



新能源系列 —— 风能专业规划教材

# 风力发电机组 控制技术及仿真

FENGLI  
FADIAN  
JIZU  
KONGZHI JISHU  
JI FANGZHEN

王春 班淑珍 主编 韩俊峰 副主编



化学工业出版社





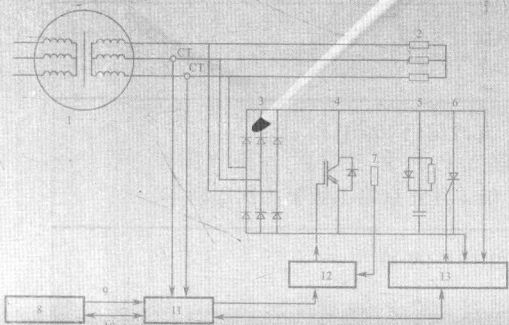
新能源系列 —— 风能专业规划教材

# 风力发电机组 控制技术及仿真



FENGLI  
FADIAN  
JIZU  
KONGZHI JISHU  
JI FANGZHEN

王春 班淑珍 主编 韩俊峰 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了用于风力发电的各种发电机以及电气系统基本原理和控制方面的知识。全书共分 8 章, 内容包括变桨系统、制动系统、液压系统、偏航系统、控制系统、变频并网技术等的基本控制原理与控制技术。本书突出了现代风力发电机组机型的典型控制方式。

本书可以作为风能与动力专业以及风能相关专业学生的教材以及各类风电技术培训班的教学用书, 也可以作为风电场和风电主机或配套企业管理人员、技术工人的自学读物。

## 图书在版编目(CIP)数据

风力发电机组控制技术及仿真/王春, 班淑珍主编.  
北京: 化学工业出版社, 2015. 8  
(新能源系列)  
风能专业规划教材  
ISBN 978-7-122-24254-9

I. ①风… II. ①王…②班… III. ①风力发电机-发电机组-控制系统-教材②风力发电机-发电机组-仿真系统-教材 IV. ①TM315

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 126169 号

---

责任编辑: 刘 哲  
责任校对: 王素芹

装帧设计: 韩 飞

---

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 装: 三河市延风印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$  字数 217 千字 2016 年 4 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: 25.00 元

版权所有 违者必究



# 前言



**风**能是一种清洁、实用、经济和环境友好的可再生能源，与其他可再生能源一起，可以为人类发展提供可持续的能源基础。在未来能源系统中，风电具有重要的战略地位。

全球已经进入从化石能源向可再生能源转变的时期，这次转型的最大动机是环境。国家能源发展的战略方向重要标志之一就是要加强可再生能源在能源消费中的比重，固守化石能源的发展模式是没有出路的。风能发电越来越受到各国的重视。按照《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》规划，未来15年，全国风力发电装机容量将达到2000万~3000万千瓦。2014年，全国风电产业继续保持强劲增长势头，全年风电新增装机容量1981万千瓦，新增装机容量创历史新高，累计并网装机容量达到9637万千瓦，占全部发电装机容量的7%，占全球风电装机的27%。2014年风电上网电量1534亿千瓦时，占全部发电量的2.78%。风电设备制造能力持续增强，技术水平显著提升。全国新增风电设备吊装容量2335万千瓦，同比增长45%，全国风电设备累计吊装容量达到1.15亿千瓦，同比增长25.5%。风机单机功率显著提升，2MW机型市场占有率同比增长9%。风电机组可靠性持续提高，平均可利用率达到97%以上。

随着风电行业的不断发展，人才缺口巨大，许多高职高专开设了新能源专业，但是没有合适的教材，作者通过企业调研与对风电专业的教学经验，编写了《风力发电机控制技术及仿真》。本教材可以作为职业院校以及各类风电技术培训班的教学用书，也可以作为风电场、风电主机或配套企业管理人员、技术人员以及风电爱好者的自学读物。





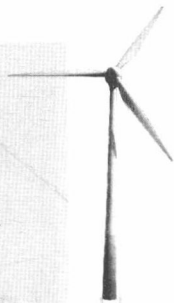
本教材主要介绍了用于风力发电机组设备以及电气系统基本原理和控制方面的知识。全书共分八章，包括风力发电原理与结构、变桨系统、制动系统、液压系统、偏航系统、风力发电机组控制系统、风力发电机组变频并网技术的基本工作原理与控制。

本书的特点是采用现代技术和方法，坚持理论与实际相结合，体现风力发电机组工作原理及控制内容的系统性、完整性、先进性，突出了现代风力发电机组机型的典型控制方式。

本教材第一、三、四章由包头职业技术学院王春编写，第二章由包头轻工职业技术学院班淑珍编写，第五、七章由包头职业技术学院韩俊峰编写，第六、八章由包头职业技术学院王爱编写，参加编写的人员还有张美荣、李瑜、仇联君、贾晨露。

由于作者水平有限，加之书中很多章节为探索性讨论，不足之处在所难免，请各位专家和广大读者不吝指正。

编者  
2015年11月





# 目 录

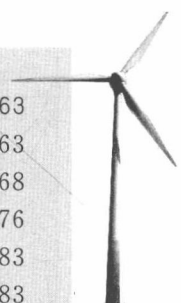


<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 风能的利用 .....	1
1.2 风能开发的意义 .....	3
思考题 .....	8
<b>第 2 章 风力发电原理与结构</b> .....	9
2.1 风力发电技术 .....	9
2.2 风力发电机结构 .....	10
思考题 .....	21
实训一 风力发电机组结构认识 .....	22
实训二 风速风向检测实验 .....	23
<b>第 3 章 变桨系统</b> .....	25
3.1 变桨系统综述 .....	25
3.2 变桨距系统的控制 .....	32
3.3 功率控制 .....	35
3.4 变桨系统故障分析 .....	40
思考题 .....	44
实训三 变桨距系统模拟动作实训 .....	44
<b>第 4 章 制动系统</b> .....	46
4.1 制动器的工作原理 .....	46
4.2 制动系统的技术要求 .....	47
4.3 机械制动器的结构 .....	51
4.4 制动系统的控制要求 .....	54
4.5 制动系统试验方法 .....	56
思考题 .....	61
实训四 风力发电机主制动和偏航制动 .....	61





<b>第 5 章 液压系统</b> .....	63
5.1 液压系统的功能 .....	63
5.2 风力发电机液压系统 .....	68
5.3 风力发电机组液压系统的设计要求 .....	76
思考题 .....	83
实训五 风力发电机组液压控制系统 .....	83
<b>第 6 章 偏航系统</b> .....	85
6.1 偏航系统的分类及功能 .....	85
6.2 偏航系统的控制原理 .....	93
6.3 偏航系统试验 .....	94
思考题 .....	99
实训六 风力发电机组偏航控制 .....	99
<b>第 7 章 风力发电机组控制系统</b> .....	100
7.1 风力发电机组控制系统简述 .....	100
7.2 风电控制系统基本功能 .....	105
7.3 安全保护系统 .....	112
思考题 .....	115
实训七 风力发电机组控制系统 .....	115
<b>第 8 章 风力发电变频并网技术</b> .....	117
8.1 变频器技术 .....	117
8.2 PMW 控制技术 .....	124
8.3 风力发电系统并网技术 .....	126
思考题 .....	136
实训八 风力发电变频器工作原理 .....	136
<b>附录 GB/T 19070—2003 风力发电机组控制器技术条件</b> .....	138
<b>参考文献</b> .....	147





# 第1章

## 概述

### 1.1 风能的利用

人类利用风能的历史可以追溯到公元前。我国是世界上最早利用风能的国家之一。公元前数世纪我国人民就利用风力提水、灌溉、磨面、舂米，用风帆推动船舶前进。宋代更是我国应用风车的全盛时代，当时流行的垂直轴风车，一直沿用至今。在国外，公元前2世纪，古波斯人就利用垂直轴风车碾米。11世纪风车在中东已获得广泛的应用。13世纪风车传至欧洲，14世纪已成为欧洲不可缺少的原动机。在荷兰，风车先用于莱茵河三角洲湖地和低湿地的汲水，后又用于榨油和锯木。直到蒸汽机的出现，欧洲风车数目才急剧下降。

数千年来，风能技术发展缓慢，也没有引起人们足够的重视。但自1973年世界石油危机以来，在常规能源告急和全球生态环境恶化的双重压力下，风能作为新能源的一部分才重新有了长足的发展。风能作为一种无污染和可再生的新能源有着巨大的发展潜力，特别是对沿海岛屿、交通不便的边远山区、地广人稀的草原牧场，以及远离电网和近期内电网还难以达到的农村边疆，作为解决生产和生活能源的一种可靠途径，有着十分重要的意义。即使在发达国家，风能作为一种高效清洁的新能源也日益受到重视。美国早在1974年就开始实行联邦风能计划，并于20世纪80年代成功开发了100kW、200kW、2000kW、2500kW、6200kW、7200kW等6种风力机组。目前美国已成为世界上风力机装机容量最多的国家。

瑞典、荷兰、英国、丹麦、德国、日本、西班牙等国家也根据各自的情况制定了相应



的风力发电计划。如丹麦在 1978 年即建成了日德兰风力发电站，装机容量 2000kW，三片风叶的扫掠直径为 54m，混凝土塔高 58m。德国早在 1980 年，在易北河口建成了一座风力电站，装机容量为 3000kW。英国的英伦三岛濒临海洋，风能十分丰富，政府对风能开发也十分重视，到 1990 年风力发电已占英国总发电量的 2%。在日本，1991 年 10 月轻津海峡青森县的日本最大的风力发电站投入运行，5 台风力发电机可为 700 户家庭提供电力。

风能的利用主要是以风能作动力和风力发电两种形式，其中又以风力发电为主。以风能作动力，就是利用风来直接带动各种机械装置，如风力泵水、风帆助航等。

### 1.1.1 风帆助航

最早的利用方式是“风帆行舟”，利用风力使船只在海面上航行。哥伦布、麦哲伦以及中国的郑和等的远洋航行使用的船只都是帆船，古老的风帆助航业得到了发展。在现代，随着电子计算机和自动化技术的发展，用计算机自动控制风帆的操纵及风帆与动力装置的优化配合已经成为现实，为风帆船的发展提供了有力的支持。20 世纪 80 年代，日本建造的“新爱德丸”风帆油船是世界上第一艘实现非人工操帆的风帆船，该船投入营运以来，取得了节省燃料费 50% 的目标。我国近年来所研制的风帆船，也已取得了初步的成果。

### 1.1.2 风车提水

利用风车提水可以治理山丘区坡耕地和解决人畜饮水问题，既经济、又环保。我国现有耕地 18 亿亩，灌溉面积仅为耕地面积的一半左右，因为干旱缺水等原因，60% 的耕地属中低产田。中低产田的现状都是靠天吃饭，风调雨顺则好，一遇到连旱则大幅欠收或绝收。利用当地丰富的风力资源，用风力提水设备将井里或低洼地的水提升到田里，既不用油又不用电，政府一次性投资，百姓终身收益，可谓一举两得。

### 1.1.3 风力发电

近百年来，荷兰、西班牙和希腊等国的乡村居民都会利用风车来发电。但是利用风车做风力发电既不稳定也不可靠，所以，当其他有效动力资源一出现，风车的地位随即被取代了。

近年来，由于传统燃料价格上涨，导致工程师们尝试发展其他更好的方法利用风力。风力虽不很稳定，但是比其他动力资源要来得便利，因为风向自由、清洁、不会产生有毒的废物，不会产生不良的副作用等。而且风可以推陈出新、供应不断，这是由于太阳照射局部的地球表面，使大气压力因地球表面的温差而异，已知空气因压力差而流动；所以只要有太阳的照射，风就会不断地吹。

现代风力机使得持续稳定地利用风能成为可能。

在电力不足的地区，为节省柴油机发电的燃料，可以采用风力发电与柴油机发电互补，组成风-柴互补发电系统。

风力发电场（简称风电场），是将多台大型并网式的风力发电机安装在风能资源好的场地，按照地形和主风向排成阵列，组成机群向电网供电。风力发电机就像种庄稼一样排列在地面上，故形象地称为“风力田”。风力发电场于20世纪80年代初在美国的加利福尼亚州兴起，目前世界上最大的风电场是洛杉矶附近的特哈查比风电场，装机容量超过 $50 \times 10^4 \text{ kW}$ ，年发电量为14亿千瓦时，约占世界风力发电总量的23%。

## 1.2 风能开发的意义

### 1.2.1 能源危机

#### (1) 能源简介

近几千年来，人类为满足自身的欲望，不停地对地球索取自然能源。地球的能源大体可分为两种，一种是可再生的能源，在被消耗之后的一段时间后，能源能够再生和恢复；另外有的一种能源是不可再生能源，这些能源是在地球的几十亿年历程中积累而生成能源，被消耗之后，在现有的条件和时间之内，能源不会再被恢复，一旦被消耗完了，就不会再有了。

人类数量的过快增长和人类文明的发展，使得人们对自然资源的需求越来越大，目前人类对地球资源的消耗速度远远超过地球的承受能力，所以地球的环境正在日益恶化，地球上的资源也正在日趋枯竭。不但是不可再生资源日趋枯竭，就连可再生资源也因为过度开发和开发不当，失去了原有的再生能力。

现在主要能源是煤、石油、天然气，还有核能、风能、太阳能、地热能等新能源。

然而煤、石油、天然气这些传统能源的发展历史和前景却不容乐观。

石油被喻为现代工业的血液，在大规模开采和运用石油不到100年的时间里，石油极大地推动了现代文明的发展。然而以目前的开采速度和石油储量来计算，估计最多还可供开采不到50年。因为石油是一种不可再生的稀缺能源，而现代社会和现代工业一刻都离不开石油，为了争夺石油这一重要而稀缺的能源，世界上发生了三次石油危机，分别发生在1973年、1979年和1990年。而每一次石油危机的发生，都伴随着剧烈的政治变动或者是爆发战争。例如前些年爆发的阿富汗战争和伊拉克战争都和争夺石油不无关系。

煤可以说是人类开发利用历史最长的化石能源，煤的使用为人类社会的发展作出了不可磨灭的贡献，日常生活一刻都离不开（包括衣食住行）。但是煤炭被普遍认为是一种对地球不清洁的能源，因为煤的使用会排放大量的二氧化碳等温室气体，产生严重温室效应，而温室效应对地球的危害已经引起了人们的广泛关注，它会带来一些严重恶果，如海平面上升；气候反常，海洋风暴增多；燃煤产生大量的二氧化硫释放到空气中会形成酸雨，酸雨的危害是多方面的，包括对人体健康、生态系统和建筑设施都有直接和潜在的危害。所以人们正在努力减少对煤的利用。



我国天然气可采储量仅占世界总量的 1.0%~1.5%。我国人均天然气占有量仅约为世界平均值的 1/10。我国天然气资源分布极不平衡，西部盛产天然气，而需求大的地区却在东南沿海，于是建造超长达 4000km 的输气管线，进入经济发达的上海和广东地区。长输管线本身就有输送能耗，另外还有安全和监管风险等问题。

现在，除积极发展节能产业外，开发新能源，是人类目前解决能源危机的唯一出路。现在人们开发了很多的新能源，包括太阳能、风能、地热能、核能、天然气、潮汐能等，而且在新能源领域激烈的竞争和争夺早已经开始了。

## (2) 中国的能源问题

中国的能源局面尤为严峻。如果按照 2020 年的能源需求预测量估算，中国煤炭、石油和天然气的资源保证程度，分别为 30 年、5 年和 10 年。显然，中国迫切需要寻找可替代能源，发展新能源和可再生能源。中国也正努力地发展核能、太阳能、风能等新能源。

尽管中国各地普遍认同以风能、太阳能光伏为代表的新能源发电基地，但行业内一个较为保守的数据是：风力发电成本是传统发电成本的 2 倍，光伏发电成本则是传统发电成本的 10 倍。这也决定了风能、太阳能光伏产业无法摆脱依靠国家政策扶持才能生存的命运。

中国现在的发电状况是：核电约占 1%，水电约占 21%，火电约占 78%，其他（包括风电）估计不到 0.1%。计划 2020 年核电达到 20%，水电 20%，火电仍然会高达将近 60%。

核电的优势非常明显。仅仅 1kg 铀 235 全部裂变放出的能量，就相当于 2700t 标准煤燃烧放出的能量。核电站一年产生的二氧化碳仅是同等规模燃煤电站排放量的 1.6%，核电站不排放二氧化硫、氮氧化物和烟尘。随着科学技术的不断进步，核电成本优势日益突出。目前，法国核电成本是煤电成本的 0.57 倍，美国在 1962 年就已经低于煤电成本。与风电、水电等其他清洁能源相比，核电同时又具有容量大和基本不受天气等外因影响的优点，能够在环境影响的情况下稳定供应大量电力。

不断发展的科学技术也让核电站更加安全可靠，人们也逐渐认识到核电是切实可行和能大规模发展的商用替代能源。目前，我国的核电发展无论是从建设规模，还是技术利用都处于全球领先地位，已成为世界上少数几个拥有完整核工业体系的国家之一。到 2020 年，我国核电运行装机容量有望达到 7000 万千瓦。

综合来看，新能源又被统称为替代能源、清洁能源或绿色能源，其核心是针对传统能源（主要指化石能源）及能源利用方式的先进性和替代性，它具有清洁、分布广及高效等特点，强调的是可持续性利用。新的能源体系也是人类社会实现可持续发展、走向低碳或绿色经济的重要前提和必不可少的一环，其含义不仅包括能源转型、技术变革，还有发展观念等的转变。

## 1.2.2 环境污染

随着全球经济的发展，人们的生活质量越来越高。然而在人们越来越奢侈的物质享受的背后，却是生态的失调、环境的恶化。到处可见的水污染、大气污染、固体污染、

水土流失等一系列严峻的问题，正在威胁着人们的正常生活，同时也严重影响着经济的发展。

### (1) 水污染

人类的活动会使大量的工业、农业和生活废弃物排入水中，使水受到污染。

“水污染”的定义，即水体因某种物质的介入，而导致其化学、物理、生物或者放射性等方面特征的改变，从而影响水的有效利用，危害人体健康或者破坏生态环境，造成水质恶化的现象称为水污染。

① 地球上的水似乎取之不尽，其实就目前人类的使用情况来看，只有淡水才是主要的水资源，而且只有淡水中的一小部分能被人们使用。淡水是一种可以再生的资源，其再生性取决于地球的水循环。随着工业的发展、人口的增加，大量水体被污染；为抽取河水，许多国家在河流上游建造水坝，改变了水流情况，使水的循环、自净受到了严重的影响。水的污染有两类，一类是自然污染；另一类是人为污染。当前对水体危害较大的是人为污染。水污染可根据污染杂质的不同而主要分为化学性污染、物理性污染和生物性污染三大类。

② 抽取地下水是缓解淡水不足的一个重要途径，但是过度抽取地下水会使地下水水位下降，导致地面沉降。

要解决水污染问题的根本途径还是在于要发动全球人民，增强保护水资源、节约用水意识；同时大力研制循环用水技术、海水淡化技术、污水净化技术等，并对排放污水或污染物质严重的企业、生活区进行合理监管和必要的惩罚，以增强人们保护水源的意识。

### (2) 大气污染

凡是能使空气质量变差的物质都是大气污染物。大气污染物已知的有 100 多种，有自然因素（如森林火灾、火山爆发等）和人为因素（如工业废气、生活燃煤、汽车尾气等）两种，并且以后者为主要因素，尤其是工业生产和交通运输所造成的。主要过程由污染源排放、大气传播、人与物受害这三个环节所构成。

① 在干洁的大气中，痕量气体（含量在百万分之一以下的气体或气体组合）的组成是微不足道的。但是在一定范围的大气中，出现了原来没有的微量物质，其数量和持续时间，都有可能对人、动物、植物及物品、材料产生不利影响和危害。当大气中污染物质的浓度达到有害程度，以致破坏生态系统和人类正常生存和发展的条件，对人或物造成危害的现象，叫做大气污染。所谓干洁空气是指在自然状态下的大气（由混合气体、水气和杂质组成）除去水气和杂质的空气，其主要成分是氮气，占 78.09%；氧气，占 20.94%；氩，占 0.93%；其他各种含量不到 0.1% 的微量气体（如氦、氖、二氧化碳、氙）。

大气污染对气候的影响很大，大气污染排放的污染物对局部地区和全球气候都会产生一定影响，尤其对全球气候的影响，从长远的观点看，这种影响将是很严重的。大气中二氧化碳的含量增加：燃料中含有各种复杂的成分，在燃烧后产生各种有害物质，即使不含杂质的燃料达到完全燃烧，也要产生水和二氧化碳，正因为燃料燃烧使大气中的二氧化碳浓度不断增加，破坏了自然界二氧化碳的平衡，以至可能引发“温室效应”，致使地球气温上升。所谓的“温室效应”是指，大气中的二氧化碳浓度增加，阻止地球热量的散失，

使地球发生可感觉到的气温升高，破坏大气层与地面间红外线辐射正常关系，吸收地球释放出来的红外线辐射，就像“温室”一样，促使地球气温升高的气体称为“温室气体”。二氧化碳是数量最多的温室气体，约占大气总容量的 0.03%，许多其他痕量气体也会产生温室效应，其中有的温室效应比二氧化碳还强。

② 大气层的保护。许多环境问题是跨国界的，甚至是全球性的，如温室效应和臭氧层破坏等大气污染，需要世界各国的共同努力才能逐步解决。人们在 20 世纪 70 年代早期开始认识到氟氯烃可能对环境有害，并且开始寻找代替品。到了 80 年代中期，臭氧层破坏的证据已经日益清楚，采取共同行动的呼声也日益高涨。1987 年，许多国家的代表汇集在加拿大第二大城市蒙特利尔，签署了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔协定书》。这个协定书是对付世界环境公害的一个开创性的国际协定，目的是控制氟氯烃和其他破坏臭氧层的物质的消费量，保护地球的“外衣”，也保护人类自己。经过修正后的蒙特利尔协定书是一个有约束力的国际协定。

我国已加入了修正后的蒙特利尔协定书，并且制定了履行国际义务的国家行动方案，包括建立保护臭氧层组织管理机构，制定有关行业的管理规范，积极开展替代品和替代技术的研究，为企业的替代技术改造安排配套资金等。

### (3) 固体污染

凡人类一切活动过程产生的，且对所有者已不再具有使用价值而被废弃的固态或半固态物质，通称为固体废物。

固体废物按来源大致可分为生活垃圾、一般工业固体废物和危险废物三种。此外，还有农业固体废物、建筑废料及弃土。固体废物如不加妥善收集、利用和处理处置，将会污染大气、水体和土壤，危害人体健康。

各类生产活动中产生的固体废物俗称废渣；生活活动中产生的固体废物则称为垃圾。

垃圾正成为困扰人类社会的一大问题，大量的生活和工业垃圾由于缺少处理系统而露天堆放，垃圾围城现象日益严重，成堆的垃圾臭气熏天，病菌滋生，有毒物质污染地表和地下水，严重危害人类的健康。这种现象若得不到遏制，人类将被自己生产的垃圾埋葬掉。

要解决固体废物的危害，唯有全体人民集体行动起来，充分利用资源，加强资源再利用，不随便抛弃固体物质。

### (4) 水土流失

水土流失是指在水流作用下，土壤被侵蚀、搬运和沉淀的整个过程。在自然状态下，纯粹由自然因素引起的地表侵蚀过程非常缓慢，常与土壤形成过程处于相对平衡状态。因此坡地还能保持完整。这种侵蚀称为自然侵蚀，也称为地质侵蚀。在人类活动影响下，特别是人类严重地破坏了坡地植被后，由自然因素引起的地表土壤破坏和土地物质的移动，流失过程加速，即发生水土流失。

水土流失是地表径流在坡地上运动造成的。导致水土流失的原因有自然原因和人为原因。自然原因主要是由地貌、气候、土壤（地面组成物质）、植被等因素造成的。人为原因主要指地表土壤加速破坏和移动的不合理的生产建设活动，以及其他人为活动，如战乱等。引发水土流失的生产建设活动主要有陡坡开荒、不合理的林木采伐、草原过度放牧、



开矿、修路、采石等。水土流失防治措施的基本原则是：减少坡面径流量，减缓径流速度，提高土壤吸水能力和坡面抗冲能力，并尽可能抬高侵蚀基准面。在采取防治措施时，应从地表径流形成地段开始，沿径流运动路线，因地制宜，步步设防治理，实行预防和治理相结合，以预防为主；治坡与治沟相结合，以治坡为主，工程措施与生物措施相结合，以生物措施为主。只有采取各种措施综合治理和集中治理，持续治理，才能奏效。

### 1.2.3 风能利用意义

风能是清洁的可再生能源，取之不尽，用之不竭。在所有新能源、可再生能源利用技术中，风力发电是技术最成熟、最具规模开发和商业发展前景的方式。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。

#### (1) 能源供应问题

我国发展风电的必要性近期体现在以下几方面：

- ① 满足能源供应；
- ② 促进地区经济特别是西部地区的发展；
- ③ 改善中国以煤为主的能源结构；
- ④ 促进风机设备制造业的自主开发能力和参与国际市场竞争能力；
- ⑤ 减少温室气体排放。

着眼于全面协调可持续发展的科学发展，大力发展风电最现实最直接的意义在于以下4点。

① 减少温室气体排放 火力发电的外部成本主要是由其燃烧化石燃料时释放的气体所造成的，首当其冲的就是气候变化的最大元凶——二氧化碳。

风力发电是当前既能获得能源又能减少二氧化碳排放的最佳途径。目前中国的电源结构中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。尤其在减少二氧化碳等温室气体排放、缓解全球气候变暖方面，风电是有效措施之一。

根据国家发展和改革委员会的规划，至2020年中国国内风电总装机容量将达到5000万千瓦，年发电量约为1000亿千瓦时以上，即每年能减少二氧化碳排放量为6000万吨以上，将在很大程度上有助于环境质量的改善。

② 减少二氧化硫排放 据中国国家环保总局的统计，中国环境对导致酸雨的二氧化硫的最大容量是1200万~1400万吨，但如果按照目前对中国2020年能源前景的估测，中国届时将每年排放2800万吨二氧化硫，如不加以控制，无论对环境，还是对人民健康，这都将是—场灾难。显然发展风电可以在一定程度上减少这些有害气体的排放。

③ 提高能源利用效率，减轻社会负担 目前常规能源发电一般直接成本较低，电价低，但其社会成本包括运输、环境、资源等比风能发电高得多。建成一个10万千瓦规模的风力发电场所消耗的能量，风电场平均运行4个月多一点就可以完全补偿。如果风电场寿命按20年计算，则可以发出建设一个风电场所消耗的能量58.8倍的电力，这是一个相当大的能量效率值。可见，风力发电对于资源节约、环境保护的效益是十分显著的。

④ 满足电能供应 电能的应用极其广泛，可以说无时不有，无处不在。随着科学技

术的不断发展，人们对电能的依赖性越来越强。然而随着资源日益枯竭，传统发电方式很难满足人们的用电需求，供需矛盾必将日趋尖锐。要解决这一矛盾，必须寻求新的电能来源，风力发电、太阳能发电等清洁可再生能源发电必将承担起这一历史重任。

## (2) 风能利用的效益

风力发电已经被证明具有广泛的社会效益，这些效益除了环境效益以外，还有就业效益和脱贫致富等社会综合效益。

就业效益就是可以增加就业机会。任何一个新的工业都会为当地创造新的就业机会。例如内蒙古的辉腾锡勒风电场所在的县，财政收入的 70% 来自于风力发电。

总体来说，风电的环境和社会效益可以体现为：

- ① 减少气候变化和其他环境污染；
- ② 创造就业，促进经济增长和革新；
- ③ 能源供应多元化；
- ④ 提供能源安全，防止因获取自然资源而产生的冲突；
- ⑤ 通过增加能源获得减少贫困；
- ⑥ 提供对抗化石燃料价格上涨的工具；
- ⑦ 燃料免费、充足、永不耗竭。

风能安全、清洁，资源丰富取之不竭。不同于化石能源，风能是一种永久性的大量存在的本地资源，可以提供长期稳定的能源供应。它没有燃料风险，更没有燃料价格风险，而且风能的利用也不产生碳排放。

## 思考题



- 1-1 风能是如何形成的？
- 1-2 风能利用有哪几种方式？风力发电发展经历了几个阶段？
- 1-3 传统能源的发展为什么不容乐观？
- 1-4 21 世纪的最主要能源有哪些？各自特点有哪些？
- 1-5 温室效应的危害是什么？
- 1-6 风能发电的社会与经济效益如何？
- 1-7 风能利用的意义是什么？
- 1-8 当前世界上风能利用激增的原因是什么？



# 第2章

## 风力发电原理与结构

### 2.1 风力发电技术

#### 2.1.1 风力发电

风力发电没有燃料问题，也不会产生辐射或空气污染，是一种特别好的发电方式。小型风力发电系统效率很高，但它不是只由一个发电机头组成的，而是一个有一定科技含量的小系统：风力发电机+充电器+数字逆变器。风力发电机由机头、转体、尾翼、叶片组成。每一部分都很重要，叶片用来接受风力并通过机头转为电能；尾翼使叶片始终对着来风的方向，从而获得最大的风能；转体能使机头灵活地转动，以实现尾翼调整方向的功能；机头的转子是永磁体，定子绕组切割磁力线产生电能。

风力发电机因风量不稳定，故其输出的是 13~25V 变化的交流电，须经充电器整流，再对蓄电池充电，使风力发电机产生的电能变成化学能。然后用有保护电路的逆变电源，把电瓶里的化学能转变成交流 220V 市电，才能保证稳定使用。机械连接与功率传递水平轴风机桨叶，通过齿轮箱及其高速轴与万能弹性联轴器相连，将转矩传递到发电机的传动轴，此联轴器应按具有很好的吸收阻尼和振动的特性，表现为吸收适量的径向、轴向和一定角度的偏移，并且联轴器可阻止机械装置的过载。另一种为直驱型风机桨叶，不通过齿轮箱直接与电机相连的风机电机类型。



## 2.1.2 风力发电机原理

风力机是将风能转换为机械功的动力机械，又称风车。广义地说，它是一种以大气为工作介质的能量利用机械。风力发电利用的是自然能源，相对火电、核电等发电要更加绿色、环保。

风力发电的原理，是利用风力带动风车叶片旋转，再透过增速机将旋转的速度提升，来促使发电机发电。依据目前的风车技术，大约 3m/s 的微风速度（微风的程度）便可以开始发电。

## 2.2 风力发电机结构

水平轴式风力发电装置主要由以下几部分组成：风轮、停车制动器、传动机构（增速箱）、发电机、机座、塔架、调速器或限速器、调向器等，如图 2-1 所示。

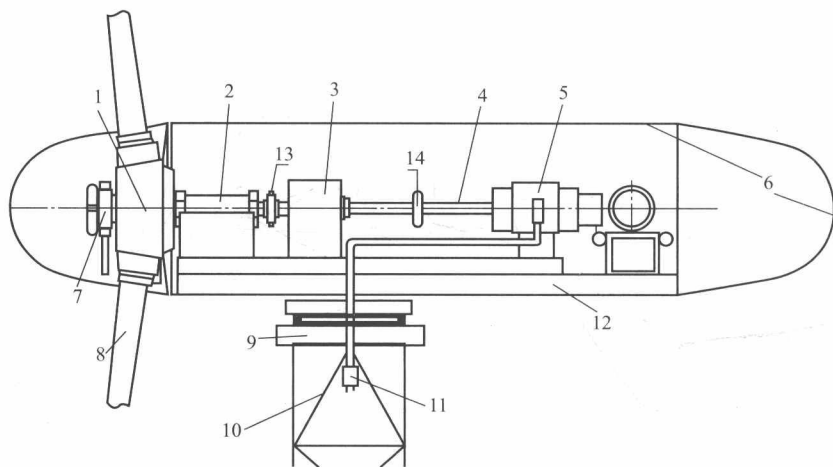


图 2-1 水平轴式风力发电装置结构简图

1—轮毂；2—低速轴；3—行星齿轮增速箱；4—高速轴；5—发电机；6—外罩；7—调速器；  
8—桨叶片；9—调向机构；10—塔架；11—集电环；12—底座；13—刹车；14—偶合器

### 2.2.1 风轮

风力机是一种流体涡轮机械，与别的流体涡轮机械（如燃气轮机、汽轮机）的主要区别是风轮。高速风力机的风轮叶片特别少，一般由 2~3 个叶片和轮毂组成。风轮叶片的功能与燃气轮机、汽轮机的叶片功能相同，是将风的动能转换为机械能并带动发电机发电。

风力机叶片都要装在轮毂上，通过轮毂与主轴连接，并将叶片力传到风力机驱动的对象（发电机、磨机或水车等）。同时轮毂也实现叶片桨距角控制，故需有足够的强度。有