附件1

ICS xxxxxx

CCS J xxxxxx

团 体 标 准

T/CMIF XXXXX—XXXX

产品碳足迹量化方法与要求 变压器

Quantification requirement and method of product carbon footprint—

Transformer products

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布 20XX-XX-XX 实施

中国机械工业联合会 发 布

目　次

前　言 I
1 范围 2
2 规范性引用文件 2
3 术语和定义 2
4 量化目的 4
5 量化范围 4
6 清单分析 7
7 影响评价 8
8 结果解释 12
9 产品碳足迹报告 12
10 产品碳足迹声明 13
附 录A（资料性）产品碳足迹量化数据收集表 14
附 录B（资料性）产品碳足迹研究报告（模板） 20
附 录 C（资料性）GWP 参考值 24
附 录 D（资料性）常用参数参考值 25

前 言

本文件按GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国机械工业联合会提出并归口。

本文件起草单位：XX。

本文件主要起草人：XX。

本文件为首次发布。

产品碳足迹量化方法与要求 变压器

1 范围

本文件提出了变压器产品碳足迹评价的量化目的、量化范围、清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告、产品碳足迹声明。

本文件适用于变压器和电抗器产品碳足迹评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1094.1-2013 电力变压器 第 1 部分：总则

GB/T 1094.11-2022 电力变压器 第 11 部分：干式变压器

GB/T 1094.6-2011 电力变压器 第 6 部分:电抗器

GB/T 24040-2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架

GB/T 24044-2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南

GB/T 24067-2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南

GB/T 2900.95-2015 电工术语变压器、调压器和电抗器

GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 40093-2021 变压器产品生命周期评价方法

3 术语和定义

GB/T 1094.1-2013、GB/T 1094.11-2022 、GB/T 1094.6-2011、GB/T 24040-2008、GB/T 24044-2008、GB/T 24067-2024、GB/T 32150-2015 、GB/T 40093-2021 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变压器 transformer

转移电能而不改变其交流电源频率的静止的电能转换器。

[来源：GB/T 2900.95-2015，3.1.1]

3.2

产品碳足迹 carbon footprint of a product；CFP

产品系统中的 GHG 排放量和 GHG 清除量之和，以二氧化碳当量表示，并基于气候变化这一单一环境影响类型进行生命周期评价。

[来源：GB/T 24067-2024，3.1.1]

3.3

产品部分碳足迹 partial carbon footprint of a product；partial CFP

在产品系统生命周期内的一个或多个选定阶段或过程中的 GHG 排放量和 GHG 清除量之和，并以二氧化碳当量表示。

[来源：GB/T 24067-2024，3.1.2]

3.4

产品碳足迹量化 quantification of the carbon footprint of a product;quantification of the CFP

确定产品碳足迹或产品部分碳足迹的活动。

注：产品碳足迹或产品部分碳足迹的量化属于产品碳足迹研究的一部分。

[来源：GB/T 24067-2024，3.1.6]

3.5

温室气体 greenhouse gas; GHG

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内辐射的气态成分。

注 1：包括二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、氧化亚氮（N_2O）、氢氟碳化合物（HFCs）、全氟碳化合物（PFCs）、六氟化硫（SF_6）和三氟化氮（NF_3）等。

[来源：GB/T 24067-2024，3.2.1]

3.6

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent；CO_{2e}

比较某种温室气体与二氧化碳的辐射强迫的单位。

注：给定温室气体的二氧化碳当量等于该温室气体的质量乘以它的全球变暖潜势值。

[来源：GB/T 24067-2024，3.2.2]。

3.7

全球变暖潜势 global warming potential; GWP

将单位质量的某种温室气体在给定时间段内辐射强迫影响与等量二氧化碳辐射强迫影响相关联的系数。

[来源：GB/T 24067-2024，3.2.4]

3.8

温室气体排放因子 greenhouse gas emission factor; GHG emission factor

现场数据与温室气体排放相关的系数。

[来源：GB/T 24067-2024，3.2.7]

3.9

系统边界 system boundary

通过一组准则确定哪些单元过程属于产品系统的一部分。

[来源：GB/T 24044-2008，3.32]

3.10

生命周期 life cycle

产品相关的连续且相互连接的阶段，包括原材料获取或从自然资源中生成原材料至生命末期处理。

[来源：GB/T 24067-2024，3.4.2]

3.11

初级数据 primary data

通过直接测量或基于直接测量的计算得到的过程或活动的量化值。

注 1：初级数据不是必须来自所研究的产品系统，因为初级数据可能涉及其他与所研究的产品系统具有可比性的产品系统。

注 2：初级数据可以包含温室气体排放因子或温室气体现场数据。

[来源：GB/T 24067-2024，3.6.1]

3.12

现场数据 site-specific data

从产品系统内部获得的初级数据。

注 1：所有现场数据均为初级数据，但并不是所有初级数据都是现场数据，因为数据可能是从不同产品系统内部获得的。

注 2：现场数据包括场地内一个特定单元过程的温室气体排放量和温空气体清除量。

[来源：GB/T 24067-2024，定义 3.6.2]

3.13

次级数据 secondary data

不符合初级数据要求的数据。

注 1：次级数据是经权威机构验证且具有可信度的数据，可以来源于数据库、公开文献、国家排放因子、计算估算数据或其他具有代表性的数据，推荐使用本土化数据库。

注:2：次级数据可包括从代替过程或估计获得的数据。

[来源：GB/T 24067-2024，3.6.3]

3.14

取舍准则 cut-off criteria

对与单元过程或产品系统相关的物质和能量流的数据或环境影响重要性程度是否被排除在研究范围之外所作的规定。

[来源：GB/T 24040-2008，3.18]

3.15

功能单位 functional unit

用来量化产品系统功能的基准单位。

[来源：GB/T 24040-2008，3.20]

3.16

声明单位 declared unit

用来量化产品部分碳足迹的基准单位。

[来源：GB/T 24067-2024，3.3.8]

4 量化目的

本文件基于生命周期评价方法，量化变压器生命周期温室气体排放，形成统一规范的变压器产品碳足迹量化方法和要求，有利于：

——变压器生产企业识别产品全生命周期的重要排放阶段、重点排放过程和主要影响因素，从而制定改进措施，降低产品碳排放量。

——变压器用户通过分析比较同类产品生命周期温室气体排放量，可选择温室气体排放更低的变压器产品，实现绿色低碳发展。

——变压器产业链相关者制定改进措施，协同变压器产品降碳。

5 量化范围

5.1 产品种类

本文件所指变压器按照电压等级、绝缘类型进行划分，包括各电压等级的液浸式变压器、干式变压器、充气式变压器和电抗器。

5.2 产品描述

产品信息包括但不限于：

a) 产品名称；

b) 产品型号；

c) 出厂序号；

d) 产品销售的主要地理区域；

e) 所有运输方式和运输工具 。

产品相关参数包括但不限于：

a) 产品名称；

b) 产品型号；

c) 额定容量；

d) 额定频率；

e) 联结组标号；

f) 使用条件；

g) 冷却方式；

h) 额定电压；

i) 短路阻抗；

j) 出厂序号；

k) 绝缘水平；

l) 总重量。

5.3 功能单位或声明单位

5.3.1 功能单位

在指定电压等级和容量下，以1台在预期寿命内的变压器作为功能单位，根据产品种类的类型进行描述，并明确系统边界。产品描述应包括以下信息确保能够明确地识别：

a)产品的名称及其型号；

b)主要技术性能参数，包括额定电压、额定容量、冷却方式等；

c)产品的制造商；

d)使用寿命（预设）：按照GB/T17468-2019 第9章的规定，配电变压器的寿命一般为20年，而其他电力变压器的寿命一般为30年。

示例：1台10kV100kVA三相液浸式变压器，用于改变交流电压，使用寿命20年。

5.3.2 声明单位

变压器的声明单位只能用在部分变压器碳足迹评价，当变压器的功能或使用场景不明确时，需采用声明单位替代功能单位。声明单位需与核算目的和范围一致。通常以“在指定电压等级和容量下变压器产品的二氧化碳当量（CO_2e）”作为声明单位，根据产品种类的类型、产品状态等进行描述，并明确系统边界。

示例：1 台 10kV100kVA 三相液浸式变压器的二氧化碳当量（CO_2e），系统边界明确为原材料获取阶段和生产制造阶段（从摇篮到大门）。

5.4 系统边界

5.4.1 概述

本文件中界定的产品碳足迹核算的系统边界包括：原材料获取阶段（铁芯、线圈、钢材等主要材料）、生产制造阶段（包括零部件生产、装配过程）、运输阶段、安装调试使用维护阶段和回收

处置阶段共五个阶段。产品碳足迹核算系统边界（从“摇篮”到“坟墓”）见图1，虚线为产品部分碳足迹的系统边界（从“摇篮”到“大门”）。

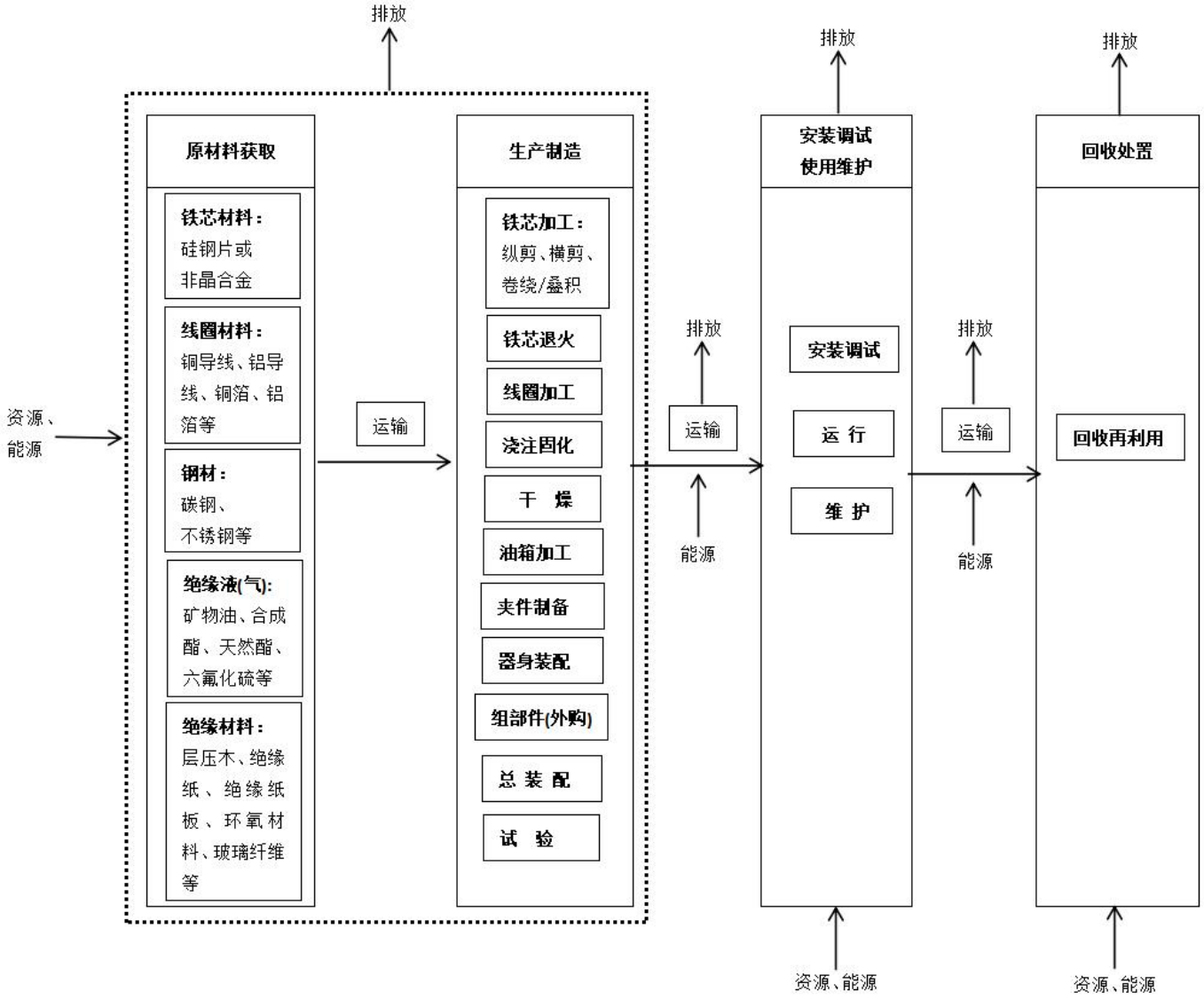


图 1 变压器生命周期系统边界示意图

5.4.2 原材料获取阶段

产品原材料获取阶段的碳排放应包括以下内容：

a) 原材料生产过程中涉及开采、加工过程的碳排放；

b) 原材料生产过程中温室气体的直接排放；

c) 关键原材料主要包括：

① 铁芯材料：硅钢片或非晶合金；

② 线圈材料：铜导线、铝导线、铜箔、铝箔等；

③ 钢材：碳钢、不锈钢等；

④ 绝缘液（气）：矿物油、合成酯、天然酯、六氟化硫 等；

⑤ 绝缘材料：层压木、绝缘纸、绝缘纸板、环氧材料、玻璃纤维等。

5.4.3 生产制造阶段

产品生产制造阶段的碳排放应包括以下内容：

a) 铁芯加工（纵剪、横剪、卷绕/叠积）、铁芯退火（卷铁芯）、线圈加工、浇注固化/干燥、油箱加工、夹件制备、器身装配、总装配、试验等过程，涉及资源（水等）、能源（电能、

蒸汽、燃气、燃油等）投入的碳排放以及温室气体的直接排放；

b) 组/零部件（套管、分接开关、仪表类、控制柜、储油柜、冷却器、散热器、油箱、夹件等）生产工艺过程中涉及资源、能源投入的碳排放及温室气体的直接排放；外购的组/零部件碳排放总量。

5.4.4 安装调试、使用维护阶段

安装调试、使用维护阶段的碳排放应包括以下内容：

a) 变压器产品安装调试过程中能源消耗带来的碳排放；
b) 变压器产品运行过程中能源消耗以及绝缘液（气）泄露带来的碳排放；
c) 变压器产品维护中产生的材料损耗等造成的直接与间接碳排放。

5.4.5 回收处置阶段

产品回收与处置阶段的碳排放应包括以下内容：

a) 产品原材料回收再利用的碳排放；
b) 分类回收处置过程的碳排放。包括：
① 铁芯回收处理；
② 线圈回收处理；
③ 组部件回收处理；
④ 绝缘液回收处理；
⑤ 金属材料回收处理；
⑥ 绝缘气体回收处理；
⑦ 固体绝缘材料（含工程塑料）回收处理。

5.4.6 运输阶段

运输阶段的碳排放应包括以下内容：

a) 产品原材料、外购件运输到生产现场运输工具带来的碳排放；
b) 产品从制造商到使用场所运输工具带来的碳排放；
c) 产品寿命期后，从使用场所到拆解场地搬运过程中运输工具带来的碳排放。

6 清单分析

6.1 数据收集和确认

6.1.1 数据的收集应符合表 1 的要求。

6.1.2 当开展产品碳足迹研究的组织拥有财务或运营控制权时,应收集制造与运行现场数据。所收集的数据应具有代表性。初级数据宜采集企业一个自然年的生产统计数据，进行数据分配。

6.1.3 非现场数据可使用次级数据,次级数据宜经第三方评审,同时数据格式应满足相关标准要求。次级数据可来源于国家数据库、公开文献或其他具有代表性的数据。

6.1.4 对数据获得方式和来源应予以说明。

表 1 各阶段数据收集表

阶段	数据种类	数据
原材料获取阶段	①关键原材料的温室气体排放因子（铁芯与线圈材料、钢材等）；	宜使用材料厂家提供数据；也可使用次级数据（附录D）。
	②关键原材料用量	宜使用实际使用量,按实际生产统计记录，转换为一台变压器产品（功能单位产品）的量；也可根据设计图纸、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料取得（附录 A 表 A.2）

生产制造阶段	①生产消耗的电力用量 ②生产消耗的燃料用量 ③燃料的温室气体排放因子 ④电力温室气体排放因子 ⑤外购件的碳排放量 ⑥温室气体直接排放量	宜使用实际使用量,按实际生产统计记录，转换为一台变压器产品（功能单位产品）的量；也可根据设计图纸、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料或零部件供应商处取得（附录 A 表 A.3-1 或表 A.3-2）。
安装调试、使用维护阶段	①产品使用维护年消耗电量 ②电力温室气体排放因子 ③设计使用寿命 ④安装调试消耗的电力用量 ⑤安装调试消耗的燃料用量 ⑥燃料的温室气体排放因子	宜使用实际使用量,按实际生产统计记录，转换为一台变压器产品（功能单位产品）的量；也可根据设计图纸、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料取得（附录A表A.4）。
回收处置阶段	①关键原材料的温室气体排放因子	宜使用材料厂家提供数据；也可使用次级数据（附录D）。
	②关键原材料用量 ③回收处置消耗的能源用量	宜使用实际使用量,按实际生产统计记录，转换为一台变压器产品（功能单位产品）的量；也可根据设计图纸、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料取得（附录A表A.5）。
	④回收率 ⑤分配系数	宜按照国家法律法规规定和国家评价水平数据确定（附录A表A.5）。
运输阶段	①各运输方式的排放因子	宜使用材料厂家提供数据；也可使用次级数据（附录D）。
	②产品总重量 ③关键原材料、外购件重量 ④各阶段运输距离 ⑤运输消耗的燃料用量 ⑥燃料的温室气体排放因子	宜使用实际使用量,按实际生产统计记录，转换为一台变压器产品（功能单位产品）的量；也可根据设计图纸、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料取得（附录A表A.6）

6.2 数据分配

在边界设置或数据收集时，若发现至少有一个过程的输入和输出包含多个产品，则总排放量需要在产品生命周期内进行分配。

分配的原则如下：

a）优先采集细分单元过程，尽量避免进行数据分配；

b）若数据分配无法避免，优先使用物理关系参数（包括但不限于生产量、生产工时等）进行分配；

c）无法找到物理关系时，则依据经济价值进行分配；

d) 使用的利废原料来自于本产品系统，温室气体排放因子按 0 计算；使用的利废原料来自于不同产品系统，温室气体排放因子应依据上游产品系统边界的分配原则计算；

e）评价过程中涉及分配方法应在产品碳足迹报告中予以明确说明。

6.3 取舍准则

各阶段中若某材料或能源的排放估测值小于或等于该阶段碳排放估测值的 1%，则可进行删减。但所有删减项目的温室气体排放估测值合计不得超过该阶段碳排放估测值的 5%。

7 影响评价

7.1 评价内容

影响评价(LCIA)包括影响类型、类型参数和特征化模型的选择，具体内容如下：

a) 产品碳足迹影响评价是根据清单分析结果（包括资源、能源和原材料的消耗数据以及各生命周期阶段排放数据），选择气候变暖环境影响类型；

b) 类型参数为全球变暖潜势（GWP）；

c) 根据碳足迹量化目的和范围选择合适的特征化模型，常见为联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）评估报告中100年全球变暖潜势（GWP），计算排放和清除的每种温室气体的全球变暖潜势（GWP），见附录C表C.1。

注：如果没有特别说明和证明，当全球变暖潜势值被政府间气候变化专门委员会修正时，在产品碳足迹量化中应使用最新数值。

d) 计算产品碳足迹按7.2的计算方法。

7.2 碳足迹计算方法

变压器产品碳足迹（生命周期碳排放总量）按式（1）计算：

$$CFP_{GHG} = E_M + E_P + E_U + E_T + E_R \quad \text{（1）}$$

式中，CFP_{GHG}——产品碳足迹，即产品生命周期碳排放总量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）。

7.3 原材料获取阶段

产品原材料获取阶段碳排放量应按式（2）计算：

$$E_M = \sum_{i=1}^{n} (m_i \cdot F_{C,i}) \quad \text{（2）}$$

式中，E_M——原材料获取阶段的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

m_i——产品第 i 种材料的用量，单位为千克（kg）；

$F_{C,i}$——产品第 i 种材料的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（kg CO_2e/kg）；

n——产品的材料种类数；

注：材料的温室气体排放因子数据优先选择原材料厂家提供的经过评估的数据；亦可采用次级数据，宜优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，可按照本文件附录 D 执行。

7.4 生产制造阶段

7.4.1 产品生产制造阶段碳排放量应按式（3）计算：

$$E_P = \sum_{i=1}^{n} E_{PC,i} \quad \text{（3）}$$

式中，E_P——产品生产制造阶段的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

$E_{PC,i}$——第 i 个零（部）件加工、装配或试验过程、厂内物流的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

n——产品的零部件数量；

7.4.2 第i个零（部）件加工、装配或试验过程、厂内物流的碳排放量应按式（4）计算：

$$E_{PC,i} = \sum_{p=1}^{k} \sum_{q=1}^{l} (m_{i,q} \cdot F_{C,q} \cdot GWP) \quad \text{（4）}$$

式中，$m_{i,q}$——第 i 个零（部）件第 p 个加工、装配或试验过程、厂内物流中第 q 种资源、能源的用量或温室气体直接排放量，单位为千克、千瓦时或立方米（kg、kW•h 或 m^3）；

$F_{C,q}$——第 i 个零（部）件第 p 个加工、装配或试验过程、厂内物流中第 q 种资源、能源或直接排放的温室气体的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克、千克二氧化碳当量每千瓦时或千克二氧化碳当量每立方米（kg CO_2e/kg、kg CO_2e/kW·h 或 kg CO_2e/m^3）；

k——第 i 个零（部）件的加工、装配或试验过程、厂内物流数量；

l——计入第 i 个零（部）件第 p 个加工、装配或试验过程、厂内物流中消耗的资源、能源和排放的温室气体类型数量。

GWP——全球变暖潜势，对应不同种类的温室气体其因子不同。GWP 参见附录 C。

注 1：过程中消耗的资源、能源或直接排放的温室气体的排放因子数据宜优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，可按照本文件附录 D 执行。

注 2：过程中电力消耗的温室气体排放因子应选择零（部）件加工场所当地的温室气体排放因子，电力温室气体排放因子见附录 D。

7.4.3 生产制造阶段碳排放量简化计算

根据变压器的生产工艺，制造阶段主要包括：线圈制作、绝缘件制作、铁芯制作、油箱制作、总装配和试验等工序，根据生产该功能单位/声明单位产品实际统计能源消耗。变压器生产制造阶段碳排放量简化计算见公式（5），可替代公式（3）（4）。

变压器生产制造阶段各类能源消耗量产生的碳排放总量，计算公式见公式（5）：

$$E_P = \sum_{k=1}^{n} E_{k燃料} + Ee + E_{mc} + E_d \quad \text{……（5）}$$

式中，

$E_{k燃料}$——第 k 种燃料燃烧产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO_2e），详见公式（6）；

Ee——电力用于变压器生产过程产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO_2e），详见公式（7）；

E_{mc}——外购件产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO_2e），详见公式（8）；

E_d——温室气体的直接排放产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kgCO_2e）。温室气体排放量×对应的 GWP（参见附录 C）。

k ——燃料的种类；

n ——燃料的种类数。

核算第 k 种燃料燃烧产生的碳排放量，E_k燃料的公式见公式（6）：

$$E_{k燃料} = D \times F_k \quad \text{……（6）}$$

式中，

D——燃料消耗现场数据（消耗的总量），单位为千克（kg）；

F_K ——燃料温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳每千克（kgCO_2e/kg）。

核算电力用于生产过程产生的碳排放量E_e 的公式见公式（7）：

$$E_e = AD_e \times EF_e \quad \text{……（7）}$$

式中，

ADe——电力消耗现场数据（消耗的总电量），单位为千瓦时（kWh）；

EFe ——电力温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳每千瓦时（kgCO_2e/kWh）。

外购件产生的碳排放量 E_{mc}的公式见公式（8）：

$$E_{mc}=\sum_{i=1}^{n} E_{C,i} = \sum_{i=1}^{n} (m_{C,i} \cdot F_{C,i}) \quad \text{……（8）}$$

式中，

$m_{C,i}$——外购第 i 种零部件重量，单位为千克（kg）；

$F_{C,i}$——外购第 i 种零部件的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（kg CO_2e/kg）；

n——外购件种类数；

$E_{C,i}$——外购第 i 种零部件的碳排放量；

7.5 安装调试、使用维护阶段

7.5.1 产品安装调试、使用维护阶段碳排放量应按式（9）计算：

$$E_U = E_{U,E} + E_{U,IR} \quad \text{……（9）}$$

式中，

E_U——安装调试、使用维护的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

$E_{U,E}$——使用维护阶段能源消耗带来的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

$E_{U,IR}$——安装调试阶段能源消耗带来的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）。

7.5.2 产品使用维护阶段能源消耗带来的碳排放量应按式（10）计算：

$$E_{U,E} = ADe \times \mathrm{EF_e} \times \mathrm{N} \quad \text{（10）}$$

式中，

AD_e ——电力消耗现场数据（每年消耗的电量），单位为千瓦时每年（kWh/a）；

EFe ——电力温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳每千瓦时（$kgCO_2e/kWh$）；

N——变压器的设计寿命或使用寿命，单位为年（a）。

注 1：使用维护过程电力消耗产生的碳排放会因地点的不同而不同，出现这种情况时，除非有更具体的数据，否则宜选取全国平均的电力消耗温室气体排放因子，电力温室气体排放因子见附录 D。

7.5.3 产品安装调试阶段能源消耗带来的碳排放量应按式（11）计算：

$$E_{U,I}=\sum_{k=1}^{n} E_{k燃料} + E_e \quad \text{（11）}$$

式中：

$E_{k\,燃料}$ ——用于变压器安装调试过程中第 k 种燃料燃烧产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（$kgCO_2e$），详见公式（6）；

E_e ——电力用于变压器安装调试过程产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（$kgCO_2e$），详见公式（7）；

7.6 回收处置阶段

产品回收与处置阶段碳排放量应按式（12）计算：

$$E_R = \sum_{i=1}^{n} (-m_i \cdot F_{C,i} \cdot \varphi_{r,i} A_{r,i}) + \sum_{e=1}^{f} (m_{j,e} \cdot F_{C,e}) \cdot GWP \quad \text{（12）}$$

式中，E_R——回收与处置阶段的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

m_i——产品第 i 种材料的用量，单位为千克（kg）；

$F_{C,i}$——产品第 i 种材料的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（kg CO_2e/kg）；

$\varphi_{r,i}$——产品第 i 种材料回收率；

$A_{r,i}$——产品第 i 种材料的分配系数；

n——产品可回收的材料数量。

$m_{j,e}$——产品第 j 个回收处置工艺过程中第 e 种资源、能源的用量或温室气体直接排放量，单位为千克、千瓦时或立方米（kg、kW·h 或 m^3）；

$F_{C,e}$——产品第 j 个回收处置工艺过程中第 e 种资源、能源或直接排放的温室气体的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克、千克二氧化碳当量每千瓦时或千克二氧化碳当量每立方米（kg CO_2e/kg、kg $CO_2e/kW·h$ 或 kg CO_2e/m^3）；

f——计入产品第 j 个回收处置工艺过程中消耗的资源、能源和排放的温室气体类型数量。

GWP ——全球变暖潜势，对应不同种类的温室气体其因子不同。GWP 参见附录 C。

注 1：材料的温室气体排放因子数据宜优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，可按照本文件附录 D 执行。

注 2：材料回收率宜优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，可按照本文件附录 D 执行。

注 3：产品的材料生产时若采用可再生原料，该部分可再生原料可替代自然界直接开采的初生原料，该部分碳排放可采用分配系数对其进行扣除，材料的分配系数 A 取固定值 0.5。若材料生产时不采用可再生原料，则分配系数 A 取 0。

7.7 运输阶段

7.7.1 产品运输阶段碳排放量应按式（13）计算：

$$E_T = E_{T,M} + E_{T,U} + E_{T,R} \quad \text{（13）}$$

式中，E_T——运输阶段的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

$E_{T,M}$——产品原材料、外购件运输到生产现场的碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

$E_{T,U}$——产品从制造商运输到使用场所的碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kg CO_2e）；

$E_{T,R}$——产品报废从使用场所运输到拆解场地的碳排放，单位为千克二氧化碳当量（kg

CO_2e）。

7.7.2 产品原材料、外购件运输到生产现场的碳排放应按式（14）计算：

$$E_{T,M} = \sum_{i=1}^{n} (m_i \cdot D_i \cdot F_{T,i}) \quad \text{（14）}$$

式中，m_i——产品第 i 类原材料、外购件的消耗量，单位为吨（t）；

D_i——产品第 i 类原材料、外购件的运输距离，单位为千米（km）；

$F_{T,i}$——产品第 i 类原材料、外购件运输方式的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吨每千米[kg CO_2e/（t·km）]；

n——计入产品的原材料、外购件数量。

注 1：运输方式的温室气体排放因子数据宜优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，可按照本文件附录 D 执行。

注 2：若产品采购的原材料、外购件来自于不同的地区，则与运输有关的碳排放会因采购地点、运输方式的不同而不同，出现这种情况时，除非有更具体的数据，否则宜选取一个规定的运输距离和运输方式，本文件选取运输距离固定值 500km。

7.7.4 产品从制造商运输到使用场所的碳排放应按式（15）计算：

$$E_{T,U} = M \cdot D_U \cdot F_{TU} \quad \text{（15）}$$

式中，M——产品的总重量，单位为吨（t）；

D_U——产品从制造商运输到使用场所的运输距离，单位为千米（km）；

F_{TU}——产品从制造商运输到使用场所运输方式的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吨每千米[kg CO_2e/（t·km）]。

注 1：运输方式的温室气体排放因子数据宜优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，可按照本文件附录 D 执行。

注 2：若产品被销售到不同的地点，则与运输有关的碳排放会因销售地点、运输方式的不同而不同，出现这种情况时，除非有更具体的数据，否则宜选取一个规定的运输距离和运输方式，本文件选取运输距离固定值 500km。

7.7.5 产品报废从使用场所运输到拆解场地的碳排放应按式（16）计算：

$$E_{T,R} = M \cdot D_R \cdot F_{TR} \quad \text{（16）}$$

式中，M——产品的总重量，单位为吨（t）；

D_R——产品报废从使用场所运输到拆解场地的运输距离，单位为千米（km）；

F_{TR}——产品报废从使用场所运输到拆解场地运输方式的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每吨每千米[kg CO_2e/（t·km）]。

注 1：运输方式的温室气体排放因子数据宜优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，可按照本文件附录 D 执行。

注 2：产品报废拆解一般发生在产品使用的当地，除非有更具体的数据，否则宜选取一个规定的运输距离和运输方式，本文件选取运输距离固定值 40km。

8 结果解释

结果解释可包括以下内容：

a) 根据产品碳足迹的量化目的、范围和结果，确定重大问题；
   注：重大问题可以是生命周期阶段、单元过程或流程。
b) 完整性、一致性、不确定性和敏感性分析，例如重要输入、输出和方法选择（取舍准则和分配程序）进行敏感性分析；
c) 结论、局限性和建议的编制。

9 产品碳足迹报告

产品碳足迹报告应至少包含以下内容：

—— 产品制造单位与评价方信息；

—— 产品技术参数和功能描述；

—— 功能单位；

—— 系统边界；

—— 核算范围；

—— 生命周期清单分析；

—— 数据收集信息及说明；

—— 温室气体清单分析；

—— 数据取舍准则描述、数据分配等；

—— 产品碳足迹计算及结果分析；

—— 结论和不确定性说明；

—— 其他需要说明的情况。

10 产品碳足迹声明

如需声明时，应按照GB/T 24067-2024的规定开展产品碳足迹声明或信息交流，具有同样功能的产品之间可进行比较。

附 录 A
（资料性）
产品碳足迹量化数据收集表

本附录给出了变压器产品碳足迹核算数据收集表示例。所填写数据为平均到每台变压器的相应数据。

A.1 产品基本信息

表A.1为产品基本信息表。

表A.1 产品基本信息表

产品制造商	产品类型	产品型号
出厂序号	产品销售的主要地理区域	运输方式和运输工具
主要参数	描述	数据来源及填表说明
额定容量（kVA）		例：产品设计信息
额定电压（kV）		
额定频率（Hz）		
绝缘系统耐热等级		
负载损耗（W）		
空载损耗（W）		
短路阻抗（%）		
温升限值(K)		
冷却方式		
绝缘水平		
联结组标号		
使用条件		
总重量(kg)		

A.2 原材料获取阶段

表 A.2 为原材料获取阶段数据采集表示例。

表A.2 原材料获取阶段数据采集表

零（部）件	材料类型	重量（kg）		数据来源及填表说明
铁芯	硅钢片			例：产品设计图纸
	非晶合金			
线圈	铜导线			
	铝导线			

零（部）件	材料类型	重量（kg）		数据来源及填表说明
	铝箔			
	铜箔			
绝缘液（气）	矿物油			
	天然酯绝缘油			
	合成酯绝缘油			
	SF_6			
绝缘材料	环氧树脂			
	绝缘纸			
	绝缘纸板			
	层压木			
	玻璃纤维			
钢材	碳钢			
	不锈钢			
注：按照产品的装配关系进行分解，列出所有零（部）件的材料清单。				

A.3 生产制造阶段

生产制造阶段包括零部件加工、装配和试验，厂内物流四部分。

表 A.3-1 为生产制造数据采集表，对应计算公式为（3）（4）。

表A.3-1 生产制造数据采集表

过程	能源/资源消耗量						温室气体直接排放量	数据来源及填表说明
	电 kW·h	天然气 m^3	蒸汽 m^3	CO_2 kg	氧气 kg	氮气 kg		
零部件加工								
铁芯								
线圈								
油箱及夹件								
...								
装配								
器身装配								例：焊接用
总装配								

过程	能源/资源消耗量						温室气体直接排放量	数据来源及填表说明
	电 kW·h	天然气 m^3	蒸汽 m^3	CO_2 kg	氧气 kg	氮气 kg		
试验								
温升试验								
短路阻抗负载损耗测量								
空载损耗空载电流测量								
…								
厂内物流								
叉车								
吊车								
…								

表 A.3-2 为生产制造数据采集表（简），对应计算公式为（5）。

表 A.3-2 生产制造数据采集表（简易）

	数据	数据来源
生产消耗的电力用量		
生产消耗的燃料用量		
电力温室气体排放因子		
燃料温室气体排放因子		
外购件的碳排放量		
温室气体直接排放量		

A.4 安装调试、使用维护阶段

安装调试、使用维护阶段主要是获得产品的性能系数，进而计算产品此阶段的能耗。表 A.4 所示为变压器产品的安装调试、使用维护阶段数据采集表。

表A.4 变压器产品安装调试、使用维护阶段数据采集表

	数据	数据来源及填表说明
产品使用维护年消耗电量		

	数据	数据来源及填表说明
产品使用维护年消耗电量		
电力温室气体排放因子		
燃料温室气体排放因子		
设计使用寿命		
安装调试消耗的电力用量		
安装调试消耗的燃料用量		

A.5 回收与处置阶段

表 A.5 为回收与处置阶段数据采集表示例。

表A.5 回收与处置阶段数据采集表

材料类型	重量（kg）	回收率	再利用率	数据来源及填表说明
硅钢片		100%	100%	例：实测或行业平均水平
非晶合金		100%	100%	
铜导线		100%	98%	
铝导线		100%	98%	
铜箔		100%	98%	
铝箔		100%	98%	
导电排		100%	98%	
夹件		100%	98%	
底座		100%	98%	
外壳		100%	98%	
回收处置消耗的能源或燃料用量				
电力				
..				

A.6 运输阶段

表 A.6 为运输阶段数据采集表示例。

表A.6 运输阶段数据采集表

原材料的运输					
大类	类型	重量 （kg）	运输方式	运输距离（km）	数据来源及填表说明
铁心	硅钢片				例：物料采购合同
	非晶材料				
电磁线类	铜导线				
	铝导线				
	铜箔				
	铝箔				
绝 缘 液（气）	矿物油				
	天然酯绝缘油				

	合成酯绝缘油				
	SF_6				
绝缘材料	环氧树脂				
	绝缘纸				
	绝缘纸板				
	层压木				
	玻璃纤维				
	聚酯树脂层压板				
	其它材料				
钢材类	板材				
	型材				
有色金属类	板材				
	型材				
其他原材料	……				
外购件的运输					
大类	类型	重量 （kg）	运输方式	运输距离（km）	数据来源及填表说明
铁心	成品铁心				
绝缘材料	纸浆成型件				
	出线装置				
钢材类	成品油箱、夹件等				
电缆类	引线电缆				
	二次电缆				
套管类	套管				
	均压环				
	均压球				
	接线端子				
	金具				
分接开关类	分接开关				
	自动电压调整器				
冷却装置	冷却器				
	散热器				
	风机				
	油泵				
	油流继电器				
储油柜类	储油柜				
	储油柜胶囊				
	油位计				
	胶囊泄漏仪				
继电器类	气体继电器				
	速动油压继电器				
阀门类	球阀				
	蝶阀				
	截止阀				
	断流阀				
	闸阀				
	止回阀				
	压力释放阀				
测温装置	油面温度控制器				
	绕组温度控制器				
	电阻温度计				
	光纤测温装置				
二次箱体类	风冷控制柜				
	端子箱				
	电源箱				
	仪表箱				
	远控屏				

	三相汇控柜				
紧固件类	绝缘紧固件				
	金属紧固件				
密封垫类	密封垫				
	减震垫				
在线监测类设备	油中气体在线监测装置				
	变压器局放在线监测装置				
	套管局放在线监测装置				
	油中含水量监测				
	接地电流监测（铁心、夹件、油箱用）				
	单氢检测装置				
其他组件	电流互感器				
	吸湿器				
	包装箱				
	油漆				
	金属波纹管				
	支柱绝缘子				
	充氮灭火装置				
	避雷器				
	中性点保护装置				
	中性点接地电阻柜				
	智能组件柜				
	合并单元（变压器本体套管 CT）				
	智能终端（非电量保护 IED）				
	光纤配线架				
	数字化表计监测终端				
	……				

产品销售、报废、返修的运输		

附 录 B

（资料性）

产品碳足迹研究报告（模板）

产品碳足迹研究报告（模板）

产品名称：

产品规格型号：

生产者名称：_____ 报告编号：

出具报告机构：（若有）_____（盖章） 日期：

年___月___日

一、概况

1.生产者信息

生产者名称：_____

地　址：_____ 法定

代表人：_____ 授权人

（联系人）：_____ 联系电话：

企业概况：_____

2.产品信息

产品名称：_____

产品功能：_____

产品介绍：_____

产品图片：

3.量化方法

依据标准：

二、量化目的

_____

三、量化范围

1.功能单位或声明单位

以 _____ 为功能单位或声明单位。

2.系统边界

口原材料获取阶段 口生产阶段 口运输（交付）阶段 口使用阶段 口生命末期阶段

系统边界图：

3.取舍准则

采用的取舍准则以_____为依据，具体规则如下：

4.时间范围

_____年度。

四、清单分析

1.数据来源说明

初级数据：_____；
次级数据：_____；

2.分配原则与程序

分配依据：_____；分配
程序：_____；具体分配
情况如下：

3.清单结果及计算

生命周期各个阶段碳排放计算说明见表1。

表 B.1 _____生命周期碳排放清单说明

生命周期阶段		现场数据	排放因子	温室气体量（kg/功能单位或声明单位）
原材料获取				
生产				
运输（交付）	运输			
	仓储			
使用				
生命末期				

4.数据质量评价（可选项）

数据质量可从定性和定量两个方面对报告使用的初级数据和次级数据进行评价，具体评价内容包括：数据来源、完整性、数据代表性（时间、地理、技术）和准确性。

五、影响评价

1.影响类型和特征化因子选择

一般选择政府间气候变化专门委员会（IPCC）给出的 100 年全球变暖潜势（GWP）。

2.产品碳足迹结果计算

六、结果解释

1.结果说明

_____公司（填写产品生产者的全名）生产的_____（填写所评价的产品名称，每功能单位的产品），从___（填写某生命周期阶段）到____（填写某生命周期阶段）生命周期碳足迹为 $kgCO_2e$。各生命周期阶段的温室气体排放情况如表 B.2 和图 B.1 所。

表 B.2 _____生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳足迹（kg CO_2e/功能单位）	百分比（%）
原材料获取		
制造		
运输（交付）		
使用		
生命末期		
总计		

图 B.1 XX 各生命周期阶段碳排放分布图

注：具体产品生命周期阶段碳排放分布图一般以饼状图或是柱形图表示各生命周期阶段的碳排放情况。

2.假设和局限性说明（可选项）

结合量化情况，对范围、数据选择、情景设定等相关的假设和局限进行说明。

3.改进建议

附 录 C
（资料性）
GWP 参考值

部分全球增温潜势值（GHG）的 GWP 参考值见表 C。

表 C. 部分温室气体的全球变暖潜势

气体名称	化学分子式	100年的GWP(截至出版时)
二氧化碳	CO_2	1
六氟化硫	SF_6	25 200
注：部分GHG的GWP来源于气候变化专门委员会（IPCC）《气候变化报告2021：自然科学 基础 第一工作组对IPCC第六次评估报告的贡献》		

附　录　D
（资料性）
常用参数参考值

D.1 主要材料温室气体排放因子

主要材料的温室气体排放因子参考值见表 D.1。

表D.1 主要材料温室气体排放因子参考值

材料	单位	排放因子	出处
硅钢片	kg CO_2e/kg	3.8	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》
非晶合金	kg CO_2e/kg	3.07	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》
铜导线（漆包）	kg CO_2e/kg	0.79	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》
铜导线（纸包）		0.71	
铜箔	kg CO_2e/kg	0.98	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》
冷轧钢板	kg CO_2e/kg	2.2	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》
热轧钢板	kg CO_2e/kg	2.02	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》
矿物油	kg CO_2e/kg	1.74	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》
玻璃纤维	kg CO_2e/kg	3.84	ecoinvent 数据库
环氧树脂/浸渍漆	kg CO_2e/kg	8.25	RB/T 017-2019《低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器》

D.2 燃料燃烧温室气体排放因子

燃料燃烧温室气体排放因子参考值见表 D.2。

表D.2 燃料燃烧温室气体排放因子参考值

材料	单位	排放因子
原煤（平均）	kg CO_2e/kg	2. 1
原油	kg CO_2e/kg	3.35
汽油	kg CO_2e/kg	3.743911
煤油	kg CO_2e/kg	3.329548
柴油	kg CO_2e/kg	3.797

材料	单位	排放因子
燃料油	kg CO_2e/kg	5.25
煤焦油	kg CO_2e/kg	2.6446
液化石油气（LPG）	kg CO_2e/kg	5.11
液化天然气（LNG）	kg CO_2e/kg	2.61
天然气	kg CO_2e/Nm^3	0.07

D.3 电力、热力温室气体排放因子

电力、热力温室气体排放因子参考值见表 D.3。

表D.3 电力、热力温室气体排放因子参考值

名称	单位	排放因子
华北区域电网	kg CO_2e/kW·h	1.0052
东北区域电网	kg CO_2e/kW·h	0.9719
华东区域电网	kg CO_2e/kW·h	0.7065
华中区域电网	kg CO_2e/kW·h	0.5022
西北区域电网	kg CO_2e/kW·h	0.7735
南方区域电网	kg CO_2e/kW·h	0.4701
全国电网平均	kg CO_2e/kW·h	0.5703
热力	t CO_2e /GJ	0.1100

D.4 运输方式温室气体排放因子

运输方式温室气体排放因子参考值见表 D.4。

表D.4 各运输方式温室气体排放因子参考值

运输方式	单位	排放因子
汽油货车运输（2t）	kg CO_2e/（t·km）	0.334
汽油货车运输（8t）	kg CO_2e/（t·km）	0.115
汽油货车运输（10t）	kg CO_2e/（t·km）	0.104
汽油货车运输（18t）	kg CO_2e/（t·km）	0.104
柴油货车运输（2t）	kg CO_2e/（t·km）	0.286
柴油货车运输（8t）	kg CO_2e/（t·km）	0.179
柴油货车运输（10t）	kg CO_2e/（t·km）	0.162
柴油货车运输（18t）	kg CO_2e/（t·km）	0.129
柴油货车运输（30t）	kg CO_2e/（t·km）	0.078
柴油货车运输（46t）	kg CO_2e/（t·km）	0.057
电力机车运输	kg CO_2e/（t·km）	0.010
内燃机机车运输	kg CO_2e/（t·km）	0.011
铁路运输（平均）	kg CO_2e/（t·km）	0.010
液货船（2000t）运输	kg CO_2e/（t·km）	0.019
干散货船（2500t）运输	kg CO_2e/（t·km）	0.015
集装箱船运输	kg CO_2e/（t·km）	0.012

注：数据来源《GB/T51366-2019》