应用气象

风力机位置选择中的一些气象问题

朱 瑞 兆

（气象科学研究院天气气候研究所）

风力机是要靠风力转动的。因此，为已定的地点设计风力机时，要选择额定风速，使风力机在当地风速下能够出力最大。就已定型号的风力机来说，则要选择适宜的地点，使该种风力机在当地的风速下能够出力最大。由此可见，风力机位置的选择是一个重要的气象研究课题。

风力的大小与地形、地理位置、风机安装高度等都有关系，而在安装中大型风力机组时还要考虑到各个风车间的距离。本文简单介绍一下这方面的研究结果。

一、地形的影响

风力机可以从自然界获得多少风能，是一座风力发电机或提水机的主要设计参数。如将一架功率较大的风力机安装在风速较小的地区，其负荷系数将是很低的。例如，1972 年曾将一台额定功率 18 瓩的 FD-13型风力发电机安装在绍兴的雄鹅峰（海拔 676 米）上，结果很少能获得 8 米/秒的额定风速，后来迁到嵊泗岛上，才发挥了其能力。

通常，就全国或一个大区来区划风能，虽然分析出了风能最佳区、较佳区、可利用区和贫乏区，但总是比较粗略的。往往在风能最佳区和较佳区中会有风能贫乏的盆地或河谷，在风能可利用区和贫乏区也会有风能最佳或较佳的山口或迎风坡。例如，吉林天池所处的地区本属于风能可利用区，但天池当地（海拔 2670米）的年平均风速却为 11.7 米/秒，居全国之冠，其风能也应属最佳区。这种情况在全国是很多的。这种风速的差异主要是由于地形的起伏而使风速发生再分布造成的，所以在选择风力机场址时首先要考虑地形的影响。表 1 所示是根据我们野外考察中对比观测找出的一些风速分布规律，可以用来推算相似地形下的风速。

表 1　不同地形与平坦地面风速比值

不同地形	平地平均风速（米/秒）	
	3—5	6—8
山间盆地	0.95—0.85	0.85—0.75
弯曲河谷底	0.80—0.70	0.70—0.60
山背风坡	0.90—0.80	0.80—0.70
山迎风坡	1.10—1.20	1.10
峡谷口或山口	1.30—1.40	1.20

表 1 列出的仅是一些典型的情况，实际情况要复杂得多。例如，山口风速比平地加大多少，需视风向与谷口轴线的夹角以及谷口前的阻挡距离而定。而河谷风速的大小则与谷底的闭塞程度有关。

山顶和山麓的风速也不相同，一般是随着相对高度的增加而增大，如表 2 所示。应当说明，这里说的是相对高度，而不是拔海高度差。后者并无这种关系。例如，兰州海拔 1517.2 米，年平均风速 2.8 米/秒；西安海拔 396.9 米，年平均风速 2.1 米/秒；北京海拔 31.2 米，年平均风速 2.6 米/秒；其间并无表 2 所示的关系。表 2 仅适用于凸起的山峰。

表 2　山顶与山麓风速比值

相对高度（米）	50	100	200	300	500	700	1000
比值	1.38	1.50	1.60	1.70	1.80	1.84	1.90

在同一山谷或盆地中，不同位置的风速也各异。在这种情况下，地形和高度交错地影响着风速，有时以前者为主，有时以后者为主。由于它们的综合作用，就使得各点风速分布出现一些很复杂的情况。例如北京郊区一条东西向的河谷中，北面为海拔八百多米的山脊，南面是 50—100 米的丘陵。设 4 观测点（如图 1），根据两年的观测资料来看，B 点虽比 A 点高 45 米，风速反而要小 17%（见表 3），这主要是因为B 点靠近背风坡之故。

表 3

测点	拔海高度（米）	高度差（米）	风速比
A	275	0	1.00
B	320	+45	0.83
C	200	−75	0.71
D	150	−125	0.76

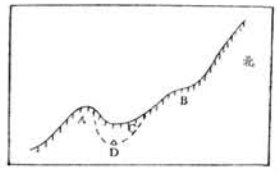


图 1　观测点示意图

有时，地形和高度同时对风速施加影响。例如，根据北京和八达岭风力发电试验站 6 个月的同步观测对比，北京平均风速为 2.77 米/秒，八达岭为 5.75 米/秒，相差 2.98 米/秒。原因是八达岭风力发电试验站位于喇叭口地形处，有狭管效应，同时其地势也比北京高五百多米，二者共同使其风速偏大。

由此可见，在选择风力机的位置时，一定要综合考虑地形和高度的综合影响。

二、海陆的影响

海面比起伏不平的陆面的摩擦阻力为小，所以在气压梯度力相同的条件下，海上风速比陆上大。现在各国选择风力机位置有两个倾向，一是选在山脊上，一是选在海滩上。这一方面是为了不占用肥沃的土地，另一方面也是因为这些地方的风力较大的缘故。

表 4 是我们统计的台风登陆后风速减弱的情况。而据日本高桥浩一郎统计的结果，风速减弱还要更快些。他给出，在 10 公里处的风速只及海上的 64%。

表 4　台风登陆后与登陆时风速比值

距海岸距离(公里)	0	10	25	50	100	150
比值（%）	100	97	86	72	55	—

风速从陆地到海上则是增大的。从表 5 可见，在平均风速为 4—6 米/秒时，海岸线以外 70 公里处风速要比海岸大 60—70%。

表 5　海岸线以外和海岸风速比值

在海岸线外	平均风速（米/秒）	
	4—6	7—9
25—30公里	1.4—1.5	1.2
50公里	1.5—1.6	1.4
>70公里	1.6—1.7	1.5

风速随下垫面不同而起的变化，并非以海岸为截然的界限。从陆上到海面，从海上到陆地，都是经过一段距离后，风速才发生质的变化。这段距离叫“过渡引程”，也就是从这种风到那种风的过渡距离。风力机设置在这个范围内，可能是最理想的。

三、风速随风力机安装高度的变化

一般给出的风能潜力图或表都是离地 10 米高处的风能，但实际上风力机高度远大于 10 米，所以除 10 米高处的风速外，还要掌握 50 米以下甚至 100 米以下各高度的风速。

风力机安装的高度和风速的关系，一般按幂律分布，即：

$$\frac{V_n}{V_1}=\left(\frac{Z_n}{Z_1}\right)^{\alpha}$$

上式中V_n、V_1分别为Z_n和Z_1高度上的风速，α为参数。关于α的取值，许多作者作了大量工作。根据我国资料进行分析的结果表明，平均风速下$\alpha=0.19$，大风时$\alpha=0.16$。表 6 为$\alpha=0.19$时各高度风速与 10 米处风速的比值并给出了发电容量的比值。由表 6 可见，如果风力机塔架为 30 米，则风速可比 10 米高处增大 23%，风能为其 1.86 倍。所以，要提高一地风力发电机的发电容量，升高塔架也是一个可以考虑的途径。

表 6

Z_n（米）	风速比值	发电容量比值
10	1.00	1.00
15	1.08	1.26
18	1.19	1.40
20	1.14	1.48
25	1.19	1.69
30	1.23	1.86
35	1.27	2.04
40	1.30	2.20
45	1.33	2.40
50	1.36	2.50

四、风车间的距离

要发展风力机群(网)，就要考虑风车间的距离，使得经过某一风车后的风在到达下一风车时能恢复原来的风力。这方面，国外研究较多。在我国，观测和实验还较少。下面只介绍一下我们在风洞中实验的结果。

在风洞中设置两个模型，求出了在不同间距下后模型因被前模型挡风而风速变化的情况，如表 7 所示。限于风洞实验段的条件，间距只取了高度h的1—6倍。由表 7 可见，前模型迎风面风速变化不大，都在 0.81—0.84 之间。可是后模型在不同间距下因被挡风的程度不同，其风速系数变化较大。用表 7 中后模型迎风面系数点成图 2。由图 2 可以看出，当间距为 12—13 倍时，前模型就不起挡风作用了。不过，这种实验模型是实体的。如果是桁架结构，可能不需要 12—13 倍。

表 7

前后模型间距	1h	2h	3h	4h	5h	6h
前模型迎风系数	0.83	0.84	0.84	0.82	0.81	0.83
后模型系数	−0.89	−0.81	−0.69	−0.49	−0.39	−0.1

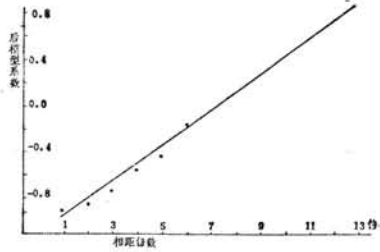


图 2　风洞实验后模型风速削减图

风力机位置的选择，应根据以上四方面综合考虑。对于小型风力机来说，一般位置在动力消费点附近，这种选择使风力机可能得不到局地风速受地形和海陆增强的好处。但在可能的范围内升高塔架和选择在地面粗糙度、障碍物小以及当地盛行风上风侧的地方安装风力机，则是最理想的。

此外，风的无规律的阵性和摆动(大气湍流)也应考虑，因为它使水平轴风车容易受到损坏。