

风电场对米波雷达系统的影响研究

张连迎, 王聚杰

(中国电波传播研究所, 山东 青岛 266107)

摘要: **目的** 针对目前风电场对米波雷达的潜在威胁, 研究风电场的有源干扰、无源散射、遮蔽对米波雷达系统的影响, 为评估风电场对米波雷达系统的影响提供技术指导。**方法** 根据风力发电机的工作原理和结构, 对风电场的有源干扰进行实际测试, 就风电场有源干扰对米波雷达系统周边背景噪声的影响进行分析, 提出一系列应对有源干扰的措施; 利用散射、刃峰绕射、多普勒效应等理论, 就无源散射、遮蔽等因素对米波雷达系统的影响进行仿真计算和分析。**结果** 风电场将引起米波雷达系统周边背景噪声恶化、虚警率提高、探测距离缩减、测向和测速误差等, 导致米波雷达性能下降。**结论** 风电场对米波雷达系统存在着巨大威胁, 在米波雷达台站附近规划建设风电场前应进行严格的技术评估, 保证国家经济建设和雷达系统性能不受影响。

关键词: 风电场; 米波雷达; 有源干扰; 无源散射; 遮蔽

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.07.008

中图分类号: TJ07; TN011

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)07-0041-04

Influences of Wind Farm on VHF Radar System

ZHANG Lian-ying, WANG Ju-jie

(China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao 266107, China)

ABSTRACT: Objective To study influences of wind farm on VHF radar system, including electromagnetic interference, scattering and shading based on potential threads of wind farm on VHF radar system to provide technical guidelines for evaluating influences of wind farm on HVF radar system. Methods Electromagnetic interference of the wind farm were tested according to the working principle and the structure of wind power generator. Influences of the wind farm on background noise surrounding the VHF radar system were analyzed to propose solutions of electromagnetic interference; theories of scattering, knife-edge diffraction, Doppler effect, etc, were used to have simulating calculation and analysis on influences of passive scattering, shading, etc. on the VHF system. Results The wind farm will cause decline of radar's technical index, including worsening of radio noise, increasing of false alarm rate and reducing of detecting distance. Conclusion The wind farm has great threat to the radar system. To protect economic construction and VHF radar system's performance, rigorous evaluation of wind farm's influence is necessary before programming and building.

KEY WORDS: wind farm; VHF radar; electromagnetic interference; scattering; shading

随着石油、天然气、煤炭等化石能源的日益枯萎, 世界各国正在大力发展包括风能、水电、核能等绿色、清洁能源。其中, 风能由于具有可再生、技术成熟等

优势, 发展十分迅猛。中国是世界上风能较为丰富的国家, 东南沿海和西北内陆地区是国内风能资源最为集中的区域, 目前已在上述地区的能源供给中占据一

收稿日期: 2017-03-15; 修订日期: 2017-05-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(61331012)

作者简介: 张连迎(1983—), 男, 山东人, 工程师, 主要从事雷达、无线电波传播等方面的研究。

席之地。

另一方面,随着大量风电场的建设,风电对通信、雷达等电子系统的影响和矛盾也日益突出。据报道,由于风电场建设影响了雷达对空中目标的侦察,英国国防部曾叫停英国沿海某风电场的建设^[1-2]。

鉴于此,文中就风电场的有源干扰、无源散射、遮蔽对米波雷达系统的影响进行了分析与研究,这对于在米波雷达台站附近规划建设风电场技术评估具有重要指导价值。

1 风力发电原理

风力发电的过程是通过风能驱动风机的叶片旋转,由风机内的发电机将机械能转化为电能,然后由风机底部的变电箱升压后送入电网。

风力发电机的本质是将风携带的动能转化为电能。通常,风力发电机主要由以下部分组成^[3-4]。

1) 叶片:由风驱动旋转,带动风机转子旋转,将风携带的动能转化为机械能,叶片的大小可与飞机机翼比拟。

2) 发电机:将转子旋转的机械能转化为电能。

3) 变电箱:由于风速不稳定,导致发电机的输出电压不稳定,变电箱将电压调稳,然后并入地方电网^[5]。

2 风电场对米波雷达系统影响的主要因素

根据风力发电的原理及结构,风电场对米波雷达的影响因素主要有以下几点。

1) 风电场的有源干扰。风力发电的发电机、电子控制器等在工作过程中会产生电磁辐射,风电场配套的变电站、开关站、高压线等也会产生电磁辐射^[6]。上述辐射源产生的电磁辐射将抬高米波雷达系统场地的无线电噪声电平。根据雷达方程,雷达的探测距离与场地背景噪声电平有关。当背景噪声抬高后,将导致米波雷达探测距离缩减^[7]。

2) 风电场的无源散射。相对米波频段的波长,风力发电机的塔柱、叶片等均具有较大的电尺寸,甚至可以与飞机比拟,可对照射到风机上的电磁波产生无源散射。无源散射对米波雷达的影响主要体现在三方面:一是当风电场位于雷达照射区内时,风机可产生强烈的回波信号,可能导致雷达虚警;二是风电场可对正常的回波信号产生二次辐射,从而导致多径传播,可能导致雷达测向误差^[8];三是风机叶片旋转的切速度很快(可与飞机比拟),根据多普勒效应原理,叶片旋转将对正常的回波信号产生多普勒频移,从而导致雷达测速误差。

3) 风电场的遮蔽。根据绕射原理,当收发之间存在障碍物时,会产生绕射传播现象,绕射传播会产生一定的附加衰减^[9]。根据雷达方程,传播衰减的增加将导致米波雷达探测距离缩减。

3 风电场有源干扰的分析

3.1 测试对象简介

为研究风电场有源干扰的特征,对上海东海大桥海上风电场的有源干扰开展了实际测试。该风电场由34台国产3 MW 风机组组成,总装机容量为102 MW。

3.2 测试数据简述

对海上风电场的电磁辐射进行了测试,测试频段为30~300 MHz。同时选取距风机20 km 远的农田作为测试参考点,参考点2 km 以内无人作为干扰源,对参考点30~300 MHz 的无线电噪声进行了测试。

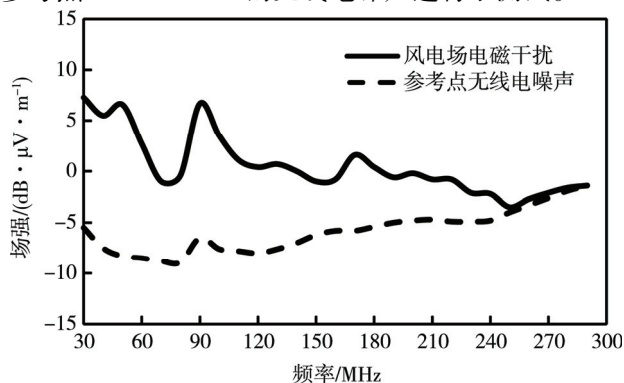


图1 风电场电磁辐射测试数据

测试数据表明,海上风电场在米波段产生了较为明显的电磁辐射,电磁辐射主要集中在250 MHz 以下的频段,频率越高,电磁辐射越弱。

3.3 风电场有源干扰的应对措施

为有效削弱风电场的有源干扰对米波雷达的影响,可采取如下措施:风力发电机、变电站等采取电磁兼容改造;高压输电线做埋地处理;适当增加风电场与雷达间的防护距离。

4 风电场无源散射的分析

4.1 风力发电机的 RCS

从风机的结构上分析,风机的无源散射主要由风机的塔柱、吊舱、叶片三部分结构产生。其中,塔柱、吊舱可视为静态目标,其 RCS 易于计算。叶片则不同,其在发电过程中一直处于旋转状态,因此应对叶片不同旋转状态的 RCS 分别计算,然后根据实际选

取需要的 RCS。

此外,计算过程中还应对不同入射波的方向角、俯仰角,分别计算,以全面掌握风电场的无源散射特性^[10]。

图2为计算风力发电机 RCS 的几何模型,图3为利用该模型计算的 RCS (计算频率为 120 MHz,入射波方位角为 0°,俯仰角为 30°)。

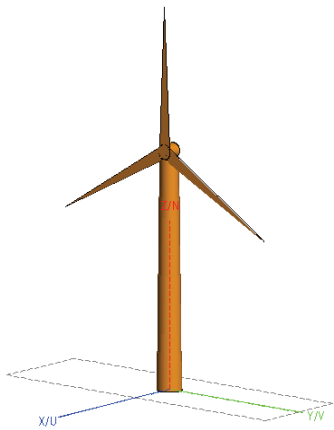


图2 风力发电机的几何模型

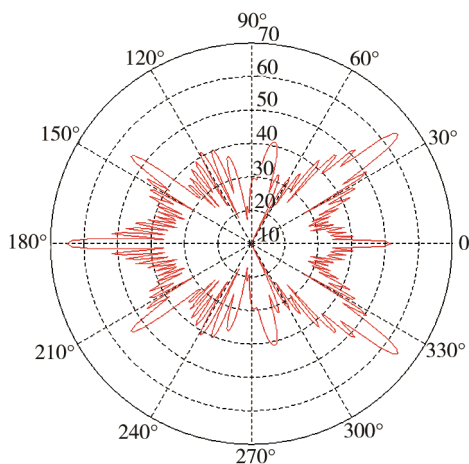


图3 风力发电机的 RCS

4.2 叶片的多普勒效应

叶片旋转时,不同的半径点上具有不同的切向速度。风机叶片顶部具有最大的切向速度,该速度甚至可与飞机的航速相比,叶片底部则具有最小的切向速度。

根据多普勒效应的原理,由于叶片的转动,将导致回波频谱的展宽。由于叶片旋转时,上下两端相对电磁波的运动方向相反。当叶片迎着电波方向旋转时,将产生正的多普勒频谱区;当叶片背着电波方向旋转时,将产生负的多普勒频谱区^[11]。此外,多普勒频谱图中在零频上会出现一个峰值,这是由于静态的塔柱、吊舱的 RCS 远大于叶片导致的^[12]。

5 风电场遮蔽的分析

风电场对雷达的遮蔽主要体现在风电场会导致电磁波发生绕射现象。如果障碍物比较陡峭,而且障碍物的横向宽度较大时,这种绕射称为刃峰绕射^[13];若障碍物的顶部有比较大的宽度且比较平缓时,这种绕射被称为圆顶峰绕射^[14]。从绕射的类型分析,风电场的绕射可视为刃峰绕射。绕射影响的大小通常用绕射产生的附加衰减评估。

工程中经常用式(1)对刃峰绕射的附加衰减进行评估^[15]:

$$\begin{cases} L = 6 - 6.9 \frac{H_c}{H_0}, -1 < \frac{H_c}{H_0} \leq 0 \\ L = 9 - 4 \frac{H_c}{H_0}, -3 < \frac{H_c}{H_0} \leq -1 \\ L = 11 + 20 \lg \left| \frac{H_c}{H_0} \right|, \frac{H_c}{H_0} \leq -3 \end{cases} \quad (1)$$

式中: H_c 代表路径余隙; H_0 代表了自由空间余隙。

根据式(1)就风机对不同距离、不同高度目标产生的绕射损耗进行了计算。计算结果表明,当目标距离风机较近时,风机的遮挡比较严重,会对信号产生严重的损耗。当目标离风机的距离比较远时,甚至会出现信号增强的现象。出现这种现象的原因可能是由信号的顶部绕射、两侧绕射等产生的多径现象所致。

风机对信号的衰减会导致目标回波信号削弱,导致米波雷达漏警率升高。风机可能导致的信号增强本质上是一种多径现象,多径可能导致米波雷达的测距、测向、测速的严重误差。总之,风机对米波雷达探测效能的影响不可低估。

6 结语

风电场对米波雷达系统的性能指标有着严重影响,在米波雷达台站附近建设风电场将对雷达产生巨大威胁。因此在规划、建设风电场前,应对场址周边包括米波雷达在内的电子装备进行科学严谨的技术评估,在确保风电场建设不会影响装备性能的基础上,支持国家经济建设和绿色能源开发利用。

参考文献:

- [1] 葛川,何炎平,叶宇. 海上风电场的发展、构成和基础形式[J]. 中国海洋平台, 2008(6): 32—35.
- [2] 吴彪,沈国勤,周宁. 风电场对雷达性能影响问题研究[J]. 中国无线电, 2013(10): 60—61.
- [3] 宋础,刘汉中. 海上风力发电场开发现状及趋势[J]. 新

- 能源, 2006(2): 57—58.
- [4] MORLAAS C, FARES M, SOUNY B. Wind Turbine Effects on VOR System Performance[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems(S0018-9251), 2008, 44(4): 1464—1476.
- [5] CARROLL J E, SANDERS F H, TURNER D. Assessment of the Effects of Wind Turbines on Air Traffic Control Radars [M]. USA: National Telecommunications & Information Administration, US Department of Commerce, 2008: 1—18.
- [6] 刘克中, 张金奋, 严新平. 海上风电场对航海雷达探测性能影响研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2010(6): 561—564.
- [7] HOWARD M, BROWN C. Results of the Electromagnetic Investigations and Assessments of Marine Radar, Communications and Positioning Systems under Taken at the North Hoyle Wind Farm by QinetiQ and the Maritime and Coast Guard Agency[R]. Martin Howard and Colin Brown, MCA and QinetiQ Ltd UK. 2004.
- [8] MORLAAS C, FARES M, SOUNY B. Wind Turbine Effects on VOR System Performance[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems(S0018-9251), 2008, 44(4): 1464—1476.
- [9] 谢飞, 张忠臣, 张鹏. 多径效应对测向误差的影响[J]. 电子测量技术, 2010(1): 29—31.
- [10] 刘彤, 金一丞, 尹勇. 航海雷达电磁波绕射仿真模型及其应用[J]. 计算机仿真, 2002(5): 86—87.
- [11] LOK Y F, WANG J, PALEVSKY A. Simulation of Radar Signal on Wind Turbine[C]// IEEE Radar Conference(S1097-5659), USA: IEEE, 2010: 538—543.
- [12] 何炜琨, 石玉洛, 王晓亮. 风轮机雷达回波的仿真与分析[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(1): 54—56.
- [13] OHS R R, SKIDMORE G J, BEDROSIAN G. Modeling the Effects of Wind Turbines on Radar Returns[C]// Military Communication Conference (S2155-7578). USA: IEEE, 2010: 272—276.
- [14] BROWN C. Assessment of the Navigational Impact of Offshore Wind Farm[C]// Trinity House's Collision Risk Management Seminar. 2003.
- [15] AULD T, MCHENRY M P, WHALE J. US Military, Airspace, and Meteorological Radar System Impacts from Utility Class Wind Turbines: Implications for Renewable Energy Targets and the Wind Industry[J]. Renewable Energy, 2013(55): 24—30.
- [16] ITU R P-526-13, Propagation by Diffraction[S].