

# 山东泰开成套电器有限公司开关柜 产品碳足迹报告（2022 年度）

山东泰开成套电器有限公司

日期：2023 年3 月 7 日



# 目 录

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 摘 要.....                     | 错误！未定义书签。 |
| <b>1.产品碳足迹介绍（PCF）介绍.....</b> | <b>2</b>  |
| <b>2.目标与范围定义.....</b>        | <b>2</b>  |
| 2.1 企业及其产品介绍.....            | 2         |
| 2.2 研究目的.....                | 4         |
| 2.3 研究范围.....                | 4         |
| 2.4 功能单位.....                | 4         |
| 2.5 生命周期流程图的绘制.....          | 4         |
| 2.6 分配原则.....                | 5         |
| 2.7 取舍准则.....                | 5         |
| 2.8 取舍准则.....                | 5         |
| 2.9 软件和数据库.....              | 5         |
| 2.10 数据质量要求.....             | 5         |
| <b>3.过程描述.....</b>           | <b>6</b>  |
| 3.1 开关柜生产过程.....             | 6         |
| <b>4.数据的收集和主要排放因子说明.....</b> | <b>9</b>  |
| <b>5.碳足迹计算.....</b>          | <b>9</b>  |
| 5.1 碳足迹识别.....               | 9         |
| 5.2 数据计算.....                | 9         |
| <b>6.结语.....</b>             | <b>11</b> |

## 摘要

产品碳足迹评价的目的是以生命周期评价方法为基础，采用 ISO/TS 14067-2013《温室气体产品碳足迹关于量化和通报的要求与指南》、《PAS 2050:2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》、《中国化工生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》的要求中规定的碳足迹核算方法，计算得到山东泰开成套电器有限公司开关柜的碳足迹。

为了满足碳足迹的需要，本报告的功能单位定义为生产 1 台开关柜。系统边界为“从摇篮到客户”类型，现场调研了从获取、原材料运输、产品生产、产品包装、产品运输到客户端的生命过程，其中也调查了其他物料、能源获取的排放因子数据来源于中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

评价过程中，数据质量被认为是最重要的考虑因素之一。本次数据收集和选择的指导原则是：数据尽可能具有代表性，主要体现在生产商、技术、地域、时间等方面。生命周期主要活动数据来源于企业现场调研的初级数据，大部分国内生产的原材料的排放因子数据来源于 IPCC 数据库，以及中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库，本次评价选用的数据在国内外 LCA 研究中被高度认可和广泛应用。此外，通过 GreenIn2.0 软件实现了产品的生命周期建模、计算和结果分析，以保证数据和计算结果的可溯性和可再现性。

从本次评价结果看，2022 年度泰开成套开关柜产品碳足迹：1 台开关柜的碳足迹  $e=1.41\text{tCO}_2\text{e/台}$ ，从开关柜生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出开关柜的碳排放环节主要集中在生产过程上，其次是原材料获取过程，运输活动占一部分。

## 1.产品碳足迹介绍（PCF）介绍

近年来，温室效应、气候变化已成为全球关注的焦点，“碳足迹”这个新的术语越来越广泛地为全世界所使用。碳足迹通常分为项目层面、组织层面、产品层面这三个层面。产品碳足迹（Product Carbon Footprint, PCF）是指衡量某个产品在其生命周期各阶段的温室气体排放量总和，即从原材料开采、产品生产（或服务提供）、分销、使用到最终处置/再生利用等多个阶段的各种温室气体排放的累加。温室气体包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFC）和全氟化碳（PFC）等。碳足迹的计算结果为产品生命周期各种温室气体排放量的加权之和，用二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>e）表示，单位为kg CO<sub>2</sub>e 或者 g CO<sub>2</sub>e。全球变暖潜值（Global Warming Potential, 简称GWP），即各种温室气体的二氧化碳当量值，通常采用联合国政府间气候变化专家委员会（IPCC）提供的值，目前这套因子被全球范围广泛适用。

产品碳足迹计算只包含一个完整生命周期评估（LCA）的温室气体的部分。基于 LCA 的评价方法，国际上已建立起多种碳足迹评估指南和要求，用于产品碳足迹认证，目前广泛使用的碳足迹评估标准有三种：①《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，此标准是由英国标准协会（BSI）与碳信托公司（Carbon Trust）、英国食品和乡村事务部（Defra）联合发布，是国际上最早的、具有具体计算方法的标准，也是目前使用较多的产品碳足迹评价标准；②《温室气体核算体系：产品寿命周期核算与报告标准》，此标准是由世界资源研究所(World Resources Institute, 简称 WRI)和世界可持续发展工商理事会 (World Business Council for Sustainable Development, 简称 WBCSD)发布的产品和供应链标准；③《ISO/TS 14067：2013 温室气体——产品碳足迹——量化和信息交流的要求与指南》，此标准以 PAS 2050 为种子文件，由国际标准化组织（ISO）编制发布。产品碳足迹核算标准的出现目的是建立一个一致的、国际间认可的评估产品碳足迹的方法。

## 2. 目标与范围定义

### 2.1 企业及其产品介绍

山东泰开成套电器有限公司于 2004 年 1 月 15 日注册成立，注册资金 6 亿元，

是集开关柜、断路器、预装式变电站、1E级核电配电柜等126kV及以下输变电设备研发、设计、生产、销售、安装和服务于一体的高新技术大型专业化企业。

公司主导产品XGN46-40.5充气柜、高、低压开关柜、KYN28系列产品等在国内市场占有率达到15.6%，自2012年起产销量位居全国第一位。公司先后获得国家级专精特新“小巨人”企业、国家知识产权强国建设优势企业、山东省高新技术企业、山东省创新型企业、山东省技术创新示范企业、山东省高端品牌培育企业、山东省制造业单项冠军、国家火炬计划泰安市骨干企业、山东省科技领军企业、山东省瞪羚企业、山东省技术创新示范企业等荣誉称号。

公司高度重视科研创新工作，持续加大研发投入，目前公司拥有6个省级研发平台、2个市级研发平台，包括山东省企业技术中心、山东省工程技术研究中心、山东省工程实验室、山东省工业设计中心、山东省工业大数据平台、山东省工业互联网平台、泰安市重点实验室、泰安市工业企业“一企一技术”研发中心，并与中国电力科学院、西安电器研究院、北京科技大学、上海交大、厦门理工等国内高校和科研院所建立了长期的产学研合作关系。

公司在产品开发过程中，始终坚持“高技术决定高附加值，高附加值带来高利润”的指导思想，从源头上保证新产品的创新性，目前公司申请专利222件，其中发明专利申请30件；授权专利192项，其中发明专利11项。主导和参与国家、行业标准16项，获得山东省科技进步三等奖2项，山东省机械工业科学技术奖一等奖1项、二等奖2项、三等奖1项，泰安市科技进步奖3项，承担国家、省部级项目100多项。

公司“TK”商标被评为中国驰名商标，“泰开牌低压开关产品”、“TK牌高压开关设备（开关柜）产品”被评为山东省名牌产品，成套开关柜被评为第一批“好品山东”、山东省知名品牌和山东省优质品牌。

公司是国家电网公司和南方电网公司集中招标的主要供应商之一，是中核集团、国电投、华能集团、中石油、中石化、神华集团、铁路总公司等单位的优质供应商。产品遍布电力、电厂、石油、化工、铁路、核电、风电、光伏新能源、机场以及煤炭、钢铁等工矿企业。先后参与建设了“华龙一号福清核电站”等12个百万千瓦核电机组、“西电东送”、“北电南供”、“南水北调”、“北京大兴机场”、“京张铁路”等国家重点工程的建设。

## 2.2 研究目的

本次评价的目的是得到泰开成套生产的开关柜产品全生命周期过程的碳足迹。

碳足迹核算是泰开成套实现低碳、绿色发展的基础和关键，披露产品的碳足迹是泰开成套环境保护工作和社会责任的一部分，也是泰开成套迈向国际市场的重要一步。本项目的研究结果将为泰开成套与开关柜采购商和第三方的有效沟通提供良好的途径，对促进产品全供应链的温室气体减排具有一定积极作用。

本项目评价结果的潜在沟通对象包括两个群体：一是泰开成套内部管理人员及其他相关人员，二是企业外部利益相关方，如上游原材料供应商、下游采购商、地方政府和环境非政府组织等。

## 2.3 研究范围

根据本项目评价目的，按照 ISO/TS 14067-2013、《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，本次碳足迹评价的边界为泰开成套 2022 年全年生产活动及非生产活动数据，本次评价边界为：产品的碳足迹=原料生产+原料生产运输+产品过程生产。

## 2.4 功能单位

为方便系统中输入/输出的量化，功能单位被定义为生产 1 台开关柜。

## 2.5 生命周期流程图的绘制

根据《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》绘制 1 台开关柜产品的生命周期流程图，其碳足迹评价模式为从商业到商业（B2B）评价：包括从原料生产、原材料运输、产品制造、销售。

在本报告中，产品的系统边界属于“从摇篮到客户”的类型，为了实现上述功能单位，开关柜的系统边界见下表：

表 2.1 包含和未包含在系统边界内的生产过程

| 包含的过程                                                                           | 未包含的过程                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1 开关柜生产的生命周期过程包括：原材料生产→原材料运输→产品生产→产品销售<br>2 电力生产、天然气的消耗<br>3 原材料的生产<br>4 原材料的运输 | 1 资本设备的生产及维修<br>2 产品的运输、销售和使用<br>3 产品回收、处置和废弃阶段<br>4 其他辅料的运输 |

## 2.6 分配原则

由于在本次评价系统边界下，生产开关柜过程无副产品，因此将生产原材料与能源消耗全部计入开关柜生产过程。

## 2.7 取舍准则

此次评价采用的取舍规则以各项原材料投入占产品重量或过程总投入的重量比为依据。具体规则如下：

普通物料重量 $<1\%$ 产品重量时，以及含稀贵或高纯成分的物料重量 $<0.1\%$ 产品重量时，可忽略该物料的上游生产数据；总共忽略的物料重量不超过 $5\%$ ；

生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；

在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。

本报告所有原辅料和能源等消耗都关联了上游数据，部分消耗的上游数据采用近似替代的方式处理。

## 2.8 取舍准则

基于评价目标的定义，本次评价只选择了全球变暖这一种影响类型，并对产品生命周期的全球变暖潜值（GWP）进行了分析，因为GWP是用来量化产品碳足迹的环境影响指标。

评价过程中统计了各种温室气体，包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>），甲烷（CH<sub>4</sub>），氧化亚氮（N<sub>2</sub>O），四氟化碳（CF<sub>4</sub>），六氟乙烷（C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>），六氟化硫（SF<sub>6</sub>）和氢氟碳化物（HFC）等。并且采用了IPCC第四次评估报告(2007年)提出的方法来计算产品生产周期的GWP值。该方法基于100年时间范围内其他温室气体与二氧化碳相比得到的相对辐射影响值，即特征化因子，此因子用来将其他温室气体的排放量转化为CO<sub>2</sub>当量（CO<sub>2</sub>e）。例如，1kg甲烷在100年内对全球变暖的影响相当于25kg二氧化碳排放对全球变暖的影响，因此以二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>e）为基础，甲烷的特征化因子就是25kg CO<sub>2</sub>e。

## 2.9 软件和数据库

### 2.10 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本评价中主要考虑了以下几个方面：

数据准确性：实景数据的可靠程度

数据代表性：生产商、技术、地域以及时间上的代表性

模型一致性：采用的方法和系统边界一致性的程度

为了满足上述要求，并确保计算结果的可靠性，在评价过程中优先选择来自生产商和供应商直接提供的初级数据，其中经验数据取平均值，本评价在 2022 年 3 月进行数据的调查、收集和整理工作。当初级数据不可得时，尽量选择代表区域平均和特定技术条件下的次级数据，次级数据大部分选择来自 IPCC 数据库；当目前数据库中没有完全一致的次级数据时，采用近似替代的方式选择 IPCC 数据库中数据。

采用 eFootprint 软件的来建立产品生命周期模型，计算碳足迹和分析计算结果，评价过程中的数据库采用中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

数据库的数据是经严格审查，并广泛应用于国内国际上的 LCA 研究。各个数据集和数据质量将在第 4 章对每个过程介绍时详细说明。

### 3. 过程描述

#### 3.1 开关柜生产过程

##### （1）过程基本信息

过程名称：开关柜生产

过程边界：从原料运输到开关柜的生产

##### （2）数据代表性

主要数据来源：企业 2022 年实际生产数据

企业名称：山东泰开成套电器有限公司

产地：中国山东省泰安市

基准年：2022 年

主要原料：钢板

主要能耗：天然气、电力

生产主要工艺介绍如下：



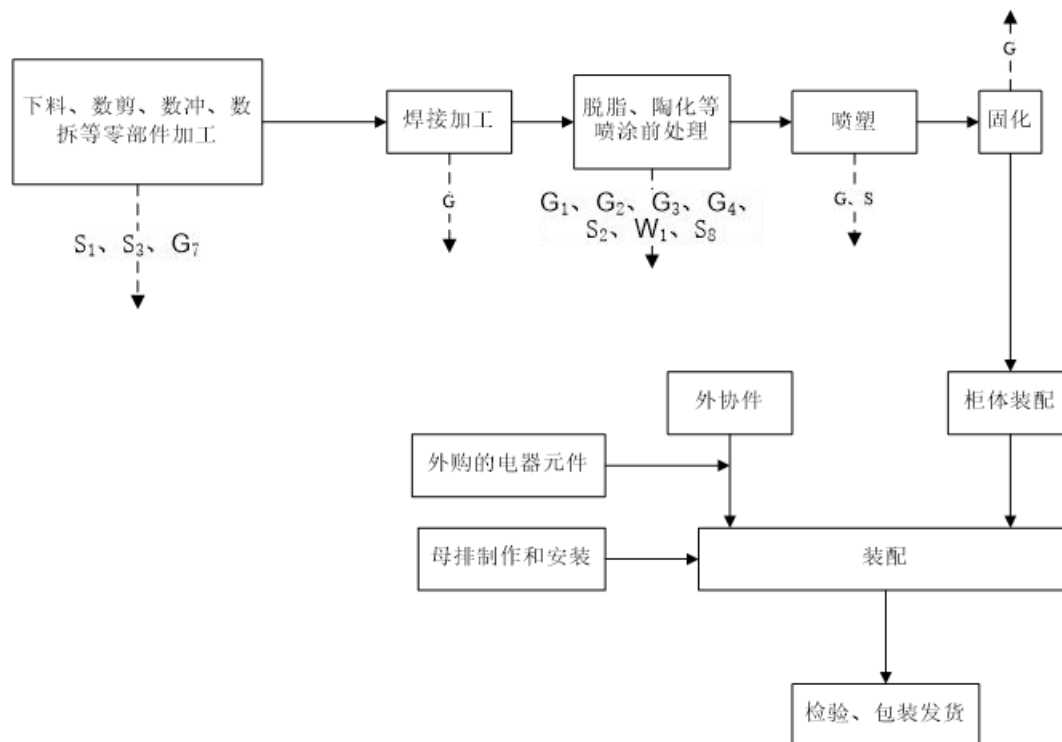


图 3.1 开关柜生产流程图

### (1) 机加工

根据尺寸将外购的敷铝锌板、冷板等用剪板机剪板后利用钻床、冲床等进行机加工，将各部分组件用焊机进行焊接。

### (2) 喷涂前处理

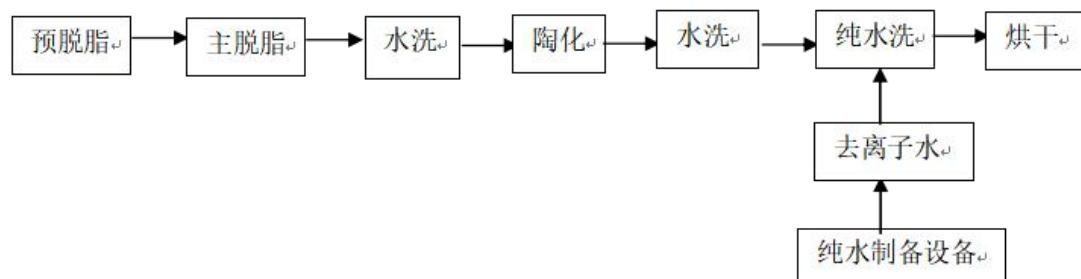


图 1-3 喷涂前处理工艺流程图

①脱脂：脱脂是利用脱脂液与油脂起化学反应去除工件表面的油污，以增强表面防护层的附着力，保证涂层不脱落、不起泡、不产生裂纹。脱脂液的主要成分为壬基酚聚氧乙烯醚和碱。工件需要进行预脱脂和主脱脂两部工序，使用泵将脱脂液喷淋在工件表面，脱脂池需要维持在 55~65°C 左右的温度。脱脂液槽使用天然气蒸汽炉间接加热。脱脂后的工件进入水洗工序，使用泵将水喷淋到工件表面。此过程水循环使用。

②陶化：陶化剂的主要成分包括链烷醇聚醚（硅烷偶联剂）、氟锆酸、无磷添加剂等。硅烷水溶液中通常以水解的形式存在，硅烷水解后通过其 SiOH 基团与技术标门面的 MeOH 基（M 表示金属）的缩水反应快速吸附于金属表面，一方面硅烷在金属界面上形成 Si-O-Me 共价键。剩余的硅烷分子通过 SiOH 基团之间的缩聚反应在金属表面形成具有 Si-O-Si 三维网状结构的硅烷膜。该硅烷膜在烘干过程中和后道的电泳漆或喷粉通过交联反应结合在一起，形成牢固的化学键。陶化剂以锆盐为基础在金属表面生成一层纳米级陶瓷膜，陶化剂不含重金属、磷酸盐和任何有机挥发成分，成膜反应过程中几乎不产生沉渣，可处理铁、锌、铝、镁等多种金属。使用泵将陶化液喷淋在工件表面，陶化池需要维持在 20~30°C 左右的温度。冬季时陶化液槽使用天然气蒸汽炉间接加热。陶化后的工件进入水洗工序，使用泵将水喷淋到工件表面。此过程水循环使用。

③纯水洗+烘干：工件最后一步使用去离子水对工件表面进行喷淋。水洗后的工件进入烘干炉将表面水分烘干。烘干使用天然气热风炉直接加热，烘干温度 110~120°C 左右。

### （3）喷塑

工件从烘干炉出来后通过传送带送入喷塑间进行喷塑。静电喷塑，采用聚酯树脂混合型塑料粉末作为喷塑原料。经静电喷塑吸附在工件表面。静电喷塑系统由喷枪、共粉器、输粉管、反吹回收系统组成。喷塑工序在喷塑间内进行，用喷枪将聚酯树脂混合型粉末喷到工件表面，在静电作用下，粉末会均匀的吸附于工件表面，形成粉状的涂层。喷塑间采用风机将工作间内的空气持续抽出，在工作间的工作口处形成一个持续的大流量的由外向内的空气流，形成负压，保证工作间散落的粉尘不会溢出，喷塑粉尘经塑粉回收装置收集后回用于生产。

### （4）固化

经喷塑加工后的工件通过传送带送入固化炉进行高温固化，高温固化的目的是将工件表面的粉末涂料加热到规定的温度并保温相应的时间，使之熔化、流平、固化，从而达到想要的工件表面效果。固化炉使用天然气热风炉间接加热，固化温度 180~200°C 左右。

### （5）母排制作

根据需要尺寸将外购铜板进行切割打孔，将加工的铜板和绝缘套置于烘炉中，绝缘套经热胀冷缩后附于铜板表面。烘炉使用电加热，加热温度 100°C 左右。

## (6) 装配

将表面喷涂加工的柜体、外购的电器元件、母排等进行组装成成品。

## 4. 数据的收集和主要排放因子说明

为了计算产品的碳足迹，必须考虑活动水平数据、排放因子数据和全球增温潜势（GWP）。活动水平数据是指产品在生命周期中的所有的量化数据（包括物质的输入、输出；能量使用；交通等方面）。排放因子数据是指单位活动水平数据排放的温室气体数量。利用排放因子数据，可以将活动水平数据转化为温室气体排放量。如：电力的排放因子可表示为： $\text{CO}_2\text{e}/\text{kWh}$ ，全球增温潜势是将单位质量的某种温室效应气体（GHG）在给定时间段内辐射强度的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数，如  $\text{CH}_4$ （甲烷）的 GWP 值是 25。活动水平数据来自现场实测；排放因子采用 IPCC 规定的缺失值。活动水平数据主要包括：原料煤消耗量、外购电力消耗量、天然气消耗量等。排放因子数据主要包括钢板排放因子、外购电力排放因子、外购天然气排放因子和交通运输排放因子。

## 5. 碳足迹计算

### 5.1 碳足迹识别

结合开关柜生产的碳足迹分析，本次评价不涉及消费终端的排放量，计算了从原材料加工到公司仓库的碳足迹。

表 5.1 碳足迹过程识别表

| 序号 | 主体      | 活动内容  | 备注 |
|----|---------|-------|----|
| 1  | 原材料加工   | 加工    | /  |
| 2  | 原材料获取   | 运输排放  | /  |
| 3  | 开关柜生产过程 | 原料、能源 | /  |
| 4  | 原料运输    | 运输排放  | /  |

### 5.2 数据计算

#### (1) 原材料加工

公司原材料供应商提供的主要原材料见下表。

表 5.2 原材料采购运输信息表

| 原辅材料名称 | 数量/t    | $\text{CO}_2$ 排放因子          | $\text{CO}_2$ 排放量/t |
|--------|---------|-----------------------------|---------------------|
| 钢板     | 9870.50 | $2.30\text{tCO}_2/\text{t}$ | 22702.15            |

## (2) 原材料获取

公司原材料供应商到公司的距离具体见下表，运输方式以公路运输为主。

**表 5.3 原材料采购运输信息表**

| 原辅材料名称 | 供应商位置 | 货运运行里程数（公里） | 运输类型 |
|--------|-------|-------------|------|
| 钢板一    | 泰安    | 6560        | 汽车   |
| 钢板二    | 天津    | 241800      | 汽车   |
| 钢板三    | 无锡    | 84000       | 汽车   |
| 合计     | /     | 332360      | /    |

根据《IPCC2006 国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单编制指南（试行）》，公路运输能耗计算公式如下：

公路（道路）交通能耗=百公里油耗\*运行里程数\*保有量（5.1）

根据《中国交通运输能源消耗水平测算与分析》，中型货车平均百公里油耗为 27.6（升/百公里）。

各类原辅材料货车运行里程数见上表 5.3。

根据上述公式计算得到原辅材料运输能耗结果如下：

**表 5.4 原材料采购运输柴油耗量表**

| 总里程数    | 柴油消耗量(升) | 柴油消耗量(吨) |
|---------|----------|----------|
| 3323.60 | 91731.36 | 78       |

其中柴油排放因子为 3.145 tCO<sub>2</sub>/t。通过核算，原辅材料获取过程中二氧化碳排放为 245.32t。

## (2) 开关柜生产

泰开成套在生产过程中，二氧化碳排放包含生产过程中消耗电力排放和消耗天然气排放。

**表 5.5 生产过程中能源消耗量**

| 能耗类别 | 活动水平                  | 排放因子                                    | 二氧化碳排放量 |
|------|-----------------------|-----------------------------------------|---------|
| 电力   | 381.15 万 kWh          | 0.8843 tCO <sub>2</sub> /MWh            | 3370.51 |
| 天然气  | 166508 m <sup>3</sup> | 2.41 tCO <sub>2</sub> /万 m <sup>3</sup> | 40.13   |
| 合计   | /                     | /                                       | 3410.64 |

通过核算，生产过程中产生二氧化碳排放为 3410.64 吨。

综上所述，2022年泰开成套生产开关柜的总产量为18666台，二氧化碳总排放量为26358.11 tCO<sub>2</sub>e，则1台开关柜的碳足迹  $e=1.41\text{tCO}_2\text{e}/\text{台}$ ，从开关柜生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出开关柜的碳排放环节主要集中在原材料生产上，其次是产品生产过程。

所以为了减小开关柜的碳足迹，应重点考虑减少原材料生产和生产过程中的碳足迹，主要为降低生产过程的碳排放，在企业可行的条件下，降低物料消耗，也是一个重要途径。

为减小产品碳足迹，建议如下：

(1) 通过设备改变运输方式、提高单次运输效率，有效减少运输过程中燃料的消耗。

(2) 加强节能工作，从技术及管理层面提升能源效率，减少电力和天然气投入，厂内可考虑实施节能改造，重点提高能源的利用率，从而减少电力和天然气的使用量；

(3) 在分析指标的符合性评价结果以及碳足迹分析、计算结果的基础上，结合环境友好的设计方案采用落实生产者责任延伸制度、绿色供应链管理等工作，提出产品生态设计改进的具体方案。

(4) 续推进绿色低碳发展意识，坚定树立企业可持续发展原则，加强生命周期理念的宣传和实践。运用科学方法，加强产品碳足迹全过程中数据的积累和记录，定期对产品全生命周期的环境影响进行自查，以便企业内部开展相关对比分析，发现问题。在生态设计管理、组织、人员等方面进一步完善。

(5) 不确定性的主要来源为初级数据存在测量误差和计算误差。减少不确定性的方法主要有：使用准确率较高的初级数据；对每一道工序都进行能源消耗的跟踪监测，提高初级数据的准确性。

## 6. 结语

山东泰开成套电器有限公司每生产1台开关柜产生1.41tCO<sub>2</sub>e，其中原材料的生产占比最大，企业可以通过工艺技术改造，减少能源，原材料的消耗，以达到产品的碳减排。