

2024光伏上市公司

企业气候行动指数 (CATI) 报告

2024年5月

目录

概要	2
1. 中国光伏产业的机遇和挑战	7
2. 企业气候行动 CATI 指数 3.0	13
3. 2024 光伏企业气候行动 CATI 评价结果	16
4. 光伏企业气候行动评价发现及解决方案	22
发现一：八成光伏企业做出气候承诺，但行业整体气候披露表现尚不足以应对国内 外披露新规	22
发现二：10 家光伏企业核算并披露了产品碳足迹信息，积极应对国际市场光伏绿色 贸易壁垒	30
发现三：七成光伏企业积极应用可再生能源并提升生产能效，但在供应链碳管理不 足的情况下，光伏产业链对标《巴黎协定》目标开展低碳转型仍具挑战	37
发现四：废旧光伏产品回收带来的减排潜力较高，企业亟待关注产品生命周期末端 排放，推进回收机制规范化和规模化	56
5. 展望与建议	62
附录 2024 年度光伏行业 CATI 评价结果	66

关于 IPE

公众环境研究中心 (IPE) 是一家在北京注册的公益环境研究机构。

自 2006 年成立以来, IPE 开发并运行蔚蓝地图数据库 (www.ipe.org.cn), 2014 年上线“蔚蓝地图”APP, 推动环境信息公开, 赋能绿色供应链和绿色金融, 助力企业绿色转型和低碳发展, 促进多方参与环境治理, 共同守护地球家园。

关于绿色江南

绿色江南 (PECC) 成立于 2012 年 3 月 22 日, 成立十余年专注于“工业污染源监督”, 始终秉承着“我们消灭污染, 不是消灭污染企业, 而是推动污染企业治理污染, 从而消灭污染”的工作态度开展工作。

编写组成员

IPE: 朱紫琦, 丁彬彬, 马军, 张慧, 黎萌, 徐昕, 李赟婷

绿色江南: 方应君, 鲁丽, 杨文娟, 金心妮

特别鸣谢

感谢海因里希·伯尔基金会 (德国) 北京代表处对指数开发提供支持。

感谢阿拉善 SEE 东吴项目中心对本项目的支持。

感谢兼职张兰、马文静、曾嘉, 实习生司晓冬、司晓彤、魏娜、段林帅对本篇报告的贡献。

免责声明

本研究报告由公众环境研究中心（IPE）和绿色江南（PECC）撰写，研究报告中所提供的信息仅供参考。本报告根据公开、合法渠道获得相关数据和信息，并尽可能保证可靠、准确和完整。本报告不能作为 IPE 或绿色江南承担任何法律责任的依据或者凭证。IPE 和绿色江南将根据相关法律要求及实际情况随时补充、更正和修订有关信息，并尽可能及时发布。IPE 对于本报告所提供信息所导致的任何直接的或者间接的后果不承担任何责任。如引用发布本报告，需注明出处为 IPE 和绿色江南，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本报告之声明及其修改权、更新权及最终解释权均归 IPE 所有。

注：

1. 本报告评价期为：2023 年 09 月 30 日至 2024 年 03 月 31 日；
2. 评价信息来源：企业官方网站、年报、CSR 报告、ESG 报告等定期报告、官网等公开渠道发布的信息、蔚蓝地图数据库收集的可信源发布的数据；
3. 如本报告的中英文版本出现不一致，请以中文版为准。

概要

作为实现全球净零排放的关键路径之一，包括光伏发电在内的新能源行业正在全球零碳冲刺的推动下快速发展。根据国际能源署（IEA）发布的《2023 年可再生能源》¹报告，2023 年全球新增可再生能源发电装机容量达到近 510 吉瓦²，其中光伏装机容量占据四分之三，主要源于中国的光伏增量的贡献。COP28 通过《巴黎协定》后首次盘点，明确全球要从化石能源实现转型，争取到 2030 年在全球范围内将可再生能源装机容量提高两倍。这使得可再生能源的可预期性显著提高，将为相关产业创造新的机遇。

在过去数十年的经济发展中，中国光伏产业几落几起，历经重重困难。但与之相伴的，是中国产业政策不断更新与完善，中国光伏产业企业家的不懈奋斗。当前中国光伏行业已发展成为无可争议的全球领跑者：从技术研发到生产制造，主导着这一重要产业的全球供应链，有效支撑中国国内光伏市场增长和全球新能源需求³。不仅如此，中国部分头部光伏企业正在同步加大海外产能布局，进一步占领光伏产品市场份额⁴。

然而，这一事关全球能源转型成败的新兴产业，也无可避免的成为全球产业竞争的焦点。多国陆续出台相应产业激励机制，旨在增加投融资，创建当地光伏价值链。而在地缘政治紧张背景下，供应链安全也被赋予前所未有的重要性，反映到贸易政策上，全球多个重点地区出现保护主义倾向。部分地区通过光伏产品碳足迹限值、生态设计、生态标签等规则，加严光伏市场的绿色准入门槛。

¹ <https://www.iea.org/news/massive-expansion-of-renewable-power-opens-door-to-achieving-global-tripling-goal-set-at-cop28>

² 1 吉瓦=100 万千瓦

³ https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/17/content_5741877.htm

⁴ <http://finance.sina.com.cn/jjxw/2022-05-09/doc-imcwipii8873366.shtml>

光伏产业的硅料、硅片组件等产品的生产制造，以及上下游运输分销和废弃光伏组件的处置过程会消耗大量的能源和水资源，并相应产生大量的碳排放和污染物排放，以及大量的废弃物。在全球迈向绿色低碳发展的大背景下，中国光伏企业有必要关注国内外生态环境和气候相关法规标准，加速推进自身产业链的绿色低碳转型。

针对光伏产业绿色供应链管理，工业和信息化部国际经济技术合作中心毛涛博士早在 2020 年即撰文指出：“引导核心企业打造绿色供应链，从注重“制造绿色”转向“制造绿色”与“绿色制造”并重。”⁵

为量化评估光伏企业低碳转型进展，促进光伏企业构建绿色低碳供应链，公众环境研究中心（IPE）和绿色江南（PECC）于 2024 年初启动光伏上市公司企业气候行动 CATI 指数评价项目。

首期评价结果显示，多家光伏企业正在积极响应双碳政策要求，落实节能减排项目，开展产业链绿色转型。其中的领先企业回应市场对低碳光伏产品需求，开展产品生命周期评价，推进绿色供应链建设工作；但多数光伏企业仍有待对标先进，提升企业气候治理水平。

在首期评价覆盖的 42 家光伏行业上市公司中，**隆基绿能（601012）** 获评 A 级。企业不仅开始核算并披露范围 3 排放量数据，在此基础上设定并追踪范围 3 减排目标，并与主要供应商伙伴合作减排，引导其供应商开展碳披露。

晶科能源（688223）、阿特斯（688472）、天合光能（688599）和晶澳科技（002459） 获评 BB 级：这些领先企业开始制定绿色采购要求，逐步落实供应链减排行动。

⁵ 毛涛、吕方，2020，提高光伏产业绿色供应链管理水平的建议

通威股份 (600438)、TCL 中环 (002129)、阳光电源 (300274) 协鑫科技 (03800) 和信义光能 (00968) 获评 B 级, 他们在供应链低碳转型路径设计、供应商碳核算赋能等方面也有较好表现。B 级及以上企业的比例达到总评价样本的 24%。



图 2024 光伏上市公司 CATI 评价 TOP 10

在领先企业取得进展的同时, 获评 C 级的光伏上市公司仍超过参评企业的 60%, 平均分仅为 3.38 分, 显示大部分光伏企业气候表现有待提升。多数企业当前仍主要关注范围 1&2 的测算和减排, 尚待明确价值链低碳转型路径, 持续提升供应链的气候信息透明度。

本期评价显示, 在治理和管理方面, 33 家光伏企业开始制定和发布气候政策, 17 家将气候相关议题纳入董事会最高决策层监督职责。在测算披露方面, 18 家企业核算并披露了范围 1&2 排放量, 6 家已经开展范围 3 排放量的核算和披露。10 家核算并披露了产品碳足迹信息。

在目标设定方面，8家光伏企业设定并披露范围1&2减排目标，3家企业的气候目标中包含范围3。**隆基绿能 (601012)**、**晶科能源 (688223)** 2家企业已经取得科学碳目标倡议 (Science Based Targets Initiative, SBTi) 认证；3家企业提出力争于2050年前实现范围1&2碳中和目标；**晶科能源 (688223)** 承诺2050年实现全价值链净零排放。6家企业承诺2030年前自身运营100%使用可再生能源。

本期评价显示，29家光伏企业积极开展可再生能源利用。企业通过在厂区自建光伏项目、与供应商直接签署绿电采购协议、能源属性证书采购等方式提升可再生能源利用比例。绿色江南对部分参评光伏企业共61家子公司开展的现场调研显示，**七成光伏企业厂区自建屋顶光伏项目，其中95%的企业屋顶光伏覆盖率超过50%**，78%的企业屋顶光伏覆盖率超过80%⁶。28家企业开展能效提升、先进工艺替代、或针对移动源排放等开展减排行动，18家开展系统的能源管理进行节能降碳。

在推动低碳供应链建设方面，6家光伏企业公开披露推动供应商开展企业碳核算或能源管理项目，其中**隆基绿能 (601012)**、**晶澳科技 (002459)**、**TCL中环 (002129)** 3家进一步披露了其于产品生产以及物流供应商合作开展的减排项目。

尽管如此，多数光伏企业得分仍显著偏低。作为“制造绿色”的行业，光伏发电从全生命周期视角来看远非“零排放”。本次评级显示，八成光伏企业尚未开展绿色供应链管理；部分已经承诺范围3气候目标的光伏企业，尚未有效开展供应链减排行动。在价值链下游，废旧光伏产品回收的减排潜力尚待有效发掘，规范化处理和回收体系亟待加速建立。

此外，光伏企业作为外向型经济的代表，面对当前国际和中国国内气候及可持续披露新规要求，亟需提升企业自身及供应链气候信息披露水平，在满足披露合规要求

⁶ 光伏覆盖率由绿色江南根据企业厂区屋顶面积及光伏覆盖面积估算，不代表企业实际光伏覆盖面积，仅供参考

的同时提升企业竞争力。分析近年欧盟通过的《企业可持续发展报告指令（CSRD）》等一系列文件，和国际可持续发展准则理事会（ISSB）发布的气候相关披露准则，以及港交所和沪深北交易所制订的气候信息披露和可持续披露框架，我们提示光伏企业重视自身及供应链气候信息披露。

在全球迈向绿色低碳发展的大背景下，中国光伏企业有必要关注国内外生态环境和气候相关法规标准，加速推进自身产业链的绿色低碳转型。

课题组倡议具有供应链影响力和气候雄心的光伏龙头企业、行业组织和重要机构带动光伏供应链核心的企业加入零碳冲刺，同时推动更多中小企业加入全球气候进程。课题组同事倡议包括政府、投资者、研究机构等社会各界关注和支持光伏产业的绿色低碳转型，携手推进光伏供应链脱碳进程，加速全球零碳冲刺，共同守护地球家园。

1. 中国光伏产业的机遇和挑战

• 全球转型共识带来长期机遇

联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 2022 年 2 月发布的第六次评估报告提出, 全球最迟需要在 2025 年前实现温室气体排放达峰, 并在 2030 年前减排约 43%, 2050 年初期实现二氧化碳净零排放, 才可能在本世纪末将温升控制在 1.5°C 左右⁷。

作为实现全球净零排放的关键路径之一, 包括光伏发电在内的新能源行业正在全球零碳冲刺的推动下快速发展。根据国际能源署 (IEA) 发布的《2023 年可再生能源》⁸报告, 2023 年全球新增可再生能源发电装机容量达到近 510 吉瓦⁹, 其中光伏装机容量占据四分之三, 主要源于中国的光伏增量的贡献。

在光伏发电方面, 中国国家能源局发布的数据显示¹⁰, 截至 2023 年底, 中国累计发电装机容量约为 29.2 亿千瓦, 其中太阳能装机容量约 6.1 亿千瓦, 同比增长 55.2%, 装机容量一举超过水电, 仅次于火电装机¹¹。

2024 年两会政府工作报告强调, 加强风电、光伏基地和能源外送通道建设, 一方面给光伏市场带来了新增量, 另一方面加强新能源外送通道和新型储能建设, 预示着光伏的装机空间还有机会向上拓展¹²。

2023 年 11 月 30 日至 12 月 13 日, 《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会 (COP28) 在阿联酋迪拜召开, 通过《巴黎协定》后首次盘点, 明确全球要

⁷ <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

⁸ <https://www.iea.org/news/massive-expansion-of-renewable-power-opens-door-to-achieving-global-tripling-goal-set-at-cop28>

⁹ 1 吉瓦=100 万千瓦

¹⁰ https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202401/content_6928723.htm

¹¹ https://www.nea.gov.cn/2024-01/26/c_1310762246.htm

¹² https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202403/content_6936357.htm

从化石能源实现转型，争取到 2030 年在全球范围内将可再生能源装机容量提高两倍。全球首次达成化石能源转型共识，使得可再生能源的可预期性显著提高，将为相关产业创造新的机遇。

• 超常规发展面临新的制约

在过去数十年的经济发展中，中国光伏产业几落几起，历经重重困难。但与之相伴的，是中国产业政策不断更新与完善，中国光伏产业企业家的不懈奋斗。当前中国光伏行业已发展成为无可争议的全球领跑者，从技术研发到生产制造，主导着这一重要产业的全球供应链。

中国光伏协会的统计数据显示¹³，中国光伏产业规模在过去十年中持续成倍数增长：2022 年，多晶硅、硅片、电池片、组件产量的同比增长率均达到 50% 以上。不仅如此，中国光伏产业已形成完整的产业配套环境和供应链体系，其产量和应用规模已经连续多年位居全球首位，多晶硅、硅片、电池片和组件分别占全球产量的 76%、96%、83% 和 76%¹⁴。

近年来，中国光伏产业正逐步形成行业制造规范，实现光伏技术升级、发电效率突破和单位能耗降低；光伏企业的业务也陆续扩展至储能、氢能等。

依靠高发电效率和低制造成本，中国光伏行业国际竞争力持续增强，硅片、电池片及光伏组件在 2022 年的出口总额超过 512 亿美元，同比增长超过 80%，光伏组件出口超过 153 吉瓦，同比增长超过 55%，有效支撑中国国内光伏市场增长和全球新能

¹³ 中国光伏行业协会、赛迪能源电子发展研究中心，2023，中国光伏产业发展路线图（2022-2023 年）

¹⁴ http://zfxgk.nea.gov.cn/1310611148_16541341407541n.pdf

源需求¹⁵。不仅如此，中国部分头部光伏企业正在同步加大海外产能布局，进一步占领光伏产品市场份额¹⁶。

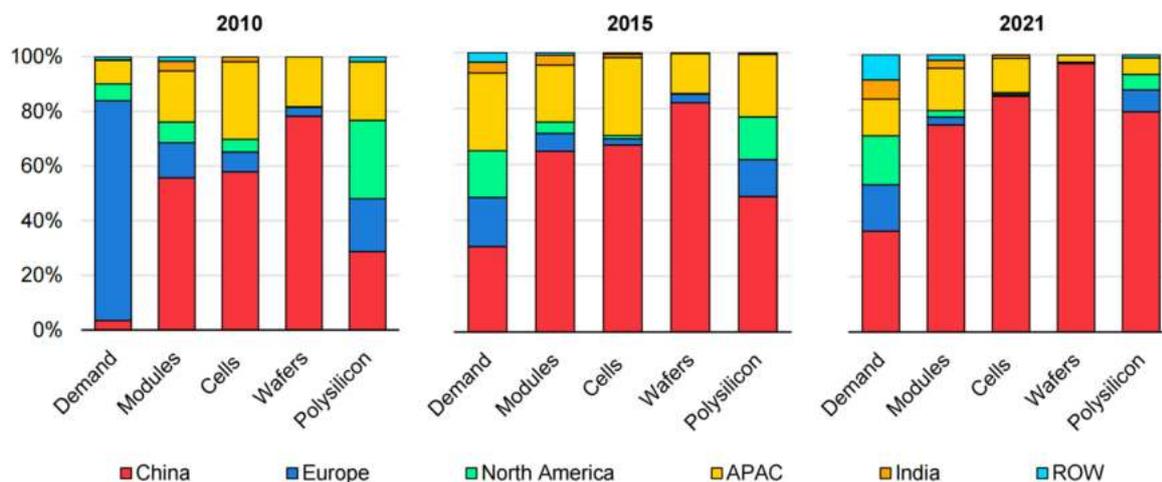


图 1-1 2010-2021 年按国家和地区列的太阳能光伏发电制造能力¹⁷

国际可再生能源署（International Renewable Energy Agency, IRENA）在 COP28 提出的可再生能源的三倍目标是以 2022 年全球装机容量 3382GW 为基准线，到 2030 年增加至三倍，意味着年均增长率约为 15%，显著高于过去十年¹⁸。中国一批领先的光伏企业正在努力把握全球低碳转型加速带来的潜在商机。隆基绿能（601012）等光伏企业在 COP28 派出了强大的代表团，天合光能（688599）也在瑞士达沃斯举办的世界经济论坛上积极发声。

然而，这一事关全球能源转型成败的新兴产业，也无可避免的成为全球产业竞争的焦点。多国陆续出台相应产业激励机制，如 2022 年美国推出的《通胀削减法案

¹⁵ https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/17/content_5741877.htm

¹⁶ <http://finance.sina.com.cn/jjxw/2022-05-09/doc-imcwipii8873366.shtml>

¹⁷ IEA, 2022, Special Report on Solar PV Global Supply Chains

¹⁸ <https://www.iea.org/news/massive-expansion-of-renewable-power-opens-door-to-achieving-global-tripling-goal-set-at-cop28>

(Inflation Reduction Act, IRA) 》¹⁹，以及欧盟于同年 12 月启动的欧洲太阳能光伏产业联盟 (The European Solar PV Industry Alliance, ESIA)^{20 21}，旨在增加投融资，创建当地光伏价值链。而在地缘政治紧张背景下，供应链安全也被赋予前所未有的重要性。

反映到贸易政策上，全球多个重点地区出现保护主义倾向。部分地区通过光伏产品碳足迹限值、生态设计、生态标签等规则，加严光伏市场的绿色准入门槛。在全球迈向绿色低碳发展的大背景下，中国光伏企业有必要关注这些准入要求，并尽快推进自身产业链的绿色低碳转型。

• “制造绿色”也要“绿色制造”

作为“制造绿色”的行业，光伏发电从全生命周期视角来看还远没有达到“零排放”。这是因为光伏产业的硅料、硅片组件等产品的生产制造，以及上下游运输分销和废弃光伏组件的处置过程会消耗大量的能源和水资源，并相应产生大量的碳排放和污染物排放，以及大量的废弃物。

针对光伏产业绿色供应链管理，工业和信息化部国际经济技术合作中心毛涛博士在 2020 年撰文指出：“引导核心企业打造绿色供应链，从注重“制造绿色”转向“制造绿色”与“绿色制造”并重，带动链上企业关注制造过程的生态环境影响，通过改进生产工艺、优化用能机构、购置先进的污染处理设施等，实现光伏产品生产的能源资源消耗最低化、生态环境影响最小化、可再生率最大化，使得光伏产品越来越绿色。”²²

¹⁹ <https://www.energy.gov/lpo/inflation-reduction-act-2022>

²⁰ <https://solaralliance.eu/>

²¹ <http://eu.mofcom.gov.cn/article/jmxw/202212/20221203373353.shtml>

²² 毛涛、吕方，2020，提高光伏产业绿色供应链管理水平的建议

在光伏产业链的上游，超过半数的碳排放量来自多晶硅和硅片的制造环节，电力消耗的隐含排放是其中最大的碳排放源。尽管过去十来年生产技术升级，电网清洁化水平提升，行业碳强度几乎减半，但在市场需求持续增加的前提下，光伏行业的总产量大幅增长，碳排放量也因此持续增长，且短期内难以大幅下降。

在光伏产品生命周期末端，光伏组件中的铝、硅、玻璃、铜等材料均可以在处理后实现再生利用。研究显示，废弃光伏组件的循环利用可以减少 1/3 至 3/4 的碳排放²³。各方亟需解决当前回收市场存在的回收流程不规范、环保措施不达标等问题²⁴，以推动光伏行业实现净零排放。

面对气候危机带来的严峻风险，中国光伏行业的崛起和发展正在对全球能源结构转型做出巨大贡献，为建筑等工业、交通、农业、渔业行业开展减排行动提供解决方案。光伏行业作为中国绿色产业的重要组成部分，不仅要生产绿色能源，更要加速建立绿色低碳供应链体系，推动链上企业绿色发展，并为同行企业提供可借鉴的良好案例。

• 光伏产业链气候行动评价

为量化评估光伏企业低碳转型进展，促进光伏企业构建绿色低碳供应链，公众环境研究中心（IPE）和绿色江南（PECC）于 2024 年初启动光伏企业绿色供应链 CATI 指数评价项目。我们参考中国光伏行业协会会员名单²⁵、企业近三年出货量排名，以及行业内专家的建议，选取 42 家从事多晶硅、硅棒、硅锭、硅片、电池、组件、逆

²³ Miaorui An & Xinlu Sun, 2023, Carbon footprints of solar panels in China provinces based on different production and waste treatment scenarios

²⁴ Rubén Contreras Lisperguer etc., 2020, Environmental Impact Assessment of crystalline solar photovoltaic panels' End-of-Life phase: Open and Closed-Loop Material Flow scenarios

²⁵ http://www.chinapv.org.cn/member_name/1400.html

变器²⁶制造的光伏行业上市公司（未包含业务范围只涉及上游硅矿石开采、光伏工程安装及运维的企业）。

评价主要依据以下信息来源：上市公司公开披露的年报、ESG 报告、可持续发展报告等定期报告，官网等公开渠道发布的信息，IPE 开发的蔚蓝地图数据库收集的可靠信源发布的数据。

作为基于数据的独立评价体系，我们希望 CATI 指数评价能够客观地反映中国光伏上市企业在气候行动方面的表现，协助企业识别短板和行业最佳实践，激励企业完善治理和管理机制，关注从原材料开采、生产、分销、储存、使用到废弃、回收等阶段的温室气体排放；在识别生命周期排放热点的基础上，通过核算摸清家底，科学设定温室气体和污染物减排目标，高效开展节能减排，并通过充分的信息披露，构建与利益方的信任，推进光伏企业实现“绿色制造”，助力中国“双碳”目标的达成和全球气候治理。鉴于应对气候变化是环境、社会和治理（Environmental, Social and Governance），即 ESG 指标中最为关键的部分，我们希望 CATI 评价也能够为投资者，特别是针对光伏行业的投融资提供参考。

²⁶ 根据《光伏制造行业规范公告管理暂行办法(2021 年本)》，光伏制造行业主要为多晶硅、硅棒、硅锭、硅片、电池、组件、逆变器等行业，并通过《光伏制造行业规范条件（2021 年本）》对以上几个行业企业从生产工艺、资源综合利用及能耗、环境保护等方面提出要求或划定限值，引导产业加快转型升级和结构调整。

2. 企业气候行动 CATI 指数 3.0

“十四五”时期，中国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期。另一方面，越来越多的跨国企业在“后巴黎协定”时代提出温室气体减排承诺，致力于实现“1.5°C温控目标”。

基于此背景，在中国环境科学研究院的技术支持下，IPE 将 2018 年开发的供应链气候行动 SCTI 指数全面升级为企业气候行动 CATI 指数，从治理机制、测算披露、碳目标设定、碳目标绩效和减排行动五个维度对中外企业的气候行动开展量化评价。

2023 年，IPE 再次对 CATI 指数进行升级，增加“测算并披露产品碳足迹”的指标，旨在引导企业关注从原材料开采、生产、分销、储存、使用到废弃或回收各阶段的温室气体排放；在识别生命周期排放热点的基础上，核算温室气体排放量，设定温室气体减排目标，构建可信的监测、报告和核查（Monitoring, reporting & verification, MRV），实现绿色低碳发展。



升级后的 CATI 指数 3.0 版全面对标全球主流的气候治理体系和标准指南，包括但不限于：联合国可持续发展目标（特别是负责任消费和生产以及气候行动等相关目标）、科学碳目标倡议（Science Based Targets Initiative, SBTi）、《温室气体核算体系：企业核算与报告标准》（*The GHG Protocol Corporate: A Corporate Accounting and Reporting Standard*）、中国国家发展和改革委员会发布的针对 24 个行业的《企业温室气体核算方法与报告指南》、国际标准化组织 ISO 14067 产品碳足迹（Carbon footprint of products）和 ISO 14025 三型环境声明（Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures）和英国标准协会 PAS 2060 碳中和认证（Specification for the demonstration of carbon neutrality）。

在信息披露方面，CATI 指数 3.0 版对标 GRI 可持续发展报告标准、气候相关财务信息披露工作组（Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD）发布的《气候相关财务信息披露工作组建议》、国际可持续准则理事会（International Sustainability Standards Board, ISSB）编制的《国际财务报告可持续披露准则第 2 号——气候相关披露》、CDP 气候变化问卷、中国证券监督管理委员会发布的《公开发行证券的公司信息披露内容与格式准则第 2 号——年度报告的内容与格式（2021 年修订）》、香港交易及结算所有限公司发布的《环境、社会及管治报告指引》、沪深北证券交易所《上市公司自律监管指引——可持续发展报告（试行）》。

作为基于数据的独立评价体系，我们希望 CATI 指数可以较为客观地反映参评企业气候行动的进展及在双碳行动中所处的态势。我们同时希望 CATI 指数可以为企业提供一份开启气候行动的路线图，引导其在制定气候治理机制和顶层设计的基础上，

从开展温室气体核算、创建温室气体清单开始，识别热点排放源，设定量化的减排目标并制定有针对性的减排方案，将减排目标分解至主要生产环节及价值链，依据所在行业的减排路径开展规模化减排，追踪并披露目标完成进展，同时带动和赋能上下游合作伙伴探索从原材料开采、生产、分销、储存、使用到废弃或回收各阶段的温室气体减排潜力，开启气候行动。

为便于投资者理解评价结果，我们将上市公司 CATI 指数评价结果分为三级九等，总分以 AAA、AA、A、BBB、BB、B、CCC、CC、C 进行表示。其中，A 级表示自身运营及供应链的信息披露和温室气体减排水平较高，B 级表示已在一定程度上开展针对自身运营及供应链的信息披露和温室气体减排，C 级表示自身运营及供应链的信息披露和温室气体减排有显著欠缺。投资者也可以根据自身风险模型特点，将 CATI 指数的五个一级指标、13 个二级指标甚至三级指标进行拆分计算或分别纳入已有的评价模型，对上市公司的低碳转型态势进行评估。

3. 2024 光伏企业气候行动 CATI 评价结果

3.1 2024 光伏企业气候行动 CATI 评价 TOP 10²⁷

A 隆基绿能 601012	BB 晶科能源 688223	BB 阿特斯 688472	BB 天合光能 688599	BB 晶澳科技 002459
				
B 通威股份 600438	B TCL中环 002129	B 阳光电源 300274	B 协鑫科技 03800	B 信义光能 00968
				

²⁷ 完整评价结果详见附录

3.2 2024 光伏企业气候行动 CATI 表现分布

本期 CATI 评价结果显示，多家光伏企业正在积极响应双碳政策要求，落实节能减排项目，开展产业链绿色转型。其中的领先企业回应市场对低碳光伏产品需求，开展产品生命周期评价，推进绿色供应链建设工作；但多数光伏企业仍有待对标先进，提升企业气候治理水平。

在本期评价的 42 家光伏企业中，**隆基绿能 (601012)** 获评 A 级。企业不仅开始核算并披露范围 3 排放量数据，在此基础上设定并追踪范围 3 减排目标，还与主要供应商伙伴合作开展减排项目，并引导其供应商开展碳披露。

晶科能源 (688223)、**阿特斯 (688472)**、**天合光能 (688599)** 和**晶澳科技 (002459)** 获评 BB 级。这些领先企业开始制定绿色采购要求，逐步落实供应链减排行动。

通威股份 (600438)、**TCL 中环 (002129)**、**阳光电源 (300274)**、**协鑫科技 (03800)** 和**信义光能 (00968)** 获评 B 级，他们在供应链低碳转型路径设计、供应商碳核算赋能等方面也有较好表现。B 级及以上企业的比例达到总评价样本的 24%。

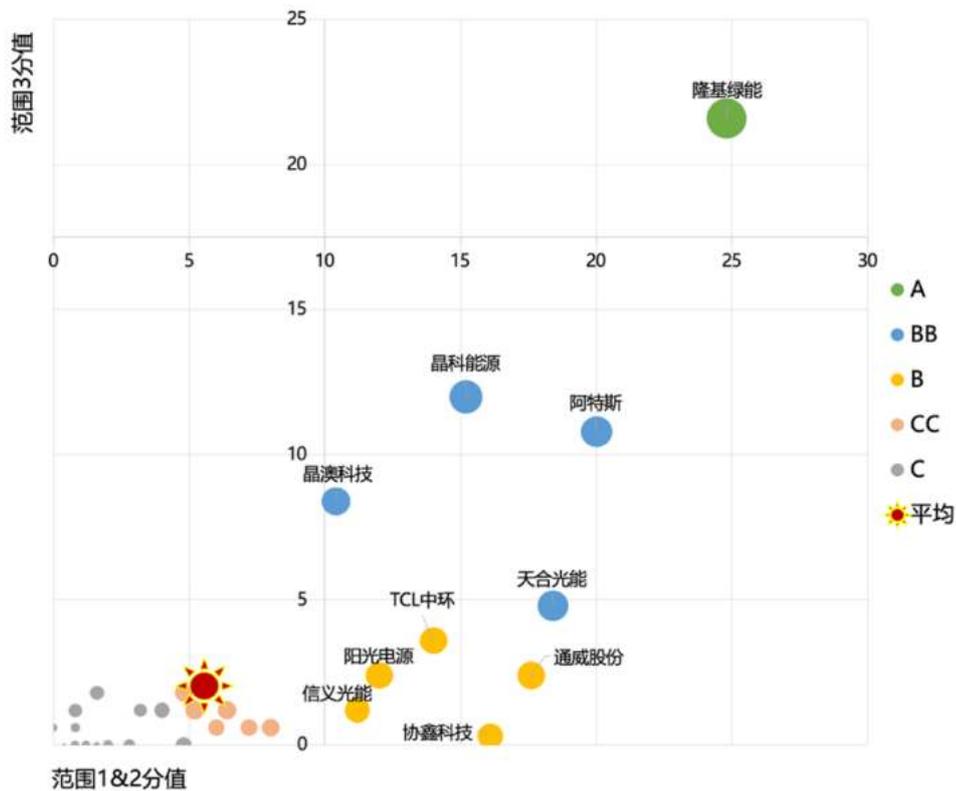


图 3-1 光伏企业 CATI 评价表现分布

(X 轴表示企业范围 1&2 指标得分之和, Y 轴表示范围 3 指标得分之和)

在领先企业取得进展的同时, 获评 C 级的光伏上市公司仍超过参评企业的 60%, 平均分仅为 3.38 分, 显示大部分光伏企业气候表现有待提升。多数企业当前仍主要关注范围 1&2 的测算和减排, 尚待明确价值链低碳转型路径, 持续提升供应链的气候信息透明度。

3.3 2024 光伏企业气候行动 CATI 评价分析

本评价期内五个一级指标的得分率和平均分得分率²⁸如图 3-2 和图 3-3 所示：

- **治理机制**

光伏企业在制定气候治理相关机制，以及实际开展节能减排项目方面有较大进展。治理机制维度的平均分得分率超过 35%，是五个评价维度中平均分得分率最高的，79%的企业开始制定和发布气候政策，40%的企业将气候相关议题纳入董事会最高决策层监督职责。

- **测算披露**

43%的企业开展碳及能源数据的核算披露工作，平均分得分率达 18%，显示多数企业有待加强对于基准年、核算清单及范围 3 排放等信息的披露，向 ISSB《国际财务报告可持续披露准则第 2 号——气候相关披露》、沪深北交易所《上市公司自律监管指引——可持续发展报告（试行）》等披露新规对齐。

- **碳目标设定**

多数已经做出气候承诺的企业尚待将承诺转化为可量化、可追踪的减排目标。24%的企业设定碳和/或能源目标，但平均分得分率不足 10%，企业需对标全球温控目标和各国自主贡献目标，科学设定企业减排目标和碳中和目标，并明确目标基准线、目标范围（如是否包含范围 3）等信息。

- **碳目标绩效**

碳目标绩效是五个评价维度中的弱项，其得分率（17%）和平均分得分率（4%）远低于其他维度。已经设定气候目标的企业需加强追踪目标绩效，以便在减排进展和预期偏离时及时调整，并通过绩效的公开披露推进气候承诺落实。

²⁸ 注：得分率=42 家参评企业非零分个数/42 %；平均分得分率=42 家参评企业的平均得分/评价维度总分 %

- **减排行动**

86%的企业已经开展企业能源管理或通过自建屋顶光伏等方式使用可再生能源，但减排行动的平均得分率不足 10%。这表明多数光伏企业仍停留在企业低碳转型方针的制定阶段，尚未落实减排路径，或减排行动只停留在试点阶段。

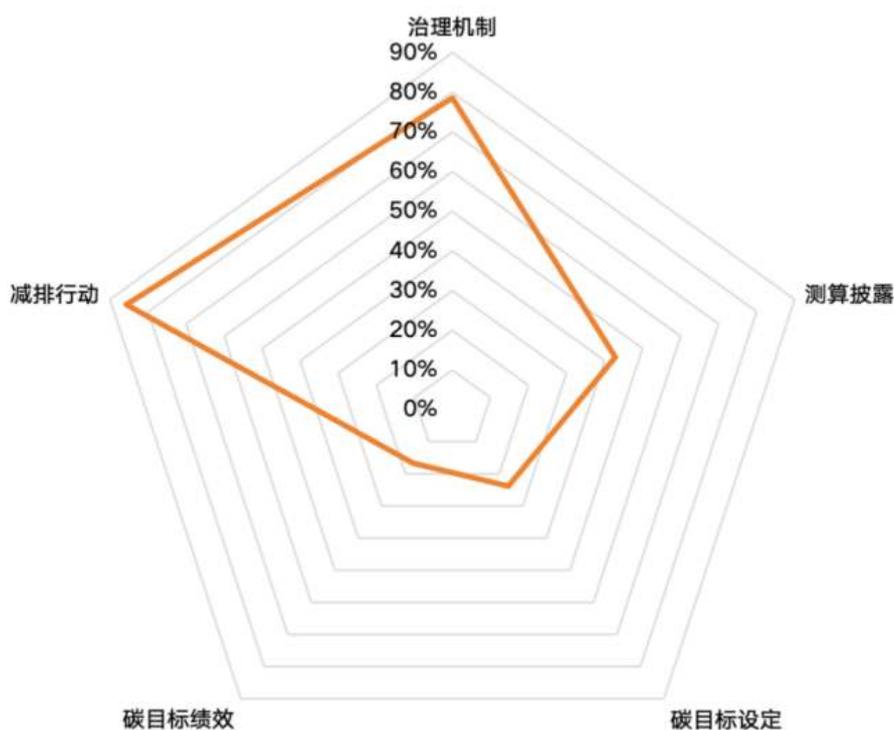


图 3-2 光伏企业 CATI 各评价维度得分率

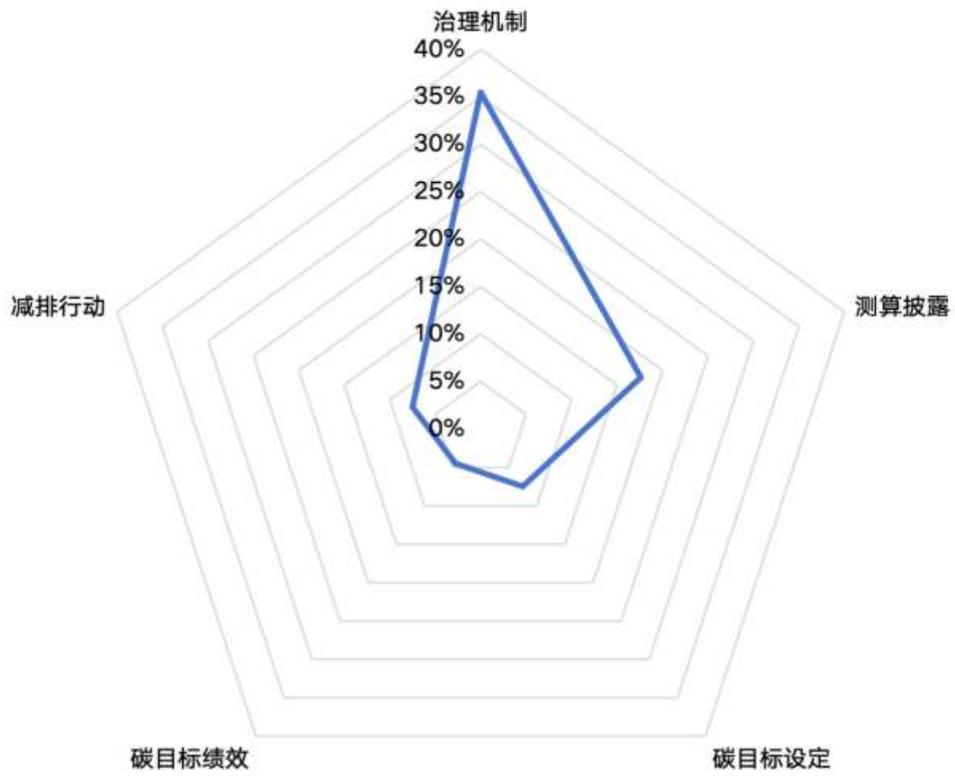


图 3-3 光伏企业 CATI 各评价维度平均分得分率

4. 光伏企业气候行动评价发现及解决方案

发现一：八成光伏企业做出气候承诺，但行业整体气候披露表现尚不足以应对国内外披露新规

在市场需求逐渐向“绿色”和“可持续”倾斜的背景下，越来越多的企业将气候变化因素纳入发展战略规划，通过核算组织边界内的温室气体排放信息摸清家底，制定气候方针，并设定与企业长期战略目标相一致的、可量化、可执行的气候目标。

在本期评价中：

- **18家（43%）企业核算并披露了范围1&2排放量**，18家（43%）企业披露其能源使用情况及/或综合能耗数据；**6家企业核算并披露了范围3排放量**，其中，隆基绿能（601012）通过收集供应商实测数据提升范围3排放准确性，并推动其供应商自主开展碳披露。

案例一

协鑫科技（03800）²⁹依据业务模块，核算并披露了2022年度硅片和硅料业务的温室气体排放及强度，并梳理了工艺流程中的主要排放源。

协鑫科技披露的数据显示：硅料业务的排放占企业范围1&2排放总量的90%以上，生产过程中的燃煤消耗与外购电力是两大温室气体排放源；在硅片业务中，温室气体排放主要来自外购电力隐含的碳排放。在依据业务模块开展核算的基础上，我们期待协鑫科技可以据此设定碳减排目标，并落实更具针对性的减排行动。

²⁹ 协鑫科技《2022 环境、社会及管治报告》

我們的硅料業務及硅片業務溫室氣體排放情況如下：

指標	硅片		硅料	
	單位	2022 年	單位	2022 年
範圍一溫室氣體排放總量	噸二氧化碳當量	6,103	噸二氧化碳當量	2,256,765
範圍二溫室氣體排放總量	噸二氧化碳當量	252,194	噸二氧化碳當量	1,990,899
溫室氣體排放總量 (範圍一 + 範圍二)	噸二氧化碳當量	258,297	噸二氧化碳當量	4,247,664
溫室氣體排放密度	噸二氧化碳當量 / 兆瓦硅片	5.54	噸二氧化碳當量 / 噸硅料	40.56

图 4-1 协鑫科技范围 1&2 排放量及排放强度

- **8 家 (19%) 企业设定并披露范围 1&2 减排目标**，领先企业也在设定减排和碳中和目标时，逐渐提高气候雄心，参考 IPCC 提出 1.5 度温控目标背后的气候科学（企业气候目标详见表 1）。
- **3 家企业的气候目标涵盖范围 3 排放**。其中，**隆基绿能 (601012)、晶科能源 (688223)** 2 家企业已经取得科学碳目标倡议 (SBTi) 认证，开始关注外购商品和服务在内的供应链排放。阿特斯 (688472) 响应法国产品碳足迹的限值要求，持续降低其产品碳足迹数值，并设定了不同类型光伏组件产品碳足迹的减排目标。
- **晶澳科技 (002459)、阿特斯 (688472)、通威股份 (600438)、横店东磁 (002056)** 4 家企业已按照科学碳目标要求设定目标并提交 SBTi 申请。
- **晶科能源 (688223) 承诺 2050 年全价值链净零目标**；通威股份 (600438)、TCL 中环 (002129)、阳光电源 (300274) 3 家企业提出力争于 2050 年前实现范围 1&2 碳中和。

案例二

晶科能源 (688223)³⁰根据 GHG Protocol 方法学开展针对范围 1、2、3 的碳核算，并识别包括外购商品和服务、上下游运输和分销、产品末端处置等 13 个与企业活动相关的范围 3 类别³¹。晶科能源披露的 2022 年排放数据显示，范围 3 排放占其温室气体排放总量的 84.3%，其中超过 95%的排放来自其价值链上游，是企业最终实现净零排放的减排重心。

晶科能源温室气体排放情况表

指标 ¹		单位	2020	2021	2022
直接 (范围 1) 温室气体排放量	合计	万吨二氧化碳当量	2.75	3.85	5.99
	固定排放源		2.75	0.81	0.91
	移动排放源			0.72	0.87
	逸散排放源			2.32	4.21
能源间接 (范围 2) 温室气体排放量		万吨二氧化碳当量	117.08	194.50	315.73
其他间接 (范围 3) 温室气体排放量	合计	万吨二氧化碳当量	/	1,208.19	1,713.14
	上游		/	1,165.19	1,648.68
	下游			43.00	64.46

注 1:

- 2021-2022 年温室气体排放量依据世界资源研究所 (WRI) 与世界可持续发展工商理事会 (WBCSD) 发布的《温室气体核算体系：企业核算与报告标准》(The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard) 进行核算和报告；
- 2021-2022 年范围 1、2 温室气体排放数据覆盖本报告范围内的 14 个基地及上海晶科中心 (位于上海市闵行区申长路 1466 弄 1 号)；
- 2022 年直接 (范围 1) 温室气体排放量 - 固定排放源、能源间接 (范围 2) 温室气体排放量数据由第三方专业机构进行鉴证；
- 2021-2022 年范围 3 的计算结合晶科能源实际情况及所处行业特征，从 15 个类别中识别出 13 个类别与晶科能源范围 3 排放相关，并使用向供应商收集数据、向内部利益相关方收集数据、采用行业数据估算相结合的方法开展评估，其中范围 3 上游排放主要包括采购商品与服务、资本商品、燃料及能源相关活动、上游交通运输、废弃物、商务出行、员工通勤、上游租赁，范围 3 下游排放主要包括下游运输、产品使用、产品终期、下游租赁、投资；
- 温室气体排放总量增大主要受基地及车间数量、投产量和出货量影响。

图 4-2 晶科能源-披露范围 1、2、3 排放量

³⁰ 晶科能源《2022 环境、社会及治理 (ESG) 报告》

³¹ 根据 GHG protocol, 范围 3 划分为十五个类别, 包括外购商品和服务、资产设施、范围 1&2 外的燃料和能源等: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf.

- 8 家企业设定可再生能源利用目标，其中，隆基绿能（601012）、晶科能源（688223）、阿特斯（688472）、天合光能（688599）、通威股份（600438）、阳光能源（00757）6 家企业承诺 2030 年前自身运营 100%使用可再生能源。

案例三

阿特斯（688472）³²披露按照光伏组件的制造过程披露企业温室气体排放分布（范围 1&2、部分范围 3）。根据每兆瓦温室气体排放强度数据可知，硅棒的单位碳强度占全过程排放的一半以上，其次是电池片的制造过程，这两部分占企业产品相关的温室气体排放的 60%。此外，阿特斯响应法国碳足迹等海外出口要求，通过提升发电效率提升，减少硅片厚度并在制造环节开展能效提升，发布产品碳足迹减排路线图，并逐渐推进产品碳足迹的降低。

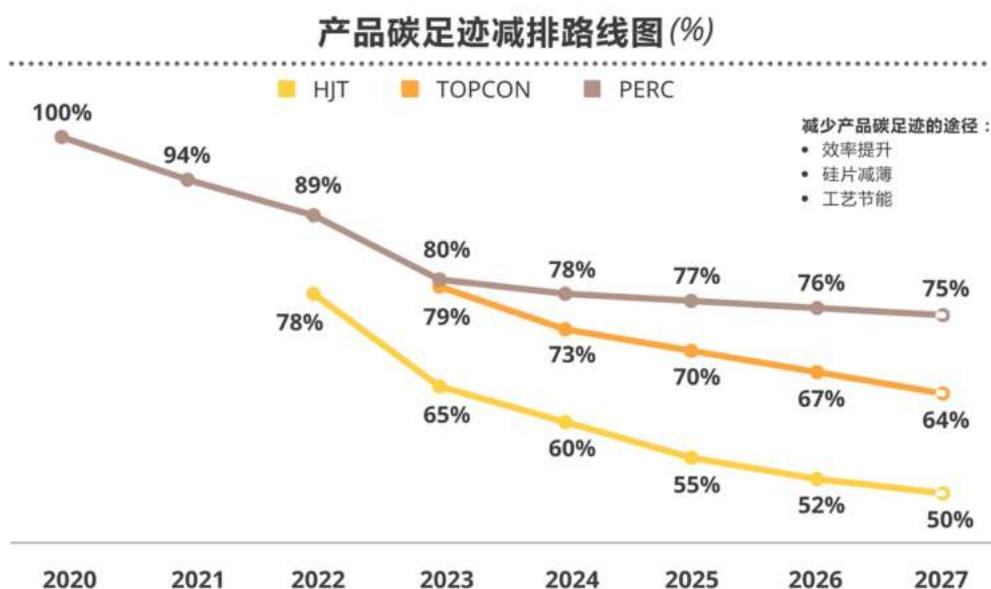
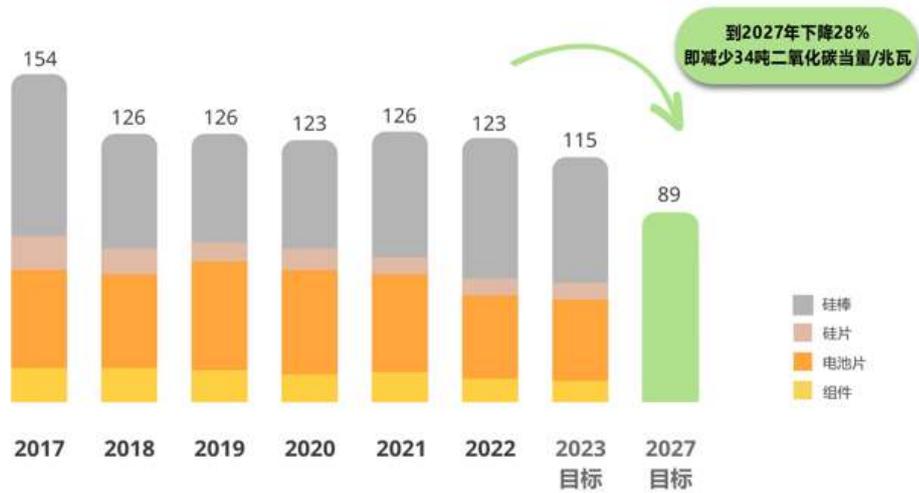


图 4-3 阿特斯产品碳足迹减排路线图

³² 阿特斯集团《2022 年 ESG 可持续发展报告摘要》

温室气体 (GHG) 排放强度 (吨二氧化碳当量/兆瓦)



2022年碳排放

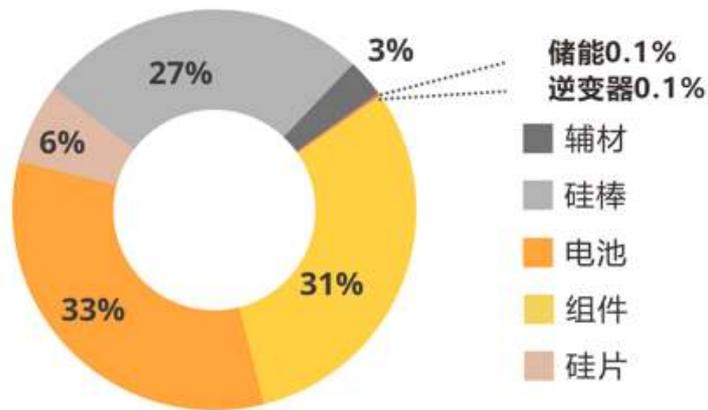


图 4-4 阿特斯披露碳排放 (范围 1&2、部分范围 3)

尽管上述企业积极推进气候行动，但本期评价显示，**光伏行业整体气候信息的披露表现尚不足以应对国际和中国国内逐渐加严的披露新规**。在国际层面，国际可持续准则理事会 (ISSB)、欧盟委员会、美国证券交易委员会 (SEC) 等组织和机构陆续

发布或进一步提升企业，特别是上市公司气候变化相关信息的披露标准，逐渐向范围 3 相关信息披露扩展。ISSB 发布的 IFRS 气候披露框架行业实施规则 (IFRS S2 Industry-based Guidance) ³³中，还建议光伏企业披露能耗总量、可再生电力消耗量、外购电网电力消耗量等指标。

超过半数的光伏企业尚未开展碳排放及能源数据的核算和披露；超过八成的企业尚未将供应链减排纳入企业脱碳方针，未披露范围 3 排放及量化的范围 3 减排目标。光伏组件制造企业范围 3 排放占其温室气体排放总量的 60-90%³⁴，多晶硅和硅片制造是上游供应链中最大温室气体排放环节，占据光伏组件产品碳足迹的 50%以上，其中外购电力消耗是最大的碳排放源³⁵。光伏企业为实现全价值链净零排放，除了需要降低自身运营产生的温室气体，还需要识别和核算范围 3 的排放热点，与价值链上的利益方，特别是供应商合作开展减排，并开展充分的信息披露，提升供应链气候信息透明度。

³³ <https://www.ifrs.org/projects/completed-projects/2023/climate-related-disclosures/appendix-b-industry-based-disclosure-requirements/>

³⁴ 根据披露范围 3 外购商品和服务的参评企业的实测数据计算得出，仅供参考

³⁵ IEA, 2022, Special Report on Solar PV Global Supply Chains

表 1 光伏企业气候目标汇总³⁶

企业名称	股票代码	范围 1&2 减排目标	范围 3 减排目标	可再生能源目标	碳中和/净零排放达成时间
隆基绿能	601012	承诺以 2020 年为基准，2030 年运营范围内的温室气体排放下降 60%。	到 2030 年范围 3 采购物品的排放强度比 2020 年下降 52%。	到 2027 年实现 70% 可再生电力使用，2028 年实现 100% 可再生电力使用。	/
晶科能源	688223	Near-Term Targets JinkoSolar Co., Ltd commits to reduce absolute scope 1 and 2 GHG emissions 50.4% by 2032 from a 2022 base year. Long-Term Targets JinkoSolar Co., Ltd commits to reduce absolute scope 1 and 2 emissions 90% by 2050 from a 2022 base year.	JinkoSolar Co., Ltd further commits to reduce scope 3 GHG emissions from purchased goods and services 58.2% per MW of solar related product produced by 2032 from a 2022 base year. JinkoSolar Co., Ltd also commits to reduce scope 3 GHG emissions from purchased goods and services, upstream transportation and distribution, and downstream transportation and distribution 97% per MW of solar related product produced by 2050 from a 2022 base year.	承诺在 2025 年前实现 100% 使用可再生能源	2050 (包含范围 3)
阿特斯	688472	我们的目标包括温室气体的排放强度持续下降:2023 年比 2022 年降低 7%，2027 年比 2022 年降低 28%。	以 2020 年为基准年，PERC 产品碳足迹到 2027 年减少至 75%，TOPCON 产品碳足迹到 2027 年减少至 64%，HJT 产品碳足迹到 2027 年减少至 50%	阿特斯将坚定不移地致力于到 2030 年实现全球运营 100% 自可再生资源，并设定了到 2027 年达到 74% 这一中间目标。	/
天合光能	688599	以 2020 年为基准，2025 年单位组件类别 1 和类别 2 温室气体排放强度 (tCO ₂ e/MW) 下降 50%； 以 2020 年为基准，2025 年太阳能光伏产品综合能耗 (吨标煤 /MW) 下降 40%；	/	目标在 2030 年全球生产运营过程中实现 100% 可再生能源 (电量单位: MWH) 开展节能降耗项目，目标从 2021 年至 2030 年在全球生产运营	/

³⁶ 表中汇总信息来自企业官网、年度报告、企业新闻稿、科学碳目标官网等公开渠道，仅供参考

		以 2020 年为基准, 2025 年单位电池综合能耗 (吨标煤 /MW) 下降 40%;			过程中实现累计节约电耗 1 亿度 (电量单位: 度)	
		以 2020 年为基准, 2025 年单位组件综合能 (吨标煤 /MW) 下降 40%				
通威股份	600438	2025 年力争实现碳排放强度相比于 2020 年下降 19.5%。	/		力争 2030 年前实现运营层面碳中和, 100% 使用可再生能源。	2030
		爭取 2023 年單位產品溫室氣體排放量下降 13%;				
信义光能	00968	於 2022 年提出 4 項量化的 5 年可持續發展目標: 至 2027 年, 每平方米太陽能玻璃產品生產所帶來的溫室氣體排放量 (範圍 1+範圍 2) 對比 2022 年下降 15%	/		加大可再生能源的投資, 爭取 2027 年集團持有的太陽能電站項目年度發電量對應的二氧化碳減排量增加 50%	/
协鑫科技	03800	2022 年溫室氣體排放密度較 2021 年下降 45%	/		/	/
中环新能源	01735	於來年, 本集團目標是至少維持氣體排放及(如可行)繼續減少 2% 的排放量。	/		/	/
TCL 中环	002129	/	/		公司始终将“实现 100% 电使用”作为生产和运营用电的长期目标, 同时 在各地积极布局光伏电站业务, 助力各地光伏产业发展、推动能源绿色转型	2050
阳光电源	300274	/	/		公司加入 RE100, 承诺到 2028 年前 100%使用清洁电力, 安徽省于 2021 年开放直购绿电, 公司已参与购买。2022 年公司绿电占比达到 45%, 后期将每年以 10%的增长提升绿电占比。	2028

发现二：10 家光伏企业核算并披露了产品碳足迹信息，积极应对国际市场光伏绿色贸易壁垒

2023 年，IPE 首次在 CATI 指数中增加“测算并披露产品碳足迹”的指标，旨在引导企业从产品设计开始关注其产品碳足迹（PCF），通过梳理全生命周期资源和能源的输入和输出，探索产品减排潜力，同时助力采购方及/或消费者做出绿色选择。

本期评价期间，10 家领先企业核算并披露了多款单晶硅和多晶硅光伏组件、电池及硅片的 PCF 相关信息，其中 7 家取得了环境产品声明（EPD）认证。（详见表 2）。这些企业披露的 PCF 数据显示，光伏发电输出 1 千瓦时电力的全生命周期碳足迹介于 0.0099 至 0.0261kgCO₂e 之间，其中**晶科能源（688223）**的单晶硅组件 JKMXXXM-7RL3-V 的 PCF 在同类产品中最低³⁷。当以单位峰瓦（Wp）度量 PCF 时，这些企业披露的 PCF 介于 385 至 504kgCO₂e/kWp 之间，均小于法国能源监管委员会（CRE）对光伏组件碳足迹的基准要求（550kgCO₂e/kWp），其中产品碳足迹最低的是**晶澳科技（002459）**P 型单晶硅组件³⁸。

表 2 光伏企业产品碳足迹数据披露情况汇总

品牌名称	是否披露 产品碳足迹数据	最近数据时间	产品类型
隆基绿能	是，EPD 报告	2022	双面单晶硅组件
晶科能源	是，EPD 报告	2021	单晶硅组件
阿特斯	是，EPD 报告	2021	单/双面单晶硅组件
天合光能	是，EPD 报告	2020	单晶硅组件
晶澳科技	是，EPD 报告	2021	P 型/N 型单/双面单晶硅组件
TCL 中环	是，仅数值	2021	叠瓦组件
阳光电源	是，EPD 报告	2023	逆变器
信义光能	是，仅数值	2022	太阳能玻璃
协鑫科技	是，PCF 报告	2021	颗粒硅、PERC 组件

³⁷ <https://www.epditaly.it/en/wp-content/uploads/2016/12/Jinko-EPD-final-report-20210616.pdf>

³⁸ <https://www.epditaly.it/en/wp-content/uploads/2016/12/MR-EPDITALY0073.pdf>

生命周期评价 (Life Cycle Analysis, LCA) 是一种国际公认的环境管理工具和环境足迹分析方法，对产品（包括服务）的整个生命周期过程，包括产品原材料的获取、设计、生产、运输、交付、使用和寿命终止的末端处理阶段的资源和能源的输入和输出进行分析。基于生命周期评价方法，量化产品碳足迹 (PCF) 可以协助企业梳理其单一产品生命周期各阶段的温室气体排放和清除量，从产品原材料开采到末端报废处理或循环再生的碳排放，定位高碳排放的过程、工艺和材料。光伏企业通过核算并披露 PCF，与同类产品开展对标及外部利益方交流，识别生命周期阶段或制造过程中的排放差距，将有助于光伏企业开展自身减排行动，并推动光伏行业绿色供应链的形成。

近年来，国际市场上对绿色低碳产品的需求日益提升，各方对环境标签的量化数据质量和透明度的要求逐渐提高。另一方面，多国为保护境内企业竞争力对进口产品绿色属性的要求趋严，陆续出台光伏产品碳足迹限值及低碳认证等要求（部分国家发布的光伏产品碳足迹要求详见表 3），给中国光伏产品出口带来挑战。其中，法国简化产品碳足迹报告 (ECS) 对光伏组件的产品碳足迹限值要求最为严格，其次为韩国。但我们在调研中也看到，法国和韩国核算标准中给出的中国电网排放因子缺省值偏高，推荐选用 LCA 数据库的中国地域代表性较差，可能引起产品碳足迹的核算偏差。美国和欧盟当前通过环保标签以及 III 型环境产品声明 EPD 体系的形式等激励企业开展减排及信息披露。

表 3 部分国际光伏产品碳足迹要求

项目名称	国家	主管部门/发起方	企业参与形式	政策基础/核算方法学	要求简述
Evaluation Carbone Simplifiée (ECS) 简化产品碳足迹报告 ³⁹	法国	Commission De Régulation Fe L'énergie (CRE) 法国能源监管委员会	认证	太阳能发电设施的建设和运营相关招标规范 (AO PPE2 PV Sol) French Agency for Ecological Transition (ADEME) guidelines	要求出口法国市场的 100kW 以上的光伏发电项目需提交“简化产品碳足迹报告 (Evaluation Carbone Simplifiée, ECS)”，光伏组件碳足迹需低于 550kgCO ₂ e/kWp，并根据该基准以下的产品碳足迹高低，为竞标产品的“碳影响”打分
光伏产品碳认证系统 ⁴⁰	韩国	韩国贸易、工业和能源部 (Motie)	认证及评级	KS I ISO 14040 韩国标准的晶体硅组件环境影响生命周期评估 (LCA) 进行碳足迹评估 South Korean regulations on carbon footprint assessment for PV modules	将根据市场条件逐步提高针对光伏组件的碳排放要求 等级 I: 碳排放低于 670kgCO ₂ /kW 等级 II: 碳排放放在 670-830kgCO ₂ /kW 之间 等级 III: 碳排放高于 830kgCO ₂ /kW
EPEAT for Solar ⁴²	美国	Global Electronics Council Ultra Low-Carbon Solar Alliance	低碳环保标签	NSF/ANSI 457 Sustainability Leadership Standard for PV Modules and PV Inverters	EPEAT 光伏组件和逆变器 ESG 标准以 NSF 457 标准为基础，并于 2023 年增加了碳足迹标准
Environmental impact of photovoltaic modules, inverters and systems ⁴⁴	欧盟	欧盟委员会	低碳环保标签	Energy Labelling Regulation Ecodesign Directive 欧盟产品环境足迹方法 (EU PEF)	确保市场上有关组件能量产出、组件性能长期退化和碳足迹的声明之间的可比性

³⁹ <https://www.cre.fr/documents/Appels-d-offres/appele-d-offres-portant-sur-la-realisation-et-l-exploitation-d-installations-de-production-d-electricite-a-partir-de-l-energie-solaire-centrales-a2>.

⁴⁰ <https://korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156402030>

⁴¹ <https://www.motie.go.kr/>

⁴² https://globalelectronicscouncil.org/wp-content/uploads/NSF-457-2019-1.pdf?trk=public_post_comment-text

⁴³ <https://ultralowcarbonsolar.org/epeat-for-solar-ecolabel/>

⁴⁴ https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12819-Ecodesign-European-Commission-to-examine-need-for-new-rules-on-environmental-impact-of-photovoltaics_en

案例

当前中国尚未发布针对光伏产品碳足迹核算的方法学，阿特斯 (688472) 等中国光伏企业大多根据国家标准化组织发布的 ISO 14067:2018 产品碳足迹标准⁴⁵或欧洲标准委员会 CEN EN 15804 标准及相关光伏组件或光伏发电产品类别规则 (PCR)^{46 47}开展核算。

对比阿特斯两款单面和双面单晶硅光伏组件 EPD 报告显示，由于结构差异，双面光伏组件原料消耗高于单面组件。但得益于背面发电增益，双面光伏组件的发电效率更高，每度电碳足迹较单面组件减少 0.0026 kgCO₂e，上游原料生产阶段减少 0.0004 kgCO₂e。此外，双面组件在产品运输阶段的相关排放，因产品重量增加较单面组件小幅上升；产品安装过程的排放则较单面组件显著下降（详见表 4）。

表 4 阿特斯-单面和双面单晶硅光伏组件产品碳足迹对比

产品名称	单面单晶硅光伏组件 Mono-facial mono-crystalline silicon photovoltaic (PV) modules ⁴⁸	双面单晶硅光伏组件 Bi-facial mono-crystalline silicon photovoltaic (PV) modules ⁴⁹	
产品型号	CS3W-MS	CS3W-MB-AG	
产品信息	产地	中国江苏常熟	
	寿命	30 年	
	重量	26.2kg	29.2kg
	最高发电效率	19.7-21.3%	19.7-27.1%

⁴⁵ <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:en>

⁴⁶ NPCR 029:2022 Part B for photovoltaic modules (references to EN 15804 +A2) -Part B for photovoltaic modules used in the building and construction industry, including production of cell, wafer, ingot block, solar grade silicon, solar substrates, solar superstrates and other solar grade semiconductor materials: <https://www.epd-norge.no/pcr/pcr-register/npcr-029-2022-part-b-for-photovoltaic-modules-references-to-en-15804-a2>

⁴⁷ https://www.epditaly.it/en/download/draft_epditaly014-pcr-for-photovoltaic-panel/

⁴⁸ https://www.epditaly.it/en/wp-content/uploads/2016/12/CSI_modules_EP-Italy-report-public_mono-facial_20220729.pdf

⁴⁹ https://www.epditaly.it/en/wp-content/uploads/2016/12/CSI_modules_EP-Italy-report-public_bi-facial_20220729.pdf

	第一年的发电量 (千瓦时)	150783	149919	
碳足迹信息	边界	摇篮到坟墓		
	方法学	EN 15804; ISO 14025		
	产品碳足迹 (kgCO ₂ e/千瓦时)	0.0184	0.0158	
	生命周期阶段碳足迹 (kgCO ₂ e)			
	原材料生产	0.0115	0.0111	
	原材料运输	0.00003	0.000036	
	产品生产	0.000325	0.00032	
	产品运输	0.000468	0.000532	
	产品安装	0.00512	0.00294	
	产品拆解	0.000001	0.000002	
	报废运输	0.000021	0.000023	
	末端处置	0.000901	0.000809	

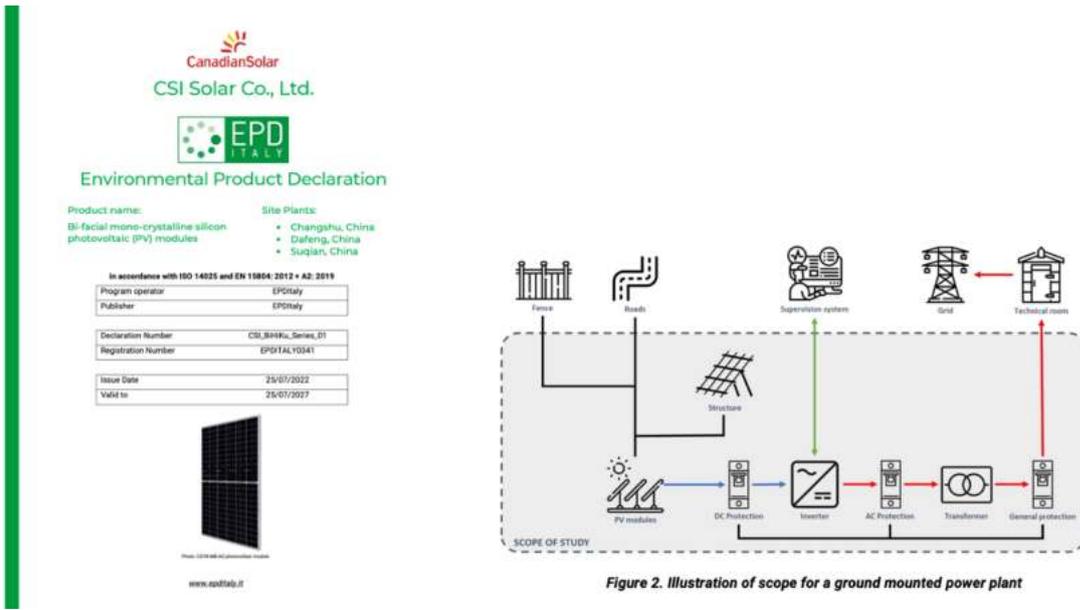


图 4-5 阿特斯 EPD 报告及产品生命周期影响分析边界

专题：双面光伏组件的背面增益

双面光伏组件的背面额外增益取决于它取决于安装方式和环境，如高度、倾斜角度、间距和地面反照率等。研究考虑双面光伏组件背面发电增益，并对背面增益率做出假设和情景模拟，结论显示在增益 1%情景下，双面组件的气候变化等环境影响仍高于单面组件；在增益为 5%和 10%情境下,双面组件各类环境影响均小于单面组件⁵⁰。随着光伏技术迭代进步，双面单晶硅光伏组件因其较高的发电率，市场关注和研发投入逐渐增加，其市场份额从 2019 年不足 20%，预测到 2030 年将提升至 70%⁵¹。

但调研发现当前对于单面和双面光伏组件的对比研究主要关注其技术更新、产品经济性、不同环境发电效率、光伏发电的减排潜力等，而针对单双面光伏组件以及考虑多种 P 型和 N 型电池技术系统性的环境影响研究和对照尚不足，未来还需基于更多企业披露的实测数据，展开进一步研究分析。

在中国，从国家部委到地方主管部门发布《工业领域碳达峰实施方案》⁵² 《“十四五”认证认可检验检测发展规划》⁵³等多份政策文件多次提出“产品全生命周期绿色环保转型”、“建立重点产品全生命周期碳足迹标准”、“建立重点产品全生命周期碳

⁵⁰ 陈大纪等，2022，单面和双面光伏组件环境影响对比分析：

https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=8WLnD7pOpNFbJODGaETiXdGbBb0rfEiXSJR_6cy8GijY8bgpLNbpxWdt7tvnXmdP8ngjfr3mMF1oFU07u0zxUXzTTt15P-iejLOZaLyOXIVpVI5i-jbdEelsMaBWCqCtQ7A-TO_qnj0KTbdxHJ3JDQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS

⁵¹ Wenbo Gu etc., 2020, A comprehensive review and outlook of bifacial photovoltaic (bPV) technology:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890420308220>

⁵² 国务院.国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知[EB/OL].2021-10-24:[2023-10-12].https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm.

⁵³ 市场监管总局.市场监管总局关于印发《“十四五”认证认可检验检测发展规划》的通知[EB/OL].2022-07-29:[2023-10-12].https://www.samr.gov.cn/zw/zfxxgk/fdzdgnkr/rzjgs/art/2023/art_6b55306125704c99b7db2fcd11825e4.html.

排放数据库”。国家气候战略中心召开了国家温室气体排放因子库技术工作组启动会⁵⁴，介绍正在加速推动的国家温室气体排放因子数据库建设工作。中国电子工业标准化技术协会和中国光伏行业协会联合发布的《绿色设计产品评价技术规范—光伏硅片》《绿色设计产品评价技术规范—光伏组件》等团标中规定了光伏产品生命周期评价报告的编制方法，但尚未提及产品对气候变化影响结果的量化⁵⁵。这些工作将有助于统一中国和国际主流的核算和核验标准（包括核算边界、排放源筛选、原始数据质量要求等）、数据统计口径，应对因子可信度等问题，促进各方增进交流沟通，提升PCF相关机制的国际互认和有效衔接。

⁵⁴ http://www.ncsc.org.cn/xwdt/zxxw/202404/t20240403_1070012.shtml

⁵⁵

https://www.miit.gov.cn/cms_files/filemanager/oldfile/miit/n1146285/n1146352/n3054355/n3057542/c7796801/part/7797297.pdf

发现三：七成光伏企业积极应用可再生能源并提升生产能效，但在供应链碳管理不足的情况下，光伏产业链对标《巴黎协定》目标开展低碳转型仍具挑战

光伏产业链上游超过半数的碳排放量来自多晶硅和硅片的制造环节，电力消耗的隐含排放是其中最大的碳排放源。多篇针对中外光伏组件生命周期影响对比的研究显示，中国平均光伏组件碳足迹在全球中偏高，较欧洲国家高出近 70%，主要原因在于当前中国能源结构中可再生能源占比较低，对煤炭依赖程度较高^{56 57}。因此，增加可再生能源使用比例、开展能源管理并提高能源利用效率是光伏产业链上的企业脱碳的核心途径。

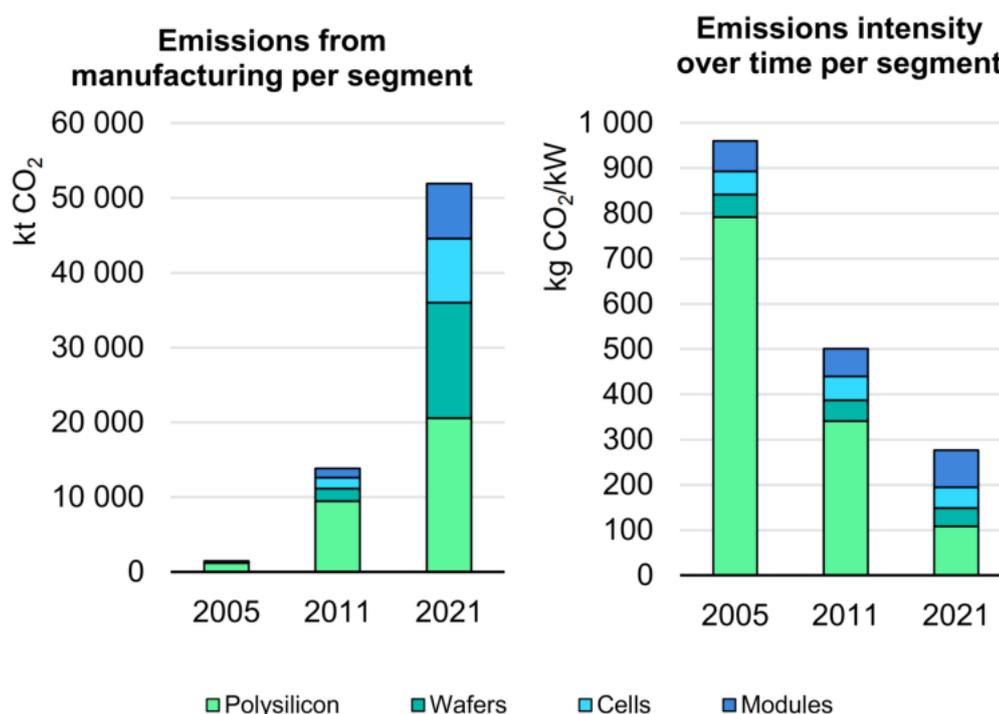


图 4-6 全球光伏产业碳排放及碳强度变化趋势⁵⁸

⁵⁶ Amelie Müller etc., 2021, A comparative life cycle assessment of silicon PV modules: Impact of module design, manufacturing location and inventory

⁵⁷ IEA, 2022, Special Report on Solar PV Global Supply Chains

⁵⁸ 图 4-6 和图 4-7 来自：IEA, 2022, Special Report on Solar PV Global Supply Chains

Energy consumption of solar PV manufacturing by segment, 2015-2021 (left), and energy intensity per segment (right)

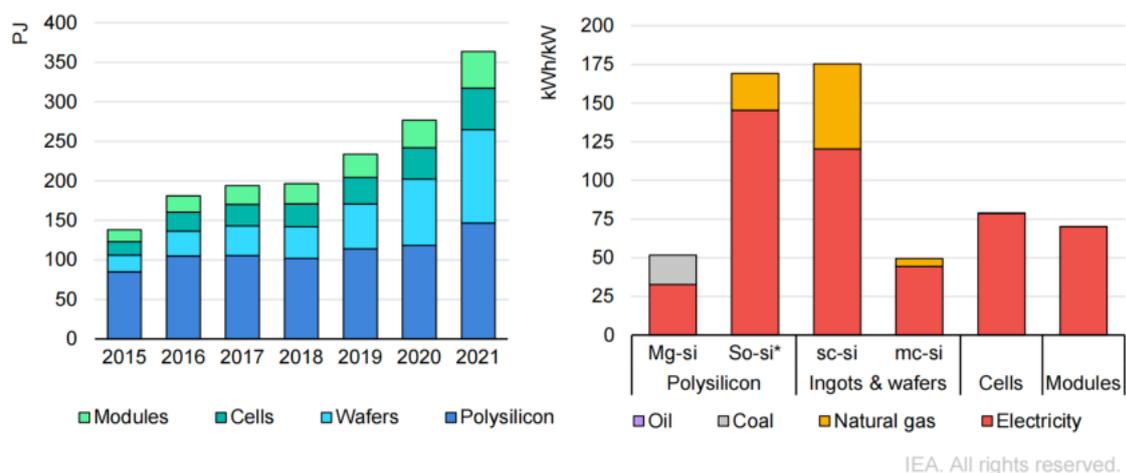


图 4-7 全球光伏产业能耗变化趋势及能源类型

在本期评价中：

- **29 家 (69%) 参评企业积极开展可再生能源利用。** 企业通过在厂区自建光伏项目、与供应商直接签署绿电采购协议、能源属性证书采购等方式提升可再生能源利用比例，部分企业为试点应用绿色电力，也有领先企业的可再生能源利用量已超过其综合能耗的 80%。其中，**隆基绿能 (601012)、阿特斯 (688472)、天合光能 (688599)、通威股份 (600438)** 共 4 家企业，承诺 2030 年前自身运营 100%使用可再生能源，并在年度报告中更新了其可再生能源使用进展。

绿色江南对部分参评光伏企业的共 61 家子公司开展现场调研显示，**七成光伏企业在厂区自建屋顶光伏项目，其中 95%的企业屋顶光伏覆盖率超过 50%，78%的企业屋顶光伏覆盖率超过 80%**⁵⁹。

⁵⁹ 光伏覆盖率由绿色江南根据企业厂区屋顶面积及光伏覆盖面积估算，不代表企业实际光伏覆盖面积，仅供参考



图 4-8 信义光能控股有限公司屋顶光伏⁶⁰



图 4-9 常州亿晶光电科技有限公司屋顶光伏

⁶⁰ 图 4-8 至图 4-14 来自绿色江南现场调研



图 4-10 东方日升(常州)新能源有限公司屋顶光伏



图 4-11 无锡中环应用材料有限公司屋顶光伏



图 4-12 上海晶澳太阳能科技有限公司屋顶光伏



图 4-13 晶科能源（滁州）有限公司屋顶光伏



图 4-14 泰州隆基光伏科技有限公司屋顶光伏

- 28 家（67%）开展能效提升、先进工艺替代、或针对移动源排放等开展减排行动，18 家（45%）开展系统的能源管理进行节能降碳。在光伏技术方面，多家企业持续开展光伏组件以及高效电池片科技研发和设计优化，在提升发电效率的同时，减少硅料的用量以及电池片的厚度和重量，以此减少光伏组件产品的生命周期排放。

案例一

通威股份（600438）⁶¹发布产品生命周期绿色低碳管理体系，从产品设计、原材料选用、产品制造等多环节开展减排行动。在产品的制造过程，通威股份通过四川省电力交易中心**规模化采购绿色电力**，取得绿电交易凭证。2022

⁶¹ 通威股份有限公司《2022 环境、社会与公司治理报告》

年报告期内，通威股份可再生能源电力消耗量超过 1400 余万 MWh，超过其总电力消耗量的 80%。此外，通威股份完善能源管理制度体系，通过节能生产技术研发、车间制冷系统改造等手段实现生产过程中的能效提升。



图 4-15 通威股份产品生命周期绿色低碳管理体系



➤ **超过八成光伏企业尚未开展供应链碳管理。** 仅 6 家光伏企业公开披露推动供应商开展企业碳核算或能源管理项目，其中**隆基绿能 (601012)**、**晶澳科技 (002459)**、**TCL 中环 (002129)** 3 家披露了产品生产以及物流供应商合作减排项目。

案例二

隆基绿能 (601012) 在第 24 届联合国气候变化大会首次提出了“Solar for Solar”理念，旨在用清洁能源制造清洁能源⁶²。为此，**隆基绿能**⁶³加入 **RE100**、**EV100**、**EP100** 三项倡议，承诺增加可再生能源利用、提升能效，并细化分解并量

⁶³ 隆基绿能科技股份有限公司《2022 年可持续发展报告》

化目标，推动倡议的落实。2022 年隆基绿能绿电用电占比达 47.18%，较 2021 年增长 38.21%，并在单晶硅制造、硅片、电池以及组件个制造环节根据技术特点，开展能源梯级利用、动力系统优化、生产技改等能效提升项目，并披露对应的潜在节能效果。针对范围 3 中主要外购原材料中隐含碳排放的减排难题，隆基绿能于 2022 年发起“供应链绿色伙伴赋能计划”，协助供应链建立企业碳管理体系，赋能供应商开展碳盘查、制定碳减排目标和路径规划、开展节能减排行动，提高可再生能源投入比例。



图 4-17 隆基绿能加入 3 个 100 倡议及进展

单晶	空调及工艺冷机优化运行：空调及工艺制冷供水系统管道联通，提升空调系统单机台运行负载效率。	预计每年节电 432.0 万千瓦时
切片	空压机余热回收降本项目：利用空压机余热作高温热源，降低清洗机纯水电加热能耗。	预计每年节电量 1,263.6 万千瓦时
电池	动力系统用电量下降研究项目：对动力系统冰机、空压机进行运行优化，降低动力系统耗电量。	预计每年节电量 286.3 万千瓦时
组件	空调系统改造优化：生产车间夏季采用 RCU 系统，冬季采用室外新风机系统代替 AHU 空调供应系统。	预计每年节电量 455.3 万千瓦时

图 4-18 隆基绿能能效提升项目

案例三

TCL 中环 (002129) ⁶⁴发布企业**自身运营碳中和路线图**，计划通过绿电购买、节能技改、绿色运输等手段开始减排，以 2021 年排放为基准，2030 年实现碳达峰，2050 年实现碳中和。在价值链减排中，TCL 中环针对**外购硅料的绿色属性**严格把控，并扩大低碳硅料的研发投入；对原材料供应商提出绿色采购要求，推动高能耗供应商开展能耗评价、温室气体核算，并基于量化数据落实节能减排行动。

⁶⁴ TCL 中环《碳中和白皮书》

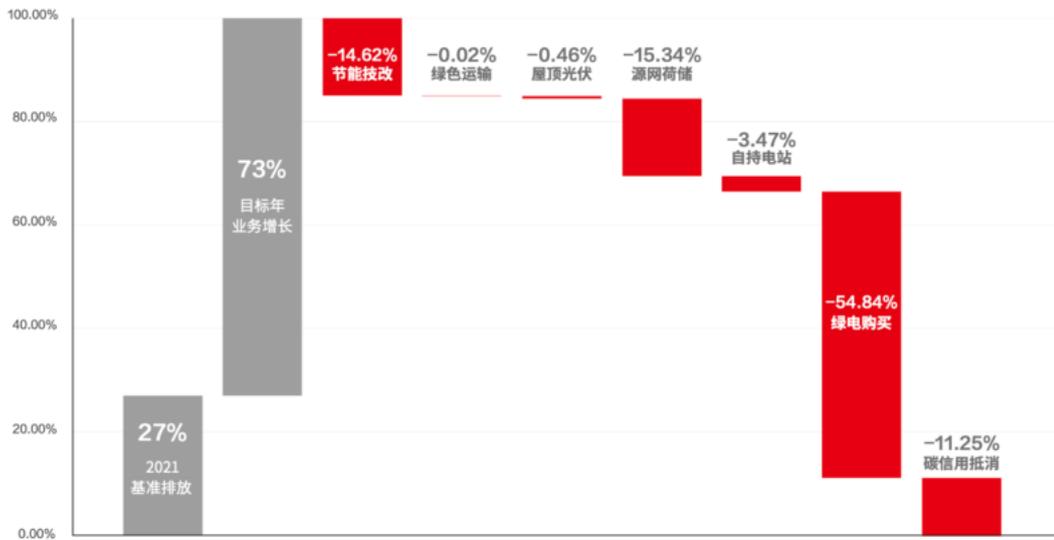
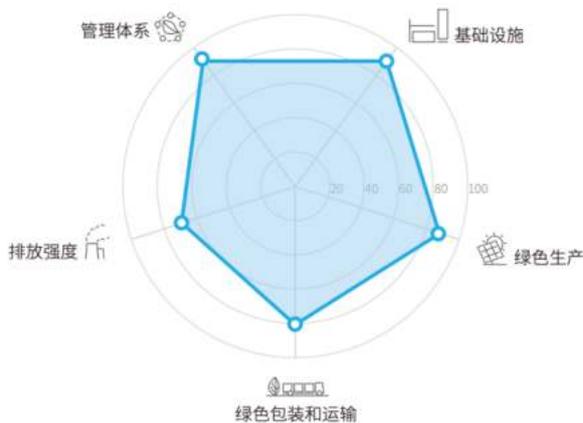
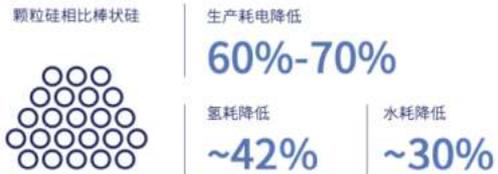


图 4-19 TCL 中环自身运营碳中和路线图

使用低碳原材料

在光伏产品的生命周期排放中，最大的排放来自于硅料生产获取环节，TCL 中环将一方面在绿色供应链管理过程中严格考核硅料绿色属性，倡导使用低排放硅材料，另一方面也加大颗粒硅技术等低碳硅料技术的研发投入。较棒状硅相比，颗粒硅投资强度、耗电、人工成本更低，生产耗电可降低 60%-70%，水耗下降约 30%，氢耗下降约 42%。



在 2023 年第十六届国际太阳能光伏与智慧能源（上海）大会暨展览会上，TCL 中环发起了绿色供应链倡议，邀请供应链上下游合作伙伴加入 TCL 中环绿色供应链，共同推进绿色可持续发展理念，推动光伏产业绿色发展。

图 4-20 TCL 中环

低碳原料要求和绿色供应链评定标准

能源转型背景下，中国光伏行业成长性很强，据预测未来还有至 10 倍的增长空间⁶⁵。但在市场需求持续增加的前提下，光伏行业的碳排放量持续增长且短期内难以大幅下降。随着过去十来生产技术升级以及电网清洁化水平提升，尽管光伏行业整体碳排放量成倍数增长，但行业碳强度较 2011 下降了 45%，其中多晶硅制造环节的碳强度降低至 2011 年的 1/3⁶⁶。

尽管光伏企业在气候目标的引导下正在积极开展自身运营减排行动，但本期评价显示，光伏企业在价值链上的低碳转型进程缓慢，对标《巴黎协定》实现气候目标仍具挑战。供应链脱碳是企业达成全价值链净零排放的关键也是难点。对于光伏产行业，尽管部分企业正在完善全产业链业务布局，逐步趋向“垂直一体化”发展，但企业的外部采购需求仍居高不下，以控制从硅料到组件的成本、质量以及可持续性^{67 68}。

为实现长期产业链绿色低碳转型，实现净零排放，光伏企业需将全生命周期环境管理、生产者责任延伸理念嵌入传统的供应链管理体系中，开展绿色供应链建设，减少环境排放和碳排放，提升能源和资源利效率，推进光伏行业“从注重‘制造绿色’转向‘制造绿色’与‘绿色制造’并重⁶⁹。在减碳方面，光伏企业需尽快着手联合上下游合作伙伴，在产业链上各环节开展节能增效项目，增加可再生能源自用率，提升低碳光伏产品的技术研发与规模化应用。

⁶⁵ http://news.sohu.com/a/446557584_441315

⁶⁶ IEA, 2022, Special Report on Solar PV Global Supply Chains

⁶⁷ <https://www.36kr.com/p/1717694211554309>

⁶⁸ https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_19700586

⁶⁹ 毛涛、吕方，2020，提高光伏产业绿色供应链管理水平的建议

专题： IPE 与中外企业合理赋能供应商企业开展环境及碳管理

供应链绿色低碳转型既需要行业龙头企业引领和示范，也需要终端客户的推动以及各利益方密切合作。在 IPE 绿色供应链 CITI 及企业气候行动 CATI 指数的推动下，IPE 持续与近百家大型品牌、集团、上市公司就其子公司及供应商环境合规、节能降碳及企业绿色供应链管理体系建设等议题开展交流和探讨，并在合作中推动累计超过 2.6 万家中小型企业开展环境及碳管理，协助中小型企业以更加绿色低碳的优质产品参与市场竞争，同时带动供应链条上的环境影响持续降低。



图 4-21 使用蔚蓝地图数据库开展绿色供应链管理的企业（按照首字母排序）

○ 碳核算工具与碳披露平台

在“双碳”战略下，越来越多的中国企业需要开展碳核算，向监管机构或利益方报送碳数据，或公开披露碳数据。为解决中小企业缺乏核算能力、外包成本较高的障碍，IPE 于 2020 年与合作伙伴开发，并持续升级“[中国企业温室气体排放核算平台](#)”。该核算平台依据发改委发布的 24 个《企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》开发，将适用于中国企业的不同种类化石燃料、电力、热力排放因子等纳入计算器自动参数，并通过计算流程设置引导供应商识别排放源，提高核算数据的完整性和准确性，能够协助供应商企业高效低成本地“摸清家底”。



图 4-22 中国企业温室气体排放核算平台

IPE 还进一步升级[碳数据披露平台](#)，实现数据核算、报送与披露流程的自动化。其中多数供应商已经可以自主开展数据核算和填报，连续多年测算并通过 IPE 网站

进行数据披露，追踪温室气体减排进展。但供应商企业仍需进一步提升碳与能源数据管理能力，确保填报数据的质量满足自身统计披露或数据报送方的要求。

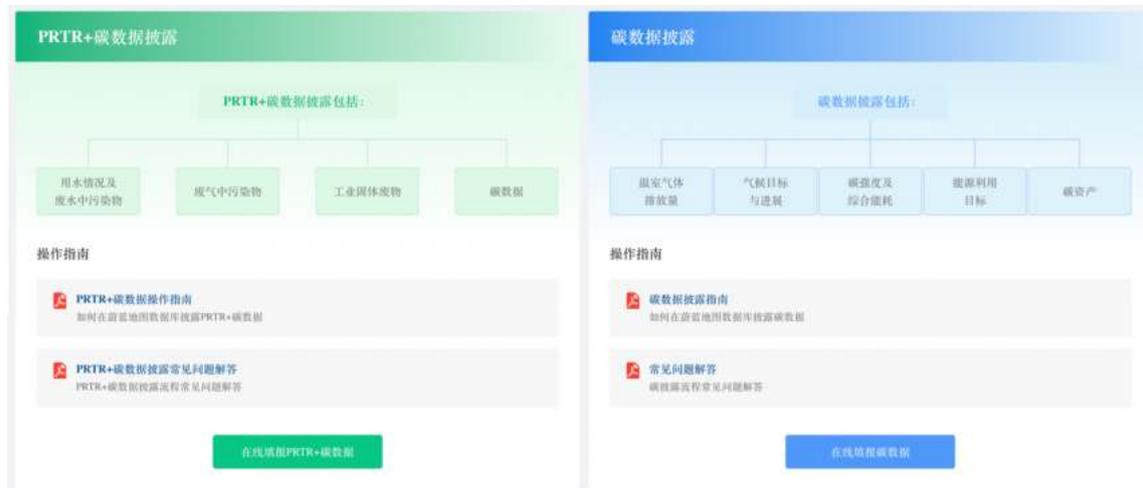


图 4-23 企业环境（PRTR）及碳披露表

○ 碳目标设定工具

为协助企业设定基于气候科学，对标科学碳目标倡议（Science Based Targets Initiative, SBTi）等国际主流机制的气候目标，IPE 于 2023 年开发并上线“[企业碳减排目标设定工具](#)”。该工具依据科学碳目标设定方法论，为企业生成可供选择的减排目标方案。该工具能够赋能中小企业设定适当的基于科学（与 1.5 度、远低于 2 度、2 度温控路径相一致）的减排目标。企业仅需输入基准年的排放数据，结合所属行业、地区、政策要求等，工具就能够帮助企业轻松模拟其范围 1&2，以及范围 3 的减排目标。

- 企业信息
- 数据填写
- 计算结果

企业碳减排目标设定工具

请填写企业信息

* 目标范围	范围1+2	说明：如果范围3排放量占范围1+2+3排放量的比例大于等于40%，SBTI要求同步设定范围3近期减排目标。
* 目标周期	近期	说明：近期绝对和强度减排目标是指设定5-10年内的减排目标。长期科学目标是指符合2050年之前按照1.5°C路径在全球或行业层面实现净零必要条件的温室气体减排目标。
* 目标类型	强度目标	说明：SBTI鼓励企业制定绝对减排目标，建议您优先制定绝对减排目标，电力行业除外
* 选取基准年	2020	说明：建议使用有完整年度排放数据的最近年份作为基准年，且基准年能够代表企业典型温室气体排放清单。与近期目标的基准年选取保持一致。如需计算基准年排放量，可点击 企业温室气体排放核算平台 。
* 选取目标年	2025	说明：近期目标年的选取应在当前年份的5-10年范围内，企业可以选择2050年或之前的某一年作为长期目标的目标年，具体取决于该企业的减排速度。
* 基准年产出	100000.000000	
* 产出单位	吨粗钢	说明：产出单位的选择应具有企业活动代表性衡量指标，例如员工人数，办公/零售面积，产品产量，增加值等。
* 基准年范围1排放量	10000000.000000	tCO ₂ e
* 基准年范围2排放量	200000.000000	tCO ₂ e

上一步
点击计算

图 4-24 企业碳减排目标设定工具



图 4-25 企业碳减排目标设定示例

○ 范围 3 核算及产品碳足迹因子检索

IPE 与中国城市温室气体工作组也于 2022 年联合创建中国产品全生命周期温室气体排放系数库（CPCD），旨在协助中国企业开展产品碳足迹分析、辅助企业开展范围 3 外购商品和服务等类别的核算，并广泛应用于多家企业、银行、科研单位及三方机构的核算报告及标准制定中。



图 4-26 中国产品全生命周期温室气体排放系数库

此外，IPE 还于 2023 年开发并上线[产品碳足迹披露与索引平台](#)（PCFD），持续收集超过 18000 条中外企业自主披露的产品碳足迹数据，并与 The International EPD System、中国汽车产业链碳公示平台（CPP）等达成数据合作，方便利益相关方在 PCFD 平台检索产品碳足迹信息。



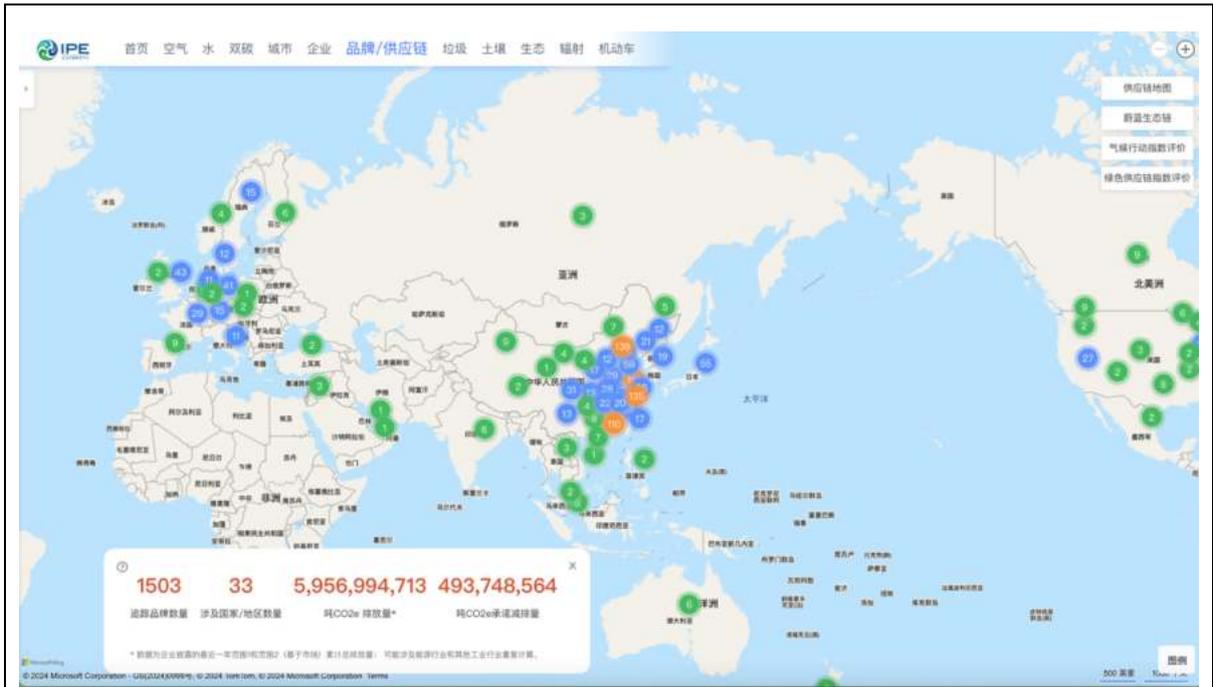


图 4-28 全球企业责任地图



图 4-29 企业目标进展追踪详情页

发现四：废旧光伏产品回收带来的减排潜力较高，企业亟待关注产品生命周期末端排放，推进回收机制规范化和规模化

过去十年间，中国光伏产业迅速发展，光伏电站也在国内大规模的建设及应用，根据光伏组件的使用寿命年限来看，未来十年中国将会迎来首批光伏组件的大规模退役浪潮。随着近年来在气候变化下，“循环经济”、“电子垃圾处置”等议题成为全球社会焦点，废旧光伏组件非法拆解和焚烧带来的诸多环境影响也被广泛热议。

基于光伏组件生命周期分析结果，光伏组件的回收可通过减少上游原材料开采、生产中的能耗和过程排放、上下游运输等环节的引起环境负面影响，回收处理的全生命周期环境及碳足迹明显小于填埋处理⁷⁰。一项近期的研究对光伏组件全部填埋、仅回收铝框和全部回收的三种情景进行量化模拟，结果显示，仅回收铝框相较于全部填埋可以减少 6%的碳足迹；如果采用热分解处理方式回收所有部件，相较于仅回收铝框和全部填埋，可分别减少 36%和 34%的碳足迹⁷¹。

按照中国光伏发电增量预测，到 2060 年，如果光伏组件回收率达到 90%，废料的循环使用可带来 5,500 万吨二氧化碳的减排⁷²。因此，光伏企业实现长期净零排放，除了联合上游供应商减少原料及产品生产制造过程的大量排放，也需关注组件产品生命周期末端的处置阶段排放，建立或与产业链合作伙伴联合建立末端回收机制，推进并逐步完善废旧光伏组件的科学拆解、分解及回用的规模化流程，实现资源利用最大化。

⁷⁰ 贾晓洁等，2023，晶硅光伏组件回收技术环境影响分析

⁷¹ Miaorui An & Xinlu Sun, 2023, Carbon footprints of solar panels in China provinces based on different production and waste treatment scenarios

⁷² Libo Zhang etc., 2023, How does the photovoltaic industry contribute to China's carbon neutrality goal? Analysis of a system dynamics simulation

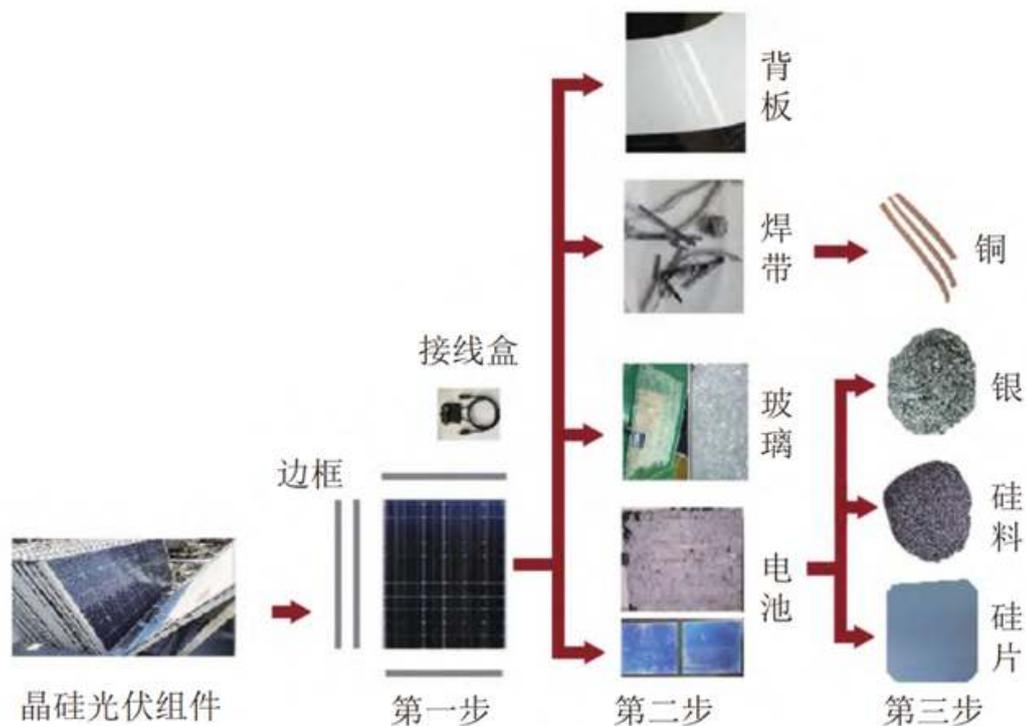


图 4-30 晶体硅光伏组件回收的一般流程⁷³

在海外针对报废光伏组件的法规和倡议中，包括欧盟⁷⁴国家、英国⁷⁵、美国⁷⁶、日本⁷⁷等，基于生产者延伸责任（EPR）基本原则，要求或鼓励光伏生产商承担产品使用废弃后的回收、再生和处理的责任。中国双碳“1+N”政策体系中多次提及推进包括风光发电设备在内的新兴废弃物回收利用。2023年7月，国家发改委等部门联合印发了《关于促进退役风电、光伏设备循环利用的指导意见》，要求“加快构建废弃物循环利用体系，促进退役风电、光伏设备循环利用”。2024年2月，国务院办公厅

⁷³ 贾晓洁等，2023，晶硅光伏组件回收技术环境影响分析

⁷⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:02012L0019-20240408>

⁷⁵ <https://www.gov.uk/guidance/regulations-waste-electrical-and-electronic-equipment>

⁷⁶ <https://www.epa.gov/hw/end-life-solar-panels-regulations-and-management>

⁷⁷ <https://www.env.go.jp/en/recycle/manage/waste.html>

发布《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》⁷⁸指出“促进退役风电、光伏设备循环利用，建立健全风电和光伏发电企业退役设备处理责任机制”，并推进更新修订《废弃电器电子产品处理目录》，以及完善相关废旧产品处理资格许可等环境管理配套政策。

本期评价发现，当前光伏行业整体对于末端废弃物回收及循环使用的关注度尚且不足，亟需加强，以应对即将迎来的光伏组件大规模退役浪潮。本期参评光伏企业通过公开渠道披露的信息显示，大多数光伏企业尚未披露关于组件产品末端回收的信息，针对固体废弃物处置与回收的相关环境信息披露主要涉及生产过程中的边角料加工回用、危险废弃物转移合规、包装减量，以及厂区生活垃圾处置等；少数企业已经自主建立光伏产品末端回收机制，但尚需进一步披露量化产品回收绩效以及回收后的去向；少数企业披露的产品拆解回收率仅停留在实验室阶段，可投入市场商业化应用的程度尚不清晰。

案例

隆基绿能 (601012)⁷⁹通过年度报告披露企业生命周期管理体系，在末端回收部分开展源头减量、重复使用、循环利用，在生产中采取了多项减量化、资源化、无害化的举措，并增加再生材料利用、包装循环等。其中，针对光伏组件的末端回收，隆基绿能提出“严格按照欧盟报废电子电气设备回收 (WEEE) 指令，对报废光伏组件设备进行妥善处理，将产品回收考量提前融入光伏组件设计，并积极参与国内外的组件回收课题研究，开展件回收相关准备。隆基电池、玻璃、背板、铝边

⁷⁸ https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202402/content_6931080.htm

⁷⁹ 隆基绿能科技股份有限公司《2022 年可持续发展报告》

框等配件均具备回收再利用价值”，并且通过 EPD 报告披露按照 WEEE 指令要求（85%回收，15%作为废弃物处置⁸⁰）末端回收处置情景下的环境影响。

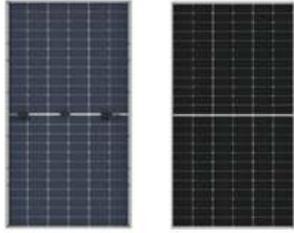
资源循环

隆基秉承 3R²² 理念，将循环经济理念融入产品的全生命周期管理，覆盖原材料供给、产品设计、生产制造、运营维护、回收利用等多个环节，不断提升隆基制造的环境友好度。



图 4-31 隆基绿能 生命周期管理

⁸⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:02012L0019-20240408>



LONGi
LONGi Solar PV Bifacial double glass modules (LR5-54HPH)
 产品碳足迹
0.0146 kgCO₂e
 更新时间: 2023-12-07

基本信息

产品分类

度量单位
 电力(1kWh)

功能单元/声明单元
 太阳能光伏发电厂输出的1千瓦时电力

核算方法学
 EN 15804+A2:2019(version 1.00) & TRACI 2.1

核算边界/系统边界
 摇篮到坟墓

数据时间
 2022

产品产地
 中国

数据来源
 EPD Italy

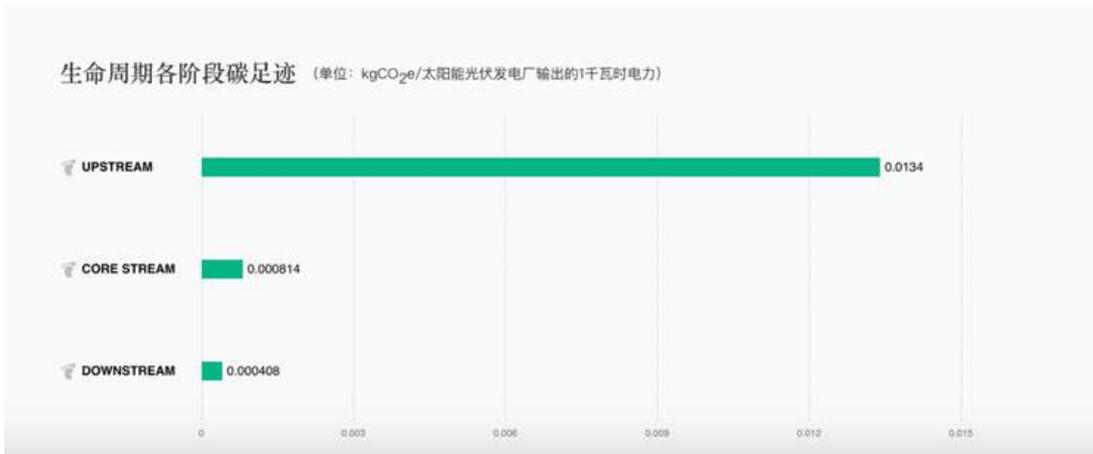


图 4-32 隆基绿能-光伏组件产品碳足迹信息，以 LR5-54HPH 为例^{81 82}

(下游阶段碳足迹指废弃物处置和回收相关排放，废弃物处置方式为 20%填埋和 80%焚烧处理)

⁸¹ <http://www.epditaly.it/en/epd/lr4-72hbd-lr5-72hbd-lr5-72hph-lr572hibd-lr5-72hih-lr5-54hph-lr5-54hih-lr5-54hib/>
⁸²

<https://www.ipe.org.cn/LifeCycleAssessments/detailNew.aspx?id=FEDDD4582505934A2E20A4B0A75F6D9E62CA3B83488049DB506B1D371A9DBA27&parentid=0&typeid=0&datatype=1>

研究基于现有的光伏装机容量，并考虑市场形式带来的光伏组件提前退役情况预估，2030年前后将迎来中国光伏组件退役的爆发期，光伏组件回收再利用或将成为新能源领域的下一个蓝海^{83 84}。但根据调研，国内光伏回收市场尚不成熟，缺乏监管以及系统性的回收机制，回收工作多数由金属回收等类型的企业进行。组件拆解方法的不规范，不仅会造成资源回收率低下，还会造成含硫废气、含重金属废水等环境排放。当前由于正规的光伏组件回收处理生产线工艺复杂、环保要求高、光伏组件回收管理政策和标准中存在空白等问题，废旧光伏组件处理规范的商业模式还未成熟，同时也导致当前回收原材料成本较高。2024年2月，在中国再生资源回收利用协会新能源产业固废资源化专委会与新疆劲吾（北京）科技有限公司的牵头下，团体标准《退役光伏组件回收处置与利用技术规范》⁸⁵的标准制定正在积极推进，旨在为企业提供回收利用指导，以促进行业规范和市场竞争力。光伏组件回收再利用市场前景巨大，但为了真正形成光伏产业链的绿色闭环，相关政策法规和标准指南还需尽快出台，并参考海外经验不断完善，对光伏回收产业加以监管和指导，并加强政策补贴和绿色金融手段等市场机制激励光伏企业参与到行业回收系统建设中，加速光伏全生命周期的碳足迹降低，并推进产业绿色低碳转型。

⁸³ http://henan.china.com.cn/m/2023-08/18/content_42487298.html

⁸⁴ Arvind Sharma, etc.,2019, Global review of policies & guidelines for recycling of solar PV modules: https://www.researchgate.net/publication/342714127_Global_review_of_policies_guidelines_for_recycling_of_solar_PV_modules

⁸⁵ <https://www.crra.org.cn/news/dongtai/1327.html>

5. 展望与建议

在严峻的气候形势下，光伏行业作为中国绿色产业的重要组成部分，不仅要生产绿色能源，更要从注重“制造绿色”转向“制造绿色”与“绿色制造”并重⁸⁶，加速建立绿色低碳供应链体系，在推动链上企业绿色发展，并为同行企业提供可借鉴的良好案例。

展望 2030，我们建议光伏行业龙头企业：

- 充分认识供应链碳减排的重要性，将其有效融入企业治理和供应商管理机制，从注重“制造绿色”转向“制造绿色”与“绿色制造”并重；
- 关注并参与正在形成的企业碳披露规范指引，测算并披露企业碳数据；对于范围 3 外购商品和服务中的多晶硅、硅片制造环节，逐步推进以供应商实测数据为基础的核算；开展产品碳足迹的测算和披露，应对海外市场趋严披露要求；
- 对标全球温控目标和各国自主贡献目标，科学设定企业碳中和目标，并公开披露年度进展；
- 推进行业脱碳路径和脱碳技术研究，提升光伏产品发电效率，同时提升生产过程中的清洁能源利用并提升生产能效；
- 将供应商气候行动表现纳入采购考量，推动供应商开展碳核算、科学设定减排目标并披露进展状况；
- 关注产品生命周期末端处置的碳排放，合力推进并逐步完善废旧光伏组件的科学拆解、分解及回用的规模化流程，实现资源利用最大化；
- 支持探索基于自然的供应链减排方案，协同生物多样性保护和气候行动。

⁸⁶ 毛涛、吕方，2020，提高光伏产业绿色供应链管理水平的建议

为加速供应链脱碳进程，达成全球气候目标，我们发布迈向零碳供应链倡议，并邀请更多光伏企业加入，携手共建。

为应对严峻气候挑战，实现《巴黎协定》设定的温控目标，全球约 150 个国家和地区已做出碳中和承诺；超过 13,000 个非国家成员已经加入联合国气候变化框架公约“零碳冲刺”计划，其中包括逾 9,000 家企业、600 家金融机构和 1,100 所教育机构。

然而减排承诺的快速增加，与巨大减排差距形成鲜明反差。由于供应链排放是很多龙头企业和大型机构碳排放的重要组成部分，供应链脱碳日益成为各方关注的焦点。

在华供应链管理的最佳实践表明，发挥龙头企业的影响力，能够带动供应链核心企业加入零碳冲刺，同时推动更多中小企业加入全球气候进程。这对于促进全球供应链所在的发展中国家和新兴市场国家的低碳转型，也可以产生积极的推动作用。

我们认识到，供应链脱碳是重点也是难点：供应商数量庞大且分散，高排放环节又常常在供应链上游，如何触达并获取可靠数据存在困难；一些关键脱碳技术仍待研发或完善；推动庞大的产业链加入进程，更有赖于行业形成合力。

我们认为解决这些问题，不但需要上下游企业的共同努力，也离不开政府政策的支持，金融机构和研究机构的加持，以及社会公众和消费者的认可。为此我们倡议各利益方密切合作，共同推进零碳供应链建设。

我们倡议龙头企业、行业组织和大型机构，从以下行动入手，有效推进零碳供应链建设，为社会提供零碳产品和服务：

- 充分认识供应链碳减排的重要性，将其有效融入企业治理和供应商管理机制；
- 测算并披露企业碳数据；对于范围 3 中的外购商品和服务的核心环节，逐步以供应商实测数据为基础进行测算；开展产品碳足迹的测算和披露；

- 对标全球温控目标和各国自主贡献目标，科学设定企业碳中和目标，并公开披露年度进展；
- 将供应商气候行动表现纳入采购考量，推动供应商开展碳核算、科学设定减排目标并披露进展状况；
- 推进行业脱碳路径和脱碳技术研究，并以此赋能供应商有效开展碳减排行动；
- 支持探索基于自然的供应链减排方案，协同生物多样性保护和气候行动。

我们倡议金融机构，从以下行动入手，支持工商业迈向零碳供应链的努力：

- 科学设定金融机构对外投资的碳中和目标，测算并披露年度进展；
- 完善融资企业气候信息披露要求，引导企业关注零碳供应链建设；
- 支持供应链碳中和关键技术的开发和应用；
- 为供应链零碳转型过程中规模大、借款期长的项目资金需求提供支持。

我们倡议基金会、研究机构和环保组织，从以下行动入手，为零碳供应链建设创造有利的外部环境：

- 关注零碳供应链建设，推动制定有利于供应链加速脱碳的政策、法规和标准；
- 构建零碳供应链数据基础设施，研发信息化管理平台和数字化解决方案；
- 助力完善企业温室气体排放测算和披露标准，推动企业实现规范披露；
- 助力完善产品碳足迹测算和披露标准，推动产品碳足迹披露和全球互认；
- 基于数据开展供应链气候行动表现评价，创造约束激励机制；
- 识别、传播和推广企业、政府和社会组织零碳供应链建设最佳实践。

我们期待具有供应链影响力和气候雄心的龙头企业、行业组织和重要机构率先加入倡议，也期待社会各界给予关注和支持，携手推进供应链脱碳进程，加速全球零碳冲刺，共同守护地球家园。

附录 2024 年度光伏行业 CATI 评价结果

企业名称	股票代码	评价结果	企业名称	股票代码	评价结果
隆基绿能	601012	A	太极实业	600667	C
晶科能源	688223	BB	合盛硅业	603260	C
阿特斯	688472	BB	航天机电	600151	C
天合光能	688599	BB	晶科科技	601778	C
晶澳科技	002459	BB	安彩高科	600207	C
通威股份	600438	B	清源股份	603628	C
TCL 中环	002129	B	亿晶光电	600537	C
阳光电源	300274	B	日出东方	603366	C
信义光能	00968	B	东方日升	300118	C
协鑫科技	03800	B	ST 爱康	002610	C
中来股份	300393	CC	弘元绿能	603185	C
大全能源	688303	CC	拓日新能	002218	C
爱旭股份	600732	CC	德业股份	605117	C
中环新能源	01735	CC	上能电气	300827	C
横店东磁	002056	CC	固德威	688390	C
迈为股份	300751	CC	锦浪科技	300763	C
阳光能源	00757	C	海泰新能	835985	C
新特能源	01799	C	金辰股份	603396	C
太阳能	000591	C	京山轻机	000821	C
特变电工	600089	C	珈伟新能	300317	C
福斯特	603806	C	*ST 中利	002309	C