



HEINRICH BÖLL STIFTUNG
ECOLOGY



GREEN EUROPEAN FOUNDATION

转型所需的系统： 核能，还是能效 + 可再生能源？

安东尼·弗洛加特 与 迈克尔·施耐德



海因里希·伯尔基金会
生态主题出版物系列

转型所需的系统

核能，还是能效 + 可再生能源？

“我们知道，一个能够掌握清洁、可再生能源技术的国家必将引领21 世纪。”

—— 美国总统，巴拉克·奥巴马

观点：

持续对核能的投资，特别是新建核电厂项目，已经构成向基于提高效率以及使用可再生能源的可持续智能型能源服务经济转型的一个重大障碍。

安东尼·弗洛加特与迈克尔·施耐德 著
德国，海因里希·伯尔基金会论文，2011 年3 月



GREEN EUROPEAN FOUNDATION

为本书出版提供了支持

HEINRICH BÖLL STIFTUNG 海因里希·伯尔基金会

转型所需的系统：核能，还是能效 + 可再生能源？

Systems for Change: Nuclear Power VS. Energy Efficiency + Renewables?

版权

© 本书作者 和 海因里希·伯尔基金会

本书第 10 页，21 页和 46 页的图片已获得知识共享授权，保留部分版权。

详见 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>

封面图片版权所有：©thinkstockphotos.com

出版

海因里希·伯尔基金会 中国办公室

2011 年 5 月印刷

索取请联系：

海因里希·伯尔基金会 中国办公室

地址：中国北京市东城区工体北路新中西街 8 号亚洲大酒店写字楼 309 室

电话：(+86) 10 66154615

传真：(+86) 10 66154615 转 102

电子邮件：info@boell-china.org

网址：www.boell-china.org

本书可在 www.boell-china.org 下载

英文原版可在 <http://boell.eu/web/288-663.html> 下载

本书译自英文，若有疑义，请参照英文原版

协调与定稿

陈冀俚

翻译

郭 娜

校对

苗 红

目录

序言：核能 - 注定是末路一条	5
引 言	7
概况和趋势	10
能源需求及其对全球碳排放和能源资源的影响	10
转变能源供应模式	11
可再生能源的历史脉络与发展展望	12
核能发展的历史与未来	18
核能与可再生能源的比较系统性的问题	19
系统性的问题	21
法国的集中式发电系统	22
德国模式：逐渐淘汰核能、扩大使用可再生能源	23
西班牙可再生能源目前是否已达上限？	25
一种新的途径	25
投资时机的资本	28
迅速应对气候变化行动的迫切性	28
提前着手推广新技术、新经验和建立新希望	29
核能	29
可再生能源	32
机会成本	35
研发阶段	36
投资成本	38
基础设施和电网	41
市场机制	43
结论	46
图表：	
图 1：世界能源需求和人口增长情况	12
图 2：2004-2009 年全球新增清洁能源投资的增长情况	13
图 3：全球电力行业的可再生能源的增长	13
图 4：全球电力消费量与水电发电量比较	15
图 5：累计全球风力发电容量	16
图 6：2008 年全球风力发电厂装机容量	16
图 7：全球集热式太阳能发电装机能力 1980-2007	17
图 8：全球太阳能电池的年产量 1975-2007	17

图 9：世界核反应堆和发电装机容量 1954-2010	19
图 10：可再生能源与核能在全球电网的净增装机容量 1990-2010	20
图 11：非化石燃料能源的发电总量	20
图 12：法国最终消费的温室气体的排放	23
图 13：德国电交易所的负电价	25
图 14：美国核电厂投资成本的增长情况（“学习曲线”）	31
图 15：法国核电厂投资成本的增长情况（“学习曲线”）	31
图 16：技术学习曲线	33
图 17：低碳能源领域的投资变化	36
图 18：经合组织成员国（OECD）研发经费预算	37
图 19：经合组织成员国能源研发预算用途比例	38
图 20：2020 年英国碳减排成本测算结果	40
图 21：Exelon 2010 年碳减排成本估算	41
表 1：世界核电站建设施工时间	30
表 2：2020 年电力燃料来源成本预测	33

序言：核能 – 注定是末路一条

假如我们经常关注有关核能复兴的相关言论，可能就会形成这样一种印象：新建的核电站的数量正在稳步快速地增加。但是事实上，最新的统计数据显示，目前在建的60座核电站，主要在中国，其余的在俄罗斯、印度、韩国和日本，在美国仅有一座。而且，在《VGB 电力科技》（VGB Power Tech）杂志的名录中还包括了大量无法完成的老核电站项目，现在已然成了建筑废墟。

而且，从目前来看，到2020年全世界大约有160个新建核电站的项目申请，其中有53个来自中国，35个来自美国，其次就是韩国和俄罗斯。在欧洲，英国新建核电站的项目申请最多，有8个，接下来依次是意大利、瑞士、芬兰、罗马尼亚和立陶宛。而在全世界范围内宣传核电站建设的法国，在本土仅计划新建一座核电站。绝大多数欧洲国家目前没有任何具体的新建核电站计划。

事实上，在世界范围内，核电站的数量一直在减少。目前仍在运转的核反应堆有436个。在接下来的15–25年内，一些新的核电站会投入生产，但更多数量的老旧核电站会停止运营。并且，不是所有计划中的新建核电站都能最终建成，得以运营。因为能源市场对自由竞争的开放程度越高，发展核能的机会就会越小。

同时，建设新核电站的成本也在激增。比如，在芬兰奥尔基洛托新建的核电站，尽管核电站的骨架还没完成，但建设成本已经从30亿欧元增加到了54亿欧元左右。此外，核电站的核废料处理问题仍未解决，技术失败的风险也较高。目前，如果没有政府的财政补贴和担保，私营能

源企业集团是不会冒险去投资新的核电站建设的。值得注意的是，在政府和能源产业联系紧密的地方更容易兴建新的核电站。

迄今为止，核电站的建设都享受着巨额的国家补贴。在德国，相关的国家补贴累计超过了1000亿欧元，而且目前这些优惠政策仍在继续执行中。如此一来，数以十亿欧元的用于处理核废料和核电站拆撤的预留款为企业实现免税提供了可乘之机。此外，核电站运营者的负债义务只有25亿欧元——这仅占一次中型核意外事故处理成本的一小部分。从整体来看，核能利用由于其危险性使得实际使用成本非常高。

除了有关核能的常见争论，现在又出现了一些新的问题。首先，核扩散的危险性会随着世界范围内新建核电站的增多而增加。尽管国际原子能总署（IAEA）在核能管理方面做出了努力，但是核能技术在民用和军用领域的界限仍然很难严格区分开来。最近出现的伊朗核问题就是一个很好的例子。其结论就是，对于那些不想遵循核不扩散条约规定的国家，我们是无计可施的。伴随着核能的扩张，为了生产核燃料，需要建设更多的核燃料后处理工厂和快中子增殖反应堆。这两者都会增加钚的流通，进而产生大量可用于制造核武器的可裂变材料——这是多么可怕的情景！

其次，延长现有核电站的使用寿命，甚至建设新的核电站，将会成为发展可持续性能源的巨大障碍。那些认为核能与可持续性能源互补的说法都是站不住脚的。因为，这两者不仅会为了非常有限的投资和输电线路而彼此竞争，而且核电站因其

僵化的持续运作模式会抑制可再生能源尤其是风能的发展潜力。在风能资源很充裕并且低能耗用电方式得到普及的国家，例如德国，它的能源需求已经可以在很大程度上依靠风能发电解决。如果出于短期的经济考虑，不降低现存核电站（也包括大型燃煤电站）的发电量，则剩余电量就不得不以亏本的价格出口到其他国家。这是一种多么疯狂的行为。

不论你如何看待它，核能既不会对气候变化产生决定性的贡献，也不是确保能源供应的必然选择。事实恰恰相反，那些希望通过发展可再生能源以100%满足电力需求的人们应该反对建设新的核电站，而且反对延长现存核电站的使用寿命。尽管仍有支持核能的声音，但核能并不是人类步入太阳能时代合适的中间过渡阶段。

拉尔夫·弗于克斯 Ralf Fücks
海因里希·伯尔基金会（Heinrich-Böll-Stiftung）主席
2010年1月，柏林

引言

2010年2月16日，美国总统奥巴马在马里兰州发表的关于能源问题的演讲中定下了这样的基调¹。对未来的展望时，他说：“未来的可再生能源将为油电混合动力车以及节能型住宅和企业提供电力”。他还说道：“未来，我们将出口具有自主知识产权的能源技术来代替进口国外石油”。为了达到未来的目标，他提出了更多的要求：

在大力提高风能和太阳能等可再生能源规模的同时，我们需要继续对先进生物燃料和清洁煤炭技术进行投资。而且，我们还必须要在美国建设一批新一代安全、清洁的核电站。

能效、可再生能源与核能并重，法国总统萨科奇同意美国总统的说法。在2009年6月9日的一次讲话中他说道：“我们将对可再生能源的战略做出调整，这种调整就像20世纪60年代戴高乐将军发起的核能建设同样重要。这并不是取而代之，而是双管齐下。”²萨科奇宣称，有一欧元的核能投入，就同样将会有一欧元投资于可再生能源。他还阐述了这一问题的政治意义。均等投资的意义在于：“维持对核能重要性的共识，并争取让核能的反对者们能容忍它。”³有一点已经明确，有着65年历史的法国原子能委员会即将更名为法国原子与替代能源委员会（Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives）。

核电是否是一种“过渡性”能源？德国保守派联盟政府已经宣布，计划在目前仍有效的逐步淘汰核能立法规定的最终期限以后，延长本国现有的17座核电站的发电年限。根据联合政府达成的协议，核电站运转年限的延长所带来的电力收益，其“最大赢家”将会是政府，它以税收的形式获利，并将收益重新投资到可再生能源及提高能源效率项目。明令禁止新建核电站仍然雷打不动。默克尔政府和她的政党在有关该协议的实施中却出现了分歧。德国环境部长诺伯特·吕特根（Norbert Röttgen）认为，问题是如何向“可再生能源为主的模式”转型。他同时强调他并不清楚“联合政府中谁曾说过核能是我们的未来技术。”⁴吕特根希望核能将在2030年前被逐渐淘汰——在现行法律规定时间表的8年后，到那时核反应堆已运行了约40年，并且可再生能源应该能提供40%的电力，比目前提高16%。这位德国部长指出：“既有大量核电，又有大量环保电力，从经济概念上讲这种搭配并不适合”。⁵

到底适合还是不适合？当分析发展核电与发展以能效+可再生能源为基础的能源系统之间是有可能互相补充，或有可能存在矛盾时，德国可能是最有趣的例子。德国地方企业联合会（VKU）是一个拥有超过1350家公司的强大协会，这些公司享有国内电力和热力最终用户一半以上的能源市场份额。该协会十分担心延迟逐步淘汰核电站政策所带来的后果。VKU的执行董事汉斯-约阿希姆·雷克在新闻发布会上宣布⁶：

1 总统在马里兰州兰纳姆有关能源的评论（2010年2月16日）

<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/remarks-president-energy-lanham-maryland>

2 Le Monde（2010年6月9日）；事实上，戴高乐将军并没有启动第一个大规模的核电站建设项目，而是前总理梅斯梅尔于1974年启动的。

3 同上。有关核能的共识从来就不是公众民意，而是主要政党间的协议。

4 法兰克福评论报（2010年2月19日）

http://www.fr-online.de/in_und_ausland/wirtschaft/debatte_energie_der_zukunft/?em_cnt=2331965&

5 同上

这对能源系统竞争以及能源系统向分布式和可再生能源转型中的负面影响被完全忽视了。[……] 这只会阻碍市政基础设施投资建设面向未来的高效的发电系统。

VKU 还认为，德国大约65 亿欧元的市政发电厂投资现在需要重新评估，甚至已经实施的项目其经济可行性也可能会受到威胁。

当涉及到集中式核能系统与小型高效的可再生能源系统（能效+ 可再生能源系统）两者是否可以兼容时，对很多系统性的问题并没有展开深入的分析。如电网的发展结果会是什么？或者说电网特性的选择会如何影响发电厂投资战略？到底什么样的电厂规模可以解决结构性产能过剩问题，并承担由于产能过剩而导致的刺激机制缺失问题？政府补助/ 补贴如何鼓励长期的决策？大型可再生能源发电厂是否可以达到与大型煤/ 核电厂相同的系统效果？

本报告不但阐述了基本情况，并且提出了目前所面临的紧要问题。成功的能源政策必须要保证为人们提供比过去更高效的能源服务，因为对有限的化石燃料的竞争将最终导致所有能源的价格攀升。长久以来，能源政策只注重石油、天然气和电力的“安全供应”，而不是保障人们能够普遍获得价格合理的、可靠的和可持续的能源服务，如烹制熟食、取暖、制冷、照明、通信、交通和机械动力等基本需求。

结果是显而易见的。即使在已经建设了核电项目的发达国家，比如美国、法国、英国，燃料贫困已经成为一个严重问题，而且还在快速恶化。还出现了一个专有缩略词，叫EWD（Excess Winter Deaths），即过高冬季死亡数。一项欧洲项目⁷ 研究显示，许多人在冬季死亡的原因是难以负担冬季室内取暖的费用，这一统计数据已不可忽视。EWDs 数据显示巴黎有10% 冬季死亡人口缘于此，而在苏格兰的格拉斯哥这个数字高达30%。在英国，在正常死亡率的基础上，估计有1 万⁵ 千死亡人口是由于负担不起取暖燃料造成的。在大力推广核能的法国，接近八百万户家庭（占法国家庭总数的28%）需要花费预算的10% 以上用于能源消费（包括交通）。自2005 年，约有三百万户法国家庭享受了低价主要必需品（Tariff for Primary Necessities）新政策，这是一项向低收入家庭的必需品消费提供补贴的新发明。

很显然，核能在大部分国家并没有得到大规模的推广，只是在少部分倾向使用核能的国家提供能源服务。尽管如此，核能战略是否会对发展基于提高能效和可再生能源系统的未来清洁能源服务起到负面作用呢？证据表明这已经是不争的事实。

《时代周刊》发表的对美国总统奥巴马关于发展核能贷款担保决定的评论指出：

“说到底，政府的过份慷慨可能造就某些种形式的核能的复兴——但这种复兴有可能将更好的能源方案扼杀在摇篮里，甚至根本剥夺了其出生的权力。”⁸

6 VKU, 新闻稿 2/10 (2010 年 1 月 19 日)。

7 欧洲燃料贫困与能源效率, www.precarite-energetique.org/

8 《时代周刊》，2010 年 2 月 18 日

核能与可再生能源

埃默·里文斯⁹（Amory Lovins）：“核能可能是最无效的办法：尽管它的确可以节约碳的使用，但是比起购买更好的发电技术相比，每一美元投资中它多排放了2—20倍碳，一年就是20—40倍。”

比尔·吉平（Bill Keepin）和格利高里·凯茨¹⁰（Gregory Kats）：在美国，提高电力能效比利用核能来减少碳排放的成本效益大约要高7倍。

加州环境网¹¹：“与核电相比，按照技术生命周期的每一美元投入，提高能效和生物质混燃对于减少二氧化碳的有效性要高出五倍，热电联产要高出三倍。”

华威商学院（Warwick Business School）¹²：其他技术手段得不到发展，就意味着核能无法对其他低碳技术形成互补。这就和所有低碳技术都应该而且能够得到共同发展，和谐地共同努力来减少二氧化碳排放的论点相矛盾。政府要做的是，必须在核能还是某种可再生能源占主导的高效能能源使用模式之间做出选择。

杜克大学¹³经济学教授约翰·O·布莱克本（John O. Blackburn）：光伏已经成为了新的核电站的低成本替代选择之一。

9 Amory B. Lovins, 繁殖、石油和气候：寻找解决模式；同名论文，国外政治，2010年1月17日。

10 B. Keepin 和 G. Kats, “温室警告：关于核能与能效贬值战略的比较分析”，能源政治，1988年12月，38—61页

11 Travis Madsen, Tony Dutzik, Bernadette Del Chiaro, 和 Rob Sargent, 加利福尼亚环境：失误的产生：如何构建核电站，让美国重返应对全球变暖的竞赛中，2009年11月

12 新核能：可持续能源系统的含义 华威商学院，2006年3月

13 Diana S. Powers, 核能失去成本优势，纽约时报，2010年7月26日



概况和趋势

能源需求及其对 全球碳排放和能源资源的影响

能源部门在最近几年经历了前所未有的变化。市场——特别是石油市场，加之对其他能源市场的连锁效应影响——已经变得非常不稳定。到2008年中期，石油的价格已经接近每桶150美元——比十年前提高了8倍。尽管如此，在几个月内，居高不下的石油价格加剧了全球性的经济问题，也导致随后石油价格大幅度崩盘，下降到每桶30美元左右。在所有能源领域，全球经济衰退已经抑制了能源消费，而最显著的表现出现在2009年，该年是自二战结束后全球电力消耗首次下降的年份。

然而，全球传统能源机构的“预测”显示，能源需求预计会迅速增长，主要动力来自亚洲新兴经济体对化石燃料需求的

不断增长，特别是中国，其次是印度。国际能源机构（IEA）《2009年世界能源评估报告》中的参考情景认为：全球能源需求到2030年将增加40%。在这种情况下，中国的能源消费从2007年到2030年实际上将增加两倍，而欧盟能源消费仅增加1%，美国不到5%。国际能源机构所采用的参考情景不是一种可持续模式，而是按各国现行国内政策的一种发展结果。毫无疑问，假如沿此政策路径发展下去，必将导致空前的灾难性气候变化，IEA表明“情景假设中二氧化碳浓度的上升将会导致全球平均气温上升6摄氏度”¹⁴。

对气候的影响还不仅仅是这个参考情景相关的唯一问题，甚至不一定是最紧迫的问题。紧要的问题是，中期资源的枯竭，以及对物理资源枯竭和对消费价格所带来的影响，尤其对于液体燃料。近年

来，国际能源机构（IEA）在其情景参考模式中已调低了2030年对石油需求量的估计。在《2004年世界能源展望》中提出，全球石油需求将保持1.6%的年增长率，到2030年达到每天1.21亿桶，而相比目前的参考年增长率1%，2030年的石油需求只是1.05亿桶/天。国际能源机构修改了对经合组织（OECD）国家的石油消费假设，2004年与2009年的情景假设相比，相差了1700万桶/天。但即使按较低的石油需求，仍然会导致严重的资源匮乏问题，因为世界总体能源需求是在增加的（目前需求为7600万桶/天）。2009年英国能源研究中心评估指出，对于全球范围内已过生产高峰期的油田，其石油产能平均下降速率至少为6.5%/年，而对于目前仍然在生产的油田，相应的产能下降速率也已达4%/年。若要保持目前的全球石油产出水平，每年必需要新增300万桶生产能力，这相当于沙特阿拉伯三年的产量¹⁵。

因此，从能源供给安全和气候安全保障体系的目标来看，目前所配套的能源制度和政策是高度不可持续的。无论设想哪种类型的能源系统模式，都必须有新的投资，以满足对新能源开发的预期增长需求，并满足对现有基础设施和设备除旧更新的资金需求。国际能源机构估计，其参考情景中的投资规模在2008年到2030年之间将需要大约26万亿美元，换句话说每年需要1.1万亿美元，这占全球年GDP的1.4%，所需投资的一半以上将用于电力部门。重要的是，国际能源机构还预测了这样的情景模式，即为了实现全球气温上升控制在2摄氏度内的目标，必须减少能源部门的排放量。对这个“450情景”的相关投资费用将大大高于参照方案，将需要额外10.5万亿美元。然而，国际能

源机构还测算出，到2030年“450情景”将减少大概8.6万亿美元的能源投资，并在系统生命周期内节约17万亿美元。

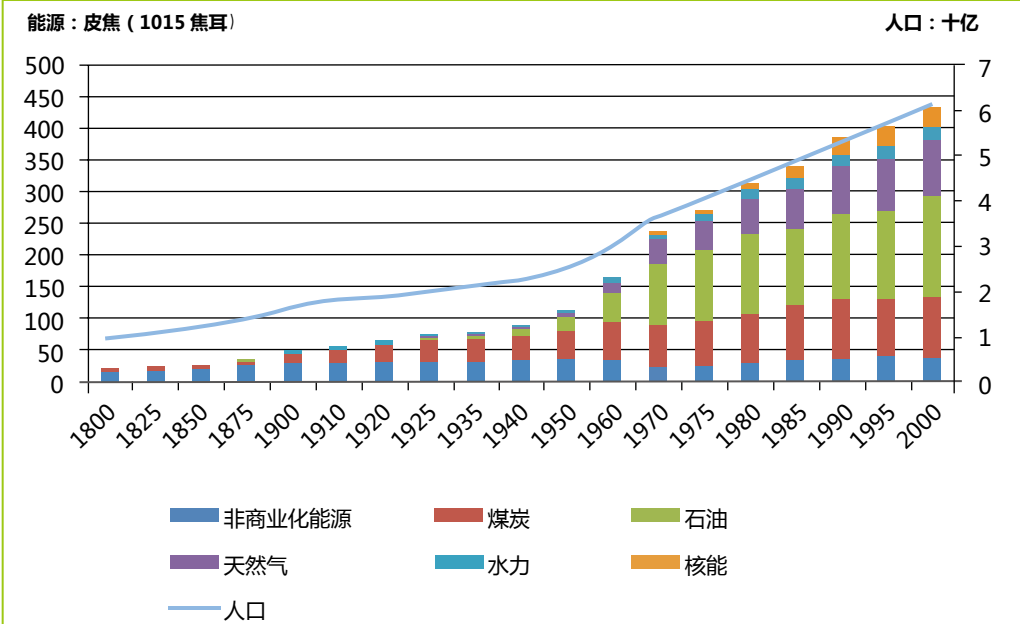
很显然，这就需要有一个新的方向，来创造一个可持续的、安全的能源部门，并且必须要将全球现行的能源政策和市场趋势进行彻底的、迅速的改变。从长远来看，建立一个低碳和环境安全的能源部门是完全可行的，并且将比目前的模式更加经济。然而，仅仅通过发电技术从高污染到低污染的改变，不可能实现一个可持续的能源部门。相反，这需要进行系统性的改变，不仅要更加重视与能源利用相关的效率，还要重视能源的生产、转换和传输，而这些环节往往没有得到足够的重视。

转变能源供应模式

由于人口的增加和人均能源使用量的增加，全球能源消费量出现了巨幅增长。下图显示了在过去200年间全球能源消耗的增长幅度，能源消费自1800年至1900年增加了一倍，而过去的100年间已增加了八倍。国际能源机构及其他研究机构指出，这一趋势还可能持续下去，因为欠发达国家都希望提升本国国民的生活水平，并让人民享有基本的能源服务。目前，仍然有大约1/4的世界人口得不到电力等基本能源服务，发展中国家与世界经合组织成员国人均能源消费之间的差异高达五倍。下图数字还显示了不同种类商品化石燃料的使用情况——从煤、天然气到石油——已产生巨大差距。尽管全球人口的年增长率在最近几年已经放缓到1.3%，联合国中期人口生育模型显示，人口峰值要在2200年以后才会出现，届时全球人口将从目前的60亿上升至100亿。¹⁶

¹⁵ UKERC, 全球石油消耗，石油生产接近峰值的评估报告，2009年8月

图 1：世界能源需求和人口增长情况



来源：Arnulf Grubler，2008¹⁷

可再生能源的历史脉络
与发展展望

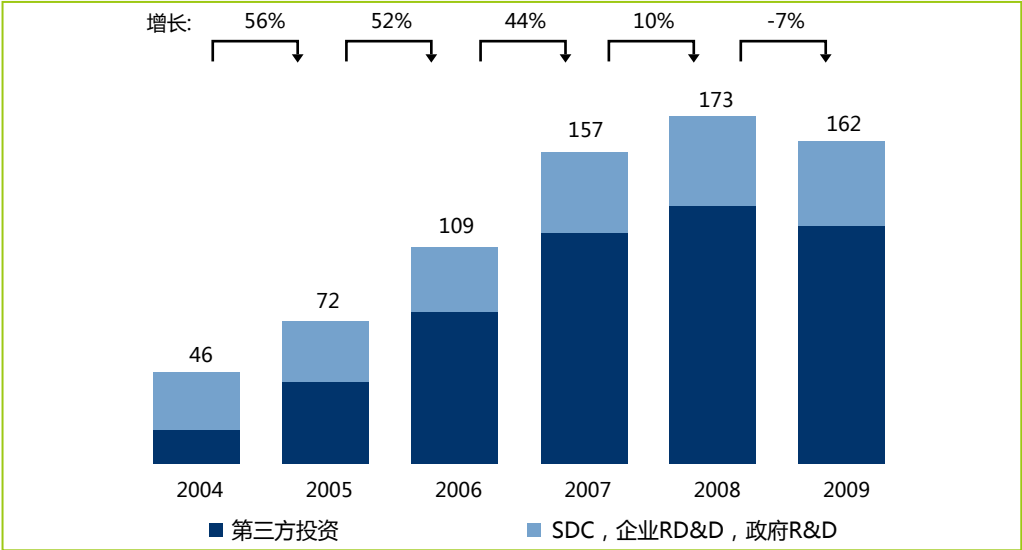
几个世纪以来，可再生能源一直是人类的主要能源，从生物质燃料的使用（尤其是木材），到水电和风能的开放利用。尽管如此，在过去的一个世纪，随着化石燃料的开发和利用，人们对可再生能源的依赖程度有所下降。化石燃料的使用，尤其是对煤炭、石油、天然气等能源资源的开发利用，让能源的释放达到了空前的规模。这是因为化石燃料能源能量密度相对高，尽管它们的加工和运输过程也需要消耗能量，但是消费者可以获得大量的各种可用能源。

然而最近几年来，这种趋势在某些地区和部门已经开始逆转。最典型的是欧盟的电力行业。在欧洲，2009 年对风电的投资达到130 亿欧元，使得风电装机容量占新增电力装机容量的39%，连续两年新增风电能力高于其他任何发电技术。此外，2009 年可再生能源发电能力占欧盟新增发电装机能力的61%。欧盟电力部门的能源利用继续努力摆脱对煤炭、石油、核能的依赖，让传统的发电技术逐渐退出历史舞台。¹⁸

图2 显示了全球能源部门类似的发展趋势。2009 年，对可持续能源的投资达到了1620 亿欧元（因为全球金融危机，比2008 年的1730 亿下降了7%）。

16 联合国，60 亿（2004），<http://www.un.org/esa/population/publicaitons/sixbillion/sixbilpart1.pdf>
17 Arnulf Grubler，“能源转变”，地球百科全书，等，Cutler J. Cleveland（华盛顿环境信息联盟，国家科学环境理事会，2008 年）
18 EWEA，相比较其他能源技术，去年欧盟启动了更多的风电建设项目，欧洲风能协会（2010 年2 月）

图 2：2004-2009 年全球新增清洁能源投资的增长情况（单位：10 亿美元）

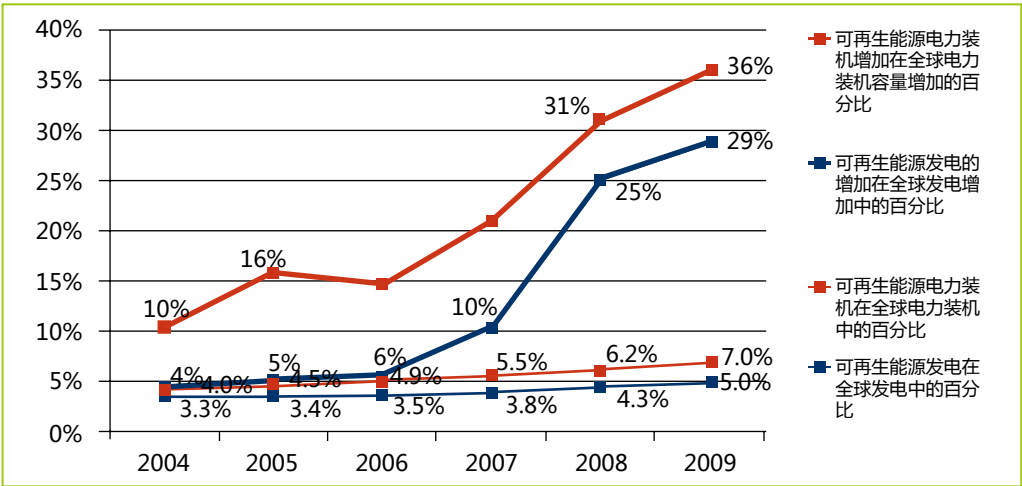


来源：UNEP 等，世界可持续能源投资趋势，2010 年¹⁹

然而，2009 年依然是史上清洁能源投资第二多的年份（4 倍于2004 年），也是第二年在新增产能的支出上（包括大水电和其他可再生能源）超过化石能源产能上的投资。这样的结果是，如图3 所示，

所有电力行业新增装机容量的36% 是可再生能源（不包括大水电）。然而这对于满足全球电力消费的贡献比例依然很低，只有5%。

图 3：全球电力行业的可再生能源（不包括大水电）的增长



来源：UNEP 等，世界可持续能源投资趋势，2010 年

¹⁹ SDC: small distributed capacity, 为再投资权益调整的新的投资量。总额包括了对不披露的交易估计。（来源：新能源融资 New Energy Finance）

水电

电力的发展和广泛使用促进了大规模的水电开发，2009 年水电年度发电量达到3200 万亿瓦小时（相当于7.4 亿吨油当量）。在全球能源结构中，水电占有所有发电量的15%。水电装机容量达到了9230 亿瓦，目前占可再生能源的份额最大。然而，不同的水电站在环境影响和接受程度上还存在明显的差异，主要是涉及到水电设施的发展规模问题。

虽然有许多上网方便、经济效益好的大型水电站在运行发电，尤其是在北美和欧洲，但水电的规模一直没有明显的增加。事实上自2000 年以来，全球水电的发电量增幅只有20%，这个数字低于电力消费的整体增长速度。按照BP（英国石油）《世界能源统计年鉴》的资料，水电对全球电力消费的贡献率已经从2000 年的17% 下降到2008 年的15% 多一点。根据国际能源署IEA 的参考情景所示，水电发电量预计将增加约50%，但其相对电力贡献率将下降近14%。即使按照“450 情

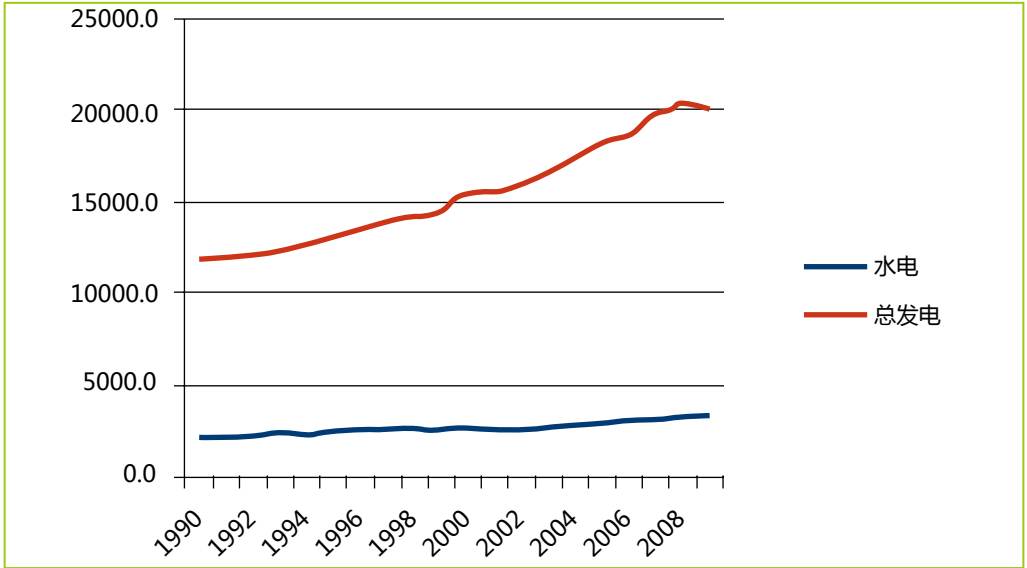
景”的情况，到2030 年水电预计也只能提供约19% 的电力。

其他组织的参考模型也表明，水电行业的发电量不会出现明显的增量。绿色和平组织的《能源革命》情景分析显示，水电的装机容量要比国际能源机构的参考情景更少²⁰。然而评估表明，水电可能具有更大的发展潜力。世界能源评估（The World Energy Assessment）估计，水电的经济可开发潜力大概为8100TWh，技术可开发潜力为14000TWh，总的理论蕴含能量大约为40000TWh²¹。然而要实现这些开发潜力也将有可能带来许多巨大的、许多人难以接受的环境和社会问题，因此不可能完全实现。尽管如此，通过小流域水电站的运行或者是通过提高现有设备的效率，可以适当扩大水电利用的规模。

图4 显示出逐年水电在全球电力供应结构中的相对重要性。重要的是，尽管水电具有相对良好的经济性，水电发电量的提高还没能跟上整个电力行业的步伐，其相对贡献率在继续下降。

20 绿色和平，《能源革命》，全球能源方案（德国航空航天中心，技术热力学研究所，系统分析和技术评估部，欧洲可再生能源理事会，国际绿色和平组织，2008）
21 WEA，“第4 章：能源资源”，在：世界能源评估：能源与挑战的可持续发展（联合国开发计划署，2004）。

图 4：全球电力消费量与水电发电量比较 (TWh)



来源：BP, 2010²²

风电

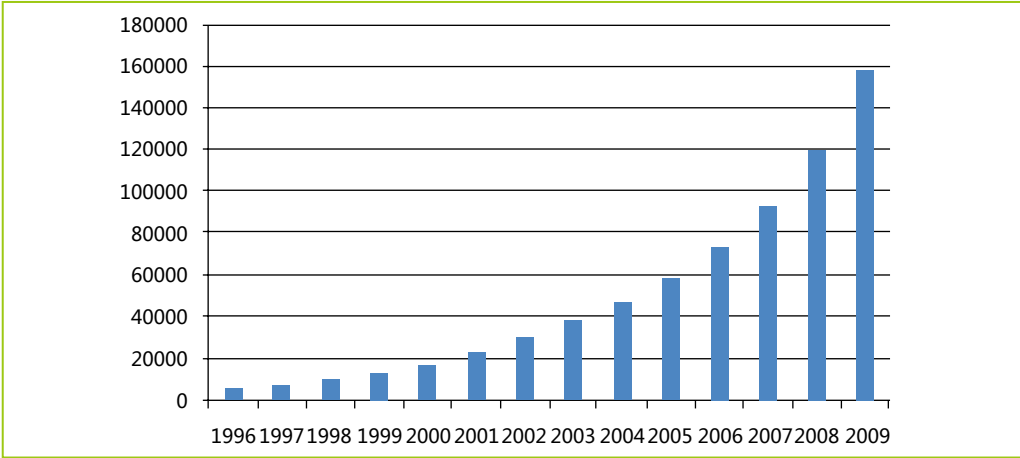
如前所述，风能的商业利用最近几年在很多国家都出现了迅猛的增势。下图的数字给出了风电装机容量在过去十年的增量以及各国风电装机容量的全球统计情况。在过去十年中，全球每年风电增长率已达到30%。这一趋势可能还会增加，特别是人们寄希望于风力发电作为改提高能源安全和保障气候安全的手段。根据全球能源理事会预测，风力发电量将从2008年的261TWh 增加到2012 年的680TWh，并为京都议定书附件一国家在第一承诺期

内贡献42% 的减排量。此外，全球风能协会（GWEC）根据其比较大胆的分析估计，与IPCC25%~40% 的减排量要求相比，风电将为发达国家实现21%~34% 的减排目标。这个目标的实现需要到2020 年有一万亿瓦的风电装机容量投入使用，这低于目前全球风能的增长速度。²³ 但按照其他模型的分析结果，在某些情况下，2020 年所需的风电装机容量要低很多：国际能源机构的450 情景模型方案预计为6500 亿瓦，绿色和平组织的预计大概为9000 亿瓦。

²² BP, 全球能源统计回顾 (2009 年6 月)

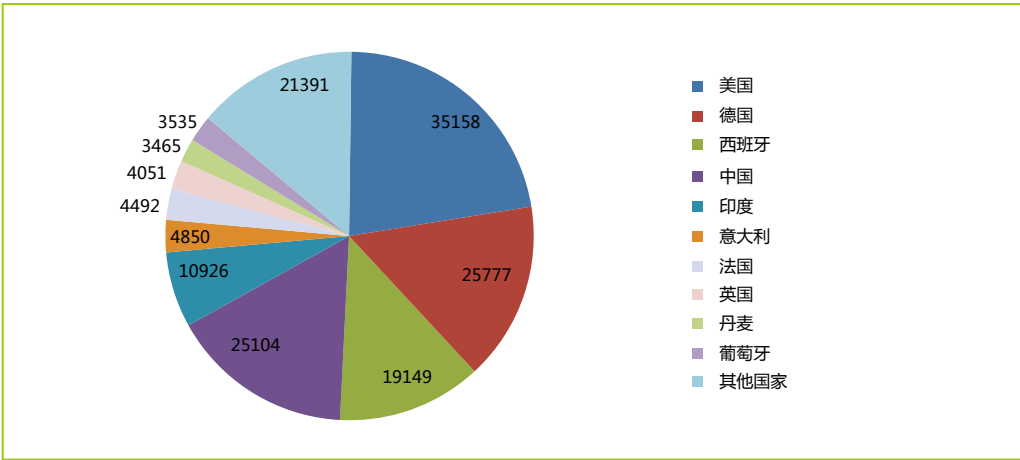
²³ GWEC, “全球风力发电装机容量: 2008/9” (全球风能理事会, 2010 年2 月) http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%202009.pdf

图 5：累计全球风力发电容量（MW）



来源：世界风能协会，2010 年²⁴

图 6：2008 年全球风力发电厂装机容量 (MW)



来源：世界风能协会，2010 年

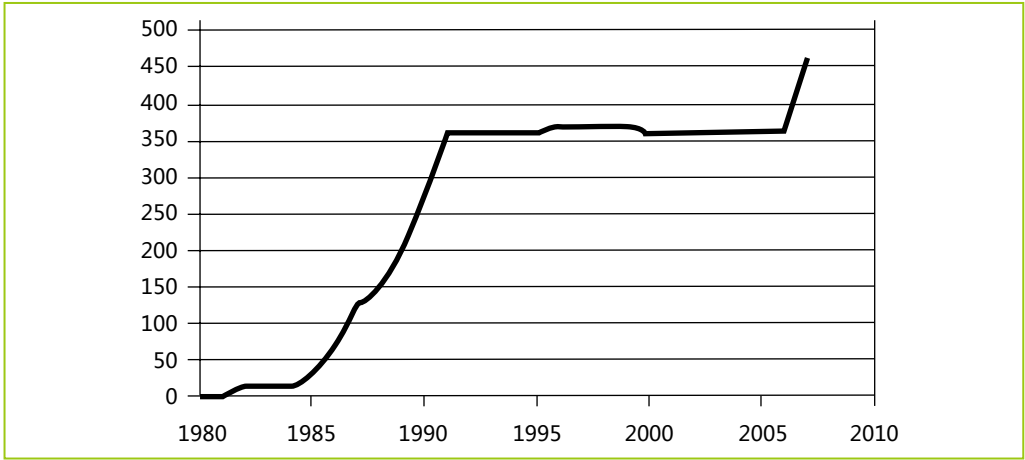
太阳能

目前有两种基本的太阳能发电技术：聚集式太阳能发电，它聚集太阳的热量产生蒸汽来推动涡轮机，然后以常规的方式产生电能；另外一类是太阳光伏（PV）发电，它将太阳能直接转化为电流。太阳能还有更广泛、更大规模的利用方式，比

如用于加热水和建筑物，即太阳热利用。这些技术的发展有着完全不同的经历，更大、更集中的聚集式太阳能发电经历了一个“从繁荣到萧条”的过程（图7），而图8 显示了太阳能光伏发电更稳定的发展历程。

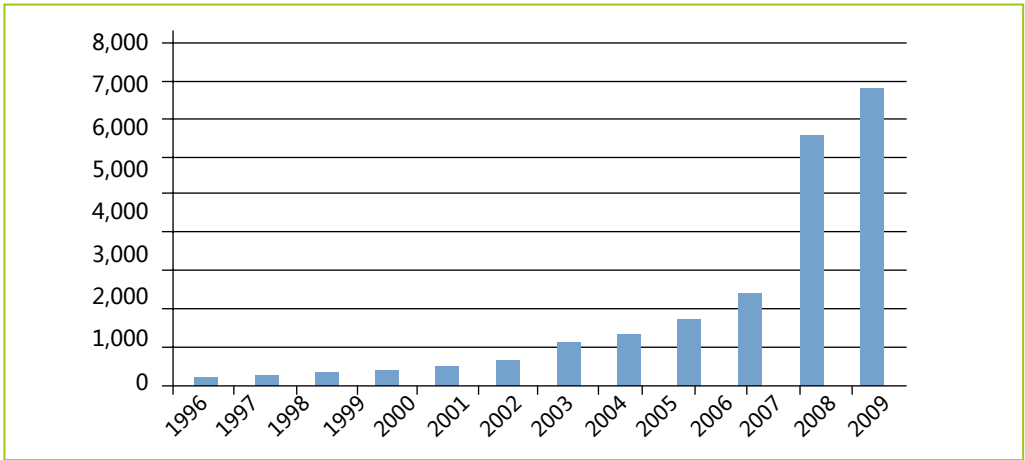
24 GWEC, “全球风力发电装机容量：2008/9”（全球风能理事会，2010 年2 月）http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%202009.pdf

图 7：全球集热式太阳能发电装机能力 1980-2007（MW）



来源：地球政策研究所，2009

图 8：全球太阳能电池的年产量 1975-2007（MW）



来源：地球政策研究所，2010 和 www.renewableenergyworld.com (2009)

最近的几年对于光伏发电的经济性和发展来说都可以算是一个突破。技术上的突破以及大规模的装机导致了光伏模组成本的降低，光伏的安装成本从2008年的峰值每瓦7美元，降到了2009年的5美元，甚至在有些一定规模的项目中达到了3美元²⁵。价格的下落导致了更大规模的

装机，这样反过来又会降低成本，成为一个良性的循环。到目前为止，德国一直是这种增长的主要推动者。在2009年，德国安装了3800兆瓦的新增产能，到年底大概有不到10000兆瓦的光伏板在发电。在2010年的上半年，联邦网络署估计会有大约3000兆瓦的新增产能。²⁶ 在2010

25 联邦网络署，新闻稿，2010年7月27日

26 Diana S. Powers，核能失去成本优势，纽约时报，2010年7月26日

年7月19日，在德国的国家电网可以开始实时监测光能发电，在此后的几周内，基本上每天午间都能稳定地向电网输送超过5000兆瓦的电力（实时太阳能发电可以在<http://www.transparency.eex.com/en/>看到）

然而，值得注意的是其他国家，例如中国，意大利，日本，西班牙和美国可能会在2010年的新增装机中占到60%的份额。下降的生产价格使有些人声称光伏的上网成本已经与核能相当。在杜克大学经济学教授约翰·布莱克本（John Blackburn）编写的一本报告中，称“历史性的转向”会在光伏发电的成本降低到新建核电站的预期成本以下的时候发生。²⁷甚至，一家在英国的光伏公司，在这样一个众所周知缺少阳光的国家，也声称他们相信到2013年本国的光伏发电的成本将会和消费者支付的电价大抵相当（电网平价）。²⁸而其他人认为电网平价在2020年才会达到，即使是这个较晚的时间点，在理想情况下，现在立即下单的核电机组也不过才刚刚开始发电。

核能发展的历史与未来

第一座并网核反应堆是1954年在前苏联建成的。此后的35年间，核电站的数量一直在增加，直至80年代末期。到1989年，全世界总共已有424台核反应堆在运行。核反应堆的历史高峰数出现在2002年，共有444台核电站，相比2010年1月在运行的436台还多出8台。国际原子能机构（IAEA）公布的在建的56台核反应堆（截

至2010年2月底）中，其中13台20年前就开始建设，其中近一半核反应堆的建设没有按期完工。²⁹事实上，自核能开始商业运作以来，2008年首次没有新的核电站并网发电。自罗马尼亚Gernavoda-2号核电站（建设周期24年）于2007年8月并网发电以后，全世界只有两台新核反应堆（分别在日本和印度）开工建设，而2008年至2009年间却有5台核反应堆关闭下网。虽然到处都在“提高出力”，但核电的总装机容量略有下降。³⁰

2009年，核电装机容量为3700亿瓦，年发电量为2600万亿瓦小时，而这只是商业发电量的14%，占商业一次能源量的5.5%，占世界能源总量的2%-3%之间，所有数据都呈下降趋势。³¹

尽管核能所占的能源比例确实在衰退，但由国际原子能机构和其他国际能源机构联合组织的预测却表示了对大规模核能发展的乐观态度。国际原子能机构（IAEA）根据其“低”情景模型预测，到2030年全球核电装机容量为4730亿瓦，根据其相当精确的“高”情景模型预测，2030年核电装机容量将达到7475亿瓦。世界能源机构在其《2009年度世界能源展望》中对2030年核电装机容量的预测值提高了10%，达到4750亿瓦。世界能源机构（IEA）的“450情景”（气候稳定情景）预测与世界原子能机构的“高”情景模型相似，都预计2030年将增加1倍以上的核电装机容量和核发电总量。国际能源机构（IEA）声称：

27 GWEC, “全球风力发电装机容量：2008/9”（全球风能理事会，2010年2月）http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%202009.pdf

28 详细分析见Mycale Schneider, Steve Thomas, Antony Froggatt 和Doug Koplow, 世界核工业2009现状报告, 德国环境部委托（巴黎：2009年8月），提供英语和德国文献在http://www.bmu.de/English/nuclear_safety/downloads/doc/44832.php

29 通过技术手段（蒸汽发生器更换，涡轮翻新等）

30 我们使用“商业”一词在这里，需要澄清的是能源统计数据一般不考虑非电网连接能源，比如非商业用生物制能源，而这部分实际上为世界许多地区提供了大量份额的能源。

31 IEA, 2009年世界能源展望，160页

核电的复兴是可能的，但不会在一夜之间发生。核电项目面临着包括建设周期延长，风险大，审批过程冗长，人力资源短缺等重大障碍，再加上长期存在的有关核废料处置、扩散及当地民众反对等难题。金融危机几乎肯定让这些问题变本加厉。即便电力需求增长强劲，巨额的资金需求、成本超高的风险以及政策的不确定性，使得投资者和贷款银行都变得非常谨慎。³²

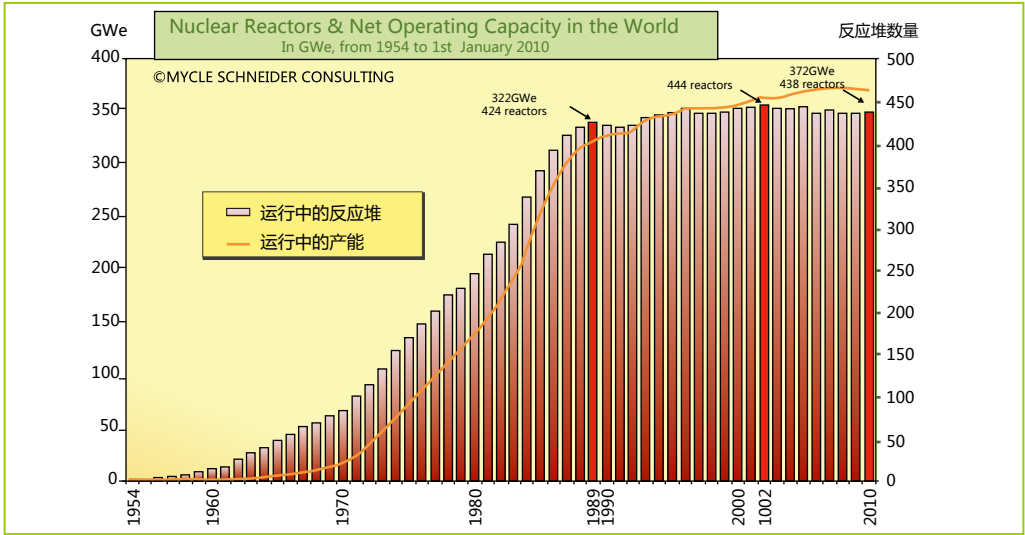
无论是国际原子能机构还是国际能源机构，都没有提出将如何克服这些“重大障碍”，进而证明扩大核能规模的可能性。事实上，在最近的一份报告中，位于巴塞尔的一个智库Prognos³³认为，参照2009年春的核电规模，到2030年，可用核反应堆数量很可能减少29%。Prognos估计，到2030年，国际核能协会所公布的项目中只有35%能建成投产，远远不

足以弥补老化核反应堆逐渐被关闭脱离电网的事实。

核能与可再生能源的比较

图10和图11显示了并网新型可再生能源（不包括大型水电项目）以及核电的净增加值以及所有所谓的低碳能源在全球电力结构中的比重。虽然乍看之下，这些数字可能会出现矛盾，他们体现的是一个问题的两个方面。图10详细显示了过去十年全球电网的净增加量。由于关闭的核反应堆的大小不同，造成了核能趋势线缺少一个整体的趋向，但参照全球3700亿瓦的装机容量，总体的趋势是每年净增核电装机容量约2亿瓦。然而这个趋势已经开始停滞不前，甚至从2005年开始下降。在同一时期内，风电的装机容量却平均每年增加100亿瓦以上，而每年新增装机容量也在稳步提高，到2009年已达到370亿瓦。

图 9：世界核反应堆和发电装机容量 1954-2010 (GW)

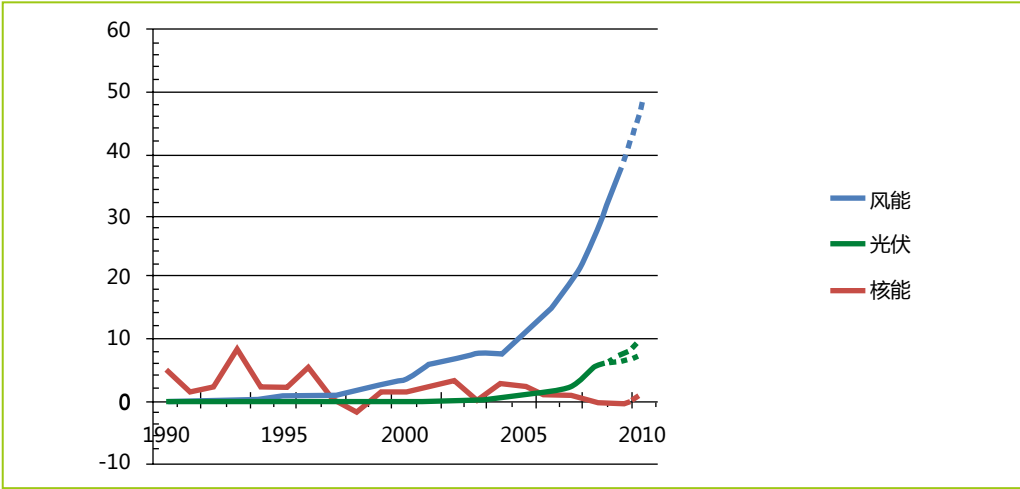


来源：IAEA-PRIS, MSC, 2010

32 IEA, 2009年世界能源展望, 160页

33 Mattias Deutsch等, 核能的复兴, 由联邦辐射防护局委托(BFS)。(柏林/巴塞尔, 2009年9月)

图 10：可再生能源与核能在全球电网的净增装机容量 1990-2010（GW）

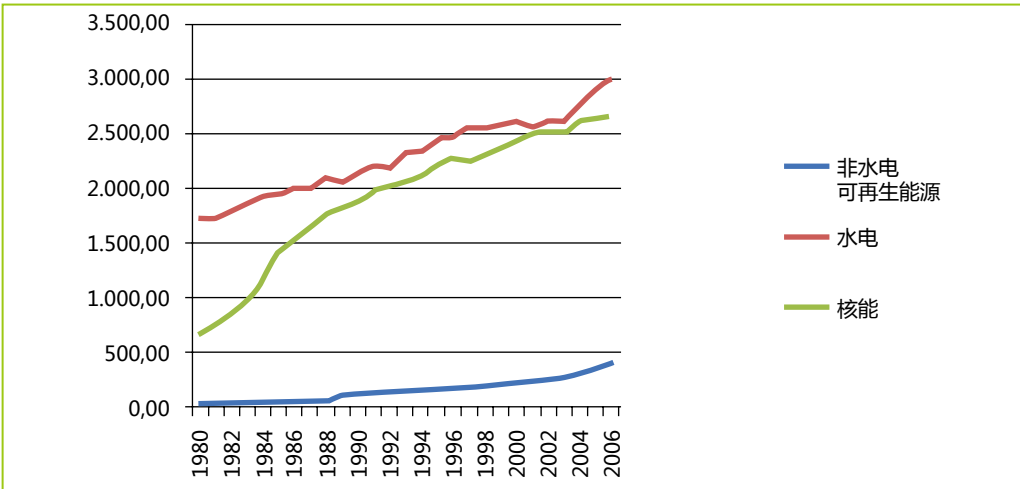


来源：Amory Lovins 2010³⁴

同时，我们还需要关注不同非化石燃料能源的实际发电量，如图11所示。它说明在某种程度上，尽管新型可再生能源使用有所增长，但比起核能和大型水电的能源规模仍然很小。尽管如此，图17显

示了这种情况将会发生改变。国际原子能机构认为，按照“450情景”，到2030年水电的规模将达到目前核电规模的二倍，而风电的发电量将达到其他可再生能源发电量的总和。³⁵

图 11：非化石燃料能源的发电总量 (MW)



来源：地球政策研究所，2009 年

34 Amory Lovins, 访谈记录(2010).

35 IEA, 2009 年世界能源展望, 表9.2, 第324 页



系统性的问题

“如果有人公开宣称，由于风电和太阳能电力的波动性，需要核电来提供电网所需的基本负载的话，他如果不是不懂电网或核电厂的运作情况，就是有意欺骗公众。核能与可再生能源是不能相结合的。”

西格玛·加布里埃尔
时任德国联邦环境部部长³⁶

发展核能还是发展能效+ 可再生能源系统的政策决定绝不仅仅是一个技术方案的选择问题。这些决定往往是被现有的政治体制、决策过程、市场结构和大型基础设施所触发，或者至少受到这些因素的影响。另一方面，决定基本发电系统模式，如集中式或分散式发电，对能源技术和能源系统的灵活性和竞争力具有很大的影

响。比如说，虽然热电联产（CHP）比分别发电和供热系统更为有效地提供热量和电力能源服务，但CHP很难与目前的集中式、大型电站或者天然气网络抗衡竞争。

对于发展中国家来说，其中的绝大多数尚未做出那些基础性的重大决策，因此对能源系统的选择可能产生的影响进行评估是至关重要的。工业化国家的例子说明了他们过去的战略选择所产生的后果，然而不幸的是，虽然有一些地方性、区域性的成功案例，但依然缺乏一个“良好”的成功的国家级的能源政策的例子，确保能够提供经济的、可持续的能源服务。所有国家所执行的政策都存在严重缺陷，必须要对这些政策做出大的“修复工作”，来克服这些缺陷。

法国的集中式发电系统

以法国为例，由于高度集中的政治体制，法国很自然地一直在寻求各种集中式的解决方案，来应对能源供应的挑战。过去，由于自上而下的决策机制以及在能源问题上中央政府根本不愿与大区或地方政府分享政治权利，核电成为了合乎逻辑的自然选择。就像压路机一样，由于国家投资核能的逻辑，彻底摧毁了中小规模行业试图开发新能源和可再生能源的意愿。同样的原因，提高能效的努力也常常窒息而死。到80年代中期，已经很明显的是，国有企业法国电力公司（EDF）大规模建设了过多的核电厂（共有16家核电厂）。没有去调整设备计划，法国反而撤销了能源效率局的大部分工作机构，法国电力公司还做出了两个战略性的决定：制定长期电力出口协议，并广泛推广电采暖和电热水的使用。这一战略成为了法国发展能效性+可再生能源系统的最主要障碍。成千上万的房屋不再建造烟囱，从而使得这些建筑物丧失了使用比用电更节约、污染更少的供热系统的机会。近年来这种趋势更加严重，大约75%的法国新住宅都开始采用电采暖设备。甚至在某些情况下，由于没有烟囱和投资成本太高，采用电力取暖的建筑物根本无法接入周围新建的城市供热网。

由于电力供热占法国住宅电力消费的将近一半，大量采用电暖器所带来的另一个副作用还导致法国冬季用电高峰负荷达到目前夏季最低负荷的三倍。其结果是在法国用于发电的化石燃料消耗量大增（自1990年以来增加了约25%）。重新启动已高达40年使用期的燃油发电厂，电力进口量，特别是从德国进口的燃煤发电量也在迅速增加。事实上，法国在2010年1月已成为了该月电力净进口国，这也是2009年10月后在27年里第二次出现电力净进口月。

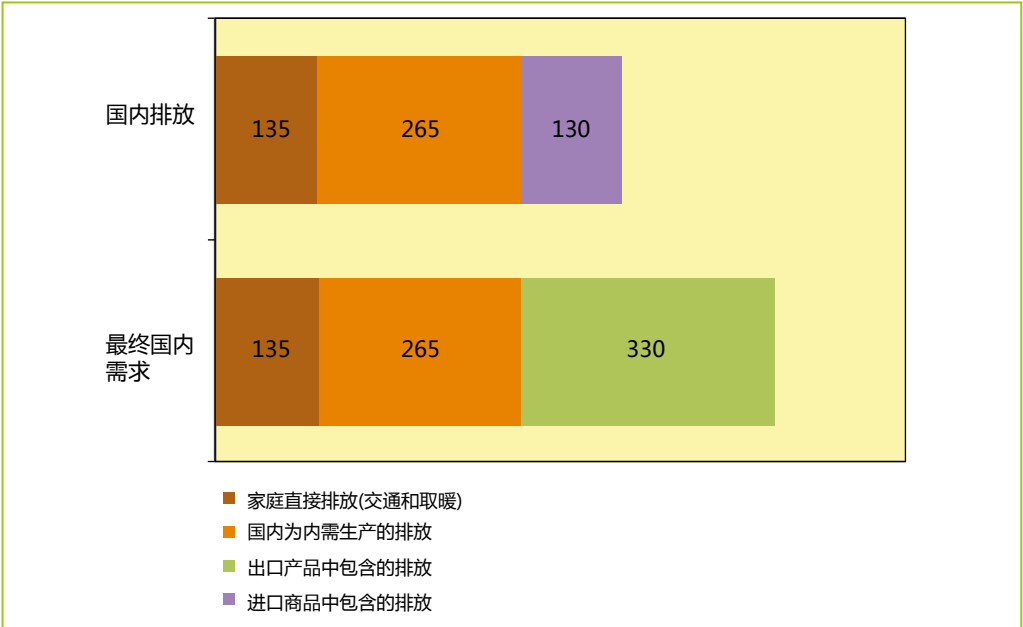
能效性+可再生能源系统的开发在法国一直严重滞后。从逻辑上讲，法国人均电力消费量明显高于欧盟的平均水平，也高于意大利，意大利在切尔诺贝利核电站灾难事件后就逐渐淘汰核电。2008年，西班牙的当年新增风电装机容量（4600兆瓦）就超过了法国2007年以前风电装机能力的总和（4060兆瓦）。

不能认为法国经济的低碳是由核能系统带来的。法国政府公布的最新数字显示³⁷，考虑到进口的净商品碳含量（减去了出口商品中的碳含量），人均温室气体排放从8.7吨上升到了12吨二氧化碳当量，这几乎和用煤发电为主的德国一样了³⁸。法国一直就有很大的贸易逆差，而德国一直是世界领先的出口国，直到2009年被中国取代。

37 法国环境部，法国国内最终需求的碳足迹，2010年8月

38 自2001年起，挪威碳足迹计算器显示法国人均碳排放为13.1吨/年，德国为15.1吨/年，见<http://carbonfootprint.ofnations.com>

图 12 : 法国最终消费的温室气体排放 (吨二氧化碳当量)³⁹



来源：法国环境部，2010 年8 月

德国模式：逐渐淘汰核能、扩大使用可再生能源

德国的情况却显示了一个大相径庭的策略。虽然核能为德国提供了高达30%的电力，但德国一直主要依赖煤炭和褐煤发电。2000 年德国联邦政府与核电公司签署了协议，并在2002 年通过了立法逐渐淘汰核电厂。与此同时，2000 年上网电价立法获得通过，为可再生能源发电厂规定了保障电价，并引入了市场刺激政策，以促进可再生能源在热力市场的渗透。明确逐渐淘汰核能的最终期限与大力鼓励发展可再生能源双管齐下，在德国创造了一个极具活力的能源环境。联邦政府下属的各地区能源主管部门在整个工程实施中起到了关键作用。在德国可再生能源

所提供的能源总量自20 世纪90 年代末以来已经翻了三番，并创造了数以万计的就业机会，可再生能源技术也成为该国最大的出口产品。

然而，并非一切都是一帆风顺。虽然可再生能源发电量（主要来自风电）增加了约70 万亿千瓦时，从1990 年到2007 年期间增长了5 倍，但同期总用电量增长了12% 以上，增幅达68 万亿千瓦时。结果是，2007 年德国电力生产部门二氧化碳的排放量与1990 年保持一致。这可以说是一个非常令人震惊的结果，东、西德的统一致使碳排放量以及东德能源消耗“自然”地下降，这是由于关闭了一些陈旧的发电厂⁴⁰ 和企业。

39 注意这个计算包括了二氧化碳、甲烷和氧化亚氮
40 东德1989 年还在运转的最陈旧的火电厂可以追溯到1919 年。

虽然之前能源分析家和环保组织曾几次指出过这一问题，但无论是之前的大联合政府还是新的保守党政府都没能达到即便是欧盟法律规定的最低能效要求。同一时期，德国核电站的扩展威胁到了该国能源体系的重组。约阿希姆·尼奇 (Joachim Nitsch) 在2008年受德国环境部委托所作的一项综合分析认为⁴¹：

假如继续延长核能的生命周期，目前规划建设的新化石燃料发电厂必须全面整改，以免威胁到2020年可再生能源占有所有能源30%的目标。CHP（热电联合）目标就不可能实现。为了显著提高供电效率而需要对电力供应做出结构性的调整，即加大CHP所占比例和加快发展可再生能源也就从根本上提出了质疑。这样，能源系统难以履行2050年减排80%二氧化碳的气候保护目标。

在电力部门大力推广可再生能源发电，并不一定要新建负荷系数高、全年运转的大功率发电设备，反之需要灵活、中等负荷的发电站，装配不同类型的间歇性发电机组⁴²。伍珀塔尔研究所 (Wuppertal

Institute) 强调：“市场上由延长核电厂寿命所产生的发电量完全可以用热电联产技术来代替”。⁴³ 同时，继续运转的核电厂也将阻碍城市供热系统的延伸发展。

可再生能源发电与核电之间的直接竞争导致了越来越多荒谬的市场状况。在德国，按照法律可再生能源发电优先于核电。但特例也显示，2008年10月由于风能发电比重较高，有些风电在市场上的价格已出现“负”值，这是由于降低核电发电量的速度还不够快。这种情况的出现还没有考虑到，事实上有80亿千瓦的核电能力正在停产检修⁴⁴。自那以后，在德国从2008年刚刚开始允许的负电价，越来越频繁地出现在德国电力市场上。在2009年9月到2010年3月的六个月间，电价跌红了29天（见图13）。负的电价达到了令人震惊的程度：在2009年10月4日，有一家发电企业支付了1500欧元/兆瓦时（相当于15欧分/千瓦时）来消除掉它发出的电力。

事实上，逐步淘汰核电战略恰好补充了智能型分布式发电技术的高度灵活的发电系统的发展。

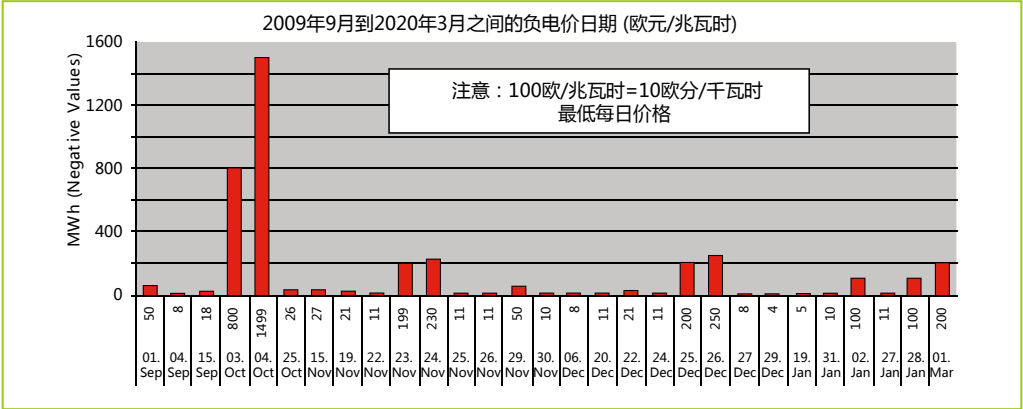
41 Joachim Nitsch, “2008年试点研究——在德国和欧洲气候保护行动背景下的可再生能源进一步发展的战略”，德国联邦政府环境部委托（2008年10月）。

42 请注意，其实所有发电厂或多或少都具有间歇性，包括核电站在内每年就有好几个星期停止运行用于添加燃料，而且其中许多断电超过一年以上经历大量的修理和升级。

43 Manfred Fischechick 等，核电是障碍——延长核电站寿命对可再生能源的影响，德国联邦环境部委托，（伍珀塔尔研究所，2009年4月）

44 同上

图 13：德国电交所的负电价



来源：H. Alt, 为什么电力交易中会有负电价？, 亚琛应用技术大学, 2010 年3 月

西班牙可再生能源目前是否已达上限？

2010 年2 月24 日清晨，西班牙输电系统运营商Red Eléctrica (REE) 下令800 兆瓦风力发电机组停止发电数小时。这是因为在凌晨1 点半，风电机组正在提供11,961 兆瓦的电量（相当于当时26674 兆瓦需求电量的44.5%）。通过REE 干预后，风电产量下降至10852 兆瓦。然而，当早晨6 点30 分需求开始增加后，风力发电量却仍然低于原来的计划量。与此同时，在风电出力下降的这段时间内，核能发电量保持不变。

一种新的途径

最关键的系统问题之一是，如果坚持这种集中型的发电模式，不管是延长核电厂寿命还是新建电厂，对于创新将产生什么样的影响？这不仅与发电和供热技术有关，更与分布式能源利用和虚拟电厂的负荷管理进行创新性的结合有关。在2005 年由前摩托罗拉主席罗伯特·伽尔文创立的伽尔文电力倡议指出：

在数字经济的需求面前，老化，不可靠，低效，不安全，无法适应数字经济需求的美国电力系统亟需现代化。这个系统用着1950 年代以前的技术，数十年历史的设备，正处于失灵的边缘。当这些构件能够被而且将要被替代的时候，国家面临着一个史无前例的机遇，那就是改变和重新发明美国的电网，使之能够真正让消费者、经济和环境受到实惠。…然而，电力行业在这五十多年并没有重大的创新，原因是制度结构没有为21 世纪的需求作出调整。⁴⁵

虚拟电厂是未来电力系统发展中最有前途的一个概念，它指将分散（分布式）的发电机组，如小规模可再生能源和热电联产机组，聚集起来进行集中管理的模式。这种模式的进一步扩展还将把分散式储能设备结合进来，比如汽车的蓄电池或者是可再生能源系统的备用能源存储。这种模式与核电完全相反。根据最优的电网条件（需求/ 供给平衡），电力用户可以从用能者成为产能者，还产生了一个叫

45 伽尔文倡议，《电网的转型：执行摘要》，见<http://galvinpower.org/about-galvin/transforming-grid>

做“产用者”(prosumer)的新词汇。例如在德国，新增产能的一部分投资的主体是家庭而不是公用设施。为了发展到这一步，电网必须要作出重大调整。欧洲电力和燃气监管集团在近期公布的相关咨询文件⁴⁶中已经表示：

未来的电网将要求连接很多不同技术和规模的发电机组，也将涉及所有电压等级，其中有些机组些具有高度可控性，也有其他的电力输出则强烈依靠来自主要可再生能源机组（如风力发电）的瞬时物理可用量。…这就需要采用更多系统检测和智能控制设备，以保证按最佳的发电和电网能力水平来满足能源需求。这将会通过电网的发展，即智能电网来实现。

与传统输电和配电系统的关键区别在于，必须让先进的通信网络结合到电力网络中。一个重大的挑战是，中、低电压等级通讯系统要与用户端的智能电表结合起来。为了实现这一点，不仅要安装新的电子系统，还必须调整相应的监管制度。智能型电网越快引入，就需要更多的监管机构，“在合理保护消费者权益与经济高效地发展智能电网的同时，需要找到一种鼓励充分和积极创新的有效办法。”⁴⁷

无核国意大利是智能电表的先驱。早在2006年监管部门就宣布，到2011年年底前所有消费者都需要强制安装智能电表。然而，瑞典对此项技术的实施更快，2009年7月就完成了100%的覆盖率。目前瑞典正在帮助邻国丹麦、芬兰和挪威加快实施智能电表安装。⁴⁸而拥有核能的法

国仅于2010年在两个地区开始了30万个智能电表的测试阶段。同时，欧洲智能电表工业集团（European Smart Metering Industry Group: ESMIG）2008年初创时只有五家发起公司，在2010年7月已经发展到了32家会员企业，在欧洲最大的电子和电信公司之间建立了联盟。大多数工业化国家现在已经在进行项目试点，一些发展中国家也在进行引进的准备。在2010年3月，美国的国际发展署发表了《印度电力行业的智能电网愿景》。

家电行业也在取得积极的进展。惠而浦率先声明，所有他们生产的配备电子元器件的家用电器将在2015年准备好与智能电网对接。

多种不同的包括一部分可再生能源的分布式配电模式已经投入使用。一些国家正在建设能显著减少输配电损耗的虚拟电厂和微型电网项目⁴⁹。伽尔文电力倡议在2010年5月启动了微电网中心：“智能的微电网是为社区层面整合可再生能源和客户参与电力企业的理想途径。它们将成为完美电力系统的基石。”⁵⁰“完美电力系统”是伽尔文电力倡议所提出的“终极智能电网的创新型商业和技术蓝图”。伊利诺伊理工大学最近在校园范围内把这个蓝图投入了实际运营。

在2010年，华盛顿清洁能源内阁启动了“国际智能电网行动网络”来加速智能电网在全球的发展和装备。然而，“智能电网”这个术语已经在各地广泛应同并有不同的解读。最关键的问题在于其关键组件（特别是智能电表）是作为老旧的大

46 ERGEG, “智能型电网立场文件—ERGEG 公开咨询文件”（布鲁塞尔：2009年12月10日）

47 同上

48 技术行动计划——智能电网，由意大利和韩国在主要经济体能源和气候论坛报告（2009年12月）

49 例如德国的Dardesheim 和荷兰的“电力配对城市”Hoogkerk。在美国，加州能源委员会(CEC)最近批准了加州大学圣地亚哥分校对“可再生能源安全社区”项目的一个项目建议书，来开发和试点在线可再生能源包括地热，热泵，废水，光伏，风能利用与在线存储替代，建筑的照明和空调更新和电动汽车充电站的整合。

50 <http://galvinpower.org/microgrids>

规模自上而下的系统的廉价补充，还是准备要开发利用它们的全部潜力。这几乎肯定就是指向基于微型电网的电力系统的转换。可能的话，这些微电网将被连接成集群以提供相互补充和系统的稳定性。

与法国一样，英国所展望的智能电网只是当前电网的升级，而不是作为一种向能效+ 可再生能源经济的全面转型的手段。与此相反，英国能源和气候变化部甚至期望电力消费的继续增长。

“到2050年，我们需要生产比今天更多的电力，但又不增加温室气体的排放。我们将利用低碳能源来生产电力，例如⁵¹ 可再生能源、核能和已经实施碳捕捉和储能技术的化石燃料电厂。”

虽然还存在相当巨大的认识差距，但大量证据表明，依靠核能的电力结构将对于基于能效性+ 可再生能源系统的能源服务型社会的发展产生很大的阻碍，特别是在某些情况下，尤其当可再生能源的发展水平蒸蒸日上时，这两种模式（核能与能效+ 可再生能源）就会相互排斥。

⁵¹ http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/network/smart_grid/smart_grid.aspx



投资时机的把握

迅速应对气候变化行动的迫切性

人类活动所引起的温室气体排放，特别是来自能源部门排放的二氧化碳（CO₂），正改变着全球气候，目前这几乎已经是普遍的共识。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第四次评估报告指出，“气候系统的变暖是不争的事实”，而且有超过90%的可能性是由于工业革命以来人类活动所造成的结果。20世纪全球气温上升了0.6摄氏度。如果继续沿着当前能源和土地利用的方式发展下去，那将会继续增加大气中温室气体的浓度，也就是说，到本世纪末全球气温可能会再上升6摄氏度，这将给人类和地球生态系统带来灾难性的后果。

为了避免气候变化最危险的后果，国际社会设定了一个“2摄氏度目标”，即

减少温室气体排放量，以确保全球平均气温相对于工业化前水平升高不超过2摄氏度。这一目标目前已经被很多国际机构和论坛认可，包括欧盟、国际气候变化专门委员会等。最近的《哥本哈根协议》都声明：“我们同意，从科学角度出发，必须大幅度减少全球碳排放，并应当依照IPCC第四次评估报告所述愿景，将全球气温升幅控制在2摄氏度以下，并在公平的基础上，行动起来以达成上述基于科学事实的目标⁵²。”

要实现这个目标，在2050年以前必须大幅削减超过80%的温室气体排放量。在很多方面，近期目标比长期目标显得更重要。快速发展的科技和人类行为的改变，完全可以将排放量大幅降低，并避免在高耗能/高排放产业的投资。然而，如果延误减排行动必将导致未来更高的减排要求。

52 哥本哈根协议，联合国气候变化框架公约第15次缔约方大会发布。（哥本哈根：2009年12月7-18日）

提前着手推广新技术、新经验和建立新希望

核能

要想尽快实现减排，大规模采用新技术所需要的时间是一个常被低估了的非常重要的因素。新能源发电设施试运转有两个主要阶段：前期开发阶段和建设阶段。

前期开发阶段工作包括各类咨询，以及取得必要的建设和运营执照，征得地方和国家的同意，还要着手制定融资方案。在某些情况下，当通用安全技术评估完成以后，一项新技术的装备可能会加快；相反，由于当地条件或者某些新问题的暴露，前期开发阶段就可能延长。根据国际能源机构预测，核能的前期开发阶段大概需要8年时间。⁵³然而，这8年包括获得政府批准所需时间，而且假定基础设施、人力资源和管理制度都具备开发的条件。以英国为例，从2006年5月时任首相布莱尔宣布核电“复兴”好几年以后，核电的前期开发阶段才开始。

历史上核电建设一直较慢，世界能源理事会⁵⁴的分析表明，全球在核反应堆建设周期呈增加趋势。建设周期自20世纪80年代末到2000年有显著增加，部分是

由于切尔诺贝利事故后政治和公众对核能的意见，以及后来对监管要求的变化。2009年世界核能工业现状报告⁵⁵表明，计算的全球核电站的平均建设周期（最新并网发电的16个核电站的建设周期为9年左右）并没有太大意义，因为不同国家的国情不同。在罗马尼亚、俄罗斯和乌克兰境内的4个反应堆的建设周期持续18至24年不等。相比之下，中国、印度、日本和韩国的12座建成上网的核电站的平均建设周期只有5年多一点。

显而易见，世界各国的核电站施工周期都在延长。在德国，从1965年至1976年期间，建设一座核电站需要76个月，而从1983年至1989年期间，建设周期增加到了110个月。在日本，平均建设周期从1965年至2004年期间是在44—51个月，但从1995年至2000年期间，则平均需要61个月。最后看俄罗斯，1965年至1976年期间的施工周期是57个月，然后从1977年到1993年期间则需要72—89个月，但从那以后投产的4个反应堆自建设到完工的时间高达180个月左右（15年），⁵⁶这都是由于切尔诺贝利事故之后，对建设核电站的反对呼声高涨，还包括俄罗斯本国经济问题的制约以及1992年以后政治变动的影响。

53 EA，经合组织成员国的核能（国际能源署，2001年）
 54 世界能源理事会，Alexandro Clerici与欧洲区域研究集团——核能在欧洲所扮演的角色，（2006年6月13日）；2000年之后的数据，根据PRIS数据库计算得出，www.iaea.org/programmes/a2/index.html
 55 Mycle Schneider等，2009年世界核能工业现状报告
 56 世界能源理事会等，欧洲区域研究组（2006年）

表 1：世界核电站建设施工时间

参考时间	反应堆数量	平均施工时间（月）
1965—1970	48	60
1971—1976	112	66
1977—1982	109	80
1983—1988	151	98
1995—2000	28	116
2001—2005	18	82
2005—2009	6	77

来源：Clerici, 2006；IAEA⁵⁷

最新设计的反应堆，即所谓第三代核反应堆，目前正在芬兰施工建设⁵⁸。2003年12月签订了奥尔基洛托(Olkiluoto)–3核反应堆的订单，按照合同规定，2009年5月1日核电站并网发电。但是，最终的完工日期至少要推迟3年以上，而且预算已经超支接近100%（按照目前的估算，建成核电站的总预算将达到57亿欧元以上，而原先的预算为30亿欧元）。在法国正在建造第二座第三代反应堆，它和芬兰的是一样的欧洲压水堆(EPR)。在开工了三年后，弗拉芒维勒(Flamanville)–3现在已经比预定的时间表晚了两年，而且还超出了20亿欧元的预算。这种建筑问题的后果，就是信用评价机构Standard & Poor降低了建造者阿海珐的信用评级。⁵⁹

考虑到工程的复杂性以及建设成本，核反应堆的建设往往是串行施工而非并行施工，即工程建设公司会等到某一个反应堆完全完工后才会开始另外一个反应堆的建设。因此，要使得新的一组核反应堆完全投入生产还需要多等好几年的时间。

世界各地大量核反应堆的建设有利于积累一定的经验，在正常的技术推广条件下，将有可能加快核电建设规模并降低建设成本。到目前为止，加快核电发展的步伐并没有发生，部分原因是由于技术的复杂性，以及相关的供应链和各种相关的技术问题。一份为《斯特恩报告》(the Stern Review，英国政府的气候变化的经济影响评估)所撰写的成本与融资报告指出：

自20世纪70年代以来，除了核电外所有能源生产和使用的技术成本都在系统性地下降，这得益于制造业和应用技术上的创新和规模经济的发展。⁶⁰

这可以从世界上两个最大的核电国家美国（图14）和法国（图15）的情况来说明。虽然这两个国家虽然积累了大量的建设经验，但他们的核电建设成本却都呈现大幅度增加。在美国，25年间每千瓦核电的建设成本增加了约五倍，而法国是四倍左右。法国的显著特点是数据只来自一家公司，因为只有这一家国有公司负责建设和运营核反应堆。

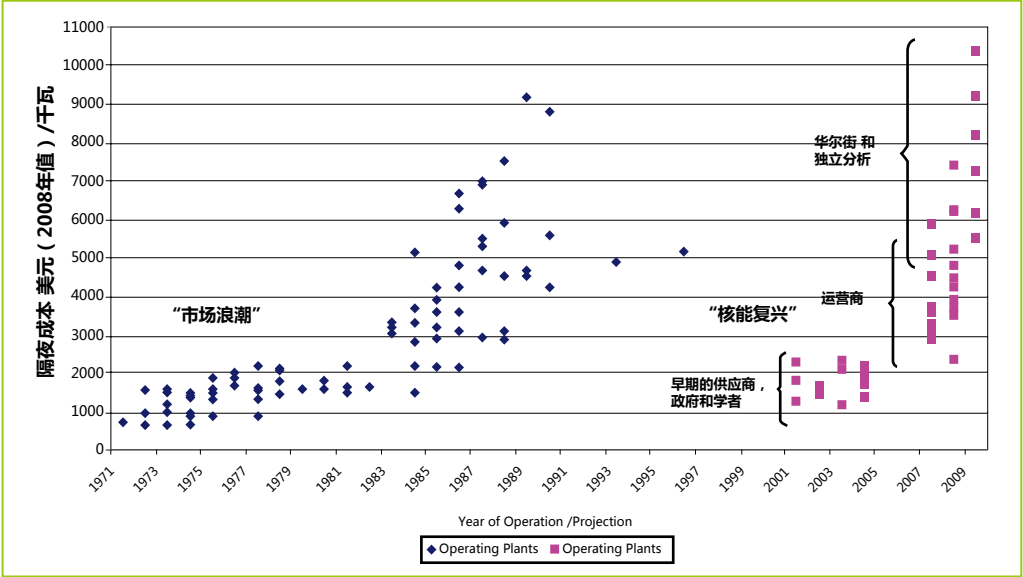
57 同上，2005–2009 期间不包括罗马尼亚Cernavoda 2 个反应堆的完成时间，由于施工过程的中断，工程总共耗时279 个月。

58 欲了解更多信息，请查阅Steve Thomas 的论文《核能经济学》，2010 年。www.boell.eu

59 从A 降至BBB+

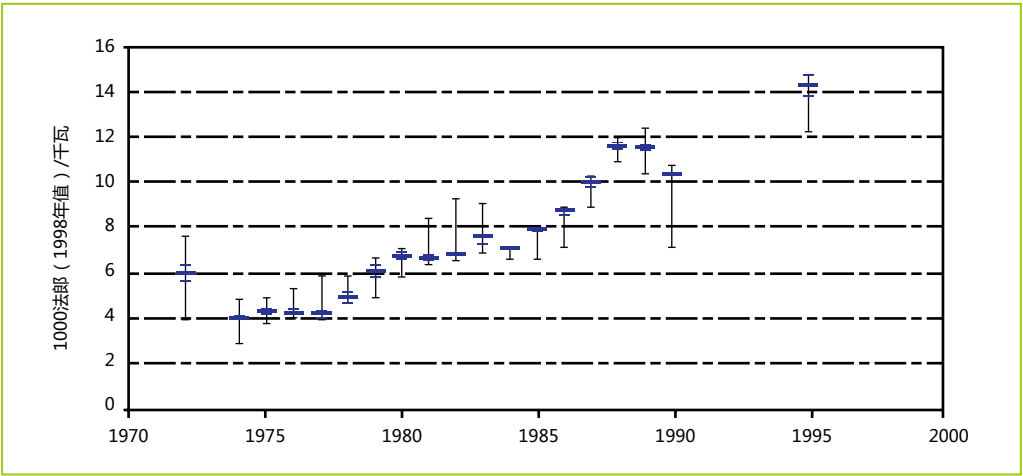
60 Dennis Andersen, “能源部门为削减碳排放的成本和财务分析”，斯特恩报告说明文件（伦敦帝国学院：2006 年10 月），18 页

图 14：美国核电厂投资成本的增长情况（“学习曲线”）



来源：Copper, 2009⁶¹

图 15：法国核电厂投资成本的增长情况（“学习曲线”）



来源：Arnulf Grübler⁶²

关于为什么核电站建设的学习速率会相对较低甚至出现负值，人们找出了各种原因，其中包括20世纪70年代后核反应

堆订单相对较少；核电厂工程复杂性与相关政策及政治进程的接口问题；以及所采用的各种设计方案等问题⁶³。虽然有些

61 Mark Copper, 核反应堆的经济学：复兴还是复发？Mark Copper 是能源和环境经济分析研究所的高级研究员（佛蒙特法学院，2009年6月）。
62 Arnulf Grübler, 法国压水式核电站1970–2000费用评估（2009年10月6日）。
63 性能和创新局（PIU），“能源审查工作文件，核电经济”（PIU, 2002年）。

问题将来可能会得到解决，英国政府的执行与创新局(Performance and Innovation Unit)还强调了由于一些特殊的原因，使得核电站不大可能会出现与其他技术同样的学习率，这些原因包括：

- 核电是一种比较成熟的技术，因此和其他技术相比，出现重大“技术拓展”的可能性较小；

- 相对较长的建设和调试周期意味着第一个反应堆的运行和设计经验的信息反馈对技术的改进将必然缓慢；

- 在核能领域，规模经济的范围会比可再生能源领域更窄，因为后者初始规模较小，（在种类及数量上）潜在应用范围更大。

此外，自1980年左右核电建设达到顶峰以来，产业问题发生了根本的改变。1980年，核工业领域的许多领先组织都

完全退出了核工业，不是与其他组织在核领域合并，就是重新定位到其它经营方向，从事核设施退役、废料管理等相关活动，而这些活动在过去数年中都有所增加。结果是只有少数国家的少数公司集团才拥有管理建设完整核电厂的能力。⁶⁴

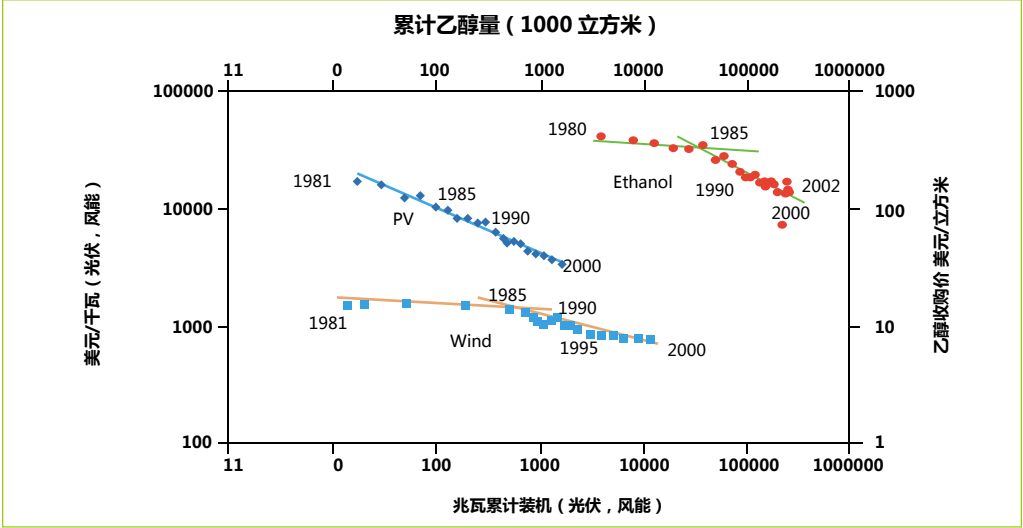
核制造业显然处在一个深刻地改组和升级状态下。而重型设备制造能力的资本投资也是非常巨大的。如果在未来几年公司没有落实订单的情况下，制造商不会贸然投入价值数亿美元的投资。

可再生能源

如图16所示，由于缺乏积极的学习效果以及对经济的负面影响，核电一直不被认为属于可再生能源技术。相反，风电、太阳能发电以及乙醇技术的发展却使得它们的建设和发电成本大幅度下降。

64 国际原子能机构，核电前景和国际地位（2008）。

图 16：技术学习曲线



来源：IPCC 第四次评估报告，报告3：遏制气候变化

2002 年，英国政府的执行与创新局 (PIU) 测算了 2020 年各种发电技术的生产成本。测算结果见表 2，其中核能发电的

成本明显高于陆上以及海上风力发电，并与能源作物生产和海浪能发电的生产成本大体相当。

表 2：2020 年电力燃料来源成本预测

技术	2020 年成本 - 便士 / 千瓦时	测算的可信度	2050 年成本趋势
传统燃料			
煤炭 (IGCC)	3.0 3.5	一般	减少
汽油 (CCGT)	2.0 2.3	高	有限减少
碳捕捉 (CCS)	3.0 4.5	一般	不确定
大型热电联产 (气)	2 以下	高	有限减少
小型热电联产 (气)	2.5 3.5	一般	持续减少
核能	3.0 4.0	一般	减少
可再生能源			
陆上风能	1.5 2.5	高	持续减少
海上风能	2.0 3.0	一般	减少
生物 (作物) 能源	2.5 4.0	一般	减少
波浪能	3 6	低	不确定
太阳能光伏发电	10 16	高	持续减少

来源：PIU，2002 年⁶⁵

65 PIU, “能源评价：执行与创新局”，内阁办公室（2002 年 2 月），第 199 页

近年来在某些国家出现了反对风力发电的现象，这导致了很多项目的撤销和延期。2009年在英国，只有25%的陆上风力发电项目获得了所需的当地政府审批，相比2007年的63%有所下降。2009年7月出版的“政府可再生能源战略”确定了到2020年建设140亿千瓦陆上风力发电装机容量的目标。在英国境内，目前有已32亿千瓦风电装机能力，另有8亿千瓦建成投产，有34亿千瓦正在建项目，这使得英国的风电总装机容量将达到74亿千瓦，刚刚超过了既定目标的一半。尽管如此，另外还有74亿千瓦的风电项目已纳入规划，如果规划得到批准，足以按期实现目标⁶⁶。与核电规模相比，更大规模的海上风电项目即将很快完成。2010年1月，英国政府宣布了320亿千瓦的海上风电开发规划，

以此补充目前80亿千瓦的在建项目。这些风电项目预计2020年投入运行。

需要注意的是风力发电场与常规电站在建设方面的差异。欧洲风能协会认为，风电场的建设方式就好比购买一批卡车一样，原因是，风电机组是按照事先约定的价格来采购，交货的时间也规定好了。而电气基础设施也可以事先指定了。虽然土建工程的成本可能会有些变化，但是这种成本的变化相比整个工程的成本来说是微不足道的。⁶⁷陆上风电机组的施工时间相对较快，某些小型风电场的建设周期最快几个月就可以完成，最多在一年之内。风电行业的速度优势已经成为主要的市场营销手段。⁶⁸

66 BWEA，地方议会风电计划规划审批低迷，达到25%的新低点，英国风能协会（2009年10月29日）

67 EWEA，风能，事实：第一卷，科技，欧洲风能协会（2003年）

68 维斯塔斯（2009）：“你可以在一年内运行一个维斯塔斯风力发电厂—比常规生物能源更快速—这意味着快速的投资回报” <http://www.vestas.com/en/modern-energy/understanding-modern-energy/fast.aspx>



机会成本

国际能源机构和其他组织的评估报告显示出两个重要又有些矛盾的趋势。首先，在未来十年能源部门的投资将达到空前的高水平，这是由于一系列趋势所导致的结果：

- 越来越多来自发展中国家的需求，尤其是来自城市环境的要求；

- 经合组织成员国淘汰大量发电厂的需要，这些发电厂已经老化，在某些情况下是由于新环保法规的要求；

- 现有的能源储备枯竭，需要开发新能源储备和资源。

其次，在过去几年内能源部门的投资却出现了萎缩，这是由于：资金来源不足，投资成本高，全球经济衰退导致的能源需求降低、以及能源价格下跌导致金融市场的极不稳定性。许多分析家预测，当全球经济衰退结束时，投资发展放慢或者停滞不前的局面才会被完全或部分摆脱。

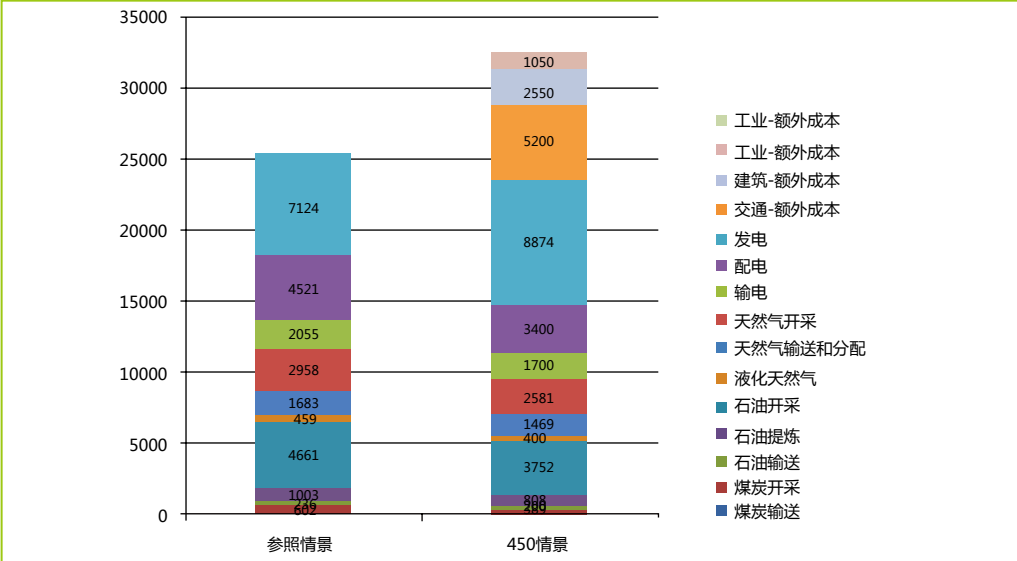
此后，对能源部门的投资才有可能扩大，并得到鼓励。但是，即使经济表现出复苏迹象，资金仍将紧张，特别对于公共能源部门的投资。此外，不同部门之间的投资资金的竞争将会非常激烈。

假设对能源部门的投资加速，现在对投资类型的选择将会决定未来几十年能源部门的走向。下图显示了根据国际能源机构的不同情境模型分析所得到的相关能源部门所需的投资规模。国际能源署参考情景模型假设，到2030年总投资水平为25.6万亿美元；如果在控制温室气体排放以保证全球气温升高不超过2摄氏度的前提下，总投资将增加额外10.5万亿美元。这些投资的绝大部分都将用于提高能源终端用户的能效，比如对建筑物或车辆的改造，但是也会用于支付与燃料更换、利用非化石燃料发电，或者实施碳捕捉和储存技术(CCS)的额外成本等。但是，这种额外的投资将导致对化石燃料需求的

减少，化石燃料的提炼和运输的新增投资水平将会降低约2.1万亿美元，并减少对化石燃料的总体消费额。国际能源机构预

测，到2030年之前，燃料总支出将减少8.6万亿美元左右，整个投资期间将节约17万亿美元。

图 17：低碳能源领域的投资变化



以上例子说明了不同政策目标对投资的影响程度，看不到这种影响就会导致政策失败或者投资的搁浅。

同样的逻辑也适用于电力部门的投资选择。显然，大力提高最终用户能效将进一步减少对化石燃料勘探、开采以及输送的投资。然而，对不同发电技术之间的选择将产生最直接的影响。很显然，增加某种能源的投资将一定会减少对另一类能源的需求。

在全球所有为能源部门带来显著减排效果的情景模式下，与可再生能源（除了节能和提高能效以外）相比较，核电的贡献相对较少。尽管如此，也有人认为核电仍可算作一种广义的“低碳能源发电技

术”，就像从燃煤发电和天然气发电厂实施碳捕获技术(CCS)一样。

要想能源部门真正实现低碳和可持续，不仅需要对能源资源进行转变，而且也需要改变对能源的分配和使用方式。为实现这一转型，必须要对发展重点和投资强度做出调整，这涉及到整个技术发展链条，从研发到广泛的技术推广。以下部分将从每个发展阶段出发，对核能与可再生能源进行比较。

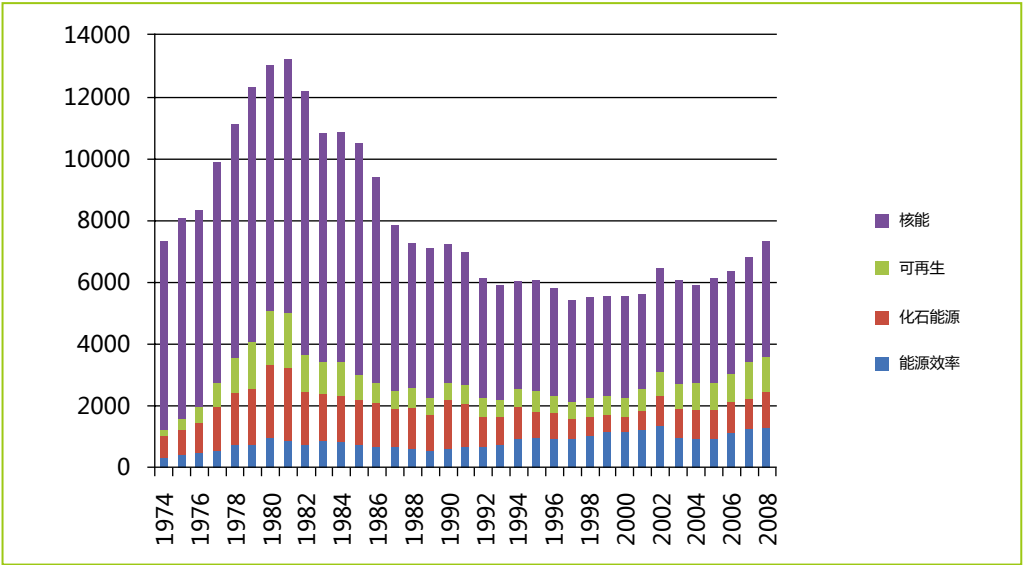
研发阶段

作为政府的研究与开发项目，很少有其他领域在核能与可再生能源之间那样进行直接的比较和竞争。虽然我们一

直在呼吁加大研发力度，以解决能源和气候安全问题，但在很多国家，政府的科研预算额度还不到20 世纪80 年代的一半。这已经影响到所有的能源领域。过去

10 年里能源领域的迹象表明，这是政府职能的普遍缩减和私营部门力量壮大所造成的结果。

图 18：经合组织成员国（OECD）研发经费预算（百万美元）



来源：国际能源署，2010 年⁶⁹

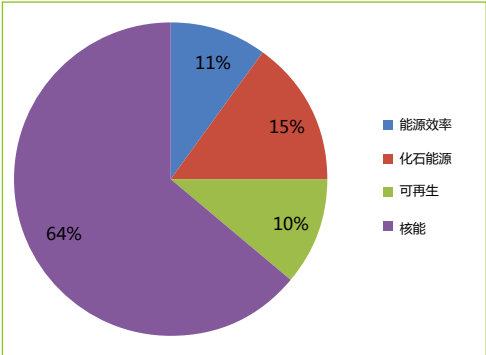
预算的缩减将会降低对新能源技术的开发机会并且限制政府对新能源开发的影响力。图19 显示了核电在这些研发预算中所占的主导地位，在过去几十年里，核电花费了总研发支出经费的近三分之二。这绝对不是一个寻常的统计数字，它是由于某些特殊因素造成的。首先，核部门包括核裂变和核聚变的研发投资，其中核聚变目前所获得的研发经费最多，如国际热核试验反应堆（ITER）的核聚变重点项目。其次，核电研究的资金，特别是示范或试

点设施融资，价格非常昂贵，所需的经费额度高得惊人，尤其是短期内提供不了能源服务。这些核电示范项目的技术复杂性以及创新性造成成本居高不下，工期拖延时有发生。以2006 年ITER 项目为例，按计划建设投资为50 亿欧元（74 亿美元）左右，另外50 亿欧元用于20 年期的运行费。但是，经过广泛的设计审查后发现，施工建设费用现在看来至少要翻一番。⁷⁰ 这种成本超支的情况可能会影响政府对未来几十年内其他能源项目的资金供应。

69 IEA, 研发预算数据库 (2010 年), <http://www.iea.org/stats/rd.asp>

70 “核聚变梦想延迟，ITER 项目核反应堆版本一可能被缩减”，《自然》杂志，2009 年5 月27 日，第488–489 页

图 19：经合组织成员国能源研发预算用途比例（1974-2008）



来源：IEA 国际能源署，2010 年⁷¹

投资成本

在竞争市场环境下，很多因素会影响到能源结构的决策。但是，最重要的因素有能源生产的成本、能源的销售价格、融资成本、以及能源设施的开发和建设风险。

和其他能源技术相比，核电在融资方面处于劣势，因为它需要大量的前期成本，由于技术的复杂性，核电的建设周期长，而且很难在计划的预算内完成。在核电建设的历史上，有很多成本超出预算的例子，如右面的方框所示。这种成本超支非常严重，因为它不仅仅影响着具体项目的成本，而且还会影响都后续核电项目，甚至整个电力公司的资金成本。正如国际能源署指出，“建造成本的不确定性成为了投资商面临的一个主要危险因素。”⁷²

核能成本超支的实例

“20 世纪80 年代至90 年代初期在美国与其他大多数欧洲国家建成投产的核电厂中，建设成本都非常高，远远高于有些现在正在建设核电站的公司甚至整个核电产业的估计。”⁷³
(麻省理工，2003 年)

“有证据表明，核电行业对成本的估算历来处于严重低估的状况，在过去的40 到50 年间，这种估算极不准确。”⁷⁴
(乔纳森·波利，英国政府可持续发展委员会主席，2005 年)

我没有任何理由相信ČEZ（捷克为公用事业建设的泰梅林核电站）。我已经被骗了九次。我不知道我为什么还要再相信第十次。⁷⁵
(瓦茨拉夫·哈维尔，时任捷克共和国总统，1999 年)

图14 来自佛蒙特法学院 (the Vermont Law School)，该图显示了20 世纪70 至80 年代中期，美国为建设核反应堆陡增的经费开支以及过去数年中迅速变化的核电建设成本预计。值得注意的是，这些成本预计的增加并不是美国的实际数字，因为目前并没有在建的核反应堆，估计这应该是基于深入的经济分析以及世界其他国家相关的核建设经验而得出的结果。

71 IEA，研究和发展预算数据库（2010）
72 IEA，2009 世界能源展望，268 页
73 麻省理工，“核能的未来”，2003 年
74 引自下议院贸易和工业委员会“新核能？检查问题”2005-06 年度报告，第一卷
75 总统办公室，新闻部新闻稿（1999 年5 月12 日）

通常，这些较高的建设成本并没有被纳入用于评估能源生产的成本经济性分析。

例如，在国际能源机构一份最新的经济分析中指出，核电站的隔夜建设成本在3200—4500美元/千瓦之间。⁷⁶这远远低于佛蒙特法学院（the Vermont Law School）和其他学者的分析结果。⁷⁷按此数字，国际能源机构认为核电生产成本在55—80美元/兆瓦时之间。

较高的建设成本对核电站的总成本产生了巨大的影响。佛蒙特大学（University of Vermont）的研究中列举了来自三个不同的对高额建设成本对电价影响的三大影响研究结果：

- 麻省理工学院的模型表明，隔夜成本每增加1000美元，电力公司财务模型中母线成本⁷⁸则上涨1.8美分/度，商业财务模型中成本增加2.4美分/度；

- 在哈丁（Harding）的研究中结果，隔夜成本每增加1000美元母线成本增加到大约2.4美分/度；

- 按照芝加哥大学研究结果，隔夜成本每增加1000美元母线成本增加3.0美分/度。

对这些数字进行平均计算，如果每千瓦装机容量的投资成本为5500美元，则电价会提高40美元/兆瓦时，这符合当

前较高的公共设施成本预测以及来自华尔街和独立分析机构的保守预测（参见图14）。因此国际能源署认为，平均成本约为95—120美元/兆瓦时之间。

欧洲也同样面临着核电成本远远高于预期的情况。芬兰奥尔基洛托核电站在2004年的第一份核反应堆订单标价为30亿欧元。经过五年多的施工建设，尽管09年应该完工了，但建设周期又延长了三年，超出预算90%以上，达到大约57亿欧元。

较高的建设成本也有可能削弱电力公司或政府投资其他电厂的能力，或者影响了替代能源的管理战略。目前，国际能源署认为，如果提高核电的利用还需要增加16%的投资，按照目前美国和欧洲的投资成本预计，或者导致投资缩水40%，或者需要增加相应额度的财政投入。无论哪一种选择都将对电力部门造成潜在的困难。

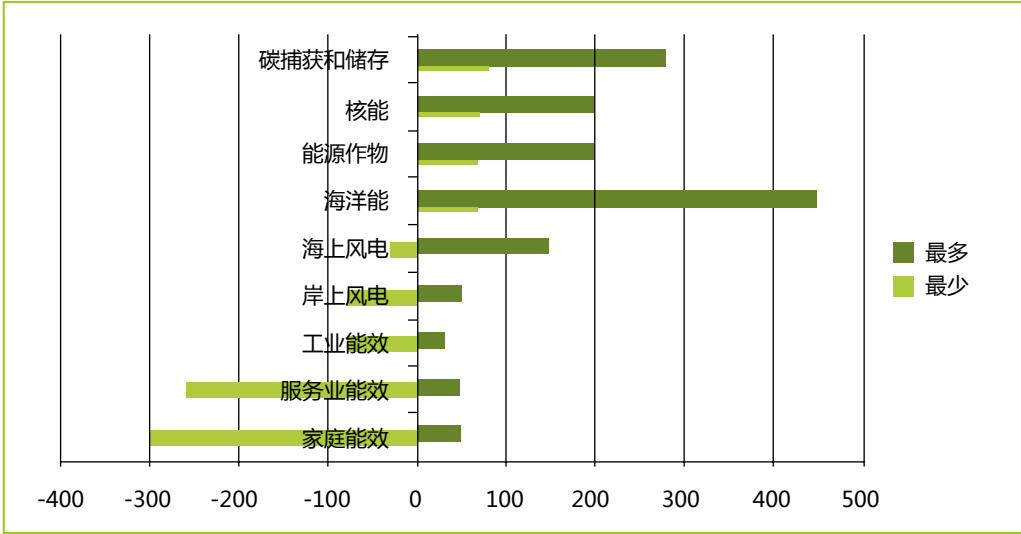
图20来自英国政府2002年的报告，显示了利用不同非化石燃料提供能源以及提高能效的碳减排成本。核电的成本远远超过所有其他能效措施，也高于陆上/海上风电；与生物质能源相当；但是可能低于海洋能。

76 IEA，2009世界能源展望，266页

77 参见“新核能—经济学认为英国没有为新核能开启绿色照明灯—还是开启了么？”，花旗投资研究及分析（2009年11月）

78 每千瓦小时电力的生产成本；它包括资本、债务服务、操作和维护，以及燃料成本。电站的总线或母线在发电机出口前，但是在工程变电中先于电压转换点。

图 20：2020 年英国碳减排成本测算结果（英镑 / 吨碳）



来源：PIU，2002。

此外，还有更多最近的分析表明，核能和可再生能源的成本会非常接近PIU给出的结果。2009 年最新的麦肯锡咨询公司⁷⁹评估报告中，分析了不同需求和不同能源供应技术的碳减排成本，报告总结说：“一些低碳技术到2030 年的减排将成本将差别不大，这反映出对于哪些技术成为真正‘赢家’的高度不确定性”。麦肯锡公司的分析还给出了一些核能和可再生能源技术的碳减排成本：新建电厂：5–20 欧元/ 每吨二氧化碳当量；地热发电：5 欧元/ 每吨二氧化碳当量；核电：10 欧元/ 每吨二氧化碳当量；小型风电场：12 欧元/ 每吨二氧化碳当量；聚集型太阳能发电：3 欧元/

每吨二氧化碳当量；大规模风能：20 欧元 / 每吨二氧化碳当量。⁸⁰。但对于核电的分析中，麦肯锡公司是按照发达国家2005 年每千瓦装机容量3000 欧元的成本来计算的（发展中国家为每千瓦2000 欧元）。这里的装机容量成本估计低于目前实际的建设成本以及独立分析数据。

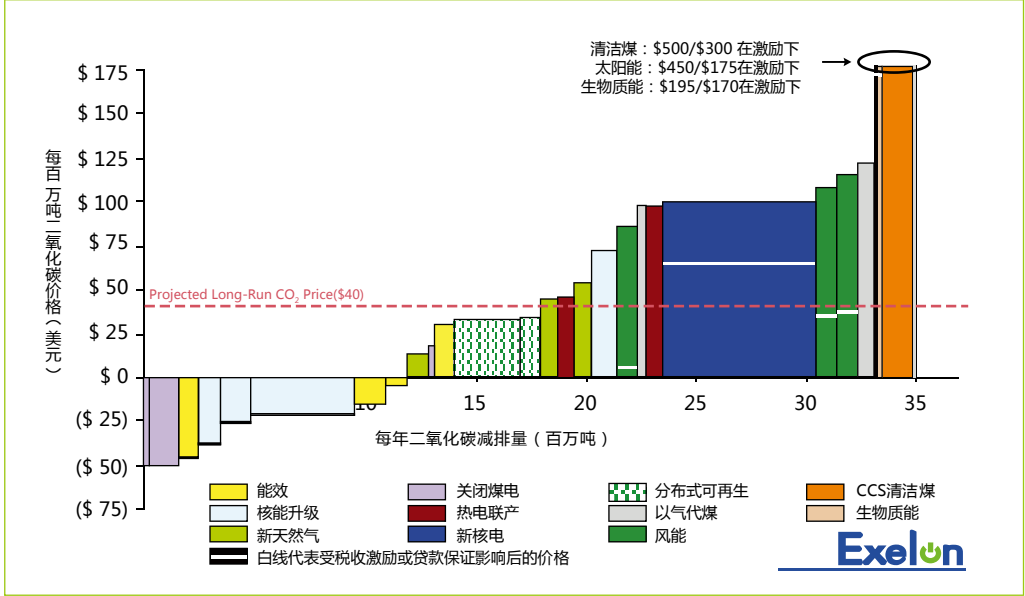
美国最大的爱克斯龙Exelon 的首席执行官最近声称在近两年“低碳选择的经济性已经发生了戏剧性的变化”，该公司的新核电的减排成本预计达到100 美元/ 吨二氧化碳（见图21），是麦肯锡估计的十倍⁸¹。

79 麦肯锡，通向低碳经济—全球温室气体减排成本曲线 第二版。（麦肯锡公司，2009 年）

80 同上，基于对展览8.1.3 的评估，63 页

81 John Rowe，解决碳问题而不破坏经济，Exelon，2010 年5 月12 日

图 21：Exelon 2010 年碳减排成本估算（美元 / 吨二氧化碳）



来源：Exelon，2010 年5 月。

基础设施和电网

无论采用何种能源模式，都需要在未来的10年里加快对电力基础设施的投资。世界能源机构的最近的评估报告《2009 世界能源展望》总结其参考情形模式认为，到2030 年电力部门的总投资需要13.7 万亿美元，其中48% 需要用于电力传输和配电基础设施(2 万亿用于传输，4.5 万亿用于配电设施)。对于产生较少碳排放量系统的投资成本相对较高。

现有的电网主要依靠大型中央发电企业的运转，这些大型发电厂使用高压电缆将电力远距离传输到城市或工业区，然后使用低压线路输送到最终消费者使用。过去，这些电网建成时电力部门主要都归国家所有。因此，新建电站不必支付电网连接上网费用。对于不属于现有电网系统的新建电厂，假如要求他们支付电网增容或联网费时，就有可能提高这些新电厂的成本，带来经济上的劣势。

目前的制度主要是基于一种“预测和供应”模式的，按照这种模式，集中式的电网公司希望消费者的用电需求总能得到保证。然而，正如已经在前面的系统性章节里指出的那样，这种模式效率较低，不适合建立一种低碳和可持续的能源产业。同时，对于电网的覆盖范围和运行机制需要做大规模的改变，以适应地理分布广泛、发电机组规模不统一的可再生能源发电模式特点。在某些情况下，例如海上风能，对于电网投资需要是毋庸置疑的。假如没有对电网基础设施的投资，就不可能有风电的发展。

这些变化在政策文件和投资方案中，尤其在各种激励政策里都得到了体现。但在许多情况下仍缺乏细节，在谈到如何改变以及在多大程度上需要做重大改变时，仍然模糊不清。特别是，我们现在常用“智能”这个词来作为改变的代名词，但对于它的含义仍然没有清晰的和统一的理解。一个最具代表性的例子就是就在哥本

哈根联合国气候变化会议之前英国能源与气候变化部的一份新闻稿。在这份题为“英国能源系统实现了智能化”的新闻稿中，“智能”一词在19个句子里面共出现了22次⁸²。

由经济危机导致的英国国家经济刺激计划强调了“绿色”的行动，尤其提出了对“智能电网”的投资。根据总部位于英国伦敦的汇丰银行分析，全球承诺的新电网资金总额为920亿美元，其中的大部分约700亿美元来自中国（总4300亿美元绿色财政投资的一部分）⁸³。然而，很明显不是所有的项目都属于“低碳”或“绿色”，有些与现行的维修或扩建计划差不了多少。

欧盟对能源的经济刺激方案重点是欧洲能源复兴计划，该计划从欧盟预算中为重点能源项目提供大规模联合融资创造条件，通过40亿欧元投资项目，旨在“保障就业和购买力，促进基础设置建设，创造未来新兴低碳行业的就业机会”。天然气和电力基础设施项目获得的投资额度最大，为23.65亿欧元（占总预算的60%），碳捕捉和碳储存技术为10.5亿欧元（占26%预算），最后是近海风电项目5.65亿欧元（占14%预算）。关于碳捕捉和碳储存技术与海上风力发电项目的资助详情已经公布，但天然气和电力基础设施项目仍在审议中。不过正在审议的项目并非与低碳特别是可再生能源有关，而是用于加强现有电力市场⁸⁴。

此外，对于评估一个项目是否合适，只有10%的评估指标与环境问题有关，

即使在这些指标里面，也不涉及到“项目开发对自然环境、排放、噪声、土地使用的影 响，以及降低或补偿任何负面影响所采取的措施”⁸⁵。在海上风电项目中，三大电网基础设施项目得到了资助，将获得约3.1亿欧元的项目资助，预计总投资将达到18亿欧元。

就在我们还在对高密度的电力传输基础设施开展大规模投入的时候，缺少的是 一项有关投资之间冲突关系的全面的、系统化的分析。曾经流行一时大功率高损耗的集中式输电配电系统是绝对投资重点，对于快速引进高效、分散式智能电网构成了一个实际的障碍。这些小型的智能电网将输电损耗降到最低，成为未来智能性供电网络的主力军，将深刻地改变电力企业与用户的关系。

例如一辆电动汽车能够比燃油汽车更有效地将电力转化为机械动力。当然，这种物理现实还只处于一种纯理论阶段，只有当我们能以一种可持续的方式来发电时，才能成为实现。关键的是要重新调整对基础设施的投资，要采用完全不同的系统方法，而不是继续对老化、低效的基础设施修修补补或添加点新装置，因为这样不可能使得整体系统的性能出现任何好转。

近年来，允许大量间歇性可再生能源电力入网所带来的电网能力难题时有发生。而大型、笨重的核电厂的持续永久性接入电网，使得这些问题进一步加重。近年来可再生能源的发展表明，在建项目的建设周期控制、预算控制、连接入网已

82 <http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/pn139/pn139.aspx> (2010年3月16日)

83 汇丰银行，复苏的气候：经济刺激颜色变绿（2009年2月）

84 OJ，法规（EC），663/2009号，2009年7月13日欧洲议会和欧盟理事会关于建立给予经济复苏援助项目的文件，通过给予相关能源项目社会财政资助。L/200/31，2009年7月31日

85 欧盟委员会，信息日（2009年），http://ec.europa.eu/energy/grants/docs/eepr/eepr_info_day_presentation_interconnections.pdf

经不成为问题。此外，重点发展可再生能源显然是合理的，因为它们不使用化石燃料。如果不采取系统化的改变，可再生能源就不能得到高效的利用。因此，必须对电网管理进行一次根本性改革，加大对新增基础设施的投入，加大对产品开发的投入。这必须要基于高效的能源供应，即优先本地能源的生产和利用，根据用电消费决定发电量和储电量，整合区域电网减少对备份电厂的需要，并且必要时开发更大规模的可再生能源资源，如海上风力发电。

市场机制

在过去几十年，随着加快市场自由化的全球趋势，国家对石油和电力市场运作的干预越来越少。但是，这并没有导致对能源供应的“放任不管”方针，而是引入更多的市场化机制来重点支持技术的发展。

在某些国家，近来有效地利用了这些市场机制来促进可再生能源的发展。特别是在电力市场，相继出台了一些固定上网电价和保证市场份额等制度。到2009年初，至少有73个国家制定了可再生能源的政策目标。在美国和加拿大，虽然没有国家目标，也制定了州/省级的发展目标⁸⁶。这些政策机制成为了可再生能源成功的基础。

重要的是，根据欧盟的法律认为，这些市场机制并不表明国家对可再生能源的资助。具体来说，在2001年发布的一个典型案例判决中，欧洲法院明确表示，精心制定的固定上网电价并不代表国家的资助行为，只是作为一种合法的手段来平衡那些未纳入价格因素的外部成本。这一裁决被欧洲委员会广泛认可，认为从经济效率角度看，一些市场失灵的例子证明了，国家有必要对可再生能源电力市场进行干预。⁸⁷原因如下：

——“由于目前在大多数国家的政府，外部成本的完全内化政治上并不可行，因此支持可再生能源，考虑它们的低排放的特点，从效率的角度是合理的。”

——“虽然有些可再生能源，比如在资源丰富地区建设的风电场，显示出其成本结构接近于传统能源，但可再生能源在不受保护的电力市场上通常被认为还没有商业竞争力，尤其是由于对现有电力系统的大量直接和间接补贴，该市场仍然扭曲。虽然可再生能源拥有长期发展前景明朗的优势，但市场所基于的基础设施是主要电力部门还公有化时建成的[...]，可再生能源市场还在研究发展中，这就是为什么政府应该提供激励政策来刺激革新。”

——“现行的监管制度对常规能源有利，过去政府对研发的巨大投入，使得传统能源获得了额外的好处。”

86 REN 21, 2009 年全球可再生能源现状更新报告：21 世纪可再生能源政策网络 (2009)

87 欧洲委员会，委员会交流通信：对来自可再生能源电力的支持，SEC (2005) 1571, Com (2005) 627 最后，(2005)

美国核能补贴比较

在最初的15年里，核能和风能技术都生产了相当数量的电力（核电：26亿千瓦时，风电：19亿千瓦时），但是对核能的补贴超过了风能40倍（394亿美元比9亿美元）。

马歇尔·戈德堡，“联邦能源补贴：并非所有技术的发展都是平等的”，REPP 11号，2000年7月

由于新建核电站订单少，虽然增加了资金渠道，也规定了资金用途，但在大多数自由市场已经导致了缺乏实际执行的技术支持机制。最明显的例子是在美国，其中2005年的能源法案明确了对核能的财政支持包括：

- 减免生产税：对于来自6个新反应堆，每千瓦时减免1.8%税收，期限为8年，这相当于美国财政部支付57亿美元；

- 对第一批6~8座核反应堆提供贷款担保（价值高达185亿美元）；

- 建立支持框架来防止监管或司法延迟，对头两个反应堆提供价值高达5亿美元的支持，后续四个反应堆为2.5亿美元；

- 追加8.5亿美元的研发经费；

- 支持历史上的退役成本（至少13亿美元）。

2007年12月，爱克斯龙电力公司打算建设一批新的核电站。公司总裁克里斯多弗·克雷恩(Christopher Crane)说：“如果贷款担保计划到2009年不到位，我们不会冒然前行。”⁸⁸ 2010年1月，奥

巴马总统明确了这种特殊市场机制的重要性，当时把可能融资规模提高了三倍，以确保为他提出的能源法案提供高达540亿美元的财政支持。

如前所述，在其他拥有自由电力市场的国家，目前很少有专门为核能制定的特殊市场机制。然而，正在制订的更宽泛的扶持机制可能进一步提高对核电的财政支持。英国首相布莱尔执政期间，在2005年10月汉普顿宫的一次非正式首脑会晤中，迪特·赫尔姆(Dieter Helm)提出了一份非正式文件：《欧洲能源政策，确保能源供应和应对气候变化的挑战》⁸⁹。该文本建议，鉴于目前很多发电设施老化退役，这正是一个理想的机会加大对“无碳能源”的投资。此外文件还提出，“欧盟应该考虑扩大对可再生能源的定义，使它可以包括更多的减排技术”。

在某些情况下，也有人试图将核电纳入可再生能源的范畴。在美国亚利桑那州，关于可再生能源法案的法律条文于2010年2月遭到否决，因为该法案建议把“核能”包括到可再生能源的定义中。假如法案通过，将把核能纳入到能源发展目标中，该目标要求15%的发电量需要来自可再生能源。当核能被拒绝于法案之外后，亚利桑那州州长占·布卢尔(Jan Brewer)发表声明称：“这向世界各地的企业发出了一个明确而统一的信号——亚利桑那州仍然是太阳能产业的首选目的地。”⁹⁰

欧盟委员会2006年3月8日发表的绿皮书：《有竞争力的可持续的能源—欧洲可持续发展战略》⁹¹中，关于低碳技术方面包括以下内容：

⁸⁸ “贷款担保是核能建设的关键”，能量，资金与风险（2007年12月21日）

⁸⁹ http://www.fco.gov.uk/Files/efile/PN%20papers_%20energy.pdf

⁹⁰ “可再生能源分类条例草案被扼杀”，凤凰商业杂志，2010年2月22日，<http://phoenix.bizjournals.com/phoenix/stories/2010/02/22/daily51.html>

在2010年2月欧盟提出的这些措施时，英国能源监管机构——天然气电力市场局（OFGEM）——声称，“越来越多的人认识到，由于能源供应的安全性和环境原因，不改变现行的市场安排和其他激励制度是不行的”。⁹² OFGEM正在考虑的措施之一是，对所有形式的发电项目进行竞争招标，其中包括可再生能源和核能，以提供更清晰的长期投资信号。

运用市场机制扩大可再生能源的发展在欧洲得到了法律上的保障，因为这些机制就是要对目前存在于市场中环境与经济的各种扭曲现象作出平衡。此外，市场机制促进了新兴技术的发展，而这些技术既没有从历史上大规模的研究和巨额开发预算中得到经费，也没有从国有化时期基础设施建设中获益而得以发展。这些同样的理由却不适用于核电产业，因为核电技术已经或者说还将继续获得最大的研发份额；核电技术已经受到了实施基础设施建设的青睐；核电技术也没有为它已经造成的和可能造成的环境成本承担全部费用。然而，如上所述，目前美国正在采取财政

支持措施再次引进核电技术，而欧洲正试图从设定可再生能源的具体目标向制定“低碳”目标转型。这些措施有可能会削弱可再生能源政策的有效性，更重要的是，投资者心中可能会对政府对于可再生能源承诺的严肃性产生了怀疑。

本节审视了核能和可再生能源的机会成本。尽管如此，还有许多其他问题需要进行详细的比较分析。马克·雅各布森（Mark Jacobson）发表在《能源与环境科学》杂志⁹³的研究论文中，分析了各种能源技术在应对气候变化、解决空气污染和能源安全方面的潜力，同时考虑了一系列其他问题，比如供水、土地利用、野生动物、资源利用性、热污染、水污染、核扩散和营养不良等。雅克布森教授的研究结论显示核能⁹⁴排名低于所有其他用于发电的可再生能源。这些技术包括太阳能光伏发电、太阳能集热发电、风力发电、地热发电、水力发电、海浪发电、潮汐发电、核能发电以及以煤炭发电为主的碳捕捉封存技术（CCS），以及生物燃料、玉米和纤维素生物质发电等。

91 http://europa.eu.int/comm/energy/green-paper-energy/index_en.htm

92 OFGEM, “需要立即行动来确保英国能源供应保持安全”新闻稿（2010年2月4日）。

93 Mark Z. Jacobson, “对全球气候变暖、空气污染和能源安全所做的解决方案回顾”，能源与环境科学杂志（2008年12月1日）。

94 核能政策对气候变化和环境影响的深入评估结果见Felix Matthes的文章，见http://www.boell.de/downloads/ecology/NIP6_MatthesEndf.pdf

结论

核电的发展已经并且将继续受到政府的干预。举一个例子说明，在发展的头15年里，核电与风电在美国都生产了大量的能源（核能：26 亿千瓦时，风能：19 亿千瓦时），但核能的补贴要高于风能40倍（394 亿美元与9 亿美元）。即使在今天，尽管核能没有了新的订单以及其他能源技术的兴起，核电依然继续享有无可比拟的政府研发资金支持。

此外，核能还将继续享受政府的大额、直接性补贴，⁹⁵ 而其中并没有把环境影响成本纳入电价内，特别是，核废料的最终储存或放射性物质的处置完全是由政府承担。更直接的融资援助是对第三方责任保险的限制和政府财政担保，通过出口信贷机构担保、生产税减免或贷款担保。

全球核电站建设经验显示了费用超支和工期拖延的趋向。历史上美国和法国的全球两个最大的核电建设项目中，建设成本分别增加了5 倍和3 倍。这不能归结为一种成本高的特例或暂时性困难，而应该是核电的工程大，政治因素和技术复杂所带来的系统性问题。芬兰的奥尔基洛托及法国的弗拉芒维勒项目的最近经验表明，这一问题仍然存在。核电的投资大、建设周期长，不仅仅需要更多的投资投入，而且工期延长还会增加核电部门的排放量。

从系统性角度来看，核能与能效性+ 可再生资源的模式之间显然互相水火不容，不仅在投资方面项目排斥，在很多可再生能源比例较高的国家和地区，如德国和西班牙，问题更加明显。主要原因有：

95 如果需要更深入的讨论德国政府对核能的历史补贴，查阅德国绿色预算（2009）“1950–2008 国家核能支持”

——**对有限的投资资金的竞争。**欧元、美元或者人民币都只能花一次，资金应该花在减排效果好、发展快的技术上。而核能不仅是最昂贵的，发展得也最慢。

——**产能过剩扼杀提高能效的积极性。**集中式、大型发电装置往往会导致结构性产能过剩。产能过剩就不可能鼓励提高能效。

——**需要灵活的互补能力。**提高可再生能源发电能力，需要有灵活的、中等负荷配套设施，而不是僵化、巨大的高负荷电厂。

——**未来的电网是双向的。**智能电表和智能电网正在发展中。从逻辑上说这是完全重新设计的系统，用户也发挥着发电和储电功能。这与过去的自上而下的集中方式完全不同。

为了做好未来的规划，尤其对于发展中国家，核能与能效性+可再生能源战略之间的矛盾性系统特点需要被明确地界定，这是关键的。有众多系统模式所带来的后果到目前为止还没有得到充分的阐述，甚至没有弄清楚。未来迫切需要对这些方面的研究和分析。

当前正处于一个至关重要的时期，因为下一个十年将决定未来几十年能源部门的可持续性、安全性和财政盈利性。有三大关键政策动力已经形成合力，必须保证涉及到能源服务的提供、能源载体（电、氢气...）及其燃料的生产、输送和使用方式的重大转型。这三大政策动力是：

——对于采取必要的行动，减少气候变化的威胁；并且实现能源部门应有的重要贡献的认识的提高。

——因为增长的能源需求不能通过更大规模地勘探新的资源来实现，传统能源在全球预计面临越来越激烈的竞争。

——加快对能源部门的投资的需要。这是因为，在经合组织国家，因为现有的基础设施已经老化；在发展中国家，城市化进程的加快需要不同类型日益增长的能源服务。

经合组织的国际能源署和其他组织已经认识到，不能再继续常规的发展模式。可再生能源已经成为过去十年里成为最成功的产业典型，2009年在欧洲，风电的投资达130亿欧元，风电场占有所有年度新增发电装机容量的39%，连续两年新增风电能力超过任何其他发电技术。此外，2009年可再生能源发电上网产能占欧盟新增上网产能的61%。欧盟电力部门的煤炭、燃油和核的利用持续下降，这些技术的退役速度高于新增能力。至少有73个国家为可再生能源制定了政策目标，全世界都在努力提高可再生能源的利用比例，而有些国家的可再生能源发展明显取得了更大的成功。重要的是，许多发展中国家在可再生能源制造业和利用方面走在了最前沿。中国已经引领世界发展太阳能热利用，并有望在短期内成为世界风力发电机组的最大制造商，2009年中国境内风力发电装机容量也大幅度增加。此外，在欧洲可再生能源的利用预计再下一个十年将翻三倍，在其他经合组织国家也会有显著增加。

可再生能源的利用已经表明，它是电力部门减少温室气体排放的技术关键。然而，到目前为止，可再生能源在其他领域的应用尚未得到充分认识，特别是在交通运输、采暖和制冷行业。因此，如果不考虑传统及非商业能源资源，在很多国家除了发电外，可再生能源在能源结构所占的比例要小得多。

但必须认识到，如果没有所有能源领域大幅提高能效的努力，可再生能源政策

将无法实现预定的减排效果。德国的电力部门是一个很突出的例子，因为电力消费的增长超过了可再生能源生产的电力，所以这抹杀了德国最成功的可再生能源项目所产生的最有利影响。首先需要对长期基础设施建设，尤其是对城市规划、建筑设计和土地利用做出合理布局。我们不能再因为我们所建的办公楼和商业中心远离居民区而人为造成不必要的额外交通负担，我们既没有时间也没有资源浪费在先建造好能源效率低下的建筑物然后再（可能）投巨资进行改造。

如果要在能效+ 可再生能源模式中吸引私营投资，对政府政策的连贯性和有效

性抱有信心是至关重要的。必须保持“投资评级”⁹⁶的可再生能源政策并变成一种长期政策。理想情况下，这些政策和目标必须要提出每个可再生能源领域的机会和目标，反映市场状态和各项技术，以确保提供充足但不过份的政策支持。然而，由于不包括水电的可再生能源在全球电力结构中所占比例还相对较低，这既表明存在着市场潜力，也显示出所需的短期和长期投资规模。因此，政府对于可再生能源发展政策，必须要给出长期的、明确的信号。如果将可再生能源目标与“低碳”目标混淆在一起所给出的混淆的信息，将会产生不确定性，无疑会延迟或停止对可再生能源的投资。

作者介绍：

安东尼·弗洛加特 (Antony Froggatt) 是查塔姆研究所 (Chatham House) 的高级研究员，主要研究领域有气候变化、欧洲能源政策和核能问题。在过去的20年里，他开展了广泛的欧洲能源政策研究，为非政府组织提供了咨询服务，同时为欧洲政府、欧盟委员会、欧洲议会和其他商业组织提供了咨询服务。在查塔姆研究所，他与同事联合撰写了针对能源与气候安全政策的协作与挑战以及中国低碳发展的报告。

迈克尔·施耐德 (Mykle Schneider) 是能源与核能政策方面的独立国际顾问。1983年至2003年4月，他作为执行董事就职于WISE (巴黎) 能源信息服务机构，也是基于钚调查网站的主编。自2000年以来，他一直是德国环境部的顾问。2004年后他还负责在南特对法国巴黎高等矿业学校的“环境与能源工程项目管理”国际理学研究生项目讲授环境和国际能源战略课程。2006/2007年作为某财团顾问，代表欧洲委员会对核设施退役及废料管理融资进行评估。迈克尔·施耐德为不同组织和各类客户提供信息和咨询服务，包括国际原子能总署 (IAEA)、国际绿色和平组织、联合国教科文组织、世界自然基金会 (WWF)、欧洲委员会、欧洲议会专门研究会、与法国辐射防护与核安全 (IRSN) 协会。1997年，他与Jinzaburo Takagi共同被授予生活权利奖 (“另类诺贝尔奖”)，以鼓励他们在钚问题上所开展的联合工作。

96 见Kirsty Hamilton，开放对清洁能源的金融：“投资级”政策的需要；Hamilton是查塔姆研究所 (the Chatham House) 的研究人员，http://www.chathamhouse.org.uk/files/15510_bp1209cleanenergy.pdf (2010年3月15日)



核能是一种“过渡技术”吗？在风力充足、能耗较低的时候，风能已经能在很大程度上满足德国的能源需求。除非现有核电站（以及大型火电站）的产出由于经济原因而突然减少，否则过剩的能源只能低价出口到其他国家。这虽然疯狂，背后却自有条理。集中化的核能与分散的能效+可再生能源战略是否能够共存？关于这一问题还有很多系统性的因素有待彻底调查。电网发展的结果是什么？电网的特性如何影响能源投资战略？电站规模对结构性产能过剩、节能战略缺乏激励等问题的影响有多严重？

政府拨款和补贴如何刺激长期决策？大型的可再生能源电站是否也会产生与大型火力发电站相同的系统效应？

本报告介绍了目前的基本情况，并提出了一些亟待探讨的问题。显然，选择核能的国家并未因此获得大规模的、公平的能源服务。但是，核能战略是否真的会制约基于节能+可再生理念的清洁能源的未来发展？已经有例证表明，这确有其事。

 **HEINRICH BÖLL STIFTUNG**
海因里希·伯尔基金会

北京市东城区工体北路新中西街8号亚洲大酒店写字楼309室

电话：+86-10-66154615

传真：+86-10-66154615 转 102

电子邮件：info@boell-china.org 网址：www.boell-china.org

