



边际减排成本 (MAC) 曲线：面对理论与实践

法比安·凯西基 , 尼尔·斯特拉坎

展示更多

大纲 | 分享 引用

<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.004>

[获得权利和内容](#)

抽象的

边际减排成本 (MAC) 曲线是一种常用的政策工具，表明减排潜力和相关的减排成本。它们已被广泛用于不同国家的一系列环境问题，并越来越多地应用于气候变化政策。然而，在过去，复杂的气候政策领域的决策部分基于 MAC 曲线，存在方法上的缺陷。本文调查了它们的简单使用是如何产生误导的，并发现 **MAC 曲线概念的局限性会导致做出有偏见的决策**。尽管如此，MAC 曲线是一种有用的政策工具，如果不是完全依赖的话，它可以为后续分析提供说明性指南，尤其是在发现更多有关成本和政策有效性的信息时，可以为迭代政策制定提供指导。本文确定了一些步骤来克服当前生成 MAC 曲线的缺点。这些包括捕获相互作用的系统方法、对辅助效益的考虑、更好地表示不确定性和累积减排的表示以解决与时间相关的相互作用。

强调

► 我们分析了 MAC 曲线的理论问题及其在实践中的应用。► MAC 曲线存在各种理论缺陷。► 在实践中简单地使用 MAC 曲线可能会产生误导。► 如果不完全依赖 MAC 曲线，则为说明性指南。► 存在克服现有缺点并导出稳健 MAC 曲线的方法。



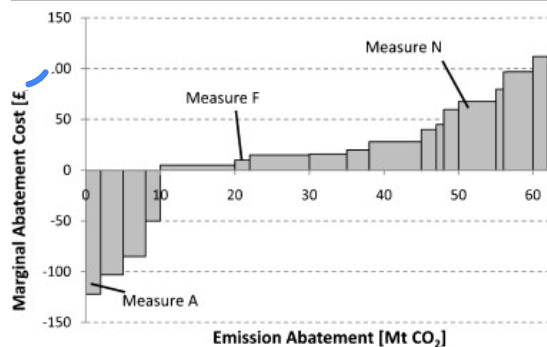
关键字

边际减排成本曲线; 政策; 减缓气候变化

1. 介绍

边际减排成本 (MAC) 曲线最近已成为评估气候变化减缓方案经济学的标准政策工具。这是因为它们以简单的方式代表了具有成本效益的减排的复杂问题。减缓气候变化的复杂性和相关利益相关者的多样性使得像 MAC 曲线这样的速记通信最有用。此外，经济标准在政策讨论中被挑出来作为主导（参见 [DECC, 2009b](#)）。在这个框架中，主要的政策问题是如何以最少的成本实现排放目标，而对分配公平、能源安全、竞争力效应和次要效应的影响是次要的。

MAC 曲线被定义为指示成本的图表，通常以每吨 CO₂ 美元或其他货币为单位，与不同减排量（通常以百万吨为单位）的最后一个减排单位（边际成本）相关联 CO₂）。因此，这样的图表（见图 1）对比了 y 轴上的 **边际减排成本** 和 x 轴上的 **减排水平**。MAC 曲线表示边际减排成本，但也可用于通过计算积分来确定平均成本和总减排成本。



下载: 下载全尺寸图像

图 1。示例 MAC 曲线。

MAC 曲线不仅限于气候变化问题，而且可以更广泛地应用，因为它们本质上将经济坏（好）的减少（供应）潜力与其相关的边际成本（或最后一个单位的成本）结合在一起。MAC 曲线的最早应用可以追溯到 80 年代初期。在 20 世纪 70 年代的石油价格危机之后，Meier (1982) 开发了第一条用于减少电力消耗的成本曲线 [\$/kWh]。当时，这种曲线还不被称为 MAC 曲线，而是称为储蓄曲线或保护供给曲线，并成为一种广泛使用的分析工具，用于评估交通、工业和建筑领域的能效改进（见例如 Olivier 等等人, 1983）。除了节电之外，MAC 曲线的第二个应用领域是评估二氧化硫 (SO₂) 等空气污染物的减排潜力和成本 [\$/kt]（Rentz 等人, 1994 年）。以碳为中心的曲线的最早例子可以追溯到 20 世纪 90 年代初（参见 Jackson, 1991 年），该曲线使用了与早期节能成本曲线相似的方法。此外，这一概念已应用于评估废物减少量 [\$/kg]（Beaumont 和 Tinch, 2004 年）和可用水量 [\$/m³]（Addams 等人, 2009 年）。

在过去的 20 年里，已经构建了大量关于减缓气候变化的 MAC 曲线。这种曲线的泛滥有一个缺点，即政策制定者现在发现自己面临着以非常不同的方式得出的成本曲线。人们可以区分得出 MAC 曲线的两种不同方法。一种选择是根据对减排措施的单独评估构建基于专家的 MAC 曲线，这样可以单独评估每项措施的成本和减排潜力，然后根据成本从最便宜到最昂贵进行排序。上面提到的大多数历史 MAC 曲线，以及最近的气候政策 MAC 曲线，都属于这一类。第二种方法是使用基于能量模型的系统方法，使用不同的 CO₂ 执行许多模型运行 2 个税级，并记录相应的 CO₂ 减排量。根据所采用的模型，可以将模型推导的 MAC 曲线进一步区分为基于自下而上模型（例如能源系统模型）和自上而下模型（例如可计算一般均衡模型）的曲线。模型衍生的 MAC 曲线的示例是 Ellerman 和 Decaux (1998)，Criqui 等人。(1999)，van Vuuren 等人。(2004) 和陈 (2005)。

虽然基于专家的 MAC 曲线在图形表示中明确显示了哪些措施对减排负责，但在模型导出的 MAC 曲线中通常省略了这一细节。然而，能源模型通常可以显示减排的部门细分。这两种方法都有特定的弱点。例如，模型衍生的 MAC 曲线有时在图形表示中缺乏技术细节，而基于专家的曲线不捕获系统范围的交互，忽略行为方面，可能会受到不一致的基线和重复计算减少潜力的影响。有关与减排成本相关的不同方法的优缺点的更详细讨论，[请参见Zhang 和 Folmer \(1998\)](#)，[斯托夫特 \(1995\)](#)和[凯西基 \(2010\)](#)。

鉴于当前 MAC 曲线方法的众多弱点, 本文解决了以下研究问题:

1. 在气候政策中简单地使用 **MAC** 曲线是否具有误导性？
2. **MAC** 曲线在多大程度上对政策评估有用？
3. 是否有可能克服 **MAC** 曲线方法中当前的一些缺点？

本文的其余部分结构如下。第2节介绍了有关使用 MAC 曲线制定政策的发现，而第3节则侧重于与 MAC 曲线相关的分析方面。第4节讨论了成本曲线对政策评估的有用性，第5节给出了对 MAC 曲线未来可能的方法改进进行展望的结论。

2. 在政策背景下使用 MAC 曲线

近年来，由于麦肯锡公司的工作，MAC 曲线越来越多地成为参与减缓气候变化的研究人员和决策者关注的焦点。2007 年至 2009 年间，麦肯锡 (McKinsey) (2010) 发布了 14 条不同国家的成本曲线和一条全球成本曲线 (Nauclér and Enkvist, 2009)；美国成本曲线后来发表在《国家地理》杂志上。随着气候辩论的扩大和包括除 CO₂ 以外的温室气体，MAC 曲线也被开发用于甲烷 (CH₄) (US EPA, 2006) 和一氧化二氮 (N₂O) (Hyman et al., 2002)。令人惊讶的是，MAC 曲线已在世界范围内用作标准工具来说明减缓气候变化的经济方面。欧盟 (EU) 的官方机构在很大程度上依赖 MAC 曲线研究来评估不同行业和气体的减排成本 (参见 Blok 等人, 2001 年)。同样，美国环保署 (2006) 和美国气候变化科学计划 (Clarke 等人, 2007) 委托报告使用 MAC 曲线作为说明工具。

英国 (UK) 是一个良好且透明的国家，因为它发布了许多政策支持文件，是广泛使用 MAC 曲线制定政府气候变化政策的例子。使用 MAC 曲线的政府报告强调了这一点，例如英国低碳转型计划（英国政府，2009 年）和 DECC 的碳估值方法，2009a，DECC，2009b。气候变化委员会 (CCC) 委托进行了多项成本曲线研究，该委员会是一个独立机构，旨在就减少温室气体排放向英国政府提供建议（例如，参见 Pye 等人，2008 年）。最后，DECC 使用全球碳金融 (GLOCAF) 模型（CCC，2008，页。162ff）基于 MAC 曲线来预测世界不同地区之间的金融流动。

此外, MAC 曲线影响了超国家机构的行动, 例如世界银行和国际海事组织 (Buhaug et al., 2009), 以及世界上许多其他国家的政府, 爱尔兰 (Kennedy, 2010)、墨西哥 (Johnson 等人, 2009 年) 和中国 (世界银行, 2004 年)。虽然大多数 MAC 曲线研究都集中在能源部门, 但在过去几年中, 成本曲线在林业部门也变得越来越重要。在 2000 年代中期, 随着减少森林砍伐和森林退化造成的排放 (REDD) 越来越多地被视为能源部门的低成本减排替代方案 (参见 Dresner 等人, 2007 年), MAC 曲线也开始用于该领域。他们以一种以前不熟悉该问题的决策者可以理解的方式帮助呈现最重要的信息、减排潜力和相关成本。呈现林业部门 MAC 曲线的研究包括例如 Strengers 等人。(2008) 和 Kindermann 等人。(2008)。此外, 它们已被国家政府用于其 REDD 准备计划, 例如刚果 (自然和旅游环境保护部, 2010 年, 第 49 页)。

除了这些实际应用, MAC 曲线还被用于减排和创新影响的理论政策考虑 (Bauman 等人, 2008 年, McKittrick, 1999 年)。这些理论讨论的重点是单个企业的减排可能性, 而不是像政策导向的 MAC 曲线中那样的整个经济或能源部门。

尽管不同部门、国家、年份和气体的 MAC 曲线数量巨大, 但人们对 MAC 曲线在多大程度上有助于为气候政策提供信息仍缺乏了解。这是因为 MAC 曲线在产生 MAC 曲线的概念和基本方法方面具有优点和缺点。这意味着一种方法可能非常适合分析某一类政策工具而不适用于另一种。第 4 节对 MAC 曲线的实用性进行了更详细的讨论。

迄今为止, 学术界明显缺乏对该工具的严格分析。尽管一些作者讨论了不同 MAC 曲线方法的优点和缺点, 并且使用能量模型生成 MAC 曲线的研究人员通常意识到这些缺点, 但还没有对 MAC 曲线概念的批评。在灰色文献中, 对 MAC 曲线的概念和使用提出了批评。这主要以互联网博客 (Anderson, 2009 年, Gayer, 2009 年)、政府报告 (DECC, 2009a, 第 74 页) 和非政府组织简报 (Dyer 和 Counsell, 2010 年) 的形式进行。基于专家的 MAC 曲线因其负面的减排潜力、静态特性、不完整的技术特征、忽视行为因素、未披露假设以及缓解措施的相互作用而受到批评。由于许多不同的影响因素, 例如相关的社会和经济驱动因素以及评估当前与森林相关的排放量的困难, MAC 曲线的使用一直被批评为在森林背景下特别具有误导性 (Dyer 和 Counsell, 2010 年)。与能源部门相比, 林业部门的制度成本、实施成本、交易成本和监测成本应该要高得多。尽管灰色文献中提出了批评, 但到目前为止, 还没有关于 MAC 曲线理论问题的同行评审研究。

3. 构建和解释 MAC 曲线的分析考虑

本节回顾与 MAC 曲线概念相关的分析方面, 以解决先前讨论的缺乏批判性分析的问题。这里的重点是概念的一般缺点, 而不是用于推导曲线的特定方法的弱点。例如, 如果使用基于系统的方法, 则可以考虑缓解措施之间的相互作用和相互依赖性。因此, 以下讨论集中于实施障碍、贴现率的选择、跨期问题和不确定性。公认的是, 这四个因素并不是完全独立的, 而是可以相互影响的。

3.1。非财务实施障碍

MAC 曲线侧重于与减排相关的直接成本。一般来说, 这包括投资成本、运营和维护成本以及用于减排措施的燃料成本。如果采用能源模型, 则成本定义可以包括与已放弃的需求和整个经济范围的后果相关的成本。狭义的成本定义是减排成本为负的原因之一, 即减排措施可以同时减少排放和节省资金。这个问题一直是激烈争论的焦点, 因为它不符合传统经济学。过去许多研究都解决了这个问题, 并试图解释理论减排潜力与实际减排潜力之间的差距 (Brown, 2001 年, DeCanio, 1993 年, Jaffe 和 Stavins, 1994a)。

许多非财务成本被排除在 MAC 曲线的成本定义之外。以建筑保护措施为例, 这包括与需要进行的研究相关的成本, 以了解家庭隔热或节能照明。其他类别包括与监督/监控和等待安装人员相关的成本、安装完成后重新装修房屋部分的成本以及中断成本, 例如必须临时搬家。霍尔达维等人。(2009) 估计, 与住宅部门的减排措施相关的非财务成本可能与实心墙保温和阁楼保温的财务成本一样高或更高。

从政策的角度来看, 不仅要关注减排的直接成本, 还要关注相关的政策实施成本, 例如行政成本或营销成本。减排潜力的直接成本可能很低, 但实现这一潜力的政策实施可能很复杂, 而且成本很高。有关与节电相关的成本的说明, 请参见 Joskow 和 Marron (1992) 的例子。

除了不同的成本定义之外, 市场并不完美, 并且存在一些市场失灵, 这在一定程度上解释了上述成本。此类市场失灵之一是融资障碍和资本市场的其他障碍。这些可以阻止个人和企业实施需要高额预付款的减排措施。许多能效投资需要支付数千英镑, 这些费用只能通过减少几年的能源开支来偿还。尤其是低收入家庭将无法获得实施这些措施所需的资金。

信息故障可能导致次优决策。这种失败发生在住宅部门, 但也可在较小程度上发生在工业部门, 并导致与搜索能效措施信息相关的成本。更重要的是, 缺乏信息会导致潜在的储蓄机会被放弃。相反, 有人可能会争辩说, 当信息的获取被认为过于昂贵时, 不获取信息是效用最大化。惯性描述了一种习惯性行为, 即根据现有规范, 可以阻止个人和公司最大化其效用并投资于能效措施。特别是, 由于内部结构的原因, 能源密集度较低的公司很容易不采取低成本的能源效率措施,

代理问题, 或委托人/代理人问题或分裂激励, 描述了这样一个问题, 即碳减排措施的投资者并不是从较低的能源费用中受益的人。一个经常提到的例子是租用房产的隔热层, 租户从较低的能源费用中获利, 尽管业主会为隔热层付费。然而, 这种逻辑可能会受到挑战, 因为业主会考虑到未来租户的要求, 不会故意提供低能耗标准的房屋。此外, 如果这将会是一个重大问题, 人们会期望看到租赁物业和业主自用物业之间实施的能效措施存在差异 (Sutherland, 1991 年)。到目前为止, 这还没有得到证明。

市场失灵之后, 存在的**市场障碍**会限制减排潜力并增加减排成本。这些缺陷不仅在能源部门累积, 而且在其他经济部门也存在。通于构建 MAC 曲线的一个核心假设是依赖于一个有代表性的理性代理人。然而, 人口非常多样化。虽然节能灯泡可能对普通消费者有益, 但其他人可能会将非常高的搜索和采用成本与它联系起来, 因此他们不会从中获利。潜在买家可能根本不喜欢所讨论的技术或使用较少的能源, 因此转向低碳替代品并无益处。在储藏室换成节能灯泡, 灯会亮 20 每年 h 比在起居室这样做要少得多。此外, 每项新技术的传播都不是突然发生的, 而是随着时间的推移逐渐发生的。在这种情况下, 碳减排措施的分散市场, 尤其是在建筑环境中, 无济于事。许多利益相关者, 例如建筑师、工程师、设计师、建筑商和能源顾问, 都参与了在家庭和服务部门引入能效措施。所有这些不同的利益相关者都需要参与到一个过程中以获得具有成本效益的结果。

低碳技术的质量属性也可能阻碍其引进。使用相同的示例, 节能灯泡可能提供较少的光并且可能需要更多时间来提供最大亮度。另一个例子是节能洗衣机, 它可以处理较小的体积, 因此对用户的吸引力较小。最后, 如上所述, 采用成本代表了市场障碍。

所有这三个问题, **非财务成本、市场失灵和市场壁垒**, 都没有也可能无法在 MAC 曲线中得到充分解决。建模者试图通过使用明显高于社会贴现率的特定技术贴现率、随收入水平变化的贴现率以及使用燃料转换的不便成本在优化模型中考虑这些问题 (Ekholm 等人, 2010 年)。这意味着专注于纯财务成本并排除其他重要成本构成会低估真实成本, 而忽视市场不完善会高估减排潜力。对于政策制定者来说, 重要的是要考虑可以克服哪些缺陷以开发减排潜力。虽然这在市场失灵的情况下是可能的, 例如信息失灵、代理问题、融资障碍和惯性, 但在交易或采用成本和市场障碍的情况下情况并非如此 (Jaffe 和 Stavins, 1994a)。因此, 一旦市场缺陷被克服, 整个负面减排潜力就可以实现的普遍假设是误导性的。

3.2。社会贴现率与私人贴现率

如何选择合适的贴现率是能源建模中长期存在的争论, 不仅限于减排, 而且在评估低碳技术成本时非常重要 (Azar 和 Sterner, 1996 年, Newell 和 Pizer, 2004 年)。

贴现率用于比较不同时期发生的成本和收益。贴现率越高, 相对于后期发生的成本和财务收益, 在项目阶段早期发生的成本和财务收益的权重就越大。对于那些大部分投资成本发生在项目开始时, 但随着时间的推移会产生收益的技术, 它们将以较低的贴现率更具成本效益。

一种区分社会贴现率和私人贴现率。社会贴现率用于确定一项投资或政策从社会的角度来看是否有益, 即它是否代表了对社会资源的良好利用。所有的税收和补贴都被排除在这个分析之外, 因为它们只是社会群体之间的转移。许多 MAC 曲线中使用的贴现率约为英国政府推荐的社会贴现率 3.5% (HM Treasury, 2003 年)。这是基于两个部分的总和, 一个反映了未来消费的价值低于当前消费的程度, 另一个反映了随着人们变得更富有, 消费的边际效用下降。社会贴现率的应用基于这样的假设: 如果政府想要激励资本密集型减排机会, 他们可以在该利率附近借款。

大多数 MAC 曲线应用社会贴现率, 这有助于从社会的角度回答什么是成本最低的问题。然而, 要了解经济中可能发生的情况, 必须应用私人成本效益分析。一些用于计算 MAC 曲线的能源系统模型对不同部门应用不同的贴现率, 以捕捉参与者的不同情况 (Hendriks 等人, 2001 年)。

私人角度的成本计算与社会的观点不同, 不仅体现在应用的贴现率必须反映私人资本成本, 还体现在税收和补贴也包括在内。私人投资者将要求更高的回报率, 以考虑项目的特定风险。一般来说, 个人和公司没有机会以与政府一样低的利率借款, 此外他们还面临一些不确定性。这些不确定性包括项目相关风险、政策和监管风险以及能源价格未来发展的不确定性。如果考虑到所涉及的障碍和不确定性, 工业、商业和住宅部门的观察贴现率可能达到 20% 或更高, 即大约是社会贴现率的六倍 (见 DeCanio, 1993, Jaffe 和 Stavins, 1994b)。

总之, 当前的贴现方法依赖于社会贴现率, 成本数字告诉政策制定者从整个社会的最低成本角度来看什么可能是优惠的。然而, 脱碳投资决策并不是从这个角度做出的。私营部门将根据更高的隐性贴现率, 在自己的成本计算范围内做出决策。因此, 从社会福利最大化的角度来看, 社会 MAC 曲线可能会给读者一些指导, 说明什么是可取的, 但没有说明市场会做什么。

3.3。跨期问题

MAC 曲线是一段时间的静态快照, 通常是一年。更具体地说, **减排成本与一年的减排潜力相关, 但没有提供有关该年之前发生的情况以及假设之后发生的情况的信息**。减排曲线不允许对每种特定技术的投资时间和投资率有任何了解。对低碳技术和现有政策的历史投资会影响减排成本和潜力以及对未来气候政策的预期。 CO_2 增加的预期未来的税收可以消除不确定性并促使投资者投资于减排措施。因此, 在考虑的时间点之前和之后碳价格轨迹的形状对减排曲线的形状具有重要影响。与路径依赖、内生和诱发的技术变化及其对减排成本的影响相关的问题在过去已得到深入讨论 (Edenhofer 等人, 2006 年; Grubb, 1997 年; Grübler 和 Messner, 1998 年)。

当这些信息是气候政策背景下长期决策的基础时, 提供最佳信息并考虑跨期不确定性至关重要。在能源系统的背景下, 时间考虑尤为重要, 因为发电厂、炼油厂和基础设施的使用寿命长达 60 年。如果决定在 2010 年建造一座新电厂, 它仍将影响到 2050 年的减排机会。早期的政策激励也可以使技术进一步降低学习曲线, 随后引发技术变革, 这可能导致降低减排成本。

在过去的几年里, 自下而上和自上而下的模型被用来研究路径依赖的影响, 即碳税随时间的比率或引入碳税的时间点对 MAC 曲线的影响。此类研究的例子包括 van Vuuren 等人。(2007) 和 Morris 等人。(2008)。

总而言之, MAC 曲线仅描绘了一年, 而它依赖于早年对投资和技术发展的不明确假设, 因此为决策者提供了不完整的画面。这可以通过较长时间段(例如十年而不是一年)的累积排放量的 MAC 曲线来缓解。另一种选择是排放情景或轨迹, 其中在一个时期内实施的措施(及其相关成本)会影响后续时期的可用措施和成本, 以便考虑随时间推移的脱碳成本。

3.4。不确定性的表示

解释 MAC 曲线时要考虑的最后一个问题是不确定性的表示。在介绍能源部门的长期发展与减排成本相关时说明不确定性已成为过去几年的标准 (Peterson, 2006 年)。不确定的发展涉及多种因素, 例如技术学习、能源价格、折扣或需求发展。特别是那些设定在遥远未来的曲线, 例如 2030 年, 几乎所有影响减排成本曲线的因素都存在很大的不确定性。这扩展到不确定性之间的相互依赖性和相互作用。在绝大多数研究中, 只提供了一条 MAC 曲线, 它没有提供任何与成本和减排潜力估计相关的重大不确定性的见解。这给人一种印象, 即 MAC 曲线是对未来状况的完美预测, 或者至少会产生一种错误的确定感。在不同的背景下, 基于模型的研究通常在计算边际减排成本时给出不确定性范围 (巴克等人, 2007 年)。

重要的是要更加强调与成本和减排潜力估计相关的不确定性, 以便决策者更充分地了解它们并将不确定性纳入他们的决策。这可以采取并排呈现多条 MAC 曲线的形式, 其中一次改变一个输入因子, 或者从随机或概率模型而不是确定性模型导出 MAC 曲线。

这样做的结果应该是制定足够灵活的政策工具来应对不确定性, 包括研究和刺激那些位于 MAC 曲线上方的措施。这将减少对少数技术的依赖, 这些技术既不能实现低成本, 也不能实现对它们的技术潜力预测。

4. 通过 MAC 曲线评估政策工具

在讨论了与 MAC 曲线相关的方法论问题之后, 本节重点介绍了 MAC 曲线如何在理论上为气候政策提供信息以及它们如何在实践中使用。

4.1。理论

如果以合理的方式构建 MAC 曲线, 即考虑到系统范围的相互作用, 并且指出了缺点, 它可以作为特定时间点的减排成本和潜力的初步指南。尽管如此, MAC 曲线比其他曲线更适合评估某些政策工具。

如果 MAC 曲线基于捕获现有市场扭曲以及能源系统和更广泛经济中的相互作用的模型, 它可以为政策制定者提供有关引入 CO₂ 税 (基于价格) 和引入的宝贵见解 CO₂ 许可系统 (基于数量)。MAC 曲线可以简单地给出与在不同级别引入 CO₂ 税相关的减排量的近似值。这是基于将实施成本高达 CO₂ 税的所有减排措施的逻辑。反之, 则表明生成的 CO₂ 与限额与交易系统的引入相关的许可价格, 其中总排放量是有限的。

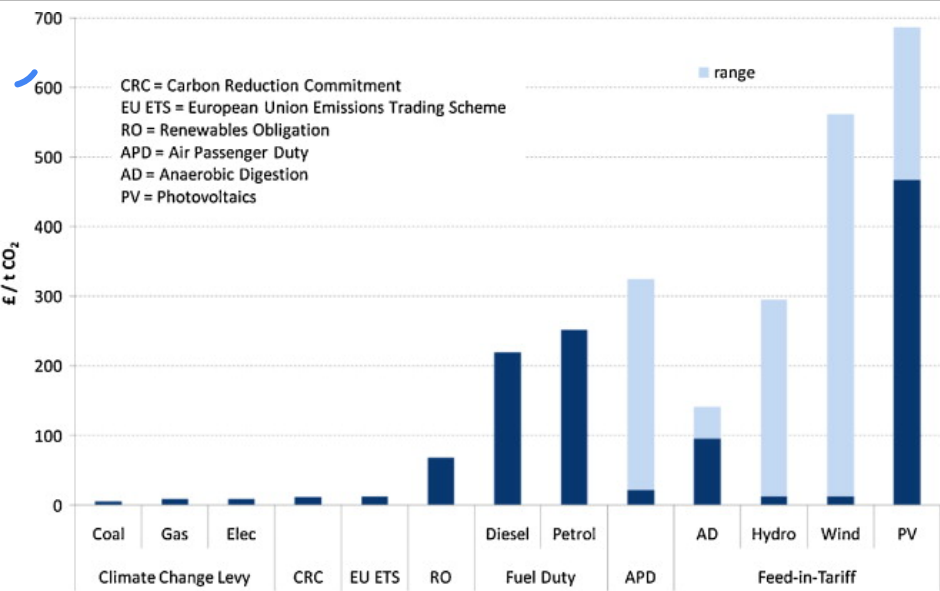
技术上详细的 MAC 曲线还可以通过深入了解技术的边际减排成本并给出必要的财政激励或上网电价水平的指示, 从而在研究、开发和部署政策的背景下提供帮助, 以允许大量规模部署。MAC 曲线可以为低碳技术设定最低水平的退税或上网电价。同时, 此类曲线可以深入了解技术的减排潜力和几种减排措施的相对成本效益。然而, 这些信息的代价是没有考虑系统内部的障碍并忽略了跨期交互, 这对于不太成熟的技术来说非常重要。

最后, 关于命令和控制工具, 技术显性减排成本曲线为政策制定者提供指导, 说明一旦市场扭曲被克服, 例如在住宅电器或建筑标准的背景下, 无悔措施的最大减排潜力和经济效益代码。然而, 政策制定者需要意识到, 采用和实施成本通常不包括在估算中, 而且市场壁垒极大地限制了减排潜力。

虽然 MAC 曲线可能有助于评估单个政策, 但它们在判断政策措施组合方面用处不大。这是因为气候政策重叠, 实施成本各不相同, 而且特定部门的政策可以相互影响。政策实施的成功取决于相关技术的成本不确定性, 从而导致不同的投资回收期 and 贴现率。最终, MAC 曲线只能是政策所依据的决策辅助工具的一个组成部分。

4.2。实践

政策制定者在实施气候政策措施时不仅要考虑成本效益, 还要考虑许多其他方面, 例如刺激低碳技术的研发。在现实中使用 MAC 曲线来实现具有成本效益的减排可能很困难, 因为现有政策工具的隐含碳价格可能因部门而异 (图 2)。该图显示, 当前的英国气候政策可能具有完全不同的边际减排成本, 具体取决于它们针对的部门以及它们是碳税/交易系统还是部署政策。此外, 它表明政策制定者还需要了解干扰气候政策的既有政策, 例如燃油税或航空乘客税 (APD)。尽管这些政策最初并未作为气候政策进行规划, 但事实证明它们具有相对较高的隐性 CO₂ 价格。



Source: own calculations

下载: 下载全尺寸图像

图 2。2011 年英国的政策工具及其隐含的 CO₂ 价格。

继续将英国能源政策作为一个透明的案例研究，它说明了在使用 MAC 曲线时可能过度简化，这可能导致次优政策。2009 年，英国政府从基于碳排放相关损害的碳估值转向基于 MAC 的减排成本 (DECC, 2009a)。同时，碳价格预测被认为是到 2050 年实现 80% 总体减排所必需的。该预测的中心估计是 2020 年 25 英镑/吨 CO₂，2030 年 70 英镑/吨 CO₂ 和 200 英镑/吨 CO₂ 2050 年。这些值是所有政策实施的核心，因为自 2009 年以来它们被用于气候政策评估。派生值基于不同的 MAC 曲线。2020 年为贸易部门（电力和工业）和非贸易部门制定了价格。后一个价格基于 MAC 曲线的估计值，该曲线源自为 CCC 生成的基于专家的 MAC 曲线。该系统范围的曲线建立在范围广泛的部门 MAC 曲线之上（参见 Pye 等人，2008 年），这些曲线再次被用于提供特定部门的政策建议。在法国引入碳税的磋商过程中获得的碳价预测相对相似，2030 年为 100 欧元/吨 CO₂ 和 200 欧元/吨 CO₂ 2050 年 (Quinet, 2009 年)，假设 2010 年的平均汇率为 € = 0.86£。

然而，如前所述，这些基于专家的曲线有许多缺点，例如忽视缓解措施之间的相互作用，以及部门间和行为相互作用（见第 3 节）。2030 年和 2050 年的长期预测主要来自 GLOCAF（全球碳金融）模型的计算 (Gallo 等，2009)。该模型依赖于两个主要的外生输入：静态 MAC 曲线和基线排放发展。MAC 曲线取自能源部门、林业部门和非 CO₂ 的不同模型排放量。这种方法的主要问题是假设区域 MAC 曲线是静态的，而实际上它们会根据其他国家的减缓努力、前期的减排努力以及对未来碳政策的预期而变化。一组三个静态 MAC 曲线，具有不同级别的早期抑制作用，已被用于尝试解决路径依赖性问题。

GLOCAF 模型不仅被用于确定碳价格轨迹，而且还用于确定英国对欧盟排放交易计划 (EU ETS) 禁止氢氟碳化物和特定 N₂O 排放证书的立场。此外，它还被用来通知英国政府制定碳预算，并就如何使用国际气候融资基金承诺的 29 亿英镑向政府部门提供建议。总之，它可能会误导基本政策，正如英国低碳转型计划所做的那样 (英国政府，2009 年)，关于使用无法捕获基本相互作用的方法得出的碳预测。例如，世界其他地区的减排努力减少了对化石燃料的需求，这再次降低了燃料价格，从而导致减排成本被低估。

超越英国，超越能源部门，进入林业部门，REDD 为发展中国家减少森林排放提供了激励措施。必须向世界银行提交的 REDD 准备计划是发展中国家根据该机制获得付款资格的第一步。他们提出了基准排放情景、减少森林砍伐的策略，并制定了监测和验证减排量的系统。刚果民主共和国 (DRC) 政府 (自然和旅游环境保护部，2010 年，第 49 页) 和埃塞俄比亚联邦民主共和国政府 (埃塞俄比亚环境保护局，2011 年)，页。71) 依靠边际减排成本来评估林业部门的碳减排潜力。林业部门尤其受到第 3 部分列出的问题的影响。一般来说，这些报告中的 MAC 曲线只考虑土地所有者的机会成本，但不包括实施、交易、制度和监测成本。然而，这四个成本组成部分可能相当于机会成本甚至更高 (参见 Viana 等人，2009)。此外，机会成本可能因当地条件而有很大差异，而在自给农业的情况下，价格歧视可能很难实现。此外，与能源部门相比，林业部门要确定可能的基准排放水平要复杂得多。原因是目前森林的碳含量并不为人所知，非法采伐也很难预测和估计。这使得 MAC 曲线容易受到膨胀基线的影响，然后映射出永远不会发生的减排机会。总之，由于上述问题，MAC 曲线肯定不是在 REDD 环境中使用的最佳工具。

5. 结论

本文讨论了 MAC 曲线背景下的方法论问题以及决策者如何使用它们。MAC 曲线在不同部门和不同国家的气候变化减缓背景下被广泛使用。然而，尽管它们被广泛使用，但对 MAC 曲线的分析问题和实际政策使用的研究却很少。

回顾本文的研究问题，本文认为政策制定者在森林和能源部门以简单的方式使用了 MAC 曲线。这意味着对 MAC 曲线概念的弱点没有给予足够的重视，主要是使用了不充分的方法来推导 MAC 曲线。依靠林业部门的 MAC 曲线，实际成本可能会被大大低估，因为实

疏、监测和制度成本没有整合在 MAC 曲线中。在能效背景下, 减排潜力可能被大大高估, 因为不确定性和采用成本等市场障碍未被捕捉。此外, 忽视国际和跨期相互作用可能会扭曲边际减排成本估计, 并导致政策评估出现偏差。

因此, 建议不要将 MAC 曲线用作对减排政策进行排名的唯一决策辅助工具。然而, MAC 曲线作为一种工具很有用, 可以说明和吸引各种利益相关者参与围绕减缓气候变化的辩论。对于政策制定者而言, MAC 曲线可以作为特定时间点减排成本和潜力的初步指南, 可以指出有前途的技术, 并可以指示限额与交易系统的最终价格。这种初步政策见解的提供要求以合理的方式推导 MAC 曲线, 并明确规定限制。这些局限性包括忽视市场失灵和障碍、贴现问题、缺乏纳入跨期问题以及对不确定性的不充分表述。

可以通过始终如一地使用系统方法来增加 MAC 曲线的信息价值, 以便在这种表示中包含各种交互作用。为了克服目前的缺点, 未来的工作应该包括在 MAC 曲线中加入更多的不确定性, 例如通过使用敏感性分析、随机或概率模型。MAC 曲线以及通过差异化贴现率或门槛率更好地代表市场缺陷的辅助收益, 例如由于减少空气污染而改善的健康状况。最后, MAC 曲线的静态特性可以通过表示较长时间段内的减排量来解决, 例如十年以上, 而不是仅仅一年。这可以更好地了解特定类型和政策措施组合, 对于反复制定脱碳政策至关重要。尽管如此, MAC 曲线的用户应该认识到该工具的弱点和局限性, 它应该只是一种决策工具, 与更广泛的建模和情景分析一起使用。

致谢

第一作者非常感谢德国学术交流服务 (DAAD) 奖学金的支持。作者还要感谢帮助改进文章的两匿名审稿人。

推荐文章

参考

亚当斯等人, 2009 年 L. 亚当斯, G. Boccaletti, M. Kerlin, M. Stuchtey

规划我们的水资源未来——为决策提供信息的经济框架

麦肯锡公司, 纽约(2009)

[谷歌学术](#)

安德森, 2009 Anderson, D., 2009. McKinsey & Company 碳减排成本曲线: 形式重于实质? 2011 年 3 月 23 日检索自: <https://blog.pnl.gov/StructuredThinking/index.php/2009/07/mckinsey-substance>。

[谷歌学术](#)

阿扎尔和斯特纳, 1996 年 C. 阿扎尔, T. 斯特纳

全球变暖背景下的贴现和分配考虑

生态经济学, 19 (1996), pp. 169 - 184

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

巴克等人, 2007 年 T. Barker, I. Bashmakov, A. Alharthi, M. Amann, L. Cifuentes, J. Drexhage, M. Duan, O. Edenhofer, B. Flannery, M. Grubb, M. Hoogwijk, I. Ibitoye, C.J. Jepma, W.A. Pizer, K. 山治

从跨部门的角度缓解

B. Metz、OR Davidson、PR Bosch、R. Dave、LA Meyer (编), 气候变化 2007: 减缓。第三工作组对政府间气候变化专门委员会第四次评估报告的贡献, 剑桥大学出版社, 英国剑桥和美国纽约 (2007 年)

[谷歌学术](#)

鲍曼等人, 2008 年 Y. Bauman, M. Lee, K. Seeley

技术创新真的能降低边际减排成本吗? 一些理论、代数证据和政策影响

环境与资源经济学, 40 (2008), pp. 507 - 527

[查看文章](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

博蒙特和丁奇, 2004 NJ Beaumont, R. Tinch

减排成本曲线: 实现双赢减废战略的可行管理工具?

环境管理杂志, 71 (2004), pp. 207 - 215

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

布洛克等人, 2001 年 K. Blok、D. de Jager、C. Hendriks、N. Kouvaritakis、L. Mantzos

气候变化部门减排目标的经济评估——欧盟 CO₂ 减排机会“自上而下”和“自下而上”分析的比较。Ecofys 能源与环境雅典国立技术大学, 布鲁塞尔 (2001 年)

[谷歌学术](#)

本明, 2001 马布朗 _

作为清洁能源政策基础的市场失灵和障碍

能源政策, 29 (2001), pp. 1197 - 1207

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Buhaug 等人, 2009 年 O. Buhaug、J. Corbett、V. Eyring、O. Endrese、J. Faber、S. Hanayama、D. Lee、D. Lee、H. Lindstad、A. Markowska、A. Mjelde、D. Nelissen、J. Nilsen、C. Palsson、W. Wanquing、J. Winebrake、K. Yoshida

2009 年第二次 IMO 温室气体研究

国际海事组织, 伦敦 (2009)

[谷歌学术](#)

陈, 2005 陈伟 _

中国减少碳排放的成本: 来自中国 MARKAL-MACRO 模型的结果

能源政策, 33 (2005), pp. 885 - 896

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

克拉克等人, 2007 年 L. Clarke、J. Edmonds、H. Jacoby、H. Pitcher、J. M. Reilly、R. Richels

温室气体排放和大气浓度情景。美国气候变化科学计划和全球变化研究小组委员会的综合和评估产品 2.1 的子报告 2.1A

能源部/生物与环境研究办公室, 华盛顿特区 (2007 年)

[谷歌学术](#)

中华民国, 2008 CCC, 2008 年。建设低碳经济——英国应对气候变化的贡献。气候变化委员会, 伦敦。

[谷歌学术](#)

Criqui 等人, 1999 年 P. Criqui、S. Mima、L. Viguier

CO₂ 减排的边际减排成本、地理灵活性和具体上限: 使用 POLES 模型的评估

能源政策, 27 (1999), pp. 585 - 601

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

德卡尼奥, 1993 年 S. J. 德卡尼奥

公司内部进行节能投资的障碍

能源政策, 21 (1993), pp. 906 - 914

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [谷歌学术](#)

能源部, 2009a DECC

英国政策评估中的碳估值: 一种修订方法

伦敦能源与气候变化部 (2009)

[谷歌学术](#)

中东欧国家经济委员会, 2009b DECC

2008 年气候变化法案影响评估

伦敦能源与气候变化部 (2009)

[谷歌学术](#)

Dresner 等人, 2007 年 S. Dresner、P. Ekins、K. McGeevor、J. Tomei

森林与气候变化: 全球共识和可能的应对措施

PH Freer-Smith、MSJ Broadmeadow、JM Lynch (编), Forestry & Climate Change, CAB International, Wallingford (2007 年), 第38 - 48页

[View article](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

代尔和康塞尔, 2010 N. Dyer、S. Counsell

McREDD: 麦肯锡“成本曲线”如何扭曲 REDD, 气候和森林政策简报

英国雨林基金会, 伦敦 (2010 年)

[谷歌学术](#)

Edenhofer 等人, 2006 年 O. Edenhofer、K. Lessmann、C. Kemfert、M. Grubb、J. Köhler

引发的技术变革: 探索其对大气稳定经济学的影响: 创新模型比较项目的综合报告

能源杂志, 27 (2006), pp. 57 - 107

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Ekholm 等人, 2010 年 T. Ekholm 、 V. Krey 、 S. Pachauri 、 K. Riahi

印度家庭能源消耗的决定因素

能源政策, 38 (2010), pp. 5696 - 5707

[查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

埃勒曼和德科, 1998 AD Ellerman , A. Decaux

使用边际减排曲线分析后京都 CO₂ 排放交易

麻省理工学院, 马萨诸塞州剑桥市 (1998 年)

[谷歌学术](#)

埃塞俄比亚环境保护局, 2011 埃塞俄比亚环境保护局, 2011 年。森林碳合作基金 (FCPF) 准备准备提案 (R-PP)。亚的斯亚贝巴 (埃塞俄比亚首都)。

[谷歌学术](#)

加洛等人, 2009 F. Gallo 、 A. Carmel 、 S. Prichard 、 J. Rayson 、 N. Martin 、 R. Dixon 、 A. MacDowall

全球碳融资——探索全球气候变化协议情景的定量建模框架

气候变化办公室, 伦敦 (2009 年)

[谷歌学术](#)

盖尔, 2009 Gayer, T., 2009。EPA Tackles Greenhouse Gas 于 2011 年 3 月 23 日检索自: http://www.brookings.edu/opinions/2009/1228_greenhouse_gas_gayer.aspx。

[谷歌学术](#)

格拉布, 1997 年 M. 格拉布

技术、能源系统和 CO₂ 减排时机: 经济问题概述

能源政策, 25 (1997), pp. 159 - 172

[查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Grübler 和 Messner, 1998 年 A. Grübler , S. 梅斯纳尔

技术变革和缓解措施的时机

能源经济学, 20 (1998), pp. 495 - 512

[查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

亨德里克斯等人, 2001 年 C. Hendriks 、 D. De Jager 、 K. Blok 、 J. de Beer 、 J. Harnisch 、 S. Joosen 、 D. Phylipsen 、 M. Kerssemeeckers 、 C. Byers 、 M. Patel 、 J. Bates 、 C. Brand 、 P. 戴维森、A. 霍沃斯、N. 希尔

气候变化部门减排目标的经济评估——欧盟温室气体减排潜力和成本的自下而上分析

ECOFYS 能源与环境, AEA 技术环境, 荷兰乌得勒支 (2001)

[谷歌学术](#)

英国财政部, 2003 年 英国财政部, 2003 年。绿皮书 - 中央政府的评估和评估, 伦敦。

[谷歌学术](#)

英国政府, 2009 年 英国政府, 2009 年。分析附件——英国低碳转型计划。伦敦。

[谷歌学术](#)

Holdaway 等人, 2009 年 E. Holdaway 、 B. Samuel 、 J. Greenleaf 、 A. Briden 、 A. Gardiner

国内能源效率和碳减排措施的隐性成本和收益

Ecofys UK , 伦敦 (2009 年)

[谷歌学术](#)

海曼等人, 2002 年 R. Hyman 、 JM Reilly 、 M. Babiker 、 A. De Masin 、 HD Jacoby

模拟非 CO₂ 温室气体减排

环境建模和评估, 8 (2002 年), 第175 - 186页

[谷歌学术](#)

本克逊, 1991 杰克逊 _

全球变暖减缓的最低成本温室规划供应曲线

能源政策, 19 (1991), pp. 35 - 46

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Jaffe 和 Stavins, 1994a AB 贾菲, RN 斯塔文斯

能效差距。这是什么意思?

能源政策, 22 (1994), pp. 804 - 810

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

贾菲和斯塔文斯, 1994b AB 贾菲, RN 斯塔文斯

能量悖论与保护技术的传播

资源和能源经济学, 16 (1994), pp. 91 - 122

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

约翰逊等人, 2009 年 TM 约翰逊、C. Alatorre、Z. Romo、F. Liu

墨西哥的低碳发展

世界银行, 华盛顿特区 (2009 年)

[谷歌学术](#)

乔斯科夫和马龙, 1992 年 PL Joskow, DB 马龙

Negawatt 的真正成本是多少? 来自公用事业保护计划的证据

能源杂志, 13 (1992), pp. 41 - 74

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

肯尼迪, 2010 Kennedy, M., 2010 年。爱尔兰的未来: 低碳经济? 绿色刺激投资的影响, IAAE 欧洲会议, 立陶宛维尔纽斯。

[谷歌学术](#)

凯西基, 2010 Kesicki, F., 2010。政策制定的边际减排成本曲线——基于专家的曲线与模型推导的曲线, IAAE 2010 年国际会议, 里约热内卢。

[谷歌学术](#)

Kindermann 等人, 2008 年 G. Kindermann、M. Obersteiner、B. Sohngen、J. Sathaye、K. Andrasko、E. Rametsteiner、B.

Schlamadinger、S. Wunder、R. Beach

通过避免毁林减少碳排放的全球成本估算

美国国家科学院院刊, 105 (2008), pp. 10302 - 10307

[View article](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

麦肯锡, 2010 年 麦肯锡公司, 2010 年。气候变化特别倡议——温室气体减排成本曲线, 纽约, 2010 年 8 月 19 日检索自: <http://209.172.180.101/client-service/ccsi/costcurves.asp>。

[谷歌学术](#)

麦基特里克, 1999 R. 麦基特里克

边际减排成本曲线的推导

环境经济与管理杂志, 37 (1999), pp. 306 - 314

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

梅尔, 1982 年 AK 迈尔

守恒能量的供应曲线, 劳伦斯伯克利实验室

加州大学伯克利分校(1982)

p. 110

[谷歌学术](#)

2010 年 自然和旅游环境保护部

REDD 2010-2012 准备计划

刚果民主共和国, 金沙萨 (2010 年)

[谷歌学术](#)


莫里斯等人, 2008 年 J. Morris, S. Paltsev, JM Reilly

温室气体减排的边际减排成本和边际福利成本: EPPA 模型的结果
麻省理工学院全球变化科学与政策联合项目, 马萨诸塞州剑桥市 (2008 年)
[谷歌学术](#)

Nauc  r 和 Enkvist, 2009 T. Nauc  r, PA 恩奎斯特

通往低碳经济的途径——全球温室气体减排成本曲线的第 2 版
麦肯锡公司 (2009)
[谷歌学术](#)

纽厄尔和皮泽, 2004 RG Newell, WA 皮泽

气候政策分析中不确定的贴现率
能源政策, 32 (2004), pp. 519 - 529
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

奥利维尔等人, 1983 年 D. Olivier、H. Miall、F. Nectoux、M. Opperman

节能未来: 开启太阳能选项
黑玫瑰出版社, 伦敦 (1983 年)
[谷歌学术](#)

彼得森, 2006 彼得森 _

气候变化的不确定性和经济分析: 方法和结果的调查
环境建模和评估, 11 (2006), pp. 1 - 17
[View article](#) [交叉引用](#) [谷歌学术](#)


Pye 等人, 2008 年 S. Pye、K. Fletcher、A. Gardiner、T. Angelini、J. Greenleaf、T. Wiley、H. Haydock

审查和更新英国工业、国内和非国内部门的减排成本曲线
AEA 能源与环境, 迪德科特 (2008)
[谷歌学术](#)

奎内特, 2009 A. 奎内特

La valeur tut  laire du carbone
战略分析中心 - 巴黎总理府 (2009 年)
[谷歌学术](#)

伦茨等人, 1994 年 O. Rentz、HD Haasis、A. Jattke、P. Ru、M. Wietschel、M. Amann

能源供应结构对减排成本的影响
能源, 19 (1994), pp. 641 - 651
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

斯托夫特, 1995 年 斯托夫特 _

守恒能源“供应”曲线的经济学
能源杂志, 16 (1995), pp. 109 - 140
[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Strengers 等人, 2008 年 B. Strengers, J. Van Minnen, B. Eickhout

碳种植园在减缓气候变化中的作用: 潜力和成本
气候变化, 88 (2008), pp. 343 - 366
[View article](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)



萨瑟兰, 1991 年 RJ 萨瑟兰


能效投资的市场壁垒
能源杂志, 12 (1991), p. 15
[谷歌学术](#)

美国环保署, 2006 年 美国环保局

非 CO₂ 温室气体的全球减缓
美国环境保护署, 华盛顿特区 (2006 年)


谷歌学术

 **Vuuren 等人, 2007 年** D. van Vuuren 、 M. den Elzen 、 P. Lucas 、 B. Eickhout 、 B. Strengers 、 B. van Ruijven 、 S. Wonink 、 R. van Houdt
将温室气体浓度稳定在低水平：减排策略和成本评估
气候变化, 81 (2007 年) , 第119 - 159页
 [View PDF](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

van Vuuren 等人, 2004 年 DP van Vuuren 、 B. de Vries 、 B. Eickhout 、 T. Kram
在模拟世界中对技术和税收的反应
能源经济学, 26 (2004) , pp. 579 - 601
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

维亚纳等人, 2009 Viana, VM、Grieg-Gran, M.、Della Mea, R.、Ribenkoim, G., 2009 年。REDD 的成本：亚马逊的教训。IIED 简报。
[谷歌学术](#)

世界银行, 2004 世界银行, 2004 年。中国的清洁发展机制，华盛顿特区。
[谷歌学术](#)

张和福尔默, 1998 Z. Zhang , H. Folmer
用于控制二氧化碳排放的成本估算的经济建模方法
能源经济学, 20 (1998) , pp. 101 - 120
 [查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

被 (129) 引用

通过纳入空气质量协同效益改善碳减排工作的区域部署：对中国的多省份分析
2023, 生态经济学
[显示摘要](#)


评估在垃圾焚烧发电厂中应用较低的酸性污染物排放标准所产生的跨介质影响
2023, 整体环境科学
[显示摘要](#)

EPLANoptMAC 模型规划小岛海运部门脱碳
2022年, 能源
[显示摘要](#)

碳影子定价的全球可持续性：观察到的减排成本与最佳减排成本之间的距离
2022, 能源经济学
[显示摘要](#)

基于边际碳减排成本曲线的中印国家自主贡献成本效益比较
2022, 能源经济学
[显示摘要](#)

英国现有建筑的能源改造政策和改进、挑战和收益回顾
2022 年, 可再生和可持续能源评论
[显示摘要](#)

 [查看 Scopus 上的所有施引文献](#)

Fabian Kesicki是伦敦大学学院能源研究所的博士研究生。他在德国卡尔斯鲁厄大学获得商业工程硕士学位，在法国阿尔卑斯山的格勒诺布尔理工学院获得工业工程硕士学位和战略管理与组织工程硕士学位。他之前曾在德国斯图加特大学从事全球能源系统建模和油价波动方面的工作。2009 年，他开始在 UCL 能源研究所攻读博士学位，该研究所专注于通过使用能源系统模型和分解分析推导边际减排成本 (MAC) 曲线。

Neil Strachan 博士是伦敦大学学院能源研究所能源经济学和建模专业的讲师。他于 2000 年获得卡内基梅隆大学工程与公共政策博士学位。他的研究兴趣围绕能源-环境-经济建模、转型路径的量化以及新能源技术传播中的跨学科问题。在过去的 5 年里，他一直是价值超过 250 万英镑的研究项目的负责人或合作研究员。他是 IPCC 第五次评估报告中能源系统章节的主要作者。他是 30 多篇同行评审期刊论文和书籍章节的作者。

[查看摘要](#)

版权所有 © 2011 Elsevier Ltd。保留所有权利。



版权所有 © 2023 Elsevier BV 或其许可人或贡献者。
ScienceDirect® 是 Elsevier BV 的注册商标

