

# 开拓我国深远海养殖新空间的战略研究

麦康森<sup>1</sup>, 徐皓<sup>2</sup>, 薛长湖<sup>1</sup>, 顾为东<sup>3</sup>, 张文兵<sup>1</sup>, 李兆杰<sup>1</sup>, 余波<sup>3</sup>

(1. 中国海洋大学, 山东青岛 266003; 2. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;  
3. 江苏省宏观经济研究院, 南京 210013)

**摘要:** 海水养殖是对国家食品安全、国民经济和贸易平衡做出重要贡献的产业。为实现新时期我国海水养殖业的可持续发展, 急需拓展养殖新空间, 实施深远海养殖战略。深远海海水养殖是一个综合体系, 包含适养物种、养殖技术、养殖装备、能源供给、海陆接力物流、水产品加工和减灾防灾策略等要素。本文基于开拓海水养殖新空间的战略构想, 提出了我国发展深远海海水养殖体系的战略任务, 包括: 适宜品种繁育和高效养殖技术体系; 以深远海养殖平台为核心的新型海洋渔业生产模式; 深远海海水养殖能源保障系统; 海洋水产品智能化物流系统网络平台。基于此, 还提出了相关政策建议。

**关键词:** 深远海海水养殖; 新空间; 问题分析; 战略任务; 政策建议

中图分类号: S96 文献标识码: A

## Study on Strategies for Developing Offshore as the New Spaces for Mariculture in China

Mai Kangsen<sup>1</sup>, Xu Hao<sup>2</sup>, Xue Changhu<sup>1</sup>, Gu Weidong<sup>3</sup>, Zhang Wenbing<sup>1</sup>, Li Zhaojie<sup>1</sup>, Yu Bo<sup>3</sup>

(1. Ocean University of China, Qingdao 266003, Shandong, China; 2. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China; 3. Jiangsu Academy of Macroeconomic Research, Nanjing 210013, China)

**Abstract:** Mariculture industry, makes great contribution to national food security, economy and trade balance. To realize sustainable development of mariculture in China in the new period, it is urgent to exploit new space and develop offshore aquaculture strategy. Offshore aquaculture is an integrated system including suitable species, culture techniques, culture equipments, energy supply, sea-land relay logistics, aquatic products processing, and strategies of disaster prevention and reduction. On the basis of a strategic concept of the new space for mariculture in China, the present study puts forward strategic missions on the development of offshore mariculture. The missions include building a suitable species breeding and efficient farming technology system, constructing a new type of marine fisheries production mode with the core of offshore aquaculture platform, building an energy security system, and constructing an intelligent mariculture products logistics network. Based on these strategies, relevant policy suggestions are also suggested.

**Key words:** offshore aquaculture; new space; problem analysis; strategic mission; policy suggestion

### 一、前言

海水养殖是人类主动、定向利用国土海域资

源的重要途径, 已经成为对食品安全、国民经济和贸易平衡做出重要贡献的产业。近 50 年来, 我国海水养殖业得到了长足发展, 各地按照“充分利用

收稿日期: 2016-04-29; 修回日期: 2016-05-18

作者简介: 麦康森, 中国海洋大学, 教授, 中国工程院院士, 研究方向为海洋营养与饲料; E-mail: kangsenmai@126.com

基金项目: 中国工程院重点咨询项目“现代海水养殖新技术、新方式和新空间发展战略研究”(2015-XZ-30)

本刊网址: www.enginsci.cn

浅海滩涂,因地制宜地养殖增殖,鱼虾贝藻全面发展,加工运销综合经营”的发展方针,大力发展海水养殖业,使得我国的海水养殖产业发展到世界先进水平。我国有 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的海洋面积,然而,目前我国海水养殖主要是陆基和近浅海养殖,已利用的近岸海区水深均在20 m以内,这些海区也是陆源污染最为集中的区域。同时,由于经济社会的发展和人们对生活环境提出更高的要求,能够提供给海水养殖的空间受到严重挤压,海水养殖密度过大、病害频发和环境恶化等问题日益突出。为实现新时期我国海水养殖业的可持续发展,减轻养殖对近岸海区的影响,亟需拓展养殖空间,实施深远海养殖战略。

深远海养殖将采取先进的养殖技术和设施,将养殖区域拓展到20 m以下的海区。深远海海域水交换率高,污染物含量低,因此向深远海海域发展养殖将减轻各种污染对养殖生物的影响,生产出健康洁净的水产品,为人们提供更多更优质的深海营养源。随着养殖区的外移,全国近岸区的养殖密度将得以有效控制,甚至完全可以实施内湾和近岸数千米海区内禁养,此举将明显减轻浅海养殖对近岸浅水区环境的影响,有利于浅海生态系统的恢复和环境保护,也有助于实现近岸关键生物资源的恢复和持续利用。随着我国国民经济的进一步发展,人们对生活环境质量必然有更高的要求,实施深远海养殖战略,也将有利于促进我国沿海生态旅游业的发展。同时,深远海大型养殖设施的构建,如同远离大陆的定居型海岛。实施深远海海水养殖战略,就是屯渔戍边、守望领海,体现渔权即主权、存在即权益。

## 二、面临的问题分析

深远海海水养殖是一个综合体系。适养物种、养殖技术和养殖平台(大型基站、大型深水网箱和养殖工船等)是深远海海水养殖的主体;清洁能源和饮用水供给、物资和成品的海上运输和陆地物流、养殖水产品的精深加工等,是深远海海水养殖体系必须有的周边配套支撑网络。同时,深远海海水养殖还必须考虑海流(暖流)风暴潮等对深远海养殖活动的影响以及减灾防灾策略等。对我国开展深远海海水养殖已有的基础和面临的问题分析如下。

### (一) 近岸海水养殖技术比较成熟, 深远海海水养殖技术还缺乏实战经验

深远海海水养殖物种的选择必须同时考虑其生物学特性和经济学特性。与近海养殖相比,深远海海水养殖在水文水质条件、水中生物和气候等方面具有特殊性,要求养殖动物具有相应的适应性。同时,深远海养殖是一种高投入和高风险的养殖,这要求养殖种类具有较高的经济价值和加工后较高的经济附加值,以保证养殖的效益。世界上深远海海水养殖最成功的产业当属挪威大西洋鲑(三文鱼)养殖,其产量已近 $2 \times 10^6 \text{ t}$ ,而2014年我国10余种海水鱼类养殖总产量也仅为 $1.19 \times 10^6 \text{ t}$ ,挪威利用现代物联网技术,实现了三文鱼的精细养殖,降低了养殖成本、保障了产品品质。据统计,我国2014年仅从挪威和智利进口鲜、冷、冻大西洋鲑就达 $2.5 \times 10^4 \text{ t}$ ,价值1.96亿美元<sup>[1]</sup>。可见,我国存在巨大的优质海水养殖鱼产品缺口。我国的海域从北到南,由渤海、黄海、东海到南海,在水温、水文水质条件、气候变化等方面均存在较大差异,这决定着我国海水鱼类的养殖存在着多样性。我国现有的主要海水养殖鱼类包括大菱鲆、牙鲆等冷水性鱼类,大黄鱼、鲈鱼、石斑鱼、卵形鲳鲹和军曹鱼等温水性鱼类,虽然已经有较长的养殖历史和比较成熟的养殖技术,但是否适合在深远海养殖,养殖技术如何适应深远海的特点,相关的遗传育种、饲料营养与投饲、疾病诊断与防治、养成品的保活保鲜与加工等技术能否满足要求,还需要在不断地探索中去解答。

### (二) 深远海海水养殖平台建设刚刚起步, 落后发达国家几十年

美国最早开始探索深远海海水养殖,至今已有几十年的研究历史。目前,已经有二十余个国家和地区通过试验、研究和风险投资积极参与深远海养殖。挪威、日本等国建立起了较为完备的体系。世界渔业发达国家发展深远海养殖工程装备的主要途径是深水巨型养殖网箱和浮式养殖平台。在现代工业科技的支撑下,发达国家网箱养殖自动化程度发展很快,生产效率显著提高,生产过程得到了有效管控,信息化水平不断提高。面向深海开放性海域的大型网箱设施形式多样,技术水平远远领先。欧洲正在实施“深远海大型网箱养殖平台”工程项

目,利用可整合海水大型网箱技术、海上风力发电技术、远程控制与监测技术以及优质苗种培育技术、高效环保饲料与投喂技术、健康管理技术等配套技术,形成综合性的工程技术体系,是人类开发和利用海洋资源的新尝试。另一方面,法国在布雷斯特北部的布列塔尼海岸与挪威合作建成了一艘长270 m,总排水量 $1 \times 10^5$  t的养鱼工船<sup>[2]</sup>。据 *Seafood Source* 的2015年12月11日报道,挪威NSK船舶设计公司(NSK Ship Design AS)正在建设大型深海养殖工船,NSK共设计了三艘船,长度430 m、宽度54 m,一艘养殖工船可以容纳 $1 \times 10^4$  t三文鱼成鱼或者超过200万条幼鱼,还可以降到海平面以下10 m。养殖工船为钢架结构,每艘船上可以安装6个50 m $\times$ 50 m的养殖网箱,网箱深度可达60 m<sup>[3]</sup>。西班牙彼斯卡卡公司设计的养鱼平台,能经受9 m海浪,管理7只2 000 m<sup>3</sup>的深水网箱,年产鱼250~400 t<sup>[4]</sup>。

相比较而言,我国的深远海养殖起步较晚,且在各方面同挪威等国家还存在较大差距。2014年,我国启动了首个深远海大型养殖平台建设,该平台由十万吨级阿芙拉型油船改装而成,型长243.8 m,型宽42 m,型深21.4 m,吃水14.8 m,能够提供养殖水体近 $8 \times 10^4$  m<sup>3</sup>。该养殖平台主要包括整船平台、养殖系统、物流加工系统和管理控制系统,能满足3 000 m水深以内的海上养殖,并具备在12级台风下安全生产、移动躲避超强台风等优越功能。首个深远海大型养殖平台是以海洋工程装备、工业化养殖、海洋生物资源开发与加工应用技术为基础,通过系统集成与模式创新,形成集海上规模化养殖、名优苗种规模化繁育、渔获物扒载与物资补给、水产品分类贮藏等于一体的大型渔业生产综合平台。该养殖系统由14个养殖仓构成,设有变水层测温取水装置、饵料集中投喂系统。同时,物流加工系统具备远海捕获渔船的物流补给、渔获物海上收鲜与初加工功能。管理系统可实现对养殖系统的机械化、自动化控制,以及物流、捕获等整个生产系统的信息化管理<sup>[5]</sup>。

### (三) 深远海水养殖新能源供给理论可行,但支撑体系尚未建立

深远海水养殖所需的自动投饲、日常管理和维护以及工作人员生活所需的基本能源保障,都需

要稳定和持续的能源供给。然而,深远海养殖空间远离大陆,从内陆铺设海底电缆或使用柴油发电机均不能满足能源供应短缺的问题。太阳能和风能是深远海水养殖可持续利用的能源,以前两者为基础的微电网的建成和使用可确保深远海水养殖能源的安全供给<sup>[6]</sup>。然而,由于深远海养殖空间的空气湿度较大、含盐量高,并且长时间处于高温高湿环境,对安装的发电部件、桨叶、固定支撑部件的威胁很大<sup>[7,8]</sup>。当新能源微电网在深远海养殖空间应用时,如光伏、风电和波浪能等新能源的间歇性会导致电力输出的不稳定,因此,微电网中必须带有储能器件,并配备适量规模的柴油发电机,通过建立良好的能量管理系统,以保证能源供给的稳定性。

### (四) 深远海水养殖产品冷链物流技术落后,缺乏由海到陆到餐桌的无缝连接

养殖产品向港口或陆地的运输,以及通往市场的物流是深远海水养殖体系中的重要一环。海洋水产品具有高易腐性的特点,对流通温度和流通时间的要求较高,因此海洋水产品加工流通需要全程冷链的支持。然而,我国海产品冷链物流发展仍处于起步阶段,海洋水产品冷链物流标准体系不健全,规范冷链物流各环节市场主体行为的法律法规体系尚未建立。冷链物流各环节的设施、设备、温度控制和操作规范等方面缺少统一标准,信息资源难以实现有效衔接。冷链物流设备老化,自动化程度较低。集生产、加工、流通和消费为一体的网络平台尚处于培育期,增值服务水平较低。海洋水产品冷链物流技术缺乏,包括流通冷链装备技术、流通保鲜活技术、流通网络信息技术、物流体系增值服务技术、物流保障技术、绿色包装技术、食品安全检测技术、污染物降解技术、信息标识与溯源技术等核心技术<sup>[9]</sup>。

### (五) 深远海水养殖人员生活保障系统还需完善,缺乏淡水和新鲜蔬菜

深远海水养殖由于远离大陆架,养殖基地人员的基本生活保障也是发展大规模深远海水养殖所必须解决的问题之一。必要的淡水和新鲜蔬菜供给是养殖人员长期生活的基本保障。船舶长距离运输容易导致淡水污染,铺设海底管道使

得淡水供给成本较高。因此有必要利用海上能源进行海水淡化,随着反渗透海水淡化装置的生产、制造及安装技术越来越成熟,并且渗透膜的价格也有所下降,使得国内船用反渗透海水淡化装置数量已超过了蒸馏法海水淡化装置<sup>[10]</sup>。但是传统淡化系统占地面积大,深远海养殖基地空间有限,需要更加紧凑型的海水淡化设备。而新鲜蔬菜保障是养殖人员营养的必要来源,船运补给受到时间和天气影响较大,宜采取因地制宜的方法来满足养殖人员的蔬菜供给,利用较小的空间进行水培蔬菜种植,不仅可以满足蔬菜供给,还可以绿化环境。

总的来说,我国深远海养殖能力还很弱,几乎只有深海捕捞,更没有成型的深远海规模养殖平台。差距集中在工程设施、配套设施、网箱养殖和海洋牧场构建技术等。同时,将深远海海水养殖作为体系,将其中各要素(物种、技术、设施、装备、平台、能源和物流等)在该体系中的衔接和联动作为整体的研究和实践还相当欠缺。然而,我国在近海海水养殖设施装备、养殖技术、能源供给、物流和加工等方面都已经有了较好的研究和储备,已经具备深远海海水养殖研究和应用的必备条件,没有不可跨越的技术和装备障碍。但同时,除了装备、工程与技术外,深远海海水养殖如何与远洋捕捞配合互补,深远海海水养殖可能涉及相关国际法律,以及深远海海水养殖如何与国际水产品贸易衔接等问题也需要综合研究。

我国已经在南海海域启动构建首个深远海大型养殖平台,同时在黄海海域积极筹建黄海冷水团鱼类养殖,这为我国海水养殖新空间的探索迈出了坚实的第一步。

### 三、战略选择

我国必需制定和实施深远海规模化养殖的国家战略,突破深海巨型网箱设施结构工程技术、养殖工船综合平台技术,集成工程化和信息化鱼类养殖技术,深远海养殖的能源供给网络,以及人工生态礁及其他配套装备,在 20 m 以深海域形成技术装备先进、养殖产品健康和高经济附加值、环境友好的现代化规模养殖平台,将养殖区域拓展到深远海。同时,以深远海可移动式养鱼工船、养殖基站和养

殖平台等作为载体,可分别在南海、东海和黄海等海域宣示国家主权。

#### (一) 战略目标

深远海海水养殖是在远离大陆的深远海水域,依托养殖工船或大型浮式养殖平台等核心装备,并配套深海网箱设施、捕捞渔船、能源供给网络、物流补给船和陆基保障设施所构成,集工业化绿色养殖、渔获物搭载与物资补给、水产品海上加工与物流、基地化保障、数字化管理于一体的渔业综合生产系统,构建形成的“养捕加”相结合、“海-岛-陆”相连接的全产业链渔业生产新模式。

以南海深远海海水养殖平台建设和黄海冷水团养殖开发为重点,开展大型专业化养殖平台研发,突破关键技术与重大装备研发,全面构建“养捕加”相结合、“海-岛-陆”相连接的全产业链深远海海水养殖体系,引入多方资本,建立企业平台,形成全产业链生产模式。用 10~20 年时间,建成一批深远海大型养殖平台,形成海上工业化养殖生产群,成为新海上丝绸之路的一颗颗璀璨的明珠。

#### (二) 战略任务

1. 开展深远海海水养殖适宜品种繁育关键技术研究,构建优质高效养殖技术体系

针对深远海养殖品种高值、高效养殖要求,结合深远海区域性水文条件,运用水产养殖学基本原理及其养殖对象生态、生理学特征,从虹鳟、硬头鳟、大西洋鲑、裸盖鱼、石斑鱼、大黄鱼、军曹鱼、金枪鱼等海水养殖鱼类中筛选出适合深远海海水养殖的种类,突破优质品种工业化人工繁育技术和营养与配合饲料加工技术,创建主要养殖品种船舱养环境控制技术、深海巨型网箱综合养殖技术,研究集成开发远距离自动投饵、水下视频监控、数字控制装备、轻型可移动捕捞装备、水下清除装备、轻型网具置换辅助装备,构建基于生长模型的工业化养殖工艺与生产规程,建立名优品种深远海养殖技术体系。

2. 构建以深远海养殖平台为核心的新型海洋渔业生产模式

针对深远海海况条件及养殖平台构建基本要求,开展工船平台和网箱设施水动力学特性研究,

研发专业化舱养工船、半潜式开舱养殖工船等基础船型,以及拖弋式大型网箱、半潜式大型网箱设施等模型,突破锚泊与定位控制技术、电力推进与驱动控制技术,构建自动化投喂与作业管理装备技术体系。同时,开发海洋石油平台海水养殖功能性拓展和转移综合利用技术。拓展海洋石油平台的功能,嫁接现代化的深海养殖设施和装备,综合利用现役海洋石油平台。改造去功能化的海洋石油平台,构建去功能化的老旧海洋石油平台功能移植深海养殖模式,建立深远海养殖基站。根据海区捕捞生产需要,建立海上渔获物流通与粗加工平台。以游弋式大型养殖工船平台为核心,固定式大型网箱设施为拓展,岛、陆生产基地为配套,结合远海捕捞渔船、综合加工船、海上物流运输船,形成渔业航母船队,建立深远海渔业生产模式,并开展产业化生产示范。

### 3. 研究和构建深远海海水养殖能源保障系统

深远海海水养殖能源供给应以可再生能源提供为主、柴油为补充能源的综合系统,其中可再生能源部分以光伏发电和风力发电为主,配以光热综合利用和波浪能利用等。发电系统可以是单独的光伏、风电系统,也可以是风光互补、风柴互补、风光柴发电系统。其关键技术包括光伏系统的防腐蚀技术、抗风系统的设计、光伏系统材料、储能电池的可靠性评估、海岛环境和能源数据监测、采集与分析、光伏系统发电量评估、储能系统的防腐蚀技术、运营维护的操作手册编制,发电量与能耗分析,海岛安装光伏系统的各类技术标准、安装规范的制定等。

### 4. 建设海洋水产品智能化物流系统网络平台

深远海海水养殖产业链中需要高效的水产品物流体系,达到减少流通环节,降低流通成本,提高流通速度,保障海洋水产品质量和食用安全的需要。重点突破海洋水产品物流网络信息采集、传输关键技术,海洋水产品物流系统自动化关键技术,开发适用于海洋水产品物流动态品质监测系统,采集海洋水产品物流过程产品品质的特征动态数据,建立动态监测过程中海洋水产品品质评判指标标准体系,实现海洋水产品品质、标识、地理位置的实时监控与跟踪的标准化模式,建立相应的溯源技术标准,制定相应的技术规程,实现消费终端和溯源共享平台。

### 5. 构建新型海水淡化系统和水培蔬菜种植平台

深远海海水养殖的淡水供给以非并网集约化膜

法海水淡化、发电一体化技术为主<sup>[11]</sup>,海水淡化装置和发电机全部装在风机塔筒内,几乎不占用地方,利用风、光、柴、蓄综合电力系统协同供电实现海水淡化能量供给,不仅保障发电系统安全,还可以保障养殖平台淡水供给。主要技术包括:新型海水淡化、风电集约化、一体化系统研发,新型海水淡化系统不仅供水、供电,还可以利用较小空间进行零排放水培蔬菜立体种植,每平方米年产77.5 kg新鲜蔬菜(生菜等绿叶菜),根据养殖基地的实际空间和养殖人员的营养需求,做好水培系统的搭建和蔬菜品种的选择工作。

## 四、政策建议

### (一) 加强组织领导,做好顶层设计,合理规划中长期产业布局

根据国家海洋战略部署,按照南海等深远海海域可持续开发规划,按照先易后难,典型示范,分步推进的原则,结合国民经济发展、维护海洋权益等方面情况,做好顶层设计。可以分别在黄海(冷水团)、南海设立试验点,结合区域自然条件、水文特点、主养品种以及捕捞生产状况,具体布局深远海养殖及物流平台及其船队的产业规模、海域布局和陆上基地配置,确定深远海海水养殖发展的技术路线图。

### (二) 加大研发投入,鼓励融资创新,构建多元化的产业化应用模式

设立科技专项,组织科研优势单位,开展深远海海水养殖基础共性技术和关键技术的研发。发挥财政资金引导作用,设立中央与地方相结合的专项补贴资金,以中央财政资金为主,鼓励行业内外外的企业整合优势资源参与深远海大型养殖平台的产业化。鼓励银行创新金融产品,为构建深远海海水养殖平台提供优惠贷款。鼓励并广泛吸纳企业资金、民间资本等社会资本参与,形成多元化的投资格局。

### (三) 加强政策引导,以点带面分步实施,促进深远海海水养殖的发展

出台鼓励政策,以深远海海水养殖平台研发应用示范为目标,组织企业多方参与。通过示范带动和产业政策引导,按照规划布局,形成多个深远海

渔业生产船队，建立完善的生产体系，推进我国现代渔业生产方式转型升级。

## 五、结语

开拓海水养殖新空间，开展深远海海水养殖是我国海水养殖可持续发展的需要，是保障我国食物安全和近海生态安全的需要，也是有效利用我国海洋资源、宣示海洋权益的需要。本研究认为我国在养殖技术、装备和市场需求上已经具备开展深远海海水养殖的条件，以养殖生产为基本生产能力的“养捕加”一体化大型深远海养殖平台，在能源和物流保障系统支持下，可以在远离陆基的深远海持续开展渔业生产，带动形成区域性渔业生产船队，以新型的渔业生产方式，实现广袤的蓝色国土资源的可持续开发，形成工业化养殖新产业，促进渔业产业结构调整与生产方式转变。深远海海水养殖是海水养殖的一次革命，是高投入、高风险、高回报兼具的一个新兴产业，需要做好顶层设计，制定中长期规划，分步实施。政策引导，引入多元化市场主体和资金，养殖、装备、加工、物流和贸易等协调发展。

### 参考文献

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴2015[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.  
Fishery Bureau, Ministry of Ariculture. China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press; 2015.
- [2] 丁永良. 海上工业化养殖[J]. 现代渔业信息, 2006, 21(3): 4-6.  
Ding Y L. Industrialized farming fish at sea [J]. Mod Fish Inf. 2006; 21(3): 4-6.
- [3] Christine Blank. Salmon farm to be built on world's largest ship [EB/OL]. [2015-12-11]. <http://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/salmon-farm-to-be-built-on-world-s-largest-ship>.
- [4] 庚云. 西班牙研制巨型海水养殖网箱[J]. 现代渔业信息, 1990, 5(11): 34.  
Geng Y. Spain developed the giant mariculture cages [J]. Mod Fish Inform. 1990; 5(11): 34.
- [5] 中国政府网. 我国首个深远海大型养殖平台启动构建[EB/OL]. [2014-11-24]. [http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/24/content\\_2782858.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/24/content_2782858.htm).  
Chinese Government Network. Start of the construction of the first large platform of offshore mariculture in China [EB/OL]. [2014-11-24]. [http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/24/content\\_2782858.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/24/content_2782858.htm).
- [6] 张彦, 宋昕, 张天. 船用微网发电系统的构建研究[J]. 中国修船, 2014, 27(5): 16-18.  
Zhang Y, Song X, Zhang T. Study on the construction of micro-grid system in ship [J]. Chin Ship Rep. 2014; 27(5): 16-18.
- [7] 赵亮亮, 袁成清, 董从林, 等. 船用太阳能电池板玻璃盖片腐蚀损伤效应研究[J]. 润滑与密封, 2010, 35(4): 58-61.  
Zhao L L, Yuan C Q, Dong C L, et al. Research on corrosion damage effects on cover glass of solar cell in ship [J]. Lub Eng. 2010; 35(4): 58-61.
- [8] 詹耀. 海上风电机组的防腐技术与应用[J]. 现代涂料与涂装, 2012, 15(2): 15-18.  
Zhan Y. Anticorrosion technology and application of offshore wind turbines [J]. Mod Paint Fin. 2012; 15(2): 15-18.
- [9] 张小栓, 邢少华, 傅泽田, 等. 水产品冷链物流技术现状、发展趋势及对策研究[J]. 渔业现代化, 2013, 38(3): 45-49.  
Zhang X S, Xing S H, Fu Z T, et al. Current situation, development trend and counter measures of aquatic products cold-chain logistics technology [J]. Fish Mord. 2013; 38(3): 45-49.
- [10] 夏永强, 胡钰, 张磊, 等. 船用海水淡化装置[J]. 机电设备, 2014, 31(5): 16-19.  
Xia Y Q, Hu Y, Zhang L, et al. Seawater desalination plant for ships [J]. Electro De. 2014; 31(5): 16-19.
- [11] 方敏, 孔祥威, 施建中, 等. 大规模非并网风电系统理论与实践[J]. 中国工程科学, 2015, 17(3): 14-19.  
Fang M, Kong X W, Shi J Z, et al. The theory and practice of large-scale non-grid-connected wind power system [J]. Eng Sci. 2015; 17(3): 14-19.