

新能源发电系统

• 设备集成 • 设计方法 • 工程实例 • 安装调试

家庭新能源发电系统设计实例

周志敏 纪爱华 等 编著

JIATING XINNENGYUAN FADIANXITONG
SHEJI SHILI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

家庭新能源发电系统设计实例

周志敏 纪爱华 等 编著

JIATING XINNENGYUAN FADIANXITONG
SHEJI SHILI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合我国能源规划的方针政策和国内新能源发电技术的发展现状,以家庭新能源发电实用技术为核心内容,全面、系统地阐述了新能源发电最新应用技术。全书共6章,内容包括新能源发电基础知识、风力发电机组与太阳能电池、新能源发电蓄能技术及工程设计、家庭太阳能光伏发电系统工程设计实例、家庭风力发电系统工程设计实例、家庭风光互补发电系统配置方案与安装调试。

本书新颖实用,内容丰富,深入浅出,文字通俗,具有很高的实用价值,可供从事家庭新能源发电系统设计、开发、应用的工程技术人员及相关院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

家庭新能源发电系统设计实例/周志敏等编著. —北京:中国电力出版社,2017.3
ISBN 978-7-5198-0296-7

I. ①家… II. ①周… III. ①新能源-发电-系统设计-案例-中国 IV. ①TM61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 009510 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:畅舒(010-63412312)

责任校对:常燕昆

装帧设计:张俊霞 左 铭

责任印制:蔺义舟

印 刷:北京天宇星印刷厂

版 次:2017年3月第一版

印 次:2017年3月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:11.75

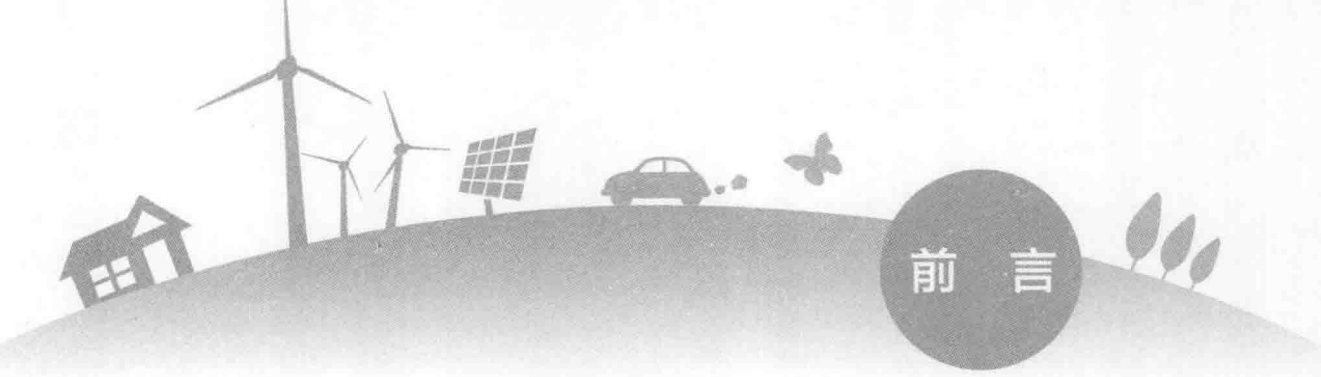
字 数:281千字

印 数:0001—2000册

定 价:38.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



前言

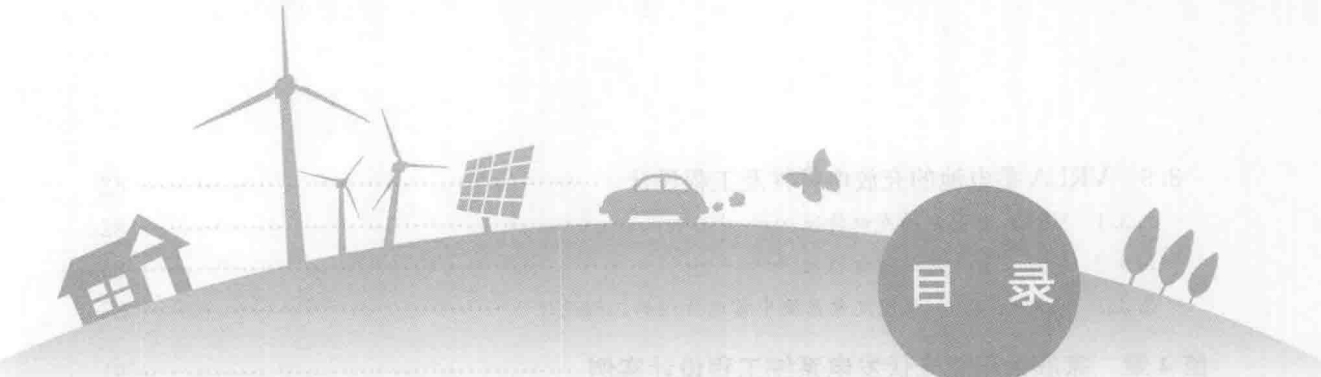
能源与环境问题已成为世界可持续发展面临的主要问题，日益引起国际社会的广泛关注。太阳能、风能作为一种重要的可再生能源，其具有清洁、无污染、安全、储量丰富的特点，受到世界各国的普遍重视。自《中华人民共和国可再生能源法》颁布实施以来，包括太阳能、风能、生物质能等在内的可再生能源利用事业进入了新的历史发展时期。《中华人民共和国可再生能源法》中明确规定：“国家扶持在电网未覆盖的地区建设可再生能源独立电力系统，为当地生产和生活提供电力服务”等，这为我国可再生能源利用事业的进一步发展指明了方向。

家庭新能源发电技术在我国发展时间不长，尤其是并网发电技术，从设计到应用还有许多亟须解决的技术问题。为此，本书将新能源发电技术的基础知识、新能源发电系统设备集成、设计方法和工程设计实例有机结合，在保证科学性的同时，尽量做到有针对性和实用性，并注重通俗性，以便于读者掌握家庭新能源发电系统的设计方法及最新工程应用技术。本书是从事家庭新能源发电系统设计、开发和应用工程技术人员必备参考书，读者可结合书中设计实例的思路和方法，灵活地将其应用到家庭新能源发电系统的实际设计工作中去。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、纪达安、纪和平、刘淑芬、陈爱华等。本书在写作过程中，无论从资料的收集和技术信息交流上都得到了国内外专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间短，编者水平有限，难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者



目 录

前言

第1章 新能源发电基础知识	1
1.1 风力发电系统	1
1.1.1 我国风能资源	1
1.1.2 风力发电技术	7
1.1.3 风力发电系统构成	9
1.2 太阳能光伏发电系统	10
1.2.1 我国太阳能资源	10
1.2.2 太阳能光伏发电技术	13
1.2.3 太阳能光伏发电系统构成	16
第2章 风力发电机组与太阳能电池	21
2.1 风力机与风力发电机组	21
2.1.1 风力机	21
2.1.2 风力发电机组	25
2.1.3 小型风力发电机组	30
2.1.4 小型风力发电机组的技术参数	39
2.2 太阳能电池原理及发展	41
2.2.1 太阳能电池原理	41
2.2.2 晶体硅太阳能电池发展	46
2.2.3 太阳能电池的分类	52
2.2.4 太阳能电池组件	57
第3章 新能源发电蓄能技术及工程设计	64
3.1 新能源发电蓄能技术及蓄电池	64
3.1.1 新能源发电蓄能技术	64
3.1.2 蓄电池蓄能	65
3.2 铅酸蓄电池分类及工作原理	67
3.2.1 铅酸蓄电池的分类及技术指标	67
3.2.2 铅酸蓄电池工作原理	72
3.2.3 胶体铅酸蓄电池的结构及优缺点	76

3.3 VRLA 蓄电池的充放电特性及工程设计	82
3.3.1 VRLA 蓄电池的充电特性	82
3.3.2 VRLA 蓄电池的放电特性	86
3.3.3 离网太阳能、风能发电系统中蓄电池组的工程设计	87
第4章 家庭太阳能光伏发电系统工程设计实例	91
4.1 家庭太阳能光伏发电系统设计要素及太阳能电池方阵设计	91
4.1.1 影响太阳能光伏发电系统设计的因素及设计要素	91
4.1.2 太阳能电池方阵设计	92
4.2 家庭太阳能光伏发电系统设计方法	98
4.2.1 离网太阳能光伏发电系统设计方法	98
4.2.2 太阳能光伏发电系统中的控制器及逆变器选择	101
4.2.3 并网太阳能光伏发电系统设计方法	103
4.3 家庭太阳能光伏发电系统防雷设计	108
4.3.1 雷电对太阳能光伏发电系统的影响及防护	108
4.3.2 太阳能光伏发电系统的雷电防护设计	110
4.3.3 太阳能光伏发电系统的浪涌过电压防护	113
4.4 家庭太阳能光伏发电系统设计实例	114
4.4.1 离网太阳能光伏发电系统设计实例	114
4.4.2 10kW 并网太阳能光伏发电系统工程设计实例	118
第5章 家庭风力发电系统工程设计实例	122
5.1 家庭风力发电系统设计步骤及设计实例	122
5.1.1 风力发电系统的应用环境及设计步骤	122
5.1.2 风力发电系统的发电量与用电量的匹配设计	123
5.1.3 风力发电系统设计实例及典型配置方案	126
5.2 家庭风力发电系统的防雷接地设计	132
5.2.1 风力发电系统的防雷设计	132
5.2.2 风力发电系统的接地设计	137
第6章 家庭风光互补发电系统配置方案与安装调试	145
6.1 风光互补发电技术	145
6.1.1 风能和太阳能互补性	145
6.1.2 风光互补发电系统结构	149
6.2 家庭风光互补发电系统设计条件及配置方案	151
6.2.1 风光互补发电系统设计条件及合理配置	151
6.2.2 风光互补发电系统配置方案	153
6.3 家庭风光互补发电系统的安装及调试	159
6.3.1 风力发电机选址	159
6.3.2 风力发电机基础施工	163
6.3.3 风力发电设备安装	165

6.3.4 太阳能电池组件安装	172
6.3.5 蓄电池和控制器及逆变器安装	174
6.3.6 风光互补发电系统的调试	176
参考文献	179

新能源发电基础知识

1.1 风力发电系统

1.1.1 我国风能资源

1. 风的形成

风是一种自然现象,人们把地球表面的空气水平运动称之为风,风是地球外表大气层因太阳的热辐射而引起的空气流动。太阳辐射对地球表面不均匀性加热是形成风的主要成因,太阳对地球的辐射透过厚厚的大气层到达地球表面,地球表面各处(海洋和陆地、高山岩石和平原土壤、沙漠、荒原和植被、森林地区)吸收热量不同及因地球自转、公转、季节、气候的变化和昼夜温差的影响,使地表各处散热情况也各不相同,散热多的地区,靠近地表的空气受热膨胀,压力减少,形成低气压区,这时空气从高压区向低气压区流动,这就产生了风,也就是说风能是来自太阳能。地形、地貌的差异,地球自转、公转的影响,更加剧了空气流动的力量和流动方向的多变性,使风速和风向的变化更加复杂。简单的说,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,由于大气层中的压力分布不均,从而使空气沿水平方向运动,空气流动所形成的动能称为风能。据估计在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,是地球水能的十倍,因此也可以说风能是一种取之不尽、用之不竭的可再生能源。

2. 风的特性

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。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。风速的单位常以 m/s 、 km/h 、 mile/h 等来表示。例如空气在 1s 内运动了 3m ,那么风速就是 3m/s 。由于风是不断变化的,通常所说的风速是指一段时间内各瞬时风速的算术平均值,即平均风速。

(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. 风能

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,太阳每小时辐射地球的能量是 $1.74 \times 10^{17} \text{ W}$ 。风能大约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 $50 \sim 100$ 倍。风能公式如下

$$E = 1/2(\rho \times t \times S \times v^3) \quad (1-1)$$

式中: ρ 为空气密度, kg/m^3 ; v 为风速, m/s ; t 为时间, s ; S 为截面面积, 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、空气密度三个因素有关,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,影响风能的重大因素是风速。

(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,就是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所容纳空气的质量。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。

空气运动具有动能,如果风力机风轮叶片旋转一圈所扫过的面积为 A , 风速为 v 的空气在规定时间内流经风轮时,该空气传递给风轮的风能功率(一般称为风能)为

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot Av = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1-2)$$

式中: ρ 为空气密度, kg/m^3 ; A 为风力机叶片旋转一圈所扫过的面积, m^2 ; v 为风速, m/s ; P 为每秒钟空气流过风力机风轮断面积的风能,即风能功率, W 。

如果风力机的风轮直径为 D , 则

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (1-3)$$

则

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \times \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{8} \rho D^2 v^3 \quad (1-4)$$

若有效风速时间为 t , 则在时间 t 内的风能为

$$E = P \cdot t = \frac{\pi}{8} \rho D^2 v^3 t \quad (1-5)$$

由上式可知,风能与空气密度 ρ 、风轮直径的平方 D^2 、风速的立方 v^3 和风持续时间 t 成正比。一般说来,一定高度范围内的空气密度可以认为是一个常数。因此,当风力机的风轮越大,有效风速时间越长,特别是风速越大,则风力机所能获得的风能就越大。

表征一个地点的风能资源,要视该地区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

$$W = \rho / A = 0.5 \rho v^3 \quad (1-6)$$

式中: W 为风能密度, W/m^2 ; ρ 为空气密度, kg/m^3 ; v 为风速, m/s 。

常年平均风能密度为

$$\bar{W} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \rho v^3 dt \quad (1-7)$$

式中: $\bar{W}$ 为平均风能密度, W/m^2 ; T 为总的时间, h 。

在实际应用时, 常用下式来计算某地年(月)风能密度, 即

$$W_{\text{年(月)}} = \frac{W_1 t_1 + W_2 t_2 + \cdots + W_n t_n}{t_1 + t_2 + \cdots + t_n} \quad (1-8)$$

式中: $W_{\text{年(月)}}$ 为年(月)风能密度, W/m^2 ; W_i ($1 \leq i \leq n$) 为各等级风速下的风速密度, W/m^2 ; T_i ($1 \leq i \leq n$) 为各等级风速在每年(月)出现的时间, h 。

不考虑风力机械的利用系数, 单位面积获得的风功率称为风能密度 (W/m^2), 并以此表征某地风能的大小

$$W = 0.5 \rho v^3 \quad (1-9)$$

推动风力机械运转的风能功率 (W) 是

$$P_1 = 0.5 \rho v^3 A \quad (1-10)$$

式中: ρ 为空气质量密度, kg/m^3 ; v 为风速, m/s ; A 为风力机械叶轮扫过的面积, m^2 。

由于风力机不可能将桨叶旋转的风能全部转变为轴的机械能, 因而风轮的实际功率 (W) 为

$$P = 0.5 \rho v^3 A C_P \quad (1-11)$$

式中: C_P 为风能利用系数, 即风轮所接受风的动能与通过风轮扫掠面积 A 全部风的动能比值。

以水平轴风力机为例, 理论上最大风能利用系数为 0.593 左右, 但再考虑到风速变化和桨叶空气动力损失等因素, 风能利用系数能达到 0.4 就相当高了。风能密度有直接计算和概率计算两种方法。近年来在各国风能计算中, 大多采用概率计算中的韦伯尔 (Weibull) 分布来拟合风速频率分布方法计算风能密度。

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。

4. 风力等级

根据理论计算和实践结果, 把具有一定风速的风, 通常是指 $3 \sim 20 \text{m}/\text{s}$ 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 $3 \text{m}/\text{s}$ 时, 它的能量太小, 没有利用的价值, 而风速大于 $20 \text{m}/\text{s}$ 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

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)	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	小波峰顶破裂	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

续表

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)	最高 (m)
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

13~17 级

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

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 $10\text{kg}/\text{m}^2$; 风速为 20m/s 的 9 级风, 吹到物体表面上的力约为 $50\text{kg}/\text{m}^2$; 风所含的能量比人类迄今为止所能控制的能量要大得多。

5. 我国风能资源区划

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 kW, 其中陆地实际可开发利用的风能资源储量为 2.53 亿 kW。据估计, 我国近海风能资源约为陆地的 3 倍, 所以, 我国可开发的风能资源总量约为 10 亿 kW, 其中, 陆地上风能储量约 2.53 亿 kW (陆地上离地 10m 高度层计算), 海上可开发和利用的风能储量约 7.5 亿 kW。

在我国的不同地区, 风能资源是不同的, 我国风能资源可划分为 4 种类型:

(1) 风能资源丰富区。这一区域的有效风能功率密度在 $200\text{W}/\text{m}^2$ 以上, 风速不低于 $3.5\text{m}/\text{s}$ 的时间全年为 7000~8000h。

(2) 风能资源较丰富区。这一区域的有效风能功率密度为 $150\text{W}/\text{m}^2$ 以上, 风速不低于 $3.5\text{m}/\text{s}$ 的时间全年为 4000h 以上。

(3) 风能资源可利用区。这一区域的有效风能功率密度为 $50\text{W}/\text{m}^2$ 以上, 风速不低于 $3.5\text{m}/\text{s}$ 的时间全年为 2000h 以上。

(4) 风能资源欠缺区。这一区域的有效风能功率密度 $50\text{W}/\text{m}^2$ 以下, 风速不低于 $3.5\text{m}/\text{s}$ 的时间全年为 2000h 以下。

6. 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, 它与风速有直接关系。根据上面风能资源区划, 年平均风速小于 $2\text{m}/\text{s}$ 的地区, 目前是没有利用价值区。年平均风速在 $2\sim4\text{m}/\text{s}$ 的地区, 是风能可利用区, 在这一区域内, 年平均风速在 $3\sim4\text{m}/\text{s}$ 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 $4\sim4.5\text{m}/\text{s}$ 的地区基本相当于风能较丰富区; 年平均风速大于 $4.5\text{m}/\text{s}$ 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 $2\text{m}/\text{s}$ 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。在这些机组中，我国一般选用单机容量 600kW 以上的机组建设风电场。这样才能保证机组多发电，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，一般为 3m/s 以上就能发电，这些地区分布区域广，我国有相当部分农耕区、山区和牧区属于这种地区。

7. 风能资源开发判断依据

从风能公式可以看到，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。另一方面还要考虑，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。

8. 我国风力资源区划

我国地域辽阔、海岸线长，风能资源比较丰富。据国家气象局估算，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

指标 \ 区	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—海南岛南部夏春强压型；A14b—山东、辽东沿海春秋强压型；B12b—内蒙古北部西端和锡盟春夏强压型；B14b—内蒙古阴山到大兴安岭以北春冬强压型；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；黑龙江和吉林东部以及辽东半岛沿海，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—西北五省的一部分以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—云贵南部春冬弱压型；K14d—雅鲁藏布江河谷春冬弱压型；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

9. 我国风能资源的特点

我国风能资源分布有以下特点。

(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。热带风暴是指在太平洋西部和南海上形成的空气涡旋, 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。

(2) 地域性的变化。我国地域辽阔, 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能利用的风能。

东南沿海的风能密度一般在 $200\text{W}/\text{m}^2$, 有些岛屿达 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上, 年平均风速 $7\text{m}/\text{s}$ 左右, 全年有效风时超过 6000h 。内蒙古和西北地区的风能密度在 $150\sim 200\text{W}/\text{m}^2$, 年平均风速 $6\text{m}/\text{s}$ 左右, 全年有效风时 $5000\sim 6000\text{h}$ 。青藏高原的北部和中部, 风能密度也在 $150\text{W}/\text{m}^2$, 全年 $3\text{m}/\text{s}$ 以上风速出现时间 5000h 以上, 有的可达 6500h 。

青藏高原地势高亢开阔, 冬季东南部盛行偏南风, 东北部多为东北风, 其他地区一般为偏西风, 冬季大约以唐古拉山为界, 以南盛行东南风, 以北为东至东南风。

10. 影响中国风能资源的因素

(1) 大气环流对中国风能分布的影响。东南沿海及东海、南海诸岛, 因受台风的影响, 最大年平均风速在 $5\text{m}/\text{s}$ 以上。东南沿海有效风能密度 $\geq 200\text{W}/\text{m}^2$, 有效风能出现时间百分率可达 $80\%\sim 90\%$ 。风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 的风全年出现累积小时数为 $7000\sim 8000\text{h}$; 风速 $\geq 6\text{m}/\text{s}$ 的风全年出现累积小时数为 4000h 。福建的台山、东山, 台湾的澎湖湾等, 有效风能密度都在 $500\text{W}/\text{m}^2$ 左右, 风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 的风全年出现累积小时数为 8000h , 换言之, 平均每天有 21h 以上时间的风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 。但在一些大岛, 如台湾和海南, 又具有独特的风能分布特点。台湾风能南北两端大, 中间小; 海南西部大于东部。

内蒙古和甘肃北部地区, 高空终年在西风带的控制下。冬半年地面在蒙古高原东南部的冷空气南下, 因此, 总有 $5\sim 6$ 级以上的风速出现在春夏和夏秋之交。气旋活动频繁, 当每一气旋过境时, 风速也较大, 年平均风速在 $4\text{m}/\text{s}$ 以上, 有效风能密度为 $200\sim 300\text{W}/\text{m}^2$, 风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 的风全年累积小时数在 5000h 以上, 是中国风能连成一片的最大地区。

云南、贵州、四川、甘南、陕南、豫西、鄂西和湘西风能较小, 这一地区因受西藏高原的影响, 冬半年高空在西风带的死水区, 冷空气沿东亚南下很少影响这里。夏半年海洋气候也很难影响到这里, 所以风速较弱, 年平均风速约在 $2.0\text{m}/\text{s}$ 以下, 有效风能密度在 $50\text{W}/\text{m}^2$ 以下, 有效风力出现时间仅为 20% 左右。风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 的风全年出现累积小时数在 2000h 以下, 风速 $\geq 6\text{m}/\text{s}$ 的风全年出现累积小时数在 150h 以下。在四川盆地和西双版纳最小, 年平均风速 $< 1\text{m}/\text{s}$ 。

这里全年静风频率在60%以上,有效风能密度仅 $30\text{W}/\text{m}^2$ 左右。风速 $\geq 6\text{m}/\text{s}$ 的风全年出现累积小时数仅20多h。换句话说,这里平均每18天以上才有一次10min的风速 $\geq 6\text{m}/\text{s}$ 的风,是没有利用价值的区域。

(2) 海陆和水体对风能分布的影响。中国沿海风能都比内陆大,湖泊都比周围湖滨大。这是由于气流流经海面或湖面摩擦力较小,风速较大。由沿海向内陆或由湖面向湖滨,动能很快消耗,风速急剧减小。故有效风能密度、风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 和风速 $\geq 6\text{m}/\text{s}$ 的风全年累积小时数的等值线不但平行于海岸线和湖岸线,而且数值相差很大。若台风登陆时在海岸上的风速为100%,而在离海岸50km处,台风风速为海岸风速的68%左右。

(3) 地形对风能分布的影响。地形对风能的影响可分为山脉、海拔高度和中小地形等几个方面:

1) 山脉对风能的影响。气流在运行中遇到地形的阻碍,不但会改变风速,还会改变方向。其变化的特点与地形形状有密切关系。一般范围较大的地形,对气流有屏障作用,使气流出现爬绕运动。所以在天山、祁连山、秦岭、大小兴安岭、太行山和武夷山等的风能密度线和可利用小时数曲线大都平行于这些山脉。特别明显的是东南沿海的几条东北—西南走向的山脉,如武夷山等地。山的迎风面风能是丰富的,风能密度为 $200\text{W}/\text{m}^2$,风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 的风出现的小时数约为7000~8000h。而在山区及其背风面风能密度在 $50\text{W}/\text{m}^2$ 以下,风速 $\geq 3\text{m}/\text{s}$ 的风出现的小时数约为1000~2000h,风能是不能利用的。四川盆地和塔里木盆地由于天山和秦岭山脉的阻挡是风能不能利用区。雅鲁藏布江河谷也是由于喜马拉雅山脉和冈底斯山的屏障,风能很小,是没有利用价值的区域。

2) 海拔高度对风能的影响。由于地面摩擦消耗运动气流的能量,在山地风速是随着海拔高度增加而增加的。事实上,在复杂山地,很难分清地形和海拔高度的影响,二者往往交织在一起,如在北京市城区和在八达岭同时观测的平均风速分别 $2.8\text{m}/\text{s}$ 和 $5.8\text{m}/\text{s}$,相差 $3.0\text{m}/\text{s}$ 。后者风大,一是由于它位于燕山山脉的一个南北向的低地;二是由于它海拔比北京高500多米,风速改变是二者共同作用的结果。

青藏高原海拔在4000m以上,所以这里的风速比周围大,但其有效风能密度却较小,在 $150\text{W}/\text{m}^2$ 左右。这是由于青藏高原海拔高,但空气密度较小,因此风能也小,如在4000m高空的空气密度大致为地面的67%。也就是说,同样是 $8\text{m}/\text{s}$ 的风速,在平地海拔500m以下风能密度为 $313.6\text{W}/\text{m}^2$,而在4000m风能密度只有 $209.9\text{W}/\text{m}^2$ 。

3) 中小地形的影响。蔽风地形风速减小,狭管地形风速增大,即使在平原上的河谷,风能也较周围地区大。海峡也是一种狭管地形,与盛行风方向一致时,风速较大,如台湾海峡中的澎湖列岛,年平均风速为 $6.5\text{m}/\text{s}$ 。

局部地形对风能的影响是不可低估的。在一个小山丘前,气流受阻强迫抬升,所以在山顶流线密集,风速加强。山的背风面,由于流线辐散,风速减小。有时气流流过一个障碍,如小山包等,其产生的影响在下方5~10km的范围。有些地层风是由于地面粗糙度的变化形成的。

1.1.2 风力发电技术

风力发电技术是一项高新技术,它涉及到气象学、空气动力学、结构力学、计算机技术、电子控制技术、材料学、化学、机电工程、电气工程、环境科学等十几个学科和专业,因此是一项系统技术。



1. 风力发电技术的划分

利用风力发电的尝试,早在20世纪初就已经开始了。20世纪30年代,丹麦、瑞典、前苏联和美国应用航空工业的旋翼技术,成功地研制了一些小型风力发电装置。这种小型风力发电机,广泛在多风的海岛和偏僻的乡村使用,它所获得的电力成本比小型内燃机的发电成本低得多。不过,当时的发电量较低,大都在5kW以下。

一般说来,3级风就有利用的价值,但从经济合理的角度出发,风速大于4m/s才适宜于发电。据测定,一台55kW的风力发电机组,当风速为9.5m/s时,机组的输出功率为55kW;当风速为8m/s时,功率为38kW;风速为6m/s时,只有16kW;而风速为5m/s时,仅为9.5kW。可见风力愈大,经济效益也愈大。

风电技术分为大型风电技术和中小型风电技术,虽然都属于风电技术,工作原理也相同,但是却属于完全不同的两个行业,具体表现在政策导向不同、市场不同、应用领域不同、应用技术更是不同,完全属于同种产业中的两个行业。因此,在中国风力机械行业会议上把大型风电和中小型风电区分出来分别对待。

(1) 大型风电技术。大型风电技术起源于丹麦、荷兰等一些欧洲国家,由于当地风能资源丰富,风电产业受到政府的助推,大型风电技术和设备的发展在国际上遥遥领先。目前我国政府也开始助推大型风电技术的发展,并出台一系列政策引导产业发展。大型风力发电机组应用区域对环境的要求十分严格,都是应用在风能资源丰富的资源有限的风场上,常年接受各种各样恶劣的环境考量,环境的复杂多变性,对技术的高度要求就直线上升。目前国内大型风电技术普遍还不成熟,大型风电的核心技术仍然依靠国外,此外,大型风电技术中发电并网的技术还在完善,一系列的问题还在制约大型风电技术的发展。

(2) 中小型风电技术。在20世纪70年代,中小型风电技术在我国风况资源较好的内蒙古、新疆一带就已经得到了发展,最初中小型风电技术被广泛应用在送电到乡的项目中,为一家一户的农牧民家用供电,随着技术的更新不断的完善与发展,已被广泛应用于分布式独立供电。这些年来随着我国中小型风电设备出口的稳步提升,在国际上,我国的中小型风电技术已跃居国际领先地位。

中小型风电技术成熟,受自然资源限制相对较小,作为分布式独立发电效果显著,不仅可以并网,而且还能结合光电构成更稳定可靠的风光互补技术,况且技术完全自主国产化,无论技术还是价格在国际上都十分具有竞争优势。

目前在国内中小型风电技术中,低风速启动、低风速发电、变桨矩、多重保护等一系列技术得到国际市场的瞩目和国际客户的一致认可,已处于国际领先地位。况且中小型风电技术最终是为满足分布式独立供电的终端市场,而非如大型风电技术是满足发电并网的国内垄断性市场,技术的更新速度必须适应广阔而快速发展的市场需求。

小型风力发电机多用于无市电的偏远地区。一般小型风力发电机使用蓄电池储能,先用整流器将发电机的交流电变成直流电向蓄电池充电,然后用逆变器将蓄电池的直流电转换成交流电,供给负载。整流器和逆变器可以做成两个装置,也可以合为一体。

多年的风力发电机运行表明,风力发电机的逆变器所要着重解决的是可靠性及寿命,而不是技术性能指标。风力发电机用的逆变器所面临的负载不像一般通信和计算机设备,它必须能保证常年不断的使用,又要承受风速、负载变化的冲击。目前小型风力发电机用逆变器虽已比较完善,但是在实际应用中仍然存在一些技术难题。

目前最好的小型风力发电机只保留了三个运动部件(运动部件越少越可靠已是大家的共

识),一是风轮驱动发电机主轴旋转;二是尾翼驱动风机的机头偏航,三是为大风限速保护而设的运动部件。前两个运动部件是不可缺少的,这也是风力发电机的基础,实践中这两个运动部件故障率并不高,主要是限速保护机构损坏的情况多。要彻底解决小型风力发电机的可靠性问题必须在限速方式上有较好的解决方法。

2. 风力发电的优势

风能是没有公害的能源之一,而且它取之不尽,用之不竭。对于缺水、缺燃料和交通不便的沿海岛屿、草原牧区、山区和高原地带,可因地制宜地利用风力发电。风能作为一种清洁的可再生能源,越来越受到世界各国的重视。每装一台单机容量为1MW的风能发电机,每年可以减排2000t二氧化碳、10t二氧化硫、6t二氧化氮。风能产生1MWh的电量可以减少0.8~0.9t的温室气体,而且风机不会危害鸟类和其他野生动物。在常规能源告急和全球生态环境恶化的双重压力下,风能作为一种高效清洁的新能源有着巨大的发展潜力。

风力发电是面向未来最清洁的能源之一,风力发电不消耗资源、不污染环境,具有广阔的发展前景,建设周期短。中小型风电技术在发电方式上还有多样化的特点,既可联网运行,也可和柴油发电机等组成互补系统或独立运行,这对于解决边远无电地区的用电问题提供了现实可能性。

风电技术日趋成熟,产品质量可靠,可用率已达95%以上,已是一种安全可靠的能源,风力发电的经济性日益提高,发电成本已接近煤电,低于油电与核电,若计及煤电的环境保护与交通运输的间接投资,则风电经济性将优于煤电。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、边疆来说,中小型风电技术可作为解决生产和生活能源的一种有效途径。

1.1.3 风力发电系统构成

把风的动能转变成机械能,再把机械能转化为电能,这就是风力发电。风力发电技术是一项多学科、可持续发展的、绿色环保的综合技术。风力发电所需要的装置称作风力发电机组。风力发电机组主要由两大部分组成:风力机部分将风能转换为机械能;发电机部分将机械能转换为电能。根据风力发电机这两大部分采用的不同结构类型、采用技术的不同特征,以及它们的不同组合,风力发电机组可以有多种多样的分类。风力发电机组主要由风轮、传动与变速机构、发电机、塔架、迎风及限速机构组成。大型风力发电机组发出的电能直接并到电网,向电网馈电;小型风力发电机一般将风力发电机组发出的电能用储能设备储存起来(一般用蓄电池),需要时再提供给负载(可直流供电,亦可用逆变器变换为交流供给用户)。

(1) 风轮。风轮是把风的动能转变为机械能的重要部件,它由两只(或更多只)螺旋桨形的叶轮组成。当风吹向桨叶时,在桨叶上产生气动力驱动风轮转动。桨叶的材料要求强度高、质量轻,目前多用玻璃钢或其他复合材料(如碳纤维)来制造。

风轮是集风装置,它的作用是把流动空气具有的动能转变为风轮旋转的机械能。一般风力发电机的风轮由2个或3个叶片构成。在风的吹动下,风轮转动起来,使空气动力能转变成了机械能(转速+扭矩)。风轮的轮毂固定在发电机轴上,风轮的转动驱动了发电机轴旋转,带动三相发电机发出三相交流电。

(2) 调向机构。调向机构是用来调整风力机的风轮叶片与空气流动方向相对位置的机构,其功能是使风力发电机的风轮随时都迎着风向,从而能最大限度地获取风能。因为当风轮叶片旋转平面与气流方向垂直时,也即是迎着风向时,风力机从流动空气中获取的能量最大,因而风力机的输出功率最大,所以调向机构又称为迎风机构(国外通称偏航系统)。小型水平轴

风力机常用的调向机构有尾舵和尾车。

(3) 发电机。在风力发电机中,已采用的发电机有3种,即直流发电机、同步交流发电机和异步交流发电机。风力发电机的工作原理比较简单,风轮在风力的作用下旋转,它把风的动能转变为风轮轴的机械能。发电机在风轮轴的带动下旋转发电。容量在10kW以下的小型风力发电机组,采用永磁式或自励式交流发电机,经整流后向负载供电及向蓄电池充电。

(4) 升速齿轮箱。由于风轮的转速比较低,而且风力的大小和方向经常变化着,这又使转速不稳定;所以,在带动发电机之前,还必须附加一个把转速提高到发电机额定转速的变速齿轮箱,再加一个调速机构使转速保持稳定,然后再连接到发电机上。升速齿轮箱作用是将风力机轴上的低速旋转输入转变为高速旋转输出,以便与发电机运转所需要的转速相匹配。

(5) 塔架。塔架是支承风轮、尾舵和发电机的构架,它一般比较高,以捕捉更多的风能,以获得较大的和较均匀的风力,又要有足够的强度。塔架的高度视地面障碍物对风速影响的情况,以及风轮的直径大小而定,一般在6~20m范围内。

(6) 控制系统。风力发电机组皆配有控制系统来实现控制、自检和显示等功能。控制系统主要功能如下:

1) 按预先设定的风速值(一般为3~4m/s)自动启动风力发电机组,并通过软启动装置将异步发电机并入电网。

2) 借助各种传感器自动检测风力发电机组的运行参数及状态,包括风速、风向、风力机风轮转速、发电机转速、发电机温升、发电机输出功率、功率因数、电压、电流、齿轮箱轴承的油温、液压系统的油压等。

3) 当风速大于最大运行速度(一般设定为25m/s)时实现自动停机。

4) 故障保护。

5) 通过调制解调器与上位机连接。

风力发电系统还设计有电磁制动、变桨距等多种转速控制技术以及手动刹车系统,机械制动与电磁停车共同作用可以保障系统安全运行。

1.2 太阳能光伏发电系统

1.2.1 我国太阳能资源

1. 太阳能

太阳的基本结构是一个炽热气体构成的球体,主要由氢和氦组成,其中氢占80%,氦占19%。太阳能是太阳内部连续不断的核聚变反应过程产生的能量。地球轨道上的平均太阳辐射强度为 1367kW/m^2 。地球赤道的周长为40 000km,从而可计算出,地球获得的能量可达173 000TW。在海平面上的标准峰值强度为 1kW/m^2 ,地球表面某一点24h的年平均辐射强度为 0.20kW/m^2 ,相当于有102 000TW的能量,人类依赖这些能量维持生存,其中包括所有其他形式的可再生能源(地热能资源除外)。虽然太阳能资源总量相当于现在人类所利用能源的一万多倍,但太阳能的能量密度低,而且它因地而异,因时而变,这是开发利用太阳能面临的主要问题。太阳能的这些特点会使它在整个综合能源体系中的作用受到一定的限制。

地球上的风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能以及部分潮汐能都是来源于太阳,