doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2022.03.013

在线浪流监测浮标研制及其在深中通道施工海域的应用

黄 桦[1,2]，刘同木[1,2,3*]，张金尚[1,2]

（1.国家海洋局南海调查技术中心，广东 广州 510310；2.自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室，广东 广州 510310；3.天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室，天津 300072）

摘 要：深中通道是现代综合运输体系中的重大交通基础设施项目，也是国家“十三五”重点工程。深中通道每节沉管在 50 km 的浮运过程中需要经历 7 次航道转换，作业海域来往船舶繁多，流系规律复杂多变，需要高精度、高频次、高到报率的实时水文数据以保障沉管浮运安全。基于此需求，南海调查技术中心设计研制了在线浪流监测浮标，浮标系统由浮标体、系留系统、主控系统、观测系统、通讯系统和供电系统组成。为保障浮标数据传输稳定性，设计了 CDMA 数据堆栈模式和北斗终端自动监测重发机制，并对浮标供电系统进行了详尽的分析计算。为保障浮标在位安全性，对浮标体和系留系统选型进行充分考虑，创新性设计了浮标智能安防监控系统，提高了浮标受威胁与破坏的快速感知能力。在线浪流监测浮标已部署于作业海域 4 个航道转换关键点，目前已稳定运行 2 年，为沉管浮运、安装过程中的航行和施工安全提供服务保障，也为同类型的专用型海洋浮标研究提供参考。

关键词：深中通道；浪流监测浮标；在线监测；安全防护

中图分类号：P715.2 **文献标识码：**A **文章编号：**1003-2029（2022）03-0108-13

海洋环境监测是研究海洋、开发海洋和利用海洋的基础[1]。海洋观测浮标能在不同时间、空间尺度和复杂的海洋环境中定点、长期、连续进行海洋环境资料的收集，已经成为最主要的海洋环境监测手段之一[2-3]。

海洋浮标观测技术的发展始于 20 世纪 40 年代末至 50 年代初的欧美发达国家[4]，随着海洋资源开发的兴起和计算机技术、卫星通信技术在浮标上的应用，浮标已经在全球海洋监测中发挥着不可或缺的作用[1,5]。20 世纪 80 年代，随着观测技术的发展，各种专用型浮标在海洋工程建设过程中，也承担着重要的角色。我国波浪测量技术始于 20 世纪 60 至 70 年代，经历了船用自记仪、测波仪、遥测波浪浮标等发展阶段；20 世纪 90 年代中期，基于重力加速度原理的测波浮标得到深入发展。然而传统的专用型波浪浮标存在一定的不足：体积太小，易被渔船破坏；电池容量太小，需要定期更换电池；没有对应的安装空间和预留接口，无法直接搭载剖面海流等其他传感器[6-7]。在实际工程应用中，除了要保障数据的科学、可靠，设备长期运行的安全性和稳定性也至关重要。

深中通道是继港珠澳大桥之后又一世界级“桥、岛、隧、地下互通”超大集群工程，总长约 24 km，沉管隧道为世界首例双向八车道海底沉管

收稿日期：2021-07-08

基金项目：广东省级促进经济发展专项资金资助项目（GDME-2018B001）

作者简介：黄桦（1993—），男，硕士，工程师，主要从事海洋浮标观测技术研究。E-mail：huanghua@smst.gz.cn

通讯作者：刘同木（1980—），男，硕士，高级工程师，主要从事海洋观测技术、海洋浮标设计等研究。E-mail：liutongmu@smst.gz.cn

隧道，长约 6.8 km，为目前世界上最宽的海底沉管隧道。深中通道标准管节重达 8 万吨，排水量相当于一艘中型航母；从珠海桂山岛的预制工厂到西人工岛的沉放安装区域，浮运距离约 50 km，途径 7 次航道变换。在往来船只繁忙的伶仃主航道上布设实时观测的浮标系统，既要保证过往船只的安全，也要保证在位浮标的安全，还需兼顾数据加密观测后实时回传的接收率。本文通过对在线浪流监测浮标的研制与应用过程予以介绍，为同类专用型观测浮标的研究提供参考。

1　技术要求与难点

1.1　技术要求

浪流监测浮标主要技术指标如表 1 所示。

表 1　在线浪流监测浮标主要技术指标

项目	主要技术指标			
工作水深	5~20 m	适应环境温度	0~50 ℃	
海流测量	层数	深度单元	采样间隔	
	0~18 m	1 m	10 min	
波浪测量	浪高	波周期	最大横摇角	采样间隔
	0.1~25 m	2~30 s	±25 °	1 h

1.2　研制难点

根据深中通道施工海域环境监测的需求和监测站点的地理特点，在线浪流监测浮标的研制难点一在于对实时数据的获取率和回传频率有较高的要求，南海海域常规业务化运行浮标 1 h 的回传频率远远不能满足；难点二在于伶仃航道往来船舶繁忙[8]，如何尽可能避免浮标遭受船舶碰撞，浮标遭受意外碰撞故障后如何保障系统能“损伤”最小化和修复最快化。

2　浮标系统的设计与实现

2.1　浮标体

浮标体是浮标上部框架和各类传感器在海上的承载体，也为浮标提供浮力支撑，是浮标系统在海上长期安全、稳定运行的保障。同等排水量下主浮体直径的增加可提高浮标的耐波性，其初稳心也会随之增高，同时考虑到浮标站点均毗邻航道，浮标体过大容易影响航道安全，最终采用浮标直径为 3 m。同等海况条件下，与传统锥形和圆柱形浮标体相比，半球形浮标体的横摇响应最小，垂荡性能最佳[9]，考虑实际加工难度，浮标体半球曲面使用锥面进行替代，浮标体和标体结构示意图如图 1、图 2 所示。

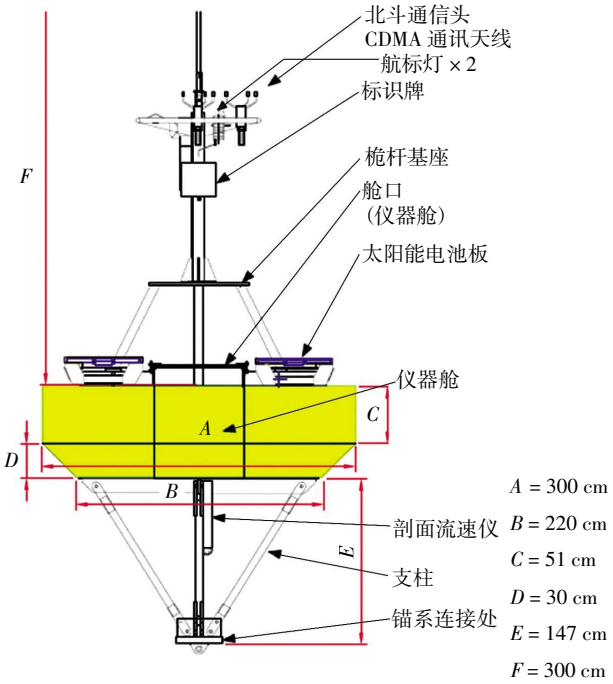


图 1　浮标系统标体结构示意图

图 2　浮标系统标体

在小倾角条件下，稳心半径 R 的计算方法[10]见式(1)。

$$R = Z_s - Z_b = \frac{I_X}{V} \tag{1}$$

式中，Z_s 为稳心垂向坐标；Z_b 为浮心垂向坐标；I_X 为浮标水线处横截面积对其形心 X 轴的面积惯性矩；V 为浮标的排水体积。

浮标水线处横截面积对其形心 X 轴的面积惯性矩的计算方法[10]见式(2)。

$$I_X = \int_A y^2 \mathrm{d}A = \frac{\pi D_1^2}{64} \tag{2}$$

式中，A 为浮标在水线处的横截面积；y 为水线到 X 轴的距离；D_1 为浮标水线处直径。

初稳心高度 H 的计算方法[10]见式(3)。

$$H = Z_s - Z_g = Z_b + R - Z_g \tag{3}$$

式中，Z_g 为重心垂向坐标。

计算可得浮标的初稳心高度为 0.49 m，满足《国内航行海船法定检验技术规则（2011）》中海洋浮式结构初稳性对浮体初稳心高度不小于 0.15 m 的要求[11]，说明浮标体的设计满足稳定性要求。

浮标体主要由护圈、桅杆及上部框架、仪器舱、主浮体、下部支柱几部分组成。浮标体采用分体组装的结构形式，主框架采用优质铝合金建造，以保证浮标在海上具有良好的抗腐蚀能力。主浮体采用轻型高分子材料乙烯—醋酸乙烯共聚物（Ethylene Vinyl Acetate，EVA）弹性体材料制作，具有超强的耐应力开裂性、良好的缓冲和抗震等优点[12]，其防震性能优于聚苯乙烯（泡沫）等传统包装材料，且符合环保要求[13]。

浮标体表面采用聚脲弹性体（Polyurea Elastomer，PE）喷涂。喷涂 PE 技术是近年来研制、开发的一种“新型无溶剂、无污染的绿色施工技术”[14]。PE 涂层具有柔韧有余、刚性十足、快速固化，致密、连续、无接缝，完全隔绝空气中水分和氧气的渗入，防腐和防护性能良好等特点。它同时还具有耐磨、防水、抗冲击、抗疲劳、耐老化、耐高温、耐核辐射等多种功能[14-15]。

2.2 系留系统

浮标布放站点水深较浅，布放时间长。为保障浮标安全，系留系统采用链式悬链锚系结构[9]，考虑链的重量和耐久性，采用直径 28 mm 的 AM2 锚链（二级有档锚链），锚链拉力试验负荷 321 kN，拉断试验负荷 449 kN。根据《小型海洋环境监测浮标》(HY/T 143—2011)标准，锚链总长度以 3 倍水深配置，浮标与锚链连接处配有 5 t 转子，释放浮标与系留系统之间的扭矩；底部配有 500 kg 自重锚与 250 kg 霍尔锚[16]。系留系统结构如图 3 所示。

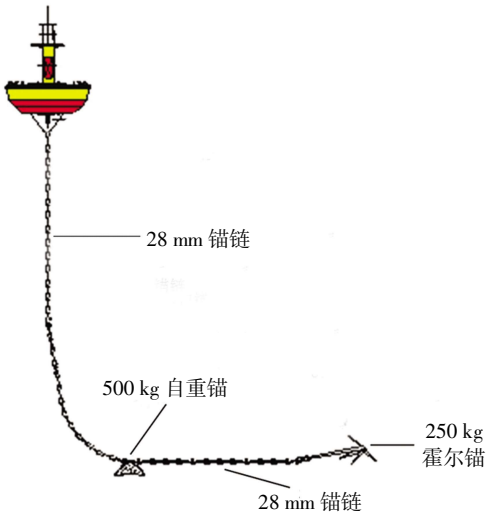


图 3 浮标系留系统结构示意图

2.3 主控系统

在线浪流监测浮标的主控系统以 CR1000 数据采集器为核心，进行外围模块和传感器的集成。主控系统组成如图 4 所示。

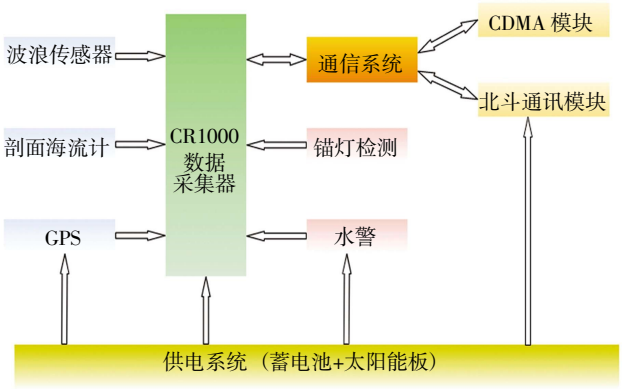


图 4 主控系统组成框图

按照设定的工作时序，自动、定时采集搭载的不同类型传感器数据，进行处理和存储，并将处理后数据通过北斗和 4G 双通信模式实时发送至岸站。

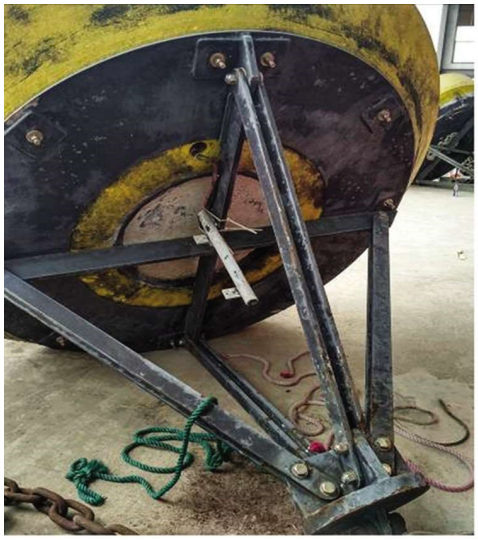
2.4 观测系统

在线浪流监测浮标的主要传感器及相关技术指标见表 2。

海流观测采用浮标悬挂剖面流速仪方式，向下观测流速流向。主浮体吃水线为 0.3 m，海流计安装支架距离主浮体底部 0.35 m，将剖面流速仪固定在浮标底下，如图 5 所示。通过调整安装角度，避免打到浮标底架，影响换能器探头发射接收声波。按此计算阔龙剖面流速仪的最上面一层距水面高度计算方法见式(4)。

表 2　在线浪流监测浮标观测传感器及主要技术指标

序号	仪器设备	生产厂商及型号	配置及指标	外观图片
1	剖面海流测量仪	Nortek 1.0 MHz 阔龙剖面流速仪	最大剖面范围：20 m 深度单元：0.3~4 m 声学频率：1.0 MHz 最小盲区：0.40 m 流速测量范围：±10 m/s 测量精度：1% × 测量值 ±0.5 cm/s	
2	波浪测量仪	山东省科学院海洋仪器仪表研究所 SBY1-1 型波浪仪	波高测量范围：0.2~25 m 波高准确度：±（0.1+5%×测量值） 波周期范围：2~30 s 波周期准确度：±0.25 s（采样频率 4 Hz） ±0.5 s（采样频率 2 Hz） 波向范围：0~360 ° 波向准确度：±10 °	



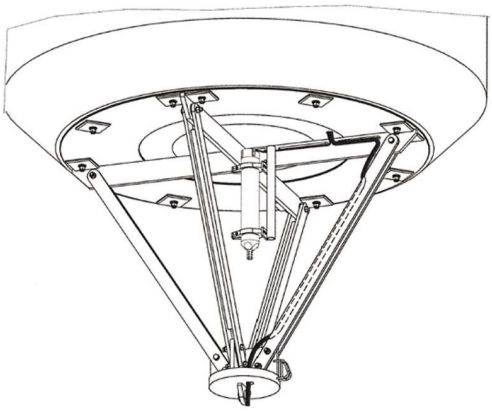


图 5　剖面流速仪安装方式

$$H = l + L_e + L_B + C_e \tag{4}$$

式中，l 为主浮体吃水线；L_e 为换能器到主浮体底部距离；L_B 为阔龙剖面流速仪盲区；C_e 为阔龙剖面流速仪设置深度单元。

通过计算，可得阔龙剖面流速仪观测到的第一层数据距离海表面为 2.05 m。

剖面流速仪设置参数如表 3 所示。

表 3　剖面流速仪设置参数

序号	参数	设置值
1	采样间隔/s	600
2	采样层数	18
3	深度单元/m	1
4	盲区（m，默认值）	0.4
5	平均采样时间/s	60
6	盐度/PSU	35
7	波特率/B	9 600

波浪仪安装在浮标体内，位于浮标重心位置。波浪仪在正点前的 21 分开始工作，采样间隔为 0.25 s，连续采样 17 min，数据处理后形成波浪特征值，每一小时测量一次。采集数据包括时序，最大波高，最大波周期，有效波高，有效波周期，1/10 波高，1/10 波周期，平均波高，平均波周期，波数，主波向及主波向的 16 方位分布等。

3 浮标安全与防护

在线浪流监测浮标的防护主要包括：浮标运行的安全问题和浮标状态的实时监控[17]。

3.1 碰撞防护

3.1.1 抗碰撞浮体材料

浮标无需添加橡胶护舷，主浮体采用轻型 EVA 材料制作，具有很强的抗碰撞能力[7]。如果浮标遭到撞击，首先撞击的是主浮体，能够起到很好的缓冲作用。同时主浮体还可提供很大的储备浮力，只要主浮体没有破碎可以保证浮标永不会沉没。

3.1.2 双锚灯系统

浮标部署位点毗邻航道，过往船舶较多，且浮标体型较小，容易遭受过往船舶碰撞，尤其是晚上灯光微弱，目标不明显。针对此情况设计了双锚灯系统，两台锚灯独立供电的一体化设计航标灯，防水等级 IP67，最小自治时间可达 200 h。灯光颜色为橙黄色，灯质为莫（O）黄 12 s，夜间灯光可视距离大于 3 nm。锚灯均引出信号线连接主控系统，可以实时传输信号至值班室反馈锚灯运行状态。

3.1.3 航行通告

浮标部署位点经论证后，将相关材料报送至中华人民共和国广东海事局，由广东海事局深中办协商在交通运输部海事局网站、公众号等官网、官微上发布正式的航行通告，提醒过往船舶加强瞭望，密切关注浮标动态，注意避让。

3.1.4 海上专用标志增设

按照海事要求，浮标桅杆上方增设海上专业工作区标志（30 × 50 cm 不锈钢矩形钢板）并进行喷漆（红白相间，如图 6 所示），提醒过往船只注意避让，增加浮标可视性和维护时的安全性；浮标标体上标注有 “海洋观测浮标” 标语及联系电话，保证发生紧急情况（如船舶意外碰撞，浮标漂移等）后可及时联系到值班人员。

图 6 海上专业工作区标识

3.2 岸站监控系统

根据浪流监测浮标的观测要素和采集频率，开发设计了一套接收软件系统，如图 7、图 8 和图 9 所示，部署于数据接收室。波浪以每小时 1 组，海流、GPS、锚灯状态、位移警告、进水警告等相应

图 7 浮标位置、状态查询示意图

参数以 10 min 1 组的频率实时回传至值班室，值班室安排专人 24 h 值班做好数据接收记录和浮标运行状态监控工作。接收软件有自动预警功能，浮标一旦发生位移、进水或连续 3 组数据（30 min）未能成功接收，将会通过接收界面告警和发送邮件两种形式预警，以便第一时间判断浮标运行状态。值班室装有 UPS 电源，保证岸站接收系统在断电 48 h 内仍可以正常工作。

图 8　海流数据接收示意图

图 9　波浪、表层海流生成示意图

4　创新性设计

在线浪流浮标的设计最终为了服务于项目施工海域监测的需求。基于数据回传的高标准和临近航道的高碰撞风险，针对浮标通讯、浮标供电冗余和智能安防监控，尽可能保障浮标数据回传的可靠性、稳定性，以及对浮标状态的实时监控反馈。

4.1　通信系统

为保证数据回传的实时性和稳定性，在线浪流监测浮标采用了多种通信方式：CDMA 网络通信和北斗卫星通信，同时进行数据传输，对应参数如表 4 所示。每 10 min 将浮标观测的数据和航标灯、水警等状态数据（波浪每小时一次）实时发送到岸站，同时将采集的数据存储在数据采集器存储介质内。

考虑到浮标站位存在网络通讯不稳定的情况，

CDMA 数据组帧采用了堆栈方式。每组数据包含 6 个时次海流和 2 个时次波浪共计 1 985 字节的采样数据，组帧时刻数据采集系统分别将最新一个时次的海流和波浪采集数据放入栈顶，将最早一组数据压出栈，保证了每组 CDMA 数据都是最近 6 组采集数据，即使某个时刻由于网络通讯不稳定造成数据未能回传，只要 CDMA 网络中断不超过 1 h，仍能补全缺失数据，保障数据传输的完整性。

北斗终端通信采用 ASCII 码传输，数据接口协议采用《北斗用户机数据接口协议（4.0 版）》。受民用北斗每条信息传输字节数所限，海流数据分为 4 个包，分别为 77、75、77 和 78 个字节，每个数据包间隔时间为 1 min。每 10 min 由单片机给北斗模块加电，分 4 个包转发至接收终端，第 5 分钟至第 9 分钟为补发阶段，发送失败的某个数据包会在补发阶段由北斗终端重新发送，提高数据接收率。

表 4 通信系统主要技术指标

序号	仪器设备	生产厂商及型号	配置及参数	外观图片
1	CDMA 模块	WG8220 型 CDMA DTU	网络类型：CDMA20001X 频段：800/1 900 MHz CDMA 网络传输速率：153.6 kps（最大） 协议：IS-2000 UIM 卡电压：兼容 3 V/1.8 V 天线接口：50 Ω/SMA（母头） 串口电平：RS-232 串口接口类型：DB9（公头） 串口波特率：9 600 bps 电源电压：DC 12 V 功耗： 工作：最大 95 mA；待机：小于 20 mA 工作温度：-25~70 ℃ 储存温度：-40~80 ℃ 湿度：0%~90%（非冷凝）	
2	北斗一体式普通型用户机	XDP200YX	接收信号灵敏度：-127.6 dBm 接收卫星通道数：6 个通道 天线方位角：0°~360° 电源要求：外部直流供电 额定电压：12~32 V 待机功耗：≤5 W 发送功耗：≤35 W 数据接收口：RS232 工作环境：温度-20~70 ℃ 相对湿度 10%~100%	

4.2 供电系统

供电系统采用太阳能板和蓄电池组合供电方式，对浮标系统提供单一工作电压。主要由太阳能电池板、太阳能充放电控制器、大容量免维护蓄电池、过压过流保护电路板、DC-DC 电源变换电路组成，如图 10 所示。电池舱采用 316L 不锈钢制成，舱内四周为防震橡胶垫片，起减震和增加摩擦力的作用，舱上方有压条固定电池，避免电池产生位移影响供电。

基于对实时数据的高获取率和高回传频率，为保障浮标供电系统具备充足的电量冗余，区别于常规的电量估算法和经验法，综合考虑蓄电池放电深度，太阳能板相关修正系数、太阳能日辐射量转换系数和浮标部署区域的年平均日辐射量，对电量进行了详尽的计算。

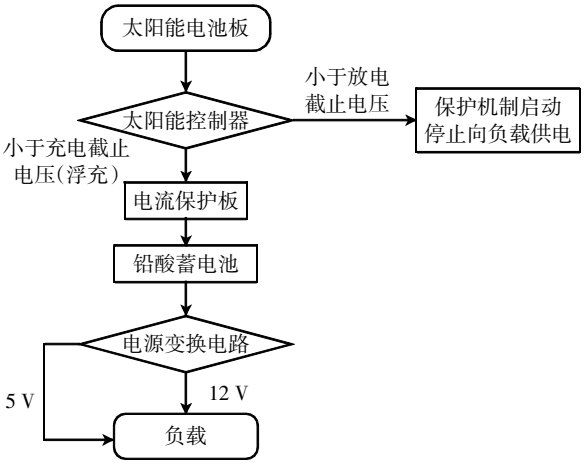


图 10 供电系统

供电采用 2 块 12 V（每块电池容量 100 Ah）免维护铅酸蓄电池作为主电源，并联安装在密封的电池舱中；同时使用独立的 4 块 12 V（每块电池容

量 20 Ah）并联安装于电池架上作为备用电源。铅酸蓄电池实际可用总容量计算方法[18]见公式(5)。

$$Q_B = Q_e \times C_e = 280 \times 0.75 = 210\ \text{Ah} \quad (5)$$

式中，Q_e 为蓄电池额定容量；C_e 为蓄电池放电深度，一般铅酸蓄电池取 0.75。

太阳能板输出端使用太阳能控制器对电池充放电进行控制保护，太阳能控制 B1 模式下，额定充电电流为 10 A，浮充电压为 14.6 V。太阳能板每块工作电流 9 A，工作电压 17 V。每块太阳能板日均发电量计算方法[18,19]见公式(6)。

$$Q_C = I_e \cdot K_{op} \cdot C_Z \cdot K_R \cdot H_R \quad (6)$$

式中，I_e 为太阳能板工作电流；K_{op} 为太阳能板斜面修正系数，在浮标系统设计中，4 块太阳能板水平安装且无遮挡，故此处 K_{op} 取 0.99；C_Z 为修正系数，主要为组合、衰减、灰尘、充电效率等损失，一般取 0.8；K_R 为辐射转换系数，将太阳能日辐射量转换为标准光照强度条件下平均日辐射小时数的转换系数，一般取 2.778/10 000（h·m²/kJ）；H_R 为太阳能日辐射量，赵春霞等[20]统计得广州半个世纪以来年平均日总辐射量为 11.66 MJ/(m²·d)，故此处取 11 660 kJ/m²。

计算可得 4 块太阳能板日均发电量为 92.4 Ah。

浮标设备工作参数如表 5 所示。

表 5　浮标系统设备工作参数

序号	设备	工作电压/V	工作电流/mA	待机电流/mA
1	海流计	12	100	10
2	波浪	12	40	10
3	数据采集器	12	7	0.6
4	北斗系统	12	3 000	416.67
5	CDMA	12	95	20
6	GPS	12	20	/

按设计观测方式，浮标设备日平均功耗如表 6 所示。

整套浮标系统日均功耗约为 12.6 Ah，远小于太阳能供电系统的日均发电量，供电系统足以支撑整套浮标系统运行。连续阴雨天的极限情况下，浮标系统最小自治时间大于 16 d，满足《海洋资料浮标作业规范》(HY/T 037—2017)中，有能源补充的浮标供电系统，“在无能源补充情况下，应能提供浮标系统不小于 15 d 正常供电储备”[21]。

表 6　浮标系统设备日均功耗

序号	设备	工作模式	日均功耗/Ah
1	海流计	每 10 min 工作 1 min	0.456
2	波浪	每小时工作 25 min	0.540
3	数据采集器	100 Hz 扫描，w/RS-232	0.168
4	北斗系统	每 10 min 发送 4 个包，每个包发送 1 s	10.413
5	CDMA	每 10 min 发送 1 个包，每个包发送 1 s	0.483
6	GPS	1 Hz 不间断采样	0.480

4.3　智能安防监控系统

为保障浮标在位安全，研制设计了智能安防监控系统（图 11）。该监控系统由 4 个红外摄像头，1 条 AIS 天线，1 台 AIS 接收机和存储硬盘组成，采用本地存储的方式，每次巡视浮标时可更换硬盘。每个摄像头可监控角度为 90°，4 个红外摄像头可组成 360°全天候视频录像如图 12 所示。AIS 监控系统由 AIS 天线和 AIS 接收机组成，能发送 AIS 预警信号至过往船舶，提醒船舶注意避让浮标，同时能实现浮标站点周边 20 n mile 以内船只动态跟踪，并将 AIS 数据通过通讯终端回传至岸站，可实时监控浮标周边船只动态。摄像系统由红外摄像头和存储硬盘组成，由 AIS 监控系统控制，当有船舶靠近时启用录像，并将影像通过 CDMA 网络通讯模块传输至岸站。

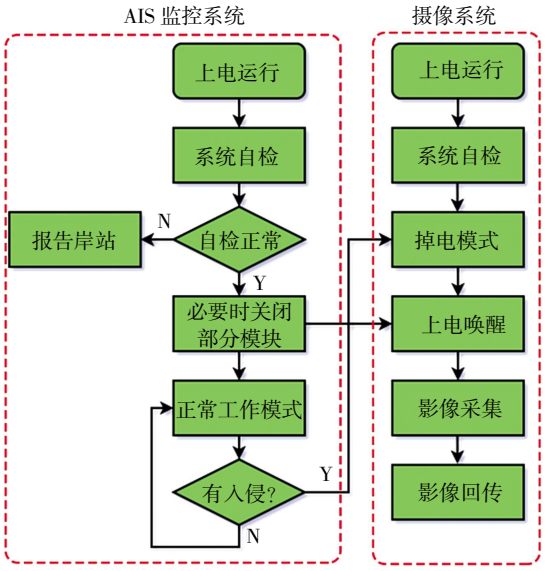


图 11　浮标智能安防监控系统

为保障该套监控系统的独立性，设计使用单独的电源供电，不影响浮标原有的观测系统。该套视

频监控设备工作电流约 0.8 A，24 h 连续工作的情况下，每天功耗约 20 Ah，安防监控系统不考虑极限工况，采用 1 块 80 W 太阳能板与 1 块 60 AH 蓄电池组成独立供电系统工作。

图 12　智能安防监控系统测试图

5　在线浪流监测浮标的应用

在线浪流监测浮标经研制、组装、拷机运行后，已于 2019 年布放于 4 个部署点位，迄今已服务深中通道施工海域海洋环境监测 2 年。期间由于船舶碰撞、仪器故障等问题存在数据中断现象，但根据应急预案，修复小组均在指定时间内进行修复，保障总体数据接收率达到 85%以上。

5.1　海流监测

在线浪流监测浮标部分海流观测数据如图 13 至图 16 所示。

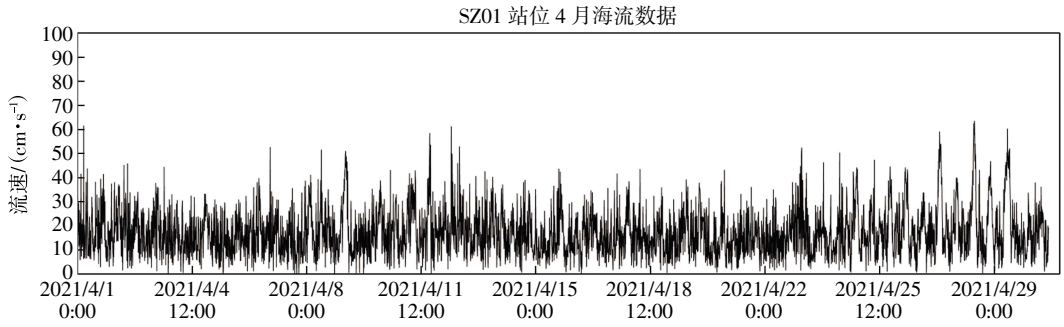


图 13　SZ01 站位 2021 年 4 月第二层海流流速

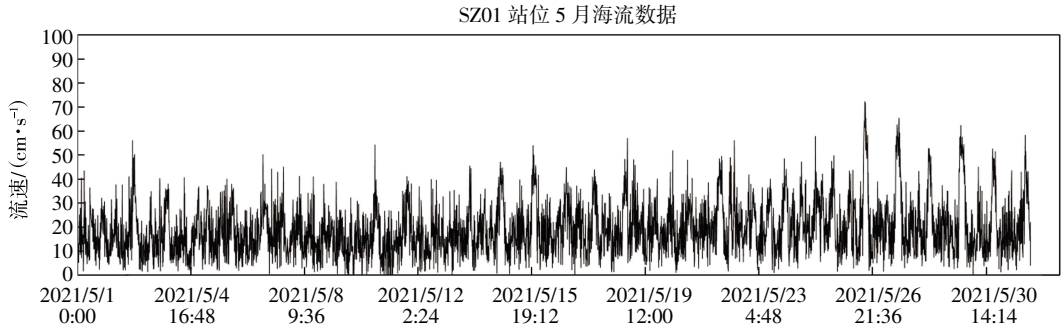


图 14　SZ01 站位 2021 年 5 月第二层海流流速

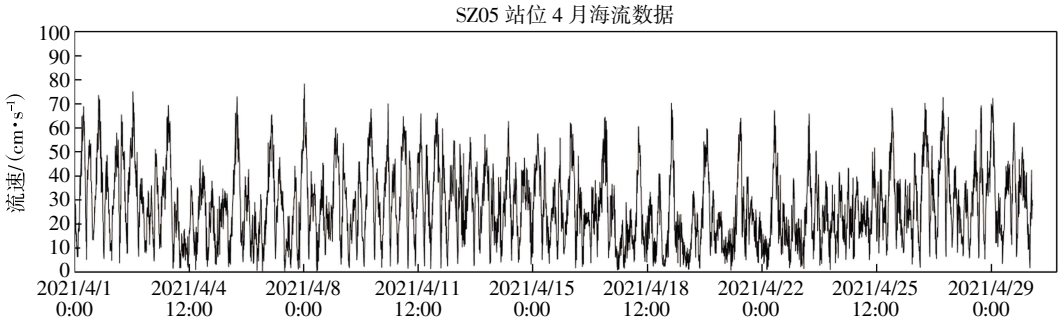


图 15　SZ05 站位 2021 年 4 月第二层海流流速

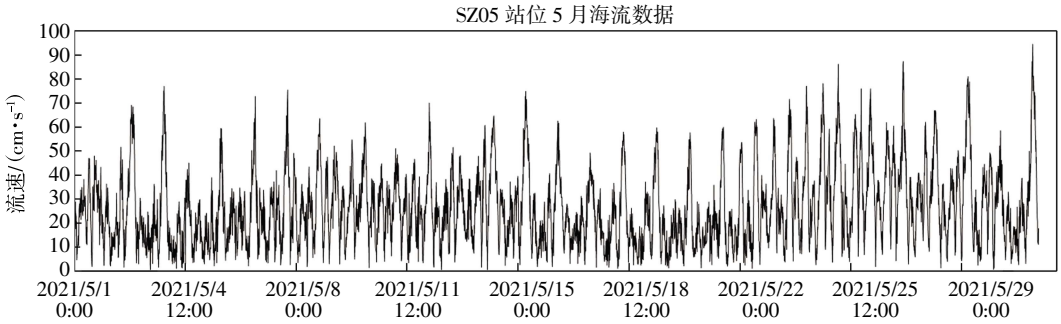


图 16　SZ05 站位 2021 年 5 月第二层海流流速

5.2　波浪监测

在线浪流监测浮标部分波浪观测数据如图 17 至图 20 所示。

5.3　数据统计与分析

统计近 2 年数据，4 个部署位点月均海流数据获取率为 88.63%，有效数据率为 85.71%。海流为典型的西北和东南向往复流，表层东南向流速明显大于西北向流速，底层西北向流速明显大于东南向流速。非台风天气流速极值小于 1 m/s，超过 75% 的观测时间流速小于 0.5 m/s；台风期间表层流速极值大于 2 m/s。月均波浪数据获取率为 89.42%，有效数据率为 84.97%。非台风期间波高极值小于

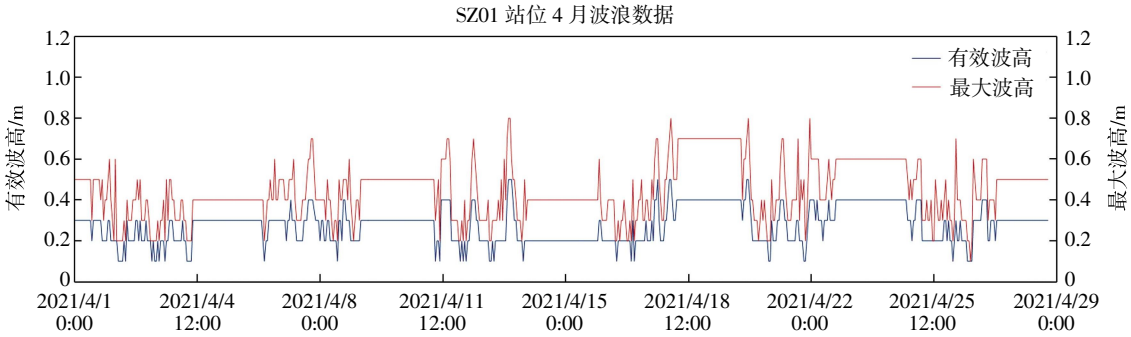


图 17　SZ01 站位 2021 年 4 月波浪数据

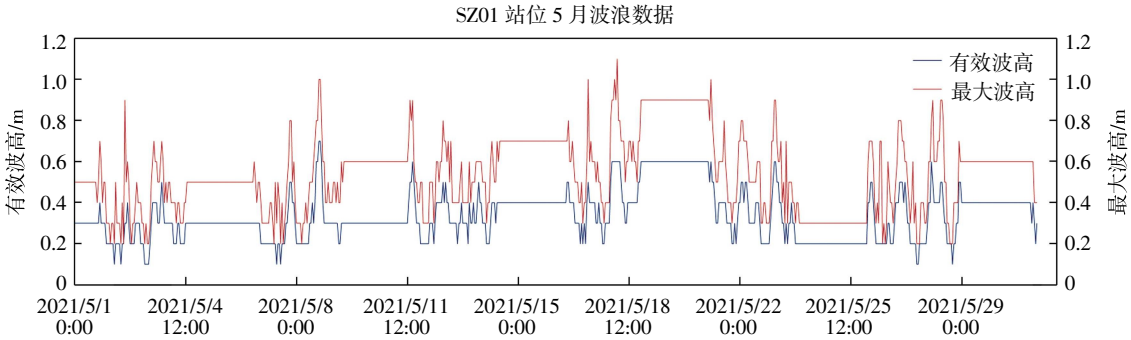


图 18　SZ01 站位 2021 年 5 月波浪数据

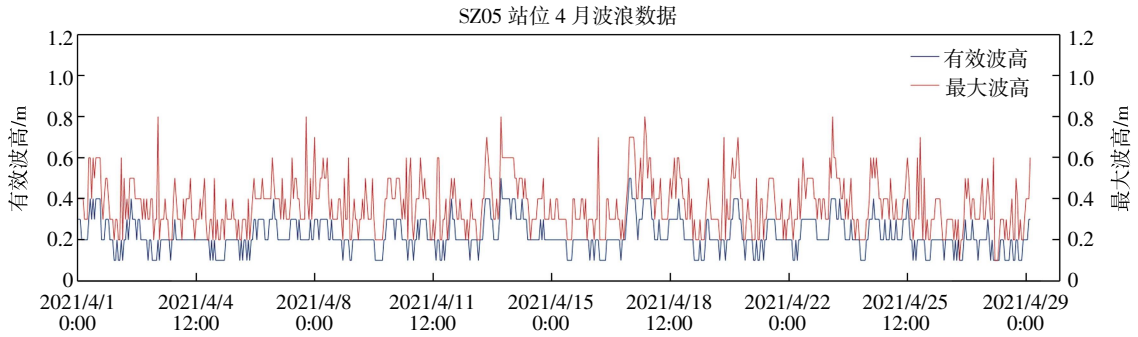


图 19 SZ05 站位 2021 年 4 月波浪数据

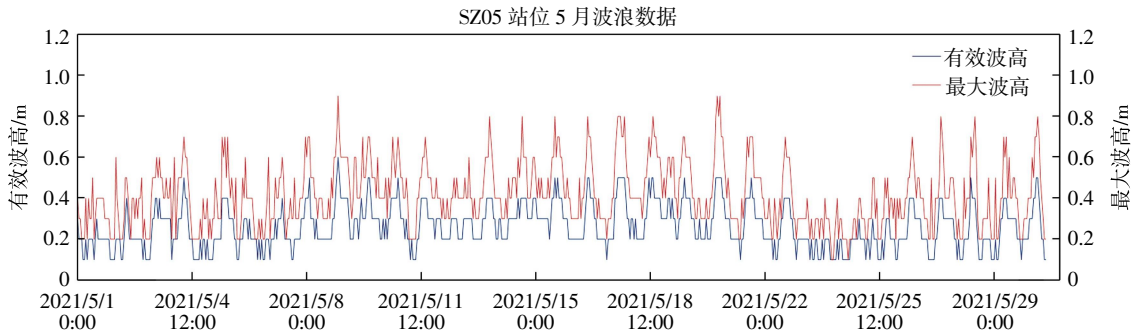


图 20 SZ05 站位 2021 年 5 月波浪数据

1.2 m，有效波高极值小于 0.8 m；台风期间极值波高大于 2.5 m，有效波高极值大于 1.6 m。

5.4 数据应用效果

珠江口海域春季冷空气活动频繁，强对流、突风、大雾天气频发；夏季台风、热带气压活跃；秋冬季长期海况恶劣。复杂多变的水文条件对于施工海域作业挑战极大。4 套在线浪流监测浮标自 2019 年完成部署后，为深中通道每节沉管浮运安装前后的海流和波浪观测和预报提供了大量宝贵的实测数据，为项目施工筹划和部署提供了重要的基础条件，迄今项目已完成安装管节长度累计超过 3 877.8 m，突破沉管段总长度的四分之三。

6 结论与建议

深中通道沉管在复杂航路长时间浮运，基槽长距离横拖，还要面临台风季、汛期等不可预测恶劣天气带来的风险，在线浪流监测浮标研制并部署后，为沉管浮运、安装等施工作业提供了高质量的实时浪流监测数据，解决了在复杂的水文环境中如何科学评估、选取作业窗口的难题，保障了项目高效开展。

在浮标运行和维护过程中，也出现了部分问题。一是 4 个站位中有 3 个站位毗邻航道，1 个站位毗邻锚地，浮标存在较大的安全隐患，仍存在浮标被碰撞的情况，对于浮标安防措施的完善和改进，是下一步需要加强的方向。二是浮标站位位于珠江口附近咸淡水交替海域，海流传感器生物附着情况较为严重，尤其是夏季，对于观测数据质量可能存在一定的影响，需要较高的维护频次以保证及时清理生物附着，同时如何科学、有效地防止生物附着，也是下一步需要研究的方向。

随着海洋技术的重视和发展，未来浮标观测将会在海洋监测网中突显出更大的作用，将会向着实时化、专题化的方向发展，以满足海洋科学研究、海洋工程设计与规划管理、海洋环境预报与评估等工作的需求[1]，这也是本文的参考意义所在。

参考文献：

[1] 戴洪磊，牟乃夏，王春玉，等. 我国海洋浮标发展现状及趋势[J]. 气象水文海洋仪器，2014，31(2)：118–121.

[2] 陈维仁，叶莪菁. 污染监测浮标的发展及其在海洋环境污染监测中的应用[J]. 海洋环境科学，1997，16(3)：66–70.

[3] 赵聪蛟，周燕. 国内海洋浮标监测系统研究概况[J]. 海洋开发与管理，2013，30(11)：13–18.

[4] MALONE T C. The coastal module of the Global Ocean Observing System (GOOS): an assessment of current capabilities to detect change[J]. Marine Policy，2003，27(4)：295–302.

[5] 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[J]. 仪器仪表学报，2014，35(11)：2401–2414.

[6] 毛祖松. 我国近海波浪浮标的历史、现状与发展[J]. 海洋技术，2007，26(2)：23–27.

[7] 唐原广，王金平. SZF 型波浪浮标系统[J]. 海洋技术，2008，27(2)：31–33.

[8] 徐献义. 浅析伶仃航道的协调与避让[J]. 中国水运：下半月，2014，14(11)：67–68.

[9] DHANAK M R，XIROS N I. Springer handbook of ocean engineering ‖ buoy technology[J]. 2016，40：937–962.

[10] 梁冠辉，薛宇欢，孙宝楠，等. 海洋物性监测小型浮标稳性设计[J]. 海洋科学进展，2020，38(3)：541–548.

[11] 中华人民共和国海事局. 国内航行海船法定检验技术规则[M]. 北京：人民交通出版社，2011.

[12] 邹丹. EVA 共聚物的生产工艺及应用现状[J]. 广东化工，2015，42(19)：99–100.

[13] 王素玉，苏一凡，王艳芳，等. 国内外EVA 产品的发展及应用[J]. 石化技术，2005，12(2)：53–56.

[14] 黄微波，王宝柱，陈酒姜，等. 喷涂聚脲弹性体技术及其在重防腐领域的应用[J]. 腐蚀科学与防护技术，2003，15(1)：56-56.

[15] 高志亮. 喷涂聚脲弹性体的研究进展[J]. 中国胶粘剂，2008，17(5)：48–52.

[16] 国家海洋局. 小型海洋环境监测浮标: HY/T 143—2011[S]. 北京：中国标准出版社，2011：4–5.

[17] 李晴. 多参数海洋浮标监测系统研究[D]. 上海：上海海洋大学，2017.

[18] 杨树明，史胜达. 独立光伏电源系统设计方法[J]. 太阳能，2001，3：30–31.

[19] 樊汝森. 太阳能供电系统的多目标优化设计方法研究[J]. 上海电力，2019，32(2)：25–29.

[20] 赵春霞，郑有飞，吴荣军，等. 我国东南沿海地区城市太阳辐射变化差异及其影响因素分析[J]. 热带气象学报，2013，29(3)：465–473.

[21] 国家海洋局. 海洋资料浮标作业规范：HY/T 037—2017[S]. 北京：中国标准出版社，2017：3.

Design and Development of Online Wave and Current Monitoring Buoy and Its Application in Construction Sea Area of the Shenzhen-Zhongshan Bridge

HUANG Hua[1,2], LIU Tongmu[1,2,3], ZHANG Jinshang[1,2]

(1. South China Sea Marine Survey and Technology Center of State Oceanic Administration, Guangzhou 510310, China; 2. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510310, China; 3. Key Laboratory of Water Resources Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The Shenzhen-Zhongshan Bridge is a major transport infrastructure project in the modern comprehensive transport system, which is also a key project of the 13th Five-Year Plan of the country. Seven channel transitions are required during the 50 km-long floating process of each tunnel section. High accuracy, high frequency and high received rate of real-time hydrographic data are required to guarantee for safety of tunnel floating process, resulting from large number of vessels passing through the sea area and the complex and variable flow pattern. Base on the requirement, online wave and current monitoring buoy has been designed and manufactured by South China Sea Marine Survey and Technology Center. The buoy system is composed of buoy body, mooring system, control system, observation system, communication system and power-supply system. CDMA data stack mode and Beidou Satellite automatic monitoring retransmission mechanism are designed to guarantee the stability of buoy data transmission. Buoy body and mooring system selection are fully considered to guarantee the safety of operation; and buoy intelligent security monitoring system is innovatively designed to improve the rapid perception of threats and damages. Buoys have been in stable operation for two years after deployed in four sites of key points of channel transition, pro viding service guarantee for navigation and construction safety during the floating and installation of tunnel sections, and also providing research for the same type of specialised marine buoy.

Key words: the Shenzhen-Zhongshan Bridge; wave and current monitoring buoy; online monitoring; safety and protection