



# 能源行业甲烷排放 清单编制研究

董文娟 李政 孙铄 张丹玮 唐若瑶



清华大学气候变化  
与可持续发展研究院  
INSTITUTE OF CLIMATE CHANGE  
AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
TSINGHUA UNIVERSITY



## 致谢

---

“中国甲烷减排合作平台”是由清华大学气候变化与可持续发展研究院发起的研究合作平台，在成立和发展的过程中得到了生态环境部和各方的大力支持，在此表示诚挚的感谢。美国环保协会慷慨地资助了该平台下的研究项目和活动，并且依托其在甲烷减排领域的深厚基础，对项目研究提供了大量的支持，我们在此深表谢意。此外，平台下组织的一系列研讨会得到了来自能源企业的专家们的大力支持，感谢他们分享中国企业在甲烷逃逸排放检测和减排方面的实践和经验。

感谢国家发展与改革委员会能源研究所的朱松丽研究员、清华大学核能与新能源研究院的佟庆研究员及其他科学家们跟我们分享了在国家温室气体清单编制领域的研究和洞见。我们非常荣幸地邀请到清华大学核能与新能源研究院滕飞教授、能源研究所的朱松丽研究员、国家应对气候变化战略研究与国际合作中心的研究员李湘担任本报告的评审专家，感谢他们提出了大量宝贵的建议。感谢清华大学的陈悦、蔡扬扬、张佳萱为本项目提供的研究支持。感谢清华大学气候变化与可持续发展研究院的佟洁琼精心校对和编辑报告文字。感谢王彬彬博士作为项目协调人的付出和努力，感谢同事李智辉为项目的顺利开展提供了有力支持。此外，本项目的研究和发布得到了众多同事和同行们的帮助，在此一并致谢。



## 执行摘要

---

甲烷（CH<sub>4</sub>）是仅次于二氧化碳（CO<sub>2</sub>）的第二大温室气体，其在 20 年内的增温效应相当于二氧化碳的 84-87 倍，在 100 年内的增温效应为二氧化碳的 28-36 倍。在中国，甲烷也是第二大温室气体，2014 年甲烷占当年温室气体排放总量的 10.4%；其中能源活动是重要的人为甲烷排放源，占全部甲烷排放量的 45%。准确的排放清单数据是制定甲烷减排目标及相应政策措施的基础，本报告聚焦于中国能源行业甲烷排放清单研究，通过比较中国和国际相应的清单编制、报送和量化体系，希望能够促进甲烷清单编制的完整性和精确度的提高，推动能源领域甲烷减排。

中国对于温室气体清单的研究和实践起步较晚，从 2000 年左右才开始起步。从国家温室气体清单编制机制来看，目前清单仍然停留在项目制的组织方式。从编制方法来看，温室气体清单编制仍主要参考《IPCC 国家温室气体清单（1996 年修订版）》，尚未开始全面使用《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》。从数据来源看，活动水平数据基本上来源于

最新的国家统计局、行业数据、企业数据及其他相关统计资料，排放因子包括行业调研和相关国际指南缺省值。尽管在历次国家清单编制过程中，数据统计方法和口径、清单数据缺口和方法一致性在不断地改进，但是与附件 I 国家还是有较大的差距。此外，中国已经初步构建了国家、地方、企业三级温室气体排放的基础统计和核算体系，但是目前三级温室气体排放清单的结果并没有连接起来，在实际的应用中还不能很好地相互支持。

中国是全球第一大煤炭生产国，2018 年煤炭生产量占全球比重高达 46%。石油和天然气严重依赖进口，2018 年石油和天然气的对外依存度分别达到 70% 和 45%。能源活动甲烷逃逸排放主要来自于煤炭行业和油气系统，其中煤炭行业排放占甲烷总排放的 38%，油气系统的排放占比 2%。从排放趋势来看，煤炭行业甲烷逃逸排放在 2012 年后已经呈现明显的下降趋势，而油气系统的甲烷逃逸排放仍然在上升。从 CH<sub>4</sub> 排放的计算来看，采用活动水平和排放因子的层级低于 CO<sub>2</sub> 排放计算。CH<sub>4</sub>

排放各领域普遍采用了第一层级和第二层级的方法，关键排放源采用了国别排放因子，其他排放源排放以 IPCC 缺省排放因子为主。

煤炭开采甲烷逃逸是能源行业关键排放源。中国 85% 左右的煤炭产量来自井工煤矿，露天煤矿所占比重较低。煤矿行业甲烷逸散排放数据有比较详细的矿井调查和瓦斯安全管理数据，如通风速率、瓦斯含量和等级、瓦斯组分数据。年度矿井瓦斯等级鉴定提供了排放因子基础信息，但中国缺乏对废弃煤矿、露天煤矿、矿后活动温室气体排放的详细数据调查，仅有小样本瓦斯逸散调研报告。在煤炭行业甲烷排放清单中，井工开采采用第二层级方法，露天开采采用第一层级方法，矿后活动采用第二层级方法，废弃矿井采用《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》第一层级方法。从排放源范围、方法选择和排放因子等方面来看，中国煤炭开采和矿后活动 CH<sub>4</sub> 逃逸排放清单在非附件 I 国家中属于领先水平，但同附件 I 国家相比还存在一定差距。

中国油气系统温室气体逃逸排放清单编制很大程度上借鉴了加拿大的工作经验。活动水平数据采用了中石油、中石化的企业统计数据。天然气开采和输送及常规原油开采采用第三层级方法，油气系统甲烷逃逸的其他子领域则采用第一层级方法。目前油气系统甲烷逃逸排放清单存在的问题主要包括：（1）完整性尚有欠缺，目前还未包含火炬排放、废弃油气井排放、事故排放，也没有纳入放空气燃烧的周期变化、绿色完井措施使用等设施级排放源。

（2）清单的准确性仍然不足，清单核算中没有区分海上和陆地油气生产；没有区分常规和非常规油气生产；统计数据是基于场站级别而非设备组件级别。（3）排放因子体系难以反映我国油气生产实际情况。基础排放因子大多采用加拿大油气行业排放因子，且年份相对较早（2005 年），由于生产过程、工艺等出现变化，急需建立符合中国油气行业生产情况的排放因子体系。

报告还对比了美国、加拿大能源行业甲烷排放与统计核算情况。这两个国家均建立了常态化的温室气体清单编制机制，设置了国家清单和基于设施的温室气体报告制度（Greenhouse gas reporting program, GHGRP）互为支持的机制，持续改善国家清单的准确性。此外，这两个国家还建立了一系列法律法规及流程体系来保障数据统计的数量和质量。从清单编制方法学来看，这两个国家均采用了高层级的方法，部分排放源使用了设备级数据。能源领域建立了覆盖所有排放源、以及详细的基于设备级别的现场检测数据的方法学、排放因子库和活动数据库，所采用的数据可以精确到设施级别，排放因子多采用现场检测数据。此外，这两个国家还通过数据公开、专家评审、公众评议等环节，鼓励利益相关者广泛参与意见反馈，持续地改善全国温室气体清单统计水平和趋势的准确性。

参考以上国家在温室气体清单领域相关经验，提出如下政策建议：

（1）建立常态化的国家温室气体排放清

单编制相关安排，加强能力建设。此外，还需要针对《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》方法学和后续更新的方法学开展研究，提高清单编制能力，扩大统计数据覆盖面。最后，还需要建立法规及流程体系来保障数据统计的数量和质量。

(2) 完善企业温室气体报告监测、报告和核实 (Measurement, reporting and verification, MRV) 制度，为国家清单提供数据支撑和验证，鼓励能源企业通过设备组件统

计、现场实测等方式进行排放因子更新。

(3) 完善煤炭行业清单计算范围完整性和活动数据，深入开展特征排放因子研究。

(4) 油气系统甲烷逃逸应作为重点排放源全面加强研究，加快建立符合我国油气生产实际情况的排放因子体系。

(5) 将甲烷减排纳入到增强的气候变化国家自主贡献，研究制定能源行业中长期甲烷减排路线图。

## Executive Summary

---

Methane is the second largest greenhouse gas (GHG) after carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The global warming potential of methane is around 84-87 times greater than that of CO<sub>2</sub> in a 20-year period, and 28-36 times higher than that of CO<sub>2</sub> over a 100-year time frame. Methane is also the second largest greenhouse gas in China. In 2014, methane took up 10.4% of the country's total greenhouse gas emissions. The energy sector is one of the largest anthropogenic sources of methane emissions in China, accounting for 45% of the total methane emissions. An accurate methane inventory can provide policy makers with the bases for planning mitigation targets and developing mitigation policies. Focusing on China's energy-related methane emissions, this report compares the differences between China and the international framework

in inventory accounting, reporting and valuation, and hopes to improve the integrity and accuracy of methane inventory compilation and promote methane reduction in the energy sector.

The research and management of greenhouse gas inventory in China have a late start in around year 2000. Currently, the institutional arrangement for inventory management in China is still project-based. Emissions are primarily calculated based on the "Revised 1996 IPCC Guidelines for National GHG Inventories" with limited reference to "2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories". Most of the activity data are derived from the latest statistics of the National Bureau of Statistics, industry and company statistics, and other related statistics. Emission factors are collected

from industry surveys and default values from related IPCC guidelines. Despite China's continuous efforts to improve statistical methods, data integrity, and data consistency during compiling national inventories, there is still a big gap between China and the Annex I countries. China has established basic statistical and accounting systems for GHG emissions at the national, local and corporate levels. However, the emission information of the three levels have not been well connected and cannot be used to make cross-reference in practice.

China is the largest coal producer in the world. In 2018, China accounted for 46% of the world's total coal production. China is heavily dependent on oil and natural gas imports. In 2018, more than 70% of oil and 45% of gas in China are imported. Energy-related fugitive methane emissions mainly come from the coal industry and oil and gas sector, of which coal industry emissions account for more than 38% of the total methane emissions, and the oil and gas sector accounted for 2%. Historical data shows that fugitive methane emissions from coal industry have declined significantly since

2012, while methane leaks from oil and gas sector have kept rising. The activity level and emission factors for methane emissions were calculated in the lower level than that of CO<sub>2</sub> emissions. Tier I and Tier II methodologies have been widely adopted in calculating methane emissions from various sources, and country-specific emission factors are used for key emission sources.

Fugitive methane emissions from coal mining is a key source of emissions from energy sector. About 85% of the coal production is from underground coal mines, while the proportion of the surface coal mines is relatively low. The data of methane emission in coal mining industry includes detailed data from coal mine investigation and gas safety management, such as ventilation rate, gas content and grade, as well as gas composition data. The gas identification data of coal mines provides basic information for emission factors. However, in China, there is a lack of detailed data investigation on GHG emissions from abandoned mines, surface coal mines and post-mining activities, and only small sample gas fugitive investigation reports are available. In the

methane inventory of the coal industry, Tier II method is adopted for well mining, Tier I method is adopted for open pit mining, Tier II method is used for post-mining activity, and Tier I method of the "2006 IPCC Guidelines" is used for abandoned mines. In terms of emission source scope, methodology selection and emission factors, China is taking the lead among Non-Annex I countries on inventory compilation for fugitive methane emissions from coal mining and post-mining activity, however, there is still a certain gap between China and Annex I countries.

China has been drawing experience from Canada in inventory compilation for fugitive GHG emissions from oil and gas sector. The activity level data adopts the enterprise statistics of China National Petroleum Corporation and Sinopec Corporation. Tier III method is adopted for production and transportation of natural gas and conventional crude oil extraction, while Tier I method is adopted for other sub-fields of fugitive methane emissions from oil and gas system. At present, the main problems with inventory compilation for oil and gas related fugitive methane

emissions include: (1) Emission sources are not fully covered. At present, flare emissions, emissions from abandoned oil and gas wells, accident emissions, and periodic variation of exhaled air combustion are not included. (2) The accuracy of data needs to be improved. There is no distinction between offshore and onshore oil and gas production in the inventory calculation; there is no distinction between conventional and unconventional oil and gas production; the statistical data is based on the facility level rather than the device component level. (3) The emission factors could not reflect the actual situation of oil and gas production in China. Most of the basic emission factors use Canadian oil and gas industry emission factors which are relatively old (2005). Due to the changes of production process and technology, it is necessary to build country-specific emission factors.

The report also compares the accounting, quantification and reporting frameworks for energy-related methane emissions in the United States, Canada. The two countries have established normalized GHG inventory preparation mechanisms,

and facility-based greenhouse gas reporting system (GHGRP) to continuously improve the accuracy of the national inventory. In addition, these countries have established a series of laws, regulations and procedures to ensure the data integrity and quality. From the perspective of inventory methodology, these countries have adopted high-level methodologies, with some emission sources using device-level data. These countries have established methodologies, emission factor database and activity database that cover all emission sources with device-level data in energy sector. The activity data adopted can be accurate to the facility level, and most of the emission factors use on-site measuring data. In addition, the two countries continue to improve the accuracy of national GHG inventory statistics and trends through data disclosure, expert review, and public feedback with broad stakeholder participation.

Based on the relevant experience of the above countries in the field of greenhouse GHG inventory, the following policy recommendations are proposed:

(1) Establish national GHG emission inventory preparation arrangements. In addition, research needs to be carried out on IPCC 2006 Guidelines and subsequent methodology to improve the country's inventory preparation capacity and expand statistical data coverage. Finally, regulations and procedures need to be established to ensure data integrity and quality.

(2) Improve corporate GHG reporting monitoring, reporting and verification (MRV) system. This will help build the data and improve verification for national GHG inventories. Improve corporate GHG reporting monitoring, and verification system to provide data support and mutual verification of national inventory, and encourage energy enterprises to update emission factors through equipment component statistics, on-site measurement, etc.

(3) Improve the coverage and activity data of the coal system inventory, and conduct in-depth research on emission factors.

(4) The fugitive methane emission from

oil and gas sector should be studied as a key emission source, and speed up the establishment of country-specific emission factor system in line with the actual situation of oil and gas production in China.

(5) Incorporate methane emission reduction goals into the enhanced national determined contribution of climate change, and formulate medium and long-term methane emission reduction roadmap for the energy industry.

# 目录

1	●	一 背景简介
5	●	二 全球气候治理及国家温室气体清单编制
		2.1 全球气候治理及信息披露机制演变
		2.2 IPCC 温室气体清单指南
		2.3 IPCC 清单指南中的能源领域温室气体排放
17	●	三 中国温室气体排放统计和核算体系及相关制度安排
		3.1 中国气候变化管理及温室气体排放统计相关制度
		3.1.1 中国气候变化管理相关制度及政策演变
		3.1.2 应对气候变化统计指标体系
		3.2 国家、地方、企业温室气体排放统计及核算体系
		3.2.1 国家温室气体清单编制
		3.2.2 省市级温室气体清单编制
		3.2.3 企业级温室气体排放报告与碳市场
		3.2.4 温室气体清单编制机制及安排
		3.3 小结
32	●	四 能源领域甲烷排放清单编制
		4.1 国家温室气体清单甲烷排放情况
		4.2 国家温室气体清单能源领域甲烷排放数据分析
		4.3 煤炭行业甲烷逃逸排放清单

4.4 石油天然气行业甲烷逃逸排放清单

4.5 小结

## 45 ● 五 温室气体清单编制国际经验

5.1 美国温室气体清单编制

5.1.1 温室气体排放报告计划

5.1.2 美国国家温室气体清单编制

5.1.3 能源领域甲烷排放清单编制

5.2 加拿大温室气体清单编制

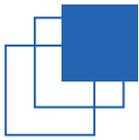
5.2.1 温室气体排放报告计划

5.2.2 加拿大国家温室气体清单编制

5.2.3 能源领域甲烷排放清单编制

5.3 小结

## 63 ● 六、结论及政策建议



## 一、背景简介

甲烷是仅次于二氧化碳的第二大温室气体。自工业化时代以来，全球平均地表甲烷浓度已经从 1750 年的  $722 \pm 25 \text{ppb}$  上升到 2017 年的  $1859 \pm 2 \text{ppb}$ ，目前大气中甲烷的浓度大约是工业化前水平的 2.5 倍，而且甲烷浓度还在不断上升（见下图）（WMO，2019）。甲烷作为一种温室气体具有“短期

高效”的特点，其在 20 年内的增温效应相当于  $\text{CO}_2$  的 84-87 倍，而在 100 年内的增温效应应为  $\text{CO}_2$  的 28-36 倍（IPCC，2013）。除了影响气候外，甲烷还影响空气质量，它是形成地面（对流层）臭氧（一种危险的空气污染物）的成分。鉴于这些事实，需要将减少甲烷排放作为全球应对气候变化的重要行动之一。

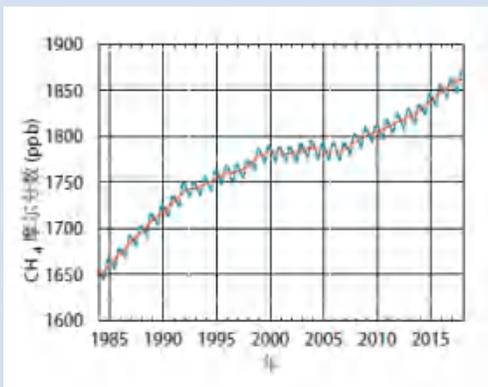


图 1-1 全球平均  $\text{CH}_4$  摩尔分数 (ppb)

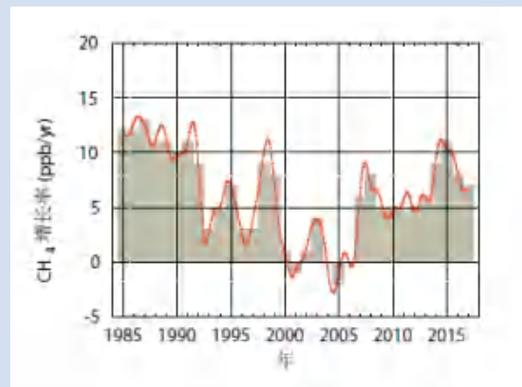


图 1-2 全球  $\text{CH}_4$  的增长率 (ppb/年)

注：红线是去除季节变化的月平均摩尔分数；蓝点和蓝线表示月平均值。

数据来源：世界气象组织（WMO）全球大气监视网。

尽管甲烷排放量的估算存在高度不确定性，国际能源署的最新综合估计表明，全球甲烷的年排放量约为 5.7 亿吨，其中约 40% 来

自自然排放源，约 60% 来自人为排放源（即人类活动的排放）。人为排放源中最大来源是农业，约占总排放量的四分之一；紧随其后的

是能源行业，包括煤炭、石油、天然气和生物燃料的排放，约为总排放量的五分之一；然后是废弃物，占比 11%；生物质燃烧和生物燃料各占 3%（见下图）。全球人为活动造成的甲

烷排放中，约有三分之一来自油气行业（IEA, 2020），这意味着油气行业蕴藏着关键的机遇，能够迅速并以具有成本效益的方式实现减排。

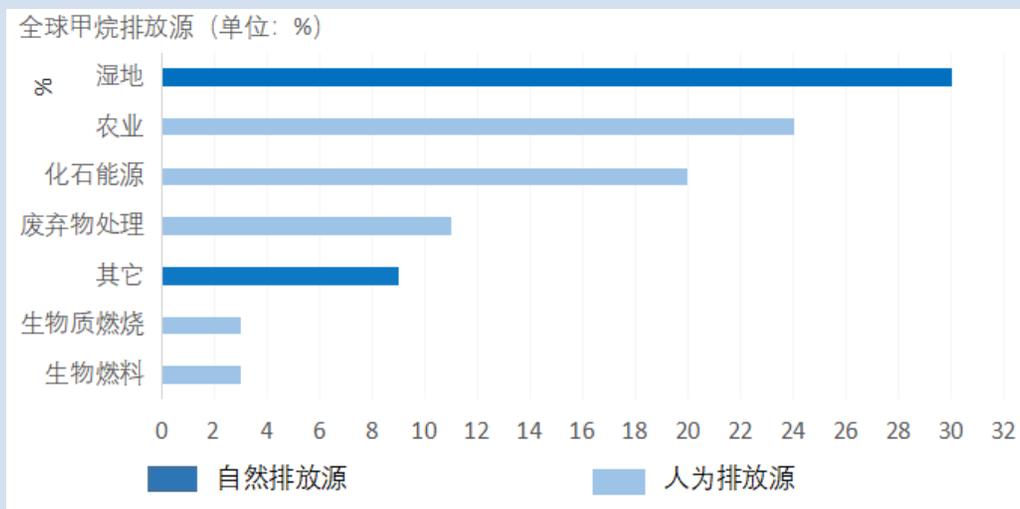


图 1-2 全球甲烷排放源

来源: IEA, 2019.

在中国甲烷也是仅次于二氧化碳的第二大温室气体，能源行业是最重要的人为甲烷排放源。根据《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》，2014 年中国甲烷排放 5529.2 万吨，约占温室气体总排放量的 10.4%。其中能源活动排放占比 44.8%，农业活动排放占比 40.2%，废弃物处理排放占 11.9%，土地利用、土地变化和林业排放占比 3.1%，工业生产过程排放规模较小（0.01%）。能源活动甲烷排放中，化石燃料燃烧排放占 10.6%，逃

逸排放占 89.4%（The People's Republic of China, 2019）。因此，减少能源行业甲烷排放也是中国应对气候变化重要的手段。

甲烷也是天然气这一宝贵资源的主要成分，捕获的额外甲烷有潜在的经济收益，石油和天然气比其它能源领域更容易实现甲烷捕获。因此，减少或消除甲烷排放具有较高的成本效益。根据国际能源署的数据，全球油气行业高达 75% 的甲烷排放可以避免，并且约 40% 的油气甲烷减排为净零成本，无论从气候

还是从经济的角度来看，收益都十分可观（IEA，2019）。应对气候变化既要迅速减少二氧化碳这种长寿命气候污染物的排放，也要快速降低甲烷及其他短寿命气候污染物的排放量。

全球来看，许多国家已经采取措施来减少甲烷排放，近年来一些油气生产国更是加强了控制政策的类型与力度，例如挪威、加拿大、美国、墨西哥等国在油气领域减排措施引起了广泛的关注。从政策措施来看，全球各国对于甲烷排放的监管方法仍然较为有限，大多数国家采取的仍然以命令控制型措施为主。另一方面，全球性的甲烷减排已经有一些自愿性倡议，其中既有政府间的合作，也有公私伙伴关系和行业合作，重点是跟踪和减少重点部门的甲烷排放，以及推动更广泛的研究和其他努力。自愿倡议可以在开发新的减排方法和证明可行方法中发挥重要的作用。但是，自愿倡议能够实现的目标是有限的，并且倡议本身可能达不到公共政策角度所期望的目标（IEA，2020）。当前主要的自愿倡议包括：

**全球甲烷行动倡议（Global Methane Initiative, GMI）**<sup>1</sup> 2004年由美国环保局发起的自愿性的多边合作计划，旨在减少全球甲烷排放，并将甲烷作为一种宝贵清洁能源推动相关减排、回收和利用工作。目前有 45 个成员

国和 700 多个项目网络伙伴，主要针对石油天然气、沼气和煤矿瓦斯三大领域的甲烷减排，中国是首批 14 个签约成员国之一。

**油气行业气候倡议（Oil and Gas Climate Initiative, OGCI）**<sup>2</sup>：由世界 13 家油气企业结成的组织，这些公司占全球油气市场份额的三分之一，该倡议旨在“建立起一个主动、专注、多样的，为应对气候变化挑战提供新方式的企业联盟”。围绕着甲烷减排、二氧化碳减排和碳封存三个主要目标，OGCI 开展了一系列政策研究、监控计划，并进行技术投资研发，制定了到 2025 年成员企业上游天然气和石油业务的总体平均甲烷排放强度降低到 0.25%、并力争达到 0.20% 的目标（2019 年底为 0.29%）。中国石油天然气公司是该组织成员之一。

**油气甲烷排放合作伙伴关系（Oil and Gas Methane Partnership, OGMP）**<sup>3</sup>：2014 年由联合国环境署和气候与清洁空气联盟联合发起，该组织成员以企业为主，专注于油气产业的甲烷减排。这一组织的目标是帮助油气企业更好的理解甲烷减排的重要性，并帮助企业设立实现短期内甲烷减排的目标。组织成员企业围绕着九项核心排放源的排放情况展开调研，制定低排放的可能方案、以透明可信的方式发

- 
- 1. Global Methane Initiative, <https://www.globalmethane.org/>
  - 2. Oil and Gas Climate Initiative, <https://oilandgasclimateinitiative.com/>
  - 3. Oil and Gas Methane Partnership, <https://www.ccacoalition.org/en/activity/ccac-oil-gas-methane-partnership>

布调查和减排进展报告。

**甲烷指导原则**（Methane Guiding Principles, MGP）<sup>4</sup>：成立于 2017 年，是一个多方利益相关者合作平台，由来自油气行业、政府间组织（包括 IEA）、学术界和民间社会的 20 多个机构组成，这一平台旨在增进对减少甲烷排放的理解和最佳实践，并推动制定甲烷政策和法规的制定和实施。北京市燃气集团为 MGP 成员。

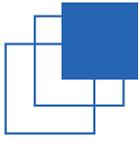
**全球甲烷联盟**（Global Methane Alliance, GMA）<sup>5</sup>：2019 年 9 月由联合国环境署和气候与清洁空气联盟联合发起，成员包括国际组织、非政府组织、金融机构、油气企业等。该组织致力于支持各国设定有雄心的油气行业甲烷减排承诺，共同实现 2030 年甲烷减排达到 60 亿吨二氧化碳当量的目标。清洁空气联盟负责为有兴趣提出油气行业甲烷减排目标的国家 and 机构提供支持。加入 GMA 的国家需要设立甲烷减排绝对量目标或甲烷强度减排目标。

中国能源领域的甲烷管控一直以安全为导向，下一步有必要扩大到保护气候和环境的效益。在能源甲烷排放方面，中国政府在 2006 年将煤层气列入《能源发展“十一五”规划（2006-2010）》，以保障煤矿安全生产，增加清洁能源供应，并出台了一系列的政策措施鼓励煤层气的开发利用。2012 年，国务院印

发的《“十二五”控制温室气体排放工作方案》提出了“控制非能源活动二氧化碳排放和甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫等温室气体排放取得成效”的目标。在随后出台的《煤层气开发利用“十二五”规划》中，提出了鼓励提高煤矿瓦斯利用和地面煤层气利用开发、减少煤炭开采领域的甲烷排放的总体规划。《“十三五”控制温室气体排放工作方案》则进一步提出加强放空天然气和油田伴生气的回收利用（The People's Republic of China, 2019）。

制定甲烷减排目标及相应的政策措施都建立在准确的排放清单基础上。本报告聚焦于中国能源行业甲烷排放清单研究，希望通过比较中国和际的能源甲烷清单编制、报送和量化体系，相关的法律、法规、政策，最佳范例和经验，提出适合中国国情的政策建议。报告共分为六章，第一章提出控制甲烷排放的必要性及相关政策与行动，第二章在全球气候治理背景下阐述国家温室气体清单编制及相关指南的演变，第三章介绍中国温室气体排放统计和核算相关制度及安排，第四章详细阐述中国的国家清单中能源行业甲烷排放清单编制情况，第五章介绍国际能源甲烷排放清单编制经验，第六章提出结论和相关政策建议。

- 
- 4. Methane Guiding Principles, <https://methaneguidingprinciples.org/>
  - 5. Global Methane Alliance, <https://www.globalmethane.org/challenge/gma.html>



## 二、全球气候治理及国家温室气体清单编制

自 20 世纪 80 年代末，全球各国逐渐意识到气候变化问题的严重性和应对气候变化的紧迫性，并开启了全球气候治理的谈判进程。1985 年在奥地利的菲拉赫召开温室气体国际研讨会上，首次提出了关于制定国际条约以应对气候变化的倡议。1988 年 11 月，世界气象组织和联合国环境规划署共同推动建立了联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC），为气候变化治理提供科学依据和政策指导。1992 年的联合国环境与发展大会上，154 个国家正式签署了《联合国气候变化框架公约》（以下简称《公约》），“将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上”被确立为最终目标。在《公约》制度下，各国不仅确立了依据“共同但有区别的责任”原则（以下简称“共区原则”），采取减缓和适应行动来应对气候变化的国际规则，还要求缔约方定期更新及公

布国家履约信息。（杨兴，2005；石晨霞，2014；董亮，2018）。国家温室气体清单是国家履约信息的重要组成部分，它汇总了一个国家排放源和吸收汇的信息，编制连续的国家温室气体清单有助于反映一个国家为应对气候变化所付出的努力和收到的效果。

### 2.1 全球气候治理及信息披露机制演变

根据《公约》所确立的信息披露机制，缔约方需要定期更新及公布国家履约信息。《公约》第 4.1 条及第 12 条规定，每一个缔约方，都有义务提交国家信息报告，内容包括国家温室气体清单、履行《公约》义务所采取的措施和将要采取措施的总体描述，以及缔约方认为适合提供的其他信息。这就是说，即《公约》要求所有缔约方，在其能力允许范围内，采用缔约方大会议定的可比方法，定期编制并提交《蒙特利尔破坏臭氧层物质管制议定书》<sup>6</sup> 未

- 
- 6. 蒙特利尔破坏臭氧层物质管制议定书（Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer），是联合国为了避免工业产品中的氟氯碳化物对地球臭氧层继续造成恶化及损害，承续 1985 年保护臭氧层维也纳公约的大原则，于 1987 年 9 月 16 日邀请所属 26 个会员国在加拿大蒙特利尔所签署的环境保护公约，该公约自 1989 年 1 月 1 日起生效。公约中对 CFC-11、CFC-12、CFC-113、CFC-114、CFC-115 等五项氟氯碳化物及三项哈龙的生产做了严格的管制规定。

予管制的所有温室气体人为源排放量和汇吸收量的国家清单，还应该提供包含国家清单内容的有关履行公约的信息（即国家信息通报）。为此 IPCC 出版了系列技术指南，为各缔约方提交准确、透明、可比、一致和完整的国家清单提供方法论（朱松丽和王文涛，2012；2018；蔡博峰等，2019）。

自 1992 年以来，全球气候治理经历了不断演变的过程，不同的治理模式下履约机制、信息披露机制等要素也在不断地演进。根据信息披露机制的变化，本报告中，将全球气候治理划分为三个时期，具体分析不同时期的信息披露机制及相应的方法论的变化（李慧明，2016；王田等，2019）。

### （1）京都时代的“自上而下”和强“共区原则”治理时期（1992—2012）

1994 年《公约》正式生效，并在国际法意义上确立了“共区原则”，奠定了全球气候治理的法律和制度基础。1997 年达成的《京都议定书》是《公约》内涵具体化的体现，其主要特点包括：（1）在减排行动上采取具有法律约束力的目标加时间表模式，采取“自上而下”的总量控制（2008-2012 年，发达国家的温室气体排放在 1990 年的基础上减排 5.2%）加上发达国家的各自不同的量化减排承诺；（2）强调“共区原则”中的“区别的责任”，免除了发展中国家的减排义务，并要求发达国家为发展中国家提供资金和技术；（3）建立了一套“灵活机制”，为发达国家以成本有效

的方式进行减排提供基于市场的规则，进而确立联合履约、排放交易和清洁发展机制。2005 年《京都议定书》正式生效，从而坚持并巩固了京都模式，至少在制度和法律意义上维护并延续了该模式（李慧明，2016）。

这一时期的信息披露机制也遵循严格的“共区”原则，即对附件 I 和非附件 I 国家实施两套标准。虽然《公约》要求所有缔约方都需提交国家信息通报，但其后由缔约方会议决定制定的指南对附件 I 国家和非附件 I 国家的报告内容、范围、频率和审评形式做出了不同的要求（王田等，2019）。《公约》规定附件 I 缔约方，每 3~5 年提交一次国家信息通报，但必须每年向秘书处提交年度国家清单，形成以 1990 年为基准年的系列国家清单。除详细的独立于信息通报之外的清单报告，附件 I 缔约方必须填写由 10 组共 74 个电子表格组成的清单数据标准表格；温室气体计算范围必须覆盖《京都议定书》所辖所有 6 种气体；国家清单要接受严格的国际审评。在信息通报中必须包含描述未来排放走势的独立章节（朱松丽和王文涛，2012）。此外，公约相关决议还要求附件 I 缔约方应专门建立清单编制的机构安排，并在年度清单报告中予以说明（马翠梅和王田，2017）。

对非附件 I 缔约方，应在《公约》对该缔约方生效 3 年内或获得资金支持 3 年内提交第一次国家信息通报，最不发达国家可自行决定提交第一次信息通报的时间；后续信息通报的提交同样视《公约》决定和资金资助情况而

定。在清单编制过程中,《公约》不强求非附件 I 缔约方采用 IPCC 最新方法指南、不要求完整时间序列排放数据和不强求报告含氟气体排放,只需简单报告分部门排放量且不强求填写标准数据表格,也无需提交专门的清单报告。

非附件 I 缔约方国家清单也不需要接受国际审评,信息通报中也不强求对未来排放趋势进行专门的描述,并可自主选择是否将完整的清单报告作为附件报告(朱松丽和王文涛,2012;马翠梅和王田,2017)。

表 2-1 《公约》对附件 I 和非附件 I 缔约方国家清单编制要求对比

对比指标	附件 I 缔约方	非附件 I 缔约方
方法论	《1996 年国家温室气体排放清单编制指南》+《IPCC2000 国家温室气体清单优良做法指南和不确定性》(2000 年出版);很多附件 I 国家早已开始使用《2006 年国家温室气体排放清单编制指南》	《1996 年国家温室气体排放清单编制指南》+《IPCC2000 国家温室气体清单优良做法指南和不确定性》(2000 年出版)
完整性	包括所有《京都议定书》管辖的温室气体(CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、HFCs、PFC、SF <sub>6</sub> )	计算 CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O,鼓励计算含氟气体
频率	编制 1990 年及之后的系列年度排放清单	1994 和 2000 (2005) 年两个时间点 *
报告格式	完整的清单报告和标准数据表格	《国家信息通报》中摘要报告
国际审评	接受严格的年度专家审评	无需接受审评

注: (1) 《公约》要求发展中国家第二次信息通报的清单为 2000 年,部分国家选择了较近的 2005 年。

(2) 关于方法学的时间和规定: 1996 年,附属科技咨询机构第四次会议确定 1996 年 IPCC 指南修订版为《纲要公约》附件 I 缔约方于 1997 年清查登记时所自愿采取的准则,同时为 1998 年气候的清查登记时必须采取的准则。这一准则在 1997 年的第三次缔约方会议得到重申。1999 年在德国波恩召开的第五次缔约方会议正式通过了《纲要公约》年度清单报告指南,其中明确指定 IPCC1996 修订指南为各缔约方都应采用的指南。

来源: 朱松丽和王文涛,2012;高翔和滕飞,2014。

## （2）坎昆时代的过渡式“自愿减排”和弱“共区原则”治理时期 (2012-2020)

随着国际政治、经济、排放格局的变化，国际社会不断施压，发展中国家面临着越来越大的减排压力。2007年的《巴厘行动计划》中要求发展中国家在技术、资金和能力建设方面得到发达国家可测量、可报告、可核实的支持条件下，也要在可持续发展框架下采取适当减缓行动。接下来的2009年的“哥本哈根协议”与2010年的《坎昆协议》尽管没有在法律上明确治理形式的转变，但是至《坎昆协议》已经不再明确提及附件I和非附件I国家，而是要求发达国家和发展中国家采取适合本国的减缓承诺或行动，都是强调自愿采取并适合本国国情。2011年的德班会议和2012年的多哈会议进一步确认了这种自愿行动原则。从比较的视角来看，哥本哈根气候大会之后发达国家的减排承诺和发展中国家的减缓行动尽管在形式和前提条件上仍然是“有区别”的，但已经强化了所有缔约方的“共同”责任，从而开始弱化“共区原则”（李慧明，2016）。

尽管这一时期的全球气候治理的机制趋于弱化，但是对于信息披露所遵循的方法学、报告内容和审评形式都提出了不断强化的要求（马翠梅和王田，2019）。2007年的《巴厘行动计划》中要求发展中国家采取“可测量，可报告和可核实”的国内适当的减缓行动以减缓温室气体的排放。特别是2009年的“哥本哈根协议”指出，发展中国家的自主减缓行动不仅要在国内进行测量、报告和核查，并且要

通过国家信息通报提供有关行动执行情况的信息，以便接受“国际磋商与分析”。2010年通过的《坎昆协议》将“哥本哈根协议”基本内容法律化，对发达国家和发展中国家同时增加了平行的双年报告及审评/技术分析环节，各方均定期提交报告并接受审评或技术分析（谢伏瞻，2019），发展中国家的行动需要得到支持。2013年的气候变化华沙会议完成了《公约》体系下的“三可”规则谈判，即可测量、可报告、可核实规则，形成了发达国家和发展中国家共同但有区别的透明度机制，规则对各国履行气候公约下信息报告义务的频率、内容和信息质量都提出了新的要求（高翔和滕飞，2014）。

表2-2展示了现行透明度框架下针对发达国家和发展中国家的信息披露要求，其中彩色部分为与“京都时代”相比所增加和更新的内容。发达国家和发展中国家均需四年提交一次国家信息通报、两年提交一次双年报告（发达国家的报告为“双年报”、发展中国家的报告为“双年更新报”），区别在于报告内容和审评要求。此外发达国家仍需要每年提交温室气体清单报告和数据表格，并接受国际审评。发达国家通过立法或规章制度的形式安排专职机构和专人编制温室气体清单和履约报告；发展中国家基于各自国情建立机制保障履约。双年报告系统要求发展中国家每两年提交一次清单（但不强调独立的清单报告），要求接受国际磋商和分析。这对发展中国家的能力提出了更高的要求，需要逐步建立起常规的温室气体清单统计核算体系，提高基础数据统计和清单编

表 2-2 基于《坎昆协议》的信息披露要求

对比指标		发达国家	发展中国家
国家信息通报	形式	独立报告	独立报告
	频率	四年一次	四年一次
	审评	四年一次到访审评	无
双年报告	形式	独立的双年报告，统一报表	独立的双年更新报告或作为国家信息通报部分内容的摘要，无统一报表
	频率	两年一次	两年一次（从 2014 年开始提交）
	审评	到访审评或集中审评	集中技术分析
国家温室气体清单	方法论	《2006 年国家温室气体排放清单编制指南》	《1996 年国家温室气体排放清单编制指南》+《IPCC2000 国家温室气体清单优良做法指南和不确定性》（2000 年出版）；鼓励使用《2006 年国家温室气体排放清单编制指南》
	形式	独立报告，统一报表	在国家信息通报中摘要报告，或两年更新报告中摘要报告（如果有的话）
	频率	年度	四年一次或两年一次
	审评	五年一次到访审评，其余年度为集中审评或案头审评	无

注：（1）蓝色为与《京都议定书》对比而言增加和更新的披露内容和要求。

（2）现有的基于《坎昆协议》透明度规则最晚到 2024 年 12 月 31 日休止。

来源：根据两篇文章的相关内容整理（高翔和滕飞，2014；朱松丽和王文涛，2012）。

制质量，另外逐步建立起相应机制和专职机构保障清单和履约报告的编制。此外，国家信息通报和双年报告还存在重复报告和重复审评的问题，为缔约方带来了较大的负担（王田等，2019）。

现行的透明度框架对发展中国家的双年更新报告虽然也提出了国际磋商和分析的要

求，但目的在于促进发展中国家报告透明度和能力建设，相比于发达国家严苛的清单审评，国际磋商和分析的目的、环节、方式和产出均更为灵活和宽松。发展中国家报告编写和清单编制的资金来源通常为全球环境基金 (Global Environment Fund, GEF)，由于资金申请、批复以及到账的时间周期较长，外加基础能力

相对薄弱，发展中国家报告频率较低，一般约为5年以上报告一次。从工作机制上看，目前大部分发展中国家的清单编制还停留在项目制的组织方式上，尚未达到常态化阶段，但有部分发展中国家（韩国、南非、巴西、印度、菲律宾等国）为了有效组织和推动国家温室气体清单编制工作，建立了相对稳定的机构安排。总体而言，绝大多数发展中国家清单编制面临着资金、人员和政府间协调等多方面挑战，尚未像发达国家一样建立一整套完善、稳定和高效的清单编制工作机制（马翠梅和王田，2017）。

### （3）巴黎时代的“自下而上”和“共同强化”治理时期（2020年之后）

2011年的德班会议授权启动了特别工作组谈判，对2020年后适用于所有缔约方的“议定书”、“其他法律文件”或“经同意的具有法律效力的成果”进行磋商，最晚于2015年完成谈判并于2020年开始实施（朱松丽，2018）。2015年的巴黎气候大会最终达成了《巴黎协定》，明确要求各缔约方在2020年后提高减缓、适应、资金、技术、能力建设和透明度行动力度，在制度和法律上确认了所有缔约方的责任、义务和权利，构建了一个完全不同于京都时代的全球气候治理体系。《巴黎协定》在法律上正式确立了“自下而上”的治理方式，以国家自主贡献代替总体减排目标，有效地避免了近年来国家间气候合作的制度性危机。然而，国家自主贡献赋予了缔约方较大

的自由裁量权，且不具有严格的法律拘束力。为此，在已有透明度制度基础上，《巴黎协定》强化了新的履约机制—透明度框架与全球盘点—以期形成制衡，从而保障全球应对气候变化始终处于进步状态（梁晓菲，2018；李慧明，2016）。

在《巴黎协定》“自下而上”模式下，强化透明度被认为是建立各方互信、追踪自主贡献进展，以确保实现集体量化目标的重要手段。2018年底在波兰卡托维兹通过了《巴黎协议》实施细则，其中包括透明度框架的模式、程序和指南。该透明度框架包括：现有的基于《坎昆协议》透明度规则（泾渭分明的双年报/双年更新报、专家审评/技术分析、多边评估/促进性观点分享）最晚到2024年12月31日休止；双年透明度报告系统将统一替代上述规则；缔约方应不晚于2024年12月31日前提提交第一次双年透明度报告，《公约》不晚于2028年组织第一次协定意义下的评审。公约下的其他报告义务延续，例如每四年递交一次国家信息通报（发达国家继续接受审评、发展中国家不接受审评），发达国家递交年度清单报告并接受审评。当国家信息通报与双年透明度报告重合时，两份报告可以合二为一，但必须增加关于气候研究、系统观测、教育、培训和公众意识内容以及适应信息（朱松丽等，2018；梁晓菲，2019）。

新指南在《巴黎协定》确定的“通用+灵活性”原则指导下，开启了有区别的“共同强化”新时期。所有缔约方均需提交完整的

表 2-3 《巴黎协议》实施细则中对于 2020 年后国家温室气体清单编制要求

对比指标	发达国家	发展中国家
方法论	《2006 年国家温室气体排放清单编制指南》及后续更新	《2006 年国家温室气体排放清单编制指南》及后续更新
完整性	七种温室气体：CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、HFCs、PFCs、SF <sub>6</sub> 、NF <sub>3</sub>	七种温室气体：CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、HFCs、PFCs、SF <sub>6</sub> 、NF <sub>3</sub>
涵盖领域	能源、工业过程和产品使用、农业、林业和其他土地利用、废弃物处理	能源、工业过程和产品使用、农业、林业和其他土地利用、废弃物处理
国际领域	国际航空和海运	国际航空和海运
频率	编制 1990 年及之后的系列年度排放清单	基准年，以及编制 2020 年后的系列年度排放清单
报告格式	完整的清单报告和标准数据表格	完整的清单报告和标准数据表格
国际审评	接受严格的年度专家审评和促进性多边评议	接受严格的年度专家审评和促进性多边评议

来源：根据（UNFCCC，2019）相关内容整理。

年度温室气体清单报告和标准数据表格，并接受严格国际审评。从清单内容来看（见表 2-3），首先，新指南强化了清单和资金报告方法学，要求所有缔约方都采用《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》方法学以及后续更新的国家温室气体清单方法学编制清单。此前发达国家自 2015 年已经全面采用了这一方法学，而大多数发展中国家仍然使用《IPCC 国家温室气体清单（1996 年修订版）》。其次，新指南强化了报告频率，规定所有缔约方都要提供连续年度的国家温室气体清单。发展中国家至少报告国家自主贡献基准年以及从 2020 年起的序列清单。作为履约灵活性，发展中国

家可以每两年提交一次清单，但每次需报告连续两年的数据。其次，新指南还强化了报告内容的详细程度、专家审评方式和多边审议范围。专家审评对于发达国家和发展中国家都要识别报告质量改进点并提出“建议”（针对指南强制性要求）或“鼓励”（针对指南非强制性要求），相比此前对发展中国家开展的技术分析更为严格（王田等，2019；UNFCCC，2019）。

## 2.2 IPCC 温室气体清单指南

国家温室气体清单为一国领土及该国拥有管辖权的近海区域内的温室气体排放和吸收量

(IPCC, 1996; 2006)。美国环境署和欧盟环境开发署最先开发了大气污染物清单编制规范，经修改后成为指导两个地区国家温室气体排放清单编制的标准（从建辉，2012）。在国家温室气体清单编制层面，《联合国气候变化框架公约》要求所有缔约方采用缔约方大会议定的可比方法，定期编制并提交所有温室气体人为源排放量和吸收量国家清单。《公约》下国家温室气体清单方面的技术指南编制工作由IPCC提供支持，IPCC 该机构编制的清单方法学指南，是世界各国编制国家清单的技术规范和参考标准（蔡博峰等，2019）。

IPCC 于 1994 年编制、1995 年出版了第一版《IPCC 国家温室气体清单指南》，这一版借鉴了经济合作组织国家的清单编制经验。由于缺乏对发展中国家清单编制情况的考虑，

该指南很快就被 1996 年通过、1997 年出版的《IPCC 国家温室气体清单（1996 年修订版）》取代（以下简称《1996 清单指南》）。随后一段时间，考虑到各国在应用《1996 清单指南》过程中进行了大量实践，积累的经验好的做法值得总结，IPCC 在 2000 年组织出版了《IPCC2000 国家温室气体清单优良做法指南和不确定性管理》，在 2003 年出版了《IPCC 土地利用、土地利用变化和林业清单编制优良做法指南》。在很长一段时间里，这三册方法论都是缔约方编制国家清单的“法定”指南（朱松丽等，2018）。

2004 年起 IPCC 开始对已有指南进行全面整合工作，最终在 2006 年出版了《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》（以下简称《2006 清单指南》），在理论上全面替代了之前的 3



图 2-1 IPCC 国家清单指南系列及适用范围演变

注：根据（朱松丽等，2018）文中图 1 修改。

本指南。2006年之后，IPCC又陆续出版了两个增补件《对2006IPCC国家温室气体清单指南的2013增补：湿地》和《源自京都议定书的方法和优良做法2013修订增补指南》。这些增补内容与《2006清单指南》联合使用（朱松丽等，2018）。《2006清单指南》是在整合《1996清单指南》、《2000年优良做法和不确定性管理指南》和《IPCC土地利用、土地利用变化和林业优良做法指南》的基础上，构架了更新、更完善但更复杂的方法学体系。尽管发达国家很早就开始使用《2006清单指南》，但是在法律上，直到2015年气候公约附件I缔约方才被正式要求全面使用新指南。基于“共同但有区别的原则”以及发展中国家国情，《公约》并未强制要求发展中国家与发达国家同步转向新指南

为了根据最新技术进展更新相关领域的方法学，并且配合将于2023年开展的第一次全球盘点工作，IPCC于2017年启动了国家清单方法学完善报告的编写。该方法学报告定名为《2006IPCC国家温室气体清单指南的2019精细化》（以下称《2019精细化清单指南》），该版方法学于2019年5月通过。《2019精细化清单指南》+《2006清单指南》+《湿地增补指南》构成了IPCC国家温室气体清单指南的全新体系，也是迄今核算人类活动所导致的温室气体排放与吸收的最科学、最直接、最全面的方法学体系（蔡博峰等，2019）。按照2018年底在波兰卡托维兹通过的《巴黎协议》实施细则，所有缔约方在2020年后都要

统一采用《2006清单指南》以及后续更新的国家温室气体清单方法学编制清单（见图2-1）。

《IPCC国家温室气体清单指南》按照统一的生产者责任方法编制。生产者责任方法主要依据“污染者付费原则”，排放发生在哪里，排放量就计入到哪里，即无论生产出的产品由谁使用，生产过程产生的温室气体排放都计入到排放发生地。根据生产者责任方法，温室气体清单包括区域内生产过程和终端使用过程的直接排放。依据不同的边界界定原则，生产者责任方法又进一步划分为国土边界和GDP边界两种方法。国土边界指清单范围为所辖行政区域，其定义下的国家温室气体清单为一国领土及该国拥有管辖权的近海区域内的温室气体排放和吸收量，《IPCC国家温室气体清单指南》就是最为典型的国土边界清单编制方法（马翠梅等，2013）。

根据《2006清单指南》，国家温室气体排放清单的内容分为人为排放与清除、自然排放与清除两大部分。其中自然排放与清除在长周期内被当作常值看待，自然部分除了国家领土范围外，还包括该国拥有司法管辖权的近海海区的温室气体的排放与清除。人为排放与清除指和人类活动有关的工业生产、能源活动等有关的排放与清除行为。而在林业、农业和其他土地利用（Agriculture, forestry and other land use, AFOLU）部门，土地上的温室气体排放与清除被当作人为排放与清除（潘德炉，2012；IPCC，2006）。《2006清单指南》及2019年精细化指南都包含五个部门，

每一个部门包含一组相关的过程、源和汇。这五个部门是：能源、工业过程和产品使用、农业、林业和其他土地利用、废弃物、以及其他（如源于非农业排放源的氮沉积的间接排放）。在五个部门下面，又细分为 37 个子部门，子部门下还有更为细致的气体排放部门（IPCC, 2006; 2019）。

在《1996 年清单指南》和《2000 年优良作法指南》中，IPCC 推荐的最常用方法学是排放因子法。其基本计算思想是把有关人类活动发生程度的信息（称作“活动数据”或“AD”）与量化单位活动的排放量或清除量的系数结合起来。这些系数称作“排放因子”或“EF”。因此，基本的方程是：

$$\text{排放} = \text{活动数据 (AD)} \times \text{排放因子 (EF)}$$

例如，在能源部门，燃料消费量可以构成活动数据，而每单位被消耗燃料排放的二氧化碳的质量可以是一个排放因子。有些情况下，可以对基本方程进行修改，以便纳入除估算因子外的其他估算参数。对于涉及时滞（如由于原料在垃圾中腐烂或制冷剂从冷却设备中泄漏需要一定时间）的情况，则提供了其他方法，如一阶衰减模型等。《2006 清单指南》还考虑到了更为复杂的建模方式，特别是在较高方法层级（IPCC, 2006）。

IPCC 用方法层级代表方法学的复杂程度或者参数的准确程度，其推荐的计算方法一般有三个层级。第一层级是最简单的方法，是基于已有的活动水平（例如能源统计机构数据）

和 IPCC 数据库推荐的缺省排放因子计算排放量。第二层级与第一层级采用的活动水平数据相似，但是排放因子采用特定国家的排放因子，它能够更为真实的反应排放源的 CO<sub>2</sub> 排放情况。前两个层级需要考虑不确定性。第三层级为最高层级，是详细排放模式测量，属于工厂级数据，能对非 CO<sub>2</sub> 温室气体作更好的估算，但也需要做更为细致的监测工作（IPCC, 2006; UNECE, 2019）。就复杂程度和数据要求而言，第一层级是基本方法，第二层级是中级方法，第三层级要求最高。有时，第二层级和第三层级被称作较高级别的方法，通常被认为更准确。

IPCC 指南给出了“关键类别”的概念，用来确定对一国的温室气体总清单有重要影响的类别。关键类别的绝对排放量（或温室气体的清除量）对国家温室气体排放总量会产生显著影响，指南要求各个国家优先关注关键类别清单的编制，为其数据的采集、数据处理、质量控制、报告编纂优先分配资源。指南中同时给出了识别关键类别的方法。此外，为确保清单的一致性、可比性，用于计算的全球升温潜能值必须是 IPCC 编写的系列气候变化评估报告中的推荐值。

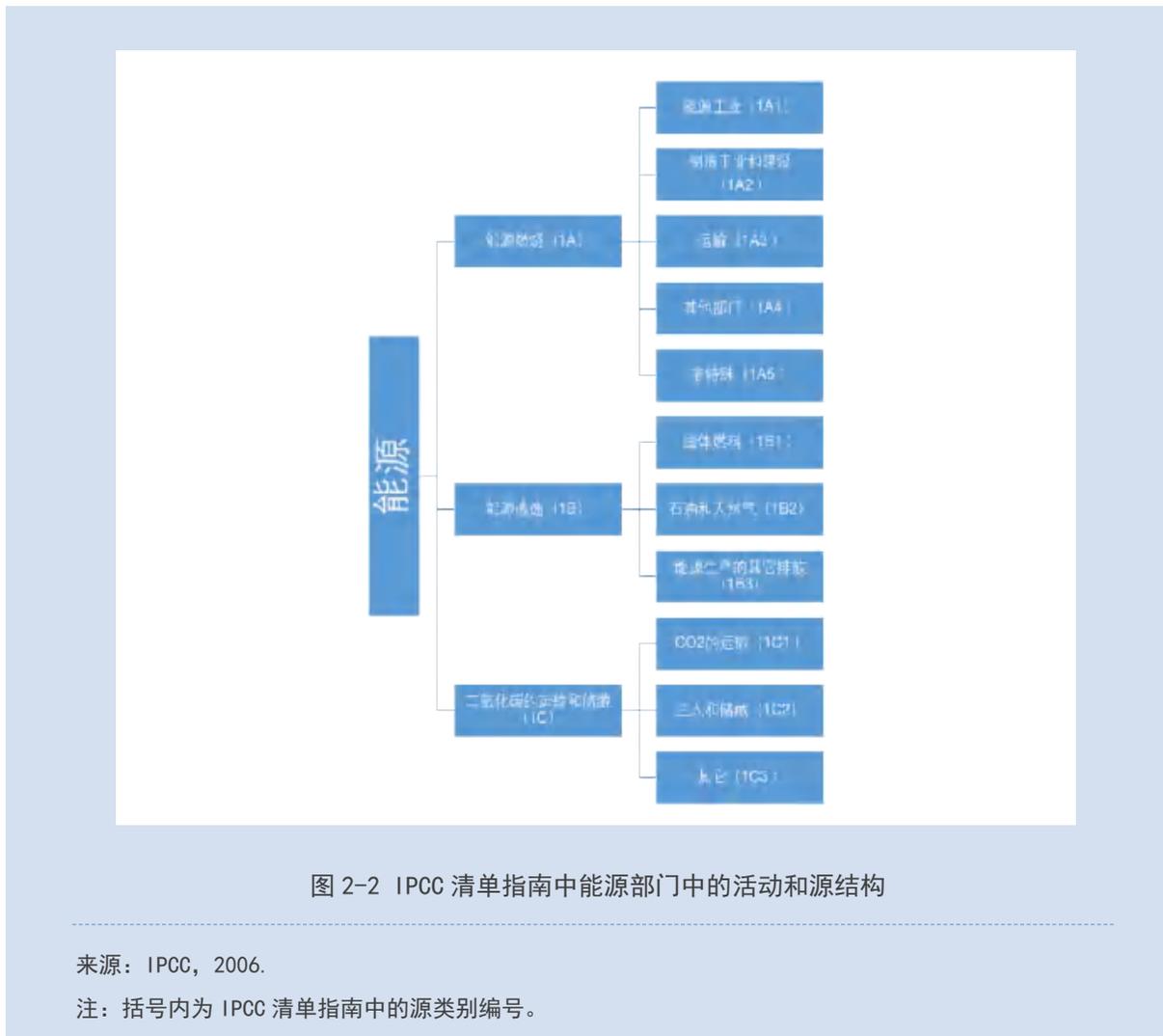
### 2.3 IPCC 清单指南中的能源领域温室气体排放

能源部门通常是温室气体排放清单中的最重要部门。在发达国家，能源部门的贡献一般

占 CO<sub>2</sub> 排放量的 90% 以上和温室气体总排放量的 75%。从能源部门排放的温室气体种类来看，能源部门总排放中约 95% 为 CO<sub>2</sub>，其余为 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O。IPCC 清单指南中将能源部门的活动分为三大类：能源燃烧、能源逃逸、CO<sub>2</sub> 的运输和储藏，本报告主要关注能源燃烧和能源逃逸（见下图）。从能源燃烧活动来看，固定源燃烧通常占到能源部门温室气体排放的约 70%。这些排放的大约一半与能源工业中的

燃烧相关，其中主要是发电厂和炼油厂。移动源燃烧（道路和其他交通）贡献了能源部门约四分之一的排放量。移动源直接产生温室气体排放，包括二氧化碳、甲烷和各类燃料燃烧排放的氧化亚氮，以及造成或促成当地或地区空气污染的其他污染物（IPCC，2006）。从附件 I 国家提交的排放清单来看，2017 年能源逃逸排放占能源领域温室气体排放的 13%。

《2019 精细化清单指南》中对能源部门



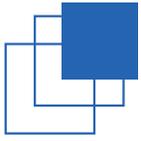
的修订主要在能源逃逸领域，其中包括：（1）油气系统排放因子得到全面更新，新生产工艺和技术以及之前被忽略的环节得到了充分体现。（2）补充了煤炭生产逃逸排放源及排放因子，增补了煤炭井工开采和露天开采的 CO<sub>2</sub> 逃逸排放核算方法和排放因子。（3）适当增补了其他燃料加工转换过程逃逸排放核算方法和排放因子，例如新增了对“固体燃料到固体燃料”的加工转换、木炭 / 生物炭生产过程和炼焦生产过程、煤制油以及天然气制油过程的温室气体逃逸排放核算方法和排放因子（朱松丽等，2018；蔡博峰等，2019）。

IPCC 提供了能源部门温室气体排放量的计算方法。从化石燃料燃烧来看，通常固定源产生的各类温室气体排放用相应排放因子乘以燃料消耗量进行计算。在部门方法中，“燃料消耗量”通过能源用途统计资料进行估算，以兆焦耳度量。燃料消耗数据的质量或容积单位，必须首先转换成这些燃料的能源含量。移动源燃烧产生的温室气体排放最易按主要运输活动进行估算，例如，公路、非公路、空运、铁路和水运航行。能源部门的逃逸排放估算方法与化石燃料燃烧使用的估算方法有很大差异。逃逸排放趋向分散，并且可能难于进行直接监测。此外，逃逸排放释放的类型要求的方法相当特殊。例如，关于采煤的方法与煤层的地质特性相关联，而对来自油气设施的逃逸泄漏的方法与一般的设备类型相关联（IPCC，2006）。

从目前各国清单编制情况来看，石油和天然气清单是各国清单中不确定性最大的环节，

清单的准确程度很大程度上取决于各国的检测水平。如果是采用精度很高的第三层级方法，需要基于设备级别的排放检测能力和在此基础上建立较为复杂的排放量估算模型。从欧洲经委会成员国的石油和天然气清单编制情况来看，大多数成员国使用第一层级方法，导致当前估计数据存在很大的不确定性。美国、加拿大、挪威和欧盟一些国家的石油和天然气清单中，部分使用了第二层级或第三层级方法，俄罗斯采用了第二层级和第一层级的方法，乌兹别克斯坦、乌克兰、阿塞拜疆和哈萨克斯坦都仅使用了第一层级方法（UNECE，2019）。

国家温室气体清单作为《公约》下信息披露制度的重要组成部分，其方法学和披露机制的逐渐完善也在推动着全球气候治理的不断前进。IPCC 提供的系列清单方法学保证了各国编制的温室气体清单具备透明、完整、一致、可比和准确性，也推动了各国不断提高清单精度。需要指出的是，温室气体清单还难以提供决策者所需要的更加详细和准确的信息，目前只能满足温室气体排放监管的最低数据要求。此外，一些研究表明，基于自下而上的方法形成的国家温室气体清单往往大大低估了排放量，原因在于许多国家的清单中，自下而上的清单计算方法在估算低频率高排放和其他间歇性随机排放时存在局限性，清单中采用了陈旧的活动数据和缺省的排放因子，缺乏直接测量数据，各国可以自己选择排放因子的自由度等（EDF，2019，2020；IEA，2020）。



## 三、中国温室气体排放统计和核算体系及相关制度安排

中国高度重视气候变化工作，积极应对气候变化被列为国家经济发展的重大战略之一。相应地，国内气候变化相关管理制度不断完善，其重要性不断提升，国际减排承诺通过国内的社会与经济发展五年规划中得到落实和贯彻。在 2009 年哥本哈根会议上，中国政府提出了“2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%-45%”的强度减排目标，这一指标被作为约束性指标纳入“十二五”规划，并进一步被分解为省级减排目标。在温室气体排放制度方面，中国开始构建国家、地方、企业三级温室气体排放基础统计和核算工作体系，服务于不同层级的温室气体控制和减排目标。

### 3.1 中国气候变化管理及温室气体排放统计相关制度

#### 3.1.1 中国气候变化管理相关制度及政策演变

中国国内对气候变化问题的认知同样也经历了从科学问题到发展问题及政治问题的演变，中国对气候变化的重视程度不断提高，相关制度的演变也经历了相似的过程。早在

1990 年，中国政府就在当时的国务院环境保护委员会下设立了国家气候变化协调小组，主要处理和气候变化科学问题有关的事宜。因此，由时任科技部部长担任小组领导，中国气象局被设为支撑机构，其下设有气候变化协调办公室。在中国参与《联合国气候变化框架公约》以及缔约国谈判之后，中国面临的问题越来越复杂，中国政府逐渐认识到气候变化与发展紧密相关。国际气候治理框架下要求在国内建立相应对口协调部门和政策协调机制，参与国际谈判和履行《公约》，协调国内各相关部门的利益、对策和整合专业知识，提高气候变化政策制定水平（于宏源，2007）。

1998 年，在中央国家机关机构改革过程中，原国家气候变化协调小组更名为国家气候变化对策协调小组，作为中国政府关于应对气候变化问题的跨部门议事协调机构。为保证协调小组工作的顺利进行，下面设立了国家气候变化对策协调小组办公室，办公室设在发改委地区经济司。2003 年成立了新一届国家气候变化对策协调小组，组长单位为国家发改委，副组长单位为外交部、科技部、国家环保总局和气象局，由时任国家发改委主任担任小组领导。此外，还设立了气候变化工作组，主要负

责气候变化科学研究相关工作。这一时期中国的履约活动主要包括向《公约》秘书处提交国家信息通报；根据“共同但有区别的责任”制定、执行、公布减少温室气体排放和汇清除以及适应气候变化的措施；开展清洁发展机制项目活动。

早在 1996 年，国家气候变化协调小组办公室就曾向联合国开发计划署申请信息通报项目。为了更好地完成项目申请工作，国家气候变化对策协调小组办公室从 1998 年开始与全球环境基金协商开展“中国准备初始国家信息通报的能力建设”项目，并于 1999 年正式签署了项目文件。国家气候变化协调对策领导小组办公室组织成立了由多个单位参加的项目领导小组；按照领域成立了两个技术工作组，分别聘请了首席专家负责和组织相应专题技术工作组的工作，约 40 多名核心研究人员和专家直接参与了项目的各项工作和活动。该项目共设置了 7 个直接目标及相应的产出和活动，其中前 5 个目标是按部门编制国家温室气体排放清单，第 6 个目标是完成国家初始信息通报和履约步骤的总体描述，第 7 个目标是提高中国公众的气候变化意识（邹晶，2008）。近百个单位的 400 多位专家历时近 3 年完成了《中华人民共和国气候变化初始国家通报》，并于 2004 年提交《公约》秘书处。

随着国内节能减排和国际减缓气候变化压力的日益增加，为了切实加强应对气候变化工作的领导，2007 年 6 月中国政府成立了国家应对气候变化领导小组，作为中国应对气候变

化议事协调机构。领导小组组长为时任国务院总理，成员包括多个部委的部长，领导小组会议视议题确定参会成员。领导小组下设国家应对气候变化领导小组办公室，设在国家发改委，办公室主任由发改委主任兼任，办公室在原国家气候变化对策协调小组办公室的基础上完善和加强。为了进一步加强在地区和部门（行业）层面应对气候变化工作，2008 年国家发展改革委增设了应对气候变化司，下设综合处、战略研究和规划处、国内政策和履约处、国际政策和谈判处、对外合作处。2012 年成立了国家应对气候变化战略研究和国际合作中心（以下简称国家气候战略中心），为应对气候变化司的相关工作提供技术支持和研究支撑。随着国家发展和改革委员会增设应对气候变化司，省级地方政府也陆续设立了省级应对气候变化工作主管部门的常设机构。截至 2016 年底，共有 11 个省级气候变化主管部门设立了应对气候变化处。

2007 年国务院发布了《中国应对气候变化国家方案》（以下简称《方案》），把积极应对气候变化作为国家经济发展的重大战略之一。《方案》的第一部分说明了中国观测到的气候变化影响及采取的行动；第二部分阐释了气候变化将给中国带来的发展模式、能源结构、资源开发和保护等领域内的严峻而急迫的挑战；第三部分论述了中国应对气候变化的原则和目标，提出“将继续把节约能源、优化能源结构、加强生态保护和建设、促进农业综合生产能力的提高等政策措施作为应对气候变化政

策的重要组成部分，并将减缓和适应气候变化的政策措施纳入到国民经济和社会发展规划中统筹考虑、协调推进”；第四部分提出了下一步多个领域内的政策和措施，其中还包括“地方各级人民政府要加强对本地区应对气候变化工作的组织领导，抓紧制定本地区应对气候变化的方案”（国务院，2007）。《方案》发布后，一些省份根据省级统计年鉴等统计资料对本地区的排放情况进行了粗略的估算（王尔德，2010）。

2009年11月国务院常务会议研究决定，将“2020年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%-45%”作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划，并制定相应的国内统计、监测、考核办法”。在2009年底哥本哈根气候变化大会上，中国政府也郑重宣布了这一目标。随后，2010年国家发改委启动了省级温室气体清单编制工作，希望能够了解各省温室气体排放现状，识别出关键排放源，并为各地正在制定“十二五”规划《纲要》提供支持。在2011年发布的《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中，将“2015年全国单位国内生产总值二氧化碳排放比2010年下降17%”列为约束性指标，提出“建立完善温室气体统计核算制度，逐步建立碳排放交易市场，推进低碳试点示范”，并将温室气体减排指标分配到各省（直辖市）。随后出台的政策中制定了相应的统计、监测、考核办法。在之后发布的《“十二五”控制温室气体排放工作方案》中，明确提出“控制非

能源活动二氧化碳排放和甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫等温室气体排放取得成效”，“构建国家、地方、企业三级温室气体排放基础统计和核算工作体系”、“实行重点企业直接报送能源和温室气体排放数据”等目标。

2015年中国政府提交的《强化应对气候变化行动中国国家自主贡献》中，提出了至2030年的应对气候变化的强化行动和措施，其中包括“健全温室气体排放统计核算体系。……，完善应对气候变化统计指标体系”。在2016年发布的《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中，继续将“2020年全国单位国内生产总值二氧化碳排放比2015年下降18%”列为约束性目标，并提出“控制非二氧化碳温室气体排放。推动建设全国统一的碳排放交易市场，实行重点单位碳排放报告、核查、核证和配额管理制度。健全统计核算、评价考核和责任追究制度，完善碳排放标准体系”。在之后发布的《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中，强调“加强温室气体排放统计与核算，完善应对气候变化统计指标体系和温室气体排放统计制度；完善重点行业企业温室气体排放核算指南。定期编制国家和省级温室气体排放清单，实行重点企（事）业单位温室气体排放数据报告制度，建立温室气体排放数据信息系统”。

2018年按照国务院机构改革方案，应对气候变化职能由国家发展改革委划转至新组建的生态环境部。在气候变化职能转隶到新组建

的生态环境部后，气候变化议题与环境、生态、健康等议题的结合也更为紧密，非二氧化碳排放、基于自然的解决方案已经进入相关政策的议程。碳市场建设继续向前推进，已发布了 24 个行业的温室气体排放核算报告指南和 13 项温室气体排放核算的国家标准，全国排放权注册登记系统和交易系统的建设方案正在完善，并对发电行业企业开展了大规模的培训。在绿色金融方面，国家应对气候变化及节能减排工作领导小组的成员单位当中纳入了中国人民银行，另外由生态环境部牵头，会同人民银行、银保监会、发改委、财政部，成立了气候投融资专业委员会。至 2018 年底，全国碳排放强度比 2005 年下降 45.8%，已经提前达到了中国政府承诺的 2020 年碳排放强度比 2005 年下降 40%-45% 的目标（新华社，2019）。

### 3.1.2 建立应对气候变化统计指标体系

统计工作是应对气候变化工作的基础和保障。中国的统计指标体系以国民经济核算为中心，在反映气候变化状况、核算温室气体排放等方面存在较大的数据缺口，有些活动水平指标尚未纳入统计体系，难以满足履行公约和开展国内相关工作的需要（国家发展改革委应对气候变化司，2014）。因此，急需建立健全覆盖能源活动、工业生产过程、农业、林业、废弃物处理等领域的温室气体基础统计和调查制度，改善温室气体清单编制和排放核算的统计支撑。2013 年 5 月，国家发改委同国家统计局印发《关于加强应对气候变化统计工作

的意见》，明确要求建立应对气候变化统计指标体系，完善温室气体排放基础统计。国家统计局制定了《应对气候变化统计工作方案》、《应对气候变化统计指标体系》、《应对气候变化部门统计报表制度》、《政府综合统计系统应对气候变化统计数据需求表》等一系列文件，并与国家发改委联合发文布置《应对气候变化部门统计报表制度》。2014 年还成立了由国家发展改革委、国家统计局、交通运输部等 23 个部门和行业协会组成的应对气候变化统计工作领导小组，建立了以政府综合统计为核心、相关部门分工协作的工作机制。

在活动水平数据方面，国家统计局建立了应对气候变化部门统计报表制度，逐步把温室气体清单编制所需的活动水平数据纳入政府统计体系。在 2013 年出台的《关于加强应对气候变化统计工作的意见》中，所制定的应对气候变化统计指标体系共包括 5 个大类、19 个小类、共计 36 项指标（见下表）。其中，控制温室气体排放指标反映中国在控制温室气体排放方面的目标与行动，包括综合、温室气体排放、调整产业结构、节约能源与提高能效、发展非化石能源、增加森林碳汇、控制工业和农业等部门温室气体排放 7 小类共 16 项指标。

在统计管理制度建设方面，国家组织相关部门完善了能源统计制度，细化和增加了能源统计品种指标，将原煤细分为烟煤、无烟煤、褐煤、其他煤炭，修改完善了能源平衡表，完善或修订了工业、服务业以及公共机构的能源统计制度，组织开展了交通运输企业能耗统计

监测试点；初步构建了五大传统领域与温室气体排放紧密关联的活动量及排放特征参数的统计与调查制度，并在现有统计制度基础上将温室气体排放基础统计指标纳入政府统计指标体系（鲁亚霜，2017）。总的来看，中国逐渐建立了应对气候变化的基础统计体系，但现行统

计方法的数据来源仍然较为分散单一，参与数据提供的组织协会较少；且一些数据尚未纳入现有统计体系中，需要通过其他调查而获得，尚未形成完备的数据统计体系（赵爱琴等，2015）。

表 3-1 应对气候变化统计指标体系

大 类	小 类	指 标
一、气候变化及影响 (3 小类, 6 项指标)	1. 温室气体浓度	(1) 二氧化碳浓度
	2. 气候变化	(2) 各省(区、市)年平均气温
		(3) 各省(区、市)平均年降水量
		(4) 全国沿海各省海平面较上年变化
	3. 气候变化影响	(5) 洪涝干旱农作物受灾面积
		(6) 气象灾害引发的直接经济损失
二、适应气候变化 (4 小类, 6 项指标)	1. 农业	(1) 保护性耕作面积
		(2) 新增草原改良面积
	2. 林业	(3) 新增沙化土地治理面积
	3. 水资源	(4) 农业灌溉用水有效利用系数
		(5) 节水灌溉面积
	4. 海岸带	(6) 近岸及海岸湿地面积
三、控制温室气体排放 (7 小类, 16 项指标)	1. 综合	(1) 单位国内生产总值二氧化碳排放降低率
	2. 温室气体排放	(2) 温室气体排放总量
		(3) 分领域温室气体排放量(能源活动、工业生产过程、农业、土地利用变化和林业、废弃物处理等 5 个领域二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫六种温室气体分别的排放量)
		(4) 第三产业增加值占 GDP 的比重
	3. 调整产业结构	(5) 战略性新兴产业增加值占 GDP 的比重

	4. 节约能源与提高能效	(6) 单位 GDP 能源消耗降低率	
		(7) 规模以上单位工业增加值能耗降低率	
		(8) 单位建筑面积能耗降低率	
	5. 发展非化石能源	(9) 非化石能源占一次能源消费比重	
	6. 增加森林碳汇	(10) 森林覆盖率	
		(11) 森林蓄积量	
		(12) 新增森林面积	
	7. 控制工业、农业等部门温室气体排放	(13) 水泥原料配料中废物替代比	
		(14) 废钢入炉比	
		(15) 测土配方施肥面积	
		(16) 沼气年产气量	
	四、应对气候变化的资金投入（4 小类，6 项指标）	1. 科技	(1) 应对气候变化科学研究投入
		2. 适应	(2) 大江大河防洪工程建设投入
3. 减缓		(3) 节能投入	
		(4) 发展非化石能源投入	
		(5) 增加森林碳汇投入	
4. 其他		(6) 温室气体排放统计、核算和考核及其能力建设投入	
五、应对气候变化相关管理（1 小类，2 项指标）	1. 计量、标准与认证	(1) 碳排放标准数量	
		(2) 低碳产品认证数量	

来源：国家发改委，国家统计局，2013。关于加强气候变化统计工作的意见（发改气候【2013】937号）

### 3.2 国家、地方、企业温室气体排放统计及核算体系

建立基本温室气体排放统计核算框架体系是 2011 年国务院发布的《“十二五”控制温室气体排放工作方案》中提到的主要目标之一，

其内涵包括加强温室气体统计核算统计工作，构建国家、地方、企业三级温室气体排放基础统计和核算工作体系。不同层级的温室清单服务于不同的决策需要：国家温室气体清单主要服务于履行《公约》下的信息披露；地方温室气体清单主要服务于政府部门考核，跟踪

年度碳强度下降核算，辨识区域内主要排放源，为制定区域减排政策和计划提供数据支撑；企业级温室气体清单主要服务于碳市场交易，为碳排放配额分配和企业履约提供数据基础。随着中国低碳发展工作的有序推进，清单编制也从国家层面，逐渐推广到区域层面，以企业为主体的温室气体排放报告、核算和监测已经成为当前的工作重点之一。

### 3.2.1 国家温室气体清单编制

中国作为《公约》非附件 I 缔约方，遵从对非附件 I 缔约方的要求。国家信息通报和

双年更新报告编制遵从《非附件 I 缔约方国家信息通报指南（Decision 17/CP.8）》和《非附件 I 缔约方双年更新报指南（Decision 2/CP.17）》。国家信息通报和双年更新报告在有资助的情况下编写和提交，目前的提交频率为 2-3 年一次，不要求提交专门的清单报告，接受国际专家的技术分析和研讨。中国分别于 2004、2012 和 2019 年向《公约》秘书处提交了三次国家信息通报，分别于 2017 年和 2019 年提交了两次双年更新报告，报告了 1994、2005、2012、2010 和 2014 年的国家温室气体清单，并向国际社会全面反映了中

表 3-2 《公约》下中国提交的温室气体清单概况

提交年份	提交文件	报告清单年份	报告气体范围	参考指南
2004	初始国家信息通报	1994	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	《1996 清单指南》+《2000 优良做法指南》
2012	第二次国家信息通报	2005	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>	《1996 清单指南》+《2000 优良做法指南》+《2006 清单指南》
2017	第一次两年更新报告	2012	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>	《1996 清单指南》+《2000 优良做法指南》+《2006 清单指南》
2019	第三次国家信息通报	2010 (2005 年重算)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>	《1996 清单指南》+《2000 优良做法指南》+《2003LULUCF 优良做法指南》+《2006 清单指南》
2019	第二次两年更新报告	2014	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>	《1996 清单指南》+《2000 优良做法指南》+《2003LULUCF 优良做法指南》+《2006 清单指南》

数据来源：中华人民共和国气候变化初始国家信息通报，中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报，中华人民共和国第一次两年更新报告，中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报，中华人民共和国第二次两年更新报告。

注：LULUCF, Landuse, landuse change and forestry, 土地利用、土地利用变化和林业

国应对气候变化各的政策与行动（见下表）。从报告温室气体范围来看，除了1994年清单仅包含了CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O之外，其余年份均报告了六种温室气体。从方法学来看，清单编制普遍参考了IPCC编制的《1996年清单指南》、《2000优良做法指南》，也部分参考了《2003LULUCF优良做法指南》和《2006清单指南》。此外，中国编制信息通报和两年更新报告的资金主要来自全球环境基金。

尽管在历次清单编制过程中，数据统计方法和口径、清单数据缺口和方法一致性在不断地改进，但是与发达国家对比还是有很大的差距。目前来看，中国提交的5份国家应对气候变化履约报告均为单一年份清单，除了2010年、2014年和重新计算的2005年清单在清单范围口径、编制方法和数据来源方面一致可比外，其他年份的清单均不完全一致，不能进行简单的对比分析。国家温室气体清单出现时间序列不一致的主要原因有：方法变化和方法改进；活动水平数据修订；增加新的排放类别；以及错误更正（马翠梅和王田，2019）。在2019年提交UNFCCC的“第三次国家信息通报”中，对2005年清单进行了重算，计算结果表明两次计算的结果还是有较大的差别，进一步说明了一致性要求的必要性。

按照《巴黎协定》实施细则要求，中国在2020年后将承担透明度双年度报告的义务，并不晚于2024年提交第一次透明度双年度报告，统一接受国际专家组审评和促进性多边审议。新规则对温室气体清单时间序列一致性方面的要求显著增强，需要编制和报告连续年份

温室气体清单，且每次都需要对自主贡献基年（2005年）清单数据进行重新计算等。从方法学上来看，中国需要于2024年开始全面采用《2006清单指南》进行温室气体清单编制，并依据《2006清单指南》对2005年清单进行重算。这对中国的温室气体清单编制基础能力提出了新的挑战（朱松丽等，2018；马翠梅和王田，2019）。

### 3.2.2 省市级温室气体清单编制

开展省级温室气体清单编制既是提高国家温室气体清单质量的重要环节，也是提高地方政府控制温室气体排放的科学性，增强地方应对气候变化能力的重要基础工作。2010年，中国政府正式启动了省级温室气体清单编制工作，2011年3月下发了由气候司组织多个单位编写的《省级温室气体清单编制指南（试行）》，为编制方法科学、数据透明、格式一致、结果可比的省级温室气体清单提供指导。与此同时，低碳试点城市和很多非低碳试点城市、工业园区也逐步开展了温室气体清单编制工作。至2015年10月，至少有160多个城市已经完成或正在编制城市温室气体清单（WRI，2015a）。至2017年底，已经有31省（区、市）完成了2005年、2010年、2012年和2014年省级温室气体清单的编制工作，14个省区还编制了其他年度的省级清单（生态环境部，2018）。2019年生态环境部下发《2019年全国生态环境系统应对气候变化工作要点》，部署各省下一阶段的温室气体清单编制工作。从各省公布的情况来看，各省进度不一样，对

于省级温室气体清单工作的部署仍存在较大的差异，例如青海省部署了 2018 年度清单编制，陕西省部署了 2015、2016、2017、2018 年四个年度清单编制。

从方法学上来看，中国省级温室气体清单编制指南总体上遵循 IPCC 的方法，借鉴 1994 年和 2005 年国家温室气体编制实践的优良做法，核算范围上以行政地理边界为主，同时包括了省际电力调入调出所带来的二氧化碳间接排放量（张晓梅等，2018）。在早期的城市温室气体清单编制方法研究中，学者们侧重于比较城市温室气体清单编制的不同方法学，例如《IPCC 国家温室气体清单指南》、《ICLEI 指南》<sup>7</sup>、《GRIP 温室气体地区清单议定书》<sup>8</sup> 和国家发改委发布的《省级温室气体清单编制指南》等。

然而在实际的清单编制实践中，由于城市清单编制需要服务于：（1）省级层面统一规划部署；（2）满足各级地方政府对于控制温室气体排放工作考核要求；（3）满足全国温室气体排放核算体系的统计和监测需要（白卫国等，2013）。保持城市温室气体清单与省级一致，能够满足上述要求。一些省份也根据《省级温室气体编制指南》和自己省份的特点，编制了专门的温室气体编制指南，用于指导本省及所辖市县区的清单编制。因此，在各地的清单编制实践中，越来越多的城市采用了《省级温室气体清单编制指南》以及各省自己编制的清单指南。随着清单数据管理的进步，一些省份的温室气体数据管理平台也可以生成《GRIP》的清单格式，便于与国际城市比较。

### 专栏 3.1 浙江省 - 市 - 县三级温室气体清单常态化编制及应用

浙江省在全国率先推行省市县三级温室气体清单常态化编制，要求省市县三级均在本年度完成上一年度的清单报告。省级层面，浙江省是国家明确的七个温室气体清单试点省份之一。在市县层面，2014 年 3 月浙江省启动市县温室气体清单编制工作。市县清单编制由市（县）发改委（局）牵头，浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心负责指导和管控。为了实现对清单编制的规范化管理，并应用清单数据支持决策和低碳发展，浙江省制定出台了全国首个省级温室气体清单管理办法 -- 《浙江省温室气体清单管理办法》，编制和修订了《浙江省温室气体清单编制指南》，并建立“浙江省气候变化研究交流平台”（WRI, 2015b；浙江省

- 7. 《ICLEI 指南》：由国际地方环境理事会开发，广泛应用于全球 1000 多个城市和地区的城市清单指南。清单编制采用了生产侧（直接排放）和消费侧（间接排放）结合的方法，该指南适用于消费特征明显的城市。
- 8. GRIP 温室气体地区清单议定书：由英国曼彻斯特大学开发，被欧洲多个城市采纳。清单编制采用了生产侧（直接排放）和消费侧（间接排放）结合的方法。

应对气候变化领导小组办公室，2018）。

清单数据为浙江省的低碳发展和相关政策决策提供了坚实的基础。浙江省有六个国家级低碳试点城市，一个国家气候适应型试点城市，还有一批国家级低碳工业园区试点，这些国家级试点的探索行动为进一步开展省级试点奠定了基础。目前浙江省已经开展两批省级低碳试点，第二批低碳试点已经发展为近零碳排放试点，而试点范围也进一步下沉到乡镇、园区、社区和企业。首批省级低碳试点包括两个低碳城市、八个低碳县市、两个低碳园区、10个低碳城镇。第二批省级低碳试点包括6个近零碳排放城镇试点、4个近零碳排放社区试点、1个近零碳排放园区试点、4个近零碳排放交通试点。此外，浙江省还实现了碳排放季度形势监测分析。

浙江省仍在探索如何提高清单数据质量和加强清单数据的应用。在2019年5月发布的《浙江省2019年应对气候变化工作要点》中，浙江省提出要继续深化温室气体清单编制工作，具体内容包括：开展浙江省温室气体清单编制指南修订，提高清单数据质量，强化数据应用；做好浙江省温室气体清单管理系统的升级工作。分级做好省、市、县三级2018年度温室气体清单编制工作；研究加强省、市、县三级温室气体清单的数据应用（浙江省生态环境厅，2019）。

### 3.2.3 企业级温室气体排放报告与碳市场

企业是碳排放的主体，实现重点企业温室气体排放报告、核查、核证和配额管理制度，是加强重点单位温室气体排放管控、开展碳排放权交易的基础，也是实现中国国内单位GDP二氧化碳排放下降目标和履行国际气候减排承诺的重要措施。2011年，中国启动碳排放权交易试点工作，批准北京、天津、上海、重庆、湖北（武汉）、广东（广州）、深圳等7省市为试点。之后，国家发改委在2013-2015年陆续发布了24个重点耗能行业的温室气体排放核算指南，给出了相关行业温室气体排放核算的基本方法和程序。各碳市场

试点也积极探索适合本省市的行业温室气体量化指南，如湖北省在2014年发布了11个典型行业温室气体量化指南和1个通用量化指南（刘强等，2016）。2014年1月，国家发改委启动重点单位温室气体排放报告工作，要求2010年温室气体排放达到13000吨二氧化碳当量或综合能源消费量达到5000吨标准煤的法人企（事）业单位，必须核算和报告本单位上年度温室气体排放情况，并由地方政府组织第三方机构对重点单位报告的数据信息进行必要的核查。当前，围绕碳排放交易工作完成了对8000多家企业2013-2015、2016-2017以及2018年度碳排放报告与核查工作，全国

碳市场和 7 个试点碳排放交易市场已分别建立了各自的碳排放核算、报告和核查体系。

目前国际上应用较多的两项企业层面温室气体排放核算标准分别是：（1）国际标准化组织（ISO）的 ISO14064-1《组织层次上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南》，（2）世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会的《企业核算与报告准则》。相比国际上典型的企业层面温室气体量化方法，国家发改委发布的 24 个重点行业温室气体量化方法有以下几个主要特点：（1）量化指南综合参考了 IPCC《2006 清单指南》和《ISO14064 系列标准》；（2）核算范围都是范围一和范围二<sup>9</sup>；（3）指南中仅考虑了 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub> 和 N<sub>2</sub>O 四种气体，且 CH<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、N<sub>2</sub>O 仅在特定的行业才被纳入核算范围；（4）核算方法基本上都是采用碳排放系数法或碳平衡法；（5）所有已发布的量化指南都没有考虑不确定性的计算（刘强等，2016）。

基于国家发改委编制的重点耗能行业的温室气体排放核算指南，中国也在制定企业温室

气体排放和核算国家标准。2015 年 11 月，国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会正式发布了第一批企业温室气体核算国家标准，包括 GB/T32150-2015《工业企业温室气体排放核算和报告通则》，以及 GB/T32151.1-10 各行业温室气体核算与报告要求的标准系列，包括发电、电网、镁冶炼、铝冶炼、钢铁、民用航空、平板玻璃、水泥、陶瓷、化工等 10 个行业的温室气体排放核算与报告要求；之后在 2018 年发布了煤炭生产企业、纺织服装企业两个行业的温室气体核算与报告标准。该标准属于推荐性的国家标准，不具有强制性，任何单位均有权决定是否采用。同时，中国发布的企业标准与 ISO19694 系列标准采用了基本一致的核心方法，为未来可能的交流衔接提供了基础。标准间的差异主要源自适用范围与使用对象的不同，体现在排放源划分方式、数据获取方法、体现特定导向的要求等方面（陈健华等，2016）。

### 专栏 3-2 中国石油天然气集团公司的温室气体排放核算

2016 年 2 月，国家发改委发布“关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知”，要求石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力、航空八个重点排放行业企业提

• 9. 注：此处按《温室气体核算体系：企业核算与报告标准》中对“范围”的定义：范围一是指直接温室气体排放，企业拥有或控制的排放源，其中生物质燃烧产生的直接 CO<sub>2</sub> 排放不计入范围一，范围二是指能源间接排放，指组织所消耗的外部电力、蒸汽、热而造成的排放；范围三是指其他间接温室气体排放，指因组织活动引起的，而被其他组织拥有或控制的温室气体排放。

交 2013-2015 年的温室气体排放数据。中国石油天然气集团公司（以下简称“中石油”）按照要求全面启动了温室气体排放核算与报告。

中石油的业务领域覆盖了石油天然气行业和石化行业的整个链条，因此，在进行温室气体核算时，需要参考《工业企业温室气体排放核算和报告通则》以及多个行业（石化、机械制造生产、运输等行业）的温室气体核算指南。此外，中石油还参加了油气行业倡议组织（OGCI），也是“一带一路倡议”重要的投资企业，集团下还包含香港上市公司，因此，中石油在进行温室气体核算时，也考虑了和国际标准的接轨。集团依据 ISO14064-1:2006 标准盘查温室气体，考虑了 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、HFCs、PFCs 和 SF<sub>6</sub> 六种气体，开展了海外业务温室气体排放与核算（中石油，2019）。

中石油编制了《中国石油天然气集团公司温室气体排放核算与报告工作方案》，设计开发了集团公司温室气体排放核算与报告平台，平台自 2016 年 5 月份正式上线运行。平台的功能主要分为三部分：参数配置、数据填报与核算以及报表输出与报告上传。参数配置包括基础参数信息、装置 / 设施信息以及核算单位信息。数据填报与核算包括燃料燃烧排放、油气田业务排放、石化业务排放、机械制造过程排放、运输企业燃烧与净化过程排放、废物处理排放、温室气体回收利用、间接排放共 8 类数据。平台输出包括 10 类输出报表。

在温室气体核算中，中石油遇到的主要困难包括：（1）核算边界差异较大，国家发改委要求按企业法人单位提交报告，中石油集团公司要求以地区公司为单位定期上报数据，各个地区公司在当地可能会注册不止一个法人单位，一些规模较大的油气田企业还会横跨不同省份。（2）报地方政府和报集团公司所需要的数据范围存在很大差异，规模较大的油气田企业横跨不同省份，企业二级单位在不同省份遵循的地方政策不同，各地方政府要求上报的数据所涉及的业务范围也不完全一样。（3）基础数据来源分散、数据填报量及核算量庞大等（袁立凡和于扬，2017）。

### 3.2.4 温室气体清单编制机制及安排

经过五次国家清单编制工作实践，中国清单编制的组织机构建设得到加强，基本形成了应对气候变化司组织协调、国家级研究单位承担、相关单位（特别是国家统计局）和行业专家参与以及外部专家审评的机制，培养了较完

整、稳定的清单编制队伍和一批清单编制专家，部分成为国际清单评审专家。此外，还遵循 IPCC《2000 优良做法指南》，各领域温室气体排放清单编制单位针对活动水平数据、排放因子和相关参数建立了数据库，并建立了信息来源和参考文献管理数据库。针对方法学选择

依据及其改进过程，各领域以技术报告形式详细记载，并经过同行专家评审后留档保存。

中国前五次国家温室气体清单均采用项目制组织进行编制。国家信息通报、双年更新报告和清单编制的主管部门（2018年之前的主管部门是国家发改委，之后是生态环境部）负责组织和协调相关工作。在获得全球环境基金的资金资助后，主管部门会立项并设立专门的项目管理办公室，由项目管理办公室通过公开招标方式确定各领域清单的承担单位。其他相关政府部门配合，包括提供基础统计数据、协调相关行业协会和典型企业提供资料等。项目执行过程中同其他部门的协调问题，如清单编制的数据库收集，主要是通过主管部门召开讨论会或向相关政府部门发函等方式解决（马翠

梅和王田，2017）。

下文以中国气候变化第三次国家信息通报和第一次双年更新报告的组织和执行为例进行说明。“中国准备第三次国家信息通报能力建设项目”（以下简称 TNC 项目）的资金来源于全球环境基金（GEF）资助，通过联合国开发计划署（UNDP）实施。该项目由原国家发改委应对气候变化司执行，并于其下专设了项目管理办公室，负责具体组织协调事务，项目计划执行期为 4 年。TNC 项目共包含九个分包子项目，于 2014 年 10 月 13 日发布项目公开招标公告函，要求有意向的单位在 11 月 6 日之前按要求提交项目建议书（包含技术和财务部分），各课题中标承担单位如下表所示。2015 年 3 月 17 日，召开了项目启动会。第一

表 3-3 “中国准备第三次国家信息通报能力建设项目” 子项目及承担单位

序号	子项目名称	承担单位
1	能源活动温室气体清单	国家气候战略中心 + 国家发改委能源研究所
2	工业生产温室气体清单	清华大学
3	农田温室气体清单和农田土壤有机碳储量清单	中国科学院大气物理研究所
4	畜牧业温室气体清单	中国农业科学院
5	土地利用、土地利用变化和林业温室气体清单	中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所
6	废弃物处理温室气体清单	中国环境科学研究院
7	更新中国温室气体清单数据库	国家气候战略中心
8	中国二氧化碳排放预测方法及情景分析	清华大学
9	提高公众的气候变化意识，传播政府应对气候变化政策	中经网数据有限公司

来源：“国家信息通报”网站，<http://tnc.ccchina.org.cn/index.aspx>

次双年更新报告初稿讨论会在 2016 年 5 月召开，又经过两次正式的讨论会之后，于 2017 年 1 月提交《公约》秘书处。在经过逐个的项目验收后，并于 2019 年 6 月提交第三次国家信息通报。

由以上组织执行方式可见，中国的温室气体清单编制还停留在项目制的组织方式上，尚未达到常态化阶段。目前尚未建立专职的清单项目办公室，每次清单都是以项目形式委托给相关研究机构，而不是通过政府立法或备忘录形式确定机构和人员，机构和人员的变更往往容易影响到清单编制质量，也不利于采用集中的信息系统提高清单编制效率和数据管理。此外，当前清单编制采用的研究项目制受科研人员和经费稳定性影响大，不利于未来高频率的清单报告。另一方面，中国清单编制未能充分发挥部委间的协调作用，协调成本高而效率低，在基础数据收集方面仅由主管部门发函、签署分包合同等方式解决，难以保证稳定、及时地获取清单编制所需的全部基础数据，也难于支撑未来两年一次的报告频率和审评要求（马翠梅和王田，2017）。

各省温室气体清单编制尚有较大的差异，有的省份建立起了常态化的清单编制机制（如浙江省），另外一些省份还未建立起常态化的清单编制机制。总的来看，清单编制的组织单位是各省的生态环境厅（2019 年之前为省级发改委），由组织单位选择具有国家或省级专业资质的技术支撑机构承担清单编制工作，各省、市级温室气体排放清单编制经费由

同级财政支出。清单编制方法参考《省级温室气体清单编制指南》和已编成的省级温室气体清单，有一些省份编制了自己省份的温室气体清单指南。从活动水平数据来看，温室气体排放清单核算数据以统计部门年度统计数据为准，若无统计数据则以主管行业部门年终数据为准，此外，清单编制技术支撑机构也会进行实地调研勘测掌握相关数据。

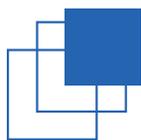
### 3.3 小结

经过近 20 年的时间，中国逐渐建立起了气候变化和温室气体排放管理制度，以及国家、地方和企业三级温室气体排放统计和核算体系。从温室气体排放管理机制来看，在国家 and 地方层面上，中国都建立了温室气体排放管理机制，设立了专门的管理机构。从温室气体统计制度来看，中国建立了应对气候变化统计指标体系和报表制度，并且初步建立了国家、地方、企业三级温室气体排放统计、核算及管理体系。从清单编制机制来看，国家清单仍然停留在项目制的组织方式，各省温室气体清单编制也建立起了省级主管部门组织的温室气体清单编制机制，重点企业已经建立起年度温室气体排放的报告机制。

目前国家级清单尚没有建立常态化的清单编制机制（基本还依赖国际支持、以项目形式进行、一事一议），省级和企业级基本形成了常态化的工作机制。另外，各级清单编制服务于不同的目的，虽然在编制中所采用的方法虽

然大体一致，但是所参照的指南的新旧程度不同，所给出的排放源覆盖范围和参考排放因子也有不小的差别。从实际的管理中来看，三级清单的数据支持系统和管理没有连接起来，信息并不公开和共享，如果在国家清单编制的过程中需要查阅省级或企业清单数据，需要向主管部门申请，并且在国家技术支撑单位备案登记。未来，中国国家温室气体清单面临两年一报以及国际审评的义务，需要提高清单编制的

质量和效率，推进相关温室气体清单编制工作机制化和常态化，完善气候变化统计指标体系，扩大统计覆盖范围。

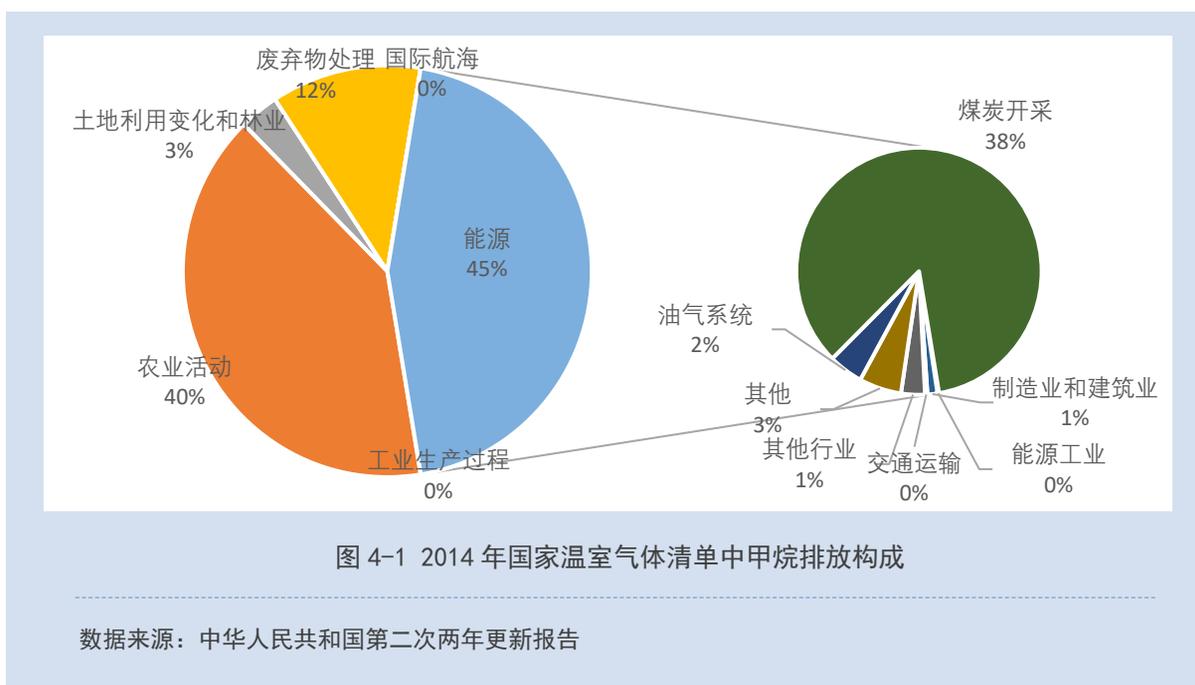


## 四、能源领域甲烷排放清单编制

### 4.1 国家温室气体清单甲烷排放情况

根据第二次两年更新报告，2014年中国甲烷排放为5529万吨（包括土地利用变化和林业），折合为二氧化碳当量为11.6亿吨，占当年温室气体排放总量的10.4%。从构成来看，能源活动是中国甲烷的最大排放源，占比45%；农业活动是第二大甲烷排放源，占比40%；废弃物处理是第三大排放源，占比

12%；土地利用变化和林业是第四大排放源，占比3%；工业过程和国际航海甲烷排放占比较小。能源活动包括燃料燃烧和逃逸排放两部分，逃逸排放是能源活动甲烷的主要排放源，煤炭开采和油气系统的甲烷排放占到全国甲烷总排放的40%，其中煤炭开采的排放占到甲烷总排放的38%，油气系统的排放占比2%。燃料燃烧的甲烷排放只占全国甲烷总排放的5%（见下图）。



中国对于温室气体清单的研究和实践起步较晚，从 2000 年左右才开始起步。在历年清单中，甲烷排放源排放源覆盖范围和完整性不断增加，表 4-1 很详细地反映了这一趋势。该表为国家温室气体清单中的甲烷部分统计，彩色部分为当年统计新增的排放源。可以看出，在前四个年份的统计中，1994 年统计的排放源类别最少，之后年份的统计排放源类别在不断地增加，完整性不断提升。同时，在准确性方面也有改善，例如“化学工业”和“农业土壤”

类别中，从“未计算（NE）”改为“不适用（NA）”。2005 年甲烷清单编制格式遵循《非附件 I 缔约方国家信息通报指南》给出的清单汇报格式，但是 2005 年甲烷清单中能源活动、工业生产等诸多子类与指南中给出的格式中的子类并不完全一致。在之后年份的清单中，温室气体清单排放源和吸收汇分类与 IPCC 清单指南也更为一致，但个别类别名称的中文用词不完全相同。

表 4-1 国家温室气体清单中甲烷排放部分（按报告年份排列）

万吨	1994	2005	2012	2010	2014
能源活动	3428.7	4445	5591.5	5539.4	5529.2
燃料燃烧	937.1	1543	2758.6	2683.4	2475.7
能源工业	214.7	229	262	300	261.4
制造业和建筑业			4.8	4.2	5
交通运输			20.4	28.4	32.4
其他行业		12.6	7.8	7.3	7.9
其他			75.8	80.3	77.7
逃逸排放	214.7	216.3	153.1	179.7	138.4
油气系统	722.4	1314	2496.6	2383.4	2214.2
煤炭开采	12.4	21.8	111.9	96.4	112.7
工业生产过程	710	1292.2	2384.7	2287	2101.5
化学工业			0.6	0.5	0.6
金属制品生产			NE	NE	NA
农业活动			0.6	0.5	0.6
动物肠道发酵	1719.6	2517	2288.6	2241.4	2224.5
动物肠道发酵	1018.2	1438	1074.3	1032.9	985.6

动物粪便管理	86.7	286	333.1	304.8	315.5
水稻种植	614.7	793	845.8	872.9	891.1
农业土壤			NE	NA	NA
农业废弃物田间焚烧			35.4	30.7	32.3
土地利用变化和林业		3.1	1.4	174	172
森林转化		3.1	1.4		
湿地				174	172
废弃物处理	772	382	542.3	440.1	656.4
固体废物处理		220	253.1	220.7	384.2
废水处理		162	289.2	219.4	272.1
废弃物焚烧处理			0		
信息项					
国际航空			0	0	0
国际航海			0.3	0.2	0.2
生物质燃烧					
总量（不包括 LULUCF），亿吨 CO <sub>2</sub> e	7.2	9.3	11.7	11.3	11.3
总量（包括 LULUCF），亿吨 CO <sub>2</sub> e	7.2	9.3	11.7	11.6	11.6
占温室气体排放总量比 （不包括 LULUCF）	17.7%	12.5%	9.9%	10.7%	9.1%
占温室气体排放总量比（包括 LULUCF）	17.7%	12.5%	10.4%	12.2%	10.4%

数据来源：中华人民共和国气候变化初始国家信息通报，中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报，中华人民共和国第一次两年更新报告，中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报，中华人民共和国第二次两年更新报告。

注：（1）从清单报告年份来看，2012年清单的报告年份早于2010年，所以按报告清单年份排列。

（2）NE（未计算）表示对现有源排放量和汇清除没有计算；NA表示不适用。

（3）表格中彩色部分为当年统计新增的排放源。

从数据来源看，活动水平数据基本上来源于最新的国家统计局、行业数据和企业数据及其他相关统计资料，排放因子包括行业调研

和相关国际指南缺省值。在国家清单的二氧化碳排放计算中，能源活动、土地利用变化和林业领域主要采取了高层级方法，关键排放源大

都使用了本国特定排放因子；而工业生产过程和废弃物处理领域则采用了第一层级和第二层级的方法，所采用的排放因子包括本国特定排放因子和 IPCC 缺省排放因子。从甲烷排放所采用的清单编制方法来看，采用活动水平和排放因子的层级低于二氧化碳排放计算。甲烷排放各领域普遍采用了第一层级和第二层级的方法，排放因子也以 IPCC 缺省排放因子为主，本国特定排放因子为辅。

在 2019 年提交 UNFCCC 的“第三次国家信息通报”中，对 2005 年清单进行了重算，计算结果表明两次计算的结果还是有较大的差别，进一步说明了一致性要求的必要性。从重算的 2005 年清单数据来看，若不包括土地利用、土地利用变化和林业，2005 年中国温室气体排放总量比重算前增加了 6.6%，CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 分别增长 5.9%、8.2% 和 26.9%。能源领域重算前后排放量变化占国家温室气体清单排放量总变化（不包括包括土地利用变化和林业）的 77.7%，是排放量变化最大的一个部门，其中化石燃料燃烧二氧化碳排放上升量最大，主要的原因是第三次经济普查

数据对 2005 年的化石燃料消费量数据进行了修订；甲烷和氧化亚氮排放量增加主要是由于增加了新的排放源，以及煤炭开采和矿后活动原煤产量和井工开采排放因子的变化（马翠梅和王田，2019）。

## 4.2 国家温室气体清单能源领域甲烷排放数据分析

能源系统排放清单编制过程中，采用了在识别关键排放源基础上，关键排放源尽量采用以国别参数为主的高层级方法，这一原则在各次报告中也有所体现。表 4-2 是对能源系统温室气体关键排放源的识别，可以看出，能源系统中关键排放源的贡献非常显著，集中度很高，前 6 个排放源贡献了能源系统温室气体排放的 70%；前 10 个排放源对能源系统温室气体总排放的贡献超过 80%；前 25 个关键排放源的排放占比超过了该领域内温室气体排放的 95%。在关键排放源中包括两个甲烷排放源：煤炭开采甲烷逃逸排放和生物质燃烧甲烷排放。

表 4-2 中国能源系统的关键排放源（2005 年）

部门 - 燃料 - 气体	累积排放占比 (%)	部门 - 燃料 - 气体	累积排放占比 (%)
1. 公用电力和热力 - 固体 - CO <sub>2</sub>	33.60	14. 纺织工业 - 固体 - CO <sub>2</sub>	85.94
2. 钢铁工业 - 固体 - CO <sub>2</sub>	48.57	15. 食品烟草 - 固体 - CO <sub>2</sub>	87.14
3. 建材工业 - 固体 - CO <sub>2</sub>	55.79	16. 机械电子 - 固体 - CO <sub>2</sub>	88.21
4. 道路交通 - 液体 - CO <sub>2</sub>	61.55	17. 其他 - 固体 - CO <sub>2</sub>	89.03
5. 煤炭开采逃逸 - CH <sub>4</sub>	66.25	18. 公用电力和热力 - 液体 - CO <sub>2</sub>	89.84

6. 化学工业 - 固体 -CO <sub>2</sub>	70.75	19. 生物质燃烧 -CH <sub>4</sub>	90.63
7. 居民生活 - 固体 -CO <sub>2</sub>	74.32	20. 服务业 - 液体 -CO <sub>2</sub>	91.35
8. 油气开采加工 - 液体 -CO <sub>2</sub>	76.75	21. 居民生活 - 液体 -CO <sub>2</sub>	92.05
9. 煤炭开采加工 - 固体 -CO <sub>2</sub>	78.73	22. 农业 - 液体 -CO <sub>2</sub>	92.70
10. 炼焦和制气 - 固体 -CO <sub>2</sub>	80.44	23. 水路运输 - 液体 -CO <sub>2</sub>	93.35
11. 服务业 - 固体 -CO <sub>2</sub>	81.96	24. 油气开采加工 - 固体 -CO <sub>2</sub>	93.98
12. 有色金属 - 固体 -CO <sub>2</sub>	83.41	24. 化学工业 - 气体 -CO <sub>2</sub>	94.52
13. 造纸纸浆 - 固体 -CO <sub>2</sub>	84.68	25. 农业 - 固体 -CO <sub>2</sub>	95.02

来源：专家访谈 BJ20191202。

中国的化石能源特点是“富煤贫油少气”，煤矿采掘业规模很大，石油和天然气严重依赖进口，因此，能源活动中甲烷逃逸排放中煤炭行业占比显著。煤炭行业甲烷逃逸排放是能源系统的最大甲烷排放源。2014年能源系统甲烷逃逸排放共2214万吨，其中煤炭甲烷逃逸排放约占95%，油气系统甲烷逃逸排放约为

5%。表4-3为国家温室气体清单中能源系统甲烷排放数据，其中2005年采用了专家重算后的数据，因此该数据系列基本可比，其中生物质能数据的连续性最好。总的来看，各个领域的甲烷排放的趋势并不一致。来自燃料燃烧的甲烷排放总体呈现下降的趋势，这主要由于生物能源燃烧领域的甲烷排放在快速下降。这

表 4-3 能源系统甲烷排放概况（万吨）

	2005	2010	2012	2014
1. 燃料燃烧	271.5	300	262.0	261.4
1.1 化石能源燃烧	55.9	120.3	108.9	123.0
1.2 生物能源燃烧	215.6	179.7	153.1	138.4
2. 逃逸排放	2095.2	2383.4	2496.6	2214.2
2.1 煤炭系统	1971.4	2287.0	2384.7	2101.5
2.2 油气系统	61.9	96.4	111.9	112.7
合计	2366.7	2683.4	2758.6	2475.6

注：2005年数据来源：专家访谈 BJ20191202；马翠梅和王田，2019。

是因为近年来农村生活水平提高，用能结构不断变化，生物质利用量逐年下降。来自能源系统的甲烷逃逸排放在 2012 年后已经呈现明显的下降趋势，这主要是来自于煤炭系统甲烷逃逸排放减少。这一方面与中国开展的大气污染治理有关，这一期间，煤炭消费量显著下降；另一方面，煤炭行业的甲烷回收利用水平也在迅速提高。从能源领域甲烷排放源的覆盖面来看，除了 CCUS 之外，国家温室气体清单基本覆盖了所有排放源（蔡博峰等，2019）。历次清单中能源活动温室气体清单编制方法的类别和方法学都在不断地完善。从活动水平数据来看，主要采用了相近年份的统计数据，其中化石燃料燃烧水平活动数据以国家统计局提供的能源统计为主要依据，行业数据、典型调研、专家估算等作为辅助，属于国别数据。因为中国以煤炭为主的能源结构，清单编制机构专门针对煤质、燃煤主要设备的碳氧化率等影响排放因子的因素进行了特别调研。油气系统逃逸排放活动水平数据采用了企业数据。

能源领域化石燃料燃烧的甲烷排放采用部门法进行估算。从方法学上来看，静止源化石燃料燃烧用的是第 1 层级方法，排放因子以 IPCC《1996 清单指南》缺省因子为主；移动源化石燃料燃烧用的是第 3 层级的模型方法

（COPERT 模型）<sup>10</sup>。生物燃料燃烧采用了第 2 层级和第 1 层级相结合的方法，排放因子采用相关文献和 IPCC 缺省因子（见下表）。固体燃料甲烷逃逸排放中，井工开采采用第 2 层级方法，露天开采采用第 1 层级方法，矿后活动采用第 2 层级方法，废弃矿井采用《2006 清单指南》第 1 层级方法。天然气开采和输送及常规原油开采采用第 3 层级方法，油气系统甲烷逃逸的其他子领域则采用第 1 层级方法。

《2019 精细化清单指南》针对能源领域甲烷逃逸排放做了大量修订，全面更新了油气系统排放因子，补充了煤炭生产逃逸的排放源和排放因子，适当增补了其他燃料加工转换过程逃逸排放，对中国能源清单编制的影响不容小觑。由于《2006 清单指南》中关于能源燃烧的清单方法学相对成熟，《2019 精细化清单指南》修订全部针对逃逸排放，即在化石能源的开采、加工转换、运输和终端消费过程出现的泄漏、排空和火炬燃烧排放等。相比化石燃料燃烧，逃逸环节的排放源细碎分散、排放特征复杂、监测和控制难度大，因此不确定性较大。针对中国逃逸排放清单中缺失的环节，按照《2019 精细化清单指南》提供的排放因子，经简单计算可以发现，此次增补对中国排放量的影响至少在千万吨以上，仅井工开采 CO<sub>2</sub> 排

• 10. COPERT 模型源于欧洲委员会开展的机动车排放因子研究。该模型采用大量可靠的实验数据，可兼容不同国家的标准和参数变量，在欧洲国家应用较多。由于欧洲发动机技术与中国相近，该模型能兼容中国的机动车排放控制标准，需要的参数较少，且可计算不同地区不同道路多种行驶工况下的各种机动车排放因子，因而在中国也有广泛的应用。

表 4-4 2014 年清单中能源系统甲烷排放核算方法和活动水平数据来源

排放源	核算方法	排放因子数据来源	活动水平数据来源
化石燃料燃烧—静止源	第 1 层级方法	IPCC 缺省因子	《中国能源统计 2015》及其它相关统计资料
化石燃料燃烧—移动源	第 3 层级方法 + 第 1 层级方法	COPERT 模型方法（道路交通）；IPCC 缺省因子	《中国能源统计 2015》及其它相关统计资料
生物燃料燃烧	第 2 层级方法 + 第 1 层级方法	文献 + IPCC 缺省因子	《中国农业统计年鉴 2015》等
煤炭系统逃逸排放	第 2 层级方法 + 第 1 层级方法	安监局样本数据 + 专家估计	《中国煤炭工业年鉴 2015》
油气系统逃逸排放	第 3 层级方法 + 第 1 层级方法	国别数据 + 参考加拿大数据 + IPCC 缺省因子；	《中国石油化工集团公司年鉴 2015》等

来源：专家访谈 BJ20191202；中华人民共和国第三次国家信息通报；中华人民共和国第二次两年更新报告。

放一项就将增加排放 4000 万吨（蔡博峰等，2019）。

### 4.3 煤炭行业甲烷逃逸排放清单

IPCC《2006 清单指南》按照排放环节将煤炭开采和矿后活动将划分为煤炭开采工程、矿后活动、低温氧化、非控制燃烧以及废弃矿井等五类排放源，其中低温氧化和非控制燃烧两个环节因方法不成熟未提供温室气体排放计算方法。井工开采是指在煤炭井下采掘过程中，煤层甲烷伴随着煤层开采不断涌入煤矿巷道和采掘空间，并通过通风、抽采系统排放到

大气中形成的温室气体排放。矿后活动是指煤炭加工、运输和使用过程，即煤的洗选、储存、运输及燃烧前的粉碎等过程产生的排放。露天开采是指露天煤矿被开采释放的和邻近暴露煤（地）层释放的甲烷。煤炭开采停止后，废弃煤矿仍会通过自然或人为通道继续释放温室气体，此部分为废弃矿井甲烷逃逸排放。此外，近年来煤层气抽采和放空利用的规模逐步扩大，需要从逃逸总量中剔除。

中国国家温室气体清单的排放源包括了井工煤矿和露天煤矿，其中井工煤矿包含了完整的井工开采、矿后活动和废弃矿井环节，而露天煤矿只包括了露天开采环节，没有矿后活动

和废弃煤矿环节（见下表）。从煤炭行业甲烷排放占比来看，井工开采是最大排放源，占煤炭系统甲烷逃逸排放 83% 左右；其次是井工煤矿的矿后活动排放，占比 13%；废弃井工矿井排放占比 1%，露天煤矿开采排放占比 3%。煤炭开采过程中的抽采瓦斯和通风瓦斯排放是煤炭行业甲烷逃逸排放的主要来源。当前煤炭企业主要基于煤矿安全生产的需要对煤矿瓦斯

进行抽采，利用多以高浓度瓦斯为主，低浓度瓦斯利用较少，通风瓦斯更是绝大部分都直接排空。因此，尽管煤炭甲烷回收利用率不断增长，但整体利用率仍然偏低，2016 年煤炭行业甲烷回收利用率达到 603 万吨，占煤炭系统甲烷排放比例 27%，仍有 73% 的甲烷排放到了大气中（马翠梅，2020）。

表 4-5 煤炭行业甲烷逃逸排放清单编制

	井工煤矿			露天煤矿
	井工开采	矿后活动	废弃矿井	露天开采
甲烷排放占比	83%	13%	1%	3%
活动水平数据	中国煤炭工业年鉴		国家能源局	省级能源清单
排放因子	全国煤矿矿井瓦斯鉴定结果	高瓦斯和突出矿井（专题研究） 瓦斯矿井（行业标准）	缺省因子（IPCC2006）	缺省因子（IPCC1996）
计算方法	第二层级方法	第二层级方法	第一层级方法	第一层级方法

来源：中华人民共和国第二次更新两年报；中华人民共和国第三次气候变化国家信息通报；马翠梅等，2020。

#### 中国煤炭开采情况与活动水平数据

中国是全球第一大煤炭生产国，2018 年全国原煤产量为 36.8 亿吨，占全球比重超过 46%（BP，2019）。同时，中国还是世界上最大的煤炭进口国，2018 年进口量超过了 2.8 亿吨。近年来，中国政府出于安全生产和淘汰落后产能的原因不断关闭小型煤矿，全国煤矿数量由 2010 年的 1.4 万多座减少到 2018 年

的 5900 座左右。另一方面，中国废弃矿井数量巨大，预计到 2030 年废弃矿井数量将达到 1.5 万处（武晓娟，2019）。从类别上来看，中国的煤矿以井工煤矿为主，近年来露天煤矿发展较快，目前全国已有超过 400 座露天煤矿，其煤炭产量约占全国产量的 85% 左右。中国深层矿井数量大，甲烷泄漏量也相对较高。从矿井类型来看，煤与瓦斯突出矿井占比约为

13%；高瓦斯矿井占比约为 18%；低瓦斯矿井占比约为 69%。

从活动水平数据来看，井工开采与矿后活动水平数据来自中国煤炭工业年鉴。废弃矿井数据来自国家能源局统计数据。露天煤矿开采则采用了省级能源清单中的统计数据。在以往的清单中，由于缺乏详细的瓦斯排放的数据，采用了根据煤矿所属关系（国有重点煤矿、地方国有煤矿、乡镇煤矿和个体煤矿），以及根据瓦斯排放矿井类型（煤与瓦斯突出矿井、高瓦斯矿井、低瓦斯矿井）分类结合计算的方法。2007 年之前只有国有重点煤矿瓦斯排放数据，从 2007 年开始，中国煤矿监管部门出于安全考虑，要求所有矿井每年都进行一次瓦斯等级鉴定，自此才有了比较完整的矿井瓦斯浓度数据。

### 清单编制方法与排放因子

井工开采甲烷排放因子来源于全国煤矿矿井瓦斯鉴定结果数据，如通风速率、瓦斯含量和等级、瓦斯组分数据。矿井瓦斯等级鉴定提供了排放因子基础信息，在此基础上，国家能源局将中国分为华北、东北等六个大区，分别确定排放因子。关于矿后活动排放因子，中国在开展第二次国家信息通报研究过程中对高瓦斯和突出矿井开展过专题研究，得出了井工煤矿的矿后活动甲烷排放与煤的挥发分含量关系。对于瓦斯矿井，矿后活动甲烷含量可以按照行业标准《矿井瓦斯涌出量预测方法》中的相关公式算出。露天开采排放因子采用 IPCC《1996 清单指南》的缺省值。废弃矿井排放因子采用 IPCC《2006 清单指南》的缺省值。

目前中国仍然缺乏对废弃煤矿、露天煤矿、矿后活动温室气体排放的数据调查，仅有小样本瓦斯逸散调研报告（杨永均等，2014）。

### 不确定性分析

相比化石燃料燃烧，逃逸环节的排放源细碎分散、排放特征复杂、监测和控制难度大，因此不确定性较大（蔡博峰等，2019）。从 2005 年国家清单的不确定分析结果来看，煤炭系统排放因子的不确定性较高，普遍在 40%-55% 之间；活动水平数据的不确定性略低，在 10%-30% 之间，其中不确定性较高是高 / 突出瓦斯矿井产量、低瓦斯矿井产量和废弃矿井数量。不确定性因素主要来自于：（1）矿井甲烷涌出数据仅为矿井一年中仅有的三天所测试的数据（每天做 3-4 次测试，共收集 9-12 个数据）中最大的一个，没有其他可比较数据，也没有连续测试的数据，因此具有很大不确定性。（2）煤炭开采矿后活动排放因子还具有相当的不确定性。（3）露天开采的甲烷逃逸排放无实测数据。（4）废弃矿井甲烷排放缺乏研究基础，需要监测数据和相关研究的支持（国家发展和改革委员会应对气候变化司，2014）。

从排放源范围、方法选择和排放因子等方面来看，中国煤炭开采和矿后活动甲烷逃逸排放清单在非附件 I 国家中属于领先水平，但同附件 I 国家相比还存在一定差距（马翠梅，2020）。总体来看，需进一步提升排放源范围的完整性，纳入《IPCC2006 年国家温室气

体清单指南》指南》已给出方法学的露天煤矿矿后活动环节，针对《2019 修订》增补的排放源开展前期研究。加强活动水平数据收集，提高清单准确性，例如将全口径原煤产量数据纳入统计数据，对废弃煤矿、露天煤矿、矿后活动温室气体排放开展详细的数据调查。深入开展特征排放因子研究，定期对中国特征排放因子进行更新。

#### 4.4 石油天然气行业甲烷逃逸排放清单

IPCC《2006 清单指南》中的油气系统包括生产、收集、处理或提炼、以及将天然气和石油产品送往市场所需的一切基础设施。具体来看，石油系统包括勘探、生产和提炼、运输、炼化、分配、其他、废弃油井环节；天然气系统包括勘探、生产、加工处理、输送与存储、分配、加气站逃逸、其他、废弃气井环节。从生产安全的角度考虑，油气生产过程中对甲烷的逃逸是严格防范的。但是，由于以上各个环节中许多设施都是由众多的阀门、连接件及管件组成。对于处于高压环境下的天然气和烃类，这些设施中的设备密封部位仍然会发生气相分子逃逸及不同程度的渗漏、工艺排空，一旦发生事故和设备故障更易造成甲烷的逃逸，成为甲烷逃逸排放的主要来源。因此，油气系统甲烷逃逸排放的来源主要包括设备密封部位的渗漏、工艺排空和事故排放。

目前中国国家清单中的油气系统排放源基本上覆盖了 IPCC《1996 清单指南》中的

所有环节。具体来看，天然气系统与甲烷逃逸相关的活动环节包括：勘探、天然气开采、天然气的加工处理、天然气的输送、天然气居民生活环节消费。石油系统包括勘探、常规原油开采、稠油开采、原油储运及输送、原油进口、以及原油加工炼制环节，在天然气开采、常规原油开采、天然气输送三个环节是基于设施的排放源。从油气系统各环节排放占比来看，天然气开采环节逃逸排放占比最高，达到 60.3%；天然气输送环节的逃逸排放占比也达到了 18.2%，稠油开采和常规原油开采环节的逃逸排放均在 5% 及以上，天然气加工处理环节逃逸排放占比为 4.4%，天然气居民消费环节排放占比为 3.4%，其余环节排放占比在 1% 以下（见下表）。天然气开采和输送是油气系统的关键排放源。

#### 中国油气开采情况与活动水平数据

2018 年，中国油气消费继续快速增长，继 2017 年成为世界最大原油进口国之后，又超过日本成为世界最大的天然气进口国。全年石油表观消费量达到 6.25 亿吨，比上年增长约 7%；其中石油净进口量 4.4 亿吨，石油对外依存度升至 70%。全年天然气消费总量为 2803 亿立方米，比上年增长 17.7%。全年天然气进口量 1254 亿立方米，天然气对外依存度升至 45%；其中 LNG 进口量占比 59%，管道气进口占比为 41%（中国石油集团经济技术研究院，2019）。全球来看，中国已成第二石油消费大国，石油消费量约为美国的 70%；天

4-6 油气行业甲烷逃逸排放清单编制

活动环节	方法	各环节排放占比
油气勘探	第一层级方法	0.2%
天然气开采	第三层级方法	60.3%
天然气加工处理	第一层级方法	4.4%
天然气输送	第三层级方法	18.2%
天然气居民生活消费	第一层级方法	3.4%
常规原油开采	第三层级方法	5.0%
稠油开采	第一层级方法	5.9%
原油储运及输送	第一层级方法	0.2%
原油进口	第一层级方法	0.4%
原油炼制加工	第一层级方法	2.1%

数据来源：专家访谈 BJ20191202；中华人民共和国第二次更新两年报；中华人民共和国第三次气候变化国家信息通报。

然气消费已成全球第三大消费国，天然气消费量约为美国的 35%。

同年，全国石油产量 1.89 亿吨，同比下降 1.2%，这也是中国石油产量连续第 3 年下降。全国天然气产量 1602.7 亿立方米，同比增长 8.3%；其中煤制气产量 23 亿立方米，煤层气产量为 50 亿立方米；页岩气产量超过 110 亿立方米。2018 年中国原油一次加工能力总炼能增至 8.3 亿吨 / 年，全国炼厂平均开工率为 72.9%。截至 2018 年底，全国已探明油气田 1027 个（其中油田 746 个，天然气田 281 个），页岩气田 5 个，煤层气田 24 个，二氧化碳气田 3 个（自然资源部，2019）。

#### 清单编制方法与排放因子

从清单编制方法来看，关键排放源天然气开采、天然气输送、常规原油开采环节采用了基于设施的第三层级方法，其余环节采取了第一层级方法。中国油气系统温室气体逃逸排放清单编制很大程度上借鉴了加拿大的工作经验（朱松丽，2005），基础排放因子主要采用了《IPCC1996 清单》的缺省值，以及年份相对较早的加拿大油气行业排放因子（2005 年）。从一致性来看，2010 年、2012 年和 2014 年油气清单的一致性较好，但仍无时间序列清单。从可比性来看，历次清单中使用方法不同导致可比性仍有欠缺（专家访谈 BJ20191202）。

国际上，针对油气行业甲烷排放的核算基本采用了固定部分排放因子，并根据油气生产企业每年上报数据更新排放因子的方法。从中国油气行业甲烷排放的现场检测统计情况来看，国内发表的相关研究较少，研究基础较为薄弱，大部分研究主要集中在油气生产的单个环节，如套管气、采出水、煤层气井口等，全面、系统性的全环节流程检测与分析还较少，对中国国家温室气体清单不具备参考价值，仍需继续扩大样本数量，明确取样检测代表性，并开展数据不确定性分析等工作。因此，当前中国油气行业企业级温室气体数据主要为国家部门提供信息参考，尚未纳入国家气候变化信息通报（薛明等，2019）。

### 不确定性分析

油气系统甲烷逃逸排放通常是各国清单中不确定性最高的部分。从中国的情况来看，针对2005年油气系统甲烷逃逸排放量最后估算结果的总体不确定性大约为31.4%。与活动水平比较来看，油气系统各相关环节的排放因子的不确定性较高，普遍在25%-33%之间，其中不确定性最高的两个环节是常规原油开采活动和天然气加工处理。油气系统的各相关环节的活动水平数据的不确定性总体较低，在5%-15%之间，其中不确定性较高的环节为原油炼制加工、原油进口、原油储运及输送（国家发改委应对气候变化司，2014）。

目前油气系统甲烷逃逸排放清单存在的问题主要包括：（1）完整性尚有欠缺，目前还

未包含火炬排放、废弃油气井排放、事故排放，也没有纳入放空空气燃烧的周期变化、绿色完井措施使用等设施级排放源。（2）清单的准确性仍然不足，清单核算中没有区分海上和陆地油气生产；没有区分常规和非常规油气生产；统计数据是基于场站级别而非设备组件级别。

（3）排放因子体系难以反映我国油气生产实际情况。基础排放因子大多采用加拿大油气行业排放因子，且年份相对较早（2005年），由于生产过程、工艺等出现变化，急需建立符合中国油气行业生产情况的排放因子体系。从甲烷逃逸排放核算方面，需要开展油气行业生产工艺流程普查，加强油气行业甲烷排放的现场检测和统计，有针对性地改进温室气体清单（专家访谈 BJ20191202；薛明等，2019）。

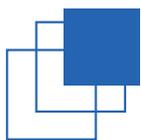
## 4.5 小结

从能源行业温室气体清单来看，燃料燃烧的活动水平数据已经基本纳入现有的统计体系，而排放因子也已建立较为完整的国别数据，最大的不确定性环节在于甲烷逃逸排放方面。由于近年来对于煤炭系统甲烷排放的重视，中国已经建立起多个矿井的监测资料，煤炭开采逃逸排放数据质量有了明显的改善。相比之下，油气行业甲烷清单所覆盖的排放源尚不完整，排放因子的准确性有待提升，而国内相关研究基础也较为薄弱，油气企业尚未开展系统的甲烷排放与泄漏检测，难以为国家清单编制提供设备级数据支持。

从现有数据来看，煤炭和油气系统甲烷逃逸排放总量巨大，不确定性高，应作为关键排放源增强相关研究，提高清单编制水平。从具体内容来看，第一需要增强甲烷排放的基础研究，开展油气行业生产工艺流程普查，加强煤矿、油气行业甲烷排放的现场检测和统计，建立基于设备层级的排放数据和排放因子。第二，针对中国逃逸排放清单中缺失的环节，积极开展研究和技术储备，加强所覆盖的排放源的完整性。第三，加强活动水平数据收集水平，提高清单准确性，例如将全口径原煤产量数据纳入统计数据，对废弃煤矿、露天煤矿、矿后活动温室气体排放开展详细的数据调查。第四，完善清单编制方法学，深入开展特征排放因子研究，支持推动基于实测的计算方法和其他方法学研究。对于用排放因子估算无法反映异常工况排放情景，需要开展定期大尺度的监测和

自下而上的监测结合的方法。

当前国家、地方、企业三级清单中能源甲烷逃逸部分都主要采用了 IPCC 系列指南中的缺省排放因子法。需要指出的是，自下而上的排放因子法在测算逃逸排放方面有很大的局限性。首先，在收集用于构建排放因子的基础测量数据时，很难对每台排放设备加以识别。其次，在元件或设备级别对排放作出直接定量的现代方法仍存在一定的技术局限性，可能影响较高流速定量分析的安全性和准确度。最后，现有的建模工具在异常工况条件下通常会无法得出准确结果。例如，上游分离器故障导致油罐中的天然气逸散，该排放可能会比工程公式的估算高出几个数量级。因此，在方法学上，需要将通过“自上而下”与“自下而上”测量方法获得的数据加以整合（薛明等，2019）。



## 五、温室气体清单编制国际经验

### 5.1 美国温室气体清单编制

作为附件 I 国家，美国已经提交了从 1990 到 2018 年的温室气体清单。美国温室气体清单采用的是 IPCC《2006 清单指南》给出的方法学。清单包括能源、工业过程和产品使用、农业、土地利用、LULUCF<sup>11</sup> 和废物共五个部门的七种温室气体排放（CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、PFCs、HFCs、SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub>）。美国国家清单编制由环保署（Environment Protection Agency, EPA）负责，并已形成制度化的编制流程和机制（EPA, 2020a）。

EPA 通过两个互为补充的项目来跟踪美国温室气体排放与来源：其中一个是自上而下的国家温室气体清单编制，另一个是自下而上的基于设施层面的温室气体排放报告制度。温室气体排放报告计划（Greenhouse gase reporting program, GHGRP）提供了基于设施和供应商级别的数据，并覆盖了美国 85-90% 的温室气体排放。温室气体清单与 GHGRP 互为补充，并且在数据上互相支持。从 GHGRP 和清单的关系来看，GHGRP 是清

单重要的数据源，不仅提供每年排放数据信息，还提供了活动水平、排放因子数据，因而可以持续地改善全国温室气体清单统计水平和趋势的准确性。

#### 5.1.1 温室气体排放报告计划

美国对 CO<sub>2</sub> 的监测起步较早，1990 年颁布的《酸雨项目》（Acid Rain Program）就明确规定了企业需要对排放的 CO<sub>2</sub> 浓度进行监测并上报。之后 EPA、部分州政府也开展了一些项目监测、计算 CO<sub>2</sub> 排放量。为了更好地掌握美国温室气体的排放情况，2008 年，美国国会通过法案，要求环保署对所有经济部门温室气体排放达到一定程度的排放源实行强制性温室气体排放报告制度。在该要求及《清洁空气法》授权下，EPA 于 2009 年 10 月 30 日在联邦公报中发布温室气体强制报告规则，并于 2009 年 12 月 29 日正式生效（董文福等，2011；刘保晓等，2015）。这一规则的生效标志着美国温室气体排放报告制度正式建立。

GHGRP 要求大型排放设施（年排放量超过 25,000 吨二氧化碳当量）核算其排放量并

---

• 11. LULUCF: Landuse, landuse change and forestry, 土地利用、土地利用变化和林业

报告相关信息。美国温室气体排放报告制度涉及 41 类排放源，包括直接温室气体排放源、化石燃料供应商、工业用气供应商、以及 CO<sub>2</sub> 封存设施。大多数领域的排放设施从 2010 年开收集温室气体排放数据，其它领域设施从 2011 年开始收集排放数据。目前，有超过 8000 个大型设施和供应商需要每年报告排放数据。需要指出的是，GHGRP 并不覆盖美国所有的排放源，例如不包括小型排放源、研发部门及农业部门。

GHGRP 所采用的方法学与 IPCC 《2006 清单指南》是一致的，而且是基于设施和场站级别测量数据的高层级方法，这使得 GHGRP 的数据与清单数据可以相互比较，并可以作为清单的数据源。EPA 还建立了一个多步骤的核查过程确保提交数据报告的准确、完整和一致性，核查过程总体上分为“提交前检查”和“提交后检查”两个阶段。在“提交前检查”阶段，主要由一个自动检查工具（e-GGRT）来进行检查，并向报告者提供潜在错误的实时反馈。在报告者在纠正潜在错误或者推翻一些检查意见提交报告后，进入提交后的电子检查阶段，包括逻辑检查、统计检查、计算检查、外部数据比较检查等。EPA 工作人员会审阅这些数据并与报告者联系修改，重新提交。此外，EPA 通过多个网站以多种形式发布数据，数据服务于政策规划和评估、温室气体项目开发、提高能效和防治污染等领域并满足公众信息查询的需求（EPA, 2020b）。

## 5.1.2 美国国家温室气体清单编制

### （1）制度安排

美国国家环保署是负责美国国家温室气体排放清单编制的政府机构，其下的大气计划办公室（the Office of Atmospheric Programs, OAP）是负责清单中排放计算和国家清单报告编写、报表编制的牵头单位，其他如 EPA 的交通与空气质量办公室（Office of Transportation and Air Quality, OTAQ）也会参与到数据计算等工作中来。在数据收集步骤中，美国采取分领域收集数据的办法，按照 IPCC 指南划定的四个部门，分别收集数据。EPA 和美国政府的其他部门以及非政府的组织机构建立了合作关系，如和美国能源部签订相关的合作备忘录等。通过这种方式，各个政府机构的基础数据可以很方便的供 EPA 使用（吴伟强和吴安琪，2012）。

美国国家清单已经实现形成常态化编制。国家清单编制和报送安排分数据收集、排放计算、清单编纂、清单提交四个步骤。每年 5 到 9 月为清单规划阶段，编制机构对方法学的进展进行评估，对需要更新的排放因子等参数进行分析，研究确定方法学并开展数据收集。10 月到次年 2 月为清单编制阶段，在计算排放量和估算不确定性的基础上形成国家温室气体清单报告的初稿。EPA 与来自美国政府部门、研究机构、行业协会、咨询机构以及环境组织等十多个机构的数百名专家密切合作，通过召开专家讨论会等方式听取建议并完善初稿，通过专家评审的清单报告还需经过 30 天的网上公

示，进一步征求公众意见。次年3到4月，经公示和修改后的国家温室气体清单报告实现内部提交，并最终提交给公约秘书处（见图5-1）。

(2) 方法学和数据来源

美国编制温室气体清单主要采用的是IPCC《2006清单指南》给出的方法学。针对

每一个细分的排放源，美国温室气体清单报告都详细给出了所采用的方法学。大多数方法以IPCC《2006清单指南》为基础，同时根据最新的研究和数据进行改进和优化。例如，在获得设施级别数据时，EPA指定的参考方法为“连续排放检测系统”（A Continuous Emission

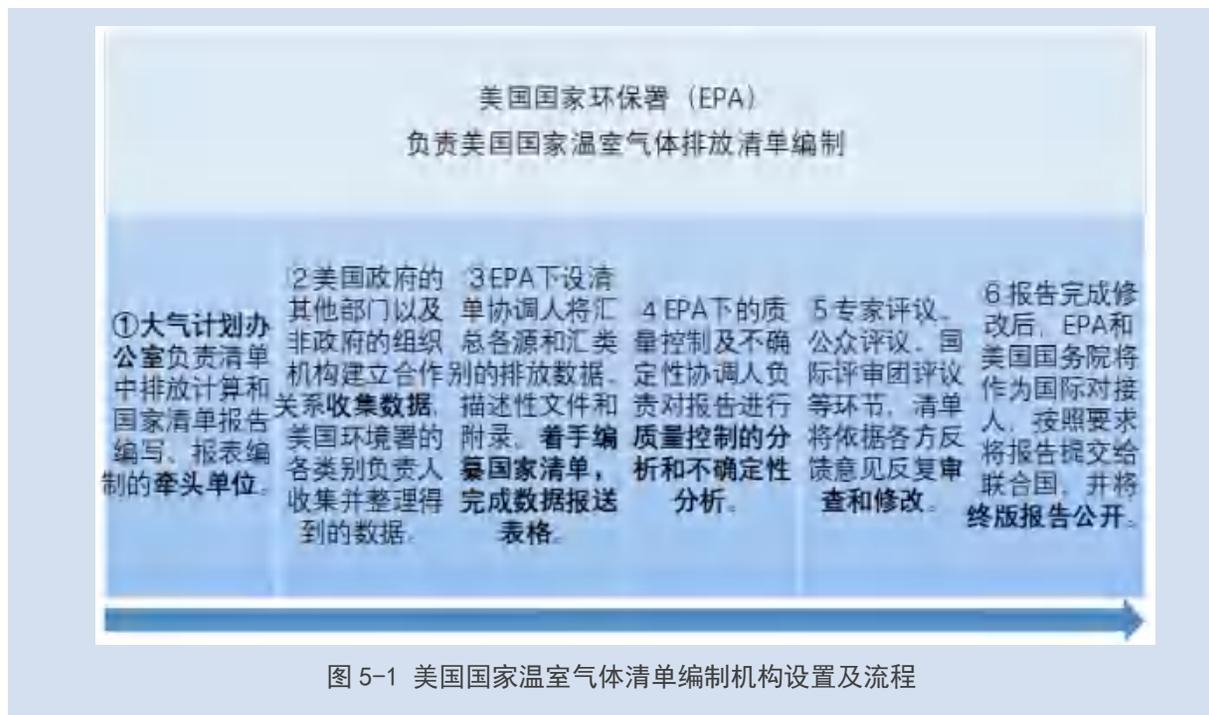


图 5-1 美国国家温室气体清单编制机构设置及流程

Monitoring System, CEMS)。该方法运用转换方程、图形、或计算机程序产生的结果来测定气体或微粒污染物浓度或发射率，可以实现在线检测，被包括美国在内的很多国家政府部门以及研究者使用（吴伟强和吴安琪，2012）。

美国的温室气体排放数据按照行业收集，收集的分类和IPCC的分类并不完全一致。报告按照行业顺序编排，同时在目录中列明每一

个行业对应的排放源分类。这意味着美国编制清单时，实际排放源种类比IPCC指南的要求更为细致。对大多数的排放源，将直接应用前一年的方法学进行新一年的清单编制，同时清单分析师会收集数据变化信息或者新增的数据，评估是否可以使用新方法进行计算。若方法学进行了更新，这一排放源的往年数据也会进行重算，确保清单编制方法的时间序列一致性。

报告尽可能使用了美国的国别数据信息进

行编制。EPA 在关键排放源和容易取得数据的类别中应用高层级方法，对数据获取难度大的类别，EPA 会采用低层级的方法，但是也会对方法不断改进。EPA 主要应用 IPCC《2006 清单指南》中给出的第 1 层级方法来识别美国温室气体排放中的关键类别，同时利用第 2 层级方法对第 1 层级方法无法识别出的关键类别做补充性的分析。此外，EPA 还会对排放源做定性分析，作为上述方法的进一步补充。

### （3）不确定性分析

不确定性分析也是清单编制的重要部分，其意义在于“为未来提升清单准确性、指导方法学选择提供方向”。EPA 建立了一套较为完善的不确定性管理体系，采取了包括指定管理规则、开发新的模型、确定新的收集分析信息的方法论、严格全过程质量控制、加强跨行业分析等措施（吴伟强和吴安琪，2012）。降低清单估算结果不确定性的研究方向包括：不断纳入此前因数据不完整、方法学不完善而没有包含在清单中的排放源，提高排放因子的准确性，收集更精细的活动水平数据。不确定性协调人将和清单协调人一起确保各类排放源清单编写时开展协调一致的不确定分析。

### （4）质量控制

美国逐步建立起了一套核查、记录和改

进清单质量的质量保障方案<sup>12</sup>，以确保清单的高质量、透明性和可信度。美国国家清单的质量保障措施是在该质量保障方案的框架下实施的，贯穿清单编制的始末。这一方案具有以下的特点：

- （a）制定了详细而专业的流程与表格，将记录存档过程标准化；
- （b）开展针对清单的专家和公众审查；
- （c）对第一层级数据进行全面检查和第二层级数据进行专门检查；
- （d）保存编写记录，协调连续多年的质量保障措施；
- （e）促进 EPA 内部和 EPA 与其他清单编写相关机构的合作与互动。

### 5.1.3 能源领域甲烷排放清单编制<sup>13</sup>

美国是能源生产和消费大国，2018 年，能源相关活动贡献了 83.1% 的温室气体排放，其中包括全国 97% 的二氧化碳排放，40% 的甲烷排放和 10% 的氧化亚氮排放。能源领域甲烷清单类别包括煤炭、石油、天然气、静止源燃烧、废弃油气井、废弃地下煤矿、移动源燃烧、废弃物处理。1990 年以来美国能源领域甲烷排放已经下降了 70%，2016 年后趋于稳定。2018 年能源领域甲烷排放共计 2.5 亿

- 
- 12. Quality Assurance/Quality Control and Uncertainty Management Plan (QA/QC plan) for the U.S. Greenhouse Gas Inventory: Procedures Manual for QA/QC and Uncertainty Analysis.
  - 13 本节根据《Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2018》的第三章能源及相关的附录表格编写。

吨二氧化碳当量，其中天然气系统为最大排放源，排放占比为 55.2%，煤炭系统占比为 20.8%，石油系统占比为 14.3%，废弃油气矿

井和废弃煤矿共计占比 5.2%，静止源和移动源排放占比分别为 3.4% 和 1.2%（见下图）。

### （1）煤炭系统和废弃煤矿

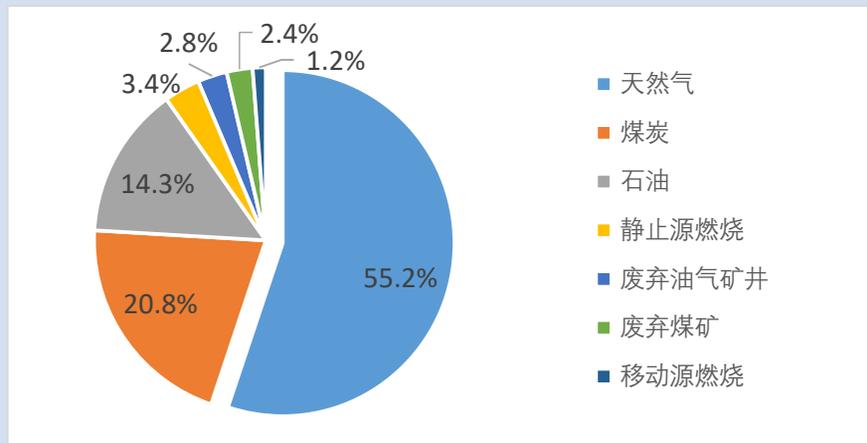


图 5-2 美国能源领域甲烷排放构成

数据来源：EPA，2020a

2018 年，美国仍是世界第三大煤炭生产和消费国，在运行的煤矿包括 236 座地下煤矿和 430 座露天煤矿，分别占总产量的 36% 和 64%。。从煤炭用途来看，约 92.7% 的煤炭用于发电，约 7.1% 的煤炭用于工业，此外民用、商用和运输的占比很低。近年来美国的煤矿数量呈显著的下降趋势，煤矿总数已经从 1990 年的 3339 个下降到 2018 年的 666 个。与此同时，煤炭产量却呈现出波动的变化趋势，2007 煤炭产量和消费量达峰，至 2018 年美国的煤炭产量已经降到 7 亿吨以下。

煤炭行业甲烷逃逸排放主要考虑了四类可

以导致甲烷排放的活动：地下开采、露天开采、矿后活动和废弃矿井。2018 年煤炭行业甲烷排放为 5270 万吨二氧化碳当量，比 1990 年已经下降了 45%。煤矿地下开采为最大的排放源，占到总排放量的 74%；露天开采和矿后活动占比均接近 13%。2018 年煤矿地下开采接近三分之一的甲烷排放被回收利用。

地下开采甲烷排放主要有两个来源：通风系统和抽采系统。由通风系统释放的甲烷排放量数据来自 GHGRP、美国煤矿安全与健康管理局，以及一些其它数据源。从 2011 年开始，GHGRP 就要求排放量较大的煤矿每季度

向 EPA 报告由通风系统释放的甲烷的数据。美国有 18 个煤矿使用抽采系统，其中有 11 个煤矿配备有甲烷回收利用设备，这些煤矿需要向 GHGRP 项目报告每周抽采系统的甲烷排放量。

露天煤矿和矿后活动缺乏煤矿级别的数据。露天煤矿产量数据来自于能源信息署（Energy Information Administration, EIA）的年度煤炭报告，甲烷含量采用 EPA

的盆地水平数据，排放因子来自于文献（取值 150%）。对于矿后活动水平数据，采用盆地煤炭产量数据乘以盆地甲烷含量数据，煤炭运输和存储过程中释放的甲烷的排放因子取 32.5%。盆地甲烷含量数据来自于美国石油地质学家协会（American Association of Petroleum Geologists, AAPG）和美国矿业局（United States Bureau of Mines,

表 5-1 煤炭生产、矿后活动和废弃矿井清单编制

类别	活动水平数据	排放因子	方法学	不确定性
地下煤矿开采	GHGRP, MSHA 等	煤矿级别测量数据	第 3 层级方法	
露天煤矿开采	EIA, EPA	文献	第 2 层级方法	-16.7%~+12.3%
矿后活动	EIA, AAPG、USBM	文献	第 2 层级方法	
废弃煤矿	代表性矿井测量数据	经验公式和模型	模型模拟	-20%~+15%

数据来源：EPA, 2020.

USBM）（见下表）。

2018 年美国有 533 座废弃矿井，其中 1972 年以前废弃的矿井有 228 座（这类矿井缺乏足够的数据和方法学来计算其排放状况）。1990-2018 年间，废弃矿井的甲烷排放量在 720 万吨—1080 万吨二氧化碳当量之间。近年来废弃矿井甲烷回收利用的比重逐渐升高，至 2018 年有超过 30% 的甲烷排放被回收利用。废弃矿井甲烷排放取决于矿井运行时的排放情况、淹水和密封的程度。一般来说，废弃矿井的甲烷排放量是随时间而逐渐减少的，可

以建立甲烷排放随时间变化的典型曲线。曲线所需要的参数通过部分矿井的测量数据等各种方法获得。从不确定性来看，煤矿行业排放数据的不确定性略低于废弃煤矿排放数据的不确定性。

## （2）石油系统

至 2018 年底，美国共有 56.4 万口在运行油井。石油系统甲烷逃逸包括泄漏、排空和火炬燃烧排放。甲烷排放主要产生于海上和陆上原油生产、运输和原油炼制加工。从 1990 年到 2018 年，美国石油行业的产量增加了

49%，温室气体总排放增加了 30%（主要表现为 CO<sub>2</sub> 排放的增加），与此同时，甲烷的排放量却减少了 21%。

从各环节的排放贡献来看，原油生产环节贡献了 96% 的甲烷排放量，生产现场作业的主要排放源包括气动控制器、海上石油平台、燃气发动机、化学试剂注入泵、油井口泄漏和储油罐。勘探环节约占甲烷总排放的 1%，该环节的排放源包括钻井、测试和完井，主要的排放源为水力压裂完井和油井钻探。原油运输环节排放占比少于 1%。原油炼制加工环节的甲烷排放占比约为 2%，这是因为原油中的大部分甲烷被输送到炼油厂之前已被移除或逸出，所有精制产品中甲烷的含量都微不足道。

从石油系统的清单编制来看，一般来说，每项活动的排放量是通过将排放因子（例如每个设备或每个活动的排放率）乘以相应的活动水平数据（例如设备个数或活动频率）来估计的。总体来看，石油系统清单编制主要采用了第 3 层级方法（见下表）。排放因子的来源包括天然气研究所（Gas Research Institute,

GRI）和 EPA 编写的“天然气产业甲烷排放”（GRI/EPA 1996），EPA 的“美国石油产业甲烷排放统计”（1999）、EPA 的“空气污染物排放因子汇编 AP-42”（1997）、美国石油研究所（American Petroleum Institute, API）发表的“全球石油产业甲烷排放”（1992）、行业评审小组的共识、海洋能源管理局（Bureau of Ocean Energy Management, BOEM）的报告以及 GHGRP 数据分析等。

活动水平数据的来源包括 Enverus DrillingInfo 公司数据、EIA 的报告、天然气研究所和 EPA 的“天然气产业甲烷排放”（GRI/EPA 1996）、EPA 的“美国石油产业甲烷排放统计”（1999）、行业评审小组的共识、海洋能源管理局的报告、石油和天然气杂志（Oil and Gas Journal）、州际石油和天然气契约委员会、美国陆军工程兵团以及 GHGRP 数据分析。许多排放源缺乏完整的年度活动数据，在这种情况下，会根据 IPCC《2000 优良做法指南》推荐的方法来进行计算。EPA 每年都会就清单征求利益相关者的建议，并将利益相关

表 5-2 石油系统清单编制

类别	活动水平数据	排放因子	方法学
勘探	GHGRP、DrillingInfo 数据	GHGRP、GRI/EPA 1996	第 3 层级方法
开采			
气动控制器	行业评审小组共识、GHGRP	GHGRP	第 3 层级方法
海上原油开采	BOEM、EPA	GHGRP、BOEM	第 3 层级方法

设备泄漏	GHGRP	GHGRP、BOEM	第3层级方法
燃气发动机	EPA	GRI/EPA 1996	第3层级方法
化学试剂注入泵	EPA、GHGRP、 DrillingInfo 数据	GHGRP	第3层级方法
油罐	GHGRP	GHGRP	第3层级方法
其它排放源	API、EIA、行业评审小组共 识	API、行业评审小组共识	第3层级方法
原油运输	EIA、API、石油和天然气杂 志	EPA、API、GRI	第3层级方法
原油炼制加工	EIA	GHGRP、EPA	第3层级方法

数据来源：EPA，2020a.

者的反馈列入“重新计算讨论和更新计划”中。

### (3) 天然气系统

美国的天然气系统包括数十万口油井、数百个加工设施以及超过 160 万公里的输配管道。从 1990 年至 2018 年，美国天然气干气总产量增长了 71%，同期天然气系统温室气体排放总量（包括 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O）减少了 19%。2018 年，天然气系统温室气体排放总量为 1.75 亿吨二氧化碳当量，其中甲烷占比 80%，二氧化碳占比 20%，氧化亚氮占比低于 0.01%。总体而言，天然气行业的甲烷排放自 1990 年以来已经减少了 24%，在 2018 年天然气干气产量比 2017 年增加了 12% 的情况下，甲烷排放仅增长了不到 1%。

天然气系统产生的甲烷排放包括正常操作、日常维护和系统故障造成的排放。正常操作产生的排放包括：天然气发动机和涡轮未燃

烧废气、火炬燃烧和系统部件泄漏排放。日常维护排放来自于管道、设备和油井在维修和维护过程中的排放。压力浪涌减压系统和事故可能导致系统排放增加。总体而言，1990 年至 2018 年甲烷排放量的减少主要来自于以下环节：配送（减少 73%）、传输和储存（减少 41%）、加工处理（减少 43%）和勘探（减少 72%）。在同一时期，开采环节的甲烷排放量增加了 41%（陆上开采增加 30%，海上开采减少 80%，增压集气站排放量增加了 91%）。

从各环节的排放贡献来看，2018 年勘探环节占天然气系统甲烷排放量的 1%，其甲烷排放量主要来自完井工程。生产环节排放（包括集气增压）占天然气行业甲烷排放量的 58%，气井本身以及井场设备和活动（例如气动控制器、储气罐、分离器以及液体运输卸载）

都会产生排放。加工处理环节约占天然气行业甲烷排放量的9%，压缩机(包括压缩机密封件)的甲烷排放是该阶段的主要排放源。输送和储存环节的甲烷排放量约占天然气系统排放量的24%，压缩机泄漏和气动控制器的排气是该环节的主要甲烷排放源。配送环节占天然气系统甲烷排放量的8%，排放主要来自于管道和站点的泄漏排放。近年来塑料管道的使用量有所增加，这使得配气环节的甲烷和二氧化碳排放量都有所减少。

美国天然气系统包括一百多个排放源。计算天然气系统排放量的方法都涉及到排放因子和活动水平数据。对于大多数排放源，需要使用特定技术的排放因子、或者随时间变化的排放因子，并且需要考虑技术和措施的变化。总体来看，天然气系统清单编制主要采用了第3层级方法。活动水平数据来自各种公开的数据源，其中关键活动水平数据来源包括美国环保署的GHGRP项目、Enverus DrillingInfo公司数据(2019)、海洋能源管理局(BOEM)、联邦能源监管委员会、能源信息署(EIA)、石油和天然气杂志、阿拉斯加石油天然气保护

委员会(Alaska Oil and Gas Conservation Commission, AOGCC)、国际石油天然气公司(Oil and Gas International, OGI)、管道及危险品安全管理局(Pipeline and Hazardous Material Safety Administration, PHMSA)等。

从排放因子来看，美国天然气工业甲烷排放因子的主要参考文献包括由天然气研究所和EPA在1996年发布的一项研究(GRI/EPA 1996)、2019年EPA的GHGRP项目数据以及其他研究报告。在1996年发布的这份报告中，GRI和EPA研究开发了80多个甲烷排放因子，用于描述美国天然气行业运行阶段内各个设备的排放。GRI和EPA的这项研究是基于过程工程特性研究和活动水平数据收集，在1990年代早期对具有代表性的天然气设施进行测量。年度天然气甲烷排放构成数据使用能源信息署的国家能源建模系统中石油和天然气供应模块分区域的年度总产量数据，以及天然气技术研究所(Gas Technology Institute, GTI)的非常规天然气和天然气数据库的数据。此外，GHGRP的部分数据被广泛地应用于制

表 5-3 石油系统清单编制

类别	活动水平数据	排放因子	方法学
勘探	GHGRP、EPA、DrillingInfo 数据	GHGRP、API	第3层级方法
开采			

海上开采	DrillingInfo 数据、EIA、GRI/EPA 1996、GHGRP 等	GRI/EPA 1996、GHGRP、文献	第 3 层级方法
集气增压	GHGRP、DrillingInfo 数据、GRI/EPA 1996	EPA、GHGRP	第 3 层级方法
陆上开采	BOEM、AOGCC 等	BOEM、GHGRP	第 3 层级方法
加工处理	OGI、EIA、GRI/EPA 1996	GHGRP、GRI/EPA 1996	第 3 层级方法
输送和存储	PHMSA、GHGRP、EIA 等	GRI/EPA 1996、GHGRP	第 3 层级方法
配送	PHMSA、GRI/EPA 1996、EPA、EIA	GRI/EPA 1996、GTI、文献	第 3 层级方法

数据来源：EPA, 2020a.

定清单中许多排放源的 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放因子。

#### (4) 废弃油气井

美国共有 320 万个废弃油气井，其中 260 万个为废弃油井，60 万个是废弃天然气井。废弃油气井包括多种类型：（1）近期没有生产且未堵塞的井；（2）近期没有生产且没有责任操作员的油气井；（3）为阻止气体或液体迁移而堵塞的井。废弃油气井仍然释放甲烷和二氧化碳。堵塞对于油气井的甲烷排放会起到关键性的作用，未堵塞的油气井每年释放的甲烷在 100kg 以上，而堵塞后的油气井每年释放的甲烷在 1kg 以下。1990 年已堵塞油气井占全部废弃油气井的比例仅为 19%，由于相关法规和项目的推动，2018 年已堵塞油气井的占比已经提高到三分之一。

2018 年废弃油气井排放的甲烷为 700 万吨二氧化碳当量，其中废弃油井排放占比约为

80%，废弃天然气井排放占比约为 20%。自 1990 年以来，废弃油井的数量增加了 27%，同期两种温室气体的排放量下降了 1%；废弃天然气井的数量增加了 79%，同期两种温室气体的排放量各增长了 50%。2017 至 2018 年，由于已堵塞油气井的数量的增加，甲烷和二氧化碳的排放量都下降了约 1%。

方法学和活动水平数据：EPA 使用的废弃油气井的排放因子来自于两篇文献。在这两篇文献中，将地区划分为阿巴拉契亚地区和其它地区，分别给出了已堵塞和未堵塞的油气井的排放因子。EPA 使用历史数据和 Enverus DrillingInfo 数据估算连续时间序列的废弃油气井总数量（详见《1990-2016 年美国温室气体排放源和汇清单：天然气和石油系统中的废弃井》）。

油气系统不确定性分析：

EPA 使用 IPCC 第 2 层级方法（蒙特卡洛

模拟技术) 进行不确定性分析。从不确定性分析结果来看, 石油系统清单的不确定性较高, 不确定性在 -31%-34% 之间。天然气行业清单的不确定性较低, 不确定性在 -15%-14% 之间。废弃油气井排放量计算的不确定性最高, 目前的数据重算主要集中在废弃油气井数量

(见下表)。此外, EPA 根据 GHGRP 报告、年度清单公告来收集利益相关方对最新数据的反馈以及最新的研究。随后, EPA 会发布一份备忘录草案, 记录正在审议的变更内容, 并要求利益相关者就这些变更提供反馈。EPA 会将更新后的备忘录纳入“重新计算讨论和更新计

表 5-4 废弃油气井 CH<sub>4</sub> 排放量的不确定性估计

种类	2018 年排放量		不确定性范围		
	百万吨 CO <sub>2</sub> e	百万吨 CO <sub>2</sub> e	百万吨 CO <sub>2</sub> e	%	
		下限	上限	下限	上限
石油系统	36.2	25.0	48.4	-31%	+34%
天然气系统	140.0	118.2	159.6	-15%	+14%
废弃油井	5.7	1.0	18.1	-83%	219%
废弃天然气井	1.4	0.2	4.3	-83%	219%

数据来源: EPA, 2020a.

划”文件。

## 5.2 加拿大温室气体清单编制<sup>14</sup>

加拿大属于《公约》附件 I 的国家, 遵约于每年的 4 月 15 日提交国家温室气体清单, 包括国家清单报告 (National inventory

report, NIR) 和通用报告格式表 (Common reporting form, CRF)。加拿大编制温室气体清单采用的是 IPCC《2006 清单指南》给出的方法学。清单包括能源、工业过程和产品使用、农业、LULUCF 和废物 5 个部门的七种温室气体排放 (CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、PFCs、HFCs、SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub>) (Environment and

• 14. 本节主要根据《National Inventory Report 1990–2017: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada》的第一章和第三章及其它相关文献编写。

Climate Change Canada, 2019)。

“泛加拿大清洁增长与气候变化框架”是加拿大应对气候变化的主要政策框架，主要的政策目标包括：实施碳价政策、全经济温室气体减排、增强适应与恢复力、以及清洁技术、创新和创造新的就业机会。基于该政策框架，加拿大政府在国家自主减排贡献中提出了“2030 年全经济尺度的温室气体减排比 2005 年降低 30% 的目标，包括到 2025 年将油气行业的甲烷排在 2012 年基础上减少 40%-45%”。2018 年，加拿大通过了《温室气体污染定价法》，从 2019 年开始施行收入中性的碳税。从 2015 至 2019 年，加拿大政府共投资 600 亿加元用于温室气体减排、清洁科技生产、社区适应和环境保护（Environment and Climate Change of Canada, 2020）。

### 5.2.1 温室气体排放报告制度

2004 年 3 月，加拿大政府推出了温室气体排放报告计划（Greenhouse Gas Reporting Programme, GHGRP），该计划目的是每年从加拿大各地收集并发布设施级别的温室气体排放数据。这一计划改善了温室气体数据来源和分辨率，GHGRP 的设施级数据可以用于国家清单中的数据的对比和验证。2017 年加拿大温室气体清单中公布了该计划 2004 年至 2017 年收集的设施级排放信息。

为准备 2017 年国家温室气体清单，2016 年 12 月，加拿大政府告知各产业实体（与温室气体减排和核算利益相关的实体），加拿大

计划分阶段扩大 GHGRP 的适用范围，目的是争取能够直接使用加拿大国家温室气体清单中的数据，提高各司法管辖区温室气体数据的一致性和可比性，获得更全面的设施排放情况。GHGRP 扩张的第一阶段为 2017 年的排放清单报告，在这一阶段，要求所有排放 1 万吨及以上二氧化碳当量温室气体的设施提交报告。要求符合规定的工业部门的设施报告者也使用规定的方法来量化排放量，就各部门的计算报告对应的补充材料，并接受低于温室气体排放量报告阈值的设施自愿提交的报告。对于还没有规定具体的排放估算方法的设施，报告者可以选择最适合其行业或应用的量化方法。但是这些设施提交的报告必须使用与 IPCC 提供的国家清单指南相匹配的排放估算方法。

需要指出的是，GHGRP 适用于设施级别的特定排放源，但不包括所有温室气体排放源（如道路运输、农业排放）。GHGRP 还提供了设施级温室气体排放的一致性信息，设施收集的信息需要与省和地区司法管辖区共享。设施级别的温室气体排放数据在适当情况下可以辅助用于国家温室气体清单中排放估算的合理性。

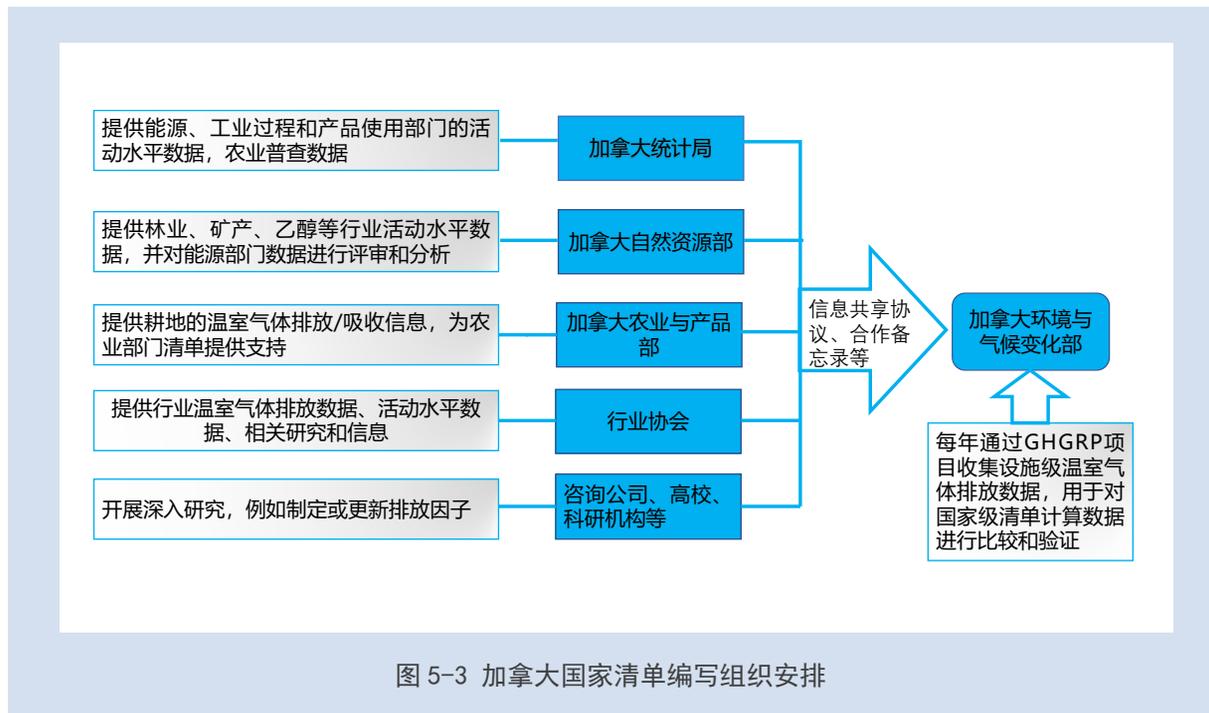
### 5.2.2 加拿大国家温室气体清单编制

#### (1) 国家清单编写组织安排

加拿大环境与气候变化部的污染物质清查和报告司负责国家清单编制安排，核心单位为污染物清查和报告司、科学与风险评估指导委员会、科技科。加拿大环境和气候变化部以各种方式与数据提供者和专家们签订协议，包括

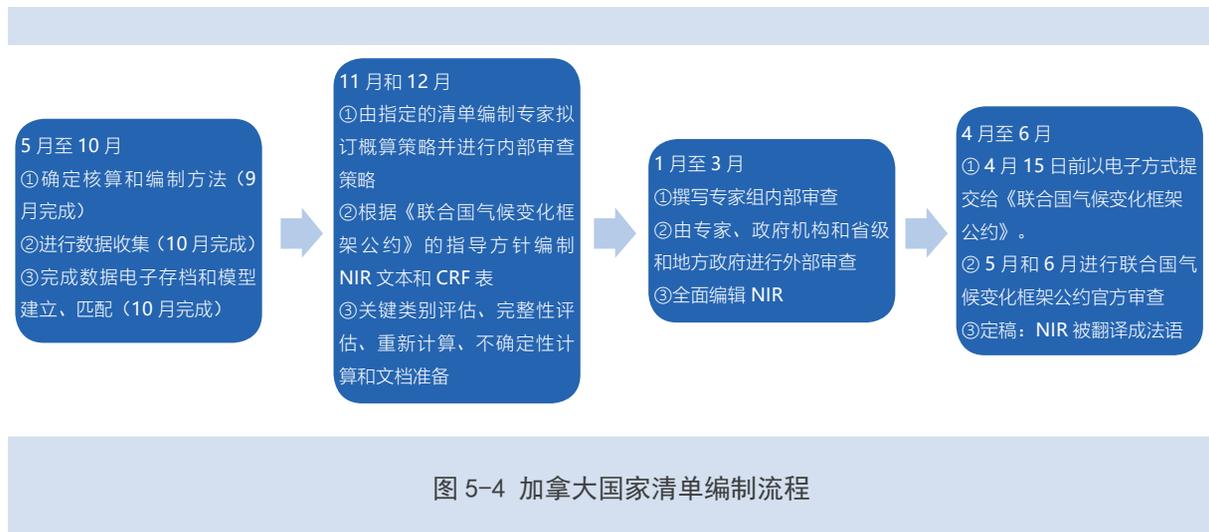
非正式安排和正式安排。这些协议签署对象包括与其他政府部门例如加拿大统计局、加拿大

自然资源部、加拿大农业和农业食品部建立伙伴关系；与行业协会、咨询公司及大学的签订



合作协议；并在双边基础上与各省和领土政府达成合作协议（见图 5-2）。

## (2) 清单编写流程



### (3) 质量控制与质量保证

为了确保每年编制和出版高质量的国家温室气体清单，加拿大已经制定和实施了国家清单质量管理体系，该体系包括质量分析/质量控制计划。

质量控制：包括一般性的技术检查，以明确和控制清单的质量，确保数据的一致性、完整性、正确性，并识别和处理清单中的错误和遗漏。在清单开发周期中，质量控制程序涵盖了全部过程，包括从数据获取和处理到程序和方法的申请和批准，再到计算和清单文件的编制。

1) 一般质量控制程序：根据 IPCC 《2006 清单指南》(第 1 卷第 6.6 节)，每年由主要部门和跨部门的清单编制专家进行系统的一般性质量控制检查。在提交之前，对最终的 NIR 文件进行横向质量控制检查。在提交报告之前，专家除了对整个通用报告格式表格的时间序列进行审查之外，还会对通用报告格式表格编制工作人员输入到线工具中的数据进行检查。

为了促进这一层级的检查，加拿大已经编制了质量控制检查表，用来标准化和记录所执行的质量控制程序过程。质量控制检查表包括：所采取的纠正措施的记录，所参考的支持性文件。2015 年，加拿大环境部对质量控制检查表进行了小的更新。

2) 特定类别的质量控制程序：这一程序是对关键排放源的数据具体审查。这一层级的质量控制可以确保被评估的排放类别在清单分析的若干年内仍然有时效性。这一层级评估的范

围通常很广，针对各种排放源使用了各部门特有的方法。质量控制程序对核算方法的持续适用性、排放因子、活动数据、不确定性等进行评估，并为未来的清单编制活动打下基础，包括制定和改进建议及提出关于优先级的建议，为后续的质量保证做准备。

3) 质量保证程序：具体是指一套由非直接参与国家清单报告编制的人员所策划的检查程序。质量保证与质量控制程序同时进行。每年由行业、政府、学术界的专家团体和个人对选定核查的基础数据和方法进行独立评估。质量保证程序是为了评估用于编制清单的活动水平数据、方法和排放因子是否合适，因此质量保证程序最好在确定核算方法之前进行。质量保证程序有助于确保在现有科学知识和数据可用性的基础上，清单数据能够代表温室气体排放源和清除汇的最佳估算水平，同时支持质量控制程序的有效性。与质量控制一样，加拿大历年温室气体清单的各部分也会开展具体的质量保证审核工作。

### (4) 数据核查

核查程序通常包括将清单统计数值与独立统计数值进行比较，以确认清单估计数值的合理性并找出两者的主要的差异。数据核查结果取决于可用于比较的数据(可能包括数据集、排放”因子或活动数据)的可得性与质量。因此，数据核查往往针对清单类别的子集进行。

## 5.2.3 能源领域甲烷排放清单编制

2017 年加拿大能源领域甲烷逃逸排放约

为 5600 万吨，占总温室气体排放的 7.8%，比 1990 年增加了 13.7%。加拿大能源领域甲烷排放源以油气行业为主，占能源领域甲烷排放的 96% 以上，比 1990 年增加了 18.2%；而煤炭行业甲烷排放自 1990 年以来下降了 60%。目前加拿大共有 23 座煤矿，且都是露天开采煤矿（Environment and Climate Change Canada, 2019）。

加拿大是全球油气生产大国，三个油气大省—阿尔伯塔（Alberta）、萨斯喀彻温（Saskatchewan）、以及不列颠哥伦比亚（British Columbia）的油气设施的运作规模各异，包括从很小的设施（单井）到拥有多口井和设备的大型设施，各省可以选择接受联邦法规或制定自己的法规，三个油气大省都制定了本省的法规。由于油气生产的重要性，2018 年加拿大还通过了《关于减少甲烷和某些挥发性有机化合物排放的法规（油气行业上游）》，该法规覆盖了开采、初级加工、长途运输和存储环节，分别制定了针对不同设施的“逃逸排放标准”和“放空排放标准”，要求陆上和海上石油和天然气设施必须符合运营和维护标准，减少各个环节的排放（Government of Canada, 2019）。

加拿大对油气系统中的各种设施、工艺单元和设备的数量和类型有着非常详细的统计，同时采用立法手段要求对油气系统中的各种排放活动进行测量和汇报，这使得加拿大有足够的数据库来采用 IPCC 第 3 层级方法，即详细的基于排放源类别的计算方法进行清单编

制。具体来说，共采用了以下三种计算方法：设备清单法、操作时间方法、活动水平方法，其中设备清单法最为重要，设备的泄漏排放和工艺排空主要采用这种方法进行计算。使用这种方法时，首先要确认和收集到各活动环节的主要设施、工艺单元和设备的数量以及规模，其次要计算总碳氢化合物的排放量。不同气体的排放量可以根据化学分析所获得的气体比例计算（朱松丽，2005）。

加拿大能源领域甲烷逃逸清单包含的排放源非常详细。煤炭生产排放源包括裸露的煤层表面、煤渣和煤层甲烷排空。矿后活动如准备、运输、储存和最终燃烧前的处理也会释放甲烷。此外，废弃地下矿井也是重要的甲烷排放源。煤炭生产逃逸排放主要采用了 IPCC 的第 2 层级方法和第 3 层级方法。在排放因子方面，煤炭开采处理采用了 4 个煤矿的测量数据来代表 23 座煤矿；对于废弃煤矿采用了 IPCC《2006 清单指南》中的缺省因子。从活动水平来看，则采用了文献和省级部门统计的数据。从不确定性来看，煤矿生产逃逸清单属于中不确定性较高的环节（见下表）。

油气行业的排放源主要包括上游油气生产、油气产业下游、废弃油气井、油砂 / 石油沥青生产、四个部分。上游油气生产包括油气井钻井及测试、油气井维修及相关测试、天然气生产、轻质 / 中型油品生产、重油生产、沥青抽取、天然气处理、天然气传输、液体燃料产品运输、事故和设备故障、表层套管气排空流及其减排。油气产业下游包括炼油和天然

表 5-5 煤炭生产逃逸排放清单 (1. B. 1)

类别	活动水平数据	排放因子	方法学	不确定性
煤炭开采处理	文献	4 个煤矿测量数据	第 1 层级方法 + 第 3 层级方法	-30%~+130%
废弃煤矿	省级部门统计	IPCC2006 清单指南的缺省因子	第 2 层级方法 + 第 3 层级方法	-50%~+200%

来源: Environment and Climate Change Canada, 2019.

气输配。油气行业清单中, 废弃油气井采用了 IPCC 第 1 层级方法之外, 排放因子采用了美国的研究文献。其它环节主要采取了 IPCC 第 3 层级方法; 从活动水平数据来看, 有非常全面的行业统计、文献和省级统计数据; 从排放因子来看, 来源也非常广泛, 包括文献、设备商数据、产业数据、基于实地测量的模拟和其它行业研究。

油气行业清单不同环节的不确定性差别较

大。总体来看, 上游油气生产过程中, 事故和设备故障、废弃油气井环节的不确定性最高, 其次是钻井、维修和测试环节。石油和天然气生产环节清单的不确定性较低。油砂 / 石油沥青生产环节清单的不确定性也较高 (见下表)。油气产业下游的炼油环节的不确定性较低: 如果用第 1 层级不确定性分析方法, 不确定性为  $\pm 8.3\%$ ; 如果用第 2 层级不确定性分析方法, 不确定性为  $\pm 14\%$ 。

表 5-6 油气行业上游甲烷逃逸排放清单不确定性分析 (%)

	火炬排放	逃逸	排空	总体
石油生产和运输	-8.9%~+8.7%	-10.8%~+10.9%	-8.4%~+8.7%	-6.0%~+6.2%
天然气生产 / 处理	-6.9%~+6.8%	$\pm 12.2\%$	-9.5%~+23.5%	-7.4%~+17.5%
天然气运输	-15.8%~+20.5%	-26.4%~+27.8%	-20.2%~+22.8%	-19.5%~+20.6%
事故和设备故障	-	$\pm 50.3\%$	-	$\pm 50.3\%$

钻井、维修和测试	-25.0%~+22.6%	-23.2%~+25.8%	-38.6%~+43.9%	-23.8%~+21.5%
废弃油气井	-	-48.8%~+72.6%	-	-48.8%~+72.6%
油砂/石油沥青生产	-23.4%~+23.5%	-28.9%~+34.8%	-31.0%~+31.5%	-19.7%~+20.6%

来源：Environment and Climate Change Canada, 2019.

### 5.3 小结

美国和加拿大均建立了常态化的温室气体清单编制机制。从清单编制方法学来看，两个国家均采用了高层级的方法，部分排放源使用了设备级数据。此外，这两个国家还建立了一系列法律法规及流程体系来保障数据质量。美国和加拿大的能源行业甲烷排放统计与核算完善程度都处于世界领先水平，具体体现在所采用的数据可以精确到设施级别，排放因子多采用现场检测数据。这些国家的经验值得发展中国家借鉴，具体的好的实践包括：

(1) 建立了常态化的清单编制机制安排和完善的编制流程。这两个国家均明确了国家清单报告编写、报表编制的牵头单位，并采用灵活的方式协调其他机构参与。

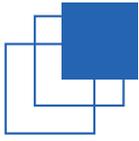
(2) 建立完善的清单编写、质量控制和数据核查流程，包括清单编撰、不确定性管理体系、质量保障体系和完善、征求建议和修改等环节。开发了非常完善的管理方法、文档和数据库，每一个环节都有专人负责协调。

(3) 能源领域建立了覆盖所有排放源、

以及详细的基于设备级别的现场检测数据的方法学、排放因子库和活动水平数据库。大多数方法以 IPCC 《2006 清单指南》为基础，同时根据多个数据源、企业数据和最新的研究不断地完善方法学和相关数据。

(4) 建立了国家清单和温室气体排放报告制度 (GHGRP) 互为支持的机制，持续改善国家清单的准确性。GHGRP 提供了基于设施和供应商级别的数据，并覆盖了绝大部分的温室气体排放源，其数据与清单数据互为支持。GHGRP 是清单重要的数据源，不仅提供每年排放数据信息，还提供了活动水平、排放因子数据。

(5) 通过数据公开、专家评审、公众评议等环节，鼓励行业协会、企业、研究者等利益相关者广泛参与意见反馈，持续地改善全国温室气体清单统计水平和趋势的准确性。此外，使清单数据广泛服务于政策规划和评估、温室气体项目开发、提高能效和防治污染等领域并满足公众信息查询的需求。



## 六、结论及政策建议

本报告中详细描述了中国国家、地方、企业三级温室气体清单编制及排放报告现状，并对清单中能源领域甲烷排放部分进行重点分析，此外，还对比了美国、加拿大在温室气体清单编制方面的良好实践。研究发现，中国初步构建了国家、地方、企业三级温室气体排放的基础统计和核算体系，但是目前三级温室气体排放清单的结果并没有很好地连接起来，在实际的应用中还不能相互支持。各级清单编制服务于不同的目的，虽然在编制中所采用的方法大体一致，但是所参照的指南的新旧程度不同，所给出的排放源覆盖范围和参考排放因子也有不小的差别。从能源领域甲烷温室气体清单来看，最大的不确定性环节在于逃逸排放方面，清单计算中所采用的方法不够精细，主要参数使用指南缺省因子或其他国家研究，不能充分反映国情；油气企业尚未系统开展甲烷排放与泄漏检测，难以为清单编制提供设备级数据支持。参考发达国家的相关经验，提出如下政策建议：

### （1）建立常态化的国家温室气体排放清单编制相关安排，加强能力建设

2020年后中国将承担透明度双年度报告的义务，采用IPCC《2006清单指南》方法学

及后续更新的国家温室气体清单方法学，编制连续年份国家温室气体清单，统一接受国际专家组审评和促进性多边审议，当前基于项目制的清单编制安排远远不能满足未来清单编制要求。为提高清单编制的质量和效率，需要尽快建立常态化的国家清单编制机制，包括资金机制。此外，还需要针对IPCC《2006清单指南》方法学和后续更新的方法学开展研究，提高清单编制能力，扩大统计数据的覆盖面。最后，还需要建立法规及流程体系来保障数据统计的数量和质量。具体内容包括：选择清单编制支撑机构，建立完善的清单编写、不确定性管理体系、质量保障和控制体系、数据核查流程机制，完善温室气体数据管理系统，建立中国的排放因子数据库，完善温室气体统计与收集机制等。

### （2）完善企业温室气体报告监测、报告和核实（MRV）制度，为国家清单提供数据支撑和验证，鼓励能源企业通过设备组件统计、现场实测等方式进行排放因子更新

中国当前的国家和企业温室气体报告结果在实际使用中仍然相互分离，还没有形成统一的数据管理体系。另外，企业温室气体报告尚处于能力建设阶段，主要使用给定的国家清单

排放因子。借鉴美国和加拿大的经验，应该积极完善企业温室气体的监测、核算和报告制度。鼓励能源企业通过设备组件统计、现场实测等方式进行排放因子更新，为国家清单提供数据支撑和相互验证。推动能源企业对重点排放源开展甲烷排放监测，建立可靠的记录、报告、测量流程，设立强有力、详细、具体到厂站的记录规范，指定可靠的测量要求。推动排放量的第三方核查制度，提高数据的准确性和透明度。通过这些举措，使企业温室气体报告数据可以为国家清单编制提供支持，另外国家清单中的先进方法学也能够为企业所采纳。

### （3）完善煤炭行业清单计算范围完整性和活动数据，深入开展特征排放因子研究

煤炭行业甲烷逃逸清单未来应该进一步提升计算范围的完整性，增加已提供方法学的露天煤矿矿后活动排放，针对《2019 精细化清单指南》最新增补的排放源煤炭地址勘探钻孔后的温室气体逃逸排放、井工及露天煤矿开采过程的 CO<sub>2</sub> 逃逸排放和废弃露天煤矿的温室气体逃逸排放，需提前做好前期研究和技术储备工作。其次，要加强活动水平数据收集能力，扩大统计数据覆盖面。在统计数据中区分井工矿和露天矿的原煤产量数据，细化废弃矿井数量的有关信息。然后，深入开展特征排放因子研究。为准确估计温室气体逃逸排放量，需要定期对中国特征因子尤其是井工煤矿开采和矿后活动因子更新。其中井工开采可结合目前的全国瓦斯等级鉴定工作，进一步研究提高

样本的代表性，从而更为真实、准确反映中国煤炭开采及矿后活动温室气体的实际排放情况（马翠梅等，2020）。最后，从企业层面来看，急需加强对甲烷逃逸排放的监测，提高排放因子数据质量；另一方面，提高煤矿瓦斯利用水平。

### （4）油气系统甲烷逃逸排放应作为重点排放源全面加强研究，加快建立符合我国油气生产实际情况的排放因子体系

油气系统甲烷逃逸清单编制基础较为薄弱，不确定性高，应该作为重点排放源加强研究。第一，需要开展油气行业生产工艺流程普查，开展全面、系统性的全环节流程检测与分析，建立基于设备层级的排放数据和排放因子。第二，需要提升甲烷逃逸计算范围的完整性，纳入火炬排放、废弃油气井排放、事故排放等排放源，以及放空空气燃烧的周期变化、绿色完井措施使用等设备级别排放源，并针对《2019 精细化清单指南》最新增补的排放源开展前期研究。第三，需要提高清单编制的准确性，在清单核算中区分海上和陆地油气生产、区分常规和非常规油气生产等，建立设备级别的统计数据。第四，加快建立符合我国油气生产实际情况的排放因子体系。现在使用的基础排放因子大多采用加拿大油气行业排放因子，且年份相对较早（2005年），由于生产过程、工艺等出现变化，这一排放因子体系难以反映我国油气生产实际情况。第五，推广行业甲烷检测、分析和减排的良好实践，推进油气行业甲烷减排。

#### （5）将甲烷减排纳入到增强的气候变化国家自主贡献中，研究制定能源行业中长期甲烷减排路线图

从现有数据来看，能源行领域甲烷排放总量巨大，是我国的重要排放源。随着企业温室气体清单报告制度的建立和全国碳市场的启动，已经初步具备大规模开展甲烷减排的制度环境。从减排技术来看，煤炭行业从 2006 年开始开展甲烷利用和减排且技术已经逐渐成熟，油气行业更容易实现甲烷减排且技术比较

成熟，也已经具备大规模开展甲烷减排的技术可行性。近年来，能源大省和能源企业对甲烷减排关注度日益提高，山西省已初步建立煤矿瓦斯分级利用技术体系和政策体系，中石油发布减排目标和“甲烷排放管控行动方案”，中国石油化工集团开始研究甲烷减排行动，北京燃气集团正在制定甲烷减排路线图。因此，建议将甲烷减排纳入到增强的气候变化国家自主贡献，研究制定能源行业中长期甲烷减排路线图。

## 附表一 专家访谈列表

访谈编码	访谈专家及单位	访谈时间和地点
BJ20191115	佟庆, 清华大学核能与新能源研究院	北京, 2019年11月15号
BJ20191202	朱松丽, 国家发改委能源研究所	北京, 2019年12月2号

### 参考文献

Alvarez, R. A., Zavala-Araiza, D., Lyon, D. R., Allen, D. T., Barkley, Z. R., Brandt, A. R., ... Karion, A. (2018). Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain. *Science*, 361(6398), 186–188.

British Petroleum (BP). (2019). Statistical Review of World Energy. Retrieved March 21, 2020, from <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Environment and Climate Change Canada. (2019). National Inventory Report 1990-2017: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada: Part 1. PP:79. Retrieved May 25, 2020, from <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/greenhouse-gas-emissions/inventory/feedback.html>

Environment and Climate Change Canada. (2020). Greenhouse gas sources and sinks: executive summary 2020. Retrieved May 25, 2020, from <http://publications.gc.ca/site/eng/9.816345/publication.html>

Environmental Defense Fund (EDF). (2020). Hitting the mark: improving the credibility of industry methane data. Retrieved May 3, 2020, from <https://business.edf.org/insights/hitting-the-mark-improving-the-credibility-of-industry-methane-data/>

Environmental Protection Agency (EPA). (2020a). Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2018. Retrieved May 21, 2020, from <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>

Environmental Protection Agency (EPA). (2020b). GHGRP methodology and verification. Retrieved May 21, 2020, from <https://www.epa.gov/ghgreporting/ghgrp-methodology-and-verification>

Government of Canada. (2018). Regulations Respecting Reduction in the Release of Methane and Certain Volatile Organic Compounds (Upstream Oil and Gas Sector) (SOR/2018-66). Ottawa: Government of Canada.

International Energy Agency (IEA). (2019). Sources of methane emissions. Retrieved March 5, 2020, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/sources-of-methane-emissions>

International Energy Agency (IEA). (2020). Methane Tracker 2020. Retrieved April 3, 2020, from <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2020#methane-and-climate-change>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1996). Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Kanagawa, Japan: The Institute for Global Environmental Strategies.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Kanagawa, Japan: The Institute for Global Environmental Strategies.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. Geneva: IPCC.

The People's Republic of China. (2019). Second biennial update report on climate change. Retrieved March 6, 2020, from <https://unfccc.int/documents/197666>

The United Nations Economic Commission

for Europe (UNECE). (2019). Best Practice Guidance for Effective Methane Management in the Oil and Gas Sector: Monitoring, Reporting and Verification (MRV) and Mitigation. Retrieved March 2, 2020, from [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/CMM/CMM\\_CE/BPG\\_Methane\\_final\\_draft\\_190912.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/CMM/CMM_CE/BPG_Methane_final_draft_190912.pdf)

The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2019). Decision 18/CMA.1. Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement. FCCC/PA/CMA/2018/3/Add.2. Retrieved May 29, 2020, from [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2018\\_3\\_add2\\_new\\_advance.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2018_3_add2_new_advance.pdf)

World Meteorological Organization (WMO). (2019). WMO statement on the state of the global climate in 2018. Switzerland: Geneva.

白卫国, 庄贵阳, 朱守先.(2013). 中国城市温室气体清单研究进展与展望. 中国人口·资源与环境, 023(001):63-68.

蔡博峰, 朱松丽, 于胜民, 董洪敏, 张称意, 王长科, 朱建华, 高庆先, 方双喜, 潘学标, 郑循华.(2019). IPCC 2006 年国家温室气体清单指南 2019 修订版》解读. 环境工程, (8):1-11.

陈健华, 孙亮, 陈亮, 林翎, 刘玫, 鲍威, 郭慧婷.(2016). 国内外企业温室气体排放核算标准的比较分析. 气候变化研究进展, 12(6): 545-553.

丛建辉, 刘学敏, 王沁.(2012). 城市温室气体排放清单编制: 方法学、模式与国内研究进展. 经

济研究参考, (31):35-46.

董亮.(2018). 透明度原则的制度化及其影响:以全球气候治理为例. 外交评论, 035(004):106-131.

董文福, 刘泓汐, 王秀琴, 劳月娥, 殷培红.(2011). 美国温室气体强制报告制度综述. 中国环境监测, 027(002):18-22.

高翔, 滕飞.(2014). 联合国气候变化框架公约下“三可”规则现状与展望. 中国能源, 36(2):28-31.

国家发展改革委应对气候变化司.(2014). 2005 中国温室气体清单研究. 北京: 中国环境出版社.

国务院.(2007). 中国应对气候变化国家方案. Retrieved March 5, 2020, from [http://www.gov.cn/gongbao/content/2007/content\\_678918.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2007/content_678918.htm)

李慧明.(2016). 《巴黎协定》与全球气候治理体系的转型. 国际展望, (2):1-20.

梁晓菲.(2018). 论《巴黎协定》履约机制:透明度框架与全球盘点. 西安交通大学学报(社会科学版), (2):109-116.

刘保晓, 李靖, 徐华清.(2015年1月12日). 美国温室气体清单编制及排放数据管理. 21 世纪经济报道, 第 018 版.

刘强, 陈亮, 段茂盛, 郑晓奇.(2016). 中国制定企业温室气体核算指南的对策建议. 气候变化研究进展, (12):236-242.

鲁亚霜, 王颖, 张岳武.(2017). 国家温室气体排放统计核算报告体系现状研究. 环境影响评价, (2): 72-75.

马翠梅, 王田.(2017). 国家温室气体清单编制工作机制研究及建议. 中国能源, (4):20-24.

马翠梅, 王田.(2019). 国家温室气体清单时间序列一致性和 2005 年清单重算研究. 气候变化研究进展, 15(06): 641-648.

马翠梅, 戴尔阜, 刘乙辰, 王亚慧, 王芳.(2020). 中国煤炭开采和矿后活动甲烷逃逸排放研究. 资源科学, 42(2): 311-322.

潘德炉, 李腾, 白雁.(2012). 气候谈判与国家温室气体排放清单. 海洋学研究, (02):3-6.

石晨霞.(2014). 联合国在全球气候变化治理中面临的困境及其应对. 国际展望, (03):130-147+162.

生态环境部.(2018). 中国应对气候变化的政策与行动 2018 年度报告. Retrieved March 21, 2020, from <http://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/qhbhlf/201811/P020181129539211385741.pdf>

世界资源研究所 (World Resources Institute, WRI).(2015a). 城市温室气体清单编制与应用的国内外经验. 北京: WRI 北京办公室.

世界资源研究所 (World Resources Institute, WRI).(2015b). “量身定碳” - 浙江在全国率先推行省市县三级温室气体清单常态化编制. 北京: WRI 北京办公室.

王尔德.(2010年10月12日). 中国启动省级温室气体清单编制, 大规模培训先行. Retrieved February 23, 2020, from <http://news.10jqka.com.cn/20101012/c63429385.shtml>

王田, 董亮, 高翔.(2019). 《巴黎协定》强化透明度体系的建立与实施展望. 气候变化研究进展, 15 (6): 684-692.

武晓娟.(2019年3月7日) 全国人大代表、中国工程院院士袁亮: 废弃矿井“一关了之”

太浪费! Retrieved July 2,2020, from [http://www.cnenergynews.cn/xwzt/2019lhzt/lhzt/201903/t20190307\\_753346.html](http://www.cnenergynews.cn/xwzt/2019lhzt/lhzt/201903/t20190307_753346.html)

吴伟强,吴安琪.(2012).美国国家环保局(EPA)温室气体清单编制机制.科学与管理.032(002):11-21.

谢伏瞻.(2019).强化透明度体系是确保《巴黎协定》体系有效的基础和关键,见谢伏瞻,刘雅鸣,应对气候变化报告(2019):防范气候风险.北京:社会科学文献出版社,94-111.

新华社.(2019年11月28日).生态环境部:2018年全国碳排放强度比2005年下降45.8%. Retrieved April 14,2020, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1651453753947764899&wfr=spider&for=pc>

薛明,翁艺斌,刘光全,李兴春,李湘,于胜民,崔翔宇,宋磊.(2019).石油与天然气生产过程甲烷逃逸排放检测与核算研究现状及建议.气候变化研究进展,15(2):187-196.

杨永均,张绍良,侯湖平.(2014).煤炭开采的温室气体逸散排放估算研究.中国煤炭,(1):114-117.

杨兴.(2005).《气候变化框架公约》与国际法的发展:历史回顾、重新审视与评述.环境资源法论丛,(00):156-179.

袁立凡,于杨.(2017).温室气体排放核算与报告平台研究与应用.油气田环境保护,27(1):54-56.

于宏源.(2007).国际制度在中国的內化——以中国气候变化协调小组为例.复旦国际关系评论,000(001):237-253.

赵爱琴,魏丽,王虹.(2015).中美温室气体排放核算的对比分析及建议.环境保护,43(8):60-63.

浙江省生态环境厅.(2019).浙江省2019年应对气候变化工作要点. Retrieved May 6,2020, from [http://sthjt.zj.gov.cn/art/2019/6/10/art\\_1511864\\_34587916.html](http://sthjt.zj.gov.cn/art/2019/6/10/art_1511864_34587916.html)

浙江省应对气候变化领导小组办公室.(2018年6月13日).2017年度浙江省低碳发展报告. Retrieved April 21,2020, from [http://zjrb.zjol.com.cn/html/2018-06/13/content\\_3143856.htm?div=-1](http://zjrb.zjol.com.cn/html/2018-06/13/content_3143856.htm?div=-1)

中国石油集团经济技术研究院.(2019).《2018年国内外油气行业发展报告》:中国天然气对外依存度大增,碳排放交易网. Retrieved August 5,2020, from <http://www.tanpaifang.com/tanguwen/2019/0118/62891.html>

中国石油天然气集团公司.(2019).2018年环境、社会与治理报告. Retrieved May 6,2020, from <http://www.petrochina.com.cn/petrochina/xhtml/images/shyhj/2018kcxzfbgen.pdf>

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

朱松丽,蔡博峰,朱建华,高庆先,张称意,于胜民,方双喜,潘学标.(2018).IPCC国家温室气体清单指南精细化的主要内容和启示.气候变化研究进展,(1):86-94.

朱松丽,王文涛.(2012).国际气候谈判背景下的国家温室气体排放清单编制.气候变化研究进展,8(5):372-377.

自然资源部.(2019).2018年全国石油天然气资源勘查开采情况通报. Retrieved August 5,2020, from [http://www.gov.cn/shuju/2019-07/16/content\\_5410035.htm](http://www.gov.cn/shuju/2019-07/16/content_5410035.htm)

邹晶.(2008).国家应对气候变化领导小组.世界环境,(02):95.

## 机构介绍

---

清华大学气候变化与可持续发展研究院成立于 2017 年 10 月，由中国气候变化事务特别代表解振华担任创始院长。气候院致力于打造跨学科研究、人才培养和政策交流协同创新平台，整合国内外优质资源，为应对全球气候变化与实现可持续发展提供智慧和方案。气候院的工作内容包括对话与交流、战略研究、教育与培训三大版块，已经成功打造“气候变化大讲堂”、“巴黎协定之友”、“世界大学气候变化联盟”等品牌旗舰项目，开展了“中国低碳发展及转型路径”、“气候与环境协同治理”等战略研究，搭建了“甲烷减排合作平台”和“应对气候变化的基于自然的解决方案”合作平台，并组织了两期南南气候合作培训班。经过近三年的成长，已经形成了国际品牌影响力、国内外资源整合能力和专业研究实力三大优势，成长为领域内知名智库。



扫码关注  
ICCSD公众号



清华大学气候变化  
与可持续发展研究院  
INSTITUTE OF CLIMATE CHANGE  
AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
TSINGHUA UNIVERSITY

[www.iccsd.tsinghua.edu.cn](http://www.iccsd.tsinghua.edu.cn)