

大宗商品视角下的光伏产业系列专题 之上游篇：硅料、硅片的供需分析

报告要点

本文通过对硅料和硅片的产业链分析，介绍了光伏上游原材料的供需历史表现，以及流通产品变化、技术发展带来的成本耗能变化。同时，通过对企业投产计划和开工率水平的预测，结合下游及终端需求的预期，模拟了不同情景下，硅料和硅片至2030年的供需平衡情况。

摘要：

2022年多晶硅供需偏紧，2023年后多晶硅或出现过剩：从供应端看，2021年在国内多晶硅紧缺的背景下，多晶硅利润率达到80%以上，促使国内企业纷纷加速投产，预期至2025年，中国国内产能将由51.9万吨增至400万吨，在海外投产不明和较为稳定的历史产能表现基础上，我们假设海外产能不变，则全球产能将由67.1万吨增至415.2万吨。上游工业硅的投产完全能够覆盖其产量。**从需求看**，全球多晶硅在乐观/中性条件下，2025年在光伏行业需求为57/87万吨，2030年在光伏行业需求为67/113万吨。多晶硅的主要用途为光伏，电子级多晶硅占比极小，目前对于终端需求多晶硅产能已存过剩，在光伏产业链中，由于下游扩产速度较快，造成阶段性紧缺，预计在2023年开始多晶硅出现过剩。

2022-2023年硅片供需偏松，后期供需缺口或收窄：从供应看，2021-2023年全球硅片产能急剧扩张至620GW左右，由于最近三年硅片原料的短缺，硅片产能利用率低于70%。我国硅片产能最近三年占全球市场95%以上，硅片主要以出口为主。硅片生产过程中，生产成本逐年下降，单晶硅片降幅超过多晶硅片。**从需求看**，全球光伏硅片在乐观/中性条件下，2025年需求为305GW/198GW，2030年需求为395GW/233GW。硅片尺寸需求逐步形成182mm和210mm的占比格局，硅片厚度主要向超薄方向发展，2030年N型硅片厚度有望降低至130 μ m左右。**从供需平衡看**，全球硅片在2017、2018年存在供需缺口，供给不足；2019至2021年处于供需紧平衡状态。预计2022年全球硅片供需边际宽松，2023年后供需缺口或逐步收窄。

风险因素：光伏装机需求超出预期，硅片供需继续出现短期缺口。

投资咨询业务资格：
证监许可【2012】669号

有色金属研究团队

研究员：
沈照明
从业资格号 F3074367
投资咨询号 Z0015479

产业咨询组

研究员：
刘高超
从业资格号 F3011329
投资咨询号 Z0012689

能源与碳中和组

研究员：
朱子悦
从业资格号 F03090679
投资咨询号 Z0016871

“光伏”系列研究

专题报告一（总量篇）：能源转型，春“光”正好——
20220414

专题报告二（政策篇）：全球光伏产业政策分析——20220506

专题报告三（产业链）：产业概况及产业利润分析——
202205019

专题报告四（上游）：硅料、硅片的供需分析

目录

摘要:	1
一、多晶硅供应：产能产量快速增长	5
1. 全球多晶硅产能产量快速增长	5
2. 我国多晶硅产能产量主要集中在西北地区，且产业集中度高	6
3. 多晶硅生产工艺、冶炼成本及利润	7
4. 多晶硅以进口为主，但近年对外依存度下降	11
二、多晶硅需求：光伏主导未来增长	11
1. 多晶硅消费量持续增长	12
2. 多晶硅消费以光伏为主	12
3. 中性/乐观情景下，2030 年全球多晶硅光伏需求或达到 67/113 万吨	12
三、多晶硅供需平衡：逐步转向供过于求	13
1. 供应端预测：2030 年中国/全球多晶硅产量或达到 360/373 万吨	14
2. 基于终端的需求预测：中性/乐观情景，2030 年多晶硅消费量或达到 74/121 万吨	15
3. 基于硅片的需求预测：2023 年开始全球和中国多晶硅均过剩	16
四、硅片供应：产能扩张明显	16
1. 全球硅片产能急剧扩张	16
2. 我国硅片产能集中度高，产量已达到 227GW	17
3. 硅片产能建设周期 2 年以内，投资成本持续下降	18
4. 我国硅片出口在全球占据主导地位	19
5. 硅片生产过程、生产成本及利润	20
五、硅片需求：总体需求保持高增，大尺寸和薄片化硅片占比提升	23
1. 中性/乐观情景下，2030 年全球硅片需求或达到 233/395GW	23
2. 硅片尺寸和厚度需求变化	23
2.1. 大尺寸硅片占比提高	23
2.2. 薄片化硅片占比提高	24
六、硅片供需平衡：供需缺口或先扩大后收窄	25
1. 硅片供需平衡：到 2030 年，全球硅片供需缺口逐步收窄	25
2. 硅片价格：2023 年价格重心下移	27
免责声明	28

图目录

图 1:	全球多晶硅产能及增速 单位: 万吨.....	5
图 2:	全球多晶硅产量及增速 单位: 万吨.....	5
图 3:	全球和中国多晶硅开工率接近 100%	6
图 4:	2021 年中国产能分布.....	6
图 5:	2021 年中国产量分布.....	6
图 6:	2022 年 5 月中国企业产能概况 单位:吨.....	7
图 7:	未来投产快速增加 单位: 万吨.....	7
图 8:	三氯氢硅法(改良西门子工艺)	8
图 9:	硅烷流化床法.....	8
图 10:	预测颗粒硅市场普及度走高.....	9
图 11:	硅单耗预期 单位: kg/kg-Si.....	10
图 12:	综合电耗预期 单位: kWh/kg-Si	10
图 13:	还原电耗预期 单位: kWh/kg-Si	10
图 14:	冷氢化电耗预期 单位: kWh/kg-Si	10
图 15:	水耗预期 单位: t/kg-Si.....	10
图 16:	蒸汽耗量预期 单位: kg/kg-Si.....	10
图 17:	2022 年 5 月单吨多晶硅成本结构 单位: 元, %.....	11
图 18:	多晶硅行业生产利润 单位: 元, %	11
图 19:	进口依存度不断下降 单位: 吨.....	11
图 20:	多晶硅表观消费量 单位: 万吨.....	12
图 21:	2020 年全球多晶硅产品消费 单位: 万吨.....	12
图 22:	单晶硅片占比不断走高.....	12
图 23:	全球光伏累计装机量及预测量 单位: GW	13
图 24:	全球光伏新增装机量及预测量 单位: GW	13
图 25:	中国光伏累计装机量及预测量单位: GW	13
图 26:	中国光伏新增装机量及预测量单位: GW	13
图 27:	工业硅低开工率现状 单位: 万吨.....	14
图 28:	工业硅预期投产 单位: 万吨.....	14
图 29:	2022 年后全球多晶硅过剩(乐观) 单位: 万吨.....	15
图 30:	2022 年后全球多晶硅过剩(中性) 单位: 万吨.....	15
图 31:	2022 年后全球多晶硅过剩(乐观) 单位: 万吨.....	15
图 32:	2022 年后全球多晶硅过剩(中性) 单位: 万吨.....	15
图 33:	全球多晶硅 23 年对硅片过剩 单位: 万吨.....	16
图 34:	国内多晶硅 23 年对硅片过剩 单位: 万吨.....	16
图 35:	全球硅片产能及中国占比 单位: GW	17
图 36:	我国硅片产能及产量单位: 万吨.....	17
图 37:	硅片行业集中度 单位: 万吨.....	17
图 38:	部分硅片厂产能及历年新增产能情况 单位: 万吨.....	18
图 39:	拉棒/铸锭环节设备投资变化 单位: 万元/吨.....	19
图 40:	切片环节设备投资变化 单位: 万元/吨.....	19
图 41:	单晶硅片出口当月值 单位: 吨.....	19

图 42:	单晶硅片出口年度值 单位: 吨.....	19
图 43:	单/多晶硅片生产工艺.....	20
图 44:	单晶硅片和多晶硅片市场份额.....	21
图 45:	硅片生产电耗 单位: kWh/kg.....	21
图 46:	单晶硅片和多晶硅片单炉投料 单位: kg.....	21
图 47:	硅片生产耗多晶硅量 单位: kg/kg.....	21
图 48:	切片耗水量变化 单位: t/百万片.....	22
图 49:	单位质量(每公斤)出片量 单位: 片/kg.....	22
图 50:	人均产出率变化趋势 单位: t/年/人, 百万片/年/人	22
图 51:	硅片成本 单位: %	22
图 52:	全球硅片需求量 单位: GW	23
图 53:	中国硅片需求量 单位: GW	23
图 54:	硅片种类及变化.....	24
图 55:	硅片尺寸占比变化预测.....	24
图 56:	硅片厚度变化预测 单位: μm	25
图 57:	第一种情况全球硅片供需缺口 单位: GW	26
图 58:	第一种情况中国硅片供需缺口 单位: GW	26
图 59:	第二种情况全球硅片供需缺口 单位: GW	26
图 60:	第二种情况中国硅片供需缺口 单位: GW	26
图 61:	第三种情况全球硅片供需平衡 单位: GW	27
图 62:	第三种情况中国硅片供需平衡 单位: GW	27
图 63:	2022 年硅片价格 单位: RMB/片.....	27
图 64:	2018 年至 2022 年多晶硅片价格 单位: RMB/片	27

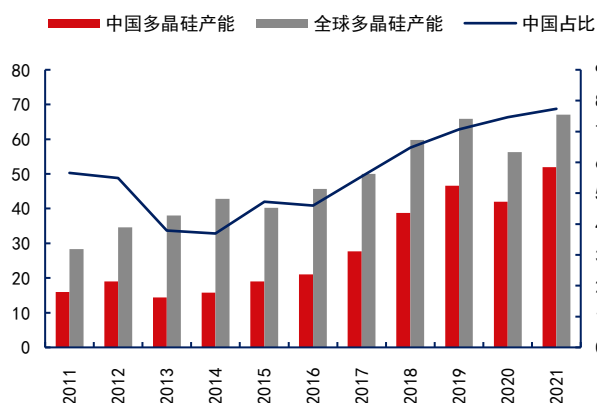
一、多晶硅供应：产能产量快速增长

1. 全球多晶硅产能产量快速增长

过去 10 年，全球多晶硅每年产能产量均实现快速增长，据 CPIA 数据，产能由 2011 年 28.3 万吨，增至 2021 年 67.1 万吨，复合增速达 9%；产量由 2010 年 16 万吨年产量，增至 2021 年 63 万吨，复合增速达 13%。全球多晶硅产能产量的快速增长更多受益于中国的增产，中国多晶硅产能由 2011 年 16 万吨增至 2021 年 51.9 万吨，复合增速达 12%；产量由 2010 年 5.2 万吨增至 2021 年 50.5 万吨，复合增速达 23%，增速远高于传统行业。中国产量占比由 2010 年的 33% 增至 2021 年的 80%，成为全球绝对意义的多晶硅主产国。

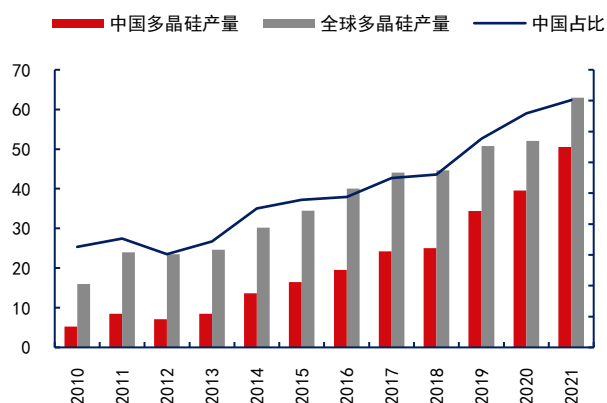
从开工率角度来看，中国产能产量在全球的份额逐步走高，全球开工率与中国开工率愈发趋同。随着下游光伏产业的快速发展，近几年多晶硅开工率始终维持较高位置，在双碳政策引导下，2021 年国内开工率升至 97%，多晶硅的紧俏程度可见一斑。

图 1： 全球多晶硅产能及增速 单位：万吨



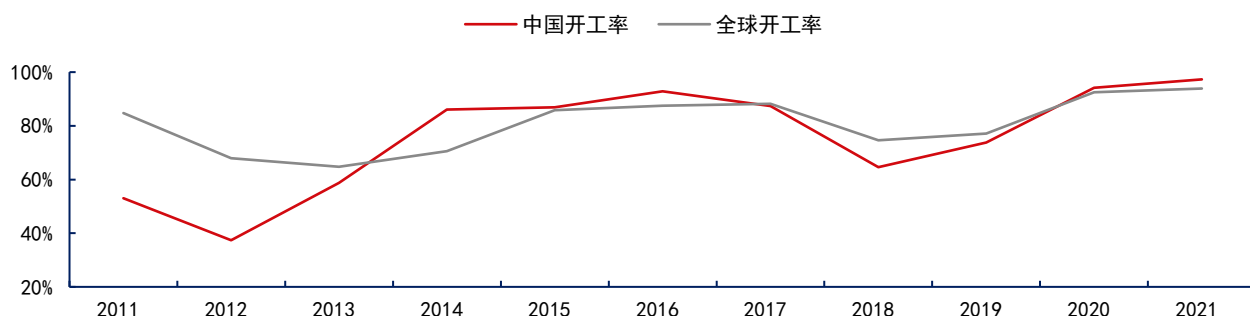
数据来源：CPIA 硅业分会 中信期货研究所

图 2： 全球多晶硅产量及增速 单位：万吨



数据来源：CPIA 硅业分会 中信期货研究所

图 3：全球和中国多晶硅开工率接近 100%

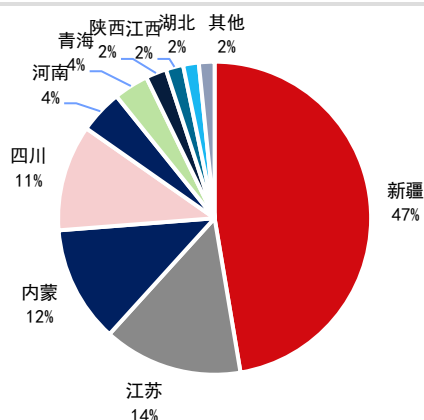


资料来源：CPIA 硅业分会 中信期货研究所

2. 我国多晶硅产能产量主要集中在西北地区，且产业集中度高

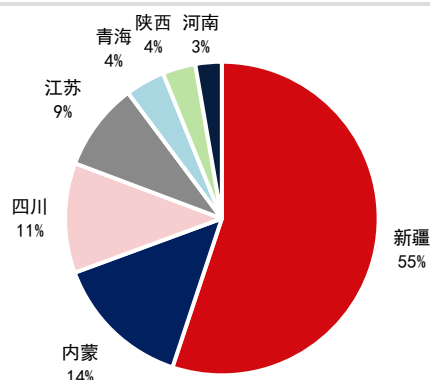
从区域分布来看，截至 2021 年底，我国多晶硅产能主要分布在新疆、江苏、内蒙和四川，分别占国内总产能的 47%、14%、12%和 11%，四省产能合计占比 84%。我国多晶硅产量主要分布在新疆、内蒙、四川和江苏，分别占比 55%、14%、11 和 9%，四省合计产量占比 89%，呈现生产地域较集中的特点，主要原因是当地电价较低，同时与其原料工业硅产地靠近。

图 4：2021 年中国产能分布



数据来源：百川盈孚 中信期货研究所

图 5：2021 年中国产量分布



数据来源：百川盈孚 中信期货研究所

我国多晶硅企业集中度极强，从企业分布来看，截至 2022 年 5 月，产能排名前 9 的企业合计产能达国内总产能的 87%。但需要注意的是，多家公司开始涌入多晶硅赛道，未来 4 年投产计划显示多晶硅供应将快速增加，行业集中度可能下滑。常规来看，多晶硅产能建设周期约 12-18 个月，产能爬坡周期约 3-6 个月，整体扩产周期长于下游环节，经调研显示，多晶硅生产有着极高的技术门槛，技术人才的匮乏也是导致很多企业投产进度不及预期的重要原因之一，所以投产计划的可落地性仍待进一步跟踪观测。

图 6： 2022 年 5 月中国企业产能概况 单位:吨

排名	企业名称	产能	有效产能	有效产能占比
1	永祥股份	131000	131000	20%
2	协鑫科技	115000	115000	17%
3	新疆大全	105000	105000	16%
4	新特能源	100000	72000	11%
5	东方希望	70000	70000	10%
6	亚洲硅业(青海)	50000	50000	7%
7	中硅高科	20000	20000	3%
8	鄂尔多斯多晶硅	12000	12000	2%
9	天宏瑞科	12000	12000	2%
1-9	前9企业合计	615000	587000	87%
10+	其他合计	130500	84000	13%
-	国内总计	745500	671000	100%

资料来源：百川盈孚 中信期货研究所

图 7： 未来投产快速增加 单位：万吨

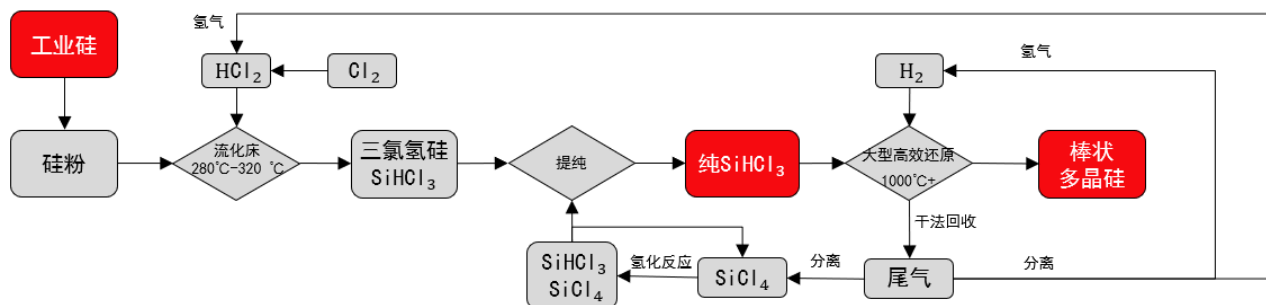
多晶硅产能（万吨/年）	2022	2023	2024	2025	备注
保利协鑫	22	36	57	57	颗粒硅50万吨，棒状6万吨，电子级1万吨
永祥股份	23	33	33	47	四川30万吨，云南包头各8-9万吨
新特能源	20	30	40	50	新疆30万吨，包头20万吨
新疆大全	12	22	22	32	新疆石河子12万吨，包头20万吨
东方希望	10	13	25	25	新疆13万吨，宁夏12.5万吨
亚洲硅业	5	9	9	9	青海2+3+4万吨
新进企业	16家，190+（投产时间具有不确定性）				青海丽豪20万吨、新疆晶诺10万吨、宁夏宝丰15万吨、合盛20万吨、信义20万吨、上机、阿特斯、润阳等
产能总计	99.7	205	296	400+	可满足1000GW+需求量

资料来源：硅业分会 中信期货研究所

3. 多晶硅生产工艺、冶炼成本及利润

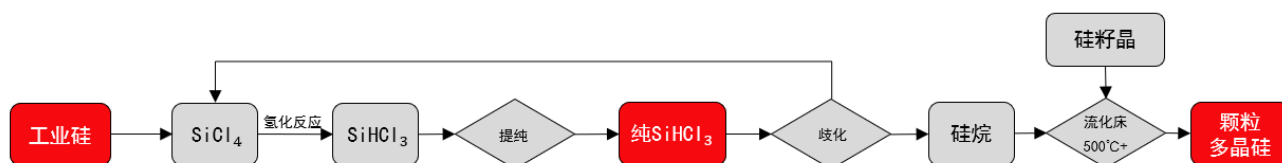
目前多晶硅生产主要使用三氯氢硅法，也就是改良西门子工艺，其次是硅烷流化床法。根据 CPIA 数据，我国 2020 年三氯氢硅法生产占比 98%，硅烷法生产仅占比 2%。

图 8：三氯氢硅法（改良西门子工艺）



资料来源：公开资料整理 中信期货研究所

图 9：硅烷流化床法

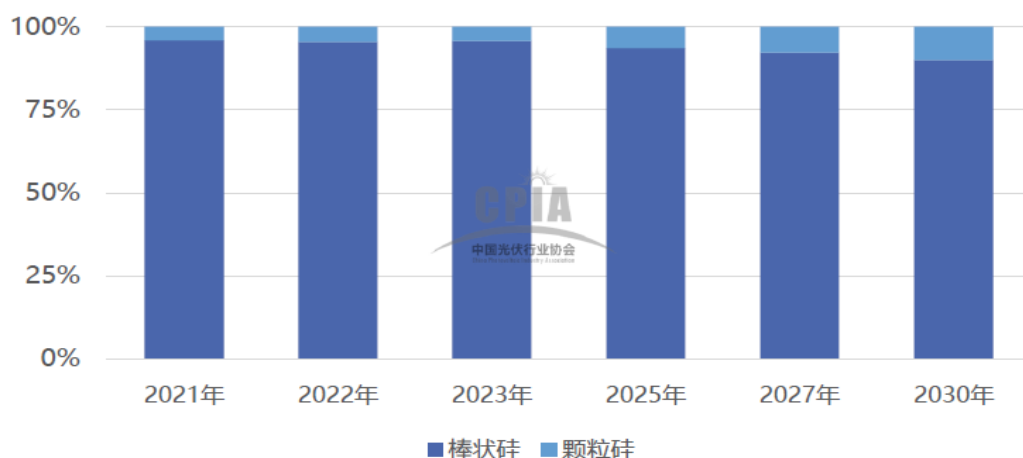


资料来源：公开资料整理 中信期货研究所

目前流化床颗粒硅工艺有逐步普及的势头，根据 CPIA 数据，2021 年硅烷法颗粒硅产能和产量小幅增加，颗粒硅市占率有所上涨，同比提升了 1.3 个百分点，达到 4.1%，棒状硅占 95.9%，未来颗粒硅市场占有率将逐步提升。其主要优势是电耗低，据硅业分会数据，硅烷流化床法直接电耗为西门子法的 10%，综合电耗为西门子法的 1/3；其次颗粒硅无需破碎，可以直接拉晶使用，能填补硅块空隙，提高坩埚装填量，进而提高拉晶产出；颗粒硅大小形状比较均匀，熔化时对拉晶炉热场扰动小，是重复直拉单晶理想的复投，可以用机器自动加料或连续加料。而缺点是硅料表面存在悬挂键，使得加料时易跳料，对炉壁寿命造成损伤；颗粒硅比表面积大，易引入表面污染；硅烷生产存在安全隐患。随着技术发展，颗粒硅的弊端有望进一步解决。

多晶硅生产环节包括电耗、水耗、蒸汽耗量、硅耗等。以西门子工艺为例，据 CPIA 报告，2021 年单炉致密料占比维持 70%-80%，多晶硅平均还原电耗较 2020 年下降 6.1%，为 46kWh/kg-Si。未来随着气体配比的不断优化、大炉型的投用和稳定生产、以及单晶厂家对于菜花料的试用，还原电耗仍将呈现持续下降趋势，到 2030 年还原电耗有望下降至 42kWh/kg-Si。目前流化床法还原电耗仅 3kWh/kg-Si。

图 10: 预测颗粒硅市场普及度走高



资料来源: CPIA 中信期货研究所

2021 年, 冷氢化平均电耗在 4.7kWh/kg-Si 左右, 同比下降 11.3% , 到 2030 年有望下降至 4.1kWh/kg-Si 以下。技术进步的手段包括反应催化剂的开发、提高工艺环节中热能回收利用率、提高反应效率等。

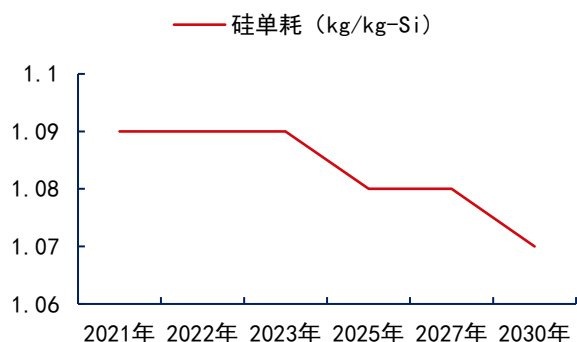
2021 年, 多晶硅平均综合电耗已降至 63kWh/kg-Si , 同比下降 5.3% 。未来随着生产装备技术提升、系统优化能力提高、生产规模增大等, 预计至 2030 年有望下降至 55kWh/kg-Si 。目前硅烷流化床法颗粒硅综合电耗较三氯氢硅法棒状硅低 $40\%-50\%$ 。预计到 2030 年, 通过余热利用降低蒸发量, 精馏塔排出的物料再回收利用降低残液处理水耗等措施, 可将耗水量控制在 0.09t/kg-Si 的水平。

2021 年, 多晶硅平均水耗在 0.1t/kg-Si 的水平, 同比下降 16.7% 。新疆地区气候干燥, 蒸发量大, 水耗较行业平均值高。

2021 年企业蒸汽耗量均值为 18.4kg/kg-Si 左右, 同比下降 20% , 在新疆等寒冷地区蒸汽耗量较其他地区高。随着企业还原余热利用率提升、提纯、精馏系统优化等, 2030 年企业蒸汽耗量将降至 8.8kg/kg-Si 。因为西门子法还原温度高, 利用热能可生成较多蒸汽, 外采蒸汽需求较低, 目前甚至部分企业不需要外采蒸汽, 而硅烷流化床法蒸汽消耗约 20kg/kg-Si 。

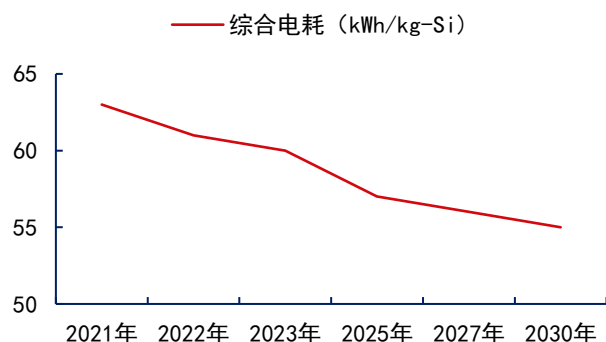
2021 年, 硅耗在 1.09kg/kg-Si 水平, 基本与 2020 年持平, 且近 5 年变化幅度不大。随着氢化水平的提升, 副产物回收利用率的增强, 预计到 2030 年将降低到 1.07kg/kg-Si 。

图 11: 硅单耗预期 单位: kg/kg-Si



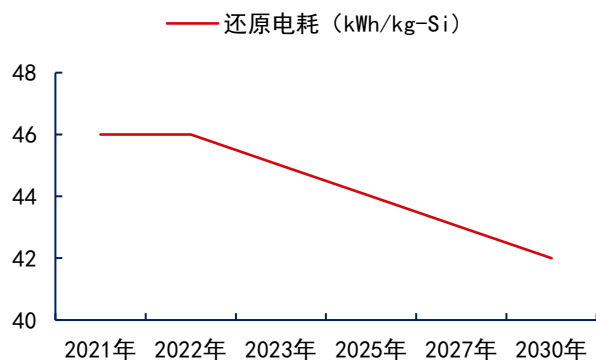
数据来源: CPIA 中信期货研究所

图 12: 综合电耗预期 单位: kWh/kg-Si



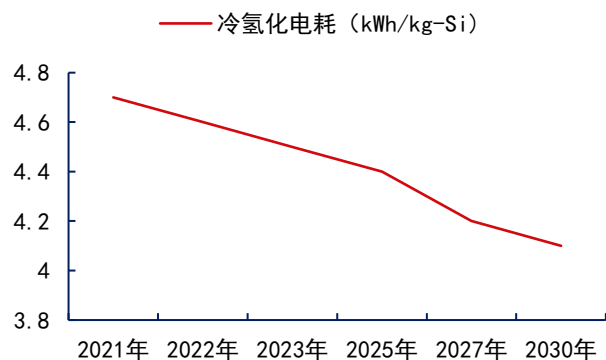
数据来源: CPIA 中信期货研究所

图 13: 还原电耗预期 单位: kWh/kg-Si



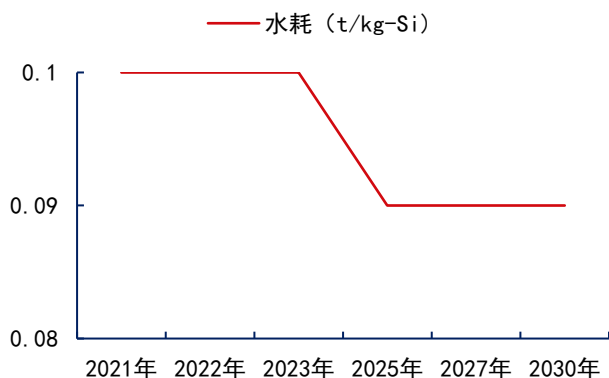
数据来源: CPIA 中信期货研究所

图 14: 冷氢化电耗预期 单位: kWh/kg-Si



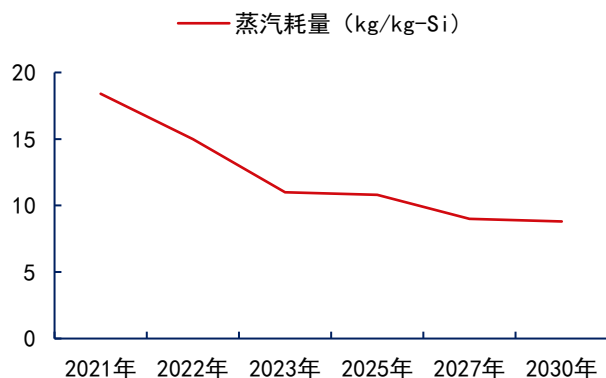
数据来源: CPIA 中信期货研究所

图 15: 水耗预期 单位: t/kg-Si



数据来源: CPIA 中信期货研究所

图 16: 蒸汽耗量预期 单位: kg/kg-Si

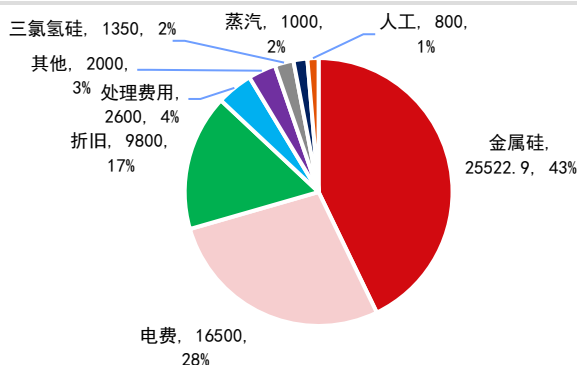


数据来源: CPIA 中信期货研究所

百川盈孚数据, 2022 年 5 月中旬, 多晶硅总生产成本约为 6 万元/吨, 成本受工业硅价格和电价影响权重较大, 其中工业硅占比 43%, 电费占比 28%, 三氯氢

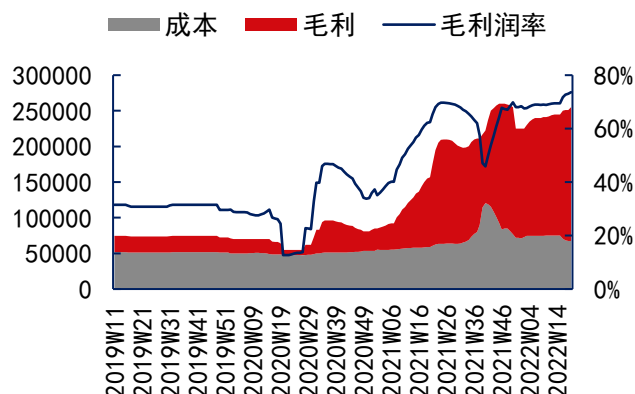
硅用来模拟计算氯气成本。但也要注意多晶硅行业生产利润率达到 80%，这也是驱动企业增产扩产的主要动力。

图 17： 2022 年 5 月单吨多晶硅成本结构 单位：元，%



数据来源：百川盈孚 中信期货研究所

图 18： 多晶硅行业生产利润 单位：元，%

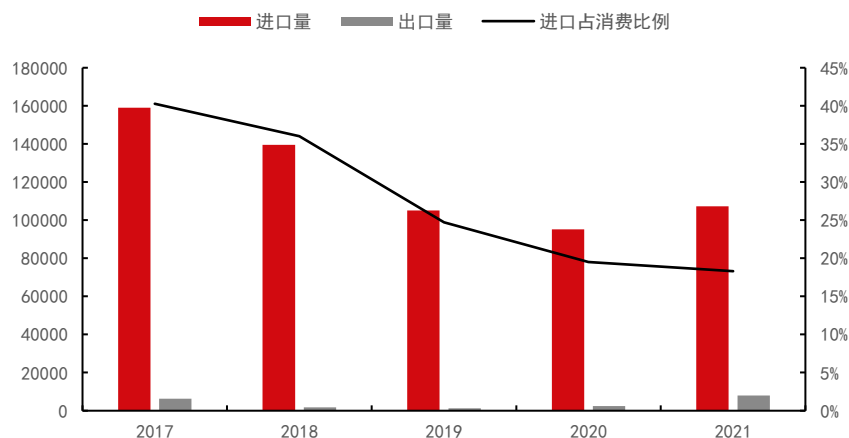


数据来源：百川盈孚 中信期货研究所

4. 多晶硅以进口为主，但近年对外依存度下降

我国多晶硅以进口为主，可以看到近年随着国内多晶硅产能不断提升，2021 年中国多晶硅进口 10.7 万吨，同比增加 12.7%，2017 年-2021 年进口复合增速为 -9.3%。目前国内进口占表观消费比例已降至 20% 以下。

图 19： 进口依存度不断下降 单位：吨



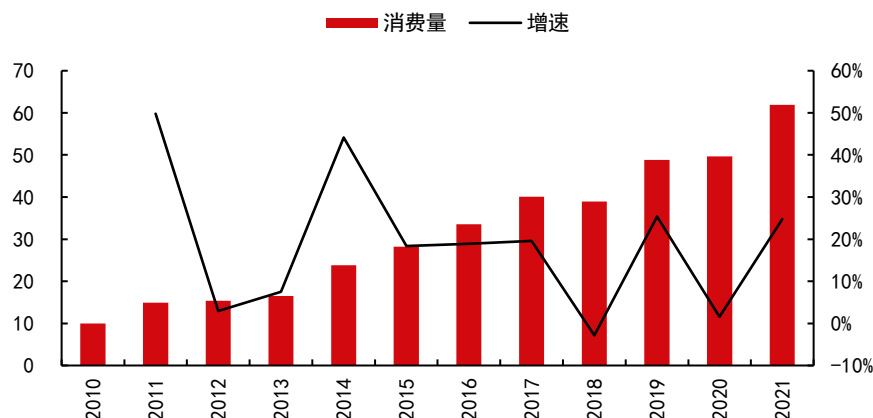
资料来源：百川盈孚 中信期货研究所

二、多晶硅需求：光伏主导未来增长

1. 多晶硅消费量持续增长

2021 年中国多晶硅表观消费量为 61.9 万吨，同比增长 25%。2018 年受下游光伏行业“531”政策影响，光伏装机下滑至 44.26GW，使得当年多晶硅表观消费有所下降，但近年来随着光伏组件成本下降，补贴退坡影响减弱，双碳背景下新增光伏装机量不断走高，带动多晶硅消费维持高增速。

图 20： 多晶硅表观消费量 单位：万吨

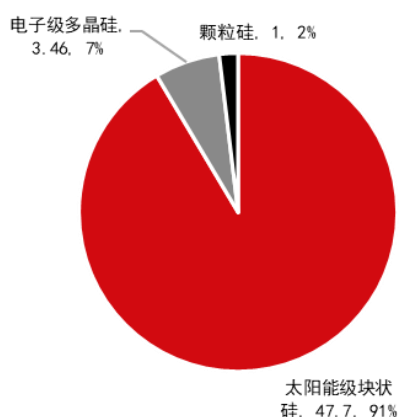


资料来源：CPIA Wind 中信期货研究所

2. 多晶硅消费以光伏为主

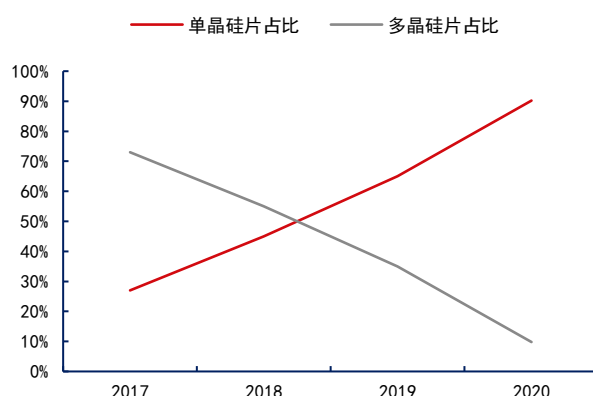
根据 CPIA 数据，2020 年太阳能级多晶硅消费占比 91%，故下游消费以光伏行业为主。在多晶硅直接下游硅片生产中，因单晶硅片纯度更高，转化效率更高，消费占比不断走高，至 2020 年，单晶硅片占比已达 90% 的水平。

图 21： 2020 年全球多晶硅产品消费 单位：万吨



数据来源：CPIA 中信期货研究所

图 22： 单晶硅片占比不断走高



数据来源：CPIA 中信期货研究所

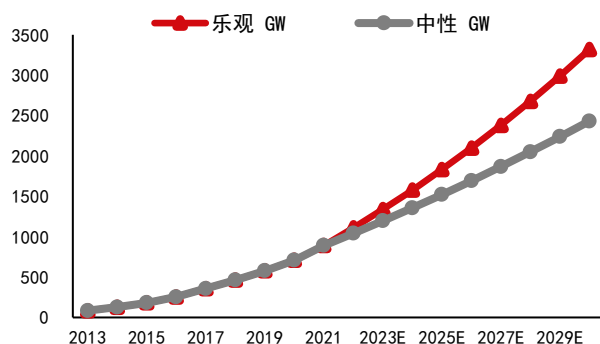
3. 中性/乐观情景下，2030 年全球多晶硅光伏需求或达到 67/113 万吨

2021 年全球光伏新增 183GW，根据 BP 预测，全球光伏在 2030 年有望增加至

2500-3300GW。2021 年中国光伏新增 54.88GW，根据中信期货研究测算，中国光伏在 2030 年有望增加至 1025-1200GW（详见：【中信期货研究】大宗商品视角下的光伏产业系列专题之总量篇：能源转型，春“光”正好——专题报告 20220415）。在乐观条件下，全球和中国在 2025 年光伏新增装机量分别为 254GW、93GW，2030 年光伏新增装机量分别为 329GW、121GW；在中性条件下，全球和中国在 2025 年光伏新增装机量分别为 165GW、77GW，2030 年光伏新增装机量分别为 194GW、91GW。

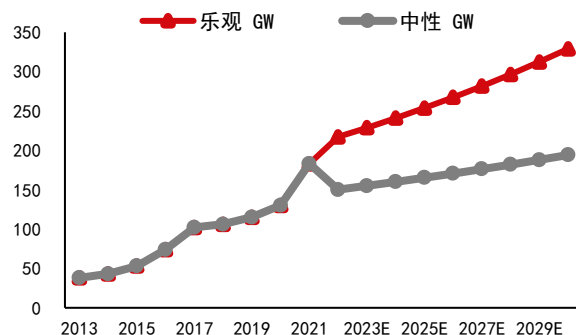
根据光伏装机量与光伏组件容配比 1.2 和每万吨硅料对应 3.5GW 光伏组件计算，2025 年全球光伏多晶硅在乐观和中性条件下分别需求 87 万吨和 57 万吨，2030 年光伏多晶硅在乐观和中性条件下分别需求 113 万吨和 67 万吨。

图 23： 全球光伏累计装机量及预测量 单位：GW



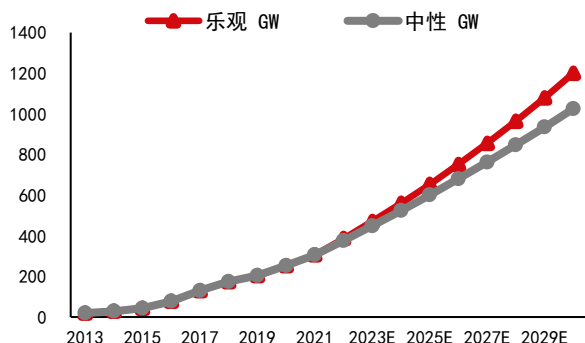
数据来源：CPIA BP 中信期货研究所

图 24： 全球光伏新增装机量及预测量 单位：GW



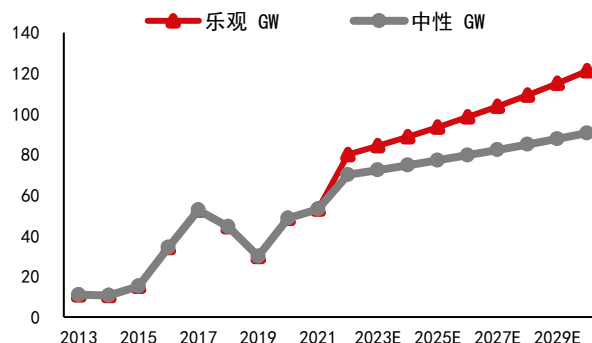
数据来源：CPIA BP 中信期货研究所

图 25： 中国光伏累计装机量及预测量单位：GW



数据来源：CPIA BP 中信期货研究所

图 26： 中国光伏新增装机量及预测量单位：GW



数据来源：CPIA BP 中信期货研究所

三、多晶硅供需平衡：逐步转向供过于求

1. 供应端预测：2030 年中国/全球多晶硅产量或达到 360/373 万吨

根据投产计划能够正常投产落地、年新增产能对应半年产量和已存产能维持 90%的高开工率假设，预计至 2025 年，中国年产量达 318.4 万吨，海外产能预期不变，则全球年产量达 331.4 万吨。2025 年-2030 年，在产能过剩的背景下，假定无新增产能产量，而开工率维持不变，则中国年产量将达 360 万吨，全球年产量将达 373 万吨。

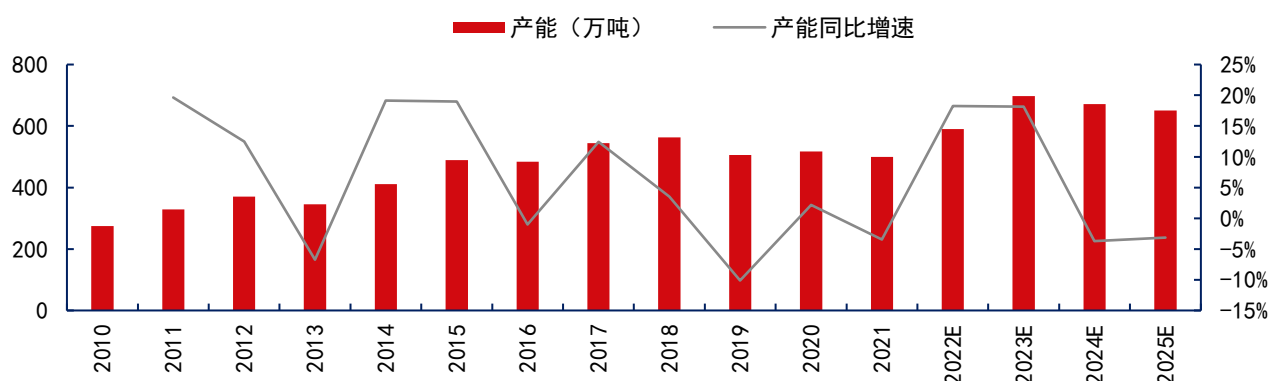
基于原料工业硅行业的快速投产，预期 2025 年工业硅产能可达 650 万吨，另外 2021 年工业硅行业开工率仅为 65%，仍有提升空间，多晶硅的预期产出完全可实现。预计多晶硅在工业硅消费中的占比将从当前的 28%提升至 2025 年的 52%，光伏对于工业硅定价的边际影响力增强。

图 27： 工业硅低开工率现状 单位：万吨

		2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
产能	全球	531	614	609	674	696	639	650	632
	中国	411	489	484	544	563	506	517	499
	海外	120	125	125	130	133	133	133	133
	中国占比	77%	80%	79%	81%	81%	79%	80%	79%
产量	全球	251	304	323	340	377	339	335	412
	中国	169	215	225	243	272	248	255	321
	海外	82	89	98	97	105	91	80	86
	中国占比	67%	71%	70%	71%	72%	73%	76%	78%
开工率	全球	47%	50%	53%	50%	54%	53%	52%	65%
	中国	41%	44%	46%	45%	48%	49%	49%	64%
	海外	68%	71%	78%	75%	79%	68%	60%	65%

资料来源：广期所 中信期货研究所

图 28： 工业硅预期投产 单位：万吨



资料来源：广期所 中信期货研究所

在国内快速扩产的背景下，多晶硅进口将集中在高纯度的电子级多晶硅，数

量较小，可忽略不计。基于假设，在海外此前能够保持出口的沿革下，光伏级多晶硅没有进口需求，而是以下游硅片进口需求代替。所以进出口影响对多晶硅供需影响将极少。

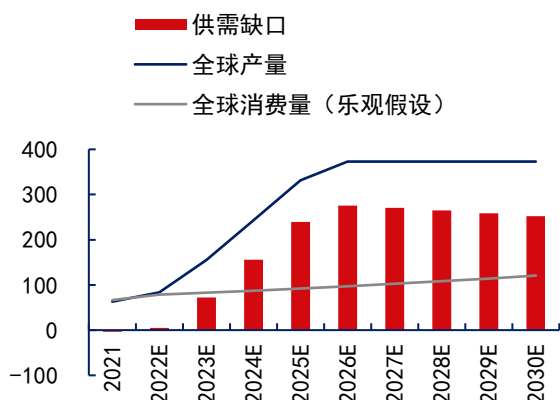
2. 基于终端的需求预测：中性/乐观情景，2030 年多晶硅消费量或达到 74/121 万吨

从终端光伏装机和半导体行业来看，多晶硅行业已经进入产能过剩周期。根据我们对于未来光伏新增装机的预测，以及基于 FortuneBusiness 预测未来半导体行业的复合增长率 8.6%来计算：

乐观情境下，至 2025 年，全球和中国消费量将分别增至 92 万吨和 32 万吨，至 2030 年，全球和中国消费量将分别增至 121 万吨和 42 万吨。

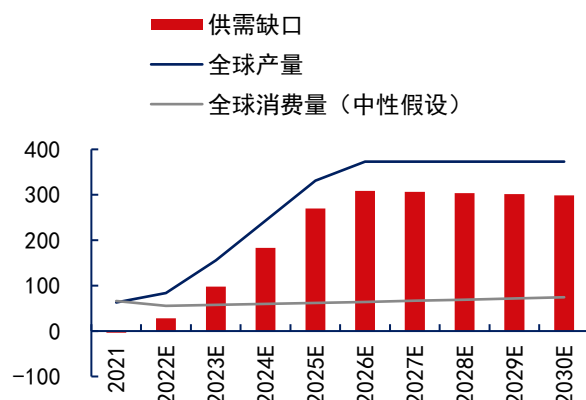
中性情境下，至 2025 年，全球和中国消费量将分别增至 62 万吨和 26 万吨，至 2030 年，全球和中国消费量将分别增至 74 万吨和 31 万吨。

图 29： 2022 年后全球多晶硅过剩（乐观）单位：万吨



数据来源：中信期货研究所

图 30： 2022 年后全球多晶硅过剩（中性）单位：万吨



数据来源：中信期货研究所

图 31： 2022 年后全球多晶硅过剩（乐观）单位：万吨

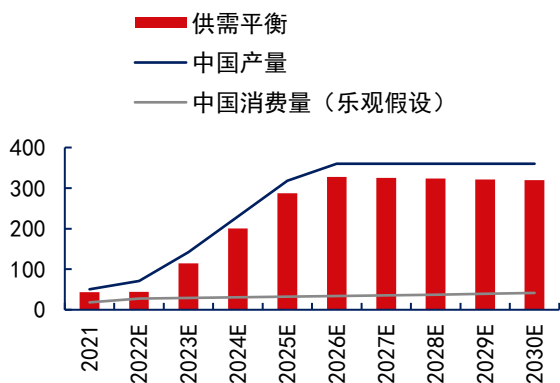
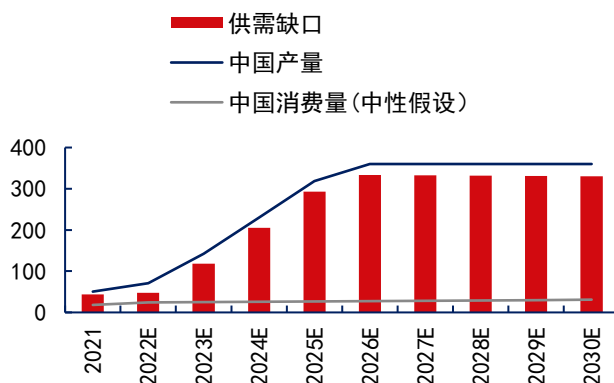


图 32： 2022 年后全球多晶硅过剩（中性）单位：万吨



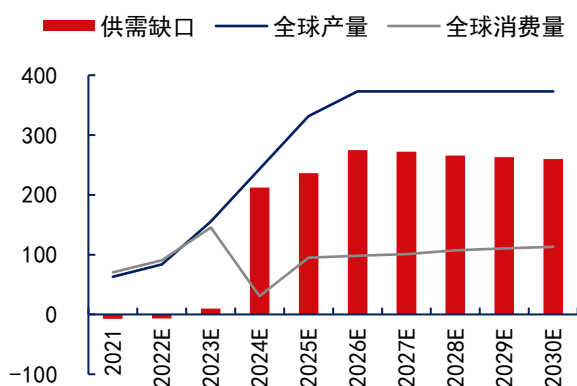
数据来源：中信期货研究所

数据来源：中信期货研究所

3. 基于硅片的需求预测：2023 年开始全球和中国多晶硅均过剩

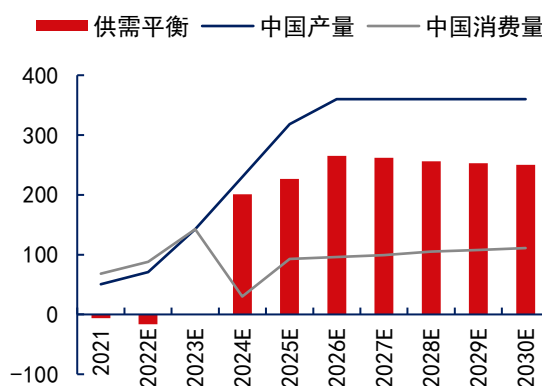
2021 年至今，多晶硅仍表现供不应求，其真正原因是下游硅片产能的高速扩张所带来的阶段性需求。我们以预测的一种硅片产量发展的情景进行分析，即下文硅片中的第二种假设情况，若 2022 年硅片产量 475GW，产量过剩 210GW；2023 年硅片产量减产至 100GW，基本可以抵消 2022 年过剩产量；2024 年产量恢复至 310GW，以后每年产量递增 10GW，至 2030 年硅片产量 370GW，每 GW 硅片需 0.3 万吨多晶硅计算，2023 年开始全球和中国多晶硅均过剩。

图 33： 全球多晶硅 23 年对硅片过剩 单位：万吨



数据来源：中信期货研究所

图 34： 国多晶硅 23 年对硅片过剩 单位：万吨



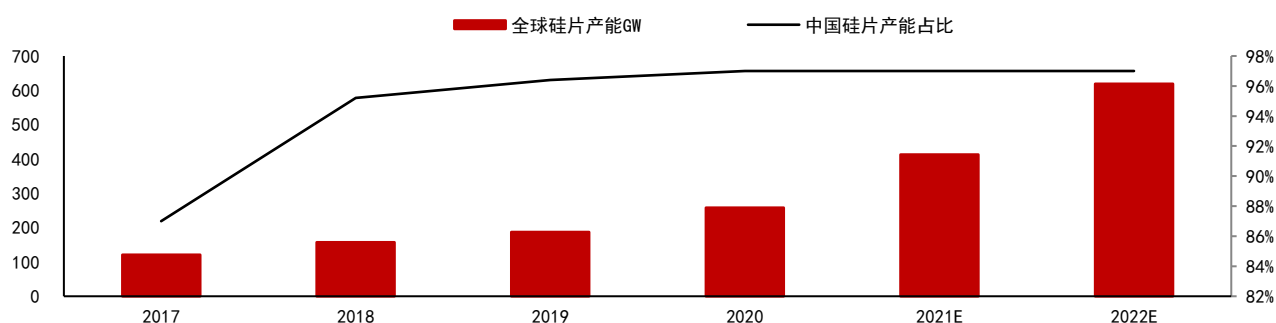
数据来源：中信期货研究所

四、硅片供应：产能扩张明显

1. 全球硅片产能急剧扩张

光伏行业快速增长，带动全球硅片产能的急剧扩张，国内硅片产能占全球产能比例逐年提高，由 2017 年国内硅片产能占比 87% 提升至 2020 年 97%；全球硅片产能逐步扩张，由 2017 年 120GW 扩张至 2020 年 260GW 左右。市场普遍预测，2021-2022 年国内硅片产能占全球比例仍在 97% 以上，按 97% 保守计算，2022 年全球产能在 620GW 左右。

图 35: 全球硅片产能及中国占比 单位: GW



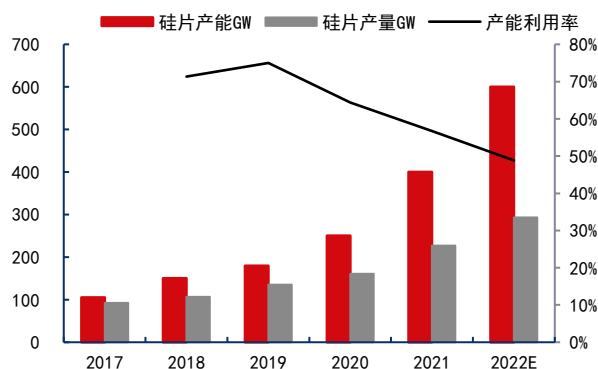
资料来源: CPIA Solarzoom 中信期货研究所

2. 我国硅片产能集中度高, 产量已达到 227GW

2021 年我国硅片产量 227GW, 硅片产能 400GW (CPIA)。2022 年国内产能将进一步扩张, 隆重咨询预计产能将扩充至 600GW 以上。最近五年, 硅片产能以 31% 的年复合增长率扩张, 硅片产量以 20% 的年复合增长出货, 主要受多晶硅原料供给的影响, 硅片厂设备产能没有充分利用, 硅片厂实际产能利用率由 2018 年 71%, 递减至 2021 年的 57%, 平均产能利用率 67%。

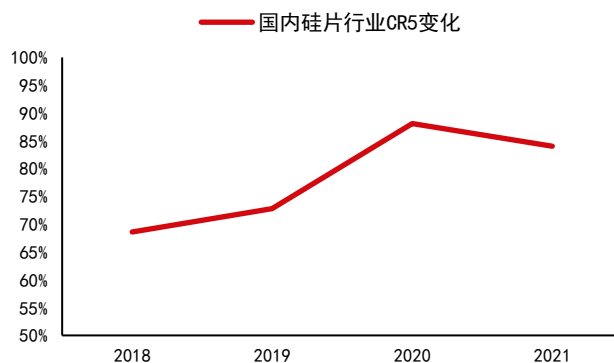
国内硅片产能较为集中, 2018 至 2020 年 CR5 由 68.6% 逐年递增至 88.1%, 受下游组件厂与硅片辅材厂产业链延伸的影响, 2021 年硅片行业 CR5 回落至 84%, 隆基、中环在硅片行业产能排名前二。

图 36: 我国硅片产能及产量单位: 万吨



数据来源: CPIA 中信期货研究所

图 37: 硅片行业集中度 单位: 万吨



数据来源: CPIA 中信期货研究所

图 38: 部分硅片厂产能及历年新增产能情况 单位: 万吨

企业	2020	2021E	2022E	2021E 产能增加	2022E 产能增加
隆基股份	85	105	120	24%	14%
中环股份	55	85	135	55%	59%
晶科能源	25.5	33.5	40	31%	19%
晶澳	18.5	30	45	62%	50%
保利协鑫	35	35	35		
上机数控	13	30	50	131%	67%
京运通	5	16	30	220%	88%
环太集团	5.1	5.1	30		488%
高景	-	10	30		200%
荣德新能源	7.8	7.8	7.8		
阿特斯	6.3	6.3	6.3		
无锡荣能	2.1	2.1	2.1		
其他	-	11.4	11.4		
国内合计	258	377	543	46%	27%
海外新增	11.6	11.6	11.6		
合计	270	388.6	554.6	44%	26%

资料来源: 公司公告 公开资料整理 中信期货研究所

3. 硅片产能建设周期 2 年以内, 投资成本持续下降

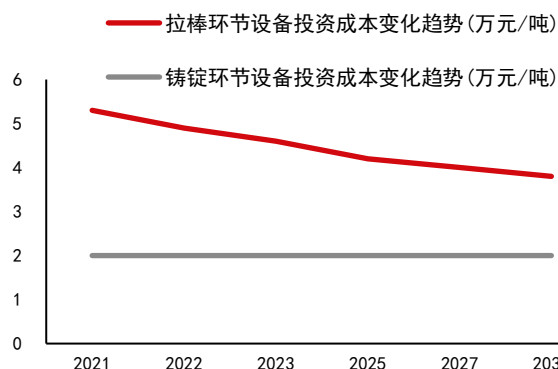
硅片环节资本密集, 技术含量相比光伏电池低, 新入场企业可直接采用现有技术和装备, 大大缩短产线建设周期。据隆重咨询调研, 某公司建设年产 50GW 大尺寸单晶硅片项目, 从项目立项-采购设备-签订建筑外包合同-首期点火投产, 仅用四个月左右时间。其次, 新建硅片厂若需场地平整、厂房建设, 整个流程形成有效产能需要 1.5-2 年。

2020 年投资单晶硅片产能投资额: 单晶炉约 1.4 亿元/GW, 切片设备约 0.4 亿元/GW, 机器加工设备 0.3 亿元/GW, 其他设备约 0.2 亿元/GW, 合计设备投资 2.3 亿元/GW。其中, 单晶炉价值占比 60%, 切片设备价值占比 13%。

硅片投资成本下降。随着单晶市场份额增加以及生产技术的进步, 单晶设备投资成本呈现下降趋势; 切片环节设备成本也呈现逐年下降趋势。2021 年拉棒环节 (主要生产单晶硅)、铸锭环节 (主要生产多晶硅) 单位产能设备投资额分别为 5.3 万元/吨和 2.0 万元/吨, 较 2020 年均略有小幅下降。随着单晶拉棒技术进步与设备智能化的提高, 设备投资呈现逐年降低的趋势, CPIA 预计 2025 年、2030 年拉棒环节单位产能设备投资较 2021 年分别降低 21%、28%; 铸锭设备由于其产品

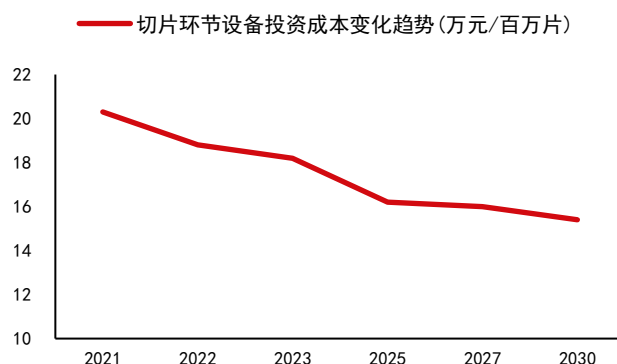
多晶硅片市场需求急剧降低，企业技改动力不足，预计 2021-2030 年设备投资成本维持在 2 万元/吨。2021 年切片环节设备投资额 20.3 万元/百万片，随着自动化金刚丝切片设备技术的进步，CPIA 预计 2025 年、2030 年切片环节设备投资较 2021 年分别降低 20%、24%。

图 39： 拉棒/铸锭环节设备投资变化 单位：万元/吨



数据来源：CPIA 中信期货研究所

图 40： 切片环节设备投资变化 单位：万元/吨

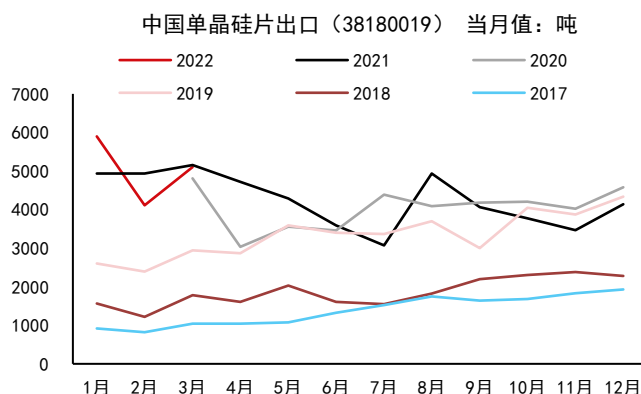


数据来源：CPIA 中信期货研究所

4. 我国硅片出口在全球占据主导地位

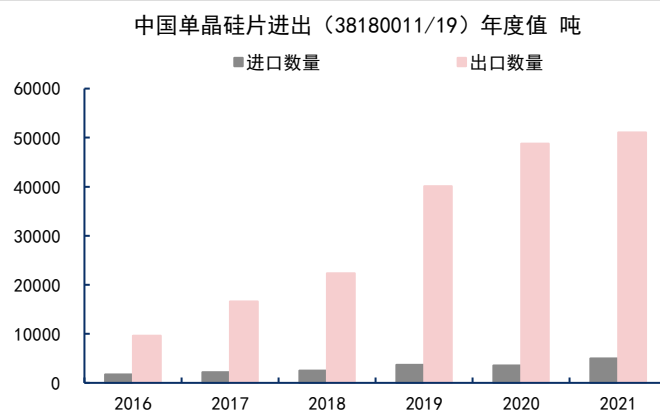
我国硅片在全球范围内占据主导地位，硅片出口大于硅片进口量，进口依赖度较低。2021 年单晶硅片出口 51071 吨，进口 5010 吨，净出口 46061 吨；多晶硅片 2021 年市场占有率低于 7%，占比较小。从单月出口结构可以看出，近三年一季度单晶硅片出口较高，而近五年同期四月份开始单月单晶硅片出口呈现逐月递增，主要受下游需求的旺盛的影响。整体来看，近五年单晶硅片累计出口 17 万吨，受国内光伏电池、组件需求增长的影响，近三年单晶硅硅片出口增速回落，19 年出口增速 79.6%，2020 年下降至 21.6%，2021 年增速回落至 4.7%。

图 41： 单晶硅片出口当月值 单位：吨



数据来源：CPIA 中信期货研究所

图 42： 单晶硅片出口年度值 单位：吨

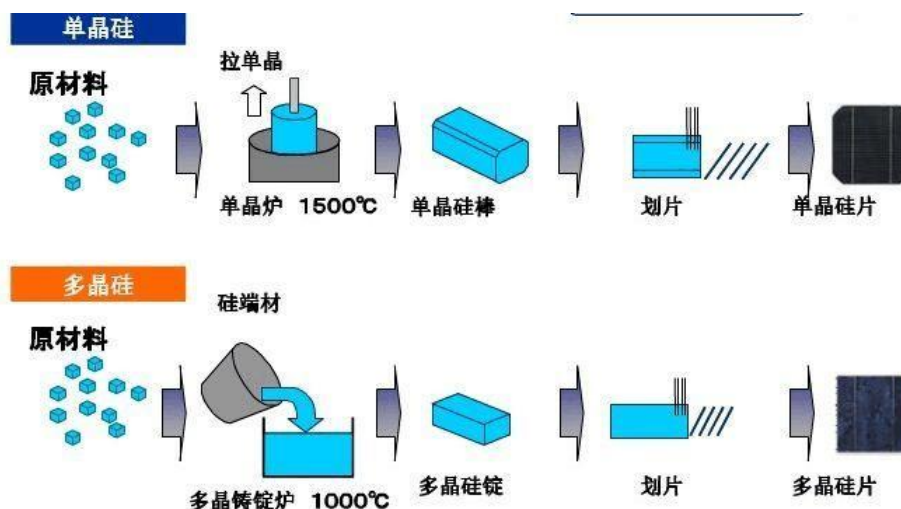


数据来源：CPIA 中信期货研究所

5. 硅片生产过程、生产成本及利润

在硅片生产中，直拉法主要生产单晶硅棒，加工制备单晶硅片；铸锭法主要生产多晶硅锭，加工制备多晶硅片。

图 43： 单/多晶硅片生产工艺



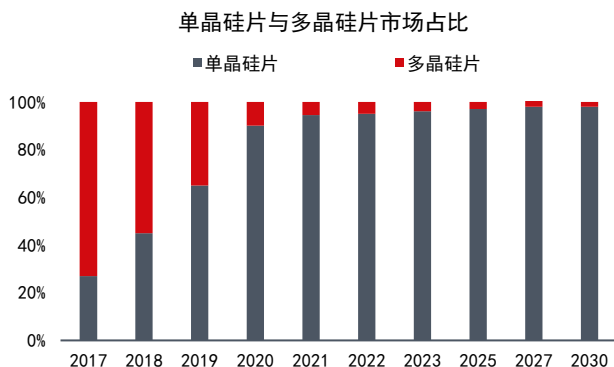
资料来源：网络公开信息 中信期货研究所

单晶硅市场份额持续提升：2018 年以前多晶硅片生产成本相比单晶硅生产成本低，市场硅片主要以多晶硅片为主（占比 50% 以上）。2019 年开始，随着单晶硅片（技术+成本优势）光电转换效率比多晶硅片高，且单晶硅片生产成本不断下降，单晶硅片市场份额占比不断提高。预计 2025 年单晶硅片市场份额占比将到达 97%，2030 年单晶硅片市场份额占比有望提升至 98% 以上。

晶拉棒电耗：直拉法生产单位合规单晶硅棒所消耗电量，企业通过生产技术改进电耗水平呈现下降态势。据中国光伏协会统计，2020 年平均电耗 26.2kWh/kg，2021 年将至 23.9kWh/kg，预计 2025 年将至 20.9kWh/kg，相比 2021 年降幅 12.5%；2030 年有望将至 19.5kWh/kg，相比 2021 年降幅 18.4%。

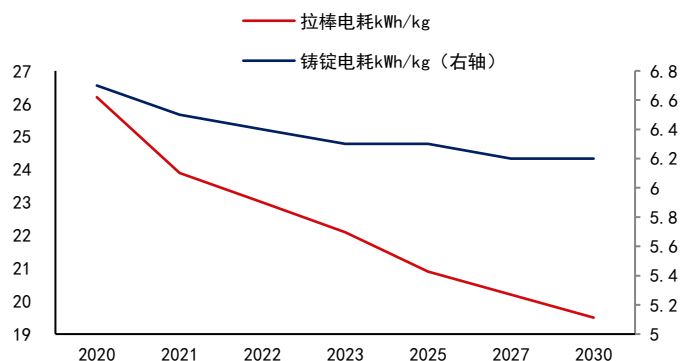
铸锭电耗：通过定向凝固生产硅锭所消耗的电量。由于多晶硅片市场份额占比大幅减小，企业对于多晶锭生产技术改进动力减弱，2021 年铸锭电耗 6.5kWh/kg，相比 2020 年微幅下降，预计至 2025 铸锭电耗将至 6.3kWh/kg 左右，相比 2021 年降幅 3%；2030 年铸锭电耗 6.2kWh/kg 左右，相比 2021 年降幅 4.6%。

图 44： 单晶硅片和多晶硅片市场份额



数据来源：CPIA 中信期货研究所

图 45： 硅片生产电耗 单位：kWh/kg

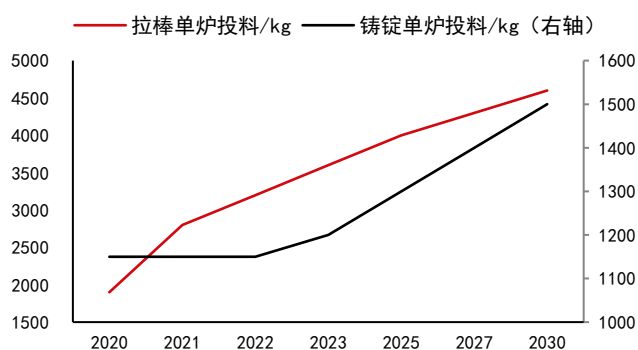


数据来源：CPIA 中信期货研究所

拉棒单炉投料：单只干锅用于多次拉棒生产的总投料量，在干锅单价和使用时间一定的条件下，单炉投料数量越大，越有利于降低成本。2021 年拉棒单炉投料量 2800kg，较 2020 年提升 47%。随着单晶硅片市场份额扩大，厂家通过提升拉棒设备和工艺，单炉投料有望进一步增加，CPIA 预计 2025 年单炉投料 4000k 左右，2030 年有望达到 4600kg 左右。耗硅料（单位硅棒所需多晶硅原料）方面，拉棒耗硅料维持在 1.06，未来随着工艺技术的进步，该工艺耗硅料仍在 1.05-1.06 之间变化。

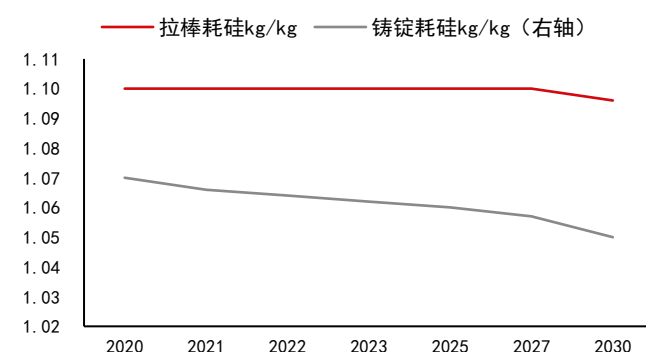
铸锭投料：单只干锅最大装料量。2020-2021 年铸锭单炉平均投料量维持在 1100kg 左右，主要因为目前铸锭炉仍以 1100-1200kg，未来随着低端产能的淘汰，铸锭炉有望以 1500kg 左右主流投料量为主。铸锭耗硅料基本维持在 1.1 左右，相比拉棒工艺多余 0.4 左右。

图 46： 单晶硅片和多晶硅片单炉投料 单位：kg



数据来源：CPIA 中信期货研究所

图 47： 硅片生产耗多晶硅量 单位：kg/kg



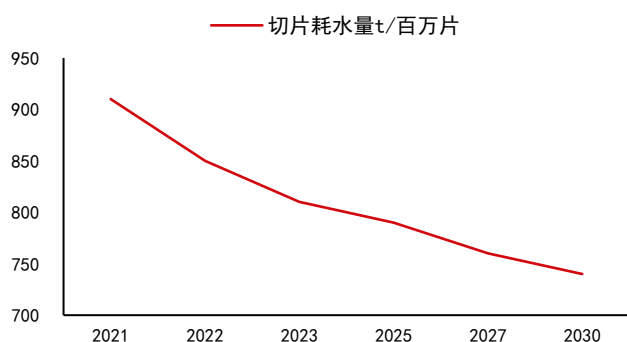
数据来源：CPIA 中信期货研究所

耗水量：切片工艺耗水主要集中于脱胶、清洗、切片等设备，2021 年切片环节耗水量 910t/百万片，随着行业降本增效，2025 年和 2030 年耗水量相较于 2021 年有望分别降低 13%、18%。

出片量：2021 年每公斤单晶方棒出 P 型 166mm 尺寸硅片 64 片（P 型 158mm 尺

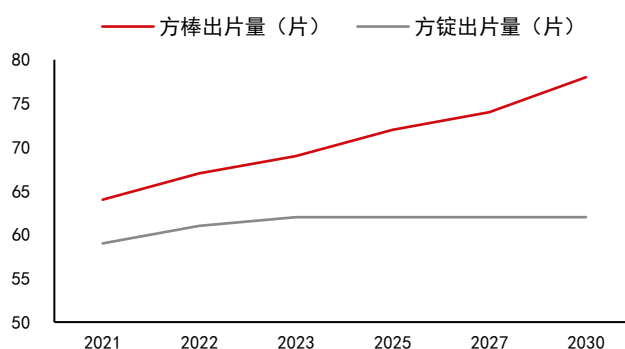
寸每公斤单晶方棒出片量 70 片，P 型 182mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量 53 片，P 型 210mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量 40 片），多晶方锭每公斤出片 59 片。随着切片用金刚线直径降低，硅片厚度下降，单位质量出片数增加，加之单晶硅片市场占有率逐步提高，预计 2025 年、2030 年相比 2021 年每公斤单晶方棒出 P 型 166mm 尺寸硅片分别增加 12.5%、22%。；方锭出片量由于多晶硅片市场占有率降低，基本无变化。

图 48： 切片耗水量变化 单位：t/百万片



数据来源：CPIA 中信期货研究所

图 49： 单位质量（每公斤）出片量 单位：片/kg

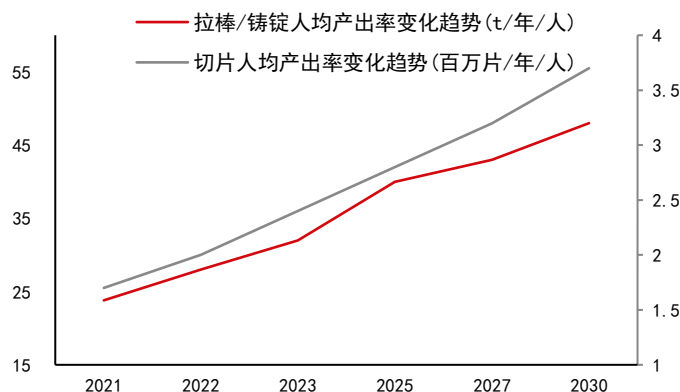


数据来源：CPIA 中信期货研究所

拉棒/铸锭环节人均产出率：2021 年拉棒/铸锭环节人均产出率 23.8t/年/人，切片人均产出率 1.7 百万片/年/人，随着生产设备智能化、切片效率提高，CPIA 预计 2025 年、2030 年拉棒/铸锭环节人均产出率较 2021 年分别提高 68%、101%，预计 2025 年、2030 年切片人均产出率较 2021 年分别提高 64%、117%。

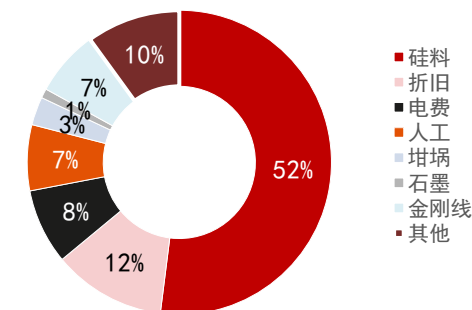
硅片毛利及成本：2021 年硅片行业毛利率 16.95%，相比 2020 年行业毛利上涨 41%。硅片成本中：**硅料成本占比超过 50%**，其次是设备等固定资产折旧占比 12%，随着硅料产能扩张，以及上述各类非硅成本的下降，预计未来几年硅片制造成本也将逐年递减，硅片行业毛利预计将维持在相对稳定的范围。

图 50： 人均产出率变化趋势 单位：t/年/人，百万片/年/人



数据来源：CPIA 中信期货研究所

图 51： 硅片成本 单位：%



数据来源：CPIA 中信期货研究所

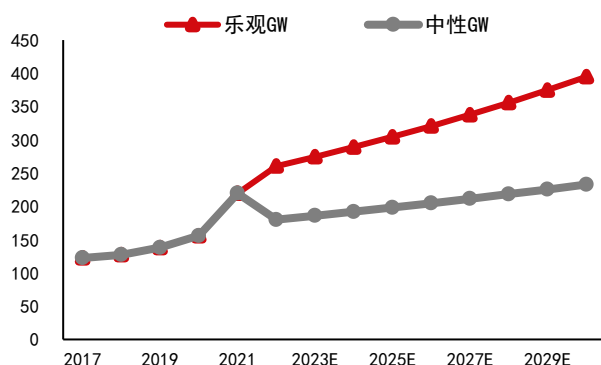
五、硅片需求：总体需求保持高增，大尺寸和薄片化硅片占比提升

1. 中性/乐观情景下，2030 年全球硅片需求或达到 233/395GW

2021 年全球光伏新增 183GW，根据 BP 预测，全球光伏在 2030 年有望增加至 2500-3300GW。2021 年中国光伏新增 54.88GW，根据中信期货研究测算，中国光伏在 2030 年有望增加至 1025-1200GW（详见：【中信期货研究】大宗商品视角下的光伏产业系列专题之总量篇：能源转型，春“光”正好——专题报告 20220415）。在乐观条件下，推测出全球和中国在 2025 年光伏新增装机量分别为 254GW、93GW，2030 年光伏新增装机量分别为 329GW、121GW；在中性条件下，推测出全球和中国在 2025 年光伏新增装机量分别为 165GW、77GW，2030 年光伏新增装机量分别为 194GW、91GW。

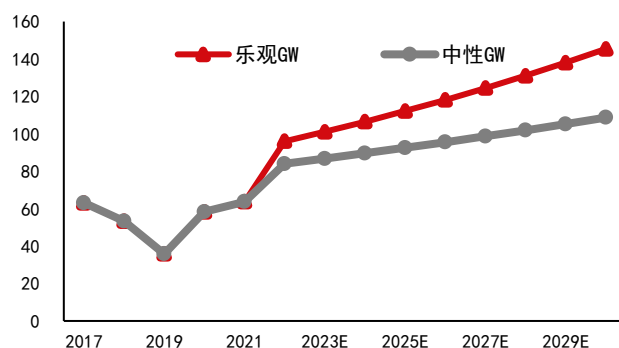
根据光伏装机量与光伏组件容配比 1.2 计算，全球光伏硅片在乐观/中性条件下，2025 年需求为 305GW/198GW，2030 年需求为 395GW/233GW；中国光伏硅片在乐观/中性条件下，2025 年需求 112GW/93GW，2030 年需求 145GW/109GW。

图 52： 全球硅片需求量 单位：GW



数据来源：公开资料整理 中信期货研究所

图 53： 中国硅片需求量 单位：GW



数据来源：公开资料整理 中信期货研究所

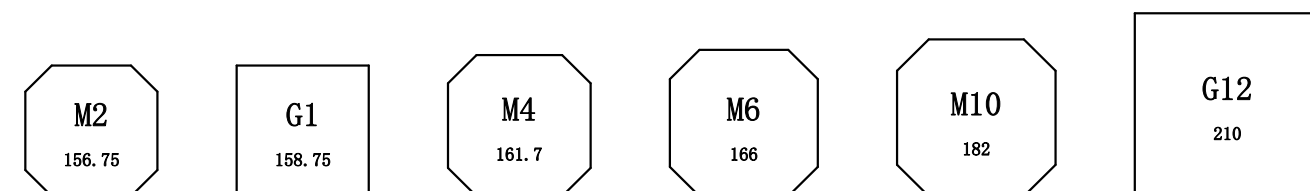
2. 硅片尺寸和厚度需求变化

2.1. 大尺寸硅片占比提高

大尺寸硅片占比提高。当前光伏硅片主流尺寸有 5 种，分别为 156.75 (M2)、158.75 (G1)、166mm (M6)、182mm (M10)、210mm (G12)。根据 PVinfoLink 预测，2022-2025 年 182mm 硅片占比分别达到 38%、41%、37%、30%；210mm 硅片占比分别达到 32%、43%、58%、60%，未来逐步形成 182mm 和 210mm 的占比格局。光伏硅片尺寸变大，不仅能大幅降低硅材料的制造费用，也能够全面地带来切片、电池

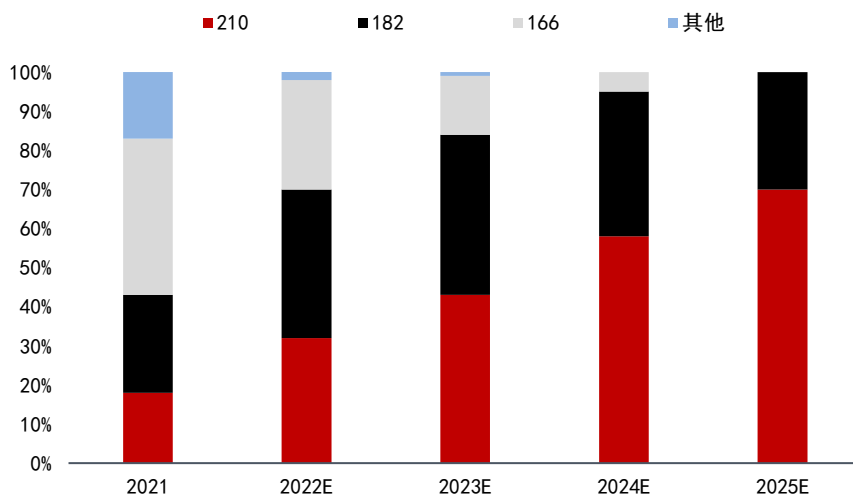
组件的单位面积制造成本，对减低硅片、电池的制造成本，提升产能、材料利用率和生产效率有重要意义。

图 54： 硅片种类及变化



资料来源：Wind 中信期货研究所

图 55： 硅片尺寸占比变化预测

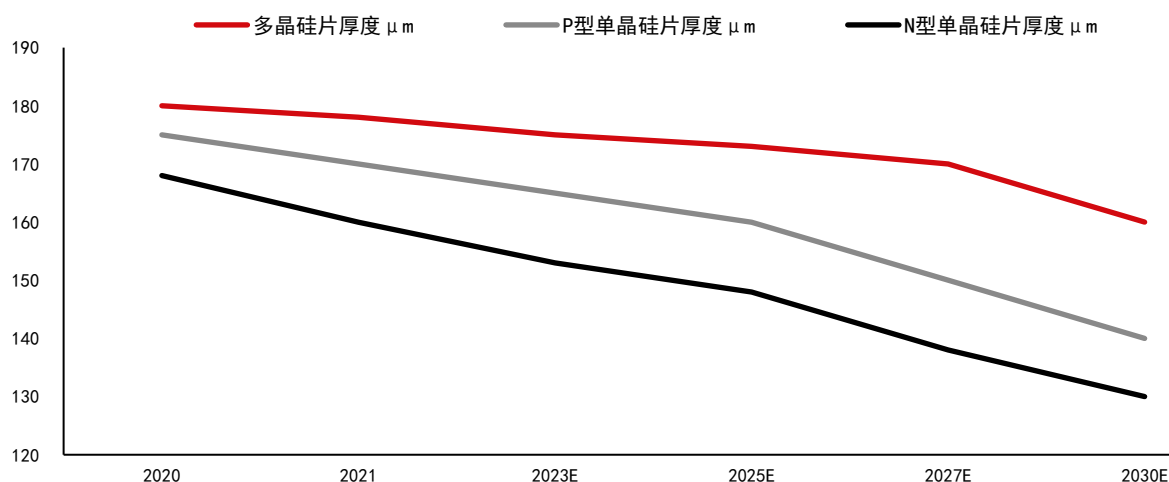


资料来源：Wind 中信期货研究所

2.2. 薄片化硅片占比提高

未来几年硅片厚度往薄片方向发展。2021 年，多晶硅片平均厚度 178 μm ，P 型单晶硅片平均厚度在 170 μm ，N 型硅片平均厚度 160 μm ，相比于 2020 年，对多晶硅片平均厚度降低 2 μm ，P 型单晶硅片平均厚度降低 5 μm ，N 型硅片平均厚度降低 8 μm 。根据相关公司公布的《技术创新和产品规格创新降低硅料成本倡议书》可知，N 型电池对超薄片的适应性更高，相关机构预测 2025 年 N 型硅片厚度将降低至 150 μm 左右，有望达到 148 微米，2030 年 N 型硅片厚度有望降低至 130 μm 左右，硅片厚度每降低 10 μm ，硅片成本降低约 3%。因此，未来几年硅片厚度往薄片方向发展，不仅可以提高电池对硅片的适用性，而且对降低硅片成本有重要意义。

图 56: 硅片厚度变化预测 单位: μm



资料来源: Wind 中信期货研究所

六、硅片供需平衡：供需缺口或先扩大后收窄

1. 硅片供需平衡：到 2030 年，全球硅片供需缺口逐步收窄

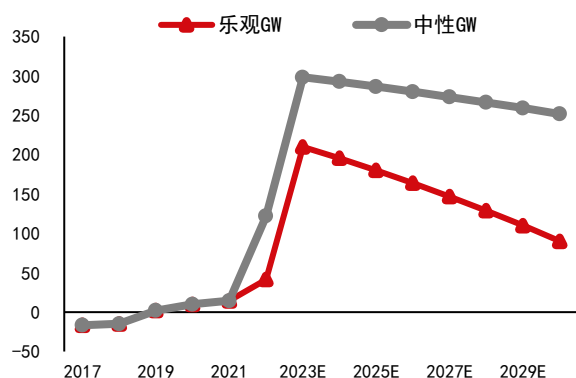
全球硅片产量从 2022 年开始逐渐宽松。全球硅片在 2017、2018 年存在供需缺口，供给不足；2019 至 2021 年处于供需紧平衡状态。2022 年随着国内硅片原料企业的扩产（多晶硅），以及国内硅片企业的扩产，全球硅片产量预计开始边际宽松，供给端扩产的计划预计在 2023 年出现停滞。

关于 2023-2030 年供需平衡推演：

第一种情况，2023 年供给仍过剩，但后期过剩逐步缓解。按供给 2023 年多晶硅产量供给 142 万吨，产能 600GW，预计产量 475GW，若 2023-2030 年全球硅片每年产量保持 2023 年预计的硅片产量 475GW，则全球硅片供给仍将过剩，但随着下游光伏装机需求的增加，供给过剩量在 2023 年以后将出现递减。

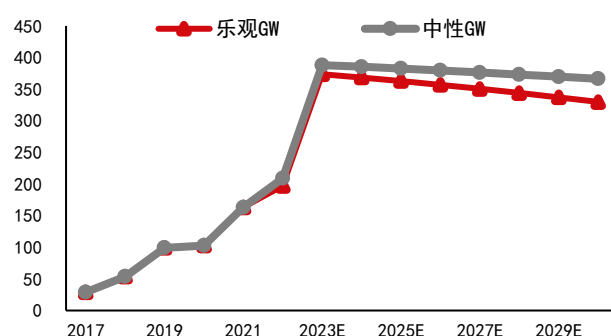
第一种情况下：国内硅片产量大于硅片消耗量，从最近五年和未来几年硅片产量推算出，国内硅片除用于国内光伏电站装机以外，剩余一部分可用于硅片出口，以及用于组件生产、出口。

图 57： 第一种情况全球硅片供需缺口 单位：GW



数据来源：公开资料整理 中信期货研究所

图 58： 第一种情况中国硅片供需缺口 单位：GW

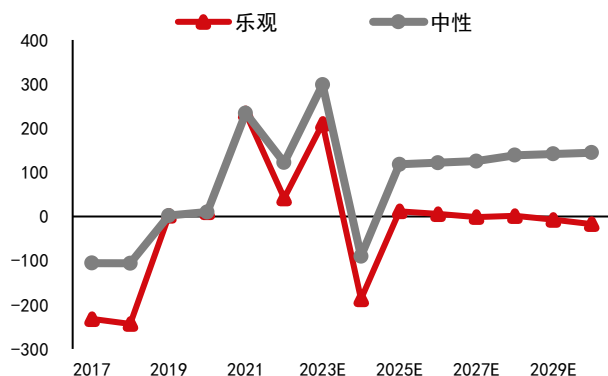


数据来源：公开资料整理 中信期货研究所

第二种情况，2023-2030 年供需基本平衡。若 2022 年硅片产量 475GW，产量过剩 210GW；2023 年硅片产量减产至 100GW，基本可以抵消 2022 年过剩产量；2024 年产量恢复至 310GW，以后每年产量递增 10GW，至 2030 年硅片产量 370GW，则 2022-2030 年全球硅片供需处于相对平衡的状态。

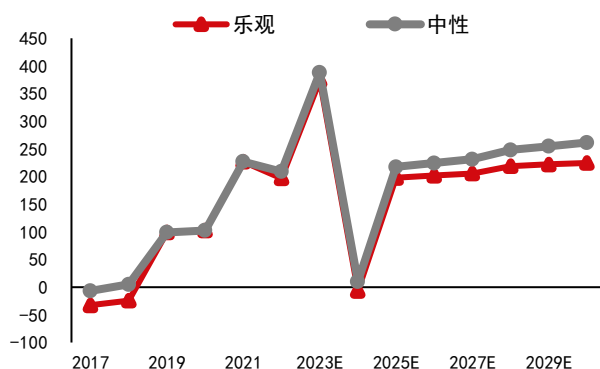
第二种情况下：国内硅片产量仍大于硅片消耗量，国内硅片除用于国内光伏电站装机以外，还能剩余一部分，用于硅片出口，以及用于组件生产、出口。

图 59： 第二种情况全球硅片供需缺口 单位：GW



数据来源：公开资料整理 中信期货研究所

图 60： 第二种情况中国硅片供需缺口 单位：GW

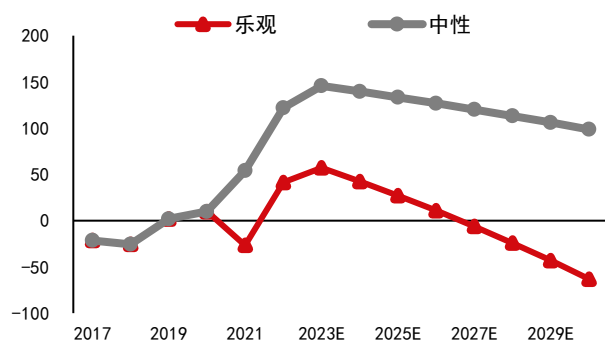


数据来源：公开资料整理 中信期货研究所

第三种情况，2023-2030 年供需缺口收窄，甚至可转为供不应求。若 2023-2030 年全球硅片平均每年产量保持 325GW，全球硅片在乐观状态装机下，2023-2030 年基本可以处于供需紧平衡状态；在中性状态装机需求下，硅片产量将过剩。

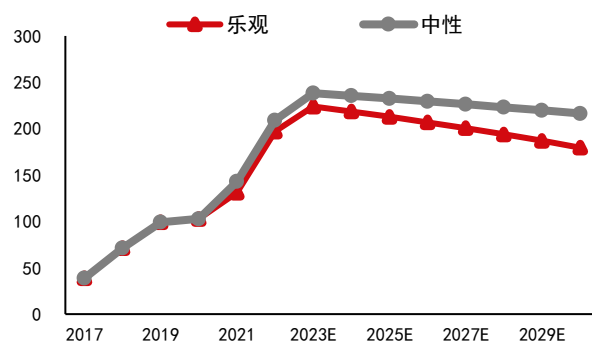
第三种情况下：国内硅片产量仍大于硅片消耗量，国内硅片除用于国内光伏电站装机以外，还能剩余一部分，用于硅片出口，以及用于组件生产、出口。

图 61: 第三种情况全球硅片供需平衡 单位: GW



数据来源: 公开资料整理 中信期货研究所

图 62: 第三种情况中国硅片供需平衡 单位: GW

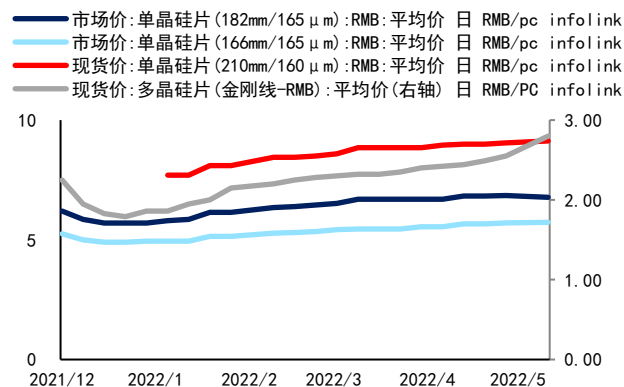


数据来源: 公开资料整理 中信期货研究所

2. 硅片价格: 2023 年价格重心下移

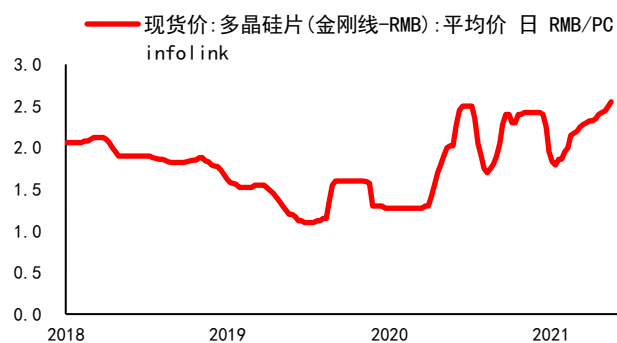
2022 年 1 月至 5 月单晶硅片价出现微幅上周, 210 单晶硅片上涨 18.5%、182 单晶硅片上涨 16.9%、166 单晶硅片上涨 15.8%, 210 年硅片因制备难度和产能等原因影响, 产量有限, 同期相比 182、166 单晶硅片价格涨幅较高。同期, 多晶硅片涨幅 50.5%, 主要受多晶硅片产量减少的影响。其次, 从全球硅片供需平衡可知, 2022 年全球硅片供需开始由 2021 年供需紧平衡, 向供需宽松开始转变; 2023 年全球硅片将出现大幅过剩, 预计硅片价格重心将逐步下移。

图 63: 2022 年硅片价格 单位: RMB/片



数据来源: infolink 中信期货研究所

图 64: 2018 年至 2022 年多晶硅片价格 单位: RMB/片



数据来源: infolink 中信期货研究所

免责声明

除非另有说明，中信期货有限公司拥有本报告的版权和/或其他相关知识产权。未经中信期货有限公司事先书面许可，任何单位或个人不得以任何方式复制、转载、引用、刊登、发表、发行、修改、翻译此报告的全部或部分材料、内容。除非另有说明，本报告中使用的所有商标、服务标记及标记均为中信期货有限公司所有或经合法授权被许可使用的商标、服务标记及标记。未经中信期货有限公司或商标所有权人的书面许可，任何单位或个人不得使用该商标、服务标记及标记。

如果在任何国家或地区管辖范围内，本报告内容或其适用与任何政府机构、监管机构、自律组织或者清算机构的法律、规则或规定内容相抵触，或者中信期货有限公司未被授权在当地提供这种信息或服务，那么本报告的内容并不意图提供给这些地区的个人或组织，任何个人或组织也不得在当地查看或使用本报告。本报告所载的内容并非适用于所有国家或地区或者适用于所有人。

此报告所载的全部内容仅作参考之用。此报告的内容不构成对任何人的投资建议，且中信期货有限公司不会因接收人收到此报告而视其为客户。

尽管本报告中所包含的信息是我们于发布之时从我们认为可靠的渠道获得，但中信期货有限公司对于本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性以及完整性不作任何明确或隐含的保证。因此任何人不得对本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性及完整性产生任何依赖，且中信期货有限公司不对因使用此报告及所载材料而造成的损失承担任何责任。本报告不应取代个人的独立判断。本报告仅反映编写人的不同设想、见解及分析方法。本报告所载的观点并不代表中信期货有限公司或任何其附属或联营公司的立场。

此报告中所指的投资及服务可能不适合阁下。我们建议阁下如有任何疑问应咨询独立投资顾问。此报告不构成任何投资、法律、会计或税务建议，且不担保任何投资及策略适合阁下。此报告并不构成中信期货有限公司给予阁下的任何私人咨询建议。

深圳总部

地址：深圳市福田区中心三路8号卓越时代广场（二期）北座13层1301-1305、14层

邮编：518048

电话：400-990-8826

传真：(0755) 83241191

网址：<http://www.citicsf.com>