



**Wind Power Technology**  
and Wind Farm Project



# 风力发电技术与风电场工程

杨校生 主编



化学工业出版社



**Wind Power Technology**  
and Wind Farm Project

# 风力发电技术与风电场工程

杨校生 主 编

宣安光 王斯永 副主编

苏州龙源白鹭风电职业技术培训中心



化学工业出版社

· 北 京 ·

风力发电是风能利用的主要方式。本书在介绍风电有关的基础知识和风力发电机整体结构的基础上,系统阐述了风电产业链各环节的实用技术,包括风力发电机组的机械传动系统、液压与润滑系统、控制系统,以及风电设备、风电场开发、风电场运行维护等方面的技术。

本书内容系统、完整、编写人员多为有丰富经验的专家,可作为风电职业技术培训教材使用,也可供有关设计和科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

风力发电技术与风电场工程/杨校生主编. —北京:  
化学工业出版社, 2011. 10  
ISBN 978-7-122-12229-2

I. 风… II. 杨… III. 风力发电-电力工程  
IV. TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 179621 号

---

责任编辑: 王 斌 徐 娟  
责任校对: 周梦华

装帧设计: 史利平

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 25 字数 626 千字 2012 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 138.00 元

版权所有 违者必究

# 序 一

加快开发利用可再生能源是解决人类能源和环境问题的必由之路。风电作为目前技术最成熟且极具发展潜力的新能源发电技术正受到全球越来越多的关注。我国高度重视风电产业的发展，已把发展风电作为调整能源结构、发展低碳经济、积极应对气候变化的重要举措，把风电产业作为优先发展的战略性新兴产业。近年来，在《可再生能源法》的推动下，在社会各界的积极支持和参与下，我国风电产业实现了跨越式发展，进入国际领先行列，风电装机容量快速增长，风电设备制造能力明显提高，已成为世界上风电总装机最多和设备制造能力最强的国家。展望未来，我国风电发展的潜力很大，在能源供应中的作用将越来越重要。

为了推动我国风电事业持续健康发展，把风电场建设好，运行好，管理好，我们需要建立一支具有风电专业技术知识，受到良好训练的风电人才队伍，风电产业的不断发展使得需求日显迫切。为了满足这个需要，中国可再生能源规模化发展项目（CRESP）携手苏州龙源白鹭风电职业技术培训中心启动了风电技术人才培养项目。经过几年的不懈努力，项目取得了丰硕的成果。

作为项目的组成部分，根据中国风电发展的实际和苏州龙源白鹭职业技术培训中心多年来的教学实践，龙源白鹭职业技术培训中心组织国内风电行业各方面的专家编写了本书作为培训教材。本书详细阐述了风力发电技术和风电场开发、建设、运行管理所涉及的各个方面的知识，具有广泛性和实用性。尤其值得一提的是，本书包含了作者在风电领域多年的实际经验，供风电界同仁分享。

相信本书的出版将对国内从事风电事业的技术人员和管理人员产生积极指导和帮助作用，为我国风电事业的发展和风电人才的培养做出贡献。

对于众多专家在完成本书时的辛勤付出，在此表示诚挚的感谢。



国家能源局新能源与可再生能源司

## 序 二

众所周知，能源和环境是当今世界共同面临的重大问题，为此，大力发展可再生能源已经成为人类共识。风电是目前技术最成熟、最具市场竞争力且极具发展潜力的可再生清洁能源，发展风电对于改善能源结构、保护生态环境、保障能源安全和实现经济的可持续发展等方面有着极其重要的意义。我国政府高度重视风电发展，已将风电作为未来战略新兴产业之一，并通过采取优惠电价、全额收购及成本分摊等方式，积极推动风电产业发展。

截至 2010 年底，我国风力发电总装机容量已达近 4500 万千瓦，位列世界第一位，仅 2010 年新增装机就近 1900 万千瓦。以目前增长速率，未来十年中国风电装机容量每年将超过 1500 万千瓦，到 2020 年总装机容量将超过 2.0 亿千瓦。另一方面，我国风电场建设规模也越来越大，根据 2007 年发布的《可再生能源中长期发展规划》，我国将在甘肃、新疆、河北、吉林、内蒙古以及江苏等省、自治区打造 8 个千万千瓦级风电基地，其中甘肃酒泉风电基地首座风电场已正式竣工。

风力发电是风能利用的主要方式，而风力发电技术则是风能持续健康发展的重要保障，其主要涉及气象学、流体力学、固体力学、材料力学、电子技术、机械工程、电气工程、海洋工程、环境工程等多个学科和专业。为了有效掌握风电技术，不仅需要扎实的基础理论知识，电场实际工程经验的积累也非常重要。

近年来，尽管我国风电机组和风电场技术都取得了长足进步，但与国外先进技术相比，还存在相当大的差距，突出表现在：（1）在风电机组方面，主流机型整机和关键部件设计技术大多来自国外，风况研究、风力机气动、结构和控制系统等设计技术还不扎实，机组故障率高、可靠性低，质量有待改进；（2）在关键部件方面，控制系统、变频器、变桨器和轴承等还主要依赖进口，而叶片设计基本参照国外产品；（3）在风电场设计、运营和维护方面，风电场设计技术有待提高，风电场可利用率不高，大型、特大型风电场的建设、上网、送出、吸纳都有问题，风电并网受到限制，风电产生的谐波、无功消耗和低电压穿越问题还需进一步研究；（4）在海上风电方面，海上风电场建设刚刚起步，具有一定盲目性，亟待解决的技术问题还比较多。因此，为了彻底攻克这些技术难题，除了政府在政策上给予支持外，还必须继续加大风电科研投入和人才培养，以建立完善的风电公共技术服务平台和产业化体系。

在中国可再生能源规模化发展项目（CRESP）支持下，《风力发电技术与风电场工程》一书得以顺利出版，该书由在国内风电技术研发和风电场开发领域知名的龙源电力集团总工程师杨校生担任主编，杭州前进齿轮箱集团前总工程师宣安光和华能新能源控股公司前总工程师王斯永担任副主编，以及一大批具有多年风电研发丰富经验的科学家、工程师和风电场管理人员共同编写完成。杨校生先生自 20 世纪 80 年代就开始从事风能应用方面的工作，特别是风电场的运营和管理工作，积累了丰富的经验，是我国知名的风电专家。全书集理论与工程实践于一体，针对目前工程实践中存在的实际问题，系统论述了从风资源、风电机组和关键部件到风电场控制、运行、维护、管理和并网等涉及风力发电行业各个领域的基础知识和实用技术。该书内容翔实，图文并茂，条理清晰，实用性强，是一本同时具有工程和理论

指导意义的专著。不但可以作为风电行业科研与工程人员自学和技术攻关的参考资料，也可作为大专院校和科研院所为学生、研究生授课的专业教材。总之，该书的出版将对提升我国风电研发水平，培养专业技术人才以及促进产业发展，起到非常积极的作用。



中国科学院院士

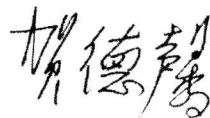
# 序 三

风能开发利用是增加能源供应、调整能源结构、保障能源安全、减排温室气体、保护生态环境和构建和谐社会的一项重要措施。风力发电是风能开发利用的主要形式。自 20 世纪 80 年代开始，我国风力发电经历了长期的技术研究和项目开发的探索，特别是中国《可再生能源法》的颁布实施，推动了风力发电规模化发展，并形成了风力发电产业。2010 年中国风电新增装机容量 1890 多万千瓦，累计装机容量达到 4473 多万千瓦，成为全球主要的风电市场。

我国风力发电在技术进步和产业发展方面虽然取得了很大的成绩，但是为了保持中国风能产业健康、稳定和持续地发展，我们要完成从“中国制造”向“中国创造”，从“风能大国”向“风能强国”，从“国内市场”向“国际市场”的转变。在这个转变过程中，除了需要科学制定风能发展规划、发展路线和相关政策外，加快风能技术进步和培养专业人才是重要的保障措施。

《风力发电技术与风电场工程》正是在这样的形势需求下出版的一本书。本书的主编杨校生同志从 20 世纪 80 年代开始从事可再生能源，特别是风能的开发利用工作，在风电的技术研究、项目开发、工程建设、运行管理等方面进行了深入的研究和实践，积累了丰富的经验。参编的其他人员也都是在风电领域中工作多年，有丰富经验的专家和管理人员。本书的特点是十分注重理论与实践的结合，针对风电场项目开发和管理的实际需要，对风电项目产业链各环节的实用技术和基本知识进行全面和系统的阐述，特别是风电场运行维护和管理方面的内容有较强的可操作性。本书的出版对从事风电设备和风电场工作的技术人员及管理人员掌握相关知识和解决问题的方法会有很好的帮助，同时对高等院校相关专业的学生也是一本很好的参考书。

最后，我要感谢本书的作者付出的辛勤劳动和所做的无私贡献，也要感谢中国可再生能源规模化发展项目办公室和化学工业出版社对本书出版的支持。让我们共同努力为我国风能事业的发展贡献力量。



中国风能协会理事长

# 前 言

随着国际社会能源紧缺压力的不断增大、日益严峻的环境污染和气候变化等问题，风力发电以其洁净、无污染、可再生的绿色能源的特点得到了国际社会的高度重视。风电技术日益成熟，风电装机容量不断增大，并网性能不断改善，发电效率不断提高，风电产业在全球能源产业中脱颖而出。

风力发电技术是一项集气象学、空气动力、机械制造、电气工程、电子控制技术、材料科学、环境科学、海洋工程和可靠性设计为一体的综合性技术。风电发展需要掌握从机组和设备制造、安装、调试到运营管理的知识和技术，目前系统化介绍这方面技术的书籍较少。

本书的编写力求内容系统、完整，由浅入深地介绍风电有关的技术基础知识，在明晰理论的基础上，系统阐述风电产业链各环节的实用技术，重点突出风电设备、风电场开发的有关技术，以及风电场的运行维护技术，注重理论与实践的结合。参与本书编写的人员除了有扎实的理论基础知识外，很多都是长期工作在风电开发领域具有丰富经验的专家，其宝贵经验都融入本书中。本书适合作为风电职业技术培训教材使用，或作为从事风力发电行业的技术人员自学之用，也可为风电有关设计和科研人员参考。希望本书的出版能对中国风电产业技术人才的培养提供支持，对推动中国风电事业的发展产生积极的作用。

本书由龙源电力集团杨校生总工程师负责整体编排并审定全书。绪论部分由张国珍编写；第一章由黎波编写；第二章由王斯永编写；第三章由李晓雪编写；第四章由黄晓杰、陈刚编写；第五章由宣安光编写；第六章由孙海鸿编写；第七章由庞卓卉、张冬平编写；第八章由叶杭冶编写；第九章由吴小鸿编写；第十章由张世惠、张冬平编写；第十一章由赵海翔编写。全书由宣安光、王斯永副主编共同完成统稿。

本书在编写过程中得到了中国可再生能源规模化发展项目（CRESP）项目的资助，项目办罗志宏主任、张熙霖博士和风电界资深专家庄岳兴、祁和生、秦海岩、吴金城、夏晖、和军梁以及陈晓伟等人对本书给予了大力支持和帮助，在此一并表示诚挚感谢。

由于时间仓促，本书在编写过程中难免有疏漏之处，希望各位读者给予谅解并欢迎读者不吝指正。

编者

2011年5月



# 目 录

绪论 .....	1
0.1 风力发电的意义 .....	1
0.2 风能开发利用的发展状况 .....	2
0.2.1 早期的风能利用历史 .....	2
0.2.2 风力机的种类和发展过程 .....	3
0.2.3 世界风力发电的发展状况 .....	8
0.2.4 我国风力发电的发展状况 .....	9
0.2.5 风力发电设备制造业的发展状况 .....	10
0.2.6 海上风电场的兴起 .....	12
<b>第 1 章 风能资源和风电场开发 .....</b>	<b>14</b>
1.1 风的形成 .....	14
1.1.1 大气环流 .....	14
1.1.2 季风环流 .....	15
1.1.3 局地环流 .....	16
1.1.4 两种特殊地形条件下的风能分布实例 .....	17
1.1.5 我国的风能资源分布 .....	17
1.2 风的描述 .....	20
1.2.1 风速 .....	20
1.2.2 风向 .....	23
1.2.3 风能和风功率密度 .....	24
1.2.4 空气密度 .....	24
1.2.5 粗糙度和风切变指数 .....	25
1.2.6 湍流强度 .....	26
1.3 风的测量 .....	27
1.3.1 测风系统的组成 .....	27
1.3.2 测风设备 .....	27
1.3.3 测风需要注意的问题 .....	28
1.4 风能资源评估 .....	29
1.4.1 风能资源评估的目的 .....	29
1.4.2 风能资源评估主要技术标准 .....	29
1.4.3 风能资源评估主要步骤 .....	29
1.5 机组选型、布置和发电量估算 .....	29
1.5.1 机组选型 .....	29
1.5.2 机组布置 .....	30

1.5.3	发电量计算	32
1.6	风电场开发流程	34
1.6.1	风电场宏观选址	34
1.6.2	风电场测风	35
1.6.3	风能资源评价	35
1.6.4	风电场规划	35
1.6.5	风电场可行性研究	35
1.6.6	风电场工程招标	35
1.6.7	风电场施工	36
<b>第2章</b>	<b>风力发电空气动力学基本原理</b>	<b>37</b>
2.1	基本概念	37
2.1.1	风的动能	37
2.1.2	不可压缩流体	38
2.1.3	流体黏性	38
2.1.4	阻力	38
2.1.5	层流与湍流	39
2.1.6	雷诺数	39
2.1.7	边界层	39
2.1.8	伯努利方程	40
2.1.9	升力	41
2.2	一维动量理论	41
2.2.1	Betz 理论	41
2.2.2	考虑风轮尾流旋转的动量理论	43
2.3	叶素-动量理论	45
2.3.1	叶素理论	45
2.3.2	叶素-动量理论	46
2.3.3	普朗特叶尖损失因子	47
2.3.4	涡流理论	47
2.3.5	小结	48
2.4	风力机叶片翼型的空气动力学基础	49
2.4.1	翼型和翼型的几何参数	49
2.4.2	翼型的空气动力特性	50
2.4.3	小结	55
2.5	风电机组的功率调节	55
2.5.1	失速控制	55
2.5.2	变桨距控制	56
2.5.3	主动失速控制	58
<b>第3章</b>	<b>风力发电机组整体结构</b>	<b>59</b>
3.1	概述	59
3.2	机舱	61

3.2.1 机舱底座 .....	62
3.2.2 机舱罩与整流罩 .....	62
3.3 塔架与基础 .....	63
3.3.1 塔架类型和结构 .....	63
3.3.2 基础 .....	66
3.4 机械传动系统 .....	66
3.5 偏航系统 .....	67
3.6 变桨距机构 .....	68
3.7 液压和制动系统 .....	68
3.8 发电机 .....	69
3.9 齿轮箱/发电机冷却系统 .....	70
3.10 控制系统 .....	70
3.11 风电机组的参数与性能 .....	71
3.11.1 风电机组的主要参数 .....	71
3.11.2 功率曲线 .....	72
3.12 各种不同类型的风电机组 .....	73
3.12.1 定桨距失速型风电机组 .....	73
3.12.2 变桨距型风电机组 .....	73
3.12.3 变桨变速型风电机组 .....	73
3.12.4 直驱型风力发电机 .....	75
3.12.5 半直驱型风力发电机 .....	75
3.13 国产风力发电机组简介 .....	76
3.13.1 FL1500 风力发电机组 .....	76
3.13.2 FD70A、FD77A 型风力发电机组 .....	78
3.13.3 GW1500 直驱式风力发电机组 .....	81
<b>第 4 章 风轮</b> .....	<b>82</b>
4.1 概述 .....	82
4.2 风轮的参数 .....	82
4.2.1 叶片数 .....	82
4.2.2 风轮的几何参数 .....	83
4.3 叶片 .....	83
4.3.1 叶片的基本概念 .....	84
4.3.2 叶片的设计与制造 .....	85
4.3.3 叶片故障和修补 .....	92
4.4 轮毂 .....	92
<b>第 5 章 风力发电机组机械传动系统</b> .....	<b>94</b>
5.1 概述 .....	94
5.2 风力发电机组传动系统布置 .....	94
5.2.1 传统的风力发电机组传动系统布置 .....	94
5.2.2 直驱型风力发电机组传动系统布置 .....	96

5.2.3	半直驱型风力发电机组传动系统布置 .....	97
5.3	主轴 .....	98
5.4	联轴器 .....	99
5.4.1	胀套式联轴器 .....	100
5.4.2	万向联轴器 .....	102
5.4.3	弹性联轴器 .....	103
5.5	机械制动装置 .....	106
5.5.1	机械制动器的分类和特点 .....	106
5.5.2	盘式制动器 .....	107
5.6	齿轮传动 .....	109
5.6.1	齿轮机构的类型 .....	109
5.6.2	渐开线和渐开线齿廓啮合特点 .....	109
5.6.3	齿轮名称和参数 .....	110
5.6.4	直齿圆柱齿轮传动 .....	112
5.6.5	斜齿圆柱齿轮传动 .....	113
5.6.6	齿轮加工 .....	116
5.6.7	齿轮的失效形式和材料选用 .....	117
5.6.8	轮系 .....	118
5.6.9	风力发电机组的齿轮箱 .....	120
5.6.10	齿轮箱结构和主要零部件 .....	126
5.6.11	齿轮箱的使用及其维护 .....	135
5.7	风力发电机组的偏航系统 .....	138
5.7.1	偏航系统的作用及分类 .....	138
5.7.2	偏航系统的主要组成部分 .....	139
5.7.3	偏航系统的维护 .....	144
5.7.4	偏航系统的常见故障 .....	145
5.8	变桨系统 .....	146
5.8.1	风电机组的变桨距控制 .....	146
5.8.2	液压变桨距系统 .....	148
5.8.3	电动变桨系统 .....	149
<b>第 6 章</b>	<b>风力发电机组液压与润滑系统 .....</b>	<b>152</b>
6.1	概述 .....	152
6.2	风力发电机组的液压系统 .....	152
6.2.1	风力发电机组液压系统的主要功能 .....	152
6.2.2	定桨距风力发电机组的液压系统 .....	153
6.2.3	液压变桨距风力发电机组的液压系统 .....	155
6.3	液压系统的使用与维护 .....	159
6.3.1	液压油的污染与控制 .....	159
6.3.2	液压系统的检查和维护 .....	160
6.4	润滑基础 .....	164
6.4.1	润滑的作用 .....	164

6.4.2	润滑的分类 .....	164
6.4.3	润滑剂 .....	165
6.5	风力发电机组的润滑 .....	166
6.5.1	风力发电机组的工作环境及基本润滑要求 .....	166
6.5.2	油品的选择 .....	166
6.5.3	风电增速箱润滑的特殊要求 .....	168
6.5.4	油品使用中需要注意的问题 .....	170
6.5.5	润滑工作的管理 .....	170
<b>第7章</b>	<b>风力发电机组用发电机 .....</b>	<b>173</b>
7.1	发电机常见类型及其工作原理 .....	173
7.1.1	概述 .....	173
7.1.2	发电机常见类型 .....	173
7.1.3	发电机工作原理和结构 .....	174
7.1.4	在定桨距风力发电机组上应用的鼠笼式异步发电机 .....	189
7.1.5	在变桨距变频风电机组中应用的双馈异步发电机 .....	191
7.1.6	在并网型风电机组中使用的同步发电机 .....	194
7.2	风力发电机组系统对发电机的总体要求 .....	196
7.2.1	风力发电机组系统对发电机的要求 .....	196
7.2.2	运行环境对发电机提供的外部条件及电机应采取的措施 .....	198
7.3	发电机的安装与维护 .....	199
7.3.1	发电机的适用环境 .....	199
7.3.2	安装 .....	199
7.3.3	维护与保养 .....	199
7.3.4	发电机常见故障处理 .....	200
<b>第8章</b>	<b>风力发电机组控制系统 .....</b>	<b>208</b>
8.1	风力发电机组控制技术概述 .....	208
8.1.1	风力发电机组控制技术的发展 .....	208
8.1.2	风电机组的主要控制方式 .....	209
8.2	定桨距失速型风力发电机组控制系统 .....	209
8.2.1	定桨距失速型风力发电机组概述 .....	209
8.2.2	定桨距失速控制系统的划分 .....	210
8.2.3	软并网技术 .....	210
8.2.4	无功电容补偿 .....	211
8.3	变速恒频风力发电机组控制系统 .....	213
8.3.1	变速恒频技术概述 .....	213
8.3.2	变速恒频控制系统的划分 .....	215
8.3.3	常见的控制系统三个主要部分 .....	215
8.3.4	控制系统中的传感器 .....	220
8.3.5	几个重要控制过程介绍 .....	224
8.4	变速恒频型风力发电机组控制系统控制逻辑及机组模型 .....	232

8.4.1	控制逻辑简介 .....	232
8.4.2	风电机组模型简介 .....	233
8.5	系统失电对风机的影响 .....	236
8.6	风电机组保护设置 .....	236
8.6.1	一般风电机组的保护配量 .....	236
8.6.2	某风电机组的保护配置 .....	236
8.6.3	低电压穿越功能 .....	237
<b>第9章</b>	<b>风电场电气与控制系统 .....</b>	<b>238</b>
9.1	风电场的电气与控制系统组成 .....	238
9.2	风电场电气系统 .....	239
9.2.1	风电场升压站及入网送出线路 .....	239
9.2.2	风电场场内输变电系统（场内集电线路） .....	245
9.2.3	风电场风力发电机组电气系统 .....	251
9.3	风电场监控系统 .....	253
9.3.1	升压站计算机监控系统 .....	253
9.3.2	风电场风电机组群计算机监控系统 .....	256
9.3.3	风电场风电机组中央监控系统 .....	260
9.3.4	风电场中央监控系统功能示例 .....	261
9.4	集团级风电监控系统 .....	267
9.5	风电场的储能技术 .....	268
9.6	海上风电场电气与控制技术 .....	268
9.6.1	海上风电机组的适应性要求 .....	269
9.6.2	海上风电场的适应性要求 .....	269
<b>第10章</b>	<b>风电场的运行、维护与管理 .....</b>	<b>270</b>
10.1	概述 .....	270
10.2	风电场运行 .....	271
10.2.1	风电机组运行 .....	271
10.2.2	风电场运行监控 .....	274
10.2.3	风电场调度运行 .....	275
10.2.4	风电机组运行方式的优化 .....	275
10.2.5	风电场设备巡视 .....	276
10.3	风电机组维护检修 .....	286
10.3.1	检查 .....	286
10.3.2	测量 .....	286
10.3.3	紧固 .....	286
10.3.4	润滑 .....	287
10.3.5	机组试验 .....	287
10.3.6	清洁 .....	287
10.3.7	更换易耗件 .....	287
10.4	风电场设备故障与事故处理 .....	287

10.4.1	设备故障概论	287
10.4.2	风电场输变电设备异常和故障分析	288
10.4.3	风电机组异常和故障及分析处理	289
10.4.4	风电机组运行中的事故应对与安全链	298
10.5	特殊环境对风电场运行的影响	300
10.5.1	雷电对风电机组运行的影响	300
10.5.2	风沙侵蚀对风电机组的影响	305
10.5.3	热带气旋对风电场运行的影响	307
10.5.4	盐雾腐蚀对风电场的影响	310
10.6	风电场管理	311
10.6.1	风电场运行管理	311
10.6.2	安全作业与管理	321
10.7	风电场运行相关技术	326
10.7.1	风电场功率预报技术	326
10.7.2	风电机组振动监测技术	327
10.7.3	风电场检测技术	328
<b>第 11 章</b>	<b>风电场接入系统</b>	<b>333</b>
11.1	电力系统概述	333
11.1.1	电力系统的组成	333
11.1.2	电力系统的基本概念	333
11.1.3	电力系统的运行	334
11.2	风电场的并网方式	335
11.3	风电并网若干技术问题及解决措施	338
11.3.1	风电对系统无功电压的影响及相应的解决措施	338
11.3.2	风电带来的电能质量问题	343
11.3.3	风电机组暂态特性及对系统暂态稳定性的影响	346
11.3.4	风电接入对系统备用的影响	349
11.4	接入系统的技术要求	350
11.4.1	风电场有功功率	351
11.4.2	风电场功率预测	351
11.4.3	风电场无功配置	351
11.4.4	风电场电压	352
11.4.5	风电场运行频率	352
11.4.6	风电场低电压穿越	352
11.4.7	风电场电能质量	352
<b>附录 1</b>	<b>2010 年中国总装企业基本情况</b>	<b>354</b>
<b>附录 2</b>	<b>《风力发电场安全规程》</b>	<b>360</b>

附录 3 《风力发电场运行规程》 .....	365
附录 4 《风力发电场检修规程》 .....	371
附录 5 风电机组定期维护表 .....	379
参考文献 .....	382



# 绪 论

在自然界中，能源的种类很多，按照其生成方式，分为一次能源和二次能源。一次能源又叫做自然能源，是指自然界中以天然形态存在，可以直接获取的能源，例如煤炭、石油、天然气以及太阳能、风能、水能、地热能、海洋能、生物质能等。二次能源是由一次能源转换为符合人们使用要求的能源，例如电能就是由其他一次能源转化而来的最主要的二次能源。

一次能源还可以按照其是否能再生而循环使用，分为可再生能源和非再生能源。煤炭、石油和天然气等化石类能源是非再生能源，随着人类大规模开发利用，其储量日益减少，而且还对地球环境造成严重的污染。一次能源中的太阳能、风能、水能、地热能、生物质能等，具有可再生性，是可再生能源。可再生能源在合理开发利用的情况下，取之不尽，用之不竭。但作为可再生和独立存在的能量形式，其分布呈现明显的地域性，并且能量密度低、不连续，且与生态环境密切相关。

在我国还常把能源分为常规能源和新能源两大类。所谓新能源是相对而言的，这里新能源的含义，是指除常规化石能源和大中型水能、核能之外的生物质能、太阳能、风能、小水能、地热能以及海洋能等一次能源。

把可再生能源通过一定的技术手段从非电能转换成电能，并加以利用，这种技术就是可再生能源发电技术。从某种意义上讲，这也是一种能源转换技术。

在所有新能源、可再生能源发电技术中，风力发电是技术更为成熟、成本相对低廉、对环境影响小且最具开发规模和商业发展前景的能源转换技术。发展风电对于改善能源结构、保护生态环境、保障能源安全和实现经济的可持续发展等方面有着极其重要的意义。

## 0.1 风力发电的意义

### (1) 提供国民经济发展所需的能源

能源是国民经济发展和人类生活必需的重要物质基础。我国能源面临最突出的问题是国内化石类能源供应严重不足。一项关于我国未来能源供需报告曾预测，2020年国内可供应常规能源的量不到2亿吨标准煤，能源缺口将为4亿~5亿吨，需要从国外进口。如果要减轻我国对石油和天然气进口的依赖，必须调整能源结构，大规模开发可再生能源。可再生能源将作为主要的替代能源，而风力发电则是可再生能源发展的重点，市场广阔、前景光明，将为国民经济发展提供更充足的物质保证。

### (2) 减少温室气体排放

风力发电是当前既能获得能源，又能减少有害气体排放的最佳途径之一。目前我国的电能结构中75%是煤电，排放污染严重，增加风电等清洁能源比重刻不容缓。在减少温室气体二氧化碳和导致酸雨的二氧化硫等有害气体排放、保护环境、缓解全球气候变暖方面，风电是有效措施之一。

### (3) 提高能源利用效率