

GHG S3.3

中国天然气上游排放因子 (2024)

零碳实验室ZEROLab | 作者：曹原、冯恒丽、张小豪

摘要

本文主要针对企业按照温室气体核算体系 (GHG Protocol) 计算“范围3-类型3. 燃料和能源相关活动中天然气上游”的需求, 提供推荐的默认排放因子。基础数据来源于至2024年最新可得统计、文献与研究报告中可信数据, 能较好体现接近2024年中国天然气上游实际排放水平。

本文通过交叉比对多个数据源的数值差异, 遵循准确性、保守性原则确认了所推荐的默认排放因子的有效性。

根据本文结论分别得出中国天然气上游排放因子推荐值如下:

表1 天然气上游排放因子推荐值

单位	天然气上游排放因子
gCO ₂ e/MJ	15.617
kgCO ₂ e/m ³	0.608

目录

- 摘要 1
- 1. 研究背景 2
 - 1.1 适用范围 2
 - 1.2 排放因子设定 2
- 2. 计算方法 3
 - 2.1 计算原理 3
 - 2.2 计算模型 3
- 3. 计算结果 4
 - 3.1 天然气来源构成 4
 - 3.2 天然气上游排放因子 4
- 4. 合理性检验 5
- 5. 未来更新计划 6
- 6. 参考文献 7
- 7. 附录 8
- 关于作者 10
- 关于零碳倡议/ZEROLab零碳实验室 10

引用建议: 零碳实验室. (2025). GHG S3.3 中国天然气上游排放因子 (2024) .

1. 研究背景

1.1 适用范围

本文依据《企业价值链（范围三）核算与报告标准》，适用于企业计算范围3中燃料和能源活动的上游排放，不限于固定源天然气上游排放和移动源天然气上游排放等。

注：在天然气汽车燃料上游（WTT）碳排放通常被纳入范围3上游和下游运输和分销类别。

表2 天然气上游排放因子适用性

	基于平均数据方法计算
数据来源	依赖于实际的活动数据。直接计算特定活动产生的排放量。
计算方式	活动数据与相应的排放因子相乘。排放因子通常是基于科学测量和统计数据得到的，反映了每单位活动产生的排放量。
适用排放计算周期	2024年1月1日 - 2024年12月31日
适用场景	适用于能够直接测量或估计活动数据的场景。
数据需求和准确性	精确、详细的活动数据，可以提供更准确的排放估算。
灵活性和可扩展性	可根据新的研究和技术进展持续更新排放因子，以适应未来的碳排放计算准确性和时效性要求；支持不同层次的排放核算（企业、行业、国家级等）的扩展。

1.2 排放因子设定

表3 天然气上游排放因子设定

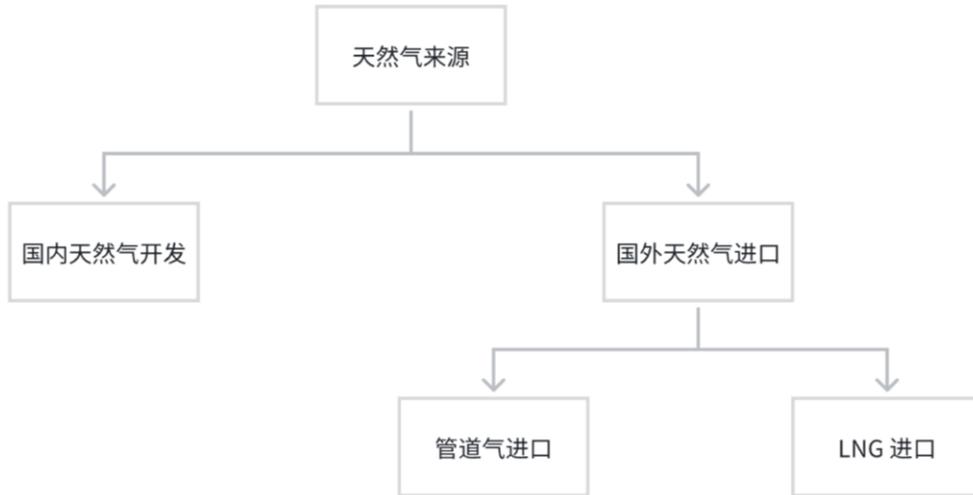
研究对象	研究聚焦于在中国消费的天然气的上游排放，涵盖本土生产和进口天然气
系统边界	天然气上游阶段从油井到城市门站，包含的环节：开发、加工、压缩、运输与配送
排放源	直接排放源： - 逸散排放：上游各过程中的甲烷逸散排放； - 燃料燃烧排放：上游各过程中的能源消耗产生的碳排放。 间接排放源： - 电力等能源消耗排放：上游各过程中使用的电力等能源消耗导致的间接排放。
GHG 种类	二氧化碳 (CO ₂)，甲烷 (CH ₄)

2. 计算方法

2.1 计算原理

识别天然气来源与各类型来源的占比，确定各来源排放因子，然后基于比例进行计算，获取平均排放因子。

图 1 | 2023年中国消费天然气的来源结构



2.2 计算模型

$$NG_{Total} = NG_{国内开发天然气} + NG_{进口管道天然气} + LNG_{进口LNG} \quad (1)$$

其中：

NG_{Total} ——年度国内天然气开发和进口总量，单位为亿立方米；

$NG_{国内开发天然气}$ ——年度国内开发的天然气总量，单位为亿立方米；

$NG_{进口管道天然气}$ ——年度进口管道天然气总量，单位为亿立方米；

$LNG_{进口LNG}$ ——年度进口LNG总量，单位为亿立方。

根据各来源天然气总量，计算得到权重：

$$P_i = \frac{NG_i}{NG_{Total}} \quad (2)$$

其中：

P_i ——特定来源天然气占总天然气获取量的比例， $i=1,2,3$ 。

计算国内消费天然气来源的平均排放因子

$$EF_{天然气} = P_i \times EF_i \quad (3)$$

其中：

EF_{NG} ——国内消费天然气的平均排放因子，单位为 gCO_2e/MJ 或 $kgCO_2e/m^3$ ；

EF_i ——各天然气来源的平均排放因子，单位为 gCO_2e/MJ 或 $kgCO_2e/m^3$ 。

3. 计算结果

3.1 天然气来源构成

根据中国天然气发展报告（2024），识别2023年国内消费天然气的来源能构成，得到不同类型来源天然气的权重，如表4所示。

表4 2023年国内消费天然气来源构成

2023年	亿立方米	占比
本国生产天然气	2324	58.4%
进口管道天然气	671	16.9%
进口液化天然气	984	24.7%
合计	3979	100%

依据重庆石油天然气交易中心数据统计，表5列出2023年中国进口管道天然气信息。

表5 2023年中国管道天然气进口来源与结构

排序	国家	占比
1	土库曼斯坦	50.98%
2	俄罗斯	33.50%
3	哈萨克斯坦	6.99%
4	缅甸	5.55%
5	乌兹比克斯坦	2.98%
合计	/	100.00%

3.2 天然气上游排放因子

国内开发天然气

国内开发天然气排放参考中国石油大学-中国国内天然气生产碳排放强度文献确定，文献对2021年国内56个正在生产的气田区块碳排放进行分析，基本信息如下：

- 系统边界：从井口到城市门，分为开发、加工、运输三大模块。
- 温室气体类别：CO₂、CH₄和N₂O；
- 温室气体排放源：直接排放、间接排放。

研究结论：国内56个正在开发的天然气田区块上游平均排放强度为：2021年国内天然气生产的产量加权平

依据海关总署数据统计，表6列出来2023年中国液化天然气进口信息。

表6 2023年中国进口液化天然气来源与结构

排序	国家	占比
1	澳大利亚	33.88%
2	卡塔尔	23.36%
3	俄罗斯	11.29%
4	马来西亚	9.94%
5	印度尼西亚	5.59%
6	美国	4.42%
7	巴布亚新几内亚	3.50%
8	尼日利亚	1.60%
9	阿曼	1.43%
其他	文莱、莫桑比克、阿联酋等	4.99%
合计	/	100.00%

均碳排放强度为54.31 kgCO₂e/boe，按照1桶油当量（BOE）对应159Nm³天然气，以及天然气低位发热值389.31 GJ/万Nm³，国内天然气生产的平均排放因子为：

$$EF_{\text{国内开发天然气}} = 8.774 \text{ gCO}_2\text{e/MJ} \quad (4)$$

进口管道天然气

目前，中国进口气态天然气主要通过3条陆上天然气管道进口，即中亚天然气管道A/B/C、中俄东线天然气管道、中缅天然气管道。依据Carbon footprint of global natural gas supplies to China研究报告，识别到来源于上

述管道的上游排放因子。文献对2016年全球多个向中国出口的天然气项目从油井到城市门站的排放进行量化，如表7所示。

本研究结合文献中特定项目的排放因子与最新的进口天然气结构，对进口天然气的平均排放因子进行加权计算。

表 7 中国进口管道天然气上游排放

出口国家/地区	线路	上游排放因子 (gCO ₂ e/MJ)
俄罗斯	中俄东线天然气管道	25.33
缅甸	中缅天然气管道	11.81
中亚	中亚天然气管道 A/B/C	38.13 ¹

¹中亚上游排放因子为三线平均值

结合表5中进口管道天然气的来源结构，计算2023年进口管道天然气的平均排放因子。

$$EF_{\text{进口管道天然气}} = 32.382 \text{ gCO}_2\text{e/MJ} \quad (5)$$

进口液态天然气

依据文献Carbon footprint of global natural gas supplies to China统计，识别到2023年进口液化天然气的部分来源国液化天然气项目的上游排放因子（从油井到城市门站），上述来源国项目累计占2023年中国进口液化天然气总量的95%，排放因子如表8所示。

4. 合理性检验

数据来源的合理性检验

本研究的基础数据来源于可靠的数据源，包括学术文献、行业报告和官方统计数据：

- 国内天然气排放因子：基于中国石油大学的研究成果，该研究对全国56个气田的碳排放进行了实测，系统边界涵盖天然气开发、加工、运输等环节，数据具有较高的代表性和权威性。
- 进口管道天然气排放因子：基于Carbon Footprint of Global Natural Gas Supplies to China的研究，该

表 8 中国进口液化天然气上游排放因子

出口国家	上游排放因子 (gCO ₂ e/MJ)	占比
澳大利亚	20.61	35.66%
卡塔尔	17.17	24.59%
俄罗斯	17.36	11.88%
马来西亚	23.67	10.46%
印度尼西亚	21.83	5.88%
美国	34.19	4.65%
巴布新几内亚	19.21	3.68%
尼日利亚	20.49	1.68%
阿曼	19.44	1.51%

本研究选择上述占比约95%的液化天然气项目进行分析，计算进口液化天然气的平均上游排放因子。

$$EF_{\text{进口液态天然气}} = 20.328 \text{ gCO}_2\text{e/MJ} \quad (6)$$

平均排放因子

结合表4中2023年中国消费天然气的来源结构，2023年中国消费天然气平均上游排放因子为：

$$\begin{aligned} EF_{\text{天然气}} &= 8.774\text{gCO}_2\text{e/MJ} \times 58.4\% \\ &\quad + 32.381\text{gCO}_2\text{e/MJ} \times 16.9\% \\ &\quad + 20.329\text{gCO}_2\text{e/MJ} \times 24.7\% \\ &= 15.617\text{gCO}_2\text{e/MJ} \quad (7) \end{aligned}$$

结合天然气低位热值 389.3 GJ/万Nm³，单位换算为 0.608kgCO₂e/m³。

研究对全球向中国出口的管道天然气项目进行了详细分析，数据覆盖了主要进口管道的排放特征。

- 进口液化天然气排放因子：基于对全球2023年液化天然气项目排放因子的统计，结合中国进口量占比最高的国家和地区，确保了数据的代表性和适用性。

方法论的合理性检验

本研究中国天然气上游排放因子的计算充分考虑了区域特异性。中国本土天然气开发主要集中在技术成熟的常规气田，生产效率高，且近年来通过技术升级和减排措施，碳排放强度显著降低。进口天然气来源天然气

主要来自中亚、俄罗斯和缅甸，液化天然气主要来自澳大利亚、卡塔尔和马来西亚。这些来源国的天然气开发条件和运输路径不同，导致排放因子存在一定差异。

本研究采用加权平均法计算天然气的平均排放因子，该方法的核心在于根据天然气来源的占比，结合不同来源的排放因子，得出加权后的平均值。

关于参数的交叉验证

利用文献数据获得碳排放因子推荐值的过程中，文献数据也会为计算结果引入不确定性（即不完全了解代表参数的数据是否很好地符合了企业价值链中的相应活动）。为在一定误差范围内验证参数选择的可靠性及合理性，本文利用IEA、UK Defra（英国本土数据）等来源的相关数据对计算结果进行交叉对比，以确定本文提供排放因子默认值的有效性。

与IEA 全球天然气上游排放均值进行交叉验证

IEA的全球井口天然气排放因子明显高于本文中国本土生产天然气的排放因子。IEA全球样本数值范围更大，各地气源、生产条件、技术水平以及数据来源的差异，而中国天然气产量全球占比有限，我们认为差异在合理范围内。进口管道天然气和液化天然气的排放因子，则与IEA数据接近。

与UK DEFRA 2023年排放系数进行交叉验证

UK Defra中排放因子体现英国天然气管网数据特征，与本文中国本土天然气的排放因子接近（分别为8.65gCO₂e/MJ和8.774gCO₂e/MJ），或体现了英国和中国的本土天然气生产阶段排放特征较为接近。此外，液化天然气的排放因子也与本文数值接近。

值得注意的是，英国的管道天然气排放因子为9.78gCO₂e/MJ，显著低于本文使用的进口管道天然气排放因子（32.381gCO₂e/MJ）。这一差异可能与管道天然气的运输距离有关。中国进口管道天然气的运输过程可能涉及更长的距离，可以解释排放因子较高的原因。

与GLEC框架3.0中国默认排放系数进行交叉验证

GLEC框架下的天然气WTT排放因子，均按欧洲液化天然气的TTW:WTW比率推算得出，数值高于与本文中国本土天然气排放因子数值。差异原因可归因于欧洲缺少本土天然气来源。结合其他数据源对比，我们认为本文数值对中国本土和进口天然气排放特征更具有代表性。

结论：通过与主要研究机构发布数据交叉验证，我们确认了本研究中天然气上游排放因子的合理性，且本文数据相较于对比来源，能够更好体现当前中国本土和进口来源的天然气排放特征。

因此，在缺乏实测数据时，推荐开展企业温室气体排放核算采用本文数据作为特征值，以提升准确性。

5. 未来更新计划

为了进一步提高研究质量与服务水平，在未来我们将重点改进数值的符合性、一致性和准确性，持续更新数据，整合最新的文献、数据库，纳入中国天然气上游排放因子研究的最新成果，进一步提升数据质量。考虑到技术进步和政策变化对排放因子的影响，未来的工作将纳入更多最新和多样化的数据来源，包括中国境内的区域差异。同时考虑收集利益相关者的反馈，发现差距并改进研究。

我们积极欢迎并重视各方反馈与建议，认识到研究中存在的局限，如数据不完整性和偏差。为响应这些挑战，我们将建立反馈机制，增加样本量，提高数据收集频率和质量，并采用先进统计分析方法。通过这些措施，我们目标是构建一个精确、可靠的碳足迹计算工具，为中国天然气消费上游排放提供科学依据，支持政策制定和企业决策。

6. 参考文献

1. IEA. (2023). IEA Life Cycle Upstream Emission Factors 2023 (Pilot Edition).
2. 温室气体核算体系 (GHGP) . 《企业价值链 (范围3) 核查和报告标准》 .
3. 《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)》 .
4. 石油工业出版社. (2024). 《中国天然气发展报告 (2024)》 .
5. Ou, X., Zhang, X. (2013). Life-Cycle Analyses of Energy Consumption and GHG Emissions of Natural Gas-Based Alternative Vehicle Fuels in China, *Journal of Energy*, 268263, 8 pages,.
6. Gan, Y., El-Houjeiri, H.M., Badahdah, A. et al. (2020). Carbon footprint of global natural gas supplies to China. *Nat Commun* 11, 824.
7. 中国石油大学 (北京) 中国油气产业发展研究中心, 中国石油大学 (北京) 碳中和与能源创新发展研究院. (2022). 《中国国内天然气生产碳排放强度》 (I 系列-2022I02) .
8. 重庆石油天然气交易中心. (2023). 2023年国内天然气进口量增价跌, 市场逐步回温. [2024年1月20日]. 检索自 <https://www.chinacqpgx.com/nbnews/shownews?id=11084>
9. 物流启示录. (2023). 2023年我国液化天然气进口来源国全名单. [2024年1月20日]. 检索自 <https://www.toutiao.com/article/7329670834539332123/>
10. 陈春赐, 吕永龙, 贺桂珍. (2022). 中国油气系统甲烷逸散排放估算[J]. *环境科学*, 43(11): 4905-4913.
11. IEA. (2020). Methane Tracker 2020.
12. UK Department for Energy Security and Net Zero. (2024). UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting.
13. Smart Freight Center China. (2024). GLEC 框架 中国默认排放系数 v1.1 中国交通运输相关能源排放因子和温室气体排放强度值简述.

7. 附录

表附录1 排放因子计算引用文献

数据编号	数据名称	类别	数据年份	范围					上游排放因子	单位	上游排放因子	单位
				开发	加工	压缩	输送	配送				
数据来源 1	中国石油大学——国内气田均值	天然气	2021	✓	✓	✓	✓	✓	8.77	gCO ₂ e/MJ	0.34	kgCO ₂ e/m ³
数据来源 2	Carbon footprint of global natural gas supplies to China	进口管道天然气	2016	✓	✓	✓	✓	✓	32.38		1.26	
		进口液化天然气	2016	✓	✓	✓	✓	✓	20.33		0.79	

表附录2 合理性检验参考文献

数据编号	数据名称	类别	数据年份	范围	上游排放因子	单位	上游排放因子	单位
数据来源 1	IEA 全球天然气均值-井口天然气	天然气 NG	2018	包含开发-加工-输送过程能耗与逸散排放	21.3	gCO ₂ e/MJ	0.83	kgCO ₂ e/m ³
	IEA 全球天然气均值-管道天然气	管道天然气 NG	2018	包含开发-加工-输送过程能耗与逸散排放	21.16		0.82	
	IEA 全球天然气均值-液化天然气	液化天然气 LNG	2018	包含开发-加工-输送过程能耗与逸散排放	24.96		0.97	
数据来源 2	UK DEFRA-NG	天然气 NG	2023	包含开发-加工-输送过程能耗与逸散排放	8.65		0.34	
	UK DEFRA-CNG	管道天然气 NG	2023	包含开发-加工-输送过程能耗与逸散排放	9.78		0.38	
	UK DEFRA-LNG	液化天然气 LNG	/	包含开发-加工-输送过程能耗与逸散排放	21.79		0.85	
数据来源 3	GLEC 框架 3.0 中国默认排放系数报告 LNG	液化天然气 LNG	2018	包含开发-加工-输送过程能耗与逸散排放	27.881	1.09		

表附录3 排放因子计算应用参数

参数	数值	单位
单位标方 Nm^3 天然气密度	0.7174	kg/m^3
天然气低位发热值	389.31	$\text{GJ}/\text{万Nm}^3$
液化天然气 LNG 低位发热值	41.868	GJ/t
桶油当量 BOE	159	Nm^3 天然气

关于作者

本文通讯作者：曹原 零碳倡议首席顾问
caoyuan@syntao.com

关于零碳倡议/ZEROLab零碳实验室

“零碳倡议”

2060零碳企业行动倡议（以下简称“零碳倡议”）由思盟企业社会责任促进中心于2021年发起，旨在通过标准化工具共建、影响力资源共享以及行业生态协作，支持中国企业在全球气候治理中发挥引领作用，推动“零碳商业解决方案”涌现。零碳倡议已经与合作伙伴发起“绿电百分百”行动专项倡议（GE100），以及建筑、新能源矿产等行业性零碳倡议和行动联盟。

ZEROLab零碳实验室

作为运营零碳倡议的研究机构和成果发布平台，我们致力于推动国际净零标准与中国企业实践的融合与互认。

作为研究单位与合作伙伴，我们积极与UNFCCC/UNIDO/WorldGBC等国际应对气候变化行动倡议以及国内研究机构紧密合作，积极参与并支持净零标准的推广与应用。通过持续开发创新性的标准与工具，助力中国企业制定基于科学的零碳路径，达成高质量零碳转型与发展目标，为全球净零进程贡献中国企业解决方案与经验。



邮件：Occicontact@chinacsmap.org
网站：lingtan.chinacsmap.org
微信：零碳实验室 ZEROLab