

全面规划以改善空气质量并减少温室气体排放

美国各州和城市实践案例

作者：Christopher James, Camille Kadoch

睿博能源智库（RAP）

概述

美国的许多先进州和城市的政策制定者已倾向于采用更综合的方法来规划减排。这个过程被睿博能源智库称之为“能源和空气质量综合多污染物规划（IMPEAQ）”，它是一个包含先进州最佳实践要素的综合方法，利用最低成本规划来鼓励实施最具成本效益的措施¹。这种综合方法有两个重要方面。首先，各州不再为各种类型的排放制定单独的计划，而是实施了改进的计划流程，可以同时查看所有排放。此方法旨在同时减少“常规”排放和温室气体的排放。其次，改进的综合规划流程同时考虑了一系列减排措施。也就是说，不仅要考虑传统的“下游”措施（例如烟囱中的减排设备），而且还要考虑“上游”的终端能效项目，以寻求最佳和最具成本效益的一套措施。由于这两项重大改进，这些新的规划方法加快了空气质量改善的速度和成本效益。

一段时间以来，为了在实现以公共健康为基础的目标方面取得更大进展，空气质量规划一直是中国感兴趣的领域。中国的政策制定者可能会从美国的经验中获得启发——而且，通过在国家和地方层面实施改进后的规划，可能远远超越美国现有的做法。中国国务院的指示和《中华人民共和国大气污染防治法》（以下简称“大气法”）中已有的规定要求在规划过程中做出类似的改进。现在的挑战是确保这些变化是精心设计和良好实施的。最近的政府机构改革促使中国的空气质量机构有能力应对这些挑战，特别是将国家发展和改革委员会的应对气候变化司纳入生

¹ James, C., & Colburn, K. (2013). *Integrated, multi-pollutant planning for energy and air quality (IMPEAQ)*. Regulatory Assistance Project（睿博能源智库）. <https://www.raponline.org/knowledge-center/integrated-multi-pollutant-planning-for-energy-and-air-quality-impeaq/>

态环境部中。如今，据我们了解生态环境部拥有制定和实施共同减少空气污染物和温室气体排放计划所需的法律、指令以及人员构成。

除了加利福尼亚州旧金山湾区的空气质量管辖区外，美国没有机构实施过类似于 IMPEAQ 建议的规划过程。中国的机制、法律和政策结构，为采用综合的、成本最低的规划方法来改善空气质量和减少温室气体排放奠定了良好的基础。本文建议，根据“大气法”的要求以及国务院的指示，国家、地方和省级主管部门应建立全面、透明的官方规划流程，以权衡各种空气质量措施的综合成本和效益，最终选择净收益最高的措施组合。

规划过程应包括减少污染的上游和下游措施。上游是指那些针对电力需求和产品制造方式的措施（例如，何种化学物质用于制造产品以及生产过程本身的设计布局）。“下游”是污染控制传统方法的另一种说法，即通过使用技术和设备在排放之前捕获和控制污染物（如烟气脱硫、选择性催化还原法脱硝和过滤式除尘）。规划过程应充分考虑减少多种污染物的措施以及节约能源和支持可再生能源的措施的效益，正如旧金山湾区规划所做的那样。

这种全面规划方法的主要好处是可以改善针对各种排放的控制措施的开发和成本效益。第二个好处是减少了对土地和水的排放，并提升了水质。

建议

中国在实现空气质量目标方面取得了巨大进步，但还有许多工作要做。根据最新的公开数据（2013 年至 2018 年）表明，空气质量工作已成功降低了所有区域的大气污染细颗粒物（PM_{2.5}）浓度，在此期间，一些城市的颗粒物排放减少了 50%²。但是，为了达到国家标准，有必要将中国的 PM_{2.5} 污染物浓度水平于 2011 年相比降低 90%^{3,4}。减少二氧化氮排放的进展并不平衡，在京津冀略有下降，而在其他地区则几乎没有变化甚至有所增加。臭氧浓度持续增加，达到中国标准 160 ug / m³ 的城市数量在下降⁵。

² 深圳和周边珠江三角洲许多城市的PM_{2.5}下降达到了中国一级标准(每立方米35微克)。在此期间，北京PM_{2.5}年平均浓度从90微克/立方米下降到51微克/立方米。

³ Jun, M. (2016, November). *The economics of air pollution in China*. Columbia University Press.

⁴ 中国的一级 PM_{2.5} 年平均浓度标准为 35ug / m³。这几乎是美国标准 12 ug/m³ 的三倍，比世界卫生组织建议的公共卫生标准高出 350%。中国已经表示可能将标准提高到 25 微克/立方米，一些城市，尤其是深圳，已经宣布了空气质量计划，旨在到 2025 年达到 25 微克/立方米的的标准。《深圳市 2016 - 2020 年大气污染防治重点措施》，深圳市人居环境委员会，2016 年 3 月 23 日。

⁵ Clean Air Asia. (2020). *China air 2019: Air pollution prevention and control progress in Chinese cities*. <https://cleanairasia.org/wp-content/uploads/2020/01/China-Air-2019.pdf>

综合全面的规划方法将有助于弥补尚存的差距，以实现空气质量目标。修订后的“大气法”中的若干条款赋予空气质量机构责任以实行本文建议的全面规划的任务⁶。值得注意的是，第 32 条和第 42 条要求制定空气质量计划，以推进向清洁能源结构转型，并优先调度清洁能源发电。此外，第 86 至 92 条也规定了要制定区域空气质量计划。

充分执行这些条款对于空气质量管理将非常有用，实施正确的控制措施组合也很重要。中国现行的空气质量计划继续强调关停较旧，较小的燃烧源并安装管道末端排放控制装置。尽管这些措施很重要，但基于支持节能和可再生能源的项目的措施将具有很高的成本效益。控制措施的设计和最佳控制措施组合的选择需要基于证据的分析，以评估其在减少多种污染物方面的潜在效益以及实现减排的成本。

美国的一些州和市级机构，包括马里兰州和旧金山，都使用空气质量建模来评定将各种控制措施（例如清洁能源措施）纳入本地和区域计划的有效性。在中国，生态环境部和地方层面机构可以对这些美国机构采取的步骤以及已发布的数据进行评估和调整，以帮助他们制定全面的计划。清华大学和其他国内研究机构已经开发了这类模型，并持有美国机构使用的相同模型的许可证。这些研究机构可以与地方、省级和区域的空气质量机构合作，评估清洁能源和能效项目对环境污染的效益，以及与之相关的温室气体减排量。

美国州和市级机构的“最佳实践”规划有几个共同的步骤⁷。总体目标是针对所有经济部门制定一套控制措施，以共同减少标准污染物和温室气体排放。通过根据成本效益和减排程度对控制措施进行排名，空气质量机构首先实施成本效益最高，实现最大化空气质量和温室气体效益的措施。为了让这些转变适合中国的特殊情况，生态环境部和地方当局可以制定一项计划流程，以执行以下任务：

- 为能效和可再生能源项目创建一个基准情况（business-as-usual）。
- 获取发电厂和工业锅炉的排放因子数据库，确保使用最新数据⁸。
- 阐明扩大能效和可再生能源项目的选择。例如，重启并扩展“万家企业节能低碳行动”，将电网公司每年的 0.3%能效义务提高到 1%⁹。更新和修订后的电器设备和建筑节能标准所带来的节能效益也可以计算出来。对于可再生能源，规划人员可以将太阳能

⁶ Clean Air Alliance of China. (2015, September). *Final new PRC Air Law on air pollution prevention and control* [English translation].

<http://en.cleanairechina.org/product/7332.html>

⁷ James & Colburn, 2013. See also Colburn, K., & James, C. (2016, September 15). *Is it time to retool regulation for clean air, clean energy?*

Regulatory Assistance Project. <https://www.raonline.org/blog/is-it-time-to-retool-regulation-for-clean-air-clean-energy/>

⁸清华大学的研究人员和其他研究机构帮助中国的空气质量机构编制了最近的空气质量管理计划，他们可以获得发电厂和工业锅炉的排放因子。作者 Christopher James 曾与清华大学的研究人员一起工作得知。

⁹ 这些都是占位符假设。美国先进州的能效项目每年节省了 1.5% 到 2% (或更多) 的售电量。中国可以加大项目力度，以达到这样的节能水平。空气质量模型的另一个潜在的基于能源的输入将是审视通过改善建筑和电器能效标准获得的空气质量和温室气体减排效益，并加强那些已经采用的标准。

详见 James, C. (2014). *Building energy efficiency power plants: Cutting through the fog* [Presentation]. ACEEE Summer Study, Asilomar, CA.

/ 风能的基准、中、高渗透率情况进行比较，然后进行与扩大可再生能源发展和提高能效相关的成本估算。

- 使用发电厂和工业锅炉排放因子，通过将节省的吨煤和节约的电力电量 MWh / MW 相乘，计算出减少的空气污染和温室气体吨数。这些值是环境空气质量模型的输入（就像评估管道末端控制措施所带来的收益一样）。
- 使用环境空气质量模型来计算能效和可再生能源项目在减少温室气体以及大气中臭氧、PM_{2.5}、氮氧化物（NO_x）和二氧化硫（SO₂）水平方面的收益¹⁰。
- 基于每种类型措施相关的收益和成本进行优化计算，以便选择“最低成本”的措施组合。
- 首先执行可以共同减少标准污染物和温室气体排放的所有具备成本效益的措施。如果这些措施不足以达到理想的空气质量和温室气体减排目标，根据上述完成的模型，再通过实施传统的管道末端控制措施，缩小差距，以达到改善空气质量并减少温室气体排放目标。

能效和可再生能源项目带来的空气质量收益，能够消减实现环境空气质量目标所需的总减排量。由于这些能效和可再生能源项目有助于减少所有污染物，因此它们的效益可以纳入所有空气质量计划中，例如，作为减少 PM_{2.5} / 臭氧计划的一部分等。这意味着从传统的（通常相对昂贵的）管道末端进行控制来实现大气污染减排目标的减排需求变少了¹¹。

美国的州和市一级经验

从美国州和城市一级的经验中，下面的新规划方法最佳实践示例可以提供有用的指导。这些最佳实践包括：

- 建立全面、透明的官方规划流程。
- 充分考虑多种污染物减排的益处。
- 包括节能措施和支持可再生能源的措施。

¹⁰ U.S. Environmental Protection Agency. (2018, November). *Modeling guidance for demonstrating air quality goals for ozone, PM_{2.5} and regional haze*. https://www3.epa.gov/ttn/scram/guidance/guide/O3-PM-RH-Modeling_Guidance-2018.pdf. Greenhouse gas reductions are calculated as tons reduced. China's air quality agencies use many of the same ambient models as those used by the U.S. agencies.

¹¹ 能效和可再生能源的应用也将导致高排放的发电厂或工业污染源关闭，而无需花费数百万元人民币来安装排污控制设备。因此，为建设时安装最好的排放控制系统的新排放源让路。

- 使用综合建模平台对多种污染物和温室气体的联合控制进行评估，该平台从环境、能源和经济方面评估正在考虑的政策。模型的结果为政策选择提供了信息，从而优化那些以最小成本获得最大环境效益的政策¹²。

2004 年，美国国家科学院（National Academy of Sciences）的国家研究委员会（National Research Council）曾在报告中建议，美国空气质量计划应转向基于风险的多污染物空气质量管理办法¹³。本世纪头十年期间完成的一些州气候行动计划证明了这种方法的好处¹⁴。这里讨论的例子并不是为解决多种污染物问题在发电厂安装增量排放控制装置的工作¹⁵。相反，他们专注于影响需求的能效措施，这样从一开始就不会产生污染物。末端排放控制措施仍然起作用，尤其是在较旧的污染源上。然而，此处提供的示例阐述了避免产生新排放源的方法。

尽管许多最佳实践案例来自太平洋沿岸和东北各州，但美国其他地区也在发生着创新，比如阿肯色州利用能效和可再生能源政策来减少 PM2.5 和地区雾霾的计划¹⁶。

美国环保署在监督国家级计划中发挥着重要作用。《清洁空气法》要求各州为达到国家环境空气质量标准采取计划，但各州可以灵活地采纳项目以适应本地特殊情况¹⁷。各州可以实施更严格的要求，涵盖额外的污染源类别，也可以让计划在较低的排放门槛下生效。

¹² 各州可以从现有的模式中进行选择，也可以发展自己的模式。马里兰州使用了NE-MARKAL建模平台。湾区空气质量管理局开发了自己的建模平台。详见 Northeast States for Coordinated Air Use Management. (2015, May). *Multi-pollutant planning exercise for Maryland*.

https://mde.maryland.gov/programs/Air/ClimateChange/Documents/2015GGRAPlanUpdate/2015GGRAPlanUpdateAppendices/H_Multi-PollutantPlanning.pdf. 也可见睿博能源智库, IMPEAQ process. <https://www.raponline.org/knowledge-center/integrated-multi-pollutant-planning-for-energy-and-air-quality-impeaq/>

¹³ Scheffe, R., Hubbell, B., Fox, T., Rao, V., & Pennell, W. (2007, May). The rationale for a multipollutant, multimedia air quality management framework. *EM Magazine*.

https://www.researchgate.net/publication/237287941_The_Rationale_for_a_Multipollutant_Multimedia_Air_Quality_Management_Framework

¹⁴ For a current list of state climate action plans, see Center for Climate Strategies. (n.d.). *State and local climate*. http://www.climatestrategies.us/policy_tracker/state/

¹⁵ 例如，作为1990年《清洁空气法》修正案实施的一部分，美国环保署在治理酸雨的项目中，先控制NO_x再控制SO₂，这并不是联防多污染物计划。美国环保署这一项目很重要，它向公用事业单位（电力公司）发出了投资信号，表明其意图是不止对一种污染物进行控制，但是重点是在排放物离开烟囱之前捕获它们。排放控制还会增加二氧化碳排放（寄生负荷），控制装置收集的污染物必须得到妥善处理，以避免对土地和水造成影响。作者时任康涅狄格州环境保护部主任，帮助设计了第一个二氧化硫和氮氧化物排放交易项目。

¹⁶ Arkansas Office of Air Quality. (2019). *Accounting for energy efficiency measures in regional haze planning*.

<https://www.adeq.state.ar.us/air/planning/sip/pdfs/regional-haze/energy-efficiency-rh-pp2-emerge-concept-paper-final-with-cover-letter.pdf>

¹⁷ 美国环保署负责监督以确保计划之间的一致性，并确保减排任务是可执行的。

要获得美国环保署的认可和批准，作为州空气质量管理计划的一部分，排放控制必须是真实的，可量化的，额外的和可执行的¹⁸。美国环保署还要求一个机构监督其实施，以确保减排量确实发生¹⁹。

此处描述的控制措施同时降低了温室气体排放量和标准污染物排放量，特定目标污染物（如 NO_x 或 SO₂）的减排量单独算在目标中，以达到臭氧和细颗粒物的空气质量标准，并由美国环保署进行审查和批准。

联合治理多污染物效益举例

马里兰州通过全面的能效项目实现了多种污染物的减排效益，并节省了数百万美元。根据 2008 年发布的“Empower Maryland Act”²⁰，对能效项目的投资累计节约了超过 800 万兆瓦时的电量和 2,335 兆瓦的电力，这相当于避免建造两个大型发电厂²¹。到 2015 年，空气质量效益包括：减少温室气体排放 1900 万吨，减少 NO_x 排放量 17,000 吨，减少 SO₂ 排放量 39,000 吨²²。空气质量模拟显示，环境中的臭氧浓度和 PM_{2.5} 浓度分别下降了 0.60 ppb 和 0.10 ug/m³。马里兰州的项目还改善了邻近州的空气质量²³。

该州 2019 年“气候变化报告”的最新模型证实，2013 年最初建模的空气质量效益随着能效和可再生能源项目的成熟而扩大和深化²⁴。虽然这些最初的成效似乎不大，但为达到这样的水平，空气质量监管机构往往不得不制定一套控制措施，而标准的管道末端控制措施可能非常昂贵（每消除一吨氮氧化物需要 2.5 万美元或 17.5 万元人民币）。此外，随着部署更多的能效措施以及开展更多的可再生能源项目，空气质量和温室气体效益也随之增加。这些项目还具有成本效益，减少了有害的空气污染物，改善了水质并减少了向水和土壤环境的污染物排放。

¹⁸ U.S. Environmental Protection Agency. (2012, July). *Roadmap for incorporating energy efficiency/renewable energy policies and programs into state and tribal implementation plans: Appendix C- Existing EPA energy efficiency/renewable energy guidance*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/appendixc_0.pdf. (请注意，上述四个标准适用于州计划中的所有控制措施。这里引用的EPA文件解释了能效和可再生能源项目过程。)

¹⁹ 为有效实施项目提供监督的国家机构通常是空气质量机构。然而，由空气质量和能源机构/公共事业委员会联合监督也是允许的，例如本文中讨论的阿肯色州的例子。

²⁰ The Maryland Legislature extended the law in 2017. History and program descriptions are available at <https://energy.maryland.gov/Pages/Facts/empower.aspx>.

²¹ Public Service Commission of Maryland. (2019, July) *The EmPOWER Maryland Energy Efficiency Act Report of 2019*. <https://www.psc.state.md.us/wp-content/uploads/2019-EmPOWER-Maryland-Energy-Efficiency-Act-Standard-Report.pdf>

²² Baatz, B., & Barrett, J. (2017). *Maryland benefits: Examining the results of EmPOWER Maryland through 2015* (Report U1701). American Council for an Energy-Efficient Economy. <https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/u1701.pdf>

²³ Aburn, T. (2013). *Building energy efficiency and renewable energy programs into the clean air planning process: Taking credit for nontraditional programs* [Presentation to ACEE Market Transformation Workshop]. https://aceee.org/files/pdf/conferences/mt/2013/Tad%20Aburn_D2.pdf

²⁴ T. Aburn, personal communication, 17 December 2019.

多污染物效益的另一个例子来自阿肯色州，阿肯色州环境质量部（Arkansas Department of Environmental Quality）和公共服务委员会（Public Service Commission）合作制定了一项创新的空气质量计划。它要求该州的公用事业单位（电力公司）执行节能措施，并量化其空气质量收益，以展示节能措施在减少区域雾霾和细颗粒物方面取得的进展。通过使用美国环保署的 AVERT 排放量化工具²⁵，阿肯色州的能效项目逐渐增加 SO₂、NO_x 和 PM_{2.5} 的减排量。在 2018 年期间，上述三种污染物排放量分别减少了 505、594 和 67 吨。预计到 2028 年，这些数值将分别升至 927 吨、1,088 吨和 122 吨^{26,27}。要获得美国环保署批准的州总体计划，即到 2064 年恢复能见度原始水平的要求，这些空气质量的改善是必要的。这些减排措施还帮助该州减少了臭氧和 PM_{2.5} 的背景浓度值，并减少温室气体排放。确定通过排放控制来改造发电厂的确切成本，需要进行工程分析。阿肯色州估计，根据严格的公用事业单位（电力公司）支出计算，安装管道末端控制装置可能比使用能效项目来提高能见度要便宜。然而，正如阿肯色州报告所指出的，能效项目提供了许多社会和其他环境效益，并为客户直接节省了用电费用。能效还提高了整体电网的可靠性，降低了用电需求峰值；这两者都需要电力公司大量支出来维持²⁸。

这些示例说明，减少温室气体和改善空气质量的措施并不一定只来自空气质量监管机构。截至 2019 年，已有 23 个州以及华盛顿特区设定了温室气体减排目标；有 10 个州（“区域温室气体减排行动”中的州以及加利福尼亚州）有碳定价要求；39 个州有可再生能源配额制或清洁能源要求²⁹。此外，有 15 个州和华盛顿特区对能效标准的要求超过了国家要求³⁰。在科罗拉多州和明尼苏达州，能源监管机构批准了 Xcel Energy（一家公用事业公司）实施能效措施并安装风能和太阳能发电的计划。自 2005 年以来，Xcel 的环境足迹发现温室气体排放减少了 38%，二氧化硫减少了 77%，氮氧化物减少了 78%，汞减少了 91%。Xcel 的一半燃煤发电机组将在 2026 年退役，此后还有更多。新的风力发电机组将代替淘汰燃煤机组³¹。

²⁵ U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Avoided Emissions and generation Tool (AVERT)*.

<https://www.epa.gov/statelocalenergy/avoided-emissions-and-generation-tool-avert>. The AVERT tool uses regional emissions factors from power plants to provide the emissions benefits from energy efficiency and renewable energy policies.

²⁶ Arkansas Office of Air Quality, 2019.

²⁷ 阿肯色州有许多吸引人的自然景观，州旅游局力图向游人展示。《纽约时报》最近确认了另一个目的地，位于波兰的克拉科夫(Krakow)在空气质量方面做出的努力。纽约时报特别提到，该城市禁止燃烧煤炭和固体燃料也是现在去旅游的一个理由。The New York Times. (undated). *52 places to go in 2020*. <https://www.nytimes.com/interactive/2020/travel/places-to-visit.html>

²⁸ Arkansas Office of Air Quality, 2019, p. 2 for a list of all benefits provided by energy efficiency.

²⁹ Center for Climate and Energy Solutions. (n.d.). *State climate action maps*. <https://www.c2es.org/content/state-climate-policy/>

³⁰ Center for Climate and Energy Solutions, n.d.

³¹ Xcel Energy. (n.d.). *Reducing air and other emissions*.

<https://www.xcelenergy.com/company/corporate-responsibility-report/library-of-report-briefs/reducing-air-and-other-emissions>

市级制定综合规划

旧金山的空气质量规划是以共同减少所有经济部门的标准污染物和温室气体排放为前提制定的。就全面综合性而言，迄今为止，还没有任何州可以与之媲美。因此，接下来的分析将更多的关注旧金山在制定这个规划时所采用的方法。

由于没有其他州制定出旧金山所设想的综合规划，为了第一个 2010 年《湾区清洁空气计划》（Bay Area Clean Air Plan）旧金山湾区空气质量管辖区开发了自己的模型框架。“爱惜空气，降低温度”（*Spare the Air, Cool the Climate*），旧金山湾区《2017 年空气质量和气候计划》确定了一系列控制措施，一旦这些措施全面实施后，将使该地区每年减少 440 万吨的温室气体排放，每天减少 11 吨活性有机气体（ROG）、9.3 吨 NO_x 和 3.1 吨 PM_{2.5} 排放³²。2017 年的计划以 2010 年清洁空气计划为基础，涵盖了所有经济部门，该计划制定了 55 项控制措施，旨在减少温室气体和改善空气质量³³。2017 年计划的控制措施要求建筑物电气化（一些社区已经禁止在住宅中使用新的天然气连接装置），加快向电动汽车的过渡，实施拥堵收费以减少车辆出行距离，为住宅以外的商业建筑安装屋顶太阳能，并用电力替代天然气实现供暖和热水。

为了管理评估哪些控制措施可以同时改善空气质量和减少温室气体的复杂性，湾区空气质量管辖区建立了一种多污染物评估方法，以估算污染物减排量、公共卫生效益和成本。为了简化分析，该方法着重于评估对公共健康影响最大的污染物：臭氧和细颗粒物标准污染物，五种有害空气污染物和“京都六种”温室气体³⁴。另一个简化方法是，假设所分析的每种措施的减排效益将以与污染物对排放清单的贡献相同的方式在地理上进行分配。第三个简化方法是假定人群暴露于污染物的情况发生在每周 7 天，每天 24 小时，当然，人们并非一直在外面。湾区区域流程包括以下步骤：

- 估计控制措施减少（或增加）污染物的程度。
- 使用 4 公里乘 4 公里的面积来估算实施每个控制措施可能引起的污染物环境浓度变化。
- 使用相同的面积大小，估计可能发生的人群暴露变化。

³² Bay Area Air Quality Management District. (2017). *Spare the air, cool the climate*. <http://www.baaqmd.gov/plans-and-climate/air-quality-plans/current-plans>

³³ Bay Area Air Quality Management District. (2010). *Bay Area 2010 clean air plan*. <https://www.baaqmd.gov/~media/files/planning-and-research/plans/2010-clean-air-plan/cap-volume-i-appendices.pdf>

³⁴ 湾区的 CO、SO₂、NO_x 和铅符合国家环境空气质量标准。这五种有毒污染物是从受管制的 200 种污染物名单中挑选出来的。

- 根据人群暴露的变化，使用美国环保署 BenMAP 模型的标准终结点（standard endpoints）（例如，死亡率，住院人数，哮喘引起的急诊，工作和上课的缺勤日），确定可能产生的健康益处（或影响）。
- 使用标准成本来计算卫生事件和温室气体的社会成本，确定实施特定控制措施所产生的总体健康和社会经济效益³⁵。
- 估算每个控制措施的成本。
- 计算优化成本最低的控制措施组合。

实现跨机构协同管理规划的方法

各州和城市已经制定了各种方法来协调各机构的行动，使共同管理规划成为可能。下面的例子说明了湾区空气质量管辖区是如何设计和实施“爱惜空气，降低温度”计划(以下简称“计划”)。湾区空气质量管辖区负责制定、实施和确保计划的执行。下面介绍了图 1 中描述的功能。

湾区空气质量管辖区董事会由其管辖的 8 个郡的市和郡的代表(大部分是选举出的政府官员)组成。董事会监督该机构所有运作，并定期举行会议(会议对公众开放，讨论机密信息的部分除外)。董事会审查所有计划草案，向该机构管理层和工作人员提供反馈意见，然后批准最终计划。“爱惜空气，降低温度”计划的制定也遵循了相同的流程。

几个不同的小组为该计划提供了反馈意见。大学和研究机构(如加州大学伯克利分校)进行了空气质量和经济建模，来评估空气质量和温室气体的效益，确定选定控制措施的成本和效益。他们进行了多次模型运行以评估各项措施的有效性，确保达到全州空气质量和温室气体目标，以及全国空气质量目标。

各公共团体考虑到计划草案对环境、公共健康和环境正义的影响和好处，为草案提供了意见。同样，来自商业界和受影响企业的反馈帮助了湾区空气质量管辖区评估该计划措施的技术和经济可行性。

加州能源委员会(CEC)为能源效率制定全州标准，并负责制定和实施全州能源规划。该规划中的空气质量和温室气体效益将根据加州能源委员会能源目标和能效标准进行评估，以测量其帮助委员会满足当前和未来规划要求和标准的能力。

³⁵多污染物评估方法是在2009年开发的，用于帮助制定2010年湾区清洁空气计划的控制措施。该方法已得到多个建模和空气污染化学专家的审查。有关旧金山湾区所采用的完整方法论手册及程序的详细描述，详见 Fairley, D., & Burch, D. (2016, November). *Multi-pollutant method technical document 2016 update*. Bay Area Air Quality Management District. https://www.baaqmd.gov/~media/files/planning-and-research/plans/2017-clean-air-plan/mpem_nov_dec_2016-pdf.pdf?la=en

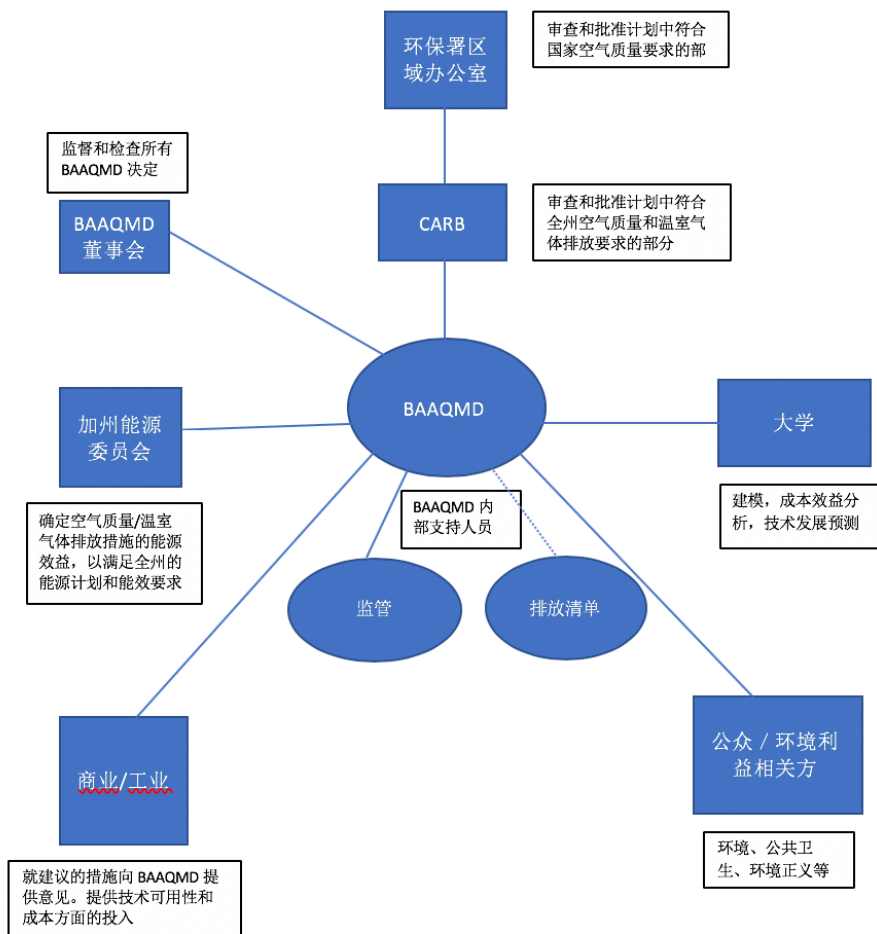
加州空气资源委员会(CARB)审查和批准加州 35 个空气管辖区提交的所有空气质量和温室气体计划。与所有空气质量和温室气体计划一样，湾区空气质量管辖区计划按照全州的要求进行审查，以确保当地计划中包含的元素有助于满足这些要求。加州空气资源委员会还可以就湾区空气质量管辖区拟议的控制措施提供建议。

环保署区域办公室审查并批准湾区空气质量管辖区计划中有助于满足国家空气质量要求的要素(通常是臭氧和细颗粒物 PM_{2.5})。如果需要，环保署也可以独立执行空气质量措施。目前，加州的温室气体排放措施完全由州政府负责。

湾区空气质量管辖区(引申至董事会)考虑所有利益相关者的所有反馈和建议。该计划的内容、实施和执行由湾区空气质量管辖区最终决定。

随着计划的实施，逐步形成了图 1 中所示的组织结构。湾区空气质量管辖区召开了几次公开会议，介绍有关控制措施的信息，并接受来自企业和公众(包括公共健康、环境和环境正义团体)的反馈。

图1. 湾区空气质量管辖区“爱惜空气，降低温度”计划的组织结构



效益优先化

综合多污染物规划允许空气质量管理机构全面比较各种措施。一旦确定了这些措施，各机构需要确定能够提供最高净收益的措施。下面的例子分析了湾区空气质量管辖区是如何在“爱惜空气，降低温度”计划中实现利益优先化的。

附录 H“爱惜空气，降低温度”³⁶（即“计划”）提供了所选控制措施的空气质量和温室气体效益，并对其相对经济效益进行了评级（低、中、高）。对于每一个分析的措施，在基于 20 年和 100 年的时间框架下，显示了对以下污染物预期的减排量：反应性有机气体(ROG)³⁷、氮氧化物、PM2.5、SO2、NH3 和温室气体，并对每种污染物的效益分别进行了分析。《清洁空气法》和公共卫生建议都不允许用一种污染物替代另一种污染物。比如，不能说 5 吨 NOx 减排等于 1 吨 PM2.5，然后得出一个等效因子来优先落实控制措施。许多 ROG 也被规定为有害空气污染物，而 PM2.5 的无机部分可能含有汞和其他金属（它们本身是有毒的）。

温室气体和空气质量的效益和成本是独立评估的。加州的空气质量管理法要求必须采取所有经济和技术上可行的措施来改善空气质量。作为筛选过程的一部分，该计划的分析部分评估了减少标准污染物措施的可行性³⁸。该计划的附录 G 评估了 366 种可能的控制措施，评定了在加州或其他州的空气质量区域采取的控制措施，公众建议的措施，以及湾区空气质量管辖区工作人员建议的措施。在分析的 366 项措施中，有 168 项被合并为 85 项控制措施然后被纳入计划。这种过滤过程去除了不适合在湾区实施的措施、已经采取的措施，或目前被认为不具成本效益或技术上不可行的措施。根据加州空气质量管理法，湾区将采用所有 85 项综合措施，以满足全州和全国的空气污染要求。本节的其余部分将重点讨论如何根据其温室气体减排潜力和实施可行性，对 85 项综合措施进行优先采用。

湾区空气质量管辖区根据采用的容易程度、成本效益和实施措施所需的行动（监管、激励和教育）对温室气体减排措施进行排名。以下是 2018 年 10 月湾区空气质量管辖区气候技术审查（Climate Technology Review）的屏幕截图³⁹，描述了计划中包括的措施对减少温室气体排放时

³⁶ Bay Area Air Quality Management District, 2017, Appendix H.

³⁷ ROG is a California specific regulated pollutant. Typically, these are referred to as VOC in other jurisdictions.

³⁸ Bay Area Air Quality Management District, 2017, Appendix G.

³⁹ Bay Area Air Quality Management District. (2018). *Climate technology review*. <https://www.baaqmd.gov/~media/files/strategic-incentives/climate-tech-finance/baaqmd-climate-technology-review-20181011-pdf.pdf?la=en>

间表进行优先排序的过程。请参见图 2，其中列出了潜在的缓解措施、它们的成本效益和易于采用的程度⁴⁰。

图2. 按部门划分具备成本效益和易于采用程度的措施一览表

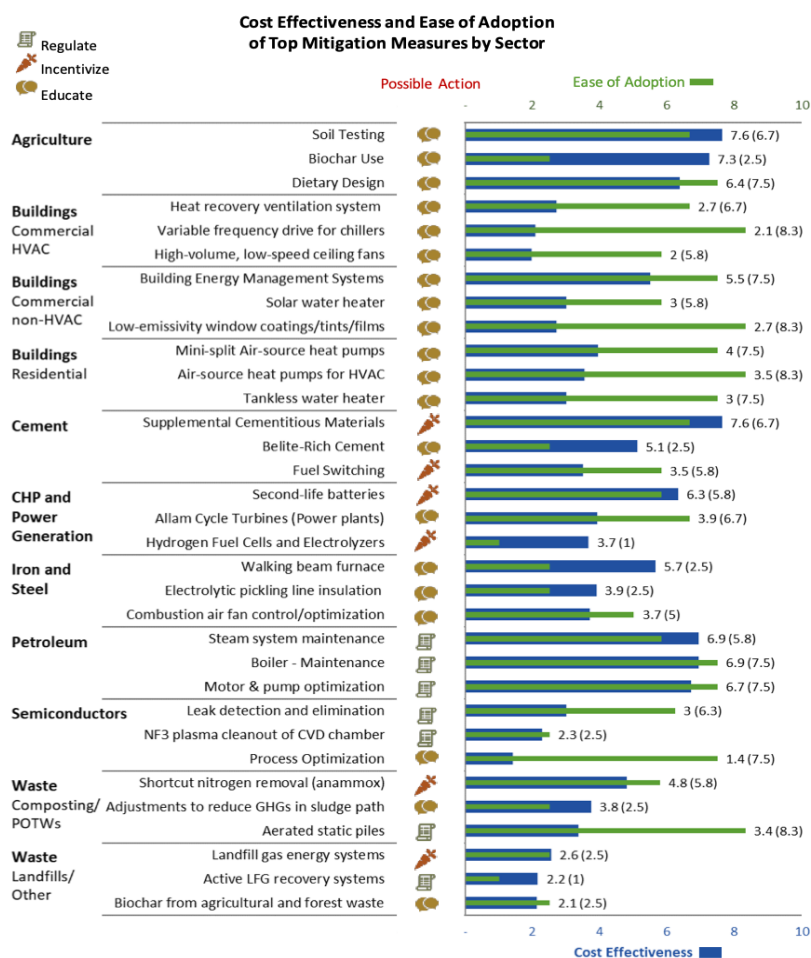


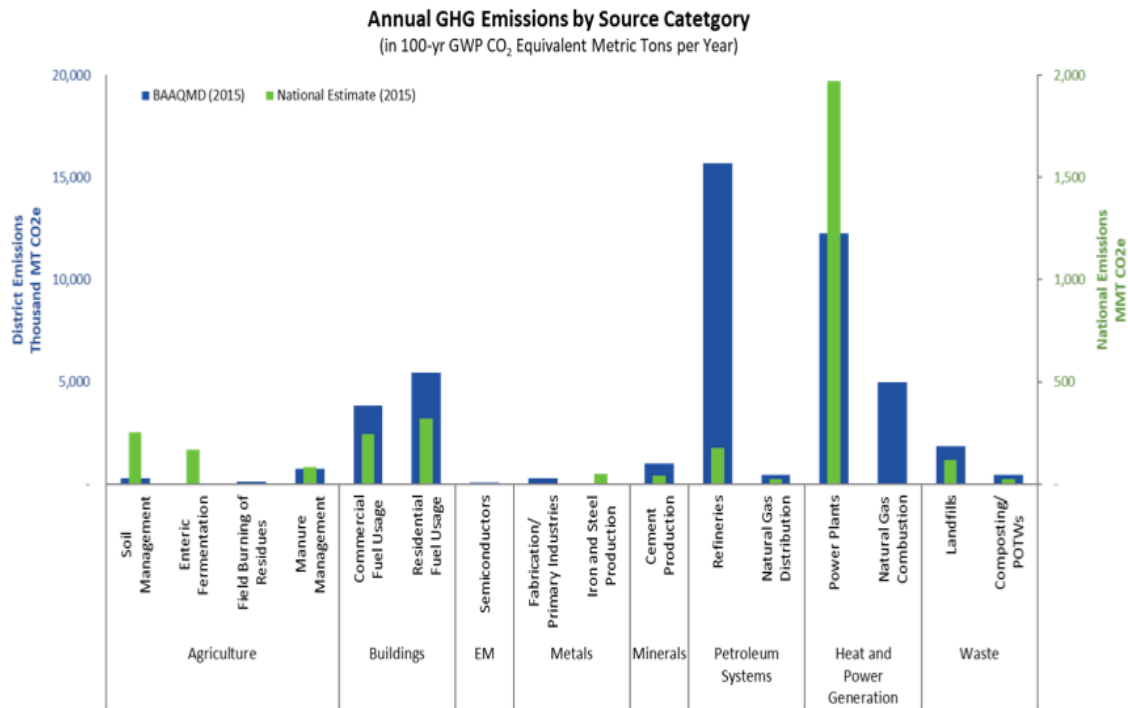
Figure ES-1. Cost Effectiveness, Ease of Adoption, and Possible Action for Top Mitigation Measures by Sector

Source: Bay Area Air Quality Management District. (2018). *Climate Technology Review*.

⁴⁰ Bay Area Air Quality Management District, 2018.

各部门的总体温室气体减排潜力如图 3 所示⁴¹。

图3. 各部门年度温室气体排放情况



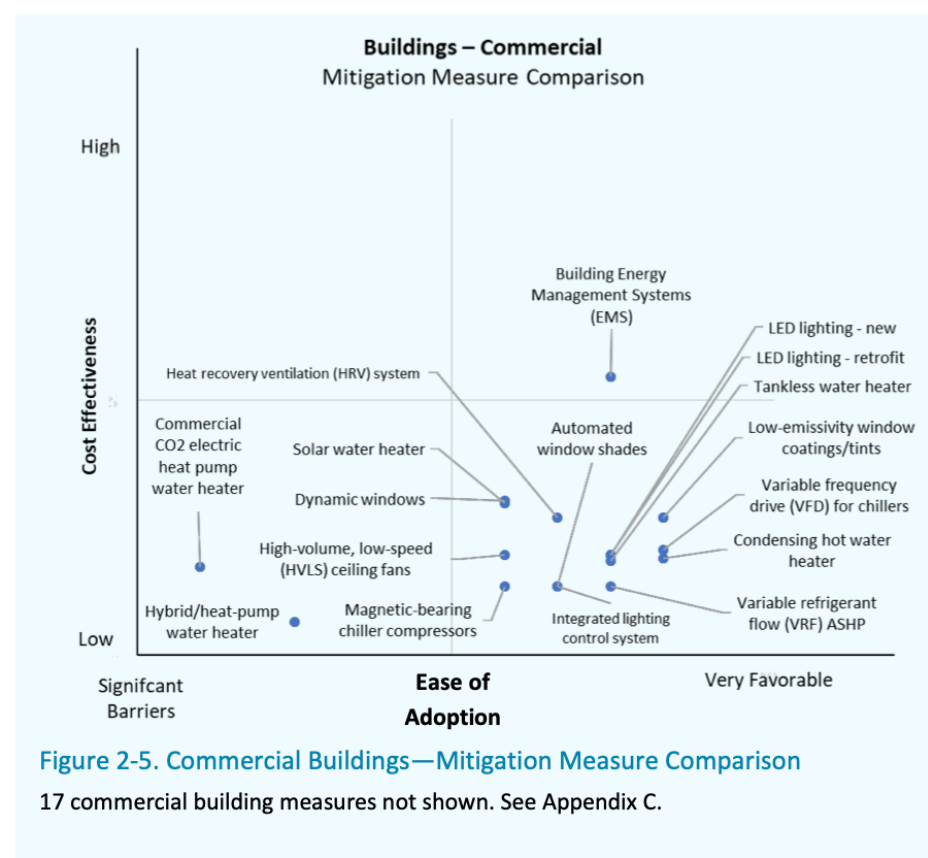
Source: Bay Area Air Quality Management District. (2018). *Climate Technology Review*.

然后，对于每个部门，将分析成本效益和易于采用程度，并绘制在一个 2 乘 2 的矩阵上，使用这个矩阵对采用的措施进行优先排序。

图 4 对商业建筑的减排措施进行了比较⁴²。

⁴¹ Bay Area Air Quality Management District, 2018.
⁴² Bay Area Air Quality Management District, 2018.

图4. 商业建筑的减排措施比较



Source: Bay Area Air Quality Management District. (2018). *Climate Technology Review*.

在上面的例子中,商业建筑行业,这些措施显示在右下角都是具有成本效益并被认为是非常易于采用的(这意味着技术是成熟的,少有或根本没有阻碍他们被采用的监管或政策壁垒)。这些措施将优先予以通过。同样的过程和矩阵被用于分析所有的部门。

结论

为了进一步改善空气质量并减少温室气体排放，可以通过采用综合规划方法来满足中国对多种污染物的联防联控的目标，本文中的加利福尼亚旧金山湾区空气质量管理计划就能很好地诠释这种方法。综合规划方法最初可以在京津冀实施，该区域已经完成了详细的空气质量建模，并且已经确定了通过管道末端控制措施可获得的空气质量效益。本文中建议的建模实践，将揭示还可以实施哪些额外的措施及其可获得的效益。马里兰州和阿肯色州的案例可以适用于其他地区，特别是那些希望首先把重点放在工业和电力部门的地区。

中国正在准备第 14 个五年计划，为设定共同管理目标进程，建议可以包括以下分析:

- 需要建造多少太阳能/风能/电池储能才能避免建造新的燃煤电厂？

- 重启“万家企业节能低碳行动”，其节能(节煤)潜力如何？
- 逐步实施的话，假设需要购买一辆电动汽车来置换现有的一辆化石燃料汽车，到 2030 年实现 100%电动汽车。分析环境空气质量和温室气体效益。

这些问题的答案不难得到。来自中国研究机构(和其他机构)的科研人员在评估空气质量计划的空气质量效益时，通常会回答类似的问题。这些问题的答案可以帮助制定第 14 个“五年规划”中环境、能源、交通和金融部门的目标。中国在制定新增可再生资源目标和满足特定环境污染物浓度要求方面有很多经验。



Energy Solutions for a Changing World

The Regulatory Assistance Project (RAP)®
Belgium · China · Germany · India · United States

CITIC Building, Room 2504
No.19 Jiauguomenwai Dajie
Beijing, 100004

北京市朝阳区建国门外大街 19 号
国际大厦 2504 100004
raponline.org