.002°C(-5~35°C) ±0.01°C(35~45°C)	±0.1%全量程
	电导率	0~7 S/m	0.0003 S/m	
	深度	20~7000 m	测量值的0.002%	
	流速	±5 m/s(缺省值) ±20 m/s(最大值)	1200、600 kHz: 水流速度的±0.25% 300 kHz: 水流速度的±0.5%	1 mm/s

点锚系的方式, 受力点只有底部支架, 而且浮标的浮心和重心都靠上, 导致在高海况下浮标容易出现倾斜甚至压入水中的情况, 使得气象观测仪器出现损坏或中控舱体进水无法工作等情况. 基于此, CKEO浮标创新性地采用航道航标的锚系悬挂架构, 利用标体外侧的两个受力点, 设计了悬臂结构, 锚系连接在悬臂结构的下方. 这种设计采用了悬臂分离受力结构, 保证了浮标

在水面能够一直处于相对竖直的状态, 在各种海况下不易倾倒.

根据浮标锚系所处不同深度的最大流速及所观测到的风速和海浪的极值情况进行水动力分析: 按照标体及搭载设备的总重, 计算储备浮力为2.8 t; 重力锚在水中重量为4 t左右; 系泊总长度为8500 m, 按照紧绷状态计算, 平衡后最大张力为1.11 t, 最大受力点为重力锚



上方. 整个系泊结构的破断力分别为7 t(感应耦合缆)、10 t(尼龙缆绳)和7 t(丙纶缆绳), 因此平衡状态的强度满足系泊安全要求, 安全系数为6.3. 在浮标的布放过程中, 由于重力锚下水后在水中存在加速下落过程, 导致浮标在布放过程中存在受力加速冲刺现象, 这一过程产生的最大张力是平衡状态的数倍, 经过计算可得这一过程的最大张力为3.92 t(小于7 t), 锚系结构仍在安全范围以内.

#### 1.4 电控和通信系统

浮标控制和通信系统包括数据采集和控制系统、通信系统、供电系统, 主要是对浮标系统各观测设备进行加断电控制, 同时控制数据的采集、处理与存储, 并通过通信传输系统将处理后的数据发送到陆基站服务器. 作为深远海浮标, 通信系统一般首先选择卫星通信方式, 西北太平洋黑潮延伸体海区属于北斗通信无法覆盖的区域, 因此, 根据浮标的海区以及需要回传的数据总量, CKEO浮标采用铱星通信的方式, 并预留4G通信接口以便于近岸测试; 供电系统采用国际深远海浮标常用的铅酸蓄电池和太阳能电池板组合的方式, 能保证综合监测浮标系统整体不低于1年的正常连续工作.

针对CKEO浮标搭载的传感器种类、系统功能和科学需求, 对传感器设置了不同的采样规范. 两个气象站、温湿度传感器、气压计、雨量计、长短波辐射计都设置为连续采样, 雨量计的采样周期为30 s, 其他采样周期为1 s; 二氧化碳传感器、ADCP、CTD、耦合传感器链测量间隔为1 h, 空气二氧化碳传感器的采样周期为1 s, 每小时采样60组数, 其他传感器的采样周期为1 h, 每次采样1组数据. 在内记时会保存采集到的所有原始数据, 但实时回传的数据会经过实时质控和延迟质控两个过程. 实时质控过程将采集到的风速风向数据分解成U/V风速数据, 每120个数据作为样本进行 $3\sigma$ 剔除, 用剔除后的数据求均值得到回传的实时数据; 针对气温、湿度、气压、长短波辐射等数据, 均取120个数据作为样本数去野值后求均值得到实时回传数据; 从空气二氧化碳传感器得到的数据当中取60个数去野值后求均值得到回传数据; 铱星通信采用SBD短报文的方式进行数据传输, 为了多个传感器之间能灵活配置, 采用多包拆分的方式进行传输, 每包数据由帧头、固定长度传感器数据及非固定长度的耦合链传感器数据组成.

根据搭载的传感器功耗情况统计, 系统总电流最大预计在0.4 A以内, 总功耗不大于4.8 W, 系统每10 min工作2 min, 预计年用电量约为700 Ah, 系统采用16块100 Ah的蓄电池供电, 且具有4块60 W的太阳能电池板, 在不考虑电池因故障过度自放电的情况下, 电池系统可保证浮标正常运行1年的时间.

数据采集基于RT-Thread实时操作系统, 该操作系统支持多任务并行, 以实现多个传感器实时同步采集. 不同的传感器具有独立的采集任务, 其通过定时器或实时时钟(real\_time clock, RTC)进行触发采集, 在完成当前时间段的数据采集任务后, 发送采集完成数据集, 触发卫星数据传输任务. 系统包含两个铱星模块, 初次上电时, 优先使用铱星1进行发送, 若发送失败, 则切换为铱星2, 下次启动传输优先使用上次采用的铱星模块, 如发送失败, 则切换为另外一个铱星模块. 以此循环, 当同一个发送周期两个铱星模块均发送失败时, 放弃本次发送任务.

## 2 CKEO浮标在西太平洋的应用

中国海洋大学于2017年开始进行CKEO系列浮标的研制, 2019年第一套浮标研制完成, 同年进行了布放, 这是我国在该海域首套大型观测浮标, 使我国成为除美国、日本之外第3个在黑潮延伸体海域拥有大型观测浮标的国家. 到2022年, CKEO浮标在西北太平洋黑潮延伸体海区已经连续在位观测超过3年, 图4为3年内浮标布放和回收时的实际照片. 在此基础上, 构建了由2套浮标和5套潜标组成的西北太平洋黑潮延伸体定点观测系统(Kuroshio Extension Mooring System, KEMS), 如图5所示. 其中, CKEO布放位置为39.0°N, 149.6°E; CKEO-A布放位置为32.4°N, 145.9°E; M1布放位置为32.4°N, 146.2°E; M2布放位置为39.0°N, 150.0°E; M3布放位置为35.0°N, 147.6°E; M4布放位置为37.0°N, 148.8°E; M5布放位置为41.0°N, 151.2°E. KEMS在建设期间获取了大量水文和气象数据, 为研究黑潮延伸体多尺度海洋动力过程、海气交换变异机理等问题提供了数据支撑, 为“透明海洋”立体观测网络的构建提供了关键的深远海长期连续观测节点.

## 3 总结

海洋浮标是深远海观测的重要手段之一, 对获取长期连续的海洋观测数据具有极其重要的意义. 但传统的大型锚系浮标受到海洋复杂环境、岸基观测站等

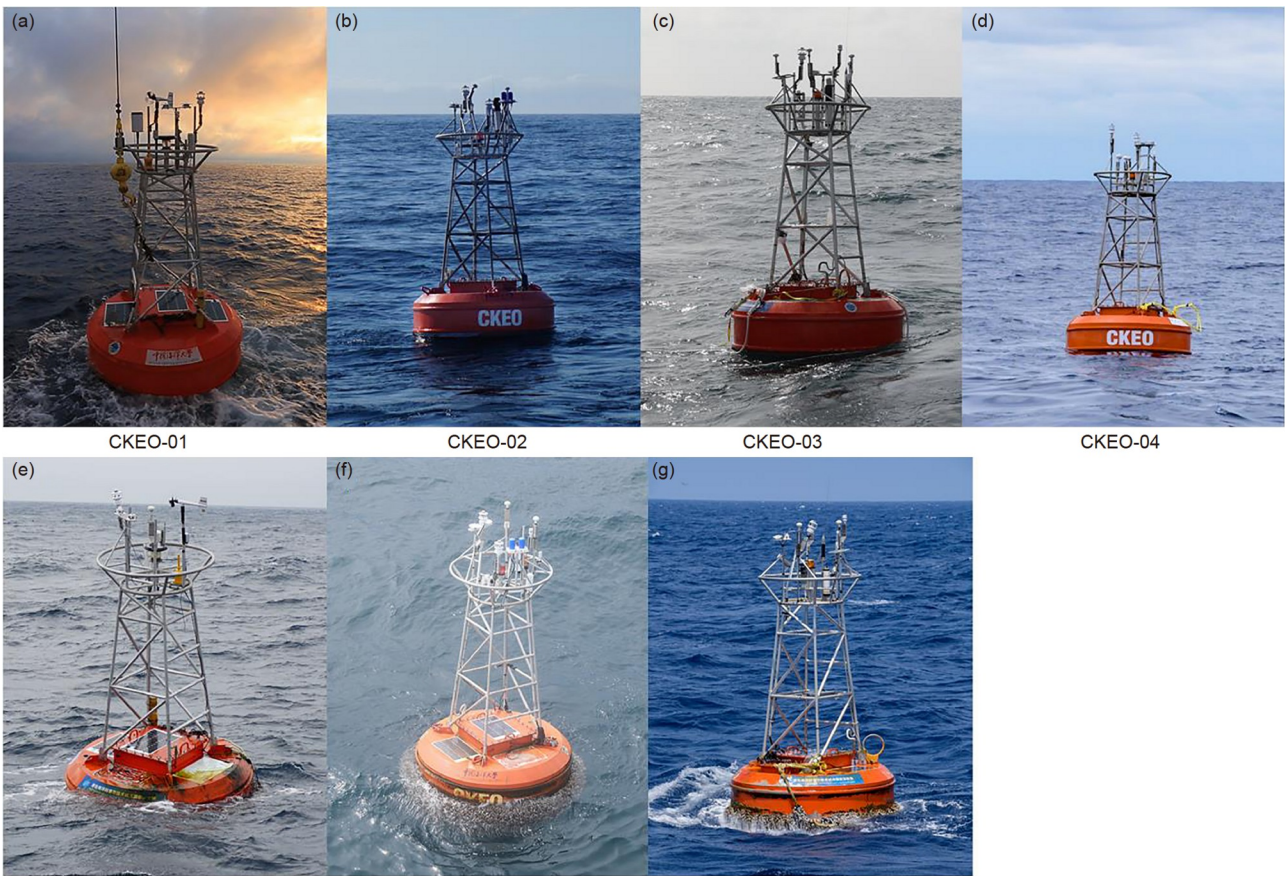


图 4 历年航次维护中布放(a)~(d)和回收(e)~(g)时的CKEO浮标  
 Figure 4 Photos of CKEO buoy taken during deployment (a)~(d) and recovery (e)~(g) of each cruise

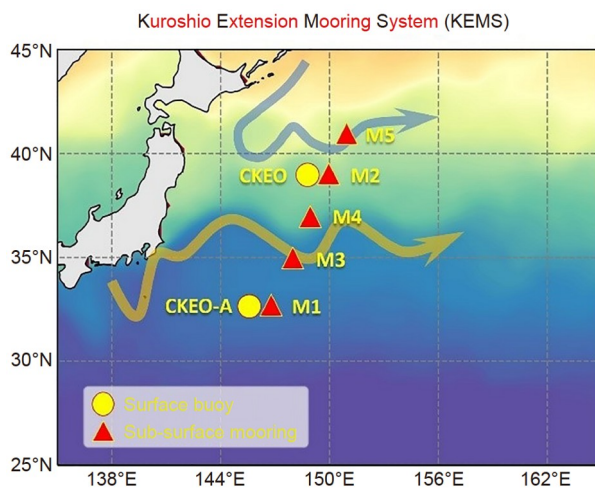


图 5 黑潮延伸体定点观测系统  
 Figure 5 Kuroshio Extension Mooring System

影响，局限于近海区域，无法满足深远海高时空分辨率、高精度的观测要求。中国海洋大学针对西北太平

洋黑潮延伸体海区研制的深远海综合观测浮标，自2019年第一次布放至今，已工作了3年，获得了该海域

大量的水文和气象数据, 为该区域的海-气物质能量交换等研究提供了数据支撑. 从得到的数据和回收的浮

标状态分析, 浮标在工作期间基本处于正常状态, 观测数据准确.

## 参考文献

- 1 Chen Z H, Lin X P, Ma X, et al. Review and prospect of the Kuroshio Extension Observation in the Northwest Pacific Ocean (in Chinese). *Earth Sci Front*, 2022, 29: 13–22 [陈朝晖, 林霄沛, 马昕, 等. 西北太平洋黑潮延伸体观测回顾和展望. *地学前缘*, 2022, 29: 13–22]
- 2 Han L S, Wang W. Prospects of the Global Ocean Observing System and its inspiration to China (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2022, 37: 1157–1164 [韩林生, 王伟. 全球海洋观测系统展望及对我国的启示. *地球科学进展*, 2022, 37: 1157–1164]
- 3 Dai H L, Mou N X, Wang C Y, et al. Current situation and trend of marine buoy development in China (in Chinese). *Meteorol Hydrol Mar Inst*, 2014, 31: 118–121, 125 [戴洪磊, 牟乃夏, 王春玉, 等. 我国海洋浮标发展现状及趋势. *气象水文海洋仪器*, 2014, 31: 118–121, 125]
- 4 Wang J C, Li Y Z. Development and application of marine data buoy technology in China (in Chinese). *Shandong Sci*, 2019, 32: 1–20 [王军成, 厉运周. 我国海洋资料浮标技术的发展与应用. *山东科学*, 2019, 32: 1–20]
- 5 Zhang S W, Yang W C, Xin Y Z, et al. Research progress of mooring buoy system for sea surface and seafloor observation (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2019, 64: 2963–2973 [张少伟, 杨文才, 辛永智, 等. 浮标基海洋观测系统研究进展. *科学通报*, 2019, 64: 2963–2973]
- 6 Wang B, Li M, Liu S X, et al. Current status and trend of ocean data buoy observation technology applications (in Chinese). *Chin J Sci Inst*, 2014, 35: 2401–2414 [王波, 李民, 刘世萱, 等. 海洋资料浮标观测技术应用现状及发展趋势. *仪器仪表学报*, 2014, 35: 2401–2414]
- 7 Wu L X, Chen Z H, Lin X P, et al. Building the integrated observational network of “Transparent Ocean” (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2020, 65: 2654–2661 [吴立新, 陈朝晖, 林霄沛, 等. “透明海洋”立体观测网构建. *科学通报*, 2020, 65: 2654–2661]
- 8 Pan F, Zhang Y G, Lin M S. Temporal and spatial characteristics of sea level anomaly and mesoscale vortex in Kuroshio extension area (in Chinese). *Mar Forec*, 2012, 29: 29–38 [潘丰, 张有广, 林明森. 黑潮延伸体区海平面异常和中尺度涡的时空特征分析. *海洋预报*, 2012, 29: 29–38]



Summary for “黑潮延伸体综合观测浮标的研制与应用”

## Development and application of the Kuroshio extension comprehensive observation buoy

Dian Chen<sup>1</sup>, Guoqing Ren<sup>2\*</sup>, Zhaoqiang Wei<sup>2</sup>, Fan Jiang<sup>1</sup>, Xin Ma<sup>3</sup> & Zhaohui Chen<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Information Science and Engineering Department, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

<sup>2</sup> Institute for Advanced Ocean Science, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

<sup>3</sup> Key Laboratory of Physical Oceanography of Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

\* Corresponding author, E-mail: [renguoqing@ouc.edu.cn](mailto:renguoqing@ouc.edu.cn)

The ocean issue has attracted the attention of governments all over the world. A comprehensive understanding of the ocean and making accurate predictions are the primary keys to addressing global issues, such as climate change and water circulation. Ocean observation is a primary means of understanding the ocean dynamic process and the energy and material cycle caused by it. It is crucial to strengthen the research and development of ocean observation technology and equipment by building an integrated three-dimensional ocean observation system. Therefore, implementing the “Transparent Ocean” strategy indicates the direction for the marine science and technology innovation of China.

The Kuroshio extension sea area is one of the most active areas of ocean and atmospheric dynamic processes. Ocean multiscale dynamic processes and their interactions are the core link to maintaining the ocean energy balance. The energy cascade from the large to the small scales plays a crucial role in maintaining the balance of the ocean energy budget and determining the motion pattern of the ocean system. Therefore, multiscale research on multilayered ocean dynamic processes is of utmost significance for understanding the mechanism of the ocean energy cascade and the law of ocean evolution. However, due to the complex marine dynamic processes in the region, it is difficult for traditional large-scale air-sea buoys to work continuously for a long time. Almost all mooring fixed-point observation systems are concentrated in tropical sea areas. The global middle-high-latitude sea area, especially the Kuroshio extension sea area, is still a “desert area” lacking long-term continuous observation. Currently, there is only one set of large-scale observation buoys (Kuroshio Extension Observatory, KEO) in the United States in this region under long-term operation.

Against this background, Ocean University of China has been committed to developing a long-term series of integrated observation buoys in this area since 2017. The China Kuroshio Extension Observatory (CKEO) developed a series of buoys featuring a targeted design for the buoy body and a deep-water mooring system. This has enhanced the stability and reliability of buoys in an abominable sea state, thus enabling them to operate stably for a long time in the Kuroshio extension area of the Western Pacific Ocean. The buoy body is made of aluminum magnesium alloy and filled with closed-cell foaming material to ensure that the buoy will not sink after being hit. The mooring system adopts a suspension structure that is applied to the navigation mark in the channel. A cantilever structure uses two stress points outside the body to ensure that the buoy is always in a relatively vertical state on the surface of the water. Buoy observation elements include meteorological, hydrology, biochemistry, and other multidisciplinary elements. The profile temperature and salinity observation data were transmitted to the surface buoy body by induction coupling. The lower end of the buoy platform connects the magnetic ring on the water to the data acquisition and processing system in the buoy body through the electric rotating ring. The power supply system adopts a combination of lead-acid batteries and solar panels commonly used in international far-reaching sea buoys, which can ensure the normal continuous operation of the integrated monitoring buoy system for at least one year.

The first deployment was conducted in 2019. By 2022, this series of buoys will have been working steadily in the area for three years, obtaining a large quantity of data on hydrological, meteorological, and other environmental parameters. As shown by the analysis of the obtained data and the status of the recovered buoys, the equipment was basically in a normal state when under operation. The observation data were accurate, which has supported the research on scientific issues, such as air-sea energy exchange in the Kuroshio extension area. Thus, it contributed to developing the “Transparent Ocean” Three-dimensional Observation Network.

**buoy, Kuroshio extension, integrated deep sea observation, anchor system**

doi: [10.1360/TB-2022-1187](https://doi.org/10.1360/TB-2022-1187)