

中国科学院国家科学图书馆

# 科学研究动态监测快报

---

2010年1月1日 第1~2期 (总第126~127期)

## 资源环境科学专辑

国际能源署 (IEA) 《风能技术路线图》专辑

中国科学院资源环境科学与技术局

中国科学院规划战略局

中国科学院国家科学图书馆兰州分馆

---

中国科学院国家科学图书馆兰州分馆  
邮编: 730000 电话: 0931-8271552

甘肃省兰州市天水中路8号  
<http://www.llas.ac.cn>

## 目 录

### 风能技术路线图

前言 .....	1
路线图得出的关键结论 .....	1
1 引言 .....	2
2 当前风能状况 .....	5
3 风能推广前景与CO <sub>2</sub> 减排 .....	7
4 风电技术的开发和推广: 行动和里程碑 .....	12
5 传输与系统集成: 行动和里程碑 .....	19
6 政策框架: 行动和里程碑 .....	23
7 国际合作: 行动和里程碑 .....	27
8 路线图行动规划和下一步的工作 .....	29

# 风能技术路线图

国际能源署 (IEA)

## 前言

从经济、环境和社会角度来看，目前的能源供应和使用趋势明显是不可持续的。如果不采取果断行动，到 2050 年与能源有关的CO<sub>2</sub>排放量将增加一倍以上，增加的石油需求将加大对能源供应安全问题的忧虑。我们能够而且必须改变我们目前的能源利用方式，而这将需要能源革命和低碳能源技术发挥关键作用。如果我们要实现我们的温室气体 (GHG) 排放目标，就需要提高能源效率和广泛推广多种类型的可再生能源、碳捕获与封存 (CCS)、核电和新的交通运输技术，而且各主要国家和经济体都必须参与。如果我们要确保目前的投资决定不会造成未来我们需要长期忍受不理想的技术，这项工作也很迫切。

迫切需要将政治声明和分析工作转化为具体行动的意识正在不断加强。为了发起这次行动，在G8 集团的要求下，国际能源署 (IEA) 正在制定一些最重要技术的系列技术路线图。这些路线图对促使国际社会对一些具体技术的推进提供了坚实的分析基础。每一个路线图都制定了一种特殊技术到 2050 年的发展路径，并确定了技术、资金、政策以及公众参与的阶段目标，要发挥该技术的全部潜力就必须实现这些目标。路线图中还包括了有关技术开发和传播到新兴经济体过程中需要特别关注的问题。国际合作对实现这些目标将是至关重要的。

风能也许是“新的”可再生能源技术中最先进的，但仍有许多工作要做。为了到 2050 年实现超过 2000GW 的风能发电装机容量目标，风能技术路线图确定了一些必须采取行动的关键任务。这一目标的实现，需要政府、产业界、研究机构以及更广泛的能源部门的共同努力。应该确定出最好的技术和政策实践并与新兴经济体的合作伙伴进行交流，以达到最具成本效益的良性发展。随着对路线图所提出建议的实施，以及随着技术和政策框架的完善，不同技术的潜力可能会得到加强。国际能源署将不断更新对风能和其他低碳技术的未来潜力分析，同时在路线图的发展完善过程中欢迎利益相关者的参与。

## 路线图得出的关键结论

### (1) 关键结论

风能路线图的目的是：到2050年，风力发电量将占到全球电力供应量的12%；届时2016GW的装机容量每年减排28亿吨CO<sub>2</sub>当量；路线图还认为对实现甚至超额完成这些目标而言，不存在根本性的障碍。

要实现上述目标：需要在2010—2050年期间投资约3.2万亿美元；在今后40年中，年均新增装机容量将从2008年的27 GW增加到47GW（比2008年增加75%），年均投资

将从2008年的518亿美元增加到810亿美元。

风能是一种全球性的可再生能源资源。虽然目前OECD国家以及中国和印度在风能利用方面处于领导地位，但到2030年非OECD经济体的风力发电量将占到世界的17%，在2050年将上升到57%。

陆上风电技术已经得到验证，在风力资源丰富地区和在将碳成本反映到市场之时，风电可能具有一定的竞争力。目前风电生产的单位成本介于70~130美元/MWh之间。随着技术进步、推广应用和经济规模化，到2050年风电投资成本将有望再降低23%，但在风电具有完全竞争力之前，仍需要过渡性的支持以激励风能的利用。

海上风电技术在实现商业化方面得到了进一步发展，虽然海上风力资源的质量可能要比陆上好50%，但目前海上风电投资成本是陆上的2倍，预计到2050年海上风电投资成本将削减38%。

为了保障风能的市场突破，必须加强对此进行支撑的电力系统的灵活性以及市场功能。电力系统的灵活性与灵活的风电生产、存储和需求响应的实现有关，同时更大、变化更快的电力市场、智能电网技术以及在系统调度中输出预测的使用大大增强了电力系统的灵活性。

为了得到公众支持和消除社会环境问题，需要改进对风电的社会和环境影响及风险进行评估、最小化和减轻的技术，也需要对风能的价值以及实现气候目标和保护水、空气和土壤的作用进行宣传。

## **(2) 今后 10 年的关键行动**

基于市场预测设定长期目标以促进投资和降低成本，并建立合适的碳定价机制。

考虑到对其他电力系统的需要以及对土地/海洋的竞争性使用，需要提前规划新的风电厂以吸引投资。

确定领导机构，协调先期输电基础设施规划以实现在风能资源丰富的地区生产电力以及电力系统的相互连接，制定输电设施建设的激励措施，评估电力系统的灵活性。通过提高公众对风电的好处和对额外输电设施需求的了解（包括战略性的CO<sub>2</sub>减排、供应安全和经济增长等），增加社会的认可度。

促进与发展中国家交流最优实践经验，对风电发展中的一些瓶颈问题开展针对性的技术开发融资，进一步在发展中地区推广碳融资方案。

## **1 引言**

目前迫切需要加快发展先进能源技术，以解决清洁能源、气候变化和可持续发展的全球挑战。2008年6月在日本青森举行的会议上，G8集团国家、中国、印度和韩国的部长们公认了这一挑战，他们宣布，希望由国际能源署来制定路线图，推动能源技术创新。

在国际能源署的支持下，将设立国际创业基金，用于制定创新技术的路线图以及加强现有成员和新成员间的合作。重申在海利根会议做出的承诺，紧急开发、推广和

促进清洁能源技术；同时认可和鼓励使用广泛的政策手段，如透明的规章制度、经济和财政激励措施以及公/私合营公司，以促进私营部门在新技术方面的投资。

为了实现这一雄心勃勃的目标，国际能源署已经在此方面做出了努力，在国际社会的指导下及与产业界密切的磋商下，制定了包括19项技术的一系列全球技术路线图。这些技术均分为需求方面技术和供应方面技术两方面。该风能路线图，就是目前正由国际能源署制定的先期路线图之一。

总的目标是通过促进全球风能的发展和应用关键技术，到2050年实现CO<sub>2</sub>排放当量比2005年降低50%。该路线图将使政府与产业和金融伙伴一起，确定所需的步骤和贯彻措施以加速所需技术的开发和示范。

这一过程始于这样一个问题，即能源领域的“路线图”由什么构成，应该包含哪些特定要素？因此，国际能源署确定的风能全球技术路线如下：

参与技术路线图制定的利益相关者确定了一系列动态的技术、政策、法律、金融、市场和组织要求。这种努力将有助于改进和加强参与者之间的信息交流和合作，这些信息包括所有与技术有关的具体研究、设计、开发和推广（RDD&D）方面的信息。目的是加速全面的研究、设计、开发和推广过程，以便将具体技术的早期示范引入市场。

### 1.1 风能基本原理

国际能源署《能源技术展望2008（ETP）》提出，如果不采取新的政策措施，到2050年，能源部门的温室气体排放量（GHGs）将比2005年的水平增加130%。

应对这一增长，将需要能源技术革命，涉及到以下一些解决方案的组合：更高的能源效率、可再生能源、核电以及几乎脱碳的化石燃料发电。《能源技术展望（ETP）》蓝图情景认为，最具成本效益的温室气体减排策略是到2050年削减一半，估计风电将占整个能源部门所要求减排量的12%（图1）。该风能路线图的制定就是基于这一情景目标。

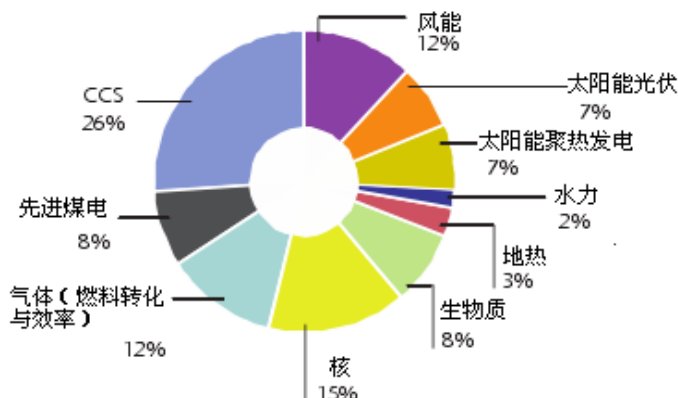


图1 《能源技术展望》蓝图描绘的2050年电力部门CO<sub>2</sub>减排构成  
关键点：2050年风电将占到全球CO<sub>2</sub>减排量的12%

除了风电的CO<sub>2</sub>效益，电力部门的污染物（如硫和氮的氧化物）排放量也减少了。在许多国家，水质和空气污染问题是受到高度关注的问题，而由于所反映出的

地方环境效益，风能极具吸引力。像其他基于可再生能源的发电技术一样，风能在全世界各地均可广泛获得，并可有助于降低能源进口依赖以及无燃料价格风险或限制。

在炎热或干旱地区，广泛应用淡水进行热电厂冷却的问题将得到高度关注。对存在水资源压力的地区而言，与热电技术相比，风能技术的主要优势是对水的消耗量非常低。

这一问题在中国已经成为一个重要的问题，在印度也日益得到关注，同样也在经合组织成员国如美国得到关注。

## 1.2 风能技术路线图的目标

风能技术路线图的目标是确定出必须得到解决的主要任务，以达到其提出的风能技术推广愿景。风电的生产成本不是风电推广的惟一障碍。更广泛地说，在这里讨论的，控制可靠传输和系统整合的系统性问题、基础设施的社会认可度以及市场结构在风电推广方面至少具有同样的重要性。

路线图并没有试图涵盖风电技术和推广的每个方面。例如，没有提到小型风电和离网电力系统（off-grid systems）。这表明路线图仅受国际能源署资源的约束，而不是受重要性与否的限制。该路线图也不是作为风能初学者的学习指南。为了简便起见，仅包含了重要的说明性文字。路线图网站提供了进一步的背景资料和阅读的连接。

路线图的编制利用了来自风电行业、电力部门、研发机构、金融和政府机构等利益相关者的广泛投入。为了确定技术和推广问题举办了两次研讨会，随后的草案路线图，在与与会者和另外的评论人员之间广泛交流。

早先的路线图得到确认并成为这一路线图过程的重要参考基础。这些路线图包括美国能源部的报告“2030年风能占到20%”，日本自然资源和能源机构的“能源技术战略图2007”，以及欧洲风能技术平台（Wind Energy Technology Platform, TPWind）的2008年“战略研究议程”。

该路线图应被视为一项正在进行的工作。随国际能源署分析的进步以及2010年发布新的能源技术展望版本，将会出现新的数据，为路线图情景和设想的更新提供依据。更重要的是，随技术、市场、电力部门和监管环境的不断发展，更多的任务将显露出来。

最后，这个路线图的目的是确定行动以加速风能的全球推广。在一些市场，某些行动已经完成，或将要进行；但许多国家，尤其是在新兴经济体地区，才刚刚开始发展风能。因此，里程碑日期应被视为强烈推荐，而不是绝对。

## 1.3 路线图的内容和结构

该路线图在组成上分为7个主要部分。第一节对当前风电行业的现状进行了探

讨，接下来的一节对《能源技术展望2008》蓝图情景提出的2010年至2050年间的风能推广目标进行了讨论。关于风能推广目标的讨论，包括对风力发电项目的区域分布情况以及实施这些项目的投资需求、风电厂的运行成本和风能的总成本等信息。

接下来的4个小节描述了应对重大挑战需要的方法和具体任务，在4个主要区域推广大型风电，即风电科技发展、电网规划和整合、政策框架发展和公众参与以及国际合作。

最后一部分讨论下一步的行动以及前面章节中由利益相关者（政策制定者、产业和电力系统的参与者）提出的行动和里程碑时间的分类，以帮助指导在执行过程中成功完成路线图行动和实现全球风能推广目标。

## 2 当前风能状况

### 2.1 现状

从20世纪70年代开始，由于风能资源具有巨大的能量储量，风电已成为全球性的产业。2008年新的风能投资已达到51.8亿美元。繁荣的市场存在于资源配置恰当的条件下。2008年，丹麦的电力消费中有20%是由风能提供的，在葡萄牙和西班牙达到11%，在爱尔兰和德国达到了7%，在欧洲这种比例达到了4%，而在美国这种比例达到约2%。

#### 现代风力涡轮机技术

与涡轮机相联的电网平均额定功率为 1.6MW。涡轮机利用位于逆风塔上的具有 3 个叶片的水平转子从风力提取能量，通过 3 个叶片的角度变化可以控制与发电机变速箱相连的轴承的角速度，所有这些都装在被装在位于塔顶的“风机舱”内。其他设计变化还包括双叶片转子、代替传统变速箱和高速发电机的与直径低速发电机相连的激励装置。当前的海上风力涡轮实际上是将陆上涡轮利用海风工作，但需要加强防腐保护。

风力涡轮机发电的风力范围是 4~25m/s。风力涡轮机的有效性是指它能够使用的时间。因而，有效性提供了涡轮机运行与维护所需的有用指标，以及通常所讲的技术可靠性。陆上有效性高达 97% 以上。海上涡轮机有效性约在 80%~95% 之间，表明这项技术还不够成熟。

风电与传统电力生产最重要的区别是风电输出随风力大小而变。即使是风速适合运行，风电厂也不可能全负荷发电。当风能发电效率增长突破约 10% 时，这一可变性特点的重要性更加突出，最终需要调整电力系统在这一水平的运行和设计，以维持可靠性。这个可变性特点很重要，如能量增长10%以上，就需要进行调整，维持它的移动性。

如果读者需要一步了解风能技术，可以参考近期欧盟风能协会（the European Wind Energy Association）出版的《风能的本质》（Wind Energy-The Facts）报告。

自2000年以来，风能累积发电装机容量以每年30%的速率增长。2008年，50多个国家拥有已超过27GW的风电装机容量，从而使全球陆上和海上风电装机容量达到121GW。全球风能理事会（Global Wind Energy Council）估计2008年风能产生了约260TWh的电力。

相对于陆上情况来说，海上风能开发正处于早期阶段。世界第一家浅水风电厂

建立于1991年，距离丹麦海岸将近3公里。到2008年年底已建成约1.5GW的海上风电产能，主要在波罗的海、北海和爱尔兰海：远离丹麦、英国，荷兰、爱尔兰、瑞典和比利时的海岸。此外，在中国、德国、意大利和日本也安装了海上涡轮机，而同时加拿大、爱沙尼亚、法国、德国、挪威和美国等计划实施更多的海上风电项目。

6个国家几乎垄断了全球所有的涡轮机制造。尽管在2008年丹麦只拥有接近全球3%的风电装机量，但全球1/3的涡轮机是由丹麦公司所制造。其他的主要涡轮机制造国家有德国、西班牙、美国、印度和中国，但组件供应国则相对要广泛。

## 2.2 经济

在特定条件下，陆上风电与现今新建的常规电厂相比具备竞争力，例如，在碳成本得到有效体现、资源好、常规发电成本高（如加利福尼亚州）的地区。在欧洲排放贸易体系下建立的稳定的意义深远的碳价，使得在欧洲许多地方风电与新建燃煤电厂竞争是可能的。然而，竞争力并不是主要控制因素，风电行业的主要目标是减少能量循环（LCOE）的成本。因此，该路线图将与传统电力生产相比的竞争力作为重要目标，实现这一目标很必要，其可以鼓励市场更多地向风力发电投资。

在对所有类型电力生产技术和燃料原成本的完全评估中，应当考虑外部性成本（社会经济成本）。将诱发的气候变化成本、污染成本引入电力市场，可以对清洁能源生产产生新的利润，增加包括风能在内的清洁能源的竞争力。

### （1）投资成本

据报道，2008年欧盟陆上风能发电项目的投资成本（涡轮机、电网连接、基础设施等）在（1.45~6）百万美元/MW之间。在北美洲，投资成本在（1.4~1.9）百万美元/MW之间，日本在（2.6~3.2）百万美元/MW之间。印度和中国的成本在1百万美元/MW左右。从20世纪80年代后期，投资成本在持续下降了一段时期之后，又于2004年再次上升，就美国来讲成本增加了一倍。这种价格的上涨是由于涡轮机与一些部件（包括变速箱、叶片、轴承等）的供给无法满足不断增加的需求；同时，特别是铁和铜等常用材料价格的提高也是造成风电成本增加的次要原因。而流通的衰退又使涡轮机市场得以复苏，而供给瓶颈又在市场恢复时重现，特别是对制造厂的投资受阻，使得投资成本再度膨胀。

### （2）能量循环成本

风能能量循环成本受到投资成本、风能资源质量、运行与维护需求、涡轮机寿命和使用时间、以及投资资本的影响。区域差别，如地理位置、人口密度、调节过程导致开发和安装成本的不同，并最终影响风能能量循环成本。该路线图表明，风能的能量循环成本介于最高的70美元/MWh到最好情况的10美元/MWh之间。美国能源部（DOE）的风能技术市场报告估计，2008年全美国风能产值效益为47美元/MWh。这个价格包含了联邦的产品税减免（报告称该税至少为20美元/MWh），



以及州一级的激励措施。

### **(3) 运行与维护**

风电涡轮机的运行与维护成本包括：服务、备件、保险、管理、场地租金、易耗品和用电量，用电最是风电项目成本的重要构成部分。由于数据量少，外推总成本很困难。此外，由于技术进步快，依据涡轮机的复杂程度和使用年限不同，操作与维护成本也存在差异。例如，美国最近的一份项目评估表明，2000年以后的项目在1990时运行与维护成本为33美元/MWh，而2000年为8美元/MWh。

### **(4) 海上成本**

由于数据有限，加之项目的性质差别较大，对于海上成本的平均估计很困难。在海上项目中涡轮机成本只占投资成本的一半，而在陆上项目中要占到3/4。其余的成本主要是基础设施和电缆，取决于其离岸的距离与海水的深度。海上风能的投资成本是陆上风能投资的两倍多。在2008年，英国海上投资成本达到310万美元/MW，德国和荷兰为470万美元/MW。

海上风电能量循环成本已从2005年的110美元增加至2008年的131美元。海上较高的风速意味着海上风电厂可比陆上多生产约50%的电量，在某种程度上说可以获得更高的投资回报。有报道称英国在海上已建的风电项目的运行和维护成本在2005年为21/MWh，2007年为48美元/MWh。

## **3 风能推广前景与CO<sub>2</sub>减排**

最新的预测表明，全球可以利用的风能资源是全球能源需求量的好几倍。最近欧洲环境署所做的一项评估表明，欧盟的风电潜力大约为30400 TWh，是2030年电力需求的7倍。一份针对美国风能资源的报告指出，美国可获得的风能资源在8000 GW以上，其成本在85美元/MWh以下，这相当于该国现有发电能力的8倍。

尽管可以满足人类电力需求的风能潜力很大，但是目前可以经济有效地利用的风能资源还是很少。这一经济学上的成本效益潜力将随着时间的推移和技术的成熟而增加，而能源的成本将会降低，电力系统也会不断发展，因而风能发电量也会相应地增加。

### **(1) 蓝图情景：CO<sub>2</sub>减排目标**

到2008年底，预计已建成的风电厂每年可减少CO<sub>2</sub>排放量2.3亿吨。本路线图以国际能源署(IEA)发布的《能源技术展望》中的蓝图情景(BLUE Map scenario)作为出发点，预计2050年风电的推广将使电力部门的CO<sub>2</sub>排放量减少12%。在这种情景下，2050年全球的电力生产几乎全部基于零碳排放的能源技术，包括利用可再生能源发电(46.5%)、采用碳捕获与封存技术的化石燃料发电(26%)和核能发电(23%)。

在风电厂的整个生命周期中，CO<sub>2</sub>排放量是可以忽略不计的。虽然风电的不稳

定性带来了一系列挑战，却不能否定其在温室气体减排方面的作用。当风能等不稳定的可再生能源不能发电时，就需要灵活的储备能源，而这些灵活的储备能源所产生的CO<sub>2</sub>排放量远远少于增加风力发电的装机容量所避免的排放量。在蓝图情景下，天然气的发电能力可以支持不稳定可再生能源每年满负荷运作 440 个小时，或者每周 8.5 个小时。

### 《能源技术展望》蓝图情景

这一路线图概述了今后至 2050 年间全球风力发电利用的发展路径，并提出了一系列定量和定性措施。该路线图从国际能源署《能源技术展望》中的蓝图情景出发，描绘了到 2050 年能源技术如何发展，以实现全球CO<sub>2</sub>排放量在 2005 年水平上减少 50%的目标。考虑到诸如自然资源的可获得性等限制，这一自下而上的MARKAL模型利用成本优化方法，来确定能源技术与燃料的低成本组合，从而满足能源需求。《能源技术展望》模型可以分析全球 15 个地区能源系统的燃料和技术选择。模型广泛代表了包括 1000 个单独技术在内的技术选择。该模型已经开发了多年，并且已在全球能源部门的许多分析中使用。此外，针对工业、建筑业和交通部门的所有主要终端使用的需求方模型对《能源技术展望》模型进行了详细补充。

到 2030 年，风电的装机容量将超过 1000 GW，预计每年的风电产量将为 2700 TWh，相当于全球发电量的 9%。到 2050 年，风电的装机容量将超过 2000 GW，发电量将增加到 5100 TWh，占全球发电量的 12%（图 2）。《能源技术展望》研究的一个关键信息是任何单一的能源技术方案都不可能解决气候变化、能源安全和获取的多样性的挑战。《能源技术展望》模型是在一系列技术竞争中产生的，由此产生的技术组合反映了CO<sub>2</sub>减排的最低成本选择，而不是最大可能地利用风电。图 2 说明了 2050 年可再生能源在全球电力结构中的作用。

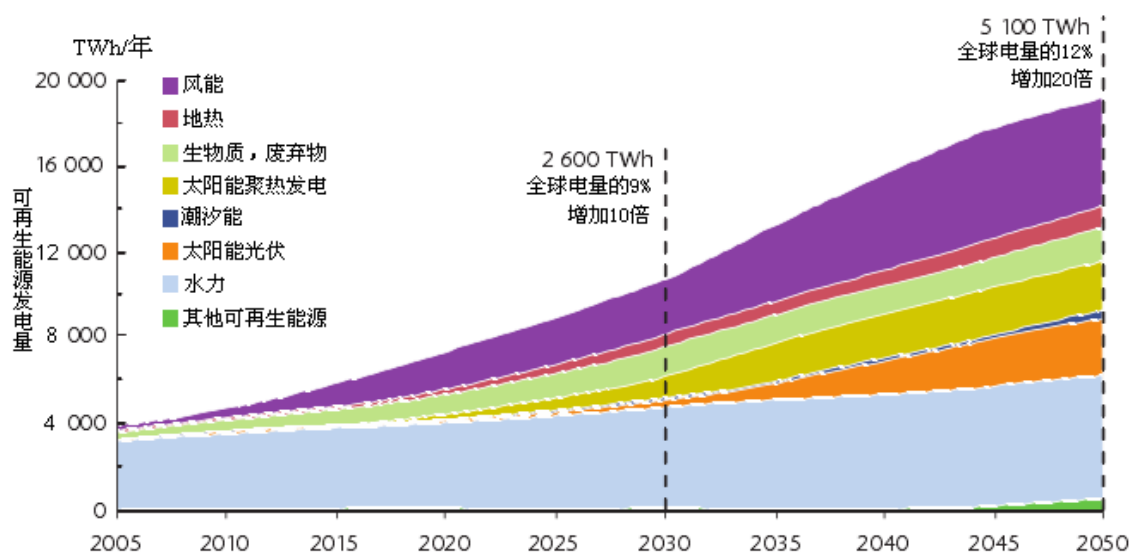


图 2 2008 年《能源技术展望》蓝图情景预测 2050 年源自可再生能源的电力生产  
关键点：2030 年和 2050 年风力发电量将分别在 2008 年的水平上增加 10 倍和 20 倍

风电行业表示，如果世界各国政府尽快采取强有力的行动来支持风力发电，那么发电量将大幅度地增加。风电行业预计，2030 年风能推广将达到 5400 TWh，2050

年将达到 9100 TWh。

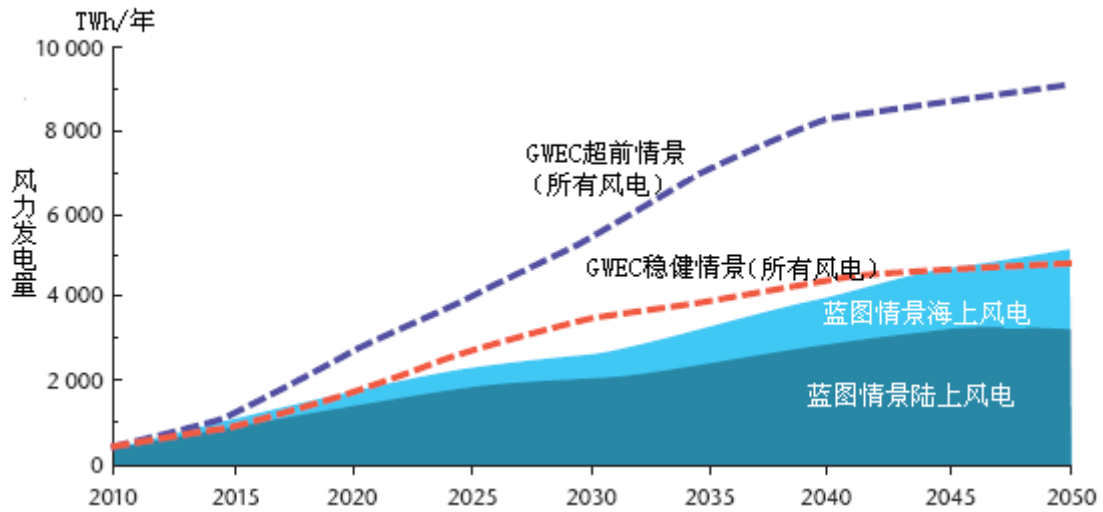


图 3 2008 年《能源技术展望》蓝图情景和风力发电行业分析的风力发电量

关键点：风力发电行业的预测显示，2050 年风力发电的潜力要比蓝图系列情景高 80% 以上

海上风力发电的成本仍然较高，因此风力发电主要集中在陆地。目前的海上风电厂几乎全部位于北欧，因为其具有良好风力条件的土地资源比北美和中国稀少。此外，水的深度是海上风电需要考虑的一个关键成本因素，而绝大多数的海上风电都分布在北半球、波罗的海和爱尔兰海，这些地方都是大陆架（浅海）地区，因而在这些地方开发风能的成本要低于深海地区。因此，加强海上风电技术的研发工作，对实现低成本高效益的风能路线图目标具有至关重要的意义。

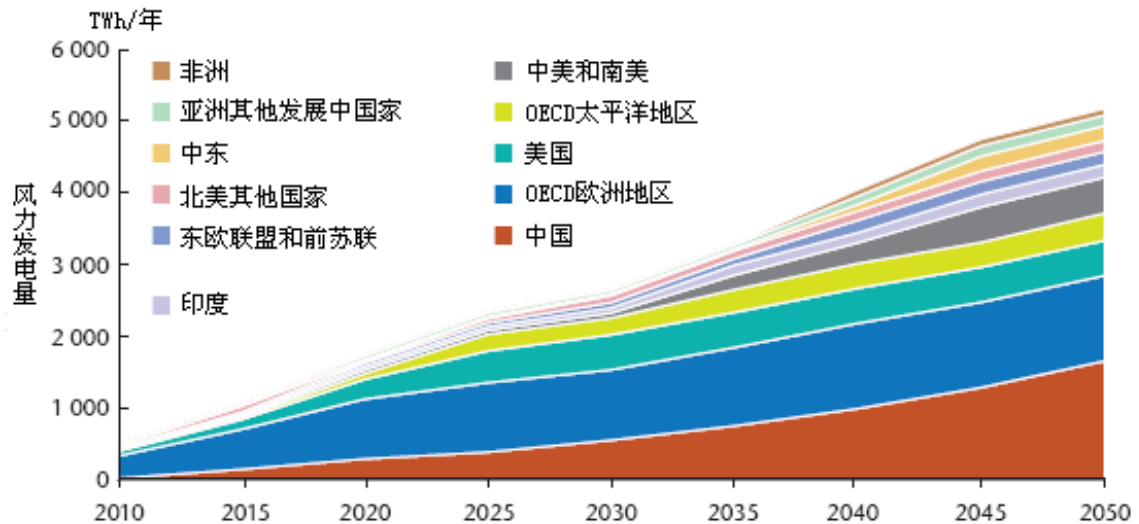


图 4 2008 年《能源技术展望》蓝图情景下各地区的风电量

关键点：在此期间的主要市场为中国、OECD 欧洲国家和美国。2020 年后，OECD 太平洋地区的重要性日益明显，2030 年后，中美洲和南美洲的重要性日益突出

根据蓝图情景，2020 年 OECD（经济合作与发展组织）欧洲地区仍然是风力发电的主要市场，其次是美国和中国。到 2030 年，中国将超过美国（二者发电量分

别为 557 TWh 和 489 TWh), OECD 太平洋地区将成为一个重要市场(发电量为 233 TWh)。到 2050 年,中国将以 1660 TWh 的风电量跃居世界第一,其次为 OECD 欧洲地区和美国,其风电量从 2030 年起就保持稳定,随后是 OECD 太平洋国家、中美洲和南美洲。2050 年印度、非洲和中东地区等其余地区的风电量将占全球的风电产量的 20% (图 4)。

在蓝图情景下,风能每年所实现的CO<sub>2</sub>减排量将达到 2100 Mt,超过了情景中 2050 年的参考减排量。中国的贡献最大,避免的CO<sub>2</sub>排放量达 635 Mt;其次是OECD 欧洲地区,为 462 Mt;中美洲和南美洲为 215 Mt (图 5)。

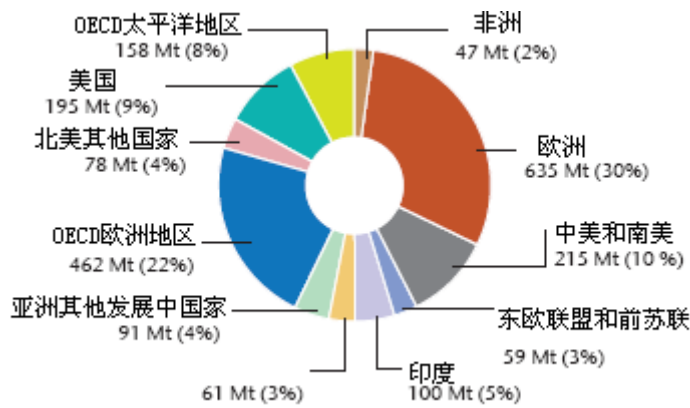


图 5 2050 年的CO<sub>2</sub>减排量（超过IEA对风能可实现的减排量的参考值）

关键点: 较小的风力市场为CO<sub>2</sub>减排做出重要贡献

## (2) 与其他情景的比较

在预测全球风能增长方面,《能源技术展望》中的蓝图情景与全球风能理事会(GWEC)的超前情景(Advanced Scenario)之间有重要的区别。特别地,两种情景对目前风电装机容量很小的地区确定了不同的加速增长途径。例如,全球风能理事会的超前情景预测,2030 年印度、东欧、前苏联国家、中东地区、亚洲其他发展中国家和非洲的风电装机总容量将超过 630GW。相比之下,《能源技术展望》中的蓝图情景预测这些地区的风电装机总容量仅为 100GW。全球风能理事会的超前情景预测的北美和中国的市场规模也是《能源技术展望》蓝图情景的 2 倍,分别为 520GW 和 451GW。

美国能源部最新发布的报告《到 2030 年实现 20% 的风电》预计到 2030 年风电的装机容量将达到 300GW,而《能源技术展望》蓝图情景的预测值为 211GW。该情景预计给欧盟在稳健情景和超前情景下规定的风电行业的装机容量将分别达到 300GW 和 350GW,而《能源技术展望》蓝图情景预测值为 360GW。中国可能会采取到 2020 年实现 100GW 风力发电的官方目标,小于《能源技术展望》蓝图情景预测的 128GW。因此,尽管风力发电利用有不同的发展途径,但是本路线图及其依据的《能源技术展望》蓝图情景,都代表了全球风能发展的主要现实路径。

### 3.1 降低成本的潜力

技术创新仍然是减少风能生命周期成本（LCOE）的一个关键驱动因素。自 20 世纪 80 年代以来，陆上风力涡轮机的成本（占总投资成本的 75%）已经下降了 75%，尽管 2004 年以来，由于供应不足，导致价格膨胀，及其他商业因素，成本的降低并没有得到充分体现。

直到最近，加大涡轮机是降低成本的一个重要驱动因素，但是在涡轮机经济有效地扩展之前，还需要负担得起具有较高强度质量比的材料。然而，通过充分的研究工作，技术创新将通过转子持续提高能源捕获量（尤其是在风速较低、地形复杂和湍流情况下）；增加海上风电场可以运营的时间；减少运行与维护的需求；延长涡轮机的寿命；减少零部件的成本。此外，新市场的开发以及由此产生的经济规模和强大的供应链，都有进一步降低成本的潜力。

《能源技术展望》蓝图情景假设，到 2050 年，陆上风能和海上风能的“学习率（learning rate）”分别为 7% 和 9%。在 2010 年，陆上投资成本为 170 万美元/MW，到 2030 年将减少到 140 万美元/MW，2050 年将减少到 130 万美元/MW（图 6）。在此期间，总成本降低了 23%。分析预测，到 2030 年陆上运行与维护的成本降低 17%，2050 年降低 23%。

美国能源部预计，到 2030 年陆上风能的生命周期成本将会减少 10%，而平均容量因子增加 6%。美国能源部发布的《到 2030 年实现 20% 的风能》报告预计，运行与维护的总成本将减少 14%（占不定期的运行和维护成本的 37%）。

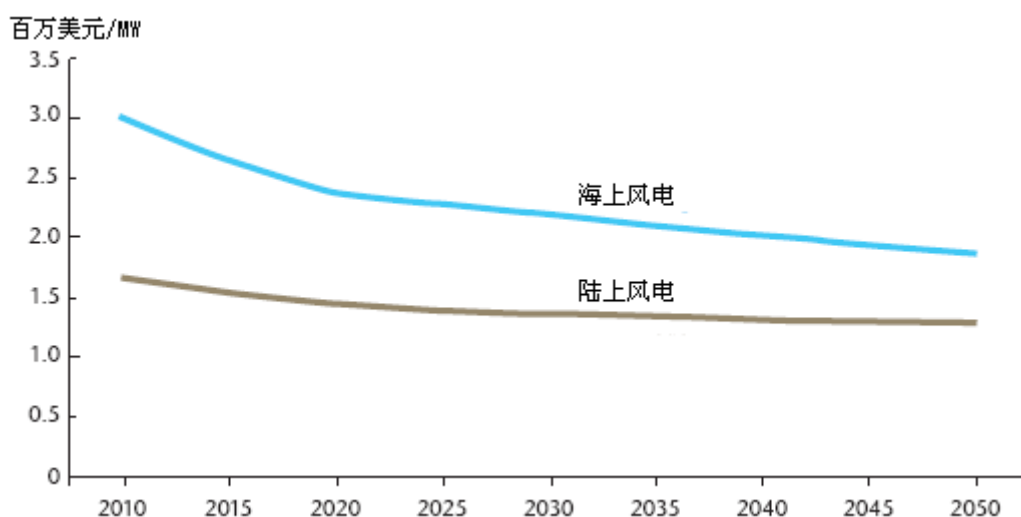


图 6 《能源技术展望》蓝图情景预测陆上和海上风能投资成本的变化情况

关键点：蓝图情景预计，在 2010 年的水平上，陆上和海上的投资成本分别将减少 23% 和 38%

考虑到发展现状，海上风能（尤其是深海）成本可能会较快地降低。在《能源技术展望》蓝图情景下，到 2030 年海上投资成本将减少 27%，到 2050 年将减少 38%。

更高的可靠性、有效性，以及运行与维护成本的降低对海上风电的利用尤为重要，因为物件的获取是困难的和昂贵的。本路线图预计，到 2030 年海上风电运行与维护的成本将减少 25%，到 2050 年将减少 35%。

### 3.2 2050 年全球投资

要实现蓝图情景所述的到 2050 年实现全球电力生产的 12% 来自风能的目标，大约需要投资 3.2 万亿美元。尽管这一数字看起来很庞大，但却只是实现蓝图情景下到 2050 年使全球 CO<sub>2</sub> 排放量削减 50% 的目标所需额外投资的 1%。

目前用于风电的投资很大，但是仍有缺口。2008 年用于风电的新投资接近 520 亿美元，其中资产融资和新发电资产的投资占到 92%。蓝图情景预测，到 2050 年风电的装机容量将从 2008 年的 120GW 增加到 2000GW。这意味着在未来 40 年里，每年所需的平均装机容量将从 2008 年的 27GW 增加到 47GW。这相当于在目前的投资水平上额外增加了 75%，达到 810 亿美元/每年。

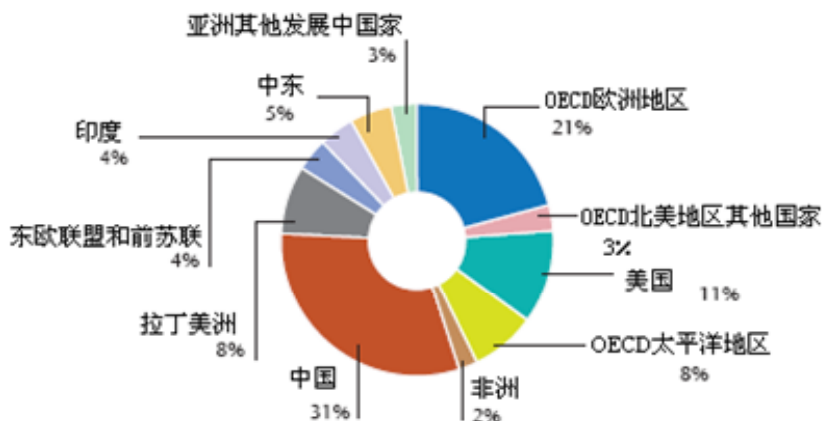


图 7 蓝图情景下，2050 年各地区对风能的累计投资所占的份额  
关键点：全球累计投资的一半以上将会发生于非 OECD 国家

## 4 风电技术的开发和推广：行动和里程碑

如果这个路线图的目标成为现实，加紧对风力技术的研发是必不可少的。就风电技术而言，虽然已被应用于实践，但尚不完全成熟。在未来几年里，单一元素的陆上涡轮机的设计不可能显著地减少能源成本，但是也有可以改进设计的地方，总的来说，它可以很大程度地降低风能生命周期成本。值得注意的是，这个路线图得出的结论表明，不仅要保留陆上风能技术部门的改进，更重要的是发展海上风能技术的突破。

在 3 个技术领域，风能技术需要特别注意并应用陆上和海上两种风能。这 3 个技术领域为：风能资源（包括风能特性和预测方法）评估、风电涡轮机技术和设计以及风能供应链问题。不断发展风电技术并确保风力技术的高可靠性、高标准性和认证程序，对成功地推广新的风电技术至关重要。

## 量化技术进步指标

量化的方法之一，保持涡轮机的额定电压和风力资源质量常数，通过测量电力生产的增加量来提高风能提取效率。换句话说，同样的装机容量，在同一地点，产生的额外能量（如通过在更大范围的风速中运行，或者减少损失）代表提高效率，例如，通过实施一项新技术产生额外的能量，也代表提高风能提取效率。

容量因子是能源生产的评价指标，为一个电厂在一段时间内满负荷运行的产量与这段时间的比值。通常用不同地点的风力资源的质量来衡量风电能力。但是，其同样也可以用作公用单位对上述提到的能源抽提改进进行衡量。

使用容量因子指标来衡量提高效率的一个好处是，其适用于所有的发电技术，因此能够对大范围的技术进行比较。美国能源部总结了用容量因子来衡量的风电涡轮机性能改善的状况（表 1）。

表 1 潜在的改进能力因子在风力涡轮机技术的进步

技术领域	年发电量（现有容量因子的增幅%） 最佳/预期/最少
高级塔概念	+11/+11/+11
先进的转子	+35/+25/+10
减少能源损失和提高可用性	+7/+5/0
传动系统（变速箱、发电机和电力电子）	+8/+4/0

## 4.1 风能资源评估

该路线图建议采取以下行动	里程碑
1.制定和完善风能资源标准建模技术，通过遥感技术测量基础数据；增加对复杂地形、海上条件和冰冷气候的认识。	正在进行。2015 年完成。
2.开发对公众开放的陆上和海上风力资源和条件数据库，尽可能考虑到商业的敏感性。	2015 年完成。
3.发展更准确、更长期的预测模型，应用于电力系统的运行。	正在进行。2015 年完成。

### （1）制定资源评估标准

需要建立一套标准的风能资源的计算机模拟、数据收集和现场测量的方法。发展中国家的风能数据很少，尤其是 80 米以上高空的风能数据非常少。在短期内，需求中心附近标准化数据的收集和分析以及现有的传输基础设施具有特别的价值。

单靠风能资源计算机模型不能作为建设风电厂的充分基础。必须将模拟数据与这个领域里收集的真实数据进行比较。桅杆测速法是衡量在一定高度风速的常用方法，但成本高，特别是在海上。使用声雷达、激光雷达的遥感技术和计算流体动力学（CFD）技术建立的气流模型，具有及时提供可靠的替代选项的潜力。这些技术已经实现，但需要进一步完善和验证，桅杆风速测定法是一个现实的选择。

需要准确地描述不同类型土地模式的模型，如地面覆盖、海岸线和丘陵等会使风向发生很大改变。1982年，国际能源署议定实施部门合作开展了一个重要的野外实验，以研究低丘陵对风流动的影响。在远离苏格兰的外赫布里底群岛（Outer Hebrides）开展的 Askervein Hill 项目部署了 50 个测量桅杆，所获得的数据将是今后 25 年项目开展的基础。日本的研究正在着手建立复杂地形的风力模型，其主要依据超过 300 个地点的气象资料，以及在偏远山区地形遥感的使用。

同样还需要有关伴流影响的数据，在一次气流事件中一个涡轮机对另一个涡轮机的影响。这一现象对能源捕获具有重要意义，在风电厂中对风能的捕获量会降低约 10%。伴流影响在海上特别明显，可能会影响临近风电场的风能捕获。2030 年大量海上风电厂建成后，相互之间相距非常近，这种影响可能会更严重。

### （2）风能资源数据共享

一个可以提供所有国家具有风电推广潜力的风能资源信息共享数据库将极大地促进新项目的开发。编制大面积（半径超过 200 公里）的风能特征图，也将显著增加对距离范围的理解，在该距离范围可消除广泛散布的风电厂总生产额的波动。

敏感的商业问题需要由行业来确定哪些数据实际上可以被包括在内。该数据库应包括风的变率、平均速度和极限速度等细节，并与太阳能资源、风电厂地形、大气温度、雷击以及地震活动等数据库相连。

### （3）提高风能预报准确性

提高风能资源的可预测性，可以帮助风电生产者实现输送承诺，增加风电在电力市场中的经济价值。计划输送到市场的电量与实际输送总额间的差异将导致供需失衡，必须通过灵活的电厂及其他资源来弥补，并且在某些情况下，生产者会受到处罚。

最灵活、快速的应急电厂（如开式循环燃气轮机（OCGT）），需要昂贵的燃料。更准确、更长远的预测产量将增加那些相对不能迅速发电，但所需燃料廉价的电厂的应用范围，如煤炭和联合循环燃气轮机，可以用于均衡风电系统的输出波动。

应该运用气象资料、风电厂运行的在线数据以及遥感技术开发先进的预测模型。一旦通过验证，这样的预测模型能够得到电力系统运营商的利用将很重要。

## 4.2 改进的风力涡轮机

该路线图建议采取以下行动	里程碑
1.开发更强、更轻的材料以使转子更大，引擎舱更轻，并减少塔筒对钢材的依赖；开发超导技术以使发动机更轻，更省电；加深对更大型、更灵活转子的行为的认识。	正在进行。在 2010—2050 年间实施。
2.构建关于海上操作经验的共享数据库，并考虑到商业敏感性问题；提高海上涡轮机的可获得性，以达到目前同类最佳的 95%。	2015 年完成。
3.开发在水深达 40 米处使用的具有竞争性的、可替代的支撑	正在进行。2015 年完成。



基座。	
4.从根本上设计新一代海上涡轮机，以满足运营和维护的最低需求。	到 2020 年，完成达到商业规模的模型。
5.开发在水深 200 米使用的深水支撑基座/水下构造物。	正在进行。2025 年完成。

### （1）加快降低涡轮机成本

目前陆上风电涡轮机发展的特点表现在能源成本的持续降低，而不是单纯的、突破性的技术跨越。更深刻认识风电厂将受其生命周期限制的情形将有助于推动涡轮机设计的改进。这种改进具有从风力中获取更多能量、工作时间更长、较长的生命周期以及用于特殊运行环境（如高台风活动或极冷地区）的能力。涡轮机可以获取能量的面积（转子扫过的区域）越大以及转子安装得越高（可以利用更多的高速运动的空气），捕获的能量就更多。然而，更大的扫过区域通常意味着需要更重的转子，需要解决高风事件期间的负担增加和成本增高。基于当前所获得的成本效益资料，这一因素有效地设定了经济效益最佳的转子规模。

高强度质量比的先进材料，如碳纤维、钛，可以使转子面积较大，实现成本效益，但它们的使用尚不具备商业可行性。通过更轻的发动机和其他传动部件可以实现额外成本的降低，不过会减少塔头质量。新材料也可鼓励对当前风能产业使用的高塔主要依赖钢铁的局面进行改变。

由于转子变得更大，叶片变得更长、更灵活，需要更全面地了解其运行期间的行为以便于进行新的设计。转子研究方面的主要领域包括：计算流体动力学的先进模型；减少负荷或抑制其传输到涡轮机其他地方的方法，如变速箱或塔头；创新的风板设计；应用纳米技术，减少结冰和污垢积聚，以及降低空气动力噪声。

额外的成本节约可以通过技术的发展，降低发电机和伴随的电气/电子元件的电力损失来实现。支持技术创新能力，包括电子技术革新，永磁发电机、超导体技术的使用。

### （2）改善海上涡轮机性能

实现所有组件（如变速箱和发电机）的更高可靠性是海上风电的重要目标。高准入成本和通常非常窄的气候适应范围意味着必须在前期投入成本和后期运行维护成本之间达到新的平衡，这种平衡更有助于提高可靠性。通过在行业经营者之间更多地分享经验，包括相关的其他海洋技术（如波浪和海洋洋流发电技术）方面的经验，加速对可靠性和其他操作的改进。

与海上石油和天然气工业早期阶段不同，迄今为止能表明在海上风电产业中实体企业间的信息共享的证据很有限；但无论如何，目前德国风能研究和系统集成研究所（IWES）正在着手建立风电运营经验数据库，它可以反映广泛的国际研究合作潜力。

此外，商业敏感性也很重要，但应该寻求一种方法，使得可以通过数据库共享

获得运行数据，或者通过政府部门参与者的推动，加速全行业学习。当前“同类最佳”的 95% 的可能利用率，应该被作为海上风电部门的总体目标。

### **(3) 设计专门的海上涡轮机**

尽管许多公司出于建造用于海上环境的涡轮机而进行实地测试，但目前的大多数海上风力涡轮机类似于“船用”（marinised）陆上风力涡轮机。由于对海上环境风电技术的实际需求仍然认识得不够充分，所以涡轮机的设计仍沿用来自其他海上产业保守的设计原则。这种持续的不确定性有待解决，以使设计过程可以建立在更合适（可能更低）的安全边界之上。

功能更强大的新一代涡轮机的发展应该从最初的设计开始就要适应海上环境。对“专用”海上涡轮机的设计应该基于特殊的海上运行环境。综合效果的差异受风力涡轮机各部件和基础设施的影响，同时大气与海浪和环流相互作用也是值得特别关注的问题。

最可能的发展途径可能是涡轮机的 2 个叶片绕塔的顺风方向旋转，直接驱动发电机（无变速箱），并使电力学简化。涡轮机容量可高达 10MW，转子直径为 150 米，所需的运行和维护场地最小。要做到这一点，可以配备冗余分析和远程、先进的监测系统以及自我诊断系统，这将减少现场维修的时间和频率。这种办法也将有助于防止把由于恶劣的天气条件延误造成的小过失升级成严重的失误。

### **(4) 设计新的深水地基**

迄今为止，大部分海上项目的地基是将单个桩打入海底构成，被称为单桩。当前单桩设计，约占总投资和安装成本的 25%。新的地基类型随着对地下环境认识的提高而得到发展，具有降低成本的巨大潜力。在目前，除了苏格兰海岸外（44 米处）的海上实验涡轮机外，还没有发现海上风电厂可以在水深 30 米以上的海域运营，即使发现在此处具有海上最好的风力资源。其他采用三角架、格架以及吸桶式技术的设计将被开发用于水深达到约 40 米的地区。

对于较深的水域，新的漂浮设计需要验证并准备进行商业推广。这可能又是海上石油和天然气工业技术转移到风电行业的机遇。对新设计的开发已经在进行。2007 年 12 月，已将一个漂浮平台原型部署在西西里岛，而另一个漂浮原型也将在 2009 年部署在挪威海岸外的海域。

## **4.3 供应链**

由于风电产量的持续增长和政策的支持，风电产业在过去几十年里取得了迅猛的发展。然而，这个行业也遭遇了关键配套设施的供应瓶颈，包括劳动力。如果要安装成千上万的本路线图设想的新涡轮机，这些瓶颈问题必须得到解决。良好的供应链可以为投资者提供稳定性和可预见性。路线图已经确定了几个领域，在这些领域中，风电行业和公共合作伙伴都能够大显身手。

该路线图建议采取以下行动	里程碑
1.为了完全覆盖所需的技能，从设计到部署，制定国际标准的教育和培训策略。	2015 年完成。
2.加快自动化、本地化、大规模的生产，在增加可循环组分数量的情况下，实现规模经济。	目前正在进行。在 2010—2050 年间实施。
3.针对海上风能的利用，提供足够的专门设计的船只；改进安装策略，以最大程度减小海上工作量；提供充足的、适宜装备的大型港口空间。	到 2015 年有足够能力。

### **(1) 发展风能劳动力**

为了实现本路线图的愿景，开发新的设计、在新区建立新的制造工厂、开发安装技术以及对由此而产生的风电厂的建设、运营和维护都需要大量、熟练的劳动力。

然而，受过培训的人员仍供不应求。例如，在美国，目前从电力工程专业毕业的工程人员数量仅是 20 世纪 80 年代水平的 1/4。美国国家科学和技术委员会（NSTC）目前的预测表明，在未来 40 年内，科学和工程学位的毕业生人数将继续下降。这反映了一种趋势，这种趋势也反映在其他一些行业，必须加以扭转。

强有力的政府支持可以帮助建立从事教育和培训活动的机构，从而培养出必要的劳动力。例如，在今年 6 月，美国劳工部宣布将 5 亿美元资金用于发展清洁能源职业培训。在欧洲，也提供了许多培训计划，并在一些指定的大学设立卓越研究中心。欧洲风能研究院与这些关键研究机构都有联系。然而，风电行业需要一个更一致和更连贯的培训体系，它可以提供来自不同机构和地区广泛的培训资质。

### **(2) 打造更强大的供应链**

提高生产效率的途径，包括自动化、批量生产，以及厂址靠近安装点。这些策略降低了运输成本和进口税，并提供了更有效的涡轮机配送手段。批量生产在某些情况下会阻碍技术开发，这是因为大规模的自动化生产不利于将最新技术应用于生产，因此，在扩大生产和技术创新之间需要达到一种平衡。

在境外市场，涡轮机供应压力严重。目前，海上涡轮机市场与陆上涡轮机市场密切相关，也就是说，更多陆上涡轮机的需求限制了海上涡轮机的供应。但至少有一个主要的制造商保留部分海上涡轮机生产制造能力。政府应考虑支持靠近风能资源丰富地区的专门港口开展试验、制造和装配。

### **(3) 提高海上安装效率**

由于受天气和当地地形环境的制约，海上涡轮机的安装往往费用昂贵，并需要不断反复操作。专门设计的安装船和自升式泊船，可以满足海上风电安装的具体需求，但供不应求。增加这些船只的供应是必要的。

目前安装船只的成本在（1.45~3.6）亿美元之间。如果制造商有 5~10 年的租金提前预定，他们将有足够的吸引力建立这样的船只。一旦有足够的长远需求，规

模经济效益将发挥作用，船只和起重设备将变得更便宜和更容易获得，而不是像现在一样，一个装置仅用一次，而且还处于半实验状态。

更广泛的海上作业部门的经验表明，增加陆上筹备工作和减少海上工作量可以有效地降低成本。因此，安装策略需要改进。在安装中不依靠大型起重机也可以降低成本。同时也需要开发操作维护人员准入系统，这一系统应能延长风电装置在恶劣天气下工作的时间。

#### 4.4 加强研发

该路线图建议采取以下行动	里程碑
确定并提供适量的风能研发基金，确立电力生产和CO <sub>2</sub> 减排的潜在技术比例。	从2010年开始。

#### 增加风能研发经费

实现上述发展目标下的技术将需要更多的研发资金。私营公司倾向于短期的、有明确投资效益的研发工作，而长期的基础研究往往是公共部门的任务和公共研发活动的主要焦点。加强对研发和示范工作的协调可以实现额外的收益，特别是在海上风电方面。大型测试地点需要测试和验证新组件和涡轮机，如德国海上新测试点阿尔法文图斯(Alpha Ventus)包括了一个综合的、跨学科研究计划。该项目始于2009年，在海深30~40米之间、距离海岸40公里处运作。



图8 OECD对风能的资助

关键点：1981年经合组织国家对风能研发的公共资金达到高峰

在过去30年，经合组织的风力发电研究经费，介乎所有能源研发经费的1%~2%之间，在2008年达到了1.5%，为2亿美元，但大大低于1981年的水平，当时

的研究资金在石油危机后暂时上升到 3.28 亿美元（图 8）。

风力发电在促进实现我们的应对气候变化和能源发展目标方面将发挥着重大作用。鉴于此，路线图与会者的强烈共识是，风能在所有能源资金的比例应该大幅增加。

欧洲风能技术平台试图确定在欧洲风能技术研究、开发和示范方面的融资需求。风能投资应该达到巴塞罗那欧洲理事会提出的最低投资的 2 倍（3%），这是该平台认为的最基本要求，尽管其他高科技行业的比例会更高。该平台还认为公共/私人承担的投资份额应为 1:2。平台指出在 2006—2020 年间，欧洲风电研发预算约短缺 1.45 亿美元。

## 5 传输与系统集成：行动和里程碑

除风能技术之外，与输电有关的系统集成和电网可靠性这 2 个重要问题同样需要通过研发及其他活动来解决。而输电技术的改进对于风能的成功利用是关键性的（如：改进地下电缆连接的接入技术，改善系统平衡与可靠性的智能电网）。本节内容主要关注如何将风能发电有效地集成到主要电力系统所需的战略规划、结构调整和运营要求中。

### 5.1 连接风力资源的输电部署

该路线图建议采取以下行动	里程碑
1.采取激励措施，加快建设连接风能资源与需求中心的输送能力（采用最新的成熟技术）；并建立成本回收与分配机制。	2015 年完成。
2.发展互相联络的输电基础设施计划以与电厂部署计划相协调。	2015 年完成。
3.确定单独的机构来领导大规模的、多重管辖的输电工程。	2015 年完成。
4.制定和实施区域规模的输电覆盖计划，以连接地区的电力市场。	2015 年完成计划。 2030 年实现部署。
5.制定和实施海上电网计划，连接现有的输电线路、海上风力资源和边界电力市场。	2015 年完成计划。 2030 年实现部署。

#### （1）为提高输送能力而建立激励机制

为了减少由于整合的延迟而影响电力输送与新电厂的发展，管理部门应该考虑建立激励机制以鼓励输电企业在资源丰富的区域进行扩建并为成本回收提供保证。成本可以通过从随后风力发电厂的输电租金中收回。新输送成本的分摊是考虑的一个重要因素。广泛地分布式成本分摊将会减轻单个消费者的负担，并且判断消费者成为一个“共同利益”的标准取决于要求增加输电能力的程度，最后这些成本将由所有的消费者支付。

#### （2）部署长期的输送计划

虽然高质量的风能资源很容易获取，但是大多数优质风能资源远离需求中心和

现有的输配电系统（电网）。例如在美国的中部或者是在中国的边远地区就是这种情况。另外，虽然最好的风速可能就在海上——靠近主要的（沿海）需求中心，但是仍需要更多的技术手段和每公里更高成本的电缆线来将风能输送到市场。

因此，风力资源间的连接整合成为实现本路线情景目标的关键性挑战。输电线路的缺乏是包括爱尔兰和德国等欧盟国家及美国利用风能的主要障碍。在美国，约 300GW 的风电项目预计需要等待传输互联协议（尽管并非所有项目最终都会投入实际建设）。因此，政府和能源管理部门应立即加快发展一体化的，经济最优化的新输电网络计划。这些计划应能预见未来几十年的需求同时也兼顾短期所要达到的目标。

大多数现有的输电基础设施最少也有 40 年了。不管是新的风电的具体要求还是出于采用新技术的考虑，电网升级都是必须的，同时这也将有助于风能资源的整合。例如，新兴的地下电缆技术将会克服当地公众的反对以及生态问题。因此，对新输电技术研发活动的大力支持将是关键的解决方法。

### **（3）在区域层面协调输送部署**

发展新电网集成规划——跨越整个互联电力系统——是风电实施的重要推动者。与多个或大型风电项目相比，单个风电项目为输电企业提供的回报较少。高效的输电部署可为多个电厂服务，并可根据多项技术的发电量日程表潜在地服务于其共享的输电容量。例如，在中国的一些地区，水力发电（夏季）与风力发电（冬季）具有很强的互补性，电网提供水电与风电的输送，这比提供单一发电类型输电线路更能有效地利用资源。如果输送计划与电厂本身的部署密切合作实施，那么，可以确定的是，输电企业将获得更大的回报。例如，在美国部署的由美国国家可再生能源实验室（NREL）研制的新型输送方式 WinDS 模型。在中国，政府已经提出了“绿色丝绸之路”项目，这是一个新的输电线路，它将集成跨越六省七个已计划的 10GW 风力发电厂群的电量。该项目也是中国到 2020 年努力实现 100GW 目标的一部分。

### **（4）确保输送规划的清晰领导**

选址与扩展输电网络的许可往往涉及多个司法管辖区（地方、州、联邦政府），每一级都有不同的规定、成本效益及环境影响的评估方法。当因其他问题不能落实而给滞留资产留下剩余风险时，那么，由于不确定投资者是否投资的僵局既存在于风力发电厂的开发者也存在于输电网络的开发者。在欧洲和美国，发电与输电资产的监管分离使得这个问题变得很糟糕。这种缺乏综合规划与投资构成了风能推广的最重要障碍之一。然而，解决方案是有的。

政策制定者可以考虑当涉及多个司法管辖区时指定一个机构来领导规划和审批过程，或者实行“一站式”的方法来对主要输电基础设施项目进行审批管理。例如，遵循由德克萨斯电力可靠性委员会（ERCOT）与德克萨斯公用事业委员会（PUC）

提供的于 2008 年 7 月确认的 4 个发展方案，开发从位于西德克萨斯的 5 个具有竞争性的可再生能源区输送 18.5GW 的风电到需求中心的输电网络。该项目预计将耗资 4.9 亿美元，相当于每人每月支付 4 美元。预计新线路将在 4~5 年内投入使用。这种统一规划的形式是履行“最佳实践”指导方针的典范。

### (5) 规划和推广区域规模电网与海上电网

高压覆盖连接不同的、邻近电力系统要比全互联电网规划更进一步。如果可能的话，市场间的连接可为资源丰富区域整合与邻近电力系统的连接提供一个机遇。北海案例——提供了一种发展海上大规模电网的概念。既然当经济上可取时，已有的、单个输送电缆可以连接到一个海上电网，那么在这方面新型高压直流(HDVDC)电缆的开发与推广也是很重要的。

非常大的互连电力系统将需要邻近系统运营商间及政府间的强力协助，需要有透明、先进的信息交流方式并制定措施来避免一次故障在整个地区的蔓延。例如，一个国际海上系统运营商可能需要充分协调电网的运行。最近，欧洲新输电网络系统运营商组织（ENTSO-E）的特殊区域研究组一直致力于研究北海电网的可行性。2007 年欧盟委员会任命了一个欧洲协调员以共同促进海上电网互连。

## 5.2 大份额风能共享的可靠系统运行

该路线图建议采取以下行动	里程碑
1.制定评估额外电力系统灵活性的方法，以实现可变的可再生能源部署；开展网络研究以审视风力发电整合的高市场占有率的机遇、成本和效益。	2015 年完成。
2.通过电力市场的发展和先进的“智能电网”技术促进更大范围、更快速和更深入的电力交易。	在 2010—2050 年间实施。
3.鼓励及时开发其它灵活性储备、创新的需求方响应和储存；建立带有清洁能源标签的需求。	在 2010—2050 年间实施。
4.尚未获得接入输电网络时，评估电网法规并确保独立电力提供商开放接入输电网络。	正在进行，2015 年完成。

一旦目标数额的风能被捕获并转化成电能，并且有充足的输电容量来确保将电能输送到市场，它必须以成本效益的方式可靠地集成到电力系统中。现今的输配电网及其支持的实际电力市场都围绕着调度与集中发电来设计。可调度的电厂，如煤、气或水电是典型的能够根据需求来关闭或开启。相反，风能发电取决于一种不能以初始形式保存的不断变化的能源资源。

变动性并非电力系统的一个新特征。需求也是变动的，尽管比起风能资源它具有更可测的形式。在任何一个电力系统中为保持系统的安全在可接受的水平上，储备电力必须在传统电厂发生故障时是可获得的或弥补预测需求时所存在的误差。西欧与美国的经验表明：在低可变再生能源（var RE）所占比例中（大概 5%），系统“可见”的变动率的增加将可以忽略不计，因此现有的储备量足以应对新变再生能源

的需求。

由于可变再生能源在能源结构中的比重增加，边际储备的有效性规模将会下降。最终，新投资的需求将会上升以确保从可变再生能源与可调度电厂结合的（预测/实际）产量能够持续可靠的保持需求（预测/实际）的平衡。本节提供如何修改电力系统运作以实现更高的可变再生能源比例的建议。

例如，现今在西班牙与葡萄牙平均大约 11% 的电力由风能发电提供。在这个可观水平以及与邻国贸易能力有限的情况下，电力系统运营商必须审慎考虑实时风力发电与产出的预测。因此在管理可变因素中，可预测性是一个主要工具。愈加精确的预测为期 3 天的风力发电产出已成为更有效控制可调度发电能力成本效益的重要工具。

覆盖了整个斯堪的纳维亚的北欧电力市场，促进了挪威水电与丹麦风电间的贸易，帮助丹麦电力市场的风能发电达到 20%。然而，特别是如果贸易不是一种选择时，问题是如何在保持电力系统的可靠性并同时提高输电及发电设施的情况下，更好的满足风能高共享的成本效益性。分析电力系统的“灵活性”可以帮助阐明解决这一问题的方案。

#### 可变产出的地理“平滑”

风力发电厂间距离的增加一般与它们的产出相关性不大。一个（不拥塞的）电网连接到许多分散的电厂相比于所有风力发电厂集中在同一个地方时，将会看到电网能平滑风力发电产出的加总。同时互连市场可以共享可调度储备能力以及增加风力发电厂代替传统能源产品的程度。更大、更深入、更具流动性的电力市场可以通过合并“平衡区域”及增加系统间的交易来实现。

电力系统的灵活性是指它能够迅速及可靠地平衡在供应和/或需求中出现的大大的突发性波动。现今大多数电力系统是一大组功能的组合，但是潜在地提供增加电力系统灵活性的措施广泛存在，因此电力系统能够将风能纳入到更大的共享中。

#### **(1) 开展电网研究以明晰挑战**

风力发电应被视为电力系统发展不可或缺的一部分，而不是孤立存在的。电力系统运营商应尽可能早地注意到风能共享的目标以便制定相应的计划并应与风能开发者进行合作。详细的电网研究是迈向更高可再生能源共享的重要第一步，如最近在爱尔兰进行的所有岛屿电网研究。

#### **(2) 发展电力市场及“智能电网”使其具有灵活性**

改善电力交易规则是使电力系统具有灵活性的有力推动方式。管理部门在设计及调节市场这方面时应能考虑市场的一系列特征。这些特征包括内部时间到提前一天交易，不同市场的平衡及辅助服务，需求响应以及风能摄取产出的预测模型。

重要的是市场应按照如下的方式来设计：价格信号能及时地刺激投资到下一代



灵活电力系统（如以水库为基础的水电、燃气涡轮机、集成储能的聚焦式太阳能发电（CSP））中，相邻市场间的深入交易，通过“智能电表”测量使用延迟及需求响应（DSM），投资于电能存储和其他类型存储及电动和混合动力汽车。由于需求方大规模的参与将导致市场参与者数量呈指数增长，因此，智能电网的发展能够使供应与需求双方进行实时沟通是特别重要的。

同时，用户对风能及其他清洁能源的需求将会通过告知消费者关于供应商来源的自愿标签方案来提高。消费者愿意支付的额外费用可以进一步刺激风能的投资。这样，精心设计的市场可以帮助用户提高对风电装机容量的投资。

### （3）评估电网法规及确保输电线路的开放连接

对于电网连接障碍的解决方法是通过利益相关者的合作努力，以及对内容、定义及术语进行标准化和规范性测试电网编码。这些电网法规代表系统运营商对电力生产的要求，包括对电压及频率稳定性的规定。然而，如果没有经过仔细的校准，法规也可能阻止接入传输。尽管在低能量接入时这些不是必须的，但大多数现代风力涡轮机具备法规所要求的性能。管理部门应确保电网法规的公平性并为所有的参与者提供一个公平竞争的环境。

## 6 政策框架：行动和里程碑

技术研究、设计和示范仅仅构成了“风能方程式（wind energy equation）”的一侧。强烈的市场拉动是补足技术推动力不可或缺的因素。本章确定了在构建风电和其他技术推广框架过程中的关键性任务。推广所面临的阻碍在各区域各不相同，包括从对风电价值的不准确认识到物理电力市场（已成为传统发电范例中的一部分）设计规划和审批方面的限制因子。

### 6.1 激励投资

该路线图建议采取以下行动	路线图
对于尚未确立目标的地区，确立包括短期阶段性目标在内的可再生能源推广的长期目标。	2015 年以前完成。
实施能够对投资者提供足够激励的支持机制；发展有效系统以使电力生产所有形式的外部成本内化于电力的市场价格之中。	2015 年以前完成。

政府的主要角色之一是通过促进透明和稳定的利用环境来吸引清洁能源方面的投资。如果缺少政府激励或与之相当的支持，在大多数情况下回报率将会过低，市场也会随之变得萧条。

#### （1）确立推广目标

将推广目标和近期阶段性目标进行绑定，提供技术发展的清晰路径并表明政府对此类技术的支持，从而进一步鼓励私营部门的投资。例如，欧盟确定了 2020 年之前所有能源的 20%、所有电力的 1/3 来自可再生能源的目标，并与其成员国的目

标相绑定。在此需要注意的是，在确立目标时，风（与其他资源一样）随地理位置而变化的属性以及这种资源的不均匀性也应当予以考虑。

## （2）建立支持机制，内化外部成本

对可再生能源生产商的政府支持和激励在各国不尽相同。机制的常见类型有固

### 吸引私人资金

为了吸引私人借贷者和投资者，项目必须透明并具备可靠的风险和回报状况。若非如此，商业投资者将转而追求他们认为更加可靠的项目，包括更为传统的技术。其次，必须降低项目风险，以提供对投资者具有吸引力的回报。如果借贷者具有足够的信心，那么他们就能够提供利率更低的资金。因此，减少项目风险的同时也就降低了它的成本。

信心的增强可以通过各种途径来实现。需要具备对风电投资的各种感知和实际风险的深入理解。风险类型可能包括风力资源的不确定性，技术风险（包括不可预期的操作与维护成本以及故障时间），政府激励的持续时间，碳价格的不稳定性，以及与他方可靠性和信贷价值有关的不确定性。

公私合作伙伴关系（public-private partnership (PPP)）能够降低私人投资者的感知或实际风险。PPP 可能成为有效的机制，以确保电网基础设施的新建为例，电网公司提供投资资本而政府保证线路将会得到使用，从而保障了投资回报。

定上网电价（fixed feed-in tariff (FIT)）、上网电价补贴（feed-in premium (FIP)）、生产税抵减、可再生能源配额制（renewable portfolio standards (RPS) or quotas）（有/无贸易绿色证书（tradable green certificates））、资本拨款和贷款担保。这些机制旨在确立与其他能源相比具有竞争力的每兆瓦收益，并使其足以在可再生能源的新部署中吸引私人投资。

补贴在有前景的新技术接近市场竞争之际提供了一定程度的保护，同时对传统电力部门所获补贴具有平衡作用。其次，补贴足以反映清洁能源生产的价值（包括减少的温室气体和污染物排放）尚未有效地内化于电价之中。在电力价格中——更重要的是在投资决策中——内化温室气体排放成本的另一种方法是通过排放交易系统（例如欧洲排放交易体系）来确定排放的价格。然而，对此类系统进行精心设计是至关重要的，以确保排放价格既有意义（充分反映成本）亦且稳定。

无论何种类型的支持机制均应满足一定的设计原则。首先，机制的目标应是降低项目风险和刺激部署，同时鼓励技术降低成本以向市场竞争迈进。

①政策必须长期保持透明、稳定和具备可预测性，以使开发者能够对投资者的不确定性进行规划并将其最小化。

②支持力度应逐渐减小以鼓励技术参与到竞争中，这是此类支持的首要目标。应当区分不同的技术成熟度，例如，海上风电技术相对于陆上（风电技术）而言更为年轻。

③关于提供给任何技术或技术群组的政策支持对综合电力系统（integrated power system）的影响必须予以审慎的考虑。政策应当鼓励（风电）传输的发展和风力发电站在地理上的扩散，因其对于降低变率具有裨益。

④激励应是一个连贯统一框架中的一部分，并与旨在去除行政障碍（例如，不必要的、冗长的审批程序）的措施和其他支持研发的行动计划保持一致。国际、国家和区域机制应当在特定程度上互为补充，以使投资者受到投资于资源最优的鼓励，而非仅仅简单为政府支持的最高力度所吸引。

⑤支持应与产出能量而非装机容量相关，以鼓励投资者在项目的整个周期中均维持较高的能量产出。

⑥政策应当易于实施并具有强制性。例如，在一个基于配额的支持机制中，供应商可能有向用户提供一定比例的“绿色”电力的义务，然而，除非供应状况易于监测并且罚金高至不得不遵从的程度，否则该机制将可能无法实现其目标。

## 6.2 公众参与和环境

该路线图建议采取以下行动	里程碑
改进技术以评价、尽量减少并缓和社会与环境影响和风险。	2020 年以前完成。
引导风能价值新的扩展，以之作为减少温室气体和污染物排放的技术组合的一部分。增进新的电力传输在这些目标实现过程中的作用。	2010—2050 年间实施。

旨在减少温室气体排放的国际、国家和区域政策具有广泛的公众支持。最重要的环境组织均直接支持风电的大规模部署。虽然风电增长迅速，但作为能源舞台上的新成员，其重要性在很多人的认识中仍然有限。

与此同时，关于（风电）对自然环境的影响一直存在不确定性，因而危及风力发电站和相关基础设施（尤其是新的输电线和电缆塔）的部署。局部性的忧虑主要与视觉影响、资产价值效应、健康问题，以及鸟类、蝙蝠和海上生态有关。在欧洲的一些案例中，局部的反对意见已把关键性的输电互联工程拖延达 15 年之久。

### （1）改进环境影响评价技术

为了响应不时趋于两极的公众争议，需要对环境和生态影响的确切程度施行严格的评价。局部环境影响评价是辨明和缓和实际的公众忧虑、并避免随后未预见的工期延迟的重要工具。政府机构和风电行业应共同工作以建立对局部影响更为准确的理解，并确保风电和相关输电基础设施的规划建立在透明、公正和平等原则的基础之上。通过提供可靠而公允的信息，以及包括公开公众听证在内的社区参与能够获得支持。在风电可能产生负面环境效应的地区，需要确认和开发能够尽可能减少并缓和这类效应的方法。

### （2）教育公众认识风能的作用

使一般公众和计划开发区周边的当地人群理解风能的全面价值同样相当重要。

风电特有的变率被某些人用作不可靠性的量度，使其在减少二氧化碳排放的社会—环境战略中的重大作用常常受到低估。该问题需要通过能凸显风电技术可量化益处的有效的公众信息活动来解决。

### 6.3 规划和审批

该路线图建议采取以下行动	里程碑
制定推广新风力发电站的长期规划，需把其他可能的电站开发和输电部署考虑其中。	2015 年以前完成。
协调、加速审批实践并使之合理化。	2020 年以前完成。

#### (1) 制定推广风电的长期综合规划

风电及相关基础设施推广的前期综合长期规划对于确保平衡发展和尽量减少随后的延迟具有至关重要的作用。辨识出用于可再生能源快速推广的预选地带将减轻开发者的负担，使其能够实施超前行动来避免可能的阻碍。

为确保有效、大规模开发地带应当把以下因素考虑在内：资源分布、发展中的需求格局、推广目标、以及（现有和潜在的）电网基础设施——尤其在输电（设施）不充足甚或不存在，无法将电力引入市场的区域。同样地，开发地带的分配必须建立在社会—环境需求、国防（雷达）和其他产业利益公平的基础之上。潜在的冲突属性和冲突利益如此宽泛，这就需要非常细致的规划。

额外的规划障碍可能由表面上并无关联的政府部门或机构所造成。例如，在 2007 年，日本新规划法规将高度（由地面到叶尖）在 60 m 以上的涡轮重新归类为建筑物，这就导致新的涡轮机需要获得国家和地方政府的批准。幸运的是，2008 年的推广与日本风电以往的增长保持一致。

关于国家战略规划成果的一个例子是荷兰政府的《国家水计划（National Water Plan）2008 年草案》，它包括北海（North Sea）荷兰水域的风电发展潜力以及渔业、航运业、采砂业、油气开采业、自然保护和海防。

《国家水计划》提议在 2 个区域实施风能部署：理论上能容纳 2000 MW 风电的 Borssele（344 km<sup>2</sup>）和可能容纳 7000 MW 风电的 Ijmuiden（1170 km<sup>2</sup>）。该计划对联接上述地带风力发电站与现有陆地电网、并概略估算此类电力输送费用的 4 种情景进行了评价。最终的计划（将于 2009 年末发布）将指定足够数量的风能园区能够获批的区域，以实现 2020 年荷兰风电推广达到 6000 MW 的目标。

#### (2) 审批程序合理化

审批程序对于确保（风电）部署中把局地需求纳入考量具有关键作用。然而，如果职责被分隔到政府不同层面的各个部门，审批就容易遭到拖延并给投资者造成不确定性。因此，需要一套更为全面的方案，确认各种需要的批文并以有效的途径将其整合起来。通过这种方式，公众安全和其他问题能够在风电工程发展期间得到

有效解决。例如，美国内政部和联邦能源监管委员会结束了一项长达 2 年的关于外陆架海上可再生能源发展管辖权限的争论，目前已在合作实施风电、波浪发电和潮汐发电的部署。

标准化且更为透明的审批程序能够减少项目的不确定性。在丹麦，海上（风电）审批程序已简并为一站式服务（one-stop-shop）系统，丹麦能源署在其中承担协调职能。然而，这种集权方法并非适用于所有国家，尤其是在诸如美国等联邦制国家。

## 7 国际合作：行动和里程碑

清洁能源的推广将在温室气体减排方面取得全球性利益，拓展风能和其他清洁能源技术的全球推广将有助于最好资源的有效利用。

该路线图建议采取以下行动	里程碑
加强研发和示范的国际合作，以最佳方式利用国家能力。	在 2010—2050 年间实施
发展新的机制，以鼓励与发展中经济体的技术交流和最佳实践活动的开展。	在 2010—2050 年间实施
对风能在经济发展、扶贫和淡水资源有效利用方面的价值进行评估，并发表评估结果。	在 2010—2050 年间实施
鼓励多边开发银行以清洁能源发展为目标。	在 2010—2050 年间实施
吸引风能部署投资的进一步发展机制，如清洁发展机制。	在 2010—2050 年间实施

### （1）进行研发和示范的国际合作

在各国进行风能研发和示范的过程中，需要更大的协调。国家间合作的增强将确保风能研究的关键问题是根据各国的专门知识领域，以各国目前在风能研发和示范、具体实践活动及基础设施建设等方面所取得的优势为基础来确定的。同时，还需要风能研究议程的长期协调。尤其重要的是，为组件和涡轮机建立国际性的测试设施，该测试设施的建设位置将对国内和国际制造业产生重要影响。

其中，国际风能技术合作的一个例子是国际能源署（IEA）的《风能系统执行协定（Wind Energy Systems Implementing Agreement）》。该执行协定是涵盖了风能技术开发所有领域的一个协定，其他类似协议还有 41 个。IEA 风能协定的制定者包括来自 20 多个国家的专家，这些专家曾制定了一系列相关重要领域在 2013 年前的一致性研究方案，这可能为 OECD 国家和非 OECD 国家间进行更大程度合作提供参考。

此外，在欧洲，风能技术平台（TPWind）为产业和公共部门参与者间的合作建立了基础。同时，TPWind 也是与欧洲委员会进行跨部门活动合作下建立的一系列不同技术平台之一。现在，TPWind 已经制定了一个面向 2030 年的研究议程和市场推广战略，这为欧盟和国家融资活动提供了重点。海外方面，一份德国—丹麦—瑞典间的合作协议已经建立，该协议的重点集中于海上风能的研发和示范。

## （2）新兴经济体的能力建设

很多国家的风力资源都很丰富，但是风能的开发利用并不充分。根据蓝图情景，到 2050 年，全球新建产能投资总量的多一半将出现在非 OECD 国家。仅在中国，建设蓝图所设想的 630GW 的装机容量在 2030 年前就需要花费大概 3800 亿美元(以当前的价格计算)，到 2050 年将总计花费 1.1 万亿美元。

表 2 实现蓝图情景所需的累计投资（单位：十亿美元）

国家/地区	2030 年	2050 年
中国	379	1116
印度	53	152
亚洲其他的发展中国家	35	114
非洲	16	78
拉美	37	291

经济快速增长、能源供应有限、传统资源丰富这 3 种因素使得主要国家最为关注其自身的传统能源供应。如果没有足够的诱因，像印度和中国这样的国家很可能会走碳密集的发展道路。目前，以解决该问题为目的的双边和多边努力正在进行。

多边开发银行（MDBs）是共同发展行动的一个重要资金来源。以具体情况为基础所设计的融资渠道可以支持不同的需求。土耳其清洁科技基金（Clean Technology Fund, CTF）是土耳其政府、世界银行、国际金融公司（IFC）和欧洲复兴开发银行（EBRD）共同提出的一个商业计划，该基金价值将约为 52 亿美元。CTF 成立于 2009 年上半年，其目的是为土耳其第 9 个发展计划（2007—2013 年）的低碳目标提供支持。在与私营部门的共同努力下，CTF 的目标是 19GW 的风能，以此希望加速温室气体的减排。

双边发展银行也是共同发展行动的重要资金来源。比如，2008 年，德国国有的 KfW 银行向发展中国家的可再生能源项目投资了 2.3 亿美元。

如果资产融资能够被有效地应用，以上面所讨论的原则来精心设计支持政策是必需的。比如，在一些国家，他们对风能的支持更看重装机容量，而不是电力生产。因此，有报道称许多已经安装的涡轮机仍处于停止状态，或者甚至没有连接至电网。

除了政策的支持，还应努力找出并解决推广障碍。承购风险可能严重阻碍投资，例如，当承购人已被安全确认将购买由某项目所生产的电力时，在购电协议（power purchase agreement, PPA）正式签署之前对该发电项目可能存在的风险进行预测将非常重要，而不是协议签署之后。在印度、中国及其他国家的购电协议习惯性地项目完成后才签署，远滞后于应该得到保障的融资需求，因此降低了项目对投资者的吸引力。此外，潜在承购者的金融可靠性也可能存在问题。当项目处于筹资阶段时向承购者提出签署电力合同的要求，或者发展一种机制使承购者免受随后的失败而保护购电协议等都可以减少投资的不利因素。

联合国气候变化框架公约（UNFCCC）正迫使全球就限制温室气体排放达成一致协议。尽管清洁发展机制（CDM）本身并不足以取得成功，但 UNFCCC 的清洁发展机制在发展中国家已经显示出建设清洁能源能力的成功可能性。各国政府也需要对风能的发展提供大力支持，并运作指定的国家权力机构积极提供信息，帮助促进各个项目的发展，比如目前中国的情况。

风能开发已被视为 CDM 发展的最大成功，其目前已经开展了大量的项目。截至 2009 年 8 月，CDM 方面共进行了 740 个有关风能的项目，约占 CDM 总项目数的 16%，仅次于水力发电项目（27%）。风力发电项目预计每年将减少核准减排总量的 11%。

OECD 鼓励各国政府协助发展中国家早日推广可再生能源。风能技术、系统集成、支持机制、环境保护、缓解水压力的办法、消除部署屏障等最佳实践的交流是非常重要的。实现技术和信息成功转移需要动态机制。贫穷和发展缓慢的经济体（例如许多非洲国家）远落后于快速工业化的国家，在这种情况下，有针对性的行动将是必需的。

发达经济体所展示出的风能价值（例如对气候的保护）非常重要。风能在技术创新、就业、淡水压力和环境保护方面的益处应该被精确量化，并传递给发展中的经济合作伙伴，特别是风能在能源供应、减轻贫困等这些基础问题上的作用。

## 8 路线图行动规划和下一步的工作

本章概述了在此路线图中突出的行动，并将它们分为 3 类以表明利益相关者的主要责任。这 3 类利益相关者群体分别是风电行业、政府和电力系统的参与者。每一个群体由一系列的次群体（sub-groups）组成，这些次群体都列在了每一部分中。里程碑的日期将随着时间的推移而不断完善。重要的是指出了 3 类群体之间的合作将是重要的。

### 8.1 由风电行业领导的行动

风电行业类包括大学的基础研究群体、政府研究中心和其他机构；涡轮机和零部件制造商；风电厂和相关基础设施开发商。所列行动的基本目标是减少能源生产的周期成本。

资源	里程碑和参与者
1.制定和完善风能资源标准建模技术,通过遥感技术测量基础数据;增加对复杂地形、海上条件和冰冷气候的理解。	正在进行。到 2015 年完成。 风电行业和研究机构,气候和气象机构。
2.开发对公众开放的陆上和海上风力资源和条件数据库,尽可能考虑到商业的敏感性。	到 2015 年完成。 行业和研究机构。
3.发展更准确、更长期的预测模型,应用于电力系统的运行。	正在进行。到 2015 年完成。 行业、研究机构和系统运营商。

技术	
4.开发更强、更轻的材料以使转子更大,引擎舱更轻,并减少塔筒对钢材的依赖;开发超导技术以使发动机更轻,更省电;加深对更大型、更灵活转子的行为的理解。	正在进行。在 2010—2050 年间实施。 行业和研究机构。
5.构建关于海上操作经验的共享数据库,考虑商业敏感性问题的;提高海上涡轮机的可获得性,以达到目前同类最佳的 95%。	到 2015 年完成。 风力发电厂的开发商、业主和运营商、行业协会。
6.开发在水深达 40 米处使用的具有竞争性的、可替代的支撑基座。	到 2015 年完成。 行业和研究机构。
7.从根本上设计新一代海上涡轮机,以满足运营和维护的最低需求。	到 2020 形成商业规模的雏形。 行业和研究机构。
8.开发在水深 200 米使用的深水支撑基座/水下构造物。	正在进行。到 2025 年完成。 行业和研究机构。
供应链	
9.加快自动化、本地化、大规模的生产,在增加可循环组分数量的情况下,实现规模经济。	正在进行的。在 2010—2050 年间实施。 行业。
10.针对海上风能的利用,提供足够的专门设计的船只;改进安装策略,以最大程度减小海上工作量;提供充足的、适宜装备的大型港口空间。	到 2015 年有足够的力量。 风电业、航运业、地方政府。
环境	
11.改进技术以评价、尽量减少并缓和社会与环境影响和风险。	到 2015 年完成。 行业、研究机构、政府和非政府组织。

## 8.2 由政府主导的行动

政府类包括国际、国家、区域和地方的各级政府。政府参与的基础作用是消除推广障碍;确保风电产业和更广泛的电力部门一起有效地工作;在增加公共参与的同时鼓励私人部门投资。

研发 (R&D) 资金	里程碑和参与者
1.确定并提供适量的风能研发基金,确立电力生产和CO <sub>2</sub> 减排的潜在技术比例。	2010 年开始。在 2010—2050 年间实施。 政府、研究机构和行业。
教育和就业	
2.为了完全覆盖所需的技能,从设计到部署,制定国际标准的教育和培训策略。	到 2015 年完成。 政府、大学和行业。
推广奖励	
3.对于尚未确立目标的地区,确立包括短期阶段性目标在内的可再生能源部署的长期目标。	到 2015 年完成。 有行业投入的政府。
4.实施能够对投资者提供足够激励的支持机制;发展有效系统以使电力生产所有形式的外部成本内化于电力的市场价格之中。	到 2015 年完成。 有来自投资者、金融家、研究机构和监管机构投入的政府。
输电发展 (transmission development)	
5.采取激励措施,加快建设连接风能资源与需求	到 2015 年完成。



中心的输送能力（采用最新的成熟技术）；并建立成本回收与分配机制。 6.确定单独的机构来领导大规模的、多重管辖的输电工程。	政府、风能开发商、传输公司和系统运营商、监管机构。 到 2015 年完成。 政府机构、地区和地方政府。
公众参与	
7.引导风能价值新的扩展，以之作为减少温室气体和污染物排放的技术组合的一部分。增进新的电力传输在这些目标实现过程中的作用。	在 2010—2050 年间实施。 国家、区域和地方政府、输电公司、环境非政府组织（国家的和地方的）、行业协会、消费者团体。
风电项目的规划和许可	
8.制定推广新风力发电站的长期规划，需把其他可能的电站开发和输电推广考虑其中。 9.协调、加速审批实践并使之合理化。	到 2015 年完成。 政府（国家的、区域的和地方的）、风能开发商、其他电力开发商、国家和地方的非政府组织、系统运营商和输电公司。 到 2015 年完成。 国家、区域和地方政府。
国际合作	
10.加强研发和示范的国际合作，以最佳方式利用国家能力。 11.发展新的机制，以鼓励与发展中经济体的技术交流和最佳实践活动的开展。 12.对风能在经济发展、扶贫和淡水资源有效利用方面的价值进行评估，并发表评估结果。 13.鼓励多边开发银行以清洁能源发展为目标。 14.吸引风能部署投资的进一步发展机制，如清洁发展机制。	在 2010—2050 年间实施。 政府、政府机构、研究网络、国际技术平台 在 2010—2050 年间实施。 政府、政府组织和非政府组织。 在 2010—2050 年间实施。 经合组织和发展中国家的政府、政府组织、国际发展和和环境组织。 在 2010—2050 年间实施。 政府、国际发展组织和非政府组织。 在 2010—2050 年间实施。 政府和政府组织、在积极参与发展国家的项目开发商。

### 8.3 由电力系统参与者领导的行动

这一类包括输电公司、系统运营商和由政府设立的独立电力部门监管机构。电力系统参与者的关键作用是使物理的电力市场和支撑它们基础设施以一种方式演变，这种方式可以合理地减少变化的影响和增加风能价值。

输电发展	里程碑和参与者
1.发展互相联络的输电基础设施计划以与电厂推广计划相协调。	到 2015 年完成。 输电公司、系统运营商、政府、监管机构和行业
2.制定和实施区域规模的输电覆盖计划，以连接地区的电力市场	到 2015 年完成计划。到 2030 年实现推广。 输电公司、系统运营商、政府、监管机构和行业
3.制定和实施海上电网计划，连接现有的输电线路、海上风力资源和边界电力市场	到 2015 年完成计划。 输电公司、系统运营商、政府、监管机构和行业
电力系统和市场	
4.制定评估额外电力系统灵活性的方法，以	到 2015 年完成。

实现可变的可再生能源推广；开展网络研究以审视风力发电整合的高市场占有率的机遇、成本和效益。	系统运营商和研究机构。
5.通过电力市场的发展和先进的“智能电网”技术促进更大范围、更快速和更深入的电力交易。	在 2010—2050 年间实施。 监管机构和系统运营商。
6.鼓励及时开发其它灵活性储备、创新的需求方反应和储存；建立带有清洁能源标签的需求。	在 2010—2050 年间实施。 监管机构和系统运营商；监管机构、环境非政府组织和消费者团体。
7.尚未获得接入输电网络时，评估电网法规并确保独立电力提供商开放接入输电网络。	到 2015 年完成。 监管机构、系统运营商和风电行业。

#### 8.4 下一步的工作

这一路线图回应了 G8 集团和其他政府领导人关于对风能增长路线、关键的减轻温室气体的策略需要进行更加详细分析的要求。它描述了关于风能研究、发展、示范和推广、融资、规划、电网整合、法律和规章框架的发展、公众参与和国际合作的方法与具体任务。根据《能源科技展望 2008》，它为 2010—2050 年的风能推广提供了地区预测，力图表明风能推广的潜力。最终，这一路线图详述了行动和里程碑以帮助决策制定者、行业和电力系统的参与者，来努力成功地实施风能利用。风能路线应该是一个进程，它涉及到考虑来自示范项目、政策和国际合作努力的新发展。路线图也设计了里程碑，国际社会可以用它来确保风能发展的努力按预定计划来实现到 2050 年的温室气体减排目标。因此，国际能源署和政府、行业和非政府组织利益相关者将定期报道向着路线图展望所取得的进展。

想要了解更多的关于风能路线图投入和实施的信息，包括其他在这份文件中提及的相关结论的分析，请访问[www.iea.org/roadmap](http://www.iea.org/roadmap)。

（郑军卫 熊永兰 曾静静 尚海洋 赵纪东 王金平 张波 李小燕 译）

原文题目：Technology Roadmap: Wind energy

来源：[http://www.iea.org/Papers/2009/Wind\\_Roadmap.pdf](http://www.iea.org/Papers/2009/Wind_Roadmap.pdf)

检索日期：2009 年 11 月 30 日

## 版权及合理使用声明

中科院国家科学图书馆《科学研究监测动态快报》（简称《快报》）遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法权益，并要求参阅人员及研究人员认真遵守中国版权法的有关规定，严禁将《快报》用于任何商业或其他营利性用途。未经中科院国家科学图书馆同意，用于读者个人学习、研究目的的单篇信息报道稿件的使用，应注明版权信息和信息来源。未经中科院国家科学图书馆允许，院内外各单位不能以任何方式整期转载、链接或发布相关专题《快报》。任何单位要链接、整期发布或转载相关专题《快报》内容，应向国家科学图书馆发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并与国家科学图书馆签订协议。中科院国家科学图书馆总馆网站发布所有专题的《快报》，国家科学图书馆各分馆网站上发布各相关专题的《快报》。其它单位如需链接、整期发布或转载相关专题的《快报》，请与国家科学图书馆联系。

欢迎对中科院国家科学图书馆《科学研究监测动态快报》提出意见与建议。

# 中国科学院国家科学图书馆

## National Science Library of Chinese Academy of Sciences

《科学研究动态监测快报》（简称系列《快报》）是由中国科学院国家科学图书馆总馆、兰州分馆、成都分馆、武汉分馆以及中科院上海生命科学信息中心编辑出版的科技信息报道类半月快报刊物，由中国科学院规划战略局、基础科学局、资源环境科学与技术局、生命科学与生物技术局、高技术局研究与发展局等中科院职能局、专业局或科技创新基地支持和指导，于2004年12月正式启动。每月1日或15日出版。2006年10月，国家科学图书馆按照统一规划、系统布局、分工负责、系统集成的思路，对应院1+10科技创新基地，重新规划和部署了系列《快报》。系列《快报》的重点服务对象首先是中科院领导、中科院专业局职能局领导和相关管理人员；其次是包括研究所领导在内的科学家；三是国家有关科技部委的决策者和管理人员以及有关科学家。系列《快报》内容将恰当地兼顾好决策管理者与战略科学家的信息需求，报道各科学领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大研发与应用、科技政策与管理等方面的最新进展与发展动态。

系列《快报》现有13个专辑，分别为由中国科学院国家科学图书馆总馆承担的《交叉与重大前沿专辑》、《现代农业科技专辑》、《空间光电科技专辑》、《科技战略与政策专辑》；由兰州分馆承担的《资源环境科学专辑》、《地球科学专辑》、《气候变化科学专辑》；由成都分馆承担的《信息科技专辑》、《先进工业生物科技专辑》；由武汉分馆承担的《先进能源科技专辑》、《先进制造与新材料科技专辑》、《生物安全专辑》；由上海生命科学信息中心承担的《生命科学专辑》。

编辑出版：中国科学院国家科学图书馆

联系地址：北京市海淀区北四环西路33号（100190）

联系人：冷伏海 朱相丽

电话：（010）62538705、62539101

电子邮件：lengfh@mail.las.ac.cn; zhuxl@mail.las.ac.cn

资源环境科学专辑

联系人：郑军卫 熊永兰 张树良 尚海洋

电话：（0931）8277790、8271552

电子邮件：zhengjw@llas.ac.cn; xiongyl@llas.ac.cn; zhangsl@llas.ac.cn; shanghy@llas.ac.cn