

美国甲烷减排情况及启示

Methane emission reduction in the United States and its implications

■文 / 郑文茹 莫菲菲

甲烷是一种短寿命温室气体,具有强势、快速增温效应。本文分析了美国甲烷历史排放情况,总结了美国甲烷排放控制相关政策措施以及甲烷自愿减排行动,结合中国甲烷排放情况提出了中国甲烷排放控制的对策建议。具体建议包括:建立基础监测,提供减排数据支撑;健全政策体系,提高企业减排力度;促进多方合作,提升减排技术能力。



甲烷作为一种短寿命的温室气体,具有强势、快速增温效应。目前大气中的甲烷含量是工业革命前的两倍多,甲烷对当前经历的全球变暖的贡献率约为1/4,仅次于二氧化碳。随着能源转型,天然气生产和消费量不断增加,甲烷作为一种有价值的燃料资源,回收和利用泄漏的甲烷不仅对气候环境有利,也会带来一定的经济效益,受到国际社会的关注。

2021年8月,政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的第六次评估报告第一工作组报告《气候变化2021:自然科学基础》首次强调甲烷减排的重要性,提出快速、全面控制甲烷排放是短期内延缓气候变暖速率的有效手段。在英国格拉斯哥举行的《联合国气候变化框架公约》第26次缔约方大会(UNFCCC COP26)上,90多个国家加入“全球甲烷承诺”(Global Methane Pledge),表示到2030年前将削减甲烷的排放至2020年的70%,帮助减缓气候变化。COP26期间发布的《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》(简称《宣言》)中也提到,中美双方认为加大行动控制和减少甲烷排放是21世纪20年代的必要事项。

美国是全球甲烷主要排放国家之一,其甲烷排放控制目标与减排行动对全球应对气候变化具有重要意义。美国在提高甲烷减排意识、改善科学数据基础、建立综合管制框架、鼓励自愿行动和多方参与等方面的实践经验,可为中国制定甲烷减排目标与行动提供参考。

一、美国甲烷排放情况综述

(一) 美国甲烷历史排放情况及全球占比

根据美国环保局(EPA)公布的1990-2019年度温室气体清单数据,美国甲烷排放峰值出现于1991年,随后甲烷排放量整体呈现波动下降趋势,变化趋势见图1。其中,2019年甲烷排放量为6.74亿吨二氧化碳当量,较1991年减少14.4%,占当年美国温室气体排放总量的11.7%。

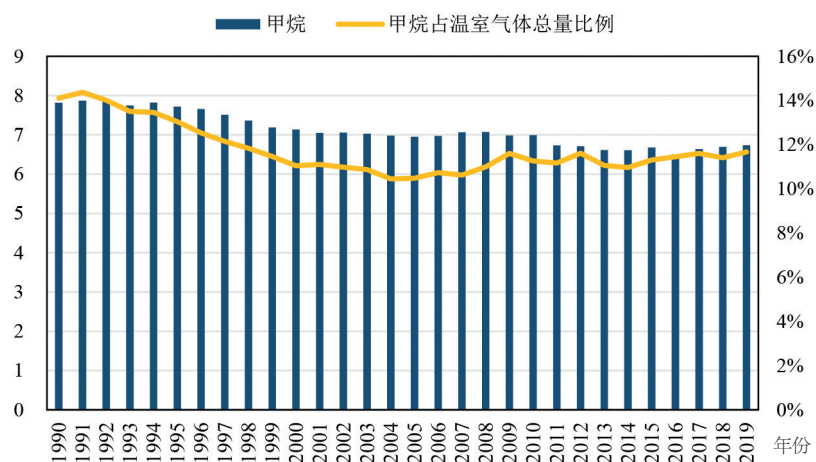


图1 美国甲烷历史排放趋势

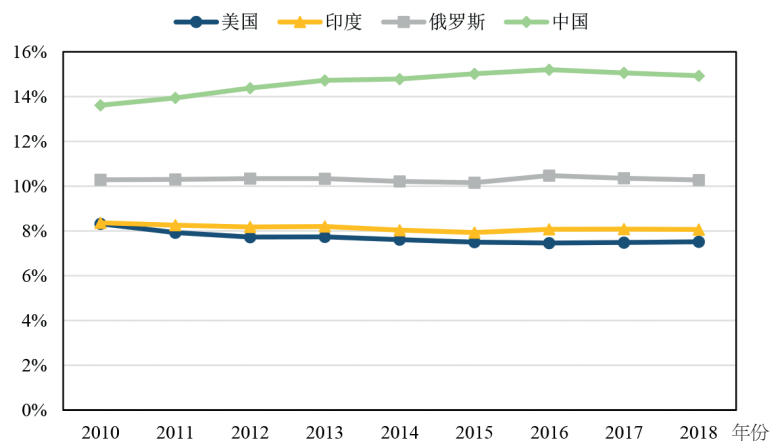


图2 主要国家甲烷排放占比情况

从全球角度看,美国是甲烷主要排放国家之一。从2010年至今,美国甲烷排放量一直排在中国、俄罗斯和印度之后,稳居全球第四大甲烷排放国。2018年美国甲烷排放量占全球甲烷排放总量的7.5%。上述四个国家2010-2018年甲烷排放占全球甲烷排放总量的比例变化趋势见图2。

(二) 美国甲烷排放构成

根据联合国气候公约IPCC温室气体清单分类,能源活动、农业活动和废弃物处置是美国甲烷排放的主要领域。2019年,美国能源活动甲烷排放为2.68亿吨二氧化碳当量,约占当年美国甲烷排放总量的39.7%;农业活动排放2.56亿吨二氧化碳当量,约占总量的38.1%;废弃物处置排放1.35亿吨二氧

化碳当量,约占总量的20.1%;土地利用、土地利用变化和林业排放0.14亿吨二氧化碳当量,约占总量的2.1%;工业生产过程排放36.3万吨二氧化碳当量,详见图3。其中能源活动、农业活动和废弃物处置三个领域的甲烷排放量合计占美国甲烷排放总量的97.9%。

根据美国温室气体清单数据,2019年美国主要甲烷排放源排放情况详见图4,主要包括能源活动的油气行业、煤矿开采,农业活动的动物肠道发酵、动物粪便,以及废弃物处置领域的废弃物填埋。可以看出,油气行业、农业活动(包括动物肠道发酵等)以及废弃物填埋是美国甲烷的主要排放源,也是美国甲烷减排的三大重点领域。

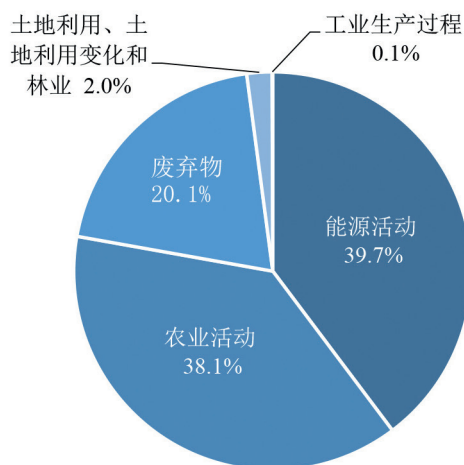


图3 2019年美国甲烷排放领域构成

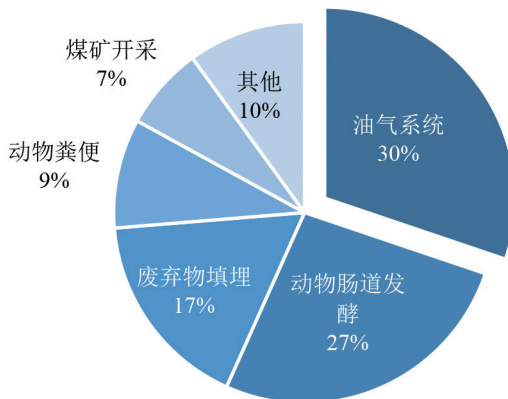


图4 2019年美国主要甲烷排放行业及占比

（三）研究指出美国油气行业甲烷排放被低估

美国环保协会在《科学》杂志发表的研究报告“美国油气行业供应链甲烷泄漏评估”指出，2015年，作为甲烷主要排放源之一的美国油气行业在开采、收集、加工、输送以及贮存和配送环节上的泄漏量达到1300万吨，其中有85%的排放来自于天然气的生产、收集和过程；美国油气行业大多数的甲烷排放源于泄漏、设备故障和其他“非正常”运行情况。该项研究计算的甲烷泄漏量要比2015年美国环保局公布的估算数据高60%左右；若将该项研究的甲烷泄漏量计算在内，美国2015年甲烷排放总量将比美国环保局

公布的数据高20%左右。

二、美国甲烷排放控制相关政策措施

（一）美国甲烷排放管控目标政策发展历程

2013年6月，美国时任总统奥巴马在乔治敦大学发表演讲时宣布了《总统气候行动计划》，要求美国政府制定一项全面的跨部门甲烷减排战略，考虑甲烷污染来源的数据，并在最佳实践中进行甲烷利用。2014年3月28日，美国白宫发布了《气候行动计划减少甲烷排放的战略》，评估了石油和天然气行业中甲烷排放的潜在来源，致力于采取新措施以减少甲烷的排

放。2015年1月,奥巴马政府宣布到2025年将石油和天然气部门的甲烷排放量减少40%-45% (与2012年的水平相比),并采取一系列行动来实现这一目标。2016年6月,美国、加拿大、墨西哥三国签署了《北美气候、清洁能源和环境伙伴行动计划》,承诺到2025年石油天然气行业甲烷排放量比2012年削减40%-45%,并继续探索其他甲烷减排的机会;承诺制定和实施国家法律以管理现存和新建的甲烷排放源,并敦促其他G20国家削减石油天然气行业中的甲烷排放。2016年,美国在提交的国家自主贡献(NDC)中提到,计划于2025年实现温室气体(包括二氧化碳及甲烷等非二氧化碳温室气体)排放2005年基础上减排26%-28%的全经济范围减排目标并将努力减排28%,同时表示联邦政府正在制定限制油气行业甲烷排放的法规。

特朗普上台后一直奉行“美国优先”原则,美国气候政策明显转向。特朗普上任伊始就推翻了奥巴马政府的《总统气候行动计划》,并用注重化石能源开发利用的“美国优先能源计划”(America First Energy Plan)取而代之。2017年6月1日,美国总统特朗普宣布美国退出《巴黎协定》,立即停止实施国家自主贡献并终止向绿色气候基金拨款。2020年8月,特朗普政府宣布放宽油气田甲烷排放限制,撤销奥巴马时期甲烷排放规定。

拜登上任伊始,就签署了文件宣布重返《巴黎协定》,并推出关于保护气候环境、应对气候危机等行政命令或备忘录,其中就包括了设立标准减少石油和天然气部门的甲烷排放。2021年4月21日,美国提交了重新加入《巴黎协定》后的国家自主贡献,美国总统拜登在领导人气候峰会上宣布新的国家自主贡献目标:实现2030年温室气体净排放量较2005年的水平

减少50%-52%的整体经济目标。同时提到,为解决甲烷问题,美国将为井矿和天然气输配设施甲烷泄漏的封堵更新标准和投资。2021年4月28日,美国国会废除了特朗普时期有关油气行业甲烷排放的政策,同时重新实施奥巴马时期颁布的甲烷控排规定。2021年11月,美国白宫发布了甲烷减排的详细蓝图——《美国甲烷减排行动计划》(U.S. Methane Emissions Reduction Action Plan)。

(二)《清洁空气法》框架下甲烷控制典型措施

2009年美国环保局发表声明承认温室气体的有害影响,将其纳入《清洁空气法》范畴下同传统大气污染物共同管控。此后美国环保局和相关部门陆续出台了一系列针对温室气体包括油气行业甲烷排放在内的减排措施。

1. 建立温室气体排放数据报告制度

2009年美国正式出台了第一部温室气体减排法案——《美国清洁能源安全法案》,美国环保局启动大型排放源(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),覆盖美国约90%的温室气体排放,甲烷排放也包括在内。在报送设施中油气行业排名第一,涵盖油气供应链的各个环节,如生产、处理、压缩、运输、储存、分销和使用等。

2. 制定重点排放源目录和排放标准

1979年美国环保局将油气生产列入《清洁空气法案》下的大气污染物重点排放目录;1992年和1998年,油气生产及天然气运输/储存被相继列入第112条下的有毒大气污染物重点排放源目录。

2016年6月,美国环保局出台了《石油和天然气新能源性能标准》(NSPS),这也是第一个工业甲烷排放标准,覆盖完井、气阀泄漏及逃逸泄漏等环节。2016年11月,美国内政部土地管理局(BLM)出台

表1 美国州政府层面油气行业甲烷排放控制法规

	科罗拉多州	俄亥俄州	加利福尼亚州	宾夕法尼亚州
出台日期	2014年2月	2014年4月 2017年3月	2017年3月	2018年6月
排放源	新建、现有	新建、改建	新建、现有	新建、改建
覆盖节点	生产、采集和 加压、处理	非常规水平压裂油 气井生产,天然气 采集和加压站	生产、储存、采集和加压、 处理、运输和压缩站	天然气采集和加压 站,非常规天然气井 场和清管

为了防止油气资源浪费的规定,对联邦土地上的油气开发造成的甲烷及VOCs排放进行监管。美国环保局于2017年和2018年更新了NSPS,分别增加了对排放监测的期限和意外停机期间的监测要求。2021年11月,美国环保局正在通过一项拟议的规则,大幅减少石油和天然气行业中新来源和现有来源的甲烷和其他有害空气污染,来应对气候危机和保护公众健康。

3.加强州政府层面的减排立法

美国主要油气生产州相继出台了油气行业甲烷减排相关的法律法规,对泄漏检测、气动装置、贮存箱等事项进行了相应规范,详见表1。

三、美国甲烷自愿减排行动

甲烷不仅仅是温室气体,也是宝贵的资源。2004年发起的全球甲烷行动倡议(Global Methane Initiative, GMI)是一项自愿性质的国际公私伙伴关系,旨在减少全球甲烷排放,提高甲烷的回收和利用。它将沼气(来自农业、城市固体废物、废水)、煤矿和油气系统三个领域作为甲烷控制的主要内容,推动甲烷回收与利用,并推动提高成本效益。美国政府在该倡议中起着领导作用:联邦政府的六个主要机构和部门在指导委员会和小组委员会中提供技术专长和领导;担任倡议的秘书处,促进交流和外联活动;并与其他伙伴国家,私营部门和其他组织合作,以开发和支持全球范围内的甲烷回收和利用项目。全球甲烷倡议目前有45个成员国和700多个项目合作伙伴,其成员国的甲烷排放占全球的75%。图5显示了2005-2019年美国支持GMI的主要行业甲烷减排情况。

在GMI框架下,美国各州和地方政府与美国环保局在农业、煤矿、垃圾填埋以及油气行业等领域合作

实施自愿计划,以促进减少甲烷排放的有益机会。主要开展了以下内容:(1)农业部门的沼气回收计划(AgSTAR),该计划通过促进沼气回收系统的使用以减少畜禽粪便中的甲烷排放,以及将捕获的沼气作可再生燃料取代化石燃料的使用,进一步避免温室气体和其他污染物的排放。2020年AgSTAR计划下温室气体减排量为200万吨二氧化碳当量,相当于230787户家庭一年的能源使用量。(2)煤层甲烷推广计划(Coalbed Methane Outreach Program, CMOP),其目标是减少煤炭开采活动的甲烷排放量。通过与煤炭公司及相关行业合作,CMOP帮助识别和实现回收和使用煤层甲烷的方法,减少甲烷的直接排放,同时提高矿山安全性和生产率,并节约成本提升收益。2018年,CMOP计划下煤层甲烷减排量为800多万吨二氧化碳当量。(3)垃圾填埋场甲烷推广计划(Landfill Methane Outreach Program, LMOP),该计划旨在促进将垃圾填埋气(二氧化碳和甲烷)作为可再生的绿色能源进行利用从而减少甲烷排放。2019年,美国数百个垃圾填埋场合计减少约3740万吨二氧化碳当量的甲烷及二氧化碳排放。(4)油气行业天然气之星计划(Natural Gas STAR Program),通过与天然气生产、加工和输配公司合作,识别和促进实施具有成本效益的技术和做法以减少甲烷排放。2019年,合作伙伴自愿活动的甲烷减排量达461亿立方英尺。

四、中国甲烷排放情况及控排政策

(一)甲烷排放情况

中国气候变化第二次两年更新报告指出,2014年中国甲烷排放总量为5529.2万吨(折合11.61亿吨二氧化碳当量),占中国温室气体排放总量的10.4%,比2005年增长了11%。2014年能源活动甲烷排放占

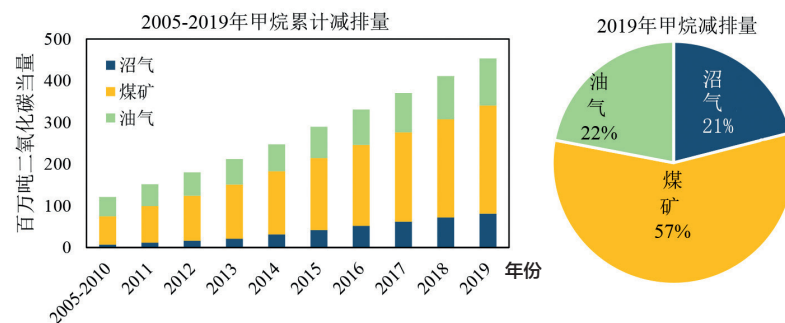


图5 2005-2019年GMI倡议下三大行业国际甲烷减排情况

中国甲烷排放总量的44.8%，农业活动排放占40.2%，废弃物处理排放占11.9%，是五大清单领域占比最高的三个领域，合计约占中国甲烷排放总量的97%。能源活动对中国甲烷排放的贡献最大，也是目前甲烷减排最具可行性的领域。

虽然中国的甲烷减排工作日益受到重视，出台了煤矿瓦斯发电和甲烷回收利用补贴政策，促进回收利用。但是受到成本效益和技术能力制约，中国能源行业甲烷回收利用水平并不高，甲烷排放基础数据不完善，减排潜力巨大，现行标准规范仍有待提高。

根据国际能源署研究表明，中国油气行业50%的甲烷减排是零成本。其统计显示，2019年中国油气行业甲烷排放占全球的4.4%，属于全球油气行业第六大甲烷排放源。由此可见，中国未来甲烷的控制与减排，包括甲烷的监测、控制、利用技术，将形成一个具有很大潜力的新兴环保市场。

（二）甲烷排放控制政策

2021年3月13日，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》发布，甲烷管控首次被纳入五年规划目标。“十四五”期间中国将围绕甲烷排放控制制定相关行动方案。

2021年9月22日，中共中央、国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》明确提到“加强甲烷等非二氧化碳温室气体管控”。

2021年10月，中国于COP26前提交了国家自主贡献（NDC）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，成为“中国甲烷减排的里程碑式事件”。

此外，2021年4月、10月和11月，中国对外发布的《中美应对气候危机联合声明》《第二次中欧环境与气候高层对话联合新闻公报》和《宣言》都提到了甲烷减排的相关内容。《宣言》中还提到，中方计划在其近期通报的国家自主贡献之外，制定一份全面、有力度的甲烷国家行动计划，争取在21世纪20年代取得控制和减少甲烷排放的显著效果。

五、美国甲烷管控经验对中国的启示

（一）建立基础监测，提供减排数据支撑

准确的甲烷排放数据是衡量甲烷控排成效的重要基础。目前，中国尚未建立甲烷监测体系。以中国油气系统甲烷排放量统计为例，不同石油公司的甲烷排放强度差别较大，欧美公司处于较为先进的水平，而中国油气行业甲烷泄漏率处于中等水平，目前所采用的IPCC指南提供的排放因子等数据及计算方法得出的甲烷排放量的准确性有待进一步详细的调查研究。因此，有必要建立一套完善的监测、统计、报告和核证体系，开展实地监测，鼓励技术创新，引进并应用如移动监测、卫星监测等先进技术手段，科学准确掌握企业排放情况，为中国甲烷排放控制提供数据支撑。

（二）健全政策体系，提高企业减排力度

完善甲烷综合排放全生命周期监管框架，制定行业甲烷逸散排放标准，将甲烷纳入大气排污许可证制度和环境影响评价制度，对甲烷及其他空气污染物实施全生命周期的协同管控。对于煤矿领域，2008年颁布的《煤层气（煤矿瓦斯）排放限值标准》仅禁止甲烷浓度超过30%的煤层气（煤矿瓦斯）的排放，低于中国煤层气总排放量的20%，应进一步修订完善相关标准。对于油气领域，应特别关注天然气开发、运输等全生命周期的监管，鼓励地方政府尤其是石油、天然气生产大省（区、市），出台建立省级和地方级的监管制度及相关法规，规范本省（区、市）的油气行业污染物及生命周期的相关活动。

（三）促进多方合作，提升减排技术能力

中国的煤层气（甲烷浓度低于0.75%）占煤矿瓦斯比重高，减排潜力大，利用技术已有长足的进步，但经济效益低，不能实现大规模商业化利用；畜禽养殖、水稻种植等行业甲烷排放量大，但缺乏有效的减排技术，减排难度大。应进一步加强跨部门合作，鼓励科研机构、环保组织以及金融机构多方参与甲烷控制技术研究、立法、监测等工作。鼓励油气、煤炭、废弃物、农业等各领域相关地方、行业、企业和研究机构，积极参与在甲烷减排领域的全球合作，自愿采取减排和控制措施，实现经济与环境的综合效益。推动油气行业的气候倡议和行动，在中国油气企业甲烷控排联盟以及国际合作框架下积极开展甲烷减排的相关工作。

作者单位：生态环境部对外合作与交流中心