国际电气工程先进技术译丛

PEARSON

风力发电技术与工程应用

Introduction to Wind Principles

（美） Thomas E. Kissell 著

刘其辉 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书特色

本书的特点可总结为以下几点：

- 内容系统、难度适中，系统地介绍了风力机的原理、类型、结构以及其他与风电相关的内容；
- 表述浅白、语言通俗，尤其适合风电场工作人员培训及风电技术的教学和普及；
- 资料详尽、图文并茂，方便读者学习风电基本知识的同时，扩展视野，增长见识。

本书为在风力发电领域工作的工程人员、科研人员、在校学生提供一本有价值的参考书。本书尤其适用于需要对风力发电进行系统和全面了解的有关人员，同时适合用于教学、培训等领域。



国际电气工程先进技术译丛

风力发电技术与工程应用

Introduction to Wind Principles

（美）Thomas E. Kissell 著

刘其辉 等译

机 械 工 业 出 版 社

本书几乎涵盖了大、中、小型风力发电机运行的各方面内容。本书采用大量生动的资料和通俗易懂的文字表达方式，以风力发电机为主线，对风力发电的过程、原理、技术、设备等方面进行了系统的介绍，内容涉及许多与风力发电有关的背景和知识。本书的主要内容包括：风能简介，风能资源与风力机选址，垂直轴及水平轴风力机的运行，风力机的性能，水平轴风力机的主要部件，发电机，齿轮箱与直驱系统，电网与风电并网，塔架的形式、设计与安全；风力机设备与风电场；风电机组的安装、故障诊断与维修，风力机的电气与电子基础知识。各章节均包括大量的照片、插图以及数据表格，各章节内容可根据具体需求和目的选用。本书的特点可总结为以下几点：①内容系统、难度适中，系统地介绍了风力机的原理、类型、结构以及其他与风电相关的内容；②表达浅白、语言通俗，尤其适合风电场工作人员培训及风电技术的教学和普及；③资源详尽、图文并茂，方便读者学习风电基本知识的同时，扩展视野，增长见识。

本书为在风力发电领域工作的工程人员、科研人员、在校学生提供一本有价值的参考书。本书尤其适用于需要对风力发电进行系统和全面了解的有关人员，同时适合用于教学、培训等领域。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Introduction to Wind Principles*, ISBN 9780132125338 by Thomas E. Kissell, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2011 by Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and CHINA MACHINE PRESS Copyright © 2014.

本书中文简体字版由培生教育出版公司授权机械工业出版社合作出版，未经出版者书面许可，不得以任何形式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education（培生教育出版集团）激光防伪标签。无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记　图字：01-2010-7529 号

图书在版编目（CIP）数据

风力发电技术与工程应用/（美）基赛尔（Kissell，T. E.）著；刘其辉等译. —北京：机械工业出版社，2014.8
（国际电气工程先进技术译丛）
书名原文：Introduction to wind principles
ISBN 978-7-111-47585-9

Ⅰ.①风…　Ⅱ.①基…②刘…　Ⅲ.①风力发电　Ⅳ.①TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 180010 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：付承桂　责任编辑：王　荣　版式设计：霍永明
责任校对：刘雅娜　封面设计：马精明　责任印制：李洋
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2014 年 10 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm·24.5 印张·489 千字
0001—2500册
标准书号：ISBN 978-7-111-47585-9
定价：88.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务		网络服务	
社服务中心：	（010）88361066	教材网：	http://www.cmpedu.com
销售一部：	（010）68326294	机工官网：	http://www.cmpbook.com
销售二部：	（010）88379649	机工官博：	http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：	（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**	

译 者 序

全球的能源危机与气候环境恶化是当今世界的两大难题，寻找替代常规发电方式的新能源发电技术已经成为当务之急，对于破解能源与环境难题具有重大的意义。风力发电是目前发展最迅速、技术成熟度最高、经济性最佳的一种新能源开发方式，得到了世界各国的普遍重视与积极发展。多年来，欧美等发达国家一直走在了风电发展的前列。进入21世纪以来，包括我国在内的一些国家的风电开始迅速发展，并逐渐改变了世界风电发展的格局。从2005年开始，我国的风电总装机容量连续5年实现翻番。2009年，中国以2580万kW的总累计装机容量超过德国，成为世界第二。2010年底，中国全年风力发电新增装机容量达到1600万kW，累计装机容量达到4182.7万kW，首次超过美国，跃居世界第一。从“量”上来看，我国的风电装机容量及风电设备制造业的规模在世界上已经名列前茅，但从“质”上来看，理论创新、设备制造、并网消纳等核心技术与世界先进水平还有相当大的差距。我国的风电产业要想取得健康、持续的快速发展，就应该充分考虑实际国情，力争“量”与“质”的均衡与协调发展，从基础理论、关键技术、人才培养、激励政策、市场与经济等多个方面全面提升。

近年来，针对国家对风电发展和研究的需求，有很多国外高水平风电专著被翻译出版，内容涉及建模、控制、优化、并网等多个方面，这些译著的出版对促进我国风电技术发展和人才培养起到了很好的推动作用。这些译著的一个共同特点是专注于风电某个方面，注重了“深度”而无暇顾及“广度”，这对专业人士和学者对风电进行深入研究固然有较大参考价值，但不适用于低年级学生、现场工作人员、跨领域技术人员等初学者或入门人员。风力发电系统是一个涵盖空气动力、机械、材料、电气与电子、控制、信息等多学科的复杂能量转换系统，在我国风电技术普及、教学和培训中，多年以来一直缺乏一本内容丰富、深度适中、系统全面的风电专（译）著。

由美国学者Thomas E. Kissell撰写的《Introduction of Wind Turbines》一书的翻译出版，将较好地解决上述需求和问题。本书几乎涵盖了大、中、小型风力发电机运行的各方面内容。本书采用大量生动的资料和通俗易懂的文字表达方式，以风力发电机为主线，对风力发电的过程、原理、技术、设备等方面进行了系统的介绍，内容涉及许多与风力发电有关的背景和知识。本书的主要内容包括：风能开发基本知识（第1章）；风能资源及风力机选址（第2章）；风力机的分类、原理与结构（第3、4、5章），以及发电机（第6章）；齿轮箱与直驱系统（第7章）；电网与风电并网（第8章）；风力机塔架类型及攀爬安全等（第9章）；风力机与风

电场（第10章）；风力机的安装与维护（第11章）；风力发电中的电气与电子基础（第12章）。各章节均包括大量的照片、插图以及数据表格，各章节内容可根据具体需求和目的选用。本书的特点可总结为以下几点：①内容系统、难度适中，系统地介绍了风力机的原理、类型、结构以及其他与风电相关的内容；②表述浅白、语言通俗，尤其适合风电场工作人员培训及风电技术的教学和普及；③资料详尽、图文并茂，方便读者在学习风电基本知识的同时扩展视野、增长见识。

翻译本书旨在将国外风电发展的情况和先进技术介绍给国内读者，为在风力发电领域工作的工程人员、科研人员、在校学生提供一本有价值的参考书。本书尤其适用于需要对风力发电进行系统和全面了解的有关人员，同时适合用于教学、培训等领域。需要指出的是，本书列举的实例是以美国为背景，而我国的能源、电网及风电发展特点与美国有很大不同。相对而言，我国发展风电面临的挑战更大。当然，本书论述的原理和技术同样适用于我国，值得国内读者很好地学习和借鉴。

本书初稿的翻译工作，由刘其辉及其所指导的研究生郭晓芸、侯桂欣、张雪莉、李赢、李建宁、齐桓若、韩贤岁共同完成。全书的统稿和审校工作由刘其辉完成，期间进行了反复校译和大量修改工作。在译作付梓之际，对机械工业出版社的付承桂编辑表示衷心的感谢，本书翻译加工过程中，她给予了大量帮助和建议，感谢她对该项工作的大力支持和理解！

本书翻译得到了新能源电力系统国家重点实验室（华北电力大学）自主研究课题和中央高校基本科研业务费专项资金（2014MS03）的支持和资助，也得到了华北电力大学学校和学院各级领导和老师的帮助，在此表示感谢。

由于译者水平所限，书中翻译错误和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

刘其辉
于华北电力大学
2014 年 5 月

原 书 前 言

本书涵盖了大、中、小型风力发电机运行的各方面内容。本书尤其适用于希望具备足够的风能知识以从事销售、安装、维修等风能技术工作的人员，通过本书的学习，不但可深入掌握风力机的安装与故障处理，而且还能够承担最复杂的风力机维护工作。本书从最基本的概念开始，由简入繁，图文并茂地解释了从叶片捕获风能到发电机将机械能转换为电能的完整过程与原理，内容包括用于偏航、变桨驱动的电气及液压系统，由传动链、齿轮箱构成的机械系统，以及实现电力变换及运行控制的电气与电子电路等。各章节中均包括大量的照片、插图以及数据表格。各章节内容可根据具体风力发电课程的需求单独或系统地采用。

章节组织

第 1 章概述了当前风力机的发展现状及发展历史，分析了美国及世界的工业、民用及商用电力负荷，论述了风能的绿色能源特性。此外，还介绍了风电融资以及当前风电项目的投资回收等内容。

第 2 章解释了风能物理特性，以及如何设计风力机以实现风能的高效转换。本章有助于学生掌握风能的所有变量参数并且能够进行风力机选址评估和风功率预测。

第 3 章介绍了垂直轴及水平轴风力机的运行原理，通过照片、插图讲述了每一种类型风力机的基本结构及其功能。通过详细论述风力机叶片的运行特性揭示了单叶片、双叶片、三叶片以及五叶片风力机的优缺点。

第 4 章讲述了风力机将风能转换为电能的原理、叶片的工作特性、不同风速下风力机的运行情况以及决定风力机最优性能的因素等内容。

第 5 章深入介绍了用于实现风能电能转换的叶片、转子、低速轴、齿轮箱、高速轴以及发电机的协调工作机理，包括实现风力机控制的偏航与变桨、用于液压及其他功能控制的可编程序控制器（PLC）、用于风力机桨叶节距控制及机械制动的比例与伺服液压控制。为了便于理解，本章提供了详细的 PLC 与液压器件的照片与插图。

第 6 章分析了交、直流电能的基本理论及交、直流电机的电磁原理。本章详细分析了同步发电机与异步发电机的运行特性，讲述了双馈发电机、永磁发电机及普通交流发电机的频率控制。通过本章的学习将为风力发电机的安装、故障诊断及维修奠定基础。

第 7 章详细介绍了齿轮箱、轴承和传动链，讲述了齿轮箱和轴承的类型与功能，分析了叶片/风轮与发电机传动轴的低、高速旋转变换关系。

第8章完整阐述了电网的基本知识，诠释了可实现电能更高效传输的“智能电网”概念，深入介绍了实现风力机与电网并网所需的开关设备与装置、用于连接风力发电机与变电站实现电能输配的地下电缆与架空线路。

第9章论述了独管式及桁架式塔架设计、水泥地基的设计与浇筑、塔架的竖立与维护。此外本章还包括塔架攀爬安全、超速安全以及防雷等方面的内容。

第10章概述了目前用于从单机应用到陆地、海上大型风电场等各种场合安装的风机，包括小型民用装置、商用装置以及大型风电场，以展示目前全球风电装机的现状。此外，还介绍了美国的十大风电场以及风电装机容量最大的州，并对其发展趋势进行了预测。

第11章介绍了安装与调试风力机的步骤、故障处理流程及特殊问题诊断，详细分析了传动链、发电机、电气、机械、PLC、液压故障的诊断方法。

第12章讲述了风力机电气部分所涉及的基本理论，包括交直流电能、三相/单相电能、有功功率、视在功率、功率因数、变压器、国家电力准则、交直流电机、基本整流/逆变电力电子技术。本章可为风力机电气部分的安装、故障处理与维修提供必要的电气知识储备。

致谢

感谢我的妻子Kathy这段时间对我的支持以及对保持本项目进度所给予的帮助。同时感谢我的女儿Kelly Starkey，她为本书术语部分作出了很多的工作。

感谢Terra社区学院的Kevin Walker、John Carpenter、Bruce Meyer、Denny Setzler、Jayne Bowersox和Kathy Elchert，他们在主题凝练、图片搜集以及初稿评价等方面给予了帮助。Terra社区学院的John Fellhauer、Curtis Stokes和Paul Schroeder在其开设的风能课程中选用了本书的部分内容并提供了反馈意见，对此向他们表示感谢。感谢俄亥俄州哥伦布Pearson高等教育的策划编辑Dan Trudden对本项目的帮助，他在本项目中给予了我莫大的指导，尤其感谢他对本书细节的关注以及为获取本书许可授权及图像资料等方面的帮助。同时也感谢Pearson高等教育的Wyatt Morris对于本书的帮助。

感谢俄亥俄州克林顿港SUREenergy & Fellhauer机械系统公司的John Fellhauer，为获取本文所需的背景信息和图像资料，他付出了大量的时间与精力，感谢他为本文提供的大量图片。

感谢为本书提供图、表资料及使用授权的下列人员及其公司：

Nova Lynx的Joseph R；

俄亥俄州草坪市P. E. 公共事业局副局长Paul G. Brock；

Boston Gear的David Brooksbank；

艾默生工业自动化输电解决市场交流部经理Jackie Catalano；

Power House Ltd. Quietrevolution Bill Currie的Steven Crosher与Philippa Rogers；

俄亥俄州克林顿港SUREenergy & Fellhauer机械系统公司的John Fellhauer；

西南风力公司图像技术支持 Michael French；

Harbor Freight Tools 总顾问 Marc Friedman；

Inventive Solutions，Solar，Wind and Environmental Technologies 的 John Gibney；

Parker Hannifin 公司铅印技术系统专家 Stephanie Havanas；

NKE AUSTRIA GmbH 的 Dick Scott 与市场部经理 Janet Mo；

Kidwind 的 Joe Rand；

北方电力系统的 CharlieVan Winkle、Chris McKay、Christoper Farage 与 Jim Stover；

Bosch Rexroth 公司的 Aaron Weida；

RM Young 公司的 Thomas Young。

感谢以下对本书进行审定的人员：

Iowa Lakes 社区学院的 Craig Evert；

Cuyahoga 社区学院的 Jim Heidenreich；

Highland 社区学院的 David Vrtol；

德克萨斯理工大学的 Richard P. Walker。

很多主题领域均与风能技术相关，并对其起到补充与支持作用，我愿意借助我正在撰写或刚脱稿的一些教科书来为学生与培训人员提供额外的参考。这些书目包括：太阳能的基本原理；工业电子、可编程序控制器的应用、测量仪表与控制、发电机及电动机控制；HVAC 电能、电子与控制系统；工业维修中的电气、液压与机械系统；工业维修中的电气与电子技术。

Thomas Kissell

目　　录

译者序
原书前言

第 1 章　风能简介 …… 1

1.1　风力机的基本结构与发电原理 …… 2
1.2　风能利用的历史 …… 5
1.3　风力机的分类 …… 7
1.4　风力机的技术规格 …… 11
1.5　风力机的标准与认证 …… 13
1.6　不间断电能供应的需求 …… 18
1.7　电力传输的制约因素 …… 19
1.8　美国的电力负荷 …… 20
1.9　美国总的日负荷 …… 23
1.10　最大负荷 …… 23
1.11　商业负荷与工业负荷 …… 24
1.12　民用负荷 …… 25
1.13　电网系统 …… 26
1.14　偏远地区的独立电源 …… 27
1.15　风能的环境和生态评估 …… 28
1.16　绿色能源技术的必要性 …… 28
1.17　风能的发展趋势 …… 29
1.18　风能的政策走向 …… 29
1.19　财政扶持和投资回报 …… 30
1.20　绿色能源投资回报期的计算 …… 31
1.21　风能的税赋考虑 …… 33
1.22　绿色技术岗位的技能需求 …… 35
1.23　风能产业的工作岗位 …… 36

第 2 章　风能资源与风力机选址 …… 42

2.1　风能的基本物理特性 …… 42
2.2　风的特性 …… 45

2.3 与风电系统相关的地理因素…… 46
2.4 风速变化…… 47
2.5 风速的季节变化和年度变化特性…… 47
2.6 风速的昼夜变化…… 47
2.7 紊流…… 48
2.8 阵风风速…… 48
2.9 极端风速…… 48
2.10 风速预测 …… 49
2.11 风场的尾流效应 …… 50
2.12 复杂地形引起的紊流 …… 52
2.13 根据需求选定风场装机容量 …… 52
2.14 如何确定一个地区的可利用风能 …… 54
2.15 影响风电的地方性法规 …… 55
2.16 风力机选址要求 …… 56
2.17 选定合适的风力机安装地点 …… 56

第 3 章 垂直轴及水平轴风力机的运行 …… 60

3.1 风力机叶片概述…… 60
3.2 风力机的类型…… 64
3.3 垂直轴风力机…… 67
3.4 水平轴风力机…… 69
3.5 叶片的几何设计…… 71
3.6 叶片的数量…… 71
3.7 叶片类型比较…… 74
3.8 单叶片、双叶片和三叶片风力机的优缺点…… 75

第 4 章 风力机的性能 …… 79

4.1 恒速运行…… 79
4.2 风力机叶片的转动原理…… 80
4.3 攻角和叶片节距角…… 80
4.4 叶片节距控制…… 80
4.5 变风速情况下风力机的运行…… 83
4.6 发电量估测…… 84
4.7 风力机测试…… 85
4.8 风力机的紊流问题…… 86
4.9 如何确定风力机的最佳性能…… 87

第 5 章 水平轴风力机的主要部件 …… 92

5.1 水平轴风力机概述…… 93
5.2 机舱和机舱底座…… 94
5.3 转子轮毂和叶片类型…… 95
5.4 叶片的数量…… 96
5.5 叶片节距控制…… 97
5.6 转速及其控制…… 99
5.7 叶片的独立变桨控制…… 99
5.8 基于负荷效率的节距控制 …… 100
5.9 偏航机构 …… 100
5.10 偏航驱动…… 101
5.11 偏航控制…… 101
5.12 偏航制动…… 102
5.13 数据采集和通信…… 102
5.14 风速计和风向仪…… 103
5.15 风力机监控和数据采集（SCADA）系统 …… 105
5.16 风力机控制系统…… 105
5.17 可编程序控制器（PLC）的基本原理…… 106
5.18 PLC 的输入与输出…… 111
5.19 PLC 模拟控制…… 113
5.20 基于 PLC 反馈控制的风力机控制 …… 115
5.21 基于 PLC 的功率控制 …… 116
5.22 叶尖速的优化…… 117
5.23 基于 PLC 的叶片转矩优化 …… 117
5.24 PLC 程序存储及永久性存储器…… 117
5.25 发电机励磁控制…… 118
5.26 液压控制…… 118
5.27 液压系统在风力机中的作用…… 118
5.28 液压泵…… 122
5.29 方向控制装置…… 127
5.30 基于液压电磁阀的电气控制…… 134
5.31 液压缸和液压马达…… 135
5.32 液压比例控制阀…… 136
5.33 风力机的制动器…… 139

第 6 章　发电机 …… 144

6.1　交流电与直流电概述 …… 145
6.2　“交流”的含义 …… 146
6.3　交流电的频率 …… 146
6.4　电磁理论介绍 …… 147
6.5　直流发电机 …… 151
6.6　交流电动机 …… 155
6.7　交流发电机 …… 160
6.8　异步交流发电机 …… 164
6.9　同步发电机 …… 165
6.10　双馈感应发电机 …… 166
6.11　永磁同步发电机 …… 166
6.12　使用交流发电机发出直流电 …… 167

第 7 章　齿轮箱与直驱系统 …… 169

7.1　齿轮箱的作用 …… 170
7.2　齿轮传动比的作用 …… 171
7.3　齿轮类型 …… 172
7.4　斜齿行星齿轮 …… 178
7.5　轴承 …… 181
7.6　差动齿轮箱与直齿圆柱齿轮 …… 188
7.7　主齿轮箱 …… 188
7.8　传动链 …… 189
7.9　直驱系统 …… 191

第 8 章　电网与风电并网 …… 195

8.1　了解电网 …… 196
8.2　智能电网 …… 200
8.3　变压器及输配电基本设备 …… 202
8.4　并网导则的原则和规范 …… 208
8.5　国家电气规范和电网其他要求 …… 208
8.6　建筑供电和居民供电 …… 209
8.7　输配电中的开关与并网 …… 210
8.8　电力部门的电能计量 …… 211
8.9　电能质量概述 …… 212

8.10 频率和电压控制 …… 213
8.11 电压、有功和无功功率 …… 214
8.12 低电压穿越 …… 215
8.13 闪变和电能质量 …… 215
8.14 接地系统 …… 216
8.15 地下线路 …… 217
8.16 电力线路敷设 …… 218
8.17 架空线路 …… 218
8.18 风电场变电站 …… 219
8.19 民用及商用单电源电力系统 …… 220

第 9 章 塔架的形式、设计与安全 …… 223

9.1 风力机塔架的类型 …… 224
9.2 塔架的基础和混凝土基座 …… 242
9.3 塔架的攀爬 …… 245
9.4 塔架工作安全及攀爬安全 …… 249
9.5 风力机的安全防雷 …… 255
9.6 超速保护和塔架过负荷控制 …… 257
9.7 塔架周边的鸟类安全 …… 260
9.8 塔架维护 …… 261

第 10 章 风力机设备与风电场 …… 264

10.1 项目开发 …… 265
10.2 风电场选址评估 …… 265
10.3 选址问题 …… 265
10.4 视觉及景观评估 …… 266
10.5 小型民用风力机 …… 267
10.6 自制风力机 …… 268
10.7 商用风力机 …… 270
10.8 风电场 …… 271
10.9 美国海上风电 …… 279
10.10 欧洲大型海上风电场 …… 279

第 11 章 风电机组的安装、故障诊断与维修 …… 284

11.1 风力机的安装步骤 …… 285
11.2 故障诊断概述 …… 296

11.3 故障诊断流程…… 298
11.4 症状与问题之间的区别…… 300
11.5 故障诊断表与故障诊断矩阵的使用…… 300
11.6 风力机转换与传动故障诊断…… 301
11.7 机械及塔架故障诊断…… 302
11.8 电气故障诊断…… 303
11.9 液压故障诊断…… 306
11.10 风电系统的周期性维护 …… 307
11.11 风力机大修 …… 310

第 12 章 风力机的电气与电子基础知识 …… 313

12.1 基本概念及简单电路…… 314
12.2 电压、电流与电阻的测量…… 319
12.3 基于欧姆定律的电压、电流与电阻计算方法…… 323
12.4 电路基础…… 327
12.5 串联电路…… 328
12.6 并联电路…… 331
12.7 串-并联电路 …… 335
12.8 电容及容性电抗…… 336
12.9 交流电路中的电阻与电感…… 338
12.10 阻抗及感性电路的阻抗计算 …… 339
12.11 交流电路中的有功功率与视在功率 …… 339
12.12 功率因数计算 …… 339
12.13 基于电抗与电容的功率因数调节 …… 340
12.14 无功功率 …… 340
12.15 三相变压器 …… 340
12.16 继电器与接触器的原理与特性 …… 344
12.17 电动机起动器的作用 …… 349
12.18 熔断器 …… 353
12.19 逆变器与电路中的电子元器件 …… 356
12.20 二极管整流技术 …… 359
12.21 发光二极管 …… 364
12.22 PNP 型与 NPN 型晶体管 …… 364
12.23 晶闸管 …… 366
12.24 三端双向晶闸管 …… 369
12.25 实现直流-交流电能变换的逆变器…… 371

第1章　风能简介

本章学习目标

读完本章后你将能够：

- 解释风力机将风能转换为电能的原理。
- 认识风力机的基本结构。
- 理解风力机的三种分类方法。
- 认识民用负荷与工业负荷对不间断电源设备的需求。
- 排除风力机的电气、液压和机械系统故障。
- 识别民用、商业、工业电力日负荷。
- 列出未来风电领域的十种工作及其所需技能。

本章关键词

美国国家标准学会（ANSI）
美国风能协会（AWEA）
英国风能协会（BWEA）
节电（Brownout）
能源部（DOE）
下风式风力机（Downwind turbine）
电力负荷（Electrical demand）
电网（Electrical grid）
欧洲风力机认证（EWTC）
齿轮箱（Gearbox）
发电机（Generator）
绿色技术（Green technology）
高速轴（High-speed shaft）
水平轴风力机（Horizontal-axis turbines）
国际电工委员会（IEC）
国际标准化组织（ISO）
逆变器（Inverter）
千瓦（Kilowatt）
低速轴（Low-speed shaft）
兆瓦（Megawatt）
机舱（Nacelle）
美国国家电气规范（NEC）
国家再生能源实验室（NREL）
电力峰荷（Peak electrical load）
电力电子变频器（Power electrical frequency converter）
投资回报（ROI）
叶轮（Rotor）
风力机叶片（Turbine blades）
型式认证（Type certification）
型式特性测量（Type characteristic measurements）
不间断电源设备（Uninterruptible power supply）
上风式风力机（Upwind turbine）
垂直轴风力机（Vertical-axis wind turbine）

本章概述

风能正在成为一种提供电力的替代能源，本章从风能利用的历史到当前现代化

风电场对风能进行了概述。本章首先讨论了风力机的不同类型，介绍了风力机的相关标准及测试系统。其次，解释了现在美国民用、商业与工业等不同领域的电力应用情况，讨论了电网的输电限制因素，介绍了美国工业与民用总的日负荷及年负荷，以及总的商业负荷、总的工业负荷与总的峰荷。再次，讨论了风力机的类型，包括直接为本地居民及小型商业应用供电的独立运行机组，以及并网运行机组。其中后者可在并网发电的同时为本地负荷供电。最后，分析了作为重要可再生能源开发方式的风电的环境、经济问题，包括发展趋势、政策走向、投资与回报以及税务，此外还讨论了风电领域可能提供的工作岗位及其技能需求。

1.1 风力机的基本结构与发电原理

1.1.1 风力机的基本结构

认识风力机的基本结构及发电原理是学习风能与风力机的重要基础。图 1-1 所示为一台小型水平轴风力机。水平轴风力机的基本结构包括安装于轮毂上的叶片、轮毂、低速轴、齿轮箱、高速轴与发电机。有时轮毂与涡轮叶片通称为风轮。风轮通过传动轴与发电机相连接，当叶片与风轮驱动转轴旋转时，后者就会带动发电机运转发电。有些风力机采用直流发电机，而有些采用交流发电机，分别发出直流、交流电能。电功率的计量单位为瓦（W），1 瓦是电压为 1 伏（V）情况下 1 安（A）的电流产生的功率。本书第 12 章将对电能的基本知识进行完整的介绍。风力发电机容量是由它所能发出的功率来表示，单位为瓦（W）。1000W 用“千瓦（kW）”表示，也就相当于 10 个 100W 灯泡的功率之和。电力公司采用“千瓦时（kW·h）”作为单位来计量用户电费，该单位表示了一段时间（1h）内以一定功率（1kW）工作时消耗的电能大小。可通过比较常用的家用电器的耗电量来更好地理解“1kW·h”的含义。例如，在工作 1h 的情况下，一台 400W 的典型自动洗衣机耗电 0.4kW·h，一台 4000W 的电动干衣机耗电 4kW·h，一台 120W 的台式计算机耗电 0.12kW·h。必须避免混淆功率与能量的概念，“W”是表示任何一瞬间电能功率大小的单位，表示该瞬间一个负荷的电压与电流的大小；“W·h”是电能的单位，可用来计量用户的耗电量和计算电费。

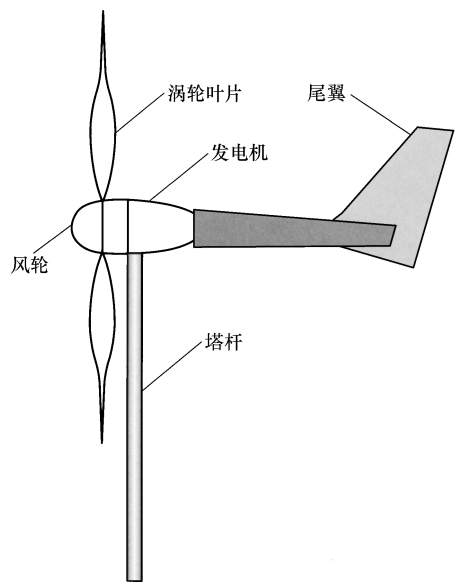


图 1-1 小型风力机的基本结构