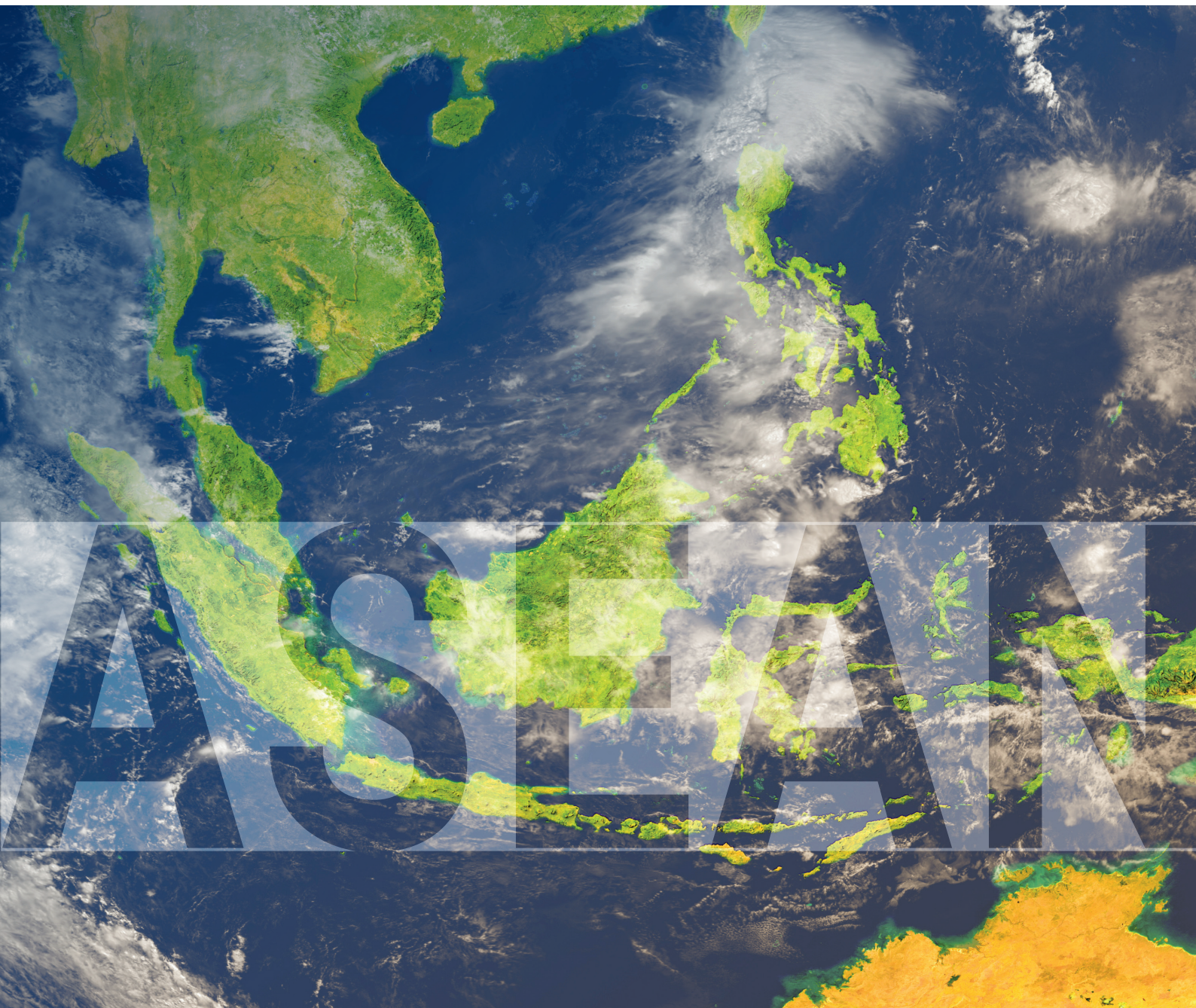


# 清洁空气和气候解决方案东南亚



© 2025 联合国环境规划署

ISBN: 978-92-807-4213-8

职位编号：DTI/2695/NA

DOI：

本出版物可经版权持有人特别许可全部或部分以任何形式用于教育或非营利性服务。在使用本出版物作为参考资料时，应注明出处。联合国环境规划署将感谢收到任何以本出版物为参考资料出版的出版物副本。

本出版物不得用于转售或任何其他商业目的，除非事先获得联合国环境规划署的书面许可。申请此类许可，需附上复制的目的和范围说明，请寄至 [unep-communication-director@un.org](mailto:unep-communication-director@un.org)。

## 免责声明

本出版物中所使用的名称和资料表述并不表示联合国秘书处对任何国家、地区、城市或其当局的法律地位、边界或界限有任何意见。

在本文件中提及的商界公司或产品并不意味着联合国环境规划署或作者对其予以认可。不得利用本文件中的信息进行宣传或广告。商标名称和符号仅以编辑目的使用，无任何侵犯商标或版权法的意图。

本出版物所载内容及观点均为作者个人观点，并不代表联合国环境规划署的观点。对于可能无意中产生的任何错误或遗漏，我们表示遗憾。

版权所有，具体指定地图、照片和插图

## 建议引用

联合国环境规划署（2025年）。东盟的清洁空气和气候解决方案。内罗毕。

生产

联合国环境规划署（UNEP）发起的气候和清洁空气联盟（CCAC）。

封面照片

Shutterstock

# 致谢

联合国环境规划署 ( UNEP ) 谨向作者、审稿人和秘书处对本次评估报告的准备工作所做出的贡献表示衷心感谢。作者和审稿人以其个人能力对报告做出了贡献。提及他们的隶属关系仅用于识别目的。

## 作者

第一章 - Zbigniew Klimont ( IIASA ) , Gregor Kiesewetter ( IIASA ) , Wolfgang Schöpp ( IIASA ) , Adriana Gómez-Sanabria ( IIASA ) , Peter Rafaj ( IIASA ) , Pallav Purohit ( IIASA ) , Jens Borken-Kleefeld ( IIASA ) , Fabian Wagner ( IIASA ) , Chris Heyes ( IIASA ) , Lena Höglund-Isaksson ( IIASA ) , Binh Nguyen ( IIASA ) , Robert Sander ( IIASA ) , Laura Warnecke ( IIASA )

第二章 - Eric Zusman (IGES/NIES), Kaoru Akahoshi (IGES), Johan Kuylensstierna (SEI), Kevin Hicks (SEI), Matthew Hengesbaugh (IGES), Premakumara Jagath Dickella Gamaralalage (IGES), Chris Malley (SEI), Ueno Ittipol (PCD)

第三章 - Johan Kuylensstierna (SEI), Eric Zusman (IGES/NIES), Kaoru Akahoshi (IGES), Jaee Nikam (SEI), Diane Archer (SEI), Chris Malley (SEI)

## 主编管理

Nathan Borgford-Parnell (CCAC), Scarlett Quinn-Savory (CCAC)

## 平面设计及布局

凯瑟琳·穆格丽奇

# 目录表

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 前言                                          | iv |
| 执行摘要                                        | v  |
| 为东盟地区带来清新空气、更佳健康、稳定气候及其他益处                  | 1  |
| 1.1 目标与方法                                   | 2  |
| 1.2 自解决方案报告以来的更新方法与数据                       | 11 |
| 1.3 确定2015年和2030年的基准                        | 11 |
| 1.4 为东盟识别清洁空气解决方案                           | 11 |
| 1.5 研究发现摘要                                  | 7  |
| 实施东南亚解决方案                                   | 18 |
| 2.1 引言                                      | 18 |
| 2.2 在东盟实施解决方案——选项、挑战及前进之路                   | 19 |
| 2.2.1 能源                                    | 19 |
| 2.2.2 行业                                    | 22 |
| 2.2.3 运输                                    | 23 |
| 2.2.4 海运航运                                  | 24 |
| 2.2.5 控制F气体                                 | 26 |
| 2.2.6 住宅能源                                  | 26 |
| 2.2.7 农业燃烧                                  | 27 |
| 2.2.8 垃圾管理和垃圾焚烧                             | 28 |
| 2.2.9 饮食结构的变化                               | 29 |
| 2.2.10 从畜牧业和肥料中减少氨排放                        | 30 |
| 2.3 在规模上实施解决方案：融资与治理                        | 31 |
| 2.3.1 融资                                    | 31 |
| 2.3.2 治理                                    | 32 |
| 区域合作应对空气污染和气候变化综合解决方案                       | 34 |
| 3.1 引言                                      | 34 |
| 3.2 需要开展综合空气污染和气候变化规划方面的合作。                 | 34 |
| 3.3 总结三个关键需求                                | 34 |
| 3.4 几项现有的倡议可以帮助解决这些需求                       | 35 |
| 3.5 东南亚国家联盟成员国和东盟秘书处的角色                     | 36 |
| 3.6 结论                                      | 40 |
| 参考文献                                        | 41 |
| 附件                                          | 47 |
| 附件1：2019年解决方案报告与本报告之间在数据与建模规范方面的差异          | 47 |
| 附件2：关键措施对降低人口加权PM浓度贡献                       | 50 |
| 2030 - 国家结果附录3：地方和跨界减缓的贡献；关键措施下的潜力 – 国家结果53 | 55 |
| 附录4：不同PM水平下人口暴露比例                           | 55 |
| 附件5：缓解政策对关键物种排放的影响                          | 57 |

# 前言

作为东南亚国家联盟（东盟）气候变化工作组（AWGCC）的成员，我非常高兴为这份及时的报告撰写前言。这份报告是菲律宾政府向气候与清洁空气联盟（CCAC）提出的建议的结果，该建议旨在进行基于科学的评估，以确定东南亚的空气污染和气候变化解决方案。菲律宾提案的目的是编制一份报告，作为2019年发布的亚洲范围评估报告《亚洲及太平洋地区空气污染：基于科学的解决方案》（亚洲解决方案报告）的补充。然而，我们设想这份报告将提供一个关键的次区域视角，并深入探讨东南亚空气污染和气候变化的解决方案。随着本出版物的发布，我很高兴地说，这份报告超出了我们的预期。

该报告的信息初看令人信服，但同时也令人鼓舞。它表明，有15种解决方案可以将洁净空气带给东盟地区的超过1亿人。与此同时，这些解决方案的好处不仅限于改善空气质量和健康，而且由于短期内存在的气候污染物（SLCPs）和一些温室气体（GHGs）的减少，还将带来气候协同效益。同样鼓舞人心的是，东南亚国家在实施这15种解决方案中的许多方面已看到一些成功的迹象。此外，该地区的各国愿意采用促进性改革，如加强多层次治理和创新融资安排，以推广这一成功经验。最后，一支由积极倡导东盟国家的联盟可以与东盟秘书处、CCAC等合作。

并与其他发展伙伴合作，支持能力建设和机构强化，以在区域内推广这15项解决方案。

作为一个在气候和其他发展问题上拥有丰富经验的政策制定者，我深知一份报告的价值仅仅在于其在实地执行的行动。确实，下一步将由东盟成员国提出报告的建议，并将它们转化为其国家政策和实践中的实质性变革。在菲律宾，我看到为使报告的建议得以实施所提供的有利环境。我们也在东盟的其他许多伙伴国家中看到了类似的机会。正是基于这种信念，我期待着报告建议在东盟范围内得到广泛采用，以实现更清澈的天空、更稳定的气候和更健康的未来。



玛丽亚·安东尼亚·尤洛·洛伊斯加  
菲律宾环境与自然资源部秘书长

# 执行摘要

**本**报告的主要目标是满足东南亚国家联盟（东盟）地区政策制定者和其他利益相关者对清洁空气解决方案日益增长的需求。为此，报告确定了一套15项优先措施，这将使东盟国家呼吸“清洁空气”的人数增加超过三倍——从2015年的约8000万人增加到2030年的超过2.5亿人。这些解决方案还有潜力降低人口加权颗粒物平均浓度。

<sup>2.5</sup>

在许多国家的市场份额提高了50%至70%以上，使该地区许多国家能够提高对2021年世界卫生组织空气质量指南的遵守程度，几乎所有国家到2030年都能符合世界卫生组织临时目标1。实施这15项解决方案还将由于减少短期气候污染物（SLCPs）而带来重要的气候协同效益，包括黑炭（-70%）、甲烷（-39%）、氢氟碳化物（-75%）、臭氧以及一氧化碳（-25%）。

<sup>2</sup>

百分比；所有减少量均指2030年及以后

与常规业务基准相比。重要的是，几乎40%（在国家层面上为20-60%）的潜在能力可以通过实施现有法律来实现。这一发现强调了继续加强现有空气污染、能源、气候和其他部门政策实施的重要性。

东南亚的政策制定者对解决空气污染和气候变化的解决方案需求日益增长。在2019年，继一个区域会议分享了一份题为《评估报告》的关键结果之后，*亚洲及太平洋地区的空气污染：基于科学的解决方案（亚洲解决方案报告）* 菲律宾政府请求气候与清洁空气联盟（CCAC）开发一个项目，以确定东南亚的空气污染和气候变化解决方案。最近发布的 *东盟气候变化报告现状* 也强调了在应对气候变化的同时，各地区对控制空气污染的强烈兴趣。

## 机会

- 15种解决方案可以减少人口平均浓度。  
加权PM

<sup>2.5</sup>

到2030年，东盟地区空气质量改善50%至70%，使该地区国家超过三分之一的人口符合2021年世界卫生组织空气质量指南（对于约70%，即约5亿人符合2005年世界卫生组织指南）。这也意味着大多数人口将居住在既符合国家立法又符合世界卫生组织临时目标1的地区。

15种解决方案在多个行业领域具有显著的缓解潜力，并且在实施这些选项方面有相当的经验。约40%（在国家层面上为20-60%）的识别潜力与现有环境立法相关。这突出了加强实施与空气质量、能源效率和气候政策相关的现有立法能力的重要性。

- 实施这15项解决方案将因减少短寿命气候污染物（SLCPs）而带来重要的气候协同效益。黑碳排放将减少约70%，甲烷排放将近减少40%，氢氟烃（HFCs）的排放可能下降25%。  
75%，以及CO

<sup>2</sup>

根据到2030年的计算，在从固定冷却技术过渡到低全球变暖潜力（GWP）替代品以符合《蒙特利尔议定书》的基加利修正案的过程中，存在进一步降低电能消耗的机会——这可能会达到该区域2030年总电能消耗的6-9%，从而转化为显著的CO减排。

<sup>2</sup>

如果优先考虑化石燃料发电能力的减少，则可进一步降低并带来更佳空气质量效益。

## 为何行动

- 今日，超过85%的东盟人口面临超过2021年世界卫生组织PM空气质量指南的空气污染水平。

<sup>2.5</sup>

（ $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）<sup>3</sup>），以及15%达到世界卫生组织临时目标1水平以上（ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。<sup>3</sup>（—水平高于东盟大多数国家立法（世界卫生组织[WHO] 2021）。目前在整个东盟地区观察到并被模型化PM浓度

<sup>2.5</sup>

常常显著高于世界卫生组织临时目标1；2015年，估计有1亿人暴露在高于这一目标的污染水平之下。

- 继续沿着当前的发展路径将会危及到2030年东盟大部分人口的身心健康。这还可能损害到实现关键可持续发展目标（SDGs），包括粮食安全、水质、性别赋权和教育。东盟的大部分人口将 *not* 在未来十年内，空气质量预计将得到改善，因为预期的经济增长水平和不断增长的城镇化将抵消更强能源效率、清洁烹饪以及空气污染政策带来的收益。

- 空气质量以及由此对公共健康和气候变化带来的威胁，到2030年可能在东盟地区恶化。暴露于世界卫生组织临时目标1以上水平的人数可能增长至近1.7亿，约占2030年人口的四分之一。考虑到...

...

国家颗粒物（PM）空气质量标准

<sup>2.5</sup>

在12至 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间<sup>3</sup>。在许多国家，20%至60%的人口将面临更高的污染水平，而不足12%的人能享受到2021年世界卫生组织空气质量指南中定义的“清洁空气”（WHO 2021）。

## 如何做到

- 大部分颗粒物（PM）暴露的减少将来自于针对“常见嫌疑”来源（如交通、电力和工业）的措施。尽管这些措施已被广泛认可，但更严格的实施是至关重要的，因为这些来源几乎代表了减少PM暴露总潜力的三分之二。

- 部门和来源通常不在空气污染监管范围之内，具有未被开发的潜力，并能带来最广泛的可持续发展利益。这包括关键的减少固体燃料烹饪（主要是生物质）排放、废物管理和农业排放的措施。与之前的泛亚洲评估相比，这些措施在东南亚的重要性增加最多。这些包括促进转型性变革以改善氮素利用效率、实现较低的肉类蛋白饮食的措施，这有助于重要的氨和甲烷减排。最后，解决森林火灾管理的政策可以改善国内外空气质量。

- 东盟地区通过加强区域合作以及促进实施15项具体解决方案和综合空气污染及气候变化规划的政策协调一致，可以获得显著收益。菲律宾、泰国、柬埔寨、越南和印度尼西亚等国家已采取了一些积极的步骤来加强这种合作。此外，区域合作有助于深化和扩大在其他知识及行动有限的国家中的这些努力。

- 数个组织、倡议和网络正在支持有助于东盟地区合作的努力。东盟作为东盟烟雾协定秘书处，该协定可能有助于分享良好实践、实施政策和与可持续土地利用及防火有关规划工具。其他有助于将报告建议纳入主流的显著例子包括亚洲太平洋清洁空气伙伴关系。

(APCAP), 东亚酸沉降网络 (EANET), 基于问题的气候变化和空气污染问题联盟 (IBC), 清洁亚洲空气, 以及亚洲协同效益伙伴关系 (AC P)。亚洲开发银行 (ADB) 启动了一项名为“亚洲清洁蓝天计划” (ACBSP) 的新倡议, 该计划可能有助于加强空气污染规划并投资于15种解决方案。这些组织可以与国家政府、发展伙伴、私营部门和非政府组织共同努力, 使空气污染和气候规划的综合方法在东盟成为常见做法。

- 东盟秘书处的环境处和气候变化工作组可以帮助支持这一协调和一体化。上述许多努力都是国家之间自愿的协作安排; 然而, 它们主要关注信息共享和能力建设。没有一个像东盟一样拥有相同的召集力和制度地位, 来支持综合气候变化和空气污染规划的政策协调和一体化。

- 东盟秘书处将需要主要东盟国家的强力支持, 以推广和传播推荐的解决方案。如果这个主要国家联盟得以形成, 它可能会包括菲律宾、泰国和柬埔寨——并可能在近期扩展到越南和印度尼西亚。

- 菲律宾、泰国和柬埔寨被选为冠军国家的首批成员, 因为它们在整合国家级空气污染和气候规划方面表现出了浓厚的兴趣。它们还参与了培训和联合设计流程, 这些流程可以支持整合并作为其他国家效仿的榜样。越南和印度尼西亚被选中, 因为它们在能源模型方面积累了经验, 这些经验可以支持综合空气污染和气候规划。这种兴趣和经验使它们成为提供领导力、指导和推动整合空气污染、气候和其他发展优先事项的理想人选。

- 在东盟区域内加强政策合作，以推动15项解决方案的努力，可以解决在项目访谈中确定的三大需求：1) 综合空气污染和气候规划；2) 示范项目；3) 资金动员。在规划方面，为各国提供实施优先解决方案的工具和知识，以及整合空气污染、气候变化（包括国家自主贡献[NDCs]）和其他相关行业政策和战略，将至关重要。例如，低排放分析平台——综合效益计算器（LEAP-IBC）等规划工具在帮助各国拥有其政策和管理策略提升工作方面有着稳固的记录。在示范项目和资金方面，15项解决方案实施的具体例子将至关重要。这可能会得到亚洲开发银行（ADB）、世界银行或日本国际协力机构（JICA）等金融机构的支持。他们也可能从目前EANET下讨论的新项目融资机制中获得支持。

- 而这份报告大部分内容都聚焦于东盟，其他机构和计划可以在推进这项工作目标中发挥关键作用。CCAC可能是最适合迅速采取行动并在召集和展示支持国家联盟方面发挥领导作用的组织。CCAC可以继续建设能力和热情来实施15项解决方案，进行综合空气质量与气候规划，并强调政策和示范项目之间的联系。它可能始于建立泰国污染控制部门对协调湄公河次区域行动表达的浓厚兴趣。通过建立对增加行动和协调的需求，这将进而导致为和与东盟及其各国开发的协调项目的发展。

# 1

## 为东盟地区带来清新空气、更佳健康、稳定气候及其他益处

新环境问题对居住在东南亚国家联盟（东盟）地区的6.6亿人的健康和福祉构成的威胁大于空气污染。空气污染不仅导致一系列健康问题，而且控制空气污染的努力有助于实现多个可持续发展目标（SDGs），包括缓解气候变化（Haines等人，2017年）。对这些益处的日益认识促使东盟地区的政策制定者表达了对解决空气污染的兴趣。许多这些解决方案也将为近中期气候变化和其他发展重点带来协同效益。

基于解决方案（以下简称“解决方案报告”）该研究确定了25项措施，这些措施可以帮助亚洲10亿人享受到低于2005年世界卫生组织环境颗粒物空气质量指南（低于 $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的空气质量。<sup>3</sup> PM到2030年。

<sup>2.5</sup> 相同的措施可以将二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放量减少近20%。

<sup>2</sup> 相对于2050年的基线预测，百分比增长了（联合国环境规划署[UNEP] 2019年）。区域性部长级对话关于清洁空气、健康和气候进一步指出，有必要审查支持政策和制度改革，这些改革能促使在东盟国家以及次区域层面采纳和扩大那些措施。类似的信息可以在最近发布的《东盟气候变化国家报告》中找到，该报告强调了控制空气污染和追求协同效益的重要性（东南亚国家联盟[ASEAN] 2021年）。

这些解决方案在2019年受到了广泛关注，当时菲律宾在马尼拉举办了东盟区域部长级对话会议，主题为清洁空气、健康和气候。会议回顾了题为《》的高知名度报告结果。《亚洲和太平洋地区的空气污染：科学

## 1.1 目标和方法

本报告的主要目标是满足东盟地区政策制定者和其他利益相关者对清洁空气解决方案日益增长的需求。为此，报告识别了一系列 15 项优先措施将使东盟国家呼吸“清洁空气”的人数增加超过三倍——从约 8000 万增加到超过 2.5 亿。报告还对实施这些措施的经验进行了回顾，并介绍了可能促使它们在东盟地区扩散的治理和财务安排。最后，报告概述了一系列政策制定者和发展社区代表的关键信息访谈建议，这些建议可以帮助加强区域合作，针对 15 个优先解决方案以及东盟更广泛的空气污染和气候规划。

所采用来识别优先措施的方法与在亚洲范围内采用的方法相似。解决方案报告 (联合国环境规划署 2019 年) 经过少量修改。解决方案报告 确定了亚洲及太平洋地区的 25 项措施三个群体；它

进一步报告了对四个国家群体潜在暴露度降低的情况

细颗粒物 (PM)

<sup>2.5</sup>

在亚洲，即东亚、南亚、东南亚和收入较高的国家。虽然在此分辨率下的信息对整个地区都有用，但仍需进一步工作以确定这些措施中哪些具有在次区域和国家层面产生多重效益的最大潜力。

本章采用的三步法遵循与以下相同的准则：解决方案报告 主要地 第二章：情景与解决方案 (Amann et al. 2019)，但聚焦于次区域和国家层面。这个三步过程包括以下内容：(i) 分析历史趋势和决定未来发展的因素；(ii) 评估进一步减少的范围；(iii) 评估每一项措施/在以下方面的影响：解决方案：针对人口对 PM<sub>2.5</sub> 的暴露

<sup>2.5</sup>

地区层面 (东盟及国家层面)。本分析采用了国际应用系统分析研究所 (IIASA) 开发的温室气体-大气污染相互作用与协同效应 (GAINS) 模型 (Amann 等人, 2011 年) 进行分析，请参见框 1。

### 盒 1：GAINS 模型

GAINS (温室气体-空气污染相互作用与协同效应) 模型探讨了符合空气质量影响 (对人体健康和生态系统) 和温室气体环境目标的成本效益多污染物排放控制策略。GAINS 汇集了关于经济发展、排放源的结构、控制潜力和成本、污染物在大气中的形成和扩散以及污染环境影响评估的数据 (<http://gains.iiasa.ac.at>)。

在此研究中，GAINS 依赖于国际能源署 (IEA) 2018 年《世界能源展望》中的经济活动和能源使用预测，以及联合国粮食及农业组织 (FAO) 的农业预测。排放量估算使用经过同行评审的 GAINS 排放因子数据库，该数据库汇集了国家和国际数据，针对源头和技术特定的测量；代表了 1000 多项控制排放的措施。缓解选项的分析还包括能源效率、氮肥利用效率、饮食变化以及所有关键的空气污染物 (SO, NO, PM)。

<sup>2x</sup>

[包括 BC 和 OC), NMVOC, NH) 和温室气体 (CO, CH, NO, F 气体) 的估算值。

<sup>3 242</sup>

该模型针对每个情景计算大气扩散和次生污染物的形成，包括对报告中分析的每个主要解决方案的具体响应。这使得可以对每个措施/解决方案的应用进行浓度变化分析。

PM 的量化

<sup>2.5</sup>

规模。作为衡量人群接触颗粒物 (PM) 的指标，年度平均人口加权平均暴露于整个人群累积的 Ambient PM。

<sup>2.5</sup>

1.2 自解决方案报告以来更新了方法和数据

除了次区域和国家层面的关注，还提供了关于历史统计数据和环境政策实施状况的新数据（参见第3.2节）。此外，还发布了关于排放因子测量的新结果以及活动的新预测。GAINS模型在方法论方面也有一些进展，这有助于更准确地表示排放（就源强度、空间分布和减缓潜力而言）以及计算颗粒物（PM）浓度。更详细的审查可以在附件1中找到。

1.3 设置2015年和2030年的基准

报告建模结果核心理念涉及使用GAINS模型计算2015年和2030年的PM环境浓度，以及...  
评估对环境颗粒物（不包括）的暴露<sup>2.5</sup>  
室内家庭污染<sup>2.5</sup>）。为了构建这一核心，建立2015年和2030年的基线至关重要。这样的基线应与现有的2015年排放以及预期的2030年排放相一致，还应与可能减少这些排放的政策相一致。本节介绍了这一基线，并突出了自上次以来所做的一些更新。  
解决方案报告

2015年基准浓度的更新计算与以下相似：解决方案报告  
(图1)。然而，在某些城市化区域和特大城市（例如，胡志明市，吉隆坡）中，由于方法论上的改进允许对排放分布的估计以及随之而来的浓度有所改善，2015年可见浓度略微升高。

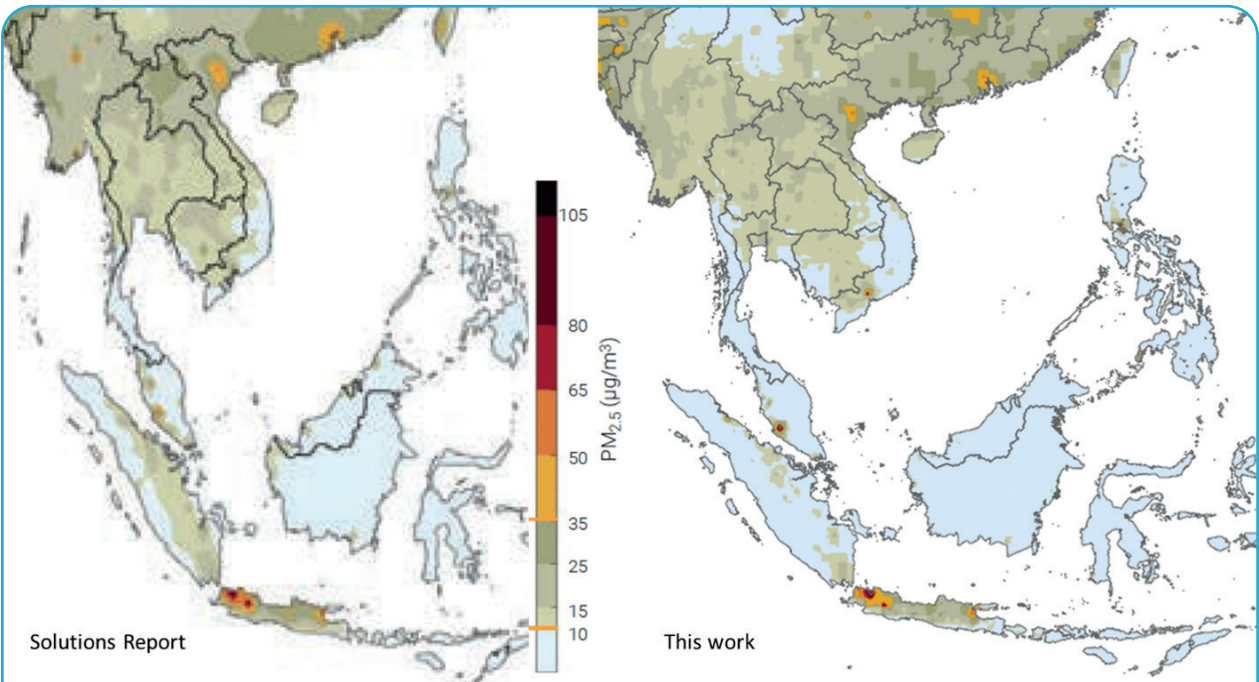


图1. PM<sub>2.5</sub> 东盟区域2015年的浓度  
如估计所示，在 解决方案报告 并且在本轮评估中。

2030年的基准受到东盟稳健的宏观经济前景的影响；这一前景与在以下假设中使用的假设相比，并没有发生显著变化： *解决方案报告*。 由于持续的强劲增长预测，模型排放量预期CO显著增加。

对于2030年的基线（该基线来源于《世界能源展望》的新政策情景[NPS]，并包括截至2018年报告的国家自主贡献[NDC]）（国际能源署[IEA] 2018）。东盟地区的主要贡献和排放如下：

CO增长

从电力、工业和交通部门（图2）。

并且运输部门得到有效实施，并减缓了关键PM前体物的排放增长。事实上，这些前体物正在增长，表明逐渐的脱钩。

低于CO

经济增长来自空气污染排放。然而，现有的立法不足以抵消燃料使用和生产活动的增加，这解释了（图2）。

相对较快的CO增长

2

另一个基线中的重要趋势涉及排放问题，住宅烹饪。对于初阶PM

清洁燃料在烹饪领域的趋势明显，这一趋势通过本子领域的排放量下降（见图2）得以体现。这很可能是该地区长期推行旨在为农村和城市居民提供清洁能源政策的成果。

基线还假设：The baseline also assumes that 现有和近期 引入了电力、工业方面的立法

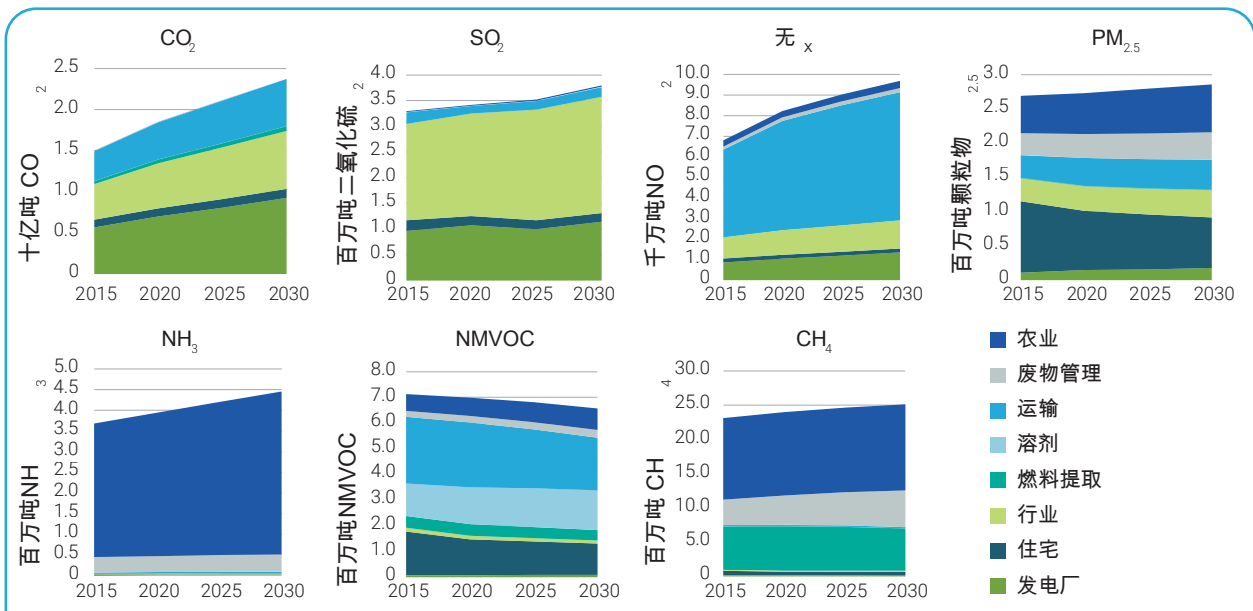


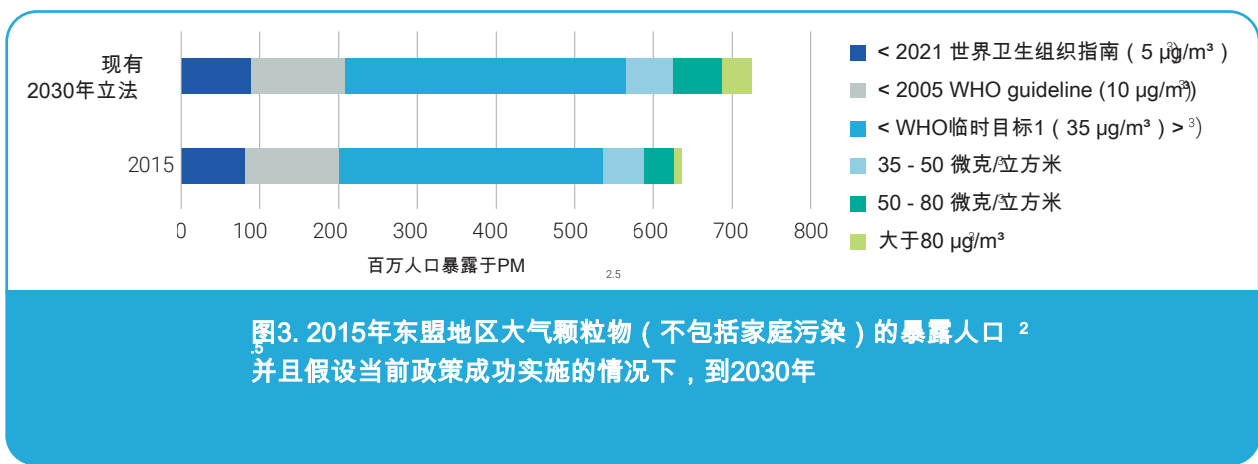
图2. CO排放，CH<sub>4</sub>主要项目管理员以及环境细颗粒物的关键前体物对于【the】东盟地区在当前立法情景下；来源：GAINS模型。

即使现有的空气污染、能源和其他部门政策取得了一些进展，从基线情况来看，整体形势仍然令人担忧。目前观察和模拟的东盟地区基线情况PM浓度

（图1）通常远高于世界卫生组织临时标准（图3）。更具体地说，目标1（35 µg/m<sup>3</sup>）<sup>3</sup> 2015年，约有1亿人接触到的污染水平高于世界卫生组织临时目标1的水平。人口中不到15%的人。

浓度低于居住在PM值较高的区域

2021年世界卫生组织空气质量指南为5 µg/m<sup>3</sup> 2015年。预计到2030年，如果没有重大干预，情况不会显著改善。即使假设当前法律得到有效实施，到2030年，暴露于世界卫生组织临时目标1以上水平的人口可能增长至近1.7亿（图3），这归因于浓度增加（图5）以及人口增长和持续的城市化。

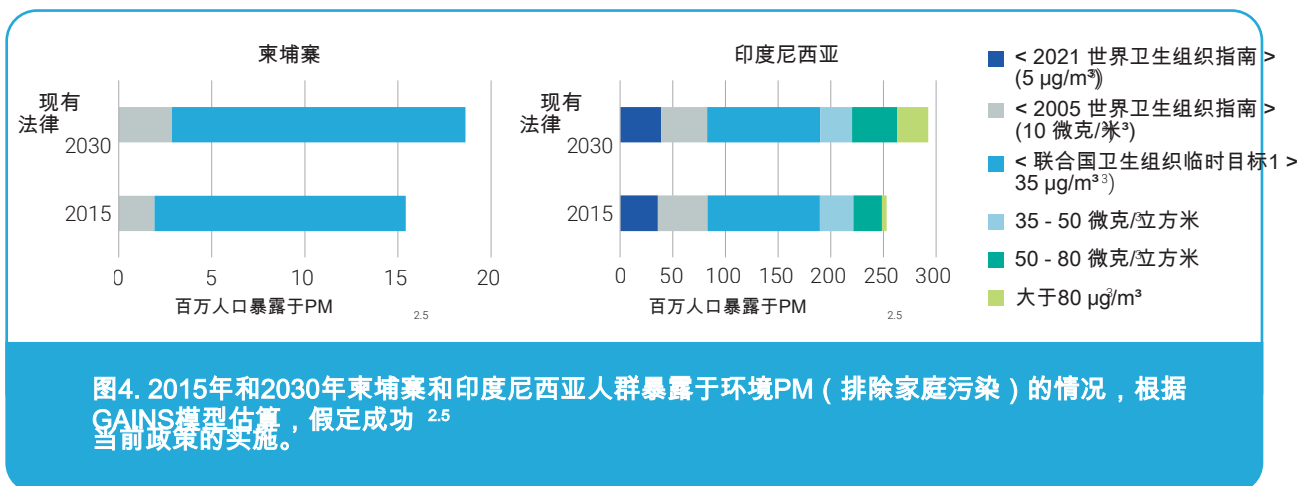


尽管整体情况并不鼓舞人心，但值得关注的是，在东盟地区，情况各有不同。这种差异在排放负担、2015年的浓度（图1）以及向2030年的变化（图5）中表现得尤为明显，最终体现为PM2.5年际平均浓度超过国家标准的程度；国家标准各不相同，从12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 起。

2.5  
 $\text{m}^3$  在新加坡，15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  在印度尼西亚，25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  在菲律宾、泰国、越南，至35微克/米<sup>3</sup> 在马来西亚。

图4展示了两国——柬埔寨和印度尼西亚在基准线上的这种变化。它显示，各国的人口暴露水平差异显著。尽管暴露程度不同，但到2030年，柬埔寨和印度尼西亚两国暴露于高于标准污染水平的\_population\_均显著增加。此外，尽管实施了现有法规，但符合2021年世界卫生组织PM空气质量指南的地区的\_people\_living\_数量仅有轻微改善。

2.5



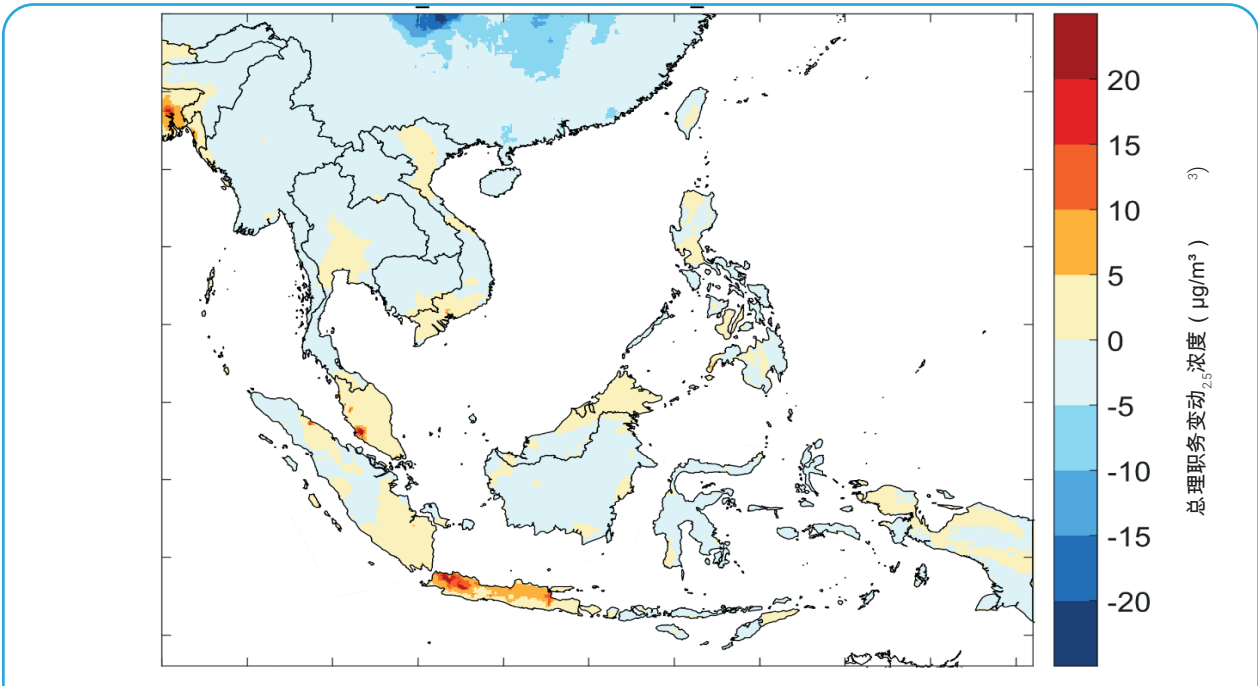


图5. 2030年现行立法情景下PM浓度变化，与2015年计算出的浓度进行比较。<sup>2.5</sup>

发现现有基线政策实际上对整个地区只有轻微影响，这一结论在2015年的东盟各国中亦然。如图6所示，这些变量在2015年的东盟各国中有所不同。暴露于PM

<sup>2.5</sup>并且预计几乎所有国家的增长率都将持续提高，除文莱-达鲁萨兰国和泰国（见图7）之外。尽管暴露于超出世界卫生组织临时目标1水平的人口数量在增加，但如果有的话，在数量上只有有限的改善。

水平低于居民居住在PM（颗粒物）浓度较高的区域<sup>2.5</sup>2021年世界卫生组织空气质量指南或甚至2005年的世界卫生组织指南；除了浓度增加之外，更大的人口规模和持续的城镇化也起着作用。这些研究结果中最强烈传达的信息是，存在进一步减少空间，并且可以提供超出基准线的好处解决方案。

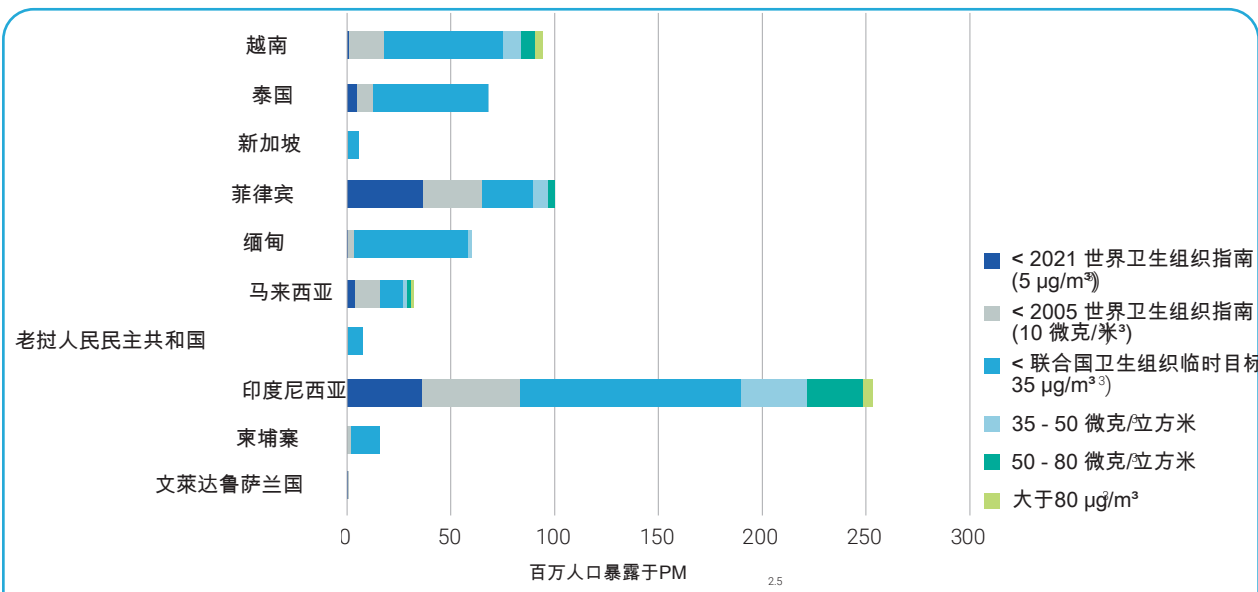


图6. 2015年东盟地区各国人口对环境PM（不包括家庭污染）的暴露情况<sup>2.5</sup>

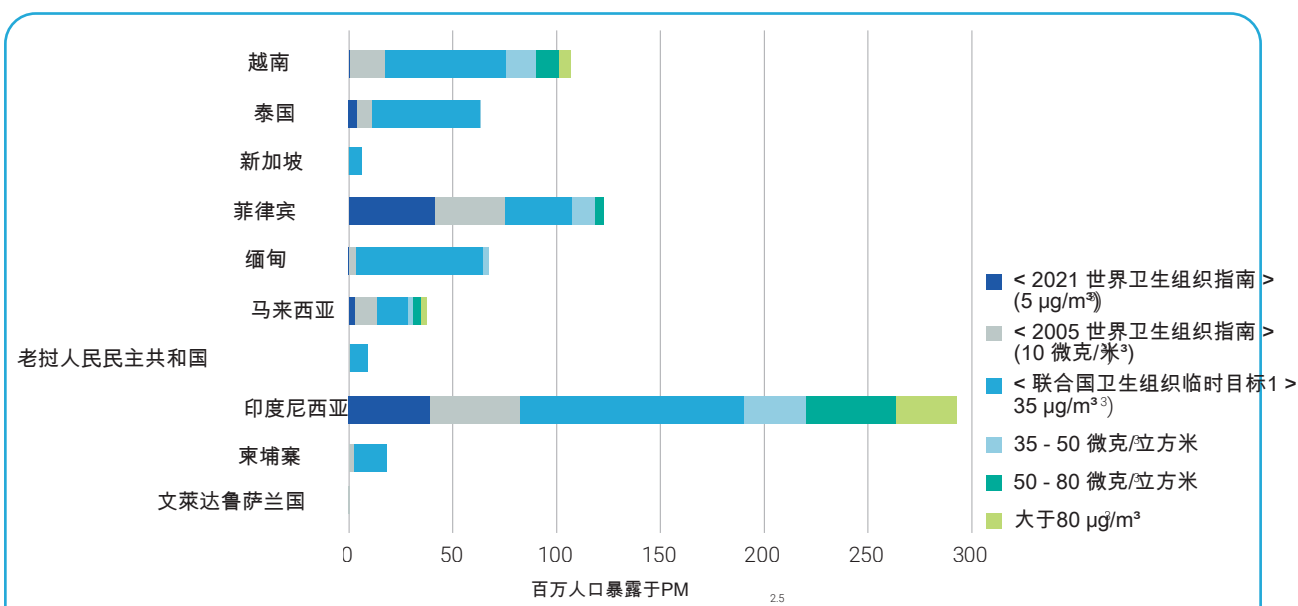


图7. 2030年东盟区域国家暴露于环境PM (不包括家庭污染) 的人口。<sup>2</sup> 假定当前政策的成功实施。

#### 1.4 识别东盟的清洁空气解决方案

下一步是确定适用于东盟的清洁空气解决方案。为了实现这一步，报告采用了相对直观的筛选标准来选择可能的解决方案。这15项措施是基于它们在东盟最大限度地减少人群对PM暴露的可能性而选出的。

<sup>2.5</sup> 子区域。由于报告聚焦于子区域层面，因此确定集中关注比大型报告中提到的25项措施更为精简、更易于操作的一组解决方案。

*亚洲解决方案报告* 尽管数量较少，这些解决方案的成功实施仍将显著改善空气质量和健康，同时通过减少温室气体 (GHGs) 和短寿命气候污染物 (SLCPs)，为近中和长期气候变化带来协同效益。

为了确定哪些解决方案符合选择标准，构建了几个基于过往立法的情景，并为了识别未来的缓解机会。分析这些情景允许比较过往立法 (已承诺并实施) 中的排放和浓度变化，最新的法律 (2015年之后发布或宣布的)，最后识别剩余的减排潜力。

措施。以下场景是在基准情景或当前立法情景 (见第2.1.2节) 之外开发的：

- 实施了立法——在运营生产过程所需的绝对必要污染减排之外，不再进行进一步的控制。例如，大型电厂的静电除尘器 (但效率相当低)，小型工业装置的旋风除尘器或湿式洗涤器，以及住宅和工业部门运输来源或小型燃烧装置无控制。此情景旨在复制一个假设情况 (从当前的角度来看)，当适应和加强排放立法的监管过程会在2000年之前停止。将此排放轨迹与基线进行比较，可以估算当前立法的影响。

- 最近立法——一个类似于上述情景，但在2015年冻结空气质量政策发展，并假设没有进一步的法律被引入。与基线相比，该情景允许展示最近监管改革的好处。

- 进一步潜力是基于以下假设进行估计的：

— 应用 最低排放技术 假设其全面有效应用，但考虑到技术可行性的限制。与...相比 解决方案报告 本报告假设，在过去几年中，在实施最雄心勃勃的空气质量政策和排放标准的国家所获得的经验教训，将导致在东盟范围内高效率减排技术的市场可获得性增加。市场渗透率的提高反过来又能推动低排放标准边界的扩展。

变化将对畜牧业和作物生产产生影响，导致有机肥和矿物肥料施用方式的改变，从而实现额外的减排。非技术性措施的第一类可能性源于对国际能源署（IEA）国家政策情景（NPS）与国际能源署可持续发展情景（SDS）的评估和比较，后者旨在与[此处缺少内容]相一致减少排放。实现CO<sub>2</sub>巴黎协定目标（IEA 2018）。

— 考虑非技术措施 即，探索在不同行业进一步提高能源效率的潜在措施，增加电动汽车份额，加快烹饪清洁能源的获取，以及实现农业氮使用效率的显著提升，以及饮食方面的变化（例如，降低肉类蛋白质的摄入量）。后两种选项，即氮使用效率和饮食习惯

如前所述，对东盟地区的情景分析表明，现有立法已导致空气污染物排放和相应环境浓度增长放缓，并且这种趋势在未来将继续。然而，该地区存在显著的机会来缓解排放。实际上，模型表明，有15个关键解决方案特别适用于东盟地区及其成员国（见表1）。

15个解决方案为众多行业提供了缓解潜力，这些行业有着充足的政策支持。

表1. 与确定的15个解决方案相关的关键缓解选项描述

| 15 解决方案       | 简要描述                                                                                                                                              |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 清洁烹饪          | 清洁的替代传统烹饪的方法，包括液化石油气炉和更高效率的炉具。固体燃料炉，包括带风扇辅助的炉子                                                                                                    |
| 可再生能源，后-燃烧控制  | 考虑燃料转换和可再生能源的潜力及其应用<br>电厂和工业锅炉中的高效烟气净化技术，包括烟气脱硫，高效除尘。                                                                                             |
| 工业流程标准，包括能源效率 | 工艺技术的改进，更高效的捕获和去除<br>关于工业生产过程中的排放和逸散排放。                                                                                                           |
| 汽车排放标准/电气化*   | 引入更加严格的排放限值和能源效率标准<br>对于车辆。进一步潜在增长预计基于立即引入法规要求新车辆（公路和非公路车辆）符合欧VI/6标准等效。排放标准以及/或加速车队电气化。                                                           |
| 车辆检查及维护       | 引入更严格的法规，要求更频繁和强制性的车辆检查。<br>检查和维护，这将能够实现早期识别和消除/修复高排放车辆。                                                                                          |
| 国际航运          | 低硫燃料，即重油中硫含量为0.5%，进一步降低至0.1%S的燃料。<br>介绍颗粒物过滤器和选择性催化还原氮氧化物减排技术（deNOX SCR）安装。或者，可以安装烟气脱硫设备以实现相同数量的二氧化硫（SO <sub>2</sub> ）减排。 <sub>2</sub> ）当使用低硫燃料时。 |
| 畜牧业与N型化肥应用    | 控制畜牧业生产和矿物氮肥施用过程中的氨排放。畜牧业措施包括建设新的低排放住房、覆盖的粪便储存设施和高效的土地粪便施用。对于矿物肥料，通过以下方式解决尿素施用产生的排放：用尿素替代，例如使用硝酸铵，改进尿素施用（适当的时间和剂量），以及推广新型配方和脲酶抑制剂。                |

表1. 与确定的15个解决方案相关的关键缓解选项描述

|                      |                                                                                                                                            |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 饮食习惯的改变              | 饮食中肉类蛋白的转向导致家畜数量减少以及更低的家畜养殖数量<br>矿物肥料使用以及提高的使用效率                                                                                           |
| 农业残留物燃烧              | 高效执法或禁止露天焚烧农业残留物                                                                                                                           |
| 废物管理                 | 主要针对稳定的城市废物管理，通过减少垃圾焚烧。<br>并且引入高效的生活垃圾收集和回收方案。                                                                                             |
| 防止森林（破坏/砍伐）<br>泥炭地火灾 | 森林、土地和水管理以及火灾预防策略的改善。<br>通过东盟跨境雾霾污染协议加强合作。                                                                                                 |
| 煤炭、石油和天然气生产<br>并且分销  | 尽管在化石燃料的提取、加工和分销中的大部分措施都<br>减少甲烷排放，对PM前体（包括）有一些减少。<br>BC) 当常规燃烧减少或被禁止以及减少尾矿逃逸粉尘时<br>煤炭需求减少后，矿业行业排放量。<br>发展场景。                              |
| 稻田                   | 鼓励对持续灌水的稻田进行间歇式充氧。<br>建立灌溉与排水政策传统。                                                                                                         |
| 污水处理                 | 引入管理良好的两阶段处理与生物气回收。<br>推广分散式废水处理单元。                                                                                                        |
| 氢氟烃-制冷剂<br>替代        | 《蒙特利尔议定书基加利修正案导致二氧化碳排放减少》 <sup>2</sup> 等排放量<br>氢氟烃。在基加利修正案之外，还有进一步减少排放的措施是可能的。<br>连续的效率提升也将导致电力需求降低，<br>因此，降低CO <sub>2</sub> 来自电力行业的空气污染物。 |

\* 展示的未来潜力包括加速车辆车队电气化所能实现的潜在范围，即这最多可能不到一半能实现。  
电力化至2030年

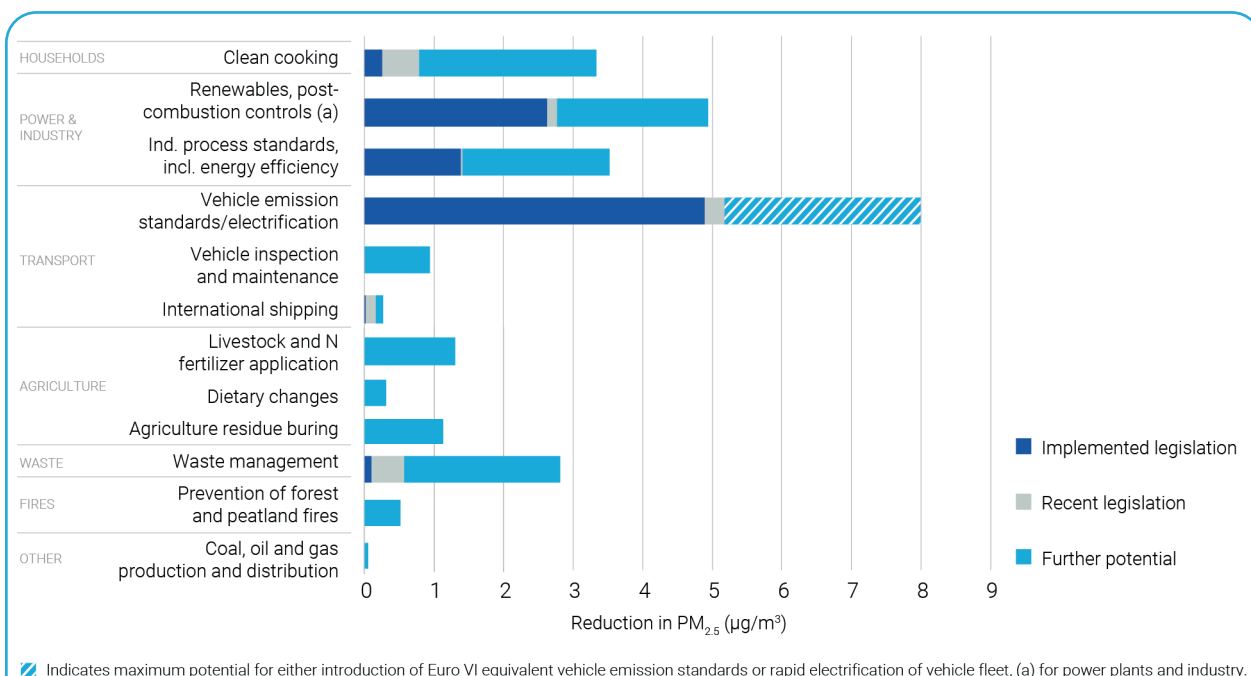


图8. 优先解决方案（显示直接空气质量效益的措施）对2030年东盟地区PM浓度的影响<sup>2.5</sup>

实施经验以解决排放源（参见本报告第3章）。事实上，建模估计显示，近40%（在国家层面为20-60%——参见附录2中的国家结果）的潜在减排与现有立法相关（见图8）。这一发现突出了有效实施空气质量、能源效率、气候以及其他相关政策的重要性。实施包括建立一个支持执法和监控进展的促进环境。

不出所料，许多主要解决方案均来自“常犯错误”的排放源。这些包括交通运输和大规模固定燃烧（电厂和工业）。交通运输、电力和工业占已经实施或最近宣布的立法所涉及的全部潜在减排机会的一半以上。同时，仍然存在显著的需求减缓潜力，需要进一步的行动，包括加强排放标准和稳步提高能源效率。

交通运输领域（包括道路、非道路和国际航运）是具有进一步减排潜力的关键行业之一。这种潜力可以通过引入对新车辆更严格的排放标准以及/或推广电动汽车来实现。此外，引入改进的车辆检查和维护计划可以捕捉到故障车辆的排放（高排放者）；至少在纸上，与现代化汽车所需的更昂贵技术相比，这是一个相当经济的选项。在一些国家，国际航运提供了适度的减排机会。尽管总体影响有限，但这仍然是一项重要的措施，特别是在考虑沿海社区空气污染水平时（见附表2中的国家结果）。

与《解决方案报告》（以及其他类似重点分析报告）一样，清洁烹饪是最重要的干预措施之一。建模分析证实，这对于整个东盟地区，尤其是某些国家来说非常重要（见附录2）。然而，部分原因是近期政策进展，其潜力并不像之前的报告那样大。此外，如果估计包括室内污染而不是仅限于环境空气污染，这项干预措施的影响将会更大。

在减缓潜在领域中最见成效的并非通常纳入空气污染政策范畴：废弃物管理。通过改善固体废弃物管理所能带来的空气质量潜在好处非常显著。其中一些好处可以通过减少家庭废弃物的燃烧实现——这一做法随着消费模式的变化而变得越来越普遍。此外，高效的废弃物管理包括改进废弃物分类、收集和回收（包括利用回收气体发电）将减少甲烷排放，这是重要的短寿命气候污染物（SLCP）。

另一个通常未纳入空气污染法规管理但具有显著缓解潜力的行业是农业。农业排放主要来自作物残留物的露天焚烧、畜牧业生产的氨排放以及矿物肥料，这些因素在形成二次PM中扮演着越来越重要的角色。大多数东盟国家都有禁止露天焚烧作物残留物的法规，但不幸的是，观察到的现实（遥感）讲述了一个不同的故事，而这一来源的巨大潜力在模型中得到了体现。

虽然秸秆露天焚烧是一个众所周知的难题，解决方案也为人所共知（尽管实施可能具有挑战性），但在减少 livestock 和 fertilizer 使用产生的氨排放方面却经验不足。此类经验主要限于欧洲。鉴于东盟缺乏此类经验，该模型从这一经验以及现有技术中推断，并尽可能使用当地数据来描述农业结构，以确定减排潜力。为了近似减排潜力，报告估算通过引入控制技术和非技术（行为）选项来估计重要的减排潜力。具体而言，我们估计了通过提高氮肥利用效率降低氨排放的潜力，并促进饮食中减少肉蛋白的潜力。

一个有助于改善空气质量的领域是森林和泥炭地管理。这是一个季节性的紧迫问题，对于该地区的大部分地区来说显然非常重要（见附件2）——尽管模型表明，在考虑年度平均情况时，其影响可能更为有限。

人口加权PM浓度

2.5  
国家层面。

对于一些解决方案——特别是常规的嫌疑来源（燃煤电厂、工业燃烧、交通和固体燃料烹饪）——在该地区控制排放方面取得了积极进展。通过空气质量立法和效率改进实现的排放减少，在一段时间内，带来了显著的大气和健康效益。这在比较实施此类政策未实施的场景中减少暴露的情况下明显（图9，左图）。这种进步在以下方面尤为突出：

国家如泰国、越南和印度尼西亚，在这些国家，正在实施减少烹饪用固体燃料的政策、加强颗粒物（PM）排放限值标准和电力行业的排放标准，并逐步引入

SO

2  
欧洲新汽车标准在过去避免了快速集中。PM增长

2.5  
将继续如此在未来。

尽管这种进步值得赞扬，但尚不足以保护人群免受空气污染（参见第3节及图10、11、12）。图9（右侧）显示了进一步减少和相关的益处。本报告提出的进一步措施（解决方案）包括：

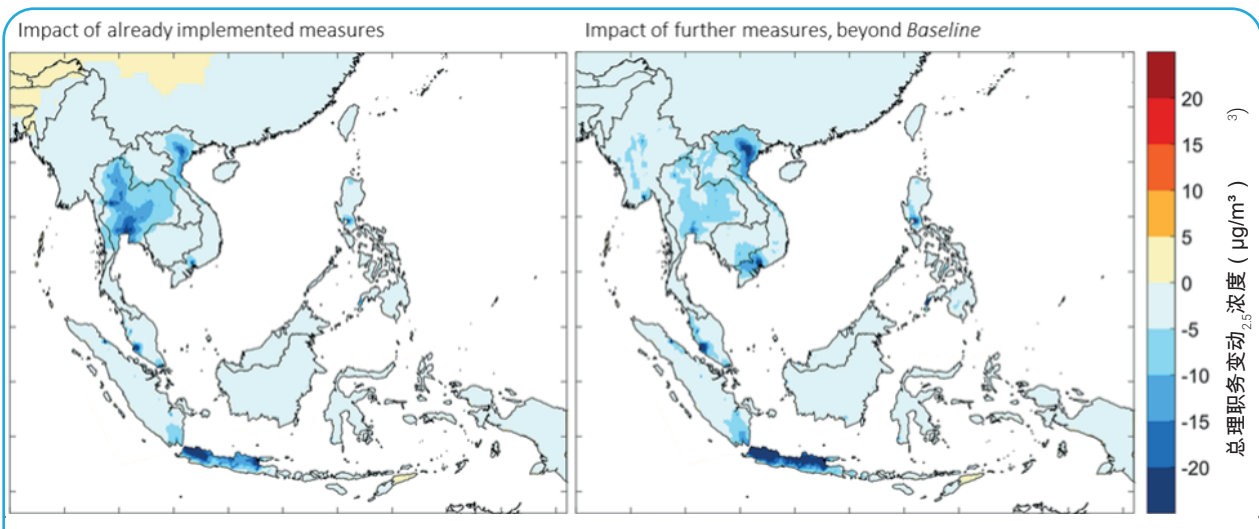


图9. 现行政策和进一步措施带来的益处：因空气质量政策的实施（假设现行立法得到充分执行）而导致的2030年环境中PM浓度的变化（与2000年以前的政策情况相比，左侧）以及因进一步措施的引入<sup>2.5</sup>，与现行立法/基线（右）相比。

自几个城市区域的大气颗粒物浓度预估显示下降最  
多达20 µg/m³以来，进一步显著降低了暴露度。<sup>3</sup>

2.5

事实上，所识别的解决方案具有潜在的均值  
为了减少人口加权PM值

2.5

东南亚地区集中度提高近75%（图10），而在大  
多数国家，到2030年将提高50%至80%以上（图1  
1）。考虑到时间框架相对较短，这样的雄心勃勃  
的减少将创造机遇去...

在2030年，实现约35%的东盟地区人口符合2021  
年世界卫生组织空气质量指南，即超过2.5亿人（  
图12）。

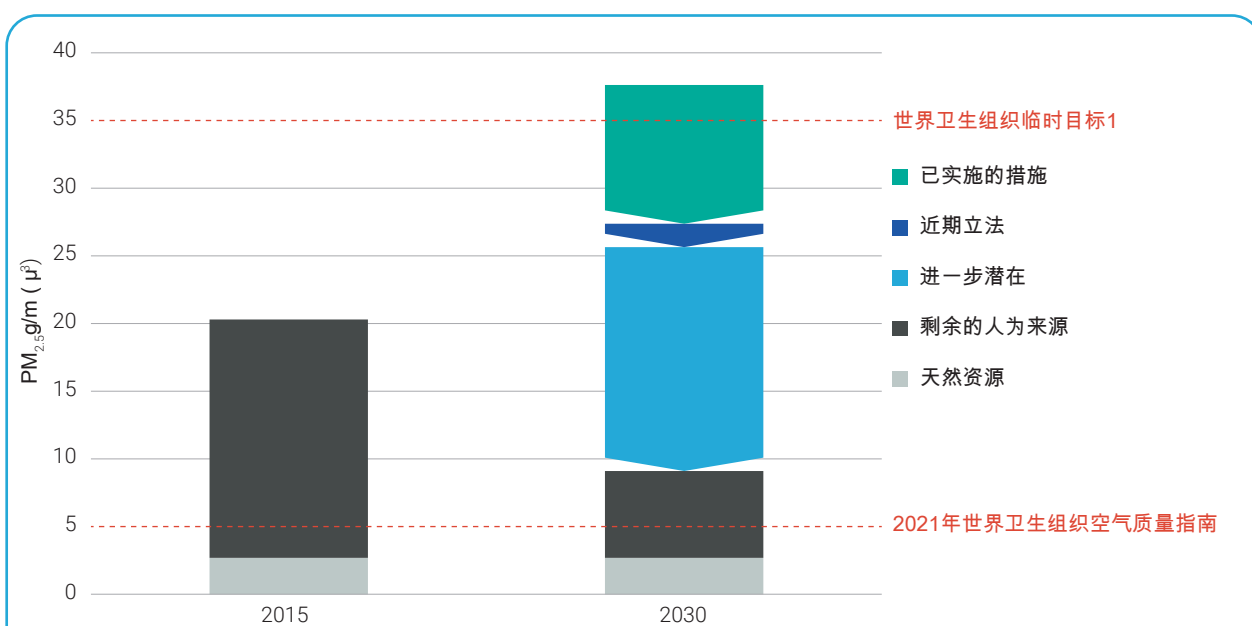


图10. 2015年和2030年东盟地区人口加权平均PM暴露减少的贡献  
2.5

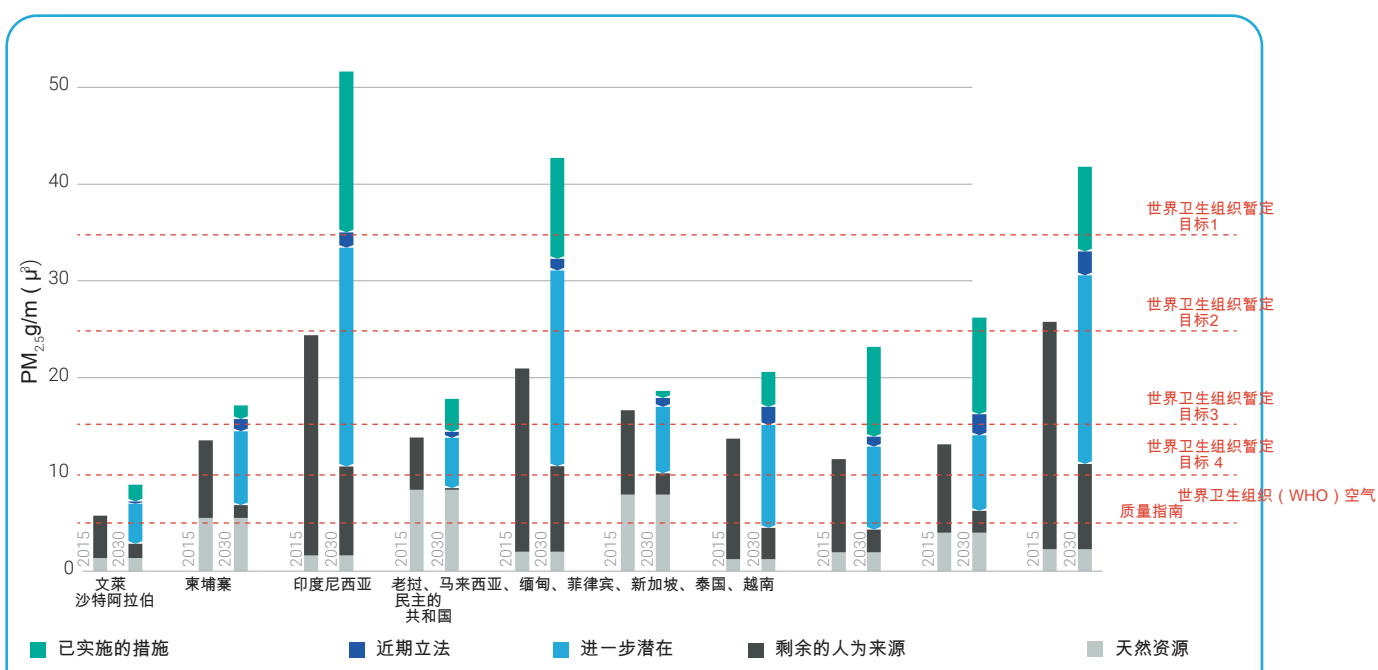


图11. 对人口加权减少的贡献  
平均颗粒物暴露浓度 2.5 2015年和2030年。

15种清洁空气解决方案的整体影响不容小觑。实施这些方案可以使呼吸“清洁空气”（PM小于 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的人口数量增加三倍以上。<sup>3</sup> 与.....一致

2.5 当前世界卫生组织指南在东盟地区的应用情况，即从2015年或2030年的基准情景中的约8000万增长到在所有解决方案有效实施情景中的超过2.5亿。

（图12）。这也意味着大多数人口将生活在符合国家目标和世界卫生组织临时目标1的地区（见图12和图13的国家结果）并且许多国家将达到更严格的世界卫生组织临时目标（见图11）。附录4还提供了不同PM暴露水平下的人口份额的插图。

2.5

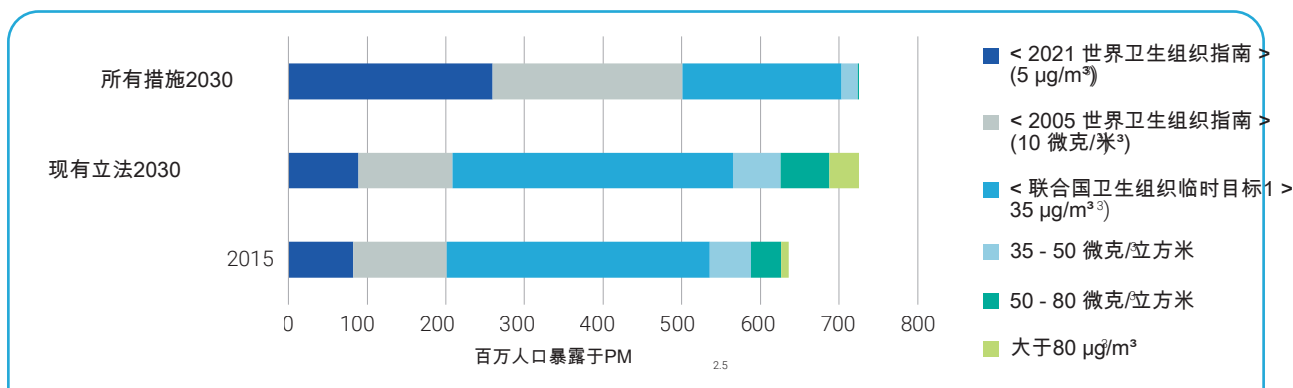


图12. 2015年和2030年不同情景下的人口PM暴露情况  
2.5

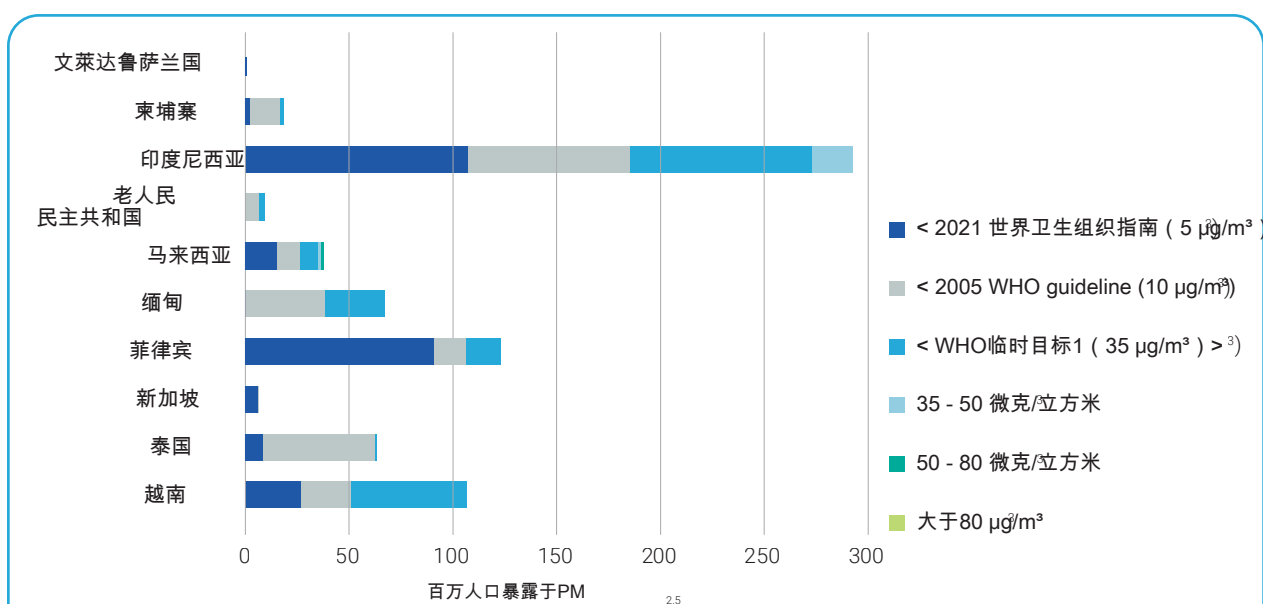


图13. 在2030年，假设成功实施所有措施后，东盟地区各国对环境PM (不包括家庭污染) 的人口暴露情况。  
本报告中识别出的解决方案  
2.5

实际上，加快和加强实施这15个解决方案有很多好处。联合国环境规划署 ( UNEP ) 支持的柬埔寨、印度尼西亚和泰国针对12个较小方案组的研究已经开始估算这些方案对经济发展的益处规模。在此过程中，该项目强调了不采取行动实际上会带来重大成本。同样，该项目也计划与政府伙伴协调，基于对成本和益处的更全面分析来规划具体的实施活动 ( 见框2，对项目及相关工作的成本和益处进行回顾 )。

## 箱2：应对东南亚空气污染和气候变化不采取行动的成本

评估成本 *not* 采取行动应对空气污染是理解、优先考虑和传达不同缓解选项的一种方法。作为联合国开发账户资助的联合国环境规划署（UNEP）项目的一部分，国际应用系统分析研究所（IIASA）在2022年对柬埔寨、印度尼西亚和泰国三个东南亚国家应对空气污染的“不采取行动的成本”进行了国家评估。这些评估是在与柬埔寨环境部、印度尼西亚卫生部和泰国自然资源与环境部合作下进行的。利用本报告确定的15种解决方案中的12种，每个评估将基线情景（即不引入新政策）与实施一系列新措施的替代未来缓解情景进行了比较。该分析采用了温室气体-空气污染相互作用和协同效应（GAINS）模型，该模型扩展到包括额外的健康终点、对劳动力的影响及其相应的成本。结果给出了如果进一步采取缓解行动，将会产生的与发病率和死亡率相关的经济成本的近似量化。

这项工作的关键发现表明，考虑到空气污染暴露对健康的影响，延误的成本可能相当显著。例如，在柬埔寨的案例中，初步评估表明，延误可能导致的成本相当于超过GDP的2%。同时，对于印度尼西亚，类似的计算显示，推迟实施12项关键解决方案可能导致相当于近GDP 2%的损失。最后，泰国的结果讲述了一个类似的故事：政策制定者面临的是延误导致的健康相关成本，相当于GDP近1%。这项工作的主要信息是，不仅有等待的成本，还有从更强和更快实施中获得的显著效益。

上述信息也与关注特定部门干预措施收益与成本比率的各项研究一致。例如，针对泰国曼谷车辆检查和维修项目的严格分析表明，有效实施此干预措施所带来的收益超过了成本（Li 和 Crawford-Brown 2011）。研究还表明，一系列有助于净化空气、缓解气候变化、改善健康和促进性别平等的家庭清洁烹饪和住宅能源干预措施具有积极的收益-成本比率（Jeuland 和 Tan Soo 2016）。

### 1.4.1.1 重要性：地区和国际协作

空气质量无界限；细微颗粒物在大气中停留时间足以从排放源传播到很远的地方；二次PM可以传播得更远。在许多情况下，地区性和/或国际性的合作已有效并具有成本效益地降低了空气污染物的浓度。这一点在欧洲及其他地区均有体现，而近期的研究显示，在不同更大区域内进行协调一致的行动是必要的。东盟地区也不例外，尽管有些国家间被海洋分隔。事实上，在该地区已经取得了显著的进步。

### 区域与东盟跨境烟雾污染协议。

建模结果显示，通过分享经验并合作实施15种解决方案中的某些解决方案，可能会带来显著的空气质量效益。合作的效益在不同国家（图14）中有所不同，但在整个地区无处不在。此外，这些效益远超空气质量，可能包括：经验和技术交流、创造新的就业和市场需求，以及对气候目标和其他可持续发展目标的贡献。也许最重要的是，增加合作的主要收益可能会改变关于空气污染责任归属的叙事，转向控制污染所带来的收益的捕捉。

图14显示了两个国家的示例结果，在这些国家中，地方和区域减缓措施的影响估计很重要，但在某些部门中有所不同。根据计算，柬埔寨主要受益于减少柬埔寨排放的行动，而老挝则主要受益于以下措施：

合作与行动实现邻近国家减排，但在森林火灾的情况下，两国均需依赖本国行动的预防和排放管理来决定。

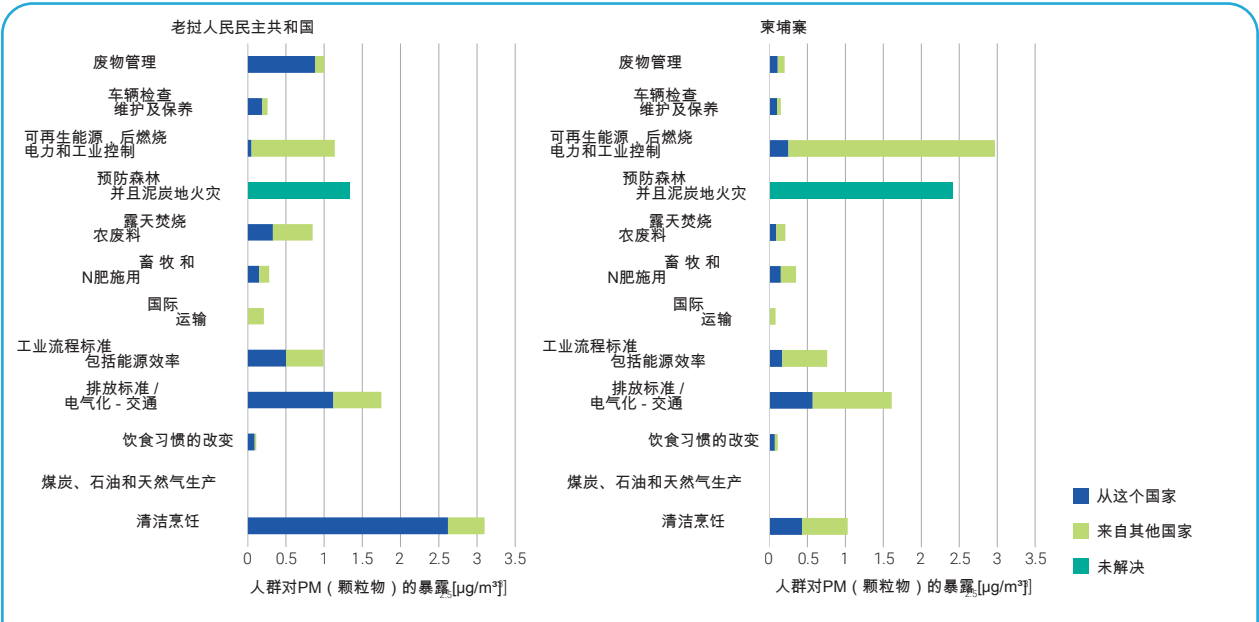


图14. 在2030年，实施东盟15项解决方案对PM在人口加权暴露的影响，区分本地和远程/跨界贡献<sup>2</sup>来源；两国示例（参见附录3中所有国家的结果）。

1.4.1.2 清洁空气解决方案的气候协同效益

15个方案重点关注空气质量改进，主要是减少... 环境的浓度。尽管如此，仍值得突出强调。环境颗粒物

2.5 空气污染物来源通常与温室气体相同，而且一些空气污染物也是短寿命气候强迫剂（SLCPs）。因此，空气质量政策具有显著的气候协同效益。在过去，重要的黑碳（BC）和甲烷减排得益于对固定电力和工业燃烧源、交通（颗粒过滤器）、能源效率措施以及减少依赖固体燃料烹饪的依赖逐步加强的排放标准。这一影响在图15中显示为“已实施”的政策，其中黑碳减少了相当一部分。引入促进实施15项解决方案的政策将使黑碳的减少幅度更大（与基线相比减少70%）。

2030年及之后，将产生额外的气候效益。通过具有明确环境颗粒物效益的措施，甲烷排放量将下降约9%，与基线相比；如果主要针对甲烷的措施，即化石燃料行业泄漏、水稻生产、废水和牲畜养殖，这一比例将增加到约39%（见图15）。

实施这些措施意味着向与《巴黎协定》目标相符合的可持续发展方向进行转型性变革，因此包括减少化石燃料的使用和效率提升。这些转型性措施将相应地导致二氧化碳排放量减少约25%，具体如下：  
2 2030. 附录5展示了在东盟地区全面实施15个解决方案对所有分析污染物和温室气体种类在总体和行业排放上的影响。

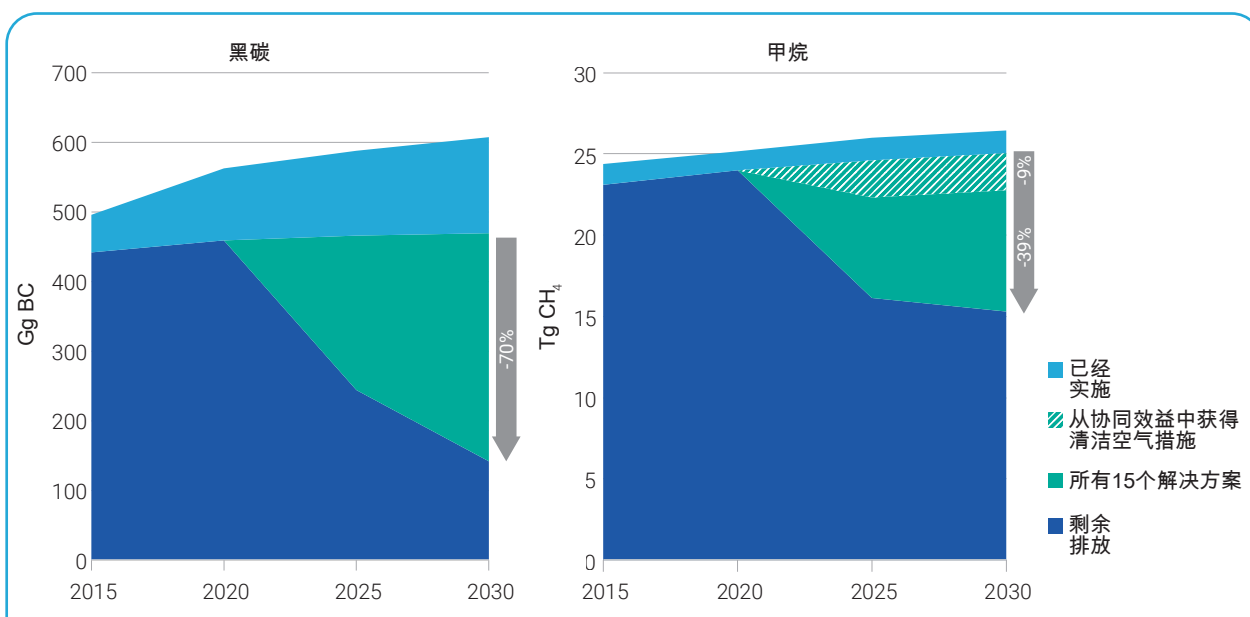


图15. 空气质量政策引入与15种解决方案对SLCP排放的协同效益：炭黑（BC）和甲烷（CH<sub>4</sub>）

4

最后，针对东盟地区（图16）的F气体减排机会被重新审视并进行了估算。在《蒙特利尔议定书》的基加利修正案（KA）下实施低全球变暖潜力（GWP）的替代品，到2030年具有约7000万吨（Mt）的CO<sub>2</sub> eq减排潜力。

进一步确定了更多的技术缓解潜力，这将允许将减排量增加至约112百万吨二氧化碳当量。重要的是，向低碳过渡

全球 warming potential (GWP) 替代方案在提高能源效率后，拥有进一步显著减少二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 排放的重要潜力。

在静止式冷却技术方面的改进可以实现（Purohit等人，2020年）。充分实现提高能源效率的技术潜力，可以将电力

2050年前，比整个东盟未来电力消耗量节省超过25%。即便到2030年，电力节省量也可能达到10%，并导致估计减产2250万吨CO<sub>2</sub>。如果能效改进

仅限于经济上有利可图的应用（图16中的经济潜力），冷却用电的节约仍能占2030年和2050年未来电力消费的6%以上和15%。这将反过来导致CO<sub>2</sub>大约减少了133亿和555亿吨（图16）。优先减少化石燃料发电能力将带来额外的空气质量收益（Purohit等，2020年）。

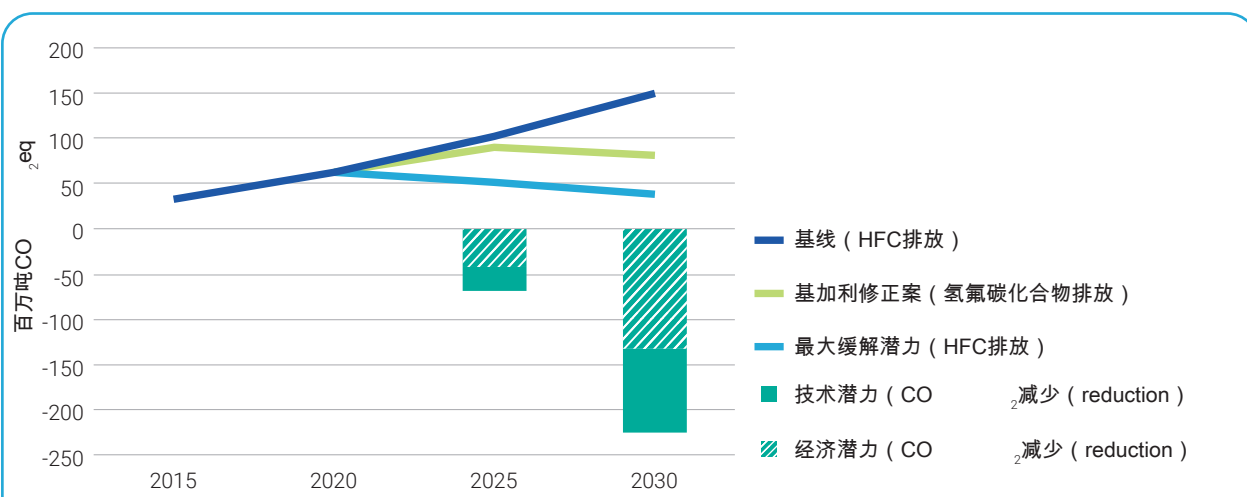


图16. 由于固定式冷却技术能效提升所致的HFC排放和CO<sub>2</sub>减排潜力。东盟的估计值依赖于所采用的方法和数据。<sup>2</sup> 来自Purohit等人（2020年）。经济减缓潜力（与能源效率改进和由此产生的二氧化碳减排相关）指的是经济上可行应用的潜力。

<sup>2</sup>

## 1.5 研究发现摘要

在本章中，使用了GAINS模型来识别东盟的15种清洁空气解决方案。这15种解决方案是基于它们在东盟最大程度减少人口对PM暴露和SLCPs排放的潜力而选定的。

<sup>2.5</sup> 实施这15项解决方案可以将呼吸“清洁空气”的人口数量增加超过三倍（PM<sub>2.5</sub>浓度低于25微克/立方米）。

<sup>2.5</sup> 低于5 μg/m<sup>3</sup> <sup>3</sup> 在东盟地区，（即从2015年约8000万或2030年的基线情景增长至超过2.5亿。）这也意味着大多数人口将居住在符合国家和世界卫生组织临时目标1标准的地区。

该解决方案还可以降低许多国家的人口加权PM平均浓度。

<sup>2.5</sup> 通过提高50%至70%以上，允许到2030年东盟地区超过三分之一的人口遵守2021年世界卫生组织的空气质量指南。

实施这15项解决方案也将因减少短寿命气候污染物（SLCPs）而产生重要的气候协同效益，包括黑碳（减少70%）、甲烷（减少39%）、氢氟碳化物（HFCs）（减少75%）、臭氧和一氧化碳（CO）（减少25%）；所有减少量均指2030年。

<sup>2</sup> 并且与基线进行比较。在过渡到低全球变暖潜势（GWP）的替代品以符合基加利协议的情况下，存在进一步减少固定式冷却技术电力消耗的机会。

协议——这些可能占该地区2030年总电力消耗的6-9%，转化为显著减少二氧化碳排放。

<sup>2</sup> 如果将化石燃料发电能力减少优先考虑，则可额外获得空气质量效益。

重要的是，这15个解决方案来自许多行业，这些行业在东盟和其他地区有着丰富的实施经验。估计显示，近40%（在国家层面上为20-60%）的已识别潜力与现有立法相关。这一发现突出了继续加强现有空气污染、能源、气候和其他行业政策实施的重要性。

15个解决方案的全部效益可以在东盟地区广泛实施的情况下实现。这突出了国家合作的需求和益处，包括经验和技术交流以及法规和其他努力的协调。

下一节将探讨实施经验，回顾实现解决方案全部益处的潜在挑战，并概述如何克服这些挑战。

# 2

## 在东南亚实施解决方案

### 2.1 引言

第一章借鉴了GAINS模型来确定能够显著减少东南亚PM暴露的优先措施。该建模

<sup>2.5</sup>展示表明，有效实施这15项措施可以使大约2.5亿人呼吸到清洁的空气，提高食品安全，并在多个可持续发展领域取得进展。

目标（可持续发展目标，尤其是目标3、11和13；表2）（Elder和Zusman 2016）。在建模中不那么明显，但在现场同样重要的是，采取措施也可能缩小公平差距并改善妇女和女孩的生活状况（参见框3有关空气污染的性别影响）。

表2. 确定的15个解决方案对可持续发展目标贡献

|                                      | Goal 1: No Poverty | Goal 2: Zero Hunger | Goal 3: Good Health and Well-being | Goal 4: Quality Education | Goal 5: Gender Equality | Goal 6: Clean Water and Sanitation | Goal 7: Affordable and Clean Energy | Goal 8: Decent Work and Economic | Goal 9: Industry, Innovation and Infrastructure | Goal 10: Reduced Inequality | Goal 11: Sustainable Cities and Communities | Goal 12: Responsible Consumption and Production | Goal 13: Climate Action | Goal 14: Life Below Water | Goal 15: Life on Land | Goal 16: Peace and Justice Strong Institution | Goal 17: Partnerships to achieve the goal |
|--------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Clean Cooking                        | ✓                  |                     | ✓                                  |                           | ✓                       |                                    | ✓                                   |                                  | ✓                                               |                             |                                             |                                                 | ✓                       |                           |                       |                                               |                                           |
| Post-combustion controls             |                    |                     | ✓                                  |                           |                         |                                    | ✓                                   |                                  | ✓                                               |                             |                                             |                                                 |                         |                           | ✓                     |                                               |                                           |
| Industrial Process Standard          |                    |                     | ✓                                  |                           |                         |                                    | ✓                                   |                                  | ✓                                               |                             | ✓                                           | ✓                                               | ✓                       |                           | ✓                     |                                               |                                           |
| Emission Standard-transport          |                    |                     | ✓                                  |                           |                         | ✓                                  | ✓                                   |                                  |                                                 |                             | ✓                                           |                                                 | ✓                       |                           | ✓                     |                                               |                                           |
| Vehicle inspection and maintenance   |                    |                     | ✓                                  |                           |                         |                                    | ✓                                   |                                  | ✓                                               |                             | ✓                                           | ✓                                               | ✓                       |                           | ✓                     |                                               |                                           |
| Maritime Shipping                    |                    |                     | ✓                                  |                           |                         |                                    | ✓                                   |                                  |                                                 |                             |                                             |                                                 | ✓                       | ✓                         |                       |                                               | ✓                                         |
| Livestock and N fertilizer           |                    |                     |                                    |                           |                         |                                    |                                     |                                  |                                                 |                             |                                             |                                                 | ✓                       | ✓                         | ✓                     |                                               | ✓                                         |
| Dietary Change                       |                    |                     |                                    |                           |                         |                                    |                                     |                                  |                                                 |                             | ✓                                           | ✓                                               | ✓                       |                           |                       |                                               |                                           |
| Agriculture residue burning          |                    |                     | ✓                                  |                           |                         |                                    |                                     |                                  | ✓                                               |                             | ✓                                           |                                                 | ✓                       |                           | ✓                     |                                               | ✓                                         |
| Waste Management                     |                    |                     | ✓                                  |                           |                         | ✓                                  |                                     | ✓                                | ✓                                               |                             | ✓                                           | ✓                                               | ✓                       | ✓                         | ✓                     |                                               | ✓                                         |
| Prevention of forest, peatland fires |                    |                     |                                    |                           |                         |                                    |                                     |                                  |                                                 |                             |                                             |                                                 | ✓                       |                           | ✓                     |                                               | ✓                                         |
| Coal, oil and gas production         |                    |                     |                                    |                           |                         |                                    | ✓                                   |                                  | ✓                                               |                             |                                             | ✓                                               | ✓                       |                           |                       |                                               |                                           |
| Rice paddies                         |                    |                     | ✓                                  |                           |                         | ✓                                  |                                     |                                  |                                                 |                             |                                             | ✓                                               | ✓                       |                           | ✓                     |                                               |                                           |
| Wastewater treatment                 |                    |                     | ✓                                  |                           |                         | ✓                                  | ✓                                   |                                  |                                                 |                             |                                             |                                                 | ✓                       |                           |                       |                                               |                                           |
| Controlling F Gases                  |                    |                     |                                    |                           |                         |                                    | ✓                                   |                                  |                                                 |                             |                                             | ✓                                               | ✓                       |                           |                       |                                               |                                           |

### 箱3：空气污染和气候变化对性别的影响

与世界上许多地区一样，空气污染和气候变化在东南亚地区对性别的影响并非中性。不幸的是，妇女往往承担着这些影响的更大份额。这部分原因可以归因于生活方式和传统，这些生活方式和传统使妇女和女孩面临更高水平的空气污染和气候风险。这还归因于规范和制度，这些规范和制度限制了妇女拥有土地或企业的能力，而土地和企业有助于建立应对空气污染和气候危机的韧性。同时，人们也越来越认识到，妇女和女孩并不是空气污染和气候变化的被动受害者。她们也可以成为解决常常与之相关的空气污染和气候挑战的一部分。一个具体的例子是在越南开展的一个项目，该项目帮助妇女建立企业，这些企业建造了有益于空气和气候的厌氧消化器（Lee 和 Zusman 2019）。

上述例子强调了一个更普遍的观点。需要实施性别敏感的解决方案来减少气候和空气污染风险对女性的影响。确保女性积极参与、共同设计和影响涉及空气污染和气候变化的决策过程，可以帮助确保他们的观点、需求和经验在相关解决方案中得到体现。这还可以进一步确保性别敏感的干预措施纳入政策讨论和决策过程中，并确保实施的解决方案减少性别不平等。

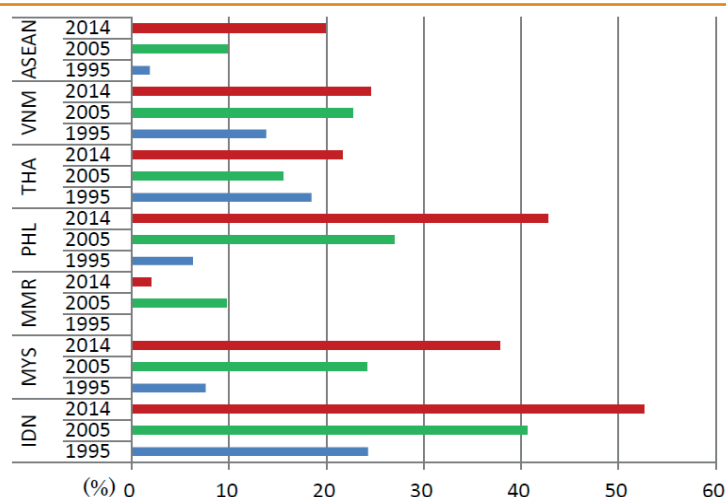
15项优先解决方案将不会自行实施。它们需要政策制定者和其他利益相关者在不同决策层面的共同努力，以支持其采纳和推广。尽管“实施差距”阻碍了许多这些措施的实施进展，但本章的主要信息是实施是完全可行的。不仅东盟国家采纳了上一章中概述的广泛措施，而且对如何克服实施中的一些障碍也日益了解。更加令人鼓舞的是，国家、城市和社区有显著的空间来分享成功，并捕捉到清洁空气合作的多重效益。

第二章分为两个相关部分（除本引言之外）。本章的第一部分回顾了涵盖东盟15项优先解决方案的10个关键领域或主题区域；对于这些区域中的每一个，它突出了区域差异、实施挑战和前进道路。第二部分强调了某些治理、金融和其他促进改革，这些改革有助于加强实施和传播成功。

## 2.2 在东盟实施解决方案——选项、挑战和前进之路

### 2.2.1 能源

减少能源部门，尤其是燃煤电厂的排放，在东南亚已成为一个日益增长的关注点。随着该地区部分国家似乎准备增加对煤炭的依赖以提升电力普及率和增强能源安全（图17），这一关注点变得更加突出，尽管放弃煤炭和采用净零目标的压力在相反方向上施加影响（Clark等人，2020年；Kurniawan等人，2020年）。此外，该区域内各国在如何管理这些相互竞争的力量方面也存在差异。这种差异部分与不同的自然资源禀赋和发展水平有关——例如，东南亚的小型发达国家如马来西亚似乎比该地区的其他部分更倾向于更快地从煤炭转型（Morikawa等人，2021年）。



IDN – 印度尼西亚，MMR – 缅甸，MYS – 马来西亚，PHL – 菲律宾，THA – 泰国，VNM – 越南。来源：国际能源署（2016年），《世界能源平衡》

图17. 东南亚选定国家火力发电市场份额。

存在进一步的差异，包括空气质量与排放标准（表3）、执法能力、规划与协调减排的能力、监管制裁（罚款、停业令和违反规定时的监禁）、公开披露要求，以及报告和监控协议，这些都会对各国管理能源相关排放产生影响（Motokura等人，2017）。在某种程度上，这种差异

在各国选择采用的具体解决方案中得到了反映。尽管许多国家为现有的和更为传统的发电厂安装末端排放控制，但在该地区，先进的煤炭技术（高效的超超临界（USC）燃煤电厂和综合煤气化联合循环（IGCC））以及转向天然气和可再生能源正在获得动力（Ali等人，2021年；Morikawa等人，2021年）。

表3. 选择国家新建燃煤发电厂的排放标准。来源：作者汇编。

| 国家        | 硫氧化物 (SO <sub>x</sub> )                                                 | 氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )                                                              | PM                    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 澳大利亚      | SO <sub>2</sub> :200 mg/m <sup>33</sup>                                 | 无 <sub>2</sub> :800毫克/米 <sup>3</sup>                                                 | 80 毫克/立方米             |
| 德国        | SO <sub>x</sub> :150 mg/m <sup>3</sup>                                  | 无 <sub>x</sub> :150 mg/m <sup>3</sup>                                                | 10 毫克/立方米             |
| 日本        | SO <sub>x</sub> :50毫克/立方米<br>(SO <sub>2</sub> :133 mg/m <sup>3</sup> )  | 无 <sub>2</sub> :200 mg/m <sup>33</sup><br>(NO <sub>2</sub> :383 mg/m <sup>33</sup> ) | 100 毫克/米 <sup>3</sup> |
| 韩国共和国     | SO <sub>x</sub> :50毫克/立方米<br>(SO <sub>2</sub> :133 mg/m <sup>3</sup> )  | 无 <sub>x</sub> :50毫克/立方米<br>(NO <sub>2</sub> :96毫克/立方米)                              | 10 毫克/立方米             |
| 美国**      | SO <sub>2</sub> 每130焦耳/千克                                               | 无 <sub>2</sub> :88 ng/J                                                              | 11 ng/J               |
| 柬埔寨       | SO <sub>2</sub> :500毫克/立方米                                              | 无 <sub>2</sub> :1000 mg/m <sup>33</sup>                                              | 400 mg/m <sup>3</sup> |
| 印度尼西亚     | SO <sub>2</sub> :750毫克/平方米                                              | 无 <sub>2</sub> :750毫克/平方米                                                            | 100 毫克/米 <sup>3</sup> |
| 老挝人民民主共和国 | SO <sub>2</sub> :320毫克/立方米<br>(SO <sub>2</sub> :853 mg/m <sup>3</sup> ) | 无 <sub>2</sub> :350毫克/立方米<br>(NO <sub>2</sub> :670 mg/m <sup>33</sup> )              | 120 mg/m <sup>3</sup> |
| 马来西亚      | SO <sub>x</sub> :500毫克/立方米                                              | 无 <sub>x</sub> :500毫克/立方米                                                            | 50 毫克/米 <sup>3</sup>  |
| 缅甸        | SO <sub>x</sub> :500毫克/立方米                                              | 无 <sub>x</sub> :400 mg/m <sup>33</sup>                                               | 50 毫克/米 <sup>3</sup>  |

表 3. 选择国家新建燃煤发电厂的排放标准。来源：作者汇编。

|     |                                                                      |                                                                         |                         |
|-----|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 菲律宾 | SO <sub>2</sub> : 700 mg/m <sup>3</sup>                              | 无 <sub>2</sub> 1000 mg/m <sup>3.3</sup>                                 | 150 mg/m <sup>3</sup>   |
| 新加坡 | SO <sub>2</sub> :1700 mg/m <sup>3***</sup>                           | 无 <sub>2</sub> : 700 mg/m <sup>3</sup><br>NOx : 400 mg/m <sup>3**</sup> | 50 毫克/米 <sup>3***</sup> |
| 泰国  | SO <sub>2</sub> 180 ppm<br>(SO <sub>2</sub> :480 mg/m <sup>3</sup> ) | 无 <sub>2</sub> 200 ppm<br>(NO <sub>2</sub> :383 mg/m <sup>3</sup> )     | 80 ppm                  |
| 越南  | SO <sub>2</sub> :500毫克/立方米                                           | 无 <sub>2</sub> :650 mg/m <sup>3*****</sup>                              | 200 毫克/米 <sup>3</sup>   |

PM=颗粒物，SO=硫氧化物，SO<sub>2</sub>=二氧化硫，NO=氮氧化物，NO<sub>2</sub>=二氧化氮，mg/m<sup>3</sup> = 毫克每立方米，ppm = 百万分之几，N/A = 纳克每焦耳。x<sup>2</sup> x<sup>2</sup> 基于煤炭力发电厂的位置、燃料的硫含量、烟囱高度等。标准根据发电厂而异。此数值为基于发电厂与当地政府之间协议的具体发电厂示例。\*\*\*毛产量\*\*\*适用于新发电厂，煤的硫含量在上游应用。截至2023年7月。  
\*\*\*\*这是针对新工厂的；现有工厂需遵守700 mg/m<sup>3</sup>标准。<sup>3</sup>  
\*\*\*\*\*煤炭产量波动超过10% \*\*\*\*\*这适用于新工厂；现有工厂需符合每立方米100毫克的标准。<sup>3</sup> 截至2023年7月。

尽管存在这种差异和一些进展，但在排放控制的采用和传播方面仍存在一些共同挑战（Motokura等人，2017年）。此外，由于许多国家依赖地方政府来支持法规的执行和检查，人力资源和财政能力不足可能成为一个挑战（Ha-Duong等人，2016年；Motokura等人，2017年）。最后，尤其是在可再生能源的推广方面，一些技术挑战，如获得电力，可能会与之前提到的补贴相结合，从而锁定化石燃料密集型的发展路径。

尽管如此，该地区仍有一些令人鼓舞的迹象表明这些挑战可以克服。这种乐观情绪的部分原因在于，各国在应对和利用公众压力方面变得更加熟练。这体现在正式法规上，例如在泰国，监管官员每三个月与居住在燃煤发电厂附近的社区会面一次，以了解和解决可能限制排放的担忧（Motokura等人，2017）（框4），而在越南等国家，民间社会团体倡导更清晰地了解煤炭的社会经济影响，这也可能引发对更强排放控制的呼吁（Ha-）。

杜昂等人（2016年）。其他令人鼓舞的迹象包括柬埔寨和老挝人民民主共和国等国家的地方政府同意为发电厂制定更严格的排放标准，这些标准对于个别发电厂而言比现有的国家标准更为严格（本村等，2017年）。其他积极迹象包括国际和区域发展银行增加对可再生能源融资的规模，以及计划通过能源转型机制激励东南亚国家提前淘汰燃煤发电厂（布朗和豪伯，2021年）。此外，由于电力网络扩展的挑战以及对投资可能被遗弃的化石燃料资产的关注，菲律宾等国家可能对分布式可再生能源的支持日益增加（克拉克等人，2020年）。此外，印度尼西亚等国家通过有针对性的努力减少化石燃料补贴，以抵消对贫困人群增加的能源价格，并改善这些努力的公共沟通（伯克和库尔尼亚瓦蒂，2018年）。许多这些政策反映在该地区国家提交的国家自主贡献（NDCs）中（越南，2020年）。

#### 第4箱：泰国空气污染监管：进展与机遇

泰国拥有多项计划和法案来控制空气质量和排放。其中一些针对空气质量的法律法规涉及多种行动和参与者，例如1992年的《国家环境质量法案》。该法案要求，包括水坝、机场、大众交通基础设施、发电厂和工业区等23种特定项目类型，在进行环境影响评估（EIA）或环境健康影响评估（EHIA）之前必须进行环境影响评估。泰国在政府和非政府参与者合作方面拥有不少监管成功案例。其中之一是淘汰两冲程摩托车的案例，该案例涉及私营部门摩托车制造商和经销商的合作，并导致摩托车上的高污染两冲程发动机实现了100%的淘汰。

关于使空气污染法规更加有效的讨论已经有所开展。由于空气质量问题涉及不同行业中的各种污染物来源，一些讨论集中在建立一个拥有全面权力处理所有类型空气污染物并协调不同部门行动的国家级监管机构。在创建更强有力的全面空气质量政策方面已经采取了积极步骤，例如泰国清洁空气网络和泰国商会等组织已向议会提交了清洁空气法案草案以供辩论（Nikam等人，2021年）。

#### 2.2.2 行业

对于东南亚联盟（ASEAN）的许多国家来说，污染或能源密集型产业的排放已提升了环境政策议程。这一点在从亚洲其他地区，尤其是中国，迁移到东南亚的一些行业尤为明显（帕帕斯等，2018年）。东南亚最大的空气污染物排放者主要来源于大规模的重工业，包括钢铁、化学品和石化产品。尽管在一些东盟部分地区的来源很重要，但对于该区域的大部分国家而言，微小型和中型企业（MSMEs）构成了超过90%的运营，但由于其规模较小且分散，因此相对较为难以监管。

另一方面，泰国拥有比印度尼西亚更高的能源密集型产业，这些产业集中在造纸、纸浆和印刷行业（Pappas等，2018年）。

解决方案以减少大型企业和微型、小型和中型企业（MSMEs）的排放，在东南亚大部分地区是众所周知的。这些包括提高末端排放捕获效率的工业工艺标准，以及使生产过程更加节能。然而，对于这些解决方案的采用和推广同样存在被广泛理解的障碍。这包括某些行业规模的大小，以及监管机构可能缺乏足够的员工和资源来持续监督执行和实施。同样，许多这些行业的所有者缺乏投资于末端控制或更高效技术的初始资本。

不仅中小企业占据工业部门的重要份额，它们还体现了与工业排放相关的另一个观点：即该地区MSMEs的类型存在显著差异。例如，马来西亚更多地关注服务业，而其他国家则专注于小规模工业。区域内部类似行业的污染和能源强度也有相当大的差异。以印度尼西亚为例，其与化学品、石化、纺织和皮革生产相关的能源强度行业高于泰国；在

东南亚国家在克服这些挑战方面表现出了创造性。例如，印度尼西亚已经实施了多年的PROPER计划，该计划在公众面前展示基于行业遵守环保法规的颜色编码评分。将这些评分公之于众的目的是对行业施加压力，使其遵守规定，同时减轻监管机构持续监测排放的负担（Afsah等人，2013）。该地区另一个明显的趋势是加强与其他方面的整合。

污染控制与能源效率政策和计划。例如，泰国已经采用了广泛的能源政策改革，如标签和创新的金融方案，以提供激励措施，促使产业提高效率、节约能源和减少污染（Chotichanathawewong 和 Thongplew 2012）。最后，提高中小企业对环境保护的认识和技术支持似乎有改进空间；来自菲律宾的小企业研究表明，“创业战略导向[可以导致]对环境可持续性实践的更加积极主动的态度……[以及]企业绩效的优越性”（Roxas 等人 2017）。

2.2.3 交通运输

最直接减少机动车辆排放的方法是加强排放标准。如图18所示，东南亚几个国家已经持续提高轻型和中重型车辆的排放标准，使这些国家朝着实现欧VI标准（He et al. 2021）的轨迹发展。图18还强调，对于一些国家而言，加强两轮和三轮车辆的排放标准是关键减排策略。在东南亚一些机动车较多的国家中，两轮和三轮车占车辆总数的50%至90%（ASEAN-日本交通伙伴关系2013）。

尽管加强标准的做法看似直接易懂，但实际上可能比表面显示的要困难得多——这或许可以解释为什么东南亚一些国家尚未采用欧元标准。

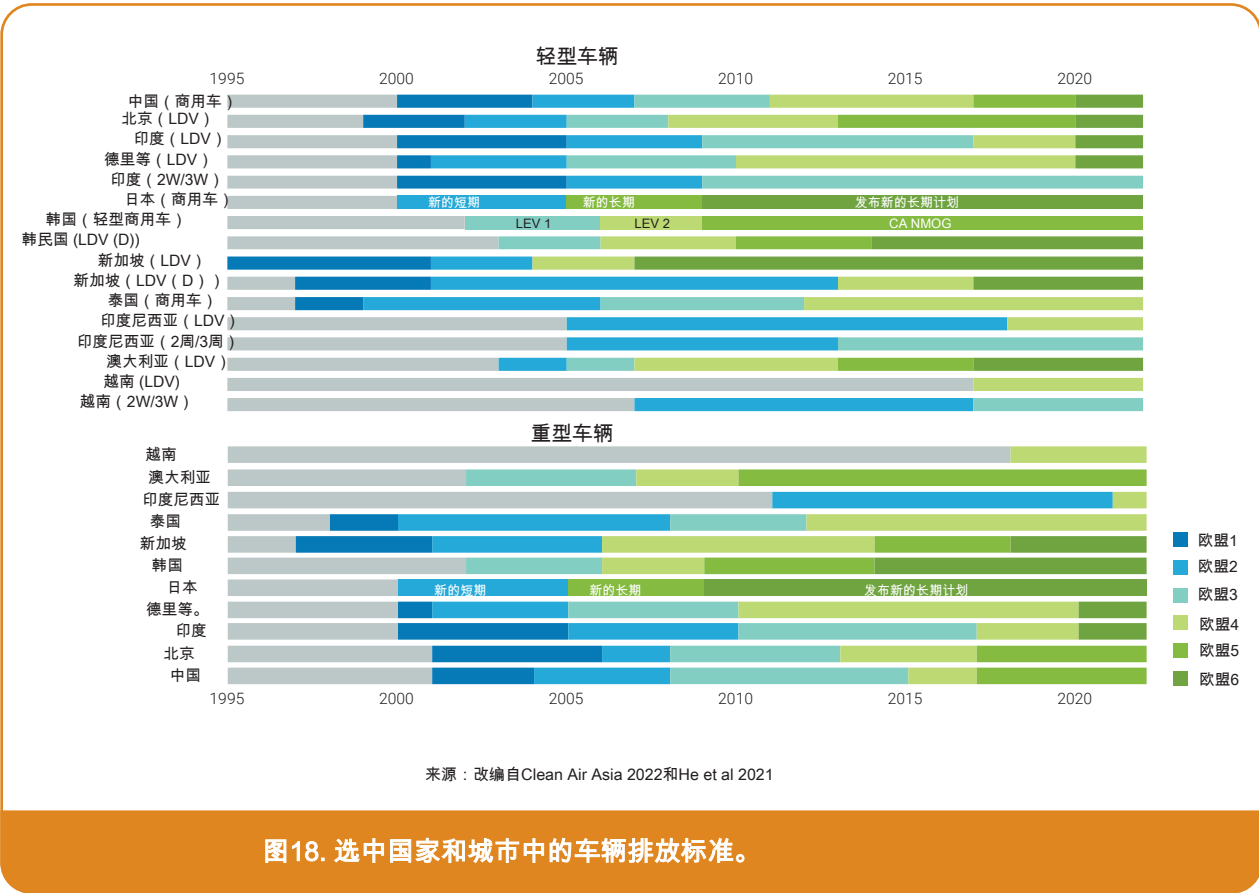


图18. 选中国家和城市中的车辆排放标准。

标准。挑战之一是燃料质量。符合欧3标准或更高标准需要低硫或超低硫燃料，而这些燃料在该地区大部分地区供应有限。从燃料供应中降低硫含量需要投入大量资金对炼油厂进行改造，以将燃料中的硫含量降至所需水平（Owen和Tao 2016）。这可能会进一步受到化石燃料补贴的阻碍，这些补贴减少了炼油厂转向高品质燃料的激励。

一些国家尽管如此在克服这些挑战方面取得了进步。例如，柬埔寨现在正在考虑采用欧3标准。同时，像印度尼西亚这样的国家已逐渐投资于提高燃油质量，这将有助于过渡到更严格的标准。最后，一些国家在电动汽车及其支持基础设施的投资上有所增加，作为更广泛努力的一部分，旨在使本国交通部门电气化，同时使国内汽车制造商能够利用市场趋势的转变（Schröder等人，2021年）。

一个有效的检查和维护计划（I&M计划）对于减少运输部门的排放至关重要。这是因为，在许多情况下，5%至10%的总体汽车车队负责了50%至80%的总汽车排放。这个小比例的车辆被称为“超级排放者”，因为它们对排放水平和空气质量的影响巨大。在大多数情况下，超级排放车辆通常较老，并且已经有一段时间没有进行维修。定期的检查和维护，以及适当的维修和从车队中淘汰这些车辆，可以解决这个问题。研究表明，这类计划在东盟部分地区可以具有成本效益。例如，研究表明，在曼谷大都会管理局，2000年的147亿美元年投资将远小于有效I&M计划（针对柴油车辆和摩托车）带来的总经济效益（来自减少空气污染和改善健康）（Li和Crawford-Brown 2011）。

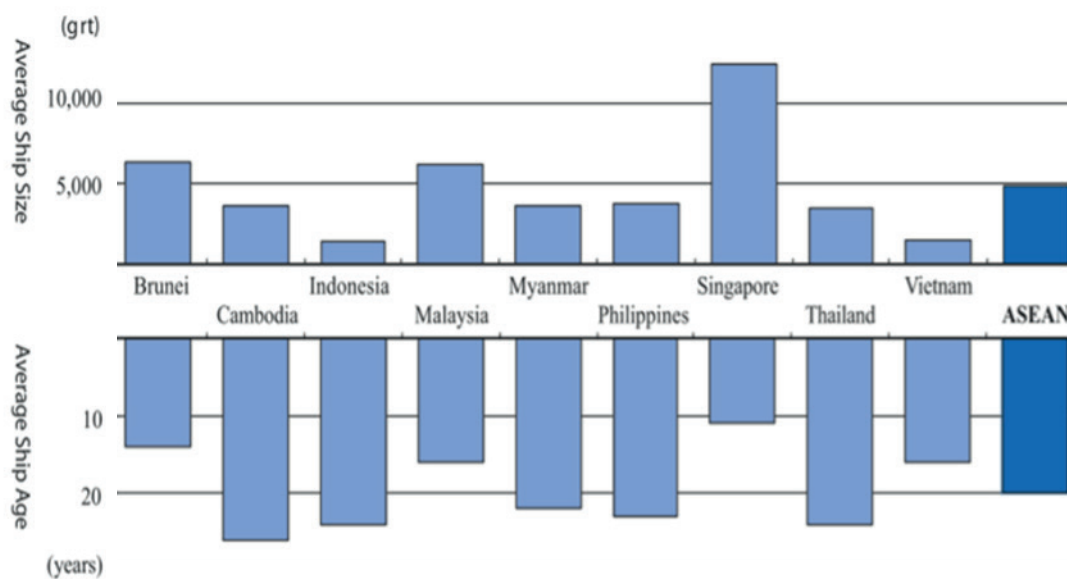
有效实施I&M（检查与维护）项目可能具有挑战性。其中一些挑战具有技术性质。例如，测试设备的类型需要与实际驾驶条件相一致，某些检查设备（如过滤器类型烟雾检测器）也需要相应地调整。

仪表（米）容易受到篡改。其他问题涉及驾驶员行为。由于I&M（检查与维护）计划的结果可能导致昂贵的维修费用，因此，自然倾向于规避检查和维修过程。这尤其困难，因为通常最需要维修的车辆主人拥有的资源最少，无法投资于必要的改装。可以说，一个有效的I&M计划面临的最大挑战是计划本身的制度设计；许多计划具有分散的结构，测试由可能缺乏足够能力和监管的私人测试中心进行。

尽管面临这些挑战，在东盟地区也出现了一些积极的迹象，表明这些障碍可以克服。例如，雅加达的I&M项目使柴油烟尘减少了30%，燃料消耗减少了5%（联合国环境规划署，2009年）。此外，泰国在政府拥有的车辆车队中有效地实施了I&M项目——例如，曼谷大众交通管理局（BMTA）负责对其管理的公交车实施预防性维护。更普遍地说，对亚洲几个重要项目的设计特点进行审查发现，以下因素有助于成功的I&M：持续的执法和可靠的检测技术，这些技术有助于建立和维护公众的信任、意识和参与（清洁亚洲空气，2016年）。

#### 2.2.4 航运

自东南亚大部分地区由众多岛屿和半岛组成，该地区的国家严重依赖海上贸易以促进社会经济的发展。因此，航运部门的排放成为主要的污染源。相关数据展示了这一点。全球前35大船东国中，有五国位于东盟——新加坡（第5位）、印度尼西亚（第22位）、马来西亚（第23位）、越南（第32位）和泰国（第34位），而该地区也是世界上44个最大港口中的八个的所在地（Ibitz 2018）。海事排放的重要性可能会增加。事实上，有些人强调，亚洲98%的贸易是海上贸易，而且随着区域经济一体化，贸易量可能会急剧增加（Cristea等人，2013年）。尽管海上贸易预计将在地区范围内扩张，但值得注意的是，该地区在船舶大小和年龄上存在很大的差异。如图19所示，倾向于



来源：Ibiza 2018

图19. 东盟地区航运船队特征（规模和年龄）。

船舶规模较小往往也意味着船龄较老，这对于解决方案的采用和传播具有重大影响。

可行的海上排放解决方案是众所周知的，并且与重型车辆的排放解决办法并行。其中最常提倡的选项之一是从污染严重的重油转向石脑油、液态天然气（LNG）甚至生物柴油和甲醇。在另一些情况下，安装末端控制装置，如柴油颗粒过滤器（DPF）、静电除尘器、废气洗涤塔（EGS），是可行的选择。第三组选项侧重于提高能效：这些在2011年被采用以来，在International Maritime Organization's (IMO) Energy Efficiency Design Index (EEDI) 中有详细说明，该标准为新建船舶提供了基于目标的、越来越严格的技术标准。这可以与Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) 结合使用（Wan等，2018），以鼓励采用和监测能效措施，如低速航行或能源审计（国际海事组织[IMO] 2016）。

然而，实施这些解决方案存在几个挑战。燃料转换、排气控制和能源效率改进的有效性取决于船舶的状况以及它们所处的环境。

运营和其他环境变量（Lack 2017）。至于财务障碍，船主不太可能投资于末端排放控制，因为这些措施成本高昂，可能增加燃油使用和成本（Eide等人，2011）。在政策和法规方面也存在显著的差距。例如，能效设计指数（EEDI）仅适用于大型新造船（海洋环境保护委员会，2018），鉴于该区域许多国家的船舶尺寸和年龄，这一点尤为突出。

令人鼓舞的消息是，人们越来越了解如何克服这些障碍。有些人主张政府支持的补贴或税收优惠政策，以降低购买排放控制技术的成本。其他人则包括市场工具，如信用系统和排放配额，以激励船舶所有者进行这些投资（Zhu等，2017）。另一组互补的选项涉及通过建立东盟单一航运市场或区域可持续运输框架的倡议，在区域层面上加强这些解决方案的合作。国家和区域解决方案都将受到国际船舶防污公约（MARPOL）和IMO发展的影响。

### 2.2.5 控制F气体

氢氟碳化物（HFCs）的控制可能导致能源效率的提高，并可能改善空气质量（取决于能源来源）。HFCs是一组工业化学品，是一种强效的温室气体（GHG）和次氯酸（SLCP）；它们主要用于冷却和冷藏。

基加利修正案，要求在《蒙特利尔议定书》下逐步淘汰HFCs，并于2019年生效，可能有助于降低东盟地区的这些排放。根据基加利修正案，各国承诺在未来30年内至少减少80%的HFCs生产和消费。符合此修正案的减少或替代HFCs的解决方案广泛可用。然而，一些障碍阻碍了它们的采用。其中一些关键挑战包括缺乏意识、高技术和成本障碍，这些障碍会阻止从HFCs的转变。

尽管如此，在一些行业和案例中还是取得了一些进展。例如，印度尼西亚的Alfamidi便利店引入了CO<sub>2</sub>制冷系统在印度尼西亚900多家商店中得到应用。这些系统不仅降低了成本并节约了能源，而且显著减少了HFCs（联合国环境规划署/清洁发展机制，2014年）。与此同时，在日本，政府、行业和学术界正与国内公司和企业合作，通过定期检查以及回收HFCs和改进设备的努力，加强对抗制冷剂泄漏的对策（日本制冷剂和环保组织，2021年）。

一些这些努力也导致了与东盟国家的合作。在《联合国气候变化框架公约》第25次缔约方大会（COP25）上，日本、13个国家和国际组织启动了全氟烃生命周期管理倡议（IFL），该倡议支持氟利昂管理试点项目。随后，在日本共同信用机制（JCM）下，启动了一个现有废物焚烧设施的试点项目，该项目每年可销毁12,512吨的HFCs和其他污染物（全球）。

tCO<sub>2</sub>

环境中心基金会（2020年）。将根据销毁的HFCs数量发放碳信用额度，为私营部门提供回收、运输和销毁成本的动力。

一些HFC控制措施专注于根据基加利修正案逐步淘汰生产和消费。虽然这些措施的关注点在上游，但下游“存储”也值得关注。目前使用的电器和汽车中存在制冷剂，或者将在淘汰开始前生产和消费。解决目前锁定在这些产品库中的HFC将越来越重要，尤其是在东南亚和其他地区（日本环境省2016年）。

### 2.2.6 住宅能源

在能源匮乏和农村地区，传统炉灶使用木材、牲畜粪便和其他生物质作为燃料。除了燃烧不均外，这些传统炉灶缺乏通风也加剧了室内空气质量。这种污染对妇女和儿童的健康产生特别负面的影响，因为他们通常在室内度过更多的时间，并且更容易接触到来自炉灶的烟雾。在东南亚及其以外，广泛的利益相关者意识到了这些不利影响，并已采纳了各种政策并启动了项目以减少这些影响。

许多这些政策涉及技术措施，如电气化、改用天然气和推广不排放烟雾的改进型炉灶。这些措施可以与提高人们对传统炉灶负面健康影响的认知宣传活动相结合。然而，推广更清洁的炉灶仍面临挑战。一些障碍涉及最终用户对传统炉灶烹饪食物口味的偏好所表现出的抵制。另一个问题是改进型和高级炉灶的成本；这些成本可能比传统炉灶高出几倍；即使是成本的小幅增加也可能成为巨大的瓶颈，因为许多家庭的收入有限，无法投资于更清洁的替代品。另一个更广泛的组织挑战是能源发展社区与卫生社区的分离，以及两者都不习惯于解决家庭层面的问题，因此住宅能源可能“掉入缝隙”。

一些不同国家的努力示例表明了克服这些挑战的潜力。印度尼西亚政府的“零Kero”项目提供了更多的

在五年内，超过5000万户家庭获得了用于烹饪的液化石油气（LPG）的接入。这个项目得益于成功的燃料补贴政策，导致了国内LPG消费量的五倍增长，从2007年的每人4.7公斤增加到2015年的每人24.4公斤，同时木材的初级成本减半（Thoday等人，2018）。在柬埔寨，由于烹饪炉由非法砍伐的木材提供燃料，非政府组织、私营部门、国家和国际组织合作开发了一种改进的烹饪炉——新老挝炉（NLS），与传统炉相比，节约了大约22%的木材和煤炭，并为妇女减少了烹饪时间，创造了炉具生产工作。与此同时，在老挝人民民主共和国，荷兰发展组织（SNV）发起的改进烹饪炉（ICS）项目通过提高ICS价值链上所有参与者的性能：生产商、零售商、检测机构和用户（SNV荷兰发展组织，2016年）。

最有效的补救措施很可能是自下而上地工作，并考虑一系列与情境相关的因素，包括改变农业废弃物处理方式的潜在成本、农民对废弃物的看法、废弃物不同用途、行为和意图的差异，甚至社会文化结构（即心智模型和习惯）。

近年来，随着研究和技术的进步，已经提出了几种替代燃烧农业废弃物的方案，这些方案考虑到了上述的一些因素。这些方案包括将残留物作为地面覆盖、土壤改良剂（覆盖物和堆肥）、动物饲料，或作为能源、建筑材料、纸张产品、生物塑料和其他制品的原料。这些可以在现场或在农场外进行，后者需要从多个农场收集残留物以获得规模经济。农场外部的解决方案涉及更大的前期投资，以及与产品移动相关联的额外成本，以及如分销（Cassou 2018）等复杂问题。这些自下而上的技术可以与基于社区的执行体系和榜样相结合，以劝阻燃烧。

## 2.2.7 农业焚烧

播种新作物之前，世界许多地区的农民，包括东南亚地区，会焚毁耕作用地以清除早先收获的残留。虽然这种方法快速且成本较低地准备好了土地用于种植，但它是不可持续的。这不仅会降低土壤肥力，还会生成高水平的颗粒污染，这显著导致东南亚的雾霾事件。

尽管政策制定者和农民都意识到导致焚烧的多种因素，但改变这些做法证明是易说难行。这部分原因可以归因于焚烧禁令的限制。世界上许多国家已经采用许可制度来禁止露天焚烧或限制焚烧到特定日期、时间和大气条件。然而，法律措施的有效性各不相同，通常取决于非法律因素和独特的国家情况，包括让农民熟悉法律、遵守规则的文化、检测和惩罚非法焚烧的能力，以及经济和其他激励措施是否符合法律。这些经验表明

在东南亚，建立能够解决棘手问题的计划已积累了一些有益的经验。泰国已经启动了一个涉及多个部门、各级政府和协同行动者的11点计划，旨在通过有针对性的禁令、提高意识并激励使用农作物残余物增收。此外，在东南亚（包括印度和中国）内外，跟踪燃烧及其影响的努力正在不断增长——这可以影响评估进展。最后但同样重要的是，东盟烟雾协议及其关于东盟合作应对跨境烟雾污染控制路线图提供了一个有用的框架，用于解决这些问题（参见框图5）（东盟 2023）。

## 箱 5：关于东盟合作控制跨境烟雾污染的路线图

《第二无烟霾路线图（2023-2030）》作为一个框架，旨在通过在地区、次地区、国家和地方各级有效实施集体行动来消除烟霾。它通过九种策略实现，这些策略旨在帮助东盟预防和控制农业、土地和/或森林火灾（包括泥炭地火灾）的露天焚烧。

The Second Roadmap pursues these goals by focusing on the following targets:

- 东南亚地区雾霾污染事件数量显著且持续减少。
- 实现国家PM空气质量目标，着眼于实现世界卫生组织的目标。

2.5  
组织的年度和24小时临时目标3，针对项目经理  
2.5

近年来，haze 协议在实现上述指标方面取得了显著进展。

来源：东盟2023

### 2.2.8 垃圾管理与垃圾焚烧

在许多东盟国家，城市垃圾的露天焚烧现象普遍存在，但这一做法的差异性很大，取决于垃圾收集覆盖范围和质量、服务提供的融资、监管有效性、经济发展以及更广泛地，居民对人类健康和环境影响的低意识水平（联合国环境规划署2017年）。尽管露天焚烧可能发生在垃圾处理的各个阶段（Premakumara 2021年），包括垃圾生成到最终处置，但也有强有力的证据表明，拥有更先进垃圾处理系统的国家不太可能依赖此类活动（联合国环境规划署2017年）。

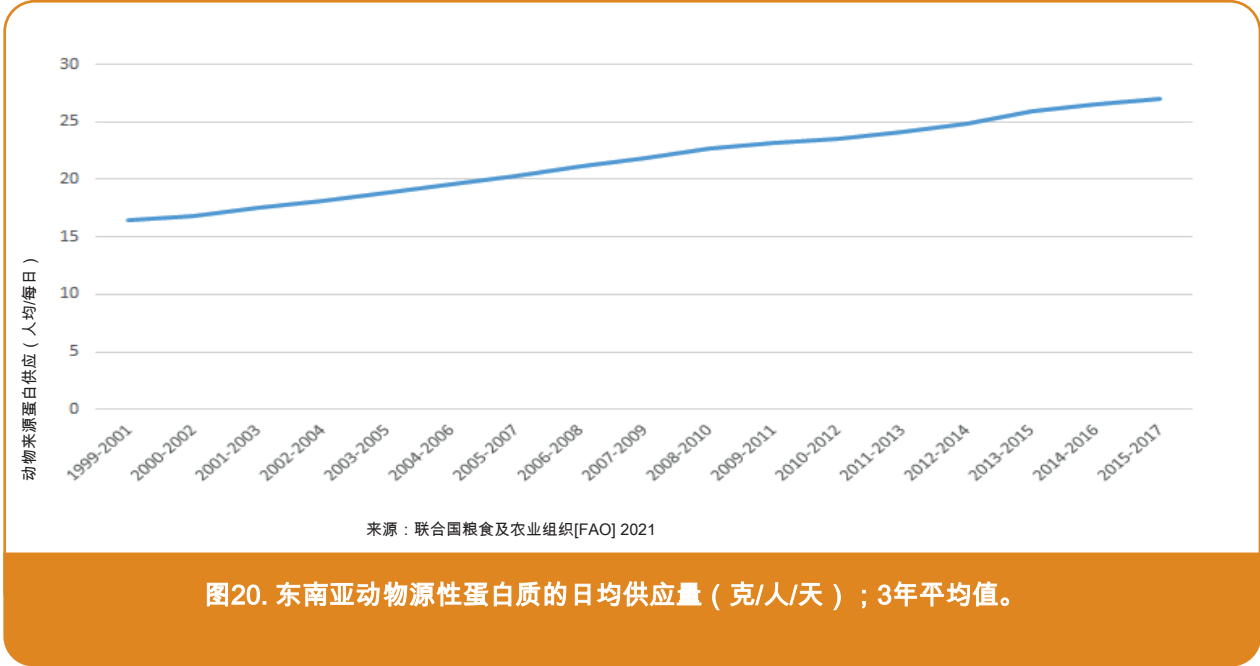
尽管存在这些差异，在东南亚地区解决垃圾焚烧问题仍面临一些共同挑战。提高高品质废物管理服务的可负担性仍然是一个主要障碍，尤其是在东盟地区工业化程度较低的国家。同样，在缺乏强大监管和制度框架——包括明确标准、强有力的监控程序和可靠的执行机制——的国家，控制垃圾焚烧已被证明是困难的。此外，质量和排放数据的匮乏使得准确量化开放焚烧的国家和地区影响变得困难。

近年来，几个东盟政府已努力克服这些障碍。以马来西亚为例，国家实施了全面的改革，将垃圾管理职责转移到中央政府，这导致了该国《固体废物管理和公共清洁法》（法案672）的通过。于2011年生效的法案672正式建立了马来西亚的国家级固体废物管理部，作为处理与垃圾相关问题的协调执行机构。相比之下，其他国家在垃圾管理规划和决策方面采用了更加分权的方法。根据菲律宾《共和国法9003》（RA 9003），所有地方政府单位都必须制定综合的固体废物管理计划，明文禁止露天焚烧（Premakumara等人，2018年），并确立了与气候变化和可持续发展目标（SDG）相对应的联系。最近，缅甸制定了自己的《国家固体废物管理和行动计划》（2018-2030年），除了提供国家及地方协调的指导框架外，还概述了在中短期和长期消除垃圾焚烧的若干目标和指标（Hla Maung等人，2020年）。

除机构改革之外，解决露天焚烧问题需要为废物管理操作分配充足的财政资源。在此方面，有强有力的证据表明，基于社区的零废弃解决方案有助于减轻与提升收集、回收和处置系统相关的成本（Premakumara等人，2017年）。这一点尤为重要，因为研究结果表明，通过组合不同的废物选择和干预措施，最有效地减少居民焚烧（Cook和Velis，2021年）。此外，露天焚烧对于没有官方收集服务或依赖收集和焚烧废物谋生的非正式部门市民来说，带来了一定的益处。因此，拥有基于证据的解决方案，以及在提高对负面影响的认识方面有足够的提高，这一点非常重要（Premakumara等人，2021年）。

2.2.9 饮食结构的改变

由快速的社会经济发展、城市化和生活方式的变化推动，过去三十年东南亚（图20）肉类消费经历了显著增长。即使有这种显著的增长，地区内的饮食偏好仍存在相当大的差异，这对该地区肉类消费的水平类型产生了影响。例如，越南的牛肉消费量高于东南亚其他国家的平均水平。另一方面，印度尼西亚的猪肉消费量低于东南亚其他国家的平均水平。此外，肉类消费水平与世界平均水平相比也相对较低。Malley等（2021）估计，与水果和蔬菜摄入量低等饮食健康风险相比，高总红肉摄入量导致的最大健康负担在西方和东欧、北美洲以及东亚和东南亚。



尽管上述背景和区域差异应予以考虑，但在该地区许多地方，转变饮食习惯的一些共同挑战是显而易见的。其中最显著且许多决策者首要关心的是食品安全，确保人口能够达到全球推荐的每日2300千卡热量摄入标准（Khine等，2021年）。另一组挑战涉及到该地区许多经济体的“肉类化”现象。

关于消费者和肉类及谷物（这些是动物饲料的主要来源）供应商之间相互增强的网络（Jakobsen and Hansen 2020）。最后，尽管该地区有一些支持大型农场和农业企业的明显努力，东南亚仍由许多小农户占据，他们可能会因饮食模式发生重大变化而受到影响（Rigg et al. 2016）。

有一些令人鼓舞的迹象表明，这些挑战可以有效地得到管理。其中之一是，该地区许多国家——以马来西亚为首——已经采用了多部门的国家营养政策和行动计划，利用各种工具激励消费者出于健康原因减少肉类摄入（Soon和Tee，2014）。同时，在东盟社会文化共同体（ASCC）和东盟经济共同体（AEC）的框架下，也有区域性的努力加强粮食安全与气候变化之间的联系（Caballero-Anthony等人，2015）。关于健康饮食情景的影响的研究也相当多，建议转向减少动物数量和动物产品，并增加肉类替代品（例如豆腐和豆豉）（Adhikari和Prapasongsa，2020；Khine等人，2021）。正如以下讨论的那样，改变饮食对遏制其他形式的环境污染和气候变化也可能有重大影响。

那么，对项目管理和气候变化都产生贡献。

<sup>2.5</sup> 氮肥的施用命运取决于所施用氮的类型（例如，合成肥料或有机肥料），以及营养管理原则，如“4Rs营养管理”（即施用正确形式、正确用量、正确方法和正确时间）。

在东南亚，针对具体降低畜牧业和化肥使用中氮排放的经验是有限的。然而，欧洲已推广了多项技术和行为改变来缓解上述影响。一些畜牧业措施包括要求建造低排放的畜舍；覆盖式粪便存储设施；和在土地上高效应用粪便。对于化肥，通过用硝酸铵代替尿素，或者改进尿素（适当的时间和剂量）应用，以及可能使用尿素酶抑制剂来解决尿素应用排放。此外，氮肥管理提高了其效率。然而，即便是在最佳的养分管理下，研究表明环境损失仍可能很高：43%的直接氮投入农业土壤到达收割和生物质生产，供人类或动物消费（在欧洲，作物氮利用率估计为58%）（Sutton等人，2013年）。这种情况常常因氮肥补贴而加剧，补贴的目的是促进粮食生产，但可能导致农民过度施用肥料以避免减产。

2.2.10 减少来自牲畜和肥料的氨气

减少动物数量和肉类消费（如前一小节所述）以及化肥投入是直接减少泄漏到环境中的氮素量的最佳方法。这样的努力是至关重要的，因为一旦氮被引入食物系统，它可能会产生多种环境影响。这包括氨和氮氧化物排放的影响，这些可以

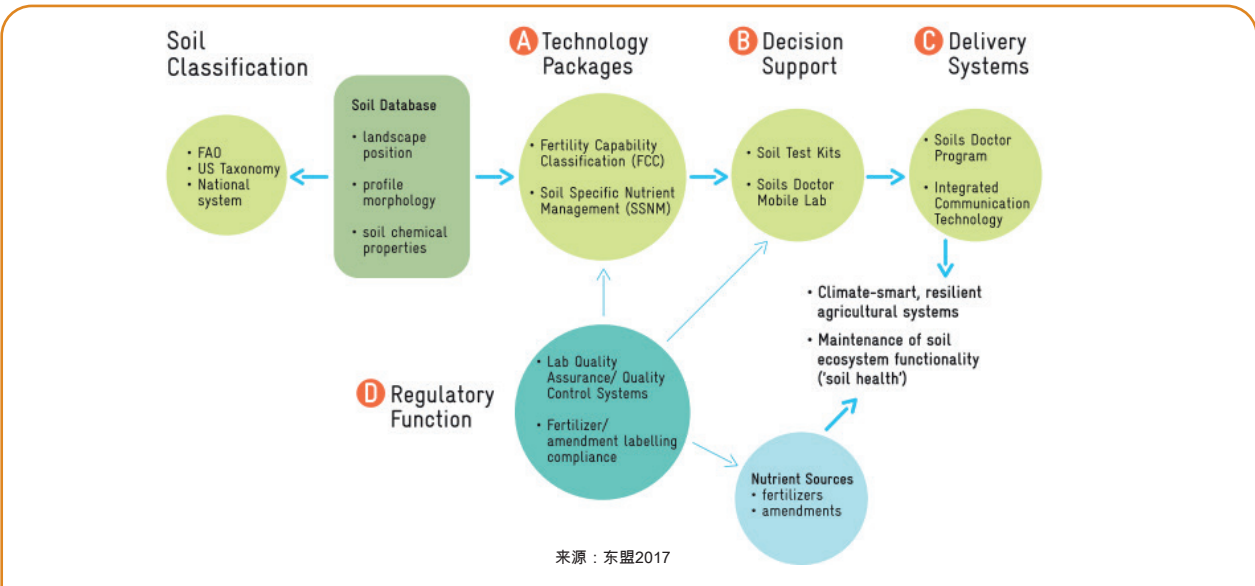


图21. 土壤与养分管理实施框架  
在东盟地区

另一组方案涉及粪肥管理。在这种情况下，农民对作物可获得的氮含量进行估算，并根据该评估改进粪肥管理实践至关重要。此类改进可能包括使用封闭或覆盖的储存罐，在施肥后快速将粪肥融入土壤以减少氨损失到空气中。这种做法在欧洲和北美越来越普遍，但需要更多的意识和技术支持才能使它们在全球范围内得到接受。这一点在越南最近的研究中尤为明显，研究发现90%的农民没有把粪肥看作一种有价值的肥料。另一方面，大约50%的受访农民通过安装生物气化工器来提高了粪肥管理（Tee nstra等人，2014）。在越南以外东南亚国家（鉴于对猪肉的需求上升，随之而来的猪肉产量迅速增加和大量动物粪便需要管理）强调生物气化工器的额外益处也可能在其他国家有用（Roubik等人，2018）。Roubik等人（2018）也表明，越南每个家庭每天的生物气体生产潜力比实际生产高出两倍以上。

也可能有机会在东南亚相关政策领域展示一系列效益。例如，“东盟土壤和养分管理指南”（东盟2017年）已认可更一体化系统来管理土壤、养分、水和作物，以优化作物生产和改善土壤健康。这些指南遵循《东盟在食品、农业和林业合作愿景与战略规划》（2016-2025年）的目标（图21）。在东盟，有采取更全面养分管理方法的机会，以减少对水质和空气质量、温室气体排放、生物多样性和土壤健康的影响。尽管这些方法尚未成为主流，但德国已采纳，它是最早生产考虑所有这些影响的综合国家氮排放目标的几个国家之一（Geupel等人，2021年）。最后但同样重要的是，有空间建立减少氮排放策略与用于节约用水、减少甲烷和缓解气候变化的水稻田交替湿润和干燥（AWD）之间的联系，这在东南亚许多地区都有应用。

亚洲（Chidthaisong等人，2018；Setyanto等人，2018；Sibayan等人，2018；Tirol-Padre等人，2018；Tran等人，2018）。这种方法已在印度（Kr itee等人，2018）减少了氧化亚氮排放。

## 2.3 在大规模实施解决方案：融资和治理

实施第1章中估算的空气质量、公共健康、食品安全和气候效益所需的大量优先解决方案，需要融资和有支持性的治理安排。资源和治理改革类型将因不同解决方案而异。涉及发电厂排放控制的解决方案需要显著增加投资资本，而炊事炉则需更适度的目标资金。此外，支持这些改革的治理类型也存在一些差异。例如，加强车辆排放标准的解决方案需要自上而下的政府领导标准，而控制露天燃烧则涉及自下而上的创造机会和同伴学习。

此外，融资水平和适当的治理安排在不同国家之间将有所不同。这反映了现有制度安排的独特特征以及相关机构人力资源水平的差异。然而，本节将概述各国可以和已经使用的选项，以在更广泛的地区动员资金并加强治理安排。由于许多解决方案也有助于缓解气候变化，本节中的许多选项旨在加强气候政策的整合，并获取不断增长的气候相关绿色金融资金池。

### 2.3.1 融资

实施规模解决方案的关键之一是填补必要的资金缺口。特别是在能源领域，有越来越多的绿色金融资源可以帮助解决这个问题。正如之前所提到的，其中一些资金可以通过泰国等国家能源效率和节能项目获得。此外，在过去十年中，全球范围内绿色债券的发行量急剧增加——从50亿美元增长到超过2 700亿美元——这些债券通常在以下方面进行评估和监控：

他们（绿色金融）对温室气体（GHG）排放的影响。同样，绿债在东南亚也日益流行，这得益于政府的优惠政策。例如，新加坡的可持续债券资助计划旨在通过资助获得发行前外部评审或评级的相关合格费用以及发行后此类债券的外部评审或报告，来支持发行绿色、社会、可持续发展、可持续发展相关和转型债券。与此同时，在马来西亚等拥有庞大穆斯林人口的国家，绿色绿色苏库克（Green Sukuk）作为一种符合沙里亚法（Shari'ah）的、投资可再生能源和其他环境项目的投资方式，为挖掘社会责任基金提供了一条替代途径。

另一部分MSMEs和小型排放源的资金来源涉及中央银行和金融包容计划。这些计划传统上被设计用来为小企业和那些难以获得资本的个人提供资金。然而，近年来，中央银行和金融监管机构已明确寻求通过各种工具来“绿化”这些计划，鼓励银行不仅向弱势群体和未纳入银行体系的人群提供贷款。在菲律宾，菲律宾中央银行（Bangko Sentral ng Pilipinas, BSP）寻求提高银行对绿色投资可以带来更广泛社会效益的认识。同时，印度尼西亚采取了更直接的方法，为银行提供了一份绿色活动清单，以便他们进行贷款决策。

除了债券和贷款之外，政府还有机会改革政策或预算编制实践。在政策改革方面，将化石燃料补贴减少和重新分配到清洁能源，在区域范围内可能具有最大的潜力。在预算编制实践方面，努力“标记”或明确识别公共支出如何对更广泛的社会经济和环境目标做出贡献。这种标记在印度尼西亚已用于气候变化，最近还用于更广泛的可持续发展目标（SDGs）。这种方法也可能帮助政策制定者更好地理解与环境相关的项目对健康和其他发展成果的影响。

### 2.3.2 治理

截至目前，讨论主要集中在特定领域的具体解决方案的实施。然而，这些解决方案的广泛实施往往依赖于跨空气污染、能源、交通、农业、卫生、金融以及其他部门政策和管理机构的横向整合。它还经常基于政府国家和地方层面的纵向整合。在许多情况下，政府外利益相关者的参与和赋权——从公民社会团体到实际资源使用者——将证明至关重要。简而言之，实现第一章中提出的共同利益将有越来越多的需求，多层次、多利益相关者的治理形式。本小节将阐述一些促进这种多机构、多角色合作的治理模式的范例。

许多解决方案将受益于跨行政范围和部门的合作。在东南亚，已经有一些令人鼓舞的跨机构交流和合作案例，这些案例可以为进一步的整合提供基础。例如，在泰国，管理船舶排放的努力导致了交通部和自然资源与环境部的合作。在越南，机构间的合作体现在它向联合国气候变化框架公约（UNFCCC）作出的承诺中，称为国家自主贡献（NDC）。对越南NDC作出贡献的技术工作非常重视气候变化、健康和一系列可持续发展效益之间的联系（越南2020）。

虽然这种一体化通常是由于制度改革使机构能够更紧密地合作，但它也可以通过针对综合规划的针对性支持来有目的地促进。过去十年，在这些目标方面，能力建设得到了显著增加。在东盟国家（在报告的下一段中将进一步讨论）开展了增强能力和开发更综合的空气质量与气候变化规划的支持。例如，柬埔寨制定了其首个空气质量规划，作为该规划的一部分，它还开发了一个综合空气污染

并且气候缓解评估以支持该计划。菲律宾在东盟倡导了短期气候污染物（SLCPs）的问题，并正在将其规划作为其国家气候和空气污染战略的一部分。在泰国，污染控制部门目前正在制定其国家SLCP规划。此类努力产生了大量经验、教训、最佳实践和指导，关于有效增加对空气污染和气候变化的行动（参见Malley等人，2021年）（有关倡导国家的讨论，请参见第3章）。

治理的另一个重要维度涉及决策层级的垂直整合。确保许多小规模解决方案达到规模，通常依赖于国家和地方政府之间的整合。还有一些情况，这种合作也在逐步取得进展。在菲律宾，一些地方政府机构正在制定承认与空气污染、废物管理、健康和其他符合国家政策的发展需求的当地气候变化计划。马来西亚也存在类似现象，当地政府如吉隆坡正在采取与国家气候政策一致的节能措施。重要的是，在多个案例中，地方政策比国家政策更具创新性和雄心。相反，国家政策提供了一个框架，可以为转移实施和推广地方行动所需的财政资源提供正当性。

为了充分利用这种自下而上的动态，非政府利益相关者的参与通常可以提升决策的质量和持久性（Fischer 2000；Reed 2008），并根据当地条件定制解决方案（Martin and Sherington 1997），专注于实施。有利于农民参与式研究（FPR）的论点。在这方面，也存在令人鼓舞的趋势。在泰国，基于社区参与的传统，会定期就电厂的运营进行咨询。在老挝人民民主共和国，妇女们积极参与了改进型炊事器的制造、销售和营销，从而在整个价值链上放大了影响。

老挝人民民主共和国的例子表明了一个更普遍的观点。这15种解决方案中的许多都

未被充分认识到的对性别的影响。此外，尽管许多解决方案并非直接旨在促进性别平等，但强调这些解决方案对性别或社会经济公平的影响有助于调动多元利益相关者的能量并加速其实施。这可能在需要社会和行为变革的解决方案中尤其如此。同样，扩大妇女和其他经常被忽视的利益相关者在相关流程中的参与也可能是有益的。确保妇女工会和社会事务机构能够在环境政策决策机构中有意义地参与，这一努力也可能有助于推动气候政策中的公平转型。

然而，另一个越来越重要的治理动态涉及城市和农村地区之间的规划和协调。越来越多的研究表明，许多在城市中损害健康的空气污染实际上是在城市区域外排放的。例如，为什么在泰国曼谷防止空气污染如此困难，原因在于城市和农村来源混合，形成了一种难以管理的有毒混合物，因为它源自多个来源。这个问题可以通过改善城市和农村地区之间的协调来解决。尽管这在东南亚是一个相对较新的领域，但我们可以从中国努力在空气区域层面协调城市和省份应对空气污染的举措中汲取一些积极的经验。也许还有余地构思创新融资方案，将资源从城市转移到农村地区，以帮助转向替代作物并遏制露天焚烧。

最后，为了预示下一章的内容，加强东南亚国家在这些解决方案上的合作具有巨大的机会。这在东盟烟雾协议下已经以相当大的程度发生。然而，通过关注多重利益，还有更大的空间来建立跨国合作。来自国内和国际研究机构的专家投入、捐助机构和捐助国的支持，以及地方政府、当地居民、民间社会团体和企业制定政策和项目中的积极参与，可以成为许多解决方案有效实施的动力。

# 3

## 区域合作应对空气污染和气候变化综合解决方案

### 3.1 引言

第一章指出，通过实施15项优先解决方案，东南亚国家可以实现显著的空气质量、气候保护、公共健康和其他可持续发展效益。第二章建议，该地区在克服实施这些解决方案的障碍方面拥有丰富的经验。此外，进一步加强相关融资和治理安排的努力可以增强实施效果。本章着重于加强次区域在综合空气污染和气候规划方面的合作。

即，在提供更多综合性规划财务支持时，固体碳捕集与封存（SLCPs）通常会在气候变化（国际捐助者资源）与空气污染（地方和国家资源）之间“落空”。

- 一个最终的关键点涉及能力建设需要性质。一些受访者指出，理解核心概念的重要性——即SLCPs是什么？其他人强调了支持综合规划技术方面的必要性，包括用于确定关键缓解措施的工具有哪些。另一组受访者建议，需要示范项目和动员资金来展示如何实现多重效益的实质性和实用性。下一小节将更详细地描述这些需求。

### 3.2 需要加强在综合空气污染和气候变化规划方面的合作

本章基于17次半结构化关键信息提供者访谈，访谈对象包括政策制定者、国际组织代表以及其他东南亚地区的专家。此外，它还综合了与东盟秘书处和其他相关利益相关者的交流会议的输入。结果强调了三个显著点，这些点可能支持东南亚在综合空气污染和气候规划方面的协调。

- 第一个关键点是，在东南亚，对综合规划的兴趣相当浓厚。同时，受访者们指出，为了实现综合规划的多重效益，需要付出更多的努力。

- 一个相关的观点是，对综合气候变化和空气质量方法的了解仍然有限。该区域一个国家的官员在建议其政府在设计 and 制定国家的国家自主贡献（ND C）时只关注温室气体（GHGs）时，清楚地表明了这一点。一个相关的观察结果表明了为什么情况会是这样：

### 3.3 总结三个关键需求

基于访谈，确定了三个关键需求，如果得以满足，将能支持东盟地区空气质量污染和气候变化的综合解决方案。

1. 第一个需求涉及综合规划。这一需求被分解为几个更小的步骤。第一步将是相关政府工作人员和学者了解背景信息。接下来是确定解决空气污染和气候变化的方案并实施政策。这需要由嵌入学术社区和政府机构内的团队领导和实施。这包括为最近一年开发排放清单。在由CCAC支持的工作中，用于国家规模的工具是低排放分析平台（LEAP）。LEAP是一个灵活的模板，用户可以自定义以创建和理解综合空气污染和气候计划的益处。其他

工具被CCAC在具有国家分辨率的区域尺度上使用，例如IIASA的GAINS。

2. 相关的需求是示范项目。受访者中普遍有一种共识，即在纸上规划没有地面上的证据支撑将无法引起共鸣。无论是通过节能减排技术减少排放，还是通过使用覆盖设备鼓励露天焚烧减少，政策制定者能够指出具体案例，展示解决方案的成功经验至关重要。事实上，在东盟地区有许多成功的案例；然而，那些能够展示减少排放、改善空气质量和健康的新项目被视为尤其重要。正如一位受访者所说：“[我们需要]实际上实施一个项目，这样他们可以测试所学的知识，通过试错提高实际技能，并产生结果。”

3. 最后一个需求涉及筹集资金。在吸引资金方面，一个可能的途径是利用来自气候变化基金，如绿色气候基金的资源。另一个可能性是与开发银行合作，如亚洲开发银行（ADB），以获取支持投资项目实施和空气污染及健康效益的基金。除了硬件资金外，访谈还揭示了该区域的关键利益相关者需要更软的技术专长来制定资金提案。这可能涉及政策制定者获得技术支持，以工作于一个发展成为完整提案的项目概念。

### 3.4 一些现有的计划可能有助于解决这些需求。

访谈还强调，在解决这些需求时没有必要从头开始。在亚洲，有几项旨在促进空气质量、气候和健康之间整合的倡议，这些倡议有助于解决上述三个需求。

在最近的区域倡议中，最引人注目的是《区域大气污染行动计划》，该计划正在根据经济和社会理事会决议75/4进行审议。

亚太经社会（ESCAP）关于加强区域合作应对亚洲及太平洋地区空气污染挑战的情况。区域行动计划旨在“促进以科学为基础、政策导向的合作，以提高空气质量管理。”它还旨在“建立开放的区域平台，用于交流空气污染挑战和解决方案的信息及最佳实践。”

一组相关活动正有助于提高各国在控制空气污染和减缓气候变化方面的努力。例如，几个联合国机构在2020年启动了以环境与气候变化为主题的问题联盟（IBC），为成员国在其实施2030年议程方面提供协调支持的平台。在联盟之下，设有由联合国环境规划署（UNEP）和联合国亚洲及太平洋经济社会委员会（UNESCAP）共同担任主席的工作流程，专注于以下目标：通过国家自主贡献（NDCs）提升气候行动的雄心；加速亚太地区在空气污染方面的行动，以期在2030年前实现世界卫生组织空气质量指南；并加速亚太地区煤炭的淘汰（UNESCAP 2020）。

另一个有助于解决上述三项需求的区域性举措是亚太清洁空气伙伴关系，简称APCAP，由联合国环境规划署亚太区域办公室（UNEP-ROAP）管理。APCAP围绕三组活动组织，旨在加强国家及区域层面的空气质量管理：

1. 联合论坛：为亚太地区分享最新与政策相关的科学知识和关于国家及国际努力现状的信息提供了重要机会。

2. 科学顾问小组：汇集现有区域倡议中的科学专业知识，基于亚太地区最佳可用科学成果，提供清晰的政策选择方案。

国家支持：提供需求驱动的能力建设支持。

除了监管APCAP外，联合国环境规划署区域办公室（UNEP-ROAP）还在协调上述项目，该项目可能提供关于未能采纳本报告中15个推荐方案中12个方案的成本的见解。

该报告的建议也可能会很好地融入亚行正在进行的促进清洁空气的努力中。亚行最近启动了亚洲清新蓝天计划（ACBSP），旨在帮助政策制定者加强空气污染和气候变化规划。ACBSP还旨在为亚洲和太平洋地区具有潜在可扩展性和协同效益的项目吸引更多投资。

另一个可能的支援和协同渠道是东亚酸雨监测网络（EANET）。EANET是一个旨在促进东亚对酸雨问题状况的共同理解、共享信息和促进十三成员国之间合作的政府间倡议。自2001年以来，EANET开展了酸雨监测、数据收集、评估、存储和信息传播。最近，成员国正在讨论扩大其活动范围，包括对PM的研究工作。

<sup>2.5</sup>

并且基于项目的金融机制。

一个有助于提高报告意识的相关机制是亚洲协同效益伙伴关系（ACP）。该伙伴关系是一个聚焦于“协同效益”概念的倡议。在过去十年中，ACP一直支持将协同效益融入亚洲的行业发展计划、政策和项目中。其作用是作为一个非正式且互动的平台，以改善协同效益的信息共享和利益相关者协调。

最后但同样重要的是，另一个可能有助于使报告建议成为主流的举措是“清洁空气亚洲”。清洁空气亚洲拥有长期且记录良好的与政策制定者合作，采用基于科学的解决方案来解决空气质量和气候挑战的业绩。凭借广泛的东南亚城市网络 and 与该地区工业界的合作，“清洁空气亚洲”能够在培训活动和倡导工作中纳入报告建议。

### 3.5 东南亚国家联盟（东盟）成员国及东盟秘书处的作用

正如前一小节所述，有几个区域项目正在致力于改善空气质量以及应对气候变化。然而，这些项目的本质是自愿性合作，由国际组织（包括一些选定的国家）主导。没有任何一个项目拥有与东盟及其秘书处相同的召集力和制度地位，以支持在次区域层面上进行综合气候变化和空气污染规划的政策协调和一体化。这一观点在为本项目进行的几场访谈中被强调。

那些访谈进一步强调，东盟及其秘书处处于支持气候变化与空气污染整合的参与和学习过程中的有利位置。进一步来说，这个参与和学习过程需要至少三个 champion 或领先国家的强烈支持（选择理由和可能 champion 的角色在下一小节中详细说明）。

为了使参与和学习过程具有形态和实质，东盟秘书处最初可以与三位领航国合作，帮助其他东盟国家满足第3.3节所述的三种需求：即1）综合规划；2）示范项目；3）调动资源。具体而言，东盟秘书处和领航国可以采取以下措施：

- 创建学习活动和培训机会，以帮助提高对综合规划利益和潜力的认识；技术人员的培训（LEAP或综合/共同效益评估）可以从那些初步的外展工作中继而来。

- 与冠军国家合作，提高对报告中提及的15个解决方案重叠的示范项目意识——例如，可以分享加强车辆和维护或可持续水稻生产的努力。

- 与各国组织、发展合作伙伴、行业及民间社会合作，调动资源以实施行动计划。

通过综合规划（需要2）和推广成功的示范项目（需要3）进行识别。一些资源动员努力可以集中在加强第3.2节中预览的机构和倡议的合作伙伴关系。

为了使拟议的活动得以推进，使用东盟现有的机构机制和方式是合理的；没有必要重新发明轮子。因此，拟议的活动可以置于东盟环境部门（在可持续发展司下）以及东盟高级环境官员（ASOEN）下的东盟气候变化工作组（AWGCC）的指导下。鉴于AWGCC关注的是“加强区域和国际合作，应对气候变化及其对社会经济发展、健康和环境的影响”，大部分初步工作将适合在AWGCC下进行。它通过努力构建能力，在政策制定者和其他利益相关者中建立对气候变化共同理解的措施来追求这一目标，表明其处于支持相关活动的有利位置。

此外，AWGCC还可以与其他涉及空气污染、气候变化或相关领域（例如能源、交通、农业、雾霾）的部门合作。这可能包括，例如，从东盟环境可持续城市工作组（AWGESC）引进行业专业知识，以展示城市如何支持电动出行解决方案以提高空气质量并稳定气候。这还可能涉及在东盟雾霾协议的缔约方大会（COP）会议上分享本报告的15个解决方案和主要发现。

表4总结了东盟秘书处不同部门的责任，这些责任有助于并在与AWGCC以及东盟国家合作提高报告发现的重要性方面受益。这些努力还将满足东盟更广泛、更深入的需求，例如在2025年东盟社会文化社区蓝图下的可持续性要素中实现许多关键成果区和战略措施。

另一个关键的部分将是争取上述三个东盟国家的支持。这些领军国家

表4. 东盟社会文化共同体部——可持续发展司  
环境部门

| 部门/组织单位                      | 相关职责                                                                                                                                       |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 东盟工作组<br>气候变化（AWGCC）         | 加强区域和国际合作以应对气候变化<br>其对社会经济发展、健康和环境的影响，在<br>东盟成员国通过实施缓解和适应措施<br>基于公平、灵活性、有效性和共同原则的措施<br>但分担不同的责任、相应的能力，以及对反思<br>不同的社会和经济条件。                 |
| 东盟工作组<br>化学与废物（AWGCW）        | 进一步加强在应对问题方面的区域协调与合作。<br>与相关多边环境协定相关的化学品问题<br>例如，巴塞尔公约、鹿特丹公约、斯德哥尔摩公约，以及<br>《水俣公约》以及国际上达成一致的体系，例如<br>全球化学品分类和标签统一制度<br>(危化品安全管理规范)旨在管理化学废物。 |
| 东盟工作组<br>海岸和海洋环境<br>（AWGCME） | 促进海岸和海洋的养护及可持续管理。<br>生态系统，同时强调它们作为生计资源的重要性。<br>东盟                                                                                          |
| 东盟工作组<br>环境教育<br>（AWGEE）     | 推动相关东盟部门机构间的协调与合作<br>确保与对话伙伴协调一致，以推广<br>环境教育。                                                                                              |

|                                    |                                                                                                                                                      |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 东盟工作组<br>环境可持续<br>城市 ( AWGESC )    | 确保东盟的城市/城市地区在环境上可持续。<br>满足人民的社会和经济需求。同时，也是一个<br>咨询论坛以增强各方的协调与协作<br>东盟行业机构与对话伙伴在应对环境<br>可持续性挑战，包括清洁空气。                                                |
| 东盟工作组<br>自然资源与<br>生物多样性 ( AWGNCB ) | 进一步加强在解决问题方面的区域协调与合作<br>与自然生物多样性相关，并采取具体行动<br>确保该地区丰富的生物多样性得到保护、保留和<br>可持续管理。                                                                        |
| 东盟工作组<br>水资源管理<br>(AWGWRM)         | 促进水资源可持续性以确保公平可及。<br>足够数量且质量可接受的水以满足人们的需求<br>东盟                                                                                                      |
| 东盟经济共同体<br>部门 - 交通运输处              | 主办东盟运输部长 ( ATM ) 会议，该会议致力于制定政策<br>运输行业的发展方向，并讨论共同关心的问题。<br>东盟高级交通官员会议监督、协调和审查<br>项目以及由东盟交通部长设定的方向。                                                   |
| 气象委员会下属委员会<br>地球物理 ( SCMG )        | 增强东盟国家气象服务机构的能力，以监测<br>并且模型针对特定雾霾事件进行跨境空气污染的模拟，以提升<br>东盟在卫星气象学和大气酸化方面的能力<br>测量                                                                       |
| 东盟专业<br>气象中心 ( ASMC )              | 承担研究和开发，以提高对科学的理解和<br>对东盟具有重要意义的天气预报和气候系统预测<br>提供跨界烟雾的早期预警                                                                                           |
| 东盟协议<br>跨境雾霾污染<br>( AATHP )        | 关于2002年AMS签署的跨境雾霾污染协议<br>防止、监控和减轻土地和森林火灾，以控制跨界问题。<br>雾霾污染通过全国共同努力，区域和国际合作来治理<br>合作。目前正致力于实现跨境无烟霾的愿景。<br>东盟至2030年。                                    |
| 东盟卫生合作<br>治理与实施                    | 由东盟健康发展的两个主要管理机构组成：<br>1. 东盟卫生部长会议 ( AHMM )，该会议决定政策：<br>东盟卫生部门批准了SOMHD的决议和报告。<br>2. 健康发展高级官员会议 ( SOMHD )<br>负责战略管理并提供整体指导<br>实施APHDA，确保所有目标和指标均得到实现。 |
| 东盟协商委员会<br>关于标准和质量                 | 旨在使国家标准与国际标准相协调和统一<br>实施符合性评估相互认可安排<br>实现其“一个标准、一个测试、全球认可”的终极目标。                                                                                     |

不仅将与东盟秘书处合作，将报告涵盖的问题列入会议议程并解决上述三个需求；他们还将作为典范角色和活生生的实验室，展示如何在区域内其他地方满足这些需求。令人欣慰的是，在东盟区域内有多个国家对此表现出浓厚兴趣并积累了成为倡导者的经验。在这方面，有三个国家尤为突出。

- 第一个有望成为冠军的国家是泰国。泰国目前正在开发一份报告，该报告基于LEAP模型来识别跨越气候、空气污染和健康问题的解决方案。此外，在为本项目进行的情报分享会议上，泰国污染控制部门提出了在湄公河次区域创建一个“CCAC分支机构”以促进湄公河地区SLCP问题的可能性。针对农业残留物开放焚烧引起的烟雾问题所采取的加大努力表明，泰国可能还能够与其他同样受此问题困扰的北东盟国家分享相关经验。

- 菲律宾是一个 logical choice for a second champion country. 菲律宾已制定了一份针对 SLCPs 的国家废物管理计划，并即将开展更广泛的跨部门 SLCP 计划。此外，如菲律宾的奎松市等城市已制定了具有前瞻性的气候计划，这些计划也强调了空气质量和健康协同益处。这个地方级别的例子可以与其他东盟国家分享并推广。

- 柬埔寨可能成为第三个冠军国家。柬埔寨利用LEAP工具将气候问题整合到其《清洁空气法》中。在此过程中，它还经历了跨不同部门的协调，并让多个利益相关者在一个明确地将空气污染与气候变化联系起来的过程中参与其中。

尽管此前三个国家似乎具备了作为其他国家的领导和模范的优越条件。

在东盟各国中，该地区还有其他国家可能加入并扩大AWGCC内部的联盟。例如，印度尼西亚有大量研究人员在进行更综合的空气污染和气候变化研究。同时，越南在CCAC部门项目上已有成功的合作，并表现出对协同效益的兴趣。在接下来的两到三年里，将重点关注构建和扩大倡导国家的联盟，而未来十年的最终目标将是促进15项解决方案的政策协调。

为了冠军国家和东盟秘书处牵头开展三个确定需求的工作，可能需要更多人力和财力资源。为了填补能力差距，东盟秘书处可能考虑请求国际合作伙伴的资源，以设立一个焦点来协调拟议的学习和培训过程，以及满足第3.2节中确定的三个需求。解决能力限制的另一方法是加强第3.4节中描述的组织倡议之间的合作。

CCAC 可以与相关利益相关者合作推广本报告的15项解决方案，并利用由此产生的动力推进上述许多建议。这包括帮助组成之前提到的支持国家联盟，以在东盟秘书处和AWGCC下进行更协调的工作。此外，CCAC 可以更多地努力吸引更多区域国家加入 CCAC，并考虑各国关于如何有效组织此类次区域协调的观点。同样的支持国家——泰国、菲律宾、柬埔寨——可以鼓励其他国家加入 CCAC 以增强其能力，并请求支持他们的战略规划工作。

### 3.6 结论

东南亚地区通过整合空气污染和气候项目及规划可以取得显著效益。报告已确定了15项可以改善空气质量、提升健康水平并稳定东盟地区气候的解决方案。它进一步建议，东盟许多国家在实施这些解决方案方面拥有宝贵的经验。加强治理和利用融资的努力可以帮助在各国推广这些成功经验。在促进综合规划、示范项目和资源动员策略的参与过程中，进一步加强对这15项解决方案的区域合作可能有助于在次区域层面推广报告的推荐建议。此过程可由ASEAM秘书处协调，至少由三个倡导国家领导，并隶属于AWGCC。在东盟及与国际和区域倡议加强合作可能有助于解决能力限制问题。同时，一个由外部资金资助的空气污染（或空气污染和气候变化综合方法）焦点点可能需要协调活动。

除了主要建议外，关于次区域政策协调和一体化的几点额外观点在未来的工作中值得关注。虽然有望该报告将导致次区域为加强空气质量标准做出努力，但它并不推荐一种适合所有情况的解决方案。相反，在东盟各国，对于行动的优先顺序和切入点可能存在差异——一些国家通过空气污染政策来开展工作，然后再与气候变化建立联系。在其他情况下，各国可能希望将空气污染和健康纳入气候政策，如它们的国家自主贡献（NDCs）或长期发展战略（包括支持净零目标）。

应强调的是，与拉丁美洲和非洲等地区相比，东盟地区仍具有通过更加协调的方法实现空气污染和气候变化多重效益的潜力。在拉丁美洲，各国已经发展了整合空气污染和气候变化问题的能力，并将短期气候污染物（SLCP）行动纳入其气候计划中。智利、哥伦比亚和墨西哥都已在其国家自主贡献（NDCs）中设定了减少黑碳的目标，并正在推动综合政策的发展。与此同时，非洲国家正在将空气质量与可持续发展目标（SDGs）下的发展优先事项联系起来。这些经验可以通过区域间的意识提升和信息共享活动进行交流。与此同时，东盟有成为如何进行次区域层面综合空气污染和气候变化规划范例的巨大潜力。这种经验反过来也可以与其他次区域共享。

区域间合作的益处最终归结于一个结论点。实施本报告建议的一些最显著益处不仅超越了空气质量、健康和气候变化。在环境问题上的合作有助于建立信任和相互理解，从而深化区域间一体化，并为东盟带来更加繁荣和可持续的未来。

# 参考文献

Adhikari, B. 和 Prapasongsa, T. (2020). 亚洲食品消费的环境可持续性。  
*可持续性* 11, 1–14.

阿里, H., 波温, H., 韦勒, S.R., 苏里亚迪, B. (2021)。东南亚HELE和亚临界燃煤发电技术的成本效益分析。*可持续性* 13, 1591.

Amann, M., Bertok, I., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Heyes, C., Höglund-Isaksson, L., Klimont, Z., Nguyen, B., Posch, M., Rafaj, P., Sandler, R., Schöpp, W., Wagner, F. 和 Winiwarter, W. (2011). 欧洲空气质量与温室气体成本效益控制：建模与政策应用。 *Environmental Modelling & Software* 26, 1489–1501. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.07.012>.

Amann, M., Jiming, H., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Gomez Sanabria, A., Heyes, C., Höglund Isaksson, L., Kiesewetter, G., Klimont, Z., Nguyen, B., Purohit, P., Rafaj, P., Sander, R., Wagner, F., Schöpp, W., Kuylenstierna, J., Wang, S., Ye, W., Shindell, D., Seltzer, K. and Borgford-Parnell, N. (2019). Scenarios and Solutions. In: *亚洲及太平洋地区空气污染：基于科学的解决方案*。联合国环境规划署 (UNEP)，泰国曼谷，第61-100页。

Amann, M., Kiesewetter, G., Schöpp, W., Klimont, Z., Winiwarter, W., Cofala, J., Rafaj, P., Höglund-Isaksson, L., Gomez-Sabiana, A., Heyes, C., Purohit, P., Borken-Kleefeld, J., Wagner, F., Sander, R., Fagerli, H., Nyiri, A., Cozzi, L., 和 Pavarini, C. (2020). Reducing global air pollution: the scope for further policy interventions. *《皇家学会学报 A：数学、物理与工程科学》* 378, 20190331. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0331>.

东南亚国家联盟 (2023)。第二份《关于通过实施办法加强东盟跨境烟霾污染控制的路线图》 东盟秘书处，雅加达，印度尼西亚。

东南亚国家协会 (2021)。东盟气候变化状况报告。 东盟秘书处，雅加达，印度尼西亚。

东盟-日本运输伙伴关系 (2013)。汇编东盟和日本道路、铁路、水路和航空运输部门的统计数据库。在： *东盟-日本运输统计手册*。 东京。

布朗, M. 和 汉堡, G. (2021)。亚洲开发银行支持东南亚煤炭发电退出 新计划针对正确问题，但可能需要更多解决方案。 能源经济与金融分析研究所 (IEEFA)，劳克伍德。

Burke, P.J. 和 Kurniawati, S. (2018). 印度尼西亚电力补贴改革：电力消费的需求侧影响。 *能源政策* 116, 410–421.

卡巴列罗-安东尼, M. 丁, P. 田, G. 舍雷什塔, M. 和拉斯萨, J. (2015)。将东盟的气候变化适应与粮食安全联系起来 ERIA, 雅加达

Cassou, E. (2018). 农业污染野外焚烧. 世界银行，华盛顿特区

Chidthaisong, A., Cha-un, N., Rossopa, B., Buddaboon, C., Kunuthai, C., Sriphirom, P., Towprayoon, S., Tokida, T., Padre, A.T. and Minamikawa, K. (2018). 在泰国稻田中评估交替湿润和干旱 (AWD) 对甲烷和一氧化二氮排放的影响。 *土壤科学和植物营养学* 64, 31–38. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1399044>.

Chotichanathawewong, Q. and Thongplew, N. (2012). 发展轨迹、排放特征和政策行动：泰国。 *ADB 工作论文系列*。

Clark, R., Zucker, N., 和 Urpelainen, J. (2020). 东南亚燃煤发电的未来。《可再生能源与可持续发展评论》 121, 109650.

亚洲清洁空气 ( 2016 )。亚洲车辆检验与维护：现状与挑战2016。亚洲清洁空气，马尼拉。

库克，E. 和 维利斯，C.A. (2021). 全球关于更安全的人工生命终结综述 英国皇家工程院，伦敦。

Cristea, A., Hummels, D., Puzzello, L., & Avetisyan, M. (2013). 贸易与国际货运运输的温室气体排放。《环境经济学与管理杂志》，65, 153–173.

Eide, M.S., Longva, T., Hoffmann, P., Endresen, Ø. 和 Dalsøren, S.B. (2011). 减少排放的未来成本情景。《海事政策与管理》 38, 11–37.

船用CO

Elder, M. and Zusman, E. (2016). 加强空气污染与可持续发展目标之间的联系。IGES政策简报。

Evangelidou, N., Grythe, H., Klimont, Z., Heyes, C., Eckhardt, S., Lopez-Aparicio, S. 和 Stohl, A. (2020). 大气传输是微塑料进入偏远地区的主要途径。《自然通讯》 11, 3381. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17201-9>.

联合国粮食及农业组织 ( 2021年 )。FAOStat。

费希尔，F. ( 2000 )。市民、专家与环境：地方知识的政治学。杜克大学出版社，达勒姆和伦敦。<https://doi.org/10.2307/3090060>.

高斯，M. 巴特尼克，J. 约尔卡内，J.-P. 尼里，A. 克莱因，H. 法格利，H. 和克里蒙，Z. (2021). 波罗的海的空中氮沉降：过去趋势、源分配和未来预测。《大气环境》，253, 118377. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118377>.

全球环境中心基金会 ( 2020 )。关于利用现有废物焚烧厂进行氟利昂回收和销毁方案引入的项目。[https://gec.jp/jcm/projects/18fgas\\_tha\\_01/](https://gec.jp/jcm/projects/18fgas_tha_01/).

Geupel, M., Heldstab, J., Schäppi, B., Reutimann, J., Bach, M., Häußermann, U., Knoll, L., Klement, L., and Breuer, L. (2021). 德国国家氮目标。《可持续性》，13, 1–18. <https://doi.org/10.3390/su13031121>.

戈梅斯-萨尼亚，A. 霍格伦-伊萨克松，L. 拉法伊，P. 和舍普，W. (2018)。碳在全球废物和废水流动中的含量——在替代的未来废物管理制度下作为能源来源的潜力 在《地球科学进展》。在2018年欧洲地球科学联盟大会 ( EGU General Assembly 2018 ) 上展出，该大会由EGU能源、资源与环境 ( ERE ) 分部举办，地点在奥地利维也纳，2018年4月8日至13日，由Copernicus GmbH出版，第105至113页。<https://doi.org/10.5194/adgeo-45-105-2018>.

戈麦斯-萨尼亚，A.，凯泽wetters，G.，克里蒙，Z.，斯科普，W. 和 Haberl，H. ( 2021 )。循环废物管理系统减少全球温室气体和空气污染物的潜力。《自然通讯》 13, 106.

杜安，M.阮，H.N.和陈，H.A.N. ( 2016 )。越南煤炭及燃煤电厂对社会环境影响综合报告 (博士学位论文). 越南可持续能源联盟

海恩斯，A.，阿曼，M.，博福特-帕内尔，N.，莱昂纳德，S.，库里伦斯蒂尔纳，J. 和辛德尔，D. (2017). 短期气候污染物减排与可持续发展目标。《自然气候变迁》 7, 863–869. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0012-x>.

何，X. 沈伟，W. 威林顿，T.J. 张，S. 吴，X. 邵，Z. 和吴，Y. (2021). 1900-2050年亚太地区道路交通运输排放。《法拉第讨论会》，226.

Hla Maung, T. Min, M. Ni Ni, T. Hein, L. Kazunobu, O. Premakumara, D.G.J. Hengesbaugh, M. and Ohnmar May. T.H. (2020). 国家废物管理策略与缅甸总体规划 (2018-2030).

黄, V.T. (2011). 关于越南北部炊事用具使用的调查。越南 SVN。

Höglund-Isaksson, L. Gómez-Sanabria, A. Klimont, Z. Rafaj, P. 和 Schöpp, W. (2020). 在2050年时间段内减少全球人为甲烷排放的技术潜力和成本——GAINS模型的结果。 *环境研究通讯* 2025年004号。 <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab7457>.

艾比特兹, A. (2018)。 *海运航运业脱碳与东盟* 在：第二届文藻国际东南亚研究会议。

国际能源署 (2018年)。 *世界能源展望2018*。国际能源署 (IEA)，法国巴黎

Im, U., Tsigaridis, K., Faluvegi, G., Langen, P.L., French, J.P., Mahmood, R., Thomas, M.A., von Salzen, K., Thomas, K., Whaley, D.C., Klimont, C.H., Skov, Z., H.和Brandt, J. (2021)。 GISS-E2.1 地球系统模型中当前和未来气溶胶对北极气候变化的影响。 *大气化学与物理* 21, 10413–10438. <https://doi.org/10.5194/acp-21-10413-2021>

国际海事组织 (2016年)。 *IMO 能效船操作培训师培训 (TTT) 课程。模块2 – 船舶能效规范及相关指南* 国际海事组织，伦敦。

Jakobsen, J. 和 Hansen, A. (2020). 肉化地理：一个新兴的亚洲肉类综合体。  
*全球化* 17, 93–109.

日本制冷剂与环境保护组织 (2021年)。 *日本制冷剂与环境保护组织*。 <https://www.eco-web.com/reg/01641.html>.

Jeuland, M. and Tan Soo J.S. (2016) 分析清洁和改进烹饪解决方案的成本与收益。清洁烹饪联盟，华盛顿特区。 <https://cleancooking.org/reports-and-tools/analyzing-the-costs-and-benefits-of-clean-and-improved-cooking-solutions/>

Kanaya, Y., Yamaji, K., Miyakawa, T., Taketani, F., Zhu, C., Choi, Y., Komazaki, Y., Ikeda, K., Kondo, Y., and Klimont, Z. (2020). Rapid reduction in black carbon emissions from China: evidence from 2009–2019 observations on Fukue Island, Japan. *大气化学与物理* 20, 6339–6356. <https://doi.org/10.5194/acp-20-6339-2020>.

金, H.N. 洞达拉, R. 素凯特, K. 猛阿沙梅, K. 素因库尔, N. 和帕帕松帕恩萨, T. (2021). *东南亚饮食的生命周期评估* 在：8<sup>th</sup> 国际绿色与可持续创新会议 (ICGSI) 在“推动新常态向可持续新未来过渡”主题下。 Krabi.

Klimont, Z., Kupiainen, K., Heyes, C., Purohit, P., Cofala, J., Rafaj, P., Borken-Kleefeld, J. 和 Schöpp, W. (2017). 包括黑炭在内的全球人为颗粒物排放。 *大气化学与物理* 17, 8681–8723. <https://doi.org/10.5194/acp-17-8681-2017>.

Kritee, K. Nair, D. Zavala-Araiza, D. Proville, J. Rudek, J. Adhya, T.K. Loecke, T. Esteves, T. Balireddygar i, S. Dava, O. Ram, K. Abhilash, S.R. Madasamy, M. Dokka, R.V. Anandaraj, D. Athiyaman, D. Reddy, M. Ahuja, R. 和 Hamburg, S.P. (2018). 稻米中高浓度的氧化亚氮排放表明了需要管理水分以应对长期和短期气候变化的影响。 *《美国国家科学院院刊》* 115, 9720–9725. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809276115>

Kurniawan, R., Trencher, G.P., Edianto, A.S., Setiawan, I.E. 和 Matsubae, K. (2020). 理解印度尼西亚煤炭消费增加的多方面驱动因素。 *能源*, 13, 3660.

Lack, D.A. (2017). An update to Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce Black Carbon emissions from international shipping. (as an annex of the report (No. PPR 5/INF. 7)).

李, Y. 和 克劳福德-布朗, D.J. (2011). 评估温室气体减排的共同效益：泰国曼谷颗粒物相关的检查和维护计划对健康的好处。《环境科学总论》 409, 1774–1785. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.051>.

Lund, M.T., Aamaas, B., Stjern, C.W., Klimont, Z., Berntsen, T.K. 和 Samset, B.H. (2020). 在共同社会经济路径下，短期气候强迫因素将继续发挥作用。《地球系统动力学》, 11, 977–993. <https://doi.org/10.5194/esd-11-977-2020>.

Malley, C.S., Hicks, W.K., Kulyenstierna, J.C.I., Michalopoulou, E., Molotoks, A., Slater, J., Heaps, C.G., Ulloa, S., Veysey, J., Shindell, D.T., Henze, D.K., Nawaz, O., Anenberg, S.C., Mantlana, B., 和 Robinson, T.P. (2021). 2014至2018年间全球气候变化、空气污染以及食品生产和消费对膳食、营养不良和肥胖健康影响的综合评估。《环境研究通讯》, 3. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac0af9>.

海洋环境保护委员会 (2018)。海洋环境保护委员会 (MEPC) 信息与MEPC 73重点内容<sup>rd</sup> 会议记录。h <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-73rd-session.aspx>.

马丁, A. 和 摄政, J. (1997). 参与式研究方法——实施、有效性和制度环境。《农业系统》, 55, 195–216. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00007-3).

日本环境省 (2016年)。积极采取措施，合理使用和妥善管理氟利昂。无法进行翻译。

森川, T., 桐村, S., 和 Phoumin, H. (2021)。一项关于亚洲地区新建煤电厂数字融资限制影响的研究。ERIA 研究项目报告 2021, 第 10 号, 雅加达。

Motokura, M. Lee, J. Kutani, I. 和 Phoumin, H. (2017). 改进东盟燃煤电厂排放法规。ERIA 研究项目报告, 雅加达。

尼卡姆, J., 阿切尔, D. 和 诺佩尔特, C. (2021)。泰国空气质量监管：政策综述。SEI政策简报。斯德哥尔摩环境研究所。 <https://www.sei.org/publications/regulating-air-quality-in-thailand-a-review-of-policies/>

欧文, A.D. 和 陶, J.Y. (2016). 国际排放和燃油标准最佳实践：东盟的实施可能性。《亚太能源与环境杂志》, 3, 7–16.

帕帕斯, D., 查尔瓦蒂斯, K.J., 关, D. 和 约安尼斯, A. (2018)。能源与碳强度：关于中国向印度和东南亚国家工业转型的跨国研究。《应用能源》, 225, 183–194.

Premakumara, D.G.J. Hengesbaugh, M. Onogawa, K. 和 Cabrera, N. (2017). 规划和实施地方层面综合固废管理策略：以宿务市为例。IGES, 海牙

Premakumara, D.G.J., Menikpura, S.N.M., Singh, R.K., Hengesbaugh, M., Magalang, A.A., Ildefonso, E.T., Valdez, M.D.C.M., 和 Silva, L.C. (2018). 菲律宾市政固体废物管理 (MSWM) 减少温室气体 (GHGs) 和短寿命气候污染物 (SLCPs) 的快速审查与评估。《废物管理》 80, 397–405. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.036>.

Premakumara, D.G.J. (2021). 开放式焚烧在MSWM中的挑战：制定城市行动计划的问题。内：《应对开放式焚烧垃圾的健康与气候紧急任务》。IGES, 海牙

Premakumara, D.G.J., Olsen, S.H., Hengesbaugh, M. 和 Okuno, M. (2021). 《零废物——闭路循环》。收录于：《塑料大地图：亚洲版》海因里希·伯尔基金会香港办事处，《摆脱太平洋亚太地区》，全球环境战略研究所，香港，第46-47页。

Purohit, P. Höglund Isaksson, L. 和 Wagner, F. (2018). 《亚洲逐步淘汰氢氟烃 (HFCs) 的基加利修正案的影响》. <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15274/> (查阅日期: 2018年12月17日).

Purohit, P. Höglund-Isaksson, L. Dulac, J. Shah, N. Wei, M. Rafaj, P. 和 Schöpp, W. (2020). 全球逐步减少氢氟烃带来的电力节约和温室气体排放减少. *大气化学与物理* 20, 11305–11327. <https://doi.org/10.5194/acp-20-11305-2020>

Reed, M.S. (2008). 股东参与环境管理: 文献综述. *生物学保护* 2417–2431.

Rigg, J. Salamanca, A. 和 Thompson, E.C. (2016). 东亚和东南亚持续存在的小农问题之谜. 《农村研究杂志》 118–133.

Roubík, H. and Mazancová, J., Banout, J. (2018). 当前对东南亚小规模农民粪便管理方法的探讨——以越南的生物质能和非常规生物质能农场为例. *可再生能源* 115, 362–370.

施罗德, M., 岩崎, F.和小林, H. (2021年). *东盟地区电动汽车推广: 国家汽车制造商与国际生产网络*. ERIA, 雅加达.

Setyanto, P. Pramono, A. Adriany, T.A. Susilawati, H.L. Tokida, T. Padre, A.T. 和 Minamikawa, K. (2018). 在不损失产量的情况下, 交替湿润和干燥方法降低了印度尼西亚中爪哇地区稻田的甲烷排放. *土壤科学和植物营养学* 64, 23–30. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1409600>.

Sibayan, E.B., Samoy-Pascual, K., Grospe, F.S., Casil, M.E.D., Tokida, T., Padre, A.T. 和 Minamikawa, K. (2018). 菲律宾中央吕宋地区灌溉水稻田交替湿润和干燥技术对温室气体排放的影响. *土壤科学和植物营养学* 64, 39–46. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1401906>.

SNV Netherlands Development Organization (2016). 智能烹饪在老挝: 客户购买了10万台改进型炉灶. <https://snv.org/update/smart-cooking-laos-customers-purchased-100000-improved-cookstoves>.

不久, J.M. 和 Tee., E.S. (2014). 东南亚国家联盟 (东盟) 食品和营养安全方面的饮食习惯变化趋势及其影响. 《国际营养与食品科学杂志》 3, 259–269.

Sutton, M.A., Bleeker, A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Abrol, Y.P., Bekunda, M., Datta, A., Davidson, E., De Vries, W., Oenema, O. and Zhang, F.S. (2013). *我们的营养世界. 在减少污染的前提下, 挑战生产更多食物和能源*. 英国生态与水文学研究中心, 班戈.

Teenstra, E.D., Vellinga, T.V., Aktasaeng, N., Amatayaku, W., Ndambi, A., Pelster, D., Germer, L., Jenet, A., Opio, C., 和 Andeweg, K. (2014). *全球评估粪便管理政策和实践* 瓦格宁根大学与研究中心 livestock 研究.

今日, K. Benjamin, P. Gan, M. 和 Puzzolo, E. (2018). 印度尼西亚从煤油到LPG的巨型转换计划: 经验教训及对未来清洁烹饪能源扩展的建议. *能源与可持续发展* 46, 71–81.

蒂罗尔-帕代尔, A. 极小川, K. 渡边, T. 瓦斯曼, R. 和八木, K. (2018). 东南亚灌溉稻田中交替湿润和干燥作为温室气体减排选项的现场可行性: 综合分析. *土壤科学和植物营养学* 64, 2–13. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1409602>.

Tran, D.H., Hoang, T.N., Tokida, T., Tirol-Padre, A. 和 Minamikawa, K. (2018). 越南中部稻田交替湿润干燥对温室气体排放的影响. *土壤科学与植物营养*, 64, 14–22. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1409601>.

联合国环境规划署 (2019年)。 *亚洲与太平洋地区：基于科学的解决方案* 联合国环境规划署 (UNEP) , 肯尼亚内罗毕。

联合国环境规划署 (2017年)。 *东盟国家废物管理：总结报告* 联合国环境规划署, 内罗毕。

联合国环境规划署/气候与清洁空气联盟 (2014)。 *低全球变暖潜值 (GWP) 替代品在HFO案例研究中的应用* 联合国环境规划署  
商业制冷：丙烷, CO<sub>2</sub>

<sup>2</sup> (联合国环境规划署), 内罗毕, 肯尼亚  
越南 (2020年)。 *技术报告：国家自主贡献* 自然资源与环境部

万, Z.、埃尔·马克罗菲, A.、陈, Y. 和 汤姆, J. (2018). 国际航运业的脱碳：解决方案和政策建议。 *海洋污染通报* 126, 428–435.

世界卫生组织 (2006年)。 *空气质量指南：2005年全球更新。颗粒物、臭氧、二氧化氮和二氧化硫*。 世界卫生组织, 欧洲区域办事处。

并且PM (颗粒物), 臭氧,  
世界卫生组织 (2021年)。 *世界卫生组织全球空气质量指南：颗粒物 (PM)*

<sup>2.5 10</sup>  
氮氧化物, 二氧化硫和氟化碳氢化合物。世界卫生组织日内瓦  
朱, W. 和 豪, S. (2017)。 *船舶排放减少的激励机制：中国案例分析*。 *海事政策*  
, 86, 253–258.

# 附件1

## 在2019年解决方案报告与本报告之间，数据和建模规范存在差异。

正如第二章所述，自那时以来，GAINS模型、模型中使用的数据以及建模情景已有10次更新和方法论上的变化。《解决方案报告》本附件提供了这些10项变更的综述。

首先，当前的计算基于废物管理行业新子模型的开发以及交通模型（高排放车辆）的要素。对于废物管理，自2017年起，用于估计甲烷和HFCs排放的信息已根据最近发表的论文（Purohit et al. 2018; Höglund-Isaksson et al. 2020; Gómez-Sanabria et al. 2021）进行了更新，这些论文利用IIASA的温室气体和空气污染相互作用与协同（GAINS）的最新版本将减排措施细分为区域和行业水平。更新依赖于那些论文中所报道的数据库集。例如，相较于以前估算总市政废物产生量，然后再假设焚烧废物占的比例，新模型区分了不同类型的废物（如食物、纺织品、塑料、金属、玻璃、纸张、木材）以及多种管理选项，包括未受控制的废物燃烧、管理较好或较差的垃圾填埋场（在此过程中某些垃圾也可能燃烧，同时也可以回收和再利用气体）。宏观经济数据，主要是人口、城市化和GDP，被用来开发特定区域的废物产生量预测，同时对于废物管理和排放因素，如果可提供当地信息（否则使用IPCC默认值）。有关详情，请参见（Gómez-Sanabria et al. 2018; Höglund-Isaksson et al. 2020; Gómez-Sanabria et al. 2021）。使用这些数据允许更准确地对废物行业排放进行核算，包括住宅废物燃烧的排放。

其次，高排放车辆的统计数据已得到改进。重要更新遵循Klimont等人（2017）所描述的原则。

直接包含在GAINS中，参数化考虑了按类别划分的车辆数量和相应情景的实行政策。我们还增加了一项专门的技术，以反映此类车辆的维修影响。

第三，关于农业排放的估计值已进行调整。这些估计值

无

已重新审视引入土壤排放，即矿物和有机肥料的应用将导致土壤中NO的排放。

第四，已经更新了2015年的社会经济和能源数据，以及针对未来经济活动（例如能源使用、工业生产、农业活动）的预测，更新至2030年。等等，及其他事项。基于国际能源署（IEA）2018年《世界能源展望》的区域趋势。选择使用WEO 2018数据集的原因在于，它已被用于GAINS（ECLIPSE\_V6b）中全球情景的开发，这些情景作为大规模建模研究（例如，亚洲[Kanaya等，2020年]、北极[Im等，2021年]、欧洲[Gauss等，2021年]以及全球层面[Amann等，2020年；Evangelidou等，2020年；Lund等，2020年]）的输入。上述论文包括用于这些研究以及即将发布的2021年北极监测和评估计划评估报告的数据来源和情景的主要文件。WEO 2018情景还包括对国家自主贡献（NDCs，截至2018年）和与巴黎协定目标一致的可持续发展情景的解释，该目标是在2°C以下保持温度。全球变暖，与工业化前时期相比。

第五，除了从IEA和FAO进口更新后的统计数据以及农业数据外，IIASA一直在评估某些特定方面的活动部门分布，在这些方面，GAINS模型比可用的国际和国家数据具有更高的分辨率。特别是，部门

并且，对于固体燃料烹饪以及上述运输和废物管理行业的技术分布已进行了修订和更新。

第六，关于固体燃料烹饪的数据有所更新。固体燃料烹饪是亚洲的一项主要污染源，但关于使用的燃料类型和数量的数据通常不佳。国际能源署（IEA）一直在努力改善收集到的统计数据，但往往不得不依赖国家来源或代理。国际应用系统分析研究所（IIASA）一直在独立评估报告的燃料使用情况，将其与几个国家（例如，Hoang 2011）的可用调查进行比较，并使用一个简单的模型来计算烹饪所需的能量，考虑到电力、煤气、煤炭、木材或农业残留物可获得的有关信息。如果IIASA的计算结果与IEA的结果相差±20%，则IIASA保留了原始的IEA数据，但如果差异很大，则重新估算并用新开发的GAINS数据进行更新。最突出的例子是印度尼西亚的数据，据IIASA估计，IEA的统计数字显著高估了烹饪用固体燃料的使用。因此，IIASA已经调整了这个数字，以实现与报告中该目的的天然气和电力可用性和使用情况的连贯性。这一变化是导致对未来减缓潜力估计差异的因素之一。 *解决方案报告* 该研究使用了原始的IEA数据。

第七，运输部门数据已更新，包括对燃料、车辆数量和行驶里程分布的修订，涵盖了几种类别，包括乘用车、轻型货车、摩托车、重型货车和公交车。这具有重要意义，因为不同类别的排放系数和立法状况不同，不仅影响估计当前排放的质量，也影响进一步缓解的可能性。进一步的更新涉及到对高排放车辆的系统性考虑，这些车辆在模型计算中被引入，假设地区和车型特定的车辆份额为有效排放标准的数倍，例如，由于发动机或排放控制系统的故障或故意操纵——评估基于亚洲和其他地区的测量值，因为一些故障与车辆年龄和技术有关，因此也在其他地区得到反映。

第八，在本分析中，我们使用了代表亚洲几个国家近期发展的几套排放系数，这些国家拥有更多经验，并且对排放限制的要求更加雄心勃勃。在亚洲部分地区引入雄心勃勃的空气质量政策导致应用（以及在许多情况下自主生产）了非常高效的净化技术，这些技术从全球角度看也常常是尖端的。因此，在评估减缓潜力时，我们应用了更高的减排效率，这些效率已在亚洲得到证明，特别是为了减少排放（例如，高效率的多级净化技术）。

初级项目管理员

<sup>2.5</sup>

静电除尘器或布袋过滤器）以及（高效烟气脱硫）。

SO<sub>2</sub>

对于住宅部门，特别是固体燃料的烹饪，GAINS模型现在包括了对液化石油气炉的明确表示。对于农业，氮肥使用效率显著提高的影响也已建模，并引入了代表这种发展的新排放因子。

第九，重新审视了排放的空间分布，并在给定国家内各省或州之间的活动分布方面进行了改进。这对于GAINS包括次国家区域化的国家尤为重要，例如马来西亚、菲律宾、泰国、越南和印度尼西亚。这些改进的另一个方面涉及包括有关关键源（如发电厂、炼油厂、水泥厂、钢铁厂、冶炼厂等）位置信息的空间分布代理。国际应用系统分析研究所（IIASA）一直在获取新数据，例如电力行业的Power Watch，或用于冶炼厂、道路网络等USGs数据，并将其用于更新的空间代理。对历史数据及源结构的重新评估，也对预测和缓解潜力以及影响的空间分布（以人口加权PM暴露）产生影响。

第十，2020年的基线和政策情景已更新。因此，关于空气污染、能源、气候及其他行业政策及其预期实施计划的数据库反映的是2020年中的状况（参阅第3.2节）。这包括2018年公布的NDCs，这些NDCs被纳入IEA基线（新政策情景-NPS），这是本工作中使用的（IEA 2018）。还对2030年的现行立法影响进行了估计，假设技术的典型使用寿命——这一假设

该内容反映在后续文本中提到的情景中，被称为 *CLE* 或者 *基线*。更新后的政策影响远超基础水平，因为它们还决定了过去取得的成就以及剩余的缓解潜力——关于分析特定解决方案未来潜力和影响的情景将在本报告的后续章节中提供。

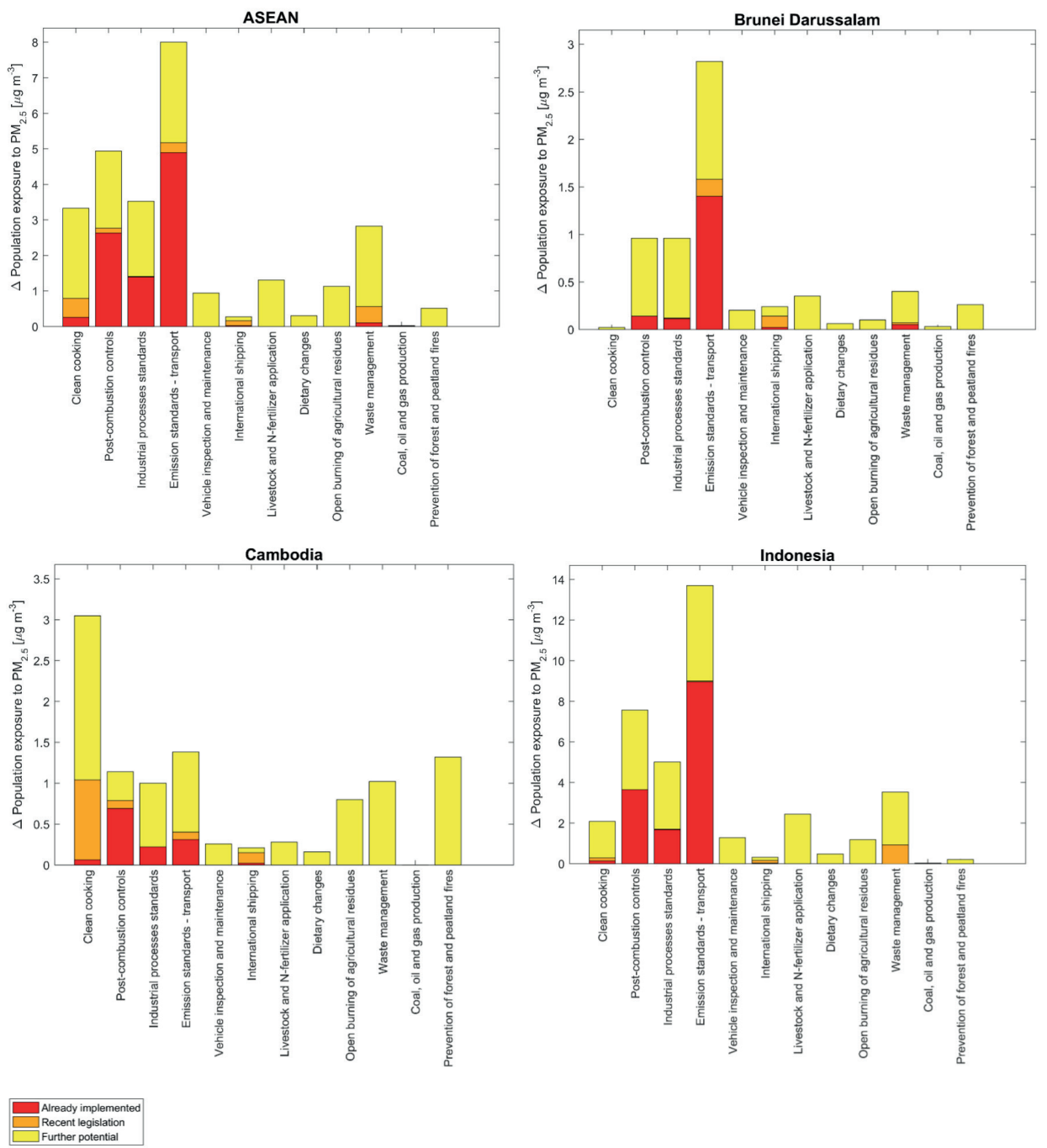
在修订和更新过程中（包括基年活动和近期政策信息），国际应用系统分析研究所（IIASA）从与其成员组织或合作项目的联合活动中受益颇丰；例如，与越南科学技术研究院（VAST）在河内合作；印度尼西亚班加爾理工学院（Bandung Institute of Technology）以及在泰国曼谷的玛库特·蒙库特技术大学（King Mongkut's University of Technology Thonburi, KMUTT）。

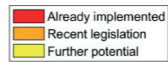
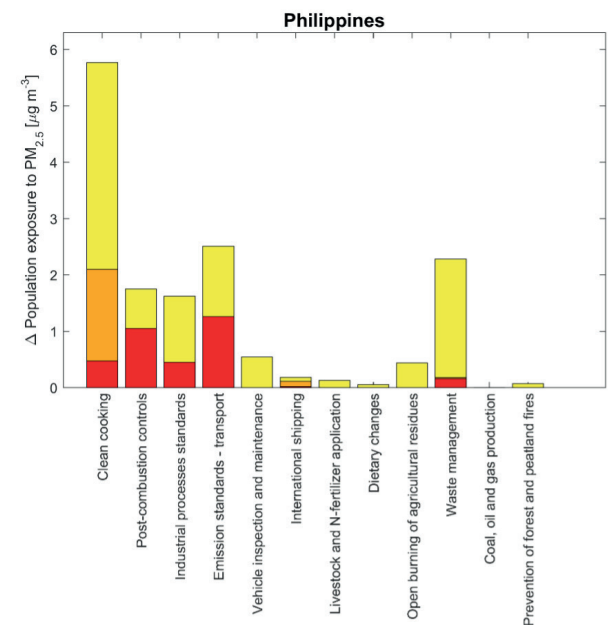
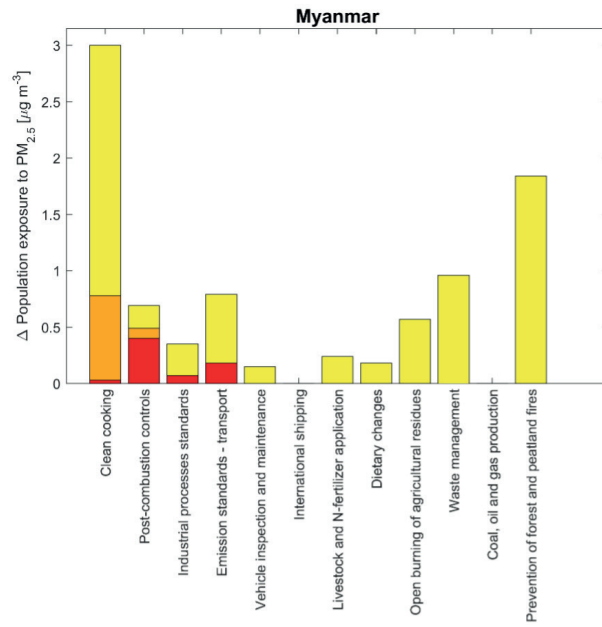
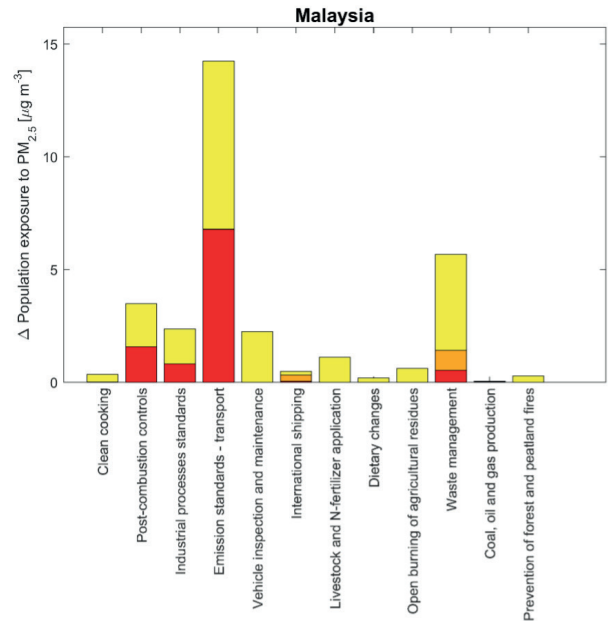
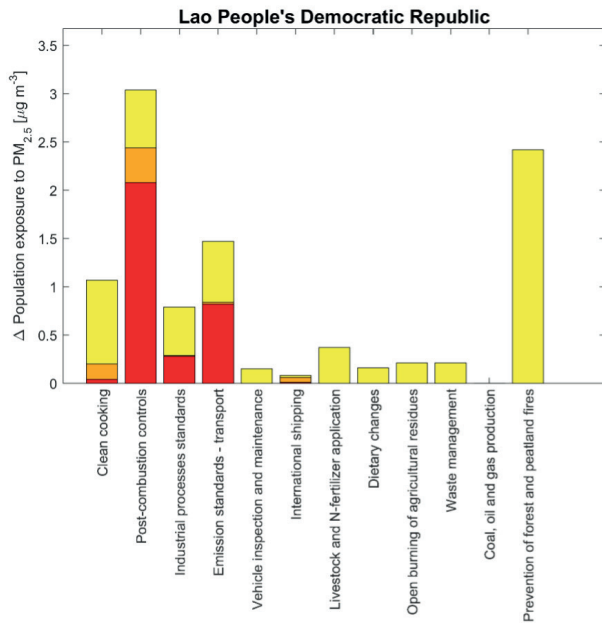
# 附件 2

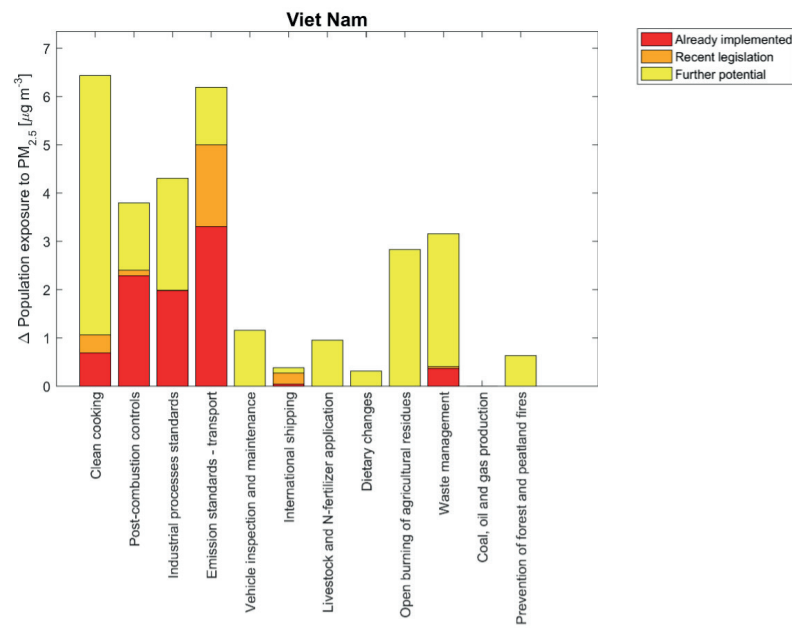
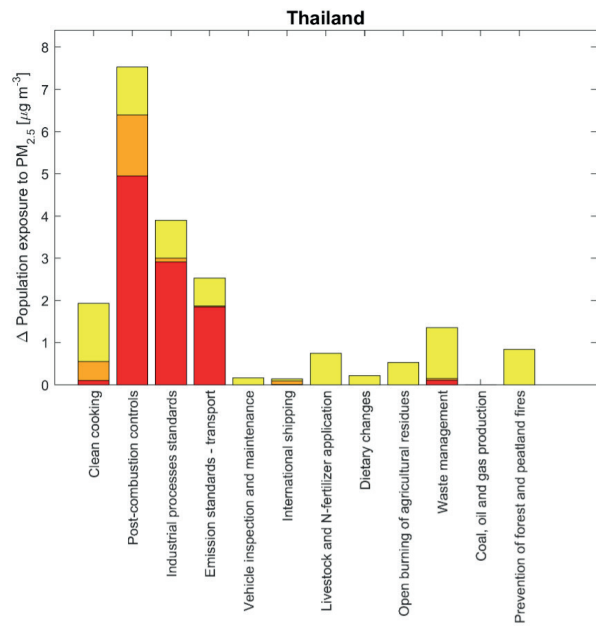
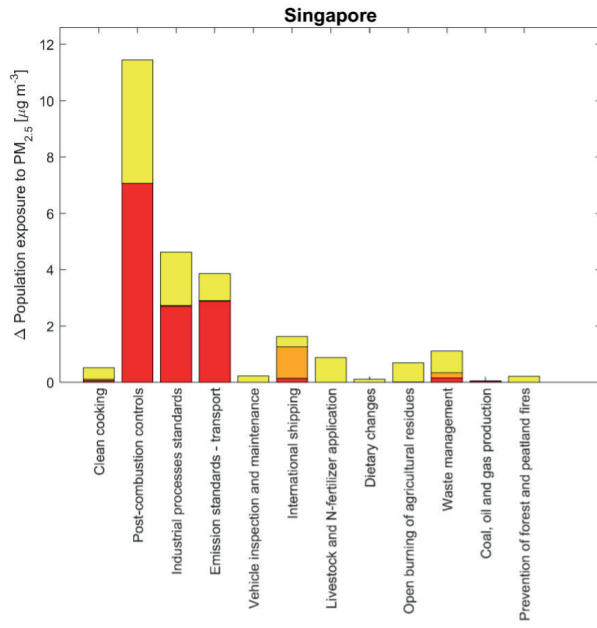
## 关键措施对到2030年浓度降低的贡献 - 按人口权重计算的PM国家结果 <sup>2.5</sup>

图表显示了实施中立法、近期立法及进一步措施在2030年前减少东盟各国的人口加权PM浓度方面的影响

o  
2.5





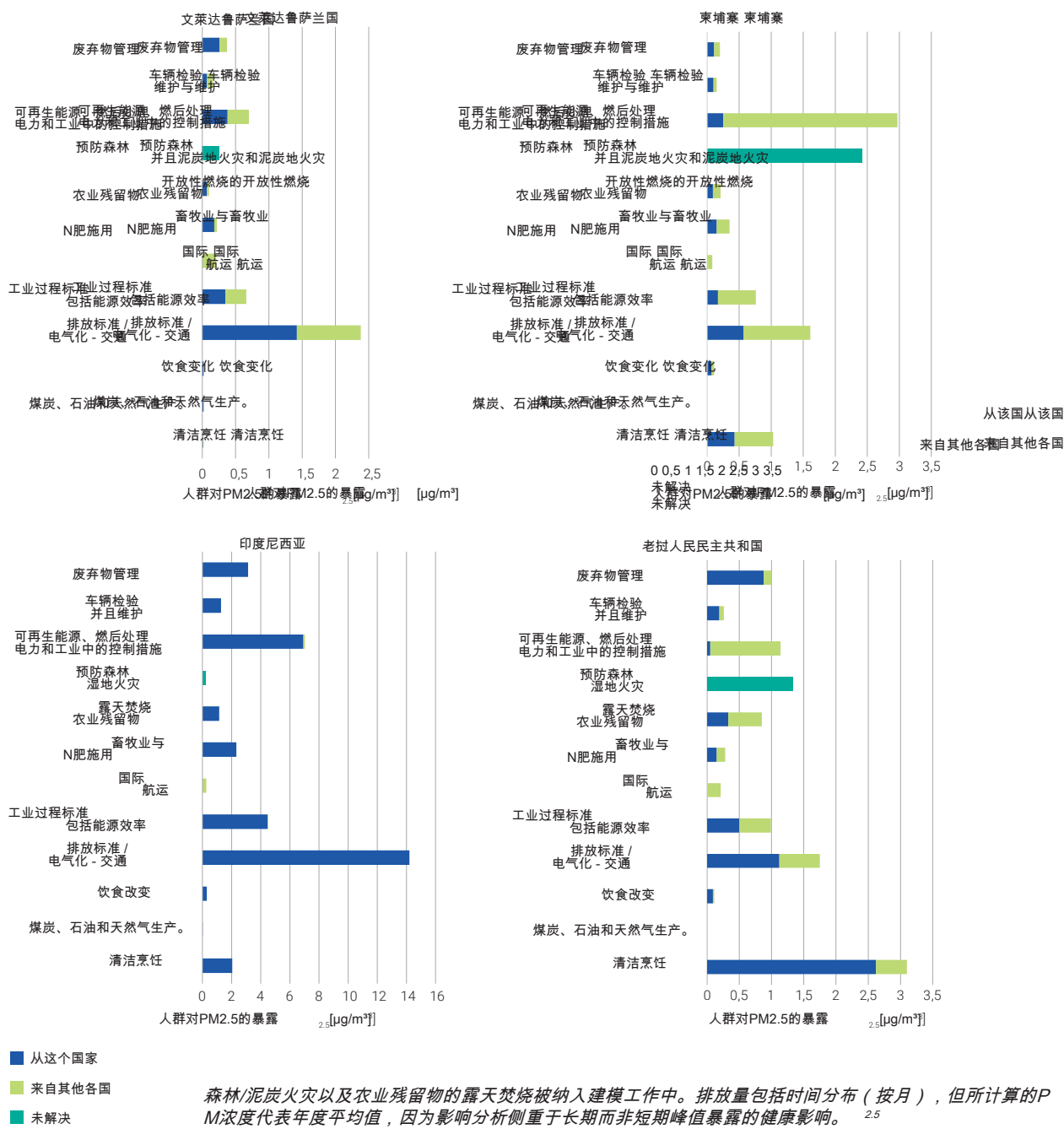


附件3

当地和跨境缓解措施的贡献；关键措施潜力——国家结果

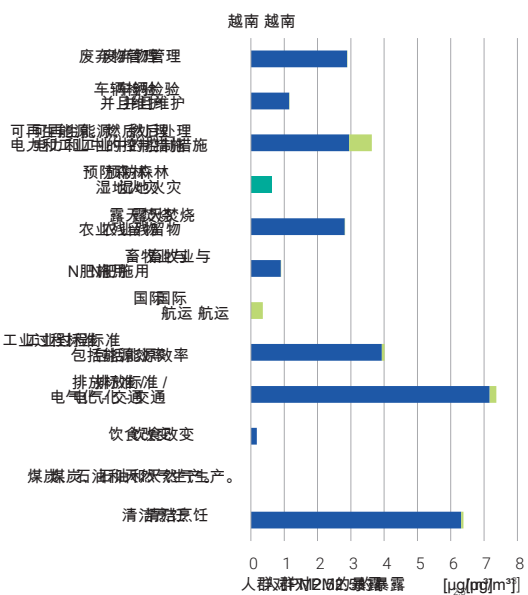
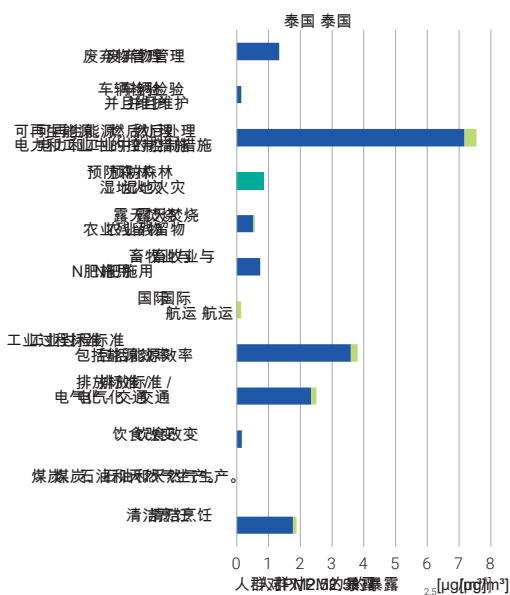
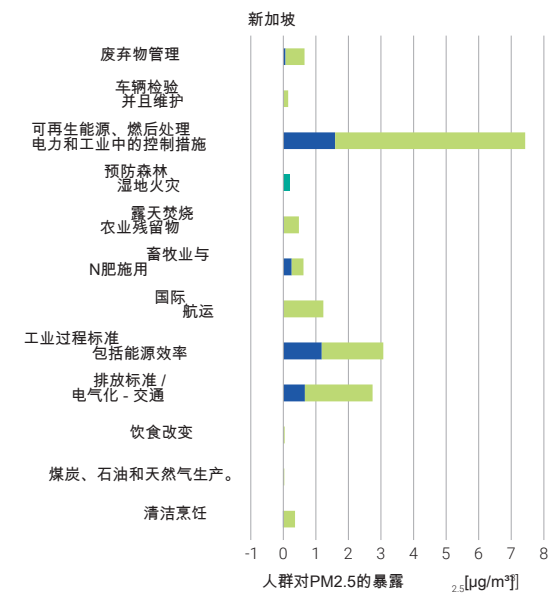
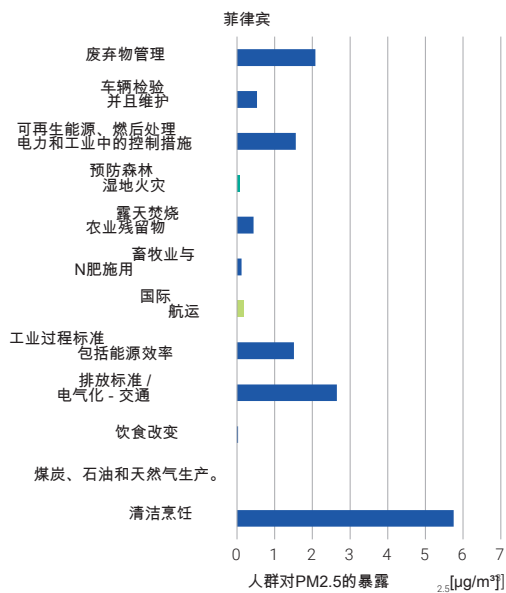
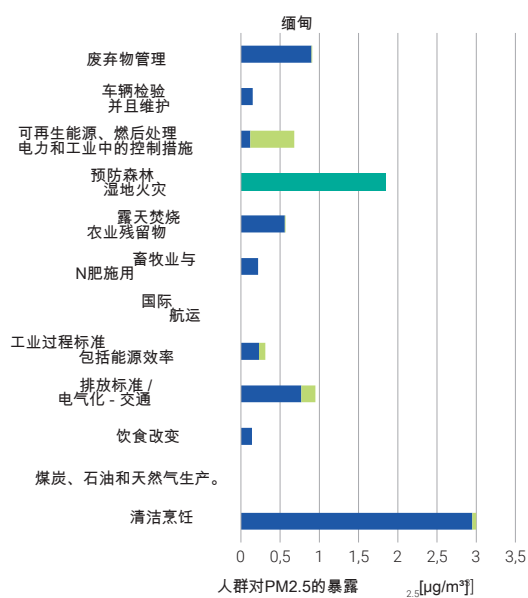
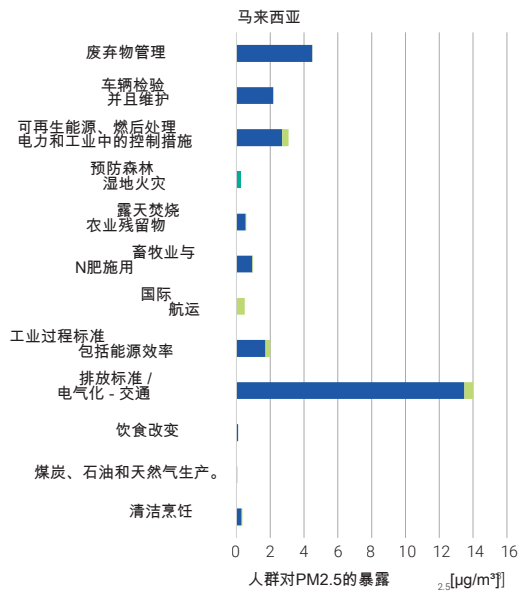
图表显示了实施中的立法、最近通过的立法以及进一步措施对2030年前所有东盟国家人口加权PM浓度减少的影响。

2.5



森林/泥炭火灾以及农业残留物的露天焚烧被纳入建模工作中。排放量包括时间分布（按月），但所计算的PM浓度代表年度平均值，因为影响分析侧重于长期而非短期峰值暴露的健康影响。

因森林火灾导致的间歇性高污染事件可能导致急性短期暴露，而通常被认为是影响长期暴露的主要来源。然而，在大多数情况下，年际平均浓度和暴露量不会受到强烈影响，因此，控制长期污染影响的策略往往优先考虑其他来源而非火灾。火灾排放量的量化与显著的不确定性相关，因为它们依赖于遥感数据检索，在这个过程中，必须对土地覆盖、生物量密度、类型、湿度等进行多个假设，以推导出首先燃烧的生物量和随后释放的排放量。



■ 从这个国家  
■ 来自其他国家  
■ 未解决

暴露  $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$

# 附件4

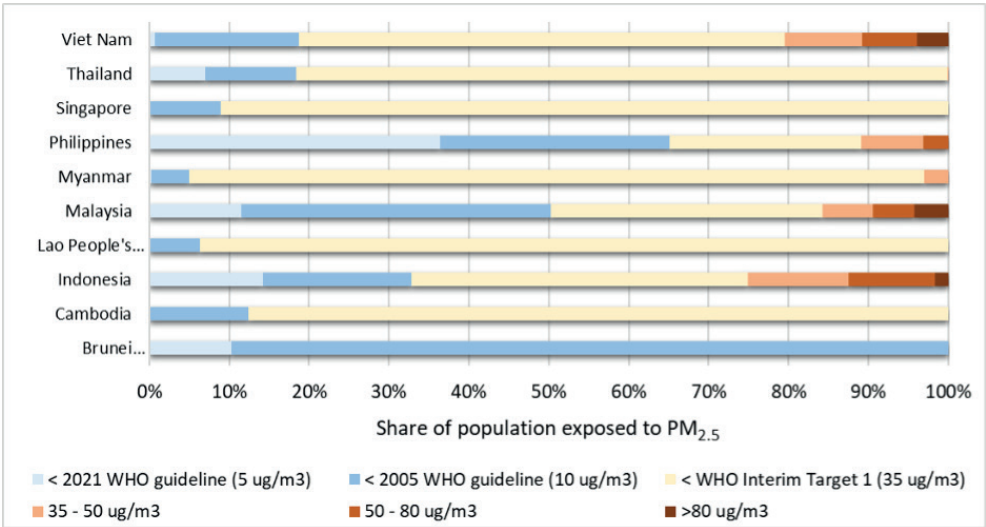
## 人口暴露于不同PM（颗粒物）水平所占的比例

2.5

在此，我们展示了2015年不同环境PM浓度水平下暴露于其中的人口比例。

2.5

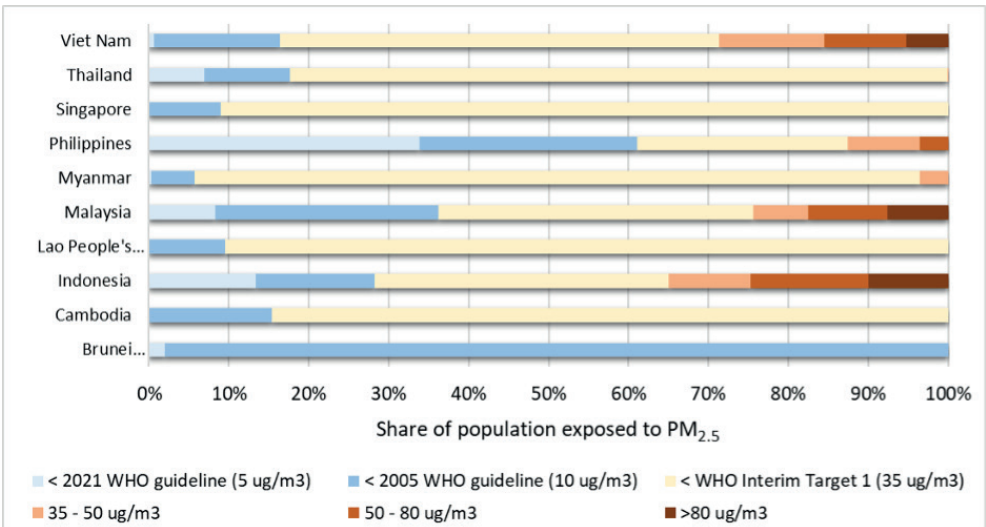
2030年基线及在实施15项解决方案后的2030年。



图A4.1：2015年东盟地区PM人口暴露情况；

2.5

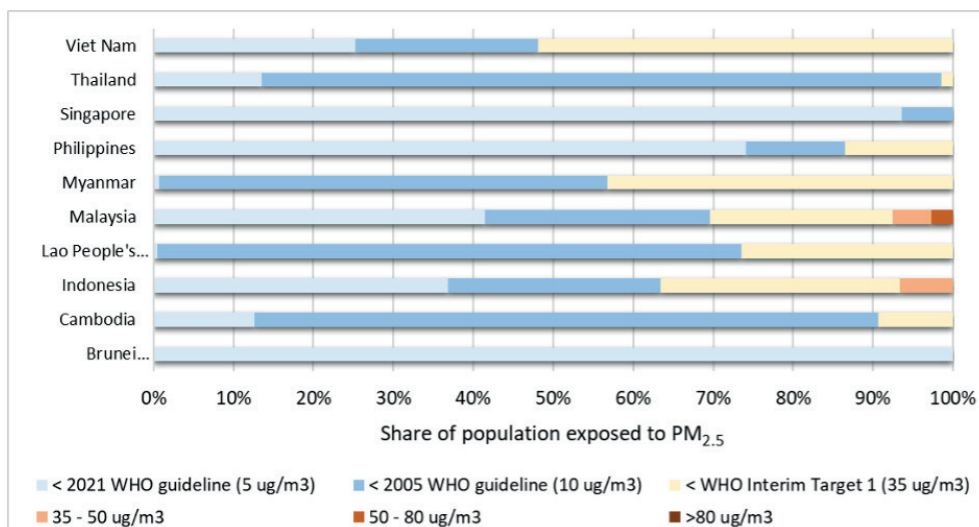
来源：GAINS模型



图A4.2：2030年东盟区域PM人口暴露水平（基线）；

2.5

来源：GAINS模型



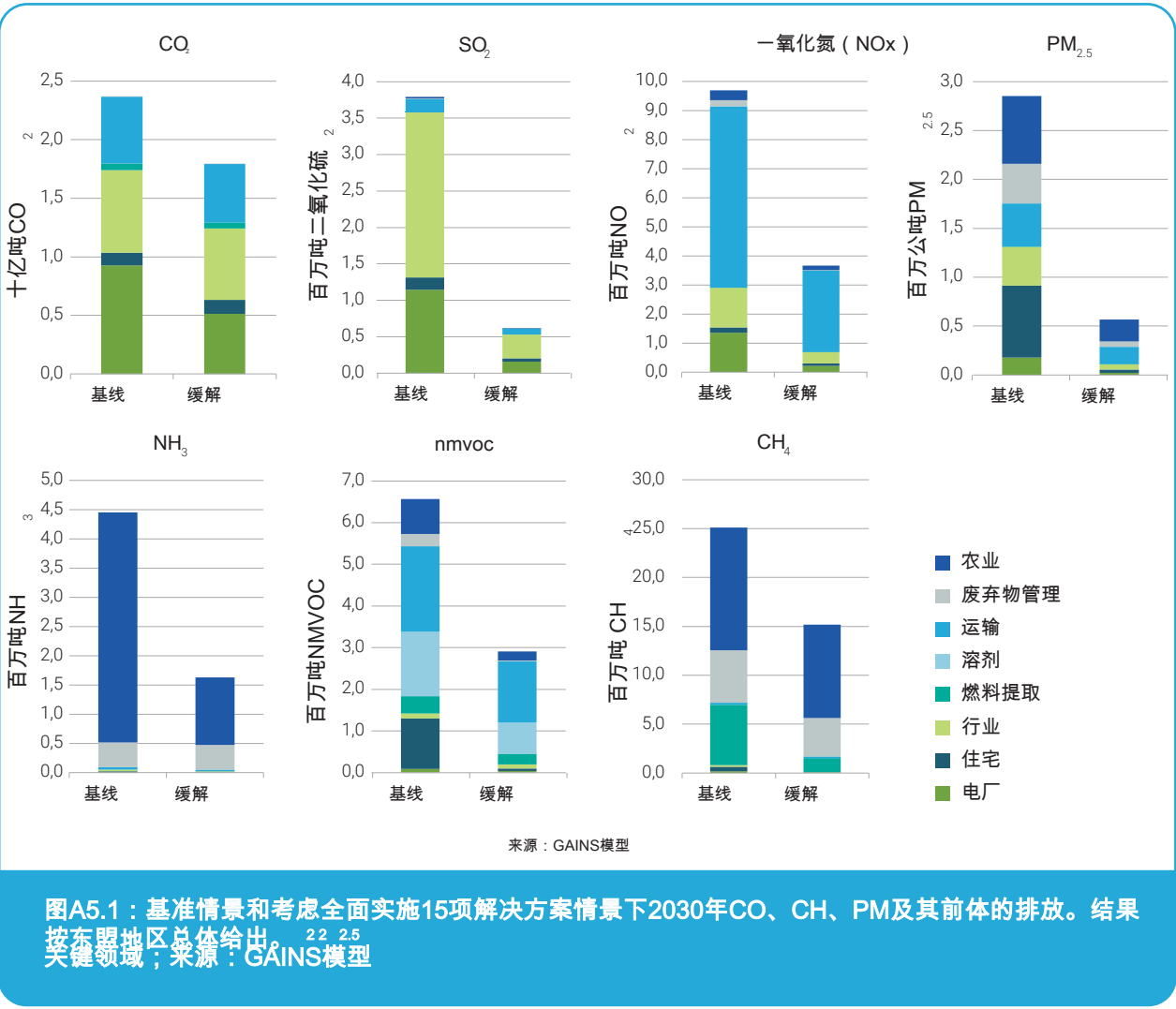
图A4.3 : 2030年东盟地区PM人口暴露情况 (完整)  
 实施15个解决方案) ;

来源 : GAINS模型

# 附件 5

## 政策缓解对关键物种排放的影响

全面实施本报告讨论的15项解决方案将导致温室气体和多种空气污染物的排放减少。下表展示了东盟总区域的减排情况以及各排放物种部门排放结构的变化。



特别感谢联合国环境规划署 ( UNEP ) 的资助伙伴。50多年来，UNEP一直是全球环境领域的领导权威机构，通过科学证据动员行动、提高意识、构建能力以及召集利益相关者。UNEP的核心工作计划得以通过成员国和其他合作伙伴对环境基金和联合国环境规划署地球基金的可变捐资来实现。这些基金为应对气候变化、自然和生物多样性丧失、污染和废物提供了敏捷、创新的解决方案。

支持联合国环境规划署。投资于人和地球  
。网址：[www.unep.org/funding](http://www.unep.org/funding)



[www.unep.org](http://www.unep.org) [unep-communication-director@un.org](mailto:unep-communication-director@un.org)