



基于气候和环境风险的 天然气开发利用环境监管体系研究

中国能源模型论坛主题研究 1 (CEMF01)
2017 年 9 月

CEMF01 之行业模型分析

基于气候和环境风险的

天然气开发利用环境监管体系研究

环境保护部环境与经济政策研究中心团队
冯相昭（环境保护部环境与经济政策研究中心副研究员）

中国能源模型论坛 (CEMF)
清华大学

【编者按】随着《巴黎协定》的达成，全球应对气候变化的框架初步形成。我国正处于新的五年规划阶段，面临着来自经济增长、能源资源约束以及环境治理方面的重重考验。如何在经济发展、能源消费与环境保护之间更好地决策，如何为决策提供坚实的科学支持和指导，都是当前面临的问题。中国能源模型论坛旨在运用并比较多种不同的能源经济模型，分析适合中国国情的能源及环境目标，探讨目标实现过程中的成本、相关效益及风险问题，明确影响目标实现的主要因素。

中国能源模型论坛主题研究一（CEMF01）于 2015 年底启动，研究主题为“巴黎协议，十三五规划目标和碳排放峰值-多模型比较研究”。CEMF01 基于自上而下的 CGE 模型和自下而上的模型，包括覆盖全经济、全行业范围的，和侧重于单行业的模型。为实现研究目标，CEMF 委托国内知名模型团队开展了相应研究，包括：

- 国家信息中心团队的 SIC-CGE 模型（全行业分析）
- 中国科学院科技战略咨询研究院团队的 CAS-PIC-Macro 模型(全行业分析)
- 清华大学能源环境经济研究所团队 CHINA-MAPLE 模型（全行业分析）
- 国家信息中心团队的 SIC-IIS 模型（钢铁行业）
- 环境保护部环境与经济政策研究中心团队的 PRCEE-TIMES-Cement 模型（水泥行业）
- 环境保护部环境与经济政策研究中心团队的 PRCEE-LEAP-Transportation 模型(交通行业)
- 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心 NCSC-ELECTRC-TIMES 模型（电力行业）

在此基础上，CEMF 团队完成了《中国碳排放峰值的多模型比较研究（CEMF01）》，主要采用多模型比较的研究方法，在多种情景下对同类模型的排放峰值进行比较，通过建立比较平台，对不同类型模型的结果进行比较，探讨模型之间的关联性、模型情景设定的合理性，分析同类模型结果差异的主要原因，对模型参数设定的科学合理性讨论，提高各个模型的公信力。同时，通过比较和调整校准得各自模型，形成新的、更具研究透明性和可信度的中国碳排放峰值的综合研究成果，供决策部门参考。

本报告的研究工作是在 CEMF 学术委员会的指导下完成的，研究过程中，得到了来自清华大学、国家发展和改革委员会能源研究所、国家应对气候变化战略中心、国家信息中心、环保部环境与经济政策研究中心、国务院发展研究中心、复旦大学、中国矿业大学、冶金工业规划研究院、中国石油和化学工业联合会、交通部科学研究院、中国电力企业联合会、国网能源

研究院、中国环境科学研究院、中国农业科学研究院等多家单位的专家学者的大力支持，同时也离不开 CEMF 秘书处的协调工作。

CEMF 研究报告将陆续刊发 CEMF01 研究成果及各分报告的摘要版本，供读者参考。如您对本研究有咨询和建议，请联系北京市清华大学公共管理 615 室，中国能源模型论坛(100084)，或发送邮件至 cemf@tsinghua.edu.cn。我们的官方网站是 www.cemf.net.cn。

目 录

背景	1
情景假设	3
分析结果	4
政策建议	5
表 1 页岩气开发过程中各阶段甲烷排放率的估计	2
表 2 2014 年中国天然气系统甲烷排放清单（2006 年 IPCC 指南方法 1） ...	2
表 3 三种情景下我国未来天然气生产与消费的预测（单位：亿立方米） ...	3

背景

在能源紧缺、环境污染和气候变暖问题的全球背景下，天然气凭借使用安全、热值高、清洁等优势，正日益获得各国能源部门的青睐。就中国而言，天然气市场有着巨大的发展空间。我国能源结构长期以煤炭为主，天然气消费占比远低于世界平均水平。在国家继续深化改革的政策指引下，加快发展天然气等清洁能源，将成为推动我国能源转型和绿色低碳发展的重要方向。

不过，天然气，包括页岩气等非常规天然气开发利用存在水污染、大气污染、甲烷散逸等潜在的环境风险，而国内针对包括甲烷泄漏在内的气候风险和环境影响研究相对不足。基于此，为践行“十三五”规划纲要提出的绿色发展理念、推动我国能源结构调整、促进环境质量改善以及应对气候变化，本报告将对天然气开发利用过程中的气候环境风险开展相关研究。

本研究在讨论我国天然气行业的开发现状及其环境影响的基础上，重点聚焦在天然气开发利用的甲烷散逸排放。在美国，2009年甲烷排放约占其温室气体总排放量的10.3%，而油气行业产生的甲烷排放约占美国甲烷总排放的73%，其中天然气行业是最大的甲烷排放源，页岩气产量约占天然气总产量的20%以上。在中国，2010年甲烷排放约占其温室气体总排放量的15.4%，其中

煤炭开采（煤层气）和油气开采等能源活动作为甲烷排放源，占全国甲烷总排放的49.9%。而在中国的油气行业中，甲烷排放39%来自与原油生产，30%来自于天然气生产，16%来自于天然气输送。可见，天然气生产和输送环节占据了我国油气行业甲烷排放的近乎一半。

与常规天然气相比，由于水力压裂和水平钻井等关键技术的应用，页岩气开采过程面临更大的甲烷散逸排放风险。美国政府和工业行业的数据显示，页岩气开采中泄漏的甲烷排放比常规天然气开采至少增加三分之一，甚至可能高两倍。页岩气的整个开发利用过程中，甲烷排放主要有以下途径：钻井和完井过程中的排放、井场生产过程中的排放、气体在加工、存储（例如存成LNG形式）、运输、分配和终端燃烧过程中的排放。其中，在钻井和完井的过程中，甲烷的排放有两种情况：一是因为完井工艺和质量问题造成页岩沿各类井筒、原有废弃井大量释放，尤其是在完井返排过程中，返排液中携带的大量甲烷气体远远超过了返排液中能溶解的数目，因而带来了很大程度的甲烷泄漏；二是甲烷通过未被发现的断裂或封闭不良的“盖层”发生泄漏。井场生产过程中甲烷的排放主要来源于井场的常规排气和设备泄漏。运输过程中甲烷的排放主要是通

过管道的泄漏产生的。另外，在终端燃烧的过程中，由于天然气的燃烧效率并不是100%，因而也存在着小部分的甲烷排放。

然气的190倍；而在其他阶段，两者几乎没有差别，页岩气开发利用过程中的甲烷排放情况总结如下：

页岩气的开发与常规天然气相比，在完井过程中的甲烷排放率最大，几乎是常规天

表 1 页岩气开发过程中各阶段甲烷排放率的估计

各阶段	甲烷排放率(%)
生产过程	2.27
加工过程	0.2
运输、存储过程	0.46
分配过程	0.33
总排放	3.26

对于天然气系统中甲烷排放量的计算，我国目前普遍采用 IPCC 温室气体清单指南中的方法 1，本研究按照这种方法对中国 2014 年天然气系统的甲烷排放量进行估算。

表 2 2014 年中国天然气系统甲烷排放清单 (2006 年 IPCC 指南方法 1)

排放源	排放因子 ^a	单位	活动因子	单位	甲烷排放量 (Gg/yr) ^b
钻井 (点火炬和放空)	1.36E-04	Gg/well drilled	21,028 ^c	wells drilled/yr	2.86
试井 (点火炬和放空)	2.08E-04	Gg/well drilled	21,028 ^c	wells drilled/yr	4.37
修井 (点火炬和放空)	4.45E-04	Gg/yr/producing well	210,278 ^d	producing wells	93.57
天然气生产 (逃逸)	3.02E-03	Gg/MM m ³ gas Production	134,500 ^e	MM m ³ gas prod' n/yr	406.19
天然气生产 (点火炬)	8.80E-07	Gg/MM m ³ gas prod' n	134,500 ^e	MM m ³ gas prod' n/yr	0.12
天然气处理 (逃逸)	2.50E-04	Gg/MM m ³ gas prod' n	134,500 ^e	MM m ³ gas prod' n/yr	33.63
天然气处理 (点火炬)	2.40E-06	Gg/MM m ³ gas prod' n	134,500 ^e	MM m ³ gas prod' n/yr	0.32

排放源	排放因子 ^a	单位	活动因子	单位	甲烷排放量 (Gg/yr) ^b
天然气运输（点火炬）	1.80E-04	Gg/MM m ³ marketable gas	185,500 ^e	MM m ³ gas consump' n/yr	33.39
天然气储存	4.15E-05	Gg/MM m ³ marketable gas	185,500 ^e	MM m ³ gas consump' n/yr	7.70
天然气分销	1.80E-03	Gg/MM m ³ utility sales	185,500 ^e	MM m ³ gas consump' n/yr	333.9
NGL 运输（凝析液）	1.10E-04	Gg/1000 m ³ condensate	344 ^f	1000 m ³ NGL prod' n/yr	0.04
总的甲烷排放量				995.3	

注：a 甲烷的排放因子是根据 2006 年 IPCC 指南中的发展中国家和经济转型中的国家天然气运营的逸散排放的方法 1 排放因子取对数平均值得到。

根据以上测算，2014 年我国天然气系统甲烷排放量为 995.3Gg 或 14.63 亿立方米，相比于 2006 年的排放水平有了大幅增长。必须强调的是，上述测算结果具有很大的不确定性，并未能准确反映中国天然气行业的实际排放量，主要原因包括未考虑近年来的技术进步对于减排的贡献，IPCC 指南的第一层次方法未必完全适用于中国等等。我国有必要进行详细的调查研究，优化计算方法，

降低排放因子的不确定性，采取现场实测、采样分析、建立模型结合的方法，以期获得关于天然气开采各环节和设备甲烷排放更为准确的数据。总体来说，天然气系统开发过程中的甲烷排放量相当大，甲烷减排工作需要我国给予高度重视。

情景假设

本研究依据不同研究机构对于未来我国天然气产量和消费量的不同预测结果构建高、中、基准三种情景，对于每种情景一致采用 2006 年 IPCC 指南中的发展中国家和

经济转型中的国家天然气运营的逸散排放的方法 1 进行甲烷排放量的测算，量化分析天然气生产与消费对未来我国温室气体减排造成的影响。

表 3 三种情景下我国未来天然气生产与消费的预测（单位：亿立方米）

	BAU 情景	中度消费情景	高度消费情景
情景描述	OECD/IEA 现有政策	OECD/IEA 新政策	中国能源研究会预测
2020 年产量	1812.60	1819.82	1885
2020 年消费	2788.61	2799.72	2900
2020 年对外依存度	35%	35%	35%
2030 年产量	2446.42	2499.75	2880
2030 年消费	4077.37	4166.25	4800
2030 年对外依存度	40%	40%	40%

第一种情景是继续执行现有政策措施的基准情景（BAU）。根据世界经合组织和国际能源署（OECD/IEA）2015 年的《世界能源展望》对中国一次能源消费总量中天然气需求的预测量，保持现有政策措施不变，结合各环节的排放因子测算甲烷排放总量。

第二种情景是采取新政策措施的中度消费情景。依据 OECD/IEA 2015 年报告中

采取新政策措施后的天然气需求量数据，运用 IPCC 指南方法 1 结合各环节排放因子测算甲烷泄漏排放总量。

第三种情景是基于中国能源研究会 2016 年最新预测数据的高度消费情景，其中 2020 年和 2030 年天然气的需求量都达到较高水平，年均需求增速保持在 5% 以上。

分析结果

基准情景下，2020 年天然气产量达到 1812.6 亿立方米，消费量达到 2788.61 亿立方米，在 2014 年水平上（生产 1345 亿立方米、消费 1855 亿立方米）分别增加 34.77% 和 50.33%，2020 年整个天然气系统排放甲烷 20.76 亿立方米（表 6），排放量在 2014 年（14.63 亿立方米）基础上增加 41.9%；2030

年天然气产量为 2446.42 亿立方米，消费量为 4077.37 亿立方米，比 2014 年分别增加 81.89% 和 119.8%，2030 年天然气系统排放甲烷 29.14 亿立方米，比 2014 年增加 99.2%。

在中度消费情景下，2020 年天然气生产 1819.82 亿立方米，消费量达到 2799.72 亿立

方米，在 2014 年的水平上分别增加 35.3%和 50.93%，2020 年整个天然气系统排放甲烷 20.84 亿立方米，排放量在 2014 年水平上增加 42.45%；2030 年天然气产量为 2499.75 亿立方米，消费量为 4166.25 亿立方米，比 2014 年分别增加 85.86%和 124.6%，2030 年天然气系统排放甲烷 29.78 亿立方米，比 2014 年增加 103.55%。

在高度消费情景下，2020 年天然气产量达到 1885 亿立方米，消费量达到 2900 亿立

政策建议

综上所述，结合下表不难发现，无论在哪种情景之下 2020 年我国天然气系统甲烷泄漏排放量都在 2014 年的基础上增加了 45%左右，而到 2030 年甲烷的排放量已经翻了一番多。天然气开发过程中的甲烷排放问题给未来我国温室气体减排工作提出了严峻的考验，如何减轻其带来的气候与环境风险将成为相关行政执法和监督管理部门下一步的重点工作，基于此，本研究提出如下相关政策建议：

一是应**加强国内基础研究工作**，逐步发展适合我国地质特征的天然气勘探开发理论和技术，在开发区块钻井之前收集空气介质的基线数据，甄别和评估甲烷散逸排放的气候风险，确定估算天然气开发的全生命周期温室气体排放因子和核算方法，**建立我国**

方米，在 2014 年的水平上分别增加 40.15%和 56.33%，2020 年整个天然气系统排放甲烷 21.59 亿立方米，在 2014 年的排放水平上增加 47.57%；2030 年天然气产量为 2880 亿立方米，消费量为 4800 亿立方米，比 2014 年分别增加 114.13%和 158.76%，2030 年天然气系统排放甲烷 34.31 亿立方米，比 2014 年增加 134.52%。

天然气勘探开发过程中甲烷的排放理论计算模型。

二是**加强多部门间交流与合作**。借鉴美国天然气之星计划的成功经验，环保部门联合科技部、油气开采企业等利益相关方开展科学研究，加强多部门间交流与合作，提出天然气开发甲烷减排最佳适用技术目录，加快甲烷减排新技术研发，推广新技术在优选作业区块的试点示范应用，探索减少甲烷散逸排放的综合技术方案，同时加大甲烷减排宣传力度。

三是**加强相关法律法规的建设**。制定《天然气(页岩气)开发甲烷散逸排放标准》，规范天然气(页岩气)作业现场的甲烷泄漏排放风险，严格落实新大气污染防治法相关要求。

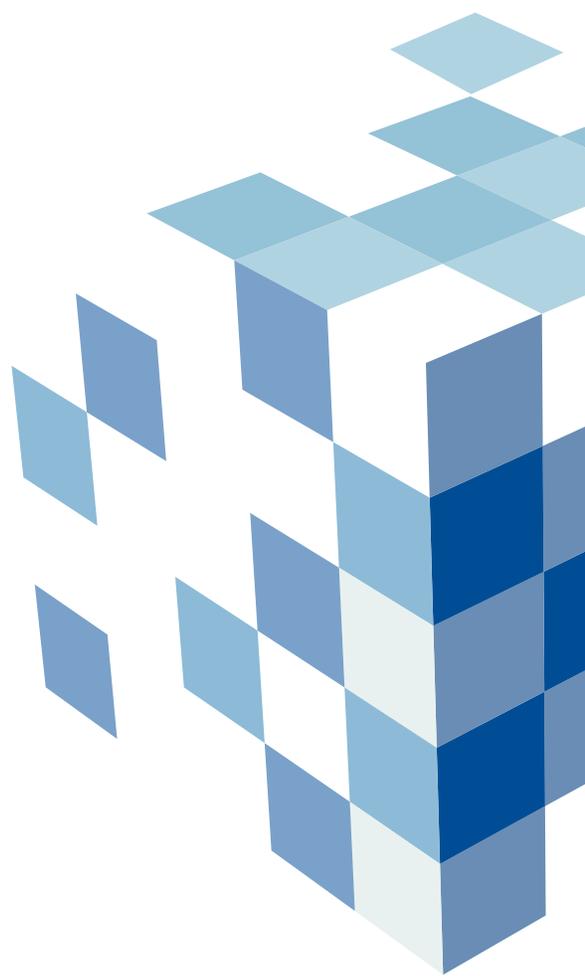
四是从环境准入和过程管理等方面**构建环境/气候风险协同监管体系**，为天然气产业绿色低碳发展提供制度保障。建立严格的天然气开发审批制度，包括天然气开发企业准入审批和甲烷逸散排放事先审批，设定较高的企业准入门槛；及时修订和完善环境影响评价相关技术导则，在进行大规模开发前进行有效全面的评估，避免走先开发、先污染、后治理的路子；结合招标区块和示范地区的客观实际，有效利用常规环境监测、环境信息披露、排放数据统计核算报告制度、环境督查强化等环境管理手段，强化对天然气勘探开发过程中的甲烷泄漏和温室气体排放进行监管。

五是**制定行之有效的预警方案**。天然气勘探和开发过程中面临中很多不确定风险，应综合考虑各种突发事件的可能性和各方面风险，制定切合实际、操作性强的预警方案，确保做到突发事件的早发现、早报告、早处理，最大程度地降低或减少突发事件的危害。

六是**加强国际合作与交流**。积极开展联合科学研究，发展适用于中国天然气行业的全生命周期温室气体排放核算方法和排放因子，推动国外环境友好的天然气开采技术和甲烷减排技术的国际转让，加快先进减排技术的国产化进程，促进中国天然气产业的低碳发展。

中国能源模型论坛（CEMF）由清华大学公共管理学院、清华大学产业发展与环境治理研究中心（CIDEG）与美国环保协会（EDF）共同发起成立，旨在为国内外能源、经济、环境和人类健康模型团队提供对话互动和观点交流的平台，为决策者和其他群体理解各类模型创造机会，共同推动中国能源与环境模型的能力建设，提升中国能源、环境与经济领域的科学决策水平。

The China Energy Modeling Forum (CEMF), initiated jointly by the School of Public Policy and Management at Tsinghua University, the Center for Industrial Development and Environmental Governance (CIDEG) at Tsinghua University and Environmental Defense Fund (EDF), is a platform for domestic and international modeling professionals working in energy, economic development, environment, human health and climate change fields to exchange and refine modeling ideas—and for non-technical policymakers and investors to improve their understanding of the strengths and weaknesses of different models in different applications. It aims to enhance capacity building of Chinese modeling teams, increase credibility of models and strengthen scientific policy development and decision making in the fields of environment, energy and economy with the support of modeling.



中立 Neutrality

协同 Synergy

独立 Independence

透明 Transparency



CHINA
ENERGY MODELING
FORUM

地址(Address): 清华大学公共管理学院615室
Room 615, School of Public Policy and Management, Tsinghua
University, Beijing, P.R. China, 100084
电话(Tel): 86-10-62789263 传真(Fax): 86-10-62772497
邮箱(E-mail): cemf@tsinghua.edu.cn
网站(Website): <http://www.cemf.net.cn>