

风电控制技术研究与实践

王秀丽 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

风电控制技术研究与实践

王秀丽 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以风力发电系统为研究对象,采用不同智能方法对其进行研究,同时对风力发电系统的并网进行仿真,最后用 PLC 对风力发电的偏航系统进行程序设计和实验调试。全书共 10 章,内容包括:绪论、双馈型变速恒频风力发电系统基本理论、风力发电系统控制理论、风力发电系统中双 PWM 变频器控制策略及仿真、风力发电机的空载并网控制、模糊逻辑控制及其在风力发电系统中的运用、风力发电机系统 PI 自适应控制及 MATLAB 实现、神经网络速度估计在风力发电系统中的应用、基于爬山算法的风力发电机组偏航优化控制、基于 PLC 的风力发电偏航系统程序设计。

本书适合电力电气、新能源等专业院校师生及科研人员参考使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

风电控制技术研究与实践 / 王秀丽著. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2013. 12
ISBN 978-7-5170-1546-8

I. ①风… II. ①王… III. ①风力发电—自动控制—研究 IV. ①TM614

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第304856号

书 名	风电控制技术研究与实践
作 者	王秀丽 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 9 印张 213 千字
版 次	2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

风能是当今社会中最具竞争力、最有发展前景的一种可再生能源，将风能应用于发电即风力发电则是目前能源供应中发挥重要作用的一项新技术。研究风力发电技术将会对我国大型风力发电机组国产化及推动我国风力发电事业的不断发展有着重要意义。

本书以风力发电系统作为研究对象，将作者多年的理论研究与实践结果编著成册。书中介绍的内容主要有：

(1) 给出了风能及其开发利用的相关知识，介绍了风力发电的国内外发展现状，列举了目前世界上几种风力发电（简称风电）技术，预测出未来风力发电技术的发展方向。

(2) 介绍了风力发电机变速恒频的基本原理及交流励磁发电机的能量关系，推导了变速恒频风力发电机的数学模型，对双馈型异步风力发电机网侧励磁电源和发电机侧励磁电源进行了分析，介绍了双 PWM 变换控制器的控制方法，并用 MATLAB 软件进行了仿真。

(3) 介绍了风力发电机的空载并网技术，推导了发电机在空载时的数学模型，运用 MATLAB 软件中的 S 函数搭建了风力发电机空载并网模型，并给出了仿真结果。

(4) 介绍了模糊控制的基本理论、基本概念及模糊控制器的设计方法和规则，并在发电机侧控制器中用模糊控制器替代了转速外环中的 PI 控制器，同样也给出了模糊控制下的仿真结果，并把它与 PI 控制器下的仿真图进行了比较。

(5) 介绍了 PI 自适应的基本结构及控制原理，应用基于 PI 自适应的转速辨识方法，对无速度传感器矢量控制系统进行了仿真研究。

(6) 介绍了神经网络的控制理论，利用神经网络中的 BP 算法进行转速辨识并进行了系统仿真。

(7) 风力发电偏航控制系统当风向变化的绝对值在小于 15° 时偏航控制精度大幅下降，本书在功率控制的基础上提出采用了一种爬山算法的优化控制，并进行了仿真。

(8) PLC 是一种可编程逻辑控制器，利用它对小型风力发电系统的偏航

系统进行程序开发，并进行实验调试。

本书的主要研究成果有：

(1) 分析了双 PWM 型变换器的结构和特点，指出网侧变换器应采用电网电压定向矢量控制，以实现交流侧单位功率因数控制和直流环节电压控制；发电机侧应采用定子磁链定向的矢量控制，以实现发电机的 $P-Q$ 解耦控制，进而实现最大风能追踪控制。

(2) 证明了发电机定子电压和电网电压的幅值、频率、相位均相同时，才能安全地切入电网，进入正常的发电运行模式。

(3) 采用传统 PI 控制方式和模糊控制方式下的风力发电系统其结果不同，两者各有自己的优缺点。采用模糊控制器，速度超调量小，快速性好，但在稳态时其转子电流、转矩等量存在毛刺；采用 PI 控制器，速度超调量较大，快速性差，在稳态时上述各量波形较模糊控制下的要好，毛刺少，脉动小。因此，对于要求快速性好的系统采用模糊控制器较好，对于强调稳态性能好的系统采用 PI 控制器较好。

(4) 通过对 PI 自适应辨识转速的风电系统仿真后，发现这种无速度传感器下测得的转速和实际转速波形相比，具有较好的动态性能，并且其他的电流电压等波形也有较好的改善。

(5) 利用神经网络进行转速辨识，并将其和 PI 自适应辨识相比，结果发现神经网络转速辨识有较好的动态性、稳定性，PI 自适应转速辨识方法结构简单，有一定的自适应能力，但必须有精确的数学模型，且辨识精度很大程度上受转子磁链控制性能的影响；神经网络转速辨识方法不需要确定精确数学模型，适用于电机转速的在线动态检测。

(6) 本书中提到的爬山算法与以往不少学者提出的爬山算法不同，该方法简单易行。由仿真结果可以看出，该算法有效可行，它可以在保证风能最大捕获的基础上，提高偏航控制系统的精度，达到预期的效果。

(7) 利用 PLC 对风力发电系统中的偏航系统进行程序开发，结果表明可以达到预期目的，实现了控制要求。

由于水平有限，书中只是针对风力发电系统中的部分内容作了研究，在此我要特别感谢王娟平为本书当中第 7、第 8 章所提供的內容。另外由于时间仓促，本书在编写时，错误和不足之处在所难免，希望各位专家、学者给予批评指正。

作者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 风能的开发利用	1
1.2 风力发电系统	2
1.3 风力发电的发展现状及未来发展趋势	7
1.4 本书研究的意义	10
第 2 章 双馈型变速恒频风力发电系统基本理论	12
2.1 变速恒频风力发电技术	12
2.2 双馈型风力发电系统组成及基本原理	14
2.3 交流励磁发电机的能量关系	18
2.4 小结	19
第 3 章 风力发电系统控制理论	20
3.1 风力机的基本理论	20
3.2 发电机的矢量控制模型分析	22
3.3 双馈型异步发电机的数学模型	23
3.4 小结	25
第 4 章 风力发电系统中双 PWM 变频器控制策略及仿真	26
4.1 双 PWM 变换器的性能要求及特点	26
4.2 网侧 PWM 变换器的控制方法	27
4.3 发电机转子侧变换器的控制方法	32
4.4 MATLAB 仿真及其仿真结果	36
4.5 小结	40
第 5 章 风力发电机的空载并网控制	41
5.1 风力发电机并网技术的概述	41
5.2 交流励磁变速恒频风力发电机并网控制	43
5.3 发电机空载并网系统仿真	45
5.4 小结	47
第 6 章 模糊逻辑控制及其在风力发电系统中的运用	48
6.1 模糊逻辑理论的基本概念	48
6.2 模糊控制器的结构	50
6.3 模糊控制器中模糊化的设计方法	51

6.4	建立模糊控制器的方法和规则	53
6.5	模糊推理计算与去模糊化	55
6.6	仿真结果	56
6.7	小结	59
第 7 章 风力发电系统 PI 自适应控制及 MATLAB 实现		60
7.1	自适应控制	61
7.2	PI 自适应的基本结构及在风力发电中系统中的应用	62
7.3	风力发电系统中基于 PI 自适应的仿真	63
7.4	小结	72
第 8 章 神经网络速度估计在风力发电系统中的应用		73
8.1	神经网络概述	73
8.2	基于神经网络的速度估计方法	82
8.3	基于神经网络控制的风力发电系统仿真	86
8.4	小结	90
第 9 章 基于爬山算法的风力发电机组偏航优化控制		91
9.1	风的特性	91
9.2	风力机的空气动力学原理	94
9.3	偏航控制原理	97
9.4	偏航系统主要部件	97
9.5	偏航系统的控制过程	100
9.6	优化爬山算法在偏航系统中的应用	104
9.7	MATLAB 偏航系统设计	107
9.8	小结	110
第 10 章 基于 PLC 的风力发电偏航系统程序设计		111
10.1	PLC 的概念及特点	111
10.2	可编程序控制器的硬件及工作原理	111
10.3	S7-200 西门子 PLC 概述	112
10.4	系统简介	120
10.5	程序设计	122
10.6	系统的仿真	127
10.7	系统调试	129
10.8	小结	131
结论与展望		132
附录 1		134
附录 2		135
参考文献		136

第1章 绪 论

摘要：本章给出了风能的相关知识，介绍了风力发电系统的主要构成、分类及目前国内外的发展现状，列举了目前世界上几种风电技术，预测出未来风力发电技术的发展方向，并给出了撰写本书的意义。

1.1 风能的开发利用

能源是人类社会存在与发展的物质基础。过去 200 多年，建立在煤炭、石油、天然气等化石燃料基础上的能源体系，极大地推动了人类社会的发展。然而，人们在物质生活和精神生活不断提高的同时，也越来越感悟到大规模使用化石燃料所带来的严重后果：资源日益枯竭，环境不断恶化。因此，人类必须寻求一种新的、清洁、安全、可靠的可持续能源系统。

风能是太阳能的一种转化形式，是一种不产生任何污染物排放的可再生的自然资源。

风能的开发利用已有数千年历史。在蒸汽机发明以前，风能就曾作为重要的动力，用于船舶航行、提水饮用、灌溉、排水造田、磨面和锯木等。在几千年前，埃及的风帆船就在尼罗河上航行。中国是最早使用帆船和风车的国家之一，至少在 3000 年前的商代就出现了帆船。

受化石能源资源日趋枯竭、能源供应安全和保护环境等因素的驱动，自 20 世纪 70 年代中期以来，世界主要发达国家和一些发展中国家都开始重视风能的开发利用。特别是自 20 世纪 90 年代初以来，现代风能最主要的利用形式——风力发电的发展十分迅速，世界风电机装机容量的年平均增长率超过了 30%，从 1993 年的 216 万 kW 上升到 2003 年的 4030 万 kW。

随着风能这一态势的发展，世界风电机的装机容量到 2020 年预计将达到 12.45 亿 kW，发电量占世界电力消费量的 12%。因此，风能将是 21 世纪最有发展前景的绿色能源，是人类社会经济可持续发展的主要新动力源。把风能转变为电能是风能利用中最基本的一种方式。风电是最具竞争力、最有发展前景的一项可再生能源技术，将在能源供应中发挥越来越重要的作用。研究风力发电技术将会对我国大型风力发电机组国产化及推动我国风力发电事业的不断发展有着重要意义。

1.1.1 风能的有关知识

大气压差是风产生的根本原因，风是随时随地可以产生的，它的方向不定、风力大小不同。在气象学上，把空气的不规则运动称为“紊流”，垂直方向的运动叫做“对流”，所以风特别强调相对于地面水平方向的运动。另外，风速是随高度的增加而变化的，地面上

风速较低的原因是由于地表植物、建筑物以及其他障碍物的摩擦所造成的。风力除具有随机性及随高度增加而增大等特性外，其季节性变化的特点也很明显，日夜变化也有规律，使得风具有周期性、多样性和复杂性等特性。

以风能为动力的发电设备称为风力发电机组。从能量转换的角度来看，风力发电机组包括两大部分：一部分是风力机，由它将风能转换为机械能；另一部分是发电机，由它将机械能转换为电能。装有两台或多台并网型风力发电机组的发电站称为风力发电场，通常称为风电场。

1.1.2 风能的开发利用

能源、环境是当今人类生存和发展所需要解决的紧迫问题，随着人类社会的不断进步，能源和环境的作用、地位将越来越突出。常规能源以煤、石油、天然气为主，然而这些资源储备有限，而且使用这些资源造成的大气污染极其严重，仅依靠上述能源已不能适应世界人口和经济持续发展的需要，更无法解决当今世界 20 亿元电人口（世界银行统计）的用电问题。因此，对可再生能源的开发利用，特别是对风能的开发利用，已受到世界各国的高度重视。

风能是太阳能的一种转换形式，是取之不尽、用之不竭的，在其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，具有就地取材、不需要运输等特点，因此受到世界各国政府的广泛重视。几乎所有的发达国家均将风能的开发利用列入本国 21 世纪最重要的任务。中国具有丰富的风能资源，可开发利用的地区占全国总面积的 76%，在风场的开发利用、并网型风力发电机组的商业化开发等方面，近十几年已有长足的发展。经过几十年的发展，风力发电已成为当今能源中技术上、经济上最成熟的发电技术。

1.2 风力发电系统

1.2.1 风力发电的特点

将风能应用于发电称为风力发电，与火力发电相比，风力发电有其自己的特点，具体表现在以下几个方面：

(1) 可再生的洁净能源。风力发电是一种可再生的洁净能源、不消耗资源、不污染环境。这是火力发电所无法比拟的优点。

(2) 建设周期短。一个万千瓦级的风电场建设期不到一年。

(3) 装机规模灵活。可根据资金情况决定一次装机规模，有一台的资金就可安装一台投产一台。

(4) 可靠性高，把现代科技应用于风力发电机组可使风力发电可靠性大大提高。中大型风力发电机组可靠性从 20 世纪 80 年代的 50% 提高到 98%，高于火力发电，并且机组寿命可达 20 年。

(5) 造价低，从国外建成的风电场看，单位千瓦造价和单位千瓦时电价都低于火力发电，和常规能源发电相比具有竞争力。

(6) 运行维护简单, 现在大中型风力机自动化水平很高, 由于采用了微机技术, 实现了风机自诊断功能, 安全保护更加完善, 并且实现了单机独立控制、多机群控和遥控, 完全可以无人值守, 只需定期进行必要的维护, 不存在火力发电中的大修问题。

(7) 实际占地面积小, 据统计机组与监控、变电等建筑仅占火电厂的 1% 的土地, 其余场地仍可供农、牧、渔使用。

(8) 发电方式多样化, 风力发电即可并网运行, 也可以和其他能源, 如柴油发电、太阳能发电、水力发电机组组成互补系统, 还可以独立运行, 对于解决边远无电地区的用电问题提供了现实可行性。

1.2.2 风力发电系统

把风能转变为电能是风能利用中最基本的一种方式。风力发电机一般由风轮、发电机(包括传动装置)、调向器(尾翼)、塔架、限速安全机构和储能装置等构件组成。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。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, 本书研究的是绕线型异步交流发电机。

典型的风力发电系统通常由风能资源、风力发电机组、控制装置、蓄能装置、备用电源组成(如图 1-1 所示)。风力发电机组是实现由风能到电能转换的关键设备。由于风能是随机性的, 风力的大小时刻变化, 必须根据风力大小及电能需要量的变化及时通过控制装置来实现对风力发电机组的启动、调节(转速、电压、频率)、停机、故障保护(超速、振动、过负荷等)以及对电能用户所接负荷的接通、调整及断开等操作。在小容量的风力发电系统中, 一般采用由继电器、接触器及传感元件组成的控制装置。在容量较大的风力发电系统中, 现在普遍采用微机控制。储能装置是为了保证电能用户在无风期间可以不间断地获得电能而储备的设备。另一方面, 在有风期间, 当风能急剧增加时, 储能装置可以吸收多余的风能。为了实现不间断地供电, 有的风力发电系统配备了备用电源, 如柴油发电机组。

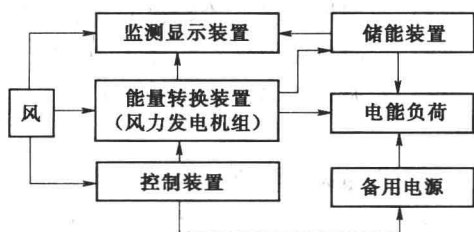


图 1-1 典型风力发电系统

风力发电系统分为两类: 一类是并网的风电系统, 另一类是独立的风电系统。并网的风电系统的风电机组直接与电网相连接。由于涡轮风机的转速随着外来的风速而改变, 不能保持一个恒定的发电频率, 因此需要有一套交流变频系统相配套。由涡轮风机产生的电力进入交流变频系统, 通过交流变频系统转换成交流电网频率的交流电, 再进入电网。由于风电的输出功率是不稳定的, 为了防止风电对电网造成的冲击, 风电场装机容量占所接入电网的比例不宜超过 5%~10%, 这是限制风电场向大型化发展的一个重要的制约因素。而且由于风电输出功率的不稳定性, 电网系统内还需配置一定的备用负荷。独立的风

电系统主要建造在电网不易到达的边远地区。同样,由于风力发电输出功率的不稳定和随机性,需要配置充电装置,在涡轮风电机组不能提供足够的电力时,为照明、广播通信、医疗设施等提供应急动力。最普遍使用的充电装置为蓄电池,风力发电机在运转时,一类为用电装置提供动力,同时将过剩的电力通过逆变器转换成直流电,向蓄电池充电。在风力发电机不能提供足够电力时,蓄电池再向逆变器提供直流电,逆变器将直流电转换成交流电,向用电负荷提供电力。因此,独立的风电系统是包括由风力发电机、逆变器和蓄电池组成的系统。当风力发电用于可间歇使用的用电设备时,就可以避免采用储能装置,而充分发挥风力发电的效益。例如,可将风力发电用于从地下抽水或用于排灌。有风力时,产生的电力驱动水泵运行,进行抽水或排灌,没有风力时,水泵即可停止运行。

1.2.3 风力发电系统的类型

风力发电系统是复杂的系统,一般包括风力机、传动机构、发电机、变流器以及相关的支撑部件、连接部件和控制部件等,其中风轮机和发电机在风力发电系统中担负着能量转换的作用。风轮机将风能转换为机械能,而发电机将机械能转换为可用的电能。风力发电系统可以有多种形式,根据不同的分类方式可以分为不同的系统。

- (1) 按照风力机部分风轮桨距角是否可调分为:定桨距型系统和变桨系统。
- (2) 按照风力机风轮转速的控制类型分为:定速型和变速型。
- (3) 按照风轮对地结构样式的不同可分为:水平轴机组和垂直轴机组。
- (4) 按照风力机叶片的个数分为:单叶片机组、双叶片机组、三叶片机组和多叶片机组。
- (5) 按照风力机是否处于迎风方向分为:上风向的机组和下风向的机组。
- (6) 按照风力机额定功率的大小分为:微型、小型、中型、大型和兆瓦级风电机组。
- (7) 按照风力机桨叶的受力方式可分为:升力型机组和阻力型机组。
- (8) 按照有无传动机构分为:齿轮箱增速型和直驱型。
- (9) 按照发电机结构的不同分为:异步发电机系统和同步发电机系统。
- (10) 按照是否并网可以分为:并网型风电机组和离网型风电机组。

风力发电发展到现在,目前主流的风力机大多为水平轴、三叶片、上风向的结构,图1-2和图1-3分别为常见的水平轴风机和垂直轴风机。

目前国内外常见的风电机组类型主要有4种:采用齿轮箱增速的普通异步风力发电机组;双馈异步风力发电机组、直驱式同步风力发电机组(含永磁发电机和直流励磁发电机)以及混合式风力电机组。

1. 普通异步风力发电机组

普通异步风力发电机组的结构形式如图1-4所示。

此类电机一般为鼠笼型结构,通过变压器连接,且转子转速固定,风能利用率低,感应电机需要从电网吸收大量的无功功率,因而采用电容器组进行无功功率的补偿。由于发电机定子直接与电网连接,启动时会产生很大启动电流,所以一般需要配置启动装置,这样可以获得比较平稳的电网电压,与双馈式异步风电机组相比,鼠笼式电机的结构简单,容

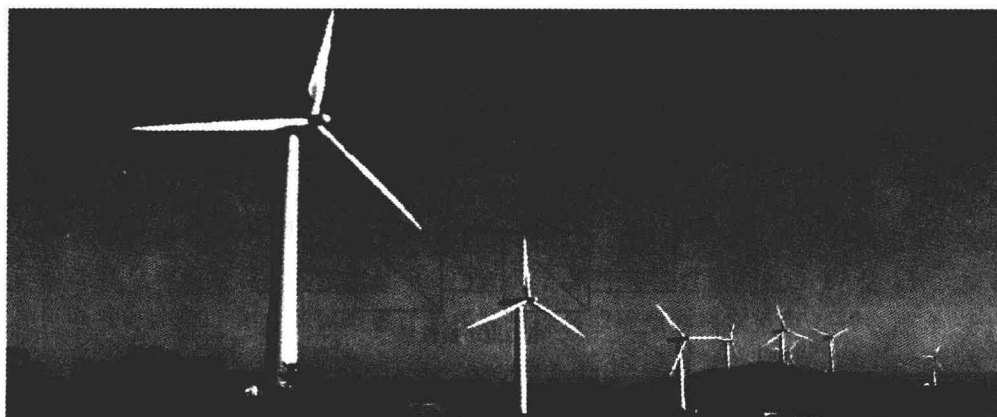


图 1-2 三叶片的水平轴风机

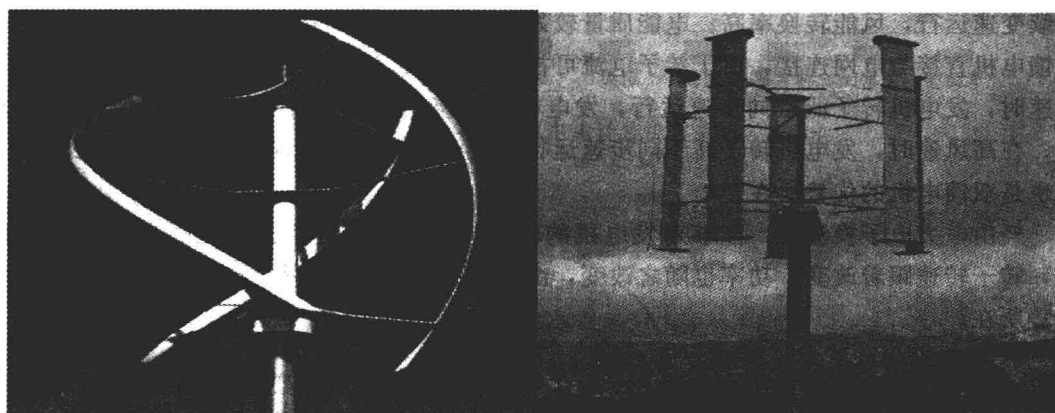


图 1-3 垂直轴风机

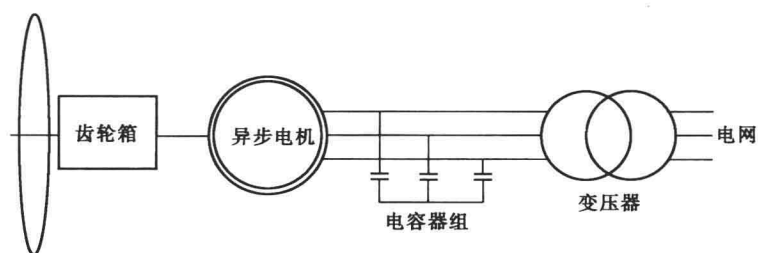


图 1-4 普通异步风力发电系统的结构形式

易控制。

2. 双馈式异步风力发电机组

双馈式异步风力发电机组的结构形式如图 1-5 所示。

双馈异步发电机组比永磁直驱发电系统增加了一个齿轮箱系统，是绕线型转子三相异步发电机的一种，也是当前变速恒频风电机组的主流机型。其定子绕组直接接入交流电

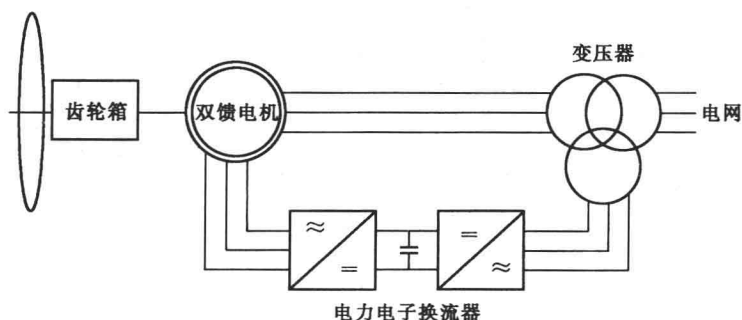


图 1-5 双馈式异步风力发电机组的结构形式

网，转子绕组与变频器连接，由变频器对电机进行控制。

双馈异步风力发电机组具有比较完善的结构，具有双向变流器来控制转速，可以实现连续变速运行，风能转换率高；电能质量较好；可以改善作用在风轮桨叶上的机械应力；双馈电机直接与电网连接，由于转子电流可控，因此可以实现风力发电机平滑并网。在低风速时，发电机转子低于同步速运行，发电机转子绕组通过换流器向发电机馈入励磁功率；在高风速时，发电机转子高于同步速运行，发电机转子绕组向换流器输出励磁功率，这也是双馈电机的优势所在。

经由电力电子换流器，能够对发电机的转子电流和电磁转矩进行控制，在风速波动时，转子转速跟着改变，功率也随之改变，由此提高了风能利用率，这是变速恒频电机的优势所在。

3. 直驱式同步风力发电机组

直驱式同步风力发电机组的结构形式如图 1-6 所示。

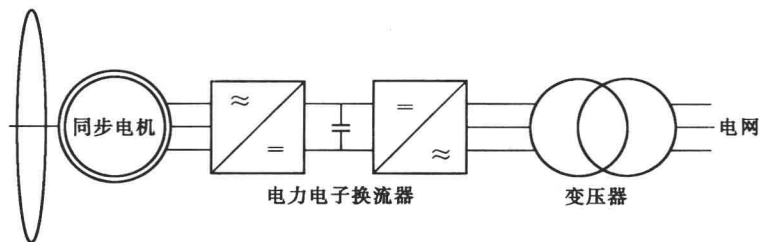


图 1-6 直驱式同步风力发电机组的结构形式

同步电机励磁机组可以采用直流电励磁或永磁体励磁方式，由于转子极对数较多，电机外尺寸较大且较重，不方便运输和吊装，而且成本较高，控制系统复杂；对于直流电励磁方式的同步电机，转子转速的调节可以通过控制励磁电流的大小来控制电磁转矩，以此来进行最大风能的捕获；对于永磁同步电机，能够依据调节直流电压的方法来控制电磁转矩，以此进行最大风能的捕获。

对于直流励磁方式的同步电机，励磁损耗较小；对于永磁同步电机，则存在永磁材料的消磁现象。

1.3 风力发电的发展现状及未来发展趋势

1.3.1 国外风电的发展现状

20 世纪 70 年代石油危机发生以来，西方发达国家积极地寻求新的能源，风力发电应运而生。风电在国外相当普及，尤其是德国、西班牙、美国等发达国家，风电所占的比重很大。2011 年全球新增装机容量超过 4000 万 kW，累计装机容量超过 2.37 亿 kW。据 2012 年世界风电报告，2011 年全球风电累计装机容量排名前十位的国家见图 1-7、图 1-8。

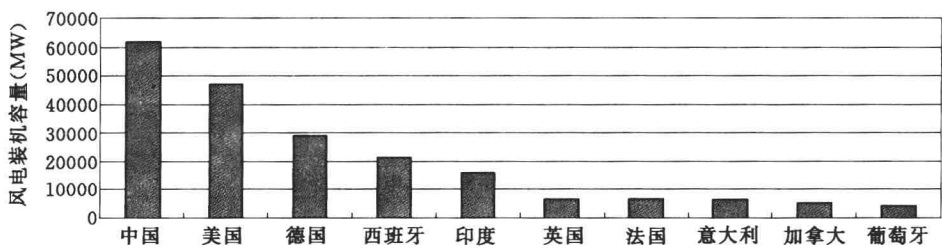


图 1-7 2011 年全球风电累计装机容量排名

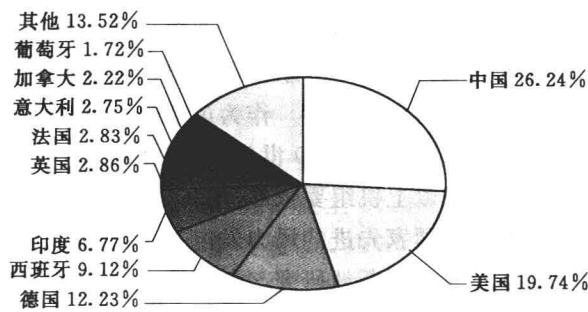


图 1-8 2011 年各国累计装机容量占比

在主权债务危机、欧元区财政失衡、全球经济整体低迷的情况下，风电发展还是取得了满意的成果，从总体数据来看，全球的区域分布和市场格局大体不变，但新增装机容量的增速变缓，风电开始从快速发展向稳步发展转变，表 1-1 说明了 2006—2011 年全球风电市场装机容量的情况。

表 1-1 2006—2011 年风电市场增长率

年 份	新增装机容量 (MW)	增速 (%)	累计装机容量 (MW)	增速 (%)
2006	15245		74052	
2007	19866	30	93820	27
2008	26560	34	120291	28
2009	38610	45	158864	32
2010	38828	1	197637	24
2011	40564	4	237669	20

在风电机组的利用上,兆瓦级机组成为风电发展的趋势。海上风电可以节省土地资源,且风能丰富,风速较高,噪声、人为景观和电磁干扰对风电的影响小。基于这些优点,很多国家都制订了海上风能计划并开展了实施。截至2012年上半年,10个欧洲国家的56个风电场共计有1503台海上风电机组已经完全并网,图1-9列出了近年来海上装机容量情况。

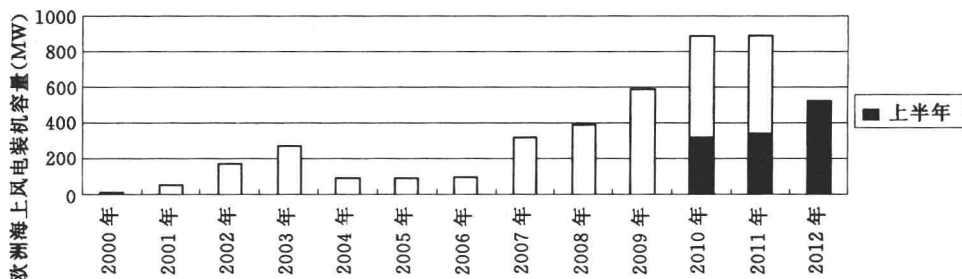


图 1-9 欧洲历年海上风电装机容量

1.3.2 我国风电发展状况

我国幅员辽阔,风能资源十分丰富,尤其在东南沿海、西北、华北北部、东北等地区都储藏着丰富的风资源。由于地势等各种客观因素,西北地区长期以来存在着发展落后和能源短缺等问题,严重影响了当地人民的生活水平,风电的发展为他们带来了新的发展道路,因地制宜进行风电场的开发成为大势所趋。作为风能最广泛的利用形式,风电技术正朝大容量、低功耗、高效率的方向发展。自20世纪90年代以来,我国坚持着稳固的风电发展政策。但是,大多数的兆瓦级以上机组要依靠进口,这种情况制约了风电技术的国产化进程。我国正在引用和学习发达国家先进的风力发电技术,加紧实现自主开发、自主设计和自主制造大型风力机的技术。在不断地研究与创新中,我国研制出了20kW、30kW、75kW、120kW、200kW、600kW和1MW的风力发电机组。

在我国政府的大力支持下,尽管我国大力推广风电的时间较晚,离发达国家有一定的距离,但是每年新增和累计装机容量越来越高,风电场的建设也进入了一个新的阶段。同时,风电系统正在朝单机大容量的方向前进,从20世纪80年代中期小型机组投运以来,单机容量愈来愈高,自21世纪以来,兆瓦级机组无论从新增容量还是累计容量来讲都在稳步上升,2005年兆瓦级新增机组容量占到了当年新增容量的21.5%,2009年上升到了86.86%,今后发展的潜力更是可观的,表1-2列出了中国近十几年来新增、累计并网容量以及年增长率的情况。

伴随着风电产业的快速发展,在政府和电力企业的共同努力下,风电发展取得了显著的进展,但任何事业都不是一帆风顺的,也伴随着相应的矛盾。首先,阻碍风力发电发展的是大规模风电并网的问题。由于风的不稳定性,风波动时会对电网形成很大的冲击,也伴着大量的谐波,同时面临着低电压穿越的问题,安全性承受着考验。其次,风电技术装备水平不够高,创新能力欠缺。我国所生产的风电配套产品基本能满足市场需求,但对风机的轴承、变流器等核心技术设备仍主要依靠进口。再次,风电厂的建设和治理经验

不足。

表 1-2 我国风电产业历年新增、累计并网容量和年增长率情况统计表

年 份	当年新增并网容量 (MW)	年底累计并网容量 (MW)	年增长率 (%)
1994 年以前	11.1	33.7	49.12
1994	23.3	57.0	69.14
1997	84.7	141.6	148.60
1998	71.9	213.5	50.78
1999	50.3	263.8	23.56
2000	77.3	341.1	29.30
2001	41.7	382.8	12.23
2002	65.7	448.6	17.16
2003	98.3	546.9	21.91
2004	215.9	762.7	39.48
2005	506.1	1268.8	66.36
2006	1399.4	2668.2	110.29
2007	3360.8	6029.0	125.96
2008	6143.7	12172.7	101.90
2009	5497.3	17670.0	45.16
2010	13640.0	31310.0	77.19
2011	16530.0	47840.0	52.79

今年我国风电依然呈快速发展的形势，截至 2012 年上半年，我国风电累计的并网容量 5572kW，其中内蒙古风电并网容量突破 1500kW，领跑全国，河北、甘肃、山东、黑龙江、江苏、新疆、山西、广东、福建等省、自治区并网容量也均超过 100 万 kW，截至 2012 年底，我国海上风电并网装机容量超过 30 万 kW，仅次于英国和丹麦。

中国 2012 年新增装机容量 1296 万 kW，相比 2011 年降低了 26%，2013 年，我国对风能采取的措施是有效地发展风电，稳步地发展海上风电。鼓励风电设备企业加强关键技术研发，加快风电产业技术升级。通过加强电网建设、改进电网调度水平、提高风电设备性能、加强风电预测预报等途径，提高电力系统消纳风电的能力。到 2015 年，中国风电装机容量将突破 1 亿 kW，其中海上风电装机容量达到 500 万 kW。

1.3.3 风力发电的未来发展趋势

风力发电作为一项新的技术，它的未来发展趋势为：

(1) 叶尖速度的个性化设计。风机的叶尖速度是转速和叶片半径的乘积。噪声会随着叶尖速度的增加而急速加大，因此较高叶尖速度的风力发电机比低叶尖速度的风力发电机噪声要大得多。对于陆上市场来说，噪声是一个主要限制。海上风电场对噪声的敏感度较小，海上风电场的风力发电机的叶尖速度比陆地风电场的风力发电机的叶尖速度增长大约 10%~30%。

(2) 变桨和变速更具发展优势。变桨距调节是大型风力发电机的最佳选择。因为变桨距调节提供了较好的输出功率质量,并且每一片叶片调节器的独立调桨技术允许叶片可以被认为是两个独立的制动系统。通过控制发电机的转速,能使风力发电机的叶尖速比接近最佳值,从而最大限度地利用风能,提高风力发电机的运行效率。

(3) 其他新的发电机配置模式也已经被提出来,包括开关磁阻电机。

(4) 直接驱动和混合驱动技术的市场份额迅速扩大。齿轮传动不仅降低了风电转换效率和产生噪声,是造成机械故障的主要原因,而且为减少机械磨损需要润滑清洗等定期维护。采用无齿轮箱的直驱方式虽然提高了电机的设计成本,但却提高了系统的效率以及运行可靠性。Win-wind的混合驱动技术的风力发电机问世以来,以其独特的设计理念,冲击着传统的市场,其市场份额在不断扩大。

(5) 海上风电悄然兴起。海上风电场是国际风电发展的新领域。开发海上风电场的主要动机是因为海上风速更高且更易预测,发展海上风电场也成为风力发电行业新的应用领域。丹麦、德国、西班牙、瑞典等国都在计划较大的海上风电场项目。由于海上风速较陆上大且稳定,一般陆上风电场平均设备利用小时数为2000h,好的为2600h,在海上则可达3000h以上。为便于浮吊的施工,海上风电场一般建造水深为3~8m处,同容量装机,海上比陆上成本增加60%(海上基础占23%、线路占20%;陆上仅各占5%左右),发电量增加50%以上。

(6) 风力发电机制造技术在发生变革。5MW风机已经面世,10MW以上的风力发电机也在研制中。专家们预言,2020年将会有20MW、30MW乃至40MW的风力发电机面世。风力发电机的制造技术已开始由造机器向建造电站方向转化。

(7) 产业集中是总的趋势。2009年,世界排名前十位的风电机组制造业占据了全球78.7%的市场份额。

(8) 水平轴风电机组技术成为主流。水平轴风电机组技术因其具有风能转换效率高、转轴较短,在大型风电机组上更显经济性等优点,使水平轴风电机组成为世界风电发展的主流机型,并占到95%以上的市场份额。

1.4 本书研究的意义

本书研究的主要内容是在针对风力发电机组展开的一些仿真研究及PLC程序设计,这也是本人多年来的知识积累,风电行业作为国家大力发展的新型能源有着其前所未有的战略意义。

发展风力发电等再生能源对于保护环境、改善能源结构等有着重要的战略意义,已经成为人们的共识。而且现在是必须大力发展风力发电的时候了。从世界能源发展趋势看:根据最新资料表明,世界能源消耗量从1970年的83亿t标准煤到1995年14亿t标准煤,增长了68.7%。预计到2020年将达到195亿t标准煤,50年增长1.35倍。尽管到2020年石油、煤、天然气、核能仍然是能源供应的主力,但风力发电等再生能源以及其他新能源的发展令人瞩目。

此外,由于在目前技术条件下风电与火电、水电相比,从造价、电能质量、设备制造