

基于海洋生态文明及绿色发展的海洋环境实时监测

赵聪蛟^{1,2}, 赵斌², 周燕^{3,4}

(1. 浙江省海洋监测预报中心 杭州 310007; 2. 复旦大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室 上海 200438;
3. 浙江省水产技术推广总站 杭州 310012; 4. 浙江省海洋科学院 杭州 310012)

摘要:随着海洋强国战略的全面实施,海洋生态文明建设作为生态文明建设的重要组成部分已经上升为国家战略,绿色发展强调转变传统海洋经济发展方式,注重海洋资源保护和生态环境修复治理,是实现经济、社会、资源、环境协调发展的新型发展模式。海洋环境监测是认知海洋环境现状、保障海洋生态文明建设和海洋经济绿色发展的重要手段。文章论述了海洋生态文明和绿色发展的内涵,给出了海洋生态文明示范区(试验区)和海洋生态红线区两大海洋生态文明建设载体,重点论述了当前以海洋水质浮标、海洋水文气象浮标、波浪浮标、潮位站(验潮井)、高频地波雷达、Argo浮标等为主的海洋环境在线监测和海洋遥感监测技术手段。从构建“岸—海—岛”“天空—海面—海底”“点—线—面—层”立体化、全方位、实时监测系统,推进在线监测关键技术攻关及配套服务建设等方面进行了展望。

关键词:海洋生态文明;绿色发展;在线监测;海洋浮标;海洋遥感

中图分类号: P715;P76

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2017)05-0091-07

Marine Ecological Civilization, Green Development and Real-time Monitoring of Marine Environment

ZHAO Congjiao^{1,2}, ZHAO Bin², ZHOU Yan^{3,4}

(1. Marine Monitoring & Forecasting Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Fudan University, Shanghai 200438, China; 3. Zhejiang Fisheries Technical Extension Center, Hangzhou 310012, China; 4. Zhejiang Province Academy of Marine Sciences, Hangzhou 310012, China)

Abstract: With the implementation of ocean developing strategy, as an important part of ecological civilization construction, the construction of marine ecological civilization has become a national-level strategy. Green development which emphasizes the transformation of traditional marine economic development mode, focusing on the protection of marine resources and restoration

收稿日期: 2016-10-31; 修订日期: 2017-04-22

基金项目: 浙江省“十二五”生态建设项目(浙政发[2011]89号); 海洋公益性行业科研专项“浙江近岸海域海洋生态环境动态监测与服务平台技术研究及应用示范”(201305012).

作者简介: 赵聪蛟, 工程师, 博士研究生, 研究方向为海洋浮标在线监测、海洋生态和全球变化研究, 电子信箱: congcong990@163.com

通信作者: 周燕, 教授级高工, 研究方向为海洋化学, 电子邮箱: congcong990@163.com

of ecological environment is a new development model to achieve economic, social, resource and environmental coordinated and sustainable development. On-line monitoring is an important technical means to recognize the present situation of marine environment, to ensure the construction of marine ecological civilization and the green development of marine economy. This paper discussed the connotation of marine ecological civilization and green development, introduced marine ecological civilization demonstration areas and marine ecological redline regions, Marine remote sensing monitoring and the current marine environment on-line monitoring techniques, such as marine water quality buoy, marine hydro-meteorological buoy, wave buoy, tide station (tidal bore), HFGWR and Argo buoy. Construction of three-dimensional, omnidirectional, real-time on-line monitoring system of "shore-sea-island", "sky-sea surface-seabed" and "point-line-surface-layer" were discussed. Furthermore, promoting key technologies of on-line monitoring and supporting service are the aspects that should be focused on in the future.

Key words: Marine ecological civilization, Green development, Online monitoring, Marine buoy, marine remote sensing

1 引言

我国沿海海域面积只占全国陆域总面积的13%,但却贡献了60%的GDP^[1]。海洋通过海水养殖、渔业捕捞、港口航运、滨海旅游、石油矿藏、潮汐风电、海洋药物等多种方式为我国的社会发展做出了巨大贡献。然而随着经济的快速发展,沿海自然岸线、滨海滩涂湿地不断减少^[1],红树林、珊瑚礁面积大幅减少^[2],海洋生态环境污染状况日趋严重,海水富营养化不断加剧,褐潮、绿潮、赤潮等海洋生态灾害频发,迁徙水鸟及海洋生物多样性面临严重威胁。十八大把“生态文明建设”纳入中国特色社会主义事业“五位一体”的总布局,指出要“保护海洋生态环境”“建设海洋强国”。海洋生态文明是生态文明建设的重要组成部分,也是建设海洋强国的重要意识保障。海洋经济又被称为“蓝色经济”,是以健康的海洋向人类提供可持续发展的物资和服务。要保持海洋的健康,就要走低能耗、低排放、少污染、可持续发展的绿色发展之路。绿色发展是十八届五中全会提出的指导我国“十三五”时期发展甚至是更为长远发展的新型发展模式。海洋经济的绿色发展是建立在关心海洋、认知海洋的基础之上的,海洋环境监测是认知海洋的重要技术手段。随着海洋强国战略的全面

实施,海洋生态文明建设和绿色发展模式的深入推进,“水清、岸绿、滩净、湾美、岛丽”的健康美丽海洋建设目标,需要进一步细化落实到海洋生态环境监测网络布局^[3],需要不断拓展包括在线监测在内的海洋生态环境监测业务体系。

2 海洋生态文明

2.1 海洋生态文明的内涵

人类社会的发展经过了原始文明、农业文明、工业文明,以及到现在的后工业文明时代,人类的社会生产力得到了巨大的发展,科技进步神速。人类在利用生产力和科技实力肆意改造大自然的同时,也受到了大自然的惩罚。这使得生态文明成为人类社会进步发展的必然选择,是人类与自然协调发展和可持续发展的必经途径^[4]。谢平^[5]指出生态文明的本原是要维持好地球生命系统在一定平衡域附近震荡的良性循环,其自然基础是一系列生态系统的良性循环。ZHANG等^[6]指出生态文明是以尊重和保护自然为基础,以实现人与人、人与自然、人与社会的和谐共生为目的,以建立可持续生产和消费为内容,强调人类的和谐、可持续发展。归根结底,生态文明是处理经济发展和环境保护的一种意识形态。海洋生态文明是生态文明建设的重要组成部分,是建立以海洋资源环

境承载力为基础,以自然规律为准则,以可持续发展为目标的海洋开发、利用、保护等理念和活动方式,实现人与海洋和谐相处、协调发展^[7]。建设海洋生态文明,一方面海洋经济发展应以维护海洋生态系统平衡为前提;另一方面以海洋生态系统的良性循环促进海洋经济的更大发展^[8],即采取不同政策和市场手段调节不同空间和时间的陆(海—海、海—海、当代与下一代)公平正义地共享海洋资源环境^[9],实现海洋资源开发利用与海洋环境保护的协调统一。

2.2 海洋生态文明建设的载体

海洋生态文明建设主要包括海洋生态意识、行为、道德、制度和海洋生态产业文明等方面^[10]。可以通过海洋自然保护区、海洋特别保护区、海洋公园、海洋风景名胜区、海洋生态文明示范区、海洋生态红线区、海洋牧场示范区七大载体来开展海洋生态文明建设研究。本研究只对海洋生态文明示范区和海洋生态红线区两大载体进行介绍。

2.2.1 海洋生态文明示范区(试验区)

示范区即先行先试、引领示范。2012年2月国家海洋局下发了《关于开展“海洋生态文明示范区”建设工作的意见》,推动海洋生态文明建设进入一个新阶段。2013年2月和2015年12月,国家海洋局公布了两批24个国家海洋生态文明示范区名单^[11]。

2016年8月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于设立统一规范的国家生态文明试验区的意见》和《国家生态文明试验区(福建)实施方案》指出目前仅在福建、江西、贵州3省开展试验区试点,并且下发了福建方案。通过实验探索,到2020年,试验区率先建成较为完善的生态文明制度体系,形成一批可在全国复制推广的重大制度成果,资源利用水平大幅提高,生态环境质量持续改善,发展质量和效益明显提升,实现经济社会发展和生态环境保护双赢,形成人与自然和谐发展的现代化建设新格局。

2.2.2 海洋生态红线区

海洋生态红线是生态红线的重要组成部分,目

前其研究尚处于起步阶段,国内相关报道仅见于海洋生态红线的概念及其组成体系研究^[12]。例如,黄伟等^[2]以海南省为例,研究了海洋生态红线区划,并给出了海洋生态红线区的概念:是指依据海洋自然属性以及资源、环境特点,划定对维护国家和区域生态安全及经济社会可持续发展具有关键作用的重要海洋生态功能区、海洋生态敏感区和脆弱区并实施严格保护,旨在为区域海洋生态保护与生态建设、优化区域开发与产业布局提供合理边界,实现人口、经济、资源、环境协调发展的海洋管理制度。许妍等^[13]从“生态功能重要性、生态环境敏感性、环境灾害危险性”3个方面建立了渤海生态红线划定指标体系。曾江宁等^[12]对中国海洋保护区进行了系统研究,指出了从海洋保护区走向海洋生态红线区的必然性,同时认为海洋生态红线区划指标体系可以参照海洋保护区绩效评估、保护区选划与评估指标。

3 海洋经济绿色发展

海洋经济是开发利用海洋的各类海洋产业及相关经济活动的总和,它的发展是一个不断向前的过程,这个过程以获取经济利益、满足人类各项需求为目的,其必然伴随着对海洋资源的开发利用、对海洋生态环境的污染破坏。绿色发展是建立在环境容量和资源承载力约束条件的基础上,将生态环境保护作为实现可持续发展重要支柱的一种新型发展模式^[14],强调发展要低能耗、低排放、少污染、可持续。海洋经济绿色发展就是在获取经济利益的同时,兼顾海洋资源的开发利用与海洋生态环境的保护,在开发中保护,在保护中开发,保护是为了更好的开发,最终实现资源、环境、经济、社会协调发展。2012年6月,联合国可持续发展大会提出以发展绿色经济为主题,明确了全球经济向绿色转型的发展方向,由此绿色经济和绿色发展成为全球广泛共识^[15]。近年来,江苏、浙江、福建、广东等省在海洋经济绿色发展方面进行了一定的探索,相关报道见诸于绿色发展的内涵、发展模式、政策制度、指标体系、存在问题及对策建议等方面^[14,16-18]。长期以来,为了实现经济利益的最大化,海洋经济的发展很大程度上属于高

消耗、高污染的粗放型发展模式,由此造成了渔业资源的大幅减少和海洋生态环境的严重破坏。实施绿色发展必须强调海洋渔业经济转型升级和海洋生态修复治理。

3.1 海洋渔业经济转型升级

传统的海洋渔业以海水养殖和捕捞为主。海水养殖主要集中在近岸和海岛周边海域,有围塘养殖、筏式养殖、网箱(鱼排)养殖等方式。圈滩围塘养殖对沿海滩涂的自然岸线造成了很大破坏,筏式和网箱养殖中的不合理投饵和用药对海洋环境造成污染,是水体富营养化的主要因素之一^[19]。渔业捕捞以近海捕捞为主,存在违规捕捞、过度捕捞、采用资源破坏型渔具进行违法捕捞以及对“三无”渔船治理难度大等问题。走海洋经济绿色发展之路,必须实施海洋渔业经济转型升级,由近岸养殖向深海远洋养殖转变,由近海捕捞向远海远洋捕捞转变,提高科技含量在养殖、捕捞中的比重,发展环境友好型海水养殖模式,发展远洋捕捞装备、冷冻、海产品加工、物流、渔船补给等关键技术^[20];实施增殖放流、用海养海、耕海牧渔,积极发展海洋牧场;倡导渔民转产转业,开发滨海、海岛生态旅游,开办渔家乐。

3.2 海洋生态修复治理

健康的海洋生态环境是实施海洋经济绿色发展的基础和保障。2015年6月国家海洋局印发的《国家海洋局海洋生态文明建设实施方案》(2015—2020年)中指出要“加强海洋生态保护与修复,体现生态保护与修复整治并重,既注重加强海洋生物多样性保护,又注重实施生态修复重大工程”,以“蓝色海湾”“银色海滩”“南红北柳”“生态海岛”为载体开展海洋生态环境治理修复。“蓝色海湾”综合治理工程着重利用污染防治、生态修复等多种手段改善污染严重的重点海湾和沿海城市毗邻重点小海湾的生态环境质量。“银色海滩”岸滩修复工程主要通过人工补砂、植被固沙、退养还滩(湿)等手段,修复受损岸滩,打造公众亲水岸线。“南红北柳”湿地修复工程计划通过在南方种植红树林,在北方种植柽柳、芦苇、碱蓬,有效恢复滨海湿地生态系统。“生态海岛”保护修复工程将采取制定海岛保护名录、实

施物种登记、开展整治修复等手段保护修复海岛。

4 海洋环境实时监测

海洋生态文明建设作为海洋经济发展的一种新的认知理念和意识提升已经上升为国家战略,绿色发展强调转变传统海洋经济发展方式,注重海洋资源保护和生态环境修复治理,是实现经济、社会、资源、环境协调发展、可持续发展的新型发展模式。海洋环境监测是认知海洋环境现状、保障海洋生态文明建设和海洋经济绿色发展的重要手段。

4.1 在线监测

海洋环境监测是海洋经济发展、海洋资源开发利用和海洋生态环境保护的重要技术保障。传统的海洋监测以网格化布点、船舶走航式监测为主,已经难以满足现代海洋发展的需要。区别于依靠船舶外出定点采样、带回陆上实验室进行分析测定的离线监测,在线监测是指监测载体(如,浮标)在远程指令控制下自动开展现场采样、现场分析测定,测定结果直接传输至岸站接收平台的一种自动化监测方式;在线监测具有自动、长期、连续、实时收集海洋环境资料的能力,且不受恶劣海况的影响。我国的海洋浮标在线监测研究起步于20世纪60年代,但直到1996年完成了FZF2-2型海洋资料浮标的技术改造,成功应用了Inmarsat-C卫星通信,才实现了浮标监测数据的实时在线传输^[21]。2002年初我国正式加入国际Argo计划,并成立中国Argo实时资料中心,承担中国Argo浮标的布放、实时资料的接收和处理、资料质量控制技术/方法的研究与开发等^[22]。自2004年起,厦门市海洋与渔业环境监测站在厦门附近海域陆续投放了5台海洋水质在线监测浮标,成为国内首批由海洋部门建设的在线监测系统。2006年,罗续业等^[23]提出了区域性海洋环境立体监测系统的设计原则和设计方法。近年来,山东、广西、海南、浙江、广东、河北等地先后开展了近岸海域水质浮标在线监测系统建设。海洋水质浮标、海洋水文气象浮标、波浪浮标、潮位站(验潮井)、高频地波雷达和Argo浮标等构成了当前海洋环境在线监测的主

体,此外,还有潜标、无人船、波浪滑翔器等辅助及新兴在线监测手段。

4.1.1 海洋水质浮标

由浮标体及传感器、供电及防护系统、通信系统、锚系和接收站等部分组成,监测要素包括水温、水深、盐度、电导率、pH值、溶解氧及其饱和度、叶绿素、浊度、磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、碳氢化合物等,可自动完成数据实时采集、处理、存储及传输。浮标上还可以加载风向、风速、气温、气压、湿度、降水、光照度、紫外线等常规气象参数。浙江省自于2011年正式启动“浙江省近岸海域浮标实时监测系统建设”项目,计划在5年内基本建成能覆盖浙江省近岸海域海水增养殖区、海洋保护区、赤潮高发区、滨海旅游区以及海洋生态敏感区等区域的海洋水质浮标在线监测系统,以获取常规水文、气象、水质(含营养盐)、海洋生物(叶绿素a)以及油类等参数数据,为海洋生态环境保护和防灾减灾提供决策支撑,为社会公众提供海洋生态环境状况实时信息服务,为节能减排提供环境基础资料^[24]。截至2015年12月全省(含宁波市)已完成17套海洋水质浮标系统建设,并实现了所有浮标监测参数的在线监测、实时传输、接收、存储和显示^[24];预计至2016年12月将完成全部计划中的18套海洋水质浮标系统建设。

4.1.2 海洋水文气象浮标、波浪浮标、潮位站(验潮井)和高频地波雷达

海洋水文气象浮标通常是指直径大于或等于10 m,能够全天候、连续、自动采集和传输海上水文气象资料的圆盘形浮标,由浮体、各类传感器、通信、锚系和岸站接收装置组成。主要观测海洋水文气象和水动力参数,包括:风速、风向、气温、气压、降水、湿度、能见度、水温、盐度、叶绿素、浊度、波浪和海流等。

波浪浮标是专用于对海面波浪的高度、波浪周期及波浪传播方向等要素进行自动观测的小型浮标,直径通常在1 m以下。

潮位站(验潮井)由验潮仪、井外水尺、井内水

尺系统、基本水准点、校核水准点和测站潮高基准面(水尺零点)等组成^[25],主要用于海水潮位观测,潮位观测数据是警戒潮位划定和防灾减灾的重要技术支撑数据。

高频地波雷达(HFGWR),即高频表面波雷达(HF surface wave radar),是一类利用短波(3~30 MHz)电磁波沿海面绕射传播特性而工作的雷达。主要由天线和馈线、发射分机、信号分机和终端分机4个部分组成,利用垂直极化的高频电磁波沿导电海水表面的绕射传播时能量衰减较小的特性,实现对海洋环境状态和海上移动目标超视距的监测与探测定位^[26-27],能够探测到300 km外的目标。高频地波雷达常成对使用(如,浙江舟山的朱家尖、嵊山两站和福建的龙海、东山两站),可以全天候超视距监测海洋环境(风、浪、流)和海上移动目标(舰、船)。

以上两类浮标、潮位站(验潮井)和高频地波雷达主要由国家海洋局负责建设和管理,分布于北海、东海和南海三大海区。据调查,水文气象浮标、波浪浮标、潮位站(验潮井)、地波雷达等在浙江管辖海域均有投放和建设,可实现间隔1 h的数据采集传输,监测数据可用于海洋环境预报、防灾减灾(如台风、海啸预警报)、海上交通、海洋工程、海洋调查及海洋环境污染监测等。沿海风暴潮监测主要靠沿岸的验潮井进行,连续长期和准确的潮位资料对提高风暴潮预报起到了极其重要的作用。高频地波雷达对海流的探测已达到常规业务化观测水平,但对海浪、风参数的探测还有待突破^[26-27]。

4.1.3 Argo浮标

Argo剖面浮标又称自持式剖面自动循环探测仪,是一种对海洋次表层温度、盐度进行剖面测量的循环探测浮标。布放后会自动潜入2 000 m深处,随海流保持中性漂浮,到达预定时间后自动上浮,在攀升过程进行温度、盐度剖面测量;到达水面后会再次下潜,进行下一个攀升循环测量。Argo浮标主要应用于ARGO(array for real-time geostrophic oceanography)全球海洋观测试验项

目,计划在全球海洋中每隔3个经纬度投放一个浮标,总共约为3000个,每年可提供10万个温度/盐度(T/S)剖面 and 参考层速度^[28],主要采用Argos卫星系统进行浮标定位和数据传输。目的在于快速、准确、大范围收集全球海洋上层的海水温度、盐度剖面资料,以提高气候预报的精度和有效防御全球日益严重的气候灾害。2002年初我国正式加入国际Argo计划,截至2015年年底,我国Argo计划已在太平洋、印度洋和地中海等海域布放了353个剖面浮标,已获取累计38000余条温度、盐度剖面资料^[29]。Argo浮标资料已经在台风、风暴潮、海洋环流、中尺度涡、湍流、海水热盐储量与输送、大洋水团以及海洋天气/气候业务化预测预报等方面发挥了巨大作用。

4.2 海洋遥感监测

遥感即遥远感知,是在不直接接触的情况下,对目标或自然现象远距离探测和感知的一种技术,通常利用电磁波获取物体的信息^[30]。常用的遥感监测有航空遥感和航天遥感。航空遥感主要利用飞机(载人机/无人机)、热气球、飞艇等搭载特定传感器开展有目的的监测。航天遥感主要是利用航空飞机、卫星等搭载一定数量的传感器开展短期或长期监测。目前用于海洋遥感的国产卫星主要有“风云”系列气象卫星(FY-1、FY-2、FY-3)和海洋系列卫星(HY-1、HY-2、HY-3)。FY系列卫星在海洋领域主要应用于海洋天气预报和台风、海啸、风暴潮等海洋灾害的监测、预报预警。HY系列卫星目前在轨运行的有HY-1B、HY-2A和HY-3高分卫星。HY-1B为海洋水色卫星,于2007年4月11日发射,目前正在轨运行超过7年,以可见光、红外探测水色水温为主,重点满足赤潮、渔场、海冰和海温的监测和预测预报需求。HY-2A为海洋动力环境卫星,于2011年8月16日发射,目前在轨运行,以主动微波探测全天候获取海面风场、海面高度和海温为主,满足海洋资源探测、海洋动力环境预报、海洋灾害预警报和国家安全保障系统的需求。HY-3为海洋监视监测卫星,于2016年8月10日发射成功,是我国首颗C频段全极化合成孔径雷达(SAR)卫星,具

有全天时、全天候对地观测能力,分辨力可达1m,以探测海面目标为主,满足海洋环境监测、海洋目标监视、海域使用管理、海洋权益维护和防灾减灾等多方面全天时、全天候、近实时监视监测需求。

5 展望

立足“十三五”海洋环保和海洋生态文明建设需要,推进海洋环境监测由走航监测为主走向航监测与实时立体监测相结合的转变,提升在线、遥感等技术在业务化监测中的运用^[3]。

(1)以物联网技术整合现有在线监测和遥感监测系统,推进岸(岛)海天(空)全方位立体化实时监测观测网络建设。为切实落实海洋生态文明建设,推动绿色发展,未来可以:以岸(岛)基、海基、天(空)基组网监测为基础,构建国家海洋环境实时在线监控系统。岸(岛)基在线监测系统,在沿岸、海岛建设高频地波雷达站,开展海面风、浪、流等海洋动力监测观测;在陆源入海排污口、江河入海口、海岛入海排污口、重点港湾、码头附近区域建设岸基站(房)、潮位站(验潮井),开展海洋环境污染状况在线监测和潮位监测。海基在线监测系统,在近岸/近海滨海旅游区、海水增养殖区、海洋保护区、赤潮高发区、重大海洋工程区等海洋生态敏感区建设桩基站、鱼排站、水质浮标、波浪浮标、水文气象浮标,在远海海域建设波浪浮标、水文气象浮标、大型海洋综合观测平台,结合海洋综合观测调查船、志愿观测船、无人船等走航式监测,开展海洋水文、气象、水质、生物、生态和海洋动力等环境状况监测观测,开展赤潮、溢油、台风、海啸、风暴潮等海洋灾害监测预报和防灾减灾;借助潜标、Argo浮标、拖曳式浮标、波浪滑翔器等载体开展海水表层以下水体分层要素监测。建设近岸海底观测网,通过设置一定的海底节点,将观测仪器置于海底,通过光/电缆连接网络,向各个观测点供能、并收集信息,实现海面与海底的观测视角“从上向下看”到“从下往上看”模式的转变,随时了解海底生物及环境状况^[31]。天(空)基在线监测系统,以航空飞机、航天飞机、遥感卫星为主,以无人机、热气球、飞艇等为辅开展海洋环境大面监测观测,开展大洋海流、湍流、中尺度

涡等科学研究,开展台风、海啸、海冰、风暴潮等海洋灾害监测预报和防灾减灾。构建“岸—海—岛”“天空—海面—海底”“点—线—面—层”立体化、全方位、实时监测系统。

(2)推进在线监测关键技术攻关及配套服务建设。推进海水水质多参数监测传感器国产化关键技术攻关,开展传感器及水下监测设备防腐、防污、防海生物附着等关键技术研究,开展以物联网为基础的浮标、岸站、船测、遥感等多源数据采集、加密、传输技术及数据质量控制研究。加强在线监测仪器设备维护技术队伍建设,建立在线监测配套服务准入制度,鼓励社会力量共同参与。

参考文献

- [1] MA Z J, MELVILLE D S, LIU J G, et al. Rethinking China's new great wall[J]. *Science*, 2014, 346: 912—914.
- [2] 黄伟, 曾江宁, 陈全震, 等. 海洋生态红线区划: 以海南省为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(1): 268—276.
- [3] 关道明. 我国海洋环境监测工作“十二五”进展与“十三五”展望[J]. *海洋开发与管理*, 2016, 33(1): 43—47.
- [4] 方精云, 朱江玲, 吉成均, 等. 从生态学观点看生态文明建设[J]. *中国科学院院刊*, 2013(2): 182—188.
- [5] 谢平. 生态文明的自然本原[J]. *湖泊科学*, 2016, 28(1): 1—8.
- [6] ZHANG W, LI H L, AN X B. Ecological civilization construction is the fundamental way to develop low-carbon economy[J]. *Energy Procedia*, 2011(5): 839—843.
- [7] 赵利民. 学习贯彻党的十八大精神 着力推进海洋生态文明建设[J]. *海洋开发与管理*, 2012, 29(12): 78—80.
- [8] 裴金佳. 加强海洋管理建设海洋生态文明[C]//中国海洋学会. 2008(厦门)国际海洋周暨中美海洋科学论坛论文集, 2008: 4—8.
- [9] 周尊隆. 浙江海洋生态文明示范区建设的思考与实践[C]//2014海洋生态文明建设交流会论文集, 北京: 中国海洋工程咨询协会, 2014: 130—133.
- [10] 陈建华. 对海洋生态文明建设的思考[J]. *海洋开发与管理*, 2009, 26(4): 40—42.
- [11] 刘诗瑶. 国家级海洋生态文明建设示范区已有 24 个[EB/OL]. (2016-01-15) [2016-10-10]. <http://env.people.com.cn/n1/2016/0115/c1010-28056070.html>.
- [12] 曾江宁, 陈全震, 黄伟, 等. 中国海洋生态保护制度的转型发展: 从海洋保护区走向海洋生态红线区[J]. *生态学报*, 2016, 36(1): 1—10.
- [13] 许妍, 梁斌, 鲍晨光, 等. 渤海生态红线划定的指标体系与技术方法研究[J]. *海洋通报*, 2013, 32(4): 361—367.
- [14] 曹利江, 金均, 李建明, 等. 浙江省实施绿色发展的基础与战略分析[J]. *环境污染与治理*, 2014, 36(2): 92—95.
- [15] 郑德凤, 臧正, 孙才志. 绿色经济、绿色发展及绿色转型研究综述[J]. *生态经济*, 2015, 31(2): 64—68.
- [16] 丁宪浩. “海上苏东”绿色发展战略研究[J]. *海洋环境科学*, 2004, 23(1): 58—63.
- [17] 刘小锋, 陈思增. 福建海洋经济绿色发展实施效果评价研究[J]. *福建江夏学院学报*, 2014, 4(6): 9—14.
- [18] 乔俊果, 李相林. 广东海洋经济绿色发展探讨[J]. *渔业经济研究*, 2008(4): 14—19.
- [19] 徐皓. 水产养殖设施与深水养殖平台工程发展战略[J]. *中国工程科学*, 2016, 18(3): 37—42.
- [20] 李涵, 韩立民. 远洋渔业的产业特征及其政策支持[J]. *中国渔业经济*, 2015, 33(6): 68—73.
- [21] 王军成. 海洋资料浮标原理与工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2013: 11—23.
- [22] 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.
- [23] 罗续业, 周智海, 曹东, 等. 海洋环境立体监测系统的设计方法[J]. *海洋通报*, 2006, 25(4): 69—77.
- [24] 赵聪蛟, 孔梅, 孙笑笑, 等. 浙江省海水水质浮标在线监测系统构建及应用[J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(2): 288—294.
- [25] 毕立海, 毕晓欣. 验潮井注入防冻油层对潮位观测影响分析[J]. *海洋技术学报*, 2015, 34(2): 58—61.
- [26] 周涛, 孔庆国, 钱一婧, 等. 高频地波雷达技术及其发展趋势[J]. *雷达与对抗*, 2008(4): 1—5.
- [27] LI L, WU X B, LI Y, et al. Ocean surface wind and wave monitoring at Typhoon Fung—Wong by HF-SWR OSMAR071. *Journal of Remote Sensing*, 2012, 16(1): 154—165.
- [28] 芦静, 乔方利, 魏泽勋, 等. 夏季海洋上混合层深度分布研究: Argo 资料与 Levitus 资料的比较[J]. *海洋科学进展*, 2008, 26(2): 145—155.
- [29] 刘增宏, 吴晓芬, 许建平, 等. 中国 Argo 海洋观测十五年[J]. *地球科学进展*, 2016, 31(5): 445—460.
- [30] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2013: 1—26.
- [31] 郑红霞, 张训华, 赵铁虎, 等. 海底监测技术之海底观测网络[J]. *海洋地质前沿*, 2015, 31(5): 51—56.