

海洋能开发利用的环境影响研究进展

欧玲,徐伟,董月娥,徐辉奋,杜敏

(国家海洋技术中心 天津 300112)

摘要:海洋能开发利用的环境影响问题是世界各沿海国普遍关注的新问题。文章通过对近年来潮汐能、潮流能、波浪能等开发利用的环境影响研究进展进行分析,总结当前主要海洋能开发利用的环境影响研究热点、研究方法及海洋能开发利用的环境影响强度结果,明确我国海洋能开发利用的环境影响研究的不足,并根据海洋能管理需求,提出我国海洋能开发利用的环境影响研究建议。

关键词:海洋能;环境影响;海洋管理

中图分类号:P74:X820.3

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2016)06-0065-07

Research Progress on the Environmental Effects of Ocean Renewable Energy

OU Ling,XU Wei,DONG Yue'e,XU Huifen,DU Min

(National Ocean Technology Center,Tianjin300112,China)

Abstract: Environmental effects of ocean renewable energy have become the new focus of coastal countries around the world. This paper concluded the main effective factors, research method and effect results respectively by reviewing environmental effects studies of tidal, current and wave energy in recently years. Suggestions on the environmental effects researches were also proposed in the paper according to the management demands of ocean renewable energy, as well as the environmental effects data gaps to be cleared in China.

Key words: Ocean renewable energy, Environmental effect, Sea use management

1 引言

在全球温室效应显著增强的大背景下,各国社会经济发展对可再生能源的需求逐渐加大。目前海洋能已成为各沿海国重要的可再生能源之一,潮汐能、潮流能、波浪能是主要的海洋可再生能源。在中国发布的海洋能辞典中,对潮汐能、潮流能、波浪能进行了定义:潮汐能是指海水受月球和太阳对地球产生的引潮力作用而周期性涨落所储存的势

能;潮流能是指引潮力使海水产生周期性往复水平运动时所具有的动能,其能量主要集中在狭窄的海峡或某些海湾,潮流发电装置与海流发电装置类似,有时统称为海流发电;波浪能是指海洋表面波浪所具有的动能和势能。潮汐能、潮流能、波浪能统称“海洋能”。

根据国际可再生能源署 2014 年发布的“海洋能——技术、专利、海试现状与展望”报告,目前世

收稿日期:2016-01-14;修订日期:2016-05-03

基金项目:海洋可再生能源专项(GHME2014ZC01)。

作者简介:欧玲,研究实习生,硕士,研究方向为海洋生态管理、海洋能社会经济环境影响、海洋生态文明,电子信箱:oulinglove2006@126.com

通信作者:徐伟,研究员,研究方向为海洋功能区划及管理政策,电子信箱:xuwei2753@163.com

界上潮汐能技术是海洋能技术中最为成熟的一种,已得到几十年的应用,包括韩国始华湖潮汐电站、法国朗斯潮汐电站及中国江夏潮汐电站等,技术成熟度为 9;潮流能和海流能技术目前已开展单机实况海试,并具备商业多机组示范建设的能力,技术成熟度为 7~8;波浪能技术已进行到 1:1 工程样机的实况试验阶段,技术成熟度为 6~7。

我国十分重视海洋能的开发。《能源发展战略行动计划(2014—2020 年)》提出“积极发展海洋能。坚持统筹兼顾、因地制宜、多元发展的方针,有序开展海洋能资源普查,积极推动海洋能清洁高效利用,开展海洋能发电示范工程”。《国家应对气候变化规划(2014—2020 年)》在优化能源结构篇章中提出“提高海洋能开发利用水平。建设一批潮汐能、潮流能示范电站,结合海岛用能需求,建设海洋能与风能、太阳能发电等多能互补独立示范电站”。《海洋可再生能源发展纲要(2013—2016 年)》明确提出“到 2016 年,建成具有公共测试泊位的波浪能、潮流能示范电站以及国家级海上试验场”。中国海洋能发展近期目标主要是实现示范电站建设及海上试验场建设。

作为新的规模性海洋资源开发方式,海洋能发电将产生什么样的环境影响,尚具有较多的不确定性。中国 20 世纪 50 年代末到 80 年代建设小型潮汐电站 50 多个,大部分电站因选址不当而出现泥沙淤积状况;70 年代所建设的潮汐电站中,白沙口电站建站 10 年,累计淤积泥沙超过 30 万 m^3 ^[1];海山潮汐电站进水口位置恰为海水含沙量较大的海区,曾发生库区泥沙淤积问题,经采取机械冲淤等措施后得以持续运营^[2]。在当前沿海地区可再生能源需求大、海洋资源开发强度高、海洋环境压力剧增的情况下,潮汐能、潮流能、波浪能的环境影响问题将成为未来近海海洋资源可持续开发研究的重要问题之一。

2 海洋能开发利用的环境影响研究现状

国外多位学者对海洋能开发利用的环境影响开展研究,其中 Boehlert 和 Gill 系统地总结海洋能装置对海洋环境影响的研究成果,并进行分类分析;海洋能开发利用带来的环境影响源包括装置的物理结构、水动力的变化、能量的转移、设备的化学

物质、设备产生的噪声、电缆形成的电磁场等;主要的受体为物理环境、生物栖息地、生物种类、鱼类及渔业资源、海鸟、海洋哺乳动物、生态系统与食物链;主要的影响方式包括短期单一影响、长期单一影响、短期累加影响、长期累加影响,累积影响主要体现在时间、空间以及其他人类活动上^[3]。

同时,海洋能开发利用的环境影响研究也得到世界各国的重视。2010 年初,政府间国际组织海洋能系统(OES)成立第四工作组,专门开展海洋能开发利用的环境影响研究工作,共 23 个国家参与到此项工作中。第四工作组在加强各国科研人员联系的同时,建立 Tethys 数据库,以收集、整理并共享世界各国在海洋能开发利用的环境影响领域的研究成果。第四工作组集合多国多位学者的研究数据,对促进各国海洋能开发利用的环境影响研究具有重要作用^[4]。

2.1 海洋能开发利用的环境影响研究的主要问题

2.1.1 设备设施影响

海洋能工程建设的海上部分包括海洋能设备安装、海底锚泊设施建设及海底输电电缆铺设等。

在海洋能工程施工期,海洋能设备安装及海底电缆建设与大部分海洋工程类似,都将扰动海洋环境,不仅表现为水质悬浮物的增加,还表现在对底栖生境的破坏。

在海洋能工程运营期,海洋能设备对环境的影响是目前研究的重点方向。潮汐电站大坝的建设改变海洋动物的洄游通道,阻止海洋生物的季节性迁徙。潮流能与波浪能设备轮叶的转动改变了海水流速,使部分生物远离工程区域。部分哺乳动物试探性地靠近运营设备,部分鱼类试图穿过运动的轮叶间隙,使海洋动物与设备存在碰撞风险。海洋能设备系泊缆线等锚泊设施容易缠住海鸟等生物并将其困住,使其无法运动。另外,海洋能设备入海为海洋生物提供特殊的生存空间,使之具备人工鱼礁的特性,使海洋生物栖居于工程区域。

2.1.2 噪声影响

海洋能设备安装及运营所产生的噪声将干扰海洋动物的交流、繁殖、定位、捕食等活动行为,较其他海洋生物而言,鱼类及哺乳动物对声环境的依赖程度

更高,对其影响将更为明显。项目建设期大量船只频繁作业将对声环境产生较大改变,项目运营期设备转动产生的噪声将长期性地改变该海域的声环境。

2.1.3 海洋物理环境改变影响

海洋物理环境的改变主要表现在设备运转对水动力条件的改变,这一问题也是在潮汐电站运营较长时间以来关注的最为重要的问题之一。水动力条件的改变将改变海底输沙,从而影响造滩过程,改变区域性海域近岸生境,甚至有可能导致区域生态系统的变化。另外,海底输沙受到影响也可以对港航资源产生影响,如改变泥沙输运影响航道水深。

2.1.4 其他环境问题影响

海洋能工程建设还将带来化学影响和电磁影响。建设期船舶频繁施工存在溢油风险,海底电缆电力输送将产生电磁辐射。由于这两种影响是海洋工程中较为常见的问题,有较好的技术性与管理性防范措施,在目前并没有作为海洋能开发利用的特征性环境影响问题来进行研究。

2.2 海洋能开发利用环境影响研究的主要方法

2.2.1 现场监测

海洋能开发利用的环境影响现场监测研究开展时间较长、成果较多的项目主要位于英国北爱尔兰斯特兰福德湾(Strangford Lough)、美国华盛顿州 Puget Sound、美国缅因州 Cobscook 海湾以及美国纽约东河(East River)等,监测的主要问题包括海洋动物与设备的直接碰撞、设备噪声影响及水动力条件影响。

根据 Keenan 的研究,对于英国 Strangford Lough 湾的潮流能 SeaGen 的基础监测研究已开展6年。对海洋哺乳动物和海鸟的监测包括空中观测和基于海岸的调查;对海豹的研究是对目标打入标签后,进行空中观测、卫星观测以及船舶观测;对港口海豚的发声研究,采用在港湾中布设 TPOD 测声仪开展监测;对水下轮叶转动噪声,在设备桩基部位安装测声仪进行监测;对水体动力条件,通过在调查船上安装声学多普勒测流仪来测量不同潮时、不同水深的水流流速^[5]。

在 Viehman 研究案例中,缅因州大学对 Cobscook 海湾潮流机组附近鱼类开展的研究采用24 h

不间断水下摄影的方法,分析不同尺寸的鱼类在白天、夜晚的不同行为模式。水下摄影的方法同样应用到密西西比河、纽约东部河流、苏格兰奥克尼郡等地的海流能环境影响研究项目中^[6]。

2.2.2 水槽实验模拟

根据 Jacobson 的研究,在美国电力研究所与美国地质调查实验室等机构,共同开展的鱼类与轮叶间相互作用的研究项目中,采用实验室水槽进行模拟,通过将不同大小的鱼放入实验区,观察其存活情况及行为模式的改变情况^[7]。

根据 Halvorsen 的研究,西北太平洋实验室应用水槽设计三文鱼和大嘴鲈鱼的实验,测试其对海洋能设备噪声的行为反应^[8]。

2.2.3 数学模型模拟

苏格兰海洋科学协会(Scottish Association for Marine Science)对基于生态系统的三维捕食与被捕食行为模型进行修正,以通过数值模拟研究鱼类、潜水鸟类以及港口海豚与海洋能设备的碰撞风险。美国橡树岭国家实验室(Oak Ridge National Laboratory)建立几何学模型(geometric-area model)来解释鱼类及其他海洋生物与海洋能设备碰撞的概率及后果。美国西北太平洋国家实验室(PNNL)和桑迪亚国家实验室(SNL)对肉食鲸进行极端条件的假设,研究假设大型成年肉食鲸由于好奇,将头卡在两片轮叶之间,实验应用数值模拟对其头部所受到的压力进行评估,包括皮肤受压及对身体内部造成的压力。

对于噪声环境影响的数模研究,美国华盛顿大学用模型将装置噪声与环境噪声间的关系进行定量化,并测试其对海洋哺乳动物的影响^[9]。葡萄牙波浪能中心应用海蛇波浪能装置模拟声源,研究噪声对海豚的影响^[10]。

在海流能与波浪能对水动力等物理条件影响的数模研究中,北美及欧洲主要采用折射/衍射模型(REFDIF)对波浪的振幅、周期以及波向进行测算^[11]。对于潮流能对水动力条件的影响,英国普利茅斯大学(Plymouth)在潮汐大坝对水循环模式的改变问题上采用3D模型进行模拟研究,加拿大采用3D海洋循环模型(Princeton Ocean Model),美国PNNL采用3D/2D/1D-FVCOM,桑迪亚国家实

验室修正 3D 水动力模型 (SNL-EFDC) 进行应用, 英国 Cardiff 大学采用 2D 水力学模型 (DIVAST) 开展研究。其中在美国 PNNL 的研究中, 3D 模型预测的体积通量的减小在 23%~36.5%, 远远小于 1D 模型的 42.3% 及 2D 模型的 41.6%^[12]。

2.3 海洋能开发利用的环境影响强度

海洋能项目建设施工期环境影响与其他海洋工程相似, 环境影响强度有较为成熟的方法进行评价, 因此当前海洋能开发利用的环境影响研究侧重于在项目运营过程中、设备运转状态下的环境影响。海洋能开发利用的环境影响强度研究主要包括海洋能建设产生的噪声、海洋动物与海洋能设备的碰撞以及海洋能开发利用对水动力条件的改变这 3 种影响因素对海洋生物、海洋生态环境产生的影响强度范围和大小。噪声、碰撞、水动力条件改变的影响强度研究结果如表 1 至表 3 所示。

表 1 噪声影响强度

	能源种类	项目情况	噪声环境影响结果
现场监测	潮流能	北爱尔兰 Strangford Lough 的潮流能 SeaGen	环境背景噪声为 115~125 dB, 打桩时噪声达 136 dB。项目所在海区的海豚可以在项目 300 m 外察觉打桩器械声; 海豹在项目 28 m 处可接受 59 dB 噪声, 在 2 130 m 处可接受 25 dB 噪声; 鲱鱼在项目 28 m 处可接受 62 dB 噪声, 在 2 130 m 处可接受 25 dB 噪声 ^[13]
		美国华盛顿州 (Puget Sound) 摇摆式波浪能设备	环境噪声为 116~132 dB, 设备噪声为 126 dB; 美国缅因州 Cobscook 海湾潮汐能项目 10 m 处噪声为 100 dB, 200 m 外噪声不可检出 ^[13]
	潮汐能	美国纽约东河 (East River) 潮汐能	在轮叶故障时的最大噪声达 145 dB, 超过该区域 14 种鱼类的最大承受域值, 但不足以对鱼类造成损伤 ^[13]
实验水槽研究	波浪能	英国 Newcastle 对 Tyne 1/50 的三叶片模型样机进行测试	水深 20 m 处的噪声小于渔船的噪声, 而水深 11 m 处的噪声可达 150 dB ^[13]

续表			
	能源种类	项目情况	噪声环境影响结果
数值模拟	潮流能	美国华盛顿大学对欧洲海洋能 Open-Hydro 机组数模研究	流速调至 3.6 m 时, 最大噪声为 172 dB, 距离机组几百米外, 海洋哺乳动物出现的可能性降低 50%, 千米之外出现的可能性降低 25%。因此海洋动物接收到的噪声不足以使其受伤 ^[9]
	波浪能	葡萄牙波浪能中心对 Pelamis 波浪能设备研究	噪声大于 20 dB 时达到海豚听阈, 噪声大于 60 dB 时海豚将受影响, 噪声大于 120 dB 时将会出现偶发伤害。结果表明, 单个机组海豚听阈区为 5 km 范围, 干扰区为 3 km 范围, 偶发伤害区为 1 km 范围; 当模拟 3 个设备的共同影响时, 影响范围分别是 6 km、4 km、2 km ^[10]
	潮流能、波浪能		潮流能、波浪能的噪声影响数模研究结果显示, 鱼类在潮流能设备机组 6 m 内持续 8 h 以上, 将出现暂时性听力损失, 在波浪能设备附近所受伤害会小一些 ^[14]

表 2 碰撞影响强度

	能源种类	项目情况	碰撞环境影响结果
现场监测	潮流能	密西西比河 Hydro Green Energy 单机的现场实验	鱼尺寸在 115~235 mm、388~710 mm, 穿过轮叶的存活率达 99% ^[15]
	潮流能	纽约东河 Verdant Power 潮流能机组研究	迁徙的鱼类会避开设备区域, 当轮叶转动速度达 0.7~1.0 m/s 时, 鱼类会以大于 0.8 m/s 的速度逃离 ^[12]
实验水槽研究	潮汐能	美国电力研究所与美国地质调查实验室研究	鱼类的轮机通过率达到 98% ^[7]
数值模拟	潮汐能、潮流能、波浪能	苏格兰海洋科学协会三维捕食与被捕食行为模型数模研究	2% 的鲱鱼、10% 的海豚会与海洋能设备相撞 ^[16]
	潮汐能	美国 PNNL 与 SNL 实验对最极端的情况进行模拟	对鲸的伤害是非致命的, 但可能会受擦伤或其他小的伤害 ^[17]

表 3 水动力改变影响强度

	能源种类	项目情况	水动力改变影响结果
现场监测	潮流能	通过对距离 Stangford Lough 的 MCT Seagen 几米到 2 km 研究	最大的影响是设备运营在小潮退潮期对潮流流速的影响,流速改变幅度超过 15%,但总体而言不足以改变海区流速、沉积物环境及底栖群落结构 ^[5]
	波浪能	运用折射/衍射模型 (REFDIF) 模拟波浪的振幅、周期、波向,对 Plamis 波浪能场建设前与建设后开展 3 种不同季节的模拟	波向的影响可以忽略,并且机组越少对近岸海岸线的影响越小 ^[13]
数值模拟	潮汐能	纽约东河的 Verdant 能源小组对能源转移和水流变化对潮汐能所在河口的水平面及流速的变化研究	水平面变化小于 0.08%,水流速变化大约为 3%。关闭机组后水深将增加 12 mm、水流速会降低 0.07 m/s ^[13]

3 我国海洋能环境影响研究的需求及对策

我国海洋能环境管理体制较为完善,在项目申请许可过程中严格依法开展海洋环境影响评价与海域使用论证,以保证海洋能项目符合海洋功能区划,对环境的影响处于可控状态。根据我国海洋功能区划,海洋能的项目选址可选择矿产能源区的可再生能源区,也可选择与其他用海活动用海兼容性较好的海洋功能区。然而在项目许可过程中,由于我国海洋能环境影响研究的本土研究数据较为缺乏,无法科学界定项目是否符合功能区划管控要求,也难以界定环境影响强度。因此建议从以下几个方面入手,加强海洋能环境影响的基础科学研究。

3.1 开展海洋能水动力环境影响研究,科学确定海域自然属性的改变程度

在海域管理用途管制中,用海方式控制要求分为禁止改变海域自然属性、严格改变海域自然属性以及允许改变海域自然属性 3 个级别。一般而言,海洋工程按照项目建设的用海方式即可判定对自然属性的改变级别。如,潮汐水库的堤坝建设,用

海方式属于非透水构筑物,将改变海域自然属性,因此选址不能处于“禁止改变海域自然属性”用途管制的海洋功能区内;波浪能和潮流能主要用海方式包括:发电装置和变电设施的用海属于透水构筑物用海,输电缆线属于海底电缆管道用海,维护通道属于专用航道、锚地及其他开放式用海,因此波浪能和潮流能项目的用海方式对海域自然属性影响较小、选址受限较小。然而海洋能项目较其他用海工程具有特殊性,海洋能设备运营将扰动水流、改变海域水动力条件,从而改变输沙过程、影响造滩过程,因此缺乏长期科学数据的积累,海洋能运营期是否会改变海域自然属性这一问题尚难以明确。

3.2 开展海洋能项目对生态保护重点目标的影响研究,合理选划项目位置

根据当前公开发布的海洋功能区划,在可再生能源区中,潮汐能区域主要分布在浙江、福建、广东,波浪能区域主要分布在山东、福建、广东、海南,海流能区域主要分布在辽宁、浙江、福建^[18]。

海洋能功能区所在海域具有不同的有保护价值的珍稀、濒危海洋生物物种和经济生物物种及栖息地,具有不同的科学、文化、景观及历史遗迹,具有不同的能提供生态服务价值的海洋自然客体,以及具有不同的地形地貌及特殊生境。如,辽宁辽东湾和黄海北部海洋渔业资源丰富,有经济鱼类 80 余种、典型海岸地质景观 80 余处;山东海岸由人工海岸、基岩海岸、沙质海岸和粉砂淤泥质海岸构成,浅海、滩涂资源丰富,主要海洋渔业资源有鱼类、虾蟹类、头足类、贝类、棘皮动物类等;浙江海域渔场面积有 22.27 万 km²,近海最佳可捕量占全国的 27.3%,是渔业资源蕴藏量最为丰富、渔业生产力最高的渔场;福建省海域生物资源丰富,是我国重要渔区之一,分布有闽东、闽外、闽中和闽南一台湾浅滩四大渔场,近海海洋生物约 3 312 种,其中中华白海豚、中华鲟、文昌鱼等为国家重点保护水生野生动物,此外目前已开发的水产养殖品种约 100 余种;广东省海洋生态系统有红树林、珊瑚礁、海草床、上升流等多种类型,海洋生产力旺盛,海洋生物资源种类丰富,拥有多种水生生物的产卵场、索饵

场、越冬场及洄游通道。

目前海洋可再生能源的开发对我国海洋生物,尤其对重点保护的海洋珍稀动物的影响尚不明确,对水动力条件的改变程度难以界定,故存在对海洋生物资源及海洋生态系统的损害风险。因此对于滨海珍稀的海洋生物资源、日益紧缩的海洋渔业资源以及脆弱性较大的珊瑚礁等特殊生态系统,需重点加强海洋能环境影响研究。

3.3 开展海洋能用海活动关系研究,严格制定安全防护距离

用海活动的兼容性是海洋能项目落地的重要考量因素之一,与海洋能用海活动产生利益冲突最主要的是航运活动。潮流能水轮机是潮流能电场的核心装置,根据其基础结构的不同可以分为桩柱式、座底式和漂浮式 3 种,座底式对通航的影响最小,其次是桩柱式,对通航环境影响最大的是漂浮式;大型潮流电场的存在会改变工程水域的水流条件,水流流速流向发生变化,改变工程区域的通航环境;在潮流能电场建成运行期间,由于海底潮流能装置减少通航水深,航道的通航条件恶化,对航运的影响较大^[19]。因此,加强海洋能项目与航运及其他用海活动间的关系研究,科学地对安全距离进行定量,有助于保障安全有序用海。

此外,建议充分利用科研资源、调动科研人员,加强海洋能环境影响学科建设。目前我国拥有山东威海国家浅海海上综合试验场、浙江舟山潮流能试验场及示范基地、广东万山波浪能试验场及示范基地三大海上试验场,研究单位共计 40 家,具备良好的海洋能环境影响研究及技术条件。当前应充分发挥资源优势,开展海洋能环境影响的数据收集及环境问题的研究。

4 结论

海洋能环境影响研究在国外得到广泛的探索与实践,目前已经取得经验性成果,主要包括:①目前海洋能环境影响问题主要为海洋动物与转动轮叶间的碰撞风险;海洋能设备运营产生的噪声对海洋动物产生干扰;海洋能设备运营对水动力条件的改变进而改变泥沙输运,从而影响近岸生态环境及航运条件。②海洋能环境影响研究可采用现场监

测、水槽实验及数值模拟等方法。建议相较于传统用海项目,根据用海管理需求,应加强开展海洋能水动力环境影响研究,科学确定海域自然属性的改变程度;开展海洋能项目对生态保护重点目标的影响研究,合理选划项目位置;开展海洋能用海活动关系研究,严格制定安全防护距离。

参考文献

- [1] 刘振夏,夏东兴.我国潮汐电站选址的地质地貌条件评价[J].海洋工程,1990,8(1):85—92.
- [2] 林楚平.海山潮汐能的综合开发利用[J].水利水电技术,1999,30(1):33—34.
- [3] BOEHLERT G W, GILL A B. Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development A current synthesis [J]. Oceanography, 2010, 23(2): 68—81.
- [4] The Executive Committee of Ocean Energy Systems. Annual report-Implementing agreement on ocean energy systems 2014 [R]. OES, 2015.
- [5] KEENAN G, SPARLING C, WILLIAMS H, et al. SeaGen environmental monitoring program final report [EB/OL]. [2015—09—01]. <http://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Keenan-et-al-2011.pdf>.
- [6] VIEHMAN H A. Fish in a tidally dynamic region in marine: hydroacoustic assessments in relation to tidal power Development [EB/OL]. [2015—09—01]. http://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Viehman_2012.pdf.
- [7] JACOBSON P, AMARAL S, CASTRO-SANTOS T, et al. Environmental effects of hydrokinetic turbines on fish: Desktop and laboratory flume studies [EB/OL]. [2015—09—01]. http://www1.eere.energy.gov/water/pdfs/epri_turbine_effects_on_fish_2012.pdf.
- [8] HALVORSEN M B, CASPER B M, WOODLEY C M, et al. Threshold for onset of injury in chinook salmon from exposure to impulsive pile driving sounds [EB/OL]. [2015—09—01]. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0038968>.
- [9] POLAGYE B, BASSETT C, THOMSON J. Estimated received noise levels for marine mammals from openhydro turbines in admiralty inlet, washington northwest national marine renewable energy center [EB/OL]. [2015—09—01]. http://depts.washington.edu/nmrec/docs/20111214_PolagyeB_pres_PorpoiseNoise.pdf.
- [10] PATRICIO S, SOARES C, SARMENTO A. Underwater noise modeling of wave energy devices. In: Proceedings of the eighth european_wave_energy_device [EB/OL]. [2015—09—

01]. http://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Acoustic_Modeling_of_WEC_Portugal_conf_paper.pdf.

[11] SHAPIRO G I. Effect of tidal stream power generation on the region-wide circulation in a shallow sea[J]. *Ocean Science*, 2010(7):165—174.

[12] COPPING A, BATTEY H. An international assessment of the environmental effects of marine energy development[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2014, 99:3—13.

[13] COPPING A, HANNA L, WHITING J, et al. Environment effects of marine energy development around the world for the OES annex IV[EB/OL]. [2015—09—01]. <http://mhk.pnnl.gov/wiki/index.php/Final...Annex...IV...Report...2013>.

[14] RICHARDS S, HARLAND E, JONES S. Underwater noise study supporting Scottish Executive Strategic Environment Assessment for Marine Renewables[EB/OL]. [2015—09—01]. <http://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Richards%20%20Harland%20%20and%20Jones%202007.pdf>.

[15] Normandeau Associates. An estimation of survival and injury of fish passed through the hydro green energy hydrokinetic system, and a characterization of fish entrainment potential at the Mississippi lock and dam No. 2 hydroelectric projects[EB/OL]. [2015—09—01]. http://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Hastings_Fish_Passage_Report.pdf.

[16] WILSON B, BATTY R, DAUNT F, et al. Collision risks between marine renewable energy devices and mammals, fish and diving birds. Report to the scottish executive, scottish association for marine science, oban, scotland, pp. 1e110. PA37 1QA[EB/OL]. [2015—09—01]. http://depts.washington.edu/nnmrec/workshop/docs/Wilson_Collisions_report_final_12_03_07.pdf.

[17] CARLSON T J, ELSTER J L, JONES M E, et al. Assessment of strike of adult killer whales by an openHydro tidal turbine blade. report to U. S. department of energy, pacific northwest national laboratory and sandia national laboratory[EB/OL]. [2015—09—01]. http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21177.pdf.

[18] XU Wei, LI Feng, XIA Dengwen. Review of China policy of OED sea use management [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2014(2):38—42.

[19] 顾恩凯. 舟山海洋能开发对通航环境影响研究及海事监管对策[J]. *中国海事*, 2015(4):56—59.



(上接第 59 页)

综上所述,建设海上丝绸之路地区、提升区域经济一体化,重点在于发展海南经济,浙江、福建两省在其次,核心在于发挥上海、广东作为沿海巨头的支持作用,深化改革,扩大开放,增强区域内合作交流,促进人才、科技、信息和金融资本的合理流动,调整产业布局,优化经济结构,完善基础设施,不断提高资源利用率,同时严格控制废气废水排放量。

参考文献

[1] TONE. A slack-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European journal of operational research* 2001, 130(4):498—509.

[2] 詹浩勇. 我国主要工业省市的环境—经济综合效率:基于 SBM 模型的实证研究[J]. *绿色经济*, 2010(9):42—46.

[3] 王成金. 工业经济发展的资源环境效率评价方法与实证:以广东和广西为例[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(1):98—109.

[4] 吴旭晓. 中原崛起视域下河南省城市化效率的动态评价:基于非参数 DEA—Malmquist 方法[J]. *地域研究与开发*, 2012, 31(5):33—38.

[5] 白永平. 基于 SBM—Malmquist—Tobit 模型的沿黄九省(区)环境效率差异及影响因素分析[J]. *地域研究与开发*, 2013, 32(2):90—95.

[6] 陈炎. 略论海上“丝绸之路”[J]. *历史研究*, 1982(3):161—177.

[7] 谭秀杰, 周茂荣. 21 世纪“海上丝绸之路”贸易潜力及其影响因素:基于随机前沿引力模型的实证研究[J]. *国际贸易问题*, 2015(2):3—12.

[8] 韩鹏. 创新驱动 积极发挥海洋科技在 21 世纪海上丝绸之路建设中的作用[J]. *海洋开发与管理*, 2015, 32(6):52—54.