ICS 27.160
CCS F 12

团　　体　　标　　准

T/CIECCPA XXX-XXXX

光伏组件类产品碳足迹核算与评价指南

Guidelines for carbon footprint accounting and evaluation of photovoltaic module products

（初稿）

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

目　　次

前　　言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总则 1
4.1 核算原则 1
4.2 核算目的 1
4.3 功能单位与声明单位 1
4.4 系统边界 2
4.5 温室气体种类 2
5 核算原理与类型 2
5.1 核算原理 2
5.2 核算类型 3
5.3 核算方法选择 3
6 核算材料与条件 3
6.1 数据收集材料 3
6.2 核算条件要求 4
7 核算步骤 4
7.1 步骤一：确定核算目的与范围 4
7.2 步骤二：清单分析（LCI） 5
7.3 步骤三：影响评价（碳足迹计算） 5
7.4 步骤四：结果解释 6
8 评价方法 6
8.1 评价指标体系 6
8.2 等级判定 6
8.3 数据质量评价 7
8.4 评价报告内容要求 7
附　录　A （资料性） 光伏组件碳足迹核算数据记录模板 8

前　言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

光伏组件类产品碳足迹核算与评价指南

1 范围

本文件提供了光伏组件类产品碳足迹核算与评价的指导，给出了总则、核算原理与类型、核算材料与条件、核算步骤、评价方法等内容。

本文件适用于晶体硅光伏组件（包括单晶硅和多晶硅组件）的碳足迹核算与评价。薄膜光伏组件及其他类型光伏组件可参照使用。

本文件不涉及碳抵消、碳信用或任何形式的碳补偿活动的评价，亦不评价光伏组件生命周期中的社会影响和经济影响。

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，仅该日期的对应版本适用本文件；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 24067 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南

SJ/T 11926 产品碳足迹 产品种类规则 光伏组件

3 术语和定义

GB/T 24040、GB/T 24044、GB/T 24067、SJ/T 11926 界定的术语和定义适用于本文件。

4 总则

4.1 核算原则

光伏组件碳足迹核算应遵循以下原则。

a）相关性，产品符合 SJ/T 11926 的规定，数据和方法的选择应能反映光伏组件生命周期中实际产生的温室气体排放，服务于核算目的。

b）完整性，系统边界内所有显著的温室气体排放源均应纳入核算。若因数据不可得而排除某些排放源，应说明排除理由及其对结果的影响程度。对于光伏组件，硅料生产、硅片、电池片、组件封装及主要辅材（玻璃、边框、背板、EVA、接线盒）均应纳入。

c）一致性，假设、方法和数据选择应在整个核算过程中保持一致，确保不同批次或不同企业间的结果具有可比性。

d）准确性，应尽量减少偏差和不确定性。初级数据的优先使用是保障准确性的关键。

e）透明性，应充分记录数据来源、计算方法、假设条件和分配方法，使第三方能够追溯和复核核算过程。

4.2 核算目的

碳足迹核算的目的通常包括但不限于：

a）识别光伏组件生命周期中的碳排放热点，为减排提供依据；

b）满足下游客户或国际市场的碳足迹信息需求；

c）支撑企业碳减排目标设定与绩效追踪；

d）为绿色产品设计或工艺改进提供量化基础。

4.3 功能单位与声明单位

4.3.1 推荐功能单位

光伏组件碳足迹核算的功能单位宜为：1 kWp 光伏组件在其 30 年设计寿命期间产生的直流电量（kWh）。该功能单位考虑了组件的功率输出和寿命，有利于比较不同转换效率的产品。

4.3.2 替代功能单位

当核算范围限定为“从摇篮到大门”（即组件成品出厂）时，功能单位可定义为 1 kWp 光伏组件。此时核算结果以 kg CO_2e/kWp 表示。

4.3.3 声明单位

若采用部分碳足迹（partial CFP）核算，声明单位宜与功能单位或功能单位的特定部分保持一致。

4.4 系统边界

4.4.1 默认系统边界：从摇篮到大门

默认系统边界涵盖从原材料获取到光伏组件成品出厂的全过程，包括：

a）原材料获取：石英砂开采、工业硅冶炼、多晶硅/单晶硅生产、硅片切割；

b）电池片制造：制绒、扩散、镀膜、丝网印刷、烧结；

c）组件封装：玻璃、EVA 胶膜、背板、边框、接线盒、焊带的生产，以及层压、装框、固化、测试；

d）运输：各阶段原材料及半成品在供应链节点间的运输；

e）能源供应：上述过程中电力、热力、燃料的生产和输送（包括输配电损耗）。

4.4.2 可选边界扩展：从摇篮到坟墓

若核算目的需要，可扩展系统边界至产品废弃阶段，包括组件回收、拆解、材料再生或处置过程。废弃阶段的核算宜依据实际回收技术路线，并明确再生材料的归属（如采用 cut-off 方法或避免负担法）。使用阶段的排放（如组件运行期间无直接排放）可不纳入，但应予以说明。

4.4.3 排除项

以下过程可排除，但应单独说明其合理性：

a）员工通勤；

b）固定资产（厂房、设备）的生产；

c）研发活动；

d）包装材料（若其质量占比小于产品总质量的 1%且排放贡献不显著）。

4.5 温室气体种类

核算应至少涵盖以下温室气体，以 IPCC 第六次评估报告（AR6）发布的 100 年全球变暖潜势（GWP_{100}）值折算为 CO_2e：

a）二氧化碳（CO_2）：GWP=1

b）甲烷（CH_4）：GWP=29.8（化石源）/27.0（非化石源）

c）氧化亚氮（N_2O）：GWP=273

d）六氟化硫（SF_6）：GWP=25200

e）三氟化氮（NF_3）：GWP=17400

f）四氟化碳（CF_4）：GWP=7380

g）六氟乙烷（C_2F_6）：GWP=12400

注：光伏电池制造中使用的 NF_3、SF_6等含氟气体具有极高的 GWP 值，应作为优先控制的排放源。

5 核算原理与类型

5.1 核算原理

光伏组件碳足迹核算基于生命周期评价（LCA）方法，遵循 GB/T 24040 和 GB/T 24044 确立的四阶段框架：目的与范围确定、清单分析、影响评价（仅针对气候变化这一影响类别）和结果解释。核算的基本逻辑按照式 1：

$$CFP = \sum_i AD_i \times EF_i \cdots\cdots (1)$$

式中：

CFP —— 产品碳足迹，kg CO_2e；

AD_i —— 第 i 种活动的数据量（如消耗的电力 kWh、硅料 kg、运输 t·km）；

EF_i —— 第 i 种活动的排放因子（如电网排放因子 kg CO_2e/kWh、材料排放因子 kg CO_2e/kg）。

对于多产品共线生产的情况（如同一车间生产不同规格组件），应采用物理分配（如面积、质量、功率）或经济分配方法，分配方法应在报告中明确说明并保持一致。

5.2 核算类型

根据核算深度和数据可得性，将光伏组件碳足迹核算分为表 1 中三种类型。

表 1 光伏组件碳足迹核算类型

类型	名称	数据要求	适用场景	结果用途
类型 A	筛查型核算	以次级数据为主（≥70%），初级数据仅用于关键工艺（如电力消耗）	企业内部热点识别、初步对标	内部管理参考
类型 B	标准型核算	初级数据占比≥50%，关键原材料（硅料、玻璃、边框）宜使用供应商特定数据	客户问询、供应链碳管理	对外交流（非认证）
类型 C	核查型核算	初级数据占比≥80%，数据经第三方核查	碳足迹声明、国际准入	可用于认证或法规申报
注：初级数据占比按各过程碳排放贡献率加权计算，而非简单按数据条目数计算。				

5.3 核算方法选择

5.3.1 以“从摇篮到大门”为主

鉴于光伏组件使用阶段几乎不产生直接温室气体排放，且废弃阶段回收技术路线尚在发展中，本文件推荐以“从摇篮到大门”作为主要核算类型。若需进行全生命周期核算，应单独说明使用阶段和废弃阶段的假设与数据来源。

5.3.2 电网排放因子的选择

电力消耗是光伏组件制造中最大的排放贡献源之一。核算应采用所在地电网的官方排放因子。对于中国境内生产，宜采用生态环境部发布的最近年度全国电网平均排放因子（2023 年度值为 0.5706 kg CO_2/kWh）。若企业使用了绿电（含自建光伏或外购绿电证书），可依据绿电溯源凭证调整电力排放因子，但应单独披露调整前后的结果。

5.3.3 多晶硅与单晶硅的区分

多晶硅料和单晶硅料的生产工艺（改良西门子法、流化床法）能耗差异显著，核算时应分别采集数据，不应使用行业平均混合值替代。

6 核算材料与条件

6.1 数据收集材料

6.1.1 初级数据收集表

企业应建立以下数据收集记录（示例见表 2）：

表 2 光伏组件碳足迹初级数据收集表（示例：组件封装阶段）

数据项	单位	数值	数据来源	数据期间	备注
光伏玻璃用量	kg/kWp	待填	采购台账	2025 年度	按 3.2mm 厚度计
铝边框用量	kg/kWp	待填	BOM 表	2025 年度	6063-T5 合金
EVA 胶膜用量	kg/kWp	待填	领料单	2025 年度	透明 EVA+白色 EVA
背板用量	m^2/kWp	待填	领料单	2025 年度	含氟背板
接线盒用量	套/kWp	待填	BOM 表	2025 年度	含旁路二极管
层压电力消耗	kWh/kWp	待填	电表	2025 年度	层压机工序
层压热力消耗	MJ/kWp	待填	蒸汽/天然气表	2025 年度	如有
天然气消耗（固化炉）	Nm^3/kWp	待填	流量计	2025 年度	如适用

6.1.2 次级数据来源要求

次级数据应优先选择：

a）中国生命周期基础数据库（CLCD）；

b）生态环境部发布的排放因子；

c）经同行评议的文献或行业统计报告；

d）国际数据库（包括 Ecoinvent、GaBi）中与中国生产条件相近的数据；

e）使用次级数据时，应记录数据库名称、版本年份、地理范围和技术代表性。

6.2 核算条件要求

6.2.1 数据时间边界

初级数据应覆盖至少连续 12 个月的正常生产周期。若生产负荷波动较大，宜采用 12 个月加权平均值。数据年份距核算报告发布日不应超过 3 年。

6.2.2 数据质量评分

建议对每项数据按表 3 的维度进行质量评分（1～5 分，5 分为最优）。

表 3 数据质量评分

维度	5 分标准	1 分标准
技术代表性	来自本企业同类产线实测	来自不同技术路线或不同国家
地理代表性	来自本企业所在地	来自全球平均值
时间代表性	近 1 年内数据	超过 5 年数据
完整性	实测覆盖全过程	估算或缺失
来源可靠性	经第三方核查	非公开估算
注：加权平均得分≥3.5 分的数据方可作为类型 B 及以上核算的依据。		

6.2.3 设备与计量条件

企业应具备以下计量能力：

a）主要耗电设备（多晶硅还原炉、单晶炉、层压机、测试仪）独立电表或分项计量；

b）主要物料（硅料、玻璃、边框）的称重或计长设备；

c）天然气/蒸汽流量计（如使用热力）；

d）运输距离记录系统（发货单或物流系统）。

6.2.4 人员条件

核算人员应具备：

a）熟悉 GB/T 24040 和 GB/T 24044 的基本框架；

b）了解光伏组件生产工艺流程；

c）能够识别数据异常并进行合理性校验。

7 核算步骤

7.1 步骤一：确定核算目的与范围

7.1.1 明确核算类型

根据第 5.2 条确定采用类型 A、B 或 C。

7.1.2 界定系统边界

绘制产品系统流程图，标注各单元过程及输入输出。典型晶体硅光伏组件系统流程图如图 1。

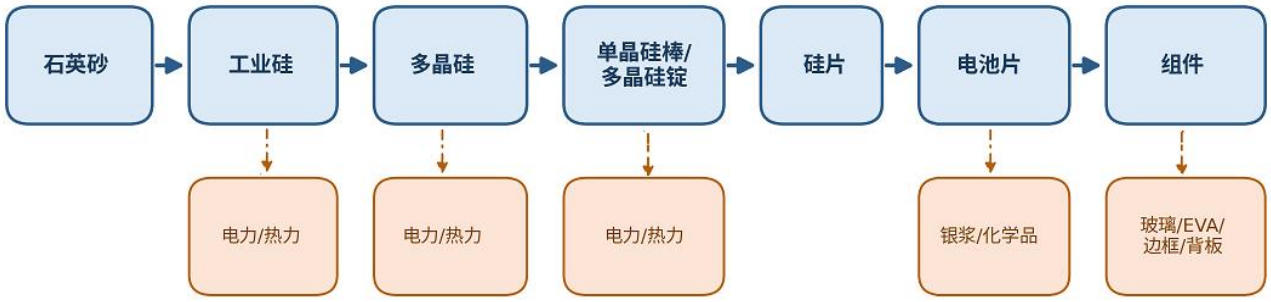


图 1 典型晶体硅光伏组件系统流程图

7.1.3 确定功能单位

按本文件第 4.3 条执行。

7.2 步骤二：清单分析（LCI）

7.2.1 数据收集

按照表 1 的格式，逐单元过程收集输入（原料、能源、水）和输出（产品、co-products、排放物）。对于硅料环节，应特别注意：

a）三氯氢硅合成与提纯的电力消耗；

b）还原炉的电力消耗和氩气消耗；

c）尾气回收系统的电力消耗。

7.2.2 分配处理

多晶硅生产过程中可能产生四氯化硅等副产品，若其对外销售，应采用质量分配或经济价值分配。推荐优先采用质量分配，若副产品经济价值显著高于其质量占比，可改用经济分配，但应披露分配系数。

7.2.3 数据校验

对收集的数据进行以下校验：

a）物料平衡：输入硅料质量≈产出硅片质量+切割损耗+废料；

b）能量平衡：电力消耗与设备额定功率×运行时间的一致性；

c）趋势校验：与上年度数据或行业均值对比，偏差超过 30%应查明原因。

7.3 步骤三：影响评价（碳足迹计算）

7.3.1 排放因子选取

主要排放因子推荐值见表 4。

表 4 光伏组件碳足迹核算推荐排放因子（示例）

项目	单位	推荐值	来源/依据
全国电网平均排放因子	kg CO_2/kWh	0.5703	生态环境部 2023 年度值
工业硅（冶金级）	kg CO_2e/kg	12.5～14.0	CLCD 数据库
多晶硅（改良西门子法）	kg CO_2e/kg	45～65	行业调研中位值
单晶硅片（182mm）	kg CO_2e/片	8.5～12.0	依据硅耗与电耗计算
光伏玻璃（3.2mm）	kg CO_2e/m²	12.0～15.0	含窑炉能耗
铝边框（原生铝）	kg CO_2e/kg	11.5～13.5	电解铝为主
铝边框（再生铝）	kg CO_2e/kg	1.5～2.5	再生铝工艺
EVA 胶膜	kg CO_2e/kg	2.8～3.5	石化路线
背板（含氟）	kg CO_2e/kg	5.5～8.0	含氟膜生产
天然气燃烧	kg CO_2e/Nm³	2.16	IPCC 缺省值
柴油（运输）	kg CO_2e/L	2.68	IPCC 缺省值

7.3.2 计算示例

以某 1 kWp 单晶组件（效率 22%，面积 4.55 m²）的“从摇篮到大门”核算为例，参考表 5。

表 5　计算示例

阶段	排放量（kg CO_2e/kWp）	占比
多晶硅料	210	28.0%
单晶拉棒/切片	165	22.0%
电池片制造	135	18.0%
组件封装（含辅材）	180	24.0%
运输	30	4.0%
合计	720	100%
注：上述数值为示例性数据，实际核算应以企业实测数据为准。硅料环节排放占比通常在 25%～35%之间，是最大的单一排放源。		

7.3.3　不确定性分析

应至少进行定性不确定性分析，说明主要不确定性来源（包括硅料排放因子的地域差异、电网因子年际波动）。对于类型 C 核算，宜进行定量敏感性分析，识别对结果影响最大的前 3 项参数。

7.4　步骤四：结果解释

7.4.1　热点识别

基于各阶段贡献率，识别碳排放热点。典型光伏组件的热点排序通常为：硅料＞组件封装辅材（玻璃、边框）＞电池片制造＞硅片＞运输。

7.4.2　减排潜力分析

针对热点提出改进建议，包括：

a）提高硅料生产的绿电比例；

b）使用再生铝边框替代原生铝边框（可降低边框碳排放约 80%）；

c）提高组件转换效率（降低每 kWp 的物料消耗）；

d）优化层压工艺温度曲线以降低电力消耗。

7.4.3　完整性检查

确认系统边界内所有显著排放源（贡献率＞1%）均已纳入，排除项已记录理由。

8　评价方法

8.1　评价指标体系

光伏组件碳足迹评价宜采用表 6 指标。

表 6　光伏组件碳足迹评价指标体系

指标	定义	单位	参考基准值（类型 B，2025 年）
单位功率碳足迹	CFP/组件峰值功率	kg CO_2e/kWp	≤750（先进值）；≤900（一般值）
单位发电量碳足迹	CFP/30 年发电量	g CO_2e/kWh	≤25（先进值）；≤30（一般值）
硅料碳强度	硅料环节排放/硅料产出	kg CO_2e/kg-Si	≤55（先进值）
组件封装碳强度	封装环节排放/组件面积	kg CO_2e/㎡	≤45（先进值）
注：上述基准值基于中国 2024—2025 年行业平均电网排放因子和典型工艺水平制定，将随电网清洁化和技术进步动态更新。			

8.2　等级判定

对于类型 B 及以上核算，可依据单位功率碳足迹进行等级判定，参见表 7。

表 7　单位功率碳足迹等级判定

等级	单位功率碳足迹（kg CO_2e/kWp）	说明
引领级	≤600	绿电比例高、硅料低碳、再生材料应用
先进级	601～750	优于行业平均水平
合格级	751～900	达到行业一般水平
待改进	＞900	需识别热点并制定减排计划

注：等级判定仅适用于同一功能单位（1 kWp）和同一系统边界（从摇篮到大门）的结果比较。不同效率组件的比较应基于单位发电量碳足迹（g CO_2e/kWh）。

8.3 数据质量评价

按 6.2.2 条的数据质量评分方法，对核算整体数据质量进行评价，参见表 8。

表 8 整体数据质量评价

加权平均分	数据质量等级	适用核算类型
≥4.0	优	类型 C
3.5～3.9	良	类型 B、C
3.0～3.4	中	类型 A、B
＜3.0	差	仅类型 A，需改进

8.4 评价报告内容要求

评价报告应至少包含：

a）核算目的与类型；
b）功能单位与系统边界（附流程图）；
c）数据收集表及数据来源清单（参见附录 A）；
d）排放因子选取依据；
e）碳足迹计算结果（分阶段列出）；
f）不确定性分析；
g）与基准值的对比及等级判定（如适用）；
h）减排建议；
i）数据质量评价结论。

附 录 A
（资料性）
光伏组件碳足迹核算数据记录模板

表A.1 硅料与硅片阶段数据记录表

参数	单位	数值	来源	备注
多晶硅用量	kg/kWp		采购发票	
多晶硅供应商	—			需获取供应商碳足迹数据
单晶拉棒电力	kWh/kg-Si		电表	
切片电力	kWh/片		电表	
切片金刚线消耗	m/片		领料单	
硅片良率	%		生产报表	

表A.2 电池片阶段数据记录表

参数	单位	数值	来源	备注
电池片转换效率	%		测试记录	
银浆消耗	mg/片		领料单	正面+背面
铝浆消耗	mg/片		领料单	
NF_3消耗	g/片		气体流量计	GWP=17400
电池片制造电力	kWh/片		分项电表	

参考文献

[1] 生态环境部与国家统计局《关于发布2023年电力二氧化碳排放因子的公告》