

# 垂直于主导风向机位布置方法研究

## Research on the Machine Position Arrangement Method Perpendicular to the Dominant Wind Direction

彭茗

Ming Peng

国核电力规划设计研究院有限公司 中国·北京 100089

CNNC Electric Power Planning and Design and Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100089, China

**摘要:** 论文基于风电行业风电场可用区域面积不断减小的发展现状,进行了平原风电场和山地风电场垂直于主导风向机位布置的研究。结合工程实例,通过对风电场地形地貌和风能资源的分析,结合CFD软件,计算出各种布置方案的发电量和尾流折减系数,得到了平原风电场与山地风电场均可适当减小垂直于主导风向的风机间距,从而增加整个风电场发电量的结论。

**Abstract:** Based on the current development situation of the decreasing available area of the wind farms in the wind power industry, this paper studies the layout of the plain wind farm and the mountain wind farm is vertical to the dominant wind direction. Combined with engineering examples, through the analysis of wind farm topography and wind energy resources, combined with CFD software, calculate the layout of various power generation and wake reduction coefficient, obtained the plain wind farm and mountain wind farm can appropriately reduce the fan spacing perpendicular to the dominant wind direction, thus increase the conclusion of the whole wind farm generation.

**关键词:** 风电场; 平原; 山地; 发电量; 机位布置

**Keywords:** wind farm; plain; mountain; power generation; machine layout

**DOI:** 10.12346/peti.v4i4.6982

## 1 引言

无论风力发电场在地形较简单的平原地区,还是地形较复杂的山地地区,风电机组之间的相互影响效应及尾流对整个风电场发电量有较大的影响。随着中国风电行业的进一步发展,风电场可开发区域面积不断变小,各个风机厂家的机型也在朝着大的单机容量、大叶轮直径、高轮毂的方向发展。而陆上风电场越来越多的受到风资源、土地属性等因素的限制,因此如何在有限的空间上更加合理的布置风电机组,从而更加高效的利用风资源成为了如今整个风电行业关注的一个焦点。

关于风电场风力发电机布置,不少学者进行了研究。文献<sup>[1]</sup>用丹麦实验室开发的Riso WAsP商业软件,通过绘制风能资源图谱,较好地得到了风能资源好的位置,进行风电机组排布。Mosetti等将遗传算法、粒子群优化算法等算法

引入到风电场风机的优化布置中<sup>[2]</sup>。张升等<sup>[3]</sup>以某个工程为实例,提出了复杂地形条件下,风电机组布置的一种实用的工程设计方法。通过以上研究发现,风机之间在主导风向上的尾流较大,垂直于主导风向上尾流较小,一般研究主要集中在主导风向上风机间距的确定,在垂直于主导风向的风机布置研究较少,因此论文主要在这一方向上进一步进行研究。

## 2 平原地区的风机布置

按照目前平原风电场一般的风机布置原则,风机布置需要综合考虑机型及风电场的风频分布、风向分布、海拔、地形、地貌、已有设施的位置等影响因素;应该尽量充分利用风能资源,充分利用风电场土地和地形,恰当选择机组之间的行距,尽量减少尾流损失,保证风电机组的运行可靠性和

【作者简介】彭茗(1991-),男,中国湖南常德人,硕士,工程师,从事风资源研究。

风电场发电量的最大化。因此在平原地区沿着主导风向风机间距一般为 5~10 倍风轮直径, 垂直于主导风向风机间距一般为 3~5 倍风轮直径, 风机沿着主导风向交错排布呈现梅花状。如果将垂直于主导风向的间距进一步缩小到 3 倍风轮直径内, 从而加大主导风向的间距, 是否能进一步减少整个风电场的尾流损失, 提高发电量是论文对于平原风电场风机布置的研究。

论文以某个平原风电场为例, 分析在垂直于主导风向上风机布置的优化方法。为了简化计算模型, 减少限制性因素的考虑, 该地区的平原风电场可以按照一个规则的矩形区域进行出来, 该区域长 2.83 km, 宽 1.95 km。根据该风电场的项目风资源特点, 在矩形区域内安装 24 台单机容量为 2.5 MW, 叶轮直径 131 m 的风电机组, 总装机容量 60 MW。从测风资料分析该风电场主导风向为西南风, 按照平原风电场的一般排布原则, 给出了如图 1 所示的风机排布方案, 沿着主导风向采用 5 倍叶轮直径  $D$  的间距, 垂直于主导风向采用 3  $D$  间距。在主导风向上共有 5 排风机。最终得到该排布方案等效满负荷发电小时数为 2244.2 h。由于风电场区域面积小, 整个风场的平均尾流达到 -15.72%。

考虑在主导风向上尾流较大, 因此方案二采用加大主导风向间距, 减小垂直于主导风向的间距。其中主导风向间距为 6.67  $D$ , 垂直于主导风向的间距为 2.4  $D$ , 在主导风向上共有 4 排风机。最终得到该排布方案等效满负荷发电小时数为 2265.2 h。在该方案下, 整个风场的平均尾流达到 -14.95% (见图 2)。

为进一步减小主导风向上尾流的影响, 方案三进一步加大主导风向间距, 减小垂直于主导风向的间距。其中主导风向间距为 10  $D$ , 垂直于主导风向的间距为 1.71  $D$ , 在主导风向上共有 3 排风机。最终得到该排布方案等效满负荷发电小时数为 2265.7 h。在该方案下, 整个风场的平均尾流达到 -14.93% (见图 3)。

从以上结果可知, 方案二与方案三发电量均优于方案

一, 且通过减小垂直于主风向的间距, 增大主导风向的间距, 减小风机在主导风向的排数, 有利于减小风机之间的尾流效应, 提高风场发电量。

### 3 山地风电场的风机布置

山地风电场地形复杂, 起伏大, 海拔差异大, 需要考虑风机位有足够的施工作业面和运行维护的场地, 应尽量选取土方作业量相对少、施工对地形影响小的地点, 尽量能利用已有的道路。因此, 山地风电场的机位数量一般有限, 主要集中在海拔较高的山梁或者个别山顶上, 且由于不同的山梁海拔差异大, 风速的差异也较明显, 风机机位的布置不再局限于平原地区的一般布置原则, 即沿着主导风向风机间距一般为 5~10 倍风轮直径, 垂直于主导风向风机间距一般为 3~5 倍风轮直径。

如图 4 所示, 通过 WT 软件模拟计算得到某个山地风电场区域的风能资源分布图。

通过测风数据分析, 该风电场的主导风向为西北。该区域拟安装 13 台单机容量 2.5 MW, 叶轮直径 121 m 的风电机组。从图中可知, 该风电场区域风资源最好的那个山梁走向为西南—东北, 因此该山梁的走向与主导风向垂直, 在图中工选址出了如图所示共 15 个机位。且在主山梁区域, 由于垂直于主导风向, 因此风机间距较小, F10 与 F11 的间距仅为 163 m, F12 与 F13 的间距为 183 m。该风电场区域风速较小的机位为 F1 与 F3。

由于在主山梁上风机的间距过小, 因此风机间的尾流效应会有所增大。为此, 本报告研究了如下两种排布方案:

方案一, 为减少主山梁上的尾流效应, 去掉中间的 F10 和 F12 两个机位, 取其他机位作为本风电场的主推机位;

方案二, 去掉风速较小的机位 F1 和 F3, 取其他机位作为本风电场的主推机位。

最终得到本风电场的年等效满负荷发电小时数如表 1 所示。

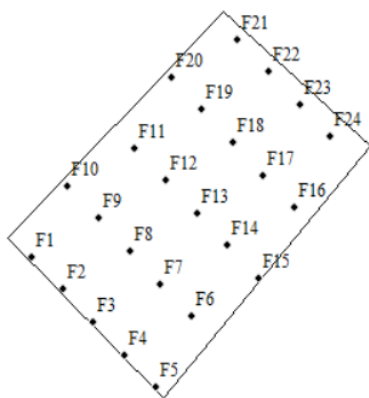


图 1 方案一风机排布

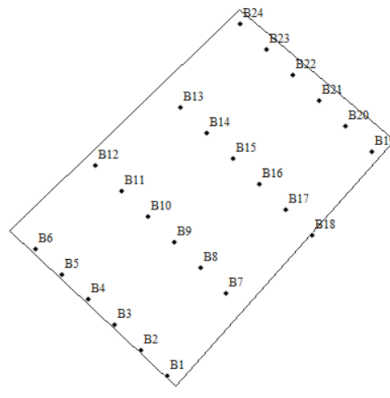


图 2 方案二风机排布

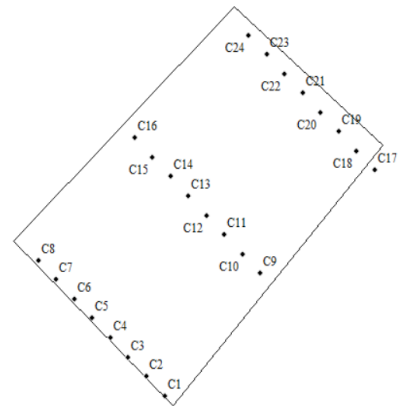


图 3 方案三风机排布

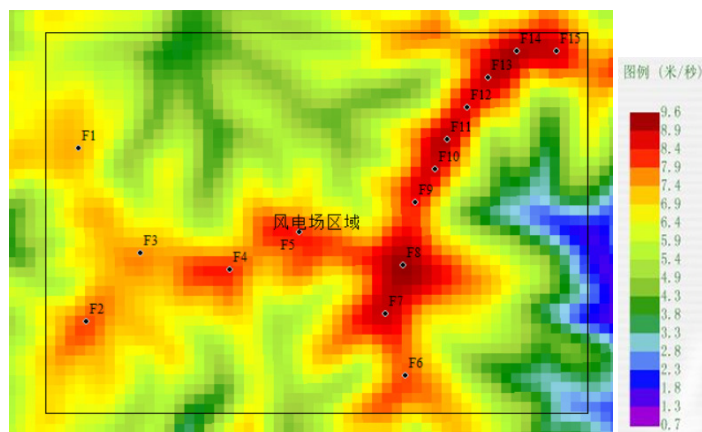


图4 某个山地风电场风速分布图

表1 两个方案发电量和尾流对比表

方案一	等效满负荷发电小时数(h)	尾流折减系数	方案二	等效满负荷发电小时数(h)	尾流折减系数
F1	2821.6	-1.1	F2	3158.0	-0.1
F2	3096.9	-0.6	F4	3183.7	-1.4
F3	2861.6	-4	F5	3104.8	-1.5
F4	3097.2	-2	F6	3019.0	-2.3
F5	3055.8	-2.6	F7	3256.6	-4.3
F6	2974.4	-5.4	F8	3403.7	-3.2
F7	3212.4	-4.7	F9	3025.2	-1.8
F8	3357.5	-3.2	F10	3109.9	-1.4
F9	2982.8	-1.7	F11	3215.2	-1.2
F11	3203.1	-1.4	F12	3124.1	-2.5
F13	3240.1	-1.5	F13	3265.4	-2.6
平均值	3114.9	-2.7		3195.8	-2.6

对比两个方案可知，方案一平均等效满负荷小时数3114.9 h，平均尾流折减系数为-2.7，方案二平均等效满负荷小时数3195.8 h，平均尾流折减系数为-2.6。方案二优于方案一，且方案一去掉F10与F12后，对尾流效应的影响较小。故在风速差异较大的山地风电场区域，在风速较大的山梁上可适当减小风机在垂直于主导风向的间距，增加风机位，有利于整个风电场的发电量提升。

#### 4 结论

论文结合工程实例，进行了垂直于主导风向风机布置的方法研究，最终得到如下结论：①对于风场面积有限的平原风电场风电机组的排布，在主导风向上可适当增加风机间距，减小风机在垂直于主导风向的间距，减小风机在主导风向的排数，从而能减少尾流效应，提升整个风电场的发电量。②对于山地风电场的风机布置，由于受到地形的影响，山地风电场风机位数量有限即各个山顶，各个风机的海拔和风速差异大，在风速较大的山梁上亦可适当减小风机在垂直于主导风向的间距，增加该山梁的风机数量，虽然会增加一些尾流，但有利于整个风电场的发电量提升。③风电场风机在垂直于主导风向的间距由3倍风轮直径减小到1.5倍~2倍风轮直径，尾流效应不会明显增大。

#### 参考文献

- [1] 李泽椿,朱蓉,何晓凤,等.风能资源评估技术方法研究[J].气象学报,2007,65(5):708-717.
- [2] Mosetti G, Poloni C, Diviacco B. Optimization of wind turbine positioning in large wind farms by means of a genetic algorithm[J]. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,1994,51(1):105-106.
- [3] 张升,孙江平.复杂地形条件下的风电场风机机位布置研究[J].山东电力技术,2010(4):23-26.
- [4] 周沈杰.内陆风力发电场风机布置方法探讨[J].华东电力,2007,35(10):96-98.
- [5] Grady S A, Hussaini M Y, Abdullah M M. Placement of Wind Turbines Using Genetic Algorithms[J]. Renewable Energy, 2004,30(2):259-270.
- [6] Mart'in Bilbao E A. GA and PSO Applied to Wind Energy Optimization[J].2009(6):50-59.
- [7] Aytan Ozturk U, Norman B A. Heuristic methods for wind energy conversion system positioning[J].Electric Power Systems Research,2004,70(3):179-185.
- [8] 王永喜.风能评估和微观选址问题研究[J].电力系统装备,2009(8):70-71.
- [9] 乐婉贞,张明明,徐建中.基于粒子群算法的风力机优化布置研究[J].工程热物理学报,2012,33(9):1549-1553.