

Berkeley Law

California-China
Climate Institute



从公共健康视角看空气质量管理与气候变化：加州和中国的政策与技术选项

The Public Health Dimensions of Air Quality and
Climate Change:
Highlights of Policy and Technological Options
from California and China

加州-中国气候研究院
2023年12月

作者

珍妮佛·佩伦 (Jennifer Perron)、朱日新 (Rixin Zhu)、杰西卡·戈登 (Jessica Gordon)、戴凡 (Fan Dai)、雷切尔·瓦姆 (Rachel Wam)、伊丽莎白·温莱因 (Elizabeth Weinlein)

关于加州—中国气候研究院

加州中国气候研究院于2019年9月成立，是由加州大学伯克利分校法学院法律、能源和环境中心和 Rausser 自然资源学院联合设立的加州大学项目。它由加利福尼亚州前州长杰里·布朗担任主席，加利福尼亚州空气资源委员会前主席玛丽·尼科尔斯担任副主席。该研究所与加州大学的其他校区、部门密切合作。通过加州和中国之间的联合研究、能力建设和政策对话，该研究所旨在为决策者提供参考，促进中国与加州的气候变化合作与伙伴关系，并在各个层面推动气候解决方案。

鸣谢

本报告由加州—中国气候研究院编写，并由中国能源基金会 (Energy Foundation China) 资助。

在本次研究过程中，研究小组得到了多位专家的大力支持，特此致以诚挚谢意，专家名单如下（排名不分先后）：加州—中国气候研究院的玛丽·尼科尔斯 (Mary Nichols)；加州南海岸空气质量管理局的萨拉·里斯 (Sarah Rees)；湾区空气质量管理局的朱迪斯·库蒂诺 (Judith Cutino)；湾区空气质量管理局的詹姆斯那·罗杰斯·吉布森 (Jamesine Rogers Gibson)；洛杉矶县的阿里·弗拉扎尼 (Ali Frazzani)；洛杉矶县的克里斯蒂娜·阿内西托 (Christina Anecito)；洛杉矶市的玛尔塔·塞古拉 (Marta Segura)；亚洲清洁空气中心的张伟豪 (ZHANG Weihao)；亚洲清洁空气中心的万薇 (WAN Wei)；加州大学伯克利分校的约书亚·阿普特 (Joshua Apte)；加州大学伯克利分校的大卫·冈萨雷斯 (David Gonzalez)；加州大学洛杉矶分校的ZHU Yifang；加州大学旧金山分校的约翰·巴尔姆斯 (John Balmes)；复旦大学的阚海东 (KAN Haidong)；北京大学的朱彤 (ZHU Tong)；北京大学的薛涛 (XUE Tao)；北京科技大学的刘俊 (LIU Jun)；北京大学的张世秋 (ZHANG Shiqiu)。

决策者摘要

空气污染和气候变化是相互关联的两大问题，有着共同的解决方案，解决这些问题可以带来显著的公共健康效益。鉴于空气污染与气候变化之间的联系，必须采取协调一致的政策方法，实现健康效益最大化。

加州和中国都可以通过持续减少温室气体排放和改善空气质量取得巨大的健康效益。政策制定者采用协同方式应对空气污染和温室气体排放问题，可以成功改善公共健康。

公共健康效益

降低死亡率和发病率，产生社会经济效益

越来越多的文献指出，空气污染和气候变化会增加一些疾病的发病率。因此，实施有效的空气和气候政策，有可能降低全球死亡率和发病率。此外，由于空气污染和气候变化的负担在不同人群和社区之间分布不均，解决空气和气候问题还将为弱势群体和弱势社区带来更大的公共健康效益。空气和气候政策还通过改善公共健康产生社会经济效益。近期的研究表明，实施有效的空气和气候政策，可以降低医疗支出，并通过提高生产率培养人力资本。加州和中国都将从公共健康改善中获得经济效益。

公共健康指标与现有监测技术

指标有助于跟踪公共健康改善的成果以及评估一定时期内的进展情况。其中，疾病的死亡率和发病率是政策指标的两大类型。其他指标则属于社会经济类，例如家庭医疗支出、劳动生产率损失和社区易损性等指标。鉴于科学上的不确定性，公共健康政策指标未来需要进行修订和改进。

此外，可以借助各种技术监测和分析公共健康指标。卫星遥感、空气质量监测网络和机器学习等技术工具可以帮助科学家和政策制定者更准确、更精细地测量健康指标。

加州和中国的最佳实践

加州和中国均制定了有野心的空气质量和气候目标，并实施了各种政策，力求实现目标。加州将公共健康纳入了空气和气候政策，主要措施包括将公共健康指标写入政策、建立公共健康监测网络及对政策落实的效果进行衡量。近年来，加州还加大对弱势群体的关注，努力解决环境正义问题。与此同时，中国率先走上了缓解空气污染和减少温室气体排放两手抓的道路。中国制定了大规模空气质量监测计划，并建立了全面的气候变化减缓政策框架。尽管公共健康尚未成为中国制定温室气体政策的主要推动因素，但中国已在气候适应政策中强调公共健康问题，且部分省份已经开始评估气候变化对健康的影响。

两地均提供了良好实例。洛杉矶成功将科学研究融入政策制定环节，并将公共健康指标纳入其空气和气候政策。而北京和深圳也在积极制定公共健康指标，并通过实施“协同控制”政策和碳市场，进一步管控空气污染和温室气体排放。

经验教训

通过对空气污染和气候行动公共健康效益的统筹兼顾，可以获得重要的经验教训。加州已经证明，在气候和空气质量政策中，公共健康效益可以作为可测量、可量化的目标。加州还在将环境正义考量纳入工作方面取得了重大进展。另一方面，中国出色地开发了尖端空气质量监测工具和全面的气候政策框架，同时应进一步将公共健康指标纳入其政策。洛杉矶、北京和深圳等城市的案例研究，提供了关于城市如何兼顾空气质量和气候变化的实例。

本报告还指出了今后发展的几个关键机遇：（1）在加州和中国开展交流和培训，分享经验教训；（2）利用、复制和推行技术监测和绘图工具；（3）进一步实施“协同控制”和区域管理方法；（4）大力开展本地化公共健康研究；（5）加强多方利益相关者参与在推进公共健康行动中的作用；以及（6）在空气和气候政策制定议程中优先考虑公共健康。

目录

决策者摘要	3
缩略词	6
1. 概述	8
2. 将空气质量、气候政策与公共健康相互联系的重要性	9
2.1 空气污染、气候变化与公众健康之间的相互联系	9
2.2 文献综述	10
3. 加州和中国实现空气与气候政策公共健康效益的政策路径	14
3.1 加州的政策路径	14
3.2 中国的政策路径	22
4. 评估公共健康效益	30
4.1 主要科学指标综述	30
4.2 注意事项和不确定之处	32
5. 提高公共健康效益的技术工具	33
6. 加州和中国的城市实例	36
6.1 案例研究：洛杉矶	36
洛杉矶的经验教训	42
6.2 案例研究：北京市	42
6.3 案例研究：深圳	46
中国案例研究得出的经验教训	51
7. 结论	53
8. 免责声明	56
9. 参考文献	57
附录一 加州实现碳中和“范围计划”（2022）中的公共健康指标	71
附录二 衡量气候政策对公共健康影响时考虑的指标：“范围计划”和心肺健康 共同效益评估方法	73
附录三 加州南海岸空气质量管理局的空气质量计划中的健康指标	74
附录四 洛杉矶市可持续城市规划/绿色新政的公共健康效益	78

缩略词

AB 32	《全球变暖解决方案法令》（第32号加州众议院法案）
AQI	空气质量指数
AQ-SPEC	美国加州空气质量传感器绩效评估中心
BenMAP	美国环境保护局环境效益图像展示和分析系统
BMDRC	北京市发展和改革委员会
BMHC	北京市卫生健康委员会
BMEEB	北京市生态环境局
BVOCs	生物源挥发性有机物
CAA	《清洁空气法案》
CAAQS	加州环境空气质量标准
CARB	加州空气资源委员会
CDC	疾病预防控制中心
CEMO	气候紧急动员办公室
CEPHT	中国环境健康综合监测系统
CH ₄	甲烷
CO	一氧化碳
CO ₂	二氧化碳
COPD	慢性阻塞性肺病
CSULA	加州州立大学洛杉矶分校
EPA	美国环境保护局
F-gases	含氟气体
FYP	五年计划
GDP	国内生产总值
GHG	温室气体
LARC	洛杉矶气候行动区域合作组织

缩略词 (续)

MATES	多种空气有毒物质暴露研究
MEE	中国生态环境部
NAAQS	国家环境空气质量标准
NASA	美国国家航空航天局
NH ₄	氨气
NO _x	氮氧化物
OEHHA	(加州) 环境健康危害评估办公室
Pb	铅
PLACE	宜居活跃社区与环境政策
PM (2.5或10)	颗粒物 (直径一般为2.5微米或10微米及以下) smaller)
PPM	百万分率
SB 32	加州第32号参议院法案
SCAQMD	加州南海岸空气质量管理局
SEZ	经济特区
SIP	州实施计划
SLCPs	短期气候污染物
SMBEE	深圳市生态环境局
SMHC	深圳市卫生健康委员会
SO _x	硫氧化物
U.S.	美国
VOCs	挥发性有机化合物
VSL	生命统计价值
WHO	世界卫生组织
YLL	生命损失年数
μg/m ³	微克/立方米
μm	微米

1. 概述

加州和中国都可以通过减少温室气体排放和改善空气质量，取得显著的健康效益。鉴于空气污染与气候变化之间的联系，必须采取协调一致的政策实施方法，实现健康效益最大化。通过协同应对这些问题，政策制定者可以在改善公共健康的同时，履行气候和空气质量承诺。

本报告利用文献综述和政策分析，同时概述加州和中国主要城市地区的关键指标和技术，进而探索空气质量和气候政策两手抓的公共健康效益。此外，本报告还列举了洛杉矶、北京和深圳空气质量和气候政策两手抓的实例，并总结了关键经验教训。

中国和加州在产业和法律方面大相径庭，所依赖的燃料也有所不同，因此两地的排放来源、数量和浓度截然不同。加州是美国人口最多的州，也是世界第五大经济体。在美国细颗粒物浓度最高的十大城市中，有七个位于加州；同时，还有多个全国臭氧浓度最高的城市也位于加州。¹加州的空气污染物主要来自本区域、移动源和自然来源，如汽车尾气、二次气溶胶、土壤、农业和工业排放。²

与此同时，在2002年至2017年间，中国的国内生产总值增长了284%，同时成为全球最大的能源消耗国，空气污染物和二氧化碳（CO₂）排放量随之大幅增加。³煤电厂等重工业是实现这一大规模增长的支柱产业，目前仍然是中国温室气体的主要排放源

本报告第1章简要介绍了本报告的背景和结构。第2章详细阐述了将空气质量、气候政策与公共健康相互联系的重要性，并提供了学术文献综述。第3章概述了加州和中国为了在气候和空气质量行动中实现公共健康效益而实施的政策和计划。第4章总结了前述行动公共健康效益的关键指标，第5章探讨了加州和中国所采用的技术方法。第6章深入分析了加州和中国城市地区的实际案例。第7章提出了我们的建议。

1 American Lung Association. (n.d.).

2 Aguilera et al. (2021); Anderson et al. (2018).

3 Geng et al. (2021); Shi et al. (2022).

2. 将空气质量、气候政策与公共健康相互联系的重要性

2.1 空气污染、气候变化与公众健康之间的相互联系

虽然空气污染和气候变化问题往往分开处理，但两者又是相互交织的。两者均因化石燃料燃烧造成，并且均危害公共健康。⁴以减少煤炭和温室气体排放为重点的气候变化减缓政策，可以为空气质量和公共健康带来巨大的共同效益。⁵虽然气候政策通常主要针对减少二氧化碳（CO₂）排放，但也可以限制氮氧化物（NO_x）、颗粒物（PM）、氨气（NH₄）、硫氧化物（SO_x）等共同排出的空气污染物。⁶而空气质量政策可以通过限制能耗和提高能效，影响当地能源系统，从而促进温室气体减排。⁷空气质量政策还可以针对臭氧、硫酸盐和黑碳等导致气候变化的化学品。⁸

空气污染指固态、液态和气态悬浮颗粒对空气的污染。⁹在美国，环境保护局根据国内主要空气污染政策《清洁空气法案》对一氧化碳（CO）、铅（Pb）、氮氧化物、臭氧和颗粒物等六种“标准空气污染物”进行监管。¹⁰中国生态环境部制定并监管最新的国家空气质量标准，该标准同样对颗粒物、氮氧化物、臭氧、一氧化碳、铅和二氧化硫（SO₂）进行监管。¹¹

当前的学术文献表明，颗粒物和臭氧对人体健康的危害最大。¹²颗粒物分为PM₁₀和PM_{2.5}，PM₁₀指直径小于或等于10微米的颗粒物，而PM_{2.5}指直径小于或等于2.5微米的颗粒物。PM₁₀和PM_{2.5}均是固体和液体物质的混合物，其中可能含有硫酸盐、硝酸盐、铵、有机碳、海盐和灰尘。¹³即使浓度较低，以上各种物质仍然会严重影响健康。PM_{2.5}的粒径较小，可以渗入身体内部，与早期死亡、肺癌、心脏病、中风和哮喘具有一定关联；¹⁴臭氧由阳光、氮氧化物和挥发性有机化合物（VOC）之间的化学反应形成，是烟雾的主要成分，与早期死亡、肺病和哮喘具有一定关联。¹⁵由于气温升高将加速臭氧的产生，预计气候变化将加剧美国的臭氧污染。¹⁶在美国，PM_{2.5}和臭氧引发的死亡，是影响经济及健康的最大因素，同时现有研究表明，PM_{2.5}对全球空气污染相关的死亡和经济成本影响最大。¹⁷

4 Bollen et al. (2009).

5 Anderson et al. (2018); Tong et al. (2021); T. Wang et al. (2020); B. Zhao et al. (2019).

6 Bollen et al. (2009); Fuller et al. (2022); T. Wang et al. (2020).

7 Shi et al. (2022).

8 USGCRP (2016).

9 Fuller et al. (2022).

10 Clean Air Act (1963).

11 Ministry of Ecology and Environment (2012).

12 Anderson et al. (2018); T. Wang et al. (2019, 2020).

13 USGCRP (2016).

14 Anderson et al. (2018); USGCRP (2016); Williams & Phaneuf (2019).

15 Anderson et al. (2018); USGCRP (2016).

16 USGCRP (2016).

17 Anderson et al. (2018); T. Wang et al. (2019); Zhao et al. (2019).

除了PM_{2.5}和臭氧，二氧化氮也与疾病死亡率和发病率具有一定的科学联系，超微粒子或纳米粒子（指直径小于0.1微米的颗粒）对人体健康的潜在危害比PM₁₀和PM_{2.5}还要大，却未受到常规监测或监管。¹⁸甲烷（CH₄）、黑碳和含氟气体（即F-gases，包括氢氟碳化合物）等短期气候污染物（SLCP）是比二氧化碳更强的温室气体，对气候和人体健康有害。¹⁹

空气污染和温室气体排放对健康的影响取决于多个因素，包括污染源、排放量、空气污染物浓度、暴露源以及所吸收的颗粒量（以吸入率和粒径表示）。²⁰一次（排放）和二次（形成）污染物都是造成不良公共健康影响的重要因素。²¹虽然本报告主要探讨室外空气污染，但鉴于人们大部分时间都待在室内，室内空气质量也是重要的考虑因素。²²顾名思义，室外空气污染可以超越地理边界，因此对其影响的测量和评估工作较为复杂。

气候变化的风险因素，如当地的排放源和生态环境，并非孤立存在，因此许多人将同时面临日益加剧的高温和空气污染。²³另一个需要考虑的状况是同时接触高温等多种其他气候变化影响。在全球范围内，极端高温（包括热浪）发生的强度和频率越来越高，严重威胁人类生命，加剧了心血管和呼吸道疾病，并导致死亡率升高。²⁴在最近的一项研究中，Rahman等人发现，同时接触极端高温和PM_{2.5}所产生的超额死亡风险，约为单独接触其中一个方面的估计影响的三倍。²⁵据报告，极端高温与PM_{2.5}之间的协同效应，也存在于高温和臭氧之间。²⁶造成这种同时接触的原因之一可能是，热浪引发的高温提高了植物排放生物源挥发性有机物（BVOC）的排放率，从而使臭氧和PM_{2.5}增多。²⁷与极端温度和恶劣空气质量同时接触这一状况正变得越来越频繁持久，对公共健康的影响也越来越大。²⁸

2.2 文献综述

针对空气污染和气候变化对健康的影响采取应对措施至关重要。本综述探索了有关空气质量、气候政策和公共健康效益交叉关系的最新研究。顾名思义，协同效益涉及多领域行动，必须注意的是，在其中一个领域取得进展，可能会影响其他领域。²⁹本综述分析了空气污染和气候变化行动协同效益的主要考虑因素，即人口死亡率、发病率及社会经济影响。

18 Tian et al. (2022); Wing et al. (2020, p. 20).

19 California Air Resources Board (2022a).

20 Smith (1988).

21 California Air Resources Board (2022a).

22 USGCRP (2016).

23 Anenberg et al. (2020).

24 IPCC AR6 Working Group 1 (n.d.); Rahman et al. (2022); Schnell & Prather (2017); Watts et al. (2021).

25 Rahman et al. (2022).

26 Anenberg et al. (2020).

27 Schnell & Prather (2017).

28 Schnell & Prather (2017).

29 California Air Resources Board (2022a).

死亡率

越来越多的研究表明，空气污染和气候变化会导致过早死亡。据世界卫生组织（WHO）估计，仅2019年就有420万人因环境空气污染而过早死亡，2012年时则为370万人。³⁰其中约100万人的死因与煤炭燃烧排放有关，而2018年的一项研究认为，在全球与PM_{2.5}有关的死亡人数中，12%归因于化石燃料和生物质发电厂的排放。³¹

有效的气候和空气质量政策有可能影响全球死亡率；Markandaya等人（2018）发现，如果能将全球温度升高控制在2°C以内，就可以使过早死亡率降低21%-27%。这一点对中国至关重要，据预测，2020年至2050年间，中国与气候变化相关的过早死亡人数将占同期全球气候变化致死人数的33%-37%，为最高占比。³²Xie等人（2020）认为，实施以减少环境PM_{2.5}接触为重点的空气质量改善措施，到21世纪50年代可以避免370,000人过早死亡。Zhang等人（2021）评估认为，如果实现了碳中和目标，到2060年，中国所有省份的空气质量都能够达到世界卫生组织2005年制定的PM_{2.5}标准（10微克/立方米[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]）。如此一来，在2020年至2060年间，中国的过早死亡人数累计可以减少2,200万至5,000万，同时，笔者推断，到2060年，人均相关预期寿命将延长0.88-2.80年。³³

少数民族、老弱妇幼、烟民、糖尿病患者和心脏病患者等弱势群体更容易受到室内外空气污染的影响，³⁴尤其是颗粒物接触的影响。³⁵例如，与较年轻的人群相比，65岁以上人群中通常更容易产生气候变化的健康风险，³⁶原因是气候变化会增加臭氧含量或引起更多野火，从而加剧空气污染问题。³⁷在该年龄段的室内空气污染致死率，是其他所有年龄段的4至7倍，一项研究发现，在美国西部的野火频发季节，老年人入院人数增加了7.2%。³⁸

发病率

空气污染和温室气体主要被吸入肺部，事实证明，空气污染物会导致疾病恶化，同时影响呼吸系统（包括新冠肺炎）和心血管系统。³⁹2017年一项关于加州野火造成的PM_{2.5}的研究发现，大量接触野火空气污染，导致呼吸道疾病、哮喘、慢性下呼吸道疾病和急性心梗急诊就诊人数不断增加。⁴⁰气候变化还会引发过敏症，人为二氧化碳排放对产生和传播过敏原的植物的生长具有促进作用，并且会延长其生长季节。⁴¹同时，美国环境保护局界定的所有标准污染物都会影响呼吸道疾病的发病率，而接触臭氧和一氧化碳也与心血管疾病发病风险升高具有一定的关联。⁴²中国的一项研究预计，实施严厉的政策，减少每年的环境PM_{2.5}接触量，将减少哮喘发作和入院人数，从而到2050年可以使全球发病人数减少1130万例。⁴³

30 World Health Organization (2022); Chen et al. (2020).

31 Tong et al. (2018); Watts et al. (2021).

32 Markandya et al. (2018).

33 S. Zhang et al. (2021).

34 Tibuakuu et al. (2018).

35 USGCRP (2016).

36 Cai et al. (2022); Yu et al. (2019).

37 Heaney et al. (2022); Schwarz et al. (2021).

38 Liu et al. (2017); Yu et al. (2019).

39 Malig et al. (2021); Wu et al. (2020).

40 Malig et al. (2021).

41 Anenberg et al. (2020); Strain (1987); USGCRP (2016).

42 Williams & Phaneuf (2019).

43 Xie et al. (2020).

气候变化和空气污染皆是涉及多层面的复杂问题。根据排放物及其来源的特点，空气污染物会对个体产生不同的影响，但多项研究指出，老弱妇幼是最容易受影响的群体。研究发现，接触空气污染的孕妇存在不孕不育和不良出生状况（包括低出生体重和早产）等问题。⁴⁴有几项研究重点关注与交通类空气污染的接近程度，发现接近程度以及高浓度一氧化碳和颗粒物与不良出生状况存在关联。⁴⁵另一项研究调查了加州居民与石油和煤电厂的接近程度，发现这些发电厂会释放苯和铅等多种污染物，接近这些发电厂导致了早产情况。⁴⁶

空气污染和气候变化对弱势群体的影响分布不均。不同的排放源和环境浓度对部分社区造成的负担大于其他社区，形成这种不均的因素还包括种族/民族、社会经济地位和获取医疗资源的机会。⁴⁷因此，必须确保为这些弱势群体提供专门资源。2012年和2016年，加州分别通过了第535号参议院法案（SB 535）和第1550号州众议院法案（AB 1550），引导对弱势社区进行投资，以改善公共健康，增加经济机会，并减轻空气污染和气候变化的影响。⁴⁸加州最新的气候变化减缓法律（包括第32号参议院法案（SB 32））规定，不得使弱势社区（根据社区空气质量和人口统计资料指定）不平等地承担限额交易等温室气体减排政策带来的空气污染负担。⁴⁹另一个新兴领域是空气污染、气候变化与心理健康之间的相互联系。例如，PM_{2.5}的增加与心理健康水平的下降存在关联。⁵⁰

社会经济共同效益：降低死亡率和发病率

成功的气候和空气政策所带来的社会经济共同效益包括降低死亡率，减少卫生支出，以及提高生产率和教育程度，培养人力资本。研究发现，与2012年的水平相比，PM_{2.5}每增加一个标准差，哮喘和慢性阻塞性肺病（COPD）的支出即增加12.7%以上，年支出超过90亿美元。⁵¹同时，据估计，根据对与野火相关的3,653例空气污染死亡计算的生命统计价值（VSL），加州2018年的火灾季节造成了322亿美元的损失。⁵²另一项研究对全美进行了预测，发现由于空气质量的改善，气候变化减缓可以使2050年的过早死亡人数减少10,000人，使2100年减少5,000人；相当于到2050年的生命统计价值约为1,500亿美元（按2005年美元计算），到2100年为1.3万亿美元。⁵³

中国可以从气候变化减缓中获得类似的经济共同效益，模型显示东亚的共同效益可能远高于任何其他地区。研究将13个模型中的减排边际成本与VSL进行了比较，发现东亚的共同效益是2030年边际成本的10至70倍。⁵⁴另一项研究表明，中国的气候变化减缓行动可以惠及本国以外的人口，到21世纪30年代和50年代，气候变化减缓带来的PM_{2.5}浓度降低，可以使全球过早死亡相关支出分别减少约4,060亿美元和12,060亿美

44 Nieuwenhuijsen et al. (2014); X. Wang et al. (1997); Wilhelm et al. (2012); Wing et al. (2020).

45 Coker et al. (2016); Wilhelm et al. (2012).

46 Casey et al. (2018).

47 T. Wang et al. (2020).

48 California Office of Environmental Health Hazard Assessment (n.d.).

49 Anderson et al. (2018).

50 T. Xue et al. (2019).

51 Williams & Phaneuf (2019)

52 Wang et al., 2021

53 Garcia-Menendez et al. (2015).

54 West et al. (2013).

元。⁵⁵中国气候变化减缓行动所产生的共同效益还包括，通过降低与空气污染相关的发病率和死亡率，节省医疗支出。

空气污染和气候变化事件（如热浪或极端天气事件）会影响生产率和学生出勤率，因此改善空气质量有助于减少工作和上学时间损失。⁵⁶空气污染与呼吸道疾病存在联系，可能影响儿童的认知能力和身体健康，进而对教育、收入和人力资本产生长期影响。⁵⁷

部分研究空白

虽然已有大量文献研究气候和空气政策对健康的影响，但在空气污染研究方面仍然存在空白。其中一处空白是，低估了空气污染物的毒性。例如，尽管不同颗粒物的成分各不相同，并且业界开展了各种科学工作辨别对健康危害最大的成分和来源，但所有颗粒物仍然被视作具有相同的毒性。因此，应针对这一问题采取政策行动。⁵⁸

虽然大部分学术研究关注的是单一接触，但人类通常会同时接触污染物和环境风险，因此同时接触也成为了新兴研究领域。⁵⁹尽管有大量证据证明了PM_{2.5}和臭氧作为独立污染物对健康的影响，但关于两者协同效应的研究却较少。⁶⁰环境风险也应该被更多考虑，因为气候变化预测表明，热浪与高污染日和野火烟雾同时出现的情况会更加频繁。⁶¹然而，气候变化与空气污染之间的关系较为复杂，关于气候变化是导致美国PM_{2.5}净减少还是净增加的争论从未停歇。此外，关于气候变化所产生的空气质量方面的健康影响主要由哪种污染物促成，目前并没有统一意见。⁶²

同时，实践证明，评估污染、追踪排放源和测定疾病的技术解决方案，是实现气候行动健康效益的支持工具。本报告第5章详细介绍了一组可同时支持温室气体减排和空气污染防治的数字技术和工具，不过在这一领域还需要开展更多研究。

尽管存在种种不确定性，但实现空气质量改善和气候政策的健康效益意义重大。本报告分析了加州和中国的现行政策，为基于证据制定出兼顾气候变化、空气质量和公共健康效益的政策提供了依据。

55 Markandya et al. (2018).

56 Xie et al. (2020).

57 Allen et al. (2017); S. Chen et al. (2018); Sunyer et al. (2015); X. Zhang et al. (2018).

58 Kelly & Fussell (2020).

59 Guarnieri & Balmes (2014).

60 Q. Ma et al. (2020).

61 Rahman et al. (2022).

62 USGCRP (2016).

3. 加州和中国实现空气与气候政策公共健康效益的政策路径

加州和中国均制定了有野心的的空气质量 and 气候目标，并实施了各种政策，力求实现目标。本章概述了加州和中国正在使用哪些政策工具以实现空气质量、减缓气候变化和公共健康效益之间的协同。同时，本章还总结了加州和中国两地现行政策的空白之处。

3.1 加州的政策路径

长期以来，加州一直在应对空气污染和气候变化方面发挥着引领作用。⁶³通过促进决策制定和衡量执行情况等主要措施，公共健康已被纳入加州的气候和空气质量政策。近年来，加州的气候和空气政策更多兼顾了儿童和环境正义社区等弱势群体。本章简要总结并强调了公共健康、空气质量和气候变化之间的协同作用。

表 1. 加州州实施计划总结⁶⁴

发表年度	2022
用途	为达到美国《清洁空气法案》规定的臭氧国家环境空气质量标准编制计划
主要目标	<ul style="list-style-type: none">制定控制措施并减少碳排放，以达到政府规定的十亿分之70 (ppb) 的8小时臭氧标准，同时有助于达到臭氧和细颗粒物 (PM_{2.5}) 的其他国家环境空气质量标准降低加州受影响最严重社区的健康风险。
举措	<ul style="list-style-type: none">通过推行法规、推广新排放标准，减少汽车、卡车和摩托车等道路车辆造成的污染。通过修订现行政策和标准，并为航空和航运业制定措施，减少非道路车辆和设备造成的污染。其他措施旨在通过消费品法规、加热器零排放标准、改进区域排放分析以及降低某些杀虫剂的健康风险来提高空气质量。

加州的空气质量政策和行动方案

州实施计划

加州解决空气质量问题的总体规划在州实施计划 (SIP) 中得到了体现，该计划概述了该州将如何达到美国《清洁空气法案》规定的国家环境空气质量标准 (NAAQS)。⁶⁵表1简单介绍了加州最新的州实施计划。值得注意的是，加州的地方空气质量管理局负责控制固定空气污染源，而制定州层面的州实施计划是为了在不达标

63 Keeth (2003).

64 California Air Resources Board (2022a).

65 Clean Air Act (1963).

地区实施空气污染控制策略，为地方计划提供帮助，为地方执法提供指导。⁶⁶

促进公共健康效益是加州的州实施计划的明确目标之一。由于州实施计划旨在推行《清洁空气法案》，因此该计划采用了《清洁空气法案》中改善空气质量以保护“公共健康和福祉”的宗旨。⁶⁷《加利福尼亚州法典》进一步阐述了这一目标，规定加州环境空气质量标准（CAAQS）的目标是“为预防或减少空气污染对健康、美观和经济等方面的影响提供依据”，一些标准比国家环境空气质量标准更为严格。因此，加州环境空气质量标准描述了空气污染物相关浓度及其对人类健康的影响。例如，暴露在浓度超过0.09 ppm（1小时）和0.070 ppm（8小时）的臭氧中，可能会导致肺功能衰退、呼吸道刺激、气道过度反应、炎症、非正常死亡、住院、急诊就诊、哮喘加重、呼吸道症状和活动受限。该标准同样计算了一氧化碳、二氧化硫、降低能见度的颗粒、PM₁₀和PM_{2.5}、铅、硫化氢、氮氧化物、硫酸盐和氯乙烯等物质的类似影响。⁶⁸

减少空气污染物排放

加州实施国家环境空气质量标准和加州环境空气质量标准的大部分措施都以减少空气污染物排放为重点。其中一些措施明确以保障公共健康为目标。

加州已经实施了旨在减少空气污染物的多项法规和计划。其中之一是《商业港口船只管理条例》，该条例旨在用更清洁的新发动机代替商业港口船只的旧发动机，以减少污染物，保护船工和乘客的健康。⁶⁹其中之二是加州的《货运减排计划》，该计划旨在迅速减少加州货物运输过程中的空气污染排放和健康风险。⁷⁰同样，加州空气资源委员会（CARB）的零排放车辆计划也是加州实现空气质量和温室气体排放目标战略的一部分。⁷¹此外，《卡尔·莫耶空气质量达标计划》通过征收烟雾消减费以及车辆登记费和轮胎费等附加费用来创收，重点关注减轻空气污染对公众健康的影响，尤其是圣华金河谷区域内受影响较大的社区。⁷²最后，考虑到臭氧对健康有害，加州空气资源委员会的《室内空气计划》下的《空气净化器法规》规定，加州便携式室内空气清洁设备的臭氧排放限值为0.050 ppm。⁷³这些规划共同促进了加州空气质量的改善和排放的减少。

加州最新的空气污染物减排计划侧重于改善负担过重社区的公共健康，这些社区包括低收入社区和有色人种社区。2022年9月通过的第1749号众议院法案规定，加州空气资源委员会应在其全州战略中确定减少有毒空气污染物和标准空气污染物的措施，旨在减轻负担过重社区累积的负担。⁷⁴于2022年9月通过的第1382号参议院法案更新了《全民清洁汽车普及计划》（Clean Cars 4 All Program），通过将高污染机动车辆更换为更清洁高效的车辆，减少温室气体排放，改善低收入居民的空气质量。该法案强调加州空气资源委员会、地方空气局和社区组织之间的合作，以消除障碍并改善对社区

66 California Air Resources Board (2022a, p. 10).

67 Ambient Air Quality Standards (n.d.).

68 California Air Resources Board (n.d.-a).

69 California Air Resources Board (n.d.-b).

70 California Air Resources Board (2022b).

71 Assembly Bill 2836 (2022); Assembly Bill 1274 (2017).

72 Assembly Bill 2276 (2006).

73 Assembly Bill 1749 (2022).

74 Senate Bill 1382 (2022).

的服务，同时承认空气污染对有色人种社区的影响尤为严重。⁷⁵这些措施着重体现了加州致力于弥合环境差异和提高弱势社区公共健康水平的承诺。

空气质量报告和监测

下表2概述了加州一些侧重于空气污染报告和监测的空气质量政策：《社区空气保护计划》和《标准空气污染物和有毒空气污染物报告条例》。

政策	《社区空气保护计划》	《标准空气污染物和有毒空气污染物报告条例》
出台年份	2018	2020
主要目标	<ul style="list-style-type: none"> 减少空气污染影响最严重社区与污染物的接触。 	<ul style="list-style-type: none"> 在全州范围内实施设施标准空气污染物和有毒空气污染物排放数据年度报告制度。
主要任务	<ul style="list-style-type: none"> 通过社区空气监测测量空气污染。 通过社区减排计划减少对健康的影响。 通过 (1) 投入有针对性的激励资金来部署清洁技术，以及 (2) 财政拨款，支持社区参与第617号众议院法案 (AB 617) 相关活动来解决本地空气污染问题。⁷⁷ 	<ul style="list-style-type: none"> 通过使用全州统一的系统，每年报告相关标准和有毒排放数据。 收集排放清单数据，有助于指导加州空气资源委员会的法规制定过程并为其提供科学依据，确定并解决重点领域的问题，跟踪固定源、移动源和区域源的减排工作进展。

上述政策都以公共健康为目标。例如，《标准空气污染物和有毒空气污染物报告条例》在全州范围内实施标准空气污染物和有毒空气排放数据年度报告制度。该条例规定，由于此类染物“可能会对健康造成不良影响”，因此必须提交报告。⁷⁸该法规规定，建造“高毒性设施”（即根据癌症或非癌症健康影响被当地空气局列为有毒空气污染物排放高优先级的设施）必须向加州空气资源委员会提交标准空气污染物和有毒空气污染物的排放报告。⁷⁹

《社区空气保护计划》以第617号众议院法案为指导原则，该法案要求采取以社区为重点的新行动以减少空气污染，改善因接触空气污染物而负担过重社区的公共健康。⁸⁰该计划重点监测社区空气质量，同时实施社区减排计划。社区减排计划特别关注以健康为基础的空气质量目标。该计划的蓝图指出，此类目标“可包括降低细颗粒物水平以改善不良健康状况，极大地减少了社区与柴油废气、苯、有毒金属等空气中

75 California Air Resources Board (2018a, 2020).

76 California Air Resources Board (2018a, 2020).

77 AB 617要求改造工业污染源，提高罚款额度，并提高空气质量和排放数据的透明度和可用性，这将有助于推进全州的空气污染控制工作。计划加入AB 617实施的社区是由州政府和空气局确定的空气污染负担过重的社区（2017年第617号众议院法案）。

78 California Air Resources Board (2020).

79 Cornell Law School (2020).

80 California Air Resources Board (2018a).

有毒物质的接触”。社区监测计划同样重点关注公共健康，该计划可以生成数据，为公共健康通知系统和公共健康研究提供支持。⁸¹《社区空气保护计划》的实例之一是湾区空气质量管理局在西奥克兰社区等几个湾区社区开展的空气污染治理计划和规划。⁸²

公共健康影响的评估

加州空气资源委员会制定了空气质量政策和计划，以衡量空气污染对公共健康的影响，尤其针对空气污染较严重的地区或较脆弱的人群。表3总结了相关政策和计划。

政策	《空气有毒物质“热点”信息与评估法案》（第2588号众议院法案） ⁸³	《儿童环境健康保护计划》（第25号参议院法案） ⁸⁴
出台年份	1987	1999
主要目标	<ul style="list-style-type: none"> 要求报告固定污染源的空气排放情况。 	<ul style="list-style-type: none"> 研究空气污染对儿童健康的影响。
主要任务	<ul style="list-style-type: none"> 收集排放数据。 确定对当地空气质量有影响的设施。 确认健康风险。 向附近居民告知重大风险。 降低上述重大风险至可接受水平。 	<ul style="list-style-type: none"> 开展专项研究，确定当前的空气质量测量网络是否能充分反映婴幼儿呼吸的空气污染物水平。 扩大加州空气资源委员会在该州六个社区的现有监测计划，并在儿童经常出现的地点和空气污染源附近进行特别监测。

《空气有毒物质“热点”信息与评估法案》和《儿童环境健康保护计划》都对空气污染对公共健康的影响进行了衡量。例如，《空气有毒物质“热点”信息与评估法案》要求高优先级设施⁸⁵提交健康风险评估。提交的健康风险评估由加州环境健康危害评估办公室（OEHHA）审查，并由相关空气质量管理局批准。在这些健康风险评估中，热点地区必须测量接触设施排放物的癌症风险，并根据选定污染物的急性接触、8小时接触和慢性接触水平进行非癌症风险评估。⁸⁶加州环境健康危害评估办公室全面总结了在接触各种污染物的情况下需要评估的目标器官（即呼吸系统、眼睛、心血管系统、免疫系统）。⁸⁷

《儿童环境健康保护计划》为研究空气污染对儿童健康的影响设立了具体要求。⁸⁸这是因为“众所周知，空气污染会加剧哮喘，并成为婴幼儿哮喘发作的诱因，而加州有50万婴幼儿患有这种慢性肺部疾病”。⁸⁹除了扩大加州的空气质量监测计划并

81 California Air Resources Board (2018b).

82 MacIver (2021).

83 California Air Resources Board (n.d.-c).

84 California Air Resources Board (n.d.-d).

85 高优先级设施由各空气质量局设定的“优先级评分阈值”决定，该阈值考虑了与可能构成“重大风险”的危险材料有关的一系列指标。加州空气资源委员会(无日期-e)。

86 California Air Resources Board (n.d.-f).

87 OEHHA (2022).

88 California Air Resources Board (n.d.-g).

89 Senate Bill 25 (1999).

在儿童经常出现的地点进行特殊监测外，该计划还要求加州空气资源委员会和加州环境健康危害评估办公室考虑婴幼儿中特殊人群的健康影响，如“患有哮喘、囊性纤维化或其他呼吸系统疾病的儿童”。⁹⁰

除上述两项政策外，加州空气资源委员会还制定了一套用于估算与PM_{2.5}接触相关健康影响的方法。⁹¹相关的公共健康指标包括心肺疾病导致的过早死亡、心血管和呼吸系统疾病导致的住院以及哮喘病导致的急诊。⁹²针对空气污染对健康影响的关注表明，加州空气资源委员会关注加州空气质量对公共健康的影响。

最后，除了加州空气资源委员会之外，加州环境健康危害评估办公室还开发了环境筛查地图（CalEnviroScreen），该绘图工具有助于确定哪些加州社区受空气污染的影响最大。该州每个人口普查区的得分均基于环境、公共健康和社会经济信息。CalEnviroScreen使决策者能够直观地了解健康不平等和其他人口层面的健康问题，然后将其纳入空气质量和气候变化政策。⁹³

加州的气候政策

在过去二十年中，加州制定了一项气候立法议程，该议程反映出健康因素在气候决策中日益占据主导地位。其中包括《全球变暖解决方案法令》（第32号众议院法案）及其2016年的后续法案《加州全球变暖解决方案法令：排放限制》（第32号参议院法案）、《可再生能源组合标准》以及有关短期气候污染物的政策等。加州的气候政策体现出了其对气候变化可能加剧公共健康和空气质量问题的认识。《全球变暖解决方案法令》的第一章宣称，全球变暖对公共健康构成严重威胁，“全球变暖的潜在不利影响包括空气质量的恶化”。⁹⁴《短期气候污染物策略》宣称，“黑碳、含氟气体和甲烷等短期气候污染物是重大气候致变因素，对空气质量、公共健康和气候变化有着严重的不利影响”。⁹⁵本章详细介绍了加州的多种政策，公共健康是促成这些政策出台的原因之一。

气候变化立法框架：《加州全球变暖解决方案法令》

加州减缓气候变化的开创性立法成果是《第32号众议院法案》（《全球变暖解决方案法令》），该法案设定了到2020年减缓温室气体排放的目标。该法案通过后，加州逐步建立了气候政策框架，其中包括各种温室气体减排措施，如减少交通排放⁹⁶的低碳燃料标准，以及针对主要温室气体排放源的限额交易计划。⁹⁷随后，2016年根据第32号参议院法案更新了《全球变暖解决方案法案》，使加州的温室气体减排目标更加严格。表4总结了本次立法的内容。

90 Senate Bill 25 (1999).

91 California Air Resources Board (n.d.-h).

92 California Air Resources Board (n.d.-i).

93 Ganesh & Smith (2018).

94 Global Warming Solutions Act (2006).

95 Senate Bill 1383 (2016).

96 California Air Resources Board (n.d.-j).

97 California Air Resources Board (n.d.-k).

加州《全球变暖解决方案法令》出台的部分原因在于气候变化对公共健康的影响。例如，该法案宣称全球变暖“对加州的……公共健康……构成严重威胁”，潜在的不利影响包括“传染病、哮喘和其他相关健康问题的发病率的增加”。⁹⁸2016年更新的《全球变暖解决方案法令》从环境正义的角度加强了对公共健康的关注。具体而言，2016年法案强调，继续减少温室气体排放至关重要，其原因在于加州“最弱势社区受到气候变化对公共健康的不利影响尤为严重”。⁹⁹

表 4. 2006年AB 32和SB 32摘要

政策	《加州全球变暖解决方案法令》 (AB 32) ¹⁰⁰	《加州全球变暖解决方案法令》：排放限制 (SB 32) ¹⁰¹
出台年份	2006	2016
主要目标	<ul style="list-style-type: none"> 到2020年，将温室气体排放量减少到1990年的水平，预计减少30%。 	<ul style="list-style-type: none"> 到2030年，将温室气体排放量减少至1990年水平的40%以下。
主要任务	<ul style="list-style-type: none"> 每五年制定并更新一次“范围计划”，以实现高效的温室气体减排。 2020年后保持减排水平并继续减少温室气体排放。 在2010年1月1日前制定早期行动法规和基于市场的排放限制。 召集环境正义咨询委员会和经济与技术进步咨询委员会，听取其提出的意见和建议。 	<ul style="list-style-type: none"> 每五年制定并更新一次“范围计划”，以实现高效的温室气体减排。 加州空气资源委员会必须以有利于本州最弱势社区的方式实现上述目标，并以公开透明的方式对公众和立法机构负责。

《全球变暖解决方案法令》进一步考虑了其温室气体减排措施的公共健康效益。例如，2006年的法案规定，加州空气资源委员会的温室气体排放限制和减排措施应考虑“整体社会效益”，包括“对……公共健康的益处”。¹⁰²因此，加州空气资源委员会必须制定实施温室气体减排的“范围计划”，该计划规定，加州空气资源委员会必须评估“……对【加州】公共健康的总潜在成本以及总潜在经济和非经济效益”。¹⁰³

根据最近的立法和纽森州长的指示，加州空气资源委员会的2022年“范围计划”通过表明到2045年将人为排放量减少到1990年水平的85%以下推进了早前的计划。在广泛关注促进运输等产生温室气体部门的去碳化的同时，该计划还明确评估了成功实施加州空气资源委员会2022年“范围计划”所带来的直接健康效益。2022年“范围计划”中关于公共健康评估措施的更多详细内容见本报告附录一和附录二。

98 Global Warming Solutions Act (2006).

99 Senate Bill 25 (1999).

100 California Air Resources Board (2018c).

101 Senate Bill 32 (2016).

102 Global Warming Solutions Act (2006).

103 Global Warming Solutions Act (2006).

其他气候变化减缓政策

除《全球变暖解决方案法令》外，加州的部分气候变化减缓政策——此类政策的颁布是为了实现《全球变暖解决方案法令》规定的温室气体减排目标——也对促进公共健康做出明确规定。例证之一就是加州对使用某些氢氟碳化合物的禁令。根据该法规，只有在废止该法规不会增加健康或环境的总体风险时才可解除禁令。¹⁰⁴提交加州空气资源委员会法规要求的解除禁令申请时，还必须提交可能对健康造成负面影响的说明和缓解计划。¹⁰⁵加州还有其他以公共健康为动机制定的气候政策。表5总结了数个此类政策。

表5. 其他以公共健康为动机制定的气候政策概述

政策	年份	主要目标	举措
短期气候污染物 (SLCP) 策略 ¹⁰⁶	2016	<ul style="list-style-type: none"> 制定并实施全面的减少短期气候污染物的策略。 缓解短期气候污染物对空气质量、公共健康和气候变化的影响。 	<ul style="list-style-type: none"> 到2030年，将甲烷、氢氟碳化合物和人为来源黑碳的排放量降至低于2013年40%、40%、50%的水平。 推行相关法规，减少奶制品和牲畜粪便管理行业的甲烷排放。 规定到2020年全州有机废物处理量减少50%；到2025年减少75% 减少石油和天然气（到2025年将当前水平减少40%）及其他来源（到2030年减少40%）的甲烷逃逸排放。
加州可再生能源组合标准 ¹⁰⁷	2018	<ul style="list-style-type: none"> 加州公用事业委员会（PUC）力争在2026年12月31日前实现可再生能源供电占全州供电的50%，在2030年12月31日前实现可再生能源供电占全州供电的60%。 	<ul style="list-style-type: none"> 要求零售商和电力公司增加可再生能源采购：到2024年达到44%，到2027年达到52%，到2030年达到60%。 制定了到2045年向加州用电用户和州政府机构提供100%可再生能源和零碳电力供应的目标，同时不增加西部电网的排放。
加州气候危机法案 ¹⁰⁸	2022	<ul style="list-style-type: none"> 尽快且最迟于2045年实现温室气体净零排放。 到2045年，温室气体排放量将比1990年至少减少85%。 	<ul style="list-style-type: none"> 要求加州空气资源委员会与相关州政府机构合作，在加州启用二氧化碳清除解决方案和碳捕集、利用和封存技术。
第375号参议院法案 ¹⁰⁹	2008	<ul style="list-style-type: none"> 设定车辆温室气体减排的地区目标。 通过可持续交通、住房和土地使用规划，支持加州的气候目标并改善公共健康。 	<ul style="list-style-type: none"> 通过区域交通规划改善区域交通模式。 将土地使用、住房和交通规划相关联，并在规划中纳入公共健康内容。

104 Cornell Law School (2020).

105 Cornell Law School (2020).

106 California Air Resources Board (n.d.-I).

107 California Public Utilities Commission (n.d.).

108 Assembly Bill 1279 (2022).

109 Senate Bill 375 (2008).

上述政策中的《短期气候污染物策略》和《空气净化器法规》明确以公共健康为目标。《短期气候污染物策略》宣称，“碳、含氟气体和甲烷等短期气候污染物是影响气候变化的重要因素，对……公共健康产生严重的不利影响”，“是导致过早死亡的重要环境风险因素”。¹¹⁰该文件进一步宣称，减少这些污染物的排放“可以对气候变化和公共健康产生立竿见影的有益影响”。¹¹¹加州空气资源委员会必须“酌情采纳并优先考虑”可带来公共健康共同效益的“措施和行动”，因此该策略加强了对公共健康的关注。¹¹²其中一些措施包括在运输中使用超低氮氧化物排放车辆和可再生天然气，将有机物从垃圾填埋场转移到堆肥设施和厌氧消化设施，以及将奶牛场的冲水粪便管理系统转换为干粪便管理系统。¹¹³

《加州可再生能源组合标准》同样力求改善加州的公共健康状况。¹¹⁴加州可通过多样化可持续能源发电组合，减少温室气体排放，降低空气污染，稳定电力零售价格，从而减轻全州的公共健康负担。

《加州气候危机法案》并没有明确将公共健康列为其目标。尽管该法案宣称“数百万加州人呼吸着不健康的空气”，但其并未在其中提及健康共同效益。¹¹⁵不过，鉴于该法案旨在实施《加州全球变暖解决方案法令》，而后者确实将公共健康作为明确目标之一，因此可以推测该法案同样以公共健康为目标。

值得注意的是，并非所有气候政策都以公共健康为主要目标。例如，《气候热影响应对计划》的主要目标是提高电网在极端高温事件中的抗灾能力，其次才是公共健康。该计划力图缓解极端高温事件期间电力系统排放增加的情况，并最大限度地减少此类极端事件期间电网故障可能带来的公共健康影响。¹¹⁶此外，根据《全球变暖解决方案法令》制定的低碳燃料标准考虑了公共健康效益。例如，根据低碳燃料标准，支持交通电气化的公平项目可能包括多语种营销、教育和外联项目，以增加有关电动汽车交通的环境、经济和健康效益的信息共享。¹¹⁷

结论

尽管加州拥有以公共健康为目的的完善政策行动组合，但部分政策仅仅停留在宣称公共健康效益或成本与空气污染和气候变化减缓相关这一层面，缺少详细说明。此外，每项政策的公共健康指标往往有所差异，因此很难比较不同政策的公共健康效果。例如，虽然加州的州实施计划承认恶劣的空气质量会对公共健康造成影响，并制定了基于健康的空气质量标准，但该计划并没有制定统一的健康指标来衡量其政策的效果。

加州的主要政策和计划整合了公共健康、空气质量和气候变化三大支柱，或在解决空气质量问题时将温室气体减排纳入考量，或认识到气候变化将影响空气质量。加州空气资源委员会（CARB）是加州空气污染控制和气候变化项目的牵头机构，这可能是加州认同公共健康、空气质量和气候变化之间协同作用的根本原因。¹¹⁸

110 Senate Bill 1383 (2016).

111 Senate Bill 1383 (2016).

112 Senate Bill 1383 (2016).

113 California Air Resources Board (2017).

114 Senate Bill 100 (2018).

115 Assembly Bill 1279 (2022).

116 California Air Resources Board (2021).

117 Cornell Law School (2020).

118 Balmes (2021).

3.2 中国的政策路径

近年来，中国采取了一系列改善空气质量和减少碳排放的政策，同时取得了重大进展。根据中国生态环境部2022年发布的报告，2013年至2021年，全国PM_{2.5}平均浓度从72μg/m³降至30μg/m³，带来了显著的健康效益。¹¹⁹同时，2020年，中国的碳强度比2015年下降18.8%，能源强度在2011年至2020年期间下降28.7%。¹²⁰

本章简要概述了中国的大气污染控制和气候变化减缓政策，并讨论了中国政策中空气、气候和公共健康之间的相互联系。

中国的空气污染控制政策

国采取了严格的政策来应对空气污染挑战、保护公共健康。与空气污染控制相关的两部最重要的法律是《环境保护法》和《大气污染防治法》。这两部法律都重视大气污染对公共健康的影响，并将保护公共健康作为首要目标之一。具体来说，《环境保护法》强调“保障公众健康”，并提到“国家建立、健全环境与健康监测、调查和风险评估制度……；鼓励开展环境质量对公众健康影响的研究”。¹²¹《大气污染防治法》也将“保障公众健康”作为主要目标，并提到“应当以保障公众健康为宗旨，制定环境空气质量标准”。¹²²

除立法外，中国于2012年修订了环境空气质量标准，增加了PM_{2.5}和臭氧8小时平均浓度标准，这意味着中国在缓解空气污染方面采取了更进一步的措施。¹²³此外，中国还采取了一系列控制空气污染的政策，这些政策大多将保障公众健康作为其制定动机之一。表6简要介绍了中国近十年来的四项主要空气污染控制政策。¹²⁴2019年，中国还发布了《大气污染人群健康风险评估技术规范》，为估算空气污染的公共健康风险提供了标准流程和评估工具。¹²⁵

部分政策体现了空气污染控制与减缓气候变化之间的协同作用。“控制煤炭消费和燃烧排放”、“整治‘两高’产业”、“提高能源利用效率”、“发展清洁能源”等字眼被列入许多政策任务中。具体来说，《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的主要目标之一就是“大幅减少主要大气污染物排放总量，协同减少温室气体排放”。¹²⁶同样，《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》强调要把“污染减排与碳减排协同推进”作为政策实施的指导原则，并设定了2020年单位国内生产总值二氧化碳排放的目标。¹²⁷

119 Ministry of Ecology and Environment (2014, 2022a); W. Xue et al. (2021).

120 China's State Council (2021a).

121 Environmental Protection Law of the People's Republic of China (2014).

122 Atmospheric Pollution Prevention and Control Law of the People's Republic of China (2015 Revision) (2018).

123 X. Guo (2019).

124 Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council (2021a); China's State Council (2010a, 2013a, 2018a).

125 National Health Commission of the People's Republic of China (2019).

126 China's State Council (2018a).

127 Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council (2021b).

表6. 四项中国主要空气污染控制政策总结¹²⁸

政策	年份	覆盖领域	主要目标	举措
大气污染联防联控	2010	<ul style="list-style-type: none"> 酸雨、烟雾和光化学烟雾等区域性空气污染问题 	<ul style="list-style-type: none"> 到2015年，建立区域大气污染协同防治体系。 减少空气污染物排放。 减少酸雨、烟雾和光化学烟雾。 确保2010年上海世博会和2010年广州亚运会期间空气质量良好。 	<ul style="list-style-type: none"> 在三个重点区域和六个城市群开展区域大气污染防治。 控制二氧化硫、氮氧化物、PM_{2.5}和挥发性有机物等主要大气污染物排放。 监管火电、钢铁、有色金属、石化、水泥和化工等部分行业。
大气污染防治行动计划（2013-2017年）	2013	<ul style="list-style-type: none"> PM_{2.5}和PM₁₀等区域空气污染物 	<ul style="list-style-type: none"> 市区PM₁₀年浓度与2012年相比至少下降10%，空气质量优良天数逐年增加。 京津冀、长三角、珠三角地区PM_{2.5}年浓度分别下降25%、20%和15%以上。 	<ul style="list-style-type: none"> 控制非点源和移动源污染；实施区域大气污染控制。 整治火电、钢铁、有色金属、石化、水泥、化工等“高耗能、高排放”（“两高”）行业。 鼓励技术创新。 推动空气污染与公共健康关系研究。 调整能源结构，控制煤炭消费，鼓励使用清洁能源。
打赢蓝天保卫战三年行动计划	2018	<ul style="list-style-type: none"> PM_{2.5}等区域空气污染物 空气污染控制与减缓气候变化之间的协同作用 “十三五”规划中的空气质量目标 	<ul style="list-style-type: none"> 到2020年，二氧化硫和氮氧化物排放量与2015年相比至少减少15%。 到2020年，空气质量优良天数比例不低于80%。 	<ul style="list-style-type: none"> 调整产业结构，搬迁污染产业，整治“两高”产业。 调整能源结构，控制煤炭消耗，鼓励使用清洁能源，提高能源效率。 针对秋冬季空气污染、挥发性有机物、柴油卡车等问题开展具体行动。 控制区域空气污染。
关于深入打好污染防治攻坚战的意见	2021	<ul style="list-style-type: none"> PM_{2.5}等区域空气污染物 空气污染控制与减缓气候变化之间的协同作用 设定“十四五”规划目标 	<ul style="list-style-type: none"> 到2025年，PM_{2.5}浓度至少降低10%。 到2025年，空气质量优良天数的比例应至少达到87.5%。 	<ul style="list-style-type: none"> 推动低碳经济。 促进清洁能源的使用。 降低秋冬季节的空气污染水平。 降低夏季臭氧浓度。 减少非点源的空气污染物排放。

128 Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council (2021a); China's State Council (2010b, 2013b, 2018b).

对于大气污染防治政策中的公共健康问题，《打赢蓝天保卫战三年行动计划》明确提到了大气污染对公共健康的影响和影响预防研究，该研究是强化大气污染防治科学基础的战略之一。¹²⁹该战略卓有成效，中国一直在监测空气污染对公共健康的影响，并在31个省的87个城市设立了167个监测站。¹³⁰不过上述空气污染控制政策几乎没有提及公共健康相关的其他行动。

中国的大气污染防治政策与公共健康政策存在一定的重叠。中共中央、国务院于2016年发布了《“健康中国2030”规划纲要》，要求全面落实大气污染联防联控，城市空气质量应当有“明显改善”。具体来说，该规划要求（地级及以上）城市空气质量优良天数比率超过80%。¹³¹2019年，中国国务院发布了《健康中国行动》，旨在进一步完善空气污染对公共健康影响的评估。¹³²中国最新的《“十四五”国民健康规划》要求北方城市冬季取暖以清洁能源替代燃煤，并将“消除重污染天数”作为目标。这两项要求都与大气污染治理密切相关，是“强化环境健康管理”的重要措施。¹³³这些政策的重叠，很可能使大气污染治理与公共健康改善形成合力，表明中国正在采取行动，实现大气污染治理的公共健康效益。然而，并非所有公共健康政策都与空气污染问题相关。例如，《“十四五”健康老龄化规划》中就没有考虑空气污染和健康问题，这反映出政策对空气污染对老年人这一弱势群体的影响缺乏了解。¹³⁴

中国减缓和适应气候变化的政策

自2020年中国宣布2030年碳达峰和2060年碳中和目标以来，气候减缓一直是中国国家战略的重要组成部分。为实现这些宏伟目标，中国制定了碳达峰和碳中和政策方案，并进一步实施气候适应策略。

中国气候减缓行动最重要的突破之一是构建了“1+N”气候减缓政策体系。在“十四五”规划中，中国将“到2025年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%”列为约束性指标。为达成这一目标，国家、省、市各级出台了一系列政策，形成了“1+N”的综合政策体系。在“1+N”体系中，“1”代表两个引领性的气候政策文件，分别是碳达峰和碳中和的指导思想和顶层设计，“N”是指重点领域和重点行业的实施方案以及配套规划。换言之，“1”定义了中国实现宏伟目标的时间表和路线图，而“N”则定义了各行各业的实施细则。对“1”的分析（表7）将有助于描绘气候减缓、空气污染控制和公共健康改善之间的关系。

与前文提到的主要大气污染防治政策类似，中国的两项主要气候政策也包括大气污染防治与气候减缓协同作用的内容。在《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》（以下简称《意见》）中，“整治‘两高’行业”、“严格控制化石能源消费”、“推广低排放汽车”等概念得到强调，表明中国致力于共同应对大气污染和气候挑战。¹³⁵

129 China's State Council (2018a).

130 Ministry of Ecology and Environment (2022b).

131 Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council (2016).

132 Healthy China Action Promotion Committee (2019).

133 China's State Council (2022).

134 China's National Health Commission (2022).

135 Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council (2021b).

表7. 两份引领性的气候政策文件（“1”）摘要¹³⁶

政策	中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见	2030年前碳达峰行动方案
发表年度	2021	2021
主要目标	<ul style="list-style-type: none"> 到2025年，绿色低碳循环发展的经济体系初步形成，重点行业能源利用效率大幅提升。 到2030年，经济社会发展全面绿色转型取得显著成效，重点耗能行业能源利用效率达到国际先进水平。 到2060年，绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立，非化石能源消费比重达到80%以上，碳中和目标顺利实现。 	<ul style="list-style-type: none"> 到2025年，单位国内生产总值能耗下降13.5%；¹³⁷单位国内生产总值二氧化碳排放下降18%；¹³⁸非化石能源消费比重达到20%左右。 到2030年，单位国内生产总值二氧化碳排放下降65%，¹³⁹非化石能源消费比重达到25%左右，实现碳达峰。
主要任务	<ul style="list-style-type: none"> 促进低碳经济发展，调整产业结构。 建立清洁、低碳、安全的能源体系。 发展低碳交通体系，推进可持续城市规划。 促进绿色技术创新，提高碳汇能力，完善法规和监测体系。 	<ul style="list-style-type: none"> 建立清洁、安全、低碳的能源体系。 注重能效和碳减排。 实现重点行业碳达峰，推进城市可持续发展规划。 减少交通排放，促进循环经济，支持绿色技术创新，提高固碳能力，鼓励低碳生活方式。

然而，尽管中国的指导性气候政策体现了空气与气候之间的协同作用，但却很少提及减缓气候变化与改善公共健康之间的关系。这两项政策的主要目标集中在碳强度、能源强度和非化石燃料消费比例上。公共健康不在中国气候政策的政策效率指标之列。

尽管在中国指导性的气候变化和碳中和政策中缺乏公共健康的内容，但中国确实在国家适应气候变化战略中明确提到了公共健康问题。中国分别于2013年和2022年发布了两项国家气候变化适应战略。这两个战略都将适应公共健康变化作为重要的优先事项，而2022年的战略则提供了更多关于气候变化适应行动的细节。这些战略，尤其是较新的战略，将有助于加强对气候变化对公共健康影响和风险的分析和评估，促进改善公共健康体系。表8总结了这些战略的主要任务。

¹³⁶ Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council (2021b); China's State Council (2021b).

¹³⁷ Compared to 2020 levels.

¹³⁸ Compared to 2020 levels.

¹³⁹ Compared to 2020 levels.

表8. 中国国家适应气候变化战略主要任务总结¹⁴⁰

战略			国家适应气候变化战略	国家适应气候变化战略2035
发布年度			2013	2022
主要任务	气候影响评估	<ul style="list-style-type: none"> 对气候变化的健康风险和适应能力进行评估，并确定弱势群体。 	<ul style="list-style-type: none"> 对气候变化的健康风险和适应能力进行评估，并确定弱势群体。 	
	控制气候相关疾病	<ul style="list-style-type: none"> 加强疾病预防控制、健康教育、卫生监督、卫生执法和公共健康服务能力建设，全面提升卫生防疫基础设施水平。 	<ul style="list-style-type: none"> 加强对气候敏感性疾病的监测、预警和防控，制定适应气候变化的卫生行动计划。 	
	加强公共卫生系统的抗灾能力	<ul style="list-style-type: none"> 加强应急体系建设，包括做好卫生应急准备，制定应对极端天气和气候相关卫生突发事件的预案。 	<ul style="list-style-type: none"> 加强医疗卫生系统的气候适应能力，开展医疗卫生适应性专项研究。 	
	推行试点项目	<ul style="list-style-type: none"> 开展疫情控制监测试点，强化高温热浪应急相应系统。 	<ul style="list-style-type: none"> 开展城市、乡村、社区、重点场所（学校、医院、养老机构等）适应性试点，提高公共健康适应气候变化和极端天气事件的水平。 	

在这些适应战略下，部分公共健康项目已经落地，部分即将实施。以2013年国家气候适应战略作为指导，中国中西部城市重庆开展了一个试点项目，以应对高温热浪和气候敏感性疾病，该项目的重点是控制流行病、建设极端天气预报系统并建立公共健康监测网络。¹⁴¹到2020年，部分城市针对洪水、台风等不同灾害制定了应急预案，开展了极端天气健康影响评估和气候变化适应研究，建立了气候敏感性疾病预警系统。¹⁴²2020年，中国还组织开展极端天气对公共健康影响以及气候变化对寄生虫病传播影响的研究，并开展气象敏感疾病专项调查。¹⁴³此外，中国正在根据ISO 14091:2021国际标准起草气候变化脆弱性、影响和风险评估标准指南。¹⁴⁴最后，中国的国家气候变化适应战略规划了未来几十年的部分专项行动，并制定了2025年和2035年的计划。¹⁴⁵这些行动包括：开展气候变化健康适应专项研究；制定气候变化和极端气候事件健康影响评估指南、标准和适应实施方案；通过试点项目展示气候变化和极端气候事件健康适应情况（表9）。

140 Ministry of Ecology and Environment (2022c); National Development and Reform Commission (2013a).

141 National Development and Reform Commission (2013b).

142 Huang (2022).

143 Ministry of Ecology and Environment (2022b).

144 China National Institute of Standardization (2022).

145 Ministry of Ecology and Environment (2022b).

表9. 公共健康适应气候变化专项行动¹⁴⁶

专项行动类别	到2025年的行动	到2035年的行动
开展公共健康适应性专项研究	<ul style="list-style-type: none"> 开展气候变化和极端天气的健康影响研究，明确主要的健康风险。 描述易受影响地区和人群的特征。 	<ul style="list-style-type: none"> 开展气候变化和极端天气适应战略和技术研究。 完成适应战略、技术和计划。
针对气候变化和极端气候事件对公共健康的影响，制定评估指南、标准和适应计划	<ul style="list-style-type: none"> 完成气候健康风险评估指南和评估标准。 制定应对气候变化和极端气候事件的公共健康适应计划。 	<ul style="list-style-type: none"> 完成中国不同地区的气候健康风险评估指南和评估标准。 为中国不同地区制定适应气候变化和极端气候事件的公共健康适应计划。
通过试点项目展示公共健康对气候变化和极端气候事件的适应情况。	<ul style="list-style-type: none"> 根据不同地区的气候、生态环境、人口特征等因素，开展适应气候变化和极端气候事件的公共健康适应性试点项目。 为应对气候健康风险人群编制健康与营养指南。 	<ul style="list-style-type: none"> 在全国范围内推广适应气候变化和极端天气的行动。 显著提高中国不同地区适应气候变化的能力。

总之，中国目前与气候相关的公共健康战略侧重于适应极端天气和气候敏感性疾病。迄今为止，中国尚无独立的国家健康适应规划。最新的国家适应战略反映出在适应气候变化的公共健康影响方面仍处于起步阶段，中国的气候变化健康风险评估指南或标准也很有限。¹⁴⁷这些适应战略中也缺乏公共健康效益的量化目标。

中国最新的公共健康政策并未妥善考虑气候变化因素。如前所述，中国减缓气候变化政策与公共健康政策之间的重叠程度远低于空气污染政策与公共健康政策之间的重叠程度。2022年，健康中国行动推进委员会在《健康中国行动》年度工作重点中首次增加了“推动应对气候变化健康影响方面的行动”。¹⁴⁸然而，其他公共健康政策，如《“健康中国2030”规划纲要》、《“十四五”国民健康规划》、《“十四五”健康老龄化规划》，并没有气候相关的内容。气候变化正成为中国公共健康状况的决定性因素，并已影响到中国公共健康状况。这一空白暴露出卫生部门、政府和公众对此认识不足，令人担忧。¹⁴⁹

中国的地方政策

自2022年以来，许多省份都发布了“十四五”环境保护和减缓气候变化规划，其中涵盖了广泛的大气污染和气候问题，如产业结构调整、温室气体减排、气候适应、环境健康风险监测等。¹⁵⁰在大多数省级五年规划中，与国家层面政策类似之处在于，改善公共健康被视为控制空气污染的重要动机，而公共健康风险防范是空气污染控制行动的主要目标和指导原则。与气候变化相关的内容提及公共健康问题时多与适应气

¹⁴⁶ Ministry of Ecology and Environment (2022c).

¹⁴⁷ W. Ma et al. (2018).

¹⁴⁸ Healthy China Action Promotion Committee (2022).

¹⁴⁹ W. Ma et al. (2018).

¹⁵⁰ Y. Li (2022).

候变化有关。许多省的五年规划还强调加强气候变化对公共健康影响评估的重要性，并计划加快这方面的研究。不过，政策中并没有设定改善公共健康的量化目标，大多数目标和拟议行动只是定性的目标和行动。

2022年，各省在公共健康适应气候变化领域取得了很大进展。广东是健康领域适应气候变化的先行者，对气候变化对健康的影响进行了全面评估，并建立了登革热疫情监测系统。¹⁵¹江苏、山东、新疆和浙江等省的其他城市也开展了气候影响评估。大多数省份的气象部门都向公共卫生部门提供了气象数据，并与公共卫生部门合作开展研究。¹⁵²总体而言，公共健康适应能力显著提高。

尽管有所进展，但由于政府资金不足，中国许多省份仍缺乏应对气候相关健康风险的计划。¹⁵³此外，现有的适应政策并未充分考虑老年人群等弱势群体，这可能会对中国国家以下各级适应政策的效率不利。¹⁵⁴因此，仍需向适应工作投入更多资源和关注。此外，同时应对气候变化和空气污染所带来的公共健康效益也应在政策中得到强调和认可。各项研究、评估和建模结果表明，应将量化的公共健康目标纳入未来的气候和空气计划，以进一步造福中国国民。

结论

公共健康保护是中国大气污染控制法律和政策的重要动机。然而，中国的顶层气候减缓政策对公共健康这一动机却缺乏关注。中国气候政策中的大多数目标和任务都集中在能效和碳强度上。减缓气候变化可能带来的公共健康共同效益并不是制定气候政策的动机之一。

在中国的政策中，改善空气污染、气候变化和公共健康这三大支柱之间的相互联系并没有得到同等的强调。空气政策和气候政策都强调空气污染控制与减缓气候变化之间的协同作用。大气污染控制政策与公共健康政策之间也有许多重叠。在空气政策和公共健康政策中，用来描述未来行动的词汇也有所重叠。这意味着中国正在采取行动，以实现大气污染防治的公共健康效益。然而，中国的气候变化减缓政策与公共健康政策几乎没有重叠。在国家气候变化减缓政策中，与公共健康相关的内容很少出现，主要公共健康政策几乎没有考虑气候因素。中国的气候变化适应战略关注了公共健康问题，即使如此，现有的适应政策仍然并未充分考虑老年人群等弱势群体，这可能不利于中国各省适应政策的效率。

换言之，将解决空气污染和公共健康问题相结合、将解决空气问题和气候问题相结合的共同效益均在中国的政策中得到了良好体现，但减缓气候变化和改善公共健康之间的协同作用就目前而言还缺乏政策强调，大多数与气候相关的公共健康政策都仅侧重于气候变化适应。中国的部分地方，如广东全省和江苏、山东、新疆、浙江等省的少数城市，意识到了这一空白。这些地区开展了评估气候变化对公共健康的影响的研究，同时监测气候敏感疾病，并取得了初步进展。然而，对气候变化对公共健康

¹⁵¹ Huang (2022).

¹⁵² Cai et al. (2022).

¹⁵³ Cai et al. (2022).

¹⁵⁴ Ji et al. (2019).

的影响的了解仍不全面，也缺乏标准方法来估计或预测减缓气候变化对公共健康的效益。¹⁵⁵这就导致了中国的气候政策中与公共健康相关的量化目标出现空白。

针对这一问题，有两种潜在的解决方案。一是加大资金和技术支持力度，开展更多关于气候变化对公共健康影响的研究，研究内容应涵盖健康影响、气候对公共服务的影响、健康影响导致的社会和经济影响等广泛议题。此类信息和知识可以在政府决策中发挥非常重要的作用。二是提高公众和政府对于气候变化对公共健康影响的认识。中国治理空气污染的成功经验表明，一旦公众和政府注意到空气污染问题，政府就会更快地制定战略和政策来解决空气污染问题。这一经验也可用于应对气候变化对公共健康的影响。

155 W. Ma et al. (2018).

4. 评估公共健康效益

使用指标等评估工具有助于跟踪实现公共健康目标的程度，让地方政府能够评估一段时间内的进展情况，并比较干预措施的效果。本章详细介绍了科学文献中确定的关键指标，主要分为三个方面：死亡率、发病率和其他。此外，本章还介绍了文献中的注意事项和不确定之处。

4.1 主要科学指标综述

死亡率

死亡率是科学文献中最常见的健康指标。大多数论文将全因死亡率作为其指标，不过，心血管和呼吸系统相关的死亡率指标同样普遍出现。死亡率可以按日或按年计算，其中一篇论文通过生命损失年数（YLL）来量化死亡率。生命损失年数兼顾了过早死亡率和死亡年龄。表10列出了文献中的死亡率指标。

死亡率指标	详情	文献(未全部列出)
死亡率/避免过早死亡	全因（按年或按日计算）	T. Wang et al. (2020) B. Zhao et al. (2019) Jerrett et al. (2005) R. Chen et al. (2019) Kan et al. (2012) Tong et al. (2018) Yan et al. (2022) Xu et al. (2020) T. Wang et al. (2019) Geng et al. (2021) R. Chen et al. (2018) H. Zhao et al. (2019) Q. Zhang et al. (2022) T. Xue et al. (2022) Shang et al. (2013) Tian et al. (2022) Dong et al. (2020) Cai et al. (2021)
	心血管和/或呼吸系统	Rahman et al. (2022) T. Wang et al. (2019) R. Chen et al. (2019) Q. Chen et al. (2021) R. Chen et al. (2018) Q. Zhang et al. (2022) Yang et al. (2015) Shang et al. (2013) Tian et al. (2022)

发病率

文献中发现的与发病率相关的指标（表11）包括急诊人次、住院人次、不良出生状况和心理健康状况。

发病率指标	详情	文献
急诊人次	全因	Adelaine et al. (2017) Malig et al. (2021)
住院人次	呼吸、心血管或心理疾病	Malig et al. (2021) Aguilera et al. (2021) Q. Zhang et al. (2022) Liu et al. (2017)
不良出生状况	低出生体重	Wilhelm et al. (2012) Coker et al. (2016)
心理健康	所有症状	Ducy & Stough (2021)
	抑郁	T. Xue et al. (2019)

其他指标

其他值得注意的指标是经济上的指标，包括家庭医疗支出的年度储蓄/开支、¹⁵⁶工作时间损失¹⁵⁷和劳动生产率损失。¹⁵⁸在2022年的一份报告中，《柳叶刀》杂志将经济指标分为两类：一类通过人力资本方法计算，另一类通过福祉损失方法计算。¹⁵⁹前者使用一个人过早死亡时的产出损失作为指标，而后者则使用统计生命价值，在文献中被广泛使用。¹⁶⁰

文献还包含环境正义指标，包括家庭燃料消耗、家庭住址或邮政编码、收入中位数以及种族比例。¹⁶¹有几篇研究加州的论文使用了加州环境健康危害评估办公室的CalEnviroScreen，该工具结合了多个指标。¹⁶²该工具利用人口普查数据以及环境、社会经济和健康信息，对加州社区的脆弱性进行了排序。CalEnviroScreen的指标分为四大类：**接触程度、环境影响、敏感人群和社会经济因素**。属于“敏感人群”类别的直接健康指标包括哮喘、心血管疾病和低出生体重儿。哮喘和心血管疾病的发病率是通过发病率、急诊人次和死亡率来衡量的。妊娠结局和足月低出生体重儿（TLBW）是通过在一定时期内低体重儿出生的百分比来衡量的。

¹⁵⁶ T. Xue et al. (2021) and Williams & Phaneuf (2019).

¹⁵⁷ Xie et al. (2020).

¹⁵⁸ Cai et al. (2021).

¹⁵⁹ Fuller et al. (2022, p. 2).

¹⁶⁰ Bollen et al. (2009); Cai et al. (2021); Garcia-Menendez et al. (2015); Markandya et al. (2018); West et al. (2013); Yan et al. (2022).

¹⁶¹ Coker et al. (2016); Jerrett et al. (2005), p. 200; B. Zhao et al. (2019).

¹⁶² Anderson et al. (2018); Fournier et al. (2022); Mendez (2015).

4.2 注意事项和不确定之处

文献综述中发现的指标虽然范围广泛，但并不全面。这些指标的衡量方法并不相同，而且这些指标可能无法准确反映疾病的总发病率。例如，与心血管疾病和呼吸系统疾病有关的死亡率并不总能得到准确的报告，或导致不能准确追踪健康状况。¹⁶³同样也无法确定空气污染物和不良健康状况是否有直接联系，因为部分指标可能受到混杂因素的影响。虽然这些指标仍存在不确定性，但科学文献和加州政策都将上述死亡率和发病率指标作为目前最有力的不良健康状况衡量标准。

163 McGivern et al. (2017).

5. 提高公共健康效益的技术工具

技术工具能帮助科学家和政策制定者评估空气污染水平、跟踪排放源，并更准确、更精细地测量气候变化和疾病指标，从而协助利益相关者解决空气质量和气候变化问题。当前的技术工具包括复杂的计算机模型和模拟技术，可以利用计算能力分析 and 预测空气质量模式、模拟气候场景并探索各种减缓策略的影响。此外，数据可视化平台和交互式地图应用程序有助于将这些信息有效传达给利益相关者，从而促进知情决策和公众参与。在整个研究过程中，我们发现了数个现有的技术工具，可以帮助评估空气质量和气候行动的公共健康效益。其中包括地图工具和预警系统、个人和商业空气质量监测、数据分析和数字技术等。部分工具如下所示：

卫星、地图工具和预警系统

在加州，最常见的地图工具可能是美国环境保护局的环境效益图像展示和分析系统（BenMAP）。同时，在评估加州的脆弱性方面，加州环境健康危害评估办公室的CalEnviroScreen也很有价值。在学术文献中有一项研究指出，疾病预警系统作为消费者工具在个人疾病预防方面发挥着重要作用。¹⁶⁴洛杉矶市正在使用一种名为SmartAirLA¹⁶⁵的哮喘跟踪技术，通过监测全市的哮喘病例，降低污染引起的疾病发病率和由此导致的住院。

在中国，中国气象局建立了世界上最大的气象监测系统。该系统由7颗在轨气象卫星、120个高空气象观测站、6万多个国家级和省级气象观测站、89个风廓线雷达、242个新一代天气雷达和224个X波段天气雷达组成。¹⁶⁶这一监测系统不仅能预测即将到来的极端天气事件，还能提供气象数据，可用于估算气候变化对天气、空气质量和公共健康的影响。此外，为监测气候变化和空气污染对健康的影响，中国疾病预防控制中心（CDC）在“十三五”期间建立了“中国环境公共卫生跟踪系统”（CEPHT）。该系统汇集了环境和公共健康两方面的数据，为全国范围内的气候变化和空气污染健康影响评估提供支持。¹⁶⁷在学术文献中，一项研究详细介绍了利用地球静止卫星估算中国每小时地面臭氧浓度情况，以完善地面检测的方法。¹⁶⁸

164 Ebi & Burton (2008).

165 SmartAirLA (n.d.)

166 Yihong (2023).

167 National Institute of Environmental Health, China CDC (n.d.).

168 Y. Zhang et al. (2023).

空气质量监测工具

部分研究概述了小型便携式气态污染物监测技术作为个人保护措施，帮助确定并减少个人对污染物的接触，从而可能产生健康方面的共同效益。¹⁶⁹其他研究概述了区域性、分布式和连续可用传感器网络的作用，以及它们改善本地化空气质量监测的途径，包括研究污染物在空间区域内的扩散变化。¹⁷⁰同时，部分文献也强调了“低成本”商业空气质量监测技术的可用性。¹⁷¹

洛杉矶在空气质量监测方面有几个新进展实例，如下所示：

1. 洛杉矶市采用了一种预测性空气质量监测系统，为该市提供商业性空气质量监测，美国国家航空航天局（NASA）为该系统提供支持。该系统结合卫星数据与当地的地面传感器数据，为推测空气质量的变化趋势提供支持。¹⁷²此外，该市还实施了一项社区空气净化器分发计划。¹⁷³
2. 此外，作为洛杉矶Watts Rising计划的一部分，洛杉矶路灯管理局安装了空气质量监测装置，帮助评估其基础设施和环卫投资的空气质量成果。¹⁷⁴
3. 此外，加州南海岸空气质量管理局同样采用了一种低成本传感器，该工具能在一定区域内扩大覆盖范围并提供更多数据点。加州南海岸空气质量管理局对这些传感器进行了测试，并在其网站空气质量传感器绩效评估中心（AQ-SPEC）上公开了数据。¹⁷⁵

中国政府于2013年1月1日启动了国家空气质量监测系统。自此，中国国家环境监测总站开始发布实时空气质量数据，其中包括PM_{2.5}、PM₁₀、二氧化氮、二氧化硫、臭氧、一氧化碳和空气质量指数（AQI）。此外，清华大学与北京大学、南京大学、复旦大学和中国气象科学研究院等机构合作，开发并维护“中国空气污染跟踪”数据集，以整合地面观测、卫星遥感、排放清单和模型模拟等多源数据。该数据集旨在多尺度、近实时地收集中国大气中的气溶胶和气态污染物浓度数据。该数据集通过云计算平台与科学界共享，从而为与空气污染对健康的影响、清洁空气政策评估和环境管理工作相关的科学研究提供基础数据支持。

大数据、人工智能和新兴数字技术

一些学术研究探讨了区块链、物联网、机器学习和人工智能等先进技术可能发挥的作用，其应用有助于政府机构在同步解决空气质量和气候问题时克服资金和能力限制。研究认为，大数据分析的作用可以超越传统分析，提高流程效率和速度，在更短的时间内覆盖更大的范围，研究同时指出了这些工具的注意事项和局限性。¹⁷⁶研究还指出，云服务器具有更强的存储能力，可实现几乎不间断的传感器数据收集。¹⁷⁷

169 McKercher et al. (2017); Hubbell et al. (2018); Jerrett et al. (2005).

170 Jiao et al. (2016).

171 Bailey & Solomon (2004).

172 LA City Mayor's Office, personal communication (March 2023).

173 LA City Mayor's Office, personal communication (March 2023).

174 LA City Mayor's Office, personal communication (March 2023).

175 South Coast Air Quality Management District (n.d.-a).

176 Bublitz et al. (2019).

177 Bublitz et al. (2019).

同时，其他研究表明，结合社交媒体与机器学习，可以实时快速实现健康数据收集，从而可能有助于确定疫情爆发的时间。¹⁷⁸此外，研究还探讨了利用物联网绘制污染源数据地图以及汇总数据的方法。¹⁷⁹

中国一直在建设空气质量监测和健康影响分析大数据平台。中国政府大幅提升了空气质量监测基础设施的范围。中国的国家监测站数量有着显著增加，从2012年的496个增加到2021年的1734个。¹⁸⁰此外，地方政府同样监督和资助了部分监测站。为了更好地利用空气质量大数据助力空气质量政策，中国开展了一些试点项目。例如，沧州市推出了一个平台，利用政府固定监测站和出租车上移动仪器的实时数据，绘制全市空气质量地图。该平台将自动检测污染热点，并通过一个简单的应用程序将这些信息传递给执法人员。目前，每个月向检查人员报告的热点有400余个，随着系统的不断测试，情况可能会进一步改善。¹⁸¹

178 Santillana et al. (2015).

179 Morawska et al. (2018).

180 Ministry of Ecology and Environment (2022d); Ruizhen (2013).

181 Whitney & Qin (2021).

6. 加州和中国的城市实例

本章将举例说明加州和中国的城市在实践中实现空气治理、气候治理、公共健康协同的方式。洛杉矶的案例提供了有效的区域和跨机构协调案例，将明确的公共健康目标纳入空气和气候政策行动，并在决策过程中考虑到了环境正义和脆弱性因素。北京和深圳的案例展示了区域协调行动的经验，以及空气污染物和温室气体排放的“协同控制”，同时还介绍了空气监测系统，以及碳市场在使经济发展与碳排放脱钩方面的作用。

6.1 案例研究: 洛杉矶

简介

洛杉矶县位于加利福尼亚州南部，是美国人口第二多的城市，其面积超过4000平方英里。¹⁸² 截至2021年，该县共有人口983万，接近加州总人口的四分之一。¹⁸³ 除非另有说明，本报告中提及的洛杉矶均指洛杉矶县。

洛杉矶历来是美国空气质量最差的地区之一，¹⁸⁴原因主要有以下几点：工业污染、汽车尾气排放、垃圾管理不善（包括后院焚烧垃圾）以及受大气逆温现象影响的地理和地形。¹⁸⁵1947年，洛杉矶县空气污染控制局（美国第一个空气污染控制局）成立，并于1967年与奥兰治县、河滨市和圣贝纳迪诺空气污染控制局合并，成立了加州南海岸空气质量管理局（SCAQMD）。¹⁸⁶20世纪40年代和50年代的早期空气污染控制措施包括禁止后院垃圾焚烧炉、减少工厂烟雾排放以及减少炼油厂二氧化硫的排放。¹⁸⁷随后采用了更严格的标准，包括减少碳氢化合物排放、建立机动车尾气排放标准以及改良汽油以减少形成烟雾的成分。¹⁸⁸20世纪80年代末，加州南海岸空气质量管理局开始推广燃料电池和电动汽车等清洁能源设备。¹⁸⁹

对该县而言，气候变化同样迫在眉睫。洛杉矶县公共卫生局指出，温度更高、时间更长的高温热浪是其面临的主要威胁之一。这种高温以及近年来加州大部分地区面临的干旱，都证实了气候变化的影响。¹⁹⁰这些因素推动了地区合作组织的形成，如2007年成立的洛杉矶气候行动区域合作组织（LARC），该组织旨在为跨部门的气候科学、政策和

182 U.S. Census Bureau (n.d.).

183 U.S. Census Bureau (n.d.).

184 South Coast Air Management District (2022).

185 South Coast Air Management District (n.d.-b).

186 South Coast Air Management District (n.d.-b).

187 South Coast Air Management District (n.d.-b).

188 South Coast Air Management District (n.d.-b).

189 South Coast Air Management District (n.d.-b).

190 Maizlish et al. (2017).

规划工作提供支持。¹⁹¹公共卫生局还发布了《洛杉矶县应对气候变化框架》，该文件概述了地方机构处理气候问题的必要性，并为制定气候计划提供了指导。¹⁹²

气候变化早已成为洛杉矶市市长议程的优先事项。2007年，洛杉矶市长办公室发布了《绿色洛杉矶：引领全国应对全球变暖的行动计划》。¹⁹³在前任市长埃里克·加塞蒂（Eric Garcetti）的领导下，该计划发展成为可持续城市计划，也被称为绿色新政。一项研究指出了洛杉矶着重关注气候变化的几个驱动因素：（1）在城市内部以及国家和国际层面上，促进洛杉矶在气候变化方面发挥引领作用；（2）需要解决城市基础设施过时和短缺的问题；（3）需要转变行为方式，特别是在能源和水使用方面；以及（4）与环境 and 行业利益相关者以及当地社区存在牢固的合作伙伴关系，这一点从环保联盟的构建中得以体现。¹⁹⁴

洛杉矶的空气质量 and 气候治理

洛杉矶的主要空气监管机构是加州南海岸空气质量管理局，负责通过实施空气质量管理计划遏制固定污染源排放，以符合州政府和联邦政府的规定。¹⁹⁵其他监管机构包括加州空气资源委员会和美国环境保护局。加州南海岸空气质量管理局重点监管臭氧、细颗粒物（PM）、氮氧化物、铅、一氧化碳和二氧化硫等标准空气污染物以及空气有毒物质。加州南海岸空气质量管理局主要负责监管固定污染源，但也可监管其管辖范围内的一些移动污染源，例如港口和机场等“间接污染源”。预计到二十一世纪三十年代中期，船舶和飞机将成为南加州最大的氮氧化物污染源。¹⁹⁶

此外，虽然加州南海岸空气质量管理局没有直接的气候管理权限，但其与加州空气资源委员会有密切合作，可通过空气质量管理计划来推行州实施计划，以此促进气候减排，助力臭氧和PM_{2.5}标准的实现。加州南海岸空气质量管理局还评估了气候变化影响未来空气污染物浓度的方式。

由于加州南海岸空气质量管理局的理事会由县监督员和市代表组成，因此可以进行跨政府协调。这使加州南海岸空气质量管理局的计划得以在县市两级实施。

洛杉矶的气候变化政策由多个机构管理，包括洛杉矶县可持续发展主任办公室，以及市一级的市长办公室。洛杉矶县可持续发展主任办公室负责为可持续发展问题提供协同政策支持和指引，¹⁹⁷政策包括空气质量和气候变化政策。该办公室负责制定洛杉矶“*OurCounty*”计划（又称“洛杉矶全县可持续发展计划”），这是一项不具法律约束力的洛杉矶地区可持续发展战略计划。¹⁹⁸该计划下的指标与公共卫生局协商确定，洛杉矶县可持续发展主任办公室负责协调县内各部门之间的工作，以确保跨部门

191 Los Angeles Regional Collaborative for Climate Action and Sustainability (2014).

192 Los Angeles County Department of Public Health (2014).

193 Schroeder (2011).

194 Schroeder (2011).

195 South Coast Air Quality Management District (n.d.-c).

196 有时，某些气候政策实际上会增加细颗粒物（PM）和氮氧化物的排放，在解决碳排放和解决氮氧化物排放之间需要权衡，因此，对排放源进行共同管理至关重要。

197 Los Angeles County Chief Sustainability Office (n.d.).

198 Los Angeles County Chief Sustainability Office (2019).

目标的实现。此外，可持续发展主任办公室还针对可能影响当地社区和/或工人的项目制定了社区参与流程。

洛杉矶非常重视环境公平问题。洛杉矶气候公平系列政策旨在通过社区参与将环境公平置于气候目标的核心位置。此外，这一点还体现在全县的众多政策中，尤其是在指导《气候脆弱性评估》准备工作的OurCounty计划中。¹⁹⁹《气候脆弱性评估》识别出了受气候影响的高风险社区以及不良状况风险增加的社区。气候脆弱性包括不良健康状况、基础设施和获取帮助途径方面的不平等、制度偏见，以及接触野火和极端高温等气候灾害的风险。《气候脆弱性评估》中的公共健康指标包括非正常死亡和住院人次。洛杉矶市指出，“减少气候污染补助金”有助于其重新审视气候脆弱性评估中的目标和指标。²⁰⁰

洛杉矶县可持续发展主任办公室与县公共卫生局合作发布了一份《气候变化与健康公平》报告，是气候脆弱性评估的后续行动，该报告提出了在整个洛杉矶促进更健康、更具韧性的社区的具体目标。该报告由四个目标组成，包括公共教育、可持续社区、社区韧性和人人参与的公共卫生计划，并强调了洛杉矶解决气候和公共健康问题的综合方案。

洛杉矶市长办公室发布了洛杉矶绿色新政，也被称为“可持续城市计划”。该计划于2015年首次提出，后于2019年更新，其中覆盖政策广泛，包括确保清洁空气、水和稳定的气候；提高社区韧性、优化市民获取健康食品和开放空间的方式，以及推动气候正义等方面的政策。²⁰¹在城市层面，成立了气候应急动员办公室，该办公室与城市各部门和各局合作，旨在缓解极端高温等气候紧急情况。²⁰²

在洛杉矶县内县政府直接管辖的地区，同样由洛杉矶县规划局履行所有土地利用规划职能，并实施气候行动计划。洛杉矶《2045年气候行动计划》旨在通过减少温室气体排放，到2045年实现碳中和，该计划最近接受了公众审查，并于2023年5月形成最终版本。²⁰³该计划具备法律效力，将作为洛杉矶县总体规划的附录，预计每五年更新一次。洛杉矶县区域规划部作为该计划的牵头单位，详细说明了公共健康是实现该计划减排目标所考虑的一项共同效益。

最后，洛杉矶公共卫生局越来越多地采用气候变化的视角制定公共健康政策，并努力从公共健康角度协调洛杉矶的气候变化工作。该部门尤其关注气候变化的影响，如极端高温、空气质量恶化、野火和蚊子传播的疾病。²⁰⁴2014年，该部门成立了全县范围委员会，重点关注气候变化的减缓和适应，其最初的重点是减少洛杉矶城市热岛效应的影响。²⁰⁵

199 Los Angeles County Chief Sustainability Office (2021).

200 LA City Mayor's Office, personal communication (March 2023).

201 City of Los Angeles (2019).

202 Climate Emergency Mobilization Office (n.d.).

203 Los Angeles County Department of Regional Planning. (n.d.).

204 Los Angeles Department of Public Health (2023).

205 Los Angeles Department of Public Health (2023).

主要指标

本节重点介绍洛杉矶三项主要政策中包含的公共健康指标：（1）南海岸空气质量管理局的空气质量计划；（2）洛杉矶的OurCounty计划；以及（3）洛杉矶的“绿色新政”。之所以介绍这些政策，是因为它们都非常注重公共健康效益，以及对空气质量和气候变化政策的影响。这三项政策还设立了全面的公共健康指标，用于监测洛杉矶空气质量和气候变化政策的健康效益。

南海岸空气质量管理局空气质量计划中的健康指标

加州南海岸空气质量管理局的《空气质量计划》是联邦和州环境空气质量达标的区域蓝图。²⁰⁶。该计划最近一次更新在2022年，旨在达到美国环境保护局2015年针对地面臭氧的国家环境空气质量标准，强调改善南海岸空气盆地和科切拉山谷的臭氧污染。²⁰⁷要达到臭氧的国家环境空气质量标准要求，就必须减少臭氧的前体物质氮氧化物。²⁰⁸因此，2022年计划主要针对臭氧和氮氧化物，但也评估其他标准空气污染物，如PM₁₀和PM_{2.5}、一氧化碳、二氧化硫和铅。²⁰⁹

该计划详细记载了空气污染对健康的影响，其第2章重点关注“空气质量与健康影响”。该计划的附录一全面跟踪了有关环境空气污染物对健康影响的科学发现。所跟踪的健康影响参考了科学综述以及近期发表的学术研究的补充信息。这些指标是根据目前对各种污染物的研究确定的，包括臭氧、PM_{2.5}、PM₁₀、超细颗粒物、二氧化氮和二氧化硫。除这些污染物外，附录一还跟踪了一氧化碳、铅、有毒空气污染物、柴油机颗粒物、挥发性有机物和气味对健康的影响。该计划同样跟踪死亡率指标，如总死亡率、呼吸系统疾病死亡率和心血管疾病死亡率。此外，该计划还跟踪了与呼吸系统影响、心血管系统影响、新陈代谢影响、神经系统影响、生殖系统影响以及癌症有关的发病率指标。接触不同污染物会造成短期和长期发病率影响。具体指标包括与呼吸有关的入院人数、与呼吸有关疾病的急诊人次、哮喘和哮喘症状的恶化以及心力衰竭。本报告的附录三提供了加州南海岸空气质量管理局空气质量计划中的健康指标清单。

跟踪健康影响之举为加州南海岸空气质量管理局根据空气质量计划进行的社会经济分析提供了信息，该分析评估了该计划下各项政策的成本和其他经济影响。例如，最新分析估计，在南海岸实现空气污染改善目标将节省约190亿美元。该计划中的健康指标用于帮助加州南海岸空气质量管理局模拟清洁空气的成本和效益及其对当地经济的影响。加州南海岸空气质量管理局收集健康数据，但不收集空气质量和气象数据。管理局开展了一项名为“多种空气有毒物质暴露研究”（MATES）的综合监测和建模研究，从空间上计算接触空气有毒物质的致癌风险。该研究包括由10个站点组成的固定站点监测计划、最新的有毒空气污染物清单，以及一项旨在确定整个盆地风险特征的建模工作。该计划大约每六年更新一次，并带动美国环境保护局开展类似的研究，如有毒空气污染物筛查。

206 South Coast Air Management District (2022).

207 South Coast Air Management District (2022).

208 South Coast Air Management District (2022).

209 South Coast Air Management District (2022).

洛杉矶OurCounty计划中使用的健康指标

2019年的洛杉矶OurCounty计划提出了该县的长期可持续发展愿景，其中包括12个跨领域目标。该计划旨在协调地方行动，并确定了60多个优先事项，由公共卫生局和区域规划部等多个部门负责实施。该计划认同公共健康的重要性，并以创建健康社区为基础。²¹⁰

该计划中纳入了公共健康目标（即，到2025年，将儿童哮喘发病率从2015年的7.5%基准线降至6.8%，到2035年，将其降至6.0%，到2045年，将其降至5.0%）。²¹¹此举旨在实现战略目标，即最大限度地减少弱势群体接触污染的机会并缩小健康差距。²¹²鉴于儿童对空气污染更为敏感，该计划选择了儿童哮喘作为指标。²¹³表12列出了纳入计划的全部公共健康指标。

指标类型	指标	来源
发病率	心脏病/心脏病先兆和糖尿病患病率	洛杉矶县公共卫生局健康评估和流行病学办公室
	儿童（0-17岁）目前患有哮喘的百分比	洛杉矶县公共卫生局健康评估和流行病学办公室
	热应激急诊人次	洛杉矶县公共卫生局/全州健康规划与发展办公室
	加州南海岸空气质量管理局“多种空气有毒物质暴露研究”中的总体有毒空气污染物癌症风险和柴油风险（包含公平性评估）	加州南海岸空气质量管理局多项有毒空气污染物暴露研究

绿色新政/可持续城市计划中的公共健康指标

洛杉矶的可持续城市计划于2015年首次发布，预计每四年更新一次。²¹⁵2019年更新版是本节的重点；它阐述了城市对可持续未来的愿景，并以气候为重点，加快了目标的实现。²¹⁶该计划纳入了公共健康内容，包括量化空气质量改善带来的健康成果的措施，²¹⁷以及强调其各方面将如何造福市民。²¹⁸其中的指标之一是“健康与福祉”，包括改善空气质量、空气舒适度和心理健康，以及鼓励体育锻炼。²¹⁹在加州南海岸空气质量管理局的协助下，该计划对空气质量改善带来的公共健康效益进行了量化。衡量的指标

210 Los Angeles County Chief Sustainability Office (2019).

211 Los Angeles County Chief Sustainability Office (2019).

212 Los Angeles County Chief Sustainability Office (2019).

213 County of Los Angeles, Sustainability Office, personal communication (March 2023).

214 Los Angeles County Chief Sustainability Office (2019).

215 City of Los Angeles (2019).

216 City of Los Angeles (2019).

217 City of Los Angeles (2019).

218 City of Los Angeles (2019).

219 City of Los Angeles (2019).

包括可避免死亡率和可避免就诊率。²²⁰计划中的公共健康指标是通过CalEnviroScreen选定的，该绘图工具可以监测哮喘、低出生率和心血管疾病发病率等健康指标。儿童哮喘相关急诊人次等指标专门取自CalEnviroScreen，并用于制定该计划下的目标。

附录四强调了洛杉矶绿色新政的公共健康效益。除公共健康效益外，其中的许多目标还强调将减少空气污染。这表明，洛杉矶绿色新政承认减排战略可能带来的空气质量改善和公共健康效益。

洛杉矶使用的决策分析技术工具

“预测我们呼吸的空气”

“预测我们呼吸的空气”项目是一项为期两年的计划，旨在通过预测性空气质量监测，开发机器学习算法和大数据分析，为实现洛杉矶市减轻空气污染影响的政策目标做出贡献。该项目由洛杉矶市、美国国家航空航天局（NASA）、加州州立大学洛杉矶分校（CSULA）和Open AQ合作开展，利用时间序列测量为适当的测量、分析、预测算法和缓解策略提供信息。其目标是实现对空气污染事件的预测，识别全球特大城市之间的相似性，并创建一个用于数据整合的开源PM_{2.5}堆栈。该项目强调了广泛数据源之间合作的重要性，这是因为空气污染事件在管辖范围内并不是一成不变的。机器学习用于空气污染预测是一个新兴领域，香港和中国兰州市的几个类似项目已取得一定成果。²²¹

使用CalEnviroScreen进行脆弱性分析

加州的环境健康危害评估办公室开发了CalEnviroScreen，该地图工具使用人口普查数据绘制环境、社会经济和健康数据，对社区脆弱性进行排序。该工具的指标可分为以下几类：接触、环境影响、敏感人群和社会经济因素。属于“敏感人群”类别的直接健康指标包括哮喘和心血管疾病等发病率指标，以及低出生体重等其他指标。哮喘和心血管疾病的发病率是通过发病率、急诊人次和死亡率来衡量的。CalEnviroScreen还能研究关键指标之间的关联。²²²洛杉矶市通过CalEnviroScreen工具辅助评估关键市政气候项目的优先实施区域，包括凉爽路面计划、空气净化器发放计划和热量缓解计划，并将该工具用于支持决策者分析。²²³

“Watts Rising”空气质量监测计划

“Watts Rising”整合了瓦兹社区内的当地空气质量监测数据，为未来的可持续基础设施投资提供信息，相关基础设施投资包括绿色和低碳基础设施共享、家庭能源节约以及其他气候行动。根据该计划，市街道照明管理局安装了空气质量监测设备，用于评估对空气质量结果的影响。²²⁴

220 City of Los Angeles (2019).

221 R. Guo et al. (2022); Wai & Yu (2023); Yang et al. (2021).

222 LA City Mayor's Office, personal communication (March 2023).

223 LA City Mayor's Office, personal communication (March 2023).

224 LA City Mayor's Office, personal communication (March 2023).

洛杉矶的经验教训

首先，辖区政府可以评估最新科学研究，以确保政策基于公共健康效益制定。南海岸空气质量管理局制定的空气质量管理计划提供了一种可以及时了解研究进展并持续监测空气质量变化的模式。制定政策时考虑了公共健康方面的因素，例如通过南海岸空气质量管理局的社会经济分析所确定的与公共健康有关的因素，评估这些公共健康影响的经济成本。换言之，为了将公共健康共同效益纳入政策，必须建立一些基准数据。然而，人们也认识到了获取精细数据可能的难度。缺乏具体的健康影响数据可能会带来问题。除了特定的健康影响之外，地理数据可能存在精细度的问题。根据数据收集方式的不同，特别是因为像公共卫生局这样的机构仅在县级设立，可能导致仅县级机构而非市级机构能提供数据。因此，有必要通过技术开发确保进行更具体的公共健康监测。

此外，公共健康效益可作为气候与空气质量政策中可衡量的量化目标。洛杉矶OurCounty计划的公共健康目标是一个很好的例子，因为该计划的明确目标是通过减少易受影响人群对污染物的接触来降低儿童哮喘的患病率。洛杉矶县可持续发展主任办公室还计划于2025年根据相关机构的更新数据（包括公共卫生局）更新OurCounty计划的指标。洛杉矶市市长办公室每年对洛杉矶市可持续城市规划进行更新，以追踪进展情况。洛杉矶市内外的不同部门（例如加州公共卫生局和洛杉矶县公共卫生局）协调进行每年的更新，并开展机构间定期核查。

最后，预期的公共健康效益可以纳入政策，以获得目标受益者更好的支持。尤其是，洛杉矶的气候政策大力强调环境正义，不仅能够有效发挥政策作用，而且能够确保政策符合其目标受众的利益。

6.2 案例研究: 北京市

简介

首都北京位于中国北方，人口超过2100万，是世界上人口最多的城市之一。北京的工业化、城市化和机动化发展迅速²²⁵，导致能源消耗和污染物排放增加，对空气质量、人类健康和周围生态系统产生了不良影响。²²⁶颗粒物——尤其是高浓度的PM_{2.5}——已成为北京空气污染的主要问题²²⁷，截至2020年，大约42%的PM_{2.5}来自周边地区，而本地排放的46%来源于机动车辆排放。²²⁸北京已经实施了严格的措施来降低PM_{2.5}浓度、改善空气质量，包括根据国家政策和法规制定《清洁空气行动计划》和《大气污染防治条例》。政府也明确了大气污染防治的六项关键行动，包括实施减少机动车污染、燃煤污染、高污染工业和扬尘污染的战略，以及采用促进生态恢复和环境保护的新技术。²²⁹此外，北京市政府还发布了42项大气污染防治地方标准。这些举措成效显著，与2013年相比，2020年PM_{2.5}的年平均浓度下降了66.5%，降至30 μg/m³。另外，自2018年以来，移动源PM_{2.5}排放量减少了41%。²³⁰

225 Han et al. (2014).

226 W. Li et al. (2011, 2014).

227 Hu et al. (2014).

228 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2021).

229 H. Zhang et al. (2016).

230 The People's Government of Beijing Municipality (2021a).

气候变化对北京产生的负面影响不止空气污染，还影响到了能源系统和公共健康。气候对能源系统的影响体现在三个方面：高温使电力供应超过最大负荷，低温导致天然气短缺，极端天气危及能源生产、供应和运输。²³¹此外，热浪和高温显著增加了非意外死亡的风险，加剧了呼吸和循环系统疾病，女性、中老年人和受教育程度有限的人尤其容易受影响。²³²科学证据证实，气候变化加剧了北京的空气污染问题。²³³北京已根据国家目标，将绿色、循环和低碳发展列为优先事项。北京首创了“双控”机制，在控制能源消耗和碳排放的总量和强度的同时，推进资源节约、环境保护和应对气候变化进程。值得注意的是，在“十三五”期间，北京市能源消费强度下降23%以上，碳排放强度下降26%以上，保持了碳排放总体稳定。²³⁴这一成功得益于六项主要措施：（1）发展创新驱动的低排放产业；（2）建立以电力和天然气为主的低碳能源消费结构；（3）在关键领域实施低碳项目，包括低碳建筑、低碳交通、低碳技术和森林碳封存；（4）进行有效的监管、政策制定和执法；（5）建立碳市场，促进产业结构升级、交通脱碳和能源系统碳减排；（6）公众积极参与低碳日、绿色出行等低碳宣传活动。²³⁵北京市还发布了《北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划》²³⁶以及《北京市应对气候变化2023年行动计划》，²³⁷目的是稳定并减少碳排放。

为同时解决空气污染和温室气体排放问题，北京根据国家的指导意见，²³⁸实施了“协同控制”政策。采取了三种“协同控制”措施：（1）“协同控制”PM_{2.5}和臭氧；（2）“协同控制”空气污染和温室气体排放；（3）“协同控制”京津冀地区不同城市间空气污染。²³⁹北京的空气污染和气候变化政策中大部分都体现了“协同控制”。例如，北京市“十四五”时期生态环境保护规划中同时列举了空气质量目标（如PM_{2.5}浓度、氮氧化物减排量和空气质量良好天数）和应对气候变化目标（如减少总碳排放、碳强度和降低能耗强度的目标）。²⁴⁰清洁制造、产业结构调整 and 能源结构调整三项措施不断落实，以实现不同空气污染物（PM_{2.5}和臭氧）以及空气污染和温室气体排放的“协同控制”。²⁴¹此外，北京市实施了《北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划》中提到的各种财政激励措施，如对绿色产业和碳市场的财政支持，以支持“协同控制”政策。²⁴²最后，北京建成由地面站、垂直监测站和卫星组成的三维立体监测网络，用于监测和预测空气质量和温室气体情况。

北京政府已经认识到空气污染防治和应对气候变化对公共健康产生的效益，并在重要的政策文件中对此予以了强调。例如，北京市“十四五”时期健康北京建设规划中提到：“深入打好污染防治攻坚战，强化大气污染物与温室气体协同控制”。²⁴³此外，北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划要求，评估气候变化对公共健康的影响。²⁴⁴

231 Sha et al. (2017).

232 Yanlin et al. (2022).

233 Cai et al. (2017).

234 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

235 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

236 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

237 The People's Government of Beijing Municipality (2023).

238 Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council (2021a).

239 The People's Government of Beijing Municipality (2021b).

240 The People's Government of Beijing Municipality (2021c).

241 The People's Government of Beijing Municipality (2023).

242 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

243 The People's Government of Beijing Municipality (2021a).

244 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

北京市空气质量和气候治理架构

负责北京市空气质量管理的主要政府机构是北京市生态环境局（BMEEB）。北京市生态环境局的职责是，根据国家层面的五年规划设定空气质量管理目标、实施空气污染防治以及监测空气质量。北京市生态环境局与其他政府机构协调管理空气质量。这些机构包括：北京市各级政府、北京市交通委员会、北京市发展和改革委员会、北京市经济和信息化局等。这些政府机构共同采取措施，限制空气污染物排放，推广清洁能源车辆，监测移动源排放，最终实现北京市“十四五”时期规划中设定的空气质量目标。²⁴⁵

另一方面，负责管理北京市气候政策的主要政府机构是北京市生态环境局和北京市发展和改革委员会（BMDRC）。北京市生态环境局负责根据国家层面的五年规划设定温室气体减排目标、完善应对气候变化的法律框架，并发展碳市场，而北京市发展和改革委员会负责制定北京市碳达峰和碳中和的“1+N”政策框架，并监测碳排放总量和碳强度的控制情况。与前文提到的空气质量治理类似，许多其他政府部门也参与了北京市气候变化政策。²⁴⁶

值得注意的是，北京市卫生健康委员会（BMHC）参与了一些应对气候变化活动。例如，根据2023年发布的计划，北京市卫生健康委员会将协助制定北京市气候适应计划。

表13. 北京市“十四五”时期生态环境保护规划中公共健康相关指标²⁴⁷

指标	2025年目标值	是否为约束性
PM _{2.5} 年平均浓度(μg/m ³)	35	约束性
空气质量良好天数比例 (空气质量指数(AQI)≤100)	逐渐增加	约束性
重污染天数比例(AQI>200)	几乎清零	预期性
氮氧化物排放量减少(1万公吨)	大于1.38	约束性
挥发性有机化合物排放量减少 (1万公吨)	大于0.99	约束性

主要指标

北京市“十四五”时期的不同规划概述了与公共健康相关的大多数指标。本节将重点关注北京市“十四五”时期规划中与健康相关的指标。

北京市“十四五”时期生态环境保护规划中，有数个指标与减少空气污染对公共健康的影响相关（表13）。²⁴⁸这些指标基于国家十四五规划和北京市“十四五”

245 The People's Government of Beijing Municipality (2023).

246 The People's Government of Beijing Municipality (2023).

247 The People's Government of Beijing Municipality (2021c).

248 The People's Government of Beijing Municipality (2021c).

时期²⁴⁹生态环境保护规划的“指导方针”选出。选择氮氧化物和挥发性有机化合物（VOCs）作为指标表明，北京计划实施对PM_{2.5}和臭氧的“协同控制”，因为氮氧化物和挥发性有机化合物是PM_{2.5}和臭氧的重要前体物质。尽管该计划中未包括与空气污染直接相关的公共健康指标，如与空气污染相关的死亡率和患病率的减少，但是表13中的指标仍可用于评估和展示空气质量改善所带来的公共健康效益，以及“协同控制”空气污染和温室气体排放的影响。这些指标由北京市生态环境监测中心监测。

表14. 北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划中公共健康相关指标²⁵⁰

指标	2025年目标值	是否为约束性
煤炭消费总量（百万公吨）	小于1	约束性
可再生能源在总能耗中的比例	大于14.4%	约束性
单位工业增加值能耗降低	12%	约束性
森林覆盖率	45%	预期性

北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划中还有一些与空气污染控制和应对气候变化相关的公共健康效益指标（表14）。²⁵¹与“十四五”时期生态环境保护规划类似，上述规划中的指标同样根据国家十四五规划选出。²⁵²这些指标大多有助于评估对空气污染和温室气体排放进行“协同控制”的效果，因此可用于评估“协同控制”政策产生的公共健康影响。这些指标由北京市生态环境局和北京市发展和改革委员会监测。

表15. 北京市“十四五”时期健康北京建设规划中与空气污染和气候变化影响相关指标²⁵³

指标	2025年目标值	是否为约束性
慢性病过早死亡率（包括心血管疾病、癌症、慢性呼吸道疾病等）	逐渐降低	预期性
婴儿死亡率	降低至国际水平以下	预期性

然而，根据这一规划的“指导原则”，选择这些指标的目的是为了实现在双碳目标、增加碳汇和提高能源效率，²⁵⁴这意味着公共健康效益并非北京气候变化政策的明确动机之一。

249 The National People's Congress of the People's Republic of China (2021).

250 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

251 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

252 The National People's Congress of the People's Republic of China (2021).

253 The People's Government of Beijing Municipality (2021a).

254 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2022).

最后，北京市“十四五”时期健康北京建设规划中也包含一些与空气污染和气候变化影响相关的指标（表15）。²⁵⁵ 因为科学研究表明空气污染和气候变化可能使慢性疾病加重、婴儿死亡率升高，所以这些指标可以反映北京市的空气和气候政策的效果。此外，这些指标同样根据国家十四五规划中的目标选出。²⁵⁶ 这些指标由北京市卫生健康委员会监测。

6.3 案例研究: 深圳

简介

深圳是中国首个经济特区，自1980年设立以来，因其发展迅猛、成就斐然而备受关注。在过去的三十年中，这个曾经不起眼的小镇在经历非凡的经济转型后，成为了一个繁荣的特大城市，其人口激增了30倍，国内生产总值（GDP）也有显著增长。²⁵⁷ 根据2022年官方的最新数据，深圳市年末常住人口约为1766万，GDP达到32387.68亿元人民币（约合4480亿美元）。²⁵⁸

与世界上其他特大城市一样，深圳在过去几十年里经历了城市化和工业化的迅速发展，人口和能源消耗也大幅增加。深圳的快速发展也造成了空气污染问题。其雾霾天数不断增加，2004年达到峰值——187天。PM_{2.5}年平均浓度也有所增加，并在2006年达到峰值——62 μg/m³。²⁵⁹ 最大的空气污染源是煤电发电，其他污染源包括机动车辆、货运船只和港口，这些污染源还会产生大量温室气体排放。²⁶⁰

然而，在过去的十年里，深圳同时实现了碳排放减少、空气质量优化、公共健康改善和经济快速增长。自2005年以来，深圳在保持经济发展的同时，成功缓解了空气污染，除臭氧外，大多数空气污染物的年均浓度总体呈下降趋势，²⁶¹且深圳的国内生产总值增长了五倍。²⁶²此外，深圳单位GDP的碳排放量逐年稳步下降，远低于全国平均水平。深圳超额完成了国家和广东省下达的节能减排任务，领先全国各大中城市。²⁶³如今，深圳是中国环境空气质量最好的千万人口城市，²⁶⁴2020年，单位GDP的碳排放量约为全国平均水平的五分之一。²⁶⁵

深圳采取了四类关键措施，以在改善公共健康和保持高速经济发展的同时进行空气污染和温室气体排放“协同控制”：（1）识别空气污染和碳排放源；（2）调整工业、能源、交通和建筑结构；（3）创新高质量发展机制；以及（4）区域合作。

255 The People's Government of Beijing Municipality (2021a).

256 The National People's Congress of the People's Republic of China (2021).

257 L. Li et al. (2015).

258 Statistics Bureau of Shenzhen Municipality (2023).

259 Caixia (2017).

260 Harbin Institute of Technology (Shenzhen) et al. (2019).

261 Harbin Institute of Technology (Shenzhen) et al. (2019).

262 Statistics Bureau of Shenzhen Municipality (2022).

263 Harbin Institute of Technology (Shenzhen) et al. (2019).

264 Harbin Institute of Technology (Shenzhen) et al. (2019).

265 Shenzhen Municipal People's Government (2022a).

深圳是中国首个开展PM_{2.5}源解析的城市。从2004年起，深圳拨付大量科研经费，支持北京大学等机构开展全面的大气科学研究，包括PM_{2.5}源解析。该项研究成功确定了该地区空气污染的特征和主要来源。为实现污染的精准控制，深圳也建立了先进的环境空气质量监测系统，该系统能够收集近地表数据，以识别污染物的来源并推动实现污染的精准管理。²⁶⁶除了在空气污染源解析方面取得进展外，深圳还在碳排放清单的编制方面投入了大量资金，确定了主要温室气体来源，包括电力、交通、建筑活动以及工业制造。²⁶⁷

在污染源识别的基础上，深圳大力实施污染控制计划和举措，以有效提高空气质量，减少温室气体排放，改善公共健康。为实现这些目标，深圳在调整城市的工业、能源、交通和建筑结构方面取得了显著成就。通过淘汰水泥生产、造纸、印染等“两高一低”产业，²⁶⁸大力发展互联网、信息技术、新能源和新材料等“创新产业”，²⁶⁹深圳的产业结构得到优化升级。此外，采取提高可再生能源发电量以及从石油和煤炭过渡到核能和天然气的措施，有助于建立更加可持续的能源结构。²⁷⁰深圳产业结构和能源消费结构的调整显著降低了空气污染和碳排放水平。²⁷¹

此外，深圳还采取了减少交通和建筑行业的空气污染和碳排放的措施。深圳致力于改善交通运输行业，积极推动车辆电气化，减少非道路移动机械的空气污染。据估计，深圳对电动汽车的推广可以减少400-700例过早死亡。²⁷²此外，深圳作为重要的港口城市，还引入了港口设施电气化和船舶空气污染监测，以有效减少航运部门的污染和碳排放。²⁷³

深圳将建筑能效列为优先事项，于2006年颁布全国首部建筑节能条例，并鼓励建设近零能耗建筑、零碳建筑和近零碳排放试点区，从而降低了建筑的碳排放强度和碳排放总量。因此，深圳现已成为中国绿色建筑规模和密度领先的城市之一，这进一步增强了深圳的环保意识，推动了深圳的可持续发展。²⁷⁴

除了优化工业、能源、交通和建筑领域的能源结构，深圳还通过引入碳交易系统和实施绿色融资机制取得了重大进展，有效推动温室气体减排工作。深圳作为最早引入碳排放交易系统的地区之一，在2013年启动了中国第一个碳交易市场。该碳交易市场成为全国最活跃的市场之一，截至2022年已连续九年保持最高碳排放配额交易率²⁷⁵。值得注意的是，截至2021年底，深圳碳交易市场注册的747家企业中，99.87%遵守了碳排放限制。深圳碳市场还实现了注册制造业企业平均碳排放强度降低42.07%，

266 Caixia (2017).

267 Green & Low-Carbon Development Foundation, 2016; Harbin Institute of Technology (Shenzhen) et al. (2019).

268 Jie (2017).

269 Chunnan et al. (2015).

270 Legislative Council of Hong Kong (2022, p. 20).

271 Harbin Institute of Technology (Shenzhen) et al. (2019).

272 Ye et al. (2020).

273 Jie (2017).

274 Congcong (2023).

275 碳排放配额交易率=碳排放配额交易÷总碳排放配额×100%。

同时工业增加值增长62.65%，形成了生态经济脱钩的理想发展趋势。²⁷⁶深圳碳市场还通过减少对煤炭的依赖和利用天然气发电等措施，极大地改善了空气质量。此外，深圳碳市场促进了“高效益低污染”的高质量产业发展。²⁷⁷除碳市场外，2020年，深圳推出了中国首个绿色金融方案，包括透明的环境信息披露、可持续投资评估、机构能力建设和对违规行为的制裁。²⁷⁸这些措施成功为当地企业注入新活力，积极降低温室气体排放并缓解污染。例如，国家开发银行支持垃圾焚烧发电项目。²⁷⁹

粤港澳大湾区城市间的区域合作也有助于深圳减少空气污染和碳排放。广东和香港首次在空气污染方面进行合作，并建立了首个区域性空气监测网络，显著减少了大湾区航运、发电和制造业造成的空气污染。深圳积极参与空气污染合作倡议，与东莞、惠州和香港等城市共同实施车辆排放监测等空气污染控制措施。²⁸⁰此外，深圳在推动大湾区低碳发展方面发挥着引领作用。2022年，深圳公布了一项在该地区开发碳足迹验证系统的行动计划。²⁸¹深圳还利用其在能源技术领域的创新优势，帮助大湾区其他城市开发新能源汽车和先进核电等先进技术。²⁸²

最后，深圳市政府已经认识到空气污染控制和应对气候变化的公共健康效益，并在一些重要的政策文件中对此予以了强调。例如，深圳市卫生健康事业发展“十四五”规划中提到，必须实现颗粒物和臭氧的双重控制，并设定了2025年实现PM_{2.5}年平均浓度18 μg/m³的目标。²⁸³此外，深圳市生态环境保护“十四五”规划提到健康风险研究的重要性，并承诺建立空气质量健康指数，“积极实施国家环境健康管理试点”。²⁸⁴深圳市应对气候变化“十四五”规划强调，深圳应分析极端天气对发病率的影响，对弱势群体进行研究，并建立健康风险监测方法，²⁸⁵这也是《深圳经济特区生态环境保护条例》中提到的。²⁸⁶深圳市政府还开展了一些研究项目，重点关注空气污染和气候变化对公众的影响。例如，深圳与中国疾病预防控制中心合作，在2018年调查了空气质量恶化对健康的影响。²⁸⁷另一个例子是深圳市政府进行的气候舒适度²⁸⁸评估，评估气候变化对空气污染的影响，同时评估深圳市不同地区的气候舒适度，并提供公共健康影响评估以及公共健康适应气候变化方面的建议。²⁸⁹

276 Shun (2023).

277 Harbin Institute of Technology (Shenzhen) et al. (2019).

278 Congcong (2023).

279 Everbright Environment (2021).

280 T. Xue et al. (2022).

281 Shenzhen Municipal People's Government (2022b).

282 Shenzhen Municipal People's Government (2022a).

283 Health Commission of Shenzhen Municipality (2022).

284 Shenzhen Municipal People's Government (2022c).

285 Shenzhen Municipal People's Government (2022a).

286 Shenzhen Municipal People's Government (2021).

287 Guomin & Jijia (2018).

288 健康人群在无需借助任何防寒、避暑装备和设施情况下，对气温、湿度、风速和日照等气候因子感觉的适宜程度。(D. Zhang et al. [2022]).

289 Meteorological Bureau of Shenzhen Municipality (2023a, 2023b).

深圳市空气质量与气候治理架构

深圳市负责空气质量管理 and 应对气候变化的主要政府机构是深圳市生态环境局 (SMBEE)。与北京市生态环境局类似, 深圳市生态环境局的职责包括根据国家五年规划设定空气质量和温室气体排放目标, 实施空气污染治理和温室气体减排措施, 监测空气质量和温室气体, 以及执行法律法规。深圳市生态环境局还与其他政府机构合作。根据《“深圳蓝”可持续行动计划(2022—2025年)》(草案)和《深圳市应对气候变化“十四五”规划》, 这些政府机构包括深圳市各区政府、深圳市交通运输局、深圳市发展和改革委员会、深圳市工业和信息化局、深圳市住房和城乡建设局、深圳市市场监督管理局等。²⁹⁰这些政府机构共同采取行动, 推动产业结构升级, 建立清洁能源体系, 发展绿色交通, 抑制挥发性有机化合物排放, 并最终实现深圳市十四五规划中的目标。

此外, 深圳市卫生健康委员会亦参与了大气污染控制及应对气候变化活动。例如, 根据《2023年深圳市卫生健康工作要点》, 深圳市卫生健康委员会将“推进将健康融入所有政策”, “开展重大规划、重大项目、规范性文件对公共健康安全影响的系统评价”。其中涵盖深圳市在减轻空气污染和减少温室气体排放方面的行动。²⁹¹

主要指标

与公共健康相关的大部分指标在深圳市的各个“十四五”规划中均有所概述。本节将重点关注深圳市出台的三个“十四五”规划中健康相关指标。

深圳市生态环境保护“十四五”规划制定了一套关于减少空气污染对公共健康影响的综合指标。详见表16。²⁹²这些指标的选择基于国家十四五规划²⁹³中规定的目标并以该规划的“指导原则”为导向, 强调改善公共健康的重要性。深圳在综合指标中特别加入氮氧化物和挥发性有机化合物, 目的是采取协调一致的方法来减少PM_{2.5}和臭氧, 因为它们是这些污染物的重要前体物质。表16所列指标在评估和展示通过改善空气质量为公共健康带来的切实好处以及评估协同控制空气污染和温室气体排放的影响方面发挥了至关重要的作用。这些指标由深圳市生态环境监测中心进行监测。然而, 应该注意的是, 直接的公共健康指标, 如空气污染引起的疾病相关死亡率和发病率, 没有明确列入该计划中。

290 Shenzhen Municipal Bureau of Ecology and Environment (2022); Shenzhen Municipal People's Government (2022a).

291 Shenzhen Municipal Health Commission (2023).

292 Shenzhen Municipal People's Government (2022c).

293 The National People's Congress of the People's Republic of China (2021).

表16. 深圳市生态环境保护“十四五”规划中公共健康相关指标²⁹⁴

指标	2025年目标值	是否为约束性
PM _{2.5} 年平均浓度 (μg/m ³)	18	预期性
空气质量良好天数比例 (空气质量指数 (AQI) ≤100)	97.5%	约束性
氮氧化物排放量减少 (1万公吨)	与国家和省级目标相符合	预期性
挥发性有机化合物排放量减少 (1万公吨)	与国家和省级目标相符合	预期性

如表17所示，深圳市应对气候变化“十四五”规划中，有一些与控制空气污染治理和降低温室气体排放对公共健康影响相关的额外指标。²⁹⁵与深圳市生态环境保护“十四五”规划类似，这些指标也是基于国家十四五规划中规定的指标选出。²⁹⁶这些指标大多用于评估协同控制空气污染和温室气体排放措施的效力，从而有助于评估这些措施对公共健康的影响。这些指标的监督和检测属于深圳市生态环境局和深圳市发展和改革委员会的职权范围。

表17. 深圳市应对气候变化“十四五”规划中与公共健康相关指标²⁹⁷

指标	2025年目标值	是否为约束性
一次电力 ²⁹⁸ 占能源消耗总量的百分比	47%	预期性
铁路、公共汽车、自行车等绿色交通工具 满足交通需求的百分比	81%	预期性
新能源汽车的数量	1百万	预期性
森林覆盖率	37%	约束性
森林蓄积量	447万立方米	约束性

然而，根据该规划的“指导原则”，应该注意的是，选择这些指标的目的是实现双碳目标，优化空气污染和温室气体排放协同控制，提高能源和效率。²⁹⁹因此，制定深圳气候变化政策时，并未明确考虑公共健康效益。

294 Shenzhen Municipal People's Government (2022c).

295 Shenzhen Municipal People's Government (2022a).

296 The National People's Congress of the People's Republic of China (2021).

297 Shenzhen Municipal People's Government (2022a).

298 Primary electricity is nuclear, hydraulic, wind, solar, photovoltaic, and geothermal electricity.

299 一次电力是指核电、水电、风电、太阳能发电、光伏发电和地热能发电所发出的电力。

最后值得注意的是，深圳市卫生健康事业发展“十四五”规划包含一些空气污染和气候变化影响相关指标（表18）。³⁰⁰因为科学研究表明空气污染和气候变化可能使慢性疾病加重、婴儿死亡率升高，如文献综述所述，这些指标可以反映深圳空气和气候变化政策的效果。此外，这些指标同样根据国家十四五规划中的目标选出。³⁰¹这些指标由深圳市卫生健康委员会监测。

表18. 深圳市卫生健康事业发展“十四五”规划中与空气污染和气候变化影响相关指标³⁰²

指标	2025年目标值	是否为约束性
PM _{2.5} 年平均浓度 (µg/m ³)	18	预期性
慢性病过早死亡率（包括心血管疾病、癌症、慢性呼吸道疾病等）	8.5%	预期性
婴儿死亡率	2.5%	预期性

中国案例研究得出的经验教训

北京和深圳的案例研究为中国一些大城市如何控制城市空气污染和温室气体排放以及公共健康影响提供了范例。在没有明确的公共健康目标的情况下，北京和深圳的案例表明，高层和政府都表现出强烈的政治意愿，为了改善公共健康状况而致力于解决空气污染和气候变化问题。

与洛杉矶县不同，北京和深圳制定的空气质量和气候政策中缺乏明确的公共健康目标或指标（如死亡率、发病率或住院人次等），尤其是在其五年规划中。类似地，针对公共健康的“十四五”规划，尤其是北京市“十四五”时期健康北京建设规划中缺乏空气质量和气候变化相关指标（如PM_{2.5}浓度和煤炭消费总量）。这种现象的一个可能的原因是，中国的环境和公共卫生部门在制定五年规划和设定目标时缺乏跨部门的合作。如果环境和公共卫生部门之间缺乏足够的合作，公共健康问题将很难纳入环境决策过程，尤其是设定减缓气候变化目标的过程。然而，设定考虑到公共健康影响的空气和气候目标的实现有助于显著提高公共健康效益。对于北京、深圳和其他类似城市而言，在制定目标时加强跨部门合作可能有助于进一步提高公共健康效益。上级政府的指引和领导对于鼓励当地政府进行跨部门协作也很重要。

此外，本地政府的行动有时对缓解空气污染和气候变化作用不大。北京和深圳的空气污染物很大一部分来自周边地区³⁰³，气候变化受全球温室气体排放的影响，而全球温室气体排放不受国界限制。鉴于空气污染和气候变化问题具备区域性和全球性的特点，当地政府的行动产生的局部公共健康效益相对较少，这也可能导致政府不愿将公共健康指标纳入政策。为了解决这些问题，有必要对空气污染和气候变化对公共健康的影响进行更多的区域性研究，并就空气污染和温室气体减排开展更深入的区域合作。

300 Health Commission of Shenzhen Municipality (2022).

301 The National People's Congress of the People's Republic of China (2021).

302 Health Commission of Shenzhen Municipality (2022).

303 Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau (2021); T. Xue et al. (2019).

尽管现有政策存在差距，但仍然可以从北京和深圳的实践中吸取一些经验教训。其一是，中国许多城市的环境治理基于目标导向、自上而下的模式，五年规划中的目标则基于国家和省级五年规划设定。因此，为了将公共健康问题纳入城市空气和气候政策的决策过程，并将公共健康指标作为目标，首先需要在国家和省级政策中纳入此类指标，以便地方政府效仿。增强公众对空气污染和气候变化对公共健康影响的认识，也可以提高政府对这些影响的认识，这将促使政府在政策中纳入更多的公共健康指标。

其二，有效实施“协同控制”是中国城市在大气污染控制和温室气体减排方面取得进展的关键。北京、深圳等城市应进一步实施三类“协同控制”（即，PM_{2.5}和臭氧的协同控制、空气污染和温室气体的协同控制以及同一区域内不同城市间污染的协同控制）。该措施可以降低应对空气污染和气候变化带来的成本，并带来显著的环境和公共健康效益。协同控制措施包括减少氮氧化物和挥发性有机化合物、清洁制造、产业结构升级、能源消费结构转型等。

最后，碳市场和碳交易也能通过推动能源和产业结构优化升级，帮助减轻空气污染并减少温室气体排放。北京和深圳的碳交易机制不仅降低了煤炭在能源消费中的比重和发电领域的碳强度，而且促进了低污染、高经济效益产业的发展，成为两市经济发展的新引擎。北京和深圳的碳交易机制对于实现经济发展和碳排放的“脱钩”具有重要意义，并有助于在未来同时实现碳达峰、空气质量改善和高质量经济发展。

7. 结论

通过对空气污染和气候行动公共健康效益的统筹兼顾，可以获得重要的经验教训。此外，由于公共健康与气候变化之间的关系日新月异，因此必须根据设定和衡量指标的新趋势以及最新的科学和技术解决方案，定期更新政策指导。

本报告指出，加州建立了一个强有力的空气质量和气候政策框架。将公共卫生直接纳入考虑范围/将公共健康指标纳入政策效果评估是加州政策的一个显著特点。关键指标包括各种死亡率和发病率指标，以及特定的社会经济指标。加州已经证明，在气候和空气质量政策中，公共健康效益可以作为可测量、可量化的目标。该州将环境正义视为其工作重点之一，包括评估易受影响社区的脆弱性并绘制图表，以及测量政策组合在易受影响社区的效果。

另一方面，我们的研究发现，中国虽然认识到解决空气污染和公共健康的共同效益并将其整合到政策制定中，但在气候政策整合公共健康方面，情况并非如此。与此同时，中国在开发高精度空气质量监测工具方面表现出色。

洛杉矶、北京和深圳等地的案例研究揭示了这些城市在同时考虑空气质量和气候变化方面的实例，并突显了在决策和政策制定过程中考虑公共健康的程度差异。

此外，由加州—中国气候研究院组织的一系列互动和深度专家讨论揭示了未来发展的几个关键机遇。其中包括采取以下行动：

- 1. 召集并组织加州和中国不同管辖区块之间的交流和培训，分享双方的经验教训。**在这些会议上，双方需要分享使用的关键指标、追踪和评估数据的方法、数据如何影响政策决策过程，以及技术进展等方面的信息。特别是，考虑到两地之间的贸易路线，以及港口和航运是空气污染物和温室气体的重要来源，可能存在与绿色港口和绿色航运有关的具体交流机会，这将对公共健康带来巨大影响。
- 2. 利用、共享并扩展技术监测工具和地图工具。**例如，美国环境保护局的BenMAP工具和中国环境公共健康跟踪系统，都是用于决策的有效数据工具。同样，在脆弱性评估方面，加州发布了实用的环境筛查地图（CalEnviroScreen），而中国环境公共健康跟踪系统也能为公共健康影响分析提供大数据平台。两地可以通过共享技术工具、分享经验，甚至共同开发工具来互相学习。

3. **进一步实施“协同控制”和区域性方法。** 现已证实，加州和中国采取的温室气体和空气污染物“协同控制”措施，以及应对来自同一地区不同城市污染的方法十分成功。两地应进一步采取措施，互相学习。在两地特定地区之间展开国际对话，例如中国的大湾区和加利福尼亚州的洛杉矶县和湾区，可以推动信息共享，有助于开发“协同控制”的样本区域模型，可与美国和中国其他地区共享这些模型。
4. **开展更多地方性公共健康研究。** 中国的受访者指出，中国在将公共健康指标纳入国家和省级政策中面临的一个主要挑战是缺乏关于空气污染和气候变化对当地公共健康具体影响的研究。换言之，在中国特定地区，暴露于空气污染和极端气候事件与公共健康的关联往往不清晰，因此难以评估减少空气污染和应对气候变化带来的公共健康效益。所以，中国有必要进行更多的地方性公共健康研究，为制定完善的气候政策提供科学依据。
5. **接受并倡导多利益相关方参与公共健康行动。** 加州的受访者提到《第617号州众议院法案》。该法案在推动社区，尤其是遭受空气污染最严重的社区，共同制定社区减排计划方面发挥了作用，奥克兰等多个城市都已实施该法案。中国的一些受访者指出，公共利益相关方的参与对于改进市政等其他计划非常重要，并有助于加强和完善关键司法管辖区的计划制定。政府机构也强调了跨部门合作在优化气候政策制定中所起的作用。中国的受访者还强调，增强公众和政府对于公共健康问题的认识有助于出台更多以健康为导向的政策，因此信息传播和政府公众间的合作至关重要。
6. **确定适当优先级。** 其他地区应从中国在应对污染问题方面快速取得成果的经验 and 最佳实践中吸取教训。中国优先解决地方性空气质量问题的城市范例，可以为我们提供高效的解决方案。
7. **除减少空气污染外，将公共健康作为中国气候政策行动的切入点。** 类似例子可以在加州“范围计划”中找到，该计划设定了2045年该州气候目标并明确阐述了其政策行动的健康效益和衡量健康效益的指标。为充分利用空气和气候政策带来的公共健康效益，中国可以将公共健康指标纳入其国家目标。此外，中国还可以促进公共卫生部门与制定空气质量和气候政策的其他部门（如中国的环境部门和发展改革委员会）之间的协调。

8. 免责声明

若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。

凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

9. 参考文献

1. Adelaine, S. A., Sato, M., Jin, Y., & Godwin, H. (2017). An Assessment of Climate Change Impacts on Los Angeles (California USA) Hospitals, Wildfires Highest Priority. *Prehospital and Disaster Medicine*, 32(5), 556–562. <https://doi.org/10.1017/S1049023X17006586>.
2. Aguilera, R., Corringham, T., Gershunov, A., & Benmarhnia, T. (2021). Wildfire smoke impacts respiratory health more than fine particles from other sources: Observational evidence from Southern California. *Nature Communications*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21708-0>.
3. Allen, J. L., Klocke, C., Morris-Schaffer, K., Conrad, K., Sobolewski, M., & Cory-Slechta, D. A. (2017). Cognitive Effects of Air Pollution Exposures and Potential Mechanistic Underpinnings. *Current Environmental Health Reports*, 4(2), 180–191. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0134-3>.
4. Ambient Air Quality Standards, California Code of Regulations § 70100 - 70201. Retrieved January 6, 2023, from <https://govt.westlaw.com/calregs/Browse/Home/California/CaliforniaCodeofRegulations?guid=IEAC49D905A2011EC8227000D3A7C4BC3&transitionType=Default&contextData=%28sc.Default%29#IEADD07935A2011EC8227000D3A7C4BC3>.
5. American Lung Association. (n.d.). Most Polluted Cities. State of the Air. Retrieved June 1, 2023, from <https://www.lung.org/research/sota/city-rankings/most-polluted-cities>.
6. Anderson, C. M., Kissel, K. A., Field, C. B., & Mach, K. J. (2018). Climate Change Mitigation, Air Pollution, and Environmental Justice in California. *Environmental Science & Technology*, 52(18), 10829–10838. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00908>.
7. Anenberg, S. C., Haines, S., Wang, E., Nassikas, N., & Kinney, P. L. (2020). Synergistic health effects of air pollution, temperature, and pollen exposure: A systematic review of epidemiological evidence. *Environmental Health*, 19, 1–19. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00681-z>.
8. Assembly Bill 617, 617, Health and Safety Code (2017). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180AB617.
9. Assembly Bill 1274, Health and Safety Code (2017). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180AB1274.
10. Assembly Bill 1279, Health and Safety Code (2022). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=202120220AB1279.
11. Assembly Bill 1749, (2022). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220AB1749.
12. Assembly Bill 2276, Health and Safety Code (2006). http://www.leginfo.ca.gov/pub/05-06/bill/asm/ab_2251-2300/ab_2276_bill_20060929_chaptered.html.
13. Assembly Bill 2836, (2022). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=202120220AB2836.
14. Atmospheric Pollution Prevention and Control Law of the People’s Republic of China (2015 Revision), (2018). <https://www.lawinfochina.com/display.aspx?id=20023&lib=law>.
15. Bailey, D., & Solomon, G. (2004). Pollution prevention at ports: Clearing the air. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(7), 749–774. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.005>.
16. Balmes, J. R. (2021). California’s Integrated Approach to Air Quality and Climate Change.

- In K. E. Pinkerton & W. N. Rom (Eds.), *Climate Change and Global Public Health* (pp. 541–548). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54746-2_26.
17. Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau. (2021). 全文实录 |北京市现阶段大气PM2.5来源解析结果新闻发布会. <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzgw/fthg/11143030/index.html>.
 18. Beijing Municipal Ecology and Environment Bureau. (2022). 北京市“十四五”时期应对气候变化和节能规划. <https://www.chndaqi.com/news/337372.html>.
 19. Bollen, J., van der Zwaan, B., Brink, C., & Eerens, H. (2009). Local air pollution and global climate change: A combined cost-benefit analysis. *Resource and Energy Economics*, 31(3), 161–181. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2009.03.001>.
 20. Bublitz, F. M., Oetomo, A., S. Sahu, K., Kuang, A., X. Fadrique, L., E. Velmovitsky, P., M. Nobrega, R., & P. Morita, P. (2019). Disruptive Technologies for Environment and Health Research: An Overview of Artificial Intelligence, Blockchain, and Internet of Things. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203847>.
 21. Cai, W., Li, K., Liao, H., Wang, H., & Wu, L. (2017). Weather conditions conducive to Beijing severe haze more frequent under climate change. *Nature Climate Change*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.1038/nclimate3249>.
 22. Cai, W., Zhang, C., Suen, H. P., Ai, S., Bai, Y., Bao, J., Chen, B., Cheng, L., Cui, X., Dai, H., Di, Q., Dong, W., Dou, D., Fan, W., Fan, X., Gao, T., Geng, Y., Guan, D., Guo, Y., ... Gong, P. (2021). The 2020 China report of the Lancet Countdown on health and climate change. *The Lancet Public Health*, 6(1), e64–e81. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(20\)30256-5](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(20)30256-5).
 23. Cai, W., Zhang, C., Zhang, S., Bai, Y., Callaghan, M., Chang, N., Chen, B., Chen, H., Cheng, L., Cui, X., Dai, H., Danna, B., Dong, W., Fan, W., Fang, X., Gao, T., Geng, Y., Guan, D., Hu, Y., ... Gong, P. (2022). The 2022 China report of the Lancet Countdown on health and climate change: Leveraging climate actions for healthy ageing. *The Lancet Public Health*, 7(12), e1073–e1090. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00224-9](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00224-9).
 24. Caixia, L. (2017). *Air pollution control, speed and standards of Shenzhen*. <http://www.ceec.cn/zyzx/sjhjzz/zlml/lssj/201801/W020180903670229338228.pdf>.
 25. California Air Resources Board. *Commercial Harbor Craft*. (n.d.-a). Retrieved January 6, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/commercial-harbor-craft>.
 26. California Air Resources Board. (n.d.-b). *Goods Movement Emission Reduction Program (PROP 1B)*. Retrieved October 27, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/truckstop-resources/truckstop/financial-assistance/goods-movement-emission>.
 27. California Air Resources Board. (n.d.-c). *Air Toxics Hot Spots Information and Assessment Act (AB 2588)*. Retrieved September 7, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/air-toxics-hot-spots-information-and-assessment-act-ab-2588>.
 28. California Air Resources Board. (n.d.-d). *Children’s Environmental Health Protection Program*. Retrieved January 6, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/childrens-environmental-health-protection-program>.
 29. California Air Resources Board. (n.d.-e). *“Hot Spots” Prioritization*. Retrieved September 7, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ab-2588-air-toxics-hot-spots/hot-spots-prioritization>.
 30. California Air Resources Board. (n.d.-f). *“Hot Spots” Risk Assessment*. Retrieved January 6, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ab-2588-air-toxics-hot-spots/hot-spots-risk-assessment>.
 31. California Air Resources Board. (n.d.-g). *Children’s Environmental Health Protection Program*. Retrieved September 7, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/childrens-environmental-health-protection-program/about>.

32. California Air Resources Board. (n.d.-h). *CARB's Methodology for Estimating the Health Effects of Air Pollution*. Retrieved January 6, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/carbs-methodology-estimating-health-effects-air-pollution>.
33. California Air Resources Board. (n.d.-i). *Estimating the Health Benefits of Reductions in Emissions of PM2.5 or its Precursors: Short Description*. Retrieved January 6, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/estimating-health-benefits-reductions-emissions-pm25-or-its-precursors-short>.
34. California Air Resources Board. (n.d.-j). *Low Carbon Fuel Standard*. Retrieved January 6, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard>.
35. California Air Resources Board. (n.d.-k). *Cap-and-Trade Program*. Retrieved January 6, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/cap-and-trade-program/about>.
36. California Air Resources Board. (n.d.-l). *Short-Lived Climate Pollutants*. Retrieved September 8, 2023, from <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/slcp/about>.
37. California Air Resources Board. (2017). *Short-Lived Climate Pollutant Strategy*. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-07/final_SLCP_strategy.pdf.
38. California Air Resources Board. (2018a). *Community Air Protection Program*. California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/capp/about>.
39. California Air Resources Board. (2018b). *Community Air Protection Blueprint*. California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/capp-blueprint>.
40. California Air Resources Board. (2018c). *AB 32 Global Warming Solutions Act*. <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/ab-32-global-warming-solutions-act-2006>.
41. California Air Resources Board. (2020). *Criteria Pollutant and Toxics Emissions Reporting (CTR)*. California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/criteria-and-toxics-reporting>.
42. California Air Resources Board. (2021). *Climate Heat Impact Response Program (CHIRP)*. <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2021-11/30994%20-%20CHIRP%20Mitigation%20Plan%20RWC%20Approved%20Clean%20Final%2011.8.21.pdf>.
43. California Air Resources Board. (2022a). *2022 State Strategy for the State Implementation Plan*. California Air Resources Board. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-08/2022_State_SIP_Strategy.pdf.
44. California Air Resources Board. (2022b). *2022 Scoping Plan for Achieving Carbon Neutrality*. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ab-32-climate-change-scoping-plan/2022-scoping-plan-documents>.
45. California Air Resources Board. (2022c). *Co-benefit Assessment Methodology: Heart and Lung Health*. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/auction-proceeds/final_heartlunghealth_am_02.28.22.pdf.
46. California Office of Environmental Health Hazard Assessment. (n.d.). *SB 535 Disadvantaged Communities*. Retrieved October 26, 2023, from <https://oehha.ca.gov/calenviroscreen/sb535>.
47. California Public Utilities Commission. (n.d.). *Renewables Portfolio Standard (RPS) Program*. Retrieved September 8, 2023, from <https://www.cpuc.ca.gov/rps/>.
48. Casey, J. A., Karasek, D., Ogburn, E. L., Goin, D. E., Dang, K., Braveman, P. A., & Morello-Frosch, R. (2018). Retirements of Coal and Oil Power Plants in California: Association With Reduced Preterm Birth Among Populations Nearby. *American Journal of Epidemiology*, 187(8), 1586–1594. <https://doi.org/10.1093/aje/kwy110>.
49. Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council. (2016). “健康中国2030”规划纲要. http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm.
50. Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council. (2021a). 中共

- 中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见. https://www.mee.gov.cn/zcwj/zygwj/202111/t20211108_959456.shtml.
51. Central Committee of the Chinese Communist Party & State's Council. (2021b). 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见. http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm.
 52. Chen, C., Fang, J.-L., Shi, W.-Y., Li, T.-T., & Shi, X.-M. (2020). Clean air actions and health plans in China. *Chinese Medical Journal*, 133(13), 1609–1611. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000888>.
 53. Chen, Q., Wang, Q., Xu, B., Xu, Y., Ding, Z., & Sun, H. (2021). Air pollution and cardiovascular mortality in Nanjing, China: Evidence highlighting the roles of cumulative exposure and mortality displacement. *Chemosphere*, 265, 129035. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129035>.
 54. Chen, R., Yin, P., Meng, X., Wang, L., Liu, C., Niu, Y., Liu, Y., Liu, J., Qi, J., You, J., Kan, H., & Zhou, M. (2019). Associations between Coarse Particulate Matter Air Pollution and Cause-Specific Mortality: A Nationwide Analysis in 272 Chinese Cities. *Environmental Health Perspectives (Online)*, 127(1). <https://doi.org/10.1289/EHP2711>.
 55. Chen, R., Yin, P., Wang, L., Liu, C., Niu, Y., Wang, W., Jiang, Y., Liu, Y., Liu, J., Qi, J., You, J., Kan, H., & Zhou, M. (2018). Association between ambient temperature and mortality risk and burden: Time series study in 272 main Chinese cities. *BMJ*, 363, k4306. <https://doi.org/10.1136/bmj.k4306>.
 56. Chen, S., Guo, C., & Huang, X. (2018). Air Pollution, Student Health, and School Absences: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, 465–497. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.10.002>.
 57. China National Institute of Standardization. (2022). 适应气候变化—脆弱性、影响和风险评估指南. <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=CB6275E52E74C23CE05397BE0A0A0F80>.
 58. China's National Health Commission. (2022). 关于印发“十四五”健康老龄化规划的通知. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/01/content_5676342.htm.
 59. China's State Council. (2010a). 国务院办公厅转发环境保护部等部门关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知. http://www.gov.cn/gongbao/content/2010/content_1612364.htm.
 60. China's State Council. (2010b). 国务院办公厅转发环境保护部等部门关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知. http://www.gov.cn/gongbao/content/2010/content_1612364.htm.
 61. China's State Council. (2013a). 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知. http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/12/content_2486773.htm.
 62. China's State Council. (2013b). 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知. http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/12/content_2486773.htm.
 63. China's State Council. (2018a). 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm.
 64. China's State Council. (2018b). 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm.
 65. China's State Council. (2021a). 中国应对气候变化的政策与行动. http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/27/content_5646697.htm.
 66. China's State Council. (2021b). 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知. State's Council. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm.
 67. China's State Council. (2022). 国务院办公厅关于印发“十四五”国民健康规划的通知. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-05/20/content_5691424.htm.

68. Chunnan, Y., Yong, P., & Lu, F. (2015). 深圳10年大气污染治理纪实. https://www.gov.cn/govweb/xinwen/2015-02/05/content_2815099.htm.
69. City of Los Angeles. *L.A.'s Green New Deal: Sustainable City pLAn*. (2019). https://plan.lamayor.org/sites/default/files/pLAn_2019_final.pdf.
70. Clean Air Act, Pub. L. No. 88-206, 42 U.S.C. 7401 (1963).
71. Climate Emergency Mobilization Office. *Our Vision*. (n.d.). Retrieved May 9, 2023, from <https://www.climate4la.org/about/>.
72. Coker, E., Liverani, S., Ghosh, J. K., Jerrett, M., Beckerman, B., Li, A., Ritz, B., & Molitor, J. (2016). Multi-pollutant exposure profiles associated with term low birth weight in Los Angeles County. *Environment International*, 91, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.011>.
73. Congcong, W. (2023). 超大城市如何实现“碳达峰碳中和”?揭秘深圳全领域低碳改造. http://www.urbanchina.org/content/content_8456591.html.
74. Cornell Law School. Low Carbon Fuel Standard, California Code of Regulations § 94583 (2020). <https://www.law.cornell.edu/regulations/california/17-CCR-95483>.
75. County of Los Angeles, Sustainability Office. (2023, March). [Personal communication].
76. Dong, Z., Wang, H., Yin, P., Wang, L., Chen, R., Fan, W., Xu, Y., & Zhou, M. (2020). Time-weighted average of fine particulate matter exposure and cause-specific mortality in China: A nationwide analysis. *The Lancet Planetary Health*, 4(8), e343–e351. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30164-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30164-9).
77. Ducey, E. M., & Stough, L. M. (2021). Psychological effects of the 2017 California wildfires on children and youth with disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 114, 103981. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2021.103981>.
78. Ebi, K. L., & Burton, I. (2008). Identifying practical adaptation options: An approach to address climate change-related health risks. *Environmental Science & Policy*, 11(4), 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2008.02.001>.
79. Environmental Protection Law of the People's Republic of China, (2014). <http://greenaccess.law.osaka-u.ac.jp/wp-content/uploads/2019/03/Environmental-Protection-Law-of-the-Peoples-Republic-of-China-2014-Revision.pdf>.
80. Everbright Environment. (2021). 光大环境与国开行深圳分行签署400亿元战略合作协议 深化垃圾、污水处理等领域合作. <https://www.h2o-china.com/news/330709.html>.
81. Fournier, E. D., Federico, F., Cudd, R., Pincetl, S., Ricklefs, A., Costa, M., Jerrett, M., & Garcia-Gonzales, D. (2022). Net GHG emissions and air quality outcomes from different residential building electrification pathways within a California disadvantaged community. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104128. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104128>.
82. Fuller, R., Landrigan, P. J., Balakrishnan, K., Bathan, G., Bose-O'Reilly, S., Brauer, M., Caravanos, J., Chiles, T., Cohen, A., Corra, L., Cropper, M., Ferraro, G., Hanna, J., Hanrahan, D., Hu, H., Hunter, D., Janata, G., Kupka, R., Lanphear, B., ... Yan, C. (2022). Pollution and health: A progress update. *The Lancet Planetary Health*, 6(6), e535–e547. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0).
83. Ganesh, C., & Smith, J. A. (2018). Climate Change, Public Health, and Policy: A California Case Study. *American Journal of Public Health*, 108(S2), S114–S119. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2017.304047>.
84. Garcia-Menendez, F., Saari, R., Monier, E., & Selin, N. (2015). U.S. Air Quality and Health Benefits from Avoided Climate Change under Greenhouse Gas Mitigation. *Environmental Science & Technology*, 49, 7580–7588. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01324>.
85. Geng, G., Zheng, Y., Zhang, Q., Xue, T., Zhao, H., Tong, D., Zheng, B., Li, M., Liu, F., Hong, C., He, K., & Davis, S. J. (2021). Drivers of PM2.5 air pollution deaths in China 2002–

2017. *Nature Geoscience*, 14(9), Article 9. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00792-3>.
86. Global Warming Solutions Act, (2006).
87. Green & Low-Carbon Development Foundation. (2016). 深圳碳减排路径研究. <https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-20170710-2/report-20170710-2>.
88. Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383(9928), 1581–1592. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6).
89. Guo, R., Qi, Y., Zhao, B., Pei, Z., Wen, F., Wu, S., & Zhang, Q. (2022). High-Resolution Urban Air Quality Mapping for Multiple Pollutants Based on Dense Monitoring Data and Machine Learning. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 8005. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138005>.
90. Guo, X. (2019). 我国空气质量标准修订的历史及大气污染与健康问题的变迁. *环境卫生学杂志*, 9(4), 309–311. <http://html.rhhz.net/hjwsxzz/html/52960.htm>.
91. Guomin, C., & Jiajia, J. (2018). “大气污染的急性健康风险研究”项目深圳调查现场启动培训班顺利召开. http://wjw.sz.gov.cn/xxgk/gzdt/content/post_3159406.html.
92. Han, L., Zhou, W., Li, W., & Li, L. (2014). Impact of urbanization level on urban air quality: A case of fine particles (PM_{2.5}) in Chinese cities. *Environmental Pollution*, 194, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.022>.
93. Harbin Institute of Technology (Shenzhen), Urban Development Research Center Shenzhen, Shenzhen Academy of Environmental Sciences, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen Institute of Building Research Co., Ltd., Shenzhen Urban Transport Planning & Design Institute, & Lawrence Berkeley National Laboratory. (2019). *Achieving Triple Goals of Carbon Emission Peaking, Air Quality Standard Attainment, and Economic Prosperity at the City Level: The Shenzhen Case*. <https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-lccp-20191015/三达简版研究报告.pdf>.
94. Health Commission of Shenzhen Municipality. (2022). 深圳市卫生健康事业发展“十四五”规划. http://wjw.sz.gov.cn/xxgk/ghjh/fzgh/content/post_9713146.html.
95. Healthy China Action Promotion Committee. (2019). 健康中国行动 (2019–2030年). <http://www.nhc.gov.cn/cms-search/xxgk/getManuscriptXxgk.htm?id=e9275fb95d5b4295be8308415d4cd1b2>.
96. Healthy China Action Promotion Committee. (2022). 健康中国行动推进委员会办公室关于印发健康中国行动2022年工作要点的通知. <http://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/s7788/202204/67cb879e0afd44ba916912367de56170.shtml>.
97. Heaney, A., Stowell, J. D., Liu, J. C., Basu, R., Marlier, M., & Kinney, P. (2022). Impacts of Fine Particulate Matter From Wildfire Smoke on Respiratory and Cardiovascular Health in California. *GeoHealth*, 6(6), e2021GH000578. <https://doi.org/10.1029/2021GH000578>.
98. Hu, J., Wang, Y., Ying, Q., & Zhang, H. (2014). Spatial and temporal variability of PM_{2.5} and PM₁₀ over the North China Plain and the Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Environment*, 95, 598–609. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.019>.
99. Huang, C. (2022). 黄存瑞:气候变化带来健康风险,我们如何应对. <https://vsph.tsinghua.edu.cn/info/1028/1908.htm>.
100. Hubbell, B. J., Kaufman, A., Rivers, L., Schulte, K., Hagler, G., Clougherty, J., Cascio, W., & Costa, D. (2018). Understanding social and behavioral drivers and impacts of air quality sensor use. *Science of The Total Environment*, 621, 886–894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.275>.
101. IPCC AR6. *Working Group 1: Summary for Policymakers*. (n.d.). Retrieved February 8, 2023, from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>.
102. Jerrett, M., Burnett, R. T., Ma, R., Pope, C. A., Krewski, D., Newbold, K. B., Thurston, G., Shi, Y., Finkelstein, N., Calle, E. E., & Thun, M. J. (2005). Spatial Analysis of Air Pollution and Mortality

- in Los Angeles. *Epidemiology*, 16(6), 727–736. <https://www.jstor.org/stable/20486136>.
103. Ji, J. S., Zhu, A., Bai, C., Wu, C.-D., Yan, L., Tang, S., Zeng, Y., & James, P. (2019). Residential greenness and mortality in oldest-old women and men in China: A longitudinal cohort study. *The Lancet Planetary Health*, 3(1), e17–e25. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30264-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30264-X).
 104. Jiao, W., Hagler, G., Williams, R., Sharpe, R., Brown, R., Garver, D., Judge, R., Caudill, M., Rickard, J., Davis, M., Weinstock, L., Zimmer-Dauphinee, S., & Buckley, K. (2016). Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: Evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(11), 5281–5292. <https://doi.org/10.5194/amt-9-5281-2016>.
 105. Jie, S. (2017). 深圳治霾十八年：雾霾日从历史最高值一年187天减至27天. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_1597820.
 106. Kan, H., Chen, R., & Tong, S. (2012). Ambient air pollution, climate change, and population health in China. *Environment International*, 42, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.03.003>.
 107. Keeth, D. (2003). The California Climate Law: A State’s Cutting-Edge Efforts to Achieve Clean Air Comment. *Ecology Law Quarterly*, 30(3), 715–740. <https://www.jstor.org/stable/24114308>.
 108. Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2020). Toxicity of airborne particles—Established evidence, knowledge gaps and emerging areas of importance. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2183), 20190322. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0322>.
 109. LA City Mayor’s Office. (2023, March). [Personal communication].
 110. Legislative Council of Hong Kong. (2022). 深圳和新加坡的减碳策略. <https://www.legco.gov.hk/research-publications/chinese/2022in03-decarbonization-strategy-in-shenzhen-and-singapore-20220706-c.pdf>.
 111. Li, L., Chan, P. W., Wang, D., & Tan, M. (2015). Rapid urbanization effect on local climate: Intercomparison of climate trends in Shenzhen and Hong Kong, 1968-2013. *Climate Research*, 63(2), 145–155. <https://doi.org/10.3354/cr01293>.
 112. Li, W., Shao, L., Shi, Z., Chen, J., Yang, L., Yuan, Q., Yan, C., Zhang, X., Wang, Y., Sun, J., Zhang, Y., Shen, X., Wang, Z., & Wang, W. (2014). Mixing state and hygroscopicity of dust and haze particles before leaving Asian continent. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(2), 1044–1059. <https://doi.org/10.1002/2013JD021003>.
 113. Li, W., Zhou, S., Wang, X., Xu, Z., Yuan, C., Yu, Y., Zhang, Q., & Wang, W. (2011). Integrated evaluation of aerosols from regional brown hazes over northern China in winter: Concentrations, sources, transformation, and mixing states. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D9). <https://doi.org/10.1029/2010JD015099>.
 114. Li, Y. (2022). 多地出台“十四五”应对气候变化规划. http://www.news.cn/fortune/2022-08/08/c_1128897314.htm.
 115. Liu, J. C., Wilson, A., Mickley, L. J., Dominici, F., Ebisu, K., Wang, Y., Sulprizio, M. P., Peng, R. D., Yue, X., Son, J.-Y., Anderson, G. B., & Bell, M. L. (2017). Wildfire-specific Fine Particulate Matter and Risk of Hospital Admissions in Urban and Rural Counties. *Epidemiology*, 28(1), 77. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000556>.
 116. Los Angeles County Chief Sustainability Office. (n.d.). Chief Sustainability Office. Retrieved May 9, 2023, from <https://cso.lacounty.gov/>.
 117. Los Angeles County Chief Sustainability Office. (2019). *OurCounty: Los Angeles Countywide Sustainability Plan*. Los Angeles County Chief Sustainability Office. <https://ourcountyla.lacounty.gov/wp-content/uploads/2019/07/OurCounty-Final-Plan.pdf>.

118. Los Angeles County Chief Sustainability Office. *LA County Climate Vulnerability Assessment*. (2021). <https://ceo.lacounty.gov/wp-content/uploads/2021/10/LA-County-Climate-Vulnerability-Assessment-1.pdf>.
119. Los Angeles County Department of Public Health. *Framework for Addressing Climate Change in Los Angeles County* (2; Climate and Health Series). (2014). <http://ph.lacounty.gov/eh/docs/climatechange/framework-addressing-climate-change-los-angeles-county.pdf>.
120. Los Angeles Department of Public Health. (2023). *Climate Change and Health Equity: Strategies for Action*. <http://publichealth.lacounty.gov/eh/docs/climatechange/climate-change-health-equity-strategies-action-report.pdf>.
121. Los Angeles County Department of Regional Planning. *Climate Action Plan: Documents*. (n.d.). Retrieved May 9, 2023, from <https://planning.lacounty.gov/long-range-planning/climate-action-plan/documents/>.
122. Los Angeles Regional Collaborative for Climate Action and Sustainability. (2014). *Governance Policy*. <https://www.laregionalcollaborative.com/about>.
123. Ma, Q., Qi, Y., Shan, Q., Liu, S., & He, H. (2020). Understanding the knowledge gaps between air pollution controls and health impacts including pathogen epidemic. *Environmental Research*, 189, 109949. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109949>.
124. Ma, W., Liu, T., & Huang, C. (2018). 气候变化对人群健康的风险评估和适应性研究亟需加强. *Journal of Environmental Hygiene*, 8(5). <https://doi.org/10.13421/j.cnki.hjwsxz.2018.05.001>.
125. Maclver, L. (2021). *AB 617 in West Oakland Community-Based Air Pollution Abatement Planning*. https://www.baaqmd.gov/~/_media/files/ab617-community-health/west-oakland/final_ab-617-in-west-oakland-pdf.pdf?rev=b47178d004774010a3830679f9e7f556.
126. Maizlish, N., English, D., Chan, J., Dervin, K., & English, P. (2017). *Climate Change and Health Profile Report: Los Angeles County*. Office of Health Equity, California Department of Public Health. https://www.cdph.ca.gov/Programs/OHE/CDPH%20Document%20Library/CHPRs/CHPR037LosAngeles_County2-23-17.pdf.
127. Malig, B. J., Fairley, D., Pearson, D., Wu, X., Ebisu, K., & Basu, R. (2021). Examining fine particulate matter and cause-specific morbidity during the 2017 North San Francisco Bay wildfires. *Science of The Total Environment*, 787, 147507. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147507>.
128. Markandya, A., Sampedro, J., Smith, S. J., Dingenen, R. V., Pizarro-Irizar, C., Arto, I., & González-Eguino, M. (2018). Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: A modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 2(3), e126–e133. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30029-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30029-9).
129. McGivern, L., Shulman, L., Carney, J. K., Shapiro, S., & Bundock, E. (2017). Death Certification Errors and the Effect on Mortality Statistics. *Public Health Reports*, 132(6), 669–675. <https://doi.org/10.1177/0033354917736514>.
130. McKercher, G. R., Salmond, J. A., & Vanos, J. K. (2017). Characteristics and applications of small, portable gaseous air pollution monitors. *Environmental Pollution*, 223, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.045>.
131. Ministry of Ecology and Environment. (2012). Ambient Air Quality Standards. <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqhjlz/201203/W020120410330232398521.pdf>.
132. Ministry of Ecology and Environment. (2014). 2013中国环境状况公报. <https://www.mee.gov.cn/hjl/sthjzk/zghjzkgb/201605/P020160526564151497131.pdf>.
133. Ministry of Ecology and Environment. (2018) 中华人民共和国大气污染防治法. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/fl/201811/t20181113_673567.shtml.

134. Ministry of Ecology and Environment. (2022a). 2021中国生态环境状况公报. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202205/P020220608338202870777.pdf>.
135. Ministry of Ecology and Environment. (2022b). 中国应对气候变化的政策与行动2022年度报告. https://www.mee.gov.cn/ywdt/xwfb/202210/t20221027_998171.shtml.
136. Ministry of Ecology and Environment. (2022c). 国家适应气候变化战略2035. <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202206/W020220613636562919192.pdf>.
137. Ministry of Ecology and Environment. (2022d). 关于政协十三届全国委员会第五次会议第01154号(资源环境类086号)提案答复的函. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk13/202301/t20230117_1013551_wh.html.
138. Mendez, M. A. (2015). Assessing local climate action plans for public health co-benefits in environmental justice communities. *Local Environment*, 20(6), 637–663. <https://doi.org/10.1080/13549839.2015.1038227>.
139. Meteorological Bureau of Shenzhen Municipality. (2023a). 2022年深圳市气候公报. http://weather.sz.gov.cn/qixiangfuwu/qihoufuwu/qihouguanceyupinggu/nianduqihougongbao/content/post_10407890.html.
140. Meteorological Bureau of Shenzhen Municipality. (2023b). 《深圳市气候公报(2022年)》和《深圳市生态气候舒适度评估报告》专家解读访谈. http://weather.sz.gov.cn/hudongjiaoliu/zaixianfangtan/wangqihuigu/content/post_10409390.html.
141. Morawska, L., Thai, P. K., Liu, X., Asumadu-Sakyi, A., Ayoko, G., Bartonova, A., Bedini, A., Chai, F., Christensen, B., Dunbabin, M., Gao, J., Hagler, G. S. W., Jayaratne, R., Kumar, P., Lau, A. K. H., Louie, P. K. K., Mazaheri, M., Ning, Z., Motta, N., ... Williams, R. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? *Environment International*, 116, 286–299. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.018>.
142. National Development and Reform Commission. (2013a). 国家适应气候变化战略. <https://www.gov.cn/gzdt/att/att/site1/20131209/001e3741a2cc140f6a8701.pdf>.
143. National Development and Reform Commission. (2013b). 国家适应气候变化战略.
144. National Health Commission of the People's Republic of China. (2019). *Technical specifications for health risk assessment of ambient air pollution (WS/T 666—2019)*. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/pgw/202003/fb4c325cb7a0491db7723fa91f6b9387/files/fd4bd51002584fa0b33185e3733b27ec.pdf>.
145. National Institute of Environmental Health, China CDC. (n.d.). 中国环境健康综合检测项目框架. Retrieved August 16, 2023, from <https://cepht.niehs.cn:3443/develop13.html>.
146. Nieuwenhuijsen, M. J., Basagaña, X., Dadvand, P., Martinez, D., Cirach, M., Beelen, R., & Jacquemin, B. (2014). Air pollution and human fertility rates. *Environment International*, 70, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.05.005>.
147. Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA). *Indicators of Climate Change in California, Fourth Edition*. (2022). <https://oehha.ca.gov/climate-change/report/2022-report-indicators-climate-change-california>.
148. Rahman, M. M., McConnell, R., Schlaerth, H., Ko, J., Silva, S., Lurmann, F. W., Palinkas, L., Johnston, J., Hurlburt, M., Yin, H., Ban-Weiss, G., & Garcia, E. (2022). The Effects of Coexposure to Extremes of Heat and Particulate Air Pollution on Mortality in California: Implications for Climate Change. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 206(9), 1117–1127. <https://doi.org/10.1164/rccm.202204-0657OC>.
149. Ruizhen, G. (2013). 我国统一发布PM2.5监测信息 公众可实时查询. https://www.gov.cn/jrzq/2013-01/01/content_2303447.htm.
150. Santillana, M., Nguyen, A. T., Dredze, M., Paul, M. J., Nsoesie, E. O., & Brownstein, J. S. (2015). Combining Search, Social Media, and Traditional Data Sources to Improve

- Influenza Surveillance. *PLOS Computational Biology*, 11(10), e1004513. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004513>.
151. Schnell, J. L., & Prather, M. J. (2017). Co-occurrence of extremes in surface ozone, particulate matter, and temperature over eastern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(11), 2854–2859. <https://doi.org/10.1073/pnas.1614453114>.
 152. Schroeder, H. (2011). *Climate Change Mitigation in Los Angeles, US*. <https://unhabitat.org/sites/default/files/2012/06/GRHS2011CaseStudyChapter05LosAngeles.pdf>.
 153. Schwarz, L., Hansen, K., Alari, A., Ilango, S. D., Bernal, N., Basu, R., Gershunov, A., & Benmarhnia, T. (2021). Spatial variation in the joint effect of extreme heat events and ozone on respiratory hospitalizations in California. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(22), e2023078118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2023078118>.
 154. Senate Bill 25. (1999). <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-03/sb25%20legislation.pdf>.
 155. Senate Bill 32. Health and Safety Code (2016). <https://legiscan.com/CA/text/SB32/id/1428776>.
 156. Senate Bill 100. (2018). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180SB100.
 157. Senate Bill 375. (2008). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=200720080SB375.
 158. Senate Bill 1382. (2022). https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=202120220SB1382.
 159. Senate Bill 1383. (2016). https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-07/SLCP_Appendix_B.pdf.
 160. Sha, C., Pianpian, X., Kejun, J., & Ji, W. (2017). 北京市能源系统气候变化脆弱性分析与适应建议. *Climate Change Research*, 13(6), 614–622. <https://doi.org/10.12006/j.issn.1673-1719.2017.014>.
 161. Shang, Y., Sun, Z., Cao, J., Wang, X., Zhong, L., Bi, X., Li, H., Liu, W., Zhu, T., & Huang, W. (2013). Systematic review of Chinese studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality. *Environment International*, 54, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.01.010>.
 162. Shenzhen Municipal Bureau of Ecology and Environment. (2022). “深圳蓝”可持续行动计划(2022-2025年)(第二次征求意见稿). <http://sf.sz.gov.cn/attachment/0/945/945960/9550144.pdf>.
 163. Shenzhen Municipal Health Commission. (2023). 2023年深圳市卫生健康工作要点. http://wjw.sz.gov.cn/xxgk/ghjh/fzgh/content/post_10653594.html.
 164. Shenzhen Municipal People’s Government. (2021). 深圳经济特区生态环境保护条例. http://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/zcfg/content/post_8941834.html.
 165. Shenzhen Municipal People’s Government. (2022a). 深圳市应对气候变化“十四五”规划. <http://meeb.sz.gov.cn/attachment/1/1203/1203543/10189731.pdf>.
 166. Shenzhen Municipal People’s Government. (2022b). 创建粤港澳大湾区碳足迹标识认证 推动绿色低碳发展的工作方案(2023-2025). http://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/tzgg/content/post_10158391.html.
 167. Shenzhen Municipal People’s Government. (2022c). 深圳市生态环境保护“十四五”规划. http://www.sz.gov.cn/zfgb/2022/gb1227/content/post_9539918.html.
 168. Shi, Q., Zheng, B., Zheng, Y., Tong, D., Liu, Y., Ma, H., Hong, C., Geng, G., Guan, D., He, K., & Zhang, Q. (2022). Co-benefits of CO₂ emission reduction from China’s clean

- air actions between 2013–2020. *Nature Communications*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32656-8>.
169. Shun, W. (2023). 深圳碳市场开市十年 创造多个第一. <https://www.stcn.com/article/detail/895542.html>.
170. SmartAirLA. *Advance Health Equity with Data*. (n.d.). Smartairla.Org. Retrieved June 22, 2023, from <https://www.smartairla.org>.
171. Smith, K. R. (1988). Air Pollution: Assessing Total Exposure in the United States. *Environment*, 30(8), 10. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00139157.1988.9932540>.
172. South Coast Air Quality Management District. (n.d.-a). *AQ-SPEC Home Page*. Retrieved June 22, 2023, from <http://www.aqmd.gov/aq-spec>.
173. South Coast Air Quality Management District. *The Southland's War on Smog: Fifty Years of Progress Toward Clean Air (through May 1997)*. (n.d.-b). Retrieved May 8, 2023, from <https://www.aqmd.gov/home/research/publications/50-years-of-progress>.
174. South Coast Air Quality Management District. (n.d.-c). *About South Coast AQMD*. Retrieved May 8, 2023, from <http://www.aqmd.gov/nav/about>.
175. South Coast Air Management District. (2022). *2022 Air Quality Management Plan: Executive Summary*. South Coast Air Management District. <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/clean-air-plans/air-quality-management-plans/2022-air-quality-management-plan/final-2022-aqmp/03-es.pdf?sfvrsn=6>.
176. Statistics Bureau of Shenzhen Municipality. (2022). *Shenzhen Statistical Yearbook*. http://tj.sz.gov.cn/zwgk/zfxxgkml/tjsj/tjnj/content/post_10390917.html.
177. Statistics Bureau of Shenzhen Municipality. (2023). 深圳市2022年国民经济和社会发展统计公报. http://tj.sz.gov.cn/zwgk/zfxxgkml/tjsj/tjgb/content/post_10577661.html.
178. Strain, B. R. (1987). Direct effects of increasing atmospheric CO₂ on plants and ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 2(1), 18–21. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(87\)90195-9](https://doi.org/10.1016/0169-5347(87)90195-9).
179. Sunyer, J., Esnaola, M., Alvarez-Pedrerol, M., Forn, J., Rivas, I., López-Vicente, M., Suades-González, E., Foraster, M., Garcia-Esteban, R., Basagaña, X., Viana, M., Cirach, M., Moreno, T., Alastuey, A., Sebastian-Galles, N., Nieuwenhuijsen, M., & Querol, X. (2015). Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLOS Medicine*, 12(3), e1001792. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792>.
180. The National People's Congress of the People's Republic of China. (2021). 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
181. The People's Government of Beijing Municipality. (2021a). “十四五”时期健康北京建设规划. http://fgw.beijing.gov.cn/fgwzgwkg/zcgk/ghjhwb/wnjh/202205/t20220517_2712003.htm.
182. The People's Government of Beijing Municipality. (2021b). 北京市人民政府办公厅关于印发《北京市深入打好污染防治攻坚战2021年行动计划》的通知. https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/202103/t20210303_2297520.html.
183. The People's Government of Beijing Municipality. (2021c). 北京市人民政府关于印发《北京市“十四五”时期生态环境保护规划》的通知. http://xfb.beijing.gov.cn/zcwjyzcjd/zcwj/202112/t20211221_2566103.html.
184. The People's Government of Beijing Municipality. (2023). 北京市应对气候变化2023年行动计划. https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/202303/t20230302_2927394.html.
185. Tian, F., Qi, J., Qian, Z., Li, H., Wang, L., Wang, C., Geiger, S. D., McMillin, S. E., Yin, P., Lin, H., & Zhou, M. (2022). Differentiating the effects of air pollution on daily mortality

- counts and years of life lost in six Chinese megacities. *Science of The Total Environment*, 827, 154037. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154037>.
186. Tibuakuu, M., Michos, E. D., Navas-Acien, A., & Jones, M. R. (2018). Air Pollution and Cardiovascular Disease: A Focus on Vulnerable Populations Worldwide. *Current Epidemiology Reports*, 5(4), 370–378. <https://doi.org/10.1007/s40471-018-0166-8>.
 187. Tong, D., Geng, G., Zhang, Q., Cheng, J., Qin, X., Hong, C., He, K., & Davis, S. J. (2021). Health co-benefits of climate change mitigation depend on strategic power plant retirements and pollution controls. *Nature Climate Change*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01216-1>.
 188. Tong, D., Zhang, Q., Liu, F., Geng, G., Zheng, Y., Xue, T., Hong, C., Wu, R., Qin, Y., Zhao, H., Yan, L., & He, K. (2018). Current Emissions and Future Mitigation Pathways of Coal-Fired Power Plants in China from 2010 to 2030. *Environmental Science & Technology*, 52(21), 12905–12914. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02919>.
 189. U.S. Census Bureau. *QuickFacts: Los Angeles County, California; California*. (n.d.). Retrieved May 8, 2023, from <https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/losangelescountycalifornia,CA/PST045221>.
 190. USGCRP. (2016). *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment* (pp. 1–312). U.S. Global Change Research Program, Washington, DC. <https://health2016.globalchange.gov/executive-summary>.
 191. Wai, K.-M., & Yu, P. K. N. (2023). Application of a Machine Learning Method for Prediction of Urban Neighborhood-Scale Air Pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032412>.
 192. Wang, D., Guan, D., Zhu, S., Kinnon, M. M., Geng, G., Zhang, Q., Zheng, H., Lei, T., Shao, S., Gong, P., & Davis, S. J. (2021). Economic footprint of California wildfires in 2018. *Nature Sustainability*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00646-7>.
 193. Wang, T., Jiang, Z., Zhao, B., Gu, Y., Liou, K.-N., Kalandiyur, N., Zhang, D., & Zhu, Y. (2020). Health co-benefits of achieving sustainable net-zero greenhouse gas emissions in California. *Nature Sustainability*, 3(8), Article 8. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0520-y>.
 194. Wang, T., Zhao, B., Liou, K.-N., Gu, Y., Jiang, Z., Song, K., Su, H., Jerrett, M., & Zhu, Y. (2019). Mortality burdens in California due to air pollution attributable to local and nonlocal emissions. *Environment International*, 133, 105232. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105232>.
 195. Wang, X., Ding, H., Ryan, L., & Xu, X. (1997). Association between air pollution and low birth weight: A community-based study. *Environmental Health Perspectives*, 105(5), 514–520. <https://doi.org/10.1289/ehp.97105514>.
 196. Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., Chambers, J., Coleman, S., Dalin, C., Daly, M., Dasandi, N., Dasgupta, S., Davies, M., Napoli, C. D., . . . Costello, A. (2021). The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Responding to converging crises. *The Lancet*, 397(10269), 129–170. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32290-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X).
 197. West, J. J., Smith, S. J., Silva, R. A., Naik, V., Zhang, Y., Adelman, Z., Fry, M. M., Anenberg, S., Horowitz, L. W., & Lamarque, J.-F. (2013). Co-benefits of mitigating global greenhouse gas emissions for future air quality and human health. *Nature Climate Change*, 3(10), Article 10. <https://doi.org/10.1038/nclimate2009>.
 198. Whitney, M., & Qin, H. (2021). *How China is tackling air pollution with big data*. BreatheLife2030. <https://breathelife2030.org/news/china-tackling-air-pollution-big-data/>.
 199. Wilhelm, M., Ghosh, J. K., Su, J., Cockburn, M., Jerrett, M., & Ritz, B. (2012). Traffic-Related Air Toxics and Term Low Birth Weight in Los Angeles County, California. *Environmental Health Perspectives*, 120(1), 132–138. <https://doi.org/10.1289/ehp.1103408>.

200. Williams, A. M., & Phaneuf, D. J. (2019). The Morbidity Costs of Air Pollution: Evidence from Spending on Chronic Respiratory Conditions. *Environmental & Resource Economics*, 74(2), 571–603. <https://doi.org/10.1007/s10640-019-00336-9>.
201. Wing, S. E., Larson, T. V., Hudda, N., Boonyarattaphan, S., Fruin, S., & Ritz, B. (2020). Preterm Birth among Infants Exposed to in Utero Ultrafine Particles from Aircraft Emissions. *Environmental Health Perspectives (Online)*, 128(4). <https://doi.org/10.1289/EHP5732>.
202. World Health Organization. (2022). Ambient (outdoor) air pollution. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
203. Wu, X., Nethery, R. C., Sabath, M. B., Braun, D., & Dominici, F. (2020). *Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study* (p. 2020.04.05.20054502). medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>.
204. Xie, Y., Wu, Y., Xie, M., Li, B., Zhang, H., Ma, T., & Zhang, Y. (2020). Health and economic benefit of China's greenhouse gas mitigation by 2050. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104042. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba97b>.
205. Xu, M., Sbihi, H., Pan, X., & Brauer, M. (2020). Modifiers of the effect of short-term variation in PM_{2.5} on mortality in Beijing, China. *Environmental Research*, 183, 109066. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109066>.
206. Xue, T., Geng, G., Meng, X., Xiao, Q., Zheng, Y., Gong, J., Liu, J., Wan, W., Zhang, Q., Kan, H., Zhang, S., & Zhu, T. (2022). New WHO global air quality guidelines help prevent premature deaths in China. *National Science Review*, 9(4), nwac055. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac055>.
207. Xue, T., Zhu, T., Peng, W., Guan, T., Zhang, S., Zheng, Y., Geng, G., & Zhang, Q. (2021). Clean air actions in China, PM_{2.5} exposure, and household medical expenditures: A quasi-experimental study. *PLOS Medicine*, 18(1), e1003480. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003480>.
208. Xue, T., Zhu, T., Zheng, Y., & Zhang, Q. (2019). Declines in mental health associated with air pollution and temperature variability in China. *Nature Communications*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10196-y>.
209. Xue, W., Xu, Y., Shi, X., & Lei, Y. (2021). 我国大气环境管理历程与展望. 13(5), 52–60. <https://doi.org/10.16868/j.cnki.1674-6252.2021.05.052>.
210. Yan, M., Xie, Y., Zhu, H., Ban, J., Gong, J., & Li, T. (2022). The exceptional heatwaves of 2017 and all-cause mortality: An assessment of nationwide health and economic impacts in China. *Science of The Total Environment*, 812, 152371. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152371>.
211. Yang, J., Wen, Y., Wang, Y., Zhang, S., Pinto, J. P., Pennington, E. A., Wang, Z., Wu, Y., Sander, S. P., Jiang, J. H., Hao, J., Yung, Y. L., & Seinfeld, J. H. (2021). From COVID-19 to future electrification: Assessing traffic impacts on air quality by a machine-learning model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(26), e2102705118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102705118>.
212. Yang, J., Yin, P., Zhou, M., Ou, C.-Q., Guo, Y., Gasparrini, A., Liu, Y., Yue, Y., Gu, S., Sang, S., Luan, G., Sun, Q., & Liu, Q. (2015). Cardiovascular mortality risk attributable to ambient temperature in China. *Heart*, 101(24), 1966–1972. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-308062>.
213. Yanlin, N., Jun, Y., Hualiang, L., Tao, X., Yuan, G., Wen, L., Jun, W., & Qiyong, L. (2022). 高温热浪对北京市居民死亡影响附加效应. *Chinese Journal of Public Health*, 38(3), 344–350. <https://doi.org/10.11847/zgggws1134217>.
214. Ye, W., Shaojun, Z., Xinyu, L., Hui, W., & Xiaomeng, W. (2020). *Air quality impact from electric mobility development in China's megacities: Case studies in Beijing and Shenzhen*. <https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-ctp-20210207/中国大城市电动车发展的空气质量影响评估-北京和深圳案例分析.pdf>.

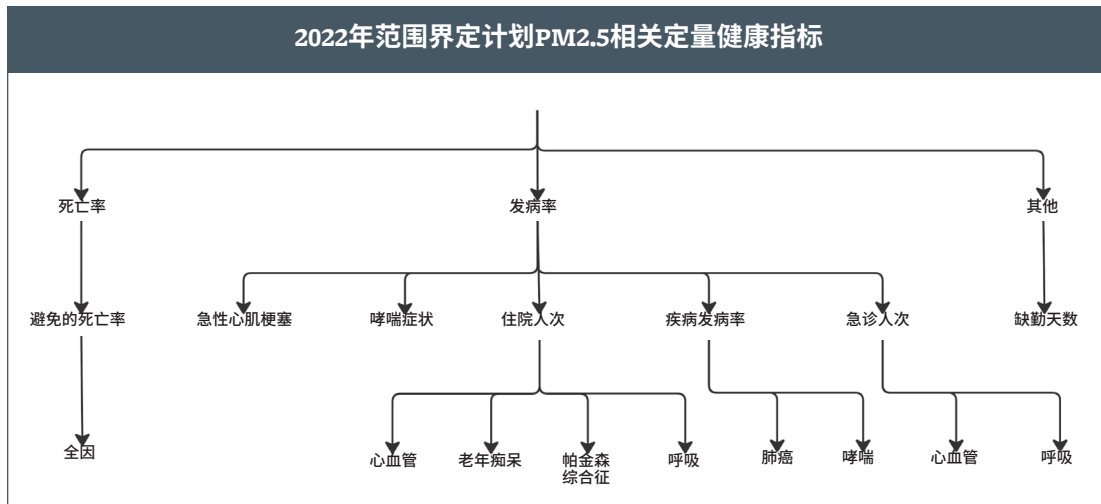
215. Yihong, Y. (2023). 早期预警的中国智慧. https://www.cma.gov.cn/ztbd/2023zt/20230406/2023040603/202304/t20230413_5435363.html.
216. Yu, Y., Yao, S., Dong, H., Wang, L., Wang, C., Ji, X., Ji, M., Yao, X., & Zhang, Z. (2019). Association between short-term exposure to particulate matter air pollution and cause-specific mortality in Changzhou, China. *Environmental Research*, 170, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.041>.
217. Zhang, D., Zhou, C., Zhou, Y., & Zikirya, B. (2022). Spatiotemporal relationship characteristic of climate comfort of urban human settlement environment and population density in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2022.953725>.
218. Zhang, H., Wang, S., Hao, J., Wang, X., Wang, S., Chai, F., & Li, M. (2016). Air pollution and control action in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1519–1527. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.092>.
219. Zhang, Q., Meng, X., Shi, S., Kan, L., Chen, R., & Kan, H. (2022). Overview of particulate air pollution and human health in China: Evidence, challenges, and opportunities. *The Innovation*, 3(6). <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2022.100312>.
220. Zhang, S., An, K., Li, J., Weng, Y., Zhang, S., Wang, S., Cai, W., Wang, C., & Gong, P. (2021). Incorporating health co-benefits into technology pathways to achieve China's 2060 carbon neutrality goal: A modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 5(11), e808–e817. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00252-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00252-7).
221. Zhang, X., Chen, X., & Zhang, X. (2018). The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(37), 9193–9197. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809474115>.
222. Zhang, Y., Wang, W., He, J., Jin, Z., & Wang, N. (2023). Spatially continuous mapping of hourly ground ozone levels assisted by Himawari-8 short wave radiation products. *GIScience & Remote Sensing*, 60(1), 2174280. <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2174280>.
223. Zhao, B., Wang, T., Jiang, Z., Gu, Y., Liou, K.-N., Kalandiyur, N., Gao, Y., & Zhu, Y. (2019). Air Quality and Health Cobenefits of Different Deep Decarbonization Pathways in California. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7163–7171. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02385>.
224. Zhao, H., Geng, G., Zhang, Q., Davis, S. J., Li, X., Liu, Y., Peng, L., Li, M., Zheng, B., Huo, H., Zhang, L., Henze, D. K., Mi, Z., Liu, Z., Guan, D., & He, K. (2019). Inequality of household consumption and air pollution-related deaths in China. *Nature Communications*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12254-x>.

附录一 加州实现碳中和“范围计划”（2022）中的公共健康指标

“范围计划”的附录G对八个领域的健康效益进行了分析，分别是高温影响、野火和烟雾影响、儿童健康和发展、经济安全、食品安全、出行和体育活动、经济适用房和城市绿化。在每个关注领域，该计划根据“范围计划”的规定，分析比较了“不采取行动”和“采取行动”两种不同做法之间的预期健康效益。

“范围计划”的附录H中量化了选择的健康指标，用于《第32号州众议院法案》¹ 温室气体清单部门的建模分析。指标包括：避免的死亡（全因）、住院人次、疾病发病率、急诊人次、缺勤天数、哮喘症状和急性心肌梗塞。这些健康指标通过美国环境保护局环境效益图像展示和分析系统（版本1.5.8）（BenMAP）进行量化，该系统预测空气污染浓度差异导致的某些健康状况发生的概率以及其经济成本。根据“范围计划”中设立的目标，每个指标都与减少接触PM_{2.5}和臭氧相关，并且会根据2035年和2045年的排放水平对每个指标进行预测。“范围计划”以2021年美元价值为基准报告了避免的不良健康状况发生次数及其价值。尽管每个健康指标都经过单独评估，但避免的不良健康状况的总经济价值估计将在2035年达到780亿美元，在2045年达到1990亿美元。仅改善PM_{2.5}这一方面，便能使预计2035年不良健康状况的总避免发生次数达到1351438.8次，在2045年达到2814637.4次。

计划中包含的一系列健康指标可分为三大类别：死亡率、发病率和其他。



死亡率

死亡率指标分为全因死亡率和预计避免死亡率。按照美国环境保护局的建议，“范围计划”采用870万美元的生命统计价值来量化降低死亡风险带来的效益。

发病率

相对于死亡率，发病率是一个覆盖范围更广的健康指标。发病率兼顾个体或人群中的所有疾病，包括急性和慢性疾病。“范围计划”中主要发病率指标包括疾病发生率（或疾病避免发生率）、特定疾病的住院人次、特定疾病的急诊人次以及不良出生

¹ 《第32号众议院法案》又称《全球变暖解决方案法令》。该法案设立了该州2020年减排目标，是首个全面解决减排问题的法案。它要求制定一项“范围计划”来规划实现气候目标的途径，并规定了加州空气资源委员会必须采用技术上可行且成本效益高的方法来实现减排目标。

结局。疾病指标包括心脑血管事件、乳腺癌、结肠癌、糖尿病、痴呆、肺癌、呼吸相关事件、抑郁症和传染病的发病率。呼吸相关事件包括哮喘的发作和症状，以及支气管炎症状。住院人次和急诊人次指标包括心血管、呼吸和心理健康事件，还有肠道感染的急诊人次。不良出生结局包括早产、低出生体重和死胎。

单独考虑儿童健康，发病率指标侧重于心理健康、认知问题、行为健康问题、口腔健康问题和在校表现。

还有一些与特定公共健康领域相关的其他发病率指标。肺功能发育和认知发育受是交通污染的指标，而孕妇和儿童缺铁则是与食品安全相关的指标。

其他指标

其他指标方面，收入变化、缺勤天数和GDP也是公共健康的附加指标。收入变化包括最近失业、长时间失业和转向较低薪酬工作，与预期寿命、一般健康状况、慢性病和心理健康有关。GDP也是衡量预期寿命和健康状况的一个指标。

“范围计划”对加州进行了区域评估，得出结论，加州南部地区将从该计划中最大程度受益，原因是该地区存在现有的空气质量问题、重要的排放源以及数量庞大而密集的城市人口。

除“范围计划”外，加州空气资源委员会（CARB）还制定了一种心肺健康共同效益评估方法，用于衡量与2006年《全球变暖解决方案法令》下制定的加州气候投资计划造成的相关心肺健康影响²附录二提供了2022年“范围计划”和心肺健康共同效益评估方法所包含指标的摘要。

除加州空气资源委员会外，加州环境健康危害评估办公室也发布了加州气候变化指标的报告。2022年的最新报告观察并追踪了气候变化对加州公共健康的影响。人类健康是报告中的一个指标，其他指标包括气候变化、对生理系统的影响、对植被和野生动物的影响以及对部落的影响。³衡量的公共健康指标包括：

- 高温相关死亡和疾病，
- 高温相关职业病，
- 裂谷热（球孢子菌病）
- 媒介传染病以及
- 野火烟雾⁴

2 California Air Resources Board (2022c).

3 OEHHA (2022).

4 OEHHA (2022).

附录二 衡量气候政策对公共健康影响时考虑的指标：“范围计划”和心肺健康共同效益评估方法

政策	“范围计划” (2022)	心肺健康共同效益评估方法
出台年份	2022	2022
总体公共健康考虑	<ul style="list-style-type: none"> 考虑实现加州温室气体和碳中和目标的不同选择所带来的公共健康效益。 	<ul style="list-style-type: none"> 衡量加州气候投资计划造成的心肺健康相关影响。
定性:	<p>定量:</p> <ul style="list-style-type: none"> 全因死亡率 因哮喘、慢性阻塞性肺病和所有呼吸系统疾病而住院的人数 哮喘、所有呼吸系统疾病和所有心脏疾病的急诊人次 心血管疾病发病率 结肠癌, 乳腺癌和肺癌的发病率 糖尿病发病率 痴呆发病率 呼吸系统疾病发病率 抑郁症发病率 交通事故数量 儿童 <ul style="list-style-type: none"> 因呼吸系统疾病而住院的患儿数量 儿童呼吸系统疾病的急诊人次 儿童哮喘发病率 儿童哮喘症状数量 <p>定性:</p> <ul style="list-style-type: none"> 死亡率 心血管和呼吸系统疾病以及肠道感染的急诊人次 因心血管和呼吸系统原因住院的人数 早产 不良出生结局包括低出生体重和小于胎龄 精神疾病; 心理健康; 抑郁症 传染病 慢性疾病 哮喘; 哮喘患病率 损伤 缺铁 预期寿命 健康状况 儿童 <ul style="list-style-type: none"> 儿童在校表现 健康 行为问题 认知问题; 认知发育受损 缺铁 口腔健康问题 肺功能发育 支气管炎症状 不良出生结局, 包括低出生体重和早产 气候脆弱性指标 	<p>定量:</p> <ul style="list-style-type: none"> 心肺疾病过早死亡的发生率 心血管疾病和呼吸系统疾病住院人次 哮喘急诊人次

附录三 加州南海岸空气质量管理局的空气质量计划中的健康指标

污染物	指标类型	指标
臭氧	死亡率	<ul style="list-style-type: none"> • 总死亡率 • 呼吸系统疾病死亡率 • 心血管疾病死亡率，包括代谢性疾病死亡率
	发病率	<ul style="list-style-type: none"> • 对呼吸系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 肺功能 ■ 呼吸道症状 ■ 气道反应性 ■ 呼吸道炎症、损伤和氧化应激 ■ 呼吸道感染和其他相关的健康影响 ■ 全部呼吸系统相关疾病的住院人次和急诊人次 ○ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 哮喘和哮喘症状的发展 ■ 肺功能和肺部发育 ■ 慢性阻塞性肺病（COPD）和其他相关呼吸系统症状的发展 ■ 呼吸道感染和其他相关的呼吸系统影响 ■ 过敏反应 ■ 妊娠期呼吸系统症状 ■ 对代谢综合征人群的呼吸系统产生的影响 ■ 呼吸系统疾病死亡率 • 心血管影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 心力衰竭、心功能受损及相关心血管影响 ■ 缺血性心脏病（IHD）及其相关的心血管影响 ■ 血管内皮功能障碍 ■ 心脏去极化、复极化、心律失常和停搏 ■ 血压变化与高血压 ■ 心率（HR）和心率变异性（HRV） ■ 凝血和血栓形成 ■ 全身性炎症和氧化应激 ■ 中风及相关心血管影响 ■ 非特异性心血管影响 ○ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 动脉粥样硬化 ■ 心力衰竭和心脏功能受损 ■ 血压变化与高血压 ■ 心率和心率变异性 ■ 凝血 ■ 全身性炎症和氧化应激 ■ 中风及相关心血管影响 ■ 其他心血管终点 • 代谢症状 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 代谢综合征 ■ 糖尿病并发症 ■ 其他代谢功能指标 ○ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 代谢综合征 ■ 糖尿病发展

污染物	指标类型	指标
臭氧	死亡率	<ul style="list-style-type: none"> ● 总死亡率 ● 呼吸系统疾病死亡率 ● 心血管疾病死亡率，包括代谢性疾病死亡率
	Morbidity	<ul style="list-style-type: none"> ● 中枢神经系统影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 认知和行为影响 ■ 神经内分泌影响 ■ 住院人次和急诊人次 ○ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 脑部炎症和形态 ■ 对认知、运动活动和情绪的影响 ■ 与运动功能相关的影响 ■ 神经发育的影响 ● 对生殖系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 男性生殖 ■ 女性生殖 ○ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 男性生殖 ■ 女性生殖 ■ 怀孕和分娩结局 ● 癌症 <ul style="list-style-type: none"> ○ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 基因毒性 ■ 癌症发病率、癌症死亡率、癌症存活率
PM _{2.5}	死亡率	<ul style="list-style-type: none"> ● 总死亡率 ● 呼吸系统疾病死亡率 ● 心血管疾病死亡率
	发病率	<ul style="list-style-type: none"> ● 对呼吸系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 哮喘恶化 ■ 过敏恶化 ■ 慢性阻塞性肺病（COPD）恶化 ■ 呼吸道感染 ■ 呼吸系统相关疾病住院人次和急诊人次的综合情况 ■ 呼吸道症状 ■ 肺功能 ■ 亚临床效应 ■ 对呼吸道的影响 ■ 对心血管疾病人群的呼吸系统影响 ○ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 肺发育 ■ 哮喘的发展 ■ 过敏性疾病的发展 ■ 慢性阻塞性肺病的发展（COPD） ■ 呼吸道感染 ■ 呼吸系统疾病的严重程度 ■ 健康人群中的亚临床效应 ■ 呼吸系统疾病死亡率

污染物	指标类型	指标
PM _{2.5}	死亡率	<ul style="list-style-type: none"> • 总死亡率 • 呼吸系统疾病死亡率 • 心血管疾病死亡率
	发病率	<ul style="list-style-type: none"> • 心血管影响 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 急诊和住院 ■ 缺血性心脏病、心肌梗死、心力衰竭和心功能 ■ 心血管相关疾病的综合情况 ◦ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 心血管性心脏病、中风和心肌梗死 ■ 动脉粥样硬化 ■ 心力衰竭 ■ 全身性炎症、凝血和血管内皮功能障碍 • 代谢症状 • 生殖和发育影响 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 短期 ◦ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 男性生殖 ■ 出生结局 • 神经系统影响 • 癌症 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 长期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 肺癌 ■ 肝癌 ■ 多种癌症
PM ₁₀ PM _{2.5}	死亡率	<ul style="list-style-type: none"> • 总死亡率 • 心血管疾病死亡率
	发病率	<ul style="list-style-type: none"> • 对呼吸系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 呼吸道感染和与呼吸系统相关的疾病 ■ 哮喘恶化 ◦ 长期 • 心血管影响 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 缺血性心脏病和心肌梗死 ■ 心力衰竭和心脏功能受损 ■ 心室除极、心室复极和心律失常 ■ 脑血管病（CBVD）和中风 ■ 血压和高血压 ■ 心率和心率变异性的受控人体暴露研究 ■ 全身性炎症和氧化应激 ■ 凝血 ■ 心血管相关疾病急诊人次和住院人次综合情况 ◦ 长期 • 神经系统影响 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 短期 ◦ 长期 • 代谢症状 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 长期 • 生殖和发育影响 • 癌症

污染物	指标类型	指标
超细颗粒物	死亡率	NA
	发病率	<ul style="list-style-type: none"> ● 对呼吸系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 哮喘恶化 ■ 慢性阻塞性肺病（COPD）恶化 ■ 呼吸系统相关问题 ■ 肺功能 ■ 呼吸道氧化应激 ■ 呼吸道炎症 ■ 慢性阻塞性肺病患者的呼吸系统影响 ■ 呼吸系统疾病死亡率 ○ 长期 ● 心血管影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 ○ 长期 ● 代谢症状 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 ○ 长期 ● 神经系统影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 交感神经系统和下丘脑-垂体-肾上腺应激轴的激活 ■ 脑部炎症和氧化应激 ■ 认知和行为影响 ○ 长期 ● 对生殖系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 长期 ● 癌症 <ul style="list-style-type: none"> ○ 长期
二氧化氮	死亡率	<ul style="list-style-type: none"> ● 总死亡率 ● 心血管疾病死亡率 ● 呼吸系统疾病死亡率
	发病率	<ul style="list-style-type: none"> ● 对呼吸系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 ○ 长期 ● 心血管影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 ● 神经系统影响 ● 其他健康影响
二氧化硫	死亡率	<ul style="list-style-type: none"> ● 总死亡率
	发病率	<ul style="list-style-type: none"> ● 对呼吸系统的影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 <ul style="list-style-type: none"> ■ 哮喘恶化 ■ 其他呼吸系统影响 ○ 长期 ● 心血管影响 <ul style="list-style-type: none"> ○ 短期 ○ 长期 ● 生殖和发育影响 ● 癌症

附录四 洛杉矶市可持续城市规划/绿色新政的公共健康效益

愿景和总体目标	类别	公共健康效益
环境正义 <ul style="list-style-type: none"> 到2025年，将前10%的洛杉矶社区的环境筛查地图（CalEnviroScreen）指标的原始分数平均提高25%，到2035年提高50%。 到2025年，将洛杉矶污染最严重社区的儿童哮喘相关急诊人次减少到每1000名儿童14次以下，到2035年减少到每1000名儿童8次以下。 	死亡率 <ul style="list-style-type: none"> 以车辆零排放、建筑电气化和工业零排放为目标，每年因减少死亡和住院人次而节省160亿美元。 	
	发病率 <ul style="list-style-type: none"> 以车辆零排放、建筑电气化和工业零排放为目标，每年将减少660例呼吸道和心血管疾病住院人次。 	
清洁健康的建筑 <ul style="list-style-type: none"> 到2030年，所有新建筑将实现净零碳排放，到2050年，100%的建筑将实现净零碳排放。 到2025年，所有类型建筑每平方英尺能耗降低22%，到2035年降低34%，到2050年降低44%。 	死亡率 <ul style="list-style-type: none"> 零碳建筑每年将减少190人过早死亡。 通过减少死亡，零碳建筑将节省19亿美元。 	
	发病率 <ul style="list-style-type: none"> 零碳建筑每年将减少70例呼吸系统和心血管疾病住院人次。 	
出行与公共交通 <ul style="list-style-type: none"> 到2025年，将步行、骑自行车、微型交通工具/配套交通工具或公共交通的出行比例提高到至少35%，到2035年提高到50%，到2050年维持至少50%。 到2025年，人均车辆行驶里程（VMT）至少减少13%，到2035年减少39%，到2050年减少45%。 确保洛杉矶在2028年奥运会和残奥会举办之时为自动驾驶汽车（AV）做好准备。 	发病率 <ul style="list-style-type: none"> 如果洛杉矶人不再开车上下班，而是步行或骑自行车15分钟，他们的 心脏病和中风风险将降低23%。 2型糖尿病风险将降低15%。 	
零排放车辆 <ul style="list-style-type: none"> 到2025年，将城市电动和零排放车辆的比例提高到25%，到2035年提高到80%，到2050年提高到100%。 到2030年，洛杉矶地铁和LADOT巴士实现100%电气化。 到2050年，将港口相关的温室气体排放量减少80%。 	死亡率 <ul style="list-style-type: none"> 到2050年，所有汽车实现电气化，每年将减少980人过早死亡。 	
	发病率 <ul style="list-style-type: none"> 到2050年，所有汽车实现电气化，每年将减少400例呼吸道和心血管疾病住院人次。 	
	其他 <ul style="list-style-type: none"> 到2050年，所有车辆实现电气化，每年将节省95亿美元的死亡和住院费用。 	

愿景和总体目标	类别	公共健康效益
<p>工业排放和空气质量监测</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 到2025年，洛杉矶将达到美国环境保护局规定的80ppb臭氧标准，并在未来的所有合规日期前达标。 ● 到2035年，减少38%的工业排放，到2050年减少82%。 ● 到2035年，减少54%的甲烷泄漏排放，到2050年减少80%。 	<p>死亡率</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 到2050年，减少82%的工业排放，每年将减少480例过早死亡。 ● 到2025年，实现我们的空气质量目标，每年将减少600例过早死亡。
	<p>发病率</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 到2050年，减少82%的工业排放，每年将减少190例呼吸道和心血管疾病住院人次。 ● 到2025年，实现我们的空气质量目标，每年将减少250例呼吸道和心血管疾病住院人次。
	<p>其他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 到2050年，减少82%的工业排放，每年将因减少死亡和住院人次而节省47亿美元。 ● 每年因减少死亡和住院人次而节省58亿美元。