

## 本章焦点问题

- ▲全球变暖是个多严重问题？
- ▲经济理论有助于评价气候变化的影响吗？
- ▲什么政策能最有效地解决气候变化？

# 第十八章 全球气候变化

## 气候变化的起因和结果

近年来，全球对气候变化问题的关注日益增长。<sup>1</sup>按经济分析的语言表述：引起全球变暖的**温室气体**（greenhouse gas）排放，反映了**环境外部性**（environmental externalities）和**过度使用公共产权资源**（common-property resource）。

大气是一种**全球共有资源**（global commons），每个人和企业都可以向其排放气体或特殊形式的污染。全球污染创造了一种影响到每个人的“公共坏品”——具有广泛影响的负外部性。许多国家具有环境保护法律限制**当地和区域**

---

<sup>1</sup> 这个问题，常常称为**全球变暖**（global warming），更准确是指**全球气候变化**（global climate change）。基本的变暖效应将对气候类型产生复杂的影响 - 在某些地区变暖，在其他地区变冷，增加气候的变化。

污染物 ( local and regional pollutants ) 的排放。在经济学方法中，这些法律在某种程度上是外部性内部化 ( internal externalities ) ，这些外部性与地方和区域污染物相联系。

不控制二氧化碳 ( CO<sub>2</sub> ) ，二氧化碳是主要的温室气体，它短期对地表没有有害的影响。然而，二氧化碳和其他温室气体在大气中的积累将对世界气候产生显著的影响，尽管这些影响产生的可能规模和时间还不明确 ( 见框图 18-1 ) 。

### 框图 18-1 什么是温室效应？

太阳光线透过温室的玻璃加热室内温度，但玻璃却阻碍温室内热量流失。因此，需要温暖气候的植物可以在寒冷气候中生长。法国科学家 Jean Baptiste Fourier 于 1824 年首次描述了全球温室效应 ( 地球的大气就像温室的玻璃 ) 。

云、水蒸汽和自然温室气体二氧化碳 ( CO<sub>2</sub> ) 、甲烷、一氧化二氮、臭氧让太阳辐射进入地球，但障碍红外线热量外流。于是，自然的温室效应 ( greenhouse effect ) 产生，地球更适合于生命。如果没有它，平均地球表面的温度将大致为-18 摄氏度 ( 0F 华氏度 ) ，而不是大致 15 摄氏度 ( 60F 华氏度 ) 。

“1896 年，瑞典科学家 Svante Arrhenius 介绍了加强或者人造温室效应的可能性。Arrhenius 假设增加煤的燃烧，这与工业化过程共同进行，将导致大气中二氧化碳浓度增加并加热地球。”<sup>2</sup>自从 Arrhenius 时代以来，温室气体排放急剧增加。大气中二氧化碳的浓度比工业化前增加了 25%。除了像煤、石油和天然气这些石化能源燃烧的增加外，人造化学物质如氟氯烃 ( CFCs ) 以及工农业的甲烷和一氧化二氮的排放都增加温室效应。

1988 年，为提供权威的气候变化的科学观点，联合国环境规划署和世界气候组织共同建立了政府间气候变化委员会 ( IPCC ) 。对人为引起温室效应方面，2001 年 ICPP 的结论是“有新的更有力的证据说明，最近 50 年可观测到的大部分变暖归因于人类活动。”

按目前的排放趋势，到 2050 年，温室气体浓度比工业化前翻番。科学家可以使用一般的循环模型——大气的大规模数学模型——模拟增加温室气体浓度的效应。IPCC 预测全球平均气温增加 1 至 6 摄氏度，或 2 至 10 弗氏度，将对全世界的气候产生显著的影响。

---

<sup>2</sup> Fankhauser,1995。

资料来源：Cline, 1992; Fankhauser, 1995; IPCC, 1996, 2001。

如果气候变化的效应确实这么严重，为了共同利益，降低排放符合每一个人的利益。因此，气候变化可以看作是一个公共产品问题。如果没有协定和规制，单个企业、城市或国家的行为就可能不恰当。原因在第 4 章关于公共产品的经济学中已经讨论过。因此，为了共同利益，只有强有力的国际协定限制国家行为，才能防止严重的环境后果。

因为 CO<sub>2</sub> 和其他温室气体在大气中持续积累，稳定或“冻结”不能解决问题。这是**存量污染** ( stock pollution ) 情况：只有大量降低排放水平，才能减少已经存在的大气积累。各国和国际反气候变化政策存在巨大挑战，涉及到科学、经济和社会的许多问题。在本章，我们将使用在前面章节定义的概念和方法，讨论这些问题和政策。

## 温度变化的趋势和预测

尽管两个全球大会讨论了该问题——1992 年在里约热内卢的联合国环境与发展大会 ( UNCED ) 和 1997 年的日本东京会议——以及随后的大量协商性会议，全球反气候变化的进步还是很慢。全球温室气体排放持续上升 ( 见图 18-1 )。

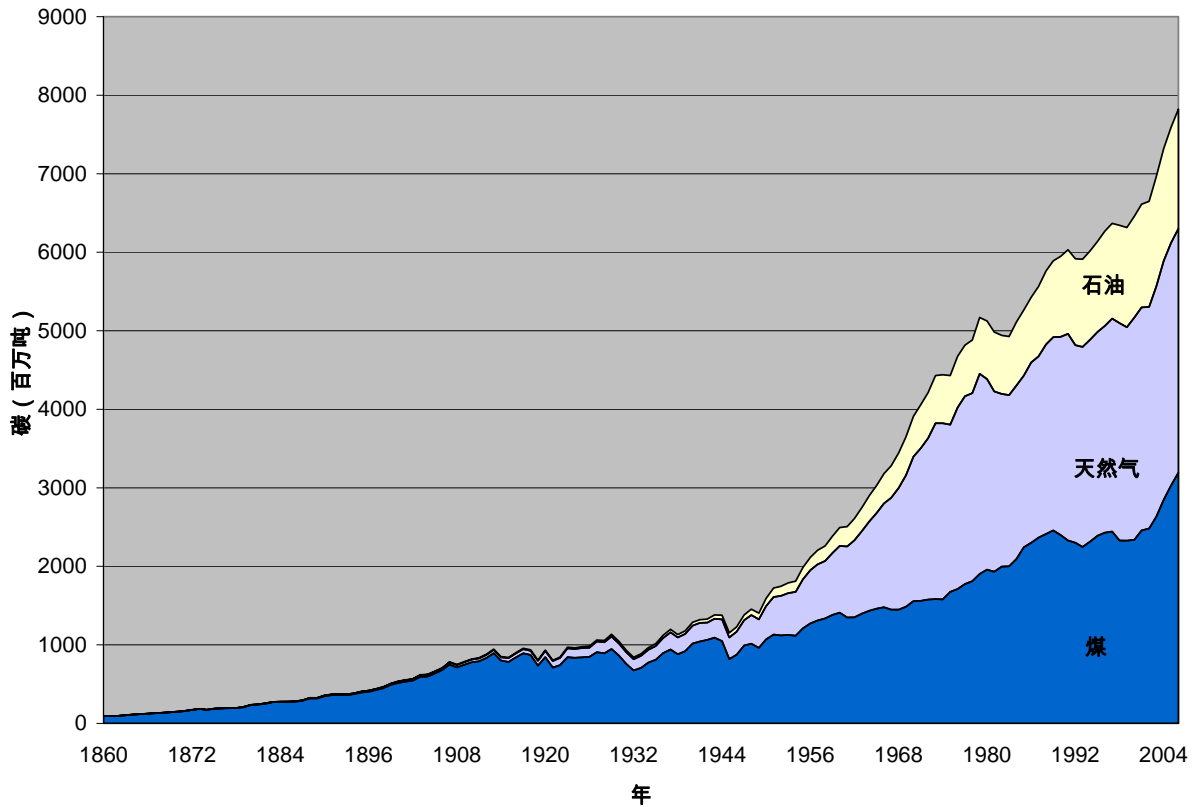


图 18-1 由于化石燃料消费的碳排放

资料来源：Carbon Dioxide Information Analysis Center(CDIAC), <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.

温室气体积累增长已经引起了地表温度有感觉的上升。虽然有些变暖是自然趋势，政府间气候变化委员会 (IPCC) 还是认为人类引起的影响对大气在“最近 50 年可观测到的变暖有重要贡献。”上个世纪，温度上升了大约 1 摄氏度 (1.8 华氏度) (见图 18-2)。

图18-2 1860-2000北半球温度趋势

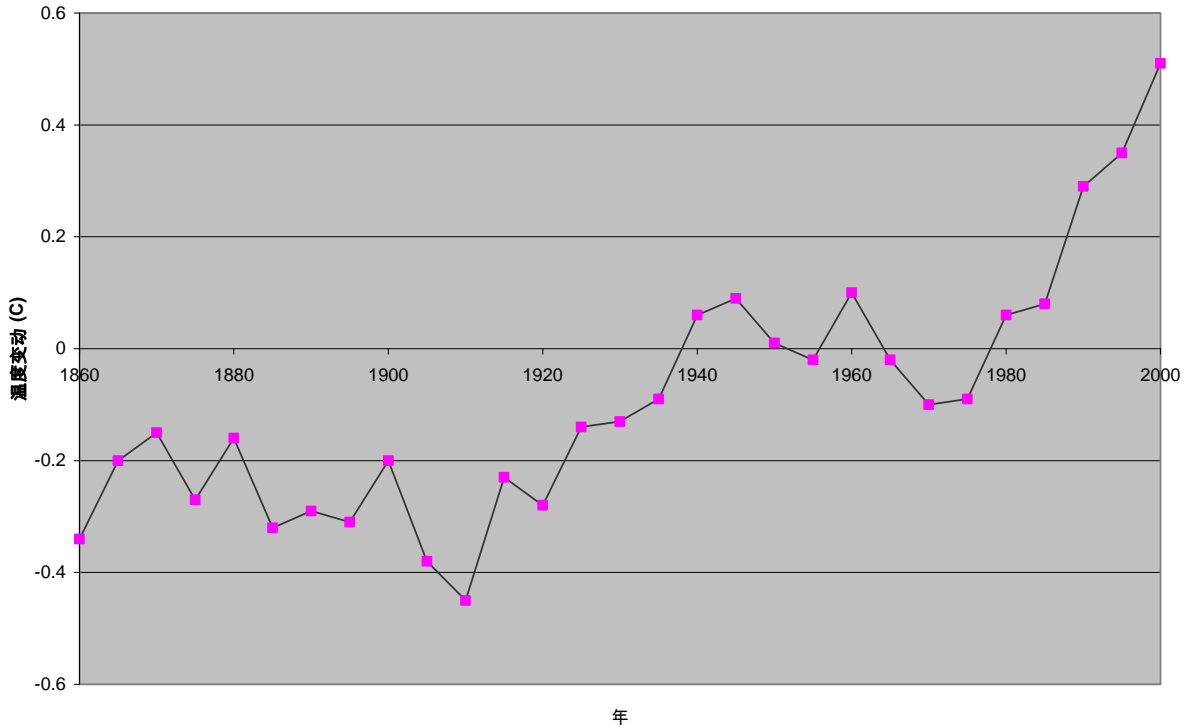


图 18-2 1860-2000 年北半球的温度趋势

资料来源：Data from the Carbon Dioxide Information Analysis Center(CDIAC), <http://cdiac.esd.ornl.gov/>, and IPCC, 2001.

注：温度变化为摄氏度按偏离 1961-1990 年平均值表示，使用自 1860 年以来的 5 年平均数据。2000 年数据点为 1998-2000 年的平均值。

IPCC 的科学家预测，下一个世纪，温室气体持续排放将使平均气温进一步增加 1 到 6 摄氏度（大致 2 到 10 华氏度）（图 18-3）。地球平均气温稳定增长将对气候产生许多显著的影响。例如，一个很可能的影响是海水膨胀，极地与冰川融化提升海平面。这对陆地和低洼海岸区域有严重影响（见框图 18-2）。

2005 年早期，随着新的气候变化报告，气候变化问题的紧迫性上升。南极冰架和冰川融化给科学家敲响了警钟，深海变暖类型的结论性证据进一步证明由人类诱导的变暖，并预计台风密度增加。<sup>3</sup>有记录以来，最热的 5 年发

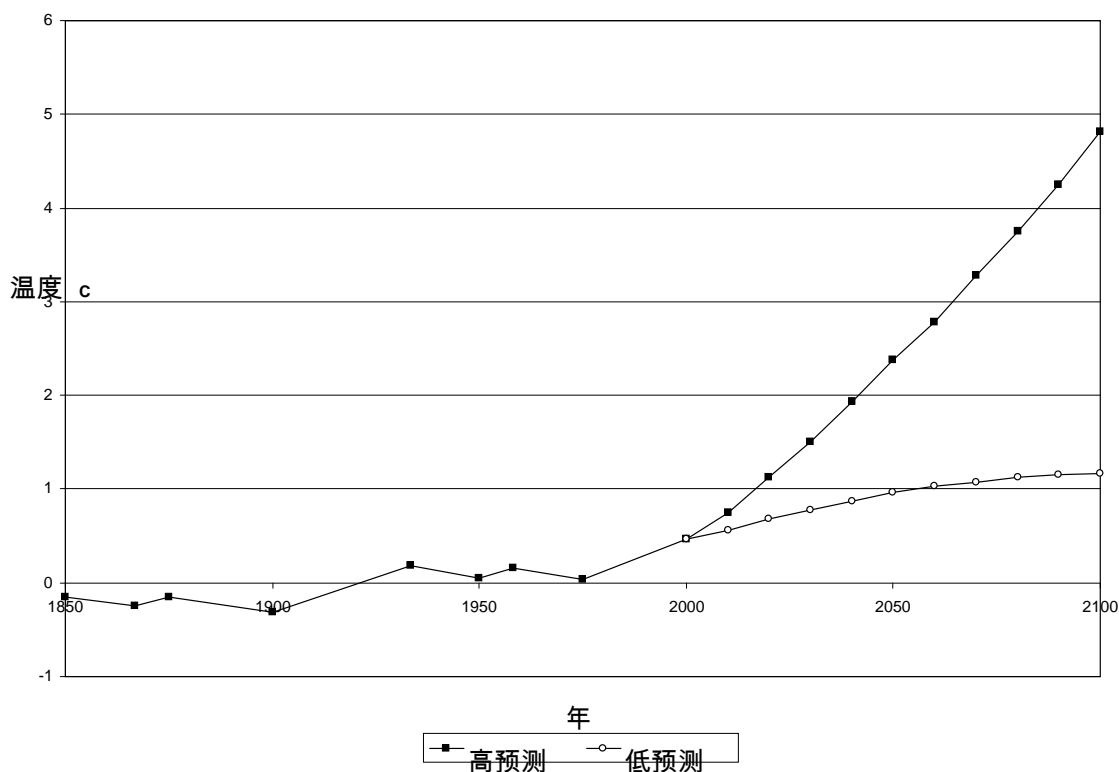


图 18-3 预测到 2100 年的全球温度趋势

资料来源：IPCC, 2001。

生在 1998-2004 年，NASA 的科学家预测 2005 年可能是自 1800 年代后期保持记录以来最热的年份。<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Andrew Revkin,“南极冰川快速推向海洋，变暖的证明”，纽约时报，2004 年 9 月 24 日；Larry Rohter,“南极、变暖、看起来更脆弱”，纽约时报，2005 年 1 月 25 日；Beth Daly,“视为海洋风险的温室气体增加”，波士顿环球报，2004 年 6 月 16 日；“研究人员提出他们称之为结论性来自温室气体的全球变暖证据”，高等教育记录，2005 年 2 月 18 日。

<sup>4</sup> Timothy Gardner,“2005 年可能是有记录的最暖年份 - NASA”，路透社，2005 年 2 月 10 日；Lisa Buckley,“全球温度风险加速”，地球政策研究所，<http://www.earth-policy.org>

气候变化的发端提出了选择**防御性战略** ( preventive strategies ) 还是**适应性战略** ( adoptive strategies ) 的问题。例如，考虑海平面上升的损害，阻止这一变化的办法是防止气候本身变化，或者通过修建堤防和防海墙，挡住上升的海水以适应变化了的条件。生活在近海的人们——包括由于海平面上升有可能损失大部分国土的全部岛国——不太可能忍受这种延缓性策略。但是，成功的防御性策略需要说服大多数国家参与。这样做符合他们的利益吗？为了回答这个问题，我们需要找到一种方法来评估气候变化的影响。

### 框图 18-2 随海洋上升太平洋中的岛屿消失

太平洋中国家基里巴斯的两个岛——Tebua 和 Abanuea——由于海平面上升而消失了。其他的岛，包括基里巴斯和邻国图瓦卢，也将消失。至目前为止，海洋完全吞没的只是没人居住的、相对小的岛屿，但对世界环状珊瑚岛的所有海岸，危机日益增长。

有人居住的岛已经受到影响。基里巴斯、图瓦卢和马绍尔群岛 ( 也在太平洋 ) 的主要岛屿，由于高浪毁坏防海墙、桥梁和道路，水淹房屋和种植园而遭受严重的洪灾。马绍尔群岛几乎所有 29 个环形珊瑚礁岛屿的海岸带遭受侵蚀。在其主要的马朱罗珊瑚礁上的二战墓地被冲走，道路、底土卷入海洋，尽管有高海墙防护，飞机场已经被淹了几次。

图瓦卢人最近发现很难种植作物，因为上升的海水以盐份损害土壤。在基里巴斯和马绍两个岛，家庭把卡车、轿车和其他老机器扔到海里，并用礁石围住它们，孤注一掷地试图将海浪挡在堤外。

在遥远的马尔代夫，情况差不多一样。印度洋卷走了 200 个有人居住岛屿的三分之一海滩。“海平面上升不是时髦的科学假设，”Gayoom 总统说，“它是一个事实。”

海平面上升的部分原因是因为全球变暖融化了冰川、蚕食极地冰帽，但主要原因是海水变暖后海洋膨胀。科学家最乐观的估计是，下一个世纪，这些过程将提高海平面 1.5 英尺，足以摧毁几个岛国。

海洋上升得越高，暴风雨卷起巨浪跨过狭窄的珊瑚岛并冲走陆地就越常见——预计暴风雨将随世界变暖而增加。由于海水污染了人们赖以生存的地下淡水，许多岛屿在它们物理上消失以前很久就变得不能居住。

资料来源：经同意改编于首发表在 1999 年 6 月 13 日星期六《独立报》的 Geoffrey Lean “They’re Going Under; Two Island Have Disappeared Beneath the Pacific Ocean - Sunk by Global Warming.”

## 气候变化的经济分析

科学家模拟了大气中二氧化碳积累翻番的预计结果，这些结果包括：

- 陆地面积消失到海洋中，包括海滩和湿地
- 物种和森林面积减少
- 破坏城市和农业的淡水供应
- 增加空调成本
- 由于热浪和热带疾病传播，健康遭受损害和死亡
- 由于干旱导致农业产出损失

有利的结果可能包括

- 增加寒冷地区的农业产出
- 降低空调成本

此外，其他不太可能预测，但可能更有害的效果包括：

- 破坏气候类型，增加台风和其他极端气候事件的频率
- 突然的大规模气候变化，如大西洋湾洋流的迁移，可能使欧洲气候变得相似阿拉斯加。
- 正反馈效应 ( feedback effect )，<sup>5</sup>极地冻原变暖增加二氧化碳的排放，进一步加速全球变暖。

如何评估这些可能的影响呢？为回答这些问题，经济学家使用**成本 - 收益分析** ( cost-benefit analysis )。在第 6 章已经介绍过该方法。也有人批评说，这种方法是给远超越美元价值的社会、政治和生态问题标上货币价值。我们

---

<sup>5</sup> 反馈效应是系统中最初的变化引起进一步的变化。该变化强化最初变化为正反馈，弱化或与最初的变化相反为负反馈。



将考察经济学家在成本——收益背景下处理这个问题所作的努力，然后转过来讨论这样的努力是否合适和实施什么样的政策。

首先考虑一切照旧，不采取任何行动限制温室气体排放，评估在这种情况下对气候变化的回应政策。根据世界银行的估计，到 2030 年，全球能源的使用几乎翻番，最大的增长来自发展中国家。<sup>6</sup>图 18-4 表明了碳排放结果急剧的增长。

目前，发达国家对大部分的碳排放负有责任，其人均排放量相当高，特别是美国(图 18-5)。然而，预计最大的增长将在目前的发展中国家。到 2020 年，发展中国家的排放总量大致与发达国家相等。但要注意，即使有如此大的增加，发展中国家人均排放水平仍然相对低。考虑到预计的人口增长和经济增长，发展中国家的排放量增长是不可避免的。因此，全球减排要求发达国家采取有效的政策行动，以及最终限制发展中国家的排放。

## 全球气候变化的成本—收益研究

进行成本——收益分析，必须比较没有控制的排放与实行控制排放政策的不同后果。：通过比较采取的强有力政策的收益等于没有控制排放时气候变化导致的损害。<sup>7</sup>比较这些收益和采取行动的成本。大量的经济研究尝试估计这些收益和成本。表 18-1 显示了美国该问题的一项研究结果。

该研究基于估计 CO<sub>2</sub> 超过工业化前两倍。合计货币化成本，估计美国每年的损害大致为 600 亿美元（1990 年美元），约为美国 GDP 的 1%。虽然不同的经济研究获得不同的结果，但大多数的结果在 GDP 的 1-2% 之间。对于更长时期更大温度变化下的估计，成本上升到 GDP 的 5%（表 18-1，第 2 列）。

---

<sup>6</sup> 世界银行，1992。

<sup>7</sup> 防止受损的这些收益也被看作是避免了的成本。

然而，注意总计中的  $X_s$ 、 $Y_s$  和  $\Delta_s$ ——这些项的数值难以测量。例如，物种损失的价值很难用美元估计：这里的估计短期至少是 40 亿美元，长期 160 亿美元；此外标明一个未知的成本  $\Delta$ 。

图 18-4 1990-2000年碳排放及2020年预测

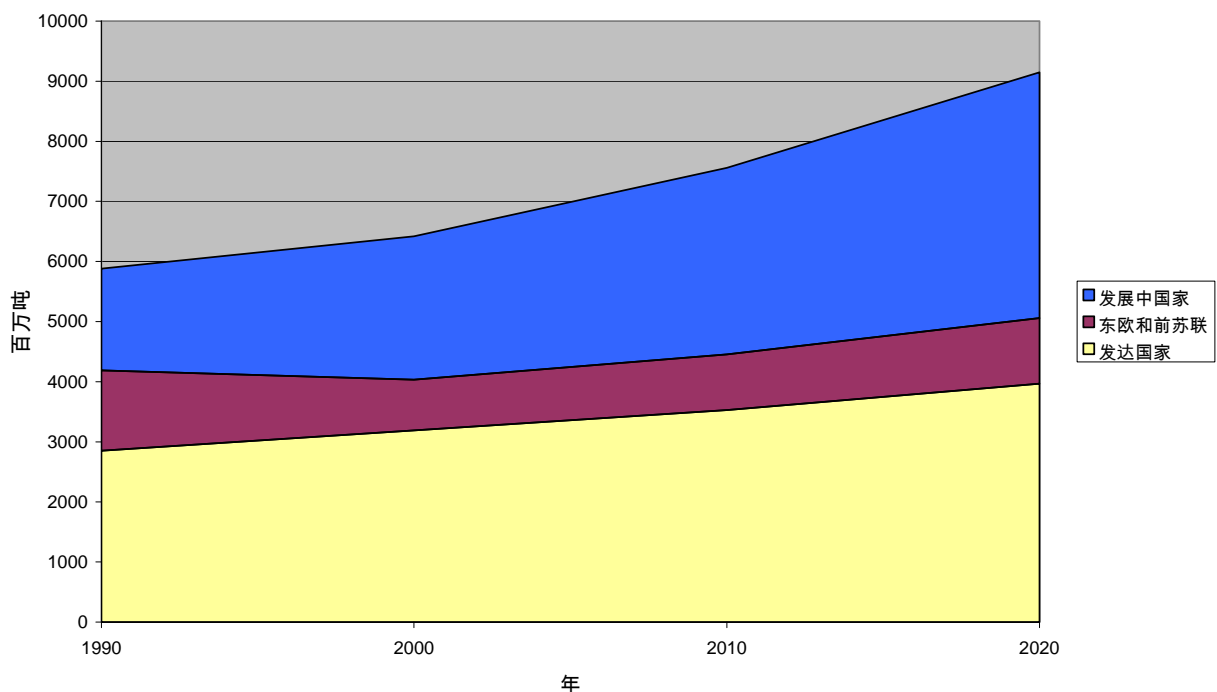


图 18-4 碳排放，1990-2000 年以及预测到 2020 年

资料来源：U.S. Department of Energy, 2004, “International Energy-Related Environmental Information,” available at <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/enviro.htm>.

由于不能反映全部潜在的损失，其他项目的货币化估计也受到挑战。例如，海滨土地不仅仅是房地产，海滩和海岸湿地有巨大的社会、文化和生态价值。如果它们消失，市场价值不能完全反映社会的全部损害。

此外，这些估计忽略掉了可能的大突变的灾难性结果；如果气候的扰乱比预测的还严重，有可能产生这样的结果。例如，一次台风可能引起除生命损失以外 100 亿美元以上的损失。如 1998 年 11 月，中美洲一次严重的台风造成广泛破坏，损失了 7000 条生命。2004 年，佛罗里达受到 4 次台风袭击，

造成 200 亿美元以上的损失。如果气候变化引起严重的台风更加频繁，这里每年损失小于 10 亿美元的估计就太低了。另外的“X”价值——人类发病率(疾病)——可能是巨大的，如果更暖的气候条件使热带疾病明显地扩大其范围。

图18-5 人均化石能源二氧化碳排放量 (2000年)

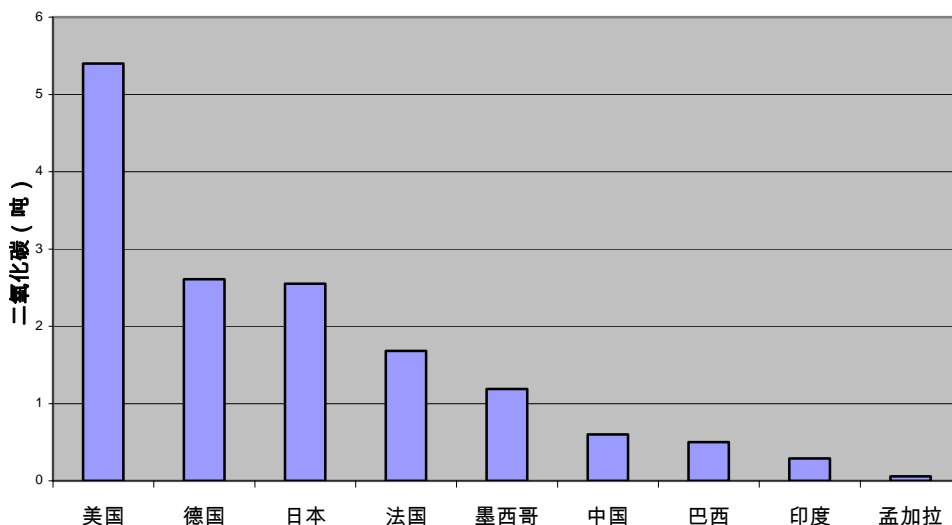


图 18-5 人均化石能源 CO<sub>2</sub> 排放量 ( 2000 )

资料来源：Carbon Dioxide Information Analysis Center(CDIAC), <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.

很明显，这些损失的估计是不精确的，受到了很多批评，但假定接受它们——至少作为一个粗糙的估计。这样，我们必须比较实施防止气候变化政策的收益与成本。为了估计这些成本，经济学家使用模型显示诸如劳动、资本和资源的投入如何生产产出。

为了降低碳排放，必须用其他更昂贵的能源替代石化燃料的使用。有经济模型预计这样的替代将减少 GDP 的增长。一项重要的研究显示，GDP 的损失在大多数国家占 GDP 的 1-3%，对依赖于煤的发展中国家，如中国，其长期的潜在损失更高。<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Manne 和 Richels, 1992。

如果积极进取的减碳政策带来的收益和成本都在 GDP 的 1-3% 之间 ,我们如何决定去做什么 ? 这取决于对将来成本和收益的评价。行动成本必须现在或近期承担 , 而收益 ( 避免了的损害成本 ) 是在更远的将来。因此 , 问题就是 , 现在如何平衡这些将来的成本和收益。

如第 9 章所显示的 , 经济学家使用 **贴现率** ( discount rate ) 来评价将来的成本和收益。这些与贴现相联系的内在价值判断问题 , 增加了不确定性 ; 在评价成本与收益时 , 我们已经注意到了不确定性。这要求了我们应该考虑其他方法——包含生态和经济的成本与收益方法。

**表 18-1 全球气候变化对美国经济的年损失估计 ( 1990 年十亿美元 )**

	2xCO <sub>2</sub> (+2.5°C)	长期变暖 (+10°C)
农业	17.5	95.0
林业	3.3	7.0
物种消失	4.0+D	16.0+D'
海面上升		35.0
修建堤坝	1.2	
湿地消失	4.1	
旱地消失	1.7	
电力调整	11.2	64.1
非电力暖气	-1.3	-4.0
人类设施	Xa	Ya
人类生命	5.8	33.0
人类发病率	Xm	Ym
迁移	0.5	2.8
台风	0.8	6.4
建筑	+/- Xc	+/- Yc
休闲活动	1.7	4.0
水供应	7.0	56.0
城市基础设施	0.1	0.6
空气污染	3.5	19.8
	Xo	Yo

对流层臭氧 其他		
总计	$61.6+X_a+X_m+X_o$ $+D+/-X_c$	$335.7+Y_a+Y_m+Y_o$ $+D+/-Y_c$

资料来源：改编自 William R. Cline, 全球变暖经济学。华盛顿, D.C.; 国际经济研究所, 1992. 经国际经济研究所同意。

## 长期环境效应分析

两项主要研究讨论气候变化的成本——收益的经济分析得出显著不同的政策结论。根据 William Nordhaus 的研究，<sup>9</sup>经济最优 ( economic optimum ) 是图 18-4 所示的通常排放增长情况下减排少量的温室气体。这将几乎不改变目前以碳为能源基础的经济发​​展途径。

相反，William Cline 所作的研究建议“世界范围限制气候变暖的积极行动计划”，包括削减碳排放远低于目前的水平，并冻结在此水平，将来不再增加。<sup>10</sup>这将涉及到目前能源使用种类的大量变化。这两个如此不同的成本/收益分析之间说明了什么？

这两个研究使用相似的方法评估收益和成本。主要的差别是，Cline 研究长期效应，使用较低的贴现率 ( 1.5% )。因此，即使几十年内，积极行动的成本明显高于收益，长期潜在的高损失会改变这种比较，从而今天的积极行动有利。

正如在第 6 章所见，长期成本或收益流的现值 ( PV ) 依赖于贴现率。高贴现率导致长期收益的现值低和短期成本的现值高。另一方面，低贴现率将导致长期收益的高现值。因此，如果选择低贴现率，积极减排政策的估计净现值将会很高。

Cline 和 Nordhaus 两人的研究都使用了标准经济方法，Cline 对长期生态效应赋予更大权重。这些效应对其货币和非货币效应都很重要。长期，全球

<sup>9</sup> Nordhaus, 1993; Nordhaus 和 Boyer, 2000。

<sup>10</sup> Cline, 1992 和 2004。

气候变化损坏环境也对经济有显著的负面作用。因此，这些长期效应具有很高的货币价值，如图 18-6 所示，但 5-10% 的标准贴现率把将来巨大的损失现值减少。

生态倾向的经济学家会认为，根本问题是物质和作为全球气候控制机制的生态系统的稳定。这意味着**气候稳定** ( climate stabilization ) 是目标，而不是经济的成本和收益。稳定温室气体排放是不够的，以目前的排放速度，二氧化碳和其他温室气体将继续在大气中积累。稳定温室气体的数量要求削减目前排放水平。

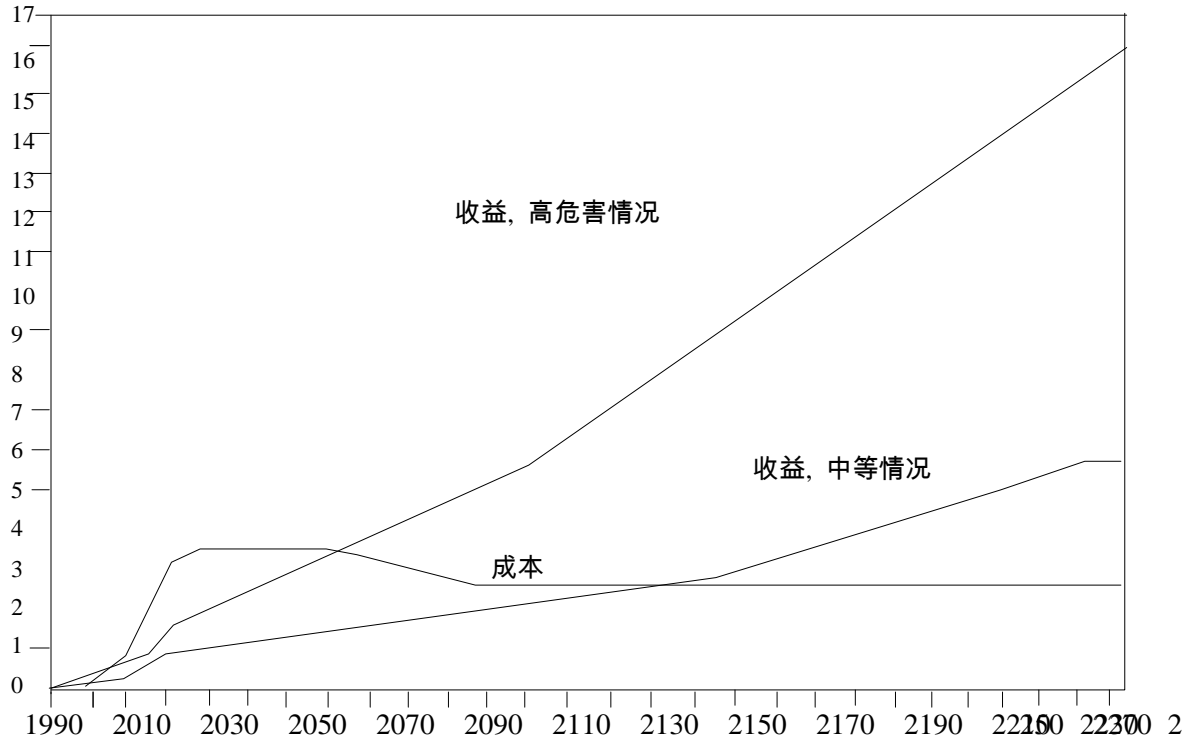
防止全球气候变化的任何措施对 GDP、消费和就业有影响，这可以解释政府不愿意采取激烈的措施减少 CO<sub>2</sub> 排放。但是，这些影响不一定是负面的。

关于气候变化政策的经济模型的综合回顾表明，减碳政策的预计经济后果严重依赖于模型使用的假设。<sup>11</sup>稳定在 1990 年排放水平的预测效果是 GDP 下降 2% 到增加 2%，其依赖的假设包括：

- 对能源价格信号的经济反应有效还是无效。
- 非碳替代能源技术的可用性。
- 国家是否可以选择低成本的减碳贸易。
- 以碳为基础的燃料税收收入是否能降低其他税收。
- 减碳的外部收益，包括地表空气污染的减少是否纳入计算。

---

<sup>11</sup> Repetto 和 Austin, WRI, 1997。



**图 18-6 减少全球气候变化的长期成本和收益**

资料来源：改编自 William R. Cline, 全球变暖经济学。华盛顿, D.C.; 国际经济研究所, 1992. 经国际经济研究所同意。

减排政策包括从最低限度轻微减排增长到 50% 或更多的 CO<sub>2</sub> 急剧减排。分析过这个问题的经济学家大多认为必需采取行动（见框图 18-3），但对采取多激烈和多迅速的行动，有非常不同的意见。世界各国已经承认了这个问题并正在协商计划以实行减排。然而，现在讨论的减排范围远不能满足稳定气候的需要。

不论这些协商的结果是什么，任何减排的努力都需要在第 3 章所讨论过的处理负外部性的经济政策。我们现在转过来分析可能的政策。

**框图 18-3 经济学家对气候变化的声明**

I. 在政府间气候变化委员会主持下，国际杰出的科学家小组确认，“证据倾向于认为，人类对全球气候有可识别的影响”。作为经济学家，我们相信全球气候变化随之带来显著的环境、经济、社会 and 地缘政治风险，有理由采取防范步骤。

II. 经济研究发现，有许多潜在的减排政策，这些政策的总收益超过总成本。特别是美国，可靠的经济分析显示，存在减缓气候变化而不损害美国生活标准的政策选择，而且这些措施实际上长期将改善美国的生产率。

III. 减缓气候变化最有效的方法是以市场为政策基础。为了使世界以最小成本达到气候目标，需要各国之间的合作——如国际排放贸易协定。美国和其他国家可以通过市场机制最有效地实施其气候政策，如碳税或排放许可证拍卖。从这些政策产生的收入流可以有效地用于减少赤字或降低现在的税收。

注：上述声明已经有 2500 名经济学家签名，包括 8 位诺贝尔获奖者。

资料来源：重新定义进步，Oakland, California, <http://www.rprogress.org>.

## 气候变化的政策响应

两类措施可以用来处理气候变化：预防性措施倾向于降低或减缓温室气体，适应性措施处理温室效应的结果并努力使其效果最小化。

预防性措施包括

- 减少温室气体排放，或通过减少与排放相关的经济活动水平，或通过使用更有效的能源技术，使同样水平的经济活动排放较低的 CO<sub>2</sub>。

- 增强碳汇 ( carbon sinks )。<sup>12</sup> 森林循环 CO<sub>2</sub> 成为氧气；保护森林面积和扩大造林对 CO<sub>2</sub> 的净排放有显著影响。

适应性措施包括

- 修建堤坝和防海墙以抗拒海面上升和极端气候事件，如洪灾和台风。

- 改变不同地区农业的耕种类型以适应气候变化。

---

<sup>12</sup> 碳沉降是把多余的碳储存起来。自然沉降包括海洋和森林。人类通过森林管理和农业实践的干预，可以减少或扩大这些沉降。



一种经济方法建议应用成本——效率考虑政策。这与成本——收益分析的差异是目标更温和：成本——效率分析不再试图确定一种政策是否应该实施，它寻求达到政策目标最有效的途径。

总之，经济学家喜欢寻找通过市场机制达到其目标的方法。市场导向的方法被认为是具有成本效率——而不是试图直接控制市场主体，通过改变激励，把外部性成本纳入到成本和收益的，从而让个人和企业改变他们的行为。在第 16 章，我们讨论了**污染税** ( pollution taxes ) 和**可转让许可证** ( 或者**可交易许可证** ) ( transferable, or tradable, permits ) 的经济学。这两者都是潜在可用的减少温室气体的工具。其他相关的经济政策包括**激励采用可再生能源** ( renewable energy source ) 和**有效率的能源技术**( energy-efficiency technology ) 的措施。

## 政策工具：碳税

温室气体排放到大气中无疑是负外部性的例子，它在全球范围增加了显著的成本。以经济理论的术语，碳基燃料如煤、石油和天然气等市场只计算了私人成本和收益，这导致市场均衡不能与**社会最优** ( social optimum ) 相一致。

我们已经看到，外部成本内部化的标准矫正方法是对污染物按单位征税。对二氧化碳排放，这就是**碳税** ( carbon tax ) ，对碳基石化燃料征收专一的税收。这样的税收将提高碳基能源的价格，激励消费者储存能源和将需求转向可替换能源 ( 图 18-7 ) 。需求也可能从含碳比例高的碳基燃料，如煤，转向含碳相对低的燃料，如天然气。

碳税将使消费者面对能源价格上升。但由于碳税只对初级能源征税，这意味着只有部分成本转移到能源 ( 如汽油或电力 ) ，而更重要的是，由于在许多情况下，一种能源可以由另外的能源替代，不太可能引起所有能源价格急剧上升。消费者可以通过减少能源使用

和购买更少的富碳产品（需要大量碳基燃料生产的产品）对新价格作出反应。此外，这样做的部分结余可以用来购买其他含碳少的产品和服务。

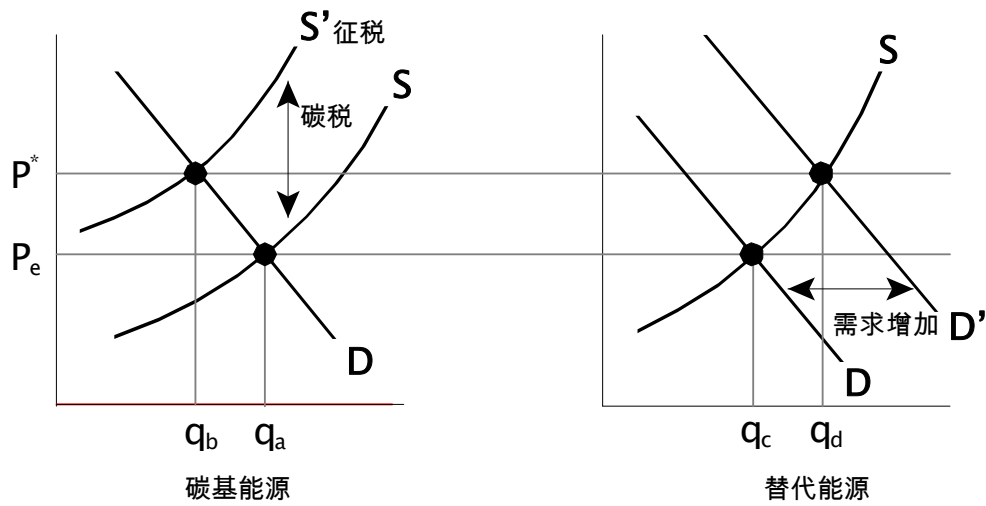
无疑，碳税激励生产者和消费者为了避免税赋而减少使用富碳燃料。与其他税收项目相反，这种回避有社会效益——使用能源减少和 CO<sub>2</sub> 排放。因此，税收随时间降低表明政策成功——恰恰与寻求收入稳定和增长的税收政策所需要发生的情况相反。<sup>13</sup>

考察表 18-2，它表明不同水平的碳税将对煤、石油和天然气价格的影响。例如，每吨碳 10 美元的税收将使每桶汽油的价格提高 1.3 美元为，大致是每加仑汽油 3 分钱。这会较大地影响人们驾驶和家庭取暖的习惯吗？可能不会——不要期待汽油或取暖用油有很高的需求弹性（price elasticity of demand），因为平民百姓已经把这些产品看作是必需品。

图 18-8 显示了不同国家的汽油价格和人均使用量之间关系。注意，这种关系的形式类似需求曲线：高价格与低消费相联系，低价格与高消费相联系。然而，这里所显示的关系与需求曲线不一样，因为考察来自不同国家的数据时，建立需求曲线所需要的“其他情况不变”的假设不能满足。

---

<sup>13</sup> 引自 Robert Dower 和 Mary Zimmerman, 合适的气候碳税。世界资源研究所, 1992. 经华盛顿特区世界资源研究所允许重印。



$P_e$  = 没有碳税的能源均衡价格

$P$  = 有碳税的能源均衡价格

$Q_a$  = 没有碳税时所使用的碳基能源数量

$Q_b$  = 有碳税时所使用的碳基能源数量

$Q_c$  = 没有碳税时使用的替代能源的数量

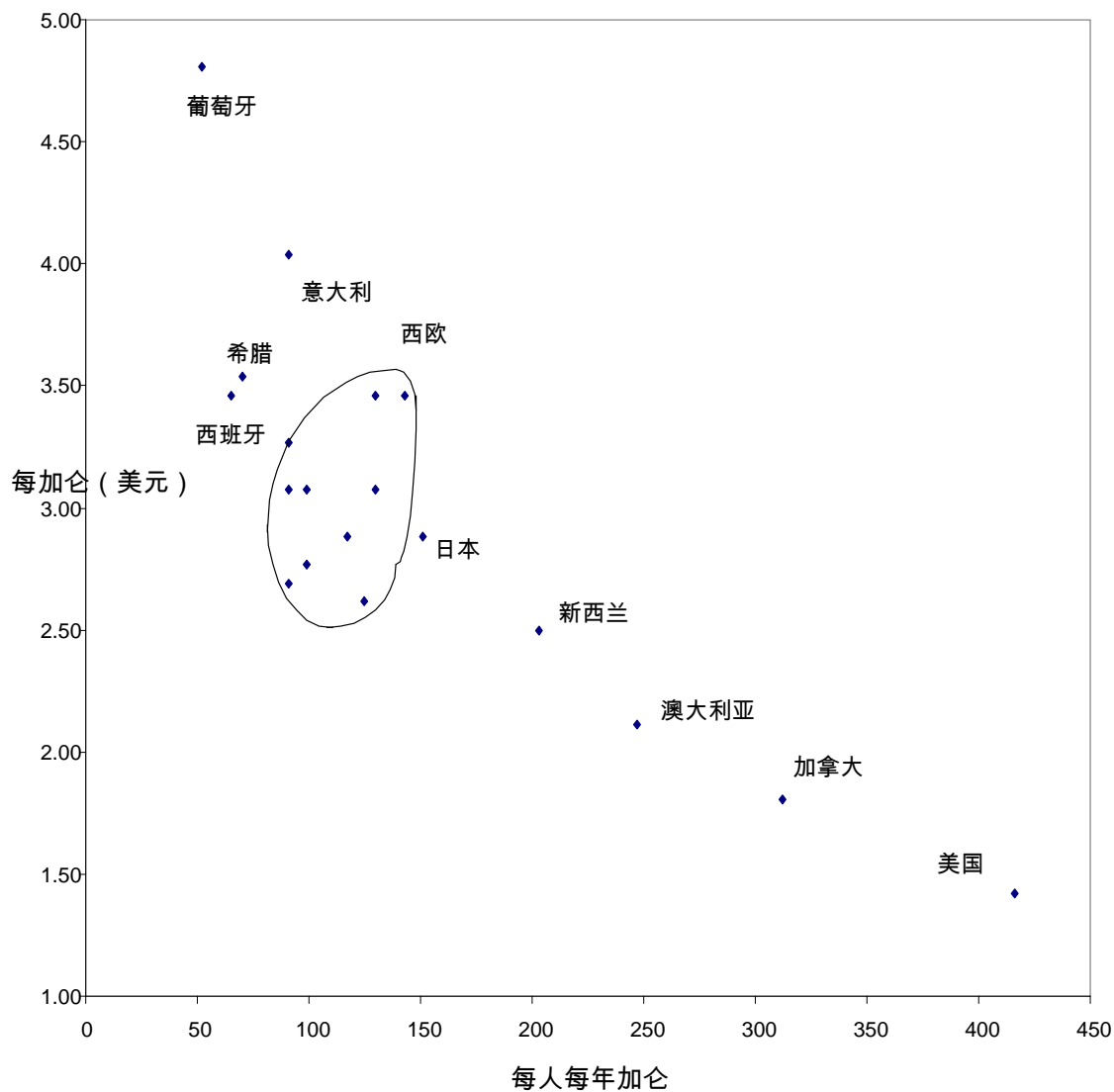
$Q_d$  = 有碳税时使用的替代能源的数量

图 18-7 碳税的经济效应

表 18-2 化石燃料的可替代碳税

	煤	石油	天然气
每单位燃料中的碳的吨数	0.574/吨	0.102/桶	0.015/千立方尺
平均价格 (2007)	25.16美元/吨	88.79美元/桶	5.90美元/千立方尺
每单位燃料碳税数额:			
10美元/每吨碳	\$5.74/吨	\$1.02/桶	\$0.15/千立方尺
100美元/每吨碳	\$57.42/吨	\$10.15/桶	\$1.49/千立方尺
200美元/每吨碳	\$114.85/吨	\$20.31/桶	\$2.98/千立方尺
碳税为燃料价格的百分数:			
10美元/每吨碳	23%	1%	3%
100/每吨碳	228%	11%	25%
200/每吨碳	456%	23%	51%

**资料来源:** Carbon emissions calculated from carbon coefficients and thermal conversion factors available from the U.S. Department of Energy. 石油价格为 2007 年 11 月中旬世界平均。 天然气价格为 2007 年 8 月美国 wellhead 平均价格。 煤炭价格为 2006 年美国平均价格。所有价格数据来自美国能源信息部门。.



**图 18-8 2003 年工业化国家的汽油价格与使用**

**资料来源:** 美国能源部, 2004。图改编于 Roodman, 1997, 数据已更新。

例如，美国人驾车多，部分原因是由于旅行距离（特别是在西部）比欧洲国家远。但图 18-8 确实表示了一种清晰的价格/消费关系。数据说明，要明显影响燃料的使用，需要相当大的价格提升——每加仑 0.5-1.0 美元或更多。需要更大的税收来推动减少石化能源的使用。大多数研究表明，稳定全球 CO<sub>2</sub> 排放至少需要每吨 200 美元的碳税。<sup>14</sup>这将明显增加燃料价格（见表 18-2），肯定影响消费类型。此外，长期的需求价格弹性更大，因为更高的碳基燃料价格将推动替代技术的发展。

但这样的税收在政治上总是可行的吗？特别是在美国，汽油和其他燃料的高税收将面对很多反对，特别是如果人们将其视为侵害他们驾驶的自由时更是如此。注意，在图 18-8 中，美国是除科威特以外目前人均消费量最高、价格最低的国家。

但让我们来看关于建议高碳税的两件事：

首先，**收入循环**（revenue recycling）可能改变其他税收收入以至降低其他税收。许多反对高能源税的政治意见认为高碳税会导致税收净增加的感觉——除了已经付过的收入、房地产和社会保险税之外的税负。如果征收碳税与收入和社会保险的实质性减税相配合，则其在政治上更可接受。

对经济“坏品”如污染增加税收，对鼓励的事物如劳动和资本减税的思想，完全符合经济效率的原则。<sup>15</sup>不是要净税收增加，这将是**税收中性的税收转移**（revenue-neutral tax shift）——付给政府的税收总数不变。

其次，如果这样的税收转移没有发生，则能源效率高的个人或企业实际上节省了钱。能源的高成本将形成对节能技术创新强力激励。如果高碳税（和低的收入与资本税）在时间上分阶段实行，经济更容易适应。税收转移的潜在经济优势导致一些经济学家认为，碳税将会带来环境和经济效益双重收益。

---

<sup>14</sup> Manne 和 Richels, 1992; Nordhaus 和 Boyer, 2000; Cline, 2004。

<sup>15</sup> 为了鼓励更高的投资，碳税收入可以用来降低资本所得和公司税。

其他人则认为，高碳税将导致巨大的经济成本，但这些成本随收入循环会比在没有碳税小。<sup>16</sup>

## 政策工具：可贸易许可证

一种可替换污染税的选择是制度性的可贸易许可证。在温室气体减排的国际协商中，实施碳排放的可贸易许可证被广泛讨论。这种制度的运作如下：

- 每个国家都分配有一定的碳排放水平。发放的碳排放许可证的总数等于设定目标。例如，如果全球碳排放是 60 亿吨，目标是减少 10 亿吨，则可以发放 50 亿吨的许可证。

- 许可证的分配要满足国家或地区商定了的减排目标。例如，在 1997 年京都议定书下，美国同意 2008-2012 年其温室气体排放比 1990 年水平减少 7%。日本同意减排 6%，欧洲同意减排 8%（美国已经退出京都议定书——见框图 18-4）。

- 国家之间可以交易许可证。例如，如果日本没有达到目标，但欧洲超过了目标，日本可以从欧洲购买许可证。

- 许可证可以在企业之间交易，国家设定主要产业部门的目标，据此分配许可证。这样，企业之间可以交易，或者在国际间交易。

- 国家或企业也能够通过帮助其他国家获得减排信用。例如，欧洲企业可以从在中国安装有效的发电设备，代替高污染的煤电厂而获得信用。

从经济学的观点看，可交易许可证制度将鼓励实施最小成本的减排选择。根据许可证的分配，这也意味着发展中国家通过选择非碳的能源发展道路，将许可证可以改造成新的出口商品。这样，他们可以把许可证出售给没有完成减排要求的工业化国家。

国际可交易许可证制度的障碍是对目标水平达成共识。发展中国家拒绝对其排放的任何限制——其现有人均排放量远低于发达国家——直到发达国

---

<sup>16</sup> 见 Gouldner, 2002, 关于双重红利争论的文献回顾。

家在其减排方面表现出显著进步。但一些发达国家，如美国和澳大利亚，不愿意实施任何减排政策，直到发展中国家签署承诺（见框图 18-4）。

#### 框图 18-4 京都协定书

1997 年 12 月，由联合国主持召开的京都会议产生了关于温室气体减排的协定，称之为京都协定书。不像 1992 年里约环境与发展大会达成的完全自愿的《关于气候变化的国际公约框架（FCCC）》，京都议定书约束其签约国家。尽管美国反对，京都议定书由足够的国家批准，于 2005 年 2 月 16 日生效。工业化国家接受到 2012 年的具体减排目标。发展中国家不接受具体减排限制，认为发达国家应该首先实践自己的责任以削减过高的人均排放。

在京都议定书之下，**清洁发展机制**（Clean Development Mechanism）允许合作项目，如在发展中国家建设高效率发电厂，通过项目合作，工业化国家可以从所援助的发展中国家获得减排信用。另外一个合作或**联合执行**（joint implementation）机制是碳汇强化，发达国家和发展中国家之间共同努力促进森林保护和再造林。

这些机制没有加入到全球可交易许可制度，只有在同意具体减排限制的国家之间才可能交易。在欧盟，排放交易于 2005 年 1 月 1 日开始。为了全球排放交易制度的运作，所有国家必须接受排放量，这需要商定对发达国家和发展中国家的限制。

通过京都协定书之后，主要的问题是如何将没有加入但却是主要排放者的国家——美国、中国和印度——纳入约束，以及如何将京都议定书相对松缓的目标向前推进，目前批准议定书的工业化国家削减目标比 1990 年排放水平低 5%。

美国是温室气体最大的排放者，约占全球 25% 的二氧化碳排放。自 1990 年以来，美国的排放稳定上升，预计持续增长到 2010 年（见图 18-9）。布什当局拒绝京都协定书，但没有提出可替代的措施控制。而中国和印度在人均排放量远低于美国（见图 18-5），他们的快速经济增长意味着其燃料使用和碳排放将快速增加。发展中国家作为一个整体，目前占全球排放的 40%，但根据国际能源局，到 2025 年，他们将超过发达国家。

图 18-9 1990-2002年美国碳排放及预测到2010年

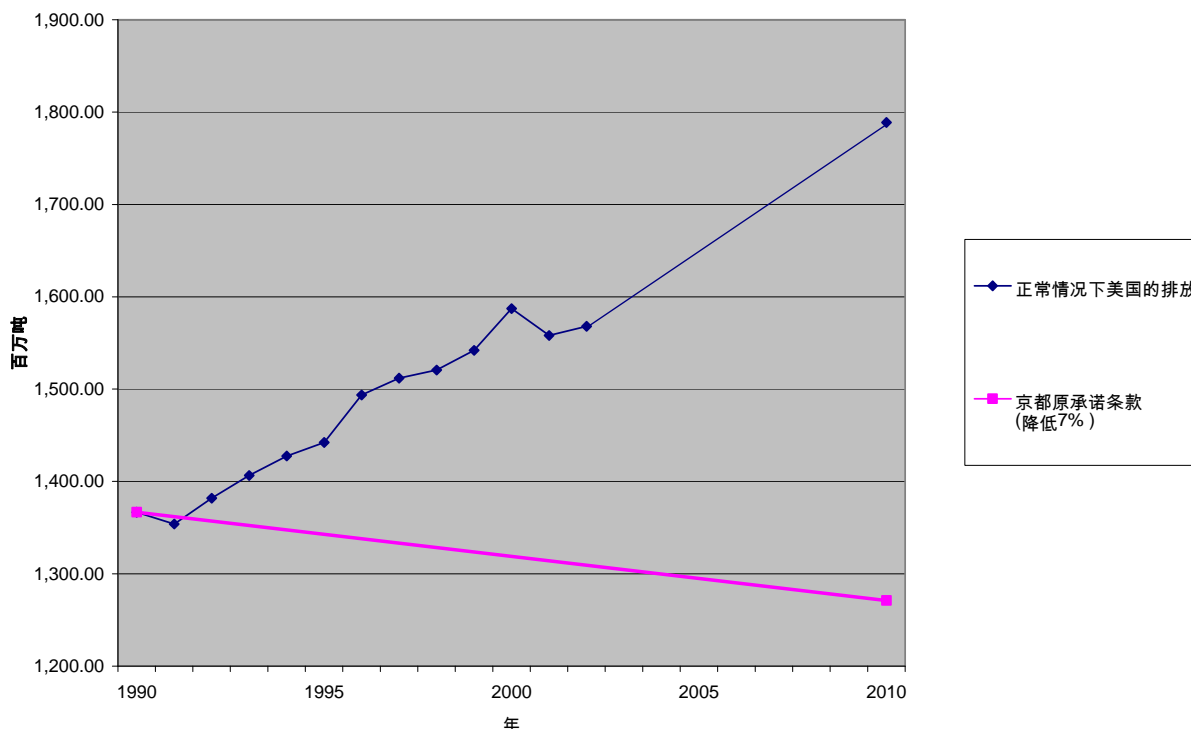


图 18-9 美国的碳排放，1990-2002，及 2010 年预测

资料来源：美国能源部，2004 年，“International Energy-Related Environmental Information,” 见 <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/enviro.htm>.

## 可交易碳许可证经济学

为了说明可交易碳许可证制度的经济影响，我们使用第 5 章介绍的概念分析**边际净收益** (marginal net benefit)。图 18-10a 显示了碳减排对生产者和消费者的边际净收益。<sup>17</sup>没有排放限制的情况下，排放水平为  $Q_E$ ，这是没有考虑环境外部性下的市场均衡，消费者和生产者最大化总收益。

在许可证制度下， $Q^*$ 代表发放的许可证总数。均衡的许可证价格是  $p^*$ ，代表在  $Q^*$ 碳排放水平下的边际净收益。从排放获得的收益大于  $p^*$ 者，就会购买许可证，而排放收益小于  $p^*$ 者，减少排放并将结余的许可证出售更有利。

<sup>17</sup> 如在第 5 章中所见，边际净收益曲线是从需求曲线和供给曲线推导而来（本例是碳基燃料），表示该产品的边际收益减供给的边际成本。



图 18-10b 表示了三种可能的减碳策略。取代使用现有排碳技术的工厂虽然可能，但边际成本往往很高；使用高能源效率减排的边际成本较低，像通过扩大森林面积储存碳。许可证价格将调控实施三种策略的相对水平。

有贸易计划的国家和企业可以自己决定实施每一种可控策略的程度，很自然偏好最小成本的方法。这可能涉及到方法的组合。例如，如果一个国家采取了广泛的再造林，他们很可能就有多余的许可证，可以出售给没有低成本减排选择的国家。净效果将是在世界范围最低成本实施减排。

这个制度结合了经济效率和结果保障——达到减排水平  $Q^*$  的优点。问题当然是对最初的许可证分配达成协议。测量问题也会出现，以及是否是包括森林和土地利用类型变化导致的排放变化，还是只计算商业碳排放。

## 政策工具：补贴、标准、R&D 和技术转移

虽然政治上的问题可能妨碍采用有效率的碳税或可转让许可证制度，但其他政策措施有可能降低碳排放。这些政策措施如下：

■将补贴 (subsidy) 从碳基燃料转移到非碳基燃料。如在第 13 章所注意到的，许多国家目前对石化燃料提供直接或间接的补贴。消除这些补贴将有利于可替代的燃料资源，打破目前的竞争平衡。如果这些补贴重新调整到补贴可再生资源，特别是以减少投资税的形式，可能促进太阳能、光电、燃料

( a ) 碳许可价格的决定

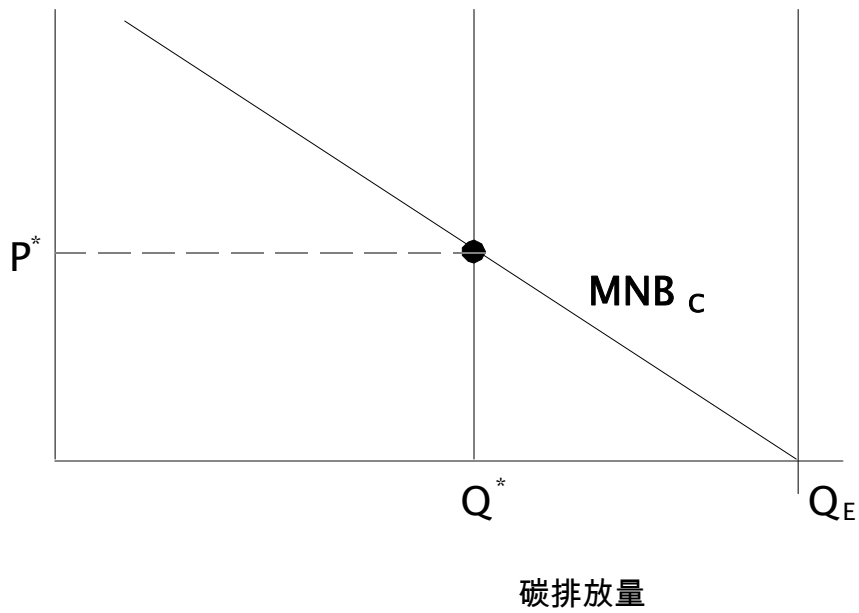
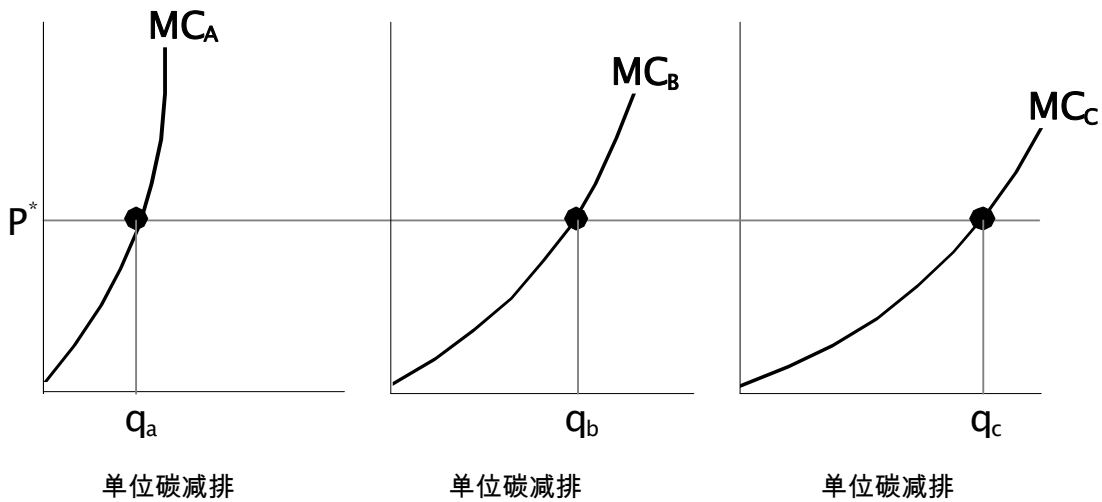


图 18-10A 利用可交易许可证的最小成本碳减排——决定碳许可证的价格

(b) 许可证制度下的碳减排



$MC_A$  = 通过替换电厂减排碳的边际成本

$P$  = 碳许可证的均衡价格

$MC_B$  = 通过增加效率减排碳的边际成本

$Q_a$  = 通过替换电厂所减排的碳数量

$MC_C$  = 通过扩大森林减排碳的边际成本

$Q_b$  = 通过增加效率所减排的碳的数量

Qc = 通过扩大森林所减排的碳的数量数量

## 图 18-10B 利用碳许可证制度的碳减排

电池、生物量和风能的大量投资——所有这些技术在广大地区处于竞争劣势。

■使用**效能标准** ( efficiency standards ) 要求公用事业和制造者增加效能和可更新能源。燃煤发电厂达到大约 35% 的效率，而高效能燃气联合设备达到 75-90% 的效率。目前汽车的燃料效能标准为每加仑不超过 27.5 英里，但每加仑达到或多于 50 英里的效能技术可以达到，如已经广泛使用的氢燃料机动车。随着时间的推移，提高工厂、建筑、车辆和设备的标准会促进现有低效设备的改变。

■**研究和开发** ( R&D ) 的开支引导可替代技术的商业化。政府 R&D 项目和对企业替代能源的 R&D 作税收优惠处理会加快其商业化。现有的非碳替代技术显著地减少像碳税措施的经济成本。

■向发展中国家**转移技术** ( technology transfer )。预计碳排放的大量增长发生在发展中国家。现在许多能源发展项目由世界银行和区域发展银行的机构提供资金支持。这些资金也可以被引导到非碳能源系统，并由其他基金，特别是用于替代能源发展的基金作补充，从而使得发展中国家避开石化能源密集的道路就有了经济可行性，同时可以获得显著的地方环境效益。

## 气候变化政策的未来

现在采用的控制温室气体的有限政策措施够了吗？最近气候变化快速增加的证据说明，排放的累积性影响比预期的要严重得多，突然或严重气候变化的巨大风险存在。北极生态系统已经显示了随气温上升而崩溃的清晰信号，提高了来自冻原融化反馈效应的可能性，这将进一步加速全球变暖。<sup>18</sup>一份为美国国防部准备的报告引述在重要农业区大规模干旱的可能性；北大西洋湾

---

<sup>18</sup> 见 Richard B. Alley, “突然的气候变化,” 科学美国人, 2004 年 11 月; Clifford Kraus, “随气候迁移和野生动物变化的爱斯基摩担忧,” 纽约时报, 2004 年 9 月 6 日。

洋流的突变，引起欧洲和美国北部更加寒冷的温度的突然变化，水和食物供给中断将引起大量迁移和民情动荡的蔓延。<sup>19</sup>这样发展的成本很清楚是很高的，如果按照表 18-1 中更高的估计范围，数量在每年千亿美元。

同时，政府间气候变化委员会估计，稳定大气 CO<sub>2</sub> 水平将需要把 CO<sub>2</sub> 排放削减到目前数值的很低水平。这个目标远在京都议定书目标之外，需要大量的政策干预以调整世界经济向非碳能源发展。然而，IPCC 也发现，有机会以每吨当量碳低于 100 美元的净成本削减目前 30-70% 的温室气体排放；这些减排中的很大部分有较低甚至为零的边际成本。根据这些数据，IPCC 估计最大的减排，50 亿吨，可能以几千亿美元的净成本实现——虽然是一个巨大的数值，但即使使用标准的贴现率，也比高方案损害的成本小。低成本削减看起来确实是个好的投资。

因此，经济分析认为更加积极的气候变化政策是有道理的，但这样的政策措施存在巨大的政治障碍，特别是在美国。然而，随着批准国进入实施京都议定书，以及随着对将来“后京都”政策的关注，本章所讨论的经济政策肯定会在将来变得日益重要。政治领导者和公众将会确定我们应该以多么强烈的程度对 21 世纪的这一主要问题作出回应，但经济政策是完成我们所选择目标的中心。

## 总结

由吸热气体引起温室效应导致气候变化是全球问题。所有国家都涉及引起原因和结果两方面的问题。目前发达国家是最大的温室气体排放者，但将来几十年，发展中国家的排放将显著地增长。

---

<sup>19</sup> Peter Schwartz 和 Doug Randall, “突然的气候变化情景及其对美国国家安全的意义”, 2003 年 10 月, 于 [http://www.ems.org/climate/pentage\\_climate\\_change.html](http://www.ems.org/climate/pentage_climate_change.html)

最近的科学证据指出，在 21 世纪，这种效应可能会使全球气温上升 1 摄氏度（2 华氏度）到 6 摄氏度（10 华氏度）。除了地球变热外，其他预计的效应包括打乱气候类型和突然的大规模气候迁移。

成本——收益分析可对气候变化作经济分析。在这种情况下，收益是防止气候变化所避免的潜在损失；成本是改变目前所依赖的石化燃料的经济成本，以及温室气体减排所涉及的其他经济损失。

成本——效益研究估计了成本和收益的分布占 GDP 的百分点。然而，对成本和收益的评价严重地依赖于所选择的贴现率。因为损害随时间而恶化，所以高贴现率导致避免气候变化收益的低估。此外，物种损失的影响、对生命与健康的影响很难以货币来测量。根据经济模型中所使用的假设，避免气候变化的政策对 GDP 的影响在降低其 2% 到增加 2% 之间。

对全球气候变化作出反应的政策可以是预防性的和适应性的。一个被广泛讨论的政策是碳税，它能最大量地减少引起碳排放最多的燃料使用。碳税收入的再循环可以降低其他税收。另一个政策是可交易碳排放许可证，企业或国家依据其碳排放水平，可以出售或购买碳排放许可证。这两个政策都有经济效率的优点，但实施这些政策的需要获得政治支持很困难。其他可能的政策包括，取消石化燃料的补贴、强化能源效率标准、增加替代能源技术的研究和开发。

京都议定书提出的工业化国家减排温室气体于 2005 年生效，但美国拒绝加入。将来有效的气候变化政策将需要包括美国以及中国、印度和其他发展中国家。避免与长期气候变化相联系的成本，需要更有雄心的减排目标。

## 关键词和概念

规避成本 ( avoided costs )

通常情况 ( business as usual )

碳汇 ( carbon sinks )  
清洁发展机制 ( clean development mechanism )  
气候稳定 ( climate stabilization )  
公共财产资源 ( common-property resource )  
成本-收益分析 ( cost-benefit analysis )  
贴现率 ( discount rate )  
加倍红利 ( double dividend )  
经济最优 ( economic optimum )  
效率标准 ( efficiency standard )  
节能技术 ( energy-efficient technology )  
环境的外部效应 ( environmental externalities )  
外部性成本与收益 ( externalities/external costs and benefit )  
反馈效应 ( feedback effect )  
全球气候变化 ( global climate change )  
全球共有 ( global commons )  
全球变暖 ( global warming )  
温室效应 ( greenhouse effect )  
温室气体 ( greenhouse gases )  
外部效应内部化 ( internalizing externalities )  
联合履行 ( joint implementation )  
局部和地区污染物 ( local and regional pollution )  
边际净收益 ( marginal net benefit )  
污染税 ( pollution taxes )  
预防性和适应性策略 ( preventive and adaptive strategies )  
需求的价格弹性 ( price elasticity of demand )  
公共物品 ( public good )  
可更新能源资源 ( renewable energy sources )  
研究和发展 ( research and development ( R&D ) )  
税收循环 ( revenue recycling )  
收入中性的税收转移 ( revenue-neutral tax shift )

社会最优 ( social optimum )

污染物存量 ( stock pollutant )

补贴 ( subsidies )

技术转让 ( technology transfer )

可转让 ( 可交易 ) 的污染许可证 ( transferable ( tradable ) pollution permits )

## 讨论

- 1、你认为成本-收益分析是解决气候变化问题的一个有用的方法吗？你如何充分地估计北极冰盖的融化、岛屿国家的洪灾以及相似的气候影响？在处理影响全球生态系统和后代的问题的时候，经济分析处于怎样的合适的角色？
- 2、哪些政策可能最有效地处理气候变化？如何决定把这些政策结合起来使用？哪些类型的政策将是经济学家特别推荐的？有效的政策实施的主要障碍是什么？
- 3、在规划和执行气候变化政策的国际协议的过程中遭受了意见不一致和谈判僵局的困扰。在要达成特定的政策方针时，主要的困难是什么？从经济学角度来看，哪些类型的激励将促使各国加入和执行这些协议？哪些类型的双赢政策将克服谈判的障碍？

## 问题

- 1、假设国际协议的条款要求美国 CO<sub>2</sub> 的排放减少 2 亿吨，巴西减少 0.5 亿吨下面是每个国家排放减少政策的选择：

政策选择	排放减少的总量 ( 百万吨 CO <sub>2</sub> )	成本 ( 百万美元 )
美国		
A：有效率的机器	60	12
B：重新造林	40	20
C：替代燃煤发电厂	120	30

巴西		
A：有效率的机器	50	20
B：保护亚马孙森林	30	3
C：替代燃煤发电厂	40	8

a. 假设所有的政策选择在某种程度上能在固定的边际成本下被执行的，例如美国能够选择花费 20 亿美元使用有效率的机器减少 1000 万吨的 CO<sub>2</sub> 以减少 CO<sub>2</sub> 的排放。为满足各国的减少目标，什么政策是最有效的？如果两个国家单独行动，使用各种选择将减少多少？成本是多少？（提示：开始时计算以美元/吨计量的六种政策的每一种的 CO<sub>2</sub> 减少的平均成本）

b. 假设可转让的许可证市场允许美国和巴西交易他们的 CO<sub>2</sub> 排放许可证，谁购买许可证会得利？谁出售许可证会得利？什么样的协议会使他们在最低的成本下达到完成总共减少 2.5 亿吨的排放目标？你能估计每吨 CO<sub>2</sub> 的许可证价格的范围吗？（提示：使用问题 a 中的计算的平均成本）

2、 假设平均每户美国居民年消费 2000 加仑的石油用于加热和交通以及 300ccf ( 百立方英尺 ) 的煤气用于烹饪。使用表 18-2 的烟尘排放税的影响去计算平均每户美国居民因为每吨碳征税 \$10 而要每年支付多少钱 ( 每桶石油含有 42 加仑 ) ？假设在美国，这个相对少的税额最初没有减少石油和煤气的需求，美国财政部从烟尘排放税所得的税收将是怎样的？

如果每吨碳征税 200 美元，国家收入将会怎样？考虑到价格上升对消费的影响——一个合理的假设是关于消费的弹性，每吨征税 200 美元将造成石油和煤气的需求减少 20%。政府将如何使用这些收入？这会对每个家庭造成什么样的影响？考虑长期与短期影响的不同。

## 参考文献

Cline, William R. *The Economics of Global Warming*. Washington D.C.: Institute for International Economics, 1992.

Cline, William R. "Climate Change," Chapter 1 in Bjørn Lomborg, ed., *Global Crises, Global Solutions*. Cambridge, U.K: Cambridge University Press, 2004.



Dower, Roger C. and Zimmerman, Mary. The Right Climate for Carbon Taxes, Creating Economic Incentives to Protect the Atmosphere. Washington D.C.: World Resources Institute, 1992.

Fankhauser, Samuel. Valuing Climate Change: the Economics of the Greenhouse. London: Earthscan Publications, 1995.

Gouldner, Lawrence H. "Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader's Guide," in *Environmental Policy Making in Economies with Prior Tax Distortions.* Cheltenham, U.K.: Edward Elgar, 2002.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 1995, Volume 1: The Science of Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001, Volume 1: The Scientific Basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.

Manne, Alan S. and Richels, Richard G. Buying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of CO2 Emissions Limits. Cambridge, Mass: The MIT Press , 1992.

Nordhaus, William D., 1993. "Reflections on the Economics of Climate Change," Journal of Economic Perspectives, Vol. 7 No. 4 (Fall 1993), pp. 11-25.

Nordhaus, William D., and Joseph Boyer. Warming the World: Economic Models of Global Warming. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2000.

Poterba, James. "Global Warming Policy: A Public Finance Perspective," Journal of Economic Perspectives, 7 No. 4 (Fall 1993), 47-63.

Repetto, Robert and Austin, Duncan. The Costs of Climate Protection: A Guide for the Perplexed. Washington, D.C.: World Resources Institute, 1997.

Roodman, David M. Getting the Signals Right: Tax Reform to Protect the Environment and the Economy. Worldwatch Paper 134. Washington, D.C.: Worldwatch Institute , 1997.

Trenberth, Kevin E. "Stronger Evidence of Human Influence on Climate: The 2001 IPCC Assessment." *Environment* 43 (May 2001):8-19

U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. *Annual Energy Review 2003.* Washington, D.C.: U.S. Government, 2003.

U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. *International Energy Outlook 2004.* Washington, D.C.: U.S. Government, 2004

World Bank. World Development Report 1992: Development and the Environment. Washington, D.C.: World Bank, 1992.

## 网站

1. <http://www.epa.gov/climatechange/index.html>- 美国环境保护局全球变暖网站。该网站提供全球气候变化的原因、影响和趋势的链接。
2. <http://www.ipcc.ch/>- 政府间气候变化小组网站，联合国资助的机构，“评估与人类导致的气候变化风险有关的科学、技术和社会经济信息。”该网站包括人类活动与全球气候变化之间详细联系的评估报告。
3. <http://www.wri.org/climate/>- 世界资源研究所关于气候和大气的网站。该网站包括清洁发展机制的一些文章和案例研究。
4. <http://unfccc.int/2860.php>- 联合国气候框架协议。该网站提供关于气候变化问题的数据、与气候变化相关的国际协议谈判进展的信息。
5. <http://www.rff.org/wv/default.aspx>- 由致力于气候变化问题的《未来资源》资助的一个网站，该网站包括温室气体排放许可证贸易的一些文章。