

多晶硅系列专题（四）多晶硅产业链及全球供应概况

张秀睿 F03099436 Z0021022

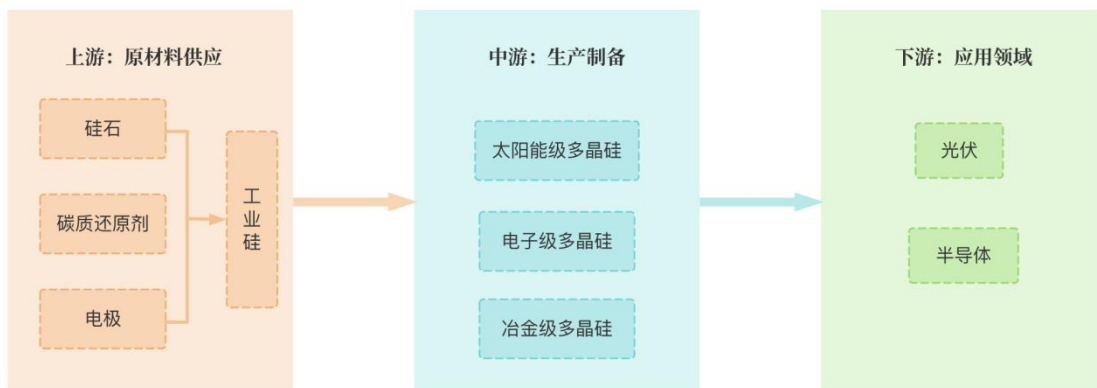
国投安信期货研究院

导读：多晶硅期货预期今年在广州期货交易所上市。多晶硅不仅是工业硅主要的消费下游，也是光伏产业的核心原材料。为帮助投资者了解多晶硅基础知识，我们计划推出多晶硅专题系列报告，本文作为第四篇，重点阐述多晶硅产业链及全球供应概况。

一、多晶硅产业链

多晶硅产业链主要包括上游原材料供应、中游生产制备以及下游应用领域三个主要环节。上游生产的主要原材料为工业硅；中游按纯度由低到高，可分为冶金级多晶硅、太阳能级多晶硅、电子级多晶硅三类；下游消费主要分为光伏及半导体领域。

图：多晶硅产业链



资料来源：公开信息、国投安信期货

在过去十年中，多晶硅在光伏产业应用实现了显著增长，其年均复合增长率约为 19%，总量从 28 万吨增加至 135 万吨。而半导体行业对多晶硅需求相对稳定，年复合增长率仅为 2%，消费量从 3 万吨上升至 3.6 万吨，总消费量比例仍不足 3%。因此，下面重点解构光伏产业中多晶硅产业链的各环节情况：

光伏产业链构成了一个庞大且复杂的系统，其中多晶硅作为光伏电池的关键原材料，随着技术的持续发展，多晶硅的纯度得到了显著提升，以适应光伏电池对高品质原材料的严格要求。

1. **多晶硅-硅片**：多晶硅原料被放入高温炉中，通常要达到 1400 度以上的高温才能熔化。这一步骤需要用到热场材料，如石英坩埚等，以承受高温并保护炉体；熔化后的多晶硅通过特定的工艺（如 CZ 直拉法）拉制成硅棒，这一过程中，硅液被缓慢冷却并提拉，形成连续的硅晶体；拉制好的硅棒被切割成一定长度的段，切割后的硅棒段经过磨面、抛光等工序，以去除表面缺陷和不平整，提高硅片的表面质量；将磨抛后的硅棒切割成薄片，一般片厚约 0.3 毫米，即硅片，这是整个硅片加工流程中最为重要的一环，需要使用高精度的切割设备（如金刚线切割机）来确保硅片的厚度均匀性和表面平整度；切好的硅片清洗以去除表面的杂质和残留物，并进行严格的检验以确保其质量符合标准；检验合格的硅片按照不同的规格和用途进行分类和包装，用于后续的运输和使用。

为了提高光伏组件效率，硅片正朝着大尺寸化的方向发展，目前市场上主流的硅片尺寸包括 182mm 和 210mm 等；随着金刚线切割技术的不断进步，市场正致力于通过减薄硅片厚度实现降本增效。

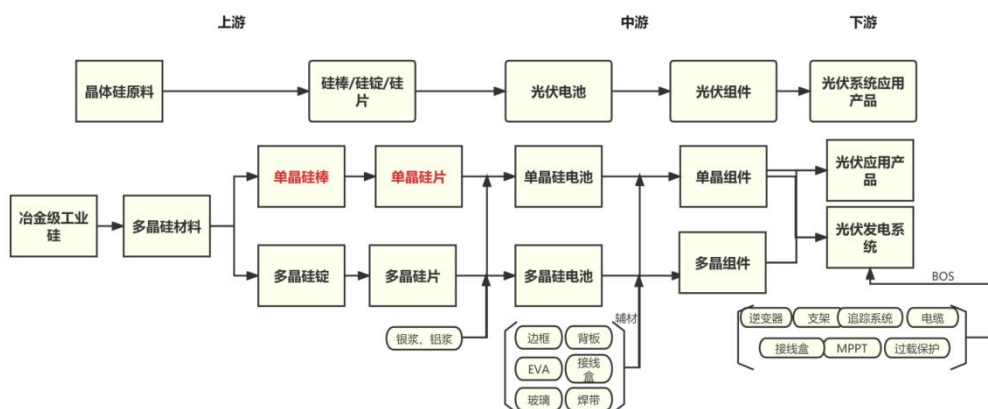
2. **硅片-电池片**：在生产太阳能电池片的过程中，首先需要在硅片上进行掺杂和扩散处理，通常使用的掺杂元素包括微量的硼、磷、锑等；扩散过程是在由石英管构成的高温扩散炉中完成的，结果是在硅片上形成 P/N 型的结；接下来，采用丝网印刷技术，将精确配制的银浆印刷在硅片上，形成栅线；经过烧结步骤，同时制造出背电极，并在带有栅线的表面涂覆减反射层，以减少光子被硅片光滑表面反射的情况；通过这些步骤，单晶硅太阳能电池的单元片得以制成。

3. **电池片-组件**：电池片单体的发电能力有限，必须通过串联并封装成组件；组件主要由电池片、互联条、汇流条、钢化玻璃、EVA、背板、铝合金、硅胶、接线盒等 9 个主要部分构成；作为光伏发电系统的核心部分，光伏组件的性能直接关系到整个系统的发电效率和使用寿命。

4. **组件-发电系统**：组件转化为发电系统，涉及将多个组件与关键设备（如逆变器、控制器、蓄电池等）整合，以构建太阳能转换为电能的系统。逆变器作用至关重要，负责将组件产生的直流电转换为交流电；对于独立运行的光伏发电系统，控制器是不可或缺的组件，它负责监控和调节蓄电池的充放电过程，确保不会发生过充或过放现象；此外，为了应对光伏组件在无光照条件下或发电量不足的情况，离网光伏发电系统还需配备蓄电池来储存多余

的电能。

图：以多晶硅为原材料的光伏产业链



资料来源：公开信息、国投安信期货

二、多晶硅全球供应概况

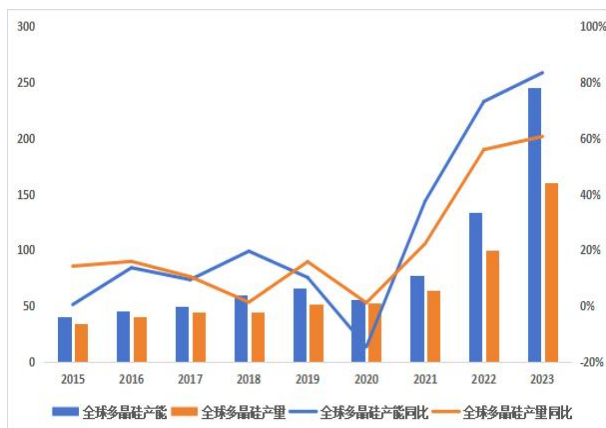
(一) 产能产量

近些年，随着国际能源结构的优化以及绿色发展战略的深入推进，全球各国积极应对可持续发展挑战，并致力于履行关于碳排放的国际承诺。在此背景下，光伏应用市场在全球范围内展现出强劲增长势头，直接推动了光伏原材料多晶硅供应的大幅增加，其中中国在多晶硅产业规模发展中起到了主导作用。

2021 年前，全球多晶硅的产能和产量增长维持相对平稳的趋势。自 2020 年 9 月中国提出“双碳”目标以来，中国多晶硅头部生产商纷纷开始扩产计划。2021 年末及 2022 年，新增产能逐步建成，并提高运行负荷。与此同时，地缘政治的紧张局势加速了能源转型的步伐，2022 年、2023 年全球光伏新增装机量同比激增 35.3% 及 67.5%，而这一时期中国多晶硅产量集中释放，供给比例显著提升。

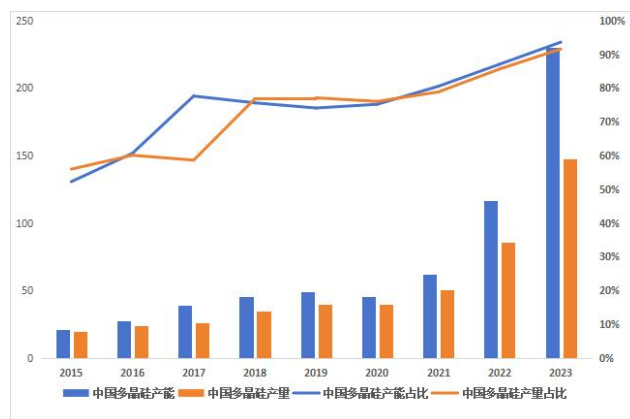
根据 CPIA 统计数据，2015 年全球多晶硅的产能和产量分别为 40.2 万吨和 35.4 万吨。2023 年，全球多晶硅的产能产量分别增长至 245.8 万吨和 160.8 万吨，年均复合增长率实现了 25.4% 和 21.2% 的增长。2023 年，全球多晶硅供应中，中国的产能和产量的比例约达 92.9% 和 91.5%，占据了绝对的主导地位。

图：2021 年后全球多晶硅产业规模激增



数据来源：CPIA、硅业分会、国投安信期货

图：2023 年中国多晶硅供应占全球比例超九成



数据来源：CPIA、硅业分会、国投安信期货

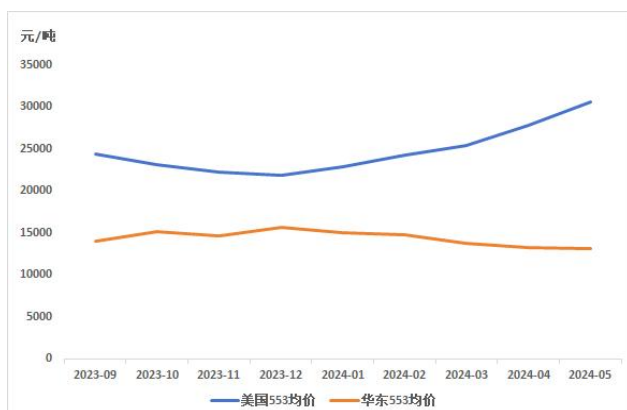
2. 产业分布

近年来，我国多晶硅产业规模实现了迅猛扩张，与此同时，海外市场所占份额持续缩减。这一趋势主要归因于我国在多晶硅生产中电力及原料成本方面的显著优势。正如上份报告指出，这两项成本合计约占多晶硅总生产成本的 70%。2020 年，韩国 OCI 公司关闭其本土的两家多晶硅工厂，主要是由于中国低成本多晶硅新建产能的增加，使得其生产成本几乎倒挂了平均价格的 2 倍。具体分析我国多晶硅产业的优势如下：

首先，在工业硅原料成本方面，我国作为工业硅的最大的生产国，具有较为明显的价格优势，以 2023 年 12 月价格为例，根据 SMM 数据进行汇率换算，美国 553 硅均价约为 21860.5 元/吨，而华东通氧 553 均价仅为美国 553 均价的 71%，再按照国内工业硅块与硅粉之间 150 元/吨左右的价差进行计算，在美国生产每吨多晶硅的成本较中国高出约 6761.4 元。

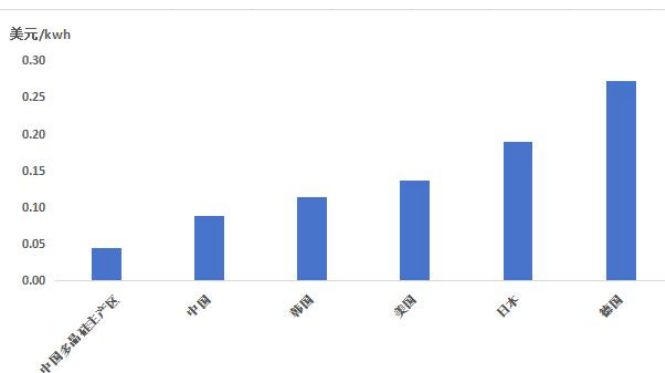
其次，在电力成本方面，我国企业的平均电价相对较低。据 GlobalPetrolPrices 数据显示，我国企业的平均电价仅为美国的 65%。此外，我国多晶硅的主要产区位于电力资源丰富的西北及西南地区，这些地区的平均电价大约为 0.045 美元/kwh（以 2023 年 12 月的人民币汇率进行换算），相当于美国企业电价的 32.8%，以及多晶硅生产国中电价最低的韩国的 39%。根据 2023 年国内多晶硅生产平均电耗 57kWh/kg 估算，韩国多晶硅的电力成本每千克比中国高出约 4 美元，而美国多晶硅的电力成本每千克比中国高出约 5.2 美元。

图：国内外工业硅原料价差较大



数据来源：SMM、iFind、国投安信期货

图：海外高电价不具备生产优势



数据来源：GlobalPetrolPrices、iFind、国投安信期货

备注：2023 年 12 月电价计算

另一方面，我国多晶硅产业的迅猛发展得益于政策的支持与引导：2011 年至 2013 年，政策出台确立了多晶硅的产品指标标准，规范了行业准入门槛；2019 年，对原产美、韩太

太阳能级多晶硅的反倾销税率政策得以实施；2020 年，政策鼓励推动光伏产业链的一体化建设，营造良好的商业环境；2022 年，进一步鼓励多晶硅企业向自动化、数字化、信息化、智能化方向发展；2023 年至今，政策指明了多晶硅产业高质量发展的方向，并对新建及扩产产能进行严格的高水平控制。

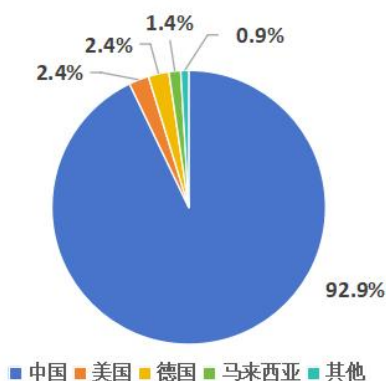
图：我国多晶硅相关产业政策

时间	发文部门	文件名称	相关内容
2011年3月	工信部等部门	《多晶硅行业准入条件》	从项目建设条件和生产布局、生产规模与技术设备、资源回收利用能耗、环境保护、产品质量、安全、卫生和社会责任等方面，规定多晶硅行业准入条件。
2013年9月	工信部	《光伏制造行业规范条件》	光伏制造企业多晶硅项目每期规模大于3000吨/年,产品需满足《太阳能级多晶硅》(GB/T25074)1级品的要求,新建改建项目多晶硅满足《硅多晶》(GB/T12963)2级以上要求,并对资源利用和能耗提出了要求。
2019年1月	商务部	关于对原产于美国和韩国的进口太阳能级多晶硅反倾销措施期限终裁裁定	自2020年1月20日起,对原产于美国和韩国的进口太阳能级多晶硅继续征收反倾销税,实施期限为5年。
2021年10月	发改委等部门	关于推广“十三五”时期产业转型升级示范区典型经验做法的通知(发改振兴[2021]1454号)	推动能源企业向发展新能源转型,形成“硅矿-工业硅-多晶硅-单晶硅-电池片-太阳能组件-光伏发电”产业链体系。
2022年8月	工信部办公厅等部门	关于促进光伏产业链供应链协同发展的通知	根据产业链各环节发展特点合理引导上下游建设扩张节奏,优化产业区域布局,避免产业趋同、恶性竞争和市场垄断。优化营商环境,规范市场秩序,支持各类市场主体平等参与市场竞争。为促进削峰填谷和产业链稳定,鼓励有关企业及公共交易机构等合理开展多晶硅及电池等物料储备,严禁囤积居奇。
2022年10月	发改委办公厅	关于促进光伏产业链健康发展有关事项的通知(发改办运行[2022]788号)	保障多晶硅生产所需的原材料供应、用电用水用工等,合理安排检修、技术改造等计划,确保已有产能开工率。支持多晶硅企业加强技术创新研发,提升生产线自动化、数字化、信息化、智能化水平,降低能耗水平,提高生产效率与产品优良率。
2023年8月	工信部等部门	《有色金属行业稳增长工作方案》	硅等消费规模较大且具有增长潜力的品种,通过加强上下游对接、举办大型展会、打造样板工程等方式,扩大材料及产品应用领域。加速开发并推广高品质多晶硅。
2023年12月	发改委	《产业结构调整指导目录》	鼓励类中包含新能源材料:硅能源(晶硅光伏)材料,包括配套的高纯多晶硅(棒状多晶硅、粒状多晶硅)、高效单晶硅棒、高效单晶硅片。
2024年4月	发改委	《节能降碳行动方案》	新建多晶硅、锂电池正负极项目能效须达到行业先进水平。
2024年7月	工信部	《光伏制造行业规范条件(2024年本)》 《光伏制造行业规范公告管理办法(2024年本)》(征求意见稿)	现有多晶硅项目还原电耗小于46千瓦时/千克,综合电耗小于60千瓦时/千克;新建和改扩建项目还原电耗小于44千瓦时/千克,综合电耗小于57千瓦时/千克。多晶硅满足《电子级多晶硅》(GB/T12963)3级以上要求或《流化床法颗粒硅》(GB/T35307)特级品的要求。

资料来源：安泰科、公开信息、国投安信期货

由于生产成本的限制，海外多晶硅产能的扩张速度较为缓慢。截至 2023 年，德国、美国和马来西亚成为多晶硅的主要供应国，这三国的产能总和占海外总产能的 86.8%。然而，在我国显著的生产优势下，这三国的产能在全球总产能中的比重仅为约 7.1%。具体来看，德国在海外产能中占据领先地位，年产能大约为 6 万吨；美国的年产能约为 5.8 万吨；马来西亚的年产能则为 3.5 万吨。

图：2023 年海外多晶硅产能占比约为 7%



数据来源：安泰科、草根光伏

3. 主要厂商

2010 年至 2023 年期间，多晶硅行业的集中度显著提升，前 10 名企业的市场份额从 57.7% 增长至 91.7%，产能几乎完全集中在几家规模较大的生产商手中。

对比来看，在 2010 年，全球多晶硅产能前 7 位的企业，除中国协鑫集团外，依次为美国的 Hemlock 半导体公司、德国瓦克化学公司（Wacker Chemie AG）、韩国的 OCI 公司、新加坡 REC 集团的美国工厂、日本的 Tokuyama 化工生产商和美国的 Sunedison（原名 MEMC）多晶硅大厂。

在 2023 年的全球多晶硅产能排名中，中国企业数量显著增长，从先前的 4 家增至 9 家。在排名前 6 的多晶硅生产企业中，中国企业占据了全部席位，依次为：永祥股份、协鑫科技、新特能源、大全能源、新疆大全、东方希望以及亚洲硅业。先前位列榜单的几家海外公司已不再出现，德国瓦克（Wacker）公司现居第 7 位；美国 Hemlock 公司由于美国对中国征收进口多晶硅的关税，其出口竞争力受到削弱；新加坡 REC 公司的两家位于挪威的多晶硅生产工厂因电力成本过高而被迫关闭，目前在美国拥有约 2 万吨的产能；韩国 OCI 公司为了降低成本，已将主要产地迁移到马来西亚，目前年产能为 3.5 万吨，并计划到 2027 年增至 5.66 万吨以满足美国市场需求，同时计划与日本 Tokuyama 公司合作建设 1 万吨的多晶硅产能。总体而言，海外多晶硅产能规模增长幅度较小，除了生产成本的考量外，新建项目也更多地受到政治因素的影响。

图：2010 年全球多晶硅前 10 产能企业

	企业	全球产能占比
1	HEMOLOCK（美国）	12.6%
2	WAKER（德国）	10.7%
3	OCL（韩国）	9.5%
4	保利协鑫（中国）	7.4%
5	REC（美国）	5.8%
6	Tokuyama（日本）	2.9%
7	MEMC（美国）	2.7%
8	江西赛维（中国）	2.3%
9	四川瑞能（中国）	2.1%
10	洛阳中硅（中国）	1.8%
	合计	57.7%

图：2023 年全球多晶硅前 10 产能企业

	企业	全球产能占比
1	永祥股份（中国）	21.7%
2	协鑫科技（中国）	19.3%
3	新特能源（中国）	14.9%
4	新疆大全（中国）	10.9%
5	东方希望（中国）	7.4%
6	亚洲硅业（中国）	4.9%
7	WAKER（德国+美国）	4.2%
8	青海丽豪（中国）	3.0%
9	润阳新能源（中国）	3.0%
10	新疆晶诺（中国）	2.5%
	合计	91.7%

数据来源：硅业分会

免责声明

国投安信期货有限公司是经中国证监会批准设立的期货经营机构，已具备期货投资咨询业务资格。本报告仅供国投安信期货有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。如接收人并非国投安信期货客户，请及时退回并删除。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及推测只提供给客户作参考之用。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的期货或期权的价格、价值可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。客户不应视本报告为其做出投资决策的唯一因素。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所导致的任何损失负任何责任。本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，本公司不对其内容的真实性、合法性、完整性和准确性负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。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。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。