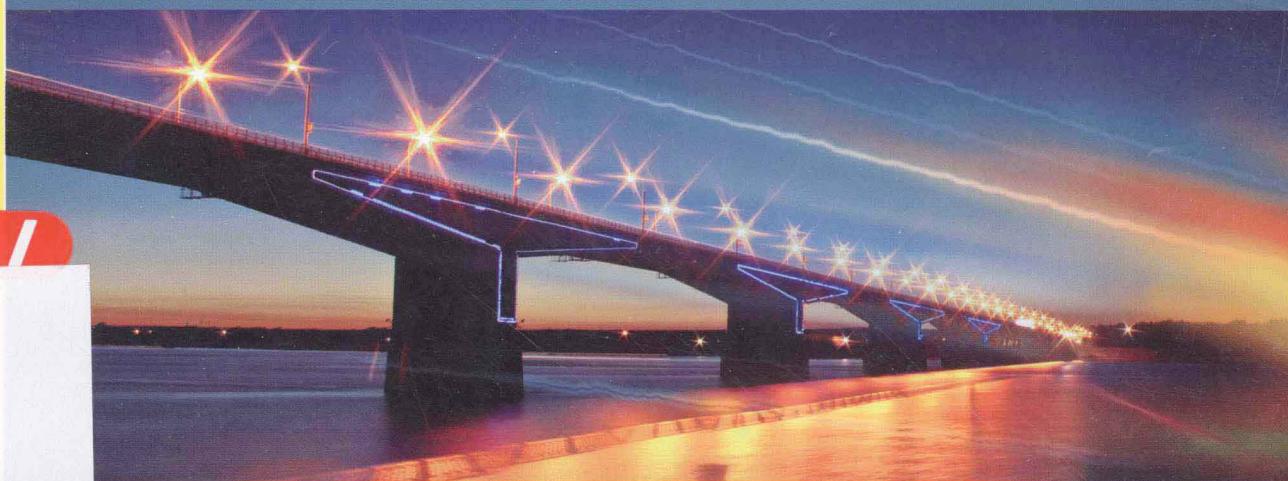


电子工程技术丛书

新能源LED路灯 设计与工程应用

● 周志敏 纪爱华 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电子工程技术丛书

新能源 LED 路灯设计 与工程应用

周志敏 纪爱华 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书结合我国绿色照明工程计划和国内新能源发电技术与LED照明技术的发展动态及最新应用技术,全面系统地阐述了新能源LED路灯的最新设计与应用技术,包括新能源LED路灯基础知识、新能源LED路灯蓄能与控制技术、新能源LED路灯灯头设计、新能源LED路灯工程设计、新能源LED路灯安装调试及维护等内容。本书题材新颖实用,内容丰富,深入浅出,文字通俗,具有很高的实用价值,是从事新能源LED路灯研发、应用和维护的工程技术人员必备读物。

本书可供从事新能源LED路灯研发、设计、生产、应用与维护的工程技术人员及相关专业高等院校、职业技术学院的师生阅读参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

新能源LED路灯设计与工程应用 / 周志敏, 纪爱华编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.7

(电子工程技术丛书)

ISBN 978-7-121-20585-9

I. ①新… II. ①周… ②纪… III. ①发光二极管—路灯线路—设计 IV. ①TN383

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第116460号

策划编辑: 富 军

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14 字数: 358.4千字

印 次: 2013年7月第1次印刷

印 数: 4000册 定价: 39.00元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

太阳能、风能作为可再生能源是非常理想的清洁能源。近年来由于人们对能源、环境问题的日益关注,太阳能、风能的应用越来越受到人们的重视。合理地利用太阳能、风能将为人类提供充足的能源。对太阳能、风能技术而言,照明应用并非是其最主要的应用领域,也不是最能体现其应用优势的领域,但就其作为能源的表现形式来说,太阳能、风能在照明领域的应用是最直观的。而在当前技术水平下,太阳能、风能技术作为能源的高成本、低效率问题是不容回避的,特别是在单体照明应用中,若不与 LED 技术相结合,按照常规设计太阳能、风能照明系统,往往要面对系统变换效率低及经济效益不佳等问题。因 LED 具有低能耗、直流工作等优势,成为配合新能源路灯照明光源的理想产品。就目前技术和政策而言,在我国最有希望快速普及应用太阳能、风能发电技术的领域,应是新能源 LED 路灯照明领域。

LED 是一种可将电能转变为光能的半导体发光器件,属于固态光源。LED 优点众多,不仅寿命长、耗能低,而且控制极为方便,属于典型的绿色照明光源。随着大功率白光 LED 的研发成功,使得 LED 在照明领域得以推广应用,使照明技术面临一场新的革命。在通用照明领域,LED 照明灯具有体积小、重量轻、方向性好、节能、寿命长、耐各种恶劣环境条件等优点,LED 照明光源必将对传统的照明光源市场带来冲击,成为一种很有竞争力的新型照明光源。LED 作为新型固态绿色光源与新能源发电技术结合应用于路灯领域,是可再生能源与高新固态绿色光源的结合,与其他电能变换技术和照明技术相比更加符合产业政策及推广应用的市场。

本书紧紧围绕我国“十二五”能源规划的方针政策和“中国绿色照明工程”的宗旨,系统地把新能源发电技术与 LED 照明工程的应用技术有机地结合起来,在写作中尽量做到有针对性和实用性,在保证科学性的同时,注重通俗性。力求做到通俗易懂和结合实际工程应用,使得从事新能源 LED 路灯的开发、设计、应用的工程技术人员从中获益。读者可以此为“桥梁”,系统地全面了解和掌握新能源 LED 路灯的设计和最新应用技术。

本书由周志敏、纪爱华编著,参加本书编写的还有周纪海、刘建秀、顾发娥、纪达安、刘淑芬、纪和平、纪达奇等,本书在写作过程中无论从资料的收集还是技术信息交流上都得到了国内的专业学者和同行及新能源 LED 路灯制造商的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间短,加之作者水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编著者

第 1 章 新能源 LED 路灯基础知识	1
1.1 风能资源及小型风力发电机	1
1.1.1 风能特性	1
1.1.2 小型风力发电机特性	6
1.2 太阳能资源及太阳能电池	20
1.2.1 我国太阳能资源分布特点	20
1.2.2 太阳能电池原理	24
1.2.3 硅太阳能电池分类	35
1.3 新能源 LED 路灯构成	40
1.3.1 太阳能 LED 路灯构成	40
1.3.2 风光互补 LED 路灯的构成	43
第 2 章 新能源 LED 路灯蓄能与控制技术	46
2.1 蓄电池分类及工作原理	46
2.1.1 蓄电池分类及技术指标	46
2.1.2 蓄电池的工作原理	52
2.2 VRLA 蓄电池的充放电特性	55
2.2.1 VRLA 蓄电池的充电特性	55
2.2.2 VRLA 蓄电池的放电特性	60
2.3 胶体铅酸蓄电池	61
2.3.1 胶体铅酸蓄电池的结构及优缺点	61
2.3.2 两类 VRLA 蓄电池的比较	64
2.4 新能源 LED 路灯控制技术	67
2.4.1 光伏控制器工作原理及保护功能	67
2.4.2 光伏控制器的控制策略	69
2.4.3 太阳能 LED 路灯控制器硬件结构及控制软件	74
2.4.4 EPDC 型太阳能电源双路输出控制器	78
2.4.5 风光互补 LED 路灯控制器	82
第 3 章 新能源 LED 路灯灯头设计	91
3.1 大功率 LED 光源及 LED 模组光源	91
3.1.1 大功率 LED 光源	91
3.1.2 LED 模组光源	96

3.1.3	LED 模组光源的优势	98
3.2	新能源 LED 路灯热设计	99
3.2.1	新能源 LED 路灯热设计基础	99
3.2.2	LED 热衬结构性能分析	103
3.2.3	LED 灯具热设计要素	107
3.3	新能源 LED 路灯灯具及安全设计	112
3.3.1	新能源 LED 路灯灯具设计	112
3.3.2	新能源 LED 路灯安全设计	123
第 4 章	新能源 LED 路灯工程设计	137
4.1	新能源 LED 路灯设计原则及方法	137
4.1.1	新能源 LED 路灯设计原则	137
4.1.2	新能源 LED 路灯光伏发电部分设计方法	139
4.1.3	新能源 LED 路灯风力发电部分设计方法	144
4.1.4	新能源 LED 路灯蓄电池组的匹配设计	147
4.2	新能源 LED 路灯设计步骤与实例	150
4.2.1	新能源 LED 路灯设计步骤	150
4.2.2	新能源 LED 路灯系统设计实例	158
4.3	道路 LED 照明的方案设计	163
4.3.1	道路照明要素	163
4.3.2	道路照明规划设计	166
第 5 章	新能源 LED 路灯安装调试及维护	182
5.1	新能源 LED 路灯安装	182
5.1.1	新能源 LED 路灯选址及基础施工	182
5.1.2	新能源 LED 路灯安装	186
5.2	新能源 LED 路灯调试及工程验收	193
5.2.1	新能源 LED 路灯的系统调试	193
5.2.2	太阳能 LED 路灯调试	195
5.2.3	风光互补 LED 路灯调试	201
5.2.4	新能源 LED 路灯工程验收	205
5.3	新能源 LED 路灯运行管理与维护	207
5.3.1	新能源 LED 路灯运行管理	207
5.3.2	新能源 LED 路灯的维护	211
参考文献		216

第 1 章

新能源 LED 路灯基础知识

1.1 风能资源及小型风力发电机

1.1.1 风能的特性

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。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后到达地球表面，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；由于地球自转、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，压力减小，形成低气压区，这时空气从高压区向低气压区流动，就产生了风，也就是说风能源来自于太阳能。

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，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。它是地球水能的 10 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. 风的变化

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, 风速因高度、地面的平坦度、地表粗糙度以及风通道上的气温变化不同, 特别是受地表粗糙度的影响最大。从地球表面到 10000m 高空, 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, 常用的计算风速随高度变化的公式有如下两个。

指数公式:

$$v=v_1(h/h_1)^n \quad (1-1)$$

对数公式:

$$v=v_1 \lg(h/h_0)/\lg(h_1/h_0) \quad (1-2)$$

式中, v_1 为高度 h_1 处的风速; 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 取值较小, 反之, n 取值较大。

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。

对于第一种风向的变化状况, 如制成风向玫瑰图 (风向频度), 便可清楚地看出风向的大致趋势, 如图 1-1 所示。一般采用年平均风速时间曲线 (表示一地方一年中各种风速小时数) 来记录风速, 如图 1-2 所示。

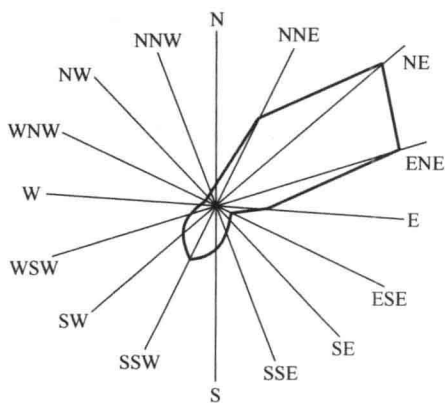


图 1-1 风向玫瑰图

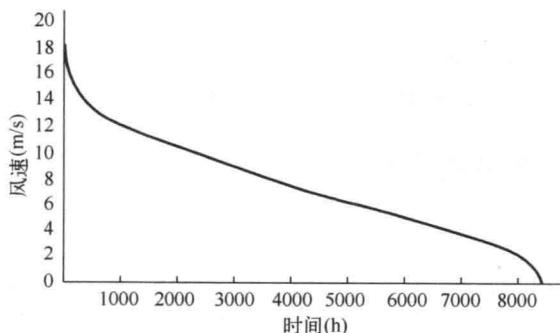


图 1-2 年平均风速时间曲线

3. 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:指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:指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。

4. 风能

风能就是空气的动能,是指风所负载的能量,风能的大小取决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 174 423 000 000 000kW,换句话说,地球每小时接受了 $1.74 \times 10^{17} \text{W}$ 的能量。风能占太阳提供总能量的 1%~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是生物能的 50~100 倍。著名的风能公式为:

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

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)。

它是风能利用中常用到的公式,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。对于风力发电机而言,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 (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,这些可以从相关的资料中查到。

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

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

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

如果风力发电机的风轮直径为 D ，则：

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (1-5)$$

则：

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \times \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{8} \rho D^2 v^3 \quad (1-6)$$

若有效风速时间为 t ，则在时间 t 内的风能为：

$$E = P \cdot t = \frac{\pi}{8} \rho D^2 v^3 t \quad (1-7)$$

由式 (1-7) 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。一般来说，一定高度范围内的空气密度可以认为是一个常数。因此，当风力发电机的风轮越大，有效风速时间越长，特别是风速越大，则风力发电机所能获得的风能就越大。

表征一个地点的风能资源，要看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，对于风力发电机来说，风能密度是指风轮扫过单位面积的风能，即：

$$W = \rho A = 0.5 \rho v^3 \quad (\text{W/m}^2) \quad (1-8)$$

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：

$$\bar{W} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \rho v^3 dt \quad (1-9)$$

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：

$$W_{\text{年(月)}} = \frac{W_1 t_1 + W_2 t_2 + \cdots + W_n t_n}{t_1 + t_2 + \cdots + t_n} \quad (1-10)$$

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能密度 (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)。

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

$$W = 0.5 \rho v^3 \quad (1-11)$$

推动风力发电机运转的风能功率是：

$$P_1 = 0.5 \rho v^3 A \quad (1-12)$$

式中， ρ 为空气质量密度 (kg/m^3)； v 为风速 (m/s)； A 为风力发电机叶轮扫过的面积 (m^2)。

因风力发电机不可能将桨叶旋转的风能全部转变为轴输出的机械能，因而风轮的实际功率为：

$$P = 0.5 \rho v^3 A C_p \quad (1-13)$$

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。

以水平轴风力发电机为例，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。

风力发电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，风力发电机不可能始终在额定风速下运

行。因此风力发电机就有一个工作风速范围，即从切入风速到切出风速，称为工作风速，即有效风速，以此计算的风能密度称为有效风能密度。

5. 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 3~20m/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 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
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 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。

6. 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，具有明显的优点，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。

1.1.2 小型风力发电机特性

1. 小型风力发电机分类

小型风力发电机的效率很高，但它不是由一个发电机组成的，而是一个有一定科技含量的小系统：风力发电机+控制器+蓄能装置。风力发电机由发电机、转体、尾翼、叶片组成。每一部分都很重要，各部分功能为：叶片用来接受风力并通过发电机将风能转换为电能；尾翼使叶片始终对着来风的方向从而获得最大的风能；转体能使发电机灵活地转动以实现尾翼调整方向的功能；小型发电机的转子通常采用永磁体，转子旋转使定子绕组切割磁力线产生电能。

小型风力发电机按其设计的方式与结构可分为垂直轴风力发电机（VAWT）和水平轴风力发电机（HAWT）两种。水平轴风力发电机的转动轴与风向平行，大部分水平轴风力发电

机其叶片会随风向变化，从而必须不断调整位置，因此较易受地形、地物的影响。垂直轴风力发电机的转动轴与风向垂直，其优点为设计较简单，不必随风向改变而调整方向，可分为打蛋形转子（Darrieus）和桶形转子（Savonius）等。垂直轴风力发电机与水平轴风力发电机比较见表 1-3。

表 1-3 垂直轴风力发电机与水平轴风力发电机比较

	VAWT（垂直轴式）	HAWT（水平轴式）
设计理念	陀螺式旋转，不随风向改变轴心	需有尾翼以随风向变化而转动风车
优点	启动风速低、发电不受地形影响、噪声小、安全、使用寿命长	高速时发电效率较高
缺点	转速相对较慢、设计较复杂、制造成本较高	对启动风速要求较高、噪声大、对地形风敏感、无法克服不定风向问题、尾翼轴随风向变化易损坏、装置成本高
配件材料	经过无铬达克罗防腐环保技术处理	热镀锌
适用场所	无论都会区、郊区、沿海区、山区皆可适用	多适用于空旷无遮蔽物的大型空间
小结	垂直轴风力发电机不受风向改变的影响，能随时接收来自四面八方的风	一般水平轴风力发电机必须随风向的改变而不断转动方向

2. 水平轴风力发电机

风轮轴线的安装位置与水平面夹角不大于 15° 的风力发电机称为水平轴风力发电机，水平轴风力发电机的风轮围绕一个水平轴旋转，风轮轴与风向平行，风轮上的叶片是径向安置的，与旋转轴相垂直，并与风轮的旋转平面成一角度（称为安装角）。水平轴风力发电机叶片如图 1-3 所示。

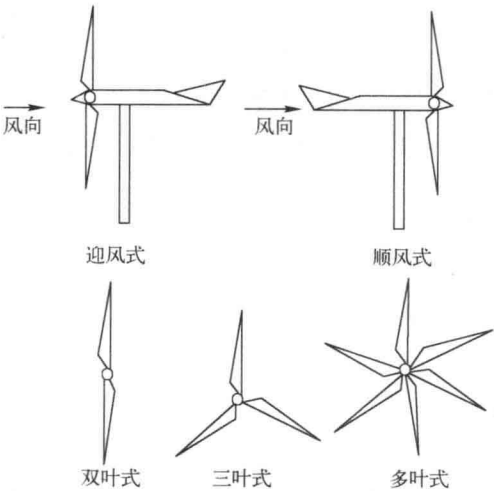


图 1-3 水平轴风力发电机叶片

水平轴风力发电机可以是升力装置（即升力驱动风轮），也可以是阻力装置（即阻力驱动风轮），大多数水平轴风力发电机具有对风装置，对于小型风力发电机，一般采用尾舵。水平轴风力发电机有传统风车、低速风力发电机及高速风力发电机 3 大类型。水平轴风力发电机的主要技术指标参数如下。

（1）风轮直径：通常风力发电机的功率越大，直径越大。

- (2) 叶片数目：高速风力发电机的叶片为 2~4 片，低速风力发电机的叶片大于 4 片。
- (3) 叶片材料：现代风力发电机叶片采用高强度低密度的复合材料。
- (4) 风能利用系数：一般为 0.15~0.5。
- (5) 启动风速：一般为 3~5m/s。
- (6) 停机风速：通常为 15~35m/s。
- (7) 输出功率：现代小型风力发电机一般为几百瓦到几千瓦。
- (8) 发电机：分为直流发电机和交流发电机。
- (9) 塔架高度。

水平轴风力发电机的式样很多，有的具有反转叶片的风轮，有的水平轴风力发电机在风轮周围产生旋涡，集中气流，增加气流速度。采用创新技术设计的 FD 系列小型水平轴风力发电机具有以下优点：

(1) 大大降低风力发电机的启动阻力，风速为 2m/s 时即可启动，国内外较好水平为 3.5~4m/s 启动。

(2) 采用水平轴技术，降低发电机运行中的各种机械损耗和电磁损耗，使相同风速下的发电功率提高近 20%，尤其是低风速时的发电功率提高明显。

(3) 采用水平轴技术降低发电机的各种损耗后，使用寿命也大为延长。

(4) 风力发电机外壳选用高强度铝合金经“精密压铸”工艺制造，重量轻，强度高，不生锈，耐腐蚀和耐盐雾。

(5) 发电机采用高效耐高温材料，定子组件又经真空浸漆工艺处理，使绝缘性能及使用寿命大为提高。

(6) 风轮经空气动力学优化软件精心设计，风能利用率高，运行噪声小。叶轮经动平衡处理，确保运行时安静平稳。叶片采用先进的高分子复合材料，具有良好的强度及韧性，重量轻，不变形。其抗拉强度、使用寿命及一致性远高于木质叶片、玻璃纤维叶片及塑料叶片。

(7) 整机采用防锈处理，所有发电机外部紧固件均为不锈钢制品。在多雨及盐雾地区的使用寿命大为改观。

(8) 结构简单，无需专业知识，只需普通工具，进行简单操作，即可完成安装调试工作。

(9) FD 系列风力发电机的控制器采用智能控制，对蓄电池的正常充电、过充、过放等各种状态具有指示功能和自动保护功能，并在风力发电机空载时自动刹车，以防止意外飞车。

3. 垂直轴风力发电机

垂直轴风力发电机的风轮不随风向改变而调整方向，垂直轴风力发电机的风轮围绕一个垂直轴旋转，风轮轴与风向垂直。其优点是可以接受来自任何方向的风，因而当风向改变时，无需对风。由于不需要调向装置，使它的结构设计简化。垂直轴风力发电机的另一个优点是齿轮箱和发电机可以安装在地面上，便于维修。

垂直轴风力发电机常见的结构有“S”型风轮、达里厄（Darrieus）式风轮和旋翼式风轮三种，如图 1-4 所示。S 型风轮由两个轴线错开的半圆柱形叶片组成，其优点是启动转矩较大，缺点是运行时围绕着风轮产生不对称气流，从而对它产生侧向推力。对于较大型的风力发电机，因为受偏转与安全极限应力的限制，采用这种结构形式是比较困难的。

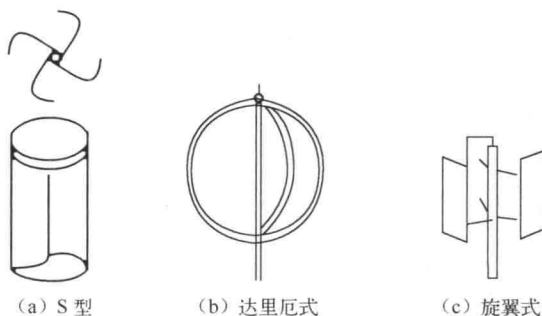


图 1-4 垂直轴风力发电机

达里厄（Darrieus）式风力发电机是利用翼型的升力做功，是水平轴风力发电机的主要竞争者。达里厄式风力发电机有多种形式，基本上是直叶片和弯叶片两种。达里厄式风力发电机由于其受风面积小，相应的启动风速较高，一直未得到大力发展，我国也在前几年做了一些尝试，但效果始终不理想。

旋翼式风力发电机从理论上讲，它可以不像水平轴风力发电机那样要求有迎风装置，但它同样存在超过工作速度需要限速的问题。为了限速，其机构必然复杂，其结构简单的优越性就不复存在了。该风力发电机由于一些技术难题仍未得到解决，因此目前还没有进入实际应用阶段。

目前，研发的H型风力发电机与科技的发展特别是计算机技术的发展密切相关，由于H型垂直轴风力发电机的设计需要大量的空气动力学计算以及数字模拟计算，采用人工的方法计算一次至少需要几年的时间，而且不是一次计算就能得到正确的结果，所以在计算机还不是很发达的年代，人们根本无法完成这一设计构思。

H型垂直轴风力发电机采用空气动力学原理，针对垂直轴旋转的风洞模拟，叶片选用了机翼形状，在风轮旋转时，它不会因变形而改变效率；它由垂直轴线的4~5个叶片组成，叶片由4角形或5角形的轮毂固定，并由连接叶片的连杆组成风轮。由于此种设计结构采用了特殊空气动力学原理、三角形向量法的连接方式及直驱式结构，使得风轮的受力主要集中于轮毂上，因此抗风能力较强；此种设计的特性还体现在对周围环境的影响上，具有运转时无噪声及电磁干扰小等特点，使得H型垂直轴风力发电机的优越性非常明显。H型风力发电机风轮的转速上升速度提高较快（力矩上升速度快），驱动发电机的发电功率上升速度也相应变快，发电曲线变得饱满。

目前，生产H型风力发电机产品最多的是日本，英国、加拿大等国也在研制中，这些国家的大部分产品在风轮设计中采用平行连接杆，这种方式对发电机输出轴要求较高，并且结构相对复杂，现场安装程序也偏多。另外，从力学方面分析，H型风力发电机的功率越大、叶片越长、平行杆的中心点与发电机轴的中心点距离越长，抗风能力就越差，因此，采取三角形向量法的连接方式，可弥补上述的一些缺点。

4. 风力发电机输出特性

具有固定桨距的水平轴风轮产生的扭矩随风速和转速变化，如果叶片的旋转速度太低，叶片将失速，风轮输出的扭矩下降，因此为了从气流中取得最大功率输出（当气流速度变化时），

必须改变叶片的桨距角或叶片的转速,现在很多风力发电机的风轮都设计成变桨距叶片。

风力发电机的风轮转速若随风速改变,可从空气中取得最大功率,但对于由风轮驱动的发电机而言,这并不是最佳的。优化设计的解决方法是允许风轮转速随风速变化,同时使用变速恒频发电机,以得到所需恒定频率的电能。风力发电机输出功率曲线如图 1-5 所示,其中 V_C 为启动风速, V_R 为额定风速,此时风力发电机输出额定功率, V_P 为截止风速。

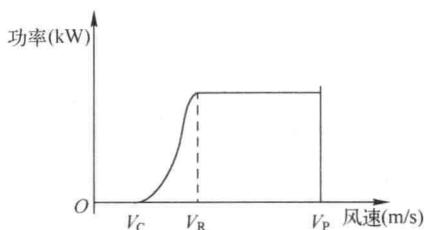


图 1-5 风力发电机输出功率曲线

当风速小于启动风速时,风力发电机不能转动。风速达到启动风速后,风力发电机开始转动,带动发电机发电,输出电能供给负载以及给蓄电池充电。当蓄电池组端电压达到设定的最高值时,反馈的电压信号使控制系统进入稳压闭环控制,既保持对蓄电池充电,又不致使蓄电池过充。在风速超过截止风速时,风力发电机通过机械限速机构使风力发电机在一定转速下限速运行或停止运行,以保证风力发电机不致损坏。

普通风力发电机至少需要 3m/s 的风速才能启动, 3.5m/s 的风速才能发电,一定程度上限制了小型风力发电机在我国很多地区的应用。而采用全永磁悬浮风力发电机,由于使用微摩擦、启动转矩小的磁悬浮轴承,在 1.5m/s 的微弱风速下就能启动, 2.5m/s 的风速就能发电,能效提高约 20%,能广泛应用于全国 80% 的地区。经中国机械工业风力发电机械产品质量监督检测中心检测,全永磁悬浮风力发电机组的启动转矩已降至国家标准的 1/12 左右,启动风速降低了 57.14%,切入风速降低了 23.81%,额定功率提高了 20.57%。

5. 风力发电机的输出功率

风力发电机的额定输出功率是配合特定的额定风速而设定的,由于能量与风速的立方成正比,因此,风力发电机的功率随风速变化会很大。同样构造和风轮直径的风力发电机可以配不同功率的发电机。因此两同样构造和风轮直径的风力发电机可能有不同的额定输出功率值,这取决于它的设计是配合强风地带(配较大型发电机)还是弱风地带(配较小型发电机)。

发电机的额定功率是指发电机在额定转速下输出的功率。由于风速不是一个稳定值,因而发电机转速会随风速而变化,因此输出功率也会随风速变化。当风速低于设计风速时,发电机的实际输出功率将达不到额定值;当风速高于设计风速时,实际输出功率将高于额定值。当然,由于风力发电机的限速和调速装置及发电机本身设计参数的限制,发电机的输出功率不会无限增大,只能在某一范围内变动。

在风速很低时,风力发电机的风轮会保持不动。当达到切入风速时,风轮开始旋转并牵引发电机发电。随着风力越来越强,输出功率会增加。当风速达到额定风速时,风力发电机会输出其额定功率,之后输出功率会保持大致不变。当风速进一步增加,达到切出风速时,风力发电机会刹车,不再输出功率,以免损坏风力发电机。

风力发电机的性能可以用功率曲线来表示,如图 1-6 所示。功率曲线显示了风力发电机在不同风速下(切入风速到切出风速)的输出功率。

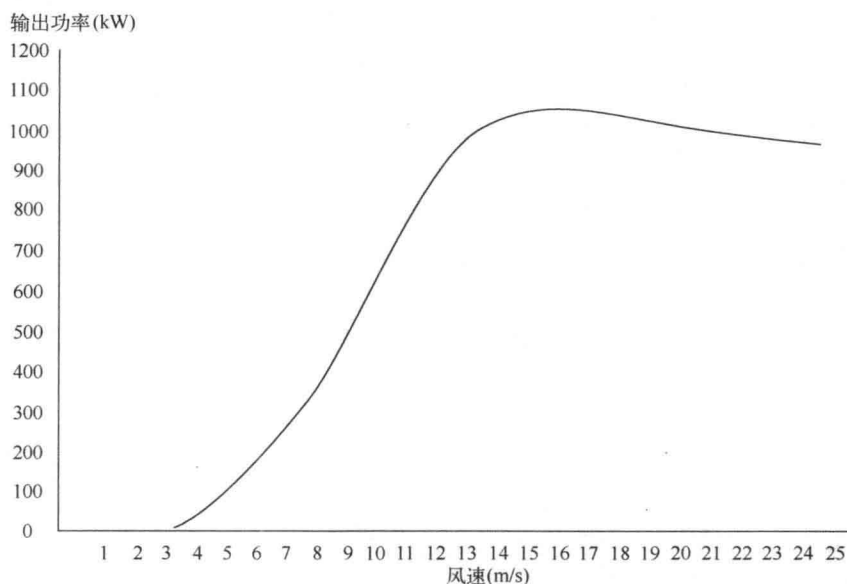


图 1-6 风力发电机功率曲线

6. 小型风力发电机组成

小型风力发电机适用于年平均风速在 3m/s 以上,全年 3~20m/s 有效风速累计时数 3000h 以上;全年 3~20m/s 平均有效风能密度在 $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上的地区。

小型水平轴风力发电机一般由以下几个部分组成:风轮、发电机、回转体、调速机构、调向机构(尾翼)等,其基本构造原理如图 1-7 所示。

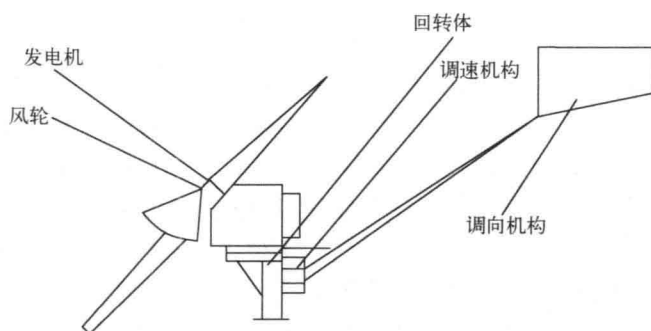


图 1-7 小型水平轴风力发电机组成

1) 风轮

风轮一般由叶片、轮毂、盖板、连接螺栓组件和导流罩组成,风轮是风力发电机最关键的部件,是它把空气动能转变成机械能。大多数小型风力发电机的风轮由 3 个叶片组成。风