

## 07: 技术

**相** 对于其他的能源，风电是一种新的技术。不过，现代风电场已具备成熟的技术，建造过程相对简单，而其设计和运营却相对复杂。这一行业用到了多种发展成熟的科学技术，航空设计，重型钢板工程学，玻璃和木材的环氧化合物（用于飞机、轮船和汽车）以及电场检测和控制各方面都有涉及。

优秀的风机设计固然需要专家的努力，但经过反复努力，现有的工业已经可以很好地建造风机并把它们并入电网，所以相对于其他更复杂更有争议的技术，风能资源的开发利用相对容易。工业本地化的模式将在下面进行介绍。

从风机制造到风场运作，海上风能都面临着新的挑战。

这一部分对技术的描述包括风机的研发及制造。这里只作简短的描述。有兴趣的读者可以参考专业的读物获取更多的细节信息，例如《风能的事实》<sup>[35]</sup>。

报告假设读者熟悉陆上风机的基本原理，因此这里只用极小的篇幅对它们进行描述，更多的篇幅将用以描述海上风电开发所面临的挑战，也就是海上风机的

图7.1 风机主要组成结构



发展以及海上风电场的建设和维护。在中国大多数人对这一领域还感到比较陌生，因为到目前为止，中国还没有建成海上风电场。海上风电场建设所涉及的风机核心技术与陆上风电场相同，只是海上风电场的规模更大。因此，这里所作的基本描述对这两种风电场都适用。

图7.1显示了风机的主要组成结构。接下来再依次介绍它们，紧接着再讨论海上风电场特有的问题。

### 7.1 叶片

风机叶片用复合材料制成。传统的叶片用玻璃聚酯制成，最近玻璃环氧物更受欢迎，而碳和其它复合材料的混合物却倍受新的大型风机的青睐。在技术上，为了跟主流市场的风机叶片竞争，风电场需要大量的碳。风能对碳的充分利用，以及世界范围内碳在风机叶片上的广泛应用，使得风电场成为碳材料最大的专一市场。除了玻璃，风电场还需要木材环氧化合物。

## 案例分析：LM Glasfiber

LM Glasfiber公司是世界上一家领先的变桨距风机叶片的生产商。它生产的风机叶片大约占全球市场的45%。这家丹麦公司起步于20世纪50年代，当时主要生产大篷车和船，风机叶片的生产开始于1978年。如今，LM的主要产品就是风机叶片。除此之外，该公司还为欧洲的铁路工业提供轻型材料。它的11家制造厂分布在丹麦、西班牙、印度、中国以及美国。

## 案例分析：中航(保定)惠腾风电设备有限公司

位于河北保定市中航(保定)惠腾风电设备有限公司是一家中美合作经营企业，由保定惠阳航空螺旋桨制造厂、中国航空工业燃机动力(集团)公司和美国美腾能源集团三方投资兴建。该公司主要开发、制造一系列的风机叶片以及与风机相关的玻璃纤维增强复合材料(GRP)。总公司从专门制造航空螺旋桨发展到现在的航空动力设计以及玻璃纤维增强复合材料(GRP)的制造业是一个顺应市场的自然转变。

惠腾致力于风机叶片的设计和制造，这也是对国家“九五”计划强调风机制造业面临的挑战

图7.2 惠腾厂房外的叶片



的一个直接响应。他们目前正生产600kW和750kW风机的叶片，并且正在研发1.2、1.3以及1.5MW风机的叶片。1.2MW风机叶片的首批叶片模型已经下线，不久将运往风电场投入试用。1.3MW的风机叶片的开发已经完成，并且首批叶片模型已经下线。

惠腾成立于2001年，拥有员工200人。年生产规模可达300套600kW风机叶片和200套750kW风机叶片。惠腾产品达到了国际认可

的工程和质量标准。更多的细节信息参考<sup>[36]</sup>。

该公司坚信开发风力资源可以改善环境，并为能服务于风能领域感到自豪。公司也意识到中国目前的风能开发水平不够高，因此还不能产生深远的影响。但是，如果风电发电量能够占整个电力消耗的10%到20%的话，实际的贡献将是巨大的。



© 汕尾红海湾风电场

## 7.2 机舱

机舱包括了驱动系统、多种电力设备以及其它部分的所有机械部件。

除了一些直接的驱动器(见下面),风机的发电机在功能和设计上最接近于常规的发电机。发电机用铁心硅钢、铜和绝缘的材料制造,每台风机也有一台符合整个电力行业标准的变压器。

对风电产业来说,机舱内的齿轮箱是定制的,包括钢性箱体、轴承、齿轮和转轴。目前,风机齿轮制造商从主营齿轮箱制造转变为多样投资,其中有些已经从专门的风电产品制造业中分离出去。欧洲市场最大的齿轮箱供应商Winergy(前身为 Flender),目前却专为风电产业服务。2005年6月,Winergy被工业巨头西门子收购,在此之前西门子已经收购了丹麦风机制造商Bonus公司,这一战略性的收购会给该关键部件的供应带来什么样的影响目前还未为可知。

风电产业中齿轮箱的其他主要供应商包括Hansen、Moventas(前身为 Metso)、Lohermann & Stolterfoht 和 Eickhoff。除了西门子,另外两家风机制造

西班牙的Gamesa和日本的三菱重工,都能自行生产齿轮箱。

相对新一代的直驱式风机却可以省略齿轮箱。这种直驱式风机的一大特点是使用永磁发电机,这需要铁酸盐和稀土磁体的供应。铁酸盐相对容易获得,稀土元素却难以提取,不过中国稀土市场潜力十足。因此,永磁发电机将成为吸引中国企业的投资热门,事实上,金风科技已经启动了这项研究。

### 案例分析:重庆重齿风力齿轮箱有限责任公司

重庆重齿风力齿轮箱有限责任公司是重庆齿轮箱公司的一家附属企业<sup>[37]</sup>,由中国船舶重工集团公司创建。主流齿轮箱公司于1972年开始运营,在此之前重齿在风机领域已经发挥了积极作用,不过专业的风机齿轮箱公司于2005年3月正式成立。

重齿目前有68名员工,从事产品的研究开发和生产以及质量控制工作。公司专事600-2500kW风机齿轮箱的研究开发、装配、测试与销售,年生产规模为800至1000套600-1000kW风机齿轮箱。

在国家“863”计划的支持

下,重齿一直在开展1.0、1.3和1.5MW风机齿轮箱的研发。首台1MW风机的齿轮箱已于2004年11月交付使用。截至2005年3月,四百套齿轮箱(主要为600kW风机设计)已经下线,其中的200套目前已投入使用。另外,已有两套600kW风机齿轮箱出口德国。

2006年至2010年,重齿将致力于1-2MW风机齿轮箱的研发;2011年至2015年,重齿计划将聚焦海上风机齿轮箱的研发。公司正努力建立长期稳定的生产线,立志成为中国风机齿轮箱的头号生产商。

## 7.3 塔架

塔架是由钢板相交焊接卷入一系列的外围圆锥形外套,经过焊接组合成一个整体。安装时,塔架各段用螺栓钉在一起。塔架制造商买回来的钢铁作为加热压光辊板,经过冷轧,并用相当标准的机器焊接,相同的制造商也生产压力管和油箱。风机的塔架通常成为首个本土化生产的风机部件,这种方式也已经在中国发展起来。

### 案例分析: Monsud

意大利是快速本土化的一个

典型案例，Monsud安装项目。长期以来，作为意大利国内大型工程项目的钢铁结构制造商，Monsud包揽了意大利南部，Avellino周围地区的工程。早在六年前，意大利风电行业就满怀激情地起步，那时的Monsud还没有涉足这一领域。受到大多数积极的意大利风电开发商表现出来的强烈需求鼓舞，Monsud开始为已初具规模的丹麦风机制造商提供塔架。就像其它可再生能源，例如太阳能和地热能一样，风电开发初具规模。在风电领域，Monsud为风机发电机提供筒型和架型塔架的同时还生产电塔。

迄今为止，Monsud已经为Vestas和西门子的Bonus风机安装了1500多套塔架。

## 案例分析：上海泰胜电力 工程机械有限公司

上海泰胜电力工程机械有限公司是专业的风力发电机塔架生产企业，工厂配套安装了风机塔架及风机机舱生产专用设备，包括表面处理大型设施。

泰胜是韩国Pyeong San金属公司在中国大陆地区的唯一一家产品代理商，为风机塔架生产法兰(凸缘)和其它锻件产品，以及

压力管和其它的应用产品<sup>[38]</sup>。

泰胜已在上海设厂，而目前正在浙江瑞安扩建工厂，即浙江省瑞安电力工程机械有限公司，公司现有职员165人。

通过与项目负责机构以及风机供应商的合作，泰胜开始熟悉风机设计和制造的过程，目前已经可以自行实施自主程序和技术的运作。风能虽然是一个崭新的领域，但是它可以利用已成熟学科和其他能源领域的技术。该公司表示将致力于中国绿色经济的建设。

泰胜为在中国境内经营的所有主要风机开发商提供塔架，包括金风科技，Vestas, Gamesa 和 Bonus公司。

该公司认为：“针对目前能源短缺的状况，风电将倍受推崇并且进行区域开发，这不仅有益于整个国家，也给各相关企业带来巨大的经济效益。同时，风电开发为我们提供了千载难逢的发展契机，因此，我们将会从风电开发中获益匪浅。”

该公司认为，在中国，风电是一个新兴的产业，是能源开发的一部分。他们希望政府能尽快地制定全面而且系统的政策，进

图7.3 陆上两种基础设计示例



行必要的协调与控制。这也有助于泰胜和所有其他风机部件制造商从风电行业中获取最大的利润，从而更快地发展。

图7.4 Sif生产线的风电机组单桩基础



## 7.4 基础

大多数陆上风电场都使用常规的混凝土基础。这些基础由钢筋混凝土组成，通常正面是正方形、八角形或六角形，而侧面的厚度不变或稍呈锥形。底面上那些用来固定塔架底座的螺钉通常镶嵌到混凝土中，或者将塔架的底座部分融入到基础中。另一种备选方案是桩帽法，放射状的桩钉在混凝土结构的顶部，以进一步加固混凝土结构。这两种设计见在图7.4。

基础的设计必须非常仔细，而且建筑质量要求很高，但是这项技术工程实施并无太大困难。但是，在地震多发地需要作一些特殊的考虑。

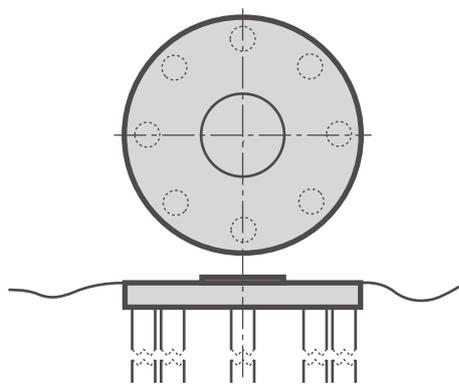
在海上，现有海上风电场应

用的基础有两种不同的类型，单桩基础和重力基础。对于如何选择最优类型的问题至今尚无一致观点，但是更多的是根据当地的特点，因地制宜进行选择。

单桩基础可以有效地将带有厚重底盘的钢铁塔架伸插至水下的海床，也广泛地用于海上与近海的石油和天然气钻井平台，以及码头和其它的海岸建筑。生产商的钢铁塔架制造过程都是相似的，但是目前可用于转动基础必需的庞大钢管的工具设备少之又少。

### 案例分析：Sif Group

位于荷兰的Sif Group是一家专事厚钢管壁产品生产的企业。传统上，该公司是从事海上石油和天然气(大桩和管套)，压力管和其他的国内建筑工程。后来，



他们发现了海上风机单桩基础制造业日益增长的市场，并且已经建立了专用生产线。

图7.6显示的是Sif生产线的单桩基础，图7.5显示的是Sif在马斯河岸的造船厂。

\*7.6 Sif\*\*\*\*



\*7.5 \*\*\*\*\*Sif\*\*



**重力式基础：**重力式基础有很多形式，例如具有代表性的钢筋混凝土重力沉箱的方法，混凝土通常还要混合碎石。重力式基础也可用在海上石油和天然气钻井的支撑平台。重力式基础通常由国内大型的建筑公司建造。和单桩基础的生产一样，重力式基础的建造需要足够的空间，而且要求入海便利。

总的来说，相对于单桩式基础，重力式沉箱的制造需要大量的材料，不易运输，并且需要更多的劳动力，这些都是制造基地选址时要考虑的因素。一般的做法是在风电场附近搭建临时的设备用于基础的建造。

### 案例分析：重力式基础，Middelgrunden

Middelgrunden海上风电场使用重力式混凝土和钢筋结合基础，内部是钢铁骨架，外部灌以加强型混凝土，这是由工程师Carl Bro设计的。建造和运输任务由Monberg & Thorsen 以及 Phil & Son公司联合完成。如图7.7所示，基础的建造是在附近的Burmeister & Wain老造船厂的干船坞完成的。该船坞经历了八年的闲置之后由联合企业整顿运作。<sup>[39]</sup>

### 其他的基础结构：

许多其他类型的基础设计方案也已经出台，大多数(尽管不排除其他可能性)的图纸设计已经应用海上风电上。基本上这些设计方案都代表性地使用单桩，重力式或是混合型的基础，但是在总支撑架构上设计很精细，以保证体积更大而深的建筑的稳定性。

**三脚架设计**支撑着一个中心管，中心管延伸到塔架内，三脚架的每一个脚的末端嵌入海底。塔架下面的钢桩之间搭好了一些钢架，这些钢架分担了塔架对于三个钢桩的压力。

**吸力基础的设计**也已经出台，用于替代桩式基础。每个点都必须植入海床，一个倒置“桶”形成了基础。当植入海床的深度达到要求时，吸力才能发挥作用。

**变电站支持系统**的市场和发展潜力也是不可估量的，这个系统的设计与石油和天然气最小化的设备平台的设计非常相似。图7.8显示的是Horns Rev风电场的首台海上电网变压器的安装过程。

图7.7 Horns Rev风电场海上电网变压器的安装过程



图7.8 安装Horns Rev电网变压器



新型海上风机支撑结构的设计在未来十年内可能还会继续发展和演化。陆上风机是以所能经受的风速强度来分类的。与陆上条件不同，海上的环境比较复杂，交织着风力、波浪、冰冻以及瞬时负载，但是反而海上很少有飓风，因此从某种意义上说，这是一种相对温和的气候。每个风电场风机的基础和支撑结构的差异可能更大，这也为传统土木工程施展新招提供了广阔空间。

图7.9直升机和船接近海上风机



图7.10 A2SEA在Nysted海上风电场



## 7.5 可接近性

可接近性是海上风电场要考虑的关键因素。陆上风电场的可接近性很高，通常超过97%，即使遇上小问题，当地的维护人员可以立即抵达事发地点解决。海上风机也会遇上同样的问题，但是工作人员去海上风电场没有去陆上风电场那么容易，因此，开发出一套高效的接近方案是当前研究的一项繁重工作。

图7.9是用直升机把维修人员送到Horns Rev风电场的风机上的一幕，更普遍的途径是用工作艇接送。

## 7.6 安装船

直到2002年，许多评论员还在关注如何制造专业的起重机，这是海上风电场建设速度的瓶颈。然而，在真正的市场环境下，哪方有需求，相关产业就会对它有求必应。随着现有海上项

目承包商的良好回应以及新兴市场的加盟，原本用作建造港口、桥梁、油井、汽井和其它用途的船只，改造后用作海上风电场建设，同时也有一些公司投资为海上风电场定制专用的船只，其中有：

- MV Resolution “五月花决意号”——由秦皇岛的山海关船厂为英国五月花能源公司建造，现归MPI所有；
- Jumping Jack “跳爆竹”——由Mammoet Van Oord建造
- 由A2Sea改装的Sea Power “海之力”和Sea Energy “海能”（之前为Ocean Hanna “大海汉娜”和Ocean Ady “大海阿迪”）

电缆铺设可以现有的由一些熟悉这类工作的船只完成，这些船须拥有全套装备，包括旋转式电缆传送带、远程作业装置以及挖掘及注浆设备。

### 案例分析： 改装船A2SEA

A2SEA公司曾安装过大约300台风机，在2002年以来建成的所有海上风电场上，都有A2SEA船只忙碌的身影。这两艘船的设计理念是，在普通运输船的两侧加上舷台，并装上起重机。船舷上装有“腿”用于固定船只以便让起重机工作。这种改装普通船只的方法非常灵活，可以根据不同的需求作出调整安装措施。图7.10显示了在Nysted海上风电场忙碌的A2SEA号。

### 案例分析：定制 国际海洋工程公司(MPI)

“五月花决意号”是山海关船厂为英国五月花能源公司建造的世界首艘海洋风车安装船，现归国际海洋工程公司(MPI)所有。该船由中国河北山海关造船厂建造施工，现在正服役于欧洲海上风力发电机组安装工作。它的设计让它可以一次性装载10台风

机到达海上安装地点，无需其它船只的协助即可运作。此外，它还可以胜任安装底座和铺设电缆的工作。

中国船舶重工集团(CSIC)公司下属的山海关船厂表示，五月花信念号的完工是山海关船厂在造船业立下的一块里程碑<sup>[40]</sup>。该公司还表示，该船将一般船舶的运输、自航功能与海洋平台的自升功能，起重船的起重功能融为一体，再加上动力定位和控制系统，使其更适应海洋工程的发展。此船自动化程度很高，处于世界先进水平。她集多功能为一体，能同时满足一般航行船舶，海洋平台、起重作业船的建造规范，同时还要满足美国焊接协会、挪威DNV标准等，建造精度要求按IACS标准执行。她的成功建造为国内乃至国际船舶领域填补了一项空白。

### 案例分析：定制 Mammoet Van Oord

Mammoet Van Oord是个相对比较年轻的公司(成立于2002年)，是应海上风电场和其它机械安装的需求而成立的。它是个合资公司，由全球著名的起重与运输专家Mammoet公司和海上建设

与安装承包商Van Oord ACZ联合成立，其它的股东有Hovago起重机(Baris集团的子公司)和Marine建筑公司。这个公司主要运营为海上风电定制的Jumping Jack“跳爆竹”(如图7.12所示)，这是一种自升式驳船，船上装有起重机，曾用于Horns Rev项目中安装基础，并用于在Arklow港的海上风电场中安装风机。

## 7.7未来的海上风电技术发展

随着海底深度的加深，安装风机等设备的可行性和成本效率将会受到限制。对于海上石油和天然气来说，储量潜能反映的价值决定了开采深度。由此，浮动装置得到了应用，深水石油井和天然气井可以看成是带有精密复杂的漂浮船只系统。

一些课题项目已经在研究海上漂浮风机的概念。与现有的海上漂浮平台不同，该课题提议的漂浮基础要顾及将要面对的多重构造和大不相同的负载。提议的系泊设备是从现有的应用实践中抽取出来的。

GH曾经得出结论说海上漂浮风电场的概念在技术上是可

行的，但是目前系泊系统致使它变得不经济。不过日本和至少两个欧洲国家已经展开应用研究，因此在这些地区仍然是有可能实现的。

图7.11 “决意”号



图7.12 “跳爆竹”号





## 7.8 结论

以上描述的各种零部件是每台风机都必需的。过去二十年来，各种各样的风机配置都曾经用过。图7.13概要地列出了这些配置。

表格的左部列出的特征，其中的三个是每台风机都必须具备的。图中任一种搭配都已经用于商业用途。已经达成的共识是，将来的风机将会使用图中右下角的配置，即风机带有三片叶片、带有变速驱动器、偏航轴承。有

表7.13各种风机配置

停转控制	⊗							
主动停转			⊗	⊗				
固定速度	⊗	⊗	⊗					
有限制变速						⊗		
齿轮箱	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
偏航		⊗				⊗	⊗	⊗
变速				⊗		⊗	⊗	⊗
无齿轮箱							⊗	⊗

技术光谱

技术趋势

共识?



© 绿色和平/胡威



© 绿色和平/胡威

些风机会取消齿轮箱(例如直驱式风机是没有齿轮箱的),然而大多数风机还会继续使用齿轮箱。不同的是风机将可能会使用永磁电动机和各种不同材料的叶片,而控制系统会变得越来越精密。成熟的海上风机可能看起来迥然不同,但是由于目前海上风电市场的开发程度有限,要预见它们的具体结构非常困难。

海上风机将与陆上风机在很大程度上都使用相同的材料和技术,简单地讲他们只是体

型大些,具有革命性和挑战性的环节是如何让风机适应海上的应用环境。一个很有可能得到普遍使用的做法是使用新材料例如碳纤维和稀土永磁材料,而高精密度的控制系统将会成为风机技术发展的特征。

随着更多经验的积累,海上风电技术将会进一步发展。从中长期看来,特别是考虑到风机装在条件恶劣的海上环境下,海上风电会受到层出不穷的技术挑战,包括设计支撑结构和通路的解决方案。传统的土木工程和船

舶产业的经验已经被用来解决这些问题,中国海上风电业应趁早涉足这些问题的解决方法。

成熟的风电市场里,相关产业已经表现出了应对不停增长的市场需求的愿望和能力,即使是新兴而需求众多的海上风电市场也表现出了对整个风电市场的稳定发展的信心。中国整个市场的情形也不外如此。对陆上和海上风机需求的信心将推动技术的发展。新市场的发展已是弦上之箭。