

【引用格式】王爱军, 程绍华. 海洋观测仪器的通用技术要求[J]. 数字海洋与水下攻防, 2023, 6(2): 167-174.

海洋观测仪器的通用技术要求

王爱军, 程绍华

(国家海洋标准计量中心, 天津 300112)

摘要 海洋观测仪器是实施海洋观测活动的基础, 其性能影响海洋观测数据的准确性和海洋观测活动的质量。按照不同观测平台对海洋观测标准体系进行分类, 梳理了海洋观测要素及其仪器有关的基本参数; 根据海洋观测活动的特点列出了海洋观测仪器的一般技术要求, 有助于推进海洋观测仪器应用的标准化工作。从海洋观测仪器的检定校准和现场比测 2 方面整理了海洋观测数据的质量控制方法, 为提高海洋观测数据质量提供支撑。

关键词 海洋观测仪器; 基本参数; 一般技术要求; 质量控制

中图分类号 P715.5

文献标识码 A

文章编号 2096-5753(2023)02-0167-08

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2023.02.006

General Technical Requirements for Marine Observation Instruments

WANG Aijun, CHENG Shaohua

(National Center of Ocean Standards and Metrology, Tianjin 300112, China)

Abstract Marine observation instruments are the basis for marine observation activities. Their performance affects the accuracy of marine observation data and the quality of marine observation activities. The standard system of marine observation is classified according to different observation platforms, and the basic parameters related to marine observation elements and their instruments are summarized. Then the general technical requirements of instruments are listed based on the characteristics of marine observation activities, which helps to promote the application of marine observation instruments. The quality control methods of ocean observation data are summarized from the aspects of calibration and on-site comparison, which provides support for improving the quality of marine observation data.

Key words marine observation instrument; basic parameters; general technical requirements; quality control

0 引言

随着海洋世纪的到来和全球经济的发展、人口的不断增加, 人类对海洋资源的依赖也在不断增强, 现场系统地观测海洋环境及其要素可以更好地了解海洋^[1-2]。近年来, 为满足我国在海洋防灾减灾、维护海洋权益、保护海洋环境、开展科学研究和应对气候变化等方面日益增长的需求, 《海洋观

测预报管理条例》《全国海洋观测网规划(2014-2020年)》《海洋观测站点管理办法》《海洋观测资料管理办法》《进一步加强海洋观测预报活动监管的通知》等多项海洋观测规划、法规制度相继颁布实施。

随着海洋观测制度的完善、重大海洋科技和业务专项的实施, 我国建设的海洋观测系统, 由海洋站(点)网、雷达网、浮标网、调查船、卫星遥感

收稿日期: 2022-12-30

作者简介: 王爱军(1980-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋仪器计量校准技术研究。

等不同观测平台的组成,基本覆盖了我国近岸、近海及部分重点海域的水文和气象观测要素,全面提升了海洋环境保护、公益服务、防灾减灾水平;海洋观测技术成果和海洋观测仪器设备得到较大规模的应用,提高了自动观测程度;同时自然资源部相继制定了不同观测平台的海洋观测标准,完善了海洋观测标准体系。

连续的海洋观测数据会更多地依赖于海洋观测平台及其搭载仪器的可靠性^[3],为保证海洋观测立体观测网的科学性和先进性,有效解决海洋观测仪器应用中存在的技术标准不统一、可靠性低、管理维护难等问题。本文系统阐述了海洋观测要素及其仪器的基本参数、一般技术要求等内容,有助于推进海洋观测仪器应用的标准化工作;汇总整理了海洋观测数据常用的质量控制方法,有利于提高海洋观测数据的准确性和观测资料的质量。

1 海洋观测要素及其仪器的基本参数

海洋观测标准不仅推动海洋观测工作向制度化、规范化方向发展^[4],而且规范了海洋观测仪器的生产、检验质量及海洋观测结果^[5]。

HY/T 0309—2021《海洋观测要素分类与代码》中把海洋观测方式分为海滨观测、浮标潜标观测、岸基雷达观测、船舶观测和卫星遥感观测这5类。按照上述观测方式将我国与海洋观测活动有关的标准进行如下分类。与海洋站(点)有关的GB/T 14914.2—2019《海洋观测规范》第2部分:海滨观测;与岸基雷达有关的GB/T 14914.4—2021《海洋观测规范》第4部分:岸基雷达观测;与浮标潜

标有关的GB/T 14914.3—2021《海滨观测规范》第3部分:浮标潜标;与调查船有关的GB/T 12763.3—2007《海洋调查规范》第2部分:海洋水文观测,GB/T 12763.3—2020《海洋调查规范》第3部分:海洋气象规范,GB/T 17838—2017《船舶海洋水文气象辅助测报规范》;与卫星遥感有关的GB/T 14914.5—2021《海洋观测规范》第5部分:卫星遥感观测。

鉴于我国近岸、近海的观测活动用到的海洋观测设备较多,因此本文系统梳理了除卫星遥感观测标准外的其他标准中与海洋观测要素及其仪器有关的基本参数。其中表1-3为海洋站(点)、岸基雷达和浮标潜标有关的要素及其技术参数,均为《海洋观测预报条例》颁布后制定的,不同观测方式、不同仪器设备之间技术衔接比较协调。然而调查船有关的3项标准,1项是2007年制定的,目前正在修订中,2项是近5年制定的,由于时间跨度较大,标准制定单位不同,各标准的技术参数存在不协调的地方。比如GB/T 17838—2017中,空气温度、湿度和风向指标无分级,GB/T 12763.3—2020则对这3个要素进行了分级描述;GB/T 12763.2—2007对波高、波向、表层水温和表层海水盐度等指标进行了分级描述,而GB/T 17838—2017中并无分级,可能是因为GB/T 17838适用于商船、渔船等其他活动的船舶水文气象,相关技术指标明显低于GB/T 12763的相关指标。

综上所述,海洋观测活动承担单位可以根据不同的观测需求参照本文所整理的表1-4进行筛选,选择出更加合适的海洋观测设备。

表1 海洋站(点)所搭载测量仪器的技术参数

Table 1 Technical parameters of instruments in ocean stations (points)

标准	观测项目和要素		最大允许误差			
			I级	II级	III级	IV级
GB/T 14914.2—2019《海洋观测规范》第2部分:海滨观测	潮汐 (水位)	潮高/cm	±1	±5	±10	—
		潮时/min		±1		
	海浪	波高/m	±10%	±15%	—	—
		波周期/s		±0.5		
		波向/(°)	±5	±10	—	—
		表层海水温度/℃	±0.05	±0.2	±0.5	—

续表 1

标准	观测项目和要素	最大允许误差				
		I 级	II 级	III 级	IV 级	
GB/T 14914.2—2019 《海洋观测规范》第 2 部分: 海滨观测	表层海水盐度	±0.02	±0.05	±0.2	±0.5	
	空气温度/℃	±0.2	±0.5	—	—	
	相对湿度/%	±10 (>80), ±8 (≤ 80)				
	降水量/mm	±4% (>10.0), ±0.4 (≤ 10.0)				
	风	风速/ (m/s)	±10% (>5.0), ±0.5 (≤ 5.0)			
		风向/ (°)	±5	±10	—	—
		气压/hPa	±0.1	±0.5	±1	—
	海面有效能见度/km	±10%		±20%		
	海冰	海冰漂流方向/ (°)			±5	
		浮冰漂流速度/ (m/s)			±0.1	
海冰堆积高度/m				±0.1		
固定冰宽度/m				±1		
海冰厚度/cm				±1		
海冰温度/℃				±0.2		
海冰盐度				±0.05		
海冰密度/ (g/cm ³)				±0.01		
海冰单轴抗压强度/MPa			±0.01			

表 2 海洋浮标潜标所搭载测量仪器的技术参数

Table 2 Technical parameters of instruments carried by surface and subsurface buoys

标准	观测项目和要素	最大允许误差				
		I 级	II 级	III 级	IV 级	
GB/T 14914.3—2021 《海洋观测规范》第 3 部分: 浮标潜标观测	潮汐 (水位)	水位/cm	±1	±5	±10	—
		对应时间/min	±1			
	海浪	波高/m	±10%	±15%	—	—
		波周期/s	±0.5			
		波向/ (°)	±5	±10	—	—
	表层温盐	温度/℃	±0.02	±0.05	±0.2	±0.5
		电导率/ (mS/cm)	±0.02	±0.05	±0.2	±0.5
	水体温盐深	海水温度/℃	±0.02	±0.05	±0.2	—
		压力/MPa	±0.1%FS	±0.5%FS	±2%FS	—
	剖面	电导率/ (mS/cm)	±0.02	±0.05	±0.2	—
		海流	流速/ (cm/s)	±5% (流速 ≥ 100), ±5 (流速 < 100)		
	流向/ (°)		±5			
	海啸	水位/cm	工作深度的 0.01%FS (当水深为 6 000 m 时, 分辨率为 1 mm)			
		对应时间/s	±2			
	风	风速/ (m/s)	±(0.25+0.05×测量值)	±0.5 (≤ 5.0) ±测量值×10% (>5.0)	—	—
		风向/ (°)	±5	±10	—	—
气压/hPa		±0.1	±0.5	±1	—	
气温/℃	±0.2	±0.5	—	—		

续表 2

标准	观测项目和要素	最大允许误差			
		I 级	II 级	III 级	IV 级
GB/T 14914.3—2021 《海洋观测规范》第 3 部分：浮标潜标观测	相对湿度/%	±8 (>80), ±4 (≤80)	±10 (>80) ±8 (≤80)	—	—
	海面有效能见度/km	±10%	±20%	—	—
	海洋环境噪声频带声压级/dB	±1	±2	—	—
	海洋环境噪声声压谱级/dB	±1	±2	—	—

表 3 海洋岸基雷达所搭载测量仪器的技术参数

Table 3 Technical parameters of instruments carried by shore-based radar

标准	观测项目和要素	最大允许误差				
		I 级	II 级	III 级	IV 级	
GB/T 14914.4—2021 《海洋观测规范 第 4 部分：岸基雷达观测》	表面流	海流速度/(cm/s)	±20	—	—	—
		海流方向/(°)	—	±30	—	—
	海浪	波高/m	—	±(0.5+15%测量值)		
		波周期/s	—	±1	—	—
	风	波向/(°)	—	±15	—	—
		风速/(m/s)	±10% (风速>10.0), ±1 (风速 ≤ 10.0)			
	海冰	风向/(m/s)	±22.5° (风速>5.0)			
		冰量、密集度	±1			
		浮冰漂流方向/(°)	±5			
		浮冰漂流速度/(cm/s)	±10			

表 4 海洋调查船所搭载测量仪器的技术参数

Table 4 Technical parameters of instruments carried by survey ships

标准	观测项目和要素	最大允许误差			
		I 级	II 级	III 级	
GB/T 12763.2—2007 《海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测》	水温/°C	±0.02	±0.05	±0.2	
	盐度	±0.02	±0.05	±0.2	
	海流	流速/(cm/s)	流速<100 时, ±5 (水深≤200 m), ±3 (水深>200 m) 流速≥100 时, ±5% (水深≤200 m), ±3% (水深>200 m)		
		流向/(°)	±5		
	海浪	波高/m	±10	±15	—
		波周期/s	±0.5		
	水位/m	波向/(°)	±5		
		水位/m	±0.01	±0.05	±0.10
	海冰	漂流方向/(°)	±5		
		漂流速度/(m/s)	±0.1		
海冰	冰厚/m	±1			
	空气温度和湿度	空气温度/°C	±0.2		
相对湿度/%		±4 (相对湿度≤80), ±8 (相对湿度>80)			
GB/T 17838—2017 《船舶海洋水文气象辅助测报规范》	气压/hPa	±0.5			

续表 4

标准	观测项目和要素	最大允许误差			
		I 级	II 级	III 级	
GB/T 17838—2017 《船舶海洋水文气象辅助 测报规范》	风	风速/(m/s)	±0.5 (风速≤5.0), ±10% (风速>5.0)		
		风向/(°)	±5		
		能见度/km	±20% (分辨率 0.1 km)		
	波浪	波高/m	±15%		
		波周期/s	±10		
		波向/(°)	±1		
		表层海水温度/°C	±0.2		
		表层海水盐度	±0.05		
	空气温度 和湿度	空气温度/°C	±0.2	±0.5	—
		湿度/%	±4 (≤80), ±8 (>80)		
	气压/hPa	±0.1	±0.5	±1	
风	风速/(m/s)	±0.5 (风速≤5.0), ±10% (风速>5.0)			
	风向/(°)	±5	±10	—	
	降雨量/mm	±0.4 (降雨量≤10.0), ±4% (降雨量>10.0)			
	云高/m	±10%			
高空气压、温 度、相对湿度	气压/hPa	±1			
	温度/°C	±0.5 (海面至 100 hPa), ±1.0 (100 hPa 高度以上);			
	相对湿度/%	±5 (海面至对流层顶), ±10 (对流层顶以上)			
GB/T 12763.3—2020《海洋 调查规范 第 3 部分: 海洋 气象观测》	风	风速/(m/s)	±1 (海面至 100 hPa), ±2 (100 hPa 高度以上);		
		风向/(°)	海面至 100 hPa: ±5 (风速≤15 m/s), ±2.5 (风速>15 m/s); 100 hPa 高度以上: ±5		
海气通量	气温/°C	±0.2			
	相对湿度/%	±4 (≤80), ±8 (>80)			
海气通量	脉动风速/(m/s)	风速水平分量±0.08, 风速垂直分量±0.04			
	水汽和二氧化碳 脉动浓度	±1%读数			
	红外皮温/°C	±0.5			
运动姿态	航向/(°)	±1			
	姿态/(°)	横滚±0.3, 俯仰±0.3			
	速度/(m/s)	±0.1			
	净辐射	±15%~20%			

我国海洋观测标准要求的观测要素与国际文件 World Meteorological Organization (WMO) No.8^[6]的要求基本一致, 要素多为温度、盐度、海流、海浪、海冰、气压、温湿度、风、能见度等, 我国的观测技术指标规定更为详细^[7], 如划分了准确度等级、次级观测要素更多, 其中表层水温、风速等指标优于 WMO No.8; 与美国同类仪器相比,

我国海洋站验潮仪测量精度低 1 个数量级, 测波仪在波高、周期和波向的测量精度也稍低, 且运行可靠性和稳定性存在不足^[8]。

2 海洋观测仪器的一般技术要求

从仪器的外观与机构、标记、附件、通讯与软件、数据记录、电源与功耗、环境适应性、准确度

等计量特性评定、海上现场试验等方面,明确了海洋观测仪器的一般技术要求。具体的一般技术要求如下文。

2.1 外观与结构

海洋观测仪器的外表无明显的划痕和碰伤等;可触及部件无毛刺和尖锐突起;各连接件和外部构件坚固可靠,具有耐腐蚀性、耐磨损性、耐老化性,最好采用标准件和通用器材,便于维修和更换。具有悬挂安装要求的海洋观测仪器,要求其悬挂结构包括线缆和接头等装置,能承受产品规定工作水深下水头压力的1.5倍^[9],在使用期限内不应有明显的变形。

2.2 标记

海洋观测仪器的部位若有安全要求,需要设置安全标记。必要时,设置锁开关、软件密码、加封条等方式,防止非法操作。

2.3 附件

海洋观测仪器附有必备的附件、备件、易损零件、专用工具和随机技术文件。

2.4 通讯与软件

海洋观测仪器具备RS232或RS485等标准接口或专用接口,具有便于操作的工作软件,必要时可设置故障自动或半自动恢复功能,避免因误操作产生错误的数

2.5 数据记录

具有数据记录功能的海洋观测仪器,具有断电、短路保护功能,能清晰地显示和记录数据,能长期保存记录结果。电子信息数据应便于下载和传输。

2.6 电源和功耗

海洋观测仪器的电源适应性有2类:

1) 交流要求电压220 V,允许偏差为 $\pm 10\%$,频率50 Hz,允许偏差为 $\pm 5\%$;

2) 直流要求电压3~36 V,允许偏差为 $\pm 15\%$ 。

对于浮标潜标平台搭载的长期工作的低功耗仪器,应明确其静态功耗。

2.7 环境适应性试验

海洋观测仪器按照GB/T 32065(所有部分)的相关规定进行环境适应性试验,例如工作状态

进行低温试验、高温试验、温度变化试验、交变湿热试验、倾斜和摇摆试验、水静压力试验;运输、贮存环境状态进行低温贮存试验、高温贮存试验、冲击试验、碰撞试验、恒定湿热试验;必要时,对其特定部件及外壳涂层进行盐雾试验、浸渍试验、长期霉菌试验。试验后仪器应能正常工作。

2.8 计量特性评定

按照JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》的要求,确定海洋观测仪器的计量特性,包括准确度、重复性、灵敏度、分辨力、响应时间等。

2.9 海上现场试验

各类海洋观测仪器在新产品鉴定或投产前,应开展现场试验,考核其海上现场的适用性、稳定性和可靠性,考核时间应不小于3个月^[9]。试验前应制定现场试验大纲,规定试验环境条件、方法、步骤等内容。

3 海洋观测数据的质量控制

海洋观测数据往往是在既不知道被测对象的真值,又是在被测对象不断变化的条件下观测获得的,因而现在海洋工作者面对的重要难题是海洋观测结果的质量控制与评估^[10]。海洋观测仪器是实施海洋观测活动的工具,其准确度性能直接影响海洋观测数据的准确性,因此本文从海洋观测仪器的准确度性能测试方法,如仪器检定校准、海上现场比测等,为海洋观测数据的质量控制提供一些思路。

3.1 海洋观测仪器的检定/校准

《海洋观测预报管理条例》明确规定“未经检定、检定不合格或者超过检定周期的计量器具,不得用于海洋观测。对不具备检定条件的海洋观测计量器具,应当通过校准保证量值溯源”。因此,为了确保海洋观测数据的准确性,海洋观测仪器应送至法定计量检定机构进行检定校准。某船载温盐深测量仪(Conductivity, Temperature, and Depth,简称CTD)观测结果与浮标剖面和历史观测资料存在系统性偏差,后来分析可能是CTD仪短路故障导致的,如果仪器在出海前进行计量检定,确保

仪器测量准确后再进行比测,可以保证海洋数据的质量^[11]。因此在海洋采集数据成本较高的情况下,各海洋观测平台搭载的海洋观测仪器须经国家法定计量检定机构检定/校准合格,且在有效期内;如果维修后该仪器必须重新检定/校准,确定海洋观测仪器准确度性能后方可投入海洋观测活动中;法定计量检定机构出具的新校准系数及时输入到 CTD 的控制软件,这样可为高质量的海洋观测数据奠定基础。

3.2 海洋观测仪器的现场比测

由于海洋环境复杂,实验室内的检定/校准不能完全反映仪器设备在海洋现场实际应用中的适用性,或者海洋观测仪器安装后拆卸费时,且影响数据传输,因此,海洋观测仪器还需进行海上现场试验,通常是采用仪器比测的方式^[12]。

1) 与传统测量方法比较。

有些海洋观测仪器需要采用和传统测量方法进行同步或准同步的比较测量,以便能了解和掌握各种观测仪器的准确度和可能产生的测量误差。如船载 CTD 仪或剖面浮标所搭载电导率传感器进行测量,同时采集海水样品利用校准后的实验室高精度盐度计进行测定,比对两者的盐度数据确定电导率传感器的观测误差^[11]。类似的情况还有 CTD 搭载的溶解氧传感器,在仪器测量的同时采集水样利用 Winkler 滴定法进行测定。

2) 与同量值的观测仪器比较。

有些海洋观测仪器则在实际海洋环境中,对相同准确度等级的同种仪器之间进行量值的比较,一般用作比测的观测仪器须经计量检定/校准。例如,浮子式验潮仪是潮位观测仪器之一,一般是安装前送至法定计量检定机构检定,但安装后拆卸不方便等原因,在使用期间定期比对方法来确保测量数据的溯源。

波浪测量仪器由于观测对象的随机性和工作原理的多样性^[13],很难通过室内的计量标准器具进行充分的计量检定,波浪仪器的可靠性、稳定性等许多方面的性能只有在海上现场试验中才能测试。荷兰的 DWR-MKIII 和国产 SBF6-1 型波浪浮标的数据准确性和系统稳定性相当^[14]。ARGO 浮标也

采用该方法确定采集数据的可靠性^[15]。

然而在海上现场比测过程中,仪器布放位置不一致,或传感器受周围环境影响,导致部分要素的观测结果存在缺测、“漂移”等现象;或者由于数据处理方法不一致有时会导致比测结果失去意义。因此需要不断优化仪器的布放位置和数据处理方法,例如两型国产 CTD 采用同架捆绑、同步下放,利用移相相位法比对分析 CTD 下行数据,发现两者数据曲线趋势一致,线性基本吻合,国产仪器达到自身精度指标,但低于 SBE19 Plus CTD 的精度^[16]。

综上所述,现场比测^[17]首先要保证参试仪器与比测仪器的可比性,然后确保工作环境的一致性,尽量设置相同的仪器参数以保证相同的工作状态,再通过对试验过程统一控制,确保二者试验的一致性和测量数据可比性,最后通过实验数据的统计分析和计算,从准确性、可靠性和稳定性等方面对仪器进行性能分析,因此有必要推动海上现场比测的规范化,确保试验方法和数据处理的一致性。目前我国已编制了 T/CSO 1—2021《电导率温度深度剖面仪海上比测方法》、HY/T 0337—2022《浮子式验潮仪现场比测 激光测距法》、HY/T 0338—2022《海洋水文气象自动化观测系统现场比测方法》等。

4 结束语

海洋观测仪器是实施海洋观测活动、获取海洋观测资料的手段。本文以不同观测平台将海洋观测标准进行分类,并梳理了海洋观测仪器的基本参数,然后从仪器外观与结构、标记、附件、电源与功率、通讯与软件、数据记录、环境适应性、计量特性评定、海上现场试验等明确了海洋观测仪器的一般技术要求,有助于推动海洋观测仪器应用的标准化工作。考虑到仪器准确度等性能影响观测数据结果的准确性,从仪器检定/校准和海上现场比测等角度进行了整理,推动海上现场观测的规范化,为海洋观测活动承担单位提供一些参考,为海洋观测数据的准确度、可靠性和可溯源性提供有力的支撑。

参考文献

- [1] 张文祥. 当前国际海洋观测技术的主要发展方向[J]. 上海国土资源, 2015, 36(2): 98-100.
- [2] 于婷, 刘玉龙, 杨锦坤, 等. 实时和延时海洋观测数据质量评估方法研究[J]. 海洋通报, 2013, 32(6): 610-625.
- [3] 陈永华, 李思忍, 龚德俊, 等. 波浪驱动式海洋要素垂直剖面持续测量搭载系统[J]. 海洋工程, 2008, 26(3): 89-93.
- [4] 吴玥, 张燕歌, 罗嫣, 等. 海洋观测标准评价指标体系研究[J]. 海洋开发与管理, 2014(9): 40-43.
- [5] 李晶, 杨立, 李健. 海洋观测装备标准化建设现状、分析及思考[J]. 中国标准化, 2015(9): 88-92.
- [6] WMO. Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8) [S]. Geneva: WMO, 2010.
- [7] 张博, 袁玲玲, 陈华, 等. 中国-国际海洋观测标准比对分析研究[J]. 标准科学, 2019(11): 117-120.
- [8] 王祎, 李彦, 高艳波. 我国业务化海洋观测仪器发站探讨——浅析中美海洋站仪器的差异、趋势及对策[J]. 海洋学研究, 2016, 34(3): 69-75.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 15966—2017 水文仪器基本参数及通用技术条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 杨扬, 杨锦坤, 苗庆生, 等. 船载气象仪对比观测数据的质量评估与分析[J]. 海洋技术学报, 2014, 33(6): 70-75.
- [11] 吴晓芬, 周慧, 曹敏杰, 等. 船载CTD仪与自动剖面浮标观测资料质量初探[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(3): 278-290.
- [12] 韩林生, 王静, 王鑫. 波浪仪器海上比测试验方法研究[J]. 海洋技术学报, 2015, 34(2): 46-49.
- [13] JEANS G, PRIMROSE C, DESCUSSE N, et al. A comparison between directional wave measurements from the RDI workhorse with waves and the Datawell Directional Waverider[C]// Proceedings of the IEEE/OES 7th Working Conference on Current Measurement Technology. San Diego: IEEE, 2003.
- [14] 常怡婷, 康建军, 姚世强, 等. 波浪浮标数据比测评估[J]. 海洋技术学报, 2021, 40(4): 45-53.
- [15] 张川, 胡波, 王聪, 等. ARGO浮标海上比测试验研究[J]. 海洋技术, 2011, 30(2): 94-98.
- [16] 雷发美, 商少平, 贺志刚, 等. 两型国产CTD海上比测试验结果分析[J]. 应用海洋学学报, 2020, 39(1): 136-143.
- [17] 韩林生, 王静, 王鑫. 波浪仪器海上比测试验方法研究[J]. 海洋技术学报, 2015, 34(2): 46-49.

(责任编辑: 张曼莉)