

文章编号: 1008-2786-(2011)3-283-08

环青海湖风能资源的评估 ——以沙珠玉为例

李应业^{1,2}, 时兴合^{1,2}, 戴升^{1,2}, 汪青春^{1,2}

(1. 青海省气候中心, 青海 西宁 810001; 2. 青海省气候变化监测评估中心, 青海 西宁 810001)

摘 要: 基于 2009-06—2010-05 环青海湖沙珠玉测风塔的观测资料, 计算了风速、平均风功率密度等参数, 利用风能评估方法分析了风能参数、风向频率的变化规律及其特征。结果表明: 观测年度 10~70 m 年平均风速和年平均风功率密度分别在 4.4~5.7 m/s、138.4~285.1 W/m² 间, 且随高度的升高而增大。测风塔各高度 3~25 m/s 风速的时数在 5 090~6 045 h 间, 最多风向为偏东南风, 次多风向为偏西北风。风能密度主要集中在 NNW-NW 扇区, 累积频率达 53%。观测年 50 m 高度风速距平百分率偏小(-15.17%), 长年校正的年平均风功率密度值为 397.2 W/m², 达到了 3 级(>300 W/m²) 并网型风力发电的风电场等级标准, 指示这个区域的风能资源比较丰富。

关键词: 风能资源; 评估; 沙珠玉; 环青海湖

中图分类号: P964

文献标识码: A

随着青海经济持续快速发展, 能源环境问题日益显现。开发和利用新能源与再生能源是解决青海能源环境问题的重要措施之一^[1]。开发风能资源, 对增加能源供应, 改善能源结构, 保障能源安全, 保护环境有重要作用, 是建设资源节约型、环境友好型社会和实现可持续发展的重要战略措施^[2-4]。因此, 开发风能资源对青海省弥补能源资源不足和调整能源结构, 减缓温室气体和导致酸雨的二氧化硫、氮氧化物等其他有害气体的排放, 从而缓解温室效应和污染, 保护我们赖以生存的环境, 促进青海国民经济发展具有十分重要的意义^[5-8]。

2005 年青海省气象局根据《全国风能资源评价技术规定》以及项目管理的相关文件和规定的技术要求, 以全省 54 个气象台站 30 a(1971—2000 年) 气象观测资料为基础, 完成《青海省风能资源评价报告》。青海省绝大部分区域属于风能可利用区^[9], 年平均风功率密度多在 80~150 W/m², 年风能可利用时间 3 500~5 000 h, 出现频率为 50%~

70%。由于青海省地域辽阔、地形复杂, 风能资源的地区间分布差异较大, 全省气象站点分布密度极低, 除东部部分地区外, 气象台站之间直线距离绝大多数都超过了 100 km。仅用气象台站的测风资料是很难获得较高分辨率的风能资源评价结果。2007 年国家发展和改革委员会批复开展了第四次全国性风能资源普查与评价的工作, 青海建立了多个测风塔, 通过近 1 a 的观测, 积累了多个层次的测风资料, 为较高分辨率的风能资源评价奠定了基础。

本文以环青海湖沙珠玉测风塔的观测资料为例, 基于风能评估方法和原理, 计算分析风能的空气密度、风速、平均风功率密度、各等级风速及其风能频率分布、风向和风能密度分布等参数^[10-13], 在对比分析的基础上, 给出较高分辨率的风能资源综合评估结果。其目的是为青藏高原风能变化规律研究提供基础资料, 并为当地政府决策部门制定风电发展规划和促进能源经济发展, 以及保护生态环境提供科学依据。

收稿日期(Received date): 2010-11-18; 改回日期(Accepted): 2011-03-16。

基金项目(Foundation item): 中国气象局风能资源详查和评价专项项目“青海省风能资源详查和评价”的资助。[Wind Power Resource Detailed Check with Evaluation Vital Item Meteorological Bureau of China.]

作者简介(Biography): 李应业(1962-), 男, 青海乐都人, 工程师, 本科, 主要从事太阳能、风能资源观测与评估研究。[Li Yingye(1962-), male, born in Ledu County of Qinghai, Engineer, Undergraduate course, mainly study on Solar energy, wind energy resources Prognosticate with Evaluation in the plateau.] E-mail: qhliyinye@126.com

1 资料与方法

1.1 资料

利用环青海湖沙珠玉 2009-06-01—2010-05-31 在 70 m 高度测风塔(风速 4 层,风向 3 层)的观测资料和共和气象站 1969—2009 年的地面气象资料(资料由青海省气候中心提供),70 m 高度测风塔观测年的风资料和共和气象站的地面气象资料全部通过了数据有效质量控制的审核。

1.2 方法

空气密度直接影响风能的大小,在同等风速条件下,空气密度越大风能越大。空气密度计算公式如下

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.0366t} \frac{p - 0.378e}{1000} \quad (1)$$

式中 ρ 为空气密度(kg/m^3), P 为气压(hPa), t 为气温($^{\circ}\text{C}$), e 为水汽压(hPa)。

根据观测站的实测气温、气压、相对湿度观测数据,计算观测塔 70 m 高度(近似为风机轮毂高度)观测年度各月空气密度值。

平均风功率密度由下式计算

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

式中 D_{wp} 为设定时段的平均风功率密度(W/m^2), n 为设定时段内的记录数, v_i 为第 i 记录风速(m/s)值, ρ 为空气密度,由(1)式给出。

以 16 方位各风向频率描述风的方向分布特征。风向频率指设定时段各方位风出现的次数占全方位风向出现总次数的百分比。

风能密度计算公式为

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

式中 D_{we} 为设定时段的风能密度($\text{W} \cdot \text{h}/\text{m}^2$), n 为设定时段内的记录数, v_i 为第 i 记录风速(m/s)值, ρ 为空气密度,由(1)式给出。

切变指数的计算公式为

$$V_2 = V_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{\alpha} \quad (4)$$

式中 V_2 为高度 Z_2 处的风速(m/s), V_1 为高度 Z_1 处的风速(m/s), Z_1 一般取 10 m 高度, α 为风切变指数,其值的大小表明了风速垂直切变的强度。

参证气象站对比观测,年平均风速相对本站近 20 a 累年平均风速距平百分率,计算公式为

$$\eta = \frac{V - \bar{V}}{\bar{V}} \times 100\% \quad (5)$$

式中 η 为累年平均风速距平百分率, V 为参证气象站在现场观测时段的平均风速, \bar{V} 为参证气象站累年平均风速。

利用(1)~(5)统计了测风塔观测年各月的空气密度、风速、平均风功率密度、切变和湍流强度指数、累年平均风速距平百分率等风能参数,应用风能评估方法和原理,分析了各风能参数的变化特征及其规律,绘制相关的风能参数图表,定量给出较高分辨率的风能资源综合评估结果。

2 结果分析

2.1 测风塔周边的地理环境和气候概况

测风塔位于青海省中部,地理坐标介于 $37^{\circ}32' \sim 38^{\circ}59' \text{N}$, $99^{\circ}07' \sim 102^{\circ}09' \text{E}$ 之间。北靠青海湖,南临黄河,东以日月山与东部农业区为界,西与柴达木毗连。地形由西北向东南倾斜,测风塔周边以高寒草甸、山地草甸、山地草原、荒漠戈壁和流动沙丘为主,环境艰苦,是制约当地经济发展的重要因素^[14-16]。平均海拔 2 800~4 200 m,属于大陆高寒草甸和荒漠气候类型,四季不明,日照时数多,总辐射量大,光能资源丰富,夏季温凉,冬季寒冷,热量资源差,昼夜温差大是主要的气候特征,该地年平均日照时数 3 015 h,年平均气温在 $-1.5 \sim 4.0$ $^{\circ}\text{C}$ 之间,无霜期平均为 77~90 d,年降水量在 310~390 mm 之间,蒸发量为 1 450~1 700 mm,蒸发量远远大于降水量^[17-20]。年平均风速 3.5 m/s,多年最大风速 26.7 m/s,但由于生态环境持续恶化,近年沙尘暴频发^[21-22],最大风速增至 28 m/s。海拔高、空气稀薄,含氧量比海平面少 30%,大气污染较少,空气清新,天空碧蓝。

2.2 空气密度、风速和平均风功率密度的年内变化

利用公式(1)计算得出,沙珠玉测风塔年度空气密度为 0.876 kg/m^3 ,秋冬季空气密度相对较大,春夏季相对较小,最小值出现在 2 月(0.844 kg/m^3),最大值出现在 12 月(0.910 kg/m^3),空气密度上半年呈逐步下降趋势,下半年呈上升趋势的特点非常明显。这种分布特征与该地的大气压力成正比、与气温成反比。

沙珠玉测风塔观测年度 10、30、50、70 m 高度的年平均风速在 4.4~5.7 m/s 之间,其中 50~70 m 层风速较大,年平均风速在 5.6 m/s 以上,风能资源

较丰富(表1)。沙珠玉测风塔各层年最大风速、年极大风速分别在19.1~23.9 m/s、29.9~34.0 m/s之间。与年平均风速相同,50~70 m层风速较大,年最大风速、年极大风速也相对较大。

从图1沙珠玉测风塔观测年70 m高度风速风功率密度年(左)、日(右)变化曲线图看出,3~4月平均风速相对较大,9~11月平均风速相对较小。00:00—01:00、15:00—23:00日平均风速相对较大,02:00—14:00日平均风速相对较小。

从表1观测年度风能参数表估算结果看出,沙珠玉测风塔10、30、50、70 m高度的年平均风功率密度和有效风功率密度分别是138.4~285.1 W/m²、218.3~395.8 W/m²,且年平均风功率密度和有效风功率密度均随高度的升高而增大。从沙珠玉年平均风功率密度图1的70 m月变化曲线可看出,平均风功率密度最大值均出现在春季、最小值出现在秋季。从图1沙珠玉测风塔的年度平均风功率密度日变化曲线可看出,风功率密度13:00—23:00相对较大,00:00—12:00相对较小,最大值出现在17:00—18:00。观测年测风塔50 m高度应用于并网型风力

发电的风电场等级为2级

2.3 各等级风速及其风能频率分布

从表2可看出,沙珠玉测风塔观测年各高度各等级风速时数随高度升高而增加,各高度3~25 m/s风速的时数一般最大,14~25 m/s以上风速的时数一般最小。其中70 m高度3~25 m/s、4~25 m/s的风速时数在4 847~6 045 h之间,5~25 m/s、6~25 m/s、7~25 m/s、8~25 m/s的风速时数在1 897~3 888 h之间,9~25 m/s到≥15 m/s的风速时数在487~1 528 h之间,3~25 m/s到8~25 m/s风速段风速时数占年总时数的百分率在22%~69%之间,9~25 m/s到≥15 m/s风速段风速时数占年总时数的百分率在5%~17%之间。可以看出50~70 m高度3~25 m/s的风速时数在5 970 h以上。

从图2沙珠玉测风塔70 m高度的风能频率分布曲线看出,风速在6~19 m/s之间的风能频率相对较大,在4%~7%之间。沙珠玉测风塔70 m高度的风速在3~25 m/s的风能频率分布曲线基本呈“∩”分布。沙珠玉测风塔70 m高度风速<3 m/s或>25 m/s的风能频率相对较小,在0~1%之间。

表1 沙珠玉测风塔观测年度风能参数表(2009-06-01—2010-05-31)

Table 1 Shazhuyu Wind Tower Wind Energy Parameters during 1st Jun. 2009—31st May 2010

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	有效风功率 密度 /w·m ⁻²	风能密度 /kW·h·m ⁻²	平均风功率 密度等级
10	58.3	4.4	19.1	29.9	138.4	218.3	101.1	
30	65.8	5.2	22.2	33.2	217.1	313.2	158.5	
50	68.3	5.6	23.3	33.8	260.0	363.1	189.9	2
70	69.1	5.7	23.9	34.0	285.1	395.8	208.2	

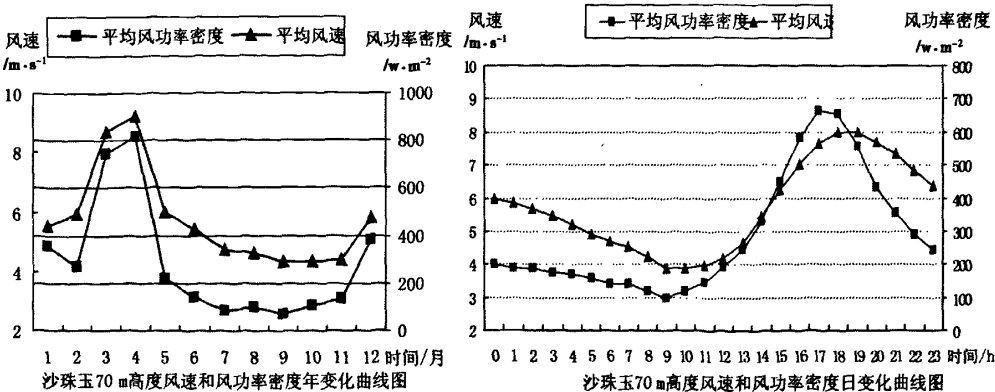


图1 沙珠玉测风塔70 m高度风速风功率密度年(左)、日(右)变化曲线图

Fig.1 Variations of annual (left) and daily (right) wind speed and specific energy at Shazhuyu Wind Tower 70 m height

表2 沙珠玉测风塔观测年度各风速等级小时数(2009-06-01—2010-05-31)

Table 2 Hours of each wind level at Shazhuyu Wind Tower during 1st Jun. 2009—31st May 2010

/h

测风高度 /m	3~25 /m·s ⁻¹	4~25 /m·s ⁻¹	5~25 /m·s ⁻¹	6~25 /m·s ⁻¹	7~25 /m·s ⁻¹	8~25 /m·s ⁻¹	9~25 /m·s ⁻¹	10~25 /m·s ⁻¹	11~25 /m·s ⁻¹	12~25 /m·s ⁻¹	13~25 /m·s ⁻¹	14~25 /m·s ⁻¹	≥15 /m·s ⁻¹
10	509 0	351 4	239 9	174 6	134 0	109 6	871	728	582	457	368	278	203
30	575 5	437 4	335 8	250 6	186 5	147 7	122 1	990	826	702	556	447	351
50	597 4	469 6	371 1	285 6	225 1	174 9	141 9	117 5	968	825	703	541	431
70	604 5	484 7	388 8	304 3	240 6	189 7	152 8	126 4	105 9	897	755	615	487

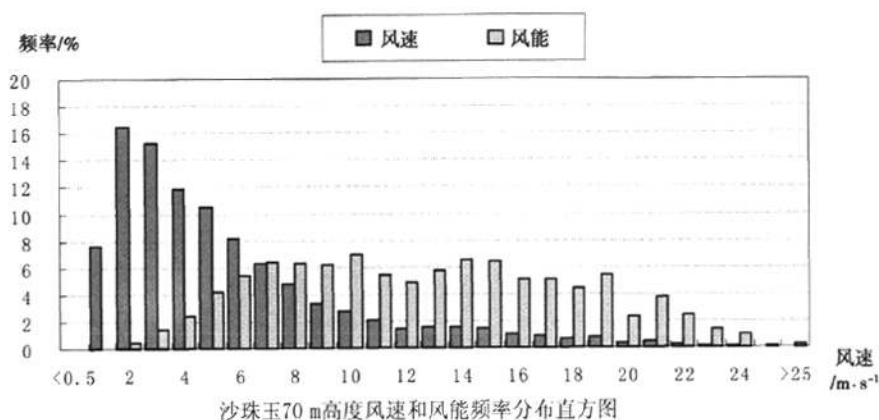


图2 沙珠玉测风塔观测年度风速和风能频率分布直方图

Fig.2 Shazhuyu Wind Tower wind speed and specific energy distribution

从图2看出,沙珠玉测风塔70 m高度有效风速频率在70%以上(3~25 m/s风速段),且频率相对较大的风速段大致集中在5~21 m/s。风能频率的分布与风速频率的分布具有明显的差异,风能频率较高的风速段主要集中在6~19 m/s。

2.4 风向和风能密度分布

从表3沙珠玉观测年度各高度各风向频率可以看出,沙珠玉10~70 m高度风向频率相对较大值分别出现在ESE、WNW、NW、SE、E、W、NNE、ENE8个方向,相对较小值分别出现在SW、NE、WSW、SSE、N、NNW、SSW、S8个方向。10~70 m高度最多风向频率均出现在NW、ESE、ESE3个方向,10~70 m高

度最少风向频率分别在S、SSW、SSW3个方向。从图3沙珠玉测风塔全年70 m高度风向玫瑰图看出,ESE、WNW、NW3个方向的风向频率在12%~22%之间,其余15个方向的风向频率在2%~11%之间。最多风向为偏东南风、次多风向为偏西北风。

风能密度分布是指设定时段各方位的风能密度占全方位总风能密度的百分比。从图3沙珠玉测风塔全年70 m高度风能密度玫瑰图看出,风能密度主要集中在NNW~NW扇区,累积频率达53%。10 m、50 m风能密度频率分布与70 m高度风能密度频率基本相同。

2.5 风速的垂直切变和湍流强度

表3 沙珠玉观测年度各高度各风向频率(2009-06-01—2010-05-31)

Table 3 Shazhuyu wind direction frequencies at all heights during 1st Jun. 2009—31st May 2010

/%

测风高度 /m	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
10	3.4	6.4	7.0	7.2	8.4	6.3	3.7	1.2	1.0	7.4	9.7	5.4	7.5	10.7	11.4	3.2
50	3.0	5.8	2.7	2.9	8.9	16.9	12.7	3.3	2.1	1.8	1.9	3.2	7.5	13.9	11.2	2.2
70	4.0	5.1	2.5	3.2	9.3	17.8	10.8	3.2	3.1	1.6	1.8	3.0	7.4	15.2	9.7	2.4

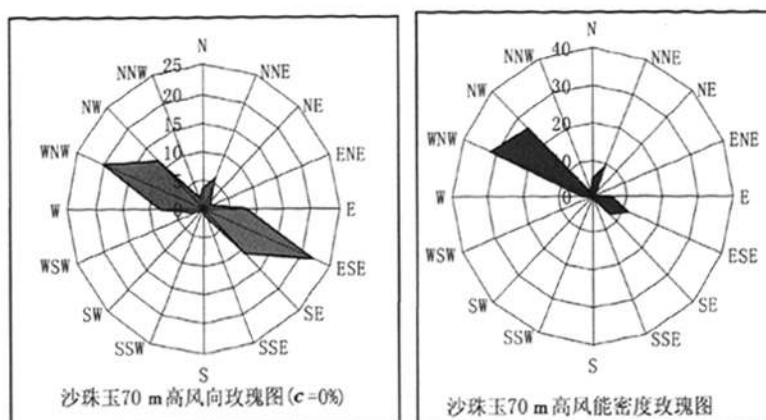


图3 沙珠玉测风塔全年70 m高度风向(左)和风能密度(右)玫瑰图

Fig.3 Shazhuyu Wind Tower wind direction frequency (left) and Wind specific energy (right) rose plot

利用公式(4)计算得出,沙珠玉测风塔切变指数在0.091~0.206间,该地位于青海湖南部,地形空旷,多沙漠、草原,风切变指数相对较小,这与实际地理环境和气候条件完全符合。从图4沙珠玉测风塔湍流强度日变化曲线看出,随着高度的升高,湍流强度值呈减小的趋势。主要是由于风速较小时,受下垫面状况(风向、地形、植被状况、地表粗糙度等)影响较大,湍流强度大;而风速越大,地面摩擦作用越小,地面粗糙度相应减小,高度越高,风速越稳定,相应的湍流强度也越小。

图4中各层次湍流强度日变化基本上没有一致规律可循,唯一的共同点大概是各层次大多表现为午后湍流强度较强,入夜后湍流强度逐渐减弱,至第二天清晨9点、10点后又逐渐增强。早晨日出以后,地面急剧增温,大气不稳定,湍流运动不断加强;至午后,湍流最为强烈,近地层风速也达到最大;而

后,傍晚开始出现逆温,稳定层结抑制湍流的发展,湍流减弱。

2.6 风频曲线及威布尔分布参数

从图5沙珠玉测风塔70 m高度风速威布尔分布曲线图看出,该测风塔2009-06-01—2010-05-31实测到的风速不符合Weibull分布。其中,70 m高度的尺度参数 $A=5.76$ m/s,形状参数 $K=1.86$,3~4 m/s风速段所占的频率密度最大。

2.7 风资源长期平均状况评估

沙珠玉测风塔离共和气象站最近,测风塔周边环境与气候条件与共和气象站比较相似。因此选择共和气象站为沙珠玉测风塔风资源长期评估参证站。计算沙珠玉测风塔50 m高度的日平均风速与共和气象站同期风速的相关系数得出,统计参数为:同期观测的样本量 $n=334$,相关系数 $r=0.874$, $F=1083.468$,可以看出,二者之间的相关系数值通过

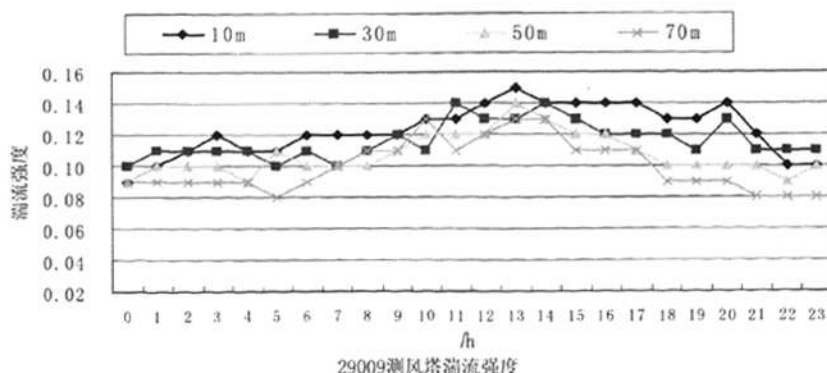


图4 沙珠玉测风塔湍流强度日变化曲线

Fig.4 Diurnal variation of the Intensity of turbulence at Shazhuyu Wind Tower

了 $\alpha = 0.0001$ 的显著性水平检验。说明用共和气象站评估沙珠玉测风塔风资源的长期平均状况比较合适,并且精度也比较高。

选取 1990—2009 年共和参证站 20 a 资料,经计算发现年平均风速呈减小趋势,气候变化倾向率为 $0.14 \text{ m/s}(\pm 0.1 \text{ a})$,通过信度为 0.01 显著性水平检验。从 1990—2009 年共和参证气象站逐年平均风速(图 6)订正前后对比看,订正后沙珠玉测风塔风

资源的长期平均状况比较平稳。

共和气象站观测对比年平均风速为 1.78 m/s ,近 20 a 累年平均风速为 2.05 m/s ,利用公式(5)计算得出,风速距平百分率为 -15.17% ,为风速的略偏小年景。经过长年代订正后,50 m 高度的平均风功率密度值为 397.2 w/m^2 ,参考 GB/T18710-2002 风功率密度等级划分标准^[23],长年代订正后沙珠玉测风塔应用于并网型风力发电的风电场等级为 3 级

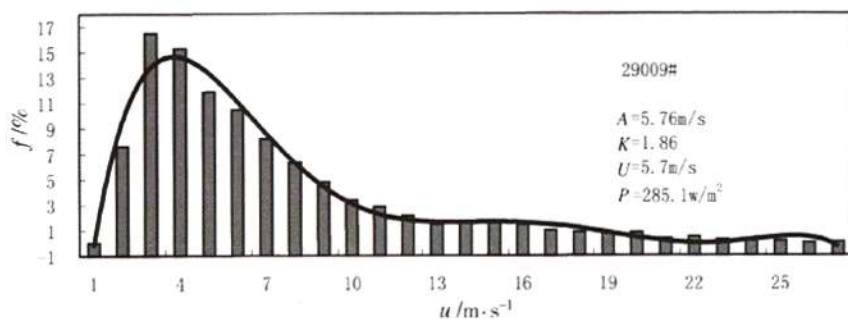


图 5 沙珠玉测风塔 70m 高度风速威布尔分布曲线图

Fig. 5 Weibull distribution contour of 70 m wind velocity at Shazhuyu Wind Tower

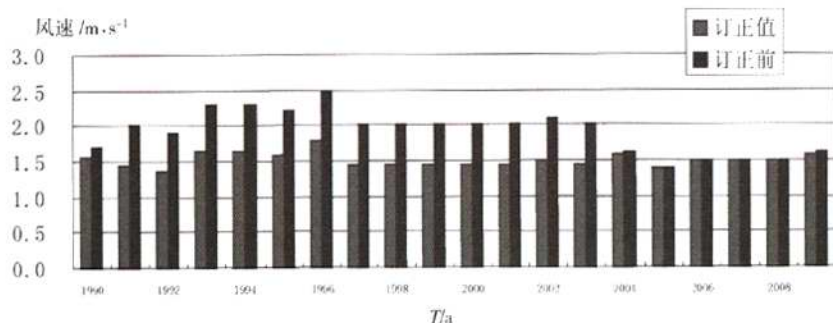


图 6 1990—2009 年共和参证气象站逐年平均风速

Fig. 6 Annual average wind velocities during 1990—2009 at Gonghe Reference Weather Station

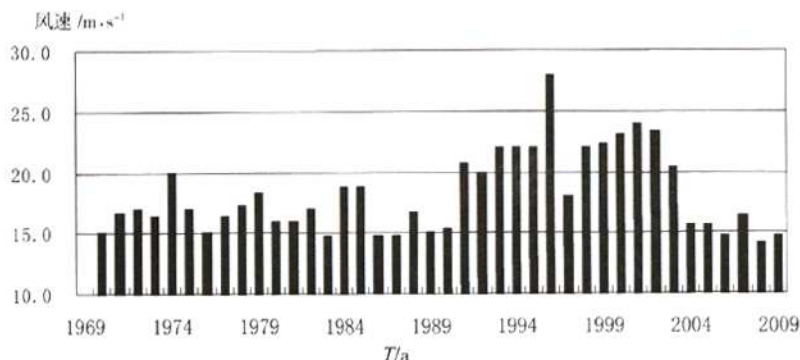


图 7 青海共和参证气象站逐年 10 min 最大风速

Fig. 7 Annual variation of 10 min maximum wind at Gonghe Reference Weather Station

($>300 \text{ W/m}^2$),说明这个区域的风能资源比较丰富。

2.8 重现期(50 a一遇)设计风速估算

共和参证气象站 1969—2009 年间,10 min 平均最大风速有微弱的增大(图 7),为 0.027 m/s (10 a)。在年代变化上,20 世纪 70~80 年代和近 5 a 为最大风速的相对偏小阶段,1990 年代和 21 世纪初为最大风速的相对偏大阶段,2003 年以后平均最大风速总体有明显减小的趋势。在时间变化上,1991—2003 年最大风速相对偏大,其余时段年平均最大风速相对偏小。近年来,在全球气候变暖的大背景下,青海气温升高显著,冷空气入侵的次数及持续的时间较往年有所减少;此外,气候变暖后大气环流随之发生变化,西风带减弱,风速减小,这是平均最大风速减小的主要原因之一。

根据共和参证气象站 1969—2009 年共 41 a 的逐年最大 10 min 平均风速序列,采用国家规范推荐的极值 I 型分布函数,共和参证气象站 10 m 高度重现期为 50 a 的 10 min 平均风速的计算结果是:10 m 高 10 min 平均风速为 28.1 m/s ,70 m 高 10 min 平均风速为 36.5 m/s ,标准空气密度 70 m 高 10 min 平均风速为 25.3 m/s 。

3 结论与讨论

1. 测风塔周边为天然草场和流动沙丘,地形由西北向东南倾斜,环境艰苦,属于大陆高寒草甸和荒漠气候类型,日照时数多,总辐射量大,光能资源丰富,夏季温凉,冬季寒冷,热量资源差,昼夜温差大。

2. 沙珠玉测风塔年度空气密度为 0.876 kg/m^3 ,秋冬季空气密度相对较大,春夏季相对较小。观测年度 10 m、30 m、50 m、70 m 年平均风速在 $4.4 \sim 5.7 \text{ m/s}$ 之间,其中 50~70 m 层风速较大,年平均风速在 5.6 m/s 以上。测风塔 10 m、30 m、50 m、70 m 高度的年平均风功率密度在 $138.4 \sim 285.1 \text{ W/m}^2$ 之间,且随高度的升高而增大,最大值出现在春季,最小值出现在冬季。

3. 测风塔各高度 3~25 m/s 风速的时数在 5 090~6 045 h 间,50~70 m 高度 3~25 m/s 的风速时数在 5 970 h 以上。最多风向为偏东南风、次多风向为偏西北风。风能密度主要集中在 NNW~NW 扇区,累积频率达 53%。测风塔切变指数在 0.091~0.206 间,各层次大多表现为午后湍流强度较强,入夜后湍流强度逐渐减弱,至第二天清晨 T9:00、

T10:00 后又逐渐增强。

4. 测风塔 50 m 高度的日平均风速与共和气象站同期风速的相关系数 $r=0.874$, $F=1083.468$,二者之间的相关系数值通过了 $\alpha=0.0001$ 的显著性水平检验,观测得到的风资料具有代表性。观测年风速距平百分率偏小(-15.17%),长年代校正的年平均风功率密度值为 397.2 W/m^2 ,达到了 3 级($>300 \text{ W/m}^2$)并网型风力发电的风电场等级标准,说明这个区域的风能资源比较丰富。

参考文献(References)

- [1] Zhu Jian. The effect of wind power generation on ecological environment in Qinghai Province. Journal of qinghai environment, 2006, 16 (3): 120~126 [褚建. 风力发电对青海生态环境的影响[J]. 青海环境, 2006, 16(3): 120~126]
- [2] Zhan Peiguo, Hou Bo. Abroad make use of wind energy with new progress that research to technique[J]. Energy Research & Utilization. 2004, (6): 25~27 [战培国, 侯波. 国外风能利用和研制技术新进展[J]. 能源研究与利用, 2004, (6): 25~27]
- [3] International Energy Agency, IEA (2007): World Energy Outlook 2007[M]. IEA Publications, 2007
- [4] European Renewable Energy Council (EREC), Greenpeace (2006): Energy evolution: A Sustainable World Energy outlook [EB/OL]. Available at: www.erec.org.
- [5] Xue Heng, Zhu Ruizhao, Yang Zhenbin. Study on land wind variation in coastal area [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2002, 23 (2): 207~210
- [6] Zhu Ruizhao, Xue Yan. Calculation with distribute wind energy of our country[J]. Meteorological Monthly, 1981, 7(08): 26~28 [朱瑞兆, 薛衍. 风能的计算和我国风能的分布[J]. 气象, 1981, 7(08): 26~28]
- [7] Wang Yuxi. The breeze and wind energy resources of research in Gansu. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 1993, 29 (2): 142~144 [王玉玺. 甘肃风及风能资源的研究[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1993, 29(2): 142~144]
- [8] Xue Yan, Zhu Ruizhao, Yang Zhengping, et al. Assessment of wind energy reserves in china[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2001, 22 (2): 167~170 [薛衍, 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]
- [9] Wang Qingchun. Analysis of Wind energy Resources According to Weather station Data of Qinghai. Qinghai Science and Technology, 2008, 15(4): 30~36 [汪青春. 基于气象站资料的青海省风能资源评估分析[J]. 青海科技, 2008, 15(4): 30~36]
- [10] Zhu Ruizhao, Xue Yan, Yuan Chunhong, et al. Power Cable for Windfarms Get your free guide to purchasing the right offshore wind cable[J]. Meteorological Science and Technology, 2001, 29(3): 54~57 [杨振斌, 薛衍, 袁春红, 等. 用于风电场选址的风能资源评估软件[J]. 气象科技, 2001, 29(3): 54~57]
- [11] Mu Haizheng, Xu Jialiang, Ke Xiaoxin, et al. Application of High Resolution Numerical Model to Wind Energy Potential Assessment [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2006, 17(2): 152

- 15[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): 152-151]
- [12] Zhi Shiqun, Qian Guangming. The Analysis and Calculation of Wind Energy on the Coastland of Guangdong[J]. Meteorological Monthly, 2001, 27(5): 43-46[植石群, 钱光明. 广东省沿海风能的分析及计算[J]. 气象, 2001, 27(5): 43-46]
- [13] Li Ziyang, Wang Ming, Chen Eryong, et al. Study of webul-distributing parameters and wind energy characteristic value of windspeed around the parts of yunnan in which the wind energy can be developed[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 1998, 19(3): 248-253 [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]
- [14] Shi Xing-he, Li Sheng-chen, Li Dong-liang, et al. Decadal climate vibration of Qinghai Lake Periphery and its response to climate change of Qinghai Plateau[J]. Journal of Desert Research, 2008, 8(5): 931-939[时兴合, 李生辰, 李栋梁, 等. 青海湖周边年代际气候振动及其对青海高原气候变化的响应[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 931-939]
- [15] Shi Xinghe, Li Lin, Wang Qingchun, et al. Climatic Change and Its Influence on Water Level of Qinghai Lake[J]. Meteorological Science and Technology, 2005, 33(1): 58-62[时兴合, 李林, 汪青春, 等. 环青海湖地区气候变化及其对湖泊水位的影响[J]. 气象科技, 2005, 33(1): 58-62]
- [16] Zhou Feng, Ma Haizhou, Gao Donglin, et al. Geochemical Characteristics and Climatic Environmental Significance of Holocene Loess on South Qinghai Lake Shore[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(2): 144-148 [周笃, 马海州, 高东林, 等. 青海湖南岸全新世黄土地球化学特征及气候环境意义[J]. 中国沙漠, 2004, 24(2): 144-148]
- [17] Li feng-xia, Tang Hong-yu, Su Wen-jiang, et al. Remote Sensing investigation of desertification in Longyangxia Reservoir Region[J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(6): 687-690 [李凤霞, 唐红玉, 苏文将, 等. 青海省龙羊峡库区沙漠化遥感监测[J]. 中国沙漠, 2003, 23(6): 687-690]
- [18] Influence of climate change to water level in Qinghai lake; I. Analysis Period of near 30 years[J]. 1992, 22(5): 537-542. Science in China: Series B, 1992, 22(5): 537-542 [范建华, 施雅风. 气候变化对青海湖水情的影响: I. 近 30 年时期的分析[J]. 中国科学: B 辑, 1992, 22(5): 537-542]
- [19] Tang Maocang, Gao Xiaoqing, Zhang Jian. Water level of interannual change near 30 years in Qinghai lake[J]. Chinese Sci Bull, 1992, 37(8): 524-527 [汤懋苍, 高晓清, 张健. 近 30 年来青海湖水位年际变化[J]. 科学通报, 1992, 37(8): 524-527]
- [20] Li Lin, Wang Zhengyu, Qin Ningsheng, et al. Climate change and Its Impact on desertization around Qinghai lake[J]. Plateau Meteorology, 2002, 21(1): 59-65 [李林, 王振宇, 秦宁生, 等. 环青海湖地区气候变化及其对荒漠化的影响[J]. 高原气象, 2002, 21(1): 59-65]
- [21] Wang Yanjiao, Zhou Xiaolan, Ni Sahoxiang, et al. Analysis of Near 40a climate change in Qinghai lake Region[J]. Journal of Nanking Institute of Meteorology, 2003, 26(2): 228-235 [王艳姣, 周晓兰, 倪绍祥, 等. 近 40 年来青海湖地区的气候变化分析[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(2): 228-235]
- [22] Han Yong-xiang, Xi Xiao-xia, Song Liang-chun, et al. Spatio-temporal sand-dust distribution in Qinghai-Tibet Plateau and its climatic significance[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(5): 588-592 [韩永翔, 奚晓霞, 宋连春, 等. 青藏高原沙尘及其可能的气候意义[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 588-592]
- [23] Quantity Direct Examination Nation Total bureau. Evaluation Method of Breeze electric field of Wind energy Resources GB/T 18710-2002[S]. China Standard Press, 2002: 5-6 [国家质量监督检验检疫总局. 风电场风能资源评估方法 GB/T 18710-2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 5-6]

Evaluation of Wind Resources in Qinghai Lake: Shazhuyu Example

LI Yingye^{1,2}, SHI Xinghe^{1,2}, DAI Sheng^{1,2}, WANG Qingchun^{1,2}

(1. Qinghai Climate Centre, Xining 810001, China; 2. Qinghai Climate Change Monitoring and Evaluation Center, Xining 810001, China)

Abstract Wind velocity and average specific energy of wind were calculated based on wind tower data from June 2009 to May 2010 in Shazhuyu, Qinghai Lake, China. Wind Energy Evaluation methods were used to analyse the variation and characteristics of various wind energy parameters and frequencies of wind directions, the results show that during this period of time, the annual average wind speed and specific energy of 10~70 m fall in between 4.4~5.7 m/s and 138.4~285.1 W/m² respectively, a rise with height is noted. Time of wind velocity in between 3~25 m/s on all heights of the wind tower lays in between 5 090 and 6 045 hours, winds most frequently come from SE, secondly from NW. Wind power density is concentrated in NNW-NW sectors, accumulated frequencies can reach 53%. The wind velocity anomaly percentage of 50 m during the above mentioned period is relatively small (-15.17%), wind specific energy averaged over decades is 397.2 w/m², reaching level 3(>300 w/m²) grid-connected wind power generation standards, indicating that this area is rich in wind power.

Key words: wind power resource; evaluation; Shazhuyu; Qinghai lake

作者: [李应业](#), [时兴合](#), [戴升](#), [汪青春](#), [LI YingYe](#), [SHI Xinghe](#), [DAI Sheng](#), [WANG Qingchun](#)
作者单位: [青海省气候中心, 青海, 西宁, 810001; 青海省气候变化监测评估中心, 青海, 西宁, 81000](#)
刊名: [山地学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)
年, 卷(期): 2011, 29 (3)

参考文献 (23条)

1. [褚建](#) 风力发电对青海生态环境的影响[期刊论文]-[青海环境](#) 2006 (03)
2. [战培国;侯波](#) 国外风能利用和研制技术新进展[期刊论文]-[能源研究与利用](#) 2004 (06)
3. [International Energy Agency, IEA](#) [World Energy Outlook 2007](#) 2007
4. [European Renewable Energy Council \(EREC\)](#) [Greenpeace \(2006\):Energy evolution:A Sustainable World Energy outlook](#)
5. [Xue Heng;Zhu Ruizhao;Yang Zhenbin](#) [Study on land wind variation in coastal area](#)[期刊论文]-[Acta Energiæ Solaris Sinica](#) 2002 (02)
6. [朱瑞兆;薛桁](#) 风能的计算和我国风能的分布 1981 (08)
7. [王玉玺](#) [甘肃风及风能资源的研究](#)[期刊论文]-[兰州大学学报\(自然科学版\)](#) 1993 (02)
8. [薛桁;朱瑞兆;杨振斌](#) [中国风能资源贮量估算](#)[期刊论文]-[太阳能学报](#) 2001 (02)
9. [汪青春](#) [基于气象站资料的青海省风能资源评估分析](#)[期刊论文]-[青海科技](#) 2008 (04)
10. [杨振斌;薛桁;袁春红](#) [用于风电场选址的风能资源评估软件](#)[期刊论文]-[气象科技](#) 2001 (03)
11. [穆海振;徐家良;柯晓新](#) [高分辨率数值模式在风能资源评估中的应用初探](#)[期刊论文]-[应用气象学报](#) 2006 (02)
12. [植石群;钱光明](#) [广东省沿海风能的分析及计算](#)[期刊论文]-[气象](#) 2001 (05)
13. [李自应;王明;陈二永](#) [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](#)[期刊论文]-[太阳能学报](#) 1998 (03)
14. [时兴合;李牛辰;李栋梁](#) [青海湖周边年代际气候振动及其对青海高原气候变化的响应](#)[期刊论文]-[中国沙漠](#) 2008 (05)
15. [时兴合;李林;汪青春](#) [环青海湖地区气候变化及其对湖泊水位的影响](#)[期刊论文]-[气象科技](#) 2005 (01)
16. [周笃;马海州;高东林](#) [青海湖南岸全新世黄土地球化学特征及气候环境意义](#)[期刊论文]-[中国沙漠](#) 2004 (02)
17. [李风霞;唐红玉;苏文将](#) [青海省龙羊峡库区沙漠化遥感监测](#)[期刊论文]-[中国沙漠](#) 2003 (06)
18. [范建华;施雅风](#) [气候变化对青海湖水情的影响:I. 近30年时期的分析](#) 1992 (05)
19. [汤懋苍;高晓清;张键](#) [近30年来青海湖水位的年际变化](#) 1992 (08)
20. [李林;王振宇;秦宁生](#) [环青海湖地区气候变化及其对荒漠化的影响](#)[期刊论文]-[高原气象](#) 2002 (01)
21. [王艳姣;周晓兰;倪绍祥](#) [近40a来青海湖地区的气候变化分析](#)[期刊论文]-[南京气象学院学报](#) 2003 (02)
22. [韩永翔;奚晓霞;宋连春](#) [青藏高原沙尘及其可能的气候意义](#)[期刊论文]-[中国沙漠](#) 2004 (05)
23. [国家质量监督检验检疫总局](#) [GB/T 18710-2002风电场风能资源评估方法](#) 2002