

风车田风能资源估算方法研究

袁国恩

李友 张振宇

(沈阳区域气象中心研究所 110015) (东北电业管理局规划处 110006)

1 风车田风能资源估算的必要性和可能性

风车田的范围一般要几平方公里以上,能够进行实际测风的地点是极有限的。一般场址的地形也不会是完全平坦的。由于地形、地表粗糙度、障碍物等影响,各不同位置风速必然有一定差异,对这种差异的了解完全靠实测是不能解决的。因此,利用风场少数测风点的资料为基础,采用一些适当的方法对不同地形条件下的不同地点风力大小和资源状况进行客观量化的估算,这对全面了解风车田各点的风能资源情况是必不可少的。

为了能够较为可靠地掌握在不同地形和地表状况下风的差异,并估算各地点的风能资源,研究人员提出一些有一定物理基础的估算方法,尽管这些方法与实测之间存在一定误差,但不失其应用价值,为我们了解各点间的风速差异及其风能资源情况提供了切实可行的方法。丹麦 Troen 等人研制的 WASP 程序,对设有测风点并获取1年以上连续测风资料的风车田各点风能资源的估算具有很好的效果。由于该程序不向外用户提供源程序,故对其估算方法的详细情况尚不清楚。本研究引进该程序对东岗风车田各点的风能资源情况进行了估算。加拿大 Salmon 等人研制的 Guide 程序可对不同地形和地表粗糙度对风速的影响情况进行估算,具有较好的应用价值,本研究也将该程序引进并应用于东岗风车田各点风速差异的估算。

考虑到东岗风车田的地形特点,本研究共选择了13个地点对风速及风能资源进行估算,其中平原地区5个地点,西部顶端高地2个地点,东南部低矮山丘6个地点,其位置情况在图1中标出,并将其从1至13分别给予编号。

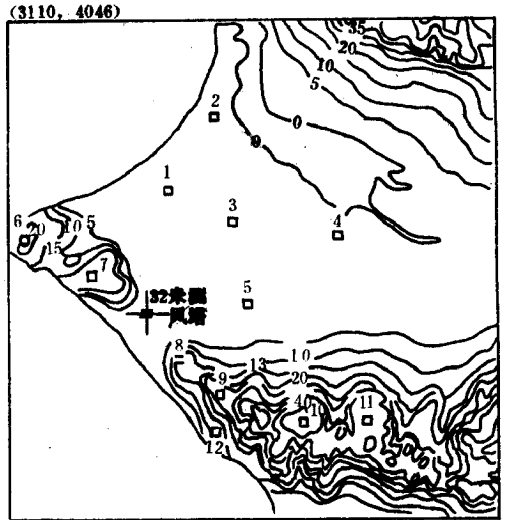


图1 各估算点位置及标号

2. 不同地点风速差异的估算

已知参考点 R , 某风向风速为 U_r , 地表粗糙度 Z_{or} , 测风高度 ΔZ_r , 估算点 P , 其地形高度 h , 地形尺度长度 L , 地表粗糙度 Z_{op} , 在 P 点上风向相对平坦地区有一点 U , 其地表粗糙度 Z_{ou} 。图2给出上述各点的分布情况及有关参考数据的定义。

在参考点 R 应用风随高度变化的对数公式

$$U_r = (U_{r0}/K) \ln(\Delta Z_r/Z_{or}) \quad (1)$$

可求出参考点摩擦风速 U_{r0} , 式中, $K = 0.42$ 。由行星边界层的阻力定律, 在中性层结构条件下有

$$U_r/U_{r0} = [\ln(U_{r0}/fZ_{or}) - b]^2 + a^2)^{1/2}/K \quad (2)$$

式中, 系数 $a = 4, b = 2$, 由此可以求出 U_{r0} 。设 R 点的 U_r 和 U 点的 U_r 是相同的, 地表粗糙度不同时, 可以应用下式求出 U 点的 U_{r0} :

$$U_p/U_{..} = [\ln(U_{..}/fZ_{0..}) - b]^2 + a^2]^{1/2}/K \quad (3)$$

在已知 U 点的 $U_{..}$ 和 $U_{0..}$ 的情况下, 可以求出 U 点 ΔZ_p 高度处的风速 U_p :

$$U_p = (U_{..}/K) \ln(\Delta Z_p/Z_{0..}) \quad (4)$$

让 $\Delta Z_p = \Delta Z_r$, 讨论 U_p 与估算点风速 U_r 的关系如下:

① 由于地形特性造成风速的变化

$$\Delta U_T = \Delta S U_r (\Delta Z_r) \quad (5)$$

式中,

$$\Delta S = \Delta S_{\max} \exp(-A \Delta Z/L) \quad (6)$$

$$\Delta Z_{\max} = Bh/L \quad (7)$$

不同地形条件下的 A, B 值在表1中给出。

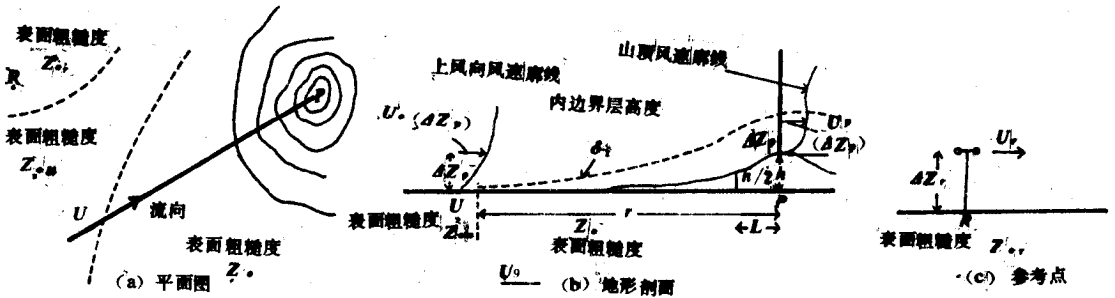


图2 气流状况示意图

表1 地形系数

地形类型	A	B
二维山脊(山谷)	3.0	2.0
三维山脊	4.0	1.6
二维陡崖	2.5	0.8
二维起伏地形	3.5	1.5
三维起伏地形	4.4	1.1
平坦	0.0	0.0

式中, r 为上风向粗糙度发生变化的距离, P 点相对于 U 点风速的变化可考虑为上述两种影响的叠加:

$$\Delta U = \Delta U_i = \Delta U_r \quad (10)$$

这种方法没有考虑地表加热状况对风速变化的影响, 上述公式始终是假设在中性层结条件下导出的。

东岗风场以东南和北北西为盛行风向, 且北北西风向为最大能量风向。因此, 我们选北北西风和东南风为例对风场范围内小尺度地形特性和粗糙度差异造成风速变化的情况进行估算。目的是了解在盛行风向下风场各点与测点之间风速差异。

表2是北风和南风时的估算结果。

② 由于地表粗糙度不同引起风速的变化

$$\Delta U_r = \left\{ \frac{\ln(\Delta Z_r/Z_0)}{\ln(\delta_i/Z_0)} \right. \\ \left. \left[\frac{\ln(\delta_i/Z_{0..})}{\ln(\Delta Z_r/Z_{0..})} - 1 \right] \right\} U_r (\Delta Z_r) \quad (8)$$

式中, δ_i 为内边界层深度, 由下式求得:

$$\delta_i/Z_0 = 0.75(r/Z_0)^{0.8} \quad (9)$$

表2 各测点估算风速

估算地点代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
北风时估算点 10米高度风速	10.5	10.5	10.0	10.0	10.0	10.8	10.3	11.2	11.6	11.5	11.1	11.0	13.4
南风时估算点 10米高度风速	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.6	10.5	10.8	10.8	11.0	10.6	10.7	10.2

从表2可以看出,由于西部台地和东南部山丘地势较高,无论北风或南风,其风速均比平坦的地区偏大:北风时,东南部山丘大于西部台地,东南风时两处风速大致相同。

3 各点风能资源的估算

应用 WASP 程序可对各点的 WEIBULL 分布 C, K 参数值、平均风能密度直接进行估算。表 3 列出了各点 10 米高度处 C, K 的估算

表3 各测点10米高度 WEIBULL 分布 C, K 参数估算值

估算点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C	5.9	5.9	6.2	6.2	6.2	7.2	6.9	6.9	7.4	8.1	7.9	6.8	7.3
K	1.38	1.38	1.40	1.40	1.40	1.46	1.43	1.44	1.48	1.55	1.53	1.43	1.47

值。有了这两个数值,就可以计算各项风能资源参数值。无论 C, K , 其大小排列都与高度排列一致。

表4是 WASP 程序估算的各点10米高度的各项风能参数值。

从表4中可以看出,无论是平均风能密度、有效风能密度还是有效风力时数,其大小排列基本上与地势高度排列相同。

表4 各点10米高度各项风能参数估算值

估算点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	瓦/平方米
平均风能密度	298	298	334	334	334	477	433	442	509	606	585	415	496	
3~20米/秒 有效风能密度	412	412	442	442	442	550	523	518	569	638	618	509	560	
3~20米/秒 有效风力时数	5871	5871	6049	6049	6049	6527	6374	6395	6622	6917	6839	6341	6575	

对比两个测风点附近的估算值与实测值,可以看出有效风能密度的估算值比实测值偏大一些。有效风力时数值比实测值偏小一些。其原因是观测值10米/秒以下风速频率较高,应用 WEIBULL 分布拟合时曲线值低于实测值,而10米/秒以上风速段内,曲线值一般高于实测值,推算各点风能资源时如果使用观测拟合的 C, K 值,就会出现上述结果。

4 风能资源随高度变化的估算

近年来,由于风力机制造技术不断提高,单机功率逐渐加大,风轮直径也相应地增大,风能利用高度有向高发展的趋势。因此,研究风能资源随高度的变化规律更加重要。在我国,不同高度上长时间同步测风资料很少,探讨风能资源随高度变化较为困难。本课题这次在32米测风塔上进行3层测风,其主要目的之一就是为探讨风能资源随高度的变化提供分析数据。

一些研究结果表明,WEIBULL 分布不仅可以拟合低速的风速分布,还可以拟合高层的风速分布,而且它的两个参数值随高度变化很有规律。Justus(1977)分析了肯尼迪空间飞行中心等地的4个气象塔的风速分布资料指出,尺度参数 C 随高度的变化可以用指数表示:

$$C(Z) = C_0 \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^n \quad (11)$$

式中, Z_0 为测风资料的高度, C_0 为 Z_0 高度上的尺度参数,计算 n 的经验公式为:

$$n = [0.37 - 0.088 \ln C_0] / [1 - 0.088 \ln(Z_0/10)] \quad (12)$$

形状参数 K 随高度变化的经验公式为:

$$K(Z) = K_0 [1 - 0.088 \ln(Z_0/10)] / [1 - 0.088 \ln(Z/10)] \quad (13)$$

式中, K_0 为 Z_0 高度上的形状参数。上述公式是否适合我国及辽宁省风车田情况,尚没见到有

朝阳市政府重视

种子包衣工作

本刊讯 朝阳市政府重视种子包衣工作。6月28日,朝阳市政府在建平县青峰山乡召开“朝阳市种子包衣工作现场会”。各县(市)区主管农业的领导,市直有关部门,市政府决策咨询委、农委主要领导参加了现场会。会议由市政府副秘书长、农委主任项延林主持。副市长吕军昌到会并讲了话。

由朝阳市气象研究所研究开发的种子包衣技术,1987~1992年在全市累计推广28万亩,平均增产10%~13%,投入产出比高达1:30,经济效益约1600多万元。今年,市政府把种子包衣技术列为发展两高一优农业的重要措施写入《政府工作报告》,为此专门召开了市长办公会议并发了纪要。入春以来,各有关部门纷纷行动起来,全力以赴开展推广种子包衣工作。与会者在现场看到,在今春出现严重干旱的情况下,经种子包衣的农作物具有显著的苗齐、苗壮的优势。

吕军昌在会上指出:朝阳使用的种衣剂效果好于国内的某些型号种衣剂。今年春季,全市推广种子包衣技术20多万亩。在此基础上,今年夏种,全市要完成小麦下茬作物种子包衣6万亩。明年全市推广种子包衣技术面积必保60万亩,力争突破80万亩,各县(市)区要有10%以上的耕地应用种子包衣技术。飞播造林也要推广种子包衣技术。为保证上述任务的完成,吕军昌代表市政府提出了六点要求。一要提高认识,把推广应用种子包衣技术作为耕作制度的革新和发展两高一优农业的重要措施来抓,各级农委、农业局、林业局和气象局都要有一名领导负责这项工作;二要搞好服务,广泛开展种子包衣技术的普及与培训,保证质量,加强技术指导;三要抓典型,用典型示范促进大面积推广;四要在资金上给予支持,各级财政、金融部门要保证种子包衣技术推广中所需资金;五要发挥农科教

人进行过研究。我们应用32米测风塔的3层测风资料对上述公式的适用情况进行了验证。当 Z_0 等于8米时,取 $C_0 = 5.4$,求得 $n = 0.218$,与Justus的0.23大致相当。我们以8米为基础,对16米和32米高度上的 C, K 值进行推算。由于使用了3种不同的方法确定 C, K 值,因此对3种 C, K 值分别进行了推算。推算结果与实测风得到的结果十分接近,其误差几乎不超过1%。因此,可以断定,Justus等人研究得出的 C, K 值随高度变化规律在我省是基本适合的,应用这种方法可以推算近百米高度内任何没有测风高度上的 C, K 值,并进而估算其风能资源情况,其误差不会很大。表5列出了以方差法确定的 C, K 值为基础估算得到的不同高度上的 C, K 值。有了这些 C, K 值就可以估算其相应的各项风能资源参数。

表5 各高度上 C, K 参数的估算

参数	40	50	60	70	80	90	100
C	7.7	8.1	8.4	8.7	9.0	9.2	9.4
K	1.64	1.68	1.71	1.73	1.76	1.78	1.80

$$C_0 = 5.42, K_0 = 1.41.$$

表6就是应用表5计算的不同高度各项风能资源指标。

表6 各高度风能资源的估算

风能资源参数	40	50	60	70	80	90	100
平均风能密度	506	568	617	672	729	766	806
3~20米/秒 有效风能密度	553	597	632	669	705	729	754
4~24米/秒 有效风能密度	682	735	777	827	872	903	934
3~20米/秒 有效风力时数	7005	7163	7269	7347	7341	7482	7528
4~24米/秒 有效风力时数	6211	6435	6591	6722	6859	6945	7027

统筹的作用,各级科委、科协和教育部门要积极配合;六要大搞舆论宣传,做到家喻户晓。

会上,青峰山乡,喀左县六官营子乡和北票市种子公司等代表作了经验介绍。(刘云辉)