

山东昌邑沿海风能资源特征

董旭光^{1,2}, 邱刚, 刘焕彬, 王栋成, 王静, 曹浩

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃兰州 730000; 2. 山东省气候中心, 山东济南 250031; 3. 山东省潍坊市气象局, 山东潍坊 261011)

摘要 运用昌邑北部沿海100 m高度测风铁塔2006年1~12月逐时测风资料, 分析了当地风力资源状况及风的垂直变化特征, 并与昌邑气象站累年风资料进行对比分析; 同时分析了测风塔不同高度风速日、年变化及风向频率的年变化; 计算分析了测风塔不同高度平均风速、有效风功率密度、有效小时数、Weibull双参数及年有效风能等风能资源参数; 估算了目前常用风力发电机年发电量及其随高度的变化情况。结果表明: 该地区风能资源丰富, 具有较高的风电开发潜力。

关键词 测风塔; 平均风速; 有效风功率密度; 发电量

中图分类号 S161.7 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)07-03114-03

Analysis of Wind Energy Resources in Changyi Littoral of Shandong

DONG Xu-guang et al (School of Meteorological Science, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract Using the wind data of 100 m wind tower in northern Changyi littoral from January to December of 2006, the local wind resources and vertical change characteristics of wind were analyzed. And the data were contrasted and analyzed with yearly wind data from Changyi Meteorology Station. Meanwhile, the daily and annual changes of wind speed and the annual changes of wind direction frequency at different height of wind tower were analyzed. And the wind energy parameters of wind tower such as average wind speed, available wind power density, available hours, Weibull double parameter and annual available wind energy and so on at different height of wind tower were calculated and analyzed. The annual generated capacity of common wind generator and its change situations with the height at present were estimated. The analysis results showed that there was very rich wind energy resources and higher potential for the development of wind power in the region.

Key words Wind tower; Average wind speed; Available wind power density; Generated capacity

山东省三面环海, 海岸线长3 024.4 km, 另有海岛296个, 海岸线长688.6 km。地处中国沿海风带上, 冬季多偏北大风, 夏季多南风, 风能资源极其丰富, 开发利用前景十分广阔^[1-4]。山东北部沿海地区多为平坦未利用土地, 适宜风电场的开发建设。由于风的局地特征非常明显, 现有的利用气象台站测风资料进行的风能资源评价远不能满足风能资源评估与风电场的建设。为进一步探查山东沿海风能资源, 2005年6月在昌邑北部下营镇渤海岸边防潮坝扬水站内利用100 m高移动通信铁塔, 开展测风观测, 分析选用该测风塔2006年1~12月测风资料, 初步分析当地风资源状况及风的垂直变化特征。

1 资料与方法

1.1 研究地概况 昌邑位于山东中北部, 渤海莱州湾南侧, 昌邑气象站距莱州湾约30 km, 为国家一般气象站, 始建于1959年1月1日, 1960年3月1日迁至昌邑县城东北角乡村, 距原址直线距离300 m; 1979年1月1日迁至昌邑县城北缘, 距原址直线距离1 km; 于2003年建成自动气象站, 2005年自动气象站资料实现共享, 现地理位置36°52'N, 119°24'E, 海拔高程为8.1 m。

测风塔位于昌邑北部下营镇渤海岸边防潮坝扬水站内, 距海约200 m, 119°27'45"E, 37°06'04"N, 海拔高度2 m。测风塔四周开阔, 无障碍物, 周围都是盐田和海水养殖场, 该地可以很好地代表沿海风资源特征。测风塔塔高100 m, 采用CAWS800-GS梯度监测站测风, 分别在10、20、40、70、100 m高度上观测风向、风速, 10 m高度上加装气温、气压、相对湿度

观测仪。各测量指标、数据采样与处理均符合规范要求。

1.2 测风资料 采用该测风塔2006年1~12月整年逐时10 min平均风观测资料, 观测资料的获取率达到91%, 缺测和错误资料均利用相关性原理进行了订正。由于实测风资源序列仅为1年, 需要分析这些风资料的可用度。因此, 选取距该测风塔最近的昌邑气象站同期测风资料与其做对比分析。昌邑气象站累年(1980~2004年)平均风速为2.6 m/s, 2005、2006年自动气象站测得的平均风速均为2.6 m/s。测风塔测风期间, 昌邑自动气象站的风速与累年平均风速一致, 说明测风塔测风是在年平均风速与常年平均风速较为一致条件下进行的, 测风塔测风时间具有较好的代表性。测风塔逐时风速与同期气象站风速的相关系数为0.826, 测风塔与昌邑气象站逐时风速的相关系数通过信度0.01的显著性检验, 说明测风塔观测资料具有较好的实用性, 能够反映当地实际风资源特征。

1.3 分析方法 依据《风能资源评价技术规定》, 采用目前国内风能资源参数的计算方法, 对于有风自记观测的测站, 可对观测时段内风速序列求平均得到平均风速。

该分析还计算了单位面积上的风能 W 、风能分布比例 R 、平均风功率密度 \bar{W} 。

$$W = \sum_{j=1}^{16} W_j = \sum_{j=1}^{16} \sum_{k=1}^N \frac{1}{2} \rho v_{jk}^3 \quad (1)$$

$$R = W_j / W \quad (2)$$

$$\bar{W} = W / N \quad (3)$$

其中, W_j 为第 j 个风向的风能, $j = 1, 2, \dots, 16$; ρ 为空气密度 (以昌邑累年气象资料计算得到年平均空气密度 $\rho = 1.236 \text{ kg/m}^3$ 计算); N_j 为第 j 个风向的出现小时数; v_{jk} 为第 j 个风向的风速序列; N 为测风总小时数。根据中国目前常用的风机类型启动至关机的有效风速区间统计有效小时数, 有效风速区间一般为4.0~24.0 m/s。计算有效风功率密度、有效小时数、年有效风能这3个指标, 对于风电场的开发利用显得

基金项目 国家发展改革委项目“山东省风能资源精细化普查”; 山东省气候中心科技项目“山东威海区域风能资源精细化评估”。

作者简介 董旭光(1979-), 男, 吉林敦化人, 在读硕士, 工程师, 从事气候应用与环境评价研究。

收稿日期 2008-12-11

尤为重要。

Weibull 双参数分布函数是评价风能资源状况的指标之一,包括形状参数(无量纲) k ,计算公式为:

$$k = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2 / \bar{V}^{-1.086} \right)^{-1} \quad (4)$$

尺度参数(量纲为风速单位) A ,计算公式为:

$$A = \bar{V} (1 + 1/k) \quad (5)$$

2 测风塔观测数据分析

2.1 风速时空分布特征 通过对测风塔测风资料分析得到,测风期间测风塔10、20、40、70、100 m 高度年平均风速分别为4.8、5.5、6.1、6.7、7.0 m/s,风速随高度变化明显。距测风塔最近的昌邑气象站10 m 高度年平均风速仅为2.6 m/s,测

风塔处10 m 高度年平均风速则为4.8 m/s,从海岸向内陆,低层风速迅速减小,这通常与地面粗糙度和距离海岸远近有直接的关系,测风塔处地面粗糙度相对较小,距海岸较近,摩擦作用小,低层风速衰减不明显。

表1 为测风塔在测风期间各高度上逐月平均风速变化情况。从表1 可以看出,该地区各高度月平均风速变化规律一致,均在冬、春季节风速较大,夏、秋季节风速相对较小,其中4 月份平均风速最大,10 m 至100 m 各高度风速分别达到6.6、7.0、7.7、8.3、8.6 m/s;9 月份平均风速最小,10 m 至100 m 各高度风速分别为3.5、4.1、4.4、4.7、4.8 m/s。这与该地区天气环流形势密切相关,冬、春季节多寒流和偏北大风,秋季天气形势较稳定,剧烈变化的天气过程较少。

表1 2006 年测风塔测风期间逐月平均风速变化情况

Table 1 The monthly wind speed changes of wind tower in the measurement period of 2006

高度 m	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2006年
Height	Jan	Feb	Mar	Apr.	May	Jun	Jul	Aug	Sept.	Oct	Nov	Dec	m/s
100	6.1	8.1	8.6	8.6	8.1	6.8	5.8	6.0	4.8	6.2	7.3	7.0	7.0
70	5.8	7.7	8.1	8.3	7.6	6.5	5.6	5.8	4.7	5.9	7.0	6.8	6.7
40	5.2	6.9	7.3	7.7	7.0	6.0	5.4	5.5	4.4	5.4	6.4	6.1	6.1
20	4.5	6.1	6.6	7.0	6.5	5.6	5.1	5.1	4.1	4.8	5.5	5.1	5.5
10	3.6	4.9	5.5	6.6	5.7	5.1	4.7	4.6	3.5	4.2	4.6	4.1	4.8

图1 为测风塔测风期间年风速逐日变化规律。由图1 可以看出,各高度的年风速逐日变化规律并不一致,1 d 中40 m 高度以下变化规律较为一致,夜间风速小,白天风速大,16:00 左右达到最大值,风速日变化振幅均在1.0 m/s 以内,40 m 高度以上白天风速小并在中午为最低,夜间风速大且变化小,风速日变化振幅在1.0 ~1.5 m/s。

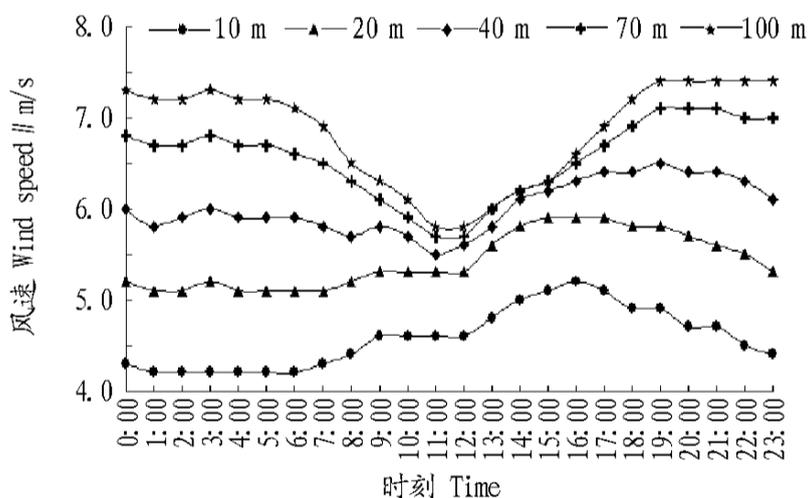


图1 测风塔测风期间年平均风速逐日变化

Fig.1 The daily changes of annual average windspeed of wind tower in the measurement period

风的日变化是由昼夜间大气层结的变化引起的交换系数的日变化,由于白天的交换系数大于夜间,使得昼夜动量

传输的快慢就不同。白天交换系数大,上层动量更快地向下传输,使低层风速增大,而上层风速相应地减小;夜间则相反。白天湍流混合加强,使上下层之间风速包括风向的差异都变小;夜间大气层结多为中性和稳定类,各层风速随时间变化不大。这说明测风塔40 m 至70 m 高度之间存在一个转换高度,使得在较低高度处,风速白天变大,夜间变小,较高处则相反。一般来说,大气的湍流交换在夏季最强,高度可以达到几百米,冬季则只有几十米^[5],该测风塔转换高度在40 m 至70 m 之间,说明冬季风速的影响大于夏季。

2.2 风向时空分布特征 表2 为测风塔测风期间各风向频率。由表2 可知,测风塔测风期间各高度最多风向均为南东南(SSE) 风,频率均超过20%,静风出现次数极少,仅在低层10、20 m 静风频率达到1%。该地区S~SE 方向之间风向出现次数较多、N~NE 方向之间次之。各高度不同风向出现频率较一致,风向随高度的变化不明显。

昌邑累年最多风向同为南东南(SSE) 风,潍坊、东营各气象站累年最多风向多以南东南(SSE) 风为主,山东中北部沿海最多风向一致且出现频率较高,因此,风电场风机安装设计时,应根据当地风向的集中方位来考虑风机的布局及其排列走向。

表2 测风塔测风期间各风向频率

Table 2 The wind direction frequency of wind tower in the measurement period

高度 m	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
Height																	%
100	6	8	8	4	3	3	11	23	6	5	4	3	5	4	4	4	0
70	7	8	7	4	3	3	14	21	5	4	5	3	5	5	5	4	0
40	5	8	7	4	3	3	8	23	9	5	4	3	4	4	5	4	0
20	9	8	6	4	3	3	11	22	6	4	4	3	4	4	4	3	1
10	9	8	7	4	3	3	11	23	6	4	4	3	4	4	3	3	1

3 测风塔风能资源分析

3.1 各高度风速累计小时数和风速频率 测风塔测风期间

未出现大于24.0 m/s 的风速,最大为22.7 m/s。图2 为测风塔测风期间各高度大于某一等级风速值的年平均小时数分

布。由图2可见,该地区风速主要集中在3~14 m/s,10 m 高度风速大于3 m/s 的小时数超过6 000 h,大于8 m/s 的小时数各高度均超过1 000 h,70 m 高度以上超过2 000 h。图3 为测风塔测风期间各高度的风速频率分布。由图3 可见,低层小于4 m/s 风速频率出现较高,越向高层小于4 m/s 风速频率出现频率越小,大风(v 大于8 m/s) 频率明显增加。

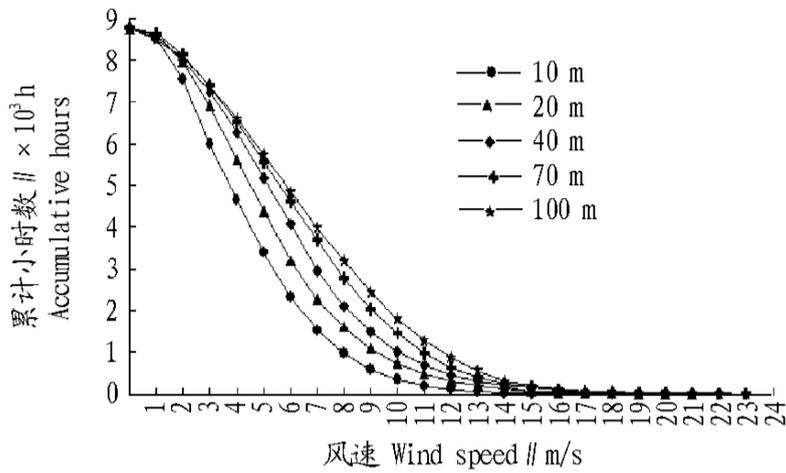


图2 测风塔测风期间各高度大于某一等级风速值的年平均小时数分布

Fig 2 The annual mean hours distribution of the wind speed of wind tower at each height higher than certain grade wind speed in the measurement period

3.2 风能资源参数 表3、表4 分别为测风塔测风期间各高度各风向的风能分布比例和风能资源参数。由表3、表4 可见,测风塔风能主要集中在SE~SSE 风向和WNW~NE 风向上,这几个方向上各高度风能能量占总能量的80% 以上;同时,各高度SE~SSE 风向和N~NE 风向出现频率较高,达到

50% 以上,这2 个方位是该地区风能利用的主要方向。

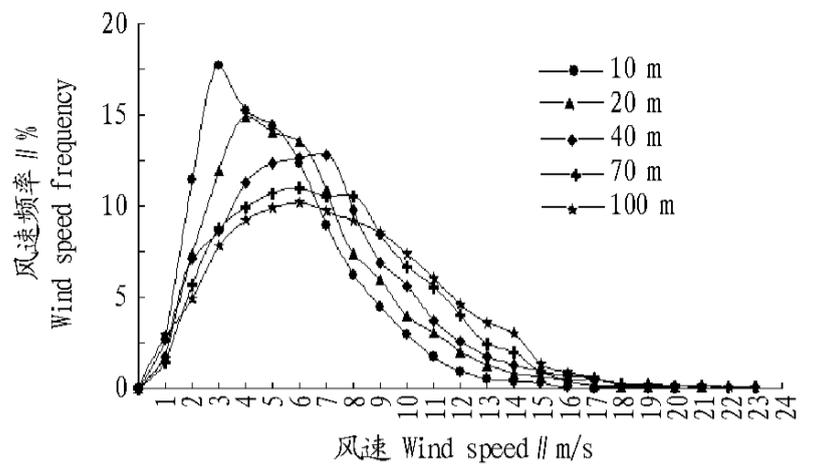


图3 测风塔测风期间各高度的风速频率

Fig 3 The wind speed frequency of wind tower at each height in measurement period

测风塔各风能资源参数随高度变化明显,以70 m 高度为例,其年平均风速达到6.7 m/s,有效小时数为6 511 h,说明该高度处年可利用时间超过74%。考虑到从地面至100 m 高度,空气密度变化较小,以昌邑累年气象资料计算得到年平均空气密度 = 1.236 kg/m³,计算各高度的平均风功率密度、有效风功率密度和年有效风能。因此,根据测风塔1 年的实测资料,计算得到70 m 高度平均风功率密度为333.9 W/m²,有效风功率密度为449.2 W/m²,可利用的年有效风能总量为2 924.7 kW·h/m²,假设每台风力机对有效风能的利用率为 = 0.3^[6],风力机轮毂高70 m,半径30 m,则每台风力机产生的电量为 $Q = r^2 R h = 248.1 \times 10^4 (kW \cdot h/a)$, 为有效风功率密度(W/m²)。

表3 测风塔各高度各风向的风能分布比例

Table 3 The wind energy distribution of wind tower at each height and wind direction

高度 m Height	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
100	6.6	9.7	8.3	2.1	1.4	2.0	7.3	10.8	5.4	2.7	0.8	4.5	10.1	10.5	11.1	6.7
70	7.8	11.7	8.3	2.0	1.3	2.2	7.4	9.7	5.0	2.0	1.1	2.7	7.0	13.5	11.2	7.2
40	7.3	13.0	10.6	2.3	1.7	2.0	5.5	8.6	5.5	3.0	1.1	2.4	6.3	11.3	13.2	6.1
20	9.7	14.8	9.3	2.2	2.1	2.4	7.3	10.4	4.8	1.4	1.6	2.6	4.9	10.8	10.3	5.4
10	10.0	14.7	9.6	2.1	1.8	2.8	7.4	8.9	4.5	1.2	0.4	1.5	5.8	13.3	10.6	5.5

表4 测风塔各高度风能资源参数

Table 4 The wind energy resource parameters of wind tower at each height

高度 m Height	平均风速 m/s Average wind speed	A	k	平均风功率密度 W/m^2 Average wind power density	有效小时数 h Effective hours	有效风功率密度 W/m^2 Effective wind power density	年有效风能总量 kW·h/m ² Annual effective wind energy gross
100	7.0	7.8	2.02	384.9	6 592	511.5	3 371.8
70	6.7	7.5	2.03	333.9	6 511	449.2	2 924.7
40	6.1	6.8	1.93	267.5	6 251	374.9	2 343.5
20	5.5	6.1	1.83	153.2	5 612	239.1	1 341.8
10	4.8	5.2	1.77	126.5	4 647	238.5	1 108.3

4 讨论

山东昌邑沿海测风塔测风期间10、20、40、70、100 m 高度年平均风速分别为4.8、5.5、6.1、6.7、7.0 m/s, 风速随高度变化明显。昌邑气象站同期10 m 高度平均风速为2.6 m/s, 从海岸到内陆不到30 km 的距离10 m 高度平均风速衰减了2.2 m/s, 风速减小迅速。昌邑沿海为风能资源丰富区,且该地区

多为平坦未利用地, 风能资源利用前景非常广阔。

由于山东沿海处于季风区,SE~SSE 风向和WNW~NE 风向是风能集中方位,同时出现频率也较大。春季是昌邑沿海地区风能资源利用的最佳时期,冬季次之,秋季最差。夜间各高度风速变化平缓,风能资源稳定,是一天中风能资源 (下转第3125 页)

2 种方法,分类结果采用了相同的精度评价模板和方法。从分类结果图5~6 和评价结果表1~2 可以看出,面向对象的方法在分类精度上和视觉效果上都略胜一筹。面向像元的传统方法有明显的椒盐噪声,并且因为仅考虑光谱值,城市中的阴影被误分为水体,城市、道路和裸地的光谱值由于差异不大而大量混杂。但是前者在水体的精度上略低,可能是因为在半干旱断流的水体和周边的植被土壤在分割的时候合为一个“混合对象”,导致后面的分类精度有所降低。

表1 面向对象分类法结果精度分析

Table 1 The accuracy analysis on the object-oriented classification results

类别	植被	水体	道路	城镇	裸地	总和
Kinds	Vegetation	Water body	Road	Town	Bare land	Summation
植被	87	8	3	4	1	103
Vegetation						
水体	0	71	0	0	0	71
Water body						
道路	0	7	82	0	0	89
Road						
城镇	5	0	0	81	2	88
Town						
裸地	0	0	0	0	31	31
Bare land						
总和	92	86	85	85	34	382
Summation						

注:总体精度为92.1466%;Kappa系数为0.8997。

Note: The overall accuracy is 92.1466% and Kappa coefficient is 0.8997.

表2 最小距离分类法结果精度分析

Table 2 The accuracy analysis on the classification results by minimum distance method

类别	植被	水体	道路	城镇	裸地	总和
Kinds	Vegetation	Water body	Road	Town	Bare land	Summation
植被	88	5	11	20	8	134
Vegetation						
水体	0	81	0	0	0	81
Water body						
道路	4	0	67	48	4	119
Road						
城镇	0	0	7	16	5	35
Town						
裸地	0	0	0	1	17	13
Bare land						
总和	92	86	85	85	34	382
Summation						

注:总体精度为70.4188%,Kappa系数为0.6183。

Note: The overall accuracy is 70.4188% and Kappa coefficient is 0.6183.

(上接第3116页)

利用的最佳时段。以70 m高度为例,其年平均风速达到6.7 m/s,有效小时数为6511 h,平均风功率密度为333.9 W/m²,有效风功率密度为449.2 W/m²,可利用的年有效风能总量为2924.7 kW·h/m²。70 m高度年有效风能是10 m高度的2倍以上,100 m高度年有效风能则是10 m高度的3倍左右。

昌邑沿海地区具备开发大型风电场的资源条件和开发条件,且离海越近越好。

参考文献

- [1] 钱喜镇. 山东省风能资源开发现状与前景展望[J]. 山东气象,1995(4): 15-17.
- [2] 赵家敏. 山东省风能资源综述[J]. 山东电力高等专科学校学报,1994(4):17-20.

3 结语

(1) 传统的影像分类技术大多着重于对于同一单一像元光谱反应值上的分析,但在高分辨率卫星影像中,有意义的地物类别并非由单一像元构成,因此该研究采用以对象的方式进行分类提取。先进行影像分割,将同质性像元合并得到有意义的多边形影像对象;再根据对象的光谱几何结构信息引入知识库加以分析,从而提高了分类精度,在一定程度上解决了同物异谱、异物同谱等现象;采用模糊分类的方法对类的描述进行不确定性的表达,更便于根据实际情况进行调整,其分类结果更能表达关于世界的不确定性的人类的认知过程;其结果可以用带属性表的多边形方式输出,解决了GIS即插即用及时更新数据库的数据源问题,对于GIS和RS集成研究和具有更深层的意义。

(2) 该研究在分割尺度上需进一步研究,如何科学地确定分割尺度,在突出部分信息和损失另一部分信息中寻找平衡点,以及如何辅以其他专题图等地理信息,有效选择特征组合建立更完备的知识库,进一步提升解译精度。

参考文献

- [1] 宫鹏,黎夏,徐冰. 高分辨率影像解译理论与应用方法中的一些研究问题[J]. 遥感学报,2006,10(1):1-5.
- [2] MARANGOZ A M. Object-oriented image analysis and semantic network for extracting the roads and building fromikonos pansharpered images[Z]. ISPRS, Istanbul,2004.
- [3] BAAIZ M, SCHAPE A. Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks[C]// Proc of 2nd international symposium on operationalization of remote sensing. Enschede ITC,1999.
- [4] 余孔坚,李迪华,李伟. 京杭大运河的完全价值观[J]. 地理科学进展,2008,27(2):1-9.
- [5] HAY GEOFFREY J, BLASCHKE T, MARCEAU J, et al. A comparison of three image-object methods for the multiscale analysis of landscape structure[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,2003,57:327-345.
- [6] 张振勇,王萍,朱鲁,等. 认知技术在高分辨率遥感影像信息提取中的应用[J]. 国土资源信息化,2007(2):15-17.
- [7] WILLHAUCK G, SCHNEIDER T, DE KOK R, et al. Comparison of object-oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos[M]. Amsterdam:ISPRS,2000.
- [8] HARALICK R, SHAPIRO L. Image segmentation techniques[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing,1985,12:100-132.
- [9] 黄慧萍. 面向对象影像分析中的尺度问题研究[D]. 北京:中国科学院遥感应用研究所,2003.
- [3] 王新堂,钱喜镇. 山东即墨风电场风力资源分析[J]. 气象科技,2006,34(6):763-768.
- [4] 孟昭翰,张爱英,王栋成,等. 渤海海峡长岛风特征研究[J]. 太阳能学报,2001,22(1):64-71.
- [5] 赵鸣. 大气边界层动力学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [6] 张洪卫,马立娟,张立清. 东营市风能资源探讨[J]. 陕西气象,2000(6):8-10.
- [7] 吴有训,方四清,林向彪,等. 皖东南地区的再生气象资源与开发利用[J]. 安徽农业科学,2005,33(9):1984,1784.
- [8] 江大纯,汪勇进,苏化敏,等. 安庆沿江河谷地区风能资源分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(29):12838-12840,12849.
- [9] 黄滢,彭俊龙,卢峰本,等. 防城港市沿海风能资源分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(20):8763-8765,8800.
- [10] 高延庆,陶林,宗英飞,等. 朝阳燕山湖区风电场风能资源评价[J]. 安徽农业科学,2007,35(36):11968-11970.
- [11] 隋景跃,张国林. 辽西朝阳地区风资源特点[J]. 安徽农业科学,2008,36(31):13781-13782.