

甘肃酒泉区域风能资源评估

朱 飙^{1,2}, 李春华³, 陆登荣⁴

(1. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 3. 兰州资源环境职业技术学院, 甘肃 兰州 730021; 4. 甘肃省气象信息与技术装备保障中心, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 按照国家风电场风能资源评估方法, 利用甘肃省酒泉区域 6 个测风塔不同高度层的资料, 计算分析了该区域的各种风能参数, 并给出了该区域风能的空间分布图。结果表明, 按照我国学者的研究成果划分, 除 2 号地区属于风能较丰富区以外, 其他测风塔对应的区域属于风能丰富区。文章给出了酒泉地区有效风功率密度空间分布图, 对进一步了解、应用甘肃酒泉区域的风能有较好的参考作用。

关键词: 酒泉区域; 测风塔; 风能参数

中图分类号: P468.0⁺26

文献标识码: A

引 言

中国作为能源消费大国, 能源产业的发展支撑着经济的高速发展。随着煤炭供应的日趋紧张以及化石能源带来的环境问题, 提高能源效率和发展新能源已成为必然。风能资源是清洁的可再生能源, 风力发电是新能源领域中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。发展风电对于调整能源结构、减轻环境污染等方面有着重要意义。近年来, 世界风电装机容量以年平均近 30% 的速度快速增长, 风电技术日渐成熟, 单机容量不断增加, 发电成本大幅降低, 展现了良好的发展前景。我国曾在 20 世纪 80 年代初作过全国风能普查工作, 相关工作者对此也进行了研究^[1-2], 但近 20 多 a 来, 全球气候发生了较大的变化, 在 1978 年前后, 我国气候甚至北半球气候发生了突变, 温度持续上升, 不同区域的气象要素都发生了不同程度的变化。在气候变暖的背景下, 为了尽快掌握我国风能资源的分布状况, 在 2004 年初, 国家发展和改革委员会和中国气象局联合部署关于开展对我国风能资源的评估工作, 目的就是为政府决策部门充分开发和利用我国部分地区得天独厚的风能资源优势、建设大中型风电厂提供科学依据。这项工作将对缓解我国电力紧张的局面、调整能源结构、促进生态环境的

改善、保障可持续发展具有重要的意义。广大科技工作者也取得了一些研究成果^[3-5]。

在 2006 年结束的第 3 次全国风能普查工作中, 应用气象站的测风资料分析, 甘肃省风能资源总储量为 2.37 亿 kW, 占全国总储量的 7.3%。其中, 风能资源丰富区和季节可利用区的面积为 17.66 万 km², 占全省总面积的 39%, 主要集中在河西走廊和部分山口地区。年平均风功率密度在 150 W/m² 及以上的区域占全省总面积的 4%, 风能资源储量为 3395 万 kW, 风能资源技术可开发量为 2667 万 kW, 占全国的 10.6%。可利用区面积 5 万 km², 占全省面积的 10.6%。季节性可利用区域为 13 万 km², 占全省面积的 28%。

第 3 次全国风能普查的主要依据仍然是气象站的测风资料。不足的是一方面由于城市化的发展, 气象站的观测环境发生了较大的变化, 测风的代表性减弱; 另一方面, 气象站一般在行政区划的县级地区, 站点稀疏, 对风电厂建设而言, 没有针对性, 对野外的风状况所知甚少, 远远不能满足风电厂建设的需求。而风是诸多气象要素中最不稳定的要素, 需要加强针对性的观测, 才能够进一步了解风能资源状况。因此, 在第 3 次全国风能普查的基础上, 迫切需要通过风能资源详查工作, 建立满足风能资源长

收稿日期: 2009-03-04; 改回日期: 2009-04-13

基金项目: 兰州区域气候中心创新基金资助

作者简介: 朱飙(1972-), 男, 甘肃徽县人, 工程师, 现主要从事气候资源应用开发工作。

期可持续开发利用的风电项目储备和建设规划,实现风能资源的科学有序开发利用。

甘肃省地处我国西北部,地广人稀,有着丰富的太阳能^[6-7]、风能资源。借助于国家风能开发的有利时机,充分发挥甘肃省气象部门的行业优势,结合甘肃酒泉区域的6个测风塔资料,对酒泉风能详查区域的风能状况进行了相关的分析研究。

1 资料选取

选用甘肃酒泉区域的6个测风塔资料,并结合酒泉区域相关测站的长期气象资料,依据中华人民共和国国家标准(GB/T 18710-2002)《风电场风能资源评估方法》,首先计算空气密度,然后进行了风能的评估测算。根据风能评估国标^[8]计算测风有效数据的完整率,有效数据完整率应达到90%。有效数据完整率按下式计算:

$$\text{有效数据完整率} = \frac{\text{应测数目} - \text{缺测数目} - \text{无效数据数目}}{\text{应测数目}} \times 100\%$$

式中:应测数目为测量期间小时数;缺测数目为没有记录到的小时平均值数;无效数据数目为确认为不合理的小时平均值数目。表1给出选用的甘肃酒泉区域的6个测风塔的资料情况。

表1 甘肃酒泉区域测风塔资料情况

Tab.1 The anemometer towers data situation in Jiuquan of Gansu Province

塔名	资料时间段	资料完整率
1号塔	2006-12-01至2007-12-31	99.87%
2号塔	2006-03-06至2007-03-18	99.7%
3号塔	2007-05-27至2008-06-16	99.69%
4号塔	2006-12-02至2007-12-31	99.87%
5号塔	2006-12-03至2008-01-31	99.97%
6号塔	2007-04-09至2008-06-08	99.77%

2 韦布尔分布参数估计方法的选择

在计算风能参数时,年平均风速相当但其各种等级风速的出现频率大不相同,所计算出来的风

能就会有很大差异,因此在计算过程中需要知道风速的概率密度函数。国内外许多学者都认为,Weibull分布对于风能计算来说是一种比较理想的模式。20世纪70年代以来,随着风能发电和能源气象的兴起,人们普遍采用Weibull分布研究各地风速和风能资源^[9-10]。2参数风速Weibull分布函数可以表示为:

$$F(u) = 1 - \exp(-cu^k) \quad (1)$$

其中 u 为风速,参数 c 、 k 对于决定Weibull分布的形态有重要的作用, k 为形状参数, $c^{-1/k}$ 为尺度参数。常用的计算 c 、 k 的方法有3种^[11]:

(1)用平均速度 \bar{V} 和标准差 S_v 估计韦布尔分布参数,根据韦布尔分布的均值和方差近似关系式:

$$k = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^{-1.086}, c = \frac{\mu}{\Gamma(1+1/k)} \quad (2)$$

其中 μ 是风速概率分布的平均值, σ 为均方差;实际计算时以平均值 \bar{V} 估计 μ ,以样本标准差 S_v 估计 σ 。

(2)用平均风速和最大风速估计韦布尔分布参数,根据 T 时间内观测到的10min最大风速值和平均风速值,通过下式近似地估计:

$$k = \frac{\ln(\ln T) / \ln(0.90V_{\max} / \bar{V})}{\bar{V} / \Gamma(1+1/k)} \quad (3)$$

(3)根据 k 随 \bar{V} 的变化趋势估计韦布尔分布参数,形状参数 k 有随 \bar{V} 改变的趋势。当风速变率 S_v / \bar{V} 取平均、高(90%)和低(10%)等不同数值时, k 与 \bar{V} 的关系可表达成:

$$\begin{aligned} k &= \{1.05\bar{V}^{1/2} \text{ 变率取低值} \\ k &= \{0.94\bar{V}^{1/2} \text{ 变率取平均值} \\ k &= \{0.83\bar{V}^{1/2} \text{ 变率取高值} \end{aligned} \quad (4)$$

c 值仍用 $c = \bar{V} / \Gamma(1+1/k)$ 估计。

这里选用方法(2)来估计甘肃酒泉区域风能可开发利用地区的韦布尔分布参数。应用各个测风塔不同高度的资料,计算结果见表2。

表2 酒泉区域各个风塔
韦布尔分布参数 k, c 计算值表

Tab. 2 The weibull distribution parameters k and c of different anemometer towers in Jiuquan of Gansu Province

塔名	测风高度/m	k	c
1号塔	10	1.56	7.16
1号塔	30	1.30	6.95
1号塔	50	1.27	7.11
2号塔	10	1.51	4.53
2号塔	20	1.45	4.62
3号塔	10	1.80	6.71
3号塔	40	1.83	7.92
3号塔	70	1.69	8.24
4号塔	10	1.73	5.84
4号塔	20	1.83	6.56
5号塔	10	1.76	6.11
5号塔	30	0.86	3.19
5号塔	40	1.83	7.31
5号塔	50	1.81	7.62
5号塔	70	1.82	7.95
6号塔	10	2.10	7.84
6号塔	30	1.21	5.24
6号塔	50	1.93	6.21

3 垂直风速切变指数

近地层风速的垂直变化取决于指数 α 的值, α 值的大小反映了风速随高度增加的快慢。 α 值大表示风能随高度增加快, 风速梯度大; α 值小表示风能随高度增加慢, 风速梯度小^[9]。在这里分别用同一测风塔不同高度的日平均与小时平均风速计算了 α 指数的大小, 值得注意的是在河西个别地区, 存在着上层风速小, 下层风速大的情况, 这与测风塔安装处的地形有很大关系。近地层任意高度的风速, 可以根据风切变指数和仪器安装高度测得的风速推算出来。估算风力发电机组发电量时需要推算出轮毂高度处的风况, 因此 α 的大小在安装风电厂风机时是一参考值。

风切变幂律公式如下:

$$v_2 = v_1 \left[\frac{z_2}{z_1} \right]^\alpha \quad (5)$$

式中: α 为风切变指数; v_2 为高度 z_2 的风速, v_1 为高度

z_1 的风速。经过对数变换, 风切变指数用下式计算:

$$\alpha = \frac{\lg(v_2/v_1)}{\lg(z_2/z_1)} \quad (6)$$

式中: v_1 与 v_2 为实测值。计算结果见表3。

表3 垂直风速切变指数表

Tab. 3 The vertical wind shear exponent of different anemometer towers in Jiuquan of Gansu Province

塔名	日平均	小时平均
1号塔	0.039	0.063
2号塔	0.036	0.038
3号塔	0.111	0.127
4号塔	0.183	0.19
5号塔	0.136	0.154
6号塔	-0.065	-0.043

4 酒泉区域的风能参数

根据国标对测风塔的资料进行了风能参数的计算, 其中设定时段的平均风功率密度表达式为:

$$D_{wp} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\rho) (v_i^3) \quad (7)$$

式中: n 为设定时段内的记录数; ρ 为空气密度; v_i^3 为第 i 记录的风速值的立方。注意: 平均风功率密度的计算应是设定时段内逐小时风功率密度的平均值, 不可用年(或月)平均风速计算年(或月)平均风功率密度。风速全年累计小时数是用实际资料直接统计而来。

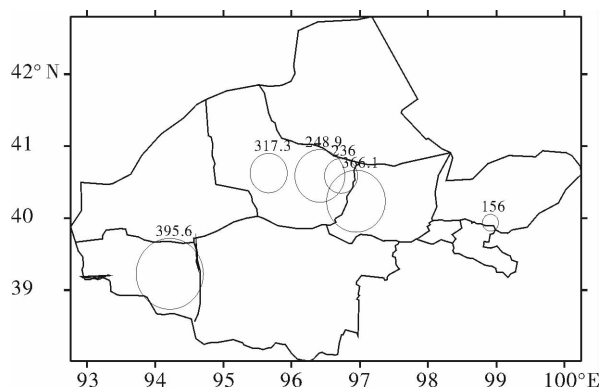
表4中3~25 m/s时数百分率, 是指风速在此两值之间的时数与测风总时数的比值。实际工作中, 风力发电的风机有一启动风速(一般为3 m/s), 当风速太大时, 为了保护风机, 有一个切断风速(一般取25 m/s), 这之间的风速称为有效风速。由表4可以看出, 6号、5号、3号塔有效风能时数与3~25 m/s时数百分率都比较高, 分别达到7400多h与80%以上。风能密度是指单位时间内通过垂直于气流的单位截面积上的风能。有效风功率密度是指在单位时间内通过单位截面积的有效风速所具有的动能。酒泉区域6塔资料计算的有效风功率密度都在150 W/m²以上, 除2号塔外, 其余5塔所得到的有效风功率密度都在200 W/m²以上, 风能资源十分丰富。

表4 风能参数表

Tab.4 The various wind parameters of six anemometer towers in Jiuquan of Gansu Province

塔名	测风高度 /m	3~25 m/s 时数百分率	平均风速 /m·s ⁻¹	最大风速 /m·s ⁻¹	极大风速 /m·s ⁻¹	平均风功率 密度/W·m ⁻²	有效风能 时数/h	有效风功率 密度/W·m ⁻² /(kW·h/m ²)	风能密度
1号塔	10	74	6.4	24.9	30.2	292.8	6 998	395.6	2 779.1
1号塔	30	62	6.4	26.7	31.3	366.5	5 892	586.0	3 478.5
1号塔	50	61	6.6	26.9	31.7	406.0	5 801	660.1	3 854.2
2号塔	10	63	4.1	19.9	26.0	99.8	5 713	156.0	904.9
2号塔	20	63	4.2	20.5	26.7	112.4	5 750	175.2	1 019.0
3号塔	10	81	6.0	21.7	37.2	256.9	7 483	317.3	2 385.0
3号塔	40	84	7.0	24.7	36.4	405.0	7 792	481.4	3 759.7
3号塔	70	82	7.4	26.9	37.6	499.2	7 629	600.2	4 634.0
4号塔	10	74	5.2	22.5	28.7	176.7	7 058	236.0	1 677.4
4号塔	20	79	5.8	24.3	29.4	230.4	7 456	292.0	2 187.4
5号塔	10	79	5.4	24.6	31.0	197.5	8 070	248.9	2 018.6
5号塔	30	41	3.4	27.5	32.9	152.3	4 228	355.8	1 556.4
5号塔	40	80	6.5	28.0	32.9	313.0	8 216	381.2	3 199.3
5号塔	50	81	6.8	28.7	33.2	356.9	8 273	432.3	3 647.6
5号塔	70	82	7.1	29.2	34.4	402.7	8 364	481.9	4 115.5
6号塔	10	88	6.9	25.1	29.4	322.8	9 021	366.1	3 308.0
6号塔	30	65	4.9	22.4	32.5	211.4	6 668	324.3	2 166.1
6号塔	50	82	5.5	22.3	31.3	180.2	8 358	219.7	1 846.4

我国学者在进行风能分区时,考虑了有效风能密度和有效风速全年累计小时数这2个表征风能资源的主要参数,将我国风能资源的分布划分成4个大区,分别是风能丰富区、较丰富区、可利用区和风能贫乏区^[9]。对照这一标准,可以看出,除2号塔鸳鸯池地区属于风能较丰富区以外,其他测风塔对应的区域属于风能丰富区。酒泉区域地域广大,一般说几个测风塔难以反映整个区域的风能分布情况,但由于酒泉区域的地形地貌情况比较相似,6个塔的资料具有一定的代表性,因此利用 surfer 软件画了酒泉区域有效风功率密度空间分布大小圆图(图1),对于整个酒泉区域风能的分布有一个基本的描述。

图1 酒泉区域有效风功率密度
(10 m 高度)空间分布图Fig.1 The spatial distribution of available wind
power density in Jiuquan of Gansu Province

5 小 结

本文采用甘肃酒泉区域的多个测风塔资料,资料详实,完整率高,达到 99.69% 至 99.97% 之间,符合国家风能评估的数据要求,依据国家风能评估标准,通过分析计算,给出了甘肃酒泉区域风能的各种相关参数。

在计算风能参数的过程中需要知道风速的概率密度函数,根据国内外专家学者的研究结果,Weibull 分布对于风能计算来说是一种比较理想的模式。本文计算给出了 2 参数风速 Weibull 分布函数相应的参数 c 、 k 。同时计算给出了各个塔对应的垂直风速切变指数,对风机的选型有重要的参考意义。

通过计算结果可以看出,酒泉区域各塔的有效风能密度在 $156.0 \sim 660.1 \text{ W/m}^2$ 之间,有效风速全年累计小时数在 4 228 至 9 021 h 之间,利用我国学者研究的划分标准,除 2 号塔鸳鸯池地区属于风能较丰富区以外,其他测风塔对应的区域属于风能丰富区。文章给出了酒泉区域有效风功率密度空间分布大小圆图,对进一步了解、应用甘肃酒泉区域的风能有较好的借鉴与参考作用。

参考文献:

- [1] 朱瑞兆,薛桁. 风能的计算和我国风能的分布[J]. 气象,1981,7(8):28-30.
- [2] 朱瑞兆,薛桁. 中国风能区划[J]. 太阳能学报,1983,4(2):9-18.
- [3] 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.
- [4] 李晓燕,余志. 基于 MM5 的沿海风资源数值模拟方法研究[J]. 太阳能学报,2005,26(3):400-408.
- [5] 穆海振,徐家良,柯晓新,等. 高分辨率数值模式在风能资源评估中的应用初探[J]. 应用气象学报,2006,17(2):152-159.
- [6] 孙兰东,刘德祥. 西北地区热量资源对气候变化的响应特征[J]. 干旱气象,2008,26(1):8-12.
- [7] 季国良,马晓燕,邹基玲,等. 黑河地区绿洲和沙漠地面辐射收支的若干特征[J]. 干旱气象,2003,21(3):29-33.
- [8] 风电场风能资源评估方法. 2002-4-28 发布,2002-10-1 实施. 中华人民共和国国家标准 GB/T 18710-2002.
- [9] 孙卫国编著. 气候资源学[M]. 北京:气象出版社,2008. 222-290.
- [10] 朱超群. Weibull 分布在风能计算中的应用[J]. 南京大学学报(自然科学版),1983,19(2):183-189.
- [11] 李自应,王明,陈二永,等. 云南风能可开发地区风速的韦布尔分布参数及风能特征值研究[J]. 太阳能学报,1998,19(3):248-253.

Wind Energy Resource Assessment of Jiuquan, Gansu Province

ZHU Biao^{1,2}, LI Chunhua³, LU Dengrong⁴

- (1. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China; 2. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, 730020, China; 3. Lanzhou Resources and Environment Voc-Tech College, Lanzhou 730021, China; 4. Gansu Provincial Meteorological Information and Technic Support and Equipment Center Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: According to the standards of the national wind power plant and wind energy resource assessment methodology, the spatial distribution of wind energy in Jiuquan of Gansu Province was revealed by using different layer information measured by six anemometer towers there, simultaneously, the various wind parameters were calculated and analyzed in the paper, which is useful for further understanding and application of wind power in Jiuquan region.

Key words: Jiuquan; anemometer tower; wind parameters