

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.006

# 电力市场环境 下海上风电场综合评估研究

刘杨华<sup>1</sup>, 林舜江<sup>2</sup>

(1. 广东技术师范学院 机电学院, 广州 510665; 2. 华南理工大学 电力学院, 广州 510640)

**摘要:** 随着海上风能的开发和应用越来越多, 海上风电场的建设规模和运营投入越来越大, 亟待相关评估理论研究为决策者提供参考。在简单介绍已有的关于海上风电场的评估方法及其应用研究基础上, 比较分析了已有研究成果的利弊, 讨论并提出需要在电力市场环境 下建立综合量化评估指标体系, 给出建立综合评估模型进行评估研究的几个难点。最后指出, 综合量化评估将会成为未来电力市场条件 下海上风电场建设和运营规划的研究热点。

**关键词:** 电力系统; 电力市场; 海上风电场; 评估方法; 综合评估

中图分类号: TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)03-0034-04

## Comprehensive Estimation Research on Offshore Wind Farm Within Electric Power Market

LIU Yanghua<sup>1</sup>, LIN Shunjiang<sup>2</sup>

(1. College of Mechatronic Engineering, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510665, China;

2. College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The researches on estimation and evaluation for offshore wind farm integrated to the grid are introduced. Normally, planning and construction of a wind farm power integrated generation is assessed with technic and economic index respectively. Based on the comparison between the control need of wind farm power generation's integration to the main grid and the control technology nowadays, comprehensive estimation is to be put forward. The research difficulties of it are discussed at the end of the paper.

**Key words:** power system; power market; offshore wind farm; evaluation method; comprehensive estimation

海上风能由于其巨大的应用潜力备受重视。20 世纪 70 年代欧洲和美国开始近海风电的研究与开发。到 2006 年近海风电累计装机 798.2 MW, 占全球风电总装机容量 1.5%<sup>[1]</sup>。根据 BTM 咨询公司 2010 年 3 月统计资料, 中国风电并网装机容量已经超过 50 GW, 位于世界第一。在解决全球能源危机的巨大需求驱动下, 我国及全球海上风电场正朝着更迅猛的势头发展。但是, 海上风电场的建安需要投入大量的资金。风力发电存在随机性, 其并网运行对系统稳定和电能质量的冲击较大, 机组的维护

和故障处理也较困难。随着越来越多的海上风电场地开发和运用, 迫切需要对海上风电场建设进行评估。

关于海上风电评估的研究, 目前大多数局限于某个方面<sup>[2-8]</sup>。比如说关于封他数据分析的风电场风能资源评估方法研究、风电场不同应用的动态等效建模方法、复杂环境 下海上大型风电塔结构体系的地震损伤机理与灾变控制研究、基于全景镜像实况再换的风电装备性能倒退及预警方法研究、大规模风电场多时空尺度聚合建模理论与方法、风电场可靠性评估的概率模型及算法、基于各种不同算法的风电场微观选址优化方法研究、大规模风电并网系统洁净经济优化调度研究、风电机组关键部件的实效机理与寿命预测研究、基于组合预测模型的并网风电场短期风电预测研究、海上风电机组超大直径高桩水平循环累积变形特性研究、风电机组累计

收稿日期: 2014-06-05

基金项目: 广东省教育厅育苗工程项目资助(2013LYM-0050)

作者简介: 刘杨华(1979), 女, 湖南邵阳人, 讲师, 博士, 主要从事电力系统分析与控制、新能源发电及电力市场的研究(e-mail: gshyh@gdin.edu.cn).

暂态效应研究、漂浮式风电机组三维流动及动态失速特性研究、大型海上风电场分布式直流输电接入电网的关键技术研究等等。但是,在国内外已有的研究成果中,关于海上风电的综合性评估还尚未见报道。

本文对已有的有关海上风电场的评估研究成果进行分析比较和总结归纳。将现有的研究方法及其应用研究进行分类,讨论了已有研究成果的利弊。在此基础上,提出需要建立电力市场环境下的综合评估指标体系,并给出建立综合评估模型进行评估研究的难点。本文的探讨为海上风电场的综合评估的深入研究打下基础。未来的综合量化评估结果,可为海上风电场的建设开发和运营规划提供借鉴和指导。本文的研究探讨具有积极意义。

## 1 有关海上风电场的评估内容及方法

### 1.1 海上风电场优化规划及建设评估研究

与陆上风电场比较而言,海上风电场的运行环境更加恶劣:包括不断有海浪、狂风、盐雾的考验,周围空气潮湿,始终受到盐分腐蚀威胁。因此,海上风电场对安全性和可靠性的要求更高,而且大型海上风电场的建设困难更多,其中包括由于风机自身运转、海浪潮流以及风荷载共同作用,在海床面以上较长的基础悬臂产生的较大倾覆力矩。即使在垂直纵向荷载较小的情况下,海上风电机组的基础也会因为受力不均,水平形变较大。这对海上风电场的建设工程产生较大影响。

因此,除了风电量的预测,海上风电场选址和建设评估还有更多地考虑。出于海上风电场规划建设的市场需要,风能资源分析处理软件以及风电场设计和优化软件应运而生,分别由丹麦和英国 GH 公司设计开发。前者作为风图谱分析及应用,简称 WASP 软件;后者简称 WindFarmer 软件。二者配套使用,已成为海上风力发电机组微观选址以及海上风电场规划设计的重要工具。

另外,由于海上风电场的特殊工作环境,还需要考虑有关的挑战<sup>[9]</sup>,包括:(1)台风、冰冻等恶劣天气的影响;(2)对航运过往船只的安全的影响;(3)海上风电机组维修设备人员以及维修工作开展的难度都比陆上风电机组更大<sup>[10]</sup>;(4)海上风电机组发生火灾时难以及时扑救,存在自身防火需要。

### 1.2 海上风电与生态环境之间相互影响的评估

首先,海洋地质灾害类型,与海洋地质构造、海底地形、人类活动等有关<sup>[11]</sup>。需要基于地质灾害危险性评估技术规范,并结合海域特殊的地质环境条件和海上风电场风机基础受力、变形特点,确定地质灾害类型,开展地质灾害危险性现状评估、预测评估和综合评估。

另一方面,海上风电场的日常运行与周围自然环境紧密相关,相互影响。例如,海上风电机组运行会产生噪声,其噪声会打破与之频率相近的海洋生物的正常生活规律。所带来的生态问题,可能极其严重<sup>[12]</sup>。所以海上风电场选址和评估时一定要考虑其运行对周围环境的生态影响。反过来,海上风电机组的主机舱可能会被许多鸟类用来筑巢,而机组的水下基础也可能粘附很多的生物。上述这些现象都很常见,而且情况会日益加重,是潜藏着的危险因素,威胁海上风电机组的正常运行。这些也是海上风电场选址和评估需要考察的因素。

### 1.3 海上风电场及其并网运行的可靠性评估研究

关于海上风电场的孤岛发电运行或者并网发电,其可靠性方面的评估,已有相关研究。

文献[4]在分析海上风电场集电系统结构和接线特点的基础上,考虑了风速变化的影响,得出风能是影响海上风电场可靠性的重要因素的结论。文献[13]讨论了大规模风电接入下的日前及日内发电计划制订方法的利弊及改善。文献[14]采用序贯蒙特卡罗仿真方法分析了风力发电的可靠性。文献[15]比较分析了不同的集电系统的拓扑结构对海上风电场并网运行的可靠性的影响。文献[16]在风电场可靠性影响因素的分析基础上,定义了风电场容量有效度(CVC)、风电场发电密集度(GIC)、风电场运行安全度(OSC)、风电场相对效益系数(RBC)四个指标,分别从充裕性、连续性、安全性、经济性四个角度评价了风电场发电可靠性。

随着风电总装机容量占系统总容量的比例不断增加,评估风电并网后其随机波动对电网造成的影响成为必然。文献[17]从电网运行角度对风电进行风险评估。文献[18]采用电力系统综合仿真软件 PSASP 进行静态电压稳定性分析,比较了几种并网方案,得出的结论是:海上风电场与并联电网的重负荷区域之间的联络线路,其输电容量极限不仅制约着海上风电场向并网系统输送容量,输电线路本

身的安全也是影响电网安全可靠运行的关键因素。

## 2 考虑电力市场环境的综合评估

在开放的电力市场环境下,厂网分家导致各发电厂和电网运营公司成为各自独立的的经济实体,在规划设计和系统运行中对系统可靠性问题的考虑与以往不同<sup>[19-20]</sup>。由于存在不同的利益立场,对海上风电场的规划进行决策,在某种程度上需要对海上风电场的建设经营的经济性及其发供电可靠性进行权衡博弈。从经济利益角度来看,海上风电场的可靠供电是为发电商和系统运营商产生经济利益的技术基础。因此在市场环境下,海上风电场按传统定义的供电可靠性指标实施,要由它给公司创造的经济效益来决定。

然而,科研工作者的目标是力求探索在市场开放条件下,在尽量不破坏生态环境的前提下,充分利用市场机制来激励各项资源的优化利用,并且在确保电力系统可靠运行的前提下如何更加高效节能。可靠性与经济性不能视为独立的两类指标<sup>[21-25]</sup>。一方面,需要从社会效益的角度出发,建立技术评估指标,内容包括:海上风电平台搭建、机组建安、对应气象变化的发电量预测、发电效率、机组运行监测及维护管理、并网稳定运行控制及储能条件、优化规划和调度可行性等;同时,应从经济效益角度出发,建立经济评估指标,包括:发电效益、节能减排效益、相关渔业和航运的损失以及输电成本分摊等。

但是要建立起相应的评估指标体系,并且采用合理有效的评估方法,评估结果还需要放到电力市场上经过检验,还需要经历较为漫长的过程。而且,对海上风电场进行综合评估研究的时候,有以下几个难点不容忽视:

1)在统计分析中,原始数据往往存在较大的灰度。已经建立运营的海上风电场的完整的有关数据统计存在较大困难。选用合适的评估方法分析或者采用多种评估方案的比较,是综合量化评估研究的难点之一。

2)电力系统动态经济调度采用的是确定型最优化模型,处理风能和负荷变化等随机变量时常采用预测值进行计算。例如,对于日前动态经济调度,先预测未来24h每小时的平均负荷功率和平均风速。显然存在以下不足:一方面预测值不一定准

确,特别是目前的风速预测误差较大;另一方面每小时的平均风速有可能与实际负荷值或实际可能出力值偏离很远,该模型计算得出的调度方案不一定最优,甚至不一定可行。因此,海上风电并网运行参与调度问题时,需要考虑其出力的随机性,采用含随机变量的动态规划模型描述。

3)海上风电场的发电特点要求其参与优化调度,而优化调度之后的发电量以及电能质量等才具有评估价值,这为海上风电场的综合评估增加了工作难度。

4)在考虑其社会效益经济当量时,如连续多次台风等影响反复对用户带来的限、停电等不便或者是电能质量的影响,与单次影响不同,不能做简单的累积。欲得出合理的评估结果,除了评估指标的描述和指标集合的确定,选用合理的相关指标权重系数,也是研究的难点和关键。

## 3 结论

电力市场环境下,海上风电场并网运行的规模越大,所占大电网的容量比例越大,所供电的用户数目越多,供电用户的电能质量要求越高。为此,海上风电场的综合评估就越被需要,评估结果的量化程度要求也可能越高。其有关综合量化评估将会成为未来电力市场条件下海上风电场建设和运营规划的研究热点之一。本文主张在市场体制下利用综合的评估手段积极促进海上风电场健康地发展。本文所作的探讨为此做了前期的努力和铺垫。

### 参考文献:

- [1] Global Wind Energy Council. Global wind 2007 Report [R]. Belgium: Global Wind Energy Council, 2008.
- [2] AMBRA S, HENRIK B, ERIK K N. Reliability of Collection Grids for Large Offshore Wind Parks [C]. 9<sup>th</sup> International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Stockholm, Sweden, 2006.
- [3] OLE H, NICOLA B N. Survey of Reliability of Large Offshore Wind Farms [C]. European Wind Energy Conference, Milan, Italy, 2007.
- [4] 黄玲玲, 符杨, 郭晓明. 海上风电场集电系统可靠性评估 [J]. 电网技术, 2010, 34(7): 169-174.  
HUANG Lingling, FU Yang, GUO Xiaoming. Reliability Evaluation of Wind Power Collection System for Offshore Wind Farm [J]. Power System Technology, 2010, 34(7): 169-174.
- [5] UBEDA J R, RODRIGUEZ G M. Reliability and Production Assessment of Wind Energy Production Connected to the Electric

- Network Supply [J]. IEEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution, 1999, 146(2): 17-19.
- [6] 孙荣富, 张涛, 梁吉. 电网接纳风电能力的评估及应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 70-76.  
SUN Rongfu, ZHANG Tao, LIANG Ji. Evaluation and Application of Wind Power Integration Capacity in Power Grid [J]. Power System Technology, 2011, 35(4): 70-76.
- [7] 韩小琪, 孙寿广, 戚庆茹. 从系统调峰角度评估电网接纳风电能力[J]. 中国电力, 2010, 43(6): 16-19.  
HAN Xiaoqi, SUN Shouguang, QI Qingru. Evaluation of Wind Power Penetration Limit From Peak Regulation [J]. Electric Power, 2010, 43(6): 16-19.
- [8] 刘勇, 孔祥威, 白珂. 大规模海上风电场建设的技术支撑体系研究[J]. 资源科学, 2009, 31(11): 1862-1869.  
LIU Yong, KONG Xiangwei, BAI Ke. A Perspective Study on Technical Support System for Building large Scale Offshore Wind Farm [J]. Resources Science, 2009, 31(11): 1862-1869.
- [9] QUINONEZ V, AULT G, ANAYA-LARA O, et al. Electrical Collector System Options for Large Offshore Wind Farms [J]. Renewable Power Generation, 2007(2): 107-114.
- [10] SEIDEL M, GOSCH D. Technical Challenges and Their Solution for the Beatrice Wind Farm Demonstrator Project in 45 M Water Depth [C]. Proceedings of German Wind Energy Conference, Wilhelmshaven, Germany, 2006.
- [11] 陈丽蓉, 兰宏亮, 钟正雄. 大型海上风电场地质灾害危险性评估技术方法探讨[J]. 上海地质, 2009, 109(2): 44-47.  
CHEN Lirong, LAN Hongliang, ZHONG Zhengxiong. Discussion about Technical Methods of Large Scale Off-shore Wind Farm Geological Disaster Assessment [J]. Shanghai Geology, 2009, 109(2): 44-47.
- [12] 陈晓明, 王红梅, 刘燕星, 等. 海上风电环境影响评估及对策研究[J]. 广东造船, 2010(6): 26-31.  
CHEN Xiaoming, WANG Hongmei, LIU Yanxing, et al. Environmental Impact Assessment and Countermeasures Analysis of Offshore Wind Powers [J]. Guangdong Ship Building, 2010(6): 26-31.
- [13] 张宁, 周天睿, 段长刚, 等. 大规模风电场接入对电力系统调峰的影响[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 152-158.  
ZHANG Ning, ZHOU Tianrui, DUAN Changgang, et al. Impact of Large-Scale Wind Farm Connecting With Power Grid on Peak Load Regulation Demand [J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 152-158.
- [14] 吴义纯, 丁明. 基于蒙特卡罗仿真的风力发电系统可靠性评价[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(12): 70-73.  
WU Yichun, DING Ming. Reliability Assessment of Wind Power Generation System Based on Monte-Carlo Simulation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(12): 70-73.
- [15] AMBRA S, HENRIK B, ERIK K N. Reliability of Collection Grids for Large Offshore Wind Parks [C]. 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Stockholm, Sweden, 2006.
- [16] 许郁, 朱永强. 并网风电场发电可靠性的新的评价指标[J]. 电气技, 2010(6): 9-12.  
XU Yu, ZHU Yongqiang. New Reliability Indices of Grid-connected Wind Farms [J]. Electrical Engineering, 2010(6): 9-12.
- [17] 宋荣富, 张涛, 梁吉. 电网接纳风电能力的评估及应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 70-76.  
SUN Rongfu, ZHANG Tao, LIANG Ji. Evaluation and Application of Wind Power Integration Capacity in Power Grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(4): 70-76.
- [18] 陈艳旭. 大型风电场并网方案评估[D]. 北京: 华北电力大学, 2011: 7-11.  
CHEN Yanxu. Assessment of Large-scale Wind Farm Integration Schemes [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011: 7-11.
- [19] RINGLEE R J, ALBREEHT P, ALLAN R N, et al. Bulk Power System Reliability Criteria and Indices-trends and Future Needs [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(1): 181-190.
- [20] 赵做, 康重庆, 夏清, 等. 电力市场中可靠性问题的研究现状与发展前景[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(5): 6-10.  
ZHAO Zuo, KANG Chongqing, XIA Qing, et al. Power System Reliability in Electricity Market Current Status and Future Prospects [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(5): 6-10.
- [21] LIU Y H, LUO Yongshun, LUO, Zhonghui, et al. Framework of Comprehensive Estimation and Evaluation Research on an Off-shore Wind Farm [C]. ICMMSSEE 2015 Conference, Wuhan, China, 2015: 729-736.
- [22] 王锡凡, 王秀丽, 别朝红; 电力市场条件下电力系统可靠性问题[J]. 电力系统自动化, 2000(8): 19-22.  
WANG Xifan, WANG Xiuli, BIE Zhaohong. Power System Reliability Issues in Power Market Environment [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000(8): 19-22.
- [23] 余民, 杨旻宸, 蒋传文, 等. 风电并网后电力系统可靠性评估和备用优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(12): 100-104, 135.  
YU Min, YANG Minchen, JIANG Chuanwen, et al. Power System Protection and Control, 2012, 40(12): 100-104, 135.
- [24] 王丽婕, 廖晓钟, 高阳. 风电场发电功率的建模和预测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13): 118-121.  
WANG Lijie, LIAO Xiaozhong, GAO Yang. Summarization of Modeling and Prediction of Wind Power Generation [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(13): 118-121.
- [25] BILLINTON R, CHEN Hua. Assessment of Risk-based Capacity Benefit Factors Associated with Wind Energy Conversion Systems [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, 13(3): 1191-1196.