

光伏行业研究报告

目 录

- 一、光伏定义..... 1
- 二、产业链示意图..... 2
- 三、市场需求..... 2
 - （一）全球光伏市场 2
 - （二）中国光伏市场分析..... 3
 - （三）美国光伏市场 4
 - （四）欧洲（欧盟+英国） 6
- 四、光伏供应链分析..... 7
- 五、硅料行业及技术分析..... 8
 - （一）行业特点..... 8
 - （二）市场容量..... 8
 - （三）竞争格局..... 8
 - （四）硅料技术分析 9
- 六、硅片行业及技术分析..... 12
 - （一）行业特点..... 12
 - （二）市场容量..... 12
 - （三）竞争格局..... 12
 - （四）硅片技术分析 12
- 七、电池片行业及技术分析..... 15
 - （一）行业特点..... 15
 - （二）市场容量..... 15
 - （三）竞争格局..... 16
 - （四）电池片技术分析..... 16
- 八、晶硅组件行业及技术分析..... 18
 - （一）行业特点..... 18
 - （二）市场容量..... 19
 - （三）竞争格局..... 19
 - （四）晶硅组件技术分析..... 19
 - (1) 组件环节技术 20
 - (2) 胶膜 20
 - (3) 玻璃 20
 - (4) 光伏逆变器 22
- 九、总结..... 22

一、光伏定义

光伏是利用半导体完成光转化为电的过程，主要原理是把光子转化为电子，电子转化为电流实现发电。光子照射到金属上时，电子吸收的能量足够大能克服金属原子内部的库仑力做功，离开金属表面成为光电子。在纯硅中掺入有 5 个外层电子的原子（磷）就成为 N 型半导体；若在纯硅中掺入有 3 个外层电子的原子（硼）成为 P 型半导体。当 P 型和 N 型结合在一起时接触面就会形成电势差成为太阳能电池。当太阳光照射到 P - N 结后，电流便从 P 型一边流向 N 型一边，形成电流。

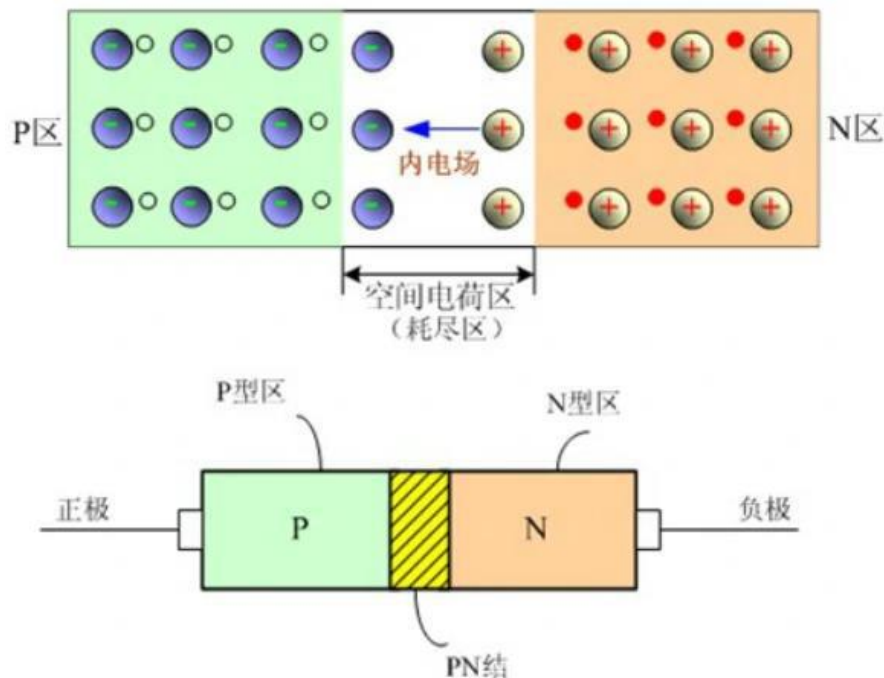


图 1 光伏电池主要基于 PN 结的光光伏特效应

二、产业链示意图

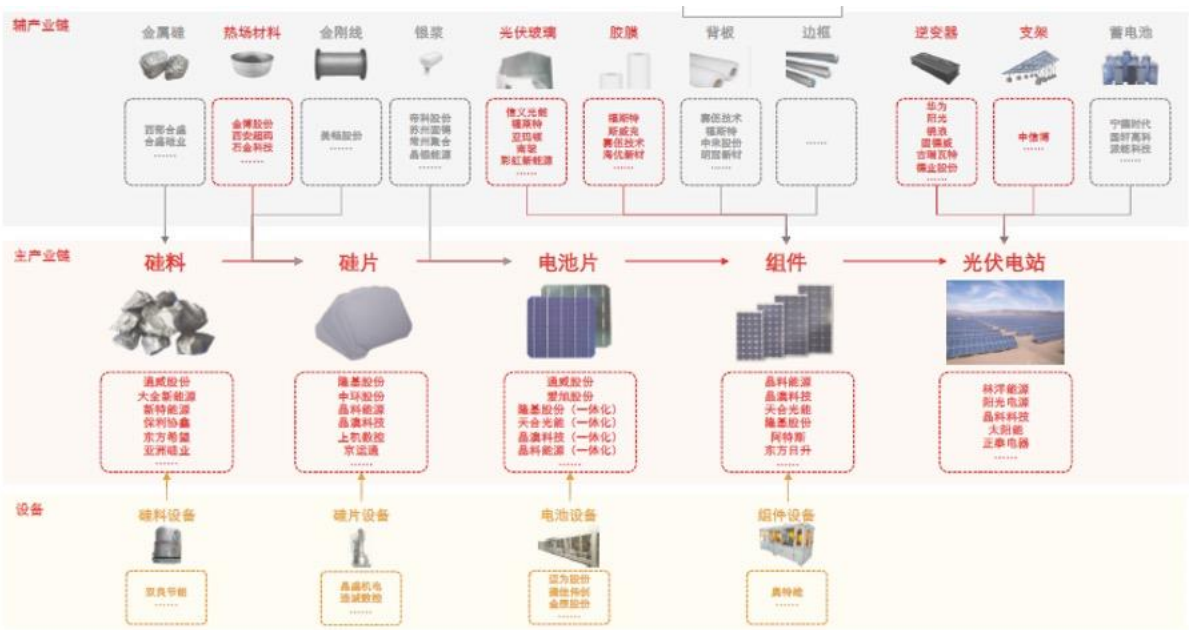


图 2. 光伏产业链示意图

三、市场需求

(一) 全球光伏市场

2022年在乌俄战争的催化下，各国加速能源独立与能源多元化发展以摆脱对于单一国家的能源供应瓶颈，同时，在全球天然气的短缺下以欧洲为首的电价持续飙高，使得能源转型成为国际显学，也因此促进了光伏市场的蓬勃发展。

2022 年全球光伏新增装机量高达 250 GW，全球累计装机达到 1TW 大关，各区域市场总体呈现逐年增长的趋势而尚未出现疲态，在 2030 年将达到单年 1TW 左右的新增装机量，光伏累计安装量也达到 6TW 的水平。

2022 年，中国共新增约 87 GW 并网量，较 2021 年增长 32 GW，增幅达到 58%。预期 2023 年随着组件价格回落，先前递延的大基地项目有机会拉动需求，2023 年中国光伏装机将来到 150GW。

2023 年，欧洲市场预期将新增 64GW 安装量，同比成长 38%，并逐年成长，市场规模将在 2030 年达到年新增 100 GW 上下。

美国当前仍然因为禁用新疆料而无法得到充足的供应能力以满足国内需求，也因此尽管美国市场潜在需求热度有增无减，但 2023 年市场安装量仍然保守看待。

综观过去，光伏发电依靠系统的单位硬体成本快速下降，达成度电成本快速下降，并且在 2020 年左右，**全球许多主要地区的度电成本已经追平甚至低于传统的煤炭、天然气等化石燃料发电技术。**

从2022年全球平均光伏系统成本结构来看，单看硬体，光伏组件（包含硅料、硅片、电池片、组件）占据了最高的硬体成本，依各地区的组件价格不同，组件在硬体成本的占比约在三成到五成间，因此光伏组件的成本下降将显着影响度电成本的变化。其中硅成本将占据组件成本的组件将占成本的 49.0%，其他则是逆变器等系统硬体和开发费用组成。分别占据29.0%、22.0%。

（二）中国光伏市场分析



图 3. 中国光伏安装量，单位：GW

中国市场容量呈现逐年快速成长的趋势。**在 2022 年，中国共新增约 87 GW 并网量，较 2021 年增长 32 GW，增幅达到 58%。**其中，受到供应链高昂价格影响，一至三季度多由分布式光伏项目拉货支撑，原预期四季度会在供应链价格松动、组件厂家争抢市占与排名、以及叠加传统旺季的催化下迎来装机热潮，但受供应链价格仍维持在高点影响，增长幅度不如以往明显，四季度装机约 34.8 GW；全年集中式装机仅 36.3 GW，户

用及工商用装机则分别成长至 25.2 GW 与 25.9 GW，分布式装机占比达到 58 %。

中国一直以来是全球光伏市场成长迅速的巨大推手之一，致力于在 2030 达到碳达峰、2060 达到碳中和的远大目标，**除了在 2021 年，中国市场已进入平价无补贴的阶段外**，中国也目标可再生能源的电力消纳在 2025 年底前达到 20%、2030 年达到 25% 的电力消费和 1,200 GW 的风+光累积装机。

（三）美国光伏市场

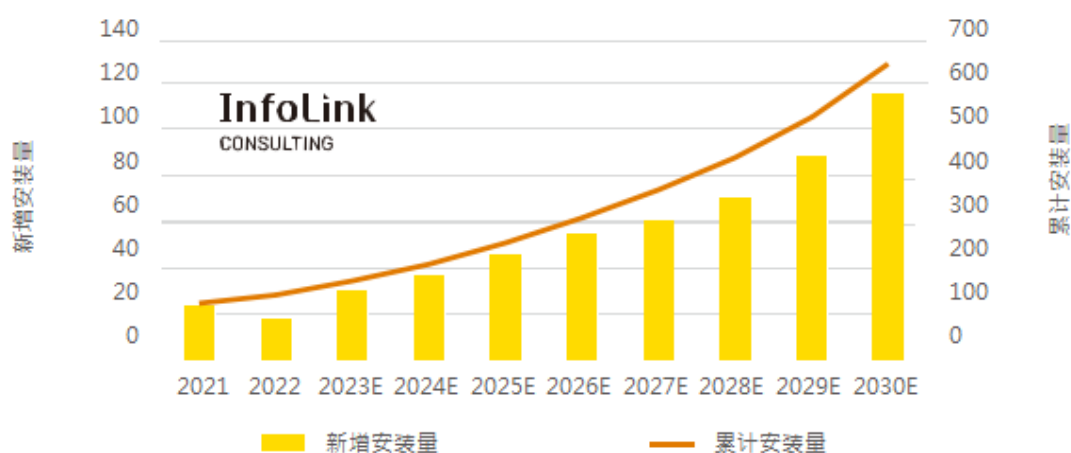


图 4. 美国光伏安装量，单位：GW

过往美国市场使用价格低廉、性价比高的中国产品来满足需求，然而随着中美贸易战的加剧，美国为了保护本土企业发展，陆续出台了反倾销、反补贴、201、301 条款等关税壁垒举动，中国产品直接输入美国市场的量体势微。尽管因此部分美国制造厂家得以生存，但中国厂家也快速的反应，前往第三地国家布设厂房与基地，将制造端转往以东南亚国家为主的产区持续输入美国境内。为此，美国也展开行动，针对东南亚的中资企业进行调查，此为反规避调查。

目前，美国市场的需求仍然依赖东南亚产品来填补，尽管目前美国商务部针对东南亚暂缓课征进口反规避关税两年，但当地市场仍然遭受供应短缺的严重影响，从先前的暂扣令（Withhold Release Order, WRO），到 2022 年 6 月中起实施的《防止强迫维吾尔人劳动法》

（Uyghur Forced Labor Prevention Act, UFLPA），大量东南亚光伏

组件遭到海关扣押难以进入美国市场，甚至还要求提交非新疆的石英矿砂产证，美国当前仍然因为禁用新疆料而无法得到充足的供应能力以满足国内需求，也因此**尽管美国市场潜在需求热度有增无减，但2023年市场安装量仍然保守看待。**

另一方面，随着2022年三季度《降低通膨法案》(Inflation Reduction Act 2022, IRA) 的上线，让美国光伏需求与制造都出现了新气象，在气候变迁和再生能源相关领域的投资达3,690亿美元，目标将在2030年达到全美国减少40%碳排（2005年为基准）。也同时在需求面延续《重建美好法案》(Build Back Better Act, BBB) 投资赋税抵减（Investment Tax Credit, ITC）的期限延长和补贴税率提升，以及生产税收抵免（Production Tax Credit, PTC）等需求刺激方案，将有效刺激美国光伏的长期需求。而对于本土供应链制造也给予补贴鼓励本土光伏发展，**目前许多厂商积极评估美国当地的设厂制造。**

然而短期美国光伏的供应仍受到《防止强迫维吾尔人劳动法》的限制，市场呈现严重供不应求。2022年在新疆议题与供应链价格的影响下，全年装机仅约20 GW，虽分布式装机在高能源价格的推动下成长显着，但集中式装机却明显下滑，2022年美国的集中式装机仅11.8 GW，相较2021年下滑约31%。2023年随着美国海关及边境保卫局（U.S. Customs and Border Protection, CBP）公布更多关于海关执行的数据与细则，预期厂家在文件有迹可循之下针对海关扣押的准备将更加充足，供应链价格的松动与海关的放行将有助于地面型市场的复兴，**下半年美国光伏市场有望迎来修复，预期2023年装机有望回升至30-40 GW。长期而言，美国的装机容量将受到《降低通膨法案》的推动而持续增加，预计到了2030年市场规模将成长至年装机量115 GW。**

(四) 欧洲（欧盟+英国）

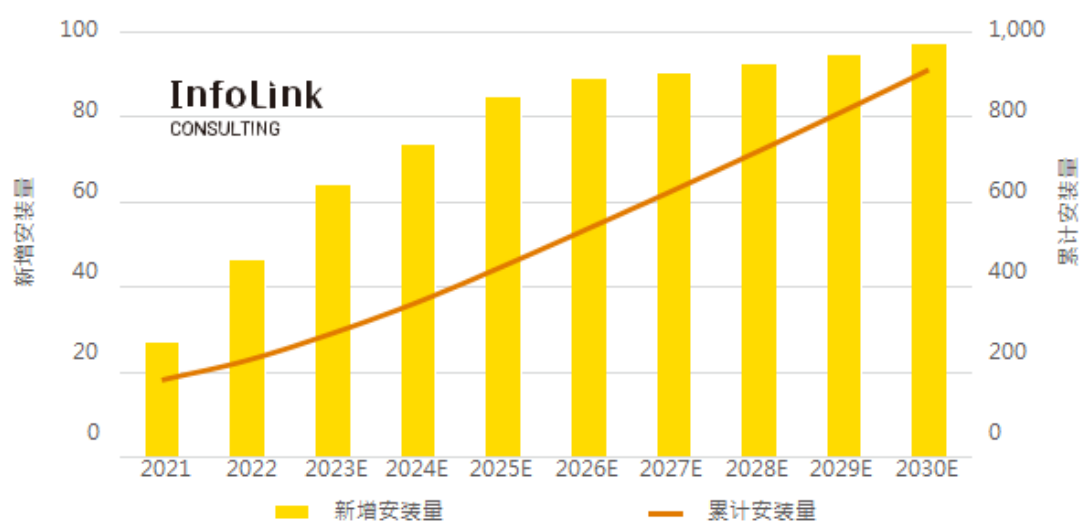


图 5. 欧盟+英国光伏安装量，单位：GW

欧洲市场在2022年面临了天然气价格的涨势，在需求加速推升了光伏与储能的系统安装，欧盟成员国 + 英国在光伏部分共新增45 GW需求，累计安装量达到226 GW。

随着欧洲天然气电价的飙涨、乌俄战争下对再生能源的需求蒸蒸日上，2022年欧盟针对光伏市场大举布局，许多计划像是「REPowerEU」、「EU Solar Energy Strategy」、「European Solar Rooftops Initiative」、「European Solar Initiative」等在2022上半年相应提出，欧盟时间9月13日，欧盟议会以高票通过了《欧盟再生能源指令》（Renewable Energy Directive, REDII），延续「REPowerEU」对于再生能源的规划。欧盟整体目标在2025年达到320 GW、在2030年达到600 GW的光伏累积安装量，同时可再生能源占比提高45%，而个别国家如德国、法国等也持续上调再生能源目标，欧洲光伏市场前景一片看好。

短期而言，欧洲市场仍有潜在问题，例如：欧洲议会在2022年6月9日通过反强迫劳动决议，要求欧盟各国海关禁止输入强迫劳工产品进入欧盟市场，欧盟执委会在2022年9月14日也提出在欧盟市场内禁用强迫劳动商品的草案，虽法案若正式通过后仍需两年的时间才能实际上

路，但对于高度仰赖进口的欧洲光伏市场将会是一大冲击。尽管欧洲在 2022 年面临严重的工人短缺、全球逆变器芯片 IGBT 供货不稳而影响安装进程，然而长远趋势来看，欧洲市场仍然因为庞大需求容量与优秀的市场接受度前途一片璀璨。2023 年，欧洲市场预期将新增 64 GW 安装量，同比增长 38%，并逐年成长，市场规模将在 2030 年达到年新增 100 GW 上下。

对应美国《降低通膨法案》刺激本土产能发展，欧盟也于 2023 年初提出《绿色协议工业计划》（Green Deal Industrial Plan），预计将投入 2,500 亿欧元以达到先前「REPowerEU」的能源转型目标。在绿色协议工业计划中，为了达到更简化及可预测的监管环境，欧盟也于三月分别发布了《净零工业法案》（Net Zero Industry Act）及《关键原材料法案》（Critical Raw Material Act）两项提案，规范欧盟需求一定比例必须由本土制造能力满足（光伏为 40%）、原材料供应不过度依赖特定来源。以上法案目前仍在提案阶段，仍须经过多次修改及审议，实际通过时间可能在一至两年后。

四、光伏供应链分析

光伏由于硬体成本快速下降，在全球许多区域已达成和燃煤、天然气等石化能源平价甚至更低的度电成本。

光伏供应链主要环绕在主材料硅料、硅片、电池、组件的生产，以及下游系统厂商。伴随着光伏市场需求逐年攀升，为了匹配装机需求与占据市场主导地位，光伏行业不但整体供应链既有企业持续大幅扩产投资，高额的毛利以及并不高的进入门槛也持续湧入了许多新进者。

以光伏整体供应链来说，硅料与硅片由于需要稳定且便宜的供电，高逾九成的产能集中于中国。而电池与组件则是自 2012 年以来持续受到美国、印度等贸易战影响，部分生产基地外移至东南亚。长期来看预期贸易战或未来各国的在地制造激励政策仍将持续，因此预期各环节中中国产能占世界的占比仍会微幅下行。目前，**各环节中国产能占全世界比例分别如下：多晶硅占比 86%，硅片占比 98%，电池占比 87%，组件占比**

79%。

五、硅料行业及技术分析

（一）行业特点

多晶硅位于光伏产业链上游，更多具有化工行业属性。资金和技术壁垒较高，扩产周期较长，光伏级多晶硅纯度要在 99.9999%以上(电子级要求更高)，一般企业如果没有技术积累，很难生产出满足质量要求的多晶硅产品。

由于其高温、高能耗、高风险特性，需要定时进行检修以确保设施运作安全。过往数年随着高速发展的光伏需求与其下游环节相继扩产提速，**硅料环节在 2021 年至 2022 年成为全产业链的供应瓶颈。**

（二）市场容量

截至 2022 年底，硅料年产能达到 1,241,300MT（换算约 507GW）的水平，年成长率高达 72%，并在 2023 年持续拥有高达 75%的高度年增率，成为近十年年成长率最高的一年。庞大的产能底蕴将带领光伏全产业链步入产能过剩的阶段。

尽管 2021 年至 2023 一季度面临硅料的供应紧张势态，硅料价格屡屡突破新高，2023 年已在供应扩张下价格出现转折，预期在产能的增量下 2023 下半年加速上游价格跌幅。

（三）竞争格局

在硅料行业中，前五大企业为通威永祥、协鑫、大全、新特、东方希望。前五大主导了产能的扩增与释放，产能在2022年底累计达到898,000MT（367GW），占整体硅料制造环节近72%的市占份额。由于硅料产业制造工艺已经趋于成熟，头部企业优异的成本把控能力在未来价格竞争中占据优势，**对新进入者而言，凭借技术革新实现翻转头部企业领导地位的可能性小。**

随着电池技术的迭代，P 型技术已逐渐濒临降本瓶颈，企业逐渐寻求 N 型技术的导入与扩产，而 N 型技术相对需要更高的硅料纯度。

当前硅料厂在选择厂址上仍以中国产区为主，此现象归因于硅料生产

需要庞大的电力支撑，中国地区以新疆、内蒙古省份的火力发电与、云南、四川一带的水力发电拥有全世界数一数二的低廉电力成本，为企业设厂的首选。然而随着近年中美贸易战下，美国以新疆人权议题为由对于新疆地区生产的产品入关百般阻挠，从电池组件，到上游的硅料生产，甚至石英矿砂的产地溯源，都需要提供非新疆的产证。在美国的推动下，许多光伏市场包含欧洲、加拿大、墨西哥、德国、挪威等等也都在策划对于新疆来源的产品限制。因此，硅料行业出现了「新疆料」与「非新疆料」的分类，截至2022年底，源自中国新疆的硅料产能约355,000MT

(145GW)，占全中国境内生产比重约32%，占据全世界也有29%左右的市场份额，而非中国的海外硅料厂也是特殊的存在，当前只有位在德国与美国的瓦克、马来西亚的OCI、以及美国的Hemlock与REC silicon四家，生产成本相比中国生产高上许多，非中国的海外硅料供应来源不但能不受新疆议题影响，也因为过程中使用干净电力如水电等，能用获取较高的低碳足迹分数供应低碳市场。

(四) 硅料技术分析

1. 技术属性

技术路线上，硅料技术难度最高，龙头标的份额将逐步提升。主要技术路线为**改良西门子法**和**硅烷流化床法**。两者有着本质上的区别，改良西门子法产出的是棒状硅，后需经破碎形成块状料和复投料；而硅烷流化床法产出的是颗粒硅，成品可直接应用于下游单晶拉棒环节。**改良西门子法是当前主流路线。**


(1) 改良西门子法

技术路线	在 1100℃左右的高纯硅芯片上用高纯氢还原高纯三氯氢硅，生成多晶硅沉积在硅芯上。 依次：SiHCl ₃ 合成、SiHCl ₃ 精馏提纯、SiHCl ₃ 的氢还原、尾气的回收和 SiCl ₄ 的氢化分离。
------	---

流程图	<p>图：改良西门子法生产流程示意图</p>
装备-还原炉	<p>还原炉</p>
优势	1) 还原炉寿命长, 20 年以上; 2) 产品质量稳定;
劣势	1) 能耗大; 2) 副产物多;

(2) 硅烷流化床法

技术路线	<p>主要包括 3 个单元:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、四氯化硅转化为三氯氢硅; 2、三氯氢硅转化为硅烷; 3、将硅烷分解产生硅。
流程图	<p>图：硅烷流化床法生产流程示意图</p>
还原方法	<p>将硅烷分解产生硅。与西门子法相比，硅烷法依旧需要将四氯化硅氢化获得高纯度的三氯氢硅，包括：1) 三氯氢硅——二氯二氢硅；2) 二氯二氢硅——硅烷，在还原方面与改良西门子法有所不同，通过二氯二氢硅来替代西门子法的还原炉，再将硅烷通至流化床炉裂解形成颗粒硅。</p>

装备-流化床	
优势	1) 分解温度和耗电低; 2) 可连续生产, 提高生产效率; 3) 产品颗粒细, 可直接使用; 4) 尾气回收流程短;
劣势	1) 装备内衬稳定运行难度高; 2) 成品纯度不高; 3) 流化床对安全性要求高, 硅烷易燃易爆, 推广较难;

(3) 两种技术区别

尽管改良西门子法反应所需温度高、以及拥有高能耗等特点，但工艺路线成熟，生产过程风险也相对较小，同时品质可达电子用量级以上，也因此是目前硅料主流技术路线。而当前，硅烷流化床法下的颗粒硅因为生产过程含有硅烷，制造危险性相对高，仍然是以填补多晶硅用途为主，以及因为生产温度低可以作为低碳足迹产品的良好原料，生产方面以协鑫为代表性企业，截至2022年底颗粒硅产能达到160,000MT，占据全球硅料制造产能约13%、按出货量来看市场份额则约7%左右，而长期看来，由于低能耗的优势，预计能占据略高于10%以上的市占率，实际增长需视龙头颗粒硅厂商的发展。

2. 壁垒的体现

主要体现在产品纯度上，龙头企业高纯晶硅比例可达 95%以上，部分优秀的多晶硅企业单晶占比已达 99%左右；而二三线企业仅 70%不到。

随着行业转换效率提升，纯度越来越重要。

3. 资产和成本属性

相比其他环节，**多晶硅环节重资产属性明显**，折旧成本占总成本比重超过 20%。

该环节产能建设与达产时间周期长（约1年建设期+半年爬坡期）。同时，该环节生产柔性差，停产后恢复成本较高。其生产设备为流程化生产，产能投

产后短期成本下降速度较慢。

六、硅片行业及技术分析

（一）行业特点

硅片环节的集中度高于主产业链的其他环节（隆基与中环的市场份额相对较高）。硅片环节的后发优势相对较弱，工艺技术较为重要。**目前以单晶硅片为主，产品市占率为99%**。硅片制造中由于长晶环节工序精细复杂，对于地震、断电等十分敏感，地震会导致硅片厂断线与墩锅情况发生，在中国往年地震灾情中往往首当其冲。

（二）市场容量

硅片稳定的高利润、以及垂直整合厂对于产品规格需保持主动权，带来2021年至2022年间的快速扩产。**截至2022年底硅片年化产能达到近600 GW的水平**，年成长率高达62%，庞大的新产能释放下对于硅料需求大增，在2022年大幅地影响硅料的价格走势。2023年开始硅片环节的扩产因庞大基数而趋缓，年增率约46%左右，2030年年产能达到将逼近1,400 GW。

（三）竞争格局

目前行业的前五大为隆基、中环、晶科、晶澳、上机。近些年出现专业硅片企业跨足硅片-组件的制造环节，垂直整合厂家能从上至下规划生产及产品规格、拥有更低的制造成本。且在短期供需不匹配的情况下也能透过自产自用以规避外部环境变化的风险。截至2022年底前五大硅片企业年化产能达385 GW左右，市占率高达65%。随着垂直整合厂家、专业电池厂家都有硅片的扩产计划，前五大厂家的产能占整体比例将出现小幅下降趋势。

（四）硅片技术分析

1. 技术属性

硅片的制备工艺主要包括拉晶和切片，单晶炉和切片机为核心生产设备。高纯片状硅掺入微量的硼，可制成 P 型硅半导体；掺入微量的磷，可制成 N 型硅半导体。

生产壁垒不高，产品同质化明显，核心在于对成本控制。其中，单炉生产时间一定时间后需停炉更换材料等。生产环节需要一定人工操作，尤其是单晶。

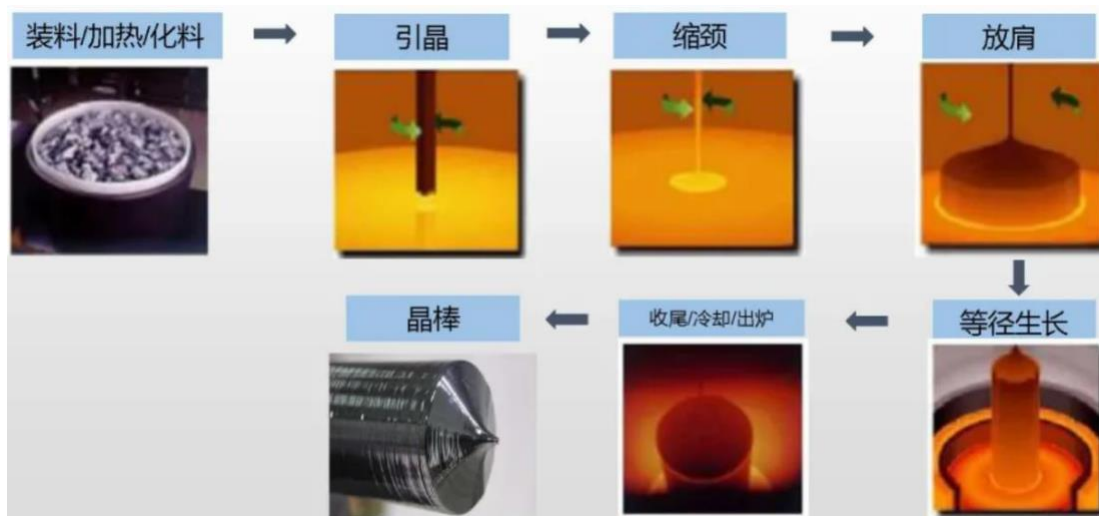


图 6. 拉晶环节流程

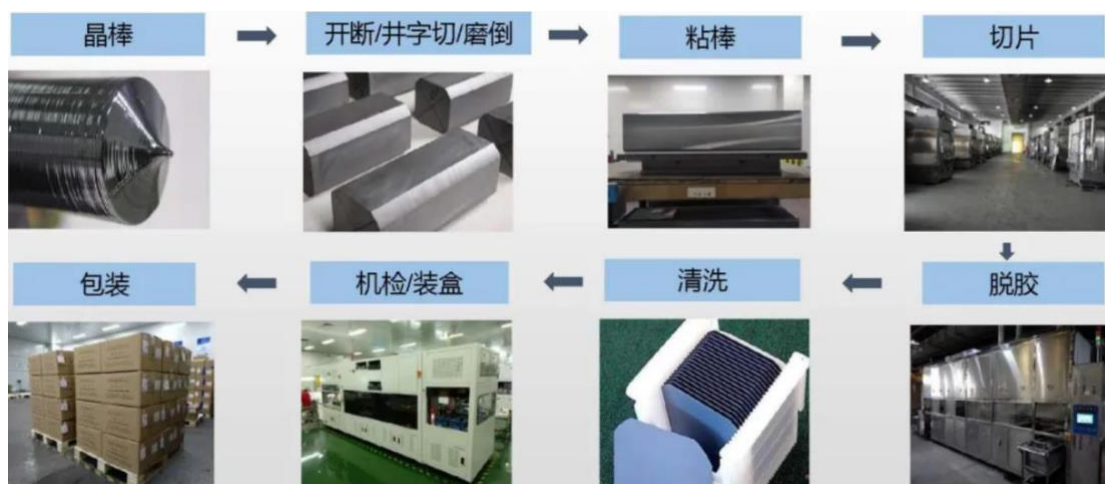


图 7. 切片环节流程

技术方面，近年着重在硅片尺寸放大与厚度的降低，以及2023年至2025年间N型产出比重将出现快速的提升。

尺寸方面，大尺寸硅片由于单位面积增加，所需每单位成本下降，放在电池与组件亦有相同效应，从而降低度电成本。因此，近年硅片尺寸不断地快速更迭，从M2（156.75mm）、G1（158.75mm）、M4（161.7mm）、M6（166mm）到现在M10（182mm）、与G12（210mm）尺寸等，随着尺寸的变化带来的成本下降与每片组件瓦数提升，都有助于提高度电成本的表现。可以看到在光伏产品近年的降本趋势中，硅片尺寸的变化是其中关键。

随着尺寸的变革，大尺寸硅片在各环节成本优势凸显，硅片厂陆续提升M10、G12大尺寸硅片的产出比率，大尺寸硅片产出比率在2022年四季度已超过80%。截至2022年，随着M6尺寸加速退坡，市占分份额仅剩约12%，主流尺寸转变为M10尺寸，占据总体组件产出约63%，而G12市占份额约来到23%。近期，各垂直整合厂商为了更有效的组件规划，再度发展出许多特规尺寸，如G12R（210*182mm）等矩形硅片的发表，也是近年需要特别关注的部分。

展望未来，电池片、组件以及设备厂家大多已准备220mm甚至230mm的向下兼容方案，以应变未来的大尺寸变化，预估182/210mm尺寸将长期并存，并不会太快走到更大的新产品。

厚度方面，透过更薄的硅片可以使硅成本有效降低，在昂贵硅料的驱使下，2022至2023年的主流厚度出现突破性的进展。**P型M10尺寸厚度从2021年的主流170 μ m下降至2022年160-155 μ m，2023年则已经降至150 μ m；**主流的金钢线母线集中在33-36 μ m规格；M10尺寸A品率多集中在92%至97%之间。**N型受限于成本压力，在薄片化的进程更加积极，从2021年的主流160 μ m下降至2022年140 μ m，2023年则正在跨向130 μ m。**预期在2024年硅料跌回较合理的价格水位后，硅片厚度将重新趋于稳定，持续P型150 μ m、N型120-130 μ m的规格。

改变硅片厚度的做法，则是借由在硅片的切片阶段，采用更细的金钢线来进行裁切，降低硅片的厚度，如此一来相同的硅棒可以产出更多的硅片，降低整体组件中的硅成本。由于厚度的改变对于良率以及电池片转换效率影响大，过去硅片变化速度缓慢，然而从2021年起多晶硅料成本快速上扬，为有效减少硅耗量，硅片厚度在短时间内快速减薄，从2021年底的170 μ m快速演进至2023年初的150 μ m、N型140-130 μ m，显着减少了硅料成本在总成本中的占比。

2022年开始TOPCon的进步带动N型的市占率一扫以往维持在3%至5%市占率的态势，由于P型转换至N型的进程目前看来重点视电池片环节的转换以及下游的接受度而定，硅片的转换在产能上不需太大调整，并不会形成技术瓶颈。

2. 资产和成本属性

资产属性上硅片轻于硅料，重于电池组件。产能建成后，技术优化空间相对较大。技术红利周期内，成本下降比较容易超预期。随着电池转换效率持续上升，对上游硅片质量要求提高，目前硅片产品开始出现一定价格差异。

七、电池片行业及技术分析

（一）行业特点

无法库存的特征使得电池容易受制于下游组件，叠加电池对组件品质的影响，行业出现明显的电池组件一体化特征。

电池片夹在上游与中游之间、加上垂直整合厂的自有产能相当庞大，因此毛利润的波动并不如上游与下游明显。

随着行业规模化趋于瓶颈，高效化愈发重要。技术变迁速度快+一体化导致行业集中度低于其他主产业链环节，企业间差异会逐渐放大。

未来的超额收益来源于在新技术的规模化阶段，此后更多时间在相对稳定盈利下跑现金流。

（二）市场容量

截至2022年底，电池片年产能达到590GW的水平，相比2021年的404GW成长率高达46%，即使产能已相当充足，但受到2023至2024年间电池片将再度技术迭代，预期在2023年可能出现超过80%的产能年增量，TOPCon产能将开始排挤原先的主流PERC产能，若2023年至2024年间扩产顺利，预期后续扩产将趋缓，在2030年达到略高于1,600 GW左右的水平，年复合成长率约15%。

在电池片环节，由于进入门槛相对上游硅料、硅片环节容易，以及电价成本占比低，加上先前的贸易战干扰，生产地区遍及亚太地区，欧洲及美洲也有零星产能，而中国依然囊括最大的产地规模，截至2022年底，中国制造在电池片环节产能达到510GW，占据全世界87%的分额，预期随着部分区域保护本土制造的政策，在2030年底中国产能份额将略降至80%。

（三）竞争格局

在电池片环节中，**随着电池片龙头通威也大举跨入组件业务，电池片前五大企业为通威、隆基、晶科、天合、晶澳**。全是含有组件业务的垂直整合厂，截至 2022 年底前五大厂家产能达到 260GW，占比约 44%。预期随着垂直整合厂的市占率扩大与产业集中，在 2030 年底前五大厂家将有 750 GW 的产能规模。

在电池片环节，由于进入门槛相对上游硅料、硅片环节容易，以及电价成本占比低，加上先前的贸易战干扰，生产地区遍及亚太地区，欧洲及美洲也有零星产能，而中国依然囊括最大的产地规模，截至 2022 年底，中国制造在电池片环节产能达到 510 GW，占据全世界 87% 的分额，预期随着部分区域保护本土制造的政策，在 2030 年底中国产能分额将略降至 80%。

（四）电池片技术分析

1. 技术属性

电池片环节是决定光伏转换效率的核心环节，但生产相对流程化，技术更多凝结于设备，企业间差异相对较小。技术变迁速度相对较快。电池技术路径演变为：BSF——PERC——TOPCON/HJT——多结电池。新技术的成熟到规模化需要 3-5 年时间。

（1）太阳能电池的生产流程

主要包含制绒、磷扩散、刻蚀抛光、正反面钝化膜沉积、丝网印刷、高温烧结等步骤。

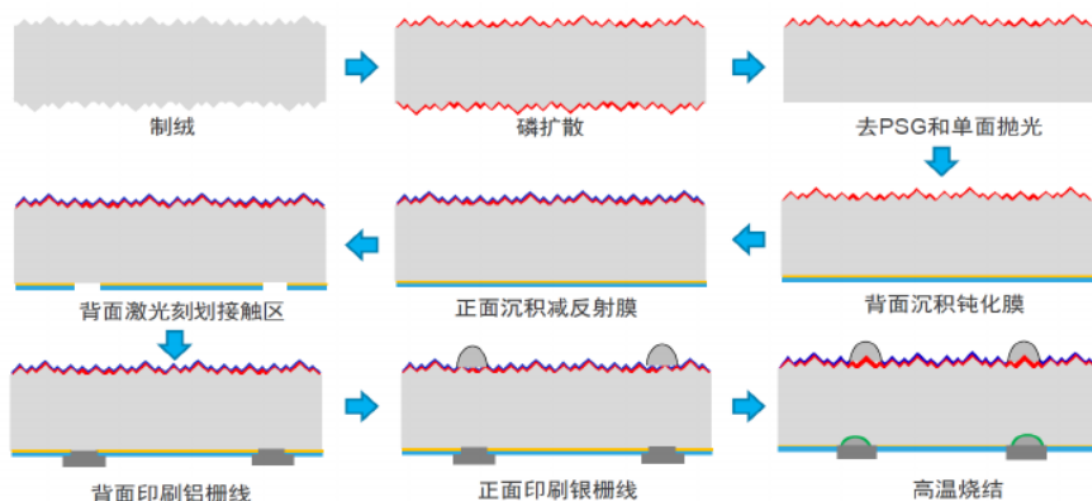


图 8. 太阳能电池生产工艺流程

(2) 太阳能电池的技术路线

太阳能电池技术路线的发展包括：传统 BSF-单体 PERC- HJT/TOPCON-IBC。

1)铝背场 BSF：在 p-n 结制备完成后在硅片的背光面沉积一层铝膜，制备 P+层，称为铝背场电池(量产效率<20%);

2)单晶 PERC（发射极钝化和背面接触）——在电池片背面形成钝化层作为背反射器增加长波吸收同时增大电势差，降低复合并提高效率(当前量产效率：23-23.5%);

3)TOPCON(隧穿氧化层钝化接触)——在电池背面制备一层超薄氧化硅，然后沉积一层掺杂硅薄层，二者共同形成钝化接触结构(量产转换效率：24-24.5%)；

4)HJT(异质结电池)——在电池片里同时存在晶体和非晶体级别的硅，非晶硅的出现能更好地实现钝化效果(量产转换效率：24-24.5%)；

5)IBC(交指式背接触)——把正负电极都置于电池背面，减少置于正面的电极反射一部分入射光带来的阴影损失(目标转换效率：25%)；

(3) 2021-2030 年各高效电池技术市场情况

从以往多晶技术转换到单晶 PERC 技术、以及现在从 P 型技术逐渐转换到 N 型技术，电池片厂家在研发制造过程都为转换效率的提升不遗余力。截至 2022 年，单晶 PERC 仍是主宰市场的主流技术，但 **N 型电池在**

维持多年 3%至 5%市占率后在 2022 年提升至 7%，被视为 N 型开始成长的起头，预计 2023 年 N 型占有率将快速成长至三成左右。多晶市占率则在 2022 下降至 1%左右，23 年或完全被淘汰。

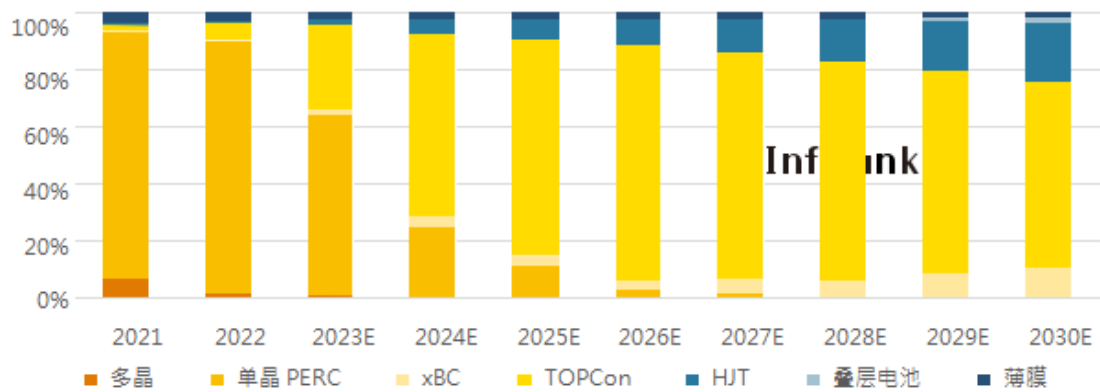


图 9. 2021-2030 年各高效电池技术市场占比

2. 资产和成本属性

电池片资产属性轻于硅片，重于组件。该产产品难以保存，库存周期对短期价格冲击明显，直接反应短期供需关系。在成本上，与硅料类似，流程化生产下，同时期产能成本差异相对较小。其中成本中 70%左右为外购硅片成本，正银 11%，背银 2%，铝浆 1%，折旧 7%。成本差异主要来源于转换效率、良率、银浆耗量。

八、晶硅组件行业及技术分析

（一）行业特点

晶硅组件环节的制造为最后拼装程序，使用原料如：玻璃、EVA胶膜、背板、铝边框等进行拼装、层压、封装等步骤已完成最终产品销售予终端客户。

属于轻资产，产品为基础，市场更为关键。产品属性较弱，受上游景气影响相对较大。

销售渠道上，更看重品牌与渠道作用。

成本上，2022年中国全年平均组件价格约1.97人民币/W，2022年美国当地大尺寸组件含运价格约在每瓦0.42美元上下，本地生产的组件价格甚至到0.5美元以上。对比欧洲，2022年欧洲组件均价0.264美元/W。

（二）市场容量

在晶硅组件环节的产能截至2022年底来到660GW，年增长率约40%，尽管扩产门槛不高，但技术与尺寸在两三年前就已有了大致方向，加上**若非垂直整合，纯组件厂利润被上游材料挤压的非常拮据，因此是2022年四个环节中产能年增率最小的一环**，预期随着组件厂家的扩产增量，将于2030年底达到超过1,400GW的供应能力。

（三）竞争格局

组件环节前十大涵盖了前十大跨足硅片、电池的垂直整合制造商，此处TOP 10 的晶硅组件厂家为隆基、晶科、天合、晶澳、阿特斯、东方日升、正泰新能、通威、韩华 Q-Cells 与英利。

截至2022年产能达到380GW左右，占整体比重达到58%，但若从出货量来看，在2022年前十大厂家实际上已占据85%以上的市占。由于组件制造门槛较低，尤其属于终端产品，市场着重于品牌认知与市占率表现，是众大厂的兵家必争之地，预期前十大厂家的垂直整合、市场布局等竞争在未来持续激烈且因为大者恒大的情况将持续，在2030年前十大厂家产能达到六成以上。

在组件厂家生产分布中，产能呈现分散涵盖了全球五大洲，其中，中国产区产能截至2022年约528GW，产能份额达到80%，但预期随着各国的在地生产激励，预期到2030年产能占有率会落到八成以下。

（四）晶硅组件技术分析

1. 技术属性

生产壁垒低，但因组件主要起对电池的保护作用，且具有较长的转换效率质保周期(20-30年)，因此**具有一定品牌属性**(可靠性、可融资性、渠道依赖等)。

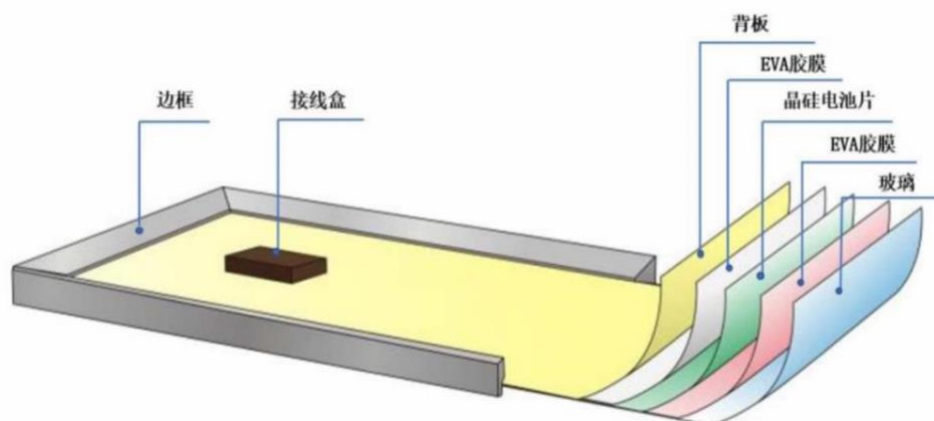


图 10. 组件示意图

（1）组件环节技术

近年来组件环节技术及产品迭代加快，半片、拼片、叠焊、叠瓦等技术或微创新层出不穷。主要体现在：

- 1)减小电池片尺寸，降低损耗，具体技术包括半片、三分片等；
- 2)减小电池片间距，提高组件功率密度，具体包括拼片、叠焊以及叠瓦等；
- 3)减小电池片遮光面积，提高组件功率，主要包括多主栅技术；
- 4)基于上游技术或工艺创新，提高转化效率或摊薄辅材成本。

（2）胶膜

胶膜为组件关键辅料。胶膜主要分为三种：透明 EVA 胶膜、白色增效 EVA 胶膜(白膜)及 POE 胶膜(包括共挤型 POE 胶膜)。三者性能不同，EVA 占据主要份额，近年来随着大尺寸化和双面渗透率提升。POE(特别是共挤 POE)占比正在提升。

核心竞争力主要是配方和工艺(设备)。配方的细微变动将会影响组件的稳定性，为企业核心竞争力之一。

属于轻资产环节，产能建设快且 1 亿平产能(10GW)投资额仅 1.5-2.5 亿。因胶膜成本 90%为原材料成本，故供应链管理至关重要。

（3）玻璃

玻璃为组件封装重要辅材。存在一定技术壁垒，为保障透过率要求，光伏玻璃在料方设计、工艺系统设计、熔窑窑池结构、操作制度、控制制

度和产品质量标准等方面的要求都远高于普通玻璃，成本率的差异印证此点（龙头 85%VS 行业 80%）。技术的先进性也体现在薄玻璃、大尺寸玻璃生产及占比提升上。

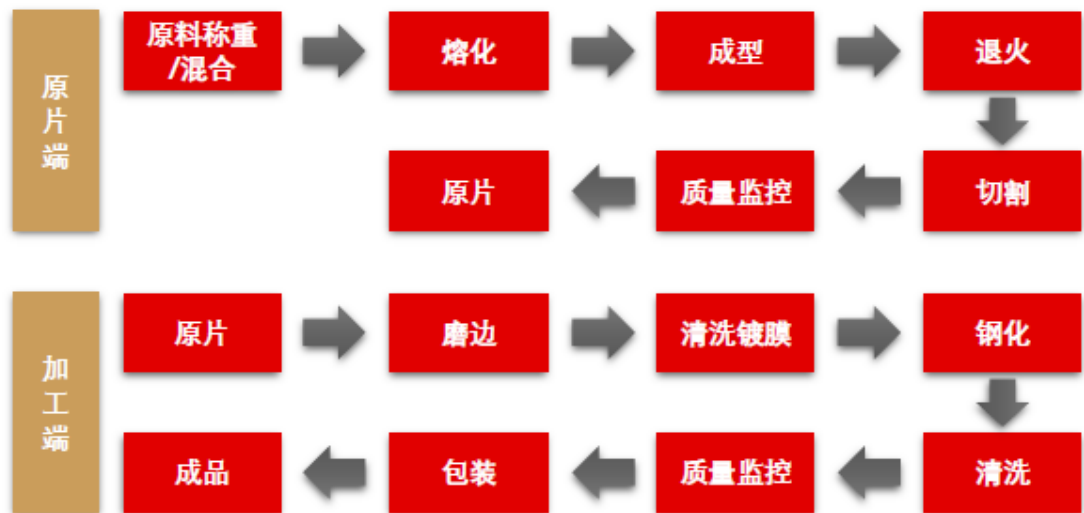


图 11. 光伏玻璃工艺过程

		原料熔化	原片制造	深加工
生产要素	投入	<ul style="list-style-type: none"> 玻璃熔窑 石英砂、纯碱等原料 石油类燃料、天然气 废气处理等环保设备 	<ul style="list-style-type: none"> 压延机 退火炉 裁切机 	<ul style="list-style-type: none"> 磨边机 清洗机 钢化炉
	产出	<ul style="list-style-type: none"> 玻璃液 	<ul style="list-style-type: none"> 光伏玻璃原片 	<ul style="list-style-type: none"> 光伏玻璃成品
代表企业		<ul style="list-style-type: none"> 河北金信 全环节生产、光伏玻璃收入占比超50%：信义光能、福莱特、江苏金达 全环节生产、光伏玻璃收入占比低于50%：彩虹新能源、南玻A、洛阳玻璃、 	<ul style="list-style-type: none"> 亚玛顿 	
关键参数		<ul style="list-style-type: none"> 熔化能耗（福莱特2.2百万kcal/t左右） 原片成品率（行业领先水平80%-83%） 		<ul style="list-style-type: none"> 加工环节成品率（行业领先水平96%-97%）
盈利能力	毛利率	<ul style="list-style-type: none"> 20%-30%左右（估算） 30%-35%左右（参考信义光能、福莱特），随纯碱、石油、天然气等原料及燃料价格波动 		<ul style="list-style-type: none"> 15%左右（参考亚玛顿）
	净利率	<ul style="list-style-type: none"> 10%-20%左右（估算） 15%-20%左右（参考信义光能、福莱特） 		<ul style="list-style-type: none"> 2%-5%左右（参考亚玛顿）

图 12. 光伏玻璃生产及经营情况

属于重资产环节，光伏玻璃生产分为原片端和加工端，其中原片端的核心设备窑炉规模主要决定产能，1000 吨窑炉的投资额约 7 亿元；建设投产周期 1 年左右，爬坡 2.5-6 月不等。窑炉一经点火，不轻易停产，且不会超产。行业属于高能耗，建设指标有壁垒。

成本上，一线和二线企业成本差异大。一是体现在窑炉容量上，千吨窑炉占比高的头部企业成本占优，二是体现在原料（石英砂、纯碱等）和

燃料（天然气、重油等）采购上，龙头凭借自持原材料石英砂矿、合资成立天然气公司等方式，降低采购成本。

（4）光伏逆变器

光伏逆变器是将组件产生的低压直流电转换为交并网友子设备，同时也是整个光伏发电系统中多种信息传递与处理、实人交互的平台，是光伏电站中唯一智能化的设备。从整个产业链看逆变器属于光伏系统集成辅材。上游主要为电子元件，下游为光伏电站和分布式系统。

按照功率大小可将逆变器分为集中式（地面电站）、组串式（工商业&户用）及微型（户用）。近年来随着中国企业进入行，逆变器成本逐步降低，性能更优的组串式逆变器重返地面电站带动市占率大幅提升。

对于集中式逆变器，功率大，技术壁垒相对较高，对于组串式逆变器，特别是分布式产品，功率小，技术壁垒一般。重要技术指标为转换效率，目前国内企业已经达到甚至超过海外企业。另外，国内企业产品迭代速度明显快于海外，可更好、更及时满足市场需求。

属于轻资产环节，产能建设快且弹性较大。因国内成本低，近几年海外优势突出。

九、总结

过去 10 年行业光伏发电成本降幅达到 90%，长期持续的降本量变逐步促成平价量变，当前全球大部分地区光伏发电成本已与煤电相当，内生经济性动力显著。随着成本全面下降，需求同样呈现遍地开花局面，全球扩容明确。近年来，全球装机规模达 GW 级国家数量由 2016 年的 6 个提升至 2020 年的 19 个。

国内以碳中和为目标，明确提出未来十年能源消费总量、非化石能源消费占比等边界条件，计算可知国内十四五保底年均装机规模为 84GW，十五保底年均装机规模为 140GW。

光伏行业的投资动力主要是政策和电力与成本。中国市场在补贴持续下降的过程中，凭借更大幅度的成本下降，装机持续快速增长，2021 年补贴逐步退出；美国市场主要在 ITC 政策支持下装机持续快速增长；2021 年开始 ITC 退税政

策加快退出。

从供给趋势上来看，全球光伏制造中心持续向中国倾斜。随着行业持续规模化，行业后期竞争格局将逐步优化，龙头企业将强者恒强。

逆变器 Inverter

将光伏发电产生的直流电转换为交流电的设备

防止维吾尔强迫劳动法案 Uyghur Forced Labor Prevention Act (UFLPA)

美国2021通过的新法案，限制新疆供应链产品进入美国。