



山东电力建设第二工程公司

中国电建

Shandong Electric Power Construction No.2 Company

# 风力发电场 运行维护与检修

山东电力建设第二工程公司 组织编写

杨静东 主编

Fengli Fadianchang  
Yunxing Weihu Yu Jianxiu



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 风力发电场 运行维护与检修

山东电力建设第二工程公司 组织编写  
杨静东 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

到 2013 年年底中国风电装机总容量将超过 9000 万 kW, 这就意味着约 5 万~6 万台风电机组将需要进行维护。本书介绍了国内风电运行与维护市场的兴起和作用, 概述了风电机组的结构特点和运行环境; 较系统地介绍了风电场运行管理和运行维护的方法、内容; 提出了风电场的检修分类和检修方法以及事故处理和故障诊断; 介绍了风电场科技档案 6~9 大类分类与归档范围; 并介绍了风电场三大规程、管理制度和标准化管理及风电场的应急预案。

本书可作为风电企业及风电场运行维护、检修人员及管理人員的培训教材和案头必备工具书, 也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

## 图书在版编目 (C I P) 数据

风力发电场运行维护与检修 / 杨静东主编; 山东电力建设第二工程公司组织编写. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-5170-1835-3

I. ①风… II. ①杨… ②山… III. ①风力发电—发电厂—运行②风力发电—发电厂—维修 IV. ①TM614

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第055557号

|      |                                                                                                                                        |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 风力发电场运行维护与检修                                                                                                                           |
| 作 者  | 山东电力建设第二工程公司 组织编写 杨静东 主编                                                                                                               |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址: www. waterpub. com. cn<br>E-mail: sales@waterpub. com. cn<br>电话: (010) 68367658 (发行部) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心 (零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                          |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                        |
| 印 刷  | 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司                                                                                                                         |
| 规 格  | 184mm×260mm 16 开本 24 印张 569 千字                                                                                                         |
| 版 次  | 2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷                                                                                                      |
| 印 数  | 0001—3000 册                                                                                                                            |
| 定 价  | 69.00 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

# 《风力发电场运行维护与检修》

## 编 委 会

主 任：张仕涛 肖 英

副主任：赵秀华 岳增智 侯端美 刘云雷 杨静东  
张维强

委 员：肖玉桥 张荣强 蔡国军 卢相军 郑长利  
张维强 刘恩江 朱育才 季新元 周宏伟  
曲 日 张守峰 王金寿 张彩祥 赵成玉  
王冠军

主 编：杨静东

副主编：郑长利 张维强 刘恩江 朱育才 周宏伟  
鞠文利 李 斌

参 编：方 明 王凤安 杨新奇 李 玉 陈西义  
吕玉善 张守峰 季新元 曲 日 王金寿  
赵成玉 李茂果 张 辉 刘作鹏 张建中  
张新国 巩 磊 刘向晨 李 丽 李丰玉  
王冠军

统 稿：朱育才



# 前言

近年来我国风力发电继续保持着快速增长的势头和世界第一风电大国的地位。截止到2013年7月,总装机容量已接近9000万kW,“十二五”期间达到1亿kW的目标即将实现。风电已超过核电成为继煤电和水电之后的第三大主力电源。

我国目前已建成的风电场主要分布在“三北”(西北、东北、华北)区域,沿海地区、西南地区、中原部分省份也开始建设了一些风电场。风电场大多建在戈壁、草原、滩涂、海岛、山区、近海等地区。

根据风电场的建设程序,在工程验收后,就进入日常运行阶段,这个阶段将长达20年,甚至更长的时间,这个阶段的任务就是日常运行维护、检修与经营管理,向社会提供清洁、可再生的风能电力,创造经济与社会效益。

风电机组是非常精密的设备,运行中出现微小的偏差和故障也会中断发电自我保护;并且经常受到低温、高温、风沙、盐雾、雷电、台风等灾害性气候对设备安全运行的干扰和严重影响。要实现20年漫长寿命周期内较为安全可靠的运行,延长机组寿命,日常维护十分重要。我国风电场大多建在偏远地区,运行条件十分恶劣,这是我国风电运行维护的自然特点。传统的火电或水电生产的成熟管理模式都不具备直接应用于风电管理的条件。

目前,我国大批已投运的兆瓦级风电机组,即将度过质保期(即风机厂家一般负责两年质保),风电场运行管理过程中暴露出的问题也愈加突出。尤其在日常管理中,由于对风机认识不深,经验不足而导致较多的安全隐患,甚至是严重事故频繁发生。风电场的运行维护和检修已成为当前我国风电产业的一项重要任务。

为了适应我国风电机组运行维护和检修的需要,特总结各地风电场、运维公司及风机厂家运维检修的经验,组织编写了《风力发电场运行维护与检修》一书,以期对各地风电场的运行维护与检修提供借鉴。

在本书编写过程中得到了大唐、华电、华能、国电、华润集团等属下山东风电分公司,以及大唐莱州,华能莱州、牟平,华电金城,华润五莲,鲁能康保、张北曹碾沟等风电场的支持,并参阅了已出版的风电文献,在此向

有关风电分公司、风电场和各位作者表示感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，诚请广大读者批评指正。

**作者**

2014 年 1 月 20 日



# 目 录

## 前言

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 中国风电发展概况              | 1   |
| 第一节 可再生能源发电行业总体情况         | 1   |
| 第二节 中国风电近年来的快速发展          | 2   |
| 第三节 中国风电“十二五”规划发展目标       | 8   |
| 第二章 中国风电场运维服务市场           | 16  |
| 第一节 中国风电场运维服务市场产业的背景      | 16  |
| 第二节 中国风电场运维服务市场的发展        | 20  |
| 第三节 中国风电场运维管理模式及质保外运维现状   | 25  |
| 第三章 风力发电机组的结构特点与运行环境      | 30  |
| 第一节 概述                    | 30  |
| 第二节 风电机组的结构及特点            | 32  |
| 第三节 风电机组的参数与性能            | 57  |
| 第四节 各种不同类型的风电机组           | 58  |
| 第五节 常用国产风力发电机组简介          | 62  |
| 第六节 风电机组运行环境特点            | 68  |
| 第七节 双馈型、直驱型两种主流风电机组技术特点对比 | 70  |
| 第四章 风电场的运行管理              | 73  |
| 第一节 建立健全组织机构和完善规章制度       | 73  |
| 第二节 风电场运行人员的岗位规范和工作标准     | 79  |
| 第三节 风电场运行工作的主要内容和主要方式     | 88  |
| 第四节 风电场的运行管理              | 91  |
| 第五节 风电机组的运行               | 104 |
| 第六节 风电场运行值班记录             | 107 |
| 第五章 风电场的运行维护              | 115 |
| 第一节 风电场运行维护的特点和维护管理       | 115 |
| 第二节 风力发电机组常规巡检和故障处理       | 124 |
| 第三节 风电机组年度例行维护            | 126 |
| 第四节 海上风电场的维护              | 144 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| <b>第六章 风力发电机组的维护方法</b>              | 152 |
| 第一节 风电机组维护的基本内容                     | 152 |
| 第二节 叶片和轮毂的维护                        | 154 |
| 第三节 发电系统的维护                         | 156 |
| 第四节 主传动与制动系统的维护                     | 167 |
| 第五节 变桨距、偏航及辅助系统的维护                  | 174 |
| 第六节 控制系统的故障与防护                      | 179 |
| 第七节 支撑体系的维护                         | 182 |
| <b>第七章 风电场的检修与特殊环境的影响</b>           | 184 |
| 第一节 风电场设备检修分类及检修技术                  | 184 |
| 第二节 风电场设备异常和故障处理                    | 187 |
| 第三节 特殊环境对风电场运行的影响                   | 201 |
| <b>第八章 风力发电机组的润滑系统维护</b>            | 214 |
| 第一节 风力发电机组的润滑要求                     | 214 |
| 第二节 油品的选择                           | 214 |
| 第三节 风力发电机润滑油（脂）推荐牌号及使用注意事项          | 217 |
| <b>第九章 风力发电机组的故障诊断</b>              | 220 |
| 第一节 风力发电机故障诊断概述                     | 220 |
| 第二节 风力发电机电气故障案例                     | 221 |
| 第三节 风力发电机机械故障案例                     | 231 |
| <b>第十章 风电场技术资料与科技档案管理</b>           | 245 |
| 第一节 风电场技术资料管理                       | 245 |
| 第二节 风电企业科技档案的标准化 管理                 | 250 |
| 第三节 风电企业科技文件归档范围与 6~9 大类档案分类及保管期限划分 | 255 |
| <b>第十一章 风电场三大规程及管理制度概论</b>          | 280 |
| 第一节 风电场三大规程                         | 280 |
| 第二节 风电企业管理制度建设                      | 311 |
| 第三节 风电企业标准化管理                       | 316 |
| <b>第十二章 风电场应急预案</b>                 | 321 |
| 第一节 风电场总体应急预案                       | 321 |
| 第二节 防自然灾害应急预案                       | 326 |
| 第三节 防事故灾难应急预案                       | 345 |
| 第四节 发生公共卫生事件应急预案                    | 371 |
| <b>参考文献</b>                         | 373 |

# 第一章 中国风电发展概况

## 第一节 可再生能源发电行业总体情况

可再生能源发电主要包括小水力发电、风力发电、太阳能发电、生物质发电、波浪及潮汐发电等方式。由于对能源短缺、全球气候变暖及温室气体排放引发的环境威胁忧虑日益严重，促使世界各国积极响应节能减排号召，大力发展可再生能源。

在我国，随着经济的高速增长，温室气体排放量迅速增加。2008年，中国排放了653.4万t的二氧化碳，是2001年排放量的2倍，并占世界3037.7万t的总二氧化碳排放总量的21.5%。我国政府已于2002年正式核准了《京都议定书》，于2005年起颁布了一系列法律法规及规划以鼓励开发及利用可再生能源，并于2009年11月表示2020年每单位国内生产总值的二氧化碳排放量将较2005年减少40%~45%。

特别是在有限化石能源快速耗尽的情况下，可再生能源是满足中国日渐增长的能源需求的可行性选择。根据中国电力企业联合会（简称中电联）的资料，中国可再生能源发电容量于2001—2009年复合年增长率达60.4%。

为促进可再生能源行业的发展，我国政府相继颁布优化能源结构的法律法规及规划，包括《中华人民共和国可再生能源法》和《可再生能源中长期发展规划》。《可再生能源中长期发展规划》规定：截至2010年和2020年，总装机容量超过50000MW的发电集团，所拥有的非水电可再生能源发电装机容量应分别达到3%和8%以上。此外，根据关于《新能源产业振兴规划》的公开信息：截至2020年新能源发电占电力总装机容量的比重达15%，其中核电装机容量达到86GW、太阳能装机容量达到20GW，风电装机容量达到150GW。

“十二五”时期，我国政府将以构建安全、稳定、经济、清洁的现代能源产业体系为目标，优化调整能源结构，大力发展新能源与可再生能源，促进非化石能源的开发与利用。在做好环境保护的前提下有序发展风电，加快太阳能多元化利用，积极发展生物质能、地热能等其他新能源，促进分布式能源系统的推广应用，让新能源和可再生能源在能源结构调整中发挥更加突出的作用。

根据《中华人民共和国可再生能源法》，电网公司必须购买位处其覆盖范围内的可再生能源项目生产的全部电力，并提供电网连接服务及相关技术支持。另外，国家电网公司正在积极规划建设由三北地区至华北、华东及华中地区的特高压输电线路，并配合水电、煤电和风电基地开发建设多个直流输电工程。项目建成后，将进一步提高三北地区风电外送容量的比例，改善限电问题。

综上所述，新能源行业仍旧是我国政府转变发展方式、调整经济结构的主要方式之一，行业发展形势总体向好，业务前景十分广阔。



## 第二节 中国风电近年来的快速发展

### 一、中国风电发展

风力发电（以下简称风电）是风能利用的重要形式，风能是可再生、无污染、能量大、前景广的能源，大力发展清洁能源是世界各国的战略选择。全球 2011 年新增风电装机容量达 41000MW，增幅达 6%。其中，中国新增装机容量是 18000MW，风机装机量累计达 65000MW，连续第二年居首。中国已经是世界上风电设备制造大国和风电装机容量最多的国家，成为名副其实的风电大国。风电发展在中国电力结构中已经具有一定的显示度，风电在增加能源供应、减排温室气体、带动经济增长和增加就业等方面都已经发挥越来越重要的作用，引起了国际社会的充分关注。

中国可再生能源学会风能专业委员会初步的统计数据显示，2012 年中国风电新增装机容量达到 14000MW 左右，装机总容量累计达 79000 余 MW，足以支撑行业平衡持续的发展。

中国的风电从 20 世纪 80 年代开始发展，尤其是在“十五”期间，风电发展非常迅速，总装机容量从 2000 年的 350MW 增长到 2006 年的 2600MW，年增长率将近 40%。风电装机容量 2004 年居世界第十位，2006 年居世界第六位，2010 年起上升为世界首位，发展迅速。总体来看，中国并网风电场的发展分为初期示范阶段、产业化建立阶段和规模化国产化阶段三个阶段。

下面仅将中国 2001—2011 年历年新增及累计风电装机容量用图 1-1 表示，2009—2010 年中国累计装机容量超过 10000MW 的省份用表 1-1 表示。

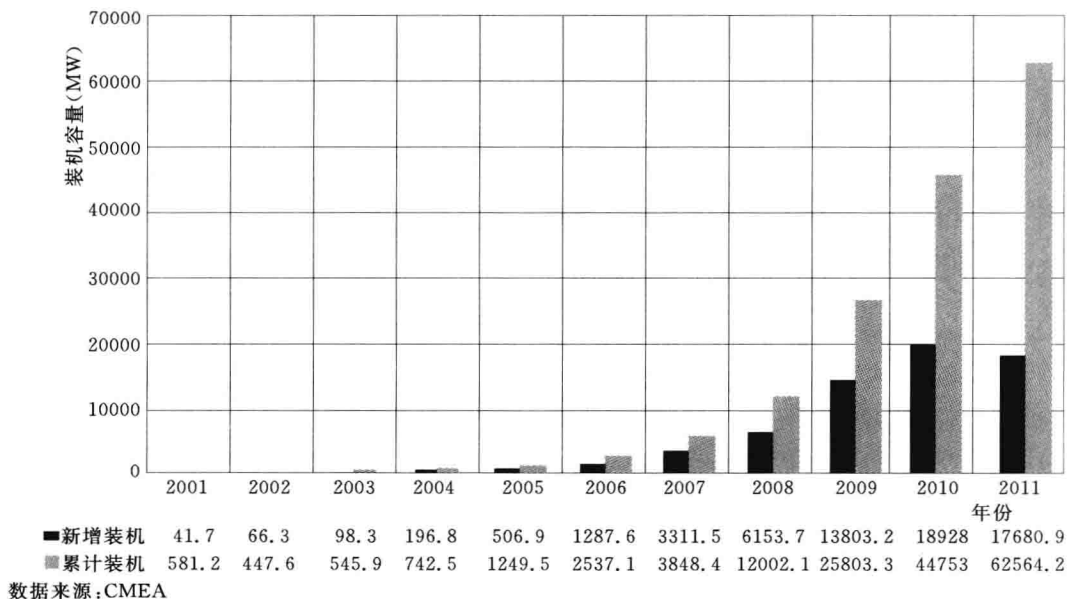


图 1-1 2001—2011 年新增及累计装机容量图



表 1-1 2009—2010 年中国累计装机容量超过 1000MW 省（自治区）

| 省（自治区）           | 内蒙古      | 甘肃      | 河北     | 辽宁      | 吉林      | 山东     | 黑龙江     | 江苏      | 新疆      | 宁夏     |
|------------------|----------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 2010 年累计<br>(MW) | 13858.01 | 4943.95 | 4921.5 | 4066.86 | 2940.86 | 2637.8 | 2370.05 | 1467.75 | 1363.56 | 1182.7 |
| 2010 新增<br>(MW)  | 4661.85  | 3756    | 2133.4 | 1641.5  | 877     | 1418.7 | 710.3   | 371     | 361     | 500.5  |
| 2009 年累计<br>(MW) | 9196.16  | 1187.95 | 2788.1 | 2425.31 | 2063.86 | 1219.1 | 1659.75 | 1096.75 | 1002.56 | 682.2  |

近年，我国风电发展形势良好。2011 年，风电并网装机容量 47000MW，并网新增 16000MW，增长速度比较快。在 2010 年全国能源工作会议上，对风电发展提出的要求是“积极发展”，而在 2011 年的会议上，对风电发展提出的要求是“积极有序”发展，突出了“有序”二字，即国家更强调有计划的发展。权威部门要求风电的发展必须依据国家的总体经济发展计划，不能太过迅速，要有一定的可控性。

在经历了连续数年的高速增长后，中国风电行业 2012 年开始面临一系列发展瓶颈；上游产能过剩、下游需求疲软、并网消纳困难、弃风限电严重、产业链资金压力加剧、出口遭遇贸易壁垒，全行业面临亏损风险，发展增速开始放缓。

但在如此困难的情况下，我国风电仍在平稳向前发展，并未停滞不前。

2012 年，中国风电并网总量达到 60830MW，发电量达到 1004 亿 kWh，风电已超过核电成为继煤电和水电之后的第三大主力电源。党的十八大提出大力推进生态文明建设，积极开展可再生能源消费革命，建设美丽中国，风电在中国仍具有广阔的发展前景和市场空间。

目前，我国正试图开拓海上风电市场。因为我国电力负荷中心就在东南沿海，我国在这发展成本（机器费用和人工费用）会比国外低，很有竞争力。此外，我国制造船舶、专业设备的能力都达到了一定的水平，所以海上发电前景很好。2011 年年底我国已建成海上风电项目 343.5MW，其中包括上海东海大桥海上风电场（100MW），江苏如东海上风电示范项目（150MW）。2010 年首批 1000MW 海上风电特许权项目完成招标。其中，江苏滨海、射阳近海项目各 300MW，江苏东台、大丰潮间带项目各 200MW。目前，东部沿海各省市十二五期间海上风电装机 5000MW 的任务，正在开展前期工作。

随着国家一系列调整相关产业政策的相继出台，风电行业准入标准不断得以提升，这势必形成行业的优化和整合，产业集中度会大幅提升，中国风电市场潜力可观，前景依然良好。

“未来几年，随着行业政策的逐步完善及并网瓶颈的破解，我国风电产业将迎来结构调整的重要机遇。

2012 年，中国政府出台了《风电发展“十二五”规划》，明确了未来风电发展目标，到 2015 年并网装机总容量达到 1 亿 kW，到 2020 年装机容量达到 2 亿 kW。

截至目前，国家能源局核准的“十二五”风电项目已经超过了 5500kW。

在 2013 年年初召开的全国能源工作会议上，中国政府明确 2013 年新增风电装机容量要达到 18000MW。另外，2012 年科技部立项的风电科研项目也开始执行，总投资超过了



2 亿元。

中国风电技术水平快速提高,设备制造能力显著增强。“十一五”时期,中国风电设备研发设计和制造能力与世界先进水平的差距迅速缩小,1.5MW 和 2MW 风电机组成为主流机型,3MW 风电机组已研制成功并开始批量工程应用,5MW 和 6MW 陆上和海上风电机组相继研制成功,风电设备关键零部件的技术水平迅速提高。目前,中国已建立起内资企业为主导、外资和合资企业共同参与的风电设备制造体系,在开发适应国内风能资源特点的产品、满足国内市场需求的的同时,中国风电设备已始进入国际市场。

## 二、我国风电快速发展的政策因素

由于我国风能资源丰富以及建设运营费用相对低廉,风电被认为是我国最有可能最先实现商业化运营的清洁能源之一,从我国近年来的风电产业政策导向来看,一直以鼓励扶持为主。为加快风电行业化进程,国家发展和改革委员会(简称国家发改委)专门先后颁布了《促进风电产业发展实施意见》、《节能发电调度办法(试行)》以及《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》,加大电网对风电场发电量的全额收购要求,并对相关上网电价作出调整以保障风电企业正常利润,保障了风电产业的可持续发展。

同时,为促进风电成本的进一步降低,《关于风电建设管理有关要求的通知》中提出了在建风电场中风电设备国产化必须达到 70% 以上的要求;而《风电设备产业化专项资金管理暂行办法》以直接现金补贴风电设备企业的激励措施来增强国内风电设备技术。

此外,《可再生能源中长期发展规划》、《可再生能源发展“十一五”规划》、《可再生能源发展“十二五”规划》目标继续加大对风电产业发展的支持力度,提升了风电产业发展的战略地位,并为其制定了一系列的指导方针、产业规划布局和建设重点,针对风电产业长远发展制订了清晰的目标。

2011 年 10 月 19 日,《中国风电发展路线图 2050》出台,从 2011 年到 2050 年,风电带来的累计投资将达 12 万亿元,它描绘了未来风电发展三个阶段的战略目标。

第一阶段,2011—2020 年,风电发展以陆上风电为主、近海(潮间带)风电示范为辅,每年风电新增装机容量达到 1500 万 kW,累计装机容量达到 2 亿 kW,风电占电力总装机容量的 10%,风电电量满足 5% 的电力需求。

第二阶段,2021—2030 年,在不考虑跨省输电成本的前提下,风电的成本低于煤电,风电的发展重点是陆海并重,每年新增装机容量在 2000 万 kW 左右,累计装机容量达 4 亿 kW,在全国发电中的比例达到 8.4%,在电能结构中的比例扩大到 15% 左右。

第三阶段,2031—2050 年,实现东、中、西部陆上风电和海上风电的全面发展,每年新增装机容量约 3000 万 kW,占全国新增装机容量的一半左右,风电总装机容量达 10 亿 kW,在电源结构中占 26%,风电成为中国主力电源之一。

2011 年的国家的产业政策对风电行业进行了调节,2012 年延续这些政策,将主要表现在规模化、标准化、高科技化,在控制风电行业发展速度的同时提高发展质量。风电行业中的中小企业将面临较大的竞争压力。

同时国家对风电行业采取了积极和鼓励的财政政策,对风电行业高技术产品进口税率的降低,表明了政府的支持新能源行业的同时也在引导行业向规模化、高科技化的方向



发展。

发电方面,2011年,我国风力发电量为800亿kWh,同比增长60%以上。从风力发电量走势来看,从2004年开始增长迅速,2004—2008年增速分别为36.6%、80%、107.41%和128.57%,2009年风电发电总量达269亿kWh,同比增长210.16%,增幅创新高。但是2011年由于风电并网难问题未得到较好的解决,风力发电量增速出现了回落,随着我国风电装机容量规模的快速增长,并入电网及远距离输电等问题越来越突出,而我国国内的智能电网建设尚处于起步阶段,因此较严重地影响行业发展,部分已实现电网接入的风电场,被限制发电的情况时有发生,部分风电场损失电量高达30%。2011年我国47GW的风电并网总容量仅占全国风电装机总容量65GW的72%(2011年我国风电并网率约为72%),而这一数字较2010年的69%仅高出了3个百分点。

风电可利用小时方面,2011年我国风力发电小时数有下降的趋势,2008—2010年我国6000kW及以上风电厂利用小时分别为2.046h、2.077h和2.097h,而到了2011年年末,这一数字已经降到1.861h,风电设备利用小时数小幅下滑表明风电设备利用率有所降低。

风电电价方面,2006年通过的《中华人民共和国可再生能源法》规定,电网企业按照中标价格收购风电、光电等可再生能源,超出常规火电上网标杆价格的部分,附加在销售电价中分摊。可再生能源电价附加的征收标准最初为0.002元/kWh,2009年11月起调高至0.004元/kWh。

自2006年以来,国家发改委价格司为了促进风电产业的发展,依据资源开发成本来确定电价的制度,核准了10多个省市、70多个风电项目的上网电价。2009年7月24日,在发改委发布《关于完善风力发电上网电价政策的通知》(发改价〔2009〕1906号)中,首次按照资源区设立风电标杆上网电价,将全国分为四类风能资源区,风电标杆电价水平分别为每千瓦时0.51元、0.54元、0.58元和0.61元。2009年8月1日以后,在四类资源区新建的陆上风电项目,统一执行所在风能资源区的风电标杆上网电价。海上风电上网电价今后根据建设进程另行制定。四类风能资源区具体情况见表1-2。将对全国风电领域资源的开发和利用发挥重要的引导作用。它将改变当前风电价格机制不统一的局面,进

表 1-2

全国风力发电标杆上网电价表

| 资源区 | 标杆上网电价<br>(元/kWh) | 各资源区包括的地区                                                                                                                  |
|-----|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第一类 | 0.51              | 内蒙古自治区除赤峰市、通辽市、兴安盟、呼伦贝尔市以外的其他地区;新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市、伊犁哈萨克族自治州、昌吉回族自治州、克拉玛依市、石河子市                                                 |
| 第二类 | 0.54              | 河北省张家口市、承德市;内蒙古自治区赤峰市、通辽市、兴安盟、呼伦贝尔市;甘肃省张掖市、嘉峪关市、酒泉市                                                                        |
| 第三类 | 0.59              | 吉林省白城市、松原市;黑龙江省鸡西市、双鸭山市、七台河市、绥化市、伊春市、大兴安岭地区;甘肃省除张掖市、嘉峪关市、酒泉市以外其他地区;新疆维吾尔自治区除乌鲁木齐市、伊犁哈萨克族自治州、昌吉回族自治州、克拉玛依市、石河子市其他地区;宁夏回族自治区 |
| 第四类 | 0.61              | 除第一、第二、第三类资源区以外的其他地区                                                                                                       |



进一步规范风电价格管理,有利于引导投资方向,改变过去以“跑马圈地”为主导思维的盲目投资现象,减少投资的不确定性。

而随着2009年8月实行分区域标杆上网电价政策,2009年和2011年全国平均上网电价同比小幅提高,极大改善项目经营情况。同时,该固定电价政策使风电运营商在发电成本逐渐降低、收入维护稳定情况下,保障了项目盈利空间。

2011年11月30日,国家发改委宣布,自2011年12月1日起,上调销售电价和上网电价,其中销售电价全国平均上涨0.03元/kWh,上网电价对煤电企业上涨0.026元/kWh,对居民实行阶梯电价制度。同时,本次调整还将可再生能源电价附加标准由现行0.004元/kWh提高至0.008元/kWh。我国风电行业进入了较为成熟的、规模化的发展周期。

### 三、我国风资源的区域分布情况

我国幅员辽阔,海岸线长,风能资源比较丰富。根据全国900多个气象站将陆地上离地10m高度资料进行估算,全国平均风功率密度为 $100\text{W}/\text{m}^2$ ,风能资源总储量约32.26亿kW,可开发和利用的陆地上风能储量有2.53亿kW,近海可开发和利用的风能储量有7.5亿kW,共计约10亿kW。如果陆上风电年上网电量按等效满负荷2000h计,每年可提供5000亿kWh电量,海上风电年上网电量按等效满负荷2500h计,每年可提供1.8万亿kWh电量,合计2.3万亿kWh电量。我国风能资源丰富,开发潜力巨大,必将成为未来能源结构中一个重要的组成部分。

就区域分布来看,我国风能主要分布在以下四个方面:

#### 1. “三北(东北、华北、西北)地区风能丰富带

包括东北三省、河北、内蒙古、甘肃、青海、西藏和新疆等省(自治区)近200km宽的地带,风功率密度在 $200\sim 300\text{W}/\text{m}^2$ 以上,有的可达 $500\text{W}/\text{m}^2$ 以上,可开发利用的风能储量约2亿kW,约占全国可利用储量的79%。该地区风电场地形平坦,交通方便,没有破坏性风速,是我国连成一片的最大风能资源区,有利于大规模的开发风电场。但是,建设风电场时应注意低温和沙尘暴的影响,有的地方联网条件差,应与电网统筹规划发展。

#### 2. 东南沿海地区风能丰富带

东南沿海受台湾海峡影响,每当冷空气南下到达海峡时,由于狭管效应使风速增大。冬春季的冷空气、夏秋的台风,都能影响到沿海及其岛屿,是我国风能最佳丰富区。我国有海岸线约1800km,岛屿6000多个,这是风能可开发利用的地区。

沿海及其岛屿风能丰富带,年有效风功率密度在 $200\text{W}/\text{m}^2$ 以上,风功率密度平行于海岸线,沿海岛屿风功率密度在 $500\text{W}/\text{m}^2$ 以上,如台山、平潭、东山、南鹿、大陈、嵊泗、南澳、马祖、马公、东沙等,可利用小时数约在7000~8000h。这一地区特别是东南沿海,由海岸向内陆是丘陵连绵,风能丰富地区仅距海岸50km。

#### 3. 内陆局部风能丰富地区

在两个风能丰富带之外,风功率密度一般在 $100\text{W}/\text{m}^2$ 以下,可利用小时数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,如鄱阳湖附近风能大于



周围地区风能，湖南衡山、湖北的九宫山、河南的嵩山、山西的五台山、安徽的黄山、云南太华山等风能也大于平地风能。

#### 4. 海上风能丰富区

我国海上风能资源丰富，10m 高度可利用的风能资源约 7 亿多 kW。海上风速高，很少有静风期，可以有效利用风电机组发电容量。海水表面粗糙度低，风速随高度的变化小，可能降低塔架高度。海上风的湍流强度低，没有复杂地形对气流的影响，可减少风电机组的疲劳载荷，延长使用寿命。一般估计海上风速比平原沿岸高 20%，发电量增加 70%，在陆上设计寿命 20 年的风电机组在海上可达 25 年到 30 年，且距离电力负荷中心很近。随着海上风电场技术的发展成熟，经济上可行，将来必然会成为重要的可持续能源。

### 四、中国海上风电

处于“寒冬期”的风电行业正迎来阵阵政策暖风。发展海上风电市场潜力巨大已成为世界各国共识。海上风电项目相较陆上风电具有先天优势，越来越多的国家开始重视海上风电市场的开发，众多风机制造企业对其寄予厚望。海上风电作为全球风电的最新的技術发展趋势，作为未来最有可能降低风电发电成本的新技术一直是全球备受关注的热点。

海上风电的发展对欧洲实现 2020 年 20% 可再生能源发展目标至关重要，同时欧洲作为风电技术的先驱者，在开拓海上风电技术方面也走在了世界的前列。英国提出了 2016 年 8GW，2020 年 10GW 的海上风电发展目标，德国的 2GW 的海上风电容量正在建设过程中，全部待建的海上风电项目约 8.5GW。根据欧洲风能协会的预测，到 2020 年欧洲海上风电将达到 40GW 的容量，意味着未来几年海上风电投资有望达到 1400 亿美元。

根据风电发展“十二五”规划，到 2020 年年底，我国海上风电装机容量将达到 30GW，中国海上风电酝酿着千亿元的巨大市场。

根据《中国风电发展报告 2012》提供的数据，截至 2011 年年底，我国大功率海上风电机组批量装机的仅华锐风电 SL3000 的风机，其功率为 3MW；另有 5MW 和 6MW 样机。其他的风电设备企业的海上风机均处于正在研制或刚生产出样机的状态。华锐风电不仅完成了 6MW 海上风力发电机组的首台吊装，还成功申请到国家能源局中央预算内投资“10MW 超级大型海上风电机组的研制及示范”项目，该项目将建造全球首台、功率等级最大的 10MW 级超大型海上风电机组。

根据国家《可再生能源发展“十二五”规划》，到 2020 年，水电装机容量计划达到 4.2 亿 kW、风电 2 亿 kW、太阳能 5000 万 kW。照此计算，到“十二五”结束，我国煤电发电比例将降至 60% 左右。从长期来看，至 2050 年，煤电发电比例将降至 40%。国内风电市场需求依然巨大。

对于中国风电企业来说，尽管困扰风电发展的并网消纳等问题仍存在，但机遇与挑战并存。风电企业应把握机遇，以前瞻的战略眼光挖掘行业新增长点，加快创新步伐，再创中国风电发展辉煌。



### 第三节 中国风电“十二五”规划发展目标

风电是资源潜力大、技术基本成熟的可再生能源，在减排温室气体、应对气候变化的新形势下，越来越受到世界各国的重视，并已在全球大规模开发利用。“十一五”时期，我国风电快速发展，风电装机容量连续翻番增长，设备制造能力快速提高，已形成了较完善的产业体系，为更大规模发展风电奠定了良好基础。

“十二五”是我国全面建设小康社会的关键时期，是加快转变经济发展方式的重要阶段。为实现国家经济社会发展战略目标，加快能源结构调整，培育和发展战略性新兴产业，全面推进风能资源的合理利用，促进风电产业稳步健康发展，按照《中华人民共和国可再生能源法》的要求，根据《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》、《国家能源发展“十二五”规划》和《可再生能源发展“十二五”规划》，制订了《风电发展“十二五”规划》（以下简称《规划》）。

《规划》阐述了我国 2011—2015 年风电发展的指导思想、基本原则、发展目标、开发布局和建设重点，并对 2020 年风电的发展进行了展望，是“十二五”时期我国风电发展的基本依据。

下面仅将发展目标、开发布局等介绍如下：

#### 一、发展目标

风电发展的总目标是：实现风电规模化开发利用，提高风电在电力结构中的比重，使风电成为对调整能源结构、应对气候变化有重要贡献的新能源；加快风电产业技术升级，提高风电的技术性能和产品质量，使风电成为具有较强国际竞争力的重要战略性新兴产业。

“十二五”时期具体发展指标为：

(1) 到 2015 年，投入运行的风电装机容量达到 1 亿 kW，年发电量达到 1900 亿 kWh，风电发电量在全部发电量中的比重超过 3%。其中，河北、蒙东、蒙西、吉林、甘肃酒泉、新疆哈密、江苏沿海和山东沿海、黑龙江等大型风电基地所在省（自治区）风电装机容量总计达到 7900 万 kW，海上风电装机容量达到 500 万 kW。

(2) “十二五”时期，风电机组整机设计和核心部件制造技术取得突破，海上风电设备制造能力明显增强，基本形成完整的具有国际竞争力的整机制造企业和 10~15 家优质零部件供应企业。

在“十二五”时期提升风电产业能力和完善风电发展市场环境的基础上，2015 年后继续推动风电以较大规模持续发展，到 2020 年，风电总装机容量超过 2 亿 kW，其中海上风电装机容量达到 3000 万 kW，风电年发电量到 3900 亿 kWh，力争风电发电量在全国发电量中的比重超过 5%。

#### 二、开发布局

按照集中开发和分散发展并举的原则，推进风电有序快速健康发展。在“三北”风能



资源丰富地区,结合电网布局、电力市场、电力外送通道,优化风电开布局,有序推进风电的规模发展。在风能资源相对丰富、电网接入条件好的省区,加快风电开发建设。积极开展海上风电开发技术准备、前期工作和示范项目建设,适时稳妥扩大海上风电建设规模,以特许权招标项目和试验示范项目建设带动海上风电技术进步和设备制造产业升级,为海上风电大规模开发建设打好基础,在风能资源分散的内陆地区,因地制宜推动分散接入低压配电网的风电开发,为风电发展开辟新的途径。

### (一) 有序推进大型风电基地建设

研究大型风电基地风能资源特点,结合电力市场、区域电网和电力外送条件,积极有序推进河北、蒙东、吉林、甘肃、山东、江苏、新疆和黑龙江等大型风电基地建设。到2015年,上述大型风电基地容量总计达到7900万kW以上。

#### 1. 河北基地

重点开发张家口、承德、秦皇岛、唐山和沧州等地区风能资源。“十二五”时期,建成张家口百万千瓦基地二期工程和承德百万千瓦基地一期工程,新增装机容量250万kW。启动张家口百万千瓦基地三期工程和承德百万千瓦基地二期工程建设。在沧州、唐山等地区,根据当地风能资源条件,加快风电开发建设。到2015年,河北省累计风电装机容量达到1100万kW以上,张家口、承德地区近期建成的风电主要在京津唐电网消纳。后续风电项目通过加强与京津唐主网、河北南网的联网和协调运行,增加河北北部风电的消纳空间。其他分散开发的风电场接入当地电网就近消纳。

#### 2. 蒙东基地

重点开发赤峰、通辽、兴安盟和呼伦贝尔等地区风能资源。“十二五”时期,建成通辽开鲁、科左中旗珠日和百万千瓦级风电基地,新增装机容量350万kW。启动呼伦贝尔、兴安盟桃合木百万千瓦风电基地建设。到2015年,蒙东基地累计风电装机容量达到800万kW以上。

通辽开鲁基地和左中旗珠日和基地的风电汇集接入东北电网。呼伦贝尔、兴安盟桃合木百万千瓦风电基地结合蒙东煤电基地建设统筹外送。蒙东基地风电主要在东北电网区域内消纳,同时通过加强东北省际电网联络并统筹跨区外送等措施,增加本区域风电的市场消纳空间。

#### 3. 蒙西基地

重点开发包头、巴彦淖尔、乌兰察布和锡林郭勒等地区成片风能资源。“十二五”时期建成包头达茂旗、巴彦淖尔乌拉特中旗及锡林郭勒百万千瓦级风电基础,新增装机容量970万kW;启动四子王旗幸福百万千瓦级风电基础和吉庆百万千瓦级风电基地建设。到2015年,蒙西基地累计风电装机容量达到1300万kW以上。

蒙西地区风电主要在蒙西电网内消纳。通过加强蒙西与华北电网联络及协调运行,提高蒙西风电消纳能力,结合蒙西电网外送通道建设,研究利用外送通道扩大风电消纳范围的市场机制和运行方式。

#### 4. 吉林基地

重点开发白城、四平 and 松原等地区成片风能资源。“十二五”时期,启动白城市通榆县瞻榆镇、大安、洮南,四平大黑山,松原长岭百万千瓦级风电基础建设,因地制宜开发