



ENERGY 新能源家族丛书
图文并茂◆主题热门◆创意新颖
XINNENGYUAN JIAZU
CONGSHU



风力

FENG LI

本书编写组◎编



中国出版集团
世界图书出版公司



ENERGY 新能源家族丛书
图文并茂·主题热门·创意新颖
XINNINGYUAN JIAZU
CONGSHU



风力

FENG LI

常州大学图书馆
藏书章

本书编写组◎编



世界图书出版公司
广州·上海·西安·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

风力 / 《风力》编写组编. —广州: 世界图书出版广东有限公司, 2010. 11

ISBN 978 - 7 - 5100 - 3029 - 1

I. ①风… II. ①风… III. ①风力能源 - 普及读物
IV. ①TK81 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 217449 号

风 力

责任编辑: 王 红

责任技编: 刘上锦 余坤泽

出版发行: 世界图书出版广东有限公司

(广州市新港西路大江冲 25 号 邮编: 510300)

电 话: (020) 84451969 84453623

http: //www. gdst. com. cn

E - mail: pub@ gdst. com. cn, edksy@ sina. com

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京燕旭开拓印务有限公司

(北京市昌平马池口镇 邮编: 102200)

版 次: 2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 13

书 号: ISBN 978 - 7 - 5100 - 3029 - 1/T · 0017

定 价: 25.80 元

若因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系退换。

序 言

能源，是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。人类社会的存在与发展离不开能源。

在过去的 200 多年中，建立于煤炭、石油、天然气的能源体系极大地推动了人类社会的发展，这几大能源我们称之为化石能源，它们是千百万年前埋在地下的动植物，经过漫长的地质年代形成的。化石燃料不完全燃烧后，都会散发出有毒的气体，却是人类必不可少的燃料。

随着人类的不断开采，化石能源的枯竭是不可避免的，大部分化石能源本世纪将被开采殆尽。同时，化石能源的大规模使用带来了环境的恶化，威胁全球生态。因此，人类必须及早摆脱对化石能源的依赖，寻求新的能源，形成清洁、安全、可靠的可持续能源系统。

进入 21 世纪，人们更加迫切地呼唤着新能源。新能源这个概念是相对常规能源而言的，常规能源是指已被人类广泛利用并在人类生活和生产中起过重要作用的能源，就是化石能源加上水能，而新能源，在不同的历史时期和科技水平情况下有不同的内容。眼下，新能源通常指核能、太阳能、风能、海洋能、氢能等。本套丛书向大家系统介绍了这些新能源的来龙去脉，让大家了解到当今世界正在走向一个可持续发展的、与环境友好的新能源时代。

这些新能源中，太阳能已经逐渐走入我们寻常的生活，太阳能发电具有布置简便、维护方便等特点，应用面较广，缺点是受时间限制；风力发电在 19 世纪末就开始登上历史的舞台，由于造价相对低廉，成了各个国家争相发展的新能源首选，然而，随着大型风电场的不断增多，

占用的土地也日益扩大，产生的社会矛盾日益突出，如何解决这一难题，成了人们又一困惑。核能的应用已经有一段时间，而且被一些人认为是未来最具希望的新能源，因为核电站只需消耗很少的核燃料，就可以产生大量的电能，它也有一定缺点，比如产生放射性废物，燃料存在被用于武器生产的风险。在众多新能源中，氢能以其重量轻、无污染、热值高、应用面广等独特优点脱颖而出，将成为 21 世纪最理想的新能源。氢能可应用于航天航空、汽车的燃料，等高热行业。至于海洋能，由于海洋占地球表面积的 71%，蕴藏着无尽的宝贵资源，如何打开这一资源宝库，利用这一巨大深邃的空间，是当前世界各国密切关注的重大问题。目前限于技术水平，海洋能尚处于小规模研究阶段。

这套丛书以每一个新能源品种为一册，内容简明而丰富，除此之外，我们还编写了电力和水力两本书，电力属于二次能源，也是常规能源和新能源的转化和储存形式；水力虽然是常规能源，但也是一种可持续能源，而且小水电由于其对生态环境基本没有破坏，被列为新能源之列。我们希望这套丛书帮助大家了解新能源的前世今生，以及新能源面临的种种问题，当然，更多的是展望新能源的美好前景。

新能源正在塑造未来的世界形态，未来属于领先新能源技术的国家，那么，作为个人，了解新能源，就是拥抱未来。

Contents | 目录

第一章 风吹起的地方——风的基本知识	1
第一节 风的产生	2
第二节 风向与风速	5
第三节 风力等级	10
第二章 是什么风在吹——风的种类	13
第一节 季候风	14
第二节 台风	16
第三节 龙卷风	34
第四节 其他类型的风	44
第五节 沙尘暴	52
第三章 风光无限——风力利用种种	59
第一节 谷物清选	60
第二节 风力提水	67
第三节 国外对风车的利用	73
第四节 乘风航行	79

第五节 风力在战争中的作用	95
第六节 风力致热.....	106
第七节 风筝.....	109
第四章 新能源——风力发电	112
第一节 风力发电的原理.....	113
第二节 风力发电起源.....	118
第三节 小型风力发电机.....	121
第四节 海上风电.....	125
第五节 世界风电产业形势.....	136
第六节 风能的未来.....	140
第五章 大风歌——中国风电发展	156
第一节 中国风能资源.....	157
第二节 中国风电发展形势.....	160
第三节 我国著名风力发电场.....	165
第六章 风起云涌——世界风电强国	174
第一节 英国.....	175
第二节 德国.....	179
第三节 丹麦.....	185
第四节 美国.....	189
第五节 西班牙.....	194
第六节 印度.....	198



第一章 风吹起的地方 ——风的基本知识

风是地球上的一种自然现象。太阳照射到地球表面，地球表面各处受热不同，产生温差，从而引起大气的对流运动形成风。可以说，风的最根本来源还是太阳辐射。

据估计，到达地球的太阳能中虽然只有大约 2% 转化为风能，但其总量仍是十分可观的。全球的风能比地球上可开发利用的水能总量还要大 10 倍。

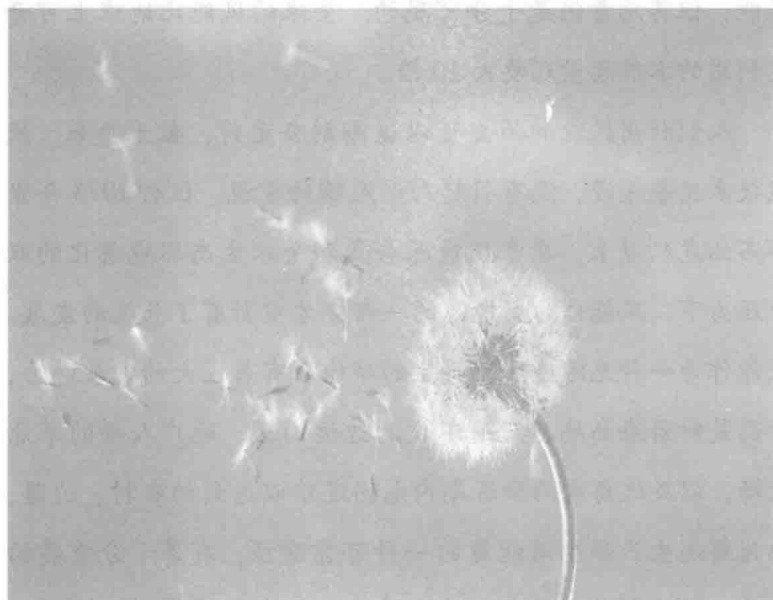
人们利用风能的历史可以追溯到公元前，数千年来，风能技术发展缓慢，没有引起人们足够的重视。但自 1973 年世界石油危机以来，在常规能源告急和全球生态环境恶化的双重压力下，风能作为新能源的一部分才重新有了长足的发展。风能作为一种无污染和可再生的新能源有着巨大的发展潜力，特别是对沿海岛屿、交通不便的边远山区、地广人稀的草原牧场，以及远离电网和近期内电网还难以达到的农村、边疆，作为解决生产和生活能源的一种可靠途径，有着十分重要的意义。即使在发达国家，风能作为一种高效清洁的新能源也日益受到重视。



第一节 风的产生

地球上任何地方都在吸收太阳的热量，但是由于地面每个部位受热的不均匀性，空气的冷暖程度就不一样，于是，暖空气膨胀变轻后上升，冷空气冷却变重后下降，这样冷暖空气便产生流动，形成了风。

当较轻的热空气突然上升时，较冷的空气会快速流入以填补热空气留下的空隙。这股流入以填补空隙的空气就是风。



风就是水平运动的空气



风就是水平运动的空气，空气产生运动，主要是由于地球上各纬度所接受的太阳辐射强度不同而形成的。在赤道和低纬度地区，太阳高度角大，日照时间长，太阳辐射强度高，地面和大气接受的热量多，温度较高；在高纬度地区太阳高度角小，日照时间短，地面和大气接受的热量少，温度低。这种高纬度与低纬度之间的温度差异，形成了南北之间的气压梯度，使空气作水平运动，风应沿水平气压梯度方向吹，即垂直于等压线从高压向低压吹。

风受大气环流、地形、水域等不同因素的综合影响，表现形式多种多样，如季风、地方性的海陆风、山谷风、焚风等。简单地说，风是空气分子的运动。要理解风的成因，先要弄清两个关键的概念：空气和气压。空气的构成包括：氮分子（占空气总体积的78%）、氧分子（约占21%）、水蒸气和其他微量成分。所有空气分子以很快的速度移动着，彼此之间迅速碰撞，并和地平线上任何物体发生碰撞。

简单点说，风的产生是由于各地气压的差异。由于地面各处受太阳辐照后气温变化不同和空气中水蒸气的含量不同，因而引起各地气压的差异，在水平方向高压空气向低压地区流动，即形成风。

17世纪出现了气压表，指出空气有重量因而有压力这个事实，为人们寻找风的奥秘提供了开窍的钥匙。19世纪初，有人根据各地气压与风的观测资料，画出了第一张气压与风的分布图。



这种图不仅显示了风从气压高的区域吹向气压低的区域，而且还指明了风的行进路线并不直接从高压区吹向低压区，而是一个向右偏斜的角度。

100 多年来，人们抓住气压与风的关系这一条从实践中得来的线索，进一步深入探究，总结出一套比较完整的关于风的理论。风朝什么地方吹？为什么风有时候刮起来特别迅猛有劲，而有时候却懒散无力，销声匿迹？这完全是由气压高低、气温冷暖等大气内部矛盾运动的客观规律支配着的。人们不仅用这种规律来解释风的起因，而且还用这些规律来预测风的行踪。

气压可以定义为：在一个给定区域内，空气分子在该区域施加的压力大小。一般而言，在某个区域空气分子存在越多，这个区域的气压就越大。相应来说，风是气压梯度力作用的结果。而气压的变化，有些是风暴引起的，有些是地表受热不均引起的，有些是在一定的水平区域上，大气分子被迫从气压相对较高的地带流向低气压地带引起的。

大部分显示在气象图上的高压带和低压带，只是形成了伴随我们的温和的微风。而产生微风所需的气压差仅占大气压力本身的 1%，许多区域范围内都会发生这种气压变化。相对而言，强风暴的形成源于更大、更集中的气压区域的变化。



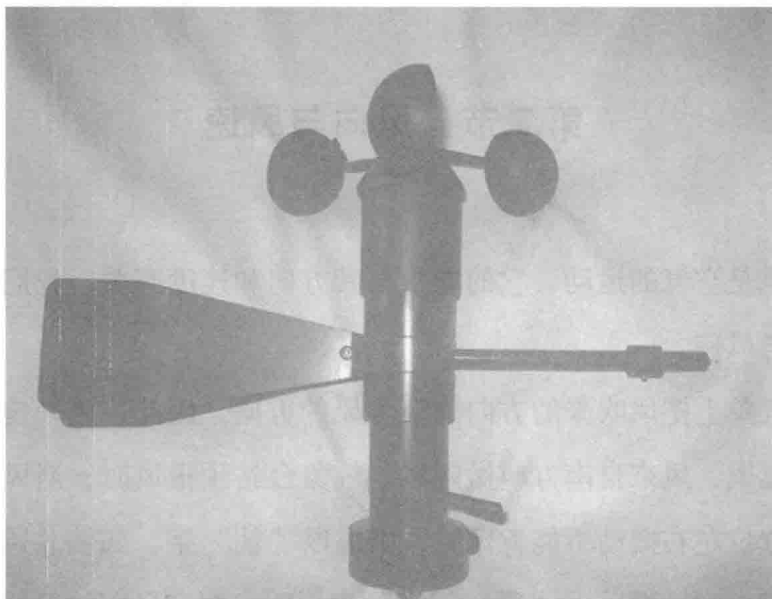
第二节 风向与风速

风是空气的运动，它的能量与其方向和速度有关，我们叫做风向与风速。

气象上把风吹来的方向确定为风的方向。因此，风来自北方叫做北风，风来自南方叫做南风。气象台站预报风时，当风向在某个方位左右摆动不能肯定时，则加以“偏”字，如偏北风。当风力很小时，则采用“风向不定”来说明。测定风向的仪器之一为风向标，它一般离地面 10 ~ 12 米高，如果附近有障碍物，其安置高度至少要高出障碍物 6 米以上，并且指北的短棒要正对北方。风向箭头指在哪个方向，就表示当时刮什么方向的风。

风速在我们的日常生活占有很重要的地位：不论是天气预报、航空及航海的作业、建造及土木工程都需要参考风速。高风速会引起不良的后果，而对于特定成因的高风速，我们都会给予专有的名词去辨别，例如烈风、飓风、台风等。

风速的测量用风速计，这是测量风速的一种仪表，空气流通过滤网后会产生一个压差，这个压差和气流的速度成正比，风速越大，压差就越大，根据两者之间的对应关系来标定风速。还有一种就是类似于流体力学中的文丘力管，气流冲击到测力板上，冲击力和风速成正比，根据冲击力来标定风速。



风速风向传感器

常用的风速表（风速计）有以下几种：

- （1）旋转式风速表（风速计）；
- （2）压力式风速仪：利用风的压力效应（风压与风速的平方成正比）来测量风速；
- （3）热力式风速表：利用被加热物体散热速率与周围空气流速有关的特性测量风速；
- （4）声学风速表：利用声波在大气中传播速度与风速之间的函数关系测量风速。

风速测量的误差较大，这主要是由风速表（风速计）的滞后效应所造成的。



涡轮风速计

在赤道和低纬度地区，太阳高度角大，日照时间长，太阳辐射强度强，地面和大气接受的热量多、温度较高；在高纬度地区太阳高度角小，日照时间短，地面和大气接受的热量少，温度低。这种高纬度与低纬度之间的温度差异，形成了南北之间的气压梯度，使空气作水平运动，风应沿水平气压梯度方向吹，即垂直于等压线从高压向低压吹。地球在自转，使空气水平运动发生偏向的力，称为地转偏向力，这种力使北半球气流向右偏转，南半球向左偏转，所以地球大气运动除受气压梯度力外，还要受地



转偏向力的影响。大气真实运动是这两力综合影响的结果。

实际上，地面风不仅受这两个力的支配，而且在很大程度上受海洋、地形的影响，山隘和海峡能改变气流运动的方向，还能使风速增大，而丘陵、山地因摩擦大使风速减少，孤立山峰却因海拔高使风速增大。因此，风向和风速的时空分布较为复杂。

海陆差异对气流运动也有影响，在冬季，大陆比海洋冷，大陆气压比海洋高是指风从大陆吹向海洋。夏季相反，大陆比海洋热，风从海洋吹向内陆。这种随季节转换的风，我们称为季风。所谓的海陆风也是白昼时，大陆上的气流受热膨胀上升至高空流向海洋，到海洋上空冷却下沉，在近地层海洋上的气流吹向大陆，补偿大陆的上升气流，低层风从海洋吹向大陆称为海风；夜间时，情况相反，低层风从大陆吹向海洋，称为陆风。在山区由于热力原因引起的白天由谷地吹向平原或山坡，夜间由平原或山坡吹向，前者称谷风，后者称为山风。这是由于白天山坡受热快，温度高于山谷上方同高度的空气温度，坡地上的暖空气从山坡流向谷地上方，谷地的空气则沿着山坡向上补充流失的空气，这时由山谷吹向山坡的风，称为谷风。夜间，山坡因辐射冷却，其降温速度比同高度的空气要快，冷空气沿坡地向下流入山谷，称为山风。

风是否永恒不变呢？美国爱荷华州大学大气学成立了研究小组，教授尤金·塔克尔经过研究后表示，自 1973 年以来，美国的平均风速和最大风速都出现了显著下降，在美国中西部和东部



地区风速下降的趋势尤为明显。在美国中西部的某些地区，风速在 10 年当中减缓超过 10%，而当地的平均风速为 10 ~ 12 英里（16 ~ 19 千米）/时，除了风速下降，中西部无风或者微风的天数也骤然上升。研究认为，全球变暖可能导致了风速越来越慢，即风越来越小了。

随着全球变暖，地球两极变暖的速度比其他地区要快，已经有不少两极的气温记录都证明了这一点。这意味着两极和赤道的气温差距缩小，这又导致了两地大气压力差距的缩小，风自然也就小了。塔克尔教授称，有计算机模型计算出在未来 40 年内风速还将下降 10%，最高风速下降 10% 意味着可利用的风能可能减少 30%。研究小组称，现在还不能完全肯定地说全球变暖与风速减小有关，因为气候变化科学有一套严格精确的衡量方法，最终论证还需要时间。

我们所说的风能资源不能简单以风速来判断，而是使用风能密度这个概念，风能资源决定于风能密度和可利用的风能年累积小时数。风能密度是单位迎风面积可获得的风的功率，与风速的三次方和空气密度成正比关系。

风能密度是气流在单位时间内垂直通过单位面积的风能 $W = 0.5\rho v^3$ 瓦/米²，是描述一个地方风能潜力的最方便最有价值的量，但是在实际当中风速每时每刻都在变化，不能使用某个瞬时风速值来计算风能密度，只有长期风速观察资料才能反映其规律，故引出了平均风能密度的概念。



第三节 风力等级

在气象台发布的天气预报中，我们常会听到这样的说法：风向北转南，风力2到3级。这里的“级”是表示风速大小的。

风速就是风的前进速度。相邻两地间的气压差愈大，空气流动越快，风速越大，风的力量自然也就大，所以通常都是以风力来表示风的大小。风速的单位用每秒多少米或每小时多少千米来表示。而发布天气预报时，大都用得是风力等级。

风力的级数是怎样定出来的呢？

1000多年以前的我国唐代，人们除了记载晴阴雨雪等天气现象之外，也有了对风力大小的测定。唐朝初期还没有发明测定风速的精确仪器，但那时已能根据风对物体征状，计算出风的移动速度并订出风力等级。李淳风的《现象玩占》里就有这样的记载：“动叶十里，鸣条百里，摇枝二百里，落叶三百里，折小枝四百里，折大枝五百里，走石千里，拔大根三千里。”这就是根据风对树产生的作用来估计风的速度，“动叶十里”就是说树叶微微飘动，风的速度就是日行十里（1里=500米）；“鸣条”就是树叶沙沙作响，这时的风速是日行百里。另外，还根据树的征状定出来的一些风级，如《乙巳占》中所说，“一级动叶，二级鸣条，三级摇枝，四级坠叶，五级折小枝，六级折大枝，七级折