石油公司天然气低碳开发策略及减排探讨*

徐文佳[1,2] 卢 锴[3] 史小利[4] 杨昱锟[5] 曹冬冬[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;
3. 中国石油华北油田分公司煤层气与储气库事业部;4. 生态环境部对外合作与交流中心;5. 美国斯坦福大学)

摘 要 发展天然气业务推动低碳转型是目前各石油公司的共识。天然气在我国能源消费总量中的占比逐年提升。国际石油公司近几年纷纷对天然气业务进行投资、发展 LNG 业务并扩展天然气产业链。但天然气生产链中甲烷逸散问题一直是学术界的争议,甲烷相比二氧化碳具有更强的全球增温潜力,因此发展天然气需注意甲烷管控问题。文章基于天然气产业链中甲烷排放的主要环节,分析国际石油公司的甲烷管控策略和技术措施,在此基础上,提出了重视甲烷逸散基础数据的监测、对已有减排技术进行总结推广应用、开展进口天然气环境效益研究和开展甲烷与 VOCs 协同管控等意见建议。

关键词 天然气;能源转型;甲烷;温室气体减排

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2021.02.001 **文章编号**:1005-3158(2021)02-0001-06

Discussion on the Low-carbon Development Strategy and Emission Reduction of Natural Gas Business in Petroleum Companies

Xu Wenjia[1,2] Lu Kai[3] Shi Xiaoli[4] Yang Yukun[5] Cao Dongdong[1,2]

(1. *State Key Laboratory of Petroleum Pollution Control*;
2. *CNPC Research Institute of Safety & Environment Technology*;
3. *CNPC North China Oilfield Branch CBM and Gas Storage Division*;
4. *Foreign Economic Cooperation Centre, Ministry of Environmental Protection of China*; 5. *Stanford University*)

ABSTRACT It is the consensus of various oil companies to develop natural gas to promote low-carbon transformation. The proportion of natural gas in China's total energy consumption is increasing year by year. In recent years, international oil companies have made many measures in natural gas, including investing in natural gas business, developing LNG business and expanding the natural gas industry chain. However, the problem of methane escape in the natural gas production chain has always been a controversy in the academic community. Compared with carbon dioxide, methane has a stronger global warming potential. Therefore, in the development of natural gas, methane management and control should be paid attention to. Based on the main links of methane emissions in the natural gas, this article analyzed the methane control strategies and technical measures of international oil companies. On this basis, some suggestions were put forward, such as paying attention to the monitoring of basic data of methane emission, summarizing and promoting the application of existing emission reduction technologies, carrying out the research on the environmental benefits of imported natural gas, and carrying out the collaborative control of methane and VOCs.

KEY WORDS natural gas; energy transformation; methane; greenhouse gas reduction

* 基金项目:国家科技重大专项课题(编号:2016ZX05040-004)、中国石油重大科技专项"低碳与清洁发展关键技术研究及应用"(编号:2016E-1208)。

徐文佳,2010 年毕业于北京大学环境科学专业,硕士,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温室气体减排利用方面的研究工作。通信地址:北京市昌平区黄河北街 1 号院 1 号楼,102206。E-mail:skyxwj@163.com。

0 引 言

《巴黎协定》正式生效明确了全球“2℃温升目标”。2020 年习主席在联合国大会上向世界庄严宣布“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的自主贡献目标。虽然美国退出《巴黎协定》，但低碳转型已是全球大势所趋，并引发新一轮的全球能源革命。天然气虽然是化石能源，但与煤炭相比，用于发电的全生命周期温室气体排放低于煤炭发电，可降低 14%～49%[1]。2018 年的世界天然气大会在天然气是低碳、清洁、绿色、多元的能源等方面达成共识[2]。

据统计[3-4]，2018 年全球天然气产量增长 1 900 亿 m^3，天然气消费增长 1 950 亿 m^3，增速均超过 5%，2019 年天然气在一次能源中的比重上升到 24.2%的历史新高。“十二五”期间，我国一次能源生产量中天然气年均增长 7%[5]。但天然气生产链中甲烷逸散问题一直是学术界的争议，特别是非常规天然气中水力压裂的使用，甲烷泄漏量比天然气高 30%～100%[6]。甲烷由于二十年增温潜势是二氧化碳的 84 倍[7]，近期减排更具有现实意义。我国《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》首次提出深化各类低碳试点，实施近零碳排放区示范工程，控制非二氧化碳温室气体排放。

本文在分析全球天然气开发利用状况的基础上，对比了国际石油公司天然气开发策略，并探讨了国际石油公司发展天然气过程中减排措施，提出了天然气开发过程中需要注意的环境问题。

1 全球天然气资源开发利用现状

1.1 全球天然气开发利用状况

美国、俄罗斯具有丰富的天然气资源，天然气产量和消费量都排在世界前列，伊朗和加拿大也是天然气产量和消费量大国。据国家统计局统计，中国的天然气消费量年增长率高达 17.7%，需求强盛。虽然天然气在我国能源消费总量中的占比逐年提升，已从 2008 年的 3.2%提高到 2018 年的 7.4%[3]，但相比其他国家仍然较低，远低于天然气占一次能源消费比例的世界平均水平 30%，如图 1 所示。

2017 年，国家出台《加快推进天然气利用的意见》（发改能源〔2017〕1217 号），明确逐步将天然气培育成为我国现代能源体系的主体能源，提出 2020 年、2030 年天然气在一次能源消费中分别占 10%和 15%的发展目标。

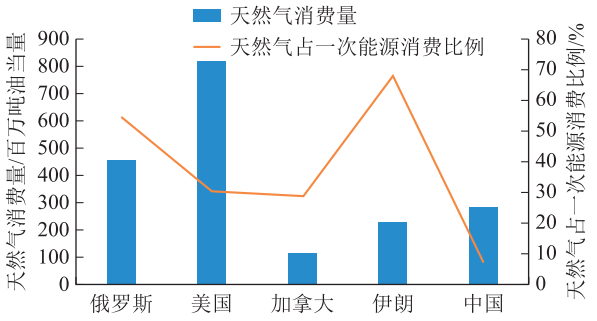


图 1 2018 年天然气占一次能源消费比例[3]

1.2 石油公司天然气业务发展策略

传统的石油业务已不能满足当前低碳转型的需要，气候变化促进传统石油公司向一体化能源公司转型。壳牌公司 2018 年发布能源转型报告[8]，认为 10 a 内需求增长最大的领域是天然气、化学品和新能源。道达尔认为天然气是核心业务之一，并通过提高天然气产量占比降低产品碳强度，并全线拓展天然气产业链和提高液化天然气使用效率[9]。沙特阿美也开始涉足天然气业务并投资。很多国际石油公司提出了天然气发展目标，未来 10～15 a 继续提高天然气产量至 60%以上，如表 1 所示。

表 1 石油公司天然气发展目标

公司名称	天然气占比	天然气目标
壳牌 Shell[8]	2018 年天然气占油气总产量比重 50%	2030 年天然气占油气总产量比重从 50%提高到 75%
道达尔 Total[9]	2019 年天然气产量占比达 53%	2035 年天然气产量将占公司上游产品产量的 60%
埃尼 Eni[10]	2020 年天然气产量占比 60%	2050 年天然气占其总产量的 85%
沙特阿拉伯国家石油公司 Saudi Aramco[11]	—	到 2030 年，沙特阿美计划首次成为世界三大天然气生产国之一，并出口天然气

国际石油公司近几年在天然气方面动作频繁[8-10]，重点聚焦三个方面：①对天然气业务进行投资。2015 年壳牌公司收购英国天然气公司（BP group），扩大在天然气生产方面的全球领先地位；埃克森美孚、英国石油公司 BP 和雪佛龙重点投资美国本土的页岩气市场。②发展 LNG 业务。道达尔收购法国 Engie 集团旗下 LNG 资产，成为全球第二大 LNG 运营商；壳牌在荷兰建立卡车 LNG 加油站，与世界最大的邮轮运

营商 Carnival 公司签署协议供应 LNG,收购为船舶和工业客户提供 LNG 燃料的挪威公司 Gasnor;埃克森美孚与中国浙江能源集团签署了 20 年的液化天然气供应协议;2020 年 BP 宣布与新奥集团签署天然气 LNG 购销协议;俄罗斯天然气工业股份公司(俄气)和俄罗斯石油公司(俄石油)也在加快 LNG 项目布局,面向新型的亚洲天然气市场。③扩展天然气产业链。推动天然气替代传统能源发电,美国大部分天然气用于发电,降低了电厂二氧化碳排放;2017 年道达尔组建子公司 Total Spring,在法国境内布局民用天然气零售和清洁电力业务,在印度通过收购和合资成立天然气销售公司。

2　天然气开发过程温室气体排放管控

2.1　天然气生产过程碳排放核算及特征

天然气中主要组分为烃类化合物,烃类组分含量在 60%～90%,含量最多的是甲烷。甲烷相比二氧化碳具有更强的全球增温潜力,20 a 增温潜势是二氧化碳的 84 倍,100 年增温潜势是二氧化碳的 28 倍[7]。自 2005 年起美国天然气产量剧增,引发了人们对于气候影响的担忧,据 2018 年美国环境署(EPA)排放清单[12],甲烷排放占总排放 10%,天然气系统的排放位列甲烷排放的第二位。近年来很多学者通过实地监测,发现实测数据比 EPA 清单估算数值更高,Ramón 等[13]通过设施级别实测法得出美国油气行业中甲烷的排放量比 EPA 估计高出 60%,主要差距在于异常工况引起的排放。

在国内,依据《中国石油和天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》[14],天然气企业设施逃逸和工艺放空甲烷排放因子缺省值均高于石油企业,如井口装置,天然气系统气井的设施逃逸排放因子是 2.50 t/(a·个),油井的是 0.23 t/(a·个),相差 10.9 倍。但该指南中天然气系统的排放因子还存在较大的不确定性,据刘明礼等[15]对四川气田管输系统天然气进行天然气泄漏检测,2001 年平均每个站场年泄漏量 1 823 m^3,换算为场站 1.3 t/(a·个),远低于国家指南中排放因子增压站 85.05 t/(a·个)和计量站 31.5 t/(a·个)。

甲烷逸散排放主要产生于天然气工艺中的生产、处理、集输、存储及分销过程[16-18],据 2019 年美国石油和天然气系统排放清单[17],甲烷排放在陆上生产中所占比例最高,为 49%,其次是天然气收集和增压环节占 25%,在天然气分销、天然气输送、天然气处理、离岸生产和地下储气库也均有排放,如图 2 所示。组件级排放的环节主要集中在天然气生产过程的返排过程、化学注剂泵、气动阀门、组件泄漏、吹扫放空等。在 2019 年美国排放清单中,甲烷最大排放源来自于气动装置,占比为 33%,其次是天然气脱水和设备泄漏,分别占 14%和 13%,吹扫放空和储罐也占总排放的 9%和 8%,如图 3 所示。甲烷排放量主要与生产工艺、流程,设备情况和管理水平有关。

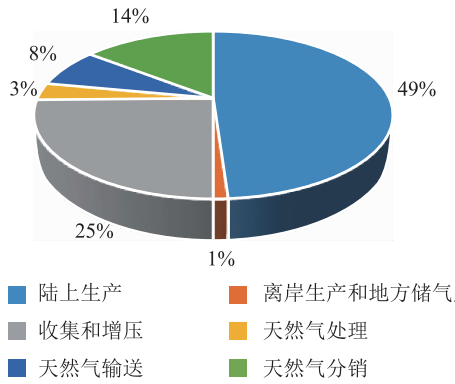


图 2　2019 年美国天然气行业甲烷主要排放环节及占比[17]

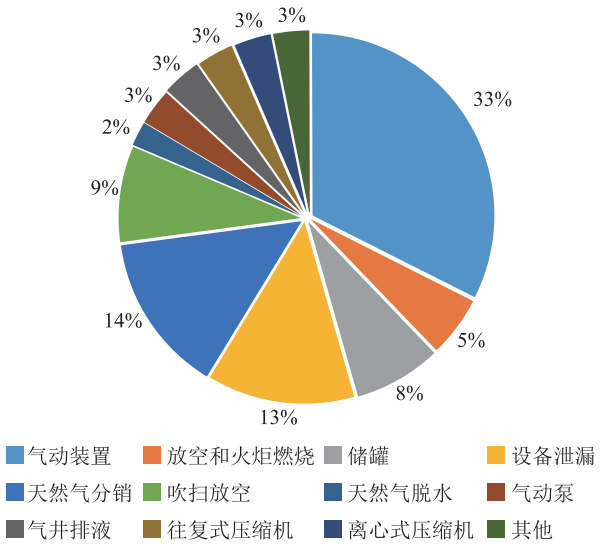


图 3　2019 年美国天然气行业设备级甲烷排放分布及占比[17]

2.2　石油公司甲烷减排策略

一是开展减排合作,达成共赢。近年来有多家关于甲烷减排的国际合作组织相继成立,主要包括“油气行业气候倡议组织”、《甲烷减排指导原则》(MGP)伙伴关系、“全球甲烷行动倡议”和“气候与清洁空气联盟”等,旨在通过集体行动,优势互补,推动整个油气行业减排。2014 年包括 BP、道达尔、沙特阿美和壳牌等在内的九大石油公司宣布成立的油气行业气候倡议组织(简称 OGCI),致力于推动整个油气价值链中甲烷排放量的大幅减少,帮助成员公司为《巴黎

协定》的目标做出贡献。自 2017 年起，BP、壳牌、道达尔、北京燃气等 23 家公司签署了《甲烷减排指导原则》(Methane Guiding Principles)，该原则编制了一套 10 项最佳实践指南和最佳实践工具包，旨在减少整个天然气供应链中甲烷排放。除此之外，EPA 的“全球甲烷行动倡议”(Global Methane Initiative，GMI，2004 年成立)和世界银行发起的“全球火炬消减计划”(Global Gas Flare Reduction，GGFR，2002 年成立)也是致力于甲烷减排的多边合作计划，促进成员的甲烷减排项目开发，消减油气行业火炬产生的碳排放和环境影响。

二是设立温室气体及甲烷减排目标。设置碳减排目标可以加速推动公司向低碳转型。2020 年 OGCI 成员公司中已有 BP、壳牌、道达尔、埃尼、雷普索尔公司(Repsol)、挪威国家石油公司(Equinor)、西方石油公司(Occidental)7 家成员响应 2050 年“净零排放”，设立相应的温室气体减排目标，降低自身能源产品碳排放强度并减低甲烷排放强度，如表 2 所示。通过两年的努力，OGCI 成员上游甲烷强度已由 2017 年的 0.3%下降至 2019 年的 0.23%[19]。中国石油(CNPC)和中国石化(Sinopec)也提出了各自的低碳目标，为中国实现“碳达峰”和“碳中和”主动担当作为。

表 2 石油公司减排目标

公司名称	温室气体减排目标	甲烷减排目标
英国石油公司 BP[20-21]	到 2050 年或之前，生产及其他运营环节碳排放绝对量为零，产品的碳排放强度降低 50%	到 2023 年，在主要的石油和天然气处理厂安装甲烷测量装置，并将作业的甲烷强度降低 50%，2025 年的新甲烷排放强度降至 0.20%
壳牌 Shell[22]	2050 年实现近零排放。到 2035 年减少能源产品碳排放强度 30%，到 2050 年减少 50%	2025 年甲烷排放强度降至 0.2%
道达尔 Total[23-24]	至 2050 年或之前，全球业务实现净零排放，至 2050 年客户所使用能源产品的平均碳排放强度降低 60%或以上(低于 27.5 gCO_2/MJ)	2025 年甲烷排放强度降至 0.2%以下，天然气业务降低到 0.1%
埃尼 Eni[25]	到 2050 年将生产和销售产品的温室气体排放量减少 80%	2025 年甲烷逸散排放量降低 80%
雷普索尔公司 Repsol[26]	到 2040 年之前实现运营和能源使用排放的净零，并希望在 2035 年之前实现	到 2025 年甲烷排放强度降至 0.25%以下
中国石油 CNPC[27]	2050 年实现净零温室气体排放	2025 年甲烷排放强度再降低 50%
中国石化 Sinopec[28]	到 2023 年，减排 CO_2 1 260 万 t，捕集 CO_2 50 万 t/a，封存 CO_2 30 万 t/a	2018—2023 年，回收利用甲烷 2 亿 m^3/a

三是重视甲烷监测技术的跨学科应用。在 2013 年之前，天然气生产过程中甲烷逸散很少直接测量，一般采用估算方法，自 2013 年以来国际石油企业通过资助高校研究等方式使用红外监测、地面车载监测，无人机监测，卫星监测等对天然气作业中的甲烷排放进行了大量测量，据 David T. Allen[18,29] 等研究发现甲烷在完井的排放量低于先前估计水平，气动控制器和设备泄漏的排放量高于 EPA 的估算预测值。埃克森美孚(Exxon Mobil)，荷兰皇家壳牌(Royal Dutch Shell)，雪佛龙(Chevron)，康菲石油公司(Conoco Phillips)和 BP 等公司已经开始使用无人机监测或卫星监测，为甲烷泄漏提供早期和广泛的检测。甲烷监测技术近年来不断完善并更新，从最初的人工仪器“点”的监测扩展到红外、监测车等“面”的监测，再到无人机、卫星监测的大尺度监测，在实际工作中，对设备、场站、区域 3 个级别的监测可互相补充验证，可提高监测结果的准确度。

3 结论及建议

目前天然气行业正高速发展，全球天然气产量和消费量逐年增长，传统石油公司紧跟趋势，加大天然气业务投资，并发展 LNG 业务和扩展天然气产业链，随着天然气业务占比的提高，可显著降低企业产品碳排放强度。在全球应对气候变化的大背景下，传统石油公司已意识到甲烷减排的重要性，部分公司提出了雄心勃勃的减排目标，但目前缺乏有效的减排路径和技术支撑，结合国际石油公司天然气业务发展战略和减排经验，提出以下几点思考。

1)重视甲烷逸散基础数据的监测，准确的甲烷逸

散监测数据是温室气体减排的基础。

目前国外已采用无人机、卫星对区域尺度甲烷排放进行监测,在监测手段和方式方面不断完善,而国内在此技术方面刚刚起步,准确性还有待完善,在目前油气行业甲烷排放通用的计算方法还是采用排放因子估算方法,但基于此方法计算减排量会带来巨大的不确定性和误差。虽然指南中明确说明鼓励有条件的企业自行监测,但由于投入较大人力、物力,且缺乏技术指导,目前几乎没有企业使用自行监测数据,目前指南还从未更新过排放因子。

2)识别天然气开发过程中重点排放过程,对已有减排技术进行总结推广应用。

国内天然气开发虽然与国外流程大致相同,但基于国内地质条件和实际情况,在开发过程中某些环节的排放系数不能照搬国外研究成果,如气动装置是欧美井场的主要泄漏点,但在中国的页岩气井场很多采用压缩 N_2 的气动装置,有效减少了甲烷逸散。在减排技术推广应用方面,指南中明确提出通过节能减排技术甲烷回收利用量可予以扣除,但目前企业均不重视且缺少完善的计算方法,给减排量计算带来巨大困难。目前国内各气田已经采取了不少卓有成效的天然气减排措施,如先铺管道再打井,避免试井阶段的放空气浪费,以及使用三相分离器,有效控制井口的逸散气,但目前减排效果和减排量还没有更好的总结和经验推广。

3)开展天然气开发过程中全生命周期研究,特别是进口天然气环境效益研究。

天然气行业近年来蓬勃发展,在中国能源供应中的比例迅速增加,针对国内天然气需求量缺口,国家多渠道进口国外天然气资源。针对目前天然气泄漏可能会加重温室效应的舆论争议,有国际机构和学者评估中国天然气和煤炭全生命周期碳排放,但关键技术参数如燃气或燃煤电厂发电效率并不是基于中国本土数据,而采用美国或其他区域数据,并不能完全反映中国的实际情况。特别是液化天然气是近年来迅速增长的产业,随着国际管道天然气、进口 LNG 业务的高速发展,碳排放环节需进一步的识别和计算,但是国内研究此类天然气环境效益空缺,有待进一步开展研究。

4)开展甲烷与 VOCs 协同管控,加快甲烷和 VOCs 协同控制处理关键技术研发。

VOCs 作为 $PM_{2.5}$ 和臭氧生成的共同前驱物,是我国“十四五”发展期间重点控制对象。在天然气开发阶段,甲烷与 VOCs 排放具有同源性,可对甲烷和 VOCs 进行协同监测和管控。2021 年 1 月 1 日颁布的 GB 39728—2020《陆上石油天然气开采工业大气污染物排放标准》,规定了陆上石油天然气开采工业非甲烷总烃的排放控制要求之外,也对放空天然气提出了回收要求。目前中国已承诺 2030 年碳达峰,需加快开展甲烷与 VOCs 协同控制关键技术,促进空气质量改善和碳达峰双目标的达成。

参 考 文 献

[1] National Energy Technology Laboratory. Life cycle greenhouse gas perspective on exporting liquefied natural gas from the united states:2019 update[R]. 2019.

[2] 李鹭光,王红岩,刘合,等.天然气助力未来世界发展——第 27 届世界天然气大会(WGC)综述[J].天然气工业,2018,38(9):1-9.

[3] BP. BP statistical review of world energy2019[R]. London: BP,2019.

[4] BP. BP statistical review of world energy2020[R]. London: BP,2020.

[5] 国家能源局.能源发展“十三五”规划[R].北京:国家能源局,2016.

[6] ROBERT W H,RENEE S,ANTHONY I. Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations[J]. Climatic change,2011,106(4):679-690.

[7] IPCC. IPCC WGI Fifth Assessment Report[R]. 2013.

[8] Shell. Shell energy transition report[R]. 2018.

[9] Total. Integrating climate into our strategy[R]. 2018.

[10] Eni. Gas:a bridge to a low-emissions future[EB/OL]. (2020-03-02)[2020-05-06]. https://www.eni.com/en-IT/operations/gas-advocacy.html.

[11] Saudi Aramco. Strategy flows toward natural gas[EB/OL]. (2020-06-09)[2020-09-20]. https://www.aramco.com/en/magazine/elements/2020/strategy-flows-toward-natural-gas.

[12] EPA. Inventory of U.S Greenhouse Gas Emissions and Sinks:1990-2018[R]. USA,2020.

[13] RAMON A A,DANIEL Z A,DAVID R L,et al. Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain[J]. Science,2018,361(6398):186-188.

[14] 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.

[15] 刘明礼,向启贵,戴忠.管输系统天然气泄漏量计算模式及泄漏检测最佳条件的确定[J].石油与天然气化工,2002,31(1):47-51.

[16] American Petroleum Institute. Compendium of greenhouse gas emissions methodologies for the oil and natural gas industry [R]. 2009.

[17] EPA. 2011-2019 Greenhouse Gas Reporting Program Industrial Profile: Petroleum and Natural Gas Systems

[R]. USA: 2021.
[18] DAVID T A, VINCENT M T, JAMES T, et al. Measurements of methane emissions at natural gas production sites in the United States[J]. Proceedings of the national academy of sciences. 2013, 110(44): 17768-17773.
[19] OGCI. Delivering on a low carbon future[R]. 2020.
[20] BP. BP sets ambition for net zero by 2050, fundamentally changing organisation to deliver[R/OL]. (2020-02-12)[2020-08-05]. https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bernard-looney-announces-new-ambition-for-bp.html.
[21] BP. Methane measurement approach[EB/OL]. (2020-02-13)[2020-06-29]. https://www.bp.com/en/global/corporate/sustainability/climate-change/methane-measurement-approach.html.
[22] Shell. Shells ambition to be a net zero emissions energy business[EB/OL]. (2020-04-16)[2020-08-23]. https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/shells-ambition-to-be-a-net-zero-emissions-energy-business.html#iframe=L3dlYmFwcHMvY2xpbWF0ZV9hbWJpdGlvbi8.
[23] Total. Total adopts new climate ambition get net zero 2050[EB/OL]. (2020-05-05)[2020-07-25]. https://www.total.com/media/news/total-adopts-new-climate-ambition-get-net-zero-2050.
[24] Total. Reduction of methane emissions with OGMP[EB/OL]. (2020-11-23)[2020-11-23]. https://www.total.com/media/news/communiques-presse/reduction-of-methane-emissions-with-OGMP-2.
[25] Eni. Reducing greenhouse gas (GHG) emissions[EB/OL]. (2020-02-07)[2020-04-09]. https://www.eni.com/en-IT/low-carbon/ghg-emission-reduction.html.
[26] Repsol. Climate report 2020, pathway to net-nero[R]. 2020.
[27] 中国石油. 甲烷排放管控行动方案[R]. 2020.
[28] 中国石化. 中国石化2019年可持续发展进展报告[R]. 2019.
[29] DAVID T A. Methane emissions from natural gas production and use: reconciling bottom-up and top-down measurements[J]. Current opinion in chemical engineering, 2014(5): 78-83.

（收稿日期 2020-11-24）
（编辑 王 蕊）

