

晶硅系列专题二：光伏“黑金”——多晶硅

报告摘要：

- **多晶硅产业链：**多晶硅位于光伏和半导体产业的上游，光伏产业链为“多晶硅-硅片-电池片-组件-光伏装机”，半导体产业链包括“多晶硅-晶圆-电子器件-半导体”。
- **多晶硅分类：**按纯度可分为冶金级、太阳能级和电子级多晶硅，光伏板块使用太阳能级多晶硅，半导体板块使用电子级多晶硅；按照形态分为棒状硅和颗粒硅；按照表面形态分为致密料、菜花料、珊瑚料和复投料；按照掺杂元素分为N型料和P型料。
- **多晶硅生产工艺：**改良西门子法为主流生产工艺，生产出来的多为棒状硅，目前国内多数企业均采用该法生产；硅烷流化床法生产的多晶硅为颗粒硅，目前国内使用硅烷流化床法生产颗粒硅的主要有协鑫科技和天宏瑞科。
- **多晶硅成本：**原料与电耗为多晶硅生产主要成本，原材料成本占比约35%左右，综合能耗主要以电耗为主，占总成本42%左右，根据百川盈孚数据，当前改良西门子法生产多晶硅平均成本约为4.5万元/吨，根据公司财报数据显示，协鑫科技徐州基地颗粒硅制造成本43.73元/kg，鑫元基地2023年四季度平均生产成本已降至35.9元/kg，远低于改良西门子法生产成本。
- **多晶硅供给：**全球多晶硅产量逐年增加，且逐渐向我国聚集，2023年我国多晶硅产能已提升至244万吨，全球占比94%，多晶硅产能集中在西北地区，产业集中度较高，前五名企业产能占比66.80%。
- **多晶硅需求：**光伏为主要应用方向，我国贡献多晶硅主要消费量，2023年，我国多晶硅消费量134.73万吨，全球占比约95%，超90%的多晶硅流向光伏产业，从下游硅片、电池片和组件市场来看，我国产能产量快速增长，全球占比均超80%，在全球占有绝对领先和主导地位。
- **后市展望：**短期来看，多晶硅市场库存压力依旧较大，考虑某头部大厂或在8月迎来大幅减产，市场挺价心态明显，预计多晶硅价格继续持稳为主，价格反转尚需等待；后续随着广期所多晶硅期货上市，将为产业提供更多的风险管理工具
- **风险提示：**宏观风险；需求端不及预期。

分析师：祁玉蓉

从业资格证号：F03100031

投资咨询证号：Z0021060

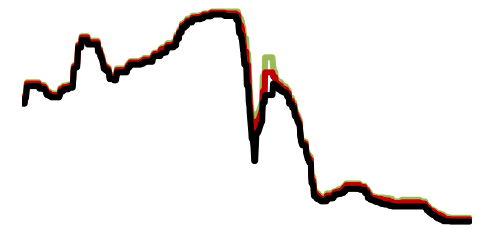
研究所

金属期货（期权）研究室

TEL：010-82295006

Email：qiyurong@swhysc.com

相关图表：



相关报告：

《晶硅系列专题一：跌宕起伏的光伏发展史》

《工业硅系列专题一：硅石篇》

《工业硅系列专题二：工业硅篇》

《工业硅系列专题三：交割篇》

《工业硅系列专题四：“硅能源”全产业链期货的重要性研讨》

《工业硅系列专题五：有机硅篇（上）》

《工业硅系列专题六：有机硅篇（下）》

《工业硅系列专题七：交割质量标准修改解读》

目录

报告摘要:	1
一、 产业链: 性质优良, 聚焦光伏与半导体	4
二、 分类: 多标准划分, 太阳能级为主流	5
(一) 按纯度分: 冶金级、太阳能级和电子级多晶硅	5
(二) 按产品形态分: 棒状硅、颗粒硅	6
(三) 按表面形态分: 致密料、菜花料、珊瑚料和复投料	6
(四) 按掺杂元素分: N型料、P型料	7
三、 生产工艺: 闭路循环, 改良西门子法为主	8
(一) 改良西门子法	8
(二) 硅烷流化床法	9
四、 成本: 原料与电耗占比高, 总成本仍有下降空间	10
五、 供给: 中国逐渐成为主导力量, 海外依赖度降低	12
六、 需求: 光伏产业快速发展, 贡献主要需求增量	14
七、 总结与展望	17

图表目录

图表 1: 光伏产业链图.....	4
图表 2: 多晶硅与单晶硅对比.....	5
图表 3: 太阳能级多晶硅技术指标.....	5
图表 4: 电子级多晶硅技术指标.....	6
图表 5: 棒状硅.....	6
图表 6: 颗粒硅.....	6
图表 7: 致密料.....	7
图表 8: 复投料.....	7
图表 9: 珊瑚料.....	7
图表 10: 菜花料.....	7
图表 11: N 型料与 P 型料指标参数对比.....	8
图表 12: 改良西门子法生产流程图.....	9
图表 13: 硅烷流化床法生产流程图.....	9
图表 14: 硅烷流化床法 VS 改良西门子法.....	10
图表 15: 改良西门子法成本走势图.....	11
图表 16: 改良西门子法成本拆分.....	11
图表 17: 2010-2024 年中国及全球多晶硅产能.....	12
图表 18: 2010-2024 年中国及全球多晶硅产量.....	12
图表 19: 全球前十大多晶硅生产企业.....	13
图表 20: 中国多晶硅产能分布.....	13
图表 21: 中国多晶硅行业集中度（截至 2023 年末）.....	13
图表 22: 中国多晶硅进出口情况.....	13
图表 23: 2010-2023 年中国多晶硅消费量.....	14
图表 24: 2010-2023 年中国硅片、电池片、组件产量.....	14
图表 25: 2021-2024H1 中国硅片、电池片、组件合计出口量.....	15
图表 26: 2021-2024H1 中国硅片、电池片、组件合计出口额.....	15
图表 27: 2000-2022 年全球及中国光伏累计装机情况.....	15
图表 28: 2000-2022 年全球及中国新增光伏装机情况.....	15
图表 29: 2000-2022 年全球主要国家光伏累计装机情况.....	16
图表 30: 2000-2022 年全球主要国家新增光伏装机情况.....	16
图表 31: 分布式光伏发电 VS 集中式光伏发电.....	16
图表 32: 集中式市场.....	17
图表 33: 分布式市场.....	17

多晶硅是光伏产业链最上游的原材料，是极为重要的半导体材料，被称为光伏产业链中的“黑金”，本篇报告为晶硅系列专题的第二篇，将从多晶硅的概念、性质、分类、生产及市场格局等多方面进行分析研究，揭开多晶硅的神秘面纱。

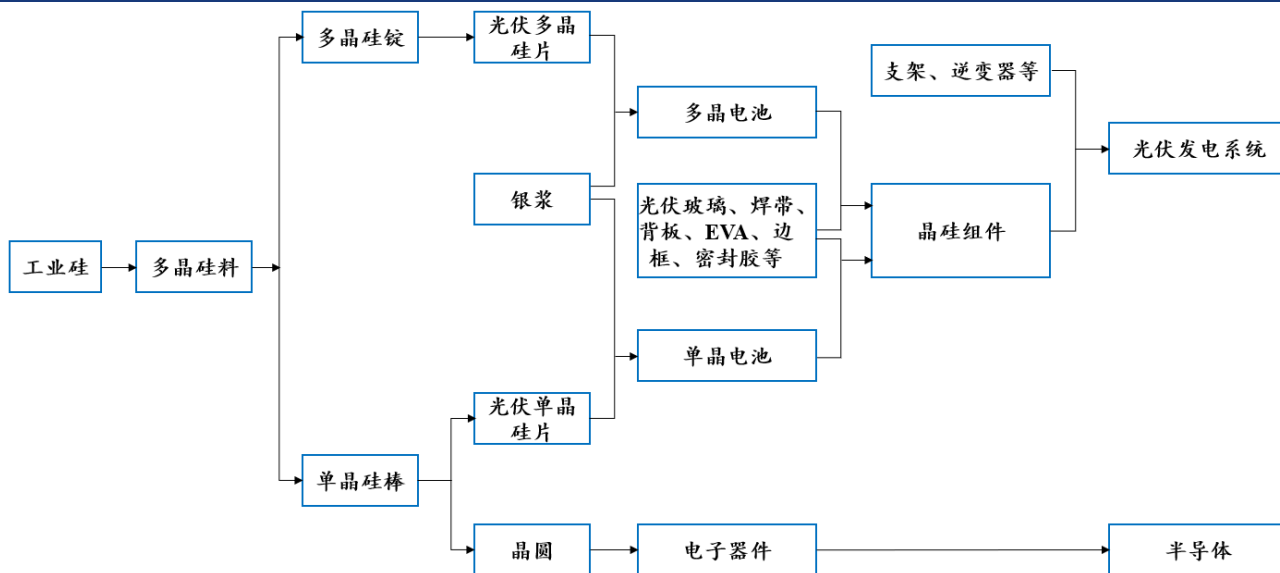
一、产业链：性质优良，聚焦光伏与半导体

多晶硅，又称硅料，其原材料包括工业硅、氢气、氯气等，通过改良西门子法、硅烷流化床法等生产工艺进行制备，是单质硅的一种形态，有灰色金属光泽，密度 $2.32\text{-}2.34\text{g/cm}^2$ ，熔点 $1,410^\circ\text{C}$ ，沸点 $2,355^\circ\text{C}$ ；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，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，如果这些晶核长成晶面取向相同的晶粒，则这些晶粒平行结合起来便结晶成单晶硅。

多晶硅可融化冷却后制成多晶硅锭，也可以通过拉晶法生产为单晶硅棒，二者化学活性差异极小，其差异主要表现在物理性质方面，在力学性质、光学性质和热学性质的各向异性方面，多晶硅远不如单晶硅明显；在电学性质方面，多晶硅晶体的导电性远不如单晶硅显著，甚至于几乎没有导电性。多晶硅和单晶硅可从外观上加以区别，但真正的鉴别须通过分析测定晶体的晶面方向、导电类型和电阻率等。

多晶硅锭和单晶硅棒通过进一步加工、切割，可生产硅片，进而应用于制造晶硅电池，服务于光伏电站的集成和建设，光伏产业是多晶硅最大的终端流向；此外，单晶硅片还可以通过打磨、抛光、外延、清洗等工艺形成晶圆，应用于半导体行业。

图表 1：光伏产业链图



资料来源：宏源期货研究所

图表 2: 多晶硅与单晶硅对比

	多晶硅	单晶硅
结构	由许多生长过程中方向各异的小晶体组成	单一且连续的晶体结构
制造过程	制造过程相对简单, 冷却速度较快	熔融的硅原料在特定条件下缓慢冷却
物理性质	稍逊于单晶硅	力学、光学及热学性能更优越
外观	表面可见明显的晶体界限和不同的色泽	色泽均匀一致
电学性能	电学性能相对较差	较高的电导率
转换效率	略低于单晶硅	较高
成本	制造工艺简单, 成本较低	工艺复杂, 成本较高
应用领域	光伏市场, 尤其是成本敏感的大规模生产	高端光伏市场, 如大型电站、分布式光伏等领域

资料来源: 宏源期货研究所

二、分类: 多标准划分, 太阳能级为主流

按照纯度、产品形态、表面形态及掺杂元素等不同的标准, 多晶硅可以分为不同的类别。

(一) 按纯度分: 冶金级、太阳能级和电子级多晶硅

根据纯度, 多晶硅可以分为冶金级多晶硅、太阳能级多晶硅和电子级多晶硅。冶金级多晶硅一般硅含量为 99.999%~99.9999% (5N~6N), 主要应用于建筑、航空、汽车、机械等领域; 电子级多晶硅一般硅含量达到 99.9999999% (9N) 及以上, 生产技术及纯度要求较高, 主要用于半导体行业; 太阳能级多晶硅硅含量介于冶金级多晶硅和电子级多晶硅之间, 一般在 99.9999%~99.9999999% (6N~9N), 主要应用于光伏行业, 受益于光伏产业的迅猛发展, 目前太阳能级多晶硅产量远大于冶金级和电子级多晶硅。

按照技术指标差别, 太阳能级和电子级多晶硅均可分为特极品、1 级品、2 级品和 3 级品。

图表 3: 太阳能级多晶硅技术指标

项目	技术指标			
	特极品	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)	$\leq 2.0 \times 10^{16}$	$\leq 2.5 \times 10^{16}$	$\leq 3.0 \times 10^{16}$	$\leq 4.0 \times 10^{16}$
少数载流子寿命/ μs	≥ 300	≥ 200	≥ 100	≥ 50
基体金属杂质含量/ (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

资料来源: 中国国家标准化管理委员会 (GB/T 25074-2017), 宏源期货研究所

图表 4：电子级多晶硅技术指标

项目	技术指标			
	特极品	1 级品	2 级品	3 级品
施主杂质浓度 (P、As、Sb 总含量, 以原子数记) cm^{-3}	$\leq 0.15 \times 10^{13}$	$\leq 0.25 \times 10^{13}$	$\leq 0.5 \times 10^{13}$	$\leq 1.5 \times 10^{13}$
受主杂质浓度 (B、Al 总含量, 以原子数记) cm^{-3}	$\leq 0.5 \times 10^{12}$	$\leq 1.5 \times 10^{12}$	$\leq 2.5 \times 10^{12}$	$\leq 5.0 \times 10^{12}$
碳含量 (以原子数记) cm^{-3}	$\leq 1.0 \times 10^{15}$	$\leq 2.5 \times 10^{15}$	$\leq 2.5 \times 10^{15}$	$\leq 5.0 \times 10^{15}$
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	≤ 2.0
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	≤ 1.0	≤ 5.0

注：多晶硅的导电类型、电阻率、少数载电子流寿命和氧含量由供需双方协商确定。

资料来源：中国国家标准化管理委员会 (GB/T 12963-2022)，宏源期货研究所

(二) 按产品形态分：棒状硅、颗粒硅

根据产品形态，多晶硅可以分为棒状硅和颗粒硅，因为棒状硅生产工艺较为成熟，目前市场主流以棒状硅为主，截至 2022 年，棒状硅市占率达 92.50%，未来随着颗粒硅生产工艺不断改进和下游应用的拓展，市占率有望进一步提高。

图表 5：棒状硅



资料来源：市场公开资料，宏源期货研究所

图表 6：颗粒硅



资料来源：市场公开资料，宏源期货研究所

(三) 按表面形态分：致密料、菜花料、珊瑚料和复投料

根据表面形态，棒状硅经过破碎后可以分为致密料、菜花料、珊瑚料和复投料。

致密料：表面颗粒凹陷深度小于 5mm，断面结构致密，外观无异常颜色，无氧化夹层，价格最高，主要用于拉制单晶硅、制造高效率的光伏电池。

复投料：致密料的一种，拉晶产生的头尾或者边皮料，一般品质较好，可用于填充硅料二次循环使用。

菜花料：表面颗粒凹陷深度 5~20mm，外观无异常颜色，无氧化夹层，价格中档，可用于制造低成本的光伏电池，效率相对较低。

珊瑚料：断面结构疏松，凹陷程度 $\geq 20\text{mm}$ ，外观无异常颜色，无氧化夹层，价格最低。

菜花料和珊瑚料主要用于制作多晶硅片，部分企业选择在致密料中掺杂不低于 30%的菜花料生产单晶硅，进而达到节省成本的目的，但会在一定程度上降低拉晶效率。

图表 7：致密料



资料来源：市场公开资料，宏源期货研究所

图表 8：复投料



资料来源：市场公开资料，宏源期货研究所

图表 9：珊瑚料



资料来源：市场公开资料，宏源期货研究所

图表 10：菜花料



资料来源：市场公开资料，宏源期货研究所

（四）按掺杂元素分：N 型料、P 型料

根据硅料中掺杂的元素不同，多晶硅可以分为 N 型硅料和 P 型硅料。当硅掺杂以 III 族元素为主的受主杂质元素（如硼、铝、镓等）时，以空穴导电为主，为 P 型硅料；当硅中掺杂以 V 族元素为主的施主杂质元素（如磷、砷、锑等）时，以电子导电为主，为 N 型硅料。

N 型硅料比 P 型硅料纯度更高，对生产环节中的清洁度要求也更高，从目前市场发展来看，

受下游产品转型及硅料厂生产工艺提升，目前硅料逐渐从 P 型转向 N 型，N 型硅料市场占比逐步提高。

图表 11: N 型料与 P 型料指标参数对比

项目	N 型料	P 型料
施主杂质浓度/ 10^{-9} (ppba)	≤ 0.15	≤ 0.30
受主杂质浓度/ 10^{-9} (ppba)	≤ 0.05	≤ 0.10
基体金属杂质含量/(Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na 总含量) ng/g (ppbw)	≤ 1.0	≤ 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)	≤ 1.0	≤ 5

资料来源：硅业分会，宏源期货研究所

三、生产工艺：闭路循环，改良西门子法为主

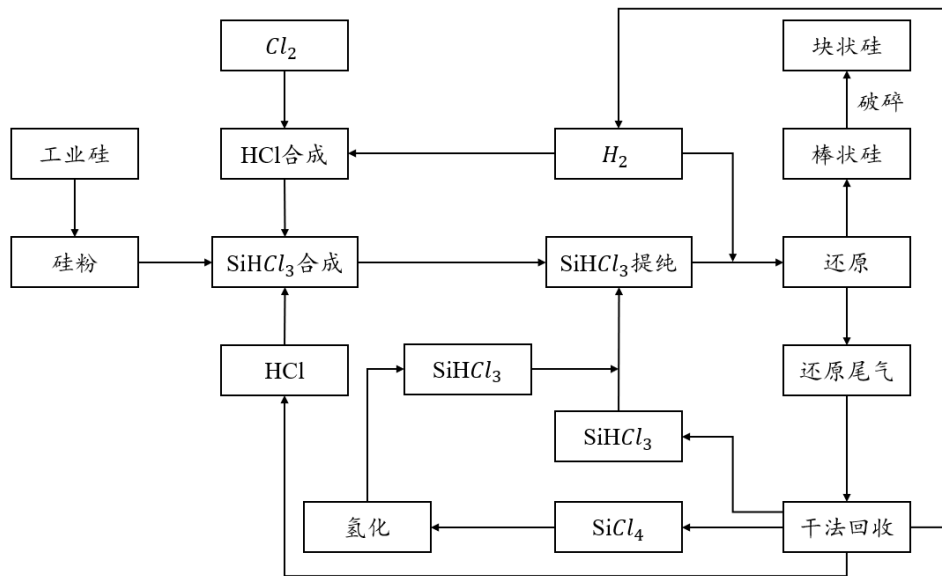
多晶硅的生产过程主要包括两个步骤，第一步是将工业硅与氯化氢反应、蒸馏提纯得到三氯氢硅、二氯氢硅或硅烷等气体，第二步是将上一步得到的气体氢化、还原得到高纯多晶硅，目前多晶硅的生产工艺主要包括改良西门子法和硅烷流化床法。

(一) 改良西门子法

西门子法最早由德国西门子公司在 1955 年提出，主要原理是以氢气 (H_2) 还原高纯度三氯氢硅 ($SiHCl_3$)，在加热的硅芯/硅棒表面进行沉积，1957 年开始应用于工业化，但其副产品（例如四氯化硅 $SiCl_4$ ）排放污染严重，之后升级改良的西门子法被针对性提出，经历六十多年的优化与提升，目前已经改良到第三代，改良西门子法在原来西门子法的基础上增加了尾气回收利用，既解决了排放污染问题，又实现了原料的循环使用，降低企业生产成本，因此改良西门子法又被称为“闭环西门子法”，是当前多晶硅市场主流生产工艺，根据中国光伏业协会统计的数据显示，目前国内外超 95% 的多晶硅企业使用此法。

改良西门子法生产过程主要包括四个环节，第一步是通过工业硅粉与氯化氢 (HCl) 反应制备三氯氢硅 ($SiHCl_3$)；第二步是对反应生成的三氯氢硅 ($SiHCl_3$) 进行分离、精馏提纯；第三步将提纯后的三氯氢硅 ($SiHCl_3$) 与氢气 (H_2) 发生氢化还原反应，生成硅沉积在还原炉内的硅芯/硅棒表面，使硅芯/硅棒直径逐渐变大，生长至规定的尺寸，经改良西门子法生产出来多晶硅为棒状硅，在后续环节的使用中需先进行破碎；最后是对还原尾气进行干法回收，还原尾气经此工序被分离成氯硅烷液体、氢气和氯化氢气体，分别循环回装置使用，实现了生产闭路循环，有效节约企业的生产成本。

图表 12: 改良西门子法生产流程图

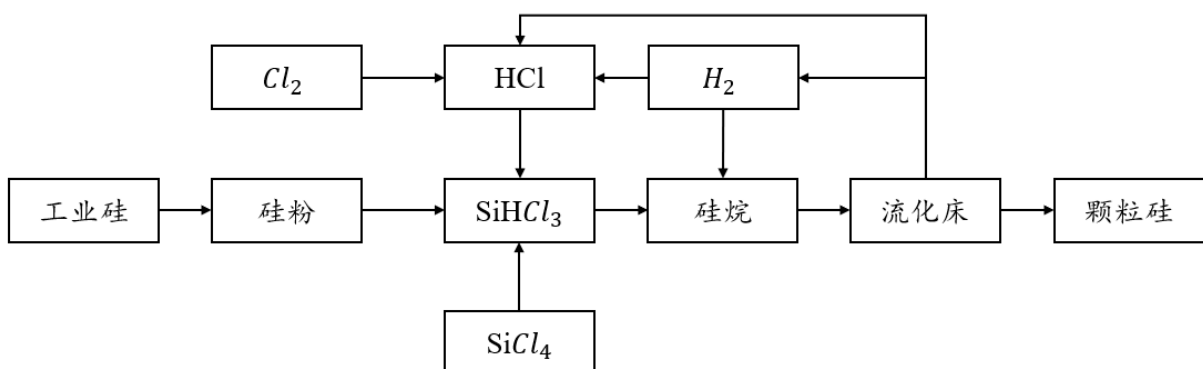


资料来源：宏源期货研究所

(二) 硅烷流化床法

硅烷流化床法目前市场份额远小于改良西门子法，核心是硅烷气体在流化床反应器中直接分解为颗粒硅的多晶硅。硅烷流化床法以工业硅粉、四氯化硅（ $SiCl_4$ ）、氢气（ H_2 ）、氯化氢（HCl）为原材料，在流化床高温高压下氢化成三氯氢硅（ $SiHCl_3$ ），将三氯氢硅再进一步歧化加氢反应生成二氯二氢硅，继而生成硅烷气，最后将制得的硅烷气通入流化床反应炉内进行连续热分解，在流化床反应器内预先放置的硅籽晶上发生气相沉积反应，形成颗粒硅。

图表 13: 硅烷流化床法生产流程图



资料来源：宏源期货研究所

与改良西门子法相比，硅烷流化床法参与反应的颗粒硅种表面积大，沉积速度大幅提高，且生产设备较为紧凑，上下进料，生成的颗粒硅从底部流出，可以做到连续生产，提高生产效率，从而降低能耗，且生产出来的颗粒硅在下一加工环节中无需破碎，可直接使用，满足连续投料拉晶工艺的发展，提高拉晶产出，且其生产成本也更低；缺点在于摩擦产生的硅粉较多、

表面易吸附污染物，影响产品纯度，此外，硅烷具有易燃易爆的突出特点，流化床法对安全性的要求更高，也因此限制了硅烷流化床法的推广使用。

图表 14：硅烷流化床法 VS 改良西门子法

项目指标	指标影响	下游要求	硅烷流化床法	改良西门子法
纯度-含氢量	含氢量高会导致下游拉晶过程中形成氢跳，可能使其成精率降低	低于 30mg/kg	通过投料方式、热场控制、气流控制设备大型化、脱氢等工艺调整，2023 年 1 月初，氢跳问题已解决	由于生产工艺的差异含氢量较低，不存在由于含氢量过高导致的氢跳问题
纯度-金属杂质含量	金属杂质含量较高，进而影响下游硅片的少子寿命及电池片的转换效率	表金属杂质浓度 P 型低于 5bbpw N 型低于 1ppbw	2022 年 Q1 低于 8ppbw 比例接近 50%；2023 年 11 月初低于 0.5ppbw 比例接近 90%	目前棒状硅普遍低于 5ppbw，高品质棒状硅低于 1ppbw
浊度-粉体含量	粉体含量高容易吸附杂质降低产品质量，导致后续拉晶过程中出现断线现象，同时不利于下游颗粒硅装填投入生产	浊度低于 100NTU 基本满足下游生产需求	通过新型除尘工艺，颗粒硅的浊度控制能力已显著提升，<120NTU 比例 100%，100-120NTU 比例约 30%，<100NTU 比例约 70%	由于产品的形状及体积差异，棒状硅的表面积相对较小，硅粉吸附较少，粉体含量较低，不存在因粉体含量过高导致下游出现拉晶短线等情况

资料来源：硅业分会，宏源期货研究所

四、成本：原料与电耗占比高，总成本仍有下降空间

以改良西门法为例，多晶硅的成本包括原材料、综合能耗、设备折旧、人工费用等，根据百川盈孚数据，当前改良西门子法生产多晶硅平均成本约为 4.5 万元/吨，根据各公司财报数据显示，截至 2023 年年底，通威高纯晶硅成本已降至 4.2 万元/吨以内，大全多晶硅单位现金成本 4.07 万元/吨，单位成本 4.625 万元/吨。^①

原材料：多晶硅生产过程的原材料主要指工业硅和三氯氢硅，占比约 35% 左右。硅元素主要来自工业硅，行业中一般用硅单耗来衡量生产单位单吨纯硅产品所耗费的硅量，主要包括合成、氢化工序，计算方式是将外购硅粉、三氯氢硅、四氯化硅等含硅物料全部折成纯硅，扣除外售氯硅烷等按含硅比折成纯硅的量，根据中国光伏业协会统计的数据，2022 年硅耗在 1.09kg/kg-Si，基本与 2021 年持平，预计随着氢化水平和副产品回收率的提高，2030 年硅耗将降低至 1.07/kg-Si。

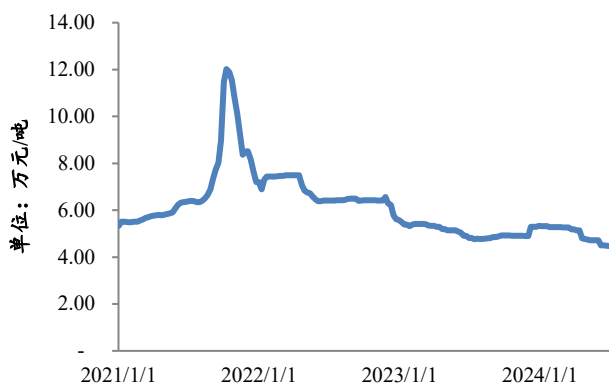
综合能耗：包括多晶硅生产过程中所消耗的电力、水、蒸汽、天然气、煤炭等，根据中国光伏业协会统计的数据，2022 年多晶硅企业综合能耗平均值为 8.9kgce/kg-Si，同比下降 6.3%，预计 2030 年可降至 7.2kgce/kg-Si。综合能耗主要以电耗为主，占总成本 42% 左右，包括合成、电解制氢、精馏、还原、尾气回收以及氢化等环节的电力消耗，由于各大企业生产工艺不尽相

^① 改良西门子法是当前多晶硅主流生产工艺，占比 95%，故本报告的成本拆分主要针对改良西门子法。

同，因此电耗有一定的差距，根据中国光伏业协会统计的数据，2022年多晶硅平均综合电耗同比下降 4.8%至 60kWh/kg-Si，预计随着生产装备技术提升、系统优化能力提高及生产规模扩大等，2030 年综合电耗有望下降至 52kWh/kg-Si；水耗是指生产单位多晶硅产品所需要补充的水量，包括蒸发、清洗等，2022 年多晶硅平均水耗 0.09t/kg-Si，同比下降 10%，预计 2030 年可降至 0.08t/kg-Si，新疆地区因气候干燥，水的蒸发量较大，水耗高于行业平均值；蒸汽补充主要用于精馏、冷氢化及尾气回收等环节，2022 年企业蒸汽耗量均值为 15kg/kg-Si，随着企业还原余热利用率提升、提纯、精馏系统优化等，预计 2030 年蒸汽耗量将降至 8kg/kg-Si，新疆等寒冷地区蒸汽耗量高于其他地区。

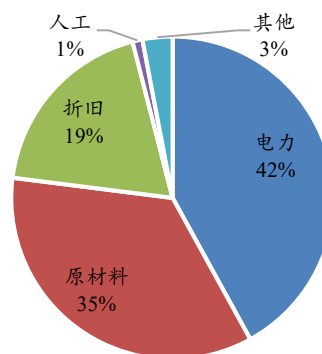
设备折旧：设备折旧也是多晶硅主要成本之一，占比约 19%左右，2022 年投产的万吨级多晶硅生产线投资成本为 10 亿元/万吨，较 2021 年小幅下降，建设周期约为 12-18 个月，投产后产能爬坡需要 3-6 个月，预计随着生产装备技术进步、规模扩张及工艺水平的提高，2030 年有望降至 9.3 亿元/万吨。

图表 15：改良西门子法成本走势图



资料来源：百川盈孚，宏源期货研究所

图表 16：改良西门子法成本拆分



资料来源：百川盈孚，宏源期货研究所

与改良西门子法相比，硅烷流化床法投资设备额、综合电耗、氢耗及水耗等更低，且投产周期更短，品质更优，但受限于技术壁垒，国内当前使用硅烷流化床法生产颗粒硅的主要有协鑫科技和天宏瑞科两家多晶硅企业。

作为国内颗粒硅先驱，协鑫科技 2012 年实现了颗粒硅千吨级中试，2016 年通过美国破产法院从 SunEdison 手里收购了 MEMC 硅烷流化床技术、CCZ 连续直拉单晶技术和资产，2021 年后实现了 2 万吨颗粒硅规模化投产，2023 年底宣布彻底放弃棒状硅的生产，全面转型颗粒硅，根据其 2023 年财报显示，当前拥有多晶硅（颗粒硅）产能 42 万吨，有效产能 34 万吨，预计 2024 年年底提升至 50 万吨，其徐州基地颗粒硅制造成本 43.73 元/kg，鑫元基地 2023 年四季度平均生产成本已降至 35.9 元/kg，远低于改良西门子法生产成本。

天宏瑞科是陕西有色旗下的有色天宏与挪威 REC 公司成立的合资公司，REC 公司是全球最早建立起颗粒硅生产线的企业之一，截至 2023 年年底，天宏瑞科拥有 1.8 万吨/年的颗粒硅产能，2023 年规划 8 万吨电子级颗粒硅项目，分为 2.5 万吨/年和 5.5 万吨/年两期建成投放，采用现有的冷氢化、歧化、精馏和 FBR 还原技术，利用四氯化硅、硅粉和氢气全部经 FBR 还原装置制备颗粒状多晶硅。

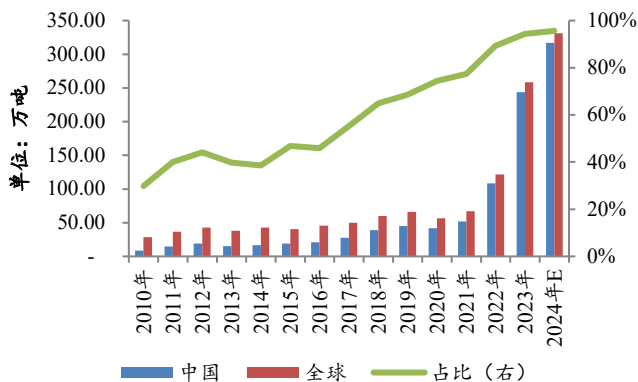
五、供给：中国逐渐成为主导力量，海外依赖度降低

多晶硅的生产技术起源于美国和欧洲地区，随着技术的不断成熟和市场的逐步扩大，西方国家开始建立多晶硅产线，实现了多晶硅量产，欧美等发达国家凭借先进的技术和资金优势，是多晶硅早期的主要生产力量，生产企业包括美国 HEMOLOCK、挪威 REC、美国 MEMC、德国 WAKER、韩国 OCI、日本 Tokuyama 等，市场规模扩张比较平稳，2020 年后随着中国多晶硅产业快速发展，海外部分企业因成本压力，不得不退出多晶硅市场，截至 2022 年底，海外多晶硅产能 15.70 万吨，较 2010 年下降 4.30 万吨。

与海外多晶硅市场相比，中国多晶硅量产进程相对较慢，但发展迅速。1996 年开始，在国家经贸委的支持下，峨眉半导体厂开始 100 吨/年多晶硅产业化关键技术研究，2002 年，四川新光开工建设国内首条千吨级多晶硅生产示范线，2005 年，洛阳中硅投产 300 吨多晶硅产业化项目，标志着我国打破国外的技术封锁，形成多晶硅规模化生产技术体系；2005 年之后，在太阳能级多晶硅需求下，国内资本大举进入多晶硅领域，产业规模迅速扩大，年产量从两三百吨发展至两万吨，随着产业不断扩张，多晶硅产能虚增，2009 年“国发 38 号文”将多晶硅行业定位为产能过剩行业，加之国外双反政策及信贷收缩，我国多晶硅企业陷入困境，截至 2013 年上半年，全国在产企业仅 13 家，多数产能 1,000-3,000 吨的多晶硅厂倒闭；2013 年国家出台《关于促进光伏产业健康发展的若干意见》，并将多晶硅从产能过剩行业中剔除，在光伏产业快速发展的拉动及政策支持下，我国多晶硅产业进入黄金发展期，逐渐成为全球多晶硅产能主力，截至 2020 年底，我国多晶硅产能 42.00 万吨，较 2010 年增加 33.50 万吨，占全球总产能 74%；2020 年后，在全球双碳目标及可再生能源发展的大背景下，多晶硅需求大增，供不应求，价格持续走高，国内多晶硅产能快速爆发，截至 2023 年底，我国多晶硅产能已提升至 244 万吨，全球占比提升至 94%，年产量 147 万吨，全球占比 89%，预计 2024 年国内多晶硅产能将突破 300 万吨，随着我国多晶硅产能快速扩展，我国净进口量逐年下降，进口依赖度逐渐降低，进口来源主要来自德国、日本、美国和韩国。

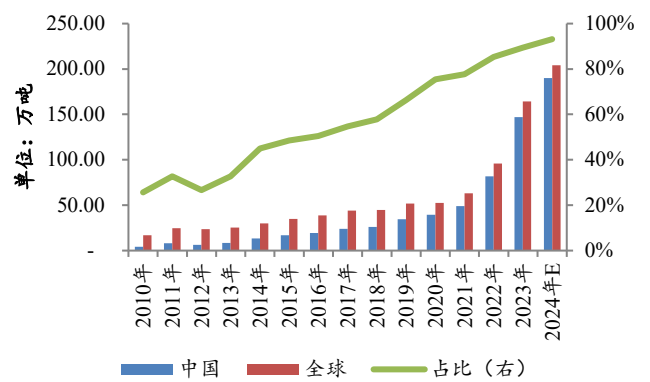
从地区分布来看，我国多晶硅产能集中在西北地区，且不断向新疆、内蒙古、四川等低电价地区转移或扩产；从企业分布来看，我国多晶硅产业行业集中度较高，产能主要集中在通威（含乐山永祥）、协鑫、新特能源、东方希望、大全能源等头部企业，前五名企业产能占比 66.80%，伴随着头部企业新增产能陆续投放，预计产业集中度将进一步提高。

图表 17：2010-2024 年中国及全球多晶硅产能



资料来源：硅业分会，SMM，宏源期货研究所

图表 18：2010-2024 年中国及全球多晶硅产量



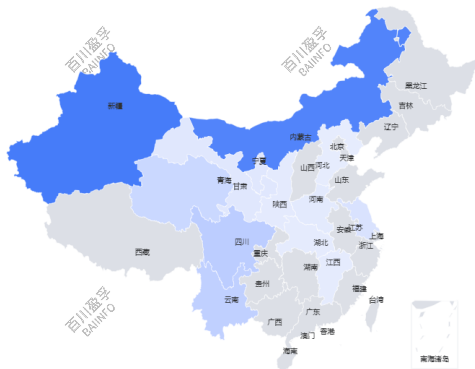
资料来源：硅业分会，SMM，宏源期货研究所

图表 19: 全球前十大多晶硅生产企业

2010 年			2021 年		
	企业名称	产能占比	企业名称	产能占比	
1	HEMOLOCK (美国)	12.60%	协鑫科技 (中国)	16.40%	
2	WAKER (德国)	10.70%	永祥股份 (中国)	14.90%	
3	OCI (韩国)	9.50%	WAKER (德国+美国)	12.70%	
4	保利协鑫 (中国)	7.40%	新特能源 (中国)	12.10%	
5	REC (美国)	5.80%	新疆大全 (中国)	11.90%	
6	Tokuyama (日本)	2.90%	东方希望 (中国)	10.40%	
7	MEMC (美国)	2.70%	Tokuyama (马来西亚)	4.50%	
8	江西赛维 (中国)	2.30%	亚洲硅业 (中国)	3.00%	
9	四川瑞能 (中国)	2.10%	天宏瑞科 (中国)	2.70%	
10	洛阳中硅 (中国)	1.80%	鄂尔多斯 (中国)	1.80%	
	小计	57.70%	小计	90.30%	

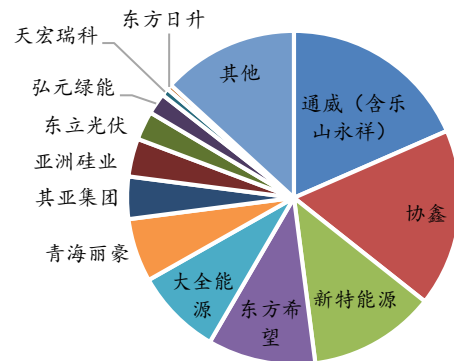
资料来源: 硅业分会, 宏源期货研究所

图表 20: 中国多晶硅产能分布



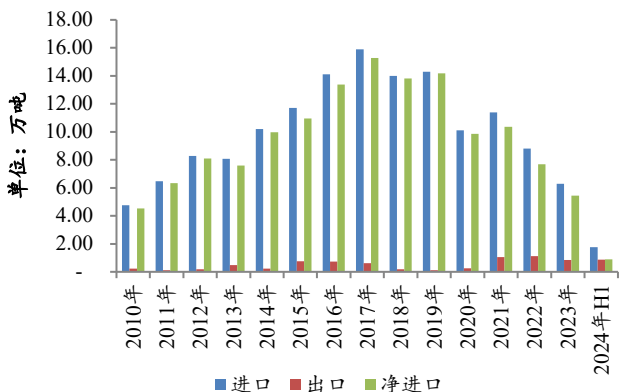
资料来源: 百川盈孚, 宏源期货研究所

图表 21: 中国多晶硅行业集中度 (截至 2023 年末)



资料来源: 公司公告, 宏源期货研究所

图表 22: 中国多晶硅进出口情况



资料来源: wind, 宏源期货研究所

六、需求：光伏产业快速发展，贡献主要需求增量

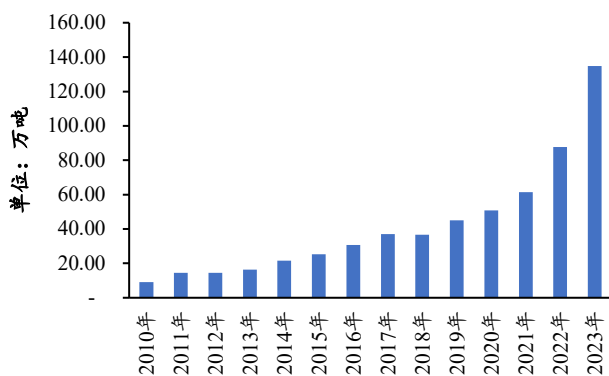
产业链来看，多晶硅下游包括多晶铸锭和单晶拉棒，通过切片制造成硅片/晶圆，进而用于制造晶硅电池/电子器件，最终应用于光伏和半导体产业，其中，超 90% 的多晶硅流向光伏产业，随着技术更新迭代，目前单晶产品市占率超 95%，光伏市场是当前多晶硅最主要的应用方向。

全球光伏市场发展可以分为诞生与发展期（1839-1954 年）、工业化时期（1954-2000 年）、欧洲市场主导期（2000-2011 年）、中国光伏时代（2011-2018 年）和全球多元化发展期（2018 年至今）^②，中国光伏市场虽起步较晚，但发展迅速，是当前全球第一大光伏大国，其次主要是欧洲、美国、日本、德国、印度等国家。

从下游硅片、电池片和组件市场来看，我国产能产量快速增长，具备全产业链和产业规模优势，制造成本低于欧洲和美国，在全球占有绝对领先和主导地位，贡献了全球主要的多晶硅消费量。截至 2023 年底，我国多晶硅消费量 134.73 万吨，全球占比约 95%；硅片年产量 597.51GW，较 2010 年的 11GW 增长 53 倍，年化增长率 35.78%，全球占比 98% 左右；电池片年产量 590.23GW，较 2010 年的 10.80GW 增长 54 倍，年化增长率 35.85%，全球占比超 80%；组件年产量 509.60GW，较 2010 年的 10.80GW 增长 46 倍，年化增长率 34.29%，全球占比 84% 左右。

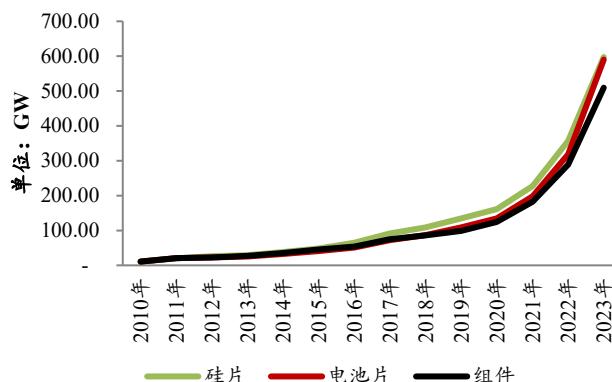
从进出口来看，我国硅片、电池片和组件都属于净出口国，且从我国出口的产品占海外消费的 50% 以上。2023 年，我国光伏产品（硅片、电池片及组件）合计出口量 1,027 万吨，较 2022 年增长 15.65%，但因 2023 年光伏产业过剩，价格一路下跌，出口呈现“量增价减”的格局，2023 年光伏产品（硅片、电池片及组件）合计出口额 439 亿美元，较 2022 年下滑 5.75%；分产品来看，组件贡献主要出口额，2023 年硅片、电池片、组件出口量分别为 383 吨、92,284 吨、10,177,379 吨，出口金额分别为 2 亿美元、42 亿美元、395 亿美元，其中，硅片主要出口至越南、泰国、马来西亚等东南亚国家，电池片主要出口至土耳其、印度、柬埔寨等国家，组件主要出口至荷兰、巴西、西班牙等国家。

图表 23：2010-2023 年中国多晶硅消费量



资料来源：硅业分会，SMM，宏源期货研究所

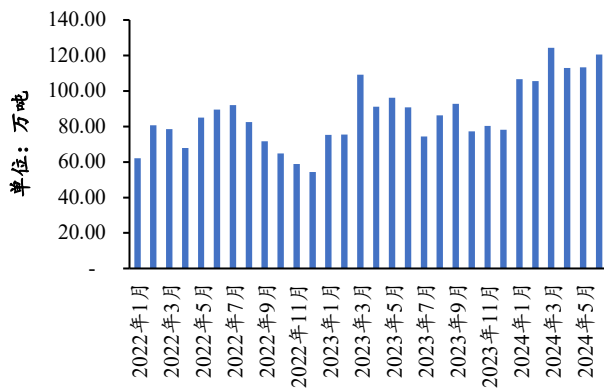
图表 24：2010-2023 年中国硅片、电池片、组件产量



资料来源：wind，SMM，宏源期货研究所

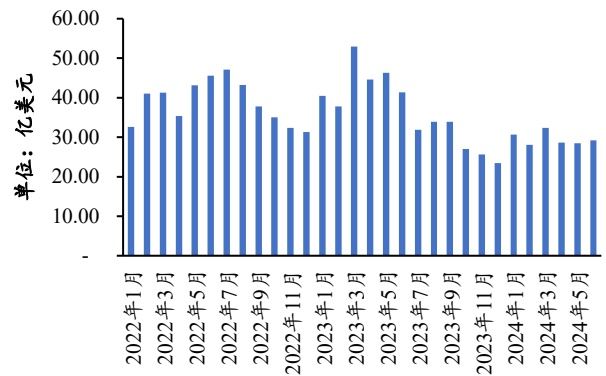
^② 详细发展历程见报告《晶硅系列专题一：跌宕起伏的光伏发展史》

图表 25: 2021-2024H1 中国硅片、电池片、组件合计出口量



资料来源: 海关总署, 宏源期货研究所

图表 26: 2021-2024H1 中国硅片、电池片、组件合计出口额

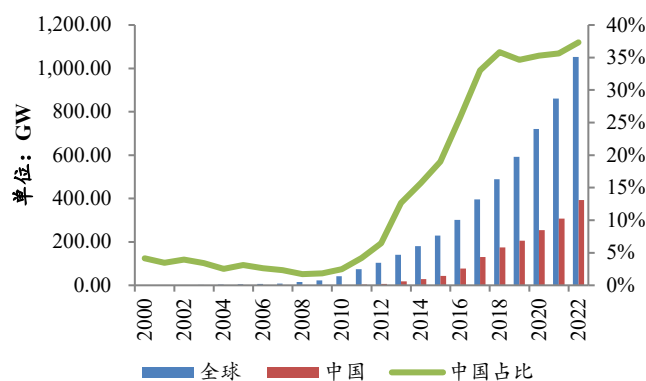


资料来源: 海关总署, 宏源期货研究所

从终端装机数据来看, 2022 年全球新增装机 191.58GW, 较 2010 年的 18.75GW 增长 922%, 年化增长率 20%, 中国新增装机 86.06GW, 较 2010 年的 0.61GW 增长 14,078%, 年化增长率 51%, 全球占比从 2010 年的 3% 增长至 45%; 全球累计装机量 1,053.12GW, 较 2010 年的 41.59GW 增长 2,432%, 年化增长率 30%, 中国累计装机 393.13GW, 较 2010 年的 1.02GW 增长 38,374%, 年化增长率 64%, 全球占比从 2010 年的 2% 提升至 37%。

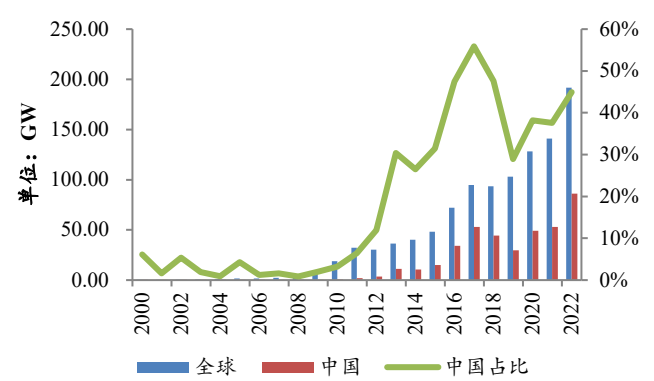
根据光伏发电系统的建设规模和集中程度, 可以分为集中式光伏发电系统和分布式光伏发电系统。分布式光伏发电系统是指在用户现场或靠近用电现场配置较小的光伏发电供电系统, 一般建于户用屋顶、厂房顶和蔬菜大棚等地方, 可就近发电、并网、转换、使用, 可解决电力在升压及长距离输送过程中的损耗问题, 分布式光伏电压等级低, 一般是 380V 电压并网, 集中式光伏发电系统是在沙漠、戈壁、山地、水面等场地集中建设的光伏电站, 所获的电力直接并入国家电网, 国家电网通过接入高压输电系统供给远距离负荷, 应用形式包括大型地面电站、农光互补、林光互补、水光互补项目等, 集中式光伏电压等级高, 一般为 35KV 或 110KV 电压并网。根据 CPIA 公布的数据显示, 2024 年一季度我国新增光伏装机中, 集中式占比 48%, 主要集中在内蒙古、新疆、河北、云南和海南等地区, 分布式占比 52% (工商业 37%, 户用 15%), 其中, 工商业分布式光伏装机主要分布在江苏、山东、安徽、河北和河南等地区, 户用分布式光伏装机主要分布在江苏、浙江、山东、广西和安徽等地区。

图表 27: 2000-2022 年全球及中国光伏累计装机情况



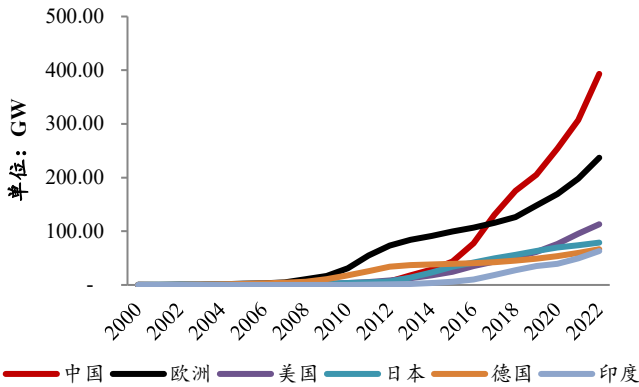
资料来源: wind, 宏源期货研究所

图表 28: 2000-2022 年全球及中国新增光伏装机情况



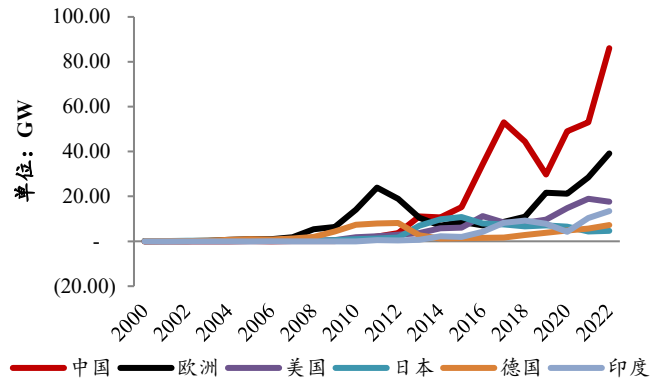
资料来源: wind, 宏源期货研究所

图表 29: 2000-2022 年全球主要国家光伏累计装机情况



资料来源: wind, 宏源期货研究所

图表 30: 2000-2022 年全球主要国家新增光伏装机情况



资料来源: wind, 宏源期货研究所

图表 31: 分布式光伏发电 VS 集中式光伏发电

项目指标	分布式光伏发电	集中式光伏发电
规模	通常规模较小, 安装在分散的位置, 如屋顶、墙壁、停车场顶棚等。	规模较大, 通常建在大型太阳能电站中, 集中在一个地区。
布局	分散在城市和农村的建筑物和设施之间。	光伏组件布局集中在较大的光伏电站内。
电网接入	通常连接到低压电网或近距离的用电负载, 供给当地用电需求, 并将多余的电力注入电网。	连接到高压输电线路, 将大量发电的电力送往更远的地方, 如城市或区域的用电中心。
应用场景	适用于居民区、商业区、工业区以及偏远地区, 能够为当地的建筑和设施提供可再生能源, 降低电力成本, 改善电力供应。	适用于大规模电力供应, 为城市和区域提供大量的清洁能源, 支持大规模能源转型和碳减排。
技术管理	由许多小型光伏电站组成, 技术管理相对较为简单, 但需要对多个小规模系统进行管理。	采用大型光伏电站技术, 需要复杂的技术和管理手段来确保电站的运行和维护。
优点	①灵活性和分散性: 分布式光伏系统规模相对较小, 可以安装在建筑物的屋顶、墙壁、停车场等位置利用现有空间, 无需大片土地。 ②近距离供电: 分布式光伏系统接近用电负荷, 减少电力输送损耗, 提高供电效率 ③可靠性: 分布式光伏系统分散布置, 降低了单点故障风险, 提高了系统的可靠性和稳定性 ④灵活扩展: 分布式光伏系统可以逐步扩展, 根据需求增加光伏组件, 灵活应对用电需求的变化。	①规模经济效益: 集中式光伏电站规模较大, 可以实现规模经济效益, 降低光伏组件和设备的采购成本。 ②专业化运维: 集中式光伏电站由专业团队运营管理, 维护更加专业化, 能够最大程度地保障电站的运行效率和稳定性 ③电力调度: 集中式光伏电站可通过电力调度, 实现电力的灵活调配, 满足电网需求
缺点	①占地成本较高: 分布式光伏系统安装在建筑物上, 可能会占用建筑物的一定空间, 影响建筑物的用途。 ②系统管理复杂: 分布式光伏系统分布广泛, 系统管理较为复杂, 需要对多个系统进行监控和维护 ③发电量波动: 分布式光伏系统受天气条件影响, 发电量波动较大, 难以实现稳定的发电输出。	①输电损耗: 集中式光伏电站可能位于较远的地区, 输电损耗较大, 影响电力输送效率 ②用地需求: 集中式光伏电站需要大面积的土地, 有可能引起土地资源争夺和环境影响 ③系统脆弱性: 集中式光伏电站规模大, 一旦发生故障或问题, 可能影响整个电站的运行

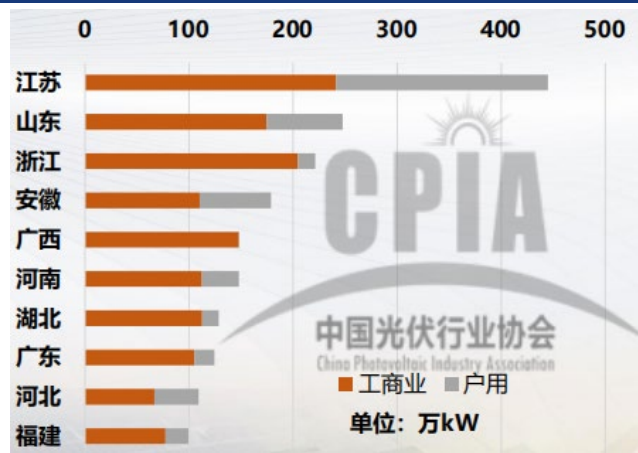
资料来源: 夏尔特拉(上海)新能源科技有限公司, 宏源期货研究所

图表 32: 集中式市场



资料来源: CPIA, 宏源期货研究所

图表 33: 分布式市场



资料来源: CPIA, 宏源期货研究所

七、总结与展望

多晶硅为光伏及半导体产业原材料, 地位十分重要。光伏产业链主要包括三个环节, 第一个环节是上游光伏原材料的生产加工, 包括工业硅到多晶硅料的生产、拉晶及硅片的切割, 进而应用于制造晶硅电池; 中游主要包括光伏玻璃、背板、电池片、组件、支架、逆变器等产品生产; 下游终端主要是光伏电站的集成和建设, 主要应用于无电场合提供电源、太阳能日用电子产品(如各类太阳能充电器、太阳能路灯及太阳能草地灯具等)和并网发电。

根据不同的用途, 对多晶硅的纯度要求不同。冶金级多晶硅一般硅含量为 5N~6N, 主要应用于建筑、航空、汽车、机械等领域; 电子级多晶硅一般硅含量达到 9N 及以上, 主要应用于半导体行业; 太阳能级多晶硅硅含量介于冶金级多晶硅和电子级多晶硅之间, 一般在 6N~9N, 主要应用于光伏行业, 受益于光伏产业的迅猛发展, 目前太阳能级多晶硅产量远大于冶金级和电子级多晶硅。

改良西门子法为主流生产工艺, 硅烷流化床法成本更低。经过六十多年的优化与提升, 改良西门子法目前已经发展到第三代, 生产出来的多为棒状硅, 下游使用前需进行破碎, 具有成本高、纯度高的特点, 目前国内多数企业均采用该法生产; 硅烷流化床法生产的多晶硅为颗粒硅, 下游无需破碎可直接使用, 且成本更低, 但危险性更高、纯度也相对较低, 目前国内使用硅烷流化床法生产颗粒硅的主要有协鑫科技和天宏瑞科两家多晶硅企业。

原料与电耗为多晶硅生产主要成本, 整体呈下降趋势。多晶硅生产过程的原材料成本占比约 35%左右, 综合能耗主要以电耗为主, 占总成本 42%左右, 根据百川盈孚数据, 当前改良西门子法生产多晶硅平均成本约为 4.5 万元/吨, 根据各公司财报数据显示, 截至 2023 年年底, 通威高纯晶硅成本已降至 4.2 万元/吨以内, 大全多晶硅单位现金成本 4.07 万元/吨, 单位成本 4.625 万元/吨, 协鑫科技徐州基地颗粒硅制造成本 43.73 元/kg, 鑫元基地 2023 年四季度平均生产成本已降至 35.9 元/kg, 远低于改良西门子法生产成本。

全球多晶硅产量逐年增加, 且生产逐渐向我国聚集。截至 2023 年底, 我国多晶硅产能已提升至 244 万吨, 全球占比提升至 94%, 预计 2024 年国内多晶硅产能将突破 300 万吨, 随着我国多晶硅产能快速扩展, 我国净进口量逐年下降, 进口依赖度逐渐降低, 进口来源主要来自德

国、日本、美国和韩国；从我国地区分布来看，多晶硅产能集中在西北地区，且不断向新疆、内蒙古、四川等低电价地区转移或扩产，产业集中度较高，前五名企业产能占比 66.80%，伴随着头部企业新增产能陆续投放，预计产业集中度将进一步提高。

光伏为主要应用方向，我国贡献多晶硅主要消费量。2023 年，我国多晶硅消费量 134.73 万吨，全球占比约 95%，超 90% 的多晶硅流向光伏产业，随着技术更新迭代，目前单晶产品市场占有率超 95%；从下游硅片、电池片和组件市场来看，我国产能产量快速增长，全球占比均超 80%，在全球占有绝对领先和主导地位。

产业过剩，多晶硅价格走势疲软。2023 年以来，光伏产业逐渐从供需紧张转向供给宽松格局，加之需求端持续疲软，产业链价格全线下跌，今年 5 月开始，多晶硅价格逐渐跌破部分厂家成本线，硅料厂开始减产，6 月开始减产范围进一步扩大，产量增幅由正转负，部分新增产能被迫延期投放，多晶硅价格暂稳，短期来看，多晶硅市场库存压力依旧较大，考虑某头部大厂或在 8 月迎来大幅减产，市场挺价心态明显，预计多晶硅价格继续持稳为主，价格反转尚需等待，后续随着广期所多晶硅期货上市，将为产业提供更多的风险管理工具。

免责条款:

宏源期货有限公司是经中国证监会批准设立的期货经营机构，已具备期货交易咨询业务资格。

本报告分析及建议所依据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，也不保证所依据的信息和建议不会发生任何变化。我们已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，不构成任何投资建议。投资者依据本报告提供的信息进行期货投资所造成的一切后果，本公司概不负责。本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，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，需注明出处为宏源期货，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

风险提示：期市有风险，投资需谨慎。

