

文章编号:1000-582X(2012)08-080-07

天山北坡经济带风能的区域分布及开发潜力估算

郭洪旭^{1,2}, 赵黛青¹, 黄莹¹, 蔡国田¹

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:利用新疆天山北坡经济带内 27 个气象站 1970—2009 年的气象资料计算了该区域 10 m 高度处的风能参数,应用风能宏观区划标准和克里格插值法在 ArcGIS 软件的支持下对该区风能资源进行区划,进而估算资源量,并筛选出适宜风电场建设的资源可开发区;在此基础上,深入分析可开发区的资源特征,探讨其 70 m 高度处风能资源的开发潜力。结果表明:研究区 10 m 高度处风能资源的理论和技术可开发量分别为 11.08×10^4 MW 和 1.9×10^3 MW,可开发区面积约为 $12\,283$ km²;资源主要分布在东北、西北、中部偏东南和中部偏西北的边界区,内部资源相对贫乏。可开发区风能资源丰富,主要集中在西北风向,春夏交替期是资源最丰富的时期。

关键词:区域分布;开发潜力;风能资源;插值法;天山北坡经济带

中图分类号:TK89

文献标志码:A

Regional distribution and exploitation potential of wind energy in the north-piedmont economic zone of the Tianshan Mountains

GUO Hongxu^{1,2}, ZHAO Daiqing¹, HUANG Ying¹, CAI Guotian¹

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, P. R. China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, P. R. China)

Abstract: The parameters of wind energy resources at 10 meters above the ground are calculated based on the data from 27 meteorological stations in the north-piedmont economic zone of the Tianshan Mountains during 1970—2009. The quantity of the resources is estimated and the area suit for wind farm is chosen by using GIS software with the standard for division of resources and the method of Kriging interpolation. The feature and possibility to exploit the resources at 70 meters above the ground in the area suit for wind farm are analyzed. The area suit for wind farm at 10 meters above the ground is about $12\,283$ km² and the exploitable capacity in theory and practice are 11.08×10^4 MW and 1.9×10^3 MW respectively. The resources mainly locate in the northeast, northwest, southeast-central, and northwest-central of the boundary. The resources are most abundant in the period as spring turns to summer, and mainly concentrate in the northwest direction.

Key words: regional distribution; exploitation potentiality; wind energy; interpolation; north-piedmont economic zone of the Tianshan Mountains

收稿日期:2012-02-07

基金项目:国家青年科学基金资助项目(41001084)

作者简介:郭洪旭(1984-),男,中国科学院博士研究生,主要从事能源政策与能源经济研究,(E-mail)guohx@163.com。

赵黛青(联系人),女,中国科学院研究员,博士生导师,(E-mail)zhaodq@ms.giec.ac.cn。

新疆地区为适宜风电场建设的资源可开发区,半个多世纪以来新疆国民经济取得了举世瞩目的发展,但目前工业化发展水平仍然不高,耗能型产业结构特征明显^[1]。加快可再生能源开发利用,构筑多元化能源结构,对新疆转变经济发展方式、减轻能源和环境压力以及调整自身在新一轮西部大开发中的战略地位具有重要意义^[2]。

风能资源的开发利用是目前新能源领域中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化前景的利用方式^[3]。新疆是我国最重要的风能资源分布区之一^[4],然而受自然条件、资金等因素的限制,目前针对新疆风能资源的研究多围绕个别风电场展开^[5-6],鲜有全省或区域性的评估。全国风能资源储量及分布的研究虽然对新疆资源的开发具有一定指导意义^[7-9],但由于在该地区选取的气象台站过少,气象数据为每日 4 次定时记录,因而研究成果与新疆风能资源的实际特征存在一定偏差;此外,与国际上常用的评估方法相比^[10-12],已有的全国性研究选取的评估指标相对单一,被评估资源的高度与资源实际开发高度差别较大,造成研究成果对区域风电场建设的指导意义大幅削弱。受经济发展条件、电网建设状况以及自然条件等因素限制,新疆区域内并非所有风能资源都具备开发条件^[13]。鉴于此,文中选取在新疆最具开发潜力、拥有多个负荷中心的天山北坡经济带为研究对象,科学评估研究区资源的时空分布,以期新疆风能的合理开发提供科学依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

天山北坡经济带地处亚欧大陆腹部,新疆准噶尔盆地南缘,天山山脉北麓(见图 1)。地理坐标东经 $79^{\circ}53' \sim 92^{\circ}19'$,北纬 $42^{\circ}45' \sim 46^{\circ}45'$,区域总面积 $1.496 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全疆国土面积的 6.56%。研究区是中国西部区域规划重点发展的综合经济带,是国家西部大开发战略中西陇海兰新线经济带的重要组成部分^[14]。该区域自然资源丰富,拥有优越的区位条件和完备的基础设施,是新疆科技、经济和社会发展的重心,也是新疆能源消费的主要区域^[15-16]。

1.2 数据及研究方法

采用新疆天山北坡经济带内 27 个气象观测站 1970—2004 年每日 4 次定时地面气象资料和 2005—2009 年每日逐小时地面气象资料,统计并计算了距地面 10 m 高度处的多个风能参数(见图 1);在此基础上依据我国风能区划标准对研究区 10 m

高度处的风能资源进行宏观区划并绘制空间分布图。由于目前国内外主流兆瓦级大型风电机组的轮毂高度通常在 70 m 上下,因此文中在对 10 m 高度处风能资源进行宏观区划的基础上,对适宜风电场建设的资源可开发区 70 m 高度处的资源做进一步计算和分析,探讨其开发潜力。原始数据由国家气象信息中心及部分地方气象站点共同提供。

1.2.1 10 m 高度处风能资源各项参数的计算方法

为表征风能资源的大小,统计了 10 m 高度处的全年起风时数 N 、年有效风力时数 N_e (有效风区间: $3 \sim 25 \text{ m/s}$)、年平均风速(\bar{V})等参数,在此基础上计算了 10 m 高度处单位面积的全年风能(W)、有效风能(W_e)、平均风功率密度($\bar{\omega}$)、有效风功率密度($\bar{\omega}_e$)、资源理论可开发量(E)、资源技术可开发量(E_u)等参数,公式如下^[8,17-18]:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{k=1}^n v_k}{N}, \quad (1)$$

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

$$\bar{\omega} = \frac{W}{N}, \quad (3)$$

$$\bar{\omega}_e = \frac{W_e}{N_e}, \quad (4)$$

$$E = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^i S_k W_k, \quad (5)$$

$$E_u = 7.85 \times 10^{-4} \sum_{k=1}^i S_k W_k, \quad (6)$$

式中: v_k 为风速序列; j 为 16 个风向; W_j 为 j 风向的风能; ρ 为空气密度(1.225 kg/m^3), n_j 为 j 风向全年起风时数; v_{jk} 为 j 风向的风速序列, $v \geq 0.1 \text{ m/s}$ 。 W_e 的计算方法与 W 相同, $3 \text{ m/s} \leq v \leq 25 \text{ m/s}$; i 为风功率密度等级数; S_k 为风功率密度分布图中相邻等值线间的面积; W_k 为相邻等值线上风功率密度的均值。式(6)中, $W_k \geq 150 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ 。

1.2.2 70 m 高度处风能资源各项参数的计算方法

风速沿高度呈指数分布,不同高度的风速可通过风剪指数和已知高度的风速求得^[17]:

$$V_h = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\delta}. \quad (7)$$

在 10 m 高风资料的基础上计算了资源可开发区 70 m 高的风速 V_h ,风向以 10 m 高度处相同处理, N 、 N_e 根据风速计算结果重新统计,式中 V_0 为 10 m 高度处的风速, $h = 70 \text{ m}$, $h_0 = 10 \text{ m}$; δ 为风剪指数,其值主要受机组安装位置的地形地貌影响,在没有具体数据的情况下,一般按 $\delta = 1/7$ 计算^[5],由

于研究区覆盖面积广,各站点多个高度的数据难以获取,因而风剪指数以经验值处理;在此基础上计算

资源可开发区 70 m 高度处的 \bar{V} 、 W 、 W_e 、 $\bar{\omega}$ 、 $\bar{\omega}_e$ 等参数。

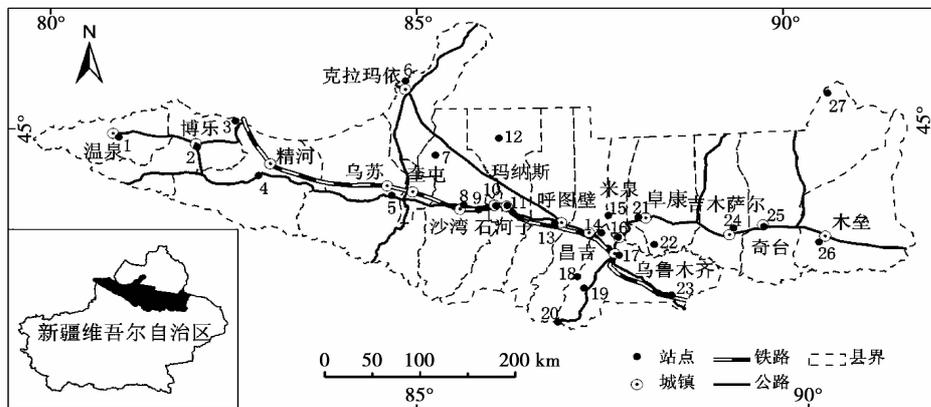


图 1 研究区概况及气象站点分布图

1.2.3 风能资源的空间化方法

气象站间距一般为 30~80 km,密集区只能达到 10~30 km,要获得空间分辨率为 1 km×1 km 的风能参数,须进行空间推算^[19]。计算出各地 10 m 高有效风功率密度($\bar{\omega}_e$)后,应用宏观风能区划标准结合离散点克里格插值法^[20-21],在 ArcGIS 9.2 软件的支持下对 $\bar{\omega}_e$ 进行表征,绘制了研究区 1 km×1 km 网格上的资源分布图并估算各类资源的储量和面积。

风玫瑰图是从一圆上引出 16 条射线用以代表 16 个风向,每条线的长度与此方向的风频成正比^[22]。在计算可开发区 70 m 高风能时,分别计算了 16 个风向的全年有效风能,并以此绘制风玫瑰

图,射线长度与该方向的有效风能成正比。

2 结果与分析

2.1 10 m 高度处风能资源的特征及区域分布

2.1.1 10 m 高度处风能资源的基本参数

表 1 为研究区 10 m 高风能资源的基本参数,27 个气象站点以年有效风能大小依次排列。阿拉山口和达坂城是研究区资源最丰富的地区,年有效风能大于 2 000 kW·h/m²,平均风速大于 5 m/s,有效起风时数约 6 000 h;克拉玛依、北塔山和木垒其次。天山大西沟、奇台、天池及乌鲁木齐有效起风时数较大,但年有效风能和平均风速较小。

表 1 各站点 10 m 高度处的风能资源参数

站点	年有效风能/ (kW·h·m ⁻²)	有效起 风时数/h	年平均风速/ (m·s ⁻¹)	站点	年有效风能/ (kW·h·m ⁻²)	有效起 风时数/h	年平均风速/ (m·s ⁻¹)
阿拉山口	2 330.2	5 968	5.30	吉木萨尔	89.2	1 352	1.95
达坂城	2 112.3	6 325	5.55	玛纳斯	82.4	1 686	2.53
克拉玛依	578.7	3 539	3.28	乌苏	79.0	2 194	2.26
北塔山	568.2	3 747	3.45	小渠子	67.8	1 474	2.43
木垒	435.9	5 321	3.48	莫索湾	67.0	1 366	1.90
天山大西沟	314.7	3 494	3.85	南山	65.1	2 194	2.21
奇台	225.2	4 761	2.94	精河	58.8	936	1.76
天池	224.7	4 010	3.01	米泉	58.3	1 499	2.10
乌鲁木齐	194.6	3 106	2.56	乌兰乌苏	55.4	1 201	2.07
博乐市	147.6	1 264	2.74	昌吉	51.9	1 338	1.99
温泉	131.0	1 944	2.17	石河子	46.8	1 101	1.76
呼图壁	125.1	2 362	2.27	沙湾	40.6	933	2.20
蔡家湖	96.4	1 706	2.22	炮台	33.8	887	2.09
阜康	95.9	1 842	2.32				

2.1.2 10 m 高度处风能资源的区域分布

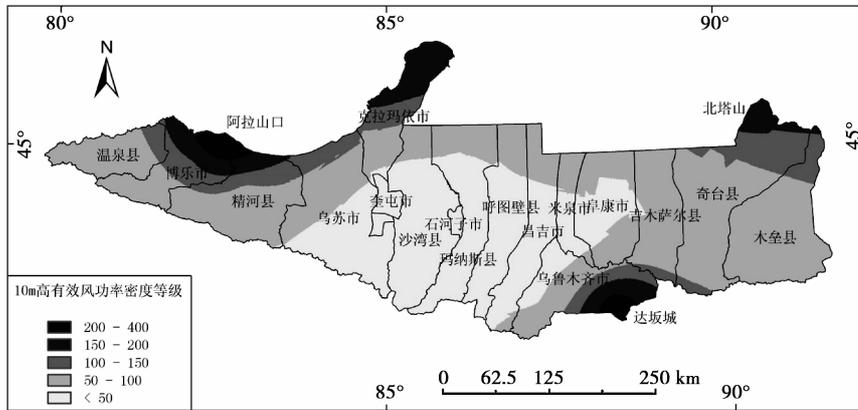
有效风功率密度是评价风能资源优劣的重要标准,通常以 4 级标准对其进行宏观区划(见表 2)^[17]。依据国家 GB/T18711—2002 风电场风能资源评估标准,10 m 高度处平均有效风能密度大于 150 W/m² 的地区为适宜风电场建设的资源可开发区,因而宏观区划中丰富区和较丰富区皆属资源可开发区。

如图 2 所示,研究区风能资源主要分布在东北、西北、中部偏东南和中部偏西北靠近研究区边界的地区,中部地区资源相对贫乏。4 个资源富集中心

分别为:博尔塔拉蒙古自治州的阿拉山口、乌鲁木齐市的达坂城、克拉玛依市、奇台县的北塔山。

表 2 宏观风能区划指标

区划	10 m 高有效风功率密度/(W·m ⁻²)
丰富区	>200
较丰富区	150~200
可利用区	50~150
贫乏区	<50



注:阿拉山口、达坂城、北塔山为站点名称

图 2 10 m 高度处风能资源宏观区划

2.1.3 10 m 高度处风能资源的储量及分布面积

资源可利用区为研究区的主要构成部分(见表 3),资源丰富区、较丰富区的面积之和,即适宜电场建设的可开发区面积约为 12 283 km²;全区资源理论、技术可开发量分别为 11.08×10⁴ MW 和 1.9×10³ MW。

表 3 10 m 高度处各类资源的储量及分布面积

	总量	丰富区	较丰富区	可利用区	贫乏区
面积/km ²	149 594	2 191	10 092	87 986	49 325
理论可开 发量/MW	11.08× 10 ⁴	6.57× 10 ³	1.77× 10 ⁴	7.42× 10 ⁴	1.23× 10 ⁴
技术可开 发量/MW	1.9× 10 ³	5.16× 10 ²	1.39× 10 ³	—	—

2.2 可开发区 70 m 高度处风能资源的特征

对研究区 10 m 高度处风能资源特征的分析主要探讨了该地区资源的区域分布,并得到各类资源的储量及分布面积,为使研究成果对现代风电场的建设更具参考意义,文中进一步分析了适宜电场建设的资源可开发区 70 m 高度处(主流兆瓦级大型风

机的轮毂高度)资源的特征。

可开发区资源丰富,散布在 4 个典型的区域,其资源的季节和方向分布基本能代表研究区的整体状况,对可开发区资源的深入研究不但对风电场的建设具有重要意义,同时能加深对研究区资源状况的整体认识。

2.2.1 70 m 高度处风能资源的基本参数

可开发区 70 m 高各风能参数如表 4 所示。阿拉山口和达坂城年有效风能约 5 000 kW·h/m²,年有效风功率密度为 750 W/m²,年均风速大于 7 m/s。克拉玛依和北塔山年有效风能大于 1 000 kW·h/m²,年有效风功率密度约为 250 W/m²,年均风速大于 4 m/s。

表 4 可开发区 70 m 高度处的风能资源参数

站点	年有效风能/ (kW·h·m ⁻²)	有效风功率密度/ (W·m ⁻²)	年均风速/ (m·s ⁻¹)
阿拉山口	5 377.43	773.95	7.00
达坂城	4 870.15	748.68	7.33
克拉玛依	1 346.59	274.25	4.33
北塔山	1 142.92	232.32	4.64

比较资源可开发区 70 m 与 10 m 高度处的资源参数可以发现,70 m 高度处年有效风能增加了 1 倍以上,年平均风速也有大幅增加;阿拉山口和达坂城有效风功率密度也增加了 1 倍以上,克拉玛依和北塔山的风功率密度增幅稍小。

2.2.2 70 m 高度处风能资源的季节分布

阿拉山口、达坂城、克拉玛依 3 地区的峰值均在 4 月;北塔山的峰值出现在 6 月。阿拉山口和达坂城的全年有效风能大、连续性强,阿拉山口 3~11 月有效风能基本维持在 400 kW·h/m² 以上,峰值达

847.47 kW·h/m²,12~2 月资源相对较少,但依然为 200 kW·h/m² 左右。达坂城 11~6 月有效风能在 300 kW·h/m² 以上,峰值为 681.03 kW·h/m²,7~10 月资源量稳定,在 250 kW·h/m² 左右。克拉玛依的有效风能随季节波动相对较强,3~10 月保持在 100 kW·h/m² 以上,峰值为 263.32 kW·h/m²,11~2 月在 50 kW·h/m² 左右;北塔山 4~6 月资源最丰富,有效风能维持在 170 kW·h/m² 以上,自 7 月起逐渐减小,7~9 月维持在 100 kW·h/m² 以上,其余各月低于 100 kW·h/m²(见图 3)。

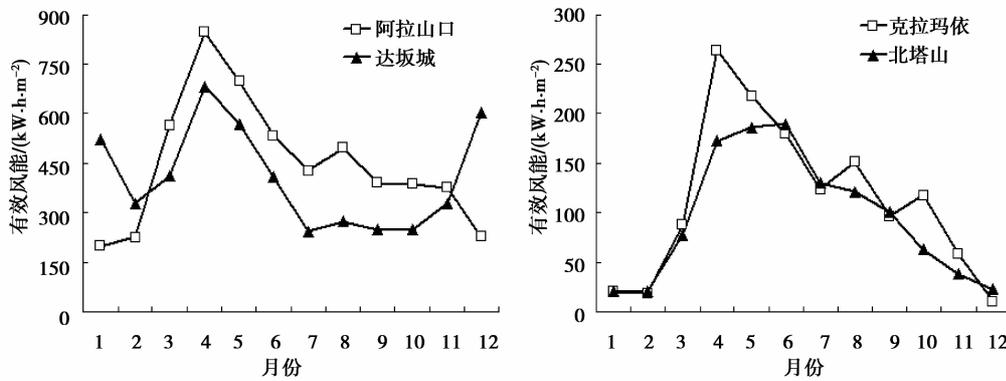


图 3 资源可开发区 70 m 高度处风能的季节分布

2.2.3 70 m 高度处风能资源的方向分布

可开发区资源主要集中在西北方向,达坂城和北塔山在东南向也有部分资源(见图 4)。阿拉山口盛行风为 NW、NNW、N,3 个风向的年有效风能之和近 5 000 kW·h/m²,占全年的 90% 以上。达坂城盛行风为 WNW、W、SE,3 个风向的年有效风能

之和约 3 500 kW·h/m²,占全年的 75% 以上。克拉玛依和北塔山的主导风向均为 NW、WNW、W,两地 NW、WNW、W 风向的有效风能之和分别是全年的 83% 和 54%。北塔山的资源较分散,除盛行风向外,E、SSE、NNW 方向各有约 5% 的资源。

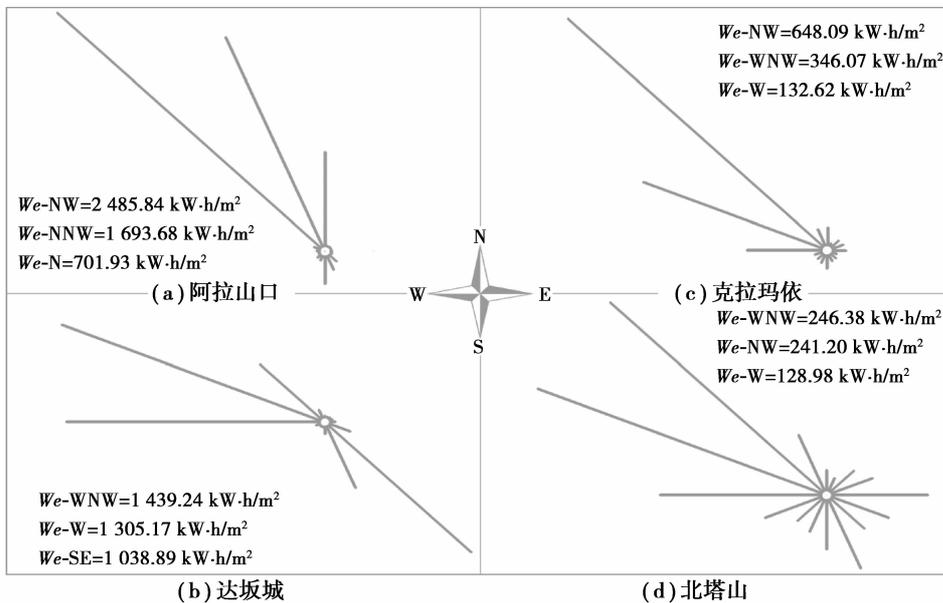


图 4 资源可开发区 70 m 高度处全年有效风能的方向分布

2.2.4 70 m 高度处风能资源的风速频率分布

风速频率分布是研究风电场装机容量的基础^[5],如图 5(a)所示:阿拉山口、克拉玛依、北塔山 3 地的风频分布基本满足韦布尔函数分布,3 m/s 是 3 地的最高频率风速;达坂城的风频与韦布尔函数拟合较差,1 m/s 是该地的最高频率风速。克拉玛依和北塔山的风速多集中在 1~5 m/s,6~10 m/s 也有部分分布,阿拉山口和达坂城 1~5 m/s 的起风时

间相对较少,6~20 m/s 的时间明显大于克拉玛依和北塔山。图 5(b)为 4 个地区 70 m 高度处大于某一风速的年平均小时数,用于直观反映各地的有效起风时间。阿拉山口、达坂城、克拉玛依和北塔山小于 3 m/s 的起风时间分别为 1 797、2 245、3 846、3 840 h,全年有效起风时间为 6 948、6 505、4 910、4 920 h。除北塔山外,其他 3 地都有约 10 h 的破坏风速。

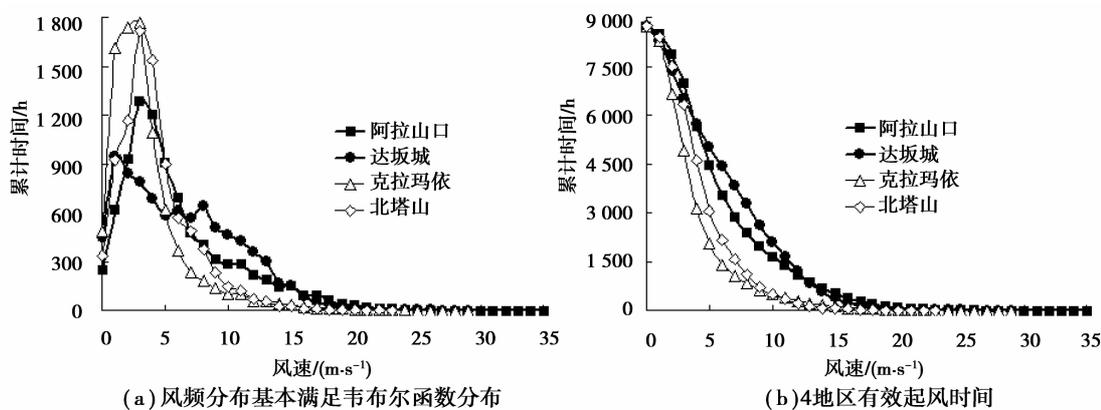


图 5 资源可开发区 70 m 高度处风速频率分布图

3 结 论

利用天山北坡经济带内气象站的气象资料,统计计算了风能资源开发所需的多个参数,绘制了研究区 10 m 高风能资源的空间分布图,在此基础上,筛选出适宜风电场建设的区域,详细分析其资源特征,得出以下主要结论。

1) 研究区风能资源主要分布在东北、西北、中部偏东南和中部偏西北的边界区,内部资源相对贫乏。全区 10 m 理论可开发量为 11.08×10^4 MW,技术可开发量为 1.9×10^3 MW,适宜风电场建设的可开发区面积约为 $12\,283/\text{km}^2$ 。

2) 资源可开发区风能资源十分丰富。阿拉山口和达坂城 70 m 高度处年有效风能 $5\,000 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$,年有效风能密度大于 $700 \text{ W}/\text{m}^2$,年可利用时间约 6 500 h,年均风速大于 7 m/s。克拉玛依和北塔山年有效风能 $1\,500 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$,年均风速大于 4 m/s,年有效起风时数约 4 000 h。各地资源均主要集中在西北方向,达坂城东南向也有部分资源,北塔山资源的方向分布较前三者分散;阿拉山口、达坂城、克拉玛依和北塔山全年有效起风时间分别为 6 948、6 505、4 910、4 920 h。

参考文献:

- [1] 胡勇秋. 新疆可再生能源发展定位与前景分析[J]. 中国能源, 2009, 31(5): 33-36.
HU Xianqiu. Orientation of Xinjiang renewable energy development and prospective analysis[J]. Energy of China, 2009, 31(5): 33-36.
- [2] 严陆光, 周凤起, 黄常纲. 新疆煤炭在全国能源发展中的地位[J]. 电工电能新技术, 2009, 28(1): 1-10.
YAN Luguang, ZHOU Fengqi, HUANG Changgang. Status of Xinjiang coal on energy development in China[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2009, 28(1): 1-10.
- [3] Li Y, Wang Y, Chu H Y, et al. The climate influence of anthropogenic land-use changes on near-surface wind energy potential in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(18): 2859-2866.
- [4] Wang Q, Chen Y. Status and outlook of China's free-carbon electricity [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(3): 1014-1025.
- [5] 包能胜, 刘军峰, 倪维斗, 等. 新疆达坂城风电场风能资源特性分析[J]. 太阳能学报, 2006, 27(11): 1073-1077.
BAO Nengsheng, LIU Junfeng, NI Weidou, et al.

- Wind energy resource analysis at Dabancheng wind farm in Xinjiang region [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2006, 27(11): 1073-1077.
- [6] 梁云, 杨青, 刘新春. 气候变化背景下达坂城大风规律研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(9): 62-64.
LIANG Yun, YANG Qing, LIU Xinchun. Analysis on gales on the background of climate changes in Dabancheng [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(9): 62-64.
- [7] Centre for Wind and Solar Energy Resources Assessment, China Meteorological Administration (CMA). Distributional map of wind power density in China [EB/OL]. [2010-10-01] <http://cwera.cma.gov.cn>.
- [8] 薛桁, 朱瑞兆, 杨振斌, 等. 中国风能资源贮量估算[J]. *太阳能学报*, 2001, 22(2): 167-170.
XUE Heng, ZHU Ruizhao, YANG Zhenbin, et al. Assessment of wind energy reserves in China [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2001, 22(2): 167-170.
- [9] Xu J Z, He D X, Zhao X L. Status and prospects of Chinese wind energy [J]. *Energy*, 2009, 35(1): 4439-4444.
- [10] Keyhani A, Ghasemi-varnamkhasti M, Khanali M, et al. An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran [J]. *Energy*, 2010, 35(1): 188-201.
- [11] De araujo L L, Bezerra filho C R. Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo-Pernambuco, Brazil [J]. *Renewable Energy*, 2010, 35(12): 2705-2713.
- [12] Yahyai S A L, Charabi Y, Gastli A, et al. Assessment of wind energy potential locations in Oman using data from existing weather stations [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14(5): 1428-1436.
- [13] 包能胜, 倪维斗. 解决新疆风能资源大规模开发瓶颈的探讨[J]. *中国能源*, 2006, 28(1): 24-28.
BAO Nengsheng, NI Weidou. Discussion on key issues of wind energy resource development in large scale in Xinjiang region [J]. *Energy of China*, 2006, 28(1): 24-28.
- [14] 陈曦. 中国干旱区土地利用与土地覆被变化 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 125-145.
- [15] 程维明, 周成虎, 李建新. 天山北麓经济发展与绿洲扩张 [J]. *地理学报*, 2002, 57(5): 561-568.
CHENG Weiming, ZHOU Chenghu, LI Jianxin. Economic development and oasis growth at the northern foot of the Tianshan mountains [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(5): 561-568.
- [16] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆维吾尔自治区统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [17] 王承煦, 张源. 风力发电 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 23.
- [18] University of Michigan Library. Wind resource assessment hand book: fundamentals for conducting a successful monitoring program [M]. Ann Arbor: University of Michigan Library, 1997, 60-73.
- [19] 毛慧琴, 宋丽莉, 黄浩辉, 等. 广东省风能资源区划研究 [J]. *自然资源学报*, 2005, 20(5): 679-684.
MAO Huiqin, SONG Lili, HUANG Haohui, et al. Study on the wind energy resource division in Guangdong province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(5): 679-683.
- [20] Voltz M, Wrbster R. A comparison of Kring, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information [J]. *Journal of Soil Science*, 1995, 41(3): 473-490.
- [21] Davis J C. *Statistic and data analysis in Geology* [M]. 3rd Edition. New York: John Wiley & Sons, 2002: 57-61.
- [22] Mckee E D. *A study of global sand seas* [M]. Washington: U. S. Government Printing Office, 1979: 125-140.

(编辑 陈移峰)