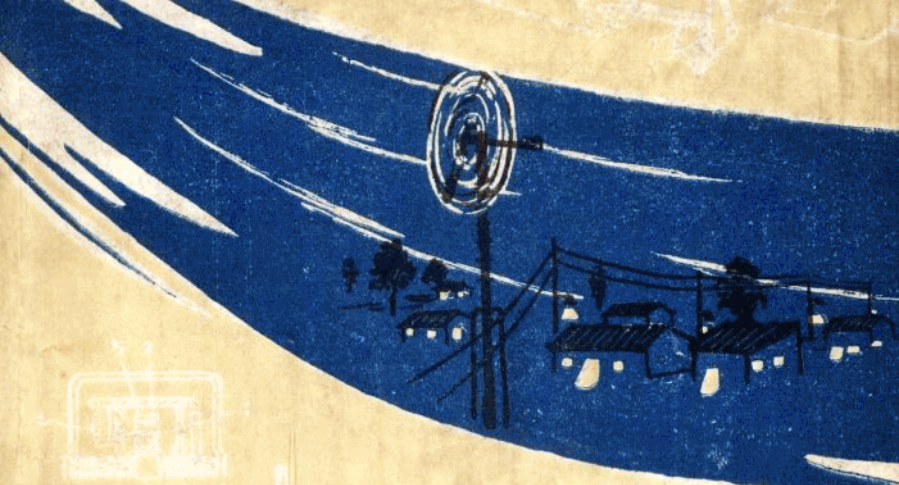




小型风力 发电设计与制造

XIAOXING FENGLI FADIAN
SHEJI YU ZHIZAO

吉林人民出版社

小型风力发电設計与制造 吉林省水利厅白城專署水利处編著

吉林人民出版社出版

(长春市北京大街) 吉林省书刊出版业营业許可証出字第1号

長春新生印刷厂印刷

吉林省新华書店发行

开本: 787×1092 1/32 印張: 1 字数: 22,000 印数: 1,000册

1959年 6 月第1版

1959年 6 月第1版第1次印刷

統一書号: 15091·65

定价(5): 0.10元

前 言

为了农村早日实现机械化、电气化，白城專署在党的领导下，大鬧技术革命，利用自然界中取之不尽、用之不竭的风力，試制成功小型风力发电。

小型风力发电技术不复杂，制做簡單，造价便宜，使用方便，适于在农村推广。

为了推广小型风力发电，我們特編写了这本小册子。書中闡述了小型风力发电的特点、設計，风輪翼片的制造，电气設備以及58型风力发电裝置及使用等，可供广大人民公社干部与水、电力干部参考。

由于時間短促，編者水平所限，难免有錯誤和不当之处，望讀者批評指正。

吉林省水利厅
白城專署水利处

1959年4月

目 次

前言

第一章 概論

- §1 小型风力发电的特点 (1)
- §2 小型风力发电的裝置 (1)
- §3 小型风力发电的設計 (2)

第二章 风力发动机的設計

- §1 风輪气动設計 (3)
- §2 风輪翼片設計 (7)
- §3 风力发动机調向設計 (17)

第三章 风輪翼片制造

- §1 木質螺旋槳式翼片的制造 (20)
- §2 风輪翼片的动力平衡 (21)

第四章 电气設備

- §1 发电机 (22)
- §2 調节器 (22)
- §3 蓄電池 (24)
- §4 土蓄電池的制法 (25)

附录: 58型风力发电裝置及其使用 (29)

第一章 概 論

§ 1 小型风力发电的特点

小型风力发电，一般是指风力发动机的风輪直徑不大于3.5公尺，有2—3个叶片的高速风力发动机而言。其功率不大于1.5瓩的风力发电。

建立小型风力发电的技术条件不太复杂，制做簡單、造价便宜、使用方便，可在群众中普遍推行。是促进农村电气化的有利条件之一。

§ 2 小型风力发电的裝置

小型风力发电的裝置很簡單，可分五个主要組成部分：

1. 风輪——將风能轉換成机械能；
2. 調速調向裝置——調整风力发动机的方向和轉速；
3. 发电机——將机械能轉換成电能；
4. 調节器——防止电流的反向流动；
5. 蓄電池——將发电机发出的电能蓄积起来，再由蓄電池供应負荷用电。这样既可在短時間无风时照常供电；又可不因风速的变化，致使电压波动而影响用电戶的正常用电。

§ 3 小型风力发电的设计

小型风力发电的设计可分四部分进行：

1. 风力发动机型号的选择及气动设计：即是确定风力发动机的型式，计算风轮直径、风轮翼片厚度、宽度、翼片实度比、翼片安装角、绘制风轮翼片加工制造图等；

2. 风力发动机的控制机构设计：确定控制型式，设计风力发动机的调速调向装置；

3. 风轮制造；

4. 电气设备选择：确定发电机、蓄电池、调节器等设备的规格与数量。

第二章 风力发动机的設計

风力发动机的設計是比較簡單的，按气动理論来推导、計算风輪各部尺寸及气动数据。

§ I 风輪气动設計

1. 风力发动机的功率

风力发动机的功率，一般是用馬力或瓩来表示。在已知当地的风速和确定了风輪直徑后，即可按下式計算

$$N = \frac{D^2 \cdot V^3 \xi}{1530} \text{馬力} \dots\dots\dots (1)$$

$$P = \frac{D^2 \cdot V^3 \xi}{2080} \text{瓩} \dots\dots\dots (2)$$

式中

D ——风輪直徑（公尺）

V ——設計风速（公尺/秒）

ξ ——风能利用系数（一般采用0.25—0.39）

风能利用系数，即是风給予的能量与风力发动机的能量之比。风輪翼片軸向渦流損失，翼片翼型渦流損失，翼片尖端損失等应用复杂的理論公式来計算。小型风力发动机的风能利用系数可选用标准风輪翼型，标准风輪翼型的翼片是用理論公式

計算出來的，可不用重新計算。

如果不選用標準的翼型，可從圖 1 中各種風輪的空氣動力特性曲綫中求得風能利用系數 ξ 值和相應的風速比 Z 值作為計算風力發動機的基本數據（如圖 1）。

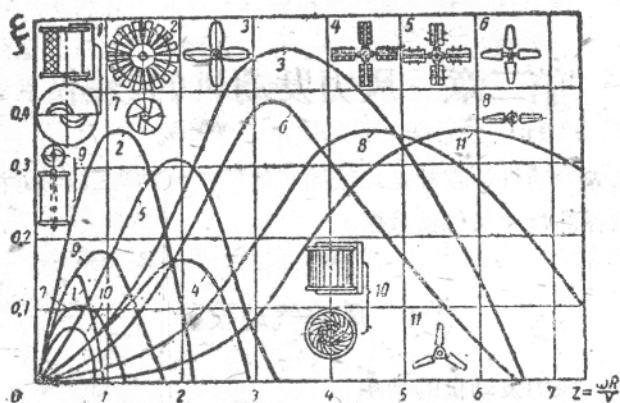


圖 1—1

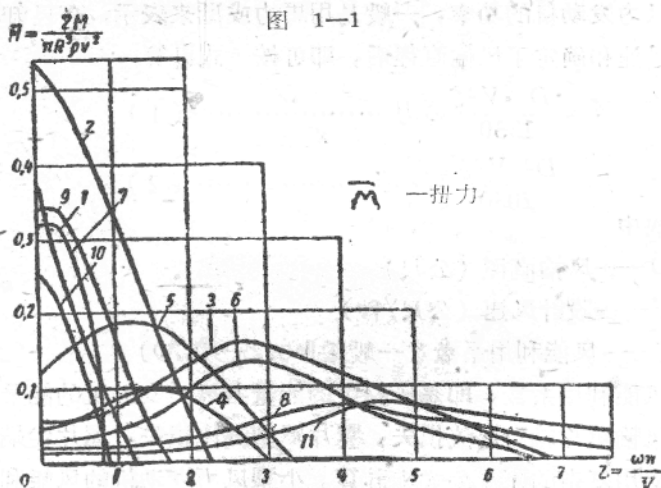


圖 1—2 各種風輪的空氣動力特性曲綫

如果有条件，可做一試驗，来校核 ξ 值与 Z 值，使之选用的更确切适当；反之，在設計时选用的 Z 值与 ξ 值，应考虑到制造条件是否能做得很精細确切，应适当的选用較小一些的数值。这样，求得的风輪各部尺寸就大些。

2. 风力发动机的轉速

风力发动机的轉速，可按下式进行計算：

$$n = \frac{30Z \cdot V}{\pi \cdot R} \text{ 轉数/分} \dots\dots\dots (3)$$

式中

π ——圓周率 (3.14)

R ——风輪半徑 (公尺)

V ——风速 (公尺/秒)

Z ——风速比 (风輪切綫速度与风速之比，称为风速比。

苏联称为高速性)

小型风力发动机可根据翼片多少，从图 1—1 中查找风能利用系数 ξ 值，再求得 Z 值。一般可采用 5—8。

3. 风輪直徑計算

在設計风力发动机的风輪直徑时，首先应确定設計风速和功率，这样可按下式进行計算：

$$D = \sqrt{\frac{1530N \text{ (馬力)}}{V^3 \cdot \xi}}$$

或

$$D = \sqrt{\frac{2080P \text{ (瓩)}}{V^3 \cdot \xi}} \dots\dots\dots (4)$$

4. 在不同风速下，风力发动机的性能計算列入表 1

表 1

風速 (公尺/秒)	3	4	5	6	7	8	9	10
風力發動機的 軸動率 $P = \frac{D^2 v^3 \xi}{2080}$ (瓩)								
風力發動機的 轉速 $n = \frac{30ZV}{\pi R}$ (轉/分)								

註：1. 風力發動機軸動率，是指風輪發出的馬力（或瓩）而言。不包括各種損失在內。

2. 風速取10公尺/秒以下計算之，超過10公尺/秒時須要進行調速，風力發動機的功率不隨風速的增加而增加。

5. 不同風輪直徑的風力發動機發出的功率也不同，列表2供計算風輪直徑尺寸時參考

各種直徑不同的翼式風輪的功率和月發電量 表 2

風輪直徑公尺	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
風速為7—8公尺/秒 時的轉速(轉/分)	670	450	360	300	500	1000
風速為7—8公尺/秒 時的功率(瓦)	65—80	100—130	200	300	500	1000
月平均風速(公尺/秒)	風力發電站的發電量瓩時/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

例：58型風力發電風力發動機各部尺寸的設計及性能。

(1) 已知(確定)數據

- ① 确定了风力发动机的功率为220瓦；
 ② 設計风速采用5公尺/秒；
 ③ 风能利用系数 ξ 值是选用苏联法捷耶夫試驗的木質螺旋槳式风輪，其技术特性中的 ξ 值为0.37。

④ 风速比 Z 值为7

(2) 风輪直徑設計

求风輪直徑按公式(4)进行計算：

$$D = \sqrt{\frac{2080P}{V^3 \cdot \xi}} = \sqrt{\frac{2080 \times 0.22}{5^3 \times 0.37}} \approx 3.13 \text{ (公尺)}$$

为便于制造，选用风輪直徑为3公尺。

(3) 风輪轉速計算

风輪轉速按公式(3)进行計算

$$n = \frac{30ZV}{\pi \cdot R} = \frac{30 \times 7 \times 5}{3.14 \times 1.5} = 223 \text{ (轉/分)}$$

(4) 风力发动机的性能

58型风力发动机，在不同风速下的功率及轉速列表3供参閱。

表3

风速 (公尺/秒)	4	5	6	7	8
风力发动机的 軸 功 率 (瓦)	105	200	344	550	816
风輪轉速 (轉/分)	178	223	268	312	357

註：风力发动机的軸功率就是指风輪发出的馬力(不包括各种損失)，其单位一般是用馬力或瓩来表示，为便于計算，表内是用瓦为单位的。

§ 2 风輪翼片設計

1. 风輪翼片性能的好坏，对风力发动机所发出功率的大小有直接影响。为使发动机效率高，必須根据气动力理論的要求

来确定风輪翼片的基本尺寸和数据。如(1)风輪直徑 D (公尺)；(2)設計翼片寬度 b ；(3)設計翼片厚度 δ ；(4)翼片實度比 $\frac{r}{R}$ ；(5)翼片安裝角 ϕ ；(6)繪制翼片断面圖。這些数据用氣動理論公式求出，并按着要求來制做，发动机的效率即可达到預期的目的。

2. 风輪翼片性能和风力发动机的效率

为了說明风輪翼片的好坏影响着风力发电效率的高低，列举 YД-1.6 型风力发动机，在相同风速下，因翼片傾斜角及翼型的好坏的不同，得出兩種不同的結果，如图1—2所示。

曲綫2表示具有制造一般风力发动机的功率，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

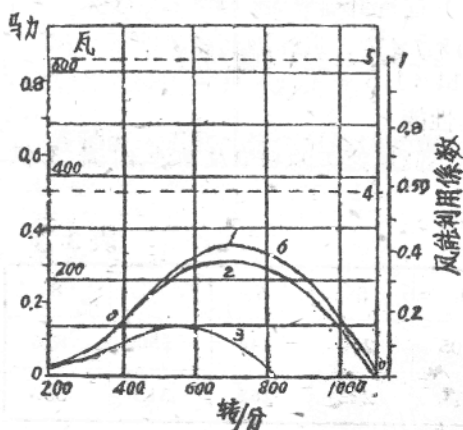


图2 在相同的风速下 YД-1.6 型风发动机的功率与风輪轉速的关系曲綫

註：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—全部能利用风能的綫。

輪直徑的风輪功率，它的翼片制作得不准确，表面又做的粗糙，凹凸不平。因此它的轉速小，功率也相当低，风能利用系数仅为15%，甚至更低。

要充分利用风能，得到較高的风輪轉速，應該將风輪翼片的断面精致的做到象飞机螺旋槳的翼片一样，断面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，比較容易制造。

同一直徑的风輪相比較时，功率的大小与翼片的数目无关。相同直徑与寬度，但翼片的直徑不相同，数目也不相同的风輪比較时，翼片越小及翼片对旋轉平面的傾斜角越小，則风輪的速度越高。由此可見翼片的断面越做得正确，风輪的速度越高。

每个設計工作者都希望設計性能高的风輪翼型，但是照顧到小型风輪和它的成本制造限制，还是不能花費更大的精力。

3. 风輪翼片設計

风輪翼片設計：主要是用气动理論計算翼片的寬度、厚度、实度比、安裝角等的尺寸，以及按基本尺寸繪制出流綫型风輪翼片的断面图。

小型风力发动机的风輪翼片若是同中大型风力发动机风輪翼片一样用理論来計算，時間花費的就太多。由于理論較深，要求技术水平高，实际做起来比較麻煩。

苏联流体力学研究院及有关制造风力发动机的部門，研究試制出一种适用于小型风力发动机的翼型（风輪翼片空气动力特性高的标准螺旋槳翼型）。其構造簡單，一般工厂和人民公社就可以制造。

58型风力发电的风力发动机的风輪翼片是选用苏联E. M. 法捷耶夫所試驗的木質螺旋槳式标准翼型。經实际制造使用（白城專署水利处）其效能良好，符合原設計要求。风能利用率可达37%，风輪本身轉速在3級风时可达268轉/分，2級风时可起工作。这种翼片本身不裝設調速裝置，从苏联的先进經驗介紹和58型风力发电风力发动机实际使用結果看来，风輪翼片要做得兩面重量均等，技术規格符合风輪翼片特性时，风輪旋轉

得很平稳。风輪轉速虽随风速增大而增高，但当风輪轉速增高到一定程度以后，再就增高的不多了。这种翼片的机械强度很坚固，风輪轉速增高到 4,000 轉/分时也不会损坏(实际风輪轉速只能达到 1,000 轉/分)。小型风力发动机采用这种翼型是較适宜的，易于普遍推广应用。

4. E·M·法捷耶夫木質螺旋槳式风輪翼片的技术特性

木質螺旋槳式风輪翼片，其技术特性介紹如下：

风輪直徑 (D) 为 1 公尺

风輪扭矩 (M) 为 0.01

风速比 (Z) 为 7

风能利用系数(ξ) 为 0.37

风輪翼片实度比 $\frac{r}{R}$

风輪翼片安裝角 ϕ

0.25	0.4	0.6	0.8	0.95
------	-----	-----	-----	------

14°	10°	6.5°	4.8°	3.5°
-----	-----	------	------	------

E·M·法捷耶夫試驗的木質螺旋槳式翼片断面图如图 3 所示。风輪翼片基本尺寸和翼型断面縱橫座标值列表 4 供參閱。

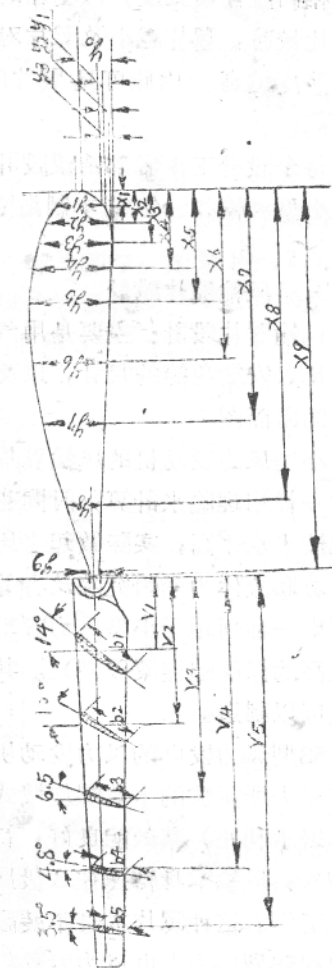


图 3 木質翼片断面尺寸图

表 4

翼型 顺 序	翼 片 尺 寸				翼 型 座 标										
	安装 角 ϕ°	翼片厚度 比 $\frac{r}{R}$ (mm)	翼片宽度 b (mm)	翼片厚度 δ (mm)		X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
一	14°	125 0.25	82.2	1.5	x	—	2.08	4.16	8.25	16.50	24.60	40.80	57.50	73.80	82.20
					y	6.10	9	10.40	12	14.18	15	13.66	9.83	4.58	0.50
					y'	—	3.42	2.50	1.66	0.83	0.33	—	—	—	—
二	10°	200 0.4	70.5	12.2	x	—	1.83	3.50	7.08	14.10	21.20	35	49.20	63.30	70.5
					y	4.90	7.50	8.40	9.65	11.50	12.15	11.65	7.92	3.66	0.41
					y'	—	2.75	2.08	1.25	0.5	0.21	—	—	—	—
三	6.5°	300 0.6	55	8.8	x	0	1.33	2.75	5.50	11	16.50	27.50	33.40	4.7	55
					y	3.46	5.42	6	7	8.33	8.80	8.17	5.50	2.50	0.33
					y'	—	1.83	1.33	0.83	0.41	—	—	—	—	—
四	4.8°	400 0.8	40	5.42	x	—	1	2	4	8	12	20	28.00	35.80	40
					y	1.58	3.16	3.66	4.42	5.08	5.42	4.67	3.30	1.66	0.25
					y'	—	1	0.67	0.44	—	—	—	—	—	—
五	3.5°	475 0.95	27	2.98	x	—	0.67	1.35	2.7	5.4	8.1	13.5	18.9	24.3	27
					y	1	1.73	2.08	2.50	2.7	2.98	2.36	1.68	0.67	0.17
					y'	—	0.54	0.40	0.13	—	—	—	—	—	—

5. 用相似原理来求出拟定設計的风輪翼片各部尺寸

从 §2 的 4 段中已知风輪翼片的特性和基本尺寸 (从表 4 中可查出), 用相似原理来求出拟定設計的风輪翼片尺寸 (增大或縮小)。应用相似原理来計算时, 翼片的实度比和安裝角的价值即不用增大, 也不用縮小。

(1) 翼片实度比 $\frac{r}{R}$	0.25	0.4	0.6	0.8	0.95
翼片安裝角 ϕ	14°	10°	6.5°	4.8°	3.5°

(2) 翼片寬度 b

$$\text{拟定設計的翼片寬度 } b_m = \frac{b}{D} \cdot D_m$$

式中

D_m ——拟定設計的风輪直徑

b ——已知翼片寬度 (E·M·法捷耶夫試驗模型)

D ——已知风輪直徑 (E·M·法捷耶夫試驗模型) 为 1 公尺

所以

$$b_m = \frac{b}{D} \cdot D_m \text{ 式可改寫为}$$

$$b_m = b \cdot D_m$$

同样道理, 翼片厚度 $\delta_m = D_m \cdot \delta$

式中

δ ——已知翼片厚度 (E·M·法捷耶夫試驗模型)

δ_m ——拟定設計的翼片厚度

(3) 翼片断面的縱橫座标值求法

求翼片断面的縱橫座标值, 也是用相似原理把拟定設計的风輪直徑 D_m 乘以表 4 中的 x 与 y 軸座标值, 即可得出 拟定設計的风輪翼片断面的縱橫座标值。

用相似原理依标准风輪翼片(E·M·法捷耶夫試驗模型) 求出拟定設計的风輪翼片各部尺寸时, 只要确定了拟定設計的风輪直徑后, 可用此数值逐个乘表4中的每个值(翼片实度比和翼片安裝角值除外), 得出的数值即是拟定設計的风輪翼片各部尺寸和翼片断面的座标值。

例: 58型风力发电风力发动机的风輪直徑拟定为3公尺, 风輪翼片选用苏联 E·M·法捷耶夫試驗的木質螺旋槳式风輪翼片, 用相似原理求出各部尺寸的数值如下:

(1) 翼片实度比及翼片安裝角的选用

$\frac{r}{R}$	0.25	0.4	0.6	0.8	0.95
ϕ	14°	10°	6.5°	4.8°	3.5°

(2) 翼片宽度

$$b_m = b \cdot D_m \quad (b \text{ 值随 } \frac{r}{R} \text{ 值变化})$$

因为

翼片实度比 $\frac{r}{R}$	0.25	0.4	0.6	0.8	0.95
模型翼片宽度 b	82.5	70.5	55	40	27

所以

$$\begin{aligned} b_m &= b \cdot D_m \\ &= 82.5 \times 3 \\ &= 247.5 \end{aligned}$$

故

翼片实度比 $\frac{r}{R}$	0.25	0.4	0.6	0.8	0.95
模型翼片宽度 b	82.5	70.5	55	40	27
設計翼片宽度 b_m	246	212	165	120	81