

我国的风电技术和风电发展

董丹丹, 赵黛青, 廖翠萍

(中国科学院 广州能源研究所, 广东 广州 510640)

摘要: 发展风力发电是我国能源战略的一项重要内容。文章首先介绍了我国风电利用的总体状况;然后从风机叶片制造、控制系统及整机制造等方面,详述了现阶段我国风电设备的基本状况;最后对我国风电发展障碍进行了分析,并提出了相关建议。

关键词: 风力发电; 风电机组; 控制技术; 促进机制

中图分类号: TK81; TM614 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2007)03-0072-04

Overview of wind turbines' research and wind power development in China

DONG Dan-dan, ZHAO Dai-qing, LIAO Cui-ping

(China Academy of Sciences Guangzhou Institute of Energy Conversion, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Developing wind power is one of the most important energy strategies in China. In this paper, the overview of wind power use in China has generally introduced firstly. Then the research situation of wind turbines and their components are particularly discussed. The obstacle of wind power development are also analyzed, some suggestions have been given later.

Key words: wind energy; wind turbines; control system; promotion mechanism

0 前言

风力发电是技术较成熟、产业发展较快、成本相对较低的可再生能源利用方式,具有很大的发展潜力。风力发电利用风能比较直接,风电场建设周期短,是我国可再生能源战略的重点发展方向。当前,我国的风电发展还存在许多亟待解决的问题,我国风电设备的生产和研制水平还远远落后于欧美国家。本文就我国风电利用的总体状况,风机叶片制造、控制系统及整机制造等进行了论述,对我国风电发展障碍作了分析,并提出了相关建议。

1 我国风电技术研制现状

风能利用主要有 3 种方式:风力提水机、小型风力发电机和大型风力发电机组。

我国已掌握了风力提水机和小型风力发电机的生产技术,在改善单户农民的生活、生产条件方面,产生了明显的社会效益。小型离网风力发电机除满足我国需求外,还有少量出口。2005 年我国有 18 万台小型风力发电机在运行,装机 17.2 MW,使 10 余万户农牧民受益。

大型风力发电机组占地面积小,并网运行的生产成本低,是各国目前研制开发的重点。我国在“七五”到“九五”期间也开展了这方面的研究,叶片、发电机、齿轮箱、电控、塔架、机舱等主要部件已经能够配套批量生产^[1]。图 1 为风

电机组的构成图示^[2]。

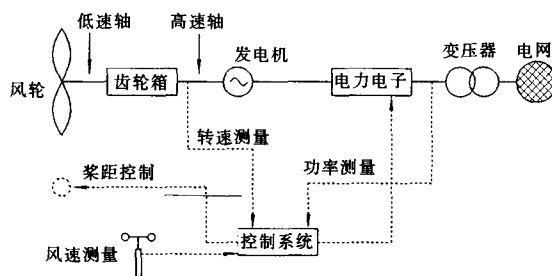


图 1 风电机组构成

Fig.1 The components of wind turbine

力风机的动态特性研究包括两方面:一是准确地预测作用在风力机上,特别是作用在风轮上的载荷,其中主要是空气动力载荷;二是对风力机结构动力特性(包括结构响应和结构稳定性)进行分析^[3]。这些问题就为风电机组的控制系统及风轮叶片的研制提出了挑战。事实上,风机叶片目前仍然是我国风电制造的瓶颈,风电机组的控制系统还有待进一步地研究。

1.1 风机叶片

随着风电机组的大型化,一些新的技术问题凸现出来。首先,由于风轮叶片长度增加,叶片变得更加柔性,这

收稿日期: 2006-11-17。

作者简介: 董丹丹(1982-),女,汉族,硕士研究生,研究方向为生命周期评价和能源战略。E-mail: dongdd@ms.giec.ac.cn

时叶片除了在挥舞方向和摆振方向发生振动外,还可能在扭转方向发生振动,当叶片挥舞和扭转振动耦合时,就会出现颤振,导致叶片的损坏。其次,风电机组功率增大,其动态特性变得更为复杂。针对这些问题,在“九五”,“十五”期间我国重点对风机叶片进行了资助研究,由中航(保定)惠腾风电设备有限公司完成了600,750 kW 风机叶片的研制开发;目前该公司作为国内风电关键设备生产的领军企业,生产的600 kW 叶片的市场占有率为90%,750 kW 叶片的市场占有率达到了100%,与进口国外风机叶片相比,极大地降低了风电成本^[4]。国家高技术研究发展计划(863计划)又把中航(保定)惠腾实施的兆瓦级(失速型)风电机组风轮叶片的研制纳入资助项目。2005年春季,该公司与Nordex公司合作生产1.3 MW 风力发电机组风轮叶片,被列入国家国际科技合作重点项目。

叶片材料是叶片大型化的另一个研究热点。不管从性能方面,还是从重量方面衡量,碳纤维热塑性复合材料都优于现阶段广泛使用的玻璃纤维复合材料,它更能满足风电叶片的超大型化、轻量化和长寿化^[5]。我国目前只是个别研究单位在做这方面的研究,还未到产业化开发阶段。

1.2 控制系统

风电机组控制技术是一项关键技术。与一般的工业控制过程不同,风电机组控制系统是一个综合性的控制系统,它要完成的工作有:①实现风机对风能的最大捕获;②实现风电机组的平稳并网;③在风电场中运行的风力发电机组具备远程通讯的功能。以上工作为控制系统的研制带来很大的挑战,也是我国风机生产研制的薄弱环节。目前我国一些大学、研究单位对此进行了研究。表1给出的是对近6年相关文献调研的结果^[6-17]。

表1 我国风电机组控制策略的研究现状
Table 1 The control system research of wind power in China

序号	控制策略	要点说明	研究单位
1	最优控制技术	应用最早、相对比较成熟,但忽视了风速风向的随机性	华南理工大学 广东工业大学
2	滑模变结构控制	通过控制风轮转速,调节桨距角以使输出功率平稳	沈阳工业大学电气工程学院 沈阳工业大学风能技术研究所
3	自适应控制	通过修正控制器的参数来降低不确定性对系统的影响	汕头大学能源与环境科学研究所
4	交-直-交加双PWM控制	针对变速恒频双馈励磁装置应具有双向变流的特点而设计	沈阳工业大学信息科学与工程学院
5	基于定子磁场定向控制策略	主要针对双馈发电机有功功率、无功功率解耦控制	中科院电工研究所
6	基于无源性控制方案下的桨距角和触发电角双输入控制方案	通过选择适当的状态稳态特性和注入阻尼的方法,将风能的最大捕获与系统的全局稳定性相结合	华南理工大学电力学院
7	神经网络对变速风力发电机组进行控制	从结构、实现机理等功能上对生物神经网络进行模拟和近似,利用BP网对风轮的桨距角进行寻优,用另一个BP网对风能利用系数进行学习,以达到对变速风力发电机组的控制。	西安交通大学电气工程学院 新疆大学电气工程学院
8	矢量控制技术与自抗扰控制器(ADRC)结合的控制策略	不需要精确电机参数就可以实现并网,控制器的设计也不需要建立精确的数学模型	中国科学院电工研究所 北京科诺伟业科技有限公司
9	基于扩张状态观测器(ESO)的自抗扰控制器	具有不依赖于被控对象的具体数学模型,并对内外扰动有较强的抗扰能力的特点	华南理工大学电力学院
10	双闭环PID控制	由转子有功、无功电流双独立通道电流内环和转速外环组成	中国科学院电工研究所
11	直接转矩控制	双馈发电机的直接转矩控制主要工作在低频区域	沈阳工业大学信息科学与工程学院
12	无位置传感器矢量控制	基于双馈电机数学模型,重点讨论在转速控制阶段,采用定子磁场定向的矢量控制,进行了转子位置估算,得到了转速及功率变化规律	沈阳工业大学电气工程学院
		将模糊控制和PID控制两者结合起来,既具有模糊控制灵活而适应性强的优点,又具有PID控制精度高的特点	上海交通大学电力学院 浙江大学城市学院电气系

在“九五”,“十五”期间,我国重点支持中国科学院电工研究所等研究单位对控制系统进行了研制。目前我国600,750 kW 风电机组的电控技术已基本成熟,可批量生

产。国家“十五”科技攻关、“863”项目资助开展了1.5 MW 风电机组控制系统的研制。

1.3 风机其他部件

风电机组的其他主要零部件——齿轮箱、发电机、偏航装置和塔架等,国内企业已具备了一定的生产能力。我国目前已能批量生产 750 kW 以下机组的相关部件,并且正在研制开发 1~2 MW 风电机组的配套部件。东方汽轮机厂率先研制出 MW 级机组轮毂,并掌握了齿轮箱的铸造技术。2005 年 11 月,中国北车集团永济电机厂研制成功国内首台功率最大的 1.5 MW 双馈水冷风力异步发电机,2006 年上半年完成了首台 1.5 MW 空气冷却双馈风力发电机的组装,可望为 MW 级大型风电机组的整机研制提供技术支持。

1.4 整机研制

“八五”以来,我国完成了 550~600 kW 风力发电机组的研制和消化吸收,“十五”期间开发的 750 kW 机组已投入运行,国产化率达到 90% 以上,形成了一定的风电机组的设计、制造能力,同时开始了新型大容量(MW 级变速恒频)风电机组的研制。我国风电机组整机研制单位主要有新疆金风风电设备有限公司、沈阳工业大学风能技术研究所、浙江运达公司等。新疆金风风电设备有限公司和沈阳工业大学风能技术研究所成果斐然(表 2)。我国一些老牌的大型机械制造集团和航空设备制造公司也已进军风电产业。西安航空发动机(集团)有限公司与德国 NORDEX 公司合作成立了西安维德风电设备公司,与此相似的还有一拖-美德、保定惠德等。这类企业主要以引进为主,再进行消化吸收,进而自主创新。哈飞威达与芬兰合资生产 1 MW 和 3 MW 风电机组;北京万电公司引进奥地利 600 kW 风电机组,正在研发 750 kW 和兆瓦级风机技术。

表 2 我国部分风电设备整机研制单位简介
Table 2 Some wind turbine companies in China

研制生产单位	主要工作
新疆金风风电设备有限公司	在完成国家“九五”攻关计划—“600 kW 风力机组国产化研制”后,承担了国家“863”计划项目—“MW 级风机研制”。2006 年 4 月该公司研制的拥有自主知识产权的 1.2 MW 直驱机组已在新疆大阪城风电场投入运行。
沈阳工业大学风能技术研究所	承担了国家“863”计划——“MW 级变速恒频风电机组研制”,自主创新的中国品牌 1 MW 风力发电机组已经成功并网,在此基础上已完成 1.5 MW 风电机组技术开发。自 2006 年起,该所正在实施 1MW 风电机组产业化和 1.5 MW 风电机组的成果转化。
西安维德 保定惠德 哈飞威达	主要生产 600 kW 的风电机组 主要产品是 1.0 MW 风电机组 与芬兰合资生产 1 MW 和 3 MW 风电机组

据专家预测,“十一五”期间我国将在以下方面开展风电技术研究:①1~2 MW 风电机组及其关键部件产业化技术开发;②2~3 MW 风电机组样机研制;③海上试验风电

场关键技术研究及建设;④风电系统检测能力建设、标准和认证。

2 我国风电发展的若干问题分析

2.1 风电技术研发和设备制造能力

我国风电设备的研制基本上走的是一条从带料加工,到合作生产或购买许可证国内组装的技术路线,风电系统工程研发制造能力弱。一方面,受外商非常严格的风电设备制造技术保护制约,难以掌握风电机组的核心技术。另一方面,受人才、技术、工艺和材料等多种原因的制约,国内企业消化、吸收、引进技术的能力薄弱。2005 年我国风电装机量为 500 MW,国产风机只占到了 22.7%^[10]。风电成本中,设备折旧及维修成本占总成本的 80% 以上,由于进口设备比国产设备贵 30%,以及风机进口带来更换设备不便等因素,阻碍我国风电成本的降低,在很大程度上影响了我国风电的进一步开发利用。因此,大力度支持风电机组的国产化是一项紧迫而关键的任务。

2.2 风电发展的支持政策和激励机制

目前我国风电尚处于发展的初期阶段,投资建设成本还比较高,市场还没有完全形成,在此阶段国家的支持和有效的政策引导极为重要(包括支持风电技术研发的资金政策,鼓励风电发展的税收政策,风电运营的成本分摊政策等)。《可再生能源法》提出国家设立专项资金支持可再生能源发展,还明确规定可再生能源发电高于当地电网平均上网电价的部分,在全国范围的销售电价中进行分摊,需要各级政府和有关部门制定一系列支持风电发展的投资税收和信贷优惠等具体的政策实施细则。此外,目前现行的以招标确定风电上网电价的政策是否能够有效地推动我国风电产业的发展,还存在不少争议。

2.3 能力建设和服务体系

我国风能技术的研究和开发队伍相当分散、薄弱,不能满足风能的大规模发展要求。随着大型风电场建设规模的扩大,建设前的项目咨询、风资源调查和评价、选址、规划、设计;建设过程中的建立、管理服务、安装及施工指导;建成后的运行管理、监测、检修、甚至包括售后服务等,都需要大量人才。因此,加大风电人才培养力度,大力发展风电技术咨询、技术服务等第三产业,是我国风电发展的必需条件。

2.4 风电设备的标准、检测和认证体系

目前我国逐步建立了有关风电机组的产品标准、监测标准,这些标准中有些等同于直接采用国际电工组织的标准,尤其是一些重要的基本标准。由于风力发电技术在欧洲发展强盛,国际标准建立的基础也基本依据欧洲的环境和工况。套用这些欧洲的标准时,应考虑我国和欧洲的特殊工况。所以目前急需根据中国情况对这些国际标准进行适用性评估,其中有些标准须根据中国工况予以完善。

风力发电机组质量认证及检测是风电行业产业化及

商业化的基础性工作,目前国内还没有相应的风力发电设备认证体系,国内的质量监督和认证制度一直没有建立起来。其中一个主要原因就是风电机组国产化程度低。但反过来,没有一套健全的质量认证制度,某种程度上也影响了国产化进程。国内有关方面已逐渐认识到建立质量认证制度的必要性及重要性,加快了风电设备标准、检测和认证体系的建立。

3 我国风电发展展望及建议

从资源、技术、经济、环保等因素综合考虑,大规模发展风力发电是解决我国能源和电力短缺的最现实的战略选择。在2006年颁布的《可再生能源法》中明确规划:通过大规模开发,促进技术进步和产业发展,实现设备制造国产化,尽快使风电具有市场竞争力;在沿海地区和“三北”地区建设大型和特大型风电场,在其他地区,因地制宜发展中小型风电场。我国风电发展规划指出,2010年我国风电总装机500万kW,建设30个左右10万kW级大型风电项目和江苏、河北、内蒙3个百万kW风电基地;2020年风电总装机3000万kW,打造若干个200万kW以上的风电大省。配合能源法我国也颁布实施了一系列配套法规,国家发改委出台了《关于风电建设管理有关要求的通知》与《可再生能源发电有关管理规定》,财政部发布了《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》,等等。这为我国风电的发展创造了良好的大环境。

我国要真正建立自己的风电产业,走在世界风电发展的前沿,应从以下几个方面努力。

① 加快培养风能技术方面的人才

风电技术是一项综合性很强的技术,对开发人员的技术要求很高。我国迄今为止还没有一所大学开设相关专业。可在处于风机研制前沿的高校开设风机技术专业,培养专门人才。这些学生在我国风电发展的进程中必将大有用武之地。

② 加强研究开发的系统性、连续性和完整性

这是我国风电设备发展过程中提出的实际问题。在高校、科研院所和企业之间构成一个互为支撑、互为带动、互为服务的链条^[9]。在现阶段市场机制没有完全发挥作用的情况下,各进军风电的企业也需要国家的宏观指导,使我国的风电产业化得到健康发展。

③ 进一步完善国家政策,借鉴他国成功经验

在进一步完善法律法规的同时,我国可以积极借鉴国外的政策措施。比如,德国颁布的新能源法律规定,政府给风电以9.1欧分/kWh的补贴,补贴政策至少持续5年,自2002年1月1日起,每年递减1.5%,即使高补贴率期满,风电投资商仍可享受6.19欧分/kWh的补贴^[20]。美国有15个州实施了配额制,有效地扶持了风能的发展。

除小水电外,风电是有望在我国最先规模化发展的可再生能源,我国风力发电产业的形成是我国风电大发展的根本

保证,为了实现我国的风电发展目标,人才、技术、产业、市场机制等各个环节的协调发展和健全都是十分重要的。

参考文献:

- [1] 代洪涛,邹秋滢.变速恒频双馈风力发电机控制系统研究[J].沈阳工业大学学报,2003,25(6):479-481.
- [2] 张新房,徐大平.风力发电机组的变论域自适应模糊控制[J].控制工程,2003(7):342-345.
- [3] 贺德馨.风能技术发展中的几个问题[J].世界科技研究与发展,2003(8):44-48.
- [4] 苑国良.中航惠腾:自主创新推进风力发电叶片国产化[J].企业天地,2006(11):71-72.
- [5] 马振基,林育锋.复合材料在风力发电上的应用发展[J].高科技纤维与应用,2005,30(4):5-8,14.
- [6] 杨俊华,吴捷.风力发电系统中的最优控制策略综述[J].微特电机,2004,32(3):39-42.
- [7] 郭庆鼎,赵麟.1 MW 变速变距风力发电机的滑模变结构鲁棒控制[J].沈阳工业大学学报,2005,27(2):171-174,186.
- [8] 郑黎明,许移庆.变速风力发电机模型参考自适应控制[J].华北电力大学学报,2005,32(2):57-61.
- [9] 赵栋利,郭金东.变速恒频双馈风力发电机有功、无功解耦控制研究与实现 [J]. 太阳能学报.2006,27(2):174-179.
- [10] 杨金明,吴捷.基于无源性理论的风力机最大风能捕获控制[J].太阳能学报,2003,24(5):724-728.
- [11] 张新燕,王维庆.用BP网进行变速风力发电机组控制分析[J].重庆大学学报(自然科学版),2005,28(11):65-68.
- [12] 付旺保,赵栋利.基于自抗扰控制器的变速恒频风力发电并网控制 [J]. 中国电机工程学报,2006,26(3):13-18.
- [13] 杨金明,吴捷.基于自抗扰控制器的风力发电系统的最大风能捕获控制[J].太阳能学报,2004,25(4):525-529.
- [14] 陆城,许洪华.风力发电用双馈感应发电机控制策略的研究[J].太阳能学报,2004,25(5):606-611.
- [15] 王亮,林成武.双馈风力发电机的直接转矩控制技术[J].沈阳工业大学学报,2006,28(2):206-209,229.
- [16] 杨春,梁中华.双馈风力发电机无位置传感器矢量控制的策略[J].沈阳工业大学学报,2006,28(1):54-58.
- [17] 李树广,何志明.模糊自适应PID控制在立式风力发电系统中的应用[J].测控技术,2003,22(7):24-27.
- [18] 施鹏飞.2005年中国风电场装机容量统计 [DB/OL].中国可再生能源网,http://www.cses.org.cn/nywzbody, 2006-11-15.
- [19] 赵勇强,许洪华.风力发电技术发展状况与趋势分析[J].中国科技产业,2006(2):69-71.
- [20] 郭洪波,王振远,周旭.完善我国风力发电政策的思考[J].可再生能源,2006,125(1):82-85.