

环境政策的费用效益分析（CBA）技术指引 （Version 1.0 版）

生态环境部环境规划院

国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室

2021年9月

目 录

前 言.....	1
1 基本概念.....	1
2 基本原则.....	2
3 适应范围.....	3
4 基本内容.....	3
4.1 环境费用分析.....	3
4.2 环境效益分析.....	4
4.3 社会经济影响分析	5
5 基本流程.....	5
5.1 准备阶段.....	6
5.2 实施阶段.....	7
5.3 结论阶段.....	10
6 主要方法（推荐）	12
6.1 基本方法.....	12
6.2 成本分析的 C-PAC 模型	12
6.3 环境效益的 CMAQ 模型.....	14
6.4 健康效益的 BenMAP 模型	15
6.5 社会经济影响的 INPUT-OUT 模型与 CGE 模型.....	16
案例介绍——《大气污染防治行动计划》实施的费用效益分析	18
1 评估准备	18
2 实施评估	20
3 综合分析	30

前言

环境政策的费用效益分析（CBA）是指环境政策制定或实施后对经济社会发展和生态环境等方面所产生的费用及效益进行科学评判的一种行为。20 世纪 70 年代以来，世界范围内多次发生环境公害事件，促使经济学家寻求更加有效的方式对环境质量变化的危害和治理效益进行评价，费用效益分析方法得到了快速发展和应用。美国、欧盟、日本等国家已形成了全面系统的费用效益分析技术指南和工作规程，应用领域十分广泛。然而，在中国，一些重大环境政策或环境决策的费用效益分析还并未引起决策者的足够重视，在环境政策制定和实施过程中的费效分析仍处于起步阶段。特别是近年来，中国在污染防治上投入了很大成本，随着未来环境治理难度的上升以及碳达峰行动的实施，下一阶段减污降碳的投入将更大，效益将会更加明显从费用和效益角度评估环境政策各项措施，可以识别出拥有较高效益费用比的措施，在下一阶段计划中可选择更加经济的方式实现中国环境质量改善和碳达峰碳中和。本技术指引明确了环境政策费用效益分析的基本概念，构建了环境政策费用效益分析的技术框架，推荐了环境政策费用效益分析的主要方法，并给出了案例。

1 基本概念

1.1 环境政策

环境政策是国家为保护和改善人类环境而对一切影响环境质量的人为活动所规定的行为准则。关于环境政策，广义认为环境政策是指国家在环境保护方面的一切行动和做法，环境政策包括环境法规、环境规划、行动计划、措施手段等；狭义则认为环境政策是与环境法规相平行的一个概念，指在环境法规以外的有关政策措施安排。这里的环境政策为广义的概念，是为有效地保护和改善环境而制定和实施的环保工作方针、路线、原则、法规、标准、制度及其他各种对策的总称。

根据环境政策的定义，可将环境政策分为四个层次：第一个层次包括宪法和环境保护基本国策。第二个层次包括环境保护基本方针，如环境保护的“三十二字”方针、“三同步、三统一”的方针、“三个转变”、“生态文明”等，环境保护

基本政策，包括“预防为主、防治结合”政策、“谁污染、谁治理”政策、“强化环境管理”政策以及可持续发展战略、建设环境友好型社会等。第三个层次包括国家环境保护法律、环境保护的行政法规和部门规章、标准、环境保护的地方环境法规和地方行政规章等相关的政策法规以及加入的国际环境条约等。第四个层次包括环境管理政策，如环境社会政策、环境管理制度、环境经济政策和环境技术政策等。

1.2 环境政策的费用效益分析

结合环境政策的自身特点，环境政策的费用效益分析可以定义为：根据一定的标准和程序，对环境政策的制定或政策实施后对生态环境、经济和社会发展等方面所产生的费用及效益进行科学评判的一种研究行为，其目的**一**是在于评估环境政策实施可能对经济社会和环境影响大小，决定是否采用，或改进、预防；**二**是获得环境政策执行后所产生的经济、社会、环境影响方面的可靠信息，准确把握环境政策的实施效率，为下一步环境政策的调整、改进或制定新的环境政策提供依据。

2 基本原则

(1) 整体性原则。对环境政策要从国民经济整体角度考察效益和费用。凡政策实施为社会所做的贡献，如环境污染的治理、能源的节约、环境质量的改善等，均计为效益。凡是占用社会资源均计为费用，无论费用和效益都需要考虑由该政策实施引起的整个社会影响。

(2) 两重性原则。环境政策具有公益性与企业性双重性，有些政策的实施会使部分企业经济效益变差，甚至没有经济效益，但社会效益与环境效益很好，这样的政策往往也应该采用。由于两重性的存在，环境政策实施的费用、效益识别还要研究那些不具有市场价格的效益和费用，对那些被市场价格歪曲了的效益和费用进行还原。

(3) 持续性原则。环境政策实施的评估往往是一个持续不断的过程。环境政策一般要经过长期、持续、有效的实施，才会真正发挥作用。因此，对环境政策实施效果做分析评价时，不能简单地以投资回收期的长短作为评价标准。

(4) 数据可得原则。环境政策实施的费效评估涉及的内容较广，评估方法

的设计必须考虑污染因子系数、主要污染物排放数据、技术经济数据、行业统计数据等必要数据的可获取性,以确保环境政策实施的费用效益分析评估过程和结果的科学性、规范性与可靠性。

3 适应范围

本技术指引适用于指导国家、各地方、各部门正在制定或已经实施的各类环境政策的费用效益评估工作。

4 基本内容

环境政策的费用效益分析要从全社会的角度进行分析,纳入整个社会系统建立费用效益分析矩阵。主要包括两个方面内容:一是环境费用效益分析。费用主要包括增加的末端治理措施的投资、运行费用,中间技术改进增加的投入成本,增加的管控成本、补贴成本、增加的环境税费等;效益主要包括增加的环境效益(污染排放的减少、环境质量改善、碳排放减少)以及环境改善的终端效益(人体健康效益,清洁费用的减少,农作物产量的增加,减少的建筑材料腐蚀等污染损失的减少)。二是经济社会影响分析,包括环境政策实施对 GDP、产业结构、就业、税收、进出口等影响。

4.1 环境费用分析

环境费用主要包括采用这项环境政策带来的末端治理措施的投资、运行成本;中间采取措施技术改造成本;结构调整成本(企业关停或搬迁时资本损失的利润),企业增加的环境税费,公众增加的各项损失等;政府增加的管控成本、补贴成本等。其中:

(1) 基建投资:包括废物治理、收集、循环、处置及预防等的构筑物或设备的安装、改装等的支出。如购买环保设备、材料、场地整理、设计、采购、安装等,相当于“固定成本”。在费用效益分析中,该固定成本要随设备使用寿命进行年度折旧分析。

(2) 运行成本:通常是与原料、水及能源、维护、供给、人工、废弃物处理、运输、管理控制、储存、处置有关的支出及其他费用。而生产率的提高、副

产品或废弃物的出售及重复利用等所获得的收入可以部分补偿运行支出，相当于“变化成本”。

表 4-1 环境政策实施的费用指标

费用主体	细化指标
政府	环境监管能力投入； 环境监测费用； 环境治理工程投入；
企业	企业关停或减产的损失； 更新改造生产技术的成本； 新增或更新污染物处理设施的投资； 污染物处理设施运用成本
公众	增加的出行费用 增加的购买支出

4.2 环境效益分析

环境效益分析主要包括采取政策措施后增加的环境效益（污染排放的减少、环境质量改善、二氧化碳排放的减少）以及环境改善的终端效益（人体健康效益，清洁费用的减少，农作物产量的增加，减少的建筑材料腐蚀等损失的减少）。

表 4-2 环境政策实施环境效益指标

内容	细化指标
环境效益（实物量）	污染物减排； 节约资源能源； 环境质量改善
环境效益（货币化）	人体健康效益增加 清洁费用的减少 农作物产量的增加 减少的建筑材料腐蚀等污染损失的减少

4.3 社会经济影响分析

社会经济影响分析，指环境政策的实施对宏观经济、产业结构、社会生活的影响，包括经济总量（GDP）、产业结构、就业、税收、进出口等经济社会指标影响。

表 4-3 环境政策实施社会经济影响指标

内容	细化指标
经济影响	GDP 的增长； 带动其他行业的经济增长； 产业结构的优化调整； 价格调整 进出口增加
社会影响	税收增加； 劳动力和就业的增加； 环境事件的减少；

5 基本流程

对环境政策的费用效益评估是一种有计划、按步骤进行的活动，一般都要经过以下三个步骤。

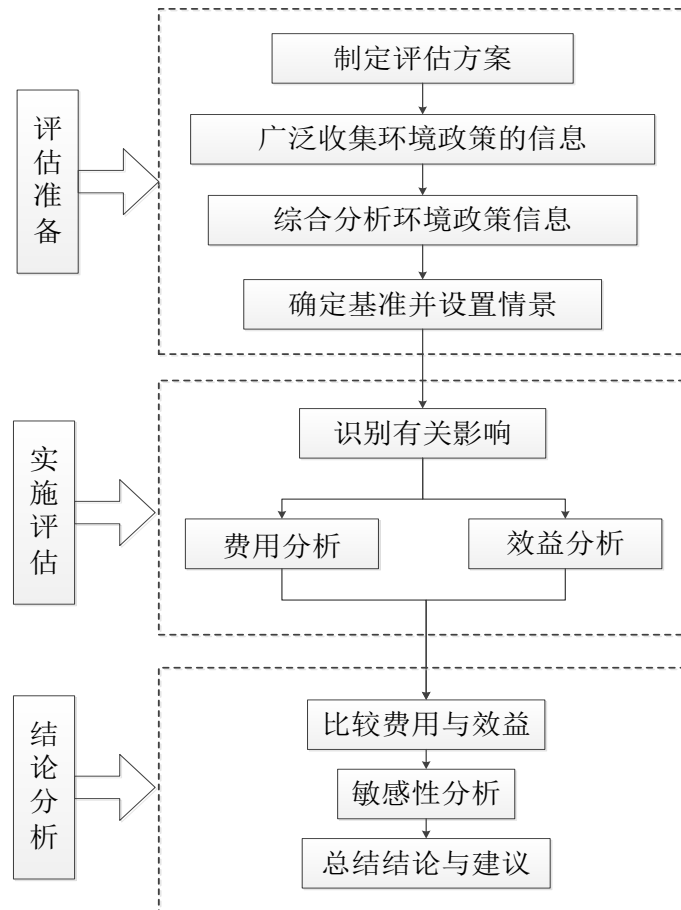


图 5-1 环境政策的费用效益评估的基本步骤

5.1 准备阶段

(1) 制定评估方案

根据不同类别的环境政策，制定相应的评估方案。制定评估方案时，需要考虑到以下 5 个内容：阐述评估对象；明确评估的目标、意义和要求；明确评估指标体系，选择评估的具体方法；提出评估的基本设想；根据评估目的，确定评估的内容范围；明确评估工作机制，制定评估方案。

由于环境政策涉及的空间范围大、时间尺度长，且其内容十分复杂，使得针对环境政策实施的费用效益分析比较困难，突出表现在环境政策实施的费用效益分析的范围、内容难以明确，相关数据收集困难，物理效果无法准确进行货币估值等。因此，应根据不同环境政策的具体内容，分层次（从企业层面、行业层面）、分类别（对该行业的企业按规模、技术进行分类）分时段制定费用效益分析评估方案。

(2) 广泛收集信息

广泛收集环境政策实施的相关信息，包括相关环境政策涉及的各种社会、经济、环境、企业等要素信息，包括 GDP、人口、污染物排放量、行业发展状况、企业详细信息、污染治理投资、运行费用、排污费的缴纳情况等。可采用的方法主要有：查阅资料法、实地调查法、个案法、调研问卷，等等。这些方法各有特点和应用范围，最好是交叉使用，相互配合，务求所获得信息具有广泛性、系统性和准确性。

(3) 综合分析相关信息

对收集到的该环境政策的相关的企业、行业和宏观经济数据和资料进行系统地分类整理，分析标准所涉及行业企业的基本特点和发展趋势，主要包括行业总产值、主要生产工艺、主要产品产量、主要污染物排放量、主要污染控制技术、企业（或设备）数量、员工数量、企业地理分布等，为得出准确的评估结论提供依据。

(4) 确定基准并设置情景

情景方案主要包括实施该环境政策（基准情景）和不实施该环境政策（现实情景）两种。

根据综合分析的结果，以不实施该环境政策的各要素变化情况作为基准情景。对基准情景的描述应尽可能详细，并解释情景设定背后的不确定性和假设。一般可根据该环境政策实施前（标准实施起始年）的环境政策、环境质量状况、污染物控制技术水平等作为基础，假设人口和经济活动的地理分布和增长模式保持不变，同时为简化分析假设在此期间没有进一步投资对相关污染物的控制项目。

以实施该环境政策的情景为现实情景。与基准情景一样，可根据该环境政策实施前（实施起始年）的环境政策、环境质量状况、污染控制技术水平等作为基础。现实情景要考虑政策方案本身的目标任务以及政策实施后的实际变化情况。

5.2 实施阶段

(1) 环境费用识别与评估

环境政策实施带来的费用，可分为增加的治理投资、运行成本和其他成本三个部分：

- 1) 基建投资：包括废物治理、收集、循环、处置及预防等的构筑物或设备

的安装、改装等的支出，还包括设备装置安装启动的支出等，相当于“固定成本”。在费用效益分析中，该固定成本可随固定资产使用寿命进行折旧折现分析。

2) 运行成本：通常是污染治理设施相关的原材料、药剂、电力、维护、人工、运输、管理以及设备折旧等有关的支出及其他费用，运行成本也需要根据评估的期间进行折现。运行成本的核算可采用问卷调查、实地调研、环统数据分析等方法。

3) 其他成本：由于环境政策实施对企业造成的其他经济损失，如企业技术改造、企业搬迁、企业关停、公众购买等带来的相应成本增加。

4) 增加收入（抵扣成本）

环境政策实施可能对企业带来直接的收入，这部分收入，可作为成本的抵扣。

①回收利用及废物资源化

部分环境政策实施后，一些企业在运行污染物控制设施时可产生可资源化的副产物，如副产物产生的收益较大，可列入经济收入，作为成本的减项。可通过调查统计定量计算得到。

②环保形象提升带来的收益

政策实施后促使生产企业提高技术标准，采用新的技术、设备、工艺进行生产，淘汰落后的生产工艺及设备，在产品的开发设计、制造工艺的设计、原材料及生产设备的选择、废物的回收利用等方面实现节约，将有效提升生产企业的环保形象，提高产品的市场竞争力，获得更好地产品知名度和更广的市场占有率，提高企业的内在估值，可作为成本的减项。可通过对企业进行调查统计，定性分析相关效益（或效果）。

③排污费（环保税）减少带来的收益

环境政策实施后，企业在减少污染物排放的同时，需要缴纳的排污费（环保税）将相应减少，作为成本的减项。减少的排污费（环保税）可根据污染物减排量与单位污染物排污费计算得到。可通过调查统计定量计算得到。

排污费（环保税）的减少=污染物减排量×单位污染物排污费（环保税）

(2) 环境效益识别与评估

①污染减排效果

环境政策实施后污染物减排量的估算是以实施政策前执行的政策或行业排

放状况作为参照背景（即基准情景），通过比较基准情景与现实情景，计算主要污染物减排量。

污染物减排量=（基准情景浓度限值-现实情景浓度限值）×废气/废水排放量

②环境质量改善

环境质量改善分析方法应选择政策实施前后环境质量监测数据变化比较的方法。以排放废气为主的行业环境政策评估，可选取环境政策涉及企业分布集中的区域（如涉及行业集中的产业园区）；以排放废水为主的环境政策评估，可选取环境政策涉及企业集中排入的河段或湖泊，对环境政策实施前后的环境质量监测数据进行比较，说明环境政策实施对环境的改善作用。

若监测数据难以获取，比较监测数据的方法行不通，则可以采用环境质量模拟模型的方法进行分析。

对于大气污染物控制，环境质量改善效益可能与减排实际发生的地点无关，而与它实际影响的地点和人数有关。可选取环境政策所涉及企业分布集中的区域，采用（环境影响）扩散模型或剂量响应函数计算。如果没有这样的模型，可进行费用效果定性分析。

水污染控制措施或土壤修复措施的价值或效益通常与涉及的地区（包括受影响的人数）和水体或土地面积关系很大，可以使用水环境质量模拟模型或剂量响应函数来评估影响。如果找不到合适的计算模型，也可进行费用效果的定性分析。

③环境改善的终端效益

主要包括由于环境质量改善带来的人体健康效益，清洁费用的减少，农作物产量的增加，减少的建筑材料腐蚀等货币化，可通过暴露反应关系，通过污染损失核算法得到。

表 5-1 不同环境影响的货币化评估方法

	危害终端	核算方法
大气污染	人体健康损失	人力资本法 疾病成本法
	种植业	市场价值法
	材料损失	市场价值法或防护费用法
	生活清洁费用	防护费用法

水污染	人体健康损失	疾病成本法 人力资本法
	污灌造成的农业经济损失	市场价值法或影子价格法
	工业用水额外处理成本	防护费用法
	城市生活用水额外处理成本	防护费用法
	水污染引起的家庭洁净水成本	市场价值法
	污染型缺水	影子价格法
固体废物占地		机会成本法
污染事故		市场价值法

(3) 社会经济影响识别与评估

由于环境政策的实施，使环保投资增加，对环保产业及相关产业产生影响，对产业结构调整、拉动宏观经济有贡献作用。根据环境政策实施的不同情景（基准情景和现实情景），可采用成本效益模型、投入产出模型、一般均衡（CGE）模型等，对不同情景下的宏观经济效益（如GDP、行业增加值、产业结构调整、税收、进出口等指标）进行模拟分析，考虑贴现率，对标准实施的宏观经济影响进行计算。由于模型较为复杂，标准实施对宏观经济定量影响测算可根据需要选做，但要定性分析政策实施对产业结构调整、产业技术升级、产业竞争力等的影响。

环境政策的实施还可能对社会造成影响，主要是指由于环境政策实施带来的劳动力就业数量增加、群众投诉减少等，一般通过社会调查或计算评价，进行定性分析。

5.3 结论阶段

(1) 费用与效益比较分析

对环境费用和效益进行比较综合评价，通常采用的是净效益、效费比和内部收益率等指标和方法。

1) 净效益（NB）

在费用效益分析中最常用的评价公式就是计算政策的净效益。净效益的计算方法是用总效益减去总费用的差额，即为

$$NB \text{ 净效益} = TB \text{ 总效益} - TC \text{ 总费用}$$

若 NB 净效益大于零，表明效益大于所失，政策是可以接受的。若净效益小于零，则该项政策不可取。

2) 效益成本比 (B/C)

效益成本比 (B/C) 是从净效益的计算公式中推导出来的，即总效益与总费用之比。如果大于 1，说明总效益大于费用，该政策是可以接受的；如果小于 1，则该政策实施支出的费用大于所得的效益，应该放弃。

3) 内部收益率 (IRR)

内部收益率是当效益和成本的现值相等或者当净现值为 0 时的投资回报率。通常可以用迭代处理法来进行计算。特别是政府部门，往往使用内部投资收益率作为安排公共投资方案的一个准则。对于一个特定的项目，在决定是否进行投资时，只要内部收益率超过指定的贴现率，该项目就可以进行。同样，在考虑政策的多方案时，最大内部收益率的方案应该有最好的优先权。

(2) 可接受度分析

对环境政策实施带来的成本占企业收入的比例，行业成本占整个行业增加值的比例等指标进行敏感度分析，计算出实际支出的大小，从企业层面和行业（宏观经济）层面，是否可接受，找出平衡点。一般是采用经验值法或专家咨询法，来确定企业或行业增加的成本可接受度的基线，即环境政策实施后，行业可接受的新增成本占总成本的比例。

(3) 不确定性分析

在环境政策的费用效益分析中，不确定性通常包括模型不确定性和数据不确定性。模型不确定性是由对真实物理过程进行必要的简化，模型构建过程中所提到的假设、边界条件以及目前技术水平难以在计算中反应的种种因素，导致理论值与真实值的差异，都归结为模型的不确定性。数据不确定性包括测量误差、模型参数不确定性以及用于模型校正的系数的不确定性。在环境模型的不确定性分析中，常用的是敏感性分析。

(4) 综合分析和建议

根据环境政策实施的各项费用和效益（效果）等相关方面的分析（从成本与效益、从社会经济影响等多角度），得出费用大小、效益大小、环境政策实施在社会经济方面可行性的评估结论，并据此提出改进现有环境政策或制定新的环境

政策的建议。

6 主要方法（推荐）

6.1 基本方法

环境政策实施的费用效益分析方法主要包括市场价值法、机会成本法、恢复费用法、影响路径法等。

表 6-1 费用效益分析基本方法

方法	方法要点	运用条件
市场价值法	根据环境质量变化引起的产值和利润的变化来评估环境质量变化的经济效益或经济损失	进行人类经济活动产生的污染物对自然系统或人工系统影响的经济评价
防护费用法	根据人们为了防止或减少环境有害影响所支付或承担的费用多少，来推断人们对环境价值的估价	广泛应用于揭示人们对空气和水污染等的防护支付意愿
影子工程法	在环境破坏后，人工建造一个新工程替代原有环境功能，并用新工程建造费用来估计环境破坏所造成的经济损失	此法是恢复费用法的一种特殊形式
机会成本法	利用机会成本概念计算环境资源被占用时所带来的经济损失	在环境效益费用分析中广泛采用，是效益费用分析法的重要组成部分
恢复费用法	将被破坏后的环境恢复到原来的状况，要花费相当的恢复费用，就以该恢复费用作为对环境质量的最低估价	在确信环境在受损之后有可能得到完全恢复或不存在不可补偿的损失时，才能采用
调查评价法	通过估价消费者对商品或劳务的支付意愿，或者对商品或劳务损失预计接受的赔偿意愿，来度量效益	缺乏市场价格数据时，可采用此法
影响路径法	通过建立空气质量模型模拟污染物排放浓度的变化，并基于流行病学综合研究成果对其健康效益进行评估	主要用于量化分析空气污染的减少所带来的健康效益

6.2 成本分析的 C-PAC 模型

C-PAC 模型为美国环保署提供的成本分析模型，主要用于估算某个行业为遵守环境政策而产生的成本。为估算环境政策给整个行业带来的控制成本，模型中的投入反映了行业多样化的分散数据。然后将这些分散的成本估算整合为行

业水平的数据。

C-PAC 成本分析模型的成本分析以年度总成本体现。年度总成本（Total Annual Cost）被划分直接成本（Direct Costs）、间接成本（Indirect Costs）和回收抵免（Recovery Credits）。

$$TAC=DC+IC-RC$$

其中，直接成本主要是指生产性的输出，包括可变成本和半可变成本。可变成本主要是指原料投入、能源消耗、资源投入、新设备投入以及废弃物处理的成本。半可变成本包括劳动力成本、与设备运行维护有关的投入成本等；间接成本主要是指直接成本中不包含的成本，主要包括管理成本、财产税、保险、行政变更费用、资本回收成本等。回收抵免主要是指通过系统控制、清洁生产等回收利用的原料或能源，这些原料或者能源可以被卖掉、循环利用或者在其他地方被重新利用，直接成本和间接成本可以被回收抵免抵消。

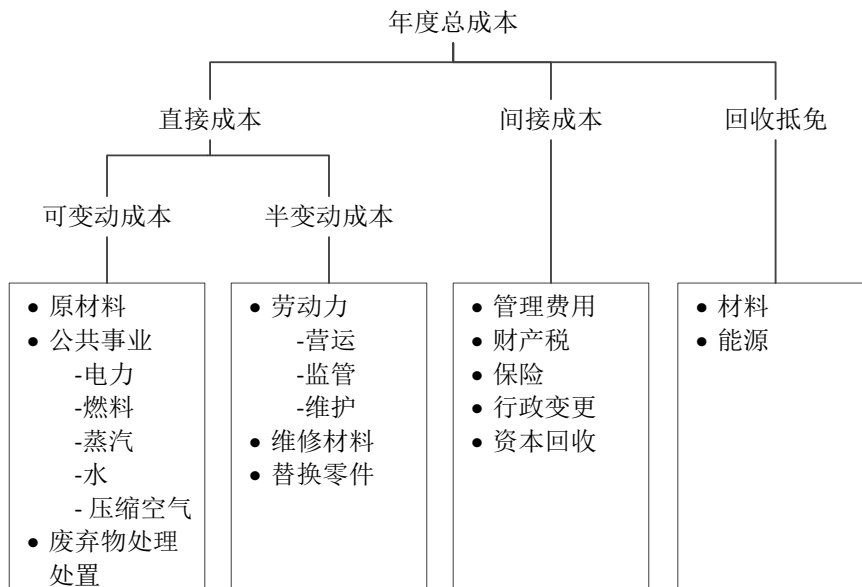


图 6-1 年度总成本分类

C-PAC 成本分析模型通常包含大量的行业详情，并提供相对精确的环境政策直接成本的估算，使用便于理解。但 C-PAC 模型只有预期环境政策不会对生产者和消费者的行为产生重大影响的情况下，才能视为是对成本的合理估算，如果生产者和消费者行为受到了重大影响，这个模型就无法提供政策法规导致的行业价格和产出变化的估算。

6.3 环境效益的 CMAQ 模型

政策环境效益分析一般指政策的实施带来的环境质量改善效益分析。大气方面一般指 SO₂、NO₂、颗粒物等大气污染物浓度变化程度，目前普遍采用美国环保署提供的第三代空气质量模型系统 Models-3/CMAQ 进行环境效益模拟分析。Models-3/CMAQ 是一个综合的空气质量模型系统，其将整个大气作为研究对象，在各个空间尺度上详尽模拟所有大气物理和化学过程。模型系统通过输入的地形、气象和污染物数据，模拟污染物在大气中的迁移、扩散、转化过程，给出浓度的时空分布。

Models-3/CMAQ 由排放源模式、中尺度气象模型和通用多尺度空气质量模型（CMAQ）三部分组成。排放源模式的主要作用是将初始污染物进行化学物质种类和质量比例分配，以满足空气质量模型对于排放清单在时空分辨率和化学物质方面的高精度要求；中尺度气象模型模拟研究范围内及周围气象场变化情况；CMAQ 是系统的核心，模拟污染物在大气中的扩散和输送过程、气相化学过程、气溶胶化学和动力学过程、液相化学过程以及云化学和动力学过程。

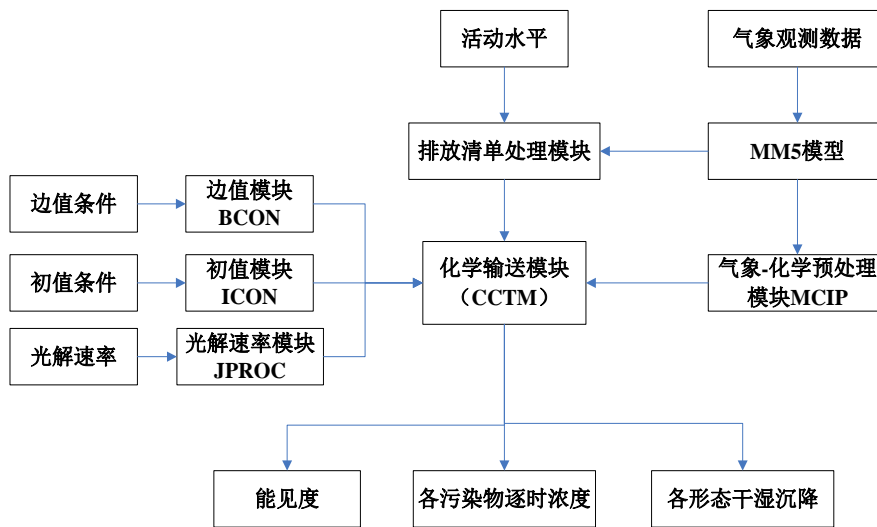


图 6-2 CMAQ 模型的基本结构

环境政策的大气环境效益，一般通过设定不同环境政策的大气排放削减情景，模拟不同情境下的空气质量效果，从而达到环境政策方案筛选和优化。对于已经实施的环境政策，也可以通过计算环境政策实施后的大气排放削减情况，对比分析政策实施与否的环境质量改善效益。

6.4 健康效益的 BenMAP 模型

BenMAP (Environmental Benefits Mapping and Analysis Program)是由美国环保署开发的健康效益评价模型,主要用来评估周围空气污染变化引起的人类健康效应及其经济价值。比较适合对空气质量管制政策实施个性化健康效应评估 (HIA, Health Impact Assessment) 和效益-成本分析,即评估空气质量的管制政策实施所带来的效益,由此判断此政策实施的成果是否符合预期。该模型通过综合利用空间网格化的人口与空气质量信息来评估空气污染物浓度的改变对急性疾病和死亡率变化的影响,并进一步利用价值衡量函数,估计污染物浓度变化所带来的健康经济效益。

BenMap 集 HIA 计算器和地理信息系统 (GIS) 于一体,可提供一种或多种空气污染物浓度变化对特定区域内居民的健康影响 (如死亡人数的变化),并根据所选影响的指标,提供不同空气质量场景模拟变化的地理分布。BenMap 包括用户将用来进行健康影响分析的几乎所有信息,可以有弹性的根据使用者的目的,探讨不同区域、性别和年龄群的健康影响及经济价值,也可根据需要将不同网格或地理区域的健康效应/效益合并,得到更大网格、区域 (如市、省、国家) 的总体健康效应/效益。此外, BenMAP 还可以生成信息跟踪报告 (Audit Trail Report), 以方便评估结果的重现。

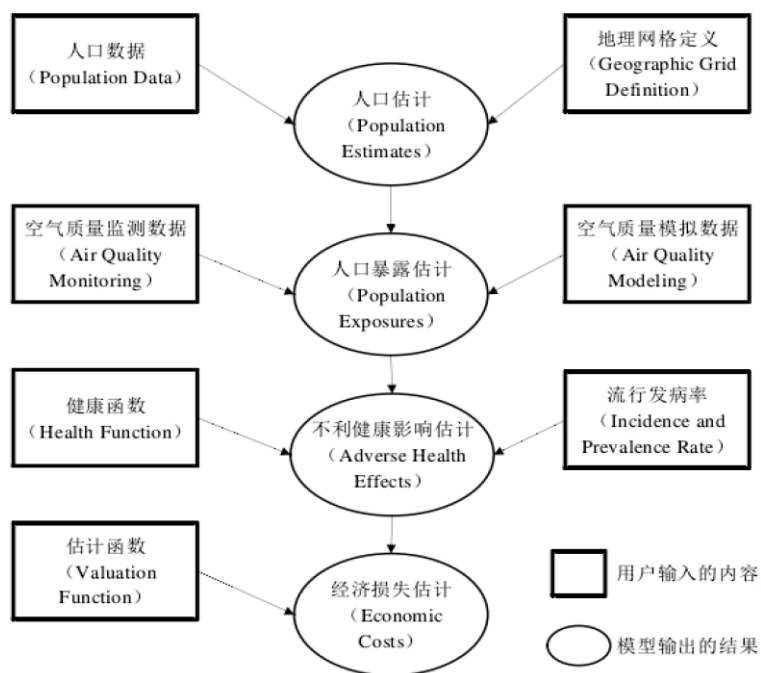


图 6-3 Ben MAP 运算分析流程

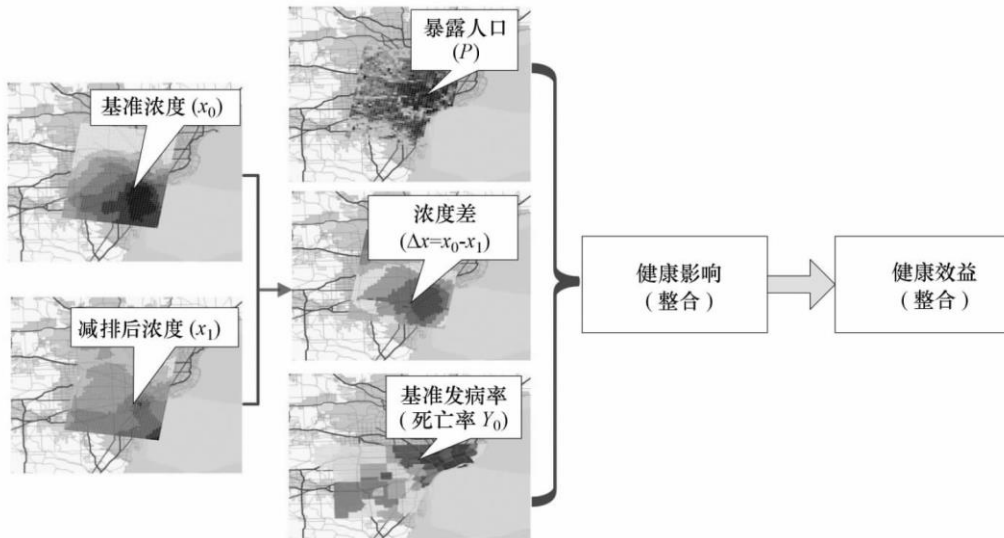


图 6-4 评估原理示意图

6.5 社会经济影响的 INPUT-OUT 模型与 CGE 模型

(1) INPUT-OUT 模型

投入产出模型 (Input-Output model) 是指采用数学方法来表示投入产出表中各部门之间复杂关系, 从而用以进行经济分析、政策模拟、计划论证和经济预测等, 投入产出分析通过编制投入产出表来实现。投入产出表是指反映各种产品生产投入来源和去向的一种棋盘式表格, 由投入表与产出表交叉而成的。前者反映各种产品的价值, 包括物质消耗、劳动报酬和剩余产品; 后者反映各种产品的分配使用情况, 包括投资、消费、出口等。投入产出表可以用来揭示国民经济中各部门之间经济技术的相互依存、相互制约的数量关系。表 6-2 是一个简化的价值型投入产出表。

表 6-2 一般价值型投入产出表简化框架

		产出			最终产品			进口	总产出
		中间产品			最终消费	资本形成	出口		
投入		部门 1	...	部门 n					
中间投入	部门 1	x_{ij}			Y_i				X_i
	...	I 象限			II 象限				
	部门 n								
最初投入	劳动者报酬								
	生产税净额	N_{ij}							
	固定资产折旧	III 象限							
	营业盈余								
总投入		X_j							

当最终产出发生变化(ΔY_e)时, 可得其所引起的国民经济总产出增量(ΔX):

$$\Delta X = (I - A)^{-1}(I - C(1 - t)\hat{h}Fi'\hat{V}(I - A)^{-1})^{-1}\Delta Y_e$$

式中, $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵, I 为单位对角矩阵, C 为边际消费倾向, t 为边际税收倾向, \hat{h} 为最终产品国内满足率对角矩阵, F 为居民直接消费系数列向量, i' 为单位行向量, \hat{V} 为劳动报酬系数的对角矩阵。最终产品国内满足率是指各行业最终产品中由本国生产的产品所占比例, %; 居民直接消费系数是投入产出表中各行业的居民消费占总居民消费的比重, %; 劳动报酬系数是由投入产出表中各行业劳动报酬除以总产出得到的系数。

(2) 可计算一般均衡模型 (CGE)

CGE 模型中一般包括企业、居民、政府和国外其他地区等经济主体, 以及商品市场和要素 (如资本、劳动力、土地、水等) 市场。使用 CGE 模型可评估环境政策的经济影响。CGE 模型的评估方法, 首先是将环境政策对社会经济的直接影响转变为可量化的“冲击” (shock), 如行业 (企业) 实行超低排放改造的具体措施。其次, 建立符合该冲击的 CGE 数据模型和数据包, 如中国数据包、京津冀多区域数据包等。第三, 将“冲击”量化为模型可用的变量数据 (如价格变化率、税费变化、劳动力结构变化等), 代入模型实现对“冲击”的经济模型。受影响的市场的价格可能会上下波动直到建立起新的平衡。这个新的平衡下的价格和数量可以与原来的平衡下的价格和数量相比。利用前瞻模型也可预测出未来政策对当前决定的影响。

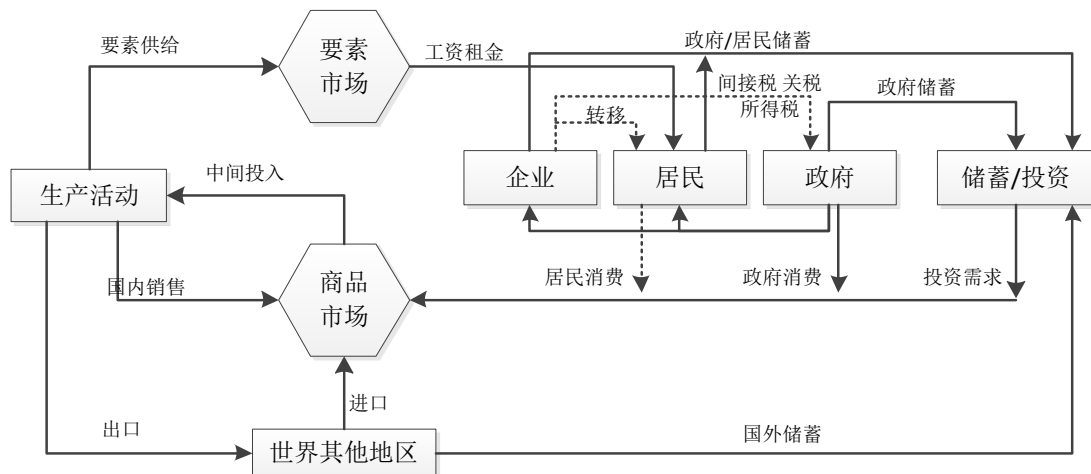


图 6-6 CGE 模型内在经济学逻辑

附：案例介绍——《大气污染防治行动计划》实施的费用效益分析

为了改善空气质量和保护公众健康，2013年国务院印发了《大气污染防治行动计划》（以下简称《大气十条》），要求到2017年全国地级及以上城市可吸入颗粒物（PM₁₀）浓度比2012年下降10%以上，京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物（PM_{2.5}）浓度分别比2012年下降25%、20%、15%左右。为实现该目标，中国政府从优化产业结构与布局、调整能源结构和油品升级、强化工业污染综合治理等方面提出了十条措施。

治理空气污染是一项复杂而艰巨的任务，在《大气十条》实施过程中，尽管国家和各地方投入了大量人力、物力、财力，但也取得了良好的经济效益和社会效益。下面将通过对《大气十条》各项措施实施带来的费用和效益进行全面评估分析，得出该计划实施带来的费用和效益情况，一方面回应决策层面、企业和社会公众的关切，另一方面，通过费用效益评估，为制定下阶段大气污染防治行动计划提供决策参考，对中国大气环境管理具有重要意义。

在生态环境部大气司和能源基金会支持下，生态环境部环境规划院承担了《大气十条》实施的费用效益评估工作。以下是《大气十条》费用效益评估的部分内容，以供参考。

1、评估准备

1.1 确定评估范围

评估基础年为2013年，时间范围上从2013-2017年。由于大气污染治理投入有些是固定资产，一些效益是长期效益，在计算费用效益时还考虑了不同固定资产的折旧和效益的折现，都统一到2013-2017年范围之内。空间上包括全国及31个省（市、自治区）。

1.2 梳理政策措施

以《大气十条》实施的政策措施为对象，通过对全国31个省实施《大气十条》有关政策措施的梳理整合，主要从产业结构与布局调整、能源清洁利用、工

业污染治理、锅炉改造与治理、面源污染治理、机动车污染治理、监管能力建设等7个方面进行评估。政策措施范围如下表所示。

表1 《大气十条》实施的政策措施分类

一级政策措施	二级政策措施
1、产业结构与布局调整	淘汰落后产能
	压缩过剩产能
	“散乱污”治理
	错峰生产
	企业搬迁
2、能源清洁利用	煤炭总量控制
	散煤清洁利用
	燃煤“双替代”
	油品升级及配套改造
3、工业污染治理	建筑节能管网改造
	电力行业脱硫脱硝除尘
	钢铁行业脱硫脱硝除尘
	水泥行业脱硫脱硝除尘
	玻璃行业脱硫脱硝除尘
4、锅炉改造与治理	有色金属冶炼行业脱硫除尘
	改电
	改气
	热泵
5、面源污染治理	其他清洁能源
	扬尘治理（建筑扬尘、道路扬尘、渣土扬尘）
	餐饮油烟治理
6、机动车污染治理	秸秆燃烧治理
	黄标车与老旧车淘汰
7、监管能力建设	新能源汽车
	应急能力、监测网格、执法监督（含督查巡查）、科技研发（大气专项、总理基金）等保障支出

1.3 收集相关数据资料

《大气十条》实施的费用效益分析，主要包括费用、效益、经济社会影响

三部分。根据需要评估的费用、效益和经济社会影响，对全国 31 省市有关《大气十条》实施五年的进展情况报告进行收集，并进行分析。

费用包括《大气十条》实施的七个方面措施的相关费用，既有政府的投入，也有企业和公众的投入，从全社会整个系统的角度来考虑。

效益包括：《大气十条》实施的环境改善效益（如主要污染物减排、环境质量改善、碳协同减排）、健康效益、其他效益（农业损失减少的效益、建筑损失减少的效益、清洁费用减少的效益等）等。报告采用各省市 PM_{2.5} 年均浓度值为排除掉气象因素影响后的值（以 2013 年为基准年）。

经济社会影响包括：《大气十条》各措施实施对 GDP、税收、居民收入以及就业净影响。

2、实施评估

2.1 费用分析

1、费用分析思路

费用主要包括产业结构与布局调整、工业污染治理、能源清洁化利用、锅炉改造治理、面源污染治理、机动车治理、监管能力与科技支撑等措施实施的投入，每项措施的费用界定如下

（1）产业结构布局调整

产业结构与布局措施的费用主要包含由于淘汰落后产能、压减过剩产能的政府补助费用，“散乱污”企业的升级改造所需投入以及重污染企业搬迁所需的投入等。由于数据缺失，本项测算不包括污染企业搬迁的费用。计算公式如下：

淘汰落后产能、压减过剩产能的补助：行业淘汰或压减产能产值=淘汰产能量×产能利用率×产品价格淘汰或压减产能的政府补贴=总产值×补贴系数

“散乱污”企业升级改造投入：行业*i*治理总投资=行业*i*企业数量×企业治理平均成本

（2）能源清洁利用

能源清洁利用主要包括煤炭总量控制、散煤清洁利用、燃煤“双替代”、油品

升级及配套改造、建筑节能与供热管网等措施。煤炭总量控制包括煤炭消费总量指标约束和煤炭压减、新建项目煤炭减量替代和等量替代等，主要反映为对经济的影响，不含费用计算。供热改造主要包括老旧供热管网改造、北方采暖地区既有居住建筑供热计量和节能改造、北方城市采暖地区集中供热普及率提高，由于数据缺失且成本较难界定，不纳入计算。能源清洁利用这部分费用主要计算散煤清洁利用、燃煤“双替代”、油品升级及配套改造、建筑节能等四项措施的费用。计算公式如下：

散煤清洁利用：洗煤厂建设费用=洗煤能力增加量×洗煤厂单位建设投资

洗煤增加费用=原煤产量×原煤入洗率提高率×单位洗煤费用

洁净煤配煤中心建设费用=洁净煤配煤中心个数×单位投资建设费用

油品升级增加的成本=汽、柴油消费量×车用汽、柴油占比×每吨汽、柴油增加的成本

燃煤“双替代”：燃煤“双替代”成本=采暖设备投资费用+基础设施建设投资+年运行费用补贴

油品升级及配套改造：油品升级增加的成本=汽、柴油消费量×车用汽、柴油占比×每吨汽、柴油增加的成本。

建筑节能：既有建筑节能改造成本=既有建筑节能改造面积×单位面积改造费用

(3) 重点行业污染治理

重点行业污染治理措施的费用主要包括《大气十条》中确定的工业大气污染治理重点行业电力、钢铁、水泥、有色及平板玻璃行业治理措施新建或改造的新增投资、年运行成本等。其中，火电行业为发电锅炉脱硫、脱硝、除尘设施；钢铁行业为烧结机（球团）脱硫、除尘设施；水泥行业为水泥熟料煅烧窑脱硝、除尘设施；有色金属冶炼行业为生产线除尘措施；玻璃行业为玻璃窑脱硫、脱硝、除尘设施。石化、有机化工、表面涂装、包装印刷等工业行业实施 VOCs 综合整治。

需要说明的是，钢铁行业烧结（球团）以外其他工序的除尘设施，以及焦化行业脱硫、除尘设施，这两部分目前缺少成本测算依据，且工程量难以统计，因此未计算。石化行业催化裂化装置脱硫设施成本测算，因缺少工程量数据难以计算。有色金属行业脱硫设施成本没有全国各省（区、市）有色行业新建脱硫设施

情况数据，目前难以计算。重点行业以外的其他行业，由于未掌握脱硫、脱硝、除尘设施建造情况，各行业治理设施成本测算依据较难，目前未计算。

以电力行业为例，计算公式如下：

各项治理设施年均投资=新建治理设施的机组装机容量（万千瓦）×单位投资成本（元/千瓦）×运行年限（年）÷折旧年限

各项治理设施年运行成本=新建治理设施的机组发电量（亿千瓦时）×电价补贴（分/亿千瓦时）

超低机组增加运行成本=超低改造机组发电量（亿千瓦时）×1.5（分/千瓦时）

同理计算钢铁行业烧结机（球团）新建脱硫设施、除尘设施年均投资、年运行成本；水泥行业水泥窑新建脱硝、除尘设施年均投资、年运行成本；有色金属冶炼新建除尘设施年均投资、年运行成本；玻璃行业玻璃窑新建脱硫、脱硝、除尘设施年均投资、年运行成本。

（4）锅炉改造治理

锅炉改造治理措施的费用主要是淘汰改造燃煤小锅炉措施产生的费用，主要对象为工业、商用和居民小区（社区）的 10 蒸吨以下规模锅炉，燃煤小锅炉的改造方式主要是淘汰、煤改电或煤改气、清洁能源替代和热泵供暖四种方式，主要成本是锅炉采暖设备的投资费用，成本按照锅炉的蒸吨为基准进行计算。计算公式如下：

锅炉污染治理=锅炉采暖设备的投资费用=锅炉的蒸吨*单位蒸吨改造费用

（5）机动车污染治理

机动车污染治理措施的费用主要包括黄标车、老旧车的淘汰，新能源汽车推广，交通运输结构调整，机动车监管能力建设等四个方面的费用。黄标车、老旧车淘汰主要是车辆残值损失（以补贴成本作为替代），新能源汽车推广主要是推广补贴成本。交通运输结构调整主要有公交车、出租车、客运车辆、货运车结构调整，铁路货运、海运、空运，轨道交通建设，自行车道建设等措施，由于数据缺失，成本难以量化，不纳入计算。机动车监管能力建设主要有巡查检测场、查处违法检测场、检查机动车、查处违法车，省市两级监管平台，固定式遥感监测门站、配置移动式遥感监测车等措施，机动车监管能力建设部分放入“大气十条”的监督管理成本中。

黄标车、老旧车淘汰补贴成本=黄标车、老旧车淘汰补贴标准*淘汰数量

新能源汽车推广补贴成本=新能源汽车推广补贴标准*推广数量

新能源汽车替代黄标车和老旧车，考虑到黄标车和老旧车污染物排放量相当于国V或国VI的10~25倍，将新能源汽车推广所产生的大气污染防治成本定义为新能源汽车推广补贴的1/20。

(6) 面源污染治理

大气面源污染治理措施的费用主要包括扬尘、餐饮油烟、秸秆燃烧治理等措施，其中扬尘包括建筑扬尘、道路扬尘、渣土扬尘。此外大气面源治理还包括矿山和港口码头扬尘整治，由于该部分占比较小且相关数据获取困难，故不纳入计算。梳理各省市大气面源任务，其具体的治理措施成本主要包括政府补贴、政府治理设施安装、企业设施投资、日常治理与运维费用，其中政府补贴与设施安装投资部分存在重复，进行扣减。

扬尘：建筑扬尘治理成本主要包括政府扬尘治理补贴、6个“百分百”（施工工地围挡、物料堆放苫盖、出入车辆冲洗、地面硬化、土方湿法作业、车辆密闭运输等）费用、监控视频和扬尘在线监测等设备购置、高效洗轮设施购置。建筑扬尘治理费用= \sum 单项措施费用×工地数量×实施工地百分比

道路扬尘治理成本：主要包括机械化设备（洒水车、机扫车、吸尘车等）购置、道路扬尘监测设备购置、日常清扫除尘运行费用。

设备购置费用= \sum 单价×购置数量

日常清扫费用=单位面积清扫费用×道路面积×清扫率

渣土扬尘治理成本主要包括政府渣土车辆改装补贴费用、政府平台监控设备购置费用、运输车辆更新改造（GPS系统、密闭系统）费用。渣土扬尘治理费用= \sum 单价×购置/改造数量

餐饮油烟：餐饮油烟治理费用= \sum 单价×餐饮企业数量×油烟治理率

秸秆燃烧：秸秆燃烧设施购置费用= \sum 单价×设施购置数量

(7) 环境监管与科技支撑能力

环境监管与科技支撑能力主要包括大气污染防治应急能力建设、大气环境监测网格体系建设、执法监督体系建设（含环保督查、巡查）、科技研发（大气专项、总理基金）等保障支出。由于各措施成本难以统计，故采用经验法，即占大

气污染防治行动计划总费用的 1.5%作为能力建设投入。

2、总费用评估结果

评估表明，2013-2017 年，《大气十条》七项措施实施的费用共计 16511 亿元。其中，产业结构与布局调整的费用支出 515 亿元、能源清洁利用的费用 5840 亿元、主要工业污染治理费用 6576 亿元、锅炉改造治理费用为 689 亿元、大气面源污染治理费用 747 亿元、机动车污染治理费用 1899 亿元、监管与科技能力费用 246 亿元。

表 2 《大气十条》各措施实施的费用情况 单位：亿元

措施	费用（亿元）
产业结构与布局调整	515.00
能源清洁利用	5839.54
主要工业污染治理	7066.17
锅炉改造治理	688.81
大气面源污染治理	746.87
机动车污染治理	1899.36
监管与科技能力	245.82
合计	17001.53

3、各措施实施费用核算结果

产业结构调整与布局。《大气十条》实施期间，全国共计在电力、钢铁、水泥、平板玻璃、焦炭等行业共淘汰及压减产能 1423 万千瓦、53234 万吨、26891 万吨、16903 万重量和 8655 万吨，政府相应配套的安置补助成本分别为 131 亿元、198 亿元、12 亿元、26 亿元、25 亿元。总计补贴成本为 392 亿元。北方六省份“散乱污”企业升级改造所需成本共计 123.2 亿元。

能源清洁利用。由于《大气十条》的实施，全国能源清洁利用与调整措施实施的费用约 5839.54 亿元。其中，散煤清洁利用实施费用约 1409.48 亿元，燃煤“双替代”措施实施费用 956.05 亿元，油品升级及配套改造措施实施费用约 3091.54 亿元，建筑节能改造费用为 382.47 亿元。

工业大气污染治理。《大气十条》实施的 2014-2017 年期间，全国电力、钢铁、水泥、玻璃、有色金属等行业的大气污染治理的总投入为 7066.17 亿元。其

中电力行业总投入最高，其新建脱硫、脱硝、除尘设施的投资及运行成本占总成本的 96.3%。

锅炉改造治理。2013-2017 年，全国共淘汰 10 蒸吨及以下燃煤小锅炉 38 万余台，通过煤改电、煤改气、清洁能源替代和热泵的方式，全国共改造 31 万蒸吨以上，总成本约为 688.8 亿元。

机动车治理。2013-2017 年，全国机动车污染治理措施成本共 1899.36 亿元，其中黄标车、老旧车淘汰费用 1695.88 亿元，新能源汽车推广费用 203.48 亿元。

面源污染治理。2013-2017 年，全国大气面源治理费用约 746.87 亿元，其中扬尘治理费用约 522.84 亿元，厨房油烟治理费用 14.58 亿元，秸秆燃烧治理费用约 209.44 亿元。

监管与科技能力。2003-2017 年期间，落实《大气十条》的大气污染防治应急能力建设、大气环境监测网格体系建设、执法监督体系建设（含环保督查、巡查）、科技研发（大气专项、总理基金）等保障支出等共计 254.49 亿元。

2.2 效益分析

《大气十条》的实施，带来了主要污染物减排和空气质量的显著改善，由于空气质量改善已实实在在有监测结果，报告不再进行污染物减排空气质量改善的评估。主要对《大气十条》实施的碳协同减排和健康效益进行评估。

1、碳协同减排效益

碳协同减排是《大气十条》实施成效的重要内容。本报告以每项政策措施为分析对象，通过措施实施后的实际效果，譬如淘汰和压减多少产能、“电代煤”“气代煤”实现了多少户数、锅炉改造了多少蒸吨、老旧车黄标车淘汰了多少辆、新能源汽车推广了多少辆等，从中推算出具体的二氧化碳减排量，即为大气污染防治带来的碳协同减排量。具体公式如下：

（1）核算思路

1) 产业结构与布局调整

电力行业淘汰及压减产能减少的二氧化碳排放(t)=淘汰及压减的电能(kw)
*大气十条实施期间火电设备平均利用小时数(h)*淘汰电厂与新增电厂二氧化碳排放因子差(kgCO₂/kw·h)

钢铁行业淘汰及压减产能的二氧化碳排放 (t) = 淘汰及压减的产能 (t) * 产能利用率 (70%) * 一般转炉炼钢的二氧化碳排放因子 (tCO₂/t)

钢铁行业新置换产能的二氧化碳排放 (t) = 置换的现代高炉 (转炉) 钢产能 (t) * 产能利用率 (70%) * 现代高炉钢的二氧化碳排放因子 (tCO₂/t) + 置换的电弧炉钢产能 (t) * 产能利用率 (70%) * 电弧炉钢二氧化碳排放因子 (tCO₂/t)

水泥行业淘汰及压减产能减少的二氧化碳排放 (t) = 淘汰及压减的产能 (t) * 产能利用率 (70%) * 产能的二氧化碳排放因子 (tCO₂/t)

平板玻璃行业淘汰及压减产能减少的二氧化碳排放 (t) = 淘汰及压减的产能 (重量箱) * 产能利用率 (70%) * 产能的二氧化碳排放因子 (kgCO₂/重量箱)

焦炭行业淘汰及压减产能减少的二氧化碳排放 (t) = 焦炭的活动水平 (GJ) * 焦炭的二氧化碳排放因子 (tCO₂/GJ)

2) 产业结构与布局调整

散煤清洁利用: 通过洗煤减少的二氧化碳排放 (t) = 烟煤排放的二氧化碳 (t) - 洗精煤排放的二氧化碳 (t), 对应能源种类排放的二氧化碳 (t) = 对应能源种类的活动水平 (GJ) * 对应能源种类的二氧化碳排放因子 (tCO₂/GJ)

燃煤“双替代”: 通过电代煤措施减少的二氧化碳排放 (t) = 烟煤排放的二氧化碳 (t) - 发电排放的二氧化碳 (t), 通过气代煤措施减少的二氧化碳排放 (t) = 烟煤排放的二氧化碳 (t) - 天然气排放的二氧化碳 (t)

建筑节能管网改造: 既有建筑节能改造减少的二氧化碳 (t) = 既有建筑节能改造面积 (m²) * 单位既有建筑节能改造面积二氧化碳减排量 (建筑节能改造二氧化碳排放因子, t/m²)

3) 工业污染治理

超低排放改造后新增附加煤耗排放的二氧化碳 (t) = 超低排放改造的火电机组容量 (kw) * 大气十条实施期间设备平均利用小时数 (h) * 超低排放改造后所增加的厂供电煤耗 (g/kWh) * 烟煤的平均低位发热值 (GJ/t) * 烟煤单位热值含碳量 (tC/GJ) * 烟煤碳氧化率 (%) * 44/12

4) 锅炉改造与治理锅炉规模

通过改电措施减少的二氧化碳排放 (t) = 烟煤排放的二氧化碳 (t) - 供电排放的二氧化碳 (t)

烟煤的活动水平 (GJ) = 烟煤的平均低位发热值 (GJ/t) * 改造的烟煤量 (t)

烟煤的活动水平 (GJ) = 烟煤的平均低位发热值 (GJ/t) * 改造的烟煤量 (t)

发电排放的二氧化碳 (t) = 对应的电能 (kw · h) * 供电的二氧化碳排放因子 (kgCO₂/kw · h)

通过改气措施减少的二氧化碳排放 (t) = 烟煤排放的二氧化碳 (t) - 天然气排放的二氧化碳 (t)

烟煤排放的二氧化碳 (t) = 烟煤的活动水平 (GJ) * 烟煤的二氧化碳排放因子 (tCO₂/GJ)

烟煤的活动水平 (GJ) = 烟煤的平均低位发热值 (GJ/t) * 改造的烟煤量 (t)

天然气排放的二氧化碳 (t) = 天然气的活动水平 (GJ) * 天然气的二氧化碳排放因子 (tCO₂/GJ)

清洁能源替代: 通过改燃料油措施减少的二氧化碳排放 (t) = 烟煤排放的二氧化碳 (t) - 燃料乙醇排放的二氧化碳 (t)

烟煤排放的二氧化碳 (t) = 烟煤的活动水平 (GJ) * 烟煤的二氧化碳排放因子 (tCO₂/GJ)

烟煤的活动水平 (GJ) = 烟煤的平均低位发热值 (GJ/t) * 改造的烟煤量 (t)

烟煤的二氧化碳排放因子 (tCO₂/GJ) = 烟煤单位热值含碳量 (tC/GJ) * 烟煤碳氧化率 (%) * 44/12

乙醇排放的二氧化碳 (t) = 乙醇的数量 (t) * 乙醇的二氧化碳排放因子 (tCO₂/t)

5) 机动车污染治理

淘汰的黄标车与老旧车减少的二氧化碳 (t) = 淘汰的黄标车与老旧车排放的二氧化碳 (t) - 置换的常规车排放的二氧化碳 (t)

淘汰的黄标车与老旧车排放的二氧化碳 (t) = 汽油车的 CO₂ 排放系数 (t/t 汽油) * 淘汰的每辆黄标车与老旧车总耗油量 (t 汽油) * 淘汰的黄标车与老旧车数量 (辆)

置换的常规车排放的二氧化碳 (t) = 汽油车的 CO₂ 排放系数 (t/t 汽油) * 置换的常规车总耗油量 (t 汽油) * 置换的常规车数量 (辆)

推广新能源汽车减少的二氧化碳 (t) = 被替代的普通汽车排放的二氧化碳 (t) - 推广的新能源汽车排放的二氧化碳 (t)

被替代的普通汽车排放的二氧化碳 (t) = 汽油车的 CO₂ 排放系数 (kg/km)
* 大气十条期间总行驶的公里数 (km/辆) * 被替代的普通汽车数量 (辆)

推广的新能源汽车排放的二氧化碳 (t) = 电动汽车 CO₂ 的排放系数 (kg/km)
* 大气十条期间总行驶的公里数 (km/辆) * 推广的新能源汽车数量 (辆)

(2) 核算结果

《大气十条》实施带来了显著的碳协同减排效果，总计带来的碳协同减排量为 136438.39 万吨，其中产业结构调整、能源清洁利用、锅炉改造治理和机动车污染治理等措施产生的碳协同减排量分别为 73674.73 万吨、5020.595 万吨（能源部分三个省无统计数据）、54453.57 万吨和 3289.49 万吨，工业污染治理增加碳排放量 5571.1 万吨，总计减少 130867.29 万吨。

2016 年全国经过超低排放改造的火电机组容量最多，为 2.8 亿千瓦，增加碳排放 2399.86 万吨；2017 年完成火电机组 2.6 亿千瓦超低排放改造，增加碳排放 1114.22 万吨；2014 年和 2015 年完成 1.6 亿千瓦超低排放改造，增加碳排放 2057.02 万吨。

2、健康效益

(1) 思路

大气环境质量改善引起的健康效益是《大气十条》实施成效的重要内容。目前，我国大气环境质量整体还处于对人体健康有损失的阶段，因此，大气环境质量改善的健康效益通过各年度之间大气环境污染损失减少进行核算。即当年大气环境质量改善的健康效益通过上年大气环境质量的损失减去当年大气环境质量的损失，如果结果为正，说明大气环境质量改善了。如果结果为负，说明大气环境质量没有改善。

大气污染导致的人体健康效益核算的地区主要是全国地级以上城市（338 个），主要采用颗粒物 PM_{2.5}（排除掉气象因素影响后的浓度值）作为大气污染因子进行人体健康影响评价。健康效益核算的方法有人力资本法和支付意愿法。

(2) 核算结果

2013-2017 年我国大气污染导致的过早死亡人数共计 194.6 万人，大气十条实施后减少的过早死亡人数为 9.7 万人，减少的过早死亡人数占全部过早死亡人数的 5%。超住院人数合计 726.3 万人，减少的超住院人数为 183 万人，占比为

25.2%。按照人力资本法计算的健康效益为 1809.5 亿元，按照支付意愿法计算的健康效益为 24691.4 亿元。

3、其他效益

大气环境质量改善除了给人体健康带来效益外，对农作物、室外建筑材料、清洁方面也将带来好处。大气环境质量改善引起的其他效益主要包括农作物减少损失、室外建筑材料减少损失和清洁成本减少损失等三部分组成。

大气环境质量改善除了给人体健康带来效益外，对农作物、建筑材料、清洁费用方面也将带来益处。2013-2017 年，由于大气环境质量改善带来的其他效益为 436.4 亿元，其中农业减少的损失、建筑物减少的损失和清洁减少的损失分别为 156 亿元、172.8 亿元和 107.6 亿元。

2.3 社会经济影响分析

1、思路

《大气十条》实施的经济社会影响分析是指各项措施在实施过程中对宏观经济、产业结构、税收以及就业等方面产生的直接和间接的影响。本报告中主要将淘汰和压减产能、环境治理投资及运行费、增加消费需求等作为对象，主要通过构建的环境经济投入产出模型来计算。

2、核算结果

在同时考虑了《大气十条》实施的淘汰落后产能、压减过剩产能的负面影响和投资、消费带动经济增长的正面贡献的情况下，核算表明，2013-2017 年间，《大气十条》实施对我国 GDP、税收、居民收入以及就业的五年累计净贡献分别为 5.5 万亿元、2913 亿元、7204 亿元和 358 万人。

表 3 《大气十条》实施对宏观经济影响的净贡献

类型	GDP /亿元	税收 /亿元	居民收入 /亿元	就业 /万人
淘汰落实产能的负面影响	-5051	-825	-1563	-14
投资与消费拉动正面贡献	59892	3738	8767	372
净贡献	54841	2913	7204	358

3、综合分析结论

3.1 净效益与费效比

《大气十条》的净效益等于总效益减去总费用。全国的净效益为 8026 亿元，即所产生的经济社会效益远大于花费的成本。把 31 个省份按净效益从高到低排序，广东的净效益最高，达到了 2830 亿元，远远高于其他省份，长三角地区的上海、江苏、浙江较高，分别达到 1576 亿元、1565 亿元、1274 亿元，排在第 2、3、5 位，福建净效益 1283 亿元，排在第 4 位。山东、河北、四川、重庆、湖南、湖北、天津、云南、青海、贵州、广西、北京、海南、西藏的净效益均为正值，即效益大于费用也就是《大气十条》的实施所带来的质量改善健康等环境改善的总收益是高于各项措施实施的总资金投入，吉林、甘肃、安徽、江西、宁夏、辽宁、新疆、黑龙江、河南、内蒙古、陕西、山西的净效益均为负值，即效益小于费用也就是《大气十条》的实施所带来的质量改善健康等的总收益是低于各项措施实施的总资金投入。可以看到净效益为正值的省份中经济发达地区较多，而净效益为负值的省份中经济欠发达地区较多，比如东北地区三省都是负值，因为经济发达地区在环境质量改善上投入了更多的资金，绝对数较大，收获也较大。利用总效益除以费用即得到《大气十条》的费效比（图 5）。全国的效益除以费用的比为 1.48，即所产生的经济社会效益超过花费的费用 48% 左右。分省来看，费效比最高的是福建 5.29，紧接着是上海、重庆、青海、广东、四川，费效比均在 3 以上，即这些省份实施《大气十条》得到的效益是所花费成本的 3 倍以上，《大气十条》实施效果显著。费效比最低的是黑龙江，-0.27，小于零的还有陕西、宁夏、山西、内蒙古，负数表示这些地区大气环境并没有改善，空气质量反而恶化了。

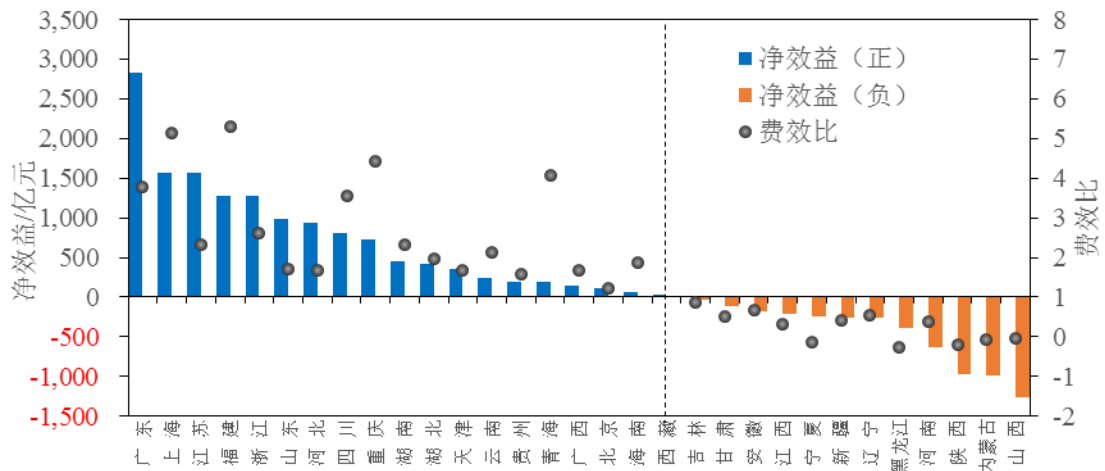


图1 全国各省《大气十条》实施五年期间净效益及费效比

3.2 不确定性分析

由于数据的可获得性等原因，本报告的研究在系数选取、成本范围、效益范围等方面仍存在一些局限性，需要在未来的研究中进一步加强。首先，在成本的计算过程中，应该了解独立于《大气十条》政策的其他因素带来资金的使用和增长，比如技术进步和产业结构调整、经济增长本身带来的成本增加。其次，方法上多数措施成本的计算采用了系数法，但油品价格、电力行业计算单位投资等系数用的是全国统一的系数，各省份并没有区别开来，下一步可以选择差别化的系数，以更好的体现各省之间的差异。最后，对《大气十条》收益的评估范围有限。

《大气十条》所产生的效益不仅包含了健康效益和清洁等效益，还包括了监管能力提升、人民幸福感提升等社会效益，例如经过《大气十条》的实施，中国大气环境监管能力明显增强，2012年之前国家还没有PM_{2.5}的例行监测站点，而目前1436个国控监测站点全部具备PM_{2.5}等六项指标监测能力。但此种效益往往难以量化。在未来的研究中，可以针对以上局限问题开展进一步细化研究，提升研究的科学性和精度。

3.3 主要结论

以《大气十条》产业结构与布局调整、能源清洁利用、工业污染治理、锅炉改造与治理、面源污染治理、机动车污染治理、监管能力建设等 7 个方面政策措施为对象，对全国 31 个省在 2013-2017 年期间的实施费用、健康效益、碳协同减排效益及经济影响进行评估分析，并对单位污染物浓度下降的费用进行了分年度、分区域特征分析。得到以下结论：

(1) 《大气十条》实施五年期间全国大气污染治理总费用约为 17002 亿元，2013-2017 年分别为 635 亿元、3201 亿元、3459 亿元、4118 亿元、5589 亿元。

(2) 《大气十条》实施带来了显著的碳协同减排效果，总计带来的碳协同减排量为 136438.39 万吨。

(3) 按支付意愿法，《大气十条》实施带来的健康效益等环境改善效益为 25128 亿元，是总成本的 1.5 倍。

(4) 考虑《大气十条》淘汰落后产能、压减过剩产能的负面影响和环保投资、消费带动经济增长的正面贡献的情况下，《大气十条》实施对 GDP、税收、居民收入及就业的累计净贡献分别为 5.5 万亿元、2913 亿元、7204 亿元和 358 万人。

(5) 《大气十条》各项措施实施的费效对比分析表明，产业结构调整 and 燃煤锅炉整治无论是对 PM_{2.5} 浓度改善效果，还是效益费用比都较好。

对污染减排和环境质量改善贡献度方面，燃煤锅炉整治是最为显著的措施，对 PM_{2.5} 浓度改善贡献了 23%，燃煤电厂超低排放和产业结构调整紧随其后，对 PM_{2.5} 浓度改善的分别贡献了 19% 和 18%。效益费用比方面，产业结构调整措施的费效比最高，为 9.76，也就是说对产业结构调整这项措施每投资 1 万元带来的环境效益为近 10 万元；其次是锅炉污染治理，每投资 1 万元带来的环境效益为 8.39 万元；能源清洁利用和机动车污染治理的效益费用比较低，分别为 0.18 和 0.26。