国内外石油公司甲烷排放差异性分析及启示*

翁艺斌[1,2]　吴百春[1,2]　李兴春[1,2]　刘光全[1,2]

（1. 石油石化污染物控制与处理国家重点实验室；2. 中国石油集团安全环保技术研究院有限公司）

摘　要　甲烷排放管控是国际石油公司推动低碳能源转型的一项重要举措，也是达成净零碳排放愿景的一个重要手段。研究发现，国内外石油公司的油气生产活动水平、甲烷排放控制水平、甲烷排放核算方法等 3 个方面均存在较大差异性。我国油井单井产量低，地面工程量大、工艺复杂，流程工艺中甲烷排放突出，油气系统甲烷排放水平较高，油气生产甲烷排放控制水平与国外石油公司相比尚有较大差距，与国外甲烷排放核算方法也存在较大差异性。着眼于甲烷排放管控，我国石油公司应充分衡量甲烷排放现状、生产活动水平、甲烷排放控制措施经济性和适用性等多重因素，严格控制潜在甲烷排放节点，并进一步做好甲烷排放检测、监测和数据统计工作，持续完善甲烷排放报告和核查体系。

关键词　石油公司；甲烷；排放强度；排放控制

DOI：10.3969/j.issn.1005-3158.2021.01.001　　**文章编号**：1005-3158(2021)01-0001-05

Methane Emission Control Analysis of Domestic and Foreign Petroleum Companies

Weng Yibin[1,2]　Wu Baichun[1,2]　Li Xingchun[1,2]　Liu Guangquan[1,2]

(1. *State Key Laboratory of Petroleum Pollution Control*;
2. *CNPC Research Institute of Safety & Environment Technology*)

ABSTRACT　Methane emission control is an important action for international oil companies to promote the transition to low carbon energy and an important method to achieve the vision of net-zero carbon emissions. Based on current studies, great differences are existing in oil and gas production, methane emission control and methane emission accounting methods between domestic and foreign oil companies. Compared to foreign oil companies, domestic oil companies have several special conditions: low single well production rate, large ground engineering, complex production process, high process methane emissions, high methane emissions in oil and gas production, lag in methane emission control level. To achieve methane emission control, Chinese oil companies should focus on the control of potential methane emission sources; the detection, monitoring and counting of methane emissions; and the improvement of methane emissions reporting and verification system. Meanwhile, all these efforts should base on current methane emission level, production situation, economy and applicability of methane emission control methods.

KEY WORDS　oil and gas industry; methane; emission intensity; emission control

0　引　言

更加绿色、低碳的能源是全球民众共同需求，全球能源转型迫在眉睫。2018 年，IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）发布《IPCC 全球升温 1.5℃特别报告》指出，全球在 2050 年左右达到净零排放才能实现 1.5℃目标，在 2070 年左右达到净零排放才能实现 2℃目标[1-2]。世界一流油气公司普遍支持油气上游甲烷排放强度控制在 0.25%以内以实现《巴黎协议》控温目标，并提出更加严格的减排目标。近年来欧洲油气公司积极推动低碳能源转型，大力推动油气行业甲烷排放管控，引领了油气行业甲烷排放管控发展方向。2019 年以来，雷普索尔率先在全球公

* 基金项目：国家科技重大专项课题(2016ZX05040-004)；中国石油集团重大科技专项课题(2016E-1208)。

翁艺斌，2015 年毕业于中国石油大学(北京)环境化工专业，博士，高级工程师，现在中国石油集团安全环保技术研究院有限公司从事废气治理与温室气体控制工作。通信地址：北京市昌平区黄河北街 1 号院 1 号楼，102206。E-mail：wengyibin@cnpc.com.cn。

布净零碳排放愿景，随后英国石油公司（BP）、壳牌公司等国际石油公司纷纷公布净零碳排放愿景，其中，提高能效、控制甲烷排放、减少火炬排放是减少直接碳排放的主要手段和措施。甲烷排放控制已经成为国际石油公司推进碳减排策略和行动的关键工作之一。

1 国内外石油公司甲烷排放情况

油气行业气候倡议组织（OGCI）是率先开展甲烷减排行动的国际性组织，致力于推动成员企业甲烷排放接近零排放水平，于 2018 年发布甲烷整体减排目标：到 2025 年上游油气作业平均甲烷排放强度减少至 0.25%，力争达到 0.20%。2019 年，包括中国石油在内的 OGCI 成员公司油气产量占全球的 28%，供应全球一次能源需求的 16%。同年，OGCI 平均甲烷排放强度从 2018 年 0.29%降至 0.23%，2025 年甲烷排放强度目标调整为 0.20%。

从甲烷排放总量和甲烷排放强度来看，挪威国家石油公司甲烷排放管控处于领先水平，2019 年甲烷排放强度仅为 0.03%，OGCI 成员公司 2019 年甲烷排放情况如表 1 所示。除此之外，在全球气候变化大背景下，国际石油公司提出了更加激进的甲烷减排目标，一般以 2023 年和 2025 年为目标年，例如 BP 公司承诺 2023 年甲烷排放强度低于 0.1%，道达尔承诺 2025 年甲烷排放强度低于 0.2%，埃尼承诺 2025 年比 2014 年甲烷减排 80%，巴西石油公司承诺 2025 年比 2017 年排放强度降低 30%～50%。

表 1 OGCI 成员公司 2019 年甲烷排放情况

组织名称	百万桶油气当量/d	上游甲烷排放总量/10^4 t	2019 年排放强度/%	甲烷减排目标
挪威国家石油公司	2.1	1.9	0.03	—
埃尼集团	1.9	2.2	0.04	2025 年比 2014 年减排 80%
沙特国家石油公司	13.6	3.8	0.057	—
雪佛龙	2.9	16.0	0.07	2023 年比 2016 年排放强度降低 20%～25%
壳牌	3.7	9.1	0.08	排放强度稳定控制在 0.2%
BP 公司	3.7	9.7	0.14	2023 年排放强度低于 0.1%
道达尔	2.8	6.0	0.20	2025 年排放强度低于 0.2%
埃克森美孚	3.8	—	—	2020 年比 2016 年减排 15%
巴西石油公司	2.5	—	—	2025 年比 2017 年排放强度降低 30%～50%
雷普索尔	0.7	22.8	1.28	2025 年比 2017 年排放强度降低 25%
中国石油（国内）	6.0	—	—	2025 年比 2019 年排放强度降低 50%
OGCI	6.0	48.2	0.23	2025 年平均排放强度达到 0.20%

注：1. 甲烷排放强度为上游甲烷排放总量除以天然气商品量；2. 表中数据取自各公司可持续发展报告、各公司年报和 OGCI 年报；3. “—”表示数据暂未发布或公开渠道无法获取。

国内石油公司中，中国石油 2020 年发布《甲烷排放管控行动方案》，提出 2025 年甲烷排放强度比 2019 年下降 50%。国内其他石油公司均未发布明确的甲烷减排指标，也未公布甲烷排放数据。据可查公开数据显示[3]，《中华人民共和国气候变化第一次两年更新报告》中披露 2012 年我国油气系统甲烷逃逸排放为 1 119×10^3 t，同年我国天然气产量约为 1 106×10^8 m^3，按照 OGCI 甲烷排放强度统计方法，2012 年我国油气行业甲烷排放强度大于 1.41%。

2 甲烷排放差异性分析

2.1 生产活动水平存在较大差异

油气生产过程中甲烷排放主要产生于油气勘探开发过程的各个工艺环节。从已获取的各国际石油公司公布的油气产量、油气生产井个数和甲烷排放总量来看，油气生产井数量越多，相应的工艺流程越复杂、场站数量越多，潜在的甲烷排放环节越多，则甲烷排放总量越大。如表 2 所示，BP 公司

甲烷排放总量约为 9.7×10⁴ t,同年油气生产井个数为 98 560 个;挪威国家石油公司甲烷排放总量相比最小,约为 2.0×10⁴ t,同年油气生产井个数为 6 977 个。

表 2　OGCI 成员公司甲烷排放相关生产活动水平比较

指标	道达尔	BP 公司	壳牌	埃尼集团	挪威国家石油公司
上游甲烷排放总量/10^4 t	6.0	9.7	9.2	2.2	2.0
油气产量/10^7 t 油气当量	15.0	12.9	18.2	9.3	10.5
油气生产井/个	23 957	98 560	32 012	8 292	6 977
单井日产油气当量/(t·d^{-1})	17.2	3.6	15.6	30.7	41.2

注:Shell、Equinor 数据来源于各企业 2018 年年报;Total、BP、Eni 数据来源于各公司 2019 年年报。

从甲烷排放量与单井日产油气当量和生产井个数关系来看,甲烷排放量与单井日产油气当量相关性更加显著,如图 1 所示。

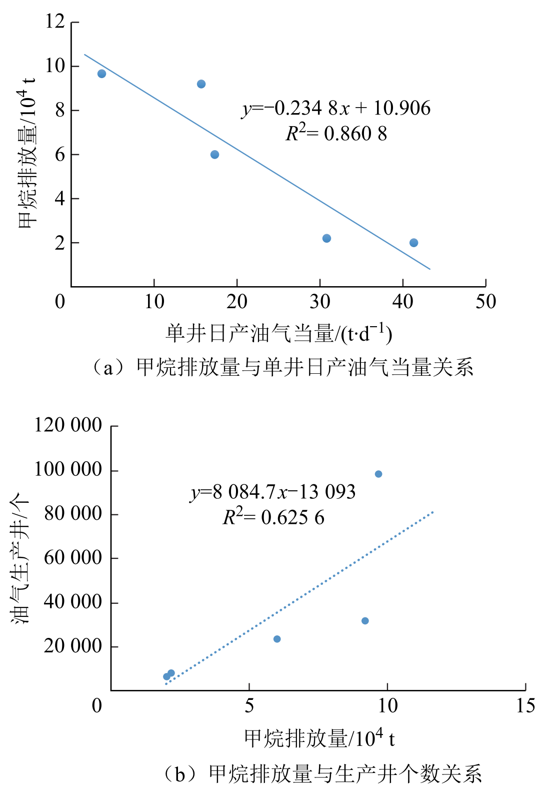

图 1　甲烷排放量与单井日产油气当量和生产井个数关系

与 OGCI 其他成员公司相比,中国石油国内油气生产甲烷排放源活动水平显著偏高,据中国石油报披露数据,我国石油公司油井平均单井产量只有 1.6 t,仅为挪威国家石油公司单井日产油气当量的 3.9%。一方面,国内主力油田的挖潜效果都已经逐渐变差,油田产能建设效益越来越低,单井产量较低,单位油气产量的流程工艺、场站数量较多。另一方面,三元复合驱等三次采油技术不断发展也对地面工程技术提出了更高的要求,地面工程呈现出工程量大、工艺复杂的特点。以上两方面原因决定了我国油气开发工艺流程比国际油气公司更加复杂、链条更长,同时油气集输系统数量更多,开放式集输流程甲烷排放更加严重,流程工艺中甲烷逸散更加突出,甲烷控制难度更大。

2.2 甲烷排放控制水平存在差异

OGCI 支持世界银行 2030 年实现“零常规火炬”目标,要求成员公司推进甲烷排放精准量化的同时,建议采用扩大泄漏检测和修复(LDAR)作业、更换或升级减少设备排放、减少火炬燃烧排放、减少气体放空等措施开展甲烷排放控制,见表 3。道达尔在 2010—2019 年间通过扩大 LDAR 作业实现了甲烷减排 80%,BP 将陆上天然气井 99%的高排放控制器升级为电力或空气驱动实现了甲烷排放强度达到国际一流水平,2018 年埃尼集团在土库曼斯坦通过消灭火炬实现了 9%以上的甲烷减排,2016 年埃克森美孚通过减少气体放空实现非常规作业甲烷排放减少 20%。同时,油气生产过程甲烷排放的精准量化是各成员公司进一步推进甲烷排放深度控制的重点关注方向。

目前,中国石油在甲烷排放控制方面开展了大量工作,在《绿色发展行动计划》《污染治理升级方案》《低碳发展路线图》和《甲烷排放管控行动方案》等文件中明确了甲烷排放管控的方向和目标,在冀东油田、大港油田、长庆油田和南方勘探初步开展了 LDAR 试点工作,在塔里木油田、长庆油田开展了伴生气回收工作,在塔里木油田持续推进火炬熄灭工程,其中塔里木油田已累计建成回收站点 48 个,回收能力 420 万 m^3/d,长庆油田伴生气年回收能力达到 10 亿 m^3。中石化开展了胜利油田密闭流程改造、涪陵页岩气田全密闭流程集输和放空天然气回收等甲烷排放控制措施,2019 年共回收利用甲烷 3.97 亿 m^3,并提出在 2018—2023 年,每年回收甲烷 2 亿 m^3 的目标。中海油在《绿色发展行动计划》中提出加强火炬放空器的管控和甲烷逸散排放控制。

表 3　OGCI 成员公司甲烷排放控制措施

公司	LDAR 作业	控制设备排放	减少火炬	减少气体放空	下一步重点控制方向
挪威国家石油公司	√	√	√	√	甲烷检测新技术
埃尼集团	√ +		√ +	√ +	甲烷检测新技术
沙特阿拉伯国家石油公司	√ +	√	√	√	甲烷检测新技术、阀门升级
雪佛龙	√	√			甲烷检测新技术
壳牌	√ +	√	√ +	√ +	甲烷检测新技术
BP 公司	√ +	√ +			实时量化监测系统、太阳能驱动泵
道达尔	√		√ +	√ +	甲烷检测新技术
埃克森美孚	√ −	√ −	√	√	储罐排放控制技术
巴西石油公司			√ +	√ +	甲烷检测新技术
雷普索尔		√ +	√	√	天然气净化膜分离装置
西方石油公司	√	√ +	√	√	全面推广 LDAR
中国石油	√ −		√	√	

注：在各企业年报、可持续发展报告、社会责任报告中有明确表述的甲烷控制措施；其中，“√ + ”表示全面推广开展，“√”表示区域范围重点部署，“√ − ”表示开展试点工作。

2.3　甲烷排放核算方法存在较大差异

OGCI 其他成员公司一般采用设备级别的甲烷排放因子进行核算，辅以甲烷排放实际检测数据，其中设备明确至具体甲烷排放源，例如储罐、压缩机、气动控制器、泵、有机液体装载、甲烷泄漏、脱水装置、气体放空、完井、火炬等，其甲烷排放因子参照国际机构(API、IOGP、IPCC 等)发布数据[4]。

我国石油公司甲烷排放核算的依据是国家 2014 年发布的《中国石油天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》[5](以下简称《指南》)，《指南》旨在构建企业温室气体排放核算工作体系，基于温室气体排放统计的全面性纳入了甲烷排放核算方法，甲烷排放核算方法学与 OGCI 其他成员公司存在较大差异。按照《指南》方法，除火炬和勘探放空环节甲烷排放是基于气量的统计，其他甲烷排放源主要是以井口装置、油气生产站点等级别的甲烷排放因子为主要核算依据，按照井口装置、场站个数开展甲烷排放核算，见表 4。

按照《指南》甲烷排放核算方法，油气开采、处理和储运过程中的装置数量、油气处理场站数量等企业生产活动水平决定了甲烷排放量，企业开展甲烷排放控制措施产生的甲烷减排量在核算方法中无法有效体现。《指南》虽然推荐采用实测排放因子，但需要说明实测仪器、测量方法及方法相关依据，目前国内针对油气开发过程甲烷排放因子开展实测工作较少，甲烷排放检测仪器和方法尚未形成相关标准和规范。此外，《指南》中排放因子参考加拿大排放因子，采用了专家修正的方式，在一定时期内满足了我国油气行业温室气体排放统计核算的需要[6]。在当前工艺技术水平取得长足发展、资源类型划分更加细致、地面集输系统更加密闭、气体排放管理更加精细的背景下，亟需建立与我国油气开发特征相符、具备操作性和科学性的甲烷排放核算方法。

表 4　《指南》中甲烷核算方法

甲烷排放源		核算方法
火炬燃烧排放		火炬气流量×氧化率×体积浓度
油气勘探业务工艺放空		气体流量×体积浓度
油气开采	工艺放空	装置/站点数量×排放因子
	甲烷逸散	
油气处理	工艺放空	天然气年处理量×排放因子
	甲烷逸散	
油气储运	工艺放空	装置/站点数量×排放因子
	甲烷逸散(原油输送)	输送量(10^8 t)×排放因子
	甲烷逸散(天然气输送)	装置/站点数量×排放因子

3　结论与建议

国内外石油公司甲烷排放控制差异性集中体现

在油气生产活动水平、甲烷排放控制水平、甲烷排放核算方法 3 个方面,这也是我国油气行业开展甲烷排放管控的 3 个关键因素。与其他国际石油公司相比,我国油气生产过程甲烷排放量较大、排放强度较高;由于国内外资源禀赋存在较大差异,我国油井单井产量低,地面工程量大、工艺复杂,流程工艺中甲烷排放突出;甲烷排放控制方面,我国油气生产甲烷排放控制水平尚有较大差距;此外,国内外甲烷排放核算方法存在较大差异,会导致核算数据存在一定偏差。

针对我国油气开发流程工艺、场站数量较多,甲烷排放问题更为突出的问题,一方面制定甲烷排放管控目标时,应充分考虑甲烷排放现状、生产活动水平、甲烷排放控制措施经济性和适用性等多重因素综合衡量;另一方面,甲烷排放管控应严格控制潜在甲烷排放的生产节点,深入实施甲烷泄漏检测与经济性原位修复工作,强化油田气和原油的密闭集输处理,深化地面工程集输系统密闭改造、常规火炬熄灭、井筒排放气体回收和施工作业气体排放管控。最后,进一步做好油气田企业甲烷排放实测工作,进一步做好甲烷排放核算方法与国际石油公司标准的对接,持续完善甲烷排放报告和核查体系。

参考文献

[1] WAISMAN H, CONINCK H D, ROGELJ J. Key technological enablers for ambitious climate goals: insights from the IPCC special report on global warming of 1.5℃[J]. Environmental research letters, 2019, 14(11): 111001.

[2] 姜克隽. IPCC 1.5℃特别报告发布,温室气体减排新时代的标志[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(6): 640-642.

[3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告[R]. 北京: 2018.

[4] SAIDE PABLO E, STEINHOFF DANIEL F, KOSOVIC BRANKO, et al. Evaluating methods to estimate methane emissions from oil and gas production facilities using lES simulations[J]. Environmental science & technology, 2018, 52(19): 588.

[5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中国石油天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)[S]. 北京: 2014.

[6] 朱松丽. 加拿大油气系统温室气体逃逸排放清单简述[J]. 油气田环境保护, 2005, 15(4): 8-10.

(收稿日期　2020-12-08)

(编辑　王　蕊)