

甲烷排放控制与资源化利用报告

(摘要版)

生态环境部环境与经济政策研究中心

2023 年 12 月

编写单位：生态环境部环境与经济政策研究中心

参编单位：生态环境部环境工程评估中心、中国石油集团安全环保技术研究院、中国沼气学会、中国产业发展促进会生物质能产业分会、山西省瓦斯发电协会（排名不分先后）

目 录

1 甲烷排放情况及控排意义	1
2 甲烷排放控制政策与行动	3
2.1 国际甲烷排放控制政策与行动	3
2.2 主要区域、国家甲烷排放控制政策与行动	4
2.3 中国甲烷排放控制政策与行动	6
3 能源领域甲烷排放控制与资源化利用	8
3.1 能源领域甲烷排放控制与资源化利用现状	8
3.2 能源领域甲烷资源化利用进展情况及典型案例	9
4 农业领域甲烷排放控制与资源化利用	12
4.1 农业领域甲烷排放控制与资源化利用现状	13
4.2 农业活动甲烷资源化利用典型案例	14
5 垃圾和污水处理甲烷排放控制与资源化利用	15
5.1 垃圾和污水处理甲烷排放控制与资源化利用现状	15
5.2 垃圾和污水处理甲烷资源化利用发展情况和典型案例	17
6 展望	19
6.1 发展挑战	20
6.2 发展机遇	21

甲烷（CH₄）既是一种短寿命强效温室气体，也是一种可以利用的资源，开展甲烷排放控制和资源化利用具有重要价值和意义，国内外正在采取行动。本报告梳理了国内外甲烷排放情况、排放控制政策与行动，重点分析了中国能源活动、农业活动和废弃物处理领域甲烷排放控制和资源化利用现状，介绍了部分典型案例，并展望了甲烷排放控制与资源化利用发展前景。

1 甲烷排放情况及控排意义

甲烷是仅次于二氧化碳的全球第二大温室气体，具有增温潜势高、寿命短的特点。甲烷排放量大于氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)和六氟化硫(SF₆)等其他非二氧化碳温室气体，其全球增温潜势(GWP)值在100年时间尺度是27.9¹。甲烷的深度减排是将全球平均升温控制在1.5° C以下的必要条件²。

全球约60%的甲烷排放来自人类活动³，2022年，全球人为甲烷排放量为3.55亿吨，主要来自农业活动、能源活动、废弃物处理三大领域，排放占比分别为39.9%、37.5%、19.9%⁴，2021年全球人为甲烷排放量较1970年增长约1.4亿吨⁵。据联合国环境规划署(UNEP)估计，如不采取切实的减排措施，到2030年，全球人为甲烷排放量

¹ 政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告(AR6)

² 政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告(AR5)

³ 政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告(AR6)

⁴ IEA 甲烷追踪数据库, Methane Tracker. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/methane-tracker>

⁵ 数据来源于: EDGAR GHG database (7.0)

将比目前的水平每年增加 2000 万吨至 5000 万吨，较 2020 年排放量增加 5%~13%⁶。全球人为甲烷排放中约 60%可以通过较低成本措施实现控排，其中约 50%的部分为负成本。油气甲烷排放的 60%~80%、煤炭甲烷排放的 55%~98%、废弃物处理甲烷排放的 30%~60%可以通过低成本措施实现控排⁷。

根据公开的最新版国家温室气体清单信息⁸，中国 2014 年能源活动、农业活动和废弃物处理甲烷排放量分别为 2475.7 万吨、2224.5 万吨、656.4 万吨，占比分别为 44.8%、40.2%、11.9%。在能源活动中，逃逸排放的甲烷占比达 89.4%。在农业活动中，动物肠道发酵和水稻种植甲烷排放合占 84.4%。

甲烷排放控制不仅有助于碳中和目标的实现，也将推动全球气候治理进程。此外，甲烷排放控制与利用的环境协同效益显著（例如可与挥发性有机物 VOCs 协同控排），能够产生巨大的经济效益（例如可替代天然气、用作化工原材料、避免农作物减产），还可带来良好的安全效益（例如减少生产事故）等。

⁶ 2022 年 11 月，UNEP, CCAC. GLOBAL METHANE ASSESSMENT:2030 BASELINE REPORT. 《2030 年全球甲烷评估：基线报告》

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/41108/methane_2030_SPM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁷ UNEP, CCAC. GLOBAL METHANE ASSESSMENT:2030 BASELINE REPORT.

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/41108/methane_2030_SPM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁸

《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》

2 甲烷排放控制政策与行动

全球甲烷排放控制正在从共识走向行动，国际组织、各国政府、企业等均已采取行动。

2.1 国际甲烷排放控制政策与行动

早在 1997 年《京都议定书》就将甲烷明确作为六大温室气体之一纳入减排名录，2015 年《巴黎协定》要求进一步加强温室气体的汇和库。2021 年政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的第六次评估报告（AR6）第一工作组报告《气候变化 2021：自然科学基础》提出，快速、全面控制甲烷等短寿命温室气体排放是短期内延缓气候变暖速率的有效手段。在《联合国气候变化框架公约》第 26 次缔约方大会上 103 个国家签署了“全球甲烷承诺”倡议（Global Methane Pledge, GMP），倡议承诺“到 2030 年，将全球甲烷排放量在 2020 年的排放水平上至少削减 30%⁹”，截至目前已有 149 个国家加入倡议。此外，中美两国在《中美应对气候危机联合声明》《中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》提出将加强甲烷排放控制的国际合作。2023 年 11 月 15 日，中美两国发表《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》，提出两国将落实各自国家甲烷行动计划并计划视情细化进一步措施；两国将立即启动技术性工作

⁹ COP26: GLOBAL METHANE PLEDGE –THE MOVE FROM ASPIRATION TO ACTION.
<https://www.cliffordchance.com/content/dam/cliffordchance/briefings/2021/12/cop26-global-methane-pledge.pdf>

组合作，开展政策对话、技术解决方案交流和能力建设，在各自国家甲烷行动计划基础上制定各自纳入其 2035 年国家自主贡献的甲烷减排行动/目标，并支持两国各自甲烷减/控排取得进展。2023 年 12 月 2 日，在《联合国气候变化框架公约》第 28 次缔约方大会期间，中美两国会同阿拉伯联合酋长国举行“甲烷和非二氧化碳温室气体峰会”。

国际社会快速推动甲烷排放控制与利用。国际组织正推动甲烷排放的监测和核算、发起多个甲烷联盟/倡议推动甲烷排放控制，并提供资金支持。此外，跨国油气企业界率先开展甲烷排放控制行动，多数国际油气巨头企业制定了独立的排放控制目标，少数企业则是将甲烷排放控制纳入总体温室气体排放控制目标。从目标看，雪佛龙（Chevron）、埃克森美孚（Exxon Mobil）、法国燃气网络管理公司（GRTgaz）等公司设定了甲烷排放总量控制目标；壳牌（Shell）、英国石油公司（BP）、巴西国家石油公司（Petrobras）等公司设定了排放强度控制目标。

2.2 主要区域、国家甲烷排放控制政策与行动

欧盟运用立法、战略规划和市场机制控制甲烷排放。欧盟将甲烷纳入《责任分担条例》（Effort Sharing Regulation, ESR）中的国家排放控制目标¹⁰，之后通过《2030 年气候目标计划》明确提出甲烷排放控制量化目标，并于 2020 年 10 月 14 日出台了《欧盟甲烷减排战略》，在能源活动、农业活动、废弃物处理领域、跨部门行动以及积极开展

¹⁰ Regulation, (EU) 2018/842

国际交流协作等五个方面提出了 24 项排放控制措施。此外，欧盟将甲烷纳入排放交易机制（EUETS）进行排放控制。2023 年 5 月欧洲议会投票通过关于减少能源领域甲烷排放的法规，明确规定欧盟能源领域 2030 年甲烷排放量较 2020 年减少 58%。

美国通过纳入国家自主贡献（NDC）、制定法规战略和行业标准等开展甲烷排放控制与利用。2021 年，美国在提交的国家自主贡献中提出通过更新标准、提供项目和激励措施分别控制油气和农业领域的甲烷排放。美国环保局先后将油气生产及天然气运输列入《清洁空气法》中的有毒大气污染物重点排放源目录，并通过《美国清洁能源安全法案》部署启动甲烷大型排放源（年二氧化碳排放当量超过 25000 吨）温室气体排放年度报送制度（GHGRP）。2021 年 11 月，美国政府对外发布了美国第一个全面的甲烷减排战略——《美国甲烷减排行动计划》。美国在《新源排放绩效标准》（New Source Performance Standards）中制定了石油天然气的生产、运输和分销标准¹¹等系列标准。在 2022 年 8 月批准的《通胀削减法案》中包含了甲烷减排计划，即对按《清洁空气法》要求提交温室气体排放报告的石油和天然气公司超过一定阈值的甲烷排放从 2024 年开始征收 900 美元/吨的费用，两年后费用升至 1500 美元/吨¹²。

其他国家甲烷排放控制行动。早在 1999 年，加拿大议会通过的

¹¹ EPA.New Source Performance Standards
<https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/new-source-performance-standards>

¹²
<https://www.iea.org/policies/16317-inflation-reduction-act-2022-sec-60113-and-sec-50263-on-methane-emissions-reductions>

《加拿大环境保护法》中将甲烷作为有毒物质并列入清单，制定了天然气、油气行业甲烷排放标准。新西兰通过法律限制农业领域甲烷排放，印度、南非等国家运用法律和标准限制废弃物领域甲烷排放，巴西、芬兰、越南、挪威等国发布甲烷减排行动计划，日本、瑞典等60多个国家将甲烷排放控制目标纳入国家自主贡献中。德国、英国、俄罗斯等国家针对重点领域的甲烷排放实施分类管控。

2.3 中国甲烷排放控制政策与行动

国家层面制定了甲烷排放控制政策。2023年11月，生态环境部等11部门印发《甲烷排放控制行动方案》，这是我国开展甲烷排放管理控制的顶层设计文件，提出“十四五”和“十五五”期间甲烷排放控制政策、技术和标准体系逐步建立和完善，加强甲烷排放监测、核算、报告和核查体系建设，重点推进能源、农业、垃圾和污水处理等领域的甲烷排放控制，加强污染物与甲烷协同控制，加强技术创新和甲烷排放控制监管等。2021年10月，中国更新的国家自主贡献文件—《中国落实国家自主贡献成效和新目标新举措》，提出“重点通过合理控制煤炭产能、提高瓦斯抽采利用率等，以及控制石化行业挥发性有机物排放量、鼓励采用绿色完井、推广伴生气回收技术等举措，有效控制煤炭、油气开采甲烷排放”。此外，碳达峰碳中和“1+N”政策体系中包括《农业农村减排固碳实施方案》，以及《中国应对气候变化国家方案》《“十二五”控制温室气体排放工作方案》《“十三五”控制温室气体排放工作方案》《“十三五”生态环境保护规划》

等重要政策文件均对甲烷排放控制做出要求。《关于深化生态环境保护补偿制度改革的意见》《绿色债券支持目录（2021年版）》《产业结构调整指导目录（2019年本）》等政策强化利用经济手段支持甲烷排放控制。

中国地方政府将甲烷排放控制纳入地方环境政策。当前，大部分地区将甲烷排放控制要求纳入地方重大规划文件；天津、吉林等地将其纳入《深入打好污染防治攻坚战行动方案》；上海、江苏、浙江、河南、湖北等地方在生态环境保护“十四五”规划中提出要加强甲烷排放控制。此外，北京、上海等地还强调了重点领域甲烷排放的监测、核算、报告和核查体系建设，建立示范项目和工程，推动甲烷控排技术创新。

中国企业的甲烷排放控制行动。中国石化 2018 年启动了“绿色企业行动计划”，提出加强油田伴生气、试油试气、原油集输系统的甲烷回收利用，2021 年 3 月，宣布将以净零排放为终极目标。2021 年 5 月，由中国石油、中国石化、中国海油、国家管网、北京燃气、华润燃气和新奥能源等 7 家中国油气企业联合成立甲烷排放控制联盟。2021 年 10 月，包括香港中华煤气、上海燃气、深圳燃气、成都燃气在内的 10 家中国城市燃气企业共同签署了《中国城市燃气企业甲烷排放控制倡议书》，以推动中国城市燃气企业将甲烷排放控制纳入企业实现碳达峰碳中和目标愿景的发展规划。

3 能源领域甲烷排放控制与资源化利用

2014 年，中国能源活动排放甲烷 2475.7 万吨，其中煤炭甲烷排放 2101.5 万吨、油气系统排放 112.7 万吨¹³，其他为燃料燃烧过程产生的排放。煤炭甲烷的排放控制与资源化利用主要是指煤层气（煤矿瓦斯）的控排与开发利用。油气领域的甲烷排放贯穿于从开采、运输、储存到终端应用环节等上、中、下游全产业链，其控排与资源化利用主要在于油气开采、运输过程中的气体逃逸和提高回收量。其他部分排放量过小，本报告暂不讨论。

3.1 能源领域甲烷排放控制与资源化利用现状

煤炭甲烷资源化利用情况好，有力控制了甲烷排放。我国埋深 2000 米以浅煤层气地质资源量居世界第三位¹⁴。煤层气开发利用规模快速增长，成为补充天然气供应的区域性气源。2020 年，全国煤层气产量达到 67 亿 m³，同比增长 1.5%¹⁵，山西煤层气已成为该省主要气源，并外输河北、河南等地¹⁶。我国将煤炭甲烷抽采利用作为防治煤矿瓦斯事故的治本之策，煤矿瓦斯抽采利用量逐年大幅度上升、利用率显著提高。2015 年，全国煤矿瓦斯抽采量 136 亿立方米、利用

¹³ 根据国家公布的最新温室气体清单数据，即《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》相关数据整理

¹⁴ 《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十二五”规划》

¹⁵ 《中国天然气发展报告（2021）》

https://www.nea.gov.cn/1310139334_16294604014501n.pdf

¹⁶ 国家能源局 2022 年第二季度新闻发布会

http://www.nea.gov.cn/2022-04/29/c_1310579541.htm

量 48 亿立方米，分别比 2010 年增长 78.9%、100%；煤矿瓦斯利用率 35.3%，比 2010 年提高了 3.7 个百分点¹⁷。

油气领域推动全过程甲烷控排。油气领域甲烷排放发生在石油、天然气开发利用产业链的各个环节，常通过天然气回收利用、火炬气回收利用、伴生气回收利用等技术手段，促进甲烷控排与资源利用。

3.2 能源领域甲烷资源化利用进展情况及典型案例

3.2.1 进展情况

当前煤层气开发利用主要是将开采出的煤层气脱水、除杂、脱硫后应用于工业和民用领域，从事煤层气开发利用的企业有中石油煤层气、安源煤业和山西蓝焰控股股份有限公司等。从事煤矿瓦斯抽采利用的企业主要采用内燃机发电技术，结合企业公开信息以及山西省瓦斯发电协会提供数据，重点瓦斯发电企业装机情况如图 3-1 所示¹⁸，晋能控股装备制造集团山西金驹煤电化有限责任公司、贵州盘江煤层气、晟世环能、扬德环能和山西兰能煤层气位于装机量前五。

¹⁷ 考虑数据的权威性，参考《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十三五”规划》中的信息

¹⁸ 来源于政府网站和相关协会信息

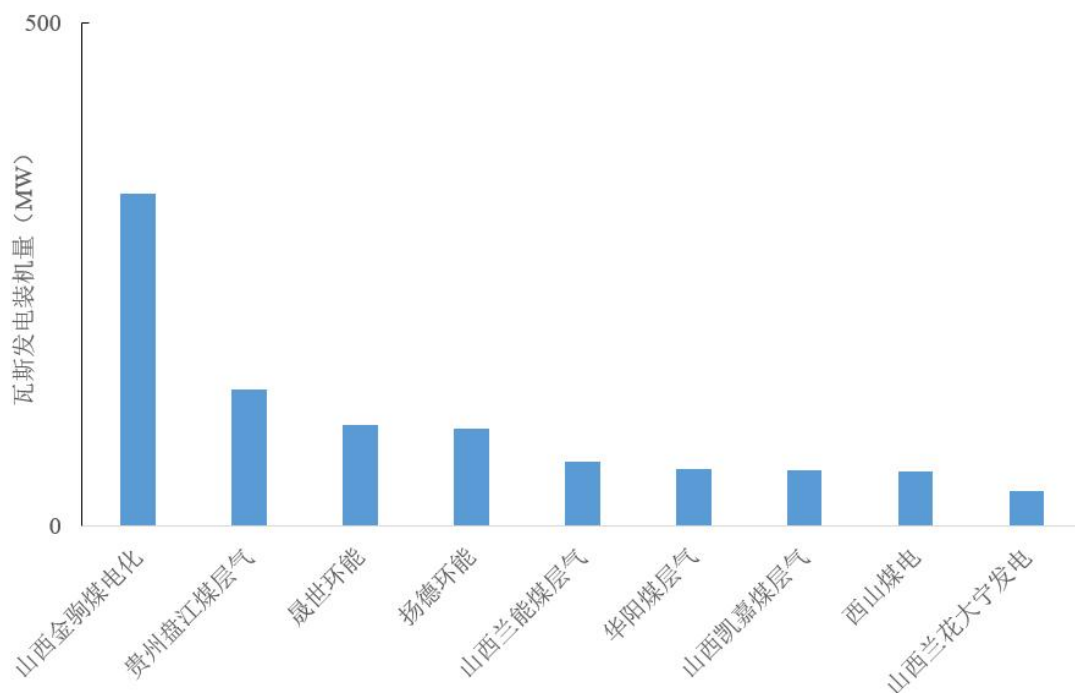


图 3-1 重点瓦斯发电企业装机情况

油气领域泄漏甲烷资源化利用的相关企业主要有中国石油、中国石化、中国海油等油气生产运营商，以及北京燃气、上海燃气、深圳燃气、成都燃气等城市燃气运营商。中国石油通过伴生气回收技术减少油气田燃除；中国海油采用低功率燃气轮机和等离子点火燃烧技术减少放空气、提高火炬燃除效率；中石化持续强化密闭混输工艺、减少漏损；北京燃气集团在燃气管道的维护和日常运行中，采用机械封堵的方式减少作业放散¹⁹。

3.2.2 典型案例

阳煤二矿桑掌乏风氧化热电联供项目。项目采用蓄热高温氧化技术将超低浓度瓦斯（甲烷体积浓度<0.5%）氧化处理，通过氧化余热回收用于供热和发电，冬季替代桑掌风井燃煤热风炉，实现清洁供暖。

¹⁹ 中国证券报 《国际燃气联盟主席李雅兰：天然气行业需重视甲烷减排》
https://www.cpn.com.cn/news/yq/202312/t20231207_1657576.html

项目建设有 6 台蓄热式热氧化器+1 台 54t/h 余热锅炉+1 台 15MW 空冷汽轮发电机组，于 2019 年实现并网发电。可 100%利用抽放瓦斯，同时利用约 50%的乏风瓦斯，煤矿抽放瓦斯和乏风的综合利用率提高在 70%以上。在设计工况下，年削减甲烷折纯量约 5000 万立方米、上网电量约 9600 万千瓦时/年、碳减排量可达 83 万吨/年²⁰。

保安煤业瓦斯发电项目。在开展瓦斯综合利用前，保安煤矿仅将部分浓度为 40%的瓦斯用于矿井燃气锅炉房，其余全部对空排放，浪费资源的同时造成了大气污染。作为落实环保督察相关整改工作的重要组成部分，晟世环能公司通过利用保安矿瓦斯抽放泵站低负压抽放系统抽放的瓦斯，建设瓦斯发电厂，并利用机组缸套水及烟气的余热替代燃气锅炉房作为矿区热源，供给热水和蒸汽。项目装机 7 台发电机组为德国曼海姆瓦斯发电设备，单机规模 4 兆瓦，总发电装机规模 28 兆瓦。



图 3-2 力宇保安煤业瓦斯发电项目

中国石油集团安全环保技术研究院“页岩气开发试采放空空气回收

²⁰ 调研资料

利用”项目。该院研发基于分子筛脱水结合压缩天然气（CNG）的页岩气开发试采放空气的回收利用装置并完成现场工业试验，装置处理弹性 30%~110%，气体损失小于 1.6%（甲烷减排率 98.4%），单日回收天然气量达到 2.9 万立方米，通过建立“收集-压缩-输送”集成一体的运输方式，实现了不含硫天然气的回收利用，单井天然气放空量从通常的 5 万~6 万立方米降低至 1 万立方米以内。



图 3-3 页岩气开发放空空气回收利用装置操作界面及装置图

中国海油实现海上应用等离子随即引燃火炬国产技术。作为新型低碳环保火炬，等离子随即引燃火炬在火炬放空瞬间随即引燃，不放空时则处于安全关闭状态，具有维护简单、运行可靠，节约能源成本特点。中国海油深圳分公司应用等离子随即引燃点火装置减少高低压吹扫燃料气 99%以上²¹，每年可节省燃料气消耗约 87.6 万方，创造经济价值 120 余万元²²。

4 农业领域甲烷排放控制与资源化利用

²¹ 《2022 中国海洋石油有限公司环境、社会及管治（ESG）报告》

²² 中海石油（中国）有限公司深圳分公司微信公众号资料
<https://mp.weixin.qq.com/s/CJ0L2A9jiwQ7ey5vPtFGUg>

2014年，我国农业活动甲烷排放2224.5万吨，其中动物肠道、水稻种植、动物粪便管理、农业废弃物田间焚烧排放占比分别为44.3%、40.1%、14.2%和1.4%²³。本报告主要关注通过畜禽粪污和农作物秸秆的综合利用实现农业活动甲烷资源化利用。

4.1 农业领域甲烷排放控制与资源化利用现状

以畜禽粪污和农作物秸秆为原料的沼气综合利用项目已形成一定规模。沼气工程以畜禽粪污、作物秸秆和其他有机废弃物为主要原料（畜禽粪污占比超九成，其次为作物秸秆和其他有机废弃物）。2016-2022年沼气工程用于发电年装机容量和发电量持续攀升（图4-1），2022年，沼气发电装机容量1.22吉瓦，年发电量40亿千瓦时，上网电量33亿千瓦时。

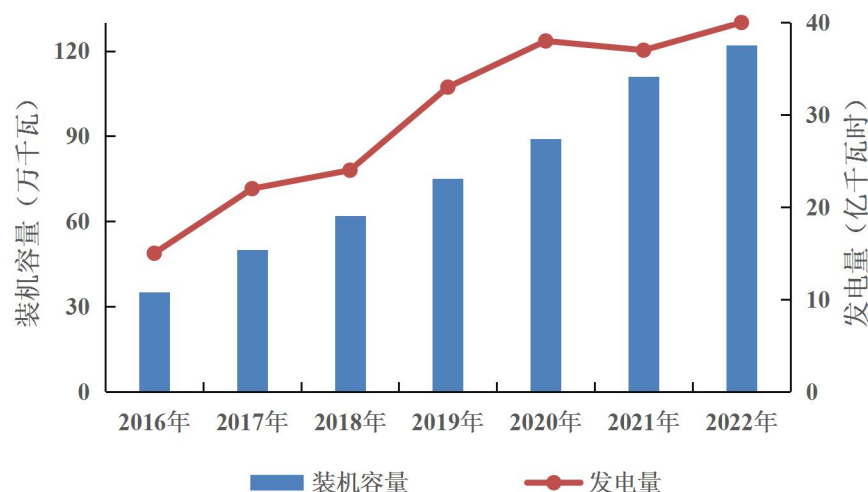


图 4-1 2016-2022 年沼气工程年装机容量和发电量

（数据来源：《2023 中国生物质能产业发展年鉴》）

²³ 根据国家公布的最新温室气体清单数据，即《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》相关数据整理

4.2 农业活动甲烷资源化利用典型案例

山东民和大型养殖场粪污厌氧沼气项目。该畜禽养殖沼气工程一期共建有 8 个体积为 3300 立方米的沼气发酵罐，年回收沼气 1095 万立方米、发电量 2190 万千瓦时，发电全部上网，发电机组余热用于厌氧系统增温，无需外加热源，发酵后的沼液用于周边苹果、葡萄、蔬菜地等有机肥料。该项目年减排 6-8 万吨 CO₂ 当量，成功开发大型畜禽粪污沼气处理清洁发展机制（CDM）项目，每年可为企业带来减排收益近 700-800 万元。



图 4-2 山东民和大型养殖场粪污厌氧沼气项目一期

牧原集团“养殖 - 沼肥 - 绿色农业”一体化循环经济项目。集团将养猪过程产生的粪水进行固液分离，液体进入黑膜池中进行充分厌氧发酵，产生的沼气为厂区供给电力和热力，副产物水肥还田，经固液分离后的猪粪和沼渣进行堆肥发酵、制作有机肥料。2022 年，牧原集团沼气利用量 2531.9 万立方米。



图 4-3 牧原集团种养生态循环示意图

5 垃圾和污水处理甲烷排放控制与资源化利用

垃圾和污水处理领域仅次于能源领域、农业领域，是我国第三大甲烷排放源。2014 年，我国固体废弃物处理和污水处理排放甲烷分别占甲烷排放总量的 7.0%、4.9%²⁴。考虑到相关技术的成熟度，本报告主要介绍对固体废弃物处理以及污水处理过程排放的含甲烷气体的资源化利用，为统一表述，用废弃物处理甲烷气来表述两类甲烷排放的共性情况。

5.1 垃圾和污水处理甲烷排放控制与资源化利用现状

生活垃圾填埋场和餐厨垃圾发酵产生的含甲烷气体是废弃物处理甲烷排放控制与资源化利用的重点对象。自 2012 年来，生活垃圾

²⁴ 根据国家公布的最新温室气体清单数据，即《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》相关数据整理

新增填埋处理规模占比逐年降低，2019年新增垃圾焚烧处理量首次超过卫生填埋处理量，2021年全国新增生活垃圾卫生填埋占无害化处置的比例降至20.97%²⁵，生活垃圾处理甲烷排放呈下降趋势，餐厨和厨余垃圾发酵产甲烷项目逐步推广应用。生活垃圾填埋场甲烷利用存量市场空间广阔，2020年末全国城市和县城共有垃圾卫生填埋场1871座，共有270个沼气发电项目装机并网，仅占卫生填埋场数的14.4%²⁶。餐厨和厨余垃圾甲烷资源化利用市场快速发展，目前全国已投运餐厨垃圾处置项目超过500个，日处理能力300—500吨的项目超过100个²⁷。

污水处理甲烷产生量大、资源化利用市场规模潜力较大。污水处理排放甲烷来自市政生活污水处理伴生污泥、高浓度有机工业废水或高浓度有机混合液的厌氧发酵过程，工业废水为主要来源。废水处理甲烷利用空间逐步释放，截至2019年，全国市政污泥厌氧年产甲烷气量约1.9亿立方米²⁸，全国处理工业废水年回收甲烷气体量约85亿立方米²⁹。

从盈利模式来看，垃圾填埋产生的甲烷有多种资源化途径，目前仍以发电为主。废弃物厌氧发酵产甲烷可通过发电、售气和有机肥获得收益。根据某填埋场甲烷收集利用的企业公开数据，2022年其填埋气发电、售热和碳交易收入分别占企业总营业收入的94.3%、1.1%

²⁵ 《2021年城市建设统计年鉴》

²⁶ 根据《2021年城乡建设统计年鉴》和《2021中国生物质发电产业发展报告》数据

²⁷ 数据来源：调研数据

²⁸ 根据中国沼气协会《中国沼气行业“双碳”发展报告》

²⁹ 根据中国沼气协会《中国沼气行业“双碳”发展报告》

和 1.5%。

5.2 垃圾和污水处理甲烷资源化利用发展情况和典型案例

5.2.1 发展情况

根据调研情况，国内从事垃圾填埋气发电装机规模前三的企业分别是百川畅银、中国水业集团有限公司、晟世环能，其项目及发电装机规模情况如图 5-1 所示。截至 2022 年底，百川畅银在全国各地投运填埋场填埋气发电项目 107 个，装机 186 兆瓦，全年收集产气约 3 亿立方米，在填埋气处理行业市场占有率超过 40%。中国水业集团有限公司为香港上市公司，截至目前，在全国已有 33 个垃圾填埋场填埋气发电项目，总设计装机容量已达 156 兆瓦。晟世环能填埋场沼气实际收集量可达到模型预测值的 95%以上，在全国各地运营的垃圾填埋气发电装机量超 100 兆瓦。

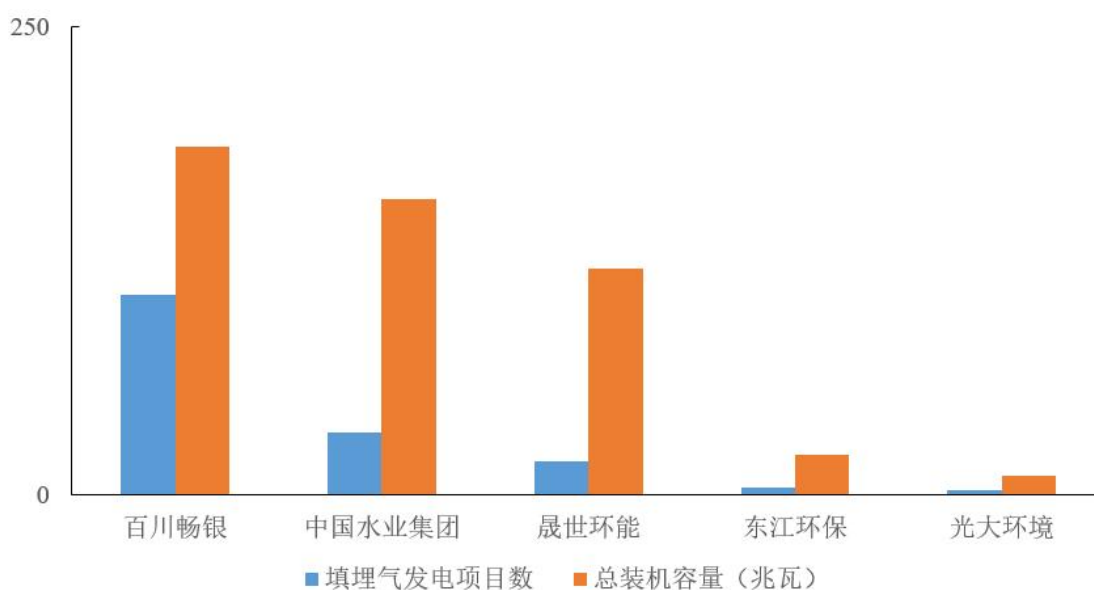


图 5-1 国内主要从事垃圾填埋气发电企业及规模
(数据来源：企业官方网站或公开渠道数据)

5.2.2 典型案例

贵阳比例坝生活垃圾填埋甲烷资源化项目。比例坝生活垃圾卫生填埋场于 2005 年 3 月投入试运行，占地面积约 98.33 公顷，采用改良型厌氧填埋工艺。为提高资源利用效率，实现经济效益与生态效益的协同收益，晟世环能受托对已经封场的比例坝填埋场填埋气进行无害化处置，建成了填埋气发电项目。项目设计装机容量 9 兆瓦，采用填埋气发电工艺，于 2022 年 5 月 12 日并网发电，满负荷运行状态下年发电量可达 8000 万千瓦时，每年可实现 45 万吨的二氧化碳减排，相当于节约 3 万吨标准煤。

绍兴市餐厨和厨余协同处理利用甲烷项目。项目占地 52 亩，每天处理餐厨垃圾和厨余垃圾各 200 吨，采用“机械预处理+生物水解+联合厌氧消化+产物利用资源化”处理工艺，产生含甲烷气体用于热电联产。项目设计日产气 2.6 万立方米，热电联产日发电量 5.5 万千瓦时，发电满足自用及余电上网，蒸汽为厂区供能，预处理固渣用于昆虫养殖。



图 5-2 绍兴市餐厨和厨余协同处理项目

6 展望

当前我国在能源、农业和废弃物处理甲烷资源化利用方面已培育形成一定市场规模主体，主要利用方式包括作为发电、供热、用作工业燃料和原料等，其中发电开发利用较多。结合公开资料，从发电装机量对比来看，如图 6-1 所示，发电装机量最大的是从事煤矿瓦斯发电的晋能控股装备制造集团山西金驹煤电化有限责任公司，装机量位列第二位的是涉及煤矿瓦斯发电和垃圾处理甲烷气发电的晟世环能，其次是从事垃圾填埋气发电的百川畅银和中国水业集团有限公司，盘江煤层气煤矿瓦斯发电装机量随后。甲烷排放控制与资源化利用逐步成为全球热点议题，我国甲烷资源化利用尽管面临较大挑战，但充满机遇。

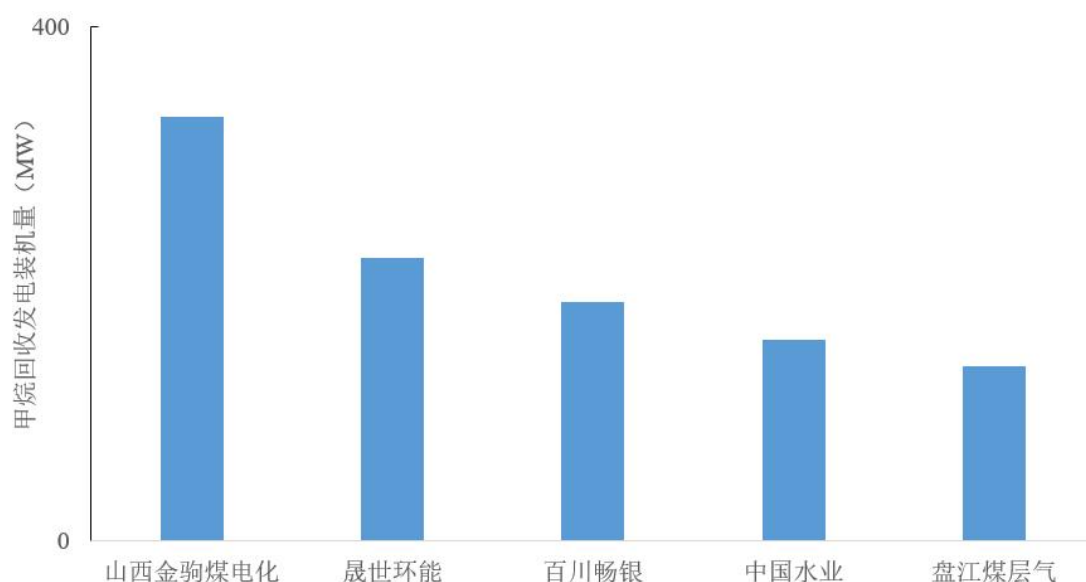


图 6-1 重点企业甲烷发电装机

6.1 发展挑战

煤炭甲烷排放控制与资源化利用面临四大挑战：一是煤层气开发利用成本上升，项目收益率下滑，社会资本投资积极性不高。二是由于历史原因，煤层气勘探开发集中于少数中央企业，其他社会资本进入渠道不畅，现有勘探开发区块面积小，产业发展规模受限。三是现有技术难以支撑产业快速发展。我国煤层气资源赋存条件复杂，开发技术要求高，在基础理论和技术工艺方面尚未取得根本性突破，简单复制常规油气技术及国外技术均难以实现高效开发³⁰。四是部分地区煤炭瓦斯发电项目存在审批手续繁多、用地手续办理周期长，且对其所属细分行业类别未统一界定、管理方式不一等问题。

油气甲烷排放控排与资源化利用面临三大痛点：一是现行排放核算指南老旧，采用的排放因子缺省值与实测值差距较大；二是油气甲烷排放监测、检测和回收利用等技术仍存在堵点、难点，叠加建设成本和运行维护成本高，难以广泛应用；三是城市燃气系统的甲烷排放核算、监测方法缺失。

农业活动甲烷排放控排与资源化利用有三方面挑战：一是畜禽粪污和秸秆收储和转运管理体系运转尚不完善，价格波动较大；二是缺乏自主创新的核心技术，部分技术和设备依赖进口，工艺技术有待提升；三是项目收益偏低，仅极少数项目在地方政府强力补贴和支持政策下运行良好，社会资本参与热情不高。

³⁰ 《煤层气（煤矿瓦斯）开发利用“十三五”规划》

垃圾和污水处理甲烷排放控排与资源化利用面临五大挑战：一是废弃物处理甲烷收集、提纯技术经济成本相对较高；二是新增生活垃圾“零填埋”政策导向下新增垃圾填埋量下降，存量垃圾填埋场产气量呈“前高后低”趋势，削弱行业资源化利用前景；三是项目融资渠道相对单一，社会资本关注度低、投入不足，绿色金融产品应用不足，行业发展所需资金严重不足。

6.2 发展机遇

6.2.1 能源领域

国家支持能源领域甲烷资源化利用。《甲烷排放控制行动方案》提出了到 2025 年煤矿瓦斯年利用量达到 60 亿立方米，到 2030 年油田伴生气集气率达到国际先进水平的发展目标，并在强化甲烷综合利用、推广应用泄漏检测与修复技术、推动逐步减少油气系统常规火炬等方面明确了政策方向。国家能源局提出了 2025 年全国煤层气开发利用量达到 100 亿立方米的发展目标。并明确了科技攻关、创新发展模式、完善扶持政策等方面的支持方向³¹。2022 年 1 月，国家发展改革委和能源局发布《“十四五”现代能源体系规划》指出要加大油气田甲烷采收利用力度，推进化石能源减排。

地方政府积极引导煤炭甲烷开发利用。2020 年 1 月，贵州省印发《省人民政府办公厅关于加快推进煤层气（煤矿瓦斯）产业发展的指导意见（2019—2025 年）》提出到 2025 年全省煤层气探明储量、

³¹ 国家能源局 2022 年第二季度新闻发布会
http://www.nea.gov.cn/2022-04/29/c_1310579541.htm

年产能、年产量分别达 800、8、5 亿立方米，建立 CNG/LNG 站 15~20 个，加气站 100 个以上，形成织金和盘州两个煤层气产业化基地。2022 年 2 月，内蒙古自治区能源局印发《内蒙古自治区煤炭工业发展“十四五”规划煤层气（煤矿瓦斯）开发利用配套方案》提出到 2025 年，基本建立起覆盖自治区东部、中部、西部的 1-2 个煤层气开发区，重点解决中东部主要城市用气困难和气价偏高等问题；强化民用燃气保障，逐步解决工业用气和供暖用气的气源问题。2022 年 8 月，山西省能源局印发《关于推动煤矿瓦斯综合利用的指导意见》，提出推动煤矿瓦斯提纯关键技术突破，探索风排瓦斯销毁技术，研发并大力推广应用低浓度及超低浓度瓦斯高效利用技术。

头部企业带头行动。中国石油、中国石化、中海油等油气企业成立中国油气企业甲烷控排联盟，主动开展油气甲烷的排放控制与资源化利用，致力于打造高质量、开放性的技术经验分享与合作平台，提升甲烷排放管控水平，积极参与全球气候治理，力争 2025 年成员企业天然气生产过程甲烷平均排放强度降到 0.25% 以下³²，并努力于 2035 年达到世界一流水平。头部企业将辐射带动全产业链前后端、上下游企业的控排、利用和研发，为全行业甲烷排放控排与资源化利用提供动力。

6.2.2 农业领域

政策部署提供发展动力。《农业农村减排固碳实施方案》提出推动农业农村废弃物资源化利用，发展生物质能等清洁能源。《“十四

³² http://views.ce.cn/view/ent/202311/21/t20231121_38798937.shtml

五”全国农业绿色发展规划》提出健全畜禽养殖废弃物资源化利用制度和加强畜禽养殖废弃物资源化利用能力建设；促进秸秆燃料化，逐步改善农村能源结构；并制定了2025年秸秆综合利用率达到86%以上，畜禽粪污综合利用率达到85%的预期目标。以畜禽粪污和农作物秸秆为原料的沼气综合利用前景广阔。

多种农业循环经济模式逐步兴起。全国各地围绕畜禽粪污和秸秆综合利用已形成了多样循环经济模式，如构建了“畜禽粪便—沼气工程—燃料—农户”“畜禽粪便—沼气工程—沼渣、沼液—果（菜）”“秸秆—基料—食用菌”“秸秆—成型燃料—燃料—农户”等模式。

6.2.3 垃圾和污水处理领域

国家政策的鼓励和支持。《“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展规划》明确提出规范有序开展填埋设施封场治理，着重做好填埋气收集处理等设施建设。在碳达峰碳中和目标下，未来存量垃圾填埋场的规范收集和甲烷资源化利用有望进一步加强。

关注度持续增加。国际社会高度关注废弃物处理甲烷控排，相关国际组织甲烷排放卫星监测计划也逐步覆盖至垃圾填埋场甲烷泄漏，垃圾填埋场甲烷排放控排与资源化利用将愈发受到重视。

第三方治理能力水平逐步提高。原环境保护部出台《关于推进环境污染第三方治理的实施意见》，并编制了《环境污染第三方治理合同（示范文本）》来规范第三方治理服务。此外，随着填埋气治理项目数量不断增加，行业内企业在项目建设、日常运营等方面经验逐步

积累，技术水平逐步提升，行业发展空间将进一步扩展。

此外，全国碳市场的持续完善将给处于盈亏平衡线上的甲烷资源化利用企业带来新的盈利增长点，有望强力促进各重点领域甲烷的排放控制与资源化利用。