

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T XXXX—20XX

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求
变压器（征求意见稿）

Greenhouse gases—Quantification requirement and method for
carbon footprint of products—Transformer

（在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上）

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言 I

引 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 量化目的 4

5 量化范围 4

6 清单分析 8

7 影响评价 10

8 结果解释 18

9 产品碳足迹报告 18

10 产品碳足迹声明 18

附 录 A 19

附 录 B 22

附 录 C 30

附 录 D 31

参 考 文 献 35

图 1 变压器生命周期系统边界示意图 7

表 A.1 常用化石燃料相关参数的缺省值 19

表 A.2 电力、热力温室气体排放因子参考值 20

表 A.3 各运输方式温室气体排放因子参考值 20

表 A.4 无功经济当量 KQ 21

表 B.1 产品基本信息表 22

表 B.2 原材料获取阶段数据采集表 23

表 B.3-1 生产制造数据采集表 25

表 B.3-2 生产制造数据采集表（简） 25

表 B.4 变压器产品安装调试、使用运维阶段数据采集表 26

表 B.5 生命末期阶段数据采集表 26

表 B.6 运输阶段数据采集表 28

表 C.1 部分温室气体的全球变暖潜势 30

表 D.1 生命周期碳排放清单说明 33

表 D.2 生命周期各阶段碳排放情况 34

前 言

本文件按照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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由工业和信息化部机械工业节能技术装备行业标准化工作组提出并归口。

本文件起草单位：机械工业技术发展基金会、沈阳变压器研究院有限公司、中国电力企业联合会、中国南方电网有限责任公司、国家电网有限公司信息通信中心、中国电力科学研究院有限公司、广东明阳电气股份有限公司、国网新疆电力有限公司、特变电工（天津）智慧能源管理有限公司、正泰电气股份有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、山东电力设备有限公司、南方电网电碳服务有限责任公司、国网山西省电力有限公司、中国电力企业联合会科技服务中心有限责任公司、山东电工电气集团数字科技有限公司、山东电工电气集团智能电气有限公司、国网山西省电力公司经济技术研究院、国际铜业协会、西安西电变压器有限责任公司、河北高晶电器设备有限公司、广东电网公司、中国标准化研究院、伊戈尔电气股份有限公司、青岛云路先进材料技术有限公司、保定天威集团特变电气有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、上海置信电气非晶有限公司、许昌智能继电器股份有限公司、江苏宏源电气有限责任公司、上海魏德曼电力绝缘材料有限公司、山东鲁能泰山电力设备有限公司、顺特电气设备有限公司、钛和认证(上海)有限公司、湖南华夏特变股份有限公司、成都双星变压器有限公司、常州太平洋变压器有限公司、南阳市鑫特电气有限公司、温州精密互感器制造公司、江苏森蓝智能系统有限公司、浙江临高电气实业有限公司。

本文件主要起草人：侯睿、刘杰、潘荔、喇元、刘苗、王哲、李淑珍、郭献清、马宏涛、郭平亮、祝志祥、高萌、谈翀、杨珏、王婧、郭伟东、鄯双源、王坤、张宏建、张凌宇、张明伟、张阳超、孙文星、刘韧、吴豫辉、王静、姜泽吉、张亚杰、赵五洲、李松峰、霍建彬、张志键、鲁大锋、耿健、高焕成、卓然、周广宇、柏青、王增超、李拓、代雨、张绪申、夏湘滨、孙日明、钟志刚、董智、胡业华、李新丽、黄光营、陈新勇、蒋克泓、郑坚勇。

本文件为首次发布。

引 言

变压器是输配电系统的基础设备，广泛应用于工业、农业、交通和城市社区等领域。变压器作为电气装备制造业重要部分，进行产品碳足迹评价，可以了解产品整个生命周期过程中的排放源，同时也为同类产品的环境绩效和环境成本提供依据，有利于制造企业进行低碳产品设计和制造，有利于用户选购低碳产品，对推动变压器产业链低碳发展非常必要。加快变压器产品的碳足迹评价，可进一步增强企业的绿色竞争力。

碳足迹的评价对碳减排有着重要的指导意义。对于企业而言，确定碳足迹是减少碳排放行为的第一步，它能帮助企业辨识自己在产品生命周期中主要的温室气体排放过程，以利于制定有效的碳减排方案。而在方案制定过程中，根据碳足迹的分析结果，还可以预测拟采用的减排措施会对目前的温室气体排放情况的影响，从而实现对不同拟减排措施的择优与改进。

本文件结合变压器的产品特点，明确了变压器生命周期系统边界示意图，界定了产品碳足迹核算的系统边界，列出了数据收集清单和每个阶段的量化公式及具体碳排放因子。

本文件既可引导下游绿色采购决策，又能通过碳效对标提升产品国际竞争力，为变压器产品参与全球低碳贸易奠定基础。

本文件中所列出的各项参数指标和量化方法，可指导变压器的碳足迹量化等相关工作，对助力国家双碳目标的实现，具有积极意义。

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 变压器

1 范围

本文件给出了变压器产品碳足迹评价的量化目的，界定了量化范围，规定了清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告和产品碳足迹声明。

本文件适用于 10kV 级及以上变压器类产品碳足迹的量化活动。

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，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 电力变压器 第 1 部分：总则

GB/T 1094.6 电力变压器 第 6 部分：电抗器

GB/T 1094.11 电力变压器 第 11 部分：干式变压器

GB/T 1094.15 电力变压器 第 15 部分：充气式电力变压器

GB/T 2589—2020 综合能耗计算通则

GB/T 2900.95 电工术语 变压器、调压器和电抗器

GB/T 17468—2019 电力变压器选用导则

GB/T 24040 环境管理 生命周期评价 原则与框架

GB/T 24044 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 32150—2025 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、GB/T 1094.6、GB/T 1094.11、GB/T 1094.15、GB/T 20840.1、GB/T 2900.95、GB/T 24040、GB/T 24044、GB/T 24067、GB/T 32150、GB/T 40093 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变压器 transformer

传输电能而不改变其交流电源频率的静止的电能量转换器。

注：变压器类产品通常包括变压器、电抗器和互感器。

[来源：GB/T 2900.95—2015，3.1.1，有修改]

3.2

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：温室气体通常包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化合物（HFCs）、全氟碳化合物（PFCs）、六氟化硫（SF₆）和三氟化氮（NF₃）等。

[来源：GB/T 24067—2024，3.2.1]

3.3

产品碳足迹 carbon footprint of a product; CFP

产品系统中的温室气体排放量和温室气体清除量之和，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]

3.4

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产品碳足迹量化排放量和产品碳足迹量化清除量之和，并以二氧化碳当量表示。

[来源：GB/T 24067—2024，3.1.2]

3.5

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]

3.6

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent; CO₂e

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

活动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室气体清除量。

[来源：GB/T 24067—2024，3.6.2]

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，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

本文件基于产品生命周期评价方法，量化变压器全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：

- a) 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；
- b) 变压器采购方/用户通过分析比较同类产品全生命周期温室气体排放量，可选择温室气体排放量更低的变压器产品，实现绿色低碳发展；
- c) 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

本文件所指变压器类产品按照电压等级和绝缘类型进行划分，包括液浸式、干式、充气式等。

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) 出厂序列号；
- d) 空载损耗；
- e) 负载损耗；
- f) 效率；
- g) 额定容量；
- h) 额定频率；
- i) 额定电压；
- j) 联结组标号；
- k) 使用条件（户内、户外和海拔等）；
- l) 冷却方式；
- m) 设计使用寿命；
- n) 短路阻抗；
- o) 绝缘水平；
- p) 绝缘液（气）的种类和质量；
- q) 温升限值；
- r) 总质量；
- s) 销售的主要地理区域；
- t) 运输方式和运输工具。

5.3 功能单位、声明单位

5.3.1 功能单位

指定电压等级和容量，适用于某种场景（绝缘类型、结构等）下，在设计使用寿命内实现电能传输、电压变换或电流变换的能力作为变压器类产品的功能单位，一般以容量(kVA或kvar)、输出电能(kW·h)、输出电流(A)或电感(mH)计。

示例1：1台额定电压为0.4/10kV、额定容量为1250kVA的液浸式配电立体卷铁心变压器，在其设计使用寿命20年内用于实现电能传输或变换，理论输出电能为(*) kW·h，其完整产品全生命周期碳足迹量化结果为(*) kgCO₂e/kW·h。

示例2：1台额定电压为35kV液浸倒立式电流互感器，在其设计使用寿命20年内用于按变比实现电流的变换，理论输出电流为(*) A，其完整产品全生命周期碳足迹量化结果为(*) kgCO₂e/A。

示例3：1台额定电压为35kV的干式空心并联电抗器，在其设计使用寿命30年内，理论为电力系统提供的电感值为(*) mH，每提供1mH电感值的碳足迹量化结果为(*) kgCO₂e/mH。

注：按照GB/T 17468—2019中第9章规定，在外部冷却空气为20℃，变压器以额定电流持续运行，以某种温度等级

的绝缘材料发生热老化而损坏时，规定配电变压器的寿命一般为20年，而电力变压器的寿命一般为30年；若变压器的寿命非本文件的规定数值，应在报告中特殊说明；当用于对比分析时，可根据具体项目周期、运行年限要求折算到指定时间跨度的温室气体排放量进行比较。

5.3.2 声明单位

指定电压等级和容量下，适用于某种场景（绝缘类型、结构等）的某种变压器类产品作为变压器产品的声明单位，一般以产品数量（台）计。

示例1：1台额定电压为0.4/10kV、额定容量为1250kVA的液浸式配电立体卷铁心变压器，其产品部分生命周期碳足迹量化结果为（*）kgCO₂e/台。

示例2：1台额定电压为35kV液浸倒立式电流互感器，其产品部分生命周期碳足迹量化结果为（*）kgCO₂e/台。

示例3：1台额定电压为35kV的干式空心并联电抗器，其生命周期“从摇篮到大门”碳足迹量化结果为（*）kgCO₂e/台。

注1：当变压器产品的功能或使用场景不明确时，应采用声明单位替代功能单位。

注2：使用声明单位作为用来量化变压器产品部分碳足迹的基准单位时，应明确产品系统边界。

5.3.3 产品信息

与功能单位或声明单位相关的产品信息描述，应包括以下内容并确保能够明确识别：

- a) 产品名称及其型号；
- b) 主要技术性能参数，包括但不限于额定电压、额定容量和冷却方式等；
- c) 产品的制造商及出厂序号。

5.4 系统边界

5.4.1 概述

5.4.1.1 本文件中界定的产品碳足迹核算的系统边界包括如下阶段：

- a) 原材料获取阶段（铁芯、线圈和钢材等主要材料）；
- b) 生产制造阶段（包括零部件生产和装配过程）；
- c) 安装调试、使用运维阶段；
- d) 生命末期阶段；
- e) 运输阶段。

5.4.1.2 变压器全生命周期系统边界（从“摇篮”到“坟墓”）见图1，其中虚线为产品部分碳足迹的系统边界（以从“摇篮”到“大门”为例）。

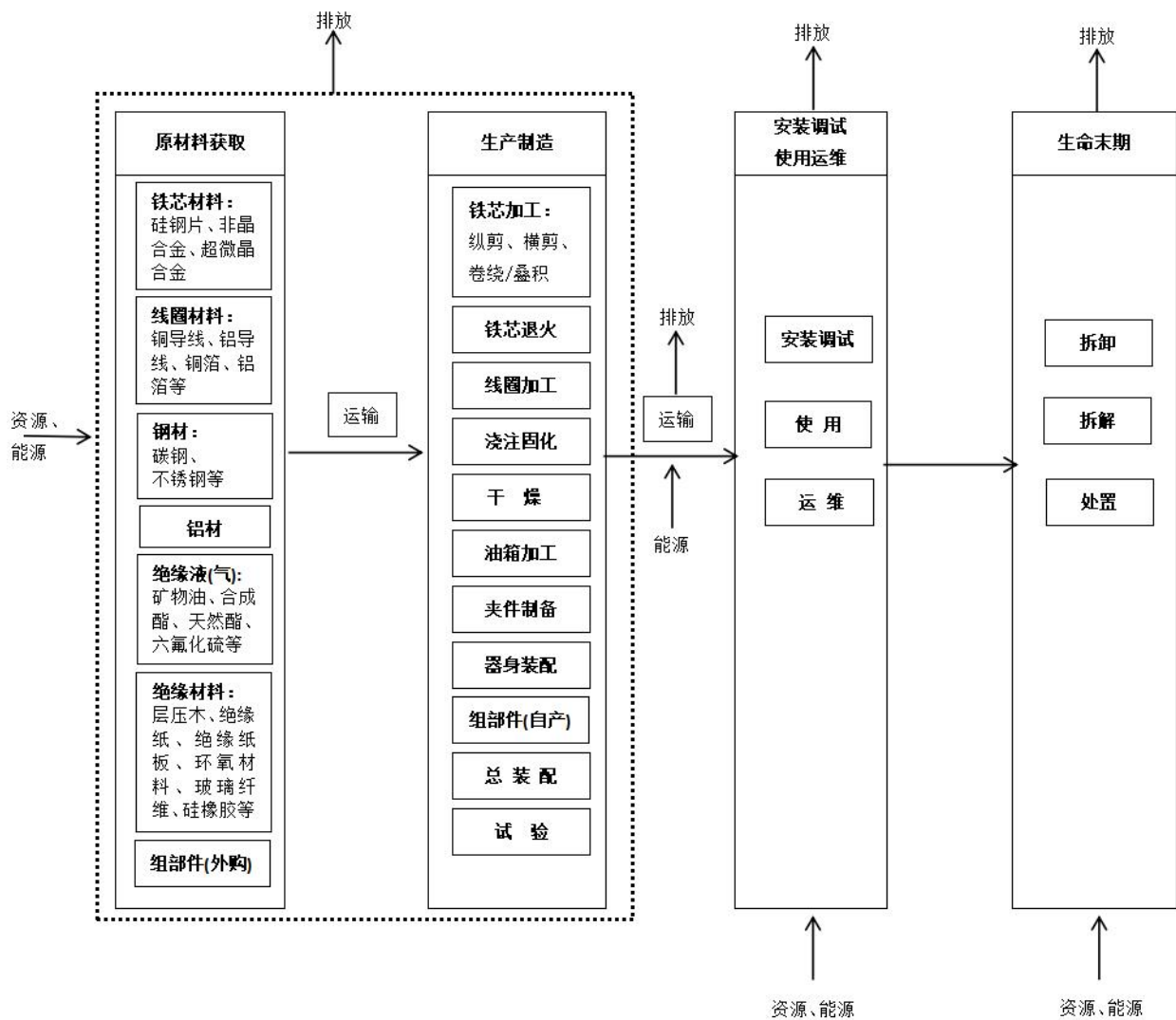


图1 变压器生命周期系统边界示意图

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，超微晶合金；
 - 2) 线圈材料：铜导线（排）、铝导线、铜箔和铝箔等；
 - 3) 钢材：碳钢、不锈钢等；
 - 4) 铝材：铸铝、铝合金等；
 - 5) 绝缘液（气）：矿物油、合成酯、天然酯和六氟化硫等；
 - 6) 绝缘材料：层压木、绝缘纸、绝缘纸板、环氧材料和玻璃纤维、硅橡胶等；

7) 自产组/零部件原材料的碳排放;

8) 半导体材料: 半导体皱纹纸, 半导体漆。

d) 外购组/零部件的碳排放。组/零部件包括套管、分接开关、仪表类、控制柜、储油柜、冷却器、散热器、油箱和夹件、瓷套, 复合绝缘子和盆式绝缘子等。

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)、浸漆、线圈加工、浇注固化/干燥、油箱加工、夹件制备、器身装配、总装配和试验等过程, 涉及资源(水等)、能源(电能、蒸汽、燃气和燃油等)投入的碳排放以及温室气体的直接排放;
- b) 自产组/零部件(套管、分接开关、仪表类、控制柜、储油柜、冷却器、散热器、油箱和夹件等)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。

5.4.4 安装调试、使用运维阶段

安装调试、使用运维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) 变压器产品使用过程中功率损耗产生的碳排放;
- c) 变压器产品运维、检修过程中的材料损耗或能源消耗等产生的碳排放。

5.4.5 生命末期阶段

产品生命末期阶段的碳排放应包括以下内容:

- a) 产品报废后拆卸过程中的碳排放;
- b) 产品拆卸后, 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;
- c) 产品拆解过程中的碳排放;
- d) 产品拆解后的材料到回收处置场所过程中运输工具带来的碳排放;
- e) 分类回收处置过程中的碳排放, 包括:
 - ①可回收材料的回收处理, 包括铁芯、线圈、绝缘液、金属材料、绝缘气体、固体绝缘材料(含工程塑料)及其他可回收的组部件;
 - ②不可回收材料的处置。

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、外购件运输到生产制造现场运输工具带来的碳排放;
- b) 产品销售从生产制造企业到使用场所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。

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)注:材料厂家的出厂因子	优先采用国家、行业或第三方权威机构发布的数据
	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;也可根据设计图样、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料取得(见表B.2)
	3) 外购组/零部件碳排放量	宜使用供应商/零部件厂家提供数据
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) 电力碳足迹因子; 5) 自产组/零部件的碳排放量; 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/功能单位的量;也可根据设计图样、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(见表B.3-1或表B.3-2)
安装调试 使用运维阶段	1) 安装调试消耗的电力用量 2) 年平均负载率 3) 核算周期内的运行小时数 4) 寿命周期内更换的零部件/材料清单及质量 5) 检修车辆消耗的燃油量或充电量	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
	6) 额定容量 7) 空载损耗 8) 额定负载损耗 9) 空载电流百分比 10) 短路阻抗百分比 11) 负荷波动损耗系数 12) 无功经济当量 13) 电力碳足迹因子	宜使用生产厂家提供数据(见表B.1);也可使用次级数据(见附录A)
生命末期阶段	1) 电力碳足迹因子 2) 燃料的温室气体排放因子 3) 各运输方式的温室气体排放因子	优先采用国家、行业或第三方权威机构发布的数据(见附录A)
	4) 报废变压器拆卸过程消耗的电力、燃料用量 5) 拆解过程消耗的电力、燃料用量 6) 回收处置过程中消耗的电力、燃料用量 7) 各类废料的运输距离 8) 各类废料的材料质量	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;也可根据设计图样、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料取得(见表B.5)
	9) 回收率 10) 再生利用率	宜按照国家法律法规规定和国家评价水平数据确定(见表B.5)
运输阶段	1) 各运输方式的温室气体排放因子	优先采用国家、行业或第三方权威机构发布的数据(见附录A)

	2) 产品总质量; 3) 关键原材料、外购组/零部件质量; 4) 各阶段运输距离;	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;也可根据设计图样、物料清单等产品设计、工艺相关技术资料取得(见表B.6)
--	---	--

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。

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,宜以能反映它们之间潜在物理关系的方式,将系统的输入和输出数据划分到不同产品或功能中;
- c) 无法找到物理关系时,则依据经济价值进行分配;
- d) 某些分配程序适用于再利用和回收。在应用的开环产品系统中首次使用原生材料时,开环分配程序适用于材料被回收到其他产品系统且其固有属性发生改变的开环产品系统,参照GB/T 24067-2024附录D;
- 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%。

对于小于产品重量1%的外购组/零部件,当上游供应商未提供碳足迹结果时,可忽略该物料的上游生产制造阶段的排放数据,总共舍弃的物料重量不超过产品重量的5%。

7 影响评价

7.1 评价内容

产品碳足迹影响评价(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),选择气候变化环境影响类型;
- b) 参考GB/T 24067—2024中6.5.1,应通过排放或清除的GHG的质量乘以IPCC给出的100年GWP来计算产品系统每种GHG排放和清除的潜在气候变化影响,单位为kgCO₂e/(kg排放量),见表C.1。

7.2 碳足迹计算方法

按声明单位表述时，变压器产品碳足迹按公式（1）计算；按功能单位表述时，变压器产品碳足迹按公式（2）计算。

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

$$CFP_{fun} = \frac{E_M + E_P + E_U + E_T + E_R}{Q} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

CFP_{dec} ——变压器声明单位碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每台（ $kgCO_2e$ ）。

CFP_{fun} ——变压器功能单位碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每千伏安或每千瓦时等。

Q ——变压器在指定电压等级和容量下、在设计使用寿命内实现电能传输或电能变换或电流变换的能力的容量(kVA或kvar)或输出电能（ $kW \cdot h$ ）或输出电流(A)等。

注：变压器碳足迹核算是按每台进行数据分配，需要将其按功能量进行转换。

7.3 原材料获取阶段

产品原材料获取阶段碳排放量应按公式（3）计算：

$$E_M = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot EF_{C,i}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

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（ $kgCO_2e$ ）；

m_i ——产品第*i*种原材料的用量，单位为千克（ kg ）；

$EF_{C,i}$ ——产品第*i*种原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（ $kgCO_2e/kg$ ）；

n ——产品的原材料种类数。

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；采用次级数据，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，见附录A。

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公式（4）计算：

$$E_P = \sum_{i=1}^n E_{PC,i} \quad \dots\dots\dots (4)$$

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（ $kgCO_2e$ ）；

$E_{PC,i}$ ——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（ $kgCO_2e$ ）；

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公式（5）计算：

$$E_{PC,i} = \sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^l (m_{i,q} \cdot EF_{C,q} \cdot GWP_j) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$m_{i,q}$ ——第*i*个零（部）件第

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 、 $kW \cdot h$ 或 m^3 ）；

$EF_{C,q}$ ——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（ $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ 、 $\text{kgCO}_2\text{e/kW}\cdot\text{h}$ 或 $\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ ）；

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_j ——温室气体 j 的 GWP 值，按照 GB/T 24067—2024 中 6.5.1 的规定进行取值，参考值见表 C.1。

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，见附录 A。

注 2：过程中电力碳足迹因子采用生态环境部最新发布的数据。

注 3：公式 (5) 中的上游因子为“质量基（ kg-GHG/kg ）”，仅对直接非 CO_2 排放（ SF_6 、 CH_4 、 N_2O ）乘 GWP。

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 (6)，可替代公式 (4) 和公式 (5)。

变压器生产制造阶段各类能源消耗量产生的碳排放总量，计算见公式 (6)：

$$E_P = \sum_{k=1}^n E_{k\text{燃料}} + E_e + E_{mc} + E_d \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$E_{k\text{燃料}}$ ——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 ），见公式 (7)；

E_e ——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 ），见公式 (8)；

E_{mc} ——自产组/零部件生产过程产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ），见公式 (9)；

E_d ——温室气体的直接排放（焊接等工艺）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 见附录 C。

k ——燃料的种类；

n ——燃料的种类数。

核算单种燃料燃烧产生的碳排放量， $E_{k\text{燃料}}$ 燃料见公式 (7)：

$$E_{k\text{燃料}} = FC_{k\text{燃料}} \times NCV_{ar,i} \times CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$FC_{k\text{燃料}}$ ——核算和报告年度内第 i 种化石燃料消耗量，对固体或液体化石燃料，单位为吨(t)；对气体化石燃料，以万立方米(10m^3)计；

NCV_k ——核算和报告年度内化石燃料的平均低位发热量；对固体或液体化石燃料，以吉焦每吨 (GJ/t) 计；对气体化石燃料，以吉焦每万立方米 ($\text{GJ}/10^4\text{m}^3$) 计；

CC_k ——燃料的单位热值含碳量，以吨碳每吉焦(tC/GJ)计；

OF_k ——燃料的碳氧化率，%；

$\frac{44}{12}$ ——二氧化碳与碳的相对分子质量之比；

i ——化石燃料类型代号。

核算电力用于生产过程产生的碳排放量 E_e 见公式(8)：

$$E_e = AD_e \times EF_e \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

AD_e ——电力消耗现场数据（消耗的总电量），单位为千瓦时(kW·h)；

EF_e ——电力碳足迹因子，单位为千克二氧化碳每千瓦时(kgCO₂e/kW·h)。

自产组/零部件生产过程产生的碳排放量 E_{mc} 见公式(9)：

$$E_{mc} = \sum_{i=1}^n E_{C,i} = \sum_{i=1}^n (m_{C,i} \cdot EF_{C,i}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$m_{C,i}$ ——自产组/零部件第*i*种零部件质量，单位为千克(kg)；

$EF_{C,i}$ ——自产组/零部件第*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(kgCO₂e/kg)；

n ——自产组/零部件种类数；

$E_{C,i}$ ——自产组/零部件第*i*种零部件的碳排放量。

7.5 安装调试、使用运维阶段

7.5.1 产品安装调试、使用运维阶段碳排放量，按公式(10)计算：

$$E_U = E_{inst} + E_{op} + E_{mt} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

E_U ——安装调试、使用运维的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

E_{inst} ——安装调试过程中产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

E_{op} ——产品使用过程中功率损耗产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

E_{mt} ——产品运维、检修过程中产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)。

7.5.2 产品安装调试过程中产生的碳排放量 E_{inst} ，按公式(11)计算：

$$E_{inst} = AD_e \times EF_e \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

AD_e ——安装调试过程中的用电量，单位为千瓦时(kW·h)；

EF_e ——电力碳足迹因子，单位为千克二氧化碳每千瓦时(kgCO₂e/kW·h)。

7.5.3 产品使用过程中功率损耗产生的碳排放量 E_{op} ，按公式(12)计算：

$$E_{op} = \Delta P_z \times T \times EF_e \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

ΔP_z ——产品运行过程中的总损耗，单位为千瓦（kW）；

T ——全生命周期产品运行时间，单位为小时（h）；

EF_e ——电力碳足迹因子，单位为千克二氧化碳每千瓦时（kgCO₂e/kW·h）。

注：变压器全生命周期运行时间取产品寿命时间：配电变压器可取20年，电力变压器可取30年（GB/T 17468—2019）

产品运行过程总损耗 ΔP_z ，按公式（13）计算：

$$\Delta P_z = \Delta P + K_Q \times \Delta Q \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

ΔP ——产品的有功功率损耗，单位为千瓦（kW）；

K_Q ——无功经济当量，单位为千瓦每千乏（kW/kvar）；

ΔQ ——产品的无功功率损耗，单位为千乏（kvar）。

注：无功经济当量参考值见表A.4

产品的有功损耗 ΔP ，按公式（14）计算：

$$\Delta P = P_0 + K_T \times \beta^2 \times P_k \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

P_0 ——产品的空载损耗，单位为千瓦（kW）；

K_T ——负载波动损耗系数；

β ——产品的年平均负载率，无量纲；

P_k ——产品额定负载损耗，单位为千瓦（kW）。

注： K_T 取值范围：1.05~1.15；一般工业/城市电网、负荷波动不大时： $K_T=1.05$ ；负荷波动较大时：可取 1.10~1.15；产品年平均负载率以实际负载率为准，无实测负荷数据时，农用变压器可取 20%，三班制连续工业变压器可取 75%（GB/T 40093-2021）。

产品的无功损耗 ΔQ ，按公式（15）计算：

$$\Delta Q = Q_0 + K_T \times \beta^2 \times Q_k \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

Q_0 ——产品的空载无功损耗，单位为千乏（kvar）；

Q_k ——产品额定负载漏磁功率，单位为千乏（kvar）。

产品的空载无功损耗 Q_0 ，按公式（16）计算：

$$Q_0 = I_0 \times S_N \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

I_0 ——产品的空载电流百分比，用百分数%表示；

S_N ——产品的额定容量，单位为千伏安（kVA）。

产品的产品额定负载漏磁功率 Q_k ，按公式（17）计算

$$Q_K = U_K \times S_N \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

U_K ——短路阻抗百分比，用百分数%表示。

注：公式（16）、公式（17）中 I_0 、 U_K ，以小数（标么值）代入。

7.5.4 产品日常运维检修产生的碳排放量 E_{mt} ，按公式（18）计算：

$$E_{mt} = E_{mat} + E_{mv} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

E_{mat} ——产品运维检修过程中替换材料或组件等产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ），按公式（3）计算；

E_{mv} ——运维检修车辆消耗能源产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）。

运维检修车辆消耗能源产生的碳排放量 E_{mv} ，按公式（19）计算：

$$E_{inst} = \sum AD_i \times EF_i \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中：

AD_i ——产品运维检修车辆能源消耗总量（包括燃油和电），单位为千克（ kg ）/千瓦时（ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ）；

EF_i ——产品运维检修车辆消耗能源种类对应的碳排放因子，单位为千克二氧化碳每千克（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ）/千克二氧化碳每千瓦时（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ）。

7.6 生命末期阶段

产品生命末期阶段碳排放量应按公式（20）计算：

$$E_R = E_{dis} + \sum_{i=1}^n (-m_i \cdot EF_{C,i} \cdot \varphi_{r,i} \cdot A_{r,i} + m_i \cdot \varphi_{r,i} \cdot A_{r,i} \cdot EF_{R,i} + m_i \cdot (1 - \varphi_{r,i} \cdot A_{r,i}) \cdot EF_{D,i}) + \sum_{e=1}^f (m_{j,e} \cdot EF_{C,e}) \cdot GWP_j + E_{T,R} + E_{T,M,R} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

E_R ——生命末期阶段的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

E_{dis} ——产品拆卸和拆解过程中的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$E_{T,R}$ ——产品拆卸后从使用场所运输到拆解场地的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$E_{T,M,R}$ ——产品拆解产出的材料可回收部分与不可回收部分运输至回收处置场所的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）。

m_i ——产品第*i*种材料的用量，单位为千克（ kg ）；

$EF_{C,i}$ ——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（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ）；

$EF_{R,i}$ ——产品第*i*种材料可回收部分再生处理的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ）；

$EF_{D,i}$ ——产品第*i*种材料不可回收部分废弃处置的温室气体排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（ $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ）；

$\varphi_{r,i}$ ——产品第*i*种材料回收率；

$A_{r,i}$ ——产品第*i*种材料再生利用率；

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m³）；

$EF_{C,e}$ ——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（kgCO₂e/kg、kgCO₂e/kW·h或kgCO₂e/m³）；

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_j ——温室气体*j*的GWP值，按照GB/T 24067—2024中6.5.1的规定进行取值，参考值见表C.1。

注 1：材料的温室气体排放因子数据优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，见附录A。

注 2：材料回收率优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，见附录A。

注 3：产品的材料生产时若采用再生原料，该部分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再生原料，则分配系数*A*取0。

注 4：公式(20)中的上游因子为“质量基（kg-GHG/kg）”，仅对直接非CO₂排放（SF₆、CH₄、N₂O）乘GWP。

7.6.1 产品拆卸和拆解过程中产生的碳排放量 E_{dis} ，按公式（21）计算：

$$E_{dis} = AD_e \times EF_e + \sum_{k=1}^n E_{k\text{燃料}} \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中：

AD_e ——拆卸和拆解过程中的用电量，单位为千瓦时（kW·h）；

EF_e ——电力碳足迹因子，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时（kgCO₂e/kW·h）；

$E_{k\text{燃料}}$ ——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（kgCO₂e），见公式（7）。

7.6.2 产品拆卸后从使用场所运输到拆解场地的碳排放应按公式（22）计算：

$$E_{T,R} = M \cdot D_R \cdot EF_{T,R} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

M ——产品的总质量，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）；

$EF_{T,R}$ ——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[kgCO₂e/（t·km）]。

注 1：运输方式的温室气体排放因子数据优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，见附录A。

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。

7.6.3 产品拆解后各材料从拆解场地运输到处置现场的碳排放量应按公式(23)计算:

$$E_{T,M,R} = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot D_i \cdot EF_{T,i}) \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

m_i ——产品报废拆解后第*i*类材料的量,单位为吨(t);

D_i ——产品报废拆解后第*i*类材料的运输距离,单位为千米(km);

$EF_{T,i}$ ——产品报废拆解后第*i*类材料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[kgCO₂e/(t·km)];

n ——计入产品报废拆解后的材料数量。

7.7 运输阶段

7.7.1 产品运输阶段碳排放量应按公式(24)计算:

$$E_T = E_{T,M} + E_{T,U} \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

E_T ——运输阶段的碳排放量,单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e);

$E_{T,M}$ ——产品原材料、外购组/零部件运输到生产现场的碳排放量,单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e);

$E_{T,U}$ ——产品从制造商运输到使用场所的碳排放量,单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e);

7.7.2 产品原材料、外购组/零部件运输到生产现场的碳排放量应按公式(25)计算:

$$E_{T,M} = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot D_i \cdot EF_{T,i}) \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

m_i ——产品第*i*类原材料、外购组/零部件的消耗量,单位为吨(t);

D_i ——产品第*i*类原材料、外购组/零部件的运输距离,单位为千米(km);

$EF_{T,i}$ ——产品第*i*类原材料、外购组/零部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[kgCO₂e/(t·km)];

n ——计入产品的原材料、外购组/零部件数量。

注1:运输方式的温室气体排放因子数据优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据,当无相关数据发布时,见附录A。

注2:若产品采购的原材料、外购组/零部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。

7.7.3 产品从制造商运输到使用场所的碳排放应按公式(26)计算:

$$E_{T,U} = M \cdot D_U \cdot EF_{T,U} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

M ——产品的总质量,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);

$EF_{T,U}$ ——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 $[\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t}\cdot\text{km})]$ 。

注 1：运输方式的温室气体排放因子数据优先选取国家、行业或第三方机构发布的数据，当无相关数据发布时，见附录 A。

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 500 km。

8 结果解释

结果解释应包括但不限于以下内容：

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：重大问题通常是生命周期阶段、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，对重要输入、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（见附录D）应包括但不限于以下内容：

a) 产品制造单位与评价方信息；

b) 产品技术参数和功能描述；

c) 功能单位；

d) 系统边界；

e) 核算范围；

f) 生命周期清单分析；

g) 数据收集信息及说明；

h) 温室气体清单分析；

i) 数据取舍准则描述、数据分配等；

j) 产品碳足迹计算及结果分析；

k) 结论和不确定性说明；

l) 其他需要说明的情况。

10 产品碳足迹声明

如需声明时，按照 GB/T 24067 的规定进行，相关声明可用于具有相同功能的不同产品之间的比较。

附 录 A
(资料性)
常用参数参考值

A.1 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A.1。

表A.1 常用化石燃料相关参数的缺省值

燃料品种		计量单位	低位发热量 GJ/t 或 GJ/10 ⁴ Nm ³	单位热值含碳量 10 ⁻³ tC/GJ	燃料碳氧化率 %
固体燃料	无烟煤	t	26.7 ^a	27.4 ^b	94 ^b
	烟煤	t	19.570 ^c	26.1 ^b	93 ^b
	褐煤	t	11.9 ^a	28 ^b	96 ^b
	洗精煤	t	26.334 ^d	25.41 ^b	90 ^c
	其他洗煤	t	12.545 ^d	25.41 ^b	90 ^c
	型煤	t	17.460 ^c	33.6 ^b	90 ^b
	其他煤制品	t	17.460 ^c	33.6 ^b	98 ^b
	焦炭	t	28.435 ^d	29.5 ^b	93 ^b
	石油焦	t	32.5 ^a	27.50 ^b	98 ^b
液体燃料	原油	t	41.816 ^d	20.1 ^b	98 ^b
	燃料油	t	41.816 ^d	21.1 ^b	98 ^b
	汽油	t	43.070 ^d	18.9 ^b	98 ^b
	柴油	t	42.652 ^d	20.2 ^b	98 ^b
	一般煤油	t	43.070 ^d	19.6 ^b	98 ^b
	液化天然气	t	51.498 ^c	15.3 ^b	98 ^b
	液化石油气	t	50.179 ^d	17.2 ^b	98 ^b
	石脑油	t	44.5 ^a	20.0 ^b	98 ^b
	焦油	t	33.453 ^d	22.0 ^d	98 ^b
	粗苯	t	41.816 ^d	22.7 ^c	98 ^b
	其他石油制	t	41.031 ^c	20.0 ^b	98 ^b

气体燃料	天然气	10 ⁴ Nm ³	389.31 ^d	15.3 ^b	99 ^b
	高炉煤气	10 ⁴ Nm ³	33.00 ^c	70.80 ^d	99 ^b
	转炉煤气	10 ⁴ Nm ³	84.00 ^c	49.60 ^c	99 ^b
	焦炉煤气	10 ⁴ Nm ³	179.81 ^d	13.58 ^b	99 ^b
	炼厂干气	t	45.998 ^d	18.2 ^b	99 ^b
	其他煤气	10 ⁴ Nm ³	52.270 ^d	12.2 ^b	99 ^b
^a 数据取值来源为《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》及 2019 修订版。 ^b 数据取值来源为《省级温室气体清单指南(试行)》。 ^c 数据取值来源为《2005 中国温室气体清单研究》。 ^d 数据取值来源为《中国能源统计年鉴 2021》。 ^e 数据取值来源为 GB/T 2589—2020。					

A.2 热力温室气体排放因子

热力温室气体排放因子参考值见表A.2。

表A.2 热力温室气体排放因子参考值

名称	单位	排放因子
热力	tCO ₂ e/GJ	0.110 0
注：热力数据来源于GB/T 32150-2025。		

A.3 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A.3。

表A.3 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（2 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.334
汽油货车运输（8 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.115
汽油货车运输（10 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.104
汽油货车运输（18 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.104
柴油货车运输（2 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.286
柴油货车运输（8 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.179
柴油货车运输（10 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.162
柴油货车运输（18 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.129
柴油货车运输（30 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.078

柴油货车运输（46 t）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.057
电力机车运输	kgCO ₂ e/（t·km）	0.010
内燃机车运输	kgCO ₂ e/（t·km）	0.011
铁路运输（平均）	kgCO ₂ e/（t·km）	0.010
液货船（2 000 t）运输	kgCO ₂ e/（t·km）	0.019
干散货船（2 500 t）运输	kgCO ₂ e/（t·km）	0.015
集装箱船运输	kgCO ₂ e/（t·km）	0.012
注：数据来源于 GB/T 51366—2019。		

A.4 无功经济当量

无功经济当量参考值见表A.4。

表A.4 无功经济当量 K_Q

变压器受点位置	K_Q
发电厂母线直配	0.04
二次变压	0.07
三次变压	0.10
当功率因数已补偿到0.9及以上	0.04
注：发电厂母线直配指系统的一次变电所及发电厂的直配用户；二次变压指系统的二次变电所；三次变压指配电变压器；当功率因数已补偿到0.9及以上时指变压器全年受入端功率因数。	

附 录 B
(资料性)
产品碳足迹量化数据收集表

B.1 概述

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功能单位/声明单位的相应数据。

B.2 产品基本信息

表B.1为产品基本信息表。

表B.1 产品基本信息表

产品名称	产品型号	出厂序列号
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
空载损耗 kW		例：产品设计信息
负载损耗 kW		
额定容量 kVA		
额定电压 kV		
额定频率 Hz		
效率 %		
设计使用寿命		
联结组标号		
使用条件		
冷却方式		
短路阻抗 %		
绝缘水平		
绝缘液（气）的种类和质量		
温升限值 K		
总质量 kg		

B.3 原材料获取阶段

表B.2为原材料获取阶段数据采集表示例。

表B.2 原材料获取阶段数据采集表

零（部）件	材料类型	质量 kg	排放因子	数据来源及填表说明
铁芯	硅钢片			例：产品设计图
	非晶合金			
	超微晶合金			
线圈	铜导线			
	铝导线			
	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			
	硅橡胶			
钢材	碳钢			
	不锈钢			
铝材	铝合金			
外购组/零部件本体				
注1：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。 2：原材料为再生材料时，应单独统计。				

B.4 生产制造阶段

生产制造阶段包括零部件加工、装配和试验三部分。

表B.3-1为生产制造数据采集表，对应计算公式（4）和公式（5）。

表B. 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 m³	蒸汽 t	CO₂ 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								
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B.3-2为生产制造数据采集表（简），对应计算公式（6）。

表B. 3-2 生产制造数据采集表（简）

数据名称	数据	数据来源
生产消耗的电力用量		
生产消耗的燃料用量		
电力碳足迹因子		
燃料温室气体排放因子		
自产组/零部件的碳排放量		
温室气体直接排放量		

B.5 安装调试、使用运维阶段

安装调试、使用运维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B.4所示为变压器产品的安装调试、使用运维阶段数据采集表。

表B.4 变压器产品安装调试、使用运维阶段数据采集表

数据名称	数据	数据来源及填表说明
安装调试消耗的电力用量		
年平均负载率		
核算周期内的运行小时数		
寿命周期内更换的零部件/材料清单及质量		
检修车辆消耗的燃油量或充电量		
额定容量		
空载损耗		
额定负载损耗		
空载电流百分比		
短路阻抗百分比		
负荷波动损耗系数		
无功经济当量		

B.6 生命末期阶段

表B.5为生命末期阶段数据采集表示例。

表B.5 生命末期阶段数据采集表

材料类型	质量 kg	回收率 %	再生利用 率%	数据来源及填表说明
硅钢片		100（参考值）	100（参考值）	例：实测或行业平均水平
非晶合金		100（参考值）	100（参考值）	
铜导线		100（参考值）	98（参考值）	
铝导线		100（参考值）	98（参考值）	
铜箔		100（参考值）	98（参考值）	
铝箔		100（参考值）	98（参考值）	
导电排		100（参考值）	98（参考值）	
夹件		100（参考值）	98（参考值）	
底座		100（参考值）	98（参考值）	

外壳		100（参考值）	98（参考值）	
变压器油		100（参考值）	100（参考值）	
.....				
产品报废拆卸过程中消耗的电力、燃料用量				
过程	电力	燃料用量		数据来源及填表说明
拆卸				
.....				
拆卸后从使用场地到拆解场地的运输				
质量 kg		运输方式	运输距离 km	数据来源及填表说明
.....				
拆解过程中消耗的电力、燃料用量				
过程	电力	燃料用量		数据来源及填表说明
拆解				
.....				
各类废料运往各自处理厂的运输距离				
废料种类	质量 kg	运输方式	运输距离 km	数据来源及填表说明
.....				
回收处置消耗的能源或燃料用量				
过程	电力	燃料用量		数据来源及填表说明
破碎				
分选				
焚烧				
...				

B.7 运输阶段

表B.6为运输阶段数据采集表示例。

表B.6 运输阶段数据采集表

原材料的运输					
大类	类型	质量 kg	运输方式	运输距离 km	数据来源及填表说明
铁芯	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				
	其他材料				
钢材类	板材				
	型材				
有色 金属类	板材				
	型材				
其他 原材料					

表B.6 运输阶段数据采集表（续）

外购件的运输				
类型	质量 kg	运输方式	运输距离	数据来源及填表说明
铁芯				
绝缘材料				
钢材类				
电缆类				
套管类				
分接开关类				
冷却装置				
储油柜类				
继电器类				
阀门类				
测温装置				
二次箱体类				
紧固件类				
密封垫类				
在线监测类设备				
其他组件				
产品销售从制造商到使用场所的运输				
质量 kg	运输方式	运输距离 km	数据来源及填表说明	

附 录 C
(资料性)
GWP参考值

部分温室气体（GHG）的全球变暖潜势值GWP参考值见表C.1。

表C.1 部分温室气体的全球变暖潜势

气体名称	化学分子式	GWP（截至出版时）
二氧化碳	CO ₂	1
六氟化硫	SF ₆	23 500
甲烷	CH ₄	28
氧化亚氮	N ₂ O	265
HFC-23	CHF ₃	12 400
HFC-32	CH ₂ F ₂	677
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3170
HFC-134a	CF ₃ CH ₂ F	1300
HFC-143a	CF ₃ CH ₃	4800
HFC-152a	CHF ₂ CH ₃	138
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	8060
HFC-245fa	CF ₃ CH ₂ CHF ₂	858
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	3350
HFC-365mfc	CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	804
注：部分GHG的GWP来源于中华人民共和国生态环境部发布的国家温室气体排放因子数据库（第二版）。		

附 录 D
(资料性)
产品碳足迹报告（模板）

产品碳足迹报告（模版）参考如下。

产品碳足迹报告（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

☐ 原材料获取阶段 ☐ 生产阶段 ☐ 运输（交付）阶段 ☐ 使用阶段 ☐ 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D.1。

表D.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 (kgCO ₂ e)
原材料获取			
生产			
运输（交付）			
安装调试、 使用运维			
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年时间尺度下全球变暖潜势（GWP₁₀₀）。

2. 产品碳足迹结果计算

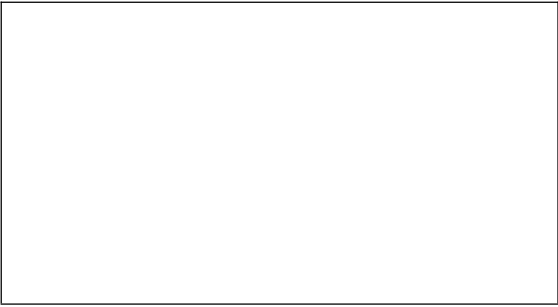
六、结果解释

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kgCO₂e。各生命周期阶段的温室气体排放情况如表D.2和图D.1所示。

表D.2 生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳足迹（kgCO ₂ e/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D.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柱状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

参 考 文 献

[1] GB/T 20840.1—2010 互感器 第1部分：通用技术要求

[2] GB/T 13462—2008 电力变压器经济运行

[3] RB/T 017—2019 低碳产品评价方法与要求 三相配电变压器

[4] 中国产品全生命周期温室气体排放系数库

[5] GB/T 51366—2019 建筑碳排放计算标准

[6] 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
