

文章编号:1673-8411 (2015) 03-0059-05

# 南宁市横县地区风能资源评估

何如, 谭敏玲, 罗红磊, 卢小凤

(广西气象服务中心, 南宁 530022)

**摘要:**基于广西南宁市横县地区测风塔 2012 年 5 月~2013 年 4 月的观测资料,计算了风速、风功率密度等参数,利用风能资源评估方法分析了当地各项风能资源参数的变化规律及其特征,评估了该地区的风能资源状况。结果表明:观测年度 10~80m 年平均风速和年平均风功率密度在  $4.7\sim7.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $190.7\sim396.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  之间,且随着高度的增加而增大; $3\sim25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  风速小时数在 5207~8052h 之间;最多风向为偏东北风,风能密度主要集中在 NNE 方向上,累计频率达 76.1%;50m 高度上的年平均风功率密度为  $332.3\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,风能资源等级为 3 级( $>300\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ),表明该地区的风能资源比较丰富。

**关键词:**风能资源;评估;风速;风功率密度;横县

**中图分类号:**P425.6+3

**文献标识码:**A

## Evaluation on Wind Energy Resources of Wind Farm in Hengxian Area of Nanning

He Ru, Tan Min-ling, Luo Hong-lei, Lu Xiao-feng

(Guangxi Meteorological Service Center, Nanning, Guangxi, 530022)

**Abstract:** Based on wind tower data from May 2012 to April 2013 in Hengxian of Nanning, Wind velocity and average specific energy of wind were calculated. Wind Energy Evaluation methods were used to analyze the variation and characteristics of various wind energy parameters and evaluate of wind energy resource. The results show that during the period of time, the annual average wind speed and specific energy of 10~80m fall in between  $4.7\sim7.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  and  $190.7\sim396.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  respectively, a rise with height is noted. Time of wind velocity in between  $3\sim25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  on all heights of wind tower lays in between 5207 and 8052 hours, winds most frequently come from NNE. Wind power density is concentrated in NNE, accumulated frequencies can reach 76.1%. The wind specific energy of 50m is  $332.3\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , reaching level 3 wind energy standard ( $>300\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), indicating that wind power resources of this area are quite abundant.

**Key words:** wind energy resource; evaluation; wind speed; wind power density; Hengxian

在资源约束趋紧、环境污染严重的今天,风能资源作为可再生能源中成本较低、技术较成熟、可靠性较高的新能源,在广西开发速度迅猛、风电容量集聚增大。风力发电在广西绿色能源产业扮演着重要角色,是建设资源节约型、环境友好型社会的重要举措。在当前风电迅猛发展的新形势下,做好风能资源丰富、具有开发前景地区的风能资源评估工作意

义重大。

南宁市横县地区位于广西壮族自治区中部,地形以山地丘陵为主,拟建风电场地区风能资源较好,具备一定的开发利用价值。本文利用横县地区测风塔的观测资料,根据相关的风能资源评估规范,对横县地区的风能资源状况进行分析评估,为合理有效的开发利用当地的风能资源提供科学依据,对有关

收稿日期:2014-12-18

基金项目:广西自然科学基金项目(2015GXNSFBA139189)

作者简介:何如(1983-),女,广西柳州人,硕士研究生,工程师,主要从事气象资源开发和气候可行性论证工作。

部门制定风电发展规划、促进广西经济可持续发展具有重要意义。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

利用南宁市横县地区一座测风塔 (80m 高) 在 2012 年 5 月 1 日至 2013 年 4 月 30 日期间的风速、风向、气压、气温的观测资料, 以及横县气象站的地面气象观测资料, 且测风塔和气象站的数据均通过了有效质量控制审核。测风塔的测风数据有效数据完整率为 95.05%, 满足《风电场风能资源评估方法》<sup>[1]</sup>的数据观测质量要求。根据横县气象参证站与测风塔同期风速相关关系进行测风数据插补订正, 得到连续一年测风时段内完整的测风资料, 用于计算测风塔的各项风能参数。

### 1.2 方法

本文中空气密度、风功率密度、风能密度、风切变指数等风能参数根据《风电场风能资源评估方法》<sup>[1]</sup>和《风电场气象观测及资料审核、订正技术规范》<sup>[2]</sup>中给出的方法进行计算:

#### (1) 空气密度

空气密度计算公式:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (1)$$

式中  $\rho$  为气密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $R$  为气体常数 ( $287 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),  $P$  为气压 (hPa),  $T$  为平均开氏温标绝对温度 ( $^{\circ}\text{C} + 273$ )。

订正高度处的空气密度:

$$\rho_z = \rho_h e^{-0.0001(z-h)} \quad (2)$$

式中  $\rho_z$  为订正高度  $z$  处的空气密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\rho_h$  为实际观测高度  $h$  处的空气密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )。

根据测风塔实测的气压、气温数据, 利用公式 (1)、(2) 计算测风塔 80m 高度各月空气密度。

#### (2) 平均风功率密度

平均风功率密度计算公式:

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

式中  $\overline{D_{wp}}$  为设定时段的平均风功率密度 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $n$  为设定时段内的记录数,  $v_i$  为第  $i$  个记录风速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 值,  $\rho$  为空气密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )。

#### (3) 风能密度

风能密度计算公式:

$$D_{WE} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \rho v_i^3 t_i \quad (4)$$

式中  $D_{WE}$  为风能密度 ( $\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $n$  为风速区间数目,  $\rho$  为空气密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $v_i$  为第  $i$  风速区间的风速值 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $t_i$  为某扇区或全方位第  $i$  个风速区间的风速发生的时间 (h)。

#### (4) 风切变指数

近地层风速的垂直分布主要取决于地表粗糙度和低层大气的层结状态。在广西地区幂指数公式比对数公式可以更精确地拟合风速的垂直廓线。本文的风切变指数采用幂指数公式:

$$V_2 = V_1 \left( \frac{Z_2}{Z_1} \right)^{\alpha} \quad (5)$$

式中  $V_2$  为高度  $Z_2$  处的风速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $V_1$  为高度  $Z_1$  处的风速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $Z_1$  一般取 10m 高度,  $\alpha$  为风切变指数, 其值的大小表明了风速垂直切变的强度。

## 2 测风塔所在地气候概况

测风塔地处南宁市横县地区, 位于广西中部, 属亚热带季风气候, 境内日照充足, 气候温暖, 雨量充沛, 夏长冬短, 无霜期长。全年无霜期 362 天, 多年平均气温  $21.5^{\circ}\text{C}$ , 一月最冷, 月平均气温  $12.1^{\circ}\text{C}$ , 七月最热, 月平均气温  $28.4^{\circ}\text{C}$ 。多年平均降雨量 1450.3mm, 雨季集中在汛期 4~9 月, 年平均相对湿度 79%; 年平均日照 1649.4h。

## 3 风能资源评估

### 3.1 空气密度

利用公式 (1)、(2) 计算得出测风塔 80m 高度的年平均空气密度为  $1.145 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 各月空气密度在  $1.113 \sim 1.193 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  之间, 由于空气热胀冷缩的原理, 因此测风塔夏季的空气密度较小, 冬季相对较大, 尤其在气温最高的 8 月份空气密度最小, 在气温最低的 1 月份空气密度最大。

### 3.2 风能参数总体评价

利用公式 (3)、(4) 计算得出横县地区测风塔的风能参数 (表 1), 测风塔 10~80m 高度  $3.0 \sim 25.0 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

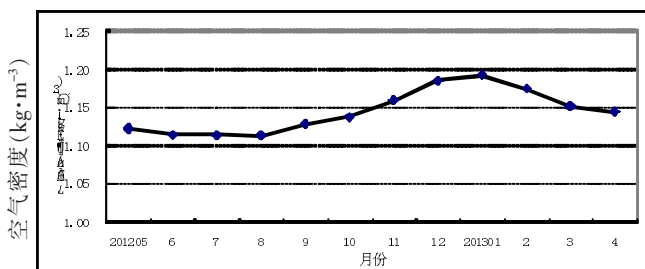


图 1 测风塔 80m 高度空气密度各月分布图

表 1 横县地区测风塔风能参数表

测风高度 (m)	3~25 m · s <sup>-1</sup> 时数百分率	平均风速 (m · s <sup>-1</sup> )	平均风功率 密度(W · m <sup>-2</sup> )	有效风功率密 度(W · m <sup>-2</sup> )	有效风能 时数(h)	风能密度 (kW · h · m <sup>-2</sup> )	平均风功率 密度等级
10	59	4.7	190.7	316.6	5207	1669.9	3
30	88	6.3	273.0	309.9	7688	2390.2	
50	90	6.7	332.3	368.7	7876	2909.8	
70	91	7.0	368.6	403.5	7985	3227.3	
80	92	7.2	396.0	430.1	8052	3467.7	

等级风速小时数为 5207~8052h, 占全年的 59%~92%, 其中 50m 高度以上的有效风时数百分率均在 90%以上, 全年可发电小时数较高。测风塔 10~80m 高度的平均风速为 4.7~7.2m·s<sup>-1</sup>, 平均风功率密度为 190.7~396.0W·m<sup>-2</sup>, 且随着高度的增加而增大。按照文献<sup>[1]</sup>中风功率密度 50m 高度的等级标准, 得到横县地区风电场的风能资源等级为 3 级 (>300W·m<sup>-2</sup>), 风能资源较好。

3.3 风速的垂直变化

根据横县地区测风塔测风时段各高度的日平均风速实测值, 利用公式(5)推算得到风切变指数为 0.205。实测和拟合的风速廓线见图 2, 可见平均风速随高度逐层递增, 风速垂直切变基本符合幂指数规律。由于风切变较大, 在进行风机选型时, 可以适

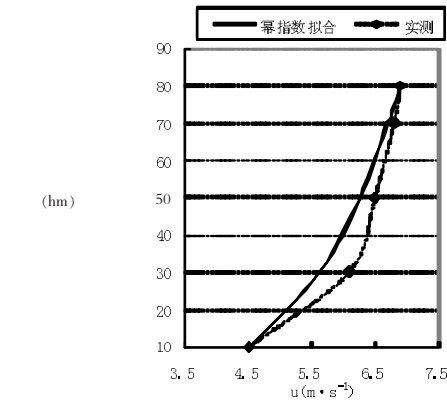


图 2 测风塔平均风速廓线

当提高轮毂高度, 提高风能利用率。

3.3 风速和风功率密度月变化、日变化特征

风速和风功率密度是风能资源参数中最能直接表达风能资源大小状况的参数。风速和风功率密度的月变化幅度较大, 平均风速在 5.4~9.2m·s<sup>-1</sup> 之间, 最大最小风速差值为 3.8m·s<sup>-1</sup>; 各月平均风功率密

度在 154.1~848.6W·m<sup>-2</sup> 之间, 最大最小风功率密度差值为 694.5W·m<sup>-2</sup>。由图 3 可见, 平均风速和平均风功率密度的月变化规律基本一致, 均在 11 月至翌年 2 月相对较大, 6 月~8 月相对较小, 其中 12 月最大, 8 月最小。因此, 冬季、春季是横县地区风能资源

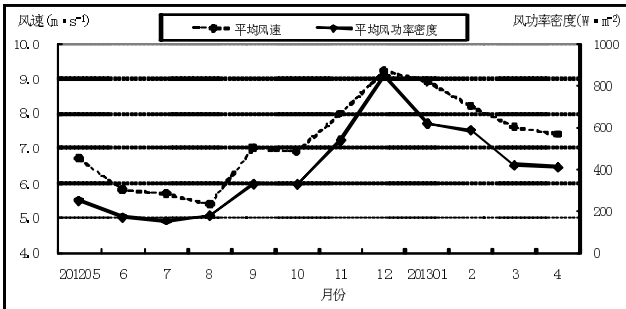


图 3 测风塔 80m 平均风速和平均风功率密度月变化曲线

利用的最佳时期, 秋季次之, 夏季最差。

测风塔平均风速日变化的范围为 6.4~7.7m·s<sup>-1</sup>, 平均风功率密度的范围为 312.1~464.8W·m<sup>-2</sup>。平均风速和平均风功率密度的日变化特征都变现为白天小、夜间大的规律(图 4), 即上午 9 点到下午 20 点期间风速相对较小, 最小值出现在 14~15 点; 21 点至次日上午 8 点期间风速相对较大, 最大值出现在 05 点。风速、风功率密度都呈现这样的规律是由于测风塔海拔位置较高, 白天湍流交换强, 动量下传到较低海拔地方, 致使山上白天风速和风功率密度偏小<sup>[3]</sup>。由此可见, 夜间尤其是凌晨一般是一天之中风

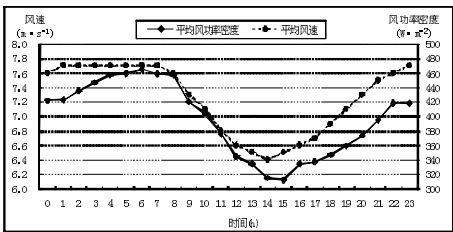


图 4 测风塔 80m 平均风速和平均风功率密度日变化曲线

能资源最好的时段。

### 3.4 风速频率和风能频率分布特征

风速频率分布与风能频率分布特征有明显的差异(图5),测风塔80m高度有效风速频率为91.9%,且频率较大的风速段大致集中在 $3\sim 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,所占比例为76.9%;风能频率主要集中在 $7\sim 15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,所占比例为70.5%。另外,风速和风能密度的分布较为对称,由于风电场属低风速型风电场,这样更有利于风

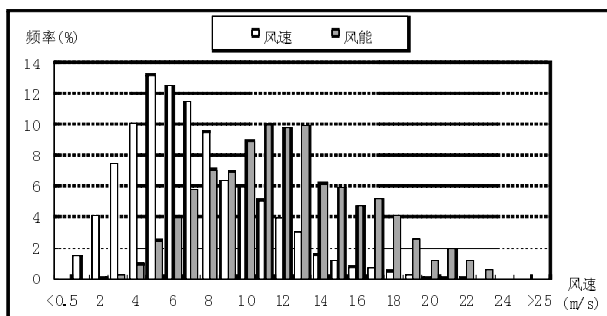


图5 测风塔80m风速频率和风能频率分布直方图

电机组对风能资源的利用。

### 3.5 风向和风能密度分布

风向分布和风能密度分布基本一致(图6),测风塔80m高度的年主导风向为偏东北风(NNE方向),占全年风向频率的37.4%;风能密度分布也主要集中在NNE方向上,占全年的76.1%。由此可见,测风塔的风能很好的集中在NNE方向上,有利于风

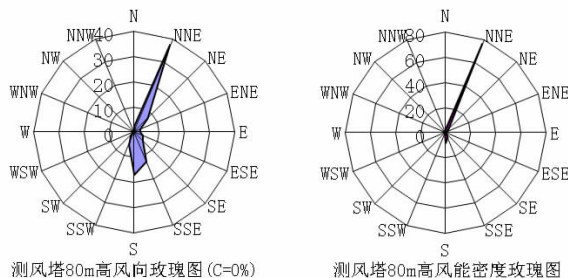


图6 测风塔80m风向玫瑰图(左)和风能密度玫瑰图(右)

机排布和提高风电场发电力。

## 4 结论

(1) 南宁市横县地区测风塔所在地位于广西中部,属于亚热带季风气候类型,日照充足,气候温暖,雨量充沛,夏长冬短,无霜期长。

(2) 测风塔10~80m高度的年平均风速为 $4.7\sim 7.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,年平均风功率密度为 $190.7\sim 396.0\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,且随着高度的增加而增大;50m高度上的年平均风

功率密度为 $332.3\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,该地区风能资源等级达到了3级( $>300\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ),说明该地区的风能资源比较丰富。

(3) 测风塔的风速、风功率密度的月变化和日变化均较大,一年之中的11月至翌年2月是横县地区风能资源利用的最佳时期;一天之中在夜间21点至次日上午8点期间是风能资源最好的时段。

(4) 测风塔各高度 $3\sim 25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速小时数为5207~8052h,全年可发电小时数较高。有效风速频率为91.9%,频率较大的风速段主要集中在 $3\sim 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,占76.9%,风能频率较高的风速段主要集中在 $7\sim 15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,占70.5%,风速和风能分布较为对称,有利于风机对风能资源的利用。

(5) 该地区的年主导风向为偏东北风(NNE方向),风能密度也主要集中在NNE方向上,累计频率达76.1%,风能较为集中,有利于风机的排布、稳定运行和提高发电力。

(6) 测风塔的年空气密度为 $1.145\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,冬季相对较大,夏季空气密度较小。测风塔的风切变指数为0.205,风切变较大,风速随高度逐层递增,基本符合幂指数规律,因此在风机选型时可以适当提高轮毂高度以更好地利用风能。

### 参考文献:

- [1] 中国水利水电建设工程咨询公司.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,2004.
- [2] 广东省气象局.风电场气象观测及资料审核、订正技术规范(QX/T74—2007) [S].北京:气象出版社,2007.
- [3] 谭敏玲,周绍毅,范万新.广西北流市风电场风能资源分析[J].气象研究与应用,2013,34(3):47—50.
- [4] 孙小龙,苏志,何如,等.富川地区风能资源分析[J].气象研究与应用,2012,33(3):25—28.
- [5] 李应业,时兴和,戴升,等.环青海湖风能资源的评估——以沙珠玉为例[J].山地学报,2011,29(3):285—290.
- [6] 黄梅丽,史彩霞,谭强敏,等.广西山地风能资源开发利用可行性分析——以大容山为例[J].成都信息工程学院学报,2007,22(2):247—252.
- [7] 李泽椿,朱蓉,何晓凤,等.风能资源评估技术方法研究[J].气象学报,2007,65(5):708—717.
- [8] 杨凤群,林苗青,翁永安.南澳岛风能资源的评估[J].气象研究与应用,2011,32(3):58—61.
- [9] 秦鹏,黄浩辉,植石群.东莞风能资源的评估及开发利用



- 用 [J]. 广东气象, 2011, 33 (3): 47—50.
- [10] 袁家峰, 何春汛. 马龙县风力发电可行性研究 [J]. 广西气象, 2006, 27 (S3): 64—66.
- [11] 刘兴正, 杨柱龙, 徐焕. 广西风能资源 [J]. 广西气象, 1982, 13 (4): 37—43.
- [12] 徐焕, 杜慧珠, 刘兴正, 等. 广西北部湾沿海风能资源利用效益的测算 [J]. 广西气象, 1983, 2: 29—35.
- [13] 陈如杰. 北海风能储量及其开发利用 [J]. 广西气象, 1996, 17 (2): 21—23.
- [14] 王志春, 宋丽莉, 黄飞, 等. 沿海地区风速指数的计算 [J]. 广东气象, 2006, (4): 17—18.
- [15] 王志春, 宋丽莉, 何秋生, 等. 风速随高度变化的曲线拟合 [J]. 广东气象, 2007, (1): 13—15.
- [16] 史彩霞, 刘世学, 苏志. 广西风能资源监测评估系统平台的设计和开发 [J]. 气象研究与应用, 2007, 30 (1): 40—42.
- [17] 甘一忠. 广西风能资源评价工作探讨 [J]. 广西气象, 2005, 26 (4): 55—56.
- [18] 钱光明, 俞红鹰. 广东省沿海风能储量及开发前景分析 [J]. 广东气象, 1998, (4): 2—4.
- [19] 欧阳里程, 张维, 吴巍巍. 广东省风电行业气象服务效益评估 [J]. 广东气象, 2012, 34 (5): 50—53.

(上接第 52 页)

(等级 A)、小于等于 3.5 赋值 2 分(等级 B)、大于 7 且小于等于 10 赋值 1 分(等级 C)和大于 10 赋值 0 分(等级 D)为标准, 得到凤山县的综合舒适指数及各月份等级的次数(一年中有两个月达到等级 A, 则记为 2A, 以此类推), 凤山有 5 个月达到 A 等级, 6 个月达到 B 等级, 1 个月处在 C 等级, 总得分 28 分, 全年舒适度高, 舒适时间长。

## 4 结论

(1) 凤山一年无冬, 春秋相连, 气候宜人。夏季气温相对较高, 降雨量大, 天气相对湿热, 且夏季是暴雨洪涝、雷电事故多发的季节, 外出旅游需多加防范。

(2) 从全年气候适宜性上看, 凤山的温湿指数和风效指数都表现为舒适到非常舒适, 舒适度高, 舒适期长。

(3) 从各月气候适宜性上看, 1 月为凤山不舒适的月份, 其余月份为次舒适到非常舒适, 其中 10 月、11 月、12 月、2 月及 3 月为非常舒适的月份, 最适合外出旅游活动。

(4) 温湿指数及风效指数从不同的因素分析气象要素对人类生理反应的影响, 因而得出的不舒适月份有所差异。一般来说温度与人的舒适感关系最大, 其次是湿度, 风和日照, 因此如何确定这几个指

数的权重, 建立更合理的评价体系, 有待今后进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 李雪铭, 刘敬华. 我国主要城市人居环境适宜居住的气候因子综合评价 [J]. 经济地理, 2003, 23 (5): 656—660.
- [2] 廖雪萍, 凌卫宁, 凌洪, 等. 南宁市适应风气候环境总体规划的建议 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (2): 57—59.
- [3] 黄东林. 桂林市旅游气候舒适度评价. 气象研究与应用 [J]. 2010, 31 (3): 27—29.
- [4] 范业正, 郭来喜. 中国海滨旅游地气候适宜性评价 [J]. 自然资源学报, 1998, 13 (4): 306—311.
- [5] 廉丽姝, 李志富. 山东省旅游气候资源研究 [J]. 山东气象, 2005, 25 (3): 1—4.
- [6] 苏俊辉, 秋建军, 樊玉华. 汉中中雾的天气气候特征 [J]. 陕西气象, 2003, (4): 10—12.
- [7] 覃卫坚. 广西旅游气候舒适度分析 [J]. 广西气象, 2003, 22 (4): 50—52.
- [8] 庞庭颐. 广西山区夏凉气候资源的合理开发与利用 [J]. 广西气象, 2001, 22 (1): 47—51.
- [9] 李艳兰, 欧艺, 周绍毅, 等. 广西热带气旋灾害评估系统的开发与应用 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (4): 1—3.
- [10] 徐军昶, 王永丽, 等. 陕西人居环境气候适宜度评价及人口分布 [J]. 陕西气象, 2009, (1): 9—13.