

DB42

湖北省地方标准

DB42/T

绝缘油产品碳足迹核算与评价
第2部分：量化方法

Carbon footprint accounting and assessment of insulating oil
products—Part 2: Quantitative methods

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

湖北省市场监督管理局 发布

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 原辅料投入碳足迹核算.....	1
5 生产加工碳足迹核算.....	3
6 分销存储碳足迹核算.....	5
7 产品使用碳足迹核算.....	6
8 最终处置碳足迹核算.....	7
9 总碳足迹核算.....	8
附 录 A（规范性） 相关参数推荐值.....	10
参 考 文 献.....	13

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。

本文件是 DB42/T XXXX《绝缘油产品碳足迹核算与评价》的第2部分。DB42/T XXXX 已经发布了以下部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：量化方法。

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。

本文件由湖北省能源标准化技术委员会提出。

本文件由湖北省能源标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

绝缘油是一种用于隔离不同电位导体的液体绝缘材料，在电工产品中起绝缘、灭弧、冷却、浸渍、填充和保护等作用，市场年需求量 60 余万吨，且随着电力资源的进一步开发与利用，市场年需求量呈逐年上升趋势。常见的绝缘油产品包括矿物绝缘油、合成绝缘油和生物绝缘油。矿物油绝缘油是指以石油为原料的绝缘油，合成绝缘油是指采用化学合成或精炼加工方法制造的绝缘油，生物绝缘油是指基于天然或可再生原料制造的环保型绝缘油。为了建立绝缘油产业减污降碳核算体系，发展绿色电工装备技术，亟需开展绝缘油产品的碳足迹核算与评价。

《绝缘油产品碳足迹核算与评价》系列标准制定的目的，是为了规范化、标准化绝缘油产品碳足迹核算与评价过程中的关键技术环节，指导绝缘油产品生产者、销售者、使用者、管理者、研究者等利益相关方开展碳足迹核算与评价，提升湖北省绝缘油产品和绝缘油生产企业绿色认证能力。

《绝缘油产品碳足迹核算与评价》系列标准拟由三个部分构成。

- 第 1 部分：总则。目的在于规定绝缘油产品碳足迹核算与评价应遵循的基本要求与工作流程。
- 第 2 部分：量化方法。目的在于规范绝缘油产品的碳足迹核算方法。
- 第 3 部分：报告编制与通报。目的在于指导绝缘油产品碳足迹评价报告编制与通报形式。

本次 DB42/T XXXX.2 对绝缘油产品碳足迹核算与评价应遵循的量化方法作出规定，是《绝缘油产品碳足迹核算与评价》系列标准的具体实施，起到绝缘油产品的碳足迹核算方法的规范统一作用。

绝缘油产品碳足迹核算与评价

第2部分：量化方法与要求

1 范围

本文件规定了基于生命周期评价的矿物绝缘油、合成绝缘油和生物绝缘油产品的碳足迹核算方法。本文件适用于湖北省行政区域内生产、销售、使用和处置的绝缘油产品的碳足迹核算与评价。

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 213 煤的发热量测定方法

GB/T 11062—2014 天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法

GB/T 16157—1996 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 17623—2017 绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法

GB 31571—2015 石油化学工业污染物排放标准

HJ/T 184—2006 清洁生产标准 食用植物油工业（豆油和豆粕）

JT/T 719—2016 营运货车燃料消耗量限值及测量方法

T/CIECCPA 010-2022 固定污染源二氧化碳排放连续监测技术规范

PAS 2050:2011 商品和服务的生命周期温室气体排放评价规范（specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services）

3 术语和定义

DB42/T XXXX.1 以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低位热值 inferior calorific value

单位质量的燃料在空气中完全燃烧且燃烧产物为气态时所释放出的热量，也称低位发热量。

[来源：GB/T 11062—2014 2.2，有修改]

3.2

单位热值含碳量 carbon content per unit calorific value

燃料的单位热值中所含碳元素的质量。

3.3

碳氧化率 carbon oxidation rate

燃料在完全燃烧时所释放的碳元素与燃料中总碳元素的比值。

4 原辅料投入碳足迹核算

4.1 概述

原辅料投入碳足迹是指生物油料、石油、油品添加剂等原辅料投入绝缘油产品生产所产生的碳足迹，包括原辅料取得碳足迹和原辅料运输碳足迹。原辅料碳足迹按公式（1）计算。

$$E_m = E_{m,ac} + E_{m,tr} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- E_m ——原辅料投入碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- $E_{m,ac}$ ——原辅料取得碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- $E_{m,tr}$ ——原辅料运输碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）。

4.2 原辅料取得碳足迹

原辅料取得碳足迹是指生物油脂、石油、油品添加剂等原辅料开采和生产期间产生的碳足迹。绝缘油产品的原辅料取得碳足迹按公式（2）计算。

$$E_{m,ac} = \sum_i (W_{m,i} \times EF_{m,i}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $E_{m,ac}$ ——原辅料取得碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- $W_{m,i}$ ——第*i*种原辅料投入量，单位为千克（kg）；
- $EF_{m,i}$ ——第*i*种原辅料的排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克（kgCO₂e/kg）。

原辅料的排放因子可由原辅料供应商提供，且取用的数据应与本文件分配原则一致。

注1：对于采用生物油脂为原料的生物绝缘油，排放因子核算范围包括：油料生产过程中机械设备消耗能源排放的二氧化碳、种子化肥和农药生产过程排放的二氧化碳、施用化肥和农药排放的氧化亚氮和二氧化碳、作物秸秆处理排放的二氧化碳和氧化亚氮、油料作物生长期间吸收的二氧化碳、土壤固碳、油料运输加工成油脂过程排放的二氧化碳以及仓储期间排放的二氧化碳。

注2：对于采用石油和为原料的矿物绝缘油和合成绝缘油，排放因子核算范围包括：原油开采期间机械设备消耗能源排放的二氧化碳、开采期间废气燃烧排放的二氧化碳、石油化工产品炼制过程排放的二氧化碳、原油运输至石油化工产品炼制厂排放的二氧化碳以及仓储期间排放的二氧化碳。

注3：当辅料投入量小于原料投入量的1%时，可忽略辅料的取得碳足迹。

4.3 原辅料运输碳足迹

原辅料运输碳足迹是指生物油脂、石油、油品添加剂等原辅料从原辅料生产商运输至绝缘油产品生产设施期间产生的碳足迹。运输工具包括燃油货车和新能源货车。

对于燃油货车，原辅料运输碳足迹按公式（3）计算。

$$E_{m,tr} = \sum_i (M_{tr,i} \times LC_{tr,i} \times CC_{tr,i} \times OR_{tr,i} \times \alpha \times \rho_{tr,i} \times FC_{tr,i} \times \omega_{tr,i}) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $E_{m,tr}$ ——原辅料运输碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- $M_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的货车的实际行驶里程，单位为千米（km）；
- $LC_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的燃油货车使用的燃料的平均低位热值，单位为吉焦每吨（GJ/t）；
- $CC_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的燃油货车使用的燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦碳每千焦（kgC/GJ）；
- $OR_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的燃油货车使用的燃料的碳氧化率；

- α ——二氧化碳和碳的分子量之比,为常数, $\alpha = 44/12$, 单位为二氧化碳当量每碳 (CO₂e/C);
- $\rho_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的燃油货车使用的燃料的密度,单位为千克每升 (kg/L);
- $FC_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的燃油货车的每公里实际油耗,单位为升每公里 (L/km);
- $\omega_{tr,i}$ ——第*i*种原辅料与货车总载重之比,单位为吨每吨 (t/t)。

注1: 货车使用的燃料的平均低位热值、单位热值含碳量和碳氧化率可采用燃料供应方提供的数据,或按GB/T 213、GB/T 11062—2014规定方法测量及计算获得,或采用推荐值见附录A.1。

注2: 实际油耗可通过查读燃油货车自带的计量器具获得,或按JT/T 719—2016规定方法测量及计算获得。对于新能源货车,原辅料运输碳足迹按公式(4)计算。

$$E_{m,tr} = \sum_i (M_{tr,i} \times EF_{tr,i} \times EC_{tr,i} \times \omega_{tr,i}) \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $E_{m,tr}$ ——原辅料运输碳足迹,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);
- $M_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的货车的实际行驶里程,单位为千米 (km);
- $EF_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的新能源货车的电力排放因子,单位为千克二氧化碳当量每千瓦时 (kgCO₂e/kWh);
- $EC_{tr,i}$ ——运输第*i*种原辅料的新能源货车的每公里实际电耗,单位为千瓦时每千米 (kWh/km);
- $\omega_{tr,i}$ ——第*i*种原辅料与货车总载重之比,单位为吨每吨 (t/t)。

注1: 实际电耗可通过查读新能源货车自带的计量器具获得。

注2: 新能源货车的电力排放因子可采用货车充电当地省级部门最新发布的省级电网平均排放因子数据,或国家主管部门最新发布的全国电网平均排放因子数据,或采用推荐值见附录A.2。

5 生产加工碳足迹核算

5.1 概述

生产加工碳足迹是指生产功能单位绝缘油产品所产生的碳足迹,包括生产加工期间能源投入碳足迹和加工反应碳足迹。生产加工碳足迹按公式(5)计算。

$$E_p = E_{p,en} + E_{p,re} \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- E_p ——生产加工碳足迹,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);
- $E_{p,en}$ ——生产加工期间能源投入碳足迹,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);
- $E_{p,re}$ ——加工反应碳足迹,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e)。

5.2 生产加工期间能源投入碳足迹

生产加工期间能源投入碳足迹是指绝缘油产品生产加工过程消耗燃料和电力等能源所产生的碳足迹。绝缘油产品的生产加工期间能源投入碳足迹按公式(6)计算。

$$E_{p,en} = E_{en,fuel} + E_{en,elec} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- $E_{p,en}$ ——生产加工期间能源投入碳足迹,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);
- $E_{en,fuel}$ ——生产加工期间燃料投入碳足迹,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO₂e);
- $E_{en,elec}$ ——生产加工期间电力投入碳足迹,单位为千克二氧化碳 (kgCO₂e)。

5.2.1 生产加工期间燃料投入碳足迹

生产加工期间燃料投入碳足迹是指绝缘油产品生产加工期间燃料燃烧产生的碳足迹。生产加工期间燃料投入碳足迹按公式（7）计算。

$$E_{en,fuel} = \sum_j (W_{p,j} \times LC_{p,j} \times CC_{p,j} \times OR_{p,j} \times \alpha) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$E_{en,fuel}$ ——生产加工期间燃料投入碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$W_{p,j}$ ——生产加工期间第 j 种燃料实际投入量，固体和液体燃料的单位为吨（t），气体燃料单位为标准立方米（ Nm^3 ）；

$LC_{p,j}$ ——生产加工期间投入的第 j 种燃料的平均低位热值，固体和液体燃料的单位为吉焦每吨（ GJ/t ），气体燃料的单位为吉焦/标准立方米（ GJ/Nm^3 ）；

$CC_{p,j}$ ——生产加工期间投入的第 j 种燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦碳每千焦（ kgC/GJ ）；

$OR_{p,j}$ ——生产加工期间投入的第 j 种燃料的碳氧化率；

α ——二氧化碳和碳的分子量之比，为常数， $\alpha = 44/12$ ，单位为二氧化碳当量每碳（ $\text{CO}_2\text{e/C}$ ）。

注：燃料的平均低位热值、单位热值含碳量和碳氧化率可采用燃料供应方提供的数据，或按GB/T 213、GB/T 11062—2014规定方法测量及计算获得，或采用推荐值见附录A.1。

5.2.2 生产加工期间电力投入碳足迹

生产加工期间电力投入碳足迹是指绝缘油产品生产加工期间使用外购电力产生的碳足迹。生产加工期间电力投入碳足迹按公式（8）计算。

$$E_{en,elec} = PC_{en} \times EF_{elec} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$E_{en,elec}$ ——生产加工期间电力投入碳足迹，单位为千克二氧化碳（ kgCO_2e ）；

PC_{en} ——生产加工期间投入的电量，单位为千瓦时（ kWh ）；

EF_{elec} ——电力排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时（ $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ ）。

注：电力排放因子可采用湖北省最新发布的省级电网平均排放因子数据，或国家主管部门最新发布的全国电网平均排放因子数据，或采用推荐值见附录A.2。

生产加工期间投入的电量宜通过查读企业安装的电力计量器具获得。若企业使用可再生能源电力，且可精确计量时，该部分电量不应纳入电力消耗量。

5.3 加工反应碳足迹

加工反应碳足迹是指绝缘油产品生产加工期间因除杂精炼、脱气脱水等物理反应或化学反应过程排放温室气体所产生的碳足迹。加工反应碳足迹按公式（9）计算。

$$E_{p,re} = \sum_m (Flu_{re,gas} \times \rho_{re,gas} \times t_{re,gas} \times \eta_m \times GWP_m) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$E_{p,re}$ ——加工反应碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2e ）；

$Flu_{re,gas}$ ——加工反应废气排放流量，单位为标准立方米每小时（ Nm^3/h ）；

$\rho_{re,gas}$ ——加工反应排放的废气的密度，单位为千克每升（ kg/L ）；

$t_{re,gas}$ ——生产加工功能单位绝缘油产品所需时间，单位为小时（h）；

- η_m ——加工反应排放的废气中第 m 种温室气体的浓度，单位为升每升 (L/L)；
 GWP_m ——加工反应排放的废气中第 m 种温室气体的百年时间尺度全球增温潜势值。

注1：加工反应废气排放流量、成分与浓度可通过企业安装的污染物排放自动监控设备（如二氧化碳排放连续监测系统CEMS），并依据GB/T 16157—1996、GB 31571—2015、HJ/T 184—2006、T/CIECCPA 010-2022规定方法计算获得。

注2：温室气体的百年时间尺度全球增温潜势值（GWP-100）可从政府间气候变化专门委员会（IPCC）最新工作评估报告获得。IPCC第一工作组第六次评估报告公布的主要温室气体百年时间尺度全球增温潜势值见附录A.3。

注3：依据PAS 2050:2011规定，加工反应碳足迹仅核算浓度大于1% L/L的温室气体排放。

6 分销存储碳足迹核算

6.1 概述

分销存储碳足迹是指从绝缘油产品下线到投入电力设备期间所产生的碳足迹，包括分销运输碳足迹和仓储耗能碳足迹。分销存储碳足迹按公式（10）计算。

$$E_{ds} = E_{ds,dis} + E_{ds,str} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中：

- E_{ds} ——分销存储碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
 $E_{ds,dis}$ ——分销运输碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
 $E_{ds,str}$ ——仓储耗能碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）。

6.2 分销运输碳足迹

分销运输碳足迹是指绝缘油产品从生产线运输至注入电力设备期间产生的碳足迹。分销运输碳足迹按公式（11）计算。

$$E_{ds,dis} = \sum_n (M_{ds,n} \times TF_{ds,n} \times \omega_{ds,n}) \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中：

- $E_{ds,dis}$ ——分销运输碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
 $M_{ds,n}$ ——第 n 次绝缘油产品分销所使用的货车的实际行驶里程，单位为千米（km）；
 $TF_{ds,n}$ ——第 n 次绝缘油产品分销所使用的货车的单位里程碳排放量，单位为千克二氧化碳当量每千米（kgCO₂e/km）；
 ω_i ——第 n 次分销中，绝缘油产品与货车总载重之比，单位为吨每吨（t/t）。

对于燃油货车，第 n 次绝缘油产品分销所使用的货车的单位里程碳排放量按公式（12）计算。

$$TF_{ds,n} = LC_{ds,n} \times CC_{ds,n} \times OR_{ds,n} \times \alpha \times \rho_{ds,n} \times FC_{ds,n} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中：

- $TF_{ds,n}$ ——第 n 次绝缘油产品分销所使用的货车的单位里程碳排放量，单位为千克二氧化碳当量每千米（kgCO₂e/km）；
 $LC_{ds,n}$ ——第 n 次分销运输期间的燃油货车使用的燃料的平均低位热值，单位为吉焦每吨（GJ/t）；
 $CC_{ds,n}$ ——第 n 次分销运输期间的燃油货车使用的燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦每千焦（kgC/GJ）；
 $OR_{ds,n}$ ——第 n 次分销运输期间的燃油货车使用的燃料的碳氧化率；
 α ——二氧化碳和碳的分子量之比，为常数， $\alpha = 44/12$ ，单位为二氧化碳当量每碳（CO₂e/C）；

$\rho_{ds,n}$ ——第 n 次分销运输期间的燃油货车使用的燃料的密度，单位为千克每升（kg/L）；

$FC_{ds,n}$ ——第 n 次分销运输期间的燃油货车的每公里实际油耗，单位为升每公里（L/km）。

注1：货车使用的燃料的平均低位热值、单位热值含碳量和碳氧化率可采用燃料供应方提供的数据，或按GB/T 213、GB/T 11062—2014规定方法测量及计算获得，或采用推荐值见附录A.1。

注2：实际油耗可通过查读燃油货车自带的计量器具获得，或按JT/T 719—2016规定方法测量及计算获得。

对于新能源货车，第 n 次绝缘油产品分销所使用的货车的单位里程碳排放量按公式（13）计算。

$$TF_{ds,n} = EF_{ds,n} \times EC_{ds,n} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

$TF_{ds,n}$ ——第 n 次绝缘油产品分销所使用的货车的单位里程碳排放量，单位为千克二氧化碳当量每千米（kgCO₂e/km）；

$EF_{ds,n}$ ——第 n 次分销运输期间的新能源货车的电力排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时（kgCO₂e/kWh）；

$EC_{ds,n}$ ——第 n 次分销运输期间的新能源货车的每公里实际电耗，单位为千瓦时每千米（kWh/km）。

注1：实际电耗可通过查读新能源货车自带的计量器具获得。

注2：新能源货车的电力排放因子可采用货车充电当地省级部门最新发布的省级电网平均排放因子数据，或国家主管部门最新发布的全国电网平均排放因子数据，或采用推荐值见附录A.2。

6.3 仓储耗能碳足迹

仓储耗能碳足迹是指绝缘油产品从生产线至电力设备装配现场期间各环节仓储以及绝缘油产品注入电力设备期间消耗电力产生的碳足迹。仓储耗能碳足迹按公式（14）计算。

$$E_{ds,str} = \sum_k (PC_{ds,k} \times EF_{elec,k}) \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$E_{ds,str}$ ——仓储耗能碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

$PC_{ds,k}$ ——分销期间绝缘油产品第 k 阶段仓储消耗的电量，单位为千瓦时（kWh）；

$EF_{elec,k}$ ——第 k 阶段仓储地的电力排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时（kgCO₂e/kWh）。

注：电力排放因子可采用绝缘油产品仓储地最新发布的省级电网平均排放因子数据，或国家主管部门最新发布的全国电网平均排放因子数据，或采用推荐值见附录A.2。

分销仓储期间投入的电量宜通过查读企业安装的电力计量器具获得。若企业使用可再生能源电力，且可精确计量时，该部分电量不应纳入电力消耗量。

7 产品使用碳足迹核算

产品使用碳足迹是指绝缘油产品使用期间因老化分解等原因排放温室气体所产生的碳足迹。产品使用碳足迹按公式（15）计算。

$$E_{use} = \sum_q (EX_{use} \times \rho_{use,q} \times \eta_{use,q} \times GWP_{use,q}) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

E_{use} ——产品使用碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；

EX_{use} ——产品使用期间废气排放量，单位为标准立方米（Nm³）；

$\rho_{use,q}$ ——产品使用期间排放的第 q 种温室气体的密度，单位为千克每升（kg/L）；

$\eta_{use,q}$ ——产品使用期间排放的第 q 种温室气体的浓度，单位为升每升 (L/L)；
 $GWP_{use,q}$ ——产品使用期间排放的第 q 种温室气体的百年时间尺度全球增温潜势值。

注1：绝缘油产品使用过程排放的温室气体可依据GB/T 17623—2017规定的方法测定。

注2：温室气体的百年时间尺度全球增温潜势值 (GWP-100) 可从政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 最新工作评估报告获得。IPCC第一工作组第六次评估报告公布的主要温室气体百年时间尺度全球增温潜势值见附录A.3。

注3：依据PAS 2050:2011规定，产品使用碳足迹仅核算浓度大于1% L/L的温室气体排放。

8 最终处置碳足迹核算

8.1 概述

最终处置碳足迹是指绝缘油产品从电力设备抽出至再生处理或废弃降解期间所产生的碳足迹，包括处置耗能碳足迹、处置运输碳足迹和处置排放碳足迹。处置碳足迹按公式 (16) 计算。

$$E_{des} = E_{des,en} + E_{des,tr} + E_{des,ex} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

E_{des} ——分销存储碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_{2e})；

$E_{des,en}$ ——处置耗能碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_{2e})；

$E_{des,tr}$ ——处置运输碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_{2e})；

$E_{des,ex}$ ——处置排放碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_{2e})。

8.2 处置耗能碳足迹

处置耗能碳足迹是指绝缘油产品从电力设备抽出至再生处理或废弃降解期间各环节消耗电力所产生的碳足迹。处置耗能碳足迹按公式 (17) 计算。

$$E_{des,en} = \sum_p (PC_{des,p} \times EF_{elec,p}) \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$E_{des,en}$ ——处置耗能碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_{2e})；

$PC_{des,p}$ ——处置绝缘油产品期间第 p 阶段消耗的电量，单位为千瓦时 (kWh)；

$EF_{elec,p}$ ——第 p 阶段处置地的电力排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千瓦时 (kgCO_{2e}/kWh)。

注：电力排放因子可采用绝缘油产品处置地最新发布的省级电网平均排放因子数据，或国家主管部门最新发布的全网电网平均排放因子数据，或采用推荐值见附录A.2。

8.3 处置运输碳足迹

处置运输碳足迹是指绝缘油产品从电力设备抽出至再生处理或废弃降解期间各环节运输产生的碳足迹。处置运输碳足迹按公式 (18) 计算。

$$E_{des,tr} = \sum_p (M_{des,p} \times TF_{des,p} \times \omega_{des,p}) \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$E_{des,tr}$ ——处置运输碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_{2e})；

$M_{des,p}$ ——处置绝缘油产品期间第 p 阶段所使用的货车的实际行驶里程，单位为千米 (km)；

$TF_{des,p}$ ——处置绝缘油产品期间第 p 阶段所使用的货车的单位里程碳排放量，单位为千克二氧化碳当量每千米 ($\text{kgCO}_2\text{e/km}$)；

ω_i ——处置绝缘油产品期间第 p 阶段，绝缘油产品与货车总载重之比，单位为吨每吨 (t/t)。

8.4 处置排放碳足迹

处置排放碳足迹是指通过再生处理或焚烧等方式处置绝缘油产品所产生的碳足迹。

对于采用再生处理方式处置绝缘油产品，处置排放碳足迹按公式 (19) 计算。

$$E_{des,ex} = \sum_x (W_{ad,x} \times EF_{ad,x}) + \sum_y (Flu_{des,gas} \times \rho_{des,gas} \times t_{des,gas} \times \eta_y \times GWP_y) \times 10^{-3} - W_{reuse} \times (E_m + E_p) \dots\dots (19)$$

式中：

$E_{des,ex}$ ——处置排放碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e)；

$W_{ad,x}$ ——再生处理绝缘油产品期间第 x 种添加剂的投入量，单位为千克 (kg)；

$EF_{ad,x}$ ——再生处理绝缘油产品期间第 x 种添加剂的排放因子，单位为千克二氧化碳当量每千克 ($\text{kgCO}_2\text{e/kg}$)；

$Flu_{des,gas}$ ——再生处理绝缘油产品期间废气排放流量，单位为标准立方米每小时 (Nm^3/h)；

$\rho_{des,gas}$ ——再生处理绝缘油产品期间排放的废气的密度，单位为千克每升 (kg/L)；

$t_{des,gas}$ ——再生处理绝缘油产品期间所消耗的时间，单位为小时 (h)；

η_y ——再生处理排放的废气中第 y 种温室气体的浓度，单位为升每升 (L/L)；

GWP_m ——再生处理排放的废气中第 y 种温室气体的百年时间尺度全球增温潜势值；

W_{reuse} ——绝缘油产品再生处理量，单位为千克 (kg)；

E_m ——原辅料碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e)；

E_p ——生产加工碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e)。

注1：当添加剂投入量小于绝缘油产品再生处理量的1%时，可忽略添加剂的碳足迹。

注2：再生处理废气排放流量、成分与浓度可通过企业安装的污染物排放自动监控设备（如二氧化碳排放连续监测系统CEMS），并依据GB/T 16157—1996、GB 31571—2015、HJ/T 184—2006、T/CIECCPA 010-2022规定方法计算获得。

注3：温室气体的百年时间尺度全球增温潜势值（GWP-100）可从政府间气候变化专门委员会（IPCC）最新工作评估报告获得。IPCC第一工作组第六次评估报告公布的主要温室气体百年时间尺度全球增温潜势值见附录A.3。

注4：依据PAS 2050:2011规定，再生处理碳足迹仅核算浓度大于1% L/L的温室气体排放。

对于采用焚烧方式处置绝缘油产品，处置排放碳足迹按公式 (20) 计算。

$$E_{des,ex} = W_{des} \times (E_m + E_p) \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$E_{des,ex}$ ——处置排放碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e)；

W_{des} ——绝缘油产品处置量，单位为千克 (kg)；

E_m ——原辅料碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e)；

E_p ——生产加工碳足迹，单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e)。

9 总碳足迹核算

9.1 部分生命周期碳足迹

绝缘油产品的部分生命周期是指从生物油料、石油、油品添加剂等原辅料投入至绝缘油产品下线期间所产生的碳足迹，包括原辅料碳足迹和生产加工碳足迹。绝缘油产品的部分生命周期碳足迹按公式(21)计算。

$$E_{partial} = E_m + E_p \dots\dots\dots(21)$$

式中：

- $E_{partial}$ ——绝缘油产品的部分生命周期碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- E_m ——原辅料碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- E_p ——生产加工碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）。

9.2 全生命周期碳足迹

绝缘油产品的全生命周期碳足迹是指从生物油料、石油、油品添加剂等原辅料投入至绝缘油产品再生处理或焚烧处置期间所产生的碳足迹，包括原辅料碳足迹、生产加工碳足迹、分销存储碳足迹、产品使用碳足迹和最终处置碳足迹。绝缘油产品的全生命周期碳足迹按公式(22)计算。

$$E_{full} = E_m + E_p + E_{ds} + E_{use} + E_{des} \dots\dots\dots(22)$$

式中：

- E_{full} ——绝缘油产品的全生命周期碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- E_m ——原辅料碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- E_p ——生产加工碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- E_{ds} ——分销存储碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- E_{use} ——产品使用碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）；
- E_{des} ——最终处置碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO₂e）。

附 录 A
(规范性)
相关参数推荐值

常用燃料的平均低位热值、单位热值含碳量和碳氧化率参数推荐值参见表 A.1，电力排放因子与热力排放因子推荐值见表 A.2。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第一工作组第六次评估报告发布的主要温室气体百年时间尺度全球增温潜势值见表 A.3。

表A.1 常用燃料的平均低位热值、单位热值含碳量和碳氧化率参数推荐值

燃料品种	平均低位热值	单位热值含碳量	碳氧化率
	(GJ/t, GJ/Nm ³)	(kgC/GJ)	
原煤	20.908	26.37	0.94
洗精煤	26.344	25.41	0.94
其他洗煤	8.363	25.41	0.94
焦炭	28.435	29.42	0.93
原油	41.816	20.08	0.98
燃料油	41.816	21.10	0.98
汽油	43.070	18.90	0.98
煤油	43.070	19.60	0.98
柴油	42.652	20.20	0.98
液化石油气	50.179	17.2*	1.00*
炼厂干气	45.998	18.20	0.98
天然气	32.238×10 ⁻³	15.32	0.99
焦炉煤气	16.726×10 ⁻³	13.58	1.00*
其他煤气	5.227×10 ⁻³	12.20	1.00*

注1：平均低位热值数据来源于《中国能源统计年鉴2022》附录4；
注2：单位热值含碳量和碳氧化率主要来源于《省级温室气体清单编制指南》（试行）表1.5和表1.7，其中标*的数据取自于 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 Energy 第一章表 1.4

表A.2 电力排放因子与热力排放因子推荐值

参数名称	单位	推荐值
全国电网平均排放因子	kgCO ₂ e/kWh	0.5703
湖北省省级电网平均排放因子	kgCO ₂ e/kWh	0.316

注1：本表中全国电网平均排放因子数据来源于《关于做好2023—2025年发电行业企业温室气体排放报告管理有关工作的通知》（环办气候函〔2023〕43号）。
注2：本表中湖北省省级电网平均排放因子数据来源于国家生态环境部环境规划院发布《中国区域电网二氧化碳排放因子研究（2023）》。

表A.3 主要温室气体百年时间尺度全球增温潜势值（GWP-100）

温室气体名称	化学分子式	GWP-100
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	27.9
氧化亚氮	N ₂ O	273
氯氟化碳（Chlorofluorocarbons）		
CFC-11	CCl ₃ F	6230
CFC-12	CCl ₂ F ₂	12500
CFC-13	CClF ₃	16200
CFC-112	CCl ₂ FCCl ₂ F	4620
CFC-112a	CCl ₃ CClF ₂	3550
氢氯氟烃（Hydrofluorochlorocarbons）		
HCFC-21	CHCl ₂ F	160
HCFC-22	CHClF ₂	1960
HCFC-31	CH ₂ ClF	79.4
HCFC-121	CHCl ₂ CCl ₂ F	58.3
HCFC-122	CHCl ₂ CClF ₂	56.4
氢氟碳化物（Hydrofluorocarbons）		
HFC-23	CHF ₃	14600
HFC-32	CH ₂ F ₂	771
HFC-41	CH ₃ F	135
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3740
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1260
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1530
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	364
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	5810
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	21.5
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	164
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F	4.84
氯烃和氢氯烃（Chlorocarbons and Hydrochlorocarbons）		
甲基氯仿	CH ₃ CCl ₃	161
四氯化碳	CCl ₄	2200
氯甲烷	CH ₃ Cl	5.54
二氯甲烷	CH ₂ Cl ₂	11.2
氯仿	CHCl ₃	20.6
全氟化物（Fully Fluorinated Species）		
三氟化氮	NF ₃	17400
六氟化硫	SF ₆	24300
四氟化碳	CF ₄	7380
其他化合物（Miscellaneous Compounds）		
乙烷	C ₂ H ₆	0.437

DB42/T

丙烷	C_3H_8	0.02
丁烷	n- C_4H_{10}	0.006
<p>注1：本表中甲烷的GWP-100未考虑被氧化成二氧化碳所产生的影响。</p> <p>注2：来源于政府间气候变化专门委员会（IPCC）第一工作组第六次评估报告“气候变化2021：物理科学基础”（Climate Change 2021: The Physical Science Basis）第7章的表7.SM.6。</p>		

参 考 文 献

- [1] 政府间气候变化专门委员会（IPCC）第一工作组第六次评估报告“气候变化 2021：物理科学基础”（Climate Change 2021: The Physical Science Basis）
 - [2] 胡汉舟.《中国能源统计年鉴 2022》.中国统计出版社，2023.
 - [3] 生态环境部.《企业温室气体排放核算方法与报告指南 发电设施》（环办气候〔2022〕111 号）
-