

全球海上风电发展及其对美国的最新影响

陈建东¹, 王晶²

(1. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038;

2. 国家电网北京市供用电建设承发包公司, 北京 100062)

摘要: 海上风电及其技术日臻成熟, 成为了当今不可或缺的新能源之一。为追踪全球海上风电发展及其对美国的最新影响, 本文在总结回顾全球海上风电发展现状的基础上, 重点介绍了曾经停滞数年的美国海上风电最近的突破性进展。从对美国海上风电发展现状和趋势的分析归纳中, 得出了今后值得中国借鉴的 4 点启示: 1. 对海上风电开发采取倾斜性政策; 2. 鼓励民间技术和企业的积极参与; 3. 依赖创新驱动和加强自主研发; 4. 突出推进我国深远海战略实施并扩大国际合作。

关键词: 气候变化; 海洋能源; 海上风力发电

中图分类号: TK8; TM614 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2015.10.008

海上风电及其技术日臻成熟, 通过近 20 多年来的发展, 在全球范围, 尤其在欧洲和亚洲, 海上风电已从当初的实验和验证阶段跨入大规模商业化开发阶段, 成为了当今不可或缺的新能源之一。

比较而言, 美国水资源丰富, 因而在页岩气开采方面成本较低, 故近年来包括海上风电在内的风力发电进展相对较慢。不过, 在其国内大型民间联盟的积极倡导和不断敦促下, 自 2013 年 7 月, 美国联邦政府启动了多轮海上风电招标^[1], 停滞数年的美国海上风电向产业化发展迈出了加速步伐。

1 全球海上风电发展现状

截至 2013 年年底, 海上风电市场扩张仍主要集中在欧洲西北部。当年全球海上风电新增装机容量名列前茅的四个欧洲国家分别是: 英国 (812 兆瓦, 占当年全球海上风电新增装机容量的 47%); 丹麦 (400 兆瓦); 德国 (230 兆瓦); 比利时 (192 兆瓦)。同时, 亚洲市场也略有增长^[2]。

2013 年, 全球海上风电新增装机容量超过

1 700 兆瓦, 从而使得累计装机总容量达到 7 031 兆瓦。2013 年, 全球海上风电总容量比上一年增加了大约 50%。尽管近年来的上升趋势令人鼓舞, 然而, 欧洲各国政府对发展海上风电的支持仍存在着某种不确定性。表 1 统计了目前世界各国及地区海上风电市场的运营项目、总装机容量和风电涡轮机安装总数。

如表 1 所示, 2013 年, 英国继续领跑全球海上风电市场, 其总装机容量高达 3 686 兆瓦, 超过了全球总装机容量的一半。随着比利时、德国、荷兰和英国在建海上风电项目的发展, 在未来两年内, 欧洲市场将继续保持快速增长。全球海上风电市场规模的历史年份增长曲线见图 1。

海上风电也正在逐步成为欧洲提升可再生能源利用的最主要助力。欧洲风能协会 (EWEA) 发布的数据显示, 截至 2014 年 7 月 1 日, 欧洲累计安装了 2 304 台海上风电机组, 总的并网装机容量已经达到 7 343 兆瓦。这些风电机组分布在欧洲 11 个国家的 73 个海上风电场 (包括一些示范性的海

第一作者简介: 陈建东 (1964—), 男, 副研究员, 主要研究方向为知识管理、情报研究、海洋研究、新能源研究等。

基金项目: 国家科技支撑计划项目“我国应对气候变化科技发展的关键技术研究” (2012BAC20B09)。

收稿日期: 2015-05-21

表 1 2013 年全球海上风电累计装机容量统计

| 地区 | 国家 | 运营项目数量 (个) | 总装机容量 (兆瓦) | 风电涡轮机安装总数 (台) | |
|----|-----|------------|------------|---------------|-------|
| 亚洲 | 中国 | 15 | 404 | 158 | |
| | 日本 | 9 | 50 | 27 | |
| | 韩国 | 2 | 5 | 2 | |
| 欧洲 | 比利时 | 6 | 571 | 135 | |
| | 丹麦 | 17 | 1 274 | 517 | |
| | 芬兰 | 3 | 32 | 11 | |
| | 德国 | 8 | 516 | 115 | |
| | 爱尔兰 | 1 | 25 | 7 | |
| | 荷兰 | 4 | 247 | 128 | |
| | 挪威 | 1 | 2 | 1 | |
| | 葡萄牙 | 1 | 2 | 1 | |
| | 西班牙 | 1 | 5 | 1 | |
| | 瑞典 | 6 | 212 | 99 | |
| | 英国 | 30 | 3 686 | 1 083 | |
| | 合计 | | 104 | 7 031 | 2 277 |

注：主要包括商业、测试项目。每个风电场各个阶段的项目权算作单独的项目（组）。

数据来源：Navigant analysis of data provided by NREL and Navigant Research。

上风电项目)。其中，仅 2014 年上半年，欧洲就有 224 台海上风电机组并入电网，装机容量达 781 兆瓦。从国家看，比利时、德国、英国、丹麦、西班牙和瑞典，目前都是欧洲海上风电项目运行较为集中的国家。

分析人士指出，对许多欧洲国家，特别是拥有漫长海岸线的国家而言，海上风电是不错的可再生能源选择。由于海上风力更为强劲，因此，同等规模的海上风电项目发电量几乎是陆上风电场的 2 倍。在欧洲，公众普遍反对在人口稠密的地区建设陆上风电，海上风电场刚好可以避开这些区域。鉴于欧洲制定了到 2020 年实现 20% 的能源供应来自可再生能源的目标，预计未来 10 年内，欧洲的海上风电发电量有望增加 3 倍。

在亚洲地区，日本、韩国和中国台湾将在十年

内继续朝着各自的海上风力发电目标迈进。但是中国（大陆地区）初步的进展已经开始放缓。

总体看来，近短期项目保持着持续增长，全球范围海上风电 29 个建设项目的总装机容量超过了 6 600 兆瓦。然而，对海上风电项目在全球市场的长期预测则具有某种天然的不确定性。HIS 新兴能源研究中心（HIS Emerging Energy Research, 2012 年）、美国奈维根特研究中心（Navigant Research, 2012 年）、道格拉斯·维斯武德公司（Douglas-Westwood, 2013 年）等预测到 2022 年，全球海上风电累计装机容量的范围将是 40GW 到 75GW。

2 美国发展海上风电的近况

全球海上风电蓬勃发展的势头对美国也产生了

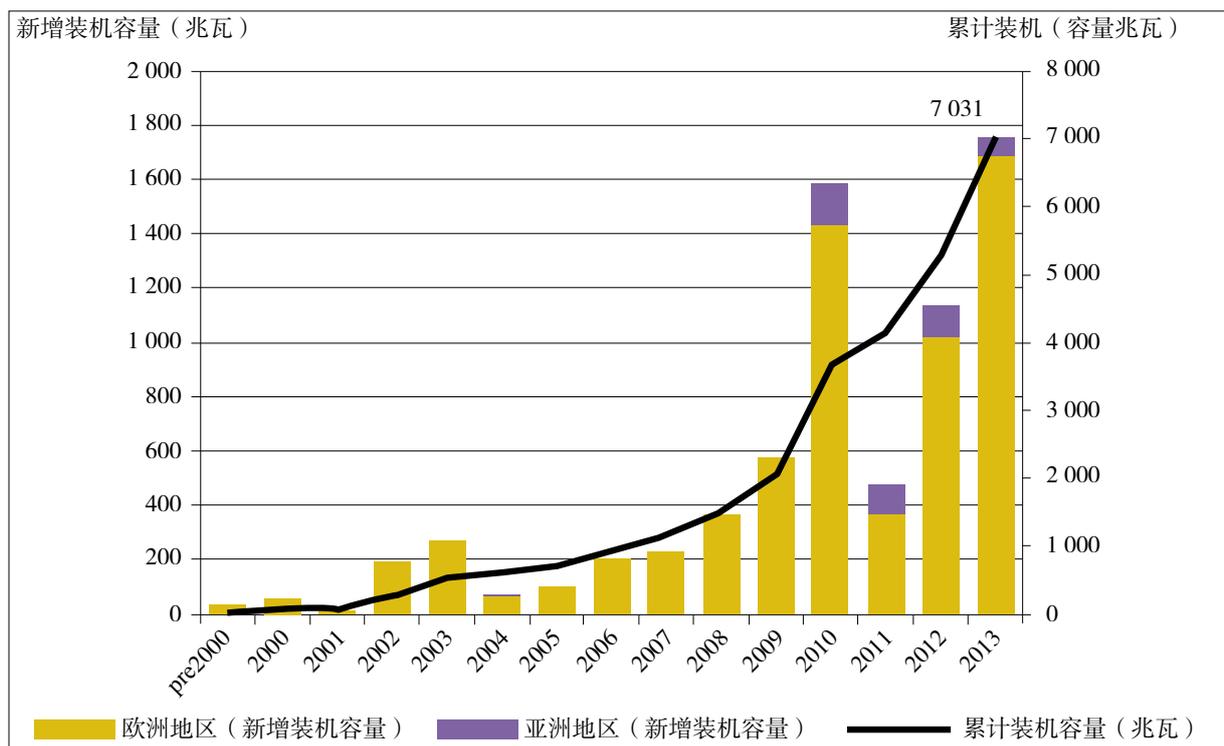


图1 全球海上风电市场的历史发展趋势

注：上述装机容量中有部分并没有在当年就并网，主要包括商业、测试和潮间带项目。

数据来源：Navigant analysis of data provided by NREL and Navigant Research (formerly BTM Consult)。

深刻冲击。尽管美国在新能源寻找方面的特殊国情，使得美国过去几年在发展海上风电方面步伐略显迟疑，但是美国近几年在发展海上风电的技术和项目上，凸现出了规模优势、速度优势和市场优势。

2.1 美国发展海上风电的近况

美国的海上风能潜力巨大，据美国能源部下属的国家可再生能源实验室估计，仅美国浅海海域的风能就可达到9万兆瓦。相当于美国当前陆上风力发电量的3倍。美国陆上风电发展迅速，当前装机容量为3.5万兆瓦，相当于35座大型火电站的发电能力。然而截至2010年年底，美国还没有一座海上风电站。

2010年4月美国第一个海上风电场获准在马萨诸塞州科德角建立^[1]。之后，美国东部缅因、新罕布什尔、马萨诸塞、罗德岛、纽约、新泽西、特拉华、马里兰、弗吉尼亚和北卡罗来纳10个州的州长与联邦政府一起建立了大西洋海上风能联盟。该联盟将致力于以促进外大陆架的海上风能发电开发，加强国家能源安全以及创造就业岗位。

2010年11月25日，马萨诸塞州公共事业部

批准了一项为期15年的合同，允许国家电网购买RECs公司由海角风能发电场（Cape Wind）发出的电力。海角风能项目工程位于美国马萨诸塞州的科德角附近，将安装130个风机，总装机容量达到183兆瓦。

可以说，海角风能项目的获批被认为是为美国的可再生能源开辟了新边疆。紧随其后的2012年3月1日，美国能源部长朱棣文宣布启动一项1.8亿美元的计划，以通过研发创新技术支持美国海上风能项目发展^[4]。

2014年9月8日，全球知名管理咨询公司美国奈维根特研究中心（Navigant Research）发布《海上风电市场和经济分析》（Offshore Wind Market and Economic Analysis）报告。该报告是奈维根特研究中心在美国能源部专项资金支持下完成的一份研究报告，并由美国能源部授权发布。该报告指出：美国海上风电市场已有了增长，尤其是在实现首批产业化项目上有显著进展。其中两个较成熟的计划——海角风能和深海布鲁克岛项目已经进入开工阶段。同时在维尔京群岛（the U.S. Virgin Islands），

美国远洋海上能源公司 (Ocean Offshore Energy) 已然完成了一个较小规模的近岸风电项目 (7.5 兆瓦) 的后期工作安装。与此相比, 其它不少大型的海上风电计划仍旧进展缓慢。

2.2 美国大型联盟敦促奥巴马政府加速推动海上风电发展

2013 年 12 月 31 日, 是美国政府倡导发展海上风电实施联邦税收优惠的截止日期, 该日期临近之前, 即 2013 年 7 月, 美国某大型联盟组织已致信奥巴马总统, 呼吁美国政府要采取更加迅速和更为大胆的行动, 来加速推动美国海上风电的发展^[5]。该组织成员包括: 美国环境联盟 (Environment America, 一个由美国各州环境团体联盟组成的非营利组织); 美国国家野生动物联盟; 美国保护法律基础和南方环境法律中心; 超过 230 个的组织、小企业和民选官员等。

该组织在信中称, 赞同海上风电在替代目前美国发电厂上极具潜力, 并可用来帮助减轻诸如飓风桑迪等极端天气事件。该组织注意到奥巴马总统在最近几个月内对可再生能源的重要承诺 (2013 年 12 月 5 日, 奥巴马发布了一份总统备忘录, 以指导联邦政府在 2020 年达到 20% 的能源来自可再生能源的目标。而在 2013 年 6 月, 奥巴马宣布了美国减少碳污染的气候行动计划。该计划除了要把发电厂的碳污染置于国家限令下, 还呼吁要在联邦政府对土地和水可控前提下加倍开发可再生能源)。

尽管如此, 该组织仍呼吁奥巴马总统及其政府要有所进展, 并提出如下意见:

2.2.1 确立海上风电发展目标

设立一个大胆的大西洋海上风电发展目标, 即美国能源部所提出的截至 2030 年前达到 54 吉瓦的目标。

2.2.2 确保联邦政府的投入

支持向海上风电方面的重大投资, 包括用于联邦支撑研究、开发和部署项目的联邦激励措施。并由美国内政部和美国能源部两个部门来实施。

2.2.3 协调各方以避免冲突

确保海上风电项目在选址、建造和运营等各方面的环保责任, 以求避免、尽量减少或减轻与海洋生物保护或其它用海之间的一些利益冲突。风能发展应当与美国国家海洋政策和各州或地方的重大规

划计划工作相一致。

3 美国发展海上风电的特点及趋势

美国海上风电产业主要特点及趋势表现为以下三个方面: 通过政府引导并形成成为国家战略; 支持开展大规模海上风电联网研究; 在漂浮式风力机研发上发挥着全球“领头羊”作用。

3.1 通过政府引导海上风电产业并形成成为国家战略

2011 年 3 月 16 日, 美国能源部和内政部共同发布了《国家海上风电战略: 创建美国海上风电产业》。这是美国史上首个关于海上风电的机构间合作规划^[6]。在该份战略报告指导下, 美国能源部凭借其海上风电革新和示范 (OSWInD) 新方案开展行动, 促进联邦及州一级的海上风电的商业化进程。该报告称^[7], 将在今后 5 年投资 5 050 万美元发展海上风能技术研发和环境研究, 海上风电装机 2020 年将达 10 吉瓦。OSWInD 的主要内容涉及三个方面: 开发海上风电技术、消除市场壁垒及示范先进技术。

3.1.1 开发海上风电技术

海上风电技术开发将为美国实现 2030 年海上风电装机容量 54 吉瓦的战略目标, 克服技术上的瓶颈。在模型、设计工具、风电机组以及系统平衡部件各个环节将加大技术开发力度, 从而降低风电成本, 减小技术风险, 增加海上风电的可操作性。这些不同方面的科研工作的高度集成, 某一方面的科研成果就很有可能是另一方面的技术切入点, 同时, 各个方面的研究也是遵循整个系统的优化指导。整个技术开发主要分为三个方向: 计算工具和试验数据、创新型风机和海洋系统工程。

3.1.2 消除市场壁垒

消除市场壁垒有助于提高目前海上风电项目进展的效率, 其主要聚焦于三方面: 选址和准入, 补充基础设施, 能源规划。

3.1.3 示范先进技术

OSWInD 将通过先进技术示范项目, 影响海上风电发展的速度和规模。该行动的首要目标是以最快的速度和负责任的方式, 在美国水域安装风力发电机。成功实施先进技术示范项目, 可以使得海上风电的成本相比于降低不确定性和技术改进而言, 更具竞争性。通过提供资金、技术支持和政府协调,

加速这些示范项目的部署，美国能源部将降低国内海上风电的风险并促进其快速发展。

3.2 支持开展大规模海上风电联网研究

美国能源部一直致力于支持开展大规模海上风电联网研究。为此，2011年12月26日，美国能源部已向一个应时组建的新能源开发领导小组划拨大笔经费，该小组由来自美国国内能源、制造、咨询、供电和研究五大行业（具体机构有：ABB公司、AWSTruepower 制造商、Duke 能源公司、美国国家可再生能源实验室和匹斯堡大学）组成，其牵头专家来自 ABB 公司。该小组将逐一细致地研究并确定每个沿海区域海上风电开发的各种相关问题，并规划到 2030 年其海上风电将达到 54 吉瓦。

3.3 在漂浮式风力机研发上发挥着全球“领头羊”作用

主要表现在美国对漂浮式风力机进行了早期开创性研究和持续不断的深入研究^[8]。

3.3.1 漂浮式风力机早期研究的历史

早在 1972 年，美国马萨诸塞大学安默斯特分校的研究人员就提出了海上大型漂浮式风力机概念^[9]，即在一座大型的浮动平台上集中安装众多的小型风力机。20 世纪 80 年代，美国漂浮式风电公司与美国桑迪亚国家实验室合作开发出了 100 千瓦和 300 千瓦两种型号的漂浮式垂直轴风力机，并进行了集中安装后的试运行，总计 500 多台低成本的漂浮式垂直轴风力机发电总量达到 170 兆瓦^[10]。

3.3.2 漂浮式风力机在美国持续不断的深入研究

2001 年，MIT 的 Sclavounos 提出了两种不同的双弦腿浮体平台的漂浮式风力机设计方案^[11]，双弦腿浮体平台兼具张力腿和浮柱两种平台的特点，成为美国 NREL 后续研究的重点。

2004 年，美国国家可再生能源实验室（NREL）开始了深海漂浮式风力机的可行性研究^[12]，也做了相关工程技术风险评估研究^[13]，这为漂浮式风力机的理论建模和试验研究指明了方向，即未来的漂浮式风力机可依据其水动力特性将其划分为张力腿、浮柱、驳船平台模型以及三者的组合模型。

尤其值得重点关注的是，美国 Concept Marine Associates Inc. 公司的 Fulton 等在延续海上石油天然气半潜式钻井平台设计思路给出的半潜式张力腿平台漂浮式风力机设计方案（2006 年）^[14]。同年，

美国研究人员分析了水深 2 300 米的工作平台动力响应^[15]，并用 Runge-Kutta 方法计算了纵荡、横荡和垂荡响应以及纵摇、横摇和垂摇运动，得出了不同风浪承重下停泊系统的锚链张力参数，对系泊系统设计有较大的参考价值。

4 美国发展海上风电的问题

美国发展海上风电动作迟缓有其自身原因。

其主要问题包括风电成本高、渔民及渔业人士反对、海上风电装备技术缺乏等。

4.1 风电成本高

在美国，包括陆上风电和海上风电在内的风电成本都较高，这是缘于其国内相对于已经进入大规模商业化阶段的页岩气开采方面成本较低所致^[16]。海上风电高昂的建设成本和传输成本，使其电价是陆基电价的两倍，且目前美国水力压裂法的应用进一步降低了天然气的价格。而美国可再生能源产业严重依赖于私人投资，风电行业只有从联邦政府那里得到更多的财政支持，才能与化石燃料进行竞争^[17]。

4.2 渔民及渔业人士反对

美国海上风电的发展就经历了无数场的诉讼，其中涉及船运干扰、威胁鸟类和海洋生物、损害传统渔业等方面。有关专家指出，关心野生动物的合法权益是正当的，风电公司应竭尽全力保护野生动物的生存，“但野生动物经常被用作反对某个项目的理由，甚至是从前没人真正关心过的野生动物”。

4.3 缺乏海上风电装备技术

如，设备安装船几近为零。海上风电涡轮机常常重达 450 吨，高约百米，其安装需要有一个巨大的海上平台进行支撑。目前美国在这方面没有任何一种船只可以承担起这个角色。

4.4 海上风电开发的两大必要配套因素问题

主要是海上选址和电力供应价格及其合同问题。在这方面，主要表现为美国联邦和州政府面临管辖冲突。每个海上风电项目的发展都需要两个基本的配套要素：一是获得建设场地的使用权；另一个是与电网签订合同，从而将电力在一定时期内以固定价格出售给电网。在欧洲，这两项是捆绑操作的：即政府直接将建设场地和合同捆绑后进行拍卖。但在美国，海上风电项目的合同签订是与州政

府,而建设场地的审批则由联邦内政部管理。因此,项目开发方常常是全力以赴解决了建设场地问题,但却疏忽了合同问题。有关专家认为:这就存在一种可能,即某个开发商费尽艰辛获得了土地使用权,但之后却未能成功签订项目合同。

4.5 美国国内的特殊利益集团阻挠

不少美国公众认为,美国发展海上风电动作迟缓,其中的最大原因是,美国国内的特殊利益集团不愿轻易退出他们早已占领的利益边疆,不愿与新技术开发者来分享固有的利益空间。

5 对我国的几点启示

5.1 各级政府对海上风电开发要采取倾斜性政策及管理

前几年,各种听证和审批手续等繁文缛节影响了美国海上风电的迅速发展。如,海角风电场项目就是一个非常有说服力的典型案例,该项目从规划至工程建设一直拖了10多年,却至今尚未建成,一直淹没于各种听证和审批手续之中^[18]。因此,我国各级政府对海上风电开发的政策管理极其重要,要使得相关政策得以改革并简化各种审批程序。另外,海上风电的快速健康发展离不开相关政府部门的积极通力合作。

5.2 鼓励民间技术和企业的积极性需要配套政策及其措施支持

鼓励民间技术开发和企业的积极性,譬如,优惠的财税支持和电价政策等。目前我国,要对海上风电场示范项目进行总结,对潮间带、潮下带滩涂以及近海风电场等的风能资源、海上风电场工程造价及其工程运行维护费用等作出合理评估,并制定相关合理的财税政策和电价政策,促进海上风电持续蓬勃地发展。

5.3 依赖创新驱动加强自主研发

美国技术研发及创新机制的优势,是其技术领先于世界的根本保证。在促进海上风电发展上,通过经济复苏法案,美国能源部资助缅因大学进行100千瓦风力发电机的概念测试,并且通过支持技术专家在国家实验室进行特定的研究活动,从而形成在这一领域的核心竞争力。我国应当对有关海上风电从部件设计到系统装备,再到并网联动等各种技术进行深入研究、合作研究和自主研发。同时鼓

励有关企业通过加强技术引进和产、学、研相结合,在风机核心技术研发上有所突破。

5.4 突出推进我国深远海战略实施并扩大国际合作

美国在深远海漂浮式风力机研发上发挥着全球“领头羊”作用;而欧洲,在海上风力涡轮机安装方面的技术能力突出。因此,就我国而言,一方面要坚持不懈地推进深远海战略实施,另一方面又要在不断推动与美国和欧洲国家等技术先进国家大型国际合作的技术融合中,与远海海岸就近国家本着节约成本的就近消纳原则和讲究效率原则进行积极地市场合作和投资合作,来加快我国海上风电的战略步伐。为我国海洋新能源不断拓展和嵌入“一带一路”国际大战略开辟新的时代方向。■

参考文献:

- [1] 闫玉奎. 中国海上风电装机总量 389.6 兆瓦 居全球第二 [EB/OL]. (2013-10-19). [2015-5-12]. <http://green.sohu.com/20131019/n388509847.shtml>.
- [2] 2014 OFFSHORE WIND MARKET AND ECONOMIC ANALYSIS[EB/OL]. [2015-1-16]. <http://energy.gov/eere/downloads/2014-offshore-wind-market-and-economic-analysis>.
- [3] 李慧. 欧洲风电青睐“下海” [N]. 中国能源报, 2015年5月11日, 第8版(国际观察)。
- [4] 美国投资 1.8 亿美元支持海上风能项目 [J]. 上海大中型电机, 2012, (2): 62-62.
- [5] Massive Coalition Urges Obama To Advance Offshore Wind Development[EB/OL]. 2014-4-1. http://www.huaxiawind.cn/detail_enhome1.asp?30296.html.
- [6] 薛辉. 美国海上风电战略对我国的启示 [J]. 商场现代化, 2012, (10): 48-49.
- [7] 李彦红. 海上风电发展挑战与机遇并存 [J]. 中国贸易救济, 2012, (4): 13-13.
- [8] 高伟, 李春, 叶舟. 深海漂浮式风力机研究及最新进展 [J]. 中国工程科学, 2014, 16(2): 79-87.
- [9] Heronemus W E. Pollution-free energy from offshore winds [C]//Proceedings of The 8th Annual Conference and Exposition Marine Technology Society. USA: Washington DC, 1972.
- [10] 鲍亦和. 漂浮式海上风电场 [J]. 上海电力, 2007(2): 58-60.

- [11] Kim S, Sclavounos P D. Fully Coupled response simulations of theme offshore structures in water depths of up to 10, 000 Feet.[C]// Proceedings of 11th ISOPE. Norway: Stavanger, 2001.
- [12] Musial W, Butterfield S, Boone A. Feasibility of floating platform systems for wind turbines [R]. NREL/CP- 500- 34874.Golden, CO, USA, 2004.
- [13] Butterfield S, Musial W, Jonkman J M, et al. Engineering challenges for floating offshore wind turbines [C]// Proc. Of Copenhagen Offshore Wind 2005 Conference and Expedition Proceedings. Denmark: Copenhagen, 2005.
- [14] Concept Marine Associates. Wind speed technology phase II: semi- submersible platform and anchor foundation systems for wind turbine support [R]. DOE/GO- 102006- 2198. USA: NTIS, Springfield, 2006.
- [15] Zambrano T, MacCready T, Kiceniuk T Jr, et al. Dynamic modeling of deepwater offshore wind turbine structures in Gulf of Mexico storm conditions [C]// Proceedings of the 25th OMAE: 2006-92029. Germany: Hamburg, 2006.
- [16] Tim McDonnell. Top 4 Reasons the US Still Doesn't Have a Single Offshore Wind Turbine[EB/OL].[2015-5-9]. <http://www.motherjones.com/blue-marble/2013/02/us-rough-seas-offshore-wind>.
- [17] 刘嘉. 揭秘美国海上风电发展缓慢原因 [EB/OL]. (2013-3-27). [2015-5-19]. http://news.xinhuanet.com/politics/2013-03/27/c_124510636.htm.
- [18] 海上风电会否成为美能源新宠 [J]. 变频器世界, 2012, (12): 29-29.

Global Offshore Wind Power Development and its Impact on the U.S.

CHEN Jian-dong¹, WANG Jing²

(1. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038;

2. State Grid Beijing City Power Supply Construction Contracting Company, Beijing 100062)

Abstract: Offshore wind power with technology maturity and technology advantages has become one of today's indispensable new energy. The paper reviews the development of global offshore wind power and its impacts on the United States, and describes the breakthrough the U.S. has made in the offshore wind power which was once stagnant for several years. On the basis of this, the paper also gives some suggestions for the development of China's offshore wind power, such as adopting preferential policies to support new energy, encouraging the active participation of private enterprises, enhancing innovation and independent research and development, and implementing China's deep sea strategy and expanding the international cooperation etc.

Key words: climate change; marine energy; offshore wind power