

# GHG S3.4&3.9

## 中国非公路运输排放因子（2024）

零碳实验室ZEROLab | 作者：曹原、张小豪、丁黎宇、闫光锐

### 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4——上游运输和配送，以及类型9——下游运输和配送”（本文研究的运输方式包括航空、铁路、内河水运以及沿海和远洋航运）的需求，采用自上而下和自下而上相结合的方法，提供两种类型\*的推荐默认排放因子。基础数据来源于至2024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年各种货物运输活动实际排放水平。

注：

- 类型一：针对航空、铁路货物运输方式：根据不同运输方式总能耗计算整体的碳排放因子推荐值；
- 类型二：针对内河水运和沿海与远洋航运货物运输部分：根据不同船舶类型单位货物周转量能耗计算的更细致划分的碳排放因子（针对航运货物运输，根据航运船舶全球运力占比估算了整体均值，可供不清楚具体船舶运输类型的企业参考）。

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。

### 目录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 摘要                   | 1  |
| 1. 研究背景              | 2  |
| 1.1 测算方法             | 2  |
| 1.2 适用范围             | 2  |
| 1.3 排放因子设定           | 3  |
| 2. 计算方法              | 6  |
| 2.1 计算原理             | 6  |
| 2.2 计算模型             | 6  |
| 3. 计算结果              | 6  |
| 3.1 航空货物运输碳排放因子      | 6  |
| 3.2 铁路货物运输碳排放因子      | 6  |
| 3.3 内河水运货物运输碳排放因子    | 7  |
| 3.4 沿海和远洋航运货物运输碳排放因子 | 8  |
| 4. 合理性检验             | 9  |
| 5. 未来更新计划            | 9  |
| 6. 参考文献              | 11 |
| 7. 附录                | 11 |
| 关于作者                 | 14 |
| 关于零碳倡议/ZEROLab零碳实验室  | 14 |

引用建议：零碳实验室. (2025). GHG S3.4&3.9 中国非公路运输排放因子（2024）

根据本文结论分别得出中国典型航空、铁路、内河水运以及沿海和远洋航运货物运输排放因子推荐值如下：

表1 航空和铁路运输排放因子推荐值

|                                        | 航空运输 | 铁路运输  |
|----------------------------------------|------|-------|
| 单位运输量货物运输碳排放因子 (gCO <sub>2</sub> /tkm) | 921  | 6.500 |

表2 内河水运货物运输排放因子推荐值

|                                            | 均值 | 干散货船  | 集装箱船  | 油船     | 滚轮船   | 拖船    |
|--------------------------------------------|----|-------|-------|--------|-------|-------|
| 单位运输量内河水运货物运输碳排放因子 (gCO <sub>2</sub> /tkm) | /  | 2.134 | 4.505 | 14.938 | 2.608 | 6.402 |

注：各类载具的单位周转量排放强度差异较大，因此不提供内河水运整体的默认值，建议选择更接近实际载具类别的排放因子。

表3 沿海和远洋航运货物运输排放因子推荐值

|                                               | 均值    | 干散货船  | 集装箱船  | 油船    | 液化气船   | 其他液化气船 | 杂货船    | 其他普通货船 | 多用途船  |
|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 单位运输量沿海和远洋航运货物运输碳排放因子 (gCO <sub>2</sub> /tkm) | 6.088 | 5.337 | 8.122 | 4.293 | 49.505 | 28.775 | 15.548 | 11.719 | 9.746 |

## 1. 研究背景

### 1.1 测算方法

在规范性上，本文严格按照温室气体核算体系（GHG Protocol）关于范围三货物运输的排放核算方法与要求，采用了“自上而下”与“自下而上”相结合的方法进行碳排放因子的测算。

表4 测算方法

| 测算方法   | 货物运输方式         | 说明                                                            |
|--------|----------------|---------------------------------------------------------------|
| “自上而下” | 航空和铁路货物运输      | 考虑到货物运输模式的集中性，总能耗数据易于获取，采用了“自上而下”的核算方法，即根据行业总能耗计算整体的碳排放因子推荐值。 |
| “自下而上” | 内河和沿海和远洋航运货物运输 | 考虑到货物运输的复杂性，根据船舶货物运输类型区分不同的船型，计算不同船型的具体排放因子推荐值。               |

### 1.2 适用范围

针对企业碳排放核算与信息披露的保守性原则出发，本文依据《企业价值链（范围三）核算与报告标准》，进行如图1所示的范围划分。划分依据主要考虑以下三点：

- 范围三类别的最小边界：货物运输中的碳排放涉及到范围三排放中的类型4——上游运输和配送，以及类型9——下游运输和配送，涵盖了企业在购买和收

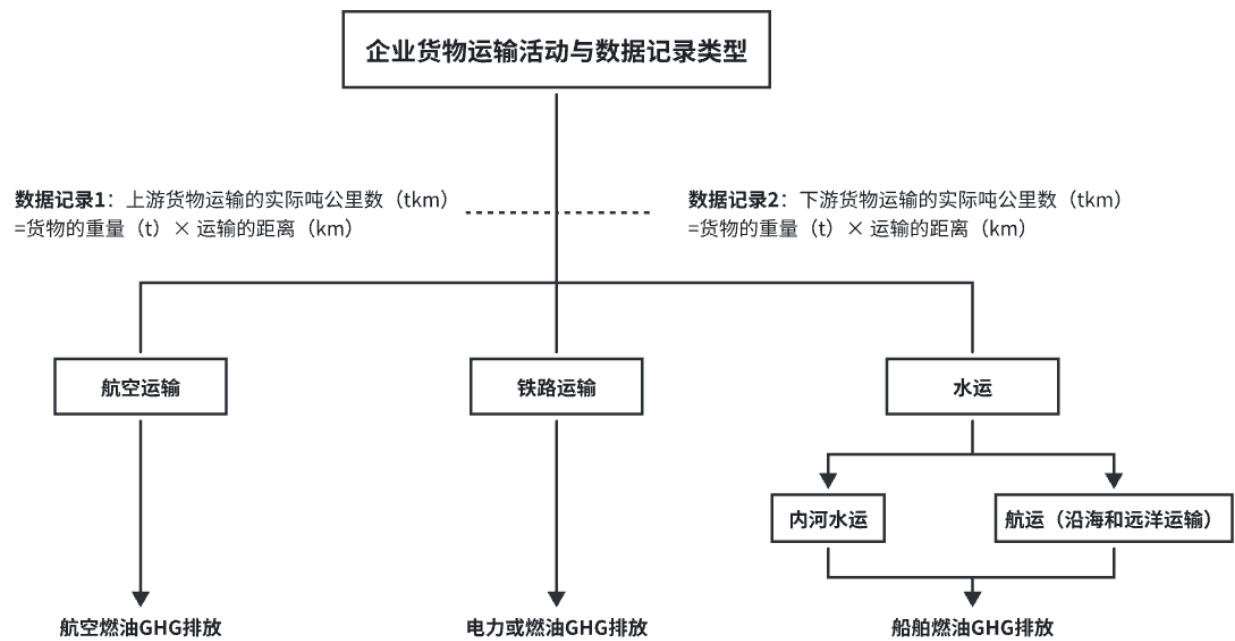
购产品以及售出产品过程中涉及的运输和配送活动所产生的碳排放（应专门用于通过第三方公司进行的货物运输）。

- 运输方式涵盖范围：本文涉及的运输方式包括航空运输、铁路运输、内河水运和沿海与远洋航运，其中对于内河水运和沿海和远洋航运货物运输，根据

- 船舶的用途和运输货物类型进行了更细致的划分。
- 货物运输活动数据：是对企业在货物运输途中产生

温室气体排放的活动水平的量化测量，表示为：货物运输的实际吨公里数，指在一定时期内，运输部门实际运送的货物吨数和其运输距离的乘积。

图 1 | 企业非公路货物运输活动与数据记录类型



### 1.3 排放因子设定

本文提供的排放因子数据是基于货物运输实际吨公里数的活动数据，因子是单位运输量货物运输碳排放因子。为了便于企业自测与披露，本文提供了两种类型的排放因子：

- 1) 针对航空、铁路货物运输方式：根据总能耗计算
- 整体的碳排放因子推荐值；
- 2) 针对内河和沿海与远洋货运方式：根据不同船舶类型单位货物运输量能耗计算的更细致划分的碳排放因子推荐值（沿海与远洋航运部分根据全球船舶运力占比估算了整体均值，可供参考）。

表5 非公路运输排放因子设定

|        |                                                                                                                                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 研究对象   | 中国典型非公路货物运输方式（航空、铁路、水运（内河水运&航运））                                                                                                  |
| 系统边界   | 货物运输中涉及的碳排放属于范围三排放中的类型 4——上游运输和配送，以及类型 9——下游运输和配送。对应燃料生命周期评估（LCA），货物运输中产生的碳排放作为运输阶段（TTW）部分，即运输工具燃料燃烧产生的排放。对于以电力为能源的运输，则计算了电力间接排放。 |
| 排放源    | 包括航空、铁路、水运货物运输能源消耗的直接排放（煤油、柴油等燃料燃烧）、间接排放（电力消耗）                                                                                    |
| GHG 种类 | 二氧化碳（CO <sub>2</sub> ）                                                                                                            |
| 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 and 文献数据                                                                                        |

## 2. 计算方法

### 2.1 计算原理

本研究中，货物运输的碳排放因子是通过结合文献中选取的各类能源的CO<sub>2</sub>排放因子数据以及能耗数据，并参考相应的转换系数计算得出的。

在实际量化范围三排放的过程中，要求使用两种类型的数据：活动数据和排放因子。针对货物运输，本文依据GHG Protocol价值链排放范围三计算规范，采用以下公式：

$$E_{TD} = AD_{TD} \times EF \quad (1)$$

其中：

$E_{TD}$ —货物运输排放量；

$AD_{TD}$ —货物运输活动数据，是对企业在货物运输途中产生温室气体排放的活动水平的量化测量；

$EF$ —货物运输阶段（TTW）排放因子，用于将货物运输过程中能源活动数据转化为排放数据，此为本文计算重点。

### 2.2 计算模型

#### 单位运输量航空货运排放因子

针对货物运输活动中因航空货物运输能耗产生的碳排放，本文采用自上而下法计算单位运输量碳排放因子，计算方法如公式（2）所示：

$$EF_{aviation} = EC_{aviation} \times EF_{AF} \quad (2)$$

其中：

$EC_{aviation}$ —航空运输吨公里油耗，单位为kg/tkm；

$EF_{AF}$ —单位航油碳排放因子，单位为kgCO<sub>2</sub>/kg。

#### 单位运输量铁路货运碳排放因子

针对货物运输活动中因铁路货物运输产生能耗的碳排放，本文采用自上而上法计算单位运输量碳排放因子，计算方法如公式（3）所示：

$$EF_{rail} = EC_{r\_elec} \times EF_{elec} \times R_{r\_elec} + EC_{r\_d} \times EF_d \times R_{r\_d} \quad (3)$$

其中：

$EC_{r\_elec}$ —电力机车电耗，单位为kWh/tkm；

$EF_{elec}$ —电力排放因子，单位为kgCO<sub>2</sub>/kWh；

$R_{r\_elec}$ —电力机车运输量占比，单位为%；

$EC_{r\_d}$ —内燃机车油耗，单位为kg/tkm；

$EF_d$ —柴油排放因子，其单位是kgCO<sub>2</sub>/kg；

$R_{r\_d}$ —内燃机车运输量占比，单位为%。

#### 单位运输量内河水运排放因子

针对货物运输活动中因内河水运产生能耗的碳排放，本文采用自下而上法计算单位运输量碳排放因子，计算方法如公式（4）所示：

$$EF_{inland} = \frac{(EC_{inland} \times EF_{MDO} \times R_{inland\_MDO} + EC_{inland} \times EF_{HFO} \times R_{inland\_HFO} + EC_{inland} \times EF_{LNG} \times R_{inland\_LNG})}{(R_{inland\_MDO} + R_{inland\_HFO} + R_{inland\_LNG})} \quad (4)$$

其中：

$EC_{inland}$ —船舶单位油耗，单位为kg/tkm；

$EF_{MDO}$ —船舶柴油CO<sub>2</sub>排放因子，单位为kgCO<sub>2</sub>/kg；

$EF_{HFO}$ —船舶重质燃料油CO<sub>2</sub>排放因子，单位为kgCO<sub>2</sub>/kg；

$EF_{LNG}$ —船舶液化天然气CO<sub>2</sub>排放因子，单位为kgCO<sub>2</sub>/kg；

$R_{inland\_MDO}$ —内河以船用柴油为燃料的运输量占比，单位为%；

$R_{inland\_HFO}$ —内河以重质燃料油为燃料的运输量占比，单位为%；

$R_{inland\_LNG}$ —内河以液化天然气为燃料的运输量占

比，单位为%。

单位运输量沿海和远洋货运排放因子

针对货物运输活动中因沿海和远洋航运能耗产生的碳排放，本文采用自下而上法计算单位运输量碳排放因子，计算方法如公式（5）所示：

$$EF_{maritime} = \frac{(EC_{marine\_HFO} \times EF_{HFO} \times R_{maritime\_HFO} + EC_{marine\_MDO} \times EF_{MDO} \times R_{maritime\_MDO} + EC_{marine\_LNG} \times EF_{LNG} \times R_{maritime\_LNG})}{(R_{maritime\_HFO} + R_{maritime\_MDO} + R_{maritime\_LNG})} \quad (5)$$

其中：

$EC_{marine\_HFO}$ —以重质燃料油为燃料的运输油耗，单位为kg/tkm；

$EC_{marine\_MDO}$ —以船用柴油为燃料的运输油耗，单位为kg/tkm；

$EC_{marine\_LNG}$ —以船用液化天然气为燃料的运输油耗，单位为kg/tkm；

$R_{maritime\_HFO}$ —沿海和远洋航运以重质燃料油为燃料的运输量占比，单位为%；

$R_{maritime\_MDO}$ —沿海和远洋航运以柴油为燃料的运输量占比，单位为%；

$R_{maritime\_LNG}$ —沿海和远洋航运以液化天然气为燃料的运输量占比，单位为%。

### 3. 计算结果

#### 3.1 航空货物运输碳排放因子

表6 航空货物运输碳排放计算

| 参数符号            | 参数（单位）                                            | 数值    | 数据来源                          |
|-----------------|---------------------------------------------------|-------|-------------------------------|
| $EC_{aviation}$ | 中国民航吨公里油耗（kg/tkm）                                 | 0.292 | 中国民航局《2023年民航业发展统计公报》         |
| $EF_{AF}$       | 单位航空煤油CO <sub>2</sub> 排放因子（kgCO <sub>2</sub> /kg） | 3.153 | 中国民用航空企业《温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》 |
| $EF_{aviation}$ | 单位运输量客货运航空碳排放因子（kgCO <sub>2</sub> /tkm）           | 0.921 | 依据公式（2）计算                     |

#### 3.2 铁路货物运输碳排放因子

表7 铁路货物运输碳排放因子计算

| 参数符号           | 参数（单位）                                | 数值       | 数据来源                                                |
|----------------|---------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------|
| $EC_{r\_elec}$ | 电力机车电耗（kWh/百万tkm）                     | 107.94   | 2021中国铁道年鉴                                          |
| $EC_{r\_d}$    | 内燃机车油耗（kg/百万tkm）                      | 36.39    | 2021中国铁道年鉴                                          |
| $R_{r\_elec}$  | 电力机车运输量占比（%）                          | 87.44%   | 依据2021年电动机车运输量占比、2023年货运和客运运输量、客运电动机车运输量占比计算，详见附录表1 |
| $R_{r\_d}$     | 内燃机车运输量占比（%）                          | 12.56%   |                                                     |
| $EF_{elec}$    | 电力排放因子（kgCO <sub>2</sub> /kWh）        | 0.5366   | 2022年全国电网平均排放因子 生态环境部                               |
| $EF_d$         | 柴油排放因子（kgCO <sub>2</sub> /kg）         | 3.1451   | 《中国陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》                     |
| $EF_{rail}$    | 单位运输量铁路运输排放因子(kgCO <sub>2</sub> /tkm) | 0.006502 | 依据公式（3）计算                                           |

3.3 内河水运货物运输碳排放因子

表8 内河水运货物运输碳排放因子计算

| 参数符号              | 参数（单位）                                                   | 数值     | 数据来源                                                            |
|-------------------|----------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------|
| $EC_{inland}$     | 干散货船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                        | 1.80   | 聂育仁. 2013年水路运输船舶油耗监测分析                                          |
| $EC_{inland}$     | 集装箱船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                        | 3.80   |                                                                 |
| $EC_{inland}$     | 油船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                          | 12.60  |                                                                 |
| $EC_{inland}$     | 滚轮船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                         | 2.20   |                                                                 |
| $EC_{inland}$     | 拖船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                          | 5.40   |                                                                 |
| $EF_{MDO}$        | 船用柴油（MDO）CO <sub>2</sub> 排放因子（kgCO <sub>2</sub> /kg）     | 3.206  | 《船用燃料全生命周期温室气体排放强度计算与认证指南》                                      |
| $EF_{HFO}$        | 船舶重质燃料油（HFO）CO <sub>2</sub> 排放因子（kgCO <sub>2</sub> /kg）  | 3.114  |                                                                 |
| $EF_{LNG}$        | 船舶液化天然气（LNG）CO <sub>2</sub> 排放因子（kg CO <sub>2</sub> /kg） | 2.75   |                                                                 |
| $R_{inland\_MDO}$ | 内河以船用柴油为燃料的运输量占比                                         | 90.00% | 中国经济日报 内河船舶向绿色智能发展                                              |
| $R_{inland\_HFO}$ | 内河以船用重质燃料油为燃料的运输量占比                                      | 10.00% |                                                                 |
| $R_{inland\_LNG}$ | 内河以船用液化天然气为燃料的运输量占比                                      | 0.4%   | 中国船舶报 我国LNG动力船达约450艘、电动船约150艘；中国远洋海运e刊 内河航运：货运量稳步上升，船舶清洁能源多元化发展 |
| $EF_{inland}$     | 干散货船单位运输量内河水运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                | 2.134  | 依据公式（4）计算                                                       |
| $EF_{inland}$     | 集装箱单位运输量内河水运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                 | 4.505  |                                                                 |
| $EF_{inland}$     | 油船单位运输量内河水运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                  | 14.938 |                                                                 |
| $EF_{inland}$     | 滚轮船单位运输量内河水运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                 | 2.608  |                                                                 |
| $EF_{inland}$     | 拖船单位运输量内河水运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                  | 6.402  |                                                                 |

3.4 沿海和远洋航运货物运输碳排放因子

表9 沿海和远洋航运货物运输碳排放因子计算

| 参数符号                | 参数（单位）                                                   | 数值     | 数据来源                                       |
|---------------------|----------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------|
| $EC_{marine}$       | 干散货船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                        | 4.60   | 聂育仁. 2013年水路运输船舶油耗监测分析                     |
|                     | 集装箱船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                        | 7.00   |                                            |
|                     | 油船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                          | 3.70   |                                            |
|                     | 液化气船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                        | 48.70  |                                            |
|                     | 其他液货船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                       | 24.80  |                                            |
|                     | 杂货船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                         | 13.40  |                                            |
|                     | 其他普通货船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                      | 10.10  |                                            |
|                     | 多用途船平均单位货物运输量能耗（kgce/(kt·n mile)）                        | 8.40   |                                            |
| $R_{maritime\_HFO}$ | 沿海和远洋航运以重质燃料油为燃料的运输量占比                                   | 80%    | 中国航海学会 深度观察   航运业燃料普及LNG为时尚早               |
| $R_{maritime\_MDO}$ | 沿海和远洋航运以船用柴油为燃料的运输量占比                                    | 20%    |                                            |
| $R_{maritime\_LNG}$ | 沿海和远洋航运以船用液化天然气为燃料的运输量占比                                 | 6%     | SEA-LNG  液化天然气燃料船舶加速增至全球船队的 6%             |
| $EF_{HFO}$          | 船舶重质燃料油（HFO）CO <sub>2</sub> 排放因子（kgCO <sub>2</sub> /kg）  | 3.114  | 《船用燃料全生命周期温室气体排放强度计算与认证指南》                 |
| $EF_{MDO}$          | 船舶柴油（MDO）CO <sub>2</sub> 排放因子（kgCO <sub>2</sub> /kg）     | 3.206  |                                            |
| $EF_{LNG}$          | 船舶液化天然气（LNG）CO <sub>2</sub> 排放因子（kg CO <sub>2</sub> /kg） | 2.75   |                                            |
| $EF_{marine}$       | 干散货船单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                  | 5.337  | 依据公式（5）计算                                  |
|                     | 集装箱单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                   | 8.122  |                                            |
|                     | 油船单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                    | 4.293  |                                            |
|                     | 液化气船单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                  | 49.505 |                                            |
|                     | 其他液货船单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                 | 28.775 |                                            |
|                     | 杂货船单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                   | 15.548 |                                            |
|                     | 其他普通货船单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                | 11.719 |                                            |
|                     | 多用途船单位运输量航运碳排放因子（gCO <sub>2</sub> /tkm）                  | 9.746  |                                            |
|                     | 单位运输量碳排放因子均值（gCO <sub>2</sub> /tkm）                      | 6.088  | 根据三大主力船型（干散货船、集装箱船、油船），占全球运力比重86%计算，详见附录表2 |

\*注：液化气船单位运输量航运碳排放因子值计算说明：LNG 运输船通常采用双燃料系统，主发动机以 LNG 为燃料，同时保留柴油或重油作为备用燃料，基于保守性原则，计算中假设液化天然气船燃料运输量占比为：50%的液化天然气以及 50%的柴油。



## 4. 合理性检验

### 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，本文利用多种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。

### 航空货物运输碳排放因子

本文单位运输量航空客货运碳排放因子，是基于中国民航局官方发布的《2023年民航业发展统计公报》和各行业碳排放核算指南中的单位航油CO<sub>2</sub>排放因子计算得出，所用数据具有较高准确度。油耗数据来源于民航总局提供的包含所有客货运输飞机的总周转量和总能耗的平均排放值。通过与文献中不同测算方法下的客货运航空测算结果以及UK Defra 和GLEC框架下的货运航空测算结果对比，本文的推荐因子值作为不区分TOC（运输活动类别）类型的排放因子，处于合理区间。鉴于我国货物运输主要依赖客机腹舱，全货运机型相对较少这一特质，在对比中本文计算得出的数据与GLEC框架下单位运输量腹部货运航空碳排放因子值更接近。同时，能够更准确地反映我国航空运输的实际情况，因此建议采用（具体来源参考表附录4）。

### 铁路货物运输碳排放因子

本研究中，单位周转量铁路货运碳排放因子的计算基于2021年中国铁道年鉴提供的电力机车电耗和内燃机车油耗数据，结合铁路货运电力机车占比（假设客运部分实现100%电气化运输）得出。对比UK Defra 的单位运

量铁路货运碳排放因子值较低，但与GLEC框架欧洲电力牵引下的单位运量平均铁路货运碳排放因子值接近，原因可能在于铁路电气化程度不同。其次，GLEC框架下的排放因子数值考虑了不同货物的运载特征，不同货物的负载因子以及装载率存在差异。中国铁路货运类型主要以煤炭和钢铁以及大宗货物为主。对比GLEC框架下的数值，本文推荐值处于谷物铁路货运碳排放因子、煤炭与钢铁铁路货运碳排放因子以及平均铁路货运碳排放因子（欧洲电力牵引）之间（参考附录表5），处于合理范围，且体现了中国铁路货物运输结构特征，因此建议采用。

### 内河水运和沿海与远洋航运货物运输碳排放因子

本文选择的不同船型单位周转量货物运输能耗来源于2013年交通运输部实测值，与相关的排放因子和燃料占比分别计算得出内河水运/沿海与远洋航运区分具体船型的单位周转量货物运输排放因子，对比GLEC框架下不同船型排放因子数据，集装箱船的因子推荐值较低，其余均在合理范围内（参考附录表6和7）。差异主要源于国家间集装箱装载率的波动水平、船型的油耗和尺寸标准的不同。本文得出的排放因子推荐值更符合中国本土情况，建议采用。

针对航运货物运输部分，本文根据船舶运力占比估算了整体的加权平均碳排放因子值，基于保守性原则选择了在航运货物运输中占主要运力的干散货船、油船和集装箱船（共占全球航运船舶运力的比重约86%）进行计算。当企业不清楚具体货物运输船型时，建议可以采用单位运量航运碳排放因子均值作为参考值。

## 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。未来的工作将进一步扩大研究样本范围，从货物运输能源消耗燃料的阶段排放（TTW）扩展到燃料获取上游排放（WTT），并且

纳入更多涵盖不同地区、行业和最新的货物运输活动数据，以增强数据的时间和空间一致性，确保排放因子计算的精确性。

目前，可持续燃料在中国航海和航空货物运输中占



比仍较低，随着政策支持力度的加大及技术进步的推动，预计未来可持续燃料的使用比重将逐步增加。我们将持续更新可持续燃料的占比因素，以更精准地反映中国货物运输领域的脱碳进程。

同时，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，我们的目标是构建一个精确、可靠的碳足迹计算工具，为中国的货物运输活动提供科学依据，支持政策制定和企业决策。

## 6. 参考文献

1. 中国民航局. (2023). 2023年民航行业发展统计公报.  
[2025年1月10日]. 检索自  
<https://www.mot.gov.cn/tongjishuju/minhang/202406/P020240621367394142022.pdf>
2. 发展和改革委员会. (2024). 中国国家铁路集团有限公司  
2023年统计公报.[2025年1月10日].检索自  
[http://www.china-railway.com.cn/xwzx/zhxw/202403/t20240315\\_134819.html](http://www.china-railway.com.cn/xwzx/zhxw/202403/t20240315_134819.html)
3. 国家发展和改革委员会. (2013). 中国民用航空企业  
《温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》.
4. 国家发展和改革委员会. (2015). 中国陆上交通运输  
企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）.
5. 聂育仁. 2013年水路运输船舶油耗监测分析[J]. 水运管理,2014,36(9):10-12. DOI:10.3969/j.issn.1000-8799.2014.09.004.
6. 交通运输部. (2020). 2019年交通运输行业发展统计  
公报.[2025年1月10日].检索自  
[https://www.gov.cn/xinwen/2020-05/12/content\\_5510817.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2020-05/12/content_5510817.htm)
7. 中国航海学会. (2018). 深度观察 | 航运业燃料普及  
LNG为时尚早 . 检索自 <https://www.cinnet.cn/zh-hans/news/3348-shen-du-guan-cha-gun-hang-yun-ye-ran-liao-pu-ji-lngwei-shi-shang-zao.htm>
8. 中国经济日报. (2022). 内河船舶向绿色智能发展. 检索  
自  
[http://ipaper.ce.cn/pc/content/202210/13/content\\_262557.html](http://ipaper.ce.cn/pc/content/202210/13/content_262557.html)
9. 中国民航局. (2024). 2023年民航业发展统计公报.
10. 中国国家铁路集团有限公司. (2021). 中国铁道年鉴.
11. 生态环境部. (2024). 2022年电力二氧化碳排放因子.  
[2025年1月20日]. 检索自  
[https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk01/202412/t20241226\\_1099413.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk01/202412/t20241226_1099413.html)

7. 附录

表附录1 铁路货运电动机车运输量占比计算

| 参数               | 数值（单位）        | 数据来源                                                                                                                       |
|------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 货运运输量            | 36460.39 亿吨公里 | 《2023年铁道统计公报》                                                                                                              |
| 客运运输量            | 14729.35 亿吨公里 | 《2023年铁道统计公报》                                                                                                              |
| 换算总运输量           | 51189.74 亿吨公里 | 《2023年铁道统计公报》                                                                                                              |
| 电动机车运输量占比（客运+货运） | 91.06%        | 依据2021中国铁道年鉴统计数据计算                                                                                                         |
| 客运电动机车运输量占比      | 100%          | 根据经验假设                                                                                                                     |
| 货运电动机车运输量占比      | 87.44%        | $\text{货运电动机车运输量占比} = \frac{\text{电动机车运输量占比} \times \text{换算总运输量} - \text{客运电动机车运输量占比} \times \text{客运运输量}}{\text{货运运输量}}$ |
| 货运内燃机车运输量占比      | 12.56%        | 货运内燃机车运输量占比=1-货运电动机车运输量占比                                                                                                  |

表附录2 沿海和远洋航运加权平均排放因子计算

|       | 碳排放因子值 gCO <sub>2</sub> /tkm | 全球运力占比 | 调整后占比  | 加权值   |
|-------|------------------------------|--------|--------|-------|
| 干散货船  | 5.377                        | 40%    | 46.51% | 2.501 |
| 油品船   | 4.293                        | 17%    | 19.77% | 0.849 |
| 集装箱船  | 8.122                        | 29%    | 33.72% | 2.739 |
| 加权平均值 | 6.088                        | 86%    | 100%   | 6.088 |

全球运力占比来源: 东吴证券 船舶行业深度报告: 大周期已至, 关注量利齐升的中国造船产业链  
[https://www.hangyan.co/reports/3387029769269806218?page\\_num=6](https://www.hangyan.co/reports/3387029769269806218?page_num=6)

表附录3 换算系数

| 参数             | 换算单位                 |
|----------------|----------------------|
| 1 海里 (n mile)  | 1.852 千米 (km)        |
| 1 千克柴油 (kg)    | 1.4571 千克标准煤 (kgce ) |
| 1 千克重质燃料油 (kg) | 1.4286 千克标准煤 (kgce ) |
| 1 千克液化天然气 (kg) | 1.7572 千克标准煤 (kgce ) |

表附录4 单位运输量客货运航空碳排放因子交叉验证

| 来源       | 文献年份   | 测算年份   | 测算内容                     | 测算结果<br>(kgCO <sub>2</sub> /tkm) | 本文排放量<br>(kgCO <sub>2</sub> /tkm) |
|----------|--------|--------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 田佩宁, 毛保华 | 2023 年 | 2019 年 | 单位运输量客货运航空碳排放因子          | 0.899                            | 0.921                             |
| UK Defra | 2024 年 | 2023 年 | 单位运输量短途货运航空碳排放因子         | 0.985                            | 0.921                             |
| UK Defra | 2024 年 | 2023 年 | 单位运输量长途货运航空碳排放因子         | 0.649                            | 0.921                             |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量短途货运航空碳排放因子 (TTW)   | 1.194                            | 0.921                             |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量短途腹部货运航空碳排放因子(TTW)  | 0.978                            | 0.921                             |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量长途货运航空碳排放因子 (TTW)   | 0.498                            | 0.921                             |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量长途腹部货运航空碳排放因子 (TTW) | 0.768                            | 0.921                             |

表附录5 单位运输量铁路货运碳排放因子交叉验证

| 来源       | 文献年份   | 测算年份   | 测算内容                             | 测算结果<br>(kgCO <sub>2</sub> /tkm) | 本文排放量<br>(kgCO <sub>2</sub> /tkm) |
|----------|--------|--------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| UK Defra | 2024 年 | 2023 年 | 单位运输量铁路货运碳排放因子                   | 0.027790                         | 0.006502                          |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量平均铁路货运碳排放因子（欧洲柴油牵引）（TTW）    | 0.023200                         | 0.006502                          |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量平均铁路货运碳排放因子（欧洲电力牵引）（TTW）    | 0.006600                         | 0.006502                          |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量煤炭和钢铁铁路货运碳排放因子（欧洲电力牵引）（TTW） | 0.004400                         | 0.006502                          |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量谷物铁路货运碳排放因子（欧洲电力牵引）（TTW）    | 0.004300                         | 0.006502                          |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量平均铁路货运碳排放因子（北美柴油牵引）（TTW）    | 0.013400                         | 0.006502                          |

表附录6 单位运输量内河水运碳排放因子交叉验证

| 来源   | 文献年份   | 测算年份   | 测算内容                  | 测算结果<br>(gCO <sub>2</sub> /tkm)  | 本文排放量  |
|------|--------|--------|-----------------------|----------------------------------|--------|
| GLEC | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量集装箱船货运碳排放因子(TTW) | 17.400 和 22.500<br>(110m 和 135m) | 4.505  |
| GLEC | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量油轮碳排放因子(TTW)     | 19.000                           | 14.938 |

表附录7 单位运输量沿海与远洋航运碳排放因子交叉验证

| 来源       | 文献年份   | 测算年份   | 测算内容                  | 测算结果<br>(gCO <sub>2</sub> /tkm) | 本文排放量<br>(gCO <sub>2</sub> /tkm) |
|----------|--------|--------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| UK Defra | 2024 年 | 2023 年 | 单位运输量原油运输船平均碳排放因子     | 4.560                           | 4.293                            |
| UK Defra | 2024 年 | 2023 年 | 单位运输量散货船平均碳排放因子       | 3.530                           | 5.337                            |
| UK Defra | 2024 年 | 2023 年 | 单位运输量普通货物船平均碳排放因子)    | 13.210                          | 11.719                           |
| UK Defra | 2024 年 | 2023 年 | 单位运输量集装箱船平均碳排放因子      | 16.120                          | 8.122                            |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量散货船碳排放因子(TTW)    | 2.600 — 27.000<br>(不同载重、燃料)     | 5.337                            |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量普通货物船碳排放因子(TTW)  | 8.200 — 22.900<br>(不同载重、燃料)     | 11.719                           |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量液化气运输船碳排放因子(TTW) | 9.000 — 41.000<br>(不同载重、燃料)     | 49.505                           |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量油轮碳排放因子(TTW)     | 3.100 — 74.500<br>(不同载重、燃料)     | 4.293                            |
| GLEC     | 2023 年 | 2023 年 | 单位运输量其他液体油轮碳排放因子(TTW) | 27.300 — 1059.600<br>(不同载重、燃料)  | 28.775                           |

# 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](mailto:Occicontact@chinacsmap.org)  
网站: [lingtan.chinacsmap.org](http://lingtan.chinacsmap.org)  
微信: 零碳实验室 ZEROLab