

简易风力发电

吳 增 著編譯



目 录

第一章 概 論	2
1. 风	2
2. 风动机	7
3. 用于风动机的发电机	11
第二章 YII-1.6型簡易风力发电站	15
4. 直流发电机	19
5. 木質翼片	20
6. 金屬翼片	24
7. 风輪的平衡	26
8. 风动机的机头	27
9. 集电器	33
10. 彈簧	35
11. 风动机的預装配	37
第三章 大容量的风动机	38
12. 发电机安裝地点的选择	38
13. 木質空心翼片	39
14. 金屬空心翼片	45
15. 风动机的轉速限制器	48
16. 翼端減速閥	50
17. 翼壳減速閥	53
18. 风动机机头	58
19. 风动机支柱	66
20. 风动机的安裝	73
21. 风力发电站电气部分的安裝	75
第四章 风力发电站启动运行	78
22. 风力发电站首次試启动	78
23. 蓄電池充电	79
24. 风动机的維護	81
附 录	84

第一章 概 論

1. 風

風是由于空氣流動而產生的。空氣經常以不同的速度向不同的方向流動，有時慢，有時快。所以氣象學上對於風的觀測包括風向和風速兩個項目。風向是指風吹來的方向，例如從北方吹來的叫北風，從西北方吹來的叫做西北風。風向通常分為 16 個方向，如圖 1 所示。

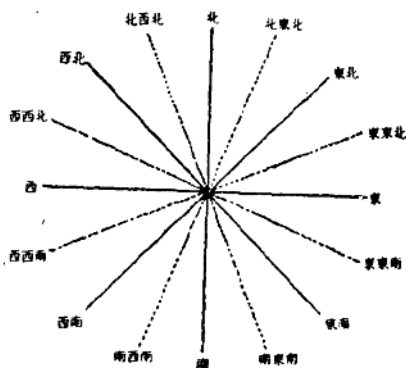


圖 1 風的十六個方向

風速是指空氣流動的速度，一般以每秒流動多少公尺來表示，也有的以每秒流動若干公里來計算。例如，讓一根羽毛順風飛行，如每秒鐘的行程為 4.6 公尺，則風速約為 4.6 公尺/秒。

氣象學上觀測風速是用風速表來測定的。如果沒有風速表，可用“風級”來表示。風級是比較各種不同速度的風對

地面上物体所造成的征象而制订出来的。风速越大，級数就越高。一般所說的强风、微风、和风等等，都是根据它的流动速度来决定的。为了近似地确定风速，現將我国的风力等級列于表 1 中。

表 1 风 力 等 級 表

风 速 (公尺/秒)	风級	风的特征	测风器的风表 板在弧形板上 指針向的位置	陆 地 地 面 物 征 象
1~0.2	0	无风	1 号	靜，烟直上
0.3~1.5	1	軟风	1 号	烟能表示风向，但测风器不能轉动
1.6~3.3	2	輕风	1号~2号	人面感觉有风，树叶有微影，测风器能轉动
3.4~5.4	3	微风	2号~3号	树叶及树枝搖动不息，旌旗飄展
5.5~7.9	4	和风	2号~4号	能吹起地面灰尘和紙張，树上的小枝搖动
8.0~10.7	5	清风	4号~5号	有叶的小树搖摆，內河的水面有小波
10.8~13.8	6	强风	5号~6号	大树叶枝搖动，电线呼呼有声，撑不住傘
13.9~17.1	7	疾风	6 号	全树搖动，迎风步行感觉困难
17.2~20.7	8	大风	6号~7号	小树枝折毀，人向前行，感觉阻力很大
20.8~24.4	9	烈风	7 号	烟囱頂部及平屋房頂受到损坏，小屋遭受破坏
24.5~28.4	10	狂风	7 号	在陆地上少見，拔起树木或將建筑物吹毀
28.5~32.6	11	暴风	7号~8号	在陆地上很少，会造成重大摧毀
32.6以上	12	颶风	8 号	在陆地上絕少，摧毀力极大

季节和地区对于风向和风速都有一定的影响，因此一个地方的风向和风速經常在变化，但一个地方一定有它的盛行风向，就是說在一年中这种方向的风出現的次数最多。知道

一个地方的盛行风向，对装置风力发动机是有帮助的。图2是我国各地风向频率分布图，是由各地历年出现的各种风向的次数统计出来的。每一射线方向代表风向，其长度代表这种风向出现的次数多少，最长一射线就是当地的盛行风向。例如北京的盛行风北风和西北风，广州的盛行风是北风等等。

表1所列的4级风，即风速在5.5~7.9公尺/秒时，最适宜于风动机的运转。在5~6级风出现时，风轮转速应该加以限制。在风速达到7~8级时，应将风轮放下（即由垂直位置放到与风向平行的水平位置），使风动机完全停止运行，以保护它不受损坏。

风速是经常变化的。例如和风的风速多半在5.5~7.9公尺/秒，在平常时间内都非常平静，但有时速度可达8~10公尺/秒。

风速虽然每秒都在变化，但由于风轮象飞轮一样可以储蓄动能，所以风动机的运行能达到一定的均匀程度。由于风速变化大，一般都利用一分钟内的平均风速值来计算。此外，为了计算方便起见，风动机的出力是用一小时内、一个月内、甚至一年内的平均风速来计算的。

在一定的地区里，年平均风速几乎是不变的，但月平均风速是变化的。例如：年平均风速为4.5公尺/秒，则最小的月平均风速可能为3公尺/秒左右，而最大的月平均风速则约为5.5公尺/秒。

如果要了解某一地区的月平均风速的分布情况，那么可到邻近的气象站去打听。如风动机装在居民区、盆地或者森林区的房屋之间，气象资料应加适当地修正，有时要将所查得的风速减小30~40%。

表 2 所列的是某区域內在一个月中各种风速的小时数，
在这个区域的时平均风速是經常变化的。

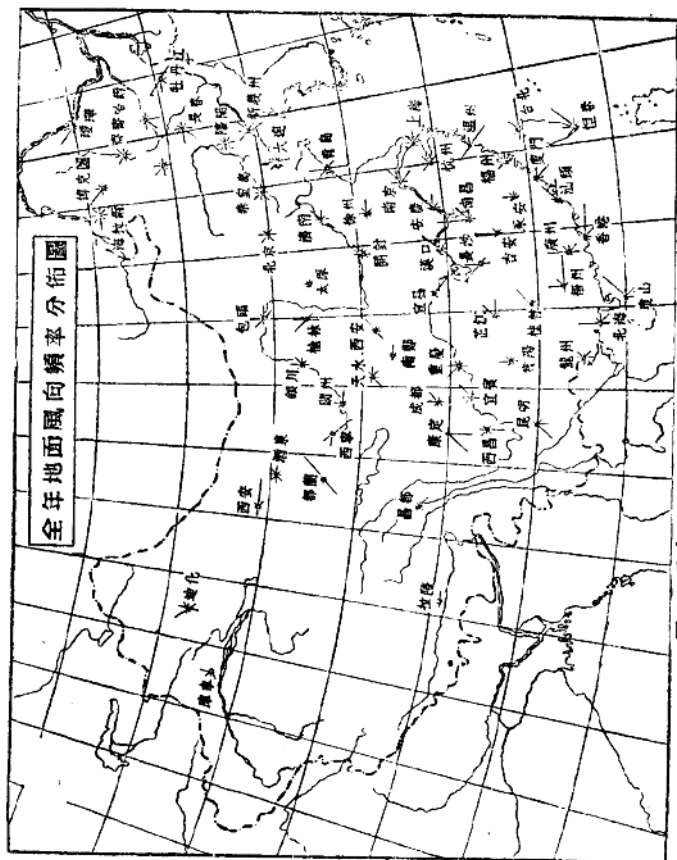


图 2 全年地面風向頻率分佈图

表 2 某区域内在一个月中各种风速的小时数

区域内的月平均 风 速 (公尺/秒)	一个月內时平均风速(公尺/秒)的小时数				
	4	5	6	7	8~12
	(3.5~4.5)	(4.5~5.5)	(5.5~6.5)	(6.5~7.5)	(7.5~12.5)
2.5	110	72	20	3	—
3.0	150	85	40	15	5
3.5	140	100	55	25	15
4.0	130	120	85	50	21
5.0	110	120	110	90	80

表中所示的风速是按每 0.5 公尺/秒来列出的。例如这个区域的月平均风速为 2.5 公尺/秒，在时平均风速为 4 公尺/秒下面有 110 的数字，这就可以知道这个区域的风速在一个月內从 3.5 到 4.5 公尺/秒之間的变化的时间有 110 小时。

风速是用风速表来测定的。如果没有这种仪器，可以自己制造如图 3 所示的維尔达测风器，它可测定风向和风级。知道风级以后就可以从表 1 查得近似的风速。

在一根稳固不动的垂直杆 7 上套一根垂直的小管 1，在管子上固定一个能在风的吹动下自由轉动的风信旗 3。在风信旗下面的杆子 7 上裝置一个指针，用以指示风向。在风信旗上部的管子上有水平的絞鏈固定在框架 4 上，300×150 公厘的风表板就裝在絞鏈上，板的重量应为 0.2 公斤。在框的前方安裝一个半徑为 160 公厘的弧形板，板上有八根針，四根長的每根長 140 公厘，四根短的每根長 100 公厘。各針与垂直方向成一定的角度：1 号針为 0°；2 号針为 4°；3 号針为 15.5°；4 号針为 31°；5 号針为 45.5°；6 号針为 58°；7 号針为 72°；8 号針为 80.5°。

风级可用风表板的傾斜角的讀数来测知。确定了风表板

在弧形板的兩根針之間的位置，就可以从表 1 查出相应的风速。

风表板在針間的位置仅仅指出近似的风速，尤其是风速经常变化很快的时候。风表板的位置不是長久停留在一个位置上，而是常常搖摆在某一个範圍以內。在測定风速时，应观察风表板傾斜角的变化情况約 1~1.5 分鐘，决定它的平均傾斜角，然后才能断定一分鐘內的平均风速。如风速超过 12~15 公尺/秒，用风表板測量是不准确的，但 9 公尺/秒以下的风动机的风速，用它来指示还是正确的。

风信旗應該裝置在风动机的前面，离中心的距离为风輪直徑 3~5 倍的地方，风力发动机的中心也就是它的支柱。

2. 风 动 机

每一个风动机的制造者，必须具有一些利用风能的物理知識，这样才能更好地制造和維護风动机。

风能与风速的立方成比例。例如，风速降低二分之一，即由 8

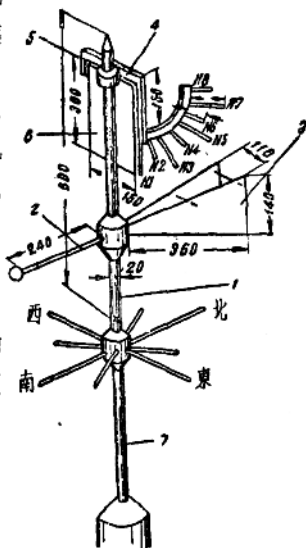


图 3 簡易維尔达式测风器

1—直管（長600公厘）；2—帶有平衡錘的风信旗的前橫軸；3—风信旗的叶板；4—上架；5—风表板校鍵的橫軸；6—风表板（重0.2公斤）；7—固定的垂直杆，杆上裝有方向指示器；1~8号是风级指示器的針。

降到 4 公尺/秒，則风动机的功率减少到八分之一（ $\frac{1}{2^3} = \frac{1}{8}$ ）。

如风动机的功率在风速 8 公尺/秒时为 800 瓦，则在 4 公尺/秒时就降低到 100 瓦。如果风动机的设计功率在风速为 8 公尺/秒时达到最大值，那么在风速为 4 公尺/秒左右时风动机就开始使蓄电池充电。

风动机的功率与风轮的翼片所形成的圆面积成比例。圆面积是与直径平方成比例的，如翼片的长度（即风轮的直径）增加一倍，在同一风速之下该机的功率可增加到 $2^2 = 4$ 倍。如风速为 8 公尺/秒，风轮的直径为 2 公尺，功率为 293 瓦；那么将风轮直径增加到 4 公尺时，其功率将增大到 4 倍，也就是 1,172 瓦。

在同一速度下同一风动机的功率，随风轮的转速不同而各异，但转速又随着负荷增减发生变化。图 4 所示的为 УД-1.6 型风动机的功率在风速为 8 公尺/秒时，与风轮转速的关系曲线。在没有负荷时，风轮的转速达到 1,100 转/分（参看图 4 曲线 1 上的 a 点）。如风动机带上负荷，则转速降低到 820 转/分，此时的功率达到 0.3 马力或为 220 瓦（参看曲线 1 上的 b 点）。如将该机的负荷再行增大，则转速立刻降低。直至转速降低到 400 转/分，这时全部负荷仅为 100 瓦（参看 c 点）。因之必须经常选择适当的负荷，以便在一定的风速之下，风动机能接近最有效的转速。为了选择负荷，应该选择最适当的风轮与发电机的齿轮比例。

图中横线 5 表示气流的功率，也就是风能，其数值取为 1（即 100%），而横线 4 表示理论上能够利用的功率，此数为风能的 0.59。

在曲线 1 上所得到的功率与直线 5 所表示的功率之比例，叫做风能利用系数。风动机所能给出最大的风能利用系数约在 40~42%，但必须将风轮的翼片做得很精细，其断面

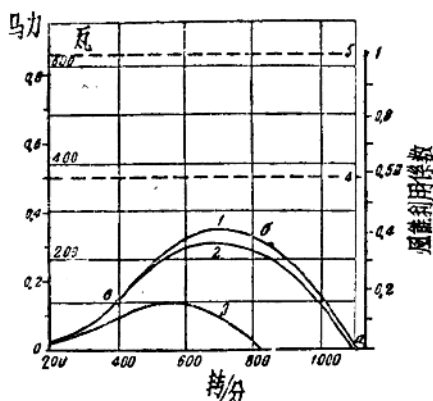


图4 在相同的风速下 VIL-1.6 型风动机的功率与风輪轉速的关系曲綫

1—具有制造精良翼片的风輪功率曲綫；2—同上，但翼片造較好；3—同上，但翼片造較差；4—风能利用系数最大值的綫；5—全部风能的綫。

与傾斜角也必須按照規定做得很准确。曲綫2表示具有制造一般还好的风动机的功率，它的最高风能利用系数可达到30~35%。曲綫3表示与曲綫1有同样风輪直徑的风輪功率，但它的翼片的准确度不严格，表面又做得粗糙，凹凸不平。因此它的轉速小，功率也相当的低，风能利用系数約15%或者还要低些。

要善于利用风能并得到較高的风輪轉速，應該將风輪翼片的断面精細地做到象飞机的翼片一样，这个断面要与旋轉平面成較小的傾斜角。高轉速的风輪只有2~3个翼片，所以比較容易建造。

同一直徑的风輪相比較时，功率之大小与翼片数目无关。直徑相同、寬度相同但翼片数目不同的风輪相比較时，翼片愈少以及翼片对旋轉平面的傾斜角愈小，則风輪的速度

愈高。因此风輪的速度愈高，翼片的断面愈应做得正确。

表 3 各种直径的两翼风輪的功率和月发电量

风輪直径，公尺	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
风速为7~8公尺/秒时的轉速，轉/分	670	450	360	300	225	180
风速为7~8公尺/秒时的功率，瓦	65~80	100~130	200	300	500	1000
月平均风速	风力发电站的发电量，千瓦时/月					
2.0	0.8	1.0	2.0	3.0	6.0	10.0
2.5	1.6	2.0	4.0	6.0	12.0	21.0
3.0	3.5	4.5	9.0	14.0	28.0	50.0
3.5	5.5	7.0	12.0	18.0	36.0	62.0
4.0	8.0	10.0	15.0	22.0	44.0	77.0

表 3 所示的为不同直径的两翼风輪的功率，和最有效的轉速在一个月内的发电量（也即月出力）。表中所列各项数字系按一台风輪計算的，它的制造质量是中等的，在良好的情况下它的风能利用系数为 0.33。

在发电机的负荷下降时，风輪的功率也降低。比较一下下面所列出的数字，就可看出这一点。

风輪最大的軸功率，瓦

100 300 1000

在发电机满负荷时，其功率为风輪的功率的百分数，%

40 50 70

在发电机负荷下降到额定功率时，风輪的功率也下降到

20% 35% 40%

如发电机与风輪中间有传动装置，则其所发出的功率在每对齿輪（或用皮帶輪传动）上要比上面所说的小 5~10%。

从蓄电池所能得到的电能小于其所蓄的 60%。因此风輪的直径和功率应该象表 3 所列的那样选得富裕些。在表中还将发电机和传动装置以及其他的效率考虑进去。

知道收音机或无线电站一个月内的耗电量，和一年中最小的月平均风速，就可用表 3 所列的数据来选择最适宜的风轮直径。

3. 用于风动机的发电机

在建造自己制造的风力发电站时，一般可以利用汽车或拖拉机报废的材料来做发电机。表 4 所列的为苏联这种发电机的主要数据。

在蓄电池开始充电时，发电机的转速是发电机发出额定功率的电能时速度的 60%。这就是说在风速比风动机达到额定功率的风速为低的时候开始充电。

在发电机的外壳上，如印有这样的“220/12 1,450”字，有时在前面还印有表示发电机型式的字样。后面的“1,450”表示每分钟的转数，这时它的功率达到 220 瓦，电压达到 12 伏。由此可以计算发电机在开始对 12 伏蓄电池充电时 60% 的额定速度：

$$1,450 \times 0.6 = 870, \text{ 或约称 } 900 \text{ 转/分。}$$

旧发电机经常可利用来作为风动机发电之用，倘若它的外壳上没有功率、电压以及转速的字样，那么可用下面所叙述的方法试验出来：

这些发电机的数据可以用试验方法来确定。首先应画出空载时的特性曲线。先将发电机与拖拉机或其他原动机的轴连接起来，使发电机旋转。磁场线圈 1 (图 5, A) 应接到电刷 2 上，并且将电压表接到电刷的出线。这个试验就是通过曲线来表示发电机的转速与电压变化的关系。改变两轴的传动比例，就可得到发电机的各种不同的转速。做这种试验应该有电气技术人员参加。

表 4 汽車和拖拉機上的發電機的主要數據

指 標	汽車的發電機			拖 拉 機 的 發 電 機			
發電機型號	ГВФ-4600	ГВФ-4501	ГМ-71	Г-28	Г-066	ГБТ-4541 ГБТ-4892 Г-45	Г-20 Г-15 ГА-4630 ГА-150
汽車或拖拉機型號	ЗИС-5 ГЛ-6 ГО-3	ГАЗ-А ГАЗ-АА ГАЗ-ММ	ГАЗ-М1 ГАЗ-М415 ГАЗ-67	“莫斯 科人”	СХТЗ- НАТИ СХТЗ КД-35, У-1, У-2	С-60 С-65 СТ-65	СТЗ- ХТЗ
功率, 瓦	80	80	100	100	250	65	100 220 150 250 500
標準電壓, 伏	6	6	6	6	12	6	12 12 12 12 12
最大電流負荷, 安	11	10	14	17	20	10	18 13 20 20 25
旋轉方向	右	右	右	右	左	左	右 右 右 右 右
在電動機運行時發電機的電流, 安	7	7	7	6.5	7	6.5	5.7 7 5 10 15
在額定功率時的轉速(在發熱的情況) 轉/分	1900	1900	2200	3300	950	1150	800 900 1200 1300 2600
在開始對蓄電池充電時的轉速, 轉/分	1200	1200	1400	2000	550	650	450 550 800 800 1500
發電機重量, 公斤	8.5	7.3	7.4	6.0	22.3	7.5	10.5 12.5 14 22 25

如图 5, B 曲线所示的 a 点非常重要, 这点确定发电机的运行情况开始稳定, 此时可将蓄电池接上进行充电。发电机进行充电时的转速应该选择得有 10~15% 的富裕。例如, 按照图 5, B 的曲线上的 6 点, 转速可选为 500~600 转/分, 以便将 6 伏的蓄电池与发电机连接。

测定发电机的功率比转速要困难些, 因为这样做必须将发电机带上负荷 3 小时, 并且使线圈的发热不能超过 70° 。如果线圈没有热到这样温度, 还可增加负荷继续试验 3 小时。

测定发电机的功率还可另用一方法, 即将蓄电池与发电机连接, 其电压比 6 点的电压高

50%; 也就是用 9 伏蓄电池代替 6 伏蓄电池, 同时测量电流。在这电压下产生的电流就给出使发电机旋转所必需的功率。由于小容量发电机在额定转速下运转时, 要消耗有效出

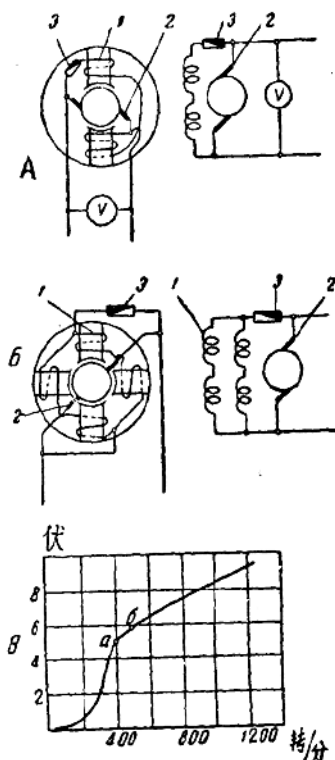


图 5 A 和 B 是绘制发电机空载特性曲线的接线图, B 是发电机电压与转速的关系曲线图

1—磁场线圈; 2—电刷; 3—保险丝; a、6—发电机特性曲线上的点。

力的一半电能，因此，如果在用9伏蓄电池做試驗时，使发电机旋轉所必需的电流为8.5安，那么就可以知道发电机消耗的电能为 $9 \times 8.5 = 76.5$ 瓦，则它的有效出力约为150瓦。

发电机的功率还可以用这样的方法来試驗，即將发电机的皮帶輪夾在用手轉动的自行車的后輪上进行試驗。这种方法只能应用在很小容量的发电机（60~100瓦），但一个人長時間地轉动是很吃力的，即使空轉也是如此。

为了避免制造发电机的傳动裝置，風輪可直接与发电机軸相接，但这样做就要使发电机的轉速和功率降低。現有好些方法可以这样做，例如，硬將12伏的发电机作为6伏发电机運轉，这样就可降低发电机的轉速。如果Г-15型发电机的轉速为1,200轉/分时，功率为150瓦，电压为12伏，用来对6伏蓄电池充电，在这样电压情况下，其功率降至75~80瓦，轉速降至600轉/分。发电机对蓄电池开始充电时，轉速仅为 $600 \times 0.65 = 400$ 轉/分。因此，直徑1.6公尺的風輪可以直接与发电机軸相接。但为了經常用这种風輪来運轉发电机，还需要对这种发电机进行下列的改造：

1. 如图5，Б所示的四极发电机，將其磁場綫圈等分为兩半，并列連接。这样在电压降低时，磁場仍可得到滿負荷的电流。

2. 將整流器上的电刷的压力减弱 $2/3 \sim 1/2$ 。在汽車发电机上的电刷的压力之所以加强，是因为在振动之下能保持它与整流器很好的接触；而在風动机运行中，这种振动是沒有的，因此对于电刷的接触可靠性不需要过大的压力。把电刷的压力降低 $2/3 \sim 1/2$ ，則風动机的远轉就相应地輕便得多。

3. 发电机轉子的綫圈需用小直徑導綫重繞，并增加比原来更多的綫圈。重繞綫圈的工作必須由專業电气技術人員或

工程师指导，因为他们能够在这方面进行计算。

如果能找到汽车上的起动电机，并用它来使蓄电池充电，那么在使用前也必须改装一下。因为它的转子与磁场线圈具有不同的特点，是用粗线和铜条做的，所以必须将转子与磁场线圈用细线重绕。

在正规的发电机上，磁场与转子是用直径为1~2公厘的导线绕成的。

第二章 YД-1.6型简易风力发电站

任何风力发电站是由这三个主要部分组成的：风动机（具有尾翼与侧翼的风轮），发电机和支柱。

图6所示为YД-1.6型风动机的总图。图7所示的为风动机的机头及所有的零件。木质双翼的风轮1直接安装在发电机6的轴上。

发电机用螺栓固定在两块夹板10和11上，在它们之间用

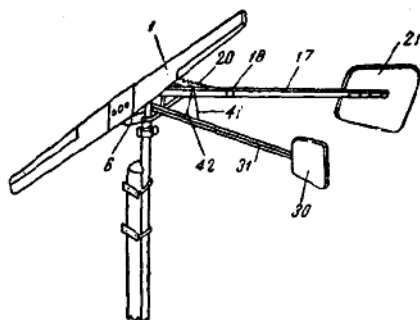


图6 YД-1.6型风动机总图

1—木质翼片；6—发电机；17—尾翼杆；18—尾翼杆上的压板；21—尾翼板；30—侧翼；31—侧翼杆；41—减速绳；42—停车绳。

“Z”形的支架 12 連接。為了使它們形成框架並可以很輕易地在垂直管 44 上轉動，因此在下夾板上必須有開一個圓孔與管子的外徑相合，並以支架 12 為其相應的支柱。

風動機應裝置尾翼，尾翼上有尾翼杆 17 及翼板 21（見圖 6）。在尾翼杆上的壓板 18 與從側面突出的懸臂梁 32 之間用一根彈簧 20 拉着。

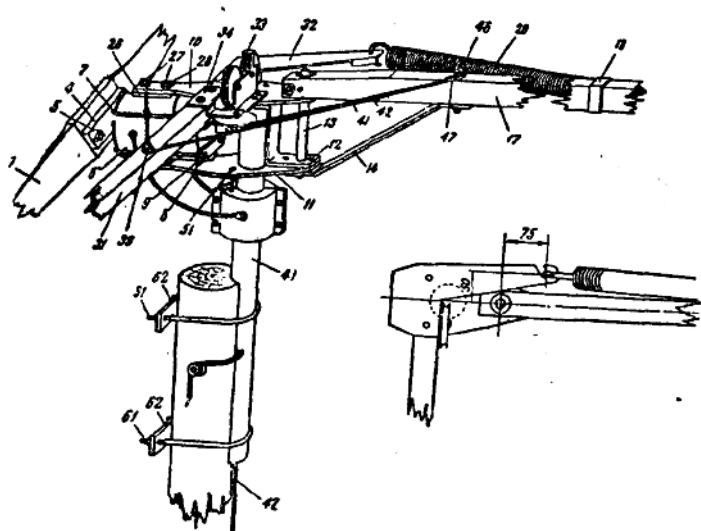


圖 7 YЛ-1.6型風動機的機頭

1—木質風輪；4—風輪軸套；5—螺帽與螺栓；6—發電機；7—發電機的方抱箍；8—螺帽；9—零件 7 上的扁鐵；10—發電機上夾機；11—發電機下夾板；12—支架；13—尾翼的軸；14—尾翼的支柱；17—尾翼杆；18—尾翼杆上的壓板；20—彈簧；26—在零件 10 和 11 下面的襯墊；27—螺栓；28—型卡；31—側翼杆；32—彈簧的懸臂梁；33—滑輪的側支架；34—滑輪 36 的上懸臂梁；39—同零件 5；41—減速繩；42—停車繩；44—直管；46—螺帽與螺栓；47—環；51—集電環罩子的導架；61—管子 44 的抱箍；62—零件 61 的扁鐵。