

 国外名校最新教材精选

风能利用——理论、设计和应用

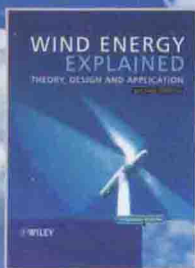
Wind Energy Explained: Theory, Design and Application

J. F. Manwell J. G. McGowan A.L. Rogers

詹姆斯·F·曼韦尔
[美] 乔恩·G·麦高恩 著
安东尼·L·罗杰斯

(第2版)

袁奇 何家兴 刘新正 译
俞茂铮 审校



WILEY



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

国外名校最新教材精选

Wind Energy Explained: Theory, Design and Application (Second Edition)

风能利用

——理论、设计和应用

(第2版)

詹姆斯·F·曼韦尔

[美] 乔恩·G·麦高恩 著

安东尼·L·罗杰斯

J. F. Manwell and J. G. McGowan

Department of Mechanical and Industrial Engineering,
University of Massachusetts, USA

A. L. Rogers

DNV-Global Energy Concepts, Washington, USA

袁奇 何家兴 刘新正 译
俞茂铮 审校

西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

Wind energy explained : theory, design and application/James Manwell, Jon McGowan, Anthony Rogers, 2nd ed.
ISBN:978-0-470-01500-1

This edition first published 2009 © 2009 John Wiley & Sons Limited. Reprinted February 2010.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Xi'an Jiaotong University Press and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

本书封面贴有 wiley 公司防伪标签,无标签者不得销售。

陕西省版权局著作权合同登记号:图字 25-2010-088 号

图书在版编目(CIP)数据

风能利用:理论、设计和应用:第2版/[美]曼韦尔
(Manwell, J. F.)等著;袁奇等译. —西安
交通大学出版社, 2013. 11

书名原文: Wind energy explained: theory, design
and application, second edition

ISBN 978-7-5605-5811-0

I. ①风… II. ①曼… ②袁… III. ①风力能源-
能源利用 IV. ①TK81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 265956 号

书 名	风能利用——理论、设计和应用(第2版)
著 者	[美]詹姆斯·F·曼韦尔, 乔恩·G·麦高恩, 安东尼·L·罗杰斯
译 者	袁 奇 何家兴 刘新正
审 校	俞茂铮

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本	787mm×1092mm 1/16	印张	36.5	字数	883千字
版次印次	2015年4月第1版	2015年4月第1次印刷			
书 号	ISBN 978-7-5605-5811-0/TK·112				
定 价	93.00元				

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665397

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

译者序

此书的翻译工作历时近5年。从2004年12月获得此书,我们就被此书内容的全面与详细所吸引,下决心翻译此书,以期为中国的风电事业做点贡献。最初的翻译工作始于2007年元月,接近完成时,得知James Manwell教授将对此书进行修订,故翻译工作暂停。2009年9月获得此书的第2版,翻译工作重新开始,并于2012年8月完成翻译初稿,李颖编辑进行了仔细的校对,2014年2月完成校对稿,进入排版阶段。

此书的出版得到西安交通大学出版社的全力支持,他们为此书申请了第1版和第2版的版权,感谢出版社赵丽萍编审和李颖编辑的辛勤努力和不断帮助。西安交通大学俞茂铮教授认真仔细地审阅了翻译稿,在此表示衷心感谢。同时还要感谢研究生,汤炜梁、祁乃斌、高锐、杨大昱、刘洋、刘昕、张骏、潘阳、朱光宇、欧文豪、陈谦、王梦瑶、周祚、罗晶、雷鸣、徐琳峰、赵柄锡、史庆册等对此书翻译做出的贡献。此外还要感谢西安理工大学智能电力系统研究室的杨杉、王飞、唐冠军、樊华等人参与了本书的编校工作。

译者简介:

袁奇,男,教授,工学博士,博士生导师,1985年西安交通大学热力叶轮机专业本科毕业,1989年硕士研究生毕业后留校任教,1998年在西安交通大学获博士学位,1999年4月—2004年4月在新加坡南洋理工大学任Research Fellow。20年多年来一直从事叶轮机流动与强度振动方面的研究,获机电部科技进步二等奖与三等奖各一项,中国电力科学技术三等奖一项,国家发明专利三项。现为全国转子动力学学会理事,中国医学工程学会高级会员。负责翻译此书的第1章、第3章、第4章、第6章、第7章、第12章及本书所有附录,并负责全书统稿。

何家兴,男,高级工程师,1985年西安交通大学热力叶轮机专业本科毕业。1989年热力叶轮机专业在职硕士研究生班结业。1985年—2002年主要从事汽轮机设计研究工作。2002年调至龙源电力集团公司工作至今,现任研发中心副主任,从事包括风力发电在内的可再生能源发电研发工作。发表风电及新能源发电论文及专题报告十余篇,出版译著一本。现为湖北省风力项目专家,中国国电集团可再生能源发电专家,中国电力建设委员会可再生能源发电技术专家,国家综合评标专家库电力领域专家。负责翻译此书的第2章、第9章、第10章、第11章。

刘新正,男,副教授,工学硕士。1982年西安交通大学电机系电机专业本科毕业,任职于西安交通大学电气工程学院电机教研室。1988年西安交通大学电机专业硕士研究生毕

业。多年来一直从事电机分析和控制的教学及研究工作。为中国电工技术学会小功率电机专业委员会常务委员。负责翻译此书的第5章、第8章及相应习题等。

本书翻译力求忠实、准确反映原著内容,保持原著语言特色。翻译中错误与不妥之处,敬请广大读者指正,译者联系方式:qyuan@mail.xjtu.edu.cn。

审校

译者

2015年2月于西安

胡金明,男,汉族,1954年12月出生于陕西西安,1978年毕业于西安交通大学电机系,获学士学位。1981年毕业于西安交通大学电机系,获硕士学位。1984年毕业于西安交通大学电机系,获博士学位。1985年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1991年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1995年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1999年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2003年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2007年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2011年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2015年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。

胡金明,男,汉族,1954年12月出生于陕西西安,1978年毕业于西安交通大学电机系,获学士学位。1981年毕业于西安交通大学电机系,获硕士学位。1984年毕业于西安交通大学电机系,获博士学位。1985年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1991年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1995年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1999年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2003年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2007年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2011年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2015年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。

胡金明,男,汉族,1954年12月出生于陕西西安,1978年毕业于西安交通大学电机系,获学士学位。1981年毕业于西安交通大学电机系,获硕士学位。1984年毕业于西安交通大学电机系,获博士学位。1985年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1991年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1995年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1999年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2003年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2007年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2011年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2015年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。

胡金明,男,汉族,1954年12月出生于陕西西安,1978年毕业于西安交通大学电机系,获学士学位。1981年毕业于西安交通大学电机系,获硕士学位。1984年毕业于西安交通大学电机系,获博士学位。1985年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1991年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1995年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1999年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2003年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2007年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2011年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2015年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。

胡金明,男,汉族,1954年12月出生于陕西西安,1978年毕业于西安交通大学电机系,获学士学位。1981年毕业于西安交通大学电机系,获硕士学位。1984年毕业于西安交通大学电机系,获博士学位。1985年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1991年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1995年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。1999年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2003年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2007年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2011年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。2015年进入西安交通大学电机系任教,历任副教授、教授、博士生导师。

作者简介

James Manwell 是美国马萨诸塞州大学 (University of Massachusetts) 机械工程系教授, 该校风能研究中心主任, 电气及计算机硕士和机械工程博士。20 世纪 70 年代中期开始从事风能研究领域的多项研究, 研究范围涉及风力机动力学和风能混合动力系统, 最近的研究集中在海上风力机设计外部条件评估。Manwell 教授还参与国际能源协会 (International Energy Agency, IEA)、国际电工委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC) 和国际可再生能源科学委员会的各项工作。目前居住在马萨诸塞州的康威 (Conway)。

Jon McGowan 是马萨诸塞州大学机械工程系教授, 该校风能研究中心副主任, 机械工程硕士和博士。在高校工作 40 多年, 为许多本科生和研究生开设和讲授了可再生能源和能源转换方面的工程课程, 发表了近 200 篇各种能源转换应用方面的论文, 近期风能工程的研究集中在风场选址、混合动力系统模型、经济学和海上风能工程。McGowan 教授是美国 ASME 高级会员和 *Wind Engineering* 期刊的编辑。目前居住在马萨诸塞州的诺斯菲尔德 (Northfield)。

Anthony Rogers 拥有马萨诸塞州大学的机械工程硕士和博士学位, 该校风能研究中心 (以前是可再生能源研究实验室) 高级研究员, 目前是 DNV Global Energy Concepts 的高级工程师, 长期工作在风能领域, 参加了多个风能项目研究, 其中包括风力机监测、控制和遥测传感器应用。目前居住在马萨诸塞州的阿默斯特 (Amherst)。

序 言

在过去的几十年间,风能利用技术发展非常迅速。然而,直到现在,尚未有一本阐述这种技术的教科书。教材的缺乏和实际的需要,是写这本书的动力。

本书的素材来自于风能工程课程的讲义,该课程在马萨诸塞州大学始于 20 世纪 70 年代中期。此后,在美国能源部的国家可再生能源实验室(NREL)的支持下,对课程讲义作了相当大的修改和扩展。在此书的第二版中,增加了有关 21 世纪全球快速发展的风能工程的新资料。

本书阐述了有关风能转换为电能及其社会应用等多个专题的基本知识,这些专题覆盖面广泛,涉及气象学、工程学、经济学和环境影响等众多领域。本书绪论综述风能利用技术,阐述现代风力机的演变历史;第 2 章描述风能资源及其与能源生产的关系;第 3 章讨论空气动力学的原理,说明风能如何使风力机旋转;第 4 章较详细地研究风力机的动力学和机械方面问题,以及风轮与风力机其它部件的关系;第 5 章概述风能转换的电气方面知识,尤其是关于电能的产生和转化的实际问题;第 6 章概述风力机材料和部件;第 7 章讨论风力机的设计和测试;第 8 章研究风力机及其系统的控制;第 9 章讨论风力机的选址以及风力机和大、小型电力系统的连接问题;第 10 章详细介绍风力机的应用;第 11 章分析风能的经济性,阐述经济性分析方法,介绍如何使风能发电与传统形式发电相竞争;第 12 章描述风能发电的环境问题;最后,所增加的附录 C 综述经常用于风力机设计 and 应用的一些数据分析技术。

本书主要是为工科大学生和刚进入风能领域的专业人员编写的教科书,也可供那些想要熟悉这个主题,且有良好数学与物理学基础的人员使用,对于对风力机设计感兴趣的人员亦会有帮助。对其他人员,本书提供了关于风力机运行和设计基本原理的足够知识,可使他们更全面地理解他们所感兴趣方面的问题,包括风力机选址、电网连接、环境影响、经济和公共政策等问题。

风能的研究涉及众多知识领域,由于许多读者可能不具备各个方面的知识,因此大部分的章节含有一些基础知识内容,如需更深入的了解,读者可以参看其它文献。

致 谢

我们衷心感谢 William Heronemus 教授, 马萨诸塞州大学可再生风能研究项目的奠基人, 没有他的前瞻性和坚韧不拔的精神, 这个项目不会持续下去, 本书也不会面世。我们也衷心感谢那些对此项目做出贡献的教职员工、已毕业的和在读的研究生。

我们同时还要感谢在国家可再生能源(NREL)的国家风能研究中心(National Wind Technology Center)工作的 Bob Thresher 和 Darrell Dodge, 是他们审阅并充实了此书的基础讲义。

此外, 我们还要感谢 Rolf Niemeyer 的贡献, 他为本书收集了最早期的风车素材, 感谢 Tulsi Vembu 的精心编辑。

最后, 我们还要感谢我们家庭对我们的支持, 我们的妻子(Joanne, Suzanne 和 Anne)和我们的儿子(Nate, Gerry, Ned, Josh 和 Brain), 是他们激励我们完成此书。

目 录

译者序

作者简介

序 言

致 谢

第 1 章 绪论:现代风能及其起源

- 1.1 现代风力机 (2)
- 1.2 风能利用的历史 (10)
- 参考文献 (18)

第 2 章 风特性及风资源 (20)

- 2.1 引言 (20)
- 2.2 风资源的一般特性 (20)
- 2.3 大气边界层的特征 (31)
- 2.4 风数据分析与资源估计 (44)
- 2.5 运用统计技术估计风力机能量产出 (53)
- 2.6 区域性风资源评估 (55)
- 2.7 风的预测与预报 (60)
- 2.8 风的测量和仪器 (61)
- 2.9 前沿研究课题 (71)
- 参考文献 (73)

第 3 章 风力机空气动力学 (76)

- 3.1 概要 (76)
- 3.2 一维动量理论和 Betz 极限 (77)
- 3.3 有旋转尾流的理想水平轴风力机 (80)
- 3.4 翼型和空气动力学基本概念 (84)

3.5	现代风力机叶片设计	(96)
3.6	动量理论和叶素理论	(98)
3.7	无旋转尾流的理想风轮叶片外形	(101)
3.8	一般的风轮叶形性能预测	(103)
3.9	有旋转尾流的最优风轮叶形	(110)
3.10	风轮设计的一般方法	(111)
3.11	水平轴风力机风轮性能的简化计算方法	(115)
3.12	阻力和叶片数目对最优性能的影响	(116)
3.13	气动设计中的计算与空气动力学问题	(117)
3.14	垂直轴风力机空气动力特性	(121)
	参考文献	(126)
第4章	力学和动力学	(129)
4.1	背景	(129)
4.2	风力机载荷	(130)
4.3	力学的一般原理	(132)
4.4	风力机风轮动力学	(140)
4.5	模化风力机结构响应的方法	(162)
	参考文献	(164)
第5章	风力机电气部分	(165)
5.1	概述	(165)
5.2	电力基本概念	(166)
5.3	电力变压器	(175)
5.4	电机	(176)
5.5	功率变流器	(191)
5.6	变速风电机组的电气问题	(199)
5.7	辅助电气设备	(205)
	参考文献	(207)
第6章	风力机材料和部件	(208)
6.1	概述	(208)
6.2	材料疲劳	(208)
6.3	风力机材料	(215)
6.4	机械零件	(219)

6.5 风力机主要部件	(224)
参考文献	(251)
第7章 风力机设计和测试	(253)
7.1 概述	(253)
7.2 设计过程	(254)
7.3 风力机拓扑结构	(257)
7.4 风力机标准、技术规范和认证	(262)
7.5 风力机设计载荷	(264)
7.6 载荷比例关系	(272)
7.7 功率曲线预测	(275)
7.8 风力机设计的计算机程序	(278)
7.9 设计评估	(281)
7.10 风力机和部件测试	(283)
参考文献	(290)
第8章 风力发电机组控制	(292)
8.1 引言	(292)
8.2 风力发电机组控制系统概述	(296)
8.3 典型并网型风电机组的运行	(301)
8.4 监测控制及实现	(305)
8.5 动态控制理论和实现	(311)
参考文献	(329)
第9章 风力机的选址、系统设计与集成	(330)
9.1 概述	(330)
9.2 风力机的选址	(331)
9.3 安装与运行问题	(337)
9.4 风场	(340)
9.5 电网中的风力机与风场	(350)
参考文献	(361)
第10章 风能应用	(364)
10.1 概述	(364)
10.2 分布式发电	(365)

10.3	混合电力系统	(365)
10.4	海上风能	(373)
10.5	恶劣气候下的运行	(388)
10.6	特殊的应用	(389)
10.7	能量存储	(396)
10.8	燃料生产	(403)
	参考文献	(406)
第 11 章 风能系统的经济性		
11.1	引言	(410)
11.2	风能系统经济性评估概述	(411)
11.3	风能系统的资本成本	(415)
11.4	运行及维护成本	(423)
11.5	风能的價值	(425)
11.6	经济性分析方法	(432)
11.7	风能市场考虑	(440)
	参考文献	(444)
第 12 章 风能系统:环境问题与影响		
12.1	引言	(447)
12.2	鸟类/蝙蝠和风力机的相互作用	(449)
12.3	风力机的视觉影响	(455)
12.4	风力机的噪声	(459)
12.5	电磁干扰的影响	(470)
12.6	土地利用的环境影响	(478)
12.7	其它环境问题	(480)
	参考文献	(484)
附录 A 名词术语		
A.1	名词术语与单位的解释	(487)
A.2	第 2 章	(487)
A.3	第 3 章	(490)
A.4	第 4 章	(492)
A.5	第 5 章	(498)
A.6	第 6 章	(502)

A.7	第7章	(504)
A.8	第8章	(506)
A.9	第9章	(507)
A.10	第10章	(510)
A.11	第11章	(513)
A.12	第12章	(514)
附录 B	习题	(519)
B.1	习题解答	(519)
B.2	第2章习题	(519)
B.3	第3章习题	(522)
B.4	第4章习题	(528)
B.5	第5章习题	(531)
B.6	第6章习题	(535)
B.7	第7章习题	(538)
B.8	第8章习题	(540)
B.9	第9章习题	(544)
B.10	第10章习题	(547)
B.11	第11章习题	(550)
B.12	第12章习题	(553)
附录 C	数据分析和数据合成	(554)
C.1	概述	(554)
C.2	数据分析	(554)
C.3	数据合成	(562)
参考文献		(566)

第 1 章

绪论：现代风能及其起源

风能再次成为世界能源的重要资源是 20 世纪末期能源工业的显著进展之一。蒸汽机的发明以及将化石燃料转换成有用能源的其它工业技术的出现,似乎会使风能在能源生产中永远降级为不重要的角色。而事实上,在 20 世纪 50 年代中期,已经有形势变化的迹象,在 60 年代后期,可以看到一些转变的标志,90 年代早期,这个转变正日益明显。自 90 年代全球风能工业强劲发展,其装机容量翻了 5 倍。90 年代是一个转折点,风力机制造业向大型兆瓦级机组发展,并进行裁减与合并,近海风电机组也得到有效发展(参见 McGowan and Connors, 2000)。在 21 世纪初,这一趋势还在持续,尤其是欧洲国家(和制造商)借助于政府发展国内可再生能源的供给和降低污染排放的政策,领先开展了风力机的研发。

要了解当时发生的进程,必需考虑以下五个因素。首先是需求,人们重新认识到地球化石燃料资源是有限的,并且燃烧这些燃料会带来环境污染,因而促使大家开始寻找替代能源;其次是风能资源的开发潜力,风能在地球上无处不在,许多地方有相当可观的能量密度,风能过去曾被广泛应用于机械动力和运输,这无疑使人们重新想利用它;第三是科技能力,尤其是当其它领域快速发展的科技应用于风力机时,可以带来革命性的进步。这三个因素促进了利用风能的想法,但这还不够,还需要另外二个因素,首先需要有风能利用新方法的创想,其次需要有实现这个创想的政治意愿。早在 60 年代前,就有几个人提出了创想,如 Poul la Cour, Albert Betz, Palmer Putnam 和 Percy Thomas,后得到 Johannes Juul, E. W. Golding, Ulrich Hütter 和 William Heronemus 的认同,不久得到更多的人参与。在风能利用复兴的初期,风力机产生能量的成本远高于利用化石燃料的产能成本,需要政府支持实行研究、发展和试验,提出管理上的改革使风力机与电网相连,采取激励措施促进新技术发展。这一政治意愿的支持力度在不同时期和不同程度出现,先是在美国、丹麦和德国这些国家中出现,至今,许多其它国家也重视起来。

本章将介绍当今的风能技术概况及本书内容,重点介绍现代风能技术是怎样的?它用来干什么?怎样实现这个目标?它将如何发展?

1.1 现代风力机

本书所介绍的风力机,是将风能转化成电能的机器,有别于将风能转化为机械能的“风车”。作为发电机,风力机与电网相连,这些网络包括蓄电池充电回路、居住区的供电系统、孤立或区域电网和大区域公用电网。就风力机总数而言,绝大多数的功率很小,10 kW 等级或更小;就总发电容量来看,风力发电机的容量是相当大的,范围在 1.5 MW 到 5 MW 之间,这些大的风力机大多用在公用电网,且多数在欧洲和美国,近期也出现在中国和印度。图 1.1 为 GE 公司的连接到公用电网的 1.5MW 现代风力机。至今 GE 已生产了 1 万台这类风力机。



图 1.1 现代风力机。获 GE 允许转载

要想知道如何使用风力机,现简要介绍风力机运行的一些基本知识,在现代风力机中,实际的能量转化过程是利用气动升力在转轴上产生一个正的转矩,它首先产生机械能,然后在发电机中转化成电能。风力发电机不同于其它发电机,它只能将当时获得的风能转化为可用能,但它不能储存以供随后使用,故风力机的风能输出是波动的,不可调度的(大多数风力机能够做的是限制产能,使其低于风力产生的能量)。任何接入风力机的系统都要以一定方法考虑其功率的不稳定性。在较大的电网中,风力机的使用,可增加发电量,减少其它传统发电机的数目或它们运行中的燃料使用量;在较小的电网中,有储能设备、备用发电机和一些专门的控制系统来调度负荷。另一个事实是风能不可运输:它只可在有风处转化成能源。历史上,小麦可在风车处磨成面粉,然后运输到它的使用地;现今,电力可经输电线传输,一定程度上弥补了风能不能传输的不足;未来,以氢能为基础的能源系统更增加了这种可能性。

1.1.1 现代风力机设计

本书重点讨论现今最常用的水平轴风力机(HAWT),它的旋转轴与地面平行,HAWT 通常依照风轮相对于塔架的方位分为:塔架的上风向或下风向,按轮毂设计分为:刚性或摇摆型,按风轮桨叶控制方式分为:变攻角或失速型,按桨叶数目一般分为双叶片或三叶片,按风力机

对风方式分为:自动偏航或主动偏航。图 1.2 是上风向和下风向风力机的布置。



图 1.2 水平轴风力机风轮布置

典型陆用水平轴风力机的主要子系统见图 1.3,它们包括:

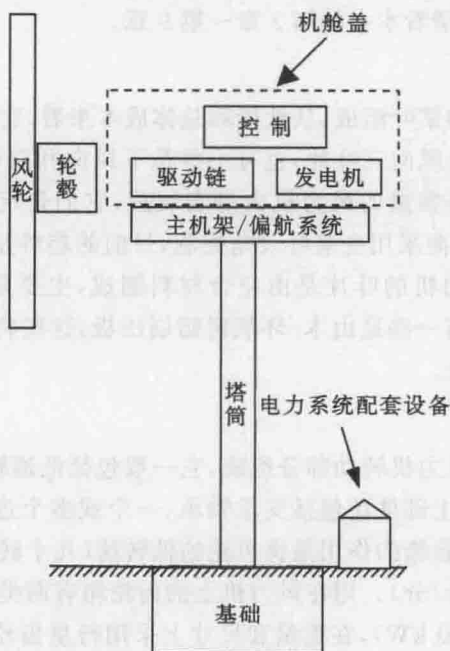


图 1.3 水平轴风力机的主要组件

- 风轮,由桨叶和支撑轮毂组成。
- 驱动链,它包括风力机的转动部件(不含风轮),通常由转轴、齿轮箱、连轴器、机械刹车装置和发电机组成。
- 机舱和主机架,它包括风力机机舱盖、底板和偏航系统。

- 塔架和基础。
- 风力机控制系统。
- 电力系统配套设备,包括电缆、开关设备、变压器和可能需要的功率电子变流器。

风力机的设计和结构主要选择包括:

- 桨叶数目(通常为双叶片或三叶片)。
- 风轮方位:塔架的下风向或上风向。
- 叶片材料、构造方法和型线。
- 轮毂设计:刚性、摇摆型或铰接型。
- 功率控制是采用气动控制(失速控制)或变桨叶攻角(攻角控制)。
- 恒定转速或变转速风轮。
- 风轮定向(对准风向)采用自定向(自由偏航)或直接控制(主动偏航)。
- 同步的发电机或感应发电机(鼠笼式或双馈式)。
- 齿轮增速或直驱发电机。

下面对一些最重要的部件作一简要介绍和概述,有关这些部件和风力机系统其它重要部件总体设计的更详细讨论,请看本书的第3章~第9章。

1.1.1.1 风轮

风力机的风轮由轮毂和桨叶组成,从性能和总体成本来看,它们是风力机的最重要部件。

当今主要的风力机是上风向三叶片,也有一些是下风向和双叶片,过去曾有过单叶片,但现已不再生产。大多数中等容量的风力机由丹麦制造,它们是定桨叶攻角和失速控制(见第3、6、7和8章),大多数制造商采用变桨叶攻角控制,目前的趋势是采用变攻角控制,尤其在大功率风力机上。大多数风力机的叶片是由复合材料制成,主要是玻璃纤维(GRP)或碳纤维(CFRP)加强聚酯材料,也有一些是由木/环氧树脂层压板,这些将在第3章空气动力学部分,第6章和第7章中详细讨论。

1.1.1.2 驱动链

驱动链由风轮下侧的风力机转动部分组成,它一般包括低速轴(在风轮侧)、齿轮箱和高速轴(发电机侧),其它驱动链上部件还包括支承轴承、一个或多个联轴器、一个刹车装置和发电机转子(下节单独讨论);齿轮箱的作用是将风轮的低转速(几十转/分)提高至标准发电机的合适转速(几百转/分或几千转/分)。用在风力机上的齿轮箱有两类:平行轴齿轮和行星齿轮,对较大型风力发电机(超过500 kW),在重量和尺寸上采用行星齿轮更有优势;有一些风力机采用多个发电机,并与齿轮箱多个输出轴相连接,另外一些特殊设计的风力机,采用不要齿轮箱的低速发电机。

当风力机驱动链部件的设计通常遵循常规机械工程机器设计准则,风力机驱动链上的独特载荷需特殊考虑,变动的风速和大型转动风轮的动态特性施加在驱动链部件上产生显著的变化载荷。

1.1.1.3 发电机

几乎所有的风力机都采用感应或同步发电机(参见第5章),当发电机直接连接到一个公