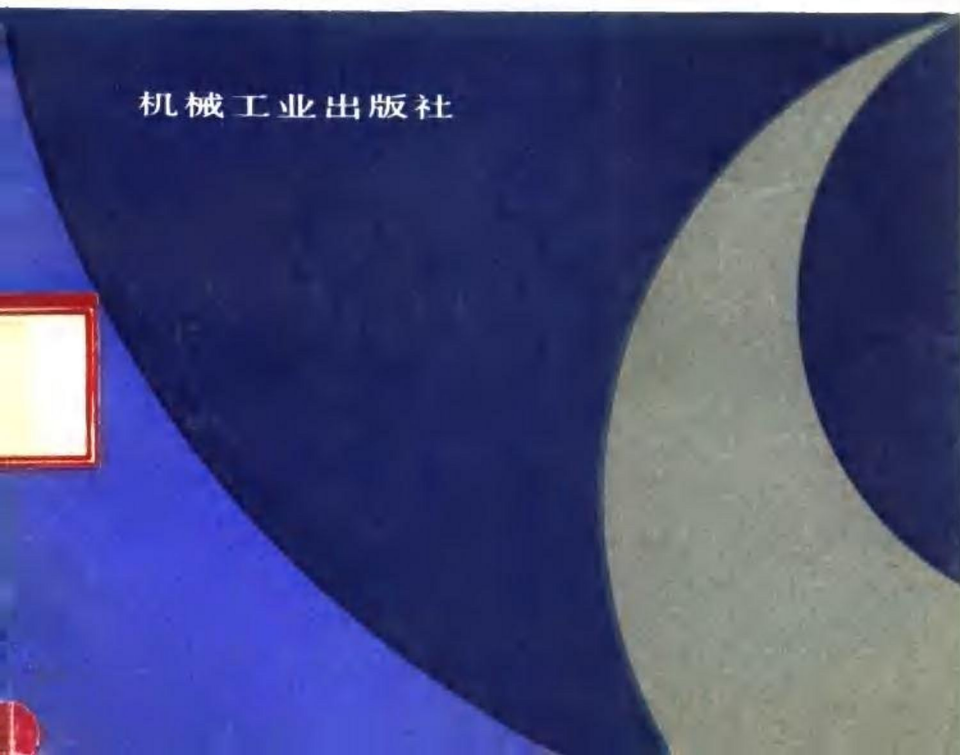


风能设备 使用手册

林景尧 王汀江 祁和生 编

机械工业出版社



风能设备使用手册

林景尧 王汀江 祁和生 编



机械工业出版社

(京) 新登字054号

本书共分六章。主要介绍风的基本特性、各种风力机的技术性能、工作原理及结构型式、安装调试方法、维护保养、故障检查与排除以及使用的经济性等。书后附有全国生产的风力发电机一览表和全国生产的风力提水机一览表,供读者选用。

本书可供风力机设计、研究的科技人员,风力机的安装、维护人员使用,也可供中专教师和学生参考。

风能设备使用手册

林景尧 王汀江 祁和生 编

*

责任编辑:孙 瑞 版式设计:胡金瑛

封面设计:刘 代 责任校对:熊天荣

责任印制:路 琳

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械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 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $15^{1/4}$ ·字数 337 千字

1992年10月北京第1版·1992年10月北京第1次印刷

印数 001—850·定价:14.50 元

*

ISBN 7-111-03226-8/TK·128

前 言

目前我国的风力机拥有量已达11万多台，在数量上居世界首位。为了满足风力机的设计者、生产者、使用者以及广大关心风能事业的人们要求，我们编写了这本手册。

本书第一章主要介绍了风的基本特性及我国风能资源的分布；第二章介绍了各种型式风力机的特点及其应用，小型风力发电机组主要性能指标的测试方法；第三章对风力机械各部件的工作原理及其结构进行了详细的介绍；第四章主要介绍了如何选择风力机械安装地点、安装方法及其注意事项；第五章是本书的重点，介绍了各种风力发电机组的技术性能、工作原理及结构型式、安装调试方法、维护保养、故障检查与排除。为了帮助读者了解风力机的经济性能，我们在第六章介绍了风力机的经济指标、成本构成及经济效益。书后附有全国生产的风力发电机一览表和全国生产的风力提水机一览表，供读者选用。

参加本书编写工作的除了林景尧、王汀江和祁和生同志外，还有李德孚、林岩和林海同志。本书在即将出版之际，向给予本书大力支持的机电部鹿中民、陆则鹤；国家计委王明威、朱俊生；农业部乔木以及提供有关技术资料的同志表示感谢。

在编写本书时，虽然我们尽了很大的努力，但由于编者水平有限，还难免存在一些缺点和错误，欢迎广大读者批评指正。

编者

1991年8月

目 录

前言	
绪言	1
第一章 风况	7
一、风的形成	7
二、风的变化	9
三、风的观测	16
四、风能资源	32
第二章 风力机的基本知识	44
一、风力机的分类	44
二、水平轴风力机	49
三、垂直轴风力机	62
四、特殊风力机	68
五、风力机的应用	72
六、风力机性能表示方法	92
七、小型风力发电机组测试项目及其方法	100
第三章 风力机的组件	109
一、发电机	109
二、蓄电池	122
三、逆变器	138
四、提水水泵	141
五、风能热能转换装置	149
六、调向和调速装置	156
七、逆流继电器和激磁调节器	166

第四章 风能设备的安装	169
一、影响风能设备的气象因素	169
二、选址	173
三、风能设备的安装	208
第五章 风力发电机组的安装、使用与维护	218
一、FD1.65-50/6型风力发电机组	218
二、FDC0.8-50/11型风力发电机组	229
三、风华牌FD1.6-75/7型风力发电机组	232
四、FD1.65-100/6型风力发电机组	237
五、风光牌FD1.5-100/8型风力发电机组	245
六、蓝能牌FD2-100/7型风力发电机组	251
七、FD1.9-100/7型风力发电机组	256
八、迎风牌FD2-100/6.5型风力发电机组	259
九、FD2-100/6型风力发电机组	268
十、双环牌FD1.8-150/7型风力发电机组	274
十一、红骏马牌FD2-150/7型风力发电机组	277
十二、FD2.5-200/7型风力发电机组	284
十三、FD2-200/8型风力发电机组	296
十四、FD2.5-300/8型风力发电机组	299
十五、云山牌FD1.6-50/7、FD2.35-200/8型风力 发电机组	303
十六、格日勒牌FD4-500/7型风力发电机组	316
十七、神风牌FD1.9-150/7.6、FD2.08-500/9.8 型风力发电机组	326
十八、FD3.6-1000/9.8型风力发电机组	335
十九、FD3.2-1000/10型风力发电机组	358
二十、FD5.6-2000/8型风力发电机组	375
二十一、FD7-3000/8型风力发电机组	391
二十二、FD7-5000/9型风力发电机组	406

Ⅵ

二十三、FD6-7500/11.7型风力发电机组420

二十四、FD13-20K/10.5型风力发电机组427

第六章 风力机的经济性分析443

一、风力机的经济性指标443

二、风力机成本的构成447

三、风力发电机的经济性449

四、风力提水机的经济性459

绪 言

一、风能利用的历史概况

我国是世界上最早利用风能的国家之一。早在公元前数世纪我国人民就利用风力提水灌溉，汲取海水晒盐和驱动帆船。1639年宋应星著的《天工开物》中，有“扬郡以风帆数扇，俟风转车，风息则止”的记载，这是对水平轴风车的较完善的描述。宋朝是我国应用风车的全盛时期，当时流行的垂直轴风车，一直沿用至今。明代方以智著的《物理小识》载有“用风帆6幅，车水灌田，淮扬海填皆为之”，叙述了水平轴风力机应用于农业生产的情况。

在国外，约公元前200年，波斯人利用垂直轴风车碾米。10世纪伊斯兰人用风车提水，11世纪风车广泛应用在中东。13世纪风车传至欧洲，14世纪成为欧洲不可缺少的原动机。在荷兰，14世纪前，率先改进风车设计，用于莱茵河三角洲湖地和低湿地汲水。1582年荷兰建造了榨油风车，1586年建造了造纸风车。16世纪末出现了锯木风车。

风车技术在18世纪有所发展。1745年英国E. 利取得了“风车自动对准风尾翼”的专利权。1750年苏格兰A. 密库尔设计了风向自动控制装置，他又于1770年发明了“随风的强弱改变桨叶迎风面积的带弹簧风轮”。1780年卡比托研究出适应风向的翼板自动调节装置。

工业革命时，由于蒸气机的出现，欧洲风车数目急剧下降。20世纪前叶荷兰有2500台风车在运转，到了1960年只剩

下1000台。1918年丹麦P·拉库尔发明了风力发电机，此后风力发电机的技术发展较风车更加迅猛。第2次世界大战中，在荷兰就有18台50kW及90台10~20kW机组在运行。第2次世界大战后，由于电力供应恶化，各国都进行100kW以上风力发电机的开发。但是到了60年代，由于石油降价、能源供应状况好转，风能设备几乎未得到发展。

二、近年来，工业化国家开展风能利用的主要特点

自1973年石油危机以来，风力发电机得到日新月异的进展，主要地域在欧美，主要的国家有美国、丹麦、荷兰等。这些工业化国家开展风能利用的主要特点如下：

1. 制定规划

美国自1974年开始实行联邦风能计划，其内容为估算国家风能资源，研究社会和环境问题，改进风力机性能，降低造价，主要研制为农业和其它用户用的小于100kW的风力机；为电力公司及工业用户设计兆瓦级的风力发电机。1982年收集了美国12个地区风力资源的资料，为风机场址选择提供了依据；开发了100、200、2000、2500、6200、7200kW等6种机组，并投入运行。

在瑞典，制定了1975~1985年风力发电规划，分三期进行，主要开展风能资源及大型机组的研制工作。预计1990年装机容量350MW，年发电10亿度，以后每年装机100台，到2000年发电量达100亿度，30年后装机容量可达10000MW，年发电量为300亿度。

在荷兰，1981年提出了一项为期9年的规划，分三个阶段进行。规划的指导思想是到本世纪末至少安装2000MW风力发电站和装备15000台分散的风力发电机组，总容量达450MW。

美国、德国、丹麦计划到本世纪末风力发电占总发电量的比例分别为10%、8%、10%。荷兰计划到2030年达15%。

2. 制定政策与措施

一些工业化国家由政府资助进行研究与试验，政府与科研机构、高等院校、各类制造厂家签订合同，发挥各自优势，组织全国攻关，动员社会力量相互配合，使风能设备、生产技术和工艺材料与结构系列化、标准化、通用化及商品化。1987年底统计，从事100kW左右风机生产的厂家在美国有150家，荷兰有24家，丹麦有21家。

由国家投资建立非赢利的风力机测试中心，对新产品进行鉴定，颁发证书，促进了产品质量不断提高。

颁发有关发展再生能源的法令、政策和扶植办法。如美国通过法令规定，任何电力公司不得拒绝风电并网，不得拒绝向风力机经营者支付电费。

3. 建设风力机试验场

为支持风力机开发并促其成为商品，各国相继建立了试验场。美国科罗拉多州的罗克福莱茨(Rocky Flats)试验场，是世界最高级的试验场。该试验场可对风力发电与提水机进行定量定性分析，可测定电压、电流、风轮速度、方位和桨叶倾角，也可测定各种强度、温度等。在丹麦有罗斯基勒的黑绍(Riso)试验室，可同时测定6台机组，每台有22种信号。在荷兰有荷兰风能研究中心(ECN)。在日本有武丰、安中和金泽三个试验点，侧重于应用方面的研究。在德国建有北海派勒沃木岛的试验场，主要研究比较风机长期使用时的维护与可靠性。加拿大在爱德华王子岛建立大西洋风机试验站，其目的是验证风机的技术性能与可靠性。

4. 风力机生产、流通和销售市场已经初步形成

1986年,丹麦、荷兰、瑞典等国 50~100kW 风力机年产量约为4000台,主要销往美国。丹麦风机年出口量达1800台,大部销往美国加利福尼亚州。

5. 风力机成本逐年下降,经济效益不断上升

过去,风电设备成本约为500美元/kW,这就为与常规能源竞争提供了可能性。现在,欧洲风力发电设备成本已达600~1000美元/kW。荷兰专家认为,只要风速达3.5m/s,风力提水机与柴油发电机发电成本比为2:3。在北美与北欧一台20kW风力发电机,满负荷年运行2500h,按美国收购电价计,4年就可收回成本。

6. 风力发电方兴未艾

美国、德国、瑞典等国都在研制2MW以上机组,因安全运行问题、技术复杂、规范严格、造价高昂等原因,有些机组已停止运行。但是,从1982年起风力发电场(俗称风力田)得到了蓬勃发展,其主要特点是占地面积小,无污染,技术成熟(主要是100~300kW机组),对风机运行与管理经验丰富,可直接并入电网。风力发电场主要在美国加利福尼亚州,1983年安装了3600台(每台50~100kW),1984年底达9000台,总容量为65.5MW,年发电量为13~15亿度。荷兰在1986年建立了欧洲最大风力发电场,总容量为7.5MW。由上可见,现代风能产业已初步形成。

7. 明确技术开发方向

目前世界上应用最广泛比较成熟的是100~300kW左右风力机。单机功率在逐年增加。今后主攻方向是:在可靠的基础上,降低成本,实现系统化并网运行。一些欧美国家,虽然在研制兆瓦级机组上受挫,但是仍在努力。随功率增加,有可能使发电成本下降,美国MOD-5容量为6.2MW,

发电成本为 3 美分/kWh (1987年)。

三、我国风力机发展现状

新中国成立后，新型风力机研制大致分为三个阶段：

第一阶段是50年代末期兴起的农具技术改造的热潮中，农民自制的各种木结构布蓬式风车。1959年江苏省就拥有风车20多万台。在此期间有些单位研制的几百瓦到几千瓦水平轴风力发电机，大多数在试运转中损坏，随之研究工作也中断了。

第二阶段是60年代中期，风能利用的重点转入在传统风车基础上研制小型风力提水机，大约有30种。1964年研制了FD-LB100型提水机，这是我国牧区安装使用的第一种风车；同年又研制出FD-2风力发电机；1965年研制出FDG-6，FCG-7提水机以及FWG-6型提水机，后者至1967年已生产600台。

第三阶段是70年代中期以后，由于石油危机的冲击，以及能源生产不能满足我国工农业发展的需求，因而风能开发利用，被列入“六五”期间国家重点项目，制定了初步计划。1986年我国从事风能利用研究的单位有60余个，科研人员近千名。从1978年以来，我国在风能利用科研、试点推广上投资计2000多万元，已经研制出50多种型号风力机。1972年研制出18kWFD-13型风力发电机；1975年研制了FD-1.5风力发电机，它结构简单，适于牧区使用；1976年研制适于牧区使用的FD-4风力提水机；1978年研制FD4-LB145型提水机。1978年开始，国家科委、机械部、水电部等在内蒙进行风力机组中间试验，以便考核各种风力机的性能、经济效益和管理办法等，以摸索经验，给风力机的推广打下良好基础。1979年以来，鉴定风力机已达30多种，最大功率为200kW，

最小功率为30W，生产数量最大的是100W左右风力发电机（参阅附表1）。

目前，我国试制与生产风力机的企业近万家（附表2）。主机生产厂近60家，研制成功与正在研制的有90多个品种。1970年以来，风力提水机通过科研成果鉴定的32种，批量生产的只有7种，2kW以下的风力发电机6种。主要生产厂家有内蒙古动力机械厂、商都机械厂等（附表3）。1985~1986年我国生产风力发电机用于牧区及边远地区供居民看电视及照明用电。发电机可独立运行，功率为百瓦级。1986年生产了19305台。1986年前总计生产约5百台（见附表3）。

我国使用的风力发电机主要以蓄电池储能为主，解决广大有风无电地区农牧渔民生活与部分生产用电。据1984年统计，我国农村1.7亿农户中尚有40%未用上电。整个农村用电仅500多亿度，缺电少电现象十分严重。又据内蒙、甘肃、青海、新疆、西藏等省初步统计，1990年前有风无电地区有50万户，居住分散，流动性大，需要风电供电，如建设常规能源，耗资巨大，高出风电投资10倍以上。1986年末，全国小型风力发电机保有量统计表和各省推广风力机状况与经济扶植办法参见附表4。

我国风电事业从内蒙古自治区牧区兴起并得到发展，迅速向沿海、农区、半农半牧区扩展。风电发展的另一动向是积极开发新产品，也包括百、千瓦级风力发电机并取得一定的成果。深信，在改革开放政策下，我国风能事业必将得到更加迅速地发展。

第一章 风 况

什么是风?概括地说,风就是大气的运动。地球的最外部包围着一层厚厚的大气,它是始终处于运动状态的。在气象学上,一般把垂直方向的大气运动称为气流,水平方向的大气运动称为风。风向和风速是确定风况的两个重要参数。

一、风的形成

要了解风的形成过程,首先必须了解气流的特性。气流即大气的运动,大气是存在于地球周围,包围着地球,自地球表面以上直至数千米范围内的物质。

大气流动也象水流动一样,从压力高处往低处流,因此,大气压差是风形成的主要因素。那么大气压差是怎么形成的呢?

太阳把自己的能量的绝大部分以热的形式传给地球,而由于地球上不同地点与太阳的相对位置不同,接受的太阳热能也不同。接受热力不同的原因是,由于地球自转轴与围绕太阳的公转轴之间有 66.5° 的夹角,这个夹角使太阳对地球上每一处照射均有一个不同的角度,而且在一年365天中,这个角度也天天不同,处处不同。而地球上每一处接受太阳的热量大小是与当时当地太阳的照射角的正弦成正比的。

由图1-1可知,太阳光照射地球表面各处的照射角是不同的,地球上每一处所接受到的太阳热量也就不同。南北极接受的太阳热量少,所以温度低气压高;赤道接受的热量多,温

度高气压低，空气上升。另外，地球又要绕自转轴每24 h 旋转一周，气压温度昼夜变更，这样，在地球表面就有气流从压力高处向低处运动，形成了不同方向的风。

如图1-2所示，在北半球和南半球的中纬度地区，高空经常刮西风。该地区的气压分布自西向东移动，由于高、低气压的移动形成天气的变化，随之天气表现为雨、风、温度变化等种种气象现象。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，山谷里的冷空气也随之向上流动，这样就形成了“谷风”。与之相反，一到晚上，空气中的热量向空中散发，气体密度增加，空气沿山坡向下移动，这样，又形成了所谓的“山风”。

由于物质热含量不同也能引起局部的风。例如，在海边，

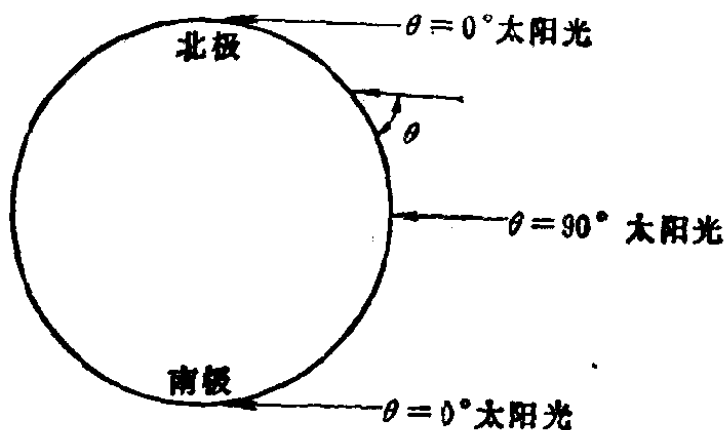


图1-1 太阳光照射地球示意图

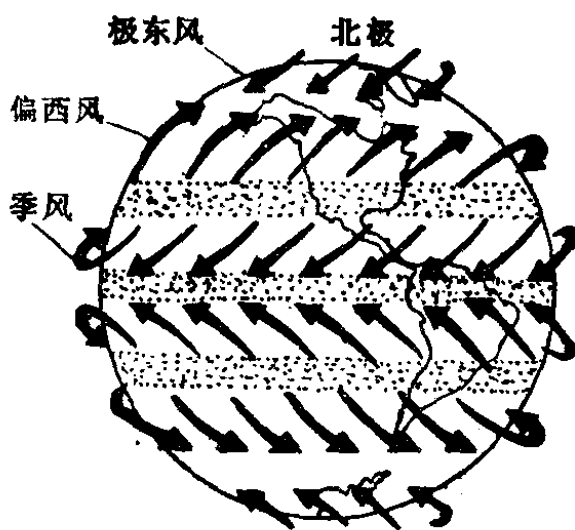


图1-2 地球上风的运动方向

由于海水热容量大，接受太阳热量后，表面升温慢，陆地热容量小，接受同样的太阳热量后升温比较快。结果，白天，陆地空气温度较高，空气上升，而海面温度低，则空气就从海面吹向陆地，形成海陆风（图1-3）。在高空，暖空气就从陆地吹向海洋形成循环。反之，在夜晚，海水降温慢，陆地降温快，海面空气温度高，空气上升，则在陆地上的冷空气就流向海面，形成陆海风（图1-4）

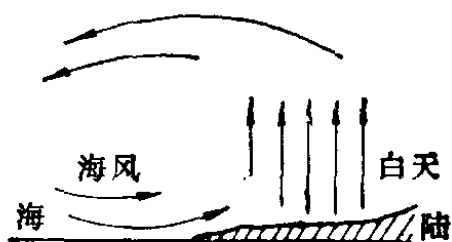


图1-3 白天海边海陆风



图1-4 夜晚海边陆海风

风力机所能利用的风，就是由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。

二、风 的 变 化

风向，即风吹来的方向。如果风从西方吹来就称为西风，风从西北方向吹来就称为西北风。

风速，即风移动的速度，是表示气流强度和风能的一个重要物理量，它用单位时间内空气流动所经过的距离来表示。

风向和风速都是不断变化的。

（一）风随时间的变化

掌握风随时间的变化规律，对研究风能利用是非常重要的。

1. 风的日变化

在一天之中，风的强弱，在某种程度上可以看作是有周期性的。当然，也因该地区的气压分布而有差异。但是一般

来说,这种因素是次要的。地面上是夜间风弱,白天风强;相反,高空中却是夜里风强,白天风弱。这个逆转的临界位置在高度为100~150 m的空中。

另外,在沿海地区,由于陆地和大海的热容量不同,白天产生海陆风,夜晚产生陆海风。同样,在山岳地带,由于山脊和山谷的温度不同,夜晚刮山风,白天刮谷风。

2. 风的季节变化

由于季节的变化,太阳和地球的相对位置也发生变化,使地球上存在季节性温差,因此,风向和风的强度也会产生季节性变化。

在我国,大部分地区风的季节性变化情况是:春季最强,冬季次强,秋季第三,夏季最弱,但也有部分地区例外。如沿海的温州地区,则是夏季风最强,春季风最弱。

在日本,季节性温差特别明显,因此,风的强弱差异也特别大,风向的变化也很大。寒冷的季节是强北风或强西风,夏季大多是弱南风。

(二) 风随高度的变化

众所周知,风随高度的增加而变大。在巴黎的埃菲尔铁塔上;离地面20 m处的风速为2 m/s,而在300 m处的风速则变为7~8 m/s。那么,风是如何随高度而变化的?变化的幅度又是多少?下面我们来分析一下风随高度的变化情况。

如果从空气运动学的角度来划分,我们可以将不同高度的大气层划分为三个区段:离地2 m内的区段叫底层;从2~100 m的区段称为摩擦层,二者总称为地面境界层;从100~1000 m区段称为上部摩擦层。以上三个区段总称为摩擦层,摩擦层以上叫做自由大气(图1-5)。

在地面境界层内,空气的流动受到涡流、粘性和地面植