

# 《晶体硅产品碳足迹评价技术要求》团体标准

## 征求意见稿 编制说明

### 一、任务来源

光伏发电利用的是可再生的太阳能,这是新能源领域的一个主导技术,随着光伏发电产业的发展,晶硅光伏组件制造业的硅料需求也不断增长,我国是全球最大的晶硅光伏组件生产国,但国内优质的石英资源不足,近年来其他国家提出了晶体硅产品的碳足迹认证,晶体硅产品的欧洲“绿色”门槛逐渐形成。

在晶体硅产品的生产、运输和组装以及报废组件和系统配件的回收和最终处置的全过程中,碳排放和能耗情况是光伏行业的一个重点管控的方面。由于晶体硅产品的硅砂等原材料的采购、制造加工、安装、使用、退役拆卸和回收处置中的每个阶段都需要材料和能源的投入,目前行业仍处于针对于某系列或某批次晶体硅产品的碳足迹报告的计算探索阶段,而针对晶体硅产品批量生产的碳足迹系统化的分析管理体系尚不完善。

随着电池片和晶体硅光伏组件加工工艺的技术迭代和规范化,晶体硅产品的碳排放量大部分来自于硅砂及提纯硅料的生产耗能,面对晶体硅产品国际市场的越来越严格的碳排放要求,晶硅光伏制造企业主要在上游硅砂和硅料的生产环节探索碳排放的控制方式,其决定因素是提纯工艺的能耗和生产地的区域电网排放因子。在硅料方面,国内外晶硅光伏制造企业逐渐淘汰高污染的四氯化硅镁/铝还原法,同时积极开发电化学沉积法和歧化法等硅料提纯工艺。目前主要通过组合使用不同的主流生产技术、生立国和厂商制造的硅料来寻求碳排放和生产成本之间的平衡,比如在改良西门子硅料内加入一定比例的低能耗、污染少的冶金物理法硅料、硅烷流化床法颗粒硅料等。但冶金法硅料仅能达到最低太阳能级硅料纯度标准,易引发强光照下电池片严重衰减,此种硅料占比不宜超过 10%,而硅烷流化床法仍有热壁沉积和硅粉制备等技术难关,未实现大规模的工业化,市场占有率较小。高纯硅料在提纯方面的控排方式主要集中在技术领域的革新当前短期内减排量难有较大突破,但由于我国国内硅砂资源的品质不高,晶硅光伏组件制造使用的优质硅砂主要依赖进口,硅料前端的硅砂采购链较为复杂多样,有必要搭建分析管理体系,实现其生产工艺的合理控排、硅砂供应链管理的多元化和低碳化,以在原料端减少晶硅光伏组件的碳足迹。

开展晶体硅产品碳足迹核查势在必行,是提前在国际布局的重要举措,产品碳足迹评价以 LCA 方法为基础可以综合分析晶体硅产品在整个生命周期过程中的温室气体相关环境负荷现状,制定产品碳足迹品种类规则可以规范晶体硅产品碳足迹评价统一的基本规则和要求,为支撑晶体硅产品的生态设计、绿色工厂等相关认证工作提供可操作的方法。目前还尚未有晶体硅产品碳足迹的评价标准,制定此产品碳足迹标准势在必行。

二、起草单位和主要工作成员及其所作工作

1、起草单位

本标准由中国国际科技促进会标准化工作委员会提出，由中国国际科技促进会归口。本标准由中国恩菲工程技术有限公司、江苏美科太阳能科技股份有限公司、青海黄河上游水电开发有限责任公司西宁分公司、国家电力投资集团黄河公司海南分公司、北京通标华信标准技术服务有限公司共同起草。

2、主要工作成员及其所作工作

本文件主要起草人及工作职责见表1。

表1 主要起草人及工作职责

| 起草人                                                     | 工作职责                                                                                    |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 中国恩菲工程技术有限公司                                            | 项目主编单位主编人员，负责标准制定的统筹规划与安排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了晶体硅行业专业人员，晶体硅行业管理人员。 |
| 北京政企联创信息咨询有限公司、北京通标华信标准技术服务有限公司                         | 标准化协调机构，负责协调标准制定过程中出现了各类问题，提供国外的技术信息等。                                                  |
| 江苏美科太阳能科技股份有限公司、青海黄河上游水电开发有限责任公司西宁分公司、国家电力投资集团黄河公司海南分公司 | 实际生产单位、负责汇报企业晶体硅生产数据、试验方法，参与标准编制。                                                       |

三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的机械行业现状，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》的规定及相关要求编制。

四、标准编制过程

2022年6月26日，中国国际科技促进会正式批准《晶体硅产品碳足迹评价技术要求》立项。  
2023年7月14日，《晶体硅产品碳足迹评价技术要求》团体标准启动会正式召开，中国国际科技促进会标准化工作委员会质量强国工作组主持了本次会议召开，中国国际科技促进会相关领导出席会议，本次会议成立了编制组，编制组单位为中国恩菲工程技术有限公司、江苏美科太阳能科技股份有限公司、青海黄河上游水电开发有限责任公司西宁分公司、国家电力投资集团黄河公司海南分公司、北京通标华信标准技术服务有限公司。  
对草案稿进行了讨论，编制组根据讨论会意见形成了征求意见稿。  
2024年1月8日，《晶体硅产品碳足迹评价技术要求》团体标准申请开始征求意见。

五、标准主要内容

1 范围

本文件规定了晶体硅产品碳足迹评价的目标、核算范围、功能单位、系统边界、数据收集与处理、核算、报告等内容。  
本文件适用于晶体硅产品碳足迹核算活动。

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 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 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

ISO 14064-1 温室气体-第一部分：在组织层面温室气体排放和移除的量化和报告指南性规范  
(Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals)

### 3 术语和定义

GB/T 24040、GB/T 24044、GB/T 32150界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

产品碳足迹 product carbon footprint; PCF

主要为量化商品或服务（统称为产品）生命周期中，因直接及间接活动累积于商品或服务的温室气体排放量。基于生命周期评价方法，产品生命周期内各阶段的温室气体排放量，主要涉及的温室气体包括京都议定书规定的六种气体二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)、全氟碳化物(PFCs)以及氢氟碳化物(HFCs)。

[来源：ISO 14064-1]

#### 3.2

功能单位 functional unit

用来作为基准单位的量化的产品系统性能。

[来源：GB/T 24044-2008，3.20]

#### 3.3

单元过程 unit process

进行生命周期清单分析时为量化输入和输出数据而确定的最基本部分。

[来源：GB/T 24044-2008，3.34]

### 4 评价目标

#### 4.1 评价目标

通过量化多晶硅、单晶硅等晶体硅产品生命周期内所有显著的碳排放，来计算该产品对全球暖化的潜在贡献（以二氧化碳当量表示）。

#### 4.2 评价内容

产品碳足迹评价内容应与评价目标相一致。在确定评价内容时应考虑并清晰描述以下项目：

- 1) 核算范围
- 2) 功能单位；
- 3) 系统边界，包括产品系统的地理范围；
- 4) 数据与数据质量要求；
- 5) 分配原则；
- 6) 计算。

### 5 核算范围

在确定产品碳足迹核算范围过程中，应考虑并描述包括但不限于下列各项：

- 产品（系统）范围：明确产品名称、型号、功能、功能单位（第6章）和系统边界（第7章）；
- 时间范围：选择核算碳足迹有代表性的时间段；

注：与产品生命周期中具体单元过程相关的温室气体排放和清除随时间变化，选择的时间范围应可以确定产品生命周期中温室气体排放和清除的平均值，如：季节性生产的产品应覆盖产品生产的整个时间周期，不能仅使用部分时间段的数据进行核算。

- 温室气体范围：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(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)和三氟化氮(NF<sub>3</sub>)。

## 6 功能单位

核算产品碳足迹应确定功能单位。功能单位的表述中应包含影响碳足迹核算的产品系统的主要功能。  
示例：1 千克高纯多晶硅。

## 7 系统边界

按照本文件核算产品碳足迹应主要核算产品在原材料获取、制造阶段的温室气体排放。

## 8 数据收集与处理

### 8.1 数据质量要求

数据收集与处理过程中，相关数据应满足以下数据质量要求：

- 技术代表性：数据反映实际生产技术情况，即体现实际工艺流程、技术和设备类型、原料与能耗类型、生产规模等因素的影响；
- 时间代表性：数据反应单元过程的实际时间；
- 地理代表性：排放因子等相关参数的选择考虑单元过程所处的地理位置；
- 数据完整性：按照数据取舍准则，判断是否已收集各生产过程的主要消耗和排放数据，尽可能避免数据缺失，缺失的数据需在报告中说明；
- 数据准确性：原料、辅料、能耗、包装等数据需采用企业实际生产统计记录，环境排放数据优先采用环境监测报告；所有数据均有相关的数据来源和数据处理算法；估算或引用文献的数据需在报告中说明；
- 数据一致性：每个过程的消耗与排放数据需保持一致的统计标准，即基于相同产品产出、相同过程边界、相同数据统计期；存在不一致情况时需在报告中说明。
- 数据收集原则：活动水平数据优先采用直接计量、测量获得的原始数据，其次采用通过原始数据折算获得的二次数据，以上数据均不可获得时可采用来自相似单元过程的替代数据。使用阶段可使用统计数据、设计数据或估算数据。

### 8.2 分配原则

在边界设置或数据收集时，应尽量避免进行数据分配。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：

- 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；
- 无法找到物理关系时，则依经济价值进行分配；
- 若使用其他分配方法，须提供所使用参数的基础及计算说明。

### 8.3 数据取舍准则

在产品碳足迹核算过程中，可规定一套数据取舍准则，舍弃产品碳足迹影响较小的因素，简化数据收集过程。小于产品重量1%的原辅料引起的排放可舍弃，同类物料应按合计重量判断，但总共舍弃的重量不宜超过产品重量的5%。产品生产过程中人员产生的温室气体排放可舍弃。

## 9 产品碳足迹核算要求

### 9.1 产品碳足迹

晶体硅产品碳足迹的核算见公式（1）：

$$CFP = \sum_i (E_{\text{燃烧},i} + E_{\text{外购电},i} + E_{\text{外购热},i} + E_{\text{过程},i}) \times 1000 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

CFP——产品碳足迹，单位为千克二氧化碳当量（kgCO<sub>2</sub>e）；

$E_{\text{燃烧}}$ ——单元过程化石燃料燃烧温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO<sub>2</sub>e）；

$E_{\text{外购电}}$ ——单元过程电力消耗温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO<sub>2</sub>e）；

$E_{\text{外购热}}$ ——单元过程热力消耗温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO<sub>2</sub>e）；  
 $E_{\text{过程}}$ ——产品原材料获取、制造阶段过程的温室气体排放，单位为吨二氧化碳当量（tCO<sub>2</sub>e）；  
 $i$ ——单元过程。

## 9.2 化石燃料燃烧排放

### 9.2.1 化石燃料燃烧温室气体排放量

化石燃料燃烧温室气体排放量计算见公式（2）：

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_i \sum_j AD_{ij} \times EF_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$E_{\text{燃烧}}$ ——单元过程化石燃料燃烧温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO<sub>2</sub>e）；

$AD_{ij}$ ——单元过程化石燃料燃烧活动水平数据，是单元过程 $i$ 燃烧的第 $j$ 种化石燃料燃烧的热量，单位为吉焦（GJ）；

$EF_{ij}$ ——单元过程 $i$ 燃烧的第 $j$ 种化石燃料的排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吉焦（tCO<sub>2</sub>e/GJ）；

注：温室气体排放因子优先采用企业直接测量获得或者通过能量平衡、物料平衡等方法测算获得的排放因子实测值或测算值，其次采用附录A或相关指南、文件、数据库中提供的排放因子。

$i$ ——单元过程；

$j$ ——化石燃料类型。

### 9.2.2 化石燃料燃烧活动水平数据

化石燃料的活动水平数据计算见公式（3）：

$$AD_{ij} = FC_{ij} \times NCV_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$AD_{ij}$ ——化石燃料的活动水平数据，单位为吉焦（GJ）；

$FC_{ij}$ ——化石燃料的消费量，固体和液体燃料的单位为吨（t），气体燃料单位为万标准立方米（104Nm<sup>3</sup>）；

$NCV_{ij}$ ——化石燃料的低位热值，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每万标准立方米（GJ/104Nm<sup>3</sup>）；

$i$ ——单元过程；

$j$ ——化石燃料类型。

注：化石燃料的平均低位发热量宜采用购买合同等化石燃料供应方提供文件中的数据，或自行测量数据。燃煤热值测量方法遵循GB/T 213的相关规定。天然气低位发热值的测量方法遵循GB/T 11062的相关规定。以上方式均不可行时，可选择地方或国家主管部门发布的数据。

### 9.2.3 化石燃料排放因子

化石燃料排放因子的计算见公式（4）：

$$EF_j = CC_j \times \alpha_j \times \rho \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$EF_j$ ——化石燃料 $j$ 的排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吉焦（tCO<sub>2</sub>e/GJ）；

$CC_j$ ——化石燃料 $j$ 的单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦（tC/GJ）；

$\alpha_j$ ——化石燃料 $j$ 的碳氧化率，单位为百分比（%）；

$\rho$ ——二氧化碳与碳的分子量之比，取值44/12；

$j$ ——化石燃料类型。

注：化石燃料的单位热值含碳量和碳氧化率应通过检测和计算获得。以上方式不可行时，应使用地方或国家主管部门发布的缺省值。常用化石燃料相关参数推荐值可参考附录A。

## 9.3 净购入电力排放

### 9.3.1 电力温室气体排放量

电力消耗温室气体排放量的计算见公式（5）：

$$E_{\text{外购电}} = \sum_i AD_{\text{外购电},i} \times EF_{\text{电},i} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$E_{\text{外购电}}$ ——单元过程电力消耗温室气体排放量,单位为吨二氧化碳当量(tCO<sub>2</sub>e);

$AD_{\text{外购电},i}$ ——各电力消耗单元过程的电力消耗量,单位为兆瓦时(MWh);

$EF_{\text{电},i}$ ——各电力消耗单元过程的电力排放因子,单位为吨二氧化碳当量每兆瓦时(tCO<sub>2</sub>e/MWh);

$i$ ——单元过程。

### 9.3.2 电力活动水平数据

电力消耗量可以通过查读电力计量器具获得。

### 9.3.3 电力排放因子

电力排放因子应采用地方主管部门最新发布的数据或相关计算方法进行计算。

## 9.4 净购入热力排放

### 9.4.1 热力温室气体排放

热力消耗温室气体排放按的计算见公式(6):

$$E_{\text{外购热}} = AD_{\text{外购热},i} \times EF_{\text{热},i} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$E_{\text{外购热}}$ ——单元过程热力消耗温室气体排放量,单位为吨二氧化碳当量(tCO<sub>2</sub>e);

$AD_{\text{外购热},i}$ ——各热力消耗单元过程的热力消耗量,单位为吉焦(GJ);

$EF_{\text{热},i}$ ——各热力消耗单元过程的热力排放因子,单位吨二氧化碳当量每吉焦(tCO<sub>2</sub>e/GJ);

$i$ ——单元过程。

### 9.4.2 热力活动水平数据

热力消耗量可以通过查读热力计量器具获得。

### 9.4.3 热力排放因子

热力排放因子应采用地方主管部门最新发布的数据或相关计算方法进行计算。

## 9.5 过程排放

晶体硅产品过程排放为原材料获取、制造过程中产生的温室气体排放。过程温室气体排放的计算见公式(7):

$$E_{\text{过程}} = E_{\text{原材料获取}} + E_{\text{制造}} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$E_{\text{过程}}$ ——过程温室气体排放,单位为吨二氧化碳当量(tCO<sub>2</sub>e);

$E_{\text{原材料获取}}$ ——原材料获取阶段温室气体排放,单位为吨二氧化碳当量(tCO<sub>2</sub>e);

$E_{\text{制造}}$ ——制造阶段温室气体排放,单位为吨二氧化碳当量(tCO<sub>2</sub>e)。

## 10 产品碳足迹评价报告

### 10.1 产品碳足迹报告应至少包含以下内容:

- 产品名称、规格、型号和功能描述;
- 功能单位;
- 系统边界;
- 核算期;
- 核算依据;
- 生命周期阶段描述;
- 数据取舍准则描述;

- 产品碳足迹；
- 结论和不确定性说明；
- 其他需要说明的情况。

10.2 晶体硅产品碳足迹核算报告模板可参考附录 B。

### 附 录 A

（资料性）

#### 常用化石燃料相关参数推荐值

相关参数推荐值见表A.1，A.2。

表 A.1 常用化石燃料相关参数推荐值

| 序号                        | 燃烧品种  | 低位发热量<br>GJ/t，GJ/104Nm3 | 单位热值含碳量<br>tC/TJ | 燃料碳氧化率<br>% |
|---------------------------|-------|-------------------------|------------------|-------------|
| 1                         | 无烟煤   | 20.304                  | 27.49            | 85          |
| 2                         | 一般烟煤  | 19.570                  | 26.18            | 85          |
| 3                         | 褐煤    | 14.080                  | 28.0             | 96          |
| 4                         | 洗精煤   | 26.334                  | 25.4             | 96          |
| 5                         | 其他洗煤  | 8.363                   | 25.4             | 96          |
| 6                         | 煤制品   | 17.460                  | 33.6             | 90          |
| 7                         | 焦炭    | 28.447                  | 29.4             | 93          |
| 8                         | 焦炉煤气  | 173.54                  | 13.6             | 99          |
| 9                         | 其他煤气  | 52.27                   | 12.2             | 99          |
| 10                        | 原油    | 42.620                  | 20.1             | 98          |
| 11                        | 燃料油   | 40.190                  | 21.1             | 98          |
| 12                        | 汽油    | 44.800                  | 18.9             | 98          |
| 13                        | 柴油    | 43.330                  | 20.2             | 98          |
| 14                        | 航空煤油  | 44.100                  | 19.5             | 100         |
| 15                        | 一般煤油  | 44.750                  | 19.6             | 98          |
| 16                        | 液化石油气 | 47.310                  | 17.2             | 98          |
| 17                        | 炼厂干气  | 46.050                  | 18.2             | 98          |
| 18                        | 石脑油   | 45.010                  | 20.0             | 98          |
| 19                        | 石油焦   | 31.998                  | 27.5             | 98          |
| 20                        | 其他油品  | 41.031                  | 20.0             | 98          |
| 21                        | 天然气   | 389.31                  | 15.3             | 99          |
| 22                        | 其他    | ——                      | 12.2             | 99          |
| 注：开展晶体硅产品碳足迹核算时应注意使用最新数据。 |       |                         |                  |             |

表 A.2 其他排放因子推荐值

| 参数名称                                      | 单位       | 推荐值   |
|-------------------------------------------|----------|-------|
| 电网供电排放因子                                  | tCO2/MWh | 0.604 |
| 热力供应排放因子                                  | tCO2/GJ  | 0.11  |
| 注：以上排放因子推荐值请注意采用地方主管部门最新发布的数据或相关计算方法进行计算。 |          |       |

#### 七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

#### 八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

#### 九、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

#### 十、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

#### 十一、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准起草组

2024 年 1 月