

报告 | 2026年9月

加速中国工业氧化亚氮减排： 现状、潜力与行动路径

Accelerating Industrial Nitrous Oxide Mitigation in China:
Potential and Pathways for Action



关于iGDP

绿色创新发展研究院(Institute for Global Decarbonization Progress, iGDP), 2014年成立于北京, 是专注绿色低碳发展的公益性国际化智库。

iGDP自成立以来, 根植我国绿色低碳实践, 紧跟全球应对气候变化进程, 服务决策者、实践者、投资者, 通过跨学科、系统性、实证性的研究, 推动能源和气候变化解决方案的科学化和精细化, 与多方合作推动绿色低碳议题的多元化和国际化的沟通, 提供有国际视野和前瞻性的解决方案及公共知识产品, 为全球可持续发展做出贡献。

作者

绿色创新发展研究院高级项目总监、高级分析师	陈美安
绿色创新发展研究院助理分析师	马 越
绿色创新发展研究院农食与非二项目协调员、分析师	朱彤昕

致谢

感谢以下专家在项目研究过程中提供的重要建议和反馈:

马翠梅 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心统计核算研究部主任

韩颖慧 中国科学院大学资源与环境学院副教授

付 晨 中国平煤神马集团主管

感谢iGDP同事吕雅宁提供中文审校, 张瑛睿提供版面设计。

联系我们 | igdpooffice@igdp.cn

版本日期 | 2026年9月

引用建议 | 绿色创新发展研究院 . (2026). 加速中国工业氧化亚氮减排: 现状、潜力与行动路径. 北京: 绿色创新发展研究院 .

免责声明 | 本报告内容和观点仅代表作者的个人理解和观点, 旨在加强相关领域的讨论交流, 不代表支持方、作者所属机构、调研专家学者的立场和观点。本报告内容采用数据和信息均来自公开的信息和渠道, 我们力求准确和完整, 但难免偶有疏漏, 敬请谅解并指正。

© 2026 绿色创新发展研究院

本出版物根据知识共享署名4.0国际许可协议进行许可。

您可以自由地分享和改编本作品, 但必须注明来源, 并说明是否进行了修改。

© 2026 Institute for Global Decarbonization Progress.

This publication is made available under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). You are free to share and adapt this work, provided you give appropriate credit and indicate if any changes were made.

执行摘要2

1.N₂O成为全球关注的新兴温室气体3

2.全球N₂O排放现状与来源3

 2.1 农业排放占主体，工业排放需关注 3

 2.2 国际工业N₂O减排行动不断加强 5

3.中国工业N₂O减排进入关键窗口期5

 3.1 中国N₂O排放：工业部门排放快速增长 6

 3.2 己二酸生产是工业N₂O排放增长的重要推手..... 7

4. 中国N₂O减排机遇：工业蕴含减排潜力9

 4.1 工业N₂O减排技术与实践..... 9

 4.2 我国工业N₂O减排潜力情景分析11

5. N₂O减排行动展望15

 5.1 加强对工业N₂O减排基础能力和技术创新的支持..... 15

 5.2 推动产品碳足迹与绿色供应链协同，提升产业国际竞争力 16

 5.3 推动N₂O与其他大气污染物的协同治理.....17

参考文献.....18

执行摘要

氧化亚氮 (N₂O) 正成为全球气候治理和非二氧化碳温室气体减排领域日益受到关注的重要议题。作为仅次于二氧化碳和甲烷的第三大温室气体, N₂O 具有较强的增温效应和较长的大气寿命, 其人为排放在过去数十年持续增长。与此同时, N₂O 也是当前最重要的臭氧层消耗物质之一, 加快减排不仅有助于应对气候变化, 也能够带来臭氧层保护等多重环境效益。

从排放结构看, 全球人为 N₂O 排放主要来自农业, 但中国的工业 N₂O 排放占比明显高于全球平均水平, 工业部门已成为我国 N₂O 减排的重要突破口。尤其是己二酸、硝酸和己内酰胺等重点化工行业, 排放源相对集中, 且已具备较为成熟的减排技术, 为短期内实现快速减排创造了条件。近年来, 随着我国非二氧化碳温室气体政策体系不断完善, 《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》等专项政策陆续出台, 我国工业 N₂O 减排正从政策部署逐步进入地方落实、企业实施和技术推广的关键阶段。

本研究通过情景设置对我国 2035 年及 2050 年 N₂O 排放趋势和减排潜力进行分析。结果显示, 与基准情景相比, 到 2050 年, 在新政策和深度减排情景下, 我国 N₂O 排放量分别可下降 **51% 和 73%**, 工业部门均是减排贡献最大的领域。

在新政策情景下, 随着现有政策持续实施和重点企业加快推广减排装置, 到 2035 年, 工业部门可实现约 1.77 亿吨 CO₂e 的 N₂O 减排, 占全国 N₂O 减排总量的 76%, 其中仅己二酸行业即可贡献约 1.57 亿吨 CO₂e 减排; 到 2050 年, 工业部门减排量将达到约 2.11 亿吨 CO₂e, 仍占全国 N₂O 减排总量的 66%。在深度减排情景下, 通过进一步推广成熟技术和最佳实践, 并加强对重点行业减排的经济激励, 到 2035 年工业部门可实现约 2 亿吨 CO₂e 减排, 占全国减排总量的约 67%; 到 2050 年, 减排量可进一步提高至约 2.7 亿吨 CO₂e, 工业 N₂O 排放趋近于零。

为进一步释放工业 N₂O 减排潜力, 本报告提出三条重点行动路径:

第一, 加强工业 N₂O 减排基础能力和技术创新支持。在现有政策基础上, 加快重点行业排放监测、核算和管理体系建设, 并通过财政、金融等经济激励, 降低企业减排技术应用成本, 推动成熟技术在己二酸、硝酸和己内酰胺等重点行业加快推广。

第二, 推动产品碳足迹与绿色供应链协同, 将 N₂O 减排转化为产业竞争力。随着国际贸易和全球供应链加快向低碳转型, 己二酸及其下游产品可能面临更加严格的碳足迹和绿色供应链要求。应加快建立己二酸、硝酸、己内酰胺及其下游产品的碳足迹核算标准, 加强与国际规则和标准的衔接, 并鼓励下游企业通过绿色采购和供应链管理优先使用低碳、低 N₂O 排放的原材料, 为我国企业应对潜在绿色贸易壁垒、参与全球绿色供应链竞争做好准备。

第三, 将 N₂O 减排纳入减污降碳协同治理体系。工业生产过程中, N₂O 与 NO_x、VOCs 等污染物往往具有同源排放特征。通过加强协同排放机理研究、推动工艺优化和综合治理技术创新, 可以在减少温室气体排放的同时, 降低空气污染风险, 并通过统筹治理设施和资源回收降低企业治理成本, 实现减污降碳与增效的协同推进。

1. N₂O 成为全球关注的新兴温室气体

作为全球主要温室气体之一，氧化亚氮（N₂O）排放日益受到关注。2023 年全球 N₂O 排放约为 26 亿吨二氧化碳当量（CO₂e），是仅次于二氧化碳和甲烷的全球第三大温室气体（European Commission Joint Research Centre & IEA, 2024）。尽管和二氧化碳相比，N₂O 的排放总量相对较小，但是其具有较强的增温效应，在 100 年内的增温潜势是二氧化碳的 273 倍左右¹。并且其在大气中存留的时间较长，约为 120 年。

2024 年发布的针对 N₂O 的最新排放估算表明，人类活动导致的 N₂O 排放从 1980 年到 2020 年期间增长 40%（Tian 等, 2024）。在 COP29 期间发布的全球首份《全球氧化亚氮评估报告》显示，如果不采取额外减排行动，N₂O 排放预计将持续上升，到 2050 年将比 2020 年排放增加 30% 左右；但是在采取积极减排措施的情况下，全球 N₂O 排放到 2050 年将比 2020 年减少 40%（UNEP & FAO, 2024）。因此，尽早采取行动减少 N₂O 排放将助力减缓气候变化。

此外，N₂O 减排也将推动臭氧层保护。N₂O 的排放也会严重消耗臭氧层物质，使人类暴露在有害辐射之下。尽管《蒙特利尔议定书》通过对主要的消耗臭氧层物质进行控制，从而对臭氧层恢复产生了积极效果，但是不受议定书控制的 N₂O 持续排放正在成为破坏臭氧层的主要气体（UNEP, 2013）。来自 WMO 针对臭氧层破坏的科学评估报告（以下简称《科学评估报告》）中提到，2016 年到 2020 年期间人类活动导致的 N₂O 排放量是 2020 年全球 CFCs 排放量的两倍，N₂O 排放也将延缓臭氧层的恢复（World Meteorological Organization, 2022）。《科学评估报告》提到，到 2050 年，采取积极 N₂O 减排措施对臭氧层的保护效益将与 2007 年《蒙特利尔议定书》加速淘汰氟氯烃所带来的效益相当。

2. 全球 N₂O 排放现状与来源

2.1 农业排放占主体，工业排放需关注

尽管全球 N₂O 排放也有来自土壤、海洋和大气的自然源排放，不过由于大气和生物圈可以在一定时间对自然源排放进行调整，因此这些排放并没有导致大气中 N₂O 的大量积累（UNEP, 2013）。当前全球大气中 N₂O 浓度不断上升，主要源于农业、工业、能源活动和废弃物处理等人类活动排放的持续积累（Wang 等, 2025）。

2023 年，全球人类活动的 N₂O 排放中，农业部门排放占比最高，达到 77.4%，其他主要排放源包括能源活动（9.6%）、工业生产过程（7.6%）和废弃物管理（5.4%）（Climate Watch, 2024）。

农业部门 N₂O 排放主要来自农用地和畜禽养殖两个方面。农用地排放包括氮肥、粪肥和秸秆还田等直接排放，以及由大气氮沉降、氮淋溶和径流等引起的间接排放，其中化学氮肥施用是最主要的排放来源。畜禽养殖则主要在粪污贮存和处理过程中，由硝化和反硝化反应产生 N₂O 排放。

1 这里采用IPCC第六次评估报告使用的GWP值

工业部门 N₂O 排放主要集中在己二酸、硝酸和己内酰胺等化工产品生产过程，排放源相对集中，且已具备成熟、成本有效的减排技术，因此成为全球最具快速减排潜力的领域，也是近年来国际社会重点关注的减排方向。

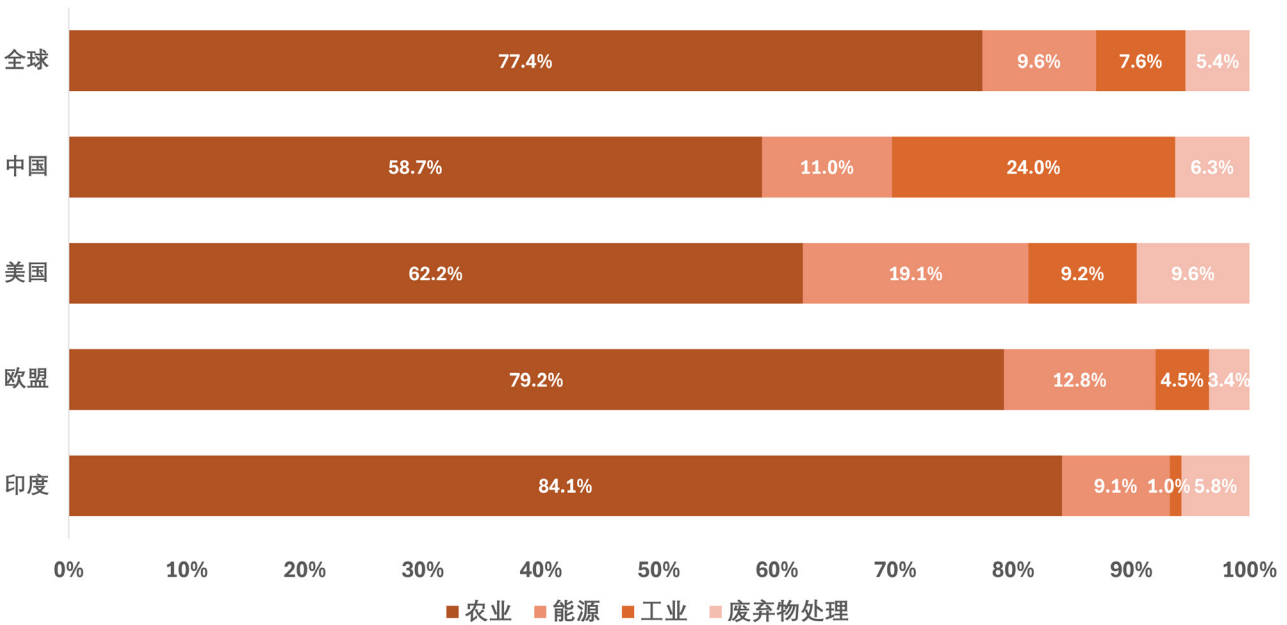
此外，能源活动和废弃物处理也是重要的 N₂O 排放来源。能源活动排放主要来自化石燃料和生物质燃烧，以及燃煤电厂、工业锅炉等设施脱硝过程中产生的 N₂O；废弃物处理排放则主要来源于生活污水和工业废水处理过程中硝化、反硝化反应产生的排放。

不同国家和地区由于产业结构、农业发展水平以及能源消费方式存在差异，N₂O 排放结构也呈现出明显的区域特征。如图 1 所示，总体来看，农业仍是各国 N₂O 排放的主要来源，全球约 77.4% 的人为 N₂O 排放来自农业部门。印度和欧盟农业排放占比最高，均接近或超过 80%；中国和美国农业排放占比分别为 58.7% 和 62.2%，明显低于全球平均水平，表明其工业、能源等非农业部门对 N₂O 排放的贡献更加突出。

其中，中国工业部门的排放特征尤为突出。工业生产过程 N₂O 排放占全国总排放的 24%，远高于全球平均水平（7.6%），也明显高于美国、欧盟和印度，反映出我国化工产业规模较大，工业生产过程已成为 N₂O 排放的重要来源。相比之下，美国工业排放占比与全球平均水平基本一致，而欧盟和印度工业排放占比则相对较低。

在能源活动方面，中国、欧盟和印度的排放占比与全球平均水平较为接近，而美国能源活动排放占比达到 19.1%，约为全球平均水平的两倍，成为其第二大排放来源。此外，废弃物处理排放在各经济体中的占比普遍较低，其中美国的排放占比相对突出，达到 9.6%，中国和印度仅略高于全球平均水平，欧盟则相对较低（Climate Watch, 2024）。

图1 | 2023年全球及中国、美国、欧盟及印度N₂O排放结构对比



数据来源: Climate Watch, 2024

2.2 国际工业 N₂O 减排行动不断加强

尽管工业 N₂O 排放在全球 N₂O 排放占比中不高，但是工业部门较为成熟的成本有效性技术将带来许多快速减排机会。

因此，许多国家和地区已经开始实施针对工业 N₂O 的减排行动。欧盟从 2013 年开始在碳市场中纳入了对硝酸和己二酸 N₂O 排放的管控，控排企业通过安装减排装置来实现 N₂O 减排 (Oeko-Institut, 2021)。2024 年，美国也宣布其主要的化工企业到 2025 年将美国工业部门的 N₂O 排放减少到 2020 年的 50% 左右 (Pike, 2024)。美国对于没有达到联邦空气质量或者近地面臭氧排放标准的地区所进行的 NO_x 的管控也会带来 N₂O 减排，受益于这项协同减排措施，美国有一半的硝酸厂安装有可以实现 NO_x 和 N₂O 减排的装置 (Davidson & Winiwarter, 2023)。

与此同时，针对 N₂O 减排的国际合作也在逐步展开。2015 年 COP21 期间，德国发起了硝酸气候行动项目 (Nitric Acid Climate Action Group, NACAG)，项目旨在推动全球硝酸和尿素厂安装减少 N₂O 排放的装置，并为符合条件的国家提供相应的技术和资金支持，包括阿根廷、印尼、墨西哥、泰国在内的 16 个国家签署对这个项目倡议的支持 (NACAG, no date)。2023 年，阿根廷在该项目的支持下已经开始为硝酸生产企业安装 N₂O 减排装置和监测设备 (NACAG, 2023)。此外，中国和美国在 2023 年发布的《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》中提到，两国计划就各自管理氧化亚氮排放的措施开展合作 (生态环境部, 2023)。

3. 中国工业 N₂O 减排进入关键窗口期

随着中国碳达峰碳中和“双碳”工作的推进，我国非二氧化碳温室气体（以下简称“非二温室气体”）减排政策体系不断完善，N₂O 减排的政策基础和行动条件逐步形成。我国在主要“双碳”政策中均已经提出研究实施包括 N₂O 在内的非二温室气体控排行动和强化对非二温室气体管控力度。2025 年中国提交的《2035 年中国国家自主贡献报告》提出，到 2035 年全经济范围温室气体排放量比峰值下降 7%-10% 的目标，首次将非二温室气体纳入总量控制范围。2026 年中国发布《国家应对气候变化“十五五”规划》，提出加强非二氧化碳温室气体监测管控，形成 3000 万吨二氧化碳当量减排能力。这些政策目标和行动要求为进一步推动 N₂O 减排创造了重要政策窗口。

在国家非二温室气体减排政策不断强化的基础上，我国工业 N₂O 减排也开始从总体部署进入重点行业精准管控阶段。2025 年 8 月，中国发布《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》，提出到 2030 年己二酸行业、硝酸行业、己内酰胺行业单位产品氧化亚氮排放量持续下降，达到国际领先水平，并提到通过资金支持和技术创新等方式来推动 N₂O 减排，同时强化工业 N₂O 与氮氧化物、VOCs 等的协同控制。在国家层面的《方案》出台后，宁夏于 2025 年 12 月率先发布了首个地方级《工业领域氧化亚氮排放控制实施方案》，提出要建立全区重点排放单位管理名录，并以资源循环利用、减排技术创新以及协同控制的手段实现工业 N₂O 的有效控排。随着国家行动方案持续实施以及更多地方配套政策陆续出台，我国工业 N₂O 减排将进入到地方落实和企业实施阶段，为推动非二温室气体减排提供重要支撑。

3.1 中国 N₂O 排放：工业部门排放快速增长

根据我国 2024 年提交的《中华人民共和国气候变化第一次双年透明度报告》和《中华人民共和国气候变化第四次两年更新报告》，2021 年我国 N₂O 排放量为 210.2 万吨，占当年我国全部温室气体排放的 4%（图 2）。从排放结构来看，农业仍是我国最大的 N₂O 排放来源，排放量为 94.9 万吨，占 N₂O 总排放的 45.1%，主要来自农用地和畜禽粪污管理。工业生产过程排放 58 万吨，占比 27.6%；能源活动和废弃物处理分别排放 46.4 和 10.9 万吨，占比 22.1% 和 5.2%（图 3）。

从历史趋势来看，我国 N₂O 排放总体呈上升态势（图 4），但不同部门变化趋势存在明显差异。其中，工业生产过程排放增长最为显著，2021 年相较 2005 年水平已增长约 4.4 倍；能源活动排放也呈现较快增长，而农业部门排放自 2012 年以来总体有所下降，废弃物处理排放则保持相对稳定。

图2 | 中国 2021年N₂O排放占比

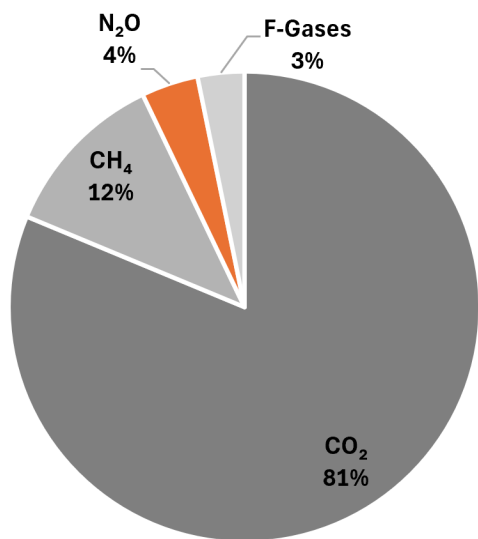


图3 | 中国 2021年N₂O分部门排放结构

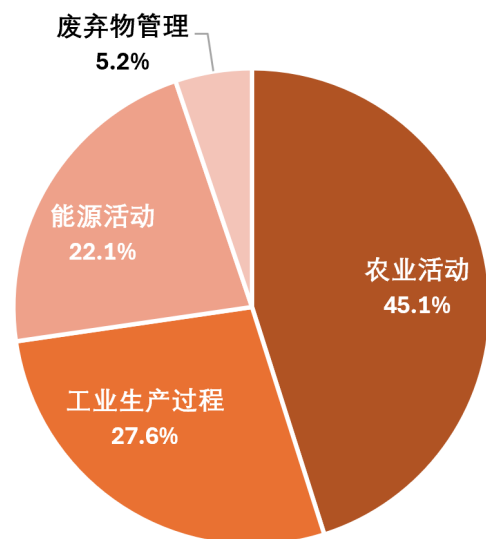


图4 | 中国 N₂O历史排放趋势(万吨N₂O)

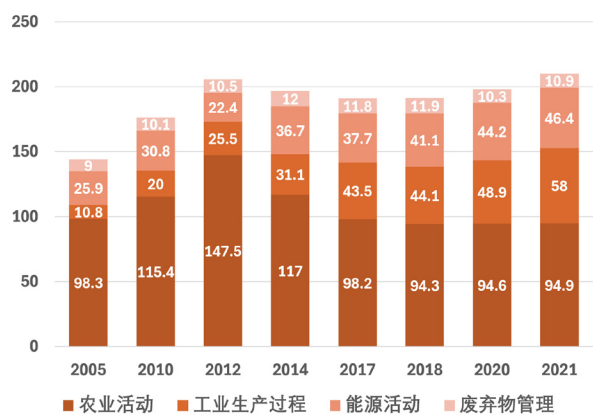
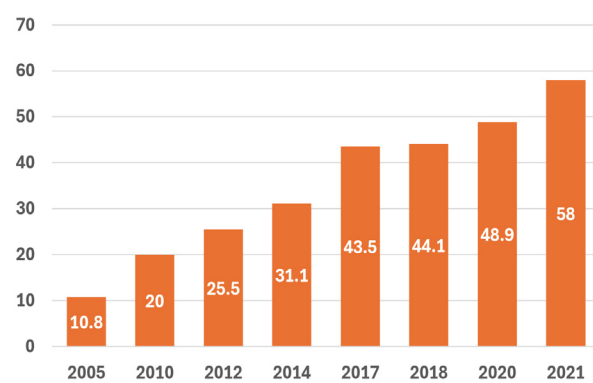


图5 | 中国工业生产过程N₂O排放(万吨N₂O)

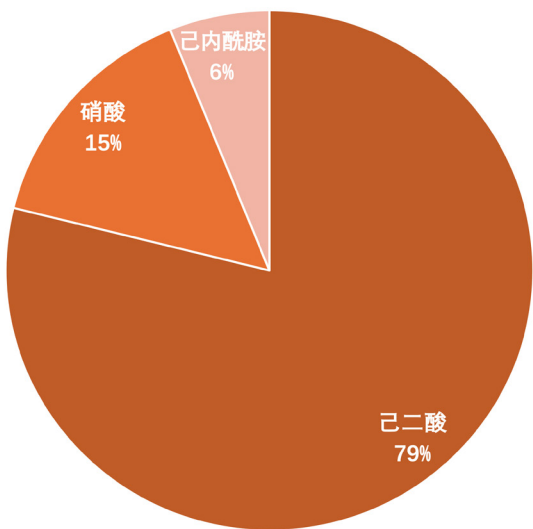


数据来源：《中华人民共和国气候变化第一次两年更新报告》、《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》、《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》、《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》、《中华人民共和国气候变化第四次国家信息通报》、《中华人民共和国气候变化第一次双年透明度报告》

工业部门排放快速增长的背后，主要来自化工行业需求的持续扩大。我国工业 N₂O 中有 79% 的排放来自己二酸生产，其余主要来自硝酸和己内酰胺等生产过程的排放（图 6）。这些化工原料用途广泛，例如己二酸被应用在可降解塑料和尼龙 66 生产，硝酸则广泛用于化肥、农药和橡胶等产业。

与全球 N₂O 排放结构相比，我国工业 N₂O 排放不仅占比高，同时排放增速也高于其他排放部门。一项关于中国 1980-2020 年 N₂O 排放的数据对比显示，我国工业 N₂O 排放从 2000 年到 2020 年增长了近 10 倍左右，同期的农业 N₂O 排放仅增加 15% (Liang 等, 2024)。这也表明，随着化工产业特别是己二酸等产品需求持续增长，工业部门已成为推动我国 N₂O 排放增长的主要来源，也将成为未来 N₂O 减排的重点领域。

图6 | 中国工业N₂O排放分行业占比 (2021)



数据来源：《中华人民共和国气候变化第一次双年透明度报告》

表1 | 工业N₂O主要应用行业

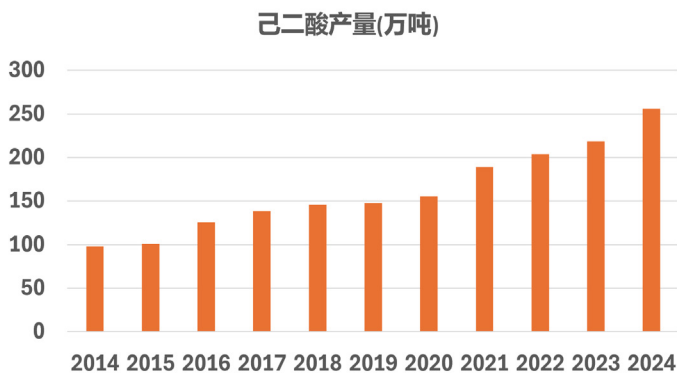
行业	用途
己二酸	己二酸主要应用在尼龙66、可降解塑料PBAT、聚氨酯材料等领域。
硝酸	硝酸则是制造合成化肥、农药和橡胶等的重要原料。
己内酰胺	己内酰胺主要应用在纺织行业，由其合成的尼龙6被广泛应用在包括冲锋衣、羽绒服在内的服装行业。

来源：iGDP整理

3.2 己二酸生产是工业 N₂O 排放增长的重要推手

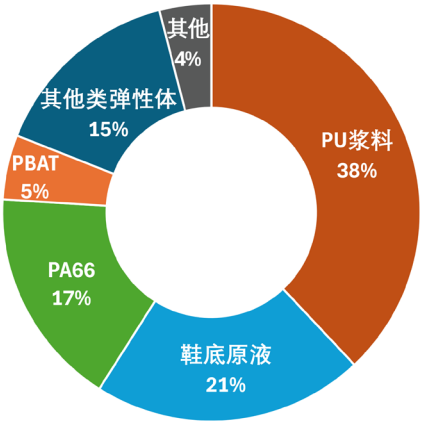
如前所述，我国工业 N₂O 排放中有大约 79% 来自己二酸生产过程。目前，中国也是全球主要的己二酸生产国，贡献了全球约 58% 的己二酸产能（海通证券，2024），全球超过一半的己二酸生产装置分布在中国 (Davidson & Winiwarter, 2023)。近年来，我国己二酸产量持续增长（图 7），由 2014 年的 98 万吨增长到 2024 年的 256 万吨。产量快速增长的背后，是下游市场的需求的持续扩大。作为重要的基础化工原料，己二酸广泛应用于包括聚氨酯（PU）浆料、鞋底原液、尼龙 66、可降解塑料（PBAT）等产品生产过程中（图 8）。其中 PU 浆料和鞋底原液是己二酸传统应用领域，广泛服务于鞋类制造、人造革、家具、箱包和汽车内饰等轻工产业。近年随着高性能材料需求的增长以及“限塑令”等政策推动可降解塑料的发展，尼龙 66 和 PBAT 等领域应用的快速扩展，进一步带动己二酸需求和产能的增长（国信证券，2022）。

图7 | 中国己二酸产量(2014-2024)



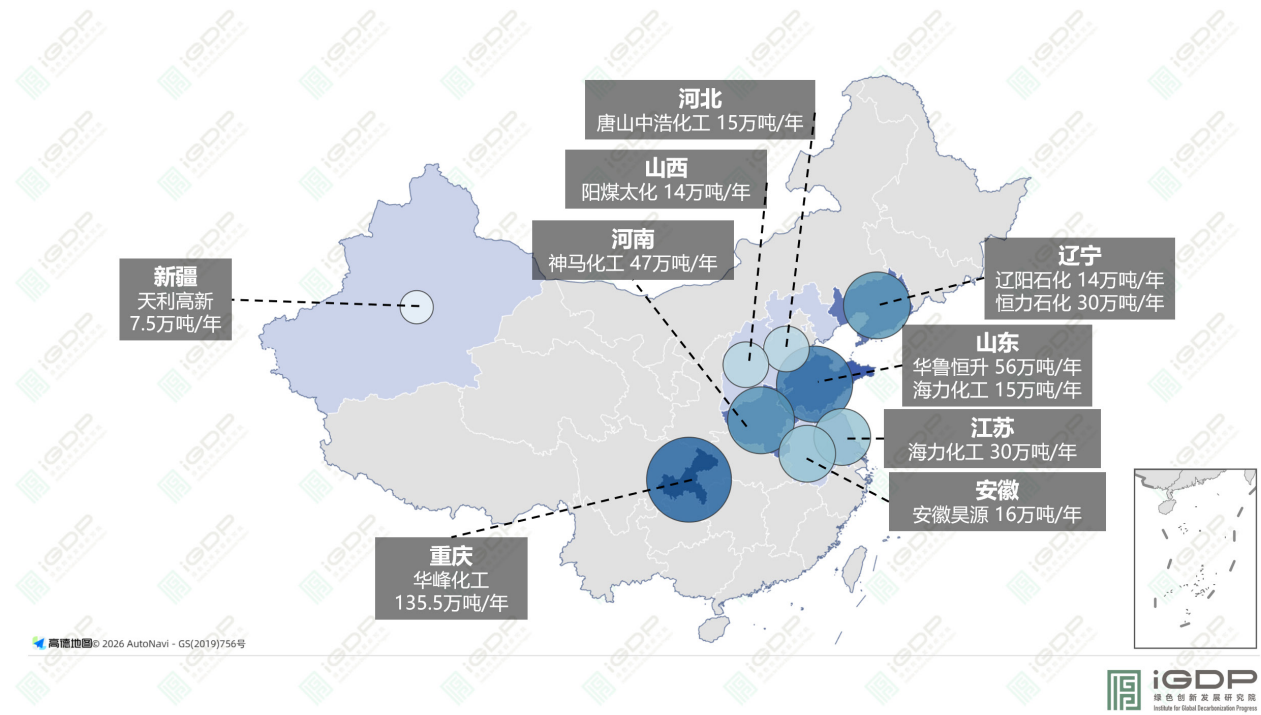
数据来源：华经产业研究院

图8 | 中国己二酸下游应用领域(2025年)



数据来源：东吴证券

图9 | 我国主要己二酸企业产能分布图(截至2026年8月)



数据来源：隆众资讯

尼龙 66 作为一种抗高温和抗磨损的化纤材料，主要用于汽车制造、电子电器等产品领域。由于产品特性，其在新能源汽车和轻型汽车上使用更多（海通证券，2024）。数据显示，尼龙 66 产能从 2015 年的 32 万吨增加到 2024 年的 129 万吨，占全球总产能的 37%，也是目前全球最大的尼龙 66 生产国；预计到 2030 年，中国尼龙 66 产能将达到 280 万吨（新浪财经，2025）。尼龙 66 的增长也将拉动己二酸需求的增加。

除了尼龙 66，市场对可降解塑料 PBAT 需求的增加也将推动己二酸的生产。2020 年中国发布《关于进一步加强塑料污染治理的意见》，提出禁止和限制部分塑料制品的生产、销售和使用。限塑令的加强也在推动对包括 PBAT 在内的可降解塑料需求增加。PBAT 由于延展性和耐热性等特点成为了目前使用最广的可降解塑料之一。在此背景下，PBAT 的产能规模快速增长，由 2020 年的 30 万吨增加到 2024 年的 143 万吨（搜狐新闻，2025a），到 2030 年，中国拟在建项目产能将达到 500 万吨（搜狐新闻，2022）。

图10 | 己二酸下游产品分布



来源：百川盈孚，海通证券研究所

4. 中国 N₂O 减排机遇：工业蕴含减排潜力

随着己二酸消费需求的增长，由此带来的 N₂O 排放也有上升空间。因此，尽快推动我国工业 N₂O 减排也尤为重要。全球范围内，工业部门已经有很多具有成本有效性的技术（折算为 CO₂e 的减排成本在每吨 6-22 美元之间）将可以带来许多快速减排的机会（UNEP & FAO, 2024）。

4.1 工业 N₂O 减排技术与实践

目前，工业领域已形成较为成熟的 N₂O 减排技术体系。其中，催化分解技术是国际上应用较为广泛、减排效果最成熟的技术路线，可将生产过程中产生的 N₂O 直接分解为无害的氮气和氧气，减排效率通常可达到 90% 以上，部分工艺可达到 95% 以上。对于部分行业，还可通过尾气资源化利用等方式，实现污染治理与资源回收的协同效益（江屿等，2018）。

在己二酸行业， N_2O 减排技术已经较为成熟。目前国内已有企业在己二酸生产装置上建设 N_2O 减排设施，使用催化剂对 N_2O 排放进行处理，但是多数企业使用了进口催化剂。此外，也有少数企业还探索了从尾气中提取 N_2O 的技术（张昌会 & 姚鑫，2022）。

硝酸和己内酰胺行业同样具备较为成熟的减排技术。通过优化生产工艺，在生产过程中配置催化分解装置，以及对尾气进行处理，可以实现 80% 到 95% 以上的 N_2O 减排（李佳等，2023）。其中，硝酸行业相关技术在国际上已经得到广泛应用，具有投资成本低，改造相对简单，对现有生产影响较小等优势（柯宇，2016）。己内酰胺行业也可借鉴类似的技术路线实现减排，尽管由于己内酰胺所产生的废气量更大、氧化亚氮浓度及废气温度较低，将使得减排过程消耗更多能量（德国国际合作机构，2023）；但是更为节能的减排方式的探索也已经展开（LANXESS, 2021），具备进一步推广应用的条件。

这些减排技术和实践也在我国化工企业中得到一定程度的应用。早期受《京都议定书》下清洁发展机制（CDM）的激励，我国硝酸和己二酸企业曾采用催化分解技术来申请 N_2O 减排项目，不少项目通过引进国外催化剂分解技术推动减排。随着 2013 年欧盟停止购买国内 N_2O 减排的 CDM 项目之后，相关的减排行动也一度减少（陈标华等，2023）。近年在我国经济社会绿色低碳转型和碳交易发展的背景下，工业 N_2O 减排的自主研发技术得到发展。例如重庆华峰研发了己二酸生产过程中的 N_2O 低温催化分解消除技术，并建成了工业化装置， N_2O 分解率可以达到 99%。 N_2O 减排也帮助企业在重庆碳市场实现配额盈余（重庆日报，2024a）。四川蜀泰化工研发的 N_2O 减排催化剂也在硝酸生产中实现试运行（四川蜀泰化工科技有限公司，2019）。浙江巴陵恒逸己内酰胺有限公司也建成了可以实现尾气 N_2O 与 VOC 协同净化装置， N_2O 分解达到 99%，VOC 也达到化工排放标准（北京工业大学，no date）。

此外，国际碳信用市场发展也在推动企业采取 N_2O 减排装置。例如气候行动储备（Climate Action Reserve）制定了己二酸减排碳信用申请的方法学和针对中国己二酸项目减排的协定（China Adipic Acid Production Protocol），鼓励中国企业采取 N_2O 减排技术并为此提供碳信用（Climate Action Reserve, 2023）。

专栏 1 | 重庆华峰己二酸生产 N_2O 减排实践

重庆华峰化工有限公司从 2010 年开始，其己二酸的产业规模以平均每两年新建一期项目的速度扩张，目前已经具备年产 150 万吨己二酸的生产能力。公司也与上海华峰研究院联合展开了“己二酸生产过程 N_2O 低温催化分解消除技术及工业化应用”项目。经过十多年的投入和研发，突破了 N_2O 低温催化分解技术并建成了工业化装置。项目研发了将己二酸尾气中的 N_2O 进行低温分解的催化剂——T350 低温催化剂，该催化剂起活温度较国际主流技术降低 100℃，降至 350℃ 以下，在催化剂作用下， N_2O 经催化分解生成 N_2 和 O_2 的转化率在 95% 以上，设备投资成本下降 60%，并创新集成余热回收系统。以 18 万吨/年己二酸装置为例，其年处理 N_2O 达 4.82 万吨，相当于减排 1315 万吨 CO_2e （徐岩，2025）。目前，建成了两套可处理 18 万吨/年己二酸生产过程 N_2O 低温催化分解消除工业化应用装置，将 N_2O 分解率提高到 99%（左黎韵，2014）。通过采用创新的 N_2O 减排技术，重庆华峰不仅实现了尾气无污染排放，同时将大幅降低公司在重庆碳市场中需要购买的碳排放的指标数量，实现绿色环保和经济效益的双赢（重庆日报，2024b）。此外，这项技术也被列入了《国家重点推广的低碳技术目录（第五批）》。

专栏 2 | 四川蜀泰化工硝酸生产N₂O减排实践

四川蜀泰化工科技有限公司在2016年开发成功了SCST-102型N₂O炉内减排催化剂，是一种具有多金属氧化物成分的复合型催化剂。同年在四川金象塞瑞化工股份有限公司150kt/a双加压法稀硝酸装置上投入试运行。在测试周期中，N₂O炉内减排催化剂稳定性良好，硝酸产量处于正常水平，N₂O减排效率维持在70%左右，对N₂O分解选择性良好，没有产生NO分解、NO₂分解等副反应(吴小强等, 2021)。四川蜀泰化工自主研发的N₂O减排催化剂生产研究与应用项目，也通过了由中国氮肥工业协会组织的专家评审。此外，项目开发的N₂O减排催化剂成本较低，实现了硝酸生产中炉内N₂O减排催化剂国产化(搜狐新闻, 2020)。

专栏 3 | 浙江巴陵恒逸己内酰胺生产N₂O减排实践

河南神马尼龙化工有限责任公司、平顶山市普恩科技有限公司、河南神马催化科技股份有限公司、北京工业大学合作研发了针对己内酰胺生产废气N₂O和VOC的协同处理系统与方法：经过水洗、气体稀释等预处理步骤的己内酰胺生产废气会进入催化反应装置中，在沸石分子筛基金属催化剂作用下，废气中N₂O的活性氧原子会和挥发性有机物（VOC）叔丁醇反应，最终生成N₂、CO₂和水，实现脱硝和VOC减排协同。数据显示，该方法处理后的N₂O转化率能达到99.95-99.98%。除极高的转化率外，整套处理方法还具备流程简单、操作安全、所用催化剂成本低廉且使用寿命长等优势(陈标华等, 2020)。

浙江巴陵恒逸己内酰胺有限公司使用该方法，在40万吨/年生产线配套建设了业内第一套协同净化工业化装置，并取得了N₂O分解率超99.9%、VOC达化工排放标准的效果。装置运行20个月，公司减排2600吨N₂O、500吨VOC(北京工业大学, no date)。

4.2 我国工业 N₂O 减排潜力情景分析

随着我国工业 N₂O 减排技术不断取得突破，以及非二温室气体减排政策体系的不断完善，尤其是《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》的发布，我国工业 N₂O 减排进入了加快推进的新阶段，减排潜力有望进一步释放。为评估不同政策力度和减排措施下的减排空间，本研究构建了不同情景，对我国 2035 年及 2050 年 N₂O 排放趋势进行分析，并重点识别工业部门在未来 N₂O 减排中的贡献。

本研究以 2020 年作为基年，设置了基准情景（BAU）、新政策情景（NPS）和深度减排情景（DDS），评估不同政策力度和减排实践下我国 N₂O 排放趋势和减排潜力。其中，BAU 情景假设仅延续 2020 年以前出台的绿色低碳政策，不实施新的减排措施，以反映缺乏进一步政策干预下的排放趋势；NPS 情景在 BAU 情景上纳入 2020 年以来出台的相关政策，例如《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》，并考虑 N₂O 减排装置在企业的持续推广应用；DDS 情景则进一步加大减排力度，在 NPS 情景基础上加速推广国内外 N₂O 减排技术和最佳实践，评估更高减排力度下的减排潜力。

分析结果显示，随着现有政策持续加强和成熟减排技术加快推广，我国 N₂O 排放具有较大的下降空间。与 BAU 情景相比，到 2035 年，NPS 情景和 DDS 情景下 N₂O 排放量分别下降 32% 和 42%；到 2050 年，减排幅度将进一步扩大，分别达到 51% 和 73%（图 11）。这表明，现有政策已能够推动 N₂O 排放显著下降，而进一步推广成熟技术和最佳实践，将释放更大的减排潜力。

从不同部门的减排贡献来看（图 12 和 13），工业部门始终是我国 N₂O 减排的最大贡献来源。无论是在 NPS 情景还是 DDS 情景下，工业部门均贡献了最大的减排份额，是推动我国 N₂O 减排的关键领域。其中，己二酸、硝酸和己内酰胺等重点行业依托成熟的催化分解等减排技术，可在 2035 年前实现大规模减排，并在 2050 年前基本实现工业 N₂O 近零排放。

图11 | 中国2035和2050年N₂O减排潜力

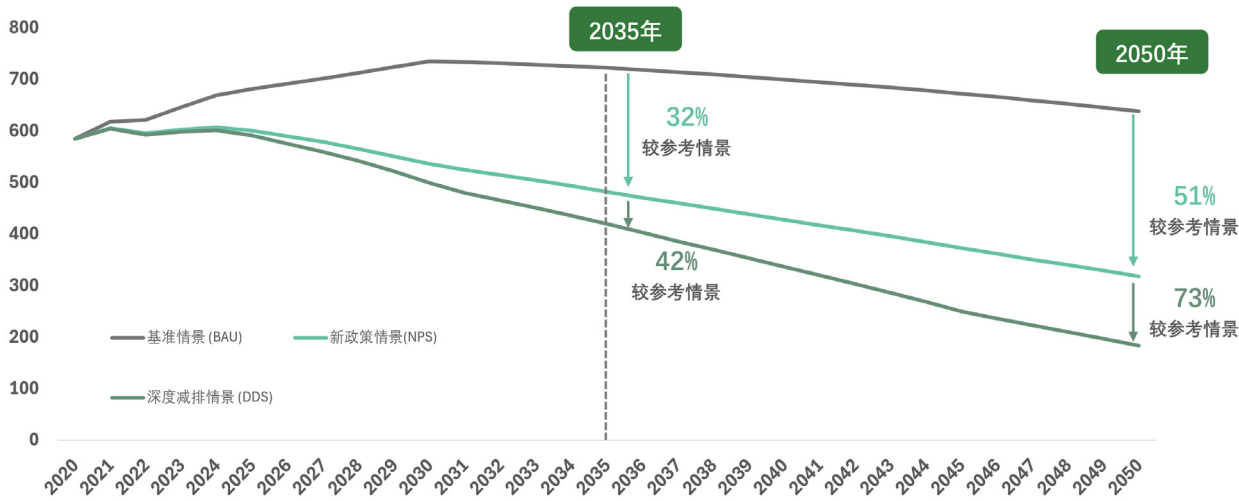


图12 | 新政策情景下N₂O分部门减排潜力

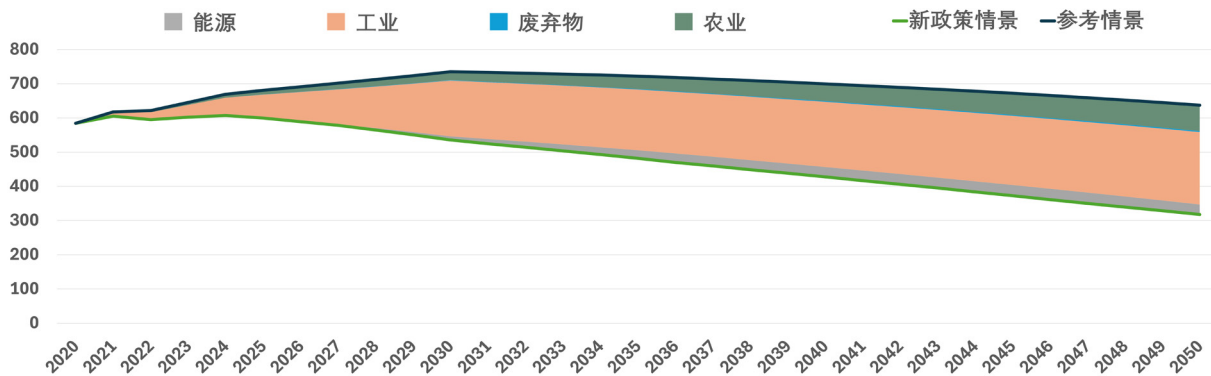
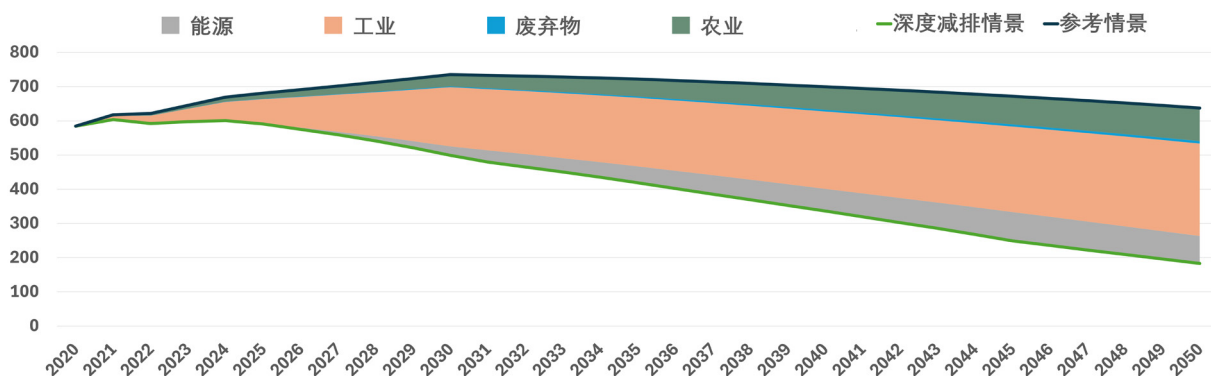


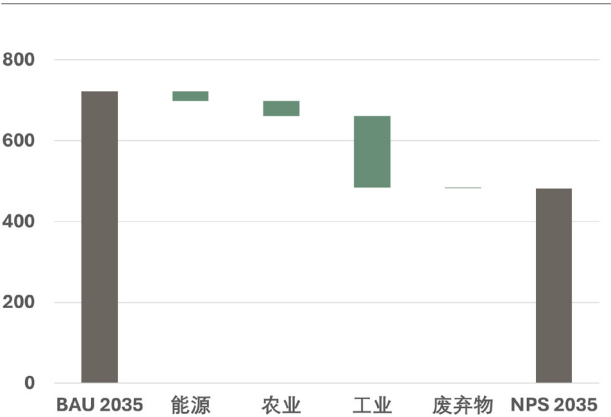
图13 | 深度减排情景下N₂O分部门减排潜力



数据来源：iGDP分析

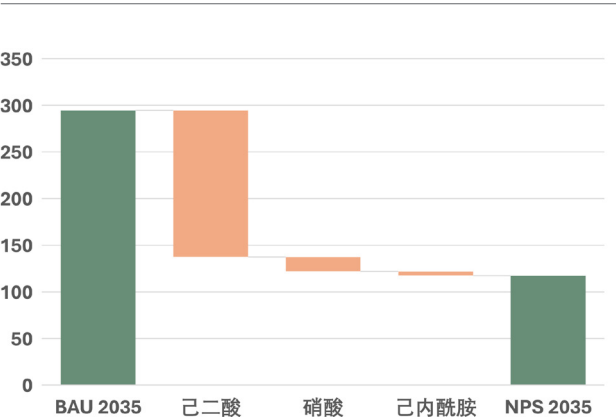
在新政策（NPS）情景下，随着《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》等现有政策持续实施，工业部门将成为我国 N₂O 减排的核心贡献领域。如图 14 和图 15 所示，到 2035 年，工业部门减排量可达到 1.77 亿吨 CO₂e，占当年 N₂O 减排总量的 76%。其中，己二酸行业贡献减排约 1.57 亿吨 CO₂e，是工业部门减排的主要来源。随着相关政策持续推进和减排措施不断落实，到 2050 年，工业部门减排量将进一步提高至 2.11 亿吨 CO₂e，仍贡献全国 N₂O 减排总量的 66%。

图14 | NPS情景下2035年N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



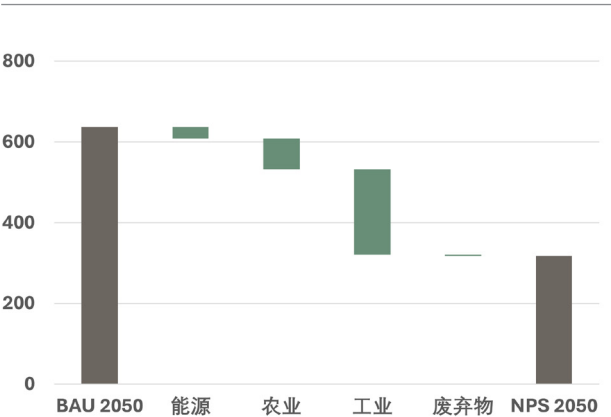
数据来源：iGDP分析

图15 | NPS情景下2035年工业N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



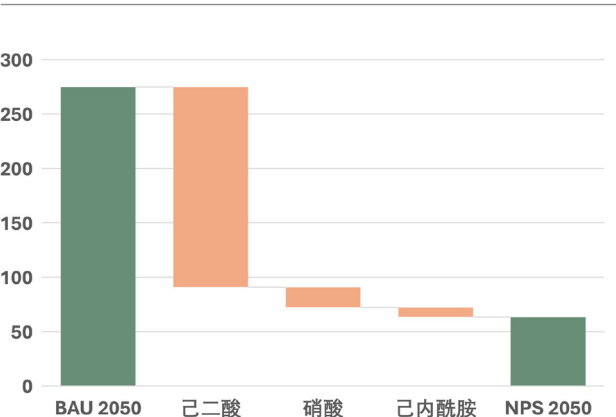
数据来源：iGDP分析

图16 | NPS情景下2050年N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



数据来源：iGDP分析

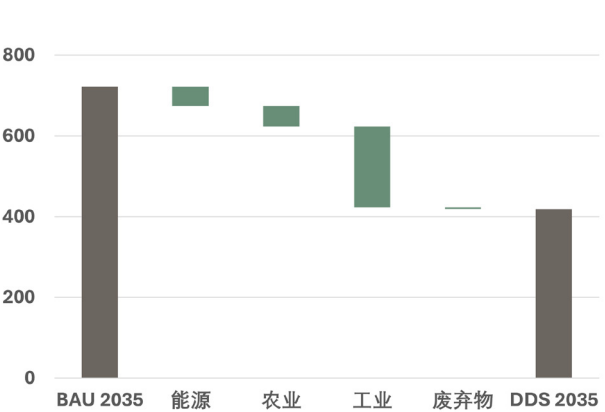
图17 | NPS情景下2050年工业N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



数据来源：iGDP分析

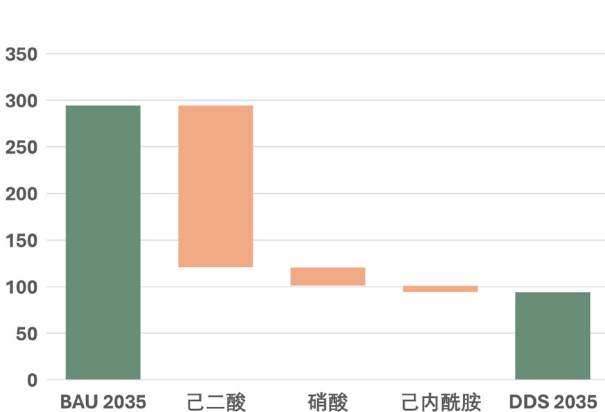
在深度减排（DDS）情景下，随着成熟减排技术和最佳实践得到更大范围推广，工业部门可以收获更大的减排潜力。分析显示，通过更快推广在己二酸、硝酸和己内酰胺的工业生产过程安装 N₂O 减排装置，到 2035 年工业部门可实现约 2 亿吨 CO₂e 的减排，占当年 N₂O 减排量的 67%；到 2050 年，工业部门 N₂O 减排量可提高到 2.7 亿吨 CO₂e，工业领域 N₂O 排放趋向近零。

图18 | DDS情景下2035年N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



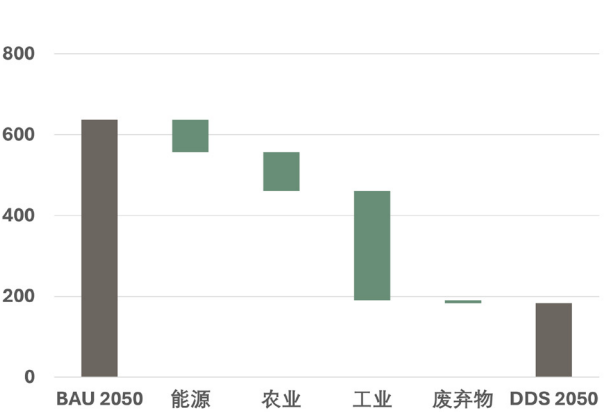
数据来源：iGDP分析

图19 | DDS情景下2035年工业N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



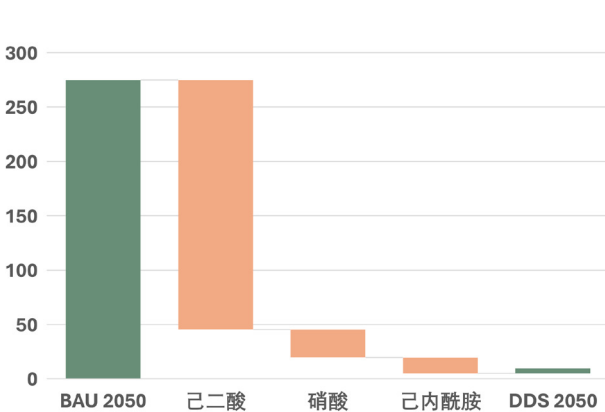
数据来源：iGDP分析

图20 | DDS情景下2050年N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



数据来源：iGDP分析

图21 | DDS情景下2050年工业N₂O减排潜力
(百万吨CO₂e)



数据来源：iGDP分析

5. N₂O 减排行动展望

展望未来，工业领域将成为我国氧化亚氮减排的重要突破口。研究表明，工业 N₂O 排放源集中、减排技术成熟、成本相对可控，具备显著的近期减排潜力。近年来，我国企业已在催化分解等减排技术方面取得积极进展，国家层面也出台了《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》，为工业 N₂O 减排奠定了良好的政策基础。下一阶段，应进一步完善政策支持体系，加快成熟减排技术推广应用，推动工业 N₂O 减排潜力加快释放。

同时，随着全球绿色贸易规则和供应链低碳转型持续推进，产品碳足迹和供应链温室气体管理正成为国际市场竞争的重要内容。加快己二酸等重点行业绿色低碳转型，推动产品碳足迹核算和绿色供应链建设，不仅有助于降低工业 N₂O 排放，也将增强我国化工产品在国际市场中的绿色竞争力，为应对未来潜在绿色贸易壁垒做好准备。此外，考虑到工业 N₂O 与氮氧化物（NO_x）等污染物具有协同治理潜力，应将工业 N₂O 减排纳入减污降碳协同增效框架，统筹推进温室气体与大气污染物协同治理，实现气候、环境和产业发展的多重效益。

5.1 加强对工业 N₂O 减排基础能力和技术创新的支持

MRV 方面，已发布的化工行业企业温室气体核算标准中包含工业氧化亚氮的核算方法，生态环境部发布的国家温室气体排放因子数据库中，也给出了双加压法硝酸生产过程中国本土化氧化亚氮排放因子。为进一步提升我国工业生产过程 N₂O 排放核算的准确性，需持续开展硝酸其他生产工艺以及己二酸、己内酰胺等产品生产过程中国本土化排放因子研究和发布。此外，鼓励已安装减排装置的企业开展 N₂O 排放量在线监测。

随着我国工业 N₂O 减排自主研发技术的不断成熟，加强对技术创新的配套政策支持将加速技术的推广和规模化应用。最新发布的《国家重点推广的低碳技术目录（第五批）》纳入了己二酸生产过程氧化亚氮低温催化分解技术，未来可以考虑进一步扩大《目录》对工业 N₂O 减排技术的覆盖范围，助力技术推广应用。

强化财政金融对工业 N₂O 减排的支持。《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》明确提出，要推动“具有氧化亚氮减排效益的项目纳入生态环保金融支持项目库和气候投融资试点项目库”，通过明确其在大气污染防治和气候减缓领域的显著效益，鼓励各类金融机构针对工业 N₂O 减排项目提供绿色信贷、绿色债券、绿色保险等多元化金融产品，并引导地方气候投融资机制加强对减排项目的支持。此外，未来更新《绿色债券支持项目目录》、《绿色金融支持项目目录》时，也可以考虑进一步覆盖工业 N₂O 及其它更多非二氧化碳温室气体减排技术，加速释放减排潜力。

加快推进全国碳排放权交易市场、温室气体自愿减排交易市场（CCER）等市场化政策工具对 N₂O 减排的支持。一方面，借鉴地方试点碳市场经验，推动全国碳市场逐步将 N₂O 及相关行业排放纳入覆盖范围。以重庆碳市场为例，该试点碳市场将工业减排作为重点、纳入了全部受管控的非二氧化碳温室气体，为当地重要的己二酸生产企业实施 N₂O 减排提供了明确的经济激励（重庆日报，2024b）。在市场推动下，以重庆华峰化工为代表的企业，通过实施 N₂O 催化分解等减排措施，到 2020 年减排 N₂O 超 1 万吨（重庆日报，2024a）。另一方面，随着 CCER 的重启和方法学的陆续发布，部分工业 N₂O 减排项目或有望被纳入自愿减排机制。《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》提出，要“加快推进利用温室气体自愿减排交易等市场机制鼓励工业领域氧化亚氮减排”，通过制定专门方法学，为参与减排的相关工业企业提供额外收益。

5.2 推动产品碳足迹与绿色供应链协同，提升产业国际竞争力

在全球贸易规则加速向低碳转型的背景下，产品全生命周期温室气体排放正在成为国际市场竞争力的重要指标，欧美等国的碳关税政策或将逐步强化对碳密集型产品的约束。当前，美国正在重提《清洁竞争法案》，意在对其国内生产及进口的己二酸等产品征收碳税 (US Senate Committee, 2025)；与此同时，欧盟碳边境调节机制 (CBAM) 正式启动，尽管其初始覆盖范围仅包括水泥等 6 个重点行业，但相关预测认为，未来 CBAM 有望扩展到有机化工产品、塑料及其下游产品，己二酸及相关产业链可能成为潜在扩展对象 (Bonnet 等, 2026)。

作为全球重要的己二酸生产国与出口国，我国的化工产业将面临日益增强的绿色贸易压力。2024 年，我国己二酸产量约 256 万吨，出口量超过 49 万吨 (观研报告网, 2025)，其中，对欧盟的出口量达到了 11.18 万吨 (率捷咨询, 2024)。此外，己二酸涉及的下游产品同样也是重要出口产品。例如，我国 PBAT 出口量占国外总需求的 70% 以上 (搜狐新闻, 2025b)；而作为汽车、电子领域关键原料的 PA66 (尼龙 66)，出口规模也在快速增长 (基业常青经济研究院, 2025)。随着国际供应链不断强化绿色采购要求，加快己二酸产业绿色低碳转型，不仅是实现工业 N_2O 减排的重要举措，也是提升我国化工产业国际竞争力、积极应对未来绿色贸易壁垒的重要保障。

尤其值得关注的是，己二酸减排的重要意义正在从生产端延伸至整个产业链。己二酸广泛应用于尼龙 66 生产，而全球约 50% 的尼龙 66 最终用于汽车制造 (Hasanbeigi & Sibal, 2023)。随着国际整车企业开始将范围三 (Scope 3) 排放纳入供应商管理体系，对原材料生产过程中的隐含温室气体排放提出更高要求。未来，己二酸生产过程中产生的 N_2O 排放，将直接影响汽车、电子电气、新材料等终端产品的碳足迹，并可能成为我国相关产品进入国际市场的重要影响因素。因此，应尽快推动己二酸及其下游产品碳足迹核算和低碳供应链认证，为我国企业参与全球绿色供应链竞争做好准备。

对此，为增强我国企业的应对能力，需加速推进涉及工业 N_2O 排放的重点产品碳足迹标准制定与核算工作。《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》、《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》等政策文件指出，应在大宗原材料、重点外贸产品等领域加快研制产品碳足迹核算标准。未来，进一步建设与完善己二酸、硝酸、己内酰胺及其供应链下游工业产品的碳足迹核算标准，将有助于企业厘清其产品生命周期温室气体排放情况，科学识别减排重点环节，提升减排效率。同时，在产品碳足迹核算标准建设过程中，还需重点考虑与国际标准的接轨，确保我国企业的碳足迹核算结果能被认可。

除生产企业外，还可以鼓励供应链下游企业积极开展产品碳足迹纳入供应链管理的相关探索，这将助力形成供应链上下游协同的减排机制。例如，通过扩展绿色供应链评价体系覆盖范围，鼓励下游企业优先采购、使用“零 N_2O ”的原料和产品。

5.3 推动 N₂O 与其他大气污染物的协同治理

工业领域 N₂O 与 NO_x、VOCs 等污染物具有同源排放的特点，因此，可以考虑推动 N₂O 与这些污染物的协同治理。具体而言，多种工业活动都可能同时导致 N₂O 与 NO_x 及 VOCs 的排放，例如，己二酸、己内酰胺等产品的工业生产过程 (IPCC, 2006)，工业用能、用热领域的化石燃料燃烧过程等 (绿色创新发展研究院, 2024a; 石晓薇等, 2018)。

推动 N₂O 与其他污染物的协同治理可以收获多重效益。一方面，减少 N₂O 排放有助于减缓气候变化，而协同控制 NO_x 和 VOCs 排放，则有助于降低酸雨、水体富营养化和臭氧污染风险，改善空气质量和公众健康 (黄冰等, 2021; Buttignol 等, 2025)。另一方面，在协同治理的过程中，排放企业得以通过技术研发和系统化的设计，尽可能降低设备和运行成本。例如，避免额外增加污染物处理系统、控排过程产生的高温热能和高压蒸汽可回收利用等 (生态环境部, 2025)，相比于逐一治理各污染物，更具有成本效益。

为进一步发挥协同治理效益，未来需强化重点行业 N₂O 及其他污染物的协同治理机制。《工业领域氧化亚氮排放控制行动方案》已经明确指出，要开展绿氨掺烧与氧化亚氮排放机理研究。具体而言，在燃煤机组掺烧绿氨发电可以显著降低燃煤消耗和碳排放水平，但大比例的掺氨燃烧也可能导致包括 N₂O 在内的氮氧化物排放大量增加，给绿氨掺烧技术的推广应用带来挑战 (李珺等, 2025; 绿色创新发展研究院, 2024b; Kim 等, 2025)。对此，已有的研究指出，开发新型氨煤燃烧器、控制掺氨比例等措施有望降低其排放，但由于氮氧化物形成机制复杂，还需要更为深入的研究 (李珺等, 2025)。此外，在实践层面，也可以遵循协同治理的控排思路，进一步加大对相关技术研发、工艺优化和创新设备的政策扶持与经济激励，鼓励企业探索更高效、低成本的协同治理解决方案。



参考文献

1. 北京工业大学. (no date). 科研成果简介. 北京工业大学. <https://cese.bjut.edu.cn/kxyj/kycg.htm>
2. 陈标华, 田梦, & 徐瑞年. (2023). 化工生产中温室气体 N_2O 排放与工业化减排技术. 环境工程, 41(10), 82-90.
3. 陈标华, 赵铎, 史红军, 陈聚良, 梁巍, 屈建海, 陈亚春, 钟儒学, 朱子强, 张军明, 冯继伟, 王晓鹏, 刘荣鸽, 吕国辉, 张卫红, & 李云鹏. (2020). 一种己内酰胺生产废气中 N_2O 和 VOC 协同处理的系统.
4. 重庆日报. (2024a-06-19). 今年一季度重庆碳市场成交碳排放权 331 万吨 规模在全国 8 个试点碳市场位居第一. 重庆日报. https://cq.gov.cn/ywdt/jrcq/202406/t20240619_13304883.html
5. 重庆日报. (2024b-07-16). 重庆碳市场 10 年累计成交碳排放指标 5109 万吨、12 亿元. 重庆日报. <https://iigf.cufe.edu.cn/info/1020/8980.htm>
6. 德国国际合作机构. (2023). 德国 / 欧洲氧化亚氮减排经验手册. 德国国际合作机构.
7. 观研报告网. (2025-04-03). 我国己二酸行业供给集中 生产利润收窄 出口量和净出口量整体上升. 观研报告网. <https://www.chinabaogao.com/detail/747897.html>
8. 国信证券. (2022). 己二酸行业专题. 国信证券.
9. 海通证券. (2024). 国内供需紧平衡, 尼龙 66 带动己二酸需求增长. 海通证券.
10. 黄冰, 张炽辉, 何明, 伍建军, 李嘉威, 杨超岚, & 何源霖. (2021). 工业源 VOCs 污染防治对策案例研究. 环境与可持续发展, 46(2), 104-108.
11. 基业常青经济研究院. (2025-08-13). 2025 年 PA66 行业发展分析. 基业常青经济研究院.
12. 江屿, 徐烨琨, & 艾晓欣. (2018). 己二酸生产中 N_2O 减排技术综述. 化工设计通讯, (9), 56-57.
13. 柯宇. (2016). 硝酸装置氧化亚氮二级减排特点和结构设计. 化肥工业, 43(3), 28-32.
14. 李佳, 樊星, 陈莉, & 李坚. (2023). 硝酸生产尾气中 NO_x 和 N_2O 联合脱除技术研究进展. 化工进展, 42(7), 3770 ~ 3779.
15. 李琨, 郑伟, & 孙道华. (2025). 绿氨合成绿氨及燃煤锅炉掺氨燃烧研究进展. 洁净煤技术, 31(S1), 452 - 459.
16. 率捷咨询. (2024-12-17). 率捷视点 | 己二酸内需出口两旺, 未来是否依旧保持高速增长?. 率捷咨询. <http://www.orisage.com/h-nd-45.html>
17. 绿色创新发展研究院. (2024a). 中国氧化亚氮减排努力和前景展望.
18. 绿色创新发展研究院. (2024b-08-25). 开栏首篇! 绿氨掺烧——现役煤电机组低碳转型技术. 绿色创新发展研究院.
19. 生态环境部. (2023). 关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明. 中华人民共和国生态环境部要闻动态. http://www.news.cn/2023-11/15/c_1129976165.htm
20. 生态环境部. (2025-08-30). 专家解读 | “小切口”精准开展氧化亚氮排放控制 助推工业绿色低碳转型. 中华人民共和国生态环境部要闻动态. https://www.mee.gov.cn/zcwj/zcjd/202508/t20250830_1126407.shtml
21. 石晓薇, 王帆, & 刘哲. (2018). 挥发性有机物 (VOCs) 的防控. 世界环境, 1, 107.
22. 四川蜀泰化工科技有限公司. (2019-01-31). 四川蜀泰化工 N_2O 减排催化剂成果通过科技鉴定, 技术水平达到国内领先. 四川蜀泰化工科技有限公司. https://www.shutaicn.com/blog/_194795_204827.html
23. 搜狐新闻. (2022-04-13). “双碳”下的可降解塑料. 搜狐新闻. https://www.sohu.com/a/537630321_121091021
24. 搜狐新闻. (2025a-06-26). 降解材料 | 中国降解产能领跑全球: 预计 2025 年超 258 万吨产能 占世界总量 82%. 搜狐新闻. https://www.sohu.com/a/908171565_121123900
25. 搜狐新闻. (2025b-07-9). 2025 年 PBAT 市场: 出口驱动上半年增量 预计产能过剩下半年价格承压. 搜狐新闻. https://www.sohu.com/a/912204993_121123900
26. 吴小强, 严会成, 许云波, 欧军, & 刘阳. (2021-06-15). SCST-102 型 N_2O 炉内减排催化剂的开发与工业应用. 中氮肥. <http://cnzdx.com/show.aspx?id=32893&cid=79>
27. 新浪财经. (2025-03-12). 总产能将突破 500 万吨, 平均开工降至 56%. 新浪财经. <https://finance.sina.com.cn/roll/2025-03-12/doc-inepkrfm4537153.shtml>
28. 徐岩. (2025-03-14). 破解己二酸行业温室气体减排难题——记华峰集团己二酸生产过程氧化亚氮低温催化分解消除技术. 中国化工报. <https://news.10jqka.com.cn/20250314/c666707707.shtml>

29. 张昌会 & 姚鑫. (2022). 己二酸工业生产尾气温室气体治理路径分析与发展趋势. 河南化工, (9), 12 ~ 14.
30. 左黎韵. (2014-10-18). 重庆华峰聚力打造千亿级产业园. 重庆日报. https://epaper.cqrb.cn/cqrb/2024-10/18/002/content_rb_338134.htm
31. Bonnet, A., Thomas, S. A., & Baršauskaitė, I. (2026-01-27). EU Carbon Border Adjustment Mechanism Is Set to Get Bigger: Implications for trade and industrial value chains. IISD. https://www.iisd.org/articles/explainer/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-bigger-trade-implications?gad_source=1&gad_campaignid=22208053183&gbraid=0AAAAADQ3eTA2GWeQlJ0Ki1WMsZCq75nq5&gclid=Cj0KCQiA18DMBhDeARIsABtYwT3HrGwsqzT___fvv5rXv8nJ11VnIKlBiPnx14aZNX6B8BDAJGAKmAaAguiEALw_wcB
32. Buttignol, F., Biasi, P., & Garbujo, A. (2025). Mitigating Nitrogen Oxides, N₂O, and NH₃ Emissions in the Chemical Industry and Ammonia Combustion. ACS ES&T Engineering, 5(9), 2170 ~ 2180. <https://doi.org/10.1021/acsestengg.5c00384>
33. Climate Action Reserve. (2023). 中国己二酸生产. Climate Action Reserve.
34. Climate Watch. (2024). Global Historical Emissions [数 据 集]. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&end_year=2022&gases=n2o®ions=USA&start_year=1990
35. Davidson, E. A., & Winiwarter, W. (2023). Urgent abatement of industrial sources of nitrous oxide. Nature Climate Change, 13(7), 599 ~ 601. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01723-3>
36. European Commission Joint Research Centre & IEA. (2024). GHG emissions of all world countries. Publications Office. <https://doi.org/10.2760/4002897>
37. Hasanbeigi, A., & Sibal, A. (2023). Stopping a Super-Pollutant: N₂O Emissions Abatement from Global Adipic Acid Production. <https://www.globalefficiencyintel.com/stopping-a-superpollutant-n2o-emissions-abatement-from-global-adipic-acid-production>
38. IPCC. (2006). 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南.
39. Kim, S.-J., Pak, S.-J., Jo, S.-H., Im, H.-T., Lee, H., Yoon, S.-J., Ra, H.-W., Yoon, S.-M., Li, D., & Mun, T.-Y. (2025). Combustion characteristics of fuel flexibility with coal-biomass-ammonia co-firing in a circulating fluidized bed system. Biomass and Bioenergy, 194, 107666. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.107666>
40. LANXESS. (2021-02-10). LANXESS inaugurates nitrous oxide reduction plant in Antwerp. LANXESS. <https://lanxess.com/en/media/press-releases/2021/02/lanxess-inaugurates-nitrous-oxide-reduction-plant-in-antwerp>
41. Liang, M., Zhou, Z., Ren, P., Xiao, H., Xu-Ri, Hu, Z., Piao, S., Tian, H., Tong, Q., Zhou, F., Wei, J., & Yuan, W. (2024). Four decades of full-scale nitrous oxide emission inventory in China. National Science Review, 11(3), nwad285. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwad285>
42. NACAG. (2023-03-20). Argentina takes further steps towards mitigating N₂O emissions in the Nitric Acid Sector. NACAG. <https://www.nitricacidaction.org/argentina-takes-further-steps-towards-mitigating-n2o-emissions-in-the-nitric-acid-sector/>
43. NACAG. (no date). Introducing Nitric Acid Climate Action Group. NACAG. <https://www.nitricacidaction.org/>
44. Oeko-Institut. (2021). N₂O mitigation potentials and costs in the nitric acid sector: A 2020 assessment for the Nitric Acid Climate Action Group (NACAG). Oeko-Institut e.V.
45. Pike, L. (2024-07-24). Biden's Last Chance at Climate Diplomacy with China. Foreign Policy. <https://foreignpolicy.com/2024/07/24/biden-climate-china-nitrous-oxide-super-pollutants/>
46. Tian, H., Pan, N., Thompson, R. L., Canadell, J. G., Suntharalingam, P., Regnier, P., Davidson, E. A., Prather, M., Ciais, P., Muntean, M., Pan, S., Winiwarter, W., Zaehle, S., Zhou, F., Jackson, R. B., Bange, H. W., Berthet, S., Bian, Z., Bianchi, D., ... Zhu, Q. (2024). Global nitrous oxide budget (1980–2020). Earth System Science Data, 16(6), 2543 ~ 2604. <https://doi.org/10.5194/essd-16-2543-2024>
47. UNEP. (2013). Drawing down N₂O to protect climate and the ozone layer. United Nations Environment Programme.
48. UNEP & FAO. (2024). Global Nitrous Oxide Assessment. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46562>
49. US Senate Committee. (2025-12-17). Whitehouse, DelBene Reintroduce Carbon Border Adjustment to Boost Domestic Manufacturers, Tackle Climate Change. <https://www.epw.senate.gov/public/index.cfm/press-releases-democratic?ID=222BFDA2-A45C-4F29-A42B-2700146B8900>
50. Wang, Z., Han, Y., Jiang, H., Gao, Y., Li, Z., Fan, C., & Li, Z. (2025). High-Precision Inversion and Source Contribution Analysis of Global-National-Provincial Nitrous Oxide Emission via Multi-Source Satellite Remote Sensing. Journal of Energy and Climate Change, 1(4), 491 ~ 500. <https://doi.org/10.3724/j.issn.2097-4981.JECC-2025-0024>
51. World Meteorological Organization. (2022). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022.



绿色创新发展研究院 (Institute for Global Decarbonization Progress, iGDP), 2014 年成立于北京, 是专注绿色低碳发展的公益性国际化智库。

iGDP 自成立以来, 根植我国绿色低碳实践, 紧跟全球应对气候变化进程, 服务决策者、实践者、投资者, 通过跨学科、系统性、实证性的研究, 推动能源和气候变化解决方案的科学化和精细化, 与多方合作推动绿色低碳议题的多元化和国际化的沟通, 提供有国际视野和前瞻性的解决方案及公共知识产品, 为全球可持续发展做出贡献。

电话 | 86-10-8532 3096

邮箱 | igdpoffice@igdp.cn

网址 | www.igdp.cn

地址 | 中国 北京市 朝阳区 秀水街 1 号建外外交公寓 6-2-62

邮编 | 100600

扫描二维码关注更多信息

