

Research Progress on the Impact of Wind Farms on Climate and Environment

Jiangkailin Du

China Energy Construction Group Northeast Electric Power First Engineering Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

Wind power generation, as a rapidly developing kind of new energy, has attracted great attention to the large-scale development of large-scale wind power generation systems around the world. It is generally believed that the heating and cooling effects of wind fields on the surface are closely related to the stratified stability of the atmosphere. However, simulations of the global climate models show that the impact of wind farms on the global climate is very small, much smaller than expected. Therefore, it is necessary to conduct an appropriate intervention for it.

Keywords

wind farm; climate and environment; impact

风电场对气候环境的影响研究进展

杜姜开林

中国能源建设集团东北电力第一工程有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110000

摘 要

风力发电作为一种快速发展的新能源, 在世界各地的规模化开发中, 大型风力发电系统的建设及其所带来的生态、气候效应引起了广泛的重视。一般认为, 风场对地表的升温 and 冷却作用与大气的分层稳定密切相关。然而, 通过对全球气候模型进行的仿真, 发现风力发电场对全球气候的影响是非常小的, 比预计的要小得多。因此, 有必要对其进行适当的干预。

关键词

风电场; 气候环境; 影响

1 引言

风能具有可再生、无污染、蕴藏丰富等特点。在当前能源短缺、环保等问题日趋严重以及风能利用的迅猛发展的背景下, 全球范围内的风能利用得到了迅猛的发展。自 20 世纪 90 年代起, 风力发电容量急剧增加, 据国际风力发电组织 (WWEA) 预测, 2018 年全世界风力发电总装机容量达到 53.9GW, 其中中国拥有 25.9GW, 是目前风力发电第一大国。风力发电具有减轻能源供给压力、改善能源结构、减少环境污染、减少温室效应的优势。然而, 大型风电项目的兴建与运营引起的环境与环境问题也日益引起人们的重视。20 世纪 70 年代以来, 中国和其他国家已有大量的研究表明, 风力发电可能会给人类带来严重的生态危害, 其中主要有鸟撞致死事件、噪音污染、视觉污染、电磁辐射等。20 世纪 90 年代以来, 人们对其所带来的消极作用日益引起人们的重视。21 世纪以来, 随着全球范围内的人们越来越

多地关心着全球的能源安全与气候问题。主要表现为撞击伤人、噪音污染、视觉污染以及电磁辐射等。20 世纪 90 年代以来, 人们对其所带来的消极作用日益引起人们的重视。

2 关于风力发电场的全球性和区域性的气候效应的研究

风力发电系统的规模化分布会对大气环境产生一定的作用。目前中国和其他国家对风场的研究多集中于大气环流模式 (GCM)、通用大气模式 (CAM) 等, 对大型风场对大气环流、下垫面温度、降雨等的作用进行数值模拟。在风场作用下, 表面气温波动可至 1°C, 地面风速可达数 m/s, 而受扰区几千米之外的其他地方也存在相同幅度的气温变化, 由此我们推断, 风力发电对天气过程的主导作用机理可能是非定域性的^[1]。该现象与罗斯贝波的强度有关, 其幅度与粗糙层的横向规模和粗糙度的规模是正比的。在 CAM5 模式中, 将风力发电机组的叶片作为一个向上的动量吸收和一个加强的湍流来源, 以数值方法对风力发电机组 (2.5TW、10TW、20TW) 的风力发电机组进行数值模拟。研究发现, 当机组规模增大时, 其对当地及全球的气候效

【作者简介】杜姜开林 (1986-), 男, 中国辽宁鞍山人, 硕士, 高级工程师, 从事项目管理研究。

应会逐渐增强,其中最大温差不超过 0.7°C ,对风场及紊流的作用更为明显。北美由风力发电机造成的湍流干扰,与北大西洋气旋的轨道及发展发生显著改变相联系。如果陆地风能在2100年提供了全世界10%以上的能量,那么该地区的地表气温将会上升 1°C 以上,同时也会使底层气温明显上升。他们也利用改良的气象模式,对大规模近海风力发电场的可能效应进行了深入的探讨。相较陆地风电,近海风力发电设备会使其所处海域产生较大的地面降温作用,其原因在于风力作用下,风速的减弱无法充分消除气流中的湍流,从而使海面向下层的潜热强度增大。与陆地风力发电系统不同,近海风力发电系统的规模化应用不会给地球带来太大的影响^[2]。其对2m温度的作用范围为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,比年平均温度波动小。风力发电系统不仅能提高当地气温,增加降水2倍,还能通过植物与降水形成正向反馈,实现区域内植被的重建,提高降水80%。尽管这一结论是令人满意的,但是因为它只是一个比较完美的仿真试验,所以还需要进一步的检验。风机能够把风的能量转换成电力,因而大型风电机组能够对地表温度、大气环流和水循环产生重要的影响。数值模型显示,大型风力发电场会造成区域性的气候改变,但其对全球平均水平的作用较小,远低于预计的温室效应及天然气候的年际变率。然而,当前对风电场整体气候效应的研究缺乏相应的野外实测数据,多采用添加地面粗糙度的方法对风电场进行数值试验,缺乏对地形、环境、风场设备、紊流及风切变等因素的考虑,存在很大的不确定性。

3 风场对当地环境的作用

本项目基于风场站点观测资料、卫星遥感资料和数值模式,采用RAMS、WRF、RegCM等中尺度模式,对风场局部气候影响进行研究。

3.1 风场对当地气温的作用

风扇叶片会引起地表的湍流,增强地表的动量和热量的垂直混合,进而影响地表的温湿度和感热潜热的垂直分布,从而引起地表的暖化和干化,从而减少感热通量。夜晚,高空高速气流的存在,导致了大气边界层流场的稳定,并且在中心位置有较强的横向速度、较大的动量、湿度、温度等垂直分布以及较强的垂向混合,从而导致了早晨较强的地表加热作用。在夜晚及凌晨,风力发电场中,下风区的地面气温较高,而在其他时段则较低。风场在晚上表现出明显的变暖作用,而在白天则表现出明显的冷却作用。在夜晚,由于风扇的尾波作用,引起了对流层的垂向混合的加强,从而引起了表层温度的升高。在日间,大气不稳定,地面温度降低^[3]。风场对上述因素的作用与大气相对温度的衰减速率及混合比例有关,其大小既受到桨高速度的制约,也与风场规模有关。风场对下游18~23km范围内的水、热、气候具有重要的作用。与邻近无风场的地方相比,该风场所处的温度升高

幅度可达到 0.72°C ,且在晚上表现得特别显著。研究结果表明,风场对夜间气温的影响约为 $0.31^{\circ}\text{C}\sim 0.70^{\circ}\text{C}$,且在夏季气温升高幅度大于冬季气温,气温升高幅度最大值发生在夏夜。增温作用的空间格局、强度与风场空间的耦合性在夜间大于白昼,而在夏天大于冬天。在夜晚,由于空气边界层相对于日间来说更加均匀和稀薄。因此,在夜晚时,由于风扇的存在,导致空气中的垂向混合加强,从而导致更强烈的夜晚效果。在强风及最佳功率区间,其风场频数明显高于冬天,而在夜晚则明显强于日间,这将促使风扇对风场进行更多的干扰,从而造成了夏夜最强的暖化作用。研究表明,美国中西部风力发电机的风场,在风速超过2km时,不会对日内的位温梯度产生显著的作用,但在晚上则会出现显著的下降。当桨叶高于尾迹区时,尾迹区的平均气温要高于无尾迹区 1.6°C 。在苏格兰风力发电场的作用下,夜晚气温只升高 0.18°C ,而绝对湿度升高 $0.03\text{g}/\text{m}^3$ 。在WRF模式中加入气动粗糙度作为风场的表征,研究表明,风场所在区域的地表气温波动可达到 $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$,而在大涡模拟中,风场的温升一般在 0.5°C 以下。从这一点可以看出,采用各种参数化方案计算的数值可能会有2~4次的差异。增大表面粗糙度的方式往往会放大感热流量,从而引起更大的温差。然而,两者所产生的尾迹在日、夜间的空间分布却基本相反,与实际情况相符^[4]。他们在大涡模拟中研究了 $10\text{km}\times 10\text{km}$ 范围内的风场对当地流场和下风区(60km)的作用。当大气层结处于稳定状态时,由于风场的作用,使得大气边界层的稳定性发生了变化,从而导致了大气边界层的增大和地面热量的降低;地面温度略有下降。一年一年的气候变迁。然而,当前对风电场整体气候效应的研究缺乏相应的野外实测数据,多采用添加地面粗糙度的方法对风电场进行数值试验,缺乏对地形、环境、风场设备、紊流及风切变等因素的考虑,存在很大的不确定性。

3.2 大规模风电机组对当地风力的作用

在经过该风场后,风场的平均速度下降8%~9%,并且在风场下游5~20km处,风力将逐步恢复至经过风场之前的98%。针对近海风场,6km、8km、11km风场与入风场的风速之比为0.86、0.88、0.90,说明风场的作用范围可扩展到10km之外,且风力的衰减范围可达30~60km。从近海风场向下游60km处,在中间边界层厚处存在着速度下降,在该地区,平均风速下降幅度可达到16%。实测资料表明,内蒙古风力发电系统对风力发电的作用随其周边空气速度的增加而降低。在甘肃河西走廊建设一座规模较大的风力发电厂后,其风场的平均风速降低了 $0.3\text{m}/\text{s}$ ^[5]。风力发电机组内部的速度损耗随外界风速的增加而降低,其损耗与风扇的推力因子密切相关。

本项目拟采用边界层及梯度传输等基本原,基于动量守恒原理,构建基于大气中层结风场的动量耗散和风场下游动量补偿模型,实现对风场尾迹距的准确估算。此尾迹量

为风扇直径、风塔高度、风机列数、风扇动能利用率与地面不平度及风扇排距之间的关系。风场可通过改变下垫面起伏,抽取风场的动能,从而改变大气中的紊流,进而影响地气间的能量和物质交换,从而导致局地气温、近地面温度、降水等。例如,风力等因素的改变,进而对当地的气候产生一定的影响。实测资料及数值试验均显示,风场对表层土壤具有明显的降温或升温作用,且与大气分层结构的稳定性密切相关。

在风电场运营过程中,风机的旋转增加了空气的垂向混合,而在白天,受地表对太阳辐射的影响,地表的高温使得地表的温度呈现下降的趋势。当冷空气位于暖气流上方时,风扇的旋转加速了垂直混合,导致冷空气下行;热气流上升,因而在日间有降温的作用。而在夜晚,受辐射降温的影响,大气结稳态,暖气流位于冷空气之上,同时,随着垂直混合的加强,暖气流下降;冷空气上升,从而使地表温度升高。风力发电是风力发电的重要组成部分,风力发电是风力发电的重要组成部分,风力发电是风力发电的主要动力来源。风场对其内外风向均具有一定的抑制作用,也就是形成了一种“尾迹”效应。然而,通过对全球气候模型进行的仿真,发现风力发电场对全球气候的影响是非常微小的,远比预计的要小得多。

4 结语

陆气之间的物质能量交换直接影响大气环流和气候变化。地表附近的湍流流动是边界层摩擦力、蒸散发和热量输送等共同强迫的结果,太阳辐射被地表吸收后,一方面发射长波辐射,另一方面边界层的湍流运动将热量和水汽向上输送给近地层大气。边界层湍流运动是大气运动的最基本特征,也是陆地表面和近地层大气之间的物质能量和水分交换的主要方式,与大气稳定性和粗糙度扰动等直接相关。地表粗糙度是影响陆气之间物质能量和水分交换的动力因子,影响陆气间物质能量交换过程的强弱。一方面,大规模风力发电机的架设使得地表粗糙度增加、摩擦力增大,影响边界层湍流运动,改变原有陆地表面和近地层大气之间的物质能

量和水分交换的强弱程度和模式,影响大气环流和气候;另一方面,由于风力涡轮机将一部分风动能转化为电能,产生风机尾流效应,改变了边界层中大尺度运动动能的收支模式与时空分布,导致大气各种通量(热量通量和水汽通量等)的变化,对温度、降水和风速等产生影响。风电场对近地面的增温或降温效应与大气的层结稳定性有关,风电场运行期间风力涡轮机转动增强大气垂直混合程度,白天产生冷却效应,夜间有增温效应。由于风机吸收大部分风动能转化为电能,风电场对其内部及下风向区域的风速有衰减效应,即产生尾流效应。这种局地效应可以引起大尺度的大气环流效应。

同时,风力发电还会对生态系统产生一系列的作用:相较其他常规能源,风力发电具有较低的CO₂及污染排放量;但也会造成一些不利的后果,如鸟类撞击风机、破坏动物的栖息地和大型风机的运转发出噪声。虽然风电场造成的损失相对于其它人为因素造成的损失来说是微不足道的,但风电场的选址、实时监测等也是可行的。关于风力发电对植物生长的作用,中国和其他国家的相关研究尚不多见,有待于深入探讨。

参考文献

- [1] 黄辉,徐浩,胡红亮,等.基于AHP-模糊综合评价法的海上风电场施工吊装作业安全风险评价[J].工业安全与环保,2023,49(11):15-19.
- [2] 秦晓辉,倪丰毅,张媛媛,等.基于无功就地平衡的风电场内部分散决策式精细化无功电压控制策略[J/OL].电网技术,2023(11):1-10.
- [3] 叶剑桥,李生虎,齐楠,等.基于拓展等效开环过程的多DFIG风电场振荡模态交互路径分析[J/OL].中国电机工程学报,2023(11):1-13.
- [4] 谢善益,杨强,谢恩彦,等.考虑受端电网运行安全的台风条件下海上风电场协调运行策略[J].浙江电力,2023,42(10):17-24.
- [5] 徐中伟.风电场设计优化及性能评估——以哈萨克斯坦为例[J].价值工程,2023,42(28):18-20.