

广东省沿海风能的分析及计算

植石群 钱光明

(广东省气候应用研究所, 广州 510080)

提 要

利用广东省沿海地区3年多的现场实测风资料及其临近的气象站风资料, 分析了广东省沿海风随高度的变化规律和随离海岸线距离的衰减变化规律, 计算了广东省沿海风能贮量和可开发量。

关键词: 风能 实测风资料 风廓线

风能具有取之不尽, 用之不竭, 可以再生, 不污染环境等许多优点, 因此风能成为当今世界上许多国家竞相开发利用的新能源, 发展势头很快。广东省沿海处于我国南部沿海风能丰富区, 风力资源特别丰富。因此, 摸清广东省沿海风能资源状况及分布特点, 对广东省沿海的风能开发具有重要意义。

1 资料来源

风电场都是设置在开阔、平坦、风比较大的地方, 大型风力发电机的塔架高度达30~50m。气象站位于城镇内或城郊, 测风感应器的观测高度一般为10m。因此用气象站观测的风资料来评估和分析风能资源, 很难得到全面、准确的结果。根据国家计委《风电场可行性研究报告编制规程》的规定, 建立风电场之前必须进行1~2年以上的现场测试, 并与附近气象站长年代的风资料相比较, 将其延长, 以获得客观、稳定的风能资源分析结果, 为风能开发、建立风电场提供科学的依据。鉴于以上原因, 从1996年1月至1999年6月, 我们沿广东省海岸线从东到西设置了饶平(40m高度, 测风层10、40、50m)、汕头(10m高度)、惠来(40m高度, 测风层10、20、30、40m)、汕尾(40m高度, 测风层10、20、30、40m)、珠海(10m高度)、阳江(10m高度)、湛江(40m高度, 测风层10、20、30、40m)、徐闻(50m高度, 测风层10、20、30、40、50m)8个有垂直观测梯度的测风点及从海岸至内陆2

~5km的测风剖面(图1), 通过连续3年多的测量, 获得了大量的风速、风向观测数据。

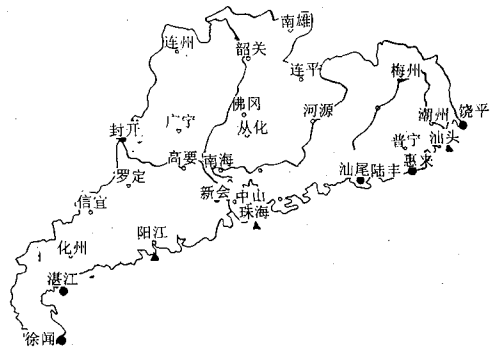


图1 广东省沿海测风点分布一览图

2 风随高度变化

大型风机塔架的高度在30~50m左右, 而用气象站长年代风资料延长后的沿海现场实测风资料, 其高度一般只有10m, 因此, 有必要将10m高度的风速推算到风机安装高度的风速。

近地层风随高度变化与地面粗糙度很有关系, 除了地面粗糙状态外, 低层大气的层结状态也是决定扰动强弱的一个重要因子。因此, 在近地面层风的廓线公式中应主要考虑地面粗糙度和低层大气层结情况的影响。不同的下垫面和不同的大气层结情况可以得出不同的风速廓线方程。但是在实用上仍旧使用指数律和对数律公式, 它们仅需一个特定的参数, 就可以将一个高度的风速推算到另

一个高度的风速。这两个定律的数学表达式为：

指数律：

$$u_2 = u_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^m \quad (1)$$

对数律：

$$u_2 = u_1 \frac{\ln z_2 - \ln z_0}{\ln z_1 - \ln z_0} \quad (2)$$

式中： u_1, u_2 为风速， z_1, z_2 为高度， z_0 为粗糙度， m 为幂指数。

对于式(2)所表达的对数律，在一定下垫面下，只要地面情况不改变，它的粗糙度高度是不改变的，因此，这个规律只适用于大气中性平衡或接近于中性平衡及高度较低的情况。对于式(1)适用的高度为 2000m 以下的近地层，同时幂指数 m 的变化还反映着大气层结的变化，因此可以推广到非中性大气。因此，本文主要采用指数律式研究风随高度变化规律，同时把对数律的粗糙度 z_0 也计算出来作为对照。

采用饶平(50m 塔)、惠来(40m 塔)、汕尾(40m 塔)、湛江(40m 塔)和徐闻(50m 塔)梯度风观测资料，用指数律和对数律公式计算广东省沿海各地的 m, z_0 。

2.1 不同稳定度下的幂指数

由于在铁塔上没有安装温度观测仪器，缺乏具体的大气层结资料，因此只能选取晴天夜间到黎明前作为定性的大气层结稳定时间，白天中午作为大气层结不稳定的时间，而早晨日出后和下午日落前作为大气近似地接近中性平衡的时间。因此，可用晴天条件下幂指数的日变化情况来分析幂指数 m 与大气层结的关系(图 2、图 3 资料取自汕尾晴天时 10m 高度的风速、风向)。从图 2、图 3 可以看出，无论是海风或陆风都是夜间大气稳定时幂指数 m 最大，中午大气不稳定时最小，早晨或傍晚接近中性平衡时介于两者之间。

2.2 平均风速的幂指数

由于风能参数的计算及分析主要应用平均风速，因此本文在计算幂指数 m 时只计算日平均风速下的 m 值，而不考虑大气的稳定

性和风的来向。

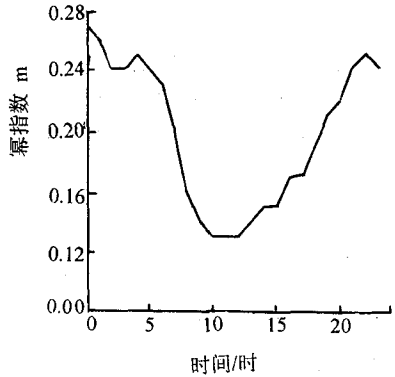


图 2 幂指数日变化曲线(陆风)

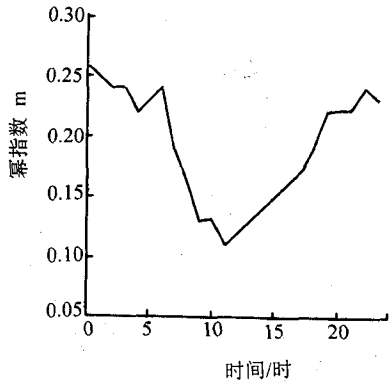


图 3 幂指数日变化曲线(海风)

表 1 为各地平均风速的 m, z_0 值。

表 1 广东省沿海各地平均风速的 m, z_0 值

地点	m	z_0
饶平	0.196	0.920
惠来	0.208	0.925
汕尾	0.197	0.935
湛江	0.202	0.937
徐闻	0.207	0.946
平均	0.202	0.933

从表 1 可以看出，广东省沿海各地日平均风速的 m 值在 0.196~0.208 之间，相差不大，平均值 0.202，大于港口规范(陆上) 0.164，小于建筑结构荷载规范(沿海地区) 0.24。

指数律与对数律计算误差：根据表 1 的结果，同时用指数律和对数律计算不同高度上的风速，比较计算值和实测值之间的误差。

根据计算,指数律误差在 0.5%~2%之间,对数律误差在 10%~15%之间,可见指数律明显优于对数律,从这里也可以看出指数律更适合于广东省沿海风随高度变化规律。

3 风随离海边距离的衰减变化

海面比起伏的陆地摩擦力小,在气压梯度力相同的情况下,海上风速比陆地风速大,随着离海边距离的增加,风速是逐步衰减的。选取饶平、惠来、汕尾、徐闻等地 8 个海岸至内陆观测点 10m 高度的资料进行分析,以海岸风速为标准,陆上风速跟距离海岸的距离有如下关系:

$$y = x - bL \quad (4)$$

式中 y 为陆地风速($m \cdot s^{-1}$), x 为海岸风速, b 为风速衰减常数[($m \cdot s^{-1}$)· km^{-1}], L 为离海边的距离(km)。这样,只要推算出常数 b ,就可以知道每单位距离(一般是 km)风速的衰减值。应用最小二乘法对式(4)进行求解,得出年平均风速及春夏秋冬四季的风速衰减常数(表 2)。

表 2 风速衰减常数(b 值)

地点	春	夏	秋	冬	年
饶平	0.55	0.36	0.50	0.60	0.50
惠来	0.58	0.33	0.53	0.62	0.52
汕尾	0.53	0.34	0.48	0.61	0.49
徐闻	0.56	0.30	0.45	0.62	0.48

从表 2 可以看出,年平均风速衰减常数在 0.48~0.52 $m \cdot s^{-1}$ 之间。冬春季节比夏秋要大。冬春季平均风速比夏秋季大,这说明随着风速的增大,衰减常数也随之增大。年平均风速衰减常数取四地的平均值,则 $b=0.50$,计算在不同风速条件下海岸风速随离海岸距离的衰减变化(表 3)。

表 3 风速衰减/ $m \cdot s^{-1}$

海岸风速	距海岸距离/km				
	1	2	3	4	5
7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5
6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5
5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0

表 4 是广东省沿海各地(海岸线)用气象站风资料延长后的年平均风速,一般在 6.0~6.6 $m \cdot s^{-1}$ 之间,全省平均则为 6.4

$m \cdot s^{-1}$ 。大型风电场要求年平均风速在 5.5 $m \cdot s^{-1}$ 以上,从风速衰减表(表 3)可知,广东省沿海各地在建立风电场时,风机最好安装在距海岸线 2km 以内的区域。

表 4 沿海地区海岸线的年平均风速/ $m \cdot s^{-1}$

地点	饶平	汕头	惠来	汕尾	珠海	阳江	湛江	徐闻
年平均风速	6.6	6.4	6.2	6.4	6.6	6.0	6.5	6.2

4 沿海风能贮量

风能贮量是指在一定高度和水平范围内立体空间的风能贮藏量。其计算公式^[1]为:

$$Q = \frac{W \times S}{N_1 \times N_2} \quad (3)$$

式中: Q —风能贮量(单位: W), W —某范围内某高度平均风能密度, S —海岸带面积,在这个面积内 10m 高度年平均风速 5.5 $m \cdot s^{-1}$ 以上, N_1 、 N_2 —两风机的纵、横向距离,分别取国际上通用的风轮直径的 8 倍和 4 倍(纵向与盛行风向一致,横向与盛行风向垂直)。

4.1 风能贮量计算的空间范围

由于大型风机的塔架高度在 30~50m 或以上,所以本文在计算广东省沿海风能贮量时,高度取到 50m。水平范围则为海岸带长度和宽度,取广东省沿海大陆海岸线的长度,宽度按风随离海边距离的衰减变化的计算结果取 2km。

4.2 风能密度的计算

风能密度是气流在单位时间内通过单位截面积的风能,其计算方法有直接统计法、Weibull 双参数法、Wasp 计算法。本文选用直接统计法,因为我们现场观测的资料是通过自己记录收集到的,这种观测资料适合用直接统计法,它的计算公式^[2]如下:

$$W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \frac{1}{2} \rho N_i V_i^3 \quad (4)$$

式中, W 为平均风能密度, N_i 为某等级风速 V_i 的出现次数, N 为观测风速的总次数, K 为风速分级的次数, ρ 为空气密度。本文各个观测点的空气密度均采用邻近气象站的多年平均空气密度。根据现场观测资料计算分析,广东省沿海 10m 高度平均风能密度为 200~

$300\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, 其平均值为 $250\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

由于上述算得的风能密度是 10m 高度的风能密度, 而风机安装的高度则在 30~50m, 因此在计算风能贮量时有必要将其换算到同一高度。根据风随高度变化规律——指数律式(1)和风能密度计算公式(4), 可将 10m 高度的风能密度换算到 20~50m 高度。其结果为 10、20、30、40、50m 高度的风能密度依次为 $250、381、487、579、663\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

4.3 海岸带面积

海岸带长度取广东省大陆海岸线长度 3369km, 宽度取 2km。

$$S = (3369 \times 10^3) \times (2 \times 10^3) \\ = 6.738 \times 10^9 \text{m}^2$$

4.4 沿海风能总贮量及可开发量

根据式(3)可算得各高度的风能贮量(表 5), 从表 5 可知, 10m 高度的风能贮量只有 $5264 \times 10^4\text{kW}$, 而到了 50m 高度则达到 $1.396 \times 10^8\text{kW}$, 所以适当地提高风机的安装高度, 可明显地提高风能的利用率。风能贮量并不等于全部都可以用来进行开发, 因此, 还要考虑到可开发量。可开发量按贮量的 1/10 计, 并考虑到风机叶片实际扫过的面积, 需乘以面积系数 0.735, 算得各高度的可开发量也列于表 5。从表 5 可以看出, 广东省沿海 30~50m 高度的风能总贮量在 $1 \times 10^8\text{kW}$ 以上, 可开发量也很大, 在 $750 \times 10^4 \sim 1000 \times$

10^4kW , 到 2000 年广东省风电的总装机容量只有 $10 \times 10^4\text{kW}$, 因此开发的潜力很大。

表 5 广东省沿海各高度风能贮量和可开发量/ 10^4kW

高度/m	风能贮量	可开发量
10	5264	386.9
20	8022	589.6
30	10254	753.7
40	12192	896.1
50	13960	1026.1

5 小结

(1) 风随高度变化指数律适合于广东省沿海地区风随高度规律研究。

(2) 广东省沿海岸线 2km 宽地带年平均风速 $\geq 5.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 属风能丰富区, 是广东省沿海风能开发的重点地区。

(3) 广东省沿海风能的贮量和可开发量都丰富, 开发利用的前景广阔。

(4) 由于风能密度的大小与风速的立方成正比, 因而风能随高度的增幅值要比风速大, 广东省沿海 50m 高度的风速是 10m 高度的 1.38 倍左右, 而风能则是 2.65 倍, 所以适当地提高风机的安装高度, 能明显地提高风能的利用率。

参考文献

- 1 钱光明等. 广东省沿海风能储量及开发前景分析. 广东气象, 1998. 4.
- 2 朱瑞兆等. 中国太阳能·风能资源及其利用. 北京: 气象出版社, 1988.

The Analysis and Calculation of Wind Energy on the Coastland of Guangdong

Zhi Shiqun Qian Guangming

(Guangdong Institute of Application Climate, Guangzhou 510080)

Abstract

Based on the data observed at meteorological station on the coastland of Guangdong the law of wind varying with height, and the law of wind weaken with distance from coastline are studied, and wind energy storage and its exploitables amount on the coastland of Guangdong is calculated.

Key Words: wind energy power law logarithmic law coastland