

气候保护与国家利益：

气候变化、大气污染与能源安全之间的关联

詹姆斯 J. 麦肯齐 著

致谢	2
前言	4
1 引论	7
2 气候变化问题	11
2.1 大气污染的致冷效应	13
2.2 探测全球变暖的信号	16
2.3 全球变暖的预期影响	21
2.4 全球变暖的应对	25
3 大气污染问题	26
4 石油安全问题	30
5 相互关联的问题，相互关联的解决方案	36
5.1 电力生产	41
5.2 交通运输	43
5.3 零排放的机动车：氢能源车和电动车	46
5.4 氢能源燃料电动车	47
6 下一步的工作	48
参考文献	50
图的信息来源	5

致谢

本报告从许多朋友与同事提供的毫无保留的与深思熟虑的评论意见中大受裨益。在世界资源研究所(WRI)内,我要感谢里兹·库克(Liz Cook)、阿尔·哈芒特(Al Hammond)、唐纳·怀斯(Donna Wise)、伊莱恩·扬(Elaine Young)、保罗·费恩(Paul Faeth)、米切尔·科里根(Michelle Corrigan)、德夫雷·戴维斯(Devra Davis)、达里尔·班克斯(Darryl Banks)和埃伦·布朗(Ellen Brown)。在世界资源研究所外的评论者中,我要感谢保罗·爱泼斯坦(Paul Epstein)、威廉·H·史密斯(William H. Smith)、沃尔特·赫克(Walter Heck)、埃利斯·B·考林(Ellis·B·Cowling)、丹尼斯·海登尼克(Dennis Haydanek)和汤姆·雅各布(Tom Jacob)。

特别要感谢塔玛拉·纳默罗芙(Tamara Nameroff)关于编辑方面的详尽的评论与建议。还要特别感谢世界资源研究所主管规划的所长沃尔特·瑞德(Walt Reid)，他为改进本报告提供了大量的评论、建议与忠告。对于所有这些评论者，我都深怀感激之情。当然，本报告的准确性及各种建议最终均应由我承担责任。

还要感谢马克辛·哈特瑞女士技术娴熟的编辑，感谢斯里迪威·郡达然女士(Sridevi Nanjundaram)的绘图工作以及日复一日的支持。感谢海辛思·比林斯(Hyacinth Billings)制作了出版文本。最后，我要感谢世界资源研究所所长乔纳森·拉什(Jonathan Lash)对本项工作长期不断的支持以及他为寻求气候问题的可行解决方案所作出的贡献。

詹姆斯 J. 麦肯齐

前言

美国在签署《气候变化框架公约》5年之后，在限制本国温室气体排放方面的进展甚微。之所以无所作为的主要原因在于我们错误地相信：削减温室气体，特别是削减二氧化碳的排放，其费用昂贵并且马上就要支付，而其效益却遥遥无期。由世界资源研究所（WRI）高级研究员詹姆斯 J. 麦肯齐承担的一项新研究《气候保护与国家利益：气候变化、大气污染和能源安全之间的关联》有助于我们清楚地看到：控制温室气体排放所带来的利益，不仅能降低全球变暖的风险，还能减轻大气污染，同时能加强国家安全。

当美国在为12月的京都会议（系指《气候变化框架公约》的第三次缔约方会议，于1997年12月在日本京都召开——译者注）进行准备时，它

应该认识到，对付气候变化的各种手段不需要（实际上也不应该需要）被当作是财政负担。甚至可以说，这些对付气候变化的各种手段还为开发与引进有益于环境的新能源技术提供了大量的商业机会。这不仅对气候问题是如此，对困扰着国家的其他问题也是如此。例如，这些对付气候变化的技术也能减轻大气污染。而且，那些降低机动车排放碳的措施还能加强国家安全，这是因为从世界上一些不稳定地区进口石油的数量由此而减少了。气候变化、大气污染、能源安全这三者是相互关联的，因为这些问题的根子都在于我们消耗了化石燃料。要想制定这类已经明确认识到上述协同作用的政策，就要靠成本有效的综合决策方法，而不是以往的那些零敲碎打地处理单个环境问题的、费钱的权宜之计。

这些问题之间的关联为商业界领袖与政策制定者们提供了一个有用的框架，以便进行长期的合作与经济规划。在削减温室气体排放的全球努力中，那些能源效率更高的可持续发展的工艺技术需要更多的商业投资。这些工艺技术的市场将是全球性的，并将为整个美国的经济增长提供极大的机遇。作为世界上头号能源消耗大国与拥有削减污染物先进技术优势的美国，能够在这场转变中起到关键的作用，从一个主要依赖化石燃料的经济转变成成为依靠可再生能源和比较可持续的能源的经济。

世界资源研究所正在通过其《气候保护倡议》同商业界加强联系，以便形成能够鉴别正确的政策与战略的合作伙伴关系，从而达到气候保护的目标。这种努力的基础是，他们确信，气候保护同一个良好的经济是能够共存的。正如《气候变化与国家利

益》报告中所述的，在气候变化、大气污染与能源安全之间存在的这种关联将向他们提供一条具有创造力的解决途径。这不仅对气候，也将对其它领域，都会产生重大的效益。但是，只有在政策制定者与商业界领袖们都理解到了这种关联之后，我们才能获得这些最理想的结果。

我们世界资源研究所的同事们希望，《气候保护与国家利益》这一份报告将有助于商业社会充分意识到他们所面临的机遇，这些机遇将作为保护地球气候的政策而开始行动。同时，我们也希望本报告能有益于那些探求制定良好的总体政策的人们，能帮助他们克服这些相互关联、纷繁复杂的问题。

我们要感谢美国环境保护局、高峰基金（The Summit Foundation）、内森·卡明斯基金（The Nathan Cummings Foundation）和查尔斯·斯图尔特·莫特基金（The Charles Stewart Mott Foundation），感谢他们对世界资源研究所的《气候保护倡议》研究项目的支持，本报告正是在该项资助下完成的。我们还要感谢乔伊斯基金（The Joyce Foundation）、洛克菲勒兄弟基金（The Rockefeller Foundation）和皮尤慈善信托基金（The Pew Charitable Trust），感谢他们对世界资源研究所有关气候、能源和污染问题研究工作的支持。

乔纳森·拉什

1 引 论

美国今天正面临着巨大挑战的威胁，这些威胁同气候变化、大气污染与能源安全有关。其根源就在于我们的能源消费，它也同样一些气体、污染物和化石燃料的燃烧工艺有关。如果把这些相互有关联的问题作为一个整体来综合处理，比单打一地分别处理解决得更有效和更经济。但是，美国现在还在继续单打一地处理这些问题，结果往往只是缓解了一个问题，同时却加重了其它两个问题。每天都在作出许多个这种孤立地只强调单个问题的决策，而我们却正在失去许多的机遇和利益。如果采用一揽子解决上述问题的办法，这些机遇和利益本来是完全可以得到的。该是反思我们这种做法的时候了。

为了削减温室气体并推动经济增长，我们必须更多地投资于未来的工艺技术……依靠这种最佳的思维与战略，同时依靠各种新的工艺技术与增加的生产力与能源效率，我们就能够把挑战变为我们的优势。

比尔·克林顿总统
在联合国大会上的演说
1997年6月26日

可以预期，抓得住“双赢机会”（win-win opportunities）的政策制定方法能够得到公众的广泛支持。同那些分别实现单个目标的行动相比，人们看来更愿意为同时实现多个目标的行动付出代价。这类同时进行的行动是：保护地球的气候、保障当代公民的健康以及通过尽量避免军事冲突来加强国家安全。该是全面地对于那些伤脑筋的政策问题找出系统解决方案的时候了，再不要

继续采用那些仅仅处理那些问题的表象的、低效的、而且往往是无效的方法了。

本报告将阐释这些问题是如何相互关联的？说明哪些技术途径能够最容易地克服这些问题？从而借此提供设计公共政策的基础。简单说，这一组相互有联系的问题如下：

气候变化 气候变化几乎可以影响到国家生活的所有方面，问题就出在某些“温室气体”（特别是二氧化碳）在大气中的浓度的增长上，这主要是化石燃料燃烧的后果。1992年，在巴西里约热内卢召开的地球高峰会议（联合国环境与发展大会）上，166个国家签署了《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）。现在，UNFCCC的缔约方之间正在开展国际谈判，旨在制定一项议定书，规定在2000年的温室气体的排放限额。这些要在1997年12月作出结论的谈判已成为政治任务，因为每个国家都要审慎地权衡本国经济所受的风险相对于未来气候变化的风险，并探求以何种方式来分担责任，使之对本国利益最有好处。

局地的与区域的大气污染 大气污染危害人体健康。尽管通过联邦的与各州的一些计划的实施，大气污染（主要源于燃料的燃烧）已经减轻了，但仍对美国三分之一的人口构成健康风险。大气污染直接影响人体健康，而且，它会通过长距离输送，使河流、湖泊与土壤变酸，从而危及水生生物的生存，减少谷物的产量，伤害树木，甚至造成森林枯亡。污染也影响到能见度，并会损害建筑物与纪念碑，有些大气污染还影响到气候变化。由于美国环境保护局考虑了并最终采纳了更严格的大气质量标准，以减轻居民对臭氧和气溶胶微粒的暴露。大气质量标准这些年来一直是人们激烈争论的焦点，这种争论无疑还将持续若干年，因为许多城市都在尽力解决遵循新标准所带来的挑战。

对于进口石油的依赖性不断增长 这种依赖性危及美国的长期安全。由于我们对进口石油，特别是来自不稳定的中东地区

的石油的依赖性在不断增长，国家安全的风险也在不断增长。1996年，美国净进口了超过 46% 的原油供应，这个数字是 1973 年阿拉伯石油禁运之前从波斯海湾进口石油量的两倍。中东国家 1995 年生产的石油占全球石油产量的 30% 以上，而 1985 年只占 18%。对进口石油的依赖性深刻地影响到美国的外交政策：如中东石油供应的风险使得美国深深地卷入 1991 年的波斯海湾战争之中。再有，不断增长的对于进口石油的依赖性还增加了要在美国国内环境敏感地区生产石油的压力。这些争论经常极大地冲击着经济与环境之间达成的妥协，它涉及是否需要进一步勘探阿拉斯加的石油？或者是否应该在那些具有生物多样性与野生生物保护重要价值的地区开发其他能源？

对于许多涉及能源的课题来说，存在于上述 3 个问题之中的协同作用（synergies）与折中妥协（trade-offs）都是极其明显的。请考察一下正在进行的电力工业的重组（restructuring）。为了提高竞争力，并向消费者提供更便宜的电力，美国正在取消对电力公用事业的控制。通过这种重组，使消费者能够从他们选中的供应商那里去购买电力，这正像电话业的重组使消费者能够使用不同公司的长途电话服务一样。不幸的是，在许多地区，最便宜的电力往往是由燃煤火电厂供应的，而煤在燃烧中会大量排放大气污染物与二氧化碳，这对人体健康与全球气候构成主要威胁。没有专门的财政规定来考虑这些环境影响与健康影响。可以预期，对电力工业取消控制将会降低对于清洁的可再生能源（例如太阳能电池与风能，尽管目前略显昂贵）的需求。这能够减少对于那些清洁的可再生能源的投资，并降低其技术进步的速度，而这些技术原本是有降低成本的效果的。如果真的出现了这种情况，那些可以负担得起的、有益于气候的、能够替代化石燃料的可再生能源，其开发将被拖后好多年。无论电力重组在经济上会不会带来较低的能源价格，但预期其对于气候与大气污染可能产生的影响，即环境问题，却已经毫无掩饰地进入政策辩论之中。

考虑气候变化政策框架的时机不应当是在温室气体同气候变化的关系最终已经得到证明之时……，而应当在其可能性不被漠视并且受到我们共享的社会严重关注之时。我们英国石油公司已经做到了这一点。

约翰·布朗，CEO，英国石油公司
在斯坦福大学的演说
1997年5月19日

作为另一个例子，让我们来考察一下，如果美国采取有力步骤来削减二氧化碳排放的话（如通过提高能源效率或改进燃料的替代品等措施），将会带来什么样的潜在多重效益呢？许多此类措施同时也能削减二氧化硫与氮氧化物的排放。联合国的政府间气候变化委

员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）估计，诸如削减大气污染的利益，可以抵消30%~100%的减轻气候变化的费用^[1]。换句话说，旨在保护气候的削减美国温室气体排放的许多行动，在实质上也有助于我们为实现大气质量目标与国家的其他目标的努力。不过，直到今天，还没有几个经济模型被用来检验气候变化政策在有关削减大气污染的经济、健康和环境效益方面所起的作用^[2]。同样地，通过强有力的气候变化政策来减少石油消费量，这也有助于降低能源安全方面的风险。但是，这方面的情况也类似，现有的一些经济模型既没有预测过这些削减情况，也没有估算过倘若它能避免发生波斯海湾军事冲突所潜在的人力财力费用。

很明显，双赢的机会是大量存在的，但是，过去在处理那些紧密关联的威胁时，把这种双赢的机会一直忽略掉了。下面，当我们更加仔细地研究这些同能源有关的问题时，情况就会变得更加清晰了。例如：这些问题是如何相互关联的？为什么会相互关联的？为什么采取一揽子的解决办法会大有好处？哪些技术目标与政策目标适于引导国家的决策者来解决这些问题？

2 气候变化问题

毫无疑问，地球具有天然的温室效应。如果没有这种效应，地球会比现在冷 33°C (60°F) 左右。我们知道，在这种情况下，生命将无法存在。伟大的法国物理学家简·傅立叶 (Jean Fourier) 在 170 年前宣称，地球的大气层就象温室的玻璃一样起作用，它能让太阳光线通过，而阻挡地球的辐射热 (红外线辐射) 返回宇宙空间。

1896 年，瑞典化学家斯万特·阿伦纽斯 (Svante Arrhenius) 在经过至少 1 万次手工计算之后正确地断定，大气中的大量水蒸气和二氧化碳 (CO_2) 充分吸收地球发出的热辐射而使地球温度升高接近 33°C 。阿伦纽斯的结论是，大气中的二氧化碳浓度增加 1 倍，将使全球地表平均温度比工业化以前升高约 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ ($9\sim 11^{\circ}\text{F}$)³。这个数据相当接近于当今气候专家们所认定的数据，即，大气中二氧化碳浓度倍增将引起全球升温为 $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ ($2.7\sim 8.1^{\circ}\text{F}$)⁴。

在已经过去的 100 年间，人类的工农业生产使得二氧化碳与其它温室气体 (包括甲烷、氮氧化物、臭氧及其它卤代化合物如氟氯碳等) 不断累积。这些温室气体还在更多地吸收地球发出的辐射，使得温室效应加剧，最终导致全球变暖。(请参阅关于一些主要温室气体的来源、性质及排放趋向的旁注)

二氧化碳 (CO_2)

二氧化碳已占各种人工来源的长寿命温室气体的三分之二以上^[5]。(图 1 示出全球 CO_2 排放的变迁。)每年,化石燃料与生物质的燃烧,加上水泥生产等其他活动,向大气释放出 700 万吨以上的二氧化碳,使其在大气中的浓度逐年提高半个百分点。图 2 显示美国在 1980 年到 1996 年期间 CO_2 的排放情况。图 3 表示美国在 1994 年来自不同部门与不同燃料的 CO_2 排放情况。要注意,电力部门与运输部门是排放量最多并且又是增长最快的部门。矿物燃料的燃烧每年(1995 年)排出 630 万吨 CO_2 ,恰恰是人为活动的最大排放源。同产业革命前相比,全球 CO_2 的浓度已经增加了 30%,从 280ppm 增加到今天的 360ppm(见图 4)。 CO_2 在大气中的寿命是 50 年到 200 年^[6]

甲烷 (CH_4)

甲烷(天然气的主要成分)的来源既有天然的,也有人工的。天然来源包括泥炭沼泽、白蚁沼泽和其它湿地。人工来源包括稻田、家畜、垃圾填埋场、生物质能的燃烧以及化石燃料的生产与燃烧。化石燃料约占总量的 20%,包括天然气管线、油井和煤层的泄漏^[7]。甲烷总量的约 60%~80%是人工来源。大气中的甲烷浓度每年增加约 0.6 个百分点^[8],并且已经是产业革命前的 2 倍以上。甲烷在大气中停留 12 到 17 年,它约占人工来源的温室气体的 20%。

2.1 大气污染的致冷效应

大气污染除了 CFC 破坏臭氧层（参见关于卤代有机化合物的旁注）以外，还在一定程度上减轻了全球变暖。大气中的微小颗粒（称之为气溶胶）由二氧化硫大气污染物、生物质能的燃烧以及其它来源所形成。这些气溶胶遮蔽了部分地球表面的阳光，

（大部分发生在工业区的下风向地区，或者直接地使阳光散射，或者间接地帮助形成反射云）从而产生致冷效应^[13]。根据政府间气候变化委员会（IPCC）的报告，这些微小颗粒在过去几个世纪里已经减轻了预期的全球变暖程度。图 5 显示了预期的全球变暖程度，包括有和无气溶胶的致冷效应在内。气溶胶的致冷效应使计算所得的温度上升数

据同过去几个世纪里所观察到的温度变化相当接近。气溶胶不像其它的大多数温室气体，它在大气中仅能存留几天。随着污染物排放量的降低，气溶胶的致冷效应也同样降低。假定需要持续减少大气污染物的排放以保护公众健康和降低酸沉降，那么，减少温室气体排放的任务将变得更加重要。

氧化亚氮（ N_2O ）

人为活动产生氧化亚氮的主要来源是农田使用氮肥、生物质能与燃料的燃烧以及化工生产。人为活动的产生量约为全球总排放量的三分之一。氧化亚氮是一种很稳定的分子（寿命为 120 年），它也会破坏平流层的臭氧层^[9]。该气体约占人为活动产生的温室气体的 5%。

碳的排放量，10亿吨

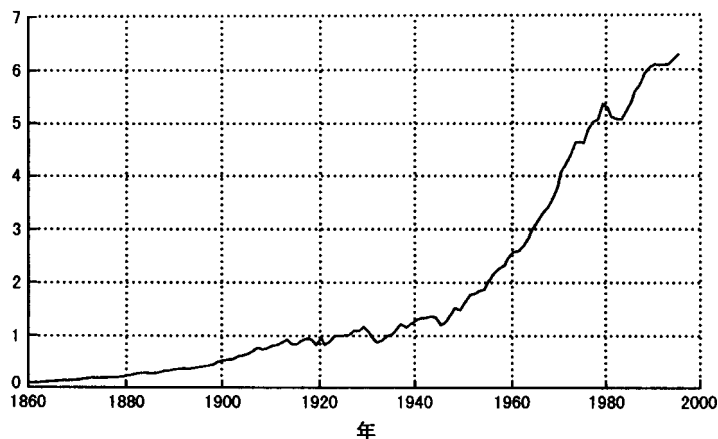


图 1 化石燃料造成的全球二氧化碳排放

专栏 1 历史纪录中 12 个最热的年份（按从高到低为序）

1995, 1990, 1991, 1981, 1996, 1988, 1987, 1994, 1983, 1980, 1989, 1993

资料来源：美国宇航局高大德（Goddard）空间研究院

专栏 2 气候公约

气候变化问题通过《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）在国际上正在受到强调，其重要的里程碑有：

1992 166 个国家的政府在里约会议上签署了气候公约。美国于 1992 年 10 月 15 日批准了该公约。

- 1993 11 月, 50 个国家批准了该公约。
- 1994 3 月, 该公约生效。
- 1995 在柏林召开第一次缔约方会议 (COP1)。通过了“柏林授权”, 以引导议定书的谈判, 议定书要求在 2000 年之后采取进一步的行动。
- 1996 在日内瓦召开的第二次缔约方会议 (COP2) 上, 美国采取强硬立场, 推动缔结减排目标值与时间表。
- 1997 12 月, 在京都召开第三次缔约方会议 (COP3)。其目标是通过一项议定书, 要求在 2000 年之后减排温室气体。

低层大气层中的臭氧

高层大气层 (平流层) 中的臭氧 (O_3) 是一种极为重要的过滤器, 它能保护地球上的各种生命免受紫外线辐射的许多有害影响。然而, 低层大气层 (对流层) 中的臭氧, 它既是一种温室气体, 又是一种在很多城市地区威胁公众健康的有害气体。氮氧化物 (NO_x) 和挥发性有机化合物 (VOCs) 对于臭氧的生成都是必要的。VOCs 与 NO_x 的来源既有天然的, 也有人工的, 而在易于生成臭氧的城市地区, 燃烧是这两者的主要来源^[10]。当 NO_x 生成后, 它同 VOCs 在阳光照射下形成臭氧。有证据表明, 从产业革命以来, 北半球对流层的臭氧浓度背景值已经增长了大约一倍。

卤代化合物

卤代化合物含有氟、氯、溴或碘。很多卤代化合物都是很强的温室气体。卤代碳化合物含有碳以及氯或溴，诸如氯氟碳（CFCs）、哈龙（halons）和氢氯氟碳（HCFCs），它们都会导致平流层臭氧的耗竭。制造 CFCs 的目的是用于喷雾剂、泡沫塑料的发泡剂、冰箱的制冷剂以及各种溶剂等。由于它们在大气中的寿命都很长，并且它们截留热量的能力是二氧化碳的 2~3 万倍，因而都属于特别有害的温室气体。

氯氟碳的净增温效应近年来已经减少，这种减少是由于氯氟碳破坏了低层平流层中的臭氧（一种温室气体）^[11]。氯氟碳和其它一些消耗臭氧层的化合物，根据《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》的规定，在发达国家中已经被淘汰，但是，为一些基本需求与发展中国家的需要，这些化合物目前还在继续生产。

全氟化碳（PFCs）与六氟化碳（SF₆）也都属于卤代碳化合物的家族，其寿命上千年。全氟化碳是炼铝的副产品，也被制造用于半导体工业。它们都是特别强的温室气体。全氟化碳与六氟化碳尽管现在的浓度低，但正在增长。这些化合物由于它们的寿命长，正在对气候形成不可逆转的损害。^[12] 卤代化合物对人为来源全球变暖的贡献约为 10%。

2.2 探测全球变暖的信号

全球地表温度数据表明，在即将过去的这个世纪内，地球已经升温了约 1°F（约 0.5°C）。尽管大气中的温室气体无疑是在不断增加，但是仍然很难确认，本世纪内所观察到的变暖情况主要是温室气体累积的直接结果，还是部分由于自然波动的结果。大部分高温年份都在近年出现：1995 年是本世纪最热的年

份,而其余最热的 11 个年份全都出现在 1980 年之后(见专栏 1)。据 1995 年 IPCC 的评估报告称,“所观察到的变暖趋势不像是全由自然原因造成的”,并称,“证据对照表明,对全球气候有着一种可以识别的人为影响。”

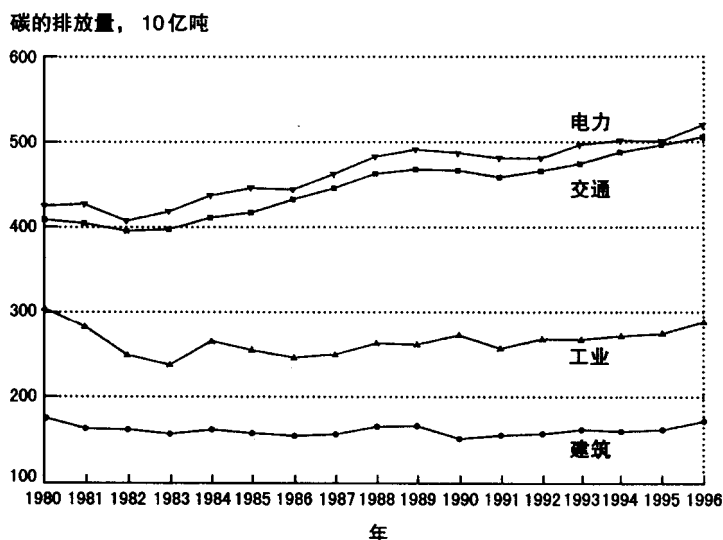


图 2 美国二氧化碳排放的趋势

尽管有关“温室效应加强了全球变暖”这些基本原则在科学上已经很好地建立起来了,但是,对于地区性变化的大小、何时将会出现变化及其后果如何,尚有大量的不确定性。气候学家们利用各种复杂的计算机模型对此进行研究。当归并这些模型时,上文所述的两种致冷效应(氯氟碳同臭氧层的结合和污染气溶胶的影响)正好有助于解释,为什么在过去的几个年代所观察到的变暖情况会低于气候学家们单独基于温室气体累积所做出的预测。