



风力12

Wind Force 12 Wind Force 12 Wind Force 12

关于 2020 年风电达到世界电力总量 12% 的蓝图



GREENPEACE

CREIA

欧洲风能协会 / 绿色和平 / 中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会



中国环境科学出版社



图书在版编目(CIP)数据

风力 12：关于 2020 年风电达到世界电力总量 12% 的蓝图 / 欧洲风能协会，国际绿色和平编著；中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会，绿色和平中国编译。
—北京：中国环境科学出版社，2004.5
ISBN 7-80163-846-8

.风... . 欧... 绿... 中... .风力发
电 - 发展战略 - 世界 .TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 038340 号

风力 12：关于 2020 年风电达到世界电力总量 12% 的蓝图

编著：欧洲风能协会 / 国际绿色和平

编译：中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会 / 绿色和平中国

图片版权：由 PETITJEAN, WINTER, GE Energy-Wind Segment 提供，并拥有其版权

责任编辑：高速进

出版发行：中国环境科学出版社

地址：北京市崇文区广渠门内大街 16 号(100062)

电话：010-67112738

传真：010-67113420

印刷厂：北京京都六环印刷厂

版次：2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

开本：889 × 1194 1/16 字数：105 千字

印数：3000 册 印张：4.5

定价：50.00 元

CONTENTS

目 录

《风力 12》中文出版说明	1
序言 1	2
序言 2	3
序言 3	5
引论	6
执行总结	8
方法	14
世界风电的现状	17
风电成功事例	22
德国 世界之首	22
美国 苏醒中的巨人	24
印度 发展中国家的先锋	26
丹麦 商业化成功	28
西班牙 南欧的发电站	30
近海风电发展 新的领域	32
世界风能资源和电力需求	34
世界电力的 12% 来自风电	40
2020 年风电 12% 方案 投资、成本和就业	46
2020 年风电 12% 方案 环境效益	52
政策建议	56
附录	62
后记 1	66
后记 2	68



《风力 12》中文出版说明

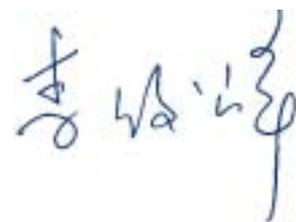
李俊峰

中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会 秘书长

受欧洲风能协会和绿色和平的委托，中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会组织编译出版了这本《风力 12:关于 2020 年风电达到世界电力总量 12% 的蓝图》的书。该书是欧洲风能协会和绿色和平组织对未来世界风力发电市场的情景描述。它用详实的数据和精辟的分析，向世人展示，风力发电已经成为解决全球能源问题不可或缺的重要力量。虽然，2020 年风力发电 12% 的比例，还仅仅是一种前景分析，但是它向人们讲述了一个美丽的童话。风力发电在安徒生童话的故乡丹麦成功了，接着在德国、西班牙、美国及印度继续着成功的故事。我们组织出版这本书，就是让更多的人了解风力发电，让更多的人投身于风力

发电。通过讲述别人风力发电成功的美丽童话，期望在我们美丽的国家继续书写这个故事，期望有一天风力发电 12% 的童话成为我国能源供应的现实。

在这里我谨向本书的译校人员——中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会的工作人员：林伟、关一松、刘霞、陈昆泉和绿色和平中国：喻捷以及初译人员林蔼云等表示感谢。还要特别鸣谢中国水电顾问公司的风电专家施鹏飞教授认真而专业的技术编校。没有以上这些人的努力，在短短的两个半月内出版这本关于风力发电展望的书只能是一个童话。



序言 1

吴贵辉

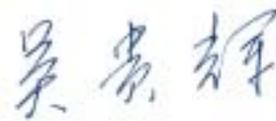
国家发展和改革委员会能源局副局长

21 世纪是科技、经济、社会加快发展的世纪，现代化步伐进一步加快，同时，能源与经济、社会和人民生活关系日益密切，保证能源的持续、安全、可靠的供应是一个十分迫切的重大问题，引起了各国政府和社会各界的普遍关注。我国能源的开发利用面临着资源、环境、安全和改善农村能源状况等方面的巨大挑战。因此，一方面我们要继续发展常规能源，另一方面要更加注重能源的节约，同时更要大幅度地提高能源利用效率和大规模开发可再生能源，更加重视分散式和分布式的独立小能源系统建设，以实现能源的可持续发展。近 20 年来，可再生能源发展很快，成为一种高新技术和新型产业，充满活力和希望，具有广阔的发展前景，已经成为世界各国能源发展战略的重要组成部分。目前，我国政府正在组织有关方面编制 2020 年中长期能源发展战略和规划，把可再生能源作为规划的重要内容。可见，可再生能源的战略地位和作用越来越受到重视。这个时候我阅读了欧洲风能协会和绿色和平提交的《风力 12：关于 2020 年风电达到世界电力总量 12% 的蓝图》的报告，使我十分激动和高兴，它如一缕清风，送来了可再生能源发展春天的信息。

在过去的 20 多年里，风力发电经历了从无到有、从小到大的艰难而有意义的历程。直到今天，才被人们所了解、所认识并开始有人大胆地预测，风力发电不再是可有可无的补充能源，它已经成为最具有商业

化发展前景的成熟技术和新兴产业，有可能成为世界未来的重要替代能源。《风力 12》是一个很有新意的报告，它用详实的数据、大胆的分析 and 发展的眼光，展望了未来风力发电在电力供应中可能扮演的重要角色：2020 年全球的风力发电装机将达到 12.31 亿千瓦，年安装量达到 1.5 亿千瓦，占全球发电总量的 12%。正如这个研究报告的编写者指出的，目前风力发电的成就就是在为数不多的国家努力下取得的。可以想象，全球共同努力可以使风力发电事业的前景更加辉煌。我相信本书描述的前景不是童话，它总会有一天能真实地展现在世人面前，使人们对能源的未来充满希望和信心。

为此，我谨向关心中国能源长远发展战略问题的同事们，特别是向关心风能资源开发利用的同事们推荐这本书，希望它能够给我们带来一些发展我国风力发电事业的新思路、新启发，开阔眼界，促进我国风电事业更快、更好地发展，为能源的可持续发展做出积极的贡献。



序言 2

周凤起

中国政府/世界银行/全球环境基金中国可再生能源项目办公室主任

一、积极推动可再生能源发展已为世界之共识

根据国际上的定义,可再生能源分为传统的可再生能源和新的可再生能源。传统可再生能源主要包括大水电和用传统技术利用的生物质能,新的可再生能源主要指利用现代技术的小水电、太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能和固体废弃物等。

2000年全世界消费的可再生能源为15.4亿t标准煤¹⁾,约相当于全球一次能源供应总量的15.8%。其中,传统可再生能源约占80%,新的可再生能源约占20%。可再生能源发电量占总的发电量的19%,仅次于燃煤发电。

提高能源效率和发展可再生能源已成为全球无可争议的可持续发展能源的两个车轮。从战略上来说,世界最终将转入可再生能源的永续利用。所以世界各国都将推动可再生能源的发展当作21世纪能源发展的基本选择。欧盟规定,可再生能源在一次能源中的比例要由1997年的6%提高到2010年的12%,2020年的20%,2050年将达到50%。

二、国际社会发展可再生能源的动力

国际社会发展可再生能源出于以下考虑:(1)能源安全和能源供应多元化;(2)减少温室气体排放;(3)减少化石燃料引起的城市环境污染;(4)替代核能;(5)创造就业机会和发展中小企业的动力;(6)扩大技术和装备出口。

三、风电的高速增长

1996年以后风电全球年均增长率超过30%,成为发展最快的清洁能源。技术的进步和生产规模的增长,使风电成本持续下降。每千瓦·时的成本由20世纪80年代初的20美分下降到1998年的5美分。目前在风能资源和建设条件较好的地区,风电电价约为4美分/kW·h。欧盟1991年规划到2000年风电装机400万kW,结果1997年就达到479万kW,重新制定2000年规划指标为800万kW,实际完成了1363万kW。2010年和2020年欧盟规划的指标分别是4000万kW和1亿kW,按目前发展的态势,也有可能提前实现。

四、什么是“风力12”(Wind Force 12)

正当全球更加关注清洁能源和风力发电高速增长的时候,由欧洲风能协会和绿色和平组织领导人签署,发表了这份《风力12》的报告,副标题是“关于2020年风电达到世界电力总量12%的蓝图”。这份报告不是预测,而是一个情景和对情景的分析。

作者认为,世界风能资源足够,风电上网没有实质性的障碍,如果2002—2007年风电平均装机容量增长率为25%,2008—2012年为20%,2013—2016年为15%,2017—2020年为10%,则2010年风电装机2.3亿kW,风电电量5120亿kW·h,2020年风电装机12.6亿kW,风电电量3.1万亿kW·h,占2020年总发电量的12%。

¹⁾ 2002年世界能源概览,国际能源机构IEA

对这样一个情景，很多人会认为不切实际。但是我认为这的确是未来可能发生的情景，特别是发达国家，尤其是欧盟，完全可以实现这一蓝图。发展中国家要实现这一蓝图可能相当困难。但是一个宏伟的目标，仍然会给我们以激励，鼓舞我们向这个目标前进。

五、中国为什么要大力发展可再生能源？

- (1) 可持续发展的需要；
- (2) 调整能源结构的需要；
- (3) 保护环境的需要；
- (4) 开发西部的需要；
- (5) 解决农村用能及边远地区用电和生态建设的需要；
- (6) 提高能源供应安全的需要；
- (7) 开辟新的经济增长点的需要。

六、中国已具备规模化发展可再生能源的条件

- (1) 我国有丰富的可再生能源资源；
- (2) 技术逐步趋于成熟；
- (3) 经济性不断改善；
- (4) 巨大的潜在市场。

七、中国也要加快发展风电

到2002年底，全国风电装机40万kW，过去10年以年均55%的高速增长。2010年前如果风电年均增长率保持在30%，到2010年风电装机总容量可达400万kW以上，2010—2020年年均增长率保持在20%，2020年总装机将达到2000万kW以上。在东部沿海和北方风能资源丰富区，建成若干个百万千瓦级的风电基地，其中广东、福建、河北、北京都榜上有名。

八、中国可再生能源发展战略

推动中国可再生能源规模化发展的战略可归纳为：政府支持、法律保证、引入竞争、依靠科技。

政府支持：国内外的经验表明，没有政府的支持，可再生能源不可能迅速得到发展。政府的支持包括实行促进可再生能源发展的强制市场政策和经济激励政策。

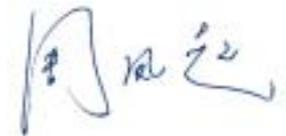
法律保证：早期各国发展可再生能源都首先发展技术，一旦技术成熟，注意力就转向示范和降低成本。只有成本足够低，市场才能发展。近年，一些国家通过立法，强制电力公司供应或购买再生电力。这样，就不再需要沿袭过去的顺序而直接跨越到创立市场的阶段。有了市场和价格的保证，就能增强可再生能源开发者的信心。

引入竞争：只有竞争才能降低成本，进一步扩大市场，最终实现商业化。

依靠科技：可再生能源的发展在根本上要依靠科技进步。

九、感谢和希望

我非常高兴地看到《风力12》中文本的出版。感谢绿色和平和中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会的努力和贡献。这些非政府组织为了环境保护，为了公众利益，不断作出努力，值得人们尊敬。我希望有识之士，为了未来的可持续能源的发展，联合起来，共同奋斗！



序言 3

马高·华斯顿 (Margot Wallstrom)

欧洲委员会成员，负责环境事务

气候变化是世界可持续发展所面临的主要挑战，富有远见的政治家和商界领袖也越来越觉察到这一点。目前，我们面对的任务之一是要在未来几十年内，把我们的能源系统，由化石燃料转变成可再生能源，同时要大幅度地提高能源效率。

《风力 12》这个计划，说明了风电是解决问题的关键。风电在自由的能源市场和一些风能资源丰富的地方，越来越具竞争力。这鼓励我们去设想，如果我们能够正确掌握政策和市场的架构，其他可再生能源也可以同样地成功。这个架构的重点是要减少对环境有害的能源进行补贴，把能源生产使用对环境带来的影响也计算在成本之内。在未来几年里，近海风能的发展可以大规模地扩大风能资源的开发，同时也免去了陆上风能资源开发带来的对景观及其他负面影响的担忧。

要走向一个能源供应源源不断的未来，必须要鼓励公共机构和私有部门的参与投入，政策制订者在制定政策时要引领公众并获得支持，因为商界在决定重大投资时需要一个稳定而长远的政策框架作依托。正如这个报告所提出的构想，只有基于合理的分析和明确的目标，我们才能勾画出一个未来能源体系的前景。这个前景不仅是市民和决策者的需要，也应该成为长远策略的基础。风能的发展规划一定要与未来能源发展的前景结合在一起。譬如说，这个被大气层围绕着的地球，若要使环境不受破坏并具备可持续性，

其发展便要依赖于可再生能源，并辅之以能源效率的突破。

欧盟在风电的产量和风电机组的生产上，均为世界之首。欧洲的风电机组产业，满足了约 90% 的全球市场需求。这个例子说明环境科技如何使一个产业变得富有竞争力，从而创造出口的机会。我们相信科技是欧盟以及全球持续发展的关键。2002 年夏天在约翰内斯堡的地球峰会上，欧盟成立了约翰内斯堡可再生能源联盟 (Johannesburg Renewable Energy Coalition)，到现在已经有 80 多个国家加入，它们在世界各地均致力于推动可再生能源的发展。这个合作计划之所以成功，是因为它拥有一个自下而上的动力，事实上，市场和投资策略是促成约翰内斯堡可再生能源联盟的关键。所以，我们的目标之一就是寻求新的方法，促进市场，增加公共和私人投资者对可再生能源技术的兴趣，而风能是我们整个计划的一部分。

这个报告使我们无意中瞥见了一个令人兴奋的未来，这个未来会为民众带来更美好的世界。我希望你们在阅读时，会感到同样地兴奋。



引论

高恩·米拉斯 (Corin Millais)

欧洲风能协会主席

史温·泰斯卡 (Sven Teske)

绿色和平可再生能源项目主任

《风力 12》这个报告展示出，到 2020 年要单独用风电实现供应 12% 的世界电力需求，没有技术、经济或资源方面的障碍。而这个估算，已经考虑到当时用电量会比目前上升 2/3。我们今天的风电产业，到 2020 年会成为一个充满活力和创新的商业领域，每年投资额将达 750 亿欧元；它不但能满足全球能源的需求，还将带来一个以经济增长、科技革新和环境保护作为发展动力的新时代。

风能是一个非常重要和巨大的资源，它安全、清洁、充裕而且无限，能提供源源不绝、稳定的能源供应，而风电产业是世界上发展得最快的能源行业，它为全球经济开始向以可再生能源为基础的转型提供了最好的机会。

从 20 年前推出的样机开始，风电技术经过长期发展的历程，今天的风电机组已经成为先进的现代高新技术，当前一台风电机组，比 20 年前的机组功率大 200 倍，而其风轮的直径比一架大型喷气式客机的机翼还长。现代风电场生产出来的电量之大，相当于常规电厂，而且它可以在几个月的时间内建成。这幅风电的发展蓝图，将更加拓展技术进步的范围，从而带来更巨大的效益。风电不需要被发明出来，也不需要等待任何神奇的技术“突破”，今天已经可以在全球推广。

正如报告开始几章所描述的，这个产业今天的成功，主要是由三个欧洲国家——丹麦、德国和西班牙——的努力所取得的。很明显，如果其他国家能同样地全力投入，它所产生的影响会更广。

事实上，仅仅三个国家的投入就带来了今日突飞猛进的发展，足以证明今天的风电技术只发掘了冰山的一小角，还有更巨大的潜能有待开拓。如果一个积极的政策和法规框架体系得到落实，目前限制这个产业实际潜力发展的障碍和被扭曲的市场状态得以消除，在未来 20 年里风电成功的历史将会继续下去。

2002 年地球峰会之后，约翰内斯堡可再生能源联盟正式成立，超过 80 个国家加入，它们宣称的目标是要“实质性地增加全球可再生能源的比例”，而且基于“清晰的、巨大的、有时间限制的目标”。政治宣言若没有付诸实践，只会是一篇空话。《风力 12》是一个可以让政府落实行动的政策蓝图，它展示出仅仅一种可再生能源技术便可能达到多大的效果。

风电是世界规模的，它可以提供巨大的能量以满足世界能源和发展需求却不会造成损害。



执行总结

方法

这项研究的目的是要评估,到2020年风电是否可以在全球电力需求市场中,达到12%的占有率。整个分析会涉及几项有关技术、经济和资源状况的评估。

这个研究最主要的内容包括:

世界风能资源及其地理上的分布评估。
所要求的风电电量以及电网系统是否能够容纳。

风电市场现状及其潜在的增长速度。
分析风电技术及其成本的概况。

以“学习曲线理论”比较风电与其他新兴技术的发展。

1999年出版的《风力10》研究被更新为2002年5月出版的《风力12》,而本报告是两者的最新修订版。正如较早的研究一样,它不是一个预测,而是一个可行性研究,方案是否得以落实,取决于世界各国政府的决策。

世界风电现状

自从最初的报告面世后,风电一直是世界增长最快的能源,装机容量持续每年增长超过30%;单就2002年而言,电网中增加了7000多MW新容量,年投资额达70亿欧元。

到2003年初,全球风力发电装机容量达32000MW,足以供应约1600万欧洲普通家庭

或4 000万欧洲居民的电力需求。虽然全世界风电装机容量的74%在欧洲,其他地区也开始形成有一定规模的市场,目前约有50个国家加入了风力发电的行列,估计整个行业就业的员工约9万~10万人。

风电发展的推动力,从解决能源的急需到越来越多是为了对付全球气候变化。绝大部分国家目前已经同意一定要大幅地减少温室气体排放,以避免更严重的环境灾难。风电这种能源不但可以完全避免排放造成温室效应的二氧化碳,也不会产生与化石燃料或核能发电相关的污染物。风电可以提供工业规模的并网容量。

自从1997年《京都议定书》(Kyoto Protocol)签订后,减少温室气体排放的一系列具体目标已落实到地区和国家层面,进而转化成增加包括风能在内的可再生能源比例的目标。

为了完成这些目标,欧洲与其他国家采用各种政策机制,包括按每千瓦·时优惠电价收购供电量以及基于强制供电商增加可再生能源发电比例等较复杂的机制。

当市场不断扩大,风电的成本也大幅下降。仅在过去5年,风电每千瓦·时的成本就下降了20%。风电已经可以与新建燃煤电厂竞争,在一些地方,它甚至可与燃气电厂匹敌。风电机组的单机容量也有所增加,最大型的商业机组,目前容量达2 500kW,而正在研究制造的新型样机,单机容量则超过4 000kW。

风电主要的“成功故事”,发生在欧洲的有德国、西班牙和丹麦,在美洲的有美国,而发展中国家也有印度的经验。此外,已经计划要在北欧附近的海域,兴建容量超过2 000万kW(20 000MW)的风电场,可见近海风电的市场也正在崛起。

世界风能资源以及电力需求

有不少评估报告均指出,世界风能资源极其巨大,而且很好地分布在几乎所有的国家和地区,技术上可以转换成电力的风能资源每年约53万亿kW·h(53 000TW·h),这个数字是2020年世界电力需求预计的两倍多,所以,风力发电受到资源匮乏这个因素限制的可能性微乎其微。

与一般性的研究预测相比,当我们对某个国家进行更仔细的研究时,往往会发现有更大的风能储量。譬如说,德国经济事务部的研究显示出风能储量比1993年对经济合作与发展组织(OECD)国家的评估结果高出5倍。欧洲各国乐观地估计,到了2020年,风电可以供应最少20%的电力需求(尤其是当考虑到新的近海风电市场的潜力)。

国际能源机构(International Energy Agency——IEA)对未来用电的需求进行了定期评估。根据2002年IEA的世界能源展望评估,到2020年,世界电力总需求会上升至25.578万亿kW·h(25 578 TW·h)。若需要风电满足全球12%的用电量,到2020年,它每年要生产出3万亿kW·h(3 000 TW·h)的电量。

由风能产生的新增电力并入电网系统并不存在实质性障碍。在丹麦西部，风力非常大的期间，风电容量的比例最高达到总体的50%仍然能够承受。因此，要达到这里所设定的20%风电容量限制这一谨慎方案并不困难。

12%的世界电力来自风电

基于最新的发展趋势我们可以预期，从现在到2008年，平均每年风电装机容量会增加25%，这个数字是我们的研究时段中出现的最高增长率，按这个增长速度，到2008年底，并网的装机容量将达到1.33746亿kW(133746MW)。

从2009—2014年，预计年均增长率会降低到20%，到2013年，装机容量便会达到4.62253亿kW(462253MW)。之后年增长率会降低至15%，直到2018年增长幅度则会降至10%，不过，到那个时候，风电的年装机容量仍会在很高的水平上增长。

到2020年底，根据我们的发展方案，风电在全球的装机容量几乎可以达到12亿kW(120万MW)。这代表年发电量共有3万亿kW·h(3000TW·h)，相等于世界电力需求的12%。

从2020年开始，每年新增的风电装机容量会在1.5149亿kW(151490MW)的水平，这意味着到2040年，风电的全球总装机容量将达到31亿kW(3100GW)，相等于当时22%的世界用电量。

12%这个方案也被分解到世界各个区域，OECD国家会带头发展，尤其是在欧洲和北美洲国家，但其他地区，如中国也会做出重大的贡献。

这个方案所选择的参数和假设条件是建立在风电产业和其他能源技术发展的历史经验之上。

主要的假设条件是：年增长率。

每年20%~25%的增长率对于一个制造重型设备的产业来说，可算是高增长，但风电产业在其早期产业化的过程中，曾经出现过更高的增长率。过去5年，风电机组装机容量的年均增长率接近36%；到2013年之后，预计增长率会降至15%；至2018年，会再下降到10%。在欧洲，一个有关未来增长的重要因素是近海风电市场的开拓。而对于发展中国家来说，如果要取得这个方案所提出的增长量，来自业内的明确信息是要看到在新兴市场中建立稳定的政策框架体系。

进度的比率

工业学习曲线理论(Industrial learning curve theory)指出，当产品数量加倍的时候，成本就会下降约20%。本研究的进度比率假设是，从一开始到2010年为0.85，之后为0.90，直至2026年再到1.0。

单机容量的增长

新的风力发电机组容量在未来10年的平均增长，估计会由目前的1MW增加到2008年的1.3MW和2013年的1.5MW。风电机组的容量越大，所需的机组数目便越少。

与其他技术的比较

核电和大水电两种能源技术，都在相对较短一段时间内取得了重要的份额，核电目前占全球电力的 16%，而大水电则为 19%。今天，风电是一项商业化的产业，它有能力变成主要的电力供应来源。风电占 12% 的发展方案与这里提到的前两项技术的历史发展经验是一致的。

投资、成本和就业

要成功地展开上述勾画的风电发展蓝图，年投资额从 2003 年开始为 72 亿欧元，以后一直增加，到 2020 年最高为 752 亿欧元。要做到 2020 年风电约 12 亿 kW (1 200 GW) 的装机目标，在这期间累计总投资估计需要 6 740 亿欧元。这是一个很大的数目，但它与 20 世纪 90 年代每年花在电力方面 1 580 ~ 1 860 亿欧元的投资却无法相比。这一笔全球所需的未来风电投资，也按照不同的地区分别开列。

由于设备制造和其他成本都在下降，风电的度电成本已经大幅下降。本研究以 2002 年的状况作为起点，采用当时先进的风电机组在最佳条件下，每千瓦装机的投资成本为 832 欧元，而每千瓦·时电量的成本则为 3.88 欧分。

以上面讨论过的发展进度作为假设，并考虑到风电机组平均单机容量及其容量系数的改进，假设每千瓦装机成本为 623 欧元，预计到 2010 年每千瓦·时电量的成本会降至 2.93 欧分。到 2020 年，当装机的成本降至 497 欧元 / kW，发电成本估计会下降到 2.34 欧分 / kW·h。相对 2002 年来

说，成本已大幅下降了 40%。

可以预期，风电的成本比较其他能源技术会越来越具有吸引力。风电占 12% 的发展方案所带来的就业，是另一个衡量其成本效益的重要因素。到 2020 年，与这个产业相关的制造、安装和其他工作，将会创造一共 179 万个职位。这个数目也按世界各个地区分别列出。

环境效益

风力发电对环境非常有利，它能减少大气层中二氧化碳的排放水平。众所周知，二氧化碳带来了温室效应，并引发全球气候变暖的灾难。

假设我们改用风力来发电，每生产 100 万 kW·h (1 GWh) 的电量，便能减少排放 600 t 的二氧化碳，根据本研究的方案，到 2020 年，每年可以减少 18.13 亿 t 二氧化碳，2040 年则达到减少 48.6 亿 t；到 2020 年，累积下来的数据达 109.21 亿 t，直到 2040 年，总共会减少排放 859.11 亿 t 的二氧化碳。

若以金钱来换算这些外部成本（包括用于发电的燃料所造成的环境破坏），以其他燃料来发电的成本便会大幅增加，风电的发展前景则会更佳。

政策摘要

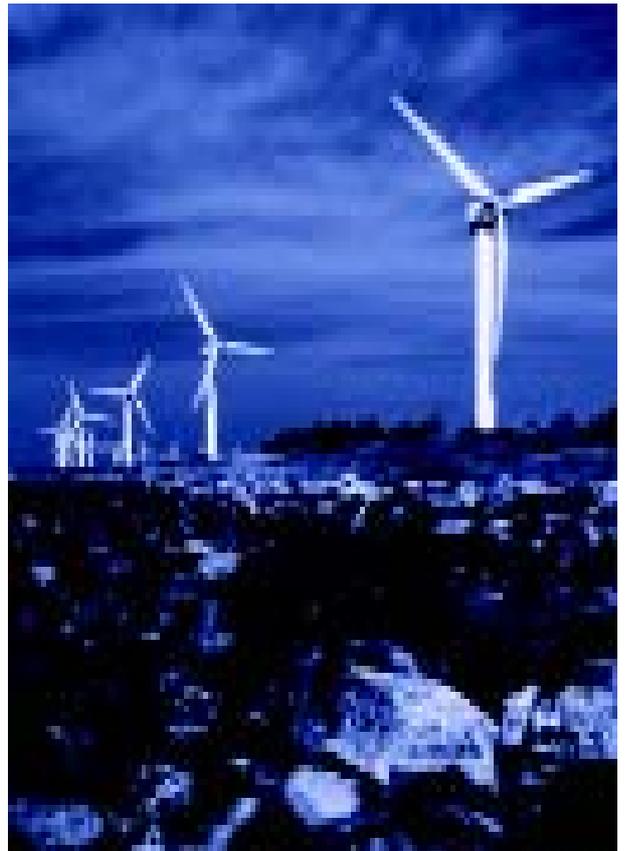
国家政策

- 1 设立具法律强制力的可再生能源发展目标；
- 2 为投资者提供固定和稳定的回报；

- 2.1 可再生能源的价格一定要允许较之其他投资来说更具竞争力的风险回报；
 - 2.2 项目执行期要使投资者能有足够的时间回收他们的投资。
- 3 电力市场改革
 - 3.1 排除供电领域中一些阻碍可再生能源发展的因素；
 - 3.2 排除非正常市场的因素：
 - 停止对化石燃料和核电的补贴；
 - 把污染性能源带来的社会和环境影响；纳入内在的成本。

国际政策

- 1 签署京都议定书
- 2 改革出口信贷机构(Export Credit Agencies —— ECAs)、多边发展银行(Multi-lateral Development Banks——MDBs)和国际金融机构(International Finance Institutions —— IFIs)
 - 对所有能源领域的贷款中，要有确定的百分比，而且是持续增长的比例直接投入到可再生能源项目；
 - 尽快减少对常规的污染性能源项目的补贴。





方法

这个报告中最主要的分析是由BTM咨询公司进行的，它是一家在丹麦注册的、专门研究风力发电的独立顾问公司。

这个研究的目的是评估技术、经济和资源的状况，评估它们是否能支持风电在20年内成功地占有12%的未来全球总体电力需求市场。此外，报告也研究“风电12%”的发展方案是否可以在既定的时段内完成。

这个研究采取的方法需要探索下列问题：

- 世界风能资源是否足够？其地理分布又是否可以使风电成功地获取12%的市场占有率？
- 要达到12%这一目标，需要有多大的风电电量？这个电量又是否可以通过目前电网系统来输送？
- 风电的技术发展是否足够应对这一挑战？其具体的技术和成本状况是怎样的？
- 以目前风电产业的情况来分析，它有没有可能满足明显增加的需求？它需要一个多高的增长率呢？

这个报告是第四个修订版。第一个研究报告于1998年由BTM咨询公司完成，目的是为了准备丹麦能源与发展论坛（Danish Forum for Energy & Development——FED），它后来成为FED、绿色和平和欧洲风能协会（European Wind Energy Association——EWEA）于1999年出版的题为《风力10》的详细分析的雏型。到2002年，欧洲风能协会和绿色和平又出版了更新的报告，题为《风力12》。

第一个研究报告(1998)就风电是否能占有10%的世界电力市场的分析,参考了世界电力需求两个预测。而在更详细的《风力10(1999)》的分析报告里,则引用了国际能源机构(IEA)1998年《世界能源展望》的保守估算,该估算假设按“正常情况”,预期世界用电量到2020年会增加1倍。

2002年《风力12》的报告中,有三个重要的因素出现变化。首先,在参考过IEA的2000年《世界能源展望》的最新全球电力需求估算后,本报告的用电量需求预测也做了调整,相对1998/1999年的报告来说,数字有一些减少,这种调整使风电在世界电力中所占的百分比相对有所增加。其次,风电产业在过去3年的增长率比《风力10》报告所预期的高。第三,报告明显地降低了自2004—2015年间风电年增长率的预期,这使新的发展方案变得更保守。这些因素加起来使我们预期,风电到2020年可以提供12%的全球电力需求。

*目前这个《风力12》(2003)的版本,又做出了几项最新修订。*首先,我们维持了25%、20%和15%的年增长率下降趋势,但每一个阶段的时间延长了一年。这个调整的理由是因为在2002年,风电的增长比以前低,这是我们首次看到以兆瓦计量的实际年装机容量小于《风力12》上一个版本研究的结果。不过,要强调的是,这个报告中所采用的增长率比过去5年里市场实际达到的增长率(年均增长为36%)更为适中。

其次,平均容量系数(capacity factor)的估算,在前3年由25%下降到24%,这是因为2002年的

平均数为23%。综合考虑各类场址和设计参数将会提高容量系数,未来大型近海风电发展对这方面的改进会有明显的作用。

最后,报告参考了最新的2002年《世界能源展望》对全球电力需求的估算,其中只有很轻微的调整,因为它与2000年《世界能源展望》对2020年的能源需求预测几乎一致,即25.579万亿kW·h(25.579TW·h)与25.878万亿kW·h(25.878TW·h)。

在评估世界不同地区的新增风电装机分布时,有一些洲或大陆的风电大规模发展比预期的晚了几年。尽管具备了良好的市场条件,有些地区如东亚、中国和经济转型国家在2005年之前,它们每年装机容量的水平不会很高(见表5-6a)。

本报告也利用了所谓的“学习曲线理论”来比较风电技术与其他新兴技术的发展经验。因为风电系统是由不同的配件组装而成,它很大程度上会受到学习曲线效应的影响,这意味着在开始发展时有一个较高的市场占有率,会带来技术和经济方面的进步,继而期望会有更大的进展,使一个高水平的发展变得可能。因此市场占有率的曲线会扩展至2040年,那时将达到一个饱和的水平。

若风电在2020年占有12%的市场,必须建立超过1.5亿kW(150000MW)的年制造能力,这个数字是2002年的20倍。如果在2020年之后,仍然保持这个产量,就表示风电的潜力可能更大,到2040年其市场占有率会更高。那时将会有30亿kW(3000GW)的风电机组在运转。

本报告对 2020 年之后风电的市场占有率在实施的局限性方面没有进行详细评估。然而如果风电在 2020 年能够达到这个情景的要求，很可能会继续发展下去，只是在接入电网系统时，需要加上一个边际附加成本。

最后，要强调的是 BTM 咨询公司的分析，并不是一个长远的预期，也不是一个预测，因为这个研究是根据今天风电产业真实的经验和发展而做出的，它是一个可行性研究，当中考虑了大规

模风电发展所面对的主要实际障碍。

本研究还将风电这个产业目前实际的增长模式与其他能源技术领域进行了评估和比较。在过去的半个世纪中，发电技术如大型水电和核电，在一段相对短的时间内，已经成功地取得很高的市场占有率水平，没有证据证明风电不可以同样地做到这一点。然而，风电发展的实际模式，会由地区、国家和世界各个层面的政治动力来决定，正如核电和大型水电的发展经验一样。



世界风电的现状

自从最早的报告《风力10》在1999年出版以来，风电的发展不断超越其预期的发展速度，而且一直保持着世界增长最快的能源的地位。在主流的能源分析家当中，风电被评为最具前景的商业领域之一，它既能提供清洁的能源，还能缓和全球气候变暖的状况。

过去5年中，全球风电累计装机容量的平均增长率，一直保持在33%（表2-1），而每年新增的风电装机水平则更高，一年接一年地增长，平均是35.7%。就2002年而言，全球有超过720万kW(7200MW)的新增装机容量并入电网系统，投资总额超过70亿欧元。

到2002年底，全球风电机组的装机容量已达3200万kW(32000MW)，足够供应1600万个欧洲家庭或4000万人口平均的电力需求。欧洲占这个装机容量的74%，也占2002年增长率的85%；但其他地区也开始崛起，成为风电产业的重要市场；世界总容量中包括约50个国家的风电装机，在这个产业中就业的人数估计约9万~10万人，其中有7万~8万人在欧洲。

表2-1 1997—2002年世界风电市场的增长

年份	新增装机容量 / MW	增长率 (%)	累计增长容量 / MW	增长率 (%)
1997	1 568		7 636	
1998	2 597	66	10 153	33
1999	3 922	51	13 932	37
2000	4 495	15	18 449	32
2001	6 824	52	24 927	35
2002	7 227	6	32 037	29
5年内平均增长率		35.7		33.2

世界性市场

在欧洲，德国一直带领着风电市场的发展。德国在2002年新增的风电装机容量已突破以往的纪录，达到324.7万kW(3247MW)，使全国风电总容量增至1200万kW(12000MW)，相当于全国电力需求的4.7%，预计到2010年风电的比例会升至8%。

丹麦和西班牙的风电也持续发展，后者在2002年的新增装机容量达150万kW(1500MW)，最近有迹象显示，西班牙的风电产业紧追德国，欲与之竞争欧洲之冠的地位。同时，丹麦已成功地以风电来满足国内18%的电力需求，是世界上风

电贡献率最高的国家。欧盟其余 8 个国家——法国、希腊、爱尔兰、意大利、荷兰、葡萄牙、瑞典和英国，每一个国家的装机容量都已超过 15 万 kW(150MW)，而且它们全部都进入了这个产业的高速发展阶段。英国、意大利和荷兰的风电装机已经突破 50 万 kW(500MW) 大关。

北美洲

在美洲，美国市场出现复苏，不过因为联邦政府缺乏连贯的政策，风电发展仍旧有很大的限制。面对着一个不稳定的电力市场，大型电力公司越来越倾向把风电视为一个价格低而稳定的电源。目前美国的装机容量达 467.4 万 kW(4 674MW)。

加拿大作为世界拥有最多风能资源的地区之一，也计划扩展目前 27 万 kW(270MW) 的装机水平，它会引入一项与美国现有政策相似的生产税优惠体系，为未来的发展做好准备。

在南美，紧急的电力需求已迫使巴西政府推出一项装机容量达 100 万 kW(1 000MW) 的风电计划；拥有庞大发展潜力的阿根廷，也等待着相似的契机来推动风电发展。来自西班牙的公司正在为这些需求提供发展所需的专业知识。

世界其他地方

新的市场也在其他大陆显现。在 2002 年，澳洲的风电装机增加了 1 倍，达 18.9 万 kW(189MW)，此外，尚有 170 万 kW(1 700MW) 的装机容量在亚洲进行建设。印度自 20 世纪 90 年代后期，风电市场一度低靡，但最近却出现复苏，截至 2002 年底，

容量已超过 170 万 kW(1 700MW)。中国预计到 2005 年，装机容量能增至 120 万 kW(1 200MW)，而日本的风电装机容量也一直稳定攀升。非洲，埃及和摩洛哥风电发展的经验反映出国家政策和欧洲发展商支持的至关重要。目前，摩洛哥已经有一个 5 万 kW(50MW) 的风电场，供应国内 2% 的电力需求，此外，它已经计划要增加 46 万 kW(460MW) 的容量。

应对气候变暖的动力

风电发展的动力，越来越多是为了对抗全球气候变暖这个刻不容缓的危机，联合国跨政府气候变化 (IPCC) 专家小组预测，到下一个世纪，全球的平均气温会增加 5.8℃，因而引发水灾、旱灾和急剧的气候变动与反弹。目前，绝大部分国家均同意要大幅度地减少温室气体的排放，以缓解这一环境灾难。

风能以及其他可再生能源技术，既可以发电，又不会制造出与化石燃料和核能发电有关的污染物，更不会排放造成温室效应的二氧化碳。

1997 年签订的《京都议定书》要求，2008—2012 年之间，全球要使得有损大气层的气体排放量减少 5.2% (以 1990 年的水平作为基准计算)。其后，一系列削减温室气体排放的目标被落实到国家和地区的层面上，这些目标被转化成增加可再生能源在整体电力供应的比例。譬如说，欧盟 15 个成员国家，现在就有一个共同的目标，在 1997 年 14% 的基础上，希望到 2010 年有 22% 的电力供应来自可再生能源。

表2-2 2002 年风电市场容量

国家	新增容量/MW	2002年累计/MW
德国	3 247	11 968
西班牙	1 493	5 043
丹麦	530	2 880
美国	429	4 674
印度	220	1 702
荷兰	219	727
日本	129	486
澳大利亚	119	189
意大利	106	806
希腊	104	462
其他	632	3 100
世界合计	7 227	32 037

为了完成这些目标，欧洲和其他国家，均采取了一系列政策机制，简单的机制有的是对可再生能源发出的每千瓦·时给予补贴，而较复杂的则是规定供电商有义务增加可再生能源的比例。

全球常规能源所接受的补贴，
每年达 2 300 亿 ~ 2 800 亿欧元。

非正常的市场

支持这些政策机制的主要论点有两个。首先，我们需要给予市场一定的刺激，直至这个重要产业能够建立起来。第二，一直以来能源市场都处于非正常状态，偏向化石燃料和核能，因为全球常规能源每年得到的补贴达2 300亿 ~ 2 800亿欧元。在美国和欧洲，核能持续获取能源研究基金中相当一大部分的研究经费。与此同时，“常规”燃料发电的成本，并没有包含由它造成的对环境、

健康和社会的影响。伴随着全球能源市场自由化带来的竞争，这些非正常因素使新的技术难以立足。

相反，在发展中国家，不论是否设有环保补贴，风电本身就具有吸引力，因为它是一种提供廉价和灵活的能源供应的方法，尤其是它能有效地为一些偏远的地区供电。在未来几十年里，主要新增电力的需求会来自发展中国家，而风电则提供了一个契机，它能避免污染问题并提供大量电力，促进清洁产业的发展。

单就过去 5 年而言，
风能的成本已下降了 20%。

成本下降

因为市场不断扩展，风电的成本也大幅度下降；单就过去5年而言，其成本已下降了20%。在风力较强的地方，风电完全可以与新式燃煤电厂竞争；在某些地点，它甚至可以与燃气电厂匹敌。

当平均风速上升，风力发电的成本便会下降。工业杂志《风电月刊》(Windpower monthly)指出，在一些平均风速7m/s的地方，每千瓦装机成本为 700 欧元时，风电便可以与燃气发电竞争。

风电技术

风电似乎是一种简单的技术，其实在高耸、轻盈的塔架和徐徐旋转的叶片背后，是承受复杂

表2-3 世界十大风电市场的增长率

国家	1999年底 /MW	2000年底 /MW	2001年底 /MW	2002年底 /MW	2001-2002年 的增长率(%)	3年平均增长 (%)
德国	4 442	6 107	8 734	11 968	37.0	39.2
西班牙	1 812	2 836	3 550	5 043	42.1	40.7
美国	2 445	2 610	4 245	4 674	10.1	24.1
丹麦	1 738	2 341	2 456	2 880	17.3	18.3
印度	1 035	1 220	1 456	1 702	16.9	18.0
意大利	277	424	700	806	15.1	42.7
荷兰	433	473	523	727	39.0	18.9
英国	362	425	525	570	8.7	16.4
日本	68	142	357	486	36.1	92.7
中国	262	352	406	473	16.5	21.8
世界合计	12 874	16 929	22 952	29 329	27.8	31.6

相互作用的轻型材料、空气动力学的设计和计算机化的电子控制系统。德国的产业数据显示，风电机组本身的成本占陆上风电项目的65%，而其余的成本是电气系统设备、土地价格、基础和道路建设。

这个技术系统的运行正在不断地改进，要以最低的成本去增加机组从风中获得更多能量的能力，其中包括动力更强的风轮、更大的叶片、改进的电力电子设备、更有效地采用复合材料以及更高的塔架。

一台 2 000kW 的风电机组，
比 200 台 20 世纪 80 年代
出产的旧式机组发电量更高。

最大的改进是风电机组的容量和性能。20年前的单机容量仅 25kW，今天在市场上销售的商业化风电机组，单机容量一般为 600 ~ 2 500kW。2002 年，在德国新装的风电机组，平均单机容量升至 1 390kW。一台 2 000kW 的风电机组，比 200 台 20 世纪 80 年代出产的旧式机组发电量更高。

虽然多种不同的技术方案仍在继续探索，但最普遍的形式为水平轴三叶片上风向配置，即风轮位于塔架迎风的一面。动力由叶片通过齿轮箱传递到发电机，有的机型以变转速运行。另有一些风电机组不用齿轮箱，风轮直接驱动发电机。

当前最大的商业化风电机组容量为 2 500kW，其风轮直径达 80m，安装在 70 ~ 100m 高的塔架上。其结果是能以数目较少的风电机组完成相同的发电量，从而节省土地使用面积。一台 1 MW 的风电机组，在适当的地点，可以生产出足够供应 600 户家庭所需的电量。

针对近海风电市场，未来将会开发出更大型的风电机组。目前正在开发的机组单机容量是3 000 ~ 5 000 千瓦。在2003年，德国 Enercon 公司安装了第一台4 500kW的风电机组样机，其风轮直径达112m。

风电机组的设计寿命约为20 ~ 25年，其运行和维护的费用通常相当于风电机组成本的3% ~ 5%。

变化不定的风力给电网所带来的问题，远比怀疑论者估计的低。例如，在丹麦西部，风力强劲的冬夜里，风电机组所发功率占到50%，但电网运行人员仍然能管理好输电系统。不过，如果能建立一个横跨欧洲各国的超级电网系统，把欧洲大陆与未来10年开始供电的近海风电场连接起来，将会进一步改善欧洲风电的效率和可靠性。



风电的优势

成本低 可以与核电、煤和燃气在对等的游戏规则下竞争。

其动力是免费的、充裕的，且取之不尽，用之不竭。

不需要燃料 不会排放二氧化碳。

为燃料价格的浮动提供一层保护。

充足的供应 避免依赖进口燃料。

组合式设计，可以迅速地安装。

可提供如常规供电系统相等的电量。

不妨碍土地的使用 农业与工业活动可以继续
在塔架周围进行。

风电成功案例

德国 世界之首

德国在风电发展的世界领先地位是毋庸置疑的。从20世纪90年代初开始，风电一直在全国和地方政策的推动下，成为一个高速扩展的行业，并为其他欧洲国家开拓出一条新的发展道路。

截至2002年底，德国风电的装机容量超过1200万kW(12000MW)。这些风电机组的发电量，可以满足拥有8200万人口的国家4.7%的电力需求，按照这个趋势继续下去，到2010年，这个比率可轻易达到8%。

仅在2002年，电网系统里便新增加了2300多台风电机组，总容量达到324.7万kW(3247MW)，比2001年最高纪录的新增装机容量又提高了20%。从20世纪90年代中期开始，德国在风电市场的增长率一直非常突出，过去3年累计装机容量的年平均增长率为37%。

在德国的电力工业发展史上，没有任何一种能源的发展可与风电媲美。德国风能协会把核商业化10年之后的1970年的发电量为6.5TW·h，与风电得到政府支持10年之后的2000年的发电量11TW·h作比较，表明风电发展速度是最快的。

一个崭新的大型产业在这个以工程技术闻名

的国家里建立起来。绝大部分在德国投入使用的风电机组是本地生产的；Enercon, Vestas Deutschland, Nordex 和 GE Wind 等公司已经具备大型的生产基地。在这个行业直接和间接就业的人员，估计约有 4.5 万人，其中有 1/5 的职位是 2002 年才新增的。此领域的营业额，在 2002 年已达 35 亿欧元。

立法里程碑

紧接着 20 世纪 80 年代一系列政府资助的研究计划后，国会在 1991 年通过了强制购电法 (Stromeinspeisungsgesetz/Electricity Feed Law — EFL)，这使德国市场出现了重大突破。这一次立法具有里程碑的意义，它为所有可再生能源生产商提供了保障，他们所发出的每千瓦·时的电力，都能得到最高相当于本地售电价 90% 的价格。此立法的依据是，清洁能源需要有足够的激励机制建立起市场，并且还能与那些一直受到补贴的燃料（如煤和核能）竞争。事实证明，此项法令不单在执行上非常简单，而且效果显著。

到 2000 年，EFL 的原则在一项新的可再生能源法令中进一步确立起来。此法令规定，在风电机组投产 5 年之后上网电价要减少，但这条法令并没有使投资者却步，这也足以证明风电在市场上越来越富有竞争力。

被这个行业直接和间接
就业的人员，估计约有 4.5 万人，
其中有 1/5 的职位是 2002 年才新增的。

国家的政策在很大程度上受到强大的地方发展规划的影响。譬如说，在德国最北部的石勒苏

益格 - 荷尔斯泰因州 (Schleswig-Holstein)，已经实现以风电供应 25% 电力需求的目标。这个目标本来预期在 2010 年才能完成。计划之所以如此成功，其中因素是，风电场的发展商可以通过非赢利的投资银行得到低息贷款。在这个省旁边的罗威萨克逊尼州 (Lower Saxony) 的人口虽然较多，但它在同样有力的政策支持下，其风电机组也成功供应了全州 14% 的电力需求。为了使风电的发展更加迅速，很多州已经划定地点作为新风电计划的建设场地。

分散的产权

在德国，国家和地方所提供的强有力的经济激励带来了另外两个重要效果。

第一个效应是，使风电场的选址不限于北海沿岸风力明显强劲的地方，即使内陆风速较低的州，如北莱茵 / 西伐利亚的莱茵地区 (North-Rhine Westphalia) 在 2001 年底装机 144.5 万 kW (1 445 MW)，萨克逊尼 - 安哈尔特 (Saxony-Anhalt) 装机 129.4 万 kW (1 294 MW) 和勃兰敦堡 (Brandenburg) 装机 127.2 万 kW (1 272 MW) 等都同时受益。为了开拓这些地区的市场，制造商生产出适合在低风速下有效运行的风电机组。

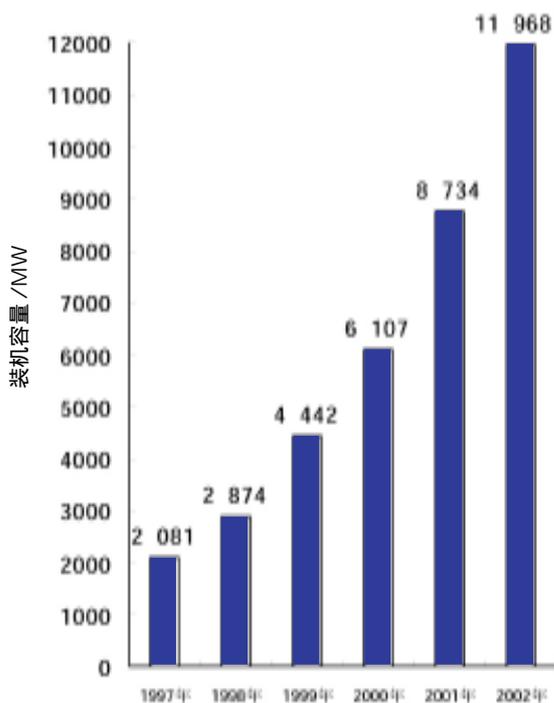
第二个效应是将风电的所有权和投资潜力向更多的人开放。很多风电场是由投资基金来开发的，而基金的持有人往往是小商人和公司，他们因此可以获益于投资减税。风电发展之所以受到当地人欢迎的另一个原因是，估计约有十几万德国人持有风电项目的投资股权，而且有些地区风电成为农民主要的收入来源之一。

绿色环保政策

风电之所以得到政治上的支持，完全归功于环保者的努力，其中包括绿党的成员，他们目前

与社会民主党共同执政；绿党与社会民主党的联盟也控制了多个州政府。另一个重要的决策是，宣布有可能在30年之内关闭供应全国30%电力需求的19个核电厂，这个期限是核电厂有效运行的寿命周期。

同时，德国政府又采纳了绿色和平组织的建议，制订了一个新的风电发展长远规划，设定到2025年风电至少供应25%用电量的目标。这些电力主要会由北海和波罗的海(North and Baltic Seas)的近海风电场来供应，此外还会以新风电机组替换原有风电场的旧风电机组。到2010年，风电约2300万kW(23000MW)的装机容量应该可以提供德国8%的电力需求。



德国风电发展图

美国 苏醒中的巨人

经历了20世纪90年代的沉寂后，美国很快又成为世界最大的风电市场之一。目前一共有27个州建有大型的风电场，到2002年底，装机容量共有467.4万kW(4674MW)，发电量足以供应130多万个家庭。

虽然几年来严重的危机影响到越来越多的能源领域，美国风能协会仍然预期，风电的发展在2003年再次稳步上升。过去5年(1998—2002)，美国风电的装机容量平均增长达24.5%。有些分析人员和业内管理人员预计，在本世纪第一个10年剩余的时间内，增长率会维持在两位数字。

风电的成本是可以预计和承受的，这成为风电扩展的主要因素之一。由于天然气价格的波动幅度较大，电力公司和能源供货商需要较稳定的能源来做“缓冲”，而风电是其中一个组成部分。例如，PacifiCorp，这是一家为西部六个州供电的公司，计划在2004—2014年间，新增400万kW(4000MW)电力装机，其中有140万kW(1400MW)是可再生能源。初步的经济效益研究建议，最佳的方案是大部分新增电力来自风电。美国最大的风电发展商FPL Energy是佛罗里达州电力和电灯公司的子公司，这家公司还拥有和经营大型的核电站和天然气电厂。



可再生能源强制性配额

美国州政府的政策也有助于开发正在增长的风电市场。为了能源结构多元化，有些州政府已经通过法律，要求电力公司在其电源结构中增加可再生能源比例。1999年德克萨斯州成功地制定了一个最低限度采用可再生能源的配额，或称可再生能源强制性配额(Renewable Portfolio Standards——RPS)，单在这个州，风电的装机容量已超过100万kW(1000MW)。

在纽约州一个要求2012年达到可再生能源供应25%电力的RPS，估计每年可为拥有风电机组的农民和社区，创造1亿美元的收入、本地税收以及就业机会。农民可以出租他们的“风权”(wind rights)而获得收入，仍然可以继续风电机组四周种植农作物。这个政策还会创造数以千计与工程建设有关的职位。截至2003年2月，一共有11个州制定了RPS。

美国风电产业的主要障碍是缺乏稳定的国家风电政策。联邦生产税信用额(federal production tax credit——PTC)为由风力产生的每千瓦·时电力，提供1.5美分(金额随通胀而调整)的税收信用额。这项政策于1992年颁布，旨在创造一个与其他能源平等的游戏规则，来帮助风电的发展。可是每一次国会都拖延PTC的生效时

间，以致政策失效，虽然PTC在过去5年曾两度延期，但每次延期的时效都非常短暂，引起“发展与萎缩”的循环，以致有关的项目被迫取消，工人也因此失去工作。

仅北达科他州(North Dakota)
所拥有的风能资源，就是德国的50倍。

据规定，PTC的有效期将于2003年底结束，目前最急需的是一个稳定的市场信号。如果要做到这一点，便要把有效期多延续数年。此外，一个国家层面的可再生能源目标或可再生能源强制性配额(RPS)，也能使风电市场长期稳定地发展。

消除电力输送中的障碍

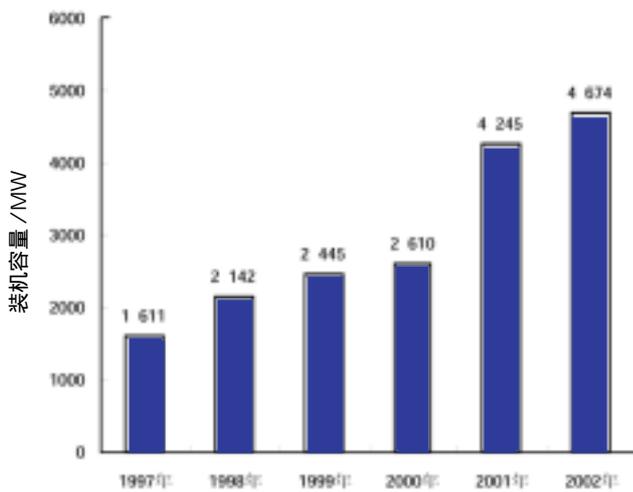
导致风电在美国很多地区难以扩展的电力传输障碍开始消失。为了开发美国中部庞大的风电潜力，并把电力引入市场，风力发电机组在并入电网时，一定要享有与其他发电技术相等的公平待遇。

联邦监管机构建议彻底整顿电力批发市场的结构，其中包括在输送价格方面给予风电更公平

的待遇。配合其他转变，这项措施可以避免所有因风电输出功率变化而造成的处罚，当然，条件是这种变化不增加系统的成本。然而要落实这些改变绝不是件容易的事情，有些地区大概要花较长的时间才能完成。

风电发展也需要对大规模输电系统进行投资，以便把电力从边远、人烟稀少但风能资源丰富的地区，输送到人口集中的市场。例如，明尼苏达州政府批准了一项为期20年，专门为开发本州丰富风能资源而建设的最大规模的输电计划。

根据联邦政府的研究，美国的风能资源潜力是全国电力需求的2倍，当然，要做到这一点还有很长的路要走。仅北达科他州(North Dakota)所拥有的风能资源，就是德国的50倍。不过，美国风电的发展步伐在很大程度上会取决于政府是否能采纳一个稳定的支持政策。



美国的风电发展图

印度 发展中国家的先锋

在发展中国家当中，印度是风电发展的先锋，印度为了避免过分依赖化石能源，而将风能作为另一种重要的能源。经过一段沉寂期，亚洲这个风电发展的领袖现在已经准备就绪，要通过新一代更先进的风电场进行大规模的发展。

印度目前的风电装机容量一共有170.2万kW (1 702MW)，这使之成为全球第五大的风电生产国。在过去3年，印度一共安装了62.5万kW (625MW)的风电机组。由于印度拥有的风能资源非常丰富，尤其是在沿岸风速较强的地区，其风电发展的速度将会比现有水平更快。

印度发展风电的推动力最初是来自非常规能源部(The Ministry of Non-Conventional Energy Sources——MNES)。这个部门的目标是要鼓励多元化的燃料来源，以避免国家因高速增长而使煤、石油和天然气的需求过分增长。根据估算，这个拥有10亿人口的国家，其风电的发电潜力可达4 500万kW(45 000MW)。

监测站

为了找出最有利的地点，MNES在全国建立起风速测量站的网络。此外，它也为投资者提供多种经济上的优惠，包括投资成本折旧和免税等。

在2002年，它推出了免税计划，风电场前10年的发电收入可享受100%的免税。此外，每一个省又制订自己的优惠政策，其中包括投资补贴。

这些优惠政策鼓励工商业机构把投资放在风电发展上。风电的另一个优势是，由于印度经常出现停电现象，如果拥有自己的风电机组，便可以确保自己的工厂或公司能有充足的电力供应。所以印度风电场中经常由不同公司拥有的机群组成的。不过，这些优惠也吸引了一些不可靠的供货商加入，以致部分风电项目不能正常运行，使投资者失望。

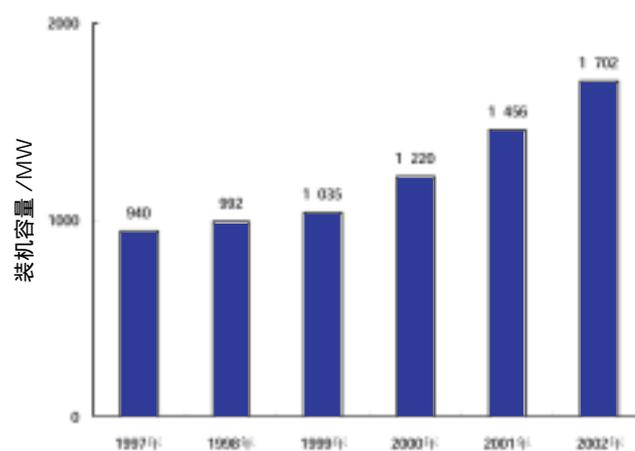
在过去几年，政府和风电产业成功地地为印度市场注入更大的稳定性，当中包括鼓励大型私有和国有企业投资，并同时给予当地制造基地同样的激励。在印度，有的公司现在已经可以生产70%的风电机组零件，而不需要从主要的欧洲制造商进口，这就降低了风电机组生产成本，并给当地创造出额外的就业机会。

制造基地

现在有十多家风电机组制造商在印度市场上推出其产品，其中一家是Vestas RRB，它早在20世纪80年代中期已经开展业务。另一家成功的新制造商是Suzlon，这个公司目前拥有800多名员工，它也是印度最早一家出产1MW型号风电机组的制造商。

印度风电的发展，只集中在几个地区，尤其是南部泰米尔纳德邦(Tamil Nadu)，在那里安装的风电机组数目约为全国的一半。不过，这种情况开始出现转变，在其他邦，如马哈拉施特拉(Maharashtra)、古吉拉特(Gujarat)和安得拉(Andhra Pradesh)等，风电都开始迅速发展。

BTM咨询公司预计：到2007年，印度的风电装机将达到400万kW(4 000MW)，这个估算远比印度政府的预期高。



印度的风电发展图

丹麦 商业化成功

丹麦风电制造业是一个商业化成功的事例。风电自 20 世纪 80 年代起步，发展到目前已经成为一个营业额达 30 亿欧元的产业，其增长率甚至可以媲美互联网或移动通讯。丹麦的风电机组主导着全球的市场，使丹麦在这个快速发展的世界能源市场中独占鳌头。

过去 15 年，丹麦风电机组工业成为机器制造业领域中的重量级成员，除了主要的风电机组制造商 Vestas，NEG Micon 和 Bonus 之外，还有 20 个制造零部件的公司和几十家较小型的供货商。1981 年，风电产业在丹麦起步时，是一个仅有几百名工人的产业，到现在已经为 2 万多人提供工作，人数超过整个电力领域。此外，它在世界各地的制造和安装，也创造了数以千计的工作岗位。

过去 9 年，丹麦风电机组制造商的生产能力增长迅猛，年生产量，自 1994 年的 36.8 万 kW (368MW) 增加到 2002 年的 310 万 kW (3 100MW)，出口到世界各地。虽然近年有竞争力的国家不断加入，但全球约有一半的风电机组来自丹麦。

政府的承诺

丹麦的风电产业之所以如此成功，其中一个

原因是每一届政府对国家能源计划的立场都非常坚定，务求减少依赖进口燃料、改善环境和尽量做到可持续发展。政府拒绝考虑使用核能，并且决定逐步将煤排除在电厂燃料之外。国内已经不会再兴建煤电厂。这些国内政策还有助于培育一个兴旺的出口风电机组的制造产业。

1981 年丹麦政府制定出第一个能源计划，希望到 2000 年，风电可以提供满足 10% 的电力需求。政府预计，要完成这个目标，要安装 6 万台风电机组，平均每台的容量为 15kW。然而，10% 的目标最后提早三年完成，一共安装了 5 000 台风电机组，平均每台容量为 230kW。最近的一个计划——《能源 21》的目标旨在大量减少二氧化碳的排放量，期望做到 2005 年减少 20%（以 1988 年的水平来计算）和到 2030 年减少 50% 的排放量，若要达到这一目标，超过 1/3 的能源要来自可再生能源，其中绝大部分将来自风电。

计划预期，到 2030 年，风电将供应国内约一半的电力需求，占能源总量的 1/3。要达到这个水平，要有超过 550 万 kW (5 500MW) 的风电装机容量，其中相当一部分会来自近海风电场。

丹麦已经开始朝着这些目标努力，2002 年是



蓬勃发展的一年，一共安装了50万kW(500MW)，使总装机容量增至288万kW(2 880MW)。在风能资源处于平均水平的年份，这些风电机组便能生产全国20%的电力，这个比例高于世界上任何一个国家。

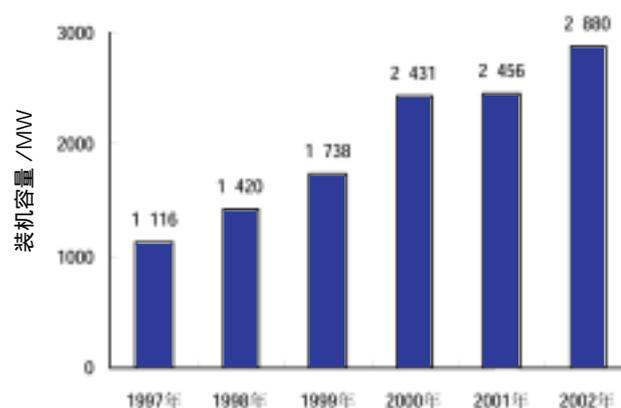
工程技术的革新

丹麦的成功事例中，一个重要的因素是技术上的革新，在20世纪80年代，有一段时期，风电机组的设计被锁定在“越大越好”的思想中，而丹麦人则从最基础做起，利用农机工程的一些技术，制造较小的更灵活的机组。目前最为人们所熟悉的三叶片上风式设计——其风轮安装在塔架迎风的一边——成为众多设计中的经典。

近海风电新领域

最近，丹麦再次引领世界风电发展，计划在近海兴建大型风电场。丹麦能源机构制定了详细的计划，与国内两家主要的电力公司合作在2008年前兴建五个近海风电场，总容量约75万kW(750MW)。第一个位于北海的荷斯韦夫(Horns Rev)16万kW(160MW)，已于2002年建成；第二个位于卢拜山(Roedby Sand)16万kW(160MW)，于2003年建成。丹麦风电发展的另一个特色是，80%的风电机组是由个人或专门成立的风电合作

社所拥有，目前超过15万的丹麦家庭拥有自己的风电机组或持有风电发展项目的股份；即使是哥本哈根(Copenhagen)郊外海域的4万kW(40MW)大型风电场，其中部分产权，是由一家有8 500成员的合作社所持有的。



丹麦的风电发展图

西班牙 南欧的发电站

西班牙的风电产业在近几年的发展，相对于其他南欧国家来说，可谓遥遥领先。西班牙的国家政策与乡村地区稀疏的人口，使之成为生产和发展风电的发电站。

在 1993 年，西班牙土地上只有 5.2 万 kW (52MW) 风电装机，大部分集中在塔里法(Tarifa)地区风力较强的地点，南面对着非洲。到 2001 年底，总容量激增至 355 万 kW(3 550MW)，当年新增的风电装机容量就占 30%。在 2002 年，新增容量又大幅增长，达到 504.3 万 kW(5 043MW)，使西班牙成为世界第二大的风电国家。

此外，更重要的是，这些风电场的发展涉及很多地区，由西北面大西洋崎岖的海岸到纳瓦拉(Navarra)山脉，再到沐浴阳光的卡斯蒂利亚 - 拉曼恰(Castilla la Mancha)平原。

国家支持

西班牙之所以成功，是因为综合了几个因素，风能资源非常充沛，而且分布的面积是丹麦的 10 倍，还有强调地区发展的政策和国家的支持也强有力而直接。

支持可再生能源发展的第一个政府法律是在 1994 年引入，法律要求所有的电力公司在 5 年期

间保证为绿色环保电力按补贴价格支付，其运作的方式与德国的强制购电法(Electricity Feed Law)相类似。1998 年底，政府再次确认它对可再生能源的承诺，引入一个新的法律，使可再生能源系统与逐步开放竞争的欧洲能源市场更协调。

1998 年的法律订立了一个目标，要求到 2010 年，最少有 12% 的能源来自可再生能源，这个目标与欧盟一致。此外，它又就每一种绿色环保的电力的价格作出新规定。对于风电的生产者来说，根据这个规定，他们生产的每千瓦·时电，可以得到相当于零售电价 80% ~ 90% 的电价。政府在 2003 年同意该电价金额为 6.2 欧分 / kW·h，这使发展风电变成一项颇具吸引力的投资。

省级的计划

国家的法律固然重要，不过，西班牙风电发展最重要的动力是自下而上的，地方政府希望看到新建的工厂和新增加的本地就业机会。发展得最迅速的地区是加利西亚(Galicia)、阿拉贡(Aragon)和纳瓦拉(Navarre)。不过，旧卡斯蒂利亚和新卡斯蒂利亚(Castilla la Mancha)也在迅速赶上。政府所提供的激励政策非常简单，那些有意发展地区风能资源的公司，要保证其投资会有助于本地经济，并尽量在本地制造商中购买所需的硬件。

这个做法的先锋是加利西亚省，它位于西北部，其海岸伸向大西洋。地方政府的计划是到 2010 年完成 400 万 kW(4 000MW) 的装机容量，其发电量足够供应全省 55% 的电力需求。为了完成这个计划，政府选出一批公司（当中包括电网公司和风电机组制造商），授予特许权，在 140 个特定的“勘察区域”实现规定的装机容量配额。

在 2002 年，新增的风电装机容量大幅增长，达 5 043MW，使西班牙成为世界第二大的风电国家。

加利西亚省的目标是，最少有 70% 的投资是在省内进行，计划能创造数以千计的就业机会，使制造叶片、零件和风机的工厂遍布整个省，这些地区在 2002 年已经完成了 1 315MW 的风能装机容量，超过原来目标的 30%。

山峦起伏的纳瓦拉省也具有同样的雄心。它的风能装机容量在 2002 年已经达到 689MW，正逐步朝 1 536MW 的目标迈进。它的发电量与其他清洁技术加在一起，就能提供足够的可再生能源供应省内的需求。绝大部分的风电场是纳瓦拉水电能源公司(Energia Hidroelectrica de Navarra——EHN)建造的。

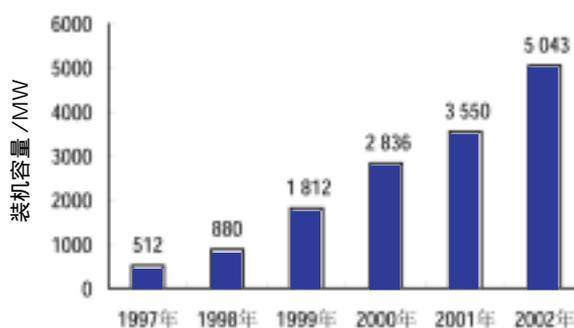
其他省份也有相类似的工业发展计划，预期到 2011 年，在 14 个地区的装机容量达到 30 000MW。不同地区对环保有不同的要求，纳瓦拉省从一开始选址的时候就把环境影响视为重要的考虑因素。其他省份，如加利西亚和卡斯蒂利亚，则因没有妥善地处理好这些问题，造成与居民之间的矛盾和冲突。其他地区，如加塔隆拿(Catalonia)因为正在考虑如何处理这些矛盾而推迟了计划。

金融信心

西班牙式的发展模式异于其他欧洲国家，其绝大部分的风电场都非常大，投资者往往是由电力公司、地方政府和风电机组制造商组成的财团。

西班牙风电市场的其中一个重要特色是金融机构对风电的发展非常有信心，虽然国家的法律没有说明目前的优惠电价会持续多久，主要的西班牙银行都仍旧乐于借贷给风电项目。

风电发展最主要的技术问题是部分地区的电网系统较为落后，所以要兴建很多公里输电线路，把分散的风电场连接起来。这个问题现在已经部分解决了，发展商同意分担建造输电线路的资金，因为到最后它们会受益。不过，一些较小型的发展商在与电网运营商洽谈合同时，依然面临实质的困难。电力公司很多时候都会滥用它们的有利地位，试图避免或延迟风电进入它们的电网，尤其是会拒绝那些独立的风电运营者。阿拉贡省已经引入了一个强制机制来解决风电进入电网系统时所面对的问题。



西班牙的风电发展图

注：因为方法上的差异，这里的数据与西班牙可再生能源协会(Spanish Renewable Energy Association, APPA)的数据存在差异。

近海风电发展 新的领域

近海风电是国际风电产业发展的新领域，仅在北欧就有十多个国家计划在近海发展装机容量超过 2 000 万 kW(20 000MW) 的风电。这些近海风电将会挑战石油和天然气生产商在海洋上的领地。

在近海建立风电场的主要原因是，在海上的风速相对较高，而且较容易预测。在北欧海域，60m 高度的平均风速大于 8m/s，大部分近海风电场的发电量会比沿岸优良的陆上风电场高 20% ~ 40%。第二个有利因素是，把风电场放在近海，可以减少它们对陆地景观的影响，因为有很多开发项目都规划在从岸上看不到的地方。

目前在近海兴建风电场的成本较高，近海风电场需要更坚实和深入海床的地基，而且还需要铺设几千米的电缆，把电力输回到岸上；建设和维修的工作需要在较好的天气状况下进行，并要利用特别的船只和工具。不过，正如陆上的风电发展经验一样，当需求增加时，这个产业会开始发展更具有成本效益的标准部件和设施，以降低发电成本。

大规模的项目

风电产业的发展方法之一是开发更大规模的项目，取得规模经济的效益和降低千瓦·时电成本。例如，有一些在德国海域兴建风电场的计划，它们预期的装机容量超过 100 万 kW(1 000MW)。

同时，为了适应近海风电的需求，制造商已经制造单机容量在 2 ~ 5 MW 的风电机组，其设计要能抵御近海严峻的天气。大批专业公司已经加入到风电的建设、安装和服务的市场。

丹麦在近海风电发展方面已经走在前面，目前它占了 28 万 kW(280MW) 的近海风电中的绝大部分装机容量。在 2002 年，全世界最大的近海风电场在荷斯韦夫(Horns Rev)建成，这个风电场离丹麦北海海岸 14 ~ 20km，安装有 2MW 的风电机组 80 台，装机容量达 16 万 kW(160MW)，可满足全国 2% 的电力需求。在 2003 年，有另一个同样的大型项目在波罗的海(Baltic)的洛沙(Rodsand)开始建设。

不过，丹麦的计划可能很快就会被德国迎头赶上，因为已经有十多家公司和发展财团提议在德国沿岸海域兴建装机容量达 1 200 万 kW(12 000MW) 的风电场。为避免影响沿海的保护区，很多项目的选址在离岸达 60km、水深达 35m 的海域。目前在示范阶段已经有两个大型项目获得国家海事处(national maritime authority)颁发的建设许可证，其中一项工程是在北海的布坎(Borkum)岛外，开始进行 100 万 kW(1 000MW) 近海风电场的开发。

德国政府的目的是
到 2025 年，在近海兴建 25 000MW 的风电场，
这个计划将满足国内 15% 的电力需求。

受保障的价格

德国政府的目标是：到 2025 年，在近海兴建 2 500 万 kW(25 000MW) 的风电场，这个计划将

满足全国 15% 的电力需求。现有的可再生能源法律规定,在 2006 年前立项的近海风电项目,可以享受为期 9 年的固定优惠上网电价,而不是平常的 5 年限期。

其他拥有先进的近海风电计划的欧洲国家包括荷兰、比利时、爱尔兰、瑞典和英国。在最近,瑞典已经批准它迄今为止最大规模的项目 在波罗的海入口开发 8.6 万 kW(86MW) 的风电场。比利时的 10 万 kW(100MW) 项目建议正在审批,而爱尔兰已经批准了单一项目规模高达 52 万 kW(520MW) 的发展计划。在英国,政府授予 18 个财团近海风电场址勘查权,总容量潜力最少为 150 万千瓦(1 500MW); 第一个 6 万 kW(60MW) 的项目已于 2003 年动工。

美国也计划要发展本国的第一个近海风电场,拟于麻萨诸塞州(Massachusetts)海岸对面的南度

克(Nantucket) 岛附近,安装 42 万 kW(420MW) 的风电机组。

开发近海风电的前期工作时间会较长,当中包括细致地监测海洋动植物生态的状况,所以这些项目估计要到 2003 年之后才能实施。英国政府最近的一个报告(The World Offshore Renewable Energy Report 世界近海可再生能源报告)指出,到 2007 年,全球近海风电市场价值可达 120 亿欧元;若所有的计划项目都能成功实施,到 2010 年,仅欧洲四个国家便能完成总共 1 700 万 kW(17 000MW) 的近海风电。

据估计,可以被用作近海风电开发的海域面积共 15 万 km²,其水深少于 35m。*所提供的电量完全可以满足目前欧洲总的电力需求。*



世界风能资源 和电力需求

是否有足够的风能资源？

若风电要从目前的水平大幅度增长，一定要清楚地知道自然界有没有足够的风能资源实现这个宏大的目标。最新的研究显示，世界拥有巨大的风能资源，而且几乎平均分布在所有的国家和地区。已经有多个研究计划专门评估资源的数量。

这项研究所采用的方法是，评估离地 10m 高年平均风速可以达到 $5 \sim 5.5\text{m/s}$ 的土地面积有多少平方公里。因为目前只有达到这样的风速，风力发电的成本才是可行的。可开发的资源量要扣减 90% 或以上的面积，以反映土地使用的限制，其中包括用作其他活动、基础设施或人口密度高的地方，都不适合风电的发展。最后，根据目前市场上代表当前先进水平的商业化风电机组性能，把风能资源转换成以亿千瓦·时(或用 $\text{TW} \cdot \text{h}$)计量的年发电量。

那些风电发展较好的国家的经验告诉我们，更详细的评估往往会发掘出较预期更多的资源，其中的一个例子是，德国在内陆原来认为风能资源不太好的地方，成功地进行了开发。此外，一些特别的地形，例如加利福尼亚州山脉所形成的山口，也为风电发展创造了很好的条件。所以，全球风能资源，可能较那些根据地区气象观测作出的评估更高。最后，科技的进步，也许会把可利用风能的风速要求，降低至 5m/s 以下。

很明显，资源匮乏不可能成为限制风电发展的原因。据估计，世界风能资源高达每年 53 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ($53\,000\text{TW} \cdot \text{h}$)，而世界电力需求，预计到 2020 年会上升至每年 25.578 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ($25\,578\text{TW} \cdot \text{h}$)，可见，在技术上全球可再生的风能资源是整个世界预期电力需求的 2 倍。

欧洲的陆上风能资源

1993年,乌德勒兹大学(Utrecht University)的研究,探讨了 OECD 国家的风能资源。这个研究方案非常保守,与图 3-1 Grubb&Meyer 的研究相比较,它为“可供使用的资源”设定颇多限制,这些限制包括欧洲高密度的人口和大型基础设施(道路、机场、铁路等)。

表 3-1 显示了每一个国家从技术上可转化为风电的资源潜力。理论上为电网定下 20% “风电比例限制”(penetration limit)(见“电网系统的限制”部分),表中的数字没有将超过这个限制的电量扣除,是因为欧洲各国的电网是联接的,电力可以出口到其他国家。

乌德勒兹大学的研究是在 1993 年进行,当时新的风电机组的平均容量是 250~300kW。然而,目前风电机组的单机容量已经增至 1 000kW,而风轮安装的高度也从 30m 增高到 100m,使年发电量明显增加。可见这个研究的结果,在当前先进技术条件下可说是颇为保守的。

另一个重要的研究结果是,当在一个特定的地方进行详细评估,往往会发现更大的发展潜力。举例说,由德国经济事务部进行的详细报告反映,陆上风能资源达 1 240 亿 kW·h(124TW·h),相当于 6 400 万 kW(64 000MW)的装机容量,比表 3-1 中的 240 亿 kW·h(24TW·h)高出 5 倍。

总的来说,表 3-1 的数字显示,在欧洲可利用的陆上风能资源大于每年 6 000 亿 kW·h(600 TW·h),有些国家完全有能力用风电发出多于国内总需求的电力,这是欧洲未来发展跨国电力市场的重大挑战。

欧洲的近海风能资源

在欧洲的沿岸海域有更巨大的风能资源。根据丹麦的发展经验,多个欧洲国家相继在它们的领海,兴建本国第一个近海风电场。1993—1995 年,欧盟 Joule 研究计划委托 Garrad Hassan 和 Germanischer Lloyd 咨询公司主持的研究估计,欧盟近海风能资源达每年 3.028 万亿 kW·h(3 028 TW·h)。尽管这个评估没有包括瑞典和挪威,但

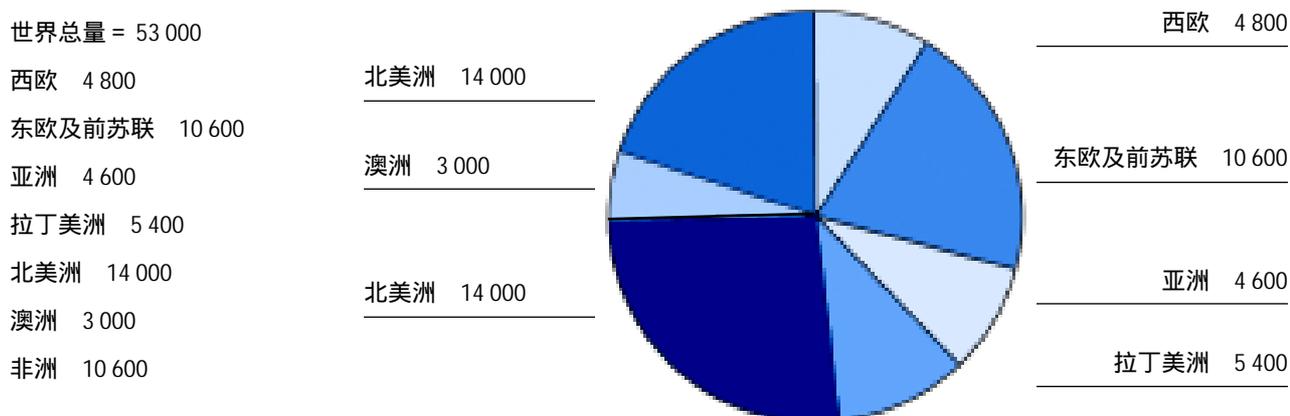


图 3-1 世界风能资源(单位:TW·h)

数字已经远远超过欧洲 15 个成员国在 1997 年的电力总需求。

这个研究利用了 Garrad Hassan 咨询公司开发出的地理数据库，假设可以利用的近海风能资源在水深 40m 和离岸距离 30km 以内，采用的参考机型单机容量为 6MW，风轮直径 100m，风电机组之间的距离为 1km。

为了配合本报告的目标，BTM 咨询公司在使用表 3-2 的数据时，采用了非常保守的方法来评估未来二三十年间，在可预见的技术发展的前提下，可能被开发的资源潜力。

下列原则被用来对近海风能资源研究所得出的数量进行折减：

- 因为要考虑成本问题，尤其是地基建设的投入，排除了所有水深超过 20m 的地点。这是一个保守的假设，因为已经有一些计划是在更深的水域中进行（见“近海风能发展 新的领域”）。此外，离岸距离小于 10km 的位置也减去了 90%，这是考虑到它们可能对景观造成的影响。
- 为了避免影响景观以及风电场之间需要预留足够的空间，离岸 10 ~ 20km 范围的资源被削减了一半；离岸 20 ~ 30km 范围的资源也减去了一半，因为需要铺设长距离的电缆可能会使小型的发展商望而却步。

欧洲近海风能的潜力，在这种种限制之下仍高达每年 3136 亿 kW·h (313.6TW·h)，这个数量是近海风能资源总量的 10%，但却仍然相当于欧洲陆上风能资源的一半。

在计算过最可行的近海风电场位置后，再把陆上与近海的数字加在一起，欧洲总体风能资源达每年 9 400 亿 kW·h (940TW·h)，这足以满足 2020 年预期电力需求的 21%。

要强调的是，因为我们只计算了约 10% 的近海风能资源，当科技日益进步，而地基技术的成本又持续下降的话，近海风电的贡献便很可能会大幅度地提高。

未来的电力需求

国际组织，包括世界能源委员会 (World Energy Council) 和国际能源组织 (International Energy Agency——IEA) 会定期对未来电力需求作出评估。本报告是根据 IEA 在《世界能源展望 (2002)》的最新预测来进行评估的。IEA 的报告估计，到 2020 年，全球电力消费会增加至每年 25.578 万亿 kW·h (25 578TW·h)，比 2002 年增加 63%，而到 2030 年初，世界电力需求会增加 1 倍。

虽然 IEA 对 2020 年的电力需求的预测比以前的报告 (2000) 略有下降，但未来人们对电力更合理的使用很可能会进一步限制电力需求的增长。IEA 在 1990 年代的评估，作了两个可能的假设方案，其中一个是以“节约能源”为前提，后来，这两个方案被合二为一，变成一个“正常状态”的方案，反映 IEA 对未来世界减少用电量的努力是有所保留的。

不过，在《世界能源展望 (2000)》中对未来用电的预测有所减少，却显示出风电的预测电量不变，而它占世界电力的比例会增加。这可以用来解释，为什么《风力 10 (1999)》中预期的风电在世界电力市场中 10% 的占有率，可以上调至《风力 12》所预期的 12%。

表 3-3 显示 IEA 2002 年报告对不同地区未来的电力需求预测，它有助于衡量不同地区需要多少风电。表 3-4 表明，世界所有地区的风能资源都大于 2020 年占 20% 电力的需求。表 3-5 预测，如果技术能够很快发展，在未来 40 年内需要多少风电来满足世界 20% 的电力需求。

值得注意的是，如果风电可以实现这个方案所预计达到的 12% 的市场占有率，其数量相当于目前约 20% 的世界电力需求，若未来的电力消费没有如预期增加，风电的重要性会更加明显。

电网系统的限制

风力发电能够顺利并入一个国家或地区电网的电量，主要取决于电力系统对供电波动反应的能力，所以任何评估一定要包括其他电站输出电量的数据，它们调整其供电的能力和系统的用电模式，特别是日和年电力负荷的变化。

很多涉及到现代欧洲电网系统的评估表明，电网系统中风电容量占 20% 并不存在技术问题。

在丹麦，在风力非常强劲的时间，电网管理

表3-1 欧盟15 成员国以及挪威在技术上可开拓的陆上风能潜力/(TW · h / a)

国家	总体用电量	技术上可行的风能潜力 (产量GW)	20%用电量	超过20% 用电量的剩余风力
澳大利亚	60	3(1.5)	3	
比利时	82	5(2.5)	5	
丹麦	31	10(4.5)	6.2	3.8
芬兰	66	7(3.5)	7	
法国	491	85(42.5)	85	
德国	534	24(12)	24	
英国	379	114(57)	75.8	38.2
希腊	41	44(22)	8.2	(?)
爱尔兰	17	44(22)	3.4	40.6
意大利	207	69(34.5)	41.4	27.6
卢森堡	1	0		
荷兰	89	7(3.5)	7	
葡萄牙	32	15(7.5)	6.4	8.6
西班牙	178	86(43)	35.6	50.4
瑞典	176	41(20.5)	35.2	22.8
挪威	116	76(37)	23.2	
总量	12 874	16 926	22 952	29 329

来源：BTM顾问公司,1993年乌特列兹大学,Wijk & Coelingh技术上可行风能潜力研究

1. 用电量根据 1989 年 OECD/IEA 的数据，每年增加 3%，直至 1995 年。IEA 的《世界能源展望(1998)》显示，1995 年欧洲的 OECD 国家用电量为 2,678 TW · h。
2. 希腊有非常大的风能潜力，但它的资源大多散布在小岛上，在短期内不能成为出口国。

表3-2 欧洲的海上风力资源 (电力产量TW·h/a)

水深/m	离岸10km	离岸20km	离岸30km
20	551	587	596
	1 121	1 402	1 523
30	1 597	2 192	2 463
40	1 852	2 615	3 028

来源：Garrad Hassan & Germanischer Lloyd顾问公司于1995年主持的“海上风能研究”

表3-3 不同地区未来风电需求的预测

地区	2000年/(TW·h/a)	2010年/(TW·h/a)	2020年/(TW·h/a)	2000-2020年平均增长率(%)
欧洲OECD	3 164	3 763	4 339	1.6
北美洲OECD	4 813	5 758	6 702	1.7
大平洋OECD	1 622	2 003	2 317	1.8
拉丁美洲	804	1 135	1 566	3.4
东亚	585	970	1 461	4.7
南亚	635	1 001	1 505	4.4
中国	1 387	2 282	3 461	4.7
中东	462	675	899	3.4
经济制度转型地区	1 484	1 765	2 238	1.8
非洲	435	684	1 091	4.7
世界	15 391	20 036	25 579	2.6

表3-4 可开拓的风能资源和世界电力需求

地区	2000年/(TW·h/a)	2020年20%需求/(TW·h/a)	风能资源/(TW·h/a)	2020年超过20%市场占有率(%)
欧洲OECD	4 339	867	陆地630 海岸313	1.04
北美洲OECD	6 702	1 340	14 000	10.44
太平洋OECD	2 317	463	3 600	7.78
拉丁美洲	1 566	313	5 400	17.25
东亚	1 461	292	4 600	3.58
南亚	1 505	301	4 600	3.58
中国	3 461	692	4 600	3.58
中东	899	180	N/a	
经济制度转型地区	2 238	448	10 600	23.66
亚洲	1 091	218	10 600	48.62
世界	25 579	5 114	49 743	9.53

来源：IEA需求预测，世界风能展望2002，世界风能表3-1和图3-1

人员依然将峰值水平高达50%的风电成功并入国家西部的电网系统。丹麦能源计划的目标是使风电到2030年可以供应50%的电力需求,通过进口和出口电力来平衡,计划包括与周边国家,尤其是德国、挪威和瑞典联网。后两个国家拥有大规模的水电,非常适合与风电互补,因为水电能够作为有效和便宜的蓄能方式。

本报告采用 20% 的限制是一个谨慎的假设,在考虑风电可能占整个世界电网的比例在这个数量是可以被接受的。表3-4显示,在技术上世界风能资源如何能够在2020年顺利达到占电力的20%。

表3-5 用电量预测(IEA 2002年)

用电量增长率(%)	年份	全球/TW·h	风能/TW·h	市场占有率(%)
2.67	2002	16 233	54.5	0.40
	2003	16 666	86.3	0.52
	2004	17 110	110.0	0.64
	2005	17 567	139.8	0.80
	2006	18 035	184.2	1.02
	2007	18 516	232.5	1.26
	2008	19 010	292.9	1.54
	2009	19 517	365.4	1.87
	2010	20 037	452.3	2.26
2.47	2011	20 532	556.6	2.71
	2012	21 040	763.6	3.63
	2013	21 560	931.9	4.32
	2014	22 093	1 133.8	5.13
	2015	22 639	1 366.0	6.03
	2016	23 198	1 633.0	7.04
	2017	23 771	1 940.1	8.16
	2018	24 359	2 277.9	9.35
	2019	24 961	2 649.5	10.61
2020	25 578	3 021.1	11.81	
2.11	2021	26 118	3 392.7	12.99
	2022	26 670	3 764.2	14.11
	2023	27 233	4 135.8	15.19
	2024	27 808	4 507.4	16.21
	2025	28 396	4 844.3	17.06
	2026	28 996	5 172.6	17.84
	2027	29 608	5 490.1	18.54
	2028	30 233	5 794.1	19.16
	2029	30 872	6 084.5	19.71
	2030	31 524	6 358.7	20.17
1.50	2031	31 997	6 613.4	20.67
	2032	32 477	6 844.8	21.08
	2033	32 964	7 048.1	21.38
	2034	33 458	7 217.8	21.57
	2035	33 960	7 357.1	21.66
	2036	34 470	7 994.6	23.19
	2037	34 987	8 063.7	23.05
	2038	35 512	8 099.9	22.81
	2039	36 044	8 099.9	22.47
	2040	36 585	8 099.9	22.14
	2041	37 134	8 099.9	21.81

世界电力的 12% 来自风电

12% 风电方案大纲

这个报告描述了目前风电在世界各地的现状、推动其增长的环保动力、全球风能资源的地区性分布以及预测满足持续增长必须的电力需求。把这些因素放在一起足以说明,以风电供应全球12%的电力需求是可行的,分析总结可见表4-1。更详细的数据在附录中。

这个可行性研究分析是根据2002年底累计的风电数据而展开的。在当时,全世界总计风电装机容量刚超过3 200万kW(32 000MW),其中包括2002年,当年新增装机722.7万kW(7 227MW)。2003—2008年期间,估计风电装机的年增长率为25%,2008年底累计达到1.33746亿kW(133 746MW)。这是整个研究时段中最高的增长率。从2009年开始,增长率会逐步下降,不过,风电年装机容量的增长还是肯定会达到一个新的高水平。

到2020年,风电装机容量会增加到12.31亿kW(1 231GW),年发电量相当于IEA预期中世界电力需求的12%。

这个方案也反映了风电在本世纪第四个10年的发展趋势,不过,并没有进一步做出细致的分析。根据方案的预测,到2030年,风电将占世界电力的20%以上。

2020年之后,发展会持续,每年新的装机容量约为1.515亿kW(151 500MW)。因为市场占有率会沿着一条典型的S曲线发展,在30~40年间到达“饱和”点,那时全球风电会保持在30亿kW(3 000GW左右)。

随着时间流逝,新的装机容量会用来替换旧

的风电场,这里假设风电机组的平均寿命为20年,所以既要更换现有的风电机组,又要兴建新的风电场。更换风电机组或者称为“重新注入动力(re-powering)”,在方案的后期会变得越来越重要,这种更新的工作,从2025年起会加快速度,到了2040年所有新增的装机容量会全部用于对旧设备的更新。

风电增长率是基于各种历史数据和来自风电机组市场中一流公司的信息,我们也评估了世界可开发的风能资源和世界不同地区用电的水平。风电技术未来成本下降的依据来自“学习率(learning rate)”的期望值。并以目前最佳技术水平作为研究的基础,即每千瓦风电装机容量成本约为830欧元,每千瓦·时的发电成本是3.88欧分。

2003年之后的风电增长率,主要由迅速发展的近海风电市场来支持,这些市场主要在北欧,会对风电发展作出重大贡献。其他地区也许会在本报告研究的时段内加入,包括美国和日本,据评估,它们近海的风能资源,相当于全国180%的电力需求。

假设条件和参数

本研究所选取的参数是根据风电产业和其它能源领域技术发展的历史经验,主要假设条件是:

年增长率

每年20%~25%的增长率,对于一个生产重型设备的工业来说是相当高的,可是,风电产业在它早期产业化的阶段,曾经历过更高的增长。在1993—1998年间,当编制第一个《风力10》报告的时候,新装机容量的平均年增长为40%,而1999—2002年间,它继续维持一个令人惊叹的31%的平均增长率。

根据目前风电产业增长速度,至少在未来的6年很可能达到方案所要求的25%年增长率。到2008年底,预计设备制造的产量可达到每年2756.9万kW(27569MW)的水平。从2009年开始新装机容量的年增长率,在发展方案中会减慢到20%,然后到2015年降至15%,最后在2018年再调低至10%。到2020年,风电设备制造能力的增长会保持每年1.5149亿kW(151490MW)。

在欧洲,一个影响深远的因素是近海风电,它很可能会在2003年以后发展,这部分市场将为发展水平已经相当高的陆上风电再次增值。不过,来自这个产业的一个明确的信息是:在决定通过合资方式进入当地风电设备制造领域前,它们期望看到,在世界各地正在兴起的市场中,建立起来稳定的政策框架体系以促进风电的发展。

进步率

工业学习曲线理论一般的规律是,每当产品数量增加1倍时,成本就会下降约20%。而下降20%,相当于进步率0.8。有关风电产业过去发展的研究显示,通过研究开发(R&D)和学习所取得的进步,使价格下降了15%~20%,相当于进步率0.85~0.80。这个报告指出,经验表明削减成本的计算与机组台数有关,即风电机组数量而不是装机容量。因此,风电机组平均单机容量的增加也被考虑在内。

这个研究假设的进步率从0.85开始,直至2010年,之后其进步率会下降至0.90。在2025年之后,当发展到饱和的水平,比率会减至1.0。

这种分阶段的假设,特别在早期发展阶段,是由于这个产业迄今还未能从规模经济中获取最大的效益,尤其是因为产品的单机容量很快增大、

而未来最佳设计的潜在成果尚未被采用。尽管如此，风电机组的成本仍然明显下降，而且，正如学习曲线理论预见到的，这个产业已被认为进入了“商业化阶段”。

风电机组未来单机容量的增长

表 4-2 显示了在过去 6 年间，商业市场中风电机组单机容量增长的速度。从这里可以看到，在主要的市场，尤其是德国、丹麦和西班牙，自 1997 年以来，风电机组的平均单机容量已经增加了 1 倍多。

在 12% 的发展方案里，新风电机组的平均单机容量，在未来 10 年，预期会从今天的 1MW 增加至 1.5MW。到这个发展方案头 10 年的中期，新

兴起的近海风电市场更会大力推动单机容量的增长，而这个市场的风电机组单机容量，估计会达到 5MW。最重要的是，更大型风电机组的发展，在给定装机容量的条件下，可以减少风电机组的数量，并且降低进步率。

容量系数(Capacity factor) 的增长

目前风电机组的容量系数，全球平均来说已增加到 23%，这是因为机器的设计和风电场的选址均有所改进。最近，容量系数改进的主要贡献来自更大型风电机组距离地面的轮毂高度增加，安装在内陆并拥有较大风轮的机组，也改善了原来的容量系数。电网方面也欢迎较高的容量系数，因为它代表着风电机组在给定地点输送入电网的电力会更大。需要注意的是，风电机组容量系数

表4-1 世界12%风电方案 2020 年前后情况

年份	年平均增长率 (%)	年新增容量 /MW	累计装机容量 /MW	年风能电量 /TW · h	世界电力需求 /TW · h	风电所占比例 (%)
2002	25	7 227	32 037	64.5	16 233	0.40
2003	25	9 034	41 071	86.3	16 666	0.52
2004	25	11 292	52 363	110.1	17 110	0.64
2005	25	14 115	66 478	139.8	17 567	0.80
2006	25	17 644	84 122	184.2	18 035	1.02
2007	25	22 055	106 177	232.5	18 156	1.26
2008	25	27 569	133 746	292.9	19 010	1.54
2009	20	33 083	166 829	365.4	1 517	1.87
2010	20	39 699	206 528	452.3	20 037	2.26
2011	20	47 639	254 167	556.6	20 532	2.71
2012	20	57 167	311 333	763.6	21 040	3.63
2013	20	68 600	379 933	931.9	21 560	4.32
2014	20	82 320	462 253	1 133.8	22 093	5.13
2015	15	94 668	556 922	1 366.0	22 639	6.03
2016	15	108 868	665 790	1 633.0	23 198	7.04
2017	15	125 199	790 988	1 940.1	23 771	8.16
2018	10	137 718	928 707	2 277.9	24 359	9.35
2019	10	151 490	1 080 197	2 649.5	24 961	10.61
2020	0	151 490	1 231 687	3 021.1	25 578	11.81
2030	0	151 490	2 592 424	6 358.7	31 524	20.17
2040	0	151 490	3 082 167	8 099.9	36 585	22.14

表4-2 在部分市场中风电机组的平均装机容量/kW

年份	中国	丹麦	德国	印度	西班牙	瑞典	英国	美国
1997	472	560	623	279	422	550	514	707
1998	636	687	783	283	504	590	615	723
1999	610	750	919	283	589	775	617	720
2000	600	931	1101	401	648	802	795	686
2001	681	850	1281	441	721	1000	941	908
2002	709	1443	1397	553	845	1112	843	893

的改进,并没有技术障碍,只与风电并网的改进、计算机模拟和成本有关。这个发展方案预期到2006年,风电机组平均的容量系数会增加至25%,而到2012年会再增加到28%。

与其他电源技术的比较

若风电要达到这个可行性研究所预期的市场占有率水平,风电如何与其他电源的记录相比较呢?

世界电力供应最常见的是燃煤、燃气或燃油的火电厂,还有核电站和大型水电站。核电站和大型水电站都是在20世纪中期才开始发展的,它们目前在世界电力供应的市场占有率分别达16%和19%。

- 核电站在1960年开始发展时,容量为100万kW(1 000MW),到1997年底,发展到3.43亿kW(343 000MW)。
- 水电站在1950年开始发展时,容量为4 500万kW(45 000MW),到1996年底,达7.14602亿kW(714 602MW)。

这两种技术的发展历史表明,一门新技术在40~50年间,是可能成功达到如此高水平的市场

占有率的。今天的风电是一个商业化的产业,它有能力成为主要的电源。德国风能协会的分析显示,在德国,风电在它头10年的商业化开拓期所发出的电量,比核电在同样发展阶段要高(见“风电成功的事例”)。12%方案的时间进度表及其以后的发展,与核电和大型水电的历史发展经验是一致的。

不过,很难把这些技术与风电可能出现的市场占有率模式作一个直接的比较。风电与火电厂主要的区别是,目前商业化风电机组最大的单机容量只有2.5MW,虽然风电的模块性质使它能具有各种各样规模的装机容量,从单独一台风电机组到大型的风电场均可。从供货商方面看,这使风电成本下降的潜力更大,因为机组可以进行批量生产。它也使风电适合不同类型的电力基础设施,从孤立的装机到庞大的国家电网,甚至跨国电网。

从这个观点来看风电要达到12%的市场占有率是很可行的,这样的话,风电的装机容量便令相当于今天的水电。不过,报告的数据会高出50%,这是因为风电的较低的容量系数所致。

另外两个因素对一项新技术的发展有重要影响,其中一个是由公共资助的研究开发(R&D)“推动”市场;另一个是由各种激励措施“拉动”

市场，这些激励措施可以直接提供给发电技术的投资者或电力的终端用户。这两个因素都是由政策来驱动的。

在1998年，由澳大利亚的机构IIASA和世界能源委员会完成的“全球能源展望”研究，曾就新电力技术的相对进展度作出评估，报告引述了以下的例子（全都来自美国）：

太阳能电池 从1981—1992年，进步率是0.80。

风电机组 从1982—1987年，进步率是0.80。

燃气轮机 首批100万kW(1 000MW)装机的进步率是0.80，自1963-1980年，进步率为0.9，当时装机9 000万kW(90 000MW)。

12% 发展方案的地区分布

12%风电发展方案的基本指导原则是把2020年要达到的12.31亿kW(1 231GW)风电按照占当地用电量的比例分配到世界不同的地区。不过 报

告预期 OECD 国家会引领整个方案的落实过程，所以这些国家的增长会较快，而最后相对于它们占全球电力消费的份额，风电会出现剩余。所以报告对欧洲、北美洲，尤其是美国的分配作出了调整。

另一个考虑因素是风能资源的质量，它反映在“高平均风速状况”的地区分布，拥有非常高年平均风速的地方，会比那些地理面积较大，但风速一般的地方更有兴趣发展风电，尽管后者拥有的绝对资源量较前者大。

第三个问题没有在这个报告中作详细分析，即世界上风能资源丰富的地区相对于消费电力的地点是如何分布的。如果一个国家可以开发风电的主要地点集中在远离人口稠密或工业中心的地方，风电的利用就可能受到限制，或者需要把更多的投资放在电力输送方面。

2020年底达到12亿kW(1 200GW)风电装机容量预期的地理分布见表4-3。

表4-3 在 2020 年12%的风电 地区性分布

地区（按IEA的划分）	2020年 1 200GW风电的分配/GW	2020年 1 200GW风电的分配(%)	2020年 电力总产量/TW·h
OECD - 欧洲	230	19.2	4 339
OECD - 北美洲			
美国(250 000)	310	25.8	6 702
加拿大(60 000)			
OECD - 太平洋	90	7.5	2 317
拉丁美洲	100	8.3	1 566
东亚	70	5.8	1 461
南亚	50	4.2	1 505
中国	170	14.2	3 461
中东	25	2.1	899
经济制度转型地区	130	10.8	2 238
非洲	25	2.1	1 091
世界	1 200	100	25 579



《2020 年风电 12% 方案》

——投资、成本 和就业

投资总量

这个可行性研究方案显示，每年风电投资额的增长，从2003年开始的70亿欧元，增长至2020年最高峰的750亿欧元。世界风电的装机容量2020年达到12.31亿kW(1 231GW)的水平，估计总投资额（以2002年的价格来计算）共6 740亿欧元。从表面上看，这个数字颇为惊人，但是应当记住这是整整20年的累计投资总额，而且也只是整个全球电力领域投资的一部分。例如，20世纪90年代电力领域的投资额，每年就达1 580亿~1 860亿欧元。风电的投资额到2020年可能占能源总投资很大的比重，但到那时，风电会向满足20%的世界电力需求的方向发展，相当于今天的水电。

表5-1的数字是风电要在2020年完成12%的市场占有率所需的累计投资额。投资成本的计算是根据前面提到的关于进步率的假设，其间参考了2002年风电市场中先进水平的平均价格，当时每千瓦装机容量成本为823欧元，到2020年，投资成本会降至每千瓦为504欧元，与今天相比，大幅度地减少了39%。

要分析投资总额如何分布到世界不同地区，并不能仅仅按表4-3的地区装机容量分布来计算，因为发展不会在所有地区同时进行。风电发展领先国家的经验显示，即使拥有商业化的技术，仍然需要一段较长的时间让其发展规模扩大，而且有必要先确立推动风电发展的政策框架体系。

表5-2显示，21世纪前20年内，风电在不同阶段里的平均投资成本。考虑到每一个地区会在哪个阶段开始发展（表5-3），便能把投资总额分配到不同的地区。

表5-1 2020 年世界12%的风能电力

年份	每年组装	成本/(欧元/kW)	每年投资/10亿欧元	累积投资/10亿欧元	就业每年职位
2002	7 227	823	5 947	5 947	141 505
2003	9 034	797	7 198	13 145	171 286
2004	11 292	770	8 690	21 834	206 780
2005	14 115	746	10 525	32 360	250 460
2006	17 644	721	12 714	45 074	302 543
2007	22 055	695	15 319	60 393	364 528
2008	27 569	670	18 466	78 859	439 416
2009	33 083	645	21 349	100 208	508 025
2010	39 699	623	24 725	124 933	588 348
2011	47 639	608	28 973	153 906	689 430
2012	57 167	594	33 930	187 836	807 402
2013	68 600	580	39 777	227 613	946 532
2014	82 320	566	46 601	274 214	1 108 924
2015	94 668	553	52 342	362 556	1 245 524
2016	108 868	540	58 809	385 365	1 399 406
2017	125 199	528	66 093	451 458	1 572 732
2018	137 718	516	71 131	522 589	1 692 633
2019	151 490	506	76 627	599 216	1 823 416
2020	151 490	497	75 233	674 449	1 790 233

成本下降

因为制造成本和其他成本下降，每千瓦·时风电成本也大幅下降。根据RIS·国家研究实验机构(RIS·National Research Laboratory)对安装在丹麦的风电机组所进行的评估，从1981—1995年间，风电成本由15.8欧分/kW·h下降到5.7欧分/kW·h，减少了2/3。这是因为风电机组的设计和选址都有改进。

从那时起，刚刚引入商业市场的500kW容量风电机组，以后就不断被新一代设计优化和单机容量更大的机组所取代，目前达到2.5MW，估计在过去5年成本又下降了20%。

这个研究根据市场和产业发展的经验，采用2002年先进的风电机组在最佳情况下运行的参考数据：

投资成本：每千瓦装机容量为823欧元；
度电成本：4.04欧分/kW·h。

在计算未来的成本时，采用了以下参数：

- 1 商业市场中，风电机组的平均单机容量将由今天的1 000kW(1MW)增加至2005年的1.2MW，预计到2010年升至1.4MW，之后再增加到1.5MW，这取决于近海风电发展增长的比例。
- 2 进步率从2011年开始会从0.85下降至

0.90 ,这个趋势预测是考虑到由于研究开发(R&D)而改善的成本效益和改进的设计,以及由更好的后勤保障条件和“ 规模经济 ” 带来的效益。

- 3 平均的容量系数将由今天的 23% 上升至 2012 年以后的 28%。

这个可行性研究预期风电成本会从今天的 4 欧分 /kW · h, 下降至 2010 年的 3 欧分 /kW · h (假设装机成本为 628 欧元 /kW)。这个成本可与目前联合循环燃气发电(combined cycle gas generation)媲美。到 2020 年,风电成本会再调低至 2.34 欧分 /kW · h (装机成本为 497 欧元 /kW)。每年成本下降的状况见附录。

表5-2 2001 — 2020 年每千瓦风电的平均投资额

年份	平均投资/(欧元 / kW)		
2003-2006	751		557
2007-2011	640		
2011-2017	554	548	
2018-2020	505	533	

与其他发电技术的比较

风电的成本如何与其他普遍采用的发电技术进行比较呢? 有关这方面最新的数据(图5-1)来自2003年1月出版的风电月刊年度成本比较调查。以目前电价来衡量,发电成本最低的风电场完全可以与燃气发电竞争。这样的风电场对外交通方便,又具有经济规模,场址平均风速达到 7m/s,而投资成本又低于 700 欧元 /kW。新建火电厂的电价来自美国和欧洲的数据,在过去几年没有多大改变。至于核电的成本,并没有完全包含它对公众领域应负的责任,也没有考虑核废料和旧电

厂退役(decommissioning)所造成的问题。

此外,比较时也要考虑到风电具有较低容量系数的特点,它使风电发出同样电量,必须比化石燃料电厂多出 2 ~ 2.5 倍的装机容量。所以风电是一项相对资本密集的投资,而初始投资额也比较高。另一方面,其运行和维修成本非常低,因为它在运行间期不需要支付燃料成本。

在未来20年风电的成本会随着其经验的积累而大幅下降。而这里提到的三种“火力发电技术”,其成本在未来下降的可能性很低,尤其是当天然气的储量越来越少的时候。但是直接的成本比较不能全面反映实际情况,因为它没有处理外部成本的问题。报告的下一章会比较详细地讨论这方面的问题。

发展方案主要的成果是
到 2020 年将在世界各地
创造出 180 万个与风电产业有关的就业岗位。

就业潜力

12% 风电发展方案带来的就业机会,是一个用来衡量成本与效益的非常重要的参考因素。任何有关选择能源的政治性决策,都会考虑到这个因素。

也许不能够合理地假设在20年之后就业问题会继续成为风电发展的决定性条件。可是,假若相反的情况出现 持续的劳工短缺 我们便有必要知道,这样一项长远技术发展,究竟会创

表5-3 直至 2020 年，地区性的投资分布

地区	大型发展起步的年份	2020年总装机容量/MW	平均装机成本/(欧元/kW)	至2020年累计投资/10亿欧元
OECD欧洲	已经开始	230 000	557	128.1
OECD北美洲	已经开始	310 000		175.2
OECE太平洋	已经开始	90 000		50.8
拉丁美洲	2006	100 000	555	55.5
东亚	2006	70 000		38.8
南亚	2004	50 000	560	28.0
中国	2004	170 000		95.2
中东	2006	25 000		13.6
经济制度转型地区	2006	130 000	545	70.9
非洲	2006	25 000		13.6
世界		1 200 000		669.7

注：欧元的数据是根据发展起步的时间和步伐来衡量的。累计投资的数字被简化为整数

造多少就业岗位。德国、荷兰和丹麦已分别进行了许多评估风电对就业影响的研究。到目前为止，最详尽的研究是于1996年由丹麦风电设备制造商协会(DWTMA)所完成的。

DWTMA所采用的方法是把风电设备工业涉及到的生产活动分成不同的部分——金属加工、电子设备等等，然后再把每一个部分对就业的贡献加在一起。研究的结果分成三个范畴——直接和间接在风电设备制造方面的就业、安装风电设备对就业造成的直接和间接的影响以及丹麦风电产业出口对全球就业状况的影响。

本报告之所以引用丹麦的数据，是因为这个国家的风电产业已经牢牢占据50%的世界市场，我们可以假设，这个国家的研究方法也适用于其他主要的风电设备生产国——德国、西班牙和美国。

为了本报告的研究，我们采用了丹麦的最新

就业数据(1998)，它们显示出每生产1MW的风电设备，便会创造出每年17人的就业机会，而每安装1MW的风电设备便能创造出每年5人的就业机会。在1998年，风电装机的平均价格为1000美元/kW，当我们以此作为参考去分析就业问题时，这些就业数据就可以与货币价格联系起来，显示出风电产业每100万美元的销售额便能创造出每年22(即17+5)人的就业机会。

为了使设计、制造和安装更有效率——而这会减少就业——报告中让劳动力需求总量随风电装机变化，这个量随时间而减少。12%发展方案研究期间的就业水平下降情况见附录。

整个12%发展方案的落实对就业造成的影响评估结果显示在表5-6a和b中。这些结果是直接利用以上的假设，再根据预期中2005、2010、2015和2020年新风电装机的具体数据计算出来。报告假设到中期阶段(从2005—2020年)，某些地区

才会开展大规模风电发展计划，比那些已经大规模发展的 OECD 国家要晚。

这个发展方案主要的成果是：到 2020 年，它将在世界各地创造出 180 万个就业岗位，其中包括制造、安装和其他与风电产业有关的工作。

要强调的是，在表 5-6b，各地区就业数据的前提是整个生产过程（包括上游的技术生产和供应）都是由本地区提供。不过，考虑到目前世界的贸易状况，这样的结果不大可能现实，所以，12% 发展方案带来的预期本地“附加价值”和就业，是分别由两个分区数据表来评估。

在表 5-6a，风电装机容量总量目标，是以 5 年为一个时段来分配到不同的地区。因为研究受到种种限制，不可能详细评估市场占有率的模式，对于个别地区来说，有关的数字只是一个粗略的估计。不过，每个时段（5 年）各地区装机容量总和，与 12% 发展方案所预期的数字是一致的（见表 4-1）。

以兆瓦(MW)计的年度装机数据在表 5-6b 中被转化为就业的数据，这些“核心数据”最终要根据每一个地区作修改，因为还要考虑其他因素，其中包括劳动力实际价格、制造效率（与上节叙述相关），以及为达到各地区在全球装机中的份额，制造风电设备时所需进口的原材料和部件的比例。

在这里，有必要解释清楚两个统计方法的区别：当我们说，今天这个全球性工业带来每年 14.1 万份工作和估计有 9 万 ~ 10 万份工作时，两者的区别在于：9 万 ~ 10 万份工作这个统计数字是根据个别国家有关直接和间接就业的数据计算出来的，这些数据来自生产商和主要的子合同供货商。可是，这个估算不能反映由风电创造出来的每一个工作或兼职。每年 14.1 万份工作的统计数字，则是根据统计模型，比较工作岗位、投资和装机容量等数据而计算出来的，它覆盖了所有与风电相关的工作。

表 5-6a 每年风电装机容量的地区性分布（以 5 年为时间段）

地区	年份	2005 /(MW/a)	2010 /(MW/a)	2015 /(MW/a)	2020 /(MW/a)
OECD 欧洲		8 000	10 000	14 000	15 000
OECD 北美洲		3 000	10 000	23 000	30 000
OECE 太平洋		1 000	3 000	8 000	10 000
拉丁美洲		500	3 200	7 500	15 000
东亚		100	1 000	4 500	10 000
南亚		600	3 200	7 500	16 500
中国		500	5 000	13 000	27 000
中东		100	600	1 700	3 000
经济制度转型地区		200	3 000	13 000	22 000
非洲		100	700	2 500	3 000
总和		14 100	39 700	94 700	151 500
年度风能装置(根据表 4.1)		14 115	39 699	94 668	151 490
工作-年/MW		17.7	14.8	13.1	11.8



表5-6b 以5年为时间段的地区性就业分布

地区	年份	工作 - 年x1000			
		2005年	2010年	2015年	2020年
OECD欧洲		141.6	148.0	170.3	177.0
OECD北美洲		53.1	148.0	288.2	354.0
OECE太平洋		17.7	44.4	104.8	118.0
拉丁美洲		8.9	47.4	85.2	177.0
东亚		1.8	14.8	59.0	118.0
南亚		10.6	47.4	85.2	194.7
中国		8.9	74.0	170.3	318.6
中东		1.8	8.9	22.3	47.2
经济制度转型地区		3.5	44.4	170.3	259.6
非洲		1.8	10.4	32.8	37.8
就业人数工作 - 年		250.5	588.3	1 245.5	1 790.2
年风能装机容量(根据表4.1)		14 115	39 699	94 668	151 490
工作 - 年 / MW		17.7	14.8	13.1	11.8

2020 年风电 12% 方案 - 环境效益

全球二氧化碳的减排

现代风电技术有一个极为完善的能源平衡效益。风电机组仅仅需要运行 3~4 个月，便能“偿还”因生产、安装和维修风电机组（平均 20 年）而排放出的 CO₂ 所带来的影响。

要评估由减少 CO₂ 排放所带来的好处，要看风电是取代哪一种发电的方法。世界能源委员会的计算显示出不同化石燃料的 CO₂ 排放水平（表 6-1）。假设煤和天然气在未来 20 年仍然是主要的发电燃料，而且有一个以天然气来取代煤的趋势，便可以合理地作出以下的推论：风电平均每提供 100 万 kW·h (1GW·h) 的电量，便能减少 600t 的 CO₂ 的排放。

还有另一个客观事实可以证明这种假设是合理的。根据我们的发展方案，在未来 20 年，接近 50% 的累计风电装机容量会在 OECD 地区（北美洲、欧洲和 OECD 太平洋地区）。这些国家有明显的要以天然气来取代煤做燃料的趋势，其他地区在之后的时间也会有相同的发展。不过，部分地区还在广泛使用低效率的燃煤电厂，所以，它们在转向使用风电而减少的 CO₂ 排放量会更大。

以上述的假设为基础，用风电来供应全球 12% 的电力需求而减少的 CO₂ 排放量如下：

- * 每年所减少的 CO₂ 排放量从 2002 年的 3.87 亿 t 上升至 2020 年的 18.13 亿 t。
- * 到 2010 年，累计减少的 CO₂ 排放量达 11.57 亿 t。
- * 到 2020 年，累计减少的 CO₂ 排放量达 109.21 亿 t。
- * 到 2040 年，风电每年可以减少的 CO₂ 排放量达 48.6 亿 t，累计数量达 859.11 亿 t。

能效提高的影响

报告已经解释过，风电技术的效能提高，预计会由今天平均25%的容量系数，上升至2012年和2036年的28%和30%。如果用电力公司习惯的方式来表达的话，这个改变相当于由年满负荷小时数2 000h上升到2 500~2 600h。据预测，未来的近海风电装机的性能更佳，大概增加到3 000~4 000h。要注意的是，在丹麦、美国和英国一些风能资源丰富的地方，风电机组容量系数已经达到30%。

12%方案反映出的技术改进和增长率，会为CO₂零排放的电力作出很大贡献。这个可行性研究详细计算了每年因风电而减少的CO₂排放量，从目前到2044年的相关数据详见附录。

到2020年，累计减少的CO₂
排放量达109亿t。

减少CO₂排放的价值

已经有很多研究是用来计算通过不同方法减少CO₂排放的成本。一般的结论是，节约能源是最便宜的选择。若要从发电厂着手，则要考虑本地的电力系统结构以及具体哪一种燃料会被取代。丹麦的研究显示，以风电来取代煤电是一种最低成本的减排CO₂的选择。

在这个领域通常有一个误区，往往把新的风电与旧的化石燃料电厂作直接比较。由于那些化石燃料电厂是于30年前兴建的，其资金成本已贬值为零。当电力市场处于放松管制而具有竞争压力的市场情况下，这些化石燃料电厂能够以略高

于边际成本的价格来供电。不过这种情况不会永远继续下去，当新的装机容量需求增加时，风电便会更富竞争力。

在研究中，如果我们在计算时考虑到对未来成本效益的改进，以风电来取代化石燃料发电的减排成本很可能会接近零。

外部成本

以直接成本来比较风电和化石燃料或核能发电是错误的，因为这些比较没有计算外部成本，也看不到嵌入式发电(embedded generation)¹⁾的好处。

燃烧化石燃料或核能发电造成了很严重的环境和社会问题，但目前的电力价格却没有包含这些“外部成本”，这些成本有两个部分：本地和全球，后者主要与气候变化的形成有关。由于存在大量不确定因素，目前仍不能清楚地以货币来计算这些成本的大小，而且它们也难以被具体确认和量化。欧洲最近公布了一个题为“Extern E”的研究计划，这个研究花了超过10年的时间在欧盟15个成员国中进行评估，其中包括计算一系列燃料的成本。最新的结果在2001年出版，并列出了以下不同燃料的外部成本：

核电	0.2~0.7 欧分/kW·h
天然气发电	1~4 欧分/kW·h
煤电	2~15 欧分/kW·h
风电	0~0.25 欧分/kW·h
石油发电	3~11 欧分/kW·h

这个研究的结论是，若把与环境与健康有关的外部成本计算在内，来自煤或石油的电力成本会增加1倍，而来自天然气的成本会增加30%。核

¹⁾ 嵌入式发电是指与需要小区配合的电力供应方案。

电则要面对更大的外部成本，如公众的责任、核废料和电厂退役(decommissioning)等。

表6-1 化石燃料电厂CO₂的排放量(t/GW·h)

煤(多种技术)	751~962
石油	726
天然气	428
平均	600

来源：WEC统计，引自“风能——一些事实”，EWEA / 欧洲委员会出版，1998年，第四期





政策建议

引言

各国政府在制定未来的能源政策时，将面对很大的挑战，它们要面对一系列的问题：稳定的电力供应、可持续发展、气候变化、就业和科技的发展等。面对这些问题，只有可再生能源能够完全接受挑战。这个研究清楚地展示出风能是可再生能源工业的先锋。此外，报告也显示，风能要在 20 年内完成未来全球 12% 的电力供应的目标，并不存在着任何技术、商业或资源的限制。

当世界各国政府正在开放它们的能源市场之际，风能发展越来越富竞争力，这一趋势一定会带来对风电机组更多的需求。可是，如果没有政治上的支持，风能仍然难以与其他能源竞争。这是由于在过去数十年中，传统能源技术一直得到庞大经济、政治和结构上的支持，使世界电力市场变得无序。此外，旧的核能和石化电厂，因为资本利息和折旧成本，已经由消费者和纳税人付清，它们可以以边际成本来生产电力，致使新的风能要在这种种不公平的前提下与它们竞争。要克服无序了的市场，便需要政治性的行动，并且创造出平等的游戏规则，使人们可以充分享受风能带来的种种经济和环境好处。

正如报告前面章节所提到的，部分国家支持可再生能源的政策，正展现出令人惊喜的结果。譬如，德国风能的发展，已创造出超过 4 万份工作，而丹麦则创造出一个 30 亿欧元的出口工业。

以下内容概括地描述了风电产业面对的政治挑战，同时简单介绍了一些有助于开拓风能庞大潜力的政策。

国家政策

1 具有法律约束的可再生能源目标

近年，越来越多的国家制定了可再生能源目标，它属于减少温室效应气体排放政策的一部分。这些目标或者表现为定量的装机容量，或者就是能源消费的百分比。

欧盟的目标最具宏图大志。欧洲委员会和欧洲议会在 2001 年通过了可再生能源指导方针 (Renewable Energy Directive)，它为每个成员国制定一个指导性的目标。这个目标是到 2010 年，把总体能源中可再生能源部分(当时在 6%~12% 不等)增加 1 倍，相当于欧洲总体电力消费的 22%。指导方针的第二步，是要求承办商把强制的可再生能源目标的发展计划提交给欧洲议会和委员会。

表 7-1 显示，在欧盟指导方针下，其成员国需要完成的可再生能源供应的目标，这些目标是以总的国内电力消费的百分比呈现出来。在欧洲，绝大部分的水力发电潜力已被开发，未来的增长预期主要来自生物质能(biomass)和风能。

最有效的可再生能源目标是根据国内总体电力消费的百分比制定出来，其中一个优势是，它能够帮助改进风电机组。若这些目标被制定为短期的目标和长期的目标，便可以确定为了完成 5 年和 10 年的目标，需要作出哪些政策的变化。

若没有相应的政策来平衡能源市场的游戏规则、克服市场障碍和创造吸引投资的环境，这些目标便失去了意义。

1.1 具体的政策机制

要吸引发展商参与计划，一定要清楚地界定风力发电的市场。正如其他的投资一样，投资者

面对的风险越小，产品的成本会越低。确立新的风能市场最重要的措施是要以法律界定清楚风能所针对的市场，这些法律一定要稳定、长远，才能为投资者提供较低的风险和足够的投资回报。

为了要吸引风能机构购买生产设备，便需要稳健和可靠的市场，而且政府要对长远的发展承担责任。为了达到这些目标，部分国家已经引入了下列的机制：

1.2.1 定额价格制度

根据每千瓦·时的生产价格来建立的定额价格制度，来有效地推进了风能市场的发展。德国、西班牙和其他国家的法律都有这个制度的体现。在德国，立法机关把可再生能源电力定价与可再生能源技术发电的成本挂钩。西班牙的制度则把可再生能源电力的批发价与电力市场价格等同，然后按每千瓦·时给予一个环保奖金。定额价格

表7-1 欧盟为 2010 年可再生能源
供电量制定的指导性目标

国家	1997年可再生能源的%	2010年目标
澳大利亚	70.0	78.1
比利时	1.1	6.0
丹麦	8.7	29.0
德国	4.5	12.5
希腊	8.6	20.1
法国	15.0	21.0
爱尔兰	3.6	13.2
意大利	16.0	25.0
卢森堡	2.1	5.7
荷兰	3.5	9.0
葡萄牙	38.5	39.0
芬兰	24.7	31.5
瑞典	49.1	60.0
西班牙	19.9	29.4
英国	1.7	10.0
欧盟	13.95	22.1

制度的一大特色是，政府会为可再生能源的社会价值——它对电力制度所作出的贡献——制定一个价格。

当风能的生产成本下降（可以是科技和经济规模改进带来的下降），较低风速的地方也可以赚取利润，使风能可以进一步发展。定额价格制度主要的优点是，它能够给生产商压力，使他们生产出更具成本效益的风电机组，从而也降低风能发展的社会成本。

此外，最重要的好处是，定额价格制度可以使投资者提早计划新的可再生能源电厂。不过，这个制度在决定“正确”价格的时候也面临很大的挑战。其不利之处在于制度实施的时效问题，可能会出现政治争议，这意味着在计划期间，风能的价格可能会下跌，所以投资者需要计算这种风险的保险费。

1.2.2 可再生能源配额制 (Renewable Portfolio Standards — RPS)

在一个 RPS 规定下（正如那些在德克萨斯州或英国执行的规定一样），电力公司或电力用户必须根据他们总体的用电量买入一定比例的绿色证书，这些证书是从可再生能源制造商——风电机组的持有人——购入的，他们根据生产的电力而收取相应比例的证书。譬如说，每千瓦·时就收取一份证书。这个制度代表着风电机组拥有者的部分收入是来自一种特别的货币——绿色证书。证书的价格是由一个买卖供求的市场来决定的。

有一些 RPS 在能源技术方面是中立的，有的则规定了不同能源技术（如风能或太阳能等）的构成。如果不购买绿色证书将会受到严厉的惩罚。RPS 的市场可以说才刚刚起步，为了确保持续的投资，RPS 需要包含一个长远的市场发展计划。

可再生能源配额制的一个缺点是，它们进入电力供应制度的速度与技术发展和可再生能源的效能改进没有多大的关系，令可再生能源有可能变成发展的装饰品。

1.2.3 竞争的招投标机制

在投标制度之下，政府会制定一个定额基金，然后邀请竞投者参与发展计划，这些计划可以是技术上没有倾向性的，也可以涉及特定的技术。不同的计划会分配到一个定额的基金数目。之后，政府与承包商会在一个协议的时间内签订能源购买协议，一般来说，协议期为 15 年。装机容量发展的数量往往是由政策决定的，这些发展计划会变成特许权，通过一系列的竞标来确定承包商，而电力公司或顾客一定要向这些有特许权的经营者购买电力。分配开发权一般是让可再生能源的供应者（风电机组拥有人）通过互相竞争能源购买协议，然后根据结果来作出分配。

这个制度为投资者消除了很多政策上的风险，因为价格受到协议的时间保障，而能源购买协议受到法律的保障。

有较高惩罚额度的投标制度看来比较符合经济效益，但只能针对大型的投资者，而不是小型的营运者，如合作社或个人拥有者。小型的投资者需要通过一个合作计划组织起来，成为一个较大的可以分担风险的实体的一部分才能使制度可行。经验告诉我们，为了降低价格而进行的激烈竞争，会降低边际利润，这会吓退投资者，迫使发展商只利用最多风能资源的地点。

1.2.4 排放限额

正如征税制度的预定税额方法一样，排放限额也为工业制定出排放标准，不过，它是让市场来决定如何最大程度地达到这一标准。此外，它

也容许以节省能源的方法去减少排放量,事实上,这种方法的成本较使用新的排放量较低的发电设备便宜。《京都议定书》是一个建立排放限额的制度,不过,它容许以一些灵活机制来提高排放限额的水平。

1.2.5 投资补贴

一般来说,这种支持是根据发电机的级数(以kW计算)来发放的。投资补贴往往是在发展初期,当还不存在着或只有很少投资动机的时候才被采用。这些制度可能会带来问题,因为无论生产是否有效率,投资者都会收到补贴。在一些国家(如20世纪80年代在印度和美国的加利福尼亚州),这种付款的方法使风电机组的选址很差,而生产商则按顾客的需求生产出非常大型的发电机,这些机器增加了计划的收入,但却使产量下降。世界现有的趋势是避免以投资补贴作为单独的政策,而采取定额价格收费或RPS的制度,为价格或生产电量制定一个标准。

其次,因为这个制度要依赖政府的资金和持续的良好政治意愿,所以较难向这个产业及其融资者提供所需的长远保障和稳定。

2 给予投资者清楚和稳定的回报

政府采纳的政策措施需要配合投资者的需要才能有效。

这里是两个主要的议题:

- * 可再生能源的价格一定要有与其他投资选择一样富有竞争力的风险回报。
- * 计划的时期要较长,使投资者可以有足够时间去收回其投资。

3 能源市场改革

可再生能源要被广泛接受,要成为大型的电

力供应来源,能源部门一定要有重大的改革。

3.1 消除能源部门为可再生能源设置的障碍

目前能源法律有关规划、认证和电网的使用,都是围绕着大型集中式的电厂而制订的,其中包括要求经营者取得一系列许可证书,并就进入高压电网作出严格的规定。这些法律对现有大型的能源生产非常有利,对可再生能源来说却是一个非常巨大的市场障碍。此外,可再生能源有不需长距离传输的优势也没有被电力部门意识到。新的法律需要反映以下一些最近的改变。

技术方面: 可再生能源和燃气发电已成为增长最快的发电技术。

燃料方面: 煤和核能的竞争力越来越弱。

体积方面: 小型组件式的新能源和燃气发电厂生产电力的价格日益富有竞争性。

位置方面: 新组装技术可以在一个网络内广为传播。

环境和社会影响方面: 化石能源和核能对本地区环境和社会带来的影响已广为人知;化石能源也对全球气候带来极为负面的影响。

我们急需以下改革来排除可再生能源所面对的市场障碍:

- * 有效率和统一的计划程序和审批制度以及尽量降低电网系统的成本。
- * 以合理的价格公平地进入电网系统,取消歧视性的待遇和电力输送税。
- * 把电力公司分给不同的电厂和输送公司经营。
- * 电网系统基本设施的发展和增强的成本要由电网管理机关来承担,而不是个别的可再生能源计划。
- * 要求电厂公布发电的燃料成分,使消费者可以根据资料选择能源的来源。

3.2 清除无序的市场

除了市场障碍以外，还有很多混乱之处妨碍着可再生能源的发展，这些无序是以直接或间接的补贴表现出来的。此外，核能和化石燃料等传统、污染电力的成本并没有包含它们带来的外在社会成本。今天的电力价格既没有反映电力生产的完整成本，又没有反映风能和其他可再生能源为环境带来的益处。

3.2.1 停止补贴化石能源和核能

世界常规能源每年享受的补贴共 2 500 亿 ~ 3 000 亿美元，可见市场严重被扭曲。世界观察机构(The Worldwatch Institute)估计，全世界对煤的补贴共 630 亿美元，一个德国，补贴金额就达 210 亿美元，这包括向每个煤矿直接拨款 7 万美元。通过这些补贴，人为地把能源价格降低，使可再生能源难以进入市场，并支撑原来竞争力越来越弱的技术和燃料。在 2003 年 5 月，欧洲委员会就决定不反对德国于 2003 年给予煤炭工业一笔 33 亿欧元的援助。

停止所有对化石能源电厂和核能直接和间接的补贴，可以在能源领域里开创出一个更公平的游戏空间。正如 1998 年 OECD 题为“以减少补贴来改善环境”的研究所述：“给在很少的情况下才能被合理化，而且也会不利于国际贸易，正在失调的工业支持……如果支持可以降低社会长远的边际总成本，它才可能变得合理，譬如说，对‘朝阳产业’——如可再生能源的生产商——的支持就属于这一类型。”

2001 年，西方八国集团(G8)可再生能源工作组报告进一步指出，“重新处理它们（补贴），以及作出一些轻微的调整，使一部分的支出进入可再生能源。这样做可以提供一個机会，为新的公共目标带来一致性，并同时把社会和环境成本放

回到价格中。”工作组建议“G8 国家应该逐步消除对环境有害的能源技术的补贴，并发展和推动市场机制，更好地处理外部成本，令可再生能源科技可以更平等和公平的基础在市场上竞争。”

3.2.2 意识到污染能源的社会和环境成本

常规能源生产电力的真实成本包括了那些由社会承担的支出，如对健康的影响和本地区的环境破坏——从水银污染到酸雨——还有气候变化带来的全球性影响。譬如说，每年就有超过 3 万个美国人因电厂排放有毒气体而早逝。隐藏着的成本还包括没有设置核意外的保险，因为核电厂的经营者根本不可能负担这笔庞大的款项。举例说，安迪信价格法案(the Price-Anderson Act)就以每年 34 亿美元的补贴来限制美国核电厂在意外时的责任。

如果人们真的要求建立一个具竞争性的市场，其他类型的补贴（如外在的成本）一定要反映在能源的价格上。要做到以上这一点，政府必须落实“污染者自付”的制度，向排放者收费，又给予非排放者适当的补偿。向污染的电力来源采取污染者自付的税制或对可再生能源给予相同金额的补偿，以及免去可再生能源一切与环境有关的能源税等，这些努力对于营造一个更公平竞争的世界能源市场极为重要。

国际政策

1 《京都议定书》的生效

签署联合国气候变化国际公约下的《京都议定书》是最重要的一步，气候公约的总体目标是保护气候，以避免灾难性的气候变化危机。《京都议定书》是一个具有法律效力的国际工具，它是一个里程碑，开展了一个限制碳使用量的经济制度(carbon-constrained economies)。这意味着碳

含量较低或完全不含碳的能源生产需求会增加。保护气候需要更大幅度和更彻底地减少温室效应的气体排放，这会进一步增加可再生能源技术（如风能）的需求和市场。

2 改革出口信用社(Export Credit Agencies —— ECAs)、多边发展银行(Multi-lateral Development Banks——MDBs)和国际金融机构(International Finance Institutions —— IFIs)

世界对能源的需求（尤其是电力）在不断增加，发展中国家的增长就更快了。这些国家一直非常依赖出口信用社和多边发展银行提供贷款来发展能源和其他工业计划。为了与限制温室气体排放的国际政治取得共识，ECAs 和其他在世界各地提供资金的国际金融机构(IFI)的政策，一定要配合限制温室气体排放和缓解气候变化的需要。与此同时，它们也需要制订转变计划和弹性的时间表，以免在落实政策时，让那些过于依赖常规能源的来源和出口的发展中国家负担过重。这些机构要明白，要使世界上最贫穷的国家达到发展的目标，便要在可见的将来给予这些国家一定的补助。

G8工作组的报告一方面确认了国际金融机构和ECAs的角色，同时提出了很重要的建议去作出回应，它指出：“现代能源的获取和对环境的关注，应该结合 IFI 能源部门的对话和投资方案，现有的工具和机构发展方案应作适当调整，对可再生能源计划提供更多的支持。这些计划也许规模较小，而且还款期较长，但在经济上仍具有吸引力。因此，应该考虑为本地银行提供保证基金、融资计划，并为小型本地的经营者提供实时的借贷服务。”

此外，报告也建议“G8应该在可再生能源领域作出所谓的‘局部安排’，而且在G8的ECAs

之间发展和落实共同的环境指南，这包括设立一些准则去进行ECA资助的项目的环境影响评价，并为这些计划设立能源效益或碳密度的最低标准。此外，要以一个共同的报告形式，帮助ECAs容许有关机构就它们在地方和世界的计划，进行环境影响评价。”

响应这些议题的政策要包括：

- * 在总体能源领域投资中，要划定一个百分比，作为投入可再生能源的计划，而且这个比例要每年递增；
- * 尽快减少对常规能源和污染能源计划的补贴。

政策提要

国家政策

1. 设立具法律规范性的目标以鼓励可再生能源的发展；
2. 为投资者提供特定和稳定的回报
 - 可再生能源的价格一定要有较其他投资更具竞争力的风险回报；
 - 计划的期间要足够长，使投资者能有足够的时间收回他们的投资。
3. 电力市场改革
 - 3.1 消除供电领域中一些阻碍可再生能源发展的因素；
 - 3.2 消除扭曲市场的因素
 - 停止化石燃料和核能供电的补贴；
 - 把污染性能源所带来的社会和环境影响纳入内在的成本。

国际政策

1. 《京都议定书》的生效
2. 改革出口信用社(Export Credit Agencies —— ECAs)、多边发展银行(Multi-lateral Development Banks —— MDBs)和国际金融机构(International Finance Institutions —— IFIs)。
 - 在总体能源领域投资中，要划定一个百分比，作为投入可再生能源的计划，而且这个比例要每年递增；
 - 尽快减少对常规能源和污染能源项目的补贴。

附录



表2 地区贡献

国家和地区	2020年装机容量 /GW	风电年发电量 / (TW · h/a)	2020年电力消费市场的风电占有率 (%)	累计投资 /10亿欧元	2020年CO ₂ 的年减排量 / (10 ⁶ t/a)	2020年地区就业状况 人一年 /a(x1000)	评论 / 修改
OECD欧洲	230	564.0	13	129.9	338.4	177.0	包括近海 70 000MW
OECD北美洲	310	760.1	11.3	175.2	456.1	354.0	
美国 (含北美洲)	-250	(613.0)	(13)	(140.2)	(367.8)	(283.0)	
OECD大平洋	90	220.7	9.5	50.8	132.4	118.0	
拉丁美洲	100	245.2	15.7	61.0	147.1	177.0	投资+10%
东亚	70	171.7	11.7	42.7	133.9	141.6	雇员: +20 投资: +10% CO ₂ 减排: +30%
南亚	50	122.6	8.1	30.8	95.6	233.6	
中国	170	416.9	12.	104.7	325.2	382.3	
中东	25	61.3	6.8	13.6	36.8	47.2	
经济制度 转型地区	130	318.9	14.2	78.0	229.6	311.5	雇员: +20 投资: +10% CO ₂ 减排: +20%
非洲	25	61.3	5.6	15.0	36.8	37.8	
世界 - 合计	1 200	3 021.1	11.81	702.6	1 931.9	1 980	总计: 包括修 订的数据

地区的界定根据 IEA 的分类

OECD 欧洲：

欧盟 15 成员国，捷克、匈牙利、冰岛、挪威、瑞士和土耳其

OECD 北美洲：

美国和加拿大

OECD 大平洋：

日本、澳洲和新西兰

经济制度转型地区：

阿尔巴尼亚、保加利亚、罗马尼亚、斯洛伐克、前南斯拉夫、前苏联和波兰

南亚：

印度、巴基斯坦、孟加拉、斯里兰卡和尼泊尔

拉丁美洲：

所有南美洲国家和加勒比海岛屿

东亚：

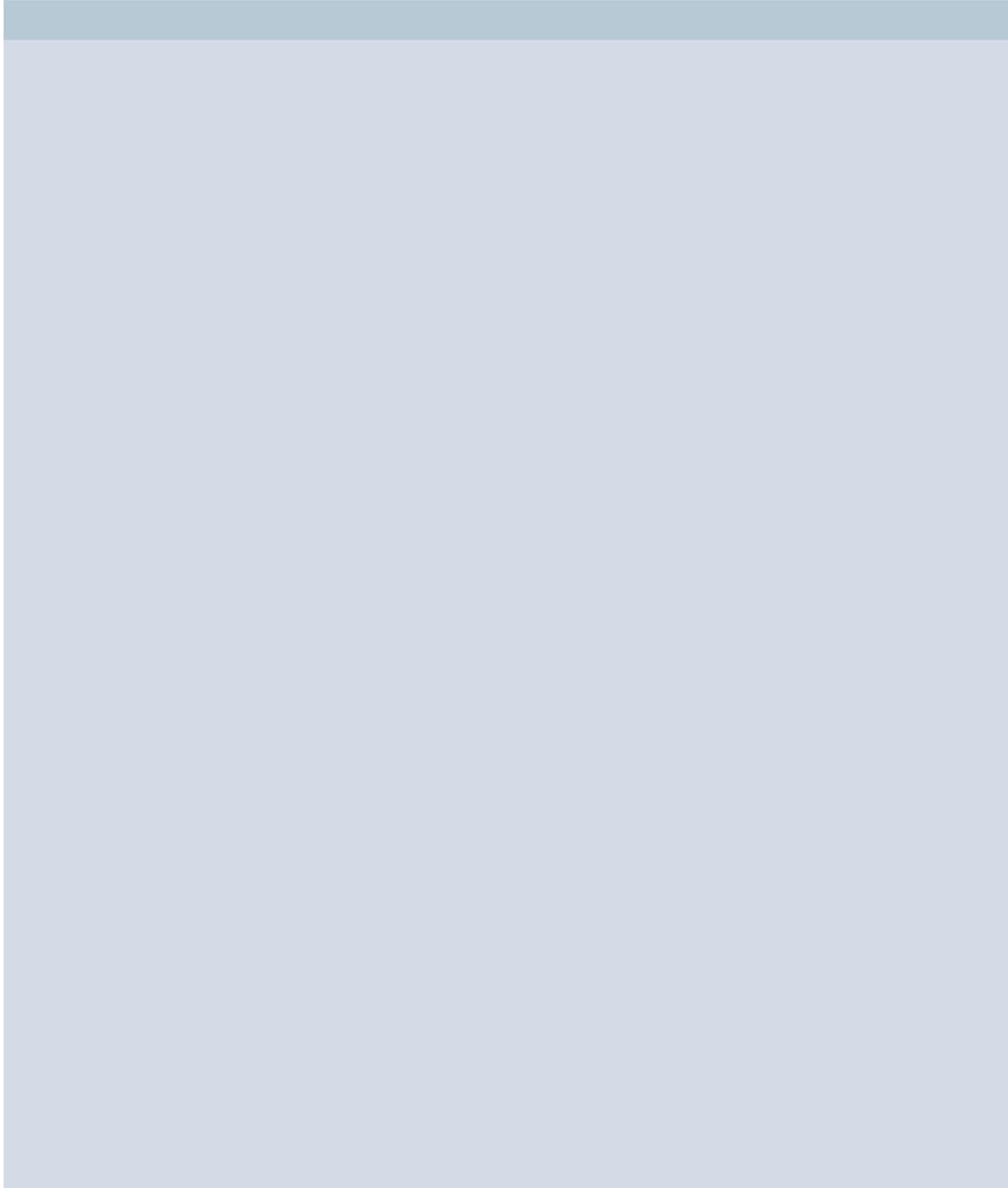
文莱、南韩、印度、马来西亚、菲律宾、新加坡、朝鲜、中国台湾省、越南和其他较小的国家，如波里尼西亚

非洲：

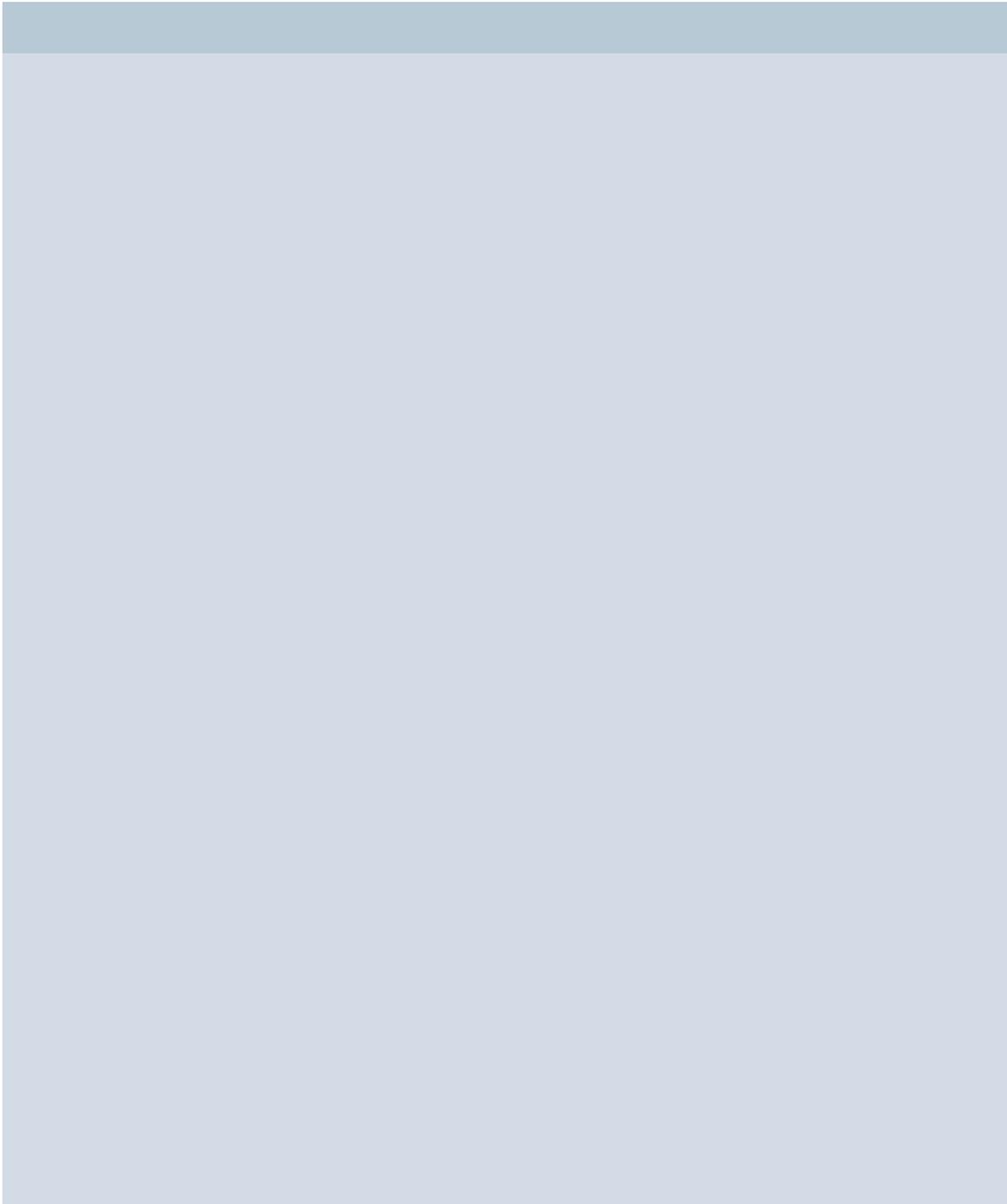
绝大部分在南非和北非的国家

中东：

巴林、伊朗、伊拉克、以色列、苏丹、科威特、黎巴嫩、阿曼、卡达、沙特阿拉伯、叙利亚、阿拉伯酋长共和国和也门



注： 成本(丹麦克郎 /kW · h)=a × (X1X0)-b
2003年2月20日
1美元 =0.9328 欧元
1美元 =6.94 克郎
1欧元 = 7.43 克郎



后记 1

俞红鹰

中国太阳能学会理事

20世纪人类社会的高速发展是建立在大量消耗化石燃料的基础上的，改变传统的能源消费方式是 21 世纪人类社会保持可持续发展的关键。《风力 12》这份报告向人们说明了新能源的发展前景。

风能是人类最早利用的能源，风帆的使用曾带来造船业和航海业的发展，为人类文明作出了巨大贡献。今天，先进的风力发电技术再一次引领了可再生能源的发展，为能源产业的革命作出了贡献。

这份报告全面介绍了当今风电的发展状况，特别介绍了欧洲各国风电的发展情况以及政府在风电发展中所起的作用。这对中国政府的有关部门制订新能源产业的政策有很好的借鉴作用。

中国是一个能源消费大国，能源产业的发展支撑着经济的高速发展。国家的能源产业政策直接影响着未来的经济发展。这份报告以全面真实的数据，表明了风力发电在未来电力行业中所占的重要地位。风力发电作为一种清洁能源，代表着 21 世纪能源产业的发展方向，它利用地球上取之不尽的自然能源为我们提供电力。同时，风力发电设备是一个巨大的产业，2003 年德国的风电设备制造业取代了汽车制造业和造船业，成为德国钢材的第一大用户，这就体现了风电设备制造业巨大的产业潜力。

长期以来，人们以风电电价高于常规火电而忽视了风电作为一种清洁能源而产生的环境保

护的附加值，也忽视了风电作为一项高新技术产业而将带来的巨大的产业前景，更忽视了风电对促进偏远地区经济发展所能带来的巨大作用，风电被放在了不平等竞争的地位。我们难道真要等到能源产业成为经济发展的瓶颈的时候，才来发展新能源吗？近 10 年来，风电的电价呈快速下降的趋势，而常规的石化能源价格在一直上升，我国只有加快新能源的发展，才能不断降低新能源产业的制造成本，提高新能源产业的技术水平。西班牙风电设备制造业的快速发展正体现了这种政府的超前发展意识所带来的效益。

中国的风能资源丰富，在西北、东北和沿海地区有丰富的风能资源，具备大规模发展风电的条件。

风电项目前期工作周期较长，但占用资金量小。项目建设周期短，运行维护工作量小、成本低，属于投资回报稳定的项目。

目前，广东沿海地区已建、在建和规划建设并已开始做前期测风工作的风电场总规模接近 1000MW，可开发的风电场预计可达 6000MW。粤电力、国华电力、香港中华电力、华能、深能源等大的电力公司都在广东沿海建设风电项目或选择风电场做项目前期工作。同时，广东省政府也制定了《关于促进我省风电发展的意见》的法规性文件，只要确定了风电的合理上网电价，广东沿海将会进入一个风电商业化大规模发展的时期。

广东加快风电的发展有以下几方面的意义：

1 优化电力结构

广东的电力结构以煤电为主，辅以水电和核电，水电则受季节性影响。风电与水电在季节上有很强的互补性，大规模发展风电可以优化电力结构。

2 优化电网结构

广东的风电场一般都建在粤东和粤西的沿海地区，属于电网的末端，风电场的合理布局可优化电网的结构。

3 促进产业发展

由于风电设备的体积大，运输困难，随着风电场的规模扩大，本地化生产是必然趋势。可以带动钢铁制造业、机械及电子设备制造业、建筑材料、道路及工程安装业的发展，对拉动经济、促进就业有积极的作用。

4 促进偏远地区的经济发展

广东风能资源丰富的地区大多在东西部的沿海偏远地区，由于风大，这些地区不适合农业和工业的发展，地区经济落后。风电场的建设可以促进该地区的道路交通和旅游业的发展，带动地方经济发展。

5 提高民众对新能源的认识和环境意识

目前，广东各地分布的风电场已成为当地的旅游景点和新能源知识教育基地。风力发电机可以让民众直观地认识和理解新能源知识，对普及新能源和环保知识有积极的意义。

6 吸引外资

目前，风力发电项目是国际融资条件最好的项目之一，只要鼓励风电发展的配套政策落实且具有可操作性，就可以大量吸引国外的低成本资金投入广东，对促进广东的经济发展有非常积极的意义。

随着近10年风电技术的进步和中国各地风电场项目建设的经验积累，现在已具备了大规模发展风电的条件，而且电力需求的增长也为风电发展创造了条件。现在是大规模发展风电的最好时机。希望这份报告的发表能对中国风电的发展起到积极的促进作用。

感谢绿色和平组织为把《风力 12》报告翻译成中文所做的努力。

俞红鹰



后记 2 未来就在您的手中

卢思骋

绿色和平组织中国项目总监

亲爱的读者，在您放下这份报告之前，我谨代表绿色和平组织向您致敬，因为未来就在您的手中。

正如这份报告的研究指出，风能在全球的迅猛发展，虽然自有其经济效益的背景，不过，我们也必须注意到，因为燃烧化石能源而导致的气候变化，对诸如风能等可再生能源的发展有着关键的促进和拉动作用。中国优秀的科学家们也反复警告，气候变化引起的沙漠化、海平面上升、冰川融化以及干旱、洪水和暴风雨等气候灾害日益频繁和严重，已经造成了沉重的经济损失，而且将会日趋恶化。

中文的“危机”一词，是由两个汉字组成的，既是危险，也是机会。从现状中，绿色和平看到的不仅是危险，我们视之为寻找出路的大好机遇。

《风力12》报告谈论的不只是未来，更告诉我们今天所做的选择。在一些高速发展的国家中，他们已经做了这样的选择：使用清洁、可再生能源作为电力的来源。这个选择，就是今天通过这份报告我们呈现给中国的。

如《风力12》所示，风力发电是世界上成长最快的产业之一。风能若能被充分利用，其经济潜力将是无穷无尽的，而中国才刚刚开启她巨大风能资源的一角。我们坚信，若中国选择加入全球风力发电的行列，以风能作为经济发展的引擎，中国将轻易跻身于风力发电大国的行列，同时能

为快速增长的经济提供清洁可靠的能源。

绿色和平相信，经济发展能够且必须与环境保护共生共存，两者互不排斥。这是我们的信念，这也是您此刻手握《风力12》的原因。

将这份报告译成中文，绿色和平不仅仅期待通过翻译技术专业知识来告诉您什么可能和为什么必要。我们相信，我们传递的是——希望。

《风力12》蕴含着一种通往未来的伙伴关系：进步的产业、远见的政府和民间的环保组织的伙伴关系。绿色和平将会继续与中国资源综合利用协会可再生能源专委会、相关企业单位和政府部门以及专家学者们发展这种卓有成效、积极进取的伙伴关系，并肩携手创造一个绿色、繁荣和可持续的未来。

只有协力，我们方能勇往向前，方能找到出路，它不仅是一条可能的出路，更是——如《风力12》所呈现的——用之不竭、经济可行、朝气蓬勃的出路。出路并非迷宫，部分答案，实际已经握在您的手中。

广阔天地，大有作为，就让我们为绿色、和平、清洁、可持续的未来而一起行动吧。



联系方式

李俊峰

中国资源综合利用协会可再生能源专委会秘书长

地址：中国北京市西城区车公庄大街甲4号，

物华大厦A2106室，邮编100044

电话：+86-10-68002615 68003689

传真：+86-10-68002674

Email: lijf@public.bta.net.cn

网址：www.creia.net

史温·泰斯卡 (Sven Teske)

绿色和平可再生能源项目主任

地址：Gr. Elbstrasse 39

22767 Hamburg, Germany

电话：+49-40-30618-304

传真：+49-40-30618-167

Email: sven.teske@greenpeace.de

高恩·米拉斯 (Corin Millais)

欧洲风能协会主席

地址：Renewable Energy House,

26 Rue Due Trone

B-1000 Brussels, Belgium

电话：+322 546 1940

传真：+322 546 1944

Email: corin.millais@ewea.org

网址：www.ewea.org



责任编辑：高速进

封面设计：杨先洲



Wind Force 12 Wind Force 12