

三个台风对我国东部沿海风电的联合影响

吕海滨, 刘昱君, 顾 鹏, 赵星宇, 陆银娟

(江苏海洋大学测绘与海洋信息学院, 江苏 连云港 222005)

摘要: 基于 CCMP(cross-calibrated multi-platform)再分析风场数据, 研究了 9907 号, 9908 号和 9909 号 3 个台风对中国沿海 5 个风电场的影响, 分别从台风的形成以及路径, 对沿海风电场风速的影响, 台风期间的发电情况等详细地描述了台风对风电机组的影响。发现: 台风对 5 个海上风电场的影响可以分为 3 个阶段, 第一阶段是 1999 年 8 月 1—4 日, 输出功率由南向北依次降低, 此时主要受 9907 号台风的影响; 第二阶段是 8 月 6—9 日, 8 月 6 日也呈现输出功率由南向北降低, 主要是 9909 号台风由南海途径台湾海峡即将进入东海的影响; 受 9908 号台风影响, 8 月 7 日最大输出功率出现在 S3 风机。8 月 8 日, 受 9908 和 9909 号台风的叠加影响, S4 风机的输出功率达到 15 天的最大值 38.4 MW。第三个阶段是 8 月 12—15 日, 受大气锋面的影响, S1—S5 输出功率呈现波动。台风过境期间提高了各站点的运营能力和部分站点的额定容量, 未对风电机组产生大的破坏。研究成果可为相关部门在台风期间海洋风力发电的决策提供参考。

关键词: 沿海风电; 台风; 发电量; 风能

中图分类号: P444 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-3096(2019)09-0072-06

DOI: 10.11759/hyxx20181106001

随着社会不断发展, 能源需求量越来越大, 但是煤炭、石油、天然气等化石燃料的大量消耗, 导致了生态环境的恶化, 因此目前世界各国纷纷推动洁净能源的发展^[1]。其中风电资源是可再生资源的“主力军”, 而陆上风机安装受制于土地占用问题, 海上风力发电是将来风力发电的主流方向^[2]。因此开展风能评估对海上风电项目的建设很重要^[3]。Qin 等利用 MM5(Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model)模式, 对 2005 年从山东省到海南省沿海 100 m 高度处年均风能潜力进行了研究^[4]。Hong^[5]研究发现 2010 年、2020 年和 2030 年, 我国专属经济区海上风能潜力将分别占沿海地区总电力需求的 56%、46% 和 42%。Jiang^[6]研究发现, 与我国其他沿海地区相比, 福建省沿海地区的风力资源更为丰富。

我国沿海多台风, 台风会对风电机组造成不可挽回的损失, 具有很强的破坏力^[7], 而台风到来之前采取停机顺桨措施, 也容易造成风电资源浪费, 因此台风对海洋风电的影响研究已开始引起关注。Li^[8]利用 ERA-Interim 再分析数据集驱动的区域气候模型, 对黄海和渤海风场的气候学、变异性 and 极端气候进行了时空研究。由于目前关于多个连续台风对海上风电综合影响的探讨不多, 我们基于 Sinovel SL3000/118 风机, 研究了 9907 号, 9908 号和 9909 号

3 个台风对中国东部海洋风力发电站的影响。该款风机有 3 个叶片, 额定功率为 3MW, 切入风速 3 m/s, 额定风速为 10.5 m/s, 切出风速为 25 m/s, 叶轮直径为 118 m, 风机高度 90 m。本研究可以为相关企事业单位, 在多台风联合影响期间对我国东部海上风电的运行、管理和决策提供参考。

1 数据来源和研究方法

1.1 数据

台风轨迹来自于日本气象厅网站(<http://www.jma.go.jp/jma/eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/trac karchives.html>), 1999 年 8 月 1 日至 8 月 15 日风速来自于 CCMP(cross-calibrated multi-platform)共享库(<http://data.remss.com/ccmp/v02.0/>)^[9]。

收稿日期: 2018-11-06; 修回日期: 2018-12-09

基金项目: 淮海工学院创新基金项目(Z2017006); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目; 江苏省海洋技术品牌专业建设项目; 江苏省重点研发计划项目(BE2018676)

[Foundation: Natural Science Foundation of Huaihai Institute of Technology, No. Z2017006; Top-notch Academic Programs Project of Jiangsu Higher Education Institutions (TAPP); Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (PAPD); Key Research and Development Program of Jiangsu Province, No.BE2018676]

作者简介: 吕海滨(1979-), 男, 山东烟台人, 博士, 副教授, 主要研究方向为物理海洋学, 电话: 13861427903, E-mail: kxlhb@126.com

1.2 方法

风机 90 m 高度处的风速^[10]可以根据公式(1)计算。

$$U_{90} = U_{10} \frac{\ln z_{90} - \ln z_{10}}{\ln z_0 - \ln z_{10}}, \quad (1)$$

其中 U_{90} 和 U_{10} 分别是海表以上 90 m 和 10 m 高度处的风速; z_0 表示表面粗糙度, 取值为 0.01 m; $z_{90}(z_{10})$ 代表 90 m(10 m)高度。

然后根据公式(2)可计算风能强度指数(P_D),

$$P_D = \frac{1}{2} \rho U_{90}^3, \quad (2)$$

其中 ρ 表示空气密度, 取值为 1.22 kg/m^3 。

基于公式(3)可获取风机的输出功率,

$$P_E = P_D A C_p, \quad (3)$$

其中 P_E 为风机的输出功率; A 为风机叶片扫过的面积; C_p 为 Betz 系数, 取值 50%。

运营能力(O_C , %)指风速大于等于风机的切入风速而小于等于切出风速的时间与总时间的比值。选

用风机的切入和切出风速分别为 3 m/s 和 25 m/s, 该机型的运营能力可由公式(4)得出。

$$O_C = \frac{T_1}{T} \times 100\%, \quad (4)$$

其中 T_1 为研究时段内风电站 $3 \text{ m/s} \leq U_{90} \leq 25 \text{ m/s}$ 所经历的时间, T 为研究时段总长度。

额定容量(R_C , %)指风速大于等于风机的额定风速并小于等于切出风速的时间占总时间的比重, 可由公式(5)求得。

$$R_C = \frac{T_2}{T} \times 100\%, \quad (5)$$

这里 T_2 是研究时段内风电站 $10.5 \text{ m/s} \leq U_{90} \leq 25 \text{ m/s}$ 所经历的时间。

1.3 研究区域

研究区域包含渤海, 黄海和东海, 并且选定了 5 个沿海风电站, 由北向南依次位于唐山市海港区、盐城市响水县、南通市如东县、嘉兴市平湖县、莆田市秀屿区, 分别标记为 S1、S2、S3、S4、S5, 如图 1 所示。

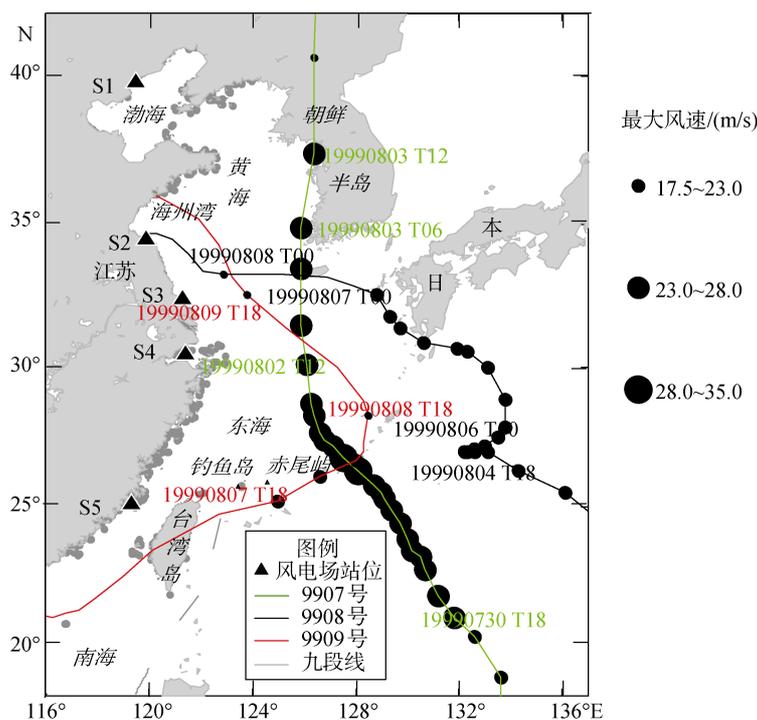


图 1 3 个台风中心轨迹、风速和 5 个风电站位[审图号: GS(2016)1585 号]

Fig. 1 Five ocean wind power stations and typhoon track of No. 9907, No.9908, and No.9909

2 三个台风

如图 1 和图 2 所示, 9907 号台风是由 1999 年 7 月 29 日 0 时在西北太平洋(134.5°E, 12.3°N)生成的热带

低压逐渐发展起来的。7 月 30 日 0 时北进过程中, 在 133.6°E, 16.7°N 成长为热带风暴, 最大风速为 17.5 m/s。7 月 30 日 18 时在 131.8°E, 20.9°N 变成强热带风暴, 最大风速达到 20 m/s, 继续向西北移动。8 月

1日12时在128.1°E, 26.3°N变成台风, 最大风速为32.5 m/s, 此时25 m/s风速最大半径是60 nm, 15 m/s风速最大半径为300 nm, 呈东西向。8月1

日18时在127.1°E, 27.2°N最大风速降为30 m/s。8月3日6时, 台风中心到达朝鲜半岛南端, 最大风速27.5 m/s。

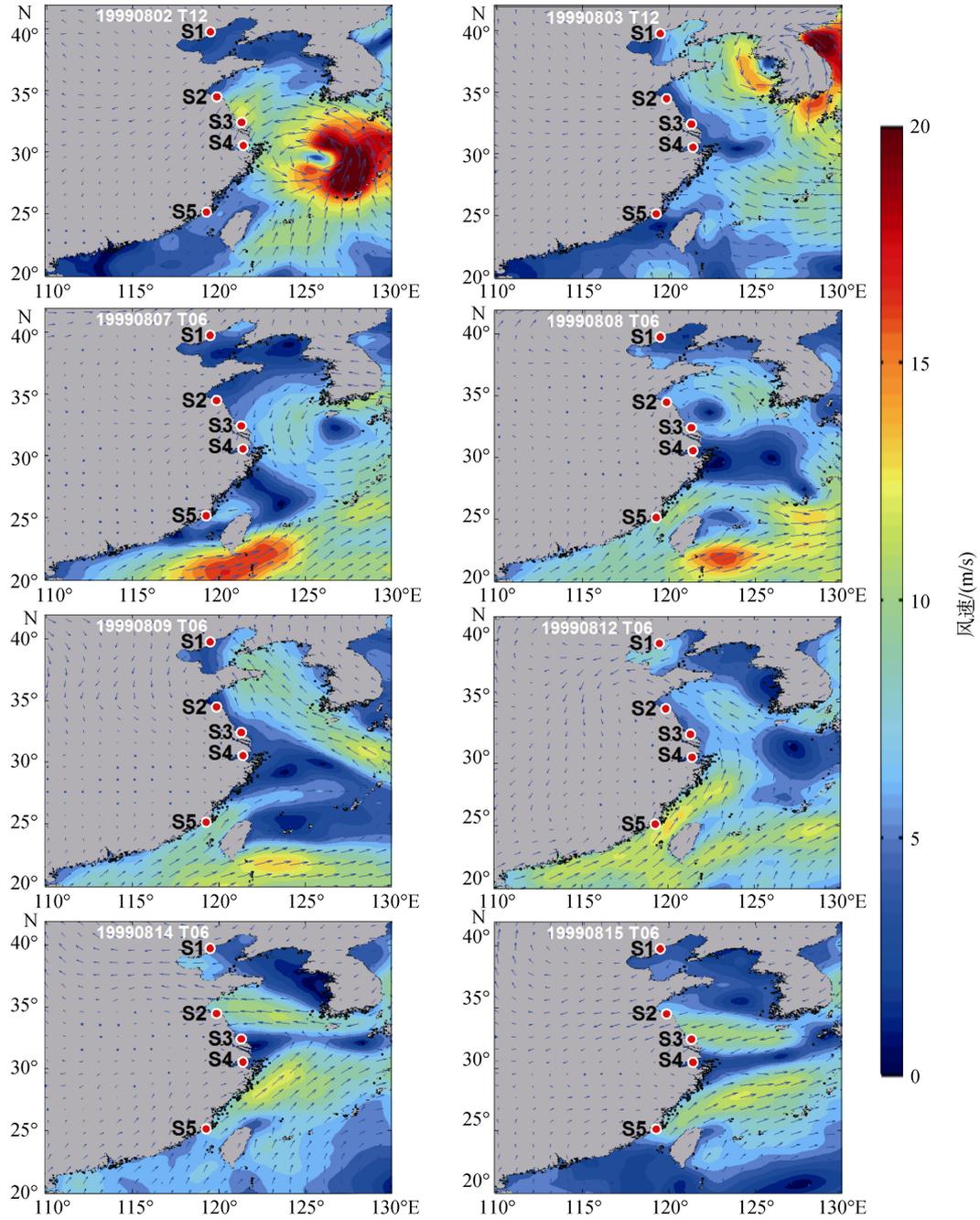


图2 研究时段内90 m处风场

Fig. 2 Wind field at an altitude of 90 m during the study period

9908号台风于1999年7月31日18时于关岛以南海域形成热带低气压, 最大风速7 m/s, 向西北方向日本群岛移动。8月1日18时最大风速增加为10 m/s。8月3日12时到达菲律宾海最大风速增加为12 m/s。8月4日18时, 变成热带风暴, 最大风速达到17 m/s。8月

5日0时, 9908号台风到达日本冲绳岛以东海域由热带低压发展成为热带风暴, 风速为23 m/s。8月5日9908号由热带风暴发展成为强热带风暴, 风速达到25 m/s。8月5日12时, 9908号开始衰减成为热带低压, 风速降为17 m/s。8月6日0时, 最大风速降为

15 m/s, 热带低压移动方向继续折向西北。8月6日12时, 9908号台风衰减成的热带低压登陆日本北九州岛南部, 继续沿着西北方向向济州岛移动。8月7日6时至12时变为热带低气压, 掠过济州岛南部, 风速12 m/s。最后9908号台风衰减成的热带低压进入中国黄海, 8月8日12时消失于中国江苏和山东沿海。

9909号台风于1999年8月5日18时在115.5°E, 21.1°N生成热带低气压, 8月7日18时在125°E, 25.2°N变为热带风暴, 最大风速17.5 m/s, 此时15 m/s的最大半径为150 nm。8月8日9时在128.3°E, 27°N变为热带低气压, 然后向着西北山东半岛方向前进, 并最终消失。值得注意的是, 8月9日开始, 在黄东海形成一个沿着9909号台风中心轨迹的大气锋面, 沿着纬线移动的锋面地转风对我国东部海上风电影响较大。

9908号台风中心影响中国黄海前后1周左右, 本文选取从1999年8月1日产生于关岛以南海域至8月15日共计15天研究。

3 台风对风机的影响

当风速大于等于切入风速(3 m/s)时, 风机开始工作。当风速超过切出风速(25 m/s)时, 风机会停止运行, 从而保证风力发电安全。额定风速指风机达到额定功率时轮毂高度处的设计风速, 取值10.5 m/s。根据公式(1)–(5), 获取了5个海上风电场单个风机在3个台风过境期间的输出功率 P_E , 运营能力 O_C 和

额定容量 R_C , 如表1所示。

表1 台风期间5个海上风电场的风能
Tab. 1 Wind energy at five ocean wind power stations during the period of typhoons

风电场站位	$P_{E, \max}/\text{MW}$	$O_C/\%$	$R_C/\%$
S1	7.6	46.7	0
S2	11.9	80	0
S3	17.2	83.3	5
S4	38.5	85	5
S5	26.6	86.7	6.7

3.1 输出功率

由图3和表1可知, 台风对5个海上风电场的影响可以分为3个阶段。第一阶段是1999年8月1—4日, 此时主要受9907号台风的影响。以8月1日为例, S5—S1由南向北风机的 P_E 依次降低, 分别为15、8.46、5.6、1.4、0.5 MW。第二阶段是8月6—9日, 8月6日也呈现由南向北 P_E 降低, 主要是9909号台风由南海途径台湾海峡即将进入东海的影响; 受9908号台风影响, 8月7日最大 P_E 出现在S3, 8月7日6时至12时变为热带低气压, 掠过济州岛南部进入黄东海, 风速12 m/s。8月8日, 受9908和9909号台风的叠加影响, 按照 P_E 由大到小, 依次出现在S4、S5、S3、S2和S1, 其中S4风机的 P_E 达到15天的最大值38.5 MW。第三个阶段是8月12—15日, 受大气锋面的影响, S1—S5输出功率呈现波动。

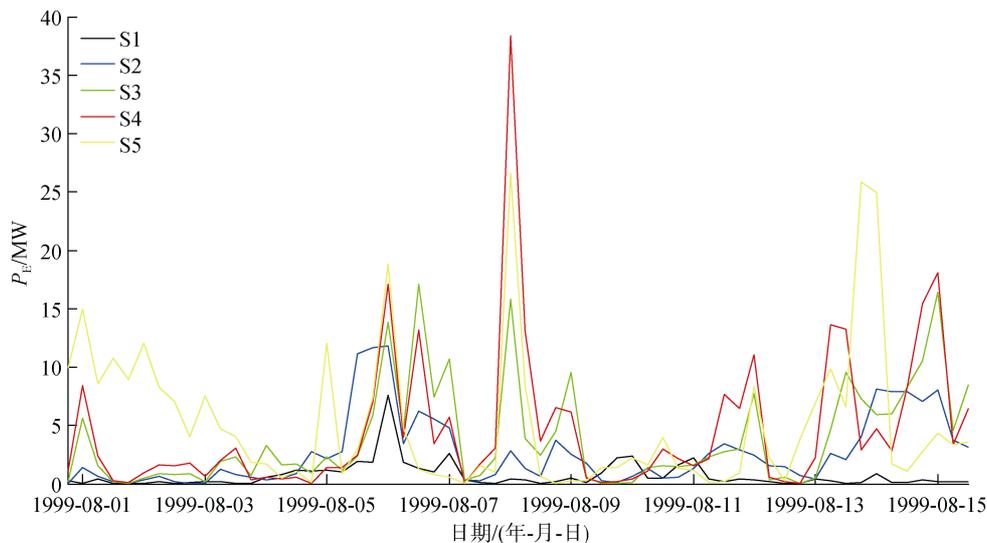


图3 风电场单机的输出功率

Fig. 3 Wind power of a wind turbine at ocean wind power stations

3.2 运营能力

3 个台风联合影响期间,我国东部沿海的风场时空分布如图 2 所示。根据公式(2)和(3),台风经过 5 个海上风电场前后的 90 m 处风速相对大小与图 3 类似。中国沿海 5 个站点的最大风速均不超过 25 m/s,不会有风速超过切出风速。从表 1 可知 O_C 从小到大的排列依次是 S1、S2、S3、S4、S5,分别为 46.7%、80%、83.3%、85%、86.7%,呈现由南向北逐渐降低的现象,这可能与台风路径偏北或西北有关;9907—9909 号台风使得 5 个海上风电场的输出功率增加,但并未造成破坏性影响。

3.3 额定容量

从表 1 可知, S1、S2 站点的 R_C 全部为零,因为 9908 号和 9909 号台风本身强度不大,且最后到达中国东部海域时已削弱成热带低压,对增大中国沿岸风速至 10.5 m/s 的作用微乎其微,加上 S1、S2 站点距离台风中心较远,从台风生成到消散,最大风速均未超过 10.5 m/s。S3、S4 距离台风中心位置较近,受到的影响最大, R_C 分别为 5%和 5%。S5 站点附近出现强力的风源,大于 10.5 m/s 风速持续时间长,所以额定容量 R_C 达到 6.7%。

4 结论

随着化石燃料等常规资源日益消耗,海上风能由于清洁无污染,储量大,持续时间长,占地面积小等优点日益受到重视。本文针对 9907 号、9908 号和 9909 号台风的生消过程研究了其对我国东部海上风电项目运转的影响,发现:

1) 台风对 5 个海上风电场的影响可以分为 3 个阶段。第一阶段是 1999 年 8 月 1—4 日,此时主要受 9907 号台风的影响;第二阶段是 8 月 6 日也呈现由南向北 P_E 降低,主要是 9909 号台风由南海途经台湾海峡即将进入东海的影响;受 9908 号台风影响,8 月 7 日最大 P_E 出现在 S3,8 月 7 日 6 时至 12 时变为热带低气压,掠过济州岛南部进入黄东海,风速 12m/s。8 月 8 日,受 9908 和 9909 号台风的叠加影响,按照 P_E 的大小,依次出现在 S4、S5、S3、S2 和 S1,其中 S4 风机的 P_E 达到 15 天的最大值 38.4 MW。第三个阶段是 8 月 12—15 日,受大气锋面的影响, S1—S5 输出功率呈现波动。

2) O_C 呈现由南向北逐渐降低,这可能与台风路径偏北或西北有关;9907—9909 号台风使得 5 个海上风电场的输出功率增加,但并未造成破坏性影响, S5

额定容量 R_C 最高,达到 6.7%。

致谢:感谢 CCMPv2.0 和台风轨迹数据的提供平台,感谢两位评审老师为文章修改提出宝贵意见。

参考文献:

- [1] 闵兵,王梦川,傅小荣,等. 海上风电是风电产业未来的发展方向:全球及中国海上风电发展现状与趋势[J]. 国际石油经济, 2016, 24(4): 29-36.
Min Bing, Wang Mengchuan, Fu Xiaorong, et al. Offshore wind power as the development trend of wind industry: Developments of global offshore wind power[J]. International Petroleum Economics, 2016, 24(4): 29-36.
- [2] Jacob L. Attitudes towards on-land and offshore wind power development in Denmark; choice of development strategy[J]. Renewable Energy, 2008, 33(1): 111-118.
- [3] Chancham C, Waewsak J, Gagnon Y. Offshore wind resource assessment and wind power plant optimization in the Gulf of Thailand[J]. Energy, 2017, 139: 706-731.
- [4] Qin Haiyan, Liu Mingliang, Wang Yao, et al. China: An emerging offshore wind development hotspot-with a new assessment of China's offshore wind potential[R]. Beijing: Chinese Wind Energy Association, 2010.
- [5] Hong Lixuan, Möller B. Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints[J]. Energy, 2011, 36: 4482-4491.
- [6] Dong Jiang, Zhuang Dafang, Huang Yaohuan, et al. Evaluating the spatio-temporal variation of China's offshore wind resources based on remotely sensed wind field data[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 24: 142-148.
- [7] 张庆红,郭春蕊. 热带气旋生成机制的研究进展[J]. 海洋学报, 2008, 30(4): 1-11.
Zhang Qinghong, Guo Chunrui. Overview of the studies on tropical cyclone genesis[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 30(4): 1-11.
- [8] Li Delei, Geyer B, Bisling P. A model-based climatology analysis of wind power resources at 100-m height over the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. Applied Energy, 2016, 179: 575-589.
- [9] Wentz F J, Scott J, Hoffman R, et al. 2015: Remote Sensing Systems Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP) 6-hourly ocean vector wind analysis product on 0.25 deg grid, Version 2.0[EB/OL].[2015-01-07]. <http://data.remss.com/ccmp/v02.0/>.
- [10] Onea F, Raileanu A, Rusu E. Evaluation of the wind energy potential in the coastal environment of two enclosed seas[C]//Julio D. Advances in Meteorology. London: Hindawi Publishing Corporation, 2015: 1-14.

Combined influence of three typhoons on eastern coastal wind power in China

LÜ Hai-bin, LIU Yu-jun, GU Peng, ZHAO Xing-yu, LU Yin-juan

(School of Geomatics and Marine Information, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China)

Received: Nov. 6, 2018

Key words: coastal wind power; typhoon; power generation; wind energy

Abstract: Effects of three typhoon, nos. 9907, 9908, and 9909 on five ocean wind power stations along the coast of China were researched based on cross-calibrated multi-platform wind data. Wind data from 15-day wind fields from formation and path of the typhoons, the influence of wind speed on ocean wind power stations, and power generation during the typhoons were analyzed. It was found that the effect of the typhoons on the five ocean wind power stations can be divided into three phases. The first phase was from August 1st to 4th that was mainly affected by typhoon no. 9907. The second phase was from August 6th to 9th. On August 6th, the decrease to the north of power generation was mainly because of the impact of typhoon no. 9909 from the South China Sea to the Taiwan Strait that was about to enter the East China Sea. The maximum power generation on August 7th, affected by typhoon No. 9908, appeared at S3 wind turbine. On August 8th, affected by the superposition of typhoon nos. 9908 and 9909, power generation of the S4 wind turbine reached a maximum of 38.4 MW. The third stage was from August 12th to 15th, and the power generation of S1–S5 fluctuated because of the influence of the atmospheric front. During passage periods of the three typhoons, the operational capability value at each station and the rated capacity value of some stations increased, and no major damage was caused to the wind turbines.

(本文编辑: 刘珊珊)