

中国风能发展战略研究

贺德馨

(中国可再生能源学会风能专业委员会,北京 100013)

[摘要] 2008年2月中国工程院启动中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究重大咨询项目,项目设置6个课题,根据可再生能源课题的安排,风能组的工作是在“中国可再生能源发展战略研究”的基础上,进一步摸清风能资源家底,从战略的角度对风能市场、产业、技术和应用进行综合分析,提出我国风能中长期发展的战略目标、技术路线、发展重点和政策措施。文章简要介绍了研究的结果。

[关键词] 可再生能源;风能;可持续发展;战略研究

[中图分类号] TK8 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)06-0095-06

1 中国风能发展的基本形势

在全球气候变暖的背景下,以低能耗、低污染为基础的“低碳经济”已成为全球的热点。发展低碳经济是应对气候变化、实现社会可持续发展的重要手段。

我国政府已向世界承诺到2020年实现单位国民生产总值二氧化碳排放量比2005年下降40%~45%,以及非化石能源占一次能源消费的比重达到15%左右的总体目标,为此,必须加快新能源和可再生能源的规模化发展。

风能利用在增加能源供应、改善能源结构、保障能源安全、减少温室气体、保护生产环境和构建和谐社会等方面可以起到重要的作用。经过努力,风能将与其他新能源和可再生能源一起成为发展低碳经济的重要途径,为实施“科学、绿色、低碳能源战略”^[1]做出贡献。

2010年我国风能连续保持五年快速增长,当年风电新增装机容量突破1800万kW,总装机容量突破4400万kW,中国成了世界风能的大国。取得这样的进步有很多原因:第一是国家的重视,特别是2005年《中国可再生能源法》的颁布和之后发布的一系列推进可再生能源发展的政策和法规;第二是

国家制定了可再生能源发展的规划,提出了明确的目标;第三是国家加大了对风电产业发展和风电技术进步的投入,提升了我国风电的总体水平;第四是我国的风电企业、科研院所、高等院校以及社会各界对风能事业做出的贡献;第五是通过国际合作与交流,加快了我国风能发展的进程。

中国进入了世界风能大国,但还不是世界风能强国。目前和今后一段时间,还存在制约风能可持续发展的一些因素,主要有风能资源精细化的评估,大规模化风电场系统的建设,风电与电网的协调发展,自主创新能力和国际竞争力的提升,以及市场机制和管理体系的改革等。怎样保持中国风能健康、可持续发展,从“风能大国”到“风能强国”,从“中国制造”到“中国创造”,从“国内市场”到“国际市场”,是要思考和解决的问题。

2 中国风能发展的战略目标

2.1 研究方法

2.1.1 基本条件

研究风能发展的战略目标,首先需要分析风能发展的基本条件。

1) 风能资源条件。2008年中国气象局对我国

[收稿日期] 2010-03-20

[基金项目] 中国工程院重点咨询项目支持

[作者简介] 贺德馨(1940—),男,浙江定海市人,研究员,研究方向为风能空气动力学;E-mail:hdx@cwea.org.cn

风能资源评估的结论是:全国陆地 50 m 高度层风能资源技术开发量为 6 亿~10 亿 kW;在离岸 20 km 的 50 m 高度层的近海海域范围内技术可开发量为 1 亿~2 亿 kW;总量约为 7 亿~12 亿 kW^[2]。

2009 年,中国气象局对外公布的结果是:全国陆地 50 m 高度层达到 3 级(年平均风功率密度 $\geq 300 \text{ W/m}^2$) 以上风能资源的潜在开发量约为 23.8 亿 kW;我国近海(水深 5~25 m 区域)50 m 高度层达到 3 级以上风能资源的可装机容量约为 2 亿 kW^[3]。

因此,我国风能资源储量总体上是丰富的,具有规模化开发利用的潜力。但是,还需要进一步对全国实际可利用的风能资源进行精细化评估。

2) 风电设备能力。近年来,我国风电设备国产化程度和制造能力都有了很大提高,风电产业链基本形成,零部件制造瓶颈得到明显缓解。2010 年我国风电场新装机的风电机组主要是由国内企业生产的。从总体来看,风电设备能力能够满足我国风电可持续发展的需求,但是,还需要在技术引进的基础上,经过消化吸收和再创新,提高行业整体的创新能力和技术水平。

3) 风电并网条件。目前,我国风能资源丰富的“三北”地区电网条件较弱,大规模、高集中、远距离、高电压的风电开发模式,给电能输送、无功和电压调节、电力系统稳定运行等方面带来许多挑战。随着国家电网建设与风电建设的协调发展和未来智能电网和微网的应用,将会逐步得到解决。

4) 风能政策保障。2005 年《可再生能源法》颁布后,又于 2009 年底通过了《可再生能源法》修正案,风能开发利用已作为国家能源战略的重要组成部分。另外,2009 年,我国在风能资源丰富的甘肃、江苏、河北、内蒙古、新疆、吉林、山东等省区,已规划了 8 个千万千瓦级的大型风电基地,累计规划装机容量近 1.5 亿 kW。国家制定的风能政策和规划为我国风能事业发展提供了重要的保证。为了实现风能发展战略目标,还需要不断调整和完善发展风能的政策和规划。

2.1.2 目标预测

在预测风能发展战略目标时,首先根据可再生能源发展战略目标所确定的总量来预测风电的总量。其次,以 2010 年我国风能发展的现状和 2020 年我国已制定的风电发展规划作为参照数据,分 3 种情景(即高方案、中方案和低方案)预测年风电装机增长率的变化趋势,得到 2020、2030 年和 2050

年的风电装机容量和风力发电量的发展目标。

2.2 发展目标

我国可再生能源的总体发展战略目标是由补充能源逐步提升到替代能源、主流能源和主导能源,根据这样的要求来考虑风能的发展目标。

2.2.1 装机容量目标

在该项目研究时,中国可再生能源课题综合组和风能组就风能中、长期的发展目标分别进行了预测,另外,国内外一些专家和机构也对我国风能发展目标进行过预测。经过综合分析,风能组提出的预测结果见表 1^[1]。

表 1 中国风电累计装机容量发展目标
Table 1 Development goals of China's wind power total installed capacity

年份	低方案	中方案	高方案
2020	1.5	1.8	2.2
2030	3.0	3.6	4.4
2050	4.2	5.8	7.8

2.2.2 发电量目标

目前我国风力发电量是按全国风力发电平均等效满负荷小时数为 2 000 h 来估算的。国内运维好的风电场,其平均等效满负荷小时数可以达到 2 000 h 以上,但全国平均数尚低于 2 000 h。随着我国风电技术的进步和风电场运营水平的提高,以及参照国外风电场容量系数的统计,我国风力发电平均等效满负荷小时数应该保持在 2 000~2 200 h。

3 中国风能发展的技术路线

3.1 基本原则^[1,4]

科学制定风能技术路线是促进风电可持续发展的一个重要举措,世界上风能发展好的国家都有一个稳定的风能发展技术路线。在研究中国风能发展技术路线时考虑了下面的基本原则:

1) 21 世纪是化石能源和新能源与可再生能源交替更迭的时期,要抓住机遇,尽快缩短与国外先进水平的差距,进入世界风能技术前沿。

2) 贯彻“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”的方针,从解决风能发展的制约因素出发,提出关键科学技术问题、明确技术方向和制定技术发展路线。

3) 既要跟踪国际风能发展趋势,又要符合中国国情,“因地制宜,综合利用”。例如,欧洲风电并网是“分散上网,就地消纳”的模式。中国则是“建设大基地,接入大电网”的模式;但是,随着智能电网

和分布式电源系统技术的进步,会向集中式和分布式相结合的模式发展。

4)风能是一个多学科交叉性很强的科学技术领域,涵盖的技术种类多,涉及面广,有一些技术发展前景还难以完全准确判断。风电不像核电,核电技术从热堆、快堆到聚变堆一代一代发展,每一次转化过程都是一次重大技术进步的标志。风电机组从失速型转变为变速恒频型可以说是一次转化,但目前在变速恒频型风电机组中,双馈、直驱、半直驱以及其他新的主传动链型式都在发展,是否能完成一次转化过程,尚有待市场的检验。因此,制定的技术路线会随着时间的推延有一定的调整。

3.2 发展方向

中国风能发展近期以陆上风电为主,积极稳妥发展海上风电。在主要发展集中式并网发电系统的同时,要重视分布式和微网发电系统的发展。在进一步发展风电机组技术和风电场技术的同时,要加快风能应用技术的开发。在强调风能工程技术研究的同时,要积极开展风能基础研究。

3.3 发展路线^[2,5]

1)2020年前要着力解决风电大规模发展的瓶颈问题,重点解决大型风电机组自主研发、风电能力建设和风电并网问题,建立完善的风电技术体系和产业体系。功率3.0~5.0 MW风电机组商业化应用,陆地千万千瓦级风电基地基本建成。风能在可再生能源中占有重要地位,在电源结构中具有一定的显现度。

2)2020—2030年,继续推进陆地规模化风电基地建设的同时,积极发展海上风电,5 MW以上风电机组商业化应用。全国建成与风电友好的电力系统,在发展大规模远距离跨区输电的同时,加强区域电网之间的边际互联,建设风能与其他能源组成的互补电源系统和分布式风电系统,扩大风电消纳能力,实施对风电的统一调度。加大对大容量储能技术和风能为主的直接应用技术的研究。风电在风资源丰富地区的电源结构中产生明显影响。

3)2030—2050年,全国风能资源得到充分开发,陆地风电由建设规模化风电基地的模式向建设分布式风电系统模式转变,海上风电由建设近海风电场向建设深海风电场转变。10 MW级风电机组商业化应用。智能电网技术、大容量储能技术、风能应用技术、能源互补技术和新型输电技术在电力系统中趋于成熟,风能将和其他新能源与可再生能源一起成为一种主导能源。

4 中国风能发展的重点任务

4.1 推进风能规模化发展

为了实现风能发展战略目标,必须通过培育风能市场,促进风能技术升级,建立风能产业体系,来推进风能规模化发展。

4.1.1 促进风能技术升级

近年来,世界上风电机组单机容量持续增大。1.5~2.5 MW风电机组占装机容量的80%以上,2.5 MW以上风电机组占装机容量的6.5%。5~6 MW风电机组也已投入商业运行,并开始8~10 MW风电机组的设计和制造。

随着风电机组单机容量向多兆瓦级方向发展,对风电机组设计和制造技术提出了许多新的挑战。多兆瓦级风电机组是一个大尺寸、大柔度的多体系系统,要在非定常和非均匀载荷及恶劣气候环境下运行20年甚至更长时间。如何优化机组性能、提高机组可靠性、减轻机组重量和降低机组成本是多兆瓦级风电机组设计和制造技术必须解决的问题,特别是风电机组的可靠性设计技术和抗疲劳制造技术。

风电机组可靠性设计要解决的关键技术主要是:a. 风电机组结构动力特性分析和稳定性设计;b. 风电机组结构失效机理分析和可靠性设计;c. 在恶劣气候环境(台风、低温、覆冰、雷暴、沙尘暴和盐雾)下,风电机组的防范措施;d. 风电机组与电网兼容,具有故障穿越能力。

风电机组抗疲劳制造技术是在不改变零件材料和截面尺寸的前提下,通过在制造工艺过程中改变材料的组织及应力分布状态来提高零部件的疲劳寿命,实现产品长寿命、高可靠和结构减重。

4.1.2 建立风能产业体系

风能产业是一个综合性很强的高科技产业,风能产业是一个由风电设备制造业为主体,风电设备材料和器件供应,风电场投资、建设和运营,风电设备检测、认证和咨询、风能应用等组成的产业链。目前,我国还没有建立完整的风能产业链,主要在风电服务业方面显得还很薄弱,不能适应规模化风电发展的需要,急待完善。

4.2 建设与风电友好的电力系统^[5]

由于风能的波动性和间歇性,大规模风电并网对电力系统的规划和运行带来一系列新的挑战,尤其是随着我国若干个千万千瓦级风电基地的规划和建设,必须解决风电并网中的技术问题、管理问题和政策问题。

4.2.1 大规模风电接入电力系统规划

目前,我国风电总装机容量中有 20 % 以上的风电机组,在当年不能并入电网正式运行,其原因除风电机组进行调试考核外,风电场建设和电网建设之间协调不够也是一个原因。随着大规模风电的发展,风电建设要和其他电源建设一样纳入电力系统的规划之中,同时,要针对大规模风电接入的实际区域电网,以保证区域电网稳定运行为目标,研究风电接入对电网静态电压稳定性的影响;研究风电接入后电网发生大扰动故障情况下的电压暂态稳定性、同步发电机组的暂态稳定性及系统频率稳定性变化;研究风电场参与电网稳定控制技术;研究电力系统接入大规模风电后的动态稳定性,容量可信度及区域电网接纳能力的研究。

目前,通常对于电力系统的研究一般采用数字仿真与物理模拟相结合的方法来研究电力系统,如何在电力系统的仿真程序中建立包括风电在内的电源结构优化及风电消纳能力分析的一体化研究模型,是一个重要的环节。

对于风电的大规模集中开发和远距离输送,特别是海上风电场的输电方式,除采用传统的交流输电方式外,还可采用柔性直流、高压直流、超导和低频输电等新型输电方式。

4.2.2 风电接入电力系统运行控制

为了应对风电的波动性和间隙性,电力系统在运行中必须有足够的备用电源和调峰容量,并对电力系统运行进行优化控制。目前,对风电功率进行预测是重要的一项措施。风电功率预测可分为超短期预测(< 4 h)、短期预测($4 \sim 72$ h)和中长期预测。超短期预测主要应用于实时调度和控制;短期预测主要应用于安排机组运行方式和经济调度;中长期预测主要应用于安排检修和发电量估计等。

我国三北地区,尤其是东北、华北地区,目前,主要依靠燃煤机组为风电调峰。在风电接入电网规划中,需要协调风电与电源规划,研究燃煤机组的调峰机制,对包括电价在内的经济与环境效益做出定量评价,促进风电与常规电源协调发展。

另外,随着千万千瓦级风电基地的建设,要考虑不同区域、不同风电场、不同风电机组之间的互联,建立统一的风电场集控和调度中心,逐步实现风电调度智能化。

4.2.3 “电网友好型”风力发电技术

大规模接入电网的风电场必须具备更加良好的

电网适应能力,包括有功功率变化率控制、无功功率调节、低电压穿越(LVRT)能力、频率调节和抗干扰能力等。通过对风电机组实施技术规范、并网检测和型式认证等措施,风电可以通过技术进步达到或接近常规电源的性能,实现风电与电网及其他常规电源的协调发展。

4.3 积极稳妥发展海上风电

2010 年底,全球海上风电场总装机容量为 3 048 MW,占风电总装机容量的 1.6 %,主要分布在欧洲。虽然海上风电场较陆地风电场建设成本高,难度大,但是仍然是风电发展的一个方向,预计到 2015 年年底,全球要建设 18 ~ 24 GW 的海上风电场。2010 年,我国建设了容量为 102 MW 的上海东海大桥海上风电场,并对沿海各省海上风电场建设进行了初步的规划,2015 年要建设 5 000 MW 的海上风电场。

海上风电的关键技术主要有大功率海上风电机组研发、海上风电场工程建设和海上风电场运行维护等。

4.3.1 大功率海上风电机组研发

海上风电机组一般功率在 3 MW 以上。由于海上风电机组要在高盐雾、高湿度以及海浪、海流、海冰和台风等恶劣环境下可靠运行 20 ~ 25 年,因此,海上风电机组除了功率特性外,特别要对风电机组运行可靠性、易维护性、防腐蚀性和抗疲劳性等给予更多的重视,要减少故障率、提高可利用率、降低运行成本。

随着海上风电机组容量的增加,风电机组部件出现超长、超重和超载,给产品研发带来质的变化。在设计时,要考虑系统优化;在制造时,要采用新材料和新工艺。海上风电机组的支撑结构,要受到水动力载荷和空气动力载荷的双重作用,还要考虑海冰载荷和船舶冲击载荷以及地震载荷等,其支撑结构与基础型式、水深和海床结构有关。

4.3.2 海上风电场工程建设

与陆地风电场建设工程相比,海上风电场建设工程的施工周期长,技术难度大,建设成本高,存在风险多。

海上风电机组的支撑结构及地基基础具有高耸结构、动力设备结构和海洋工程结构 3 种工程特性,当三者耦合在一起的时候,采用常规的基于极限强度和变形控制的理论不能保证结构的安全,必须提出新的设计原则。

海上风电机组基础类型主要有桩式基础、重力式基础、沉箱式基础和漂浮式基础 4 种。目前主要

采用单桩式基础,其结构型式和施工工序较简单,但刚度较小。随着风电机组单机容量和风电场海域水深的增大,会采用多桩固定平台结构的基础。随着海上风电场由浅海向深海发展,新一代海上风电机组将采取漂浮式基础。针对我国的情况,还要考虑在潮间带建设海上风电场的基础设计和施工技术。

海上风电机组属于超大和超重的机械设备,在海上风电场建设中要采用特制的运输安装船进行运输和安装。安装时,可以实行分体式安装和整体式安装,要采用专门设备来保证准确定位。

4.3.3 海上风电场运行和维护

由于海上风电场远离陆地,因此,风电场运行和维护工作显得十分重要。一般采用远程数据采集系统(supervisory control and data acquisition, SCADA)对海上风电场运行进行实时状态检测与故障诊断,并在此基础上提出维护策略,以保证风电场运行的可靠性和提高经济效益。

4.4 推进多元化的风能应用模式

目前,风能利用的主要模式是规模化风电场并入电网运行。结合我国的国情,风能利用的模式应该是多元化的,除了集中并网利用模式外,还要发展互补式和分布式风能利用模式。

风能与其他能源组成互补系统是改善风电对电网影响和扩大风能应用的一种技术途径。目前,风电/光伏发电互补系统、风电/柴油发电互补系统技术已成熟。近年来,风电/水电互补系统、风电/燃气轮机发电互补系统和风能/海洋能发电互补系统等也正在探索。

根据我国风能资源分布和电网架构的情况,在一些地区可以发展分布式电源系统和微网系统。发展由大中型风电机组以及与其他能源组成的互补系统与相应规模的蓄电装置组成的分布式电站,为分散的地区提供生活和生产用电。风电应用还可以将风电作为主要电源直接应用于对电能质量要求不高的作业,如海水淡化、制氢和蓄热等。为了提高供电质量和调峰能力,可以与规模化蓄电系统相结合,必要时用少量网电补充。

储能技术有物理储能和化学储能两大类。物理储能主要包括抽水储能和压缩空气储能。化学储能主要包括各类蓄电池、可再生燃料电池和液流电池等。将风电直接应用与大规模蓄电相结合是风电多元化应用的一种技术途径,可以采用风电直接供电—蓄电调节、风电直接供电—谷电供电—蓄电调

节和风电直接供电—蓄电—网电联合等3种运行方式^[2]。后者在风电的“旺季”与蓄电匹配时,蓄电在平抑风电昼夜波动之后电能有余,过剩的风电通过蓄电将部分容量用于电网调峰。

5 中国风能发展的措施建议

5.1 制定发展规划

根据中国风能发展战略目标,国家需要制定一个科学的中国风能发展规划。目前,我国风能发展规划出自于多个政府部门。建议由国家能源局委托中国科学院和中国工程院联合组织专家对国家风能发展的近期、中期和远期规划进行咨询,为政府制定国家风电发展规划提供科学依据。

5.2 建设产业体系

风能产业是一个高新技术产业,产业集成度很高,从上游到下游有非常完整的产业体系。近年来,我国风能产业发展迅速,但是风能产业体系尚未完全形成,表现在风能产业布局不尽合理,风电设备制造业产能和产量不协调,风能服务业、咨询业和保险业很薄弱,风能产业的国际市场尚未形成,需要解决。

在建设产业体系时,除了通过市场调节外,政府主管部门进行指导和宏观调控也是十分重要的。另外,可以充分发挥风能行业协(学)会组织的作用。

5.3 提高创新能力

随着我国风能产业的快速发展,风能技术也有了长足的进步。但是,从总体来看,技术创新体系尚未完全建立,基础研究工作开展较少;创新能力还很薄弱,缺乏有完全自主知识产权的核心技术;缺乏公共技术服务平台,专业技术人才还很匮乏;需要采取措施加以解决。

5.3.1 建立国家风能研究中心

建立由政府支持的国家风能研究中心的任务是:一方面,作为政府相关部门的技术支持单位,对国家风能发展战略、规划和政策进行设计;提出风能优先发展领域和技术研发方向;协助政府相关部门,组织、管理、评议和审核国家支持的风能项目。另一方面,从事风能基础研究和公共性技术研发,提高我国风电产业和风电技术的整体水平。

5.3.2 建设风电公共技术试验平台

风电公共技术试验平台是风电可持续发展的重要技术基础。风电公共技术试验平台包括风力发电机组试验平台、风力发电机组叶片试验平台,风力发电机组仿真平台和风力发电机组试验风电场。风电

公共技术试验平台一般由政府资助,集中建设,对企业开放,有偿服务;其取得的经验和知识能够在行业内得到交流和传播,促进整个行业的技术进步。

目前,风电公共技术试验平台建设正在筹划之中,需要解决的是运行机制问题,以保持公共性和保护知识产权。

5.3.3 建立标准、检测和认证体系

标准、检测和认证是保证风电机组产品质量和可靠性,提高自主研发能力的重要措施。目前,我国现有标准主要等同采用 IEC 国际标准,由于我国气候条件与欧洲不尽相同,因此还需要根据我国国情进行修订和补充,建立完善的风电标准体系。我国风电检测和认证工作尚处在起步阶段,拟尽快建立与国际接轨的检测与认证体系,完成必要的基础设施建设,培养专业技术队伍,提高检测和认证能力,并尽快实施风电设备强制性认证制度。

5.3.4 加速人才培养

我国风电人才严重短缺,特别急需具有创新能力的复合型技术人才、总体设计人才和高级管理人才。在有一定基础的高等院校,可设置风电专业或专业方向,培养本科生和研究生;国家要支持高等院校参与工程项目,开展风能研究与开发工作。另外,对现有从事风电专业技术人员和设备加工、运行、维护人员进行知识更新培训,企业要与高等院校、科研单位共同建设人才培养基地。人才培养还要加强国际交流与合作,引进国外人才资源。

5.4 完善政策法规

自 2005 年《可再生能源法》颁布和 2006 年贯彻实施以后,对加快我国可再生能源开发利用特别是风能的快速发展起到了非常重要的作用。在《可再生能源法》实施过程中也出现一些问题,主要有:可再生能源开发利用规划同能源规划以及电力、电网规划脱节;可再生能源发电强制上网和全额收购难以落实;可再生能源电价附加调配方式不合理。为了解决上述问题,2009 年 12 月全国人大又通过了可再生能源法修正案。修正案围绕实行统筹规划、市场配置与政府宏观调控相结合以及保证国家扶持资金集中统一使用三个方面提出了相应的规定,这将进一步促进我国可再生能源合理、健康有序的发展。

参考文献

- [1] 中国能源中长期发展战略研究项目组. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究(综合卷)[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [2] 中国工程院. 中国可再生能源发展战略研究(风能卷)[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [3] 中国气象局风能太阳能资源评估中心. 中国风能资源评估(2009)[M]. 北京:气象出版社,2010.
- [4] 中国工程院. 中国可再生能源发展战略研究(综合卷)[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [5] 中国工程院. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究(可再生能源卷)[M]. 北京:科学出版社,2011.

Research on China's wind energy development strategy

He Dexin

(Chinese Wind Energy Association, Beijing 100013, China)

[Abstract] In February 2008, Chinese Academy of Engineering started up the great consultative project of Research on the Energy Development Strategy of China in mid-long term(2030, 2050), which includes six sub-tasks. According to the arrangement of renewable sub-tasks, the work of wind energy working group is to further understand the wind resources on the basis of "China Renewable Energy Development Strategic Research", make comprehensive analyses on wind market strategy, industry, technology and application from the strategic prospect, and put forward the strategic targets, the technical routes, development focus and policy measures for the wind energy development of China in mid-long term. This article briefly introduced the achievements of the research.

[Key words] renewable energy; wind energy; sustainable development; strategic research