

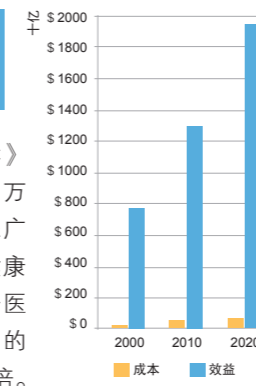
空气质量管理的成本效益分析

案例

20 世纪 30 年代，成本效益分析方法最初被美国联邦水利部门用于项目评估，并在 60 到 70 年代开始广泛用以公路建设、城市规划和环境保护项目。世界银行的援助项目也普遍采取成本效益分析对项目进行评估。至 20 世纪 80 年代，美国里根总统要求联邦政府各部门在制定政策及实施项目之前必须进行成本效益分析。自此，成本效益分析方法在美国的公共支出领域开始被广泛应用，包括空气治理管理。亚洲地区的研究者也就所在国家和城市的空气污染治理政策开展了较多成本效益分析的研究，可为城市空气治理管理者提供方法和案例参考。以下为两个应用案例：

美国《清洁空气法案》的成本和效益（1990–2020）

据估计，美国实施《清洁空气法案》带来的经济效益到 2020 年将达到近 2 万亿美元。空气质量持续改善为美国带来广泛的社会福祉，包括人口寿命延长和健康状况提升带来的生产力贡献，以及减少医疗费用等社会公共开支。根据 USEPA 的评估结果，整体收益估计约为成本的 30 倍。



中国燃煤电厂控制技术方案的经济性分析

Wu et al. (2019) 基于 2014 年全国重点脱硫脱硝设施清单分析了我国燃煤电力行业过去三十年的脱硫、脱硝和除尘技术选择，并根据技术可行性等因素识别了潜在的可替代的技术方案。并进一步基于环境健康相关研究结果把这些技术方案可实现的污染物减排量和健康改善效应联系起来。得出单个电厂和整个电力行业采取不同技术方案可实现的成本和效益，以及净效益分布概率。研究也估算了如果电厂采取主流方案（湿法石灰石石膏脱硫、选择性催化还原脱硝加静电除尘器）以外的技术方案，净效益是否可能增加？结果表明，采用有利于汞去除的半干法脱硫技术、细粒子去除效果更好的袋式除尘器、加强煤炭洗选，都有很大可能提高电厂污染物去除的经济净效益。

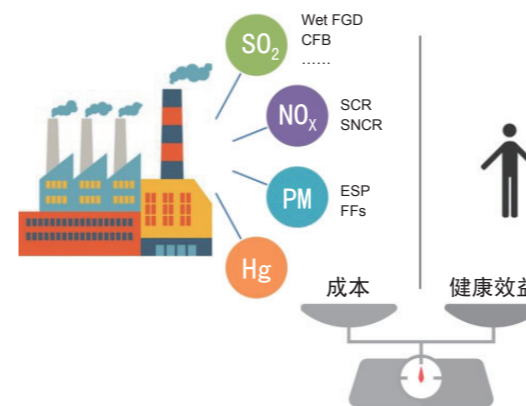


图 8 燃煤电厂控制技术方案的经济分析

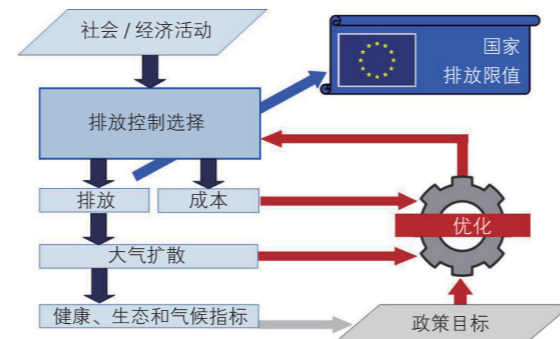


图 5 RAINS 模型优化的交互过程

IIASA 在 RAINS 模型的基础上进一步开发了同时针对大气污染物和温室气体控制的模型 GAINS。因为综合地考虑大气污染和气候变化可以获得排放控制措施的协同效应，这和政策制定高度相关 (Swart et al., 2004)。

与 RAINS 类似，GAINS 可以识别具有最小成本特征的控制方案，并同时满足大气质量和温室气体排放控制目标。它允许决策者分析特定的减排措施对不同污染物同时产生的影响。GAINS 模型将多种污染物及其前体物广泛纳入评估，包括引起人类健康负面效应的细颗粒物及其前体物，以及其过量沉降会引起的植被损害和富营养化；同时，GAINS 进一步考虑和整合了六类温室气体：CO₂、CH₄、N₂O、HFCs/PFCs/SF₆，以及这些温室气体的辐射影响。

局地 and 区域性的污染物控制和全球性的温室气体减排在某些方面具有协同效应，而在某些方面又具有抵消效应。GAINS 模型在优化过程综合考虑了这两方面的作用，使得模型能够评估既满足多个大气污染的环境目标又满足温室气体减排目标的控制措施方案。因此，GAINS 模型可以综合与全面地分析大气污染减排和气候变化减缓的控制策略，使控制方案能够充分发挥两类政策的重要协同效应和抵消效应。目前，IIASA 联合中国能源研究所等共同开发 GAINS ASIA 模型，并已经将该模型用于研究成本有效的中国大气污染物和温室气体减排的控制情景 (Amann, 2008)。

MAC

边际减排成本曲线法 (Marginal Abatement Cost Curve, MAC) 是自下而上的减排成本模型。它首先评估减排措施的减排潜力和减排成本，进而评估单位减排成本。接着，据此对控制措施进行单位减排成本由低至高的排序，结合减排成本和减排潜力绘制成本曲线。其典型应用之一是麦肯锡发布的 CO₂ 边际减排成本 (McKinsey & Company, 2007, 2009)。

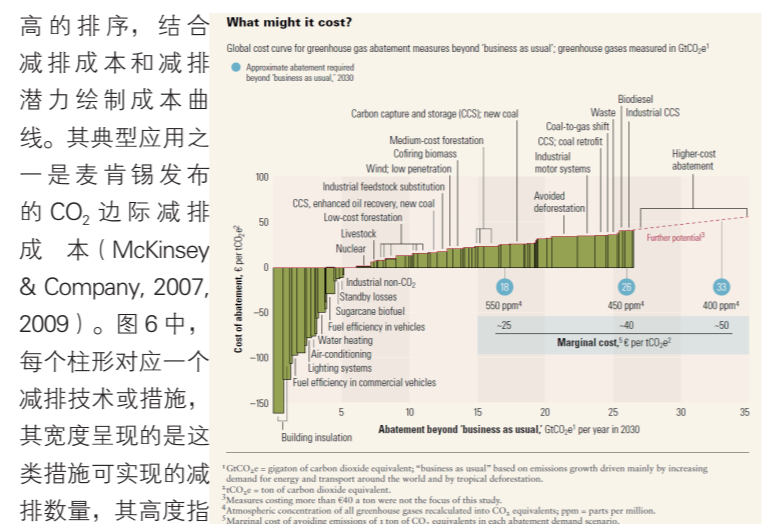


图 6 麦肯锡报告中的 MAC 之一

每个柱形对应一个减排技术或措施，其宽度呈现的是这类措施可实现的减排数量，其高度指向这类措施的单位减排成本 (单位：欧元 / 吨 CO₂)。这类模型比较直观，相对更有利于决策者理解措施可选集合及其相应效果。但理论研究界对其成本收益边界界定和静态假设等前提有很多争议 (魏楚, 2014)。



关于空气知库

“空气知库”是亚洲清洁空气中心开发的在线空气污染知识分享平台，为政策制定者和大气污染治理相关领域从业者提供大气污染防治领域的城市最佳实践、量身定制的国际经验及主题培训材料。“空气知库”设置了“你问我答”板块，邀请了十多位国内外专家就用户提出的大气治理相关的问题提供专业解答。本材料电子版可在空气知库网站免费下载。

亚洲清洁空气中心

北京市朝阳区秀水街 1 号建国门外外交公寓 11-152, 100600

邮箱: china@cleanairasia.org

电话 / 传真: +86 10 8532 6172

网址: www.cleanairasia.org www.allaboutair.cn



成本效益分析 (cost-benefit analysis, CBA) 是评估和比较政策措施的经济成本和效益的分析方法。开展成本效益分析可以帮助决策者判断是否应该实施某项公共政策，或采取什么措施组合可以达到最优效果。通俗来说，通过算经济账的方式来看政策是否划算，以及如何做才最划算。

对大气污染防治政策进行成本效益分析对于处于“打赢蓝天保卫战”关键时期的中国城市来说非常重要。随着空气污染治理进入深水区，城市在制定中长期规划时应当评估和考量社会经济成本和效益，并基于此形成具有成本有效性的减排策略和措施组合。为更好的支持城市制定成本有效的大气污染防治策略，亚洲清洁空气中心联合环境经济学领域专家推出 [空气知库] 系列文章——空气质量管理的成本效益分析，帮助城市空气质量管理者及技术支持团队了解如何算大气污染防治的“经济账”。

空气知库 撰稿 | 中山大学环境科学与工程学院 吴丹
编辑策划 | 亚洲清洁空气中心 万薇



成本效益分析的决策支持作用

近年来中国大气污染防治取得显著成效，城市空气质量整体持续改善，但距全面达标仍有差距。2018年，338个城市的空气质量数据显示仍有六成以上城市达不到国家环境空气质量二级标准，且臭氧污染加重的趋势仍未得到有效缓解。在短期如何达到《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的阶段性目标，在中长期如何实现空气质量持续改善达到国家标准是城市空气质量管理者最关注的问题。

城市在制定和实施政策解决问题时，同样关心这些政策是否真的能够带来空气质量改善效果？是否会影响经济发展？什么样的措施组合才能少花钱多办事？这些问题并没有一个简单的答案，因为空气质量改善措施涉及广泛的污染源和多样的控制措施，空气质量改善的投入资金、社会经济影响、质量（浓度）改善效果、以及社会效益（如人群健康改善）难以直观预估。城市空气质量管理者需对控制方案进行全面的成本效益分析才可能了解政策的投入和收益，并基于此选择最小成本方案，在同等控制成本的情况下最大化大气质量改善效果和社会效益，最小化社会经济影响。

成本效益分析是科学决策和精细化管理的重要手段。那么在空气质量改善流程中，在什么环节开展这项分析呢？图1是成本效益分析的一般化流程和步骤。在识别了应该控制什么污染物、污染物浓度目标应为多少的基础上，成本效益分析能够告诉决策者：控制措施有哪些？达标方案有哪些？最优措施组合是什么？污染控制行动实施后的效益是否高于成本？行动方案是否应该调整？行动方案是否可以推广？

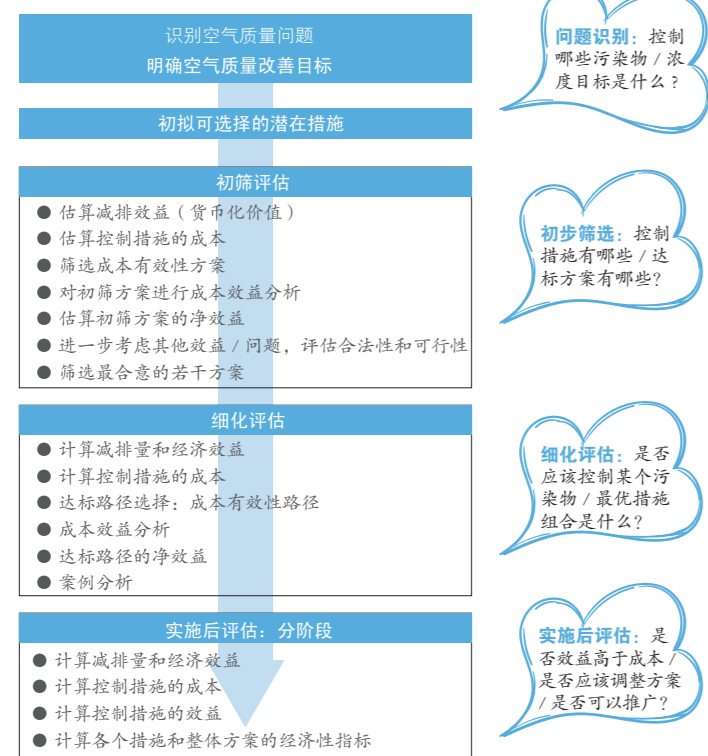


图1 大气污染防治中成本效益分析的一般流程

成本效益分析可以为政策制定和实施提供依据，简言之，可在决策前进行预评估决定“做不做”和“怎么做”；在政策实施后评估可判断“值不值”和是否“继续做”。



原理和步骤

成本效益分析的出发点是服务于公共政策择优，这不同于一般的财务分析，因此对于成本、效益和价格的定义范畴也和通常财务分析所指不同。那么公共政策的成本和效益是如何界定的呢？对于空气污染治理行动来说，成本指的是由一项治理行动引起的社会成本，包括直接成本（如工程技术的投资成本和运行维护成本）和隐性成本（如由产业布局调整引起的社会经济产出变化）。效益指的是由该项行动带来的社会效益，比如：人体健康效益、农业增产效益、居民舒适性的福祉提升等。下表对成本效益分析和企业财务分析的区别进行了列举：

表1 成本效益分析和财务分析的差别

	公共政策成本效益分析	企业财务分析
出发点	探讨社会公共政策择优问题	分析企业盈利问题
采用的价格	影子价格	财务价格
考虑的影响范围	与项目相关的所有影响	项目对企业有影响的部分
收支列项	不计转移性支付	要考虑政府税收或补贴等

基于经济学原理，当一个政策方案的边际收益等于边际成本时净收益最大，经济效率最高。需要注意的是，这里对比的是“有方案”和“无方案”（基线方案）的边际改变，而不是对比方案实施前和方案实施后的变化。成本效益分析中采用的影子价格反应的是资源的真实价值和稀缺程度，需要通过贴现将未来的价值换算到当前进行评估。其一般性分析步骤如下图2所示：

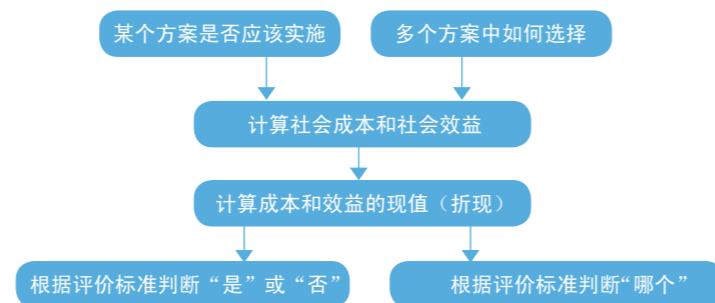


图2 成本效益分析要回答的两个问题及其分析步骤

第一步：识别政策的成本和效益

- 确定分析范围，识别政策带来的主要环境影响，例如空气质量的改善；
- 分析和确定重要环境影响的终端效果，例如减少空气污染相关的死亡率和发病率；
- 通过价值评估技术对上述终端效果进行货币估值。

第二步：通过以下方法把发生的未来的成本与效益贴现为现值

$$PV_b = \sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+r)^i} \text{ 和 } PV_c = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

B_i, C_i : 发生在第 i 年的效益和费用

n : 计算期

r : 社会贴现率

第三步：比较贴现后的成本和效益

- 净现值 NPV (net present value)

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{B_{Ti} - C_{Ti}}{(1+r)^i}$$

B_{Ti}, C_{Ti} : 发生在第 i 年的总效益和总费用

n : 计算期

r : 社会贴现率

- 内部收益率 IRR (internal rate of return)，即——使项目计算期内的经济净现值累计等于0时的贴现率。

$$\sum_{i=0}^n \frac{B_{Ti} - C_{Ti}}{(1+IRR)^i} = 0$$

B_{Ti}, C_{Ti} : 发生在第 i 年的总效益和总费用

n : 计算期

第四步：费用效益分析评价准则

评价单个方案， $NPV \geq 0$ ；多个方案， NPV 越大越好。评价多个方案， $IRR >$ 社会平均投资收益率时可取；评价多个方案，需进一步考虑差额投资经济内部收益率。



模型和方法

目前成本效益分析可以借助集成模型开展，如美国环保署（USEPA）开发的空气治理效益和控制措施评估系统（ABaCAS）模型；在效益评估缺少或不足的情况下，也可以借助国际应用系统分析研究所（IIASA）开发的温室气体-大气污染交互和协同模型（GAINS）进行既定政策目标下的成本有效性分析，识别成本优化的减排措施组合。在成本评估部分，模型工具有：AirControlNet（后更新为CoST）；在不使用集成模型情况下，也可采用若干计算方法评估成本，包括：基于工程技术的边际减排成本曲线法，数据包络法、可计算的一般均衡模型等。在效益评估部分，可用的模型工具有 BenMAP 等；在不使用集成模型情况下，可采用三类方法评估效益，包括：陈述偏好法、揭示偏好法和直接市场法（模型工具及其关系见图3）。

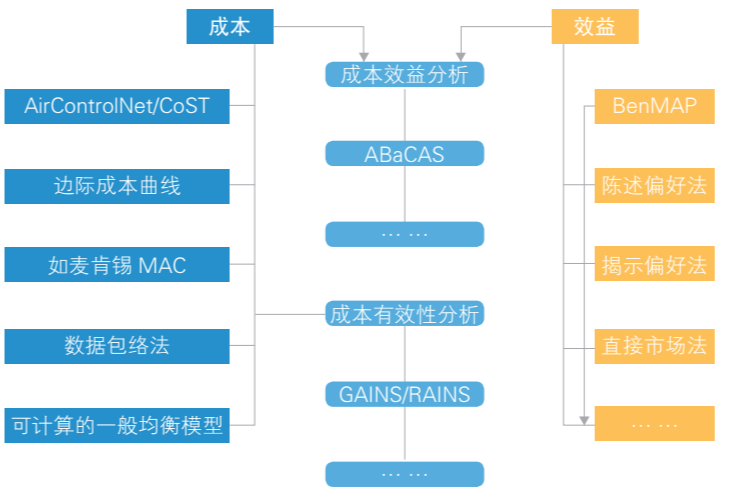


图3 成本效益分析相关的方法、模型和工具

ABaCAS

大气污染防治综合决策支持平台 ABaCAS 为美国环保署开发的空气治理控制措施和效益评估的集成模型工具，集成了四个模块：成本评估（AirControlNet/CoST）、大气扩散（CMAQ/RSM-VAT）和空气质量达标分析（SMAT-CE），还有效益评估（BenMAP），将大气污染物排放、污染控制技术措施及其减排量、减排对浓度的贡献、以及浓度削减和达标带来的健康效益连接起来（各个模块之间关联见图4）。

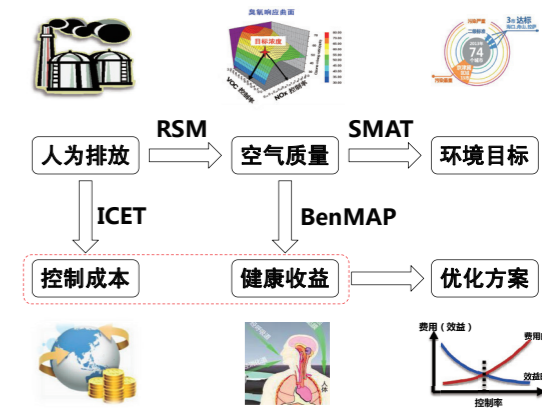


图4 ABaCAS 模型模块和流程

成本评估模型工具 AirControlNet 现已更新为 CoST 模型客户端，应用于评估空气污染物排放控制措施的减排量和成本，通过“最大减排量”和“最低成本”的算法将控制措施与排放源进行匹配来实现决策目标。

空气质量模拟系统工具 CMAQ 是三维欧拉（即网格化）大气化学和传输模拟系统，可用以支持大气污染监管政策的空气质量改善效果分析。又经过 RSM 模型的发展，工具从传统的仅能模拟特定情景下的排放削减对污染的影响，到目前可实现多污染物对多个区域联合减排作用的全局响应模拟。空气质量达标评估工具 SMAT-CE 结合各站点的监测值来对从 RSM-VAT/CMAQ 中得到的空气质量模拟值进行校准，并评估使用该减排方案能否实现空气质量达标的要求。

效益评估模型 BenMAP 是用以估算大气污染的人类健康影响和经济效益损失的工具。它利用大气质量模式的模拟结果，估算整体人口分布状况下的健康改善效果（可避免的过早死亡、就诊病例、心脏病、哮喘等）。它也可以用来估算健康改善效果的货币化价值。BenMAP 能够在地图上标示空气质量改善带来的健康影响或者货币化估值。这种可视化效果有助于决策者更加直观地阅读、分析和决策。

GAINS

温室气体-大气污染交互和协同模型（GAINS）是 IIASA 在区域大气污染信息和模拟模型（RAINS）的基础上扩展开发的模型。RAINS 模型的初衷是为欧洲多国寻找具有成本有效性的、同时控制多种污染物的方案，以此支持区域大气污染控制协议的达成。该模型在欧洲《长距离跨界空气污染公约》的制定和执行过程中起到了至关重要的作用，也成为欧洲清洁空气项目（Clean Air for Europe, CAFE）的主要决策支持模型。

模型如图5所示，包括以下模块：社会经济活动模拟；排放模拟；污染物排放-浓度模拟；排放控制潜力和成本模块；人类健康和生态系统影响模拟；决策优化模块（Amann et al., 2004）。