

# 小型风力发电机 构造原理与使用维护

徐万宝 常全伍 杨 彬 编著

农 业 出 版 社

## 编 者 的 话

70年代以来，随着改革开放和经济建设形势的不断发展，我国各种小型风力发电机的开发利用，已取得了可喜的成绩。例如，内蒙古自治区到1992年底，已有12万余台套小型风力发电机用以解决地处偏远、居住分散的农牧民住户和蒙古包的生活用电（照明、收看电视、听收录机等）及少量生产用电（电牧栏、电照明接羔和电动剪毛等）。这不仅方便了生活，有利于生产，而且改变着几千年来“动力靠牛、照明用油、娱乐喝酒”的落后状况。据不完全统计，全国小型风力发电机已达20余万台，并且应用前景十分广阔。

为了使小型风力发电机的广大用户和风能利用爱好者，系统地了解小型风力发电机的构造原理、使用方法和维护常识，延长风机使用寿命，笔者编写了《小型风力发电机构造原理与使用维护》一书。本书内容丰富、图文并茂，是小型风力发电机广大用户必读书籍。同时，在目前风能利用参考资料尚缺的情况下，本书对风能爱好者和广大科研教学人员亦是一本很好的参考书。相信它的出版会对我国目前方兴未艾的小型风力发电机的研究与开发工作有所帮助。

本书的出版，得到了农业出版社、中国农业科学院草原所各级领导和有关同志的大力支持和热情帮助。在此深表谢意！

由于编者水平有限，错误之处在所难免，敬希读者批评指正。

编者

1993年3月15日

# 目 录

<b>第一章 风能利用概况</b> .....	1
<b>第一节 风——能量的源泉</b> .....	1
一、风的形成 .....	1
二、风速及其测定 .....	4
三、障碍物对风速的影响 .....	7
四、风能利用的优越性 .....	9
<b>第二节 我国的风力资源</b> .....	10
一、风能区划 .....	10
二、风能资源 .....	11
<b>第三节 世界风能利用概况</b> .....	20
一、我国风能利用概况 .....	20
二、国外风能利用概况 .....	32
<b>第二章 小型风力发电机基础知识</b> .....	37
<b>第一节 空气动力学基本知识</b> .....	37
一、空气动力与流线型 .....	37
二、冲角与升力 .....	41
三、风轮为什么会转动 .....	44
<b>第二节 风能利用基本知识</b> .....	47
一、风能 .....	47
二、风轮功率 .....	48
三、风能利用系数 .....	50
四、风轮工作原理 .....	53

五、风轮动力特性	56
六、风轮正面压力	58
<b>第三节 电气系统的基本知识</b>	<b>61</b>
一、直流电路	61
二、交流电路	68
三、交流电的有效值	70
四、磁与电磁	71
五、晶体二极管的基本知识	74
<b>第三章 小型风力发电机的构造原理</b>	<b>78</b>
<b>第一节 风轮</b>	<b>78</b>
一、风轮叶片的材料和结构	78
二、风轮叶片的几何形式	80
三、风轮叶片的几何参数与安装角	82
四、风轮的平衡	85
<b>第二节 发电机</b>	<b>86</b>
一、发电机的构造	87
二、发电机的发电原理	87
三、发电机的整流原理	90
四、发电机的功率	91
五、发电机控制器	92
<b>第三节 回转体</b>	<b>97</b>
<b>第四节 调速机构</b>	<b>98</b>
一、风轮偏侧调速法	98
二、桨叶偏侧式调速法（变桨距调速法）	101
三、空气制动调速法	103
<b>第五节 调向机构</b>	<b>105</b>
<b>第六节 手刹车机构</b>	<b>107</b>
<b>第七节 塔架</b>	<b>109</b>

<b>第八节 蓄电池</b> .....	109
一、铅蓄电池的构造 .....	110
二、蓄电池的工作原理 .....	115
三、蓄电池的电压及容量 .....	117
<b>第九节 逆变器</b> .....	119
一、逆变器的功用 .....	119
二、逆变器的选择 .....	120
三、逆变器的工作原理 .....	121
四、逆变器的使用 .....	122
<b>第十节 变速箱</b> .....	122
<b>第四章 小型风力发电机的使用与维护</b> .....	124
<b>第一节 小型风力发电机的使用常识</b> .....	124
一、小型风力发电机的使用条件 .....	124
二、小型风力发电机使用的一般要求 .....	125
三、小型风力发电机的合理配套 .....	126
<b>第二节 小型风力发电机安装场址的选择</b> .....	127
一、场址选择原则 .....	127
二、平坦地形的场址选择 .....	130
三、山脊或山顶地形的场址选择 .....	131
四、建筑物上面或附近地形的场址选择 .....	131
<b>第三节 小型风力发电机的安装</b> .....	132
一、安装准备 .....	132
二、安装工作技术规程 .....	133
三、百瓦级小型风力发电机的安装 .....	134
四、千瓦级小型风力发电机的安装 .....	141
五、输电线架设与室内灯具安装 .....	144
<b>第四节 小型风力发电机的使用与保养</b> .....	146
一、使用与保养规则 .....	146

二、风机部分的使用与保养.....	147
三、储能蓄电池的使用和保养.....	152
第五节 储能蓄电池的修理.....	160
一、蓄电池的修理种类及工作范围.....	160
二、蓄电池的修理方法与步骤.....	160
三、全部装复蓄电池.....	172
第六节 常用电工仪表的使用方法.....	174
一、电流表.....	174
二、电压表.....	175
三、万用表.....	176
第五章 常见小型风力发电机简介.....	179
第一节 FD1.5-100型风力发电机.....	179
第二节 FD1.6-100型风力发电机.....	181
第三节 FD2-100型风力发电机.....	184
第四节 FD2.1-0.2/8型200W风力发电机.....	186
第五节 FD2.5-200型风力发电机.....	189
第六节 FD2.5-300型风力发电机.....	191
第七节 WG-240型风力发电机.....	194
第八节 FD3.6-1000型风力发电机.....	196
第九节 FD5.6-2000型风力发电机.....	199
第十节 FD7-2.5kW、5kW、10kW变型风力发 电机.....	202
附录一 中国风能分布图.....	206
附录二 风力等级表.....	210
参考文献.....	212

# 第一章 风能利用概况

## 第一节 风——能量的源泉

### 一、风的形成

环绕着地球的大气层中的空气流动称为风。空气流动的原因是地球表面受热不均所致。在赤道上，太阳垂直照射地面，表面受热较强。在接近两极处，太阳的照射是倾斜的，其地面受热较弱。地球表面上热量的分布引起大气层中空气压力的不均衡性。热空气较冷空气轻，并挤压着冷空气，因此形成了地面与空间的空气环流，引起空气流动。在赤道上，热空气向空间上升，并分为流向两极的两股强力气流。在纬度 $30^{\circ}$ 附近，这股气流下降，并分别流向赤道与两极。在接近赤道地区，由于大气层中大量空气的环流形成了固定方向的风，称为贸易风。由于地球自西向东旋转的结果，贸易

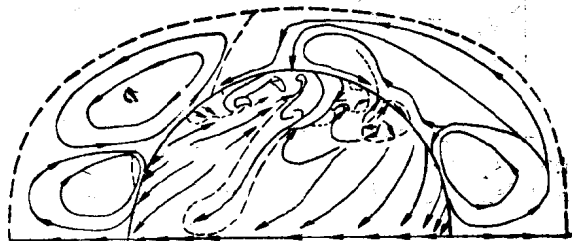


图 1-1 贸易风风向图——赤道附近的固定风



风向西倾斜，此时北半球产生了东北风，而南半球则产生东南风，如图1-1所示。

由两极流向赤道的冷空气气流与由赤道流向两极的热空气气流相遇处（约在纬度 $50^{\circ}$ — $60^{\circ}$ 附近）构成了涡流运动（为旋风及反旋风，而非定向常见的环流）。

旋风：在大气压力极低地区的产生的大体积的涡流称为旋风。在旋风地区，各个方面的空气力图流向圆心。由于地球旋转的结果，风向不是沿着径向而是绕北半球中心的反时针螺旋线（图1-2a）。在旋风中心的空气向上升高并被冷却，结果形成了雨、雪。

反旋风：大气压力最大的地区产生反旋风。这巨大压力中心的空气向各方面流动，此时构成了由压力中心流向外边的风，然而，由于地球由西向东旋转的结果，风向不沿着径向而是向右倾斜围绕着中心成为顺时针的螺旋线（图1-2b）。向上流动着的空气进入较冷的空气区域时，使冷空气的压力增高而被压缩、被加热，因而云彩消散，天气晴朗。故某些晴雨计通常在高压处标出“晴朗”，在中等压力处标出“变化”，而在低压处标出“阴雨”字样。

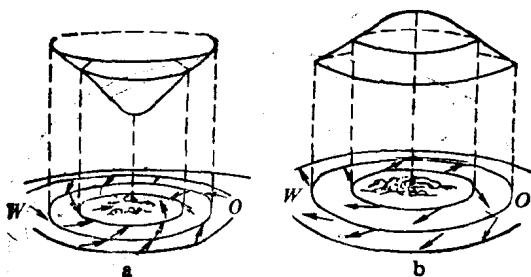


图1-2 旋风及反旋风

a.旋风 b.反旋风

地形的差异（陆地、海洋、山岳、森林及沙漠）使在同一纬度上受到程度不同的加热，因而产生了地区性风。

轻风：由于昼夜之间的温度变化而产生的沿海岸风称为轻风。当日间有太阳时，陆地所接受的热量较海洋强烈，因而陆地上空的空气较轻，于是陆地上空的空气向上流升。此时冷空气力图自海洋流向沿岸陆地，产生了海风。陆地上的热空气则流向海洋，至离海岸某一距离处下降。在夜间，陆地上的空气比海洋上的空气冷却较快，因此，陆地上的下层空气流向海洋，而上层的空气则由海洋流向陆地，形成了与白昼相反的风向（图1-3）。轻风方向的更换决定于地形条件。海风通常自上午9—10时开始，陆地风则在日落以后开始。轻风仅在沿海岸才遇到，流动可及的距离约为在海洋及陆地两方各40km之间。

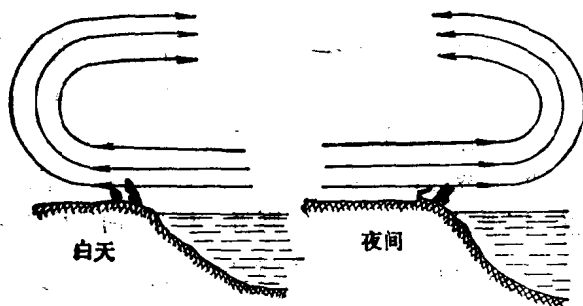


图 1-3 轻风——沿海岸风

季节风：陆地上每年的温度变化较海洋为甚，同样也引起与轻风相似但具有季节性的气流循环，它的强度大于轻风的气流循环强度，这种风称为季节风。

平原和山岳风：山岳地区在一昼夜间有周期性的风向变

换。与轻风相似，平原风每日上午自9—10时以至日落沿山岳的坡度向高处吹去。在夜间则与此相反，气流自山岳吹向平原，形成了山岳风。平原暴露于海岸处引起特别强劲的风。因在夜间，山岳风被陆地风增强了，而在日间则平原风被海风增强。夜间的山岳风是由于山顶的冷空气具有较大密度因而流向平原产生的。平原风的产生则是由于日间山岳的斜面上的空气较热于平原上的空气，此时，地势低处的空气压力膨胀而引起了空气流动。

## 二、风速及其测定

空气在单位时间内所流过的距离称为风速。通常以 m/s 作为度量单位。风速是不固定的，甚至在很短的时间内也有很大变化。图 1-4 表示出用自动记录风速仪记录下来的一根曲线，它显示了在 6 分钟内的风速变化情况。在这段时间内，风速从 6m/s 至 10m/s 变化了四次。从曲线的形状可知风速具有脉动特性。

在很短的时间（0.5 到 1—2 秒）内所测得的风速称作瞬息风速或有效风速。在某一时间内各瞬息风速值相加后取其算术平均值则称作该时间内的平均风速。

假若在一昼夜内，每隔一相等时间所测得的若干次的风速值相加，而以观测次数除之，则得一昼夜的平均风速：

$$v = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n}{n} \quad (\text{m/s})$$

式中  $n$ ——观测次数。

假若将一个月内的每昼夜平均风速值相加，而以一个月的天数除之，则得月平均风速。如将一年内各月的平均风速总和值除以 12，则得年平均风速。

风速的日变化曲线，在每一地区每一季节，总在一定钟

点有一个最高点。图1-5表示某地区不同时间二次记录的昼夜风速变化特性（一昼夜的风速变化情况，即为风速的昼夜变化特性）。

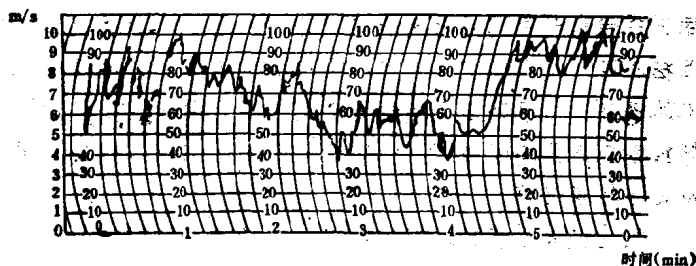


图 1-4 自动风速记录仪记录的风速变化

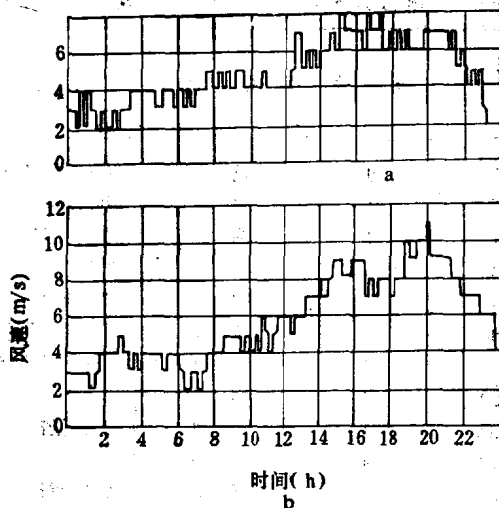


图 1-5 一昼夜内风速的特性

a. 1990年7月21日的平均风速 $v=4.3\text{m/s}$

b. 1990年9月9日的平均风速 $v=5.2\text{m/s}$

平原地带，在夏季，最大风速常在11至14时出现。在山区白天的风速较夜间的要低些，在酷热的白天和夜间，各处的风速几乎一致。

风速是用风速仪来测量的。风速仪与能够记录风速的记录仪组合起来就成为自动记录风速仪。由于决定风速高低的方法不同，风速仪可分两类：第一类为指示或记录瞬时风速的风速仪，如手提式风速仪等；第二类为累计某一段时间内所流经的距离的风速仪，一般为自记式风速仪，如接触式自动记录风速仪等。

没有测定仪器时，以每秒米或级数表示的风速，可根据自然界中所观察的现象以简单近似方法决定之（表1-1）。

表 1-1 根据观察自然界现象以确定风速的换算表

风 速 (m/s)	级 数	风 名	风 力 现 象
0—0.5	0	无 风	空气完全静止
0.6—1.7	1	软 风	树叶作微声但很难听出
1.8—3.3	2	轻 风	烟囱出烟略为倾斜
3.4—5.2	3	微 风	树枝摆动
5.3—7.4	4	和 风	细枝弯曲
7.5—9.8	5	清 风	树顶部飒飒作声
9.9—12.4	6	强 风	白杨及粗枝弯曲
12.5—15.2	7	疾 风	} 细枝折断
15.3—18.2	8	大 风	
18.3—21.5	9	烈 风	
21.6—25.1	10	狂 风	粗枝折断
25.2—29	11	暴 风	松树拔根
30以上	12	飓 风	有较大的破坏现象

### 三、障碍物对风速的影响

山岳、峡谷、密林以及独立的障碍物都强烈地减弱了近地面的风速。风遇到障碍物后变成不规则的涡流，失去前进的速度。当风速高于 $5-6\text{m/s}$ 以上时形成最强烈的涡流，涡流在障碍物后很远的地方逐渐减弱，至比障碍物高度约为15倍的距离处才完全消失（图1-6）。

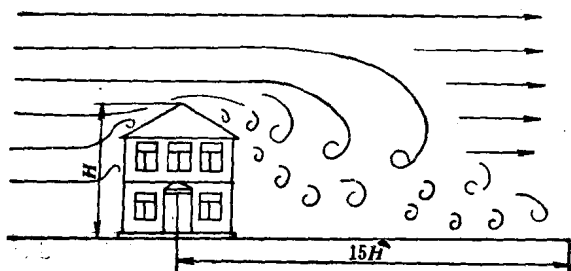


图 1-6 障碍物对风速的影响

在地形没有突出的变化、坡度很平滑的山顶上的风速，比四周地面上的风速大得多。在山地或坡度非常峻峭倾斜的峡谷上面，通常形成速度不大的涡流气流。假若气流遇着独立的山峰，则它在某些情况下绕过山峰而不在山峰上面吹过。假若风在两高地之间吹过，则风速将增加数倍，因为在两高地之间形成了某些能使气流竞争着流动的类似于管状的通路。这样就使邻近空旷地带原为很小的风变为极强大的地方性风。

地形的起伏与地面覆盖（地面的干燥）对风速和风向的影响是随风的气流与地面距离的增大而减弱，一般在高度约达 $80\text{m}$ 时，影响才完全消失。

风速随高度变化的问题，很多人们已进行了研究并获得

了结果。只要近地面的风速为已知，便可确定在某一高度处的风速。

近地面风速的变化如图1-7a曲线所示。风速随接近地面的程度而减低。突出的地形影响着空气下层的风速。风遇着独立的不平地形就会产生涡流，使风速减低。

为比较不同高度的风速变化的规律，绘成如图1-7b所示的曲线。在纵坐标上表示高度 $H$ 对 $H_0$ 的比，即 $\bar{H} = \frac{H}{H_0}$ ， $H$ 为欲决定风速处的高度， $H_0$ 为已知风速处的高度，在横坐标表示在高度 $H$ 处的未知风速 $v$ 对已知高度 $H_0$ 处的风速

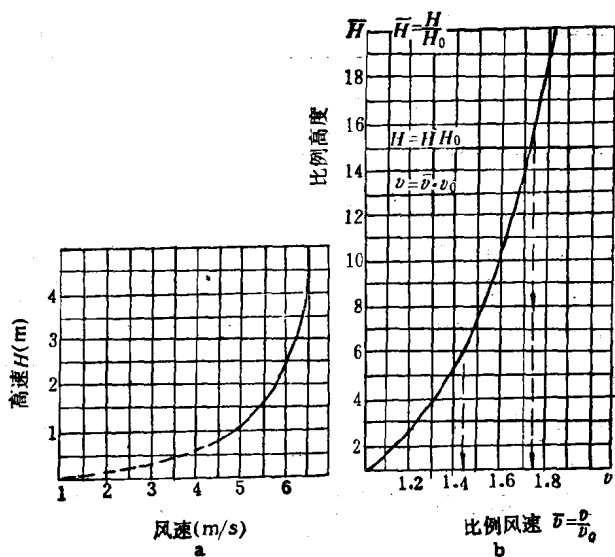


图 1-7 风速随高度的变化

a. 地面上风速的变化曲线 b. 比例风速对应于比例高度的变化曲线

$v_0$ 的比, 即  $\bar{v} = \frac{v}{v_0}$ , 假若知道在某一高度  $H_0$  的风速  $v_0$ , 则借该曲线即可查得任一高度处的风速。

例如在高度  $H_0 = 4\text{m}$  时, 风速  $v_0 = 5\text{m/s}$ , 试求在高度为  $24\text{m}$ 、 $64\text{m}$  处的风速。

解: 由  $\bar{H} = \frac{H}{H_0}$  公式得

$$\bar{H}_1 = \frac{24}{4} = 6 \text{ 及 } \bar{H}_2 = \frac{64}{4} = 16$$

从图1-7纵坐标上的  $\bar{H}_1 = 6$  及  $\bar{H}_2 = 16$  两点分别划横线, 各引与曲线相交, 再由各交点引垂线至横坐标, 查得  $\frac{v}{v_0}$  的比值各为  $\bar{v}_1 = 1.44$  及  $\bar{v}_2 = 1.75$ 。

因此, 在高度  $H_1 = 24\text{m}$  处的风速

$$v_1 = \bar{v}_1 v_0 = 1.44 \times 5 = 7.2(\text{m/s})$$

在高度  $H_2 = 64\text{m}$  处的风速则为

$$v_2 = \bar{v}_2 v_0 = 1.75 \times 5 = 8.75(\text{m/s})$$

#### 四、风能利用的优越性

风能作为一种自然能源, 如何开发利用, 已引起世界各国的重视。风能与常规能源相比, 虽然目前还不能成为一种完全独立的、主要的能源, 但它所固有的一些优点已经在许多方面逐渐显示出来。

1. 风能本身是一种不花钱的能源 风能取之不尽, 用之不竭。可以无限期地为人类服务。搞风能利用只需在创造机具设备时进行一次投资, 使用中花费少量维修资金, 再不要其他开支。

2. 风能量大面广, 适宜分散使用 近年来, 内蒙古牧区



使用小型风力发电机，解决了偏僻地区分散居住的农牧民家庭照明、收看电视等小型用电电源，其经济效益和社会效益是令人满意的。偏僻而居住分散的边远地区，由于利用其他能源存在种种困难，而利用小型风力发电机搬运方便、安装机动灵活、投资少，已显示出了它的优点，因而，在这些地区广大农牧民家庭以及边防哨所、铁路小站、海岛、野外工作点等开展风能利用更有特殊的意义。

3. 风能利用简单方便 我们知道，绝大多数能源得以利用时，都要经过一个从勘测、采掘到运输、加工、处理等一系列复杂的过程，才能达到使用的目的。除此而外，在利用时所需的设备装置构造都比较复杂、精密、昂贵。而风能利用则十分简便。它来之即可用，用后去无踪，功而不受禄。同时，还不污染环境。

此外，在充分掌握风能利用优越性的同时，还必须了解风能的弱点，以其制定相应的对策：

(1) 空气的密度比水轻800倍，所以风能是稀弱的。因此，风力发电机要获得巨大的功率，风轮必须作成很大的尺寸。例如，当风速为8m/s时，为获得100马力的功率，风轮直径应有30m。

(2) 风能在任何时候不是固定的，这就限制了它在工业上及运输业上的广泛利用。

(3) 因为风能的变化与风速的立方成正比，所以风能具有起落幅度极大的变化特性。

## 第二节 我国的风力资源

### 一、风能区划