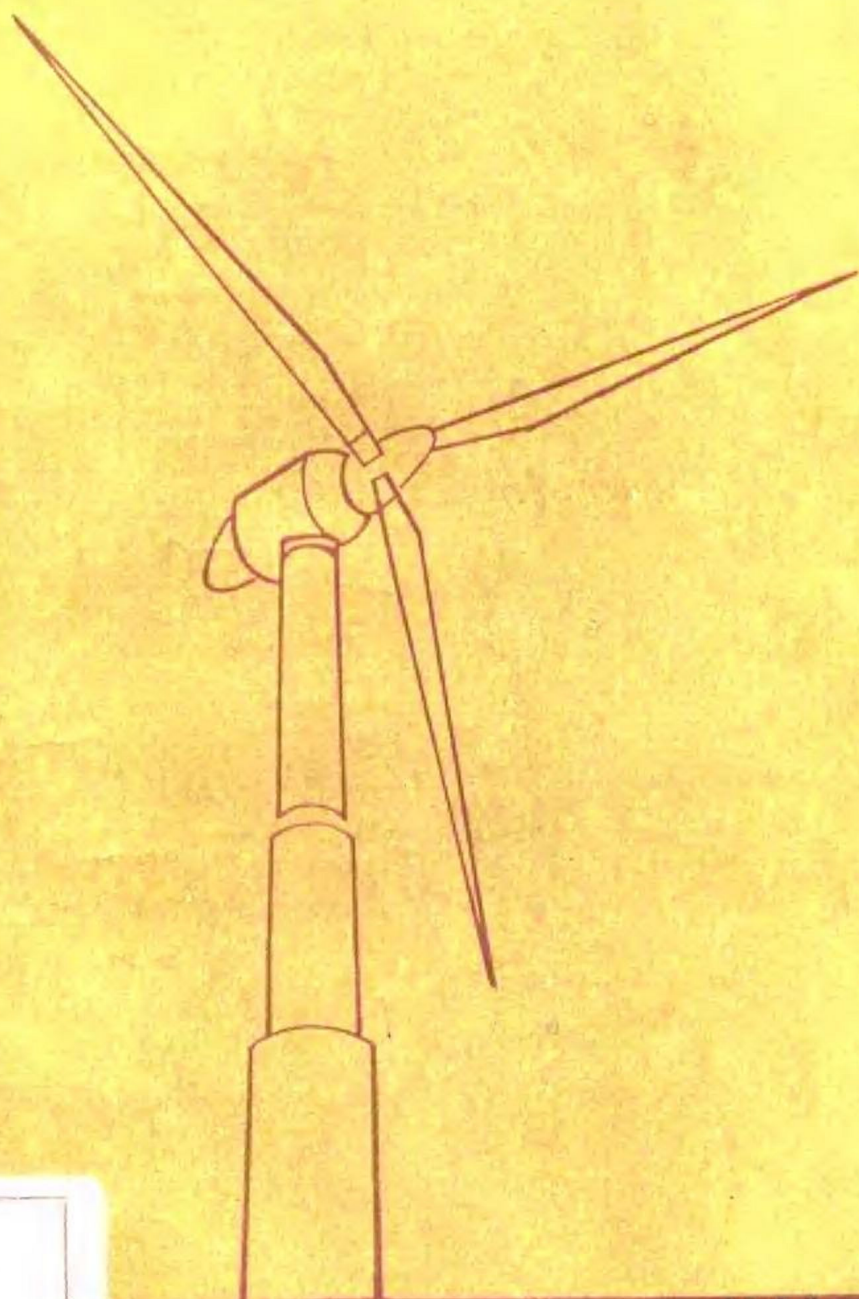


小型风力机设计

李庆宜 主编



83

机械工业出版社

小型风力机设计

李庆宜 主编

●
机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

●
开本 787×1092 1/16·印张 11 1/4·字数 273 千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 0,001—1,556·定价 2.75 元

●
统一书号: 15033·6425

前 言

风能是一种取之不尽，用之不竭的新能源。近十多年来，由于能源短缺和环境污染日趋严重，开发和利用新能源已成为当今世界上的紧迫任务，风能利用已受到世界各国的广泛重视。

我国幅员辽阔，风能资源比较丰富，是世界上最早利用风能的国家之一。当前，由于我国常规能源不足，特别是在广大农、牧区和边远地区能源形势尤为紧张。风能作为一种辅助能源具有重要的经济价值和社会效益。因而近年来，国内许多省市和部门都在积极从事风能开发工作，一支风能利用的科技队伍正在形成。但目前有关风力机设计方面的书籍很少，为适应当前广大科技人员、干部、工人和农牧区使用单位的需要，本书在内容编排上作了适当兼顾。希望本书的出版能有助于我国风能开发利用的发展。

本书由华中工学院李庆宜和姚贵喜编写。李庆宜任主编，并编写了第一、二、三、四、八、九章及附录，姚贵喜同志编写了第五、六、七章。

在编写过程中，承蒙合肥工业大学邓慎康教授和中国气动力研究与发展中心贺德馨高级工程师的热情指导和帮助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，难免存在一些缺点和错误，恳切欢迎读者批评指正。

作者

一九八五年

本书主要符号表

A ——面积	P ——功率
b ——叶片数	p ——大气压、压力
\bar{C} ——叶型相对厚度	Q ——流量
C_F ——推力系数	r ——半径
C_M ——扭矩系数	R ——气动力、半径
C_P ——功率系数	S ——面积
C_d ——阻力系数	T ——时间
C_l ——升力系数	U ——圆周速度
D ——直径	V ——风速
E ——系数、能量	V_N ——额定风速
F ——推力、截面积	V_M ——切断风速
G ——系数	V_m ——开始工作风速
h ——周向速度因子	W ——相对速度
l ——气流倾角	x, y ——坐标
i ——攻角	δ, θ ——角度
K ——系数	η ——效率
k ——轴向速度因子	λ ——叶尖速比
L ——活塞行程	ϕ, ε ——角度
l ——弦长	ρ ——空气密度
M ——扭矩	σ ——风轮实度
N, n ——转速	

目 录

前言

本书主要符号表

第一章 风能	1
§ 1-1 风的产生和种类	1
§ 1-2 风的特性	4
§ 1-3 风的观测	9
§ 1-4 风能	13
§ 1-5 世界各国风能利用概况	18
第二章 风力机场址的选择	21
§ 2-1 不同地形和地理位置的影响	21
§ 2-2 气候和环境的影响	25
§ 2-3 在建筑群中的安装场所	26
§ 2-4 “风车田”的布局	27
§ 2-5 对安装场址的风力资源要求	29
§ 2-6 位置选择的一般原则	29
第三章 风力机系统设计	33
§ 3-1 风力机获得的能量	33
§ 3-2 风力机的种类和结构特征	37
§ 3-3 风力机的特性系数	44
§ 3-4 装置负荷量的估算	46
§ 3-5 输出功率与风能的关系	49
§ 3-6 风力机的总体性能和匹配特性	52
§ 3-7 风能的转换和储能系统	53
§ 3-8 风力机系统的评价	56
第四章 风力机的基础理论	58
§ 4-1 翼叶的几何参数和空气动力特性	58
§ 4-2 翼型数据	62
§ 4-3 风轮的气动力学	69
§ 4-4 简化的风车理论	70
§ 4-5 涡流理论	73
§ 4-6 风力机的相似特性和换算	82

第五章 风力机的结构设计	85
§ 5-1 叶片和风轮	85
§ 5-2 风力机的转速控制和方位控制	92
§ 5-3 风力机的增速机构	98
§ 5-4 塔架	99
第六章 风力发电	103
§ 6-1 直流发电机	103
§ 6-2 并励直流发电机	104
§ 6-3 自动异步发电机	105
§ 6-4 汽车用发电机	106
§ 6-5 蓄电池	109
§ 6-6 交直流变换器	113
§ 6-7 风力发电装置的经济性评价	114
第七章 风力提水和热利用	116
§ 7-1 往复泵和隔膜泵	116
§ 7-2 风能的热利用	121
第八章 风力机的气动设计	123
§ 8-1 水平轴型风力机的气动计算	123
§ 8-2 立轴型风力机的气动计算	128
第九章 风动力装置设计实例	135
§ 9-1 设计概论	135
§ 9-2 采用S型风轮的水泵站设计	136
§ 9-3 多叶式风力机驱动活塞泵	138
§ 9-4 水平轴型风力发电机设计	140
§ 9-5 Darrieus型风力机的设计	143
§ 9-6 叶片设计的图解法实例	144
附录	146
I 平板和弧形板的埃菲尔(Eiffel)曲线	146
II 计算机程序	148
III 国外小型风力机实例	164
参考文献	174

第一章 风能

§ 1-1 风的产生和种类

一、风的产生

大气层可视为一个以太阳为燃料的庞大动力机，这个动力机的产品就是风和气候。太阳能以辐射短波的形式不间断地按 $17 \times 10^{12} \text{kw}$ 的强度发射到地球上来。其中半数以上的辐射能因受气体分子与云层的反射作用而耗损，其余不到20%的能量则为空气与云层所吸收。这些到达地球表面的辐射能使万物分子温度升高后，进而以波长较长的红外线形式将能量再度放射出来。

根据计算，一年中整个地球将从太阳获得 $5.4 \times 10^{24} \text{J}$ (焦耳)的热量。而来自宇宙其他星体的辐射能仅为来自太阳的辐射能的亿分之一。从地球内部传送到地面上的热量，也仅为来自太阳的辐射能的万分之一。

由于河流、海洋、山岳以及沙漠等地表的差异，造成了各地区热传播的显著差别。热分布的不平均，形成压力差，因而促使大气移动，这就是风。大气移动的最终结果，是要使全球各地的热能分布均匀，于是赤道暖空气向两极移动，冷空气向赤道移动等等。因此，从广义上讲，风能是太阳能的一部分。

二、风的种类

随着热力循环影响范围的不同，风可以分为三大类型，分述如下：

(一) 当空气由赤道上空向极地流动时，大气环流的情况很复杂。在地球自转偏向力的参与下，南北半球近地层中出现了四个气压带，即赤道低压带、副热带高压带、副极地低压带和极地高压带。同时相应地形成了三个风带，即信风带、盛行西风带和极地东风带。这些风带与上空气流结合起来，便构成了三个环流圈，图1-1所示为大气环流的简单模式。

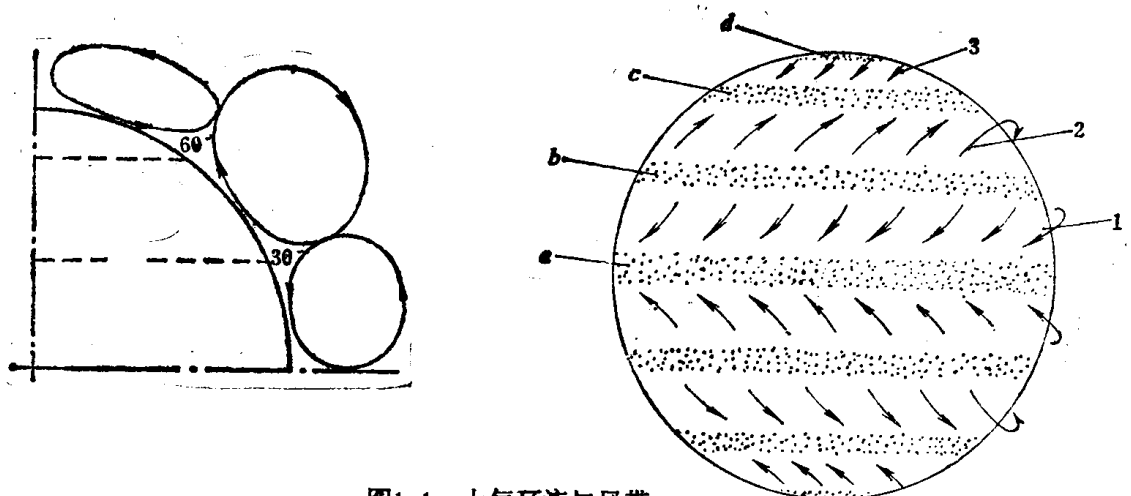


图1-1 大气环流与风带

a—赤道低压带 b—副热带高压带 c—副极地低压带 d—极地高压带 1—信风带 2—西风带 3—极地东风带

现将各风带的成因说明如下：

1. 信风带——由于南北纬 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 附近副热带高压和赤道低压之间存在气压梯度，气流自副热带高压带辐散，一部分气流流向赤道，因受地转偏向力作用，在北半球为东北风，南半球为东南风。因为这个地区的风向、风力都很少改变，所以称为信风。

2. 西风带——因为副热带高压与副极地低压之间存在气压梯度，所以副热带高压带辐散的气流，除一部分流向赤道外，另一部分则流向副极地低压带。风向受地转偏向力的作用变成偏西方向，即所谓西风带。在南半球因为海洋广大，风向稳定而且风力强，故又称为咆哮西风。

3. 极地东风带——自极地高压带辐散的气流，因地转偏向力的作用变成偏东风，所以称为极地东风。

(二) 由于海陆分布引起气温差异而造成的周期性风系，有以一日为周期的海陆风和以一年为周期的季风。

1. 海陆风——昼间风由海面吹向陆地，夜间风由陆地吹向海面，这种风称为海陆风。

海陆风的形成原理是：昼间陆地增温比海面快，陆地上的气温高于海面上的气温，出现了由陆地指向海面的水平温度梯度，因而形成热力环流，使下层风由海面吹向陆地，称为海风。到了夜间，地表散热冷却比海面快，使陆地上气温低于海面，形成了和昼间方向相反的热力环流，下层风由陆地吹向海面，称为陆风，见图1-2。

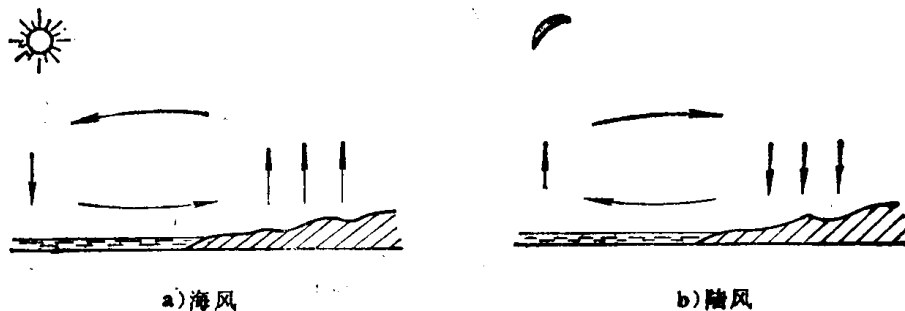


图1-2 海陆风环流

海风和陆风转换的时间随地区和天气条件而定。一般讲，陆风在上午转为海风，每日13~15时海风最盛，日落后海风逐渐减弱并转为陆风。如果是阴天，海风要到中午才出现。

海风通常比陆风强。例如，海风的风速可达到 $5\sim 6\text{m/s}$ ，甚至更大些，而陆风一般只有 $1\sim 2\text{m/s}$ 。海风的水平范围和垂直厚度也比陆风大。

沿海地区并不是每天都可以观测到海陆风。在大范围气压场、气压梯度较弱而气温日变化大的地区和季节，容易出现海陆风。海陆风以热带地区最强，全年各季均可出现，温带地区较弱，主要在夏季出现。

在地表热力性质不均匀的其他地区，如大的湖岸或河岸附近、森林和草原之间、城市和乡村之间，也有同海陆风类似的风出现，只是在强度上弱得多。

2. 季风——大范围地区的盛行风随季节而有显著改变的现象称为季风。季风的形成主要是由于海陆间季节变化的热力差异所引起。在夏季，大陆上气温比同纬度的海洋高，气压比海洋低，所以气流分布是从海洋流向大陆，形成夏季风(图1-3, a)。冬季则相反，气流由

大陆流向海洋，形成冬季风（图1-3, b）。

东亚是世界上最著名的季风区，它的范围大致包括我国东部、朝鲜和日本等地区。夏季风比冬季风弱，这是东亚季风的一个重要特征。

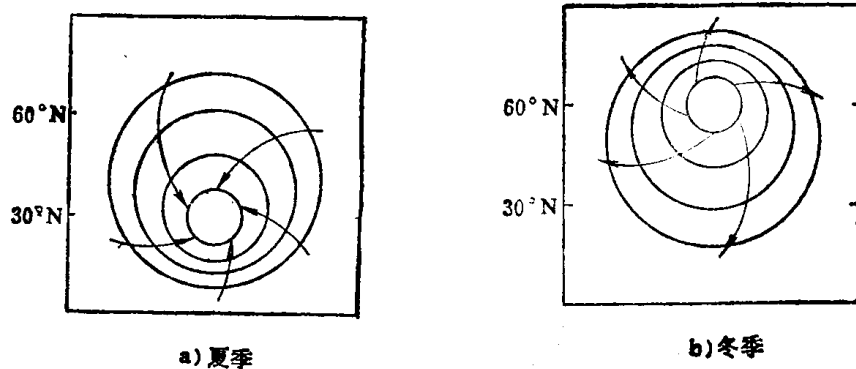


图1-3 因海陆热力差异而引起的季风

(三) 由于局部地区空气受热不均而在小范围内产生的环流，属于地方性风。

1. 山谷风——在山区，昼间风从山谷吹向山坡，夜间风从山坡吹向谷地，这就是山谷风。它是由于山坡的气温与谷地上空的气温差异产生的。日出以后，山坡受热，空气增温快，但山谷中同高度的空气，由于距地面较远、增温较慢，因而出现由山坡指向山谷的水平温度梯度，形成热力环流。下层风由谷中吹向山坡，称为谷风。夜间，山坡辐射冷却，气温降低快，谷中同高度上的空气则冷却较慢，因而形成与昼间方向相反的热力环流，下层风由山坡吹向山谷，称为山风（图1-4）。

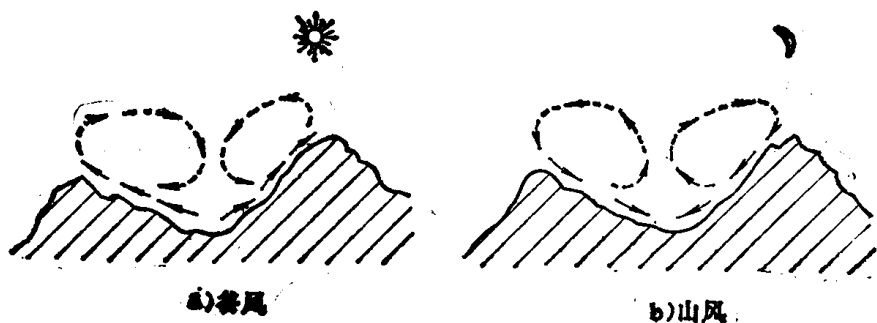


图1-4 山谷风环流

在山区，山谷风是很普遍的现象，只要大范围气压梯度比较弱，就可以观测到。例如新疆的乌鲁木齐，南倚天山，北临准噶尔盆地，山谷风交替很明显，每日从20时至次日11时吹山风，14时至17时吹谷风。

2. 焚风——沿着山坡向下吹的干热风叫焚风。当气流越过山脉时，在迎风坡上空将上升而冷却降温，当空气湿度达到饱和状态时，则水汽凝结，大部分水分在山前降落。过山顶后，空气

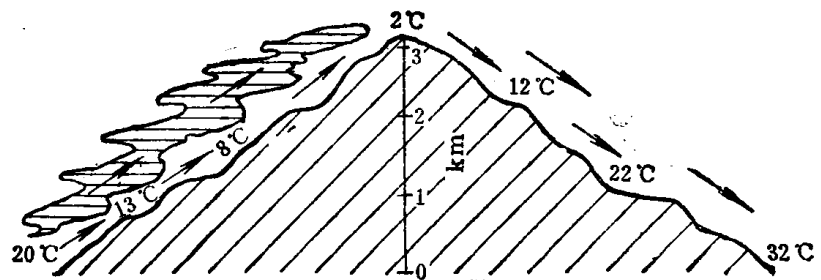


图1-5 焚风的形成

沿背风坡下降，温度迅速增加，而湿度则小得多，有干热如焚的现象，如图1-5所示。

我国不少地区都有焚风。例如，偏西气流越过太行山下降时，位于太行山东麓的石家庄就会出现焚风。

焚风是山地经常产生的一种现象，焚风在山地全年任何季节，白昼或夜晚都可出现。世界各地，如亚洲的阿尔泰山，欧洲的阿尔卑斯山，北美的落基山东坡等都是著名的焚风出现区。

3. 峡谷风——当空气由开阔地区进入峡谷口时，气流的横截面积减小，使气流加速，从而形成强风，这种风称为峡谷风。我国的台湾海峡、松辽平原等地两侧都有山岭，当气流直灌时，经常出现大风，就是这个缘故。

§ 1-2 风的特性

一、风随时间的变化

大气因受山脉阻挡的影响，密度较小的空气有时亦可在密度较大的空气下面流动。从赤道到两极的压力也并非按比例递减，实际上这种压力变化是因地形的不同而异。由于气温与压力的不规则变化，使气流内产生了变化无穷的旋流及湍流现象。地球上所呈现的这种不规则的局部暂时空气交叉流动现象，使风速具有随时间、地点和空间变化的不稳定特性。于是构成了风速的每时变化、每日变化以及每月、每季变化等等，并具有明显的阵发性。图1-6所示为阵风特性的一个例子。

再以风速的日变化为例加以说明。风速的日变化是指一天24小时的变化。图1-7是吕泗地区1975年1、4、7、10月份的风速日变化曲线。利用该曲线，可对一天中如何利用风能作出估计。从图中看出，不论那个季节，一天中**风速均以白天8~17时为大**；白天8~17时风速所占比例以冬季最高。

随着距离地面高度的不同，风速的日变化也不一样。图1-8是在日本某个三百米高的无线电塔架上于不同高度处测得的一日之间的风速变化情况。

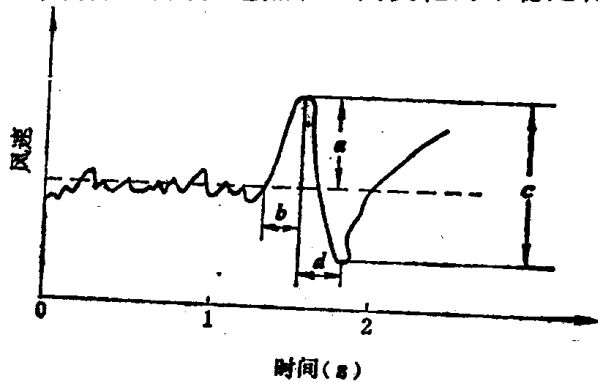


图1-6 阵风特性

a—阵风的振幅 b—阵风的形成时间 c—最大变化范围
d—阵风消失时间

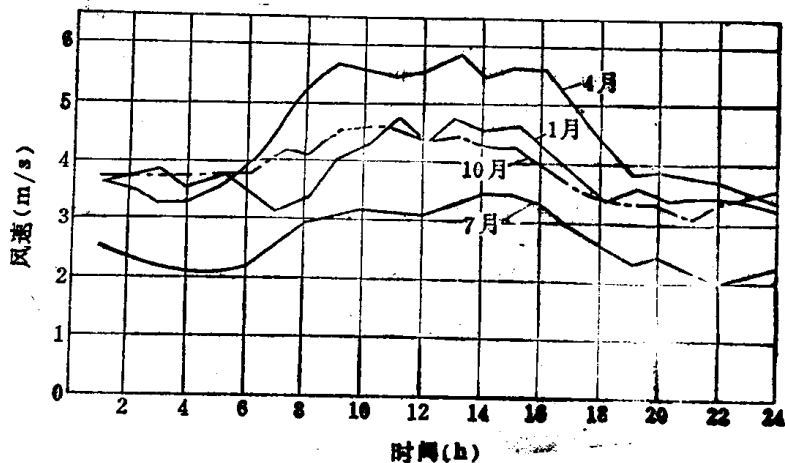


图1-7 吕泗1975年风速日变化

二、风的方向变化

风是一个向量，所以风的变化，除风速外还包括风向的变化。

风向是指风吹来的方向，用十六个方位表示，如图1-9。为直观起见，还可根据记录资料作成风向变化的图形，称为玫瑰图。图1-10为浙江嵊泗岛1974年风向频率玫瑰图。从图中看出，全年出现频率最高的是偏北风和偏南风，其季节性风很明显。

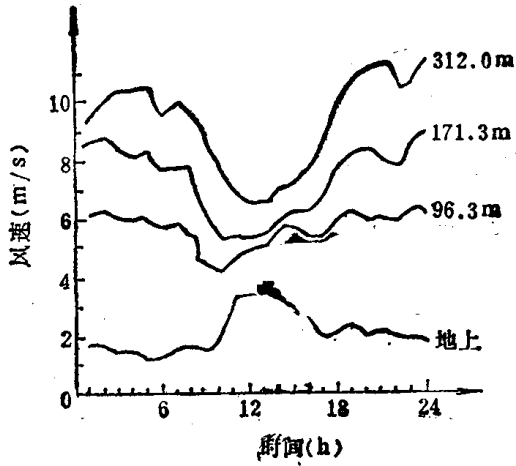


图1-8 不同高度处风速的日变化

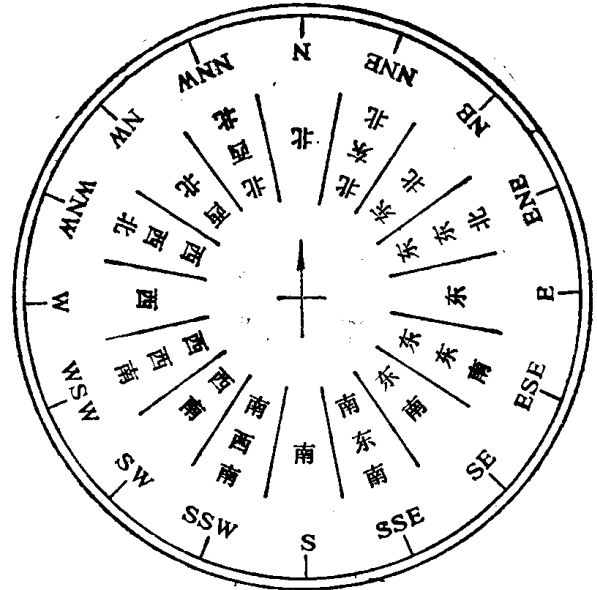


图1-9 风向十六方位图

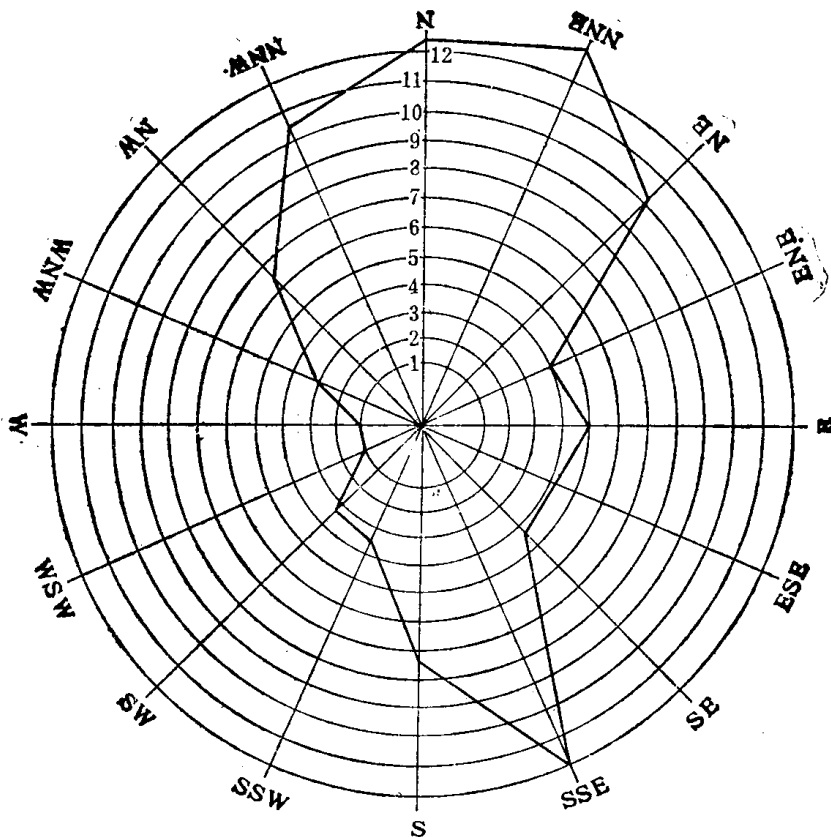


图1-10 风向频率玫瑰图

三、风随高度的变化

观测证明，大气在垂直方向上的物理性质是有显著差异的。其中对流层是对人类生产和生活影响最大的一个层次。对流层的厚度约为8~18km。在对流层内按气流的分布特点，自下而上又可分为贴地层、摩擦层、中层和上层。其中与风能利用有关的是贴地层和摩擦层。

(一) 贴地层——这是指0~2m高度间的气流层。因为这层紧贴地面，其气温日变化剧烈，农作物多在贴地层高度之内，故风速微弱。

(二) 摩擦层——摩擦层中的气流受地面阻滞和摩擦的影响较大。在这一层中，空气上下有规则的对流和无规则的湍流运动都很强。摩擦层内的风速主要取决于气压梯度力和摩擦力的大小。当气压场随高度基本不变时，风速随高度的变化主要是由于摩擦力随高度的变化而引起的。一般摩擦力随高度的增加而减小，故风速随高度的增加而增大，风向偏转。到了风单纯受气压梯度的影响时，称为梯度风。

此处风向与等压线平行。人们将风向最先转变成梯度风的高度作为大气边界层的高度。该高度约为1000m左右，在此高度以下称为摩擦层。摩擦层内，一般将100m以下的称为下摩擦层（或地表层），地表层以上至摩擦层顶称为上摩擦层，如图1-11所示。

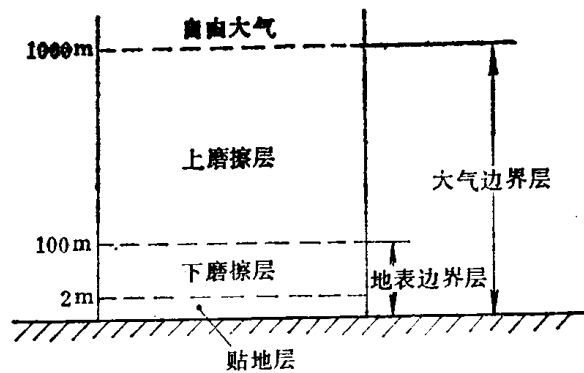


图1-11 大气边界层的构成

一日内平均风速随高度变化的典型分布曲线如图1-12曲线a所示。实际的风速随高度的变化与曲线a差异很大，随地面性质不同而有不同的分布规律，如图1-12曲线b、c、d所示。

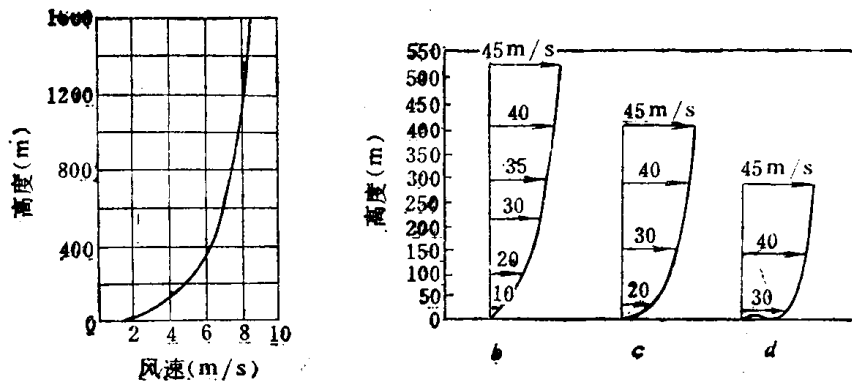


图1-12 地面上风速与高度的关系

a—典型分布 b—大城市 c—城郊及多树农村 d—平原、沿海

前已指出，风速随高度是增加的。在巴黎埃菲尔铁塔上测得：高20m处，风速 $V = 2\text{m/s}$ ；高300m处， $V = 7\sim 8\text{m/s}$ 。我国北京双桥150m高的铁塔上的观测也证明了这一点。

一些作者提出风速变化规律的方程按指数形式计算：

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^n \quad (1-1)$$

式中 V ——高度 H 处的风速， m/s ；

V_0 ——高度 H_0 处的风速, m/s;

n ——指数。

一般取 $H_0=10\text{ m}$, $n=0.1\sim 0.4$ 。

名义风速轮廓线也可表示为对数形式:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\ln(H/Z_0)}{\ln(H_0/Z_0)} \quad (1-2)$$

式中 Z_0 ——风速为零时的高度, 称为地面粗糙度。

上式适用于30~50 m高的情况。

D·F·Warne和P·C·Calnan曾建立了表面粗糙度 Z_0 和指数 n 之间的关系:

$$n = 0.04 \ln Z_0 + 0.003 (\ln Z_0)^2 + 0.24$$

表1-1给出了不同地形时的 n 和 Z_0 值。

表1-1 不同地形时的 n 和 Z_0 值

地 形	Z_0 (m)	n
光滑(海洋、沙、雪)	0.001~0.02	0.10~0.13
一般粗糙(矮草、庄稼、农业地区)	0.02~0.3	0.13~0.20
粗糙(树林、城市郊区)	0.3~2.0	0.20~0.27
很粗糙(城市地区、高建筑)	2~10	0.27~0.40

上述公式中的 H 和 H_0 不是从地面算起, 而是从零风速平面 Z_0 算起。零风速平面与谷类作物的平均高度或麦类作物平均高度重合。对于森林, 零风速的高度相应于树木的枝干互相接触的高度。

为便于查取, 可将风速随高度的变化制成表格。表1-2列出了适合于我国情况的计算结果, 所列数值是以10 m高度为基准计算的。从表中可以看出, 风速的变化与 Z_0 和高度有关。例如, 距湖面50 m高度处, 其风速为10 m高度处的1.23倍。此外, 地面粗糙度 Z_0 对10 m高度处的影响也是很大的, 其风速变化系数如表1-3所示。

表1-2 不同地面粗糙度风速随高度的变化系数

地 貌 Z_0 (m)	海面	湖面	空旷平原	一般田野	乡村	城镇	大城市
	0.003	0.01	0.03	0.10	0.20	0.30	1.00
风速变化系数	0.107	0.13	0.146	0.205	0.25	0.28	0.33
高地面高度 (m)							
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.09	1.10	1.12	1.15	1.19	1.22	1.26
30	1.14	1.15	1.19	1.25	1.32	1.36	1.44
40	1.17	1.20	1.24	1.33	1.41	1.47	1.58
50	1.20	1.23	1.28	1.39	1.49	1.57	1.70
70	1.24	1.29	1.33	1.50	1.60	1.72	1.90
100	1.28	1.35	1.40	1.61	1.77	1.90	2.14
150	1.34	1.42	1.48	1.74	1.97	2.12	2.43
200	1.38	1.48	1.54	1.85	2.12	2.31	2.70
250	1.41	1.52	1.59	1.94	2.23	2.45	2.91
300	1.44	1.55	1.64	2.01	2.34	2.54	3.07

表1-3 10m高度处的风速变化系数

地貌	海面	湖面	空旷平原	一般田野	乡村	城镇	大城市
Z_0 (m)	0.003	0.01	0.03	0.10	0.20	0.30	1.00
风速变化系数	1.22	1.14	1.00	0.81	0.69	0.63	0.48

四、风的统计特性

为了了解某地的风力情况，通过风速表和观察记录，可以画出速度持续曲线和频率曲线，该曲线对任何重要的设计都是必需的。风的统计特性一般包括以下几方面：

(一) 年速度持续曲线

以水平坐标作为一年的时间，以纵坐标表示风速大小，通过逐年的记录积累，于是有可能得到某地一年间的风速持续曲线。它对确定风的能量是非常有用的，如图1-13所示。该曲线是开展风能利用的基本资料。

(二) 年频率分布曲线

该曲线可从上述的曲线确定，表示一年中各等级风速小时数占全年总小时数的百分率。例如，它给出某一风速低于某极限值 $3\sim 4\text{m/s}$ 的一年的吹刮时间，该时间等于风速持续曲线垂直坐标为 $3\sim 4\text{m/s}$ 对应的水平坐标的差值。频率曲线相应点的坐标等于 3.5m/s 。

一般年频率曲线仅有一个或两个最大值。图1-14是吕泗地区1970-1979年十年中平均风速频率分布曲线。

(三) 无风持续时间

无风的年持续时间是重要的。因为它表示了这样一个时期，即当风动力装置是自给系统时，必须用贮能来填补这一空缺。

低速风机当风速小于 3m/s 时不能用来提水。高速风机当风速低于 5m/s 时也不能正常运行。图1-15表示当风速低于 2 、 3 、 5m/s 时的持续时间数。其中纵坐标为年平均无风天数。

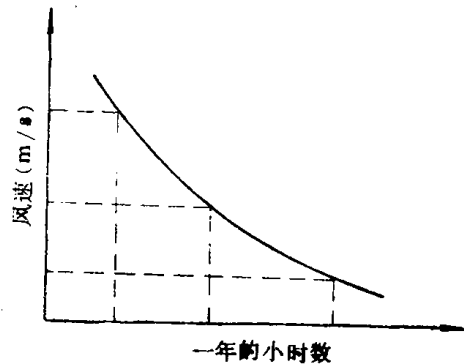


图1-13 风速持续曲线

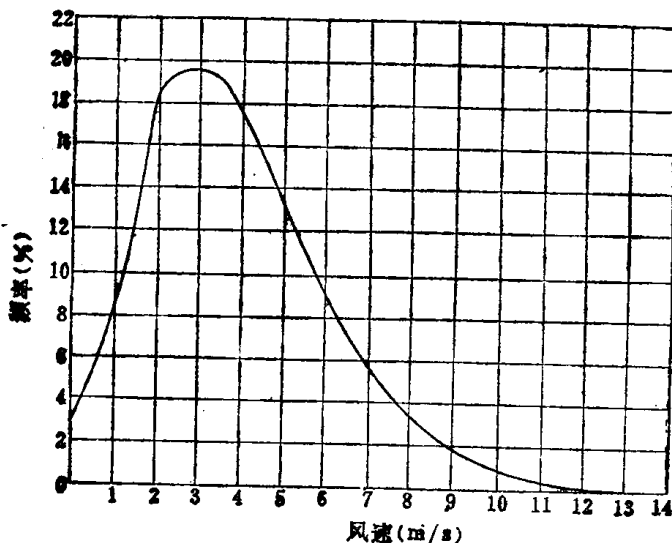


图1-14 吕泗风速频率分布曲线

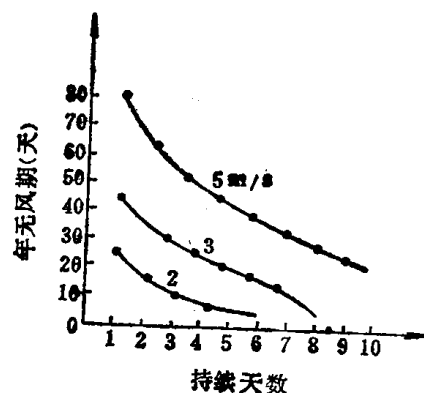


图1-15 无风持续时间

(四) 风的季节变化曲线

此曲线对某些需准确知道一年中风速变化的应用场合很有用。为此目的，每年需对月平均风速加以计算。各月的频率曲线表示在图1-16中。

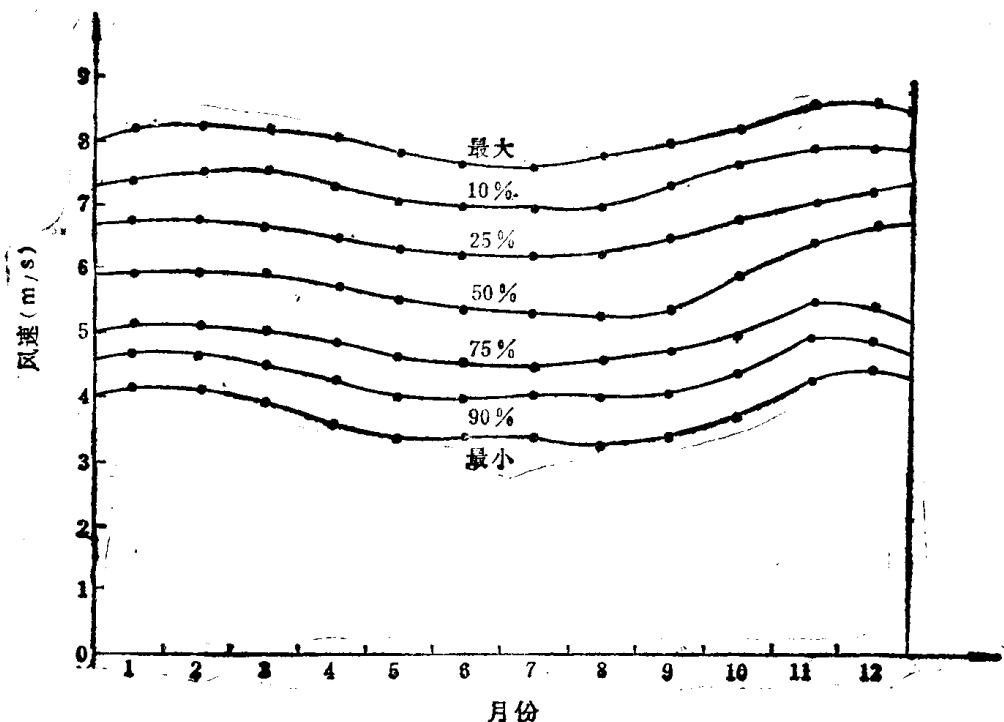


图1-16 风的季节变化频率曲线

§ 1-3 风的观测

风的观测很重要，进行观测的目的是：

1. 为将要装设的风力机提供数据，以估计风力机在该地点可资利用的风能大小；
2. 提供不同气候条件下风的数据；
3. 为风力机的设计和性能研究提供方便。

风的观测包括风向和风速两项，风向、风速随时间的变化都是很大的。风的观测项目一般包括定时观测平均风速和相对应的最多风向。配有自记仪器的，应作风向和风速的连续记录。从自记记录中整理出各正点前十分钟的平均风速和最多风向，并选取日最大风速（十分钟平均）和极大风速（瞬时）及其对应的风向和出现时间。现将常用仪器和观测方法分述如下：

一、常用仪器

(一) 风向器

风向器由风向标和风向指示装置组成。

1. 风向标——风向标是指示风向的最主要部件，分为头部、水平杆与尾翼三部分。整个风向标绕垂直轴旋转，其重心正好在转轴的轴心上，如图1-17。对风向标的主要要求是：一灵敏，二稳定（风向标应尽量少作惯性摆动）。

常用的风标有：双叶型、菱形和流线型三种。较理想的风标是菱形风向标（见图1-17），

现在气象台站普遍采用的电接风向风速计就是这种风向标。

2. 风向指示装置——用方位杆作为方位坐标。

(二) 杯形风速器

目前普遍使用的测定风速的仪器是杯形风速器。它的感应部分由几个固定在架子上的风杯组成，见图1-17。整个架子连同风杯装在一个可以自由转动的轴上。当风吹来时，风杯就顺着球形凸面方向自由旋转，利用风杯转动的快慢确定风速的大小。由于风速是经常地在变动着，风杯的转速变化要比风速的实际变化滞后一段时间，这种现象在风速由大变小时更加严重。同时这种滞后消除了许多风速的起伏，因而用风杯作感应元件的风速器，测定平均风速比较好，而测定瞬时风速则准确度较差。

轴部的摩擦对风杯的转动有很大影响，当维护不良时，一般情况下会使测得的风速偏小。此外，风杯的转动过程破坏了它周围的流场，因此风杯转速只能近似地表示风速的大小。

实验结果指出，风速在0~20m/s时，利用风杯测定风速还是令人满意的。如何才能测得有代表性的平均风速问题，目前还没有很好解决。求取代表性风速的时间间隔，各国也不一致。世界气象组织推荐十分钟平均风速，我国目前也采用十分钟平均风速。

(三) 三杯轻便风向风速表

它是一种测量风向和一分钟平均风速的仪器，适用于野外流动测量，也可作试验台站备用仪器(图1-18)。

1. 仪器由风向部分、风速部分和手柄三部分组成。

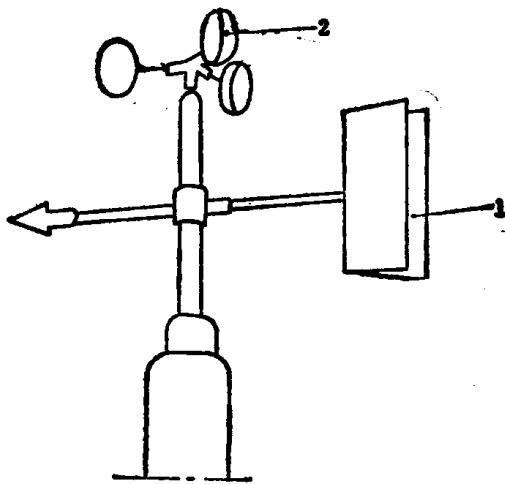


图 1-17
1—风向器 2—杯形风速器

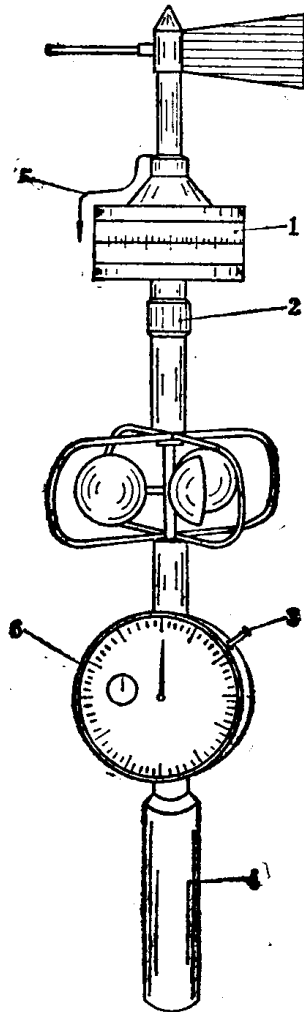


图1-18 三杯轻便风向风速表
1—方位盘 2—制动小套 3—风速按钮
4—手柄 5—风向指南 6—风速表

当按下风速按钮，启动风速表后，风杯随风转动，带动风速表主体内的齿轮组，指针即在刻度盘上指示出风速。同时，时间控制系统也开始工作，待一分钟后自动停止计时，风速指针也停止转动。

方位盘系一磁罗盘，当制动小套管打开后，罗盘按地磁子午线方向稳定下来，风向标随风摆动，其指针即指出当时风向。

2. 观测和记录

(1) 观测时由观测者手持仪器站在下风口高出头部并保持垂直，风速表刻度盘与当时风向平行，注视风向指针约两分钟，记录其最多风向。

(2) 然后按下风速按钮，启动仪器，待一分钟后指针自动停转，读出风速示值(m/s)，将此值从风速检定曲线图中查出实际风速，即为所测之平均风速。

(四) 电接风向风速计

电接式风向风速计由感应器、指示器和记录器三部分组成(图1-19)。感应器装在室外，指示器和记录器装在室内。感应器用电缆与指示器连接，指示器与记录器用电缆连接。它是一种自记式仪器。

观测和记录：

1. 指示器的观测——打开风向、风速开关，观测两分钟内风速指针摆动的平均位置，读取整数，并取两分钟内的最多风向，按十六方位记载。静风时风速记0.0，风向记C。

2. 自记纸的整理

(1) 各时风速——计算正点前十分钟内的风速，按曲线通过自记纸上水平分格线的格数计算(一格相当于1.0m/s)，见图1-20。

(2) 各时风向——从各正点前十分钟内的五次风向划线中挑选出现次数最多者，见图1-21。

(3) 日最大风速——从每日(20时~20时)风速记录中曲线较陡的几处线段上分别截取十分钟线段的风速进行比较，选出最大值作为该日十分钟最大风速。

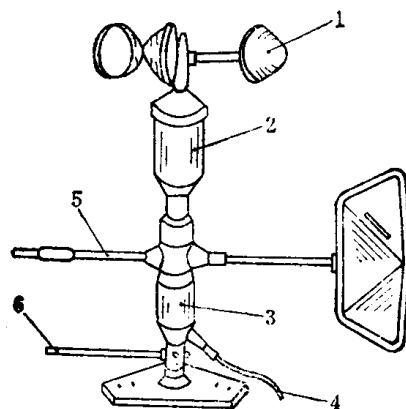


图1-19 电接风向风速计

1—风杯 2—发电机 3—风向接触器 4—电缆 5—风标 6—指南杆

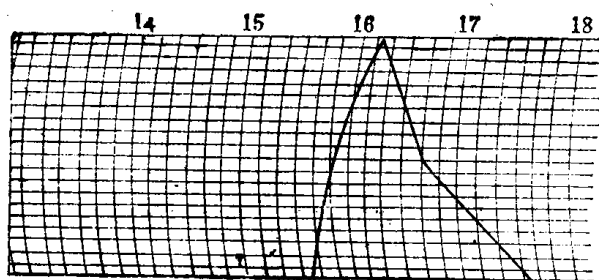


图1-20 风速记录

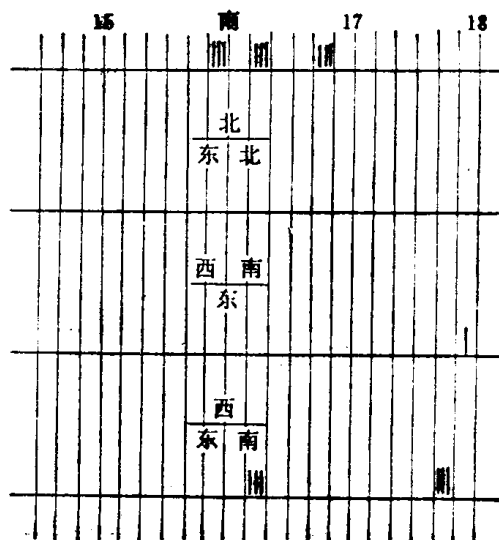


图1-21 风向记录

二、风的目测和风力等级

在测风仪器发生故障或没有测风仪器的情况下，为了获得风的记录，也可以目测风力、风向。

(一) 目测风力

根据风对地面或海面物体的影响而引起的各种现象，将风力大小分为十三级（0~12）。如以目测风力作为正式记录，则应记风力等级（见表1-4），并将其换算成相应风速的中数加以记录。

表1-4 风力等级表

风力等级	名称	海面状况		海岸渔船征象	陆地地面物征象	相当风速		
		浪高(m)				m/s		n mile/h
		一般	最高			范围	中数	
0	无风			静	静，烟直上	0.0~0.2	0.1	小于1
1	软风	0.1	0.1	渔船略觉摇动	烟能表示风向	0.3~1.5	0.9	1~3
2	轻风	0.2	0.3	渔船张帆时，每小时可随风移动2~3km	人面感觉有风，树叶有微响	1.6~3.3	2.5	4~6
3	微风	0.6	1.0	渔船渐觉簸动，每小时可随风移行5~6km	树枝及嫩枝摇动不息，旗帜展开	3.4~5.4	4.4	7~10
4	和风	1.0	1.5	渔船满帆时，可使船身倾于一方	能吹起地面灰尘和纸张，树的小枝摇动	5.5~7.9	6.7	11~16
5	清风	2.0	2.5	渔船缩帆	有叶的小树摇摆，内陆的水面有小波	8.0~10.7	9.4	17~21
6	强风	3.0	4.0	渔船加倍缩帆，捕鱼须注意风险	大树枝摇动，电线呼呼有声，举伞困难	10.8~13.8	12.3	22~27
7	劲风	4.0	5.5	渔船停息港中，在海面下锚	全树摇动，大树枝弯下来，迎风步行感觉不便	13.9~17.1	15.5	28~33
8	大风	5.5	7.5	近港的渔船皆停留不出	可折断树枝，人向前行感觉阻力甚大	17.2~20.7	19.0	34~40
9	烈风	7.0	10.0	汽船航行困难	烟囱及平房屋顶受到损坏，小屋遭到破坏	20.8~24.4	22.6	41~47
10	狂风	9.0	12.5	汽船航行颇危险	陆上少见，见时可使树木拔起或将建筑物吹毁	24.5~28.4	26.5	48~55
11	暴风	11.5	16.0	汽船遇之极危险	陆上很少，有则必有重大损毁	28.5~32.6	30.6	56~63
12	台风	14.0	—	海浪滔天	陆上绝少，其摧毁力极大	大于32.6	大于30.6	大于63

注：1 n mile=1.852km。

(二) 目测风向

根据风吹动地面物如炊烟、旌旗、布条展开的方向及人体的感觉等，按八个方位进行估计。

目测风力、风向时，观测者应站在空旷的地方，多选几个物体认真地观测，以尽量减小主观的估计误差。