

# 2023年中国光伏行业系列研究：光伏硅片行业研究

## 2023 China Photovoltaic Wafer Industry Research

2023年、中国の太陽光発電産業シリーズ研究：太陽光発電シリコン映画産業に関する研究

报告标签：光伏、硅片

主笔人：王浩

报告提供的任何内容（包括但不限于数据、文字、图表、图像等）均系头豹研究院独有的高度机密性文件（在报告中另行标明出处者除外）。未经头豹研究院事先书面许可，任何人不得以任何方式擅自复制、再造、传播、出版、引用、改编、汇编本报告内容，若有违反上述约定的行为发生，头豹研究院保留采取法律措施、追究相关人员责任的权利。头豹研究院开展的所有商业活动均使用“头豹研究院”或“头豹”的商号、商标，头豹研究院无任何前述名称之外的其他分支机构，也未授权或聘用其他任何第三方代表头豹研究院开展商业活动。

# 摘要

光伏硅片是生产光伏电池片的核心原材料，主要指硅料经过清洗、拉棒、切片等生产环节后形成的高纯片状硅。光伏硅片的品质直接影响光伏电池的转化效率，其成本的高低将影响到下游光伏电池、光伏组件产品的竞争力

根据光伏硅片的晶体结构不同可以分为单晶硅片与多晶硅片，2022年中国单晶硅片市场占有率达97.5%，多晶硅片仅2.5%，预期未来多晶硅片市占率将继续下降仅在部分细分市场保持应用

光伏硅片的生产主要可以分为拉棒与切片两大工序流程，拉棒主要指通过将经过清洗后的多晶硅料投入单晶生长炉生长出单晶硅棒，切片环节主要指单晶硅棒经过截断、开方、磨削、切片、清洗分选检测后得到单晶硅片。2022年，单晶拉棒电耗为24.4kWh/kg-Si，预计随着热场保温性能的改善，至2025年将下降至21.5kWh/kg-Si；2022年，切片电耗为8.3万kWh/百万片，预计随着棒长增加、切速增加、细线化以及薄片化带来单次出片量的增加，至2025年有望下降到7.9万kWh/百万片

## ■ 光伏硅片行业综述

单晶硅片是制造单晶电池和组件的核心材料，通过直接增大硅片面积，可增大组件功率，摊薄BOS成本（即除了光伏组件以外的系统成本，主要包含逆变器、支架、线缆等设备成本以及土建、安装等费用），进而降低光伏发电度电成本

## ■ 光伏硅片产业链概况

从生产原材料成本来看，硅料是光伏硅片最重要的成本构成，占比超过80%，故硅料价格的变化对于硅片成本具有决定性影响：光伏硅片的生产成本主要包含了硅料、坩埚、热场、金刚线、冷却液及电力等非耗材成本，其成本占比分别约为86%、1%、1%、2%、3%及7%。

2010年至2022年间，中国光伏硅片规模持续扩张，2021年与2022年，光伏硅片新增规模连续创造新高，2021年底产能规模占全球98.1%，2022年硅片规模达到约700GW，产能相较于产业链其他环节处于过剩状态。主要原因系下游光伏装机量呈现爆发态势，光伏硅片环节技术壁垒相对较低，产能投产时间较短，行业主要企业（如TCL中环、隆基绿能等）与新晋企业（双良节能等）纷纷大规模扩产

2022年，新投产光伏电池产线依然以P型PERC产线为主，2022年下半年N型光伏电池产能逐渐释放，P型光伏电池全年市场占有率下降至88%，N型光伏电池合计占比约为9.1%，其中，TOPCon占比约8.3%、HJT占比约0.6%、XBC电池占比约0.2%。预计至2025年N型电池的市占率将超过P型电池，N型电池的发展将直接拉动N型硅片的生产制造

# 目录

|               |       |    |
|---------------|-------|----|
| ◆ 名词解释        | ----- | 06 |
| ◆ 中国光伏硅片行业综述  | ----- | 07 |
| • 光伏硅片的定义与分类  | ----- | 08 |
| • 光伏硅片的分类对比分析 | ----- | 09 |
| • 光伏硅片的生产流程   | ----- | 10 |
| • 光伏硅片的生产特性   | ----- | 11 |
| ◆ 光伏硅片产业链分析   | ----- | 12 |
| • 产业链图谱       | ----- | 13 |
| • 产业链上游分析     | ----- | 14 |
| • 产业链中游分析     | ----- | 17 |
| • 产业链下游分析     | ----- | 20 |
| ◆ 方法论         | ----- | 21 |
| ◆ 法律声明        | ----- | 22 |

# Contents

|                                                       |       |    |
|-------------------------------------------------------|-------|----|
| ◆ Terms                                               | ----- | 06 |
| ◆ A review of Photovoltaic Inverter Industry in China | ----- | 07 |
| • Definition and Classification                       | ----- | 08 |
| • Comparison between different classifications        | ----- | 09 |
| • Producing Process of Wafer                          | ----- | 10 |
| • Producing Features                                  | ----- | 11 |
| ◆ Analysis of PV Inverter Value Chain                 | ----- | 12 |
| • Value Chain Map                                     | ----- | 13 |
| • Upstream Analysis                                   | ----- | 14 |
| • Midstream Analysis                                  | ----- | 17 |
| • Downstream Analysis                                 | ----- | 20 |
| ◆ Methodology                                         | ----- | 21 |
| ◆ Legal Statement                                     | ----- | 22 |

# 图表目录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| ◆ 图表1：光伏硅片按照尺寸进行分类              | 08 |
| ◆ 图表2：单晶硅片与多晶硅片市场占比，2017-2022年  | 09 |
| ◆ 图表3：P型单晶硅片与N型单晶硅片的对比          | 09 |
| ◆ 图表4：光伏单晶硅片的生产流程               | 10 |
| ◆ 图表5：光伏硅片的生产特性及简介              | 11 |
| ◆ 图表6：光伏硅片的产业链图谱                | 13 |
| ◆ 图表7：光伏硅片成本构成                  | 14 |
| ◆ 图表8：中国多晶硅产量、产能，2010-2022E     | 14 |
| ◆ 图表9：多晶硅致密料价格，2018-2022年       | 14 |
| ◆ 图表10：光伏硅片的非硅成本构成              | 15 |
| ◆ 图表11：CZ法长晶炉典型结构               | 16 |
| ◆ 图表12：晶盛机电长晶炉演化                | 16 |
| ◆ 图表13：拉棒单炉投料量，2018-2022年       | 16 |
| ◆ 图表14：中国光伏硅片产能情况，2010-2022年    | 17 |
| ◆ 图表15：光伏硅片全球及中国产量情况，2010-2022年 | 17 |
| ◆ 图表16：行业主流硅片厚度，2016-2022年      | 18 |
| ◆ 图表17：各尺寸硅片市场占比，2019-2022年     | 18 |
| ◆ 图表18：光伏产业链主要环节单GW投资额          | 19 |
| ◆ 图表19：中国光伏产业链各环节CR5，2018-2022年 | 19 |
| ◆ 图表20：光伏硅片均价，2020-2023年        | 19 |
| ◆ 图表21：光伏电池成本结构（以TOPCon为例）      | 20 |
| ◆ 图表22：全球光伏电池产能前十厂商产能及产量，2021年  | 20 |
| ◆ 图表23：光伏电池市场结构，2022年           | 20 |

# ■ 名词解释

- ◆ **载流子**：在物理学中，载流子指可以自由移动的带有电荷的物质微粒，如电子和离子。在半导体中，存在两种载流子，电子以及电子流失导致共价键上留下的空位（空穴）均被视为载流子。通常N型半导体中指自由电子，P型半导体中指空穴，它们在电场作用下能作定向运动，形成电流
- ◆ **热场**：热场就是热系统。在机械中一般指单晶炉热场，就是单晶炉中的热系统
- ◆ **TOPCon**：隧穿氧化层钝化接触太阳能电池（Tunnel Oxide Passivated Contact solar cell,TOPcon）是2013年在第28届欧洲 PVSEC 光伏大会上德国 Fraunhofer太阳能研究所首次提出的一种新型钝化接触太阳能电池，首先在电池背面制备一层 1~2nm 的隧穿氧化层，然后再沉积一层掺杂多晶硅，二者共同形成了钝化接触结构，为硅片的背面提供了良好的界面钝化。
- ◆ **HJT**：异质结电池 (HJT)是在晶体硅上沉积非晶硅薄膜，因以晶硅材料作为衬底，在材料中占比重较大，业内通常将其列入晶体硅太阳电池类别;又因其制备过程使用薄膜太阳电池技术，也有少数人将其列为薄膜太阳电池。从结构上来说，异质结一般以n型单晶硅片为衬底，在经过清洗制绒的n型CZc-Si正面依次沉积厚度为5-10nm的本征a-Si:H薄膜 (i-a-Si:H)、p型a-Si:H薄膜 (p-a-Si: H)，从而形成p-n异质结。
- ◆ **IBC**：IBC电池（全背电极接触晶硅光伏电池）将PN结和金属接触都设于太阳电池背面，电池片正面采用SiNx/SiOx双层减反钝化薄膜，没有金属电极遮挡，最大限度地利用入射光，减少光学损失，带来更多有效发电面积，拥有高转换效率，外观上也更加美观，尤其适用于光伏建筑一体化

# Chapter 1

## 行业综述

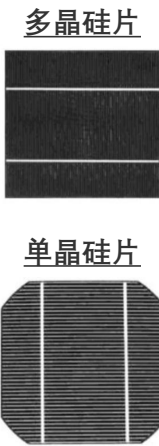
- 光伏硅片是生产光伏电池片的核心原材料，主要指硅料经过清洗、拉棒、切片等生产环节后形成的高纯片状硅。光伏硅片的品质直接影响光伏电池的转化效率，其成本的高低将影响到下游光伏电池、光伏组件产品的竞争力
- 根据光伏硅片的晶体结构不同可以分为单晶硅片与多晶硅片，2022年中国单晶硅片市场占有率达97.5%，多晶硅片仅2.5%，预期未来多晶硅片市占率将继续下降仅在部分细分市场保持应用
- 光伏硅片的生产主要可以分为拉棒与切片两大工序流程，拉棒主要指通过将经过清洗后的多晶硅料投入单晶生长炉生长出单晶硅棒，切片环节主要指单晶硅棒经过截断、开方、磨削、切片、清洗分选检测后得到单晶硅片。2022年，单晶拉棒电耗为24.4kWh/kg-Si，预计随着热场保温性能的改善，至2025年将下降至21.5kWh/kg-Si；2022年，切片电耗为8.3万kWh/百万片，预计随着棒长增加、切速增加、细线化以及薄片化带来单次出片量的增加，至2025年有望下降到7.9万kWh/百万片

## 中国光伏硅片行业综述——光伏硅片的定义及分类

光伏硅片的品质直接影响光伏电池的转化效率，其成本的高低将影响到下游光伏电池、光伏组件产品的竞争力

### 光伏硅片的定义及分类

- 光伏硅片是生产光伏电池片的核心原材料，主要指硅料经过清洗、拉棒、切片等生产环节后形成的高纯片状硅。光伏硅片的品质直接影响光伏电池的转化效率，其成本的高低将影响到下游光伏电池、光伏组件产品的竞争力。
- 根据光伏硅片的晶体结构不同可以分为单晶硅片与多晶硅片：
  - 单晶硅片：是一种完整的晶格排列，电学性能与光电转化性能较优
  - 多晶硅片：它是多个微小的单晶组合，有缺陷，杂质多，因此降低了多晶电池的转换效率
- 根据光伏硅片的尺寸大小可以将硅片分为大尺寸硅片（M10、G12）与小尺寸硅片（M6、M4、G1、M2）



光伏硅片按照尺寸进行分类

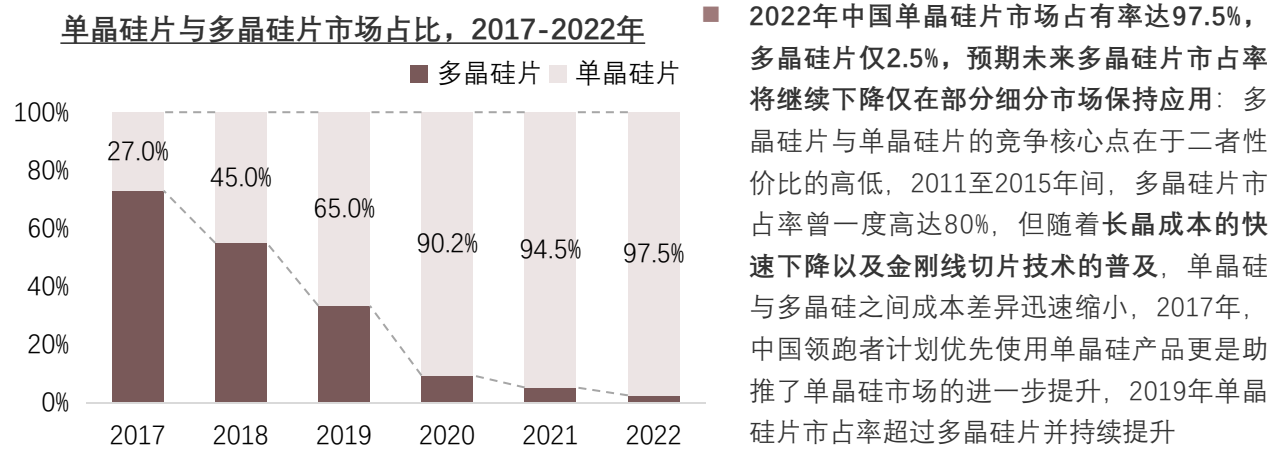
| 产品尺寸 |                                     | 硅片产品列示 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|-------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 大尺寸  | 边长：<br>210mm<br>面积：<br>44,096mm²    | G12    | <ul style="list-style-type: none"><li>■ 根据行业惯例，目前大尺寸单晶硅片主要包括 M10（182）、G12（210）等尺寸硅片，M2（156.75）、G1（158.75）、M4（161.7）、M6（166）等 182mm 以下尺寸统称为小尺寸硅片</li><li>■ 单晶硅片是制造单晶电池和组件的核心材料，通过直接增大硅片面积，可增大组件功率，摊薄BOS成本（即除了光伏组件以外的系统成本，主要包含逆变器、支架、线缆等设备成本以及土建、安装等费用），进而降低光伏发电度电成本</li><li>■ 为顺应光伏行业降本增效的技术趋势，光伏硅片尺寸不断增大，近两年硅片企业先后发布“大尺寸”产品，下游市场对公司的 M10、G12 产品需求也持续提升</li></ul> |
|      | 边长：<br>182mm<br>面积：<br>33,014mm²    | M10    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 小尺寸  | 边长：<br>166mm<br>面积：<br>27,416mm²    | M6     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|      | 边长：<br>161.7mm<br>面积：<br>25,654mm²  | M4     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|      | 边长：<br>158.75mm<br>面积：<br>25,199mm² | G1     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|      | 边长：<br>156.75mm<br>面积：<br>244,32mm² | M2     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

来源：美科股份招股说明书，天合光能，PV-Tech，《太阳电池加工技术问答》，头豹研究院编辑整理

中国光伏硅片行业综述——光伏硅片的分类对比分析

2022年中国单晶硅片市场占有率达97.5%，多晶硅片仅2.5%，预期未来多晶硅片市占率将继续下降仅在部分细分市场保持应用；此外，N型硅片市占率预期在2025年将超过50%

光伏硅片的分类对比分析



| P型单晶硅片与N型单晶硅片的对比 |                 | P型单晶硅片   | N型单晶硅片                  |
|------------------|-----------------|----------|-------------------------|
| 参数对比             | 掺杂元素            | 硼        | 磷                       |
|                  | 导电类型            | 空穴导电     | 电子导电                    |
|                  | 单晶纯度            | <200pm   | <100pm                  |
|                  | 复合载流子寿命(μs)     | 200      | 600                     |
|                  | 平均电阻率(Ω)        | 1.3      | 0.6                     |
|                  | 平均含氧量指标(ppma)   | 16       | 12                      |
| 生产对比             | 坩埚寿命(h)         | 约300     | 约400                    |
|                  | 硅片生产坩埚单耗(只/月)   | 约1.8     | 约2.4                    |
|                  | 平均方棒出片量(片/kg)   | 59       | TOPCon: 63<br>HJT: 50   |
| 市场应用             | 2022年市占率        | 87.5%    | 10%                     |
|                  | 2022年硅片平均厚度(μm) | 约155     | TOPCon: 140<br>HJT: 130 |
|                  | 应用电池类型          | BSF、PERC | HJT、TOPCon、IBC          |

2022年N型硅片市场占有率约为10%，处于大规模商业化前夕，预期在2025年N型硅片市占率将超过50%:

N型硅片主要应用于N型光伏电池（TOPCon、HJT、IBC）的生产，在相同金属杂质浓度下具有更高的光电转换效率，且对金属杂质具有更高容忍度，少子寿命较长，没有硼氧复合带来的光衰，预计随着N型电池的大规模生产，N型硅片的需求亦将随之提高

来源：CPIA，PV InfoLink，中环股份，头豹研究院编辑整理

中国光伏硅片行业综述——硅片生产流程

光伏硅片的生产主要可以分为拉棒与切片两大工序流程，2022年，单晶拉棒电耗为24.4kWh/kg-Si，切片电耗为8.3万kWh/百万片

光伏硅片的生产流程

■ 光伏硅片的生产主要可以分为拉棒与切片两大工序流程，拉棒主要指通过将经过清洗后的多晶硅料投入单晶生长炉生长出单晶硅棒，切片环节主要指单晶硅棒经过截断、开方、磨削、切片、清洗分选检测后得到单晶硅片。2022年，单晶拉棒电耗为24.4kWh/kg-Si，预计随着热场保温性能的改善，至2025年将下降至21.5kWh/kg-Si；2022年，切片电耗为8.3万kWh/百万片，预计随着棒长增加、切速增加、细线化以及薄片化带来单次出片量的增加，至2025年有望下降到7.9万kWh/百万片

光伏单晶硅片的生产流程

| 流程     | 拉棒工序                                                                                         |                                                                                             | 切片工序                                                                                        |                                                                                             |                                                                                             |                                                                                               |                                                                                               |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | 长晶                                                                                           | 截断                                                                                          | 开方                                                                                          | 磨削                                                                                          | 切片                                                                                          | 清洗                                                                                            | 分选检测                                                                                          |
| 描述     | 硅料在生长炉内高温熔化，由籽晶引发单晶硅棒定向生长                                                                    | 截断硅棒，去掉两段变径区域                                                                               | 切割大块硅棒（硅锭），使其形成方棒                                                                           | 砂轮磨削硅棒表面，并使硅片边缘成光滑弧形                                                                        | 将硅棒（硅锭）切割成单晶（多晶）硅片                                                                          | 硅片清洗                                                                                          | 硅片分选，检验硅片尺寸、厚度、表面质量等                                                                          |
| 阶段产品   | <br>单晶硅棒  | <br>单晶圆棒 | <br>单晶方棒 | <br>单晶方棒 | <br>单晶硅片 | <br>单晶硅片 | <br>单晶硅片 |
| 光伏设备   | <br>单晶生长炉 | <br>截断机  | <br>开方机  | <br>磨削机  | <br>切片机  | <br>插片清洗 | <br>分选设备 |
| 单价     | 145<br>万元/台                                                                                  | 47<br>万元/台                                                                                  | 86<br>万元/台                                                                                  | 86<br>万元/台                                                                                  | 135<br>万元/台                                                                                 | 110<br>万元/台                                                                                   | 170<br>万元/台                                                                                   |
| 需求     | 64<br>台/GW                                                                                   | 2-3<br>台/GW                                                                                 | 4-5<br>台/GW                                                                                 | 8<br>台/GW                                                                                   | 10<br>台/GW                                                                                  | 3-4<br>台/GW                                                                                   | 3-4<br>台/GW                                                                                   |
| 设备价值占比 | 约48.2%                                                                                       | 约0.6%                                                                                       | 约2.0%                                                                                       | 约3.6%                                                                                       | 约7.0%                                                                                       | 约3.0%                                                                                         | 约1.9%                                                                                         |

来源：晶盛机电定增说明书，晶澳科技问询回复，CPIA，头豹研究院

中国光伏硅片行业综述——光伏硅片的生产特性

光伏硅片的生产特性主要包含了拉棒环节的技术指标以及切片环节技术指标

光伏硅片的生产特性

| 光伏硅片的生产特性及简介 |          |                                                                                                            |                                                                                                                                    |
|--------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | 指标       | 特性说明                                                                                                       | 行业水平                                                                                                                               |
| 拉棒环节技术指标     | 拉棒电耗     | 单晶硅的生产过程具有高耗能特点，用电成本是单晶硅生产的一项重要成本，降低电耗可以有效地降低单晶硅的生产成本，电耗可以直接反映晶棒制造的技术水平                                    | 2022年行业平均拉棒电耗<br>24.4kWh/kg-Si                                                                                                     |
|              | 拉棒单炉投料量  | 单晶炉在一个运行周期内，投料量越大，晶棒的产出相应越大，单晶炉的投料量是影响单产水平的重要因素，可以直接反映晶棒制造的生产能力                                            | 2022年行业平均切片电耗<br>8.3 万kWh/百万片                                                                                                      |
|              | 耗硅量      | 耗硅量指生产每公斤方棒（含边皮复投料）所消耗的多晶硅原料量。清洗、破碎环节的损耗降低，生产环节环境控制，降低锅底料比例，优化机加环节精度控制，减少加工余量，提升降级硅料的分级和处理技术等，都将促使拉棒耗硅量下降。 | 2022年拉棒耗硅量<br>1.06kg/kg                                                                                                            |
|              | 碳氧含量     | 碳氧含量是单晶品质指标中的一项重要指标，而且也是形成同心圆、黑心片的重要影响因素。降低单晶中的碳氧含量，可以有效解决同心圆、黑心片问题，提升单晶硅片品质及综合可用率。                        | 隆基绿能目前 N/P 型单晶<br>间隙氧含量<br>≤8.0×10 <sup>17</sup> atoms/ cm <sup>3</sup> ，<br>替位碳含量<br>≤5.0×10 <sup>16</sup> atoms /cm <sup>3</sup> |
|              | 电阻率和少子寿命 | 单晶硅中的杂质尤其是金属杂质会影响晶体少子寿命。杂质越低，少子寿命越高。同等电阻率条件下，少子寿命越高，光电转换效率越高。                                              | 隆基N型、P型分别电阻率<br>0.3~2.1Ω·cm、<br>0.4~1.1Ω·cm；少子寿命<br>≥500μs、≥70μs                                                                   |
| 切片环节技术指标     | 金刚线母线直径  | 切片工序所用金刚线的直径可以反映硅片制造的技术水平：金刚线线径越细，切割时产生的锯缝硅料损失越少，硅棒出片量越多；同时，金刚线越细越容易出现断线问题，加工难度更大。                         | 2022年金刚线母线直径约<br>38μm                                                                                                              |
|              | 硅片厚度     | 硅片厚度是用于衡量单片硅耗的技术指标，薄片化有利于降低硅片的单片硅耗，从而降低硅片成本。                                                               | 2022年P型155μm，n型<br>TOPCon140μm、<br>HJT130μm                                                                                        |
|              | 单位方棒出片量  | 单位方棒出片量是用于衡量切片产出率的技术指标，随着金刚线直径的降低及硅片厚度下降，等径方棒每公斤出片数量将增加。                                                   | 2022年P型59片/公斤；n型<br>TOPCon63片/公斤、HJT50<br>片/公斤                                                                                     |
|              | 硅片人均产出率  | 硅片人均产出主要指产线直接员工的人均产出，反映了硅片生产的效率水平                                                                          | 2022年人均拉棒26.8t/人·年；<br>切片190万片/人·年                                                                                                 |
|              | 切片良率     | 硅片产品一般根据表面质量和导电性能标准被划分为A级品、B级品、C级品、D级品，切片良率指同批次产品中A级品和B级品的占比。良率越高，切割技术和工艺越先进                               | TCL中环210mm良品率<br>≥97%；京运通210mm良品<br>率≥97%                                                                                          |

来源：CPIA，美科股份问询函回复，头豹研究院编辑整理

# Chapter 2

## 产业链分析

- 从生产原材料成本来看，硅料是光伏硅片最重要的成本构成，占比超过80%，故硅料价格的变化对于硅片成本具有决定性影响：光伏硅片的生产成本主要包含了硅料、坩埚、热场、金刚线、冷却液及电力等非耗材成本，其成本占比分别约为86%、1%、1%、2%、3%及7%。
- 2010年至2022年间，中国光伏硅片规模持续扩张，2021年与2022年，光伏硅片新增规模连续创造新高，2021年底产能规模占全球98.1%，2022年硅片规模达到约700GW，产能相较于产业链其他环节处于过剩状态。主要原因系下游光伏装机量呈现爆发态势，光伏硅片环节技术壁垒相对较低，产能投产时间较短，行业主要企业（如TCL中环、隆基绿能等）与新晋企业（双良节能等）纷纷大规模扩产
- 2022年，新投产光伏电池产线依然以P型PERC产线为主，2022年下半年N型光伏电池产能逐渐释放，P型光伏电池全年市场占有率下降至88%，N型光伏电池合计占比约为9.1%，其中，TOPCon占比约8.3%、HJT占比约0.6%、XBC电池占比约0.2%。预计至2025年N型电池的市占率将超过P型电池，N型电池的发展将直接拉动N型硅片的生产制造

中国光伏硅片行业产业链图谱

光伏硅片的生产成本主要受上游原材料多晶硅的价格影响，硅片生产设备的高投入决定了光伏硅片产线建设对于资金实力需求较高；近年来，硅片扩产迅速，至2022年底约700GW产能

光伏硅片产业链图谱

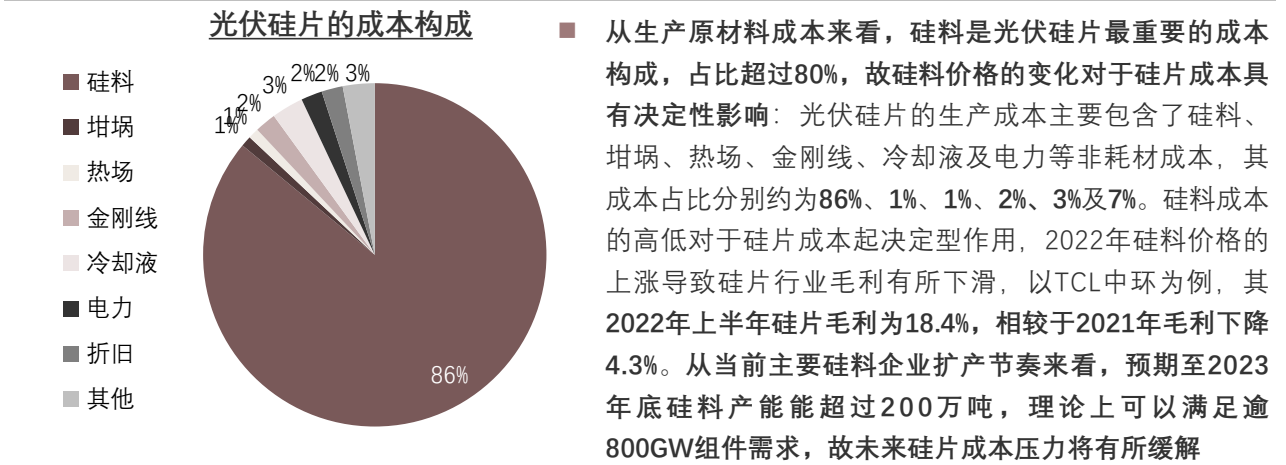


来源：CPIA，北极星光伏网，头豹研究院编辑整理

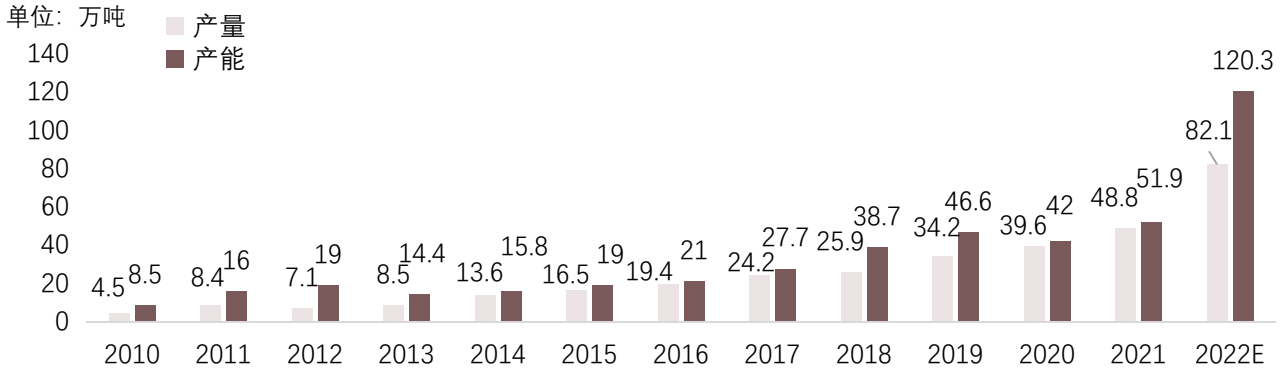
中国光伏硅片产业链上游——生产原材料：硅料

从生产原材料成本来看，硅料是光伏硅片最重要的成本构成，占比超过80%，故硅料价格的变化对于硅片成本具有决定性影响

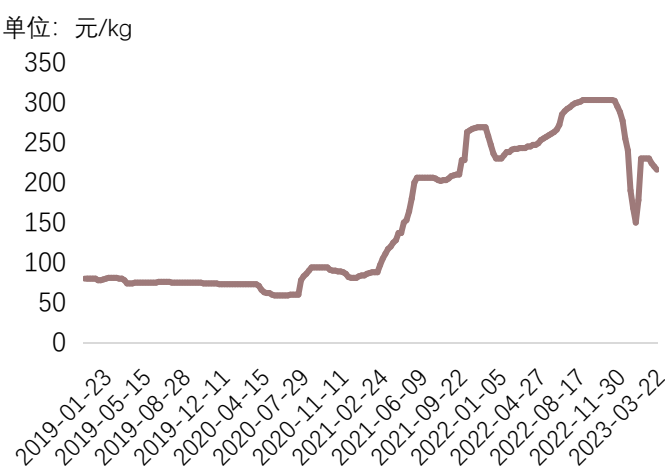
光伏硅片生产原材料：硅料



中国多晶硅产量、产能，2010-2022E



多晶硅致密料价格，2019-2022年



- 中国多晶硅产能与产量自2010至2022年间基本保持稳定上升态势，中国多晶硅产能占全球比例自2010年29.8%提升至2021年77.3%；产量占全球比例自2010年25.6%提升至2021年77.7%，2022年产能及产量分别达到120.3万吨与82.1万吨，预计至2023年底硅料产能将超过200万吨，硅料产能将不再是光伏产业链的制约因素
- 2021年来，受光伏产业发展高景气、下游组件需求旺盛而多晶硅环节扩产周期较长所影响，多晶硅环节出现了严重的供需错配现象。多晶硅致密料价格出现快速飙升现象，至最高点价格超过300元/kg，随着硅料企业纷纷扩产及新晋硅料企业的加入，预计多晶硅价格将步入下降趋势

来源：CPIA，美科股份招股书，SolarZoom，头豹研究院

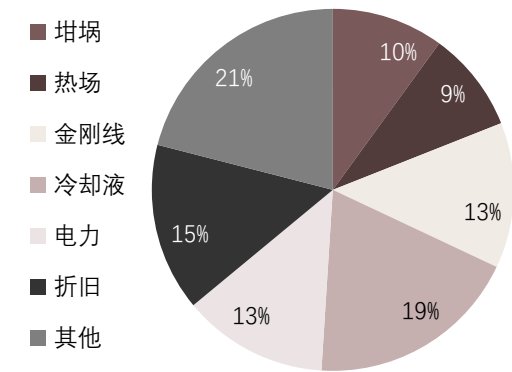
# 中国光伏硅片产业链上游——生产设备：切割设备及耗材

金刚线与金刚线切片机主要应用于光伏硅片生产中的切片环节，起到硅棒截断、硅锭开方、以及硅片切割的作用

## 光伏硅片生产切割设备及耗材

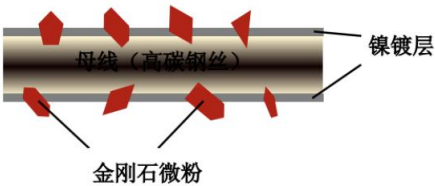
- 金刚线与金刚线切片机主要应用于光伏硅片生产中的切片环节，起到硅棒截断、硅锭开方、以及硅片切割的作用，当前主要切割耗材为电镀金刚线，指用电镀的方式在钢线基体上沉积一层包裹有金刚石颗粒的金属镍，使金刚石颗粒固结在钢线基体上，从而制成的一种线性超硬材料切割工具。作用原理为将金刚线压在硅材料表面，钢线基体上的金刚石颗粒在钢线带动下快速移动，将硅棒切割成硅片。
- 从全球格局来看，由于全球硅片产业主要聚集在中国，故金刚线销售逾95%亦是处于中国境内，部分企业在采购后发往海外分支机构，极少用于直接出口

### 光伏硅片的非硅成本构成

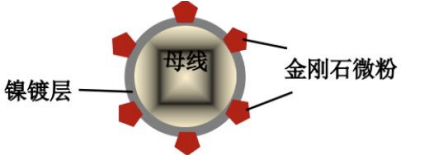


- 光伏切片机主要应用于切片环节将硅棒进行切割形成硅片，超薄硅片的切片需要高精密切割设备与高质量金刚线辅以优异的切割工艺，硅片切割过程中，金刚线切片机超过 300 个部件需高精密切割配合工作，才能保证切片机高速、高精度、高稳定性地工作
- 当前中国切片机市场已基本实现国产化，海外厂商基本退出，硅片切割设备主要企业有高测股份、宇晶股份、连城数控以及晶盛机电；金刚线主要企业有美畅股份、高测股份、恒星科技、东尼电子等

金刚线纵向截面示意图



金刚线横向截面示意图



- 光伏硅片的非硅成本主要包含坩埚、热场、金刚线、冷却液、电力、折旧以及其他成本。在182mm硅片中，金刚线成本约为0.11元/片，在硅片总成本中占比约为2%，非硅成本中占比约为13%，占比相对较低，金刚线价格波动对于硅片成本影响相对较小。
- 金刚线细线化可以有效降低切割过程中硅的损耗，提升单位硅料出片量，是产业链降本的重要方法之一：2011只2012年，金刚线母线线径约为120μm，至2022年，金刚线母线线径约为38μm，业内钨丝金刚线线径已降至20μm以下。根据高测股份，碳钢丝金刚线未来依然存在继续细化的空间，短期内钨丝金刚线难以取得

高测股份切片机



宇晶股份多线切片机



连城数控切片机



晶盛机电切片机



来源：CPIA，美科股份招股书，SolarZoom，美畅股份，高测股份定增说明书，头豹研究院

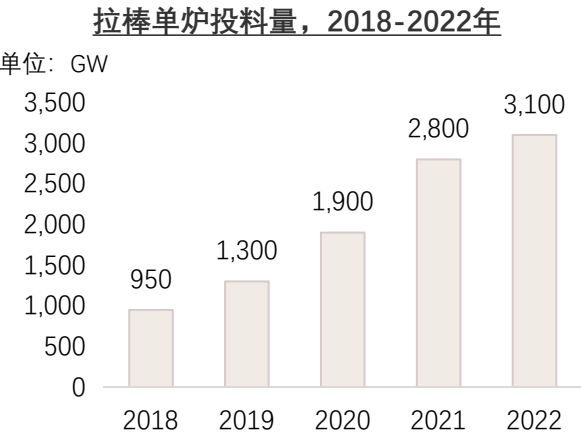
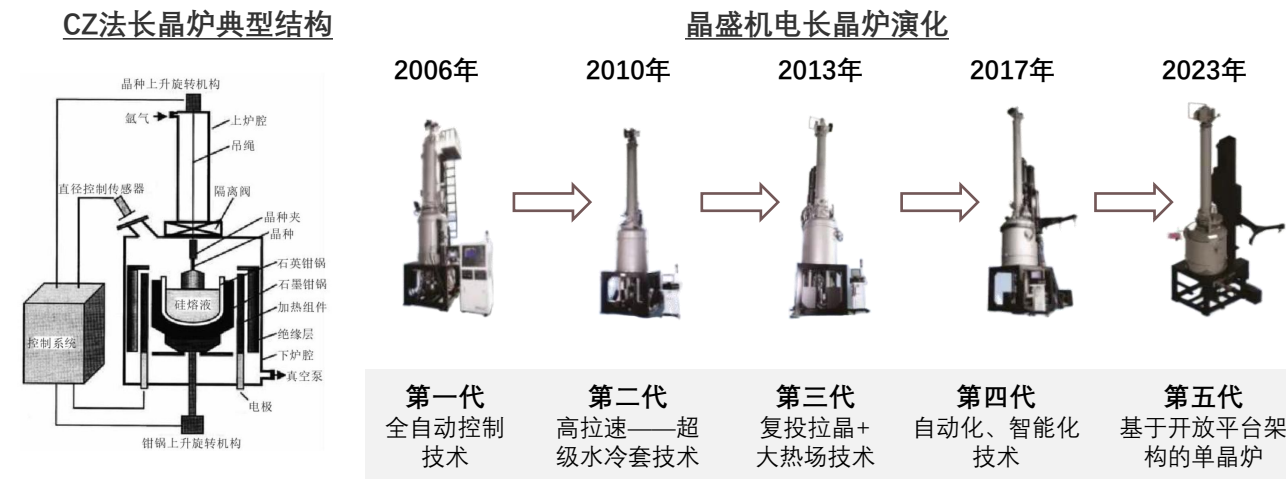
中国光伏硅片产业链上游——生产设备：长晶炉

光伏硅片拉棒技术根据晶体生长方式的不同主要可以分为悬浮区融法（FZ）法与直拉法（CZ法），当前量产光伏单晶硅棒均是通过直拉法进行生产，主要工艺为多次投料复拉法（RCZ）

光伏硅片生产设备——长晶炉

- 光伏硅片拉棒技术根据晶体生长方式的不同主要可以分为悬浮区融法（FZ）法与直拉法（CZ法）：
  - 直拉法：将高纯度多晶体硅放置在石英坩埚中进行加热熔化，再将单晶籽晶插入熔体表面，待籽晶与熔体熔合后，缓缓向上提拉籽晶，晶体便会在籽晶下端生长，随着籽晶的提拉再经过种晶、缩颈、放肩，等径，转肩，收尾，冷却等工序后，晶体逐渐生长形成硅棒
  - 悬浮区熔法：将硅棒局部利用线圈进行熔化，在熔区处设置磁托，因而熔区可以始终处在悬浮状态，将熔硅利用旋转籽晶进行拉制，在熔区下方制备单晶硅。
- 当前量产光伏单晶硅棒均是通过直拉法进行生产，主要工艺为多次投料复拉法（RCZ），设备为长晶炉：

直拉法生长单晶难度相对较小、成本更低、更加适合单晶硅棒的生产。经过CZ法的技术发展，目前生产工艺以多次投料复拉法(RCZ)为主，RCZ 法节省了晶棒冷却时间和进排气的时间，而且石英坩可以重复利用，成本下降潜力巨大，目前正在向更大装料量、更多晶棒数量、更高晶体拉速的方向发展。



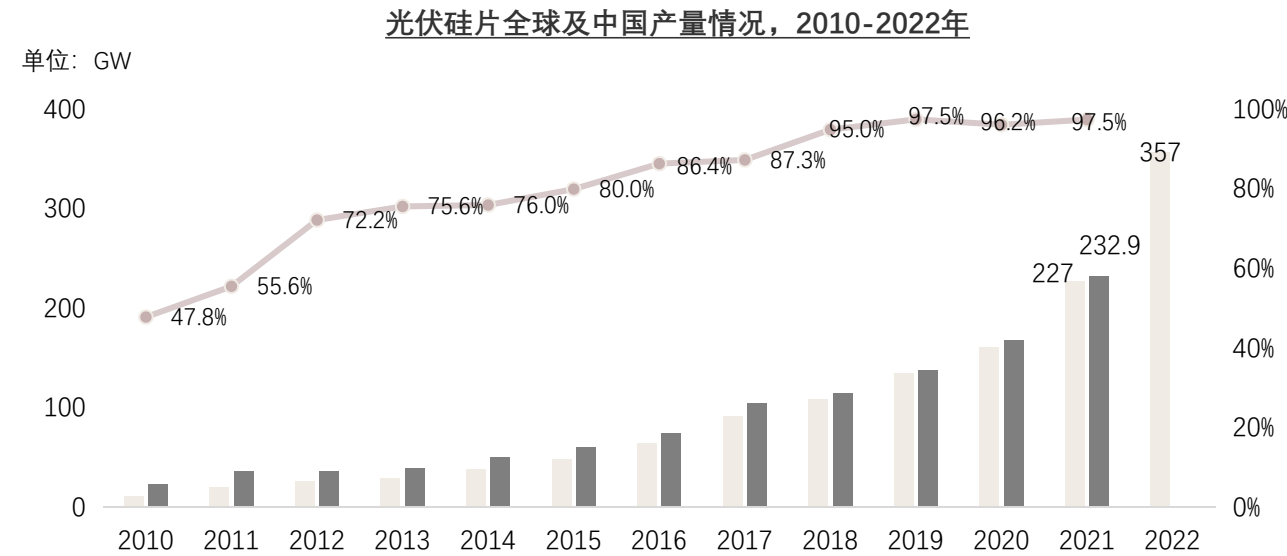
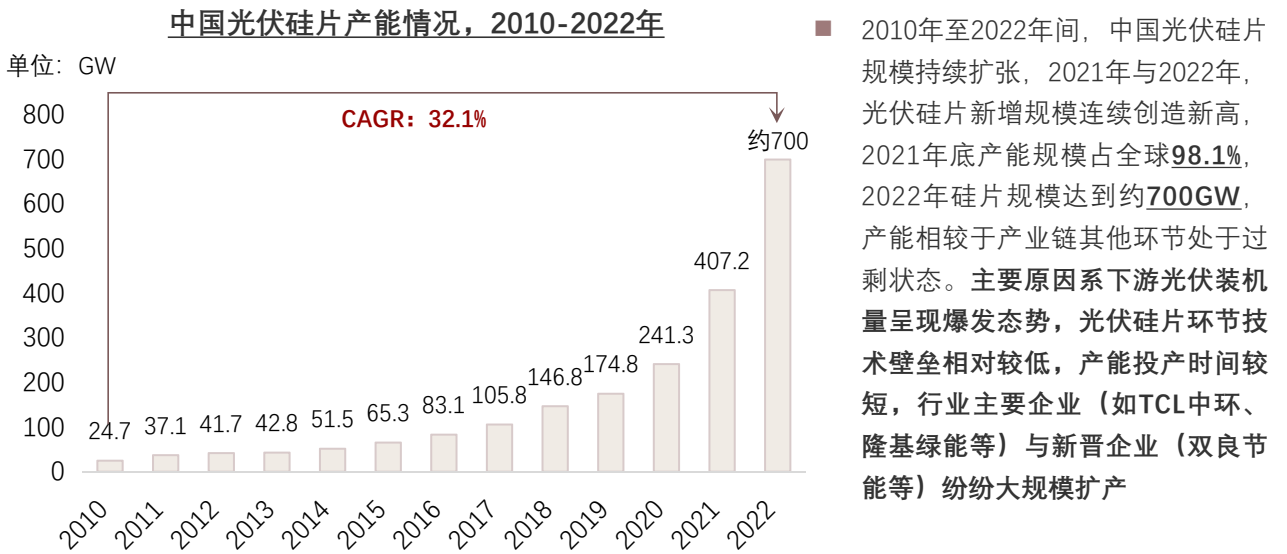
来源：CPIA，粉体网，晶盛机电，晶盛机电定增说明书，头豹研究院

- 拉棒单炉投料量为一只坩埚用于多次拉棒生产的总投料量，坩埚的使用时间为关键因素之一。2022年，拉棒单炉投料量为3,100kg，相较于2018年增长逾200%，主要受益于热场尺寸的增大、拉棒数量的增加，未来随着坩埚工艺及拉棒技术的提升，依然有着较大的增长空间
- 中国长晶炉主要企业有晶盛机电、连城数控、北方华创、京运通等。其中，晶盛机电全市场份额约50%-60%，连城数控是隆基绿能的关联企业，主要供应隆基绿能长晶炉；京运通的长晶炉则主要用于自身硅片生产

## 中国光伏硅片产业链中游——硅片产能及产量情况

2010年至2022年，中国硅片产量迅速增长，2022年中国硅片产量达357GW，截至2021年底，中国硅片产量占全球总产量97.5%，连续7年保持在80%以上，是全球最重要的硅片生产国

### 光伏硅片产能及产量情况



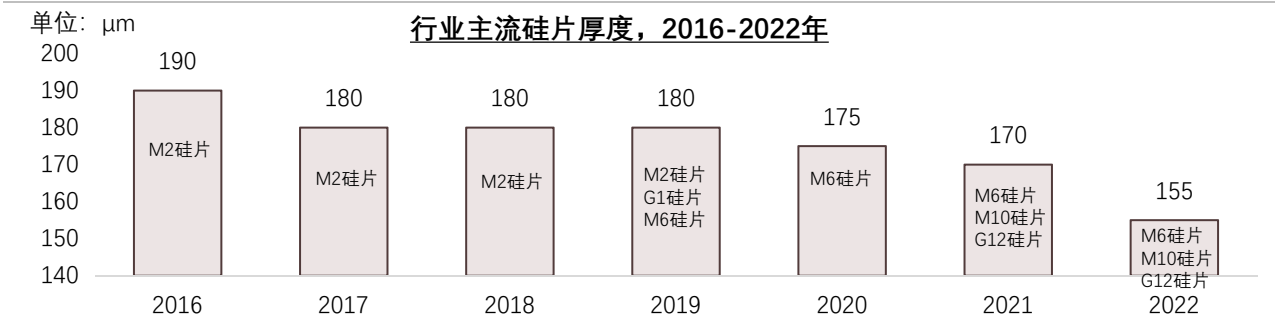
2010年至2022年，中国硅片产量迅速增长，2022年中国硅片产量达357GW，截至2021年底，中国硅片产量占全球总产量97.5%，连续7年保持在80%以上，是全球最重要的硅片生产国。主要原因系，中国具有较为全面的光伏产业链，且中国在单晶连续拉棒以及金刚线切割方面不断创新，叠加相对较低的电价区位优势，通过生产成本优势、市场优势以及逐步建立的技术优势巩固了在硅片环节的领先地位。

来源：CPIA，美科股份招股书，头豹研究院

## 中国光伏硅片产业链中游——硅片厚度及尺寸情况

薄片化是光伏电池技术的重要降本途径，将有效摊薄N型技术成本，薄片化可能带来破片率的提升，技艺优化及可靠性验证将成产业链共同努力方向

光伏硅片厚度及尺寸情况



■ 薄片化是光伏电池技术的重要降本途径，将有效摊薄N型技术成本：

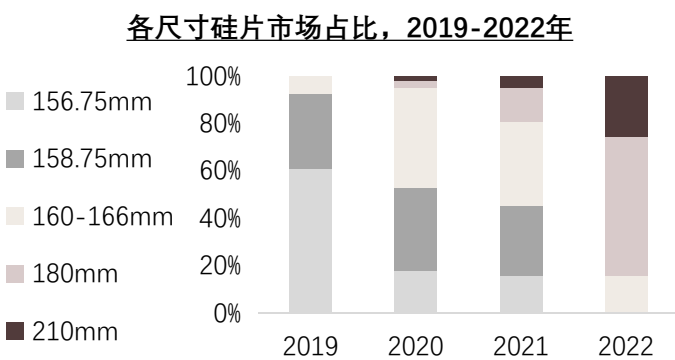
2016年以来中国硅片行业主流硅片厚度呈现持续下降趋势，在2020年至2022年之间呈现快速下降趋势，自2016年190 $\mu\text{m}$ 下降至2022年155 $\mu\text{m}$ ，主要原因为近年来光伏行业整体需求旺盛，中国光伏装机屡创新高，叠加上游多晶硅料供给阶段性不足，导致硅料价格飙升。硅片的“薄片化”有助于减少单片耗硅量，据悉，硅片每减薄10 $\mu\text{m}$ ，可使得硅片成本降低约5%，且N型电池技术对于硅片厚度敏感性相对较低，N型电池技术有望在约2025年市占率超过50%，而硅片薄片化有望成为N型电池降本的重要途径之一，是硅片行业企业未来重要发展方向

■ 薄片化可能带来破片率的提升，技艺优化及可靠性验证将成产业链共同努力方向：

薄片化能够有效降低多晶硅用量及硅片成本，但是亦会提升硅片的碎片率，目前业内切片工艺能够满足薄片化需求，但是硅片的厚度亦需要与下游电池片、组件制造端的需求相匹配，例如薄片化可能会对电池光吸收造成轻微影响、降低组件机械强度而引起破片及隐裂等，故需要产业链上下游共同对技术进行优化及验证

■ N型硅片未来有望持续变薄，头部企业已推出110 $\mu\text{m}$ 厚度硅片：

根据中国光伏行业协会，2022年中国P型单晶硅片平均厚度约为155 $\mu\text{m}$ ，同比下降8.8%，预期值2024年将下降至约140 $\mu\text{m}$ ；N型TOPCon与HJT所用硅片2022年约为140 $\mu\text{m}$ 及130 $\mu\text{m}$ ，预期未来将持续保持薄片化趋势，至2030年将分别下降至约100 $\mu\text{m}$ 、90 $\mu\text{m}$ 。当前，硅片行业内技术水平较为领先的隆基绿能与TCL中环皆已推出厚度为110 $\mu\text{m}$ 的N型硅片



来源：CPIA，中环股份，PV InfoLink，头豹研究院

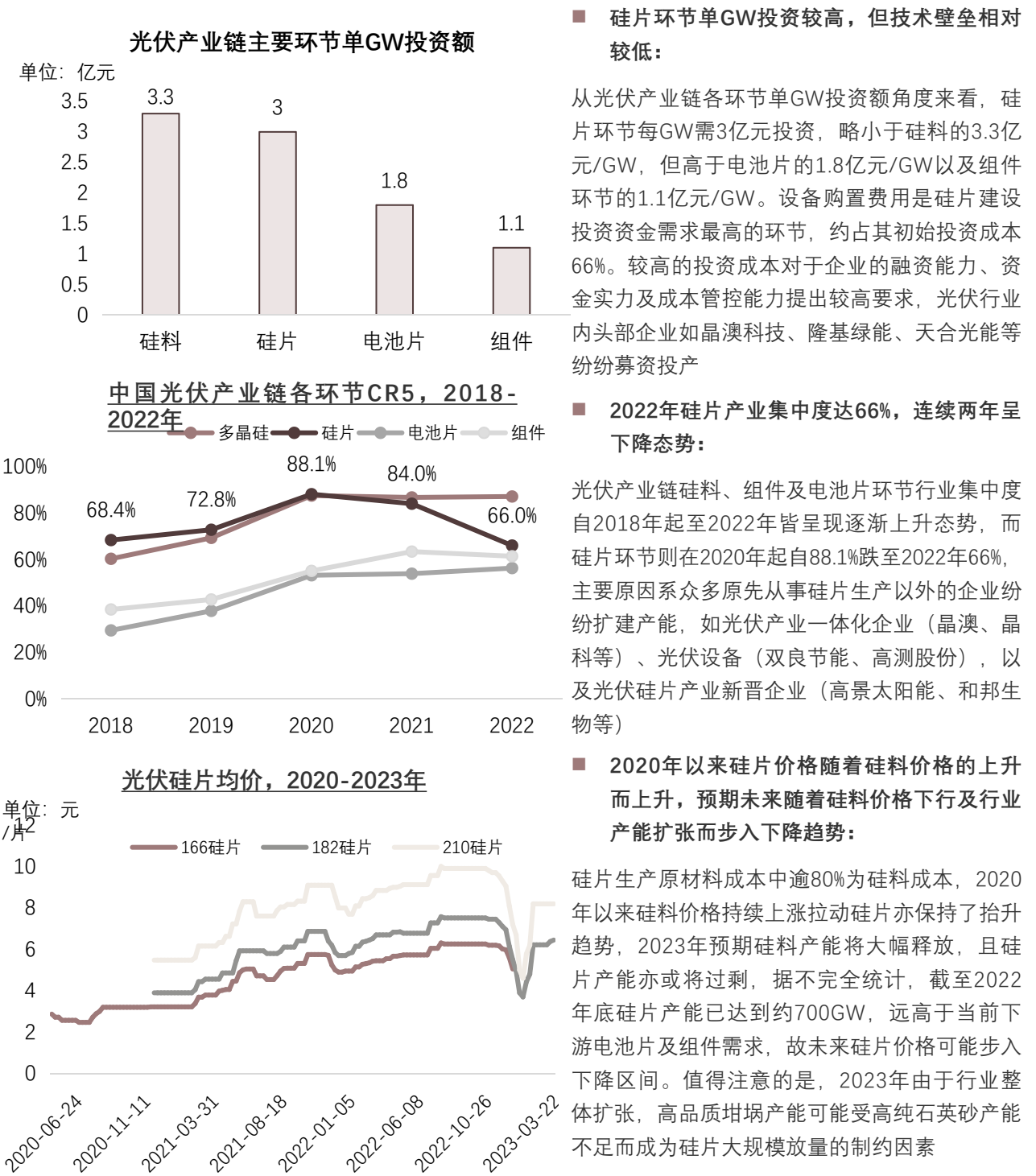
■ 大尺寸硅片市场占比将持续扩大：

2019年156.75mm尺寸硅片市场占比约61%，至2022年仅为0.5%，预计2024年将完全退出市场，180mm与210mm尺寸硅片2022年合计市占率达82.8%，预期未来占比将持续扩大。硅片尺寸大型化能够有效摊薄组件生产费用，降低单瓦成本，此外，亦将摊薄非组件成本如人工、线缆费用。上游设备对大尺寸硅片的兼容及下游接受度的提高将有助于大尺寸硅片市占率的持续提升

## 中国光伏硅片产业链中游——硅片产业情况

硅片环节单GW投资较高，但技术壁垒相对较低，2022年硅片产业集中度达66%，连续两年呈下降态势

### 硅片产业情况

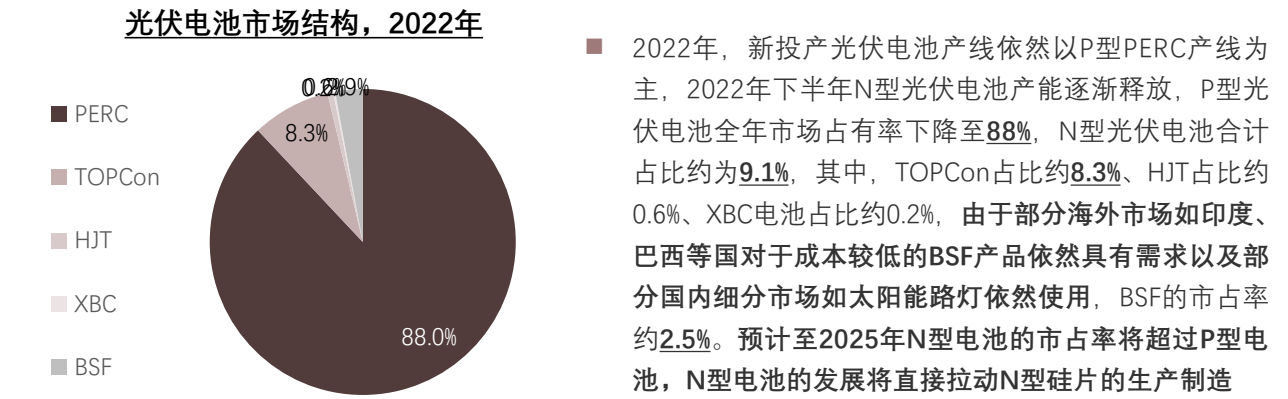
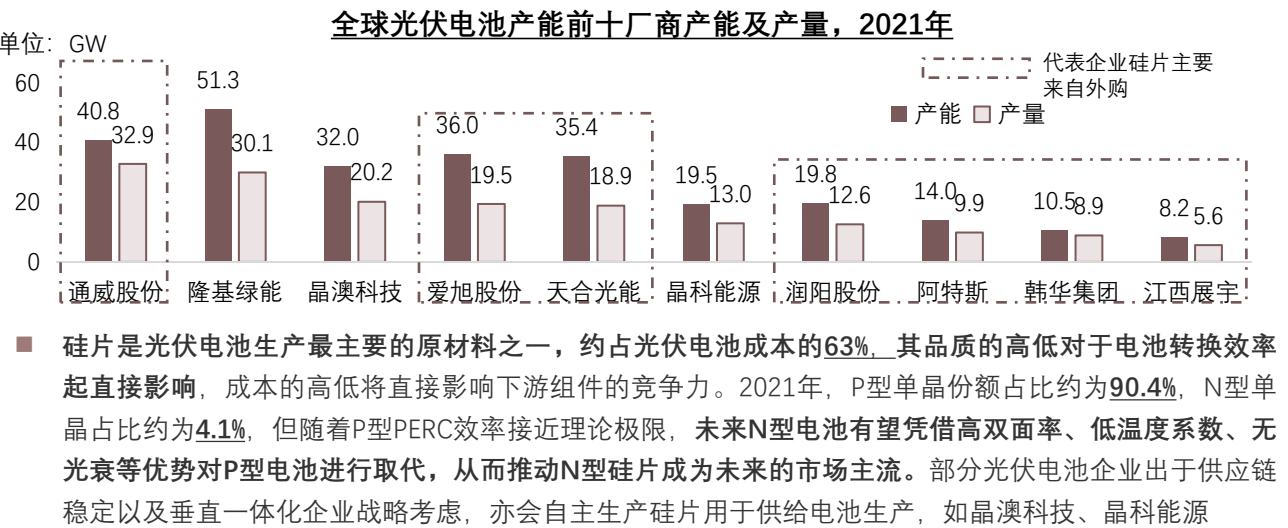
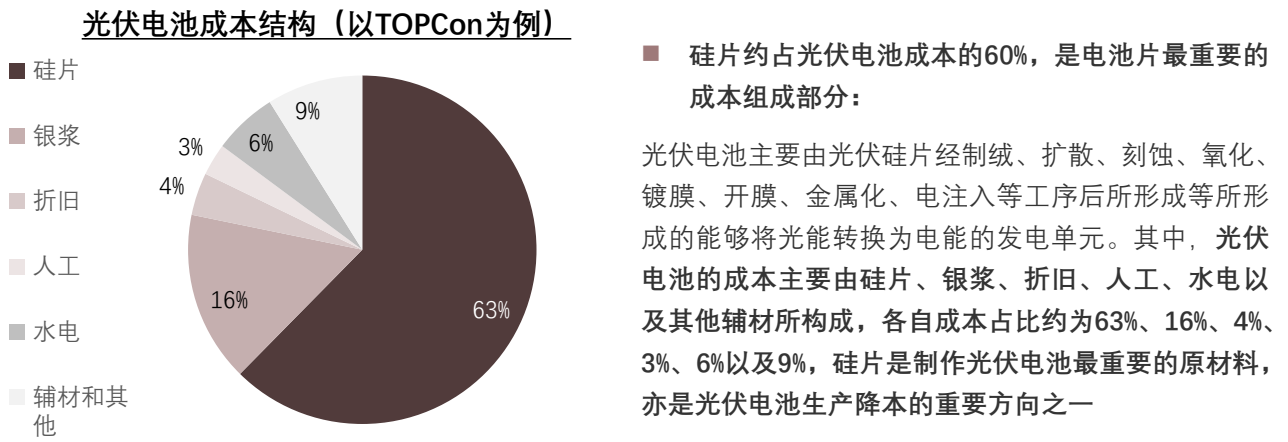


来源：CPIA，美科股份招股书，头豹研究院

中国光伏硅片产业链下游——光伏电池

光伏电池的成本主要由硅片、银浆、折旧、人工、水电以及其他辅材所构成，各自成本占比约为63%、16%、4%、3%、6%以及9%，硅片是制作光伏电池最重要的原材料

光伏电池行业概况



来源：CPIA，美科股份招股书，润阳股份招股书，头豹研究院

# ■ 方法论

- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 头豹研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业发展周期，伴随着行业内企业的创立，发展，扩张，到企业上市及上市后的成熟期，头豹各行业研究员积极探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业视野解读行业的沿革。
- ◆ 头豹研究院融合传统与新型的研究方法论，采用自主研发算法，结合行业交叉大数据，通过多元化调研方法，挖掘定量数据背后根因，剖析定性内容背后的逻辑，客观真实地阐述行业现状，前瞻性地预测行业未来发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 头豹研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 头豹研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，以战略发展的视角分析行业，从执行落地的层面阐述观点，为每一位读者提供有深度有价值的研究报告。

# 法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何证券或基金投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告或证券研究报告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告或文章。头豹均不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

## 头豹研究院简介

- ◆ 头豹是中国领先的原创行企研究内容平台和新型企业服务提供商。围绕“协助企业加速资本价值的挖掘、提升、传播”这一核心目标，头豹打造了一系列产品及解决方案，包括：**报告/数据库服务、行企研报定制服务、微估值及微尽调自动化产品、财务顾问服务、PR及IR服务**，以及其他以企业为基础，利用大数据、区块链和人工智能等技术，围绕产业焦点、热点问题，基于丰富案例和海量数据，通过开放合作的增长咨询服务等
- ◆ 头豹致力于以优质商业资源共享研究平台，汇集各界智慧，推动产业健康、有序、可持续发展



备注：数据截止2022.6

### 四大核心服务

#### 企业服务

为企业提供**定制化报告服务、管理咨询、战略调整**等服务

#### 行业排名、展会宣传

行业峰会策划、**奖项评选**、行业白皮书等服务

#### 云研究院服务

提供行业分析师**外派驻场服务**，平台数据库、报告库及内部研究团队提供技术支持服务

#### 园区规划、产业规划

地方**产业规划**，园区企业孵化服务

## 报告阅读渠道

头豹官网 —— [www.leadleo.com](http://www.leadleo.com) 阅读更多报告

头豹APP/小程序 —— 搜索“头豹”手机可便捷阅读研报

头豹交流群 —— 可添加企业微信13080197867，身份认证后邀您进群

详情咨询



客服电话

400-072-5588



上海

王先生： 13611634866

李女士： 13061967127



深圳

李先生： 13080197867

李女士： 18049912451



南京

杨先生： 13120628075

唐先生： 18014813521