

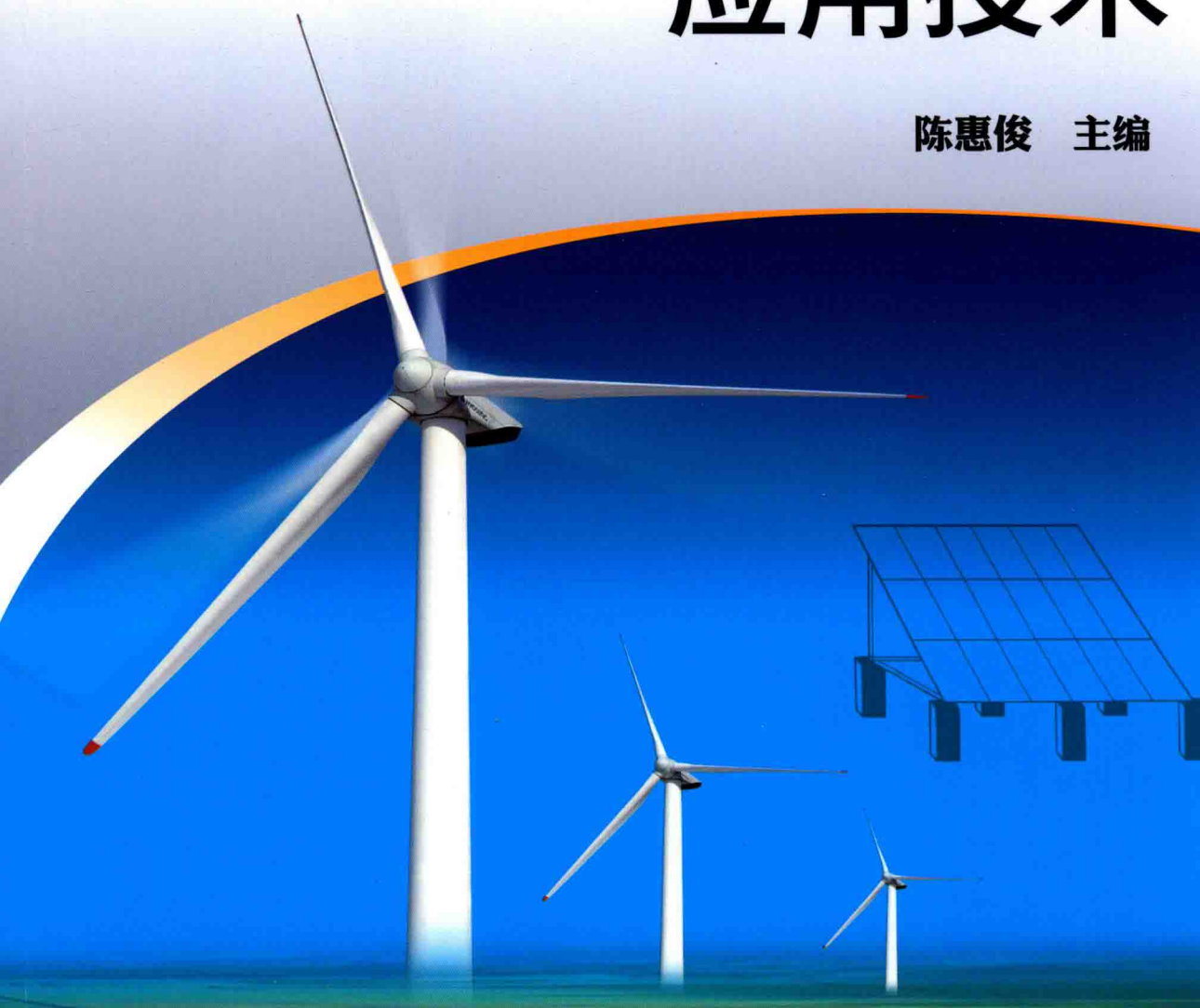


◆ 新 能 源 系 列 ◆

FENGGUANG
HUBU
FADIAN
YINGYONG JISHU

风光互补发电 应用技术

陈惠俊 主编



化学工业出版社



◆ 新 能 源 系 列 ◆



FENGGUANG
HUBU
FADIAN
YINGYONG JISHU

风光互补发电 应用技术

陈惠俊 主编 钱勇 陈波 副主编 梁栋 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

《风光互补发电应用技术》由4个模块17个项目组成,每个项目都由任务导入、相关知识、项目实施、知识拓展和思考与练习五部分组成,以离网风光互补发电技术为核心内容,全面系统地阐述了离网风光互补发电技术基础知识和最新应用技术,深入浅出地阐述了风力发电系统的设计、安装与调试,光伏发电系统的设计、安装与调试,风光互补发电系统的工程设计、安装与调试、运行与维护等内容。

《风光互补发电应用技术》可作为高等院校和职业院校新能源类相关专业的教材,也是从事风光互补发电技术研发、应用和维护的工程技术人员参考读物,可作为相关技术培训的教材及参考书。

图书在版编目(CIP)数据

风光互补发电应用技术/陈惠俊主编. —北京:
化学工业出版社, 2016. 3
(新能源系列)
ISBN 978-7-122-26147-2

I. ①风… II. ①陈… III. ①风力发电系统
②太阳能发电 IV. ①TM614②TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第014900号

责任编辑:刘哲
责任校对:战河红

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数396千字 2016年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究



前言



环境的恶化和资源的日益匮乏，已经严重制约了人类的生存发展，以科学发展观为指引，大力开发风能、太阳能等清洁能源，已经成为未来能源使用的必然趋势。但风能、太阳能各自存在诸如不稳定、成本高等劣势，而两者也有着较强的互补性，如何将两者进行有效的结合，以此达到资源最优化配置，是时下科技应用领域的热门话题，而风光互补发电系统正是两者的完美结合体。所谓风光互补发电系统，是指将太阳能和风能联合起来，使两者优劣互补进行发电的发电系统。目前，利用太阳能和风能在不同的季节和时间上互补特点发展起来的风光互补发电照明技术已日臻完善，且正以前所未有的速度和力度迅速在全国推广。风光互补发电系统，必将成为未来电力世界大规模应用的发电模式之一。

本书遵循“教、学、做”一体化的编写思路，全书采用“整、分、合”的系统方法，以风光互补系统的主要技术为项目中心，本着“易学、易教、易用”的原则，由离网风力发电系统的设计、安装与调试，离网式光伏发电系统的设计、安装与调试，风光互补发电系统的应用设计，风光互补LED道路照明设计、安装与调试，共4个模块17个项目组成。本书所有项目均结合实际案例来设计教学内容，在每个项目中讲述知识点，知识点以完成项目够用为原则，然后讲述实施设计方法和步骤，避免枯燥的理论讲解。在知识拓展部分介绍一些相关的新技术、典型配置和应用设计方案，以提高教材的实用性。

本书由海南职业技术学院陈惠俊任主编，钱勇、陈波任副主编，周亚东、严春景参加了部分章节的编写。本书由梁栋主审。

由于新能源技术涉及面广、发展迅速，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编著者

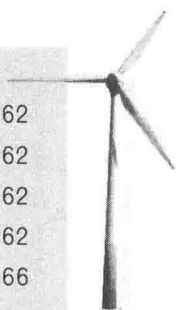
2015年11月

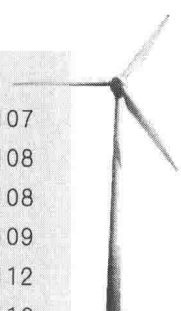
目 录

模块一 离网风力发电系统的应用设计、安装与调试	1
项目一 风的测量	1
【任务导入】	1
【相关知识】	1
一、风力资源的基本知识	1
二、我国风能资源分布	7
【项目实施】风的测量	10
【知识拓展】新能源行业发展前景	12
思考与练习	15
项目二 小型风力发电机的认知	15
【任务导入】	15
【相关知识】风力发电机组的基本知识	15
【项目实施】小型风力发电机的认知	24
【知识拓展】风力发电机组并网控制技术	30
思考与练习	33
项目三 铅酸蓄电池的认识、安装及维护	33
【任务导入】	33
【相关知识】铅酸蓄电池	34
【项目实施】蓄电池的安装与线路连接	43
【知识拓展】蓄电池的正确使用与维护	45
思考与练习	50
项目四 离网风力发电系统的应用设计实例与典型配置	50
【任务导入】	50
【相关知识】离网风力发电系统的设计方法	50
【项目实施】	57
【知识拓展】离网风力发电系统典型配置技术参数	60
思考与练习	62



项目五 离网风力发电系统的安装与调试	62
【任务导入】	62
【相关知识】	62
一、离网风力发电系统风力发电机的选址	62
二、基础施工	66
【项目实施】离网风光互补发电系统风力发电机的安装与调试	68
【知识拓展】小型风力发电机组的维护与保养	76
思考与练习	79
模块二 离网式光伏发电系统的应用设计、安装与调试	80
项目六 离网光伏供电系统的认识	80
【任务导入】	80
【相关知识】	80
一、我国太阳能资源的分布特点	80
二、光伏发电技术	84
【项目实施】独立（离网）的光伏发电系统的认识	87
【知识拓展】并网光伏发电系统简介	91
思考与练习	93
项目七 光伏组件（方阵）应用的设计与安装	93
【任务导入】	93
【相关知识】太阳能电池组件	93
【项目实施】	98
【知识拓展】太阳能电池组件的安装	102
思考与练习	107
项目八 离网光伏供电系统应用的设计方法与实例	107

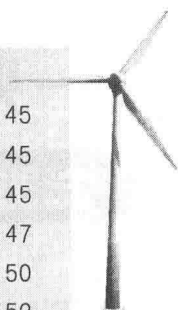




【任务导入】	107
【相关知识】	108
一、太阳能光伏发电应用的设计思路	108
二、离网光伏发电系统应用设计方法	109
【项目实施】	112
【知识拓展】 光伏油机混合系统的设计	116
思考与练习	120
项目九 太阳能路灯的设计实例与配置选型	121
【任务导入】	121
【相关知识】	121
一、太阳能道路照明系统	121
二、太阳能路灯的设计	123
【项目实施】	126
【知识拓展】 太阳能供电系统路灯技术方案与 典型配置方案	128
思考与练习	132
项目十 太阳能路灯的安装与调试	132
【任务导入】	132
【相关知识】	132
一、太阳能路灯的地基施工与方案实例	132
二、太阳能路灯的组装	135
【项目实施】 太阳能路灯的安装	136
【知识拓展】 某校太阳能路灯系统设计与配置	139
【任务设计】	142
思考与练习	144
模块三 风光互补发电系统的应用设计	145
项目十一 风光互补发电系统的认知	145



【任务导入】	145
【相关知识】	145
一、风光互补系统概述	145
二、风光互补系统的应用前景	147
【项目实施】风光互补发电系统结构的认知	150
【知识拓展】LED 照明技术在道路照明中的应用前景	152
思考与练习	155
项目十二 风光互补控制器的选用、连接与调试	155
【任务导入】	155
【相关知识】	155
一、光伏控制器概述	155
二、风光互补控制器概述	160
【项目实施】	162
【知识拓展】风光互补充放电控制的基本原理	168
思考与练习	175
项目十三 风光互补发电系统逆变器的选用	175
【任务导入】	175
【相关知识】风光互补发电系统逆变技术	175
【项目实施】离网逆变器选型	180
【知识拓展】风光互补控制逆变一体机简介	181
思考与练习	184
项目十四 风光互补发电系统应用设计实例及典型配置方案	184
【任务导入】	184
【相关知识】风光互补发电系统设计原则及方法	184
【项目实施】离网风光互补发电系统设计实例	187
【知识拓展】典型配置方案	191
思考与练习	192





项目十五 风光互补发电系统防雷接地知识和设计	192
【任务导入】	192
【相关知识】	
一、风光互补发电系统防雷知识	193
二、风光互补发电系统接地知识	195
【项目实施】	200
【知识拓展】 低压配电系统接地方式的分类	204
思考与练习	208
 模块四 风光互补 LED 道路照明设计、安装与调试	209
项目十六 风光互补路灯应用设计实例与典型配置方案	209
【任务导入】	209
【相关知识】	209
一、风光互补路灯	209
二、风光互补 LED 路灯设计	213
【项目实施】 风光互补路灯系统设计实例	216
【知识拓展】 风光互补路灯系统典型配置方案	221
思考与练习	222
项目十七 风光互补路灯的安装与调试	222
【任务导入】	222
【相关知识】	223
一、安装准备	223
二、基础施工	224
【项目实施】 风光互补路灯安装	227
【知识拓展】 风光互补路灯安装工程验收标准	233
思考与练习	235
 参考文献	236



模块一

离网风力发电系统的应用设计、安装与调试

项目一 风的测量

【任务导入】

风很早就被人们利用——主要是通过风车来抽水、磨面……现在，人们感兴趣的，首先是如何利用风来发电。

风是一种潜力很大的新能源，地球上可用来发电的风力资源约有 100 亿千瓦，几乎是现在全世界水力发电量的 10 倍。目前全世界每年燃烧煤所获得的能量，只有风力在一年内所提供能量的 1/3。因此，国内外都很重视利用风力来发电，开发新能源。

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。

【相关知识】

一、风力资源的基本知识

1. 风的形成

风是一种自然现象，地球表面的空气水平运动称之为风。风是地球外表大气层由于太阳的热辐射而引起的空气流动。简单地说，太阳的辐射造成地球表面受热不均，引起大气层中压力分布不均，空气沿水平方向运动形成风。风的形成就是空气流动的结果。

大气压差是风产生的根本原因，空气流动所形成的动能称为风能。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。地球上全部风能估计约为 $2 \times 10^{17} \text{ kW}$ ，其中，可利用的约为 $2 \times 10^{10} \text{ kW}$ ，这个能量是相当大的，是地球水能的 10 倍。因此可以说风能是一种取之不尽、用之不竭的可再生能源。

2. 风的种类

① 贸易风 在地球赤道上，热空气向空间上升，分为流向地球南北两极的两股强力气流，在纬度 30° 附近，这股气流下降，并分别流向赤道与两极。在接近赤道地区，由于大气层中大量的空气环流，形成了固定方向的风。自古以来，人们利用这种定向风，开展海上远洋贸易，所以称为贸易风。由于地球自西向东旋转的结果，贸易风向西倾斜，此时北半球便产生了东北风，而南半球则产生了东南风。

② 旋风和反旋风 在地球南北两极流向赤道的冷空气气流与赤道流向两极的热空气气流相遇处（在纬度 $50^\circ \sim 60^\circ$ 附近），构成了涡流运动，形成旋风和反旋风。

③ 地区性风 由于地形的差异（如陆地、海洋、山岳、森林、沙漠），使同一纬度上受到程度不同的加热，因而产生了地区性风。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，山坡因冷却降温速度比同高度的空气快，冷空气沿坡地向下流入山谷，称为山风。如图 1-1 所示。山谷能改变气流运动的方向，还能使风速增大，而丘陵、山地会因为摩擦而使风速减小，孤立的山峰会因海拔高而使风速增大。

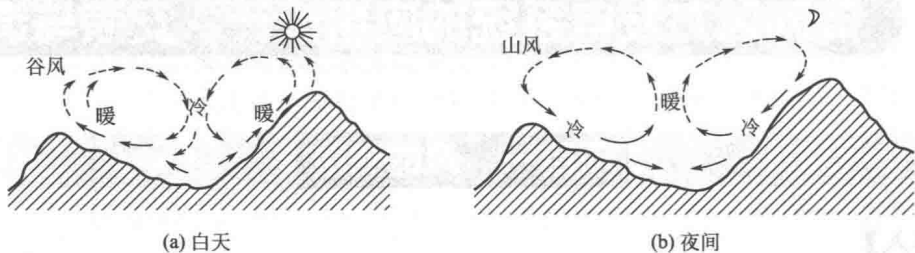


图 1-1 山、谷风形成示意图

④ 轻风 由于昼夜之间的温度变化而产生的沿海岸风，称为轻风。有太阳时，陆地所接受的热量较海洋强烈，因而陆地上空的空气较轻，于是陆地上空的空气向上升，冷空气力图自海洋流向沿岸陆地，于是产生了海风。陆地上的热空气则流向海洋，到离海岸某一距离处下降。而在夜间，陆地上的空气比海洋上的空气冷却较快，因此陆地上的下层空气流向海洋，而上层空气则由海洋流向陆地，形成了与白昼相反的风向，称为陆地风。轻风方向的更换决定于地形条件。海风通常自上午 $9 \sim 10$ 时开始，陆地风则在日落以后开始。轻风仅在沿海岸才遇到，流动的距离约为在海洋和陆地两方各 40km 之间，如图 1-2 所示。

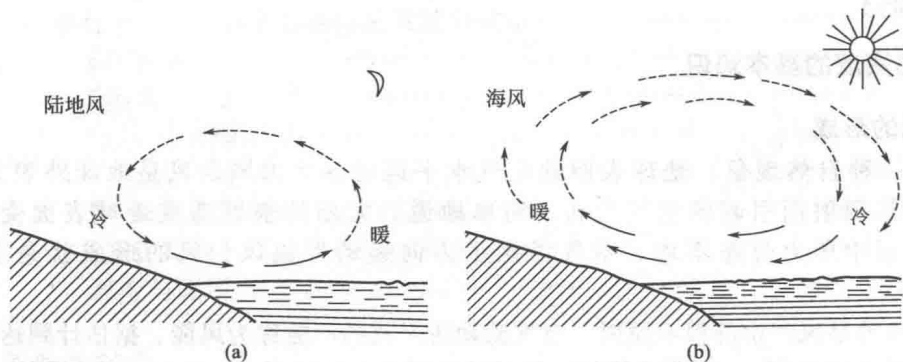


图 1-2 海陆风形成示意图

⑤ 季节风 陆地上每年的温度变化较海洋大，同样也引起与轻风相似但具有季节性的

气流循环,它的强度大于轻风的气流循环强度,这种风称为季节风。

⑥ 平原和山岳风 山岳地区在一昼夜间有周期性的风向变换,与轻风相似,平原风每日上午自9~10时至日落沿山岳的坡度向高处流动,在夜间则与此相反,气流自山岳流向平原,形成了山岳风。如果平原处于海岸处,则会引起特别强劲的风,因在夜间,山岳风被陆地风增强了,而在日间,平原风被海风增强。夜间的山岳风的产生,则是由于山顶的冷空气具有较大密度,流向平原,形成夜间山岳风。平原风的产生,则是由于日照山岳斜面上的空气较平原上的空气热,因此地势低处的空气膨胀,引起空气流动。

3. 风的特点

(1) 风随时间变化

在一天内,风的强弱是随机变化的。在地面上,白天风大,而夜间风小;相反,在高空上却是夜间风大,白天风小。在沿海地区,由于陆地和海洋热容量不同,白天产生海风(从海洋吹向陆地),夜间产生陆地风(从陆地吹向海洋)。在不同的季节,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发生季节性变化。在我国,大部分地区风的季节性变化规律是:春季最强,冬季次强,秋季第三,夏季最弱。

(2) 风随高度变化

由于空气的黏性和地面摩擦的影响,风速随高度变化还因地面的平坦度、地表粗糙度以及风通道上的气温变化不同而异。特别是受地表粗糙度的影响程度最大。从地球表面到10000m高空层内,空气的流动受到涡流、黏滞和地面摩擦等因素的影响,风速随着高度的增加而增大。通过实验,常用计算风速随高度的变化的公式有:

指数公式

$$v = v_1 \left(\frac{h}{h_1} \right)^n \quad (1-1)$$

对数公式

$$v = v_1 \times \frac{\lg \frac{h}{h_0}}{\lg \frac{h_1}{h_0}} \quad (1-2)$$

式中, v_1 为高度为 h_1 的风速; h_1 为高度(一般为10m); v 为待测高度 h 处的速度; h 为待测点离地高度; h_0 为风速为零的高度; n 为指数,取决于地面的平整度(粗糙度)和大气的稳定度,取值范围为 $1/8 \sim 1/2$ 。在开阔、平坦、稳定度正常的地区, n 值取 $1/7$ 。粗糙度大的大城市常取 $1/3$ 。一般上下风速差较小, n 较小,反之 n 值取大。

(3) 风变化的随机性

自然风是一种平均风速与激烈变动的瞬间紊乱气流相重合的风。气流紊乱主要与地面的摩擦有关,除此之外,当风速与稳定层是垂直分布时会产生重力波,在山风下侧也会产生山岳波。这种紊乱气流不仅影响风速,也明显影响风向。如果按时间区分,可将风向的变化区分为:

- ① 一年或一个月内风向的趋势;
- ② 短时间内变动的紊乱气流;
- ③ 介于两者之间的平均风向。

总之,风的特点为:

- ① 风的变化性和不稳定性;
- ② 风力大小从地球表面,随海拔的升高而增大;
- ③ 空气的密度随海拔的升高而减小。

4. 风的基本特征

风作为一种自然现象，有它本身的特性。通常采用风速、风频等基本指标来表述。

(1) 风速

风的大小常用风的速度来衡量，风速是单位时间内空气在水平方向上移动的距离。风速的单位常以 m/s 、 km/h 等来表示。专门测量风速的仪器有旋转式风速计、散热式风速计和声学风速计等。风速仪安装高度不同，所得到的风速结构也不同，它随高度升高而增强，通常测风高度为 $10m$ 。

① 瞬时风速 因为风是不恒定的，所以风速经常变化，在某一瞬间测得的风速为瞬时风速。

② 平均风速 在某一时间段内，瞬时风速的算术平均值称为平均风速。风速仪测得的风速是平均风速。

将年平均风速作为评价一个风场开发利用价值的重要指标。当年平均风速大于 $5m/s$ 时，风能的开发才有经济价值。

(2) 风频

风频分为风速频率和风向频率。

① 风速频率 各种速度的风出现的频繁程度。对于风力发电的风能利用而言，为了有利于风力发电机平稳运行，便于控制，希望平均风速高，风速变化小。

② 风向频率 各种风向出现的频繁程度，对于风力发电的风能利用而言，总是希望某一风向的频率尽可能的大。

(3) 风向

风向是指风吹来的方向。如果风从东面吹来，则称为东风。观测陆地上的风向一般采用 16 个方位（海上的风向通常采用 32 个方位），即以正北为零，顺时针每转过 22.5° 为一个方位，如图 1-3 所示。

各种风向出现的频率常用风向玫瑰图来表示。风向玫瑰图是在极坐标图上点出某年或某月各种风向出现的频率。如图 1-4 所示。同理，统计各种风向上的平均速度和风能的图，分别称为风速玫瑰图和风能玫瑰图。

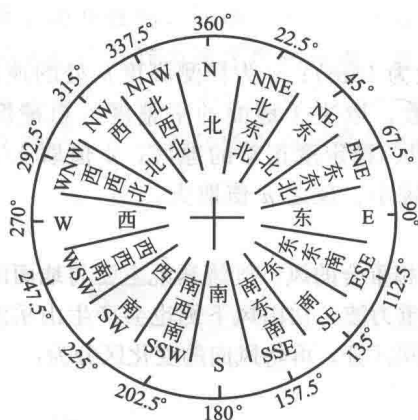


图 1-3 风向 16 方位图

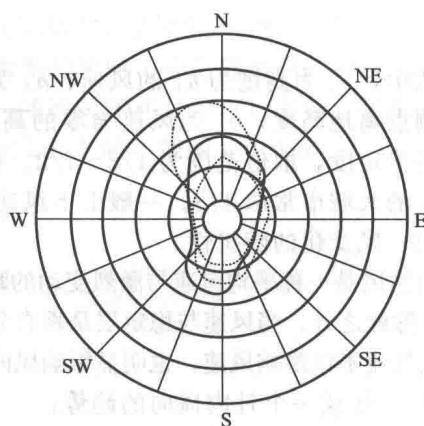


图 1-4 风向玫瑰图

5. 风能、风能密度

(1) 风能就是空气的动能

是指风所负载的能量。风能的大小决定于风速和空气的密度。风的能量是由太阳辐射能转化来的，太阳每小时辐射到地球的能量是 $1.74 \times 10^{17} W$ 。风能占太阳提供总能量的 $1\% \sim$

2%，太阳辐射能量中的一部分被地球上的植物转换成生物能，而被转化的风能总量大约是生物能的 50~100 倍。著名的风能公式如下：

$$E = \frac{1}{2} (\rho t S v^3) \quad (1-3)$$

式中 ρ ——空气密度， kg/m^3 ；

v ——风速， m/s ；

t ——时间， s ；

S ——截面面积， m^2 。

由风能公式可以看出，风能主要与风速、风所流经的面积、空气密度 3 个因素有关，其关系如下。

① 风能 (E) 的大小与风速的立方 (v^3) 成正比。也就是说，影响风能的**最大因素是风速

② 风能 (E) 的大小与风所流经的面积 (S) 成正比。对于风力发电机来说，风能与风力发电机的风轮旋转时扫过的面积成正比。由于通常用风轮直径作为风力发电机的主要参数，所以风能大小与风轮直径的平方成正比。

③ 风能 (E) 的大小与空气密度 (ρ) 成正比。空气密度是指单位体积 (m^3) 所容纳空气的质量 (kg)。因此，计算风能时，必须要知道空气密度 ρ 值。空气密度 ρ 值与空气的湿度、温度和海拔高度有关，可以从相关的资料中查到。

(2) 风能密度

表征一个地点的风能资源，要视该地区风况和常年平均风能密度的大小。风能密度是单位面积上的风能。对于风力机来说，风能密度是指风轮扫过单位面积的风能，即空气 1s 时间内以速度 v 流过单位截面积的动能，常以 W/m^2 来表示。风能密度是决定风能潜力大小的重要因素：

$$W_p = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (1-4)$$

式中， ρ 为空气密度， kg/m^3 ； v 为平均风速， m/s 。

风能密度与平均速度 v 的三次方成正比，与空气密度成正比，而空气密度取决于气压、气温和湿度。因此，不同地方和条件下的风能密度不同。一般来说，海边地势低，气压高，空气密度大，风能密度高；高山地区气压低，空气稀薄，风能密度小。

风力机要根据当地的风况确定一个风速来设计，该风速称为设计风速或额定风速，它与额定功率相对应。由于风的随机性，风力机不可能始终在额定风速下运行，因此风力机就有一个工作风速范围，即从切入风速到切出速度，称为工作风速，即有效风速。依此计算的风能密度称为有效风能密度。全年平均风速在 3~20m/s，平均有效风能密度在 100W/m² 以上、风力资源较丰富的地区，才能进行风力发电。

6. 风力等级

风力等级简称风级，是风速的数值等级表示，是根据风对地面或海面物体影响而引起的各种现象，来来估计风力的大小，风越强，数值越大。

根据理论计算和实践结果，把具有一定风速的风，通常是指 3~20m/s 的风作为一种能量资源加以开发，用来做功（如发电），把这一范围的风称为有效风能或风能资源。因为风速低于 3m/s 时，它的能量太小，没有利用的价值，而风速大于 20m/s 时，它对风力发电机的破坏性很大，很难利用。世界气象组织将风力分为 17 个等级，在没有风速计的时候，可以根据它来粗略估计风速。

风力等级见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 风力等级 0~12 级

风级	名称	风速/(m/s)	风速/(km/h)	陆地地面物象	海面波浪	浪高/m	浪最高/m
0	无风	0.0~0.2	<1	静,烟直上	平静	0.0	0.0
1	软风	0.3~1.5	1~5	烟示风向	微波峰无飞沫	0.1	0.1
2	轻风	1.6~3.3	6~11	感觉有风	小波峰未破碎	0.2	0.3
3	微风	3.4~5.4	12~19	旌旗展开	小波峰未破碎	0.6	1.0
4	和风	5.5~7.9	20~28	吹起尘土	小浪白沫波峰	1.0	1.5
5	劲风	8.0~10.7	29~38	小树摇摆	中浪折沫峰群	2.0	2.5
6	强风	10.8~13.8	39~49	电线有声	大浪白沫离峰	3.0	4.0
7	疾风	13.9~17.1	50~61	步行困难	破峰白沫成条	4.0	5.5
8	大风	17.2~20.7	62~74	折毁树枝	浪长高有浪花	5.5	7.5
9	烈风	20.8~24.4	75~88	小损房屋	浪峰倒卷	7.0	10.0
10	狂风	24.5~28.4	89~102	拔起树木	海浪翻滚咆哮	9.0	12.5
11	暴风	28.5~32.6	103~117	损毁重大	波峰全呈飞沫	11.5	16.0
12	飓风	>32.6	>117	摧毁极大	海浪滔天	14.0	—

表 1-2 风力等级 13~17 级

风级	风速/(m/s)	风速/(km/h)	风级	风速/(m/s)	风速/(km/h)
13	37.0~41.4	134~149	16	51.0~56.0	184~201
14	41.5~46.1	150~166	17	56.1~61.2	202~220
15	46.2~50.9	167~183			

风所具有的能量是很大的,风速为 9~10m/s 的 5 级风,吹到物体表面上的力约为 10kg/m²;风速为 20m/s 的 9 级风,吹到物体表面上的力约为 50kg/m²。风所含的能量比人类迄今为止所能控制的能量要大得多。

7. 风能的优点和局限性

风能是非常重要并储量巨大的能源,它安全、清洁、充裕。目前,利用风力发电已成为风能利用的主要形式,受到世界各国的高度重视,而且发展速度最快。风能与其他能源相比,有明显的优点,但也有其突出的局限性。

(1) 风能的优点

① 蕴藏量大 风能是太阳能的一种转换形式,是取之不尽、用之不竭的可再生能源。根据计算,太阳至少还可以像现在一样照射地球 60 亿年左右。

② 无污染 在风能转换为电能的过程中,不产生任何有害气体和废料,不污染环境。

③ 可再生 风能是靠空气的流动而产生的,这种能源依赖于太阳的存在。只要太阳存在,就可不断地、有规律地形成气流,周而复始地产生风能,可永久持续利用。

④ 分布广泛、就地取材、无需运输 在边远地区如高原、山区、岛屿、草原等地区,由于缺乏煤、石油和天然气等资源,给生活在这一地区的人民群众带来诸多不便,而且由于地处偏远、交通不便,即使从外界运输燃料也十分困难。因此,利用风能发电可就地取材、无需运输,具有很大的优越性。

⑤ 适应性强、发展潜力大 我国可利用的风力资源区域占全国国土面积的 76%,在我国发展小型风力发电,潜力巨大,前景广阔。

(2) 风能的限制性

① 能量密度低 由于风能来源于空气的流动,而空气的密度很小,因此风力的能量密度很小,只有水力的 1/816。

② 不稳定性 由于气流瞬息万变,风时有时无、时大时小,日、月、季、年的变化都

十分明显。

③ 地区差异大 由于地形变化，地理纬度不同，因此风力的地区差异很大。两个近邻区域，由于地形的不同，其风力可能相差几倍甚至几十倍。

二、我国风能资源分布

我国的风力资源十分丰富，仅次于俄罗斯和美国，居世界第三位，根据国家气象局气象研究院的估算，我国 10m 高度层的风能资源总储量为 32.26 亿千瓦，其中实际可开发利用的风能资源储量为 2.53 亿千瓦。而据估计，我国近海风能资源约为陆地的 3 倍，所以我国可开发风能资源总量约为 10 亿千瓦，其中，陆地上风能储量约 2.53 亿千瓦（陆地上离地 10m 高度资料计算），海上可开发和利用的风能储量约 7.5 亿千瓦。

1. 我国风能资源划分

在我国的不同地区，风能资源是不同的，除少数省份年平均风速比较小以外，大部分省、市、自治区，尤其是西南边疆、沿海和三北（东北、西北、华北）地区，都有着极有利用价值的风能资源。风能分布具有明显的地域性规律，这种规律反映了大型天气系统的活动和地形作用的综合影响。而划分风能区划的目的是为了了解各地风能资源的差异，以便合理地开发利用。根据全国有效风能密度、有效风力出现时间百分率，以及大于等于 3m/s 和 6m/s 风速的全年累积小时数，将全国风能资源划分为 4 个大区（30 个小区），见表 1-3。

表 1-3 风能区划标准

区 指标	丰富区	较丰富区	可利用区	贫乏区
年有效风能密度 /(W/m)	≥200	200~150	150~50	≤50
风速≥3m/s 的 年小时数/h	≥5000	5000~4000	4000~2000	≤2000
占全国面积	8%	18%	50%	24%
包括的小区	A34a—东南沿海及台湾岛屿和南海群岛秋冬特强压型；A21b—海南岛南部夏春压型；A14b—山东、辽东沿海春冬压型；B12b—内蒙古北部西端和锡林郭勒盟春夏强压型；B14b—内蒙古阴山到大兴安岭北冬春强压型；C13b-c—松花江下游春秋强中压型；东南沿海及其岛屿，为我国最大风能资源区	D34b—东南沿海（离海岸 20~50km）秋冬强压型；D14a—海南岛东部春冬特强压型；D14b—渤海沿海春冬强压型；D34a—台湾东部秋冬特强压型；E13b—东北平原春秋强压型；E14b—内蒙古南部春冬强压型；E12b—河西走廊及其邻近春夏强压型；E21b—新疆北部夏春强压型；F12b—青藏高原春夏强压型；内蒙古和甘肃北部，为我国次大风能资源区；黑龙江和吉林东部及辽东半岛沿海，风能也较大	G43b—福建沿海（离海岸 50~100km）和广东沿海秋冬强压型；G14a—广西沿海及雷州半岛春冬特强压型；H13b—大小兴安岭山地春秋强压型；I12c—辽河流域和苏北春夏中压型；I14c—黄河、长江中下游春冬中压型；I31c—湖南、湖北和江西秋春中压型；I12c—西北五省的一部分及青藏的东部和南部春夏中压型；I14c—川西南和云贵的北部春冬中压型；青藏高原、三北地区的北部和沿海，为风能较大区	J12d—四川、甘南、陕西、鄂西、湘西和贵北春夏弱压型；J14d—南岭山地以北冬春弱压型；J43d—南岭山地以南冬秋弱压型；J14d—云贵南部秋冬弱压型；K14d—雅鲁藏布江河谷秋冬弱压型；K12c—昌都地区春夏中压型；L12c—塔里木盆地西部春夏中压型；云贵川，甘肃、陕西南部，河南、湖南西部，福建、广东、广西的山区

2. 可利用的风能

风虽然随处可见，但是也有可利用和不可利用之分，这与风速有直接关系。根据上面风能

资源区划,年平均风速小于 2m/s 的地区,目前是没有利用价值区。年平均风速在 $2\sim 4\text{m/s}$ 的地区,是风能可利用区,在这一区域内,年平均风速在 $3\sim 4\text{m/s}$ 的地区,利用价值较高,有一定的利用前景,但从总体考虑,该地区的风力资源仍是不高。年平均风速在 $4\sim 4.5\text{m/s}$ 的地区基本相当于风能较丰富区。年平均风速大于 4.5m/s 的地区,属于风能丰富区。

由此可见,除去一些破坏性极大的风(如台风、龙卷风等),绝大多数风速在 2m/s 以上的风能都是对人类有用的风能。目前,国内外一般选择年平均风速为 6m/s 或以上的高风速区(即风能资源丰富区)安装并网型风力发电机组,即大型风力发电机组。我国一般选用单机容量 600kW 以上的机组建设风电场,保证机组多发电,经济效益才能显著。独立运行的小型风力发电机组启动风速较低,一般风速为 3m/s 以上就能发电,分布区域广,我国有相当部分农耕区、山区和牧区属于这种地区。

3. 风能资源开发判断依据

从式(1-3)可以看到,影响风能资源的主要因素是风速,风能欠缺区由于平均风速很低,没有开发价值。另一方面因功率不同的风力发电机对风速的要求是不同的,因此判断某一地区的风能资源是否值得开发,还要考虑采用的风力发电机的功率大小和机型。

① 大型风力发电机(100kW 以上)可能发展的地区,其年平均风速大约为 6m/s 以上。在全国范围内,仅局限于几个地带,就陆地而言,大约占全国总面积的 $1/100$ 。

② 中型风力发电机(10kW 级及以上)可能发展的地区,其年平均风速大约为 4.5m/s 以上。在全国范围内,可以发展中型风力发电机的地区大约占全国陆地总面积的 $1/10$ 。

③ 小型风力发电机(10kW 级及以下)可能发展的地区,其年平均风速大约为 3m/s 以上。在全国范围内,可以发展小型风力发电机的地区范围较大,大约占全国陆地总面积的 40% 以上。具体说,东北除大兴安岭、长白山脉的背风低谷等不利地形外;内蒙古的大部;京、冀、晋、陕、宁、甘的北部;青海的中西部;西藏的雅鲁藏布江河谷以外的大部;新疆除两大盆地及阿尔泰山等的外围地区;津、冀、鲁、豫的东部;江苏、皖北至江西、湖北的两湖地区;向南包括浙、闽、两广的沿海;云南东北部等都是小型风力发电机可能发展的地区。

4. 我国风能资源的特点

(1) 季节性的变化

我国位于亚洲大陆东部,濒临太平洋,季风强盛,内陆还有许多山系,地形复杂,加之青藏高原耸立我国西部,改变了海陆影响所引起的气压分布和大气环流,增加了我国季风的复杂性。冬季风来自西伯利亚和蒙古等中高纬度的内陆,那里空气十分严寒干燥,冷空气积累到一定程度,在有利高空环流引导下,就会爆发南下,俗称寒潮,在此南下的强冷空气的影响下,形成寒冷干燥的西北风侵袭我国北方各省(直辖市、自治区)。每年冬季总有多次大幅度降温的强冷空气南下,主要影响我国西北、东北和华北,直到次年春夏之交才会消失。夏季风是来自太平洋的东南风、印度洋和南海的西南风,东南季风影响遍及我国东半部,西南季风则影响西南各省和南部沿海,但风速远不及东南季风大。热带风暴是太平洋西部和南海热带海洋上形成的空气涡旋,是破坏力极大的海洋风暴,每年夏秋两季频繁侵袭我国,登陆我国南海之滨和东南沿海,热带风暴也能在上海以北登陆,但次数很少。如图 1-5 所示。

(2) 地域性的变化

中国地域辽阔,风能资源比较丰富。特别是东南沿海及其附近岛屿,不仅风能密度大,年平均风速也高,发展风能利用的潜力很大。在内陆地区,从东北、内蒙古,到甘肃走廊及新疆一带的广阔地区,风能资源也很好。华北和青藏高原有些地方也有可利用风能。东南沿海的风能密度一般在 200W/m^2 ,有些岛屿达 300W/m^2 以上,年平均风速 7m/s 左右,全年