



普通高等教育“十二五”规划教材

风电场仿真运行

主 编 李 庆 朱小军



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

风电场仿真运行

主 编 李 庆 朱小军

副主编 江文贱 刘 媛

主 审 黄建荣 陈 俊



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要以风电场为例, 紧密联系风电场运行实际, 以培养相关专业学生的风电机组运行操作能力为目的, 结合风电仿真机操作界面, 系统地介绍风电机组发展与应用、风电场的正常运行与巡视、风机的运行操作、电力设备的运行操作、仿真系统电力设备操作、异常运行与故障处理等。

本书为高职高专院校新能源发电技术、热动力工程专业、电力系统自动化和发电厂及电力系统等专业风电机组仿真教材, 也可作为风电场运行人员的仿真培训教材, 并可供有关专业工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

风电场仿真运行 / 李庆, 朱小军主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2014. 1
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1710-3

I. ①风… II. ①李… ②朱… III. ①风力发电系统—仿真系统—电力系统运行—高等职业教育—教材 IV.
①TM614

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第015575号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 风电场仿真运行
作 者	主 编 李 庆 朱小军
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	北京零视点图文设计有限公司
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.5印张 206千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	26.00 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

环境问题和可持续发展问题是 21 世纪人类面临的两个基本问题,这使得传统的能源产业,特别是电力工业面临严峻的挑战。各种形式的新能源和可再生能源的开发与应用取得飞速进展。目前,我国正大力发展风力发电。2012 年,我国风电装机容量已超过美国,居世界第一。由此,相关的发电集团、制造业和技术服务业形成了大量的人才需求。本书编写的目标就是针对当前各设置了新能源发电专业的高职院校缺乏相关风电场仿真运行课程教材的现状,使相关专业学生与读者在了解风电场基本理论和主要技术内容的同时,全面掌握风电场的运行、操作及事故处理,以提高其专业技能和素质。

本书由江西电力职业技术学院李庆、朱小军任主编,江文贱、刘媛任副主编。参编人员有唐琳艳、平莉、黄志明。全书由李庆、江文贱负责统稿工作。全书共六章,其中,唐琳艳、李庆编写第一章,江文贱编写第二章,刘媛、平莉编写第三章,朱小军、黄志明编写第四章,朱小军、平莉编写第五章,江文贱、朱小军编写第六章。

本书由江西电力职业技术学院黄建荣和中电投江西公司新能源分公司陈俊担任主审,提出了许多具有建设性的意见和建议。同时,本书在编写过程中,参考了有关兄弟院校、国网电科院科东公司和中电投江西公司新能源分公司的诸多文献和资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中不足和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者
2013 年 11 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 风电能源的时代背景	1
第二节 风力发电仿真系统	9
第二章 风电场的正常运行与巡视	16
第一节 风电机组运行监视	16
第二节 风电机组的日常巡视与维护	20
第三章 风机的运行操作	27
第一节 风机的启动和停运	28
第二节 风机本体设备及操作	35
第三节 风机的监控	41
第四节 报表的操作	47
第五节 视图及设置操作	49
第六节 功率趋势图的操作	53
第七节 统计查询的操作	55
第四章 电力设备的运行操作	57
第一节 电气主接线	57
第二节 变压器的运行	72
第三节 发电机的运行	81
第四节 倒闸操作	87
第五章 仿真系统电力设备操作	92
第一节 开关、刀闸操作	92
第二节 变压器操作	94
第三节 发电机操作	96
第四节 母线操作	98
第五节 变电站三维一次设备巡视	100
第六节 变电站三维二次屏盘操作	111
第六章 异常运行与故障处理	118
第一节 机组及附属设备系统异常运行及事故处理	118
第二节 电气设备异常运行及事故处理	123

第一章 绪 论

第一节 风电能源的时代背景

一、风能

风能是空气流动所产生的动能。由于地面各处受太阳辐照后气温变化不同和空气中水蒸气的含量不同，引起各地气压的差异，在水平方向高压空气向低压地区流动，即形成风。

风就是水平运动的空气。空气产生运动，主要是由于地球上各纬度所接受的太阳辐射强度不同而形成的。在赤道和低纬度地区，太阳高度角大，日照时间长，太阳辐射强度大，地面和大气接受的热量多，温度较高；高纬度地区太阳高度角小，日照时间短，地面和大气接受的热量小，温度低。这种高纬度与低纬度之间的温度差异，形成了南北之间的气压梯度，使空气作水平运动，风应沿水平气压梯度方向吹，即垂直于等压线从高压向低压吹。

由于地球的自转，使空气水平运动发生偏向的力，称为地转偏向力（科氏力），这种力使北半球气流向右偏转，南半球气流向左偏转。所以地球大气运动除受气压梯度作用外，还要受地转偏向力的影响，大气运动是这两个力综合影响的结果。

实际上，地面风不仅受这两个力的支配，而且在很大程度上受海洋、地形的影响。山隘和海峡不仅能改变气流运动的方向，还能使风速增大；而丘陵、山地的摩擦使风速减小；孤立山峰却因海拔高使风速增大。因此，风向和风速的时空分布较为复杂。

海陆的差异对气流运动也会产生影响。在冬季，大陆比海洋冷，大陆气压比海洋高，风从大陆吹向海洋。夏季则相反，大陆比海洋热，风从海洋吹向内陆。这种随季节转换的风称为季风（图 1-1）。

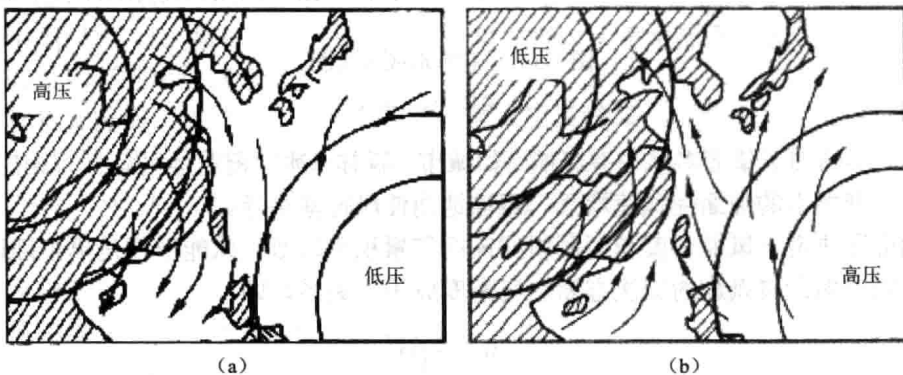


图 1-1 海陆热力差异引起的季风示意图

(a) 冬季；(b) 夏季

所谓的海陆风，就是白昼时，大陆上的气流受热膨胀上升至高空流向海洋，到海洋上空冷却下沉，在近地层海洋上的气流吹向大陆，补偿大陆的上升气流，低层风从海洋吹向大陆称为海风 [图 1-2 (a)]; 夜间情况相反，低层风从大陆吹向海洋，称为陆风 [图 1-2 (b)]。

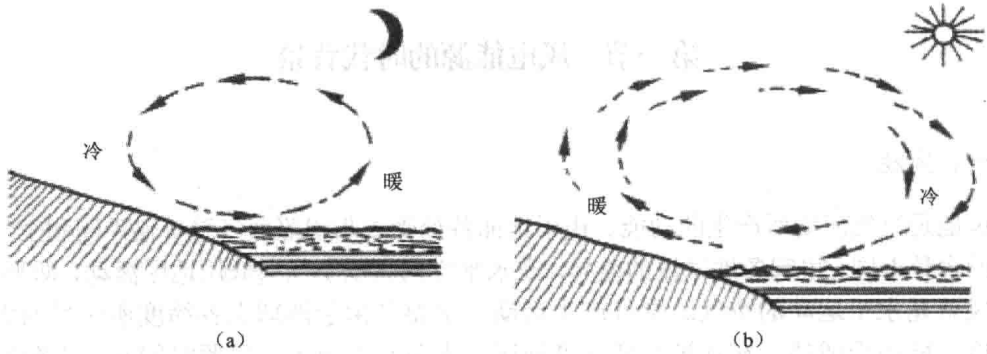


图 1-2 海陆风形成示意图

(a) 陆风; (b) 海风

在山区，白天山坡受热快，温度高于山谷上方同高度的空气温度，坡地上的暖空气从山坡流向谷地上方，谷地的空气则沿着山坡向上补充流失的空气，这时由山谷吹向山坡的风称为谷风 [图 1-3 (a)]。夜间山坡因辐射冷却，其降温速度较快，冷空气沿坡地向下流入山谷，称为山风 [图 1-3 (b)]。

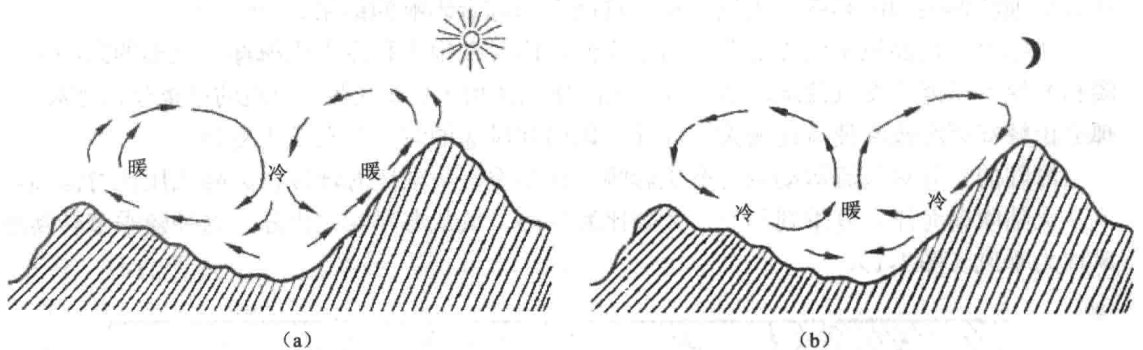


图 1-3 山谷风形成示意图

(a) 谷风; (b) 山风

此外，不同的下垫面对风也有影响，如城市、森林、冰雪覆盖地区等都有相应的影响。光滑地面或摩擦小的地面使风速增大，粗糙地面使风速减小等。

风能资源决定于风能密度和可利用的风能年累积小时数。风能密度是单位迎风面积可获得的风的功率，与风速的三次方和空气密度成正比关系，即

$$w = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (1-1)$$

式中 w —— 风能密度， W/m^2 ；

ρ —— 空气密度， kg/m^3 ；

v ——风速，m/s。

我国风能资源的分布与气候背景有着非常密切的关系，我国风能资源丰富和较丰富的地区主要分布在两个大带里。

1. 三北（东北、华北、西北）地区风能资源丰富区

三北地区风能资源丰富区，风能功率密度在 $200\sim 300\text{W}/\text{m}^2$ 以上，有的可达 $500\text{W}/\text{m}^2$ 以上，如阿拉山口、达坂城、辉腾锡勒、锡林浩特的灰腾梁等，可利用的小时数在 5000h 以上，有的可达 7000h 以上。这一风能丰富带的形成，主要是由于三北地区处于中高纬度的地理位置有关。

2. 沿海及其岛屿风能资源丰富区

沿海及其岛屿风能资源丰富区，年有效风能功率密度在 $200\text{W}/\text{m}^2$ 以上，风能功率密度线平行于海岸线。沿海岛屿风能功率密度在 $500\text{W}/\text{m}^2$ 以上，如台山、平潭、东山、南鹿、大陈、嵊泗、南澳、马祖、马公、东沙等，可利用小时数为 7000~8000h。但是，在东南沿海，由于海岸向内陆是丘陵连绵，其风能丰富地区仅在海岸 50km 之内，再向内陆不但不是风能丰富区，反而成为全国最小风能区，风能功率密度仅 $50\text{W}/\text{m}^2$ 左右，基本上风能不能利用的地区。

3. 内陆风能资源丰富区

除两个风能丰富带之外，其余地区的风能功率密度一般在 $100\text{W}/\text{m}^2$ 以下，可以利用小时数为 3000h 以下。但是在一些地区由于湖泊和特殊地形的影响，风能也较丰富，如鄱阳湖附近较周围地区风能大，湖南衡山、安徽黄山、云南太华山等地较平地风能为大。但是这些只限于很小范围之内，不像两大带那样大的面积，特别是三北地区面积更大。

青藏高原海拔 4000m 以上，这里的风速比较大，但空气密度小，如在海拔 4000m 的空气密度大致为地面空气密度的 67%，也就是说，同样是 8m/s 的风速，在平原上风能功率密度为 $313.6\text{W}/\text{m}^2$ ，而在海拔 4000m 处只为 $209.9\text{W}/\text{m}^2$ ，虽然这里年平均风速在 3~5m/s，其风能仍属一般地区。

二、风电的发展

风能作为一种清洁的可再生能源，越来越受到世界各国的重视。其蕴量巨大，全球的风能约为 $2.74\times 10^9\text{MW}$ ，其中可利用的风能为 $2.74\times 10^7\text{MW}$ ，比地球上可开发利用的水能总量还要大 10 倍。风能很早就被人们利用，主要是通过风车来抽水、磨面等。而现在，人们感兴趣的是如何利用风能来发电。

随着现代工业的飞速发展，人类对能源的需求明显增加，而地球上可利用的常规能源日趋匮乏。同时，人口的增加，对能源的需求也越来越大，而以燃煤为主的火力发电，会大量排放 CO_2 、 SO_2 以及 NO_x 等污染气体，造成越来越严重的环境污染。

因此，人类需要解决人口、资源、环境的可持续发展问题。开发、利用新能源是实现能源持续发展的方向之一。风力发电以其无污染、可再生、技术成熟备受世人青睐，近几年风力发电的增长速度位居各类能源之首。

19 世纪末，丹麦仿造飞机的螺旋桨制造了二叶、三叶高速风力发电机并网发电（图 1-4），装机容量虽然都在 5kW 以下，但却开拓了将风能转换成电能的先河。

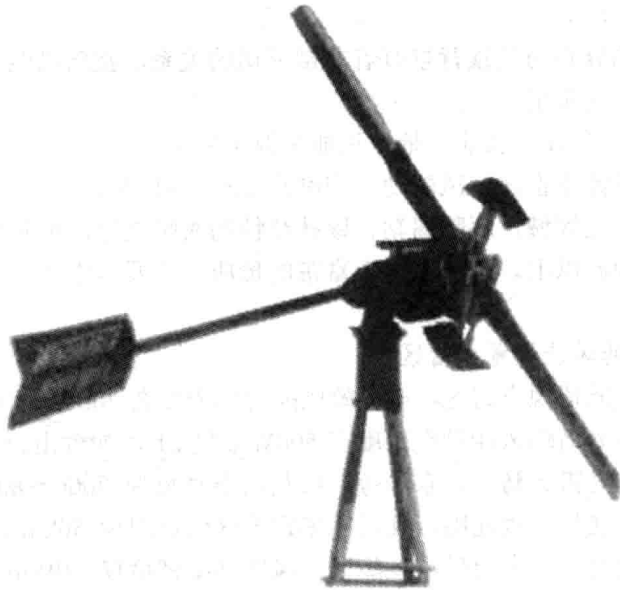


图 1-4 1891 年丹麦研制的风电机组

1973 年发生石油危机以后，美国、西欧等发达国家为寻求替代化石燃料的能源，投入大量经费，动员高科技产业，利用计算机、空气动力学、结构力学和材料科学等领域的高新技术研制现代风力发电机组，开创了风能利用的新时期。

我国利用风能发电始自 20 世纪 70 年代，中国发展微小型风力发电机为内蒙古、青海的牧民提水饮畜及发电照明，容量在 50~500W 不等，制造技术成熟。但是我国中、大型风力发电机发展起步较晚，直到 20 世纪 80 年代才开始自行研制。

目前，世界上一些发达国家每年几乎以 20% 的增容速度发展着风电。至 2012 年，全球风力发电机总装机容量达 282430MW，同比增长 18.7%（图 1-5）。其中，累计装机容量位居全球前十位的国家有：中国（75564MW，26.8%）、美国（60007MW，21.2%）、德国（31332MW，11.1%）、西班牙（22796MW，8.1%）、印度（18421MW，6.5%）、英国（8445MW，3.0%）、意大利（8144MW，2.9%）、法国（7196MW，2.5%）、加拿大（6200MW，2.2%）、葡萄牙（4525MW，1.6%）。

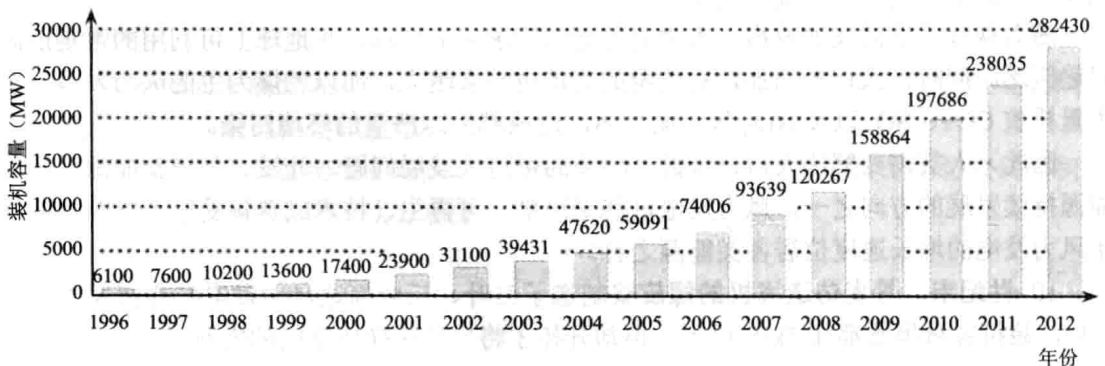


图 1-5 1996~2012 年全球风电产业累计装机容量

2012 年全球风电产业新增装机容量高达 44711MW，同比增长 10.1%（图 1-6）。其中，新增装机容量排名前十位的国家分别是：中国（13200MW，30%）、美国（13124MW，29%）、德国（2439MW，5%）、印度（2336MW，5%）、英国（1897MW，4.2%）、意大利（1273MW，2.8%）、西班牙（1122MW，2.5%）、巴西（1077MW，2.4%）、加拿大（935MW，2.1%）、罗马尼亚（923MW，2.1%）。

我国风能储量很大、分布面广，开发利用潜力巨大，这为发展中国的风电事业创造了十分有利的条件。我国 2020 年风电规划装机目标 1.5 亿 kW，届时风力资源开发比例将达到 75%。

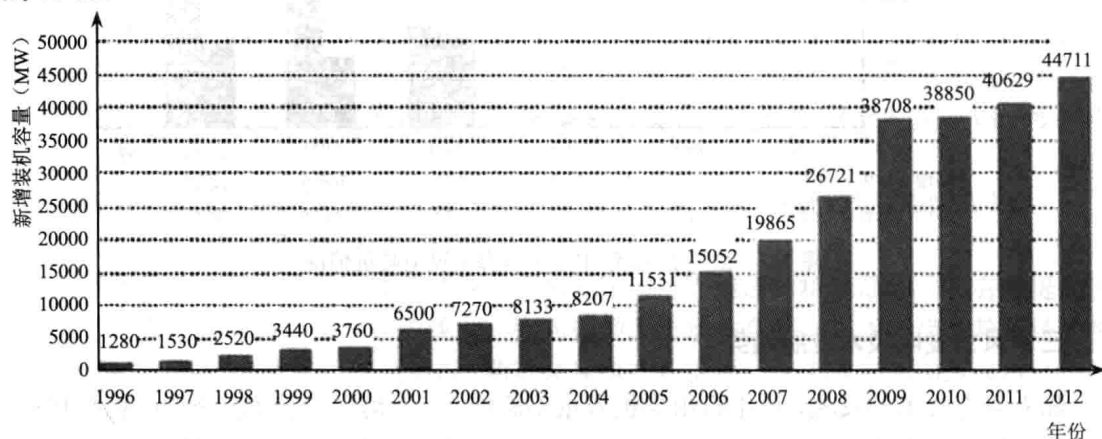


图 1-6 1996~2012 年全球风电产业新增装机容量

“十二五”期间，国家加大了海上风电开发力度，2011 年启动第二轮江苏 100 万 kW 海上特许权招标，并推动河北、山东、浙江、福建等省海上风电发展，将给风电行业带来新的增长点。2012 年，中国海上风电新增装机 46 台，容量达到 127MW（表 1-1），其中潮间带装机量为 113MW，占海上风电新增装机总量的 89%（潮间带是指大潮期的最高潮位和最低潮位间的海岸，即海水涨至最高时所淹没的地方开始至潮水退到最低时露出水面的范围）。

表 1-1 2012 年中国海上风电机组安装情况

省份	项目名称	开发商	制造商	装机数量(台)	装机容量 (MW)
山东	滨海海上风电项目一期	国电	联合动力	1	3
	潍坊实验风电场			1	6
福建	福清海上风电项目样机	福建投资	湘电风能	1	5
江苏	龙源如东潮间带项目	龙源	重庆海装	2	10
	龙源如东 15 万 kW 海上（潮间带）示范风电场		金风	20	50
	龙源如东 15 万 kW 海上（潮间带）示范风电场增容			20	50
	江苏响水潮间带 2×3MW 试验风机项目	长江新能源	金风	1	3
总计				46	127

截至 2012 年年底，中国已建成的海上风电项目共计 389.6MW（图 1-7），是除英国、丹麦以外海上风电装机最多的国家。

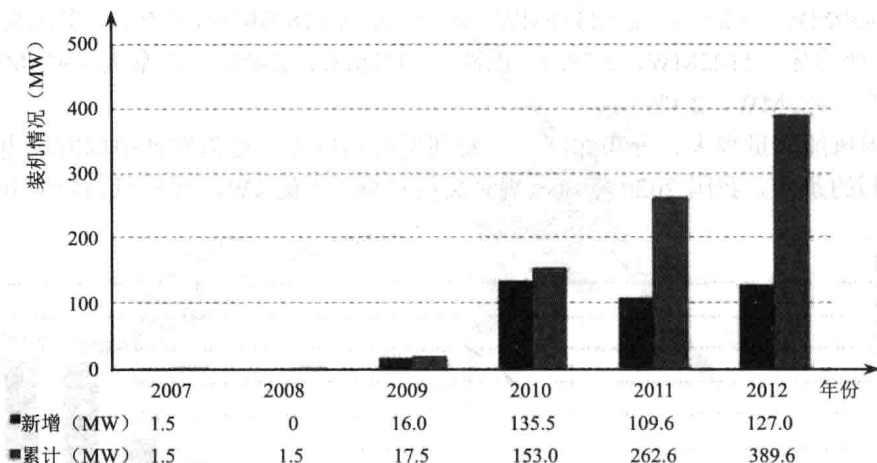


图 1-7 截至 2012 年年底中国海上风电装机情况

三、风力发电技术发展趋势

随着风电技术的发展，风电机组单机容量不断增大，近海风电技术、新型结构和材料、直接驱动技术、变桨变速恒频发电技术成为世界风电机组技术发展的新趋势。

1. 机组容量

近年来，国际风电市场中风电机组的单机容量持续增大。随着单机容量不断增大和利用效率提高，国际上主流机型已经从 2000 年的 500~1000kW 增加到 2009 年的 2~3MW。

我国主流机型已经从 2005 年的 600~1000kW 增加到 2009 年的 850~2000kW，2009 年我国陆地风电场安装的最大风电机组为 2MW。

近年来，海上风电场的开发进一步加快了大容量风电机组的发展，2008 年年底，国际上已运行的最大风电机组单机容量已达到 6MW，风轮直径达到 127m。目前，已经开始 8~10MW 风电机组的设计和制造。我国华锐风电科技有限公司的 3MW 海上风电机组已经在上海东海大桥海上风电场成功投入运行，5MW 海上风电机组已在 2010 年 10 月下线。目前，华锐、金风、东汽、国电联合、湖南湘电、重庆海装等公司都在研制 5MW 或 6MW 的大容量风电机组。

2. 水平轴风电机组技术成为主流

因水平轴风电机组具有转轴较短、风能转换效率高、经济性好等优点，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。同期发展的垂直轴风电机组因转轴过长、风能转换效率不高，启动、停机和变桨困难等问题，使其应用受到影响。但由于其全风向对风、变速装置及发电机可以置于风轮下方或地面等优点，近年来，国际上相关研究和开发也在不断进行并取得一定进展。

3. 变桨变速功率调节技术得到广泛应用

由于变桨距功率调节方式具有载荷控制平稳、安全和高效等优点，近年在大型风电机组上得到了广泛应用。结合变桨距技术的应用以及电力电子技术的发展，大多风电机组开

发制造厂商开始使用变速恒频技术,并开发出了变桨变速风电机组,使得在风能转换上有了进一步完善和提高。2009年,在全球所安装的风电机组中有95%的风电机组采用了变桨变速方式,而且比例还在逐渐上升。我国2009年安装的兆瓦级风电机组中,也全部是变桨距机组。2MW以上的风电机组大多采用三个独立的电控调桨机构,通过三组变速电机和减速箱对桨叶分别进行闭环控制。

4. 双馈异步发电技术仍占主导地位

以丹麦 Vestal 公司的 V80、V90 为代表的双馈异步发电型变速风电机组,在国际风电市场中所占的份额最大,德国 Repower 公司利用该技术开发的机组单机容量已经达到 5MW。德国西门子股份公司、德国 Nordex 公司、西班牙 Gamesa 公司、美国 GE 风能公司和印度 Suzlon 公司都在生产双馈异步发电型变速风电机组。2009 年新增风电机组中,双馈异步发电型变速风电机组仍然占 80%以上。目前,欧洲正在开发 10MW 的双馈异步发电型变速恒频风电机组。

2009 年我国新增风电机组中,双馈异步发电型变速风电机组仍然占 82%以上。

5. 直驱式、全功率变流技术得到迅速发展

无齿轮箱的直驱方式能有效地减少由于齿轮箱问题而造成的机组故障,可有效地提高设备的运行可靠性和寿命,减少维护成本,因而得到了市场的青睐。采用无齿轮箱系统的德国 Enercon 公司在 2009 年仍然是德国、葡萄牙风电产业的第一大供应商和印度风电产业的第二大供应商,在新增风电装机容量中, Enercon 公司已占本国市场份额的 55%以上。德国西门子股份公司已经在丹麦的西部安装了两台 3.0MW 的直驱式风电机组。其他主要制造企业也在积极开发研制直驱风电机组。我国新疆金风科技有限公司与德国 Wensys 公司合作研制的 1.5MW 直驱式风电机组,已有上千台安装在风电场。

2009 年新增大型风电机组中,直驱式风电机组已超过 17%。

伴随着直驱式风电系统的出现,全功率变流技术得到了发展和应用。应用全功率变流的并网技术,使风轮和发电机的调速范围扩展到 0~150%的额定转速,提高了风能的利用范围。由于全功率变流技术对低电压穿越技术有很好且简单的解决方案,对下一步发展占据了优势。与此同时,半直驱式风电机组也开始出现在国际风电市场上。在轴承支撑方式上,单个回转支承轴承代替主轴和两轴承成为某些 2MW 以上机组的选择,如富兰德的 2.5MW 机组,这说明无主轴系统正在成为欧洲风电机组发展的一个新动向。

6. 大型风电机组关键部件的性能日益提高

随着风电机组的单机容量不断增大,各部件的性能指标都有了提高,国外已研发出 3~12kV 的风力发电专用高压发电机,使发电机效率进一步提高,高压三电平变流器的应用,大大减少了功率器件的损耗,使逆变效率达到 98%以上。某些公司还对桨叶及变桨距系统进行了优化,如德国 Enercon 公司在改进桨叶后使叶片的功率系数 C_p 值达到了 0.5 以上。从 2007 年胡苏姆风能展的情况看,欧洲风电设备的产业链已经形成,为今后的快速发展奠定了基础。

7. 智能化控制技术的应用加速提高了风电机组的可靠性和寿命

风电机组的极限载荷和疲劳载荷是影响风电机组及部件可靠性和寿命的主要因素之一,近年来,风电机组制造厂家与有关研究部门积极研究风电机组的最优运行和控制规律,通过采用智能化控制技术,与整机设计技术结合,努力减少和避免风电机组运行在极限载

荷和疲劳载荷,并逐步成为风电控制技术的主要发展方向。

8. 叶片技术发展趋势

随着风电机组尺寸的增大,叶片的长度也变得更长,为了使叶片的尖部不与塔架相碰,设计的主要思路是增加叶片的刚度。为了减少重力和保持频率,则需要降低叶片的重量。好的疲劳特性和好的减振结构有助于保证叶片长期工作的寿命。

叶片状况检测设备的开发和应用,可在叶片结构中的裂纹发展成致命损坏之前或风电机组整机损坏之前警示操作者。

为了增加叶片的刚度并防止它由于弯曲而碰到塔架,在长度大于 50m 的叶片上广泛使用强化碳纤维材料。

智力材料例如压电材料将被使用以使叶片的气动外形能够快速变化。

为了减少叶片和整机上的疲劳负荷,可控制的尾缘小叶会被逐步引入叶片市场。

热塑材料的应用:用玻璃钢、碳纤维和热塑材料的混合纱丝制造叶片,这种纱丝铺进模具,加热模具到一定温度后,塑料就会融化,并将纱丝转化为合成材料,可使叶片生产工期缩短 50%。

9. 风电场建设和运营的技术水平日益提高

随着投资者对风电场建设前期的评估工作和建成后运行质量的越来越高的要求,国外已经针对风资源的测试与评估开发出了许多先进测试设备和评估软件,在风电场选址方面已经开发了商业化的应用软件。在风电机组布局及电力输配电系统的设计上也开发出了成熟软件。国外还对风电机组和风电场的短期及长期发电量预测做了很多研究,取得了重大进步,预测精确度可达 90%以上。

10. 恶劣气候环境下的风电机组可靠性得到重视

我国的北方具有沙尘暴、低温、冰雪、雷暴,东南沿海有台风、盐雾,西南地区具有高海拔等恶劣气候特点。恶劣气候环境会对风电机组造成很大的影响,包括增加维护工作量,减少发电量,严重时还导致风电机组损坏。因此,在风电机组设计和运行时,必须要有一定的防范措施,以提高风电机组抗恶劣气候环境的能力,减少损失。我国的风电机组研发单位在防风沙、抗低温、防雷击、抗台风、防盐雾等方面进行了研究,以确保风电机组在恶劣气候条件下能可靠运行,提高发电量。

11. 低电压穿越技术得到应用

随着风电机组单机容量的不断增大和风电场规模的不断扩大,风电机组与电网间的相互影响已日趋严重。一旦电网发生故障,迫使大面积风电机组因自身保护而脱网的话,将严重影响电力系统的运行稳定性。

随着接入电网的风力发电机容量的不断增加,电网对其要求越来越高,通常情况下,要求发电机组在电网故障出现电压跌落的情况下不脱网运行,并在故障切除后能尽快帮助电力系统恢复稳定运行,也就是说,要求风电机组具有一定低电压穿越能力。

随着风力发电装机容量的不断增大,很多国家的电力系统运行导则对风电机组的低电压穿越能力做出了规定。我国的风电机组在电网电压跌落情况下,也必须采取相应的应对措施,确保风电系统的安全运行并实现低电压穿越功能。

四、风电发展存在的问题

目前, 风力发电技术、储存技术、联网控制技术, 部分已得到了解决。风电已成为西欧各国实施减排的主要替代绿色能源, 但仍存在一问题, 制约着风电的发展。

1. 风电投资成本高

风电投资成本是煤电的 2 倍。煤电平均投资为 4500 元/kW, 风电约 9000 元/kW。风电平均电价高于煤电, 煤电 0.36 元/(kW·h), 而风电为 0.56 元/(kW·h)。电价高是影响并网发电积极性的原因之一。

2. 风电是一种不稳定电源

风与季节、气象有关。风小、无风发不了电, 风太大也不行。煤电满负荷发电 4820h, 设备使用效率约 55%, 而一般风电场发电效率相当于满负荷 2000h, 设备使用效率约 23%, 还不到煤电发电的一半。也就是说风电每千瓦容量投资比煤电高一倍, 而设备使用效率还不到煤电的一半。

3. 风电对控制要求很高

由于风机随风力大小发出不同频率和电压的电, 难以入网和使用, 需要变成直流, 再换流成和电网一样的频率、相位和电压才能入网。目前风力发电电子控制部分仍然是依靠引进和进口。

另外, 风电入网会产生电压闪变、高次谐波和无功功率需求等问题。一般认为风电占当地电网容量的 10%~15%就会干扰电网正常运行, 这是世界性技术难题, 大家都在进行探索研究, 丹麦风电已占其电网容量 20%, 但其风电入网容量仅占总容量的 50%, 其余 50%是离网性容量, 直接向企业、居民等供电。

风电机组运行时产生的噪声、电磁辐射可能对环境有一定的影响。此外, 风电机组旋转的叶轮可能影响鸟类的栖息, 如靠近风景区对景观有一定的影响。

但是, 风力发电过程不产生废气、废水、固体废弃物等污染物。风电作为可规模化开发的清洁可再生能源, 开发利用可节约和替代大量化石能源, 显著减少温室气体和污染物排放, 改善能源结构。按 2015 年发电量测算, 年节能约 6000 万 t 标准煤, 减少二氧化碳排放 1.5 亿 t, 减少硫化物排放 150 万 t, 节约用水约 5 亿 m³, 环境和社会效益显著。我国风能资源主要分布在西北、东北和华北地区, 通过大规模开发这些地区的风能资源, 可以显著促进当地经济发展, 加快落后地区脱贫致富, 促进地区间经济社会均衡和谐发展。

第二节 风力发电仿真系统

一、风力发电仿真系统介绍

TS2000 风力发电仿真系统由北京科东公司开发, 仿真风机主要参考大唐东山风电场。东山风电场是全国最大的陆上风电场之一, 目前运行较为成熟。东山风电场共安装了单机 850kW 和 2000kW 的维斯塔斯风机共 158 台, 总装机容量 25 万 kW。

风电场建有 220kV 升压变电所一座, I 期风机出口电压为 690V, 经风机变升压到 35kV 后送入 35kV I 母线, 再送入 1 号主变升压到 220kV 后送入电网; II 期风机出口电压为 690V,

经风机机舱内的干式变压器升压到 33kV 后送入 33kV I 母线,再送入 2 号主变升压到 220kV 后送入电网;III 期风机出口电压为 690V,经风机机舱内的干式变压器升压到 33kV 后送入 33kV II 母线,再送入 3 号主变升压到 220kV 后送入电网。

220kV 主接线采用单母线接线方式,母线为 6063G— $\phi 150/136$ 硬管型母线。

1 号主变 35kV 进线、2 号主变 33kV 进线、3 号主变 33kV 进线均采用钢芯铝绞线,35kV 主母线母线桥、35kV 连接母线桥及 33kV I、II 母线母线桥、连接母线桥均采用封闭母线。

I 期风机出口电压为 690V,升压后变为 35kV 接入集电线路,该集电线路为钢芯铝绞线;II、III 期风机出口电压为 690V,升压至 33kV 接入集电线路,该集电线路为钢芯铝绞线。

220kV 系统共有 3 台开关,1 号主变高压侧 5501 开关,2 号主变高压侧 5502 开关,3 号主变高压侧 5503 开关。220kV 系统共有一条出线 220kV 母线装有电压互感器、避雷器各一组,母线设有接地刀闸;35kV 母线、33kV I 母线、33kV II 母线均装有电压互感器、避雷器各一组,35kV 母线、33kV I 母线及 33kV II 母线没有接地刀闸。1 号主变、2 号主变、3 号主变 220kV 侧装有避雷器一组。

二、风力发电仿真系统主界面操作

风电仿真教员综合管理系统的主要功能是方便对学员的管理,采用 Client/Server 网络结构,配置灵活,操作简便。系统主界面如图 1-8 所示。

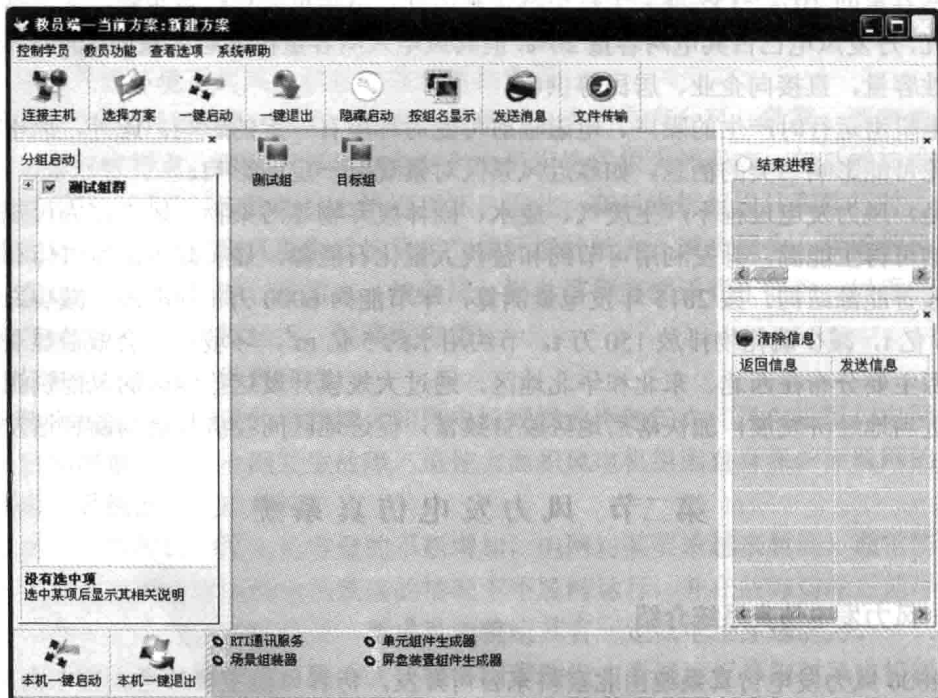


图 1-8 教员端系统主界面

(一) 工具栏

首先要在“机器列表”中选择您要操作的“组”或机器,方能进行下面的操作(图 1-9)。



图 1-9 工具栏

1. 连接主机

单击图 1-9 中的“连接主机”按钮与学员机进行连接，初始化学员机本身的环境变量，为启动仿真培训系统做准备。

2. 选择方案

单击图 1-9 中的“选择方案”按钮为适应项目中多站多配置的需求，现将不同配置整理成方案。利用此功能可以在多个方案中切换，以达到不同配置的目的。当前只有一个方案能被打开操作界面如图 1-10 所示。

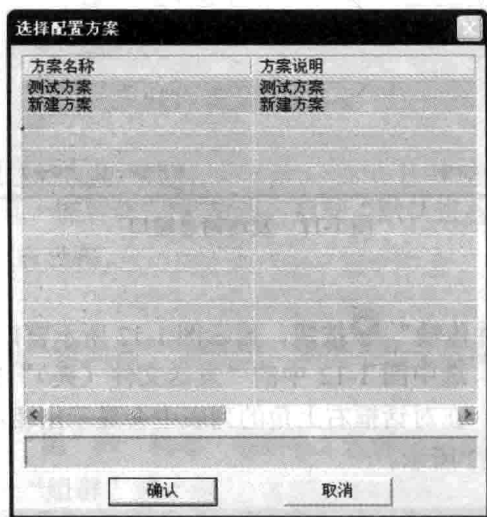


图 1-10 选择配置方案对话框

3. 一键启动

单击图 1-9 中的“一键启动”按钮，按一定顺序与逻辑关系启动事先配置好的程序组合，一般程序组合中会包括电网程序、监控程序、屏盘程序（三维程序）、一次程序（三维）以及这些程序之间的通讯程序、数据处理程序和计算程序等。


4. 一键退出

单击图 1-9 中的“一键退出”按钮退出学员机启动的所有进程。

5. 隐藏启动

单击图 1-9 中的“隐藏启动”按钮有两种状态，默认为“不隐藏启动”，此时不影响任何启动程序的操作；单击此按钮为选中状态时，表示“隐藏启动”。注意：此功能只能隐藏“控制台窗口”风格的程序（如 dbcom.exe 和 psm.exe）。

6. 按组名显示

单击图 1-9 中的“按组名显示”按钮有两状态，默认为“按组名显示”，此时“机器列表”的显示方式是以“组”为单位；单击此按钮为选中状态时，按钮图标部分变为，文字部分变为“按别名显示”，此时“机器列表”的显示方式是以“机器”为单位。

7. 发送消息

单击图 1-9 中的“发送消息”按钮将文字信息发送给学员，操作界面如图 1-11 所示。

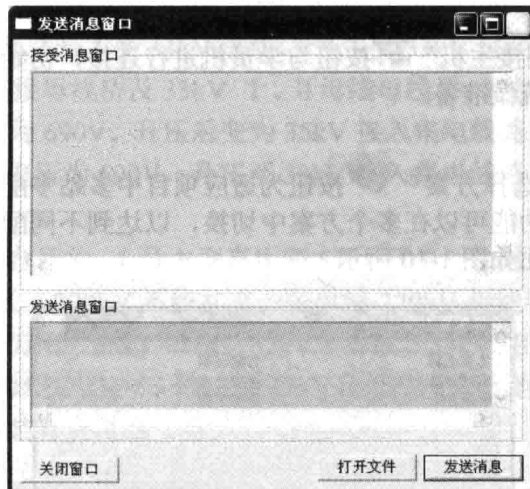


图 1-11 发送消息窗口

8. 文件传输

单击图 1-9 中的“文件传输”按钮，显示图 1-12 所示窗口。

(1) 发送文件(夹)。选中图 1-12 中的“发送文件(夹)”按钮后，将要发送的文件(夹)拖拽到此对话框上，在对话框右上角的列表中会显示出相应的信息。单击“开始”按钮，进行操作，如图 1-12 所示。

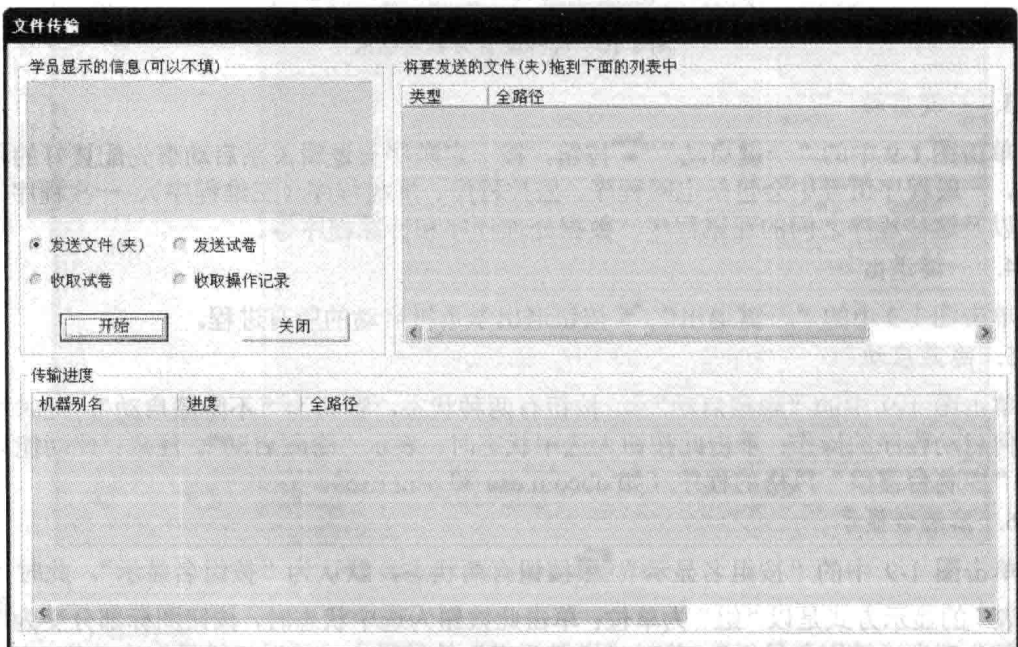


图 1-12 文件传输对话框