

崇明风力资源分析及风力机组的选择

解大, 康建洲

(上海交通大学电气工程系, 上海 200240)

摘要: 从风资源分布、岸线利用情况、场址选择等方面讨论了风电场选址问题。通过对上海崇明岛风力资源分布的分析, 以崇明风力实测数据为基础, 采用气象统计方法和玫瑰图对其风资源做详细的统计和对比分析。根据上述对风力资源的分析结果, 对风电场的选址、风力机组的选择及布点进行了设计, 采用 WASP8.1 软件对风机理论年发电量进行了估算, 结果证明了选址和布点的有效性。

关键词: 风力发电; 风电场; 风力资源; 相关分析; 玫瑰图

Analysis of Chongming island wind power and selection of wind turbine unit

XIE Da, KANG Jian-zhou

((Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper discusses the placement of wind farm on the distribution of wind energy, offshore situation and placement selection. On the basis of study on Shanghai wind power resource distribution, detailed statistics and comparison of Chongming island wind power resource is made using measured data via climate data and rose diagram. Issues such as wind farm location, wind turbine unit selection, fan arrangement are also pursued in this paper. Generated energy evaluation is calculated by WASP8.1 package and the results prove the effectiveness of placement selection and fan arrangement.

Key words: wind power; wind farm; wind power resource; relation analysis; rose diagram

中图分类号: TM614 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0065-06

0 引言

上个世纪七十年代以来, 受化石能源日趋枯竭、能源供应安全和保护环境等的驱动, 世界主要发达国家和一些发展中国家都开始重视开发和利用可再生、且无污染的风能资源^[1]。

我国平均风能密度为 100 W/m^2 , 东南沿海及附近岛屿, 新疆、内蒙古和甘肃河西走廊, 东北、西北、华北和青藏等地区属我国的风资源丰富区, 每年风速在 6 m/s 以上的时间近 $4\ 000 \text{ h}$ 左右, 一些地区年平均风速可达 7 m/s 以上, 具有很大的开发利用价值^[2,3]。

上海市是我国最大的经济城市, 随着经济的持续快速发展对能源的需求量也日渐膨大。上海市包括崇明地区均缺乏能源, 既无化石能源, 水力资源也基本为零, 能源的供应完全依靠从外埠输入。上海电网单一的纯火电电源结构难以满足电力系统可持续发展的战略要求。因此, 积极地开发利用本地区的风能等清洁能源已势在必行、大势所趋^[4]。

崇明岛是目前上海乃至长江三角洲范围内唯

一一块比较完整的净土, 生态环境价值是开发崇明岛的最大潜力。该岛地处长江口, 四面环水, 东临东海, 风能资源较为丰富。合理地开发利用崇明岛的风能资源, 不仅可补充崇明岛经济发展所需的电能, 同时由于风力发电是清洁可再生能源, 完全符合崇明岛生态环境与生态活动示范岛区的发展目标。

本文通过对上海风力资源分布的分析, 以崇明风力实测数据为基础, 对其风资源做详细的统计和对比分析。对风电场的选址给出参考意见, 同时对风力机参数选择及布点的给出建议, 并对其发电量进行评估。

1 风电场址选择

1.1 风资源分布分析

1997年以来, 上海市电力公司先后在南汇沿岸、芦潮港沿岸、崇明东滩、崇明北沿和横沙东滩等地建立了多座测风塔。同时, 上海市气象局约有11个气象站(哨)分布于整个上海区域。根据上述二个风资源观测系统的历史观测资料, 进行上海全

区的风资源分布分析，其特点：

(1) 风速等值线基本与江（海）岸线平行，以江（海）岸线为分界线，向水面侧，风速呈逐渐加大；向内陆侧，风速则呈逐渐减小；

(2) 受下垫面粗糙度的影响，东部地区接近东海，下垫面粗糙度小，风速大；西部为大陆腹地，其下垫面粗糙度大，风速小；

(3) 受上海地形的影响，冬季盛行偏北风，上风向的东北部和北部区域岸线风速大，下风向的南部区域岸线风速小；而夏季盛行东南、偏南风，上风向的东南部和南部区域岸线风速大，下风向的北部区域岸线风速小。

崇明岛东西长80 km，南北宽13至18 km。岛上地势平坦，无山岗丘陵，90%以上的自然标高在3.20~4.20 m左右（吴淞标高）。根据其地形特点，崇明岛风资源的分布具体表现为：东部风速大于西部；沿岸风速大于中心；南、北岸线由西向东风速呈逐渐加大趋势。

1.2 岸线利用情况分析

(1) 崇明岛南侧岸线，由东向西的团结沙至绿华乡农业基地：岛上居民基本都居住在崇明岛南半侧范围内。南侧岸线沿岸居民住宅、工厂、码头、大型拆船单位及企事业单位密集，而且随着上海至崇明越江隧道与大桥的建设及岛内与江苏连接大动脉干道的建设，在崇明南侧岸线建设风电场就目前情况分析只能以小规模开发建设为主。

(2) 崇明岛北侧岸线，由东向西的东滩湿地~牛棚港，该区域基本为农场及垦区所辖地区，居民及其住宅寥寥无几，人口及建筑物稀少，地势平坦开阔，是理想的风电场建设区域。

(3) 崇明岛东部岸线，该区域为滩涂湿地保护区。

1.3 场址选择

综合崇明风资源分布特点及岸线利用情况，崇明风电场场址宜选择：北部偏东岸线。

2 崇明风力资源分析

2.1 自然环境概况

上海崇明北部偏东岸线周围环境空旷平坦，地面除部分人工构造物（如堤岸等），无其他自然地面障碍物。风电场的风机可沿当地最外侧二条海堤92、98塘二排布置，利用岸线全长约9 km，其中东旺沙港西侧约8 km，东侧约1 km。92、98塘的顶面高程基本在7.5 m左右，在海堤的外侧（北）为长江入海口北支，海堤的内侧（南）为平坦的冲积平地。地理位置参见图1。

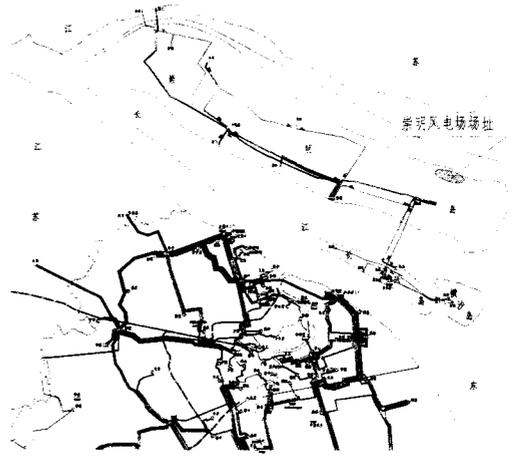


图1 风电场地理位置

Fig.1 Station of wind plant

2.2 崇明岛的风资源观测概况

崇明岛进行风要素观测的部门有气象、海洋、航道等部门。具有较高参考价值有侯家镇气象站和上海市电力公司专门为风力发电设立的测风塔观测系统。1997年至今，上海市电力公司先后于崇明岛东旺沙、团结沙、北沿等地建立了多座测风塔。此外，与崇明岛隔水相望的上海大陆区域范围内建有南汇长江口沿岸、芦潮港杭州湾沿岸等建有多座测风塔。侯家镇气象站和各测风站的位置见图2。

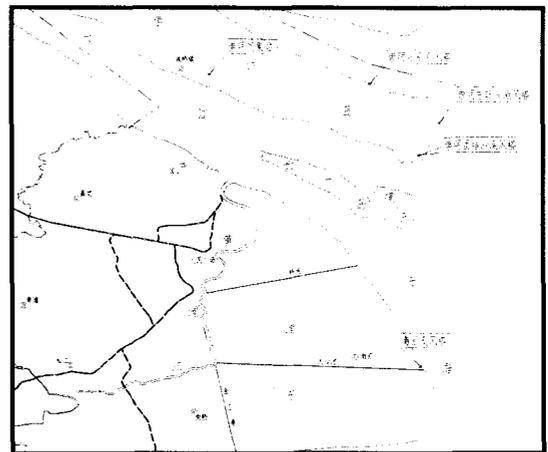


图2 崇明北沿、南汇测风塔和崇明侯家镇气象

Fig.2 Weather of the north of Chongming island, Nanhui and Houjiatown

2.3 参考气象站风速、风向资料的统计分析

(1) 气象站风速历年变化统计

根据崇明侯家镇气象站1975年到2004年风速数据统计，其多年平均风速为3.6 m/s，年平均风速变化过程见图3。

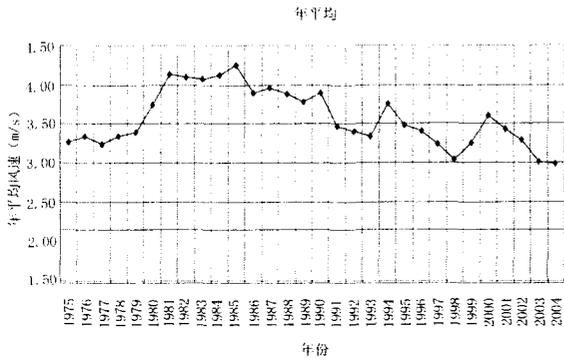


图3 崇明侯家镇气象站年平均风速

Fig.3 Annual average wind speed of Houjia town

从图3中可以看出,崇明侯家镇气象站年平均风速在1979年至1981年期间存在一次较大的突变,结合崇明侯家镇气象站历史变迁情况的分析,1979年至1981年的风速突变显然是由于气象站站址搬迁而造成的。1985年后年平均风速有逐年减小的趋势,1985年到1995年的多年平均风速为3.74 m/s,1990年到2000年的多年平均风速为3.44 m/s,1994年到2004年的多年平均风速为3.2 m/s。多年平均风速持续减小,除了自然原因以外,显然还受到该阶段国民经济高速发展,大量房屋建设的影响。

因此,影响气象站年平均风速变化的因素较多,有气候环境变化的影响;也有周围城市化的提高,地面粗糙度加大的影响;同时,也有气象站观测点周围障碍物变化的影响,如气象站的搬迁,观测点周围障碍物的增加或拆除,导致气象站年平均风速发生变化的不确定性。

(2) 气象站多年月平均风速统计

根据崇明侯家镇气象站多年月平均风速统计资料,其月平均风速变化见图4。

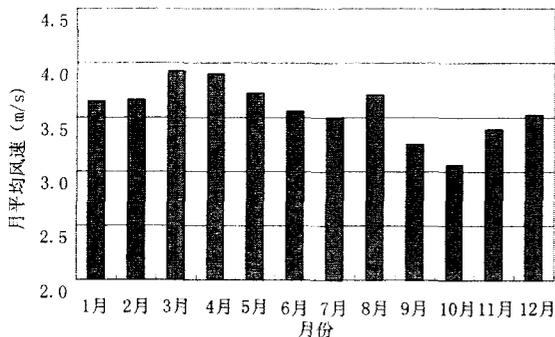


图4 崇明侯家镇气象站多年月平均风速直方图

Fig.4 Block diagram of mensal average wind speed of Houjia town

(3) 气象站多年各风向频率统计

根据崇明侯家镇气象站多年各风向频率统计资料,其风向频率玫瑰图见图5。从图5中可以看出,崇明侯家镇气象站的主导风向为东南风、东北风和西北风,而西风和西南风出现频率极少。多年各风向频率统计结果,体现了上海市季风特点,冬季盛行西北风、偏北风,夏季盛行东南风。

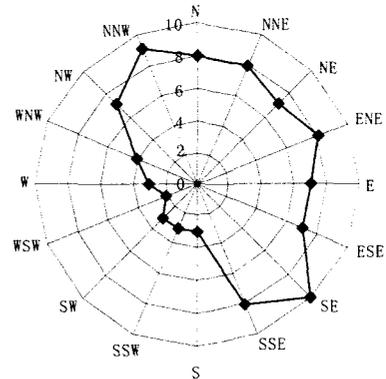


图5 崇明侯家镇气象站多年风向频率玫瑰图

Fig.5 Rose diagram of wind direction frequency of Houjia town

2.4 风资源分析

2.4.1 风资源分析的基本原则和典型年的选择

北部偏东岸线宜建风电场风资源分析采用以崇明北沿测风塔为主,南汇测风塔为辅的基本原则。崇明北沿测风塔的观测记录从2004年11月开始至今,只有半年的风资源系列数据,因此选择包含该半年时段的2004年5月~2005年4月作为典型年。

2.4.2 风资源数据的统计对比分析

根据已掌握的各风资源观测点的风速、风向数据,进行风速、风向的算术统计,和同期数据的对比分析。

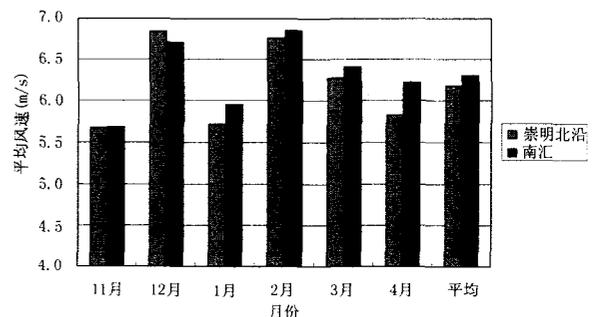


图6 崇明北沿、南汇测风塔50 m高度月平均风速对比直方图

Fig.6 The balance block diagram of mensal average wind speed between the north of Chongming island and Nanhui (50 m high wind speed measurement tower)

(1) 2004年11月~2005年4月期间,崇明北

沿、南汇测风塔 50 m 高度月平均风速对比见图 6, 南汇测风塔 50 m 高度的风速比崇明北沿测风塔 50 m 高度的风速高 0.1 m/s 左右。

(2) 2004 年 11 月~2005 年 4 月期间, 崇明北沿测风塔 70 m 高度的风速比南汇测风塔 50 m 高度的风速大 0.3 m/s 左右。南汇测风塔 50 m 高度、崇明北沿测风塔 70 m 平均风速对比直方图见图 7。

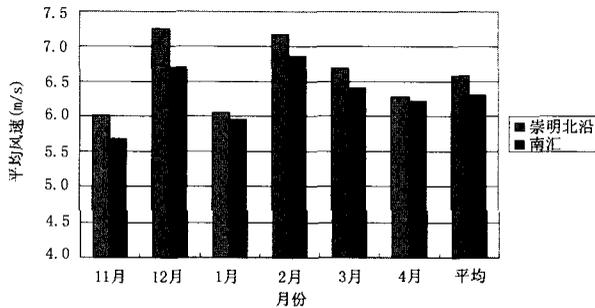


图7 崇明北沿测风塔 70 m, 南汇测风塔 50 m 平均风速直方图
Fig.7 The balance block diagram of mensal average wind speed between the north of Chongming island and Nanhui (70m high wind speed measurement tower in the north of Chongming island and 50m high that in Nanhui)

(3) 2004 年 11 月~2005 年 4 月期间, 崇明北沿测风塔与崇明侯家镇气象站风向频率见图 8, 两者各风向出现频率基本相似。

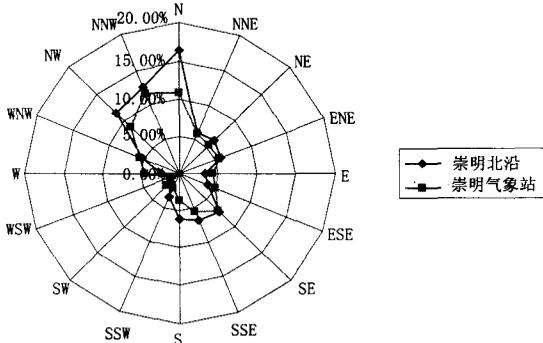


图8 崇明北沿测风塔、崇明侯家镇气象站风向频率对比玫瑰图

Fig.8 The balance rose diagram of wind direction frequency between the north of Chongming and Houjia town

针对上述统计对比分析结果, 结合上海地区的地理和气候环境, 上海属北亚热带季风气候, 整个地区为长江口冲积平原的一部分, 区内无山地丘陵, 地面高程均在 4 m 左右。风电场所在地的崇明北沿测风塔、南汇测风塔和气象站均位于长江口的小范围内的河口平原环境, 相互之间没有任何大型地面障碍物阻隔。理论上, 各风资源观测点的风源

是一致的, 风向也应基本相同。

2.4.3 风资源数据的相关分析

为了进一步分析两座测风塔之间的关系, 同时也分析测风塔与气象站之间的相互关系, 对两座测风塔和气象站之间进行相关分析。

(1) 2004 年 11 月~2005 年 4 月期间, 崇明北沿测风塔 70 m 高度与南汇测风塔 50 m 高度的相关分析。分析结果表明, 除西南等风向由于出现频率极少, 样本容量太少而无法进行相关分析外, 该时期主要风向, 崇明北沿测风塔与南汇测风塔具有良好的相关关系。相关分析成果见表 1。

表1 崇明北沿测风塔与南汇测风塔相关分析 (2004年11月~2005年4月)

Tab.1 The relation analysis for the north of Chongming island and Nanhui (Nov. 2004-Apr. 2005)

风向	出现		崇明北沿 70 m~南汇 50 m		
	次数	频率	a	c	相关系数
全部	4 344	100.00%	0.945 4	0.665 4	0.94
N	714	16.44%	0.932 9	0.188 9	0.91
NNE	260	5.99%	0.856	0.234 2	0.85
NE	270	6.22%	0.955 6	0.210 7	0.82
ENE	253	5.82%	0.992 5	0.319 9	0.85
E	147	3.38%	0.925 9	0.731 8	0.87
ESE	175	4.03%	0.783 8	1.477 8	0.82
SE	314	7.23%	0.859 7	1.192	0.85
SSE	293	6.74%	0.847 6	1.247 2	0.83
S	267	6.15%	0.759 6	1.767 4	0.85
SSW	153	3.52%	0.953 5	0.571	0.81
SW	75	1.73%	...	...	...
WSW	52	1.20%	...	...	...
W	97	2.23%	0.975 8	0.621 1	0.81
WNW	229	5.27%	1.204 4	-0.313 8	0.91
NW	494	11.37%	1.166 8	0.257 9	0.89
NNW	542	12.48%	1.092 8	-0.129 1	0.90

(2) 2004 年 11 月~2005 年 4 月期间, 崇明北沿测风塔 70 M 高度与崇明侯家镇气象站 10 m 高度的相关分析。分析结果表明, 除南、西南等风向由于出现频率极少, 样本容量太少而无法进行相关分析外, 该时期主要风向, 崇明北沿测风塔与崇明侯家镇气象站具有良好的相关关系。相关分析成果见表 2。

(3) 2004 年 5 月~2005 年 4 月期间, 南汇测风塔 50 m 高度与气象站 10 m 高度的相关分析。

析结果表明,除西南风向外,各风向的相关系数基本上在 0.9 以上,说明崇明北沿测风塔与气象站具有良好的相关关系。而西南风向在上海地区出现的频率极小,2004 年 5 月~2005 年 4 月仅占 2.5%,其数值的大小对风资源分析的影响可以忽略不计。相关分析成果见表 3。

表2 崇明北沿测风塔与气象站相关分析(2004年11月~2005年4月)

Tab.2 The relation analysis for wind speed measurement tower and weather station of the north of Chongming island (Nov. 2004-Apr. 2005)

风向			崇明北沿 70m~ 气象站 20m		
风向	出现 次数	出现 频率	a	c	相关系数
全部	4 344		1.206 6	3.639 9	0.98
N	469	10.80%	1.032 8	3.754 4	0.90
NNE	250	5.76%	0.910 4	4.014 7	0.84
NE	236	5.43%	1.233 4	3.744 6	0.90
ENE	234	5.39%	1.193	3.258 3	0.88
E	188	4.33%	0.817 3	4.074	0.86
ESE	213	4.90%	0.861 8	4.267 8	0.83
SE	309	7.11%	0.872 1	4.623 5	0.88
SSE	235	5.41%	1.051 1	3.51	0.85
S	160	3.68%	0.813 9	3.921 7	0.80
SSW	95	2.19%	...	...	...
SW	97	2.23%	...	...	...
WSW	59	1.36%	...	...	...
W	194	4.47%	1.122 5	2.514 2	0.91
WNW	246	5.66%	1.136 6	4.464 5	0.88
NW	389	8.95%	1.331 9	4.578	0.91
NNW	505	11.63%	1.328 5	3.752	0.93

上述几方面的相关分析表明,风电场风资源数据分析用的两座测风塔和气象站之间,无论是东北风、西北风盛行的冬半年,还是东南风盛行的夏半年,或者是一个完整的年份,均具有良好的相关关系。

3 风机选择

3.1 单机容量和机型选择

(1) 根据目前国内外风力发电机组设备制造市

场的情况,国际风电界普遍认为适合陆上风电场的并网型风力发电机组单机容量范围在 600~2 500 kW 之间^[5]。结合场地具体建设条件和上海市风能资源的特点,建议采用 1 500 kW 等级的风力发电机组。

表3 南汇测风塔与气象站相关分析(2004年5月~2005年4月)

Tab.3 The relation analysis for wind speed measurement tower and weather station of Nanhui (May 2004-Apr. 2005)

风向		南汇 50m~气象站 20m			
出现 次数	出现频 率	a	c	相关系数	
全部	8 760	100.00%	0.809 8	0.998	0.96
N	943	10.76%	1.037 3	-0.218 8	0.97
NNE	655	7.48%	0.965 5	0.365 5	0.97
NE	572	6.53%	0.930 7	0.288 6	0.96
ENE	534	6.10%	0.891 4	0.312 5	0.98
E	493	5.63%	0.838 7	0.754	0.96
ESE	626	7.15%	0.734 7	1.251 4	0.89
SE	728	8.31%	0.721 4	1.528 7	0.91
SSE	677	7.73%	0.681 2	1.904 8	0.90
S	679	7.75%	0.583 7	2.131 9	0.93
SSW	303	3.46%	0.609 9	2.051 5	0.81
SW	128	1.46%	.....	.....	.....
WSW	94	1.07%	.....	.....	.....
W	164	1.87%	0.867 6	0.725 5	0.95
WNW	390	4.45%	0.869 8	0.598 2	0.94
NW	645	7.36%	0.952 9	0.244	0.95
NNW	772	8.81%	0.987 9	-0.025 9	0.95

(2) 综合上海各风场风机供货厂家相应机型的轮毂高度,轮毂高度基本上在 60~80 m 范围。根据崇明北沿测风塔 2004 年 5 月 1 日~2005 年 4 月 30 日的观测数据,平均风剪切指数 60~70 m 为 0.15, 50~60 m 为 0.21。从风剪切指数的统计资料可知,60 m 高度以上风速随高度上升而变大的趋势已逐渐变缓,如果风力发电机组的轮毂高度过高,风速提升增加的发电效益难以抵消塔架和基础增加的费用。因此,风机的轮毂高度可定为 65 m。

(3) 根据多年月平均风速统计,风机切入风速宜选定为 4.0 m/s。

3.2 风力发电机组布置

在充分考虑上述各方面条件对风机布置的影响,按风机尾流影响比较适中的原则,应用 WASP 软件对北部偏东岸线宜建风电场场地进行风机微观

选址布置, 电机组可做如下布置:

(1) 在东旺沙闸东侧, 从东旺沙港起, 沿92塘向东约1 100 m的距离, 在92塘内青坎上可布置3台风机, 风机之间的间距约为550 m。

(2) 在东旺沙港东侧, 从东旺沙港起, 沿98塘向东约550 m的距离, 可布置2台风机, 风机之间的间距约为550 m。

(3) 在东旺沙闸西侧, 至北八漊港东侧, 沿98塘可布置14台风机, 风机之间的间距约为520~550 m。

(4) 在东旺沙闸西侧, 至北八漊港东侧, 沿92塘可布置14台风机, 风机之间的间距约为520~550 m。

根据上述风机布置, 风电场全场约9 km, 整个风电场风机基本呈东西方向二排布置。

3.3 风电场年上网电量估算

表4 各风机理论发电量

Tab.4 The theory generation of wind turbines

风机编号	平均风速 (m/s)	理论发电量 /万 kWh	风机编号	平均风速 (m/s)	理论发电量 /万 kWh
1#	6.92	404.4	18#	6.70	369.7
2#	6.89	398.8	19#	6.70	369.7
3#	6.85	392.7	20#	6.70	369.7
4#	6.84	389.9	21#	6.70	369.7
5#	6.83	388.6	22#	6.70	369.6
6#	6.83	387.8	23#	6.70	369.8
7#	6.82	386.5	24#	6.69	369.3
8#	6.80	383.9	25#	6.69	369.5
9#	6.79	382.4	26#	6.70	370.9
10#	6.79	381.6	27#	6.72	373.3
11#	6.78	380.6	28#	6.74	376.1
12#	6.77	379.7	29#	6.77	380.4
13#	6.77	379.6	30#	6.79	383.4
14#	6.77	379.5	31#	6.8	386.2
15#	6.76	377.7	32#	6.83	390.5
16#	6.75	377.0	33#	6.85	394.3
17#	6.7	369.7	平均值	6.78	381.3

根据风资源分析所确定的该地区代表年历时风速、风向系列资料, 结合初步选择的风机机型和风机布置, 分析其供电方式^[5], 并进行风电场年发电量估算。

根据通过检验的风电场风资源计算模型, 利用Wasp8.1 软件, 对风机理论年发电量进行估算, 其年理论发电量为 12 583.8 万 kWh, 平均单机理论年发电量为 381.3 万 kWh。33 台风机的理论年发电量详见表 4。

4 结论

通过对崇明风力实测数据的分析, 以及对其风资源做详细的统计和对比分析后, 对风电场的选址给出参考意见, 并对风机选择及布点给出建议, 同时对其发电量进行评估, 为崇明风电场的后期建设提供理论参考数据。

参考文献

- [1] Dennis Elliott. Assessing The World's Wind Resources [J]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2002, 2(7): 346-347.
- [2] 许洪华, 郭金东, 鄂春良. 世界风电技术发展趋势和我国未来风电发展探讨[J]. 中国风能, 2005, (2): 40-42. XU Hong-hua, GUO Jin-dong, E Chun-liang. The Research on the Development of Worldwide Wind Power Techniques and Its Future Development in our Country[J]. Chinese Wind Energy, 2005(2):40-42.
- [3] 陈通漠, 陈晓清. 内蒙古风电场建设的回顾与思考[J]. 风力发电, 2005, (1): 1-5. CHEN Tong-mo, CHEN Xiao-qing. Review and Discuss on Neimeng Wind Plant[J]. Wind Power, 2005,(1):1-5
- [4] 施鹏飞. 风力发电在中国的现状和前景[J]. 水力发电学报, 1998, (3): 1-14. SHI Peng-fei. The Status of Prospect of Wind Power Department in China[J]. Journal of Hydro Electric Engineering, 1998,(3):1-14.
- [5] 熊晔华. 风电场供电方式的分析[J]. 风力发电, 2001, (2): 29-30. XIONG Ye-hua, The Analysis of Supply Power for Wind Plant[J]. Wind Power, 2001,(2):29-30.

收稿日期: 2008-12-20; 修回日期: 2009-02-25

作者简介:

解大(1969-), 男, 博士, 副教授, 从事电力系统FACTS研究和电力系统仿真; E-mail: xieda@sjtu.edu.cn

康建洲(1977-), 男, 硕士生, 工程师, 从事电力系统设计工作。