

2024 年 2 月 27 日

光伏行业价格风险管理工具
有望再填一员大将—多晶硅期货

海证期货研究所
有色金属产业团队

樊丙婷
从业资格号: F03119689
交易咨询号: Z0019571
fanbingting@hicend.com.cn

摘要:

多晶硅与工业硅在化学成份都是单质硅，区别在于物理形态和硅含量，因为多晶硅是由工业硅提纯而来，所以多晶硅的硅含量要更高。在多晶硅成本结构中，工业硅及电力占比最高，均超 **30%**。

光伏行业涵盖多晶硅-硅片-电池片-组件-光伏电站五个环节，多晶硅在该行业消耗占比超 **90%**。当前全球光伏行业蓬勃发展，中国在多晶硅-硅片-电池片-组件等环节遥遥领先，产能及产量占比均超 **80%**。虽然工业硅期货已上市，但近些年多晶硅与工业硅价格波动较为悬殊，多晶硅企业产品端，电池片企业原料端仍缺乏合适的价格风险管理工具，广期所也多次表示加快推动多晶硅期货上市，预计多晶硅期货上市指日可待。

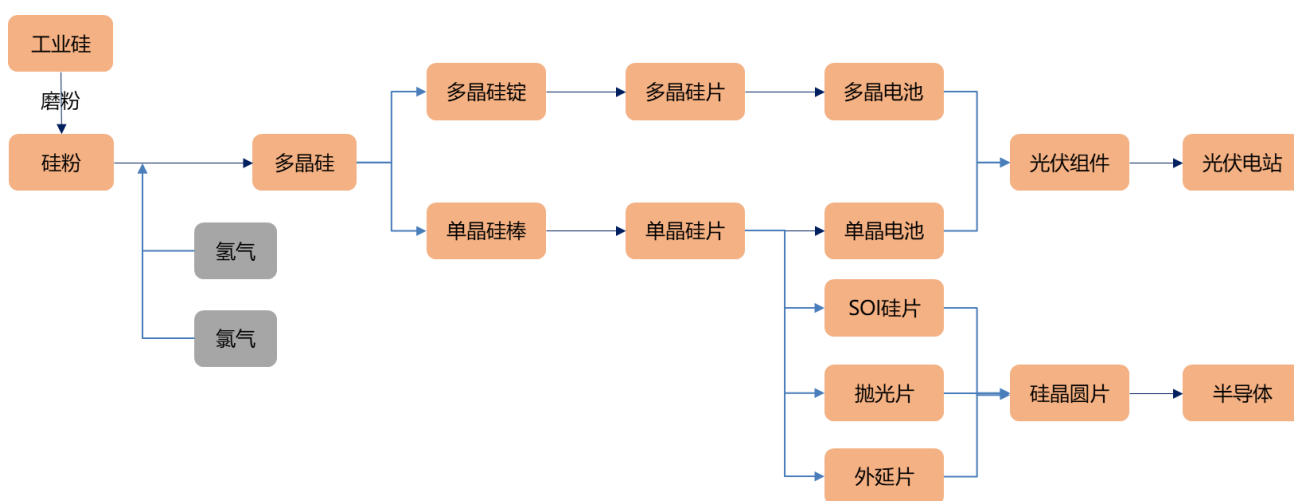
目录

一、多晶硅产业链概览.....	3
二、多晶硅的多重“马甲”	6
三、多晶硅的行业特征.....	10
四、多晶硅主要生产企业.....	11

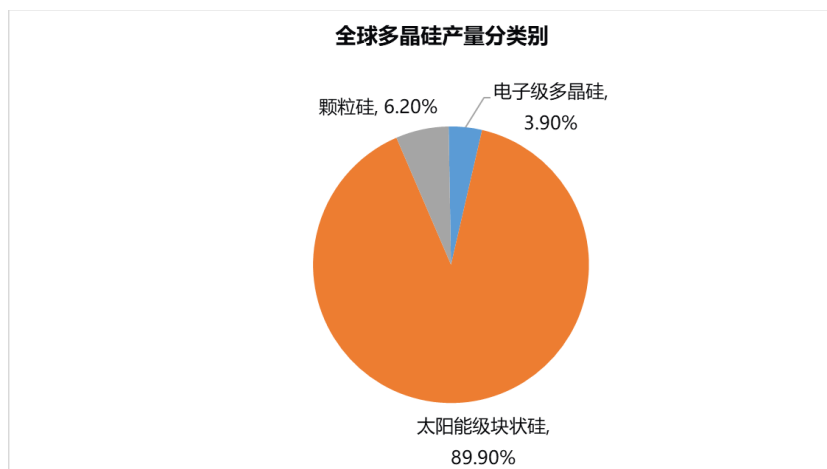
一、多晶硅产业链概览

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，硅原子以晶格形态排列成晶核，如这些晶核长成晶面取向不同的晶粒，则这些晶粒结合起来，就结晶成多晶硅，其也称为硅料。其与工业硅在化学成份上是相同的，主要都是单质硅。区别在于物理形态和硅含量，多晶硅的硅含量要更高，可以理解为多晶硅是由工业硅提纯而来。生产多晶硅可以是 553#、421#等硅含量>90%的工业硅，需先将其磨制成硅粉供硅料厂使用，通产生产 1 吨多晶硅需要 1.2 吨工业硅。

多晶硅经过层层加工后可用于光伏及半导体领域，其中超 90%是用于光伏行业。光伏行业主要包括多晶硅-硅片-电池片-组件-光伏电站五个环节，其中，前 4 个环节中国产能及产量在全球占比均超 80%。

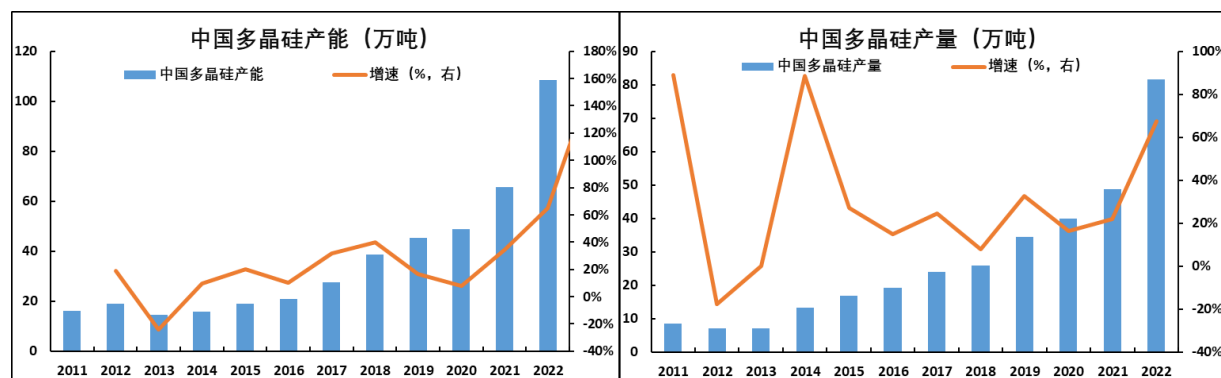


据 CPIA 统计，截止 2022 年底，全球多晶硅有效产能为 134.1 万吨/年，全球多晶硅产量 100.1 万吨，其中，电子级多晶硅产量约 3.92 万吨、太阳能级块状硅约 90 万吨、颗粒硅 6.16 万吨，在全球多晶硅总产量中的占比分别为 3.9%、89.9% 和 6.2%。



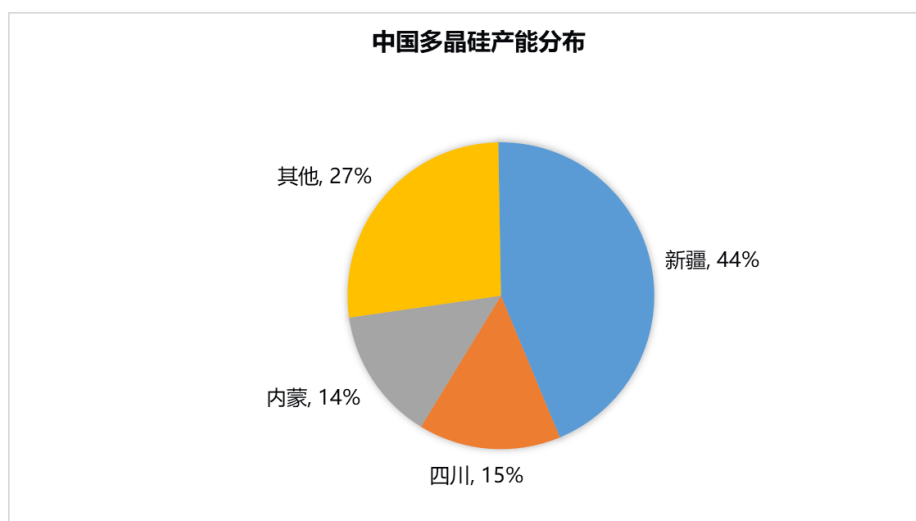
资料来源：CPIA，海证期货研究所

2022 年，中国在产多晶硅企业 14 家，有效产能 116.6 万吨/年，在全球占比 87%。剩余产能主要分布于德国、美国、马来西亚等地区。全国多晶硅产量约 85.7 万吨，在全球占比 85.6%。中国多晶硅产能/产量位居全球第一。



资料来源：SMM，海证期货研究所

中国多晶硅产能及产量主要分布于新疆、四川及内蒙等地，具有明显的地域集中特征，这主要是由电价驱动，其中新疆煤炭资源丰富，电力供应便宜且稳定。此外，新疆亦是工业硅主产地，原料供应有保障，且节约运输等环节的成本。



资料来源：SMM，海证期货研究所

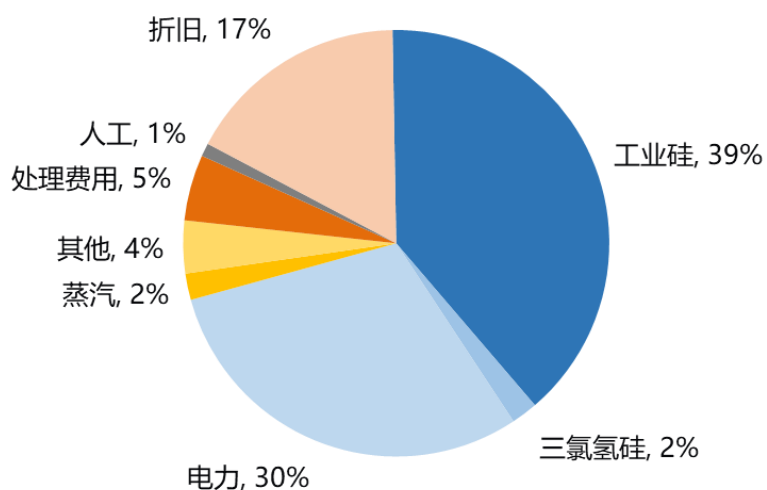
据 CPIA 统计，截止 2022 年底，我国硅片产能 557.1GW/年，全球占比 98.2%；当年硅片产量 329GW，全球占比 97.9%。全球电池片产能达到 583.1GW，我国大陆电池片总产能达到 505.5GW，全球占比 86.7%；全球电池片总产量达 366.1GW，我国电池片产量约 330.6GW，全球占比 90.3%。全球组件产能和产量分别达 682.7GW、347.4GW，中国大陆产能达到 551.9GW，约占全球总产能的 80.8%；产量达到 294.7GW，约占全球总产量的 84.8%。2022 年，全球光伏新增装机 230GW，我国光伏新增装机 87.41GW，占比 38%。

指标	多晶硅	硅片	电池片	组件
全球产能	134.1万吨	664GW	583.1GW	682.7GW
中国产能占比	87%	97.9%	86.7%	80.8%
全球产量	100.1万吨	381.1GW	366.1GW	347.4GW
中国产量占比	85.60%	97.4%	90.3%	84.8%

资料来源：CPIA，海证期货研究所

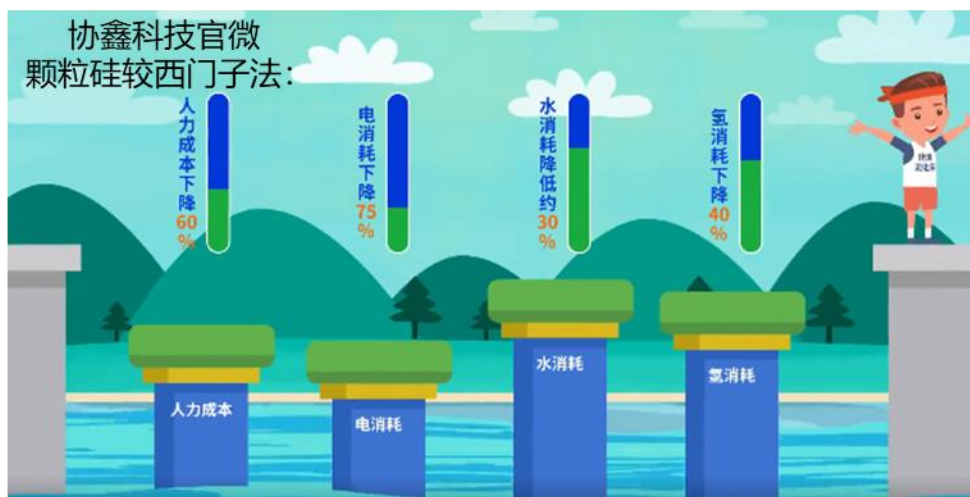
多晶硅生产成本主要为能源动力和原材料成本，其中原料：硅粉、三氯氢硅、四氯化硅等，能源动力成本包括：还原电耗、冷氢化电耗、水耗、蒸汽消耗，天然气、煤炭等（还原电耗约占综合电耗的 60-75%，约占综合生产成本的 20-25%）。

国内改良西门子法多晶生产成本结构

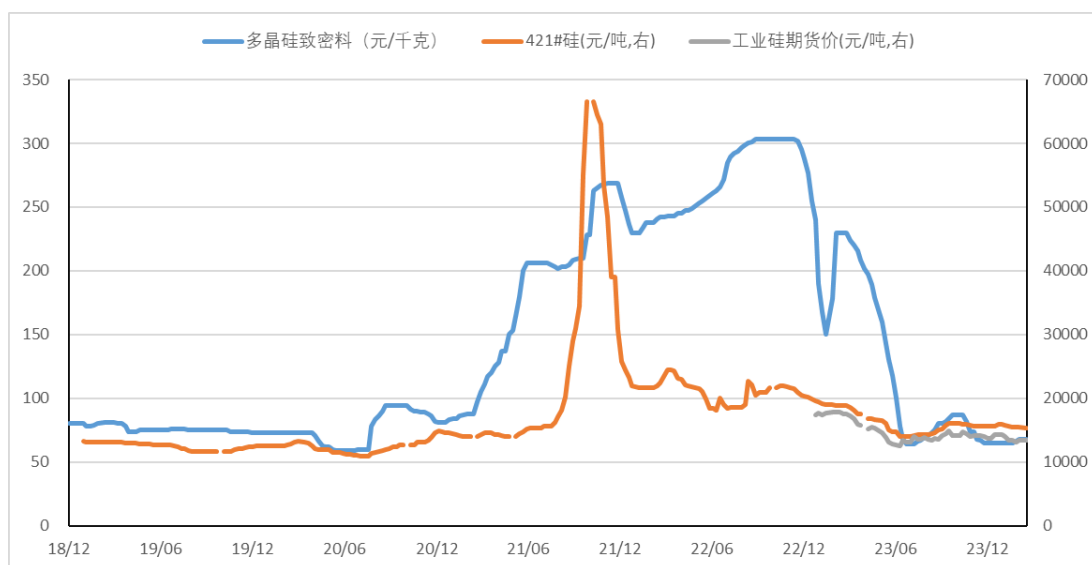


资料来源：公开资料整理，海证期货研究所

在成本控制上，流化床法明显优于改良西门子法。



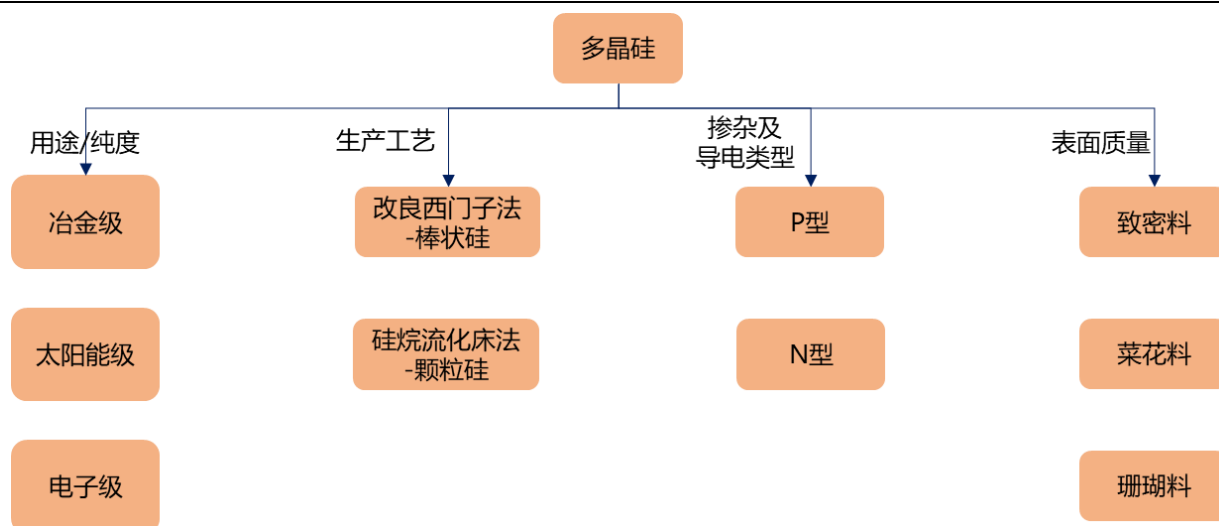
工业硅在多晶硅生产成本中占比近 4 成，使用工业硅期货可以实现原料端价格风险管理。但近些年多晶硅与工业硅价格波动较为悬殊，工业硅期货的套保效果及稳定性并不理想，因此多晶硅企业产品端，电池片企业原料端仍缺乏价格风险管理工具。当前，全球光伏行业正处于蓬勃发展中，多晶硅需求量也在持续攀升，所以多晶硅期货上市是时代所需，广期所也多次表示加快推动多晶硅期货上市。



资料来源：SMM，海证期货研究所

二、多晶硅的多重“马甲”

多晶硅可按照用途、生产工艺、掺杂及导电类型、表面质量等分为多种类别。



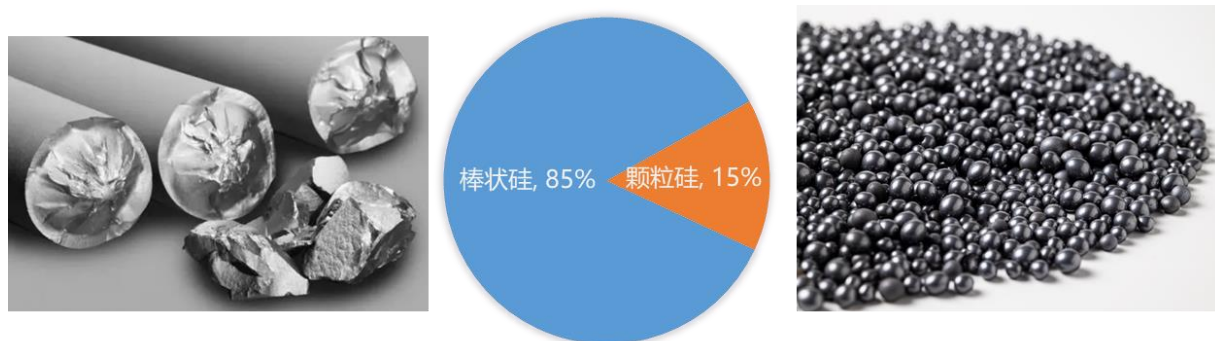
1、按纯度可分为冶金级、太阳能级、电子级。（用 N 个 9 来表示纯度，99.99% 表示为 4N）

冶金级多晶硅（MG-Si），一般含硅量为 99.999%~99.9999%（5N-6N），主要应用包括航空、尖端技术、军事技术部门的特种材料以及建筑、纺织、汽车、机械等领域；

太阳能级多晶硅（SoG-Si），纯度介于冶金级硅与电子级硅之间，一般在 99.9999%~99.9999999%（6N-9N）之间，主要应用为光伏晶硅电池；

电子级多晶硅（SEG-Si），一般要求含硅量达到 99.9999999%以上（9N 以上），主要应用于半导体硅片的生产。

2、生产工艺主要包括改良西门子法与硅烷流化床法（FBR 法），其中改良西门子法的产品形态为块状，即棒状硅，纯度可达 6-11N。硅烷流化床法的产品形态为球形颗粒状，直径在 2mm 左右，即颗粒硅，纯度可达 6N。改良西门子法生产出棒状硅后，需要将其破碎成合适的尺寸，才可用作后续单晶拉制或多晶铸造晶体的过程中使用，而颗粒硅无需破碎，可直接投料，不仅可以避免硅料的损耗，还能调补硅块间空隙提高坩埚装填量和拉晶产出。



资料来源：公开资料整理，海证期货研究所

改良西门子法的主要优势为工艺成熟、安全性强、产品纯度高；主要不足为转化率低，目前仅为 10%-20%，间接导致了高能耗。流化床法主要优势为转化率高、能耗低、可连续生产、副产物污染小，但由于产品纯度控制、安全性较差、炉壁沉积存在问题，尚未普及应用。所以改良西门子法是当前的主流工艺，2022 年两者占比分别为 85%、15%（2021 年为 95.9%、4.1%）。目前颗粒硅多作为辅料掺杂使用，占比不超过 30%。

改良西门子法与硅烷流化床法对比		
生产技术	改良西门子法	硅烷流化床法
原料	三氯氢硅、氢气	硅烷、氢气
产品质量	电子级、太阳能级	太阳能级
反应温度	1150-1200℃	550-700℃
转化率	10-20%	大于90%
能耗	高（耗电量约45度/kg）	低（REC FBR耗电量：4.1度/kg）
物耗	将为其中的各种组分全部进行回收利用，可大大降低原料的消耗	参与反应的硅料得到充分大的利用，排除的废料极少
安全性	工艺成熟，操作安全	硅烷易爆炸，安全性差
生产工艺成熟度	生产多晶硅最为成熟、最可靠、投产速度最快的工艺	工艺不够成熟，仅有少数厂家使用
多晶硅纯度	较高（9-12N）	较低（6-9N）
生产连续性	批次生产，需要行装、拆炉	连续不间断生产
副产物	生产大量副产硅烷需要通过氢化处理	副产物少，污染性排放较少

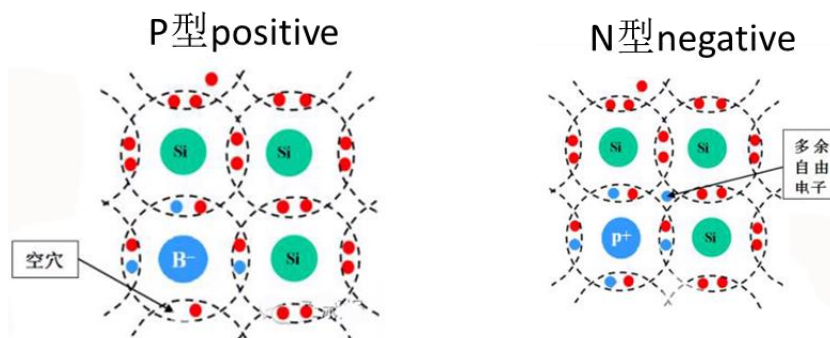
资料来源：公开资料整理，海证期货研究所

目前国内仅协鑫科技和天宏瑞科 2 家企业量产颗粒硅，中来股份、亚洲硅业是潜在布局者。

3、按掺杂及导电类型可分为 P 型、N 型。纯净的硅为半导体，本身导电性不强。但通过添加少量的掺杂元素，可以显著提高其导电性。

当硅中掺杂以受主杂质元素，如硼、铝、镓等为主时，以空穴导电为主，为 P 型。即空穴吸引周围环境硅的电子以达到稳定。

当硅中掺杂以施主杂质元素，如磷、砷、锑等为主时，以电子导电为主，为 N 型。即多出来的自由电子带有电荷，改变了硅的导电性。（HJT 电池以及 TOPCon 电池均属于 N 型电池。）



资料来源：公开资料整理，海证期货研究所

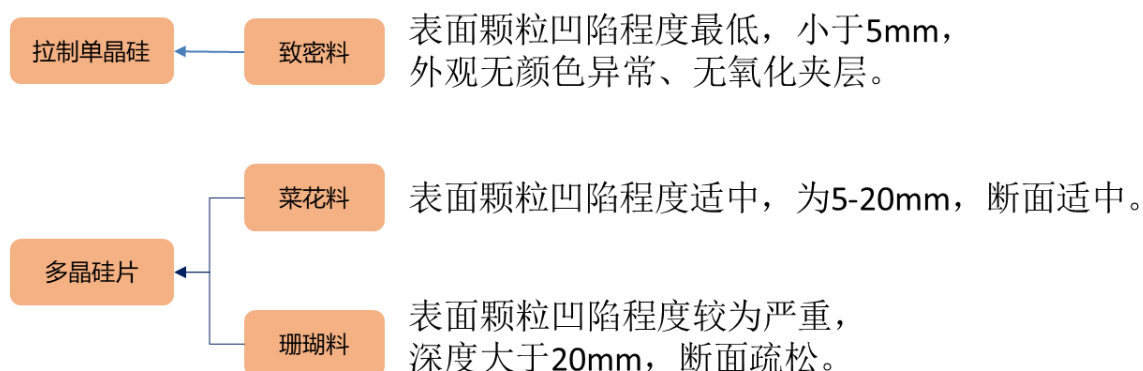
由于 P 型单晶硅 PERC 电池理论转换效率极限为 24.5%，以及未能彻底解决以 P 型硅片为基底的电池所产生的光衰现象，使得 P 型硅电池很难有进一步的发展。而 N 型具有转换效率高、双面率高、温度系数低、无光衰、弱光效应好、载流子寿命更长等优点，其使用范围正在逐步扩大。据中国光伏协会统计数据显示，预计 2023 年 N 型单晶硅片市占率由 2022 年的 10% 上升至 30%，预计 2023 年 TOPCon 和异质结电池的市场占比或将由 2022 年的 8.9% 提升至 21.1%，技术切换带来的硅料需求结构性变动，N 型硅料需求占比提升。

类型	定义	杂质含量	一致性	稳定性	少子寿命	电池转换率理论上限
P型	当硅中掺杂以受主杂质元素，如硼、铝、镓等为主时，以空穴导电为主，为P型。	低	高	高	高	24.5
N型	当硅中掺杂以施主杂质元素，如磷、砷、锑等为主时，以电子导电为主，为N型。	高	低	低	低	28.7

资料来源：公开资料整理，海证期货研究所

4、按表面质量由高到低可分为致密料、菜花料、珊瑚料。复投料属于致密料的一种，是拉晶产生的头尾或边皮料，一般品质较好，可以作为填充硅料二次循环使用。其中，致密料和菜花料更为常见。

企业日常生产中可在致密料中掺杂不低于 30% 的菜花料来生产单晶硅，从而节约原料成本，但菜花料的使用会在一定程度上降低拉晶效率，企业需在两者之间进行权衡后选择合适的掺杂比例。



三、多晶硅的行业特征

多晶硅行业属于“资金密集+能耗限制+高技术壁垒”行业。

1、资金密集：《多晶硅行业准入条件》对多晶硅生产企业的规模提出要求，太阳能级、电子级多晶硅项目规模分别大于 3000 吨/年、1000 吨/年，新建和改扩建项目投资中最低资本金比例不得低于 30%。据 CPIA 统计，2021 年投产的改良西门子法生产线设备投资成本 10.3 亿/万吨。不仅如此，多晶硅产能从建设到满产约 2 年（建设周期 12-18 个月，产能爬坡周期 3-6 个月），显著高于硅片、电池（6-9 个月）、组件（3-6 个月）等环节。

2、能耗限制：《多晶硅行业准入条件》规定，太阳能级、电子级直拉用多晶硅还原电耗应当分别小于 60 千瓦时/千克、100 千瓦时/千克，对能耗指标要求较为严格。

3、高技术壁垒。多晶硅纯度直接影响单晶硅拉制环节，因此对纯度要求极为严格，纯度最低为 99.9999%，最高则无限接近于 100%；国家标准对杂质含量提出明确要求，将多晶硅分为特级品、I、II、III 级。《多晶硅行业准入条件》规定企业必须有健全的质量检验管理制度，产品标准严格符合国家标准。

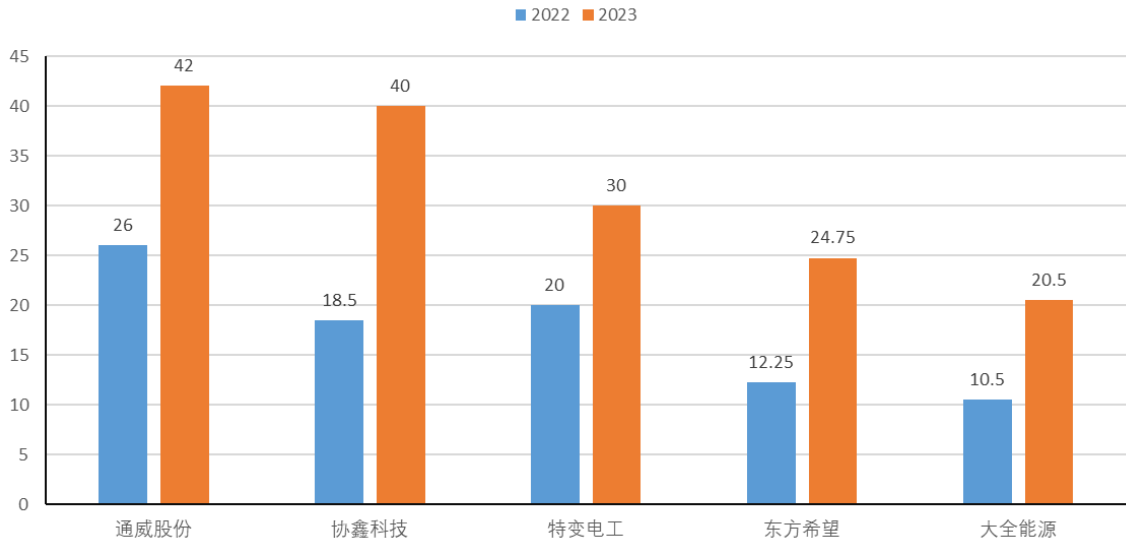
太阳能多晶硅技术指标（GB/T 25074-2017）				
项目	特级品	1级品	2级品	3级品
施主杂质浓度/ 10^{-9} (ppba)	≤ 0.68	≤ 1.40	≤ 2.61	≤ 6.16
受主杂质浓度/ 10^{-9} (ppba)	≤ 0.26	≤ 0.54	≤ 0.88	≤ 2.66
氧浓度/ (atoms/cm ³)	$\leq 0.2 \times 10^{17}$	$\leq 0.5 \times 10^{17}$	$\leq 1.0 \times 10^{17}$	$\leq 1.0 \times 10^{17}$
碳浓度/ (atoms/cm ³)	$\leq 0.20 \times 10^{16}$	$\leq 2.5 \times 10^{16}$	$\leq 3.0 \times 10^{16}$	$\leq 4.0 \times 10^{16}$
少数载流子寿命/ μs	≥ 300	≥ 200	≥ 100	≥ 50
基本金属杂质含量/(ng/g) Fe、Cr、Ni、Cu、Zn	≤ 15	≤ 50	≤ 100	≤ 100
表面金属杂质含量/(ng/g) Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na	≤ 30	≤ 100	≤ 100	≤ 100

电子级多晶硅技术指标（GB/T 12963-2022）				
项目	特级品	电子1级	电子2级	电子3级
施主杂质含量（P、As、Sb总含量，以原子数计） cm^{-3}	$\leq 0.15 \times 10^{13}$	$\leq 0.25 \times 10^{13}$	$\leq 0.5 \times 10^{13}$	$\leq 1.5 \times 10^{13}$
受主杂质含量（B、Al总含量，以原子数计） cm^{-3}	$\leq 0.5 \times 10^{12}$	$\leq 1.5 \times 10^{12}$	$\leq 2.5 \times 10^{12}$	$\leq 5 \times 10^{12}$
碳含量（以原子数计） cm^{-3}	$\leq 1 \times 10^{15}$	$\leq 2.5 \times 10^{15}$	$\leq 2.5 \times 10^{15}$	$\leq 5 \times 10^{15}$
基体金属杂质含量（Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na总含量） ng/g (ppbw)	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 2
表面金属杂质含量（Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Al、K、Na、Ti、Mo、W、Co总含量） ng/g (ppbw)	≤ 0.1	≤ 0.5	≤ 1	≤ 5

资料来源：国家标准管理委员会，海证期货研究所

四、多晶硅主要生产企业

多晶硅行业呈现头部企业高度集中的竞争格局，2022年全球前10家多晶硅企业总产能达到113.1万吨/年，占全球总产能的84.3%；全球前十的多晶硅企业总产量约94.34万吨，占全球总产量的94.2%。2022年国内5家头部企业的多晶硅产能，约占国内多晶硅总产能的80%，2023年预计为66%。（以下材料摘自企业公告及官微）



1、**通威股份**（600438.SH）主营业务除水产饲料外，还包括太阳能电池、高纯晶硅等。在高纯晶硅业务方面，公司生产基地位于乐山、包头、保山，主要生产要素采取就近采购方式，产品客户主要为下游硅片企业。为保障产销长期稳定，近年来公司与下游硅片企业开展长单销售合作。2022年产量22.69万吨，采用改良西门子法，电池片PERC/TOPCON。截止2023年底，产能约42万吨（四川永祥25万吨+内蒙古通威11万吨+云南通威6万吨）。

套期保值公告：玉米、豆粕、菜粕、油脂、白银、铜、铝、锡、PVC、工业硅等商品。授权公司在2024年任一时点各类套期保值业务动用的全部交易保证金和权利金上限不超过人民币30亿元。公司期货账户开立均需要董事长或者董事长授权人员批准。

2、**协鑫科技**（03800.HK）主营为多晶硅及硅片产品的生产及销售，开发、拥有及运营光伏电站。截止 2023 年 6 月，多晶硅产能为 24 万吨/年，且全部为颗粒硅产能，包括徐州中能 8 万吨+乐山协鑫 10 万吨、包头鑫元 6 万吨。集团在呼和浩特及乌海也有规划产能各 10 万吨。另外单晶拉晶产能 14GW/年，切片产能 55GW/年。集团颗粒硅前 5 大客户出货量合计占集团颗粒硅出货比例约 82%。

3、**特变电工**新能源业务主要由控股子公司**新特能源**（1799.HK）负责经营。新特能源是国内领先的多晶硅生产商和光伏项目承包商，主要从事上游多晶硅生产、下游风光电站建设、运营。截止 2023 年 H1，公司已建成多晶硅产能 30 万吨/年（其中准东 20 万吨一期 10 万吨/年产能正在开展调试工作+新疆甘泉堡 10 万吨/年+内蒙古 10 万吨/年），多晶硅生产技术采用改良西门子法。

套期保值：品种包括公司开展生产经营所需原材料套期保值业务的品种为铜、铝、铅、工业硅、氧化铝等；开展工程项目建设所需材料套期保值业务的品种为钢材；开展产品套期保值业务的品种为工业硅、多晶硅、铝加工产品等；开展库存套期保值业务的品种为各类库存商品、原材料等。交易金额预计未来 12 个月内套期保值交易保证金和权利金不超过 90 亿元，预计任一交易日持有的最高合约价值不超过 604 亿元。未来 12 个月，公司原材料铜、铝、铅、钢材、工业硅预计买入套期保值数量分别不超过 26-30 万吨、34-38 万吨、1 万吨、4-6 万吨、39 万吨，工业硅、多晶硅、铝加工产品预计卖出套期保值数量分别不超过 10 万吨、30 万吨、18 万吨。

4、**新疆大全**（688303.SH）主营业务是高纯多晶硅的研发、制造与销售，是国内领先的多晶硅专业生产商之一。公司目前产能为 20.5 万吨，包括内蒙古一期 10 万吨高纯多晶硅项目（二期 10 万吨延期至 2024 年二季度）+新疆 10.5 万吨。公司募投项目之一“年产 1000 吨高纯半导体材料项目”计划新增半导体级多晶硅产能 1000 吨/年。公司目前采用的生产工艺是较为先进的改良西门子法。

5、**东方希望**主营业务包括工业（矿山、发电、铝业、硅业、水泥、化工）以及农业（饲料、养殖等）。就多晶硅板块来说，截止 2023 年已有产能 24.75 万吨，新疆准东 6 万吨+宁夏石嘴山一期 12.5 万吨+内蒙古乌海一期 6.25 万吨。规划产能超 50 万吨（宁夏石嘴山 40+内蒙古乌海 12.5+新疆准东 12）。

分析师介绍

樊丙婷（交易咨询号：Z0019571）：海证期货研究所有色及新能源金属研究员，统计学硕士，主要负责铜、铝有色金属，以及镍、工业硅及碳酸锂能源金属等品种的研究。擅长基于品种研究框架，结合基本面定性分析与数据定量分析以研判行情走势。具有丰富的产业价格风险管理服务经验，为多家有色金属企业提供定制化套保方案。

法律声明

本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，报告中的信息或意见并不构成所述品种的买卖出价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司无关。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利，未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为海证期货，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。