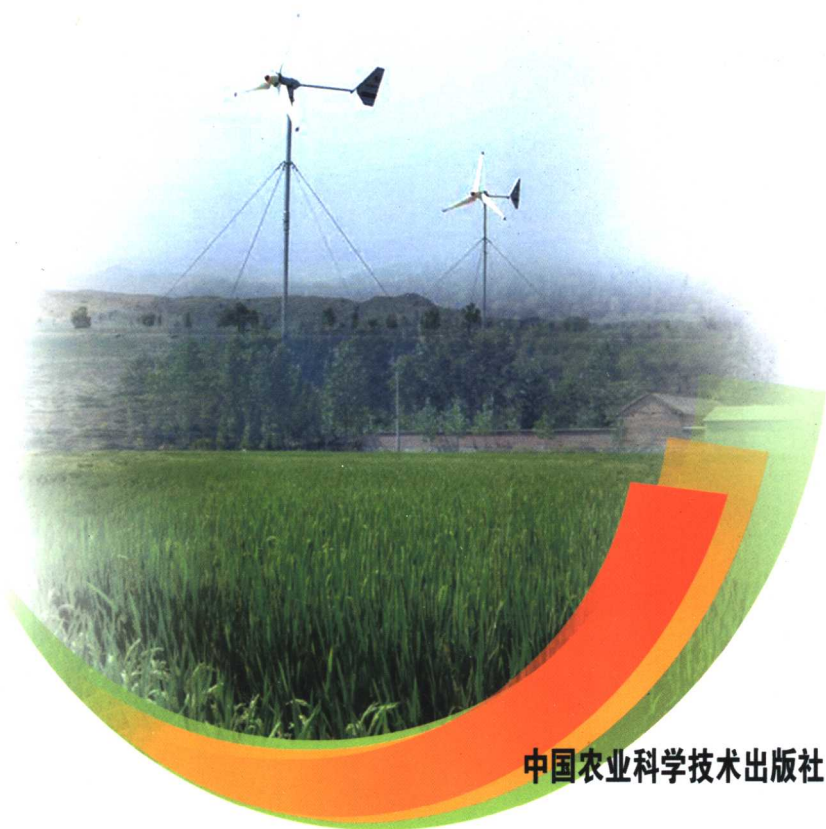




新农村建设实用技术丛书

风能利用技术

科学技术部中国农村技术开发中心
组织编写



中国农业科学技术出版社



新农村建设实用技术丛书

风能利用技术

科学技术部中国农村技术开发中心
组织编写



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

风能利用技术/刘竹青编著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2006. 10

(新农村建设实用技术丛书·农村能源开发与利用系列)

ISBN 7-80233-140-4

I. 风… II. 刘… III. 风力能源-利用-基本知识
IV. TK81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 137950 号

责任编辑 徐 毅

责任校对 贾晓红 康苗苗

整体设计 孙宝林 马 钢

出版发行 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 68919704 (发行部) (010) 62189012 (编辑室)

(010) 68919703 (读者服务部)

传 真 (010) 68975144

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京雅艺彩印有限公司

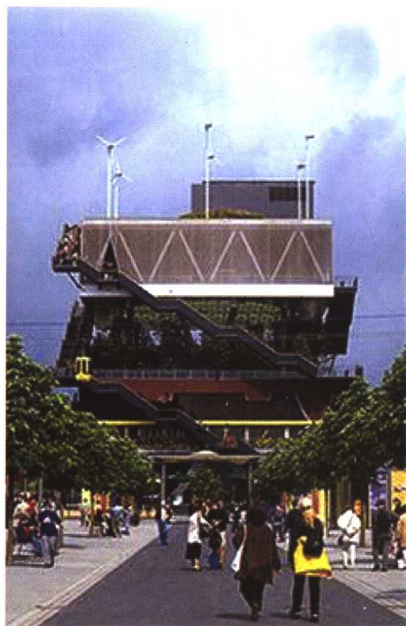
开 本 850 mm × 1168 mm 1/32

印 张 4.375 插页 1

字 数 114 千字

版 次 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

定 价 9.80 元





《新农村建设实用技术丛书》

编辑委员会

主 任：刘燕华

副主任：杜占元 吴远彬 刘 旭

委 员：(按姓氏笔画排序)

方智远	王 喆	石元春	刘 旭
刘燕华	朱 明	余 健	吴远彬
张子仪	李思经	杜占元	汪懋华
赵春江	贾敬敦	高 潮	曹一化

主 编：吴远彬

副 主 编：王 喆 李思经

执行编辑：(按姓氏笔画排序)

于双民	马 钢	文 杰	王敬华
卢 琦	卢兵友	史秀菊	刘英杰
朱清科	闫庆健	张 凯	沈银书
林聚家	金逸民	胡小松	胡京华
赵庆惠	袁学国	郭志伟	黄 卫
龚时宏	翟 勇		

《风能利用技术》编写人员

刘竹青 编著



刘竹青

男，生于 1973 年 12 月，山西武乡人，工学博士，副教授，现任职于中国农业大学水利与土木工程学院。2002 年 10 月至 2004 年 9 月在日本筑波大学生命环境与科学研究科进行博士后研究工作。主要研究方向为：风力资源利用技术、流体机械与流体工程。已发表学术论文 10 余篇，参加并完成国家、省部级课题 10 项。

序

丹心终不改，白发为谁生。科技工作者历来具有忧国忧民的情愫。党的十六届五中全会提出建设社会主义新农村的重大历史任务，广大科技工作者更加感到前程似锦、责任重大，纷纷以实际行动担当起这项使命。中国农村技术开发中心和中国农业科学技术出版社经过努力，在很短的时间里就筹划编撰了《新农村建设系列科技丛书》，这是落实胡锦涛总书记提出的“尊重农民意愿，维护农民利益，增进农民福祉”指示精神又一重要体现，是建设新农村开局之年的一份厚礼。贺为序。

新农村建设重大历史任务的提出，指明了当前和今后一个时期“三农”工作的方向。全国科学技术大会的召开和《国家中长期科学技术发展规划纲要》的发布实施，树立了我国科技发展史上新的里程碑。党中央国务院做出的重大战略决策和部署，既对农村科技工作提出了新要求，又给农村科技事业提供了空前发展的新机遇。科技部积极响应中央号召，把科技促进社会主义新农村建设作为农村科技工作的中心任务，从高新技术研究、关键技术攻关、技术集成配套、科技成果转化和综合科技示范等方面进行了全面部署，并启动实施了新农村建设科技促进行动。编辑出版《新农村建设系列科技丛书》正是落实农村科技工作部署，把先进、实用技术推广到农村，为新农村建设提供有力科技支撑的一项重要举措。

这套丛书从三个层次多侧面、多角度、全方位为新农村建设

提供科技支撑。一是以广大农民为读者群，从现代农业、农村社区、城镇化等方面入手，着眼于能够满足当前新农村建设中发展生产、乡村建设、生态环境、医疗卫生实际需求，编辑出版《新农村建设实用技术丛书》；二是以县、乡村干部和企业为读者群，着眼于新农村建设中迫切需要解决的重大问题，在新农村社区规划、农村住宅设计及新材料和节材节能技术、能源和资源高效利用、节水和给排水、农村生态修复、农产品加工保鲜、种植、养殖等方面，集成配套现有技术，编辑出版《新农村建设集成技术丛书》；三是以从事农村科技学习、研究、管理的学生、学者和管理干部等为读者群，着眼于农村科技的前沿领域，深入浅出地介绍相关科技领域的国内外研究现状和发展前景，编辑出版《新农村建设重大科技前沿丛书》。

该套丛书通俗易懂、图文并茂、深入浅出，凝结了一批权威专家、科技骨干和具有丰富实践经验的专业技术人员的心血和智慧，体现了科技界倾注“三农”，依靠科技推动新农村建设的信心和决心，必将为新农村建设做出新的贡献。

科学技术是第一生产力。《新农村建设系列科技丛书》的出版发行是顺应历史潮流，惠泽广大农民，落实新农村建设部署的重要措施之一。今后我们将进一步研究探索科技推进新农村建设的途径和措施，为广大科技人员投身于新农村建设提供更为广阔的空间和平台。“天下顺治在民富，天下和静在民乐，天下兴行在民趋于正。”让我们肩负起历史的使命，落实科学发展观，以科技创新和机制创新为动力，与时俱进、开拓进取，为社会主义新农村建设提供强大的支撑和不竭的动力。

中华人民共和国科学技术部副部长

刘燕华

2006年7月10日于北京

目 录

一、绪论	(1)
(一) 风能利用的意义	(1)
(二) 风能利用的历史及趋势	(3)
二、风与风能资源	(8)
(一) 风的形成与特征	(8)
(二) 风的测量	(15)
(三) 风能资源	(24)
三、风力机与风能转换的基本知识	(30)
(一) 风力机种类与主要部件	(30)
(二) 风力机的基本理论	(40)
(三) 风力机总体设计	(50)
四、风能资源的利用形式	(57)
(一) 风力发电	(57)
(二) 风力提水	(64)
(三) 风力致热	(71)
(四) 风帆助航	(78)
五、风电场工程基础	(80)
(一) 风电场设计	(80)
(二) 风电场建设	(88)
(三) 风电场运行	(89)
六、风能利用实例	(96)
(一) 国外风能利用实例	(96)

目 录

(二) 国内风能利用实例	(105)
(三) 促进风能利用政策分析	(108)
(四) 风能资源在农业生产中的应用	(110)
附录 1 中英文专业词汇	(116)
附录 2 国内外与风能利用相关的标准	(120)
参考文献	(128)

一、绪 论

(一) 风能利用的意义

能源就是能量的来源。能源形式多样,按被利用的程度划分,可分为常规能源和新能源;按获得的方法划分,可分为一次性能源和二次性能源;按能否再生划分,分为可再生能源和非再生能源等。能源是国民经济的基础,是现代化的主要动力来源。

迄今为止,以石油、煤炭、天然气为主的一次性化石能源仍然是全球能源的主要来源。然而,资源是有限的,面对无限的经济增长,全球性的能源枯竭问题日益凸显。全球化石能源已探明总储量约为 16 000 亿 toe (吨油当量),根据政府间气候变化专业委员会(IPCC)的统计,2030 年能源需求量将达到 165 亿~214 亿 toe,2050 年甚至可能突破 300 亿 toe。这表明化石能源的静态储量不足以满足人类下个世纪的使用。

能源的枯竭关系到一个国家的生死存亡,而中国的能源短缺更甚。中国探明石油、天然气和煤炭的储量分别为全球总量的 1.4%、1.2% 和 11%,而中国人口密度为全球平均的 3 倍,中国人均拥有的能源总量仅为全球平均水平的 40%。与此对应的是,目前中国依然是一个高能耗国家,资源利用水平低于全球平均水平。例如,2004 年中国能源消费总量占全球的 13.5%,而 GDP 仅占全球的 4%,单位产值的能耗相当于全球平均值的 3.4 倍。同时,中国的能源对外依存度高。例如,预计到 2010 年,石油进口依存度将超过 50%。

解决能源问题的战略主要有扩大能源来源范围、提高开采和

利用效率、开发新能源等措施。从长期的能源安全供给考虑，必须依靠包括太阳能、风能等可再生能源的开发，这些能源的供给量理论上可以满足全球能源不断增长的需要。因此，可以说，可再生能源是缓解现有能源危机和解决能源问题的真正出路。

可再生能源包括太阳能、风能、生物质能等。未来 10 年左右的时间里，在技术进步的推动下可再生能源的绝对成本将迅速降低，同时，化石能源的价格增长将使可再生能源有利可图。在所有的可再生能源中，风能是近十多年来发展最快的可再生能源。目前，风能的综合社会成本已经低于化石能源。

地球上风能资源丰富，全球陆上可利用的风能资源约有 2.3×10^6 兆瓦，比地球上可开发利用的水能总量还要大 10 倍。中国陆上可利用的风能资源约有 2.5×10^5 兆瓦。风能的利用历史悠久，形式多样，特别是风力发电，具有装机规模灵活、造价低、可靠性强、无污染、易于和其他的能源互补等特点。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。

在世界各国重视环保、强调能源节约的今天，风能利用对改善地球生态环境、减少空气污染具有积极的作用。减少二氧化碳排放量是风能利用对环境做出的重要贡献。二氧化碳是产生温室效应的主要因素，它会导致全球气候变化，引起灾难性气候的发生。风能资源的开发利用，已经成为世界利用可再生能源的主要成分。随着技术的进步，风力设备外观将更具观赏性，可以成为自然景观的补充。油价高涨等因素促使许多国家的政府认识到，发展风能实际上具有国家安全等战略意义。预计到 2020 年，风能将可提供世界电力需求的 12%，并在全球范围内减少 100 多亿立方米的二氧化碳废气。

(二) 风能利用的历史及趋势

1. 风能利用的历史

人类利用风能的历史可以追溯到公元前。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。甲骨文字中就有“帆”字存在。1800年前东汉刘熙著作里有“随风张幔曰帆”的叙述。唐代有“乘风破浪会有时，直挂云帆济沧海”的诗句。明代的《天工开物》书里有“扬郡以风帆数页，俟风转车，风息则止”的记载。

公元前3000年，古埃及人就学会了驾驶帆船。公元前2世纪，古波斯人就利用垂直轴风车碾米。10世纪伊斯兰人用风车提水。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。在随后的几个世纪中，风车在欧洲被广泛用于排水和研磨谷物。在荷兰风车先被用于莱茵河三角洲湖地和低湿地的汲水，以后又用于榨油和锯木。18世纪，风车在北美的垦荒过程中发挥了巨大作用。1888年，美国人查尔斯·布鲁斯（Charles Brush）在克里夫兰建成第一座可以发电的风力发电机。1891年，丹麦物理学家 Poul La Cour 发现，叶片较少但旋转较快的风力发电机效率高于叶片多但转速慢的风力发电机。应用这一原理，他设计建造了一座4个叶片、功率为25千瓦的风力发电机。这奠定了现代风力发电机的基础。

由于蒸汽机的出现，煤炭和石油价格低廉，兴建大电网的工程迅速发展，风力发电被视为一种没有前途的产业而遭到冷落，风车数量急剧减少。1920~1950年，美国 and 许多欧洲国家使用风能为偏远地区供电，每台风力发电机的发电能力仅有二三千瓦。

1973年世界石油危机以后，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开始了新发展。

当时，风力发电研究者多数为大型军工企业、飞机制造商，研究资金由政府提供，研究重点是大型风力发电机。但随着能源危机的缓解，这期间的主要研究者后来基本上放弃了风力发电这一领域。1990年之后，空气污染和气候变化逐渐引起人们的关注，风力发电作为一种可持续清洁能源被许多国家加以推广，尤其是在欧洲。

美国早在1974年就开始实行联邦风能计划。其内容主要是：评估国家的风能资源；研究风能开发中的社会和环境问题；改进风力机的性能，降低造价；主要研究为农业和其用户用的小于100千瓦的风力机；为电力公司及工业用户设计的兆瓦级的风力发电机组。在瑞典、荷兰、英国、丹麦、德国、日本、西班牙等国，也根据各自国家的情况制定了相应的风力发电计划。

我国风力机的发展也取得了一定的成就。在20世纪50年代末是各种木结构的布篷式风车，到60年代中期主要是发展风力提水机。70年代中期以后风能开发利用被列入了“六五”国家重点项目，得到迅速发展。进入80年代中期以后，我国先后从丹麦、比利时、瑞典、美国、德国引进一批大、中型风力发电机组，在新疆、内蒙古、广东等地建立了示范性风力发电场。目前我国已研制出上百种不同型式、不同容量的风力发电机组，并初步形成了风力机产业。尽管如此，与发达国家相比，我国风能的开发利用还相当落后。

2. 我国风能利用的现状

风能利用的两种主要形式，风力提水和风力发电，在我国都有了较程度的发展，特别是在风力提水和小型风力机的研制方面，取得了领先地位。

(1) 风力提水机 东南沿海地区风能资源较为丰富，乡镇工业发达，用电量大。为满足农田灌溉、水产养殖和盐场制盐等低扬程大流量提水作业的需要，一些低扬程风力提水装置得到了较多的应用。内陆如内蒙古、甘肃和青海等风能资源较好的区

域，人口分散，难通电网。利用深井风力提水机组为牧民和牲畜提供饮水或进行小面积草场灌溉，对于改善当地牧民的生活、生产条件具有明显的社会效益。

我国已基本形成南方型低扬程大流量风力提水机组和北方型高扬程小流量风力提水机组两大系列，这些机组的产品质量可靠，有些机组的水平达到或处于国际领先地位。近年来，我国低扬程风力提水机组已出口到斯里兰卡和马来西亚等国家。

(2) 小型风力发电机 我国从 20 世纪 80 年代初就把小型风力发电作为实现农村电气化的措施之一，主要研制、开发和示范应用小型充电用风力发电机，供农民一家一户使用。1 千瓦以下的机组技术已经成熟并进行大量的推广，形成了年产 1 万台的生产能力。累计生产小型风力发电机组数量居世界第一。

随着人民群众生活水平的提高，对小型风力机的发展也提出了新的要求：一是功率由小变大。户用机组从 50W、100W 增大到 300W、500W，以满足彩电、冰箱和洗衣机等电器的需要。二是由一户一台扩大到联网供电。采用功率较大的机组或几台小型机组并联为几户或一个村庄供电。三是由单一的风力发电发展到多能互补，即“风力—光伏”互补、“风力机—柴油机”互补和“风力—光伏—柴油”互补。四是应用范围逐步扩大，由家庭用电扩大到通讯和气象部门、部队边防哨所、公路及铁路等。

(3) 大型风力发电机组及机组的国产化 我国大型风力发电机组的研究制造工作正在加快发展。已经合作生产了一些兆瓦级的风力发电机组，有的已经安装并网发电运行，国产化率高，并取得了一系列自主知识产权。比如，1.2 兆瓦永磁直驱风力发电机于 2006 年 1 月 10 日在哈尔滨电机厂试制成功，这是目前我国具有自主知识产权的容量最大的风力发电机。该机风轮直径 57 米，每分钟转速 14~25 转，叶片数 3 个。

在我国风电场建设的投资中，机组设备约占 70%。实现机组设备国产化、降低工程造价是风电场大规模发展的需要。但样

机的研制及形成产品需要很大的投入，为了跟上世界技术发展水平，引进国外先进成熟的技术，经过消化吸收逐步实现国产化的方案，是符合我国国情的。大型风力电机的主要部件在国内制造，其成本可比进口机组降低 20% ~ 30%，因此，国产化是我国大型风力机发展的趋势。

从我国风电场的建设历史来看，自 1986 年 4 月第一个风电场在山东荣城建成发电后，全国各地陆续引进机组建设风电场，装机容量逐年增加。

3. 风能利用的发展趋势

面对与全球气候变化进行斗争的紧迫性，也使风能开发利用的需求更为迫切。IPCC（国际组织）预测，在下一世纪，全球平均温度将提高 5.8℃，随之而来的将是洪水、干旱和气候巨变。大多数国家已经认识到，为了避免环境灾难的发生，必须大幅度降低温室气体的排放量。

根据 1997 年京都议定书规定，2008 ~ 2012 年间，全球温室气体排放量要比 1990 年减少 5.2%。风电不像用化石燃料发电和原子能发电那样产生有害物质，也不排放二氧化碳这样的温室气体，这为提高风能在能源利用中的份额提供了良好的机遇。欧盟成员国等国家已经采取了一系列促进风力机市场成长的措施。在过去的 10 年里，全球风力发电总量增加了 10 倍。到 2020 年，将实现风能生产量占全球电力需求总量的 12%。

随着技术的发展以及机器规模的增大，风力发电的成本将持续减少。在过去的 20 年里，风力发电成本从 0.8 美元/千瓦小时降至 0.4 美元/千瓦小时。风力发电与以煤为燃料的新建电厂相比，已具有竞争力。技术的进一步改进将使风力发电成本再降低 30%。随着在经济方面的吸引力越来越突出，风能利用已成为一个很有前途的行业。

风力发电技术将得到进一步地发展。为了保证风力产业的未来发展，研究人员正在设计适用于低风速地区的风力机，其塔架