

山东力诺阳光电力科技有限公司  
高效光伏组件  
产品碳足迹报告

完成单位（公章）：山东正向国际低碳科技有限公司

报告日期：2024年05月10日



# 目 录

一、前言 .....	1
二、评价目的 .....	2
三、评价过程和方法 .....	4
3.1 评价标准 .....	4
3.3 评价流程 .....	5
3.3.1 文件评价 .....	5
3.3.2 现场访问 .....	6
3.3.3 报告编写及内部技术复核 .....	6
四、评价范围 .....	7
4.1 企业基本情况 .....	7
4.2 评价对象 .....	9
4.3 系统边界 .....	9
4.3.1 时间边界 .....	9
4.3.2 排放源边界 .....	10
4.3.3 生命周期模式 .....	10
五、清单分析 .....	11
5.1 生产技术 .....	11
5.2 清单分析 .....	13
六、数据收集 .....	15
6.1 数据收集和评价过程 .....	15

6.1.1 产品数据 .....	15
6.1.2 物料数据 .....	15
6.1.3 能耗数据 .....	17
6.1.4 其他数据 .....	17
6.1.5 碳足迹核算系数 .....	19
6.2 数据汇总表 .....	20
<b>七、产品碳足迹的计算 .....</b>	<b>21</b>
7.1 计算公式 .....	21
7.2 产品碳足迹评估与分析 .....	23
7.3 产品碳足迹分析 .....	25
7.3.1 按生命周期各环节分析 .....	25
<b>八、不确定性分析 .....</b>	<b>25</b>
8.1 分析方法 .....	25
8.2 不确定性分析结果 .....	29
<b>九、结论 .....</b>	<b>30</b>
<b>十、节能减排建议 .....</b>	<b>30</b>
<b>附录 .....</b>	<b>32</b>
附录 1 产品碳足迹评价声明 .....	32

# 一、前言

全球气候系统正在发生重要的变化，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在 2014 年发布的 IPCC 第五次评估报告中确认世界各地都在发生气候变化，而气候系统变暖是毋庸置疑的。报告明确指出人类对气候系统的影响是明确的，而且这种影响在不断增强，在世界各个大洲都已观测到种种影响。如果任其发展，气候变化将会增强对人类和生态系统造成严重、普遍和不可逆转影响的可能性。

“碳足迹”（Carbon footprint）被用来描述产品或服务从生产、消费到废弃的整个生命周期过程中温室气体的排放量。有效地控制碳足迹，既可以减少温室气体的排放量，减少对环境的影响，又可以节约能源的消耗。有效的碳信息汇报和碳减排已成为各生产型企业控制生产成本、提高企业竞争力的方法，在社会各领域中逐渐达成了可持续发展的共识。

“十三五”规划中也提到要主动控制碳排放，有效控制碳排放总量，2016 年 10 月，为加快推进绿色低碳发展，确保完成“十三五”规划纲要确定的低碳发展目标任务，推动我国二氧化碳排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰，国务院印发了《“十三五”控制温室气体排放工作方案》，温室气体控排力度进一步加大，对企业碳管理提出更高的要求。碳足迹评价在企业碳管理过程中具有极其重要的作用，是实现节能减排必须解决的问题。

碳足迹核算与评估有助于企业了解碳足迹相关政策与法规和碳足迹的核算原则和过程；在碳足迹交易市场上把握先机，从中获益；改善能源效益，节省长远开支；未雨绸缪，迎接国家法律和贸易壁垒的挑战；吸引新顾客，保留老顾客，在市场竞争中脱颖而出；履行社会责任，树立良好企业形象；实施简单，成本低廉。

## 二、评价目的

山东力诺阳光电力科技有限公司（以下简称“公司”）成立于2021年4月，注册资本1亿元，在全球范围内从事高效太阳能组件的研发、设计、智能制造及销售，同时致力于新能源的开发及园区能源管理的推广应用，致力于成为一家综合能源解决方案提供商，助推“碳中和”、“碳达峰”目标的实现。

企业主要产品为高效光伏组件，生产规模为1000MWa，通过了质量管理、环境管理、职业健康与安全管理、能源管理、两化融合管理等“五体系”认证。产线采用柔性化设计，可兼容166、182、210等多种规格产品，组件单板封装功率可至700W，转化效率23.5%，处于行业领先水平。

企业是山东省品牌促进会常务理事、山东省装备制造业协会、山东省太阳能行业协会理事单位，依托一流的产品质量和行业内的好声誉，荣获山东省专精特新中小企业、山东省数字经济晨星工厂、山东省省级绿色供应链管理企业、山东省创新型中小企业、山

东省绿色供应链管理企业、济南市民营企业 100 强、济南市市级绿色工厂、济南市绿色生态设计产品、济南市优势工业产品、济南市绿色供应链管理企业、分布式光伏最具创新组件企业、“零碳之星”、中国分布式光伏榜电池组件十佳优胜品牌、光伏行业最具创新组件企业等荣誉称号，并入选工信部符合光伏制造行业规范条件企业名单。企业主导产品高效光伏组件主要用于建造大型地面、屋顶分布式等大、中、小型光伏电站，企业入选符合《光伏制造行业规范条件》企业名单，产品获得了 TUV、CQC、CE、JAPC 等 10 余项国内权威认证，目前欧盟和日本是公司产品的主要出口方向。

企业作为认定通过的高新技术企业，突出创新驱动，注重技术先导，建立了专门的实验室及试验线，拥有 60 余套用于研发、测试的先进实验设备，获得济南市市级企业技术中心、济南市工业企业“一企一技术”研发中心等省市级研发平台，相较于同行业的其他企业具备良好的规模和平台优势。同时，企业坚持人才驱动，聘请了新南威尔士大学赵建华、王艾华博士作为企业技术顾问，聘请了多名中科院、上海交通大学、山东大学等著名高校院所的专家教授作为企业科技特聘助理，内部具备一支以任现坤等高级工程师为首的勇于探索、经验丰富的科研开发团队，拥有大批具有 15 年以上光伏从业经验的高层次人才团队。

企业在高效太阳能电池组件技术领域积聚了较强的科技优势，与澳大利亚新南威尔士大学、清华大学、上海交通大学、大连理工大学、山东大学等高校院所进行长期的产学研合作。截止目前，企

业已获得专利授权 34 件，其中发明专利 14 件，参与 1 项国家标准及 5 项团体标准的制定。

此次评价对象为山东力诺阳光电力科技有限公司生产的高效光伏组件产品，涉及生产工序包括划片、自动焊接机、自动汇流焊、层压机、组框机、IV/EL。通过碳足迹评价，将达到以下目的：

- 1) 核算单位产品碳足迹，有利于绿色工厂的认证与实施。
- 2) 通过对比用于产品生产的各项能源、资源、物料碳足迹数据，找出影响产品碳足迹的关键要素，有利于有针对性地升级生产技术和改造生产工艺，优化供应结构，从而实现节能、降耗、减排目标。
- 3) 通过此次核算，最终让企业明确自身碳排放现状，寻找节能减排机会，最终建立绿色环保的竞争优势。为低碳产品认证、碳排放核查、排污权交易做信息储备。

## 三、评价过程和方法

### 3.1 评价标准

- ISO/TS 14067-2013 《温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》

-PAS2050:2011 《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价

### 3.2 工作组安排

依据 ISO/TS 14067-2013 《温室气体.产品的碳排放量.量化和通信

的要求和指南》，以及 PAS2050:2011《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，根据核算任务以及企业的规模、行业，按照山东正向国际低碳科技有限公司内部工作组人员能力及程序文件的要求，此次工作组由下表所示人员组成。

**表 3-1 工作组成员表**

序号	姓名	职务	职责分工
1	蔡洋	组长	产品碳足迹排放边界的确定，2023 年产品生产过程中涉及的各类物料和能源资源数据收集、原物料统计报表、能源统计报表及能源利用状况等。产品碳足迹报告的撰写。
2	张蕾 张静静	组员	收集了解企业基本信息、产品情况、原物料情况、计量设备、主要耗能设备情况，资料整理，排放量计算及结果核算。

### 3.3 评价流程

#### 3.3.1 文件评价

根据 PAS2050，工作组于 2024 年 04 月 08 日对企业提供的支持性文件进行了查阅，详见评价报告附录“文件清单及主要文件样张”。

工作组通过查阅以上文件，识别出现场访问的重点为：现场查看企业产品的生产工艺流程，原辅料消耗情况，实际排放设施和测量设备，现场查阅企业的支持性文件，通过交叉核对判断企业提供的能源和物料消耗量数据是否真实、可靠、正确。

### 3.3.2 现场访问

工作组于 2024 年 05 月 06 日进行了现场核查。会议上企业主要负责人介绍了企业的具体情况，并对文件评价阶段提出的问题进行了沟通解答。会议的时间、对象及主要内容如表 3-2 所示：

表 3-2 现场访问记录表

时间	访谈对象	部门	访谈内容
2024 年 05 月 06 日	陈冲	综合部	<ul style="list-style-type: none"><li>• 介绍企业的基本情况、生产经营情况；</li><li>• 介绍企业组织机构设置情况；</li><li>• 介绍企业碳排放管理现状。</li></ul>
	朱红 白玉亮	综合部	<ul style="list-style-type: none"><li>• 介绍企业产品情况及生产工艺；</li><li>• 介绍产品生产过程中各工序物料及能源使用情况；</li><li>• 介绍企业物料及能源计量、统计情况。</li><li>• 介绍评价产品的生产、销售及原辅料购买情况，提供相关数据。</li></ul>

### 3.3.3 报告编写及内部技术复核

工作组于 2024 年 05 月 8 日编制碳足迹报告初稿，2024 年 05 月 10 日形成最终碳足迹报告。

为保证编写质量，碳足迹评价工作实施组长负责制、技术复核人

复核制、质量管理委员会把关三级质量管理体系。即对每一个碳足迹评价项目均执行三级质量校核程序，且实行质量控制前移的措施及时把控每一环节的工作质量。碳足迹评价工作的第一负责人为工作组组长。工作组组长负责在评价过程中对工作组成员进行指导，并控制最终碳足迹报告的质量；技术复核人负责在最终碳足迹报告提交给客户前控制最终碳足迹报告的质量；报告批准人负责整体工作质量的把控，以及报告的批准工作。

技术复核人及报告批准人情况见表 3-3。

**表 3-3 技术复核组成员表**

序号	姓名	职责	行业领域	是否进行现场访问
1	杨柳	技术复核	化工、电力、钢铁、石化、 食品	否
2	张静波	报告批准	电力、钢铁、建材、石化、 化工、造纸、有色、其他行 业	否

## 四、评价范围

### 4.1 企业基本情况

山东力诺阳光电力科技有限公司（以下简称“公司”）成立于

2021年4月，注册资本1亿元，在全球范围内从事高效太阳能组件的研发、设计、智能制造及销售，同时致力于新能源的开发及园区能源管理的推广应用，致力于成为一家综合能源解决方案提供商，助推“碳中和”、“碳达峰”目标的实现。

企业主要产品为高效光伏组件，生产规模为1000MWa，通过了质量管理、环境管理、职业健康与安全管理、能源管理、两化融合管理等“五体系”认证。产线采用柔性化设计，可兼容166、182、210等多种规格产品，组件单板封装功率可至700W，转化效率23.5%，处于行业领先水平。

企业是山东省品牌促进会常务理事、山东省装备制造业协会、山东省太阳能行业协会理事单位，依托一流的产品质量和行业内的好声誉，荣获山东省专精特新中小企业、山东省数字经济晨星工厂、山东省省级绿色供应链管理企业、山东省创新型中小企业、山东省绿色供应链管理企业、济南市民营企业100强、济南市市级绿色工厂、济南市绿色生态设计产品、济南市优势工业产品、济南市绿色供应链管理企业、分布式光伏最具创新组件企业、“零碳之星”、中国分布式光伏榜电池组件十佳优胜品牌、光伏行业最具创新组件企业等荣誉称号，并入选工信部符合光伏制造行业规范条件企业名单。企业主导产品高效光伏组件主要用于建造大型地面、屋顶分布式等大、中、小型光伏电站，企业入选符合《光伏制造行业规范条件》企业名单，产品获得了TUV、CQC、CE、JAPC等10余项国内权威认证，目前欧盟和日本是公司产品的主要出口方向。

企业作为认定通过的高新技术企业，突出创新驱动，注重技术先导，建立了专门的实验室及试验线，拥有 60 余套用于研发、测试的先进实验设备，获得济南市市级企业技术中心、济南市工业企业“一企一技术”研发中心等省市级研发平台，相较于同行业的其他企业具备良好的规模和平台优势。同时，企业坚持人才驱动，聘请了新南威尔士大学赵建华、王艾华博士作为企业技术顾问，聘请了多名中科院、上海交通大学、山东大学等著名高校院所的专家教授作为企业科技特聘助理，内部具备一支以任现坤等高级工程师为首的勇于探索、经验丰富的科研开发团队，拥有大批具有 15 年以上光伏从业经验的高层次人才团队。

企业在高效太阳能电池组件技术领域积聚了较强的科技优势，与澳大利亚新南威尔士大学、清华大学、上海交通大学、大连理工大学、山东大学等高校院所进行长期的产学研合作。截止目前，企业已获得专利授权 34 件，其中发明专利 14 件，参与 1 项国家标准及 5 项团体标准的制定。

## **4.2 评价对象**

本次碳足迹评价对象为：1 元高效光伏组件。

## **4.3 系统边界**

### **4.3.1 时间边界**

核算的时间边界为 2023 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日。

### 4.3.2 排放源边界

系统边界确定了产品碳足迹的范围，即碳足迹评价应包括生命周期阶段、投入和产出。根据 PAS2050:2011，用于原材料转变的所有流程、产品生命周期内能源供应和使用、制造和提供服务、设施运行、运输、储存所产生的 GHG 排放，应纳入边界范围。厂房、机器设备等的使用维修及折损，工人日常生活所引发的碳足迹皆不在核算边界之内。

由于产品边界内排放源较多且排放情况复杂，PAS2050 允许排除不超过总排放量 1% 的非实质性排放；与生活相关活动温室气体排放量不计，包括雇员上下班通勤、公务旅行、人工劳动等；办公室所产生的排放量计算结果难以有普适作用，因此排放系统计算时将此部分温室气体排放忽略不计。综上，对于本次评价，以上排放源没有计入。

对于本企业产品碳足迹核算的空间边界包括山东力诺阳光电力科技有限公司 1 元高效光伏组件产品的原辅料生产、原辅料运输、产品生产与包装、废弃物处理和成品运输全过程，具体包括生产区域、生产辅助区域（照明、废弃物处置）、物料运输的能耗和物耗（原料、辅料、包装材料）。

### 4.3.3 生命周期模式

根据 PAS2050，产品在生命周期的内 GHG 排放评价应在以下方式进行选择：

- a) 从商业-到-消费者的评价（B2C），包括产品在整个生命周期

内所产生的排放；

b) 从商业-到-商业的评价（B2B），包括直到输入到达一个新的组织之前所释放的 GHG 排放（包括所有上游排放）。

在计算 B2C 产品的碳足迹时，典型的流程图步骤包括生命周期全过程：从原材料，通过生产、制造、分销和零售，到消费者使用，以及最终处置或再生利用；B2B 的碳足迹停留在产品被提供给另一个制造商的节点上，计算产品碳足迹时只包括从原材料通过生产直到产品到达一个新的组织。

本次产品碳足迹的评价是针对 1kL 白酒产品生产过程的 GHG 排放的跟踪计算，因此采用从“商业-到-商业”（B2B）的生命周期模式。

## 五、清单分析

### 5.1 生产技术

企业主要产品为高效光伏组件。生产工艺如下：

企业拥有 2 条高效智能化组件生产线，配套动力设备、配电设备及线路、工艺设备等 135 套，年产 1000MW 光伏太阳能组件，实现 166/182/210 等多种规格产品的兼容，组件单板封装功率可至 600W，转化效率 21.5%

生产工艺说明及流程图：

#### （1）划片

针对成品电池片进行激光切割，达到降低产品内部电流、提升产

品内部电压，从而降低产品损耗、提升产品功率。

## (2) 自动焊接机

通过先进的 5BB-12BB 焊接机，完成产品最核心的串联焊接，使最小电池单元完成串联。

## (3) 自动汇流焊

通过完全自动化排布，完成组件产品整版的电路互联设计，使组件基础电路布局焊接完毕。

## (4) 层压机

针对已经完成电路排版设计的组件进行高温封装，采用高可靠性胶膜，在完全真空的环境下进行高温交联，从而对电路进行保护。

## (5) 组框机

在组件产品周围进行硅胶固化、机械压点方式将铝合金固定于组件产品，在加强组件产品固有机械性的同时，便于组件产品的安装。

## (6) IV/EL

最终对组件产品的各种性能进行检测分类，从发电功率强度到产品电致发光的情况全面进行筛选，将不良产品剔除。



图 5-1 生产工艺流程图

## 5.2 清单分析

评价组通过现场访谈以及查看相关资料,明确了产品所涉及的活动包括:

- 原辅料获取,排放源为评价产品的原辅料生产过程导致的排放;
- 原料运输至厂内,排放源包括运输车辆燃料消耗产生的排放(电力);
- 产品生产,排放源包括评价产品生产过程能源消耗导致的排放;鼓风机生产过程温室气体排放;
- 产品生产过程的废弃物处理,排放源包括各类废弃物处理和包装导致的排放;
- 物料厂内运输,排放源为原辅料、产品和废弃物在厂内运输过程中能源消耗产生的排放(电力);
- 产品运输至下游厂家,排放源为运输车辆燃料消耗产生的排放(电力)。

根据上述活动,依据产品生产工艺流程图以及辅助工序工艺,确定产品涉及的物料、能源消耗清单,如表 5-1 所示:

表 5-1 高效光伏组件产品生产各阶段生命周期清单分析

生命周期各环节	原辅料获取	原辅料运输	产品生产	产品包装	废弃物处理	厂内运输	产品运输
原料消耗	电池片、EVA、铝边框	/	原料在生产过程产生温室气体	/	/	/	/
能源消耗	电力	电力	电力	能耗排放归结到生产能耗中	废弃物处理：经简单处理后交由其他危废公司处理； 处理过程：消耗能源（计入产品生产能耗）	电力	电力

## 六、数据收集

### 6.1 数据收集和评价过程

在山东力诺阳光电力科技有限公司相关领导及员工的密切配合下，本项目取得了详细的碳足迹核算所需数据，数据收集的时间范围是 2023 年。

#### 6.1.1 产品数据

表 6-1 产品产量

数据项	高效光伏组件产量
数据值	58223.1
单位	万元
数据来源	《2023 年生产运行月报》

#### 6.1.2 物料数据

表 6-2 电池片消耗量

数据项	用于高效光伏组件产品生产的电池片消耗量
数据值	3175.52
单位	万片
数据来源	来源于《2023 年生产运行月报》。

	高效光伏组件生产的电池片消耗与产品产量见下表：		
	原料	高效光伏组件产品产量（万元）	原料耗量（万片）
	电池片	58223.1	3175.52

**表 6-3 EVA 消耗量**

数据项	用于高效光伏组件生产的 EVA 消耗量								
数据值	188.54								
单位	万 m <sup>2</sup>								
数据来源	<p>来源于《2023 年生产运行月报》。</p> <p>高效光伏组件生产的 EVA 消耗与产品产量见下表：</p> <table border="1"> <tr> <td>原料</td> <td>高效光伏组件产品产量（万元）</td> <td>原料耗量(万 m<sup>2</sup>)</td> </tr> <tr> <td>EVA</td> <td>58223.1</td> <td>188.54</td> </tr> </table>			原料	高效光伏组件产品产量（万元）	原料耗量(万 m <sup>2</sup> )	EVA	58223.1	188.54
原料	高效光伏组件产品产量（万元）	原料耗量(万 m <sup>2</sup> )							
EVA	58223.1	188.54							

**表 6-4 铝边框消耗量**

数据项	用于高效光伏组件生产的铝边框消耗量					
数据值	172.77					
单位	万根					
数据来源	<p>来源于《2023 年生产运行月报》。</p> <p>高效光伏组件生产的铝边框消耗与产品产量见下表：</p> <table border="1"> <tr> <td>原料</td> <td>高效光伏组件产品产量（万元）</td> <td>原料耗量（万根）</td> </tr> </table>			原料	高效光伏组件产品产量（万元）	原料耗量（万根）
原料	高效光伏组件产品产量（万元）	原料耗量（万根）				

	铝边框	58223.1	172.77
--	-----	---------	--------

### 6.1.3 能耗数据

表 6-5 电力消耗量

数据项	用于高效光伏组件生产的电力消耗量		
数据值	602.6		
单位	万 kWh		
数据来源	来源于《2023 年生产运行月报》，包含产品生产、辅助生产的电力消耗。		
	高效光伏组件生产的电力消耗与产品产量见下表：		
	能源	高效光伏组件产品产量（万元）	电力消耗量（万 kWh）
	电力	58223.1	602.6

### 6.1.4 其他数据

表 6-6 原辅料运输里程数

数据项	物料运输里程数
数据值	见数据来源表格
单位	km

数据来源	由生产厂家和公司之间距离确定。		
	高效光伏组件生产原料单程运输距离：		
	活动水平参数	活动水平数据	单位
	电池片	451.6	km
	EVA	771.3	km
	铝边框	25.2	km

表 6-7 产品运输里程数

数据项	产品运输里程数		
数据值	见数据来源表格		
单位	km		
数据来源	由公司运输到消费厂家之间的单程距离确定：		
	高效光伏组件车程	100.1	km

表 6-8 纸箱消耗量

数据项	纸箱消耗量		
数据值	见数据来源表格		
单位	kg		
数据来源	来源于《2023 年包装物使用统计表》：		
	包装物种类	高效光伏组件产品产量（万元）	包装物消耗量（kg）

	纸箱	58223.1	142610
--	----	---------	--------

表 6-9 托盘消耗量

数据项	用于高效光伏组件生产的托盘消耗量		
数据值	320254		
单位	kg		
数据来源	来源于《2023 年生产运行月报》。		
	高效光伏组件生产的托盘消耗与产品产量见下表：		
	包装物种类	高效光伏组件产品产量（万元）	包装物消耗量（kg）
	托盘	58223.1	320254

### 6.1.5 碳足迹核算系数

在进行碳足迹核算时需要相关能耗、物耗、水耗的碳足迹系数，如下表所示：

表 6-10 各能源、物料碳足迹系数

类别	项目	碳足迹系数	单位	数据准确度	具体来源
能源	电力	1.04	kgCO <sub>2</sub> e/kWh	4	文献-《用于组织和产品碳足迹的中国电力温室气体排放因子》

类别	项目	碳足迹系数	单位	数据准确度	具体来源
原料	电池片	3.6	kgCO <sub>2</sub> e/片	/	/
	EVA	5.3	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	3	根据 Defra 数据及价格计算，详见表 6-35
	铝边框	7.3	kgCO <sub>2</sub> e/根	/	/
产品包装	托盘	2.09	tCO <sub>2</sub> e/t	6	根据 Defra 数据及价格计算，详见表 6-35
	纸箱	7.1	tCO <sub>2</sub> e/t	/	/
原料运输	单位公里 载重	0.19639	kgCO <sub>2</sub> e/t.km	6	Defra /DECC
产品运输	单位公里 载重	0.19639	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> .km	6	Defra /DECC

## 6.2 数据汇总表

产品碳足迹活动水平数据汇总情况见下表。

**表 6-11 2023 年产品信息及产量汇总**

产品名称	产量（万元）
高效光伏组件	58223.1

**表 6-12 2023 年高效光伏组件能源、物料消耗数据汇总**

生命周期各环节	活动水平参数	活动水平数据	单位
---------	--------	--------	----

生命周期各环节	活动水平参数	活动水平数据	单位
原辅料获取	电池片	3175.52	万片
	EVA	188.54	万 m <sup>2</sup>
	铝边框	172.77	万根
原辅料运输	电池片	451.6	Km
	EVA	771.3	Km
	铝边框	25.2	Km
产品生产	电力消耗量	602.6	万 kWh
产品包装	托盘	320254	kg
	纸箱	142610	kg
产品运输	运输公里数	100.1	Km

## 七、产品碳足迹的计算

### 7.1 计算公式

采用碳足迹系数法进行计算，详见公式（7-1）；

$$CF = \sum_{i=1}^n M_i \times N_i \quad \text{公式(7-1)}$$

式中：

$CF$ ——产品碳足迹，kgCO<sub>2</sub>e；

$M_i$ ——第*i*种能源和物料的消耗量，质量/体积/kWh；

$N_i$ ——第*i*种能源和物料的碳足迹系数， $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{体积}$ 或 $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{质量}$ 或 $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

## 7.2 产品碳足迹评估与分析

表 7-1 2023 年度高效光伏组件产品碳足迹计算结果

生命周期各环节	活动水平参数	活动水平数据	单位	碳足迹系数	单位	碳排放量 (tCO <sub>2</sub> e)
原辅料获取	电池片	3175.52	万片	3.6	kgCO <sub>2</sub> e/片	114318.72
	EVA	188.54	万 m <sup>2</sup>	5.3	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	9992.62
	铝边框	172.77	万根	7.3	kgCO <sub>2</sub> e/根	12612.21
原料运输 <sup>1</sup>	电池片运输距离	451.6	Km	0.19639	kgCO <sub>2</sub> e/片.km	2816359.92
	EVA 运输距离	771.3	Km	0.19639	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> .km	285592.11
	铝边框运输距离	25.2	Km	0.19639	kgCO <sub>2</sub> e/根.km	8550.44
产品生产	电力消耗量	602.6	万 kWh	1.04	kgCO <sub>2</sub> e/kWh	6267.04

<sup>1</sup> 由于企业辅料采购一般就近采购，运输占比较少，因此忽略不计。

生命周期各环节	活动水平参数	活动水平数据	单位	碳足迹系数	单位	碳排放量 (tCO <sub>2</sub> e)
产品包装	托盘	320254	kg	2.09	tCO <sub>2</sub> e/t	669.33
	纸箱	142610	kg	7.1	tCO <sub>2</sub> e/t	1012.53
产品运输	运输公里数	100.1	Km	0.19639	kgCO <sub>2</sub> e/万 元.km	1144.59
总碳足迹 (tCO <sub>2</sub> e)						3256519.51
产品产量 (万元)						58223.1
产品碳足迹 (tCO <sub>2</sub> e/元)						0.006

## 7.3 产品碳足迹分析

### 7.3.1 按生命周期各环节分析

表 7-2 2023 年度高效光伏组件碳足迹构成

生命周期各环节	碳排放量 (tCO <sub>2</sub> e)	碳排放比例(%)
原辅料获取	136923.55	4.2
原辅料运输	3110502.47	95.52
产品生产	6267.04	0.2
产品包装	1681.86	0.05
废弃物处理	/	/
厂内运输	/	/
产品运输	1144.59	0.03
总碳排放	3256519.51	100

由表 7-2 可知，高效光伏组件碳足迹构成大小为：原辅料运输 > 原辅料获取 > 产品生产 > 产品包装 > 产品运输，原辅料运输环节的碳足迹占总碳足迹最大，达 95.52%。

## 八、不确定性分析

### 8.1 分析方法

首先，需要对清单中数据的来源进行质量评估，从数据的可靠性

和相关性两个方面来评估。可靠性选定为统计代表性、时间代表性和数据来源三个指标；相关性选定地理代表性和技术代表性两个指标，如表 8-1。

其次，在对不确定性的各项指标进行综合评定时，采用对各指标进行加权平均的方法，参见公式 8-1。可靠性中 3 个指标各占 1/3，相关性中 2 个指标各占 1/2。最终得分高，则数据质量好，不确定性低；反之得分低，则数据质量差，不确定性高，数据质量等级参照表 8-2。

**表 8-1 数据可靠性量化指标**

指标值	9	7	5	3	1
统计代表性	全面统计	重点统计或典型统计	抽样调查频次高于每月一次	抽样调查频次 1-3 月每次	抽样调查频次低于 3 月每次；抽样频次未知
时间代表性	研究目标当月数据	与研究目标当月差距 3 月以内	与研究目标当月差距 3~8 月	与研究目标当月差距 8~18 月	与研究目标当月差距 18 月以上；未知数据年代
数据来源	三级测量数据/实际数据	平均数据	经验数据	额定数据	未知
地理代	研究目标区	与研究目标	与研究目标	与研究目标	与研究目标

表性	域	区域地理条件大部分相同	区域地理条件类似	区域地理条件部分类似	区域地理条件完全不同；未知地理条件
技术代表性	生产现场	技术水平档次相差为 0	技术水平档次相差为 1	技术水平档次相差为 2	技术水平档次相差为 3

$$Q = \frac{q_1+q_2+q_3}{6} + \frac{q_4+q_5}{4} \quad \text{公式 (8-1)}$$

式中：

$Q$ ——数据质量等级分；

$q_1$ ——数据的统计代表性质量等级分；

$q_2$ ——数据的时间代表性质量等级分；

$q_3$ ——数据的来源质量等级分；

$q_4$ ——数据的地理代表性质量等级分；

$q_5$ ——数据的技术代表性质量等级分。

**表 8-2 数据质量等级**

得分	数据质量	不确定性大小
$8 \leq \text{不确定性} \leq 9$	最高	最小
$7 \leq \text{不确定性} \leq 8$	较高	较小
$6 \leq \text{不确定性} \leq 7$	较差	较大

不确定性≤6	差	非常大
--------	---	-----

按照各碳足迹构成占总碳足迹的比例，对各碳足迹构成的等级分进行加权平均，可获得核算结果的等级分，参见表8-2所示的数据等级，即可获得核算结果的数据等级。具体参见公式（8-2）：

$$Q_{AVG} = \sum Q \times \eta \quad \text{公式（8-2）}$$

式中：

$Q_{AVG}$ ——核算结果的数据质量等级分；

$Q$ ——各碳足迹构成的数据质量等级分；

$\eta$ ——各碳足迹构成占总碳足迹的比例。

## 8.2 不确定性分析结果

表 8-3 高效光伏组件产品碳足迹可靠性分析结果

项目	原料	辅料	包装材料	电力	厂内运输	原辅材料运输	产品运输	废弃物处理
统计代表性 (q <sub>1</sub> )	9	/	9	9	/	7	7	8
时间代表性 (q <sub>2</sub> )	9	/	9	9	/	9	9	9
数据来源 (q <sub>3</sub> )	9	/	9	9	/	7	7	9
地理代表性 (q <sub>4</sub> )	7	/	9	9	/	7	7	6
技术代表性 (q <sub>5</sub> )	9	/	7	9	/	7	7	7
单个投入产出不确定性	8.5	/	7	9	/	7.3	7.3	6
产品碳足迹占比 (%)	4.2	/	0.05	0.2	/	95.52	0.03	/
总体不确定性	7.5							

## 九、结论

- 2023 年高效光伏组件总碳足迹值为：3256519.51tCO<sub>2</sub>，产品碳足迹为 0.006tCO<sub>2</sub>/元。
- 高效光伏组件碳足迹的构成因素中，原辅料运输环节的碳足迹占比最大，占产品碳足迹总量的 95.52%。各类能源资源中，电力的使用是高效光伏组件产品低碳控制的关键要素。

## 十、节能减排建议

通过前章结论，高效光伏组件产品碳足迹中，原辅料运输贡献最大。因此为了减少产品碳足迹，应聚焦在节能降耗方面，具体措施建议如下：

1. 建议企业积极开展节能诊断工作（含数据分析、节能潜力估算、技改匹配等），摸清能源消耗的具体情况，提出符合企业实际情况的节能降耗措施及建议。

2. 能源资源使用导致的碳排放占比较大，掌握自身能源管理水平和能源利用状况，挖掘节能潜力，降低能源资源消耗和碳排放量。

3. 建议加强各部门之间信息流通，从而有效提高生产效率，降低碳足迹。

4.按照企业实际生产情况灵活调控设备使用情况，以减少不必要的能源消耗。建议年假期间和生产淡季尽量集中安排生产，避免机器开关机而损失能源。

5.通过提高工艺优化和科学管理，提高产品收率，从而降低原料单耗，从而减少原料消耗对产品碳足迹的贡献。

# 附录

## 附录 1 产品碳足迹评价声明

产品名称:	高效光伏组件产品
企业名称:	山东力诺阳光电力科技有限公司
地址:	山东省济南市历城区
核查依据标准及准则:	ISO 14067:2013 & PAS 2050:2011
单位产品碳足迹:	高效光伏组件产品: 0.006tCO <sub>2</sub> /元
系统边界:	核算的时间边界为从 2023 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日。高效光伏组件包含原辅料获取、原辅料运输、产品生产、产品包装和成品运输全过程。
评价机构:	山东正向国际低碳科技有限公司