

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1期 2005年12月1日

试刊发刊语

风力发电古老而现代，在全球性能源危机的今天再次引起世人瞩目。现代风电场被认为能产出与传统电站相同的电量，在欧洲逐步产业化之时，风电也正走进中国，形成新一轮热潮。在 www.isits.sh.cn 网站之前已积累的风电信息基础上，上海情报服务平台凭借独特的资源优势和情报视角，推出《第一情报·风力发电》专题简报，籍此跟踪全球风力发电产业、政策、技术、市场等多个层面的发展动态，为风电企业的研发工作做好信息导航。

《第一情报·风力发电》酝酿已久，此番推出试刊希望得到您的大力支持。您对本简报有任何意见和建议，可以致电编辑部。希望在与您的互动中，让《第一情报·风力发电》切实发挥预警、竞合、战略的“第一情报”功能，成为您工作中有用的信息资料。

本页图片分别引自 Vestas 公司与 ENERCON GmbH 公司网站

文章导读

2005 年全球风电机组装机容量突破 50GW.....1

2005 年 8 月 17 日全球风能协会(GWEC)公布的官方报道称, 2005 年年中, 全球风电机组装机容量已达到 50GW。同时就 2004 年全球市场需求面及供应面情况分布作了分析。

碳纤维复合材料在风力机叶片中的技术应用3

碳纤维复合材料叶片刚度是玻璃钢复合叶片的两至三倍, 材料性能大大优于玻璃纤维复合材料, 但价格昂贵, 唯有降低成本才能在风力发电上大范围应用。

聚焦世界首座大型海上风电场 Horns Rev :

(一) 基本建设状况.....6

介绍 Horns Rev 风电场的风机建设、电场内部电缆和变电站建设、岸边电缆建设。

(二) 风电场环境影响评估.....9

就美国能源情报署 EIA 对 Horns Rev 风电场环境影响评估报告, 讨论海上风电场可能带来物理环境、生物环境等一系列环境影响。

[Horns Rev 海上风电场的《运行故障与经验总结》即将推出](#)

从《风力广东》出炉看国内外风力发展前景 12

研究视角立足广东, 并放眼全国、全球, 在对风能资源规模进行评估的基础上, 勾画了广东省风力发电的蓝图。

[绿色和平组织《风力广东》报告全文, 中文 PDF 版, 共 92 页,](#)

[备索](#)

2005 年全球风电机装机容量突破 50GW

2005 年 8 月 17 日全球风能协会(GWEC)公布的官方报道中，GWEC 主席 Arthouros Zervos 教授表示：2005 年年中，全球风电机装机容量已达到 50GW 这个里程碑式的数据。随着风电各项技术的成熟，CO₂ 排放可大大降低，石油价格波动、能源进口量也能得到控制，风电行业正在蓄势待发。目前全球能源的挑战不仅仅在于如何应对天气变化，更在于满足日益增长的能源和发电设备安全性的需求。

回顾 2004 年风电市场，丹麦咨询公司 BTM Consult Aps 指出，2004 年全球风力装机容量新增 8154MW，增幅为 20%，令累计装机量达到 48000MW，风电行业近 5 年的平均增长率为 15.8%。然而同 2003 年的增长率相比减少了 2.3%，这是自 1996 年以来出现的首次增长速度停滞，主要是因为美国市场的跌落。2004 年欧洲仍旧是风力装机容量最大的地区，占据了新装机容量的 73%，同时亚洲显示了强大的发展势头，市场的驱动主要来自于印度、日本和中国。该区域占据了当年新装机容量的 20.2%。以下是 BTM 对全球风力市场调查的更新报告数据摘要：

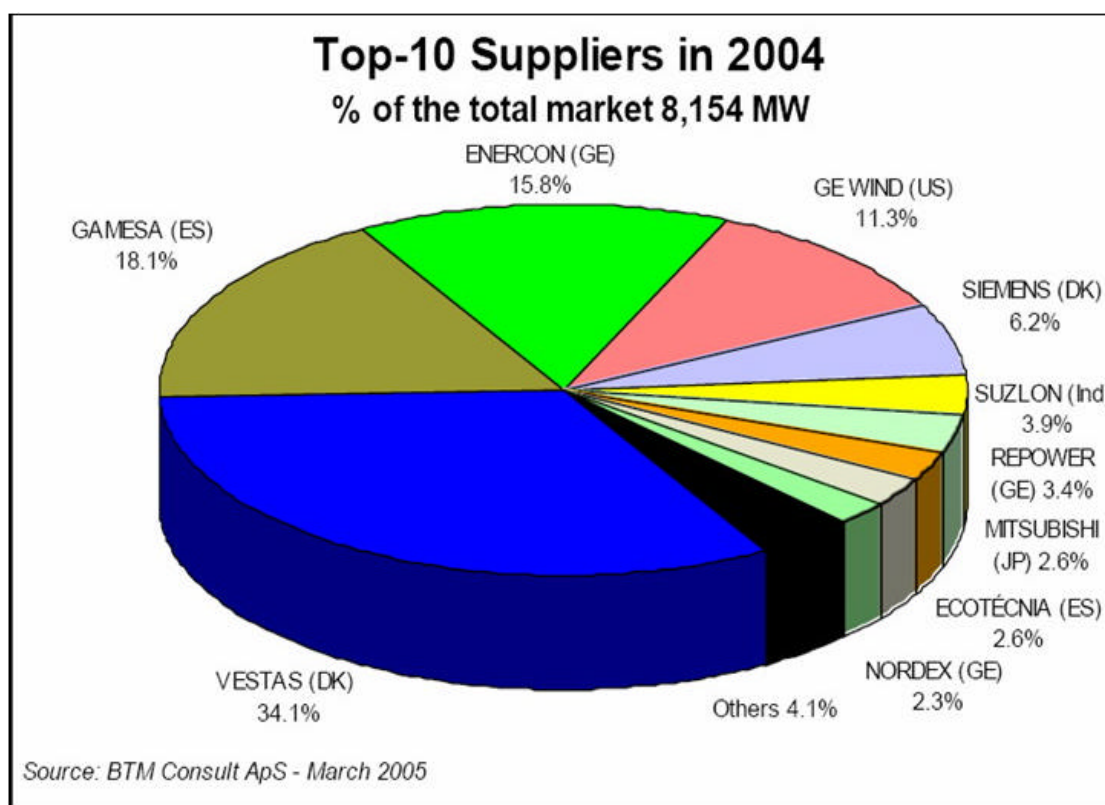
市场需求面情况

- ◇ 2004 年新增风力机组容量为 8154MW。
- ◇ 至 2004 年底累计安装容量为 47912MW，包括散布在 60 多个国家 74400 台机组。
- ◇ 美国从它 2003 年 1818MW 的峰值跌落至 2004 年的 516MW。
- ◇ 亚洲表现出重要的成长性，太平洋经济合作发展组织和亚洲地区的安装量几乎翻倍，从 2003 年的 873MW 到 1648MW。印度成为其中的领先国家，有 875MW；中国也有一定的进步，新安装量为 200MW。
- ◇ 在前十位的市场中有一个转变。德国作为历年世界第一的市场所在地（2004 年为 2054MW）首次被西班牙（2004 年为 2064MW）取代。意大利和葡萄牙显示了显著的增长。葡萄牙首次进入前 10 排名，位居第六。
- ◇ 截止 2004 年底的数据统计显示，风力发电量占世界发电总量的 0.57%。
- ◇ 海上风电的发展步伐滞后，仅一个在英国的项目安装完成。

市场供应面情况

所统计的全球 20 家风机供应商中，全球前 10 位供应商占据 2004 年所有安装量的 96%，后十位公司的市场份额为 4%。值得注意的是：

- ◇ 四大供应商占据了总供应量的 79.3%。
- ◇ Vestas 保持了其领先地位，市场份额提升至 34.1%，比 2003 年 NEG Micon 和 Vestas（2004 年春季合并）合并前增长了 2.2%。
- ◇ Gamesa Eólica 前进至第二位，替代了 2003 年的 GE，GE 风能公司由于美国市场的低靡而失利，跌落到第四位。
- ◇ 德国的 Enercon GmbH 维持其第三的位置，市场份额为 15.8%。
- ◇ Siemens Wind，自从成功收购了 Bonus Energy，成为市场中名列第五的供应商。
- ◇ 印度的 Suzlon 引人注目地排列为第六位，市场份额为 3.9%。



图：2004 年全球十大供应商市场份额分布图

碳纤维复合材料在风力机叶片中的技术应用

叶片是风力发电机中最基础和最关键的部件，其良好的设计、可靠的质量和优越的性能是保证机组正常稳定运行的决定因素。恶劣的环境和长期不停地运转，对叶片提出了严格且复杂的要求。

材料特征

为提高机组的经济性，合格的风机叶片应该满足的要求有：比重轻且具有最佳的疲劳强度和机械性能，能经受暴风等极端恶劣条件和随机负荷的考验；叶片的弹性、旋转时的惯性及其振动频率特性曲线都正常，传递给整个发电系统的负荷稳定性好；耐腐蚀、紫外线照射和雷击的性能好；发电成本较低，维护费用最低。

叶片的尺寸增大可以改善风力发电的经济性，降低成本。叶片长度从 1980 年的 4.5m 发展到今天的 61.5m，容量从当初的 55kW 发展到今天的 5MW。1970 年的风力机叶片主要有钢材、铝材或木材制成，今天选择的材料以 E-玻纤增强塑料(GFRP)居多，目前已开始采用碳纤维复合材料(CFRP)，叶片材料的开发顺应了叶片大型化和轻量化的方向发展。

随着发电单机功率的增大，要求叶片长度不断增加，其在风力发电上的应用也将会不断扩大。对叶片来讲，刚度也是一个十分重要的指标。研究表明，碳纤维(carbon fiber，简称 CF)复合材料叶片刚度是玻璃钢复合叶片的两至三倍。虽然碳纤维复合材料的性能大大优于玻璃纤维复合材料，但价格昂贵，影响了它在风力发电上的大范围应用。因此，全球各大复合材料公司正在从原材料、工艺技术、质量控制等各方面深入研究，以求降低成本。

应用现状

据国际咨询公司 UtiliPoint 总裁 Bob Bellemare 称：对于风力发电机而言，碳纤维是即将来临的潮流。一般较小型的叶片(如 22m 长)选用量大价廉的 E-玻纤增强塑料，树脂基体以不饱和聚酯为主，也可选用乙烯酯或环氧树脂，而较大型的叶片(如 42m 以上)一般采用 CFRP 或 CF 与 GF 的混杂复合材料，树脂基体以环氧为主。GE 风能的叶片工程的全球经理 Ramesh Gopalakrishnan 说，设计师们在寻找轻质高强度材料的过程中，选择了碳纤维应用于叶片设计中。

虽然碳纤维复合材料的性能大大优于玻璃纤维复合材料，但价格昂贵，是玻璃纤维的 10 倍，不太高的性价比影响了它在风力发电上的大范围应用。因此，全球各大复合材料公司正在从原材料、工艺技术、质量控制等各方面深入研究，以求降低成本。VESTAS 的 V-90 型风力机容量为 3.0MW，叶片长 44m，其样品试验采用了碳纤维制造；GAMESA 在其直径为 87 米、90 米叶轮的叶片制造中

包含了碳纤维；NEG Micon 正在制造碳纤维增强环氧树脂的 40 米叶片；这三家公司的碳纤维都采购自 St.Louis-based Zoltek 公司。德国叶片制造厂家 Nordex Rotor 开发了 56m 长的碳纤维叶片，他们认为叶片超过一定尺寸后，碳纤维叶片的制作成本并不比玻纤的高。

LM 公司在《2004 全球碳纤维展望》的报告中指出：在风力机叶片中采用碳纤维，应注意它和玻璃纤维混合时所增加的重量；应用于叶片设计时样品测试的可靠性不够高，须加大测试的覆盖面；加工精度要求高；由于是导电材料须规避雷电来袭对叶片的损伤。目前大规模安装的 2.5-3.5MW 机组采用了轻质、高性能的玻璃纤维叶片，设计可靠，市场竞争力强，下一代 5-10MW 风力机的设计将更多的采用碳纤维。

专利列举

以“((carbon and fiber) or CF or CFRP) and wind and turbine and (blade* or vane*)”为检索策略，在欧洲专利局网站进行了检索。现将获得的部分相关专利概述如下：

1. 专利名：风力机叶片的防雷电方法

公开号：US6457943

公开日：2002.10.01

申请号：US20010786545

申请日：2001.03.06

申请人：IM GLASFIBER AS (US)

同族专利：WO0014405 (A1)、EP1112448 (A1)、EP1112448 (B1)

摘要：该发明涉及一种具有避雷装置的风力机叶片，其目的在于既能加强叶片强度又能转移雷电的来袭。其特征在于所述的避雷装置由一个或多个碳纤维增强塑料长条组成，作为叶片的主要构件之一。

2. 专利名：碳纤维、丙烯酸纤维，及其制作生产过程

公开号：US6103211

公开日：2000.08.15

申请号：US19980983393

申请日：1998.01.20

申请人：TORAY INDUSTRIES (JP)

同族专利：EP0843033(A1)、WO9745576(A1)、US6221490(B1)、EP0843033(A4)、EP0843033 (B1)

摘要：该发明的目的在于提供一种高强度的碳纤维，所述的碳纤维主要包括大量的满足下列关系式的细纤维： $\sigma \geq 11.1 - 0.75d$ ，其中的 σ 指碳纤维抗张强度， d 指细纤维的平均直径。这种碳纤维适用于风力机叶片材料等于能源相关的设备，或者作为道路、大桥的加强结构层。

专利名：风力涡轮机叶片

公开号：WO03008800

公开日：2004.09.29

申请号：02814543.7

申请日：2002.07.19

申请人：NEG Micon

同族专利：EP1417409(A1)、US2004253114(A1)、CA2454038(A1)、EP1417409(B1)

摘要：一种风力涡轮机叶片，包含许多预制的沿外部圆周顺序布置的条带。条带由纤维合成材料，最好是碳纤维构成，也可以由木质材料，最好是胶合板或固化树脂中的木质纤维构成。其优点在于，可使制造与传统制造技术相比具有优良硬度和高强度，但又易于制造且又非常便宜，以用于风力涡轮机的叶片。该专利还涉及制造预先预制的条带的方法和制造风力涡轮机叶片的方法。

4. 专利名：风力发电系统

公开号：WO03064851

公开日：2003.08.07

申请号：WO2003US03017

申请日：2003.01.30

申请人：BARTLETT LEXINGTON P (US)

同族专利：WO03064851(A3)、WO03064851(A3)、US6800956(B2)、US2003141721(A1)

摘要：一种改进 600W 至 900W 的风力机系统，该系统包括一个风力驱动发电机、一个空气导管头锥体和一个支撑塔架结构，其中发电机部分的叶片采用了单向碳纤维；还提出了一种叶片制作方法，利用膨胀泡沫达到改进叶片边缘强度的效果。支撑塔架利用一种压缩式连接器是标准管道的接入无需焊接或钻孔。

5. 专利名：风力发电机叶片表面处理方法

公开号：JP2003214322

公开日：2003.07.30

申请号：JP20020082061

申请日：2002.02.18

申请人：MAKKU KK

摘要：为了降低制造工厂的规模，缩小运输设备，降低风力机叶片的制造和运输成本，提高风力机发电效率，风力机叶片的制造采用了具有高强度特性的碳纤维片材，主要用于叶片的表面。

许多结构方面的工程师确信，由于自然的规模法则显示当叶片长度增加时，质量的增加要高于能量的取得，因此碳纤维或碳纤维/玻纤混杂纤维的采用对抑制质量的增大是必要的。现 CFRP 轴已应用于转动叶片端部，因为制动时比相应的钢轴要轻得多。国外专家认为，在发展更大功率风力发电装置和更长转子叶片时，采用性能更好的碳纤维复合材料势在必行。



图：Horns Rev 海上风电场概貌

海上丰富的风能资源和当今技术的可行性，预示着海上风电场将成为一个迅速发展的市场，风电设备产业将是一个经济增长点。欧洲海上风电场 2010 年后将会大规模开发，中国作为发展中国家，也在近期通过《风力广东》提出了发展设想。中国东部沿海水深 2-15 米的海域面积辽阔，可利用的风能资源约 700 吉瓦，而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。

聚焦世界首座大型海上风电场 Horns Rev：基本建设状况

21 世纪初，欧洲国家率先兴建了大型海上风电场，如丹麦的 Horns Rev 和 Nysted，英国的 North Hoyle，许多国家正在推进更大的海上风能开发计划。Horns Rev 海上风电场自 2001 年起，由丹麦的两个公司 Elsam（风电场所有者）和 Eltra（电网运营商）在北海日德兰半岛（Jutland）开始建设，该电场离岸 14-20km（至 Blå vands Huk 的距离将近 14km），水深 6.5-13.5m，当地风速 9.7m/s，风电场占用面积约 20km²，是世界上首座真正的大型海上风电场。

Horns Rev 海上风电场，安装 80 台 Vestas 公司提供的海上风电机组，单机

容量 2MW，机组容量 160MW。2002 年 12 月，Vestas 成功完成了风电场的验收，2003 年，风电场进行了一些最后试验，随后，风电机组将为丹麦的 150,000 家庭提供足够的电力。风电场主要包括以下主要部件：

风机

80 台风机联网，每个风力机之间的距离是 560m。为了确保海上风电场具有一个谐调的机组，风机需要遵循下列标准：

- 塔架必须是筒形塔架；
- 旋转方向是沿风向顺时针方向；
- 轮毂高度在 60 到 70 米之间；
- 叶轮直径在 66 至 80 米之间；
- 所有的风机必须具有相同的颜色（深灰色）；
- 风机叶轮应迎风向，具有 3 个叶片。

风机叶片所能达到的最大高度为 110m。单机最小输出功率为 1.8MW，风电场 150MW 的规模需要至少 80 台风力机。若单机输出功率高于 1.8MW，则所需的单机数目可减少。风机联网运行可以最佳利用风能，更能提供和谐的视觉效果。

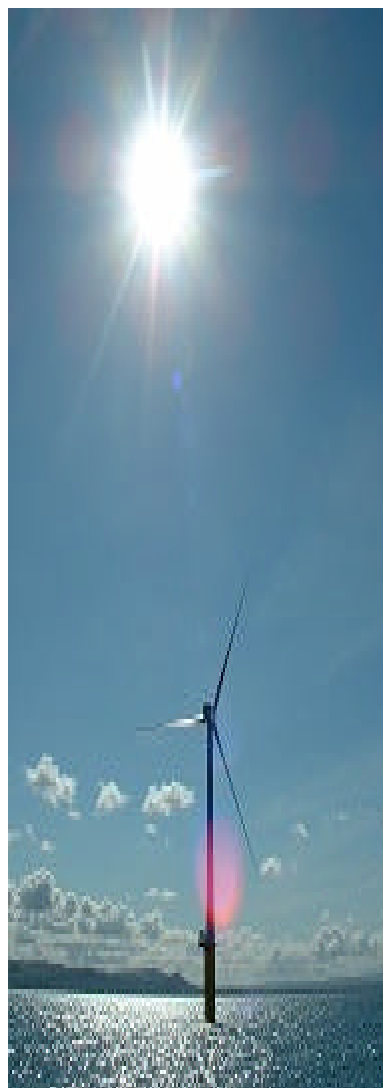
风机安装于打入海床的地基之上，建造之前曾设计了大量的方案使地基达到“单桩”的效果，如：打入海床的钢管单桩直径在 3.4 至 4.0m 之间，打入海床 25m 深。风机在水面上 9m 处与地基连接，并在这个高度设有一个平台。为了避免地基底部的材料由于当地强流而受到冲刷，应采用橡胶或混凝土锥来保护地基。风机上被标注光亮剂以避免海上或空中的交通事故。风机的防腐蚀（主要是防锈）保护，需要结合多种方案，如油漆和橡胶覆层。

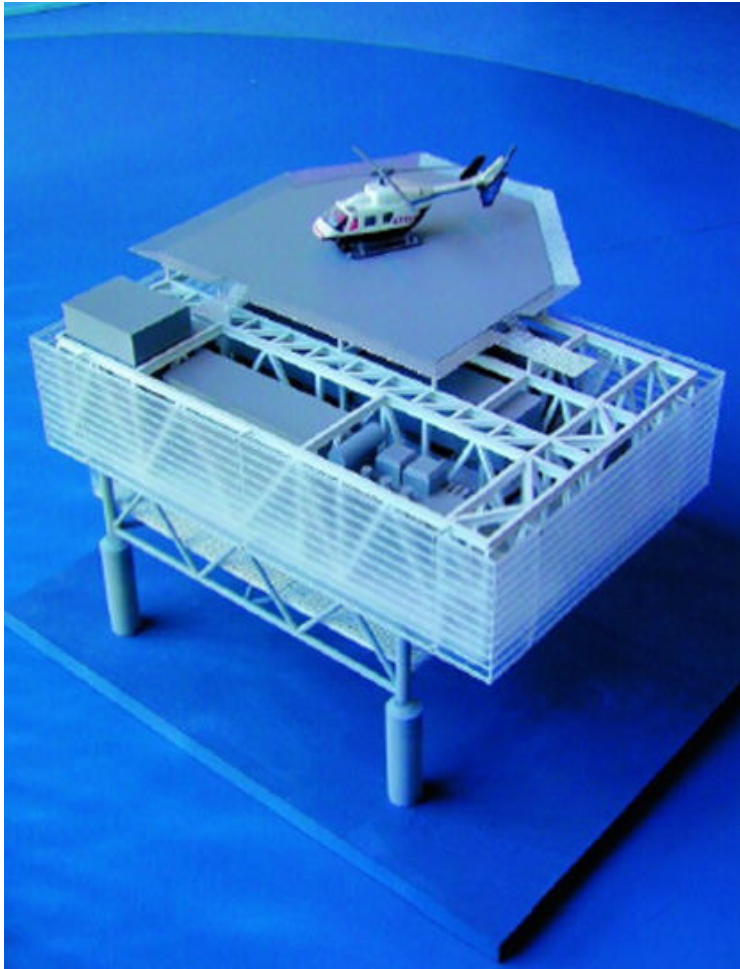
在建造海上风电场之时，一些主要的部件需要在陆上准备好且运至现场，平台或驳船运载的地基经打桩安插进海床。对于某些型号的风机，可以完整的运至安装现场并安装于地基之上。风机、地基、电缆的整个建设周期是 6 个月左右。

电场内部电缆和变电站

Horns Rev 采用 35kV 电缆将风电场内部各风机相连，南北向线性排列形式，所有的内部电缆与位于海上风电场东北向的变电站相连。

图：Horns Rev 海上风电场变电站模型





风电场产生的能源由变电站收集,并通过电缆传输至陆上。此外,变电站也可起到直升机停机坪等功能。变电站由三根直径 1-2m 的地基桩所支撑的平台之上,地基桩采用同风力机地基相同的方法打入海床,平台由 20*28m 的钢结构搭建而成,高 7m,置于海平面上 14m 处。

风电场的电缆可以由缆船运载,电缆固定于海床上或嵌入海床下 1m 深处。用水冲海床(使用高压喷水),然后使电缆置入海床而不是将电缆掘进或投入海床,这样的

做法最为经济。铺设海底电缆时,为降低捕鱼工具、锚等对海底电缆造成破坏的风险,未经铺设的海底电缆最好埋起来。

岸边电缆

Horns Rev 采用 150kV 的海底电缆连接变电站和陆上总网络,将风电场产生的能源传递至陆上整个电网。岸边电缆始于变电站,止于岸上 Hvidbjerg Strand 或 Sadding Strand。

电缆采用用水冲海床(使用高压喷水)的方法嵌于海床下 1m 深处,以防鱼类和锚的触碰,风电场离 Hvidbjerg Strand 岸距离是 19.5km,离 Sadding Strand 距离 36km。应根据具体情况选择相应的电缆。由于电缆由缆船运载,故海水深度至少为 4m,电缆的铺设必须在较好的天气条件下进行,且需要两个有效的工作日。在风电场周围应确定 200m 的电缆保护区域,禁止鱼类和锚进入。



聚焦世界首座大型海上风电场 Horns Rev：风电场环境影响评估

作为世界上首座真正的大型海上风电场，Horns Rev 海上风电场相关的环境问题较为引人注目。本文就 EIA (Energy Information Administration, 美国能源情报署，简称 EIA) 对 Horns Rev 风电场环境影响评估报告，讨论海上风电场可能带来的一系列环境影响。

物理环境

海上风电场的建设、电缆与海岸的连接，都会对海床有影响，而影响程度与风电机组、变电站、海底电缆的铺设地基位置相关。建模计算和评估表明，对海床的这些影响与来自大自然的变化相比是小巫见大巫了。

海上风电场建成后，地基会覆盖海床的一部分表面，也为动植物提供了一个崭新的栖息地。包括冲刷防护区域在内的地基总覆盖面积将近 $14,500\text{m}^2$ ，其中实际地基上的新表面积为 $12,000\text{m}^2$ ；而海上风电场建成的总面积将达 27.5km^2 ，其中仅 0.5‰ 会对动植物栖息地的改变有所影响。

风电机组地基的位置会影响到它们周围地区的洋流，但是作用力很微小，经建模计算表明总流速会因此降低 2%，而流经 Horns Rev 的洋流对临海区域的水质要求不高。

在建设和维护海上风电场的时候，需要通过飞机和轮船运输一些元件至风电场现场，这可能会产生一些 CO_2 、 NO_x 的空气污染。然而，这些运输对于该区域的海上、空中运输而言是微不足道的。

海上风电场的运行会对海里的石油溢出具有一定风险。风力机和变电站会发生意外情况，船舶驶入风电场地基区域也会导致油污染，抛锚船容易弄断电缆，致使其中的油渗漏。但是意外发生的可能性较小，所能泄漏的油量也很有限。

诸如油污染、底层材料垃圾污染、历史遗残骸的损毁等污染状况都应在设计和建设过程中尽量避免。具体的措施可以是：

- 变电站的柴油箱加至两层壁面，减少漏油危险；
- 用于风力机和变电站，应安装相关系统收集溢出的油；

- 建设作业中的垃圾应根据相关规定收集处理；
- 风电机组上应安装灯具，防止飞机、船舶与之相撞；
- 通往陆上的变电站电缆应埋于海床之中，以防油溢出所带来的麻烦。

生物环境

在 Horns Rev 风电场建造之前，认为在生物环境方面影响最严重的是沿 Jutland 西海岸（不仅仅在 Blå vands Huk）的大规模鸟类迁移。结合该地区的鸟类分布图和鸟类行为的背景知识，认为鸟类在追赶浅滩的鱼类之时极有可能撞上机组叶片，这种情况容易发生在燕鸥、北极贼鸥和塘鹅三种鸟类中，但不会对这三种鸟类的总体数目产生很大影响。

由于物理条件的限制，在该风电场的海床上只有一种稀缺的动植物，则海床部分稀缺动物所在的栖息地会减少大约 0.1%。但是，经过该风电场地基上的气象天线杆进一步观察发现，地基上新增了一些动植物群落；此外，还发现暴风雨带来的沙尘可以清洗动植物所在地基。因此，地基不会受到过多有机污染。

海上风电场可能会以不同的方式影响该地区鱼类的分布。鱼的种类数目不会因此受太大影响，经验表明鱼类，尤其是鳕鱼，会被海床的物理结构所吸引。风机所发出的噪音和电缆周围的电磁区域虽会对鱼类分布有一定影响，但从整体上看，这些影响是可以忽略的。目前已经有相当数量的调查报告评估对鸟类和海洋哺乳动物的长期影响。可供参考的相关文件如——

- Effects of establishing an offshore wind farm at Horns Rev: Environmental impact assessment for birds.
- Bird numbers and distribution in the Horns Rev offshore wind farm area. Annual status report 2004
- Investigations of migratory birds during operation of Horns Rev offshore wind farm. Annual status report 2004
- Hydroacoustic Monitoring of Fish Communities in Offshore Wind Farms - Annual Report 2004 Horns Rev Offshore Wind Farm.....

人类活动

为了观赏海上风电场，在岸上确定了不同的位置，但由于地球的弧度，无法看到 45km 之外的风力机组，其实近一点的距离也是视力所不能达。只有在非常晴好的天气，从 Blå vands Huk(离风电场最近的岸上观测点)才能看到海上风电场，相应的风景评价结论是：“该位置可见到海上风电场，但不同的天气条件会减少或隐藏风电机组的概貌，仅在晴空万里的时候可以见到来自海平线的机组，但机组的高度必须在 97-110 米，否则会被苍茫的天空和大海所淹没”。

到底海上风电场对 Jutland 西海岸的旅游带来了多大的影响，现在还没有

定论。有些人认为这会破坏海岸边大自然的景观，而有些人认为世界上首座风电场是极具吸引力的。

风电场的建设可能会影响到周围的用于商业消费的一些鱼类的活动，使拖网捕鱼工作受阻，尤其是风电场区域和电缆部分严禁捕鱼。应考虑对渔民的经济补偿。但是仅牵涉到很小部分的区域，而且从长远来看，地基可以吸引更多的鱼类从而带来新的捕鱼机会。

通过调查发现海上风电场的机组发出的噪声仅在 1km 距离内可以听到，这表明在陆上是不可能听到风电场的噪音。海上风电场在砂砾提取处的外部区域，不影响原材料的加工提取。另外，在电场建设过程中应留心考古方面的发现。

Horns Rev 海上风电场作为世界上首座真正意义上大型海上风电场，建成已有 3 年多。与其相关的方方面面，无论是基础建设、环境问题，抑或是运行故障、维修方法以及经验总结，都是业内人士的关注重点。故 istis 还将继续跟踪聚焦 Horns Rev 海上风电场的运行故障与经验总结，敬请期待。

——10月17日，绿色和平组织在网站推出《风力广东》报告。这是绿色和平组织委托世界著名风能顾问：加勒德哈森伙伴有限公司（GH）和中山大学工学院风资源研究中心联合撰写，调查广东陆上及海上风能资源开发潜力的报告。

从《风力广东》出炉看国内外风力发展前景

《风力广东》报告主要在对风能资源规模进行评估的基础上，勾画了广东省风力发电的蓝图；同时，因为是国内外机构联合参与完成的调研，因此该报告研究视角立足广东，并放眼全国，甚至全球。通过报告了解广东风电的情况，了解国内和国际的现状，并与上海自身比对，此为值得关注的一个亮点。同时，由国际机构推出针对国内某地区风力发展的研究报告，这件事情本身也值得关注。这表明国内某些地区具备了相当的国际视野，同时，也说明国际上对国内风电市场的强烈关注。



国际风电发展扫描

风电大规模发展是一个全球现象。2004年，全球范围内风电新装机量达到8GW，仅风机制造业就创造产值80亿欧元，所生产的电力足够供应1900万个普通的欧洲家庭。现在风电已在全球范围内得到发展，现代化的风电场可以产出与传统能源发电站相当的发电量。将来，人类可以看到技术进步带来的更大收益。

从历史角度看，在以德国、西班牙和丹麦为首的一些国家努力下，这项工业已经取得了成功。现在，风电在这些国家扮演着如此重要的角色，风电的中心地位无可置疑。仅仅从这三个国家已取得的技术成就来看，目前已开发的风电技术可能只是冰山一角，还有巨大的潜力有待挖掘。在积极的政策法规之下，未来的20年，风电产业的成功故事一定会被续写。并且，新的领袖将出现——中国已将自己放到了风电发展的全球版图上，准备大显身手。

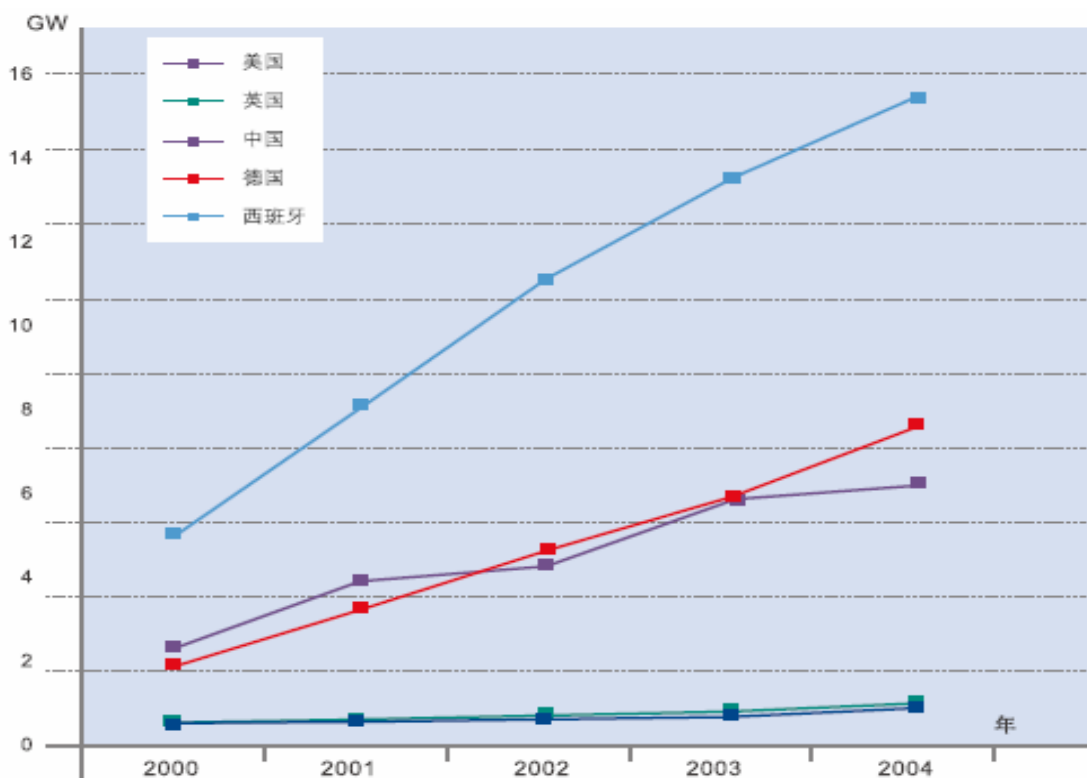
中国风电发展的现状与不足

中国风电开发的过程及其发展可以分为两个阶段：示范阶段（1986-1993）和商业化阶段（1993年至今）。中国第一个风电示范项目在1986年投产。截至2004年底，中国已经有43个风电场在运转，总共有1292台风电机组，764MW

的装机容量。超过 14 个不同省份发展了风电场。其中发展较好的前五位分别是：内蒙古（135MW）、辽宁（126MW）、新疆（113MW）、广东（86MW）和宁夏（55MW）。

2004 年底，已有 528MW 的新增风电容量投入建设。估计到 2005 年底，全国装机容量将超过 1000MW。

图 1：2000-2004 年中美英德西五国累计风电装机量



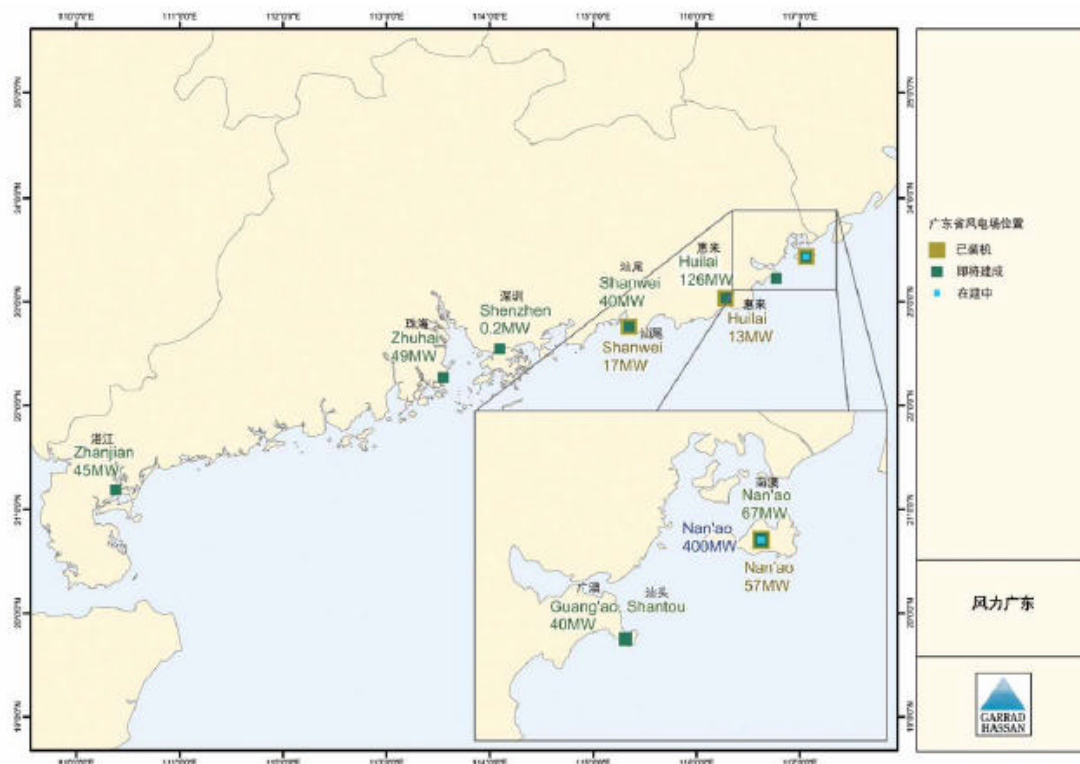
上图比较了英国、美国和中国最近的风电装机容量的增长情况。三个国家潜在风能的实际利用率都非常低。就中国评估情况看，中国陆上风能储量为 253GW，离岸风能储量为 750GW。而当前的装机容量仅占这个评估储量的 0.1% 还少。

从累计装机容量看，美国排在世界第三位，仅落后于德国和西班牙。中国则排在世界第十位，在英国之后。从总体的发电容量看，美国、英国和中国的风电装机容量占该国总发电总量的百分比都少于 1%——中国为 0.17%，英国为 0.84%，美国为 0.72%，而西班牙和德国恰恰相反，他们的风力发电比例相对较高，达到了 14-18%。在西班牙和德国，风电机组都是当地制造，这点毋庸置疑地促进了风力发电在该国取得成功。德国和西班牙的经验表明，激励政策以及相关的政策在促成风电发展方面起到了极重要的作用。

广东风电发展的前景

2004 年底，广东省风能装机容量为 86MW，包括三个风电场，共 179 台风电机组。同时，广东已经获得一个特许项目权项目，在惠来建设一个 100MW 的风电场。预计在 2006 全部机组投产。

图 2：广东现有和已规划的风电场



对广东以及香港地区来说，发展风力有着优良的条件：广东地域辽阔，海岸线长，风能资源充足，风速与世界风能优势国德国相似。此外，该省还具有良好的工业环境和投资资本，而该省技术企业和研究机构也能给风电的发展给予强有力的支持。广东政府早已抓紧机遇建设风电，并为风电产业提供了政策优惠，设定了开发目标。这份报告显示，广东省开发风电的雄心和胆识已经显露。

在积极的政策支撑下，到 2020 年，广东风电可实现 20GW 的装机容量。如果这个目标成为现实，广东每年风力发电将会达到 350 亿 KWh 相当于广东 2003 年电力需求的 17%。同时，每年可因此减少 2900 万吨二氧化碳的排放。这个切实可行的目标显示了风力发电在广东的发展中将扮演主要角色。同时这也是一个明显的征兆，广东省政府已推出积极举措，选择风力作为发展清洁能源的第一步，它将会在已有的计划上迈向更伟大的未来。

广东省政府是在风能发展态度上最主动积极的地方政府之一。该省也是唯

——一个在《可再生能源法》发布之前，就已经出台与有关国家条文相应的旨在支持风力发展规定的省份。2001年7月，广东省出台了《促进我省风电发展的意见》。

2004年，广东省政府为进一步规范对上网电价的管理，发布了《关于公布风电项目上网电价的通知》。通知规定了风电的上网电价（含税）为0.528元/千瓦时，并且这个价格不包括风电场配套送出工程的各项费用。下表为全国风电开发目标及处于前五位省份的情况。

表1：全国风电开发目标及前五位省份情况

省份	2004	2005	2010	2015	2020
河北	35.1	119.6	1,120	1,720	2,500
江苏	0	0	450	1,150	2,000
内蒙古	135.1	165.1	400	1,400	2,000
广东	86.4	107.9	260	760	1,500
福建	12.8	22.2	170	670	1,500
全国(MW)	764.4	1,000	4,000	10,000	20,000

2006年初，国家将出台的《可再生能源法实施细则》明确规定，在新的法律框架下，各省可以根据自己的实际情况，制定更加优惠的政策，以鼓励包括风电在内的可再生能源的发展。广东省政府公开表示，他们相信广东的风电发展将高于国家初步规划的增长目标。广东省最近制定了一个地方计划（见《粤港合作拓风电 2020年规划目标 300万千瓦》一文¹），将广东省的目标提高至在2020年达到3GW，是国家给定目标的两倍。而广东省气象局预测广东可开发的陆上及海上风电达20GW，并在接下来的五年内将有迅速的发展。

关于风电设备技术发展趋势

过去二十年，各种各样的风机配置都曾经使用过。而当前业界达成的共识是，将来的风机将会使用风机配置技术趋势表中右下角的配置，即风机带有三叶片、带变速驱动器、偏航轴承。这样的趋势是技术和市场共同的结果。有些风机会取消齿轮箱（比如直驱式风机），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，但由于目前海上风电市场的开发程度有限，要预见它们具体的结构非常困难。

¹ <http://www.newenergy.org.cn/news/2005-8/200586799.html>

表 2：风机配置技术趋势表

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						共识?		⊗

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，简单地说他们只是体型大些，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。一个可能得到普遍使用的做法是使用新材料，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，特别是考虑风机安装在条件恶劣的海上环境中，海上风电会受到层出不穷技术的挑战，包括设计制成结构合同路的解决方案。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。

关于风力发电的成本预期：英国创新评估及能源白皮书

英国政府官方的《能源评论》2报告中，对未来单位电力的生产成本作了完整的比较。

表 3：英国政府关于几种能源成本的估算

技术	2020 单位电力成本, 5-15% 折扣率		对估计值的信心
	p/kWh	£cents/kWh	
光伏发电	10-16	18-28.8	高
路上风电	1.5-2.5	2.7-4.5	高
海上风电	2-3	3.6-5.4	中
植物能	2.5-4	4.5-7.2	中
波浪能	3-6	5.4-10.8	低
不排出二氧化碳的化石能源	3-4.5	5.4-8.1	中
核能	3-4	5.4-7.2	中
联合循环燃气机组(CCGT)	2-2.3	3.6-4.1	高
整体煤气化联合循环(IGCC)	3-3.5	5.4-6.3	中

(1) 兑换率：1英镑=1.8美元

²英国工贸部 (DTI), 能源白皮书：我们未来的能源——创造低碳型经济，2003 年 2 月

