

# 基于 Scada 数据的风电场改扩建数值模拟研究

王洋, 周向阳

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 风电技术发展速度远高于风电场衰老速度, 随着技术的不断进步, 多数风电场可以进行有针对性的改扩建, 并以此来最大化利用已有风电场内风能资源, 增加经济收益。根据已建成风电场运行特性对风电场进行精细化设计是已建成风电场改扩建的关键。针对已建成风电场的 Scada 数据进行统计分析, 了解风电场风能资源特征及运行特性, 随后根据风电场风能资源特征及运行特性, 建立 CFD 模型, 并通过对比风电场模型与风电场各机位点实际测风数据的误差, 确认风电场 CFD 模型的精确程度, 最后应用修正为自由流的已建机位点机舱测风数据进行模型修正, 达到精准模拟风电场的要求, 并以此来确定风电场改扩建排布方案, 确保风电场发电量。工程实例的数据与结果分析表明了该方法的可行性。

**关键词:** 改扩建; Scada 数据; 风电场

中图分类号: TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)03-0092-05

## Research on the Method for the Reconstruction and Expansion of the Wind Farm Based on the Scada Data

WANG Yang, ZHOU Xiangyang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** The speed of the technical development of the wind power plant is much faster than that of the deterioration of the wind farm, with the constant progress of the technology, the majority of wind farms can be targeted expansion, and in order to maximize the use of existing wind farms wind energy resources, increase the economy income. According to the characteristics of the built wind farms, the design of the wind farms is the key to the reconstruction of the wind farms. The Scada data of the built wind farms are statistically analyzed to understand the characteristics and operating characteristics of wind energy resources of wind farms, According to the wind resource characteristics and operating characteristics of the wind farm, The CFD model error of the wind farm is confirmed, and the model of the wind farm is revised to meet the requirements of the accurate simulation of the wind farm. The wind farm is used to determine the wind farm expansion plan to ensure that the wind farm Power generation. The results of the engineering examples and the data analysis show the superiority of the method.

**Key words:** targeted expansion; Scada data; wind farm

目前我国风电技术的迅猛发展, 风电技术的革新速度远远高于风电场折旧速度, 大部分运行 5 ~ 10 年的风电场已经无法做到最大化利用已有的风能

资源, 但是碍于 20 年的设计寿命以及对前期投资收益的保护, 又无法进行大规模的更换机组和更改设计, 因此, 对于已建成风电场的部分修改和适当扩建便成为一种提高已有风电场内部风能资源利用率和经济收益的最佳方式。

已建成风电场内部进行改扩建不同于新建风电场, 由于技术的历史局限性等原因, 已建成风电场既存在前期历史测风数据缺失与代表性不足、风电场模型缺乏验证、风电场分析不透彻、风电场模型

收稿日期: 2017-07-06

基金项目: 中国能建广东院科技项目: 复杂山地风能资源评估及风电场后评估研究(EX03861W)

作者简介: 王洋(1991), 男, 满族, 辽宁沈阳人, 工程师, 学士, 主要从事复杂山地风电场设计研究工作(e-mail) wangyang1@gedi.com.cn.

误差较大<sup>[1]</sup>导致的设计不合理等不利因素,同时又拥有可以进行统计分析的风机多年实际运行 Scada 数据、充分的当地建设经验和无需重新规划场址区域、前期工作简单等有利条件。因此对于已建成风电场内部进行改扩建的方法需要进一步探究。

本文以湖北省利川市某山地风电场改扩建工程项目为例,应用风电场内已有 Scada 数据及建设期数据,解析风电场的风能资源分布特征与风电场实际运行特性,通过 WindSim 软件进行模拟和修正,并最终完成风电场的改扩建风机排布方案。

## 1 风电场情况介绍及改扩建总体方法

### 1.1 风电场简介

该风电场位于湖北齐岳山上,山体为东北-西南走向,山体宽约一至二千米,为复杂山地风电场,一期建设 58 台 G850-58 机组(容量 850 kw,风轮直径 58 m,轮毂高度 44 m),风机排布主要分为山体的东西两侧;二期是在一期场址内部已建成风机之间进行改扩建,工程初步规划建设容量 34 MW,微观选址排查后初步确定满足工程条件的可利用机位点为 26 个。

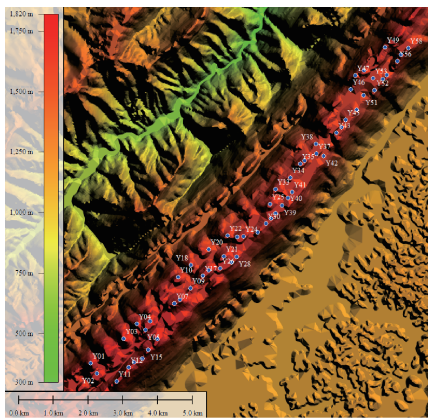


图1 风电场一期 58 台风机布置图

Fig. 1 Wind farm phase 1 58 sets of fan layout

风电场一期开发及建设阶段在场址内部建立了 2 座测风塔,编号分别为#0672 和#0641, #0672 测风塔高 70 m,位于风电场中部偏东区域;0642#测风塔高 40 m,位于风电场北部偏东区域。两测风塔测风设备均为 NRGsystems 公司生产的测风仪,测风时段均超过一年,完整性良好。其中#0672 测风塔位于 42 号风机位上,目前两座测风塔均已拆除。根据一期风能资源评估成果及测风数据分析,该风

电场应选用 IEC-III-B 类以上机型。

### 1.2 改扩建总体方法

已建成风电场改扩建的总体方法包括风电场 Scada 数据采集、分类、处理、矫正、统计分析,风电场建模,风电场运行数据与模型的对比分析,修正模型,现场微观选址并确定改扩建方案。

总体方法的中心是根据风电场内已有 Scada 数据及建设期数据的统计结果,分析风电场的风能资源特征与运行特征,并以此为依据进行风电场模型与风电场实际运行数据的对比及修正。首先确定风电场原有配置,并通过校正后的 Scada 数据对风电场实际风能资源及机组运行进行初步分析,得到风电场场区内的风能资源特性与风电场运行特征;其次通过前期测风数据、前期研究成果及地形信息建立风电场 CFD 模型,并应用模型对已建成风电场进行模拟对比,针对对比结果进行分析,得到风电场模型的优化方案;最后根据风电场模型及微观选址成果,确定风电场的改扩建方案。

## 2 风电场数据分析

### 2.1 数据处理

根据已建成风电场情况,将风电场内有效的实际运行数据收集起来。

按《风电场气象观测及资料审核、订正技术规范》对测风塔的原始数据进行合理性检验,对不合理数据进行相应处理。若某时段缺测风速记录,用临近测风塔相应高度风速记录经相关性分析修正后替代,若无临近测风塔则用参证气象站的记录经相关性分析修正后替代,由此整理出一年完整的逐小时风数据<sup>[2]</sup>。

收集风电场一期 Scada 近三年的测风数据,并进行统计整理。对 58 个机位点的机舱风速风向进行检验后,应用文献[3]提供的根据 IEC 相关标准,基于测风塔测风数据的机舱风速修正方法,得到机舱后风速修正为自由流风速。

收集风电场一期 Scada 近三年的运行数据,应用风电场后评估方法<sup>[4]</sup>,排除冗余数据,并进行统计整理,得到一期 58 个机位点的近三年发电数据。

### 2.2 风电场一期风能资源与运行特征

根据气象站数据及中尺度数据分析结果显示,风电场区域内主导风向与山体走势垂直,为东南风。但针对场内两个测风塔的测风数据对比发现,

场区内存在风向随纬度增加出现逆时针偏转趋势。

风电场一期机位点主要排布在在山体东西两侧,根据风电场一期近三年实际运行数据统计结果,山体东侧机位点年发电量普遍低于西侧机位点,即主导风向上首排机位点发电量较低,次排机位点发电量较高,二者年等效满发小时数相差约在 500~1 000 h,机舱测风数据与发电量差异趋势一致,东部与西部区域平均风速相差约在 0.6 m/s~1.5 m/s。原因分析如下几点:

1) 东部区域与西部区域机位点的地形地表基本一致,两个区域海拔高度差较小,基本在 50 m 以内,导致的发电量差异较小,因此海拔高差不是导致发电量差异较大的主要原因。

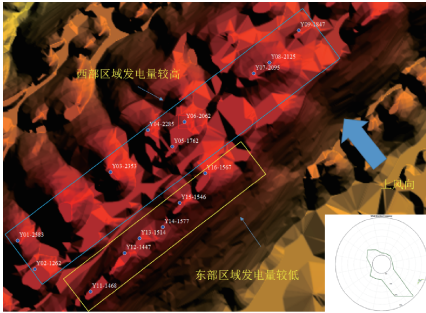


图2 风电场一期东区与西区对比图

Fig. 2 Wind farm phase 1 eastern and western comparison chart

2) 风电场主导风向为东南风,东部区域为首排机位,发电量低,而西部区域为次排机位,发电量大,说明尾流影响亦并非是导致发电量差异较大的主要原因。

3) 风电场位于一道东北-西南走向的狭长山梁上,山顶平均宽度约为 1.5 km 且地势较为平缓,两边较为陡峭,主导风向山坡下有较大起伏地形。东部区域机位点基本位于主导风向上风向,上风向边坡较为陡峭,该区域由于特殊地形可能存在来流风速的分流或产生局部回流区等微地形影响,导致东部区域风速低于西部区域,说明特殊地形影响可能是导致东部与西部区域风速异较大的主要原因。

4) 由于风电场东部各机位点实际平均风速约在 4.8 m/s~5.9 m/s,适合选用低风速机型,而在西部区域各机位点平均风速约在 6.2 m/s~8.0 m/s,适合选用中风速机型。本风电场一期机位统一选择 G850-58 机型,该机型为中风速机型,图 2 表示该机型在不同风速下的年等效满发小时数变化与历年年等效满发小时数的差值,可以看出,该机型在

平均风速为 5.5 m/s~6 m/s 的风速段发电能力明显低于 6 m/s~7.5 m/s 的风速段。因此该机型在东部低风速机位点对比低风速机型的发电性能较差,而在西部高风速机位点适应性较强是导致风电场东部与西部区域发电差别较高的设计原因。

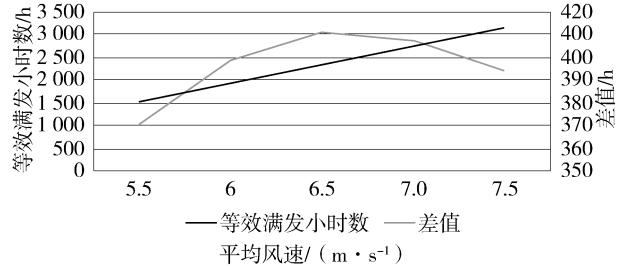


图3 机型在不同风速下年等效满发小时数变化与差值

Fig. 3 Variations and Difference of Equivalent Full Hours of Hours in Different Wind Velocities

### 3 建模与修正

#### 3.1 风电场建模

为了得到更准确的风电场风能资源分布情况,对风电场进行精细化数值模拟。计算域水平方向分别向风电场外延约 15 km,垂直高度距地表约 5 km;为了减少因模型垂直网格节点与测风塔各个测层高度不一致而导致的风切变对比误差,将 160 m 高度以下分为 16 层,除第一层网格高度为 2.5 m 外,其他各层网格节点均为 10 m 的整数倍;流场计算分为 36 个扇区,每 10° 一个扇区。将大规模计算结果嵌套到风电场中(大规模计算结果作为风电场精细化初始值)<sup>[5]</sup>,从网格数量和湍流模型角度进行风电场精细化模拟;考虑当地大气热稳定性影响,应用测风数据修正风切变拟合模型<sup>[6]</sup>。应用前期测风塔的测风数据作为输入资料,针对整个风电场进行模拟。

#### 3.2 风电场模型对比修正

首先应用模型对风电场一期已建成机位点进行模拟,并对修正后的机舱测风数据与模拟结果进行对比,从而得到模型与风电场实际偏差。

对比结果见图 4 及图 5,根据对比结果显示,应用风电场内一期的测风数据及地形进行风电场模拟存在偏差,西部区域机位点模拟风速结果普遍低于实测风速,各机位点模拟风速与实测风速差值约在 0.8 m/s;而东部区域机位点恰恰相反,机位点模拟风速普遍结果高于实测风速,各机位点模拟风

速与实测风速差值约在  $-0.4 \text{ m/s}$ 。

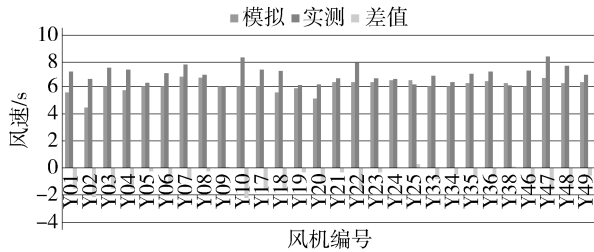


图4 西部机位点模拟结果与实测风速对比图

Fig. 4 Comparison of simulation results and measured wind velocity in west

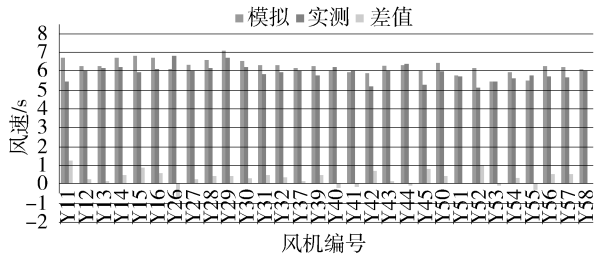


图5 东部机位点模拟结果与实测风速对比图

Fig. 5 Comparison of simulation results and measured wind speed in east

根据初步对比结果,应用测风数据及地形进行风电场模拟与风电场实际运行结果偏差较大,无法准确模拟风电场内风能资源情况。考虑风电场范围较大,场内两座测风塔均位于东部区域,代表性不足,因此选择更改输入条件:针对本风电场的风能资源分布特征,将风电场划分为东西两个大区,再根据微观选址后确认的二期26个可利用机位点分布情况,分别将东西两个大区划分为若干个小区域,根据区域的地形情况,选择该区域内若干具有代表性的修正后的机舱测风数据作为输入数据重新模拟。图6及图7为模型修正前后模拟风速与风电场机位点实际测风数据对比结果。根据对比结果显示,修正后的模拟结果与风电场机位点实际测风数据偏差明显低于修正前的模拟风速与风电场机位点实际测风数据偏差,证明模型修正方案可行。

应用修正后的模型针对微观选址后26个可用机位点进行风能资源及发电量计算,综合考虑风能资源、二期机位点安全性、新增机位点对一期机位点安全性影响、道路和集电线路最优化、避开限制及民用区域等因素,最终确定选择17台风能资源较好的机位点的排布方案。

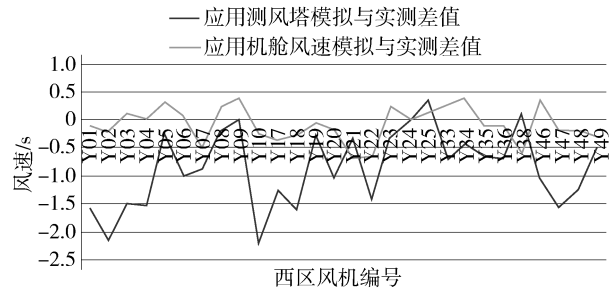


图6 西部机位点模拟结果与实测风速对比图

Fig. 6 Comparison of simulation results and measured wind velocity in west

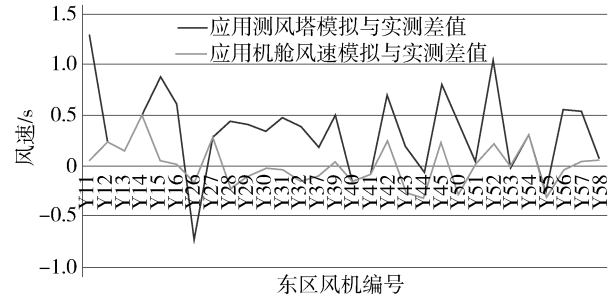


图7 东部机位点模拟结果与实测风速对比图

Fig. 7 Comparison of simulation results and measured wind speed in east

## 4 结论

通过对需要改扩建的风电场进行模拟,提出了基于Scada数据分析结果的风电场模型修正方法,并以湖北利川某一实际风电场模拟结果为例验证了模型修正方法的可行性和精度,结论如下:

1)应用传统方式采用前期数据作为输入条件,对复杂山地风电场进行CFD模拟,可能无法比较精细地描述风电场的风能资源分布特性。

2)将风电场重点关注地区划分为若干区域,根据细化区域内的已知风能资源特征,选用风电场已建机位点的机舱实测数据作为输入条件,可以提高风电场CFD模型精度,进而保证风电场改扩建后的发电量与经济收益。

3)本文提出的方法工程实用性强,广泛适用于各类有用改扩建需求的风电场,为进一步风电场翻新建设奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] 高峰,杨锡运,王伟,等.基于测风塔测风数据的风电机组机舱风速修正[J].系统仿真学报,2016(11):2790-2797.  
GAO F, YANG X Y, WANG W, et al. Model wind speed

- correction of wind turbine based on wind measurement data of wind tower [J]. *Journal of System Simulation*, 2016(11): 2790-2797.
- [2] 高婕, 王健, 崔永锋, 等. 基于陕北某复杂地形风电场 Windsim 软件数值模拟研究 [J]. *风能*, 2016(10): 62-64. GAO J, WANG J, CUI Y F, et al. Numerical simulation of windsim software based on a complex terrain wind farm in Northern Shanxi [J]. *Wind Energy*, 2016(10): 62-64.
- [3] 卢胜, 吴莎. 基于 SCADA 数据的风电场后评估方法 [J]. *电子测试*, 2016(1): 41-43. LU S, WU S. Post-evaluation method of wind farm based on SCADA data [J]. *Electronic Testing*, 2016(1): 41-43.
- [4] 刘凯, 曾杰, 叶任时, 等. 复杂地形山地风电场的 CFD 分析 [J]. *人民长江*, 2016(3): 56-58 + 102. LIU K, ZENG J, YE R S, et al. CFD analysis of complex terrain mountain wind farms [J]. *Yangtze River*, 2016(3): 56-58 + 102.
- [5] 迟继峰, 钟天宇, 刘庆超, 等. 复杂地形多测风塔综合地貌及风切变拟合修正的风资源评估方法研究 [J]. *华电技术*, 2012(11): 75-77 + 81. CHI J F, ZHONG T Y, LIU Q C, et al. Study on wind resource evaluation method of synthetic landform and wind shear fitting in complex terrain [J]. *Huadian Technology*, 2012(11): 75-77 + 81.
- [6] 王有禄, 李淑华, 宋飞. 风电场测风数据的验证和处理方法 [J]. *电力勘测设计*, 2009(1): 60-66. WANG Y L, LI S H, SONG F. Treatment method and inspection of anemometric dates in wind power plant [J]. *Electric Power Survey & Design*, 2009(1): 60-66.
- [7] 国际电工委员会. 风力涡轮机, 第 1 部分设计要求: IEC 61400-1-2007 [S]. 美国: 国际电工委员会, 2007. IEC/TC. Wind turbines-part 1, design requirements: IEC 61400-1-2007 [S]. U. S. A.: IEC/TC, 2007.
- [8] 国际电工委员会. 风轮, 第 12 部分风轮发电的动力性能测试: DIN EN 61400-12-1-2007 [S]. 美国: 国际电工委员会, 2007. IEC/TC. Wind turbine-Part 12, test for dynamic performance of wind turbine power generation: DIN EN 61400-12-1-2007 [S]. U. S. A.: IEC/TC, 2007.
- (责任编辑 黄肇和)
- 
- (上接第 91 页 Continued from Page 91)
- [9] 陈凯华. 海南联网海缆敷设施工与防护 [J]. *南方电网技术*, 2009, 3(5): 25-26. CHEN K H. Laying and protection of submarine cables of Hainan interconnection project [J]. *Southern Power System Technology*, 2009, 3(5): 25-26.
- [10] 陈利明, 邵芳, 邵平. 海底光缆安全研究 [J]. *光通信技术*, 2009, 33(11): 29-31. CHEN L M, SHAO F, SHAO P. Study on security in submarine optical fiber cable [J]. *Optical Communication Technology*, 2009, 33(11): 29-31.
- [11] 潘富国, 付晓明, 苟净慷, 等. 侧扫声纳在海底光缆维护工程中的应用 [J]. *工程地球物理学报*, 2004, 5(1): 389-394. PAN F G, FU X M, GOU Z K, et al. Side scan sonar applications in undersea fiber-optic cable maintenance projects [J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2004, 5(1): 389-394.
- [12] 黄春晖. 海底电力电缆探测方法及实际应用 [J]. *电力技术*, 2010, 19(15): 20-26. HUANG C H. Detection method and practical application of submarine power cable [J]. *Electric Power Technology*, 2010, 19(15): 20-26.
- [13] 贾玉明. 侧扫声纳在琼州海峡海底电力电缆路由测定中的应用 [J]. *广东输电与变电技术*, 2011, (1): 37-38. JIA Y M. The Side-scan sonar application in Qiongzhou channel submarine electric power cable routes surveying [J]. *Guangdong Power Transmission and Substation Technology*, 2005, 23(3), 374-384.
- [14] 刘保华, 丁继胜, 裴彦良, 等. 海洋地球物理探测技术及其在近海工程中的应用 [J]. *海洋科学进展*, 2005, 23(3): 374-384. LIU B H, DING J S, PEI Y L, et al. Marine geophysical survey techniques and their applications to offshore engineering [J]. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(3): 374-384.
- [15] 张永明, 毕建强, 孙圣堂, 等. 青岛崂山头海域海底滑坡的声波探测 [J]. *工程地球物理学报*, 2012, 9(2): 170-174. ZHANG Y M, BI J Q, SUN S T, et al. Sound wave prospecting in the submarine landslip in Laoshantou sea area of Qingdao [J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2012, 9(2): 170-174.
- [16] 曾亮, 王艳, 李明波, 等. TSS350 系统在海底电缆探测中的应用 [J]. *工程勘察*, 2012, 40(4): 92-95. ZENG L, WANG Y, LI M B, et al. Application of TSS350 system in the detection of submarine power cables [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2012, 40(4): 92-95.
- [17] 董庆亮, 王伟平. EM1002 型多波束测深系统及参数校正 [J]. *海洋测绘*, 2004, 24(5): 23-26. DONG Q L, WANG W P. EM1002 multi-beam sounding system and its parameter correcting [J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2004, 24(5)23-26.
- (责任编辑 郑文棠)