



徽商期货  
HUI SHANG FUTURES

徽商期货

如期而获



# 多晶硅：光伏驱动的“天之骄子”

成文日期：2022 年 12 月 15 日

徽商期货有限责任公司  
投资咨询业务资格：  
皖证监函字【2013】280 号

徽商期货研究所  
工业品部金属团队

陈晓波 工业品分析师  
从业资格号：F3039124  
投资咨询号：Z0014944

## 摘要

1. 多晶硅被喻为光伏产业的“基石”，是硅产业链中极为重要的中间产品，也是集成电路和光伏产业最源头的环节，是发展电子信息产业和光伏产业的根基。

2. 多晶硅属于工业硅的下游，也是未来广期所将上市的期货品种之一。目前多晶硅在我国工业硅消费中的比重约为 27%。本文旨在从多晶硅的视角完整了解工业硅-多晶硅-光伏及半导体产业链，为近期工业硅上市的行情研判及未来多晶硅上市打下坚实的基础。

风险提示：宏观经济走势、疫情变动

## 一、行业发展背景

习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话中提出“中国将提高国家自主贡献力度二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的能源转型新目标。“双碳”战略倡导绿色、环保、低碳的生活方式。加快降低碳排放步伐，有利于引导绿色技术创新，提高产业和经济的全球竞争力。从双碳政策实施的路径看，主要有两大块的内容，一是进行碳排放权交易，二是构建以新能源为主体的新型电力系统。而通过持续推进产业结构和能源结构调整，大力发展可再生能源，在沙漠、戈壁、荒漠地区加快规划建设大型风电光伏基地项目，可以兼顾经济发展和绿色转型同步进行。

2022 年，国家发改委、工信部、财政部、住建部、国家能源局等相关部委共出台 50 余条政策支持光伏产业发展，其中涉及指导规划、创新发展、监管消纳、金融补贴、电力市场、分布式光伏，地面电站建设等方面，为光伏产业健康有序发展打下了良好的政策基础。

图 1：碳达峰示意图

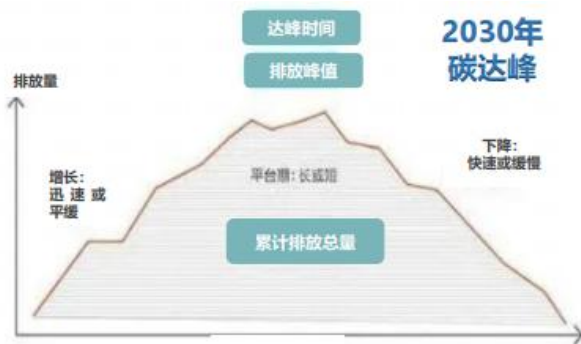
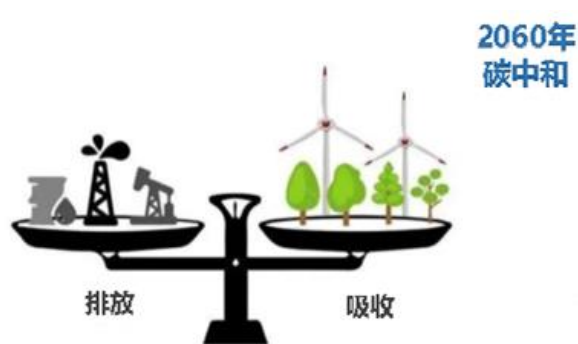


图 2：碳中和示意图

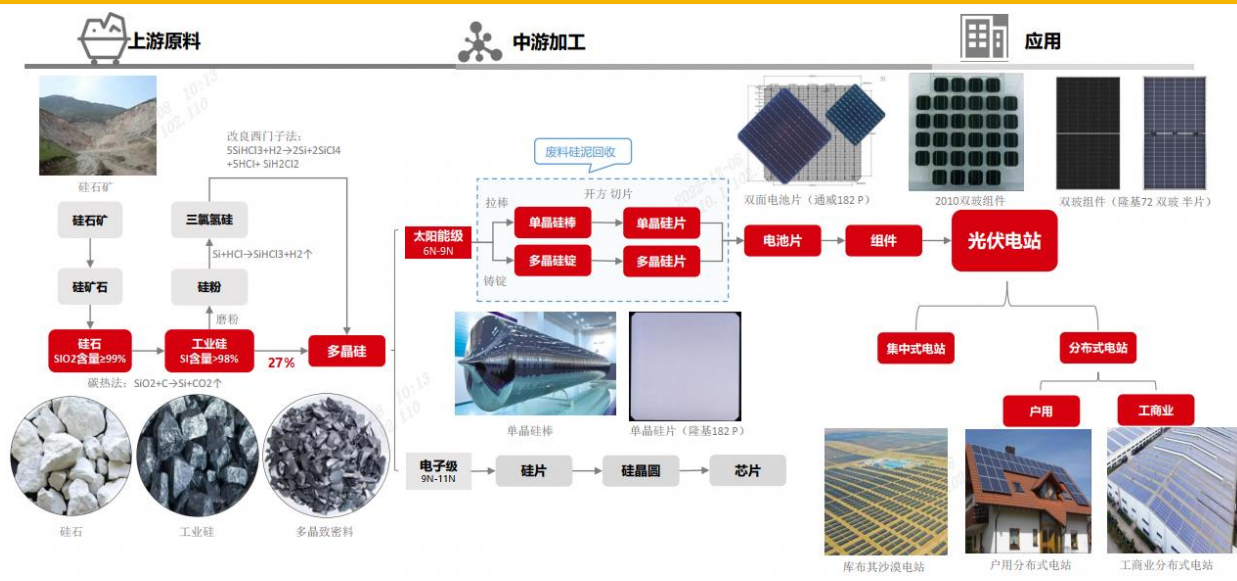


数据来源：徽商期货研究所

目前，全球光伏发电量占比较低，发展空间广阔。为确保到 2050 年 1.5°C 的气候目标，电力部门必须在本世纪中叶彻底脱碳。2018 年全球光伏发电量为 537TWh，约占全球总发电量的 2%，按照 IRENA 预测，到 2030 年光伏发电量将达 855TWh，约占 19%；2050 年光伏发电量将达 2564TWh，约占 29%。其中，2050 年光伏将成我国第一大电源，光伏发电总装机规模达到 5000GW（相当于 2020 年底的 19.8 倍）。

## 二、多晶硅的产业链视角

图 3：从多晶硅视角看硅产业链



数据来源：SMM、徽商期货研究所

多晶硅被喻为光伏产业的“基石”，是硅产业链中极为重要的中间产品，也是集成电路和光伏产业最源头的环节，是发展电子信息产业和光伏产业的根基。相比多晶硅，单晶硅由晶体取向相同的晶粒组成，因此具有更为优越的导电性与转换效率。多晶硅锭和单晶硅棒均可进一步切割加工为硅片、电池，进而成为光伏组件的关键部分，应用于光伏领域。除此之外，单晶硅片还可通过反复的打磨、抛光、外延、清洗等工艺形成硅晶圆片，作为半导体电子器件的衬底材料。

因此，从产业链的角度看，多晶硅属于工业硅的下游，目前多晶硅在我国工业硅消费中的比重约为 27%。同时多晶硅位于整条光伏及半导体产业链的上游。光伏产业链大体为多晶硅-硅片-电池片-组件-光伏装机，主要使用太阳能级多晶硅；半导体产业链大体为多晶硅-单晶硅片-硅晶圆片-芯片主要使用电子级多晶硅。

## (一) 多晶硅的生产工艺

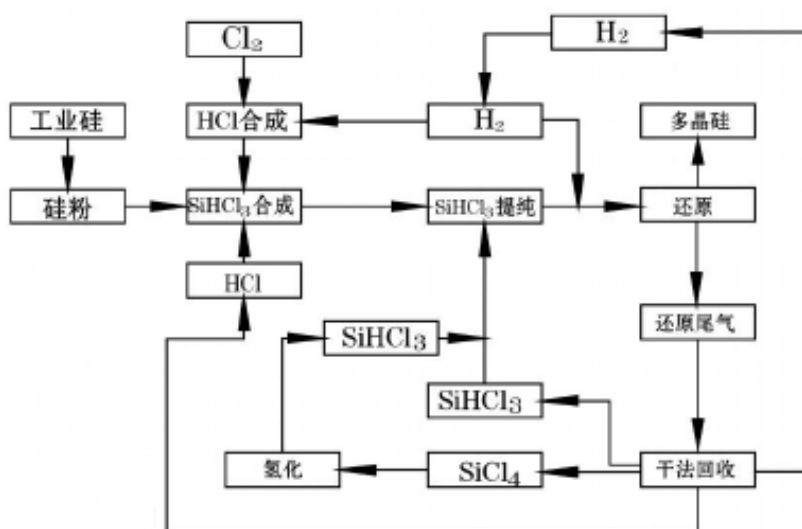
多晶硅是单质硅的一种形态，熔融的单质硅在过冷条件下凝固时，硅原子以金刚石晶格形态排列成许多晶核，若这些晶核长成晶面取向不同的晶粒，这些晶粒结合起来，就结晶成多晶硅。

目前成熟的多晶硅生产工艺有改良西门子法、硅烷法、冶金法、流化床法、硅石碳热还



原法、电解法、气液沉积法等。其中，改良西门子法是目前生产多晶硅最为成熟、最容易扩建的工艺；目前，全球 80% 以上的多晶硅企业采用改良西门子法（闭环式三氯氢硅还原法）生产多晶硅。该方法将工业硅制成硅粉，与氯化氢合成产生便于提纯的三氯氢硅气体，然后将三氯氢硅气体精馏提纯，最后通过还原反应和化学气相沉积将高纯度的三氯氢硅气体转化为高纯度的多晶硅，还原后产生的尾气进行干法回收，实现了氢气和氯硅烷闭路循环利用。该法生产电子级多晶硅具有一定的优势，其沉积速率较快，安全性能较好，但是相比硅烷法（ $\text{SiH}_4$  分解法）具有能耗高、副产品量较高、投资成本大等缺点。

图 4：改良西门子法工艺流程图



数据来源：徽商期货研究所

此外，上述其他冶炼方法也各有优势。其中：冶金法在提纯过程中硅不参与任何化学反应，依靠硅与杂质物理性质的差异，通过冶金熔炼的方法将杂质去除，是近年来正在发展的一种低成本、低能耗和环境友好的多晶硅制备的新技术。流化床法在制备多晶硅过程中，可通过反应气体的进口速率调节系统流态化和气体停留时间，从而提高转化率。硅石碳热还原法能够制得杂质极少的液态硅，进而制成纯度极高的多晶硅。电解法采用电解硅酸盐的方式得到纯度较高的硅，在很大程度上避免了 B、P 等元素杂质的污染。气液沉积法既减少了硅棒破碎的过程，又有效地解决了反应器壁沉积的问题，促使硅的生成效率大幅度提高。预计未来 5 至 10 年内改良西门子法和硅烷法仍将是多晶硅生产工艺的两种主流工艺，且改良西门子法仍将占主导地位。

## (二) 多晶硅的分类

### 1、按纯度划分

从产业链图上可知，多晶硅按纯度分为太阳能级和电子级。其中，太阳能级硅 (SG): 纯度介于冶金级硅与电子级硅之间。一般认为含硅量在 99.9999%-99.9999999%，即纯度为 6~9N；而电子级硅 (EG) 一般要求含 Si > 99.9999999 % 以上，超高纯达到 99.9999999%-99.999999999%，即纯度最低为 9N，最高可达 11N 以上。目前太阳能级多晶硅产量远超电子级多晶硅，预计随着光伏装机量的迅猛提升，太阳能级多晶硅的需求增速仍将高于电子级多晶硅。

图 5：多晶硅月度产量

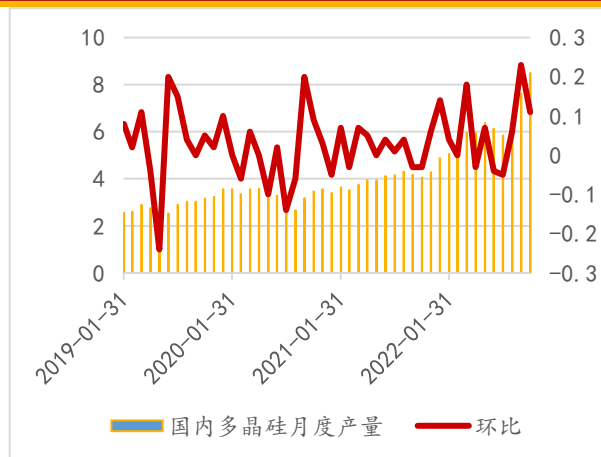
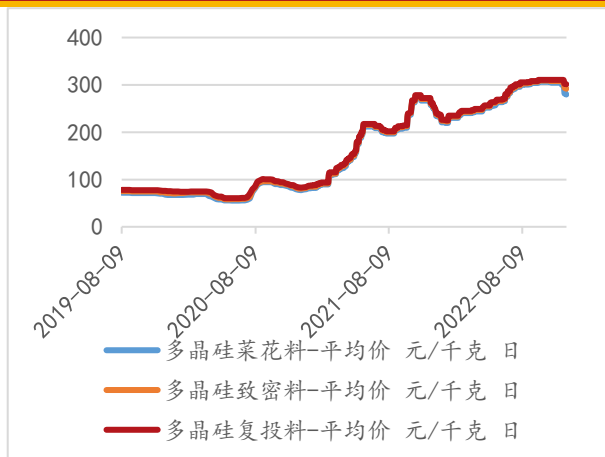


图 6：多晶硅价格走势



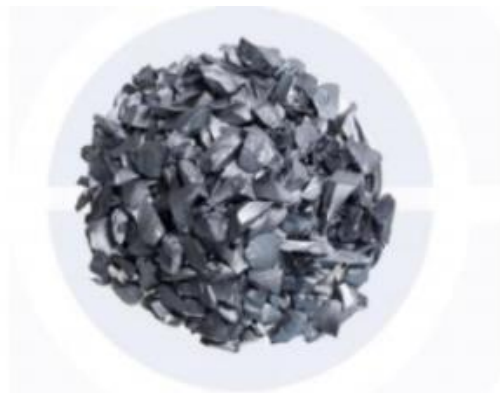
数据来源：SMM、徽商期货研究所

### 2、按表面质量划分

多晶硅根据表面质量的不同，可分为致密料、菜花料、珊瑚料和复投料。其中，致密料表面颗粒凹陷程度小于 5mm，外观无颜色异常，无氧化夹层，价格最高，主要用于拉制单晶硅片；菜花料表面颗粒凹陷深度约为 5-20mm，断面适中，质量中档，主要用于制作多晶硅片，亦可作为掺杂辅料用于单晶炉第一层铺底，与致密料共同参与制备单晶硅，但如果菜花料品质较差，还需要单独进行拉晶处理；珊瑚料表面颗粒凹陷深度大于 20mm，断面适中，质量不良，价格也较低；复投料是指拉晶过程中所产生的边皮料，由于品质较好，可进行二次循环参与制备单晶硅。

图 7、8：多晶硅致密料、菜花料

图 9、10：多晶硅珊瑚料、复投料



数据来源：公开资料、徽商期货研究所

### 3、按形状划分

多晶硅可被划分为棒状硅和颗粒硅。其中，棒状硅即为采用改良西门子法生产的硅料，而颗粒硅则是采用硅烷流化床工艺生产的类似于豆状的硅料，其特点是无需破碎机可直接使用，因此避免了硅料的损耗；生产成本具备优势，但也存在易产生杂质等缺点。根据《中国光伏产业发展路线图(2021 年版)》的统计，2021 年全球颗粒硅市占率仅为 4.1%，而棒状硅则为 95.9%。

### （三）多晶硅的下游应用

多晶硅下游为太阳能级或电子级硅片的生产制造，硅片制造的流程是通过铸锭技术或拉棒技术将多晶硅料加工为多晶硅铸锭或硅棒，再通过切片加工为硅片。硅片对应的终端领域应用主要有光伏、半导体两大领域。

#### 1、光伏产业

光伏市场发展屡超预期，产业拥有极高的景气度，新增装机量不断走高。2021 年全球新增光伏装机量 132.81GW，同比增长 5.74%，全球光伏累计装机量约 926GW。2021 年我

国新增光伏装机量 54.88GW，位于世界首位且远超其余各国。

全球各国光伏装机目标不断提升。例如，美国计划到 2030 年每年增加 70GW；英国更新了《英国能源安全战略》，提出预计太阳能发电的部署到 2035 年将增加五倍，未来 14 年将增加 70-75GW；法国规划到 2050 年，太阳能装机容量将增加至 100GW 以上。

我国光伏产业在全球光伏市场中的地位可以说是独占鳌头，拥有产业规模全球第一、生产制造全球第一、技术水平全球第一、企业实力全球第一等 4 个“全球第一”。其中，产业规模方面，新增装机连续 8 年全球第一，累计装机连续 6 年全球第一，光伏发电量全球第一；生产制造方面，制造端全球产量占比遥遥领先，硅料、硅片、电池、组件四环节产量分别占全球的 78.8%、97.3%、88.4%、82.3%；技术水平方面，无论是晶硅还是薄膜，无论是产业化还是理论阶段均为全球领先水平；企业实力方面，各环节均有 7 家以上企业位居全球前十(硅料 7 家、硅片 10 家、电池 9 家、组件 8 家)。

图 11：中国光伏装机累计及新增容量（万千瓦）

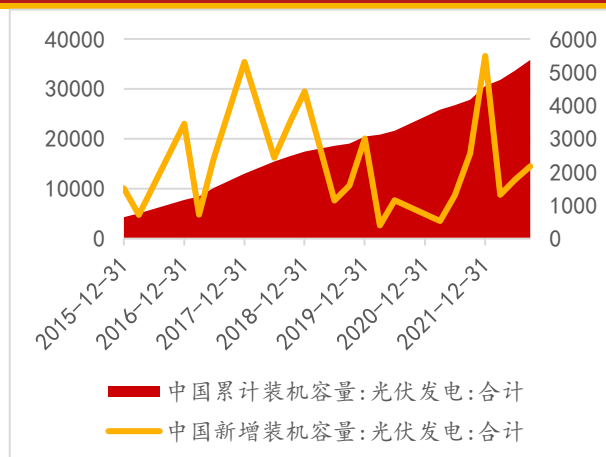
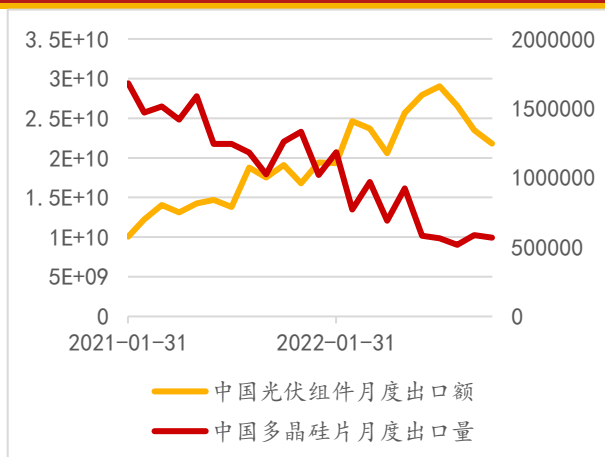


图 12：光伏组件及硅片出口情况



数据来源：SMM、徽商期货研究所

2022 年上半年光伏发电装机 30.88GW，同比增长 137.4%；光伏产品(硅片、电池片、组件)出口总额约 259 亿美元，同比增长 113%。正因为我国光伏产业的绝对优势，全球光伏制造业正不断向我国转移。根据中国光伏行业协会预测，预计 2022 年全球光伏新增装机量为 205-250GW，预计到 2030 年全球新增光伏装机量将达到 315-366GW。此外，由于成本不断降低加上长期购电协议带来的稳定收益，平价项目申报已超预期，未来国内光伏装机规模有望持续增加。预计 2022 年国内新增光伏装机量将达到 85-100GW，2030 年国内新增光伏装机量将达到 105-128GW。



## 2、半导体产业

半导体产业所需求的电子级多晶硅可分为电子级区熔用多晶硅和电子级直拉用多晶硅，其中电子级直拉用多晶硅市场占比更高，达到 90%以上。这主要是因为采用区熔法(FZ)生产的单晶硅晶体中氧和碳含量低、载流子浓度低、电阻率高，主要用于制造 IGBT、高压整流器、晶闸管、高压晶体管等高压大功率半导体器件。而直拉法(CZ)生产的单晶硅片广泛应用于集成电路存储器、微处理器、手机芯片和低电压晶体管、电子器件等电子产品。

电子级多晶硅的生产主要集中在美国、德国和日本等少数几个国家的多晶硅企业，我国的进口依赖度较高。不过，随着政策扶持力度加大、企业创新水平提升，国内半导体领域的多晶硅供应正在逐步努力向国产化迈进。

从半导体产业终端情况来看，近几年来受疫情、芯片短缺、产业链环节供给短缺等因素影响，海外部分车企开始停产或部分停产，与此同时美国加大对中国芯片产业的供应限制，导致全球芯片供应链严重失衡。需求方面，在 5G、AI、大数据、新能源汽车等巨大需求推动下，芯片消耗的单晶硅片数量大幅增长。根据 CPIA 统计，2021 年全球电子级多晶硅市场需求达到 3.72 万吨，预计 2022-2026 年复合增长率达到 6.4%。

## 三、总结与展望

多晶硅是硅产业链中极为重要的中间产品，也是集成电路和光伏产业最源头的环节，是发展电子信息产业和光伏产业的根基。而目前我国通过前瞻性的战略布局，已经在硅产业中占有举足轻重的地位，尤其是供应端，未来对多晶硅的定价拥有更多的话语权。

从硅产业发展的角度来看，2010 至 2021 年多晶硅对工业硅的需求年复合增长率达到 17.99%，SMM 预计 2022、2023 年国内多晶硅产能将达到 118.5 万吨、238.5 万吨。多晶硅对工业硅需求拉动效应显著，且将逐渐成为工业硅下游最大最重要的需求驱动板块。

12 月 2 日，证监会公告同意广州期货交易所开展工业硅期货和期权交易，且未来广期所仍将持续推进多晶硅期货的上市工作，未来有望通过完善工业硅——多晶硅产业链上下游期货产品，更好地为硅产业链企业提供成熟可靠的风险管理工具，且可实现跨品种套利及多种期现结合策略，从而有利于期货市场流动性的推高，并最终服务于双碳政策及绿色产业持续健康发展。

## 【免责声明】

本报告所载信息我们认为是由可靠来源取得或编制，徽商期货并不保证报告所载信息或数据的准确性、有效性或完整性。本报告观点不应视为对任何期货、期权商品交易的直接依据。未经徽商期货授权，任何人不得以任何形式将本报告内容全部或部分发布、复制。

## 【团队介绍】

徽商期货研究所成立于 2009 年，历时十多年发展，已成为公司重要的研发中心和人才培育中心。作为公司的核心部门之一，大部分研究员具有硕士以上学历，多年从业经验，是一支专业、勤勉、充满活力的研发团队。

徽商期货研究所长期专注基础理论研究、宏观和行业研究、量化研究三大研究方向，形成了从宏观经济形势、中观产业运行到微观交易行为，从事件推导、产业驱动、估值衡量到量化分析的研究体系。

围绕公司改革发展与战略规划，打造“期货投资管家、风险管理专家、财富管理专家”品牌，研究所在客户服务方面深耕细作，推出了众多特色服务和产品，形成了多项客户服务项目。

以行情分析、交易策略和风险管理为核心，输出徽商头条、徽眼看期、徽商研究日报、周报、月刊，投资论坛、期权论坛、程序化论坛、产业会议等高质量的资讯、直播视频产品，提供多终端程序化策略编写服务以及个性化的投资咨询产品设计方案。研究所推出了徽商之星实盘大赛、期货云投研小程序、交易诊断等特色服务方式，已打造三大平台、四类培训、五种资讯服务体系和投研交互模式，通过研究所的各类研发成果服务公司客户。



感恩 · 合作 · 共赢 · 使命

徽商期货有限责任公司  
HUISHANG FUTURES CO., LTD.

地址：安徽省合肥市芜湖路 258 号 邮编：230061

电话：0551-62865913 传真：0551-62865899

网址：www.hsqh.net

全国统一客服电话：400-8878-707

扫一扫



期货云投研小程序



徽商期货官方微博



徽商期货官方微信