

能 源 與 安 全

能源与环境研究所出版

总第 39 期

无二氧化碳、无核能： 一项美国能源政策的路线图

阿琼·马克贾尼 博士¹

(赵品宇 译)

自 20 世纪 70 年代以来，全球性的能源危机已经发生了三次。当前，这一危机在三个方面显得尤为严重：

1、气候恶化；由化石燃料燃烧而排放出的二氧化碳气体是导致严重气候恶化的主要人为因素，这一状况的延续将对全球经济、社会、以及现存的生态系统造成极其严重的、不可修复的损害。

2、石油供给安全得不到保障；全球石油消耗的急剧增长，以及石油出口地区的冲突，使得油价剧烈波动，石油供给的安全得不到保障。

3、核扩散；部分地由于商用核能技术的扩散，核武器的不扩散情势正面临着倾覆之危。

而当前，商用核能技术正被认为是减少二氧化碳排放的主要出路之一。

在历经十年的全球性意见分歧之

后，当前各国对于采取果断行动以减少二氧化碳排放已形成了广泛共识。美国就是其中之一，2007 年 4 月美国最高法院²判定：二氧化碳是一种污染物。而美国国会通过的诸多法案也持这一看法。通过把需要减少二氧化碳排放的内容进行确认并使之成为法律、法规，许多为此提出的解决方案将指引美国朝着正确的方向迈进。然而，为此所需完成的工作还有更多。此外，当前提出的大多数解决办法可能不足以实现减排任务，并且其中某些办法还可能会加剧全球社会、政治、与安全的纷乱，例如推广应用核能，或者普遍使用食用农产品来制造燃料。还有一些方法将甚至可能会增加二氧化碳的排放，比如采用印度尼西亚棕榈油生产生物燃料。

在本期《能源与安全》杂志中，

本研究报告将探讨美国经济实现无核能条件下二氧化碳零排放的技术与经济可行性。这可以解读为：杜绝几乎所有

在 本 期 内	
12 项关键的政策变化.....	4
技术路线图	14-19
术语表.....	20
主要结论摘要	22

的二氧化碳排放，而仅存有几个百分点的排放；或者在清除大气中已经释放出的部分二氧化碳的可能条件下，彻底杜绝二氧化碳的排放。本文将解答三个问题：

1、在美国的能源部门中，如果不诉诸于有严重的安全或其他隐患的核能，是否有可能从物质上消除二氧化碳的排放？

2、在不能从其他国家获得补偿（以抵消自身排放）的情况下，也就是说，在美国不能从其他国家获得在境内继续排放二氧化碳的权利时，是否有可能实现二氧化碳零排放的经济？

3、是否有可能在合理的成本之下实现以上目标？

要实现无核能条件下二氧化碳零排放的经济，就需要从地方到国家的，相关能源系统的各个部门，在政策上具备前所未有的先见之明，并进行相互协调。在国家和地方层次上所采取的很多初步行动，以及国会中的一些

无核能条件下二氧化碳零排放的美国经济不仅是能够实现的——它对于环境保护与安全而言也是必需的。

提案，已经指明了正确的方向。但是，为了保证整体政策的连续性，并建立一个评估进展情况的标准，一项明确的长期性目标是不可或缺的。

无核能条件下二氧化碳零排放的美国经济不仅是能够实现的——它对于环境保护与安全而言也是必需的。美国设定一项二氧化碳零排放与无核能的目标，并且向着该目标采取初步的坚定步骤，甚至这一过程本身就能在不远的将来重塑全球的能源政治，并能树立起美国作为垂范的领导国家

核心结论

在本期《能源与安全》杂志上所刊登的，本研究的最重要结论是，美国经济在未来30年到50年内能够实现二氧化碳零排放，并且不需要使用核能，也不需要从其他国家借用二氧化碳的排放配额。换言之，通过运用目前可得的、或可预见的技术，由能源部门所实际排放的二氧化碳物质可以予以消除。这项目标可以在合理的成本下得以实现，并且将形成一个与目前相比更为安全的能源供给体系。在未来的25年内，美国的石油净进口量将降低为零。所有的三大不安全因素，即严重的气候恶化、石油供给与价格的不稳定、以及商用核能蕴含的核扩散风险，都将因此能够得以解决。此外，通过消除区域及当地的绝大多数的空气污染，比如由化石燃料而导致的城市大气中的高臭氧与颗粒物含量，它将附带地给人类带来巨大的健康得益。

地位，而不是像“一个坐在酒吧高脚凳上却在谈节制饮酒的人”。

表3提供了一项通向二氧化碳零排放经济的概略路线图，其中包括应用各项技术的预计时间，以及研究、发展、与示范的建议。

本研究取得出的主要结论将概要地在下文中展开。

主要研究结论

结论 1：为了把由气候变化所带来的危害最小化，实现二氧化碳零排放经济的目标是必需

的。

政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change) 提出, 全球二氧化碳排放将需要削减 50%–85% (相对于 2000 年的水平), 以限制全球平均气温比前工业化时期升高 2 到 2.4 摄氏度。到 2050 年之前, 即使美国二氧化碳的排放总量削减 80%, 也完全不能实现这一目标。那时美国人均二氧化碳排放量仍有约 2.8 吨。

根据这一削减率, 全球排放标准将使得全世界的二氧化碳排放量与 2000 年的数字大致持平。³相反, 如果与全球排放量削减 50% 的要求相应, 将全球标准规定为到 2050 年的每人的排放量需大致等同, 那么美国的排放量就需要削减大约 88%。如果全球削减二氧化碳排放 85%, 那么相应地, 美国就需要削减排放 96%。如果按照历史上的累积排放标准来决定排放配额, 那么它将更为严厉苛刻。

美国的二氧化碳零排放目标被定义为: 相对于 2000 年的水平, 排放量允许在零排放的正负各几个百分点的区间之内。这个目标对于保护全球气候既是十分必要的, 又是审慎合理的。它也是能够在合理的成本下得以实现的。

结论 2: 一项对二氧化碳排放的严格上限控制——也就是说, 一项允许排放量逐年递减直至为零的固定的排放限制, 它给化石燃料的使用大国提供了一种

灵活通融的方式以消除二氧化碳的排放。然而, 免费的配额, 允许以第三方的排放削减作为补偿,⁴ 或者对配额进行国际间贸易, 特别是与没有二氧化碳排放上限控制的发展中国家进行贸易, 这些现象罔顾并有违于体系的宗旨和本意。如何建立一个以数据检测为基础的有形限制体系, 并使之具有适当强制力, 这是亟需解决的议题。

一项对二氧化碳排放的严格上限控制针对的是化石燃料的使用大国, 其年使用量达到或超过 1000 亿英热单位 (Btu), 相当于输送供 1000 个家庭使用的能源。处于这一级别的使用国具备足够的财政资源以追踪市场动向, 进行买卖活动, 而且相对于进行赊欠, 它们能够对“投资于二氧化碳减排技术是否最为有利”做出权衡。这将占到化石燃料使用量的三分之二。私人汽车, 家用和小规模商用的天然气, 用于加热的燃油, 以及其他类似的小规模使用情况, 这些都不会用“上限”进行限制。通过制定能效标准、汽车尾气排放标准、以及其他各类标准, 并由联邦、各州与当地政府进行强制执行, 这些领域的转型将会得以实现。在本研究中, 除了可能对那些远远落后于平均能效标准或排

12 条关于清除二氧化碳排放的政策建议

为了实现二氧化碳零排放经济，这 12 项最为关键性的政策就亟需被制定为法律。这 12 项政策如下：

1、针对所有的化石燃料使用大国，制定相关二氧化碳排放的有形限制（强制上限）的法律，规定在 2060 年之前其排放量需稳步下降为零。时间表应每隔一定时期根据气候、技术、与经济发展的状况进行评估确定，以缩短期限。上限的规定应以 2007 年之前某一年份的水平为准。这样，那些早先实施二氧化碳减排的国家就能从上限规定中获益。排放配额只能经由美国政府出售，并且只能在美国境内使用。免费的配额、补偿行为、以及二氧化碳排放配额的国际间买卖等，这些行为都是不被允许的。预计所得的收入（约 300-500 亿美元/年）将被用于示范工厂、研究与开发之用，以及工人与社区的改造之用；

2、取消一切对于化石燃料与核能的补贴及税收优惠政策（包括对新核电站产生的核废料的处置担保、贷款担保、以及保险津贴）；

3、取消对于用食用谷物制成的生物燃料的补贴；

4、建设运用关键性供应技术的示范性工厂，包括具有热贮存功能的太阳热能中央电站、大型及中型规模的太阳能光电设施、以及用微型藻类吸收二氧化碳并生产液态燃料；

5、平衡联邦、州、与地方之间的购买能力，以形成关键性先进技术的市场，包括插入式混合动力技术；

6、禁止兴建新的不含碳贮存设施的煤炭发电厂；

7、在联邦层次，制定有关应用高能效标准的法律；

8、在联邦的推动下，在州与地方层次上，制定执行严格的建筑能效标准；

9、对汽车制定严格的能效标准，并在 2015 年之前把插入式混合动力汽车定为美国政府的标准型汽车。

10、实施联邦契约订立程序以奖励较早施行二氧化碳减排的企业；

11、对能够加速二氧化碳减排的相关技术，进行积极地研究、开发、与试验性工厂的项目建设。例如，直接太阳能产氢（采用光合、光电化学、以及其他方法）、热岩地热能、以及运用生物吸收二氧化碳的综合气化复合循环工厂；

12、在美国环境保护署的科学事务咨询委员会之下，建立一个常设性的能源与气候委员会。

放标准的新型汽车之外，税收问题并没有被纳入考量。这一严格的上限控制数字将逐年递减，并且到 2060 年之前将降低为零。基于气候的变迁与技术的发展，该时间表的进度加快的是完全可能的。

由于随着供给的下降，二氧化碳排放配额的价格具有上升的趋势，因而在多数时期内，由政府售出配额而获得的年收益将依次达到每年 300 亿美元到 500 亿美元。这些收入将用于推进各个层面（本地、州、以及联邦

政府）的转型改造，也可用于示范项目与技术研发。

结论 3：即使不运用核能或者化石燃料，美国电力部门照样能够实现可靠性与二氧化碳零排放的目标。

美国的可再生能源资源极其丰富，并且实际上还未经开发。12 个位于中西部与落基山脉地区的州，其可利用的风能资源相当于美国所有电力生产总量的约 2.5 倍。北达科他州、得克萨斯州、堪萨斯州、南达科他州、蒙大拿州和内布拉斯加州，其中每个州所蕴含的潜在风能资源都大于美国所有 103 座核能发电厂的发电总量。如果在西南部与西部日照量很高的地区集中利用太阳能，那么在美国仅百分之一的国土面积上所蕴含的太阳能资源大约是风能资源的三倍。

在美国，仅是停车场与屋顶就能供应美国绝大部分的电力之需。虽然这样做需要加强电力分配设施，但它也具有防止电力传输线路增加的优势。第一步已经迈出了。美国海军部队在其圣地亚哥的某个停车场上安装了 750kW 的发电装置，在其荫蔽下则是一个能容纳超过 400 辆汽车的停车场，而且为发电能力的增加仍余留了充足的空间。（见图 1）

图 1: 美国海军在圣地亚哥附近的停车场安装的 750kW 太阳能光电池



Courtesy PowerLight 公司

风能已比核能更具经济性。过去两年以来，随着太阳能电池成本的下降，在日照充裕的地区，建设中等规模的设施（例如图 1 所示的设施）颇

具经济性，因为它们主要在高峰时段供应电力。

风能与太阳能存在的主要问题是间断性。如能把风能与太阳能合并到电网中，这一问题就能够得以缓和。例如，风能通常在夜间更为丰沛。地域差异也能缓解各类能源与复合能源的间断性问题。将这两类能源合并到电网，使之占到发电总量的 15%（这与目前核电所占的比重已相距不远），鉴于合理的最优化步骤正在推进之中，因此它的实现能够凭借现有的基础，并没有严重的成本或技术上的困难。

太阳能与风能还需要与水力结合起来。当风能发电量很低或为零时，水力就能用于发电。西北地区已经在这样做了。放水与渔业管理存在冲突，它的解决需要把三种能源与备用天然气相结合。天然气的高成本使得将其运用于联合循环发电厂中显得更为经济，应将它作为风能的备用（储用）容量与备用储备，而非作为中等或基底负荷的电力来源。换言之，鉴于天然气的昂贵价格，出于经济性考虑，这些工厂在某些时段中不做运转，而作为风能发电的补充设施。压缩空气也能与这些能源结合起来用作能源储备。这些发电与储存的方法不需要采用任何新技术。

基底负荷电力可由地热能与生物质能发电站满足供应。夜间的居间性电力可由太阳热能电厂供应，它们配备了能贮存数小时热能的装置。

最后，通过插入式混合动力，以及车队所有的或停在大型停车场内的电力汽车，新型电池能够以相对低廉的成本为其贮存电力。采用纳米科技的锂电池（Altairnano 公司已经

开始生产)能够充分放电的次数远比汽车在其使用寿命中一般的用电次数要多(它们的放电次数分别为:10000-15000次和大约2000次)。

由于电池的性能,比起汽车本身所需的充放电的循环次数而言,是绰绰有余的,因此车用电池能够成为一种成本极低的电力贮存设备,它能够在“汽车-电网”联结系统(Vehicle-to-Grid System, V2G)中得到应用。在这一系统中,停靠的车辆被联结到电网中,并依据电网与车载电池充电的需求状况,对其进行充电与放电。通过有线传输或无线传输的通讯技术手段,上述设想就能得以实现,而该通讯技术已经得到了商业化应用。只需所有数量的路上车辆中的一小部分车辆(几个百分点)就能够提供充足的后备电力,以使一个设计良好、并使用可再生能源的(包括生物质与地热能)电网稳定运行。

图2: 2050年无煤或无核能条件下的一种可能的未来美国电力输送网络结构

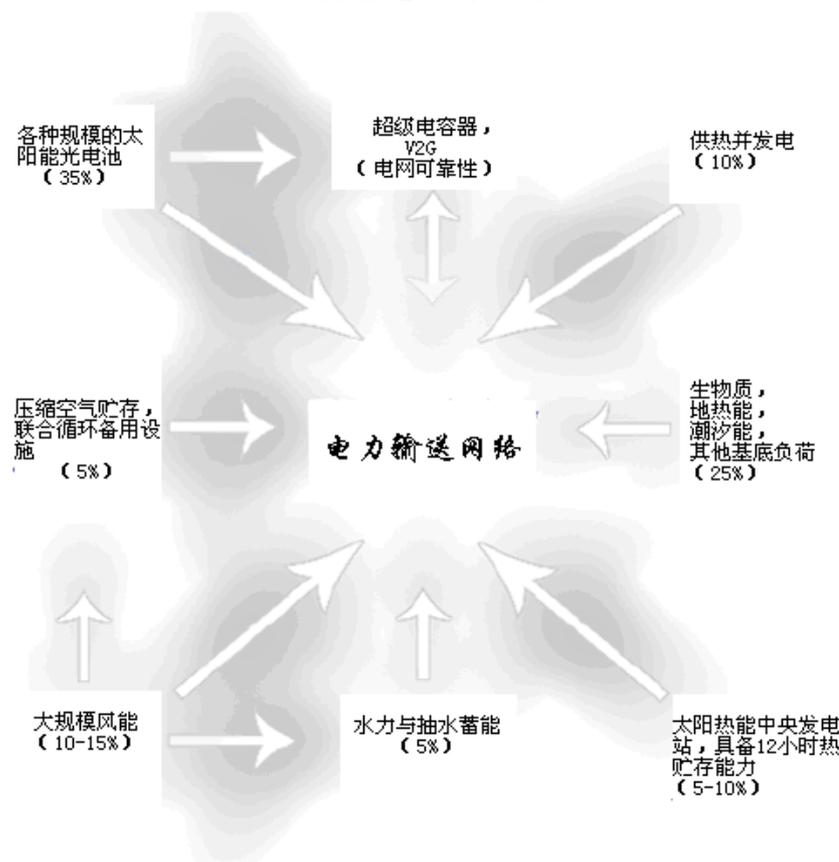


图2所示是一种可能的电力输送网络的结构分布情况。大量的备用能源的获取是可以实现的。这意味着将风能与太阳能结合起来,就能供应半数甚至更多的电力,又不会影响到供电的可靠性。后备能源中的绝大部分供给将由固定贮存,亦或V2G系统,亦或采用由生物质生成燃料的联合循环发电厂来承担。其他形式的贮存将由热贮存来提供,它与太阳热能中央电站相连接。实现水能的最优化应用则需要其他形式的贮存与后备能源的扶助。压缩空气的贮存也能补充风能供应,而在联合循环发电厂中,压缩空气正被用来减少甲烷的消耗量。

通过各项技术恰当地结合运用,煤炭的使用将甚至可能被淘汰,核能发电亦是如此。然而,我们认识到,某些正处在淘汰边缘的技术并不会朝着当前可能的路径发展下去。因此,为谨慎起见,我们需要另准备一项战

略。如果采用一项名为“整体气化联合循环”(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)的技术,那么由煤炭发电厂释放出的二氧化碳就能够以适中的成本收集起来。如果需要的话,碳的获取与收集也能被作以生物质去除大气中的二氧化碳之用途。⁵

表 3 提供了详尽的情况，预估的技术日程表，并附带了能源与环境研究所 (IEER) 预想中的某些关键性元件的成本情况。根据能源与环境研究所描绘的参考图景，如果技术与政策能够完整契合，那么到 2050 年之前就能在没有化石燃料与核能的条件下实现二氧化碳的零排放。我们建议，不具备碳吸收能力的新煤炭发电厂应被禁止，因为当前建设此类新厂会增加提高二氧化碳排放配额的压力，并对今后吸收二氧化碳造成更高的成本。

全部消除二氧化碳的排放最早能

全部消除二氧化碳的排放最早能在 2040 年实现。消除核电也能在这一时间段内实现。

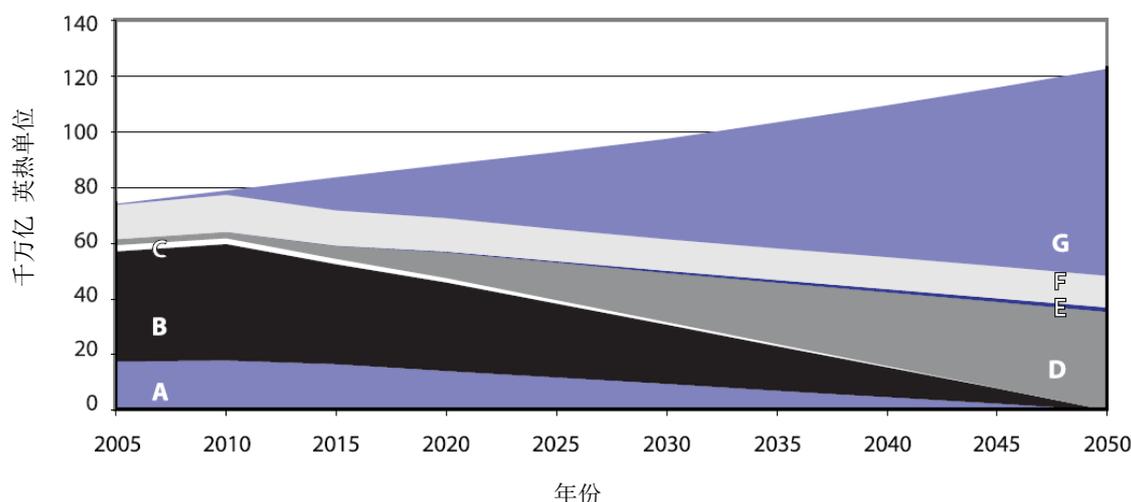
在 2040 年实现。消除核电也能在这一时间段内实现。要较早地消除二氧化碳排放与核能则仰赖于技术上的突

如果技术设想遇到重大的障碍，例如 V2G 系统不能在本研究所预期的期限内完成（很大幅地推迟约 15-20 年），那么我们就需要采用其他一些技术，例如用生物质共同燃烧天然气的技术，或者甚至用生物质与某些煤炭共同燃烧的技术，以及二氧化碳埋存技术。这样的话，二氧化碳零排放经济的实现就要推迟到大约 2060 年。

图 3 显示的是，根据能源与环境研究所的预期，向最终用户所输送的能源（电力与生物燃料生产中的损耗并未包括在内）。它表明了一个大致准确的模式，即新型能源的引进，以及化石能源与核能的退出。它也显示出，相对于照常不变的方式，能源效率所起的作用。这一参考性图景构想在 2050 年之前实现无核能、二氧化碳零排放的经济。

图 4 显示了相应的电力生产结构。

图 3: 输送的能源 (IEER 的参考图景)



- A. 天然气 B. 煤炭, 焦炭 (最终用途) E. 太阳热能 G. 能效
- B. 石油 D. 生物燃料 F. 电力

破，比如在高效的太阳能产氢方面。

先轻微下降而后上升的现象反映出，

随着电力汽车的大规模应用，能效将得到大幅地提高。

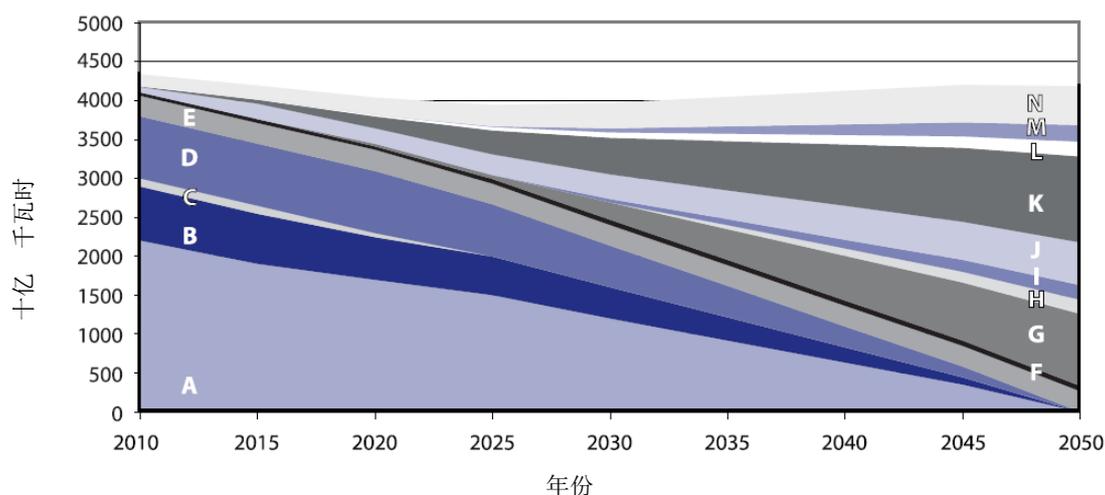
结论 4：核能的应用蕴含着核扩散、恐怖主义、与严重事故的风险。它加剧了核废料问题，并使得能源系统的脆弱性与不安全性继续延续下去，而这原是可以避免发生的。

商用核技术，作为一种减少二氧化碳排放的方法，正在得到推广。其中包括美国政府。对于那些拥有商业铀浓缩与分离钚设施的国家，美国与俄罗斯一道也正在推行一项限制商业铀浓缩与分离钚（后处理）的计划。（铀

浓缩与后处理设施都能用来生产可制造核武器的材料。）这是一项意在改变《不扩散核武器条约》（NPT）的透明化尝试，却不需要通过与条约签署国一起修订条约的程序。NPT 条约赋予“无核武器国家”发展商用核技术的“不可剥夺的权利”，而该举措将会颠覆 NPT 条约。无论如何，无核武器国家不可能愿意接受建议中所施加的限制。

人们不难认识到，对核能日益强烈的兴趣至少是部分地获取了通向制造核武器能力的途径。例如，为了与伊朗和以色列针锋相对，海湾合作委员会（The Gulf Cooperation Council）（巴林、科威特、也门、卡塔尔、沙特阿拉伯、以及阿拉伯联合酋长国）已经申明，它将会公开地寻求获取民用核能技术。在做此申明时，沙特外交大臣萨德·阿尔费萨尔亲王（Prince Saud Al-Faisal）在记者招待会上总结说：“这并不是一个威胁，……我们公开地行

图4：电力供给 (IEER 的参考图景)



- | | | |
|--------|------------------|------------------|
| A. 煤炭 | F. 地热、木质废料、废物沼气等 | K. 太阳能光伏中央（中间）电站 |
| B. 天然气 | G. （固体）生物质 | L. 小型太阳能光伏 |
| C. 石油 | H. 生物质备用气 | M. 太阳热能及其他 |
| D. 核能 | I. 地热能热岩 | N. 供热并发电 |
| E. 水力 | J. 风力 | |

事。”他也指出，以色列的核反应堆被用来为其核武库生产钚，这是“原罪”所在。同时，他呼吁本地区应成为无核武器区。⁶

由于美国政策的缘故，对商业后处理的兴趣可能将会增长。由后处理所产生的诸多问题已经令人头疼不已了。例如，朝鲜利用其一座商用动力堆与一座后处理厂获得了用于核武器的钚。

除了核武器国家之外，大约 30 多个国家（地区），包括伊朗、日本、巴西、阿根廷、埃及、台湾、韩国、以及土耳其等，具有制造核武器的技术能力。而关键的是，美国能发挥垂范性的领导作用，在不诉诸核能条件下实现必需的二氧化碳减排。更广泛地使用核能将使当前遭遇困境的核扩散问题转变为一个事实上积重难返的死局。

甚至在目前，核电厂与设施的数量已经使得不扩散与 NPT 签署国获得核技术的权利之间产生了紧张状态。增加核电厂的数量就需要增加铀浓缩厂。然而，伊朗的一个铀浓缩工厂已经引发了全球性的“政治-安全”紧张状态，它是推动现货市场中石油价格波动的一大主因。此外，由于核电厂被宣布为恐怖分子的袭击目标，核电厂面临着恐怖主义危险。显然，兴建核电站徒增了袭击目标的数量，它并非一个良策。

核废料问题亦妨碍了问题的解决。增加核电厂的数量只会使问题更为复杂化。它将使美国需要建设第二个处置场，并且可能还需要第三个，即使第一个处置场——内华达州的尤卡山处置场正陷入极大困境。即使官方评估认为暴露性放射所致的伤害风险仍然持续增长，但目前为止，尚没

有任何国家能够解决由乏燃料与高放废料的处置引发的重要的长期性的健

由于核能的支出与风险性问题，华尔街（金融界）就一直并且仍然对核能持怀疑的态度。

康、环境、与安全问题。⁷

最后，自 1980 年代初以来，由于核能的支出与风险性问题，华尔街（金融界）就一直并且仍然对核能持怀疑的态度。这就为什么在时任原子能委员会主席刘易斯·斯特劳斯（Lewis Strauss）宣称核能将会“便宜到可忽略不计”的讲话已超过半个世纪之后，工业界仍然需要求助于政府提供的贷款担保与其他补贴。保险方面也同样如此。与官方预计的由最严重的事故所导致的损失相比，现存的非常有限的保险额是远远不够的。而且保险几乎都是由政府提供的。

结论 5：运用目前大致已有的高效的能源技术与建设设计能够大大地减轻向二氧化碳零排放经济转型的困难，并且能降低成本。如果按照目前的趋势，每单位国内生产总值（GDP）的效率能够每年增长两个百分点，那么它将使年能源消耗下降一个百分点，并使国内生产总值每年增长百分之三。这是在现有的技术能

力之下完全可以实现的。

在 1973 年第一次能源危机之前，人们普遍认为，正如国内生产总值（GDP）所显示的，能源消耗的增长与经济增长是齐头并进的。然而，之后很快地，美国的能源图景迅速变化。十年中，经济增长的实现并未伴有能源消耗的增长。

1990 年代中期以来，尽管国家并没有采取大幅增加能源效率的政策，能源耗费的增长率仍比国内生产总值的增长率要低大约 2%。例如，采用现有的技术，居民楼与商驻楼建设的每平方英尺的平均能耗就能够降为目前能耗的三分之一到十分之一。又例如，我们观察到，自 1970 年代以来，即使产量上升，美国的工业能源消耗量保持不变。

本研究显示，在输出能源（不包括在电力与生物燃料生产中的能源损耗）每年下降 1% 的同时，经济仍能按照官方能源计划的预测保持增长。

结论 6： 广义上的生物燃料对于实现向二氧化碳零排放经济的转型是至关重要的，又不会带来严重的环境副作用；与之相反，它们也可能会产生可观的间接损害，或甚至对环境产生严重的损害，并且增加温室气体的排放。其结果将本质上取决于公共与私

人部门的政策选择、动机、以及研发情况。

基于食用谷物的生物柴油与乙醇将会造成并正在造成对社会、经济、与环境的损害，包括高昂的食物价格，对发展中国家的穷困者用于生计的耕种与放牧的土地所构成的压力，以及温室气体的排放将大部分地或完全抵消运用生物燃料利用太阳能所得的效果。虽然它们能够减少石油的进口，来自谷物的乙醇与来自棕榈油的生物柴油是破坏性生物燃料手段的两个显著事例，即使是投入中等规模的生产，它们已经造成了上述的这些问题。

例如，以可再生能源为名，将生产的棕榈油用于欧洲生物柴油之用，这已经恶化了印度尼西亚的二氧化碳排放问题，因为印度尼西亚焚毁泥炭沼而排放出二氧化碳，而印度尼西亚是棕榈油的主要生产国。由谷物提取的乙醇产量的激增是导致墨西哥玉米粉圆饼价格上涨的部分原因。此外，即使由谷物提取的乙醇能够减少石油进口，但它对减少温室气体排放的影响是微乎其微的，因为谷物与乙醇的生产都需要集中地耗费能源，而且大量地使用人造肥料，它们也会导致其它温室气体的排放（值得注意的是是一氧化氮的排放）。对由食用谷物提取的燃料的补贴应该完全取消。

与此相反，具有较高太阳能吸收效率（5%左右）的生物物质，比如生长在高二氧化碳环境下的微型藻类，能够承担很大一部分能源供给，包括电力生产与为交通与工业提供液态和气态燃料。微型藻类已被证实能从发电厂中吸收白天超过 80% 的二氧化碳排放量，并且能够用来生产超过 10000

加仑液态燃料/英亩/年。某些水生植物，例如水葫芦，具有相似的太阳能吸收效率，并能在废水中生长，作为复合水处理与能源生产体系的一部分。

图 5 与图 6 显示了两类重要的生物样本，它们具有约 5% 的太阳能吸收效率的潜力，是谷物类植物的约十倍，包括谷物与农作物残余。图 5 所示的路易斯安那州的 NRG 煤炭发电厂正在绿色能源技术公司（GreenFuel Technologies Corporation）的指导下进行田野试验。这个工厂是商业规模的藻类生物反应系统的可能选址地点。它将工厂排放的二氧化碳循环转化为生物柴油或乙醇。

图 5：路易斯安那州一家煤炭发电厂内正在运行中的示范性藻类生物反应器



科特西绿色燃料技术公司

图 6：在温暖气候下，每公顷土地能产出超过 250 吨水葫芦



佛罗里达大学食品与农业科学院科特西水体入侵性植物研究中心

图 6 所示的水葫芦已被用来清洁废水，因为它们生长迅速，且能吸收大量的营养物质。它们在热带与亚热带气候下的繁殖能力与微型藻类不相上下，每公顷的年产量超过 250 吨。它们能被用于生物质的饲料以生产液态与气态燃料。

草原的草本植物具有中等的繁殖能力，但它们可在贫瘠土地上生长，并把二氧化碳贮存在泥土中。因此，这种方法既能用来生产可再生燃料，又能从大气中去除二氧化碳。

最后，太阳能能够用来生产氢；它很有希望作为一种主要能源来源，实现向氢能利用的转型。相关的技术包括：光电子化学产氢法，它使用非常类似于太阳能电池的设备，在高温下由太阳能驱动将水分解为氢气与氧气，并在气化工厂中由生物将其转化为一氧化碳与氢气。在严格控制下的特殊藻类与生物质发酵也能够被用来生产氢。某些方法能够同时生产能源、食物、与药物。由于缺乏资金，因此进展的速度比预想中应有的进度要慢得多。根据图 7 所示，利用藻类生物在进食中吸收硫，阳光能够直接用来生产氢气。

结论 7：绝大部分的二氧化碳减排的实现不会引致任何的高昂成本负担（例如，运用高能效的照明与制冷设备）。消除其余的由使用化石燃料引起的二氧化碳排放的成本可能会在每吨二氧化

碳 10-30 美元之间。

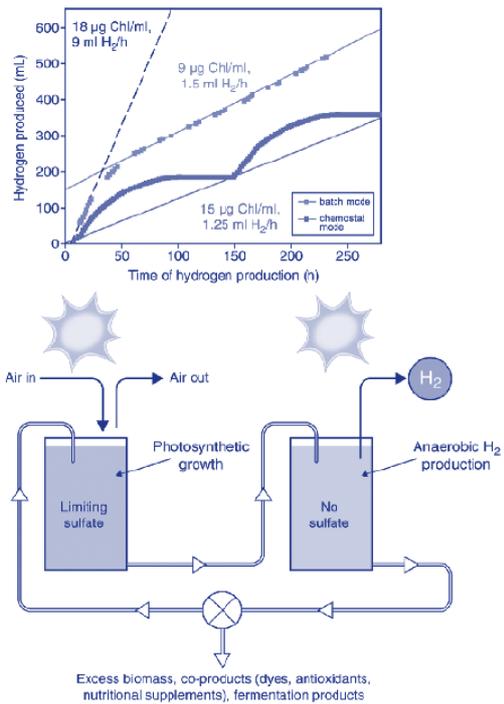
表 1 显示了用不同的方法从电力部门消除二氧化碳的预计成本。它基于 2004 年的能源成本。根据 2007 年的价格（参照所有部门的平均价格，每百万英热单位的天然气约为 8 美元，每千瓦时电力将近为 9 美分），成本将会更低廉。

此外，在能源部门的总成本中，由削减二氧化碳所导致的成本正在增长，但其影响依然很小，能源部门在国内生产总值中的整体比重仍然会保持在当前约 8% 的水平，或者还可能会有所下降。1970 年以来，它主要在 8%-14% 的区间内变动，1980 年达到峰值。1990 年代末，当 1998 年石油价格急剧下跌到每桶约 12 美元的低点时，它也曾一度降到约 6%。

表 2 显示了，在国内生产总值中，居住与商业部门的年能源与投资的预计总成本。如果每户与每平方英尺的能源消耗量愈低，根据能源与环境研究所（IEER）的参考图景，人们就需要考虑投入愈多的投资，以及愈多的预期电力与燃料成本。通过提高效率与全部转用可再生能源，我们就可以降低居住与商业部门的能源消耗，而这对预期净国内生产总值的影响是微小的，并且完全在各种不确定性的预计范围之内。

根据能源与环境研究所（IEER）参考图景的估计，在国内生产总值中，所有各部门所含的能源部份将仍然保持在约 8%，或者更少。对每个新家庭的主人而言，其净增加的成本，包括增加的抵押付款，将在每月大约 20-100 美元之间。后一数字小于 2050 年的预期中等家庭收入的 0.7%。

图 7：利用藻类直接用太阳能产氢



本示意图由美国能源部国家可再生能源实验室绘制。

注：在“分批模式”中，为了补充营养物质，生产会间隔性地停止。在“恒化器模式”中，为了持续生产，营养物质的供应是连续性的。“Chl”表示“chlorophyll（叶绿素）”。

结论 8：在目前仍在生产化石燃料的地区，它们向二氧化碳零排放体系的转型能够以与当地经济发展相协调的方式进行。

目前，化石燃料主要产于阿巴拉契亚地区、西南部地区、西部地区、以及中西部与落基山脉地区的部分州。这些地区也具有很好的可再生能源禀赋——太阳能与风能。为了帮助工人、社区向新的产业转移，联邦、州、与地区所施行的相应政策看起来完全能达到这一目的，而不再需要像

二战后的美国的那样，进行更大规模的人口自然迁徙或分裂。据认为，大迁徙的主要原因是由于错误的选址与产业的关停，这就导致了社区与工人们度日维艰。通过出售二氧化碳配额而累积的资金应改被用于减轻此类动荡。例如，通过运用吸收二氧化碳的技术，特别是微型藻类从现存的化石燃料工厂中吸收二氧化碳，我们能够在各个地区创造出新的产业与工作岗位，并淘汰对经济具有最严重负面影响的化石燃料。公共政策与财政资源的引导能有助于确保在社区中创造出新能源部门的高薪工作岗位。

编辑按语：

能源与环境研究所敢于开风气之先。在与核政策研究所的合作下，能源与环境研究所将于 2007 年 8 月出版一本具有创见性的科学研究报告：一项在无核能条件下美国实现二氧化碳减排至零的路线图。本期《民主行动的科学》特刊刊出此报告的主要概要，该报告将于 10 月作为专著出版。其他资源，包括为选任官员提供的零二氧化碳、无核能美国经济的指南，将于不久之后在能源与环境研究所的网站上 (www.ieer.org) 发布。

作者按语：

我谨向共同参与此项目的核政策研究所致以谢意，本期《能源与安全》的内容正是基于此项目的成书。海伦·卡尔迪克特是筹集资金中的关键人物，而且提供了重要的评论与建议，并远见卓识地认为应该进行本项研究，因为对其的需求十分迫切。海伦与 S·戴维·弗里德曼在 2006 年核政策研究所能源会议上的演讲，以及其后我们之间的私下交谈，这激发了我写作此书。

感谢朱莉·恩斯泽自始至终顺利地管理着本项目。我也谨向希沙姆·泽利菲、杰尼斯·维尤、与保罗·艾波斯坦表示感谢，他们作为本项目咨询委员会的成员（除了海伦、戴弗与其他人之外）对初稿与本概要提供了有价值的洞见与批评意见。然而，他们可能赞同，抑或不赞同本概要的建议或结论。在专著中将会涵盖咨询委员会成员们的评论意见。完整的致谢将出现在专著中。

《能源与安全》

《能源与安全》由能源与环境研究所 (IEER) 每季度发行。

IEER 地址：6935 Laurel Avenue, Suite 204,
Takoma Park, MD 20912, USA
电话：(301) 270-5500
传真：(301) 270-3029
电子邮件：ieer@ieer.org
互联网地址：www.ieer.org

能源与环境研究所就广泛的问题向公众和决策者提供有见地的、明确的和稳妥的科学和技术研究报告。该研究所旨在向公共政策事务提出科学的意见，以促进科学的民主化和更健康的环境。

能源与环境研究所成员：

所长：阿琼·马克贾尼，博士

图书馆员：洛伊丝·查墨斯

簿记员：戴安娜·科恩

对外协调员，美国：丽莎·莱德维奇

资深科学家：布里斯·史密斯，博士

项目科学家：安妮·马克贾尼

行政助理：贝特西·瑟洛-希尔兹

感谢我们的支持者

我们衷心感谢我们的资助者，是他们的慷慨资助使我们能够对从事与核武器相关的环境与安全问题的基层组织提供技术帮助、开展我们的全球对外联络项目、并着力促进合理有效的能源政策。

我们的资助者是 Colombe Foundation, Educational Foundation of America, Ford Foundation, Livingry Foundation, Stewart R. Mott Charitable Trust, New-Land Foundation, Ploughshares Fund, Public Welfare Foundation, Town Creek Foundation.

本期致谢

感谢核政策研究所 (NPRI) 共同参与本项目，使得以本期研究报告为蓝本的专著得以出版。核政策研究所与环境与安全研究所向以下个人与基金会对本研究的支持致以谢意：The Park Foundation, The Lear Family Foundation, The Lintilhac Foundation, 还有众多匿名捐助者。

编辑：丽莎·莱德维奇

《民主行动的科学》供所有读者免费阅读

**表 1：消除二氧化碳的成本（与二氧化碳排放配额的隐含价格）——电力部门
（以 2004 年的能源成本为基准）**

二氧化碳来源	消除方法	时期	每吨二氧化碳成本，美元	注解
粉煤	非高峰时段的风能	短期	几美元-15 美元	基于非高峰时段煤炭的边际成本。
粉煤	微型藻类吸收	短期与中期	零值-负值	假定石油的价格大于 30 美元/桶。
粉煤	风能、天然气备用	中期与长期	负值-46 美元	待命的联合循环发电厂作为备用。最低天然气价格下的最高成本是 4 美元/百万英热单位。
粉煤	核能	中期到长期	20-50 美元	无法与风能和备用天然气的经济性相比较。
粉煤	整体气化联合循环发电厂与埋存	长期	10-40 美元，或者更多	目前，预测存在诸多不确定性。技术发展仍会继续下去。
天然气，作为风能的备用	电力的“汽车-电网”	长期	小于 26 美元	技术发展仍会继续下去。预测存在诸多不确定性。天然气的长期价格为 6.50 美元/百万英热单位，或者更高。

注：

1、粉煤的热比率=10000 英热单位/千瓦时；天然气联合循环的热比率=7000 英热单位/千瓦时。

2、风能电力成本=5 美分/千瓦时；粉煤=4 美分/千瓦时；核电=6-9 美分/千瓦时。

3、石油成本为 30 美元/桶，或者更高。

4、如将太阳能与风能一起进行优化部署，则二氧化碳的成本，加上风能的相关物项成本，都能够得以降低。

**表 2：2050 年居住与商业的年能源与投资成本
（以 2005 年美元不变价格为准，十亿美元，\$）**

物项	IEER 参考图景	正常图景
居住与商业用电	\$326	\$442
居住与商业用燃料	\$150	\$247
总能源成本小计	\$476	\$689
加上年能效投资	\$205	\$零
基准 GDP 总额（略数）	\$681	\$689
2050 年的 GDP	\$40000	\$40000
居住与商业性的能源服务在 GDP 中的比重	1.70%	1.72%

注：

1、正常的燃料与电力价格分别为：大约 12 美元/百万英热单位，9.6 美分/千瓦时。IEER 参考图景中的价格分别为：20 美元/百万英热单位，14 美分/千瓦时。正常电力价格从 2006 年 1 月起计。

2、增加的能效投资：现有的住宅：每幢住宅 20000 美元，假定发生在 2010-2050 年售出的三分之一现有住宅上；新住宅=10 美元/平方英尺（每幢住宅约 20000 美元，接近 LEED 认证住宅增加的成本）；加上每 15 年用当时流行的先进家庭用具更换原有家庭用具的成本。对太阳热能、供热并发电、与地源热泵的投资按照使用它们的居住区比例，已增加到这些数字中。LEED 表示“领先能源与环境设计”，它是一个住宅认证项目。

3、商业能效投资：10 美元/平方英尺；这高于“领先能源与环境设计”(LEED) 中白金级别的投资。对太阳热能、供热并发电、以及地源热泵的投资已被加入到这些数据中去。

4、国内生产总值 (GDP) = 消费支出 + 投资 + 政府开支 (货物与服务) + 出口 - 进口。

表 3：至 2025 年的技术路线图——供给与贮存技术

技术	发展阶段	大规模应用时间	接下来的步骤	二氧化碳削减成本；存在的困难；注解
太阳能光电池 (中等规模)	接近商用，以使用时段定价	2010-2015	工业与政府的订货；以电力使用时段定价	10-30 美元/吨；无需贮存；缺少大规模光电池生产能力 (1GW/年/厂)；某些制造技术仍需发展。
太阳能光电池 (大规模)	接近商用	2015-2020	具有传输设备的大规模示范设施，2015-2020 年达到 5000MW	20-50 美元/吨；无需贮存；在某些情况下，需要传输设备。
集中太阳热能电厂	接近商用；需进行贮存示范	2015-2020	2020 年之前，形成 3000-5000MW 能力，以刺激需求，并做 12 小时贮存的示范	在西南部地区为 20-30 美元/吨；需求的缺乏是主要问题。
微型藻类吸收二氧化碳与液态燃料生产	技术研发完成，试验规模工厂正在建造	2015	2012 年前实现 1000-2000MW 的大规模示范；2012 年前建成夜间二氧化碳的贮存与白天吸收二氧化碳的试验工厂；其后，实现大规模应用。2008-2015 年建成液态燃料生产示范工厂	白天吸收的成本约为零-负值/吨（当石油价格大于 30 美元时）；夜间吸收的成本还有待确定。液态燃料的潜力：5000-10000 加仑/公顷（相较于棕榈油的 650 加仑/公顷）。

表 3 (续)

技术	发展阶段	大规模应用时间	接下来的步骤	二氧化碳削减成本；存在的困难；注解
风能(大规模、陆基)	商用	已经得到运用	传输设施与规则需要处理；与现有的天然气联合循环与水力发电厂进行最优化运行	负值-46 美元/吨（与备用的联合循环设施一起运行）。高风力地区不在居民区附近。需要发展传输设施。
太阳能光电池(中间贮存)	先进电池与超级电容器的成本仍然很高	-2020	使用固定贮存的示范性“汽车-电网”系统(超级电容器与纳米技术锂电池)——在停车场安装数个 1MW 规模的设施	需要将超级电容器与锂电池的成本下降折价 5 次。主要问题：缺乏大规模的制造能力，某些制造技术仍需发展。
太阳能光电池(中等规模，配以“汽车-电网”系统)	仅在规划中，具备相关技术部件，仍需组装整合	2020-2025	2015 年之前，进行数个含 5000-10000 辆汽车的 V2G 技术的示范	V2G 能够使太阳能光电池的电力贮存成本从几美分/千瓦时而下降到可能的 1 美分/千瓦时。
生物质 IGCC	初期示范阶段	-2020	2015-2020 年，建设试验与中等规模工厂(从几 MW-100MW)，并运用不同种类的生物质(微型藻类、水生植物)	基底负荷电力
具有高太阳能吸收能力的水生生物质	经验主要在废水治理方面；一些实验室与试验厂的数据	-2020	2010-2015 年试验厂将评估与废水治理相关与不相关的液体燃料与甲烷的生产	也许与微型藻类生物质的生产成本相仿，50-100 吨/公顷。
热岩地热能	经过概念论证；仍需技术研发	2025?	2015-2020 年间建造试验与示范工厂	基底负荷电力
潮汐能	经过概念论证	2020 或 2025?	需要建造试验与示范工厂	可能的基底负荷电力
光解氢	实验室研发	尚不清楚，可能 2020 或 2025	大力增加研发资金投入，目标 2015 年建成试验工厂	具有很高的太阳能吸收潜力。可能是克服高地区域大部分生物燃料要求的关键所在
光电化学产氢	经过概念论证；仍需技术研发	可能 2020 或 2025	大力增加研发资金投入，目标 2015 年建成试验工厂	具有很高的太阳能吸收能力。可能是克服由农业生物燃料(包括谷物残留物)所引起问题的关键所在。

表 3 (续)

技术	发展阶段	大规模应用时间	接下来的步骤	二氧化碳削减成本；存在的困难；注解
先进电池	纳米技术锂电池；补贴下的初期商用阶段	2015	独立的安全性证书 (2007?)；大规模制造工厂	通过大规模生产以降低成本。可能是低成本 V2G 技术的关键所在。
埋存碳	除了发电厂之外，已经过技术论证	尚不清楚，可能需要 15-20 年	长期泄漏试验；2015-2020 年建设示范项目	与生物质一起应用。如需煤炭，可作备用。
超级电容器	某些应用已在商用，但并非用作大规模的能源贮存	2015-2020?	与中等规模的太阳能光电池一起进行论证试验；与插入式混合动力一起进行示范，作为电池进行“停止-启动”电力操作的补充	补充并试验 V2G 技术。要把成本下降到 50 美元/吨 (二氧化碳) 仍需大约折降 5 次成本。按使用时段费用计的更低的二氧化碳价格。
纳米电容器	实验室概念试验	尚不清楚	实验室工作完成，并对方法进行论证	具有降低固定电力贮存成本并进一步推进超级电容器技术的潜力。
电解产氢	经过技术论证	视能效的提高与设施发展的情况而定	2015-2020 年需建设配有压缩氢装置的示范工厂	可与非高峰时段的风能联合使用。

表 4：2025 年之前的技术路线图 (需求方技术)

技术	发展阶段	大规模应用时间	接下来的步骤	二氧化碳价格；存在的困难；注解
高效汽油与柴油机载客汽车	商用，达到或超过 40 英里/加仑	正在应用	需要制定能效标准	能效视汽车而定。能效还能大幅提升。
插入式混合动力汽车	技术已经过论证	2010	能效标准，政府与企业对汽车的订货	需要大规模的电池制造能力，以降低大约 5 倍的锂电池的成本。

表 4：2025 年之前的技术路线图（需求方技术）（续）

技术	发展阶段	大规模应用 时间	接下来的步骤	二氧化碳价格； 存在的困难；注解
电动轿车	已验证 200 英里行驶车程的技术； 2007 年开始少量生产（运动型轿车与敞篷小型载货卡车）	2015-2020	安全性试验，电池材料的循环设施，大规模数量的订货，太阳能光电池与 V2G 的示范	它是减少生物燃料的需求，并增加太阳能与风能部件的关键措施之一。
内燃氢汽车	技术已经过论证	视基础设施的发展而定	开发 10000psi 汽缸，并测试车辆。示范项目	
飞机用生物燃料	正在进行不同燃料的试验	2020?	燃料研发，安全性试验，排放试验	
氢燃料飞机	技术已经过论证	2030?	飞机设计，安全性试验，基础设施示范	与太阳能产氢结合起来，能够减少液体生物燃料的需求。
建筑设计	商用（众所周知）	已投入应用	建筑标准，知识普及，消除建筑开发者与使用者之间经济上的分离	利用现有的技术与已知的方法，居住与商业建筑的每平方英尺能源消耗可下降 60-80%。二氧化碳的价格为 50 美元/吨以下。
地源热泵	商用	已投入应用	附有详细性能说明的建设标准将有助推广它的应用	适用于许多地区；主要用于新的建设。
供热并发电（CHP），商用建筑与工业	商用	已投入应用	制定建筑性能标准与二氧化碳上限将有助于推广应用	在许多情况下，二氧化碳的价格小于 30 美元/吨以下。
微型供热并发电（CHP）	半商用	已投入应用	制定建筑性能标准将有助于推广应用	
小型荧光灯（CFL）	商用	当前正在应用	需要制定应用与建设法规	负二氧化碳价格；需要解决汞的处置。

表 4：2025 年之前的技术路线图（需求方技术）（续）

技术	发展阶段	大规模应用时间	接下来的步骤	二氧化碳价格；存在的困难；注解
混合太阳能光管与 CFL	技术已经过论证；β 射线试验正在商业设施内进行	2012-2015?	政府与商业部门的订货	日光集中器在室内集中光线；与 CFL 联合工作；仍需折降 5 次成本。
工业部门：技术与管理方法的示例（可供选择的是：蒸馏、蒸汽系统管理、CHP、新材料、提高的一次生产合格率）	流程的持续性研发	各不相同的时间	规定二氧化碳排放的上限，每年确保进行削减，没有免费的配额，上述措施会导致能效的提高	变量。约为 50 美元/吨以下，可能在某些情形下更高些。由于能源成本的突然上扬，在目前的成本下，节能增效存在很大的潜力。能源消耗的成功削减表明总体成本将是适度的，并可能削减能源服务的净成本。

术语表

基底负荷电厂：一种大型发电厂，设计用来进行连续性发电。

生物燃料：由生物质提取的燃料。

生物质 (Biomass)：由光合作用产生的有机物质。

碳吸收：在以含碳燃料的燃烧获取能量的同时，将二氧化碳进行吸收。

埋存碳：将碳进行长期性（成千上万年）的深层地质贮藏，以避免其进入大气中。

CFL：小型荧光灯 (Compact Fluorescent Lamp)，是一种高能效的灯泡。

CHP：供热并发电 (Combined Heat and Power)。在这项规划中，一部分由燃料燃烧而来的能量被用于供热（例如，用于建筑供热，或用于工业流程），另一部分能量则被用于发电。

联合循环发电厂：在发电厂内，由某种燃料（通常为天然气）的燃烧产生的热气被用于推动气体涡轮进行发电。从涡轮排出的气体仍然很热，它被用于生成蒸汽，而蒸汽又被用于推动气体涡轮，如此循环往复将能发出更多电力。

电解产氢：运用电力将水的氢与氧分离。

地源热泵：一种热泵，它利用地表下数英尺的相对恒温，以此能提高热泵的效率。

IGCC：整体气化联合循环发电厂 (Integrated Gasification Combined Cycle Plant)。工厂将煤炭或生物质进行气化，接着在联合循环发电厂中使用这些气体。

LEED：领先能源与环境设计 (Leadership in Energy and Environmental Design)，它是一个用于建筑能效的分级体系。白金级是最高的级别。

微型藻类：生长在各种环境（包括咸水）下的微小藻类。

纳米电容器：一种电容器，由于运用了纳米技术，其表面的电极数量大大增加。

光解氢：由植物生成氢。例如，藻类在阳光下生成氢。

光电化学产氢：某些太阳能光电池装置可用来发电，而产氢过程可直接利用与之相似的装置。在此流程中将产出氢，而非电力。

抽水蓄能：在非高峰时段使用电力将水抽入蓄水池中，而在高峰时段水力发电厂将贮存的水用于发电（或者当风力停止时，将其补充风能）。

太阳能灯管：一种光学纤维管，它能在管中传输阳光而不会产生泄漏，很类似于输电线路。它被用于白天的建筑内照明。

太阳能 PV：太阳能光电池，一种能将入射的太阳光转化为电力的装置。

太阳热能发电厂：一种发电厂，它利用反射器集中太阳能，将其加热液体，用以产生蒸汽并进行发电。

备用容量 (Spinning Reserve)：发电厂的装机容量处于待命（备用）的停机状态，备以在用电需求突然上升时满足需求。

备用（储用）容量 (Standby Capacity)：处于备用状态的发电厂，以满足电力需求上升之需。

超级电容器：相较于普通电容器，这种电容器能够在单位体积内贮存更多的电力。

V2G：“汽车-电网”联结系统 (Vehicle to Grid System)。停靠的汽车被联结到电网中。当电池的充电量很低时，电网会对其重新充电。当充电量充裕且电网需要电力时，电网发出的信号能使电池向电网输送电力。

尾注:

¹ 本期《民主行动的科学》的内容是一篇同名报告的概要，这篇报告将于 2007 年 8 月在网上发布，并于 2007 年 10 月由 RDR Books 公司成书出版。相关内容可参见报告，网址：www.ieer.org/carbonfree。本研究是核政策研究所 (Nuclear Policy Research Institute, NPRI) 与能源与环境研究所 (Institute for Energy and Environmental Research, IEER) 的联合项目。NPRI 与 IEER 谨向帕克基金会 (The Park Foundation)、里尔家族基金会 (The Lear Family Foundation)、林提尔哈克基金会 (The Lintilhac Foundation)、以及众多匿名个人捐助者对本项目的支持致以谢意。

² 互联网网址：www.supremecourtus.gov/opinions/06pdf/051120.pdf。

³ 基于 2050 年全球人口 91 亿，美国人口 4.2 亿。

⁴ 补偿允许购买者继续排放二氧化碳，并由配额购买方支付二氧化碳减排的费用。这可能会也可能不会导致二氧化碳的真正减排。即使这能起到作用，但排放当前仍将持续，而减排则仍遥遥无期。核查非常困难且代价高昂。

⁵ 整体煤炭气化 (Integrated Gasification of Coal) 的工作流程如下：将煤炭与水蒸气进行反应，产生氢气与一氧化碳的混合物。混合物燃烧后将生成二氧化碳和水。此流程将在燃烧之前先去除重金属物质；煤炭中所含的几乎全部硫也能够被提取出来，以防止任何些微的二氧化硫排放。当接近纯净的氧气被用来燃烧时，吸收二氧化碳的代价就不会非常昂贵了。随后，二氧化碳被注入深层地质构造中。由于生物质能从大气中吸收二氧化碳，当生物质成为燃料时，二氧化碳的埋存将导致大气中的二氧化碳减少，这是因为生物质的生产流程并不会产生更大量的二氧化碳排放。

⁶ 沙特-美国关系信息服务，“第 27 届海湾合作委员会最高委员会峰会综合报道，” 2006 年 12 月 13 日。网址：www.saudi-us-relations.org/articles/2006/ioi/061213-gcc-summit.html.ViewedJune20.2007。

⁷ 见国家科学院 2006 年出版的报告中的事例，网址：<http://books.nap.edu/openbook.php?isbn=030909156X>。

主要结论摘要

1、为了把由气候变化所带来的危害最小化，实现二氧化碳零排放经济的目标是必需的。

2、一项对二氧化碳排放的严格上限控制——也就是说，一项允许排放量逐年递减直至为零的固定的排放限制，它给化石燃料的使用大国提供了一种灵活通融的方式以消除二氧化碳的排放。然而，免费的配额，允许以第三方的排放削减作为补偿，或者对配额进行国际间贸易，特别是与没有二氧化碳排放上限控制的发展中国家进行贸易，这些现象周顾并有违于体系的宗旨和本意。如何建立一个以数据检测为基础的有形限制体系，并使之具有适当强制力，这是亟需解决的议题。

3、即使不运用核能或者化石燃料，美国电力部门照样能够实现可靠性与二氧化碳零排放的目标。

4、核能的应用蕴含着核扩散、恐怖主义、与严重事故的风险。它加剧了核废料问题，并使得能源系统的脆弱性与不安全性继续延续下去，而这原是可以避免发生的。

5、运用目前大致已有的高效的能源技术与建设设计能够大大地减轻向二氧化碳零排放经济转型的困难，并且能降低成本。如果按照目前的趋势，每单位国内生产总值（GDP）的效率能够每年增长两个百分点，那么它将使年能源消耗下降一个百分点，并使国内生产总值每年增长百分之三。这是在现有的技术能力之下完全可以实现的。

6、广义上的生物燃料对于实现向二氧化碳零排放经济的转型是至关重要的，又不会带来严重的环境副作用；与之相反，它们也可能会产生可观的间接损害，或甚至对环境产生严重的损害，并且增加温室气体的排放。其结果将本质上取决于公共与私人部门的政策选择、动机、以及研发情况。

7、绝大部分的二氧化碳减排的实现不会引致任何的高昂成本负担（例如，运用高能效的照明与制冷设备）。消除其余的由使用化石燃料引起的二氧化碳排放的成本可能会在每吨二氧化碳 10-30 美元之间。

8、在目前仍在生产化石燃料的地区，它们向二氧化碳零排放体系的转型能够以与当地经济发展相协调的方式进行。

能源与环境研究所

6935 Laurel Avenue, Suite 201
Takoma Park, MD 20912 USA

