



摘要

亚洲及太平洋空气污染： 基于科学的解决方案

2019年1月，联合国环境署出版

©2018 联合国环境署

ISBN: 978-92-807-3725-7

中文版根据第二英文版翻译，于泰国曼谷印刷与发布

引用说明

本出版物可以全篇或者部分复制，以任何形式用于教育和非营利目的，无需版权许可，但请注明来源。联合国环境署将感谢使用者向我们寄送任何使用本报告而形成的新的出版物。未经联合国环境署事先书面许可，不得将本出版物出售或者用于其他任何商业目的。如需申请许可，请向联合国环境署新闻司司长提出申请，说明复制的目的和范围。通信地址为：P.O.BOX 30552, Nairobi 00100, Kenya

免责声明

本出版物中使用的名称和所作陈述不代表联合国环境署就任何国家、领土、城市或地区当局、当局或边界界定相关的观点。此外，报告所表达的观点不代表联合国环境署的决定、规定或政策；所引用的商号名称或商业程序也不代表联合国环境署对其予以支持。

在本出版物中提及商业公司或产品并不代表联合国环境署对其予以认可。不允许将本出版物中有关专利产品用作宣传或广告。本出版物中表达的观点仅代表作者，不代表联合国环境署。对于可能在不知情的情况下发生的任何错误或遗漏，我们深表遗憾。

引用格式建议：联合国环境署（2018）. 亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案

本报告由亚太清洁空气伙伴关系与气候与清洁空气联盟共同资助完成，旨在为亚洲及太平洋国家提供可行的清洁空气解决方案。



联合国环境署
致力于在全球倡导环保做法，
并从自身行为做起。本出版物使用产自可持续管理森林的无氯无酸纸张印刷。我们的出版发行政策旨在减少联合国环境署的碳足迹。



呼吸清洁空气是人类最基本的需求，但令人遗憾的是，这在世界许多地方已经变成了一种奢求。虽然过去我们击败了许多“大杀手”，但现在空气污染已成为地球上最大的健康威胁之一，全球大约有三分之一的与空气污染相关的死亡发生在亚洲和太平洋地区。然而，值得欣慰的是，该地区拥有众多经过实践检验的解决方案，可以帮助抵御污染，拯救生命和保护地球。

《亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案》报告识别了25项清洁空气措施，这些措施可以对人类健康、作物产量、气候变化和社会经济发展产生积极影响，并有助于实现可持续发展目标。实施这些措施，可以帮助10亿人在2030年前呼吸更清洁的空气，到2050年将全球变暖效应减少三分之一摄氏度。

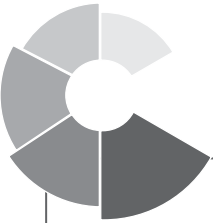
对于希望改善空气质量的国家和城市，这25项清洁空气措施不仅意味着可以成功改善空气质量，而且还将创造新的商机，同时促进经济增长。例如，印度东海岸的马哈拉施特拉邦及其首都孟买正在推广电动汽车，旨在将该州的电动汽车数量增加到50万辆，这创造了数千个就业机会，并将该州变成具有全球竞争力的电动车及其零部件制造基地。

我们已经看到合作如何产生积极影响。在中国，深圳市在国家政府和当地交通部门的支持下率先采用全电动公交方案，其公交网络的16,000多辆公交车全部电动化。在尼泊尔，砖窑窑主和技术专家之间的合作，重建了2015年地震中被摧毁的砖窑，使其更安全、污染更少、效率更高。在日本，富山市整合交通规划和废物管理，促进节能和可再生能源的使用，使空气更清洁，城市气候适应能力更强。

本报告强调了政府、私营部门和民间社会密切合作的重要性以及与公众进行明确沟通的重要性，以便能够全面实施建议的解决方案。

我希望该报告能够促进亚太地区在应对空气污染方面的强有力行动。

JOYCE MSUYA
联合国环境署代理执行主任
2018年12月



联合主席寄语

《亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案》报告旨在通过提出适合该地区各国的具有成本效益优势的方案，来支持亚太地区减少空气污染的努力。

亚太地区空气质量 — 现状如何？

空气污染对人类健康的影响成为亚太地区严重的公共健康危机。占该地区人口约92%的40多亿人口暴露在对其健康有重大威胁的空气污染水平下，污染水平超过世界卫生组织（WHO）基于公共健康保护提出的指导值，与污染水平过早死亡和各种疾病的风险增加有关。要减少健康损失，亚太地区需要采取进一步行动，减少生成细颗粒物（PM_{2.5}）和近地面臭氧污染排放—这两种污染物都会对人类健康和福祉、粮食生产和环境等造成损害。

令人欣慰的是，亚太地区的各国政府已成功制定并实施了降低污染水平的多项政策，并且在未来会继续努力。如果没有这些努力，预计到2030年伴随着该地区预计的经济增长速度（比2015年增长80%），以加权平均数计算，暴露在细颗粒物污染中的人口比例，将上升50%。当前的政策取得了相当大的成就，空气质量显著改善和健康效益显著的增加，但是要实现WHO指导值目标，保护公众健康，我们仍需要采取进一步行动。

亚太地区空气质量 — 我们能做什么？

《亚太地区空气污染：基于科学的解决方案》报告用最高质量的可得数据，先进的模型方法识别出最有效的25项减少空气污染的措施。报告分析了亚太地区各国情况的多样性，将选定的措施分为三类，在报告中对其进行了充分阐述：

- i. 常规排放控制，针对生成细颗粒物的排放物；
- ii. 进一步的空气质量改善措施（进阶措施），很多亚太地区国家还未普及的控制措施（针对生成细颗粒物的排放）；
- iii. 有助于实现发展目标，同时又能改善空气质量的措施。

如果实施25项清洁空气措施，亚太地区2030年可以呼吸到满足WHO指导值要求空气的人口达到22%（10亿人），而在2015年，只有约3.6亿人。此外，室外空气污染造成的过早死亡人数将可能下降1/3，并且室内空气污染造成的过早死亡人数也可以减少200万例。

这25项清洁空气措施还将为粮食和水安全、环境保护和减缓气候变化带来益处。

亚太地区空气质量 — 如何才能达到目标？

区域和国家在优先行动和易于实施的措施方面有所差异，这就要求需要采取灵活的方法来应



联合主席寄语

对空气污染，因此，本报告提供了可以根据各自国情而选择的一系列措施。

亚太地区具有相当丰富的实施污染物减排措施的经验，但有必要加强现有政策的落实，并改进政策协调性以提升执行力度和效果。

加强政策落实有赖于更权威的机构以及人力来管理与污染控制有关。本报告讨论了如何精心设计机构间协调机制，以实现更好的政策协调性。

大多数空气污染防治政策都是针对城市。然而，正如本报告所述，由于空气污染物会在大气中传输，城市周边地区对市区的空气质量影响很大。为有效管理城市空气质量，负责管控排放活动的区域、国家、城市和农村当局需要更密切地开展合作。由于PM_{2.5}和近地面臭氧是区域性空气污染物，因此还需要区域共同努力，通过区域协调机制来解决这些问题。

《亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案》报告研究发现也提出了很多挑战。例如，成功实施一些较小规模的措施可能需要各种形式的治理机制，以促进各个决策层面的利益相关者组织内部和跨部门的协调。区域和国际倡议合作也很重要，因为它们可以为许多拟议措施提供所需的财政、技术和能力建设支持。

尽管存在这些挑战，实施这25项具有成本效益优势的清洁空气措施的效益要高于成本许多倍，我们希望本报告将有助于采取有效行动。

《亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案》报告编委联合主席



郝吉明
中国 清华大学



YUN-CHUL HONG
韩国 国立首尔大学



FRANK MURRAY
澳大利亚 默多克大学



致谢

联合主席: Yun-Chul Hong (国立首尔大学); 郝吉明 (清华大学); Frank Murray (默多克大学); Kalpana Balakrishnan (2015-2016年) (世界卫生组织职业和环境卫生合作中心, 斯里罗摩占陀罗大学)

作者: Yun-Chul Hong (国立首尔大学); Kevin Hicks, Chris Malley 和 Johan Kuylenstierna, Lisa Emberson (斯德哥尔摩环境研究所, 约克大学); Kalpana Balakrishnan (斯里罗摩占陀罗大学); Ajay Pillarisetti (加州大学伯克利分校); Young Sunwoo (建国大学); Dang Espita, 付璐, Alan Silayan 和 Kathleen Dematera (亚洲清洁空气中心); Nguyen Thi Kim Oanh 和 Didin Permadi Augustian (亚洲理工学院); Sase Hiroyuki 和 Ken Yamashita (亚洲空气污染研究中心); Kathleen Mars, Maheswar Rupakheti 和 Charlotte Unger (可持续发展高等研究所); Arnico Panday, Bidya Banmali Pradhan 和 Chaman Gul (国际山地综合发展中心); Katsumasa Tanaka (日本国立环境研究所); Yeora Chae (韩国环境研究所); Gregory Carmichael (爱荷华大学); Madhoolika Agrawal (贝拿勒印度教大学); Allison Steiner (密歇根大学能源研究所); Changwoo Han (国立首尔大学), Hocheol Jeon (韩国环境研究所), Miak Aw Hui Min (新加坡环境与水资源部); Khalid Yusoff (思特雅大学); 冯兆忠, 王自发 (中国科学院); Toshihiko Takemura (九州大学); Markus Amann, Jens Borken-Kleefeld, Janusz Cofala, Adriana Gomez-Sanabria, Chris Heyes, Lena Höglund-Isaksson, Gregor Kiesewetter, Zbigniew Klimont, Binh Nguyen, Pallav Purohit, Peter Rafaj, Robert Sander, Fabian Wagner 和 Wolfgang Schöpp (国际应用系统分析研究所); 郝吉明, 王书肖, 吴焯和段雷 (清华大学); Drew Shindell 和 Karl Seltzer (杜克大学); Nathan Borgford-Parnell (气候与清洁空气联盟); Eric Zusman, Premakumara Jagath, Dickella Gamaralalage, Matthew Hengesbaugh, Ran Yagasa, Yasuhiko Hotta, Kazunobu Onogawa, Yoshiaki Totoki, Chen Liu, So-Young Lee, Kaoru Akahoshi, Mark Elder, Xianbing Liu, Ngoc-Bao Pham 和 Xinling Feng (全球环境战略研究所); Frank Murray (默多克大学); Ibrahim Rehman 和 Sumit Sharma (能源与资源研究所); Kaye Patdu (亚太清洁空气合作伙伴关系); 胡涛 (世界自然基金会 / 北京师范大学); 李万新 (香港城市大学); Bulganmurun Tsevegjav (全球绿色增长研究所); Susan Anenberg (乔治华盛顿大学); Eri Saikawa (埃默里大学); Ray Minjares (国际清洁运输委员会); Bert Fabian (联合国环境署交通部); Suyesh Prajapati (MinErgy); Mahendra Chitrakar 和 Shyam Maharjan, (尼泊尔砖业联合会); Mohammad Arif (沙尔达大学); Seema Patel 和 Stevie Valdez (全球清洁炉灶联盟); Rajendra Shende (技术、教育、研究和修复环境政策中心); 毛显强, 邢有凯 (北京师范大学); 万薇 (北京大学 - 亚洲季风区可持续发展集成研究项目); Takuro Kobashi (日本可再生能源研究所); Kessinee Unapumnuk (泰国污染控制部); Yulia Yamineva (东芬兰大学); Pam Pearson (国际冰冻圈气候倡议组织); J.S. Kamyotra (印度中央污染控制委员会)。

技术审稿人: Banalata Sen (印度公共卫生基金会); Eri Saikawa (埃默里大学); Neal Fann (美国环境保护局); Ho Kim (国立首尔大学); 黄存瑞 (中山大学); Iyngararasan Mylvakanam (联合国环境署 - 国际环境技术中心); 胡建信 (北京大学); Jatinder Singh Kamyotra (印度中央污染控制委员会); Khan Shahidul Huque (孟加拉国畜牧服务部); Kok Sothea (金边皇家大学); Peter Louie (香港环境保护局); Susan Anenberg (乔治华盛顿大学); Takashi Yorifuji (冈山大学); Toshihiko Takemura (九州大学); Umesh Chandra Kulshrestha (贾瓦哈拉尔尼赫鲁大学); Young-Ran Hur, Huofeng Hu, Jinhua Zhang, Kakuko Nagatani Yoshida (联合国环境署亚太办事处); Bin Jalaludin (新南威尔士大学);



致谢

Rajasekhar Balasubramanian (新加坡国立大学); Volodymyr Demkine (独立顾问); Eui-Chan Jeon (世宗大学); Michael Brauer (加拿大不列颠哥伦比亚大学); Yasushi Honda (筑波大学); Hiroshi Hara (东京农业大学); 张俊杰 (中国昆山杜克大学); Edward Jonathan Roroia Danitofea (环境与气候变化部-所罗门群岛灾害管理和气象学); Yuji Masutomi (茨城大学); 阚海东 (复旦大学); 张世秋 (北京大学); Anura Dissanayake (斯里兰卡马哈威利发展与环境部); Ghulam Malikyar (阿富汗伊斯兰共和国国家环境保护局); Wongpun Limpaseni (Navamindrathiraj 大学); Supat Wangwongwatana (法政大学); 泰国污染控制司团队; 联合国环境署中国办公室团队; 中国生态与环境部团队; Batbayar Jadamba (蒙古国家气象和环境监测局); Faizal Parish (全球环境中心); Muhammad Irfan Tariq (巴基斯坦气候变化部); Nguy Thi Khanh (绿色创新和发展中心); 彭暉 (哈佛大学); Eny Haryati (印度尼西亚森林和土地火灾管理局); Shankar Prasad Paudel (尼泊尔国家污染控制战略和行动计划); Wesam Al Madhoun (马来西亚理工大学); Hazri Hassan (新加坡环境和水资源部); Nyamjav Erdenesaikhan (瑞士驻蒙古大使馆-瑞士合作办公室); Alexander Baklanov (世界气象组织); Alex Heikens (蒙古联合国儿童基金会); Puput Ahmad Safrudin (印度尼西亚 KPBB); Vijay Shekhar Sharma (Paytm); Nguyen Van Dan (越南-Horiba); Veerachai Tanpipat (水电-农业信息学研究所) 和世界卫生组织团队。

编辑: Bart Ullstein and Helen de Mattos

平面设计和排版: Rywin Nitiprathananun

翻译: 万薇 (未来地球-亚洲季风区可持续发展集成研究项目, 北京大学)

中文版平面设计和排版: 徐翔

特别感谢: Haojun Chen, Haiping Jia, Kaye Patdu, Suwimol Wattanawiroon (亚太清洁空气伙伴关系); Nathan Borgford Parnell, Helena Molin Valdes (气候和清洁空气联盟); Xiaoqian Zhou, Mayan Mojado, Isabelle Louis, Dechen Tsering (联合国环境署亚太办事处); Iyngararasan Mylvakanam, Kaveh Zahedi (2015-2016 年)



目录

前言	i
联合主席寄语	ii
致谢	iv
关键信息	1
介绍	5
第一节：为什么要采取果断行动来应对亚太地区的空气污染	9
健康影响	9
农作物影响	11
空气污染对冰雪地区的影响	11
空气污染对亚洲季风的影响	11
气候变化影响	12
政策干预	15
第二节：降低健康影响和实现发展目标的优先措施	19
介绍	19
最有效的25项清洁空气措施	22
健康、环境及其他发展效益	28
措施的经济含义	34
亚洲的多样性需要我们采取因地制宜的办法	34
第三节：措施的成功实施	37
介绍	37
常规排放控制	38
进阶措施	40
发展优先措施	42
空气重污染事件	48
治理模式和资金	52
结论	57
缩写	58



关键信息

需求

只有少部分人可以呼吸到清洁的空气

参照世界卫生组织（World Health Organization, WHO）的空气质量指导值，2015年亚洲太平洋地区（简称亚太地区）仅有不到8%的人口可以呼吸到满足健康水平的空气。这意味着，剩下92%的40多亿人都暴露在空气污染之中，面临不同程度的健康风险。亚太地区暴露人口分布并不均匀，其中最主要的人群分布在南亚和东亚。要改善这么多人的生活，就必须采取行动，减少污染排放来降低细颗粒物（PM_{2.5}）和近地面臭氧的浓度水平—这两种污染物都会对人类健康和福祉、粮食生产和环境等造成损害。

空气质量可能不会更差了，但是会变好吗？

未来人口增长、快速城市化、产品和服务需求上升的趋势还会继续，如果可以有效地引入和实施现有的排放控制政策，2030年的空气质量不会比2015年更差，但也不会变得更好。也就是说，当前应对空气污染的政策有一定成效，但还是远远不够。相比2015年，2030年经济预计增长80%，将使得数千万人摆脱贫困，并且不会使空气质量进一步恶化。但是，40多亿人口依然还是暴露在有损健康的污染水平中。为了达到WHO建议的空气质量水平，保护公众健康，必须采取进一步的行动。

解决问题的方案

广泛有效地采取25条措施就可以很大程度地改善目前的状况。

科学家用先进的模型方法对数百种可以减少空气污染的措施进行分析，最终筛选出最有效的25项措施（后文简称25项清洁空气措施）。这些方法可以在粮食安全，空气、水和土壤质量，

生物多样性和气候方面产生积极的影响，有益于人类健康和环境，同时有助于实现可持续发展目标（SDGs）。

25项清洁空气措施的效益

提升健康效益

实施上述25项清洁空气措施，亚太地区2030年可以呼吸到满足WHO指导值要求空气的人口达到22%（10亿人），相比2015年（少于8%）有显著提升。暴露于污染空气（污染物浓度高于WHO提出的过渡阶段第一阶段目标值）之中的人口将可能下降80%，减少到4.3亿。此外，室外空气污染造成的过早死亡人数将可能下降1/3，并且室内空气污染造成的过早死亡人数也可以减少200万例。

提升食品安全和保护环境

近地面臭氧污染是造成农作物减产的首要大气污染物，因而会影响到粮食供应。实施25项清洁空气措施可以降低45%由臭氧污染造成的玉米、大米、大豆和小麦的减产量。因为近地面臭氧还会影响到草地和森林的生长，因此，这些措施还可以改善生态环境。这些措施还将减少生态系统中氮、硫的沉降，有利于水质、土壤质量、生物多样性的保护。

加强水安全

在兴都库什 - 喀喇昆仑 - 喜马拉雅 - 西藏等高原山脉地区，大气中的以及沉积在冰川和雪原上的黑碳和尘会产生增温效应，加速了该地区的冰川和雪原融化。实施25项清洁空气措施将减少颗粒物排放，减缓冰川和雪原的融化速度，降低与冰湖溃决相关的自然灾害风险，帮助生活在这些地区的数十亿人提高供水保障。

减缓气候变化

实施 25 项清洁空气措施将有助于减缓气候变化。到 2030 年，二氧化碳的排放相比基线情景将可能减少近 20%，使得 2050 年的潜在升温效应降低 1/3 度。这将极大有助于实现《巴黎协定》中对本世纪的全球气温升高幅度控制在 2°C 以内的目标。

对可持续发展目标的贡献

25 项清洁空气措施将帮助各个国家实现可持续发展目标。实施这些措施带来的空气质量改善和气候变化减缓将直接帮助实现以下可持续发展目标：目标 3：让不同年龄段的所有的人过上健康的生活，提高他们的福祉；目标 11：建设包容、安全、有抵御灾害能力的可持续城市和人类社区；目标 12：采用可持续的消费和生产模式；目标 13：采取紧急行动应对气候变化及其影响。其中个别或多项措施的应用都将直接或间接促进实现其它 13 个可持续发展目标及其相关的具体目标。

付诸于实践

为亚太地区提供不同方案选择

这 25 项清洁空气措施并不普适于整个亚太地区。这些措施是一揽子措施组合，但是不同次区域和国家的多样性意味着要因地制宜地选取和调整优先措施来执行。

所需投入只相当于未来经济增长的一小部分

预计到 2030 年，在整个亚太地区实施 25 项清洁空气措施每年将花费 3000-6000 亿美元，仅约为国内生产总值（GDP）增长额 12 万亿美元的二十分之一。除了为人类健康、粮食生产、环境保护和减缓气候变化带来显著效益，措施还将产生一系列协同效益，包括节约污染控制的成本。

清洁空气措施融资问题

25 项清洁空气措施中本身就有很多措施与国家发展重点一致，可以获得国内的公共财政支持。

如果有一个有利的投资环境，私营部门和企业也会参与，投资清洁技术。此外，在有气候融资机制可用于减少空气污染和温室气体排放措施的基础上，利用优惠或低息贷款支持政府和其他利益相关方实施这些措施。多边和双边出资机构可以将其空气污染相关的投资战略与 25 项清洁空气措施相结合，并通过研究机构和平台来加强技术能力建设，促进措施的有效实施。

动员多方力量以实现多重效益

持续的经济增长仍然至关重要，但仅靠经济增长还不足以成功促成 25 项清洁空气措施的落地执行，我们还需要政府、企业和民间社会的共同努力和一致行动。这些措施的制定和成功实施有赖于良好的伙伴关系，打破窠臼，在传统决策结构之间架起桥梁。将各种措施进行合理打包，可以促进各部门、地方当局、行业和民间社会组织之间的合作。各方携手努力方能促成改变，在亚太地区实现可持续发展，共创更好的未来。

表 A: 最有效的25项清洁空气措施

在区域应用常规控制措施

燃烧排放末端控制	采用先进的末端控制措施，减少电厂和大型工业源的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物排放
工业过程排放标准	在钢铁、水泥、玻璃生产和化工等行业推行严格的排放标准
机动车排放标准	加强机动车排放标准，特别是轻型和重型柴油车辆的管控
车辆检测和维护（I/M）	实施强制性的车辆检测和维护制度
扬尘控制	减少建设施工和道路扬尘；增加绿化

空气污染防治进阶措施（很多亚太地区国家还未普及）

农作物秸秆管理	对农作物秸秆进行管理，严格禁止露天焚烧
生活垃圾禁烧	严格禁止露天焚烧生活垃圾
预防森林与泥炭火灾	加强对森林、土地和水资源的管理和防火措施，预防森林与泥炭火灾
畜禽粪便管理	对粪便存储进行覆盖处理，高效施肥；鼓励厌氧消化处理
氮肥施用管理	提高氮肥使用效率；在施用尿素时添加脲酶抑制剂，或者用硝酸铵等化肥替代
砖窑管理	提升砖窑生产效率，执行排放标准
国际航运排放控制	要求使用低硫燃料，控制颗粒物排放
溶剂使用和炼油厂管控	在工业和家庭涂装中均采用溶剂含量低的涂料；进行泄漏检测；进行油气回收或焚烧

表 A: 最有效的25项清洁空气措施 (续)

有助于实现发展目标, 同时又能改善空气质量的措施

清洁炉灶和采暖	在城市推广使用电、天然气、液化石油气; 在农村推广液化石油气、先进的生物质炉具和采暖设施; 用成型燃料替代煤炭
可再生能源发电	采取激励措施扩大风能、太阳能、水力发电在用能中的比例, 淘汰低能效的电厂
提高家庭能效	采取激励措施提高家庭能效, 包括建筑、照明、供暖和制冷等方面; 鼓励屋顶加装太阳能设施
工业能效标准	实施较高的工业能效标准
电动车	推广使用电动车
改进公共交通	鼓励出行方式的改变, 从私家车出行转向公共交通出行
固废管理	鼓励垃圾分类, 进行集中收运和处理, 包括热解气化利用等措施
水稻田	鼓励对持续性淹水稻田进行间歇曝气
废水处理	对废水进行二级处理, 回收废水处理产生的沼气
煤炭开采	鼓励在开采前回收煤矿瓦斯
油气生产	鼓励回收伴生气; 停止常规的放空燃烧处理手段; 加强油气泄漏控制
氢氟烃 (HFC) 制冷剂替代	确保完全遵守基加利修正案



空气污染对人体健康影响

在亚太地区，空气污染带来的人类健康影响已经成为一场严重的公共健康危机。参照 WHO 的空气质量指导值，该地区仅有不足 8% 的人口可以免于空气污染造成的健康风险。亚太地区的流行病学研究已有足够的证据表明，PM_{2.5} 和近地面臭氧暴露对人体健康最为有害，并且造成了巨大的健康损失。

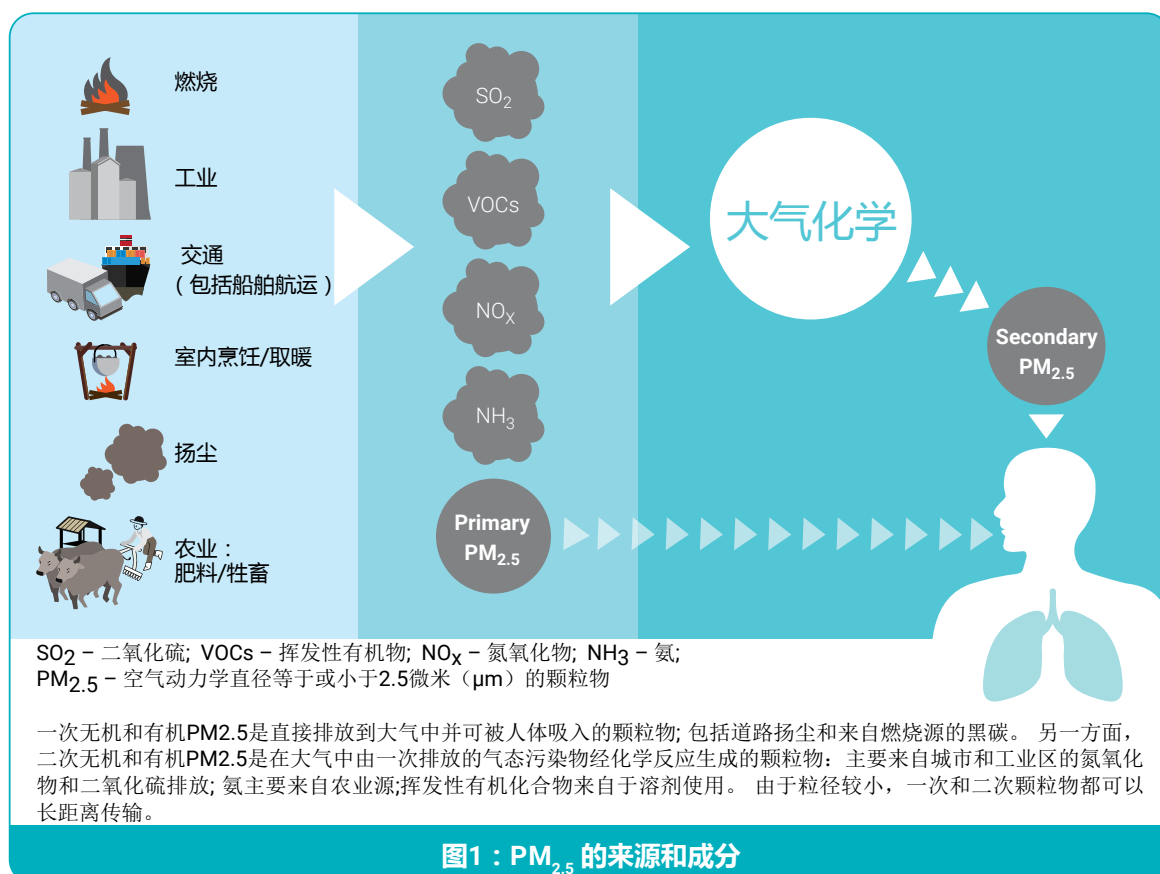
细颗粒物

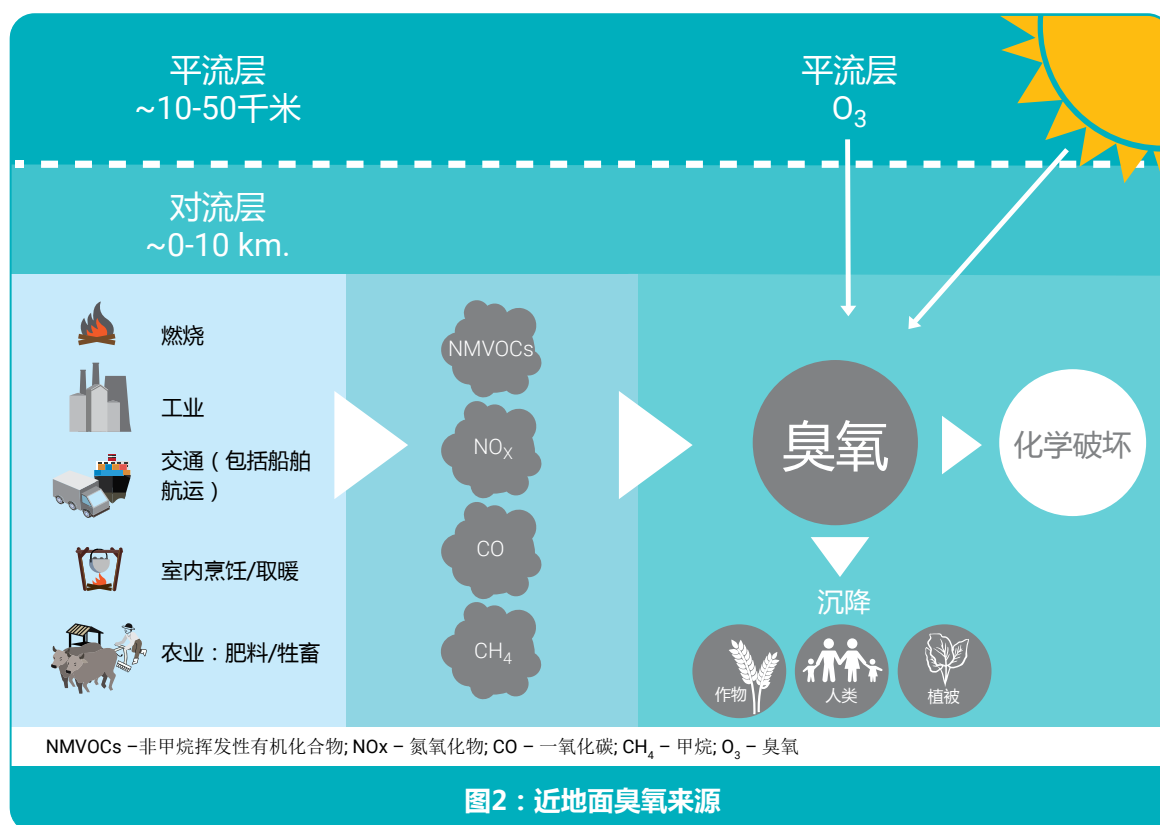
工业生产、森林和泥炭火灾中的化石燃料和生物质燃烧过程会直接排放细颗粒物，这些颗粒物包括飞灰、各种金属物质、盐和含碳物质，包括黑碳和有机碳（图 1）。颗粒物排放源也包括天然源，如土壤粉尘和海盐。空气中还有很大一部

分细颗粒物是二次反应形成的，参与化学反应的气体主要包括燃料燃烧和工业过程排放的二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机化合物，此外，来自农业活动的氨也是重要的贡献源。在本报告中，细颗粒物是指 PM_{2.5} - 空气动力学直径小于或等于 2.5 微米 (μm) 的颗粒。PM₁₀ 是空气动力学直径小于或等于 10μm 的颗粒物，PM₁₀ 与 PM_{2.5} 之间存在一定关系，具体要看排放来源特征以及大气的物理和化学特性，二者之间的关系可能因地点、季节和天气条件而异。

近地面臭氧

近地面臭氧会对人体健康和植被造成严重的损害。它是由大气中的一氧化碳、氮氧化物、挥发性有机化合物(包括甲烷)在阳光下反应生成(图 2)。生成臭氧的污染物排放来自各种源，包括机动车、工业生产、燃料燃烧，还有森林和土壤自然排放，包括森林野火及人为控制燃烧、农作物





秸秆燃烧等植被燃烧的排放，还有溶剂使用及废物处理过程产生的排放。通常在城市区域，氮氧化物可以降低其排放源附近的臭氧，但会促进下风向地区臭氧的生成。挥发性有机化合物的排放是城市地区臭氧生成的重要贡献源。臭氧在空气中的寿命约有几周，因而可长距离传输。

尽管这个目标的制定基于了健康影响研究的科学证据，指导值水平似乎很令人向往，但是考虑到某些国家当前的情况，要达到这个目标看起来几乎不现实。所以，世界卫生组织也制定了过渡阶段的阶段性目标，可以作为迈向最终实现WHO 指导值过程中的一个个里程碑。

世界卫生组织空气质量指导值

为了保护人类健康，世界卫生组织（WHO）制定了空气质量指导值，将PM_{2.5}的年均浓度指导值定为10 微克 / 每立方米（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）（表1）。

我们期望

幸运的是，亚太地区的各国政府已成功制定并实施了降低污染水平的多项政策，并且在未来会继续努力。如果没有这些努力，伴随着该地区

表 1:世界卫生组织空气质量准则— PMh2.5

PM _{2.5} 年均浓度	WHO 空气质量准则
35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO 第一过渡阶段目标WHO
25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	第二过渡阶段目标
15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO第三过渡阶段目标
10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO 指导值

预计的经济增长速度（增长 80%），预计到 2030 年亚太地区人口加权的颗粒物暴露水平将上升 50% 以上。当前的政策取得了相当大的成就，也带来了空气质量的显著改善和健康效益回报，但是未来要进一步实现 WHO 指导值的目标，保护公众健康，我们仍需要采取进一步行动。

亚太地区空气污染：基于科学的解决方案

《亚太地区空气污染：基于科学的解决方案》这一报告首次以解决问题为导向，对亚太地区的空气污染的未來趋势和政策措施进行了跨学科的全面评估。本报告回应了 2014 年联合国环境大会第一届会议的第 1/7 号决议，该决议呼吁环境署编写关于空气质量问题的区域报告。

本报告是亚太清洁空气伙伴关系（Asia Pacific Clean Air Partnership, APCAP）与气候与清洁空气联盟（Climate and Clean Air Coalition, CCAC）密切合作的产出。评估工作由来自亚太地区的三位联合主席共同主持，他们分别是中国清华大学的郝吉明教授；韩国国立首尔大学 Yun-Chul Hong 教授；和澳大利亚默多克大学的 Frank Murray 教授，以下组织机构均参与了协调工作：亚太清洁空气合作伙伴关系（APCAP）；气候与清洁空气联盟（CCAC）秘书处；全球环境战略研究所（IGES）；斯德哥尔摩环境研究所（SEI）；联合国环境署亚洲及太平洋办事处；国际应用系统分析研究所（IIASA）。

目标

该报告及其摘要旨在应对亚太地区的空气污染问题，在实现可持续发展目标（SDGs）的框架下为改善空气提供解决方案。为此，基于历史趋势和未来发展前景的综合视角和研究发现，报告对过去和未来经济走势及其对环境和室内空气污染影响进行了详尽的分析。

该报告进而识别了 25 项具有成本效益优势的技术和政策干预措施，这些措施将有助于实现可持续发展目标，为人类健康、作物产量、气候和环境以及社会经济发展带来最大利益。

报告通过真实的案例研究呈现了采取这些措施带来的明确效益，并就措施的实施提供了一些指导。我们也期待这份报告可以成为亚太地区大气污染防治经验分享的平台。

报告结构

第 1 节 从区域视角，不仅评估了差的空气质量对人类健康的影响，还评估了其对环境、气候和发展的优先目标造成的影响。

第 2 节 识别了应对空气污染和缓解气候变化的优先措施，这些措施能够最为有效地减少亚太区域健康影响，实现可持续发展目标。

第 3 节 阐述了如何实施这些措施，并给出了在亚太地区成功应用的案例。本节还分析了哪些有利环境因素可以帮助亚太地区有效实行这些措施。

报告的目标受众

《亚太地区空气污染：基于科学的解决方案》完整版报告旨在为空气污染和气候变化领域的专业人士和从业人员提供信息以支持决策者制定政策。报告的摘要文件总结了完整版报告的研究发现和结论，旨在帮助决策者制定国家层面的战略和政策，采取经过验证的、具有成效性和可行性的措施来解决空气污染问题。

参考文献

本摘要的内容来自《亚太地区空气污染：基于科学的解决方案》完整版报告，为便于阅读，所有对其他报告的引用参考文献仅出现在完整报告中。

亚太地区

报告汇总了亚太地区的四个次区域的研究结果（图 3）。四个次区域的划分基于联合国环境署亚太地区办事处和世界银行的通行做法，但是考虑到模型数据可得性和模型结果的科学一致性，报告对国家进行了重新分组，最终的次区域划分

仅是为了科学分析的方便，不存在官方或行政意义。

模型模拟的研究是基于亚洲地区现有的污染物排放数据和环境浓度数据进行的。但是太平洋地区仅有少数几个国家有相关数据，数据大范围缺失使得该地区的模型结果可靠性受到一定影响。

最终，报告中对次区域的划定组成如下：

- **东亚**（模型界定的东亚）包括中国、朝鲜、蒙古（不包括日本和韩国）；
- **东南亚**（模型界定的东南亚）包括柬埔寨、印度尼西亚、老挝、马来西亚、缅甸、菲律宾、泰国和越南（不包括文莱和新加坡）；
- **南亚**（模型界定的南亚）包括阿富汗，孟加拉国，不丹，印度，伊朗，马尔代夫，尼泊尔，巴基斯坦和斯里兰卡；
- **高收入国家**（模型界定的高收入国家）包括文莱、日本、韩国和新加坡。

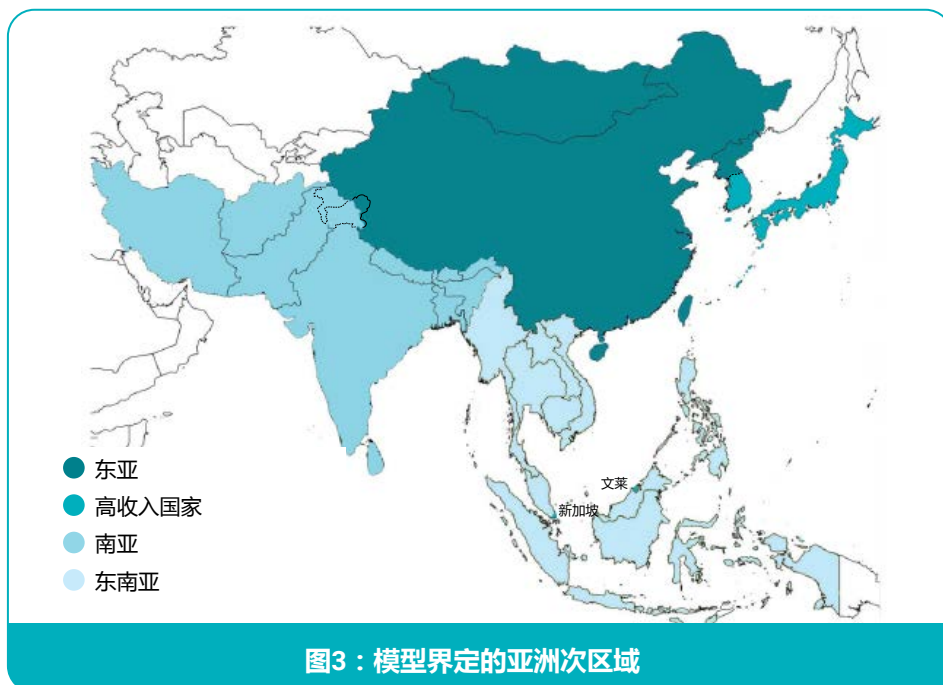


图3：模型界定的亚洲次区域



第一节

为什么要采取果断行动来应对亚太地区的空气污染

健康影响

亚太地区的空气污染已经成为了严重的公共健康危机 健康风险已经影响到所有人

空气污染是造成全球疾病负担的重要风险因素。它对人类健康产生重大影响，尤其是贫困和弱势群体，例如老人、儿童等敏感人群。根据2016年世界卫生组织（WHO）的研究估算，每年空气污染暴露导致全球700万人过早死亡，其中近90%发生在低收入和中等收入国家，这些国家加起来接近亚太地区总面积的三分之二。

亚太地区快速发展的发展中国家的健康负担占了其中的大部分。在发展最快的一些城市地区，环境空气污染尤其严重。但同时，烹饪和固体燃料取暖造成的室内空气污染仍然是一个相当大的问题。近19亿人仍然使用薪柴、木炭、煤炭和粪便等固体燃料在家中烹饪和取暖，导致室内空气污染水平非常高。

亚太地区空气污染暴露带来的健康风险对城乡不同社会-经济阶层都产生了影响。室内和大气空气污染造成的总死亡负担在各项风险因素中排名第四，仅次于不健康饮食、吸烟和高血压。据估计，2013年暴露于环境和室内空气污染造成全球约5.11万亿美元的福祉损失。在南亚和东亚，这项经济损失分别相当于该地区GDP的7.4%和7.5%。

参照 WHO 指南， 亚太地区仅有 8% 的人口可以免于暴露在对健康有害的空气污染水平中

尽管并不是所有的亚太地区城市和地区都有

空气质量监测数据，但是已有的数据显示，当前该地区的空气质量水平普遍超过了国际指导值和各地的标准。基于最佳可得的排放数据、气象条件数据等信息，可以运用大气化学传输模型对整个区域进行空气质量模拟。

应用温室气体与大气污染物协同模型（Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies, GAINS）进行计算可以发现，2015年，亚洲大部分范围和全部的人口稠密地区PM_{2.5}的环境浓度都超过了WHO指导值10微克/立方米（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）（图1.1）。此外，许多地区的年均浓度还超过了WHO过渡阶段目标中最高目标值35微克/立方米（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。

2015年，只有不到8%的亚洲人口能够呼吸到满足WHO指导值水平（PM_{2.5}年均浓度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的空气（图1.1）。此外，超过一半的亚洲人口（约23亿）暴露在高于WHO过渡阶段最高目标值35微克/立方米（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的PM_{2.5}污染水平之中。2005年至2015年间，人口加权暴露水平（该指标被认为比监测数据更能够表征PM_{2.5}的暴露情况）上升了约10%，达到43微克/立方米，是WHO指导值的四倍多。

此外，2015年，近19亿人暴露在用固体生物质或煤炭烹饪或取暖造成的室内空气污染中。

从2015年的计算结果来看，人口稠密的城市和工业化地区的污染水平特别高，例如中国东部北部地区和印度恒河流域的许多城市。此外，在诸如戈壁沙漠和伊朗大部分干旱地区，刮风扬起沙尘也会造成空气中颗粒物浓度很高。

需要减少来自家庭烹饪和取暖的污染排放 以大幅改善环境和室内空气质量

使用固体燃料烹饪和采暖造成的污染物排放，除了会直接影响室内空气损害人体健康，还会进入到环境空气中加重室外污染。例如在印度，室内空气污染对环境空气污染的贡献可能在 22% 至 52% 之间。研究表明，减少家庭烹饪和采暖的排放，可以大幅改善亚太地区某些国家的环境空气质量。

室外和室内空气污染、城市和农村污染之间都有关联，这使得多个利益相关方采取合作并使用综合治理的方法来改善空气质量变得至关重要（专栏 1.2）。

空气污染事件

亚太地区已经有一些的流行病学研究，大部分是围绕空气污染急性暴露影响的时间序列研究，覆盖的时间从几天到几周不等。这些研究结果显示的过早死亡率影响与北美、欧洲的研究结果类似。然而，亚太地区关于森林火灾或沙尘暴等偶发的空气污染对健康影响的研究还不充分，尚未有坚实的科学研究基础帮助人们完全了解这些污染事件的影响。

来自世界各地的大量健康研究表明应该立即采取行动减少空气污染

大量全球的短期健康影响研究证据（包括亚

洲、欧洲和北美）以及中国最新的长期队列研究结果一致表明，室外和室内空气污染给亚太地区带来了巨大的健康负担。因为受到健康影响的人口基数非常大，采用不同模型方法进行模拟的结果差异不大。

空气污染会影响亚太地区国家农作物产量、粮食安全和重要的生态系统

农作物影响

空气污染物会对包括农作物在内的生态系统产生有害影响。在排放源下风向的农村和农业生产区易于发生大范围、高浓度的近地面臭氧污染，对于植被而言，近地面臭氧是最具破坏性的空气污染物。即使是相对低浓度的臭氧暴露都会破坏作物和自然生态系统。臭氧、颗粒物和相关污染物（包括那些可以长距离传输的污染物—二氧化硫、氮氧化物、氨、甲烷和一氧化碳），会对亚太地区的生态系统产生直接或间接的影响，从而降低农作物产量和损害重要的生态系统功能。

全球光化学模型预测结果显示，到 2030 年，亚太部分地区的臭氧浓度将显著上升。前体污染物的高排放水平加上有利于光化学反应作用的气象条件，加速了臭氧污染的发生。亚太地区发展中国家普遍采取混合土地利用模式，即农业用地

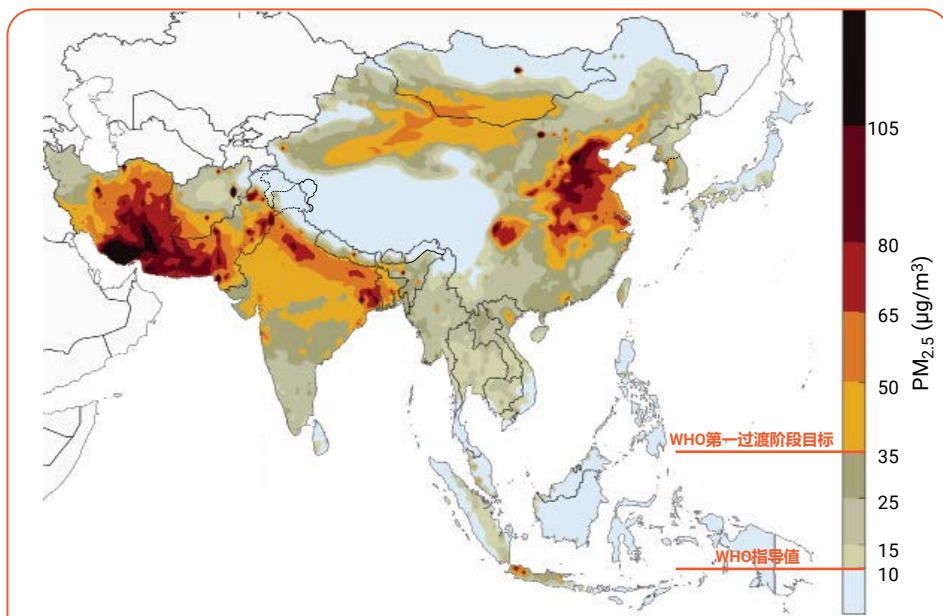


图1.1 : 2015年亚洲PM_{2.5}环境浓度水平

注：亚洲所有地区都有数据，但太平洋大部分地区无法获得足够质量的数据

与城市地区相邻，这也增加了农作物的臭氧暴露。

亚太地区大量城市的近地面臭氧污染水平正在不断上升。全球约 60% 的营养不足人口都在亚太地区，臭氧浓度升高对农业生产力的潜在影响会威胁到该地区的粮食安全。在作物生长季，臭氧浓度过高会导致包括豆类、玉米、水稻和小麦在内的各种作物产量大幅下降。2005 年，亚太地区的玉米和水稻的产量损失约为每公顷 50 公斤。

近地面臭氧浓度升高还会降低农作物的品

质 - 损害叶类作物的品相，降低其经济价值，还有降低水稻和小麦的淀粉、蛋白质和营养成分含量。

生态系统可以提供多种重要的生态服务功能，包括产出食物、纤维、木材、水和药物，但是亚太地区许多地方的生态系统功能都遭受了空气污染的破坏。生态系统在水调节和净化、控制侵蚀、防止极端天气、娱乐和旅游等方面也发挥着重要的作用，而所有这些都受到近地面臭氧污染、酸化、富营养化和其它与大气污染相关因素的影响。

专栏1.1：国家空气质量标准与WHO空气质量指导值

为了保护人类健康，WHO制定了空气质量指导值—PM_{2.5}年均浓度为10 µg/m³。尽管这个目标的制定基于了健康影响研究的科学证据，这一指导值水平似乎很令人向往，但考虑到某些国家当前的情况，要达到这个目标看起来几乎不现实。所以，世卫组织制定了过渡阶段的阶段性目标，可以作为迈向最终实现指导值过程中的一个个里程碑。一些制定了PM2.5标准的亚太国家在立法时采纳了WHO的PM2.5阶段性目标浓度值。

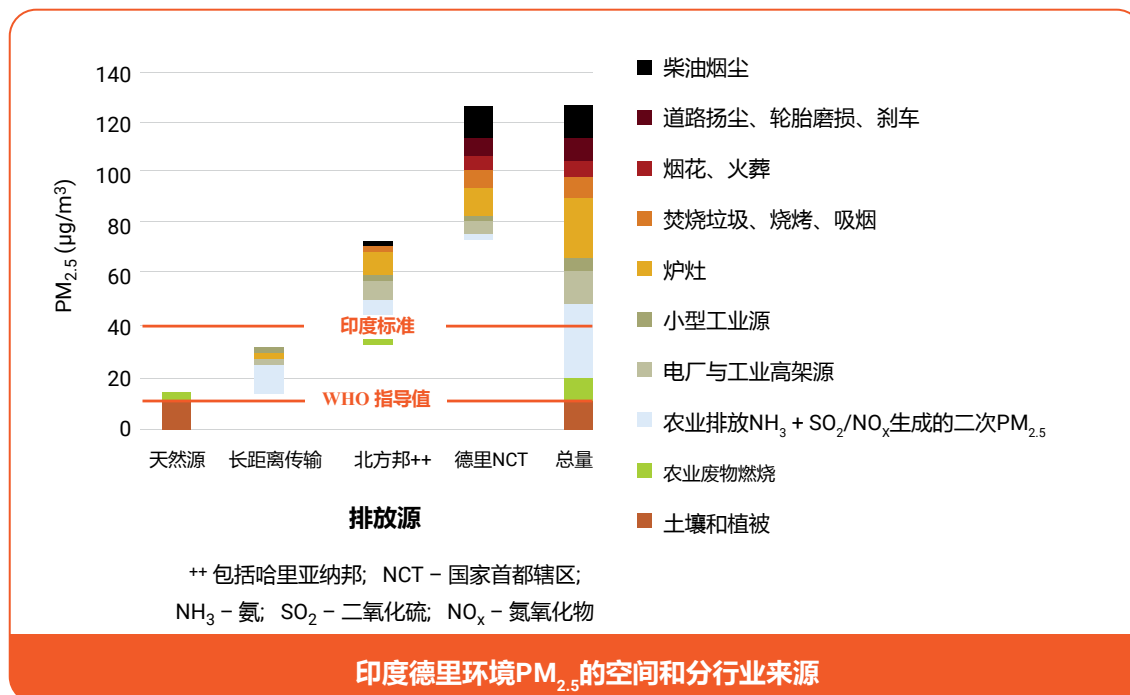
PM2.5 年均浓度	WHO 空气质量准则	国家空气质量标准
40 µg/m ³		印度
35 µg/m ³	WHO 第一过渡阶段目标	中国二级标准 马来西亚
25 µg/m ³	WHO第二过渡阶段目标	蒙古 菲律宾 斯里兰卡 泰国 越南
15 µg/m ³	WHO第三过渡阶段目标	孟加拉 中国一级标准 印度尼西亚 日本 巴基斯坦 韩国 新加坡
10 µg/m ³	WHO 指导值	澳大利亚
8 µg/m ^{3a}		

^a最大浓度

专栏1.2：为什么城乡管理部门需要合作来实现清洁空气

空气质量差常常被认为是城市管理者要解决的问题。然而，PM_{2.5}和臭氧的物理和化学特性决定了这不仅仅是城市空气质量管理的问题，污染物可以持续停留在大气中若干天或数周，还可以传输到数百公里之外。因此，在任何特定地点观测到的PM_{2.5}和臭氧污染可能来自很远的污染源，通常超出了城市本身的管辖范围。

甚至在大城市，环境空气中观测到的PM_{2.5}也有大部分来自区域贡献和农村排放源，同时，城市排放的污染物也传输到周围的农村地区。小城市更是如此，周边地区的空气污染传输贡献占了更大比例。



图片显示了德里环境空气中PM_{2.5}的不同排放源贡献。其中，横轴表示排放源，包括天然源、长距离传输、周边省份（北方邦和哈里亚纳邦）以及德里国家首都辖区的排放。不同颜色表示排放的不同行业来源。清洁空气解决方案需要考虑排放来源的空间因素，确保在城乡管理部门合作的基础上进行有效治理。

许多空气污染物还引起气候变化

空气污染对冰雪地区的影响

亚太地区的冰川和雪原是生活在其下游流域的13亿多人的自然水源地，因此，空气污染对冰雪地区的影响至关重要。在冰川上沉积的大气污染会使雪的颜色变暗，吸收更多的热量，同时缩短雪季。矿物沙尘和黑碳是两种最重要的吸光颗粒，可以沉积在冰雪表面。这些颗粒显著增强了太阳辐射的吸收并加速了融雪。这就是为什么黑

碳被认为是引起喜马拉雅 - 西藏冰川快速融化的重要原因。

空气污染对亚洲季风的影响

季风降雨是印度和巴基斯坦可耕地的主要水源。季风的不可预测性可能造成大量经济损失，农田破坏以及对生计和财产的损失。

季风区域的空气污染水平上升可能会改变长期的降雨模式。大气中PM_{2.5}的存在可能会影响

夏季季风时节的降水模式。例如，目前已经观测到的印度季风降水趋势变弱以及东亚降水由北向南下移的变化，与亚洲地区内部与外部排放的颗粒物及其它污染物与降水趋势变化有关。

但是，由于地形复杂、排放源及污染物种类繁多，污染对亚洲季风的影响方式很复杂，影响的评估存在不确定性。

对气候变化影响

空气质量与气候变化密切相关。全球气候变化主要是由人为二氧化碳排放造成的，与空气污染物排放的很多来源是相同的。反过来，很多空气污染物除了影响空气质量，还影响气候。例如臭氧和黑碳都会造成大气升温，而硫酸盐和有机碳会产生降温作用。改善空气质量的举措也可以为应对气候变化作出相当大的贡献。减排措施到底是产生升温还是降温效果要取决于具体策略，这使得针对短期气候污染物（SLCPs）的措施成为重点（因为这些措施既能实现空气质量的改善，又能产生降温效应）。

甲烷和臭氧都是短期气候污染物，也是重要的温室气体。而甲烷和其它生成臭氧的前体污染物也会间接产生气候影响。大气中的黑碳、矿物

尘等颗粒物，通过散射和吸收辐射直接影响气候，也会通过改变云和反射表面（如冰、雪）的反射特性间接地影响气候。

人们越来越关注，如何通过政策促进实施产生多种效益的措施，特别是那些旨在减少短期气候污染物排放的措施，从而同时解决空气污染和气候变化问题。着重控制黑碳和臭氧的政策既可以减缓全球变暖，又能够减少空气污染。但是，这些应该作为二氧化碳减排的补充措施而非替代措施。

空气质量与气候变化之间的联系非常复杂，该领域的科学研究也十分活跃。了解空气质量与气候变化之间的相互作用是制定综合政策，实现空气质量改善和气候变化减缓协同效益最大化的关键。

众所周知，大量排放进入空气中的氢氟烃类物质（HFCs）会改变辐射强迫，产生显著的气候影响（专栏 1.3）。报告第二节中将进一步详述。

气候变化 将会影响本地和区域的空气质量

未来的气候变化将通过改变气温、降水、其他气象条件，以及臭氧和 PM_{2.5} 的前体物浓度，影

专栏1.3：氢氟烃

氢氟烃是主要用作冰箱和空调制冷剂的工业产品，也是具有很强升温效应的温室气体。氢氟烃的生产、消费和排放量以每年10-15%的速度增长，每五到七年就能翻一番。氢氟烃之所以会这么快速增长，是因为它们被用作消耗臭氧层物质的替代品。根据国际公约《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》，全球在逐步淘汰消耗臭氧层物质，但同时冰箱和空调的消费需求却不断增加。亚太地区是全球氢氟烃需求和供应最大的增长点之一。

在过去十年中，氢氟烃在住宅空调系统中的使用增长显著。根据目前的趋势，到2030年全球将增加7亿台空调机组，到2050年将增加16亿台。这一快速增长的趋势对未来的氢氟烃排放、能源安全以及所造成的空气污染等多个方面都具有重大影响——因为在高温气候下，空调耗能在用能峰值负荷中占了很大比例。

许多氢氟烃类的化合物在大气中存留不到15年。尽管它们只占当前温室气体总量的一小部分（不到1%），但它们的升温影响特别显著。如果不加以控制，到2050年，氢氟烃的气候影响贡献会占全部温室效应的近20%。最近的一项研究指出：用全球变暖潜能值低的替代品来替代全球变暖潜能值高的氢氟烃，到2050年可以避免0.1°C的升温效应。

响近地面臭氧和 $PM_{2.5}$ 在大气中的生成和消除机制，从而影响空气质量。

气候变化通过不同的机制影响空气质量，其中最相关的机制包括：

1. 温度变化影响化学物质的生成与消耗速率，以及天然源排放；
2. 影响风速和大气混合的变化；
3. 降水量的变化；
4. 由能源消耗模式改变引起的排放变化。

在空气污染地区，温度与臭氧浓度上升之间存在很强的相关性。就中国而言，模型预测臭氧浓度的未来变化最主要取决于前体污染物的排放；但对于日本而言，由于排放强度较低，臭氧浓度的变化更多地取决于气候变化。

相比臭氧，颗粒物污染对气候变化的影响机制更为复杂，不确定性也更大。因为降水可以将颗粒物从空气中去除，所以降水量变化也将会对空气中的颗粒物浓度产生很大影响。

最近一项关于北京的研究预测，气候变化将导致冬季雾霾的不利气象条件发生频率上升 50%，在过去几十年中，这一情况呈现逐步恶化的趋势。此外，不利气象条件的持续时间也将增加。这都是因为东亚冬季风减弱等大尺度环流变化而引发的局部气象条件改变。

亚太地区的政策干预 打破了过去经济增长与污染之间关联 实现了污染的大幅减少

政策干预

自 1990 年起，亚太地区的 $PM_{2.5}$ 前体物排放均呈稳定增长态势。其中，二氧化硫和氮氧化物的增长特别显著，这与以 GDP 增长为表征的经济活动扩张密切相关。然而，对于主要来自非工业源的污染物，比如由居民户内生物质燃烧贡献的挥发性有机化合物和一次 $PM_{2.5}$ 排放，和以农业生产活动为主要贡献源的氨排放，其增长趋势曲线没有出现陡增（图 1.2）。

2005 年以后的排放控制政策 — 特别是中国电力行业的硫排放控制以及车辆排放标准的实施，使得二氧化硫和氮氧化物排放与经济增长脱钩， $PM_{2.5}$ 排放量也保持相对平稳（图 1.2）。相反，由于没有农业生产排放控制的政策干预，氨的排放量随着农业生产活动的增加而继续增加。

亚太地区的各国政府已制定并成功实施了降低污染水平的多项政策。如果没有这些努力，伴随着该地区预计的经济增长速度（比 2015 年增长 80%），预计到 2030 年亚太地区人口加权 $PM_{2.5}$ 暴露水平将上升 50% 以上。当前的政策取得了相当大的成就，也带来了空气质量的显著改善和健康效益

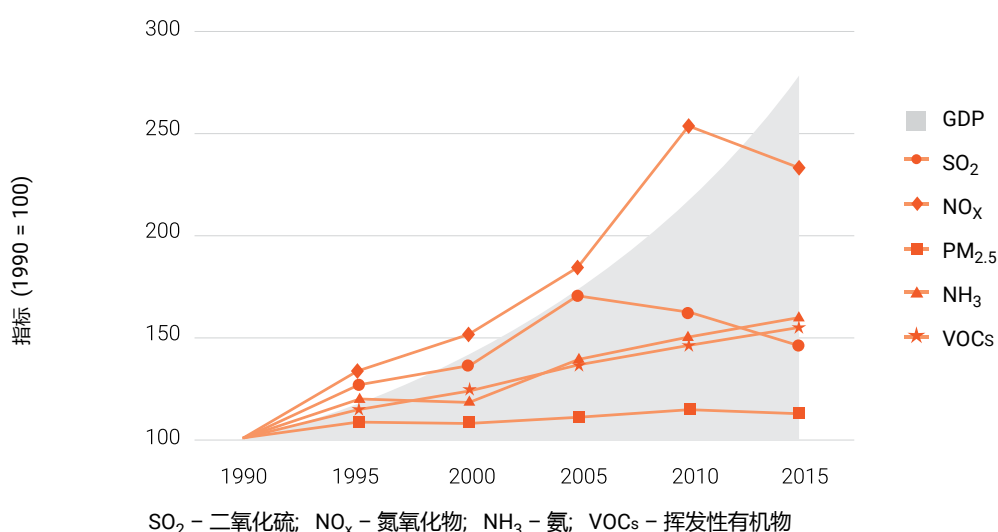


图 1.2: 1990 - 2015 年亚洲国内生产总值、生成 $PM_{2.5}$ 的污染物排放变化趋势

回报。

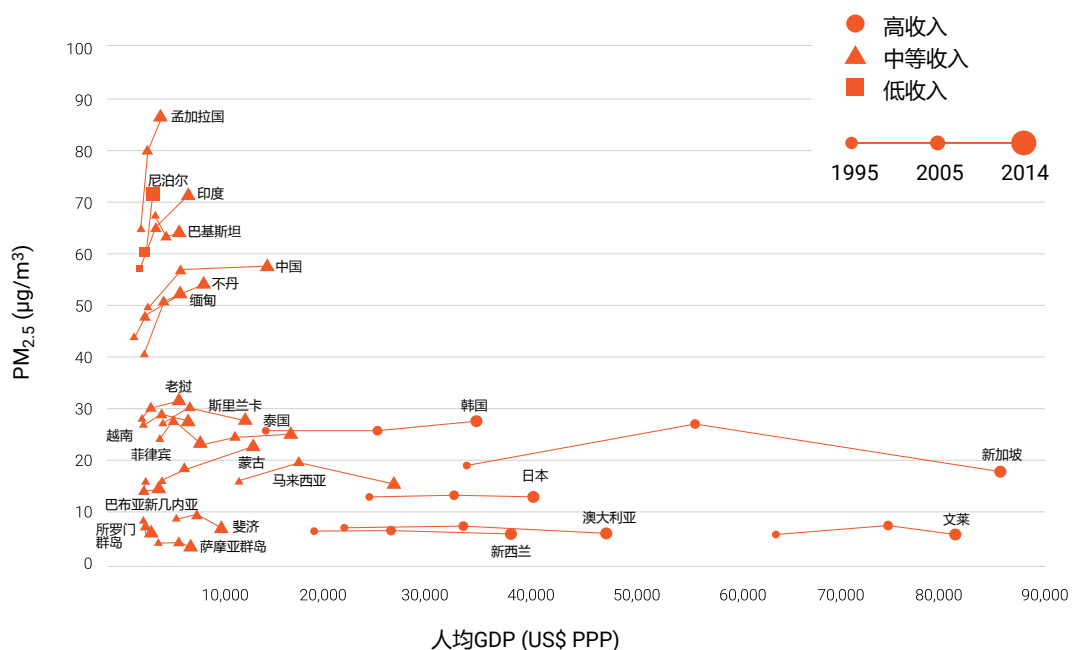
但是要进一步实现 WHO 指导值的目标，保护公众健康，我们仍需要采取进一步行动。亚太地区国家采用的空气质量标准向 WHO 指导值看齐。亚

太各国所处的发展阶段、能力水平和资源储备各方面不尽相同，未来的行动也应体现一定的区域性差异。

专栏1.4: 亚太地区发展差异

亚太地区41个国家的经济发展差异很大，年人均GDP从数百美元到8万美元以上不等。数据显示，在亚太地区的高收入国家，PM_{2.5}污染的人口加权平均暴露水平低于年均30μg/m³，并且这一趋势从1995年到2014年都是稳定的；低收入国家的相关数据很少；而中等收入国家的PM_{2.5}浓度水平差异很大，浓度值范围从5μg/m³到85μg/m³以上。

模型中界定的次区域之间也存在一些差异（图3）。高收入国家的PM_{2.5}浓度水平往往较低，并且多数高收入国家污染物浓度水平已进入平稳阶段或持续下降（见图）。一些东亚的中等收入大国PM_{2.5}浓度水平非常高，基本上是在1995年至2014年间浓度大幅上升。在许多东南亚中等收入国家，PM_{2.5}浓度介于上述两者之间，并且由于采取了控制排放的有效措施，大部分国家的浓度水平保持稳定。



2014年各国PM_{2.5}浓度和人均GDP，以及PM_{2.5}浓度和经济发展的趋势

注：PM_{2.5}均值采用的是2015年《全球疾病负担》研究报告中的人口加权平均暴露水平—通过对城市和农村地区的人口加权来计算PM_{2.5}浓度年均暴露水平。

PPP = 购买力平价





第二节

降低健康影响和实现发展目标的优先措施

介绍

过去那些

成功使得经济增长与污染脱钩的措施 不足以实现未来的空气清洁

实施能源政策和强化的污染控制措施，仍会是使得经济增长与空气污染进一步脱钩的关键举措。许多亚洲国家已经制定了雄心勃勃的目标，希望通过调整产业结构并转向低能耗生产、提升能效的政策来降低经济发展中的能源强度。这表明，相比过去，未来的能源消费趋势将进一步与经济脱钩。此外，这些政策旨在实现能源系统结构变革，减少煤和石油等化石燃料在能源中所占比例。因此，据国际能源署最近公布的未来能源消费预测估计，2015年至2030年期间一次能源消费总量的增长速度（25%）将远远低于同期GDP的增长速度（80%）。

然而，即使有这些能源政策的存在，25%的能源消耗增量仍将进一步给亚太地区许多国家的空气质量造成压力。如果有效实施现有规定中的减排技术手段和重要措施，应该还能够减少一定的排放。此外，还有很多可以进一步采取的措施，尤其是针对那些当前法规还未涉及的排放源进行管控，可以在整个亚洲实现大幅度额外污染减排。

能源政策和污染控制措施的实施 仍将是使得经济增长与空气污染 进一步脱钩的关键决定因素

控制措施的有效执行和实施将对未来的排放水平产生至关重要的影响。没有过去十年执行和实施的政策手段，到2030年，伴随着80%的GDP增长，亚洲的二氧化硫排放量可能比2015年增加近三倍。但是，截至2015年，已经采取

的措施将排放量减少了约40%，如果未来措施得到有效执行，减排效果还将持续。

加上目前降低能源强度和逐步淘汰固体燃料的政策措施，从2015年到2030年，排放量的增长将被限制在20%左右。如果亚洲所有国家都将规定的排放控制措施全面落实（目前尚未完全执行），那么二氧化硫排放量还将比2015年减少20%。全面落实所有可行的控制措施，可将二氧化硫排放量减少60%（图2.1）。

氮氧化物排放的情况也是类似，如果不采取任何排放控制措施，2030年的排放水平相比2015年将增加100%。实施能源政策与现有的排放控制措施，可以将排放量的增长控制在25%（相比2015年），但是加紧落实最新法规，可将排放量减少15%。总体而言，与2015年的排放量相比，氮氧化物排放量可以减少50%。

在不采取任何措施的情况下，到2030年，PM_{2.5}的一次排放量将比2015年增加一倍。已有的控制措施以及促进民用清洁燃料的能源政策将使排放增长率降至5%，而全面执行和落实最新法规，可使排放量与2015年相比减少10%。到2030年，随着所有可用措施的全面执行，排放量可减少75%。

相反，人口增长和饮食变化将导致农业生产，特别是牲畜生产的增加，如果不实施管控政策，氨的排放也会相应增加。此外，持续的过度施肥和对尿素、碳酸氢铵矿物肥料的强烈依赖将导致土壤和地下水的营养物质大量损失，也使得排放到大气中的氨和一氧化二氮显著增加。但是，如果采取相应的技术措施，到2030年，氨排放量可以减少40%。

采取何种政策不仅会影响未来的排放情况还会影响到空气质量。假想如果没有任何政策干预，人口加权的PM_{2.5}平均暴露水平到2030年会增长近50%，从2015年的43微克/立方米(μg/m³)增加到约62 μg/m³。这可能是因为生成PM_{2.5}的污染物排放在增加，还有不断城市化使得亚洲城市人口比例也在增加，也就意味着暴露人口增加。

到2030年，已经实施的措施将使PM_{2.5}浓度的潜在上升减少约11μg/m³，并且，如果有效执

行最新的排放控制法规，可进一步减少9μg/m³。因此，预计已有政策可将人口加权平均风险维持在当前水平，从而可以抵消80%经济增长带来的影响。

当前政策可以避免空气质量进一步大规模恶化但还是无法实现达标

然而，目前的政策还不足以将空气质量提升到满足国家和国际空气质量标准的水平。尽管东

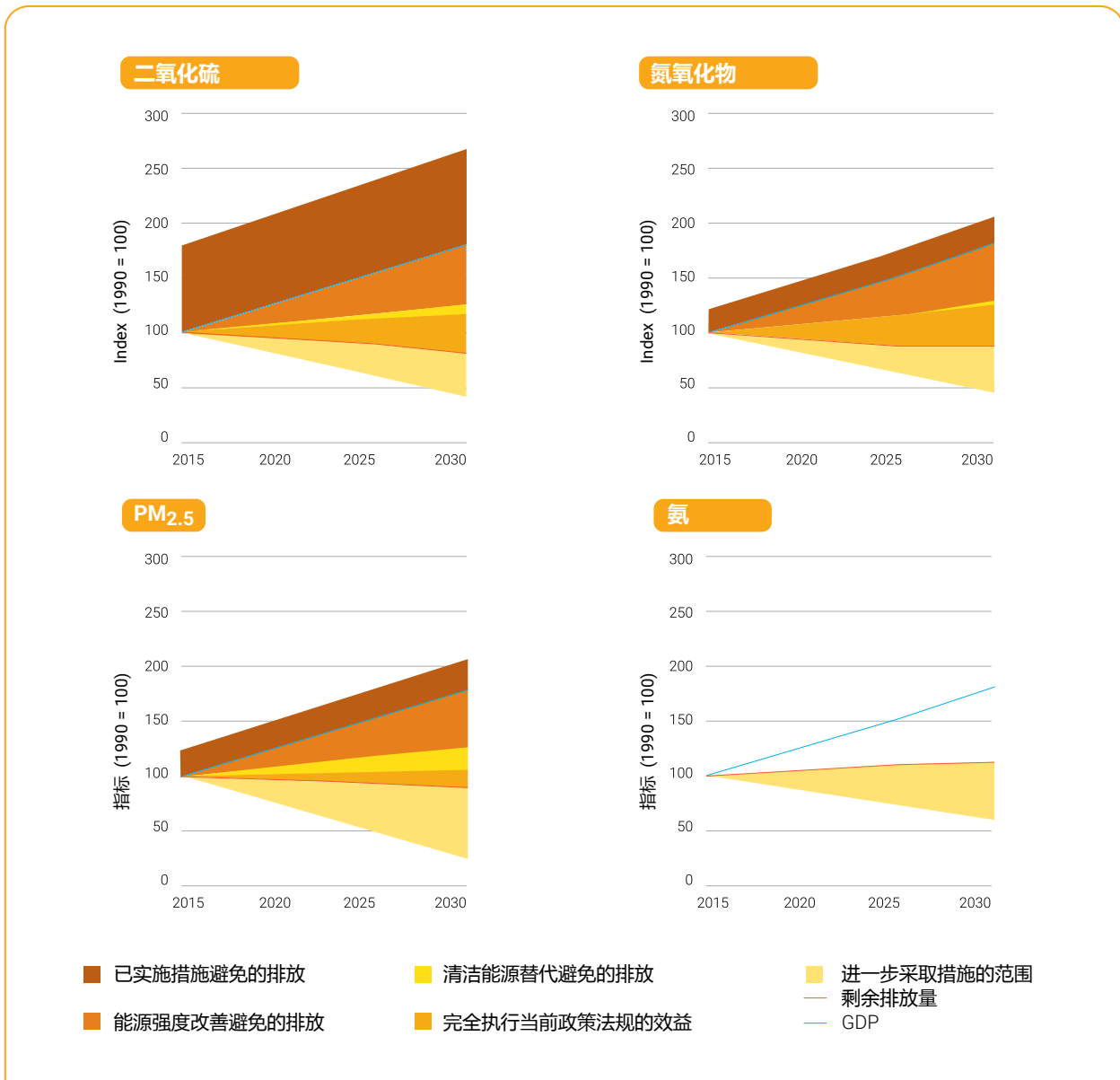


图2.1：政策干预对PM_{2.5}及其前体物排放与GDP和农业发展趋势脱钩的作用 (基于国际能源署的预测)

亚地区（模型界定范围）的 $PM_{2.5}$ 环境浓度有所下降，但在人口密度高、工业化程度高的地区，空气质量仍然是大范围超标（图 2.2）。由于 $PM_{2.5}$ 自然源（土壤粉尘）的大量贡献，伊朗的环境 $PM_{2.5}$ 浓度水平将进一步上升。

24 亿人口中约有 54% 将处在高于 WHO 过渡阶段目标的 $PM_{2.5}$ 污染水平的环境中 仍有 13 亿人暴露在室内空气污染中

总体而言，已有的政策对空气质量有一定改善，当时相比目前的情况，也不会显著降低暴露在有害 $PM_{2.5}$ 污染水平中的总人口风险。到 2030 年，人口暴露水平将与 2015 年基本相似。亚洲人口中仅有 8% 可以呼吸到满足世界卫生组织（WHO）空气质量指导值的空气，而 24 亿人（占总人口的 54%）仍将面临超过 WHO 过度目标中最高浓度值（35 微克/立方米）的 $PM_{2.5}$ 污染水平。此外，还有 13 亿人将面临危险的室内空气污染。

最有效的 25 项清洁空气措施

如果没有政策措施干预，伴随着人口增长、城市化和经济发展，到 2030 年亚洲的人口加权平

均 $PM_{2.5}$ 水平将上升约 50%。然而，当前空气污染相关政策措施显著降低了 $PM_{2.5}$ 人口暴露水平，政策效益抵消了未来经济增长对空气质量的负面影响。尤为有效的是电力和工业行业中大型燃烧装置的末端排放控制、柴油和汽油车辆的排放标准、包括钢铁，水泥和玻璃生产等工业过程排放的控制措施。此外，有效实施的车辆检测和维护系统也可以避免大量潜在风险。但是，这些政策不足以在亚洲实现空气清洁。

本研究识别了可以大幅度改善空气质量的 25 项清洁空气措施清单，其中许多措施已经在亚太的某些地区实施了。这些措施可分为三类（表 2.1）。

常规措施

表 2.1 总结了在亚洲范围内可采用的常规措施，特别是在那些尚未制定更先进的空气质量管理制度的国家，例如部分东南亚国家采取这些措施，或者将当前措施范围扩展到更小规模的工业源，可以使得空气质量得到改善，并将 $PM_{2.5}$ 的人口暴露水平降低 $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，达到约 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的浓度水平。但是，常规措施不足以使得空气质量达到国家和国际空气质量标准规定的水平，也不能保护暴露在室内空气污染中的人们。

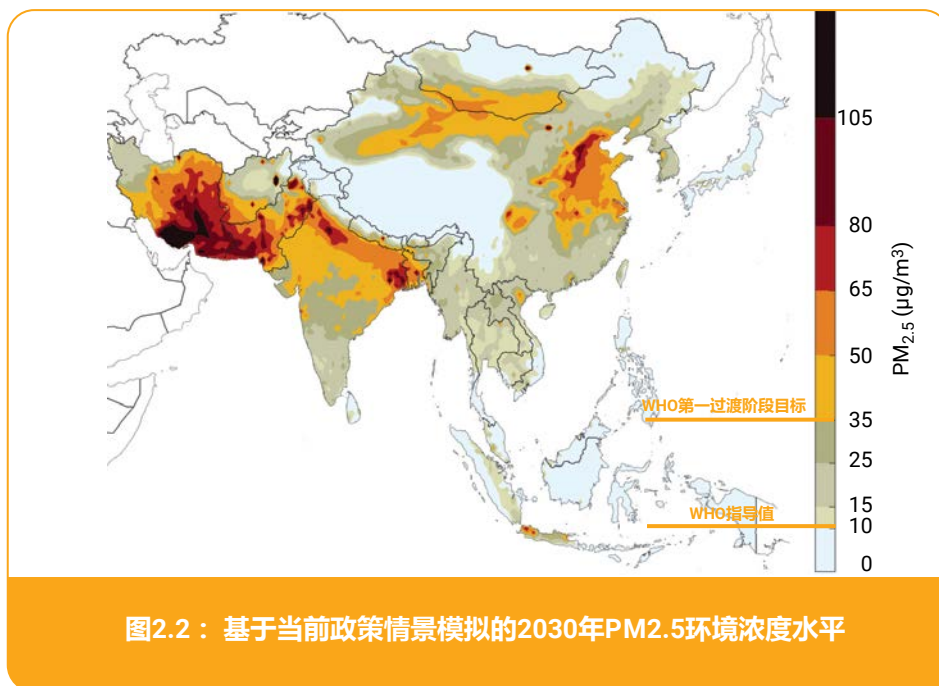


图 2.2：基于当前政策情景模拟的 2030 年 $PM_{2.5}$ 环境浓度水平

当前的法规已经要求采用和执行的常规排放控制措施基本上可以将人口污染暴露水平控制在目前的水平，抵消未来经济增长带来的影响。在亚洲全面实施这些常规措施可以将 PM_{2.5} 的平均暴露水平降低多达 15%。然而即便如此，PM_{2.5} 的暴露水平仍然在 35µg/m³ 之上，仅靠这些措施将

无法使得亚洲地区普遍达到空气质量标准。

进阶措施

亚洲目前的政策措施组合主要集中控制那些随着经济发展而迅速增长的排放源，包括大型工

表 2.1: 最有效的25项清洁空气措施

在整个区域推行常规控制措施

燃烧排放末端控制	采用先进的末端控制措施，减少电厂和大型工业源的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物排放
工业过程排放标准	在钢铁、水泥、玻璃生产和化工等行业推行严格的排放标准
机动车排放标准	加严机动车排放标准，特别是轻型和重型柴油车辆的管控
车辆检测和维护 (I/M)	实施强制性机动车进行检测和维护制度
扬尘控制	减少建设和道路扬尘；增加绿化

空气污染防治进阶措施（很多亚太地区还未普及）

农作物秸秆管理	对农作物秸秆进行管理，严格禁止露天焚烧
生活垃圾禁烧	严格禁止露天焚烧生活垃圾
预防森林与泥炭火灾	加强对森林、土地和水资源的管理和防火措施，预防森林与泥炭火灾
畜禽粪便管理	对粪便存储进行覆盖处理，高效施肥；鼓励厌氧消化处理方式
氮肥施用管理	提高氮肥使用效率；在施用尿素时添加脲酶抑制剂，或者用硝酸铵等化肥替代
砖窑管理	提升砖窑效率，执行排放标准
国际航运排放控制	要求使用低硫燃料，控制颗粒物排放
溶剂使用和炼油厂管控	在工业和家庭涂装中均采用溶剂含量低的涂料；进行泄漏检测；进行油气回收或焚烧销毁

表 2.1: 最有效的25项清洁空气措施 (续)

有助于实现发展目标, 同时又能改善空气质量的措施

清洁炉灶和采暖	在城市推广使用电、天然气、液化石油气; 在农村推广液化石油气、先进的生物质炉具和采暖设施; 用成型燃料替代煤炭
可再生能源发电	采取激励措施扩大风能、太阳能、水力发电在用能中的比例, 淘汰低能效的电厂
提高家庭能效	采取激励措施提高家庭能效, 包括建筑、照明、供暖和制冷等方面; 鼓励屋顶加装太阳能设施
工业能效标准	实施较高的工业能效标准
电动车	推广使用电动车
提升公共交通	鼓励出行方式的改变, 从私家车出行转向公共交通出行
固废管理	鼓励垃圾分类, 进行集中收运和处理, 包括热解气化利用等措施
水稻田	鼓励对持续性淹水稻田进行间歇曝气
废水处理	对废水进行二级处理, 回收废水处理产生的沼气
煤炭开采	鼓励在开采前回收煤矿瓦斯
油气生产	鼓励回收伴生气; 停止常规的放空燃烧处理手段; 加强油气泄漏控制
氢氟烃 (HFC) 制冷剂替代	确保完全遵守基加利修正案

业源、电厂以及道路交通。然而，这些措施还不能很好地解决小散乱污染源的问题，包括农业、垃圾焚烧、森林和泥炭火灾。相比其他各大洲来说，对亚洲更为重要的是这些排放源会产生大量的PM_{2.5}一次排放，还有在大气中对二次颗粒物生成产生贡献的氮氧化物和氨的排放。

目前已有一些经采纳并证明有效的减排措施，包括更有效地使用化肥，防止森林和泥炭火灾，禁止露天焚烧农作物秸秆和生活垃圾，改进粪便管理和控制工业溶剂相关排放。虽然这些措施尚未在亚洲大规模有效应用，但它们已经是欧洲和北美空气质量管理措施的重要组成部分。

如果我们可以在常规措施的基础上再应用这些措施，可以实现比2015年减少超过1/3的PM_{2.5}暴露水平。这些措施要求目前还没怎么被纳入空气质量管理中的农业和民用部门也采取行动。此外，为了实现这些措施的减排效果，还需要加强治理机制。然而，到2030年，即使在常规措施基础上再全面应用进阶措施组合，也不太可能使亚洲的PM_{2.5}平均暴露水平低于世卫组织提出的过渡阶段第二阶段目标值25μg/m³（图2.3）。

发展优先措施

表2.1中列出的常规和进阶措施都是集中解决空气质量问题。通常，这些措施可由空气质量管理当局基于和其他利益相关方（包括其他政府部门、车辆生产企业、电力公司、炼油厂以及工业和农业组织）的讨论来决定。

但是，还有其它的一些措施原本并不是主要针对空气污染而制定的，但却可以为进一步改善空气质量提供手段。通常，这些措施的管理权限隶属于不同的政府部门，在不同的政策框架中进行讨论，并且往往没有空气管理部门代表参与决策。其中包括与能源或农业政策或与城市管理密切相关的措施。

特别是，一些以促进发展为优先目标的措施可以淘汰或减少一些产生严重污染的活动，从而带来额外的减排效果，这些通常超出了环保部门的直接管辖范围。

本报告分析探讨了那些对PM_{2.5}生成相关污染物有影响的发展优先措施，并且，国际能源署(IEA)研究报告《世界能源展望》中已经量化了这些措施减少的潜在活动排放量。假设这些措施的实施情况与IEA能源情景中描述一样，总体而言，可以在2030年将亚洲PM_{2.5}的人口加权平均暴露水平又降低8μg/m³，并且随着逐步实施，降低幅度会相应变大。

应对近地面臭氧污染

尽管对人体健康影响的量化研究表明，近地面臭氧暴露的影响远低于PM_{2.5}，但它是环境空气污染中的第二大风险因素。此外，地面臭氧会对包括农作物在内的植被造成严重破坏。

如前所述，对近地面臭氧生成有贡献的排放污染物包括氮氧化物、挥发性有机化合物、一氧化碳和甲烷。最有效的25项清洁空气措施主要控制对象是PM_{2.5}，同样对臭氧的四种前体物中的三种都有影响作用。相比基线情景，25项清洁空气措施可以分别减少50%的氮氧化物排放，60%的挥发性有机化合物排放，以及70%的一氧化碳排放。

这些措施将使得亚洲臭氧浓度峰值大幅度降低，对人类健康有很大益处。然而，在过去几十年，包括亚洲在内的北半球臭氧背景浓度水平均有所增加，这对作物和生态系统产生了重大影响。甲烷是北半球臭氧背景浓度的重要贡献源之一，据世界银行报告，北半球约45%的甲烷排放是在亚洲产生的。除了应对近地面臭氧问题之外，减少甲烷排放也是可持续发展目标13：采取紧急行动应对气候变化及其影响中一个组成部分，帮助降低对流层臭氧浓度。

总体而言，已在亚洲广泛应用的措施已经产生了一定的改善效果，特别是电厂、工业以及道路交通的燃烧装置末端排放控制措施。除此之外，还有一些其它的关键措施，包括烹饪采用清洁燃料，增进可再生能源使用，防止森林和泥炭火灾以及提升农业作业方式（图2.4）。

现行空气质量标准

实施25项清洁空气措施将使得亚洲大部分地区在2030年可以达到各国当前的环境空气质量标

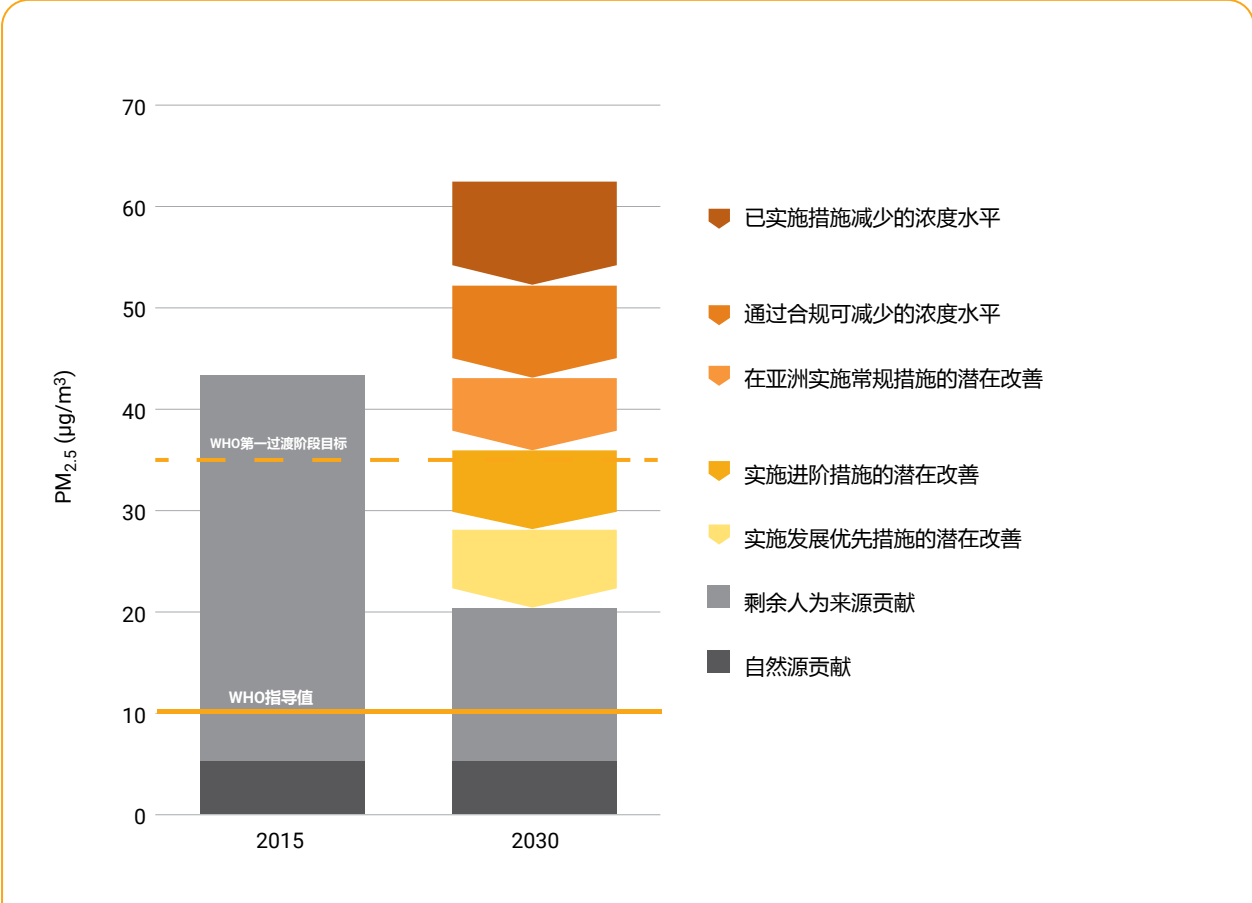


图2.3: 三类措施组合对改善PM2.5的人口加权平均暴露水平的潜在贡献

准，但不是全部地区。特别是北京或新德里等被工业区环绕的特大城市，这些措施仍然不够，可能需要额外采取其它本地措施才能达到标准。此外，受土壤沙尘严重影响的地区PM_{2.5}水平仍然很高（图2.5）。

25项清洁空气措施涉及的范围比目前空气质量管理办法的范围更广。那些有利于发展的措施还可以产生锦上添花的效果，进一步起到减排的作用，使得2030年亚洲地区PM_{2.5}的人口暴露情况改善幅度增加20%。此外，如果配合常规措施与进阶措施一起实施，可以使PM_{2.5}暴露水平降至约20 μg/m³，虽然距离WHO空气质量指导值还有差距，但却可以满足亚洲大部分地区国家的现行空气质量标准。

实施25项清洁空气措施 可以给10亿人带来清洁空气 减少80%暴露在WHO过渡阶段 目标最高值以上的人口

通过实施25项清洁空气措施，PM_{2.5}的人口暴露情况将大大改善。最重要的是，10亿人（即亚洲人口的22%）将享受符合WHO空气质量指导值10 μg/m³的空气质量。而在2015年，这个比例不足8%。此外，还有暴露在WHO阶段性目标污染水平以上的人口将从2015年的23亿（即亚洲人口的55%）降至4.3亿，减少80%，仅剩10%的人口暴露在WHO最高污染水平之上（图2.6）。

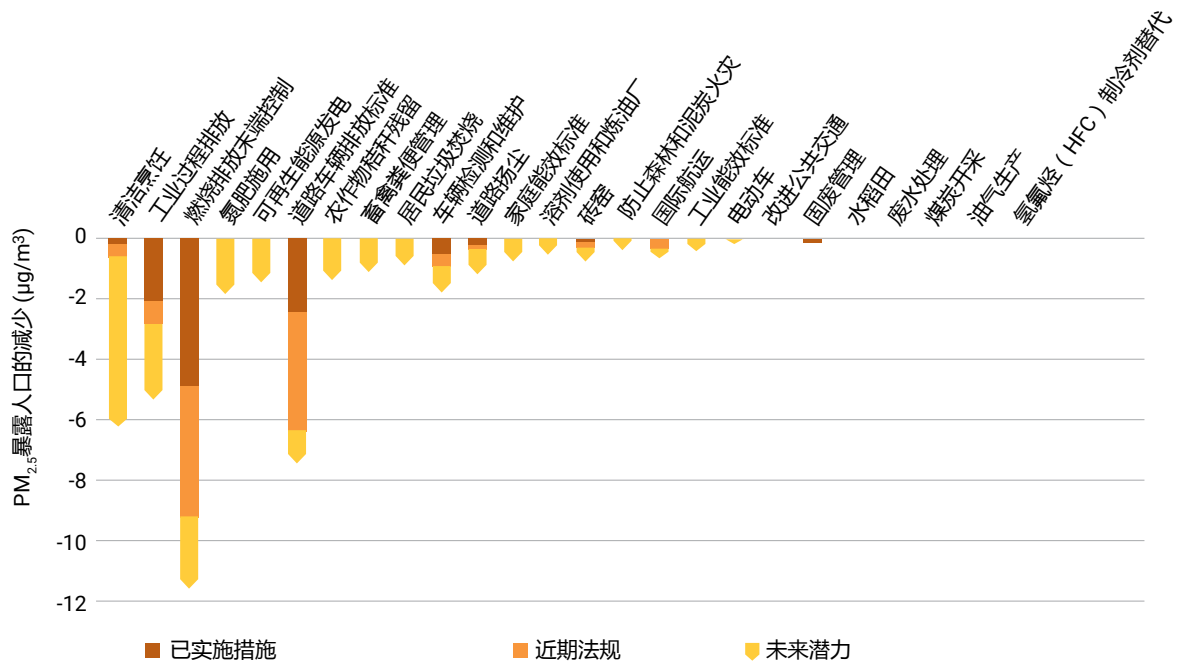


图2.4：25项清洁空气措施对减少2030年PM_{2.5}的人口加权平均暴露水平的贡献（按改善潜力排序）

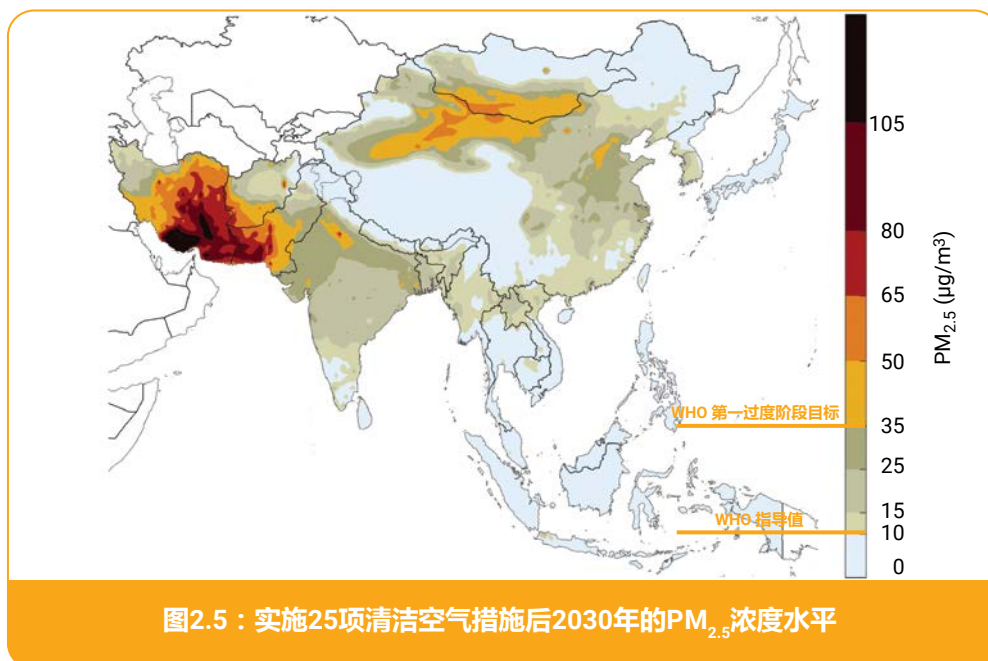


图2.5：实施25项清洁空气措施后2030年的PM_{2.5}浓度水平

健康、环境及其他发展效益

实施最有效的 25 项清洁空气措施 每年将可避免

因室外 PM_{2.5} 污染造成的数十万人过早死亡 因室内空气污染造成的约 200 万人过早死亡

基于相同的 PM_{2.5} 人口暴露模式，2010 年和 2013 年全球疾病负担研究中使用两种不同的健康影响评估方法来量化估算 2015 年的健康影响，分别得出 310 万和 170 万过早死亡人数的结果。在当前政策基线情景下，到 2030 年，将分别上升至 400 万和 250 万（尽管人口暴露水平的增长趋势放缓）。结果的差别是由以下两个因素造成的：

- a) 估算的这一时期的人口增长；
- b) 人口老龄化 — 将增加老年人的数量，他们更容易受到空气污染的影响。

实施 25 项清洁空气措施将导致与 2015 年相比，2030 年 PM_{2.5} 暴露水平降低 56%。依据健康影响评估方法的假设，估计过早死亡率将下降 31-37%。

有效实施 25 项清洁空气措施还将导致使用固体燃料（生物质和煤炭）进行烹饪的人数急剧减少，从 2015 年的约 17 亿人减少到 2030 年的约 4 亿人。

这个情景假设到 2030 年，用清洁燃料烹饪在亚洲还不能全面普及，但是剩下的农村地区将使用先进的生物质炉灶或用煤球代替散煤。根据健康影响计算的假设，这一转变可以使得因室内污染造成的过早死亡人数每年减少 120-200 万例。

减少臭氧相关的健康影响

25 项清洁空气措施还可大幅度减少生成臭氧的一次污染物排放 — 氮氧化物、挥发性有机化合物、一氧化碳和甲烷。

基于两种地球大气化学传输模式中得出的臭氧浓度数据，并采用以往用于量化全球臭氧健康影响的估算方法计算，2015 年亚洲有超过 33 万例过早死亡与臭氧暴露有关。其中占最高比例的是南亚地区，其次是东亚地区，然后是东南亚地区和高收入国家（图 2.7）。如果按照不采取措施的基线情景来估算，到 2030 年，所有地区的臭氧相关健康负担都会有所增加，这是由于臭氧浓度变化、人口基数增长与人口老龄化等多个因素共同驱动的。如果采取 25 项清洁空气措施，臭氧健康影响将会降低，相应的健康负担将减少 40%，其中东南亚地区下降幅度最高（58%），其次是高收入国家（44%），再次是东亚地区（36%），最后是南亚地区（30%）。

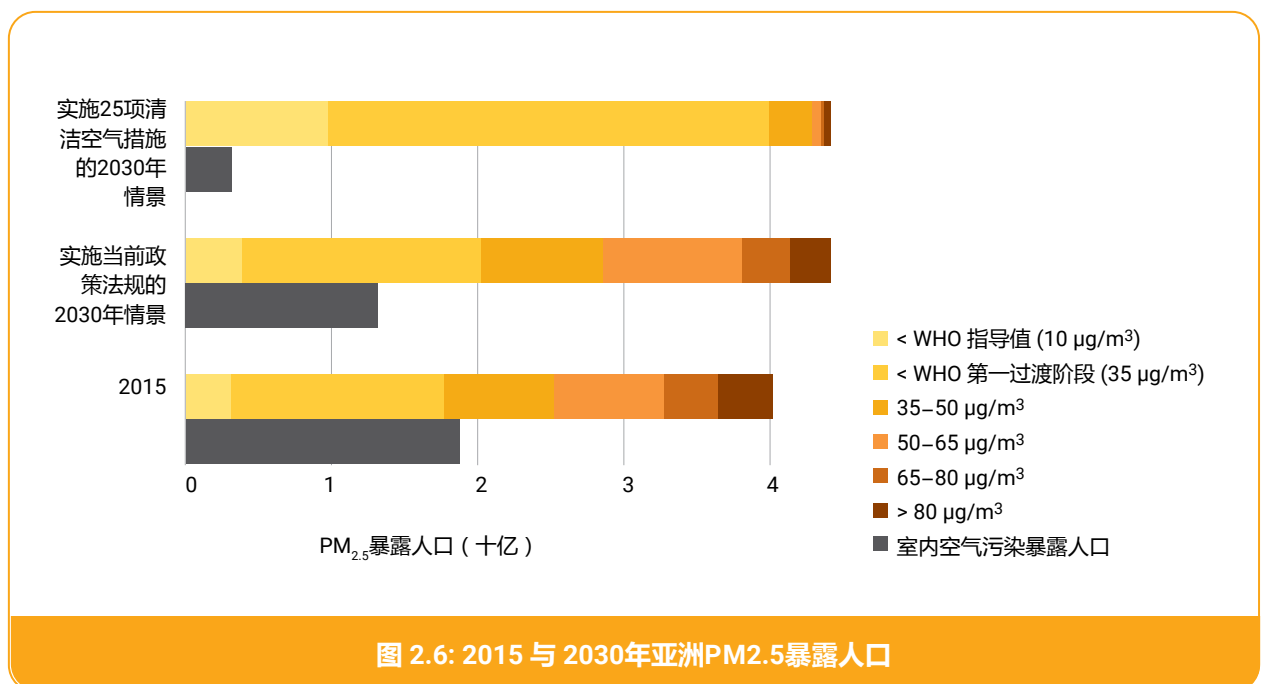


图 2.6: 2015 与 2030 年亚洲 PM_{2.5} 暴露人口

减少臭氧污染引起的作物损失

除了对人类健康造成不利影响，环境空气中的臭氧还会损害包括农作物在内的植被，导致作物产量下降，森林和草原等自然植被受损。应用此前评估全球臭氧引起的作物产量损失的适用方法，估计臭氧浓度升高导致的作物损失为：2015年分别减产玉米10%、大米4%、大豆22%、小麦9%（图2.8）。这相当于四种作物的总产量减少了5100万吨，其中大部分是稻米和小麦的产量损失。

与2030年的基线情景相比，实施25项清洁空气措施可将臭氧造成作物减产损失减少约45%。其中，产量损失下降比例最高的是东南亚地区（56%），其次是东亚地区（48%），再次是高收入国家（46%），最后是南亚地区（38%）。由于亚洲的作物反应与其他区域有所不同，臭氧对作物产生的影响尚不完全确定，所以估算结果不包括臭氧对所有作物、或对森林和其他自然植

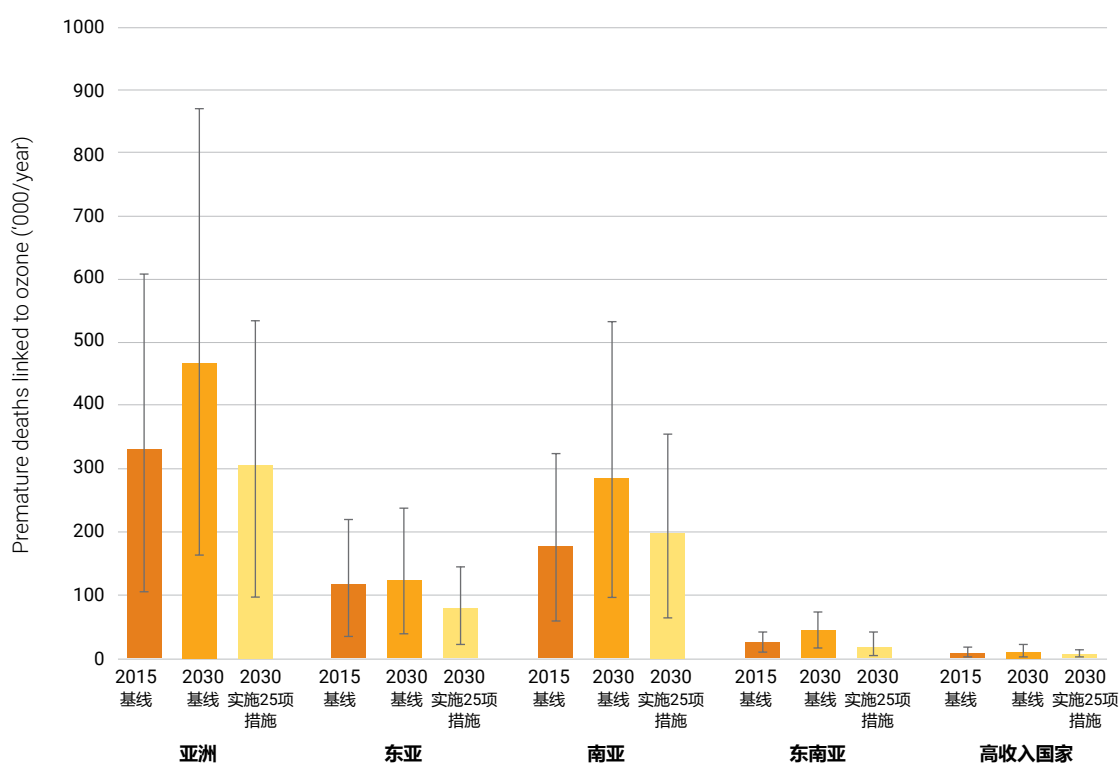
被的全部影响。然而，实施旨在降低PM2.5浓度的措施以及针对甲烷减排的措施，也可能降低臭氧浓度从而对农业作物产量带来大量的协同效益。

助力实现多重可持续发展目标

本报告识别出的措施是同时促成与发展相关的多种效益的行动范例（图2.9和2.10）。这25项清洁空气措施中的许多措施与多项特定的可持续发展目标相关，例如：

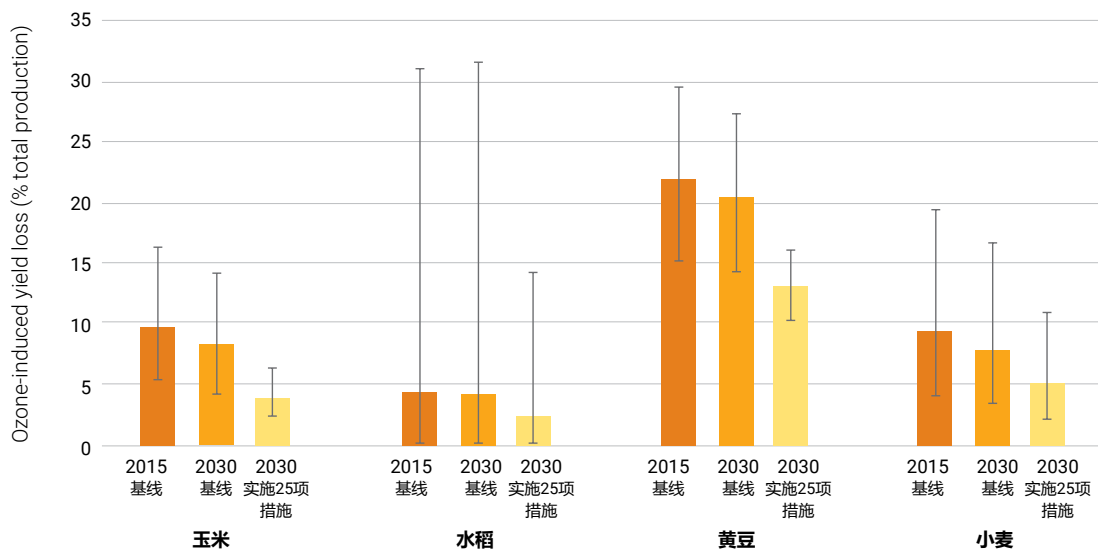
- 目标7：每个人都能获得价廉、可靠和可持续的现代化能源；
- 目标11：建设包容、安全、有抵御灾害能力的可持续城市和人类社区；
- 目标13：采取紧急行动应对气候变化及其影响。

改善空气质量和减少空气污染的措施直接有助于实现多项可持续发展目标，有3项可持续发



基于GISS和GEOS-Chem模拟的O3浓度平均值与95%置信区间

图2.7: 亚洲（模型界定）臭氧暴露相关的过早死亡人数估算结果—2015年、2030年的基线情景和实施25项清洁空气措施的情景比较



基于GISS和GEOS-Chem模拟的O3浓度平均值与95%置信区间

图2.8：亚洲（模型界定）臭氧导致的作物损失估算结果
—2015年、2030年的基线情景和实施25项清洁空气措施的情景比较

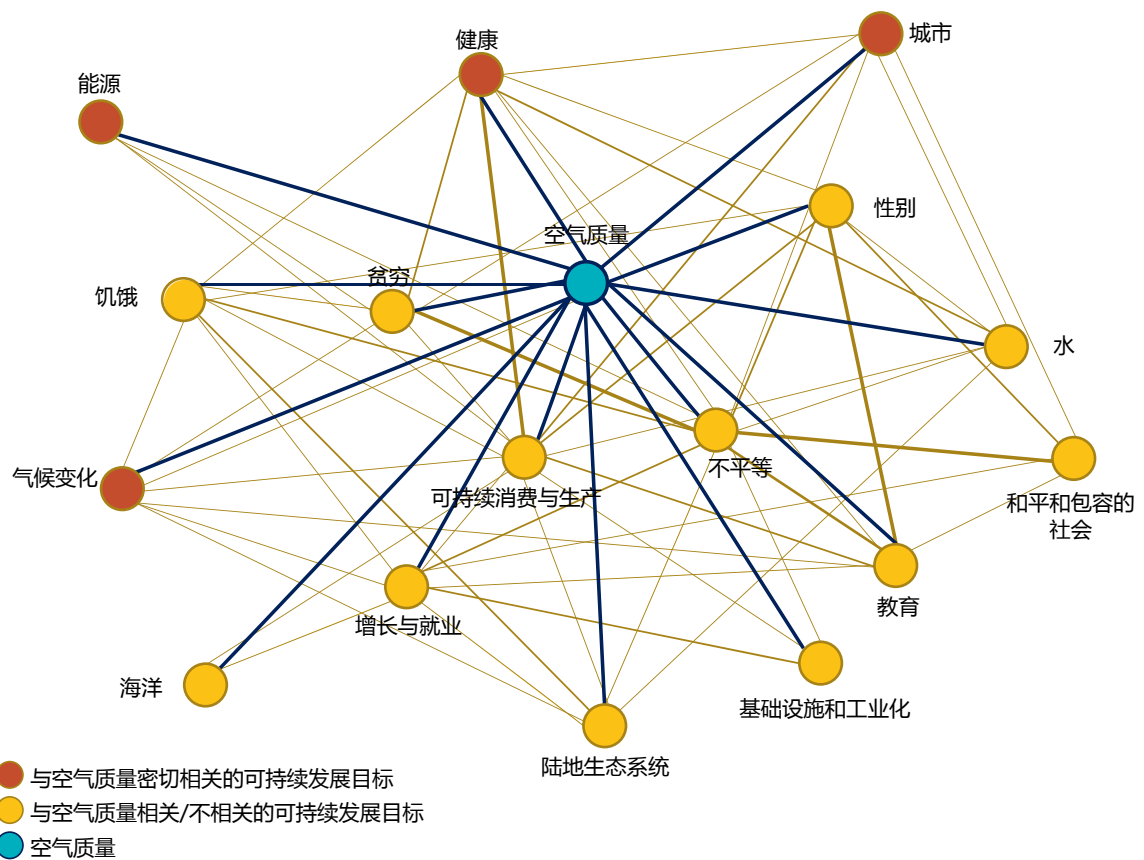


图2.9：空气质量与可持续发展目标之间的关系

展目标具体涉及到空气质量，分别是：3.9，11.6和12.4。然而，其中许多措施，例如清洁烹饪，也为其他可持续发展目标提供了有价值的直接和间接助益，包括贫困、性别和不平等相关的目标。

减少影响气候和温度的污染物

虽然本报告从确保空气质量对标 WHO 指导值、保护人类健康的角度分析政策措施，但 25 项清洁空气措施产生的减排效果也将以各种方式影响气候变化（图 2.10）。空气污染物如 PM_{2.5} 的组分以及近地面臭氧会影响辐射平衡并进而影响温度，特别是在近期及中期。不同的污染物会产生不同的作用：一些是使得气候变暖，包括黑碳、甲烷和臭氧；而另一些会产生冷却作用，如有机碳、二氧化硫和氮氧化物，会对温度以及长距离的热传输产生区域性影响，例如前面提到的，影响范围可达到喜马拉雅山脉和北极地区。

25 项清洁空气措施将降低全球升温效应为实现巴黎协定目标做出重大贡献

研究结果清楚地表明，致力于亚洲实现国家和国际空气质量标准的任何有效举措都意味着大幅度减少会二次生成颗粒物的一次污染物排放，特别是二氧化硫、氮氧化物、氨和挥发性有机化合物。由于这些污染物（除甲烷等挥发性有机化合物外）通常具有大气冷却效果，因此减排意味着冷却效果减少和温度升高。但是，另一方面我们也清楚地知道，25 项清洁空气措施也会减少造成升温效应的温室气体排放。

亚洲排放情景对全球平均温度影响的估算结果表明，相比 2015 年，全球排放量的预期基线变化将导致 2040–2050 年全球平均温度上升约 0.6°C。亚洲采用发展优先措施可以将这一变暖趋势减少约 0.3°C（图 2.11）。

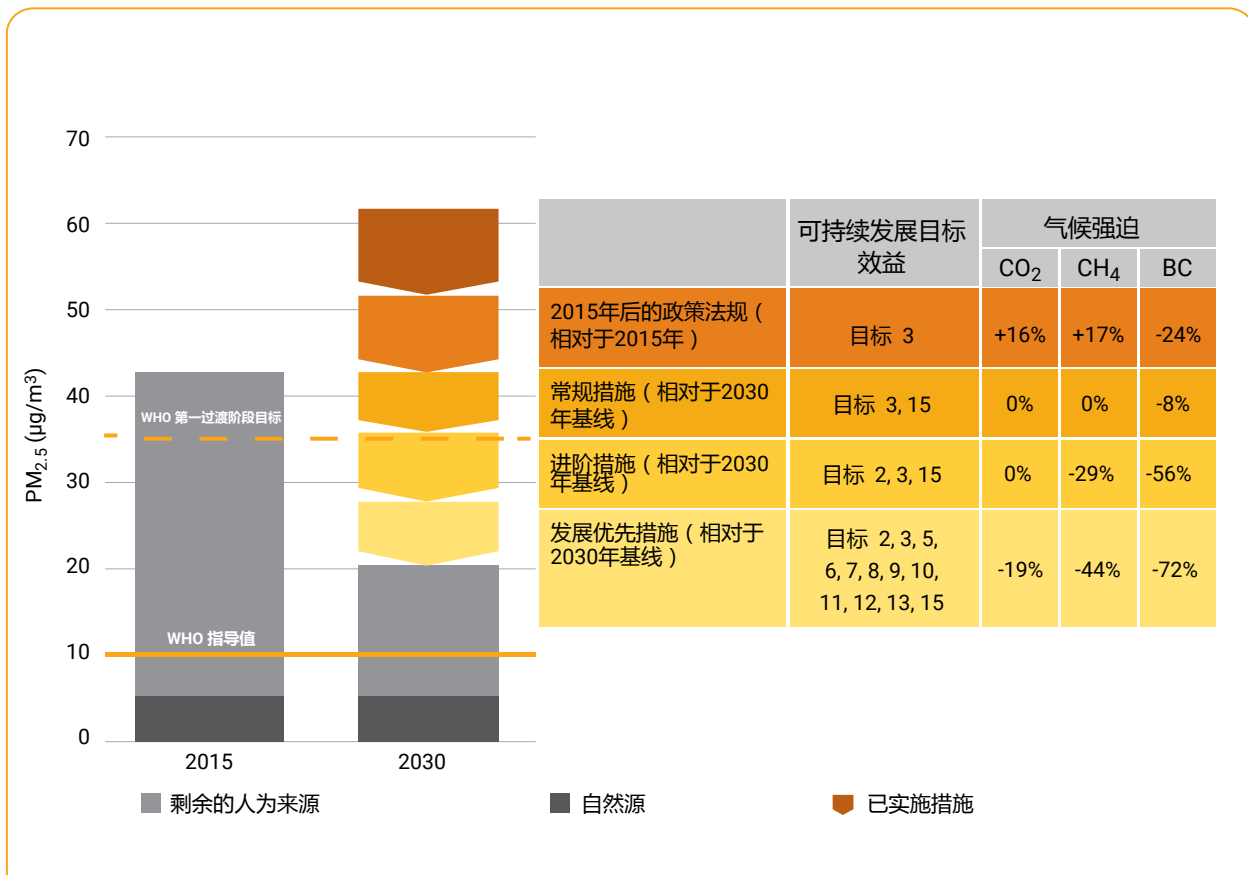
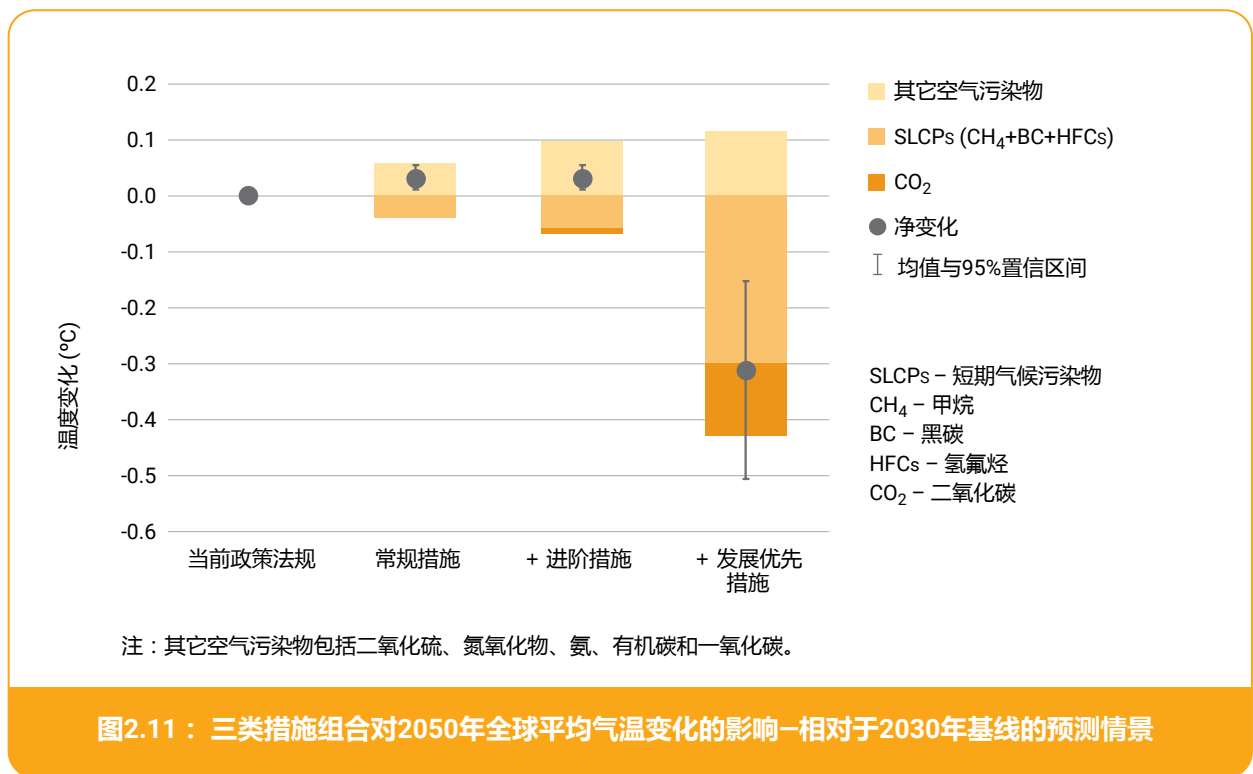


图 2.10: 实施25项清洁空气措施减少的PM2.5暴露人口，以及产生的气候、可持续发展目标的效益

这种净温度变化由几个因素共同决定。减少不包括黑碳在内的空气污染物（二氧化硫、氮氧化物、氨和有机碳）将导致 0.12°C 的升温效应。但是，甲烷和黑碳的较低排放水平可以抵消升温效应，使温度降低 0.3°C 。此外，发展优先措施组合将使得二氧化碳排放处于较低水平，又可以减少 0.13°C 的升温效应。关于亚洲国家逐步减少氢氟烃（HFCs）的基加利修正案的实施将使温度再降低 0.02°C （专栏 2.1）。

氢氟烃管控的多重效益

促进可持续发展的最后一项措施是，通过全面通过和履行关于消耗臭氧层物质国际公约《蒙特利尔议定书》基加利修正案，用环保替代品取代氢氟烃制冷剂。氢氟烃是具有强升温效应的温室气体，主要用作《蒙特利尔议定书》逐步淘汰的消耗臭氧层物质的替代品，并且成为许多国家增长最快的一组温室气体。造成这一现象的一部



专栏 2.1 基加利修正案

关于消耗臭氧层物质的《蒙特利尔议定书》基加利修正案旨在通过逐步减少氢氟烃（HFCs）的生产和消费来减少其在大气中的浓度。由于氢氟烃对臭氧层没有影响，氢氟烃已被用于替代氯氟烃（CFCs）和氢氯氟烃（HCFCs）这两种既是消耗臭氧层物质又是温室气体的物质。然而，氢氟烃本身是具有强大升温效应的温室气体。

基加利修正案将于 2019 年 1 月 1 日生效，使《蒙特利尔议定书》成为对抗全球变暖的更有力举措。如果完全遵守修正案，氢氟烃的消费和生产到 2047 年将减少 80% 以上。修正案的影响是，全球到本世纪末的升温效应将减少 0.5°C ，还可以通过促进家电能效的提高带来其它显著的气候效益。

分原因是冰箱和空调市场的消费需求快速增加。该措施除了产生氢氟烃减排的直接效益，还可以促进冰箱、空调和其他使用氢氟烃制冷剂的产品和设备提高能效，这也是可持续发展目标 7 的关键部分：每个人都能获得价廉、可靠和可持续的现代化能源。

措施的经济含义

实施 25 项清洁空气措施 所需投入只相当于未来经济增长的一小部分

据估计，目前亚洲将每年经济产出的约 1%（每年 1600 亿美元）用于排放控制，虽然人们往往注意不到，但这样的投入对保护空气质量，环境和人类福祉至关重要。到 2030 年，全面实施已有措施可抵消 80% 经济活动增长带来的污染排放量增加，同时污染控制成本也随之提高到 GDP 的 1.2%（图 2.12）。在亚洲全面实施常规控制措施，控制成本为 GDP 的 1.55%，暴露水平则下降 1/3。如进一步采取进阶措施，控制成本将占 GDP 的 1.85%（每年约 5000 亿美元），暴露水平则可以下降一半。

实施 25 项清洁空气措施可将人口暴露减少 60%，但空气污染控制的相关成本却下降到仅占 GDP 约 1.5%。因为随着污染燃料的消耗量下降，污染控制设施的需求也相对较少。实施发展优先措施的额外成本在空气污染相关的评估范围之外；然而，发展优先措施组合除了大幅度改善空气质量，每年还可节省约 750 亿美元的空气污染控制成本。

虽然 2030 年亚洲的空气污染控制成本绝对值可能高达每年 3000-6000 亿美元，但它们仍仅占 GDP 中的很小份额。预计到 2030 年，亚洲的 GDP 将增至每年 12 万亿美元，而空气污染控制成本仅占其中 5%。

目前，污染控制成本中占比例最高的是采用先进的机动车排放控制技术，随着车辆数的增加，预计这一项控制成本的占比还将进一步增加。如果将常规措施的实施范围扩大到整个亚洲，电力和工业行业的控制成本将翻倍。进阶措施组合会直接增加民用和农业部门的控制成本，然而针对

生活排放和农业排放的减排措施在整体成本中只占了很小的部分，很多措施都是低成本的。

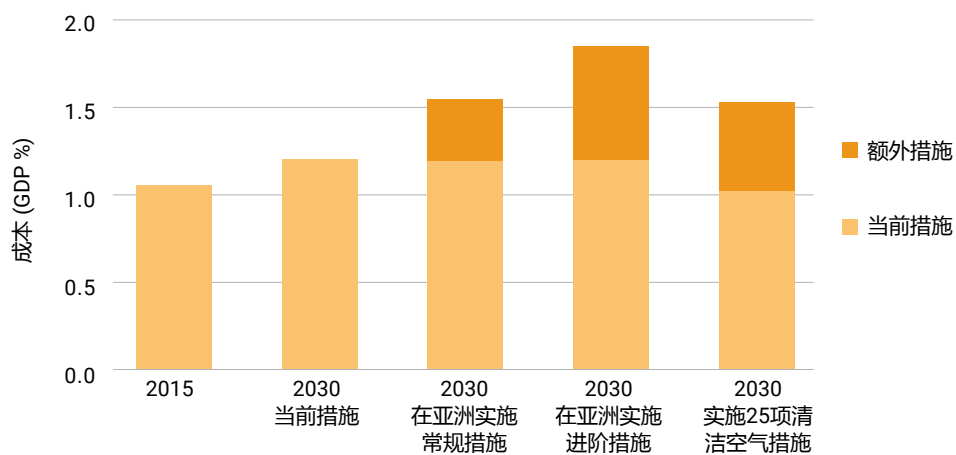
亚洲的多样性 需要采取因地制宜的办法

因为每个国家和城市的情况各异，制定和实施清洁空气政策的能力也有差别，它们采取的清洁空气策略也不尽相同。并没有一种空气质量管理的政策可以放之四海而皆准，一刀切的做法既不现实，也无法解决亚洲国家、地区和城市各自不同条件下的问题。

亚洲各地不同的效益

在亚洲实施 25 项清洁空气措施，在各地产生的空气质量和人口暴露影响不一而同。如图 2.13 所示，实施 25 项清洁空气措施将使得东南亚地区和高收入国家的空气质量水平降至 WHO 指导值水平，甚至更低，而东亚和南亚地区则可降至 WHO 过渡阶段第二阶段目标值。

图 2.14 显示了各地区室外和室内空气污染和 PM_{2.5} 人口暴露降低的水平，以及这种变化在各地之间的差异。25 项清洁空气措施将在东南亚地区和高收入国家全面达到 WHO 过渡阶段第一阶段目标 (35 μg/m³)，在南亚和东亚地区，暴露在 WHO 过渡阶段第一阶段目标浓度水平以上的人口比例也将变得很小。南亚、东亚、和东南亚地区的室内空气污染也将大幅减少（这在高收入国家原本也不是什么问题）。



注：不包含可持续发展目标行动成本

图2.12：2015年、2030年三类措施组合的空气污染控制成本

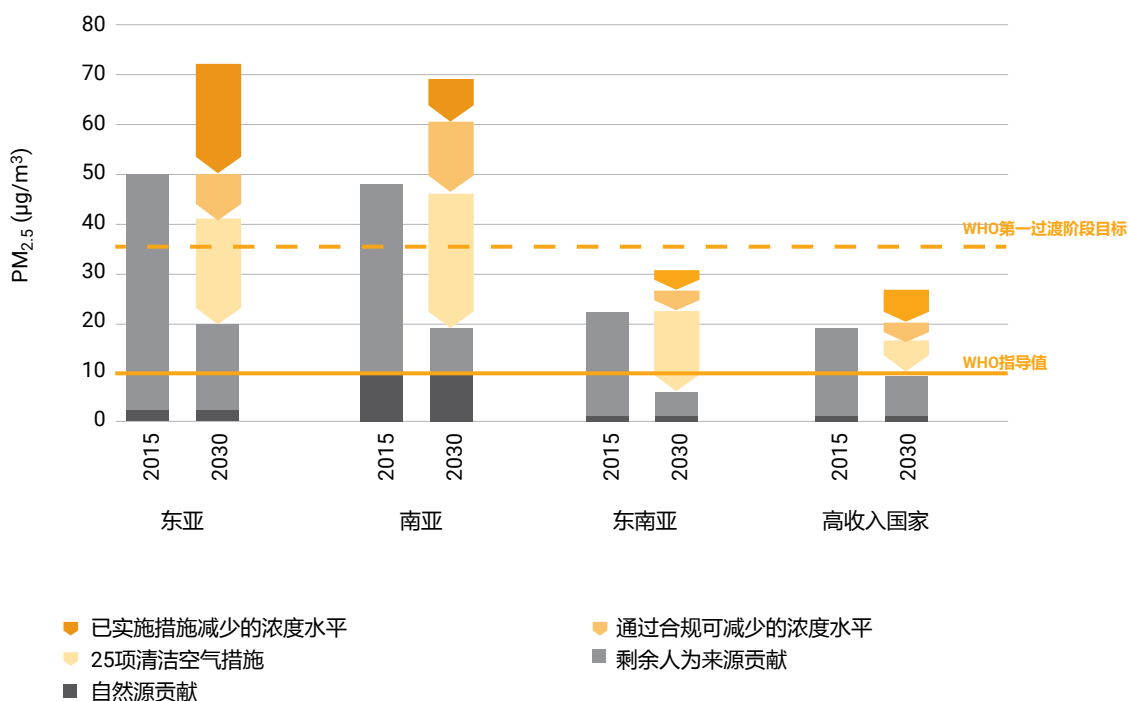


图2.13：亚洲次区域（模型界定）2015-2030年人口加权平均PM2.5暴露水平的变化：实施25项清洁空气措施的效果，以及剩余的暴露水平

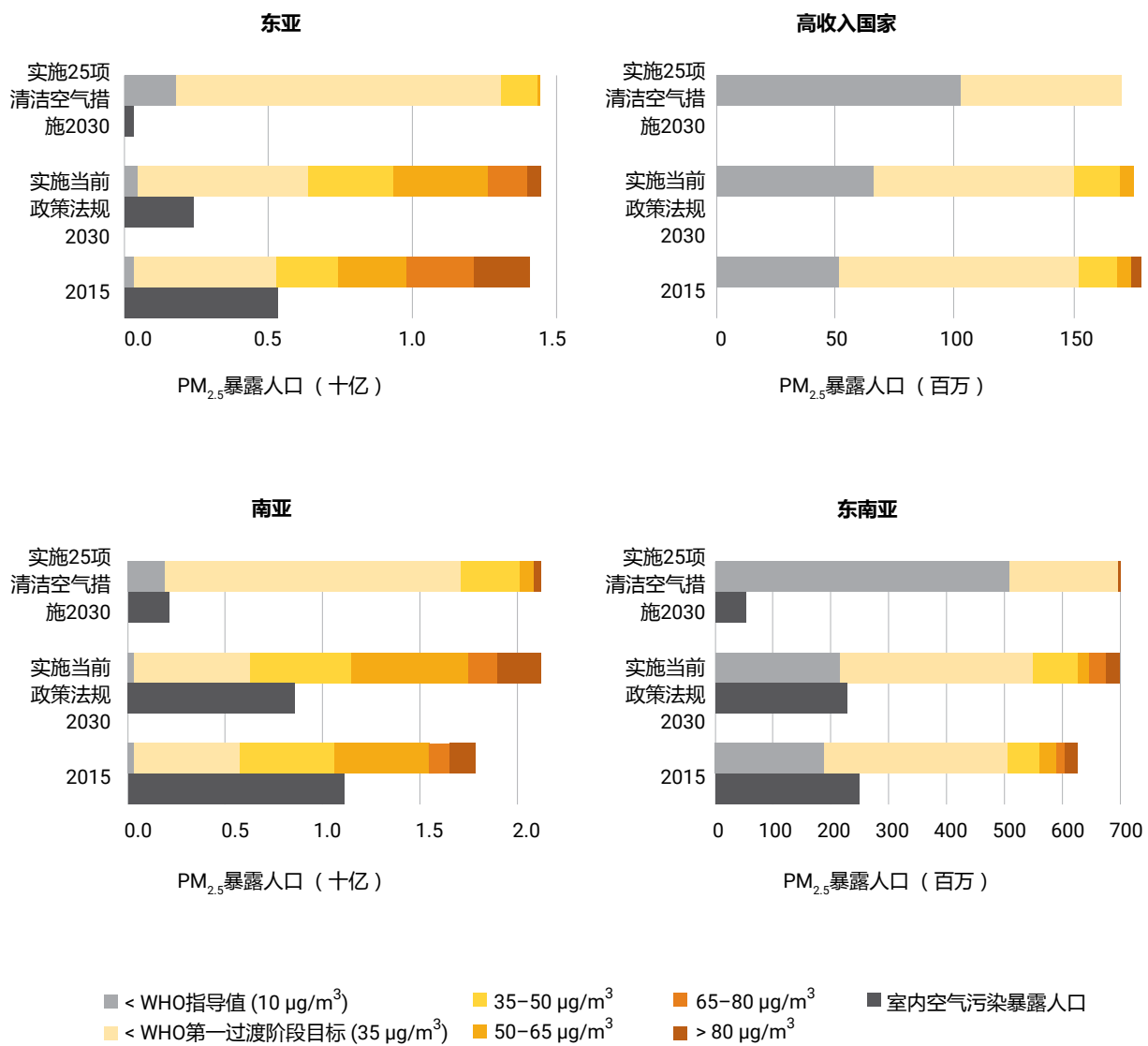


图2.14：亚洲次区域（模型界定）暴露在不同环境PM_{2.5}水平和室内空气污染水平中的人口



第三节

措施的成功实施

如果空气污染防治措施得以实施 亚太地区有数百万人可以 享受更长寿、更健康的生活

借助温室气体与大气污染物协同模型 (GAINS) 及一系列其它模型，第二节通过先进的模型方法识别出可以显著降低亚太地区空气污染的措施。模型结果表明，有效实施 25 项清洁空气措施可以使得人们免于暴露在有害水平的空气污染中，帮助数百万人享受更长寿和更健康的生活，并且实现其它环境发展目标。本节探讨了亚太地区各国要如何实施这些措施，强调了使措施获得不同程度成功的关键因素。本节最后总结了在促成措施落地方面，治理模式和金融手段发挥的重要作用。

在梳理亚太地区的案例之前，我们需要强调一点，25 项清洁空气措施相当于一个清单，各国可以从中选择适合本国的措施。尽管在亚洲地区各国的实际选择和采纳时间不可避免的会有所不同，但

是随着科学基础不断加强，各国的措施选择过程还是会相当类似。通常来说，环境部门会从监测开始，获取空气质量数据从而识别污染问题。这个阶段为改进监测数据和排放源清单奠定了基础，而制定减排政策离不开排放源清单。在编制清单之后，对排放源进行分析可以成为空气质量改善的决策基础。最后，还通常会进行健康影响的评估，成本有效性分析和 / 或成本 - 效益分析，确定哪些干预措施可最大限度地提高清洁空气的健康及其他效益 (图 3.1)。本报告提供了区域层面的分析结果，如有需求也可提供国家层面的数据，旨在为有意于开展此项工作的决策者提供帮助。

常规措施

加强对常规排放控制措施的落实 可以大幅改善亚太地区的空气质量

第二节的主要发现之一是，到 2030 年，伴随



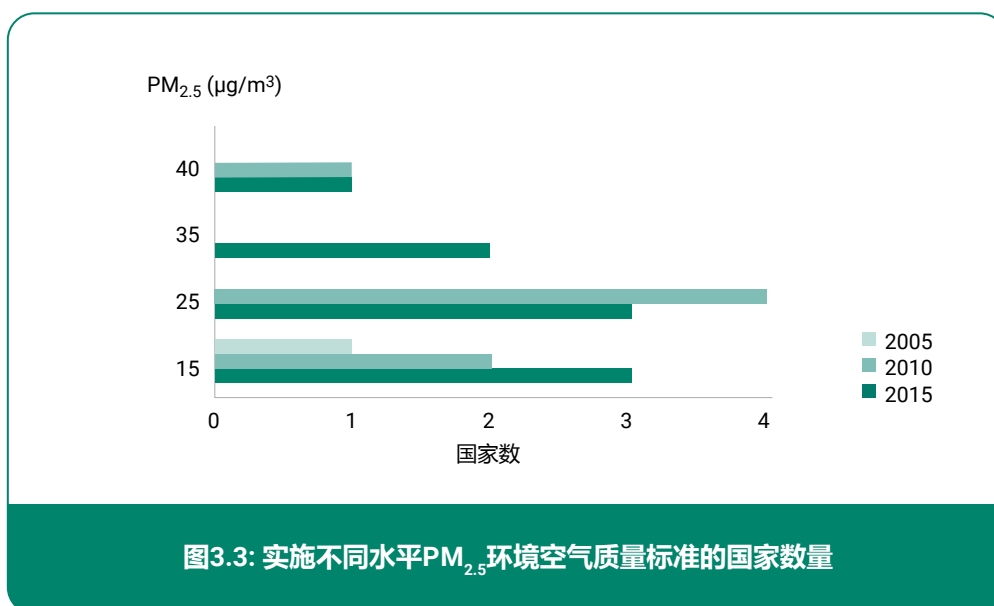
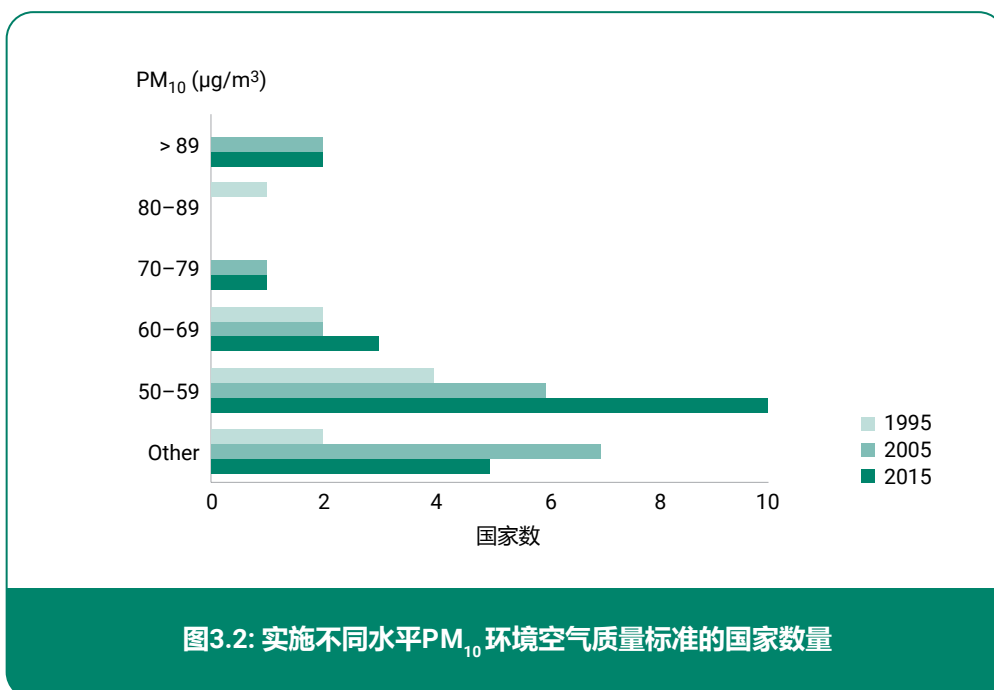
图3.1: 加强空气质量管理科学基础的四个阶段

着约 80% 的经济增长，常规措施的有效实施最多只能将空气污染程度维持在当前的水平，并且只有少数的一些地区可以降低污染暴露。对于亚太地区的许多国家而言，环境空气质量标准是努力采取减排措施的出发点，包括对电力、工业和其它排放源的控制。当进入这个阶段，越来越多的亚太地区国家的环保部门在制定和加严标准方面做得越来越好。这一好的形势在亚洲显而易见，我们可以看到制定各种标准（PM₁₀ 标准见图 3.2，PM_{2.5} 标准见图 3.3）的国家总数在不断增长；制

定更严格标准的国家数量也在上升（见图 3.2 和 3.3）。但是相比世界卫生组织（WHO）的空气质量指导值，各国的标准还有一定的上升空间。

在发展的初级阶段 很多亚太国家可以先采取常规控制措施

除环境标准外，一些政府还加严了生产和排放标准，并鼓励通过工艺或技术变革来减少能源行业和工业行业的排放。从韩国到泰国，很多国家通过



加强法规标准促使发电厂安装烟气脱硫设施和其它排放控制技术。同时还有实现跨越式发展的例子，印度的电力行业最近在向超临界能效水平迈进，部分原因是印度对老旧燃煤发电厂都在实施日益严格的标准。还有一些地方和印度首都新德里一样，严格的标准使得电厂关闭或者改为燃气发电。收紧标准可以鼓励污染控制技术或更广泛的结构调整方面的投资，但是要促成转变，常常需要立法提供财政激励。在包括中国和蒙古在内的国家，排污收费的法规就发挥了这种激励作用。

清洁空气行动计划是政府进行大气污染防治加码的机制。在某些情况下，这些计划始于各国政府应对新出现的政策优先事项。为了解决PM_{2.5}的问题，中国政府付出了很大努力，其中一项举措就是在2012年发布了新修订的《环境空气质量标准》和《环境空气质量指数（AQI）技术规定》。最近，印度政府实施了《国家清洁空气计划》，其中包括扩大空气监测网络、提升数据传播和公共宣传，并呼吁制定大气污染防治的减排计划。清洁空气行动计划并不总是从国家层面发起，越南芹苴等城市也制定了针对本地空气污染源的行动计划。

交通行业的管控，特别是针对柴油发动机的排放监管，是具有区域潜在效益的一项常规控制措施。更严格的车辆排放标准可以带来交通行业的更大改进。在亚太地区的许多地方，环保部门越来越顺畅地与交通部门、汽车制造商和化石燃料行业进行合作，共同提升标准。标准的收紧离不开燃油质量的提升，要将燃料中的硫含量降低到50ppm(百万分比浓度)，或更低至10ppm，石化企业的配合相当重要。需要炼油厂的规制和承诺，才能确保生产和提供低硫燃料。移动源的排放控制还有另一种解决方案，那就是燃料替代，亚太地区也有一些实践。例如，印度最高法院发布了一项决议，要求整个新德里公共交通系统中的公交车、出租车和自动人力车改用压缩天然气（CNG）。因为这项具有里程碑意义的决定，印度目前已有1094个CNG加气站。

还有一些非技术解决方案可以帮助减少重型商用车的排放。例如，通过提升物流效率和优化路线可以减少不必要的行车。我们也可以采取有效的措施组合，例如，替换老旧公交车，这也提供了对路线合理化和优化的机会，对提升公交服务质量也有所助益。对于亚太地区的诸多发展中国家而言，从

发达国家进口旧的二手车变成一个很大的空气污染来源。为了帮助减少排放，蒙古推出了消费税政策用以支持混合动力汽车和电动汽车的购买，从而改变了中低收入家庭的二手车购买行为。

除了技术解决方案，良好的柴油车污染控制机制中不可少的一个重要环节就是，通过检测/维护系统淘汰高污染车辆。日本东京的做法就是一个广为人知的例子，通过车辆检测把该地高污染高排放的车辆淘汰掉了。印度尼西亚的雅加达也推出了检测/维护机制，使得该市13000辆公共汽车的烟尘排放量减少了30%，能耗也减少了5%。

大气相关立法已经强化了大多数常规控制措施。在亚洲的一些国家，政府各相关部门的法规也逐步形成合力。例如，印度有几个特定部门的法律法规都与污染管控有关。印度1981年就出台了《大气污染防治法》，它的落实需要基于后续一系列法规的执行情况，包括1988年出台的《机动车法（2007年修订）》，2002年出台的汽车燃油相关政策，2006年出台的《国家环境政策》和2009年出台的《国家绿色法庭法案》。

扬尘也是空气污染的贡献源，但上述许多政策中都没有涉及到。裸露的路面和工地都会产生扬尘，在一些交通运输和城市建设不断扩张的地区，道路扬尘和工地扬尘已经造成严重的空气污染。例如，印度一些城市的PM_{2.5}有一半以上都是来自扬尘贡献。对于决策者来说，可以通过以下几种技术方案来控制扬尘污染，包括重新铺设路面、洒水、化学方法抑尘等。还有孟加拉的拉杰沙希等地市，高瞻远瞩的政治领导人和市民共同努力植树绿化以达到控制扬尘污染的目的。对当前的道路进行路面硬化、使用机械化设备进行街道扫洒，将灰尘冲扫入排水系统中也可以解决问题。

进阶措施

到2030年，亚洲经济将比2015年增长80%，尽管实施常规大气污染防治政策将有助于避免空气质量恶化，但还需要采取其他措施来减少空气污染对健康的影响。此外，常规污染控制措施无法解决室内空气污染暴露对健康的影响。本节重点介绍常规措施之外的多种进阶措施，从清洁炉灶到工业溶剂排放控制等。很明显，制定

和实施这些控制措施涉及的利益相关方也是多样的。

需要提供激励才能改变固有的农业和土地利用行为和模式

农业秸秆

露天焚烧农业残留秸秆在亚太地区的许多国家仍然很常见，并且成为了东南亚主要的空气污染源，占人为排放总量的 5-30%。作物秸秆燃烧有较强的季节性特征，在干旱季节会显著增加 PM_{2.5} 浓度，偶尔会导致区域性和地方性的重污染事件。虽然大多数国家都明令禁止露天焚烧，但如果没有基层的参与，这些禁令的效果实在是存疑。要使得禁烧令成功发挥作用，就必须与当地的农民合作，提供秸秆利用的替代方案。例如，机械稻草打捆机的广泛应用可以将土地上的农作物残留压缩变为秸秆捆包，再将这些秸秆捆包在别处利用起来。一方面可以帮助农民快速进入下一轮作物栽种准备，同时也可以通过销售秸秆捆包获得额外收入。在印度，政府采取跨部门行业管理办法，要求电力公司从农民那里购买农业秸秆，并将其加工成生物质颗粒，与煤混烧发电。此外，印度还正在探索生物质气化的可能性，使用播种机将残留秸秆变成肥料层（欢乐播种法），然后通过生物发酵生成沼气，这个过程可以有效利用残留的秸秆，也可使得禁烧政策令行禁止，更为有效。

防止森林和泥炭火灾

森林和泥炭火灾是亚太地区由来已久的一个严重问题。随着橡胶、棕榈油和纸张生产需求上涨，这些经济作物种植园不断建立和扩张，人们也更多地用烧灰的方法来清理土地和开荒，这使得大量的大规模的火灾都发生在东南亚。这背后的驱动原因无非是一本经济账：相比火烧法和化学法，机械清理土地的成本最少在 1.5 倍以上，最高甚至可达 40 倍。

如果在农业耕种中推行免烧作业模式，一些国家的森林火灾将可因此而减少高达 90%。在这种放火烧地造成了大量火灾的情况下，如果能建立农业残留物再利用的市场（如上所述），则可

以提供更大的激励，使得免烧作业模式被采用。我们可以分别采取这些措施：为购买和租赁土地清理的机械设备提供支持，通过碳市场将森林的碳汇作用直接货币化以保护林地。为了解决这些问题，亚洲地区还着力推行了跨国的区域合作，特别是签署了《东盟跨境灰霾污染协定》。最近，印度尼西亚决定批准该协议在本国生效，并制定了治理雾霾路线图，也产生了更强烈的行动意愿，帮助沿着路线图规定的方向采取措施。

粪便管理

动物粪便是氨的主要来源，氨又是大气中生成的二次颗粒物的重要组分，但在亚太地区粪便并未得到很好的管理。大多数个体农场都是将粪便倾倒在小型露天粪坑内，进行堆肥供日后使用。许多大型产业化的畜牧场不在农作物种植地区，因此不能将粪肥作为有机肥料使用，而是当作废弃物。而粪肥施用通常是以一种粗放的方式广泛洒在土地表层，很少可以迅速被土壤吸收。这样的收储和施肥模式造成大量的氨氮挥发损失。

改进粪便管理的做法是减少氨释放的有效方式，包括封闭式储存以及在施用后将粪便快速掺入土壤中。许多国家还有在农场和社区项目中通过粪便发酵产生沼气的潜在利用方式，得到可用于烹饪或发电的沼气，剩余混合残渣可作为肥料。

更有效的施肥

目前，亚洲的矿物氮肥总消费量占全球用量的 60%；中国和印度是氮肥，特别是尿素的最大生产国和消费国。然而，氨基肥料使用效率低下，导致氮化合物大量释放到大气和生态系统中。一些政府已采取措施减少氮肥损失，减少环境影响，降低补贴成本。例如，印度提出了一项倡议，要求将尿素氮与印度楝树油混合使用，印度楝树油是一种硝化抑制剂，能够将氮损失降低 10% -15%。印度还有其他一些颇具前景的施肥技术，例如氮肥分施，使用缓释和控释肥料，推广特种肥料，用作物叶片颜色信息图来确定氮需求。到 2030 年，这些措施可以防止印度 20-25% 的氮肥损失。

孟加拉国则采用创新方法提高氮肥使用效率，包括尿素超级颗粒，尿素深层施肥，生物有机肥和种植施肥需求低的作物品种，可以使水稻产量增加

15% -20%的同时减少 20-30%的氮肥施用。

中小型企业 and 基础设施建设 可能需要创新的管理办法来实现减排

砖窑

砖窑是亚洲许多地区空气污染的主要来源。对于这些受砖窑排放困扰的国家来说，一种控制污染的方法是将相对能源密集型的传统固定烟囱砖窑变成更高效的锯齿形设计的高效砖窑、节能竖井窑、隧道窑。总的来说，转向新型砖窑能够带来多大效果要取决于燃料和技术类型，以及新技术的运维情况，其中起决定性作用的最大变量是新技术长期作业能带来的改变有多大。各国尝试了不同办法来促成改变，孟加拉国逐步取缔固定烟囱的传统技术，越南出台可持续建筑政策来提高制砖效率。尼泊尔加德满都谷地最近有一个成功案例，当地砖窑企业与专家团队合作，以平均约合 10 万美元的合理成本重新设计改造砖窑，使得颗粒物排放减少了 60%，煤耗降低 40-50%，高品质 'A' 级砖增加到 90%。这些吸引了孟加拉国、印度、尼泊尔和巴基斯坦许多地区的砖窑企业来参观，希望也能学习应用类似的方法。

航运排放

控制航运排放对于沿海港口城市和海上交通繁忙地区的空气质量管理 and 公共健康改善至关重要。由于担心港口竞争力 and 贸易受到负面影响，亚洲港口城市在制定船舶燃油法规方面进展缓慢。事实上，缺乏相关信息是一个重要原因，因为不了解航运排放贡献，使得人们认识不到更好地控制航运排放对空气污染政策、公共健康负担评估 and 气候变化战略方面的影响。这种情况实在令人遗憾，因为已有一些研究表明，航运排放的增加会对东亚地区的健康和气候问题都造成严重的影响。

香港是世界十大国际集装箱港口之一，过去十年来一直积极减少航运排放。自 2015 年 7 月起，在香港实施的《空气污染管制 (远洋船舶) (停泊期间所用燃料) 规例》是亚洲首个关于远洋船舶的船用燃料管控规定。中国已在全国范围内通过该法规的关键条例，在沿海地区建立三个船舶排放

控制区，并将于 2019 年生效。最新估计表明，如果没有控制措施，2013-2020 年中国三大船舶排放控制区的二氧化硫 and 颗粒物排放量预计将增加 15-61%。

工业溶剂 and 炼油厂溶剂

人们越来越关注工业 and 民用油漆、日化用品、橡胶、化学品以及清洁类产品在生产 and 使用过程中产生的空气污染排放。这些产品的用量急剧增加，使得我们更加需要在大气污染防治政策中将溶剂作为管控目标。2013 年发布的《中国大气污染防治行动计划》就做出了这样的努力。日本政府与行业协会合作设计了自愿减排计划，在几个重点行业推行泄漏检测与修复技术和 / 或溶剂回收，使其挥发性有机化合物排放得到控制。印度新德里市政府也正在积极推动在汽油泵上安装油气回收系统，以减少挥发性有机化合物的排放；2017 年，新德里大约 60% 的加油站安装了油气回收系统，不仅实现了减排，还可以有节油效果。

发展优先措施

发展优先措施旨在实现 除改善空气质量外的其它发展目标

实施大气污染防治的常规措施 and 进阶措施将带来显著的健康效益，但如果进一步实施报告中识别的发展优先措施组合，还可在 2030 年之前将 PM2.5 的人口暴露水平降低多达 60% (相比 2015 年)。这意味着，将有 10 亿亚洲人口 (约占 22%) 可以享受到满足 WHO 空气质量指导值要求的空气，而 2015 年这个比例仅为 8%。此外，暴露在 WHO 过渡阶段第一阶段目标值浓度以上的人口将从 2015 年的 23 亿减少到 2030 年的 4.3 亿人，下降了 80%。尽管发展优先措施并不是主要针对空气污染问题的措施，但却可以为空气质量改善提供更多手段。通常，这些措施的主管部门是能源、农业 or 交通部门等。

控制室内 固体燃料炉灶、煤油照明 and 采暖排放 是许多国家的发展重点

清洁烹饪、采暖 and 照明

在亚洲的一些地区，人们仍然以木柴、动物粪便和其他生物质作为燃料进行烹饪和取暖，而在能源供给缺乏的地区，也还仍然使用低能效的煤油灯进行照明。这些燃料的不完全燃烧和通风不良会导致室内空气污染。这对于妇女和儿童尤其有害，因为他们在炉灶旁边的时间更长更多地暴露于炉灶的排放。

中国因实施国家炉灶项目而受到广泛的关注。从 20 世纪 70 年代末到 90 年代初，若干政府部门合作开展了国家炉灶改良项目（NISP），为 1.29 亿户家庭提供更清洁的炉灶，覆盖了中国约 65% 的人口。该项目得益于农业部的持续努力以及其他部门的支持，因地制宜采取适合当地的解决方案。这一政策的灵活性使得炉灶厂商可以从小生意开始发展，然后扩大规模，并为农村相关的能源公司创造改进产品的市场。例如，2007 年，中国政府专门在西藏地区推出了太阳能炉灶和生物炉灶项目，并在四年内分发了近 8 万个生物质炉灶和 25 万个太阳能灶具。然而，中国炉灶改良项目仅实现了一定程度的室内空气质量改善，中国居民的厨房中也还能见到未经改良的炉灶。中国的炉灶项目最近又进行了革新，引入了新技术、更好的监督，与总体发展政策的联系也变得更紧密。

印度也推出了几个炉灶项目，帮助大约 1 亿家庭改良炉灶（该国有 2.4 亿家庭没有现代烹饪器具）。最开始出台的是国家 Chulhas 改良项目（NPIC）（Chulhas 是印度民用的一种柴火炉），该计划后演变为近期的国家生物质炉灶行动（NBCI），这一行动致力于开发和推广高效（包括助燃风扇）、经济、耐用且便捷的生物质炉灶。最近印度还出台了一些新举措备受瞩目的，包括一项雄心勃勃的计划，名为 Pradhan Mantri Ujjwala Yojana。印度石油天然气部于 2016 年启动了该计划，为 1 亿个缺少能源的家庭提供了 3500 万个液化石油气（LPG）接入站。该项目进行过程中举办了多次会议或 Ujjwala Panchayats，允许用户建立联系，表达他们的顾虑和经验，并分享有关安全使用 LPG 的信息。印度还有些其他小规模的项目活动，试图利用本土经验根据用户需求定制炉灶。

减少居民空气污染排放的政策计划主要集中在

于烹饪炉灶更换和燃料替代。但在许多地方，家庭采暖也会使用木材、煤和其他生物质燃料。在一些发达国家，在住宅内安装和使用木材炉是家庭取暖的常用方式，但是由于存在监管措施和设计指导，导致它们的排放相对较少。在需要全屋供暖、又比较容易获得煤炭的地方，例如中国和蒙古的部分地区，人们往往会烧煤炉采暖。这些地区的供暖煤炭炉通常比较老旧，能效较低且不受管控。但也有例外情况，一些城市地区会禁止使用固体燃料进行住宅供暖。

在需要全屋供暖的地区，许多炉子会既用于烹饪，又用于取暖，特别是在冬季或高纬度或高海拔地区。这些两用炉具可能每天都要长时间使用，例如在夜里取暖、白天做两三顿饭，因此特别重要。可以解决烹饪采暖炉具排放问题的机会包括：引入排放标准，进行炉具检测和贴标，环保标识，低排放炉灶技术的开发，燃料替换，集中供热，将直接烧薪柴的炉具升级过渡到生物质颗粒炉，提高家庭能源效率，烹饪和采暖分别用不同的炉具和燃料，炉灶更换项目，政策和规制手段，以及资金相关办法。

清洁能源

鼓励使用可再生能源 和节能技术的政策 可以降低能耗，改善空气质量

采用鼓励使用可再生能源和节能技术的政策可以同时减少能源消耗和空气污染。从可再生能源标准到上网电价政策，亚太地区的许多国家已采取多种举措，这些政策使得太阳能和风能发电成本下降，发电量增加（图 3.4）。最明显的例子就是中国，2016 年太阳能发电量达到 28 太瓦时（TWh），风力发电量达到 55 太瓦时，分别占全球太阳能和风能发电总量的 36% 和 42%。在印度、印度尼西亚、日本、菲律宾、泰国和亚太地区其他国家，太阳能和风能的发电成本下降和消费量增加的趋势似乎仍在继续。除了政府积极推动之外，清洁能源的使用和能效的提升还受到其他因素的驱动。例如，韩国首尔市政府出台了“少一个核电站”项目，推出了各种以需求为导向的节能措施，这些措施也改善了城市空气质量。

家庭和工业能效标准

通常，提高家庭和工业的能效标准的投资可以在设备的全生命周期内收回成本。中国政府就认识到了这样的潜在机会，将雄心勃勃的能效目标纳入了国家“十一五”、“十二五”和“十三五”计划。中国还推出了一个能效提升项目，该项目一开始推出了一系列培训、审计和报告发布活动，借此提高 1000 家能源密集型企业的能源效率，后来又将范围扩展到 10000 家最耗能的企业。为了扩大计划，省地级政府承担了更多的责任，支持相关培训和报告发布活动。

印度也一直积极提高能源效率。根据 2001 年出台的《节能法》，印度设立了能源效率局（Bureau of Energy Efficiency, BEE），通过各种机制推进节能和能效提升。对于家庭用能而言，BEE 已经实施了针对家电的节能标识计划，该计划向消费者提供家电节能信息。能源效率局已经强制要求空调等设备上必须贴能耗信息标识，如果没有贴标则可能被禁售。在亚太地区，也有地区试图引入需要预付的电卡，提高家庭对用能情况的认知，并激励居民购买节能电器。

改善公共交通

亚太地区的许多发达国家拥有相对完善的公

共交通系统，这有助于减少对私家车出行的需求。通常，将公交系统改善政策和限制机动车辆购买的政策结合是最有效的办法。新加坡精心设计了交通需求管理策略，对进入城市中心区的车辆进行收费，这一举措受到了广泛的关注。一些较小的城市也成功地将公共交通与城市规划相结合，例如，日本的富山市试图扭转居民向郊区搬迁的趋势，以减少交通需求。为了让人们回归城市，富山市投入了大量精力使城市更加紧凑，并引入了有轨电车系统。

电动车

在电动车供应和需求方面，中国一直是全球领先。部分原因是政府出台政策对电动车购买提供补贴，并且在一些城市取消相关的限制。

印度政府也在积极推广电动车的使用。同时，西姆拉市和孟买部分地区已经推出了一些商用电动巴士。还有私营部门也在努力，那格浦尔市的一家名为 Ola 的出租车公司启动了一个试点项目，运营多种模式电动车队。

固废管理

亚太地区的固废管理技术和做法各不相同，因此几乎不可能在整个地区确定单一的固废管理

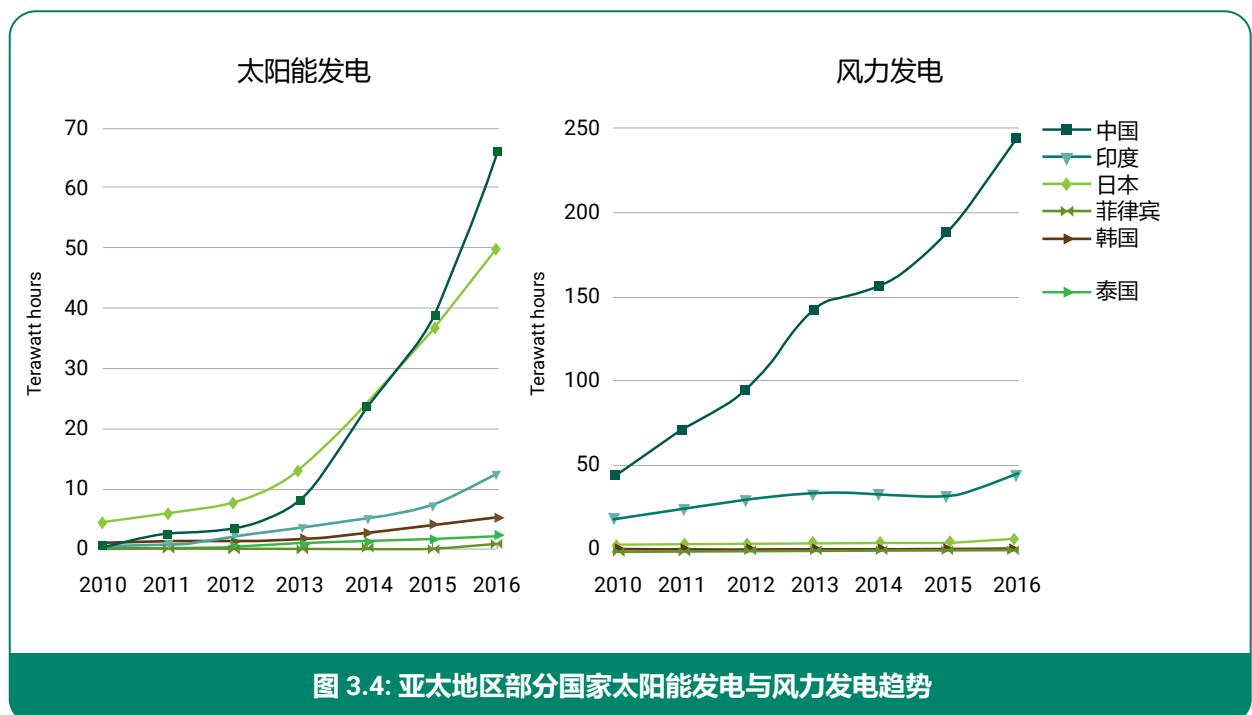


图 3.4: 亚太地区部分国家太阳能发电与风力发电趋势

解决方案。总的来说，发达国家倾向于采用更先进的技术，例如通过垃圾发电回收能源，以及系统回收可回收材料。相比之下，发展中国家更多地倾向于直接填埋，有时候甚至非法露天倾倒和焚烧，或没有经过正规渠道和无害化处理就进行回收。焚烧固体废弃物是太平洋岛屿空气污染的主要来源之一。

从垃圾运输环节开始，各国的固废管理方式在不同的环节都有所不同。澳大利亚、日本、韩国和新加坡等发达经济体安排了废物收运的技术解决方案，包括机械化的垃圾收运车、压实机和转运站，还有垃圾分类和可回收废物的收集。印度尼西亚、马来西亚和泰国等新兴经济体也至少会在大城市进行系统的垃圾收运，但在收集可回收物方面，仍然是以一种非正规的方式进行，或者在社区里设置废物回收点来实现。尽管在一些国家（孟加拉国、柬埔寨、中国、印度、印度尼西亚、菲律宾和泰国）政府将废物回收作为一项政策来推进，以市场（通常是非官方的）为基础的回收方式仍然非常普遍。因此，为了促进亚太地区的系统回收，政府需要与非官方部门合作。

在亚洲和太平洋的大部分地区，焚烧是一种相对容易和低成本的处理废物和垃圾的方法。在废物管理设施有限的家庭中，这种做法很常见。垃圾燃烧也会发生在用比较低端的垃圾填埋方式进行处理的社区，这些垃圾填埋场易于自燃。亚太地区的许多地方已经制定了禁止焚烧废物的法律法规，其中包括对焚烧者征收罚款和其他处罚。例如，菲律宾的《生态固体废物管理法》包括禁止焚烧垃圾并规定了相应的处罚。但同时，人们对这些法律禁令的认识和执行往往是有限的，或完全缺乏认知和有效执行。这也毫不奇怪，最有效的解决方案往往需要将技术解决方案与信息推广活动相结合。例如，斐济实施了提升垃圾“减量-再利用-再循环”的项目，减少了垃圾产生量和焚烧情况。一般地说，太平洋岛国已经开始共同努力制定区域策略来加强废物管理并限制燃烧需求。

水稻田

在厌氧条件下稻田中有机质的衰变会产生甲烷。种植季的排水和间歇曝气可以中断厌氧发酵过程，减少甲烷的排放。亚太地区的许多农民采

用排水引流的做法来节约用水和提高作物产量，减少甲烷排放是这个操作办法带来的附加效益。有效排水的方法应该广为传播。在日本，农民在种植季中期将稻田排干 10 天，这个做法可以提高作物产量。近几十年，中国也大规模采用了排水操作，从 1980 年至 2000 年间，进行排水操作的农民从大约 25% 上升到 80%。

废水处理

亚太地区甲烷排放的一个重要来源是由于废水处理系统不够完善造成的。相比一些国家不太先进的处理系统，大多数发达国家运用有氧处理系统集中处理城市废水，可以减少甲烷排放。但是在亚洲的发展中国家，由于缺乏废水基础设施、处理技术、负责单位和财政能力，89% 的生活废水未经处理就直接排放到附近的水体中，对地表水和地下水造成严重污染。发展中国家往往选择成本低、能耗低的厌氧消化过程来处理废水。

一些典型的方式包括沼气池、泻湖、中型和大型厌氧消化池、化粪池和其他类型的厕所。在亚太地区，厌氧消化的沼气池也被广泛用来处理牲畜粪便和污水污泥。已有许多成熟的废水甲烷减排和回收的技术方法得到了成功应用，包括：进行厌氧污泥消化；在现有的露天厌氧消化池中安装沼气收集系统；建设新的集中式有氧处理设施或覆盖泻湖；在市政污水排放处安装简单的脱气装置；在确保正常运行和维护的同时，将无法正常运行的设施和系统进行优化。

石油和天然气

石油和天然气工业从生产到加工、运输到分销，所有环节都会产生甲烷排放，主要来自正常操作，日常维护，逃逸泄漏和系统故障。有许多技术可以控制这些过程产生的排放（图 3.5）。分析表明，如果实施最有效的十个措施/操作，就可以将石油和天然气生产（包括页岩气）中甲烷排放量（意外排放和不必要的排放）减少约 88%。石油和天然气行业已经了解减少甲烷排放的必要性：世界上最大的八家石油和天然气公司在 2017 年均同意采取行动减少甲烷排放。BP、道达尔、埃克森美孚、壳牌和其他四家公司已同意实施原则，尽量减少能源基础设施的泄漏。亚太地区一

些国家的实践也表明了控制技术的可行性。例如，印度通过安装火炬气回收装置来回收从孟买高海上油田输送管道的油气。另一边，印度尼西亚将零燃烧政策作为国家气候变化战略的一部分。

煤炭开采

在煤炭开采过程中，甲烷可以释放到大气中。随着采矿技术的生产力提高以及更多的从深层煤层中进行开采，预计亚太地区煤炭开采释放的甲烷排放量将急剧增加。与其直接任凭甲烷排放到大气中，我们其实可以安装甲烷捕获系统，通过脱气将其收集起来，用作工业锅炉和其它生产环节的能源。在某些情况下，需要使用增强型脱气系统来捕获已经和空气混合稀释的甲烷（称为空气通风甲烷），以防止矿井爆炸。发达国家的矿场通常设有回收系统，但由于前期要投入高昂的技术成本，这套系统在发展中国家不太常见。然后一些国家也采取了国内的扶持政策，为甲烷回收项目的投资者提供监管和财政激励措施，例如税收减免。

氢氟烃

氢氟烃（HFCs）减排方案可以减少能源消耗和污染物排放。其中的一个政策选项就是对空调或其它制造工艺过程的大中型设施进行改造，采用低全球升温潜能值（GWP）的制冷剂。印度尼

西亚正在做出改变，近 1000 家 Alfamidi 便利店安装了节能制冷系统。另一个正面的例子是印度的家电制造商 Godrej & Boyce 在德国国际合作机构和印度环境部的支持下，跳过全球升温潜能值较高的氢氟烃，直接转向低全球升温潜能值替代品，销售了 100,000 多台 HC-290 室内机。由于大多数亚洲国家进口氢氟烃产品，政策制定者和标准制定机构需要给出明确的市场信号，避免氢氟烃技术产品的积压和倾销。日本于 2015 年生效的《碳氟化合物回收和销毁法》修正案就提供了明确的信号，其中包括要求制造商处理气体以及规制碳氟化合物产品的使用等措施。

次区域优先事项

在次区域最重要的一些措施在整个区域来看可能不是最高优先级别的，但仍然可能使得次区域或特定国家的排放量大幅减少。例如，在孟加拉国，政府已将煮饭确定为空气污染的重要来源，并采取补救措施以遏制排放。

空气重污染事件

针对引起公众高度关注的空气重污染事件，亚太地区的政府越来越多地采取短期干预措施，要么降低污染的严重程度，要么尽可能减少人们在重污染空气中的暴露。

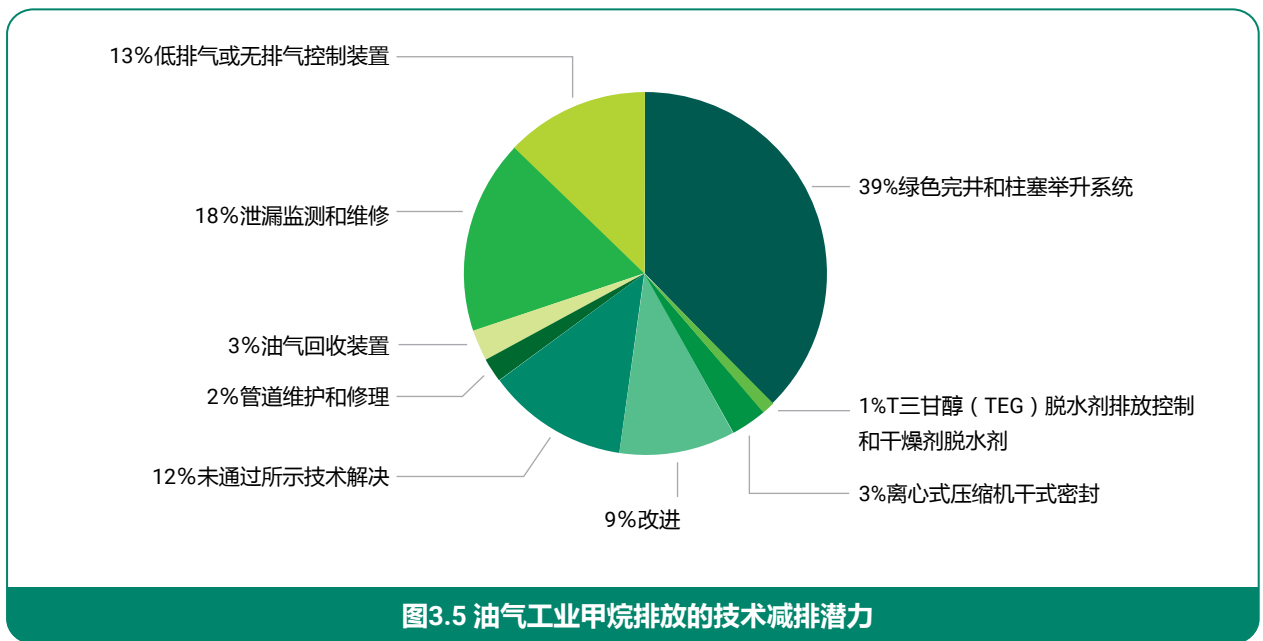


图3.5 油气工业甲烷排放的技术减排潜力

大多数空气重污染过程是由城市上风大片区域的高排放引起的，同时由于风速和大气混合度较低等不利的气象条件而恶化。

造成空气污染的PM_{2.5}、二氧化硫和氮氧化物等会在大气中停留约一周。在此期间，上风向排放源会导致传输区域的污染。因为风速较低是造成重污染过程的典型气象特征，为使短期措施有效，在预测到空气重污染开始前一周，就要开始实施排放控制，行动范围应该最远覆盖到上风向1000公里的污染源。针对天气预报的不确定性，排放控制区也应扩大范围。

目前已有很多办法用于管理和减轻重污染的影响。一些做法是提高对空气污染严重性的认识，建议特别敏感的人群待在室内。这个做法可能需要建立预警系统和公共传播计划。还有一些措施侧重于车辆临时管制和停止施工。2013年，空气重污染问题引起了中国决策者的注意，这其中许多做法是在中国在一系列重污染事件后开始实施的。在东南亚地区，重污染过程常常涉及到跨境排放，使得各国努力加强《东盟跨境灰霾污染协定》的落实。

目前已经有一些成功的短期政策干预的案例，特别是中国依靠强大的政府力量在非常大范围内实现了大幅减排。如果政府的力量较小，那么进行大范围停产的干预措施就不太能获得成功了。

此外，这种破坏性干预措施的经济有效性仍然值得怀疑。相比与反复要求关闭整个生产线、限制人员和货物流动、降低劳动生产率的这些策略，制定长期战略按计划 and 预定方式针对最严重的污染排放活动进行控制会更具有成本效益。

因地制宜实施 25 项清洁空气措施

25项清洁空气措施为政府结合各自国情提供了一系列空气污染控制措施的选择。各国优先事项各不相同，因此没有统一适用的解决方案组合。因此，决策者需要根据自己的国情来定制选择方案组合。此外，措施的选择不应遵循固定的顺序。在进行工业源控制之前，决策者可能希望更加重视农业源；或者他们可能集中控制交通排放，抑

或是向别的石化燃料过渡，例如从柴油转向压缩天然气。尽管措施清单可能因国家而异，但本报告要给出的关键信息之一就是，决策者应该致力于加强政策方案的科学基础支撑（图3.1）。在这个过程中，决策者应该认识到所有25项清洁空气措施都已在亚太地区实施，并取得了一定程度的成功。这些解决方案具备了科学和经验基础。

下一个合乎逻辑的问题是，这些成功经验背后的要素是什么？表3.1总结了各项措施的成功实施案例，并描述了背后的一些重要因素。这表明，成功实践的因素往往包括对空气污染严重程度的认知加强，还有需要再次强调的是，决策建立在健全的科学基础上十分重要。成功因素还揭示了保障政策的重要作用，从监管标准到税收激励，保障措施创造了更好的实施条件。最后，成功经验的经验强调了政府内部和外部的不同利益相关方发挥的关键作用，包括提供保障政策、财政激励措施和其他资源，使得政策得以制定和实施。

下一节将集中讨论各种治理模式和财政安排，这些安排可以帮助实施不同政策组合，并提高25项清洁空气措施的政策合规情况。

治理模式和资金

多利益相关方伙伴关系 有助于推动政策落实 实现清洁空气和其它效益

环境政策一直都存在执行的问题，经常会出现纸上写好的规定但却没法执行落实。不幸的是，亚太大部分地区在大气污染防治方面一直面临着缺乏政策落实的问题，这是污染控制工作推动的重大障碍。本节讨论有助于克服这一障碍，通过治理模式和资金安排来解决及缩小长期以来困扰亚太地区的执行落差。

治理一词是指政府主管部门在追求实现公共诉求的目标时如何行使权力。当我们考虑如何治理才能有助于提高政策的落实，一开始就要考虑的重要因素是相关部门是否有空气污染控制的权利。环境政策的执行可能因不同的法规和治理框架而变得复杂，因此给一个相关政府部门清晰界定空气污染管控的权利，对于成功执行25项清洁

空气措施中的多个措施都至关重要。亚太地区的大多数国家都设立了空气质量管理部或环境管理部门；我们可以看到许多国家的相关部门的人员和预算近年来有所增长。例如，从1998年至2014年，在中国地方环境保护局工作的员工人数翻了一番。这些趋势十分可喜，但许多国家还需继续努力和加强才可以实现本报告中提出的目标。

另一个问题是环境部门是否具有管理排放源的实权。虽然我们可以看到在亚太地区环境部门的地位有所上升，但当其管理目标与其他更强大的部门有相互冲突时，环境部门就可能很难推动工作。跨部门或部门内部的协调至关重要，在空气和气候问题上更是如此。因为更加融合的空气污染和气候变化政策以及政府机构之间的协调可以同时改善空气质量，缓解气候变化并产生一系

列其他效益。可喜的是，有迹象表明各主管部门之间的关系有所改进，彼此之间协调更为顺畅了。这其中有一个例子就是，一些国家将空气污染列入了“联合国气候变化框架公约”（UNFCCC）中的国家自主减排贡献（NDCs）。

其它需要考虑的因素还包括中央政府权力的下放。在过去的二十年中，治理模式已经向多层次或多中心转变，越来越多地，中央政府之外不同利益相关方的权利在加强。这种权力的重新分配反映在城市被赋予了许多新的空气污染治理责任。如果地方政府的管理不够严格或缺乏能力，权力下放或垂直管理模式都可能会出问题。但另一方面，地方政府也可以成为重要的创新来源，这一点在亚太地区的公共交通和城市规划改革中明显可见。在某些情况下，中央政府可以通过财政

表3.1 清洁空气措施的成功要素

亚太地区的常规措施应用		相关经验/案例	成功要素
燃烧排放末端控制	采用先进的末端控制措施，减少电厂和大型工业源的二氧化硫、氮氧化物和颗粒物排放	泰国安装烟气脱硫技术	基于健康影响研究（WHO指南）加强标准，刺激污染控制/清洁技术的投资
工业过程排放标准	在钢铁、水泥、玻璃生产和化工等行业推行严格的排放标准	中国采用的余热回收技术	加严生产、绩效和排放标准，刺激污染控制/清洁技术的投资
机动车排放标准	加严机动车排放标准，特别是轻型和重型柴油车辆的管控	收紧和提升移动源排放标准	环保、交通部门，石油公司和汽车厂商之间的合作
车辆检测和维护（I/M）	实施强制性机动车进行检测和维护制度	东京（日本）柴油控制策略	多部门合作建立的集中检测和维护系统 自费机制，检测中心的定期审计
扬尘控制	减少建设和道路扬尘；增加绿化	孟加拉国（拉杰沙希）植树计划	具有长远眼观的政治领导人和公众的支持

表3.1 清洁空气措施的成功要素（续）

空气污染防治进阶措施（很多亚太地区还未普及）	相关经验/案例	成功要素	
农作物秸秆管理	对农作物秸秆进行管理，严格禁止露天焚烧	泰国的露天焚烧控制	政策制定者和公众对污染源/影响的认识不断提升 在禁烧法规之外，需要农民的参与和其他利用方式的替代，在田地之外利用作物秸秆、将作物残留犁入田地的技术
生活垃圾禁烧	严格禁止露天焚烧生活垃圾	韩国的废物管理措施	对工程填埋和焚烧制定法规；与非官方部门合作进行回收
预防森林与泥炭地火灾	加强对森林、土地和水资源的管理和防火措施，预防森林与泥炭地火灾	印度尼西亚与马来西亚/新加坡的合作	《东盟跨境灰霾污染协定》
畜禽粪便管理	对粪便存储进行覆盖处理，高效施肥；鼓励厌氧消化处理	中国的农业政策	覆盖堆肥，粪肥入土的法规、政策和项目组合
氮肥施用管理	提高氮肥使用效率；在施用时添加脲酶抑制剂，或使用硝酸铵	孟加拉国使用超级颗粒尿素	转向使用改良硝酸铵肥料 氮肥有效利用的成本效益分析 清楚呈现改造的好处
砖窑管理	提升砖窑生产效率，执行排放标准	加德满都（尼泊尔）从沟窑变成锯齿型设计砖窑	与窑炉所有者和技术专家合作进行窑炉重新设计
国际航运排放控制	要求使用低硫燃料，控制颗粒物排放	香港港口排放法规	国际海事组织的支持
溶剂使用和炼油厂管控	在工业和家庭涂装中均采用溶剂含量低的涂料；进行泄漏检测；进行油气回收或焚烧	中国的挥发性有机化合物控制政策	公众越来越担心颗粒物污染 综合减排目标

表3.1 清洁空气措施的成功要素（续）

有助于实现发展目标，同时又能改善空气质量的措施		相关经验/案例	成功要素
清洁炉灶和采暖	在城市推广使用电、天然气、液化石油气；在农村推广液化石油气、先进的生物质炉具和采暖设施；用成型燃料替代煤炭	中国和印度的烹饪和取暖相关项目	政策制定者越来越意识到烹饪对健康的影响 从以前的项目设计中吸取的教训
可再生能源发电	采取激励措施扩大风能、太阳能、水力发电在用能中的比例，淘汰低能效的电厂	中国、印度、印度尼西亚、日本、泰国和菲律宾的可再生能源项目 首尔（韩国）“少一个核电站”项目	包括可再生能源发电在能源和气候政策中的应用 从化石燃料和核能转向可再生能源的公众压力
提高居民能效	采取激励措施提高居民户能效，包括建筑、照明、供暖和制冷等方面；鼓励屋顶加装太阳能设施	印度的家庭能源项目 澳大利亚的屋顶太阳能奖励	创建能源效率局
工业能效标准	实施较高的工业能效标准	中国的五年发展计划	在五年计划中纳入能效目标
电动车	推广使用电动车	蒙古向电动汽车和混合动力汽车倾向的消费税	支持和推广电动车使用的政策
提升公共交通	鼓励出行方式的改变，从私家车出行转向公共交通出行	日本（富山）紧凑型城市规划	与紧凑型城市规划融合
固废管理	鼓励垃圾分类，进行集中收运和处理，包括热解气化利用等措施	太平洋岛屿和小岛屿发展中国家的废物管理	区域废物管理政策和策略
水稻田	鼓励对持续性淹水稻田进行间歇曝气	越南的农业实践	形成灌溉和排水的传统和政策

表3.1 清洁空气措施的成功要素（续）

有助于实现发展目标，同时又能改善空气质量的措施		相关经验/案例	成功要素
废水处理	对废水进行二级处理，回收废水处理产生的沼气	日本处理技术	推广分散式污水处理设施
煤炭开采	鼓励在开采前回收煤矿瓦斯	中国的甲烷回收项目	使用现有的经济激励措施、税收激励措施、明确的天然气产权
油气生产	鼓励回收伴生气；停止常规的放空燃烧处理手段；加强油气泄漏控制	印度火炬气回收系统	无补贴的自由气市场 宣教 集体合作行动
氢氟烃（HFC）制冷剂替代	确保完全遵守基加利修正案	印度尼西亚的氢氟烃减排政策	政府要求转向低全球升温潜能值的制冷剂 清楚地呈现技术变革带来的成本节约

转移政策来提供资源和款项，鼓励创新，帮助地方政府为空气污染提供新的解决方案。

在一些国家，例如一些太平洋岛国，传统领袖对社区行为的影响可能大于政府当局。在斐济，赋予传统领袖执行某些指令的权力会比政府发号施令更为有效，例如禁止焚烧生活垃圾、农业残留废弃物、或林地。

可靠、准确和及时的监测数据尽管不算是治理体系本身的正式组成部分，但对于改善治理也至关重要。大多数空气质量监测站会监测 PM₁₀、PM_{2.5} 和总悬浮颗粒物（TSP）。在发达国家和发展中国家的首都城市，监测网络覆盖范围通常更为广泛。日本、韩国、新加坡和泰国的大多数大城市都遵守严格的监测规程，但许多其他城市则面临设备、监测和选址、以及质量保障/质量控制（QA/QC）各方面的不足。

民间社会也是日益重要的环境政策和监测支持力量来源。亚太各国正在建立体制渠道，允许民间社会组织和公众表达对污染的关注。公众和

民间社会组织也可以通过向主管部门报告超标情况，在空气污染监测方面发挥重要作用。监测设备的成本日益下降，这也可能使公民能够自己获得政策相关的数据。

政策落实不足背后的主要原因之一是缺乏污染防治的财政资源。大多数亚洲国家将环境管理的财政资源作为国家年度财政拨款的一部分。获取更多资金的一个方式是确保城市发展规划优先考虑空气污染控制措施，这样的话，在地方层面也可以为政策执行和落实配套资金。公私伙伴关系有助于为更清洁的基础设施提供支持。政府还可以设立专项资金，为空气污染控制项目提供资金。菲律宾设立了车辆污染控制专项基金，作为支持交通行业减排行动的种子基金—这些资金全部来自车主支付的费用。

私营部门，特别是金融机构，可以投资支持空气污染物的减排行动，作为政府力量的补充。25项清洁空气措施中的一些措施符合国家发展重点，可以从国家年度财政拨款中获得支持。同时，如果有利好的环境，私营部门和企业也可以为清

洁技术提供资金支持。目前，还有许多创新工具可用于资助绿色项目（专栏 3.1）。特别是绿色债券可能是一个主要的资金来源，据估计，2018 年绿色债券将增加到 1000 亿美元。商业银行可能被要求，贷给绿色项目要占其投资组合的一定比例。斐济成功实施这一策略，甚至超额完成目标。在亚太地区开展业务的开发银行也可能采用这些金融工具，帮助扫清 25 项清洁空气措施中的一些融资障碍，例如高昂的初期成本投入问题。同样，开发银行可能会考虑将其战略与一些措施保持一致。最后，同样重要的是，我们可能有越来越多的机会利用绿色气候基金等气候融资机制来帮助亚太地区开展减少温室气体排放和空气污染防治的工作。

国家层面的最后一类政策参与者是工商业。工业行业可能会支持空气污染法规设计和实施方面的改变，也可能会阻碍改变。如果涉及到监管机构要改变工商业的污染密集型的发展模式，那么情况更是如此。然而，企业正逐步认识到，首先关注环境和投资新能源和清洁生产技术会有先发优势。上市公司尤其如此，他们担心媒体对环境污染的负面报道会引起投资者和客户的不良反应。当政府和公众推动上市公司和金融市场朝着同一方向前进，就更容易实现工业排放绩效的改进。在这种情况下，行业有清洁化的动力，特别是对于那些瞄准全球市场或新兴市场的先行者，同时又有经济实力的企业来说。

随着政府部门内部和外部力量的共同努力，由政府部门决定应该做些什么的情况变得越来越少，更多的会是基于合作伙伴关系产生各方都认可的解决方案。这样的伙伴关系模式不仅限于国家或地方政府；相反，空气污染也在区域和国际

层面受到关注。一部分原因是人们认识到了空气污染与气候变化之间的联系；还有一部分是因为国际和区域合作网络和倡议越来越多，可以提供行动所需的知识和信息 — 可以通过技术援助和精心设计的能力建设活动来实现。亚洲清洁空气中心（CAA）和倡导地区可持续发展国际理事会（ICLEI）等城市网络特别适合在国家与城市之间转移知识，部分原因是它们会比官方对公的安排更灵活。

亚太地区已有几个空气污染和环境合作网络，这些网络有助于分享科学认知，加强监测，并在一些情况下可促进共同行动。其中包括亚太清洁空气伙伴关系（APCAP），APCAP 与全球网络气候与清洁空气联盟（CCAC）共同资助了本报告的编制，还基于更好的科学认知来推进以行动为导向的治理方略，以及针对特定行业或跨行业部门的一系列举措。APCAP 和 CCAC 都是可以为本报告未来可能产生的能力建设需求和行动提供支持的潜在机构。这样做也可以帮助实现联合国环境大会（UNEA）决议条款为本报告赋予的使命。最后，但同样重要的是，APCAP 和 CCAC 可以支持各国实施这些解决方案并协助实现若干可持续发展目标，包括：目标 3：让不同年龄段的所有的人过上健康的生活，提高他们的福祉；目标 11：建设包容、安全、有抵御灾害能力的可持续城市和人类社区；目标 13：采取紧急行动应对气候变化及其影响。还有那些间接的目标，例如目标 5：实现性别平等，保障所有妇女和女孩的权利。在此过程中，帮助亚太地区带来更清洁的空气，并解决世界上最严峻的公共健康危机之一。

专栏 3.1：热带景观融资机制 - 利用公共财政支持绿色增长

根据可持续发展目标和巴黎气候协议，印尼政府与联合国环境署、国际农林业研究中心（ICRAF）、法国巴黎银行和ADM资本于2016年10月正式启动热带景观融资机制（TLFF）。TLFF作为第一个大规模的私营部门景观融资机制，旨在汇集财政资源，支持可持续农业和土地管理、可再生能源和整体农村生计。TLFF通过其贷款和拨款，为相关项目提供资金筹措渠道。TLFF贷款基金为满足“零毁林标准”以及符合环境、社会和治理标准的项目提供至少10年的长期贷款。TLFF拨款基金的重点是建设农民和农村社区的能力，实现土地复垦，以及在农村地区供给可再生能源。





过去十年，亚太地区采取的政策行动导致部分污染物的排放趋势与经济增长明显脱钩，尤其是二氧化硫和氮氧化物，这证实了一条全世界适用的经验——污染控制不会妨碍经济发展。假设没有实施这些政策，预计到 2030 年，随着亚太地区经济比 2015 年增长 80%，人口加权 $PM_{2.5}$ （对健康有害的颗粒物）的暴露水平将上升约 50%。因此，尽管当前政策在空气质量和健康效益方面发挥了显著作用，但仍需要采取进一步行动改善空气质量，以减少生成 $PM_{2.5}$ 和近地面臭氧的污染物排放，其中近地面臭氧也会对人体健康造成损害，还会破坏粮食作物。

采用最有效的 25 项清洁空气措施（表 A）将使 $PM_{2.5}$ 和近地面臭氧污染的人口暴露在 2030 年减少 60%，后续还将持续发挥作用。预计到 2030 年，亚洲的年 GDP 将高达 12 万亿美元，实施 25 项清洁空气措施的成本仅仅约占 GDP 增长量的 5%。

实施 25 项清洁空气措施将大幅度改善人类健康效益和社会福祉。最重要的是，10 亿人（占亚太地区人口的 22%）将享受符合 WHO 指导值水平的空气，而 2015 年这个比例仅为 8%。另一方面，暴露在 WHO 过渡阶段最高浓度目标值以上污染水平的人口将下降 80%，降至 4.3 亿人，仅为该地区人口的 10%。此外，与室内空气污染相关的年过早死亡人口可能下降 75%，避免约 200 万人的过早死亡。

实施 25 项清洁空气措施对粮食生产的影响同样令人鼓舞，将降低 45% 因臭氧污染导致的玉米、大米、大豆和小麦的减产。

此外，实施 25 项清洁空气措施将有助于减缓气候变化。相对于基线情景预测，在 2030 年可将二氧化碳排放量减少 20%，并可能在 2050 年之前将预测的全球升温效应降低 1/3 摄氏度。这将极大有助于实现《巴黎协定》中对本世纪的全球气温升高幅度控制在 2°C 以内的目标。

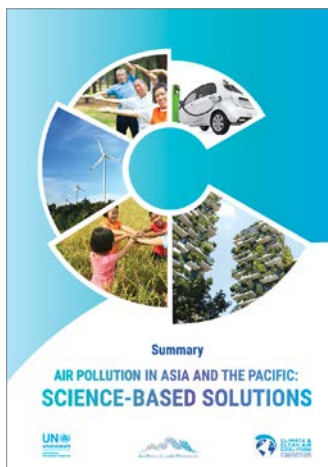
持续的经济增长可以使数千万人摆脱贫困，但提高健康水平和改善全社会福祉仍然至关重要。但是，仅靠增长难以促成污染控制措施的成功制定和有效实施。这更需要政府、企业和民间社会共同采取行动。

25 项清洁空气措施中的每一项都有实现空气质量改善的潜力，不仅是在整个亚太地区，对特定国家而言更是如此——因为各国社会、经济、技术和地理条件有所不同。尽管这 25 项清洁空气措施是一揽子措施组合，但也不适合在整个地区统一化执行。各个次区域和国家的多样性意味着各国各地需要根据各自情况，调整优先次序和实施措施。

缩写

APCAP	亚太清洁空气伙伴关系	PM ₁₀	空气动力学直径等于或小于10微米(μm)的颗粒物
ASEAN	东南亚国家联盟	ppm	百万分之一(10的6次方)
BC	黑碳	SDG	可持续发展目标
BEE	能源效率局(印度)	SEI	斯德哥尔摩环境研究所
°C	摄氏度	SLCP	短寿命气候污染物, 即黑碳, 甲烷, 对流层臭氧和氢氟碳化合物
CAA	亚洲清洁空气中心(旧称亚洲城市清洁空气行动组织)	SO ₂	二氧化硫
CCAC	气候与清洁空气联盟(联合国环境署)	TEG	三甘醇
CFC	氯氟烃	TLFF	热带景观融资机制(印度尼西亚)
CH ₄	甲烷	TWh	太瓦时
CNG	压缩天然气	UNEP	联合国环境署
CO	一氧化碳	UNEA	联合国环境大会
CO ₂	二氧化碳	UNFCCC	联合国气候变化框架公约
DECA _s	国内排放控制区(中国)	VOC	挥发性有机物
GAINS	应用温室气体与大气污染物协同模型	WHO	世界卫生组织
GDP	国内生产总值	μm	微米
GIZ	德国国际合作机构	μg/m ³	微克/立方米
GWP	全球升温潜能值		
HCFC	氢氯氟烃		
HFC	氢氟烃		
ICLEI	倡导地区可持续发展国际理事会		
ICRAF	国际农林业研究中心		
IEA	国际能源署		
IGES	全球环境战略研究所		
IIASA	国际应用系统分析研究所		
LPG	液化石油气		
NDC	国家自主减排贡献		
NH ₃	氨		
NISP	国家炉灶改良项目(中国)		
NO _x	氮氧化物(一氧化氮与二氧化氮)		
NRDC	自然资源保护协会(美国)		
O ₃	臭氧		
OC	有机碳		
PM _{2.5}	空气动力学直径等于或小于2.5微米(μm)的颗粒物		

《亚洲及太平洋空气污染：基于科学的解决方案》系列报告包括:



摘要报告



主报告



25项清洁空气措施手册

下载链接: <http://www.ccacoalition.org/solutions>

