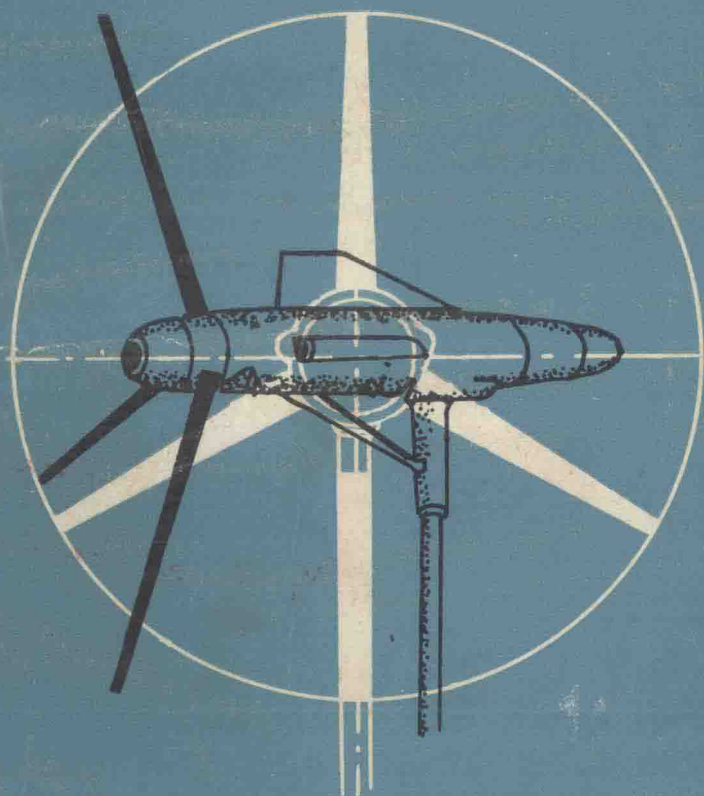


# 小型风车手册

(附小型风车设计图例)

〔日〕 牛山 泉 共著  
三野正 洋



机械工业出版社

# 小型风车手册

(附小型风车设计图例)

〔日〕 牛山 泉 共著  
三野正洋

汪淑贞 钟家驖 袁洁萍 译  
高克春 校

机械工业出版社

## 内 容 简 介

本书主要介绍小型风力发电装置的结构, 小型风车的空气动力学特性和基本设计参数, 以及世界上现有小型风车的类型、性能和用途, 详细列举了螺旋桨风车叶片和垂直轴型风车叶片的设计实例。本书还分析了小型风力发电装置的经济性。全书内容充实, 理论分析和实际应用紧密结合, 是一本有一定参考价值的小型风力发电装置设计手册。

本书可供从事风力发电装置设计的工程技术人员和业余爱好者阅读, 也可供有关院校师生参考。

## 小型風車ハンドブック

牛山 泉 共著  
三野正洋

パワー社昭和 55 年 2 版

\* \* \*

## 小型风车手册

(附小型风车设计图例)

〔日〕牛山 泉 共著  
三野正洋

汪淑贞 钟家驊 袁洁萍 译

高克春 校

责任编辑 孙 瑞

\* \* \*

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登记证出字第 117 号)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  · 印张  $10 \frac{3}{4}$  · 插页 1 · 字数 236 千字

1987 年 2 月北京第一版 · 1987 年 2 月北京第一次印刷

印数 0,001—1,000 · 定价 2.30 元

\*

科技新书目: 137-113

统一书号: 15033 · 6512

## 译 者 的 话

我国国土辽阔，风力资源十分丰富，尤其在东南沿海地区，开发利用风力资源的前景十分诱人。风能是无公害的“清净能源”，又是无需大规模基本建设的“软”性能源。因此，近年来在我国风力资源的开发已日益引起人们的重视，相继设计、生产了一些小型风力发电装置。本书比较系统地介绍了风力发电装置的结构和设计要领，分析了风力发电装置的经济性，是一本有一定参考价值的小型风力发电装置设计手册，将对从事风力发电装置设计的工程技术人员和业余爱好者有一定的帮助。

全书共分十章，第一、第二章介绍风的特性、世界风能利用概况、风力发电装置配置地点选择；第三、第四、第五、第六章介绍风车类型、风车设计基础、风车空气动力学、风车叶片设计、风车装置的结构设计和机械设计；第七、第八章介绍风力发电装置的主要组成部分和用途；第九章介绍世界现有小型风车的主要类型；第十章以实例介绍了小型风车制作方法。全书内容充实，理论分析和实际应用紧密结合，对指导实地操作有一定参考价值。

本书前言、第一章中 1.1~1.6 和 第八、第九、第十章由袁洁萍翻译；第一章中 1.7~1.9 和第二、第七章由钟家驷翻译；第三、第四、第五、第六章由汪淑贞翻译。全书由高克春校订。

译校者在不影响原书内容完整性、正确性的前提下，删



除了原书中个别印刷不清的照片图和与原书技术无关或仅适用于日本国情的某些表格。

本书在翻译过程中得到了多方的帮助和鼓励，特此表示谢意。限于我们的水平，译文中会有欠妥及错误之处，热忱希望读者多予指正，不胜感谢。

译者

1985.8

## 前 言

能源是人类文明之本。自古以来，能源和空气一样，存在于我们的周围。但是，我们往往没有意识到。自从1973年西方发生石油危机，能源陷入了严重困境以后，才迫使人们千方百计地寻找能代替石油的能源。

迄今，虽然还没找到能有效地代替石油的能源。但如果认真地想一想，就会发现在大自然中存在着相当丰富的自然能，例如，太阳的热和光、风力、水力和生物能等。这些能源是取之不尽，用之不竭，而且在能量转变过程中不会放出污染物质的。其中，风能是人们最早发现，也是最熟悉的能源。

从中世纪直到近代，欧洲各国都把风作为最重要的动力源，最典型的例子是荷兰风车。美国从开垦时代以来，已有600万台以上的风车用于提水和发电。

对风力利用历史较短的日本，明治维新以后，一方面从国外引进风车，另一方面独自开展了风车的研究工作。尽管最近呼吁要开发风力，但因缺少风力利用的基础知识以及技术知识等，要想很快利用大量存在的风能仍然是困难的。

在研究风力利用时，必须具备气象、航空、机械、电气、控制、土木、环境等广泛的知识。作者是专攻热力学和空气力学的，对编写风车工程学著作未必能胜任，编者的意图是汇总人们向日本风能学会提出的一些实际问题，整理平时收集和积累的资料和文献。其内容是从风力利用一般知识到基础理论。

本书对研究风能利用的人们来说，可能感到太浅，但是，在书末分类刊载了许多参考文献，以供他们深入研究之用。

本书尽量不采用难解的数学公式，而用图表来表示，以适应中等文化水平的读者。对于业余爱好者，可能对有些部分难于理解，但只要通读全篇，就能够掌握其概要，对实际制作会起到一定作用。

本书的出版也许能为解决能源问题助一臂之力，它不是一本技术教科书，但是如果能作为大专院校研究风车的参考书，我们深感荣幸。

本书在编写过程中，曾经得到了多方协助。喜多康雄氏（岛津制作所，中央研究开发部）、松本 完氏（汤浅电池，技术部）、森浩一氏（山叶发动机技术部）、金纲 均氏（千叶县教育中心）、茅野胜义氏等都提供了有益的资料和符合实际的建议。动力出版社的平柳胜敏氏也给予我们大力协助。特此，深表谢意。

作者 牛山 泉

三野正洋

1980年5月

# 目 录

## 前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 风力利用概况 .....             | 1  |
| 1.1 风的形成 .....                 | 1  |
| 1.2 风在时间上的变化 .....             | 2  |
| 1.2.1 风在一天之内的变化 (日变化) .....    | 3  |
| 1.2.2 风的季节性变化 .....            | 4  |
| 1.3 风的高度变化 .....               | 5  |
| 1.4 风的变动性 .....                | 8  |
| 1.4.1 紊流 .....                 | 8  |
| 1.4.2 风向的变动 .....              | 9  |
| 1.5 风的局部地区性 .....              | 10 |
| 1.6 风的观测和数据的性质 .....           | 11 |
| 1.6.1 风的观测 .....               | 11 |
| 1.6.2 风的数据性质 .....             | 13 |
| 1.7 风能蕴藏量 .....                | 16 |
| 1.7.1 地球上全部风能的估计 .....         | 17 |
| 1.7.2 风能在日本的地理分布 .....         | 17 |
| 1.7.3 日本风能蕴藏量的估计 .....         | 18 |
| 1.8 风力利用的历史和现状 (以小型风车为主) ..... | 19 |
| 1.8.1 风车的起源 .....              | 19 |
| 1.8.2 风车的普及 .....              | 20 |
| 1.8.3 风车最盛行时期 .....            | 20 |
| 1.8.4 风力发电的诞生和实用化 .....        | 22 |
| 1.8.5 日本风力利用情况 .....           | 26 |
| 1.9 风力利用的前景 .....              | 30 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>第2章 风车设置地点</b>     | 32 |
| 2.1 风车设置地点            | 32 |
| 2.2 设置在平地上的条件         | 33 |
| 2.3 设置在山脊或山顶上的条件      | 33 |
| 2.4 利用树木判断设置地点        | 34 |
| 2.5 对风车装置有影响的气象       | 35 |
| 2.5.1 紊流              | 35 |
| 2.5.2 强风              | 36 |
| 2.5.3 风切力             | 36 |
| 2.5.4 结冰及积雪           | 37 |
| 2.5.5 雷击              | 37 |
| 2.5.6 盐害              | 37 |
| 2.5.7 砂尘              | 37 |
| 2.6 在建筑物上或其附近设置风车     | 38 |
| 2.7 根据风速考虑风车设置地点      | 40 |
| 2.8 日本利用风力有希望的地点      | 40 |
| <b>第3章 风车的基础知识</b>    | 45 |
| 3.1 风车获得的能量           | 45 |
| 3.2 风车的种类和特征          | 53 |
| 3.2.1 水平轴风车的种类和特征     | 53 |
| 3.2.2 垂直轴风车的种类和特征     | 56 |
| 3.2.3 特殊风车            | 59 |
| 3.3 表示风车性能的方法         | 61 |
| 3.3.1 表示风车性能的特性系数     | 61 |
| 3.3.2 风车输出功率及转速与风速的关系 | 64 |
| <b>第4章 风车装置的设计基础</b>  | 66 |
| 4.1 所需能量的估算方法         | 66 |
| 4.1.1 电负载的估算方法        | 66 |
| 4.1.2 机械负载的估算方法       | 72 |

|            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|
| 4.2        | 风车装置的输出功率和能量 .....         | 77         |
| 4.3        | 风力的利用装置 .....              | 83         |
| 4.3.1      | 风车能量变换特征 .....             | 83         |
| 4.3.2      | 风力的利用装置 .....              | 86         |
| <b>第5章</b> | <b>风车的空气动力学和叶片设计 .....</b> | <b>91</b>  |
| 5.1        | 风车叶片概述 .....               | 91         |
| 5.1.1      | 风车叶片的空气动力学 .....           | 92         |
| 5.1.2      | 风车叶片的安装角度 .....            | 95         |
| 5.1.3      | 风车叶片的剖面形状 .....            | 99         |
| 5.1.4      | 风车叶片的面积和盘面比 .....          | 100        |
| 5.1.5      | 风车叶片的平面形状 .....            | 101        |
| 5.2        | 风车叶片设计法 .....              | 104        |
| 5.2.1      | 叶形的确定 .....                | 104        |
| 5.2.2      | 风车叶片图解设计法 .....            | 108        |
| 5.2.3      | 风车叶片理论设计法 .....            | 117        |
| <b>第6章</b> | <b>风车系统的结构和机械设计 .....</b>  | <b>130</b> |
| 6.1        | 风车的结构设计 .....              | 130        |
| 6.1.1      | 作用在风车叶片的离心力 .....          | 130        |
| 6.1.2      | 作用在风车叶片的阻力 .....           | 132        |
| 6.1.3      | 风车的扭矩 .....                | 134        |
| 6.1.4      | 螺旋桨的动量矩和作用在尾翼上的力 .....     | 138        |
| 6.1.5      | 风车系统的负载条件 .....            | 140        |
| 6.1.6      | 风车的安全设计 .....              | 142        |
| 6.2        | 风车的机械设计 .....              | 145        |
| 6.2.1      | 控制风车转速 .....               | 145        |
| 6.2.2      | 风车的方位控制 .....              | 152        |
| 6.2.3      | 风车叶片的材质和构造 .....           | 156        |
| 6.2.4      | 帆叶式和萨波尼乌斯式风车的叶片 .....      | 161        |
| 6.2.5      | 风车叶片和轮毂的结合部 .....          | 165        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 6.2.6 风车的增速机构 .....         | 168        |
| 6.3 塔架 .....                | 171        |
| 6.4 塔架的基础 .....             | 176        |
| <b>第7章 风力装置的主要结构 .....</b>  | <b>178</b> |
| 7.1 发电机 .....               | 178        |
| 7.1.1 汽车用交流发电机的原理和结构 .....  | 179        |
| 7.1.2 汽车用交流发电机的性能 .....     | 181        |
| 7.1.3 利用交流发电机的风力发电装置 .....  | 182        |
| 7.1.4 其他发电机 .....           | 185        |
| 7.2 蓄电池和逆变器 .....           | 187        |
| 7.2.1 蓄电池及其种类 .....         | 187        |
| 7.2.2 蓄电池原理 .....           | 188        |
| 7.2.3 蓄电池性能 .....           | 189        |
| 7.2.4 蓄电池用途 .....           | 191        |
| 7.2.5 充电知识 .....            | 191        |
| 7.2.6 蓄电池的维护与保养 .....       | 196        |
| 7.2.7 逆变器 .....             | 197        |
| 7.3 水泵 .....                | 201        |
| 7.4 通气和防冻 .....             | 207        |
| 7.5 风能变成热能和贮存 .....         | 209        |
| 7.5.1 能源消耗的组成 .....         | 209        |
| 7.5.2 风力热变换方式 .....         | 211        |
| <b>第8章 经济性 .....</b>        | <b>219</b> |
| 8.1 小型风力发电装置经济性评价 .....     | 219        |
| 8.2 小型风力发电装置的电力成本 .....     | 222        |
| 8.3 小型风车装置输出功率成本计算 .....    | 225        |
| 8.3.1 两种类型不同的风车装置成本比较 ..... | 225        |
| 8.3.2 用于计算成本的数据 .....       | 227        |
| <b>第9章 世界各国的小型风车 .....</b>  | <b>232</b> |

## X

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 9.1 美国 .....                   | 233        |
| 9.2 澳大利亚 .....                 | 257        |
| 9.3 加拿大 .....                  | 259        |
| 9.4 丹麦 .....                   | 262        |
| 9.5 英国 .....                   | 267        |
| 9.6 法国 .....                   | 269        |
| 9.7 联邦德国 .....                 | 273        |
| 9.8 意大利 .....                  | 276        |
| 9.9 日本 .....                   | 276        |
| 9.10 瑞士 .....                  | 284        |
| 9.11 苏联 .....                  | 286        |
| <b>第10章 风车的制作 .....</b>        | <b>291</b> |
| 10.1 业余爱好者自制风力发电装置的实例 .....    | 291        |
| 10.1.1 茅野胜义制作的风车 .....         | 291        |
| 10.1.2 金纲 均制作的风车 .....         | 294        |
| 10.2 自制风车的大小和形状 .....          | 295        |
| 10.2.1 风车的大小 .....             | 296        |
| 10.2.2 风车的种类 .....             | 296        |
| 10.3 木螺旋桨的制作方法 .....           | 298        |
| 10.4 发电机的布线 .....              | 305        |
| 10.5 几种新的设想 .....              | 308        |
| 10.5.1 提高波尼乌斯风车性能的设想 .....     | 308        |
| 10.5.2 提高垂直轴高速风车的起动性 .....     | 309        |
| 10.5.3 风向一定时的风车装置 .....        | 310        |
| 10.6 自行组装风车的结构一例 .....         | 313        |
| 10.7 轴承和集流环 .....              | 317        |
| 10.7.1 轴承 .....                | 317        |
| 10.7.2 集流环 .....               | 318        |
| 10.8 简便计算方法 .....              | 320        |
| <b>书后附图中的二种风力发电装置的说明 .....</b> | <b>322</b> |
| 〔A〕 0.9H萨波尼乌斯风车 .....          | 322        |
| 〔B〕 直径为 0.45m 的螺旋桨风车 .....     | 324        |
| <b>参考文献 .....</b>              | <b>328</b> |

## 第1章 风力利用概况

本章介绍自然风在不同时间（日变化、季节变化、年变化），不同高度以及局部地区所产生的变化及变动特性；从风能利用角度介绍了观察风的方法和风力特性；推算风能蕴藏量的方法，以确定日本风能可利用到什么程度；通过利用风力的历史的回顾，说明其他国家和日本的风力利用技术水平处于何种程度。

### 1.1 风的形成

对于人类来说，风是最熟悉的自然现象。有时候，风赐给我们恩惠。但是台风等强烈的风使我们遭受巨大的灾难。风是由于太阳的热量所引起的一种“空气流”。太阳把能量以热能的形式传到地球，其中大约 2% 转换成风。例如：如果把日本的全部风能加以利用，就能代替现在全日本所消耗的各种能源。那末具有巨大能量的风是怎样形成的呢？如图 1-1 所示，北半球和南半球的中纬度区域的高

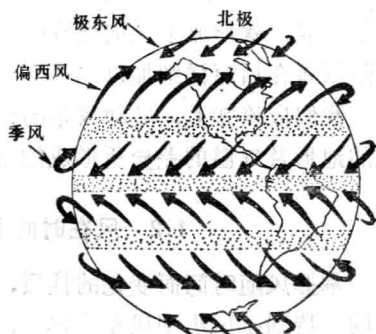


图1-1 地球上风的运动方向

空通常为西风。天气的变化是由高低气压的移动形成的，(上述地带的气压移动是由西向东)随着气压的移动，就出现了风、雨和温度等各种气象变化。这种一般性的气象变动，是由于陆地、海洋、空气之间的温度差异，使局部地区的气象受到了很大的影响。

例如：在山岳地带，白天太阳使山上的空气温度提高，随着热空气上升，山谷的冷空气也随之向上流动，这样就形成了“谷风”。与其相反，一到晚上，空气中的热量向高空散发，气体密度增加，空气沿山坡向下移动，这就是所谓的“山风”。另外，以沿海地区的海陆风为例(如图1-2所示)，由于白昼与夜间海洋和陆地的表面温度的差异，就形成了风向交替的海陆风。关于谷风、山风、海陆风将在后面详细加以说明。

我们应该知道，转动风车的风是全球的气流和各局部地区的地形及气温的差异所形成的空气流。

## 1.2 风在时间上的变化

掌握风随时间而变化的性质，对研究风力利用是极其重要的。特别是用小型风车发电时，一般是由蓄电池把能量贮存起来，这个蓄电池的容量取决于风速低到一定数值而使风车不能发电的时间长短。

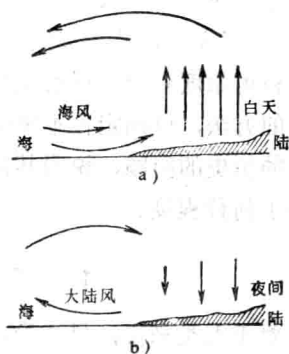


图1-2 海陆风形成示意图

a) 在白昼是海风 b) 在夜间是陆风

### 1.2.1 风在一天之内的变化（日变化）

每天，风的强度有一定的周期性变化，当然也因各地的气压分布状况不同而有很大差异。一般说来，晚间地面风弱，空中风强，白昼则反之。而在100~150m的高空则相反，图1-3是在日本川口NHK（国际广播电台）离地面300m的无线电铁塔上测定的数据。

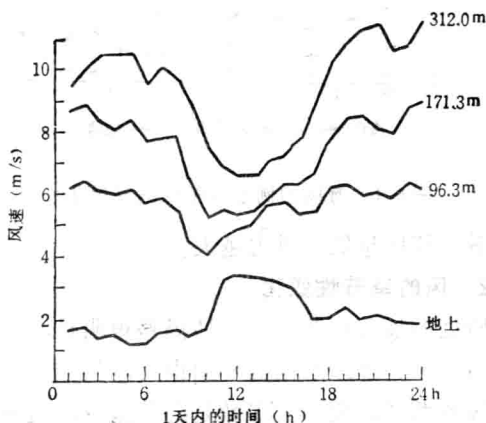


图1-3 日本川口广播塔各高度的风速日变化（1月）

（福井英一郎氏提供）

另外，在沿海地区，由于陆地和海洋的热容量不同，白昼吹海风（风从海洋吹向陆地），夜间吹陆风（从陆地吹向海洋）（如图1-2和图1-4所示）。

海风和陆风的风力都不太强，但能转动要求风力小的风车。在日本，海风每天从上午一直持续到半夜，能深入到离海岸10km的地方，高度为500~1000m，风速不超出5~7m/s。而陆风更弱，风速不超过5m/s。因为陆海风是由于太阳的热量直接形成的，从季节来看，夏季风力大；从地

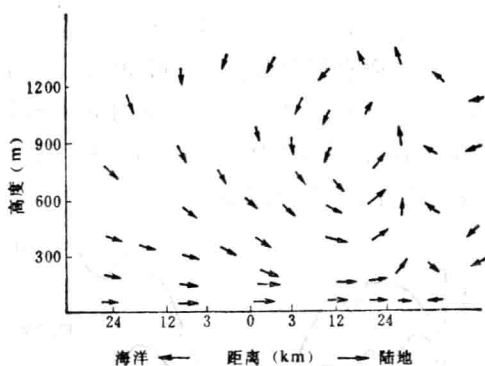


图1-4 海风的例子 (午后高空风小)

理位置上, 纬度越低, 风力越大。

### 1.2.2 风的季节性变化

日本所处的地理位置, 季节性温差很明显, 因此风的强弱差异相当大。另外, 风向的变动也大, 例如, 寒冷的季节是强的北风或西风; 夏季大多数是弱的南风, 这种随季节而改变风向的风叫季风。

图 1-5 为日本北方秋田市、南方八丈岛的月平均风速数据。从图中可以看出, 八丈岛的风速相当高, 两地的季风的

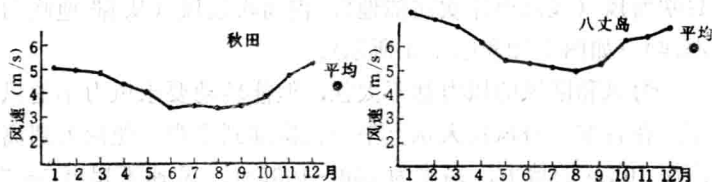


图1-5 月平均风速的年变化 (1967~1976年的统计)

10年的平均风速

方向情况基本相同。

### 1.3 风的高度变化

这一节讲述在平坦地区风速如何随高度而变化。如果从空气运动的角度来区分不同高度的大气层的话（如图 1-6 所示），在离地面 2 m 内的区段叫做底层，从 50~100 m 的区段称为下部摩擦层，二者总称为地面境界层。从 100~1000 m 区段称做上部摩擦层。以上三个区段称为摩擦层。摩擦层以上叫做自由大气。

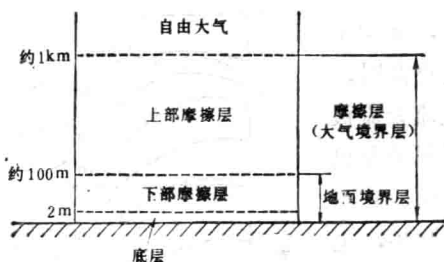


图 1-6 下层大气的构成

从地面到 100 m 的地面境界层内，空气的流动受到涡流、粘性和地面摩擦的影响，风向基本不变，风速越往高处越强。

关于风速随高度而变化的实验式很多，一般常用如下公式：

$$\text{对数法则} \quad V = V_1 \frac{\lg \frac{h}{h_0}}{\lg \frac{h_1}{h_0}} \quad (1.1)$$