

美国和中国油气系统甲烷排放状况*

杨 巍^{1,2} 陈国俊² 张铭杰^{1,2} 王作栋² 李 超^{2,3} 李 伟^{2,3} 仲佳爱^{2,3}

(1. 兰州大学地质科学与矿产资源学院; 2. 中国科学院油气资源研究重点实验室; 3. 中国科学院研究生院)

摘 要 文章通过调研、分析美国和中国近年来油气系统中甲烷排放状况,对比分析美国与中国应用的主要甲烷计算方法,表明:美国油气系统中对甲烷排放量的计算方法可采用 1996IPCC 指南中提供的第一层次(Tier1)和第二层次(Tier2)法,计算结果相对比较准确,甲烷的排放呈逐年增加趋势;中国油气系统中甲烷排放量的计算方法目前只限于 1996IPCC 指南中提供的 Tier1 法,中国甲烷排放量相对于美国等发达国家较少,但整体呈增长趋势。

关键词 甲烷排放;计算方法;油气系统;美国;中国

中图分类号: X511

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2012)02-0050-05

0 引 言

甲烷是一种重要的温室气体,它对温室效应的作用仅次于二氧化碳。2010 年 3 月,美国环保署(EPA)指出,甲烷使气候变暖的温室效应是二氧化碳的 21 倍,大气中甲烷的浓度在过去的 100 多年已增大 1 倍多,在过去 20 年中以平均每年 0.9% 的惊人速度增长,远远高于二氧化碳浓度的增长值^[1]。IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)2007 中文报告对全球人为温室气体排放量的统计表明,甲烷排放量占全球温室气体排放量的 14.3%,据美国环保署统计,2005 年油气系统排放的甲烷占全球大气中甲烷的 18%,2010 年,来自油气系统排放的甲烷比重占 19.7%。如此发展下去,到 2020 年油气系统排放的甲烷排放量将达到人为排放甲烷的 35% 左右。大气中甲烷的快速增长趋势引起了 IPCC、各国政府和科学家的高度重视。

俄罗斯、美国、加拿大等国家都是产油气大国,美国和中国均为世界上碳排放量较大国家,其碳排放量

变化引起了世界各国的关注,对碳排放进行精确核算和采取有效的减排措施是亟待解决的科学问题^[2-4]。《1996 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中对温室气体计算提供 3 种层次的计算方法,中国目前普遍限于第一层次计算方法,IPCC 指南赋予排放因子,但易受众多不确定性的影响,因而只能作为一种备选方法,美国可采用第二层次法、加拿大可采用第三层次法,计算结果相对比较准确。文章通过选取对美国油气系统的甲烷排放情况、计算方法的调研和分析,中国可以借鉴其优势之处,并提高我国的甲烷排放计算方法层次。

1 油气系统甲烷排放状况

1.1 美国油气系统甲烷排放状况

近年来美国油气系统的甲烷排放量状况(据 EPA 网站公布)如表 1、表 2 所示。由表 1 可知:美国天然气系统中甲烷排放最多的是生产领域,约占 54%~62%,排放量主要排放源有井口、脱水器、分离

表 1 美国天然气系统甲烷排放量

10³ t

项 目	2000 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
生产领域	5 406	5 021	6 380	5 628	5 854	6 205
处理过程	841	681	689	717	748	834
储运过程	2 224	1 973	1 950	2 025	2 062	2 115
分销过程	1 497	1 395	1 346	1 402	1 423	1 381
总 量	9 968	9 069	10 364	9 771	10 087	10 535

* 中国科学院战略性先导科技专项项目“自然过程碳排放”(编号: XDA05030000)资助

杨巍,就读于兰州大学地质科学与矿产资源学院地球化学专业,硕士,研究方向:油气与有机地球化学。通信地址:甘肃省兰州市东岗西路 382 号兰州大学地质科学与矿产资源学院,730000

表 2 美国石油系统甲烷排放量

10³ t

项目	2000 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
生产领域	1 468	1 366	1 365	1 396	1 409	1444
原油运输	5	5	5	5	5	5
精炼过程	28	28	28	27	25	24
总 量	1 501	1 398	1 398	1 427	1 439	1 473

器、集气管线、气动装置、事故等；其次是储运过程，约占 19%~22%，主要排放源有放空排气口、压缩机密封、密封系统、阀门系统、气动装置、事故、脱水器等；再次是分销和处理过程，约占 20%~23%，主要排放源有压缩机和压缩机密封、脱水器、管道系统、气动装置、处理设备、事故、泄压作业等。石油系统的甲烷排放主要是生产过程，排放量比较稳定，每个年份均占石油系统甲烷排放量的 98%左右，主要排放源有井口、分离器、原油储罐、放空和点火炬、其他处理设备等；其他过程排放量较小，排放量总计 2%左右，主要源于处理设备、油罐车作业等。

美国是石油和天然气生产大国，石油/天然气的产量见表 3，虽然近年来石油和天然气凝析液的产量呈逐年下降趋势，但 2008 年的产量依然占世界总产量的 7.74%，而天然气生产量总体呈增加趋势，占世界总产量的 18.12%，位居世界第二位^[5]。美国环保署网站于 2011 年公布：由于美国石油生产量的下降、外加工业部门采取积极的减排措施，到 2008 年，石油系统甲烷的排放量比 1990 年下降了 12.6%，但天然气的排放量却增长了 17%，尤其是自 2008 年以来由于天然气生产量的增加、生产过程中的甲烷排放和生产井的增多，促使天然气的排放量增长较快。2010 年国际新能源网报道，美国石油和天然气行业的甲烷排放量非常显著，占全国总排放的 25%，占世界油气系统甲烷排放的 12%，截止 2010 年，美国油气系统排

放的甲烷量已达到 37%，成为美国国内最大的人为甲烷排放源。美国能源署预测 1996—2020 年，美国天然气的消耗量将会以每年 1.6%的速度增加，由此美国环保署预测：来自油气系统的甲烷排放量将随着油气生产量和消耗量的增加而提高，但是随着生产运作等设备的不断更新和减排技术的提高，甲烷排放的增长率不会高于油气消耗的增长率，尤其是近年来美国实施的天然气计划极大地推动了甲烷减排活动，各油气企业为履行环保责任，也纷纷致力于温室气体减排工作，采取有效的技术措施，取得了显著效果。

1.2 中国油气系统甲烷排放状况

在中国石油天然气行业中，甲烷排放 39%来自于原油生产，30%来自于天然气生产，16%来自于天然气输送^[5-6]。在石油系统，生产过程主要的甲烷排放源是伴生气排放（套管气）、放空或点火炬、完井、试井、增产作业（如压裂）、管道泄漏、原油储罐设施以及设备维修等；在储运过程，其甲烷排放源主要包括设备的长期性泄漏、压缩机的逃逸性排放、放气孔以及气动设备等。在天然气系统，主要的甲烷排放源之一是逃逸性设备泄漏，如法兰、接头和密封；处理过程中的主要排放源有压缩机逃逸性排放、压缩机废气、排气口、气动装置以及泄压作业等^[7]。

美国环保署采用《1996 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第一层次法估算出：1990 年中国油气系统的甲烷排放量为 4.32×10⁴ t，2000 年的排放量为 7.2×

表 3 石油/天然气的产量

	类 别	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
美国	石油/10 ³ t	283 395	338 430	325 916	322 550	317 810	317 450	312 910
	天然气/10 ⁸ m ³	4 423.4	4 478.7	4 358.3	4 214.4	4 309.3	4 497.8	4 726.2
加拿大	石油/10 ³ t	91 110	140 426	145 419	147 450	155 300	161 950	160 420
	天然气/10 ⁸ m ³	1 533	1 511.2	1 507.9	1 540.3	1 548.6	1 513.6	1 437.7
中国	石油/10 ³ t	167 219	169 655	175 940	181 430	184 850	186 420	195 170
	天然气/10 ⁸ m ³	337.8	292.9	352.9	426.2	489.9	579.3	671.8
世界	石油/10 ³ t	3 591 475	3 707 983	3 951 180	4 000 950	4 011 420	3 998 630	4 041 340
	天然气/10 ⁸ m ³	21 701.2	22 460.7	23 053.2	23 662.4	24 374.4	25 077.2	26 081.7

10^4 t, 2010 年的排放量为 23.52×10^4 t, 甲烷排放量的增长源于中国对油气资源的增长需求。据《中国能源年鉴 2010》中数据统计, 2002—2008 年石油和天然气的产量均呈大幅度增加, 2008 年石油生产量占世界的 4.83%, 天然气生产量占 2.58%, 中国对油气需求的不断加大, 将继续增加油气生产井和各种生产、处理、储运等基础设施的建设, 导致甲烷排放量扩大的趋势。

根据 2006 年 IPCC 指南计算方法, 刘均荣等^[7]估算的天然气系统甲烷排放量约为 37.1 万 t (5.46 亿 m^3)、石油系统的甲烷排放量约为 25.5 万 t (3.75 亿 m^3)、中国油气系统甲烷总排放量为 62.6 万 t (9.21 亿 m^3)。1995 年第四届国际石油会议报道: 在美国, 从原油开采、炼制加工到成品油运输和销售, 损耗量约占原油的 3%。2007 年, 我国的原油总量已达 3.46 亿 t (包括国产原油和进口的 1.59 亿 t 原油), 原油年加工量约为 3 亿 t, 并且随着经济的快速发展还将继续增长^[5]。2008 年底, 我国原油消费量 3.86 亿 t、天然气 807 亿 t。随着整个石油行业的技术、设备和管理水平不断提高, 油品的损耗量在不断减少, 如果仅按美国的 3% 损失量估算, 年总损耗量达 1 100 万 t 左右。同比美国等其他发达国家, 我国的油气系统中甲烷排放量很小, 但是排放于大气中的甲烷气体量对温室效应的贡献不容忽视。

近年来, 我国油气系统排放于大气中的甲烷量是采用 IPCC 指南计算方法第一层次法计算得出, 存在很大的不确定性。中国油气系统中甲烷排放量见图 1。

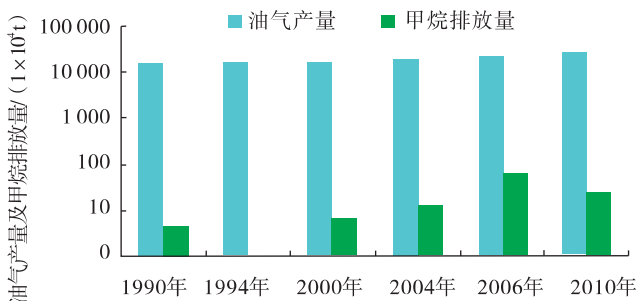


图 1 中国油气系统中甲烷排放量

如图 1 所示, 近几年中国的油气产量呈逐年增加的趋势, 甲烷的排放量也应呈逐渐增长趋势, 但 2006 年的甲烷排放量却显著高于其他年份, 由美国环保署采用第一层次法估算出的 2010 年的甲烷排放量明显低于 2006 年的排放量, 与其预测的来自油气系统的甲烷排放量将随着油气生产量和消耗量的增加而提高这一结论相矛盾。是否高估了 2006 年的排放量,

或是低估了 2010 等年份的排放量, 还是加大减排措施取得了巨大成效等问题值得深入研究。由 IPCC 数据库提供的排放因子等数据是否能完全适应我国目前油气系统的发展情况, 这也使得我国有必要进行详细的调查研究, 优选计算方法, 降低不确定性, 以便获得更为准确的数据。

2 油气系统甲烷排放的计算方法

《1996 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中对温室气体的计算提供了 3 种层次的计算方法, 中国目前普遍限于第一层次计算方法, 计算结果不确定性较大, 美国可应用第一层次和第二层次计算方法^[8], 美国制定的《设备泄漏排放估算法则》、《石油天然气工业温室气体排放估算概要》等, 也为油气系统各部门甲烷的泄漏提供了比较详细的计算方法, 减小了计算结果的不确定性因子, 另外, 美国石油学会还开发了一种估算温室气体排放的软件系统—SANGATM能源和排放估算系统^[9], 该系统可以使企业提供出一个与《温室气体排放报告的石油工业指南》一致的清单。

2.1 美国应用的主要甲烷计算方法^[10]

2.1.1 排放因子法

$$E = AD \times EF \quad (1)$$

式中:

E —甲烷排放量, 10^6 t/a;

AD —活动因子, 活动单位;

EF —排放因子, 10^6 t/单位活动。

2.1.2 质量守恒法 (此法只适合于石油系统)

2.1.2.1 石油生产

$$E_{Oil-P} = Q_{Oil-P} \times GOP \times Y_{CH_4} \times K_{Oil-P} \times D_{GOR} \times 10^{-12} \quad (2)$$

式中:

E_{Oil-P} —石油生产中甲烷排放量, 10^6 t/a;

Q_{Oil-P} —石油生产量, m^3/a ;

GOP —石油中天然气含量;

Y_{CH_4} —石油天然气中甲烷含量;

K_{Oil-P} —石油生产中的排放因子;

D_{GOR} —一定温压条件下甲烷的密度, g/m^3 。

2.1.2.2 原油运输和提炼

$$E_{Oil-T} = Q_{Oil-T} \times F \times Y_{F-CH_4} \times K_{Oil-T} \times D_F \times 10^{-12} \quad (3)$$

式中:

E_{Oil-T} —原油运输和提炼中甲烷排放量, 10^6 t/a;

Q_{Oil-T} —原油运输和提炼量, m^3/a ;

F —原油中天然气含量;

Y_{F-CH_4} —石油天然气中甲烷含量;

K_{Oil-T} —原油运输和提炼中的排放因子;

D_F —一定温压条件下甲烷的密度, g/m^3 。

2.1.2.3 开发和钻井

$$E_D = N_{wells} \times F_D \quad (4)$$

式中:

E_D —钻井和试井过程甲烷排放量, 10^6 t;

N_{wells} —钻探和测试井的数量, wells;

F_D —每口井中甲烷的平均排放量, 10^6 t/well。

2.2 中国应用的主要甲烷计算方法

中国目前普遍应用 IPCC 第一层次方法,其计算公式如下^[8]:

$$E = AD \times EF \quad (5)$$

活动因子(AD):活动数据可从国家发布的石油和天然气统计数据直接获取信息,或根据此信息、企业调查等简便估算出来。活动水平要与排放因子在排放类别上保持一致性;

排放因子(EF):我国目前采用的排放系数源自 IPCC 指南中为发展中国家提供的排放因子数据库,其可靠性取决于国家的石油和天然气工业规模,规模越大,其溢散排放贡献就越大,所列排放因子就越可靠^[8]。

中国应用的计算方法基于 IPCC 指南中提供的第一层次法,采用指南中为发展中国家提供的排放因子和与其保持一致性的活动因子。但目前不能确定这些数据是否完全符合我国目前油气系统的发展情况,这使得计算结果存在一定的不确定性。美国应用的第二层次法包括采用第一层次法中的公式以及特定国家的排放因子,特定国家值可以根据研究和测量程序制定,或得自一开始应用第三层次法,接着采用第一层次法的公式再来计算第二层次法的排放因子^[10]。我国目前要获得这种特定的排放因子还有很多工作要做,目前正在实施的中国科学院战略性先导科技专项《碳收支专项》旨在解决这一问题。因此,在应用第一层次法计算甲烷排放量时要仔细研究由清单中提供的排放因子对我国的适用度。另外可以通过现场实际测量、采样分析、实验模拟等方法计算出我国主要油气田油气勘探开发过程中甲烷的排放量、回收量和碳排放系数,建立我国主要油气田油气勘探开发过程中甲烷的排放理论计算模型、实际检测技术方法及数据库,力求获得第二层次法中所需的特定排放因子,并向更高层次计算方法发展,以期获得更为

准确的计算结果,得出油气系统中各个排放环节和设备的甲烷排放量,从而更加有目的地采取减排措施。全球气候变化中心预测:到 2050 年,减少 50% 的甲烷气体,对抑制全球气温升高的贡献将等同于减少 50% 的二氧化碳气体,甲烷减排对抑制全球气候变暖的贡献很大,减少甲烷气体排放量需要每个国家都给予高度重视。

3 结束语

美国是石油、天然气产量较高的国家,甲烷排放量在全球占有较大比重,通过对近年来中国和美国油气工业中各个环节甲烷排放状况的分析可知,在油气系统的生产过程中甲烷的排放量最大,其次是储运、分销、处理及相关设备运作的排放。对甲烷排放量统计的计算方法可采用 IPCC 指南中提供的第一、二层次法,并制定了《设备泄漏排放估算法则》、《石油天然气工业温室气体排放估算概要》等,为油气系统各部门甲烷的排放、泄漏等提供了比较详细的计算方法,应对气候变化问题上它为石油工业提供了战略价值。但目前在我国,从生产到分销过程,尤其是油气勘探开发中的逃逸排放量较小,虽然已经引起了足够的重视,但对油气勘探开发过程中温室气体排放源的分类、估算方法、计算数据的不确定性和持续性等科学问题,尤其是针对含油气盆地和油气田的甲烷排放总量及其对大气碳收支的贡献还缺少系统的研究。综上所述,对我国目前的油气系统中甲烷排放情况,有以下两方面必须给予足够重视:

◆ 提高甲烷计算方法的层次

建立我国主要油气田油气勘探开发过程中甲烷的排放理论计算模型、实际检测技术方法、油气活动基础数据及排放数据库,获得我国油气系统中比较精确的排放因子,向更高层次的计算方法发展。只有通过精确的计算,才能确定各个过程、设备设施等的甲烷逃逸程度,从而更有目的地进行减排,提高减排效率。

◆ 提高甲烷减排意识

宏观方面:中国油气系统应效仿美国能源署天然气 STAR 计划组,针对甲烷减排建立自愿的合作及公私合作关系,加强多部门间的交流与合作,加大甲烷减排宣传力度。

微观方面:由于油气企业工作人员对油气开发过程中逃逸排放所引起的环境污染和对全球气候变化影响的意识不足,油气企业通常会忽略油气系统中甲烷的排放量,缺少对甲烷排放的检测;缺少对油气勘

探开发过程中甲烷排放源的分类、估算方法、甲烷排放总量、计算数据的不确定性等科学问题的研究,因此,提高甲烷减排意识亦是减少甲烷气体排放量的一个重要方面。

参考文献

- [1] 张仁健,王明星,李晶,等.中国甲烷排放现状[J].气候与环境研究,1999,4(2):194-201.
- [2] Siddigi TA, Luo Tian xiang. CO₂ emission caused by fossil fuel combustion in Asia[J]. AM BIO, 1996, 25(4):228-231.
- [3] Streets D G, Kejun Jiang, Xiulian Hu, et al. Recent reductions in China greenhouse gas emissions [J]. Science, 2001, 30:1835-1837.
- [4] Jonathan E Sinton. What goes up: Recent trends in China's energy consumption [J]. Energy Policy, 2000, 28(10):671-687.
- [5] 中华人民共和国国家统计局.中国能源统计年鉴 2010

[M]. 中国统计出版社, 2010.

- [6] 王嘉麟. 油气生产典型温室气体利用对策[EB/OL]. http://www.legaldaily.com.cn/misc/2009-11/30/content_1188540.htm
- [7] 刘均荣,姚军.中国油气系统甲烷减排潜力研究[J]. Prepared for U.S. EPA. 2008.4.
- [8] Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. Lim, K. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [J]. IPCC/OECD, 1996, 3.
- [9] Susann Nordrum, Christopher P. Loreti, 等.发展一种估算石油工业温室气体排放的一致的方法[J]. 产业与环境, 2005, 27(2-3):72-75.
- [10] J.E. Penner, D. H. Lister, D. J. Griggs, et al. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [J]. 2006 IPCC, 2.

(收稿日期 2011-12-01)

(编辑 李娟)

(上接第 49 页)

间,分别在 2009 年 10 月、2010 年 6 月、2011 年 7 月等时间段对净化厂、集气站外围生态监测点的植物、土壤、大气等进行了采样监测。

选取部分监测点数据进行分析:分别选取净化厂主导风正下风方向和 270°方向、距离 5.0 km 的监测点、以及 D403 下风方向监测点的植物样品监测分析,结果统计见表 1。

统计分析结果表明:①该气田周边高含硫植物有黄荆、竹子、核桃、辣椒、枫杨、棕榈等,该类植物叶片含硫高,说明其吸收硫能力强,是主要的防硫抗硫植物,可以考虑在预测或实测的高含硫区域积极引种;②通过对主要高含硫植物投产前后各点硫含量监测数据取平均值,进行对比分析,可以看出黄荆、竹子、核桃、枫杨在投产后的硫含量均高于投产前,辣椒等植物的硫含量低于投产前,投产前后气田周边 5.0~8.0 km 范围内植物硫含量变化不明显;③从现场踏勘调查和采样的情况看,净化厂投产后植物采样过程中,各监测点没有发现植物有受硫腐蚀伤害的迹象,表明该气田投产至今没有发生大面积生态污染。

4 结束语

通过在西南某气田建立生态监测体系并开展监测工作,实践表明:该体系具有科学性、完整性、有效性,体系运行效果良好,可以建立长期生态监测点,用于观测气田工区周边生态环境变化情况。

参考文献

- [1] 任宪友.生态恢复研究进展与展望[J].世界科技研究与发展,2005,27(5):79-83.
- [2] 朱丽.关于生态恢复与生态修复的几点思考[J].阴山学刊(自然科学版),2007,21(1):71-73.
- [3] 任海,彭少麟.恢复生态学导论[M].北京:科学出版社,2001.
- [4] 杨玉珍.植物受氟化物污染后糖代谢及叶汁 pH 值的变化研究[J].河南农业大学学报,1995,29(1):95-97.
- [5] 章家恩.生态学常用实验研究方法与技术[M].北京:化学工业出版社,2007.

(收稿日期 2011-08-09)

(编辑 袁立凡)