



能源革命

中国可持续能源展望



© GP/COBEING, NICKP
© GREENPEACE/NIETSCH, BERNHARD

綠色
和平
GREENPEACE

EREC
欧洲可再生能源委员会

目录

简介	4
摘要	6
1 应对气候变化	9
2 绿色和平能源革命	14
3 未来能源供应情景	22
4 全球能源革命情景	36
5 能源资源和供应安全	38
6 能源技术	58
7 中国能源革命情景	71
8 中国能源政策	81
9 绿色和平政策建议	84
附录	88

能源革命

绿色和平 欧洲可再生能源委员会

日期 2007年4月

研究机构：德国航空航天中心系统分析和技术评估院技术热力研究所 Dr. Wolfram Krewitt, Sonja Simon, Stefan Kronshage; Ecofys咨询公司 Wina Graus, Mirjam Harmelink

区域合作伙伴：经合组织国家（北美）- 世界观察研究所 Janet Sawin, Freyr Sverrisson; 绿色和平（美国）John Coegyrt; 拉丁美洲 圣保罗大学 Ricardo J. Fujii, Dr. Stefan Krauter; 绿色和平（巴西）Marcelo Furtado; 经合组织国家（欧洲）欧洲可再生能源委员会 Oliver Schäfer, Arthouros Zervos; 转型经济国家 Vladimir Tchouprov; 非洲和中东地区 参照项目：跨地中海地区国家太阳能行业互动发展 2006 Dr. Franz Trieb; 绿色和平（地中海地区）Nili Grossmann; 南亚 Rangan Banerjee, Bangalore, India; 绿色和平（印度）Srinivas Kumar; 东亚 日本东京ISEP研究所：Mika Ohbayashi; 绿色和平（东南亚）Jasper Inventor, Tara Buakamsri; 中国 北京清华大学 张希良教授; 绿色和平（中国）杨爱伦; 经合组织国家（太平洋）日本东京ISEP研究所Mika Ohbayashi; 新西兰惠灵顿对话研究所 Murray Ellis; 绿色和平（澳大利亚-太平洋地区）Catherine Fitzpatrick, Mark Wakeham; 绿色和平（新西兰）Vanessa Atkinson, Philip Freeman

版面设计 Tania Dunster, Jens Christiansen, 徐军平

封面：位于广东南澳的丹南风电场 广东省风力资源丰富，已建成大规模的风电场

图片：漂移在格陵兰岛西南NARSAAQ镇前海湾内的一小块冰山

前言



人们越来越意识到一个与传统能源生产和利用趋势和架构全然不同的全球能源革命的未来是十分必要的。这些需要显得非常迫切，因为需要确保能源供应安全、控制因燃烧不同燃料带来的当地污染，以及解决日益严重的来自全球气候变化的挑战，而这要求减少温室气体，特别是二氧化碳的排放。

本报告就未来能源使用愿景提供了一个令人振奋的分析，它着眼于未来几年至几十年中可能出现的各种技术。目前全球认识到新技术及其中一些现有技术的更为广泛的应用将为应对温室气体排放带来最有希望的前景。因此，过去追求一种建立在能源需求和供给的简单时间尺度上的方法的国际能源署现在也发展出结合未来技术变化的可供选择的愿景。同样的，在联合国政府间气候变化工作小组的第四次评估报告中，技术作为一种重要主题被包括在其中，这是对技术在减缓和适应气候变化的措施中扮演重要角色这一事实的认可。

在气候变化问题上，对紧急行动的需求的科学证据目前更加坚实和可信。未来的解决办法将是利用现有可再生能源技术，极力提高能源效率，实施分散式能源技术和选择。本报告提供了较多的分析和很好的研究资料来激发人们思考可以应用于这些领域的各种方案。期待在这些相关领域从事工作的专家和正在寻求对这些问题的更好理解的读者能够从阅读本报告中获益。



R.K. Pachauri 博士

联合国政府间气候变化专门委员会主席

2007年1月

简介

“为使可再生能源发展在经济上有吸引力，所有可再生能源技术平衡而及时的发展至关重要。”



图片：风机测试 风机由德国NORDEX公司制造 位于罗斯托克港。这架风机功率为2500千瓦，在离岸条件下测试。到2007年，至少有十架这样的风机矗立在DARSS岛附近的波罗的海海域中。两位技师正在涡轮机内工作。

首先是好消息。可再生能源的发展加上能源的高效率利用，到2050年可以满足全球能源需求的50%。本研究表明在未来的43年内削减50%的全球二氧化碳排放从经济上是可行的，大规模使用可再生能源在技术上是可行的，而现在缺乏的是政策支持。

坏消息是时间所剩不多。在科学观点上压倒性的共识是气候变化正在发生，主要由人类活动引起（例如燃烧化石能源），如果人类置之不理，气候变化将带来灾难性的结果。而且，已经有可靠的科学证据表明我们应该立即行动。这从由一千多位科学家组成的联合国政府间气候变化专门委员会为决策者提供的建议中可以得到证实。2007年由此委员会发布的第四次评估报告将会进一步确定这样的结论。

为应对气候变化的威胁，京都议定书已经承诺其签署国（附件B国家）在2008-2012年目标期在1990年的基础上减少温室气体排放5.2%。这个协议使得一系列地区和国家采用了减排目标。例如欧洲承诺整体减排8%。为了达到这样的目标，欧盟已经同意到2010年

将可再生能源比例从6%增加到12%。京都议定书签署国正在协商第二承诺期的协议，时间是从2013年到2017年。在这一时期内，工业化国家需要减少18%二氧化碳排放（以1990年为基准），到第三承诺期（2018-2022年）减少30%。只有遵循这样的途径，我们才有机会将全球温度升高控制在2摄氏度以内，否则，气候变暖的影响将是灾难性的。

伴随着全球变暖，其他挑战已经变得更为紧迫。世界范围内的能源需求正在惊人增长。能源进口过分依赖少数且政治上不稳定的国家以及价格波动较大的石油和天然气，这种现状已使能源供应安全成为政治议事日程中的首要问题，同时也威胁着全球经济的活力。但是，需要改变我们生产和消费能源方式的共识也同时形成，虽然关于如何达成这样的目标仍有不同意见。

图片：德国第一个地热电站。工人正在过滤房内工作



全球能源情景

欧洲可再生能源委员会（EREC）和绿色和平撰写此报告，旨在提供一个可操作的蓝图：如何迅速满足二氧化碳减排目标并在全球经济稳定发展的前提下确保能源供应可负担得起。同时达成这两个重要目标是可能的。能源行业需要做出的紧急变化意味着我们的革命情景基于已经证明的和可持续能源技术，例如可再生能源技术和有效的分散式能源发电。我们的能源变革情境排除了所谓二氧化碳零排放的煤电和核电。

绿色和平和欧洲风能理事会委托德国航空航天中心系统分析和技术评估院撰写的这份报告提出了一个到2050年的全球可持续能源发展路径。未来可再生能源资源的潜力已经在全球所有可再生能源工业的参与下得到评估，并形成能源变革情景的基础。

本报告中采用的能源供应情景即拓展了也加强了国际能源署的预测，使用了MESAP/PLaNet的模拟模型来计算能源供应情景。这个情景已被ECOFYS咨询集团进一步发展，以考虑未来能效提高的潜力。ECOFYS设想了一种开发能源效率潜力、充满抱负的全面发展之路，这种设想着眼于目前最好的能效实践和未来可获得的相关技术。研究表明，在能源变革情景下，到2050年，世界能源需求可以减少47%。

可再生能源发展潜力

本报告证明可再生能源对于未来的能源变革不是梦想，而是真实、成熟并可大规模实施的。数十年的技术进步已经看到包括风机、太阳能电池板、生物能发电和太阳能集热器等可再生能源技术逐步进入能源技术主流。全球可再生能源正在迅速发展。2006年，营业额达到380亿美元，比前一年高出26%。

从化石能源转向可再生能源的时间还比较短暂。未来十年，经合组织国家许多现存电厂将完成技术生命周期并需要更新或替代。但是目前建设一个煤电厂的决定将导致二氧化碳排放持续到2050年。所以，未来几年内电厂采用什么电力设备将决定下一代的能源供应。我们坚信这应该是“新能源一代”。

当工业化国家急切需要重新思考其能源战略时，发展中国家需要从发达国家过去的失误中吸取教训，并从一开始就将经济发展建立在可持续能源供应的基础上。确保能源变革实现，需要建立一种新的能源结构。

到2030年，只要全球范围内在所有行业推动可再生能源大规模实

施的政治意愿和影响深远的提高能源效率的措施存在，可再生能源能够提供多达35%的世界能源需求。这一报告强调了可再生能源发展的成败与否将强烈地依赖于各个政府及国际社会的政治选择。

通过选择可再生能源和能源效率，发展中国家几乎可以稳定它们的二氧化碳排放，在发展经济的同时增加能源消费。经合组织国家将必须减少80%的二氧化碳排放量。

我们无需“忍饥挨饿”来达成目标。严格的技术标准将确保只有最有效的电冰箱、供热系统、计算机和机动车才能出售。消费者有权利来购买那些并不增加能源支出、不再带来气候变化的产品。

从情景到现实

这个报告显示，基于国际能源署《世界能源展望》预测的传统情景不应该是我们对未来的选择。到2050年，二氧化碳排放几乎翻番，全球平均气温将升高2摄氏度。这将对环境、经济和人类社会带来灾难性影响。另外，有必要谨记世界银行前首席经济学家尼古拉斯·斯特恩爵士在其报告中清晰地指出：今日投资于能效技术和可再生能源的人将是明天经济竞争中的胜者。从长期来看，在应对气候变化上不作为而付出的代价将远远高于目前采取行动所投入的成本。

因此我们呼吁全球决策者将情景变成事实。未来几年的政治选择将决定将来数十年世界环境和经济局势。人类将承担不起依赖化石能源、核能和其他过时技术的传统能源发展之路。可再生能源能够并将必须在世界能源的未来发挥领导作用。

为了健康的环境、稳定的政局和繁荣的经济，现在是时候致力于发展一个真正安全和可持续的能源未来——建立在清洁能源技术、经济发展和创造百万新就业机会基础上的未来。

Arthouros Zervos

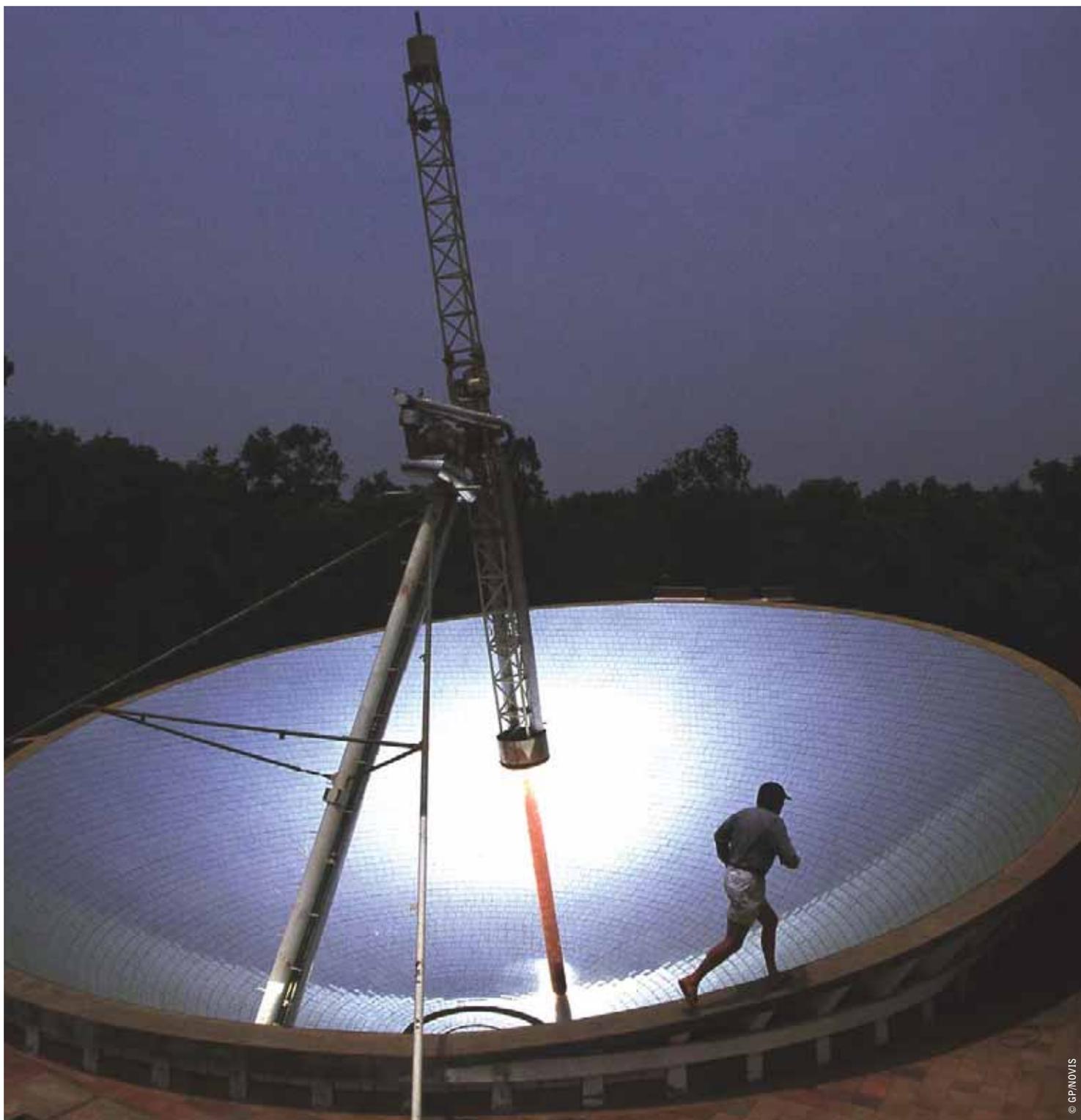
欧洲可再生能源理事会

Sven Teske

气候和能源项目 绿色和平国际

摘要

“全球范围技术上可开发的可再生能源资源储备足以提供六倍以上的当前世界能源消费量,且永不枯竭。”



图片：位于印度TAMIL NADU省Auroville镇的巨型太阳能灶顶部，一人正奔跑在这个灶的边缘。这个太阳能灶产生的热能每天可以烹饪2000人的食物。这个镇在1968年成立了由来自100多个乡的人组成的管理委员会。委员会的主要活动包括：环境改善、有机农业、可再生能源、社区发展、戏剧、音乐和艺术等。

图片 位于冰岛西北的一个能源工厂，能源生产来自当地丰富的地热资源。



气候变化威胁及其解决方案

因为地球大气中不断增加的温室气体导致的全球气候变暖正在威胁着生态系统，并造成每年大约15万人因此死亡^a。全球气温平均升高两摄氏度会威胁到千百万的人们，人们面临来自饥荒、疟疾、洪水和淡水资源短缺的风险将增加。如果要将温度升高的幅度控制在一个可接受的范围内，我们需要大量减少温室气体排放。这对环境保护和经济发展都有重要意义。主要的温室气体是人类在能源和交通领域使用化石燃料而产生的二氧化碳。

受到最近石油价格猛涨的刺激，能源供应的安全问题被提上政策议事日程的首要位置。价格增长的一个原因是所有人们可以使用的化石能源——石油、天然气、煤炭等资源变得越来越稀少，生产成本会逐渐提高^b。廉价石油和天然气的时代即将结束。铀—核能燃料，也是一种储量有限的资源。相比之下，全球范围内技术上可获得的可再生能源资源足够丰富，可以提供超过目前世界能源消费量六倍以上的能源，且永不枯竭^c。

可再生能源技术在技术发展和经济利用成熟度方面差异很大，但是仍有许多可再生能源资源可以提供吸引力日益明显的选择。这些资源包括风能、生物质能、光伏、太阳热能、地热能、潮汐能、水能。它们的共同点是产生很少甚至根本不产生温室气体，储量几乎取之不尽。其中的一些可再生能源技术已经具备相当的竞争力。当化石能源价格持续走高和二氧化碳减排被赋予货币价值，同时可再生能源技术不断发展，这些可再生能源的经济可开发性将继续提高。同时，在提供同样能源服务水准条件下，我们有巨大潜力来减少能源消耗。本研究详细讨论了一系列提高能源效率的方案，这些方案将明显减少工业、居住、商业和服务业的能源需求。

注释

^a KOVATS, R.S. 和 HAINES, A. “气候变化与健康：近期发现与未来措施”

《加拿大医学协会会刊》2005年2月刊

^b 可再生能源系统发展公司/世界风能理事会 《填补缺口》2006年

^c NITSCH博士等

能源革命

气候变化紧迫性要求我们在能源领域展开一场革命。而革命的核心将是能源生产和传输方式的变化。这一变化过程中有五个主要原则：

- 提高能源效率并实施清洁、可再生能源解决方案
- 尊重自然生态的承载力
- 告别肮脏的、不可持续的能源
- 平等和公平
- 使经济发展和化石能源使用脱钩

展望2050年，我们的报告中勾勒出两个能源情景。参照能源情景是基于国际能源署发布的《世界能源展望2004》中预测到2030年的常规商业发展情景。与《世界能源展望2004》相比，国际能源署在新近发布的《世界能源展望2006》中对2004-2030年全球GDP的增长率预测略高，达到3.4%，而非先前的3.2%；对能源总需求的预测也比2004年的报告高4%。

一项能源革命情景下关于经济发展对能源需求影响的敏感性分析显示全球平均GDP每增长0.1%（2003-2050年）将导致能源需求增加0.2%。

能源革命情景的目标是：到2050年，全球温室气体排放将在1990年的基础上减少50%，人均二氧化碳年排放量将减少到1.3吨/年，以满足全球升温控制在2摄氏度以内的目标。即使放弃使用核能，这样的目标也是能够达到的。为达成这些目标，能源革命情景指出，必须充分挖掘能源效率潜力。同时，所有成本有效的可再生能源资源和生物燃料生产，可以满足人们在热、电和生物燃料上的所有需求。

目前，新型可再生能源资源占中国一次能源需求的7.5%。在新型可再生能源以外，主要用于供热的传统生物质能在一次能源使用份额中占12%。在供热方面，可再生能源大约占一次能源的35%。中国大约80%的一次能源供应仍然来自化石能源。在电力生产中，包括大型水电在内，可再生能源所占份额为15%。

能源革命情景描述了一种将全球现有的局势转化成可持续能源供应的发展途径。

- 努力提高能源利用的效率将把一次能源的需求从2003年的每年55000PJ限制在2050年的75000PJ。而在参照能源情景下，一次能源需求到2050年将增加到每年146000PJ。在能源革命情景下，一次能源需求的大量减少是大力提高可再生能源份额以平衡减少化石能源使用后果的至关重要的必要条件。
- 电力行业将是可再生能源资源利用的先锋。到2050年，大约53%的电力将由可再生能源供应，包括大水电在内。2050年，1300GW的可再生能源电力装机每年可以供应4000TW的电力。
- 在供热方面，可再生能源的贡献到2050年将逐渐增加到43%。化石能源和传统生物质能将被更有效率的现代技术替代，尤其是太阳能技术。
- 在生物燃料被大规模应用到交通领域之前，我们应该发现有巨大的能源效率潜力。因为生物燃料要服从于固定基站应用，其生产受到原料供应的限制。
- 到2050年，可再生能源提供全球33%的一次能源需求。

为了使可再生能源发展在经济上有吸引力，所有与可再生能源技术相关的全面、及时的推动非常重要。这取决于技术发展潜力、真实成本、成本降低潜力和技术的成熟度。

二氧化碳排放的进展

在参照情景下，到2050年，中国二氧化碳排放将增加两倍，大大偏离了可持续发展的途径。而在能源革命的情景下，2050年，中国二氧化碳排放将保持在2003年大约33亿吨的水平。人均年排放量将从2.5吨微降至2.3吨。由于电力需求继续增长，电力行业将是二氧化碳最大的排放源，2050年将占到50%。在工业和其他社会行业能源效率提高的收益和可再生能源的利用将导致二氧化碳排放的减少，并平衡交通和电力行业二氧化碳排放的增加。

成本

由于电力需求持续增长，中国将面临全社会在电力供应上支出的急剧增加。在参照情景下，电力需求不断增加，化石能源价格和二氧化碳排放成本的增长将导致电力供应的成本到2050年增加到7500亿美元。能源革命情景不仅符合全球二氧化碳减排的目标，而且也有助于缓解能源支出对社会带来的经济压力。提高的能源效率和倾向可再生能源的能源供应转型与能源参照情景相比，降低10%的长期电力供应成本。这样，在能源领域履行严格的环境目标的经济效益也会越来越明显。

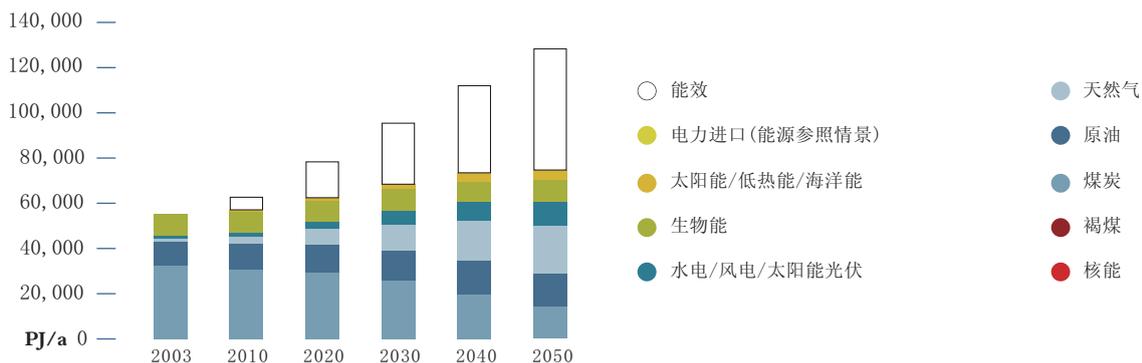
绿色和平呼吁：

- 推动政策，逐步将化石能源使用的外部成本内部化
- 贯彻实施国家“十一五”期间，单位GDP能耗降低20%的目标
- 加大可再生能源发展的力度，特别是风电和太阳能光伏行业

此外，在大力发展可再生能源的同时，还需要关注其对环境社会的负面影响。如在发展水电的同时，须对当地的环境破坏和移民的问题进行充分的评估。发展生物质能，也需要避免对粮食价格的影响，或对森林的破坏。

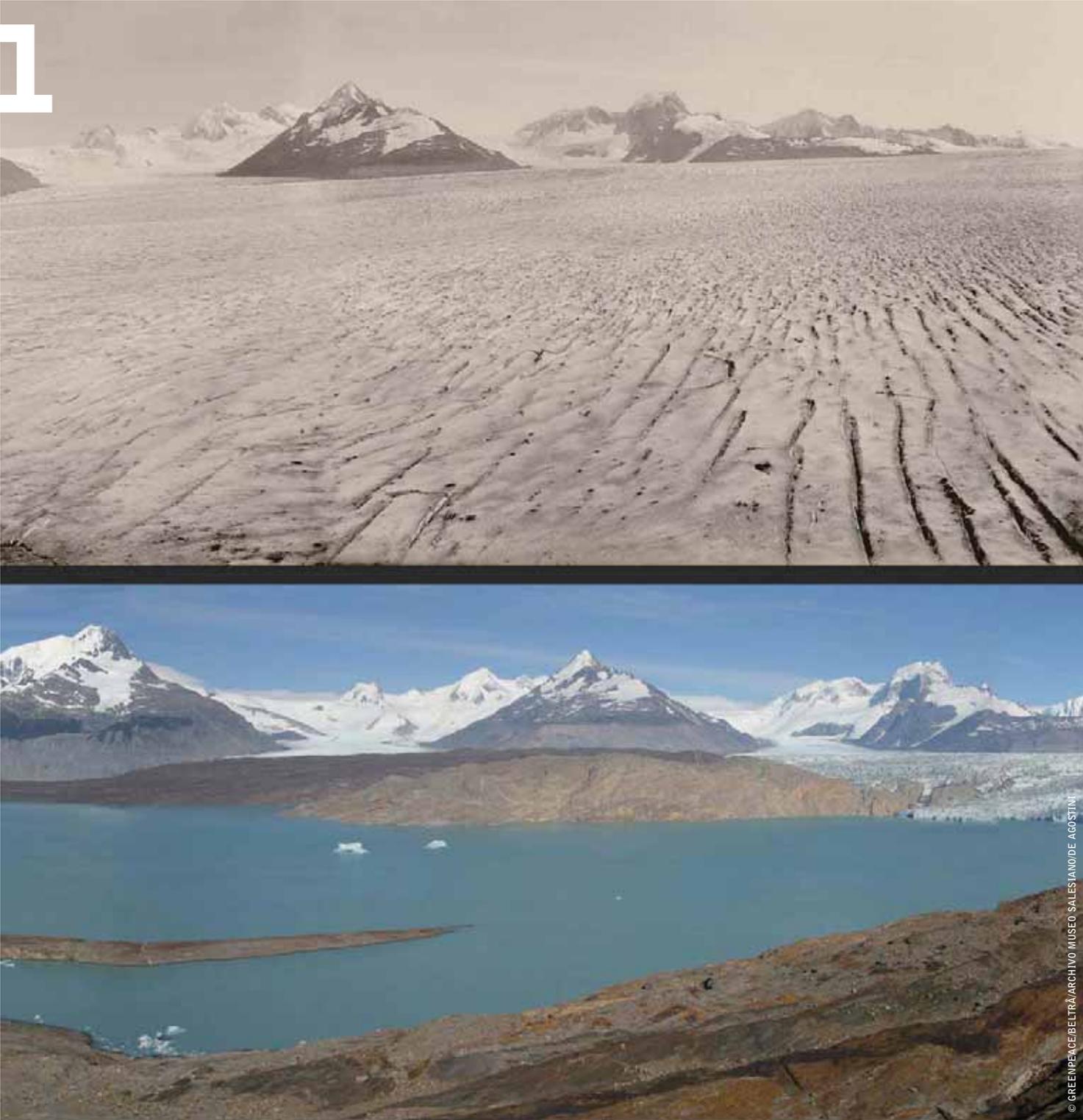
图表1 中国: 能源革命情景下的一次能源消费预测

(能效即与能源参照情景比较减少的能源消费)



第一章 应对气候变化

“如果我们不紧急采取行动，全球变暖带来的破坏将无法逆转。”



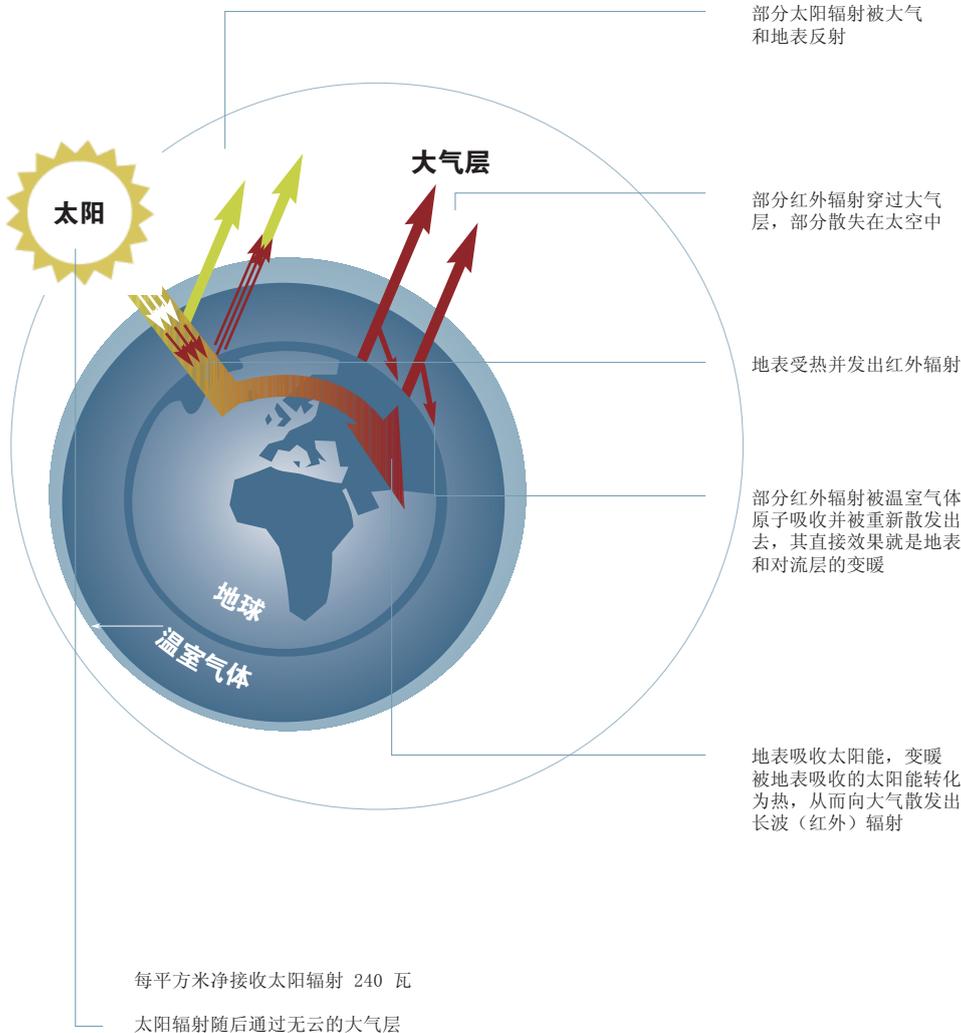
图片：阿根廷塔塔哥尼亚的Upsala冰川，上图为1928年拍摄的老照片，与下图不断退缩的冰川现状形成对比

温室效应和气候变化

温室效应是一个过程，这其中大气吸收太阳能，使地球变暖，并保持气候适宜。多数气候科学家相信，人类活动导致的温室气体增长人为地强化了这种效应，提高了全球温度，打破了气候的平衡。这些温室气体包括二氧化碳，甲烷和氮氧化物。二氧化碳主要由化石能源的燃烧和森林砍伐造成。甲烷释放源头主要是农业、动物和垃圾填埋场。氮氧化物则主要源于农业生产和一系列工业化学品。

每天我们因为在能源和交通方面使用化石燃料（石油、煤和天然气）而损害着我们的气候。其后果是，气候变化已经影响着我们的生活，而且预计在未来几十年内破坏生态系统、物种和许多发展中国家人民生计。因此我们需要大量减少温室气体排放。这样可以使环境和经济共同获益。

图表2: 温室效应



表格1:1850年到2005年间最热的十年

(同1880-2003年间全球平均温相比)

年份	全球气温升高值	排名
1998, 2005	+0.63° C	1
2003	+0.56° C	2
2002	+0.56° C	2
2004	+0.54° C	4
2001	+0.51° C	5
1997	+0.47° C	6
1995	+0.40° C	7
1990	+0.40° C	7
1999	+0.38° C	9
2000	+0.37° C	10

来源: 美国国家气候数据中心

图片：飓风卡特里娜过后满目疮痍的新奥尔良



根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC），世界平均温度在未来100年最高可能增加5.8摄氏度。这是人类历史上从未经历过的增长速度。气候政策的目标应该是保持全球平均气温比前工业时期增长幅度不超过2摄氏度，如果超过2摄氏度，生态的破坏和气候的干扰程度将急剧增加。要改变我们的能源系统来满足上述目标，我们拥有的时间有限。这意味着，最迟近几十年内，全球温室气体的排放必须达到顶峰并开始下降。

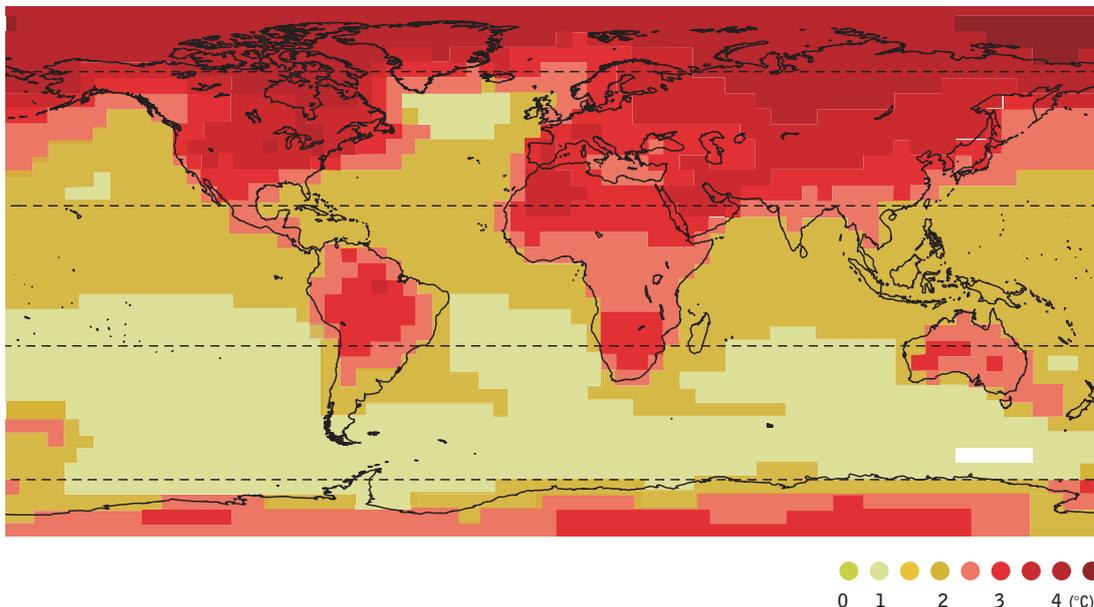
气候变化正损害人类和生态系统。这真实地反映在这些现象里：极地冰盖破碎，永冻土层消融，珊瑚礁大面积死亡，海平面上升，以及致命的热浪。不仅科学家见证了这些变化，从北极地区的因纽特人到赤道附近的岛国居民，人们都在与气候变化的负面影响作斗争。全球平均气温如果上升两度，饥饿、疟疾、洪水和淡水短缺将威胁数以百万计的人们。人类从来没有被迫去应对这样一个庞大而棘手的环境危机。如果我们不立即采取紧急措施来停止全球变暖，其损害将不可挽回。大量、迅速地减少排放到大气中的温室气体，这是唯一的办法。

如果我们对现状置之不理，将可能出现以下由气候变化导致的危机：

可能的轻度和中度影响

- 温度升高的海洋热膨胀效应和冰川融化导致的海平面升高
- 永冻土层融化和森林减少导致的大量温室气体排放
- 更多极端天气事件，诸如热浪、干旱和洪水的风险。过去30年中，全球干旱发生率已增加了一倍
- 严峻的地区性影响。在欧洲，河流和海岸洪水将增加，土壤流失和湿地减少。洪水还会严重影响发展中国家的低地地区，例如孟加拉国和中国南部
- 自然生态系统将受到严重威胁，包括冰川、珊瑚礁、红树林、热带雨林、湿地和草原
- 物种灭绝和生物多样性损失的风险增加
- 最严重的影响会发生以下地区的穷国，撒哈拉以南的非洲、南亚、东南亚、安第斯南美和一些小的岛国。他们无力应对干旱增加、海平面上升、疾病蔓延和农业减产的影响

图表3: 全球平均温度增加2摄氏度下各地区平均地表温度变化
平均增加2摄氏度



注解：
图中所示为一系列现有模型的平均值，模拟IPCC B2情境下比1990年水平平均上升2摄氏度的升温分布。若考虑比工业化前上升2摄氏度，数字可能会略有不同。



图片

1. 牡蛎渔夫Ioan Mioc在飓风卡特里娜过去21天重返Buras村，发现自己家和许多邻居的家园已经被毁，大半淹没在泥污中。
2. 一户居住在海边的人家用沙袋堆起堤坝，试图阻止“大潮之王”带来的超乎寻常的高潮位。绿色和平和科学家们担心，气候变化导致的海平面上升可能使地势低洼的岛国面临永久的洪水。
3. 2006年10月30日，泰国暖武里，村民在遭洪水淹没的KohKred岛上划船。KohKred岛是Chao Phraya河上的一个小岛，位于暖武里省的曼谷郊外。年初，科学家曾经发出警告，预测泰国可能会面临气候变化带来的更多极端天气事件。
5. 据亚马逊州首府玛瑙斯市150公里的巴西马拉奎利湖，成千上万条鱼死在干涸的河床里。

长期的灾难性影响

- 全球变暖将引发格陵兰岛冰盖出现不可逆转的融化，在未来几个世纪中海平面会因此上升7米。新证据也表明，南极洲冰层分离的速度也意味着冰山融化的风险升高
- 大西洋湾流的减缓、改变或者停止将对欧洲产生极大影响，并扰乱全球洋流系统
- 永冻土层及海洋中的甲烷大量释放将导致其在大气中含量提高，进而导致全球气候变暖

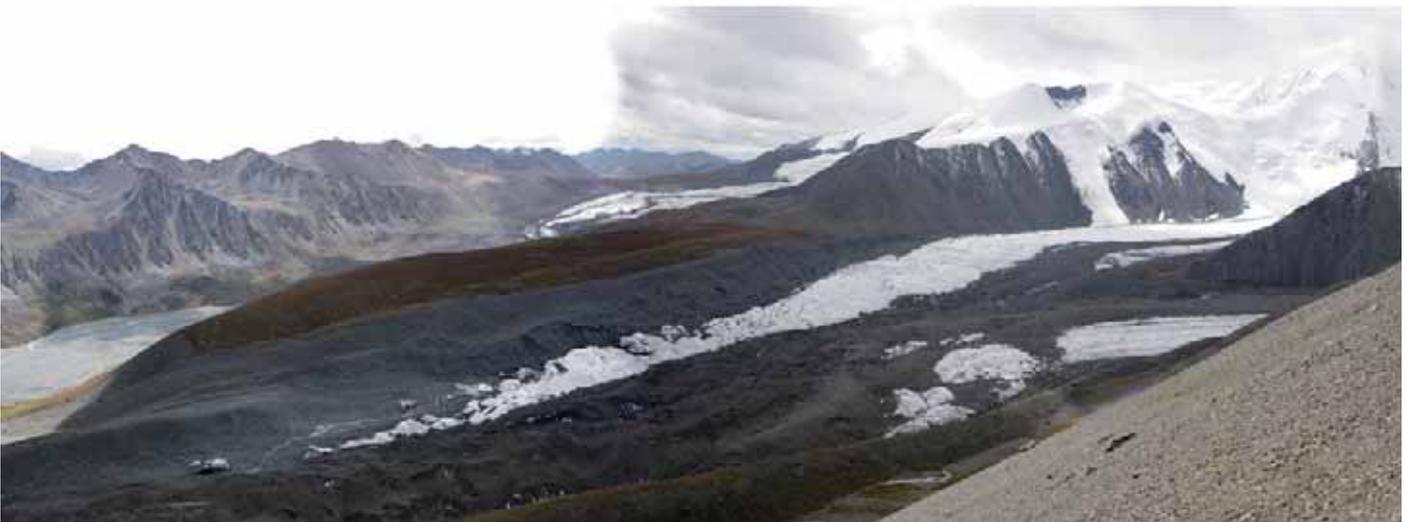
《京都议定书》

当意识到这些威胁，联合国气候变化框架公约的签署国在1997年同意了《京都议定书》。《京都议定书》在1997年正式生效，这一公约的165个成员国每年聚会两次，共商应对气候变化的方法。但是，在主要的工业化国家中，美国和澳大利亚两国并没有批准《京都议定书》。

《京都议定书》要求其签署国（附件B国家）在第一个执行期即2008-2012年，在1990年二氧化碳排放的基础上减少5.2%的排放量。这导致一系列地区和国家采纳减少温室气体排放的目标。例如，欧盟承诺到2012年总共减少8%。为达到此目标，欧盟已同意增加其可再生能源比例，从目前的6%达到2010年的12%。目前，签署《京都议定书》的国家正在就第二个执行期的问题进行磋商，这涵盖了2013-2017年的区间。绿色和平号召工业化国家的排放在此期间内与1990年比减少18%，在2018-2022年的第三个执行期可以减少30%。只有保证这一前提，我们才有可信的机会达到将气温升高控制在2摄氏度以内的目标。

《京都议定书》的体系建立在法律强制性的减排义务之上。为达到这些目标，碳被当作是一种可以交换的商品。此举旨在鼓励更符合经济效益的减排，从而引导私人领域的必要投资向清洁技术转移，从而驱动能源供给的革命。然而，因为从美国2001年年初退出后，《京都议定书》的生效耗费了很长时间，磋商的时间已经所剩不多。今年也是一个关键时期，因为在2007年12月召开的下一次会议上，这些国家必须通过一个坚实的协商委托机制，以保证最迟2008或2009年，京都议定书的第二个执行期可以达成协议。这样，才能有足够的时间让协议书被批准，也同时让各个政府可以执行下一阶段进一步减排的必要政策和措施。

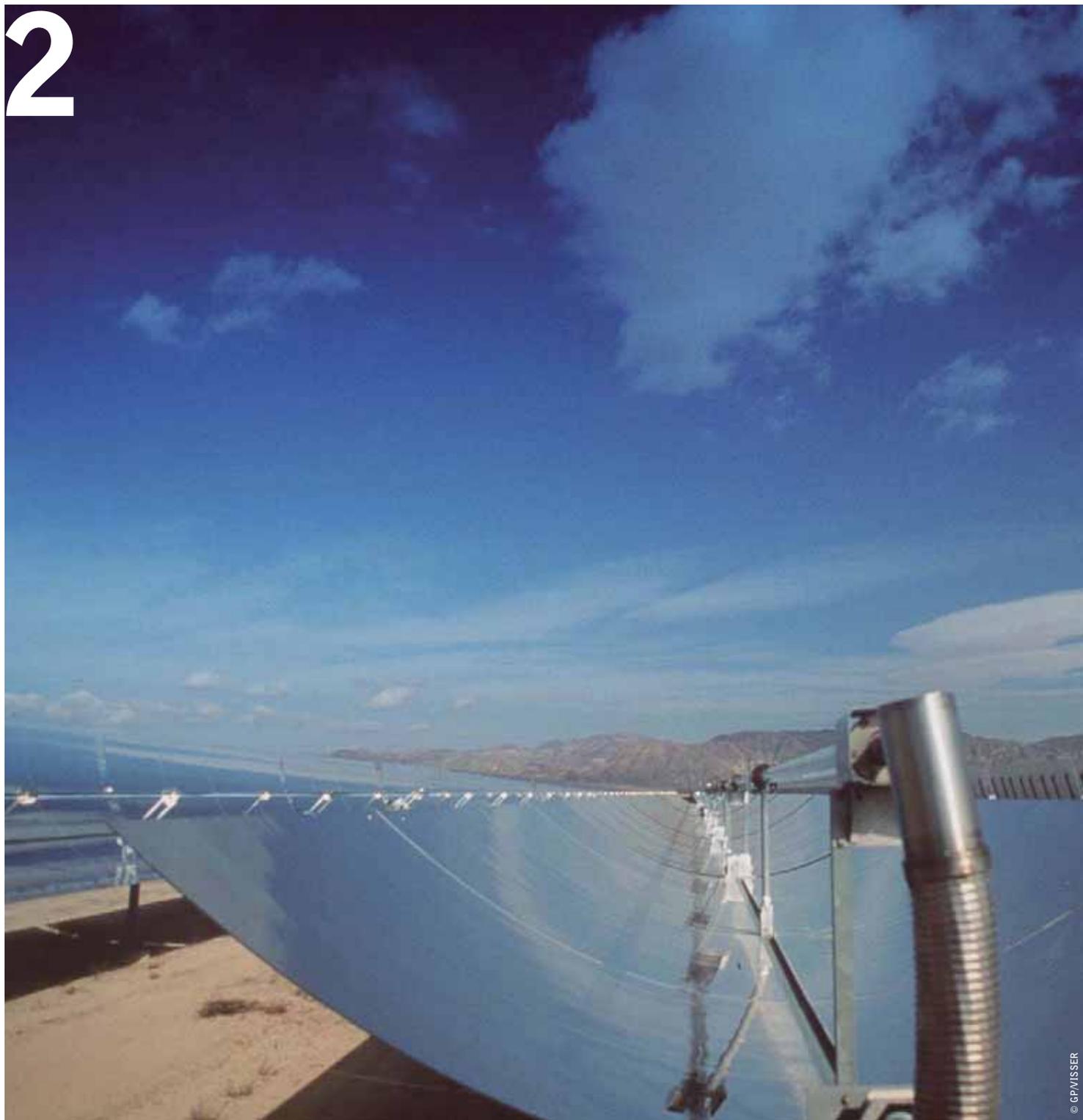
图片:中国黄河源哈龙冰川末端对比图



上图为Matthias Kuhle摄于1981年6月，下图为绿色和平John Novis摄于2005年9月。通过两张照片中冰川末端、冰川厚度、表碛覆盖等对比可以看出随着全球变暖，近25年哈龙冰川退缩显著。

第二章 绿色和平能源革命

“为了扭转最糟糕的全球变暖的影响，未来十年我们必须作出根本的改变。这已成为专家共识。”



图片：美国加州一个太阳能集热场

图片：北海石油钻井平台的泄漏污染



气候变化的紧迫性要求我们必须在能源行业做出变革。专家普遍认为，要想避免气候变暖带来的最坏影响，我们应该在未来十年中做出根本性的改变。我们真正需要的是一条完整的能源革命之路，包括能源生产、消费和传输的方式。如果不这样做，我们将无法将气候变化的幅度控制在2摄氏度之内；超过之后的影响将是无法逆转的。

目前的电力生产主要依赖燃烧化石能源，二氧化碳随之排放。在一个大的电厂，它耗费着大量的一次能源。更多的能源损耗在电网传输、从高压转换到适合家庭或商业用户使用的状态的过程中。这样的系统有着固有的脆弱性，无法应对可能的混乱：区域化的技术，天气影响，甚至蓄意造成的错误会引发一连串后果，导致大范围停电。无论多么先进的发电技术，只要在旧有的电力生产结构中，将不可避免地遇到上述几种问题。因此，能源革命的核心就是改变能源生产和传输的方式。

能源革命五原则

能源革命的成功要遵循以下五个重要原则：

1 提高能源效率并实施清洁、可再生能源解决方案：

不会出现能源短缺。我们需要的是用已有技术来有效并高效地利用能源。可靠的可再生能源和能源效率改进措施已存在，并且竞争力日益增强。风能、太阳能和其它可再生能源技术，在过去的十年中已经历了两位数的市场增长。

2 尊重自然生态的承载力：

我们必须学会尊重自然限制。大气可以吸纳的二氧化碳数量有限，每年人类排放相当于230亿吨二氧化碳的温室气体，不夸张地说，我们正在使天空“不堪重负”。煤炭地质储量作为燃料可供人类使用数百年，但我们应在一个安全的限度内使用它们，不能没有限制地燃烧。石油和煤炭的发展应当结束。

“石器时代并没有因为石头的缺乏而结束，石油时代将会在石油远远没有用光时就完结。”

—— 亚曼尼 前沙特阿拉伯石油部长

为了不使全球气候变暖失去控制，大多数的世界化石燃料储备，包括煤、石油、天然气，都应该留在地下。我们的目标是使人类生活在这个小小星球的自然承载力之中。

3 告别肮脏的、不可持续的能源

我们应该停止使用煤。当燃煤的温室气体排放对生态系统和人类造成真实而紧迫的威胁时，我们不应继续建造更多煤电厂。现在建成的煤电厂在未来的几十年中将继续污染我们的环境。

4 平等和公平

只要自然生态承载力有限，就存在在不同社会之间，在不同国家之间，在当代人和未来人之间，如何公平分配利益和分担成本的问题。极端情况下，全球1/3的人口目前无法获得正常的电力供应，而同时大多数工业化国家消费的能源远远多于他们应公平享受的份额。

气候变化对于最不发达地区的影响因为全球严重的能源差异而恶化。如果我们要解决气候变化问题，一个重要原则应该是平等和公平。只有这样，才能使所有人，无论北方国家还是南方国家、穷人还是富人，都从能源服务中获益，比如照明、供热、电力和交通。只有在这种方式下，我们才可以实现真正的能源安全，创造人类社会切实安定的条件。

5 使经济发展和化石能源使用脱钩

从发达国家开始，使经济增长和化石能源利用脱钩。之前，我们有这样的一个错误假设：经济发展必然伴随化石能源的大量燃烧。

- 1) 我们需要使用那些更加高效生产的能源。
- 2) 我们需要完成向可再生能源的转换，迅速放弃化石能源，从而达到清洁、可持续的经济增长。

从原则到实践

当前，可再生能源满足着世界一次能源需求的13%。主要用来供热的生物质能是最重要的可再生能源资源。可再生能源发电占全球电力生产的18%，供热的大约26%。大约80%的一次能源供应依旧来自化石能源。核能占到全球能源供应的7%¹。

注释

1 国际能源署 《世界能源展望2004》

使用当前的时间标准

在能源和电力领域，未来的10年是我们作出重大结构性变化的时候了。许多工业化国家，比如美国、日本、欧盟，有大量的电厂接近退役；超过一半的电厂运营已超过20年。同时，象中国、印度和巴西这样的发展中国家正期待着电力领域来满足经济扩张带来的膨胀的能源需求。

下个十年，能源产业将决定这些新的需求如何被满足，是通过化石能源？是通过核能？抑或通过可再生资源的有效使用？能源革命情景是基于一种新的政策框架，这样的框架支持可再生能源和高能效的热电联产。

为实现变革，可再生能源和热电联产需要大规模地利用，并遵循分散式的、更小单位的利用方式，必须超过全球能源需求增长的速度。两种方法必须替代旧的发电模式，并在发展中国家满足额外的能源需求。

基础设施变化

直接从现有以大型化石能源为基础的能源系统转换到完全基于可再生能源供应的模式是不可能的，我们需要一个中间过渡期来建立必要的基础设施。所以，在坚持推进可再生能源之一立场的同时，绿色和平认为，在规模适当的热电联产电厂中，天然气是一种有价值的过渡能源，它可以驱动建立经济分散的能源基础设施架构。随着夏天愈加炎热，集制冷、供热、发电三种功能为一体的发电模式将成为满足减排目标的尤其有效的方法。

发展途径

能源革命设想了一种发展途径，将目前的能源供应结构转化成可持续的系统，这里面有两个主要步骤。

步骤一：能源效率

能源革命旨在全力开发能源效率。它着眼于目前最好的实践经验和将来继续创新条件下可以获得的技术。节能应在工业、交通和民用/商业三个社会基础部门以同等重视程度推广。节约能源的基本理念是聪明使用，而非节制使用。

最重要的节能选择体现在以下方面：隔热和建筑物设计、高效的电子机器和终端设备、用可再生能源供热系统（如太阳能集热器）替代旧电子供热系统和客货运交通工具能耗的减少等。目前，工业化国家使用能源的方式存在许多低效的问题，他们完全可以在不丧失居住舒适度、信息及娱乐电子产品享受的前提下，降低能源消费。能源革命情景用经合组织国家节约下来的能源来补充那些发展中国家增长的能源需求。最终目标是在未来20年里稳定全球能源消费。同时，要创造“能源公平”，即将目前工业化国家单方面能源浪费的情形转化为世界范围内更加公平、高效的能源供给。

在相同的人口和经济发展水平下，相对于国际能源署的能源参照情景，绿色和平能源革命情景认为，一次能源需求有着明显的减少；为达到可再生能源资源在全部能源供给中占有主要份额的目标，以此来弥补减少化石燃料的能源缺口，一次能源需求减少是一个必要前提。



步骤二：结构变化

分散式能源系统和大规模可再生能源利用

为获得更高的燃料使用效率并减少能源传输过程中的损失，能源革命情景广泛应用分散式能源系统。这是指，能源在消费端或消费端附近被生产。

分散式能源系统与本地传输网络而非高压传输系统连接，来满足家庭和办公室用能需求。电厂接近终端消费者能使燃烧过程中产生的余热通过管道进入周围的建筑，满足供热需求，这被称为热电联产系统。这意味着几乎所有能源投入都被充分利用，而不是传统集中式化石燃料电厂中的情况，相当一部分能源投入浪费了。分散式能源系统包括一套与公共网络相分离的独立系统。

绿色和平支持的分散式能源技术也涵盖了其他专业体系；例如地源和空气源热泵、太阳能供热和生物质能供热。这些技术都可以在家用层面上实现商业化，提供可持续的、低碳排放的热能。由于与现存的电力市场和系统不匹配，分散式能源技术常常被认为是“分裂式”的；虽然如此，伴随适当的改变，分散式能源利用可能出现指数级增长，这会是对现有能源系统的“创造性破坏”。

为了迅速完成向可再生能源主导的能源系统的转换，我们仍需要大规模的可再生能源供应；即便如此，到2050年，全球能源的相当大部分将由分散式能源资源供给。例如，大型海上风场和太阳能资源丰富地区的太阳热电厂将在能源领域扮演重要的角色。

热电联产

无论是使用天然气还是生物质能，日益增长的热电联产，都将提高供应系统的能源转换效率。长期来看，对热能需求的减少和可再生能源直接生热的巨大潜力，将限制热电联产进一步发展。

可再生能源电力

电力系统将是可再生能源利用的先锋。在过去的20到30年间，所有可再生能源发电技术经历了年增长率最高达35%的持续发展。人们预测2030到2050年间的增长水平仍会维持在一个相当高水平。到2050年，可再生能源发电将占据大部分电力生产份额。

可再生能源供热

在供热系统，可再生能源所占份额将明显增长。预计增长率接近可再生能源发电的情况。化石燃料将不断被更加高效的现代可再生能源技术替代，如生物质能技术、太阳能技术和地热能技术等。到2050年，可再生能源技术也将满足主要的供热和制冷需求。

交通

在生物燃料大规模进入交通领域之前，我们必须大力开发提高现有能源效率的潜力。因为生物燃料主要以固定方式使用，例如电厂，其生产将受制于生物质原料的供给。

总的来说，要使可再生能源的发展在经济上更具吸引力，及时推进所有可再生能源技术的平衡发展是非常重要的。这取决于资源的丰富程度、成本降低潜力和技术成熟度。

图表4: 未来分散式能源系统

未来网络世界的城市中心将同时是电力和热能的生产者和消费者。公共建筑的屋顶和正立面最适合用来采集太阳能。“低能耗”将变成所有建筑的标准。对强力约束的气候保护目标做出承诺的政府将不得不采取严格的措施并提供激励，使建筑在节能方面不断创新。这也有助于创造工作机会。

市区



1. **太阳能光伏和太阳能外立面** 在办公和住宅建筑中将成为一项装饰。光伏系统将更有竞争力，提高的设计为建筑师提供更广泛的利用机会。
2. **创新可以减少老建筑的能耗** 采用提高后的热绝缘材料，例如绝缘窗户和更现代的通风系统，节能可达80%之多。
3. **太阳能热水器** 为自己的房屋及周围建筑提供热水
4. **热电联产** 将有各种各样大小的热电联产工作站。既能适合与房屋分离的地下室，也能供应整栋建筑或者住宅街区，且传输中没有热量损失。
5. **清洁电力** 城市用电还可以来自远方，例如海上风电场和沙漠中的太阳能电站，它们潜力巨大。

郊区



1. 太阳能光伏
2. 微型热电联产电站
3. 聚光太阳能（供热）
4. 低能耗建筑
5. 地热电站（热电联产）

图片：德国ARNSTEIN太阳能光伏电站有1500块可移动的电池板在运行



优化拟合可再生能源

要实现能源革命情景对可再生能源份额显著提高的设想，能源系统调整是必要条件。这与七八十年代发生的现象不无相似。现在经合组织国家的大部分集中式电厂都是那时兴建的。为了出售核能和煤电厂夜间的发电，当时还修建了新的高压输电线、商业化夜间蓄能加热器，并安装了大型的电热水锅炉。

一些经合组织国家已经验证了，平缓的将包括风能在内的一些不稳定的分散式能源纳入体系，是完全可能的。一个很好的例子在丹麦，它拥有整个欧洲最高的热电联产和风电比例。在强有力的政策支持下，50%的电力和80%的区域供热是由热电联产企业提供的。风电在丹麦电力需求中的贡献已经超过18%。在某些条件下，热电联产和风机发电甚至超过了需求。在丹麦，为保证电网稳定性发电量调整补偿办法通过两种方法进行管理：管制大型电站的满载运转能力和与邻国之间的进出口。一个三重价格的体系有利于保持日常电力消费与来自分散式电厂的电力生产间的平衡。

从整体上优化能源系统是非常重要的。这可以通过以下方式实现：生产者和消费者的智能化管理，合理的电厂结构和储存电力的新体系。

适当的电厂结构

经合组织国家的电力供应主要来自于燃煤，相反，现代化的燃气电厂，除了生产高效外，还更容易迅速控制；因此，更有利于弥补波动的发电量。燃煤电厂虽然有较低的燃料和运营成本，却有着相对较高的投资成本。所以他们必须全天候的运行，以达到基本发电量来收回投资。燃气电厂的投资成本较低，即使在产出较低时也可以营利。所以它们更适宜平衡可再生能源电力供给的波动。

电量管理

电力需求的程度和时间都可以通过给消费者提供经济激励来减少或者断绝他们消费高峰时期的供给。控制的技术可以用来管理一系列安排。这一体系已经应用于一些大型工业消费者。一家挪威的电力供应商甚至通过发送短信息提醒关闭电源的方式，将私人家庭消费者也囊括到体系中来。每一家住户都可以提早决定他们是否愿意参与进来。在德国，一个分时段价格试验也在进行，这样洗衣机会在夜晚使用，而电冰箱在需求高峰时段被暂时关闭。

图表 5：集中式能源系统浪费了三分之二以上的能源



这种电量管理已经因交流技术的进步而被简化。例如在意大利，已经安装了3千万新型的电表，可以实现远程读表和控制消费者及服务信息。许多住户的电子产品和系统，例如，电冰箱、洗碗机、洗衣机、蓄能加热器、水泵和空调，都可以通过暂时的关闭或重新计划使用时间来进行管理。从而节省出电量用于其他用途。

发电管理

可再生能源发电体系可以被纳入电量优化中。比如，当电网中电量富余时，风电场可以暂时停止发电。

能源存储

另外一个平衡电力供给和需求的方法是通过中间媒介存储。这种存储可以是分散的，如电池，或者是集中的。目前为止，抽水蓄能电站是存储大量电力的主要方法。在这一系统中，生产的电力被存在水库中，在有需要从高处流下，推动涡轮发电。目前世界上有280个这样的抽水蓄能电站。他们已经为供给安全起到了重要贡献，但运行方式还有待依据未来可再生能源系统进行进一步调整。

长期来看，其他的存储方式也会开始涌现。除了氢能的使用，一个有希望的解决方式是压缩空气的使用。在这些过程里，电力被用来将空气压缩进地下600米深的盐丘中，压强可以达到70巴。在电力需求高峰时，空气从洞中流出推动涡轮。尽管这一“压缩空气蓄能”体系目前仍需要化石燃料的辅助动力；一个号称“隔热”的不需要辅助的电厂正在发展中。来自压缩空气的热量会被储存在巨大的热贮存室内。这样的电厂可以达到70%的存储效率。

可再生能源发电的前景预测还会继续提高。实施即时管制会特别昂贵。然而，风力发电的预测技术在近年间已经大幅度的提高，并且仍在不断进步。对平衡供给的要求将来也会因此减退。

“虚拟发电站”

信息技术的快速发展有助于为分散式能源供给铺平道路，这种供给是建立在热电联产企业、可再生能源系统和传统电厂的基础上的。

小型热电联产电厂的生产商已经提供了可以进行远程系统控制的互联网接入口。个人住户控制自己的电力和热的使用已经成为可能，这样因为电网导致的昂贵电价可以被最小化。同时电力需求的曲线也变得更平滑。这就是“智能化住宅”趋势的一部分，袖珍的热电联产装置成为能源管理的中心。我们还可以更进一步走进“虚拟发电站”。“虚拟”并不意味着电站不产生真实的电力。而是指并没有一个带有涡轮和发电机组的大型设备占据着空间。虚拟电站的重心是一套控制设备，可以处理来自不同分散电厂的数据，与预测的电力需求、生产和天气条件进行比较，考虑主要的市场电价，然后巧妙的优化整体的电站行为。一些公共设施已经使用了这种体系，整合热电联产工厂、风电场、太阳能光伏设施和其他电厂。虚拟电站还可以使消费者与管理过程联系起来。

未来电网

为了实现分散结构和可再生能源的高份额，电网网络必须改变。现有的电网设计的初衷是将电力从少数集中的电厂运送到消费者手中，未来的系统应当更加多元化。大型电厂固然可以供应高压电网，小型分散系统，例如，太阳能、热电联产和风电场同样可以向中低压电网输送电力。为了输送来自较偏远的海上风电场的电力，还是需要建设一定的高压输电线。它们也可以用于跨界的电力交易。

总之，在能源革命情景下，各种可再生能源的总体份额到2020年将达到电力需求的30%，2050年增至40%。

图片: 德国柏林附近的太阳能光伏发电场
放牧绵羊保持草的高度较低不影响
光伏发电



农村电气化²

能源在减少贫困、提供健康、文化和公平福利等方面扮演着核心角色。超过1/4的世界人口无法获得现代能源服务，在撒哈拉以南的非洲地区有80%的人口用不到电。他们几乎完全依赖于燃烧包括木头、炭和动物粪便在内的生物质燃料来做饭和取暖。

贫困人口将1/3的收入用在能源上，主要用来做饭。尤其是女性，她们付出大量的时间来收集、处理、使用传统燃料来做饭。在印度，妇女每天用于收集做饭燃料的时间大约2-7小时。而这段时间本可以用来照看、教育子女和获得收入。世界卫生组织估计，发展中国家每年有250万妇女和儿童因呼吸室内生物燃料炉的烟气而早亡。

千年发展目标中到2015年消除全球贫困人口的目的，如果没有能源支持来提高产出、增加收入、促进教育、创造工作机会和减少为维持生存必须进行的日常苦力，将无法达到。如果没有能源帮助加强农业种植、收获和食品的加工和销售环节，饥饿问题也不可能解决。如果没有能源服务来保证诊所、医院和免疫接种的冷藏环境，改善健康和减少死亡率是不可能的。如果不能处理好做饭产生的室内煤烟问题，儿童健康的最大杀手呼吸道传染病也得不到控制。而且，没有能源，孩子们晚上也无法在室内学习；没有能源，人们无法抽取或处理清洁用水。

联合国可持续发展委员会认为，“为了实施一个被国际社会普遍认可的目标，即到2015年减少人均每天消费低于1美元的贫困人口比例，提供可负担得起的能源服务是一个先决条件”。

清洁可持续的可再生能源的角色

为大量减少排放以避免气候变化，到2050年，80%的经合组织国家将大规模发展可再生能源。可再生能源的目标必须极力在工业化国家中大力推行，在取代化石燃料和核能的同时，为其全球扩张创造必要的规模经济效应。在能源革命情景中，我们设想现代可再生能源资源，例如太阳能集热器，太阳能锅灶和现代生物质能源等各种形式，将取代传统、低效的生物质利用方式。

注释

² 绿色和平 《致力于扶贫的可持续能源行动计划》 2002年9月

第三章 未来能源供应情景

“任何旨在解决能源和环境问题的分析需要展望未来半个世纪的情景。”



图片：德国罗斯托克附近的风光互补发电场

图片：太阳能电池技术创意来自大自然



我们需要以长远的视角来思考如何使能源供应和减缓气候变化从原理走向行动。能源基础设施需要时间建立，新能源技术的开发也需时日。政策变化更是需要许多年来产生影响。任何旨在解决能源和环境问题的分析都需要至少展望未来50年可能发生的情况。

能源革命情景在描述可能的发展道路时非常有用。它给决策者一个概括性的未来视角，并表明将如何塑造未来的能源系统。这里我们用两个不同的情景来展现未来能源供应系统可能出现的各种可能道路：参照情景反映了现有趋势和政策的延续；而能源革命情景是要设计一整套环境政策目标。

能源参照情景 来源于国际能源署发布的《世界能源展望2004》³，它仅仅考虑现有政策。它假设包括：例如目前电力和天然气市场改革的继续、跨界能源贸易的自由化进程和新近用以应对环境污染的政策。参照情景并未考虑减少温室气体排放的额外政策约束。由于国际能源署的情景仅预测到2030年，我们对其主要宏观经济指数进行推断进而得出扩展的情景，这样可以为与能源革命情景的对比提供统一的基准线。

能源革命情景 有一个关键目标：到2050年将世界二氧化碳排放减少到大约每年100亿吨。这是在全球排放交易体系下，将二氧化碳浓度稳定在450PPM以下的先决条件。要达到这些目标，该情景的重要特征是充分开发提高能源效率的巨大潜力。同时，所有符合经济效益的可再生能源资源都可用来生产热力和电力，以及生物燃料。对人口和国民生产总值增长的框架指数，能源革命情景维持能源参照情景中的预测。

这两个情景并不是预测未来，而仅是简单描述了诸多“未来”可能中的两种潜在的发展途径。能源革命情景旨在指出要达到远大目标需要的努力和行动，并阐明已掌握的可以将能源供应系统转换成可持续模式的方案。

能源革命情景背景

此报告中的情景由绿色和平和德国航空航天中心、欧洲可再生能源委员会共同撰写。使用了MESAP/PLANET的模拟模型来计算供应情境，该模式曾经被德国航空航天中心用于一个涵盖欧洲25国的类似案例。这个情境已被ECOFYS咨询集团进一步发展，将未来的能效提高潜力考虑在内。

能源效率研究

Ecofys研究的目的是根据《世界能源展望》系列报告对不同部门和区域的划分，给出2003-2050年的低能源需求情境。从2010年开始，计算以每十年为一个单位。能源需求被分为电力和燃料两部分。考虑的部门包括工业、交通和其它消费（包括住户和服务业）。

在这两个低能源需求情景中，一个是参照版本，一个是能效更突出的版本。这一更具前瞻性的情景着眼于目前最佳实践和未来可行的能源技术，并假设能效领域的创新会持续下去。能源革命情景预测，2050年世界能源需求为350EJ，与能源参照情景的预测相比减少47%。能源节约均匀分布在三个部门：工业、交通和其它用途。最重要的能源节约选择是高效的客货运输和改良的隔热和建筑设计，这些将贡献世界46%的能源节约份额。

主要情景假设

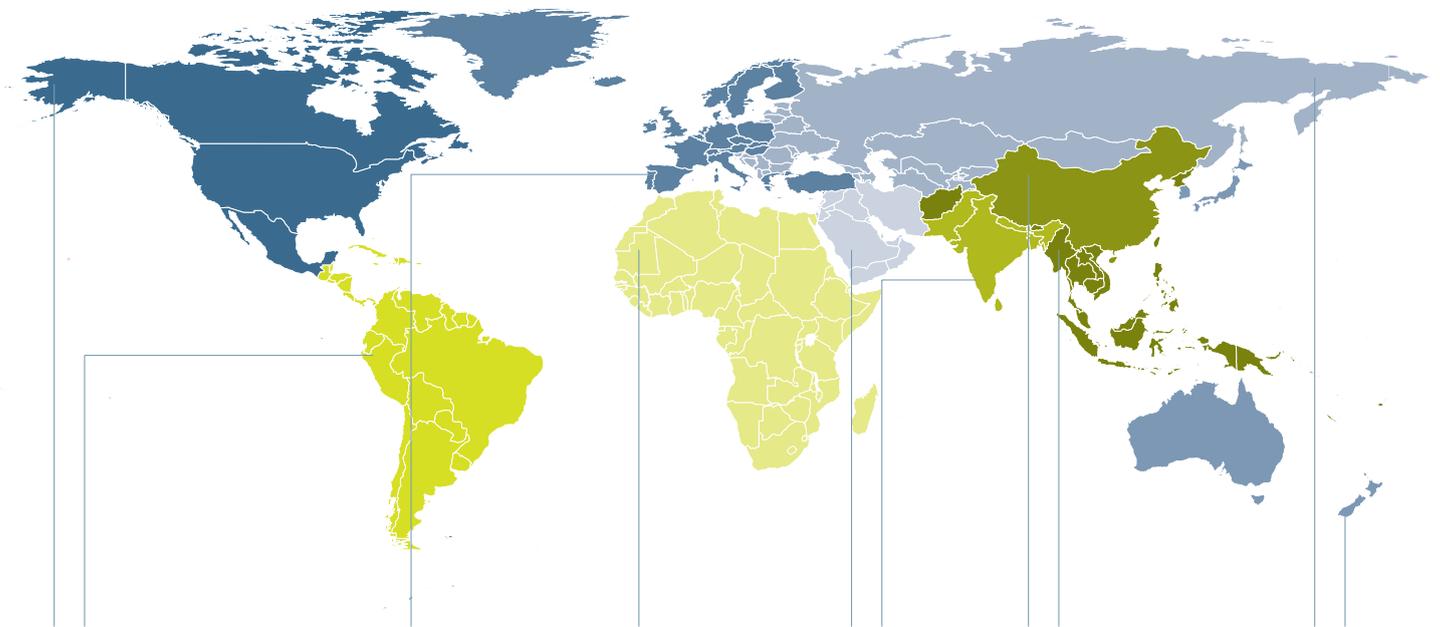
为了反映不同能源供应系统间的重要结构差异，全球能源情景需要使用一个多地区模式。我们使用了国际能源署（IEA）在其《世界能源展望》系列报告中的区域划分，因为它提供了最详细的全球能源统计数据。图表6中列出了十个区块中分别包括的国家：

注释

³ 国际能源署 《世界能源展望2004》。新版《世界能源展望 2006》于2006年11月在巴黎发布，所使用的基本参数，如GDP和人口增长，采用与2004年的同一水平

⁴ 绿色和平国际 《能源革命：欧洲面向清洁能源未来的可持续途径》 2005年9月

图表6：世界区域划分（《世界能源展望2004》）



经合组织国家（北美） 经合组织国家（欧洲）

加拿大、墨西哥、美国

拉丁美洲

安提瓜和巴布达、阿根廷、巴哈马、巴巴多斯、伯利兹、百慕大、玻利维亚、巴西、智利、哥伦比亚、哥斯达黎加、古巴、多美黎加、多美黎加共和国、厄瓜多尔、萨尔瓦多、法属圭亚那、格林纳达、瓜德罗普岛、瓜地马拉、圭亚那、海地、洪都拉斯、牙买加、法属马提尼克、荷属安的列斯、尼加拉瓜、巴拿马、巴拉圭、秘鲁、波多黎各、圣基茨-尼维斯-安圭拉、圣卢西亚、圣文森特-格林纳丁斯和苏里南、特立尼达和多巴哥、乌拉圭、委内瑞拉

奥地利、比利时、捷克、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、匈牙利、爱尔兰、冰岛、意大利、卢森堡、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、斯诺伐克、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、英国

非洲

阿尔及利亚、安哥拉、贝宁、波斯瓦那、布基纳法索、布隆迪、喀麦隆、佛得角、中非共和国、乍得、刚果、刚果民主共和国、吉布提、埃及、赤道几内亚、冈比亚、埃塞俄比亚、加蓬、加纳、几内亚、几内亚比绍、肯尼亚、莱索托、利比里亚、利比亚、马达加斯加、马里、毛里塔尼亚、毛里求斯、摩洛哥、莫桑比克、纳米比亚、尼日利亚、尼日尔、卢旺达、塞内加尔、圣多美岛和普林西比岛、塞舌尔群岛、塞拉利昂、索马里、南非、苏丹、斯威士兰、苏丹、坦桑尼亚、多哥、苏丹、突尼斯、乌干达、赞比亚、津巴布韦 等

中东

伊朗、伊拉克、以色列、约旦、科威特、黎巴嫩、阿曼、卡塔尔、沙特阿拉伯、叙利亚、阿拉伯联合酋长国、也门

南亚

孟加拉国、印度、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡

中国

中国

东亚

阿富汗、不丹、锡金、柬埔寨、中国台湾、斐济、法属伯利尼西亚、印度尼西亚、基里巴斯、朝鲜、老挝、马来西亚、马尔代夫、缅甸、新喀里多尼亚、巴布亚新几内亚、菲律宾、萨摩亚、所罗门群岛、泰国、新加坡、越南、瓦瑙图、

转型经济国家

阿尔巴尼亚、亚美尼亚、阿塞拜疆、波黑、波斯尼亚-黑塞哥维那、保加利亚、克罗地亚、爱沙尼亚、南斯拉夫联盟共和国、马其顿、格鲁吉亚、卡扎克斯坦、吉尔吉斯斯坦、拉脱维亚、立陶宛、摩尔多瓦、罗马尼亚、俄罗斯、斯洛文尼亚、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、乌克兰、乌孜别克斯坦、塞浦路斯、直布罗陀、马耳他、

经合组织太平洋国家

日本、韩国、澳大利亚、新西兰

* 由于统计原因，将杰尔伯特和马耳他安排在转型经济国家

图片：马绍尔群岛一个采用太阳能板保持新鲜鱼品的冷冻车间



人口增长

各区域的人口增长率采纳了《世界能源展望2004》中至2030年末的预测数据，2030-2050年的数据采自《联合国世界人口报告（2004年修改版）》。

2003年到2050年，世界人口估计每年增长0.78%，从目前的63亿增加到2050年的将近89亿。人口增长率将从2003-2010年每年的1.2%放慢到2040-2050年的0.42%。发展中国家人口将继续保持快速增长，而转型经济国家的人口增长将持续下降。在经合组织欧洲和太平洋国家，人口估计在2020-2030年间达到顶峰，随后显著减少。经合组织北美国家的人口将继续增加，占全球的份额保持不变。

到2050年，发展中国家人口占世界人口的比重将从76%增加到82%。所有经合组织国家人口的比重将减少。同样，中国的份额将从目前的20.8%减少到16%。非洲将保持最高的人口增长速度，2050年将占世界人口的21%。以环境友好的方式满足发展中国家不断增长人口的能源需求，对于成功达到一个全球能源可持续供应目标是一个关键挑战。

经济增长

经济增长是能源需求的主要驱动力。从1971年以来，1%的全球国内生产总值增长总是伴随着0.6%的一次能源消费增长。将能源需求增加和国内生产总值增长脱钩是一个减少能源需求的前提条件。

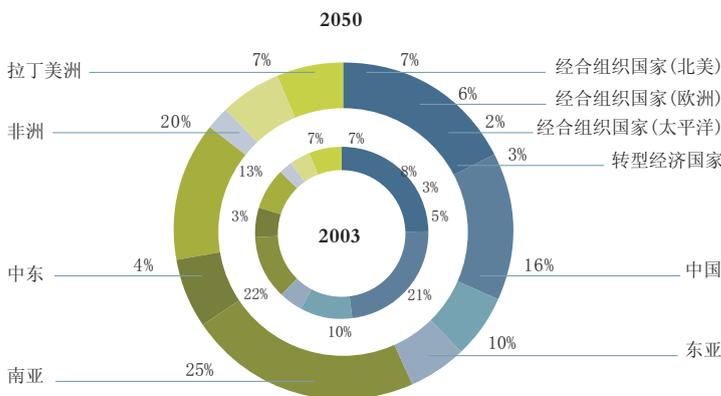
为了更公平地比较不同国家的经济增长、更加全面反映人们的相对生活水平，国内生产总值应当转换成“购买力平价”指标。

《世界能源展望2004》中的所有经济发展数据都基于购买力平价调整后的国内生产总值。本研究也遵循这样的方法，所有国内生产总值数据都表述为以2000年美元为基准的购买力平价水平，而非市场汇率。

因为《世界能源展望2004》中的参照情景仅考虑到2030年的情况，我们必须寻找这之后关于经济增长的其他假设。2000年，政府间气候变化谈判小组发布的碳排放情景提供了一个到2050年的发展途径的预估，包括四个基本情节和相关的情景因素。对2000年—2010年世界年均GDP增长率，《世界能源展望2004》估计为3.7%，远高于政府间气候变化谈判小组的任何一个情景预测；但对2020—2030年间，《世界能源展望》预计会迅速降低到2.7%。因此，针对2030年之后的情形，我们选择了政府间气候变化谈判小组的B2情境分析，这一分析强调经济、社会和环境可持续发展应基于地方性解决方案，同时伴随着中等程度的经济发展水平。

图表7：按地区分类的人口增长预测

2003年和2050年



表格2：按地区分类世界人口增长

单位:1000

地区	2003	2010	2020	2030	2040	2050
世界	6309590	6848630	7561980	8138960	8593660	8887550
经合组织国家(欧洲)	527300	538470	543880	543880	527560	508970
经合组织国家(北美)	425800	456520	499310	535380	563110	586060
经合组织国家(太平洋)	199000	201800	201800	197800	190990	182570
转型经济国家	345000	340200	333460	320360	303170	284030
中国	1311300	1376920	1447330	1461870	1448710	1407150
东亚	622600	686240	765570	829070	871470	889060
南亚	1410000	1575710	1792960	1980540	2123630	2210120
拉丁美洲	439570	481170	536790	581310	612610	630020
非洲	847660	980400	1183430	1387010	1615780	1835730
中东	181360	211200	257450	301740	336630	353840

来源：联合国

这个情景的分析结果是：在未来的几十年中，世界各个地区的GDP增长率会逐渐放慢。世界GDP年均增长率在2002—2030年间大约为3.2%，1971—2002年间为3.3%。总体来说，GDP年增长率为2.7%。中国和其它亚洲国家GDP增长预计最快，接下来是非洲和转型经济国家。随着中国经济愈加成熟，其增长率也会放慢。但是无论如何，中国将在本世纪20年代初变成世界上第一大经济体。经合组织欧洲和经合组织太平洋国家的年平均GDP增长率稍低于2%，而经合组织北美国家经济增长估计略高于2%。经合组织国家的全球购买力平价GDP份额将从2002年的58%减少到2050年的38%。

《世界能源展望2006》预测2004-2030年，世界GDP年均增长率为3.4%，比《世界能源展望2004》中3.2%的估计略为高些。同时《世界能源展望2006》对于2030年最终能源消费的估计也比2004年的估计高出4%。基于全球气温升高不超过2摄氏度这个假设，一项关于经济增长影响能源需求的敏感性分析表明，全球GDP每增长0.1%（以2003-2050年为考察区间），相应的最终能源需求将增加0.2%。

电力供应的成本对于未来能源情景的评价是一个主要指标。主要驱动因素包括燃料价格、未来发电技术的投资成本和潜在的二氧化碳排放成本。

未来的能源价格是综合了国际能源署、美国能源部和欧盟委员会的预测后得出的。未来电厂的投资成本采用学习曲线方法来估算。针对各项技术的学习因子（即进步比率）由文献综述得出。每项技术带来的累积装机量的发展从能源革命情景的结果中得出。所有价格都以2000年美元价格计算。

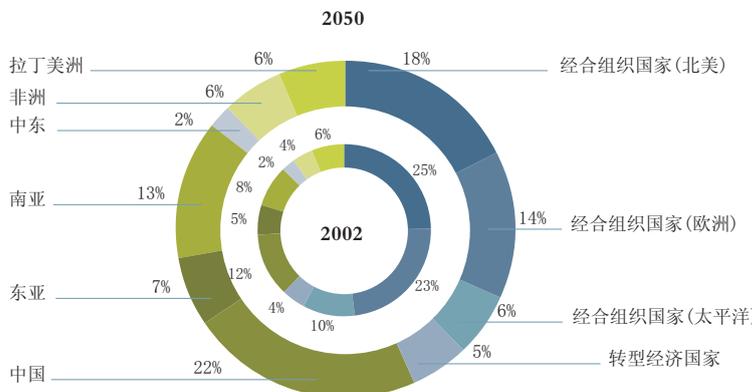
化石燃料价格预测

最近全球石油价格的迅速增长已经导致了更高的价格预测。例如，2004年欧盟委员会的《天然气石油高价格情景》表明，到2030年石油价格仅仅34美元/桶。相反，进行中的由欧盟委员会（CASCADE-MINTS2006）资助的模型预测，到2050年石油价格达到94美元/桶，天然气价格是15美元/GJ，国际煤炭价格95美元/吨。目前对2030年的石油价格的估计变化很大，国际能源署的预测是52美元/桶（以2005年美元水平为基准，相当于55美元/桶），而欧盟委员会的是90美元/桶。

因为天然气供应受到输气管道基础设施的限制，天然气没有一个世界市场价格。在多数地区，天然气价格直接与石油价格挂钩。美国能源部估计，2030年的天然气价格估计最低4.5美元/GJ，最高为6.9美元/GJ。

考虑到最近能源价格的变化，这些预估可能过于保守。考虑到未来对石油和天然气全球需求的增长，我们估计，2030年石油价格将达到85美元/桶，2050年将达到100美元/桶；天然气价格到2050年会增加到9-10美元/GJ。

图表8: 按地区划分的GDP增长情况
2002年及2050年



表格3: GDP增长预估（年平均增长率）

（2002-2030：国际能源署 2004； 2030-2050年 本报告的预测）

地区	2002 - 2010	2010 - 2020	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050	2002 - 2050
世界	3.7%	3.2%	2.7%	2.3%	2.0%	2.7%
经合组织国家(欧洲)	2.4%	2.2%	1.7%	1.3%	1.1%	1.7%
经合组织国家(北美)	3.2%	2.4%	1.9%	1.6%	1.5%	2.1%
经合组织国家(太平洋)	2.5%	1.9%	1.7%	1.5%	1.4%	1.8%
转型经济国家	4.6%	3.7%	2.9%	2.6%	2.5%	3.2%
中国	6.4%	4.9%	4.0%	3.2%	2.6%	4.1%
东亚	4.5%	3.9%	3.1%	2.5%	2.2%	3.2%
南亚	5.5%	4.8%	4.0%	3.2%	2.5%	3.9%
拉丁美洲	3.4%	3.2%	2.9%	2.6%	2.4%	2.9%
非洲	4.1%	3.8%	3.4%	3.4%	3.4%	3.6%
中东	3.5%	3.0%	2.6%	2.3%	2.0%	2.6%

来源：2002至2030年数据来自国际能源署2004年报告，2030至2050年为推测数据

图片：褐煤露天煤矿开采（Hambach）
巨型挖掘机和废渣堆



生物质能价格预测

与化石燃料相比，生物质燃料的价格差异更大；从极低甚至零成本的生物质剩余物，到非洲或亚洲的传统生物质原料，还有价格较高来自能源作物的生物燃料。尽管存在差异，对于欧洲来讲，⁵ 生物质能价格到2030年前会出现持续增长。根据我们的估计，这一增长会持续到2050年。增长的生物质价格反映了生物燃料和化石燃料价格之间的持续联系，而且也反映出能源作物逐渐增加的分额。

表格4：化石燃料价格预测

（以2000年美元汇率计算）

化石燃料	2003	2010	2020	2030	2040	2050
原油 (美元/桶)	28.0	62.0	75.0	85.0	93.0	100.0
天然气 (美元/GJ)						
美洲	3.1	4.4	5.6	6.7	8.0	9.2
欧洲	3.5	4.9	6.2	7.5	8.8	10.1
亚洲	5.3	7.4	7.8	8.0	9.2	10.5
煤 (美元/吨)	42.3	59.4	66.2	72.9	79.7	86.4

表格5：生物质能价格预测

（美元/GJ，以2000年美元汇率计算）

生物质能	2003	2010	2020	2030	2040	2050
欧洲	4.8	5.8	6.4	7.0	7.3	7.6
其他地区	1.4	1.8	2.3	2.7	3.0	3.2

而对于其它地区，生物质能的价格较低；因为，传统生物质资源在发展中国家大量使用，在北美地区和转型经济国家，有大量的生物质剩余物未被利用。

二氧化碳排放成本

假设二氧化碳排放交易机制长远看会在全球范围内确立，我们需要在发电成本的估算中考虑二氧化碳排放额。但是，排放成本的预估比要比能源价格的估计更具不确定性。国际能源署假设2050年每吨二氧化碳的减排成本大约是25美元/吨。而欧盟（CASCADE-MINTS）假设，2020年是50美元/吨，2030年之后将是100美元/吨。我们假定二氧化碳排放成本在2050年是50美元/吨，这虽然是国际能源署估计值的两倍，但是与其它研究相比，仍然相对保守。而且，我们假定只有到2020年后，非附件B国家才面对二氧化碳排放成本问题。

传统能源成本发展概述

表格7简述了不同能效水平的各类化石燃料发电技术所需的投资成本。

表格6：二氧化碳排放成本预估

（美元/吨）

国家	2010	2020	2030	2040	2050
京都议定书附件B国家	10	20	30	40	50
京都议定书非附件B国家		20	30	40	50

表格7：不同发电技术能效及投资费用变化情况

		2010	2030	2050
燃煤电厂	能效 (%)	41	45	48
	投资成本 (美元/千瓦)	980	930	880
	包括CO ₂ 排放成本在内的发电成本 (美分/千瓦时)	6.0	7.5	8.7
	CO ₂ 排放 ^{a)} (克/千瓦时)	837	728	697
燃油电厂	能效 (%)	39	41	41
	投资成本 (美元/千瓦)	670	620	570
	包括CO ₂ 排放成本在内的发电成本 (美分/千瓦时)	22.5	31.0	46.1
	CO ₂ 排放 ^{a)} (克/千瓦时)	1,024	929	888
天然气混合循环发电	能效 (%)	55	60	62
	投资成本 (美元/千瓦)	530	490	440
	包括CO ₂ 排放成本在内的发电成本 (美分/千瓦时)	6.7	8.6	10.6
	CO ₂ 排放 ^{a)} (克/千瓦时)	348	336	325

注释

5（仅限欧洲）NITSCH等（2004年）及GEMIS数据库（OKO研究院，2005年）

来源：DLR 2006年数据，^{a)}这里仅指直接排放，不考虑全生命周期排放

可再生能源价格预测

当前可再生能源技术可利用程度的差别反映了他们在技术上的成熟度、成本和发展潜力上的差别。虽然水电已被广泛使用了几十年；然而其它技术，比如生物质气化，还需要找出实现市场成熟度的途径。一些可再生能源资源由于本身的特点，例如风能和太阳能，其供应变化较大，要求和电网有不断调整更改后的协同性。虽然在许多情况下它们都是分散式技术，其发电产出主要为地方消费者所用；我们相信，将来技术会被大规模应用，如海上风场或者太阳能热电厂。

通过利用不同技术的各自优势，并使它们彼此联系，一系列充分丰富的可行技术将会获得市场成熟度，并逐步整合到现有的供应结构中。这最终为热电供应和燃料供应提供一个互补的环境友好技术组合。

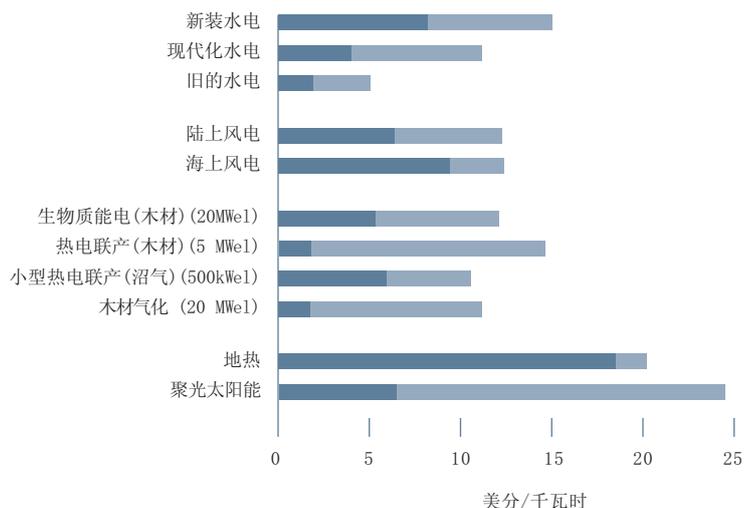
大多数今天应用的可再生能源技术仍处于市场发展的早期阶段。相应地，与传统能源技术相竞争，成本通常要高。成本也取决于区域的条件，诸如风力条件、廉价生物质能供给的可靠性、建水电项目时的自然保护要求。

但是通过技术和生产工艺的提高以及规模化生产，可再生能源技术的成本削减潜力巨大，尤其在本研究的长时间跨度内。

为确定长时间的成本变化趋势和累积生产量之间的关系可以用学习曲线来表达。累积生产量翻番带来的成本的降低被称作学习因子。对于多数技术来说，它们的学习因子一般处于0.75和0.95之间，成熟度相应升高，0.75表示市场不成熟的技术，而0.95表示市场非常成熟的技术。学习因子等于0.9意味着如果累积生产量翻番则成本将降低10%。每种技术的进步率来源于文献数据总结⁶。举例来说，太阳光伏技术的学习因子在过去的30年当中始终稳定在0.8。同时，风电技术的学习因子在英国是0.75，而在风电发展更加发达的德国市场是0.94。

图表9：目前欧洲可再生能源电力生产成本的范围

（排除太阳能光伏，每千瓦时可再生能源电力为45到80美分）
高、低范围反映了不同地方的变化条件，包括风速、太阳能反射率等。



注释

⁶ 德国航空航天中心 WOLFRM KREWITT博士等 2006年

图片: 绿色和平与当地发展NGO合作在2004年12月海啸中遭受最严重破坏的海边小村捐赠了太阳能电力系统。



1. 太阳能光伏

虽然近年来世界范围内的太阳能光伏市场年增长率达到30%，但它对于发电的贡献仍然非常小。目前发展的重点在改善现存模式和系统部件，以及开发新型薄膜电池和晶硅电池材料。有预测说，商业晶硅电池的效率在未来的几年内将提高15%—20%。而使用更少原材料的薄膜电池将进入商业应用。

太阳能光伏模式的学习因子，30多年来已相对持续地保持在0.8，这是一个持续高效的技术学习和成本减少过程。假设全球太阳能光伏装机容量在2050年达到20亿千瓦，并且2030年后进步率降低；我们估计那时的电力生产成本将大约在5-9美分/千瓦时。与其它利用可再生能源的技术相比，太阳能光伏应当视为一个能源发展的长期选择。它的重要性来自它强大的灵活性和巨大的技术潜力。

2. 聚光太阳能发电

聚光太阳能发电厂仅仅可以使用直射阳光，必须建立在高辐射区域。例如北非，其拥有的技术潜力已经远远超过当地的需求。各式各样的太阳热技术（例如，抛物线槽式、中央塔式、抛物线碟式聚热器等）提供了成本降低和继续发展的良好前景。为了延长这些太阳能电站系统日照期以外的运营时间，一个重要目标是要实现大型的热能储备装置。

由于目前只有少量的聚光太阳能电厂建成，很难在这个行业找到一个可靠的学习因子。假设目前的学习因子是0.88（根据建造在加利福尼亚的抛物线槽式太阳能反射器的数据），随着市场的引入，到2030年，这一数字将达到0.95。联合国世界能源评估预测聚光太阳能发电将像风电产业一样，迎来一个高速增长的市场。但是这存在一个20年的时滞。受到辐射标准和运作方式的影响，发电成本将来可能在5-8美分/千瓦时。这预示在未来的几年中市场将会被迅速引入。

3. 太阳能制冷供热采集系统

微型太阳能热收集系统适用于处理水和辅助性供热，发展良好并且被广泛应用于各种设备。相对来说，大的季节性热存储装置，即夏天储存热量，冬天使用，仅仅处于试验阶段。只有当地供热系统安装了季节性存储装置，才有可能使用太阳能供给低温热市场的大部分需求。对于市场成功的关键因素，将是储存的低成本和足够的热量产出。

欧洲太阳能集热器市场的数据显示其学习因子大约是0.90，从技术方面看，这显示了一个目前发展相对良好的市场。比较而言，季节性热存储设备的建设长期有70%的成本降低空间。根据系统结构情况，长期太阳热成本可以达到4-7美分/千瓦时（热能）。

4. 风电

风电的蓬勃发展已在短期内形成了一个繁荣的全球市场。2006年，世界上最大的风机功率达到6MW，其中的一些已安装在德国。但是，在一些国家新系统的成本下降停滞不前，这是因为持续增长的需求、生产者对开发的大量前期投资和新系统的成功引进。结果，在1990年到2000年之间德国风电场的学习因子仅仅是0.94。不过，由于技术发展已经导致了电力产量增加，电力生产成本继续在降低。由于在海上风场上经验的相对缺乏，随着学习率的相应升高，更大幅度的成本降低仍然是可能的。

国际能源署在其《世界能源展望2004》中预测全球风电装机容量到2030年仅增长到3.3亿千瓦，联合国世界能源评估报告估计到同一时期，这个数字应该是19亿千瓦。《全球风能展望》预估到2050年，风电装机容量为30亿千瓦⁸。综合目前观察到的学习因子和较高的市场增长预测，我们可以得到风机制造的经验曲线，它与全球风能展望方向一致，估计风机制造成本2050年将比现在降低40%。

注释

⁷ 欧洲光伏产业协会/绿色和平 《新能源一代》 2006年

⁸ 欧洲风能协会/绿色和平

5. 生物质能

制约生物质能经济可行性的关键因素是原材料成本，包括木材废弃物的消极性成本（节约处置废弃物的费用）、廉价的农业废弃物和昂贵的能源作物。这就相应导致能源生产的成本区间较为宽泛。一个最为经济的选择是将废弃木材用在蒸汽轮机的热电联产电厂中。另一方面，固体生物燃料气化技术仍旧比较昂贵，虽然这种技术带来更加广泛的应用空间。长期来看，在小型热电联产模式和燃气-蒸汽循环电厂中都使用木材气化技术，可以达到最合理的发电成本。固体生物质能利用的巨大潜力，体现在与当地供热网络相连的小型 and 大型的热能生产中心。将农作物转化成酒精或者以油菜籽萃取甲基酯制成的生物燃料已经变得越来越重要，例如在巴西和德国。从生物合成气体中获得合成燃料的工艺也越来越受到重视。

现代技术发展的巨大潜力依然存在于拉丁美洲、欧洲和转型经济国家，不管是在固定电器的应用，还是在交通领域。对于这些地区，长期看，生物质能发展60%的潜力将来自能源作物，余下的40%来自森林剩余物、工业木材废弃物和秸秆。

而在另外一些地区，比如中东、南亚或者中国，生物质能的进一步利用受到限制，因为资源有限，或者传统利用程度很高。对于后者，用更高效技术将提高目前生物质能利用的可持续性。

6. 地热

很久以来，地热在世界范围内用于供热，但地热发电局限在一些具有特殊地质条件的区域。未来需要深度研究和开发工作来加速其发展。特别是大型地下热交换平面（干热岩技术）的出现和拥有有机朗肯循环功能（ORC）的热电设备效能的提高必然在未来的项目中被优化。

因为一个地热电厂成本的大部分来自深层钻探，来自石油部门的数据可以被参照使用，观察到的这一行业的学习因子低于0.8。假设全球地热电力容量到2020年平均每年增长9%，2030年后降至4%，最后结果将是到2050年，地热电站成本减少到今天的50%。因此，尽管目前地热电力生产的成本很高（大约20美分/千瓦），长期会下降到6-10美分/千瓦时（取决于热力供应的支付）。因为它的能量供应没有波动，地热能被视为未来以可再生能源为基础的供应结构中的重要一环。

7. 水电

水电是一种成熟技术，长期被用于经济型发电。通过现代化并扩张现有系统，水电仍有很大潜力可以发挥。剩余有限的成本降低潜力可能为解决电站附近的发展问题和环境标准的提高所抵消。可以设想，对于发电成本通常较高的小型水电系统，遵循生态保护的要求将相应带来比大型项目更高的成本。

可再生能源成本发展总结

根据各自的学习曲线，图表11总结了可再生能源成本发展的趋势。应该强调的是，未来成本不是基于时间的函数削减，而是基于累积装机容量，所以动态的市场发展是必要的。大多数的技术到2020年时可以减少投资成本到目前水平的30%-60%；如果这些技术发展充分，2040年之后，投资成本可减少到目前的20%-50%。

对于可再生能源技术来说，投资成本的减少，会直接导致热电生产成本的降低，见图表11。除了太阳能光伏外，大部分技术现在的发电成本大概是8-20美分/千瓦时。长期内成本大概会固定在大约4-10美分/千瓦时。这些估计取决于项目特定的条件，诸如地方风力条件或者太阳辐射强度，是否能以合理的价格得到生物质资源，或是对热电联产中热力供应所提供的优惠幅度。

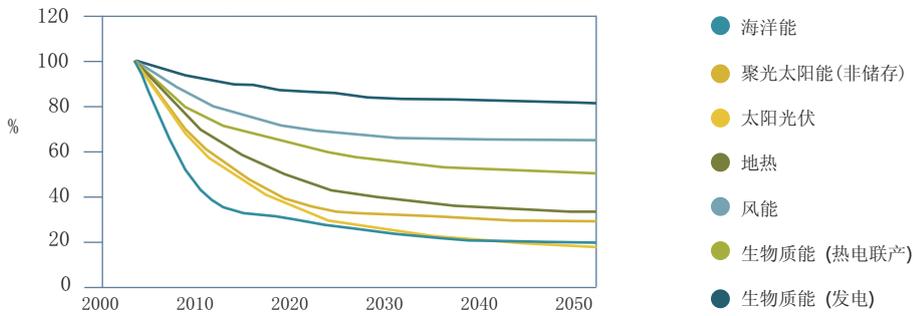
成本预测参考： 国际能源署 《能源技术—2050年情景和战略》（2006年），《世界能源展望2005》，《世界能源展望2004》；
美国能源部能源信息署 《年度能源展望 2003-2030》（2006年）； 欧盟委员会 《欧洲能源和交通——主要驱动力的情景分析》（2004年）；

图片: 位于西藏的商店, 专门出售太阳能发电器材

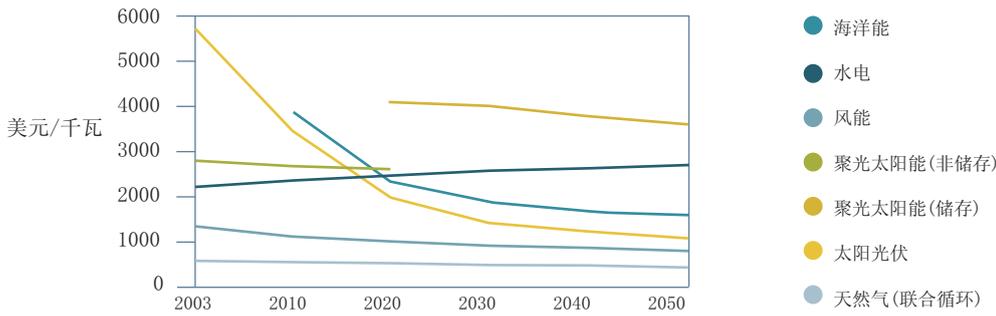


图表10: 未来投资成本的发展

根据学习曲线得出可再生能源目前的普遍成本标准

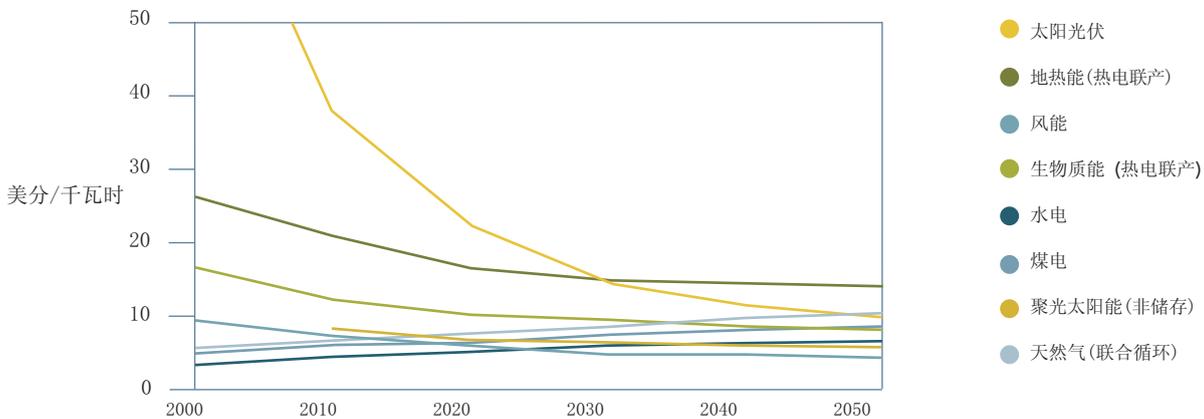


图表11: 部分可再生能源发电技术未来投资成本的发展



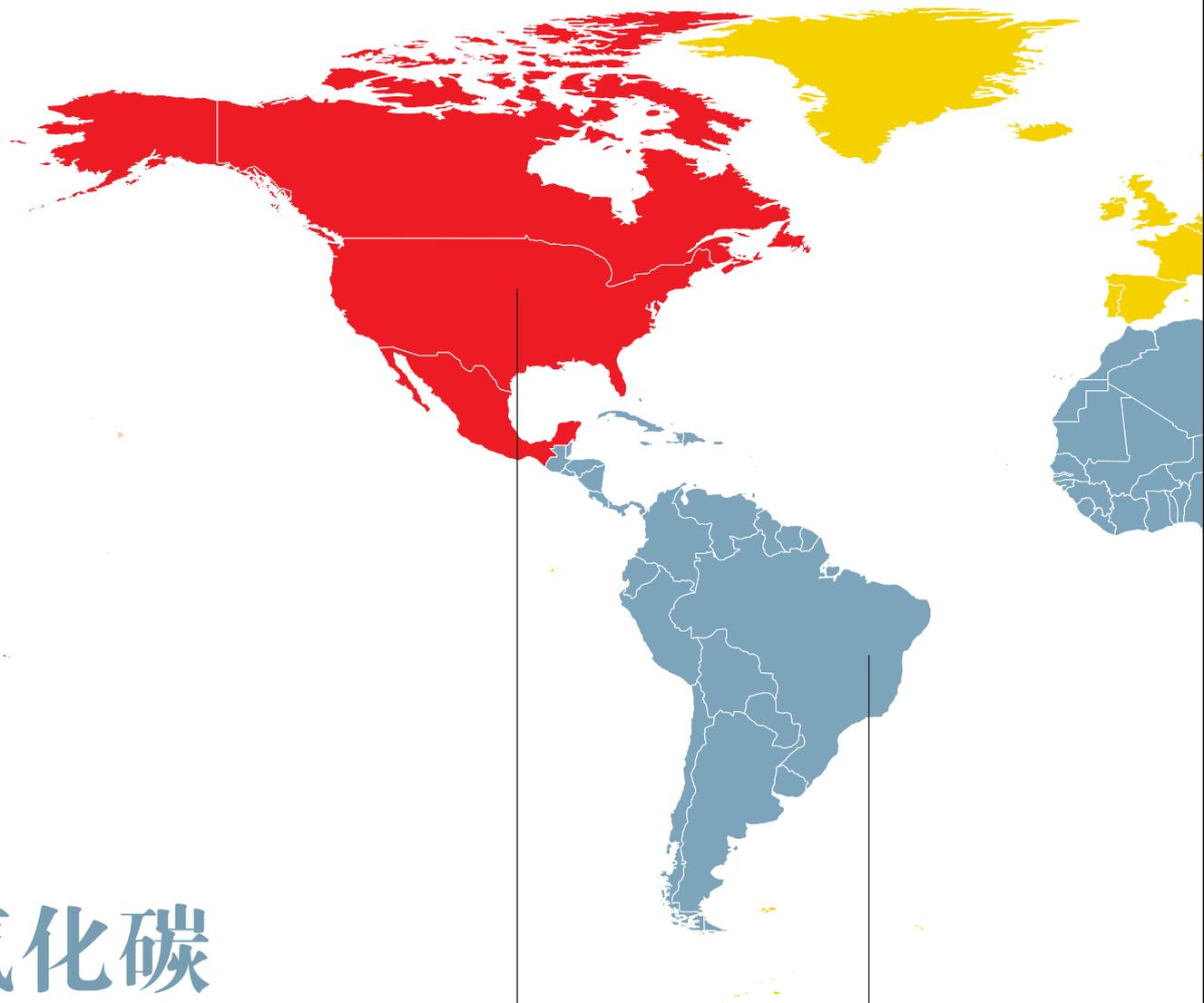
参考: 经合组织欧洲国家数据, 太阳能数据参考中东国家(发电成本部分取决于当地燃料成本和热值)

图表12: 可再生能源及化石能源发电成本的变化预测



参考: 经合组织欧洲国家数据, 太阳能数据参考中东国家(发电成本部分取决于当地燃料成本和热值)

地图1：能源参照情景及能源革命情景下二氧化碳排放情况对比
全球情景



排放 二氧化碳

图例



REF 参照情景
ALT 目标情景

0 1000 公里

CO₂ 总排放
百万吨(mio t) | % 增加/减少2003年以来 | % 增加/减少1990年以来

人均排放
吨(t)

H 高 | M 中 | L 低

经合组织国家(北美)

	REF		ALT	
	mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	6,646 ^H	6,646 ^H	
	2050	9,297 ^H +40	1,787 ^L -73/-68	
人均	t		t	
	2003	16 ^H	16 ^H	
2050	16 ^H	3		

拉丁美洲

	REF		ALT	
	mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	802	802	
	2050	3,200 +300	442 ^L -45M/-34	
人均	t		t	
	2003	2	2	
2050	5	1		

经合组织国家(欧洲)

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	3,886		3,886	
	2050	5,210	34%	1,160 ^M	-70/-71
Population	2003	7		7	
	2050	10		2 ^M	

中东

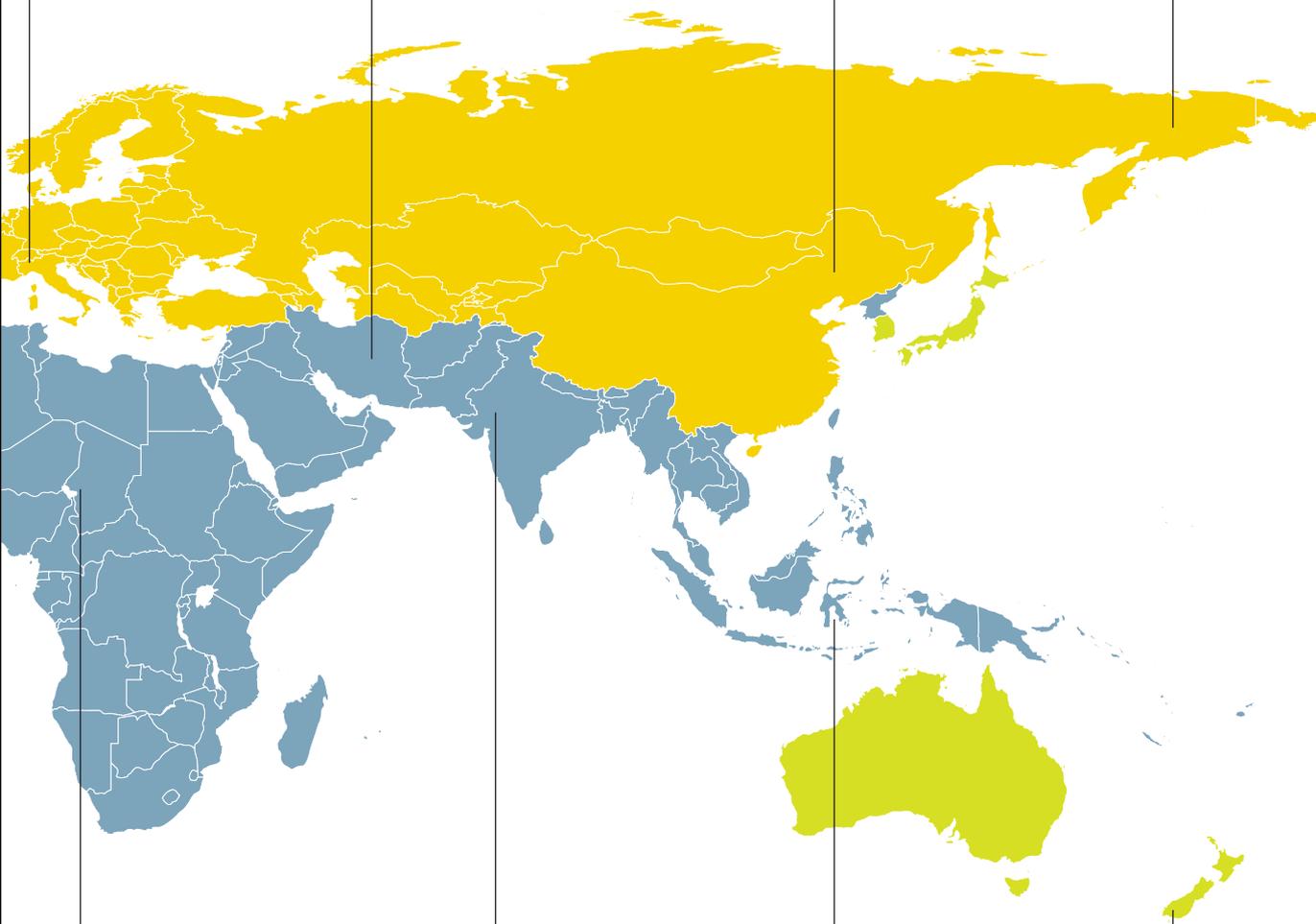
CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,004		1,004	
	2050	2,116 ^L	+111	493	-51/-22
Population	2003	6 ^M		6 ^M	
	2050	6 ^M		1	

中国

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	3,313		3,313	
	2050	8,547	+158	3,284 ^H	-1/+30
Population	2003	3		3	
	2050	6 ^M		2 ^M	

转型经济国家

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	2,685 ^M		2,685 ^M	
	2050	3,655	+36	745	-72/-81
Population	2003	8		8	
	2050	13		3	



非洲

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	727 ^L		727 ^L	
	2050	3,440	+373 ^H	1,075	+48/+21
Population	2003	1 ^L		1 ^L	
	2050	2 ^L		1	

南亚

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,126		1,126	
	2050	4,039 ^M	+259	1,077	-4/+47
Population	2003	1 ^L		1 ^L	
	2050	2 ^L		0.5 ^L	

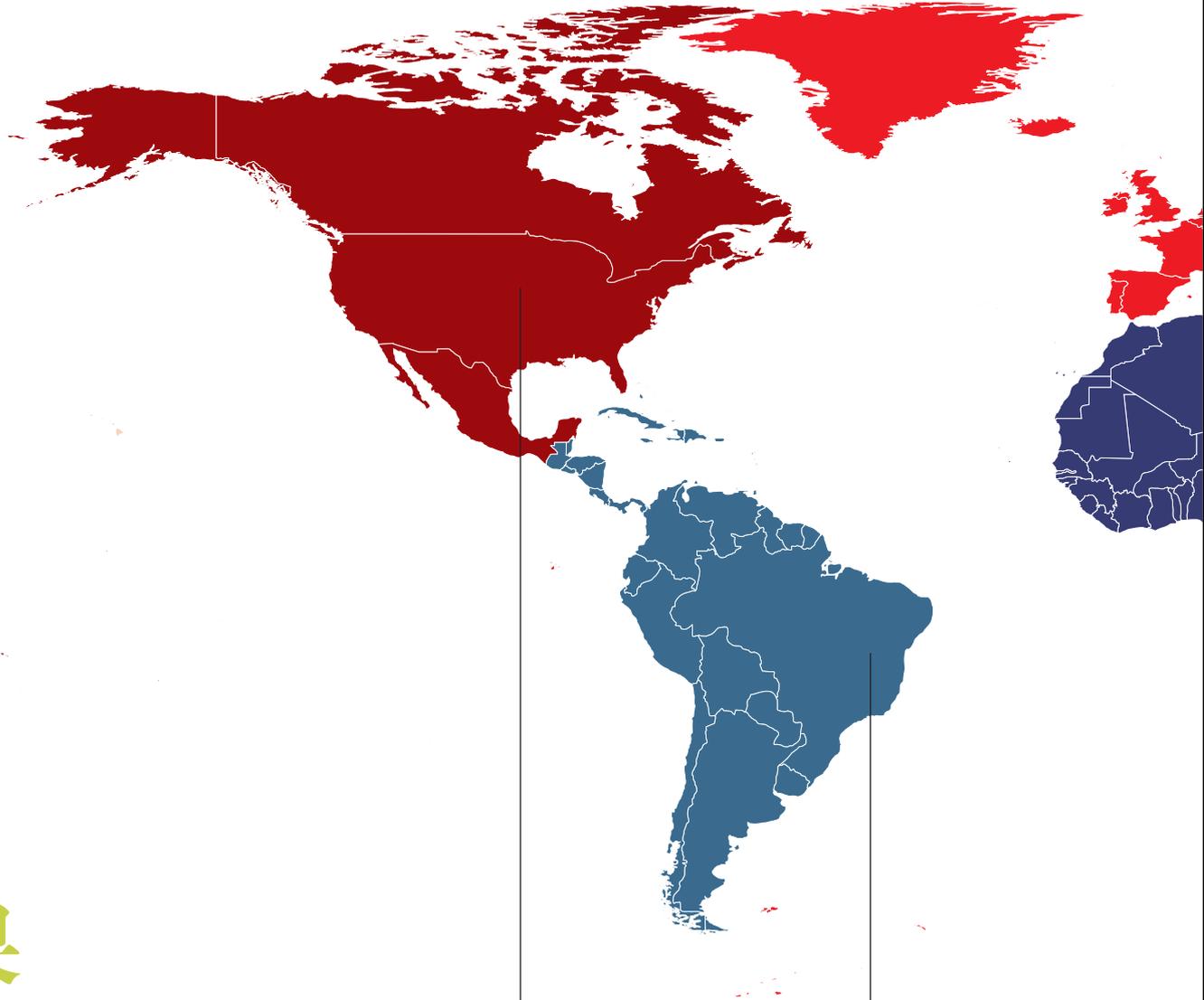
东亚

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,063		1,063	
	2050	3,726	+250	831	-22/+22
Population	2003	2		2	
	2050	4		1	

经合组织国家(太平洋)

CO ₂	Year	REF		ALT	
		mio t	%	mio t	%
CO ₂	2003	1,871		1,871	
	2050	2,259	+21	700	-63/-29
Population	2003	9		9	
	2050	12		4 ^H	

地图2：能源参照情景及能源革命情景结果对比
全球情景



情景 结果

图例



经合组织国家(北美)

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	113,980 ^H	4,857 ^H	113,980 ^H	4,857 ^H
2050	161,936 ^H	8,960 ^H	69,874	4,605
	%		%	
2003	6	15	6	15
2050	8	16 ^M	52 ^M	8
	%		%	
2003	86	67 ^M	86	67 ^M
2050	86	75	48	20
	%		%	
2003	8	18 ^M	2030年退出	
2050	6	9		

拉丁美洲

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TWh	PE PJ	EL TWh
2003	19,393	830	19,393	830
2050	62,854	3,982	30,220	2,308
	%		%	
2003	28	71 ^H	28	71 ^H
2050	15	33 ^H	70 ^H	90 ^H
	%		%	
2003	71	27 ^L	71	27 ^L
2050	84 ^M	66	30 ^L	10 ^L
	%		%	
2003	1	3	2030年退出	
2050	1	1		

经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	76,319	3,323	76,319	3,323
2050	93,356	4,988	50,999	3,141
	%		%	
 2003	7	18 _M	7	18 _M
 2050	12	28	48	80 _%
	%		%	
 2003	79	53	79	53
 2050	84 _M	64	52 _M	20
	%		%	
 2003	14 _H	30 _H	2030年退出	
 2050	4 _M	8		

中东

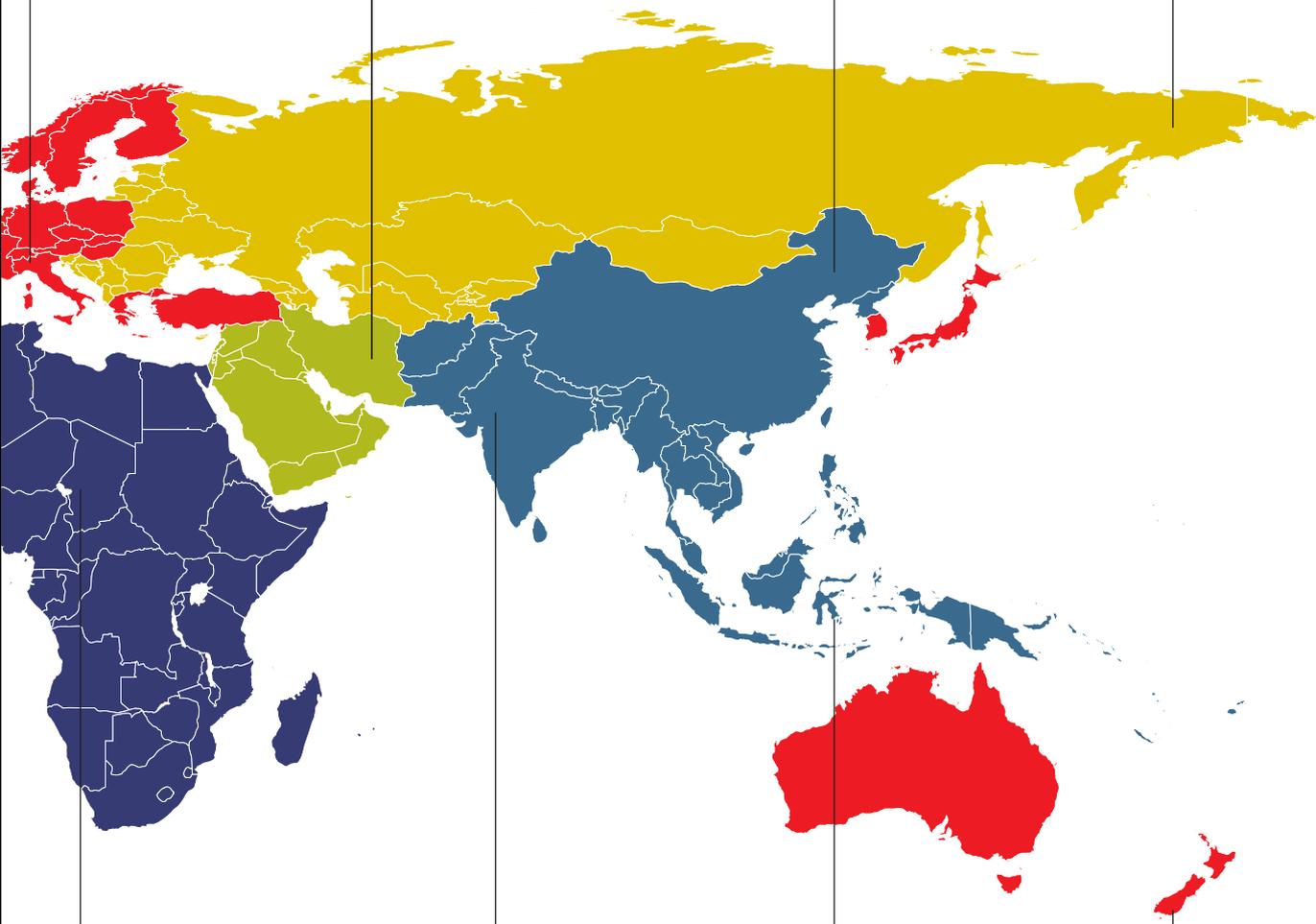
	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	17,569 _L	554	17,569 _L	554
2050	39,205 _L	1,941 _L	20,171 _L	1,671
	%		%	
 2003	1 _L	3 _L	1 _L	3 _L
 2050	1 _L	4 _L	53	84
	%		%	
 2003	99 _H	97 _H	99 _H	97 _H
 2050	98 _H	96 _H	47	16
	%		%	
 2003	0 _L	0 _L	2030年退出	
 2050	0 _L	0 _L		

中国

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	55,379	1,943	55,379	1,943
2050	127,688	9,045	76,066 _H	7,556 _H
	%		%	
 2003	19 _M	15	19 _M	15
 2050	12 _M	16 _M	34 _L	53 _L
	%		%	
 2003	80 _M	82	80 _M	82
 2050	85	80	66 _H	47 _H
	%		%	
 2003	1	2	2030年退出	
 2050	3	4		

转型经济国家

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	45,472 _M	1,574	45,472 _M	1,574
2050	67,537	3,287	37,469 _M	2,413
	%		%	
 2003	4	18 _M	4	18 _M
 2050	7 _M	14	58	79
	%		%	
 2003	90	64	90	64
 2050	90	79 _M	42	21
	%		%	
 2003	7	18 _M	2030年退出	
 2050	3	6 _M		



非洲

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	22,292	502 _L	22,292	502 _L
2050	74,255 _M	3,852	43,869	2,698
	%		%	
 2003	47 _H	17	47 _H	17
 2050	29 _H	5	58	56
	%		%	
 2003	53 _L	80	53 _L	80
 2050	71 _L	94	42	44
	%		%	
 2003	1	3	2030年退出	
 2050	0 _L	0 _L		

南亚

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	26,921	744	26,921	744
2050	71,709	4,551 _M	37,220	2,790 _M
	%		%	
 2003	41	15	41	15
 2050	20	9	50 _M	59
	%		%	
 2003	58	82	58	82
 2050	77	87	50	41 _%
	%		%	
 2003	1	3	2030年退出	
 2050	3	4		

东亚

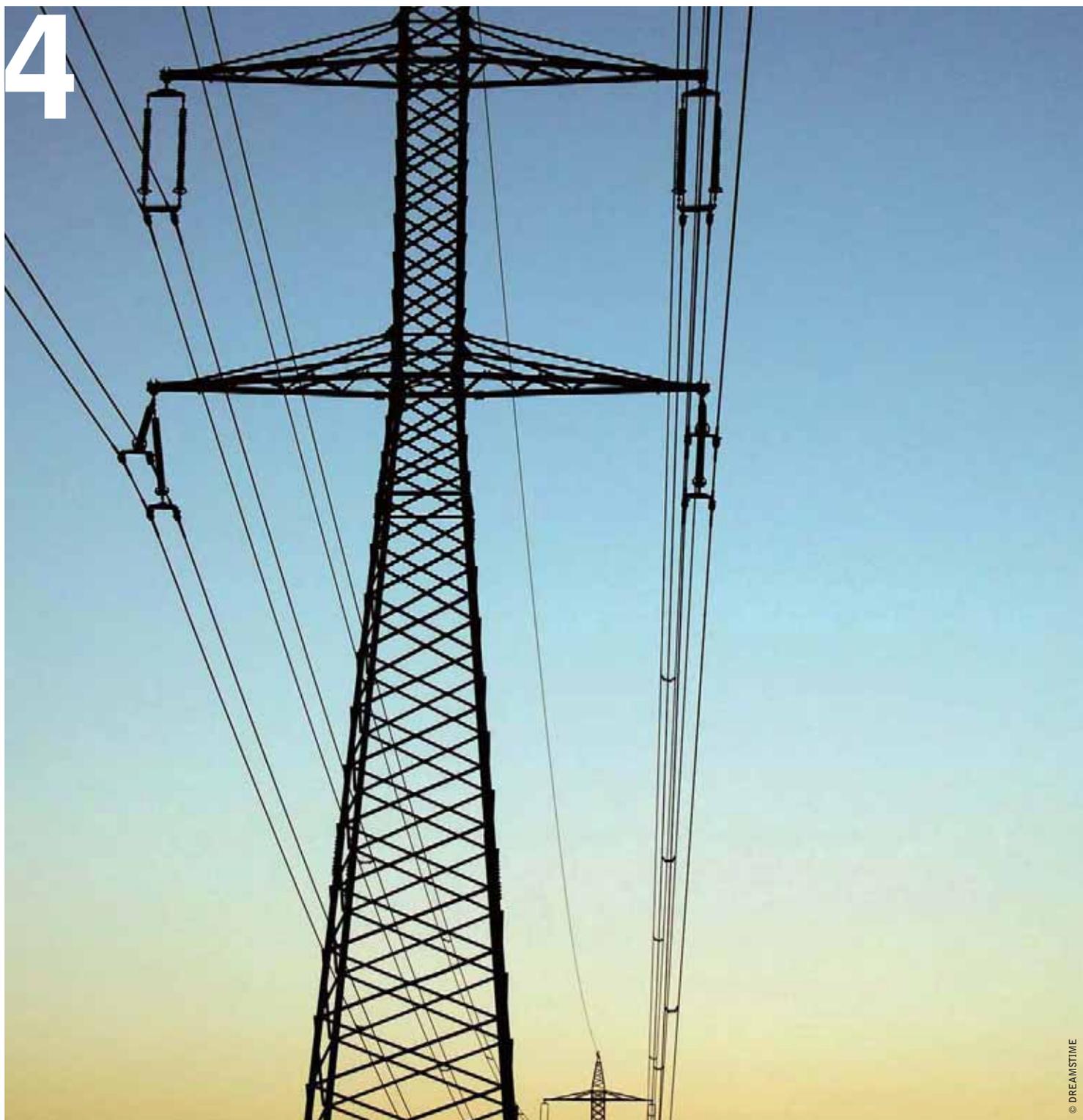
	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	22,348	686	22,348	686
2050	59,955	3,232	32,400	2,133 _L
	%		%	
 2003	23	14	23	14
 2050	10	13	51 _M	81
	%		%	
 2003	75	80	75	80
 2050	88	85	49	19
	%		%	
 2003	2	6	2030年退出	
 2050	1	2		

经合组织国家(太平洋)

	REF		ALT	
	PE PJ	EL TW _h	PE PJ	EL TW _h
2003	35,076	1,649 _M	35,076	1,649 _M
2050	46,716	2,661	23,616	1,619
	%		%	
 2003	3	10	3	10
 2050	7	17	37	70 _M
	%		%	
 2003	85	67 _M	85	67
 2050	79	60 _L	63	30 _M
	%		%	
 2003	11	22	2030年退出	
 2050	14 _H	23 _H		

第四章 全球能源革命情景研究

“经济发展、人口增长并不一定导致能源需求的相应增加。”



图片：输电线

本报告概述了两个到2050年的情景。能源参照情景来源于国际能源署发布的《世界能源展望2004》，仅仅考虑现有状况，推论到2030年。与2004年国际能源署的预测相比，《世界能源展望2006》对2004-2030年间世界GDP年平均增长率的预测为3.4%，略高于2004年的数字3.2%。《世界能源展望2006》还预计到2030的最终能源消费会比2004年的预计高出4%。在能源革命情景中，经济增长对能源需求影响的敏感性分析指出，2003-2050年间，全球GDP平均增长0.1%将导致最终能源需求0.2%的提高。

能源革命情景有一个目标：为了将全球气温升高控制在2°C内，到2050年，全世界温室气体的排放量要从1990年水平减少50%，同时年人均二氧化碳排放要少于1.3吨。第二个目标是揭示放弃使用核能是完全可能的。要达到这些目标，能源革命情景强调旨在充分提高能源效率潜力的各项努力。同时，利用所有符合经济效益的可再生能源资源生产热和电，以及生物燃料。

目前，可再生能源满足了大约全世界13%的一次能源需求。其中，主要用于供热的生物质能是利用最多的可再生能源资源。可再生能源产出占全球电力生产的18%、供热的大约26%。大约80%的一次能源供应依旧来自化石能源，剩余7%来自核能。

能源革命情景描述了一个从目前形势向可持续能源供应转变的发展途径。

大力提高能源利用的效率将使一次能源需求从2003年的每年435000PJ减少到2050年的422000PJ。而在能源参照情景下，一次能源需求到2050年将增加到每年810000PJ。能源革命情景下的对一次能源需求的大幅度减少对于大大提高可再生能源份额和化石能源的减少是一个关键的必要条件。

热电联产使用的增加也会提高能源供应系统的转换效率，同时更多的使用天然气和生物质能。但长期来看，对供热需求的减少及可再生资源直接供热的巨大潜力，将限制热电联产的继续发展。

电力部门将是可再生能源使用的先锋，到2050年大约70%的电力将由可再生能源供应，包括大水电在内。2050年，7100GW的电力装机的年发电量将达21400TW。

在供热方面，可再生能源的贡献到2050年将增加到65%，化石能源将不断被更有效率的现代能源技术替代，尤其是生物质能、太阳能集热和地热能技术。

在生物燃料更大规模地应用到交通部门之前，我们应该开发已有的能源效率潜力。在本报告中，生物质交通燃料主要以固定基站方式使用；它在交通领域的应用受到是否可以获得足够的成熟生物物质的限制。

到2050年，50%一次能源需求将由可再生能源提供。为了使可再生能源发展在经济上有吸引力，对所有可再生能源全面、及时的推动非常重要。这取决于技术发展潜力、真实成本、成本降低的潜力和技术的成熟度。

二氧化碳排放

在参照情景下，到2050年，世界二氧化碳排放将翻番，这将背离可持续发展的途径。而在能源革命的情景下，二氧化碳排放将从23000百万吨（2003年）减少到12000百万吨（2050年），人均年排放量将从3.7吨降到1.3吨。尽管核能要退出舞台且电力需求继续增长，电力部门中二氧化碳排放仍将大量减少。长远来看，能源效率的提高和生物质燃料的使用增加将最终减少交通领域二氧化碳的排放。到2050年，电力产业二氧化碳排放将占到全部排放的36%，超过交通部门，成为最大的排放源。

成本

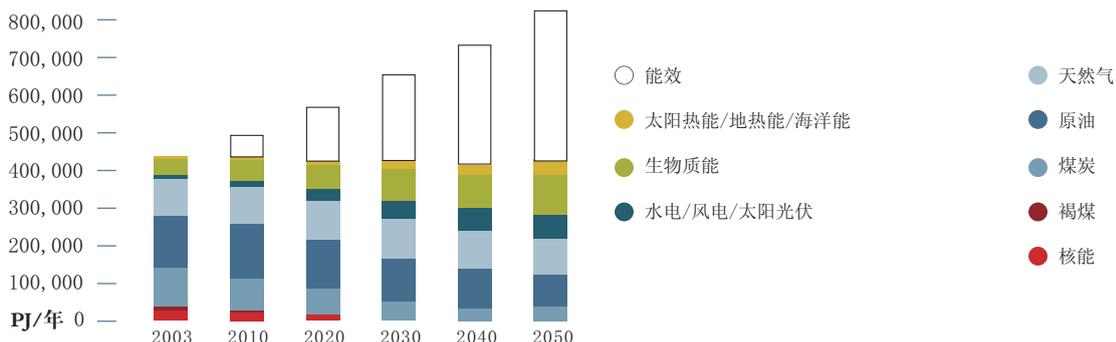
由于电力需求持续增长，社会电力供应支出将急剧增加。在参照情景下，电力需求不断增加，化石能源价格和二氧化碳排放成本的增加将导致电力供应的成本从目前的每年一万一千三百亿美元，增加到2050年的四万三千亿多美元。而能源革命情景不仅符合全球二氧化碳减排的目标，而且也有助于稳定能源成本，并因此缓解经济发展对于社会的压力。由于提高的能源效率和倾向可再生能源资源的能源供应转型，长期的电力供应成本会比能源参照情景中的降低1/3。这样，在能源领域履行严格的环境目标的经济效益也会越来越明显。

为了切实推进能源革命以减缓气候变化的灾难性后果，以下设想必须被贯彻执行：

- 放弃对化石能源的各种补贴，并将这些能源的外部成本内部化
- 制定有法律强制性的可再生能源发展目标
- 为可再生能源投资者提供明确而可靠的回报
- 保证可再生电力优先上网
- 对所有耗电电器、建筑物和交通工具设定严格的能效标准

图表13: 能源革命情景下的一次能源消费

(能效即与参照情景比较减少的能耗)



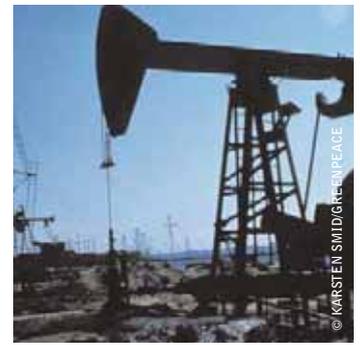
第五章 能源资源和供应安全

“当前，全球能源需求的80%来自化石燃料，与剧增的能源需求相对应的却是传统能源供应的不可再生性。”



图片：地热喷发

图片：阿塞拜疆境内的一个油田



能源供应安全问题是目前能源政策议事日程中的头等大事。关注焦点集中在能源的价格和实际供应安全上。目前全球大约80%的能源需求由化石能源来满足。能源需求持续不断的增加却不得不适应化石能源资源的不可再生的特点。石油和天然气资源的区域供给与需求之间并不吻合。一些国家不得不完全依赖化石能源进口。第42-49页的地图概括了不同能源的可获得性及其地区分布。本章部分信息来自于可再生能源系统发展公司和世界风能理事會2006年出版的《填补缺口》。

石油

石油是现代全球经济的血脉，上世纪七十年代石油供给危机充分显示了这一点。石油是头号能源资源，提供了全球36%的一次能源，满足了几乎所有的交通燃料需求。然而，人们一直在激烈争论石油供应能否满足不断增长的消费需求。而信息的不充分和最近猛涨的石油价格，使这个争论愈发模糊。

关于储量的争议

由于法律、商业、历史和一些政治原因，关于石油和天然气储量的公开数据总有显著不同，且并不可靠。现有引用最广泛的数据来自工业杂志《石油和天然气日报》和《世界石油》，但数据价值甚微，因为这些数据全部由公司和政府提供，且没有经过分析和求证。另外，因为没有一个是公认的关于储量或通报标准的定义，这些数字常代表着不同的数量级或者概念含义。一些令人疑惑的术语（如被证明的、可能的、或许的、可开采的、合理的确定性理论蕴藏量）令问题变得更复杂。

过去，私人石油公司总是低估他们的储量来满足保守的股票交易的规则。无论何时有了新的发现，仅有一部分地质学家关于可开采储量的推测会被报道；之后对同一油田的后续报道却会提高储量。国有石油公司，几乎完全由石油输出国组织代表，他们自己并不对任何形式石油储量勘查的可信度负责，因此相关报道更加含糊不清。

上个世纪八十年代后期，石油输出国组织疯狂地夸大他们的储量，以获得更高生产配额，因为生产配额是根据储量多少来划分的。虽然在石油公司国有化之后的确需要一些调整，但在1985-1990年，石油输出国组织将他们的联合石油储备数字提高了82%。这些可疑的储量不仅从来没有被纠正，而且其中许多国家申报的是多年没有动用的储量；即使没有发现可观的储藏，生产仍按部就班的进行。此外，由于先前的判断被误解，前苏联国家的石油和天然气储备被高估了约30%。

当私营石油公司对他们储量的估计程度越来越真实时，拥有迄今为止大部分声明储量及相关资源信息的石油输出国组织依旧和以前一样无法令人满意。简言之，这些信息的来源应该被认真审查。要确切地估计世界石油资源，对每个地区石油储量进行均衡回溯性（即技术）评估是必要的。

天然气

在过去的20年里，受其发电份额不断增长的推动，天然气成为增长最快的化石能源。天然气通常被认为是一种相当丰富的资源，公众对其损耗的认识也低于石油，尽管极少数的深度调查已经涉足这些话题。天然气资源比石油更加集中，因此可以被更迅速的发现，少数大型气田集中了全球大部分的天然气储备：世界上最大的气田，拥有最终可开发资源（URR）的15%，而最大的油田仅占6%。不幸的是，关于天然气资源量的信息与石油一样不充分，因为天然气也来自和石油同样的地质结构，而且参与其中的利益相关人也是相同的。

大多数的天然气储备起初被低估，然后逐渐向上调整，给人一个增长更为乐观的印象。相反，全球天然气最丰富的俄罗斯，通常认为其储备被高估了30%。由于地质储藏特点的相似，天然气面临与石油同样的枯竭性，以及同样的勘探和生产周期。事实上，现有天然气数据的质量比石油的更差；由于燃烧或泄漏的天然气没有始终计算在产量内，数据变得更加模糊。与公开的储量不同，技术层面的储量数据几乎从1980年以来就保持不变，因为探明储量几乎与产量持平。

煤炭

在20世纪60年代被石油替代之前，煤炭一直是全球一次能源的最大提供者。目前，煤炭供应了世界几乎1/4的能源。尽管作为储量最丰富的化石燃料，煤炭的发展还是受到当前环境考虑的限制，煤炭在未来将面临能源安全和全球气候变暖的挑战。

煤炭储量充分且分布比石油和天然气更均匀。它是全球可开采储量最大的化石燃料，大多数国家都有一些储备。而且，目前和未来的能源消费大国，比如美国、中国和印度，煤炭资源可以自给自足。在可预见的未来，情况仍然如此。煤炭已经被大规模开采了200多年，所以产量和资源储备数据都较为可信，广为人知；当前也没有再发现新的大量储备。预计到2030年，全世界将消耗目前储备的20%；到2050年，消耗40%⁹。因此，如果保持现在趋势不变，到21世纪末，煤炭将使用殆尽。

表格8: 化石燃料储备和资源量概览

化石能源的储备、资源和额外发现量，根据不同的数据来源

c 传统的化石能源（石油有一定密度、不含水天然气和石油气）

nc非传统重型石油（有重质燃料油、特稠油、沥青砂和油页岩，煤层气、含水天然气、致密层中的天然气、天然气水合物）额外发现的储量取决于地质条件，但其经济采收的潜力目前非常不明确。根据联合国开发计划署(UNDP)等（2000年），1998年全球一次能源的需求是402EJ。

能源 (单位:EJ)	BROWN(2002)	IEA(2002)		IPCC(2001)	NAKICENOVIC等 (2000)		UNDP等 (2000)		BGR(1998)	
天然气 储量	6,600	6,200	c	5,400	c	5,900	c	5,500	c	5,300
			nc	8,000	nc	8,000	nc	9,400	nc	100
			c	11,700	c	11,700	c	11,100	c	7,800
资源量	9,400	11,100	nc	10,800	nc	10,800	nc	23,800	nc ^{a)}	111,900
				796,000		799,700		930,000		
石油 储量	5,800	5,700	c	5,900	c	6,300	c	6,000	c	6,700
			nc	6,600	nc	8,100	nc	5,100	nc	5,900
			c	7,500	c	6,100	c	6,100	c	3,300
资源量	10,200	13,400	nc	15,500	nc	13,900	nc	15,200	nc	25,200
				61,000		79,500		45,000		
煤炭 储量	23,600	22,500		42,000		25,400		20,700		16,300
				100,000		117,000		179,000		179,000
				121,000		125,600				
资源量	26,000	165,000								
额外发现量										
总计	资源量(储量 + 资源量)	223,900		212,200		213,200		281,900		361,500
总计	额外发现量			1,204,200		1,218,000		1,256,000		

来源: 见表格^{a)} 包括天然气水合物

注释

⁹ 可再生能源系统发展公司/世界风能理事会 《填补缺口》 2006年

图片：位于德国科隆附近新建成的褐煤电厂。这个电厂每年排放1000多万吨二氧化碳。



核能

用于核电的铀是一种有限资源，其经济可行性也受到很大局限。它的分布和石油一样几乎集中于某些地区，生产区与消费区并不相符。加拿大、澳大利亚、哈萨克斯坦、俄罗斯、尼日尔控制了全世界3/4的供给。同时作为铀的重要消费者，俄罗斯的铀矿储备将在十年内枯竭。

铀的次要来源，如传统储藏，目前占世界铀储量的几乎一半。然而这些资源将很快用完。要满足目前的需求，铀矿的开采能力将不得不在未来的几年中增加一倍。

由经合组织核能署和国际原子能机构共同发布的报告（《铀2003：资源、产能和需求》）估计，目前技术条件不变，所有现存的核电站将在不到70年的时间内用光他们的原料。

根据各个关于全球核能发展的情景分析，铀的供应可能在2026-2070年间枯竭。假设核能使用呈现下降的趋势，现实性的估计表明，到2050年，只有少数几个国家还有足够的核原料供应，其中包括铀储备量和混合氧化物燃料的利用（这是一种铀和钚的合成物）。

表格 9 - 11: 能源革命情景中的化石燃料使用假设

石油	2003	2010	2020	2030	2040	2050
参照情景 [PJ]	147,425	176,791	206,365	231,237	256,069	284,010
参照情景 [百万桶]	24,089	28,887	33,720	37,784	41,841	46,407
目标情景 [PJ]	147,425	144,085	128,606	110,865	98,832	87,135
目标情景 [百万桶]	24,089	23,543	21,014	18,115	16,149	14,238
天然气	2003	2010	2020	2030	2040	2050
参照情景 [PJ]	93,230	101,344	123,691	145,903	166,033	189,471
参照情景 [十亿立方米 = 10E9m ³]	2,453	2,667	3,256	3,840	4,369	4,986
目标情景 [PJ]	93,230	98,994	103,975	107,023	100,822	93,055
目标情景 [十亿立方米 = 10E9m ³]	2,453	2,605	2,736	2,816	2,653	2,449
煤炭	2003	2010	2020	2030	2040	2050
参照情景 [PJ]	107,902	112,992	126,272	146,387	170,053	202,794
参照情景 [百万吨]	5,367	5,499	6,006	6,884	7,916	9,356
目标情景 [PJ]	107,903	90,125	70,858	51,530	39,717	31,822
目标情景 [百万吨]	5,367	4,380	3,325	2,343	1,748	1,382

地图3: 石油参照情景与目标情景对比
全球情景

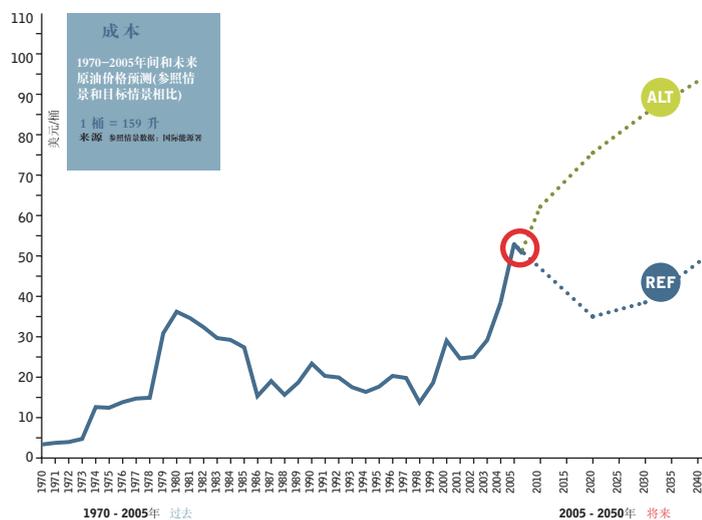
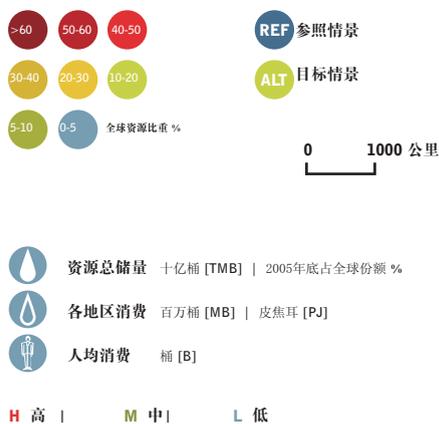


不可再生能源 石油

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	59.5	5.0%	59.5	5.0%
2003	MB	PJ	MB	PJ
	6,849 ^H	41,917	6,849 ^H	41,917
2050	MB	PJ	MB	PJ
	10,863 ^H	66,481	2,940 ^H	17,991
2003	B		B	
	16 ^H		16 ^H	
2050	B		B	
	18 ^H		5	

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	103.5	8.6%	103.5	8.6%
2003	MB	PJ	MB	PJ
	1,464	8,961	1,464	8,961
2050	MB	PJ	MB	PJ
	4,319	26,430	750	4,589
2003	B		B	
	3		3	
2050	B		B	
	7		1	

图例



经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	12.2	1.3%	12.2	1.3%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	4,877	29,848	4,877	29,848
2050	4,960M	30,358	2,238	13,695
	B	B	B	B
2003	9	9	9	9
2050	10	4	4	4

中东

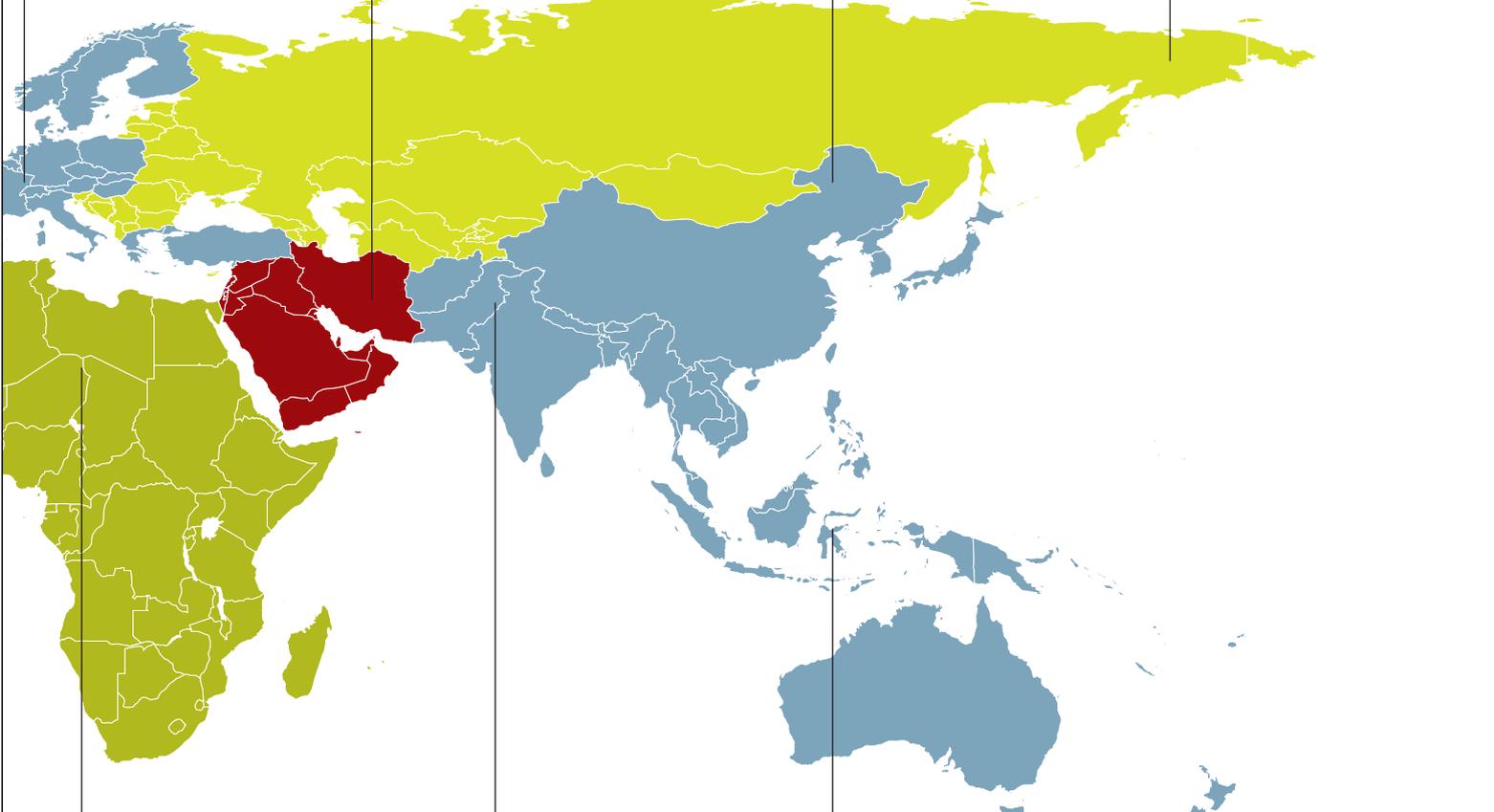
	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	742.7	61.9% ^H	742.7	61.9% ^H
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,598	9,782	1,598	9,782
2050	3,198	19,570	645 ^L	3,949
	B	B	B	B
2003	9	9	9	9
2050	9 ^M	2	2	2

中国

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	16.0	1.3%	16.0	1.3%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,742	10,664	1,742	10,664
2050	6,163	37,718	2,366	14,480
	B	B	B	B
2003	1	1	1	1
2050	4	2	2	2

转型经济国家

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	124.4	10.3% ^M	124.4	10.3% ^M
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,563	9,568	1,563	9,568
2050	3,215	19,678	835	5,110
	B	B	B	B
2003	5 ^M	5 ^M	5 ^M	5 ^M
2050	11	3 ^M	3 ^M	3 ^M



非洲

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	114.3	9.5%	114.3	9.5%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	833 ^L	5,099	833 ^L	5,099
2050	3,304	20,220	868	5,312
	B	B	B	B
2003	1	1	1	1
2050	2	0	0	0

南亚

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	5.9	0.5%	5.9	0.5%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	914	5,597	914	5,597
2050	3,063 ^L	18,747	896	5,481
	B	B	B	B
2003	1 ^L	1 ^L	1 ^L	1 ^L
2050	1 ^L	0 ^L	0 ^L	0 ^L

东亚

	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	13.2	1.0%	13.2	1.0%
	MB	PJ	MB	PJ
2003	1,411	8,634	1,411	8,634
2050	4,027	24,648	1,404 ^M	8,593
	B	B	B	B
2003	2	2	2	2
2050	5	2	2	2

经合组织国家(太平洋)

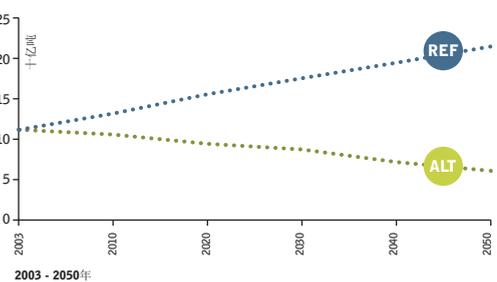
	REF		ALT	
	TMB	%	TMB	%
2005	4.0	0.3% ^L	4.0	0.3% ^L
	MB	PJ	MB	PJ
2003	2,836 ^M	17,355	2,836 ^M	17,355
2050	3,294	20,160	1,296	7,934
	B	B	B	B
2003	14	14	14	14
2050	18	7 ^H	7 ^H	7 ^H

二氧化碳排放

2003-2050年间参照情景和目标情景相比

十亿吨

来源: GPU/IEEC

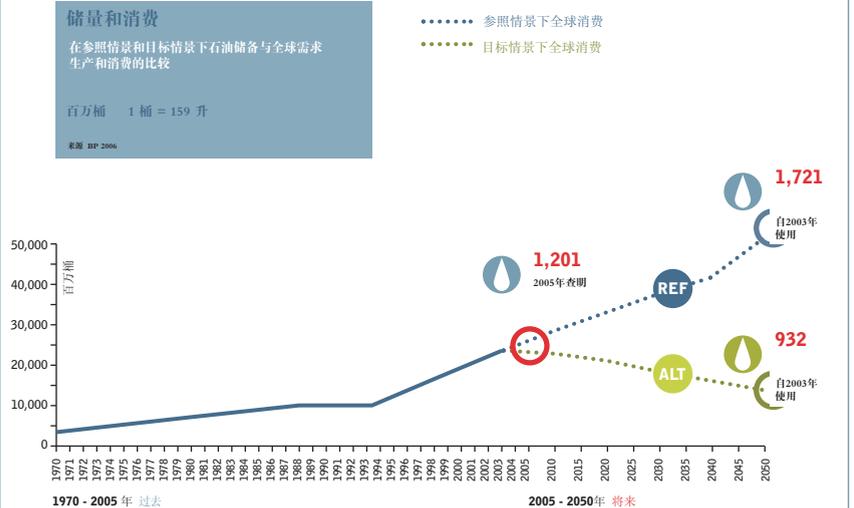


储量和消费

在参照情景和目标情景下石油储备与全球需求生产和消费的比较

百万桶 1桶 = 159升

来源: BP 2006



地图4: 天然气参照情景与目标情景对比
全球情景



不可再生能源 天然气

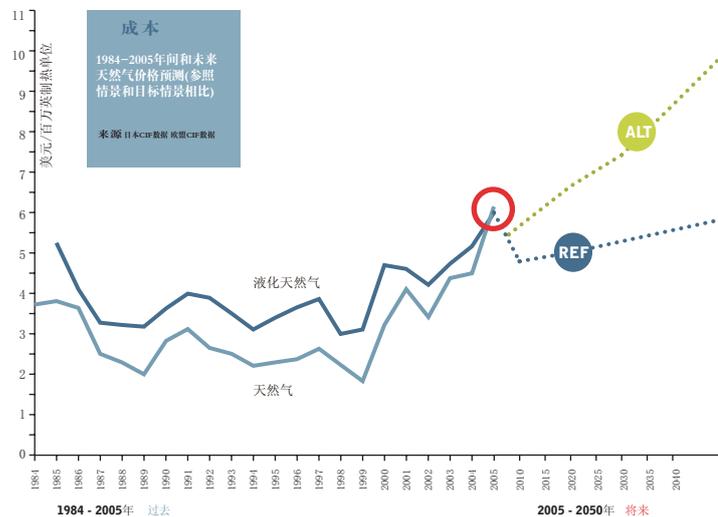
经合组织国家(北美)

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	7.5	4.1%	7.5	4.1%
2003	752 ^H	28.568	752 ^H	28.568
2050	1,035 ^H	39.312	352 ^H	13.368
2003	1770 ^H		1770 ^H	
2050	1770		600 ^H	

拉丁美洲

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	7.0	3.9%	7.0	3.9%
2003	103	3.916	103	3.916
2050	570	21.666	104	3.940
2003	230		230	
2050	900		170	

图例



经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	4.9	2.7%	4.9	2.7%
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	457	17.354	457	17.354
2050	583	22.139	285	10.935
	m ²		m ²	
2003	870		870	
2050	1140		560 ^M	

中东

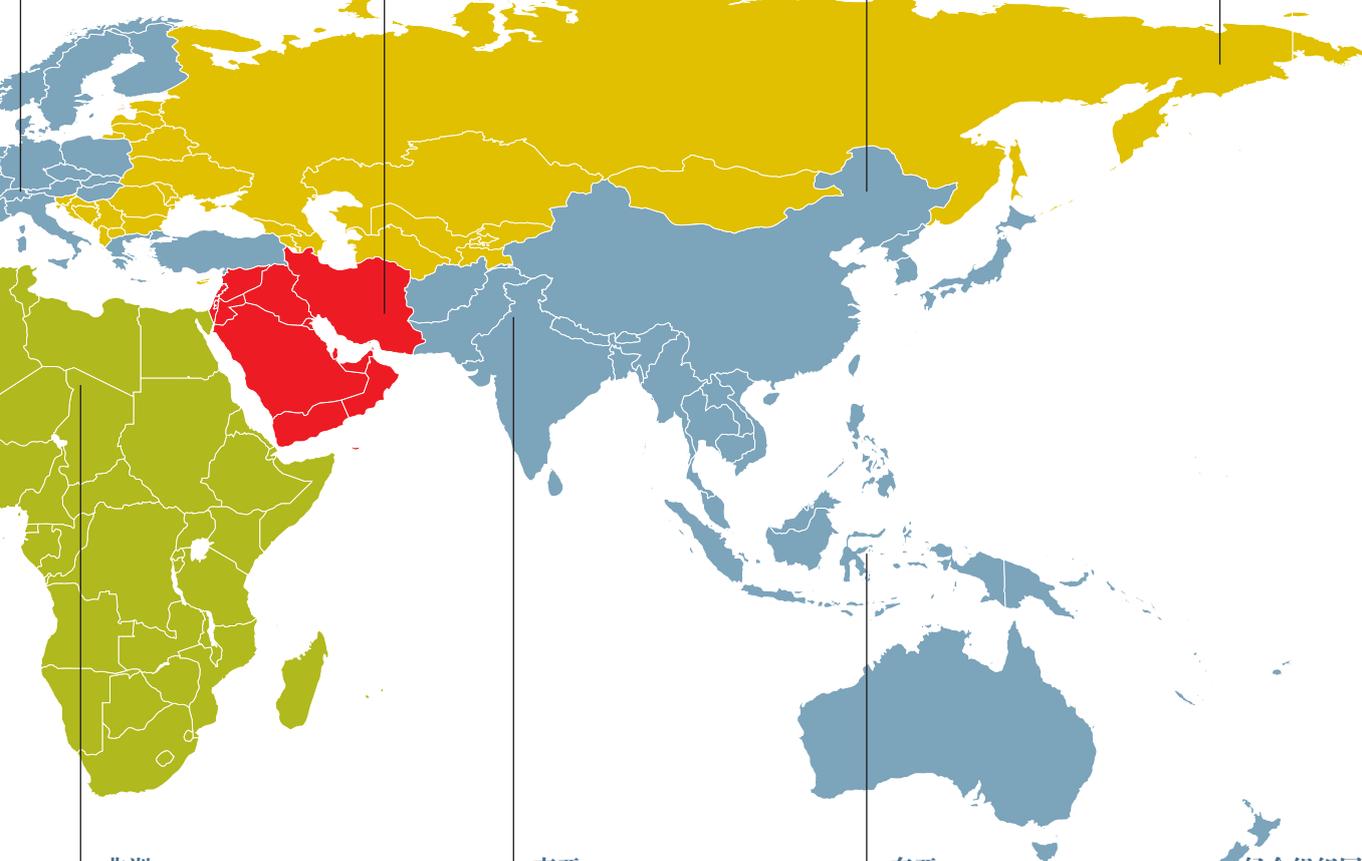
	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	72.1	40.1% ^H	72.1	40.1% ^H
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	191 ^M	7.262	191 ^M	7.262
2050	478 ^M	18.154	142	5.401
	m ²		m ²	
2003	1050		1050	
2050	1350		400	

中国

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	2.4	1.3%	2.4	1.3%
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	35 ^L	1.327	35 ^L	1.327
2050	200 ^L	7.604	551	20.932
	m ²		m ²	
2003	30 ^L		30 ^L	
2050	140 ^L		390	

转型经济国家

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	59.1	32.9%	59.1	32.9%
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	559	21.260	559	21.260
2050	897	34.074	266	10.122
	m ²		m ²	
2003	1620		1620	
2050	3160 ^H		940	



非洲

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	14.4	8.0% ^M	14.4	8.0% ^M
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	65	2.472	65	2.472
2050	420	15.952	210	7.978
	m ²		m ²	
2003	80		80	
2050	230		110	

南亚

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	1.1	0.6% ^L	1.1	0.6% ^L
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	59	2.255	59	2.255
2050	324	12.314	256	9.737
	m ²		m ²	
2003	40		40	
2050	150		120 ^L	

东亚

	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	8.5	4.7%	8.5	4.7%
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	112	4.241	112	4.241
2050	274	10.395	163 ^M	6.195
	m ²		m ²	
2003	180		180	
2050	310		180	

经合组织国家(太平洋)

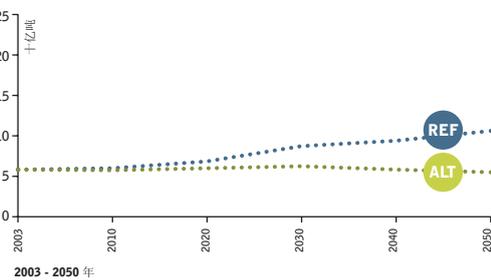
	REF		ALT	
	tn m ³	%	tn m ³	%
2005	2.5	1.4%	2.5	1.4%
	bn m ³	PJ	bn m ³	PJ
2003	120	4.575	120	4.575
2050	207	7.862	117 ^L	4.446
	m ²		m ²	
2003	610 ^M		610 ^M	
2050	1130 ^M		640	

二氧化碳排放

2003-2050年间参照情景和目标情景相比

十亿吨

来源: GPI/EREC

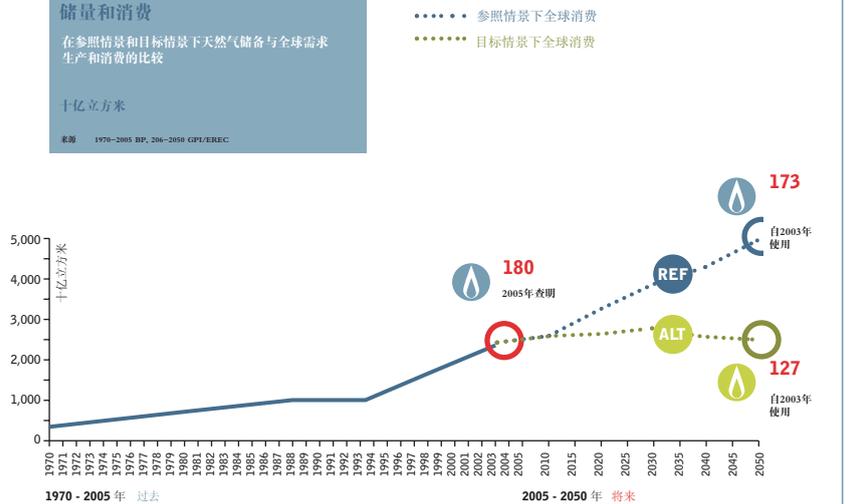


储量和消费

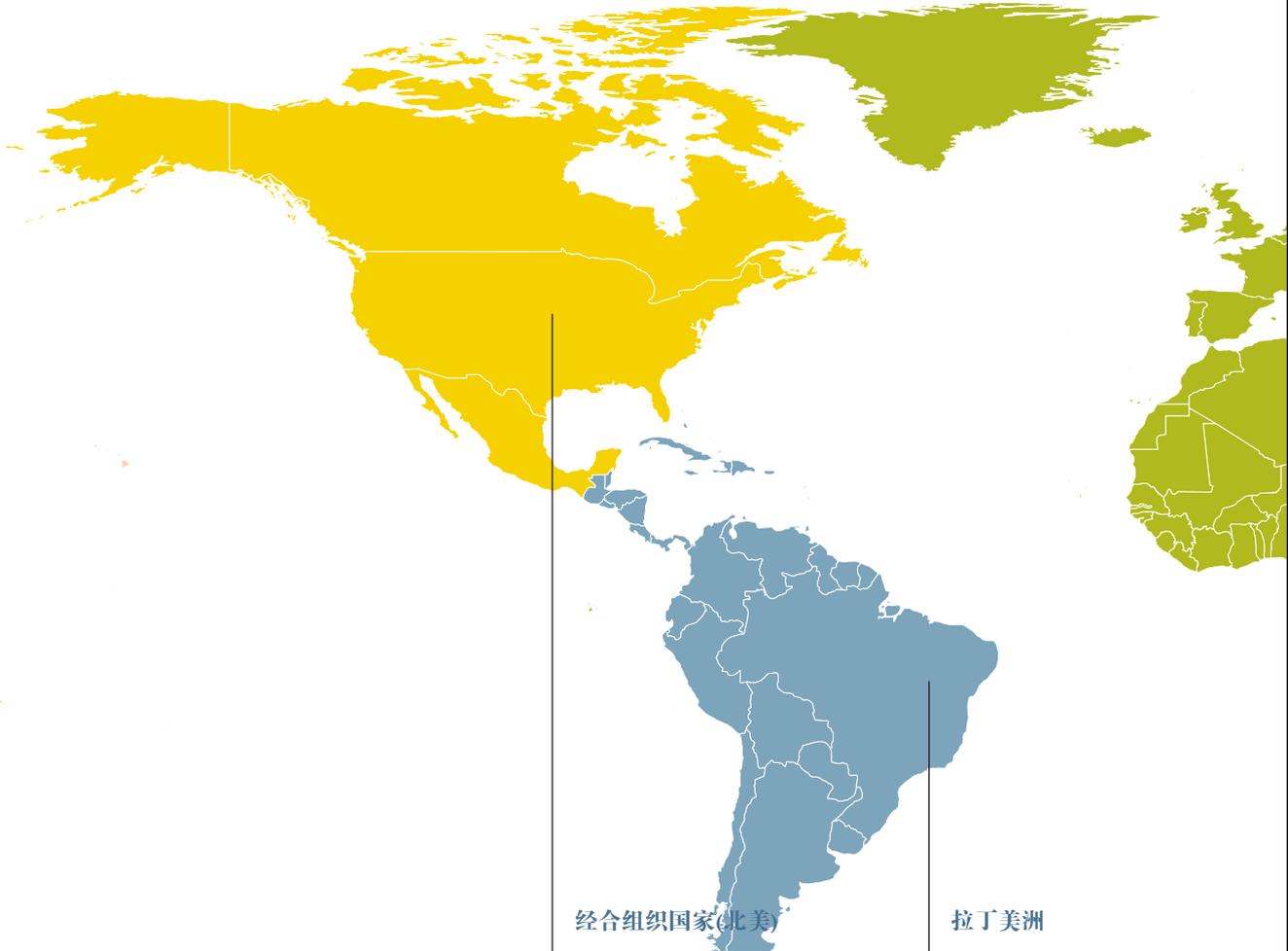
在参照情景和目标情景下天然气储备与全球需求生产和消费的比较

十亿立方米

来源: 1970-2005 BP, 206-2050 GPI/EREC



地图5: 煤炭参照情景与目标情景对比
全球情景



不可再生能源 煤炭

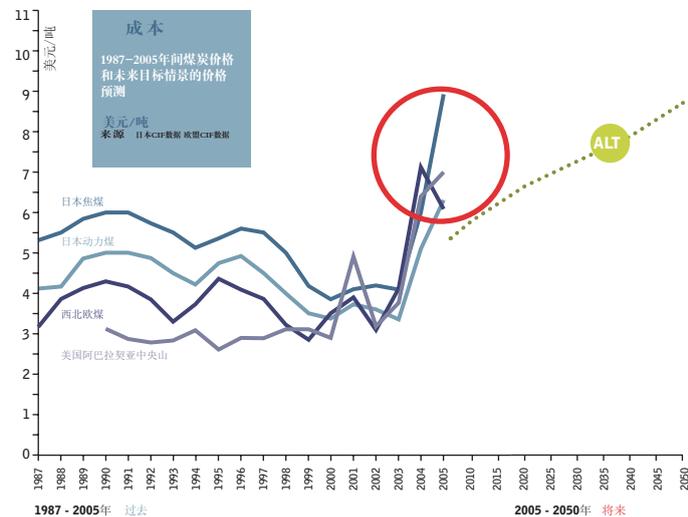
经合组织国家(北美)

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	254,432	28.0% ^H	254,432	28.0% ^H
2003	1,326	27,417	1,326	27,417
	2050	1,618	33,475	84
2003	3.1 ^H		3.1 ^H	
	2.8 ^H		0.1 ^M	

拉丁美洲

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	19,893	2.2%	19,893	2.2%
2003	38	869	38	869
	2050	217	4,997	17
2003	0.1 ^L		0.1 ^L	
	0.3		0.0 ^L	

图例



经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	61,972	6.8%	61,972	6.8%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	839	13,166	839	13,166
2050	1,197	25,539	71	1,635
	t	t		
2003	1.6	1.6		
2050	2.4	0.1		

中东

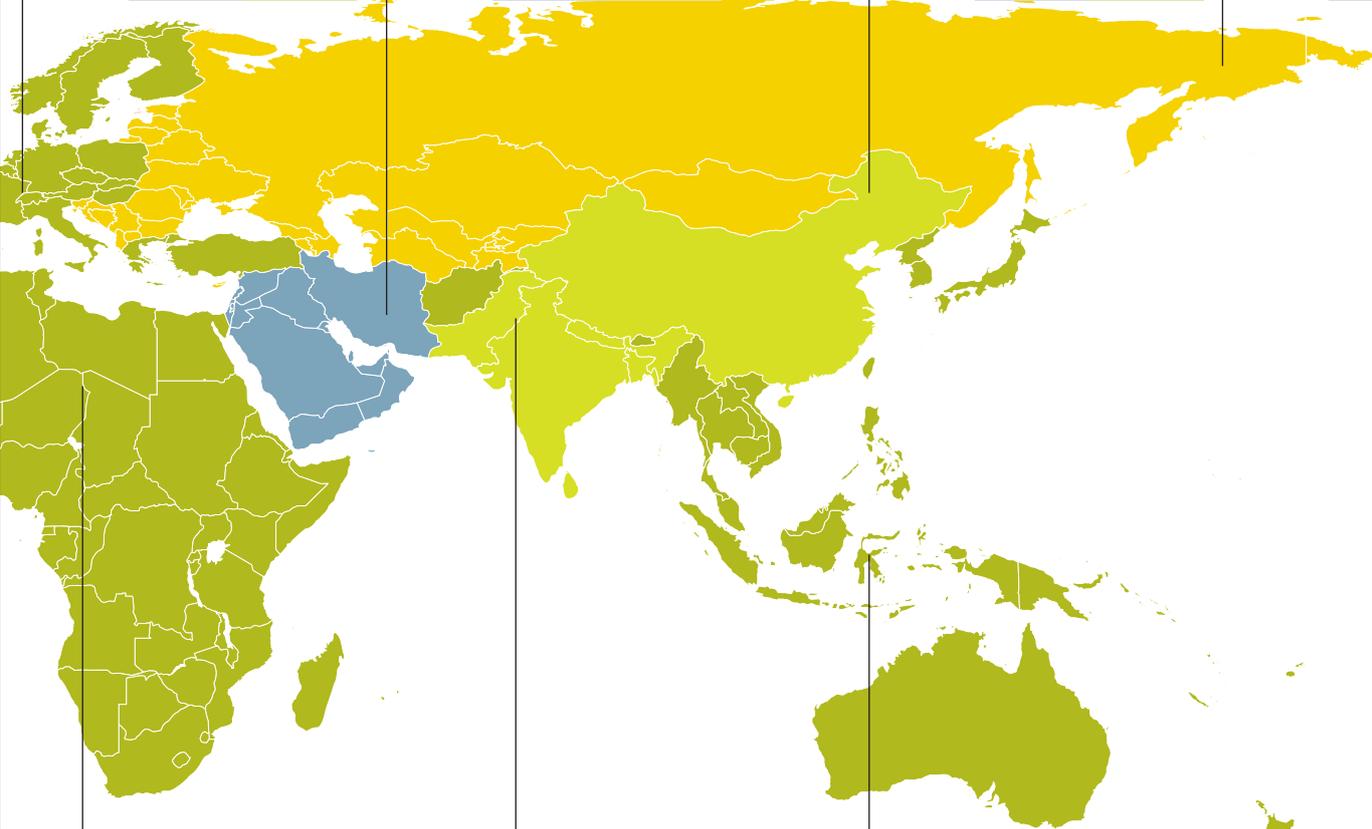
	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	419	0.0%L	419	0.0%L
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	17L	397	17L	397
2050	38L	861	9L	208
	t	t		
2003	0.1	0.1		
2050	0.1L	0.0		

中国

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	114,500	12.6%	114,500	12.6%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	1,400 H	32,241	1,400 H	32,241
2050	2,754 H	63,434	648 H	14,916
	t	t		
2003	1.1 M	1.1 M		
2050	2.0	0.5		

转型经济国家

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	225,123	24.8%	225,123	24.8%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	634M	9,957	634M	9,957
2050	391	6,923	27	628
	t	t		
2003	1.8	1.8		
2050	1.4 M	0.1		



非洲

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	50,336	5.5%	50,336	5.5%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	181	4,163	181	4,163
2050	727	16,732	225	5,171
	t	t		
2003	0.2	0.2		
2050	0.4	0.1		

南亚

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	95,495	10.5%M	95,495	10.5%M
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	362	7,727	362	7,727
2050	1,103	24,057	152M	3,500
	t	t		
2003	0.3	0.3		
2050	0.5	0.1		

东亚

	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	1,287	4.7%	1,287	4.7%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	190	3,990	190	3,990
2050	902M	17,944	44	1,006
	t	t		
2003	0.3	0.3		
2050	1.0	0.0		

经合组织国家(太平洋)

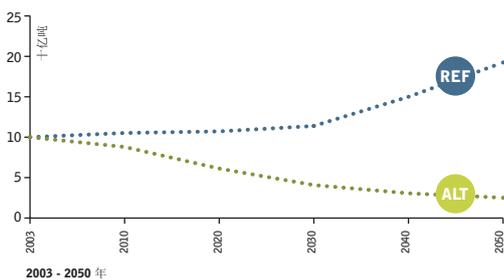
	REF		ALT	
	mn t	%	mn t	%
2005	79,510	8.7%	79,510	8.7%
	mn t	PJ	mn t	PJ
2003	382	7,975	382	7,975
2050	409	8,832	106	2,438
	t	t		
2003	1.9	1.9		
2050	2.2	0.6H		

二氧化碳排放

2003-2050年前参照情景和目标情景相比

十亿吨

来源: GPU/IEEC

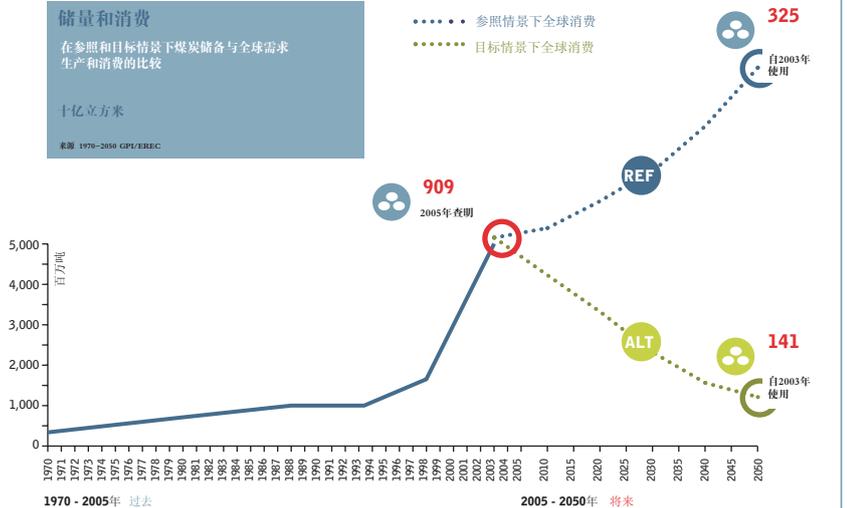


储量和消费

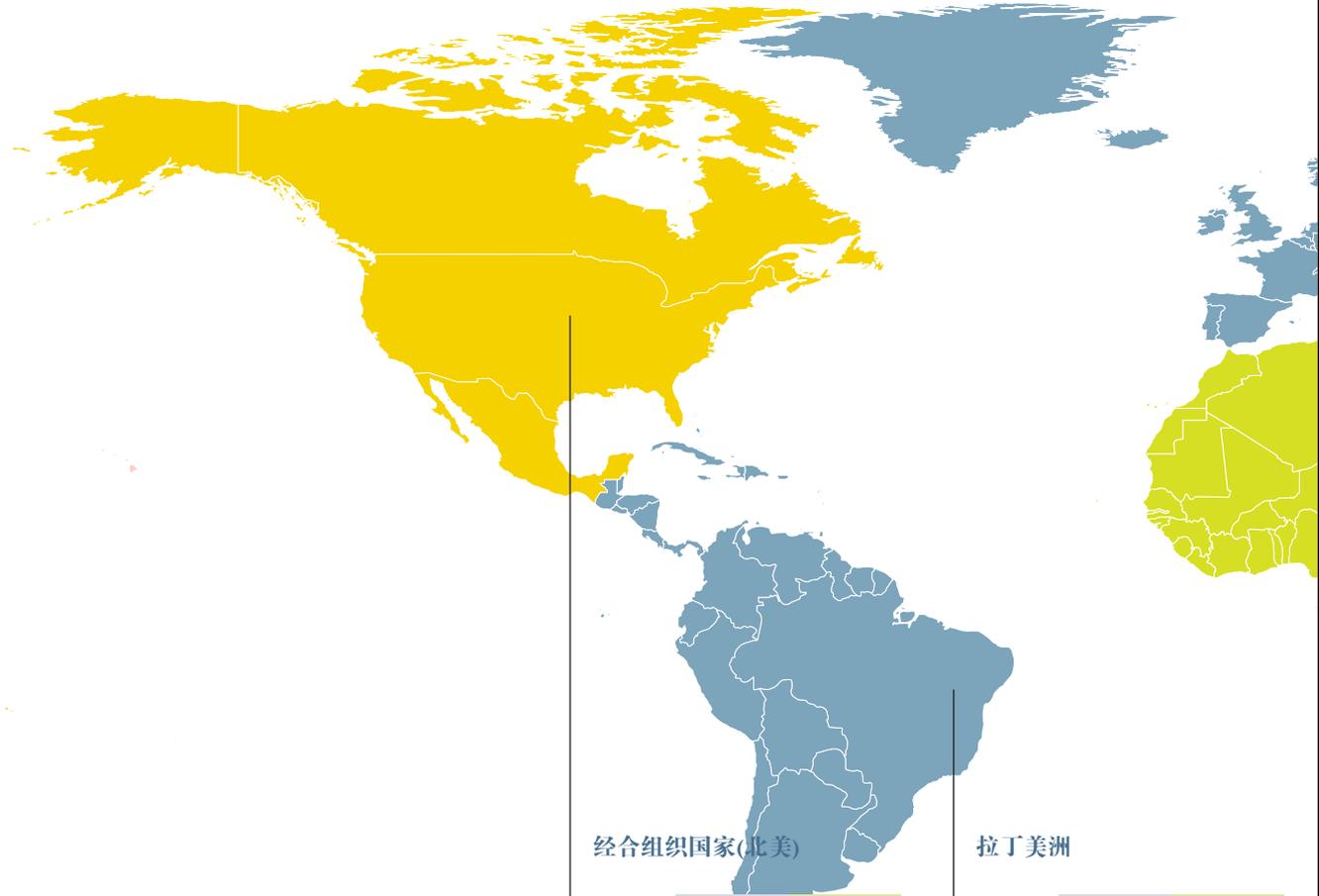
在参照和目标情景下煤炭储量与全球需求生产和消费的比较

十亿立方米

来源: 1970-2050 GPU/IEEC



地图6: 核能参照情景与目标情景对比
全球情景



经合组织国家(北美)

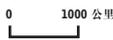
	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	680,109	21%	680,109	21%
	TWh		TWh	
2003	873		2030年退出	
2050	840 ^H		2030年退出	
	PJ		PJ	
2003	9,526		9,526	
2050	9,164 ^H		0	
	kWh		kWh	
2003	2,051 ^H		2,051 ^H	
2050	1,433		0	

拉丁美洲

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	95,045	3%	95,045	3%
	TWh		TWh	
2003	21		2030年退出	
2050	29		2030年退出	
	PJ		PJ	
2003	228		228	
2050	316		0	
	kWh		kWh	
2003	48		48	
2050	46		0	

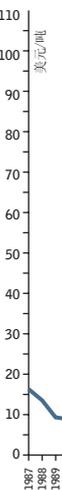
不可再生能源
核能

图例



- 资源总储量 吨 | 2005年底占全球份额 %
- 各地区产量 太瓦时 [TWh]
- 各地区消费 皮焦耳 [PJ]
- 人均消费 千瓦时 [KWh]

H 高 | M 中 | L 低



经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	56,445	2%	56,445	2%
TWh				
2003	981 ^H		2030年退出	
2050	385			
PJ				
2003	10,696 ^H		10,696 ^H	
2050	4,200		0	
kWh				
2003	1,859		1,859	
2050	756		0	

中东

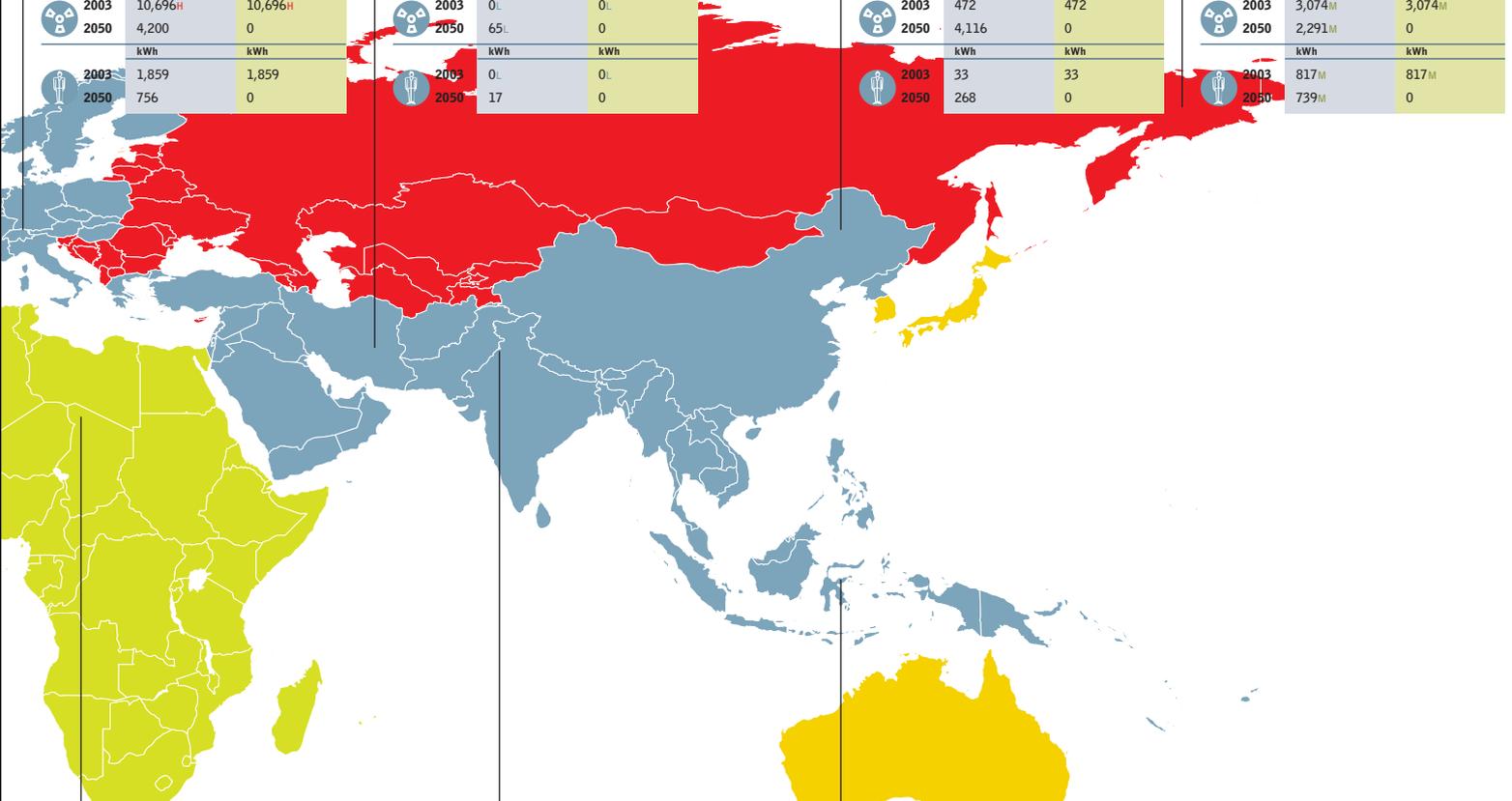
	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	0	0% ^L	0	0% ^L
TWh				
2003	0 ^L		2030年退出	
2050	6 ^L			
PJ				
2003	0 ^L		0 ^L	
2050	65 ^L		0	
kWh				
2003	0 ^L		0 ^L	
2050	17		0	

中国

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	35,060	1%	35,060	1%
TWh				
2003	43		2030年退出	
2050	377			
PJ				
2003	472		472	
2050	4,116		0	
kWh				
2003	33		33	
2050	268		0	

转型经济国家

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	997,487	31% ^H	997,487	31% ^H
TWh				
2003	282 ^M		2030年退出	
2050	210 ^M			
PJ				
2003	3,074 ^M		3,074 ^M	
2050	2,291 ^M		0	
kWh				
2003	817 ^M		817 ^M	
2050	739 ^M		0	



非洲

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	470,312	15% ^M	470,312	15% ^M
TWh				
2003	13		PHASED OUT	
2050	13			
PJ				
2003	139		139	
2050	142		0	
kWh				
2003	15		15	
2050	7 ^L		0	

南亚

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	40,980	1%	40,980	1%
TWh				
2003	20		PHASED OUT	
2050	190			
PJ				
2003	213		213	
2050	2,073		0	
kWh				
2003	14		14	
2050	86		0	

东亚

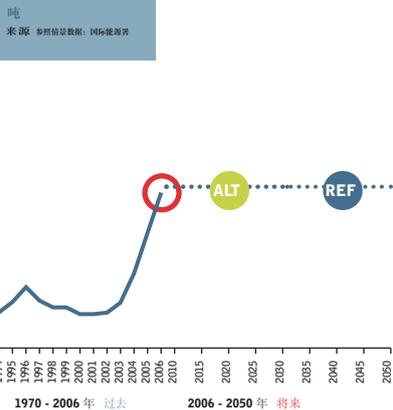
	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	5,630	0%	5,630	0%
TWh				
2003	39		PHASED OUT	
2050	70			
PJ				
2003	424		424	
2050	764		0	
kWh				
2003	62		62	
2050	79		0	

经合组织国家(太平洋)

	REF		ALT	
	t	%	t	%
2005	741,600	23%	741,600	23%
TWh				
2003	370		PHASED OUT	
2050	610			
PJ				
2003	4,033		4,033	
2050	6,655		0	
kWh				
2003	1,858		1,858	
2050	3,341 ^H		0	

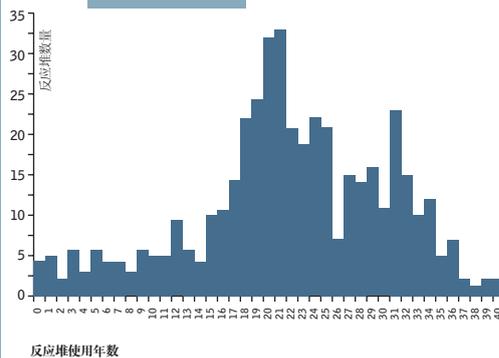
成本

1987-2006年间和未来核原料价格预测(参照和目标情景对比)



反应堆

全球反应堆使用年限及数量



产量

在参照和目标情景下核电产量与装机的比较

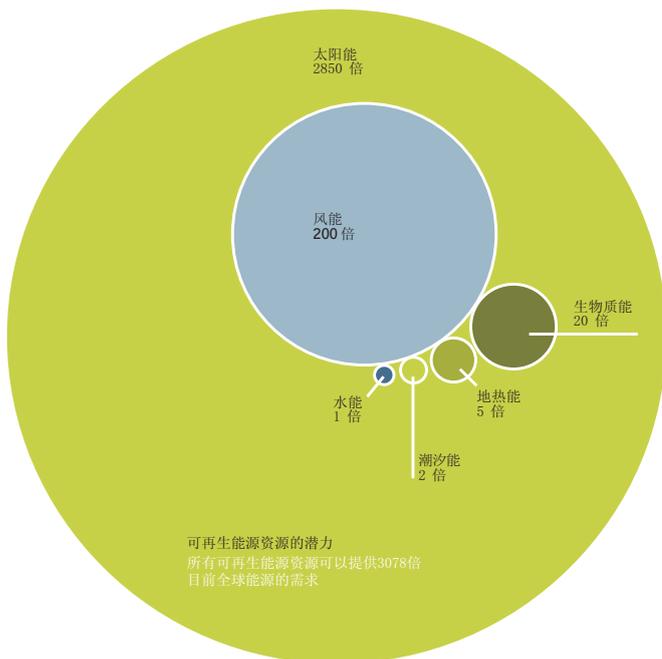


可再生能源

自然界为能源生产提供了多种广泛存在的选择。主要问题在于如何将太阳能、风能、生物质能尽可能高效、可持续和经济的转换成电力、热或其它能源。

到达地球表面的太阳能大约平均1000瓦/平方米。太阳能研究协会指出，来自可再生能源的能量相当于今天人类能源需求的2850倍。一天当中到达地球的太阳光可以满足目前人类8年的能源需求。即使其中仅有1%的潜在在技术上可行，它仍足够提供目前世界能源需求的将近6倍。

图表14: 全球能源资源



数据来源: 德国全球变化咨询委员会

表格12: 当前技术可开发能源量

可供全球能源需求量的5.9倍

太阳能	3.8 倍
地热能	1 倍
风能	0.5 倍
生物质能	0.4 倍
水能	0.15 倍
海洋能	0.05 倍

来源: JOACHIM NITSCH博士



能源资源潜力类型的定义¹⁰

理论潜力

理论潜力确定了某种资源能产生的能量的物理上限。例如对于太阳能来讲，是指到达某一表面的全部辐射。

转换潜力

来自于相应转换技术的年效率。它并非一个严格给定的数值，因为特定技术的转换效率要取决于技术的进步。

技术潜力

技术潜力是考虑到附加限制条件，可以用于能源生产的现实可行性。技术上、结构上、生态上的限制以及法律要求都要被考虑在内。

经济潜力

技术潜力中可以被经济的利用的部分称为经济潜力。以生物质能为例，其经济开发潜力包括与土地使用和其他产品相竞争，可以被经济有效的开发的数量。

可持续潜力

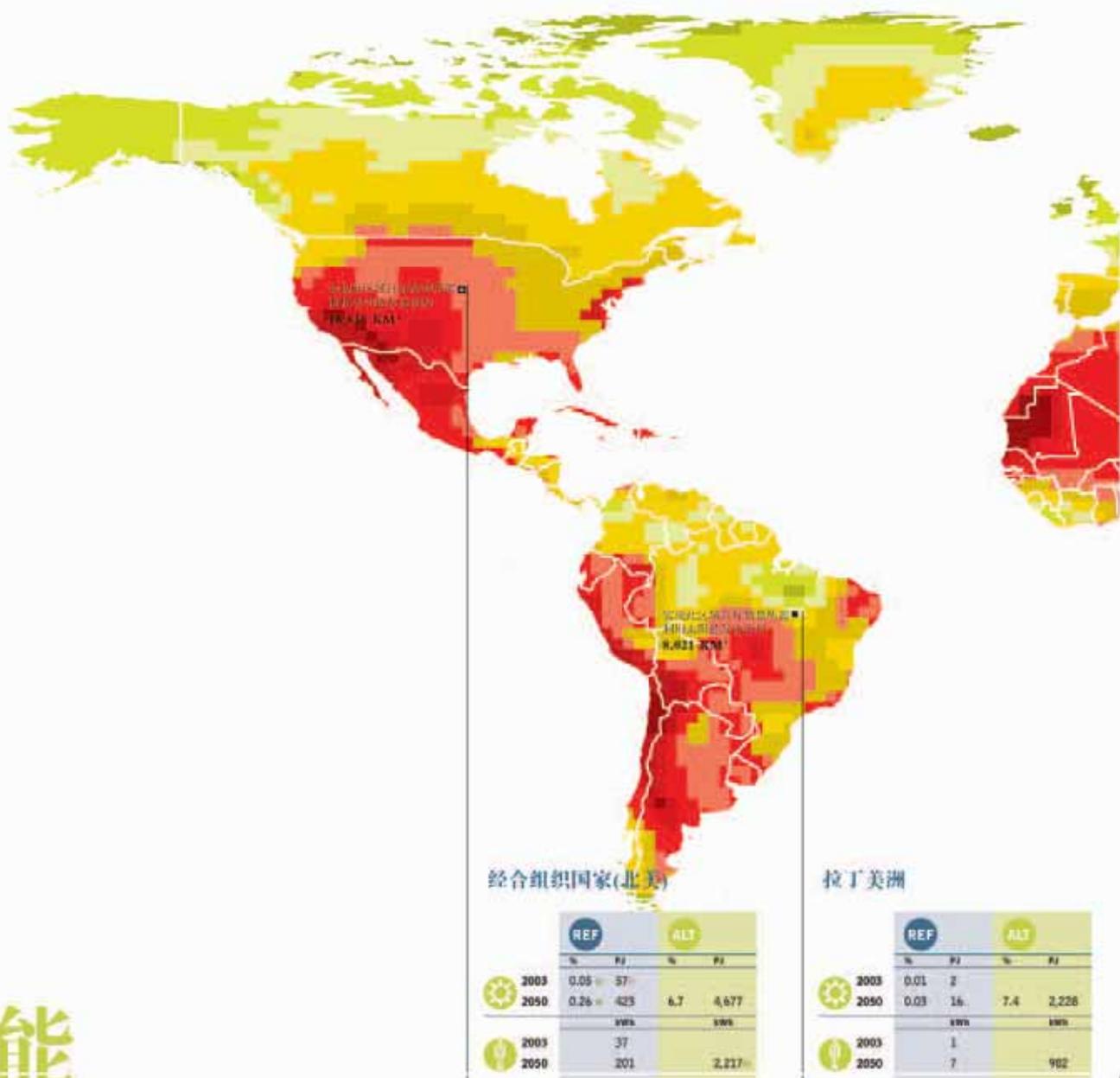
在生态和社会经济因素综合评价基础上，限制某种能源资源开发潜力。

所附的资源地图显示了已经证实可以开采利用的能源的区域分布。计算将全球以经纬度0.5度为单位划分成网格状。针对每一地表面积或每一划分区块及相对应面积得出相应潜力，这样保证了度量的单位总是“每单位面积的产出”。

注释

10 德国全球变化咨询委员会

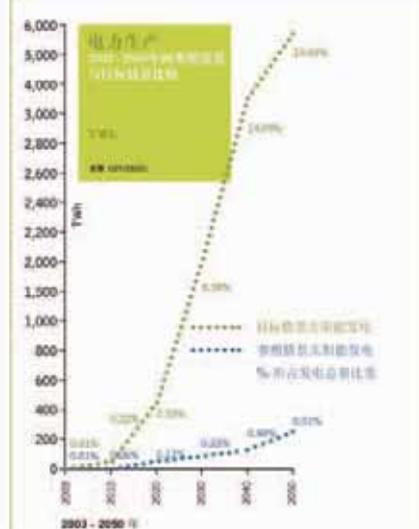
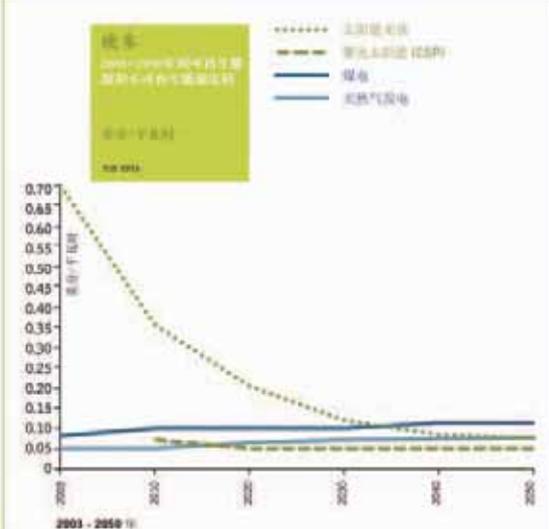
地图7: 太阳能参照情景与目标情景对比
全球情景



可再生能源

太阳能

图例



经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.05	39		
☀️ 2050	0.25	233	6	3,062
	100%		100%	
💡 2003		20		
💡 2050		127		1,671

中东

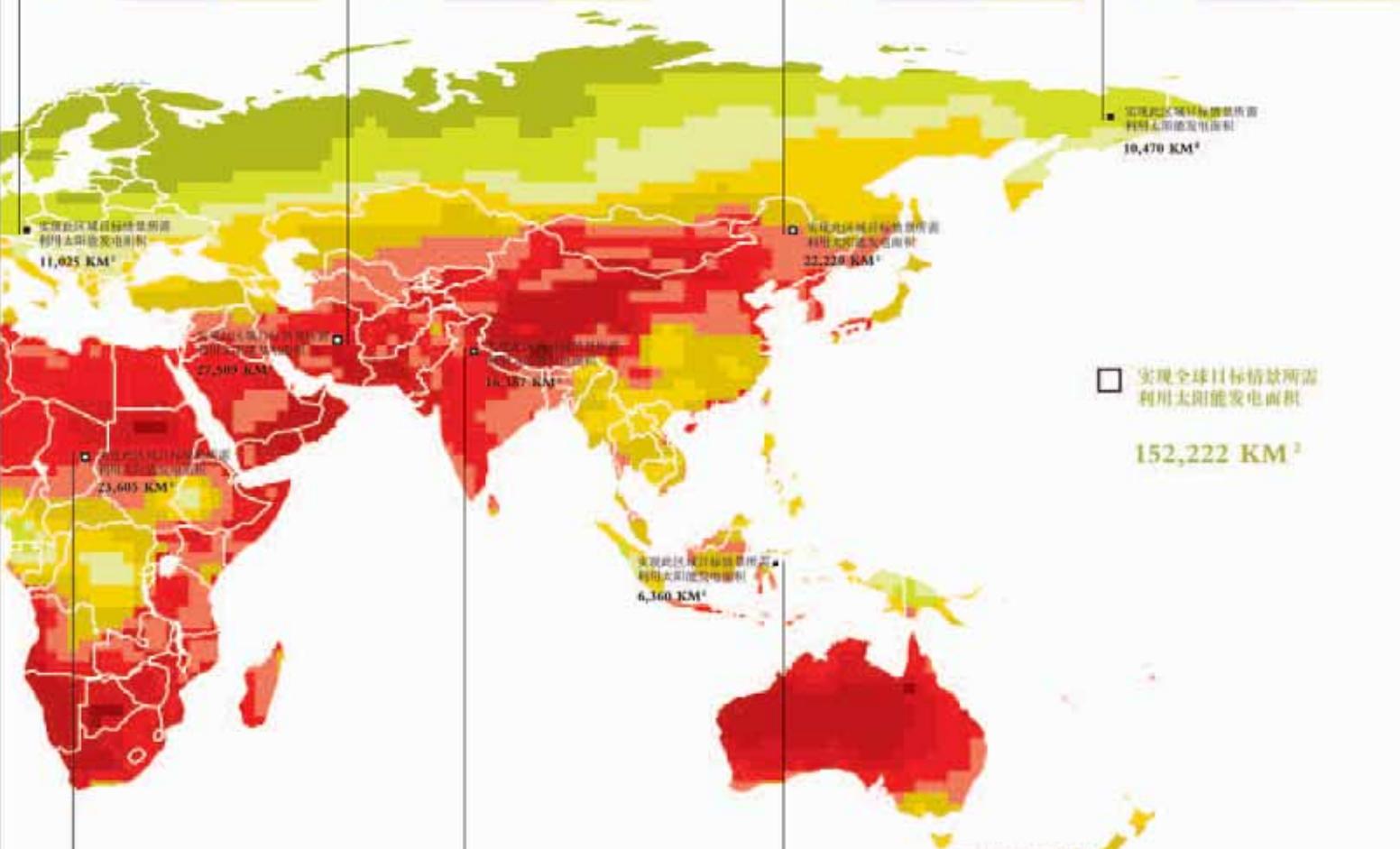
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.18	32		
☀️ 2050	0.32	125	38	7,441
	100%		100%	
💡 2003		49		
💡 2050		98		3,999

中国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00	0		
☀️ 2050	0.46	504	8.1	6,172
	100%		100%	
💡 2003		0		
💡 2050		115		1,218

转型经济国家

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00	1		
☀️ 2050	0.00	3	7.8	2,908
	100%		100%	
💡 2003		1		
💡 2050		3		2,844



非洲

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00	0		
☀️ 2050	0.17	127	14.9	6,557
	100%		100%	
💡 2003		0		
💡 2050		19		992

南亚

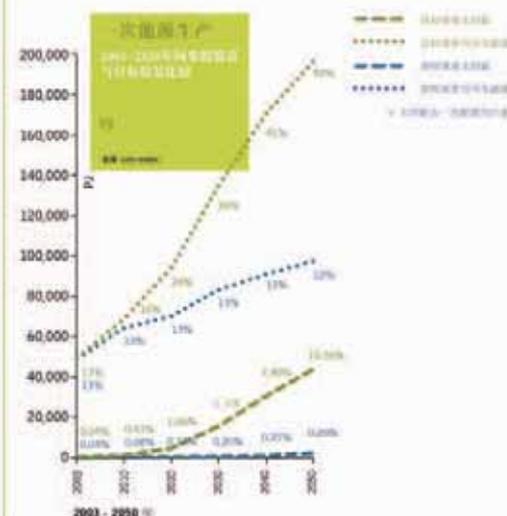
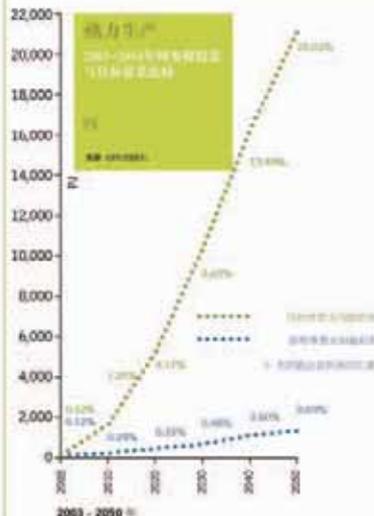
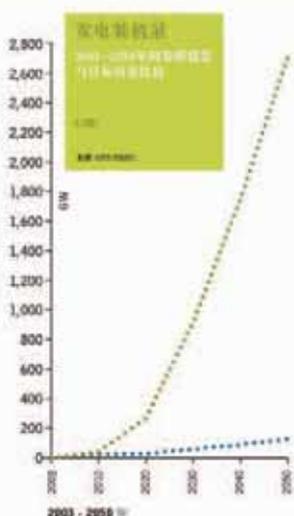
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00	0		
☀️ 2050	0.17	121	12.2	4,552
	100%		100%	
💡 2003		0		
💡 2050		15		572

东亚

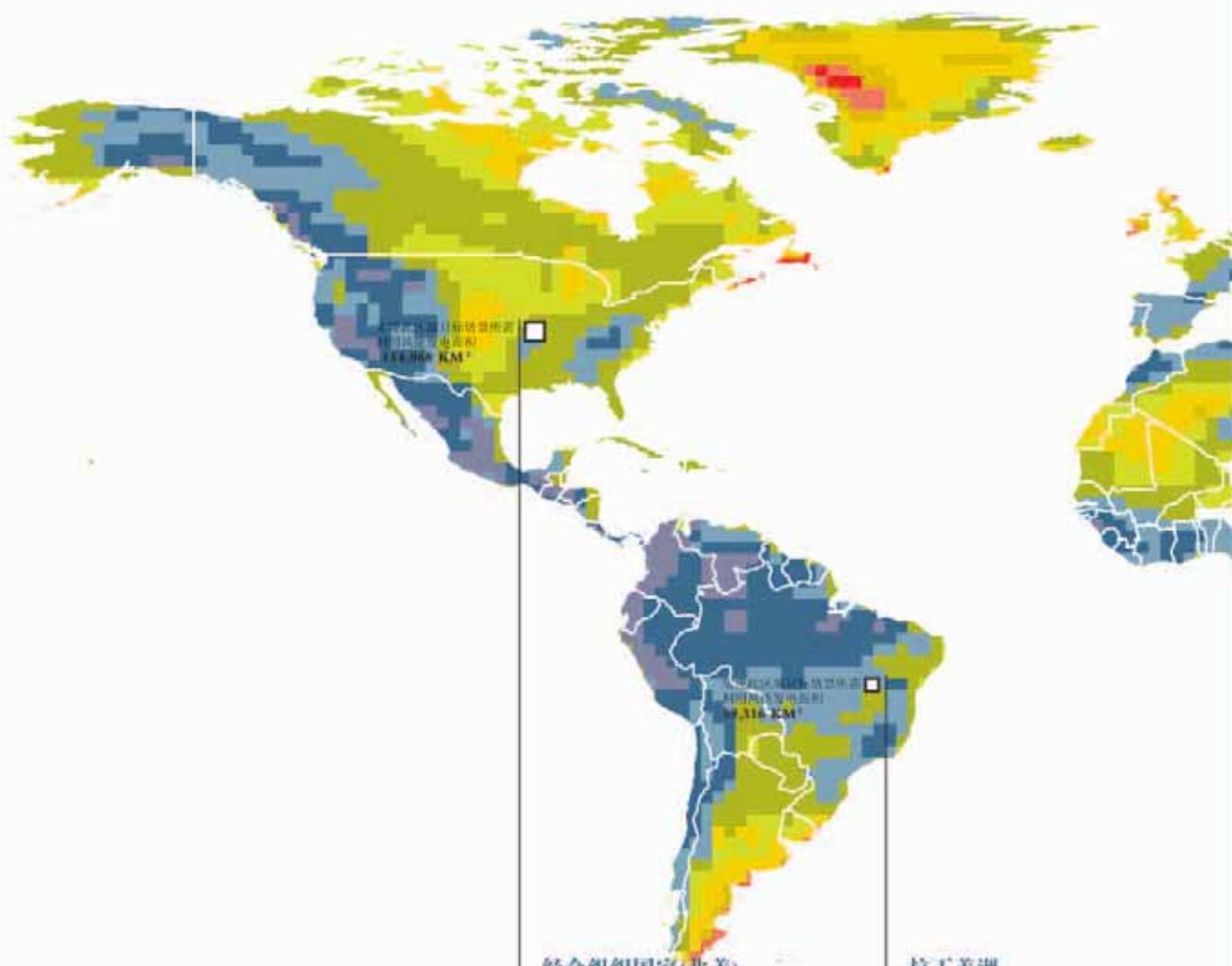
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.00	0		
☀️ 2050	0.39	235	5.5	1,767
	100%		100%	
💡 2003		0		
💡 2050		73		550

经合组织国家(太平洋)

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
☀️ 2003	0.09	31		
☀️ 2050	0.85	397	11.5	2,719
	100%		100%	
💡 2003		44		
💡 2050		604		4,137



地图8: 风能参照情景与目标情景对比
全球情景



经合组织国家(北美)

拉丁美洲

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.04	44		
2050	0.73	1,188	7.7	5,400
	GWh		GWh	
2003	29		2,559	
2050	563		2,559	

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.01	1		
2050	0.32	198	9.3	2,808
	GWh		GWh	
2003	1		1,238	
2050	87		1,238	

可再生能源

风能

图例



REF 参照情景

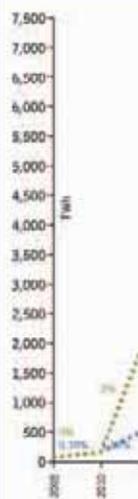
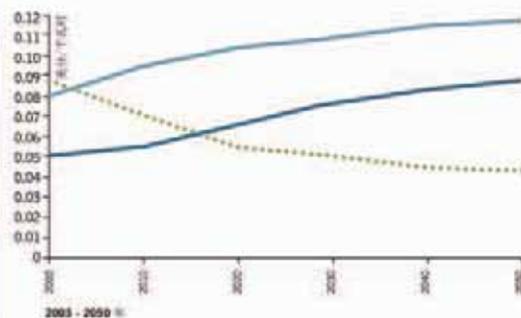
ALT 目标情景

0 1000 公里

各地区产量 占全球份额 % | 总装机容量 [PJ]

人均产量 千瓦时 [KWh]

H 高 | M 中 | L 低



经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.21	160		
2050	2.10	1,962	7.2	3,654
	100%		100%	
2003	84			
2050	1,071		1,994	

中东

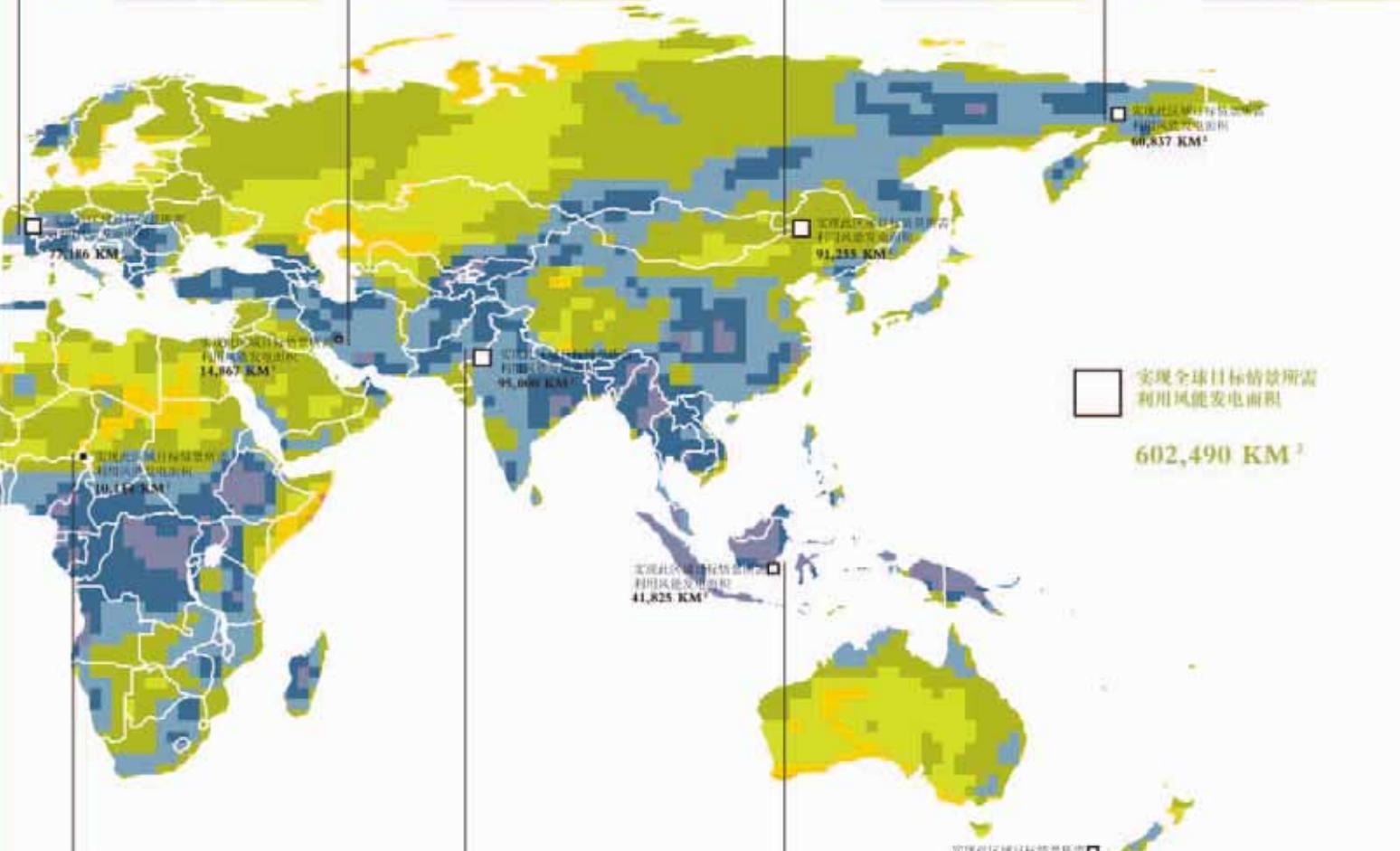
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.10	72	3.5	704
	100%		100%	
2003	0			
2050	57		553	

中国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.01	4		
2050	0.53	601	5.7	4,320
	100%		100%	
2003	1			
2050	135		853	

转型经济国家

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.21	139	7.7	2,000
	100%		100%	
2003	0			
2050	136		2,017	



非洲

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.01	2		
2050	0.14	104	1.1	479
	100%		100%	
2003	1			
2050	16		72	

南亚

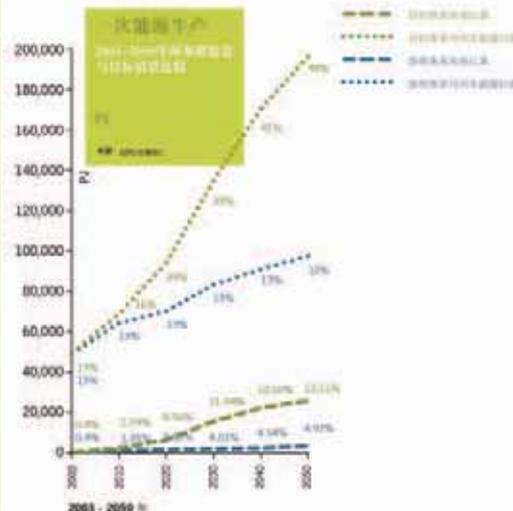
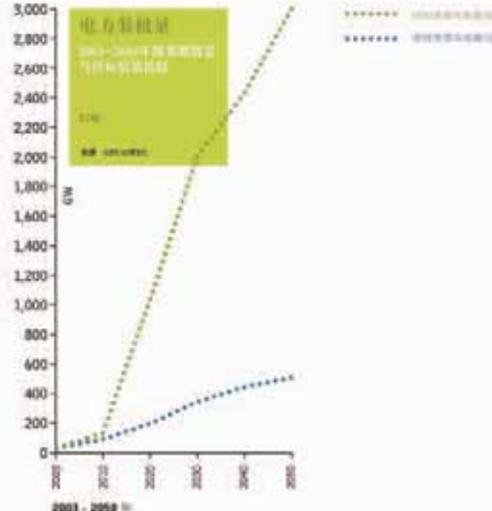
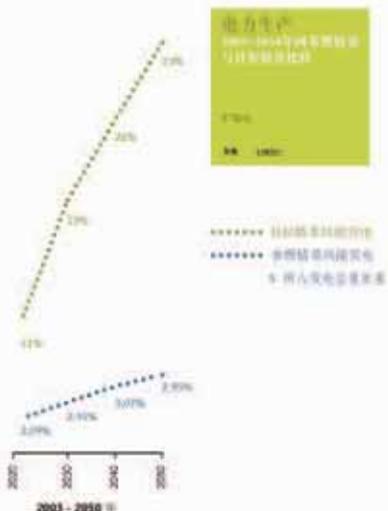
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.05	13		
2050	0.26	137	4.6	1,710
	100%		100%	
2003	3			
2050	17		215	

东亚

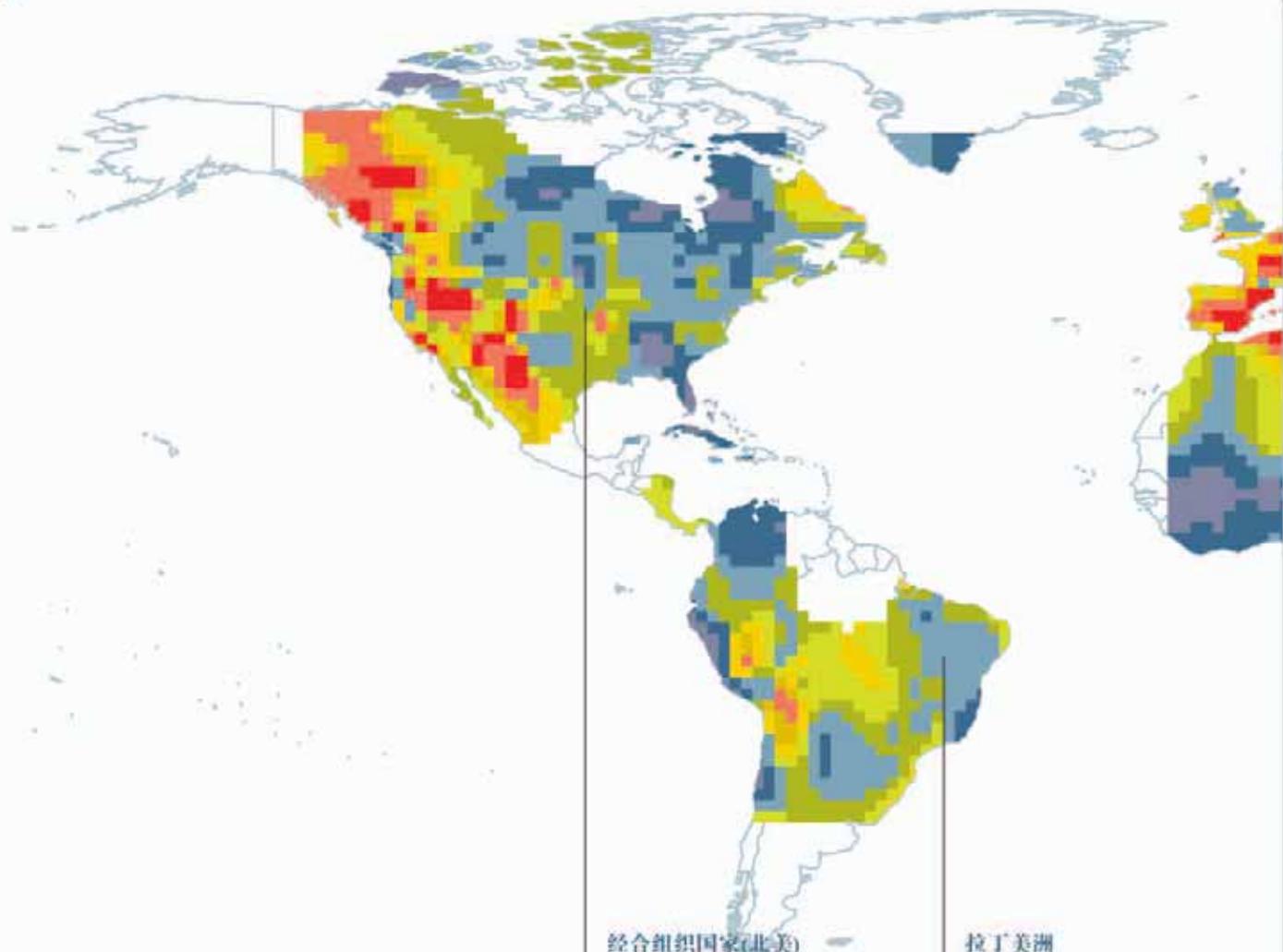
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.21	126	6.1	1,980
	100%		100%	
2003	0			
2050	29		619	

经合组织国家(太平洋)

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.02	6		
2050	0.69	324	7.6	1,800
	100%		100%	
2003	9			
2050	493		2,739	



地图9: 地热能参照情景与目标情景对比
全球情景



经合组织国家(北美)

拉丁美洲

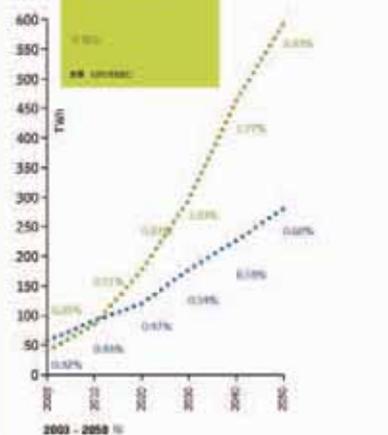
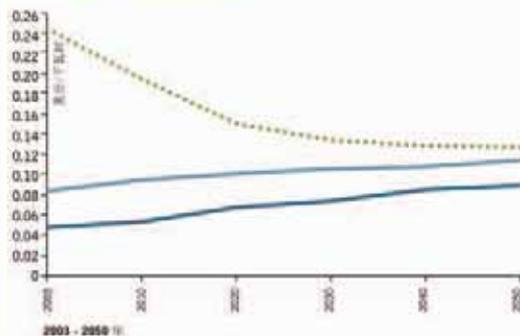
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.54	621		
2050	0.78	1,270	5.3	3,810
	TWh		TWh	
2003	405			
2050	602		1,806	

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.31	61		
2050	0.54	338	3.6	1,083
	TWh		TWh	
2003	38			
2050	149		478	

可再生能源

地热能

图例



经合组织国家(欧洲)

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.20	150		
2050	0.61	567	0.6	4,392
	100%		100%	
2003	79			
2050	310			2,397

中东

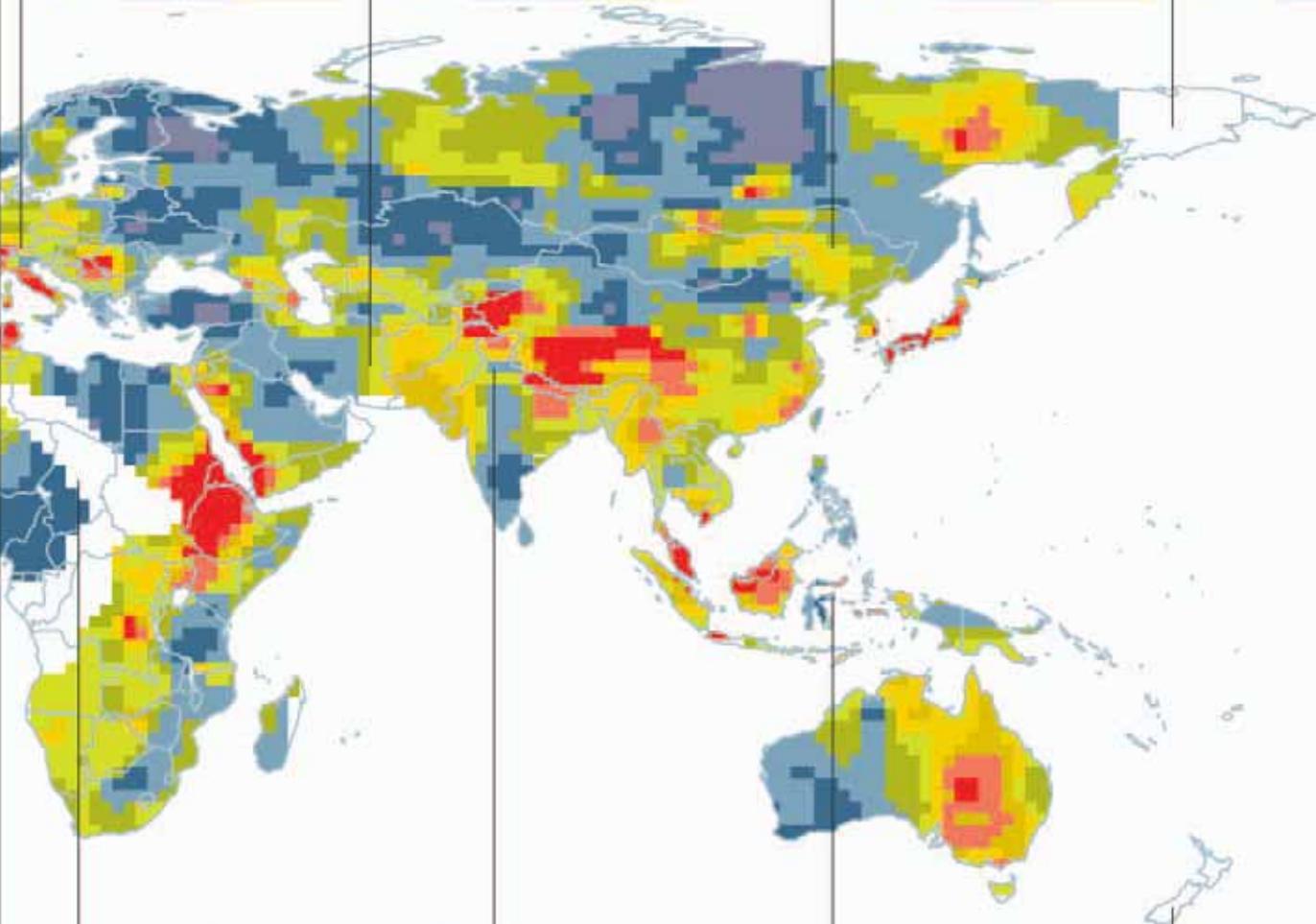
	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.00	1	6.07	1,384
	100%		100%	
2003	0			
2050	1			1,087

中国

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.06	76	0.12	93
	100%		100%	
2003	0			
2050	15			18

转型经济国家

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	2		
2050	0.30	201	7.8	2,930
	100%		100%	
2003	2			
2050	196			2,866



非洲

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.10	22		
2050	0.08	34	2.26	981
	100%		100%	
2003	7			
2050	5			148

南亚

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.00	0		
2050	0.17	122	4.02	1,480
	100%		100%	
2003	0			
2050	15			156

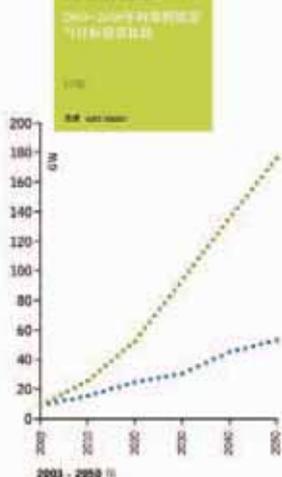
东亚

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	2.00	446		
2050	1.33	798	9.2	2,978
	100%		100%	
2003	199			
2050	249			931

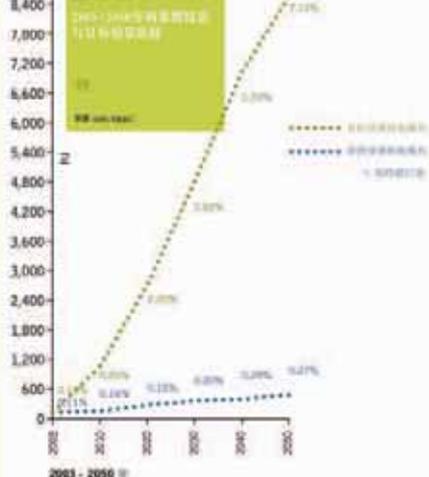
经合组织国家(太平洋)

	REF		ALT	
	%	PJ	%	PJ
2003	0.10	34		
2050	0.38	176	2.81	654
	100%		100%	
2003	48			
2050	268			995

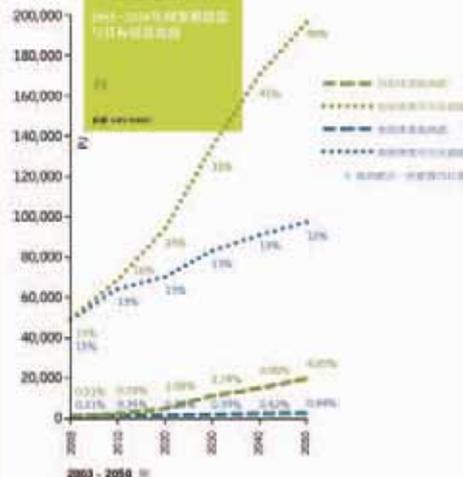
发电量



热力生产

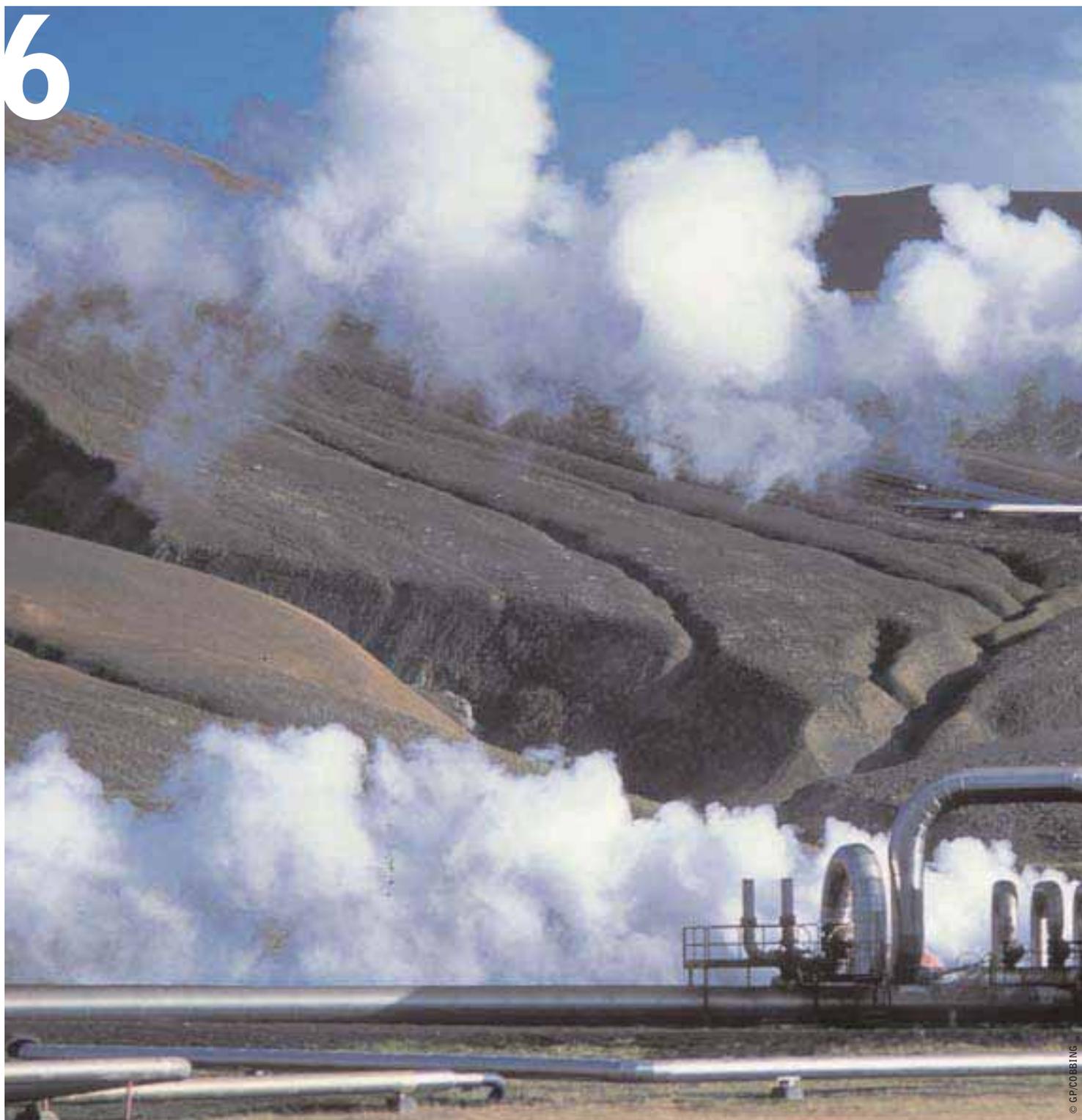


一次能源生产



第六章 能源技术

“能源革命情景的关注重点在于节约能源以及可再生能源发展的巨大潜力，主要针对发电及供暖部门。”



图片：冰岛西北部首都雷克雅未克附近的利用地热能的工厂。工厂后明显可见大片火山石。

图片：正在发电的地热发电厂



本章描述了目前和将来可以满足世界能源需求的各种可行的技术。能源革命情景强调能源节约和可再生能源的潜力，主要在电力和供热部门。虽然未来能源供应中考虑了交通部门的燃料使用，但这里并不对相关技术进行细节性阐述，例如车用生物燃料，这种燃料可以成为当前占主导地位的石油燃料的一种替代品。

化石能源技术

世界范围内最普遍的用于发电的化石燃料是煤炭和天然气。石油仍被用于无法获得其它燃料的地方，例如岛屿或者偏远的地方，只要是本土资源稀少的场合，石油都可以派上用场。目前，煤炭和天然气一起实现了全球一半以上的电力供给。

煤炭燃烧技术

在传统燃煤电厂里，粉末化的煤炭被吹进高温燃烧炉中。高温气体和产生的热量将在锅炉管道中流动的水转换为水蒸气，从而驱动蒸汽轮机发电。全球超过90%的燃煤电厂使用这种系统。火电厂的装机功率可从几百兆瓦到几千兆瓦不等。

已有大量技术应用在提高传统煤炭燃烧的环境表现上。包括煤炭清洁（减少浮灰）、增加外置设备及使用末端处理技术。它们可以减少燃煤产生的二氧化碳外的主要污染物的排放，如颗粒物、二氧化硫和氢氧化物。举例而言，烟气脱硫装置通常用碱性吸附泥浆来净化烟气，其成分主要是石灰和石灰石。在煤炭的燃烧方式上已出现许多重大变化，导致燃煤效率的提高及污染物排放的减少。这些方式包括：

- **整体煤气化联合循环技术（IGCC）**

煤炭并不直接燃烧，而是与氧气和蒸汽反应，形成由一氧化碳和氢气组成的合成气，合成气被净化后在燃气轮机中燃烧发电，同时产生蒸汽来推动蒸汽轮机。这一技术将煤炭燃烧效率从38%-40%提高到50%。

- **超临界和超超临界燃烧技术**

使用这种技术的火电厂的运行温度比传统燃烧方式更高，能效也提高至近50%。

- **流化床燃烧技术**

煤炭在一个含炉床的反应堆中燃烧，气体通过炉床进入反应堆以保持燃料处于强烈运动状态。该技术可以改善燃烧、热转和废品回收。通过提高“燃烧床”内的压力，高压气流可驱动气轮机发电。这种技术可大大减少二氧化硫和氮氧化物的排放量。

- **高压粉化燃煤技术**

该技术主要在德国发展，它燃烧彻底粉碎的煤炭微粒，产生高压、高温气体来发电。与联合循环燃烧系统类似，热烟气体被用来产生电力。

其它潜在的未来技术也包括增加使用气化煤炭。例如，地下煤炭气化可以将深层地下未开发的煤炭转换成易燃烧的气体，用以工业供热、发电或者生产氢气、合成天然气以及其它化学物质。煤炭气化后的气体可以通过处理，使其在到达终端使用者前分离出二氧化碳。示范项目正在澳大利亚、欧洲、中国和日本进行。

天然气燃烧技术

天然气可以通过燃气轮机或者蒸汽轮机来发电。在产生同等数量热量的同时，燃烧天然气所产生的二氧化碳比煤炭约少45%。

在联合循环模式中，燃气轮机和蒸汽轮机混合使用的发电效率非常高。在燃气轮机联合循环电厂，燃气轮机发电机生产电力，同时产生的废气将用于生产蒸汽进而继续发电。现代燃气轮机联合循环（CCGT）电站的效率可以达到50%以上。大多数九十年代后新建的天然气发电厂都是这种类型。

直到最近全球天然气价格升高，燃气轮机联合循环（CCGT）电站在许多国家都是最便宜的电力生产方式。资本投入明显低于煤电站和核电站，而且建造周期短。

碳储存技术

只要煤炭和天然气燃烧，就会产生二氧化碳。即使电站类型不同，总有大量的二氧化碳将被排放到空气中，致使气候变暖。一个无烟煤火电站每生产一度电会排放大约720克的二氧化碳，而一个现代天然气电站的相关数字为370克二氧化碳。一些支持使用煤炭的人提出了一种新技术以减少煤电厂的二氧化碳排放。在这种情况下，二氧化碳必须先被分离出来，然后被气泵灌入地下。碳捕获及碳储存技术都有其局限性。即使采用尚在提议中的碳捕获技术，发一度电产生的剩余60-150克二氧化碳仍旧被排放到大气中。

二氧化碳储存

在燃烧点被捕获的二氧化碳必须被储存在某处。目前的想法是将其埋藏在海底或地球表面3000英尺以下的地方。但是，像核废料储存的难题一样，争论在于问题是否仅是被转移到了另一个地方。

海洋储存的危险

在海洋中储存二氧化碳可能导致大片海水快速“酸化”（PH值降低），这样做即使不是对整个海洋生态系统造成影响，也会对污染区附近的许多海洋生物带来威胁。以这种方式埋藏的二氧化碳可能会在相对短期内回到大气中。海洋既是丰富的资源，也是当代和未来人类共同拥有的需要保护的自然资源。考虑到应对二氧化碳排放方法的多样性，将二氧化碳直接埋藏到大洋中、海床、湖泊和其它开放水体里的做法都应该被摒弃。

地下储藏的危险

寿命结束的石油和天然气田留有許多在开采和生产期间钻探的洞。这些洞必须被封起。通常方法是用特殊的水泥。但是二氧化碳与水、金属和水泥都容易发生反应，所以即便目前将钻井洞封住，依然存在安全隐患。对于许多专家来讲，问题并不是是否，而是什么时候二氧化碳泄露将发生。

由于在二氧化碳储存方面缺乏经验，其安全性经常和天然气的相比。天然气储存的技术经数十年实验和测试，被业界认为是低风险的。但是绿色和平并不这样认为。世界各地都曾发生过严重的燃气装置泄露事故，有时不得不驱散周围的居民。

当大量的二氧化碳爆炸式泄露时，可能致命。二氧化碳本身无毒，存在于我们呼吸的空气中（约0.04%）。但随浓度增加，它将取代空气中的氧气。一旦空气中二氧化碳浓度达到7%或8%，在30至60分钟后可能导致人类窒息死亡。

当大量的二氧化碳爆炸式泄露时，也有健康危险。通常二氧化碳在泄露后会很快散开，但它可以在一定区域或建筑物中形成低气压，因为二氧化碳比空气重。当散开速度较慢，或者发生在居住区域而没有被注意时（比如地下室），危险性也同样存在。

这类的泄漏危险从自然界中火山爆发释放出大量二氧化碳的情况就可略知一二。1986年，在喀麦隆，一个叫尼奥斯的火山湖爆发，喷射出大量气体致使1700人死亡。另外，在过去的20年中，意大利拉齐奥地区至少10人死于二氧化碳的泄露。

碳储存和气候变化目标

碳储存有助于气候变化减排目标的实现吗？为了避免危险的气候变化，到2050年，我们需要减少50%的全球二氧化碳排放。实施二氧化碳储存的电厂仍然不断兴建，然而广泛可行要在10余年后。这意味着碳储存技术最早在2020年才能对气候变化的改变有贡献。

二氧化碳储存技术并无助于经合组织国家到2050年实现80%的减排目标。即使碳储存技术在2020年切实可以应用，那时世界上大多数的新电厂将刚刚完成现代化改造。那时我们能够做的是翻新既有的电厂，从废气流中捕获二氧化碳。因为在已经运行的电厂实施改造是非常昂贵的，所以需要较高的碳交易价格作为经济动力。

实施二氧化碳捕获也会提高化石能源发电价格。虽然储存的成本依赖于很多因素，包括用于分离、传送的技术和储存装置的种类，来自于联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的专家们计算出其额外成本为3.5-5.0美分/千瓦时。由于在风资源丰富地区的现代风机已能与新建的煤电厂在成本上相抗衡，碳捕获和储存成本将居于高位。这意味着相关技术将使目前电力成本翻番。

结论

可再生能源已经是可以利用的，在很多情况下还更廉价，而且没有像化石燃料的发掘、运输和处理一样带来负面的环境影响。所以应该在全世界范围内促进可再生能源、能效发展及节约能源，而不是碳的捕获和储存；这样才能停止燃烧化石能源这一气候变化的最大元凶。绿色和平反对在碳捕获和储存上的投入，因为它们会导致：

- 破坏或可能破坏现有全球和区域海洋废物处置的法律基础，这里的海洋包括海水和海床以下所有部分
- 以可再生能源和能效为代价的，对化石能源领域持续甚至增长的资金支持
- 可再生能源、能源效率及节约能源改进的停滞不前
- 推动这一可能的未来技术作为唯一的解决气候变化的主要手段，将导致化石燃料尤其是褐煤和黑煤电厂的继续发展；以及中短期排放的增长



核能技术

核能发电是将人为控制的核裂变产生的热传送到常规的蒸汽涡轮发电机，从而产生电力。核能反应发生在一个反应堆中心，周围有多种不同设计和结构的安全壳环绕。热量通过冷却介质被从反应堆中心移出，反应由减速器来控制。

过去20年当中，全球建设新核电厂的步伐在放慢。这是很多因素引起的：三里岛、切尔诺贝利和文殊等地发生核泄漏后人们对核事故的恐惧；不断增强的经济和环境因素检查，如核废料管理和核辐射程度规定等。

核反应堆设计、变革和安全问题

2005年初，全球31个国家，有441个原子能反应堆。虽然他们有十多种不同的反应器设计和型号，但目前正在应用或在发展之中的反应堆主要有三类：

第一代：上世纪50和60年代发展而来的典型商业反应堆，由为潜艇提供推动力或者生产钚元素的军用核反应堆改造和扩大发展而来。

第二代：在全球商业运作的情形下的主流反应堆设计。

第三代：正在被建造的新的反应堆。第三代反应堆包括所谓的“高级反应堆”，已有三个在日本运行，还有更多的正在建设和规划当中。据报道，现有20个不同设计的反应堆正在发展当中¹¹，他们中的多数被称为“革命性”的设计，是在第二代反应堆基础上所做的一些修改，但是并没有引入根本变化。它们中的一些代表了更加创新的方法。世界原子能联合会认为第三代反应堆有以下特点：

- 1 为加速专利转让、减少资本投入和加快建设周期的标准化设计
- 2 更为简单、粗糙的设计，以使反应堆更易操作、降低操作混乱的可能性比率
- 3 更高可靠性和更长的使用寿命，通常是60年

- 4 降低反应堆中心部分熔化事故的几率
- 5 把对环境的影响降至最低
- 6 更高的燃烧率来减少燃料使用量和产生废料的数量
- 7 可燃吸收体来延长燃料使用寿命

与经济增长的确定性相反，在多大程度上这些目标可以有助于解决核反应堆的高安全标准问题仍然不清楚。

从最近的第二代核技术发展而来的欧洲压水反应堆（EPR）已经开始在法国和德国应用¹²。这表明改进核电技术的目标包括要提高安全标准（特别是将严重事故发生的可能性降低十倍）、将严重核事故影响尽量限制在核电站内部的适应性策略以及减少成本。相比之前的技术，欧洲压水反应堆显示出以下几个变化：

- 通过简化应急反应堆核心的冷却系统的布局设计及使用旨在预测事故中的弱氢反应的新的计算结果等两种方法缩小了反应堆本身的体积
- 通过增加反应堆核心出口的温度，使主体冷却泵以更高能量运行，并改进蒸汽发生器，使电站的热产出与法国的反应堆相比增加了15%
- 与德国二代反应堆相比，欧洲压水反应堆在安全系统中使用的重复序列更少

由于有实质性的安全标准提高，有几个改进得到大家的欢迎，包括控制停机事故的堆芯收集器系统。虽然如此，尽管有被认可的变化，但并不能保证欧洲压水反应堆的安全标准确实是显著提高了。尤其芯熔几率减低10倍的说法不能证实。另外，对于用堆芯收集器来适应和控制核芯熔化事故是否有效，还有相当的质疑。

最后，第四代反应堆目前正在研发，目标是在未来的20-30年之内达到商业应用。

注释

¹¹ 国际原子能机构 2004年

¹² HAINZ 2004年

可再生能源技术

可再生能源包括一系列自然资源，它们可以持久再生，并且与化石能源和铀不同，永远不会枯竭。多数的可再生能源源于太阳和月亮对地球天气结构的影响。它们不产生“传统”燃料的伴生物——有害排放物和污染物。尽管从上个世界中叶以来，水电已经被工业化规模利用，但是其它可再生能源步入正轨的开发仍是最近的事情。

太阳能(光伏)

全球有足够的太阳能辐射可以满足人们对太阳能系统不断增长的需求。到达地球表面的太阳能相当于人类目前能源使用的2850多倍。全球平均每平米地表有足够太阳辐射，每年可以产生1700度的电力。在欧洲，这个数字大约为1000度/年，而中东地区则是1800度/年。

光伏技术是用光来生产电。这个过程机理是使用能够释放电子的半导体材料，带电负离子形成电荷基础。最常用的半导体材料是硅，该元素一般在沙子中可以发现。所有的光伏电池板至少有两层半导体，一层带正电，一层带负电。当光照射在半导体上时，连接两个带电层的导电区将产生电流。阳光照射强度越高，产生的电流越强。因此太阳光伏系统运行并不需要明亮的阳光，即使在多云天气也能发电。太阳光伏电池不同于太阳能集热系统，后者通常利用太阳辐射来加热室内或游泳池里的水。

光伏系统的类型：

1 并网型

对于发达国家的家庭和商业用户来讲，最流行的太阳能光伏系统是并网型的。它与当地电网连接，允许生产出的多余电量卖到电网中。没有日光的时段，电力可以从电网内送回来。还有一个将直流电转换交流电的转换器，用以满足一般电气设备的使用。

2 电网支持型

这个系统可以与当地电网或者备用电池联结。任何在蓄电池被充满后生产的多余的太阳能电力可以卖到当地电网中。对于那些电力供应不可靠的地区，这种系统非常理想。

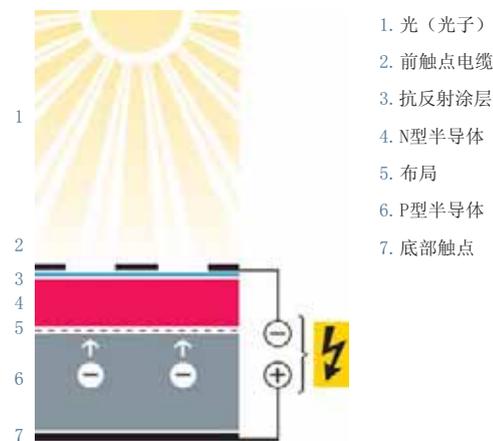
3 离网

这种系统完全独立于电网，是通过一个充电控制器和电池相连；电池储存电力并供电。一个转换器可以用于提供交流电，使一般家电都可以使用。典型的离网应用是用于移动电话中继站或者农村电气化方面的中继站。农村电气化指采用满足基本电力需求的小型太阳能家用系统，或太阳能微型电网，后者指提供几户人家电力需求的较大的太阳能发电系统。

4 混合系统

太阳能系统可以和另外的能源资源混合，例如生物质能发电机、风力发电机或者柴油发电机，来保证稳定的电力供应。混合系统可以用于离网型、并网型、或者网络支持型。

图表15: 光伏技术



集中式太阳能电厂（CSP）

集中式太阳能电厂也叫太阳热电厂，发电方式与传统电站很相似。不同的是集中式太阳能电厂通过集聚太阳辐射来获取能量，将其转换成高温蒸汽或气来带动涡轮机或者发电机。大镜子集中太阳光于一点或一线。集聚的热量用于产生蒸汽。这种高温、高压的蒸汽来驱动涡轮机发电。在太阳能丰富的地区，集中式太阳能电厂（CSP）能保证较高发电份额。

四个主要因素是必须的：聚能器、接收器、某种转送媒介或储存装置和（直流-交流电）转换器。许多不同类型的太阳热发电系统可用，包括与其它再生和非再生能源技术结合的，但是三种最有发展前途的太阳能热发电技术是：

- **抛物面槽集热器**

抛物面槽镜反射器将太阳射线集中于置于抛物面焦点的一束热效接收管。热转换液体，如合成热油，在接收管中循环。集中的太阳能将这些油加热到摄氏400度，然后抽入一组热交换器中来生产高热蒸汽。蒸汽在传统的蒸汽涡轮发电机中被转化成电能，这可以是传统蒸汽循环的一部分，或者与蒸汽、燃气联合涡轮发电循环整合起来。

这是最为成熟的技术，自从上世纪八十年代，有累计35.4万千瓦装机的太阳热发电厂与加利福尼亚南部电网连接。并且目前全世界安装了超过200万平方米的抛物面槽集热器。

- **中央接收器或太阳能塔**

日光反射装置的圆形排列（大型单独追踪镜）用来集聚阳光到装配于塔顶部的中央接收器。热转换媒介吸收由日光反射装置反射的高强度辐射，并将其转化成热能，热能产生用于涡轮机运行的高温蒸汽。直到目前，热转换媒介包括水/蒸汽，熔盐、液化钠和气体。如果高压燃气或气体作为热转换媒介用在大约摄氏1000多度的高温环境下，那么它们甚至可以用来直接替代燃气轮机中的天然气，这样可以达到现代燃气和蒸汽循环的极高效率（超过60%）。

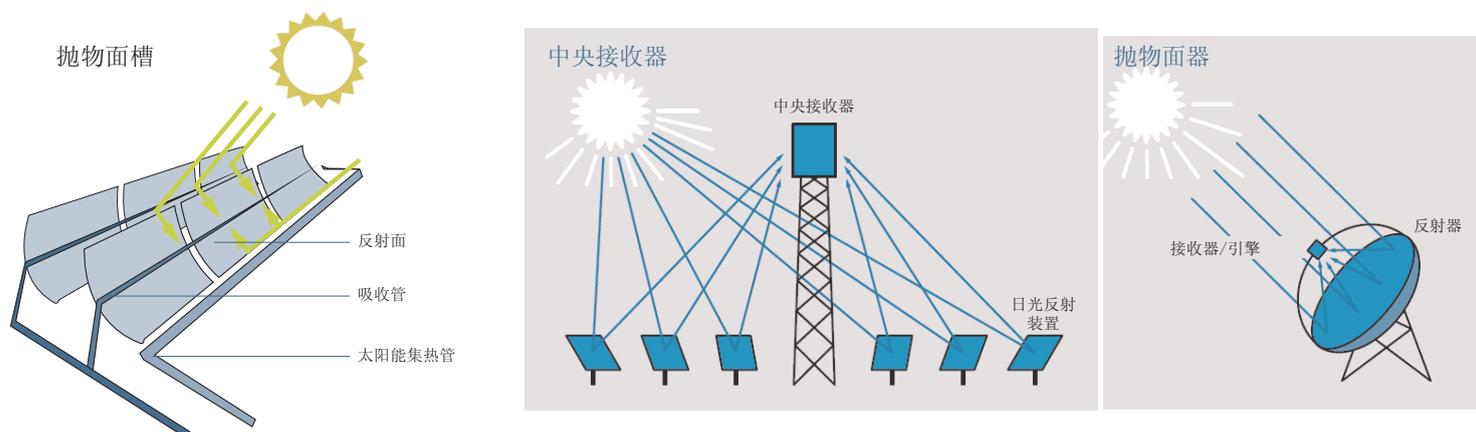
当太阳能塔增长到3万千瓦装机时，发展商们已有信心将并网型的单一太阳能塔电站的装机提高到20万千瓦。热储存的利用将提高太阳能塔的灵活性。虽然人们认为太阳能塔电厂比抛物面槽距离商业化运作更远些，但太阳能塔从长远来看有更高的转换率。西班牙、南非和澳大利亚正在发展这样的项目。

- **抛物柱面反射器**

碟形反射器将太阳光聚集到一个位于焦点的接收器。集中的束型辐射由接收器吸收来加热液体或者气体到大约750摄氏度，然后通过小的活塞来发电，斯特灵型发电机或者微型涡轮机与接收器连接。

抛物柱面反射器发展潜力主要在分散式电力供应和位于偏远地区、独立的电力系统。目前，美国、澳大利亚和欧洲在计划实施这样的项目。

图表16-18: 抛物面槽集热器/中央接收器或太阳能塔/抛物柱面反射器



太阳热搜集器

太阳热收集器使用古老的技术：太阳辐射加热黑色导管中的水。目前市场上的太阳热技术有效、可靠、应用范围广泛，包括民用和商用室内热水和取暖、游泳池加热、太阳能制冷、工业加热和饮用水淡化。

民用太阳热水和空间加热

民用热水生产是最为普通的应用。取决于不同的条件和系统构造，太阳能可以供应一座建筑绝大部分的热水需求。更大的系统可以有额外的能量用于取暖。主要有两种技术：

- **真空管：**真空管吸收太阳辐射加热管内液体。额外的热量由真空管后面的反射器收集。无论太阳的角度如何，圆形真空管使太阳辐射可以到达集热器。即使在多云的天气，当阳光从多方射来时，真空管集热器仍发挥作用。
- **平板：**一个有玻璃表面的箱体置于屋顶好像一个天窗。箱体内部是一组铜管，并连接一些散热片。整个箱体表面涂抹一层黑色物质，用以吸收太阳辐射。这些太阳辐射加热循环于集热器和建筑物锅炉之间的水和防冻剂混合液体。

太阳能冷却机

太阳能冷却器采用与冷库或者传统空调相似的机理，利用能量生产冷气、干燥空气。这样的应用非常适合太阳热能，当太阳辐射强烈时，对冷气的需求常常最大。太阳能冷却技术已经成熟，未来期待有大规模的利用。

图表19: 太阳能光伏板技术



风电

过去20年，风电成为全球增长最快的能源。当今的风机由复杂而大规模的工业企业来制造，并运用高效、经济和安装迅速的技术。风机功率大小从几千瓦到5000千瓦不等，最大的风机高度超过100米。一个大的风机可以生产足够电力供大约五千户人家使用。目前最好的风电场可以只有几架风机，总装机却达到几十万千瓦。

全球风能充足，可以产生超过全世界所有电力需求的电量，并且在五大洲分布均匀。风机不仅可以在风力资源最丰富的沿海地区使用，也可以在包括中东欧、中北美、南美和中亚在内的内陆国家使用。世界近海风资源比陆地上的更丰富，这激发着将风机地基埋入海底的离岸风电场的发展。在丹麦，建成于2002年的风场用80个风机生产电力足够满足一个有十五万人口的城市电力需求。

小型风机也能高效发电满足那些先前未通电地区的需要。生产出来的电可以直接使用或者存储在电池中。针对人口稠密的城市中裸露建筑物的风电新技术正在发展之中。

风机设计

上个世纪八十年代以来，风机设计能力不断加强。目前主要的商用风机都是以水平轴线上三个均分的桨叶的模式运行。桨叶由回转轴连接，能量就通过回转轴转到变速箱到达发电机。变速箱和发电机位于“引擎舱”内。一些风机设计通过使用直接驱动而不用变速箱。生产的电力向下输送到一个变压器并最终进入当地电网。

风机可以在3-4米/秒到约25米/秒的风速区间内运行。风速很高时，我们可以通过一些方法限制风机的电量产出，例如，停转调节来降低电力输出，或者进行定位控制，即改变桨叶角度避免桨叶对风的阻力。定位控制已经成为最通用的方法。风机桨叶可以匀速或者变速转动，后者可以使风机更加依循自然风速而运转。

目前风电技术的主要设计推动力是：

- 更高的发电效率，无论在风速高的地方，还是低的地方
- 电网的兼容性
- 风机的声学性能（噪音更低）



- 空气动力学表现
- 视觉影响
- 离岸扩张的影响

虽然目前海上风场仅占到全球陆地风场总装机的0.4%，但最近风电技术的发展却主要被海上风场发展所带动。焦点集中在如何用最为有效的方式来制造更大的风机。

现代风电技术可以应用于广泛的地区：风速低或者高的地方，沙漠地区和极地地区。欧洲风场运行较多，通常和周围的环境很好地融合在一起，并且被公众所接受。尽管有人再三预测应稳定在中等规模的最佳状态，同时强调风机不能无限变大；风机规模却在逐年增加，从上世纪八十年代美国加州单机功率20-60千瓦的风机到最近旋转直径超过100米的数千千瓦功率的风机。2005年全世界安装的风机平均功率是1282千瓦，同时，运行中最大的风机是EnerconE112，功率高达6000千瓦。这种风机主要用于海上风场的开发。

风机功率的增加与风电市场和生产扩张的趋势相符。全球五十多个国家运行着八万多台风机。德国风电市场目前全球最大，而西班牙、丹麦、印度和美国的风电市场增长也非常迅速。

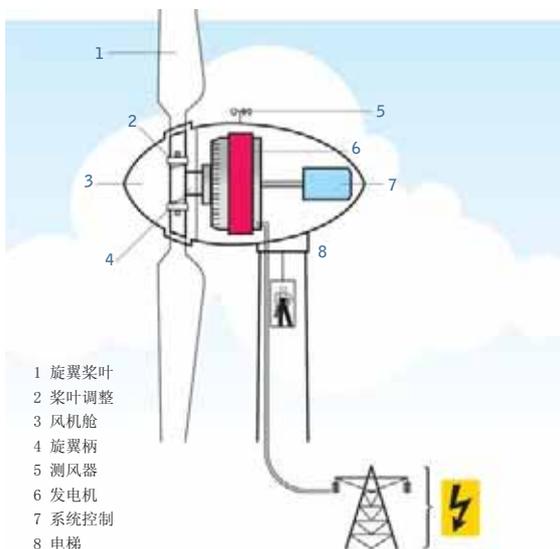
生物质能

生物质是一个宽泛的术语，用以描述来源于最接近初始状态的、可以用作能源资源的生物原料，包括木材、农作物、海藻、其他植物，以及农业和森林废弃物。生物质能有多种终端用途：供热、发电和交通燃料。术语“生物质能”指那些可以供热、发电和生产交通燃料的生物质能系统。产自各种农作物的生物柴油越来越多地用于机动车燃料，尤其当石油成本升高的时候。

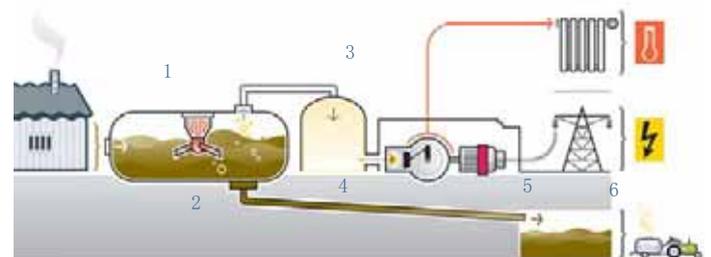
生物质能资源可再生、易储存，而且如果能够可持续收割，是“碳中和”的。因为，生物质能资源在转换成有用能源时释放的二氧化碳与其成长期间吸收的二氧化碳是相等的。

生物质能电厂运行机理与天然气电厂或者火电厂相似，不同点是，生物质能原料必须在燃烧前经过处理。生物能电厂通常没有火电站那么大，因为其原料供应地必须距离电厂尽可能地近。生物质能电厂产生的热能可以利用热电联产装置，通过管道将热能输送到周边的社区或工厂，或者输入专门的供热系统。小型供热系统使用由废木制成的小球作原料，可以替代天然气或者石油给一所住宅供热。

图表20: 风机技术



图表21: 生物质能技术



1. 加热混和器
2. 密封发酵器
3. 生物质气体存储仓
4. 燃烧引擎
5. 发电机
6. 废物存储仓

生物质能技术

有很多技术可以将生物质转化成能源。这些技术可以分为热系统和生物系统。热系统直接燃烧固体、液体或者高温分解或者气化方式来的气体；生物系统通过厌氧分解和发酵等过程，将固体生物质被分解为液体或者气体。

热系统

• 直接燃烧

直接燃烧是将生物质转化成热、电力等能源最通用的方式。全球90%以上的生物质能发电都采用这种方式。技术分为固定燃烧床、流化燃烧床或者曳出流体燃烧三种方式。在固定燃烧床中，如层燃炉，主进气通过发生干燥、气化和木炭燃烧的固定床。产生的易燃气体在副进气加入后在与燃料层分离的区域燃烧。在流化床燃烧中，主进气从燃炉底部被高速注入，燃炉内的燃料变成大量沸腾的微粒和气泡。曳出流体燃烧适合于诸如锯屑或刨花等微粒燃料，它们在压缩空气作用下被注入燃炉。

• 气化

生物质燃料越来越多地和更为先进的转化技术一起运用，如气化系统，与传统发电技术相比，它的效率更高。气化是热化学过程，生物质在有极少量或没有氧气添加的情况下被加热，产生一种低能气体。产生的低能气体来推动燃气发动机或者燃烧发动机来产生电力。与直燃和蒸汽循环发电相比，气化发电排放物较少。

• 高温分解

高温分解指生物质暴露于真空、高温下发生降解的过程。高温分解的产物总会有气体（沼气）、液体（生物油）和固体（残渣），每种产物的比例取决于燃料特性，分解方法和反应参数，如温度和压力。低温产生更多的固体和液体，而高温产生更多的气体（沼气）。

生物变化系统

这些过程适合于非常湿润的生物质原料，例如食物或者农业废弃物，包括生物浆体。

• 厌氧分解

厌氧分解指在无氧环境下由细菌引发的有机废物降解过程。这一过程主要产生沼气，其中65%是甲烷，35%是二氧化碳。提纯后的沼气可以用来供热或者发电。

• 发酵

高糖或高淀粉植物在微生物帮助下降解产生乙醇和甲醇的过程。最终产品是可以用在交通工具上的可燃燃料。

生物能电厂的装机常常会高达1.5万千瓦，但是更大的装机可能会达到40万千瓦，这样的巨型生物能电厂可能一部分燃料是化石能源，例如粉煤。世界上最大的生物燃料电厂位于芬兰的皮达萨里。建成于2001年的这个电厂是一个工业化的热电联产项目，为当地森林工业和城市周边的地区生产100兆瓦热蒸汽和24万千瓦的电力。这个项目采用了循环流化床锅炉技术，燃烧树皮、锯屑、碎木渣、市场上的生物燃料和泥煤等原料来产生蒸汽。

一份2005年由绿色和平荷兰办公室发布的报告表明，建造和运行一个使用流化床燃烧技术、以木屑球为原料、装机达100万千瓦生物能燃烧电厂在技术上是可能的¹³。

注释

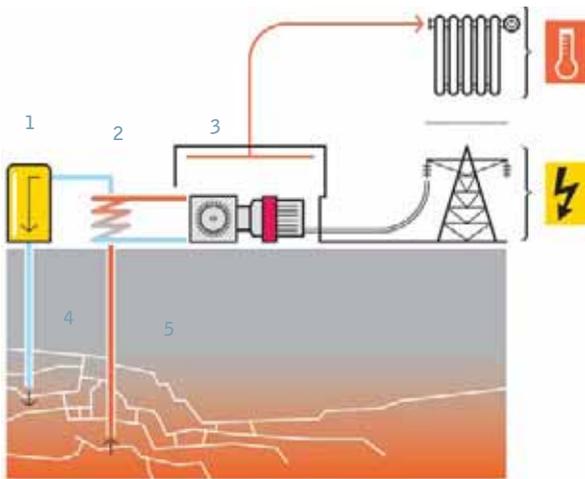
13 绿色和平荷兰 《荷兰一千瓦生物质能发电蓝图》 2005年3月

地热能

地热能是来自地壳深处的热能。在大多数地方，地热能以弥漫的状态到达地球表面。然而，由于不同的地质作用过程，某些区域的地热能埋藏较浅，例如在美国西部、欧洲西部和中东部、冰岛、亚洲和新西兰。地热能资源分为低温（低于90摄氏度）、中温（90-150摄氏度）、高温（高于150摄氏度）三种。地热资源如何使用也受到其温度的影响。最高温度的地热资源一般用于发电。目前全球地热电站装机总共大约800万千瓦。低热和中温地热资源的利用可以分为两类：直接使用和地下热泵。

地热电厂利用地球的自然热量来汽化水或者某种有机介质。产生的蒸汽来驱动涡轮机发电。在新西兰和冰岛，这种技术已经被广泛应用了几十年。在德国，要达到必要的地热温度，人们需要探井到地底下十数公里的地方。这种技术还在试验阶段。地热能供热厂要求更低的温度，并且加热的水被直接使用。

图表22: 地热能



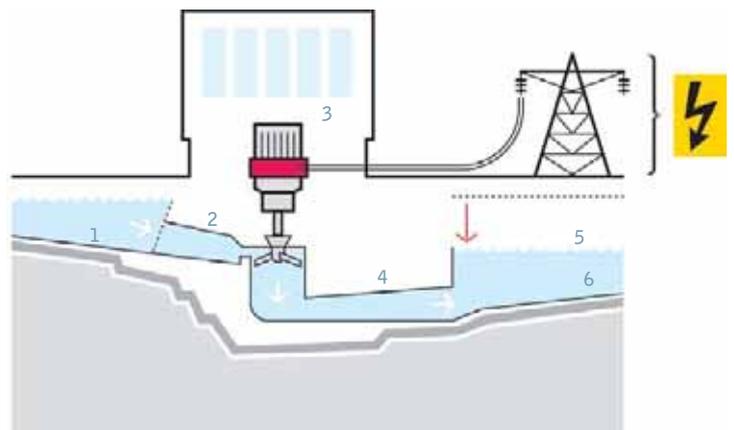
1. 气泵
2. 热能交换器（产生蒸汽）
3. 燃气涡轮
4. 注冷水孔
5. 发电机
6. 废物存贮

水能

人们利用水能来发电的历史已经有一个世纪。目前，全球大约五分之一的电力由水电提供。大型不可持续的水电厂拥有混凝土大坝和面积广大的水库，常常对环境有非常负面的影响，然而，大型水库建设常常是为了避免洪水的威胁才建造的。小型非截流电站，其涡轮机被河流的一部分水流推动发电，发电方式是环境友好型的。

水电站的主要要求是创造一个人工水头，使水通过一个入水管或者通道进入涡轮机，然后再释放回河流下游。小水电是非截流发电，并不需要聚集大型水坝和水库所需要的大量库容。有两个大的分类：推动型涡轮机（以帕尔顿闻名），喷射的水柱冲击设计用来转变水柱方向的滑行浆叶，从而从水流中获取动力。这种涡轮机适合于高水头和小型泻流。另一类是反作用涡轮机（以弗朗西斯和开普兰闻名），整体在水中运转，事实上是产生向上举的水力来推动滑行浆叶运行。这类涡轮机适合于中、低水头和中大型泻流。

图表 23: 水电技术



1. 入水口
2. 滤网
3. 发电机
4. 涡轮
5. 水头
6. 出口

海洋能

潮汐能

在至少有五米高潮汐的河流入海口或者海湾处建设拦河堰或大坝可以获得潮汐能。拦河堰内的门使潮汐水流入留在拦河堰之后。然后，将堰门关闭，当潮汐流出时，水可以通过管道进入涡轮机发电。潮汐拦河堰已经在法国、加拿大和中国的一些河流入海口建成。但是，潮汐能项目的高成本以及伴生的环境反对意见（以对入海口栖息生物影响为代表）已经限制了潮汐能技术的未来发展。

波浪和潮汐流能

在波浪发电中，发电结构与流入的波浪进行互动，通过水压、机械或者压缩空气能量来启动系统将能量转化成电能。这种结构通过一个漂浮的系统来定位，或者直接安装在海床或海岸上。电力经一个灵活的潜水电缆进入海床并进而通过海底电缆传输到岸上。

波浪能转换器可以由功率10-50万千瓦的发电单元组合而成。或者几个机械或液压中继模块能够供应较大功率的单一涡轮发电单元（0.2-2万千瓦）。要使相关技术更经济的大浪总是在离海岸更远的地方。然而，这又带来传输电力的海底电缆的高成本。电能转换装置本身也占用大量空间。波浪能比风能更有优势提供更可以预测的能量供应，可以安装于大洋中而无碍观瞻。

目前，在波浪能转换上还没有领先的商业技术。不同的系统正在海上发展进行模拟测试。这包括安装于夏威夷的50千瓦漂浮装置（PowerBuoy）；运行于苏格兰的750千瓦的Pelamis装置，它与半淹没型圆柱体连接；西南英格兰一个300千瓦水下潮汐流涡轮发动机运行；安装于海床的150千瓦潮汐流发电厂；运行在苏格兰伊斯雷岛500千瓦的海岸线波浪能发电站。由此看出，波浪和潮汐流发电的大部分项目都在英国。

能效

能效的正面效应很多。例如，一台高效的洗衣机或者洗碗机水和电的消耗都更少。能效通常也可以带来更高的舒适度。例如，一个隔热良好的房子令人冬季感觉更暖，夏季感觉更凉快，也更有利于居住者的健康。一台能效高的电冰箱噪音低、箱内不结霜，箱外无凝结物，并且寿命更长。高效率照明在需要的地方将提供更多的照明。能效的确是“事半功倍”。

能效提高潜力巨大。有非常简单的措施可以采取，例如，屋顶加装隔热装置，用超隔热玻璃、当旧的用坏时买高效的洗衣机。所有这些例子省钱又节能。但更大的节省来自从整体上思考。“全屋”、“整车”、甚至是“全部的交通系统”。当你这样做时，令人惊讶的是，能源需求常常比目前的需求降低4-10倍。

以一间房子为例：通过额外投资对整间房子从屋顶到地基进行隔热改造后，热能需求将非常低以致只要安装更便宜、更小的供热系统就可以了，这样就可以抵消隔热改造的成本。结果是一间仅需三分之一能源需求的房子，并不需要投入更多的钱来建设。如果隔热做得更好并安装高效的通风系统，热能需求可以减少到十分之一。成千上万这样的高能效房子在过去的十年中已经在欧洲建成。这并不是未来之梦，而是日常生活的一部分。

再举一例：设想你是一位办公室经理。在整个炎热的夏季，空调将冷气送到办公室以保持员工高效率工作。由于这相当昂贵，你可以邀请一位聪明的工程师来提高制冷系统效率。但是，为什么不回头来审视整个系统。如果我们起初改善设计使建筑不要象烤箱那样被阳光加热，然后使用更多高能效的计算机，复印机和电灯（节电并放热更少），然后安装被动式的冷却系统，例如夜间通风装置。你可以发现空调不再需要。那时，当然，如果房子设计、建筑合理的话，你当初就不会买空调器。



电力

在短期内，节约电力的潜力巨大。仅仅通过关闭待机状态和更换节能灯泡，每一户消费者都可以节约电力和资金。如果大多数家庭这样做了，几座大型电站可以顿时关闭。下表概述了工业用和家用设备在中期的节能效果：

表格13：电力节约潜力举例

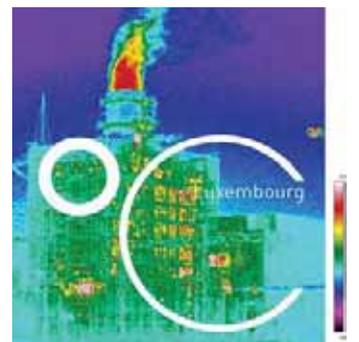
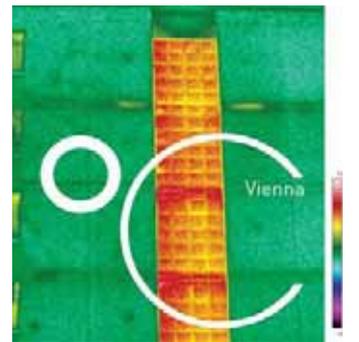
社会部门	能效措施	节电比例
工业	高效车辆系统	30-40%
	更高的铝循环率	35-45%
其他社会部门	节能家用设备	30-80%
	节能办公设备	50-75%
	节能冷却系统	30-60%
	节能照明	30-50%
	减少待机状态的电力损耗	50-70%
	减少非办公时间的电力损耗	近90%

参考：Ecofys 2006，全球能源需求情景

供热

隔热和热设计可以大量减少热量损失并有助于阻止气候变化。现存建筑的热能需求可以平均减少30-50%。在新的建筑中如果使用可行和有竞争性的技术和设计，可以减少90-95%的热能需求。

热量损失可以很容易通过热敏成像技术来发现。一部热敏成像相机显示一些肉眼不能发现的细节。在热敏成像中，一座建筑中，表面温度较高的部分呈现黄色和红色。这意味着在这些区域，热量从缝隙和弱绝缘材料中泄露了，有价值的能量就这样丧失了。热能的损失以能源资源浪费的方式带来对环境的破坏并给房主和租房人带来不必要的损失。通常建筑中热能易损失的地方是窗户玻璃和木头框架以及窗户下面的薄墙，通常这些地方是热敏成像仪辐射重点观察的地方，也是在隔热上应该进行优化的地方。



上图 这栋位于维也纳的住宅楼除从窗户散热外，楼内还有许多不同的热桥成为热量流失的地方

下图 位于卢森堡的天然气发电厂。工业废热肉眼通常看不见，但从温谱图则能看出从烟囱散发的废热

能源革命情景下的能源效率

本报告中已考虑了从现在到2050年大量减少能源需求的方案和选择。分析关注于最佳方案技术。我们的情境假设能效提高领域的技术创新会继续，这样，最佳技术会继续提高。下表显示了那些已经应用于三个领域的技术：工业、交通和家庭/服务。一些例子如下所述：

表格14：能效措施

部门	举措
工业	
一般	节能动力系统
一般	热能整合/热能收缩分析
一般	更好的流程控制
铝	更多利用回收的铝
钢铁	氧气顶吹转炉气 + 热复原
钢铁	薄板铸造
化学工业	薄膜产品分离
其他工业	能效提高
交通	
客用小轿车	节能客运小轿车（混合燃料）
货运	节能货运车
公共交通	节能公共交通工具
其他	
家庭和服务业	节能电器设备
服务业	节能冷却设备
家庭和服务业	节能照明
家庭和服务业	减少待机能耗
家庭和服务业	提高隔热效果
服务业	减少非办公时间的电力损耗
农业和其他	能效提高

工业

工业行业大约65%的电力消费用以驱动电动系统。通过应用变速驱动设备、高效率的电动机和使用高效电泵、压缩机和电扇，工业行业的电力需求可以减少。减少的潜力高达40%。

从氧化铝（来自矾土）冶炼出生铝是一个高耗能的过程。直流电通过一个装有氧化铝的池子溶解入一个熔化的冰晶电极来生产生铝。另一种选择方法是从废弃的材料中提炼生铝。这叫二次生产。生铝的二次生产仅需要一次生产的5-10%的能源，因为它与金属的再次熔化有关，而不是一种电化学降低过程。2005年的生铝生产中有22%来自二次生产，如果这个比例到2050年提高到60%，那么与目前相比，电力需求将节约45%。

交通

油电混合动力汽车和其他能效提高措施可使小轿车的能耗到2050年减少最高达80%。

家居和服务

如果使用目前最好的可行技术和最先进的技术，洗衣机、洗碗机、电视和电冰箱等家用设备的能耗分别可以减少30%和80%。通过电力管理和节能计算机系统综合运用，办公室设备的能耗可以减少50-75%。

在经合组织国家，家庭电器待机状态平均所耗电能大约占去5-13%的电器总耗能量。如果换用现有能耗最低的电器，将减少70%的待机能耗。

更好的建筑设计和有效的热绝缘装置可以平均减少80%的建筑热能需求。

第七章 中国能源革命情景

“能效方面积极的政策和技术支持估计可能使能源强度减少几乎80%。”



图片：广东省南澳县是中国风力资源最丰富的地区之一，已建成大规模风电场。

决定未来全球能源需求发展的关键因素有以下三个：

- 人口发展：消费能源和使用能源服务的人口数量。
- 经济发展：GDP是最常用的衡量指标。通常情况下，GDP增长将刺激能源需求的增长。
- 能源强度：每生产一个单位的GDP需要多少能源。

能源参照情景和能源革命情景都是基于同样的人口和经济发展预测。而两个情景对未来能源强度的预估是不同的，因为能源革命情景考虑了提高能源效率的措施。

人口发展的预估

同国际能源署参照情景一样，本报告也使用联合国的人口发展预测，即中国人口将持续增长，大约到2030年达到峰值，约14.6亿。2030年之后，我们估计中国人口将开始减少。到2050年时，人口大约14亿。长期来看，中国人口稳定在这一水平将有助于减少对能源资源和环境的压力。

能源强度的预估

经济增长并非必然导致相当的能源需求增加。开发能源效率的潜力仍然十分巨大。在能源参照情景下，我们假设能源强度每年降低2.3%；2003—2050年，单位GDP的能源需求将减少大约65%。在能源革命情景下，在能效方面的积极政策和技术支持将使单位GDP能源需求到2050年降低大约80%。

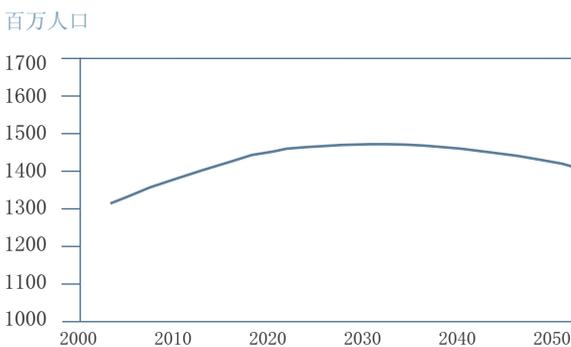
最终能源需求的变化

综合关于人口发展、GDP增长和能源强度的预估，得到中国未来总能源需求的发展方向。两个能源情景的相关预测都显示在图表26中。在能源参照情景下，能源需求将从目前的35000皮焦耳/年增加到2050年的81000皮焦耳/年，比翻一番还多。在能源革命情景下，我们估计增长较低，到2050年大约是53000皮焦耳/年，比目前的需求增加50%，但比能源参照情景下的预估少1/3。

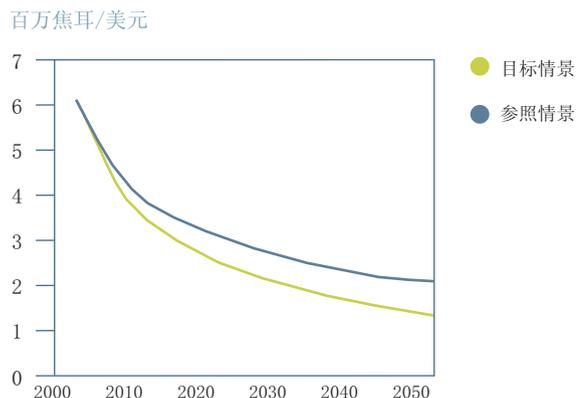
能源效率的加速提高，对可再生能源资源在能源供应中取得大量的份额是根本前提，同时不仅对环境，而且从经济角度看都有益处。考虑到全服务周期，在多数情况下，与额外的能源供应相比，提高能源效率可以节约成本。推动能源节约潜力将直接导致成本减少。所以，专注于能效的战略有助于部分的补偿可再生能源在市场初期需要的额外成本。

在能源革命情景下，随着家庭和服务业成为主要的电力消费增长点，最终电力需求的增长是不成比例的（参见图表27）。但随着能效措施的不断开发，尽管经济持续增长，更高的能源需求增长也不会出现，电力需求在2050年达到大约6300太瓦时/年。相比能源参照情景，能效措施减少了大约1200太瓦时/年的数量。尤其通过使用高效的电子设备，能源需求将持续减少，而这些设备代表了在能源需求领域中最佳可得技术。在民用和商用建筑中引进太阳能设计将有助降低巨大的空调用电需求。

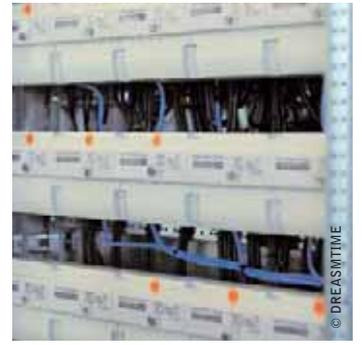
图表 24：中国人口增长预估



图表 25：中国能源参照情景及能源革命情景下对未来能源强度的预估



图片: 新型静态能计数器控制面板

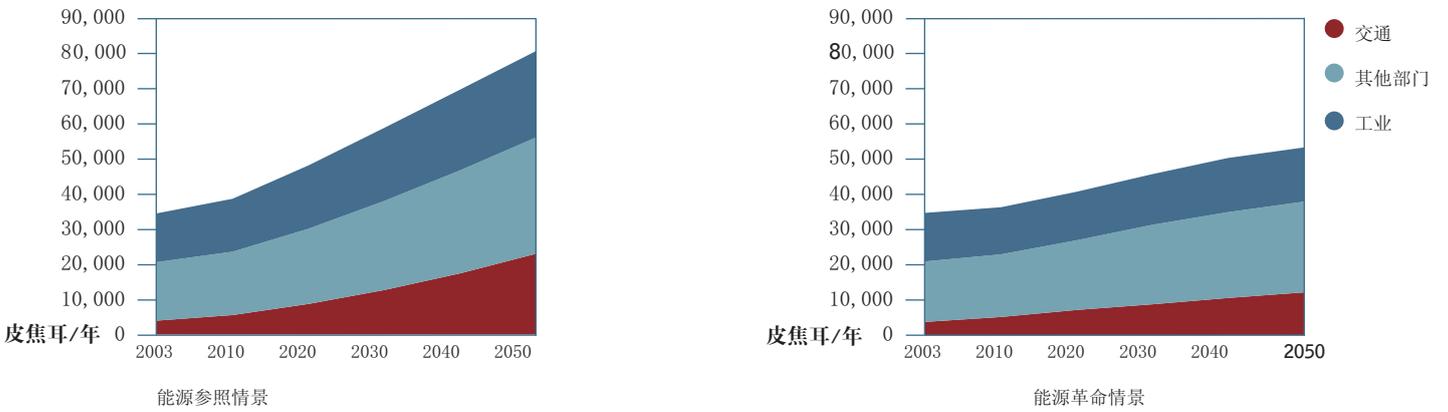


在供热部门中，能效提高的效益更明显。在能源革命情景中，热能的最终需求也能减少（参见图表28）。相比参照情景，通过提高能效，到2050年，有12500皮焦耳/年的消耗可以被削减。

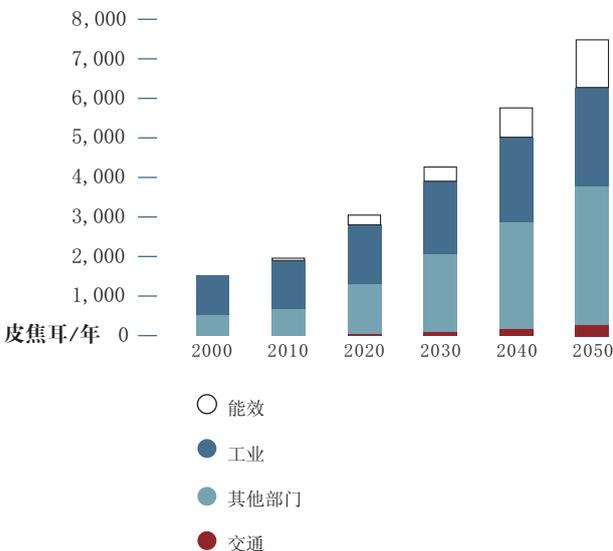
中国2050年的交通能源需求也将是当前的三倍，达到12200皮焦耳/年。这仍只是参照情景预测数据的一半。这一目标实现的途径包括：引入更高效率的汽车、铁路取代公路运输货物、改变与流动相关的行为模式等。

交通部门明显的能效提高，和工业和民用领域中能源需求的减少形成互补。本报告中对此不作详细分析。即使在能源革命情景中，

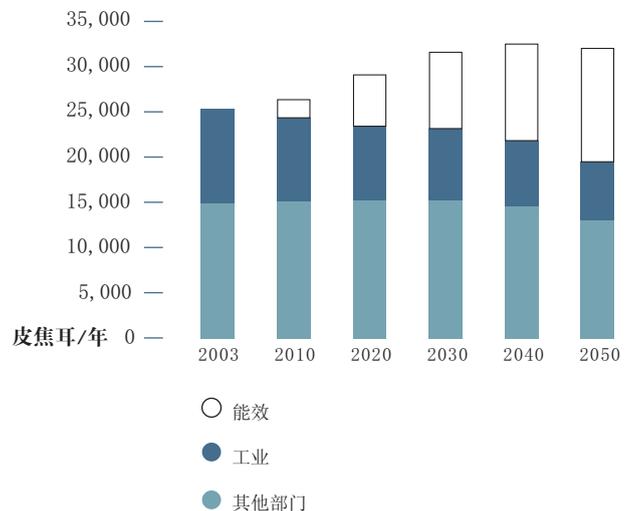
图表 26: 中国: 能源参照情景和革命情景下不同社会部门最终能源总需求预测



图表 27: 中国: 能源革命情景下不同社会部门最终电力总需求预测
(能效即与能源参照情景比较减少的能源消费)



图表 28: 中国: 能源革命情景下不同社会部门最终供暖总需求预测
(能效即与能源参照情景比较减少的能源消费)



电力生产

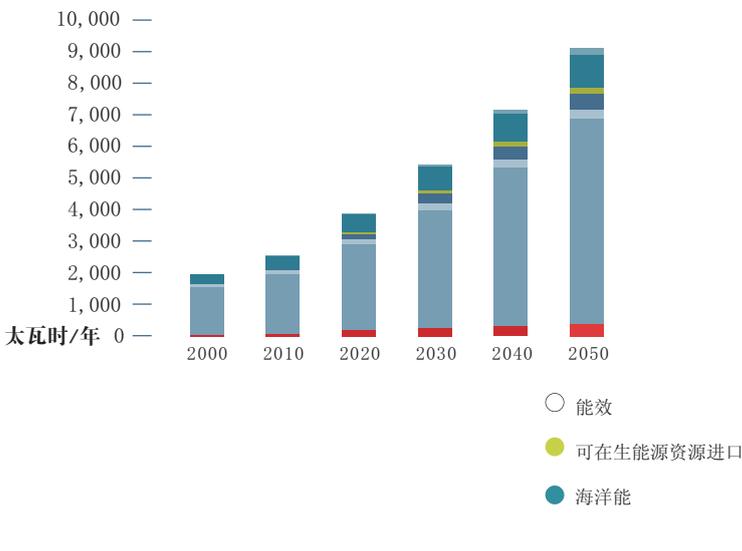
电力供应部门的发展有以下特点：迅速扩张的可再生能源市场和不断增加的可再生能源电力份额。这将弥补废弃使用核能和将化石燃料冷凝电厂减少到足以维持电网稳定的最小量所带来的缺口。到2050年，53%在中国生产的电力将来自可再生能源。以风能和太阳能为主的新型可再生能源将贡献37%的发电量。以下战略为未来可再生能源供应扫除了障碍。

- 最初，新型高效燃气联合循环电厂的投入运营和新增长的水电和风电装机容量，将弥补核能的退出和电力需求的增加形成的缺口。长远来看，风电将成为电力生产当中最重要的可再生资源。
- 太阳能、水能和生物质能将对电力生产发挥重要作用。特别是，作为非波动可再生能源资源的水能和太阳热能，与高效热储存技术相结合，将成为整个电力结构中的重要因素。

- 到2050年，可再生能源电力总装机容量将从目前的84GW增加到1300GW。要在未来43年中将可再生能源装机增加15倍，政策支持 and 良好策划的政策手段必不可少。由于电力需求增加，未来20年，对于新电力装机的投资需求将很大。鉴于电力部门投资周期较长，我们需要现在就考虑中国能源供应系统的重建。

要使可再生能源资源的增长在经济上富有吸引力，推动可再生能源系统技术全面、迅速的发展非常重要。这种推动将取决于技术潜力、真实成本、成本降低潜力和技术成熟度。图31显示了一定时段内不同可再生技术互补的进展。到2010年，经济的水电和生物质能将是主要贡献者。随后在风电持续增长之外，太阳能光伏发电和太阳热能电厂将是主要补充。

图表 29： 中国：能源参照情景下电力供应结构的变化



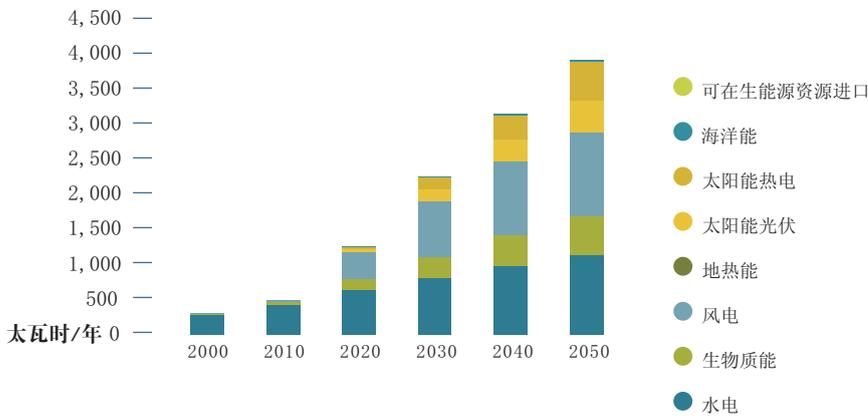
图表 30： 中国：能源革命情景下电力供应结构的变化

(能效即与参照能源情景比较减少的能源消费)





图表 31: 中国: 能源革命情景下可再生能源发电量增长变化



表格 15: 能源革命情景下可再生能源发电装机变化 (百万瓦)

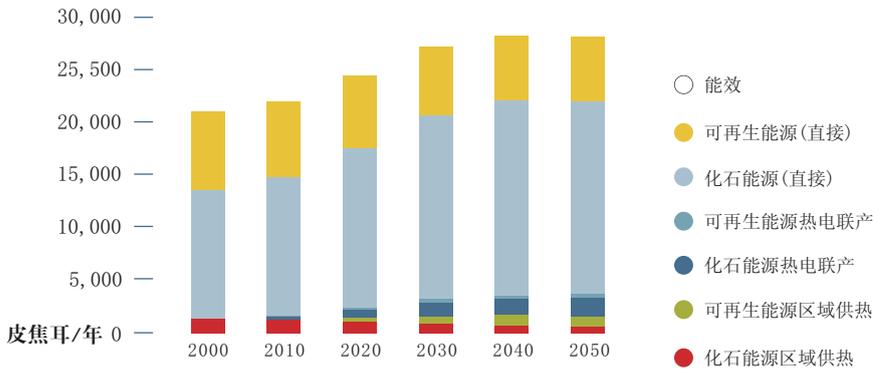
	2003	2010	2020	2030	2050
水电	81,060	120,630	182,770	230,290	325,770
生物质能	2,000	9,970	23,290	43,340	78,720
风电	570	7,310	118,370	306,120	456,270
地热能	0	300	350	430	810
太阳能光伏	0	770	25,380	138,460	384,620
太阳热能	0	260	3,850	25,500	78,570
海洋能	0	110	1,060	2,130	6,380
总量	83,630	139,350	355,070	746,270	1,331,140

热供应

供热领域可再生能源发展面临的问题不同。目前，可再生能源提供了供热方面大约35%的一次能源需求，主要贡献来自于生物质的使用。缺乏区域性供热网络成为大规模应用地热和太阳热能的严重结构性障碍。过去的经验表明，在并网的电力系统中实施有效的支持机制比在供热系统中更加容易，因为后者涉及大量不同的利益相关者。保证积极的发展，专业的支持手段是必要的。

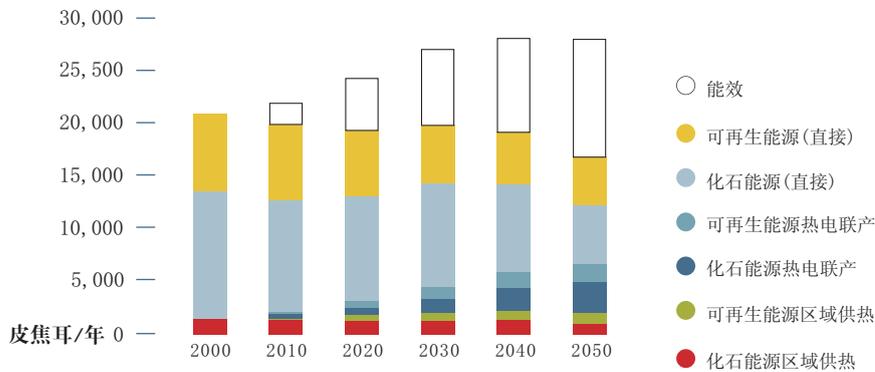
- 即便在生活标准提高的情况下，能效手段可以减少当前供热领域一次能源需求的20%
- 在一个萎缩的供热市场里，不断增长的分散式热电联产将在2050年占据近30%的份额
- 在工业领域，太阳能集热器，生物质能/沼气热电联产和地热能将不断替代传统的化石能源供热系统
- 保留的传统供热设施中，从煤炭石油向天然气的转变将导致二氧化碳排放进一步减少

图表 32: 中国：参照能源情景下供暖结构变化



图表 33: 中国：能源革命情景下供暖结构变化

(能效即与能源参照情景比较减少的能源消费)





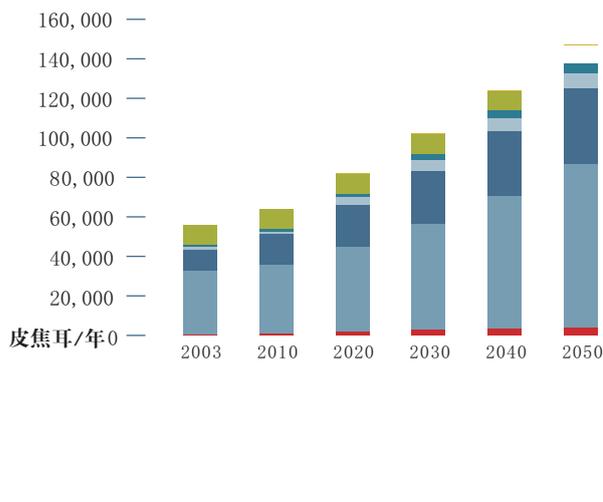
一次能源消费

考虑到以上各种假设，图35显示了能源革命情景中，中国相应的一次能源消费。相对于能源参照情景，一次能源需求2050年将减少40%。大约33%的剩余需求将由可再生能源提供。我们也注意到，由于一次能源消费的计算当中应用了“效率方法”，假设水能、风能、太阳能和地热能等生产的电力与一次能源消费相等，可再生能源的份额看上去要比作为能源载体的实际重要性弱一些。

二氧化碳排放

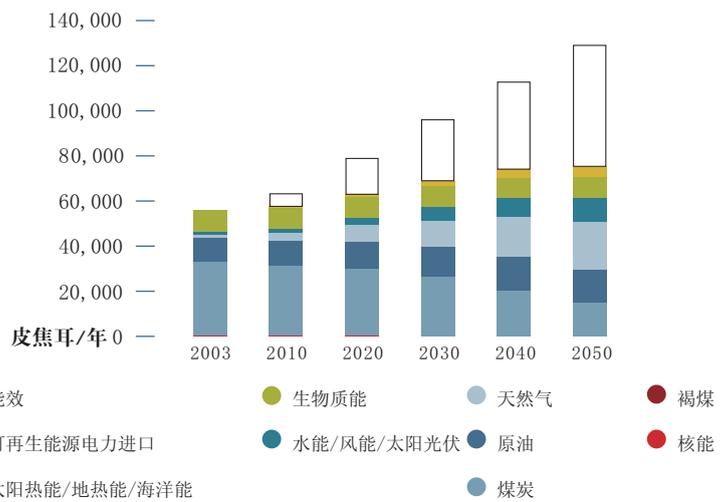
根据能源参照情景，到2050年，中国二氧化碳排放将达到现在的三倍，这将远离可持续发展途径。在能源革命情景下，中国将保持在2003年33亿吨的排放水平，每年人均排放将从2003年的2.5吨略微减少到2050年的2.3吨。由于核能的退出和电力需求的增加，电力部门仍旧是二氧化碳排放的最大来源，占到2050年总排放的50%。但是在工业和其它部门中，能效的提高和可再生能源资源使用的增加将使二氧化碳排放减少，从而弥补电力和交通部门排放的增加。

图表 34: 中国：能源参照情景下一次能源消费变化



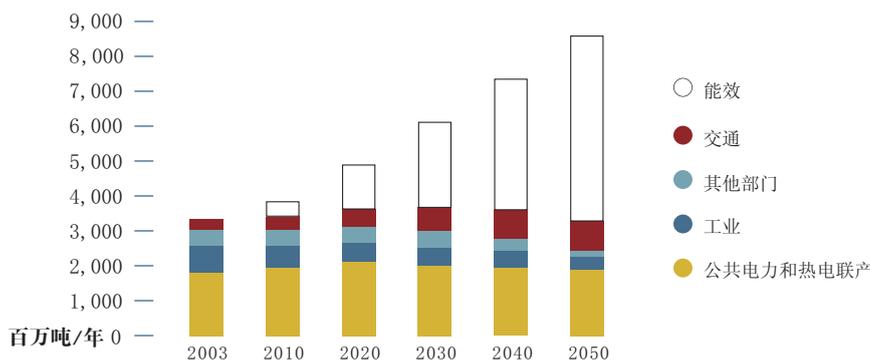
图表 35: 中国：能源革命情景下一次能源消费变化

(能效即与能源参照情景比较减少的能源消费)

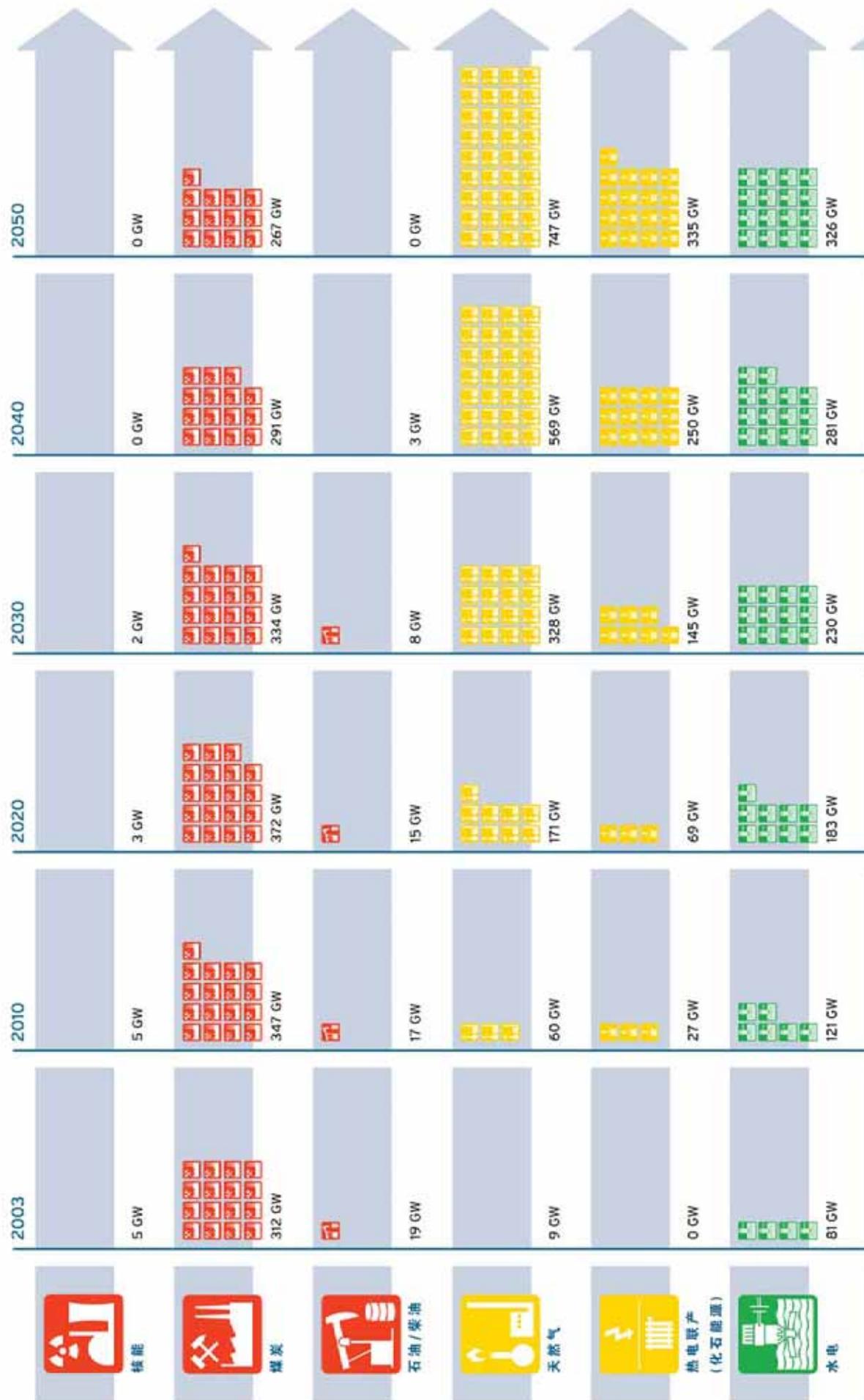


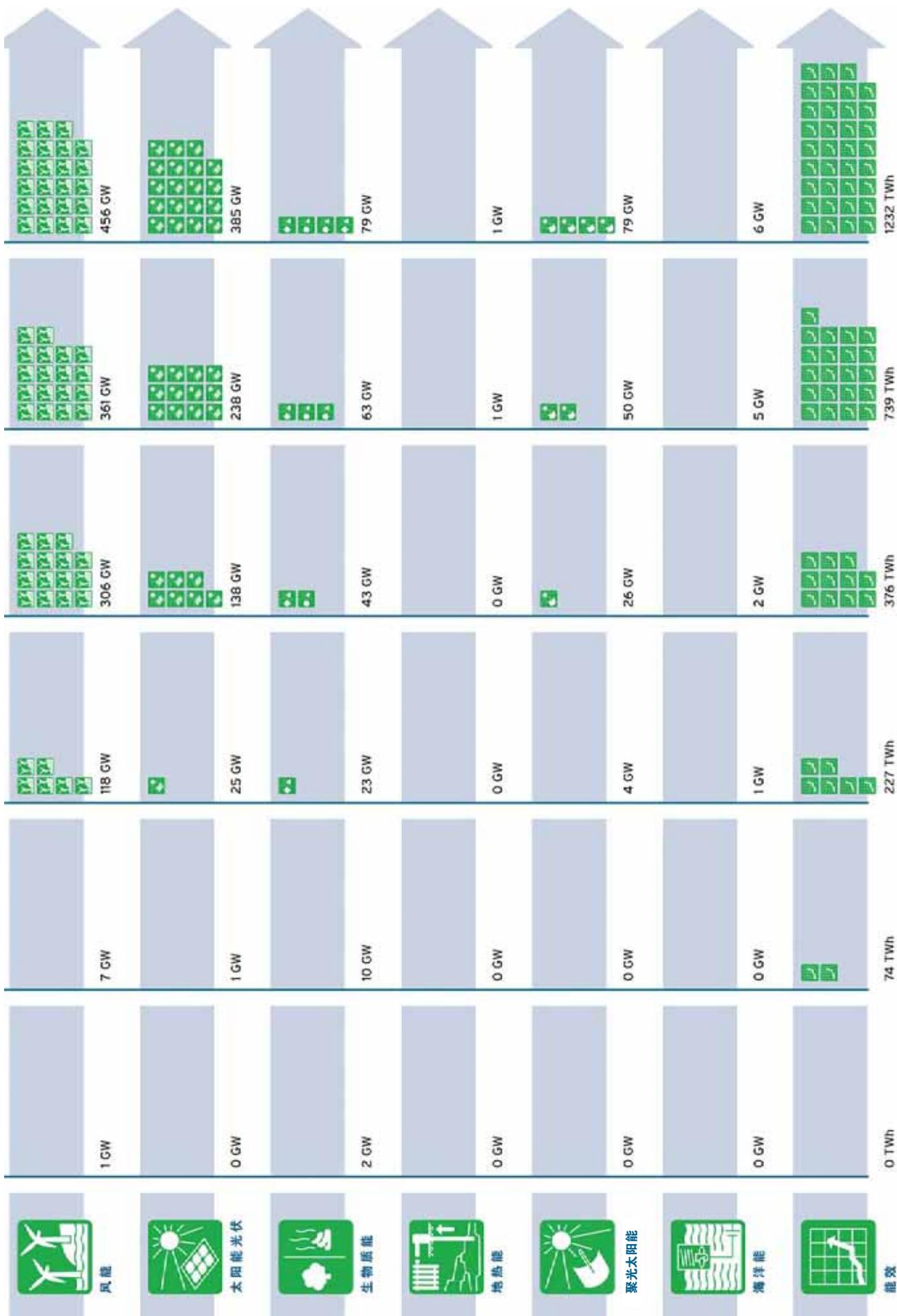
图表 36: 中国：能源革命情景下不同部门二氧化碳排放量变化

(能效即与能源参照情景比较减少的能源消费)



图示：能源革命
中国可持续能源展望





注：所有数据均精确到千位

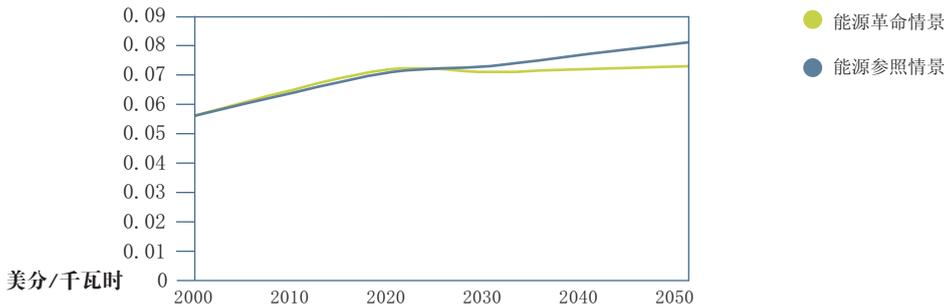
未来电力生产的成本

图表37表明，相比参照情景，在能源革命情景下，可再生能源技术的引入几乎不增加发电成本。还要注意任何超出预测的化石能源价格的增加将继续减少两种情景预测的差距。由于电力生产中较低的二氧化碳排放强度，在能源革命情景下，2020年之后，电力生产成本在经济上更合算，并且到2050年，发电成本几乎仅有1美分/千瓦时，低于参照情景下的数据。

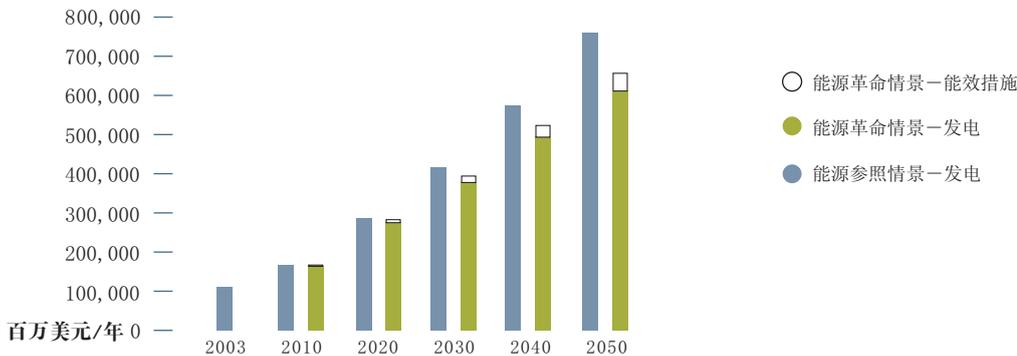
由于电力需求不断增长，中国将面临整个社会在电力供应上的巨大花费。在参照情景下，持平甚至更快的需求增加，升高的化石能源价格和二氧化碳排放成本将导致中国电力供应成本在2050年达到约7500亿美元。图38表明，能源革命情景不仅遵循了全球二氧化碳减排目标，而且有助于缓解经济发展的社会压力。提高的能源效率和日益倾向可再生能源资源的能源供应，将使电力供应长期成本与参照情景相比减少10%。很明显，将来在能源行业中履行严格的环境目标会带来经济上的收益。

图表 37: 中国：两种能源情景下发电成本比较

(二氧化碳排放收费从2010年开始在发达国家施行，2020年开始在所有发展中国家施行。成本从2010年的15美元/吨增加到2050年的50美元/吨。)

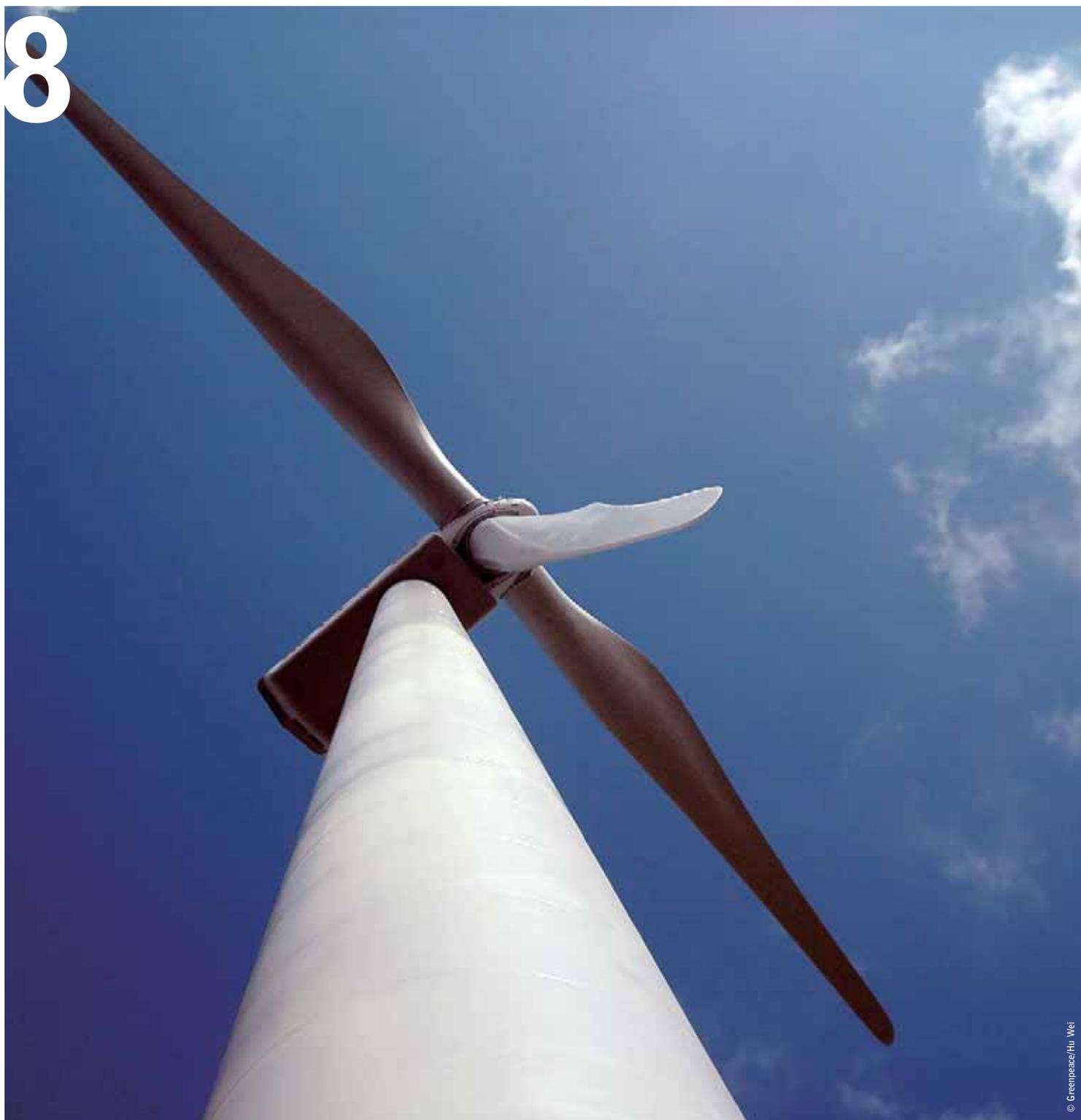


图表 38: 中国：电力供应成本变化



第八章 中国能源政策

“未来几年的政策选择决定将来数十年的环境状况。”



图片：位于中国河北省的风电场

提高能源使用效率和发展可再生能源是实现能源革命的两大主要途径，本章主要探讨的是中国政府目前在这两方面的政策。

能源效率

“十一五”规划指出，到2010年单位国内生产总值能源消耗降低20%左右；节能中长期规划指出，从2006年到2020年单位国内生产总值能源消耗降低45%。

在强化能源节约和高效利用的政策导向之外，还提出了一系列实现节能目标的方法。例如，通过优化产业结构特别是降低高耗能产业比重，实现结构节能；通过开发推广节能技术，实现技术节能；通过加强能源生产、运输、消费各环节的制度和监管，实现管理节能。一些耗能大户和关键行业成为工作重点。

此外还提出了要强化促进节约的政策措施；例如，实行单位能耗目标责任和考核制度，实行强制淘汰高耗能落后工艺、技术和设备的制度，推行强制性能效标识制度和节能产品认证制度等。

但是，在第十一个五年规划的第一年，即2006年，降低能效的指标却没有实现，虽然与之前三年相比单位国内生产总值能耗已经由上升转为下降，但1.2%的幅度与4%的目标还相差甚远。2007年《政府工作报告》认为其主要原因在于，产业结构调整进展缓慢，重工业特别是高效能、高污染行业增长仍然偏快，不少应该淘汰的落后生产力还没有退出市场，一些地方和企业没有严格执行节能环保法规和标准，而有关政策措施取得明显成效需要一个过程。报告坚持降低能耗这一约束性指标不能改变，必须坚定不移地去实现，国务院以后每年都要向全国人大报告节能减排的进展情况，并在“十一五”期末报告五年指标的总体完成情况。对于接下来的降低能耗工作，政府重点放在以下若干方面：

- 完善并严格执行能耗标准。新上项目必须进行能源消耗审核，不符合节能标准的不准开工建设，现有企业经整改仍不达标的必须依法停产关闭；
 - 坚决淘汰落后生产能力。具体针对各个行业制定了指标，例如，“十一五”期间关停5000万千瓦小火电机组；五年淘汰落后炼铁产能1亿吨、落后炼钢产能5500万吨；同时加大其他高能耗行业落后产能的淘汰力度；
 - 突出抓好重点行业和企业；
 - 健全节能环保政策体系。注重发挥市场机制作用，综合运用价格、财税、信贷等经济手段，促进节能环保工作；
- 加快节能环保技术进步。积极推进以节能减排为主要目标的设备更新和技术改造，引导企业采用有利于节能的新设备、新工艺和新技术；

- 强化执法监督管理，建立更加有效的节能监督管理体系，坚决依法惩处各种违法违规行为；
- 认真落实节能目标责任制。建立和完善相关指标、监测和考核体系，实行严格的问责制。

可再生能源法

《可再生能源法》于2006年1月1日起开始实施，法律推进了一个全面的可再生能源政策框架，并制定出很多中国可再生能源发展和利用的政策和手段，包括指导性的可再生能源发展目标、可再生能源规划、可再生能源产品进入能源市场的门槛、可再生能源电力项目上网、可再生能源发电固定电价、财税措施、可再生能源技术研发和推广、可再生能源教育和培训等。

固定价格政策

中国《可再生能源法》已经设定了中国固定电价的指导原则，并要求政府规范具体措施来实施固定电价政策。有关固定电价实施的指导意见已经在中国颁布，诸如《可再生能源发电有关管理规定》和《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》。0.25元/千瓦时的补贴将适用于生物质能发电项目。目前为止，风电项目没有条件享受这个补贴，风电项目的电价由公开投标来决定。

可再生能源发展专项基金

一项可再生能源发展的专项基金经《可再生能源法》批准。专项财政资金对中国可再生能源技术的发展与利用是一项非常重要的财政手段。财政部2006年6月发布了《可再生能源发展专项基金管理办法》，使可再生能源项目可以利用这一专项基金。专项基金通过提供低息贷款支持可再生能源投资。

税收措施

《可再生能源法》已经认可财税措施的重要性，并要求相关部门规范具体的财政和税收措施来支持中国的可再生能源工业的发展，例如税收减免、优惠贷款等。目前，风电场可以减免50%的增值税。其他有助于可再生能源投资和利用的税收措施正在规划和调研之中。

可再生能源的市场准入

《可再生能源法》有几项规定旨在消除可再生能源电、气和热进入能源市场的障碍。国家发改委颁布的《可再生能源发电有关管理规定》规定了电网需全额购买可再生能源发电，并给予优先上网的原则。建设部也发布了建筑物安装太阳能热水器的规定，以鼓励可再生能源产品的发展。



上图：兴建中的中科院珠穆朗玛峰大气与环境综合观测研究站

下图：位于中国新疆的风电场



政府发展目标

当前，新型可再生能源在我国一次能源消费结构中的比例为7.5%。除新型可再生能源外，传统生物质能也在中国的能源消费结构中具有重要的地位，占到了全部能源消费的12%。可再生能源发电量占我国发电总量的15%，其中水力发电起了主要作用。80%的中国一次能源消费仍然来自于煤炭等化石能源。

中国政府确立的目标是，到2020年，可再生能源消费占到全部一次能源消费的16%左右。在可再生能源消费中，因地制宜利用的分散型可再生能源，如接近能源使用终端的可再生能源发电、发热方式，将解决偏远地区人口的电力供应问题和农村生活燃料短缺问题。

水电

在中国，水能资源经济可开发装机容量约为4亿千瓦。到2005年底，中国装机容量达1.1亿千瓦，年发电量4000亿千瓦时。中国开发水电的目标为至2010年，装机量达1.8亿千瓦；至2020年，装机量达3亿千瓦。中国水力发电的勘测、设计、施工、安装和设备制造已经达到国际水平。但是当前发展水电面临的主要问题还在于如何保护当地生态系统以及如何安置移民。

生物质能

生物质能包括农作物秸秆、林业剩余物、油料植物、能源作物、生活垃圾和其他有机废弃物。传统生物质能指农村地区直接燃烧农作物秸秆和林业剩余物用来取暖和烹饪。对于中国农村1500万未通电的人口来说，传统生物质能仍旧是最重要的能源供给。

到2005年末，中国全国生物质发电装机容量200万千瓦。以陈化粮为原料的燃料乙醇年生产能力达到102万吨；农村户用沼气池年产沼气80亿立方米。到2010年，生物质发电装机容量将达到550万千瓦；2020年达到3000万千瓦。沼气产量在2010年和2020年分别达到190亿和440亿立方米。

风电

据中国气象局估计，中国可开发风能资源共计约10亿千瓦，其中陆地可利用风能资源约2.5亿千瓦，离岸海域可利用风能资源约为7.5亿千瓦。至2005年底，中国已经建立并网风电场60多个，总装机容量达126万千瓦。总装机容量在2005年增长了65%；在2006年增长了80%以上。中国计划在2010年，全国装机容量达到500万千瓦；到2020年，全国风电总装机量为3000万千瓦。

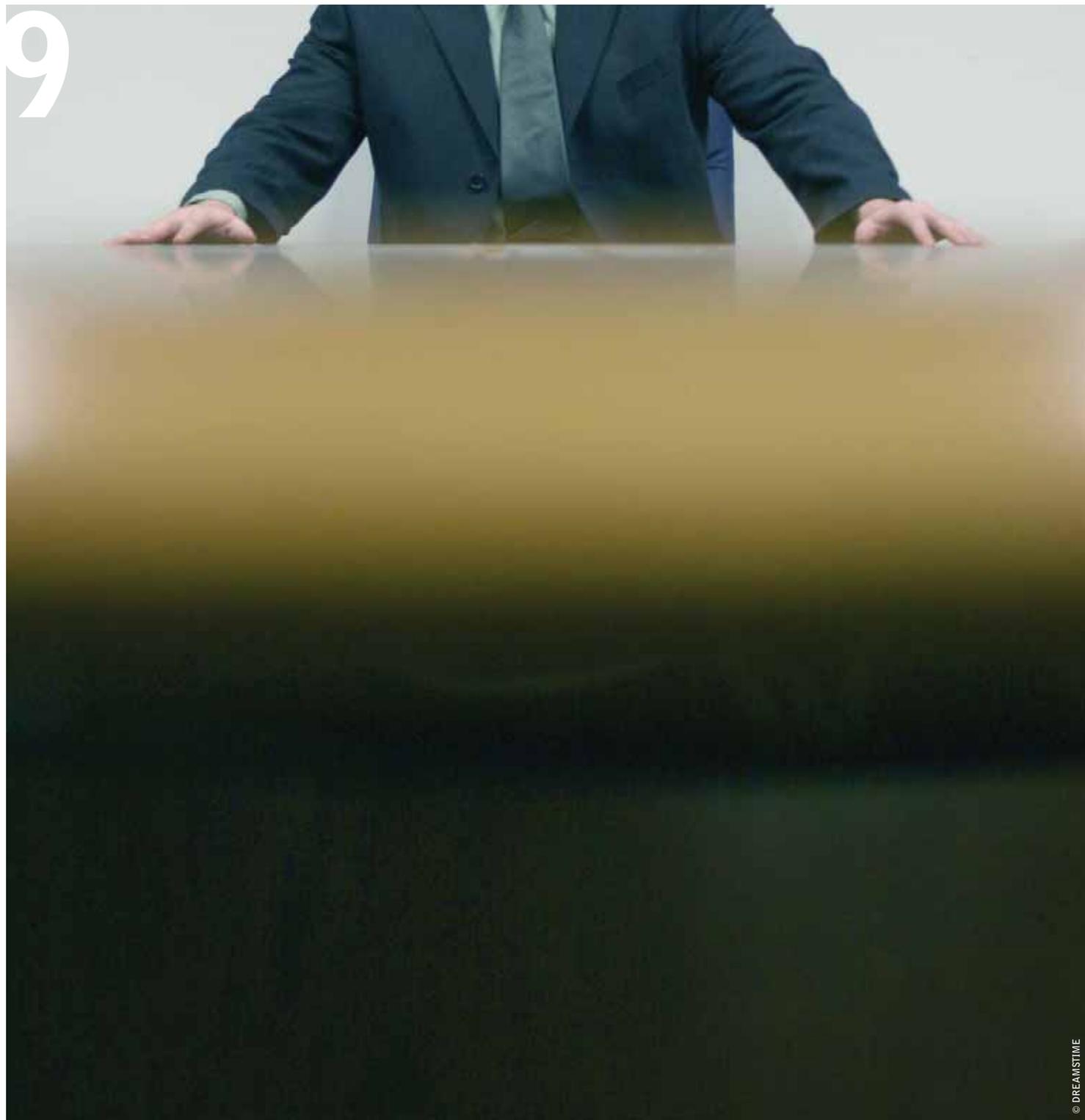
目前，风机制造业的国产化率低，造价高，仍然是限制中国风电发展的重要因素。为了支持风电技术和风电制造业的发展，国家发改委在2005年7月颁布了《关于风电建设管理有关要求的通知》，规定风电设备国产化率要达到70%以上，不满足设备国产化率要求的风电场不允许建设。

太阳能

中国全国三分之二的国土面积年日照小时数在2200以上。到2005年，太阳能光伏发电装机为7万千瓦。太阳能发电面临的主要问题是成本高。2005年，太阳能热水器总面积达到8000万平方米，年生产能力1500万平方米，使用量和年产量均居世界第一。太阳能在分散式能源系统中起到很大的作用，可以解决偏远地区农村人口的用电问题。到2010年，中国太阳能光伏发电装机容量为30万千瓦，到2020年为180万千瓦。

第九章 绿色和平政策建议

“... 致力于可持续经济发展，良好的就业、技术进步、全球竞争力和行业及研究的提升。”





能源革命强调不同国家和地区为了阻止危险的气候变化应如何改革他们的能源消费。中国处于能源革命的前沿。

表格16提供了一个能源革命情景和当前政府能源强度目标之间的对比：

表格 16

	% 减少 (2006-2010)	% 减少 (2006-2020)
能源革命	23.7	45.4
政府目标	20	45

表格17表明在可再生能源发展上能源革命情景和目前政府目标之间的比较：

表格 17

	截至2005年的装机量 (GW)	截至2010年的装机量 (GW)		截至2020年的装机量 (GW)	
		能源革命	政府目标	能源革命	政府目标
水电	110	121	180	183	300
风能	1.26	7	5	118	30
生物质能	2	10	5.5	23	30
太阳能光伏	0.07	1	0.3	25	1.8

绿色和平呼吁：

- 推动政策，逐步将化石能源使用的外部成本内部化
- 贯彻实施国家“十一五”期间，单位GDP能耗降低20%的目标
- 加大可再生能源发展的力度，特别是风电和太阳能光伏行业

此外，在大力发展可再生能源的同时，还需要关注其对环境社会的负面影响。如在发展水电的同时，须对当地的环境破坏和移民的问题进行充分的评估。发展生物质能，也需要避免到对粮食价格的影响，或对森林的破坏。

在世界范围内，常规能源每年都能得到约2500至3000亿美元的补贴¹⁴，这一现象导致市场的严重扭曲。据世界观察研究所估计，世界范围内为煤炭提供的补贴约为630亿美元。仅在德国一地，为煤炭提供的补贴便多达210亿美元，包括为每一名矿工提供的8.5万美元的直接补贴。此类补贴人为地降低了能源价格，使可再生能源在市场上不能得到应有位置，却支持了缺乏竞争力的旧技术和能源资源。减少为化石能源提供的直接和间接补贴，将有利于在整个能源部门建立平等的竞争市场。2001年，八国集团(G8)可再生能源专案小组在一份报告中称，“修订补贴额，就算仅是将这些可观的资金流量向可再生能源稍微倾斜，将与新的公共目标和利益保持一致，并将社会和环境成本包含在价格内”。可再生能源专案小组建议，“八国集团应该采取行动，减少对有害环境的能源技术提供激励机制及其他支持，发展及实施以市场为基础的、强调外部性的机制，使可再生能源技术能够在一个更加公平的基础上参与市场竞争”。

对电力生产者（及整个能源部门）而言，污染环境基本无需额外付费，这一现象对市场造成了扭曲。若非如此，可再生能源便无需得到特别的政策支持。对已完全成熟并产生污染效应的技术提供支持，是非常低收益的行为。停止给常规的电力部门提供补贴，不仅能够节省纳税者的金钱，同时还能大量减少发展可再生能源所需的财政支持。

以下是为减少或补偿当前能源市场扭曲所提供的一份更加全面的描述：

1. 消除能源市场扭曲

能源市场中缺少向社会反映能源生产所需全成本的定价结构，是阻碍可再生能源发挥全部潜力的一个主要障碍。在一个多世纪以来，发电行业的特色就是政府垄断，当新增生产能力需要投资时，通常是通过国家补贴或是提高电力价格。当许多国家开始建立更为自由的电力市场时，上述选择便不再有效了。这就使风电等新生的发电技术与现存的旧有发电技术相比已经不存在劣势。此状况还需得到大量响应。

将产生污染的能源的社会和环境成本内部化

生产常规能源的真实价格包括被社会所吸收的费用，例如对健康的影响，及当地和附近区域所遭受的生态破坏——从汞污染到酸雨——及气候变化在全球范围内所造成的负面影响。环境损害应该在源头优先得到矫正。在能源生产方面，从理想的角度而言，能源的生产不应该产生污染，且能源生产者有责任防止这种现象的产生。如果在生产过程中确实造成污染，生产者应该负责支付赔偿费，额度与生产过程给社会所造成的损害一致。但是，发电过程中所造成的环境损害可能难以量化。我们如何衡量，太平洋小岛上由于冰川融化导致海平面上升，所淹没的房屋的价值？我们又如何给正在恶化的人类健康状况和生命标价？

欧盟委员会资助了一项雄心勃勃的计划——用ExternE估算外部费用的方法——试图量化发电的真实成本（包括环境成本）。据估计，若将发电对环境或人类健康产生损害的外部成本计入成本内，那么使用煤炭或石油发电的成本将会增加一倍，用天然气发电的成本则会提高30%。若在发电过程中，按发电方式对环境的损害程度收取环境成本费用，那么许多可再生能源的发展将无需任何财政支持。如果同时去除化石能源接受的直接和间接补贴，那么对可再生能源发电的财政支持将削减、甚至不再需要。

注释

14 联合国开发计划署报告

引入“污染者付费”原则

若要建立一个真正的竞争市场，外部成本应与其他补贴一样，成为能源定价过程中的因素之一。这就需要政府采取“污染者付费”系统，要求相应的污染排放者支付费用，或是对没有排放污染的生产者提供适当补偿。在电力来源中，采取污染者付费的方式对排放污染者征税，或相应地给可再生能源行业提供补偿并在征收能源环境税时将可再生能源排除在外，对建立公平竞争的世界电力市场是必不可少的。

2. 电力市场改革

如果可再生能源技术能够在研发基金和补贴方面得到同其他能源一样的关注，如果外部成本能够如实地反映在能源价格中，那么可再生能源技术将具有相当的竞争力。要促成可再生能源技术被广泛接受，电力部门的实质性改革势在必行。这些改革应当包括：

破除电力部门壁垒

在许多国家，繁复的许可程序和官僚政治困扰，已经成为可再生能源项目面临的重要障碍之一。各级管理机构都应设立清晰的项目审批时间表，应给予可再生能源项目优先权。政府更应为此类项目设立更详尽的程序上的指导，以加强现有的立法制度；同时，要简化项目审批程序。

一个重要的障碍来自于许多经合组织国家中短期发电能力的冗余。由于这种过剩的生产力，相比出资兴建、投资一个新的可再生能源发电厂，在现有电厂燃烧更多的煤或天然气仍是比较便宜的。这导致的结果是，即使有的新技术比新型燃煤、燃气电厂更具竞争力，投资也不会实现。除非电价开始反映投资新发电能力的成本，而不是现有发电能力的边际成本，我们都需要支持可再生能源来平衡电力部门的畸形状况。

其他的障碍还包括，国家、区域和地方的电力发展长期规划的缺失；综合资源规划的缺失；整体电网规划和管理缺失；市场可预见性和稳定性不足；国际性水体管理框架缺乏；纵向联合的电网所有制；和长期研发资金的缺乏。

同时，大型可再生能源的联网完全空白，例如，海上风电厂和太阳能热电厂；陆上电网很薄弱甚至没有；对于嵌入式或分散式发电的经济利益认识不足；现有的不适应可再生能源技术的电网设施应予以改善并区别对待。

电力改革应该解决可再生能源面对的市场壁垒，包括：

- 简化、统一的规划程序和审批系统，整体性、成本最低的网络规划；
- 公平上网准入，透明价格和消除歧视性上网准入和传送费用；
- 实行本网内部公平透明定价，承认并补偿嵌入式发电的利益；
- 分拆电力行业，将发电和输配电分离；
- 电网基础设施发展和加固费用必须由电网主管机关而非各可再生能源项目承担；
- 向终端消费者披露提供燃料结构和环境影响信息，使消费者在信息公开的情形下选择不同电力来源；

优先上网权

通常关于上网、输送和费用分摊的规定都不健全。相关立法必须明确，尤其关于成本分摊和输送费用。可再生能源发电厂应当被给予优先权。在有必要的区域，电网的扩建和加固费用应该由电网运营方负担，再分摊在消费者头上。这样做的合理性在于，可再生能源的环境收益是一种公共品，而其系统运营具有天然的垄断性。

可再生能源支持机制

以下部分概括描述了现有的支持机制和实施的经验。支持机制只是电力部门内为了纠正市场失灵的次优选择。但是，鉴于短期内实施“谁污染谁支付”原则并不现实，引入支持机制是承认这一现状切实可行的行政手段。

总体来说，促进可再生能源的开展有两种激励手段。分别是，固定价格体系，指政府指定付给生产者的电价或溢价，而市场决定消费量；可再生能源配额体系（在美国也被称为可再生能源总量标准），指政府确定可再生能源发电的配额，由市场决定其价格。这两种体系都可以创建一个受保护的市场，与被补贴而日益衰退的传统能源相抗衡。同时我们要指出，传统能源带来的环境外部成本并没有被考量。这些体系的目的在于提供技术进步和成本降低的激励，从而使可再生能源变得更便宜，在将来可以与传统能源相竞争。



这两种“配额”和“价格”体系的最大区别在于，前者旨在引进不同电力供应商之间的竞争。但是，目前，不同技术生产商之间的竞争，作为拉低电力生产成本最主要因素之一，并没有考虑政府在控制配额或价格上的决策作用。比较当前在欧洲实施配额制度的国家（英国、比利时、意大利）和固定电价/溢价的国家（德国、西班牙、丹麦）的电价，前者高于后者。

固定电价体系

固定电价体系包括投资补贴、固定上网电价、固定溢价和税收减免。

• 投资补贴

投资补贴是一种资本支付，通常以发电机功率（千瓦）计。但是，通常认为，根据发电厂大小而非发电量多少来决定补贴数量的投资补贴系统可能会导致较为低效的技术发展。尽管与其他激励机制联合使用会比较有效，但国际上逐渐远离这种补贴方式。

• 固定上网电价

固定上网电价在欧洲被广泛采用，已被证实对于风电在德国、西班牙和丹麦的扩张起到了非常成功的作用。运营商每一度输入电网的电都得到一个固定的价格支付。在德国，这个价格还会根据某种特定技术的相对成熟度而调整，每年都会下降而反映不断降低的成本。而系统的附加成本由纳税人和电力消费者负担。

固定上网电价制度的最大好处是管理方便而且鼓励更优的规划。尽管固定上网电价制度并没有与正式购电合约相联系，电力传输公司通常都会有义务去购买来自可再生能源的全部电量。德国已经降低了固定上网电价体系被20年固定价格担保支付改变的政治风险。这一制度的主要问题是它本身并不容易调整来反映可再生能源技术成本的变化，无论成本增加还是降低。

• 固定溢价政策

有时被称做“环境奖励”机制，是在批发电价的基础上增加一个固定的溢价。从投资者的角度看，在固定溢价政策下每度电获得的总价与在固定上网电价下的电价相比，更不容易预测。因为固定溢价决定于持续变化的电价。然而，从市场的角度看，有意见认为固定溢价政策可以很容易的被整合到整个电力市场中，因为所有的参与方都会对市场价格信号作出反应。西班牙是实施固定溢价政策最显著的国家。

• 税收抵免

美国和加拿大采用这种政策。对生产的每一度电都给予税收抵免。在美国市场上扮演主要驱动角色的是联邦生产税收抵免（PTC），相当于每度电1.8美分。并根据每年的通货膨胀系数进行调整。

可再生能源配额体系

目前已经采用的有两种可再生能源配额体系：招标制度和绿色证书。

• 招标制度

包括针对某一个具体项目的建设和运行，或者对某一国家或州固定的可再生能源装机进行竞价。尽管同时会考虑其它因素，最终的结果总是最低竞价者胜出。爱尔兰、法国、英国、丹麦和中国都已应用这种制度来促进风电发展。

不利的方面是投资者为了获得合约，可能会给出不符合经济性的极低价格；却并不真正建设这些项目。例如，在英国《非化石燃料公约》下，许多由招标产生的合同并未履行；以至最终被废止。显然，如果可以合理设计，例如，一个包含有设计承诺和最低价格的长期合同，那么对大型项目招标制度就会有效。例如，在欧洲北海海上石油和天然气开采项目。

• 可交易的绿色证书制度

该制度为每度来源于可再生能源的电都提供一个“绿色证书”。这些可以在市场上交易的绿色证书的价值，被相应的添加到基础电价之中。通常绿色证书体系与增长的可再生能源发电配额制度共存。法律规定电力公司需要购买一定份额的可再生能源，且份额是逐渐增加的。实施这种制度的国家包括，欧洲的英国、瑞典和意大利，以及美国的一些州，在那里该系统被称为零售组合标准。

与固定的招标价格相比，可交易绿色证书系统对投资者来说更有风险性，因为价格每天波动，除非发展长期有效的认证合同市场。但这样的市场目前并不存在。这一系统比其它的支付机制都要复杂一些。

以上一系列的激励机制中，哪一种最好呢？依过去的经验看，我们可以肯定以固定上网电价和溢价为为基础的政策，可以设计得相当有效。但是，单纯的引进这些政策并不能保证一定可以成功。大多数支持可再生能源发展的国家，都曾经使用过固定上网电价政策，但是，并不是所有都切实增加了可再生能源发电。归根到底，机制同其它手段一起决定最后结果的成功与否。

附录：参照情景

表格 18: 发电

TWh/a	2003	2010	2020	2030	2040	2050
电厂	1,943	2,472	3,693	4,999	6,635	8,426
煤	1,520	1,882	2,695	3,684	4,981	6,461
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	22	38	126	160	210	280
石油	58	59	61	44	34	26
核能	43	81	180	280	342	377
生物质能	15	17	21	33	42	50
水电	284	384	582	733	893	1,037
风电	1	11	28	63	130	189
太阳能光伏	0	0	0	2	4	6
地热	0	0	0	0	0	0
太阳热能	0	0	0	0	0	0
海洋能	0	0	0	0	0	0
热电联产	0	68	184	405	510	619
煤	0	20	55	162	201	247
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	0	17	70	155	193	234
石油	0	1	4	9	12	13
生物质能	0	28	53	77	100	120
地热	0	2	2	2	3	4
生产者热电联产	0	21	53	120	133	188
非电力行业生产者	0	47	131	285	377	431
总发电量	1,943	2,540	3,877	5,404	7,145	9,045
化石能源	1,600	2,018	3,011	4,213	5,631	7,262
煤	1,520	1,903	2,750	3,845	5,182	6,708
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	22	55	196	315	403	514
石油	58	60	65	53	46	39
核能	43	81	180	280	342	377
可再生能源	300	441	685	910	1,172	1,406
水电	284	384	582	733	893	1,037
风电	1	11	28	63	130	189
太阳能光伏	0	0	0	2	4	6
生物质能	15	45	74	110	142	170
地热	0	2	2	2	3	4
太阳热能	0	0	0	0	0	0
海洋能	0	0	0	0	0	0
进口	13.4	16.5	23.8	32.2	42.4	54.3
进口可再生能源	0	0	0	0	0	0
出口	13.3	16.4	23.7	32.1	42.3	54.2
输送损失	128	166	256	359	484	630
电厂自身电力消费	294	404	582	769	905	934
总能耗 (电力)	1,521	1,970	3,040	4,276	5,757	7,481
波动性可再生能源 (太阳能光伏\风能\海洋能)	1	11	28	65	134	195
波动性可再生能源份额	0.1%	0.4%	0.7%	1.2%	1.9%	2.2%
可再生能源份额	15.4%	17.4%	17.7%	16.8%	16.4%	15.2%

表格 19: 装机

GW	2003	2010	2020	2030	2040	2050
电厂	429	546	803	1,061	1,383	1,733
煤	312	382	535	712	940	1,196
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	9	17	45	58	76	102
石油	19	20	20	15	11	9
核能	5.4	10	22	35	42.7	47.2
生物质能	2	2.3	2.8	4.4	5.6	6.7
水电	81	110	166	209	255	296
风电	0.6	5	11.4	25.7	49.4	72
太阳能光伏	0	0	0	1.5	3.1	4.6
地热	0	0	0	0	0	0
太阳热能	0	0	0	0	0	0
海洋能	0	0	0	0	0	0
热电联产	0	19	47	108	130	164
煤	0	7	17	46	56	71
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	0	6	20	48	56	72
石油	0	0	1	2	2	3
生物质能	0	5	8	11	14	17
地热	0	0	0	0	1	1
生产者热电联产	0	9	21	47	51	74
非电力行业生产者	0	10	27	61	79	90
总发电量 ≈	429	564	850	1,169	1,513	1,898
化石能源	340	432	639	881	1,142	1,453
煤	312	389	553	758	996	1,268
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	9	23	65	106	133	174
石油	19	20	21	17	14	11
核能	5.4	10	22	35	42.7	47.2
可再生能源	84	122	189	253	328	398
水电	81	110	166	209	255	296
风电	1	5	11.1	26	49	72
太阳能光伏	0	0	0	2	3	5
生物质能	2	7.3	11.1	15.6	20.1	24
地热	0	0	0	0	1	1
太阳热能	0	0	0	0	0	0
海洋能	0	0	0	0	0	0
波动性可再生能源 (太阳能光伏\风能\海洋能)	0.6	5	11.4	27.3	52.5	76.6
波动性可再生能源份额	0.1%	0.9%	1.3%	2.3%	3.5%	4.0%
可再生能源份额	19.5%	21.7%	22.2%	21.6%	21.7%	21.0%

表格 20: 一次能源需求

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
总需求	55,379	62,611	78,264	95,095	111,828	128,009
化石能源	44,232	50,626	64,120	78,952	94,029	108,756
煤	32,241	33,854	39,812	46,700	55,017	63,434
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	1,327	1,176	3,512	5,562	6,794	7,604
原油	10,664	15,597	20,795	26,690	32,218	37,718
核能	472	879	1,968	3,057	3,725	4,116
可再生能源	10,675	11,105	12,179	13,086	14,073	15,137
水电	1,021	1,382	2,093	2,638	3,215	3,731
风能	4	40	101	227	468	681
太阳能	0	73	155	327	466	584
生物质能	9,649	9,570	9,785	9,847	9,865	10,64
地热	0	40	42	47	60	76
海洋能	0	0	0	0	0	0

参照情景

表格 21: 供热

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
区域供热	1,444	1,311	1,531	1,601	1,765	1,610
化石能源	1,434	1,253	1,171	856	794	644
生物质能	10	58	360	745	971	966
太阳能集热	0	0	0	0	0	0
地热	0	0	0	0	0	0
供热(来自热电联产)	0	408	886	1,650	1,822	2,143
化石能源	0	234	609	1,314	1,456	1,731
生物质能	0	164	266	323	349	389
地热	0	10	11	13	17	23
直接供热¹⁾	19,437	20,061	21,721	23,625	24,323	24,115
化石能源	12,093	13,008	14,936	17,253	18,275	18,023
生物质能	7,345	6,979	6,630	6,052	5,597	5,530
聚光太阳能	0	73	155	320	451	562
地热	0	0	0	0	0	0
总供热¹⁾	20,881	21,780	24,139	26,876	27,910	27,868
化石能源	13,526	14,495	16,716	19,423	20,525	20,398
生物质能	7,355	7,201	7,257	7,120	6,917	6,885
聚光太阳能	0	73	155	320	451	563
地热	0	10	11	13	17	23
可再生能源份额 (包括可再生能源发电)	35.2%	33.4%	30.8%	27.7%	26.5%	26.8%

1) 不包括来自电力的热能

表格 22: 二氧化碳排放

MILL t/a	2003	2010	2020	2030	2040	2050
凝汽式发电	1,600	1,888	2,546	3,223	4,059	4,918
煤	1,542	1,824	2,444	3,127	3,958	4,807
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	12	19	58	66	78	94
石油	46	45	44	30	22	17
热电联产	0	33	87	204	241	293
煤	0	21	48	125	146	179
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	0	11	36	74	88	107
石油	0	1	3	5	6	7
蒸汽电生产中的二氧化碳排放	1,600	1,921	2,632	3,428	4,300	5,211
煤	1,542	1,845	2,492	3,252	4,104	4,985
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	12	30	94	140	167	202
石油和柴油	46	46	46	35	29	24
不同部门二氧化碳排放	3,313	3,807	4,879	6,073	7,320	8,547
2000年排放%	100%	115%	147%	183%	221%	258%
工业	792	831	911	1,042	1,090	1,088
其他行业	440	503	613	732	778	752
交通	288	403	625	896	1,218	1,597
电力/蒸汽生产	1,600	1,902	2,576	3,294	4,136	5,031
分布式供热	193	168	155	109	99	79
人口(百万)	1,311	1,377	1,447	1,462	1,449	1,407
人均二氧化碳排放(吨/人)	2.5	2.8	3.4	4.2	5.1	6.1

目标情景

表格 23: 发电

TWh/a	2003	2010	2020	2030	2040	2050
电厂	1,943	2,343	3,293	4,308	5,213	6,216
煤	1,520	1,709	1,874	1,727	1,543	1,443
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	22	95	350	620	1050	1350
石油	58	50	45	25	10	0
柴油	0	0	0	0	0	0
核能	43	38	25	15	0	0
生物质能	15	10	7	5	3	2
水电	284	422	640	806	983	1,140
风电	1	16	290	750	950	1,200
太阳能光伏	0	1	33	180	310	500
地热	0	0	0	0	0	0
太阳热能	0	1	25	170	340	550
海洋能	0	1	5	10	25	30
热电联产	0	102	295	620	1,015	1,340
煤	0	0	0	0	0	0
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	0	55	153	322	577	785
石油	0	0	0	0	0	0
生物质能	0	46	140	296	435	551
地热	0	2	2	2	3	4
生产者热电联产	0	32	95	240	450	623
主力生产者	0	70	200	380	565	717
总发电量	1,943	2,445	3,588	4,928	6,228	7,556
化石能源	1,600	1,908	2,422	2,694	3,180	3,578
煤	1,520	1,709	1,874	1,727	1,543	1,443
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	22	150	503	942	1,627	2,135
石油	58	50	45	25	10	0
核能	43	38	25	15	0	0
可再生能源	300	498	1,141	2,219	3,049	3,977
水电	284	422	640	806	983	1,140
风电	1	16	290	750	950	1,200
太阳能光伏	0	1	33	180	310	500
生物质能	15	56	147	301	48	553
地热	0	2	2	2	3	4
太阳热能	0	1	25	170	340	550
海洋能	0	1	5	10	25	30
进口	13.4	14.3	15.2	20	26	31.8
进口可再生能源	0	1.3	3.6	8	13.5	21.3
出口	13.3	14.3	15.2	19.9	26	31.8
输送损失	128	160	237.5	329.1	423.5	527.4
电厂自身电力消费	294	388.4	537.6	699.6	787	779.7
总能耗 (电力)	1,521	1,896	2,813	3,899	5,018	6,249
波动性可再生能源 (太阳能光伏\风能\海洋能)	1	18	328	940	1,285	1,730
波动性可再生能源份额	0.1%	0.7%	9.1%	19.1%	20.6%	22.9%
可再生能源份额	15.4%	20.4%	31.8%	45%	49%	52.6%
能效节约 (与参照情景相比)	0	74	227	376	739	1,232

表格 24: 装机

GW	2003	2010	2020	2030	2040	2050
电厂	429	540	848	1,273	1,612	2,010
煤	312	347	372	334	291	267
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	9	41	125	225	382	491
石油	19	17	15	8	3	0
核能	5.4	4.7	3.1	1.9	0	0
生物质能	2	1.3	0.9	0.7	0.4	0.3
水电	81	121	183	230	281	326
风电	0.6	7.3	118.4	306.1	361.2	456.3
太阳能光伏	0	0.8	25.4	138.	238.5	384.6
地热	0	0	0	0	0	0
太阳热能	0	0.3	3.8	25.5	49.8	78.6
海洋能	0	0.1	1.1	2.1	5.3	6.4
热电联产	0	27	69	145	250	335
煤	0	0	0	0	0	0
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	0	18	46	102	187	256
石油	0	0	0	0	0	0
生物质能	0	9	22	43	62	78
地热	0	0	0	0	1	1
生产者热电联产	0	13	32	77	150	208
主力生产者	0	14	37	68	99	127
总发电量 ≈	429	567	917	1,418	1,862	2,345
化石能源	340	423	558	670	863	1,014
煤	312	347	372	334	291	267
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	9	60	171	328	569	747
石油	19	17	15	8	3	0
核能	5.4	4.7	3.1	1.9	0	0
可再生能源	84	139	355	746	999	1,331
水电	81	121	183	230	281	326
风电	1	7	118	306	361	456
太阳能光伏	0	1	25	138	238	385
生物质能	2	10	23	43	63	79
地热	0	0	0	0	1	1
太阳热能	0	0	4	26	50	79
海洋能	0	0	1	2	5	6
波动性可再生能源 (太阳能光伏\风能\海洋能)	0.6	8.2	144.8	446.7	605	847.3
波动性可再生能源份额	0.1%	1.4%	15.8%	31.5%	32.5%	36.1%
可再生能源份额	19.5%	24.6%	38.7%	52.6%	53.6%	56.8%

表格 25: 一次能源需求

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
总需求	55,379	57,095	62,534	68,698	73,933	76,066
化石能源	44,232	45,190	48,574	50,747	52,490	50,328
煤	32,241	30,997	29,393	25,855	20,061	14,916
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	1,327	3,327	7,140	11,357	17,729	20,932
原油	10,664	10,866	12,042	13,535	14,699	14,480
核能	472	415	273	164	0	0
可再生能源	10,675	11,490	3,687	17,787	21,444	25,738
水能	1,021	1,520	2,303	2,902	3,537	4,105
风能	4	58	1,044	2,700	3,420	4,320
太阳能	0	467	1,242	2,798	4,458	6,172
生物质能	9,649	9,386	9,008	9,303	9,941	11,048
地热	0	59	89	84	88	93
海洋能	0	2	18	36	90	108
能效节约 (与参照情景相比)	0	5,524	15,750	26,427	37,947	52,030

目标情景

表格 26: 供热

PJ/A	2003	2010	2020	2030	2040	2050
区域供热	1,444	1,533	1,760	1,945	2,235	2,018
化石能源	1,434	1,293	1,272	1,231	1,281	1,056
生物质能	10	11	12	14	16	14
聚光太阳能	0	230	475	700	939	949
地热	0	0	0	0	0	0
供热(来自热电联产)	0	604	1,443	2,570	3,714	4,658
化石能源	0	326	727	1,331	2,208	2,904
生物质能	0	268	705	1,226	1,489	1,731
地热	0	10	11	13	17	23
直接供热¹⁾	19,437	17,670	16,009	15,193	13,129	9,997
化石能源	12,093	10,643	9,787	9,764	8225	5,476
生物质能	7,345	6,778	5,616	4,554	3,696	3,060
聚光太阳能	0	230	558	838	1,179	1,444
地热	0	19	48	38	29	18
总供热²⁾	20,881	19,807	19,211	19,708	19,078	16,673
化石能源	13,526	12,261	11,786	12,325	11,714	9,435
生物质能	7,355	7,057	6,333	5,794	5,200	4,804
聚光太阳能	0	460	1,034	1,538	2,118	2,392
地热	0	29	59	50	46	40
可再生能源份额 (包括可再生能源发电)	35%	38%	39%	37%	39%	43%
能效节约 (与参照情景相比)	0	1,972	4,928	7,168	8,832	11,196

1) 不包括来自电力的热能

表格 27: 二氧化碳排放

MILL t/a	2003	2010	2020	2030	2040	2050
凝汽式发电	1,600	1,742	1,892	1,739	1,624	1,528
煤	1,542	1,655	1,699	1,466	1,226	1,074
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	12	48	160	256	391	454
石油	46	38	32.2	16.9	6.6	0
热电联产	0	34	80	155	275	370
煤	0	0	0	0	0	0
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	0	34	80	155	275	370
石油	0	0	0	0	0	0
蒸汽电生产中的二氧化碳排放	1,600	1,775	1,972	1,895	1,899	1,897
煤	1,542	1,655	1,699	1,466	1,226	1,047
褐煤	0	0	0	0	0	0
天然气	12	82	240	411	666	823
石油和柴油	46	38	32	17	7	0
不同部门二氧化碳排放	3,313	3,405	3,622	3,664	3,581	3,284
2000年排放%	100%	103%	109%	111%	108%	99%
工业	792	660	559	535	480	386
其他行业	440	432	450	478	351	180
交通	288	382	512	662	793	832
电力\蒸汽生产	1,600	1,754	1,922	1,813	1,775	1,736
分布式供热	193	177	179	176	183	151
人口(百万)	1,311	1,377	1,447	1,462	1,449	1,407
人均二氧化碳排放(吨/人)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.3
能效节约 (与参照情景相比)	0	402	1,257	2,409	3,739	5,262



能源革命



绿色和平是一个全球性的环保组织，总部在荷兰阿姆斯特丹，并在全世界40多个国家及地区设有分部。绿色和平揭露全球环境问题，并以实际行动推动积极的改变，保护地球环境和世界和平。

1997年，绿色和平在香港设立办事处，随后在北京设立联络处。通过研究、游说及非暴力直接行动等方式，提升社会各界对环保的关注。主张公开讨论全球的环境问题，希望与各地政府及民众一起，寻求建设性的解决方案，致力于将中国发展成一个拥有健康环境的国家。

北京

地址：北京朝阳区朝外大街吉庆里蓝筹名座E座2区19层
邮编：100020
电话：+86 10 6554 6931 传真：+86 10 6554 6932

香港

地址：香港上环干诺道西21-24号海景商业大厦3楼
电话：+852 2854 8300 传真：+852 2745 2426

网站：www.greenpeace.org.cn
电邮：greenpeace.china@hk.greenpeace.org



欧洲可再生能源委员会（EREC）是由欧洲可再生能源产业组成的一个伞形组织，包括光伏、风能、小水电、生物质能、地热能和太阳热能等行业：

AEBIOM（欧洲生物质能协会）
EGEC（欧洲地热委员会）
EPIA（欧洲光伏工业协会）
ESHA（欧洲小水电协会）
ESTIF（欧洲太阳能工业联盟）
EUBIA（欧洲生物质能工业协会）
EWEA（欧洲风能协会）
EUREC Agency（欧洲可再生能源委员会研究中心）

EREC所代表的欧洲可再生能源工业有200亿欧元的营业额，为30万人提供着就业机会。

地址：Renewable Energy House, 63-65 rue d' Arlon,
B-1040 Brussels, Belgium
电话：+32 2 546 1933 传真：+32 2 546 1934

网址：www.erec.org
电邮：erec@erec.org