

我国甲烷减排路径及监测体系建设研究

杨 啸¹, 刘 丽², 解淑艳², 王军霞²

(1. 中国人民大学环境学院, 北京 100872;

2. 中国环境监测总站, 北京 100012)

摘 要: 甲烷减排需要一整套监测统计核算方法支撑, 国内外均开展了不同程度的监测实践。文章在对我国甲烷排放来源、减排路径和监测支撑需求分析基础上, 提出我国甲烷监测体系建设建议, 包括排放监测、大气浓度监测的内容和网络建设思路, 质控体系和综合数据分析应用平台建设思路。

关键词: 甲烷减排; 温室气体; 监测体系; 减排路径

中图分类号: X32

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021.02.009

Research on methane emission reduction path and monitoring system construction in China

YANG Xiao¹, LIU Li², XIE Shuyan², WANG Junxia²

(1. School of Environment & Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China;

2. China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China)

Abstract: Methane emission reduction needed to be supported by the complete monitoring and calculating method. There were various monitoring practices preformed at home and abroad. Based on the analysis of the methane emission sources and the emission reduction paths as well as the monitoring support requirement, the paper proposed suggestions for the construction of the methane monitoring system in China. The suggestion included the construction of the emission monitoring, the atmospheric concentration monitoring, the quality control system and the comprehensive data analysis application platform.

Keywords: methane emission reduction; greenhouse gas; monitoring system; emission reduction path

CLC number: X32

甲烷是天然气、页岩气、沼气等气态燃料的主要成分, 因其作为具有快速增温效应的短寿命强势温室气体而受到广泛关注。甲烷全球增温潜势值(GWP)在 100 年时间段内比二氧化碳高出 20~30 倍^[1-3]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在 2018 年 10 月发布的《IPCC 全球升温 1.5 °C 特别报告》^[4]中指出, 若要将全球变暖目标控制在 1.5 °C, 需要大幅削减甲烷排放。另外, 有研究表明, 甲烷浓度的增加会对全球对流层臭氧浓度有显著的影响^[5-6]。

我国甲烷减排及监测体系建设研究相对不足, 本文通过对国内外甲烷减排路径及监测实施情况进行梳理, 对我国甲烷减排路径及监测支撑需求进行分析, 提出我国甲烷监测体系建设有关建议, 以

期为我国甲烷减排及监测体系建设提供借鉴。

1 国内外甲烷减排路径及监测实施情况

1.1 甲烷减排国际经验

1.1.1 德国、英国甲烷减排路径 德国、英国、法国、瑞典等 4 个国家在 1990~2007 年已提前实现《京都议定书》^①目标, 以其中德国、英国为例探讨其甲烷减排情况。

为完成《京都议定书》目标, 德国和英国都十分重视非二氧化碳温室气体排放控制, 并取得了显著成效^[7]。尽管两个国家甲烷和氧化亚氮等非二氧化碳温室气体排放仅占本国总排放量的 10% 左右, 但减排率却远高于二氧化碳。根据统计数据可以得

收稿日期: 2020-11-03

作者简介: 杨 啸(1990-), 女, 博士研究生。研究方向: 环境管理。E-mail: xyang@ruc.edu.cn

通信作者: 王军霞(1984-), 女, 高级工程师。研究方向: 环境管理、环境统计与污染源监测。E-mail: wangjx@cnemc.cn

引用格式: 杨 啸, 刘 丽, 解淑艳, 等. 我国甲烷减排路径及监测体系建设研究[J]. 环境保护科学, 2021, 47(2): 51-55.

① 《京都议定书》是《联合国气候变化框架公约》的补充条款, 目标是将全球温室气体含量稳定在一个适当的水平。

出,仅考虑二氧化碳减排,英国不可能提前实现京都既定减排目标。

德国甲烷减排量主要来自燃料无组织排放(29%)和陆地固废处理(50%)两个部门,主要通过回收煤层气和减少垃圾填埋来实现的^[8]。德国十分重视能源开采过程的无组织排放,如增加煤矿瓦斯利用,将开采的煤矿瓦斯用于能源,降低甲烷排放;降低开采过程和天然气传输中的甲烷损失,其中封存和泄露检定技术改进促进了甲烷损失额降低。散逸性气体的减排对能源领域的甲烷排放量降低贡献很大。德国的废弃物管理,特别是在垃圾填埋场管理上减排成效显著,得益于德国一直以来良好的环境治理。废弃物处理是环境部门的重要职责之一,德国拥有先进的垃圾回收、废水处理及焚烧发电技术,加上民众拥有较高的环保意识,在这一领域实现了最高的温室气体减排率。另外,德国全面禁止未经处理的填埋行为大大降低了甲烷排放。

英国有 40% 的甲烷排放来自垃圾填埋场,约占英国温室气体总排放量的 3%。英国的废物政策包括减少填埋甲烷排放,源头削减和回收再利用预防废弃物产生,利用废物生产电力等。英国采取的甲烷回收系统推广应用促进了废弃物领域温室气体减排,该领域在 1990~2007 年期间的甲烷排放减少了 58%^[9]。

1.1.2 甲烷减排最新动向 在 2015 年《巴黎协定》^①后,加拿大、墨西哥、日本、美国和澳大利亚等国家均对甲烷减排做出了承诺^[2]。加拿大、墨西哥、日本除承诺温室气体总体减排目标外,还对甲烷减排目标进行承诺。美国和澳大利亚并未对甲烷提出具体的减排目标,但将甲烷纳入温室气体总体排放。

美国、加拿大、墨西哥将甲烷的减排重点放到了油气行业,出台了一些法规规范促进甲烷减排。另外,国际上一些大型油气开采企业加入了自愿减排行动^[10]。

1.2 甲烷监测的作用和定位

国际上甲烷排放状况数据主要来源于温室气体排放清单。为了规范各国温室气体排放清单编制,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)制定了温室气体清单编制方法学,各国要在该方法学框架下编制本国温室气体排放清单,其结果是甲烷排放状况评价及减排成效监测评估的重要依据。在编制排放清单时,包括中国在内的各国都尽量采用

层级较高的计算方法^②,排放监测数据在清单编制中得到较多的应用。另外,作为一项质量控制手段,可以利用环境空气中相应物质的浓度监测结果对排放清单数据准确性进行校核^[11-12]。

除编制温室气体排放清单外,很多发达国家也建立了温室气体监测统计报告制度,由温室气体排放主体自主监测温室气体排放情况^[13-14],以此作为本国温室气体排放控制管理的基础,但并不直接用于温室气体排放清单编制。

目前来看,无论是温室气体排放清单编制还是温室气体监测统计报告制度,均“以核算为主,监测为辅”。但是,甲烷监测对于提高排放清单精度,支撑排放因子本地化等工作具有重要意义,尤其是《巴黎协定》之后,美国和欧盟等国家开始推进甲烷排放监测有关工作,甲烷监测在甲烷排放清单编制中的地位在逐步提升。

1.3 国内外甲烷监测开展情况

1.3.1 排放监测情况 国内外甲烷排放监测主要应用于支撑甲烷排放特征研究等方面,包括垃圾填埋场、稻田、反刍动物、煤矿、煤层气和页岩气等各种情况下的甲烷排放监测^[15-18],以获取这些领域甲烷排放特征,并依此提出可以采取的减排措施。除此之外,从生产监控和安全的角度,煤矿、垃圾填埋场等以监控瓦斯气、煤气、沼气产生与使用为目的,煤炭开采企业、垃圾填埋场和部分污水处理厂会开展甲烷监测。

2016 年 6 月,美国环保署出台了油气行业新建企业排放标准,这也是第一个工业甲烷排放标准,覆盖完井、气阀泄漏及逃逸漏等环节。同年 11 月出台规定要求油气企业实施泄漏检测(LDAR),钻井前制订天然气捕获方案^[10]。

目前,国内排放标准中规定了甲烷排放限值的主要是城镇污水处理厂。根据《城镇污水处理厂污染物排放标准:GB 18918—2002》,应在甲烷厂区内浓度最高点设置监测点。对于油气田的甲烷泄漏排放,有些单位也在开展油气田企业 LDAR 相关研究,以对油气田泄漏的甲烷及挥发性有机物(VOCs)进行排放监测。

1.3.2 浓度监测情况 1)地面监测。国际上,美国是最早开展地面温室气体大气浓度监测研究的国

① 2015 年通过的以遏制全球气候趋势为目标的气候协议,取代了之前的《京都议定书》。

② 生态环境部. 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告. 2019。

家,美国国家海洋和大气管理局(NOAA)全球观测司组建了覆盖全球的大气温室气体观测系统。

国内,中国气象局自1992年起在全球大气观测网(GAW)31个全球大气本底观测站之一的青海瓦里关开展了温室气体本底浓度观测。除此之外,中国气象局在北京上甸子、浙江临安、黑龙江龙凤山、湖北金沙、云南香格里拉和新疆阿克达拉建立了6个区域大气本底观测站,分别代表京津冀、长三角、东北平原、江汉平原、云贵高原和北疆地区的大气本地特征。生态环境部在福建武夷山、内蒙古呼伦贝尔、湖北神农架、云南丽江、广东南岭、四川海螺沟、青海门源、山东长岛、山西庞泉沟、海南永兴岛和美济礁11个大气背景站开展了温室气体监测。

2)卫星遥感监测。卫星遥感具有连续观测和大尺度空间范围的优势,开展利用卫星遥感获取温室气体柱浓度和垂直分布的监测工作能更好地为温室气体减排政策提供科学依据。

美国国家航空航天局发射传感器,能够测量对流层中部的二氧化碳、甲烷和氧化亚氮浓度信息;日本发射卫星采用被动傅里叶光谱仪,可以测量二氧化碳和甲烷的全球分布。

国内也已成功发射可以探测甲烷浓度的卫星,其中生态环境部作为牵头用户卫星的高分五号卫星可用于大气中的二氧化碳、甲烷等温室气体柱总量浓度的探测。

3)无人机遥感监测。无人机遥感是卫星遥感的有效补充,能够高精度地获取小尺度区域的温室气体数据,并具有机动、灵活和快速的优势,是低空监测温室气体的有力手段。

国内外温室气体无人机监测指标主要包括二氧化碳、氧化亚氮和甲烷等。美国、加拿大等国家研制出多款可以用于监测甲烷的无人机。国外监测温室气体主要用于分析温室气体的发生、发展过程及空间分布情况,从而支撑温室气体的减排与管理;而国内的监测主要用于生产安全预警预报,在生态环境方面的监测应用不多。

2 我国甲烷减排路径与监测支撑需求

根据我国2019年发布的《气候变化第二次两年更新报告》^[19],2014年中国温室气体排放总量为111.86亿t二氧化碳当量,甲烷占10.4%。2014年中国甲烷排放5529.2万t,其中能源活动排放2

475.7万t,占44.8%;农业活动排放2224.5万t,占40.2%;废弃物处理排放656.4万t,占11.9%;土地利用、土地利用变化和林业排放172.0万t,约占3.1%;工业生产过程排放0.6万t。各领域排放量数据涵盖范围,见表1。

表1 各领域甲烷排放量涵盖范围

领域	包含内容
能源活动	各领域各类燃料燃烧
	煤炭开采和矿后活动甲烷逃逸
	油气系统甲烷逃逸
农业活动	动物肠道发酵
	动物粪便管理
	稻田甲烷排放
	农业废弃物田间焚烧
废弃物处理	固体废弃物处理
	废水处理
土地利用、土地利用变化和林业	湿地甲烷排放

根据我国甲烷排放清单结果,借鉴国外甲烷减排路径经验,对我国各领域甲烷可能的减排路径进行梳理,并就各领域减排对监测支撑需求进行初步梳理,见表2。

为了实现我国甲烷显著减排,根据国内外经验,可能的减排路径主要在以下几个方面。

1)优先关注煤炭开采和矿后活动、油气系统甲烷逃逸。对于煤炭开采和矿后活动,应加强煤层气开采、瓦斯利用,减少甲烷逃逸。一般来说,煤炭采矿企业在安全等有关部门要求下,会对煤层气、瓦斯等气体流量开展监测,生态环境部门可与该监测相结合,与污染物无组织排放监测协同,在矿井周边等位置开展甲烷无组织监测,用于评估甲烷泄漏情况,并依此建立和优化相关排放因子。对于油气系统甲烷逃逸,结合即将发布的排放标准,将甲烷和VOCs泄漏检测协同考虑,要求油气田企业在开展LDAR检测时,同步报告甲烷和VOCs浓度,以更合理估算甲烷泄漏量,同时促进企业及时检修减少泄漏排放。

2)加强对固体废弃物处理和污水处理厂甲烷回收利用,减少甲烷排放。目前,我国很多垃圾填埋场和污水处理厂已经开始进行甲烷气体的收集利用,但尚未覆盖全国,应继续推进。为了推进甲烷回收利用,可以与企业甲烷流量监测相结合,与污染物无组织排放监测协同,在厂界或甲烷浓度可能的最高点等位置开展甲烷无组织监测,用于评估甲烷泄漏情况,并依此建立和优化相关排放因子。

表 2 各领域甲烷减排路径及监测支撑需求

领域	可能的减排路径	监测支撑需求	
		排放监测	质量监测
能源活动	各领域各类燃料燃烧	提高燃烧效率，减少燃烧泄漏排放	通过典型监测优化排放因子 与企业生产中抽出气监测相配合，通过矿井周边等无组织排放监测评估逃逸情况，优化排放因子 开展泄漏检测，更合理估算泄漏量，促进企业及时检修减少泄漏排放
	煤炭开采和矿后活动甲烷逃逸	加强煤层气开采、瓦斯利用	
	油气系统甲烷逃逸	加强泄漏检测，减少泄漏排放	
农业活动	动物肠道发酵	调节反刍类动物饲料结构	根据地面、遥感监测所得大气中甲烷浓度，对排放核算结果进行校验
	动物粪便管理	加强沼气回收利用	
	稻田甲烷排放	调整稻田灌溉方式和土壤水分状况	
废弃物处理	农业废弃物田间焚烧	减少废弃物田间焚烧	与企业生产中沼气回收和利用监测相配合，通过厂界等无组织排放监测评估逃逸情况，优化排放因子 与企业生产中沼气回收和利用监测相配合，通过厂界等无组织排放监测评估逃逸情况，优化排放因子
	固体废弃物处理	加强沼气回收利用，推动垃圾分类和垃圾减量化	
	废水处理	加强沼气回收利用	
土地利用、 土地利用变化和林业	湿地甲烷排放	—	—

3)推动农业活动甲烷利用和减排。我国是农业大国,农业活动甲烷排放呈多而散的状态。应从技术进步的角度推动农业活动甲烷减排,调整反刍类动物饲料结构、推广合适的稻田灌溉方式和土壤水分状况调整技术。对于动物粪便管理则与固体废弃物处理类似,加强沼气回收利用。为了客观评估动物肠道发酵、稻田甲烷排放,可通过典型观测优化排放因子。

另外,为了整体评估甲烷减排效果,验证各领域甲烷排放清单的准确性,可以通过建立环境质量监测网络获取大气中甲烷浓度监测数据,根据地面、遥感监测所得大气中甲烷浓度,对排放核算结果进行校验。

3 我国甲烷监测体系建设建议

3.1 总体思路

以《生态环境监测规划纲要(2020—2035 年)》^①总体布局为依托,坚持污染物与温室气体监测相协同,以服务温室气体排放清单编制、支撑应对气候变化履约为主要目标,构建我国甲烷监测体系。

以生态环境部和中国气象局等现有的温室气体监测为基础,根据甲烷减排政策实施对监测的需

求建设甲烷监测体系。甲烷浓度监测与排放监测相互校验,互为补充,以支撑编制高质量的甲烷排放清单。同时,强化质量保证/质量控制,将甲烷浓度数据与排放监测数据纳入现有数据平台管理,形成国际认可、方法统一、结果可比和数据多层次共享的甲烷监测体系,见图 1。

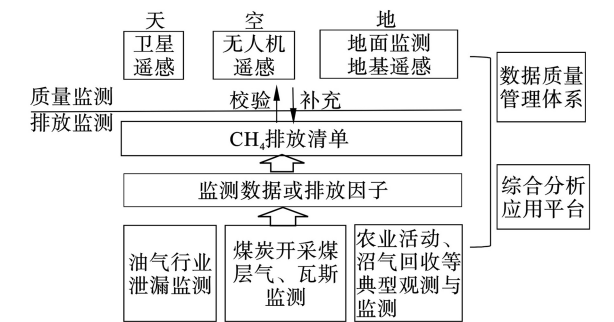


图 1 甲烷监测体系建设内容示意图

3.2 监测内容

3.2.1 排放监测 1)油气行业监测。以企业自行监测为主,如有必要,管理部门可与污染源排放监测协同考虑,按照“双随机”原则开展必要的监督监测。

监测点位设置在泵、压缩机、阀门、开口阀或开口管线、气体/蒸气泄压设备、取样连接系统,法兰及其他连接件、其他密封设备的位置。监测指

① 生态环境部. 生态环境监测规划纲要(2020-2035 年). 2019.

标,以 LDAR 检测的方式对甲烷和 VOCs 浓度协同监测。监测频次按照该行业自行监测技术指南要求开展监测。

2)煤炭开采及矿后活动监测。对于煤炭开采,以企业自行监测为主,如有必要,管理部门可与污染源排放监测协同考虑,按照“双随机”原则开展必要的监督监测。

监测点位设置在矿井周边甲烷浓度最高点,监测指标为甲烷浓度。监测频次与企业无组织排放监测频次相同。对于矿后活动,由国家组织温室气体排放清单编制单位根据甲烷排放因子制定需求开展典型观测。

3)其他领域。其他领域由国家组织温室气体排放清单编制单位根据甲烷排放因子本地化需求,开展典型观测、监测,获取典型数据。

3.2.2 浓度监测 对于浓度监测,利用卫星遥感(天基)对全球、全国及城市尺度甲烷柱浓度及垂直分布进行逐日监测;利用无人机遥感(空基),对京津冀及华北地区甲烷的浓度及空间分布按季度开展监测;利用地面监测站点(地基)开展甲烷浓度及垂直分布情况进行监测,包括在部分大气环境背景监测站开展不同高度的甲烷浓度监测,增加地基遥感甲烷柱浓度及垂直分布监测。

3.3 质控体系建设

建立与国际接轨的甲烷质量管理体系,主要包括:为监测体系提供标准气体和进行质量传递的甲烷标准气系列配置和标校系统;仪器设备适用性检测,仪器智能接口开发,监测数据有效性判别专家系统,标准器物的供应、保存和溯源解决方案等在内的自动监测质量保证体系;与国际接轨并适合我国实际情况,涵盖采样、运输和分析等监测全过程的实验室分析方法和一整套与之相配套的质量保证/质量控制措施。

在利用地基遥感监测网站点数据对反演结果进行比对验证的基础上,降低验证方案的不确定性。加强甲烷遥感监测标准规范建设,完善甲烷遥感监测标准规范体系,进而建立并完善甲烷遥感监测应用技术等标准规范,提高甲烷卫星遥感产品质量。

3.4 综合数据分析应用平台建设

在现有环境质量、污染源监测数据平台基础上,建立能够对监测数据进行收集、存储和分析,具有远程质量控制功能的高性能综合数据分析应用平台,借助地理信息系统和网络技术,建立各种反

映空间信息的分析模块,能够直接对不同站点和系统相关数据进行查询;建立甲烷等温室气体综合数据库,进行甲烷排放因子、排放模式测算和评估;建立与相关部门数据交流和共享机制,开展甲烷数据的共享服务和交流。

4 结语

我国甲烷减排还在探索阶段,有关研究相对薄弱。本文在对国内外甲烷减排及监测有关情况调研基础上,结合我国实际情况,提出了我国甲烷减排路径及监测支撑需求,并对我国甲烷监测体系建设提出建议。甲烷监测体系应与我国污染物监测体系协同建设,以服务温室气体排放清单编制、支撑应对气候变化履约为主要目标,在现有监测体系上,分别从排放监测、大气浓度监测两个方面进行完善,并强化质控体系和数据分析平台建设,从而形成完整的甲烷监测体系。

为加快甲烷监测体系加上,建议以《“十四五”生态环境监测规划》编制为基础,进一步聚焦应对气候变化履约对甲烷等温室气体监测的需求,进一步明确“十四五”甲烷等温室气体监测网络建设的重点。按照国际通行做法,加强部门合作,整合优化现有网络,补齐短板,实现与国际接轨。在顶层设计中将甲烷等温室气体与污染物的监测统筹考虑,尽可能实现监测点位、监测仪器和监测队伍的整合,提高效率。推进甲烷等温室气体监测方法、监测仪器设备以及监测质量控制等相关标准规范的研究制定,为甲烷等温室气体统一、科学和规范监测提供技术保障。

参考文献

- [1] HOUGHTON E. Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. UK: Cambridge University Press, 1996.
- [2] 张建宇,秦虎,汪维. 中国开展甲烷排放控制关键问题与建议[J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(5): 105-108.
- [3] 冯相昭. 从气候变化角度审视页岩气开发[J]. 环境经济, 2013(增1): 49-53.
- [4] IPCC. Special report on global warming of 1.5 °C[M]. UK: Cambridge University Press, 2018.
- [5] 谢飞,田文寿,李建平,等. 未来甲烷排放增加对平流层水汽和全球臭氧的影响[J]. 气象学报, 2013, 71(3): 555-567.
- [6] 谢飞. 平流层对流层物质交换以及平流层水汽与臭氧的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.

(下转第 70 页)