

GHG S3.3

中国汽油和柴油上游排放因子（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汽油和柴油上游”的需求，提供推荐的默认排放因子。基础数据来源于至2024年最新可得的统计、文献与研究报告中可信数据，能较好体现接近2024年中国汽油和柴油上游实际排放水平。

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汽油和柴油上游排放因子推荐值如下：

表1 排放因子推荐值

汽油上游排放因子	柴油上游排放因子
633.96 kgCO ₂ e/t	650.86 kgCO ₂ e/t
0.4691 kgCO ₂ e/L	0.5402 kgCO ₂ e/L
14.72 gCO ₂ e/MJ	15.26 gCO ₂ e/MJ

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	2
2.1 计算原理.....	2
2.2 计算模型	3
3. 计算结果	3
3.1 原油上游排放计算	3
3.2 成品油上游排放计算	4
4. 合理性检验	4
5. 未来更新计划	7
6. 参考文献	8
7. 附录	9
关于作者	11
关于零碳倡议/ZEROLab零碳实验室	11

引用建议：零碳实验室. (2025). GHG S3.3 中国汽油和柴油上游排放因子（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，不限于固定源燃料消费上游排放和移动源燃料消费上游排放等。

注：在汽柴油汽车燃料上游（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 汽柴油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调整现有排放因子，以适应未来的市场变化； 支持不同层次的排放核算（企业、行业、国家级等）的扩展； 可以拓展到煤油、燃料油等其他成品油品类的上游排放因子计算。

1.2 排放因子设定

表3 汽柴油上游排放因子设定

研究对象	研究聚焦于在中国本土生产的汽柴油上游排放因子
系统边界	开采、运输、炼化和分销阶段
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：上游各过程中燃料燃烧产生的碳排放。 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 ），一氧化二氮（N ₂ O）
数据来源	包括最新可得的、能够反映中国境内研究对象当前实际排放特征的统计数据和文献数据；

2. 计算方法

2.1 计算原理

本研究计算原理是计算不同阶段的成品油碳排放：

- 生产环节：先计算原油在生产环节的排放，然后按照碳含量比例，计算归因到成品油的排放；
- 运输环节：先计算原油在运输环节的排放，然后按照碳含量比例，计算归因到成品油的排放；
- 炼化环节：先计算原油生产全部成品油等产品的排放，然后按照原油炼化生产成品油的比例，计算归因到特定成品油（例如汽油和柴油）的排放；
- 分销环节：获取成品油分销的运输方式及占比，然后获取不同运输方式的碳排放，进而获取平均分销排放因子。

图 1 | 汽油和柴油上游（WTT）产业链



2.2 计算模型

$$EF_{ro_{upstream}} = EF_{ro_{开采}} + EF_{ro_{运输}} + EF_{ro_{炼化}} + EF_{ro_{分销}} \quad (1)$$

其中：

$EF_{ro_{upstream}}$ ——成品油上游排放因子，单位为 $\text{kgCO}_2\text{e/t}$ ；

$EF_{ro_{生产}}$ ——归因到成品油的生产排放因子，单位为 $\text{kgCO}_2\text{e/t}$ ；

$EF_{ro_{运输}}$ ——归因到成品油的运输排放因子，单位为 $\text{kgCO}_2\text{e/t}$ ；

$EF_{ro_{炼化}}$ ——成品油炼化阶段排放因子，单位为 $\text{kgCO}_2\text{e/t}$ ；

$EF_{ro_{分销}}$ ——成品油分销阶段排放因子，单位为 $\text{kgCO}_2\text{e/t}$ 。

3. 计算结果

3.1 原油上游排放计算

原油生产和运输排放

原油生产排放依据中国石油大学《中国国内石油生产碳排放强度》研究报告确定。文献对2022正在生产的200余个国内油田区块（2022年石油产量在国内总产量85%以上）进行分析，下述是此文献排放强度计算的基

本信息：

- 核算边界：包括勘探阶段、钻井阶段、开采阶段、处理阶段和运输阶段的“井口-炼厂入口”系统边界内的碳排放；

- 排放类别：燃料燃烧排放、逸散排放、外购能源排放、外购生产物资排放、运输活动排放、土地利用排放。

研究结论：2022年涵盖中国85%原油产量的区块碳排放强度结果表明，中国石油的生产碳排放强度为45.1 kgCO₂e/桶，即325.171 kgCO₂e/吨原油。

原油炼化排放

原油炼化排放依据研究报告《基于物质流和生命周期分析的石油行业碳排放》确定。文献以2018年国内某大型炼化企业为例，对原油全生命周期的碳元素流动进行分析，拆分出在炼化阶段碳排放占比，下述是此文献碳排放计算的基本信息：

- 碳排放边界：原油全声明周期，包括生产、储存、运输、炼化和消费环节；
- 排放类别：隐含碳排放，分为直接碳排放和间接碳排放。直接碳排放包括煤炭，天然气等化石燃料燃烧造成的碳排放，间接碳排放包括各个环节中消耗的电力、蒸汽和热力（非化石燃料）造成的碳排放。；

研究结论：1吨原油的生命周期内产生的隐含碳为153.2kgC，其中炼化环节隐含碳占隐含碳总量的54%。

一吨原油炼化过程隐含碳元素含量为：

$$153.2kgC \times 0.54 = 82.728kgC \quad (2)$$

一吨原油炼化过程隐含碳排放量为：

$$82.728kgC \times \frac{44}{12} = 303.34kgCO_2e \quad (3)$$

原油炼化逸散排放

原油炼化过程中逸散排放依据《中国油气行业甲烷逃逸排放核算与时空特征研究》研究报告确定。文献对2017年原油各环节逸散排放进行计算：计算得出原油炼化过程的甲烷排放因子为0.03吨CH₄/1000m³原油。取原油密度为0.85kg/L。依据IPCC AR6，甲烷GWP为28，换算到二氧化碳排放当量为：0.988 kgCO₂e/吨原油。

结合原油炼化过程中隐含碳排放（未涵盖逸散排放），原油炼化过程中的总排放因子（ $EF_{co_炼化}$ ）为：

304.33 kgCO₂e/吨原油。

3.2 成品油上游排放计算

成品油碳元素占原油碳含量的比例

根据《基于物质流和生命周期分析的石油行业碳排放》研究报告中对炼化过程碳元素流动的分析，计算成品油碳含量相较于输入原油中碳含量的占比如表4所示。

表4 成品油碳含量占比

炼化产品构成	碳含量	占比
汽油	106	21.50%
柴油	146.6	29.70%
煤油	77.6	15.70%
石脑油	62.1	12.60%
润滑油	42.2	8.60%
LPG	3.6	0.70%
石蜡	50.7	10.30%
其他产品	4.5	0.90%
合计	493.3	100.00%

依据中国石油和化学工业联合会统计，2023年原油加工量、汽油和柴油如表5所示。依据统计数据折算得出，每吨原油生产汽油0.2196 吨，生产柴油0.2956吨。

表5 2023年原油加工量与汽柴油产量

原油加工量 (万吨)	汽油		柴油	
	产量 (万吨)	占比 (%)	产量 (万吨)	占比 (%)
73,500	16,138.4	21.96	21,729	29.56

归因到成品油生产和运输阶段的碳排放

$$EF_{ro_开采\&运输} = EF_{co_开采\&运输} \times p_c \div a \quad (4)$$

其中：

p_c —成品油碳含量相较于成品油的比率；

a —每吨原油特定产品油的产量，单位为吨成品油/吨原油。

依据公式4，归因到汽油和柴油在生产阶段的碳排放因子分别为318.18kgCO₂e/吨汽油，326.91kgCO₂e/吨柴

油。

归因到成品油炼化阶段的碳排放

EF_{ro_{炼化}} = EF_{co_{炼化}} \times p_c \div a \tag{5}

依据公式5，归因到汽油和柴油在炼化阶段的碳排放因子分别为297.78kgCO₂e/吨汽油，305.95kgCO₂e/吨柴油。

成品油分销排放

在本研究中，成品油分销排放包含运输活动能耗排放以及运输过程中的逸散排放。

依据《成品油物流配送运输优化分配问题研究》报告，识别出成品油分销的运输结构，分为铁路运输、管道运输、水路运输和公路运输。依据Life-Cycle analyses of energy consumption and GHG emissions of natural Gas-Based alternative vehicle fuels in China研究报告，识别出各类分销运输方式的平均运输距离。成品油分销数据如表6所示。

表6 成品油分销结构与里程

运输方式	汽油和柴油	
	百分比	平均运输距离 (km)
铁路	61%	900
管道	29%	160
水路	9%	1200
短途车辆	1%	50

依据论文S3.9 中国公路运输与非路运运输排放因子 (2024)、UK Defra、Carbon footprint of oil products pipeline transportation研究，并依据下述假设，选择适用于成品油运输方式的吨公里排放因子：

- 车辆运输选择与柴油重卡一致的排放因子；
- 基于保守性原则，选择各运输管道中的排放因

子最大值，包含混合油处理¹和泵操作²相关排放；

- 对于成品油运输逸散排放，考虑成品油挥发产生的挥发性有机物（VOCs）以非甲烷挥发性有机物（NMVOC）为主，甲烷仅占极低比例（汽油总VOCs中占比<1%，柴油接近0%），在国内外各标准中忽略甲烷逸散，因此在本研究中暂忽略计算，优先关注高排放源。

运输方式的排放因子（燃料燃烧直接排放、外购能源间接排放、逸散排放）如表7所示。

表7 成品油运输方式排放因子

运输方式	运输排放因子 (kgCO ₂ e/tkm)	数据来源
铁路	0.02779	UK Defra
管道	0.00834	Huang, et al., 2021
内河油船	0.02133	零碳实验室
短途车辆	0.0978	

EF_{ro_{分销}} = \sum_{i=1}^i EF_{TD_i} \times L_i \times p_{TD_i} \tag{6}

其中：

EF_{TD}—特定运输方式的排放因子，单位为kgCO₂e/tkm；

L—特定运输方式的平均运输距离，单位为km；

p_{TD}—特定运输方式的占比，单位为%；

i—运输方式的类型，i=1,2,3,4。

经计算，EF_{ro_{分销}}为18.00 kgCO₂e/吨汽油/柴油。

¹ 混合油处理目的是将混合油分离为不同的油品。
² 泵操作是指通过泵站的操作来维持油品在管道内的流动。

表8 汽油和柴油上游排放因子

排放因子	汽油	柴油
生产和运输 (kgCO ₂ e/t)	318.18	326.91
炼化 (kgCO ₂ e/t)	297.78	305.95
分销 (kgCO ₂ e/t)	18.00	18.00
合计 (kgCO ₂ e/t)	633.96	650.86
合计 (kgCO ₂ e/L)	0.4691	0.5402
合计 (gCO ₂ e/MJ)	14.72	15.26

4. 合理性检验

数据来源的全面性与可靠性

国内权威数据引用：论文引用了中国石油大学关于原油生产的碳排放强度研究成果，以及中国石油和化学工业联合会的统计数据。这些数据具有较高的权威性和准确性，能够反映中国本土的生产实际情况。

时间更新性：论文的数据主要基于2022至2023年的研究，考虑到排放因子的动态变化，特别是中国在能源转型和碳减排方面的进展，论文的依据具有一定的时效性。

方法论的科学性与逻辑性

论文涵盖了生产、运输、炼化和分销四个主要阶段，按照物质流动分析的方法，将原油在不同阶段的碳排放按比例分配到汽油和柴油中。这种方法科学地反映了成品油的全生命周期碳排放，符合GHG Protocol的标准。

在选择运输方式的排放因子时，论文选择了保守的排放因子最大值，并考虑到逸散排放的影响，体现了研究的谨慎性和科学性。

关于参数的交叉验证

在利用文献数据获得碳排放因子推荐值的过程中，文献数据往往涉及不同的研究背景和数据来源，这可能引入一定的不确定性。例如，文献中的代表性参数是否能够准确反映企业实际价值链中的相应活动，常常取决于数据采集的地理区域、时间跨度和具体的生产技术。

因此，在选择排放因子时，有必要通过多种方式验证其合理性。

首先，本研究计算得出的归因到汽油在原油生产阶段的碳排放因子，与王陶等（2020）研究中的数据略小。这一差异可能与数据来源的不同有关：王陶等的研究基于某特定炼化厂的数据，而本研究所用的数据则是全国范围的平均值。因此，不同地区的生产工艺、资源类型以及炼化厂的规模差异，可能会导致碳排放因子的差异，特别是技术水平低或资源配置密集的炼化厂，碳排放强度可能更高。

此外，本研究所计算的碳排放因子较《乘用车碳排放核算技术规范》（2022年）公布的数据略有降低，可能由于中国石油行业技术进步导致生产碳排放强度下降。例如，2022年中国石油的生产碳排放强度为45.1 kgCO₂e/桶，相比2021年下降了0.2 kgCO₂e/桶。因此，本研究中反映的碳排放因子，可能体现了中国石油行业的逐步减排效果。

在与UK Defra所公布的碳排放因子进行比较时，本研究的数据较小，这可能与不同地区在生产技术和资源管理方面的差异有关。UK Defra的排放因子是基于欧洲的生产情况和技术发展水平，而中国在炼油技术和能源使用效率方面与欧洲存在显著差异。

最后，本研究还与全球物流排放因子协定（GLEC）发布的汽油和柴油上游排放因子进行了对比。GLEC的数据基于欧洲的车辆燃料生命周期计算，而没有专门针对

中国市场进行修正。考虑到不同地区在燃料生产、运输和加工过程中的能源结构和排放特征的差异，GLEC的因子与中国实际情况可能存在一定的偏差。

通过与国内外近年公布的样本数据进行对比，我们确认了本研究中排放因子推荐值的合理性，且从时间角

度分析，本研究数据统计时间最新，考虑了技术生产带来的碳排放强度的下降。

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，整合文献、数据库，纳入中国汽柴油上游排放因子研究的最新成果，进一步提升数据质量。由于中国东西部地区在能源结构和运输方式上的不同，未来的工作将进一步考虑区域差异的潜在影响。同时考虑技术进步和能源结构优化的动态影响，以反映最新的技术进展。

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，为中国汽柴油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.

国家能源局. (2024). 国家能源局发布2023年全国电力工业统计数据. [2024年1月20日]. 检索自 https://www.nea.gov.cn/2024-01/26/c_1310762246.htm

3.

吴明, 姜国强, 贾冯睿, 刘广鑫, 岳强. 基于物质流和生命周期分析的石油行业碳排放[J]. 资源科学, 2018, 40(6): 1287-1296.

4.

炼化行业整体运行进入良性发展阶段.《中国石化》杂志2023年第9期

5.

杨梓诚, 高俊莲, 唐旭, 仲冰, 张博. (2021). 中国油气行业甲烷逃逸排放核算与时空特征研究. 石油科学通报, 02: 302-314.

6.

庞杰. (2021). 成品油物流配送运输优化分配问题研究. 中国化工贸易.

7.

中国石油大学 中国石油生产碳排放强度指数

8.

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）

9.

GLEC框架3.0的中国默认排放因子报告

10.

http://www.sinopecnews.com.cn/xnews/content/2023-09/08/content_7076005.html

11.

IEA oil上游甲烷逸散统计
<https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2020/methane-from-oil-gas>

12.

<https://lca.cityghg.com/pages/product-view/8329>

13.

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。（2023）迈向“双碳”研究系列报告 《中国国内石油生产碳排放强度及影响研究》（C 系列-2023C01)

14.

Huang L, Liao Q, Yan J, Liang Y, Zhang H. Carbon footprint of oil products pipeline transportation. Sci Total Environ. 2021 Aug 20;783:146906. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146906. Epub 2021 Apr 5. PMID: 33866177.

15.

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, 2013, 1–8.

16.

中国石油和化学工业联合会. (2024) 2023 年石油和化学行业经济运行报告.

17.

零碳实验室. (2025) .论文3.3&3.9 中国公路运输排放因子（2024）.

18.

零碳实验室. (2025) .论文3.3&3.9 中国非公路运输排放因子（2024）.

7. 附录

表附录1 排放因子计算引用文献

数据编号	数据来源	类别	数据年份	范围				相关排放因子	单位
				开发	运输	炼化	分销		
数据来源 1	中国石油大学-石油生产碳强度	原油	2022	✓	✓	/	/	325.17	kgCO2e/吨原油
数据来源 2	基于物质流和生命周期分析的石油行业碳排放	原油	2018	/	/	✓ (未含逸散)	/	303.34	kgCO2e/吨原油
数据来源 3	中国油气行业甲烷逃逸排放核算与时空特征研究	原油	2017	/	/	✓ (逸散排放)	/	0.03	tCH4/1000m ³ 原油
数据来源 4	成品油物流配送运输优化分配问题研究	成品油	2021	/	/	/	✓ (运输结构)	见表 6	/
数据来源 5	Life-Cycle analyses of energy consumption and GHG emissions of natural Gas-Based alternative vehicle fuels in China.	成品油	2013	/	/	/	✓ (运输里程)	见表 6	/
数据来源 6	S3.9 中国公路运输与非路运运输排放因子 (2024) 、UK Defra、Carbon footprint of oil products pipeline transportation	/	2024	/	/	/	✓ (运输排放因子)	见表 7	/

表附录2 合理性检验数据来源

数据编号	数据名称	类别	数据年份	范围	上游排放因子	单位
数据来源 1	王陶,张志智,孙潇磊.汽油产品碳足迹研究[J].当代化工,2020,49(07):1428-1432+1436	汽油	2018	包含生产-运输-加工-零售过程	808.21	kgCO ₂ e/t
数据来源 2	乘用车碳排放核算技术规范 (2022 年)	汽油	未知	包含生产-运输-加工-零售过程, 未考虑生产环节的逸散排放	658.11	
		柴油	未知		637.00	
数据来源 3	UK DEFRA	汽油	2023	包含生产-运输-加工-零售过程	752.03	
		柴油	2023	包含生产-运输-加工-零售过程	815.94	
数据来源 4	GLEC 3.0 中国默认排放系数	汽油	未知	包含生产-运输-加工-零售过程	959.00	
		柴油	未知	包含生产-运输-加工-零售过程	956.00	

表附录3 计算应用参数

参数	数值	单位	参数	数值	单位
原油密度	0.85	kg/L	甲烷 GWP 值	28	/
柴油密度	0.83	kg/L	桶油当量/吨原油	7.21	/
汽油密度	0.74	kg/L			
柴油低位发热值	42.652	MJ/kg			
汽油低位发热值	43.07	MJ/kg			

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: 0cccontact@chinacsrmap.org
网站: lingtan.chinacsrmap.org
微信: 零碳实验室 ZEROLab