



边际减排成本方法的适用性：全面审查

黄世平 [Kevin Huang](#) , 郭洛平 , [Kuei-Lan Chou](#) ^{a c}

[展示更多](#)

大纲 | 分享 引用

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.013>

[获得权利和内容](#)

抽象的

边际减排成本 (MAC) 方法广泛用于气候变化政策。政策制定者依靠 MAC 来评估实现减排目标的可行策略和相关成本。本文介绍了多种 MAC 方法, 旨在解决各种问题, 这些方法利用各种可计算逻辑, 从而产生不同的结果和含义。本研究应用思维导图方法来捕捉 MAC 方法的差异, 并对 MAC 方法进行系统分类。提出了基于利益相关者类型、决策目标、成本概念、策略模式和信息范围等原则的适用路径分析。我们的目标是评估不同方法的适用性, 减少政策制定者的滥用, 并作为后续研究的指南, 这可能会促使并导致在未来的研究中得出更重要的结果。这项研究的结果表明, 复杂的方法并不总是比简化的方法更好, 因为决策者需要根据所需信息的类型选择合适的方法。甚至可以建议 MAC 通过与基线相比对选项的相对值进行排名而不是关注单个度量的绝对值是可靠的。

上

下

关键字

边际减排成本; 气候变化政策; 成本效益; 特定技术; 以市场为导向

1. 介绍

鉴于全球对温室气体 (GHG) 的关注, 对 MAC 方法学的研究量显著增加。每种方法都有不同的优点和缺点, 可以解决政策制定者可能的不同顾虑。由于文献中的许多 MAC 方法侧重于不同的主题、研究范围和计算逻辑, 因此应仔细识别质量和信息。通过回顾过去十年的文献, 我们打算系统地分析所提出的 MAC 方法论, 包括分类、研究趋势和适用性, 随后可以将其分为五个维度, **即利益相关者类型、决策目标、成本概念、策略模式和信息范围**。

气候变化在环境可持续性方面发挥了重要作用。然而, 温室气体减排与经济发展往往是相互矛盾的。为了减少对经济的影响, 各国经常寻求具有成本效益的措施来实现温室气体减排, 而边际减排成本曲线 (MACC) 已成为评估这种平衡的重要工具。MACC 起源于 20 世纪 70 年代的石油危机, 当时研究人员开始探索节能潜力与相对成本之间的关系。1982 年, Meier 开发了第一条电力消耗节约成本曲线, 称为节约曲线或保护供应曲线 ([Kesicki 和 Strachan, 2011 年](#), [Wächter, 2013 年](#), [Levihtn, 2015 年](#))。政策制定者可以从曲线中找出有助于降低能源消耗的经济可行的措施。20 世纪 90 年代, 这一概念进一步扩展到分析全球气候变化问题 ([Jackson, 1991](#))。构建减排潜力与相对成本之间的关系曲线使研究人员能够制定经济可行性与环境保护之间的权衡 ([Kwon 和 Yun, 1999](#))。1994 年, 《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 全面实施, 部分发达国家和发展中国家面临国际压力, 要求其承担减排责任。温室气体排放。MAC 被用来识别不同社会、环境 and 经济状况的国家之间的温室气体减排成本效益潜力, 它也有助于国家间的减排谈判 ([Ellerman 和 Dacoux, 1998](#))。

在环境经济学中, MAC 被定义为每增加一个减排量所需要支付的必要成本 ([McKittrick, 1999](#))。它与边际效益曲线 (MBC) 共同确定最优污染减排水平 ([Eory et al., 2013](#))。与后者相比, MAC 可以看作是减排的供给曲线 ([Delhotal et al., 2008](#), [Nordrum et al.,](#)

2011), 表示减排量与温室气体支付价格之间的关系。MAC 上的任何一点都代表减少额外排放量的边际成本, MAC 不用于决定最佳排放水平。它已被用来衡量实现减排目标的可行性和相关成本。MAC 的一个重要特征是清楚地说明所有可用选项的相对成本效益。这是根据单位减排成本对排序选项进行排序得出的, 之后逐步淘汰短期措施或长期技术创新策略。MACC 可被视为连接目标设定和政策实施的重要工具。

在过去的十年中, 不同文献中引入了多种 MAC 方法论, 旨在解决各种问题, 利用各种可计算逻辑, 从而产生不同的结果和含义。由于研究文献的源源不断, 该领域的学者发表了评论, 提供了全面而客观的观点。最近的文献综述强调讨论 MAC 方法的优点、缺点和主要影响因素。科克等人。(2011)将 14 个方法问题分为六组, 估计不同 MAC 方法的变化范围, 同时检查运输部门的范围和假设。一些研究使用荟萃分析方法来检验MAC估计值的敏感性和影响因素 (Kuik等, 2009; Vermont和Cara, 2010)。还对不同的 MAC 方法进行了比较研究, 以认识到实际应用中的局限性、优点和缺点。一些研究关注该方法的稳健性并指出当前方法的弱点, 特别是与非系统方法有关的弱点, 并强调在解释 MAC 时要谨慎 (Ward, 2014 年, Kesicki 和 Strachan, 2011 年, Kesicki 和 Ekins, 2012 年, Taylor, 2012 年)。Browne 和 Ryan (2011) 比较了三种环境评估工具, 其中包括 MAC 方法, 得出的结论是很难找到一种工具能够充分反映政策的全部范围和影响。Sathaye 和 Shukla (2013)对 MAC 方法进行了分类并比较了 20 种不同的全局模型, 这确定了影响方法结果的各种因素。

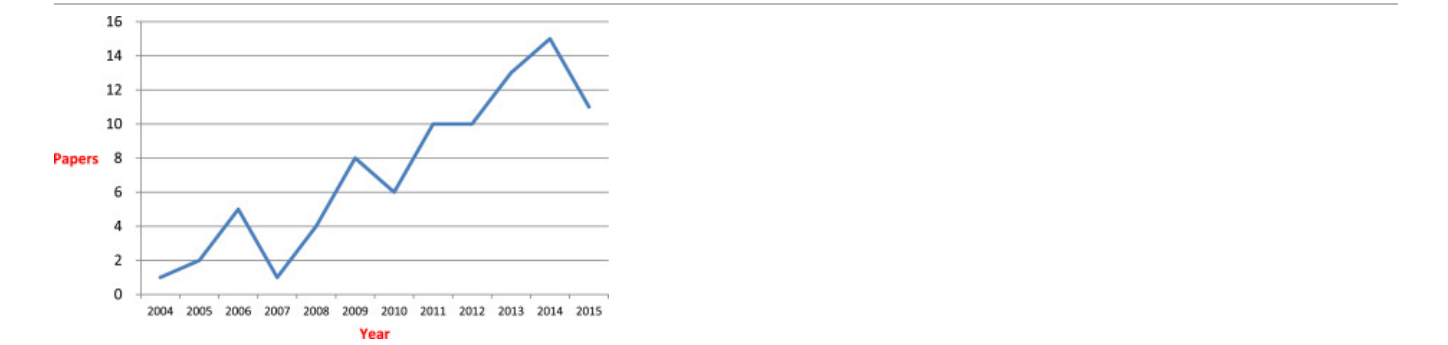
本研究的目的是 (1) 建立MAC方法的系统分类; (2) 识别不同 MAC 方法的适用性和功能性; (3) 协助决策者根据利益相关者和局限性选择合适的方法; (4) 启发进一步的研究主题, 这可能会导致 MAC 研究中更确凿的结果。

本文的结构如下: 第2节描述了方法及其相关统计数据。第3节分为三个小节。首先, 我们提出了该领域方法论的系统分类, 描述了独特的方法论特征以及计算逻辑。其次, 我们探讨了主要应用的趋势和功能的内涵。第三小节介绍MAC研究的创新和改进。第4节建立选择路径并讨论 MAC 的鲁棒性。最后, 本文以第5节结束。

2. 方法

本研究中研究计划的目的是识别、解释和澄清目前可用的关于 MAC 主题的文献。在确定本研究的范围时, 我们重点关注与 MAC 相关的核心文章, 其中包括综合评论、评论和特定方法的研究。

对于文献收集框架, 确定了相关的时间范围、期刊类型和关键词。重点放在 2004 年至 2015 年期间发表的文献; 选择并过滤了标题与“环境”、“气候”和“能源”相关的一系列国际期刊 (社会科学引文索引期刊)。共从 31 种期刊中找到与研究调查相关的 86 篇论文, 并对每篇文章进行了审查。论文数量增长显著, 特别是最近三年, 每年都有10篇以上的论文, 表明了MAC研究的流行趋势。结果如图 1所示。



下载: 下载高分辨率图像 (138KB)
下载: 下载全尺寸图像

图 1. MAC 出版物在国际期刊上的增长。

使用期刊标题中的关键词, 下表 1显示“能源”占 MAC 文章的 52%, “环境”占 19%, “气候”占 5%, 其他占 24%。《能源政策》共发表 23 篇文章, 在所有收录期刊中排名第一。从第一作者的国籍来看, 56% 的文章来自欧洲, 19% 来自美国, 24% 来自亚洲, 1% 来自其他。这导致观察到美国和英国对MAC的研究领先于其他国家。

表 1. MAC 论文按期刊类别和地区统计。

| 刊名关键词 | 期刊名称 | 鹿 | 英国 | 剩下的欧洲 | 亚洲 | 休息 | 小计 | 百分比 | |
|-------|---------------|---|----|-------|----|----|----|-----|-----|
| 气候 | 气候政策 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 5% |
| | 国际气候变化战略与管理杂志 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| 活力 | 活力 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 | 45 | 52% |

| 刊名关键词 | 期刊名称 | 鹿 | 英国 | 剩下的欧洲 | 亚洲 | 休息 | 小计 | 百分比 | |
|-------|----------------|-----|-----|-------|-----|----|----|-----|------|
| 环境/环境 | 能源经济学 | 3 | 0 | 2 | 3 | 0 | 8 | | |
| | 能源效率 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | | |
| | 能源政策 | 1 | 4 | 7 | 10 | 1 | 23 | | |
| | 能源进行 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | | |
| | 资源与能源经济学 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 能源杂志 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | | |
| | 能源与建筑 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | |
| | 环境与资源年度回顾 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 19% |
| | 建筑与环境 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 环境与资源经济学 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 4 | | |
| | 环境影响评价审查 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 环境建模与评估 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | | |
| | 环境科学 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 环境科学与政策 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 4 | | |
| | 环境科学与技术 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| 其他的 | 综合环境科学杂志 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 农业经济学 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 21 | 24% |
| | 生态经济学 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 | | |
| | 交通经济学 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 未来 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 国际温室气体控制杂志 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 农业经济学杂志 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 清洁生产杂志 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | | |
| | 公共经济理论杂志 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 海事政策与管理 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 可持续性科学 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | | |
| | 澳大利亚农业与资源经济学杂志 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| | 运输研究 D 部分 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | | |
| 全部的 | 31 | 16 | 14 | 34 | 24 | 1 | 86 | 86 | - |
| | | 19% | 16% | 40% | 24% | 1% | - | - | 100% |

本研究与以往的方法不同，它应用思维导图方法来捕获和聚类 MAC 方法的主要分类和结合。思维导图于 1974 年由 Tony Buzan 在一本名为“使用你的头脑”的书中介绍。这种方法强调将复杂的概念分解为中心概念和相关概念，预先对主题进行分类并在网络系统对关系进行分层。思维导图已广泛应用于头脑风暴、问题分析、项目管理等领域。

由于MAC的独特性，不同的利益相关者往往面临决策方法实际执行的问题。因此，本研究尝试使用思维导图的方法来建立MAC分类的层次结构，以便更好地理解各种方法之间的差异和联系。通过文献综述，阐明了其对各种方法的适用性，以建立 MAC 方法的完整性和限制，并减少决策中的偏差。

为了指导文献综述，突出了一系列问题如下：

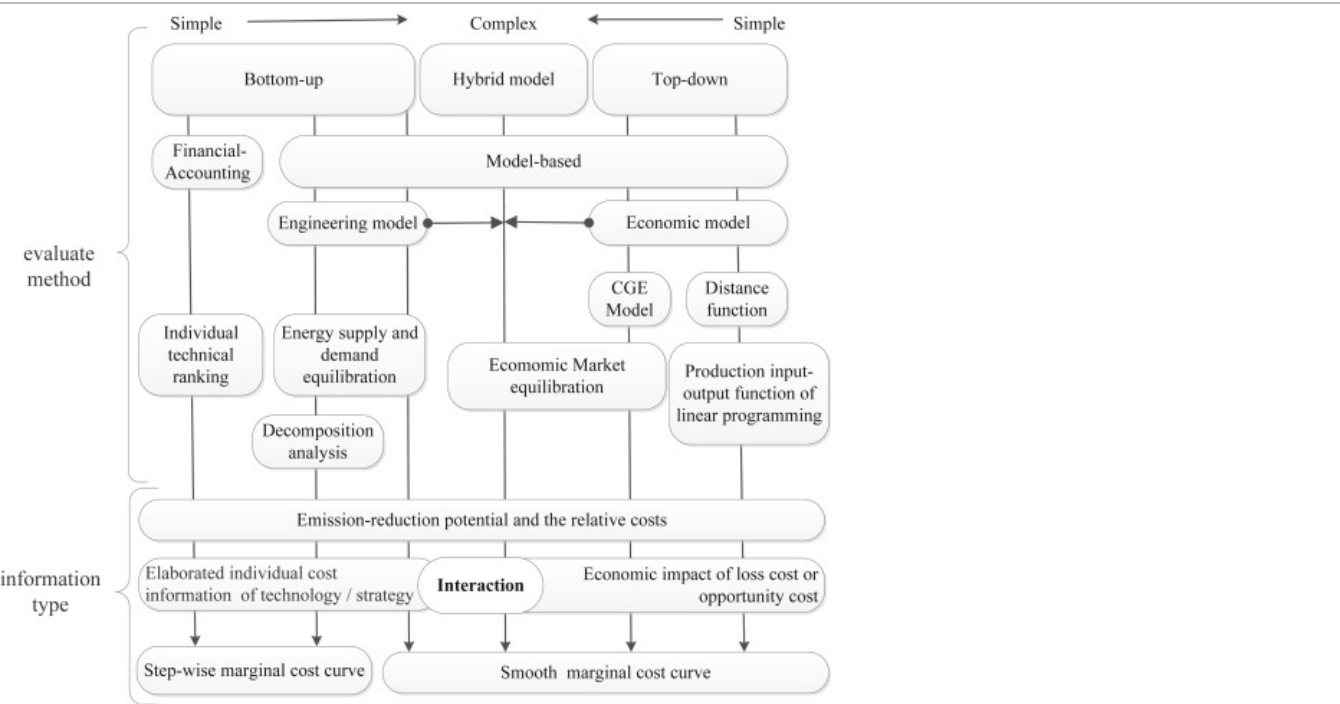
- 就其定义和逻辑而言，研究方法的含义是什么？
- 不同研究方法的优缺点是什么？

- 它们的主要作用、功能和适用性是什么？
- 如何进一步完善研究？

3. 结果

3.1 。MAC 的分类

目前文献中的MAC方法一般分为三类：自下而上、自上而下和混合模型。方法的精细度从简单、静态和单一部门逐渐演变为复杂、动态和多部门（系统）交互。根据“评价方法”和“信息类型”，MAC分类图如图2所示。大多数方法都是基于模型的，强调均衡和线性规划的概念，但财务会计方法除外。有两种信息类型：逐步形状和平滑形状。自下而上的方法可以详细说明技术影响，而自上而下的方法则侧重于经济影响。混合方法综合了技术和经济影响。



[下载: 下载高分辨率图像 \(512KB\)](#)

[下载: 下载全尺寸图像](#)

图 2。MAC分类图。

不包括综合评论或评论论文，该研究重点关注与特定 MAC 方法论相关的核心文章，共计 65 篇论文。其中，约58%使用自下而上方法，31%使用自上而下方法，11%使用混合方法，见表2。与使用其他方法的论文相比，使用财务会计的论文在统计上领先。

表 2。MAC论文按年份统计相关具体方法。

| 年 | 方法 | | | | |
|------|-------------------|------|------|-----|-----|
| | 自下而上 | | 自顶向下 | | 全部的 |
| | 财务会计 | 工程模型 | 距离函数 | CGE | |
| | 混合模型 自下而上+自上而下 | | | | |
| 2004 | | | | 1 | 1 |
| 2005 | 1 | | | | 2 |
| 2006 | 1 | | | 1 | 2 |
| 2007 | 1 | | | | 1 |
| 2008 | | | 2 | | 2 |
| 2009 | 4 | | 2 | 1 | 8 |
| 2010 | | 2 | | 1 | 4 |

| 年 | 方法 | | | | | |
|------|------|------|------|-----|-----------|------|
| | 自下而上 | | 自顶向下 | | 混合模型 | 全部的 |
| | 财务会计 | 工程模型 | 距离函数 | CGE | 自下而上+自上而下 | |
| 2011 | 2 | 1 | 1 | | | 4 |
| 2012 | 1 | 4 | 1 | 1 | | 7 |
| 2013 | 6 | 3 | | | 2 | 11 |
| 2014 | 6 | 1 | 4 | | 1 | 12 |
| 2015 | 2 | 3 | 5 | | 1 | 11 |
| 全部的 | 24 | 14 | 15 | 5 | 7 | 65 |
| 部分 | 37% | 21% | 23% | 8% | 11% | 100% |

下文将对上述三种方法的研究，包括其特点、会计逻辑、优缺点等作进一步阐述。

3.1.1。自下而上的方法

自下而上的方法通过评估技术的详细特征来编译和叠加具有成本效益的减排选项，以计算减排量和相关的直接成本，通常用于措施明确的政策（Vermont 和 Cara, 2010 年, Kok 等人, 2011 年, Wächter, 2013 年, Sathaye 和 Shukla, 2013 年）。两种自下而上的方法在文献中很常见。

第一种方法是财务会计（也称为专家基础）方法。根据计算逻辑的不同，我们可以进一步细分为两种方法。加拉赫等人。(2009)和 Delhotal 等人。(2008)计算了净现值 (NPV) 以确定每个选项的“盈亏平衡减排成本”及其减排潜力。一些研究（Lutsey 和 Sperling, 2009 年, Sarofin 等人, 2010 年, Moran 等人, 2011 年, Hoffmann 等人, 2012 年, Schwarz 等人, 2013 年, Dedinec 等人, 2013 年, Dedinec 等人, 2015 年）, Garg 等人, 2014 年, Promjiraprawat 等人, 2014 年, Xiao et al., 2014 ; Dequiedt and Moran, 2015) 计算了替代减排措施的“增量成本”，以一切照旧 (BAU) 情景为基准，然后除以减排量。无论是“盈亏平衡减排成本”还是“增量成本”，都是通过对各项指标从低到高进行排序得出一条MAC曲线。McKinsey and Company (2009)使用财务会计方法发布了 15 个国家作为全球低碳经济体的 MACC。由于其计算简单和对成本效益措施排名的高度描述，财务会计方法在 MAC 计算中越来越受欢迎（Kesicki 和 Strachan, 2011 年, Vogt-Schilb 和 Hallegatte, 2014 年）。如表 2所示，财务会计方法约占 MAC 文献的 37%。然而，它受到跨期、不确定性和部门相互作用的影响（ Kesicki 和 Strachan, 2011 年）。

另一种自下而上的方法是工程系统优化模型，它基本上加强了财务会计方法的上述弱点。它可以进一步分为两种逻辑。对碳减排施加越来越严格的限制，并记录由此产生的 CO₂影子价格（Chen, 2005 年, Chen 等人, 2007 年）。另一个引入逐步提高的碳税（或价格）并记录减排量（Chen, 2005 年, Kesicki, 2013a）。在所有模型中，MARKAL/TIMES 模型是工程系统优化模型中最具代表性的模型（Bennaceur 和 Gielen, 2010, Koljonen 和 Lehtilä, 2012, Kesicki, 2012, Kesicki, 2013a, Kesicki, 2013b, Zwaan 等人, 2013, Tomaschek, 2015）。该模型展示了能源系统供需方面的大量详细技术特征，以及由能源载体和材料流连接的过程网络。它是一个动态数学线性规划，可优化能源技术组合，同时最大限度地降低总贴现能源成本。它占 MAC 文献的 21%。然而，能源工程系统由于它只关注能源部门，因此存在局部均衡，无法扩展到整个经济体系的一般均衡。

3.1.2。自上而下的方法

与强调详细技术组合的自下而上方法不同，自上而下方法侧重于通过分解生产过程来评估实现特定减排目标的潜在机会成本（边际利润损失或边际额外成本），响应市场行为，把握生产者和消费者隐性成本，捕捉价格反弹效应。该模型通常侧重于以市场为导向的政策，但也可以应用于公司或整个经济层面，具体取决于计算逻辑（Klepper 和 Peterson, 2006 年, Vermont 和 Cara, 2010 年, Kok 等人, 2011 年）。在本研究中，自上而下的方法被重新分为两种主要类型。

一种是微观经济供给侧模型（或距离函数，DF），它构建了一个受技术和经济条件约束的生产可行集（或生产前沿），以得出减少额外单位的影子价格（或机会成本）生产过程中的不良产出（Du 和 Mao, 2015 年, Du 等人, 2015 年, Lee 和 Zhou, 2015 年）。它在利润函数的线性规划中使用对偶理论（Larsson 和 Telle, 2008 年, Corbett 等人, 2009 年, Wang 等人, 2011 年, Rødseth, 2013 年, Du 等人, 2014 年, Lee 等人, 2014 年）。一些研究将 DF 应用于行业或企业级或区域环境中的 MAC（Larsson 和 Telle, 2008 年, Peng 等人, 2012 年, He, 2015 年, Zhou 等人, 2015 年）。输出距离函数是文献中广泛使用的一种 DF 方法，分为两种子类型：非参数方法，有时称为数据包络分析(DEA)（Chen, 2015），具有避免距离函数的参数估计，而参数估计通常使用 translog 和二次形式的方法具有呈现距离函数相对于某些输入和输出因子的微分的优势（Du 等人, 2014 年, Lee 等人, 2014 年）。如表 2所示，距离函数方法约占 MAC 文献的 23%。

另一种自上而下的方法是可计算一般均衡（CGE）模型，它侧重于市场导向的政策（例如碳税或排放交易），并强调由于所有经济部门和一般市场的相互作用而产生的内生均衡价格供需平衡下的行为。CGE模型的计算逻辑是解决单位排放的社会福利成本（影子价格

或机会成本的概念），以及在碳排放约束和生产替代弹性约束下最大化国内生产总值（GDP）（[Klepper 和 Peterson, 2006 年](#)，[Morris 等人, 2012 年](#)，[Wächter, 2013 年](#)）。由于减排措施对整个经济系统的影响，MAC by CGE模型通常用于国家和全球范围内的问题，如国家碳税、国际排放交易中的排放许可价格、排放配额分配规则等等（[Klepper 和 Peterson, 2006 年](#)；[Loisel, 2010 年](#)；[Morris 等人, 2012 年](#)；[Sathaye 和 Shukla, 2013 年](#)）。CGE 方法占 MAC 文献的 8%，如表2所示。

3.1.3 。混合方法

经典的自上而下的方法缺乏技术细节，而传统的自下而上的方法缺乏对经济范围的影响，尤其是在市场价格反应方面。尽管在计算逻辑和应用上有所不同，但结果并不矛盾，而是相辅相成([Lee et al., 2014](#))。最近，一些研究也试图将自下而上和自上而下的方法整合到一个混合模型中，该模型占 MAC 文献的 11%，如表 2所示。

混合模型的特点是同时考虑技术组合和经济影响，同时在能源和经济系统中寻找低碳和具有成本效益的环境路径（[Chen, 2005](#)，[Ko 等, 2010](#)，[Kiuiila 和卢瑟福, 2013a](#)，[Kiuiila 和卢瑟福, 2013b](#)）。混合模型的主要计算逻辑可以分为两类，即单向软链接和双向硬链接。

在第一类模型中，称为单向软链接类型，由麻省理工学院 (MIT) 开发的排放预测和政策分析 (EPPA)，涉及 CGE 模型和 MARKAL 中交通技术的松散耦合模型。它首先从MARKAL模型中获取技术的有效改进率，作为生成CGE模型所需的AEEI参数的一种方式。此后，CGE 模型向 MARKAL 模型提供运输需求，直到最终能源使用在两个模型之间同步（[Schäfer 和 Jacoby, 2006 年](#)）。

在第二类模型中，称为双向硬链接，国际能源署（IEA）开发的MARKAL-MACRO模型，在自下而上模型和自上而下模型之间同时进行交互和反馈。MACRO 和 MARKAL 之间的链接从 MACRO 模块产生能源服务需求，并将成本转移到 MACRO，从而形成两个模块之间的可计算反馈机制（[Chen, 2005](#)）。MARKAL-MACRO 模型中的 MACRO 是一个简单且高度聚合的模块，没有经济系统的详细部门，并且声称通过关注一个核心模型而减少对另一个模型的关注是可计算的。一般来说，混合方法的弱点是简化可计算的两种模型架构之一解决软链接或硬链接的可行性。

本研究总结了不同方法的优缺点，如表 3所示。到目前为止，还没有人完全同时考虑技术的明确细节和整体经济影响（[Hourcade 等人, 2006 年](#)；[施耐德和麦卡尔, 2006 年](#)）。

表 3。MAC 方法的优点和缺点。

| 方 法 | 自下而上 | | 自顶向下 | | 混合模型 |
|--------|--|--|--|--|---|
| | 财务会计 | 工程模型 | 距离函数 | CGE | 自下而上+自上而下 |
| | 非系统化建模 | 系统化建模 | 非系统化建模 | 系统化建模 | 系统化建模 |
| 优 点 | <ul style="list-style-type: none">• 计算简单• 对成本效益措施进行排名的高度描述 | <ul style="list-style-type: none">• 丰富的能源系统详细技术特性• 优化能源技术组合 | <ul style="list-style-type: none">• 关注生产过程中的要素替代• 掌握生产者和消费者的隐性成本• 捕捉价格反弹效应 | <ul style="list-style-type: none">• 强调与一般市场行为相互作用的内生均衡价格 | <ul style="list-style-type: none">• 同时考虑技术组合和经济影响 |
| 劣 势 | <ul style="list-style-type: none">• 缺乏跨部门或技术的动态交互路径和效果• 由于忽略了非财务成本而低估了 MAC• 非理性排序决定MAC负值矛盾 | <ul style="list-style-type: none">• 能源部门受困于局部均衡，未能延伸整个经济系统的一般均衡• 对市场行为变化影响的弱点 | <ul style="list-style-type: none">• 缺乏跨部门或技术的动态交互路径和效果 | <ul style="list-style-type: none">• 未能描述技术变更细节的影响 | <ul style="list-style-type: none">• 可计算解决并发症• 没有全面的方法涵盖经济、技术和社会视角的所有信息 |

3.2 。MAC的主要作用、功能和适用性

本研究从利益相关者类型、决策目标、成本概念、策略模式和信息范围等五个分析维度探讨了不同MAC方法的含义和适用性。每个维度进一步阐述的子支架如表 4 所示。

表 4。MAC 分类的适用性。

| 方面 | | 方法 | | | | |
|---------|------------|--------|------|------|------|-----------|
| | | 自下而上 | | 自顶向下 | 混合模型 | |
| | | 财务会计 | 工程模型 | 距离函数 | CGE | 自下而上+自上而下 |
| 利益相关者类型 | 投资者（个人或公司） | ● | | ● | | |
| | 社会规划者（政府） | | ● | | ● | ● |
| 决策目标 | 最小化投资成本 | ●（非优化） | ● | | | |
| | 利润最大化 | | | ● | | |
| 成本概念 | 最大化社会福利或效用 | | | | ● | ● |
| | 直接财务技术成本 | ● | ● | | | ● |
| | 社会成本 | | | ● | ● | ● |
| 策略模式 | 影子价格（机会成本） | | ● | ● | ● | ● |
| | 特定技术 | ● | ● | | | ● |
| 信息范围 | 以市场价格为基础 | | | ● | ● | ● |
| | 静止的 | ● | | ● | | |
| | 动态的 | | 时间路径 | | ● | ● |
| | | | 空间路径 | | ● | ● |

笔记。

- 直接财务技术成本：设备采购成本、运营和维护成本、资本成本、管理成本以及企业和个人产生的私人成本。
- 社会成本：税收、市场价格、交易成本、外部成本等。
- 影子价格：额外减少污染物单位所需的额外成本（不良产出）。
- 时间路径：上一期的政策会影响下一期MAC计算的布局。
- 空间路径：地理区域和经济部门的互动关系。

3.2.1 。利益相关者类型、决策目标和成本概念

MAC 方法多样化以满足不同的要求和目的，它们是 (1) 优化实现目标的选项和 (2) 分析市场对价格信号的可能反应 (Levihn, 2015 年)。MAC对社会规划者和投资者的意义有很大不同，尤其是在决策目标和成本概念上。从投资者的角度来看，目标要么是确定具有成本效益的特定技术组合，要么是在生产过程中实现利润最大化。他们关注直接投资成本，包括设备购买、运营、维护和资本（或生产替代品）等。财务会计和距离函数方法最适合解决此类问题。然而，从社会规划者的角度来看，他们的目标是确定一个优化的期权组合，并找到最小的机会成本。它可以通过最小化系统成本（社会福利损失）或最大化社会福利来实现，在碳减排目标的约束下。因此，可以合理地得出工程模型和 CGE 模型更好地满足社会规划者需求的结论。

3.2.2 。策略模式

自下而上的策略模式侧重于技术替代的组合变化，而自上而下的方法通过碳税或排放交易机制等市场手段实现减排目标。结果还表明，技术特定模式倾向于引入直接成本，市场价格模式使用社会成本来呈现MAC。

3.2.3 。信息范围

确定了 MAC 的两大类信息范围：时间路径和空间路径。时间路径规划指的是静态或动态的MAC信息。动态信息强调技术、资源、环境或市场条件随时间的变化；上一期实施的技术或政策，将影响下一期MAC计算的布局。因此，参照时间路径，MAC在动态路径规划下会逐年演化，而静态路径规划不考虑时间演化，仅限于在特定时间点显示结果。

空间路径规划是指地理区域或经济部门之间的 MAC 关系，其中全球减排水平可能影响能源价格（或碳）、负担分担协议，进而影响国家 MACC (Klepper 和 Peterson, 2006 年；Stern 等人, 2006 年)。, 2011 年, Cara 和 Jayet, 2011 年)。电动汽车渗透到交通部门与电力行业绿色电力发展之间的相互作用在整个国家的脱碳中起着举足轻重的作用，并有助于 MAC 计算的稳健性 (Kesicki, 2013a)。

最近，一些文献表明，动态路径可能是 MAC 气候变化决策的重要信息。[秋元等人。\(2012\)](#)以及[Vogt-Schilb 和 Hallegatte \(2014\)](#)认为，减排目标不可能一蹴而就，短期措施与实现长期目标有关，这些措施需要时间才能见效。[凯西基和斯特拉坎 \(2011\)](#)认为早期的政策激励会带来学习曲线以引发技术变革，并可能导致减排成本的降低。此外，MAC 决策应考虑技术的锁定效应，因为某些技术具有较长的生命周期（如发电厂），建设时间会影响后期技术决策的布局，类似的效果对碳税的实施时间会在未来引发MAC的市场连锁反应 ([Kesicki and Strachan, 2011](#))。一般来说，系统平衡模型，如工程模型或 CGE 模型，在时间和空间路径规划方面会很好地呈现。使用系统模型计算 MAC 不会产生负减排成本因为它考虑了减排措施的相互作用，并且假设即使没有任何气候政策的情况下，理性的人也会自动执行成本为负的减排措施，而只有当气候政策导致价格上升时，成本为正的减排措施才会实施CO₂排放量 ([Heitmann 和 Peterson, 2014 年](#))。

上述所有内容表明，不同方法的功能和应用差异很大。本研究从收集到的86篇文献中筛选出63篇论文，按照[表4](#)的维度统计呈现MAC领域的研究差异，如[表5](#)。

表 5。MAC 趋势研究的比较分析（N = 63 篇论文）。

| 学习区 | | | 方法 | | | | | | | | | |
|----------|------------------|--------|-------|------|------|-----|-----------|---|--------|-------|------|------|
| | | | 自下而上 | | 自顶向下 | | 混合模型 | | 小计（论文） | 小计（%） | 全部的 | |
| | | | 财务会计 | 工程模型 | 距离函数 | CGE | 自下而上+自上而下 | | | | | |
| 减排目标 | 温室气体类型 | 二氧化碳_ | 12 | 12 | 13 | 4 | 6 | | 47 | 75% | 100% | |
| | | 非CO 2 | 6 | | | | | | 6 | 9% | | |
| | | 温室气体 | 6 | 2 | | 1 | 1 | | 10 | 16% | | |
| | 附带效益（空气污染和其他污染物） | | 2 | 3 | 2 | | | | 7 | 11% | 11% | |
| 策略模式 | 非市场工具 | 技术集 | 1 | 6 | 1 | 1 | 3 | | 12 | 19% | 100% | |
| | | 个人技术 | 23 | 8 | | | | | 31 | 49% | | |
| | | 生产要素替代 | | | 8 | | | | 8 | 13% | | |
| | 市场衍生工具 | 排污权交易 | | | 2 | 3 | | | 5 | 8% | | |
| | | 碳税/补贴 | | | 1 | 1 | | | 2 | 3% | | |
| | 集成工具 | 技术+碳税 | | | 1 | | 4 | | 5 | 8% | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | 信息范围 | 显 | 静止的 | 19 | | 10 | | | | 29 | 46% | 100% |
| | | | 动态的 | 5 | 14 | 3 | 5 | 7 | | 34 | 54% | |
| | | 空间的 | 部门 行业 | 2 | | 4 | | | | 6 | 9% | 100% |
| 住宅和商业 | | | 4 | | | | | | 4 | 6% | | |
| 运输 | | | 2 | 5 | 2 | | 1 | | 10 | 16% | | |
| 农业 | | | 5 | | | | | | 5 | 8% | | |
| 能源/电力/废物 | | | 4 | 2 | 4 | | | | 10 | 16% | | |
| 国家的 | | | 6 | 2 | 3 | 2 | 5 | | 18 | 29% | | |
| 全球/多国 | | | 1 | 5 | | 3 | 1 | | 10 | 16% | | |

在策略模式方面，自下而上的方法显然都集中在详细的技术策略上。相反，距离函数法更强调生产要素的替代策略。最后，CGE 方法侧重于排放交易、碳税和其他市场发起的策略。

在[表4](#)适用性概念的基础上，我们进一步对MAC趋势研究进行比较分析，如[表5](#)所示。在减排目标的设定上，75%的文献侧重于CO₂排放研究，其中只有11%对辅助效应进行了延伸研究。结果显示，在信息范围的研究领域中，动态研究占54%，高于静态研究（显示为46%）。大多数研究更倾向于探索部门的 MAC，其中交通部门是一个受欢迎的范围，占 16%。跨国比较也是另一个热门研究领域，占 16%。策略模式的研究趋势主要集中在单项技术上，占比49%。

文献中统计核算的非系统方法（如Finance-Accounting或Distance Function）仍然高于系统方法（如工程模型、CGE模型和混合模型）。前者具有技术投入和生产要素替代细节、计算处理简便、信息表达明确等优点。尽管缺乏动态路径规划，但非系统方法可能更

适合个人或公司的决策。另一方面，具有动态路径处理优势的系统方法可能更适用于国家或全球层面的政府计划以及缓解决策的更广泛影响。

3.3 。MAC研究的创新与完善

上述分析表明，自下而上的方法强调减排技术策略，而自上而下的模型强调生产替代因素或需求减少策略。这两种方法都提供了有关气候变化减缓决策的技术或经济补充信息。近年来，许多研究加入创新思维来改进这些方法的弱点或突破其局限性，以期增加方法所提供信息的有效性。本研究回顾了有关 MAC 创新和改进的文献，如表 6 所示。

表 6。MAC研究的创新与完善。

| 项 目 | 方法 | | | |
|------|--|--|---|--|
| | 自下而上 | | 自顶向下 | |
| | 财务会计 | 工程模型 | 距离函数 | CGE |
| 改进 | <ul style="list-style-type: none">纠正排名负成本措施的帕累托原则 (Taylor, 2012)。将 MAC 与多标准分析相结合 (Melo et al. (2013))。减排的生命周期方法 (Ibn-Mohammed 等人, 2014 年, O'Brien 等人, 2014 年)。添加反馈回路以探索动态路径相关方面 (Levihn 等人, 2014 年)。随着时间的推移和技术进入市场，缓解技术的成本会降低 (Gallaher 等人, 2005 年)。 | <ul style="list-style-type: none">解决自下而上模型中与价格相关的能源服务需求的可能作用 (Kesicki 和 Anandarajah, 2011 年)。将MARKAL模型与分解分析相结合，克服了MAC技术细节缺乏技术的缺点 (Kesicki, 2013a)。在 TIMES 和环境扩展输入输出模型之间建立了软链接，以计算直接和间接 CO₂排放的 MAC (Daly 等人, 2015 年)。通过将能源供应链和运输部门相互关联，推导出从油井到车轮的 GHG MACC (Tomaschek, 2015 年)。 | <ul style="list-style-type: none">捕捉输出的可微性和非比例变化的优势 (Du et al., 2014)。应用指数和分解方法来推导有意义的组成部分，包括技术变化 (Mekaroonreung 和 Johnson, 2014 年)。 | <ul style="list-style-type: none">CGE 模型体现了发电技术，并通过分解方法分离出每项措施的贡献 (Sands 和 Schumacher, 2009 年)。包含内生技术变革研发方法的 CGE 模型 (Wang et al., 2009)。提出一种基于自下而上成本曲线确定 CGE 替代弹性的方法 (Kiuila 和 Rutherford, 2013b)。基于专家的成本评估与 CGE 模型相结合 (Heitmann 和 Peterson, 2014 年, Kiuila 和 Rutherford, 2013a)。 |
| 不确定 | <ul style="list-style-type: none">未来研究所需 | <ul style="list-style-type: none">敏感性分析对 MAC 的影响因素范围更广 (Koljonen 和 Lehtilä, 2012 年, Kesicki, 2013b)。多维可视化图形同时呈现了外部参数变化与 CO₂成本之间的影响，并确定了不同 CO₂减排方案之间的相互作用 (Delarue 等人, 2010 年, Van den Bergh 和 Delarue, 2015 年)。 | <ul style="list-style-type: none">采用实物期权方法来考虑 CO₂ 市场价格的波动性 (Koljonen 和 Lehtilä, 2009 年)。 | <ul style="list-style-type: none">考察了化石燃料价格如何影响 MAC (Klepper 和 Peterson, 2006 年)。探索 MAC 对国外政策的稳定性问题，随着时间的推移对以前政策的依赖 (Morris 等人, 2012 年)。 |
| 辅助作用 | <ul style="list-style-type: none">碳减排与当地污染物减排措施之间的相互作用 (Xi et al., 2013 , Eory et al., 2013)。 | <ul style="list-style-type: none">评估针对空气污染物的特定温室气体减排措施的近期协同效益 (Wangner 等人, 2012 年; Selvakkumaran 和 Limmeechokchai, 2015 年)。 | <ul style="list-style-type: none">将温室气体和酸化物质的排放作为 DEA 的环境输入 (Larsson 和 Telle, 2008 年)。 | <ul style="list-style-type: none">未来研究所需 |

自上而下方法的创新目前主要集中在加强对技术影响的讨论。 Kiuila and Rutherford, 2013a , Kiuila and Rutherford, 2013b 和 Heitmann and Peterson (2014) 将技术阶梯曲线的概念从自下而上的方法引入自上而下的方法，发现自上而下的方法在没有考虑技术

细节。王等。(2009)在 CGE 模型中构建知识资本市场,模拟知识资本对生产成本的累积效应,表明通过将内生技术变革纳入模型,可以减少 MAC 和相关 GDP 损失。要真正掌握 CGE 模型中的技术变化效果, Sands, 2004 年, Sands 和 Schumacher, 2009 年在 CGE 模型中创建了一个嵌套的 logit 发电技术结构,并使用 LMDI 分解方法来量化每个缓解方案的贡献,并评估能源效率、燃料转换和 CCS 的影响 MAC 上的技术。

与加强技术变革影响的自上而下方法相反,近年来自下而上方法开始研究市场行为变化的影响。Kesicki 和 Anandarajah (2011)利用 TIAM-UCL 模型的弹性需求模块结合分解分析揭示了当需求价格弹性较低时社会福利损失较高。Flachsland 等人。(2011)研究表明,精心设计的基于市场的工具,例如碳税和限额与交易系统,协调的 MAC 填补了当前由非市场工具主导的道路运输政策组合中的一个重要政策空白。无论如何,如果减排期权组合缺乏技术特征或市场行为,MAC 可能会被高估。

虽然能源工程系统模型加强了财务会计方法在动态、交互影响和不确定性方面的弱点,但能源工程系统模型通常用一组缓解选项来描述 MAC,因为选项之间的相互作用和集成,这与 MAC 排名不同通过财务会计方法对个别技术(或逐个衡量)进行衡量。针对工程模型的弱点,Kesicki (2012)引入指标分解分析,将技术细节带入以财会法 MAC 曲线表示的阶梯图中,加强了 MAC 能源工程系统模型的前沿研究。Tomaschek (2015)以图形方式逐步推导出并到轮 CO₂ 的 MAC 运输部门的排放要考虑能源系统内的相互联系和相互依存关系。

近年来,一些学者质疑财务会计方法在 MAC 负成本(或称为无后悔选项)、结果可靠性和排名有效性问题上的缺陷(Kesicki 和 Strachan, 2011, Taylor, 2012, Heitmann 和 Peterson), 2014, 沃德, 2014)。财务会计方法通过现金流量法评估净现值(NPV),这可能会产生负的 NPV,成本小于收益(即无遗憾措施)。一些研究认为 MAC 投资行为的负 NPV 可能会引起可靠性问题,因为忽略了制度成本、实施成本、交易成本、监控成本等非财务成本,这可能低估了减排技术的投资成本(Vermont 和 Cara, 2010 年, Kesicki 和 Strachan, 2011 年, Heitmann 和 Peterson, 2014 年)。此外,也有研究质疑 MAC 负值的逻辑有效性。MAC 优先级通过将成本从低到高排序来显示应首先实施哪些措施,但负 NPV 除以减排量可能会导致不合理的投资决策矛盾,因为较小的减排措施优先于较大的减排量,特别是对于同样的负成本减排措施(Taylor, 2012 年, Ward, 2014 年)。

因此,财务会计方法最近倾向于改进有效性和动态性的弱点。Taylor (2012)通过帕累托优化设计了一种替代的部分排序方法来解决负成本效益的不合理问题。一些研究对财务会计方法进行改革和扩展,以评估与国民消费排放相关的排放,使用生命周期评估(LCA),克服部门碳泄漏问题,通过部门之间的相互作用解决空间路径的弱点,并提供考虑环境和财务因素的信息(O'Brien 等人, 2014 年, Ibn-Mohammed 等人, 2014 年)。为了解决基于专家的 MACC 中路径依赖的缺点,Levihn (2015 年)讨论了投资者或环保主义者的困境,并通过引入反馈回路来确定后来的减排选项对先前采用的影响,从而对帕累托优化排名提供了新的见解选项以排除冗余投资(Levihn et al., 2014)。甜瓜等。(2013)将多标准分析(MCA)与 MAC 相结合,提供了更多综合政策的宝贵见解,这些政策的排名优于仅选择一个成本效益标准。加拉赫等人。(2005)将技术变化的估计纳入财务会计方法,以捕捉缓解技术成本随时间的减少。

文献中已经讨论和探索了模型中的不确定性问题。MAC 方法建立在数学方程和一定的假设之上,方程参数和外生变量会影响结果的可靠性和不确定性。Kesicki (2013b)通过检查几个关键参数的影响来解决 MARKAL 模型中 MAC 的敏感性,结果表明技术的门槛率、关键减排技术的可用性和需求水平对 MAC 的变化有显著影响。Koljonen 和 Lehtilä (2012)利用 TIMES 模型的敏感性分析来评估非经合组织亚洲较高的能源需求增长率对全球缓解成本的影响,表明对全球 MAC 的影响较小,但如果亚洲发展中国家会增加经合组织地区的 MAC 终端能源消耗快速增长。一些研究得出结论,其他国家减排水平导致的能源价格变化确实会影响 CGE 模型中的国家 MACC;受影响的程度取决于基线,如果实施外国政策可能会发生变化(Klepper 和 Peterson, 2006 年, Morris 等人, 2012 年)。不同于通过敏感性分析探索 MAC 的可靠性, Park 和 Lim (2009)将实物期权方法纳入输出距离函数,以评估排放配额采购方案与直接减排方案相比的优势,这为风险管理提供了有价值的信息。虽然 MACC 是在一组特定条件下得出的,并且简单的二维关系图通常出现在文献中,但多维可视化图形通过将 CO₂ 排放驱动因素与 CO₂ 联系起来,展示了对 MAC 稳健性和粒度的新见解成本,它显示了改变外部参数的影响,并确定了不同 CO₂ 减排方案之间的相互作用(Delarue 等人, 2010 年, 范登伯格和德拉鲁, 2015 年)。

另一个 MAC 新兴研究课题,但研究领域的开发程度较低,是与温室气体减排措施相关的外部效应(或辅助效应或共同效益)。辅助效应的研究内容侧重于评估权衡或协同对 MAC 的影响,形成多排放边际减排成本曲线(MP MACC),以提供更综合的决策信息。在这些附带影响中,最重要的协同效应是空气质量问题(Wagner 等人, 2012 年, Xi 等人, 2013 年, Selvakkumaran 和 Limmeechokchai, 2015 年)。在实践中,将辅助效应货币化需要更完整的来源和可靠的估计,并且需要清晰地描绘成本边界。辅助效应的进一步深入研究应关注与 MAC 相关的可避免控制成本的识别和分摊(Eory 等, 2013)。

4. 讨论

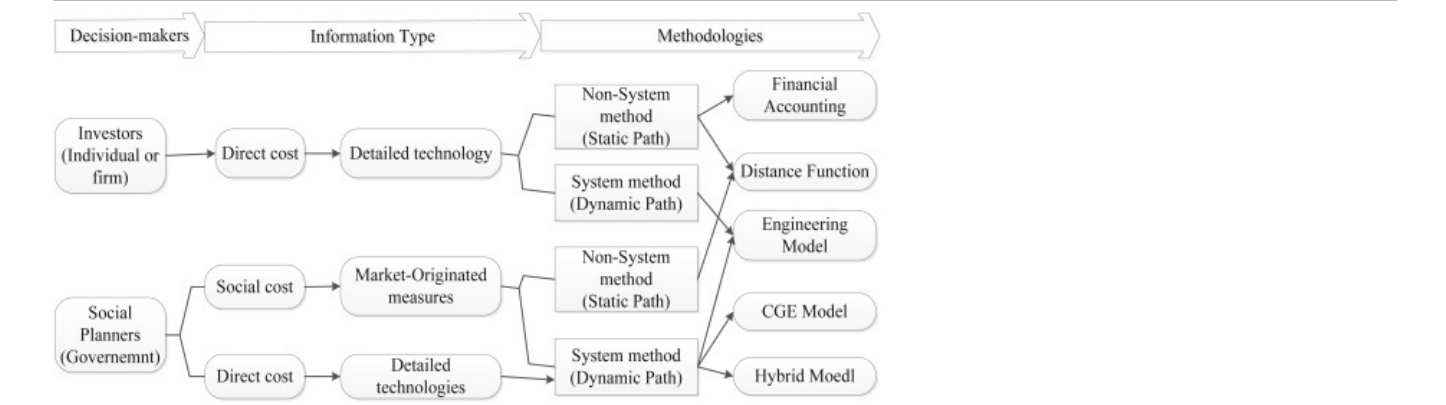
在文献综述中,我们提出了三个 MAC 方法问题来进一步讨论,如下所示。

4.1。方法的适用性

根据逻辑的性质和原则,不同的方法侧重于专业主题分析以提供特定信息。由于不同的利益相关者需要不同的信息,因此出现了对 MAC 方法适用性的质疑。因此,不应直接比较不同方法计算出的 MAC。政策制定者应该清楚地了解 MAC 方法的实验设计条件和信息的局限性,以避免对 MAC 信息的误解。

本研究结果发现，目前的系统模型（如能源工程模型和CGE模型）即使不断改进模型以提高稳健性，仍难以捕捉到包括技术和市场行为在内的政策的所有详细和综合影响。在扩展方法能力的同时，似乎产生了一种进退两难的局面。随着它的复杂性增加并且变得更难计算，它还提供了良好的稳健性和信息范围，尽管这会导致建模者和决策者之间的建模知识沟通障碍。与系统模型相比，非系统方法（如财务会计和距离函数）提供单一时间点和单一部门的简单信息，通过深入的技术数据来计算更快速和及时。

本研究基于“政策制定者”（Investors vs. Social planners）和“信息类型”（Direct cost or Social cost）提出了MAC方法的选择路径参考，如图3。我们认为复杂的方法并不总是比简单的方法好。根据决策者所需要的信息来选择方法，获得有效、适用的决策信息更为恰当。



[下载: 下载高分辨率图像 \(352KB\)](#)
[下载: 下载全尺寸图像](#)

图 3。MAC 方法选择路径参考。

4.2 。方法的可靠性

无论是通过自下而上还是自上而下的方法，这两种方法都存在一些不确定因素。导致方法可靠性的原因有以下三种。

第一个是分析结果的时间分辨率。适当的时间范围可以反映过渡路径的全部影响。然而，必须考虑到气候变化研究的时间跨度通常比未来 30-50 年或更长。此外，特定政策干预的持续时间可能会在短期内终止，也可能会长期持续。因此，很难准确把握未来技术进步和经济波动的变化。

第二个是处理模型中的数据 and 假设。由于MAC方法建立在数学方程和基本假设的基础上，一些建模者通过模糊和主观的判断简化了模型的结构。此外，新兴技术的成本可能会随着时间的推移而降低，因为“边做边学”效应，这可能导致排名顺序发生变化。很难预测新兴技术随时间推移的“学习曲线”。因此，如何在方程中设置足够的参数和外生变量将影响决策者对MAC的信心。

第三个是成本效益分析中对选项进行排序的唯一决策标准，没有考虑其他目标或其他辅助效果，导致画面不准确，模型可能无法捕捉到全貌。然而，这种存在于方法论上的固有缺陷需要更深入的研究来突破。

大多数文献通过敏感性分析来处理不确定性问题，以找出关键影响因素。评价不确定性的方法有多种，包括随机优化法和协调解法。另一种提高可靠性的方法是召集利益相关者研讨会，通过利益相关者和专家的经验来确认数据和参数的合理性，同时保持跟踪和调整，为政策制定者提供完整的决策过程（Laes and Couder, 2014）。在决策过程中，加入利益相关者的观点，不仅有助于加强不确定性，还可以增加结果的透明度和接受度。

MAC 对于特定部门或中间部门的期权排名特别有用。这项研究的结果表明，如果政策制定者通过比较技术发展、燃料经济性改进、替代燃料选择等来制定减排战略组合，那么 MAC 可以通过对选择与基准线相比的相对价值进行排名来可靠，而不是通过个别措施的绝对值，因为很难掌握未来的全部不确定性。

4.3 。策略的连贯性

气候变化是一个长期问题。在计算MAC时，需要同时考虑三个重要因素，这三个因素会影响战略实施的连贯性。一个因素是实现目标的严格性。第二个因素是替代现有技术的生命周期。第三个因素是减排措施的扩散效应。

各国根据社会、经济和环境状况，制定了短则10年至20年，长则30至40年的减排目标。有些技术具有锁定效应来替代它，例如发电厂技术以及工业流程改造或新车更换等，如果采取一些早期措施，将锁定未来几十年其他技术替代的可能性。因此，动态分析的系统方法可以更好地提供短期和长期决策之间协调一致的信息含义，而一些措施（如高效设备）适合短期实施，一些措施（例如新兴技术）可以带来长期的巨大影响。长期规划应考虑到短期的过渡，以满足战略实施的连贯性。

5. 结论和政策影响

本研究收集了发表在近十年国际期刊上的86篇论文, 阐明了与MAC相关的意义、优缺点、适用性、研究趋势。我们发现最近MAC在气候变化问题中的应用明显且广泛, 这表明MAC是气候变化决策的重要分析工具。

MAC的主要功能是在公司或国家层面分配有限的资源, 设定国家或部门的减排目标, 并审议选项组合, 包括技术或市场导向的政策。然而, 目前还没有一种全面的方法来提供涵盖所有经济、技术和社会视角的综合信息 (Browne 和 Ryan, 2011 年; Sathaye 和 Shukla, 2013 年; Schneider 和 McCarl, 2006 年)。

本研究并不是要确定所讨论方法的优缺点, 而是希望在分析气候变化问题时认识到这些方法的适用性。本研究的主要贡献是进行系统分类, 阐明内涵和适用性, 有助于认识不同研究方法的有效性和局限性, 减少政策制定者的误用。此外, 本研究还指出了MAC方法在创新和改进方面的研究趋势, 这可能会在MAC未来的研究中产生更丰硕和有趣的结果。

致谢

作者要感谢台湾能源局、中华民国和工业技术研究院的支持。

推荐文章

参考

Akimoto 等人, 2012 年 Akimoto K、Sano F、Homma T、Wada K、Nagashima M、Oda J
2020 年和 2030 年边际减排成本曲线的比较: 有效全球温室气体减排的更长期前景
维持。科学, 7 (2012 年), 第157 - 168 页
[View article](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

本纳赛尔和吉伦, 2010 K. Bennaceur, D. Gielen
主要碳减排方案的能源技术建模
诠释。J.格林。Gas Con, 4 (2010 年), 第309 - 315页
[查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

布朗和瑞安, 2011 D. 布朗, L. 瑞安
交通政策评价技术比较分析
环境。影响评估。修订版, 31 (2011 年), 第226 - 233页
[查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

卡拉和杰特, 2011 SD Cara, P. Jayet
欧洲农业温室气体排放的边际减排成本、成本效益和欧盟非 ETS 负担分担协议
生态学。经济, 70 (2011 年), 第1680 - 1690页
[谷歌学术](#)

Chen, 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](#)

Chen, 2015 CC 陈
评估温室气体排放管制的污染物减排成本: 以台湾高速公路巴士服务业为例
环境。资源。经济学, 61 (2015 年), 第477 - 495页
[View article](#) [交叉引用](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

陈等, 2007 W. Chen, Z. Wu, J. He, P. Gao, S. Xu
中国的碳排放控制策略: 与中国 MARKAL 模型的部分均衡和一般均衡版本的比较研究
能源, 32 (2007), pp. 59 - 72
[查看PDF](#) [查看文章](#) [在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Corbett 等人, 2009 年 JJ Corbett, H. Wang, JJ Winebrake
国际航运减排速度的有效性和成本

传输。Res. D 部分, 14 (2009), p. 593 - 598

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

戴利等人, 2015 年 HE Daly、K. Scott、Neil Strachan、J. Barrett

能源系统路径的间接 CO₂ 排放影响: 将英国的 IO 和 TIMES 模型联系起来
环境。科学。技术。 , 49 (2015 年) , 第10701 - 10709页

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

Dedinec 等人, 2013 年 A. Dedinec、N. Markovska、V. Taseska、N. Duic、G. Kanevce

评估马其顿交通部门减缓气候变化的潜力
能源, 57 (2013) , pp. 177 - 187

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

Dedinec 等人, 2015 年 A. Dedinec、N. Markovska、R. Igor、G. Veleviski、VT Gjorgjievska、TO Grncarovska、P. Zdraveva

发展中国家废弃物部门气候变化减缓措施的经济和环境评价
J. 清洁产品。 , 88 (2015 年) , 第234 - 241页

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

德拉鲁等人, 2010 年 ED Delarue、AD Ellerman、WD D'Haeseleer

强大的 MACC? 欧洲电力部门燃料转换的减排情况
能源, 35 (2010) , pp. 1465 - 1475

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

Delhotal 等人, 2008 年 KC Delhotal、FC Chesnaye、A. Gardiner、J. Bates、A. Sankovski

减少废物、能源和工业产生的甲烷和一氧化二氮排放
Energy J Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy 特刊, 29 (2008 年) , 第180 - 181页,
10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VolSI2006-NoSI3-3

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

Dequiedt 和莫兰, 2015 年 B. Dequiedt、D. 莫兰

法国农业中豆类作物减排的成本
生态学。经济。 , 110 (2015 年) , 第51 - 60页

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

杜与毛, 2015 L. 杜, J. 毛

估算中国燃煤电厂的环境效率和边际CO₂减排成本
能源政策, 85 (2015 年) , 第347 - 356页

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

你等, 2014 L. Du, A. Hanley, C. Wei

中国二氧化碳减排的边际成本: 参数分析
环境。资源。经济。 (2014) , 10.1007/s10640-014-9789-5

[View article](#) [谷歌学术](#)

你等, 2015 L. Du, A. Hanley, C. Wei

估算中国CO₂排放的边际减排成本曲线: 省级面板数据分析
能源经济学。 , 48 (2015 年) , 第217 - 229页

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

Ellerman 和 Dacoux, 1998 年 AD Ellerman、A. Dacoux

使用边际减排曲线分析后京都 CO₂ 排放交易
麻省理工学院全球变化科学与政策联合计划 (1998 年)
<http://hdl.handle.net/1721.1/3608>

[谷歌学术](#)

Eory 等人, 2013 年 V. Eory、FET 克里斯蒂娜、D. 莫兰

英国农业温室气体减排措施的多污染物成本效益

环境. 科学. 政策, 27 (2013), pp. 55 - 67

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

Flachsland 等人, 2011 年 C Flachsland 、 S Brunner 、 O Edenhofer 、 F Creutzig

重新审视公路运输的气候政策 (二): 通过限额与交易缩小政策差距

能源政策, 39 (2011), pp. 2100 - 2110

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

加拉赫等人, 2005 年 国会议员 加拉赫、JE Petrusa 、 C. Delhotal

非CO₂温室气体的国际边际减排成本

环境. 科学. , 2 (2005 年) , 第327 - 337页

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

加拉赫等人, 2009 年 M. Gallaher 、 K. Delhotal 、 J. Petrusa

估算美国农业能源效率的潜在 CO₂减排量

能源效率. , 2 (2009 年) , 第207 - 220页

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

Garg 等人, 2014 年 A. Garg 、 PR Shukla 、 J. Maheshwari 、 J. Upadhyay

印度古吉拉特邦的家庭电力负荷曲线和相应的 CO₂边际减排成本曲线评估

能源政策, 66 (2014), pp. 568 - 584

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

他, 2015 十、何

中国二氧化碳减排成本的地区差异

能源政策, 80 (2015 年) , 第145 - 152页

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

海特曼和彼得森, 2014 年 N. 海特曼, S. 彼得森

航运业对有效减少全球二氧化碳排放量的潜在贡献

环境. 科学. 政策, 42 (2014), pp. 56 - 66

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

霍夫曼等人, 2012 年 PN Hoffmann 、 MS Eide 、 Ø. Endresen

提议的 CO₂减排方案对资本支出的影响

玛丽特. 政策经理. , 39 (2012), 第 101-10 页. 443 - 460

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

Hourcade 等人, 2006 年 J. Hourcade 、 M. Jaccard 、 C. Bataille 、 F. Gherzi

混合建模: 旧挑战的新答案

能源杂志, 27 (2006 年) , 第1 - 11页

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

伊本-穆罕默德等人, 2014 年 T. Ibn-Mohammed 、 R. Greenough 、 S. Taylor 、 L. Ozawa- Meida 、 A. Acquaye

将经济考虑因素与运营排放和隐含排放整合到决策支持系统中, 以对建筑改造方案进行最佳排序

建造. 环境. , 72 (2014 年) , 第82 - 101页

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

杰克逊, 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](#)

凯西基, 2012 F. 凯西基

英国交通部门的跨期问题和边际减排成本

传输. Res. D 部分, 17 (2012), p. 418 - 426

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

凯西基, 2013a F. 凯西基

边际减排成本曲线: 结合能源系统建模和分解分析
环境。模型。评估。 , 18 (2013 年) , 第27 - 37页

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

凯西基, 2013b F. 凯西基

MAC 曲线的主要驱动因素是什么? 英国的部分均衡建模方法
能源政策, 58 (2013) , pp. 142 - 151

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

Kesicki 和 Anandarajah, 2011 年 F. Kesicki , G. Anandarajah

减少能源服务需求在减缓全球气候变化中的作用: 结合能源建模和分解分析
能源政策, 39 (2011) , pp. 7224 - 7233

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

Kesicki 和 Ekins, 2012 年 F. Kesicki , P. 埃金斯

边际减排成本曲线: 警告
爬升。政策, 12 (2012) , pp. 219 - 236

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

Kesicki 和 Strachan, 2011 年 F. Kesicki , N. Strachan

边际减排成本 (MAC) 曲线: 面对理论与实践
环境。科学。政策, 14 (2011) , pp. 1195 - 1204

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

Kiuiila 和卢瑟福, 2013a O. Kiuiila , TF 卢瑟福

减少 CO₂ 排放的成本: 将减排技术整合到经济模型中
生态学。经济。 , 87 (2013 年) , 第62 - 71页

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

Kiuiila 和卢瑟福, 2013b O. Kiuiila , TF 卢瑟福

自下而上减排成本曲线的分段平滑近似
能源经济学。 , 40 (2013 年) , 第734 - 742页

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

克莱珀和彼得森, 2006 年 G. 克莱珀, S. 彼得森

一般均衡中的边际减排成本曲线: 世界能源价格的影响
资源。能源经济学。 , 28 (2006 年) , 第1 - 23页

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

柯等, 2010 F. Ko , C. Huang , P. Tseng , C. Lin , B. Zheng , H. Chiu

台湾电力业CO₂长期减排目标及情景
能源政策, 38 (2010) , pp. 288 - 300

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

Kok 等人, 2011 年 R. Kok , JA Annema , BV Wee

交通运输中温室气体减排的成本效益——方法及其影响回顾
能源政策, 39 (2011) , pp. 7776 - 7793

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

Koljonen 和 Lehtilä, 2012 T. Koljonen , A. Lehtilä

亚洲住宅和交通能源需求的不确定性对减缓气候变化的影响
能源经济学。 , 34 (2012 年) , 第5410 - 5420页

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Kuik 等人, 2009 年 O. Kuik , L. Brander , SJT 理查德

温室气体排放的边际减排成本: 荟萃分析

能源政策, 37 (2009), pp. 1395 - 1403

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

权与允, 1999 OS Kwon , WC Yun

韩国发电行业空气污染物边际减排成本估算

能源经济学. , 21 (1999), 第547 - 560页

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

莱斯和库德, 2014 E. Laes , J. Couder

探索能源和气候政策中技术丰富的自下而上模型的有用性: 从论坛项目中吸取的教训

期货 (2014) , [10.1016/j.futures.2014.06.001](#)

[View article](#) [谷歌学术](#)

拉尔森和泰尔, 2008 J. 拉尔森 , K. 泰尔

IPPC 对排放和减排成本的 BAT 要求的后果: 对挪威数据的 DEA 分析

环境. 资源. 经济. , 41 (2008 年) , 第563 - 578页

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

李和周, 2015 CY Lee , P.Zhou _

1990-2010年美国煤电行业CO₂, SO₂和NO_x定向影子价格估算

能源经济学. , 51 (2015 年) , 第493 - 502页

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

李等人, 2014 S. Lee , D. Oh , J. Lee

一种衡量影子价格的新方法: 协调工程和经济观点

能源经济学. (2014), [10.1016/j.eneco](#)

接受的手稿

[View article](#) [谷歌学术](#)

莱文, 2015 F. 莱文

投资、系统动力学、能源管理和政策: 自下而上供应曲线度量问题的解决方案
(2015)

工业经济与管理博士论文 瑞典斯德哥尔摩

[谷歌学术](#)

莱维恩等人, 2014 年 F. Levihn , C. Nuur , S. Laestadius

边际减排成本曲线和减排策略: 考虑选项的相互依赖性和与气候变化无关的投资

能源(2014), pp. 1 - 9

[谷歌学术](#)

洛瓦塞尔, 2010 R. Loisel

通过动态 CGE 模型评估罗马尼亚的配额分配规则

爬升. 政策, 10 (1) (2010), pp. 87 - 102

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

Lutsey 和 Sperling, 2009 年 N. Lutsey , D. 斯珀林

美国交通运输部门与其他部门的温室气体减排供给曲线

传输. Res. D 部分, 14 (2009), p. 222 - 229

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

麦肯锡公司, 2009 年 麦肯锡公司

通往低碳经济的途径: 全球温室气体减排成本曲线第 2 版

(2009)

http://www.mckinsey.it/idee/practice_news/pathways-to-a-low-carbon-economy.view

[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

J.环境. 经济. 管理., 37 (1999 年), 第306 - 314页

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

Mekaroonreung 和约翰逊, 2014 年 M. Mekaroonreung, AL 约翰逊

一种估计技术变化对美国燃煤电厂边际减排成本影响的非参数方法
能源经济学., 46 (2014 年), 第45 - 55页

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

甜瓜, 2013 加州德. 梅洛, G德. Martino Jannuzzi, AF Tripodi

评估巴西建筑行业减缓气候变化的公共政策机制
能源政策, 61 (2013), pp. 1200 - 1211

[谷歌学术](#)

莫兰等人, 2011 年 D. Moran、M. Macleod、E. Wall、V. Eory、A. McVittie、A. Barnes、R. Rees、CFE Topp、A. Moxey

英国农业温室气体排放的边际减排成本曲线
J.农业. 经济., 62 (2011 年), 第93 - 118页

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

莫里斯等人, 2012 年 J. Morris, S. Paltsev, J. 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
环境. 模型. 评估., 17 (2012 年), 第325 - 336页

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

Nordrum 等人, 2011 年 S. Nordrum、D. Lieberman、M. Colombo、A. Gorski、C. Webb

评估加州石油工业设施的温室气体减排方案和成本: 未来的形式
能源程序, 4 (2011), p. 5729 - 5737

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

奥布莱恩等人, 2014 年 D. O'Brien、L. Shalloo、P. Crosson、T. Donnellan、N. Farrelly、J. Finnan、K. Hanrahan、S. Lalor、G. Lanigan、F. Thorne、R. Schulte

评估温室气体核算方法对爱尔兰农业温室气体排放边际减排成本曲线的影响
环境. 科学. 政策, 39 (2014), pp. 107 - 118

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

朴和林, 2009 H. Park, J. 林

韩国电厂边际 CO₂减排方案的评估
能源政策, 37 (2009), pp. 1834 - 1841

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

彭等, 2012 Y. Peng, L. Wenbo, C. Shi

中国工业部门CO₂的边际减排成本
能源程序, 14 (2012), p. 1792 - 1797

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

Promjiraprawat 等人, 2014 年 K. Promjiraprawat、P. Winyuchakrit、B. Limmeechokchai、T. Masui、T. Hanaoka、Y. Matsuoka

泰国住宅和建筑行业的CO₂减排潜力和边际减排成本
能源建设. (2014), 10.1016/j.enbuild.2014.02.050

[View article](#) [谷歌学术](#)

罗德塞斯, 2013 KL Rødseth

寻找成本最低的减少污染的方法: 影子价格法
生态学. 经济., 92 (2013 年), 第16 - 24页

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

金沙, 2004 路金沙

第二代模型中的碳减排动态

能源经济学, 26 (2004 年), 第721 - 738页

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

金沙和舒马赫, 2009 RD Sands, K. 舒马赫

德国温室气体减排方案的经济比较

能源效率, 2 (2009), 第17 - 36页

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

Sarofin 等人, 2010 MC 萨罗芬、BJ 迪安杰洛、RH 比奇、KA 韦茨、马巴内尔、ZAM 菲格罗亚

美国黑碳排放的边际减排成本曲线

J. 积分. 环境. 科学, 7 (2010 年), 第279 - 288页

[谷歌学术](#)

Sathaye 和 Shukla, 2013 年 J. Sathaye, PR 舒克拉

计算碳减排成本的方法和模型

年. 牧师约资源, 38 (2013), pp. 137 - 168

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

舍费尔和雅各比, 2006 年 A. Schäfer, HD 雅各比

使用混合 CGE-MARKAL 模型进行实验

能源杂志, 27 (2006 年), 第171 - 177页

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

施耐德和麦卡尔, 2006 年 UA 施耐德, BA 麦卡尔

评估农业温室气体减排潜力: 替代假设的影响

农业. 经济, 35 (2006 年), 第277 - 287页

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

施瓦兹等人, 2013 年 M. Schwarz, S. Goers, M. Schmidthaler, R. Tichler

测量上奥地利州的温室气体减排成本

诠释. J. 克莱姆. 改变策略管理, 5 (3) (2013), pp. 246 - 266

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

Selvakkumaran 和 Limmeechokchai, 2015 年 S. Selvakkumaran, B. Limmeechokchai

新兴经济体交通部门的低碳社会情景分析——AIM/Enduse 建模方法

能源政策, 8 (2015 年), 第199 - 214页

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

斯特恩等人, 2011 年 DI Stern, JCV Pezzey, NR Lambie

世界上哪里的碳减排成本最低?

奥斯特. J. 农业. 资源. 经济, 56 (2011 年), 第315 - 331页

[在 Scopus 中查看](#) [谷歌学术](#)

泰勒, 2012 泰勒

负成本减排措施排名

能源政策, 48 (2012), pp. 430 - 438

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

托马谢克, 2015 年 J. 托马舍克

政策建议的边际减排成本曲线——一种能源系统分析方法

能源政策, 85 (2015 年), 第376 - 385页

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

范登伯格和德拉鲁, 2015 年 K. 范登伯格, E. 德拉鲁

量化电力部门的CO₂减排成本

能源政策, 80 (2015), pp. 88 - 97

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

佛蒙特州和卡拉, 2010 年 B. 佛蒙特州, SD Cara

减少农业非 CO₂ 温室气体排放的成本有多大? 荟萃分析
生态学. 经济., 69 (2010 年), 第1373 - 1386页

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

Vogt-Schilb 和 Hallegatte, 2014 年 A. Vogt-Schilb, S. Hallegatte

边际减排成本曲线和缓解措施的最佳时机
能源政策, 66 (2014), pp. 645 - 653

 [查看PDF](#) [查看文章](#) [谷歌学术](#)

卫报, 2013 P. 监护人

边际 CO₂ -e 减排成本曲线在奥地利的实用性
能源政策, 61 (2013), pp. 1116 - 1126

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

王等, 2009 K. Wang, C. Wang, J. Chen

基于包含内生技术变化的 CGE 模型分析中国不同气候政策选择的经济影响
能源政策, 37 (2009), pp. 2930 - 2940

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

王等, 2011 Q. Wang, Q. Cui, D. Zhou, S. Wang

中国二氧化碳边际减排成本: 非参数分析
Energy Procedia, 5 (2011), p. 2316 - 2320

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

Wangner 等人, 2012 年 F. Wangner, M. Amann, J. Borken-Kleefeld, J. Cofala, L. Höglund-Isaksson, P. Purohit, P. Rafaj, W. Schöpp, W. Winiwarter

部门边际减排成本曲线: 对附件一国家减缓承诺和空气污染协同效益的影响
维持. 科学., 7 (2012 年), 第169 - 184页

[谷歌学术](#)

沃德, 2014 DJ 沃德

边际减排成本曲线在优化向低碳能源供应过渡中的失败
Energy Policy, 73 (2014), pp. 820-822

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

Xi et al., 2013 Y. Xi, T. Fei, W. Gehua

Quantifying co-benefit potentials in the Chinese cement sector during 12th Five Year Plan: an analysis based on marginal abatement cost with monetized environmental effect
J. Clean. Prod., 58 (2013), pp. 102-111

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

Xiao et al., 2014 H. Xiao, Q. Wei, H. Wang

Marginal abatement cost and carbon reduction potential outlook of key energy efficiency technologies in China's building sector to 2030
Energy Policy, 69 (2014), pp. 92-105

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

Zhou et al., 2015 X. Zhou, L.W. Fan, P. Zhou

Marginal CO₂ abatement costs: findings from alternative shadow price estimates for Shanghai industrial sectors
Energy Policy, 77 (2015), pp. 109-117

 [View PDF](#) [View article](#) [View in Scopus](#) [Google Scholar](#)

Zwaan et al., 2013 B.V.D. Zwaan, I. Keppo, F. Johnsson

How to decarbonize the transport sector?
Energy Policy, 61 (2013), pp. 562-573

Cited by (56)

Can monetized carbon information increase pro-environmental behavior? Experimental evidence

2023, Ecological Economics

[Show abstract](#) ✓

A marginal abatement cost curve for climate change mitigation by additional carbon storage in French agricultural land

2023, Journal of Cleaner Production

[Show abstract](#) ✓

Model-based step-wise marginal CO₂ abatement cost curves to determine least-cost decarbonization pathways for sector-coupled energy systems

2022, Journal of Cleaner Production

[Show abstract](#) ✓

EPLANoptMAC 模型规划小岛海运部门脱碳

2022年, 能源

[显示摘要](#) ✓

氢基合成燃料的碳减排成本——一个典型应用于海事部门的通用框架

2022, 国际氢能杂志

[显示摘要](#) ✓

调查提出“2020 年碳中和增长”战略前后的利润污染减排成本差异

2021, 交通经济研究

[显示摘要](#) ✓

[↗](#) 查看 Scopus 上的所有施引文献

[查看摘要](#)

© 2016 Elsevier Ltd. 版权所有。保留所有权利。



版权所有 © 2023 Elsevier BV 或其许可人或贡献者。
ScienceDirect® is a registered trademark of Elsevier B.V.

 RELX™