

东南沿海五省海上风能资源开发潜质研究

张 戈,付俊峰*,王海军

(昆明理工大学 电力工程学院,云南 昆明 650500)

摘 要:近年来风能资源因清洁低碳、安全高效等特点,成为全球新能源重点开发对象。我国正大力推动海上风电的发展,东南沿海地区为我国海上风能资源最丰富区。针对东南沿海五省海上风能资源的开发潜质,现从资源禀赋、开发现状及发展目标三方面进行差异性分析和研究,得出推动和制约各省海上风电发展的主要性因素。同时通过具体比对福建和广东两省在编制海上风电发展规划的内容与原则上的不同,发现编制工作缺失规范引导,作业有差异的问题。在此基础上,对各省建设海上风电过程中存在的一些共同问题作归纳总结与建议,以期为今后开发我国海上风能资源及场址选点规划工作夯实基础。

关键词:海上风电;风能资源;开发规划

中图分类号:P741

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2018)02-0080-07

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2018.02.009

风能是一种蕴量巨大的可再生清洁能源,预计全球的风能总规模约为 2.74×10^9 MW,其中可利用的风能规模达 2×10^7 MW,比地球上可开发利用的水能总量大 10 倍以上,尤其是海上风能因其具有流向稳定性好、能量集中度高的特质,而倍受业界青睐,开发利用趋势向好。故此,海上风电已成为可再生能源的新生力量。

有些国家在海上风能资源开发利用方面起步早于我国,2003-02 世界上第一座海上风电场 Horns Rev 电站在丹麦北海日德兰半岛成功运行。英国因英吉利海峡、爱尔兰海、凯尔特海、北海受大西洋环流包围的独特地理优势,海上风电装机容量已占到全球的 50% 以上,预计到 2023 年英国海上风电装机容量将达到 39 000 MW^[1]。德国于 2010-04 建成了目前世界上距离海岸线最远有 42 km 的 Alpha Venus 海上风电场,德国政府期望到 2030 年该国建设的海上风力发电机组总装机容量达到 25 000 MW 以上,实现占电力需求比例达 15% 的规划目标。美国政府在 2012-03 由时任能源部长的朱棣文宣布了启动一项 1.8 亿美元的科技计划^[2],用于研发风电开发方面的高新技术,以支持美国开发海上风电的建设与发展,并计划到 2020 年促使美国的海上风电发电规模总量达到 10 000 MW 以上。

我国是全球第四大海上风电开发与利用的国家,占据全球海上风电 8.4% 的市场份额^[3]。虽在海上风能资源开发利用方面起步较晚,依靠丰富海上风能资源,发展趋势迅猛。根据国家海洋局对海上风能资源调查结果显示,我国近海 50 m 等深线及浅海域 10 m 高度风能储量约为 940 000 MW^[4]。2008-09,国内第一个大型海上风电场——上海东海大桥海上风电场正式开工,并于 2010-06 成功并网发电。国家能源局制定的《风电发展“十三五”规划》指出到 2020 年我国建设的海上风电并网装机容量可达到 5 000 MW 以上。截至 2015 年我国建设的海上风机总装机容量超过了 1 000 MW,并网容量 750 MW,在建有 200 MW,待开工 1 240 MW。我国“十三五”期间规划的海上风电发展目标及发展布局的纲要:1)重点推动江苏、浙江、福建、广东等省的海上风电建设,到 2020 年 4 省海上风电开工建设规模均达到百万千瓦以上;2)积极推动海南、上海、天津、河北等省(市)的海上风电建设;3)探索性推进辽宁、山东、广西等省(区)的海上风电项目;4)规划到

收稿日期:2017-11-24

作者简介:张 戈(1992-),女,硕士研究生,主要从事海上风电规划方面研究. E-mail: 1151224968@qq.com

* 通讯作者:付俊峰(1978-),男,讲师,博士,主要从事计算流体力学方面研究. E-mail: amonfox@sina.com

(陈 靖 编辑)

2020 年全国海上风电开工建设规模达到 10 000 MW,力争累计并网容量达到 5 000 MW 以上^[5]。

1 东南沿海五省海上风能资源禀赋、开发现状及发展目标

江苏、浙江、福建、广东、海南作为我国东南沿海的重要省份,在开发利用海上风能方面有地理优势。近年各省份已经对其占据的海上风能资源的规划利用和海上风电场的选址布置做了大量前期准备工作,并结合实际开发情况对今后发展目标进行了系统设计,分别编制了相应的“十三五”发展规划。

1.1 沿海 5 省份风能资源禀赋

由表 1 知,江苏省虽海域面积最小,但可开发海域达到 25%左右,海上风能资源主要集中在海州湾及其南部地区,近海水深小于 50 m 范围内开发潜力巨大。近海滩涂资源更为丰富,目前江苏省已建成国内首个潮间带风电场,为今后国家大规模开发近海风能资源积累实践经验,并在开发海上风电方面取得实际进展。浙江省海岸线相对绵长,舟山、嘉兴、宁波、台州等地的近海水域适宜规划建设近海风电场,且海底地貌平坦坚实,良好的地质条件为建设海上风电场提供了理想场所。福建省地理位置与台湾岛相峙,其闽江口以南到厦门湾这一段受台湾海峡“狭管效应”的影响,年均风速大、风向稳定且海域水深高,所以深海海域的风能资源相比其他省份更丰富,非常适合发展深海域海上风电。广东省沿海风能资源主要集中在湛江、江门、珠海、深圳、汕头等市,因处在东南季风区域有效时间长,开发潜力巨大。海南省海域面积最广袤,独特“岛”地形与琼州海峡的“狭管效应”提供了丰富的近海风能资源,可开发率应最高,但每年出现的台风气象是制约海南省发展海上风电的重要影响因素。

表 1 沿海五省份风能资源分布及特点

Table 1 Distributions and characteristics of wind energy resources in the five coastal provinces

项 目	江苏省	浙江省	福建省	广东省	海南省
海域面积/km ²	37 500	260 000	136 000	419 300	2 000 000
海岸线/km	954	6 486	6 000	3 368	1 823
空间分布	风能由西北向东南方向呈递增趋势,海州湾及其南部近海风能最为丰富	主要集中在舟山群岛附近海域、宁波市北部、东部海域、嘉兴东部钱塘江口、台州市东部海域和温州市东南部海域 ^[7]	中部沿海最丰富,南部沿海次之,北部沿海再次	沿海岸线从粤西向粤中、粤东递减,主要集中在湛江、江门、珠海、深圳、汕头市 ^[9]	海南岛西南部和东北部海域风能资源较丰富,其他地区近海风能资源次之 ^[10]
风向	春夏季以东南风为主,秋冬季节盛行北风和东北风	夏季盛行东南风,冬季以西北风为主	全年以东北风和北偏东风为主	春、夏季为东南和西南风,秋、冬季为东北风	季风影响,夏季盛行偏南风,冬季盛行偏北风
台风	微弱影响	有一定影响	较大影响	严重影响	破坏性影响
地区特点	典型的季风气候,季风资源丰富;可开发海域面积约占江苏海域面积的 1/4 ^[6] ,滩涂资源丰富,现开发利用成果丰硕	近海区域的水深不足 15 m,海底地貌较为平坦坚实,地质条件良好	闽江口以南到厦门湾受台湾海峡“狭管效应”影响,年均风能密度大,深海海域的风能资源丰富 ^[8]	在东南季风区域,有效时间长,开发潜力巨大。现海域已有较好的功能区划分,海域开发利用程度较高	独特“岛”地形;琼州海峡的狭管效应作用

1.2 开发现状

截至 2016 年初,沿海五省份的海上风电开发现状处于启动阶段,列入不同进程建设计划的项目共 36 项,装机总规模为 853.77 万 kW,其中江苏省就占了 50%,而海南省仅规划了一个 35 万 kW 装机的项目。

表 2 沿海五省份的海上风电开发现状

Table 2 The exploitation status of offshore wind power in the five coastal provinces

项 目	江苏省	浙江省	福建省	广东省	海南省
项目数量/个	18	5	7	5	1
项目现状	2 个已全部建成投产 8 个已核准,正在建设 2 个已核准,待开工 6 个在开展前期工作	1 个已核准,待开工	1 个已核准正在建设	5 个项目都在 开展前期工作	1 个项目在 开展前期工作
装机规模/ $\times 10^4$ kW	348.97	90	210	169.8	35

由表 2 分析,沿海五省受海上风能资源、社会经济发展、能源市场需求、地方政策引导等因素的不同影响,在开发强度、项目数量、建设规模方面存在明显差别。江苏省开发的项目数量和装机规模相对较多,因其地处长江三角洲,属东部主要用电负荷区域,能源消耗量大,能源结构单一,开发海上风能资源是解决调峰补量的新举措。加之国家自 2012 年开始着力建设“海上三峡”计划,更是大力推动了江苏省海上风电建设的步伐。浙江省根据自身地理条件已经建有不同规模的水电站千余座,但经济社会发展对能源需求量大,水电的供给不能缓解电力供应紧张的情况,开发利用海上风电能起到弥补冬、秋季枯水期水电发电量不足的作用。福建省在煤炭能源稀少,水电资源不多的情况下,响应国家号召积极转换能源供给结构,大力发展海上风电势在必行。广东省经济发达,能源供给以煤电为主,其位处南海航运枢纽位置,港口林立,航道繁多,对海上风电场的选址和建设将产生有一定影响^[9],如何避开众多港口航运功能区是一个开展规划工作需要重视因素。海南省发展海上风电在自然条件相对好的基础上又存在受台风影响严重的问题。

1.3 “十三五”期间发展规划目标

根据国家能源局 2016 年发布的风电发展“十三五”规划,到 2020 年前将积极地推动江苏、浙江、福建、广东及海南省的海上风电发展建设,要求各省合理规划与利用海上风能资源。对风电消纳能力强的省份,要确保完成规划目标,并扩大开发规模;对于消纳能力弱的省份,可利用通道外送或增强消纳能力,努力达成规划目标。各省要共同促进风电与其他形式能源融合发展,完成“十三五”能源转型目标。具体规划布局见表 3。

表 3 2020 年各省份海上风电规划目标

Table 3 The offshore wind power planning in various provinces by 2020

省 份	累计并网容量 / $\times 10^4$ kW	开工规模 / $\times 10^4$ kW
江苏省	300	450
浙江省	30	100
福建省	90	200
广东省	30	100
海南省	10	35

2 福建、广东两省海上风电规划的对比分析

我国“十二五”期间没有实现海上风电建设目标,自 2015 年以来,政府和业界都从不同方面进行了研讨,在诸多困扰因素中,规划先行程度不够是一个重要的影响源。为此,相关各省在编制其“十三五”能源发展规划中基本都安排了海上风电的子项规划。但是,各省编制的海上风电发展规划,由于受发展水平、开发进程、市场需要、建设环境、技术支撑等情况的制约,在规划取向上不尽相同,设置内容各有千秋,成果水平也存有差别。现归纳福建省和广东省的编制要点见表 4。

表 4 海上风电规划编制要点对比

Table 4 Comparison of the main points of the compilation of offshore wind power planning

项 目	福建省	广东省
风能状况	场址区具有丰富的风能资源	场址区具有丰富的风能资源
海域规划	场址范围满足海洋功能区划的要求,在海域使用管理中,一般鼓励非功能类型用海项目与海洋功能区的兼容发展,对于与海洋功能区划有冲突的应进行调整	场址满足海洋功能区划要求
建设条件	原则上,风电场布局应遵守双十原则,风机布局在离岸距离不少于 10 km、滩涂宽度超过 10 km 时海域水深不得少于 10 m 的海域。福建省沿海海域受台湾海峡影响,潮差大、波浪大,根据实际情况,一般以水深 5~20 m 范围为主	考虑基础施工条件和施工设备要求,提高风电场的经济性,场址水深条件一般控制在 5~50 m(理论深度基准面以下)
统筹建设	与城市规划、岸线利用规划及滩涂规划等相协调	应避开通信、电力、油气等海底管线的保护范围
生态要求	符合生态保护的要求,尽量减少对鸟类、养殖业等的影响	符合生态保护要求,尽量减少对鸟类、渔业和自然保护区的影响
航运要求	避开主航道、锚地、禁航区,尽量减少对航路的影响	应避开航道、锚地、禁航区,尽量减少对航路的影响
基础条件	场址区具有较好的水文地质、接入系统、交通运输等建设条件	场址区具有较好的海洋水文、地质、接入系统、交通运输等建设条件
经济性	考虑基础施工条件和施工设备要求,提高风电场建设的经济性	侧重规模化开发,避免分散接入电力系统
其他		避开军事设施涉及的范围

注:空白表示无数据

两省所开展的规划性工作与《近海风电场工程规划报告编制办法》^[11]原则基本一致,在风能资源丰富、稳定的区域内开展规划工作;选择地质、水文条件适宜区位建设风电场;场址选择应满足海洋功能区划分要求,若有冲突部分可做相应调整;规划建设需符合生态环境的要求;避开对主要航道、航路的影响;考虑施工条件及设备要求,提高项目经济性。

两省规划因自身地区特点有所差异。福建省对峙台湾海峡,应在海域使用管理范围内规划风电项目,其“狭管效应”既有利于利用风电资源,但又对风电场布局、离岸距离和水深设计产生多方面的影响。同时,福建省规划的海上风电项目多在经济相对欠发达的区位,须与当地城市规划,岸线利用规划协同发展。广东省濒临南海,在规划时注意避开军事设施涉及的范围,考虑本省用电量大、电网容量大,规划时侧重规模化开发,集中接入系统。相对于福建省的海上风电场选址条件,广东省扩大了对场址水深的界限可达到 25 m 以下。目前两省通过不同的技术路线和作业方式组织开展了规划工作,但在规划成果表达上有差异。

3 海上风能资源开发利用存在的问题及建议

目前各省份在开发利用海上风能资源,规划、建设海上风电场时存在一些共同问题,主要反映在规划编制、开发、建设研发及管理体系方面。

3.1 统一规划编制规程

结合对福建和广东两个省份海上风电发展规划工作及成果的调研,发现由水利水电规划设计总院编制的《近海风电场工程规划报告编制办法》^[11]是针对个体工程项目而制定的办法,也是目前编制规划的重要依据。但在编制区域性的风电发展规划时有所不足,两省编制的海上风电发展规划的分析框架和成果格式存在明显差异,这就突出了我国在编制海上风电发展规划方面存在的一个问题,即缺失统一规范的编制规程。因此,国家及行业相关部门应出台统一标准,据以规范我国编制海上风电发展规划的科学性和规范性。

3.2 统筹兼顾、规模化开发

为适应经济的不断发展,城市总体规划、建设随之调整,海洋功能区发生改变,一些已规划的风电场为避免规划冲突需重新布局,另一方面随能源需求的增加,建设技术的提高,投资成本的降低,以前开发难度大、不易利用的风能资源现已具有开发利用价值。因此,需要统一区域规划布局,协同经济发展需求、资源开发条件、入电网建设等因素,对海上风电开发进行合理布局,统筹兼顾。

海岸线相连、海域相通的省份,利于开发利用的优质风能资源有重合交叉,但没有共同开发利用的先例。应积极寻求多重合作方式,实现资源共享,形成有序、连片、规模化开发以满足更大范围的电力需求,提高资源利用率,实现经济利益最大化。

3.3 加强建设水平、提高自主研发能力

未来海上风电建设规模不断增大,建设范围从近海区走向深海区,建设项目将面对更多未知的困难与挑战。而现有的设计、施工方案需要结合实践经验和项目要求不断改进;工程安装技术需要创新新技能;施工设备、风电设备制造商应提高自主研发能力,加快研发进程,适应海上风电的发展趋势。

3.4 完善管理监管体系

我国海上风电尚且处在初期,海上风电建设体系标准不够完善,技术、管理政策方面不成熟,同时海上风电的建设与管理涉及到中央、地区政府及有关海洋、电网等部门和项目参与各集团,在实际执行过程中对海上风电建设的标准认识不统一,因此,在之后的开发建设中需对标准体系进一步完善,并从已经建设完成的示范项目中不断积累和总结实践经验,使未来海上风电开发建设健康稳步发展。

4 结 语

利用海上风能资源发展海上风电产业是社会发展的趋势,对东南沿海五省海上风能资源的现状、规划作对比分析,得出以下结论:

1)我国海上风能发电主要集中在东南沿海五省,与其他沿海省份相比,这5个省份地处主要经济带,社会经济发达,能源需求旺盛。同时为响应国家对能源结构转变的要求,沿海五省份对未来海上风能开发都有着较为迫切的需求和明确的规划。

2)沿海五省份受地理位置、资源及环境的限制,其能源结构呈现单一化的特点,制约了社会经济的发展,因此积极调整能源结构,强化能源多元化,才能从根本上保障沿海省份的社会经济快速发展。加快海上风电

建设,推动以风能为主的新能源行业发展,是调整能源结构的有效手段,而缺乏统一规划标准已成为风电开发不平衡的主要制约条件。因此需要国家相关部门出台统一的海上风电发展规划的标准,切实有效解决各省海上风能规划编制上存在的差异,为今后风电行业持续发展提供规范化参照。

参考文献 (References):

- [1] APPELEYARD D. UK confirms plans for 39 GW of offshore wind by 2030[EB/OL]. [2017-11-04]. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/11/uk-confirms-plans-for-39-000MW-og-offshore-wind-by-2030>.
- [2] US Department of Energy to invest in large-scale offshore wind power network research[J]. *China Power*, 2012, 45(2): 77. 美国能源部投资开展大规模海上风电联网研究[J]. *中国电力*, 2012, 45(2): 77.
- [3] LI X H. "Thirteen five" offshore wind power ushered in the development of a new period[N]. *China Economic Times*, 2016-6-30(006). 李晓红. "十三五"海上风电迎来发展新时期[N]. *中国经济时报*, 2016-6-30(006).
- [4] ZHAO S M, JIANG B, XU H F, et al. Exploration and application of ocean wind energy resources in caostal sea of China[J]. *Ocean Technology*, 2010, 29(4): 117-121. 赵世明, 姜波, 徐辉奋, 等. 中国近海海洋风能资源开发利用现状与前景分析[J]. *海洋技术*, 2010, 29(4): 117-121.
- [5] Notional Energy Adimistration. Notice on printing and distributing "the 13th Five-Year Plan for Wind Power Development"[EB/OL]. [2017-11-20]. http://www.nea.gov.cn/2016-11/29/c_135867633.htm. 国家能源局. 关于印发《风电发展“十三五”规划》的通知[EB/OL]. [2017-11-20]. http://www.nea.gov.cn/2016-11/29/c_135867633.htm.
- [6] LIU Q H, CHEN C, DONG D D. Analysis of the present situation of offshore wind resources utilization in Jiangsu Province[J]. *Journal of Nanjing Institute of Tecnology (Social Science Edition)*, 2015, 15(3): 55-61. 刘秋华, 陈超, 董丹丹. 江苏省海上风电资源利用现状分析[J]. *南京工程学院学报(社会科学版)*, 2015, 15(3): 55-61.
- [7] JIANG B, LIU F Y, XU H F, et al. Evaluation of the wind energy resources in Zhejiang coastal area[J]. *Ocean Technology*, 2012, 31(4): 91-94. 姜波, 刘富铀, 徐辉奋, 等. 浙江省沿海海洋风能资源评估[J]. *海洋技术*, 2012, 31(4): 91-94.
- [8] ZHU G H. Study on development plan of offshore wind power in Fujian Province[J]. *Energy and Environment*, 2012(5): 5-7. 朱光华. 福建省海上风电发展规划探讨[J]. *能源与环境*, 2012(5): 5-7.
- [9] WANG Q Q. Restricting factors of offshore wind power farms location in Guangdong Province[J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2011(Suppl.1): 6-10. 王晴勤. 广东省海上风电场选址制约因素探讨[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2011(增刊1): 6-10.
- [10] XING X H. Research on distribution characteristics of wind energy resources in Hainan and impact of tropical cyclones on its development[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016. 邢旭煌. 海南风电资源分布特征及热带气旋对其开发影响研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [11] China Renewable Energy Engineering Insititute. Offshore wind farm project planning report preparation method FD 005-2008[M]. Beijing: China Water Power Press, 2009. 水电水利规划设计总院. 近海风电场工程规划报告编制办法 FD 005-2008[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.

Study on the Development Potential of Offshore Wind Energy Resource in Five Southeast Coastal Provinces of China

ZHANG Ge, FU Jun-feng, WANG Hai-jun

(Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Because of its characteristics of clean, low carbon, safety and efficiency, etc., the wind energy resource has been the key development object of new energy in the world in recent years. China is vigorously promoting the development of offshore wind power. The southeastern coastal areas of China are the richest in offshore wind energy resource. For knowing the development potential of offshore wind energy resource in five southeast coastal provinces of China, differential analysis and research are carried out from the aspects of resource endowment, exploitation status and development goal and the main factors of promoting and restricting the development of offshore wind power in these provinces are obtained. By comparing the contents and principles of offshore wind power development plans prepared by Fujian and Guangdong provinces, it can be found that their preparation work is lack of normative guidance and their operation is different. In order to lay a solid foundation for the future development of offshore wind energy resource and site selection planning in China, some common problems in constructing the offshore wind power in these provinces are summarized and suggestions related to the development of offshore wind power are made.

Key words: offshore wind power; wind energy resources; development planning

Received: November 24, 2017