



移动扫码阅读

赵鹰,唐荆. 风电场局部复杂地形风资源工程实例分析[J]. 能源环境保护, 2021, 35(5): 61-67.

ZHAO Ying, TANG Jing. Analysis of wind resources in local complicated terrain of wind farm based on engineering examples[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(5): 61-67.

风电场局部复杂地形风资源工程实例分析

赵 鹰¹, 唐 荆²

(1. 上海电力设计院有限公司, 上海 200025; 2. 上海电气风电集团股份有限公司, 上海 200025)

摘要: 为了提高项目效益或减少项目损失, 基于流场在不同地形影响下的表现, 针对两个实际工程项目, 采用不同模型对比分析了局部复杂地形下的风资源计算结果。结果表明: 对于局部复杂地形, 受不同地形的加速、屏障效应等影响, 风流流场中不同位置流速不再与地形高程正相关, 资源分析需综合考虑地形、测风塔、场址机位位置等因素; 为了更为精确地建立流场计算模型、分析风资源情况并计算场区发电量, 可通过改变模型计算区域大小、补充测风资料、完善地形图等方式进行优化。

关键词: 风资源; 局部复杂地形; 资源评估

中图分类号: X382

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2021)05-0061-07

Analysis of wind resources in local complicated terrain of wind farm based on engineering examples

ZHAO Ying¹, TANG Jing²

(1. Shanghai Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200025, China;

2. Shanghai Electric Wind Power Group Co., Ltd., Shanghai 200025, China)

Abstract: In order to improve project benefits or reduce project losses, the calculation results of wind resources in local complex terrain were compared and analyzed using different models for two actual projects based on the performance of flow field influenced by different terrain. The results showed that due to the acceleration and barrier effect of different terrain, the velocity at different locations of the wind flow field of local complex terrain was no longer positively correlated with the terrain elevation. Terrain, wind tower, site location and other factors should be comprehensively considered for resource analysis. In order to establish the flow field calculation model, analyze the wind resources and calculate the power generation more accurately, it was suggested to change the size of the model calculation area, supplement the wind measurement data and improve the topographic map.

Key Words: Wind resources; Local complex terrain; Resource assessment

0 引 言

随着社会经济的不断发展, 气候也在不断变化, 生态环境保护逐渐被人们所重视。自 2020 年 9 月份提出“30·60 目标”后, 中国开始大力推动以二氧化碳为主的温室气体减排措施, 努力实现二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值, 力争 2060

年前实现碳中和的目标。因此, 必须着力调整能源结构, 大力发展可再生能源, 以实现改善环境、技能减排及地区电力的可持续发展。在过去的 30 年中, 风电在调整能源结构、改善生态环境、推动经济发展等方面都起着不可磨灭的作用^[1-2]。

2020 年 10 月 14 日~10 月 16 日北京国际风能大会(CWP 2020)在北京召开, 四百余家风能企

业的代表一致通过并联合发布了《风能北京宣言》。为实现碳中和的目标,在“十四五”规划中,须为风电设定与碳中和国家战略相适应的发展空间:保证年均新增装机 5 000 万千瓦以上。2025 年后,中国风电年均新增装机容量应不低于 6 000 万千瓦,到 2030 年至少达到 8 亿千瓦,到 2060 年至少达到 30 亿千瓦。

为达到《风能北京宣言》的目标,在“十四五”期间及以后的发展规划中,风电必将不断提高其装机容量,随之而来的是大规模地开发利用,也势必会提升整个行业的技术水平及建设水平^[3-4]。在风电项目的实施中势必会涉及到项目收益率的问题,一个风电项目的收益率决定了项目是否可行。平价时代的到来也对项目的前期开发、中期设计及后期实施提出了更高质量的要求^[5]。在风电场的前期开发及中期设计过程中,对于风电场内风能资源分布的准确评估显得尤为重要,其准确与否直接决定了风电场能否安全运行以及能否获得较高的收益^[6]。

1 仿真模拟

伴随着整个风电行业的快速发展,地形平坦的平原地区已不能满足项目开发者的需求。目前,已开发了越来越多的平地高塔筒风电场、丘陵风电场及山地风电场,后者的复杂地形对研究人员的经验及专业能力提出了更高的要求。

由于风电场流场动力规律较为复杂,而且实验受成本、时间等的限制,运用于工程项目几无可能。因此,基于 CFD 理论的风电场模拟技术已被广泛采用^[7],成为了风资源从业者及研究人员了解项目所在地流场情况、深入分析项目地流场内流体运动规律、进行风机位置优化排布、提高项目效益的重要工具。然而,风电场所在地模型的建立需要风资源从业者及研究人员对流场运动有一定的直观概念,只有充分理解风电场小范围内地形变化对场区流场的影响规律,才能更为准确、高效地建立实用、优质的数值模型,完善流场计算,使模型计算结果更为切实^[8]。

计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, 以下简称 CFD)技术在流场模拟中发挥了重要的作用,其伴随着计算机技术、数值计算技术而发展。CFD 技术的基本思想是:把原先时间域及空间域连续的物理量的场,采用有限个离散点变量值的集合来代替,通过一定的原则和方式建立起

关于这些离散点上场变量之间关系的代数方程组,再求解代数方程组获得场变量的近似值^[9]。用数值方法通过求解 Euler 方程和 N-S 方程模拟流场是计算流体动力学的重要内容之一^[10],其中 Euler 方程组描述无粘流动,N-S 方程组描述粘性流动。常用的 CFD 方法是求解湍流模型封闭的雷诺平均 N-S 方程,即 RANS 方法^[11]。

目前,行业内使用较多的软件主要有 WAsP 及 WT 两款软件,且针对不同的地形情况有不同的运用。首先是采用线性模型计算方法的 WAsP 软件,该软件对于湍流模拟较差,不适用于复杂地形的流场模拟,在以大平地形为主的西北、内蒙地区,WAsP 软件能够较好地进行风电场区域风资源模拟,较为准确地体现出场区风资源情况;而作为复杂地形风电场常用的 Metodyn WT 软件,其通过求解全部的 N-S 方程,可以得到整个场区的流体流动情况,尽量减少复杂场区风资源评估的不确定性,同时也可以通过综合计算场区内多个测风塔数据来提高风资源评估的准确性^[12]。而作为风资源从业者及研究人员,对于现有软件的特性、复杂地形或特殊地形风流流动特性需较为熟悉,才能高效地运用原始输入数据或者有针对性地收集原始资料,从而建立更为准确的模型进行模拟计算,以达到更加准确地评估局部复杂地形下风资源的目的^[12-13]。

2 工程项目概况

本文基于实际工程遇到的特殊地形情况,结合 2 个工程实例,进行复杂地形下软件建模对比计算,从而分析模型建立及原始输入资料对于流场模拟的影响。由于是局部复杂地形下的流场模拟,因此选取目前行业内较为常用且认可度较高的 WT 软件进行建模处理。

工程项目一:场区南北长约 6 km,东西长约 7 km,场区主要为高原山坡坡脚区域,场区南侧紧挨着汛期的河道,海拔为 2 750~2 860 m,场区内无断崖,场址周边地势较为连续,场区南北两侧为山区,场区东北角处存在一处测风塔,测风塔 70 m 高度处平均风速为 5.96 m/s,主风向为 E 及 ESE,布置 17 台 3.0 MW 风力发电机组。

工程项目二:场区南北长约 2.5 km,东西长约 2.0 km,场区主要为高原山坡坡脚区域,海拔为 3 400~3 700 m,场区内无断崖,场址周边地势较为连续,但上风向有较多山峰,场区下风向 2.5 km

处存在一处测风塔,测风塔 90 m 高度处平均风速为 6.08 m/s,主风向为 NW 及 NNW,布置 4 台 3.0 MW 及 4 台 2.0 MW 风力发电机组。

下文中通过对比两个工程实例在实际建模计算中的结果,分析局部地形对于风流流场的影响。

3 建模计算分析

工程项目一场区位置及周边情况如下图 1 所示。

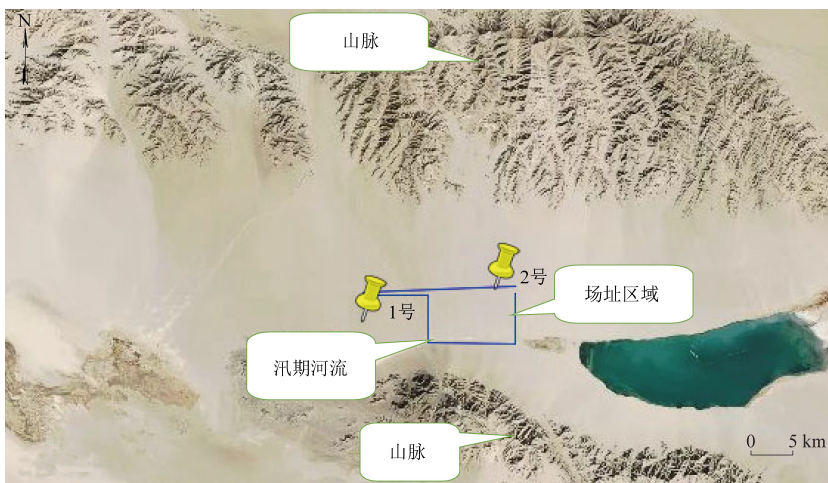


图 1 工程项目一场区位置及周边情况

Fig.1 The location and surrounding conditions of the project one

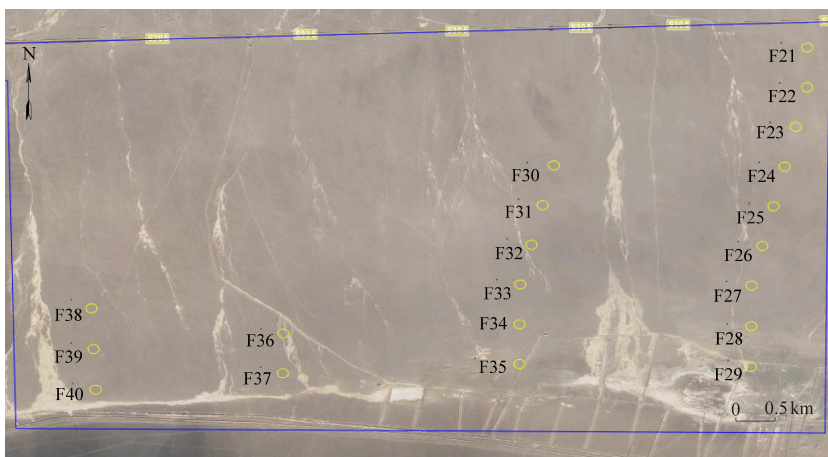


图 2 工程项目一风电机组布置图

Fig.2 Wind turbine location layout of the project one

经内业分析及现场踏勘,并结合以往工程经验及流场流动特性,可以初步判断该工程项目的流场流动具有其特殊性。从整个场区来看,靠近汛期河道区域的机位点处由于地形影响具有一定的加速效应^[14-15]。为了使模型更加切合实际,收集到更为靠近汛期河道的 1#测风塔原始数据。该河道区域风速更高,通过其综合建模计算后,使计算结果更加切合实际流场流动特性,避免单纯通过 2#测风塔进行建模计算引起的误差,造成项目在

工程项目一场区位于汛期河道北侧,地势从北向南逐渐降低,机位点之间的最大高差在 50 m 左右,整个场区存在一定的坡度。项目初期,开发方提供了场区地形图、2#测风塔原始数据、20 台机位点坐标、风力机组动态功率曲线等建模计算的原始资料。其机位布置图如图 2。

进行备选机位点选择时误判,从而影响项目整体收益。两个模型计算结果对比如表 1 和图 3 所示。

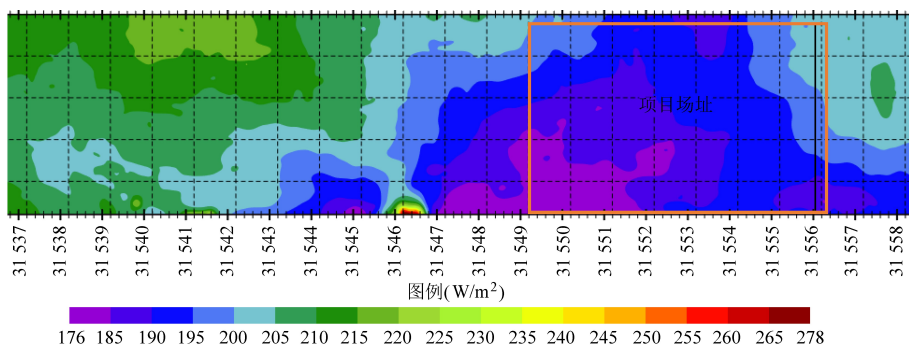
从以上对比结果可以看出,单个测风塔由于所处位置无加速效应,风速较低,会使整场模拟结果偏低,此外,单个机位点两者模拟结果具有较大的差别,单个测风塔对于河道沿线,尤其是场区西南侧的模拟结果较差,使用单个测风塔模拟,势必会造成误判。

工程项目二场区位置及周边情况如图 4 所示。

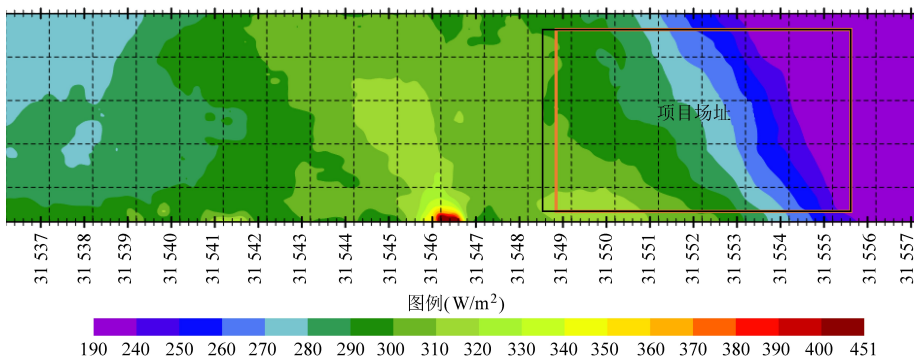
表 1 发电量对比

Table 1 Comparison of power generation

机位编号	海拔高程/m	单机尾流后年发电量/MWh	
		单测风塔	双测风塔
F21	2 953.1	7 426.29	7 454.01
F22	2 944.4	7 396.14	7 427.34
F23	2 933.7	7 423.26	7 461.18
F24	2 926.0	7 467.21	7 516.88
F25	2 918.0	7 491.83	7 561.63
F26	2 909.5	7 513.20	7 610.81
F27	2 902.2	7 524.70	7 654.16
F28	2 893.8	7 470.95	7 645.07
F29	2 886.1	7 437.41	7 760.97
F30	2 927.8	6 893.02	6 950.18
F31	2 919.6	6 904.83	7 001.95
F32	2 911.5	6 917.02	7 065.87
F33	2 903.5	6 930.39	7 137.31
F34	2 894.6	6 920.86	7 188.41
F35	2 889.8	7 036.44	7 393.90
F36	2 901.6	6 626.84	7 499.64
F37	2 894.4	6 623.65	7 517.29
F38	2 910.0	6 424.63	7 957.66
F39	2 902.8	6 558.12	8 131.12
F40	2 898.4	6 710.55	8 414.77



(a) 2#测风塔单独建模计算



(b) 1#及2#测风塔综合建模计算

图 3 不同模型计算结果结果

Fig.3 Calculation results of different models

工程项目二场区位于南侧山脉坡脚处,地势从南向北逐渐降低,机位点之间的最大高差在 30 m 左右,整个场区较为平坦开阔,类似于高原平地区域,无明显流场加速效应。项目初期,开发方提供了场区地形图、1#测风塔原始数据、8 台机位点坐标、风力机组动态功率曲线等建模计算的原始资料。其机位布置图如图 5 所示。

根据项目已有资料分析,场区位置地形较为平坦,位于两侧山脉形成的较为宽阔的冲积平原上,项目场址区域的风向主要为沿着山脉走向。此外,在项目场址区域的东北侧还存在一条相对场区所在地而言狭窄一些的山谷,位于测风塔西北偏北方向。因此,对于测风塔所在位置的风速和风向都存在一定的影响,从而也造成了测风塔



图 4 工程项目二场区位置及周边情况
Fig.4 The location and surrounding conditions of the project two

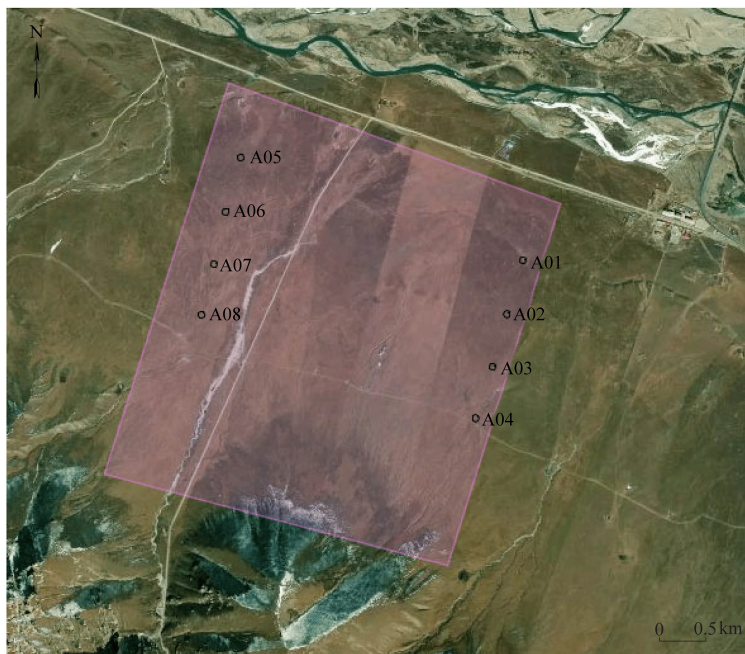


图 5 工程项目二风电机组布置图
Fig.5 Wind turbine layout of the project two

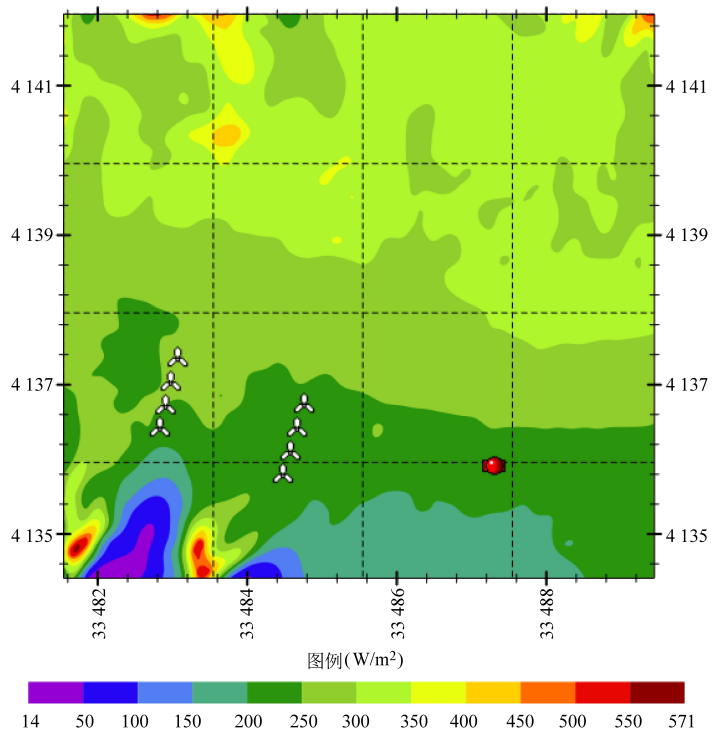
表 2 发电量对比

Table 2 Comparison of power generation

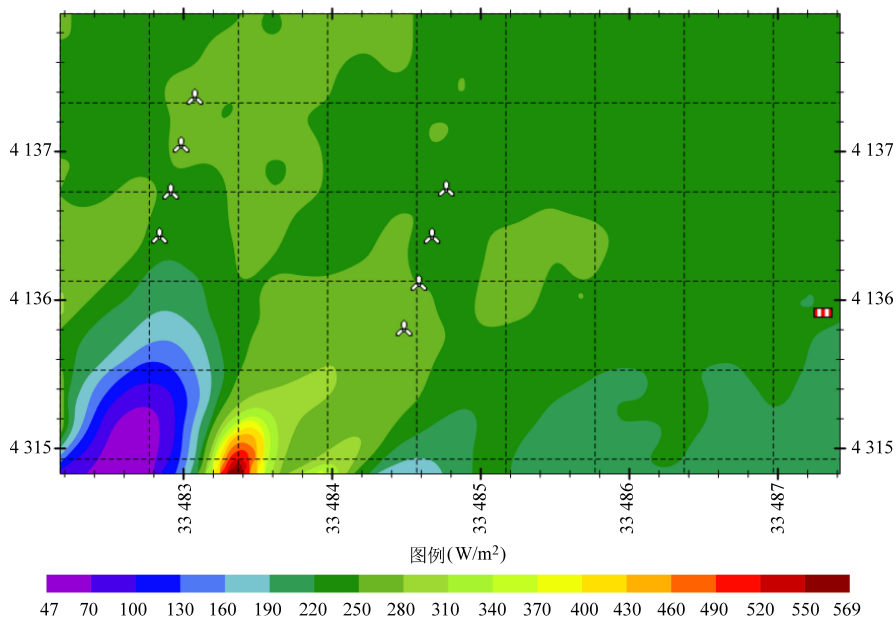
机位编号	海拔高程/m	机型	单机尾流后年发电量/MWh	
			较小计算区域	较大计算区域
A01	3 584.4	3.0	9 784.41	9 130.25
A02	3 596.0	3.0	9 485.31	8 709.85
A05	3 612.0	3.0	10 099.12	9 360.43
A06	3 628.8	3.0	10 167.35	9 462.64
A03	3 618.6	2.0	5 948.02	5 431.30
A04	3 645.4	2.0	6 102.86	5 603.23
A07	3 631.1	2.0	6 182.73	5 722.76
A08	3 645.4	2.0	6 077.92	5 598.45

与场址区域的风速和风向会有所不同。如果在建模计算时所选取的计算区域过小,不能囊括西北侧及西北偏北侧两处地形的影响,势必会造成计算结果偏高,从而对于项目收益造成偏高的估计,在后期运行阶段带来一些损失。分别建立两

个不同计算范围下的模型,对比计算结果如表 2 和图 6 所示,分析两者的计算结果,在相同的折减系数下,较小计算区域模型计算得出的利用小时数比较大计算区域模型计算结果要高估约 8.2%。



(a) 较大计算区域计算结果



(b) 较小计算区域计算结果

图 6 不同模型计算结果

Fig.6 Calculation results of different models

4 结 论

本文以具体工程项目为例,通过对比分析地形对局部流场分布的影响,以及造成的风电场发电量差异,说明了地形情况尤其是局部复杂或特殊地形对于风资源分析的重要性。

(1)当局部地形发生明显变化时(例如开阔地形出现收缩或者分叉等),需考虑地形变化对于流场可能存在的影响,由于不同地形存在的加速、屏障效应等影响,风流流场中不同位置流速不再与地形高程呈现正相关,因此针对地形变化进行定制化的风资源分析以避免模拟失真。

(2)对于局部复杂地形,需综合考虑地形、测风塔、场址机位位置等多方面的因素,可通过改变模型计算区域大小、补充测风资料、完善地形图等方式,更为精确地建立流场计算模型、分析风资源情况、计算场区发电量,进而指导项目开发。

参考文献

- [1] 秦明,张坤,郭靖.中国风电产业发展综述[A].第十二届中国科协年会[C].福州:中国科协,2011:1-7.
- [2] 罗如意,林峰,钱野.世界风电产业发展综述[J].可再生能源,2010,28(2):14-17.
- [3] 徐晖.风电迎接平价时代[J].电器工业,2018(11):13.
- [4] 周晓兰.风电:平价上网步伐加速 助推风电成长[J].能源,2018(7):18.
- [5] 梁振飞.优化项目全价值链管控迎接风电平价时代的挑战[J].风能,2019(4):74-78.
- [6] 袁恩来.平价背景下存量风机综合提效方法综述[J].中国设备工程,2020(7):211-212.
- [7] 刘焕彬,董旭光.风电场风能资源评估综述[A].2007年中国气象学会年会[C].广州:中国气象学会,2007:1087-1091.
- [8] 李永东,许烈,马宏伟.风力发电系统综述[J].电气时代,2012,(3):42-47
- [9] 陈达,张玮.风能利用和研究综述[J].节能技术,2007,25(4):339-343+359.
- [10] 王福军.CFD软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004:1-50.
- [11] 吴江海.大型风力机叶片及翼型优化设计[D].南京:南京航空航天大学,2011:1-20.
- [12] 汪阳.山地风电场资源评估研究[D].长沙:中南大学,2013:8-10.
- [13] 盛科,刘超,杨佳元,等.基于CFD的风电场湍流强度计算研究与应用[A].中国农机工业协会风能设备分会风能产业(2014年第7期)[C].北京:中国农机工业协会风能设备分会,2014.
- [14] 许昌,钟淋涓.风电场规划与设计[M].北京:中国水利水电出版社,2013:1-60.
- [15] GB/T 18710—2002.风电场风能资源评估方法[S].