



Studies on Co-benefits of the Development of
Environmental Sustainability

环境可持续发展的 协同效益研究

蒋 平 著

复旦大学出版社



Studies on Co-benefits of the Development of
Environmental Sustainability

环境可持续发展的 协同效益研究

蒋 平 著



本书由国家自然科学基金项目“中国超大城市重点行业大气污染物控制和温室气体减排协同效应的量化分析体系构建与案例研究”（项目编号：71774033）、复旦丁铎尔中心“全球变化对策项目”（项目编号：JH6286001）提供资助。

目 录

CONTENTS

绪论	001
第一章 可持续发展目标下的协同效益： 国内外相关研究现状	005
第一节 狭义协同效益研究	005
第二节 广义协同效益研究	015
第三节 本研究意义	023
第二章 环境与工业：工业部门碳减排 与污染协同控制	026
第一节 中国能源消耗导致的碳和污染物排放	026
第二节 基准年上海市工业部门排放清单	035
第三节 基准情景上海市工业部门排放清单	050
第四节 协同控制情景排放及协同效益分析	057
第五节 工业部门碳减排与大气污染物控制的 协同效益研究结论	074

第三章	环境与城市化：城市化进程中的低碳与绿色协调发展	078
第一节	城市化发展带来的环境问题	078
第二节	超大城市的环境发展协同效益指标系统	080
第三节	构建超大城市环境发展协同效益指标系统的方法	082
第四节	超大城市环境发展的协同效益比较分析——以上海、北京、天津为例	094
第五节	利用协同效益指标系统对超大城市环境发展研究的结论	122
第四章	环境与经济：经济与环境的关联作用及协同发展	125
第一节	运用内生经济增长模型分析环境与经济发展的协同效益	125
第二节	基于内生经济增长模型的协同效益可持续发展指标的构建	143
第三节	中国协同效益发展的实证分析	153
第四节	上海市经济与环境协同效益发展的实证分析	190
第五节	利用内生增长模型对环境与经济协同效益研究的不确定性说明及结论	206

第五章	构建环境可持续发展的协同效益路径	210
第一节	狭义协同效益研究总结	210
第二节	广义协同效益研究总结	213
第三节	环境可持续发展协同效益路径的内涵	214
主要参考文献		223
后记		229

绪 论

全球气候变化和对资源消耗加剧已经对自然环境和人类生存产生了巨大的影响,全球采取温室气体减排和污染控制行动迫在眉睫。这个问题中国在工业化、城市化的发展过程中变得更加突出,以煤炭为主(占 66%)的能源系统在支撑中国社会经济发展的同时^①,相对于其他发达国家也制造了更高的单位 GDP 碳排放和污染排放,这直接导致了中国在近些年成为最大温室气体排放国^②,这也造成中国城市的空气污染状况在近些年达到历史最差,带来了严重的环境污染问题——超过 100 座城市(主要位于城市化和工业化程度较高的京津冀、华东等中国中东部地区)遭受了不同程度的空气污染和灰霾天气影响。

在气候变化、污染控制、能源安全等多重压力下,中国还面临着如何保持经济发展、提高国民社会福利等基本问题,这也是众多发展中国家共同面临的挑战。在我国现代化过程中,政府一直把解决好环境问题作为实现可持续发展的前提。特别是中共十八大以来,中共中央把“生态文明建设”列入中国特色社会主义“五位一体”总体布局。习近平主席提出了一系列新理念、新思想、新战略,

① 国家统计局:《2013 年国民经济和社会发展统计公报》(2014 年 4 月 2 日),中华人民共和国国家统计局网站, <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2013/indexch.htm>, 最后浏览日期:2018 年 6 月 13 日。

② Ping Jiang, Yihui Chen, Yong Geng, Wenbo Dong, Bing Xue, Bin Xua and Wanxin Li, "Analysis of the Co-benefits of Climate Change Mitigation and Air Pollution Reduction in China", *Journal of Cleaner Production*, 2013(58), pp. 130-137.

生态文明的进程明显加快,在整个“十二五”期间,环境保护取得了非常明显的积极进步^①。在实施“五位一体”发展战略和实现环境可持续发展进程中,如何同时促进环境和经济发展是我国面临的重要问题,有效解决环境和发展问题已经成为促进中国可持续发展的前提。

中国在解决自身环境问题的同时,也为解决全球性环境问题承担我们的责任,付出我们的努力,作出重大贡献。习近平主席在2015年11月30日出席联合国巴黎气候大会时指出,中国一直本着负责任的态度积极应对气候变化,并指出中国政府已经将应对气候变化全面融入国家经济社会发展的总战略,中国已经承诺到2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%—65%,对于自主绝对量减排,中国进一步承诺在2030年二氧化碳排放达到峰值^②。中国作为最大的发展中国家也已承诺为国际应对气候变化和环境改善承担责任。在20世纪90年代,就有学者提出政策的实施效果是相互关联的,一个单独的政策可能会对其他政策实施的效果产生直接或间接的影响^③。鉴于气候变化和空气污染等问题的同源性,应对气候变化和空气污染政策的实施也会相互影响,带来污染减少、环境优化、公共健康提升等额外效益^④。

实现全面可持续发展包含三大主题,即经济发展、社会进步和环境保护。环境、经济和社会发展政策的实施是相互影响的,如果

① 黄勤、王林梅、贺宇路:《“十二五”时期生态文明建设的区域规划及建议》,《宏观经济管理》2011年第11期,第52—53页。

② 《习近平在气候变化巴黎大会开幕式上的讲话》(2015年11月30日),新华网, http://www.xinhuanet.com/world/2015-12/01/c_1117309642.htm,最后浏览日期:2018年7月19日。

③ Ernst Worrell and Lynn Price, “Policy Scenarios for Energy Efficiency Improvement in Industry”, *Energy Policy*, 2001, 29(14), pp. 1223-1241.

④ Robert Smith and Billy Haigler, “Co-benefits of Climate Mitigation and Health Protection in Energy Systems: Scoping Methods”, *Annual Review of Public Health*, 2008(29), pp. 11-25.

把与气候变化和大气污染的相关的政策协同考虑和实施,在总的收益一定的情况下,成本会大大减低,并带来额外效益;如果从宏观发展角度全面考虑环境政策与经济社会发展政策的协同实施,那么在持续改善环境的前提下,同时带来持续的经济增长与社会发展,并大大降低政策实施成本,那么这类在协同实施政策后获得的收益提升(包括额外收益)以及成本降低就是本研究的关注点——协同效益(co-benefits)。如果仅考虑气候变化和污染控制政策实施的协同效益,由于温室气体排放和大气污染物(包括SO₂、NO_x、CO和PM等)的产生在很大程度上都是由于使用化石能源引起的^①,这种同源性特征决定了对气候变化和大气污染的控制应该协同考虑而非采取分离的政策战略^②,这个类型的协同效益在本书中归类为“狭义协同效益”范畴;如果是在可持续发展框架下全面考虑环境政策实施对经济和社会可持续发展的协同效益,这在本书中归类为“广义协同效益”范畴。

对于实施温室气体减排和空气污染协同控制而带来的狭义协同效益研究,以及从宏观角度来探究在解决环境和气候问题,同时带来持续的经济增长与社会发展的广义协同效益的相关研究也有很多。对于协同效益的研究已经日益成为学术界研究和关注的重要课题。对于中国来说,气候变化和环境问题是社会经济发展过程中必须考虑的问题,特别是由于城市化和工业化贡献了绝大多数的碳排放和污染物,因此,如何在城市化和工业化进程中实现环境、经济和社会全面协调可持续发展已经是必须解决的问题。

本书基于作者以及研究团队近六年来在协同效益领域的研究

① Ping Jiang, Bin Xu, Yong Geng, Wenbo Dong, Yihui Chen and Bing Xue, "Assessing the Environmental Sustainability with a Co-benefits Approach: A Study of Industrial Sector in Baoshan District in Shanghai", *Journal of Cleaner Production*, 2016(114), pp. 114-123.

② Johnnes Bollen, Sebastiaan Hers and Bob van der Zwaan, "An Integrated Assessment of Climate Change, Air Pollution, and Energy Security Policy", *Energy Policy*, 2010, 38(8), pp. 4021-4030.

成果,主要围绕环境可持续发展这一主题展开。首先提出了针对中国城市化和工业化发展的气候变化与空气污染控的狭义协同效益研究理论和方法;接着,本书创造性地把狭义协同效益理念拓展到全面关注环境、经济和社会发展的广义协同效益领域;进而在量化方法学上拓展,实现了对我国城市和产业进行环境、经济和社会发展的协同效益量化分析和评估,并进一步分析和对比不同城市的可持续发展水平。总的来说,本书将大大丰富和完善协同效益的理论体系,拓宽环境管理、环境科学和宏观经济学的理论研究思路与视角,具有较强的创新性。

本书的研究主题是中国城市化发展中最关键和迫切的问题——环境和发展问题,基于研究结果为政策制定者以及利益相关者提供了可量化的协同效益评价方法和工具,提高了对城市气候、能源和环境政策实施效果的综合评估水平。考虑到近些年来中国城市的发展仅以经济增长(GDP)为主要指标,造成了环境问题恶化、公共健康水平下降等问题,利用本书提供的量化分析方法,可以实现对城市协同效益实现效果和程度以及城市可持续发展水平的综合分析比较,从而为我国城市环境和发展政策的制定和实施提供理论支撑和科学参考。

第一章

可持续发展目标下的协同效益： 国内外相关研究现状

第一节 狭义协同效益研究

气候变化和大气污染在很大程度上都是由化石能源的使用引起的^①，这种同源性特征决定了对气候变化和大气污染的控制应当协同考虑，而非采取分离的政策战略。当协同实施节能减排与污染控制政策时，不仅产生碳减排和空气污染减少效益，还带来政策成本降低等额外收益。这是许多研究关注的协同效益研究领域之一——“狭义协同效益”，其具体定义因国别、组织而异，但其内涵基本与以上表述一致。

一、国际上对狭义协同效益的研究

国际上关于温室气体减排和大气污染控制的协同效益研究起步较早，大约可以追溯到 20 世纪 90 年代末期。欧洲、美国和日本的研究比较全面、丰富。其研究方法的特点是较多使用模型，模

^① Ping Jiang, Bin Xu, Yong Geng, Wenbo Dong, Yihui Chen and Bing Xue, "Assessing the Environmental Sustainability with a Co-benefits Approach: A Study of Industrial Sector in Baoshan District in Shanghai", *Journal of Cleaner Production*, 2016(114), pp. 114-123.

型的开发和发展相当成熟,加之合理使用情景分析法,因此定量研究整体层次较高;同时大多数研究聚焦于气候变化政策所带来的协同效益,并关注这些政策所带来的健康效益和社会效益,且致力于用货币化或量化的手段来衡量其大小;并且这些研究的范围很广,从全球层面到国家层面再到城市层面,涵盖的部门也极为广泛。

关于温室气体减排协同效益的定量研究进展,有学者对国际现有的研究作了一个总的述评,总结了协同效益量化研究的四个基本步骤:计算排放量→模拟污染物浓度→估算和比较所造成的影响→对影响进行货币化或量化,同时提出三种协同效益研究的分类:模型模拟、政策分析和应用分析^①。还有学者针对学界协同效益的研究方法和研究模型进行了全面回顾,然后整合了自上而下的可计算的一般均衡(computable general equilibrium, CGE)模型和一个自下而上的电力部门模型,模拟了三种中国宏观环境税收政策(产出税、燃料税和碳税)所带来的协同效益^②。还有众多学者采用多种模型和研究方法对协同效益进行了广泛而深入的研究(见表 1-1)。

表 1-1 使用模型开展协同效益研究的文献概览

	研究来源	研究范围	主要方法	主要结论
1	施瓦尼茨 (Schwanitz) 等 ¹	欧洲地区, 2000—2100 年	综合 11 种均衡模型,对区域一系列低碳能源政策进行了情景分析	这些低碳政策有利于减少能源依赖、提高能源安全,促进非生物质可再生能源技术的发展;到 2020 年,电力部门产生的协同效益可抵消政策实施成本

① Christopher Williams, Ali Hasanbeigi, Grace Wu and Lynn Price, "International Experiences with Quantifying the Co-Benefits of Energy-Efficiency and Greenhouse-Gas Mitigation Programs and Policies", *Science & Management*, 2013, pp. 31-37.

② Jing Cao, Mun S. Ho and Dale Jorgenson, "'Co-benefits' of Greenhouse Gas Mitigation Policies in China: An Integrated Top-Down and Bottom-Up Modeling Analysis", *Environment for Development*, 2008(10).

续 表

	研究来源	研究范围	主要方法	主要结论
2	石益焕 (Shih) 等 ²	中国台湾地区, 2010—2030 年	使用系统动力模型,运用情景分析法,对“新能源政策”和“提高能效政策”两大能源政策进行了成本-效益评价	在两者综合实施情景下,温室气体和大气污染物的排放都有一定程度的减少,同时将避免 126 507 例早产儿死亡和 41 天的人群平均预期寿命损失;“新能源政策”情景的单位健康协同效益高于“提高能效政策”情景
3	米勒 (Muller) ³	美国, 2000— 2010 年	使用 APEEP、GREET 模型进行模拟,对与 CO ₂ 伴生的污染物所造成的损害进行货币化考量	电力产生部门中不同的能源形式所造成的环境损害成本也不同;同时要考虑巨大的空间差异性,从而因地制宜地制定温室气体控制政策,以达到最佳协同控制效果
4	瓦格纳 (Wagner) 等 ⁴	泰国, 2005— 2050 年	应用 GAINS 模型得出三个场景的温室气体与大气污染物边际减排成本曲线	温室气体减排政策同时可以促进局部区域的空气改善,从而为发展中国家采取应对全球变暖措施提供激励
5	什雷斯塔 (Shrestha) 等 ⁵	欧盟国家、中国、 印度, 2010— 2030 年	应用 MARKAL 模型框架对三个碳减排场景下的能源、碳排放和大气污染排放进行预测	电力部门将产生最多的碳减排 (60%—84%), 其次是工业部门和交通部门; SO ₂ 和 NO _x 也将相应减少 9.1%—43.2% 和 3.3%—5.4%; 同时, 净能源进口依赖度也将有所下降

续 表

	研究来源	研究范围	主要方法	主要结论
6	马卡迪亚 (Markandya) 等 ⁶	美 国, 2010— 2030 年	应用 POLES、 GAINS 等模型, 评 估了电力部门温室 气体减排措施降低 PM 排放所带来的 健康效益	电力生产方式的改变将 在所有地区降低 PM _{2.5} 的排放及死亡率(印度> 中国>欧盟), 且健康效 益将远远超过温室气体 减排措施的成本
7	格洛斯曼 (Groosman) 等 ⁷	经合国家、中国、 印度等, 2000— 2050 年	采 用 APEEP 模 型, 对 2007 年的 联邦温室气体控制 政策法案将引起的 环境和健康效益进 行货币化估量	总健康效益将达 0.1 万 亿—1.2 万亿美元之多; 协同效益最重要的决定 因素是气候政策和现有 火电厂 SO ₂ 控制政策的 关系, 如果 SO ₂ 排放量 仍保持现在的水平, 那总 协同效益将减少 65%
8	博伦 (Bollen)等 ⁸	欧 洲、中 国, 2000—2050 年	利 用 扩 展 的 MERGE 模型对三 个减排场景分别进 行了气候变化政策 的协同效益评价	碳减排分别为 25%、 35% 和 50% 的三个场景 下, 以温室气体、NO _x 、 PM、SO ₂ 排放量和由此 避免的死亡人数为代表 性指标的协同效益将很 大程度上弥补政策实施 的成本
9	博伦等 ⁹	全 球, 2000— 2050 年	利 用 扩 展 的 MERGE 模型对全 球气候变化政策 (GCC)、地区大气 污 染 控 制 政 策 (LAP) 情景进行成 本收益分析	GCC+ LAP 的净收益要 高于两者分别实施的总 和, 但建议把气候变化减 缓视作大气污染控制政 策的附加效益

注: 1. Valeria Jana Schwanitz, Thomas Longden, Brigitte Knopf and Pantelis Carpos, "The Implications of Initiating Immediate Climate Change Mitigation: A Potential for Co-benefits", *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 90(A), pp. 166-177.

2. Yi-Hsuan Shih and Chao-Heng Tseng, "Cost-benefit Analysis of Sustainable Energy Development Using Life-cycle Co-benefits Assessment and the System Dynamics Approach", *Applied Energy*, 2014(119), pp. 57-66.

3. Nicholas Z. Muller, "The Design of Optimal Climate Policy with Air Pollution Co-benefits", *Resource and Energy Economics*, 2012, 34(4), pp. 696-722.

4. Fabian Wagner, Markus Amann, Jens Borken-Kleefeld, Janusz Cofala, Lena Hoglund-Isaksson, Pallav Purohit, Peter Rafaj, Wolfgang Schopp and Wilfried Winiwarter, "Sectoral Marginal Abatement Cost Curves: Implications for Mitigation Pledges and Air Pollution Co-benefits for Annex I Countries", *Sustainability Science*, 2012, 7(2), pp. 169-184.

5. Ram M. Shrestha and Shreekar Pradhan, "Co-benefits of CO₂ Emission Reduction in a Developing Country", *Energy Policy*, 2010, 38(5), pp. 2586-2597.

6. Anil Markandya, Ben G. Armstrong, Andy Haines, Kirk R. Smith, Anthony J. McMichael and Paul Wilkinson, "Public Health Benefits of Strategies to Reduce Greenhouse-gas Emissions: Overview and Implications for Policy Makers", *The Lancet*, 2009, 374(9706), pp. 2006-2015.

7. Britt Groosman, Nicholas Z. Muller and Erin O'Neill-Toy, "The Ancillary Benefits from Climate Policy in the United States", *Environmental and Resource Economics*, 2011, 50(4), pp. 585-603.

8. Johannes Bollen, Bruno Guay, Stophanie Jamet and Jan Corfee-Morlot, "Co-benefits of Climate Change Mitigation Policies: Literature Review and New Results", *Oecd Economics Department Working Papers*, 2009(4).

9. Johannes Bollen, Bob van der Zwaan, Corjan Brink and Hans Eerens, "Local Air Pollution and Global Climate Change: A Combined Cost-benefit Analysis", *Resource and Energy Economics*, 2009, 31(3), pp. 161-181.

除使用模型模拟外,学者也使用其他研究方法对协同效益进行评价和分析。佩雷拉(Pereira)等运用生命周期评价法,根据化石能源与新能源的不同比例,设定了至2030年四种不同的日本电力政策情景,对累计传统能源消费、全球增温潜势、陆地酸化潜势和颗粒物形成四项指标进行了评估,证明日本目前对化石能源

的依赖的不可持续性^①。李(Lee)等运用多变量回归分析法对 22 座亚洲主要城市展开研究,探讨了 CO₂ 排放量与其他若干指标的关系,证明提高能源使用效率和减少垃圾产生量是减缓气候变化和实现协同效益的有效手段^②。蔡(Chae)对韩国首尔的空气改善和温室气体控制措施进行了成本有效性和协同效益评价,发现燃料转换和压缩天然气公交运营对 CO₂、NO_x、PM_{2.5} 和 SO₂ 的协同减排效果最佳,并探索了如何在最低成本达成最佳协同效益目标的政策情景^③。帕皮德·奥利维拉(Puppim de Oliveira)等则对亚洲最新关于协同效益研究的进展进行了综述,涉及废弃物管理、交通、能源、工业、建筑等多个部门,强调了协同效益途径对于亚洲国家同时实现温室气体减排与经济社会发展的重要性^④。

总体而言,国外协同效益的研究起步早,研究程度也较为深入和广泛,模型预测、情景分析、货币化研究等方法都发展得比较成熟,研究范围涵盖全球、国家、区域和城市,针对单一和多个经济部门的研究也非常丰富。

二、国内狭义协同效益研究

中国对协同效益的研究起步较晚,大约从 2003 年开始出现。

① Joana Portugal Pereira, Giancarlos Troncoso Parady, and Bernado Castro Dominguez, "Japan's Energy Conundrum: Post-Fukushima Scenarios from a Life Cycle Perspective", *Energy Policy*, 2014(67), pp. 104-115.

② Taedong Lee and Susan van de Meene, "Comparative Studies of Urban Climate Co-benefits in Asian Cities: An Analysis of Relationships between CO₂ Emissions and Environmental Indicators", *Journal of Cleaner Production*, 2013(58), pp. 15-24.

③ Yeora Chae, "Co-benefit Analysis of an Air Quality Management Plan and Greenhouse Gas Reduction Strategies in the Seoul Metropolitan Area", *Environmental Science & Policy*, 2010, 13(3), pp. 205-216.

④ Jose A. Puppim de Oliveira, Christopher N. H. Doll, Tonni Augustiono Kurniawan, Yong Geng, Manmohan Kapshe and Donald Huisingh, "Promoting Win-win Situations in Climate Change Mitigation, Local Environmental Quality and Development in Asian Cities through Co-benefits", *Journal of Cleaner Production*, 2013(58), pp. 1-6.

相比国际学者的研究,中国的研究尚未突破以减排量为评估标准的局限,大多集中在对某城市或某行业的工程技术减排措施的协同效益评估上,也较少利用各类能源或经济模型对其他协同效益(如公众健康效益、社会效益等)及协同减排的经济成本进行量化评估,且基于我国更多关注污染物减排的国情,国内学者也更多聚焦污染控制政策带来的协同效益,而较少研究温室气体控制政策带来的协同效益。

最近,关于新能源发电领域的协同效益得到了学者的广泛关注。薛冰等用全生命周期评价法,对风能发电厂的协同效益进行了定量评价,研究发现,相比火力发电,风力发电所产生的二氧化碳有97.48%的减少,大气污染物(SO_2 、 NO_x 、 PM_{10})也有不同程度的减少^①。马至孝等研究了新疆地区“十一五”时期风能利用的协同效益,通过测算发现,风力发电实现了相当于火力发电所产生4.88%的 CO_2 、4.31%的 SO_2 、8.23%的 NO_x 及4.23%的 $\text{PM}_{2.5}$ 排放量削减,其经济效益达新疆地区2006—2010年GDP总量的0.46%^②。

特定地区的污染减排措施所带来的协同效益评价一直是国内学者研究的重点。蒋平等首先梳理了中国在不同部门(包括能源与工业部门)方面出台的具有协同效益的政策,然后以沈阳市铁西区 and 上海市宝山区为案例,对典型工业区通过结构减排、技术减排等方式所取得的协同效益进行了评价和肯定^③。李丽平等先后针

① Bing Xue, Zhixiao Ma, Yong Geng, Peter Heck, Wanxia Ren, Marios Tobias, Achim Maas, Ping Jiang, Jose A. Puppim de Oliveira and Tsuyoshi Fujita, "A Life Cycle Co-benefits Assessment of Wind Power in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015(41), pp. 338-346.

② Zhixiao Ma, Bing Xue, Yong Geng, Wanxia Ren, Tsuyoshi Fujita, Zilong Zhang, Jose A. Puppim de Oliveira, David A. Jacques and Fengming Xi, "Co-benefits Analysis on Climate Change and Environmental Effects of Wind-power: A Case Study from Xinjiang, China", *Renewable Energy*, 2013(57), pp. 35-42.

③ Ping Jiang, Yihui Chen, Yong Geng, Wenbo Dong, Bing Xue and Wanxin Li, "Analysis of the Co-benefits of Climate Change Mitigation and Air Pollution Reduction in China", *Journal of Cleaner Production*, 2013(58), pp. 130-137.