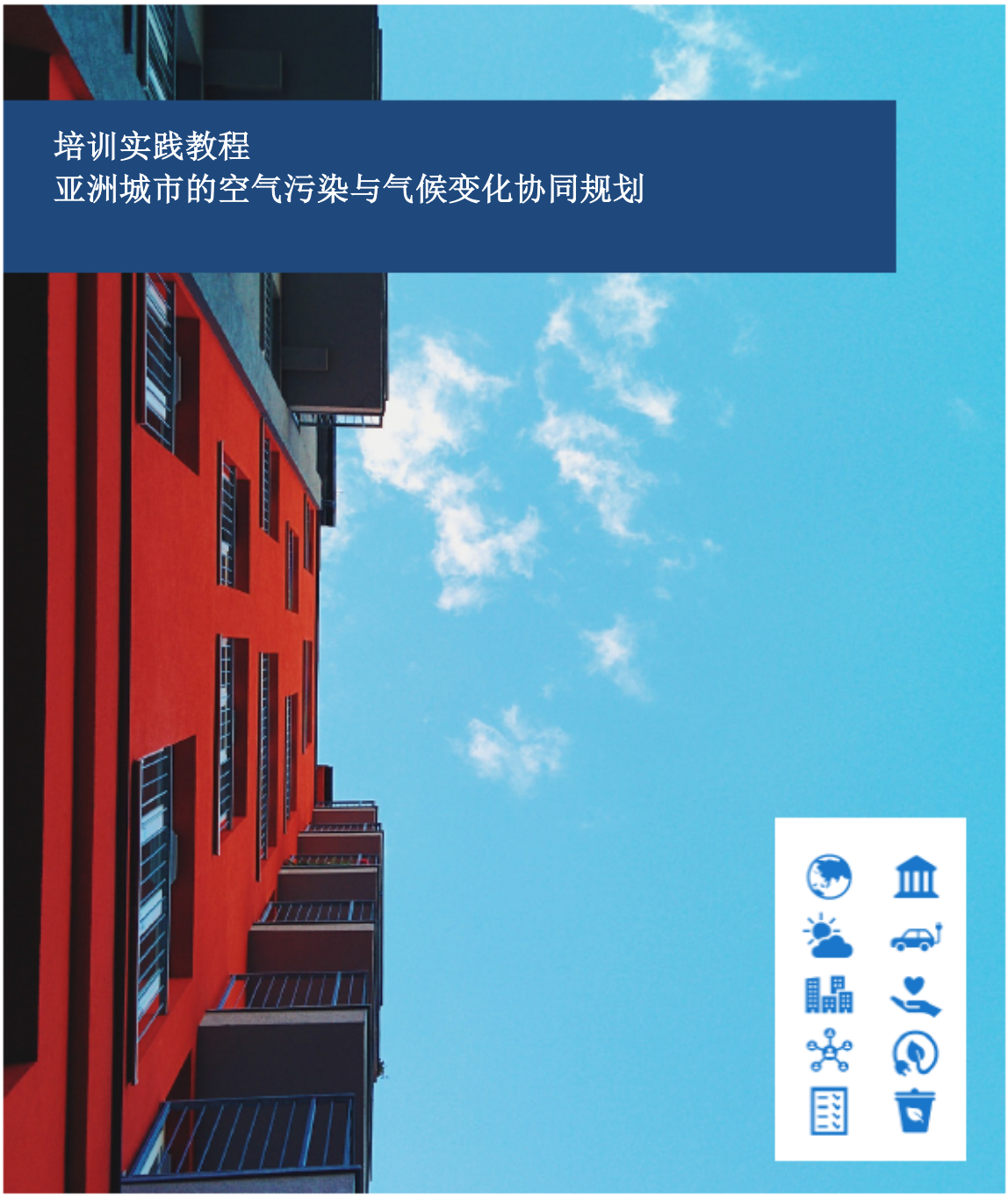
CLIMATE & CLEAN AIR COALITION



培训实践教程
亚洲城市的空气污染与气候变化协同规划

编写机构：

CLEAN AIR ASIA　ICLEI　IGES

目录

一、引言：城市空气污染与气候变化协同规划 3

二、了解核心概念 4

2.1 空气污染物、短寿命气候污染物和温室气体概述 7

2.2 多元解决方案 16

三、评估协同效益、确定解决方案 20

3.1 排放清单 20

3.2 案例研究 **1**：菲律宾圣罗莎市空气污染物、温室气体及短寿命气候污染物排放清单项目（改编自亚洲清洁空气中心，**2020** 年） 26

3.3 案例研究 **2**：菲律宾帕西格市的电动三轮车更换项目（改编自 **IGES** 和亚洲清洁空气中心，**2014** 年） 31

3.4 案例研究 **3**：使用排放量化工具（**EQT**）测量城市生活垃圾排放量（改编自 **CCAC** 和 **IGES**，**2014** 年） 37

3.5 案例研究 **4**：泰国曼谷的健康影响研究 40

四、加强政策和制度建设 44

4.1 加州的制度和规划过程 44

4.2 纽约——城市长期可持续发展战略 49

4.3 首尔——认识到协同效益 51

4.4 东京——移动源柴油车排放治理 55

4.5 北京——协同治理方法 57

4.6 总结和结论 60

五、参考文献 62

一、引言：城市空气污染与气候变化协同规划

全球超过一半的人口居住在城市，全球气候变化应对目标的实现很大程度上也取决于城市采取的行动。城市一级的许多政策制定者传统上倾向于将清洁空气和公共健康置于气候变化规划之外。但是，由于导致空气污染和气候变化的污染物往往具有同根同源性，城市政策制定者可以在在减缓气候变化的同时，也可改善空气质量和提升公共卫生。由于亚洲城市经常遭受严重空气污染和相关健康问题的困扰，同时也在深刻影响气候变化的形成与发展，因此空气污染与气候变化协同规划将为亚洲城市带来诸多效益。

本培训教程的主要目的是帮助亚洲的城市政策制定者了解和应用空气污染与气候变化协同规划的相关知识和工具。尽管这里提供的案例研究主要来自亚洲和美国（加州和纽约），世界其他地区的城市也可从中获得有用的知识及可供借鉴的经验。协同规划可以节约应对空气污染与气候变化挑战的时间和资金；相反，若地方政府决策者忽视空气污染与气候变化之间的联系，可能导致治理措施产生不良的社会经济和环境影响。

对于许多城市政策制定者而言，空气污染与气候变化协同规划在实践中仍然面临着诸多挑战。政策制定者必须至少具备以下三类知识和能力才能有效推进空气污染与气候变化的协同规划和治理。

1. **了解核心概念**：政策制定者需要了解，如何从不同角度定义空气污染与气候变化协同规划及其产生的协同效益。
2. **评估协同效益、确定解决方案**：政策制定者需要收集排放清单和健康影响数据，以评估空气质量、气候变化和其他效益，同时思考如何利用这些工具来支持其决策。
3. **加强政策和制度建设**：政策制定者需要了解如何从政策和制度层面促进协同规划。本教程收集了加州、纽约、东京、首尔和北京的具体案例。这些城市的政策和制度变革可帮助其他地方政府成功解决空气污染、气候变化和相关问题，并增强跨部门和多层次协调。

二、了解核心概念

从最基本的角度来看，本教程中的“协同规划”是指通过综合而非单独的规划过程来解决空气污染与气候变化问题。正如许多相关材料讨论的那样，协同规划是一项复杂的工作。协同规划首先要求政策制定者了解“协同效益”或“短寿命气候污染物”（SLCPs）等新概念。此外，它还要求技术人员掌握必要工具，以选择可实现气候、空气质量和公众健康等多方面最佳效益的技术和政策组合。最后，它要求政策制定者和技术人员了解，促进空气污染与气候变化统筹规划所需的制度和政策改革及技术变革。培训材料的后面各节将详细讨论决策工具（第 3 节）以及政策和制度案例（第 4 节）。本节将集中介绍核心概念，以及应对空气污染与气候变化的一些解决方案。

目标

在本节结束后，学员将能够：

- 了解空气污染与气候变化统筹规划对城市可持续发展的重要性；
- 从不同角度定义协同效益（包括如何从空气污染治理角度强调短寿命气候污染物减排）；
- 确定可加强城市空气污染与气候变化协同规划的解决方案。

作为实现这些目标的一个重要出发点，我们应当先确定空气污染与气候协同规划的最终目的。将这两个过程结合在一起的最终结果是产生“协同效益（co-benefits）”。正如下文所示，不同利益相关者对“协同效益”有着不同的定义。

在许多关于气候变化的资料中，“协同效益”指的是，气候变化减缓政策或计划在其他优先发展事项上同时产生的所有效益。这些额外效益包括创造新的就业机会，推动技术进步，以及节约时间（如先进的公共交通系统）。这些资料强调的协同效益是指，在气候变化减缓、空气污染防治以及公共卫生改善等领域产生的多重效益（UNEP，2019 年）。

专栏 2.1 中的图例给出了对协同效益概念的不同解释。如图所示，实现协同效益的关键在于，采取可同时减缓气候变化和改善空气质量的行动或干预措施。专栏 2.1 之所以会给出不同的解释，是因为我们可从不同角度来定义协同效益，它们大体可分为气候变化角度（发达国家和发展中国家存在差异）和空气污染角度（涉及 SLCPs）。

专栏 2.1：定义“协同效益”

自 30 多年前提出“协同效益”一词以来，研究人员主要从三个角度来定义“协同效益”。城市政策制定者从 1）气候，2）发展，和 3）空气污染治理不同角度来理解协同效益很重要，因为不同的定义可能影响城市的政策和技术选择。

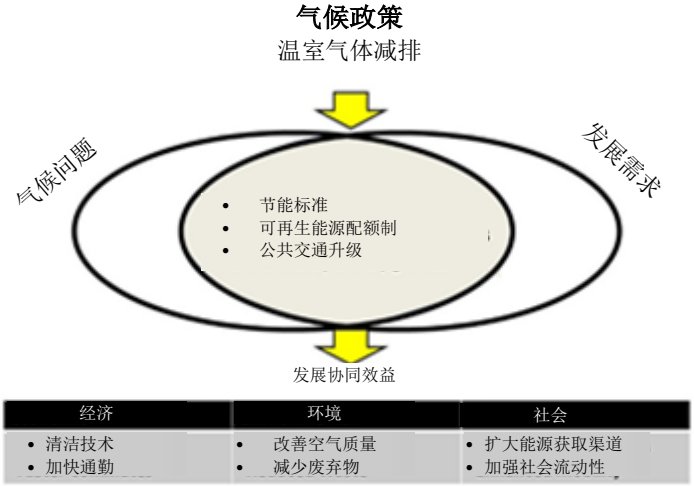


图 2.1：从气候角度定义协同效益

1. 气候角度（图 2.1）：从***气候角度***定义的“协同效益”主要指的是，*发达国家*的*温室气体减排政策*带来的额外*发展效益*。发达国家的温室气体减排政策，例如，碳税或碳排放交易体系带来的“发展协同效益”包括：改善空气质量，发展清洁技术及提供体面的工作机会。这些额外效益可帮助减缓政策制定者对温室气体减排成本的担忧，尤其是考虑到温室气体减排效益的全球性、长期性和不确定性。

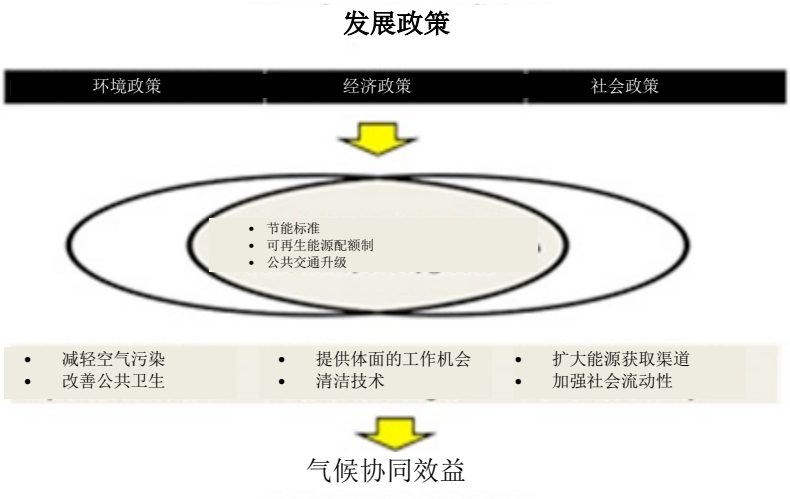


图 2.2：从发展角度定义协同效益

2. 发展角度（图 2.2）：大约 15 年前，从***发展角度***定义的"协同效益"概念引起了*发展中国家*的关注。从这一角度定义的"协同效益"主要指的是，发展中国家*发展政策*（包括各种环境、经济和社会政策）带来的*额外温室气体减排效益或气候协同效益*。这些政策的主要目标并非遏制气候变化，但其可帮助减缓温室气体排放。这一角度强调，可带来气候协同效益的发展政策，不仅可帮助减缓对温室气体减排成本的担忧，还可吸引气候融资，协助满足发展需求。

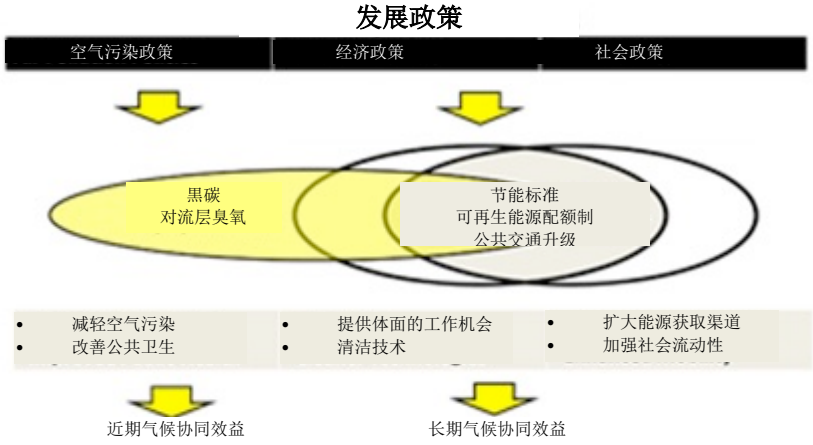


图 2.3：从空气污染角度定义协同效益

3. 空气污染角度（图 2.3）： 大约十多年前，研究表明一些空气污染物将对气候产生近期影响。从***空气污染角度***定义的"协同效益"便在此基础上形成。当时，出现"短寿命气候污染物（SLCPs）"一词，指的是*黑碳*、*对流层臭氧和甲烷*等*短期*内使气候变暖并引起空气污染的*空气污染物*。 一些空气污染以及经济社会政策可以减轻短寿命气候污染物，避免短期气候变暖，并

改善公共卫生和减轻作物产量损失。

（资料来源：Zusman 和 Miyastuka，2015 年）

为了更好地理解这些方法之间的差异，我们可以简要回顾主要空气污染物、短寿命气候污染物和温室气体。

2.1 空气污染物、短寿命气候污染物和温室气体概述

空气污染物是指空气中对人体健康或环境产生不利影响的任何物质。“常规空气污染物”指的是世界卫生组织（WHO）确定的六种常见空气污染物。政策制定者通常会管制这些污染物和/或将其用作空气质量指标。表 2.1 列出了六种常规空气污染物、其来源和影响。

表 2.1：常规污染物清单

主要常规空气污染物	**影响**	
	健康	环境
颗粒物（PM） ➢ 空气中固体和液体颗粒的混合物 ➢ 粒度范围不同，根据颗粒空气动力学当量直径分为：粗颗粒物（PM10，直径≤10μm）；细颗粒物（PM2.5，直径≤2.5μm）和超细颗粒物（直径≤0.1μm） ➢ 可能来自自然（如火山喷发、森林火灾）或人为燃烧过程和排放源（如工业部门、车辆、燃烧等） ➢ 一次颗粒物是从排放源直接排放，二次颗粒物是通过空气中的化学反应形成	➢ 呼吸和心血管疾病住院、生病和死亡 ➢ 中枢神经系统和儿童认知发育受损 ➢ 2 型糖尿病的危险因素 ➢ 出生缺陷和生殖障碍 ➢ 肺癌	➢ 可见度降低（雾霾） ➢ 气候变暖或变凉取决于颗粒物成分 ➢ 损坏建筑物 ➢ 通过影响生物健康影响生态系统的多样性 ➢ 通过影响营养物质的输送、水的 pH 值，以及作物歉收，造成生态系统失衡

氮氧化物（NOx） ➢ 包括二氧化氮（NO_2）和一氧化氮（NO） ➢ 形成颗粒物和臭氧的高活性气体 ➢ 主要来源包括燃料燃烧过程和设施（如发电、工业部门、运输和生活排放）	➢ 刺激呼吸系统 ➢ 引发和加剧呼吸系统疾病（哮喘），导致感染和住院 ➢ 可能影响肝、肺、脾脏、血液	➢ 可见度降低（雾霾） ➢ 破坏敏感生态系统和作物 ➢ 形成酸雨，影响生物、生态系统和建筑物 ➢ 水环境污染（富营养化）
二氧化硫（SO_2） ➢ 可能形成硫氧化物（SOx）和颗粒物 ➢ 来自于含硫工艺和燃料燃烧的刺激性无色气体 ➢ 可由火山喷发产生，但主要来源是化石燃料燃烧	➢ 导致头痛、不适和呼吸困难 ➢ 引发和加剧呼吸系统疾病（哮喘、慢性支气管炎），导致感染和住院 ➢ 可能影响肝、肺、脾脏、血液	➢ 可见度降低（雾霾） ➢ 破坏敏感生态系统和作物 ➢ 形成酸雨，影响生物、生态系统和建筑物 ➢ 水环境污染（富营养化）
一氧化碳（CO） ➢ 无色无味的气体，在高浓度下可能致命 ➢ 燃烧过程的副产物 ➢ 主要来源包括化石燃料燃烧过程，如运输排放和工业部门，以及烹饪相关的燃料燃烧	➢ 减少臭氧循环，高浓度下会导致头晕、神志不清、昏迷和死亡（一氧化碳中毒） ➢ 对于心脏病患者，高浓度会导致胸痛	➢ 通过影响温室气体（臭氧）的形成间接影响气候

地面（对流层）臭氧（O_3） ➢ 地球大气上层（平流层）的臭氧层可以保护地球免受紫外线伤害，但是地面（对流层）臭氧会影响健康，因此被视为一种污染物 ➢ 在热量和光照条件下，氮氧化物会与挥发性有机化合物（VOCs）发生反应，形成地面臭氧	➢ 导致呼吸急促、咳嗽、喉咙痛、呼吸困难、气道发炎 ➢ 引发和加剧呼吸/肺部疾病（哮喘、慢性支气管炎、肺气肿和慢性阻塞性肺病），导致感染和住院	➢ 形成烟雾 ➢ 损害作物和植被，降低其生长率 ➢ 使大气升温（温室气体）
铅（Pb） ➢ 危险重金属污染物 ➢ 主要来源包括采矿和金属加工、冶炼厂、焚化炉和含铅燃料相关的行业	➢ 对神经、肾脏、免疫、生殖、发育和心血管系统产生不良影响（铅中毒） ➢ 可能影响婴幼儿的神经系统（学习和行为问题、智商降低）	➢ 通过影响生物的健康和生存威胁生态系统的多样性 ➢ 对环境造成持久性的影响（可以在土壤和沉积物中停留多年）

（资料来源：亚洲清洁空气中心，2020 年（摘自气候与清洁空气联盟（2011 年）、欧盟委员会（日期不详）、健康影响研究所（2019 年）、IPCC（2013 年）、北卡罗莱纳州气候办公室（日期不详）、Prarther 等人（2001 年）、美国环保局（2018 年）、世界卫生组织（日期不详））

温室气体（GHGs）是指，大气中吸收地球表面红外辐射并将大部分辐射释放回地球表面的气体。通过这一过程，温室气体会将热量截留在地球大气内，是导致长期全球变暖的主要原因。表 2.2 根据各种来源定义列出了主要的温室气体。

表 2.2：温室气体清单

主要温室气体（GHGs）	影响	
	健康	环境
二氧化碳（CO_2） ➢ 大气中最丰富的温室气体（水蒸气除外） ➢ 自然存在于环境中，对于维持碳循环至关重要 ➢ 自工业化时期开始燃烧化石燃料，大气中的二氧化碳浓度急剧上升 ➢ 其他人为来源包括：毁林（减少固碳）、生物质燃烧和其他依赖燃料的过程（工业部门和运输） ➢ 可以在大气中停留长达 200 年	➢ 高浓度的二氧化碳可能转移空气中的氧气和氮气，从而导致头痛、头昏、无法集中注意力、麻木、失去知觉、心律加快、血压升高、癫痫发作和潜在昏迷	➢ 人为导致的气候变化的主要原因 ➢ 水生生态系统酸化，导致珊瑚白化
甲烷（CH_4） ➢ 农业、畜牧业和垃圾排放产生的可燃气体，包括有机废弃物腐烂产生的可燃气体 ➢ 其他主要来源包括天然气/煤炭的开采/生产、加工和使用 ➢ 可以在大气中停留约 12 年	➢ 直接吸入甲烷可能导致头晕和头痛 ➢ 臭氧的主要前体之一，与臭氧一样间接影响健康	➢ 是引发气候变化的第二大温室气体（仅次于二氧化碳） ➢ 升温潜势是二氧化碳的 28 倍 ➢ 也被列为短寿命气候污染物（SLCPs）

一氧化二氮（N_2O） ➢ 自然存在于环境中，对于维持氮循环至关重要 ➢ 主要排放源包括工业部门、发电厂、农业（化肥）、废水处理 ➢ 可以在大气中停留长达 121 年	➢ 刺激呼吸系统 ➢ 引发和加剧呼吸系统疾病（哮喘），导致感染和住院 ➢ 可能影响肝、肺、脾脏、血液	➢ 升温潜势约是二氧化碳的 265 倍 ➢ 形成烟雾
氟化气体 ➢ 包括氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）、六氟化硫（SF_6）和三氟化氮（NF_3） ➢ 主要来源包括：工业过程，用于替代淘汰的氟氯化碳（CFCs）和哈龙，用作冷却剂、制冷剂、绝缘泡沫和气溶胶推进剂等 ➢ 可以在大气中停留长达数千年	➢ 刺激眼睛和呼吸系统	➢ 升温潜势是二氧化碳的 20,000 多倍 ➢ 氢氟碳化物也被列为短寿命气候污染物 (SLCPs)
地面（对流层）臭氧（O_3） ➢ 地球大气上层（平流层）的臭氧层可以保护地球免受紫外线伤害，但是地面（对流层）臭氧会影响健康，因此视为一种污染物 ➢ 在热量和光照条件下，氮氧化物会与挥发性有机化合物	➢ 导致呼吸急促、咳嗽、喉咙痛、呼吸困难、气管发炎 ➢ 引发和加剧呼吸/肺部疾病（哮喘、慢性支气管炎、肺气肿和慢性阻塞性肺病），导致感染和住院	➢ 形成烟雾 ➢ 损害作物和植被，降低其生长率 *同时被列为常规空气污染物和短寿命气候污染物

（VOCs）发生反应，形成地面臭氧 在大气中停留数小时至数周（短寿命）		

（资料来源：亚洲清洁空气中心，2020 年；气候与清洁空气联盟，2011 年；欧盟委员会，日期不详；健康影响研究所，2019 年；IPCC，2013 年；北卡罗莱纳州气候办公室，日期不详；Prarther 等人，2001 年；美国环保局，2018 年；世界卫生组织，日期不详）

短寿命气候污染物（SLCPs）是指导致气候变暖、停留时间从几天到约 10 年的气体和颗粒物。在某些情况下，短寿命气候污染物会与空气污染物及甲烷（CH_4）等温室气体重叠。它们包括黑碳、对流层臭氧及其前体一氧化碳、非甲烷挥发性有机化合物（NMVOC）、氮氧化物、甲烷和某些氢氟碳化物（HFCs）。

图 2.4：短寿命气候污染物（SLCPs）的定义

（资料来源：CCAC，2015 年）

短寿命气候污染物是高全球暖化潜势温室气体。尽管它们在大气中的停留时间要比二氧化碳短得多，但与二氧化碳相比，它们的全球暖化潜势更高。但是，需要注意的是，短寿命气候污染物并非都直接影响气候变化（参见专栏 2.2 中的黑碳示例）。

专栏 2.2：黑碳的气候影响

黑碳是化石燃料和生物质不完全燃烧产生的气溶胶。黑碳也是 $PM_{2.5}$ 不可分割的组成部分。$PM_{2.5}$ 对气候的影响取决于多个因素。

其中一个因素涉及有机碳或白碳。与黑碳一样，有机碳也是 $PM_{2.5}$ 的一部分。但与黑碳不同的是，有机碳会反射辐射，使大气降温，减缓近期升温。在现实环境中，$PM_{2.5}$ 排放物包括黑碳和有机碳。某一特定来源的黑碳与有机碳比，是表明该来源减排将对大气产生升温（正影响）还是降温影响（负影响）的一个重要指标。柴油发动机等富含黑碳来源，含有的黑碳往往要比有机碳多得多，因此会导致大气升温。生物质燃烧产生的有机碳要比黑碳多，因此会导致大气降温。

影响黑碳引发的大气升温的另一个因素是云层。$PM_{2.5}$（和黑碳）排放产生的云层也会反射辐射。云层甚至可以一定程度上抵消富含黑碳的 $PM_{2.5}$ 来源导致的大气升温。

影响黑碳引发的大气升温的最后一个因素是区域气候变化。在这种情况下，$PM_{2.5}$ 排放会增加降雨强度，导致降雨模式发生大规模危险的变化。某些地区的颗粒物污染会破坏气候稳定。

（资料来源：Jacobson，2001 年；Bond，2013 年；Boucher 等人，2013 年；Aamaas 等人，2018 年；Nakajima 等人，2020 年）

除了气候影响外，短寿命气候污染物会对空气质量产生直接影响：大多数短寿命气候污染物通常也是有害大气污染物，会对健康、生态系统和农业生产力产生有害影响（UNEP，2019 年）。

表 2.3：短寿命气候污染物清单

短寿命气候污染物	影响	
	健康	环境
黑碳（BC） ➢ 粒度约为 100 纳米，是细颗粒物和超细颗粒物空气污染的重要组成部分，尤其是在高燃烧活动区域；也称为“煤烟” ➢ 由化石燃料、有机材料和其他燃料的不完全燃烧形成 ➢ 主要由人为来源排放，如工业、运输部门和其他燃烧过程（烹饪、农业） ➢ 可在大气中停留 4-12 天	➢ 超细粒度使得其可深入肺部，并将有毒成分传输到血液中 ➢ 健康影响与 PM2.5 类似，黑碳可能导致呼吸道和心血管疾病住院及过早死亡（如支气管炎、呼吸道感染、肺炎、哮喘加重、中风、心脏病发作、癌症）	➢ 吸收光照，通过将太阳辐射转化为热量从而使环境升温 ➢ 黑碳 100 年升温潜势为 900（120-1,800 之间） ➢ 影响云的形成、区域环流和降雨模式 ➢ 加快冰川融化 ➢ 破坏生态系统（如影响农业产量）

甲烷（CH_4） ➢ 一种无味易燃气体，人为排放占全球甲烷排放的 60%。主要来自三个来源：化石燃料、农业和废弃物 ➢ 可以在大气中停留约 12 年	➢ 甲烷会间接产生负面健康影响，主要是作为重要的对流层臭氧的前体物严重影响公共健康	➢ 是导致气候变化的第二大温室气体（仅次于二氧化碳） ➢ 100 年升温潜势是二氧化碳的 28-36 倍
氢氟碳化物（HFCs） ➢ 主要来源包括：工业过程，用于替代淘汰的氟氯化碳（CFCs）、含氢氯氟烃（HCFCs）和哈龙，用作冷却剂、制冷剂、绝缘泡沫和气溶胶推进剂等 ➢ 在大气中的停留时间从几天到几年不等	➢ 氢氟碳化物对人类的毒性较低，并且正常情况下（暴露水平通常极低）不会造成重大的健康风险	➢ 广泛使用的氢氟碳化物（HFC-134a），在大气中的停留时间为 13.4 年，100 年 GWP 为 1,300
地面（对流层）臭氧（O_3） ➢ 地球大气上层（平流层）的臭氧层可以保护地球免受紫外线伤害，但是地面（对流层）臭氧会影响健康，因此视为一种污染物 ➢ 在热量和光照条件下，甲烷、氮氧化物与非甲烷挥发性有机化合物（NMVOCs）发生反应，形成地面臭氧 ➢ 在大气中停留数小时至数周	➢ 导致呼吸急促、咳嗽、喉咙痛、呼吸困难、气道发炎 ➢ 引发和加剧呼吸/肺部疾病（哮喘、慢性支气管炎、肺气肿和慢性阻塞性肺病），导致感染和住院 ➢ 全球每 9 例慢性阻塞性肺疾病（COPD）致死中就有 1 例是因臭氧所致	➢ 形成烟雾 ➢ 损害作物和植被，降低其生长率 *同时被列为常规空气污染物和短寿命气候污染物

（资料来源：Bond 等人，2013 年；亚洲清洁空气中心，2020 年；气候与清洁空气联盟，2011 年；欧盟委员会，日期不详；健康影响研究所，2019 年、2020 年；Hodnebrog 等人，2013 年；IPCC，2013 年；Janssen

等人，2012 年；Kecorius 等人，2017 年；Myhre 等人，2013 年；北卡罗莱纳州气候办公室，日期不详；Saunois 等人，2020 年；Tsai ，2006 年；Prarther 等人，2001 年；美国环保局，2018 年；世界卫生组织，日期不详；Wiedensohler 等人，2012 年）

2.2 多元解决方案

有关大气污染物、温室气体和短寿命气候污染物负面影响的讨论，可帮助我们整合前面提到的定义协同效益的不同角度（见专栏 2.1）。整合这些不同角度需要认识到，上述许多主要常规空气污染物和温室气体的排放源相似。例如，发电厂、工业部门和车辆都会排放常规空气污染物和温室气体。这些排放源排放的空气污染物会直接影响人类健康和环境，同时导致**长期**的气候变化。

与此同时，许多黑碳和其他短寿命气候污染物通常来自分散且规模较小的排放源，而温室气体的主要排放源是发电厂或工业部门。短寿命气候污染物的主要排放源包括，柴油车或露天垃圾焚烧。此外，短寿命气候污染物会直接影响人类健康和环境，同时导致**近期**的气候变化。

考虑到影响来源和时间尺度的差异，政策制定者应根据从气候和空气污染角度定义的协同效益，采取**多元**治理技术和政策（Bowerman，2013 年；Melamed、Schmale 和 von Schneidemesser，2016 年）。采取多元治理技术和政策的必要性至少包括以下三个原因：

- 第一，温室气体减排措施通常也有助于减少硫化污染物排放，从而在短期内降低大气气温。但当大气中的这些硫化污染物被去除后，它们又会造成额外的短期升温（Westervelt，2015 年）。抵消由此造成的额外升温的最佳方法便是减少短寿命气候污染物排放。
- 第二，一些传统的污染防治技术和措施可遏制常规大气污染物末端排放，但是这些政策和技术不会减少甚至可能增加能耗及温室气体排放。因此，必须通过减缓长期气候变化的政策和技术来抵消这些温室气体增量（Asian Co-benefits Partnership，2012 年）。
- 第三，同样的末端治理措施也可能减少或去除前面提到的硫化污染物。因此，有必要通过短寿命气候污染物控制技术和措施来抵消额外升温（Westervelt，2015 年）。

联合国环保署 2019 年发布的《亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案》强调了采取多元解决方案的必要性。该报告指出，空气污染解决方案可分为以下三类：

1. 常规排放控制措施（不会产生协同效益）：例如为发电厂和车辆安装经过测试的末端处理装置。

2. 进一步的空气质量改善措施（进阶措施），通过减缓短寿命气候污染物实现协同效益：管制空气污染领域传统上并不关注的排放源，包括农场和新兴产业部门。

3. 发展优先措施，通过温室气体减排实现协同效益：引进和推广新技术，促进能源系统和基础设施变革（UNEP，2019 年）。

表 2.4：25 项清洁空气措施

亚洲广泛采用的常规控制措施	
燃烧排放末端控制	引入最新的末端治理措施，减少发电厂和大型工业部门的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物排放
工业过程排放标准	在钢铁、水泥、玻璃生产、化工等工业部门引入严格的排放标准
机动车排放标准	加强所有排放标准；特别重视管制轻型和重型柴油车
车辆检测及维护（I/M）	实行强制性的车辆检测和维护制度
扬尘控制	抑制建设施工和道路扬尘；增加绿化面积
空气污染防治进阶措施 （许多亚太国家还未普及）	
作物秸秆管理	管理农作物秸秆，包括严禁露天焚烧
生活垃圾焚烧	严格禁止露天焚烧生活垃圾
预防森林和泥炭火灾	通过改善森林、土地和水资源的管理和防火措施，预防森林和泥炭火灾
畜禽粪便管理	对粪便储存进行覆盖处理，高效施肥；鼓励厌氧消化处理
氮肥施用管理	高效施用氮肥；在施用尿素时添加脲酶抑制剂，或者用硝酸铵等化肥替代
砖窑管理	提高砖窑生产效率并制定排放标准

国际航运排放控制	要求使用低硫燃料，控制颗粒物排放
溶剂使用和炼油厂管控	在工业和家庭涂装中均采用溶剂含量低的涂料；泄漏检测；进行油气回收或焚烧
有助于实现发展目标，同时又能改善空气质量的措施	
清洁炉灶和取暖	城市使用电力、天然气、液化石油气（LPG）等清洁燃料；农村地区使用 LPG 和先进生物质炉具和采暖设施；用成型燃料代替煤炭
可再生能源发电	采取激励措施促进风电、光电和水电的广泛利用，逐步淘汰效率低下的发电厂
提高家庭能效	采取激励措施提高家庭能效，包括家用建筑、照明、供暖和制冷等方面；鼓励安装屋顶太阳能
工业能效标准	引入较高的工业能效标准
电动汽车	推广电动汽车
改善公共交通	鼓励从私家车转向公共交通工具
固废管理	鼓励垃圾分类，进行集中收运和处理，包括热解气化利用等措施
水稻田	鼓励对连续性淹水稻田进行间歇曝气
废水处理	对废水进行二级处理，回收废水处理产生的沼气
煤矿开采	鼓励对煤矿瓦斯进行采前回收
油气生产	鼓励回收伴生气；停止常规放空燃烧处理手段；加强油气泄漏控制
HFC 制冷剂替代	确保充分遵守《基加利修正案》

（资料来源：UNEP，2019 年）

上述内容不仅可帮助我们确定不同类别下的具体技术和非技术措施，还可帮助政策制定者探索可协助本城市实现协同效益的解决方案。下一节我们将讨论一些政策工具，这些工具可协助政策制定者找到为关键部门带来最大协同效益的解决方案。

三、评估协同效益、确定解决方案

了解核心概念和可能的解决方案可以说是空气污染与气候变化协同规划的第一步。接下来至关重要的第二步是，使用排放清单（EI）和政策工具来确定哪些技术和行为转变可帮助特定城市减少多种污染物和温室气体排放。本节内容希望实现以下两个个目标。此外，本节还将介绍圣罗莎市的排放清单编制项目、菲律宾帕西格市的电动三轮车更换项目、东南亚四个城市（缅甸内比都、泰国暖武里府、印度尼西亚占碑和柬埔寨磅清扬）的垃圾排放量化项目，以及曼谷健康影响评估项目等具体案例研究。

目标

在本节结束后，学员将能够：

- 了解排放清单编制和健康影响评估过程，以量化协同效益并确定能够实现这些效益的解决方案；
- 了解如何利用一些政策工具来确定能够实现协同效益的解决方案。

3.1 排放清单

确定协同空气污染与气候变化规划的解决方案往往需要编制排放清单。排放清单指的是，特定时间段内固定区域排放源排放的不同污染物或温室气体总量的完整清单。准确评估我们常常说的清单基准排放量，对于了解主要排放源的排放比重，以及确定控制措施都至关重要。

尽管编制排放清单对于解析排放源和确定控制措施至关重要，但这并不是一项容易的工作。若数据准确性要求很高，排放清单编制可能耗费大量的时间和资源。而影响时间和资源需求的一个关键变量是数据的数量和质量；现有数据的类型和数量通常会影响所采用的排放清单编制方法。

本节将简单概述编制排放清单所需的数据。有关收集和整理相关数据的更多详细步骤，可登录亚洲清洁空气中心的 IBAQ 项目学习门户网站查看。其中，“排放源和开放数据库开发”是建立排放清单数据库的分步指南，同时还提供了“常规空气污染物和 GHGs/短寿命气候污染物排放清单整合”指南。简而言之，环境政策制定者和空气质量管理人员可考虑统筹编制常规污染物与 GHGs/短寿命气候污染物排放清单，因为这可以既节省时间和经济成本，同时有助于找到更系统、更全面的解决方案。

排放清单编制过程的第一步是，了解常规污染物与 GHGs/短寿命气候污染物排放源，确定可为综合数据库开发提供必要数据的城市机构或团体。接下来的一步是，评估和筛选适用于分

析气候变化与空气污染物排放的工具。最后也是最关键的一步是，分析数据和分享排放清单；这最后一步要求综合排放清单的最终使用者了解协同效益概念，以及如何利用清单来做出决策。

我们可通过两种方法（自上而下和自下而上）来收集活动一级的数据，这些数据是编制排放清单的关键。其中，自上而下的方法指的是，使用现有的“宏观”数据，例如人口和能源或燃料消耗等国家统计数据，以粗略估计活动一级的结果。在缺乏当地活动数据，并且数据收集资源有限的情况下，这种自上而下的方法就更为可取。与此相对照，自下而上的方法指的是，使用家庭或交通调查等细致活动数据来估算排放量。数据收集方法的选择会影响数据评估方式和收集过程，这对于选择支持决策的工具也有影响。表 3.1 概述了排放清单编制涵盖的各类污染源和特定行业部门（亚洲清洁空气中心，2020 年）。

表 3.1：排放清单活动数据要求

污染源	现有或相关的污染源	需要的活动数据（必需）	数据收集方法
点源	重工业和制造设施	使用燃料（类型、数量）；设备（类型、燃料）； 污染治理装置；实际排放数据	利用从行业/设施/机构向环境部门提交的自我监测报告（SMRs）、第三方测试和持续排放监测系统（CEMS）中提取的活动数据
	制定区域内的重要机构		
面源	家庭活动	家庭燃料使用（类型、数量）；垃圾产生和焚烧；溶剂使用	进行入户调查或统计局收集的人口普查数据
	商业活动	设备/烹饪燃料使用（类型、数量）；垃圾产生和焚烧；溶剂使用	进行入户调查或环境或贸易部门收集的数据
	作物秸秆露天焚烧	焚烧的生物量	利用市农业局的数据
	农业活动，例如，施肥和动物粪便管理	化肥使用（类型和数量）；肥料产量（可通过	利用市兽医/农业局的数据

		牲畜数量估算）	
移动源	上路车辆	穿过街道的车辆数据（计数和分类）	与市交通管理与执法局合作，计算各类车辆数量
		行程时间和延误数据；时间和速度数据	与市工程局/交通管理与执法局研究行程时间和延误
		市内注册登记公用事业车辆数据库	利用交通运输部或市交通管理与执法局的数据

（资料来源：亚洲清洁空气中心，2020a）

排放清单的另一个关键要素是排放因子。排放因子可用于估算不同形式的能源、生物质或垃圾焚烧会产生多少空气污染物或温室气体。排放因子乘以活动数据即可得出排放量。理想情况下，在编制排放清单时应使用适合当地情况的排放因子。但是，如果没有适合当地情况的排放因子，则通常会使用默认数据。

近年来，许多组织都开发了可支持编制排放清单的决策支持工具。这些工具也可以使用排放清单数据来量化不同污染防治与气候变化减缓政策和措施带来的协同效益。其中一些工具关注交通运输等某个特定领域，或者只关注各种控制措施对公共健康的影响。另外一些工具则适用于多个领域，可能包含附加的模块或功能，允许用户将排放和空气质量变化估算结果转化为健康影响。表 3.2 描述了多种决策支持工具及其特有功能（CAA, UNEP，2019 年）。

表 3.2：决策支持工具

工具		**网页链接**	**描述**	**开发者**
ABC 排放清单手册	大气褐云排放清单手册	https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/21482/ABC_EIM.pdf?sequence=1&isAllowed=y（自由访问）	用于量化导致雾霾和大气褐云形成的空气污染物排放	亚洲理工学院（AIT）（联合国环境规划署支持）

COPERT 5	计算公路运输排放的计算机程序	https://copert.emisia.com/（自由访问）	用于编制 CORINAIR 年度排放清单的移动排放源部分	欧盟
EDGAR	全球大气研究排放数据库 4.2 版	http://edgar.jrc.ec.europa.eu/（自由访问）	提供全球各国燃烧和非燃烧源过去和当前人为温室气体和空气污染物排放量数据	欧盟委员会联合研究中心与荷兰环境评估署合作
EEA-EU EMEP/CORINAIR	欧洲监测和评估项目/大气排放核心清单	https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook/emep（自由访问）	收集、管理、维护和发布官方年度国家清单	欧盟
EPA-AIR CHIEF	清单和排放因子信息交流中心	https://www.epa.gov/chief	美国环保局的排放清单系统；使用 AP-42	美国环保局
GAINS	温室气体与空气污染的相互影响与协同作用	http://gains.iiasa.ac.at/models/（需要注册）	提供排放估值，以分析空气污染与温室气体减排战略的协同效益	国际应用系统分析研究所（IIASA）
GAPF 排放清单手册	全球大气污染论坛排放清单手册	https://www.sei.org/projects-and-tools/tools/gap-global-air-pollution-forum-emission-manual/（联系 H. Vallack 获得访	该手册最初是为东北亚地区编制，现已修改以供南亚《马累宣言》国家和非洲空气污染信息网络（APINA）使用	斯德哥尔摩环境研究所（SEI）、防止空气污染

		问权限）		协会国际联合会（IUAPPA），负责协调全球大气污染论坛（GAPF）
HBEFA	公路运输排放因子手册	http://www.hbefa.net/e/index.html（需要购买）	根据排放标准（欧 0 到欧 6 标准）以及不同的交通量和车辆分布，提供现有大部分车型（私家车、轻型车（LDV）、重型车（HDV）和摩托车）的排放因子（单位：g/km）	德国、瑞士和奥地利环境机构，瑞典、挪威、法国和欧盟联合研究中心提供支持
IVE 模型	国际车辆排放模型	http://www.issrc.org/ive/（需要注册）	估算使用不同燃料的乘用车、货车、公交车、三轮和两轮车的主要城市污染物、有毒污染物和温室气体排放	国际可持续系统研究中心（ISSRC）
LEAP-IBC	长期能源替代规划—综合效益计算器	https://www.sei.org/publications/leap-ibc/ https://energycommunity.org/default.asp?action=IBC (needs registration)（需要注册）	计算排放清单和污染物浓度，预测未来的排放趋势，评估替代缓解方案，估算健康和气候影响，以及作物产量损失	斯德哥尔摩环境研究所（SEI）、美国环保局和科罗拉多大学，联合国环境规划署、气候与清洁空气联盟提供支持

MEIC	中国多尺度排放清单模型	http://meicmodel.org/	提供中国至 2017 年的国家和地区排放量估算	清华大学（中国北京）
MOVES	机动车排放模拟器	https://www.epa.gov/moves（自由访问）	排放建模系统，用于估算移动源（汽车、货车、摩托车）的常规空气污染物、温室气体和有毒空气污染物排放量	美国环保局
NMIM-NONROAD	国家移动清单模型	https://www.epa.gov/moves/how-install-national-mobile-inventory-model-nmim-windows-machine（自由访问）	用于估算非道路设备当前和未来排放量的计算机应用程序	美国环保局
SIM-air	改善空气质量的简单综合模型	http://www.urbanemissions.info/tools/	在情景方法中用于分析排放、环境空气质量、健康和控制措施的一套工具	UrbanEmissions.info
REAS	亚洲区域排放清单 3.2 版	https://www.nies.go.jp/REAS/（自由访问）	亚洲区域排放清单，以及发电厂、工业部门、交通运输和生活领域燃料燃烧排放趋势预测	日本国立环境研究所和亚洲空气污染研究中心
TREMOD	运输排放估算模型	https://www.ifeu.de/en/methods/models/tremod/（自由访问）	用于描述机动车运输的能耗、排放量，乘用车和货车活动，行程长度和频率	能源与环境研究所（德国）
VERSIT+	VERSIT+	https://www.tno.nl/media/2451/lowres_tno_versit.pdf（自由访问）	用于预测代表实际驾驶条件的车队排放和能耗因子	荷兰国家应用科学研究院（TNO）

WebFIRE	*也在“AIR CHIEF”下	https://cfpub.epa.gov/webfire/（自由访问）	美国环保局在线排放因子数据库、检索和开发工具	美国环保局
WHO: RIAS	快速清单评估技术	https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/58750/WHO_PEP_GETNET_93.1-A.pdf;jsessionid=363C506186E0A7942105291AE097DFC4?sequence=1（自由访问）	讨论快速清单技术和制定环境控制策略的方法指南	世界卫生组织

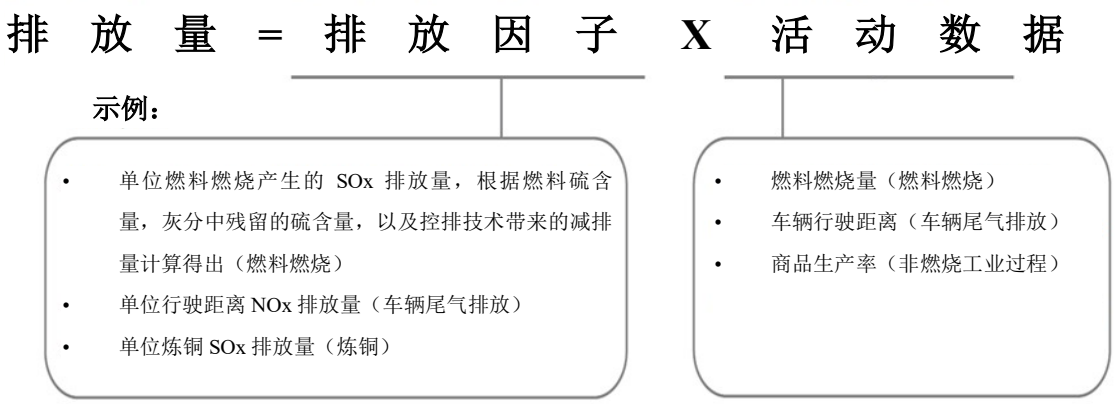
排放清单编制和协同效益分析，既需要技术专业知识，也需要经验。在鼓励感兴趣的读者和技术人员获得相关专业知识和经验的同时，本章其余部分通过案例研究概述了估算协同效益的一些主要步骤、相关结果和实施挑战。

3.2 案例研究 1：菲律宾圣罗莎市空气污染物、温室气体及短寿命气候污染物排放清单项目（改编自亚洲清洁空气中心，2020 年）

第一个案例研究对象是菲律宾的圣罗莎市。2020 年，在圣罗莎市环境与自然资源保护局（CENRO）和三菱汽车菲律宾公司的共同资助下，亚洲清洁空气中心与菲律宾大学-国家交通研究中心为圣罗莎市编制了排放清单。该项目推动了圣罗莎市建立空气质量管理体系、制定清洁空气行动计划的长期行动。

项目得以顺利推进的其中一个重要因素是，圣罗莎市政府的清洁空气项目核心团队积极参与清单编制工作。该核心团队是一个跨部门小组，由环境、规划、卫生、交通管理和其他相关部门的代表组成，他们促进了空气污染领域的合作。

在编制排放清单时，将排放因子乘以活动数据计算得出了排放量，基本公式如下：



利用上述公式，项目参与者编制了一个涵盖面源、点源和移动源常规污染物、温室气体和短寿命气候污染物的排放清单（有关面源、点源和移动源的具体信息，请参见表 3.3）。通过估算每种污染物的基准排放量，可以计算出圣罗莎市拟议清洁空气行动计划中污染防治措施带来的协同效益。在排放清单中纳入温室气体和短寿命气候污染物，也有助于将清洁空气行动计划进一步扩展为气候与清洁空气行动计划。

表 3.3：圣罗莎市的清洁空气行动计划范围

涵盖的污染物	包含的污染源类型
排放清单中涵盖了常规污染物、温室气体（GHGs）和短寿命气候污染物（SLCPs）。 常规污染物包括： ➢ 直径小于等于 10 微米（μm）的颗粒物（PM_{10}） ➢ 直径小于等于 2.5 微米（μm）的颗粒物（$PM_{2.5}$） ➢ 一氧化碳（CO） ➢ 二氧化硫（SO_2） ➢ 二氧化氮（NO_2） ➢ 非甲烷挥发性有机碳（NMVOC）	排放清单中的排放源可分为点源、面源和移动源。 **a)点源**指的是某一特定地点单独识别的固定源。通常存在于具有封闭烟囱或烟囱排放点的大型制造或生产设施中。其中可能包括锅炉、发电机组、熔炉以及该区域正在运行的其他大型燃烧系统。 **b) 面源**排放指的是，相对较大区域排放的空气污染物。通常来自家庭和商业机构，涉及烹饪、露天焚烧、溶剂使用及许多其他活动。 **c)移动源**是指产生空气污染的车辆和设备，它们可以移动。圣罗莎市的移动源主要指机动道

温室气体包括： ➢ 二氧化碳（CO_2） ➢ 一氧化二氮（N_2O） ➢ 甲烷（CH_4） 短寿命气候污染物包括： ➢ 黑碳（BC）	路车辆。
覆盖期限： 1 年（2019 年）	

圣罗莎市排放清单的另一个特点是确定每种污染物的主要排放源，以便绘制出结果图，显示主要污染源相对于居民区和脆弱人群的位置。然后，利用这些信息来确定优先控制哪些污染源，以最大程度地减少对脆弱人群和社区的影响。

排放清单的主要发现包括，PM_{10} 排放主要来自于摩托车和三轮车等移动源。与此同时，结果发现在面源和移动源产生的二氧化碳排放中，汽车和摩托车等移动源是主要的排放源。此外，用作居民区烹饪燃料的液化石油气（LPG）也导致了二氧化碳排放。

表 3.4：圣罗莎市的排放清单结果

污染源	**$PM_{2.5}$**	**PM_{10}**	**CO**	**SO_2**	**NOx**
面源	7.74	33.96	216.71	399.51	59.52
点源	68.83	227.74	45.61	793.78	226.97
移动源	73.10	737.48	10533.01	285.62	955.85
合计	**149.67**	**999.18**	**10795.33**	**1478.91**	**1242.35**
污染源	**NMVOC**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**BC**

面源	761.36	34961.82	1.15	35.69	3.94
点源	4.73	215314.68	1.63	11.40	11.72
移动源	4125.26	97631.91	10.63	37.73	17.63
合计	**4891.35**	**347908.41**	**13.41**	**84.82**	**33.29**

图 3.1 显示了每种污染源在总排放量中所占的比例。大量的 CO、NMVOC、NO_X、N_2O 和 PM_{10} 排放来自移动源。SO_2 和 CO_2 排放主要来自点源，$PM_{2.5}$ 和 BC 排放主要来自面源和点源，而 CH_4 排放来自面源。

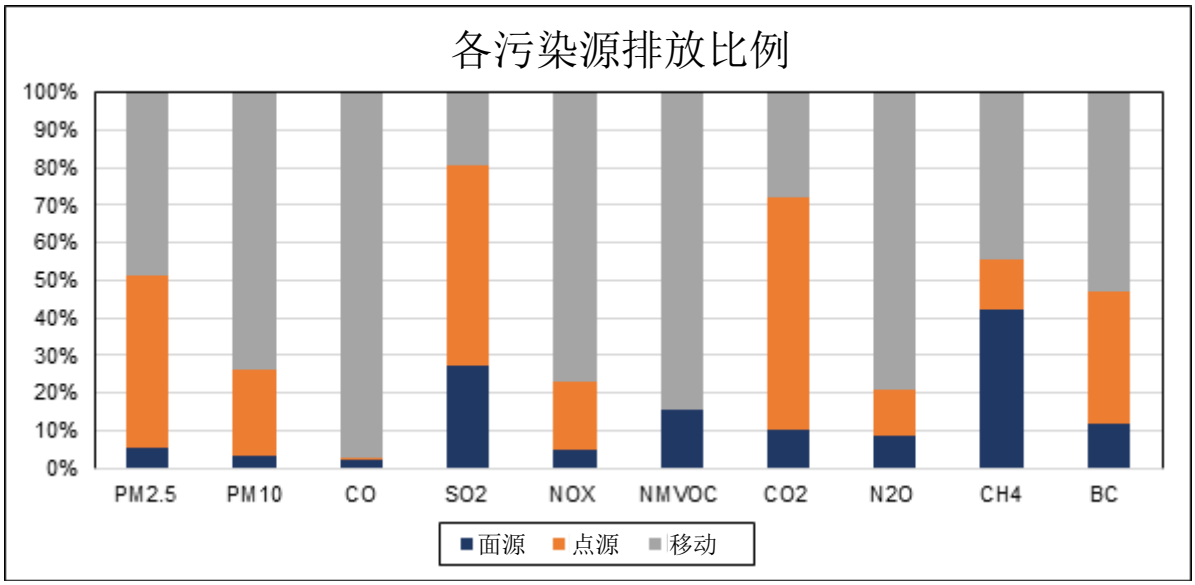


图 3.1：各污染源排放比例

（资料来源：Clean Air Asia，2020b）

根据**点源、面源和移动源**的子类别，对圣罗莎市的排放估值进行了进一步细分。例如，下图显示了移动源下属不同车型的排放量。

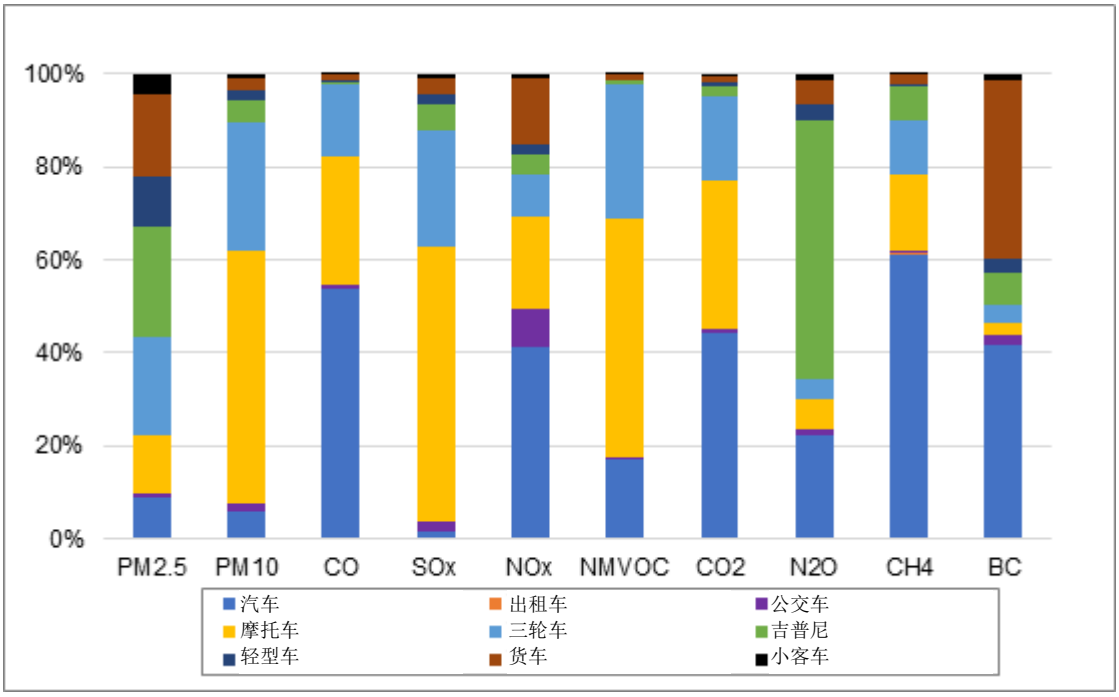


图 3.2：移动源各种污染物和车型的排放比例

（资料来源：亚洲清洁空气中心，2020b）

排放清单结果为确定圣罗莎市气候与清洁空气行动计划中的优先控制措施奠定了基础。考虑到移动源是大多数污染物（(PM_{10}、CO、NOx、N_2O、CH4、BC 和 NMVOC）的主要排放源，圣罗莎市重点侧重于改善车辆检查及保养（例如，车辆检测和评级计划）及公共交通，提倡步行和骑车。

尽管意义显著，但圣罗莎市的排放清单编制也遇到了一些困难。主要困难是缺少可用数据，以及数据收集方法不足。但是，由于项目准备阶段考虑了这些限制，因此这些挑战并非无法克服：值得指出的是，项目采用了自下而上的数据收集方法，通过家庭和商业机构调查收集了面源数据，并通过车辆计数收集了移动源数据。另一个限制是，点源或固定源依赖于区域环境管理局的可用数据。与亚洲清洁空气中心分享的记录表明，圣罗莎市的一些现有设施没有计算排放量所需的活动数据。这就导致低估了该类别的排放量。

未来，对于圣罗莎市和类似项目，我们建议将通过调查收集的数据纳入常规或年度市政部门活动。例如，可以通过以下方式来收集居民区的活动数据：作为市规划和开发局基于社区监测系统，或者城市生活垃圾调查的一部分，以避免进行单独的调查。此外，相关市局在受理经营许可证申请时，也可要求申请人提供商业和点源活动数据。

3.3 案例研究 2：菲律宾帕西格市的电动三轮车更换项目（改编自 IGES 和亚洲清洁空气中心，2014 年）

对于菲律宾的许多机动车迅速增长的城市，一个重要的排放源是汽油动力三轮车。在本案例研究中，帕西格市政府与圣尼古拉斯三轮车运营商和驾驶员协会（SNTODA）合作，于 2014 年发起了一个项目，用电动三轮车更换 26 辆汽油动力三轮车。市政府通过提供零利率贷款，支持驾驶员更换电动三轮车，驾驶员同意每周偿还贷款。三轮车运营商则要求移交旧三轮车，确保在不增加汽油动力三轮车的情况下更换并妥善报废这些旧三轮车。

该项目旨在减少排放，以实施“菲律宾国家适当气候减缓行动”（NAMA）。NAMA 指的是，各国承诺在签署《巴黎协定》之前，为落实《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）而采取的一系列气候变化减缓行动。随着菲律宾 2019 年批准《巴黎协定》，菲律宾的 NAMA 已更新为“国家自主贡献”（NDC），反映了菲律宾致力于减少国家温室气体排放并适应气候变化影响。

为了估算多种污染源的排放量，亚洲清洁空气中心使用了交通项目排放评估模型（TEEMP）。 TEEMP 是一套基于 Excel 的工具，可用于评估温室气体、空气污染，以及一系列不同交通项目和干预措施的其他影响。TEEMP 工具由亚洲清洁空气中心和交通与发展政策研究所（ITDP）联合开发，最初用于评估亚洲开发银行（ADB）交通项目的排放影响，后来用于评估更广泛的交通干预措施（CAA， 2011）。

通过比较参考情景（仍然运营旧汽油动力三轮车）与项目情景（用电动三轮车更换汽油动力三轮车），计算出了项目在节省燃料和减少二氧化碳排放方面的协同效益。通过将活动数据乘以排放因子，计算得出两种情景下的排放量。其中，活动数据基于车辆行驶公里数；排放因子基于所使用的技术类型（即汽油动力三轮车和连接主电网的电动三轮车）。

分析结果表明，该干预措施将带来多种协同效益。这些协同效益包括改善电动三轮车覆盖路线内的空气质量，减少总能耗，降低二氧化碳排放量，更换旧三轮车有助于改善道路安全和交通拥堵，降低运营过程中发生故障的风险，增加三轮车驾驶员和运营商的实得工资总额和降低噪音污染。

在这些协同效益中，可以使用上一节中提到的数据和 TEEMP 车辆更换工具来估算减排量（tCO_2）。计算结果表明，参考情景下的年均排放量为 46.05 tCO_2，而项目情景下的年均排放量为 9.74 tCO_2。因此，预估年均减排量为 36.31 tCO_2（IGES 和 CAA，2014 年）。

表 3.5：帕西格市电动三轮车更换项目预估实现的年减排量（tCO_2）（下页）

	年均	每辆车年均
参考情景	46.05	1.77
项目情景	9.74	0.37
减排量	36.31	1.4

下面的图 3.3 显示了 2014-2033 年的年排放量（实线是参考情景，黄色虚线是项目情景），而图 3.4 显示了年避免排放量（tCO_2）。

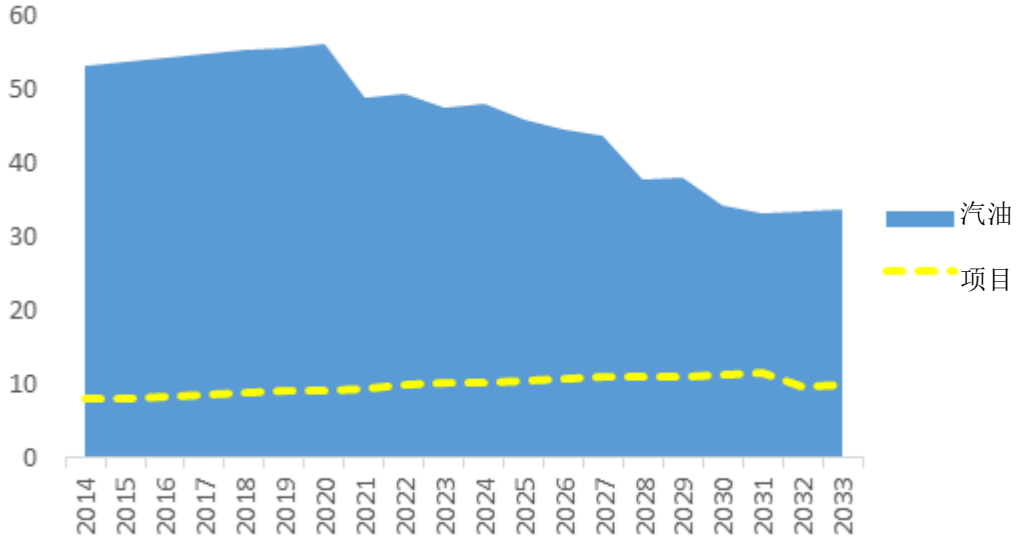


图3.3：年排放量（tCO2）（动态情景设置）

资料来源：IGES 和亚洲清洁空气中心，2014 年

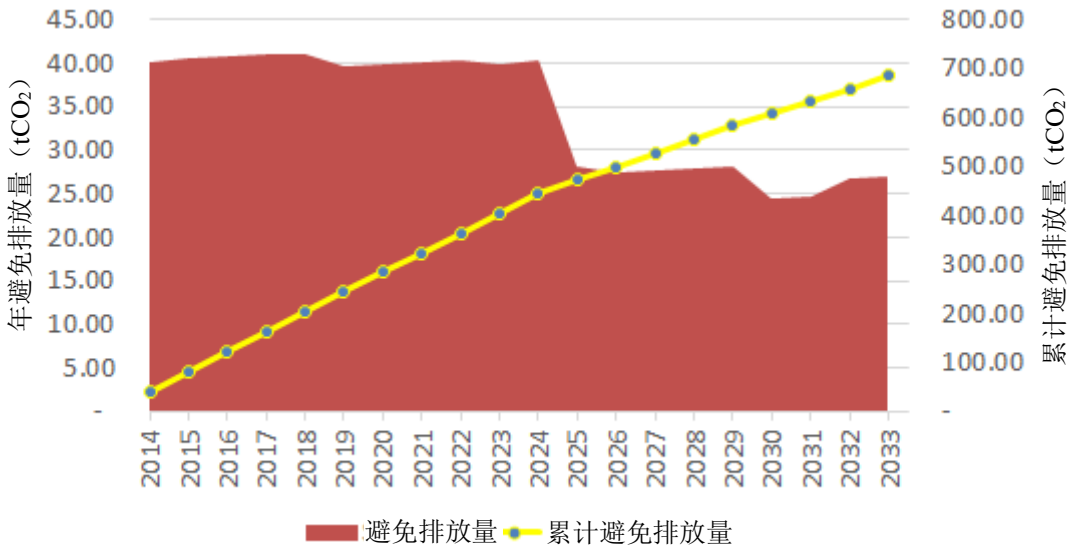


图 3.4：年避免排放量（tCO2）

（资料来源：IGES 和 CAA，2014 年）

TEEMP 还可用于估算费用节省额。在该案例中，项目自 2016 年起出现了正费用节省额（来自燃料消费、设备更换和车辆维护），如图 3.6 所示[1]。费用节省额从 2014 年项目开始日期算起。这些计算假设电动三轮车的最长使用寿命为 18 年，因此到 2032 年，预计费用节省额会出现急剧下降。到那时，电动三轮车也假定会被新车辆所替代。

需要强调的是，尽管可通过对排放因子计算，但该项目并未估算空气污染减少量。与此相关，该项目也没有量化空气污染引发的发病率和死亡率降低所带来的经济效益。考虑到研究范围的这些局限性，电动三轮车项目所产生的效益可能被低估。

[1]假定年维护费用为车辆成本的 10%。

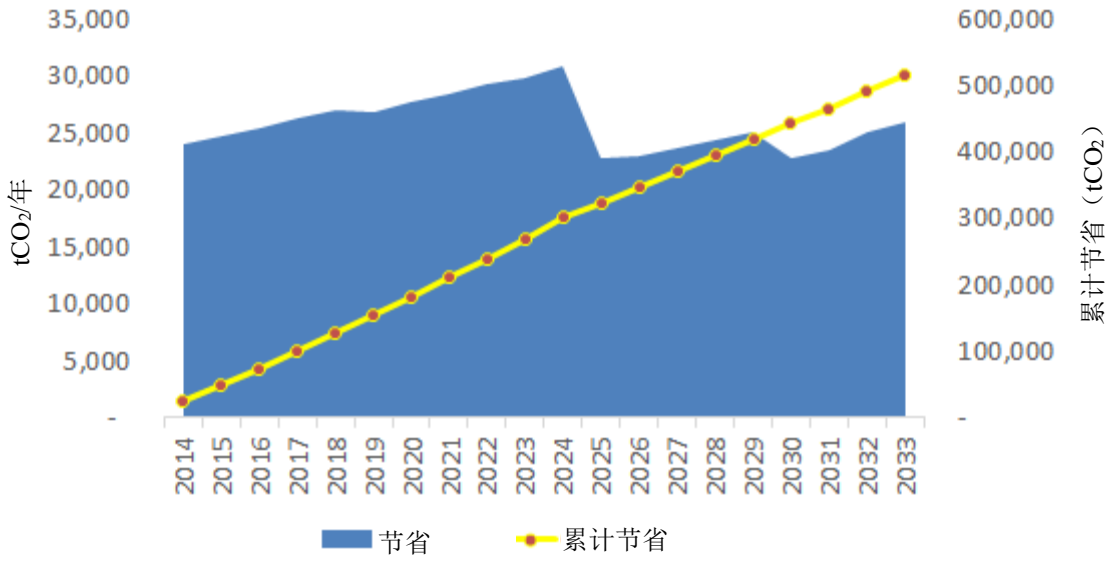


图 3.5：年燃料费用节省额（美元）

（资料来源：IGES 和亚洲清洁空气中心，2014 年）

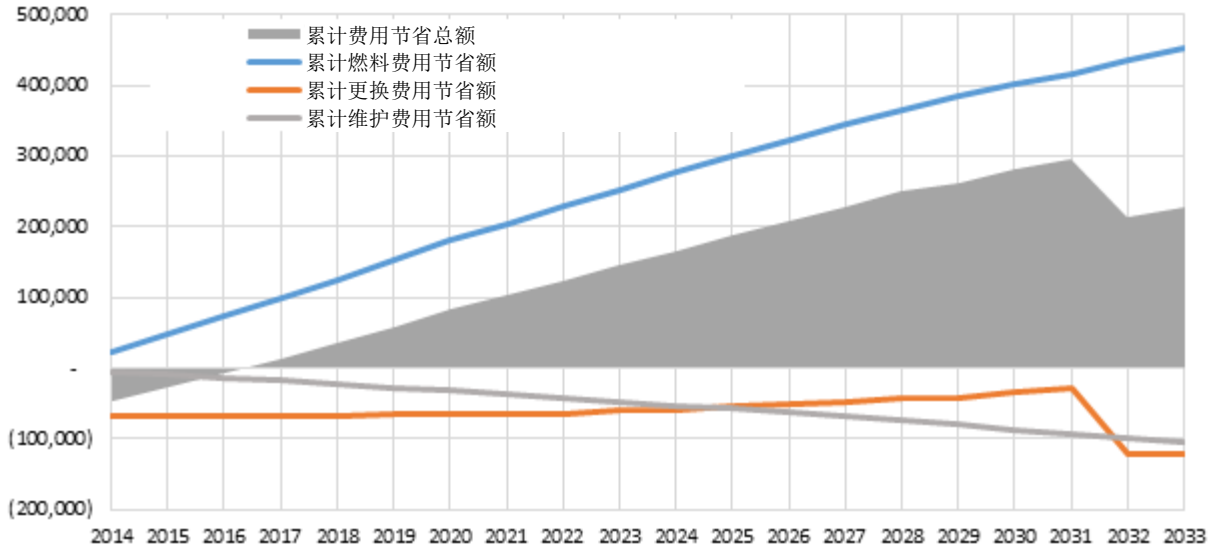


图 3.6：2014-2033 年累计费用节省总额

（资料来源：IGES 和亚洲清洁空气中心，2014 年）

尽管该项目的近期协同效益并不显著，但是随着电动汽车的普及，这些协同效益有望进一步增加。在项目筹备阶段，帕西格市希望将其作为一个试点项目，用于测试电动三轮车技术是否适合在当地推广使用。如果试点项目未出现任何重大问题，那么该市将进一步推广电动三轮车的使用。为了评估这些计划可能产生的影响，帕西格市使用 TEEMP 进行了一项情景模拟：假定电动三轮车在该市三轮车总量中的占比达到 50%。计算假设三轮车总数量保持不变。为

了在 20 年内达到 50%的占比目标，每年需要更换 205 辆三轮车，未来 20 年的年增长率为 16%。下图显示了根据这些预测需要更换的三轮车数量。

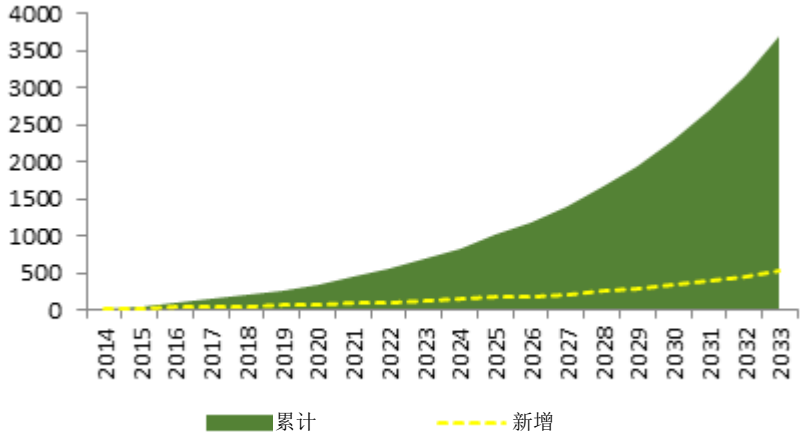


*图*3.7：每年更换的电动三轮车数量

（资料来源：IGES 和亚洲清洁空气中心，2014 年）

如果成功实现上述目标，每年平均可实现 1,426 t 的 CO_2 减排量。

表 3.6：年排放量（tCO_2）– 推广情景（IGES 和 CAA，2014 年）

	年均	每辆车年均
参考情景	1890.17	1.67
项目情景	463.95	0.41
减排量	1426.22	1.25

下图显示了项目情景和参考情景下的年排放量（tCO2）。

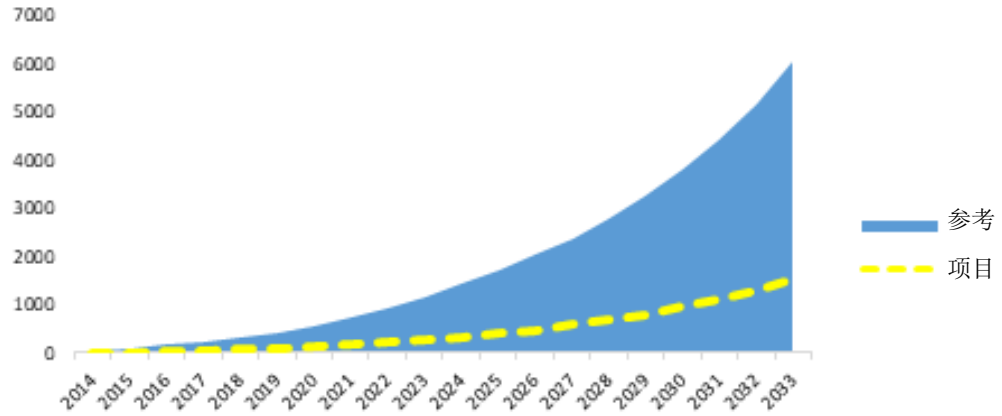


图 3.8：年排放量（tCO2）（推广情景）

（资料来源：IGES 和亚洲清洁空气中心，2014 年）

相同的推广预测也可以节省大量的费用和燃料。在该案例中，TEEMP 显示，每年可以节省约 83.4 万升汽油（20 年平均值），相当于 20 年每年平均节省 520 万美元。这项分析表明，考虑到更换、维护和燃料费用，只有在八年后（即到 2022 年）才会出现正费用节省额。这是因为更换费用非常高，需要几年时间才能通过节省燃料来抵消这些费用。

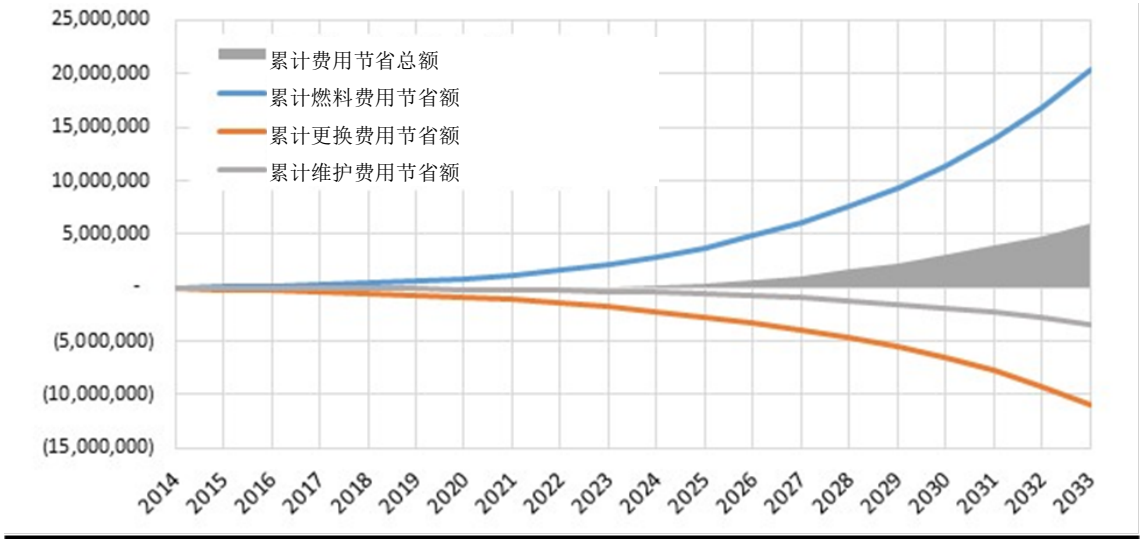


图 3.9：累计费用节省额（美元）– 推广情景

（资料来源：IGES 和亚洲清洁空气中心，2014 年）

这里一个明显的问题（也与第 4 章的讨论有关）是即最终该项目的计划是否得到了大规模落实。在建模年份，帕西格市主导发起了两个电动三轮车相关的项目。2015 年，帕西格市在

“Easy Pondong Pangnegosyo”（支持生计的可负担资金）计划下，部署了 200 辆电动三轮车。2017 年 12 月，该市市长在一些社区和政府机构部署了 33 辆电动三轮车，以兑现该市消除空气污染和促进可持续交通的承诺（CAA，2020c）。目前尚不清楚这些后续行动是否以及在何种程度上与 TEEMP 建模结果相吻合。此外，目前也没有计划实施情况相关的监测信息，而这些信息可用于验证原始干预措施的预估效益。

与许多案例的协同效益分析一样，TEEMP 等工具的结果取决于参考情景和项目情景的准确性。尽管已经尽力开发符合实际的情景，但是在建模环境下，很难预料一些意外情况（例如，市长决定购买车辆）。此外，由于计算是在项目实施之前进行，因此需要一个监测计划来评估实际排放量的计算。考虑到监测计划的成功很大程度上取决于三轮车运营商的准确记录，为此可能需要提供激励措施，鼓励运营商追踪进展情况。

3.4 案例研究 3：使用排放量化工具（EQT）测量城市生活垃圾排放量（改编自 CCAC 和 IGES，2014 年）

亚洲许多快速发展城市的生活垃圾出现快速增长，成为加剧空气污染与气候变化的一个重要因素。气候与清洁空气联盟（CCAC）在缅甸内比都、泰国暖武里府、印度尼西亚占碑和柬埔寨磅清扬开展了一个项目。以下案例研究将讨论如何使用排放量化工具（EQT）评估该项目产生的垃圾相关排放量。全球环境战略研究所（IGES）与德国能源与环境研究所（IFEU）为该项目及其他类似项目联合开发了 EQT 工具。

EQT 工具非常人性化，允许决策者计算废弃物处理不同阶段的短寿命气候污染物和温室气体排放量：从废弃物产生到收集和运输再到回收处理和最终处置（见图 3.10）（Premakumara 等人，2018 年；Nirmala 和 Premakumara，2018 年）。与此同时，决策者还可用 EQT 工具来比较基准情景和不同政策情景下的政策影响（tCO2e），并追踪排放量随时间的变化。除此之外，EQT 工具可以帮助快速发展的城市克服常见的垃圾管理挑战（预算、人员和设备限制），并通过评估潜在干预措施的影响帮助城市改善规划。

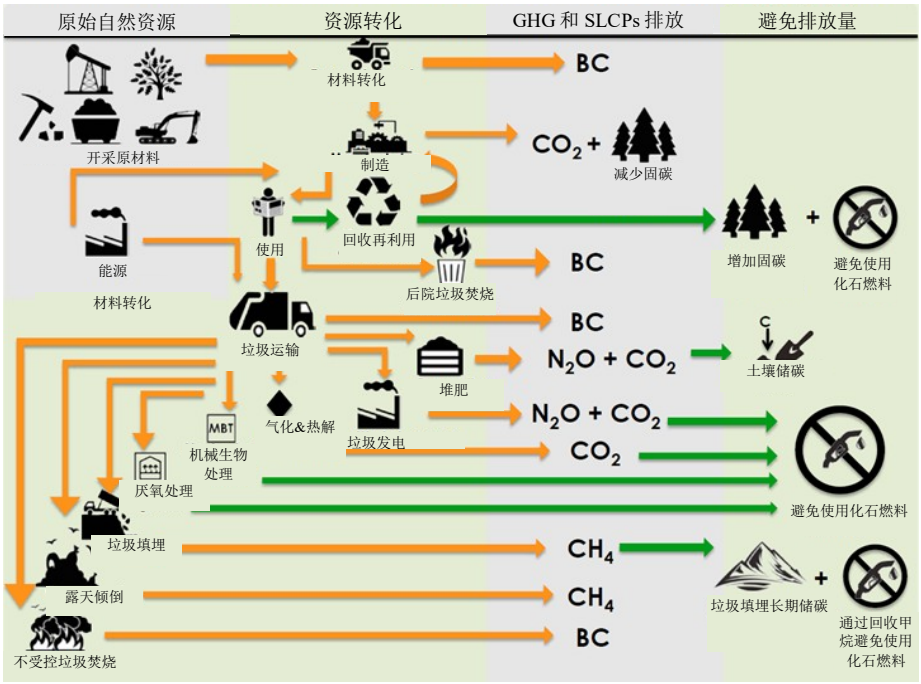


图 3.10：废弃物处理全生命周期的温室气体和短寿命气候污染物排放

表 3.7 提供了四个城市的人均垃圾产生率。如表 3.7 所示，四个城市的日人均垃圾产生量在 0.32 至 1.77 千克之间。其中，泰国暖武里府产生的日人均垃圾量最高（1.77 千克），仍远低于发达国家。

表 3.7：四个案例研究城市的人均垃圾产生量

描述	**内比都**	**暖武里府**	**占碑**	**磅清扬**
国家	缅甸	泰国	印度尼西亚	柬埔寨
人均 GDP（美元），2017 年	1.256	6.595	3.846	1.384
日人均垃圾产生量（kg）	0.52	1.77	0.53	0.32

如图 3.11 所示，有机垃圾（厨余和花园垃圾）是四个城市的最大垃圾来源，占垃圾总量的 40-80%以上。包括可回收材料（塑料、纸张、金属和玻璃）在内的残余垃圾，约占垃圾总量的 10-25%。

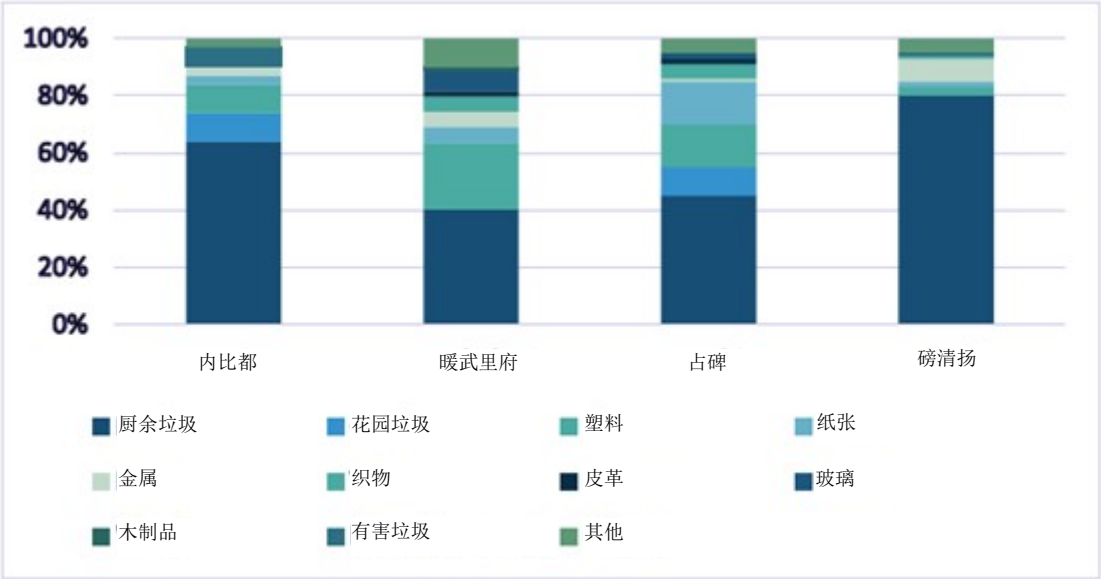


图 3.11：四个案例研究城市的垃圾组成

四个案例研究城市的垃圾收集率各不相同，其中磅清扬的垃圾收集率最低（24%）。四个城市最常用的垃圾收集方法是，使用机动垃圾车、小型货车或手推车，在路边或指定收集点挨家挨户或统一收集垃圾。内比都、占碑和磅清扬的非正式部门，是重要的垃圾收集服务提供商。除暖武里府（有卫生垃圾填埋场）外，露天倾倒是最常见的垃圾处置方法；内比都、占碑和磅清扬至少有 90%的垃圾被倾倒至露天处置场，而没有采取适当的环保措施，如渗滤液处理、气体处理或其他必要的安全控制措施。

EQT 工具帮助研究团队得出了一系列重要发现，为四个城市的规划提供了依据。首先，垃圾最终处置活动导致了最高的 CH_4 和 CO_2 排放量（由露天倾倒场的垃圾分解产生）。其次，生活垃圾露天焚烧（用于清除城市中 30-50%的未收集垃圾）是重要的黑碳排放源。第三，垃圾收集、运输和其他运营活动的化石燃料燃烧导致了大量的 CO_2、NO_x、黑碳以及 $PM_{2.5}$ 排放。第四，堆肥可为减少垃圾处置场的有机垃圾和环境污染提供可行的方法。最后，如果能够实现资源回收和循环经济模式，垃圾回收利用可为四个城市带来最大的温室气体和短寿命气候污染物减排潜力。

根据以上研究发现以及通过一系列培训活动，这四个城市制定了减少温室气体和短寿命气候污染物排放的若干策略和行动。其中包括通过分类收集、加工和处理方法（如堆肥和厌氧生物处理），转移填埋场和露天处置场的有机垃圾；重点促进卫生填埋场产生的甲烷捕获、回收和/或利用；禁止垃圾焚烧；通过促进社区和非正规部门的参与，提高垃圾收集服务的效率，优化垃圾收集路线，以及使用清洁车辆。图 3.12 比较了四个城市当前垃圾管理活动与上述行动情景下的气候影响减缓潜力。如该图所示，拟议行动可以实现大幅减排。

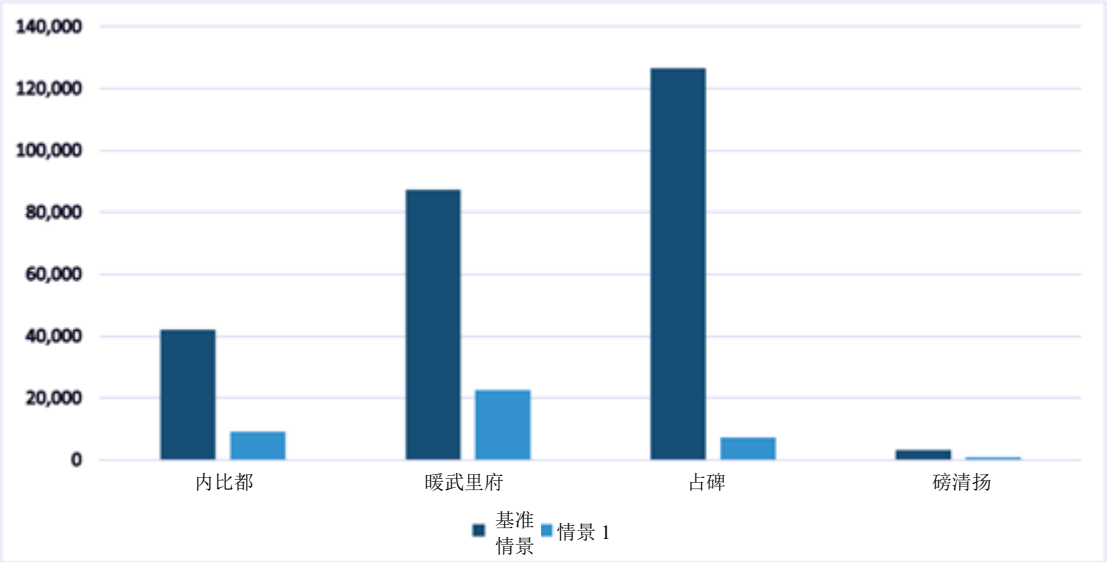


图 3.12：基准情景和拟议情景下的气候影响（tCO2e）比较分析

3.5 案例研究 4：泰国曼谷的健康影响研究

泰国首都曼谷是全球特大城市之一，它的发展伴随着诸多环境挑战。在这些环境挑战中，代价最高的就是空气污染。根据泰国国家统计局（2010 年）发布的一份综合报告，泰国污染防治部门认为，空气污染已经达到了严重影响公众健康的水平——$PM_{2.5}$ 浓度正以惊人的速度增长。近年来，随着非意外死亡率的增加和严重污染的出现，人们越来越关注 $PM_{2.5}$ 以及 NOx、SO_2、O_3 和 PM_{10} 的有害影响。

2020 年，Fold、Allison、Wood、Thao、Bonnet、Garivait、Kamens 和 Pengan 开展了一项“泰国曼谷环境 $PM_{2.5}$ 污染导致的年死亡率评估”。该项目根据 2012-2018 年可用的空气质量监测数据，分析了曼谷 $PM_{2.5}$ 污染导致的年死亡率。研究的目的是：1）通过现有 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 插值生成缺失的 $PM_{2.5}$ 数据；2）确定 $PM_{2.5}$ 与气象参数之间的联系；3）确定全因、心肺和肺癌死亡的相对风险及相应的浓度-反应系数；4）使用 BenMAP-CE 工具估算 $PM_{2.5}$ 污染导致的年死亡率。

图 3.13 描绘了研究流程 。

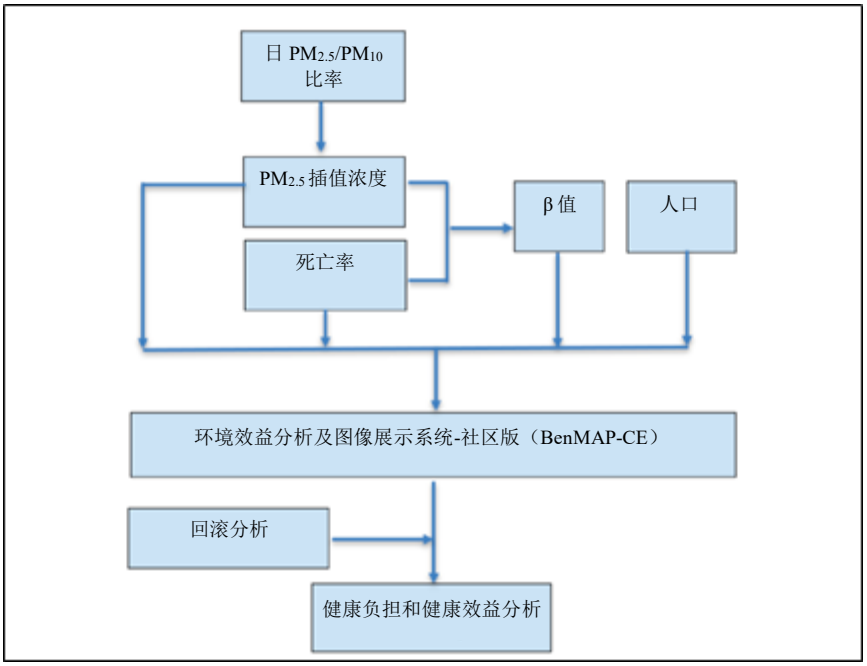


图 3.13：研究流程

为了确定环境 $PM_{2.5}$ 浓度导致的死亡率，研究使用了 BenMAP-CE 工具。这是一个基于地理信息系统（GIS）的工具，可用于估算由于空气污染水平变化而对健康产生的影响，以及相应的经济价值。BenMAP-CE 工具利用健康影响功能，结合空气质量监测数据、人口数据、基线发病率和影响评估，计算出健康影响（以由于空气污染水平变化导致的死亡率变化表示）。这可使用以下方程式计算得出：

方程式 1：浓度-反应（C-R）系数

$$\beta = \frac{ln(RR)}{\Delta PM2.5}$$

方程式 2：死亡率变化

$$\Delta Y = Y_0 \left(1 - e^{-\beta \Delta PM_{2.5}}\right) * pop$$

在第一个方程式中，相对风险（RR）指的是，$PM_{2.5}$ 暴露组的死亡率与非暴露组的死亡率的比率。 C-R 代表浓度-反应系数，用于衡量 $PM_{2.5}$ 暴露（$\Delta PM_{2.5}$）发生类似变化的相对风险强度。$PM_{2.5}$ 暴露变化可用于预测死亡率相对于特定目标或标准设定的环境值的降低程度。然后，第二个方程式使用了 C-R 系数来计算随 $PM_{2.5}$ 暴露或浓度变化的死亡率变化。

研究结果涉及：1）$PM_{2.5}$ 插值数据，2）$PM_{2.5}$ 与气象条件之间的相关性，3）健康效益分析，4）分析的不确定性。本案例研究仅关注健康效益分析结果。

图 3.14 显示了 2012-2018 年的原始 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 数据，以及与世卫组织空气质量准则值和泰国年度标准值相比的插值浓度。

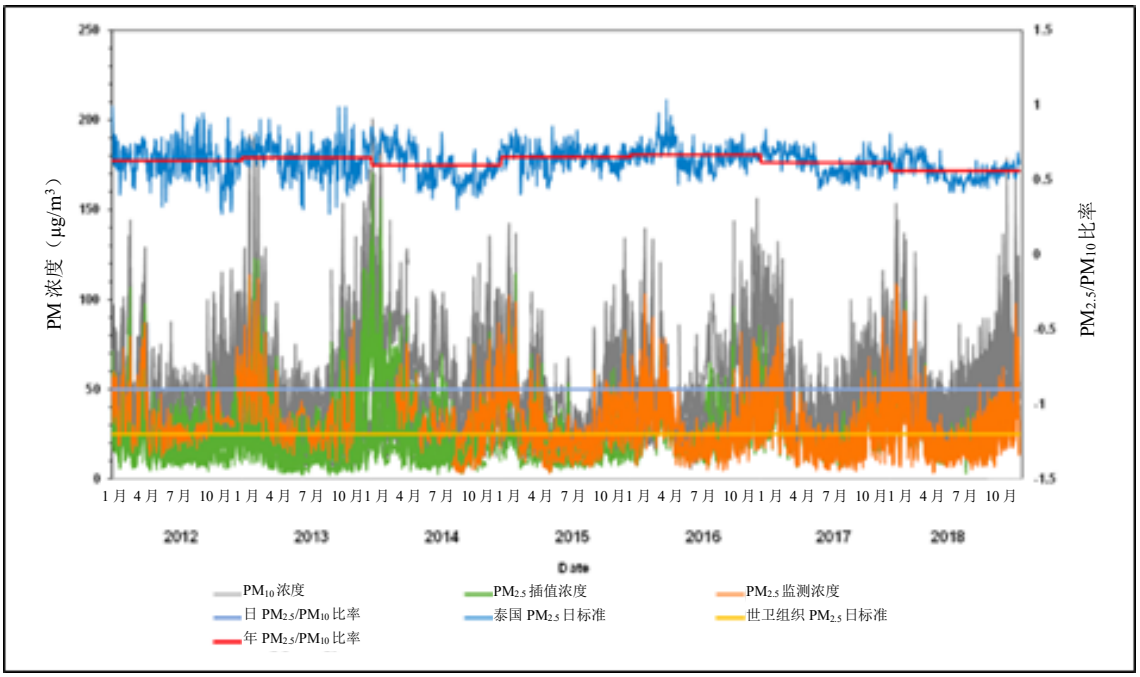


图 3.14：2012-2018 年日均 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度及 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比率

表 3.8 显示了使用研究计算值估算的曼谷人为 $PM_{2.5}$ 浓度（超过 2.15 μg/m$_3$ 的背景浓度）造成的健康负担。健康负担包括 4,240 例非意外死亡，1317 例心肺死亡和 370 例肺癌死亡。

表 3.8：遵守泰国国家环境空气质量标准（NAAQS）和世卫组织（WHO）准则的情况下，2016 年的健康负担和避免死亡人数

健康终点	*健康负担*	*泰国标准*	*世卫组织准则*
	死亡人数	*避免死亡人数*	*避免死亡人数*
非意外死亡	*4240（1219-6938）*	*1393（593-2691）*	*3159（893-5248）*
心肺死亡	*1317（1065-1551）*	*360（284-434）*	*959（769-1140）*
肺癌死亡	*370（175-530）*	*102（45-156）*	*270（125-397）*
**针对 30-99 岁年龄组*			

该表还显示了达到泰国年度标准（25 μg/m^3）和世卫组织年度标准（10 μg/m^3）将避免的死亡人数。这些数值表明，与达到泰国年度标准相比，遵守更严格的世卫组织年度标准，预估

可使得过早死亡率降低三倍。达到泰国 $PM_{2.5}$ 年度标准，将使得过早死亡率降低 25%，而遵守世卫组织年度准则值，预计将使得年过早死亡率降低 71%。

这是对曼谷年死亡率和 $PM_{2.5}$ 暴露进行的首次健康影响研究。结果表明，$PM_{2.5}$ 浓度从现有水平提高到达到泰国年度标准和世卫组织准则值，将带来显著的健康效益。减少的过早死亡人数可以用来量化空气质量政策的经济效益。此外，该研究建议开展进一步的研究，使用曼谷特定值进一步分析浓度-剂量反应，并评估气象对 $PM_{2.5}$ 分析的影响。

四、加强政策和制度建设

前面几节概述了核心概念，并介绍了可帮助政策制定者确定能够带来协同效益的解决方案的决策工具。对于许多城市而言，只理解这些关键概念和使用这些决策工具并不足以实现协同效益；还需要进行必要的政策和制度变革，以便在统筹空气污染与气候变化规划时协调政府机构和其他利益相关者的利益。

多种原因导致必须协调不同利益相关者的利益。首先，不同时考虑空气污染与气候变化问题，可能会导致政策仅关注空气质量而忽略气候问题（反之亦然）。这可能对环境造成不利影响，同时导致资源的不当分配并增加实施成本。其中一种可能的情况是，相关政策和制度可能无法为小规模运输、垃圾或能源解决方案的推广应用提供必要的资金、技术、能力建设和其他形式的支持。而缺乏这些支持意味着，很难实现显著的温室气体和短寿命气候污染物减排效益（通常使用评估模型和决策工具进行估算）（UNEP，2019 年）。

实现显著减排效益所需的政策和制度改革讨论，对于政策制定者来说可能过于概念化和抽象化。为了充实这一讨论，本节将引用亚洲内外的实例。案例研究将采用以下标准格式——从基本背景到主要障碍再到成功因素——展示地方政府为整合空气污染与气候变化议程而采取的不同方法。这些案例分别来自加州、纽约、首尔、东京和北京。

目标

在本节结束后，学员将能够：

- 讨论地方政府为协调空气污染与气候变化议程而进行的政策和制度改革；
- 确定可支持本市协调空气污染与气候变化议程的政策和制度改革。

4.1 加州的制度和规划过程

虽然严格来说加州是美国的一个州而并不是城市，但它可以说是地方政府协调气候变化与空气污染议程的最具启发性的实例。加州极易受到气候变化的影响，也正因为此，它可为其他地方政府提供许多可供借鉴的经验教训。近年来，加州频繁受到干旱、森林火灾、热浪、积雪减少和其他极端天气事件的影响，州政策制定者深受其扰。这些影响给加州公民健康和经济带来了沉重负担。

近年来频发的森林火灾事件，是加州受到气候变化影响的最广为人知的示例之一。春夏季温度升高，积雪减少，春季融雪提前，导致形成持续时间更长、更严重的旱季，增加了植被的水分压力，并使得森林更容易发生严重的火灾。加州林业和消防局（CAL FIRE）报告说，森

林火灾烧毁面积从 2010 年的 25,438 英亩迅速增长到 2018 年的 822,794 英亩，尽管 2019 年出现大幅下降（图 4.1）。2020 年，加州共发生了 9,639 次森林火灾事件，烧毁了 4,177,856 英亩的森林，造成 31 人死亡，并摧毁了 10,4888 栋建筑物（图 4.2）。此外，频发的森林火灾释放出大量的空气污染物，造成严重的烟雾，威胁加州的公众健康。

图 4.1： 加州 2010-2019 年野火烧毁面积（英亩）

（资料来源：CAL FIRE）

图 4.2：加州 2020 年野火事件汇总，包括 CAL FIRE 和其他合作伙伴机构管理的数据

（资料来源：CAL FIRE）

长期以来，加州一直致力于控制空气污染。由于洛杉矶等大城市交通相关的排放量居高不下，加州的城市空气质量时常超过国家标准。考虑到这种频繁超标情况及其对健康和基础设施的影响，加州制定了比国家标准更为严格的州级排放标准。

频繁遭受气候变化的影响，以及长期的空气污染防治经验，是加州探索协调解决气候变化与空气污染问题的主要原因。也因为此，加州制定的排放源控制政策，有利于同时解决气候变化与空气污染这两个问题。为此，加州还进行了相关政策和制度改革，以考虑空气污染与气候

变化的社会影响（CARB，2017a）。

领导空气污染与气候变化的机构是加州空气资源委员会（California Air Resources Board, CARB）。CARB 创建于 1967 年 8 月，目的是通过“全州统一的方法”解决空气污染问题。2006 年，《第 32 号议会法案》（AB 32 或《2006 年全球变暖解决方案法案》）制定 CARB 负责加州的温室气体减排工作。如图 4.3 所示，为了履行这一职责，CARB 组建了气候行动小组，该小组由 18 个相关机构组成，致力于温室气体减排。除此之外，加州还决定创建环境公平顾问委员会，与社区和公民社会携手解决 AB 32 相关的社会正义问题。另外，AB32 还决定成立经济技术和进步顾问委员会，分析 AB 32 设计和实施情况，并提出相关建议（CARB，2018 年）。

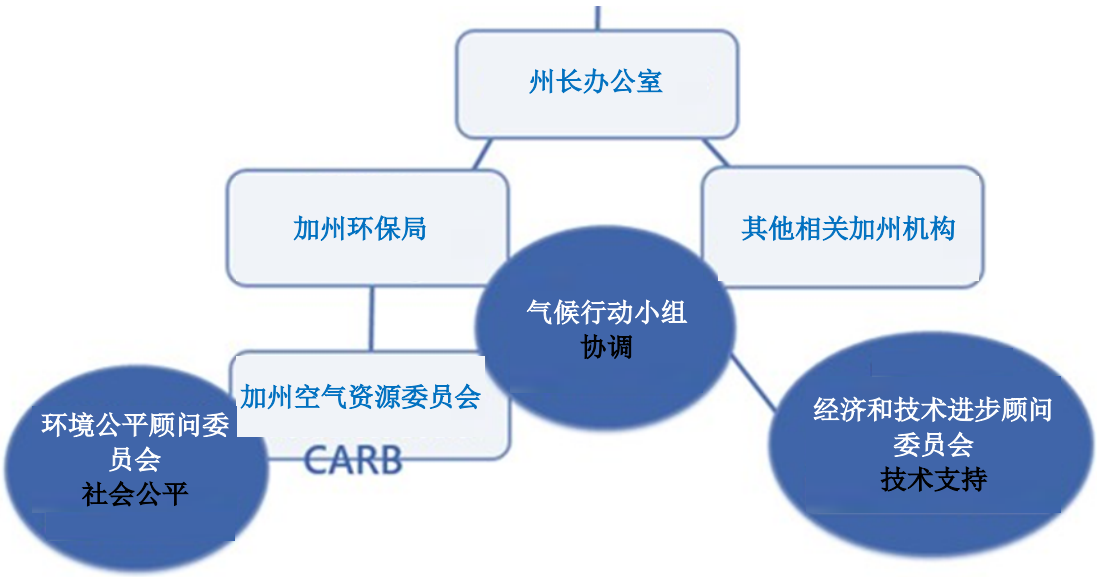


图 4.3：加州空气质量与气候变化管理的制度安排

（资料来源：IGES）

上述制度结构有助于加强空气污染与气候问题的协调应对，决策过程的设计也将促进这一协调过程。该过程以长期减缓目标以及更灵活的范围界定计划为指导，后者设定了近期不同部门的具体目标。在 AB 32 减排目标生效前几年，通过了范围界定计划。这一期间征询了公众意见，同时为企业实现必要减排量提供了足够的准备时间。在强制执行这些法律限制之前，一些企业已经提早采取了行动，通过改变技术或生产过程来抢占相关市场的先发优势。

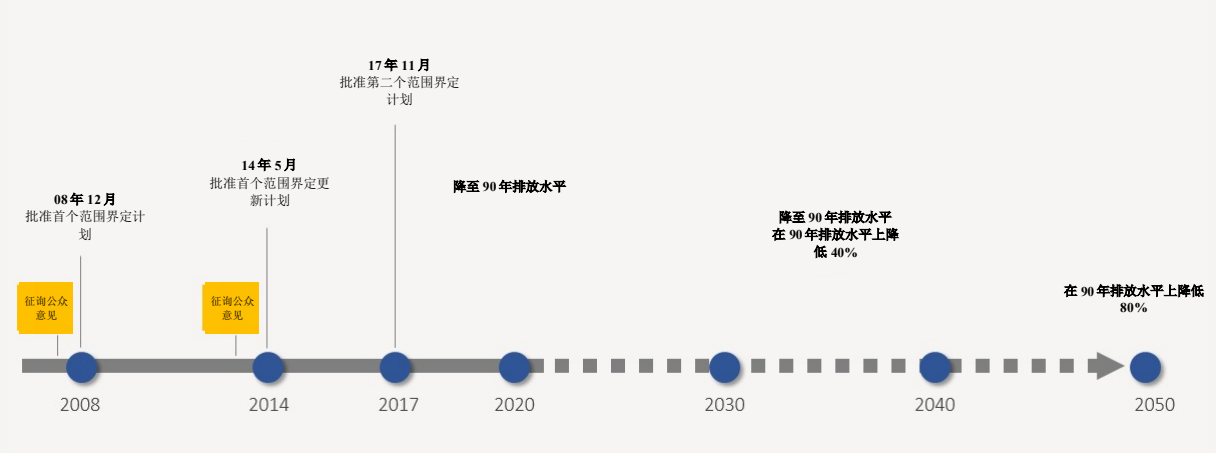


图 4.4：AB32 气候变化范围界定计划

前面讨论的结构和过程，为制定其他更具针对性的战略和行动奠定了坚实的基础。例如，CARB 与相关机构合作制定了针对特定行业的“森林碳计划”和“可持续货运行动计划”。作为与这些材料特别相关的一个举措，CARB 进一步制定了第一个地方“短寿命气候污染物战略”，该战略将纳入 AB 32 第二个范围界定计划。AB 32 第二个范围界定计划，又称为《2017 年气候变化范围界定计划》，概述了实现其温室气体减排目标的综合方法。

这项新战略代表一个重要的里程碑，因为它标志着 CARB 首次与伙伴机构寻求实现协同效益，避免空气质量、气候变化及其他发展优先事项之间的取舍。为了确保现有政策和战略与《2017 年气候变化范围界定计划》之间的一致性，CARB 还做了类似努力。这有助于避免范围界定计划与（可能会导致短寿命气候污染物或 GHGs 排放增加）州产业政策之间的目标对立（CARB，2017a）。

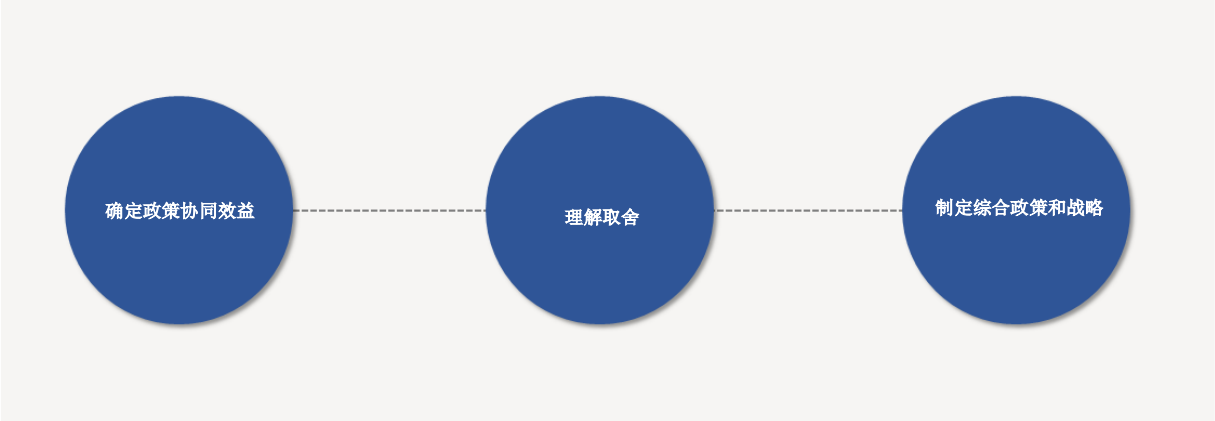


图 4.5：综合政策和战略制定流程

AB 32 在实际实施过程中遇到了平衡气候变化减缓与环境正义问题的巨大挑战。尽管已努力促进公众参与，但一些社区，特别是弱势群体，仍然认为实际实施过程鲜少考虑了他们的意见。2017 年，加州出台了《第 617 号议会法案》（AB 617），为公众参与制定综合社区政策提供前所未有的支持。AB 617 提出建立新的监管机构，并提供资金，支持扩展当地的空气质量监测系统，以更好地发现和监测当地的空气污染热点（Fowlie 等人，2020 年）。

另一项支持加州温室气体减排和可持续发展的法案是《第 375 号参议院法案》（SB 375）——《可持续社区和气候保护法案》。SB375 要求加州的地区城市规划组织制定《可持续社区战略》（SCS），以实现其气候和空气质量目标。该战略认为，统筹温室气体与空气污染物减排的核心方法是控制车辆行驶里程（VMT）。

SB 375 的实施主要涉及以下活动：

- 关注现有城市化地区的住房和就业增长情况；
- 利用填充式开发机会保护自然资源和农田；
- 投资扩大公交网络和服务频率；
- 投资骑行和步行基础设施；
- 投资交通需求管理，例如，拼车、汽车共享和停车供应管理；
- 在就业中心附近规划密度和可负担能力多样化的住宅项目。

加州政府为地方政府实施 SCS 项目提供多项激励措施。首先，地方政府本身深刻体会到社会意识的改变，公众强烈呼吁重视气候变化和可持续发展问题。其次，加州州政府还提供经济激励措施，将 SCS 行动与融资机会相关联。例如，实施 SCS 项目的地方政府可优先申请区域交通项目经费和加州气候投资项目经费。

加州作为启发性示例的另一个原因是，加州还与城市合作实现空气质量和气候目标。例如，加州湾区（包括旧金山和奥克兰）空气质量管理区发布了《湾区 2017 年清洁空气计划：爱惜空气•凉爽气候》。该计划旨在通过改善空气质量和减缓气候变化，保护公众健康。湾区提出了一个 2050 年建筑、交通、生产和消费长期愿景；然后还决定制定一项多污染物减排战略，通过减少臭氧、$PM_{2.5}$、其他有毒污染物和温室气体来帮助实现这些愿景（图 4.6）（湾区空气质量管理区，2017 年）。

目标	湾区 2050 年目标	
	保护公众健康 根据《加州卫生与安全规范》中定义的空气质量规划要求，尤其是臭氧规定	**保护气候** 到 2030 年和 2050 年，分别在 1990 年基础上实现 40%和 80%的温室气体减排

愿景	海湾地区 2050 年愿景			
	建筑 *我们的生活和工作场所*	**交通** *我们的出行方式和目的地*	**可持续生产** *我们的生产方式*	**理性消费** *我们的消费方式*

多污染物	2017 年治理战略			
	臭氧	**颗粒物**	**有毒空气污染物**	**温室气体，如短寿命气候污染物**

图 4.6：海湾地区多污染物减排战略

（资料来源：海湾地区空气质量管理区，2017 年）

多个要素决定了加州可以成功协同治理气候变化与空气污染问题。其中一个因素是，加州领导层做出的坚定承诺。阿诺德·施瓦辛格（Arnold Schwarzenegger）任州长期间推动了 AB 32 和配套的制度改革。更重要的是，即使在州长及领导人发生变更后，加州政府仍然坚定落实这项承诺。最高级别的政治承诺使得 AB 32 免遭各种气候变化阻力（美国国家一级就遭遇了这种阻力）。与此同时，联邦政府施加的气候变化阻力并没有帮到加州，这也是加州可为美国境外其他城市提供范例的原因。

4.2 纽约——城市长期可持续发展战略

近年来，纽约已成为美国越来越多追求可持续发展的城市之一。其中一个相关示例是，纽约发布了《一个纽约 2050：建立一个强大且公平的城市 》总体规划（以下简称为《纽约 2050》总规）。《纽约 2050》总规是一项 2019 年发布的计划，旨在指导纽约未来 30 年的发展方向。作为一项前瞻性的发展战略，《纽约 2050》总规不仅提出了理想的长期未来愿景，而且提出了实现这些愿望的八个目标和 30 项举措。

与本课程相关的是，该战略同时强调了空气污染与气候变化问题，提出了到 2050 年将 PM2.5 环境浓度降低到 7.85μg/m3，以及温室气体零排放的目标。《纽约 2050》总规还提出了一些具体活动来帮助实现其空气污染和气候变化目标，这些活动涉及健康生活、宜居气候和高效出行等其他目标。

图 4.7：《纽约 2050》总规（2019 年发布）同时强调了空气污染与气候变化问题

图 4.8 活动相关的定量和定性目标表明，空气污染与气候变化往往具有相似的来源和解决方案。例如，城市行动计划中有关空气污染和气候的目标就反映了这一点，其中交通/出行和能源被认为是造成这两个问题的原因。同时，宜居气候目标和高效出行目标旨在通过能源和交通相关活动实现气候和空气质量效益。《纽约 2050》总规的另一个突出特征是，提出的健康生活活动代表了另一种统筹形式；这些活动明确致力于解决空气与气候相关健康影响之间的相互作用。

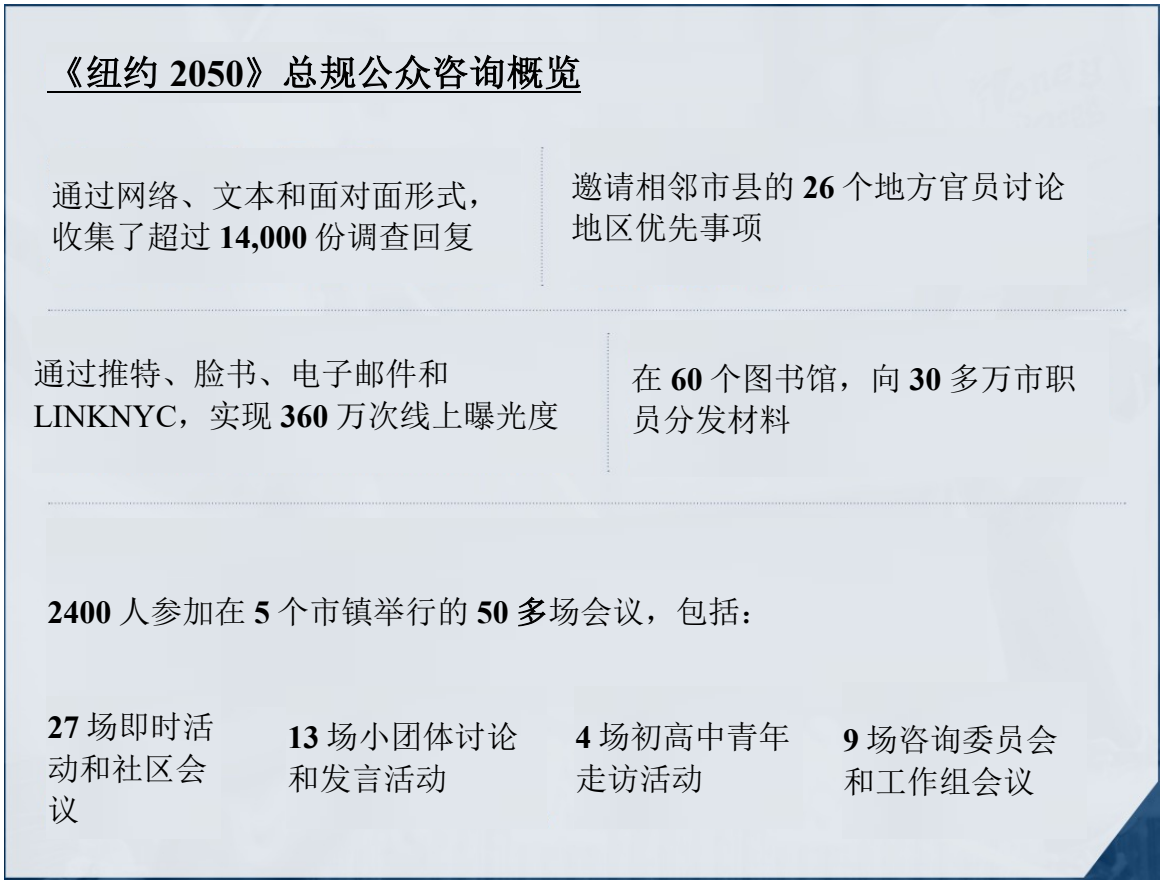


图 4.8：《纽约 2050》总规（2019 年发布）公众咨询概览

除了《纽约 2050》总规公众咨询之外，还有几个因素促成了战略制定过程。纽约尤其强调采取参与式、包容性的城市规划方法，通过各种不同的渠道和媒介，征询不同利益相关方团体的意见。纽约还进一步以数字形式传播参与程度和类型。与加州相比，纽约更强调包容性和沟通。这不仅有助于加强清洁空气、气候变化与健康之间的联系，而且还有助于加强与其他（可能更现实）生计问题之间的联系。

尽管《纽约 2050》总规的经验大体上是积极的，但它也遇到了一些挑战。其中一个主要障碍是，无法获得足够的资源来实施计划。独立预算办公室指出，自 80 年代开始，纽约从联邦政府获得的财政支持一直呈下降趋势。这意味着纽约很大程度上依赖于地方税收和收入来实施城市一级的活动。在从新冠疫情中恢复过来后，纽约是否还有足够的资源来推进相关计划仍有待观望。

4.3 首尔——认识到协同效益

从减少常规污染物和温室气体排放的多项行动开始，协同效益已成为韩国首尔市的一个新优先事项。首尔市最初的行动并未聚焦于协同效益，因为这些行动主要侧重于解决气候变化或

空气污染问题。然而，以下将要介绍的几个项目表明，首尔市越来越认识到协同治理这两个问题可带来的效益。

有些实现协同效益的项目的首要目标是减轻空气污染。其中包括，首尔市实施燃料改良和替代，以减少移动源排放，同时设立了低排放区（Low Emission Zone, LEZ）。其他类似项目也试图通过扩大绿色空间来抑制个人机动交通。此外，首尔市还尝试替代效率低下的技术。其中最成功的一个示例是，首尔市自 2008 年开始实施低 NO_x 锅炉项目，替换了 2,800 多个传统锅炉，不仅在节省能源的同时大幅减少了 NO_x 和 CO_2 排放，还在 10 年时间内节省了超过 2,200 亿韩元的费用。

首尔市实施的其他项目主要以应对气候变化作为切入点。许多相关行动都是首尔市综合能源管理计划或“减少一座核电厂”（One Less Nuclear Power Plant, OLNPP）计划的一部分。OLNPP 计划是在福岛三重灾难发生后不久制定的，正如其名，该计划致力于节约电量达到一座核电厂产生的能量。OLNPP 一期项目为期两年（2012-2014 年），在此期间，项目设法减少了 1 GW/2000 万吨标准油的能源需求。OLNPP 二期项目（2014-2020 年）力求在一期基础上减少一倍的能源需求，并实现 20％的能源自给自足（Seoul Solution，2018 年）。这些项目的推进得益于时任首尔市长应对气候变化的承诺，该市长曾担任气候变化问题世界市长理事会（WMCCC）主席。

尽管从空气污染或气候角度来看，上述项目都取得了一定成效，但直到 2015 年 4 月举行的宜可城（ICLEI）世界大会期间，首尔市才明确表示有意统筹气候变化与空气质量规划。正如《首尔承诺：采取行动应对气候变化宣言》（以下简称为《首尔承诺》）所阐明的那样，首尔市将通过综合管理制度协同解决温室气体排放和空气污染问题（首尔市做出的 11 项承诺之一）。为了兑现这些承诺，还提出了 10 个行动领域。

将首尔市打造成为气候环境可持续城市

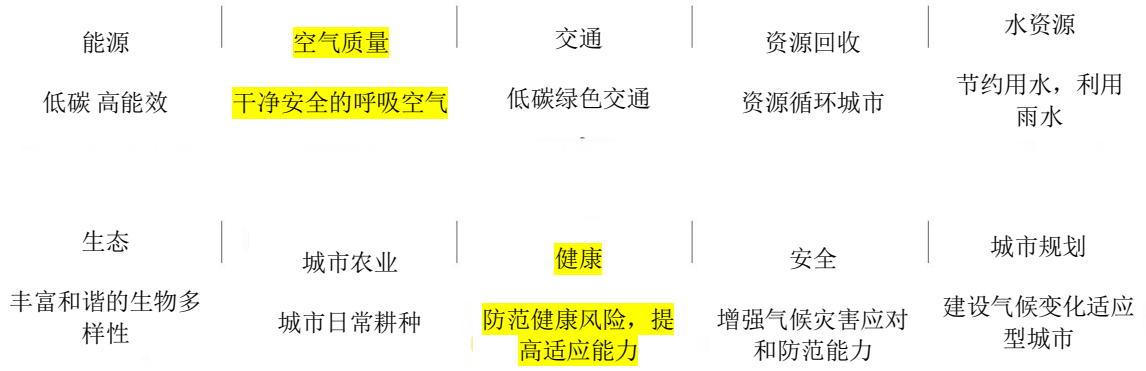


图 4.9：《首尔承诺》的任务和行动计划领域

（资料来源：Promise of Seoul，2015 年）

在强调协同效益的背景下，《空气质量行动计划》明确将移动源纳入首尔市的气候变化应对计划中。为了实现这些协同效益，首尔市在市民、企业和政府机构中推广环保驾驶文化。具体来看，与 2030 年目标相关的活动如下：

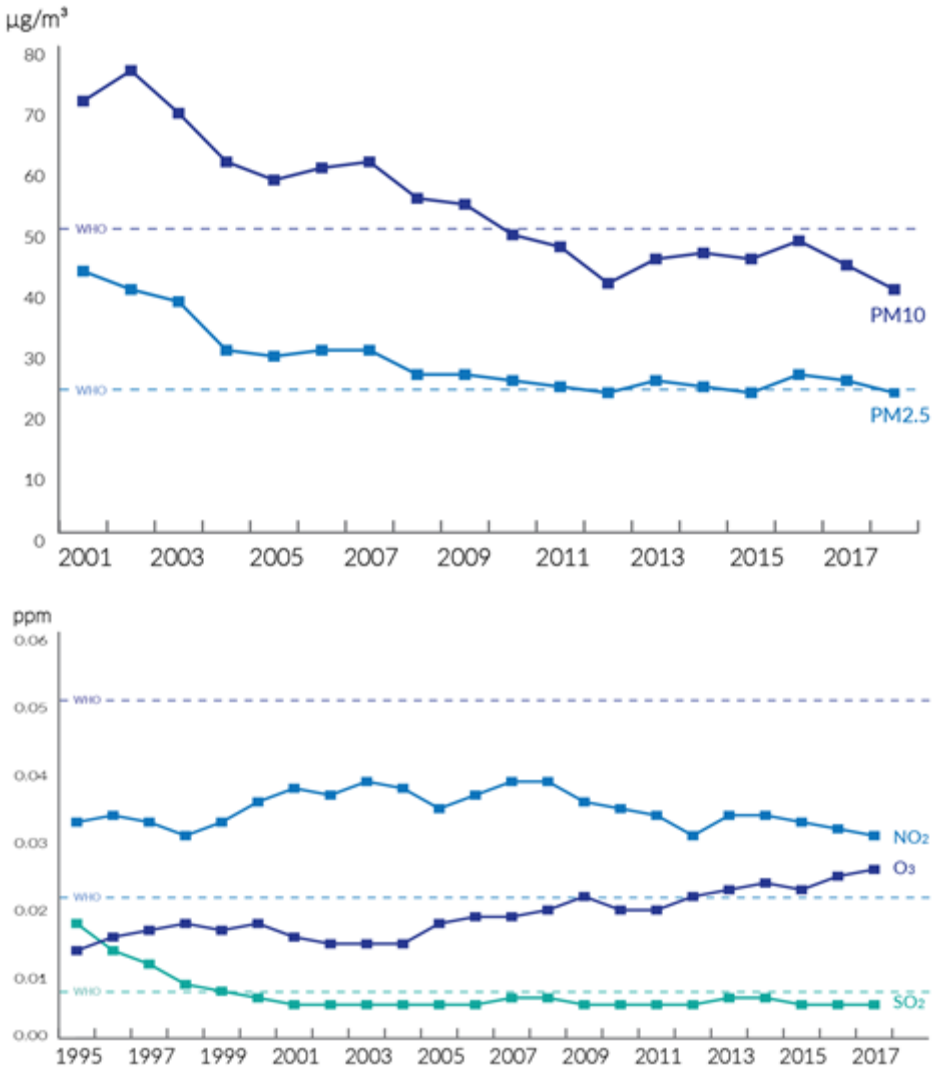
1. 倡导环保驾驶文化：10,000 人参加环保经济驾驶宣传教育活动；
2. 促进使用低碳环保的交通工具：电动汽车分销量达到 260 万辆，混合动力汽车分销量减少到 10 万辆；
3. 建立气候变化应对国内和国际合作及实施体系：设立 50 个带有监测系统的低排放区；继续举办有关改善东北亚空气质量的国际论坛，以促进区域合作；
4. 使得首尔市成为防范细颗粒物安全城市：达到世卫组织 $PM_{2.5}$ 标准，即 15 $\mu g/m^3$；对 6 万辆柴油车（特别是老旧车型）实施低排放节能改造。

《首尔承诺》着重强调要促进积极的公众参与。多年来，首尔市一直强调与市民合作的重要性，市民不应作为被动的接受者，而应成为积极的知识提供者。例如，在锅炉改造项目中，首尔市政府积极向市民宣传环保冷凝式锅炉的优缺点（冷凝式锅炉产生的 PM2.5 排放仅为传统锅炉的八分之一）。

首尔市还鼓励锅炉生产商积极推广其环保锅炉。《首尔承诺》这一高级别指导文件的第一页中明确指出“市民参与最重要”。除了尽早并频繁强调市民参与的重要性，首尔市政府还建立了市民主导的评估小组，鼓励市民提出建议和想法（SMG，2015 年）。

专栏 4.1：减轻首尔空气污染

在过去的十年中，由于本节提及的许多改革，首尔市已经成功降低或稳定了许多关键污染物的排放量。例如，首尔市的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 年均浓度保持在 2012 年的水平——分别为 40μg/m³ 和 23μg/m³。另一个令人鼓舞的迹象是，自 2001 年以来，首尔市的 SO_2 浓度一直低于世卫组织标准。另一方面，NO_2 浓度波动较大，一直高于世卫组织标准，且臭氧浓度一直保持上升趋势，尽管后者仍低于世卫组织标准。



考虑到气候变化与空气污染通常具有同根同源性，首尔市的生活、商业和交通领域还有进一步的统筹空间。这些领域是最大的能耗及常规空气污染物的来源。加强气候和空气污染问题的协同规划还需要相关机构和政策之间的协调。

4.4 东京——移动源柴油车排放治理

20 世纪 90 年代，颗粒物的移动源排放量增加，导致日本东京对呼吸系统疾病和癌症风险的关注度急剧上升。当时的研究表明，柴油车虽然仅占东京车辆总数的 20%，但却是造成大部分颗粒物（包括黑碳）排放的原因。如前所述，黑碳是一种影响短期气候变化和空气质量的短寿命气候污染物（SLCPs）。

为了遏制颗粒物移动源排放，东京都政府（TMG）于 1999 年发起了“拒绝柴油车”行动。2000 年 12 月，东京都政府还制定了《保障东京都市民健康和安全的环境保护条例》。此后不久，东京都政府引入了低硫柴油，并于 2003 年强制要求为大东京地区的货车、公交车和其他大型柴油动力车安装柴油微粒物过滤器（DPF）[2]。不符合排放标准的柴油车被禁止进入该区域，需要替换成更清洁的车辆，或者要求配备减排装置（东京都环境局，2018a）。为了促进资源有限企业实施这些法规，东京都政府还为中小型企业提供贷款或补贴来购买低排放车辆（东京都政府，2003 年）。这些政策措施使得东京的空气质量得到显著改善，颗粒物排放急剧减少（图 4.11）。东京都政府还呼吁日本其他地区以及日本中央政府采取类似的政策措施来实现颗粒物减排目标。

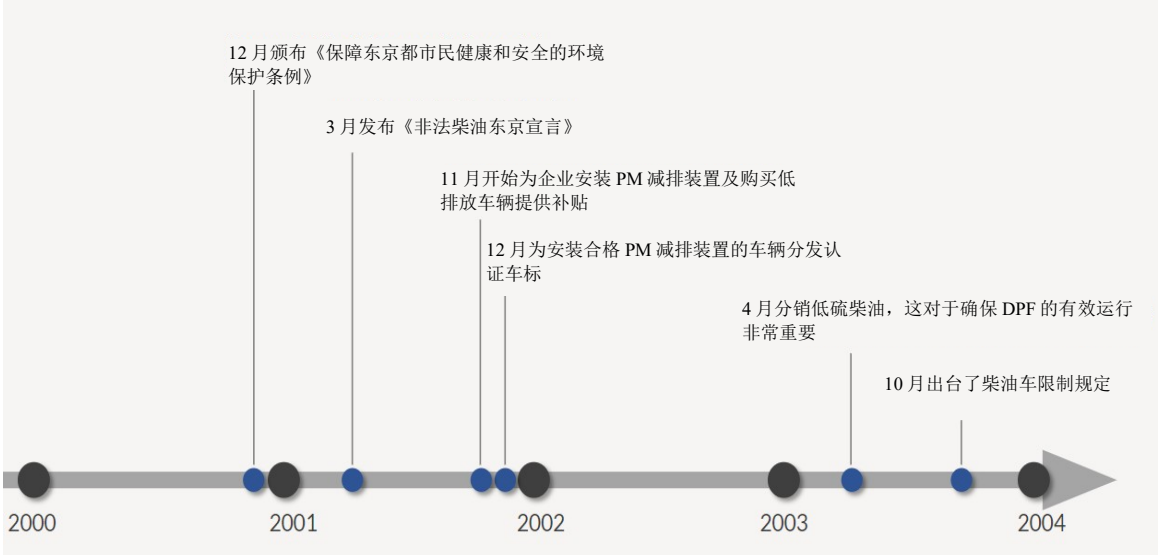


图 4.10：东京柴油车政策制定过程

[2] DPFs 需要低硫柴油才能确保有效运行。

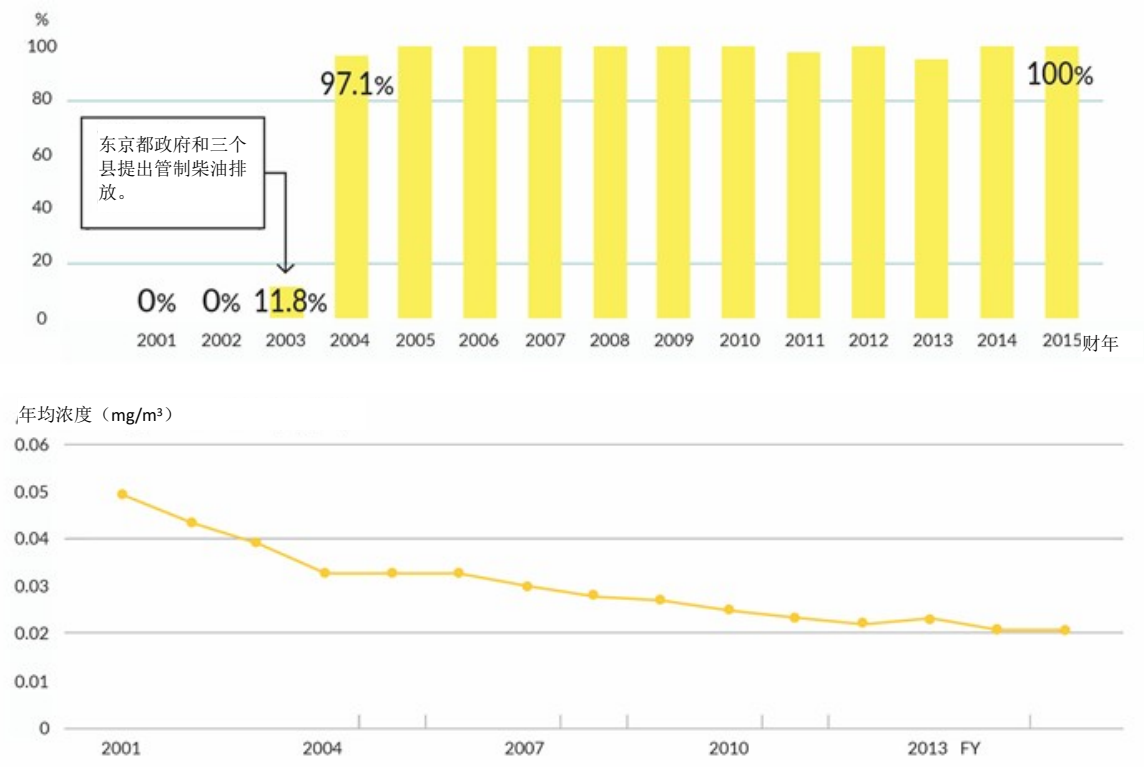


图 4.11： 2001-2015 年车辆控制环保标准和成果

在东京实施柴油管制之后的几年，市政府开始更加重视减少移动源二氧化碳和其他常规空气污染物排放。例如，2011-2015 年间，东京都政府推出了“车辆减排项目”，要求约 1,700 家企业提交减少温室气体和空气污染物排放的“车辆减排计划”。一期项目的出色成果促进了二期项目（2016-2020 年）的推进，除了购买混合动力车外，还要求 1,5000 家企业推广环保驾驶（减少燃料消耗的驾驶方法）（东京都环境局，2018a）。

有许多因素推动了东京都政府计划的成功。首先，虽然国家一级法规的缺失，但东京远见卓识的领导层，推动了城市一级的政策变革。东京地方领导人之所以启动柴油管制项目，是因为他认为有必要弥补国家一级缺失的柴油动力车标准和政策。其次，东京都政府领导开展了广泛的企业咨询和宣传活动。在 2003 年试点柴油车控制措施之前，东京市各方付出了共同努力，有 3,800 家企业（包括 2,000 家大型企业）的 20 种车型用户参与了这一过程（东京都环境局，2018b）。“车辆减排项目”也采用了类似的企业咨询和参与方法（东京都环境局，2018a）。此外，大东京地区各城市之间的区域合作也是一个成功因素。尽管东京发挥了领导作用，但它在决定进入东京的柴油车数量等方面，与周围县市政府开展了密切合作，因为柴油车能够进入东京对这些周围县市的企业具有很大影响。

当然，东京都政府在这一过程中也并非没有遭遇阻力。东京都政府面临的主要挑战包括：

确保需要配备上述 DPF 的车辆的多样性，以及难以测量车辆实际运行过程中产生的排放。另一个难题是，需要采用不同的技术来同时减少颗粒物和 NOx 排放。

4.5 北京——协同治理方法

长期以来，北京一直在与空气污染进行抗争。近年来，北京市在多种污染物减排方面取得了显著成效。例如，截至 2019 年，北京市的四种空气污染物（SO_2、NO_x、PM_{10} 和 CO）达到了国家二级排放标准。同时，$PM_{2.5}$ 和臭氧仍有改善空间；这两种污染物的浓度仍高于国家二级排放标准（BMEEB，2020a）。在加大空气污染防治力度的同时，市领导人也更多地认识到气候变化的影响，如热浪和洪水（Zhang 等人，2019 年）。预计北京将受到显著的气候变化影响，气候变暖影响将威胁北京大量的基础设施（Hu，2016 年）。

北京和中国的其他城市一直致力于协同空气污染与气候议程。这些努力是更大的协同治理方法的一部分，中国已对这种方法（各种形式）进行了十多年的讨论。在过去的两年中，北京市越来越关注如何根据自身需求来协同治理空气污染和气候问题。

近期引起这种关注的其中一个原因是，中国城市认识到，中央政府大力支持的清洁能源政策可帮助实现空气质量目标。在某种程度上，这种认识可以追溯到中国的“十一五”规划，当时政策制定者认识到，实现能源强度目标的行动也有助于实现二氧化硫减排目标。近年来，认识到能源和其他政策帮助改善空气质量的潜力，中国政府协调各方推广清洁能源，以及促进有助于减少某些污染物排放的结构性改革。例如，“十三五”规划的一个核心子规划是《能源生产和消费革命战略（2016-2030 年）》，其中既包含了二氧化碳减排目标，又包含了 $PM_{2.5}$ 减排目标。在这些目标基础上，北京市制定了路线图，将京津冀及其周边地区的 $PM_{2.5}$ 浓度降至 35 $\mu g/m^3$（UNEP，2019 年）。为了帮助实现这些目标，北京市评估了七类 32 项政策措施的减排潜力，并加大力度减少燃煤锅炉、民用燃料和移动源排放（UNEP，2019 年）。

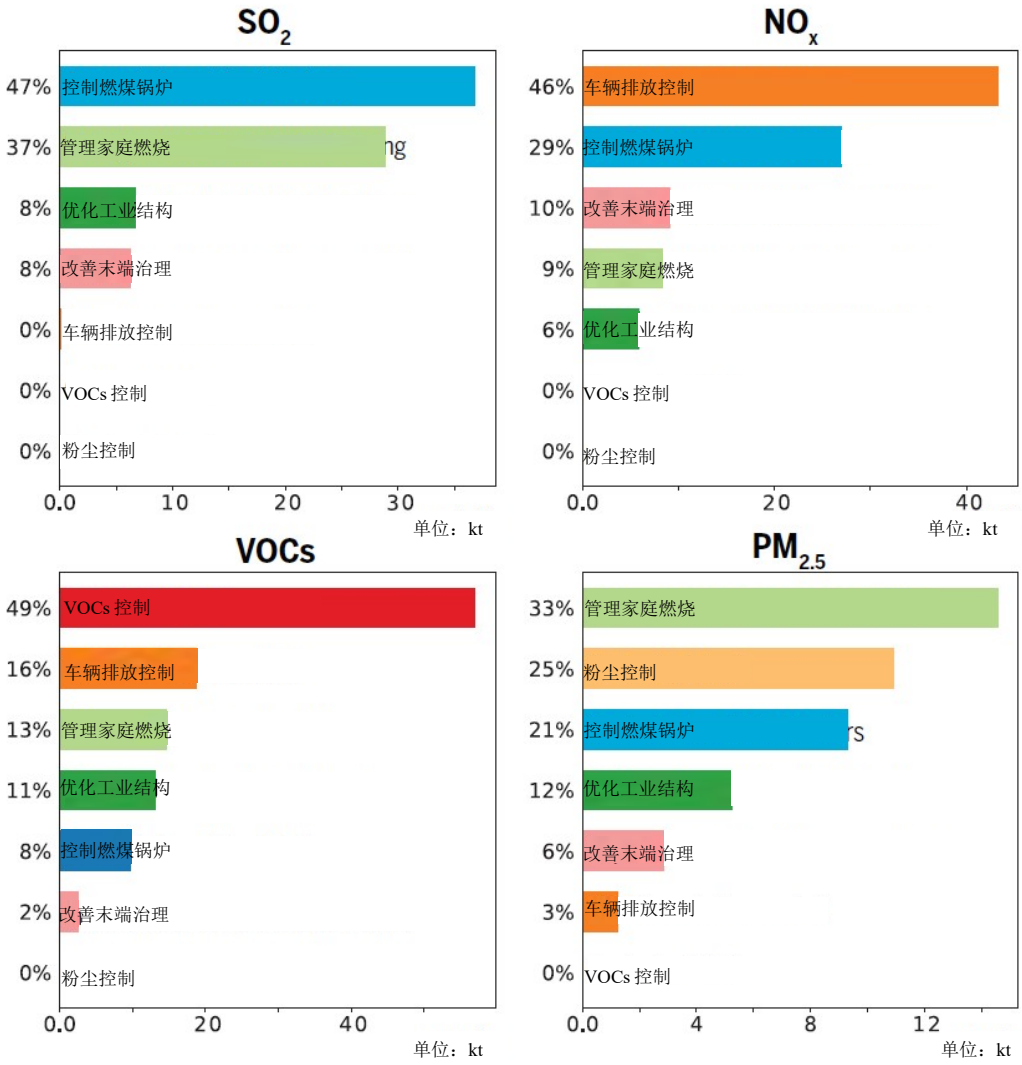


图 4.12： 2013-2017 年各项措施对北京主要污染物减排的贡献

（资料来源：联合国环境规划署，2019 年）

促使中国城市更加关注协同治理的另一个原因是，中国政府决定将气候变化职责归入当时刚刚重组的生态环境部（MEE）。减缓气候变化此前是国家发展和改革委员会（NDRC）的主要职责。虽然这种职责的转移首先发生在国家一级；但是，按照中国的惯常做法，各城市也要求推进与国家层面相仿的改革。这就意味着北京市生态环境局（BMEEB）现在负责管理空气质量和减缓气候变化。为了反映其新职责，北京市生态环境局目前正力求进一步改善空气质量，同时实现二氧化碳减排目标（BMEEB，2020b）。

图 4.13： BMEEB 重组，履行空气质量管理和气候变化减缓职责

北京及其他城市日益关注协同治理的另一个原因是绩效考核制度的变革。传统上，对市长的考核基于其实现国家一级目标的能力。这些目标以往侧重经济发展水平或外商直接投资，但中国政府现在鼓励将能源和环境目标作为考核标准的一部分。在这些考核标准上的表现可以决定地方领导人是晋升还是降职，例如，领导另一个城市或担任国家一级的职位。因此，将能源和空气污染目标纳入考核标准的做法，为地方领导人提供了强大激励来寻找经济有效的方法，实现“五年规划”下的多个目标。

最后但同样重要的一点是，北京是中国许多国家和跨地区行动的领导者。在实施减缓京津冀及其周边地区污染的干预措施时，这一声誉尤为重要。由于该地区由中国污染最严重的城市组成，因此中央政府将重点放在可能对协同治理产生影响的区域合作上。例如，区域合作一直都是减缓空气污染行动的核心内容，包括在 2008 年奥运会、2014 年亚太经合组织峰会和 2015 年中国抗战胜利纪念日游行期间。与此同时，中央政府主导的合作也是遏制 PM2.5 排放行动的核心内容，例如，国务院在 2013 年成立了“京津冀及周边地区大气污染防治协作小组”。也是由于同一原因，2018 年在生态环境部部长以及当地各市/省长的支持下，组建了“京津冀及周边地区大气污染防治领导小组”（图 4.13），由国务院副总理韩正领导（He 等人，2018 年）。利用这些区域框架，中央政府逐渐加强了监管措施，包括发布《京津冀大气污染防治强化措施》，其中规定了所有相关城市和省份自 2016 年起的年度 PM2.5 减排目标（UNEP，2019 年；BMEEB，2020c）。

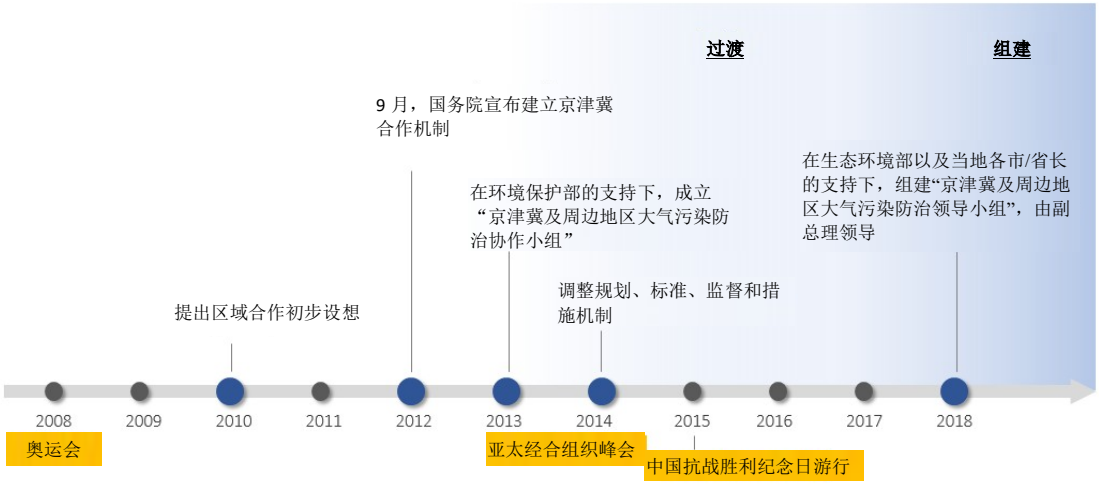


图 4.13：京津冀区域协调机制的演变

北京取得成功的一个关键因素是，中国的许多政策决策都采用自上而下的方法。中国领导人在政策方向和机构设计方面保持着相当大的影响力。如果领导人决定调整政策或机构，市政府会遵循上级指示。这么做可提供确定性，并减少引入新方法的时间。毫无疑问，北京也得益于其国家首都的地位和绩效考核制度，这些都激励着北京市统筹解决空气污染与气候变化问题。

这些成功因素从某种程度上也可以看作是局限性。自上而下决策的一个潜在缺陷是，根据当地实际情况进行调整的空间可能有限。如果当地资源有限，难以实现国家目标，那么这就会构成问题。此外，还可能存在机构僵化的问题，难以形成新的思维方式并找到打破常规的解决方案。

4.6 总结和结论

概括地说，各城市正使用不同的方法和切入点来统筹空气污染与气候变化规划。本节介绍了各种方法，包括相关机构实施跨部门规划（加州）；将空气质量和气候变化作为城市可持续发展战略的一部分（纽约）；遵循中央政府的指令（北京）；通过将特定领域的干预措施发展成为更广泛的举措，发现协同效益（首尔或东京）（表 4.1）。本节还表明，各城市的切入点也有所不同，有的从传统的空气污染防治着手，有的则从更具前瞻性（下一阶段）的措施或发展优先事项着手。此外，尽管各案例之间的差异很大，但不同的城市和地区有许多的成功因素和挑战。其中包括：

1. 强有力、具有前瞻性的领导（通常带有潜在的政治动机）；
2. 空气污染、气候及其他相关领域负责部门之间的有效协调；
3. 将国家目标纳入城市规划过程；
4. 地方一级对国家规则进行创新（具有推广潜力）；
5. 多方利益相关者参与，有针对性的公众沟通。

表 4.1：加州、纽约、首尔、东京和北京统筹方法和切入点比较

	方法 / 切入点	常规治理措施	下一阶段措施	发展优先事项
加州	州一级的统筹规划方法			✓
纽约	城市长期战略统筹			✓
首尔	认识到空气质量与气候变化之间的协同效益		✓	
东京	柴油车控制，协同解决空气质量与气候变化问题	✓		
北京	中央政府推动协同治理		✓	

五、参考文献

Aamaas B., Lund MT, Myhre G, Samset BH, Stjern CW, Kallbekken S (2018) The climate impacts of current black carbon and organic carbon emissions. CICERO Report 2018:08.

Bay Area Air Quality Management District. 2017. Spare the Air · Cool the Climate: A Blueprint for Clean Air and Climate Protection in the Bay Area. https://www.baaqmd.gov/~/media/files/planning-and-research/plans/2017-clean-air- plan/attachment-a_-proposed-final-cap-vol-1-pdf.pdf?la=en

BMEEB. 2008. Strengthen Hig-Emitting Vehicles Pollution Prevention and Control, Promote Air Quality Imrprovement in the Capital.

BMEEB. 2018. Inauguration of BMEEB.

http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxxgk43/fdzdgknr2/xwfb/841698/index.html

BMEEB. 2019a. Beijing to Print, Issue and Implement the 2019 Action Plan for Pollution Prevention and Control, Overall Plan for Air, Water and Soil Protection Tasks in 2019. http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxxgk43/fdzdgknr2/xwfb/845618/index.html

BMEEB. 2019b. Notice of Beijing's Early Implementation of the China 6 Vehicle Emission Standards. http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxxgk43/fdzdgknr2/shbjgfxwj/1750455/index.html

BMEEB. 2020a. Beijing Ecology and Environment Statement 2019. http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/1791057/20200511111831605 95.pdf

BMEEB. 2020b. BMEEB 2019 work summary and 2020 work plan.

http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxxgk43/fdzdgknr2/ghjh44/1744756/index.html

BMEEB. 2020c. Significant Achievements in Ecological and Environmental Protection Breakthroughs via Strengthening Jing-Jin-Ji Regional Co-Control. http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxxgk43/fdzdgknr2/xwfb/1702213/index.html

Boucher, O. Randall, D. Artaxo, P. Bretherton, C. Feingold, G. Forster, P. Kerminen, V.-M. Kondo, Y. Liao, H. Lohmann, U. et al. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Internet], Cambridge University Press (2013), p. 2013

Bond, T.C., Doherty, S.J., Fahey, D.W., Forster, P.M., Berntsen, T., DeAngelo, B.J., Flanner, M.G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D. and Kinne, S., 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. Journal of geophysical research: Atmospheres, 118(11), pp.5380-5552.

Bowerman, N.H., Frame, D.J., Huntingford, C., Lowe, J.A., Smith, S.M. and Allen, M.R., 2013. The

role of short-lived climate pollutants in meeting temperature goals. Nature Climate Change, 3(12), pp.1021-1024.

Bureau of Environment, TMG. 2018a. Diesel Vehicle Control.

https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/en/automobile/diesel.html

Bureau of Environment, TMG. 2018b. Diesel Vehicle Control Introduction in Chinese.

https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/en/automobile/diesel.files/Control_zh.pdf

CAL FIRE. (n.d.). 2020 Fire Season. Retrieved January 11, 2021, from

https://www.fire.ca.gov/incidents/2020/

CAL FIRE. (n.d.). 2019 Wildfire Activity Statistics. 51.

CARB (n.d.). What are Sustainable Communities Strategies? | Retrieved January 11, 2021, from https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/sustainable-communities-program/what-are- sustainable-communities-strategies

CARB. 2017a. California's 2017 Climate Change Strategy.

https://ww3.arb.ca.gov/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf

CARB, 2017b. Short-Lived Climate Pollutant Reduction Strategy. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2018-12/final_slcp_reduction_strategy_w_appx_march2017%20Final%202017.pdf

CARB. 2018. Assembly Bill 32 Overview. https://ww3.arb.ca.gov/cc/ab32/ab32.htm

CARB. n.d. History. https://ww2.arb.ca.gov/about/history

Clean Air Asia. (2020a). Integrated Programme for Better Air Quality in Asia City Solutions Toolkit. Retrieved from: https://learning-cleanairasia.org/city-solutions-toolkit/

Clean Air Asia. (2020b). Emissions Inventory for Santa Rosa City, Philippines Report. Unpublished.

Climate & Clean Air Coalition. (2011). Short-lived climate pollutants.

https://www.ccacoalition.org/en/content/short-lived-climate-pollutants-slcps

CCAC and IGES. (2019). Development of City Action Plans to Reduce GHGs and SLCPs from MSWM in Southeast Asia, CCAC & IGES, 2019

European Commission. (n.d.). Cleaner air for all.

https://ec.europa.eu/environment/air/cleaner_air/#air%20pollutants

Fold, N., Allison, M., & Wood, B. (2020). An Assessment of Annual Mortality Attributable to

Ambient PM2.5 in Bangkok, Thailand. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17(19), 7298. Retrieved from: http://doi.org/10.3390/ijerph17197298.

Fowlie, M., Walker, R., & Wooley, D. (2020). Climate policy, environmental justice, and local air pollution. 27.

Han, H. 2018. The Plan for Institutional Reform of the State Council. The Xinhua News Agency.

http://www.gov.cn/xinwen/2018-03/17/content_5275116.htm

He, W., Zhang, W., Wang, S., Chai, F., Li, H., Zhang, J., Wnag, H., Hu, J. 2019. Implementation and Suggestions on Improvement of Jing-Jin-Ji Regional Cooperation on Air Pollution

Prevention and Control Mechanism. Environmental Science Research, 10: 1696-1703. DOI 10.13198/j.issn.1001-6929.2019.09.06. http://www.huanjing100.com/p-9943.html

Health Effects Institute. (2020). State of Global Air 2020. Special Report. Boston, MA:Health Effects Institute

Health Effects Institute. (2019). State of Global Air 2019. Special Report. Boston, MA:Health Effects Institute

Hodnebrog, Ø., Etminan, M., Fuglestvedt, J., Marston, G., Myhre, G., Nielsen, C., Shine, K. & Wallington, T. (2013). Global warming potentials and radiative efficiencies of halocarbons and related compounds: A comprehensive review. Reviews of Geophysics. 51. 300-378. 10.1002/rog.20013.

Hu, X. 2016. Where Will Climate Change Impact China Most?

https://www.weforum.org/agenda/2016/04/where-will-climate-change-impact-china-most/

Institute for Global Environmental Strategies and Clean Air Asia. (2014). Reduction in CO2 Emissions through an Electric Tricycle Replacement Scheme in Pasig City, Philippines: An MRV Demonstration Study.

IPCC, 2013: Climate /k Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Accessed from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

Jacobson, M. Z. Global direct radiative forcing due to multicomponent anthropogenic and natural aerosols. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 106, 1551-1568 (2001).

Janssen, N., Gerlofs-Nijland, M., Lanki, T., Salonen, R.O., Cassee, F., Hoek, G., Fischer, P., Brunekreef, B. and Krzyzanowski, M.(2012). Health Effects of Black Carbon 2012, World Health

Organization. ISBN 978 92 890 0265 3

Kampa, M. & Castanas, E., 2008. Human health effects of air pollution. Environmental Pollution, 151(2), pp. 362-367.

Kecorius, S., Madueño, L., Vallar, E., Alas, H., Betito, G., Birmili, W., Cambaliza, M., Catipay, G., Cayetano, M., Galvez, M.C., Lorenzo, G., Müller, T., Simpas, J., Tamayo, E., & Wiedensohler, Alfred. (2017). Aerosol particle mixing state, refractory particle number size distributions and emission factors in a polluted urban environment: Case study of Metro Manila, Philippines. Atmospheric Environment, 170, 169-183. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.09.037

Kim, E., Jeon, S., Lee, J., Park, Y., Lee, D. 2012. Local Adaptation Plan to Climate Change Impact in Seoul: Focused on Heat Wave Effects. Journal of Environmental Impact Assessment, 21(1).

Ma., W. 2018. From NDRC to MEE, What are the Responsibility Changes of the Climate Change Department? China Times. Beijing, China. https://new.qq.com/omn/20181031/20181031A18VU6.html

Melamed, M.L., Schmale, J. and von Schneidemesser, E., 2016. Sustainable policy—Key considerations for air quality and climate change. Current opinion in environmental sustainability, 23, pp.85-91.

Menikpura, S.N.M, Premakumara, D.G.J, 2018, Emission Quantification Tool (EQT) for

Estimation of GHGs/SLCPs from Solid Waste Sector – Version II, IGES, Japan

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F.

Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H.

Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor,

S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge

University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Nakajima, T., Ohara, T., Masui, T., Takemura, T., Yoshimura, K., Goto, D., Hanaoka, T.,

Itahashi, S., Kurata, G., Kurokawa, J.I. and Maki, T., 2020. A development of reduction scenarios of the short-lived climate pollutants (SLCPs) for mitigating global warming and environmental problems. Progress in Earth and Planetary Science, 7(1), pp.1-21.

National Statistical Office Thailand. (2010) Executive Summary: The 2010 Population and Housing Census. National Statistical Office Thailand: Bangkok, Thailand.

National Atmospheric Emissions Inventory. (2020, April 27). Greenhouse gases.

https://naei.beis.gov.uk/overview/ghg-overview

North Carolina Climate Office. (n.d.). Greenhouse gases.

https://climate.ncsu.edu/edu/Greenhouse

Prather M, Ehhalt D, Dentener F, Derwent R, & Grubler A (2001). Atmospheric chemistry and greenhouse gases. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis, Third Assessment Report. IPCC: Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 0521-01495- 6. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-04.pdf

Premakumara, D.G.J, Menikpura, S.N.M, Singh, R.K, Hengesbaugh, M, Magalang, A.A, IIdefonso, E.T, Valdez, M.D.C.M, Silva, L.C, 2018, Reduction of Greenhouse Gasses (GHGs) and ShortLived Climate Pollutants (SLCPs) from Municipal Solid Waste Management (MSWM) in the Philippines: Rapid review and Assessment, Waste Management, 80, 397-405

Saigusa, N. 2011. Tokyo Metropolitan Government's Efforts to Control Diesel Vehicle Emissions. https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id030817.html

Saunois, M., Stavert, A., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J., Jackson, R., Raymond, P., Dlugokencky, E., Houweling, S., Patra, P., Ciais, P., Arora, V., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K., Carrol, M. & Zhuang, Q. (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. Earth System Science Data. 12. 1561-1623. 10.5194/essd-12- 1561-2020.

SMG. 2015. Promise of Seoul: Taking Actions against Climate Change.

Seoul Solution. 2015. Low NOx Burners : The Solution to Reduce Emission of Air Pollutants and Conserve Energy. https://seoulsolution.kr/en/node/3389

Seoul Solution. 2018. New Renewable Energy: One Less Nuclear Power Plant.

https://seoulsolution.kr/en/node/3363

The City of New York. 2019. OneNYC 2050: Building a Strong and Fair City.

https://onenyc.cityofnewyork.us/wp-content/uploads/2020/01/OneNYC-2050-Full-Report-1.3.pdf

TMG. 2003. In Introducing Diesel Vehicle Control.

https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/en/automobile/diesel.files/diesel_vehicle.pdf

Tsai, W. (2006). An Overview of Environmental Hazards and Exposure Risk of Hydrofluorocarbons (HFCs). Chemosphere. 61. 1539-47. 10.1016/j.chemosphere.2005.03.084.

UN Environment 2019. A Review of 20 Years' Air Pollution Control in Beijing. United Nations

Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNEP. 2019. Synergizing action on the environment and climate: good practice in China and around the globe.

UNEP-WMO. 2011. Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone: summary for decision makers." UNEP, Nairobi, Kenya.

United States Environmental Protection Agency. (2019, December 18). Criteria air pollutants.

https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants

Westervelt, D.M. Horowitz, L.W. Naik, V. Golaz, J.-C.Mauzerall, D.L. . Radiative forcing and climate response to projected 21st century aerosol decreases. Atmos Chem Phys, 15 (2015), pp. 12681-12703

Wiedensohler, A., Andrade, M., Weinhold, K., Müller, T., Birmili, W., Velarde, F., Moreno, I., Forno, R., Sanchez Barrero, M., Laj, P., Ginot, P., Whiteman, D.N., Krejci, R., Sellegri, K., & Reichler, T. (2018). Black carbon emission and transport mechanisms to the free troposphere at the La Paz/El Alto (Bolivia) metropolitan area based on the Day of Census (2012). Atmospheric Environment. 194. 10.1016/j.atmosenv.2018.09.032.

World Health Organization. (n.d.). Ambient air pollution: Pollutants.

https://www.who.int/airpollution/ambient/pollutants/en/

Zhang, M., Liu, Z., & van Dijk, M. P. (2019). Measuring urban vulnerability to climate change using an integrated approach, assessing climate risks in Beijing. PeerJ, 7, e7018. https://doi.org/10.7717/peerj.7018