

利用闲置地块开发分散式风电的风机选址与选型研究

吴晓平

引用本文:

吴晓平. 利用闲置地块开发分散式风电的风机选址与选型研究[J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 46-51.

WU Xiaoping. Research on Wind Turbine Site and Type Selection for Distributed Wind Power Development Based on Idle Land[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(2): 46-51.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

海上漂浮式风机关键技术研究进展

A Review of the Key Technologies for Floating Offshore Wind Turbines

南方能源建设. 2020, 7(1): 8-20 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.002>

山地风电项目开发与管理探讨

Discussion on the Development and Construction Management for Wind Farms in Mountainous Area

南方能源建设. 2018, 5(2): 67-70 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.02.009>

南海海况下半潜浮式风机在故障工况下的动力学响应分析

Dynamic Analysis of Semi-type Floating Offshore Wind Turbine with Failure Conditions Under Metocean Conditions in South China Sea

南方能源建设. 2018, 5(4): 12-20 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.04.002>

山地风电场运输道路设计要点分析

Research on the Road Route Design of the Wind Farm in Mountainous Area

南方能源建设. 2018, 5(z1): 172-176 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.031>

山地风电场风机扇区管理优化分析与探讨

Optimization Analysis and Discussion on Fan Sector Management in Mountain Wind Farm

南方能源建设. 2018, 5(z1): 255-261 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.047>

利用闲置地块开发分散式风电的 风机选址与选型研究

吴晓平[✉]

(国家能源集团国华能源投资有限公司, 广州 510620)

摘要: [目的] 华南区域陆上集中式风电项目已得到广泛开发, 充分利用村镇或厂区周边闲置地块发展分散式风电项目已然兴起, 低风速分散式风电有望为国内风电市场带来新的增量空间。分散式风电机位选址正确与否, 将直接影响电站的经济效益。由于村镇或厂区周边闲置地块一般没有实测风资源数据支持, 这对分散式风电场开发、风机点位选址及风机选型提出了较大的挑战。[方法] 文章提出了先找负荷、再选场址, 通过利用风资源气象资料, 分析选择出最佳风机机位的思路。[结果] 研究表明: 以南方某分散式风电场设计为例, 通过采用文章提出的分散式风电选址与风机选型思路, 充分利用了厂矿周边闲置土地, 得出选用3台100 m高轮毂3.X抗台型风机的优化设计建议。[结论] 所提分散式风电选址与风机选型的思路是正确的, 可为实际应用提供指导。

关键词: 分散式风电; 风机选址; 风机选型; 闲置地块

中图分类号: TK89

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)02-0046-06

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Wind Turbine Site and Type Selection for Distributed Wind Power Development Based on Idle Land

WU Xiaoping[✉]

(CHN Energy Guohua Energy Investment Co., Ltd., Guangzhou 510620, China)

Abstract: [Introduction] Basically, the centralized wind power projects in South China or on land have been developed, and the distributed wind power projects based on making full use of the idle land around villages and towns or factory areas have sprung up. It is expected that the distributed wind power generation which utilizes low-speed wind will bring new incremental space for the domestic wind power market. Whether the location of distributed wind turbine is right or not will directly affect the economic benefit of the power station. Due to the fact that there is no support of wind resource data actually measured on the idle land around villages and towns or factory areas, it is facing a great challenge to develop distributed wind farms or select the site and type of the wind turbine. [Method] This paper put forward the idea of finding the load first, then selecting the site of wind power plant, and to analyze and select the best wind turbine location depending on the meteorological data of wind resources. [Result] The research shows that: taking the design of a distributed wind farm in South China as an example, by adopting the idea of distributed-wind-power plant site selection and wind turbine type selection proposed in this paper, making full use of the idle land around the factory and mine, the optimal design suggestion of selecting to use three sets of 3X anti typhoon type wind turbines with 100-meter-high hub is reached. [Conclusion] The proposed idea of distributed wind power plant location and wind turbine type selection is correct and effective, which can provide guidance for practical operation.

Key words: distributed wind power; wind turbine site selection; wind turbine type selection; idle plot

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

随着气候变化的影响越来越严重,温室效应、大气污染、酸雨等生态环境问题的凸显,为应对气候变化,《巴黎协定》为世界各国设定了一个全球绿色低碳转型的清晰目标。习近平主席在七十五届联合国大会上提出:中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。立足我国国情和发展阶段,贯彻“清洁低碳、安全高效”方针,切实践行“绿水青山就是金山银山”理念,已成为中国当代发展共识。以环保和可再生能源为特性的风电、太阳能、潮汐、地热等新能源越来越受到国家的重视,风力发电作为一种清洁而较为成熟的可再生能源,对于促进地区治理大气污染、调整能源结构、转变经济发展方式具有重要意义^[1-3]。国家能源局提出,未来几年我国的风电发展模式为:“大型风电基地建设为中心,规模化和分布(散)式发展相结合”,即在过去建立大基地融入大电网促进风电规模化发展的基础上,支持风能资源不太丰富的地区,发展低风速风电场,倡导分散式风电开发模式^[6-10]。这样可以避免风电场的过于集中对电网造成的压力,尤其是在中东部及华南区域建设低风速风电场,可以就近为中东部及华南区域电力负荷较大的地区供电,还能缓解电网输电压力。随着2017年5月国家能源局发布《国家能源局关于加快推进分散式接入风电项目建设》^[11]及2018年4月国家能源局发布《分散式风电项目建设暂行管理办法》文件相继出台,给分散式风电开发带来了机遇。

根据最新风资源数据,中东南部及沿海90 m高度,风速5 m/s的区域计算,可以开发利用的资源约有1 TW。而且我国中东南部、华南及沿海区域,经济相对较为发达,社会用电量较大,利用村镇或厂区周边闲置地块发展分散式风电,一是可以解决自身用电,二是可以利用国家政策,降低电价,提高自身收入^[12-14]。但是,一般这些地方对分散式风电项目来说,没有实测风资源数据支持,对分散式风电场开发、风机点位选址及风机选型提出了较大的挑战。如何解决这些问题,减少投资风险,本文提出一些设想供大家探讨。

1 分散式风电的开发

在三北区域地广人稀,地势较为平坦,很多地

方都可以做风电项目,90 m高处风资源基本都是6 m/s以上,而在中南部及沿海区域,大多是丘陵地带,山高林密,地少人多,90 m高处风资源基本是5~6 m/s。因此在这些区域开发低风速分散式风电要依据本区域能源规划或分散式风电规划作为指导,充分了解本区域内电网及负荷情况,做到有的放矢。要对本区域内可能建设分散式风电场资源有一个概括的了解,将区域资源点位优选后分为若干项目,选取最优资源进行有序开发,做到投资效益最优。

低风速分散式风电与集中式风电开发方式不同。集中式风电项目开发是先进行调研选址,确定可开发的地域资源,对拟选定的区域进行宏观选址和可行性研究分析,在拟定开发风电场区域内,根据风电场装机容量,安装1~n座80~120 m测风塔。如地形复杂,则需要多装测风塔,才能取得较为准确的测风数据,根据一整年的测风资料及附近气象站30年资料加以分析,编制可研报告,其目的就是评估风电场装机容量和年发电量,进行经济效益评估,再决定是否投资开发该项目。分散式风电开发不能照搬集中式风电开发模式,对于分散式风电开发而言,建议先对拟建风机区域内的10~110 kV变电站做调研,充分了解拟建区域内变电站接入及负荷情况。为了减少送出线路投资,应以变电站为中心,在半径10 km范围内寻找可开发风场。根据“分散式风电项目建设暂行管理办法”文件要求,分散式风电接入电压等级应为110 kV及以下电压等级消纳,并且不允许反送电,这就要求对拟选定的接入变电站做充分的调研分析,确定出最大的可接入容量。分散式风电要尽量在消纳容量允许范围内安装适宜的风电机组,装机过大会产生限电,影响收益。为了更好的消纳分散式风电的电量,建议尽量寻找区域内高电压等级变电站作为接入点,同时结合项目周边线路情况及接入站点情况确定T或 π 接入方式。

根据当地电网主管部门提供的变电站间隔使用情况,确定分散式装机量,为减少损耗,最远端风机距离接入变电站尽量控制在10 km以内;同时要考虑拟建风电场的水保、地质、地灾、环境、林地(草原、湿地)及运输条件。

低风速分散式风电在项目开发上可以有多种模

式。如可以考虑与地方经济相结合,如与地方政府共同出资建设低风速分散式风电场,地方政府以土地租金入股或以资金入股形式投资低风速分散式风电场,风险共担,利益共享,其优点是在政策上或审批程序上享受一定优惠政策,同时也会加快审批流程。当然,低风速分散式风电场项目投资建设还有许多种开发模式,不局限于一种,关键在于地方政府如何支持项目开发。

2 分散式风机选址与选型

分散式风电项目的开发原则是以靠近负荷、就近消纳为主导,基本执行“先找负荷、再找网、然后找风”原则,要综合考虑是否存在环境、噪音、投资和发电量等限制因素,首先开发距离变电站近的机位,考虑电力消纳因素,在选择变电站原则上就高不就低。由于分散式风电装机规模小,如果达不到一定装机规模,在场址内安装测风塔,会增加设备和人工维护费用的投入。本着投资效益最大化原则,为了降低投入,一般在选定分散式风电场地域基本上没有安装同轮毂高度以上的测风塔,但为了较好地分散式风电场发电水平评估,建议对拟建风场逐个机位点进行资源评估。首先查看机位点附近是否有气象站或可利用的测风塔做参照,对于地势平坦区域,最好距离在5 km以内,对于山峦和起伏较大区域最好在2 km以内,利用其风资源数据与当地距离最近的气象站30~50年气象观测数据进行综合分析评估;同时依据国家气象局《分散式风力发电风能资源评估技术导则(QX/T 308—2015)》、《风电场风能资源评估方法》^[15]结合使用气象大数据和当地气象站30~50年气象观测数据进行风资源分析,并利用中、小尺度数据模拟等方法分析,对拟定风电场(机位)进行模拟分析,对投资收益等进行预估,但得到的结论肯定会比场内安装测风塔的有误差。为了减少误差,利用模拟计算得出的结果与附近风电场(如果有)结果进行对比,进行修正。

由于没有风电场内实测风资源数据,对风资源评估缺少支持数据,对风机机位选择正确位置提出了挑战,因此选址需要更加精细,为确定机位点,建议先去拟选定的风电场现场实地踏勘,对每个风机点位资源情况与投资情况综合考虑,宁缺毋滥。

根据风机布置原则,结合当地气象站风资源数据,运用WASP程序对拟定机位点进行测算,最好先在1:2 000图纸上落点,特别关注风机对附近居民噪音的影响,一定要确定符合国家及地方对环境、环保要求,风机机位要距离居住点最少500 m以上,同时风机应布置在主风向上,分散式风电虽然风机安装机位少,但也需考虑其尾流影响。为保证每台风机的发电量及收益估算等问题,在风机点位选择布置上应充分考虑地形,避开遮挡物;对于复杂地形,特别是山谷地域,还要注意湍流问题。为了减少湍流影响,尽量选择地势平坦的地方建立风机位,同时机型的选择应考虑同轮毂高度可能出现的极大破坏风速进行测算。

在一个垂直断面上,低矮处受地面障碍物影响大,风速小。反之,高处受地面障碍物影响小,风速随着高度增加风速增大。风速是随高度变化通常是指风切变指数,风速随高度变化直接影响风机的轮毂高度和风电场的建设成本。因此,选择最优轮毂高度风机获得最大效益是风电开发商的最终目的。

风切变指数计算公式如下:

$$\frac{V_n}{V_i} = \left(\frac{Z_n}{Z_i}\right)^\alpha \quad (1)$$

式中: α 为风切变指数,与地面粗糙度有关; V_n 为高度 Z_n 处的风速(m/s); V_i 为高度 Z_i 处的风速,(m/s)。

$$\alpha = \frac{\lg(V_n/V_i)}{\lg(Z_n/Z_i)}$$

同等条件下风切变指数 α 大小反映了风速随高度的变化,当 α 值增大,风速也随之加快。一般情况下,当风切变数值 α 接近大于等于0.2时,可适当抬高轮毂高度捕捉更多的风能,产生更多的效益,但不能一味的提高轮毂高度,要计算投入产出效益。由于我国中南部及沿海区域90 m高度年平均风速在5~6 m/s,可充分利用附近风电场或县镇气象站测风数据、气象大数据等资料进行计算风切变数值,从而确定是否可以抬高轮毂高度。

由于分散式风机点位不多,为了选择适宜的机型,预防多年一遇的极大破坏性风速对风机产生的破坏,应利用附近气象站气象大数据或附近风电场多年10 min最大风速数据,对多个机位进行50年一遇的风速计算。通过计算得到50年一遇的极大

风速结果,再依据 IEC 61400-1 对应风速强度表选择出对应型号的风机。

50年一遇风速计算方法如下:

$$V_{50\max} = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[\ln \left(\frac{50}{50-1} \right) \right] \quad (2)$$

风速的年最大值应按照极值 I 型概率分布进行拟合,分布函数为:

$$F(v_{\max}) = e^{-\exp[-\alpha(v_{\max} - u)]} \quad (3)$$

式中: v_{\max} 为风速的年最大值 (m/s); u 为极值 I 型概率分布的位置参数; α 为极值 I 型概率分布的尺度参数。

极值 I 型概率分布的位置参数 u 和极值 I 型概率分布的尺度参数 α 应按下列公式计算:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{\max,i}, \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_{\max,i} - \mu)^2} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{c_1}{\sigma}, u = \mu - \frac{c_2}{\alpha}$$

式中: μ 为实测年最大风速序列均值; σ 为实测年最大风速序列标准差; n 为实测年最大风速序列样本数; c_1 、 c_2 为系数。

表 1 c_1 、 c_2 系数表

Tab. 1 Coefficient value of c_1 and c_2

n	c_1	c_2	n	c_1	c_2
10	0.949 70	0.495 20	60	1.174 65	0.552 08
15	1.020 57	0.518 20	70	1.185 36	0.554 77
20	1.062 83	0.523 55	80	1.193 85	0.556 88
25	1.091 45	0.530 86	90	1.200 73	0.558 60
30	1.112 38	0.536 22	100	1.206 49	0.560 02
35	1.128 47	0.540 34	250	1.242 92	0.568 78
40	1.141 32	0.543 62	500	1.258 80	0.572 40
45	1.151 85	0.546 30	1 000	1.268 51	0.574 50
50	1.160 66	0.548 53	100 000	1.282 55	0.577 22

在没有实测测风数据,确保安全情况下,为提高经济效益,建议采用加长叶片、单机容量大、低风速、高塔筒机型。对于沿海有台风影响的区域,还要考虑抗台机型,同时可以参考附近风电场机型作为依据。必要时,邀请风机厂家参加前期可研,现场踏勘,利用拟选定的风机厂商的气象大数据对拟选用的机型进行定制化设计。分散式风电风力发电机机型容量选择的范围较大,选择机点位受风资源和地形场地的制约较大,同样也会限制分散式风电的发展,只有先做好前期的统筹规划,精选风机

点位,采用合理的送出方式,才能从本质上提高项目收益。如果条件允许,建议使用激光测风仪在机位点进行6个月以上测风,并结合气象大数据确定出更为合理的风机机型。

在风机点位选址上,应注意避开生态敏感区域,特别注重水土保持和施工完成后植被的恢复,使其影响降到最低。由于低风速分散式风电靠近负荷中心,几乎没有弃风限电情况,建议可与当地电网公司协调,建立电网友好型分散式风电场。

3 低风速分散式风电场投资风险

低风速分散式风电虽然装机容量小,投资少,但是存在一定风险性:

1) 风资源不准确风险,由于没有安装测风塔,利用附近气象站或其他资料选择的风机点位,可能会带来发电小时达不到预期要求。这就要求尽可能对所选择机位进行风资源的收集、研究、分析,多次现场踏勘。

2) 管理运维的风险,分散式风电装机容量小,基本上是直接接入当地电网,没有建设升压站,本地没有运维管理人员,风机出现问题往往不能及时处理,造成电量损失。这就需要在区域内开发的分散式风电进行集中式管理运维,建立集控中心,对区域内分散式风电场进行管理运维,出现问题及时处理;还可以利用风机厂家的运维平台,提供远程服务。

3) 建设风险,分散式风电场由于装机容量小,但是涉及规划、征地、环评、水保、地质、地灾、压矿、军事、文物、电网接入等,这些手续一个都不能少,单位千瓦造价相对较高。开发商自己办理往往费人费力,效率不高。为了尽快建成发电,建议委托有经验及资质的第三方 EPC 方式完成,降低风险。同时也洽商所在区域政府对分散式低风速风电项目予以支持,减少或合并手续办理。

4) 投资达不到预期效果风险,分散式风电优点是占用资源少、投资少、见效快。为了减少投资风险,增加效益,开发分散式风电可以结合分散式光伏,使之成为风光互补模式。如在工业园区附近开发分散式风电,可结合开发屋顶光伏,在给园区供电的同时;还可以建立起工业园区微网,保证工业园区自发自用余电上网,在平价(竞价光伏)入

网的时代,即可降低工业园区电价,又可提高收益率。

5) 由于分散式低风速风电场相对投资少,见效快,收入可达20年以上,可结合本地扶贫工程,利用扶贫政策的优惠条件,由“输血式扶贫”向“精准扶贫”转变,一次性投入长期受益。建立扶贫型分散式低风速风电场,这样既可以拉动产业发展,又可以有效利用农村闲置荒地。

6) 风机、塔筒及设备运输存在风险。中南部及沿海区域,人员及村镇较为密集,对设备运输造成一定困难。在运输前,应与运输方共同现场踏勘实际运输线路,提前沟通相关单位,减少运输风险。

4 南方某分散式风电场案例分析

以南方某分散式风电场设计为例,该风电场地处南方沿海区域,利用厂矿周边闲置土地建设 n 台风机。拟定装机15 MW,该风场没有设立测风塔。调研附近5 km内有风电场,同时附近有县市级国家气象站,因此收集附近风电场风电场风资源数据和气象站气象数据。根据中尺度资料统计和分析,计算得到90 m高处年平均风速6.66 m/s,风功率密度 294 W/m^2 。依据《风电场工程风能资源测量与评估技术规范》(NB/T 31147—2018)^[16]标准,该风场风能资源等级为2级。由于该风场地处沿海,每年都有台风来临,根据附近气象站建站以来10 min平均最大风速45 m/s,极大风速60.4 m/s。同时根据附近电厂的台风论证结论,推算出50年一遇3S极大风速为65.4 m/s。根据IEC 61400—1标准,该风场选用风机选用I类以上或专门设计的S型风机。

通过收集到的风资源资料计算得出本风电场50~100 m高度风切变数据为0.016 4,50~100 m之间随着高度增加,风速随高度变化不大。以上考虑最大限度避开尾流影响,充分利用闲置的土地,效益最大化原则。通过优化设计,拟选用3台100 m高轮毂3.X抗台型风机。

5 结 论

虽然国家能源局下发《关于加快推进分散式接入风电项目建设有关要求的通知》,明确支持分散式风电发展,且分散式风电项目不受年度指导规模

限制。但是分散式风电发展仍较为缓慢,主要受制于两方面因素:首先地方政府的引导不够,也使得蹒跚前行的分散式风电缺少有力支撑;其次是我国风电开发起步于“三北”地区,风电开发企业习惯于通过大规模投资进行集中式开发,起到规模效应,而分散式风电项目规模小,投资成效相对较低,企业的积极性不高;另外分散式风电项目还在沿用集中式开发的审批要求和流程,导致效率低下,增加了前期成本。

为了更好地加快推动分散式风电大规模的发展,除了国家在政策、审批流程简化外,同时要地方政府的强有力的支持。近几年,由于风力发电机技术的日趋成熟,低风速风机技术的提高,中东南部及沿海区域低风速风电市场规模在迅速扩大,推动地方区域经济社会高质量发展引擎作用已经显露端倪。有了低风速风机新技术的支持,低风速分散式风电有望为国内风电市场带来新的增量空间,中东南部及沿海区域低风速分散式风电必将成为各风电开发商竞争激烈的新高地。

参考文献:

- [1] 汤东升. 开发绿色风能,奉献幸福能源 [J]. 南方能源建设, 2015,2(3):5.
TANG D S. Development of green wind energy and dedication of happy energy [J]. Southern Energy Construction, 2015,2(3):5.
- [2] 赵建华,连捷. 风电厂选址及最佳风力发电机组选型 [J]. 电力勘测设计,2009(1):67-69.
ZHAO J H, LIAN J. Selection of optimal wind generator units type and the site of wind power plant [J]. Electric Power Survey and Design, 2009(1):67-69.
- [3] 蔡志航. 分布式风电项目破局之路及发展前景分析 [J]. 机电信息,2020(2):127-128.
CAI Z H. Analysis on the road and development prospect of distributed wind power project [J]. Mechanical and Electrical Information, 2020 (2):127-128.
- [4] 童飞. 我国分散式风电发展的探讨 [J]. 低碳世界,2019,9(9):71-72.
TONG F. Discussion on the development of decentralized wind power in China [J]. Low Carbon World, 2019,9(9):71-72.
- [5] 刘雪聪. 福建省分散式风电发展前景讨论 [J]. 能源与环境, 2020(3):5-6.
LIU X C. Discussion on the development prospect of decentralized wind power in Fujian Province [J]. Energy and Environment, 2020(3):5-6.
- [6] 国家能源局. 分散式接入风电项目开发建设指导意见 [EB/

- OL]. (2011-11-17) [2021-03-01]. <https://wenku.baidu.com/view/2c9ef733ee06eff9aef80759.html>.
- National Energy Administration. Guidance on development and construction of distributed access wind power projects [EB/OL]. (2011-11-17) [2021-03-01]. <https://wenku.baidu.com/view/2c9ef733ee06eff9aef80759.html>.
- [7] 练依情,袁智勇,雷金勇,等. 分散式风电接入在不同场景下对配电网的影响[J]. 中国电力,2020,53(4):49-58.
- LIAN Y Q, YUAN Z Y, LEI J Y, et al. Influence of decentralized wind power access on distribution network in different scenarios [J]. China Electric Power, 2020, 53(4): 49-58.
- [8] 刘昊,王玮,崔嘉. 分散式风电多点接入协调优化控制策略[J]. 可再生能源,2020,38(2):218-224.
- LIU H, WANG W, CUI J. Coordinated optimization control strategy for decentralized wind power multi-point access [J]. Renewable Energy, 2020, 38(2): 218-224.
- [9] 翟永杰,李冰,乔弘,等. 分布式风电物联网平台设计与工程实践[J]. 南方能源建设,2017,4(3):23-29.
- ZHAI Y J, LI B, QIAO H, et al. Design and engineering practice of distributed wind power iot platform [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(3): 23-29.
- [10] 王红光,何永安. 关于复杂地形区域分散式风电项目建设的探讨[J]. 能源与节能,2018(2):52-53+80.
- WANG H G, HE Y A. Discussion on decentralized wind power project construction in complex terrain area [J]. Energy and Energy Conservation, 2018(2): 52-53+80.
- [11] 国家能源局. 关于加快推进分散式接入风电项目建设有关要求的通知 [EB/OL]. (2017-05-27) [2021-03-01]. http://zfxxgk.nea.gov.cn/auto87/201706/t20170606_2801.htm.
- National Energy Administration. Notice on accelerating the construction of distributed access wind power projects [EB/OL]. (2017-05-27) [2021-03-01]. http://zfxxgk.nea.gov.cn/auto87/201706/t20170606_2801.htm.
- [12] 李鸿秀,朱瑞兆. 关于风切变指数对轮毂高度影响的探讨 [C]//北京计鹏信息咨询有限公司,中国华地国际服务有限公司,博信华威展览有限公司,丹麦出口协会风能集团. 第五届亚洲风能大会,北京,2008. 北京:北京展览馆,2008.
- LI H X, ZHU R Z. Discussion on the influence of wind shear index on wheel hub height [C]// Beijing Jipeng Information Consulting Co., Ltd., China Huadi International Service Co., Ltd., Bosson Huawai Exhibition Co., Ltd., Danish Export Association Wind Energy Group. The 5th Asian Wind Energy Conference, Beijing, 2008. Beijing: Beijing Exhibition Center, 2008.
- [13] 冯长青,包紫光,王成富. 风电场50年一遇安全风速计算方法的对比分析[J]. 电网与清洁能源,2011,27(2):67-70.
- FENG C Q, BAO Z G, WANG C F. Comparative analysis on calculating methods of safe wind speed occurs once in 50 years for wind farms [J]. Power Grid and Clean Energy, 2011, 27(2): 67-70.
- [14] 杨珺,曾昭强,孙秋野,等. 一种基于模糊层析分析法的分散式风电场选址方法[J]. 中国电力,2015,48(4):151-155.
- YANG J, ZENG Z Q, SUN Q Y, et al. A decentralized wind farm location method based on fuzzy tomography [J]. China Electric Power, 2015, 48(4): 151-155.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 风电场风能资源评估方法:GB/T 18710—2002 [S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Methodology of wind energy resource assessment for wind farm: GB/T18710 — 2002 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.
- [16] 国家能源局. 风电场工程风能资源测量与评估技术规范:NB/T 31147—2018 [S]. 北京:中国水利水电出版社,2018.
- National Energy Administration. Technical code for wind energy resource measurement and assessment of wind power projects: NB/T 31147—2018 [S]. Beijing: China Water Power Press, 2018.

作者简介:



吴晓平

吴晓平(通信作者)

1962-, 男, 河北滦南人, 高级工程师, 硕士, 2005年开始从事风电、光伏等新能源行业, 曾在国华能源投资公司工程建设部招标采购专员、规划发展部项目开发专员, 后调任国华能源投资公司吉林黑龙江公司副总经理, 2017年任国华能源投资公司广东分公司副总经理负责项目开发、建设、生产及安全工作, 2021年调国家能源集团国华能源投资有限公司规划发展部任二级业务经理, 主要从事风电、光伏等新能源行业管理工作 (e-mail) xiaoping.wu@chnenergy.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)