



# Initiative for Climate Action Transparency - ICAT – Status report on MRV for fugitive emissions of methane from energy sector

## 中国能源行业甲烷逃逸排放MRV体系现状

Deliverable 9

### AUTHORS

LI Xiang

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

GAO Minhui

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

CHU Zhenhua

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

WANG Tian

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

MA Cuimei

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

SHOU Huantao

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

September 2021

### COPYRIGHT©

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP DTU Partnership (UDP) would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or for any other commercial purpose whatsoever without prior permission in writing from UDP.

### DISCLAIMER

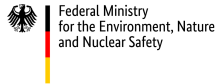
This publication has been produced as part of a component of the Initiative for Climate Action Transparency project (ICAT) implemented by UNEP DTU Partnership (UDP). The views expressed in this publication are those of the authors and do not necessarily reflect the views of UDP.

PUBLISHED BY

National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (NCSC)

### PREPARED UNDER

Initiative for Climate Action Transparency (ICAT) project supported by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety, the Children's Investment Fund Foundation (CIFF), the Italian Ministry for Ecological Transition, and ClimateWorks.



The ICAT project is managed by the United Nations Office for Project Services (UNOPS).



# Table of contents

<b>1.中国能源行业甲烷排放总体情况</b>	<b>1</b>
<b>2.煤炭行业甲烷排放源及排放机理</b>	<b>4</b>
2.1 煤炭开采的排放机理	4
2.2 煤层气开采排放机理	5
<b>3.煤炭行业甲烷逃逸排放量MRV现状</b>	<b>7</b>
3.1 煤炭逃逸清单统计和核算体系现状	7
3.2 煤炭生产企业温室气体MRV现状	11
<b>4.油气行业甲烷逃逸排放量MRV现状</b>	<b>14</b>
4.1 油气勘探开发环节	15
4.2 油气开采环节	16
4.3油气处理业务	16
4.4油气储运与输送业务	17
<b>5.油气行业甲烷逃逸排放核算方法</b>	<b>17</b>
5.1 油气行业甲烷逃逸排放国家清单编制方法学	17
5.2 油气行业企业层面甲烷逃逸排放方法学	19

## Executive Summary

Methane is the one of the most important non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases. According to the latest report by China submitted to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), China's total methane emission in 2014 was 53.57 Mt, accounting for 9.1% of China's total GHG emissions. Methane emission from energy activities is an important part of methane emission, and mainly includes fugitive emissions from coal mining and oil and gas systems. Among them, in 2014, the methane emission from coal mining was 21.02 Mt, accounting for 39.2% of the total methane emission, and the methane emission from oil and gas system was 1.13 Mt, accounting for 2.1%. In recent years, due to the adjustment of domestic energy structure and the elimination of backward production capacity, the methane emission from coal mining has been relatively stable and even decreased. On the contrary, there has been an obvious increase in the methane emissions from the oil and gas systems.

Based on a brief introduction to the overall situation of methane emission in China's energy activities, this report focuses on the status on MRV for fugitive emissions of methane from energy sector. From the two fields of coal mining and oil and gas system, there has been giving a deep analysis which presents the methane emission sources and emission mechanism. At the national level, the report contains the methodology for methane emission accounting of coal mining and oil and gas system in national greenhouse gas inventories according to the Revised 1996 IPCC Guidelines and the 2006 IPCC Guidelines, and the methodology of practical application in the national greenhouse gas inventories according to the China's Second National Communications on Climate Change and the China's Third National Communications on Climate Change. At the enterprises level, China has formulated and issued the guidelines for accounting and reporting of greenhouse gas emissions for coal production enterprises and oil and gas production enterprises during the 12th Five Year Plan period. The guidelines both state the accounting method and selection of activity data and emission factors for methane emissions from coal mining and oil and gas systems but may encounter some problems and constraints in specific practice. Finally, this report gives some suggestions for further optimization and improvement of MRV system for fugitive emissions of methane from energy sector in the future.

# 1. 中国能源行业甲烷排放总体情况

在中国的国家温室气体排放清单中，甲烷是最主要非二氧化碳温室气体，根据中国提交联合国气候变化框架公约（UNFCCC）的最新报告数据显示2014年，我国甲烷排放总量为5357万吨，占我国当年温室气体排放总量(不包括LULUCF)的9.1%。能源、农业及废弃物领域是我国2014年甲烷的前三大排放来源，其中煤炭开采甲烷排放2102万吨，占排放总量39.2%，油气系统逃逸排放113万吨，占比仅为2.1%；农业活动（包括动物粪便管理、动物肠道发酵和水稻种植）甲烷排放量2192万吨，占甲烷排放总量的41.5%；废弃物处理（包括废水处理、固废处理）甲烷排放量656万吨，占甲烷排放总量的12.3%。2005年以来，我国甲烷排放逐渐增加，只有动物肠道发酵甲烷排放较2005年有所下降，其余排放源均有所增加。尤其是2014年煤炭开采、油气系统、固体废弃物和废水处理产生的甲烷排放量均比2005年增长60%以上。

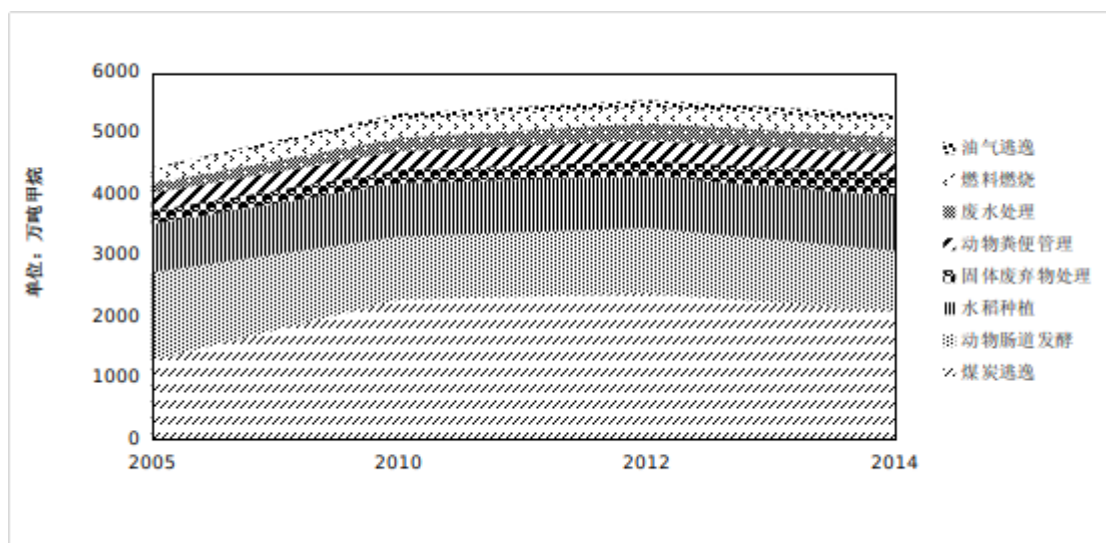


图1.1 中国温室气体清单年份各领域甲烷排放情况

能源活动甲烷排放主要包括煤炭生产和油气生产活动中产生的甲烷逃逸，从排放量占比看，煤炭生产活动中甲烷排放量是我国温室气体排放的关键排放源之一，但近年来由于国内能源结构调整及淘汰落后产能，煤炭产业的甲烷排放量相对较为稳定，甚至有下降的情况。根据我国履约报告中的基础数据分析得出，2010-2014年间，我国煤炭产量增长了13%，煤炭领域甲烷排放总量下降了8%，单位煤炭生产的甲烷排放强度下降了19%。与之相反，油气行业甲烷排放量在我国历史年份清单中占比并不高。2014年，油气行业甲烷逃

逸排放量约112.7万吨，约占当年甲烷排放总量的2%，但是油气行业甲烷逃逸排放量上升趋势非常明显，2014年的排放量比2005年增长了85%，年均增长速度7.1%。在我国2030年碳排放达峰和2060年实现碳中和的背景下，天然气将在能源结构低碳化转型中占据举足轻重的地位，有效控制天然气开采和使用过程中的甲烷排放，是其能有效贡献低碳转型的重要前提。

煤炭开采和煤层气开采利用，是煤炭领域产生甲烷排放的重要来源。根据美国环保署 (US EPA) 的估算，2010年全球范围内煤炭开采行业甲烷排放量约达到5.89亿吨CO<sub>2</sub>e，占全球人为甲烷排放量的8%左右。全世界煤炭开采甲烷排放量位居前五的国家分别是中国、美国、俄罗斯、澳大利亚和乌克兰，大约贡献全球80%的煤炭开采甲烷排放（如图1.2所示）。根据US EPA的分析，全球煤炭开采行业的甲烷排在20世纪90年代初期有所下降，随后又开始快速上升，尤其是2005-2010年间上升速度最快，年度增长率达到6.5%，2015年，全球煤炭开采甲烷排放达到峰值，后续缓慢下降，到2030年，全球由于煤炭开采引起的甲烷排放将会比2015年下降5.7%左右其中中国是煤炭开采领域甲烷排放体量最大的国家，占比将近70%，对煤炭行业甲烷排放的总量变化影响非常显著。

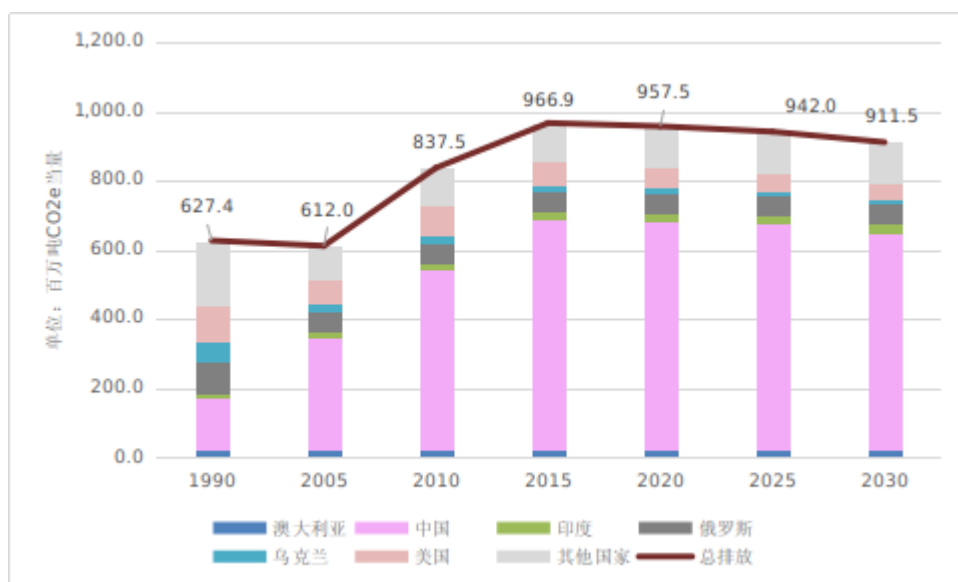


图1.2 世界主要国家煤炭开采甲烷排放量预测（数据来源US EPA）



## 2. 煤炭行业甲烷排放源及排放机理

煤炭开采过程中产生甲烷排放的来源包括井下煤炭采掘过程中，夹杂在煤层中的气体随着煤层的扰动而不断涌入煤矿巷道和采掘空间，并通过通风系统或抽放系统排放到大气中而产生的排放；露天采煤过程中开采活动和覆盖层剥离活动导致煤层中的甲烷释放到大气中产生的排放；煤炭采后加工、运输和使用过程，包括煤的洗选、储存、运输及粉碎等过程产生的排放；此外废弃矿井的溢出瓦斯也是重要的甲烷排放源之一（如图2.1所示）。煤炭开采过程中除了甲烷逃逸排放外还存在CO<sub>2</sub>逃逸排放，由于本研究项目主要针对非二氧化碳气体，因此不对煤炭领域CO<sub>2</sub>逃逸排放做详细介绍，下文将针对煤炭开采中各个环节的排放机理进行介绍。

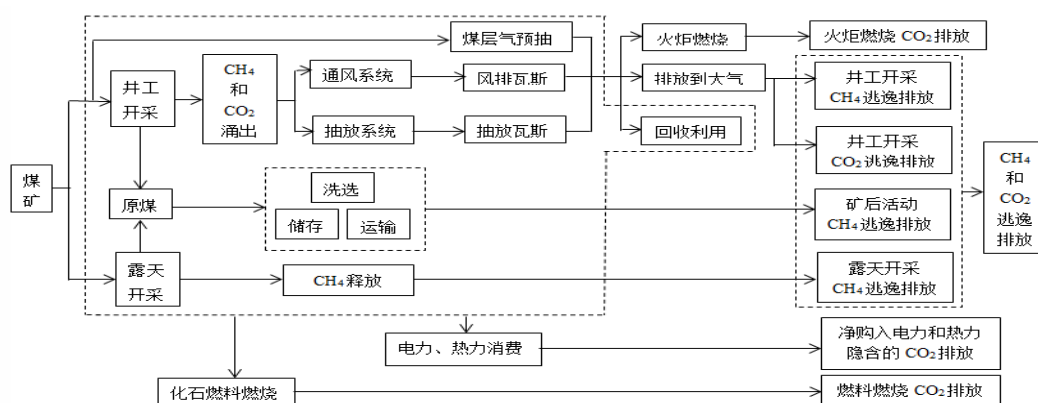


图2.1 煤炭开采行业甲烷排放示意图

### 2.1 煤炭开采的排放机理

煤炭开采过程中，煤层赋存的甲烷不断涌入煤矿巷道和采掘空间，并通过通风、抽放系统排放到大气中；煤炭洗选、储存、运输等矿后过程中，煤中残存瓦斯缓慢释放也产生甲烷排放。中国煤炭开采的方式和环节涉及井工开采、露天煤矿和矿后活动三个部分。特点分别是露天煤矿煤层中瓦斯含量低，井工开采矿后活动中的瓦斯排放量少，难回收。

井工开采方面，中国采用的主要技术有柱式采煤技术、长臂开采技术等。柱式采煤技术是煤矿开采中最常使用也是最为传统的采煤工艺，其特点是在采矿区内形成煤柱作为支撑，在回采过程中采用爆破方式。柱采煤技术所形成工作面较小，一般会采用多个工作面同时施工的作业方式，从而提高了开采效率。长臂开采法就是一种应用于复杂地形煤矿开采的技术手段。长臂开采方式是当前应用十分广泛的采煤方式，在矿井运输上采用了效率

和稳定性都较高的胶带运输方式。因此，井工开采过程中产生甲烷排放的来源包括井下煤炭采掘过程中，夹杂在煤层中的气体随着煤层的扰动而不断涌入煤矿巷道和采掘空间，并通过通风系统或抽放系统排放到大气中而产生的排放。此外，井工开采过程中温室气体排放源还有化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放。

露天煤矿方面，当矿层接近地表时，使用露天开采的方式较为经济。按矿床分布情况，大致有两类采矿方法。平缓矿床的采矿方法一般适用于倾角小于 $12^{\circ}$ 的平缓矿床，对于此类矿床可采用倒堆采矿法、横运采矿法和纵运采矿法等。倾斜矿床的采矿方法基本上把剥离物运往外排土场，仅当采掘工作达到终了深度后，才能利用采空区内排。采煤过程中开采活动和覆盖层剥离活动导致煤层中的甲烷释放到大气中产生的排放。同时，露天煤矿开采过程中温室气体排放源还有化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放。

矿后活动方面，煤炭采后加工、运输和使用过程，包括煤的洗选、储存、运输及粉碎等过程产生的排放。此外，废弃矿井的溢出瓦斯也是重要的甲烷排放源之一。

## 2.2 煤层气开采排放机理

地面煤层气开采的原理可以概括为“压裂、解吸附、扩散、集输”，与此相关的生产技术包括垂直井或定向井技术、储层改造技术（如压裂、洞穴完井）、排水降压采气技术等，每类技术下面又可细分为多种生产工艺。整体来看，地面煤层气开采的生产工艺流程包括七个阶段。

一是钻井。煤层是煤层气开发的目地层，而煤层具有其特殊的岩石力学特性，因此煤层气钻井工艺与常规油气的钻井工艺相比具有其特殊性。此外，煤层气主要吸附在煤储层的内表面，只有少量（10%~20%）以游离状态或溶解状态存在于煤层的孔隙与裂缝中，这种储集方式与以游离态为主的石油天然气显著不同。煤层气钻井的方式一般有两种：旋转钻井和冲击旋转钻井。煤层气钻井环节的温室气体排放源主要有化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放。

二是完井。由于煤层温度和压力相对较低，煤层较为松散，刚钻好的气井易发生井壁坍塌，因此有必要对井壁进行固定，并对井身结构、井口装置进行完善，铺设地面与煤层连通的管道等，这些措施统称为完井。煤层气完井环节的温室气体排放源主要是化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放。

三是压裂。煤层气开采中的压裂工艺是指通过增加煤层中的压力，改善煤层的天然裂隙系统和疏通煤层裂隙与井筒的联系，来提高煤层气的产量。煤层气开采压裂工艺主要有水力压裂和注气压裂两种类型，目前实际生产中以水力压裂为主。压裂环节温室气体排放源有煤层气的逃逸排放和放空排放，以及伴随排放的CO<sub>2</sub>。

四是试气。中国煤层气井一般采用油管排水（也是压裂液/气进入煤层的通道），套管采气的方法试气。煤层气井试气不同于常规自喷油气井试油，油气井是靠地层压力将油气流举升到地面，而煤层气井是用排采设备把煤层中的气水混合物抽到地面。试气环节温室气体排放源主要有化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放；同时，试气时从管线、阀门、流量计等部位产生的甲烷逃逸排放，生产中需要把煤层气工艺放空或进行点燃焚烧时会产生放空火炬排放。

五是排采。即排水采气，是煤层气抽采的主要工艺步骤。其原理是通过排水使煤储层压力降低到煤层甲烷临界解析压力值以下，形成煤层气连续流动的过程。排采环节温室气体排放源主要有化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放；同时，试气时从管线、阀门、流量计等部位产生的甲烷逃逸排放，生产中需要把煤层气工艺放空或进行点燃焚烧时会产生放空火炬排放。

六是处理。煤层气的地面处理是从煤层气抽到地面，到进入集输管线之前经过的一系列处理过程。主要有减压、加热、节流、气水分离、脱CO<sub>2</sub>、脱硫、脱水、压缩、计量等环节。这里的处理环节也包括对井下抽上来的废水进行处理的过程。处理环节温室气体排放源主要有化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放；同时，从管线、阀门、流量计等部位产生的甲烷逃逸排放，生产中需要把煤层气工艺放空或进行点燃焚烧时会产生放空火炬排放，煤层气抽采产生的废水进行厌氧处理时会产生甲烷排放。

七是集输。煤层气集输是从最低一级的集气站到集配气总站或加气站，涉及集气站、集输管线和压缩站等设备。集输环节温室气体排放源主要有化石燃料燃烧排放和购入使用电力对应的排放；同时，从集气站、储罐、管线、阀门、流量计等部位产生的甲烷逃逸排放，生产中需要把煤层气工艺放空或进行点燃焚烧时会产生放空火炬排放。

## 3. 煤炭行业甲烷逃逸排放量MRV现状

### 3.1 煤炭逃逸清单统计和核算体系现状

#### 3.1.1 井工开采

##### (1) IPCC方法论

《1996年IPCC清单指南》对于煤炭井工开采甲烷排放，提出了三个层级的方法：层级1为全球平均法，层级2为国家或矿区平均法，层级3为特定煤矿法。层级的选择取决于活动水平数据的可获得性以及特定国家该排放源的显著程度。层级1和层级2的计算方法一致，区别在于排放因子的获取方法不同：层级1推荐的排放因子取值范围为 $10\sim 25\text{ m}^3/\text{t}$ ；层级2要求通过对特定国家或煤田进行实测研究，以确定适合本国的排放因子，实测研究应重点关注煤层甲烷含量、含气层上下煤炭的量和开采方法等数据。层级3通过加总全国所有煤矿实测的甲烷排放量得到总排放量。

《2006年IPCC清单指南》在《1996年IPCC清单指南》三个层级方法的基础上，又提出了层级2和层级3结合法，方法学选择的优先顺序是：层级3、层级2和层级3结合法、层级2、层级1。层级1排放因子取值范围仍为 $10\sim 25\text{ m}^3/\text{t}$ ，对于开采深度小于200m的煤矿可采用低值，开采深度大于400m的煤矿可采用高值，介于二者之中的可选平均值 $18\text{ m}^3/\text{t}$ 。层级2需通过调查通风数据或煤层和邻近层气体成分的数量关系，获得煤田平均的排放因子。层级2和层级3结合法适用于那些只有一部分煤矿有实测数据的国家。

##### (2)《中国第二次国家信息通报》(SNC)煤炭逃逸甲烷排放计算方法

SNC实际采用的方法类似于IPCC的层级2。在我国，煤矿的管理体制通常按照国有重点煤矿、地方国有煤矿、乡镇煤矿三个等级进行管理。在2004年，我国仅有国有重点煤矿按照管理要求开展了煤矿瓦斯等级鉴定工作，从2007年起我国才首次开始对地方煤矿和乡镇煤矿开始瓦斯等级鉴定工作。另一方面，2005年的煤矿瓦斯等级鉴定数据残缺不全，因此，《第二次国家信息通报》根据2004年和2007年的瓦斯等级鉴定数据计算本国化的清单年份(2005年)排放因子。

##### (3)《中国第三次国家信息通报》(TNC)的方法改进

出于安全考虑，我国《煤矿安全规程》要求煤矿每年必须进行矿井瓦斯等级鉴定，报省（区、市）煤炭行业管理部门审批，并报省（区、市）级安全监察机构备案。2011年，国家安监总局会同国家发展改革委印发了《煤矿瓦斯等级鉴定暂行办法》，要求自2012年起，“瓦斯矿井每2年进行一次瓦斯等级鉴定，高瓦斯矿井和突出矿井不再进行周期性瓦斯等级鉴定工作，但应每年测定和计算矿井、采区、工作面瓦斯涌出量”。

井工开采甲烷逃逸排放为我国煤炭开采甲烷逃逸清单的关键类别，TNC清单编制过程中对该排放源同样采用IPCC 层级2方法，但在《第二次国家信息通报》的方法基础上有所改进。随着近年来煤炭行业不断淘汰落后产能，很多煤矿都进行了兼并重组，有些乡镇煤矿转为国有地方煤矿，有些国有地方煤矿转为国有重点煤矿，煤矿的管理体制已变得比较混乱，很难再按照第二次国家信息通报将煤矿细分为三类所有制、分别计算排放因子和排放量的方法。因此，TNC根据2011年瓦斯鉴定结果数据，计算分省（区、市）的平均排放因子，分别乘以2010年各省（区、市）井工开采原煤产量，得到各省井工开采甲烷排放量，汇总得到全国井工开采甲烷排放量。

### 3.1.2 矿后活动

#### (1) IPCC的方法论

《1996年IPCC清单指南》对于矿后活动甲烷排放，提出了两个层级的方法：层级1为全球平均法，层级2为国家或煤田平均法。层级1的方法对于井工煤矿的矿后活动排放因子推荐取值范围为 $0.9\sim 4\text{ m}^3/\text{t}$ 。如果采用层级2方法，则要求获得特定煤矿的现场气体成分等数据，根据现场气体中甲烷的含量与煤炭产量、矿后活动中气体的逸散比例、转换系数的乘积计算排放量。

《2006年IPCC清单指南》对于井工煤矿矿后活动排放推荐的方法与《1996年IPCC清单指南》基本一致，如果采用层级1方法，排放因子可取平均值 $2.5\text{ m}^3/\text{t}$ 。如果采用层级2方法，对于没有进行预排气的井工煤矿，约20~40%的现场气体仍残留在煤炭中，这时排放因子为现场气体含量的30%；对于已进行预排气的井工煤矿，排放因子为现场气体含量的10%。

#### (2) SNC的方法

《第二次国家信息通报》仅计算了井工煤矿的矿后活动排放，而露天煤矿矿后活动排放不再进行计算。这是因为我国露天煤矿其煤层瓦斯含量本身就很低，其矿后活动排放可以忽略不计。

《第二次国家信息通报》计算井工煤矿矿后活动排放所采用的方法论类似于IPCC的层级2方法，其排放因子取值基于我国瓦斯防治科技领域对煤炭残存瓦斯含量的研究结果，认为煤炭中的残存瓦斯量近似于煤炭的矿后活动甲烷排放量。

具体而言，先分高瓦斯和突出矿井、低瓦斯矿井两种情况。对于前者，基于煤的残存瓦斯量与煤的挥发份含量的关系研究结果，由于我国高瓦斯和突出矿井所生产的煤炭大多为中等变质程度的烟煤，按照残存瓦斯量与挥发分含量对应关系表，取其残存瓦斯含量为 $3\text{m}^3/\text{t}$ 。对于后者，实测数据表明低瓦斯矿井煤层原始瓦斯含量平均值约为 $3\text{m}^3/\text{t}$ ，按照煤炭行业标准“矿井瓦斯涌出量预测方法”（AQ1018-2006）中煤的原始瓦斯含量和残存瓦斯含量对应关系，计算出低瓦斯矿井所生产煤炭的瓦斯残存含量约为 $0.94\text{m}^3/\text{t}$ 。

### （3）TNC方法改进

TNC煤炭开采甲烷逃逸排放清单编制采用类似于IPCC层级2的方法，对矿后活动排放量的计算分突出矿井、高瓦斯矿井、瓦斯矿井三种情况，结合我国国内对煤炭残存瓦斯含量的研究基础，计算出我国突出矿井、高瓦斯矿井、瓦斯矿井的矿后活动排放因子，再根据其对应的原煤产量计算甲烷排放量。

## 3.1.3 废弃矿井

### （1）IPCC的方法论

《2006年IPCC清单指南》开始关注废弃井工煤矿的甲烷排放问题，指南给出了三个层级的方法。层级1和层级2均涉及两个重要参数：矿井的废弃年限和甲烷排放因子（矿井瓦斯含量）。层级3为废弃矿井实测法，需要获得废弃矿井的时间系列信息，每个清单国家需建立自己的排放衰减曲线。

层级1方法的排放量等于尚未水淹的废弃矿井数量与排放瓦斯的矿井比例、甲烷排放因子、转换系数的乘积。这样计算出来的只是某个时间间隔内废弃的矿井的排放量，总排放量需由所有时间间隔废弃的矿井的排放量相加获得。

层级2方法的排放量等于尚未水淹的废弃矿井数量与排放瓦斯的矿井比例、本国平均排放速率、甲烷排放因子以及转换系数等的乘积。本国平均排放速率的单位是 $\text{m}^3/\text{年}$ ，甲烷排放因子无量纲，基于排放衰减曲线计算得到。

层级3方法是特定废弃煤矿实测法，排放量等于煤矿关闭时的排放速率与甲烷排放因子、转换系数的乘积，减去因回收和利用而减少的排放量，排放速率的单位是 $\text{m}^3/\text{年}$ ，甲烷

排放因子无量纲。

### (2) SNC通报的方法

《第二次国家信息通报》采用的是类似于《2006年IPCC清单指南》中的层级1方法，收集了2005年8月~2008年6月年之间关停矿井数量，假定废弃矿井的排放主要集中出现在废弃后的第一年，因此活动水平数据采用的是2007年7月~2008年6月一年之间关闭的矿井数量；假设其中20%的矿井在关停后会产生甲烷排放；然后根据2007年我国乡镇煤矿瓦斯涌出总量和乡镇煤矿数量，计算出平均单个乡镇煤矿的瓦斯涌出量；假定矿井废弃后第一年的排放量为其生产时期排放量的一半，即废弃矿井甲烷排放因子为2007年乡镇煤矿单井涌出量的一半；最后将上述各项参数相乘求得废弃矿井的甲烷排放量。

### (3) TNC方法改进

TNC采用《2006年IPCC清单指南》中的方法1计算废弃矿井的甲烷排放量，即：按照IPCC定义的时间间隔，以及每个时间间隔内我国废弃矿井的数量、尚未水淹的矿井比例、排放瓦斯的矿井比例、甲烷排放因子相乘计算每个时间间隔内的排放量，然后汇总得到废弃矿井甲烷排放总量。

## 3.1.4 露天煤矿

### (1) IPCC的方法论

《1996年IPCC清单指南》对于露天开采甲烷排放，提出了两个层级的方法：层级1为全球平均法，层级2为国家或煤田平均法。层级1推荐的排放因子取值范围为 $0.3\sim 2\text{ m}^3/\text{t}$ 。层级2要求获得特定露天煤矿的现场气体成分和其他特征数据，排放量等于露天煤矿煤炭产量乘以现场气体含量和假定的邻近层排放因子之和，再乘以转换系数。

《2006年IPCC清单指南》与《1996年IPCC清单指南》的要求一致，对于采用层级1的情况，可使用平均值 $1.2\text{ m}^3/\text{t}$ ；如果采用层级2方法，相关数据要求细化到煤田级别。

《2000年IPCC优良做法指南》指出，对于平均表土深度低于25米的露天煤矿，优良做法是采用排放因子的低值；对于平均表土深度超过50米的露天煤矿，优良做法是采用排放因子的高值；对于中间深度，则采用排放因子的中间值；如果缺乏表土厚度数据，优良做法是采用接近高值的数值，例如 $1.5\text{ m}^3/\text{t}$ 。

### (2) SNC的方法

第二次国家信息通报采用层级1的方法。由于我国露天煤矿产量仅占全国煤炭产量的

5%左右，且这些露天矿均位于煤层瓦斯含量较低的区域，产出的煤炭主要是变质程度较低的褐煤。因此，第二次国家信息通报参照IPCC缺省值取2 m<sup>3</sup>/t作为露天开采的甲烷排放因子。

### (3) TNC的方法改进

我国露天煤矿产量不大，且露天矿煤层瓦斯含量普遍较低。本次清单编制仍采用层级1的方法。根据分省(区、市)露天煤矿的原煤产量和露天开采的甲烷排放因子来计算甲烷排放量。

## 3.2 煤炭生产企业温室气体MRV现状

“十二五”期间，中国国家发展改革委员会发布了《中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》，用于指导煤炭行业企业层面温室气体排放核算和报告，2018年9月，国家市场监督管理总局和国家标准化管理委员会将该指南转化为了国家标准(GB/T 32151.11-2018)，该标准属于推荐性的国家标准。

该标准要求报告主体以企业法人或视同法人的独立核算单位为边界，核算和报告其生产系统产生的温室气体排放。核算边界包括主要生产系统、辅助生产系统以及直接为生产服务的附属生产系统。核算和报告范围包括化石燃料燃烧排放、甲烷逃逸排放、二氧化碳逃逸排放、购入的热力、电力对应的排放，输出的电力、热力对应的排放。从涉及温室气体来看，核算和报告包括二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和甲烷(甲烷)。报告主体的工作流程包括：确定核算边界，识别排放源；制定监测计划，收集活动水平数据；选择和获取排放因子数据；按照核算方法分别计算各类排放源的温室气体排放量；汇总计算企业温室气体排放量；编制排放报告并做好数据质量管理和文件存档工作。

煤炭生产企业的温室气体排放总量要求核算化石燃料燃烧二氧化碳排放量、甲烷逃逸排放量、二氧化碳逃逸排放量、购入的电力和热力对应的排放之和，减去输出的电力和热力对应的排放。计算公式如下：

$$E = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{甲烷\_逃逸}} + E_{\text{CO}_2\_逃逸} + E_{\text{购入电}} + E_{\text{购入热}} - E_{\text{输出电}} - E_{\text{输出热}}$$

$E$ 为报告主体的温室气体排放总量，单位为吨二氧化碳当量(tCO<sub>2</sub>e)；

$E_{\text{燃烧}}$ 为报告主体的化石燃料燃烧的CO<sub>2</sub>排放量，单位为吨CO<sub>2</sub>；

$E_{\text{甲烷\_逃逸}}$ 为报告主体的甲烷逃逸排放量，单位为吨二氧化碳当量(tCO<sub>2</sub>e)；

$E_{\text{CO}_2\_逃逸}$ 为报告主体的二氧化碳逃逸排放量，单位为吨CO<sub>2</sub>；



E购入电为报告主体购入电力隐含的CO<sub>2</sub>排放量, 单位为吨CO<sub>2</sub>;

E购入热为报告主体购入热力隐含的CO<sub>2</sub>排放量, 单位为吨CO<sub>2</sub>;

E输出电为报告主体输出电力隐含的CO<sub>2</sub>排放量, 单位为吨CO<sub>2</sub>;

E输出热为报告主体输出热力隐含的CO<sub>2</sub>排放量, 单位为吨CO<sub>2</sub>;

在本研究重点关注的甲烷逃逸排放源方面, 煤炭生产企业甲烷的逃逸排放总量需要核算井工开采、露天开采和矿后活动甲烷逃逸排放量, 同时还可以扣减掉火炬燃烧或催化氧化销毁的甲烷量以及甲烷的回收利用量, 如下:

$$E_{\text{CH}_4\text{逃逸}} = (Q_{\text{CH}_4\text{井工}} + Q_{\text{CH}_4\text{露天}} + Q_{\text{CH}_4\text{矿后}} - Q_{\text{CH}_4\text{销毁}} - Q_{\text{CH}_4\text{利用}}) \times 0.67 \times 10 \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}$$

式中:

$E_{\text{CH}_4\text{逃逸}}$ —煤炭生产企业的甲烷逃逸排放总量, 单位是吨二氧化碳当量 (tCO<sub>2</sub>e);

$Q_{\text{CH}_4\text{井工}}$ —井工开采的甲烷逃逸排放量, 单位是万立方米 (10<sup>3</sup>);

$Q_{\text{CH}_4\text{露天}}$ —露天开采的甲烷逃逸排放量, 单位是万立方米 (10<sup>3</sup>);

$Q_{\text{CH}_4\text{矿后}}$ —矿后活动的甲烷逃逸排放量, 单位是万立方米 (10<sup>3</sup>);

$Q_{\text{CH}_4\text{销毁}}$ —甲烷的火炬燃烧或催化氧化销毁量, 单位是万立方米 (10<sup>3</sup>);

$Q_{\text{CH}_4\text{利用}}$ —甲烷的回收利用量, 单位是万立方米 (10<sup>3</sup>);

0.67—甲烷在20°C、1个大气压下的密度, 单位是千克每立方米 (kg/m<sup>3</sup>);

$\text{GWP}_{\text{CH}_4}$ —甲烷相比二氧化碳的全球变暖潜势 (GWP) 值。

井工开采的甲烷逃逸排放由区分不同矿井的年度原煤产量乘上相对瓦斯涌出量, 原煤产量数据要求企业从统计台账、统计报表获得, 矿井的相对瓦斯涌出量要求从当年瓦斯等级鉴定结果中直接获得。计算公式如下:

$$Q_{\text{CH}_4\text{井工}} = \sum_i \text{AD}_{\text{井工}i} \times q_{\text{相CH}_4i} \times 10^{-4}$$

式中:

$Q_{\text{CH}_4\text{井工}}$ —井工开采的甲烷逃逸排放量, 单位是万立方米 (10<sup>3</sup>);

i—以井工方式开采的各个矿井的编号;

$\text{AD}_{\text{井工}i}$ —矿井i当年的原煤产量, 单位是吨 (t);

$q_{\text{相CH}_4i}$ —矿井i当年的相对瓦斯涌出量<sup>1</sup>, 单位是立方米每吨原煤 (m<sup>3</sup>/t)。

露天开采的甲烷逃逸排放可以通过不同露天煤矿的原煤产量乘排放因子获得, 原煤产

量要求企业从统计台账或统计报表获得，排放因子可以采用给定的缺省值 $2\text{m}^3/\text{t}$ ，计算公式如下：

$$Q_{\text{CH}_4_{\text{露天}}} = \sum_i \text{AD}_{\text{露天}i} \times \text{EF}_{\text{露天}i} \times 10^{-4}$$

式中：

$Q_{\text{CH}_4_{\text{露天}}}$ —露天开采的甲烷逃逸排放量，单位是万立方米 ( $10^3$ )；

$i$ —煤炭生产企业露天煤矿的编号；

$\text{AD}_{\text{露天}i}$ —露天煤矿 $i$ 当年的原煤产量，单位是吨 (t)；

$\text{EF}_{\text{露天}i}$ —露天煤矿 $i$ 的甲烷排放因子，单位是立方米每吨原煤 ( $^3\text{t}$ )。

矿后活动的甲烷逃逸排放仅考虑井工煤矿的排放，且需要考虑井工矿的瓦斯等级，主要区分突出矿井、高瓦斯矿井、瓦斯矿井，计算方法以不同矿井的产煤量乘相应的排放因子，原煤产量仍然采用企业台账数据，排放因子推荐了缺省值，其中突出矿井和高瓦斯矿井的矿后活动甲烷排放因子都采用缺省值 $3\text{m}^3/\text{t}$ ，瓦斯矿井排放因子缺省值为 $0.94\text{m}^3/\text{t}$ ，计算公式如下：

$$Q_{\text{CH}_4_{\text{矿后}}} = \sum_i \text{AD}_{\text{矿后}i} \times \text{EF}_{\text{矿后}i} \times 10^{-4}$$

式中：

$Q_{\text{CH}_4_{\text{矿后}}}$ —矿后活动的甲烷逃逸排放量，单位是万立方米 ( $10^3$ )；

$i$ —煤炭生产企业井工矿的瓦斯等级，包括突出矿井、高瓦斯矿井、瓦斯矿井；

$\text{AD}_{\text{矿后}i}$ —瓦斯等级为 $i$ 的所有矿井的原煤产量之和，单位是吨 (t)；

$\text{EF}_{\text{矿后}i}$ —瓦斯等级为 $i$ 的矿井的矿后活动甲烷排放因子，单位是立方米每吨原煤 ( $^3\text{t}$ )。

需要指出的是，该标准的排放源尚未包含废弃矿井。在排放因子方面，该标准相关参数缺省值来自于IPCC《2006清单指南》、2011年国家发改委发布的《省级温室气体清单指南(试行)》、《中国温室气体清单研究》(2005)和《中国能源统计年鉴》。具体各环节的活动数据和排放因子的获取见下表。

表3-2 煤炭生产企业温室气体排放核算的相关活动数据和排放因子获取

	活动数据获取	排放因子数据获取
化石燃料燃烧排放	化石燃料消费量根据企业生产记录、台账或统计报表确定	化石燃料含碳量： (1)由有资质的机构定期监测燃料的含碳量及低位发热量；然后按所给公式估

		算燃料的含碳量； (2)直接参考给出的低位发热量缺省值，然后按所给公式估算燃料的含碳量。 燃料碳氧化率：可以参考给出的缺省值。也可按照GB/T32151.1-2015中的相关规定检测。
甲烷逃逸排放 (1)井工开采 (2)露天开采 (3)矿后开采	矿井当年的原煤产量数据、露天开采原煤产量、不同瓦斯等级的井工况的原煤产量数据：从企业统计台账、统计报表获得。	(1)矿井的相对瓦斯涌出量可以从当年瓦斯等级鉴定结果中直接获得。 (2)企业可以实测露天煤矿的甲烷排放因子，也可采用缺省值 $2\text{m}^3/\text{t}$ 。 (3)突出矿井和高瓦斯矿井： $3\text{m}^3/\text{t}$ 瓦斯矿井： $0.94\text{m}^3/\text{t}$
甲烷的火炬燃烧或催化氧化销毁量	根据煤层气（煤矿瓦斯）输送管线、泵站的记录数据或火炬塔监测的数据获得。	对记录或监测的甲烷平均体积浓度进行加权平均；碳氧化率可取缺省值98%
甲烷的回收利用量	计量数据或台账记录数据汇总，或与下游管道输送企业的结算凭证	甲烷的平均体积浓度可根据各个输送管线、泵站的输送量的比例对甲烷体积浓度数据进行加权平均。

煤炭生产企业温室气体排放核算和报告标准虽然在一定程度上对煤炭生产企业开展温室气体核算和报告起到了技术规范的作用，但由于两方面的制约因素导致该标准目前并未得到非常好的应用：

“十三五”期间(2016-2020)，中国针对企业层面的温室气体排放报告工作主要聚焦在碳市场覆盖的八大行业，其中并未覆盖煤炭开采企业，从温室气体报告范围方面，“十三五”期间要求开展的温室气体报告主要是针对CO<sub>2</sub>，因此甲烷等非二氧化碳温室气体排放数据的报告工作几乎停滞，相应的技术标准也并未得到有效应用；

由于该标准中涉及到的甲烷排放源不仅关系到温室气体排放量，更直接关系到煤矿生产安全，出于“安全第一”的要求，中国所有的地下矿井均需要装设甲烷浓度监测设备，并每天根据班次进行监测，但是目前上述标准中针对甲烷排放量的方法学与煤矿实际的甲烷浓度监测之间并未建立非常有效的数据关联，导致企业实际监测数据和温室气体核算标准之间各自独立。

## 4. 油气行业甲烷逃逸排放量MRV现状

石油天然气行业涵盖的业务链长、业务环节多、排放源相对其他行业较为分散，主要来源于石油天然气开采、处理/加工、储运等过程中由于作业活动、安全或环保需求、设备/部件密封等原因通过火炬、放空或由于设备/部件泄漏等逃逸到大气中的甲烷，根据油气行业工艺流程及排放特点对油气行业的甲烷排放机理及排放特点排放源可以非常细化，大部分点源基于设备层级，部分可能进一步细化到部件层级。

## 4.1 油气勘探开发环节

油气勘探开发部门覆盖的业务活动范围包括为了识别勘探区域探明油气储量而进行的地质调查、地球物理勘探、钻探、完井等相关活动，常见的工艺流程可参见图4.1。油气勘探部门可能产生甲烷排放的环节主要在钻井、完井和试井过程中，钻井过程主要涉及到的活动包括钻探设备钻孔，钻井液返排、测井，钻孔过程中可能产生的温室气体排放源主要是附属设备动力运行或加热导致的燃料燃烧排放，钻孔活动甲烷的排放基本可以忽略。钻井液返排返排过程中，钻井液中可能会溶解或携带部分天然气但溶解气一般量极少，甚至无法维持火炬燃烧，因此，相比钻井现场的其他排放源，钻井液溶解气夹携引起的甲烷排放通常被认为不显著排放源。当钻井达到目标层之后，需要进行测试以确定潜在产量谓之测井，测井活动进行前，先需要进行清理活动，包括通过清除进入生产层的钻井液和碎渣。还需要使用流量校准仪等对井体流量潜力进行预估，如果井体预计有生产潜力，则需要将测试中需要的分离和计量设施运进钻井现场。测试时油气藏储层的碳氢化合物可能会直接放空或通过火炬进行燃烧处理从而产生甲烷排放。

完井工程是指从油气井钻开储层开始直至投产的系统工程。传统完井工程包括钻开油气储层、地质录井、井喷控制、中途测试、完钻测井、固井和装井口等作业；现代完井工程还包括下油管、射孔、下生产管柱等作业。由于页岩气藏超低渗透率和低孔隙度，页岩气水平井需要经过多级大规模水力压裂处理，才能保证页岩气藏经济生产；压裂过程中使用的压裂液等在完井过程中需要返排到地面，由于压裂液在储层中溶解了部分甲烷气，因此返排到地面的液体是油气勘探开发部门尤其是非常规油气勘探开发过程中释放甲烷气的重要源头之一。

试井是指通过测量井下压力、温度和井口产量，并加以分析研究，从动态角度对储层情况和油气井特征加以描述的过程。天然气井试气过程中可能存在储层气体测试时无阻放

空的过程，由于储层气体中甲烷浓度较高，因此天然气井试气过程也可能产生集中的甲烷放空排放。

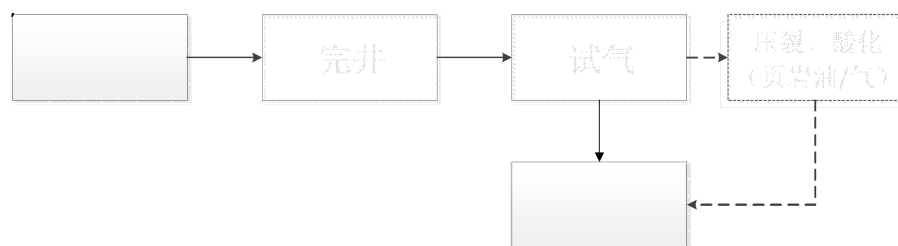


图4.1 油气勘探开发工艺流程

## 4.2 油气开采环节

油气开采活动是指对油藏或气藏中的原油、天然气通过油井或气井采到地面的整套工艺技术，包括井下作业、矿场集输，以及海上平台到岸上的传输、装卸和存储活动。常规油气资源开采活动通常在密闭管道中进行，可能产生甲烷排放的来源主要是开关停机，压力调节或者采出气火炬系统不完全燃烧等活动，此外油气开采过程中油气田上不同的单井产生的油\气通常通过场内管道技术到一条或若干条集气干线，称为集气过程（如图4.2），集气工艺中涉及到的设备除了管线之外还包括一些增压泵、气动控制装置、阀门、压缩机等，由于集气管道中的介质为含高浓度甲烷的粗气，这些设备或组件由于密封、损坏等因素有可能会产生一定量的含甲烷气的泄漏。经过集输的气体进入场内的油（气）处理站（计量站）处理过程中根据采用的设备及密封情况也可能产生甲烷的泄漏和冷放空。

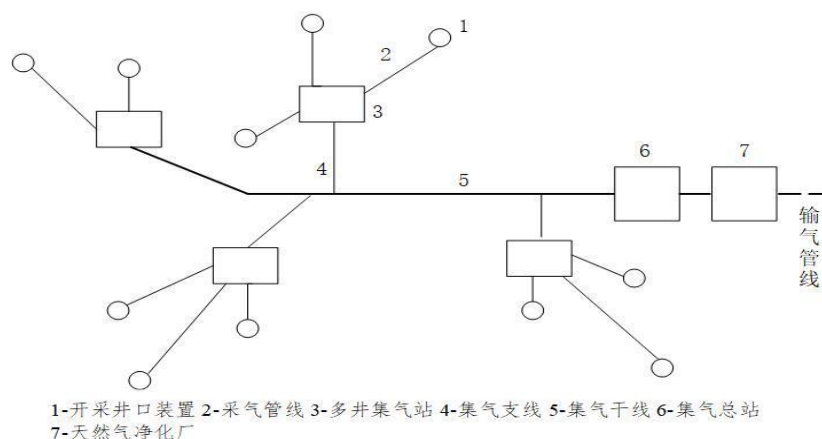


图4.2 油气田生产井集油/气示意图

## 4.3 油气处理业务

油气处理指油气分离、原油稳定处理以及从石油或天然气中脱除杂质、水分、酸性气体等净化过程。从油田、气田采集来的粗气含有水分、 $H_2S$ 等各种杂质成分，难以直接利用，一般直接抽采的粗气在出场之前需要经过脱水、脱酸等一系列的净化处理。处理过程中含甲烷废气可能通过火炬系统燃烧其中含有未尽燃烧的甲烷，压缩机工作开停机、压力调节等过程气体泄放可能引起含甲烷气体的冷放空，阀门、连接器、法兰等设备密封或损坏可能引起甲烷泄漏排放。

## 4.4 油气储运与输送业务

油气储运活动是连接油气生产、加工、分配销售等各个环节的纽带，通常包括油气田技术、长距离管道输送、罐装储存和装卸以及城市输配系统等；其中，油气长输管道可能会由于油/气输送过程中压缩机工作、增压站泄压维修，管线维修，泄漏及突发安全事故等工况产生甲烷排放；另外，油气储运过程中油气储罐储存与装卸有可能会由于储罐呼吸产生甲烷排放。

# 5. 油气行业甲烷逃逸排放核算方法

## 5.1 油气行业甲烷逃逸排放国家清单编制方法学

### 5.1.1 IPCC方法论

《1996年IPCC清单指南》中将油气系统产生甲烷排放的活动领域分为三个子部门：石油、天然气生产，原油输送及炼制，天然气处理、输送和分销。石油、天然气生产包括将天然原油和气体从油气藏地质储层中通过井孔采收，并通过场站集气、集油管线集中并进行商品化处理等子活动；原油输送及炼制过程中由于原油中溶有甲烷，会通过输油管线、油罐、炼油设备等产生甲烷逃逸排放；天然气加工、输送及分销各个子活动环节由于放空、设备泄漏等原因也会产生明显的甲烷逃逸排放。

《1996年IPCC清单指南》将油气系统甲烷逃逸排放源分为三种：1)正常生产运营过程中的放空和火炬燃烧甲烷排放、工艺过程冷放空及设备泄漏；2)设备定期或不定期的维护检修时的气体泄放；3)系统干扰或突发事件进行压力释放等原因导致的排放。油气生产活动产生甲烷逃逸排放的主要排放源为开采冷放空、设备泄漏等；原油输送和炼制活动的主

要排放源来自于原油炼制过程中进行的有意放空，原油储罐装卸油时原油中溶解甲烷气的释放等；天然气加工、输送及分销活动产生甲烷逃逸排放的主要排放源则为气动装置或工艺过程冷放空等；上述三个子部门除主要甲烷逃逸排放源外还有可能由于火炬燃烧、设备维护或检修过程气体泄放、系统干扰或突发事件产生甲烷逃逸排放。

在《1996年IPCC清单指南》中介绍了三个层级的油气领域甲烷逃逸排放计算方法，三种方法的选取取决于可获得的数据基础及数据精度。层级一是基于产量（或活动量）的平均排放因子法；层级二是质量平衡法（仅适用于石油系统）；层级三是对各个排放源严格地进行自下而上的核算（如，工艺放空、喷焰燃烧、设施泄漏、闪蒸损失等）。在2006版指南中，油气系统甲烷逃逸方法学除了对各个生产环节进行了更为详细的划分外，还进一步更新了不同环节的排放因子，此外对于方法3还提供了详细的数据统计步骤指导和建议。

### 5.1.2 SNC油气系统甲烷逃逸排放清单编制方法

SNC中2005年中国油气系统甲烷逃逸排放清单编制在遵循上述划分原则的基础上，根据油气系统上中下游业务链及可能的排放特点，又进一步细化，考虑了以下可能产生甲烷逃逸排放的活动环节：

- ◇ 天然气开采
- ◇ 天然气的加工处理
- ◇ 天然气的输送
- ◇ 常规原油开采
- ◇ 稠油开采
- ◇ 原油炼制
- ◇ 原油储运
- ◇ 民用天然气消费

排放类型分成两种：设施组件密封泄漏和放空排放。

第二次国家信息通报编制中依然将油气系统细化到子活动，除覆盖第二次国家信息通报中涉及子活动环节外，进一步增加考虑了石油和天然气勘探环节由于钻井、测试、及井维修等活动产生的甲烷逃逸排放。区分的排放源类型依然为两类：放空排放和设施组件密封导致的甲烷泄漏，其中，放空排放包括正常生产工艺放空、设备维护检修的有意泄放及系统干扰或突然事故导致的意外泄放等。

### 5.1.3 TNC方法改进

结合前两次信息通报编制经验，在第三次国家信息通报中，第三次信息通报中油气系统甲烷逃逸排放计算的方法有所改进：

对油气系统中甲烷逃逸排放占比较大的天然气开采、天然气输送和常规原油开采、勘探钻井过程中的甲烷逃逸排放区分工艺放空及设备泄漏排放采用层级三，公式如下：

$$E_{CH_4} = \sum_j (Num_j \times EF_j)$$

式中，

$j$  为各个业务环节下不同装置的数量；

$Num_j$  为第 $j$ 种装置的数量；

$EF_j$  为不同装置的甲烷逃逸排放因子。

对于三个环节产生的甲烷逃逸排放，同时增加采用层级一进行验证：基于天然气产量、天然气管道输送量、及原油产量的排放因子法：

$$E_{CH_4\_气输} = Q_{gas} \times EF_{气输}$$

对天然气加工处理、稠油开采、原油运输及输送、原油炼制等环节采用层级一：基于产品产量或产品活动量的排放因子法进行计算。公式如下：

$$E_{CH_4} = AD_i \times EF_i$$

式中，

$AD_i$  为不同活动环节对应的活动水平数据；

$EF_i$  为对应活动环节单位活动水平的排放系数。

在清单编制中，天然气开采、天然气输送和常规原油开采采用Tier 3，其余环节采用Tier 1，如表 5-1所示。

表 5-1 不同子部门甲烷逃逸排放计算方法列表

子环节名称	甲烷逃逸排放量计算方法
油气勘探系统	
油气勘探系统	Tier-1
天然气系统	
a)天然气开采环节	Tier-3
b)加工处理环节	Tier-1
c)天然气输送环节	Tier-3



d)天然气民用消费环节	Tier-1
石油系统	
a)常规原油开采活动	Tier-3
b)稠油开采环节	Tier-1
c)原油储运及输送环节	Tier-1
d)原油进口环节	Tier-1
e)原油炼制加工环节	Tier-1

## 5.2 油气行业企业层面甲烷逃逸排放方法学

“十二五”期间（2011-2015），我国应对气候变化主管部门制定并发布了《中国石油天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》（以下简称“油气指南”），指导油气行业企业开展温室气体排放量化和报告工作。指南中覆盖了甲烷排放的量化方法，但由于当时统计监测基础较为薄弱，其中各个排放源的甲烷排放量采用了基于基础设施数量的排放因子法，相关排放因子主要基于北美相关国家上世纪九十年代的部分测试因子为基础并进一步结合我国的设施统计水平估算而得；该方法主要源于国家温室气体排放清单编制中油气行业甲烷逃逸排放清单，无论在时效性及本地化方面均与我国实际情况存在较大的潜在差异。

油气指南以进行石油天然气生产的独立法人企业或视同法人的独立核算单位为边界，核算和报告在运营上受其控制的所有生产场所和生产设施产生的温室气体排放。核算内容包括与石油天然气生产直接相关的油气勘探、油气开采、油气处理及油气储运各个业务环节的直接生产系统工艺装置、辅助生产系统和附属生产系统。核算与报告的排放源类别和气体种类主要包括燃料燃烧二氧化碳(CO<sub>2</sub>)排放、火炬燃烧CO<sub>2</sub>和甲烷(甲烷)排放、工艺放空CO<sub>2</sub>和甲烷排放、设备泄露甲烷逃逸排放、甲烷回收利用率、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>回收利用率以及净购入电力和热力隐含的CO<sub>2</sub>排放。

核算方法按照燃料燃烧二氧化碳排放、火炬燃烧排放、油气勘探、开采、处理、储运业务的温室气体排放、甲烷和二氧化碳回收利用率、净购入电力和热力隐含的二氧化碳排放几个排放源或汇的类别，分别给出了各个类别中温室气体排放核算的方法，最终排放量以二氧化碳当量的形式报告。

$$E_{GHG} = E_{CO_2_{\text{燃烧}}} + E_{GHG_{\text{火炬}}} + \sum_S (E_{GHG_{\text{工艺}}} + E_{GHG_{\text{逃逸}}})_S - R_{CH_4_{\text{回收}}} \times GWP_{CH_4} - R_{CO_2_{\text{回收}}} + E_{CO_2_{\text{净电}}} + E_{CO_2_{\text{净热}}}$$

$E_{GHG}$ 为企业温室气体排放总量，单位为吨CO<sub>2</sub>当量；

$E_{CO_2_{\text{燃烧}}}$ 为企业由于化石燃料燃烧活动产生的CO<sub>2</sub>排放，单位为吨CO<sub>2</sub>；

$E_{GHG_{\text{火炬}}}$ 为企业因火炬燃烧导致的温室气体排放，单位为吨CO<sub>2</sub>当量；

$E_{GHG_{\text{工艺}}}$ 为企业各业务类型的工艺放空排放，单位为吨CO<sub>2</sub>当量；

$E_{GHG_{\text{逃逸}}}$ 为企业各业务类型的设备逃逸排放，单位为吨CO<sub>2</sub>当量；

$s$ 为企业涉及的业务类型，包括油气勘探、油气开采、油气处理、油气储运业务；

$R_{\text{甲烷回收}}$ 为企业的甲烷回收利用率，单位为吨甲烷；

$GWP_{\text{甲烷}}$ 为甲烷相比CO<sub>2</sub>的全球变暖潜势（GWP）值。根据IPCC第二次评估报告，100年时间尺度吨甲烷相当于21吨CO<sub>2</sub>的增温能力，因此 $GWP_{\text{甲烷}}$ 等于21；

$R_{CO_2_{\text{回收}}}$ 为企业的CO<sub>2</sub>回收利用率，单位为吨CO<sub>2</sub>；

$E_{CO_2_{\text{净电}}}$ 为企业净购入电力隐含的CO<sub>2</sub>排放，单位为吨CO<sub>2</sub>；

$E_{CO_2_{\text{净热}}}$ 为企业净购入热力隐含的CO<sub>2</sub>排放，单位为吨CO<sub>2</sub>。

指南给出了相关参数的缺省值。对于本次研究重点关注的甲烷逃逸排放源，油气指南中提供的方法学主要沿用了国家温室气体清单编制中的相应方法学，基于设施和缺省排放因子的方法；油气系统不同设施甲烷排放因子缺省值如下表所示，主要来自于《2005年中国温室气体清单研究》，而其中的排放因子主要参考了IPCC的缺省值和具有可比性的其他国家的排放因子。重点设施的甲烷逃逸排放因子是中国油气行业企业温室气体排放核算和报告的薄弱环节，在国家温室气体清单的编制中，也基本沿用了2005年清单中相关排放因子，并且增加了新的排放源的排放因子，但目前指南还并未发布基于本地化测量数据的本地化排放因子，NCSC一直在推动中国国内主要的油气集团，中国石油集团、中国石油化工集团公司、中国海洋石油公司等开展设施层面甲烷逃逸排放因子测试工作，并有望在不久的将来开展油气指南修订时发布部分本地化典型设施甲烷逃逸排放因子。

表5-2 油气系统不同设施甲烷排放因子缺省值

油气系统	设施/设备甲烷排放因子	
天然气系统	设施逃逸	工艺放空
a).天然气开采		
—井口装置	2.50(吨/年·个)	(吨/年·个)
—集气站	27.9(吨/年·个)	23.6(吨/年·个)
—计量/配气站	8.47(吨/年·个)	-

—储气站	58.37(吨/年·个)	10.0(吨/年·个)
b).天然气处理	40.34(吨/亿Nm <sup>3</sup> )	13.83(吨/亿Nm <sup>3</sup> )
c).天然气储运		
—压气站/增压站	85.05(吨/年·个)	10.05(吨/年·个)
—计量站/分输站	31.50(吨/年·个)	13.52(吨/年·个)
—管线(逆止阀)	0.85(吨/年·个)	5.49(吨/年·个)
—清管站	0	0.001(吨/年·个)
石油系统		
a).常规原油开采		
—井口装置	0.23(吨/年·个)	-(吨/年·个)
—单井储油装置	0.38(吨/年·个)	0.22(吨/年·个)
—接转站	0.18(吨/年·个)	0.11(吨/年·个)
—联合站	1.40(吨/年·个)	0.45(吨/年·个)
b).原油储运		
—原油输送管道	753.29(吨/亿吨)	-

数据来源:国家发展改革委应对气候变化司(编),2014年,《2005年中国温室气体清单研究》,中国环境出版社

NCSC一直致力于分析、研究和交流美国等发达国家在油气行业重点设施温室气体排放MRV体系,结合前期经验,中国“油气指南”未来预计可以在以下几个方面进行优化:

部分排放源量化方法优化。目前,我国现有指南中对于油气企业甲烷排放源的分类与美加等发达国家一致,涵盖燃烧、放空、泄漏和火炬排放。指南中除燃烧和火炬外,对于放空和设备泄漏甲烷排放的量化方法采用的都是基于不同类型活动水平数据(产量、处理量或设备数量)的排放因子法,而美国、加拿大等国对于设备或活动放空产生的甲烷排放更多采用的是工程算法(部分为直接测量法);对于设备/组件泄漏等无组织排放,美加等国采用的基本都是排放因子法;综合考虑放空排放和设备泄漏排放各自的排放特点、排放量比重及我国目前油气企业数据检测能力,指南中部分甲烷放空排放源可以考虑采用根据工程参数进行工程计算或直接测量的方法;对于设施/设备/组件泄漏排放仍继续采用排放因子法。

部分排放因子可细化和本地化。目前,指南中放空及设备泄漏排放因子主要基于设施或场站层面的集成排放因子。实际上,由于油气生产、处理、储运等业务都有非常严格的安全生产要求,因此,除设备/组件泄漏外,其他的排放点源有限且集中。例如,本次参观的

页岩气生产井场，除法兰、阀门等组件设备甲烷泄漏之外，涉及到集中排放的点源主要为各个气动控制器和脱水器，压缩机，鉴于我国目前油气生产行业设备水平及管理水平基本已经与发达国家相持平，且不同场站关键排放设备数量不同，对于这些集中的排放点或排放设备，基于部分现场测试和操作管理水平校正，可以考虑放空排放源从集成设施或场站层面细化到具体的气动控制器、脱水器、压缩机等关键设备层面，并开发出部分关键设备本地化排放因子。

部分甲烷排放源可考虑增加。目前指南中的甲烷排放源主要是针对各种可能发生甲烷排放的设施，在“油气勘探”业务环节中考虑了试井作业过程甲烷排放。实际上，除试井活动外，油气生产作业中部分其他活动，如水力压裂完井活动、排液活动等也会产生明显的甲烷排放，指南起草时，由于考虑国内油气企业统计水平等因素未将上述排放活动纳入核算范围。随着近年来油气企业统计监测能力的增强及生产趋势的变化，目前对于水力压裂完井活动、排液活动及储罐呼吸等排放源可以考虑增加到核算范围中。

强化油气行业甲烷逃逸排放**MRV**体系中监测数据的应用和支撑。“十四五”在油气甲烷量化方面要对重点排放区域和重点油气设施的排放通量的监测、开发高精度的甲烷反演算法，构建空天地一体的油气行业甲烷排放监测体系，全面开展油气行业关键设施、关键环节甲烷排放逸散及放空源摸排，并根据可操作、可统计的原则建立油气行业甲烷排放相关统计报表制度；推动重点企业开展油气甲烷排放因子检测和测试工作，建立油气行业甲烷排放因子定期更新机制；研究制定重点设施重点排放源、重点区域甲烷排放监测方法学；建立油气行业甲烷排放卫星反演方法及地面排放源关联与响应方法。