

# 第一情报 · 风力发电



InfoLib EXPRESS



上海图书馆上海科技情报研究所  
上海情报服务平台 www.istis.sh.cn

试刊第7期 2006年03月15日

## 文章导读

### 风行中国

全国风能资源评估即将揭晓 我国近海风能开发尚属空白.....	1
7号文件下的风电产业生死未卜.....	1
上海已成为全国第一个实施“绿色电力”机制的城市.....	4
上海电气电站集团与德国公司共同开发大功率风电机.....	5
三峡总公司长三角布局风电 新型清洁能源成主角.....	5

### 海外来风

无需燃料的风力发电，谁可抗拒？.....	6
丹麦风力发电工业需要稳步发展.....	7
工业报告调查海上风电场和鸟类之间的相互作用.....	8
葡萄牙引领欧洲风电产业.....	8
俄罗斯研制出小型移动式风力发电机.....	9
日本富士重工 08 年开始批量生产大型风力发电机.....	10
GE 将为美国能源部研制新一代风电机.....	10

### 纵深 · 研究

我国如何借鉴德国风电产业的成功经验.....	11
------------------------	----

### 海上风电场

海上风电场设备吊装方法及标准概述.....	15
-----------------------	----

## 全国风能资源评估即将揭晓 我国近海风能开发尚属空白

为适应我国风电发展的需要，按照国家发改委的部署，中国气象局组织开展了第三次全国风能资源评价。目前，全国 31 个省（区、市）气象局共处理了 2390 个气象站的气象要素和风功率密度、风向频率、风速频率等 6 类风能资源参数共计 22 个资料序列。福建、西藏、山西等 12 个省（区、市）气象局完成了本省风能资源评估报告，并经过中国气象局和省发改委联合组织的验收。此外，国家级风能资源项目组建立了国家风能资源数据库，利用地理信息系统平台绘制了全国和分省（区、市）的风能资源分布图 928 幅。第三次全国风能资源综合评估报告的编写正在进行，结果即将揭晓。

据中国气象局国家气候中心表示：“我国近海风能资源预计可达 7.5 亿千瓦，是陆上风能资源的 3 倍，但如此丰富的近海风能至今实际利用尚是空白。我国气象部门曾在 20 世纪 70~80 年代进行过两次风能资源普查。根据 1980 年以前 900 多个测站的观测记录，估算出中国陆地上的风能资源实际可开发量为 2.53 亿千瓦。虽然我国目前已经在沿海地区建成多个风电场，如南澳、仙人岛等，但目前中国近海风电开发仍属空白，这与我国丰富的近海风能资源是非常不相称的。”世界银行、联合国环境署、欧盟等机构都对与我国合作开发近海风能有极大的热情。

（摘编自上海科技网 2006/2/28 新闻）

## 7 号文件下的风电产业生死未卜

2005 年，我国新增风电装机容量 49.8 万千瓦，累计装机容量达到 126 万千瓦。与 2004 年当年新增装机 19.7 万千瓦相比，2005 年当年新增装机增长率为 252%。与 2004 年累计装机 76.4 万千瓦相比，2005 年累计装机增长率为 65%。中国风电场建设规模正在逐步扩大。2006 年，《可再生能源法》已正式实施。行业的快速发展加上政策的保驾护航，让众多业内人士对风电的未来寄予了厚望，纷纷摩拳擦掌准备大干一场。不料，国家发改委日前出台的《可再生能源发电价

格和费用分摊管理试行办法》(7号文件),却出乎了所有人的意料。

### **打霹雷下酸雨**

2003年,《可再生能源法》纳入立法规划开始起草,这对行业来说是久旱逢甘雨,业内期望出台类似德国可再生能源法可操作的法规。2005年,我国《可再生能源法》颁布,却是干打雷不下雨,是不可操作的法规。2006年,国家发改委出台的7号文件,对可再生能源行业而言是打霹雷下酸雨。根据其第六条,风力发电项目的上网电价实行政府指导价,电价标准由国务院价格主管部门按照招标形成的价格确定,这对风电上网电价而言是更不可操作的办法。

从实际情况来看,我国目前形成的风电特许权项目招标形成的价格并不能促使风电健康发展。2003年,江苏如东风电特许权项目有六家投标,五家的投标电价范围在每度电0.61~0.72元,只有一家投0.39元,结果中标。2005年,国家相关文件中取消了最低价中标规定,但是评标原则并不是综合分最高的一定中标。2005年,山东即墨150兆瓦风电特许权项目只有一家投标,投标价为每度电0.72元。这些目前形成的招标价格全部脱离市场价格,并不能促使风电产业健康发展。

在《关于可再生能源发电价格和费用分摊管理暂行办法》(征求意见稿)中曾明确规定:可再生能源发电价格和费用分摊标准应本着促进发展、提高效率、公平负担的原则制定。可再生能源发电项目的投资回报率,应高于常规发电项目的平均投资回报率。但是,7号文件中却将可再生能源发电项目的投资回报率,应高于常规发电项目的平均投资回报率这个可操作的重要原则删掉了。由于未见到对7号文件的解释,目前风电上网电价仍然是个谜团。但是可以肯定的一点是,对于风电行业而言不确定性就是最大的风险。

### **产业发展才是目的**

2004年,全国风电装机容量达到76.4万千瓦,只占全国电源的0.17%。2005年,全国风电上网电量应达到15.3亿度电,风电电量只占全国总电量的0.08%。调查显示,2005年风电新增市场份额中,国内产品占28%,新疆金风科技公司的份额最大,占风电新增总装机容量的26%,国内产品总量的95%。进口产品占72%,西班牙Gamesa公司的份额最大,占风电新增总装机容量的36%,进口产品总量的72%。所以,我国近期风电的发展目的不是为了缓解缺电,也不是为

了减排二氧化碳,应该是培育风电设备制造产业,尽快掌握先进机组的制造技术,形成批量生产能力,降低成本。

根据《可再生能源法》的规定,可再生能源发电项目的上网电价,由国务院价格主管部门根据不同类型可再生能源发电的特点和不同地区的情况,按照有利于促进可再生能源开发利用和经济合理的原则确定,并根据可再生能源开发利用技术的发展适时调整。同时,建议风电推行保护电价加鼓励电价模式的激励政策,培育稳定的风电市场。2004年,我国风电装机总量为76万千瓦,只占全国总装机容量的0.17%。在总量这样微小的情况下,笔者认为风电与常规电源上网的电价之差在全国分摊,给予风电合理的较高电价是完全可行的,其结果是能够较快培育出本国的风电设备制造能力。丹麦在上世纪80年代初期除了给予风电较高上网电价外,还给风电机组用户30%的补贴,到了今天全世界有40%的风电机组是从丹麦进口的,显示出当时政策对国家的战略意义。风力发电机组设备看起来很简单,实际技术很复杂,主要难度是机组在野外应可靠运行20年,经受住各种极端恶劣天气和非常复杂的风力交变载荷,没有实践经验是很难想像的。美国波音公司、西屋公司,中国的直升机研究所和火箭研究院都涉足过风电机组开发,均未成功,主要原因是没有认真投入发展。目前,我国国产的风电机组比国外同类型产品成本低20%,但我国能够成批生产的产品是国外10年前的技术,不能满足市场需求。2004年进口机组占82%。要扶植这个幼稚的产业赶上国际主流水平除了国家的科研和产业支持资金外,从政策上和法规上给予风电项目比常规电源项目收益略高的上网电价才是可持续的,才能培育出健康的市场,使风电产业链的源头风电机组制造业成长起来,形成真正的市场竞争才能降低成本,这也是我国家电、汽车和移动通信产业经历过的发展历程。

### **大规模开发指日可待**

“十一五”期间,我国新增风电装机容量约400万千瓦,平均每年新增80万千瓦。2010年底将累计装机约500万千瓦。根据“学习曲线(learning curve)”的理论,风电机组产量增加一倍,成本将下降10%~15%。500万千瓦的数量目标可以使国产风电设备成本显著下降,从而降低上网电价。

2010年我国设定风电装机的目标为500万千瓦,国家发改委要求这些装机要有70%的国产化率。按照这个目标的要求,从2006~2010年我国平均每年必须

新增 80 万千瓦的风电装机，从目前基础看，任务极为艰巨。笔者认为，国家必须加大支持力度又要十分谨慎，保证风机质量，防止国外发生过几次的大面积齿轮箱更换质量事故，否则新生的产业会遭到严重挫折。

根据规划，2020 年全国风电装机容量将达到 3000 万千瓦，约占全国电源总量的 3%。2020 年以后，随着化石燃料资源减少，成本增加，风电则具备市场竞争能力，会发展得更快。2030 年以后水能资源大部分也将开发完，近海风电将进入大规模开发时期。笔者预测，风电 2020 年装机容量将达到 3000 万千瓦，2030 年装机容量将达到 1 亿千瓦，2050 年装机容量将达到 4 亿千瓦。这表明，风电能在能源供应和减排温室气体方面起显著作用是在 2020 年以后的事情了，届时风电成本才“十分接近”于常规电源。

（摘编自中国工业新闻网）

## 上海已成为全国第一个实施“绿色电力”机制的城市

作为全国率先实施“绿色电力”机制的上海，继 15 家企业单位订购“绿色电力”后，又开始接受沪上居民个人认购。3 月 7 日上海市电力公司发出倡议，首批员工积极响应带头认购，成为“绿色电力”客户中的一员。上海市于 2003 年 9 月正式启动“绿色电力”机制示范工程，通过太阳能、风能等发电，减少煤电产生的二氧化碳对环境的污染，提高可再生能源利用率。上海市 2015 年以前可供开发的风资源潜力至少有 150 万千瓦，年发电量可达 30 亿千瓦时以上。目前，建于上海奉贤、崇明、南汇的风力发电机组容量已达 23400 千瓦，太阳能发电机组为 10 千瓦，总发电量达到 5368 万千瓦时。

据有关方面检测显示，风力发电每千瓦时可相应减少 960 克二氧化碳的排放量，创造 0.25 元环境效益。但由于利用太阳能、风能发电投资成本较高，已达火电机组的 10 倍和 2 倍，致使绿电价格比煤电略高。上海目前绿电认购价格为每千瓦时 1.14 元，比常规电价高出 0.53 元，客户付出的绿电认购费用将全部用于发展绿电和平衡成本。据悉，上海今年还将新建 10 台风力发电机组，另设想在东海大桥两侧兴建风力机组，故随着发电量增加，估计 3 年左右时间，上海风力发电价格会有所下降。

上海绿电机制实行政府推动下用户自愿认购的运作模式。通过政府引导、媒

体宣传和开展绿电的公益营销活动，提高全社会对绿电认知度，鼓励客户自愿认购。企业客户可按照规定的基本单位和最低份额确定认购量，居民每年认购绿电不得低于 120 千瓦时。电力客户可通过电话、发送信函、登录上海绿色电力网站或到电力公司有关营业网点登记，提出购买申请。

据悉，目前全球实行绿色电力的有澳大利亚、加拿大、日本、英国、德国等 20 个发达国家，美国全国绿电占总量 2% 左右，荷兰 20% 居民家庭使用绿电。

（摘编自国家电力信息网 2006/3/7 新闻）

## 上海电气电站集团与德国公司共同开发大功率风电机

上海电气电站集团日前与德国艾罗迪（AERODYN）公司签署协议，共同开发 2000 千瓦的风机。这将是国内最大单机功率的风力发电机，其转轮直径超过 80 米。上海电气电站集团此次携手德国风能应用先驱艾罗迪公司，将依据中国市场一起研发功率为 2000 千瓦的风机，其单叶片的长度超过 40 米，转轮直径超过 80 米，预计将于 2008 年 1 月生产出首台风机设备，到 2010 年生产能力将达到 20 万-30 万千瓦/年。

（摘编自新华网 2006/3/10 新闻）

## 三峡总公司长三角布局风电 新型清洁能源成主角

被国家赋予“建设三峡、开发长江”使命的中国长江三峡工程开发总公司已将其新能源战略要地部署在能源紧缺的长三角。2006 年 3 月 13 日，浙江岱山县发改局已和三峡总公司签署海上风电场开发协议，后者被独家获准在衢山岛以西及七姊八妹列岛海域分期开发海上风电场，项目首期建设规模 20 万千瓦，全部建成后总装机容量超百万千瓦。

据悉，中国长江三峡工程开发总公司 2005 年底总资产超过 1500 亿元，是以大型水电为主的清洁能源集团。三峡总公司将于 4 月进场开展连续实地测风，测风期初定 13 个月，并在随后 5 个月内完成风电资源评估，根据评估制定建设方案。上月，该公司在江苏响水的 20 万千瓦风电场项目刚刚得到国家发改委发文同意——短短数月，三峡总公司今年的两个大型新能源战略项目已落户长三角，显然，三峡总公司已决心由单一的水电利用转向以风电为主的清洁能源开发，而

今年起生效的国家《可再生能源法》和近年来长三角的电力紧张正好使其寻找到了突破口。华东作为“西电东送”的重要受电地区，将是三峡总公司发展新型清洁能源的重要区域，

据了解，三峡总公司此次在长三角两翼部署风电项目后，还将在江苏、上海、浙江、福建等地寻求风电开发机会，其风电规划是到 2020 年装机达 400 万千瓦。目前，三峡总公司已组建了长江新能源开发公司，着手新能源项目实施。

(摘编自东方早报 2006/3/14 新闻)

## 海外来风

### 无需燃料的风力发电，谁可抗拒？

2006 年 2 月 27 日，政治家和主要能源代表参加了欧洲风能协会 (EWEC) 在希腊雅典召开的年度战略风能会议，提出了“无燃料方案”的宣言。该宣言总结了风能如何消除联系于不稳定燃料价格的经济影响和风险，提供一种应对欧洲能源危机的本土且现实的解决方案。

“风力具有一种特征：它无需燃料，因此它具有燃料价格零风险、燃料零成本、不依赖外部能源、运行维护成本极低。风力无需燃料，谁可抗拒？”会议主席兼常务董事 Ian Mays 在 EWEC 2006 会议开幕式上说。风能无需燃料，意即不存在地缘政治风险、外部能源依赖、能源进口、燃料成本、燃料价格风险、资源限制、CO<sub>2</sub> 排放，无需管道、提取、勘探、精炼。

那些廉价、充足的传统能源发电的时光已经过去。面临能源价格的提升，需求的增长，能源供应的不安全性，气候变化，欧洲作为全球可再生能源应用技术的领导者，这一点经常被忽略，其中最成熟、最具发展潜力的当属风能。风能资源的富足使其能为整个欧洲大陆提供足够的电力。

欧盟委员会环境代表 Stavros Dimas 说：“风能是欧洲发展最快的技术之一，目前已经创造了 200,000 个就业岗位。为了我们的将来，为了我们的下一代，应注重发展可再生能源，保护地球上的非可再生资源，提高发电设备的安全性，积极对抗气候变化。发展风能可以满足上述目标”。

欧洲国会 ITRE 委员会副主席 Britta Thomsen 称：“我们正面临能源供应历史上的定位时刻，能源正逐渐成为政治议程中的头等大事，今天约 50% 的欧洲能源需求需要进口，这个份额有可能在二十年内提升至 70% 以上。相比于 2000 年，到 2030 年，石油进口量将从 76% 提升至 88%，燃气进口将从 50% 提升至 81%。风能，同其它可再生能源技术一起，提供一种重要的、安全的供能辅助方案。”

德国国会秘书长 Michael Müller 称：“可再生能源利用扩张不仅有助于防止气候变暖，也能改善经济和就业状况。可再生能源、能源效率及节能问题是可再生能源利用的三大主旋律。在 EWEC 2006 上，我推崇这种方法，它能降低我们对燃料进口的依赖性，使我们的能源供应更为安全。”

“2005 年欧洲安装记录是 6183MW，风能已经提前 5 年达到欧委会 2010 年 40,000MW 的目标”EWEA 主席 Arthouros Zervos 说，“风能正成为欧洲动力组成中越来越重要的一部分。据预测，到 2010 年，全球风电市场将翻倍至 160 亿欧元/年，EWEA 商业预测 180GW 风电机组装机量，发电量（TWh）达到 2020 年欧洲总需求的 12%，占据欧盟新装机容量的 37%。”

（编译自欧洲风能协会 2006/2/27 新闻）

## 丹麦风力发电工业需要稳步发展

丹麦风力工业协会（Danish Wind Industry Association）主席詹森(B.L.Jensen)先生表示，丹麦的风力发电机制造工业仍处于初级阶段，需要稳步发展。去年 11 月份，位于日德兰半岛的维斯塔斯公司在降低其收入预期后其股票价格曾大幅下跌了 29%。由于在美国、加拿大和印度等市场的扩张，包括世界最大的风力发电机制造商维斯塔斯(Vestas)在内的丹麦风力发电工业资产收益 2005 年大增。由于对未来看好，现在该公司股票价格又恢复并超过了去年秋季的水平。詹森先生表示，该行业股票价格的大幅起落，很象 1990 年代信息科技股的情况。但丹麦风力发电机行业需要稳步发展和谨慎从事，脱离现实的过高期望不会有益于该工业，保持稳定和秉承专业精神才是出路。

（摘编自中华人民共和国丹麦经商处 2006/3/6 新闻）

## 工业调查报告显示海上风电场建设对鸟类影响甚微

近期,由英国 Wales Bangor 大学研究,COWRIE 机构出据了一份海上风电场对环境影响的报告,调查研究了海上风电场对普通黑海番鸭(一种鸟类,被英国政府列为生物多样性行动计划中的首要品种)的影响。

根据该报告,利物浦海湾是普通黑海番鸭的重要聚居地,每年约有 30,000 只普通黑海番鸭在那里度过冬天。目前对于海上风电场和海鸟之间的影响认识还比较缺乏,该研究特别构建了模型,来观察毗邻利物浦海湾的普通黑海番鸭觅食地的海上风电场建设是否会影响鸟类的生存。在利物浦海湾内现有 5 个中的 4 个海上风电场,将鸟类从区域内转移,将对鸟类冬季死亡率没有负面效应;与此相对应,位于 Shell Flat 的风电场附近普通黑海番鸭的迁移则对鸟类冬季死亡率有负面效应。

该报告的结论中还提到,该项研究推动了研究工具的开发,所提供的方法可以预测海上风电场开发对普通黑海番鸭数量的影响,是之前所有应用于该领域研究方法的重要进步。

COWRIE 是一个慈善机构,致力于提醒人们对海上风电场潜在环境影响的关注。

(编译自《Refocus Weekly》期刊于 2006/3/1 公布的新闻)

## 葡萄牙大规模发展风电产业

葡萄牙在 2006 年 3 月 1 日启动了欧洲最大的风力发电项目,规模相当于去年欧盟国家所有风电项目总规模的四分之一,它将使葡萄牙的风力发电能力翻一番,成为欧洲国家中利用风电占国家电网比例最大的国家,该项目完成后将能够为 75 万户居民提供生活用电。

风电项目的中标企业将在葡萄牙各地修建约 500 个涡轮。欧洲风能委员会(European Wind Energy Association)的政策主管克里斯汀·卡扎(Christian Kjaer)说:“这无疑是欧洲最大的风电招标项目,以前我们只在美国和加拿大见到过如此大型的招标项目。”有六家欧洲大型电力企业投标这个两期共 1500MW 的风电项目。预计今年夏天将公布中标者名单。葡萄牙政府也拨款 9 亿欧元制造涡轮,并期望

以此创造 1600 份工作岗位。

葡萄牙有 520 英里的海岸线，凭借来自大西洋的海风，这里发展风电有得天独厚的优势。去年，葡萄牙将其 2010 年的风电目标从 3750MW 提升到 4400MW。该国希望借助风力发电完成京都议定书规定的温室气体排放目标。2003 年葡萄牙的温室气体排放量比 1990 年增长了将近 37%，这一速度在世界上排第三。然而，这个在欧盟国家中相对较贫穷的国家却显示出引领欧洲可再生能源发展的勃勃雄心。葡萄牙 86% 的电力靠进口，其最新的能源计划包括修建世界上第一个商业海浪发电厂，在该国最大的没有修建水坝的塞波河（Sabor）上修建水电设施。去年，葡萄牙政府为发展可再生能源筹措了 25 亿欧元。

葡萄牙最近刚刚授权修建世界上最大的太阳能电厂，以期为该国内南部莫拉镇（Moura）的 21000 户居民供电。这个容量为 62MW 的电厂将采用 35 万个面积相当于 150 个橄榄球场的太阳能板。它的规模将是位于德国莱比锡（Leipzig）的目前世界上最大的太阳能发电厂的 12 倍。位于葡萄牙北部的波武阿的瓦尔津（Povoa de Varzim）镇正在修建海波发电厂，并将于年底完工。该厂利用苏格兰产的香肠形漂浮式发电机采集来自大西洋的能量。在今年年底前，它将能为 1200 户居民提供足够的电力。有专家估计，大西洋提供的能量最终将满足葡萄牙所需电量 20%。

（摘编自人民网 2006/3/10 新闻）

## 俄罗斯研制出小型移动式风力发电机

为满足偏远村镇和野外考察队简便、持续地获得电能的需求，俄罗斯专家最近成功研制出一种可机动运输、操作简便的小型风力发电机。

据俄媒体报道，莫斯科热力工程研究所开发的这种风力发电系统，能装在一个集装箱内，用汽车装载或直升机悬挂运至急需供电的地点，然后打开集装箱顶盖，拉出风力机的风车后，其折叠的叶片能在一种水平传感器的指引下，依风向自动展开、旋转，旋转的圆周半径约 7.5 米。这种风力机能带动发电机持续发电，发电功率可达 30 千瓦时，可满足一个小村镇的日常用电需求。据参与研制的专家介绍，这种发电系统的风力机可在风速达到每秒 5 米时开始运转，并经得住每秒 25 米的大风。如维护得当，风力机的风车能连续旋转 25 年。

此外，在风力微弱时，发电系统自带的柴油机可与风力机一同带动发电机运转。如果风完全停歇，柴油机还能在一段时间内单独带动发电机。目前，这种发电机已取得相关专利和证书，并准备批量制造，预计其售价约为 20 万美元。

（摘编自新华网 2006/3/9 新闻）

## 日本富士重工 08 年开始批量生产大型风力发电机

日本航空器制造企业富士重工经过技术革新，继三菱重工之后，成为日本第二家掌握大型风力发电机的制造技术，计划自 2008 年开始批量生产功率为 2 千千瓦的大型风力发电机，以抗衡近年来日本市场上的丹麦、德国、美国产品。此前，日本厂家因为日本多台风和地形条件复杂，没有重视大型风力发电机的研发，国内市场一直被外国产品统治。促进日本企业进军该领域的另一个原因是日本此前通过的一项责令电力企业利用风力、阳光等自然条件发电的比例要达到一定比例的 RPS 法的实施，在该法的促进下，截至 2004 年日本风力发电的装机容量已达 92.6 万千瓦，比 2003 年度增长 36%。

（摘编自驻大阪总领事馆经商室 2006/2/27 公布消息）

## GE 将为美国能源部研制新一代风电机

GE 公司日前宣布，它已接到美国能源部 2700 万美元合同设计新一代沿海风力发电机。GE 称这种新型风电机耗能最小，容量在 5 - 7 兆瓦之间，其尺寸比现在工业标准大几乎两倍。该公司称新型设计的商业化仍需要好几年。电气系统主任设计师里恩斯称，风电是能源市场发展最快的项目。GE 公司称这个 3 - 4 年的研究合同将在纽约州完成。

（摘编自中国电力新闻网 2006/3/14 新闻）

## 我国如何借鉴德国风电产业的成功经验

德国是全球风能利用最成功的国家，自 1998 年成为世界第一风电生产大国以来，一直到 2003 年，无论是年新装风机容量，还是风机装机总容量，始终保持领先地位。2004 年，德国新装风机容量 203.7 万千瓦，略少于西班牙的 206.5 万千瓦，但风机装机总容量达 1662.9 万千瓦，仍遥遥领先于其它各国。

德国陆地风能资源储量在欧盟 15 个老成员国中仅排名第 8，为 24TWh/年，是排名第一的英国陆地风能储量的 1/5，美国北达科他州的 1/50。那么，德国何以能在风能利用方面取得如此巨大的成就？

### 一、最早探索出一条风电产业化道路

1989 年，德国全国风机装机总容量仅为 1.8 万千瓦。为了发展风电产业，迅速制定了一项“25 万千瓦风能计划”，对风力发电的市场化运作进行前所未有的探索。参加计划的风电经营者每生产一千瓦小时风电可获得 0.06 ~ 0.08 马克不等的津贴，并且可享受低息专用贷款和流动资金资助。至 1996 年计划合同期结束时，参加计划的风电经营者共购买风机 1500 台，总功率 35 万千瓦。德国率先叩开了风力发电的产业化之门。

### 二、建立覆盖全国的风能参数测评系统

对风能参数进行精确测定和评价分析是风能开发利用的基础。德国恺塞尔的太阳能供给技术研究所组织实施了“科学测量与评价计划”。对风力发电设备的电功率和风速、风向等进行测量，建立了全球第一个覆盖全境的风能参数测量和评价系统。该所还建立了风能生产率预测系统。此外，根据在远程测量网天线塔 30 米和 50 米高度测得的气压、大气湿度、温度、降水量和太阳光照等气候参数以及风速、风向等风能参数，可以确定一个地区的风指数和预测风功率，这些数据又为新型风机的研发提供了可靠的设计依据。

### 三、应用经济杠杆和法律工具发展风电产业

风能的利用归根结蒂是要提高风电与传统能源竞争的竞争力。因此德国政府

运用经济杠杆和法律手段,通过政策扶持措施,为风电产业发展营造有利的外部条件。1991年1月1日,德国政府又颁布了“电力输送法”。这是德国开始风能商业利用后制定的第一部促进可再生能源利用的法规,它为德国电网经营者规定了优先购买风电经营者生产的全部风电并给予合理的价格补偿的义务,有力地促进了德国风电产业的发展。1991~1999年间,德国风机装机总功率增加了48倍,达438万千瓦。2000年4月1日,“可再生能源法”代替“电力输送法”开始生效,由于给予风电补偿的规定更加合理,以及大功率风机的出现使投资风电的利润空间更大,德国年新装风机功率继续保持高速增长态势,2001~2004年累计新增风电生产能力1051.4万千瓦,比我国三峡电站所有已投入运营的水轮发电机组的发电能力还要大。

“可再生能源法”将风电补偿时间按不同补偿标准分为两个时期,即按较高补偿标准补偿的前期,和按较低补偿标准补偿的后期。在风力资源丰富的地区,前期补偿时间为5~10年。在风力资源相对较弱的地区,前期补偿时间可达21年。海上风机获得较高补偿标准的时间至少为12年,具体补偿期的长短,随海上风机安装地点至海岸距离和风机安装海域的海水深度而定。这样,无论是在北部滨海风力资源丰富地区,还是在南德风力资源较为贫弱的中等高度山脉地区,都可以获利。风机制造企业、风机投资者(购买者)和贷款机构的投资积极性得到了长期鼓励。电网经营者支付给风电生产者的补偿金,由联邦范围内的分配机制分摊,这笔费用最终由使用风电的终端用户承担了。

2004年,德国风电产业总营业额达71亿欧元,从业人员6.16万人,全年新增风机1201台,全国风机总数量达16543台。这一年,德国共生产风电299亿千瓦时,占全德电力供应总量的6%。风机数量和风电生产量在不断增加,而与此同时,人们对环境影响的认识也增强了。风机安装得越多,出现了占用土地越多、风机噪音、破坏风景区的景观等问题,为了解决风电产业的发展对环境和生态造成的不良影响,联邦德国政府于2002年制定了“环境相容性监测法”。这部法规规定,自2002年开始,风力发电设备应选择在符合环境和生态要求的合适地点安装和使用。

#### **四、向海洋进军**

德国的风力发电最早是从风力资源丰富的北德滨海3个州发展起来的,其中

施勒苏益格-荷尔斯泰因州的风机装机总容量已达 217.4 万千瓦,风电可满足全州电力需求的 37%。随着各项促进风能利用法律的先后颁布实行,内陆地区也开始涉足这个领域,并且取得了长足的发展。例如,位于南德中等高度山脉区的萨克森-安哈尔特州,风机装机总功率已达 185.4 万千瓦,可满足全州 27%的电力需求。目前在全德 16 个联邦州中,除联邦政府所在地柏林外,其余 15 个州,尤其是濒海 3 个州,风能资源利用已近饱和,再在陆地上选址建立大型风电场几乎已无可能。在这种情况下,德国人又将目光投向了海上。

在海上,当 60 米高度时的平均风速超过 8 米/秒时,在欧洲那些绝大多数计划要建立海上风电场的水域,海上风机的能量收益预计要比沿海风能资源丰富地区陆地风机的能量收益高 20%~40%。在海上风力发电方面,北欧诸国走在世界前列。自 1990 年~2004 年,德国、丹麦、瑞典、荷兰和英国、爱尔兰共建成 22 座海上风电场。在欧洲规划建设 70 个新的海上风电场中,31 个将建在德国海域。

就地域分布来说,这 31 个海上风电场,21 个建在北海,10 个建在波罗的海。而就距海岸线距离来说,有 8 个建在离海岸线 12 海里之内海域内,23 个建在 12 海里之外的专属经济区 (EEZ) 内。德国已经批准在北海和东海建设 6 个大型海上风电场,总装机功率 120 万千瓦。2010 年以前,德国将在北海 Borkum West 地区距海岸 100 公里、水深 30~40 米的水域内安装 208 台单机标称功率 5000 千瓦的风力发电机组,总装机功率 104 万千瓦,年发电能力 35 亿千瓦小时。根据 2002 年 1 月德国政府制定的一项发展风电长期计划,2010 年,德国海上风力发电设备的总装机功率要达到 300 万千瓦,2030 年达到 2000~2500 万千瓦。2025~2030 年,海上风力发电量将占德国电力需求总量的 15%,而风力发电量的总和将占德国电力需求总量的 25%。

德国地处北欧。海上风力发电的前景是那么诱人,以致有 20 个以上的德国公司和财团提出建议,建设总装机容量达 6500 万千瓦的巨型海上风力发电场。为了保护近海自然资源,这些公司和财团计划将海上风力发电场建在距海岸 60 公里、水深 35 米的水域。

## **五、产业步入良性发展轨道**

多年来,德国风机制造技术已逐渐趋于成熟,其风机制造业处于世界领先地位。在全球 7 家最具影响力的风机生产厂家中,德国的 ENERCON 公司和 Nordex

公司各占一席。ENERCON 公司产品主要机型有：E-30（300KW）、E-40（400KW）、E-58（1000KW）、E-66（2000KW）和 E-112（4500KW）。Nordex 公司产品主要机型有：N50（800KW）、N60（1300KW）、S70（1500KW）、N90（2300KW）和 N80（2500KW）。风电产业技术进步的成果使德国获益匪浅，其风电产业已步入良性发展轨道，具体表现是多方面的。

（1）大尺寸大功率风机的出现使风电生产成本大幅下降。最近 1000 千瓦风机生产的风电的平均价格仅为 4.1 美分/kWh，15 年内，风电价格降低了 50%。因此现在各生产厂家竞相推出各种型号的兆瓦级风机，市场上商用风机的功率已达到 2500KW 和 3600kW。ENERCON 公司已研制成功转子直径 112 米功率 4500kW 新型大功率风机。5000kW 供海上风力发电场使用的大型风机即将投入商业运行。风机大型化使每年新装风机的数量比以前少得多，但生产的电力却没有减少，而且占用土地面积变少了。由上世纪 80 年代末平均单机标称功率只有 145kW，到 2002 年已达 1400kW，2003 年达 1556kW，2004 年达 1696kW，逐年递升的趋势十分明显。随着新装风机单机标称功率的不断增大，风电生产成本将进一步下降。根据国际能源机构预测，至 2010 年，当全球风机装机总功率达到 1.975 亿千瓦，风电价格将降至 3.03 美分/kWh，2020 年全球风机装机总功率达到 12 亿千瓦，风电价格将进一步降至 2.45 美分/kWh。

（2）随着技术的不断发展和进步，及生产批量的增加，风机制造费用大幅下降，风电投资成本相应降低。1990 年，当德国全国风机装机总功率为 6 万千瓦时，风机的平均售价为 1260 欧元/kW。2002 年，当风机装机总功率为 1170 万千瓦时，风机平均售价降到了 930 欧元/kW。现在一台具有最新技术性能的风机的每千瓦投资费用仅为 804 欧元。国际能源机构预测，随着生产批量的不断扩大，2010 年风机售价将降至 644 欧元/kW，2020 年降至 512 欧元/kW。

（3）风机的大型化为风力资源相对贫乏的德国内陆州提供了加快风电发展速度的契机。这些州从一开始就选用大功率，风机装机功率已达 205.3 万千瓦，平均单机标称功率 900kW。位于南德中等高度山脉区的萨尔州，风机装机功率达 5.68 万千瓦，平均单机标称功率 1072kW。值得指出的是，负荷工作时间为 900~1100 小时的风能资源相对贫弱地区，研制生产了适合这些地区使用的低风速风机。由此可以看出，科技进步对促进风电产业发展产生的巨大推动作用。

(4) 用新型大功率风机更换早期安装的接近经济使用寿命的小型风机,提高风电产业的综合经济效益。德国政府通过延长风电补偿期限的办法,运用经济杠杆鼓励德国北部滨海的小功率风机持有者更换使用新型大功率风机,明显提高了沿海风能资源丰富地区的风能利用密度。同时,噪音污染也得到大幅度降低。而风电经营者则可以获得较高的收益。

(5) 风电行业的产业化稳步推进。德国有着全球最大的风机市场,2002 年以前,德国共有 46 家生产企业,他们的产品主要供应德国国内市场的需要,一部分供出口。2002 年德国风机生产企业经历了一次并购和联合的高潮后,只剩下 12 家在继续生产。2004 年,这个行业的营业额达 71 亿欧元,从业人员 6.16 万人,分别比 2003 年增长 32.4%和 26.9%。

(6) 大规模风电生产的环保效应逐渐显现。专家研究结果表明,每生产 100 万千瓦小时风电,平均可减排二氧化碳 600 吨。据此测算,在 2001~2003 年中,德国因其风电共减排二氧化碳 4188 万吨。2004 年德国共生产风电 299 亿千瓦时,减排二氧化碳 2070 万吨。德国是 1997 年关于减少温室气体排放的“京都议定书”的签字国,风电产量的逐年稳步增长,为德国完成“京都议定书”规定的减排温室气体指标,作出了重要贡献。

(摘编自《中国科技成果》2006 年第 2 期)

## 海上风电场

### 海上风电场设备吊装方法及标准概述

离岸风机的安装相对于岸上安装难度颇高,可通过千斤顶驳船或者浮吊船完成。它们之中的选择取决于水的深度,起吊机的能力和驳船的载重量。起吊机应具备提升风机主要部件(塔架、机舱、叶轮等)的能力,其吊钩提升高度应大于机舱的尺寸,确保塔架和风机装配件的安装。现有的浮吊船大多不是特意为海上风电场的风机安装而设计制造。对于大型海上风电场,机组超过 50 台的,通过使用安装驳船来控制建设周期(即控制成本),完成建设任务。

目前为止,安装过程一般分成两个部分。首先是地基建设,然后是风机在地

基上的安装、通常风机先在陆上装配好，如先安装好塔架各部分，再安装机舱和叶轮。如：在丹麦米德尔格伦登（Middelgrunden）海上风电场的建设过程中，首先是塔架部分的预安装并运送至地基所在处。控制面板、配电盘和变压器在运输和升降过程中被置于塔架的底部。

多风机风电场的建造一般须要几个月时间。所有的安装工作受限于天气条件，不可避免的会遇到天气不理想或者不能开工的时期。在天气相对平静的夏季，风速和海浪高度基本处于安全限内，选择此时安排风机安装工作可以缩短工程周期。图 1、2、3 分别显示了 Tunø Knob、Middelgrunden、Barrow 海上风电场进行中的吊装作业。

图 1：建设过程中的 Tunø Knob 海上风电场（1995 年建成）采用浮吊完成吊装工作



图 2：米德尔格伦登（Middelgrunden）海上风电场现场安装之前用浮吊完成地基和塔架底部



图 3：Barrow 海上风电场吊装情形



1998 年，欧洲地区根据海上风电场施工工程公开的 Opti-OWECS 报告针对现有的安装方法进行了很好的总结：

### ***千斤顶安装(Jack- up Installation)***

以千斤顶吊装塔架、机舱和叶轮是最先出现的海上风电场吊装方法。千斤顶可为安装工作形成一个稳定的基座，也是打桩工程首选。然而，其内在稳定性以

及缺乏机动性使塔架的安装遇到问题。从浮吊驳船上卸载塔架部件并将它们提至机组装配需要处的过程中，部件零散运送更佳；而相同的千斤顶驳船可用作运输单桩地基及机组安装。

### ***半沉式安装(Semi-Submersible Installation)***

原则上，从驳船上提出是风机安装最直接底方法。对于执行海上建设工作，半沉式起吊船是漂浮平台中最稳定的一种。现有驳船的设计用于较远的海上作业，在浅滩地区很难发挥作用。

### ***载运船，平底驳船，地面起吊机(Ship Shaped Vessel, Flat Bottom Barges and Land Based Cranes)***

载运船和平底驳船在建设作业中的稳定性不够理想，较易受天气状况的影响。带有旋转起吊机的载运船性能最佳，因此，需求量较大，且日费可观。带有尺寸合适的人字起重机的平底驳船，供应较为充足，可提供一种成本较为经济的塔架安装方法。还有一种方法结合了旋转起吊机和日费低廉两项优势，即使用地面起吊机，只要天气良好，这种系统的应用十分令人满意。

### ***漂浮式安装(Float-Over Installation)***

Opti-OWECS 报告提出了漂浮式安装，其中的塔架先在码头边上垂直建立起来，将其下放至待安装的模拟桩基上，用钉子固定，再垂直安置于驳船上准备运送，满足这种运送条件的船只需要特制或者通过改进现有船只而成。在码头边运上并固定了塔架的特制驳船在涨潮的时候排放压舱水使塔架与模拟桩基分开，一旦到达安全水深，驳船即引入压舱水作牵引之用，达到安装现场时，驳船再次排放压舱水，安全地固定于海上风电场的桩基上。然后再次引入压舱水使驳船下沉，在桩基上安全调转塔架的支撑件。海上紧固工作随着驳船的远离而结束。

此外，海洋环境中的风力发电机结构经过相应调整，每个风机配备一个电吊车，用以置换主要部件，可降低维护成本。为了在运行和维护过程中降低风电机的工作载荷，风机机舱装配有两个液压起吊机。这些起吊机可以帮助工具或零配件从海平面提升至风机的任何位置。

### ***海上吊装设备相关标准列举：***

1.《海上吊装机规范(Specification for Offshore Cranes)》，美国石油研究所，

1995 年第 5 版；

2 . BS 7121-11-1998 《起重机安全操作实施规程.海上起重机(Code of practice for safe use of cranes - Offshore cranes)》，1998，替代标准 94/703245 DC-1994；

3 .NF E52-061-1-2004 《起重机.海上起重机.第 1 部分:通用海上起重机(cranes - Offshore cranes - Part 1 : general-purpose offshore cranes.)》，2004；

4 . EN 13852-1-2004，《起重机.海上起重机.第 1 部分:通用海上起重机(Cranes - Offshore cranes - Part 1: General-purpose offshore cranes)》，2004，等同标准 DIN EN 13852-1-2004，替代标准 EN 13852-2000。

本馆所信息咨询与研究中心

张蓓文 撰稿

曾原 编审

联系电话 64455555-8904、8902 ;64334774