



环境空气质量标准研究系列报告

中国环境空气质量标准 修订的经济影响评估

2025年10月



报告团队

张世秋 北京大学环境科学与工程学院教授

曹 静 清华大学经济管理学院副教授

刘庆丰 清华大学经济管理学院博士生

致 谢

特别感谢亚洲清洁空气中心（Clean Air Asia）为本研究提供支持。同时，感谢 Harvard China Project on Energy, Economy and Environment 的 Mun Sing HO 博士在 CGE 模型方面的技术指导；感谢清华大学中国环境空气质量标准修订与达标路径研究课题组（张强、耿冠楠、刘洋）、北京大学空气质量标准修订的社会经济影响分析课题组（吴丹、刘利、王彦滢、林寰、金顺林）在研究过程中提供技术支持与学术建议。

前言

环境空气质量标准是空气质量管理体系的核心基础，它既是衡量空气污染程度和健康风险的标尺，也是制定政策和规划措施的重要依据。

2012年，我国修订并发布了《环境空气质量标准》(GB3095-2012)，首次增设PM_{2.5}浓度限值，成为我国大气污染防治进程的重要里程碑。此后，国务院先后出台一系列清洁空气行动计划，包括《大气污染防治行动计划》、《打赢蓝天保卫战三年行动计划》、《空气质量持续改善行动计划》，推动我国大气污染物排放大幅削减，显著改善了空气质量并带来可观的健康效益。自2020年以来，全国整体PM_{2.5}年均浓度已连续五年达标，PM_{2.5}达标城市比例突破七成，空气质量水平实现历史性改善。

世界卫生组织（World Health Organization, WHO）在2021年发布新版《全球空气质量指南》，对包括PM_{2.5}在内的多种主要空气污染物的指导值和过渡阶段目标值进行调整，其中将PM_{2.5}年均浓度指导值由10 μg/m³收紧至5 μg/m³。随后，美国与欧盟于2024年先后完成环境空气质量标准修订，分别将PM_{2.5}年均浓度限值收紧至9 μg/m³和10 μg/m³。相比之下，我国现行PM_{2.5}限值较为宽松，亟需通过标准修订进一步强化健康导向，推动空气质量持续改善。

国务院于2023年11月发布的《空气质量持续改善行动计划》明确提出“启动环境空气质量标准及相关技术规范修订研究工作”。这一举措标志着我国环境空气质量标准迈入了修订的前期准备阶段。为响应这一政策动向，亚洲清洁空气中心（Clean Air Asia, CAA）在2021年完成的环境空气质量标准研究（一期）的基础上立项，联合清华大学、北京大学围绕环境空气质量标准修订开展系统研究（二期），旨在为我国的环境空气质量标准修订、以及下一阶段空气质量持续改善提供决策参考和依据。研究共形成以下三份成果报告。

- 《中国环境空气质量标准修订达标路径分析》提出了环境空气质量标准修订的多个情景，构建了近、中期可达的新标准情景，并建立了“分阶段、分区域”的达标路径，同时评估了达标的协同降碳效益与健康收益。
- 《中国环境空气质量标准修订的经济影响评估》即本报告，利用可计算一般均衡模型，系统评估了环境空气质量标准修订对宏观经济、产业结构、能源转型和公共健康的影响，并开展了成本效益分析。
- 《环境空气质量标准修订国际案例研究》梳理和总结了美国和欧盟在最新一轮环境空气质量标准修订方面的做法与管理实践，并进行对比分析。

目录

执行摘要	02
一、研究背景	03
二、研究目标、内容与方法	04
2.1 研究目标与内容	04
2.2 研究方法框架	04
2.3 中国经济环境 CGE 模型	06
2.4 情景设置和 CGE 模型输入数据	08
三、环境空气质量标准修订的经济影响评估结果	14
3.1 环境空气质量标准修订减排成本的宏观经济影响分析	14
3.2 环境空气质量标准修订的成本与效益的分析与比较	17
3.3 小结	20
四、政策建议	22
1. 分阶段推进环境空气质量标准升级，或实施分区域达标方案，构建动态调整机制	22
2. 推动产业与能源结构协同转型，强化“减污降碳”协同效应	23
3. 完善成本分担与效益共享制度，兼顾效率与公平	23
4. 立足长期效益导向，平衡短期成本与长期效益	23
参考文献	24
附 录	25

执行摘要

本研究通过可计算一般均衡（ Computable General Equilibrium, CGE ）模型，系统评估了中国环境空气质量标准修订对宏观经济、产业结构、能源转型及公共健康的影响。通过对四类标准修订情景（ 2030 年与 2035 年分别实现 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 目标 ）的宏观经济影响的评估以及成本效益分析，为环境空气质量标准的修订与实施提供决策参考。

研究结果表明，尽早发布并实施更严格的环境空气质量标准具有更显著的净效益。特别是，情景 S30-20（ 2030 年 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），其 2025-2035 年的累积净效益在四类情景中最高，达 42,530 亿元，分别为情景 S35-20（ 2035 年实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的 2.4 倍和情景 S35-25（ 2035 年实现 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的 3.9 倍。

实施更严格的环境空气质量标准短期内会对经济产生一定压力，这主要是因为更严格标准会造成各部门污染减排支出的增加，以及生产性投入的挤出。然而，标准加严不仅会驱动产业结构优化升级，高污染行业（如煤炭、金属制造）产

出下降，低污染行业产出有所提升；也会同时驱动能源结构转型，推动电力部门向清洁能源转型，体现为煤电占比下降，清洁能源发电占比增长。尽管健康效益在治理力度较小时表现有限，但随政策力度加大则呈加速增长趋势。总体而言，尽管标准实施的经济成本随标准加严有所上升，但成本增幅显著低于健康效益，因此，环境空气质量标准加严会带来显著的净效益。

基于研究结论，建议分区域、分阶段推进标准升级并构建动态调整机制，鼓励部分地区先行示范；优化产业与能源结构，强化重点行业技术升级，加大对煤炭、化工等行业绿色转型支持；通过技术改造补贴、环保设备投资抵税等方式降低企业减排成本压力；建立差异化成本分担与效益共享机制，对减排任务较重的地区和行业给予转移支付；立足长期效益，平衡短期成本与长期效益，通过逐步提高标准严格度、提早实施修订标准、配套分阶段实施策略与成本分担机制以降低短期的经济冲击，最终实现空气质量改善与经济社会可持续发展的双赢。

一、研究背景

作为空气质量管理的核心制度，环境空气质量标准是污染防治政策制定、执法监管及信息公开的基础性框架，并发挥统领作用。环境空气质量标准的制定与动态升级，既是推动空气质量持续改善的关键抓手，也是提升治理现代化水平、促进绿色低碳转型的重要政策杠杆。

自 1982 年发布《大气环境质量标准》以来，我国在 40 年间先后进行了两次重要的修订。其中，2012 年修订形成的《环境空气质量标准》（GB3095-2012）在完善监测体系、引导清洁能源投资、建立目标责任制等方面成效显著，为后续标准升级和治理深化奠定了坚实的基础。2013 至 2021 年我国实现经济发展与污染治理协同推进：SO₂、NO_x 排放总量从 2000 多万吨降至数百万吨，PM_{2.5} 年均浓度下降 56%，城市空气质量显著改善，成为全球空气质量改善最快的国家之一（刘炳江，2022）。

然而，随着全国城市从过去的“普遍超标”到如今的“多数达标”，这一转变削弱了现行标准在部分地区的约束性，导致其驱动力显著不足，凸显了标准升级的紧迫性。同时，我国现行标准与国际先进标准的差距也反映出中国在进一步收严环境空气质量标准方面仍具较大提升潜力和空间。所以，适时提高标准限值，既能彰显持续改善环境质量的政策定力，也可通过倒逼机制优化产业与能源结构，为高质量发展及“双碳”目标注入动力。

在此背景下，深圳、海南等地率先提出并设定了高于国家标准的空气质量目标，体现了地方政府主动强化环境治理的决心。海南省政府在《海南省空气质量持续改善行动实施方案（2024-2025 年）》

中提出力争将 PM_{2.5} 年均浓度降至 11 μg/m³ 以下；深圳市则在其 2024 年发布的《深圳市空气质量持续改善实施方案》中提出 2025 年力争将 PM_{2.5} 年均浓度降至 15 μg/m³ 的目标。这些显著严于国家标准的目标，展现了区域先行探索和高标准治理的积极态度。

国际上，WHO 于 2025 年 3 月提出“到 2040 年全球空气污染健康风险降低 50%”的目标，为各国治理设立了新的标杆，凸显健康导向在环境治理中的重要性。在此背景下，如何在健康保护与经济发展之间取得平衡，并制定科学可行的限值标准，已成为核心命题。WHO《全球空气质量指南》确定的指导值需结合社会、经济与技术条件，转化为各国的法定标准（朱彤等，2021）。环境保护必须在成本与效益之间权衡，明确不同标准的经济可行性、最优限值及高效减排路径，并兼顾对宏观经济与“双碳”目标的协同影响。借助成本效益分析等工具，可以量化不同方案的成本与效益，为标准制定等政策决策提供支撑。

尽管 2013 年以来空气质量与公众健康显著改善，但随着污染减排进程进入深水区，低浓度污染的健康累积效应、人口老龄化等结构变化，导致同等污染浓度下的健康风险和治理成本上升，也意味着标准升级的长期健康效益更显著。此外，污染治理与“双碳”进程中，受控行业、减排技术及成本均在动态演变，修订过程需充分纳入技术进步对成本的影响，以优化长期净效益。综上，环境空气质量标准修订应结合社会经济形势，深化研究并识别经济有效、兼顾公平的方案，为持续改善空气质量提供有力支撑。

二、研究目标、内容与方法

2.1 研究目标与内容

在制定和修订环境空气质量标准的过程中，如何在环境改善目标与经济可承受能力之间进行权衡，始终是政策制定者和社会公众关注的核心问题。一方面，若标准设定过于宽松，可能难以有效改善空气质量，导致环境健康损害持续累积、治理效力不足；另一方面，若标准提升过快过严，可能会在短期内对重点行业和区域经济造成较大冲击，带来较高的合规成本与转型压力。因此，亟需借助科学工具系统评估不同标准路径下的政策效益与经济成本，提升政策制定的科学性与透明度。

成本效益分析是一种通过量化的方式，比较项目或决策的全部成本与预期效益来评估其经济价值并选择最优方案的决策方法。成本效益分析被广泛应用于包括环境政策在内的公共政策评估，旨在帮助决策者权衡公共政策的成本和效益、说明和验证环境政策干预或者调整的经济合理性。其核心原理是通过货币化的方式，衡量项目的总成本（包括直接与间接成本）与总效益（包括经

济效益、社会效益、环境效益），并以净现值（Net Present Value, NPV）或效益成本比（Benefit Cost Ratio, BCR）的方式为决策的判断依据。若 $NPV > 0$ 或 $BCR > 1$ ，则表明该政策或者项目具有经济可行性与合理性。

大量针对清洁空气政策和空气质量标准的经济分析表明，其带来的健康效益通常是标准实施总效益中最重要的组成部分，而健康效益改善又主要来自于 $PM_{2.5}$ 长期暴露水平的降低，特别是死亡风险的降低。本研究所涉及的健康效益主要是针对由于标准修订所带来的过早死亡风险降低所带来的货币化评估结果。

标准修订的成本主要包括两方面：一是各类减排和空气质量改善措施的直接成本，如结构调整、节能措施和末端深度治理等；二是因达标措施引发的间接成本，尤其是对宏观经济产生的一系列影响，例如经济增长、产业结构、就业机会和家庭福祉等。

2.2 研究方法框架

如图 2-1 所示，本模型研究由空气质量模块、减排成本模块、健康效益模块、CGE 模型模块四大模块组成。

空气质量模块采用嵌套于全球经济中的中国

综合评估模型（Global Change Analysis Model-China, GCAM-China）、区域化学输送模型（Weather and Forecasting Model coupled with the Community Multi-scale Air Quality Modeling

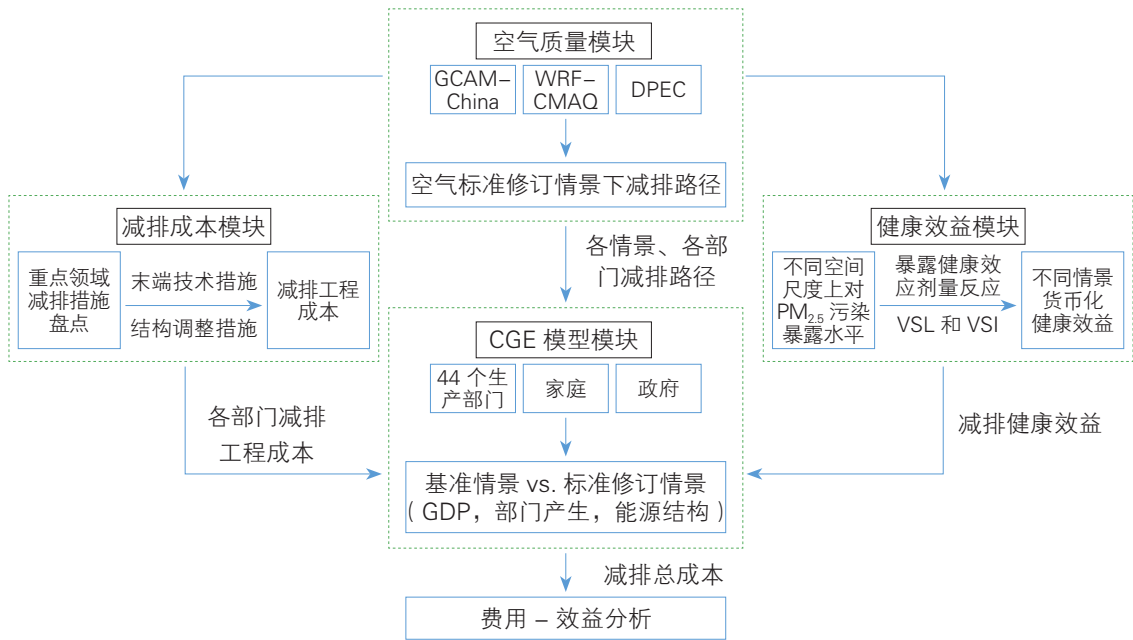


图 2-1 环境空气质量标准修订的经济影响评估技术路线图

System, WRF-CMAQ) 以及基于细分技术的中国未来排放动态评估模型 (Dynamic Projection model for Emissions in China, DPEC), 可以模拟不同排放路径下中国的环境 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度 (Cheng et al., 2023), 并对基准情景与不同标准修订情景下的排放路径、各部门减排路径等进行测算。

减排成本模块以可量化的工程技术成本或控制方案成本为基础, 采用外推方法对提升我国环境空气质量标准所需的减排措施进行直接成本评估。通过分析重点行业和领域主要措施的减排潜力及其对应的直接减排成本, 识别不同措施的相对成本效益, 并评估各部门的减排工程成本。

健康效益模块基于本地化的流行病学模型和货币化的健康效益参数, 计算不同标准修订情景下的总健康效应。首先, 基于暴露浓度、人口等指标的网格化数据在不同空间尺度上对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染暴露水平改变的健康损益进行加总。再综合环境流行病学等领域的相关研究结论和研究进展, 选择 $\text{PM}_{2.5}$ 长期暴露影响对应的健康终点以及暴露健康效应剂量反应关系, 得出最终的健康效应

变化总量 (以过早死亡人数和患病人数为表征)。最后乘以其单位货币化价值, 即统计寿命价值 (Value of Statistical Life, VSL) 和统计疾病价值 (Value of Statistical Illness, VSI), 来测算不同标准修订情景的货币化健康效益。

CGE 模型模块, 即可计算一般均衡模型 (Computable General Equilibrium, CGE) 模块, 通过构建包含多个细分行业部门的动态可计算一般均衡模型, 根据不同的政策情景以及相应的各部门减排路径以及减排成本模块测算的工程成本作为输入, 模拟和评估在不同标准修订情景下的经济成本。通过比较不同情景下的国内生产总值 (Gross Domestic Product, GDP)、各部门产出、能源结构等指标, 分析不同标准修订情景的宏观经济影响与减排综合成本。

通过整合健康效益模块测算的货币化健康效益与 CGE 模型模块估算的减排综合成本, 比较不同标准修订方案的净效益, 从而识别兼顾环境改善与经济可行性的最优减排路径, 为政策制定者提供科学决策依据。

2.3 中国经济环境 CGE 模型

CGE 模型是根据一般均衡理论建立起来的一类涵盖多部门、多区域、多要素的反映所有市场活动的数量化经济模型。通过模拟商品与生产要素（如劳动力、资本和自然资源）在生产者与家庭之间的流动，来评估政策变化或外生经济冲击对经济总量及结构的影响。在模型中，家庭拥有并供给生产要素以换取工资和其他收入，企业则结合这些要素与中间投入品生产商品和服务，并面向国内外市场销售。CGE 模型能够捕捉因价格变化引发的企业成本最小化行为、家庭消费效用最大化行为、劳动投入与其他要素的替代以及跨行业一般均衡影响，从而再现经济系统在外部冲击下的均衡重构。

在本研究中，构建了动态一般均衡的中国 CGE 模型，用于评估环境空气质量标准修订的一般均衡成本。成本估算主要包括两类：一是直接成本，即结构调整、节能措施和末端治理等各类减排与空气质量改善措施成本，可通过工程技术或控制成本参数以及调研获取；二是间接成本，即达标措施对宏观经济产生的联动影响，如经济增长、产业结构、就业和家庭福祉的变化，可通过 CGE 模型模拟获得。CGE 模型的综合模拟，不仅可以模拟直接成本带来的行业冲击，还可以评估经济系统内一般均衡带来的间接成本，从而能够系统量化标准修订的整体经济影响，为政策制定提供科学依据。在成本测算完成后，本研究将相关成本与标准修订带来的效益进行对比，以开展成本效益分析。效益部分主要体现为 $PM_{2.5}$ 长期暴露水平下降所带来的过早死亡风险减少，并通过公共健康模型进行货币化评估，以衡量其健康效益。

本报告所使用的动态一般均衡的中国经济环境 CGE 模型是包含了 44 个部门的动态递归经济增长模型。其中电力部门进一步细分了七种不同

的发电技术。CGE 模型中 44 部门名称和基准年份（2024 年）的生产总值详见附表 1。经济增长是由投资、人口增长、全要素生产率增长和劳动力质量变化驱动的。该模型由生产部门、家庭部门、政府部门、投资与资本账户、对外部门五个主要模块组成。模型中的外生变量包括总人口、劳动人口、储蓄率、股息支付率、政府税收和赤字、贸易商品价格、经常项目赤字、生产率增长率、资本和劳动力质量改善率以及劳动力参与率。我们对这些外生驱动因素的假设详见相关研究 (Cao et al., 2020; Cao et al., 2019; Cao et al., 2023)。模型基于最新的投入产出表（2018 年版）并结合各统计年鉴披露的宏观经济数据构建了 2018 年的社会核算矩阵（Social Accounting Matrix, SAM）。

生产模块

生产模块共包含 44 个部门。每个部门都使用规模回报不变的常替代弹性生产函数 (Constant Elasticity of Substitution, CES) 来模拟投入与产出之间的关系，以反映企业在面对投入要素价格变动时，在一定范围内调整不同投入要素使用比例的生产决策行为。模型以层级决策结构模拟企业行为，生产部门的产出由资本、劳动、土地、能源、以及中间品投入决定，其嵌套结构如图 2-2 所示。其首层决策为在“增加值与能源的组合”与“非能源中间投入品”之间做出选择，反映两者间替代能力的替代弹性为 σ^{OI} 。其后，“增加值与能源的组合”是和“能源”的 CES 函数，两者间的替代弹性为 σ^{IE} 。在最底层，“增加值”为资本、劳动力和土地这三个主要因素的 CES 函数，“能源”为煤炭、石油、天然气、石油炼制和煤炭产品、电力和天然产品的 CES 函数；“非能源中间投入

品”为 27 个非能源投入品的 CES 函数，替代弹性为 1。各行业生产要素间的替代弹性系数来自 GTAP (Global Trade Analysis Project) 模型。研究基于财政部和税务总局的全国税收调查数据来估计中间投入品的生产函数和替代弹性。

环境空气质量标准的提升还依赖于电力行业在碳中和进程中的深度转型。本研究将电力行业细分为七类发电技术，以表征从煤电向可再生能源的结构性变化，其生产结构如图 2-3 所示。在顶层，电力产出由输配电和发电构成；在第二层，发电进一步分为基荷电源和非基荷电源。基荷电

源包括燃煤、燃气、核能、水电、其他常规能源（如燃油、生物质能、地热等），以及燃煤和燃气碳捕集与封存（Carbon Capture and Storage, CCS）技术；非基荷电源则对应可再生能源发电，即风电与光伏。替代弹性系数的设定参考 Wing et al. (2011) 和 Paltsev et al. (2005)。

家庭模块

在消费方面，家庭部门的消费总需求函数是由不同部门产品的需求加总得出的，总消费支出被

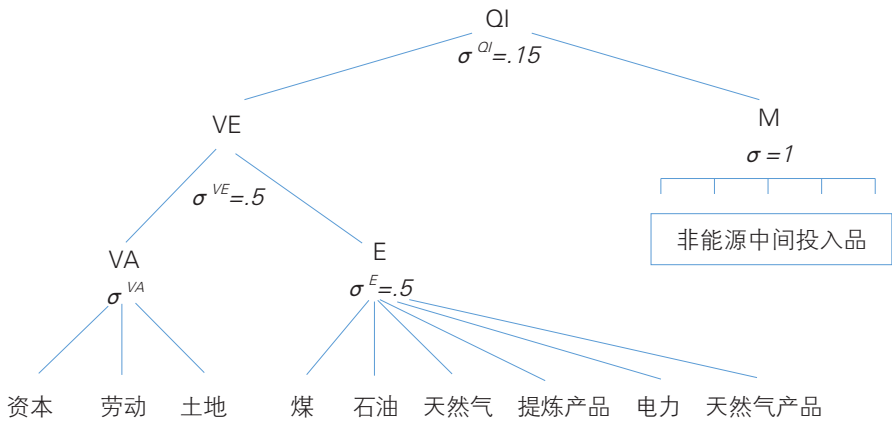


图 2-2 生产部门生产结构（除电力部门外）

注：QI 代表部门总产出；VE 代表增加值 VA 和能源类产品 E 的组合；M 代表 27 个非能源投入品； σ 代表 CES 生产函数替代弹性。

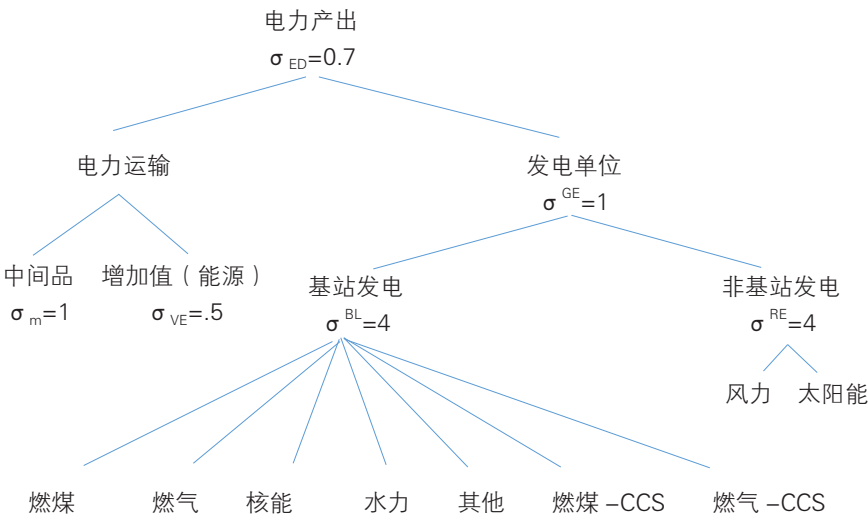


图 2-3 电力部门生产结构

用于购买模型中各部门的产品。家庭的消费支出分为四个一级类别，分别为食物支出，产品支出，服务支出和住房支出，各一级类别下细分二级类别需求函数参照 Hu et al. (2019) 的家庭消费调查数据估算所得。在收入方面，家庭通过提供劳动力以获得工资收入，并且拥有一定比例的资本份额从而获得分红收入，并且还会接受政府的转移性收入。

政府模块

政府作为经济运行中的主体，通过征税、补贴、转移支付、购买产品等方式进行社会资源的再分配。政府的收入来自不同种类的税收，包括直接对资本、劳动、产出、消费征税，以及征收增值税、关税、资源税、环境税等。在研究设定中，政府还会通过碳定价的方式进行温室气体治理，这部分收入会在税收中性的基础上对其他税种税率进行减免。政府支出包括购买产品、对家庭部门转

移支付、补贴、以及支付国外部门的利息，政府部门还会支付 CCS 的费用。政府赤字通过增加公共债券的方式达到收支平衡。

进出口部门

进出口部门主要通过贸易流动、价格机制和国际收支平衡来刻画中国经济与全球经济的联系。在贸易结构上，模型采用“Armington 假设”处理进口与国内商品的关系，即进口商品与国内生产的同类商品存在不完全替代性，总国内供给通过 CES 函数整合国内供给量与进口量，替代弹性决定了两者在价格变动时的替代能力。对于出口，国内商品通过常转换弹性函数（Constant Elasticity of Transformation, CET）在国内市场销量与出口量之间进行分配，其分配比例取决于国内价格与经出口补贴调整后的国际价格的相对变动。

2.4 情景设置和 CGE 模型输入数据

基准情景设定

基准情景是维持现有 $PM_{2.5}$ 标准（年均 $35 \mu g/m^3$ ）的情景，其排放活动以基准年份的排放水平为参照，假定其保持恒定不变。模型的基准情景（BAU）的经济增速、能源结构、人口规模等核心参数基于多方权威数据。GDP 增速参考 World Bank 预测数据及国务院发展研究中心何建武团队等国内外多方的研究成果，能源消费量与结构依据国际能源署（International Energy Agency, IEA）《世界能源展望》进行系统校准。如图 2-4 所示，GDP 增速呈现阶梯式放缓趋势，从 2024 年的 5% 稳步降至 2035 年的 3.6%，体现经济增长从高速向高质量发展的转型态势。图

2-5 展示了基准情景下 2025–2035 年行业产出年均增长率，各行业产出增长呈现显著分化特征。其中，传统农业、煤炭开采业、其它制造业等高耗能、低附加值的传统行业在经济结构调整与绿色发展要求下，增长动能逐渐减弱；而新兴产业与现代服务业展现出强劲的增长活力。

标准修订情景设定

本研究以 2024 年为基准年，根据当年实际 $PM_{2.5}$ 污染暴露水平构建现实情景作为分析基准。根据未来可能的空气质量改善路径，设定了 2030 年与 2035 年分别实现 $PM_{2.5}$ 年均浓度 $20 \mu g/m^3$ 和 $25 \mu g/m^3$ 目标的四类达标情景，具体为：情景

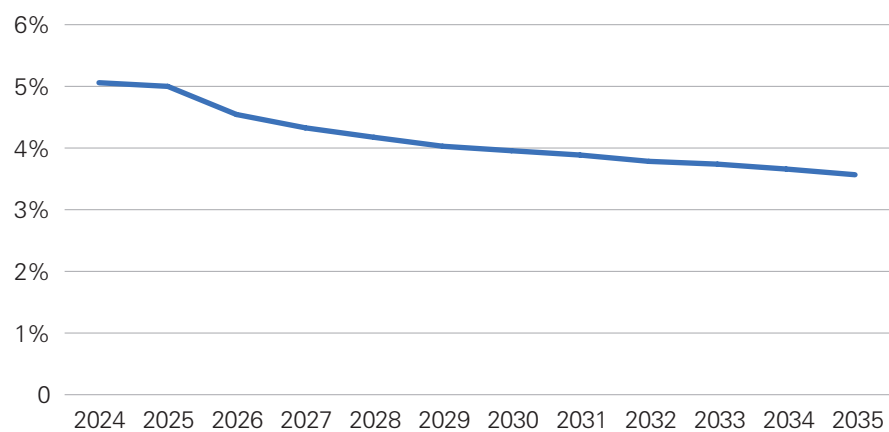


图 2-4 基准情景各年 GDP 增长率

S35-25（2035 年实现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、情景 S35-20（2035 年实现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、情景 S30-25（2030 年实现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、情景 S30-20（2030 年实现 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。四类标准修订情景如表 2-1 所示。

不同情景下各年份 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度水平如图 2-6 所示。基准情景中，2024 至 2035 年间 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度稳定维持在 $29.25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的基准水平。情景 S35-25 中， $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度自 2025 年起逐步下降，至 2035 年达到 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的标准修订目标。情景 S30-25 中， $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度同样从 2025 年逐渐降低且改善速度相较情景 S35-25 更快，于 2030 年达到 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的

标准修订目标，并在后续年份假设没有更为严格的政策从而维持该浓度水平。情景 S35-20 的浓度变化路径在 2030 年前与情景 S30-25 较为相似，2030 年 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度达到 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，并随后持续改善至 2035 年实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的目标。情景 S30-20 为最严格的标准修订情景，该情景下 2030 年即实现 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的空气质量目标，之后假设没有其他政策措施并维持该浓度水平。

通过对比各标准修订情景与基准情景，本研究分析了标准修订情景的宏观经济影响，包括 GDP、分部门产出、电力部门能源结构等方面；结合标准实施所带来的健康效益，分析和比较了不同

表 2-1 环境空气质量标准修订的相关情景设计

情景类型	情景设定
基准情景	继续实施现行环境空气质量标准（ $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度限值 $35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）
标准修订情景	情景 S35-25： $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度在 2035 年实现 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
	情景 S35-20： $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度在 2035 年实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
	情景 S30-25： $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度在 2030 年实现 $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
	情景 S30-20： $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度在 2030 年实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$

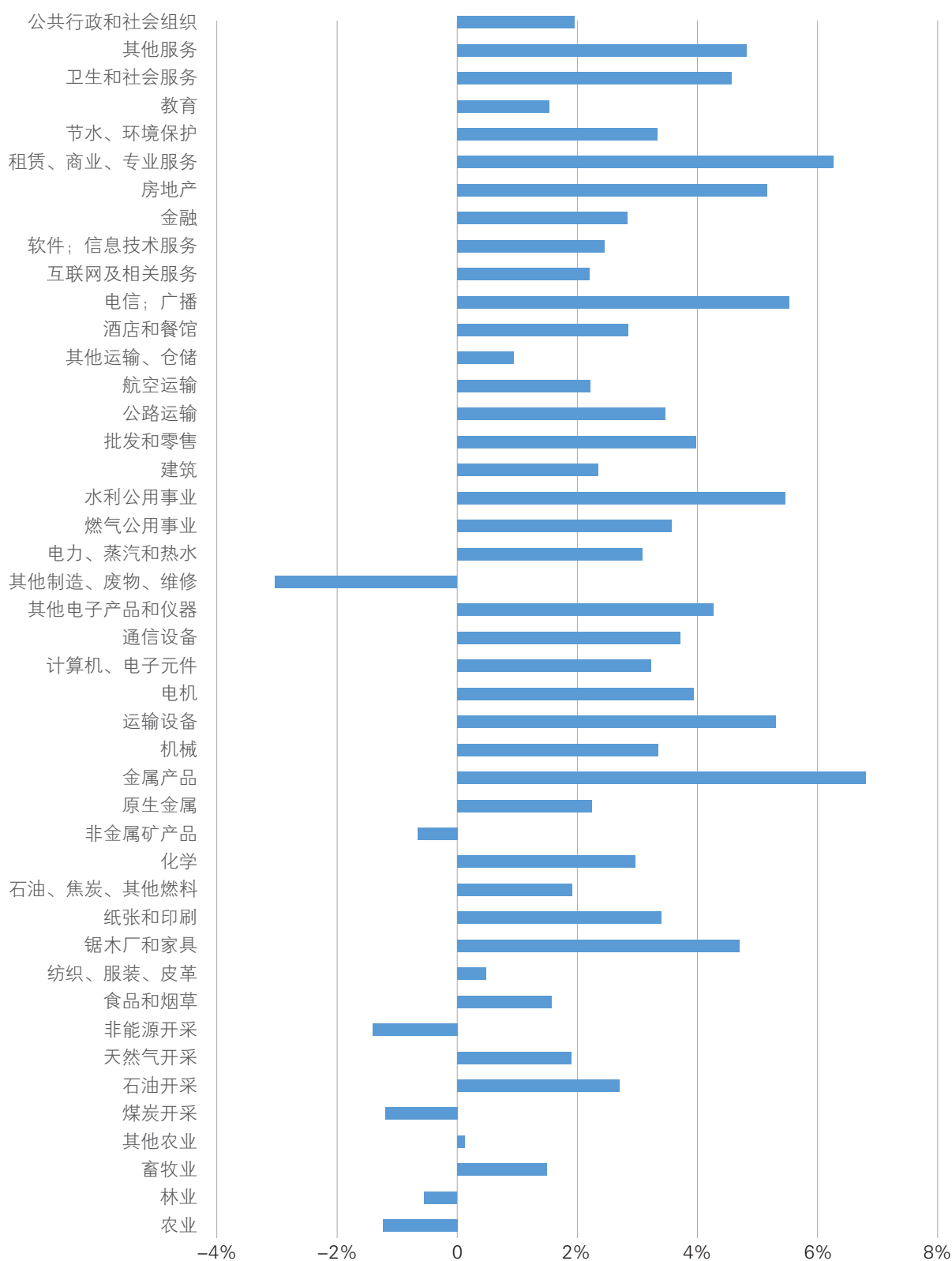


图 2-5 基准情景下 2025–2035 年行业产出年均增长率

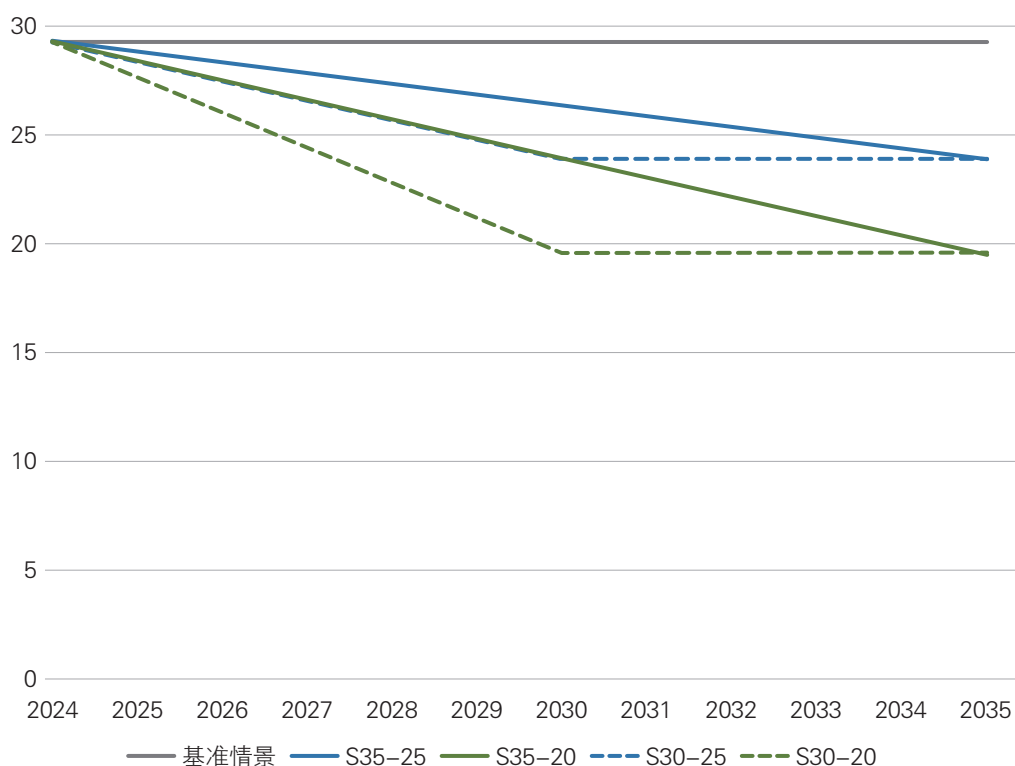


图 2-6 不同标准修订情景下 $PM_{2.5}$ 年均浓度路径 (单位: $\mu g/m^3$)

标准修订情景下的成本与健康效益以及净效益，以期当前标准修订和实施提供政策评估参考。

标准修订情景主要部门 $PM_{2.5}$ 一次排放路径

基于空气质量模块对不同标准修订情景下的各部门 $PM_{2.5}$ 排放路径进行测算。基准情景排放路径以基准年份的排放水平为参照，假定其排放水平在 2025–2035 年间保持恒定不变。电力部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量为 35.1 万吨，金属制造部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量为 90.8 万吨，煤炭部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量为 35.5 万吨，非金属制造部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量为 48.1 万吨，其他工业部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量为 89.8 万吨，交通部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量为 35.5

万吨，化工部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量为 24.5 万吨。

四类环境空气质量标准修订情景下的主要部门 $PM_{2.5}$ 大气污染排放路径如图 2-7 所示。在各标准修订情景中，为实现空气质量改善的目标，各部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量均呈逐步下降趋势。其中，情景 S35-25 设定 2035 年实现 $PM_{2.5}$ 年均浓度 $25 \mu g/m^3$ 的目标，其各部门 $PM_{2.5}$ 一次排放量降幅最为平缓，排放曲线在十年间保持相对温和的下降斜率；情景 S30-25 将达标期限提前至 2030 年，该情景下各部门排放水平在 2025 至 2030 年间降低速度显著快于 S35-25 情景，在 2030 年达到与情景 S35-25 在 2035 年实现的排放水平，且 2030 年后不再采取其他减排措施，排放水平维持稳定。情景 S30-20 作为四类情景

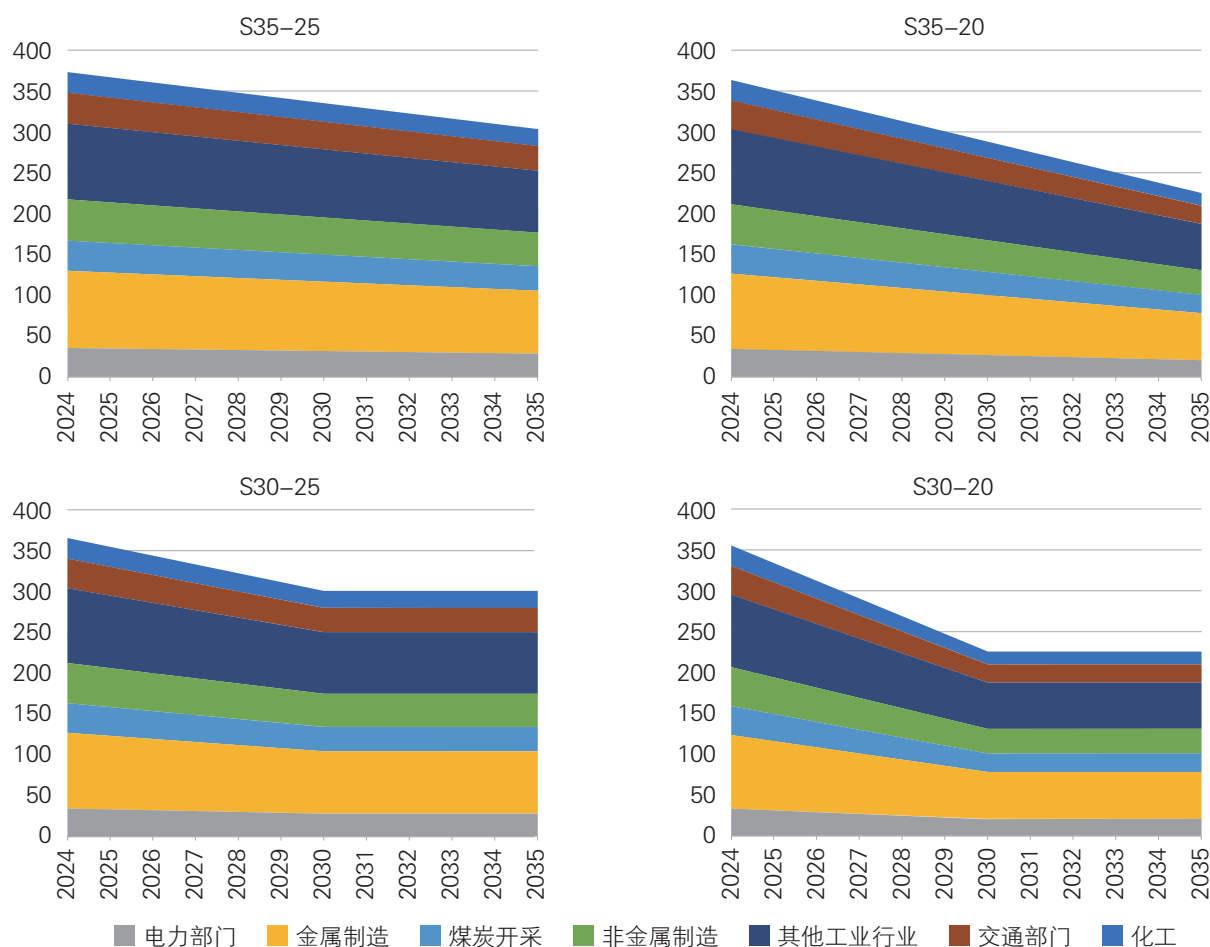


图 2-7 不同标准修订情景下主要部门 PM_{2.5} 排放路径（单位：万吨）

中要求最严格的标准修订情景，其各部门 PM_{2.5} 一次排放水平的降低幅度和速度在四类情景中最为突出。2025–2030 年间通过高强度减排以实现 2030 年排放水平降至与情景 S35–20 在 2035 年实现的排放水平一致，并且 2030 年后同样不再新增减排措施，保持排放稳定。

部门减排工程成本测算

核心部门的大气污染治理的直接成本（工程成本）来自减排成本模块。该模块采用自下而上的

估算思路，系统梳理重点行业 / 领域大气污染治理的现有及潜在的全部可行措施，量化其减排潜力与对应的直接减排成本。具体方法为：首先梳理和识别各重点行业 / 领域当前与未来的主要减排措施；其次分析不同行业部门在末端技术措施、结构调整措施等关键减排措施在假设的普及率下能够实现的污染物减排潜力；然后选择适宜成本指标，对关键减排措施的单位成本进行分析。最后，基于措施的单位成本推算假设普及率下的措施总成本和各部门单位减排成本。表 2-2 展示了核心部门大气污染治理的直接成本与对应污染物减排量数据。

在 CGE 模型模块中，将减排成本模块测算的直接成本及对应污染物减排量数据所形成的单位减排成本，与空气质量模块测算的不同标准修订情景减排路径相结合，可进一步计算出各部门在各类环境空气质量标准修订情景下所需承担的减排总工程成本（结果见表 3-1）。通过校准企业全要素生产率来反映企业在大气污染减排方面的

直接成本，有效反映出企业在环境规制约束下，因资源重新配置导致的生产效率变化，从而将环境治理的经济成本内生化为模型体系。在此基础上，通过运行 CGE 模型，能够系统性地估计不同标准修订情景对宏观经济的多维影响，测算纳入一般均衡效应的减排经济总成本。

表 2-2 核心部门大气污染治理直接成本

	成本 (亿元)	PM _{2.5} 减排量 (万吨)	SO ₂ 减排量 (万吨)	NOx 减排量 (万吨)
煤炭部门	2916.41	285.72	55.43	13.14
石化行业	211.78	6.37	1.15	6.28
非金属部门	2026.36	2.48	13.53	68.71
金属部门	3798.81	2.83	27.95	92.33
电力部门	1928.43	37.40	33.72	59.60
交通部门	6191.76	7.04	--	257.09



三、环境空气质量标准修订的经济影响评估结果

3.1 环境空气质量标准修订减排成本的宏观经济影响分析

本研究通过将各标准修订情景与基准情景进行比较，分析了各标准修订情景下达标所需的减排成本引起的宏观经济影响，包括 GDP、分部门产出、电力部门能源结构等方面。需要指出的是，本节所分析的宏观经济影响尚未包含因环境空气质量标准修订所带来的间接健康效益，即通过提高劳动生产率、降低医疗支出等途径间接产生的积极反馈效应。

GDP 的总体影响

实施更严格的环境空气质量标准，会提高各部门污染减排支出，还会造成生产性投入的挤出。如表 3-1 所示，在不同标准修订情景下，GDP 相对基准情景均呈现下降趋势，2035 年四类标准修订情景 GDP 相比基准情景降幅范围为

表 3-1 不同标准修订情景下 GDP 相对基准情景变化（单位：%）

情景	S30-20	S30-25	S35-20	S35-25
2024	0.00	0.00	0.00	0.00
2025	-0.23	-0.11	-0.14	-0.06
2026	-0.35	-0.17	-0.20	-0.09
2027	-0.46	-0.22	-0.27	-0.12
2028	-0.57	-0.28	-0.34	-0.16
2029	-0.69	-0.33	-0.40	-0.19
2030	-0.80	-0.39	-0.47	-0.22
2031	-0.81	-0.40	-0.53	-0.25
2032	-0.82	-0.41	-0.59	-0.28
2033	-0.83	-0.42	-0.64	-0.31
2034	-0.84	-0.44	-0.70	-0.34
2035	-0.85	-0.45	-0.76	-0.37

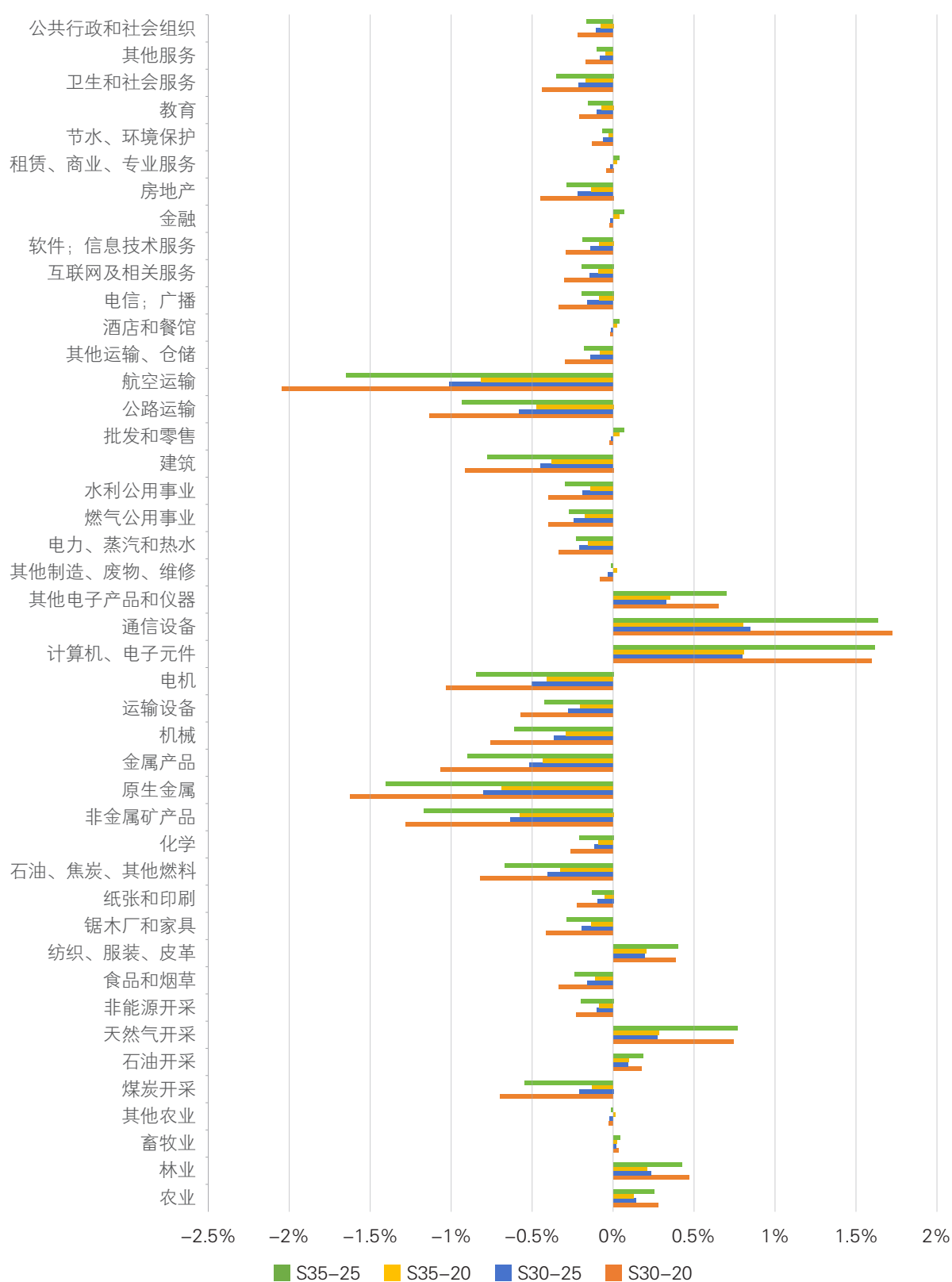


图 3-1 各部门 2035 年增加值相对基准情景变化

0.37% 至 0.85%。具体来看，达标时间最晚、标准最宽松的情景 S35-25 对 GDP 冲击最小，降幅为 0.37%；而情景 S30-25 的降幅则扩大至 0.44%，凸显出提前达标带来的经济成本提升。进一步提高标准至情景 S35-20，降幅达到 0.76%；最严格情景 S30-20 的降幅则高达 0.85%，较 S35-20 情景又增加 0.09 个百分点，表明环境空气质量标准的严苛程度与 GDP 损失呈显著正相关。

总体而言，环境空气质量标准越严格、达标时间越早，对 GDP 的短期负面影响越显著。

分部门产出水平的影响

如图 3-1 所示，环境空气质量标准的提升对不同行业产出产生显著分化效应。对于煤炭、化工、非金属矿产品、金属、电力、交通等大气污染物排放量较高的部门，因需承担更高的减排成本与环境规制压力，产出水平呈现明显收缩趋势。以情景 S35-25 为例，2035 年非金属矿产品部门增加值较基准情景下降 0.58%，金属制造部门降幅达 0.69%，交通部门（包括公路运输、航空运输、其他运输、仓储）因运输结构调整与尾气排放标准升级，增加值下降幅度在 0.47%–0.81% 之间。而对于计算机、通信设备、电子产品制造等大气污染排放量和排放强度较低的部门，提高环境空气质量标准反而会提升这些低污染行业的产出水平。在情景 S35-25 下，2035 年计算机行业增加值相对基准情景增加 0.80%，通信设备部门增加 0.80%，电子产品制造部门增加 0.35%。这一现象源于经济系统的一般均衡效应：环境空气质量标准的提高会削弱高污染行业的比较优势，减少其生产要素投入；同时增强低污染行业的比较优势，促使生产要素从高污染行业向低污染行业转移。

当环境空气质量标准进一步提高至情景 S35-20 时，行业产出分化加剧。2035 年，非金属矿产品与金属制造部门增加值降幅分别扩大至

1.16% 与 1.40%，交通部门下降幅度达 0.93%–1.64%；低污染行业则迎来更强劲增长，计算机、通信设备及电子产品制造部门增加值分别提升 1.61%、1.63% 与 0.70%，印证了标准严苛程度与行业产出变化的强相关性。值得注意的是，在同一标准水平下，不同达标时间对 2035 年各部门产出的影响差异有限。对比情景 S30-25 与 S35-25 发现，前者仅使非金属矿产品部门增加值在 2035 年额外下降 0.05%，金属制造部门额外下降 0.11%。这表明尽管提前达标短期内加剧行业调整压力，但从长期看，各部门通过技术革新与结构优化，逐步消化政策冲击，使得不同达标时间路径下的产出差距趋于收敛。

电力部门能源结构的影响

环境空气质量标准的修订使得电力部门能源结构呈现显著的清洁化转型特征。作为高污染排放的传统能源，煤炭发电在严格的环境空气质量标准约束下，其发电量出现大幅收缩。如图 3-2 和图 3-3 所示，以情景 S35-20 为例，2035 年煤炭发电量较基准情景下降 5.14%。与之相对，清洁能源发电占比显著提升。这一转型的内在机制在于：环境空气质量标准修订通过抬高非清洁能源发电的污染治理成本，直接削弱其市场竞争力，导致发电量和产出水平下降；而清洁能源因大气污染影响较小，在政策引导与市场调节的双重作用下，逐步获得更有利的发展空间，形成与非清洁能源差异化的发展态势。

值得注意的是，能源结构的演变不仅取决于不同能源类型的相对发电成本，还受各类能源发电替代弹性的影响。而现有模型因对新能源技术创新及储能突破的预测能力有限，未能充分捕捉新能源发电的长期发展潜力及政策支持效应。光伏发电和风电作为新能源的重要组成部分，发电具有波动性。我国光伏现已迈入太瓦级装机规模阶段，应用场景将从单一发电向‘光伏 + 储能’、

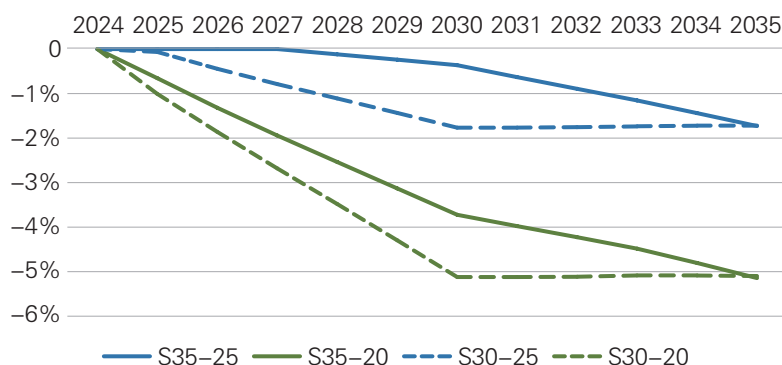


图 3-2 电力部门煤炭发电量相对基准情景变化

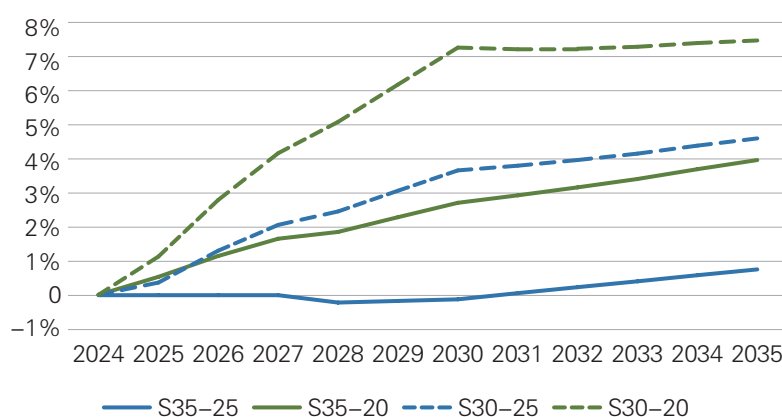


图 3-3 电力部门清洁能源发电量相对基准情景变化

‘光伏 + 建筑一体化’等多元融合模式拓展。风电新增装机规模不断增加，成为我国沿海地区新能源开发的重点方向。水电是常规电力中唯一的可再生能源。尽管我国大部分具备开发条件的水电站已完成建设，新增装机容量增长速度放缓，

随着雅峡流域水电开发启动，未来我国水电开发仍将有序推进。气电是优质调峰电源，装机增速高于行业平均，但受资源等约束，未来在气源丰富的地区或定位为风电光伏配套调峰电站，因地制宜布局。

3.2 环境空气质量标准修订的成本与效益的分析与比较

结合环境空气质量标准修订的减排成本与健康效益测算，我们进一步开展环境空气质量标准修订的成本效益分析。成本估算包含两个方面：一是各标准修订情景下达标所需的减排与空气质量改善措施的直接成本；二是通过 CGE 模型模拟得到各标准修订情景下 GDP 相对于基准情景的变化，量化

各标准修订方案的总体经济成本。健康效益方面，本研究聚焦于标准修订所致 $PM_{2.5}$ 长期暴露水平的降低，进而减少过早死亡风险所产生的效益。通过评估不同情景下过早死亡风险的变化，结合统计寿命价值 (Value of Statistical Life, VSL) 进行货币化评估 (基于北京市 2024 年冠心病、慢阻肺、中风

相关的 VSL 为 455 万元；肺癌相关的 VSL 为 649 万元，通过效益转移方法将其转换为适用于各省的 VSL)，量化各情景的货币化健康效益。表 3-2 列出了四种标准修订情景下的经济成本、工程成本、健康效益以及净效益。其中工程成本是指达标所需的各类减排和空气质量改善措施的直接支出，经济成本则反映了这些措施在宏观经济层面的影响，涵盖由减排措施引发的间接效应。在净效益评估中，本报告采用经济成本与健康效益进行对比分析，以更全面地反映标准修订对社会总体的成本与收益。

需要说明的是，本研究对健康效益的测算，仅涵盖了因减少过早死亡所产生的收益，未将空气污染导致的发病及相关损失减少（包括住院治疗与急诊就诊等医疗花费、慢性病发病率下降、

误工天数减少等）以及劳动生产率提升等间接经济效益纳入考量范围。若将这些潜在影响因素补充计入，健康效益将更大，相应得出的净效益也可能高于本报告所示结果。

如表 3-2 所示，环境空气质量标准修订的成本与效益呈现出明显的时间动态特征和情景差异。从空气质量改善带来的健康效益来看，呈现出“标准越严格、达标时间越早，健康效益越大，且累积健康效益优势越明显”的规律。具体而言，情景 S35-25 在 2030 年当年的健康效益为 2,815 亿元，而情景 S35-20 在同期的健康效益达 6,263 亿元，直观体现了标准严格程度对健康效益的正向影响。提前达标的情景 S30-25 在 2030 年当年的健康效益为 10,308 亿元，也印证了更早达标

表 3-2 不同标准修订情景下成本与健康效益分析（单位：亿元）

	S35-25	S35-20	S30-25	S30-20
2030 年当年				
经济成本	3547	7608	6293	12952
工程成本	3029	5482	4699	9398
健康效益	2815	6263	10308	19939
净效益	-732	-1345	4016	6986
2030 年累积				
经济成本	12692	27593	22712	46956
工程成本	12116	21929	18797	37593
健康效益	5913	13233	20604	41309
净效益	-6779	-14360	-2108	-5648
2035 年当年				
经济成本	7103	14666	8643	16482
工程成本	5193	9398	4699	9398
健康效益	14756	28535	14756	28535
净效益	7653	13869	6113	12053
2035 年累积				
经济成本	41163	87096	61869	123911
工程成本	33752	61089	42292	84584
健康效益	52089	104556	85312	166441
净效益	10927	17460	23444	42530

能带来更显著的即时健康效益。

这一规律在累积效应中表现得更为突出。累积 GDP 损失与健康效益加总时采用 Jin et al. (2020) 提出的 11.7% 作为贴现率。情景 S35-20 在 2025-2030 年间的累积健康效益 (13,233 亿元) 比情景 S35-25 (5,913 亿元) 高出 7,320 亿元; 情景 S30-20 同期的累积健康效益 (41,309 亿元) 比情景 S35-20 (13,233 亿元) 高出 28,076 亿元, 体现了严格标准与提前行动在健康效益积累上的叠加优势。

从净效益来看, 同样延续了“标准更严格、达标时间更早, 累积效益更大”的特点, 但短期与长期表现存在差异, 呈现“短期承压、中期向好”的规律。从短期效益来看, 不同情景在 2030 年当期的净效益分化明显: 提前达标的两类政策情景在 2030 年当年已实现正向收益, 其中情景 S30-20 的净效益最高 (6,986 亿元), 情景 S30-25 次之 (4,016 亿元); 而达标时间延后至 2035 年的情景 S35-25 和 S35-20, 因健康效益存在滞后性尚未充分释放, 当年净效益为负值 (分别为 -1,345 亿元和 -732 亿元)。若进一步考量短期累积效益, 四类情景在 2025 至 2030 年的累积净效益均处于负值区间, 且标准越严格、短期累积效益越低: 情景 S30-20 在 2025 至 2030 年的累积净效益 (-5,648 亿元) 比情景 S30-25 在 2025 至 2030 年的累积净效益 (-2,108 亿元) 更低。这表明政策实施初期大气治理成本较高, 而健康效益释放具有滞后性, 导致短期净效益为负。

而对于中长期效益, 空气质量标准修订的净效益格局则发生转变。2035 年当年净效益显示, 晚达标情景 S35-20 (13,869 亿元) 略优于早达标情景 S30-20 (12,053 亿元)。而中长期的累积效应则呈现不同的规律: 四类情景在 2025 至 2035 年的累积净效益均实现由负转正, 并且更严格、更早达标的优势进一步凸显。其中, 情景

S30-20 累积净效益达 42,530 亿元, 情景 S30-25 以 23,444 亿元次之, 情景 S35-20、S35-25 分别为 17,460 亿元和 10,927 亿元。这充分表明, 在中长期维度下, 更严格的标准和更早的达标时间能够带来更显著的净效益, 尤其是随着健康效应的非线性释放, 中长期累积的正向作用愈加突出。

这也提示, 在制定政策或修订标准时, 应当充分考量其长期效应, 而不仅仅局限于短期成本与收益。空气质量标准修订的短期效益与中长期效益间存在差异的根源, 在于大气质量改善带来的健康效益增长曲线与大气污染治理产生的经济成本增长曲线间的差异。如图 3-4 所示, S35-25”、“S35-20”、“S30-25”、“S30-20”四类情景的政策力度依次增强, 对空气质量改善的要求依次提升。随着空气质量标准收紧与达标时间提前, 经济成本与健康效益均呈增长态势, 但二者的增长特征存在显著分化: 健康效益相对经济成本的变化, 呈现“早期增幅不显著、后期加速释放”的特点。政策初期, 空气质量改善对人群健康风险的缓解效果尚未充分显现, 健康效益增长相对缓慢; 而在政策的中后期, 污染物浓度持续下降带来的慢性疾病发病率降低、早逝风险减少等长期效应逐步凸显, 健康效益增速显著加快, 且标准越严格、达标时间越早的情景, 这一加速趋势越明显。这导致大气污染治理政策在短期经济成本增长高于健康效益增加, 出现短期累积净效益为负的情况。而在大气治理政策的中后期, 健康效益的加速释放使得空气质量标准修订的政策效益呈现“政策力度越高, 中长期累积净效益越大”的特点。因此, 更严格且更早达标的环境空气质量标准修订方案, 尽管在短期可能出现经济成本高于健康效益的情况, 但在中长期能通过健康效益的快速释放与持续累积带来更大的政策效益。

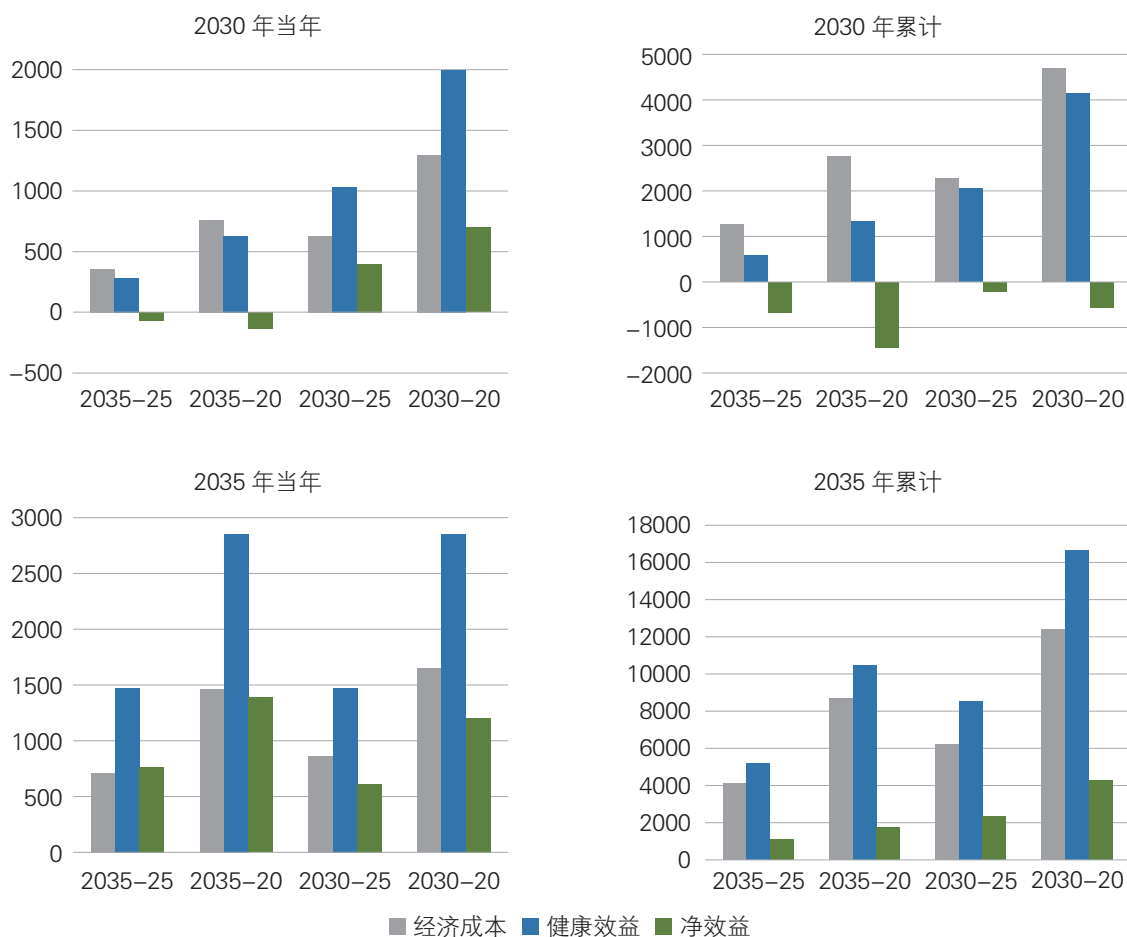


图 3-4 不同标准修订情景下经济成本、健康效益与净效益变化（单位：十亿元）

3.3 小结

本研究围绕环境空气质量标准修订的宏观经济影响与综合减排成本进行分析。通过构建包含空气质量模块、减排成本模块、健康效益模块及 CGE 模型模块的分析框架，设定 S35-25（2035 年 $\text{PM}_{2.5}$ 实现 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、S30-25（2030 年实现 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、S35-20（2035 年实现 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、S30-20（2030 年实现 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）四类情景，对比基准情景与各标准修订情景的差异，完成多维度分析：在宏观经济层面，测算不同情景下 GDP 的总体变化，包括不同标准强度与达标时间对 GDP 的短期和长期影响；在产业结构层面，分析

高污染行业与低污染行业的产出水平变化，揭示要素在行业间的再配置规律；在能源结构层面，量化煤炭发电量的下降幅度及清洁能源的增长趋势。最后，采用成本-效益分析法，通过对比各情景的经济成本与健康效益，计算不同方案不同时间节点的净效益与累积净效益。

实施更严格的环境空气质量标准会导致 GDP 相对基准情景下降，且降幅与标准严苛程度、达标时间呈正相关。四类标准修订情景中，2035 年，最严格的 S30-20 的 GDP 降幅最大（0.85%），最宽松的 S35-25 降幅最小（0.37%）。同一标

准下，提前达标会加剧短期 GDP 损失，如 S30-25 较 S35-25 在 2030 年 GDP 多降 0.17%，但长期差距逐渐收敛。

高污染行业（煤炭、化工、非金属矿产品、金属制造等）受减排成本上升冲击显著，2035 年 S35-20 下非金属矿产品部门增加值下降 1.16%，金属制造部门下降 1.40%；低污染行业（计算机、通信设备等）则因具备相对成本优势实现增长。这种分化源于生产要素从高污染行业向低污染行业的再配置，印证了环境规制对产业结构的重塑作用。环境空气质量标准提升倒逼电

力部门缩减煤炭发电规模，S35-20 下 2035 年煤炭发电量较基准下降 5.14%；核能、水力等清洁能源发电量相应增加，推动能源结构低碳转型。

健康效益随标准严格程度和达标时间提前而显著增加：S30-20 的 2025-2035 年累积健康效益达 41,309 亿元，较 S35-25（5,913 亿元）高出 6 倍以上。尽管短期（2030 年前）各情景累积净效益均为负值，但长期来看，严格且提前达标的方案净效益优势明显，S30-20 同期累积净效益达 42,530 亿元，远超其他情景，体现健康效益增幅大于经济成本增幅的特征。



四、政策建议

本研究系统评估了不同环境空气质量标准修订情景下的宏观经济影响、行业结构调整、能源结构变化，并结合健康效益测算，开展了成本效益分析。研究发现：相较于宽松的标准，实施更严格的环境空气质量标准会带来减排综合经济成本的上升，且成本大小与标准严苛程度、达标时间早晚紧密相关。在产业结构方面，标准修订会导致行业产出分化和“清洁替代”效应，即高污染行业受减排成本上升冲击显著产出下降而低污染行业则因相对成本优势实现增长。此外，更严格的环境空气质量标准还会驱动能源结构清洁化绿色化，倒逼电力部门缩减煤炭发电规模，推动能源结构低碳转型。结合健康效益进行成本—效益分析发现，环境空气质量标准的提高虽然在短

期内带来一定的经济成本，但在中长期，随着健康效益的持续释放，其净效益表现出逐步上升的趋势，尤其在标准更严格、达标更提前的情景中更为显著。

这些发现为标准修订提供了量化证据，也揭示了不同政策选项之间的权衡关系。需要说明的是，模型结果仅可为政策制定提供基于情景分析的决策依据，如何将量化分析转化为可操作的治理方案，仍需在成本分担、区域差异、技术路径与社会接受度等方面进行更深入的制度设计与策略安排。因此，在以下政策建议部分，我们将基于模拟结果提出具体政策建议，力求在持续改善环境质量的同时，兼顾经济可行性与社会公平性，为未来环境空气质量标准的修订与实施提供决策参考。

1. 分阶段推进环境空气质量标准升级，或实施分区域达标方案，构建动态调整机制

鉴于不同标准修订情景的成本效益呈现显著时间差异，建议以健康效益为核心导向，结合经济社会发展实际，加严标准。可以考虑两类标准修订策略。

（1）全国范围内可考虑将标准修订加严到2035年实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；同时，有条件的地区，如珠三角、长三角等已具备较好治理基础的区域，应先行制定并实施更严格的标准（如2030年实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），发挥示范引领作用；

（2）分区域、分阶段设定标准修订目标或达

标方案。短期内可鼓励有条件的地区（如珠三角、长三角等已具备较好治理基础的区域）先行制定并实施更严格的标准（如2030年实现 $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），发挥示范引领作用；中长期逐步在全国范围内推广，通过“区域试点—全国推广”的路径平衡短期成本压力与长期效益。同时，建立基于健康风险评估和经济可行性论证的动态调整机制，定期评估标准实施效果，根据技术进步、产业转型进度和健康需求变化优化标准限值。

2. 推动产业与能源结构协同转型，强化“减污降碳”协同效应

聚焦煤炭、化工、金属制造等高污染行业绿色转型，针对其减排成本高、转型压力大的痛点，实施“技术改造 + 市场激励”组合政策。对企业环保设备升级给予投资补贴，同时将环保设备购置费用纳入企业所得税抵扣范围，降低企业大气污染治理投入与绿色转型成本。同步加大对低污染产业的培育力度，通过优先审批、用地保障等政策倾斜，引导资本、技术、劳动力等生产要素向计算机、新能源装备等清洁生产领域流动，推

动产业结构向“低排放、高附加值”升级。在电力部门，构建“减煤、增气、优新”的能源转型路径：制定煤电有序退坡时间表，并实现现役煤电 100% 完成清洁化改造；完善储能补贴政策，建立跨省跨区电网调峰补偿机制，破解光伏、风电因间歇性引发的并网难题。实现能源结构向低碳化、多元化转型，强化空气质量改善与“双碳”目标的协同效应。

3. 完善成本分担与效益共享制度，兼顾效率与公平

考虑到标准修订对不同区域、行业的影响存在差异，需构建多主体共担的成本机制：中央财政设立空气质量改善专项基金，对减排任务较重的地区和行业给予转移支付；通过环境税、碳市场等市场化工具将污染外部成本内部化，同时将税收收入反哺于减排技术研发和健康保障。在效益分配方面，完善健康效益向民生福祉的转化渠道，建立空气质量改善与公共服务提升的联动机

制。将健康效益带来的医疗支出节约、劳动生产率提升等红利，通过公共服务升级、社会保障强化等方式惠及公众，增强社会对标准修订的认同度；对因产业转型导致的就业结构调整，实施“转岗培训 + 就业补贴”计划，确保低收入群体共享环境改善红利。通过制度设计与创新，既提升减排政策的经济效率，又保障社会公平，推动共同富裕与生态环境保护协同发展。

4. 立足长期效益导向，平衡短期成本与长期效益

从长期视角看，当政策力度持续加大时，健康效益的加速累积将显著超过经济成本的增长幅度，最终形成“政策力度越强、长期净效益越高”的格局。这种成本与效益的动态关系表明，环境空气质量标准修订需要立足长远，在政策实施初期容忍短期经济成本的投入，通过持续强化治理力度释放健康效益的规模效应。例如，S30-20 情景虽前期需承担较高减排成本，但随着时间推移，健康效益的快速增长不仅覆盖了成本，还形成远超其他情

景的累积净效益，这正是健康效益随政策力度提升而增幅显著的直接体现。因此，在制定环境空气质量标准修订政策时，应充分认识到健康效益与经济成本的增幅差异，避免因短期净效益为负而放缓政策推进的节奏。相反，需通过分阶段、有梯度地提高标准严格度，平衡短期成本压力与长期效益释放，同时配套针对性的成本分担机制，降低政策实施初期的经济冲击，最终实现空气质量改善与经济社会可持续发展的双赢。

◎ 参考文献

- 刘炳江. 中国成为世界上治理大气污染速度最快的国家 [N]. 人民政协报, 2022. <http://www.cppcc.gov.cn/zxww/2022/06/06/ART11654482641593186.shtml>.
- 朱彤, 万薇, 刘俊, 等. 世界卫生组织《全球空气质量指南》修订解读 [J]. 科学通报, 2022, 67(08): 697–706.
- 亚洲清洁空气中心. 定标, 启航——中国空气质量标准分析与国际经验分析报告 [R]. 2020. <http://www.allaboutair.cn/a/reports/2021/0114/596.html>.
- 中国碳中和与清洁空气协同路径年度报告工作组. 中国碳中和与清洁空气协同路径 2021[R]. 北京: 中国清洁空气政策伙伴关系, 2021.
- Cao J, Ho M, Liu Q. Analyzing multi-greenhouse gas mitigation of China using a general equilibrium model[J]. Environmental Research Letters, 2023, 18(2): 025001.
- Cao J, Ho M S, Jorgenson D W, et al. China's emissions trading system and an ETS-carbon tax hybrid[J]. Energy Economics, 2019, 81: 741–753.
- Cao J, Ho M S, Ma R. Analyzing carbon pricing policies using a general equilibrium model with production parameters estimated using firm data[J]. Energy Economics, 2020, 92: 104958.
- Cheng J, Tong D, Liu Y, et al. A synergistic approach to air pollution control and carbon neutrality in China can avoid millions of premature deaths annually by 2060[J]. One Earth, 2023, 6(8): 978–989.
- Jin Y, Andersson H, Zhang S. Do preferences to reduce health risks related to air pollution depend on illness type? Evidence from a choice experiment in Beijing, China[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2020, 103: 102355.
- Hu W, Ho M S, Cao J. Energy consumption of urban households in China[J]. China Economic Review, 2019, 58: 101343.
- Paltsev S, Reilly J M, Jacoby H D, et al. The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model: version 4[R]. MIT joint program on the science and policy of global change, 2005.
- Wang Y, Jin Y, Lin H, et al. Valuing mortality risk reductions in a fast-developing society: A meta-analysis of stated preference studies in China from 1998 to 2019[J]. Social Science & Medicine, 2024, 363: 117471.
- Wing, I S, Daenzer K; Fisher-Vanden K, et al. Phoenix Model Documentation [M] Maryland: Joint Global Change Research Institute, Pacific Northwest National Laboratory. 2011.

◎ 附 录

附表 1. CGE 模型部门名称和基准年份生产总值

部门代码	部门名称	基准年份生产总值（十亿元）
1	农业	5978
2	林业	546
3	畜牧业	2752
4	其他农业	1801
5	煤炭开采	2507
6	石油开采	841
7	天然气开采	344
8	非能源开采	1806
9	食品和烟草	11486
10	纺织、服装、皮革	7627
11	锯木厂和家具	2547
12	纸张和印刷	4477
13	石油、焦炭、其他燃料	4462
14	化学产品	15270
15	非金属矿产品	7341
16	原生金属	11850
17	金属产品	4402
18	机械	8181
19	运输设备	8872
20	电机	6659
21	计算机、电子元件	5775
22	通信设备	2938
23	其他电子产品和仪器	2316
24	其他制造、废物、维修	1244
25	电力、蒸汽和热水	4656
26	燃气公用事业	564

27	水利公用事业	292
28	建筑	26758
29	批发和零售	13535
30	公路运输	5347
31	航空运输	862
32	其他运输、仓储	5025
33	酒店和餐馆	4447
34	电信；广播	2121
35	互联网及相关服务	1570
36	软件；信息技术服务	3233
37	金融	10738
38	房地产	9241
39	租赁、商业、专业服务	14493
40	节水、环境保护	828
41	教育	4472
42	卫生和社会服务	4244
43	其他服务	4277
44	公共行政和社会组织	7337

