

研究所  
 证券分析师: 李航 S0350521120006  
 lih11@ghzq.com.cn  
 证券分析师: 彭若恒 S0350522040003  
 pengrh@ghzq.com.cn  
 证券分析师: 邱迪 S0350522010002  
 qiud@ghzq.com.cn

## 硅片制造业 4.0 标杆, 光伏龙头再启航

### ——TCL 中环 (002129) 公司深度研究

#### 最近一年走势



#### 相对沪深 300 表现

2023/05/05

表现	1M	3M	12M
TCL 中环	-14.4%	-2.7%	3.9%
沪深 300	-2.1%	-3.0%	0.2%

#### 市场数据

2023/05/05

当前价格 (元)	40.45
52 周价格区间 (元)	33.70-62.21
总市值 (百万)	130,806.82
流通市值 (百万)	130,707.29
总股本 (万股)	323,379.04
流通股本 (万股)	323,132.98
日均成交额 (百万)	1,183.19
近一月换手 (%)	1.24

#### 相关报告

《——TCL 中环 (002129) 点评报告: 工业 4.0 智能制造赋能, 龙头优势全面加深 (买入)\*光伏设备  
 \*李航, 彭若恒, 邱迪》——2023-03-31

#### 投资要点:

- **光伏硅片全球龙头, 深厚半导体基因, 全产业链逐步完善。**公司为光伏行业硅片制造环节全球龙头, G12 大尺寸硅片的引领者, 2021 年以来硅片对外销售规模第一, 目前硅单晶产能已达 140GW, 并差异化布局叠瓦、IBC、TOPCon 电池组件, 逐步实现全产业链延伸覆盖, 形成良好业务协同, 打下全球化布局基础。公司也是历史悠久、名列前茅的国内半导体材料企业, 实现了 4-12 英寸半导体硅片规模化量产, 坚持区熔与直拉工艺双轮驱动, 深耕 Power+IC 双路线。
- **制造力水平及关键资源准备筑起硅片竞争壁垒。**随硅料价格回落, 原材料采购端对硅片企业盈利影响减小, 行业降本诉求驱动光伏技术持续发展, “N 型化、大尺寸、薄片化/细线化” 成为硅片环节本根趋势, 对生产企业的制造技术、工艺水平、经验积累提出更高要求, 拉开成本差距。另外, 石英坩埚为硅片生产必要器具, 由于矿源稀缺, 进口高纯石英砂供给不足, 坩埚越发紧缺, 价格快速上涨同时耗量增加, 导致拉晶非硅成本明显上升, 对于拉晶技术领先、坩埚来源保供良好的企业则将获得更好的生产保障和成本优势。
- **坚定践行工业 4.0 战略, 铸就硅片先进制造优势。**公司自 2015 年开始推进工业 4.0 制造体系, 结合 60 余年半导体行业 “know-how” 积淀和行业经验, 不断完善的制造工艺定式, 持续开发 “Deep Blue” AI 学习模型, 打造 “黑灯工厂”、形成 “柔性化制造能力”、实现 “人力赋能”, 向具有低成本和大规模个性化制造能力的 “智慧工厂” 升级。公司已实现生产效率、品质良率和人均劳动生产率的全面提升, 在 2022 年实现了 “单公斤硅料成本领先 3 元以上, 单公斤开炉成本领先 3 元以上, 圆棒单位公斤出片数领先 3 片以上” 的目标, 成本优势显著。
- **智能制造标杆龙头, 石英坩埚保障深化优势, 维持 “买入” 评级。**公司在光伏领域多年稳居单晶硅片双寡头之列, 工业 4.0 降本提效成为行业标杆, 在关键生产资源高品质石英坩埚的战略保障下, 成本及定价权优势将更为突出, 此外电池组件有望加速突破, 海外布局也值得期待, 基于公司业务表现良好, 我们调整公司盈利预测, 预计 2023-2025 年硅片出货 125/165/210GW, 营业收入 1025.0/1183.0/1336.9 亿元, 归母净利润 105.1/123.7/137.8 亿元, 对应 PE 为 12.5/10.6/9.5

倍，维持“买入”评级。

- **风险提示：**下游行业需求增长不及预期、行业产能扩张过快竞争加剧、国际贸易摩擦与壁垒加强、关键原材料供应出现风险、各国产业政策变化。

预测指标	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入（百万元）	67010	102499	118301	133690
增长率（%）	63	53	15	13
归母净利润（百万元）	6819	10509	12365	13779
增长率（%）	69	54	18	11
摊薄每股收益（元）	2.12	3.25	3.82	4.26
ROE（%）	18	22	21	19
P/E	17.75	12.45	10.58	9.49
P/B	3.24	2.76	2.19	1.78
P/S	1.82	1.28	1.11	0.98
EV/EBITDA	13.70	8.38	6.73	5.64

资料来源：Wind 资讯、国海证券研究所

## 内容目录

1、发端半导体产业，领先的光伏硅片全球龙头.....	6
1.1、混改激活内生潜力，多轮激励凝聚骨干力量.....	6
1.2、大尺寸光伏硅片引领者，组件电池差异化战略.....	9
1.3、业绩增长亮眼，经营效益提升.....	15
2、制造力水平及关键资源准备筑起硅片竞争壁垒.....	17
2.1、硅料产能大幅释放，行业高增长有保障，硅片原料采购影响弱化.....	17
2.2、“高效N型+大尺寸+薄片化”，行业技术壁垒加深.....	20
2.2.1、高效N型：产业化提速开启，对硅片品质和拉晶生产要求提升.....	21
2.2.2、大尺寸：高经济性快速成为行业主流，制造水平要求提升.....	23
2.2.3、薄片化/细线化：降低硅成本，摊薄拉棒非硅，工艺难度加大.....	24
2.3、石英砂已成关键资源，坩埚成本拉开行业差距.....	27
3、坚定践行工业4.0战略，铸就硅片先进制造优势.....	32
3.1、多年半导体领域积淀，打造工业4.0“智慧工厂”.....	32
3.2、赋能提效成果斐然，成本领先行业翘楚.....	34
4、上游端战略布局深远，供应链竞争力卓著.....	37
4.1、战略伙伴长期共进，龙头优势保障高品质坩埚供应.....	37
4.2、协同参股携手硅料龙头，主要原材料布局稳健.....	38
5、盈利预测与评级.....	39
6、风险提示.....	40

## 图表目录

图 1: 公司历史沿革 .....	6
图 2: TCL 中环股权结构 .....	7
图 3: 2020 年公司控股股东混改变更情况 .....	7
图 4: 光伏产业链及公司相关业务布局 .....	9
图 5: TCL 中环各业务营收情况 .....	11
图 6: TCL 中环各业务毛利率 (单位: %) .....	11
图 7: 公司光伏硅片销售情况 .....	12
图 8: 公司光伏硅片产能及 G12 大尺寸占比 .....	12
图 9: 600W+ 光伏开放创新生态联盟部分企业 .....	13
图 10: Moxeon 和环晟光伏股权结构 (截止 2023 年 3 月) .....	13
图 11: 环晟叠瓦组件 .....	14
图 12: Moxeon 组件全球渠道分布 .....	14
图 13: 半导体硅片产能情况 .....	15
图 14: 2021 年半导体硅片市占率情况 .....	15
图 15: 公司营收及同比增速 .....	15
图 16: 公司归母净利润及同比增速 .....	15
图 17: 公司毛利率、净利率情况 .....	16
图 18: 公司费用率情况 .....	16
图 19: 公司营运情况 (单位: 天) .....	17
图 20: 公司现金流情况 .....	17
图 21: 公司年 ROE 及 ROA .....	17
图 22: 公司资产负债率及总资产周转率 .....	17
图 23: 国内月度累计硅料产量情况 .....	18
图 24: 多晶硅致密料价格变动情况 (单位: 元/kg) .....	18
图 25: 全球光伏累计装机及发电量占比 .....	19
图 26: 全球新增光伏装机及预测 .....	19
图 27: 全球光伏累计装机及发电量占比 .....	19
图 28: 2050 年全球光伏总装机量可达 14000GW .....	19
图 29: 硅片生产成本与非硅成本占比价格弹性测试 (2023 年 4 月) .....	20
图 30: 光伏发电度电成本及组件成本构成 .....	20
图 31: 硅片相关光伏产业技术降本路径 .....	21
图 32: 不同电池技术转换效率趋势 .....	22
图 33: 各种电池技术市场占比 (单位: %) .....	22
图 34: 不同类型硅片市场占比 (含出口) .....	22
图 35: N 型硅片对多晶硅品质要求更高 .....	23
图 36: N 型硅片工艺纯度提升途径 .....	23
图 37: 不同尺寸组件初始投资成本拆分对比 .....	24
图 38: 不同尺寸组件初始投资成本及 LCOE 对比 .....	24
图 39: 不同尺寸硅片市场占比变化趋势 (单位: %) .....	24
图 40: 晶硅线结构及切割方式 .....	25
图 41: 多线切割技术 .....	25
图 42: 硅片厚度变化趋势 (单位: $\mu\text{m}$ ) .....	25
图 43: 金刚线母线直径变化趋势 (单位: $\mu\text{m}$ ) .....	25
图 44: 22.75% 效率下不同厚度 G12 硅片对电池成本降幅 (2021 年 3 月公布) .....	26

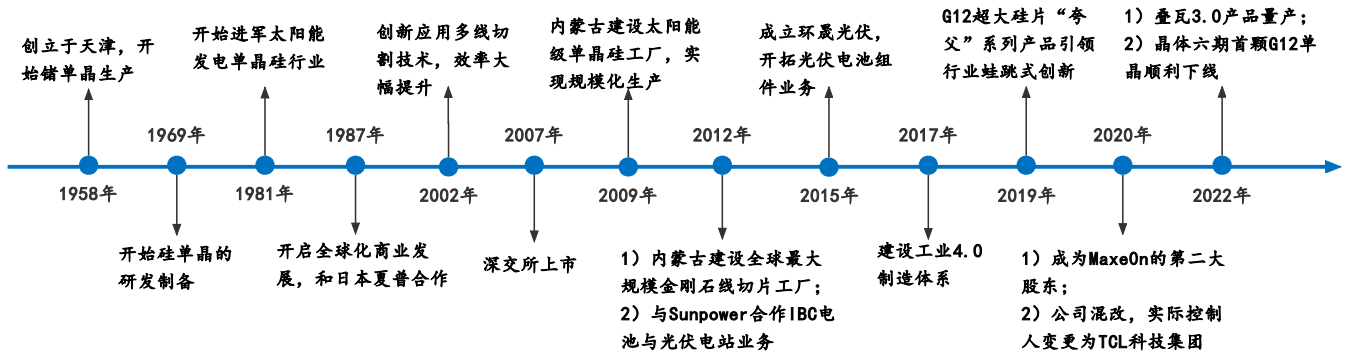
图 45: 不同出片数下硅片非硅成本中的方棒环节成本 (元/W)	27
图 46: 石英坩埚拉晶环节示例	28
图 47: 石英坩埚结构	28
图 48: 元素杂质在石英内赋存状态	29
图 49: 石英砂内部气液包裹体	29
图 50: 欧晶科技石英坩埚历史成本构成	31
图 51: 欧晶科技进口砂与国产砂历史价格及占比	31
图 52: 国产石英砂价格	32
图 53: 石英坩埚价格及用量	32
图 54: 半导体硅片一般生产流程	33
图 55: 公司工业 4.0 制造优势	34
图 56: 中环智慧工厂模型	34
图 57: 公司单炉月产行业领先 (单位: GW)	35
图 58: 公司晶体环节劳动生产率持续领先	35
图 59: 不同品级硅料价格对比 (元/kg)	35
图 60: TCL 中环与 InfoLink 相同厚度硅片公开价格时间对比	36
图 61: 公司 2022 年硅片持续减薄 (单位: $\mu\text{m}$ )	36
图 62: 公司 2022 年线径领先情况 (单位: $\mu\text{m}$ )	36
图 63: 公司单公斤硅棒出片数	37
图 64: 公司晶片环节劳动生产率持续领先	37
图 65: 中环采购金额占欧晶科技营收比例 (%)	38
图 66: 欧晶科技向北京博雅采购高纯石英砂比例 (%)	38
表 1: 公司部分高管履历情况	8
表 2: 公司此前员工持股计划及股权激励基金情况	8
表 3: 公司混改后新推出的股权激励措施	9
表 4: 公司主要制造业务运营子公司情况	10
表 5: 公司拉晶及切片产能情况	12
表 6: 全球量产光伏组件效率排名 (截止 2023 年 3 月)	14
表 7: 公司光伏电池及组件产能建设项目情况	14
表 8: 全年硅料总产能及对应下游产量情况	18
表 9: P 型与 N 型单晶硅片规格参数对比	23
表 10: 不同硅片厚度及金刚线母线直径下单公斤方棒出片数测算 (210 规格)	26
表 11: 不同硅料价格及单公斤方棒出片数下硅成本测算 (210 规格)	27
表 12: 光伏用高纯石英砂各杂质元素含量要求 (单位: $\mu\text{g/g}$ )	29
表 13: 主要坩埚石英砂供应商情况	30
表 14: 进口砂新增有限情况下石英砂供需测算	31
表 15: 电子级与太阳能级多晶硅料产品指标参数对比	33
表 16: TCL 中环使用金刚线径与行业主流对比	36
表 17: 晶盛机电相关石英坩埚产能布局情况	38
表 18: 中环及与协鑫的硅料项目合作情况	39
表 19: TCL 中环与通威、大全合作协议	39
表 20: 业务拆分情况	40

## 1、发端半导体产业，领先的光伏硅片全球龙头

TCL 中环为光伏行业硅片制造环节全球龙头，210(G12)大尺寸硅片的引领者，2021 年以来硅片对外销售规模保持领先，全球市占率超过 20%。公司通过工业 4.0 制造模式转型打造“智慧工厂”，成为行业先进制造标杆；差异化布局叠瓦、IBC、TOPCon 电池组件，逐步实现全产业链延伸覆盖，形成良好业务协同，打下全球化布局基础。公司也是国内名列前茅的半导体材料企业，实现了 4-12 英寸半导体硅片规模化量产，坚持区熔与直拉工艺双轮驱动，深耕 Power+IC 双路线。

公司前身为创立于 1958 年的天津市半导体材料厂，拥有悠久行业历史，1969 年开始进行半导体单晶硅的研发制备，1981 年开始拓展赛道成为国内最早一批进入光伏领域的企业，2007 年在深交所上市并在 2020 年完成混改成为 TCL 科技集团旗下的民营企业，此后开始于内蒙和宁夏建立大规模光伏单晶硅片制造基地，并逐步参与电池与组件业务，2022 年营收突破 670 亿元，净利润达到 68 亿元。

图 1：公司历史沿革

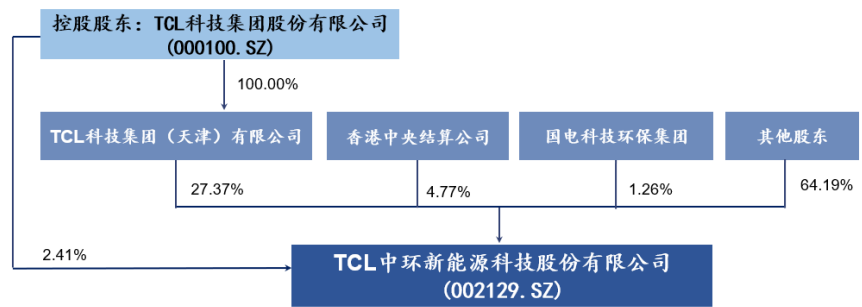


资料来源：公司官网，国海证券研究所

### 1.1、混改激活内生潜力，多轮激励凝聚骨干力量

混改后转为民企，TCL 科技控股。公司控股股东为 TCL 科技集团(000100.SZ)，直接持有公司 2.41% 股权，并通过全资子公司 TCL 科技集团（天津）间接持有公司股份 27.37%。此外公司现任董事长李东生个人还持有 0.07% 的股份。

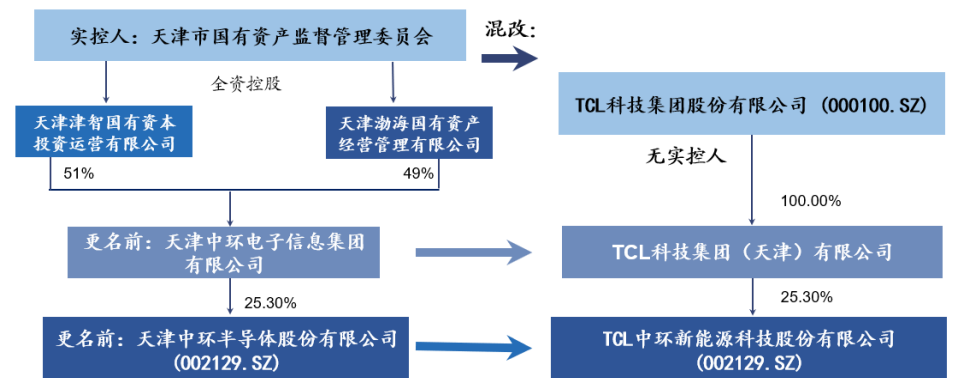
图 2: TCL 中环股权结构



资料来源：公司公告，Wind，国海证券研究所  
注：截止至 2022 年报

公司于 2020 年 9 月完成混改成为民营企业，此前实际控制人为天津市国资委，全资控股公司第一大股东天津中环电子信息集团，后 TCL 科技受让天津中环 100% 股权，转让金额为 125 亿元人民币。混改后，公司拥有更加市场化的经营导向，决策方面更为灵活、快速，研发创新优势可以更好的发挥，内部员工积极性良好调动起来，企业的效率、产品品质都得到极大的提升。同时 TCL 所著称的国际视野和战略模式也融入中环。

图 3: 2020 年公司控股股东混改变更情况



资料来源：公司公告，Wind，国海证券研究所

**核心管理者产业背景深厚。**公司董事长李东生为 TCL 集团创始人，在电子行业已有 30 年产业经验，目前为 TCL 科技董事长、CEO。公司总经理沈浩平为享受国务院特殊津贴专家，1983 年进入公司，在半导体领域引领技术创新，曾前瞻性提出“2+1”战略，引领公司在光伏领域进行重点发展，带领公司穿越行业周期，混改后继续为公司的主要领导者。

**表 1: 公司部分高管履历情况**

姓名	职位	个人履历
李东生	董事长	1957 年出生，毕业于华南理工大学，TCL 创始人，全国工商联原副主席，1982 年毕业后加入 TTK (TCL 前身)，凭借过硬的专业技术能力成为车间主任，1985 年被任命为 TCL 通讯设备公司总经理，现任 TCL 科技董事长、CEO。
沈浩平	副董事长、总经理	1962 年出生，毕业于兰州大学，正高级工程师，享受国务院特殊津贴专家，1983 年进入公司，在区熔法硅单晶技术领域带领创新。2007 年公司提出“2+1”即光伏材料、半导体材料+节能型功率器件”策略，曾任 TCL 中环副总经理等职务，目前兼任 TCL 科技集团执行董事、高级副总裁。
张长旭	董事、副总经理、财务总监	1975 年出生，本科学历，硕士学位，副高级工程师。近五年来一直担任公司董事、副总经理兼财务总监及公司各子公司内部任职。
秦世龙	副总经理、董事会秘书	出生于 1986 年，现任公司副总经理、董事会秘书。曾任 TCL 科技集团（天津）有限公司资产管理部副部长、法务部副部长等职务。

资料来源：公司公告，国海证券研究所

**加码激励，充分调动内部积极性。**公司坚持“以人为本”理念，重视员工利益，激发员工动能，自 2018 年开始一共进行了五轮股权激励计划，有效强化核心团队稳定性和凝聚力。

公司在 2018 年便出台了股权激励基金方案，根据当年公司业绩情况计提的股权激励基金用于员工持股计划，被激励的员工可根据所分配的激励金，再搭配个人资金，按照 1 比 1 出资认购员工持股计划份额。按照此方案公司进行了两次员工持股计划，皆有超 400 名员工参与，除董监高数名外广泛覆盖管理、技术、营销等骨干。

**表 2: 公司此前员工持股计划及股权激励基金情况**

激励计划	激励对象	规模	资金来源	存续期	回购实施日	成交价
2019 年度员工持股计划	董监高 8 人，其他管理、技术、营销等骨干人员不超过 451 人	累计使用资金 2381.08 万元，购买 242.46 万股（占总股本 0.09%）	2018 年度计提的股权激励基金与激励对象个人 1:1 配套出资。	24 个月（已出售完毕）	2019/07/02	9.82 元/股
第二期员工持股计划	董监高 7 人，其他骨干人员不超过 457 人；预留部分分配董监高 2 人，其他骨干人员不超过 47 人	累计使用资金 9108.92 万元，购买 340.44 万股（占总股本 0.11%）	2019 年度计提的股权激励基金与激励对象个人 1:1 配套出资。	24 个月（已出售完毕）	2021/03/15	26.76 元/股

资料来源：公司公告，国海证券研究所

混改后，公司继续大力推动股权激励，针对重要的董监高推出股票期权计划，并持续扩大工持股计划覆盖范围，2021 年和 2022 年方案覆盖人数分别超 800 和 1400 人，此外不再需要个人出资配套，但享受相关权益需满足公司层面业绩增长和个人层面考核要求，在激发核心员工工作动力同时更好的实现了利益绑定。



表 3: 公司混改后新推出的股权激励措施

激励计划	激励对象	激励规模	激励期间	考核要求
2021 年股票期权激励计划	董监高 10 人, 其他核心业务(技术)人员 24 人	总计 485.68 万份(占总股本 0.16%), 其中董监高 250.54 万份, 行权价格为 30.39 元/股。	2021/7/15 日完成期权登记; 登记日后分为 12-24/24-36 个月两个行权期, 按 50/50%数量行权。	第一个行权期: 2021 和 2020 年公司扣非归母净利润较上一年增长率平均不低于 30%。 第二个行权期: 2022 和 2021 年扣非归母净利润增长率平均不低于 30%
2021 年员工持股计划	董监高 11 人, 其他管理、技术、营销等骨干人员不超过 804 人	通过专项激励基金认购总金额 3.24 亿元, 过户股票 897.59 万股(占总股本 0.3%), 相关回购价 30.38 元/股	存续期不超过 60 个月; 2021/7/14 日完成非交易过户	2021 和 2020 年公司扣非归母净利润较上一年增长率平均不低于 30%+个人考核达标
2022 年员工持股计划	董监高 6 人, 中层管理人员及其他核心骨干员工不超过 1494 人	通过专项激励基金认购总金额 3.96 亿元, 过户股票 965.44 万股(占总股本 0.3%), 相关回购价 36.11 元/股(16.16 万股)和 41.09 元/股(949.28 万股)	存续期不超过 60 个月; 2022/9/8 日完成非交易过户; 授予日起 12/24 月后可归属 50/50%的权益	2022 和 2021 年公司扣非归母净利润较上一年增长率平均不低于 30%+个人考核达标

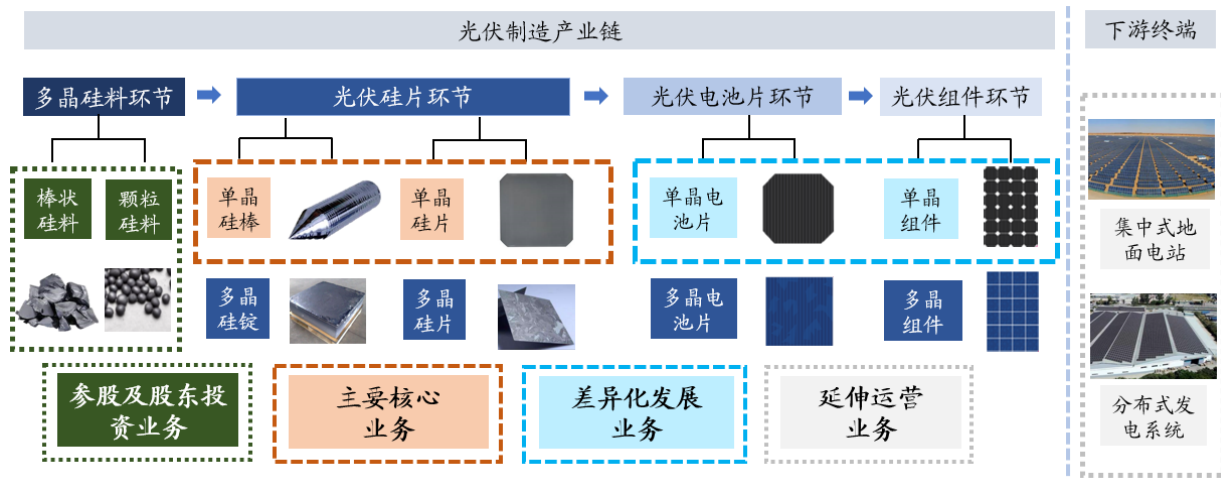
资料来源: 公司公告, 国海证券研究所

## 1.2、大尺寸光伏硅片引领者, 组件电池差异化战略

光伏硅片为主要核心业务, 下游电池组件差异化发展, 半导体材料快步突破。公司业务跨光伏和半导体两大领域, 目前以单晶硅片为核心的光伏制造业务在规模上占绝对主导地位, 自 2017 年开始收入占比都在 90%左右, 半导体材料业务相对历史悠久, 也在快步突破。

在光伏产业链上, 硅片的生产处于中上游环节, 目前基本都为单晶产品, 又可细分为硅棒的拉晶生产和切片加工两个部分。生产好的硅片是光伏电池的主要材料, 数十片电池再通过封装成为光伏组件。公司凭借在硅片方面的强大优势, 已向下游通过差异化的技术路线对电池和组件进行布局, 而对于硅料, 公司及控股股东也分别与上游企业进行了合作参股。此外, 公司也参与开展部分终端光伏电站的建设与运营业务。

图 4: 光伏产业链及公司相关业务布局



资料来源: 连城数控招股说明书, 公司公告, 国海证券研究所

公司主要通过旗下子公司开展制造业务，其中硅片拉晶环节主要由内蒙中环晶体和宁夏中环光伏（六期项目公司）开展，切片环节则主要由内蒙中环光伏、天津环欧半导体和无锡中环应用材料运营，组件和电池则主要通过环晟光伏（江苏）及其参股的 MAXEON 公司及拟成立的环晟光伏（广东）开展。而半导体业务主要通过天津中环领先开展。

表 4：公司主要制造业务运营子公司情况

业务运营主体	持股比例		光伏业务					半导体硅片	营业收入 (亿元)	净利润 (亿元)
	直接	间接	硅料	硅片拉晶	硅片切片	电池	组件			
内蒙古中环晶体	29.92%	29.40%		✓					408.13	21.99
宁夏中环光伏	100%			✓					-	-
内蒙古中环光伏	79.08%	20.92%			✓				156.48	13.69
天津环欧半导体	100%				✓				-	-
无锡中环应用材料		98.08%			✓					
环晟光伏（江苏）	83.73%	5.94%				✓	✓		-	-
环晟光伏（广东）	100%					✓			-	-
天津中环领先	36%						✓		27.81*	3.69*
新加坡 MAXEON		36.50%				✓	✓		73.83*	-18.61*
新疆协鑫	27%		✓						136.59	82.52

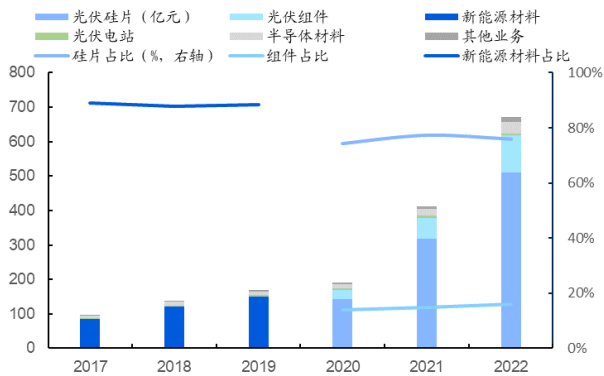
资料来源：公司公告，Maxeon 公告，WIND，国海证券研究所

注：1) 营业收入和净利润期间为 2022 年全年，中环领先为 2022 年 1-10 月，MAXEON 为 2022 年 1 月-2023 年 1 月财年，金额为 WIND 外币折算；2) 中环领先纳入合并报表；3) “环晟光伏（广东）”截止公告为拟成立，名称为暂定

从各业务的收入端来看：1) 光伏硅片近三年收入占比在 75%左右，2022 年实现收入 509.01 亿元，在下游景气周期的带动下当年增速超 60%，两年间规模扩大 2.6 倍，不过原材料价格水平大幅上升导致售价提高也是重要原因；2) 光伏组件收入则从 2020 年的 26.7 亿快速增长至 2022 年的 108.4 亿，占比从 14% 提升至 16%左右；3) 半导体材料近年来实际也增长迅速，收入从 2020 年的 13.5 亿增长至 2022 年的 32.7 亿，但占比到 2022 年已下降至 4.9%；4) 光伏电站业务收入从 2020 年的 5.3 亿稳步增长至 2022 年的 6.2 亿。

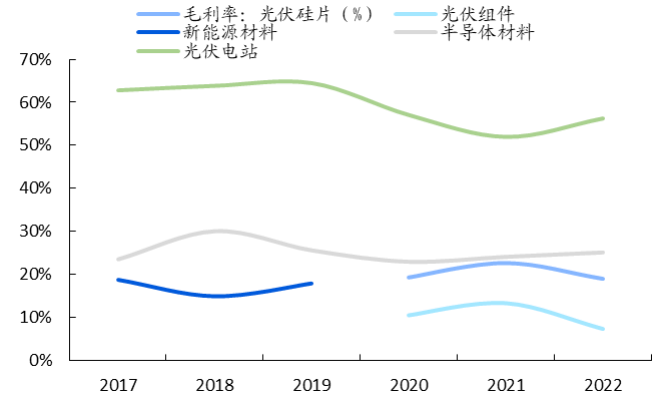
在毛利率方面：1) 核心的光伏硅片自 2020 年以来都在 20%左右，2022 年同比下降超 3pct.，但主要为原材料价格推升售价影响，从单瓦毛利润来看我们预计 2022 年在 0.14 元/W 左右，实际略有提升，在 2021 年则明显提升；2) 光伏组件方面，总体毛利率较低，一个主要原因在于业务尚在发展期，2022 年仅 7.36%，则主要受原材料成本压力影响下降较多，此前两年均在 10%以上；3) 半导体材料毛利率在 2020 年企稳，到 2022 年从 23.1%稳步提升至 25.2%；4) 电站业务毛利率水平较高，主要系业务特点不同，虽然近两年有所下降，但仍高于 50%。

图 5: TCL 中环各业务营收情况



资料来源: 公司公告, 国海证券研究所

图 6: TCL 中环各业务毛利率 (单位: %)



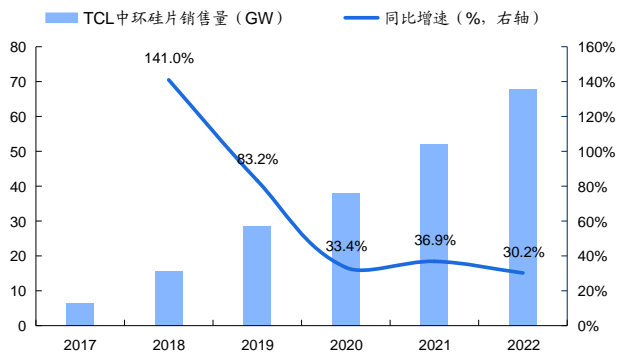
资料来源: 公司公告, 国海证券研究所

外销硅片全球第一，率先推出 G12 大硅片引领行业大尺寸化。凭借先发技术优势，公司在较早时期便与隆基绿能在光伏单晶硅片领域形成了双寡头局面，2021 年开始公司成为硅片对外销量全球第一的企业。2022 年公司对外销售硅片 106.47 亿片（按标准 M6 折算），对应出货 68GW，在单晶替代多晶实现渗透率快速提升后，仍连续三年维持 30%以上增速。

产能方面，公司截至 2022 年底已实现光伏单晶晶体产能 140GW，建成了内蒙呼和浩特一到五期和宁夏银川六期项目。其中六期项目也是全球单体规模最大的单晶硅材料智能化绿色工厂，目前产能可达 70GW。到 2023 年公司晶体产能还将扩大到 180GW，保持全球领先。而在切片端，公司分别于天津、内蒙、宁夏、宜兴配套建立多个 DW 金刚线切片产能。

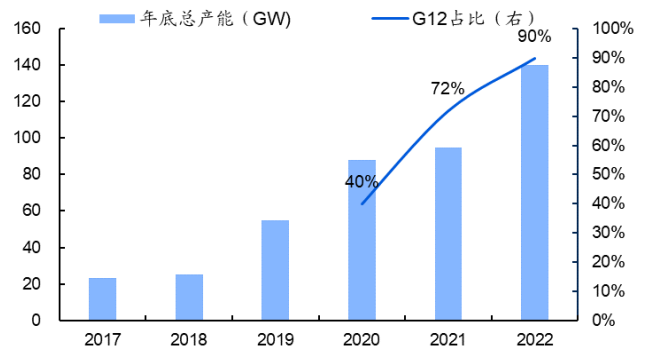
另一方面，公司于 2019 年 8 月，公司率先发布 210mm (G12) 超大尺寸硅片，面积较当时主流的 M2 常规尺寸大 80.47%，较 166 尺寸大 60.85%，理论上可以发挥通量优势，更好的降低光伏组件成本及系统度电成本。截止 2022 年公司 G12 产能已达到 90%，出货量保持市场第一。

图 7: 公司光伏硅片销售情况



资料来源：公司公告，国海证券研究所  
注：公司实际按折标准片数进行公告，2017-2018 年规格为 M2，2019 年为 G1，2020-2022 年为 M6，此处依据光伏业协会公布的主流 PERC 电池平均转换效率推算值

图 8: 公司光伏硅片产能及 G12 大尺寸占比



资料来源：公司公告，国海证券研究所

此外，公司最新建成的宁夏银川六期项目以及天津、宜兴、内蒙已建和宁夏银川在建的 DW 切片项目均为基于工业 4.0 先进制造模式打造的“智慧工厂”，具有行业领先的智能制造水平和生产效率，配套 G12 平台技术，能更好的发挥规模生产和大尺寸化成本优势。

表 5: 公司拉晶及切片产能情况

环节	项目	产能	建设进度
拉晶	内蒙一至四期及改造项目	33GW+	一期 2009 年 5 月开工，2010 年 9 月完工； 二期 2010 年 8 月开工，2012 年 10 月完工； 三期 2013 年 9 月开工，2015 年 12 月完工； 四期及四期改造项目 2016 年 6 月开工，2019 年 3 月全部达产
	内蒙五期	25GW	2019 年 4 月开工，2019 年 12 月成功控制首根硅棒
	宁夏六期	70GW+	2021 年 3 月开工，2022 年 1 月首根硅棒下线
	江苏宜兴 10GW	10GW	2017 年 4 月签约，2018 年 7 月满产
	天津 DW 一期 (G12)	23GW	2020 年 7 月已实现规模化量产
切片	内蒙 DW 二期 (G12)	25GW	2021 年投产
	天津 DW 三期 (G12)	25GW	2022 年投产
	宜兴 DW 四期 (G12)	30GW	2022 年投产
	宁夏 DW 五期 (G12)	35GW	2023 年 2 月开工，预计 2023Q3 投产

资料来源：公司公告，公司公众号，北极星太阳能光伏网，光伏们，看宜兴等，国海证券研究所

公司在将 G12 产品全面推向市场同时，也与东方日升等 39 家企业共同组建了“600W+光伏开放创新生态联盟”，成员一致认同 600W+超高功率组件和系统集成新技术平台是光伏行业未来发展的重要方向。我们认为大尺寸硅片是超高功率组件不可或缺的特征要素，公司在产业链的发展升级中将起到重要的引领作用，截止 2021 年末，该联盟成员已超过 90 家。

图 9：600W+光伏开放创新生态联盟部分企业

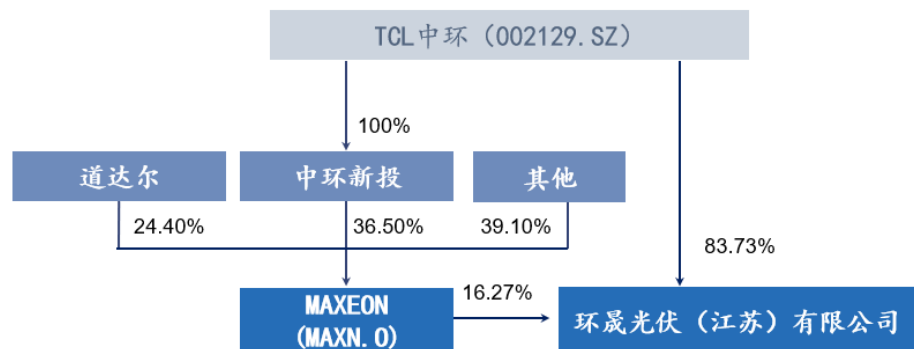


资料来源：原轼新材招股书，各公司官网，国海证券研究所

以专利行差异化，环晟高效叠瓦组件出货领先，持股 Maxison 布局 IBC。公司的控股子公司环晟光伏（江苏）在 2017 年引入 SunPower 高效叠瓦组件技术，是国内唯一取得合法知识产权许可授权的制造商，在 2021 年时已取得连续三年叠瓦组件销售全球第一，2022 年组件销售达 6.6GW。

同时，公司目前为美股上市公司 Maxison 的最大股东，持有其 36.5% 的股份（普通股持股比例 23.93%），该公司总部位于新加坡，在 2020 年由 SunPower 分拆而成，拥有叠瓦组件及 IBC 电池-组件技术专利，2022 财年组件销售量达 2.34GW，其中 IBC 技术 998MW。

图 10：Maxeon 和环晟光伏股权结构（截止 2023 年 3 月）



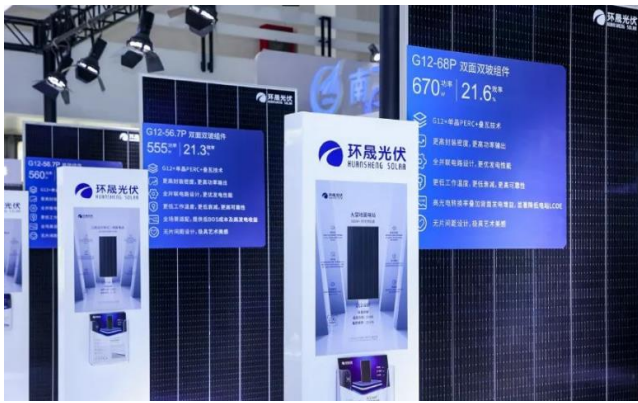
资料来源：Wind，Maxeon，国海证券研究所

叠瓦技术利用导电胶将分切好的电池片叠片串接，不再使用焊带，是唯一可做到零间距的封装技术，可以充分利用组件受光面积，输出更高功率，同时减少发电损失。公司目前已实现“G12+叠瓦”3.0 产品迭代，结合柔性制造和上下游协同联动，可以良好发挥超规硅片消化能力。

Maxeon 领先的 IBC 电池技术具有无正面栅线的突出特点，高效性和美观性优势显著，作为一种平台型技术还可与其他电池技术叠加为 XBC 电池，发展潜力巨大，基于 IBC 技术的 Maxeon6 组件目前可以达到 22.8% 的量产效率。此外公司

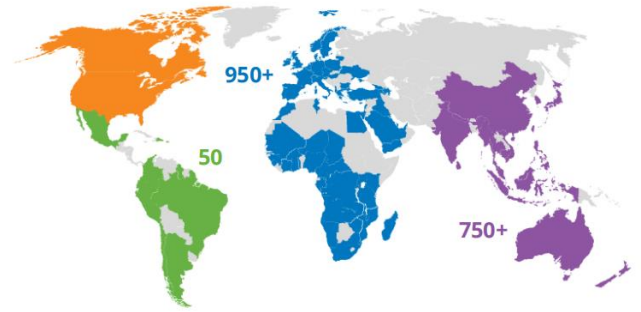
与 Maxeon 在全球范围内进行生产与渠道的相互促进和协同发展，提升整体全球化的商业竞争优势，为制造全球化奠定基础。

图 11: 环晟叠瓦组件



资料来源：公司公众号

图 12: Maxeon 组件全球渠道分布



资料来源：Maxeon 公司公告

表 6: 全球量产光伏组件效率排名（截止 2023 年 3 月）

排名	公司	组件系列	硅片导电型	电池片尺寸	片数	电池技术	组件类型	组件功率 (W)	组件效率 (%)
1	爱旭	ABC White hole	N 型	182	144	ABC	半片、背接触	610	23.6
2	隆基	Hi-MO6	P 型	182	144	HPBC	半片、背接触	600	23.2
2	Maxeon	Maxeon6	N 型	166	66	IBC	整片、背接触	440	22.8
4	晶科	Tiger Neo	N 型	-	144	TOPCon	半片、MBB	585	22.65
5	华晟	Himalaya	N 型	210	132	HJT	双面、半片、MBB	700	22.53
5	中来	Niwa Light	N 型	182	108	TOPCon	半片、MBB	440	22.53
7	阿特斯	HiHero	N 型	182	108	HJT	半片、MBB	440	22.5
8	正泰	Astro N5	N 型	182	156	TOPCon	双面、半片、MBB	625	22.4
8	晶澳	DeepBlue 4.0	N 型	182	156	TOPCon	双面、半片、MBB	625	22.4
8	通威	-	N 型	-	108	TOPCon	双面、叠瓦	430	22.4

资料来源：TaiyangNews，国海证券研究所

产能方面，公司截止 2022 年已建成投产 12GW 叠瓦组件产能，在 2023 年有望继续扩大至 30GW；电池环节公司已经完成宜兴 2GW 电池片 G12 电池工程示范线，自动化、智能化水平行业领先，此外公司还将建设 25GW 的 N 型 TOPCon 电池智慧工厂，大力扩充产能的同时进一步发挥差异化技术优势。

表 7: 公司光伏电池及组件产能建设项目情况

项目	环节	产能	公告日期	投产状态
江苏宜兴 G12 高效叠瓦组件项目	组件	9GW	2017.02	共三期，一期 2020 年 2 月开工，三期 2022 年 10 月投产；已满产
天津 G12 高效叠瓦组件项目	组件	6GW	2020.06	2021 年 5 月开工；已投产 3GW
江苏宜兴 G12 电池片项目	电池	2GW	2021.04	2021 年 5 月开工，已满产
N 型 TOPCon 高效太阳能电池工业 4.0 智慧工厂项目	电池	25GW	2023.04	2023 年 4 月发布融资预案

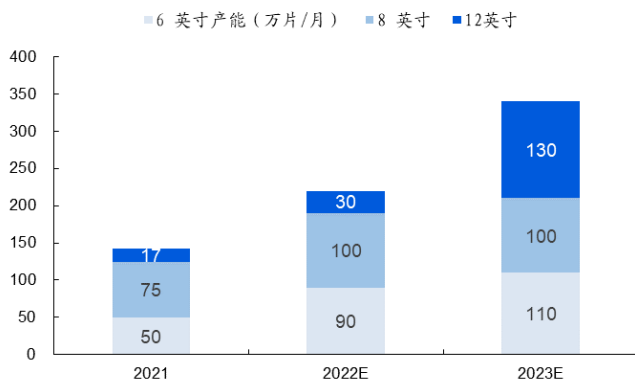
资料来源：公司公告，环晟光伏公众号等，国海证券研究所

半导体材料居国内前三，产品门类齐全，合并鑫芯快步增强国产大硅片地位。公司 2021 年在半导体硅片市场居于国内前三，全球前十，2022 年实现销售量 7.44 亿平方英寸。公司持续推动“全尺寸”、“全结构”、“全种类”以及“全商业化应用”的制造及商业模式，坚持区熔与直拉工艺双轮驱动，目前已实现 8 英寸及以下主流产品全覆盖，12 英寸已完成 28nm 以下产品的量产。目前公司已为

国内外主流厂商 6 英寸及以下产品的重要合作伙伴；8 英寸产品技术及质量控制能力可对标国际先进厂商；应用于存储及逻辑领域的 12 英寸产品进入量产阶段，应用于特色工艺领域的产品已成为国内基准。

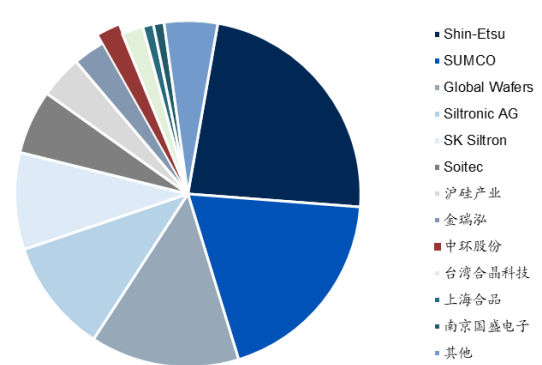
生产能力方面，公司同样围绕 Total Solution 和工业 4.0 制造转型，此前预计在 2022 年底 6/8/12 英寸实现 90/100/30 万片/月以上产能规模。2023 年 2 月，控股子公司中环领先增资收购鑫芯半导体 100% 股权，合并后 12 英寸整体产能预计在 2023 年底可达到 130 万片/月，在良好整合协同下，规模优势和市场竞争力有望显著增强，成为国产大尺寸半导体硅片的重要引领者。

图 13: 半导体硅片产能情况



资料来源：公司公告，国海证券研究所

图 14: 2021 年半导体硅片市占率情况



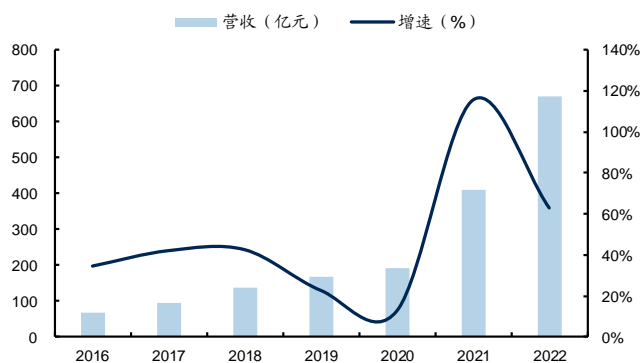
资料来源：亚化咨询，国海证券研究所

### 1.3、业绩增长亮眼，经营效益提升

受益光伏行业高景气，收入业绩高速增长。公司 2022 年营业收入 670.10 亿，同比增长 63.02%，两年复合增速达到 87.52%，主要受益于 2020 年以来光伏行业高景气及公司产能的快速建设，拉动硅片、组件等主要产品出货量和价格提升。

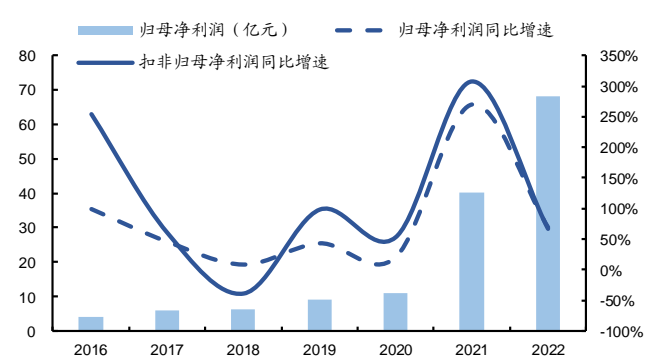
业绩方面，公司 2022 年实现归母净利润/扣非归母 68.19/64.83 亿元，同比增长 69.21/66.97%，两年复合增速高达 150.23/160.87%，一方面系收入快速增长带动，另一方面也得益于规模效应、机制改革和制造升级带来的降本提效。

图 15: 公司营收及同比增速



资料来源：公司公告，国海证券研究所

图 16: 公司归母净利润及同比增速

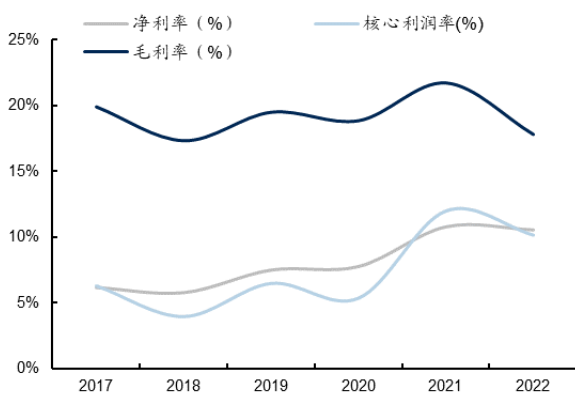


资料来源：公司公告，国海证券研究所

**盈利能力增强，经营费率下降明显。**公司毛利率主要随核心硅片业务变动，2022年为17.8%，总体来看系原材料涨价推升主要价格而有所下降。在经营相关费用率方面公司近两年优化明显，总体体现了收入快速增长的规模效益及混改后运营效益的提升，因此净利率水平自2021年开始也有较明显提升。

期间费用方面具体来看，整体从2020年的12.9%持续下降至2022年的7.3%，其中财务费用率下降最明显，由2020年的5.4%下降至2022年的1.2%，主要系债务结构优化，管理费用率费同样下降较快，从2020年的3.4%下降至2022年的1.4%，销售费用率则从2020年的0.8%下降至2022年的0.4%，在研费率方面，由于近几年加大投入力度，从2020年的3.3%上升至2021年的4.5%，2022年则为4.4%。

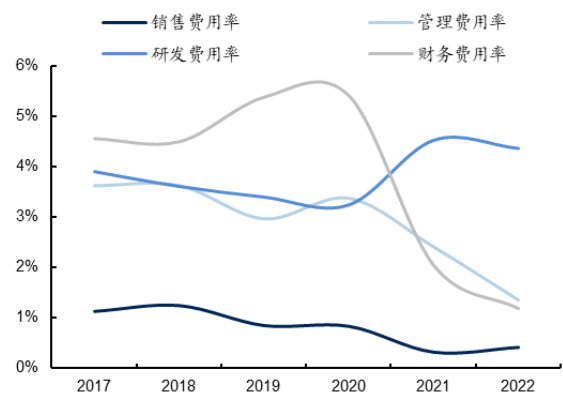
图 17：公司毛利率、净利率情况



资料来源：Wind，国海证券研究所

注：核心利润率=毛利率-税金及附加率-期间费用率

图 18：公司费用率情况



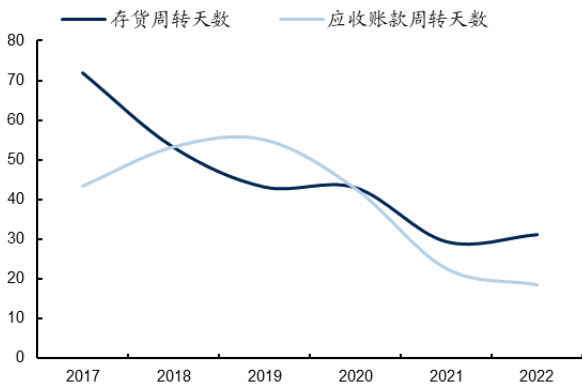
资料来源：Wind，国海证券研究所

**运营能力持续加强，低库存、高周转策略显效。**公司2022年存货周转天数为33.04天，同比略有上升，但2020年以前周转水平皆在40天以上，体现近年“低库存、高周转”策略效果，并有利于硅料价格下行周期中降低减值风险。2022年应收账款周转天数为18.5天，近几年持续下降，体现运营能力及产业地位加强。

**现金流比营收水平有所下降，预计与公司加强应收管理有关。**公司经营活动净现金流/营收为7.5%，连续两年下降，同时公司提供商品及劳务现金流/营收水平自2021年开始下降明显，我们预计主要系近两年营收增长较快情况下，公司采用更多如出售票据应收款等方式提前收回货款，增加流动性所致。

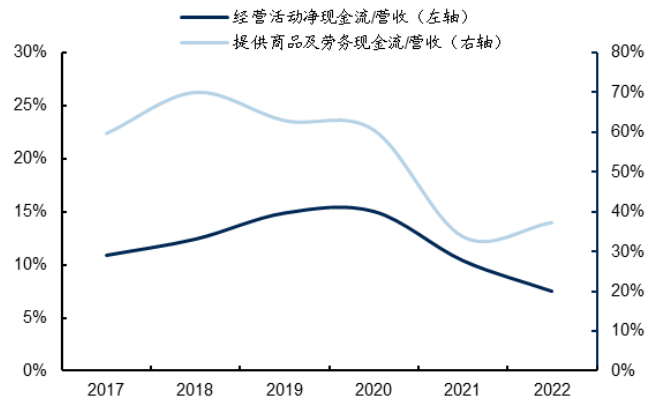


图 19: 公司营运情况 (单位: 天)



资料来源: Wind, 国海证券研究所

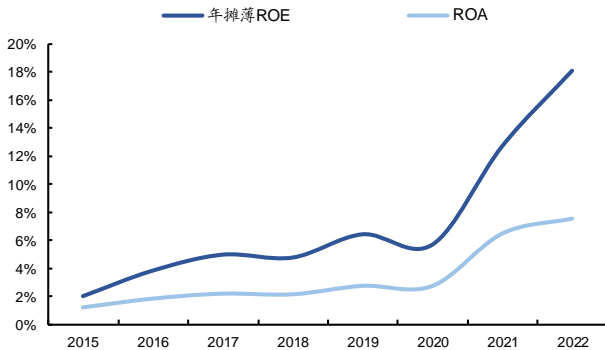
图 20: 公司现金流情况



资料来源: Wind, 国海证券研究所

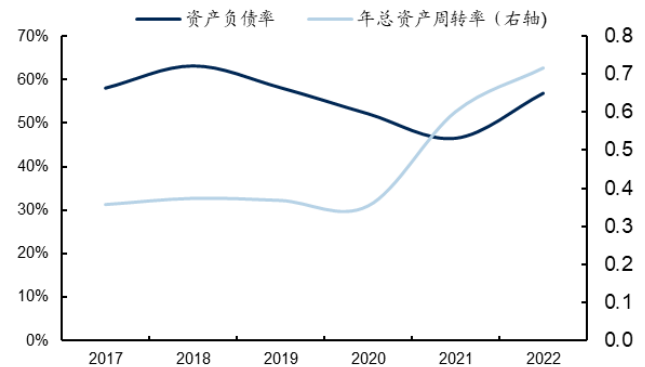
净资产收益率自 2021 年起明显提升。公司 2022 年年摊薄 ROE 达到 18.13%，在 2020 年仅 5.67%，到 2021 年提升至 12.72%，两年间提升明显，主要系盈利能力增强同时资产运营能力明显提升，公司 ROA 从 2020 年的 2.74% 连续提升到 2021 年的 6.49% 和 2022 年的 7.56%。此外资产负债率方面，经过连续几年的下降，2021 年时已达到 50% 以下，但在 2022 年又提升至 56.88%，我们预计与公司近几年产能扩张较快，固定投资大幅增加有关。

图 21: 公司年 ROE 及 ROA



资料来源: Wind, 国海证券研究所

图 22: 公司资产负债率及总资产周转率



资料来源: Wind, 国海证券研究所

## 2、制造力水平及关键资源准备筑起硅片竞争壁垒

### 2.1、硅料产能大幅释放，行业高增长有保障，硅片原料采购影响弱化

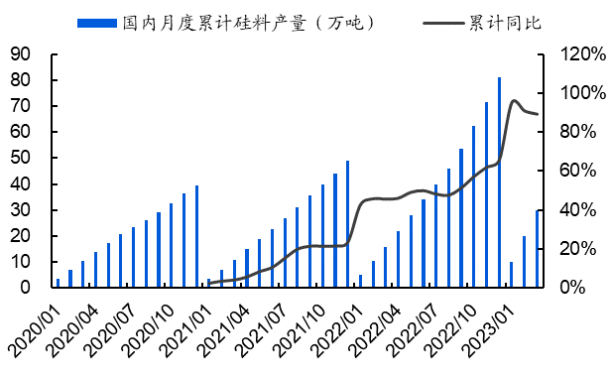
硅料产能释放再提速，供给由不足转向充裕，高价松动将向常态水平持续回归。对于光伏产业链，由于上游端硅料环节扩产周期长（1.5 年左右），近两年随终端需求大幅增长，硅料在供不应求的背景下价格大幅抬升，致密料均价在 2019-

2020 年为 76 元/kg，到 2021/2022 年则分别达到 185/271 元/kg。

另一方面，硅料新产能在 2022 年里也进入了大规模投放期，行业月产量增长在后期提速明显，到 12 月国内产量已接近 10 万吨/月水平，较 2021 年 12 月近乎翻倍。根据我们估算，在 2022 年底，硅料年化总产能保守已经能支撑 379GW 的年装机量，到 2023 年底则会扩大到 870GW，相比之下 CPIA 对 2023 年全年装机乐观预测也仅约 330GW 水平，我们可以判断硅料供给已经进入充裕阶段。

因此，2022 年 12 月以来硅料价格已经出现了大幅下跌，致密料价格一度降至 150 元/kg 水平，虽然后期随行业淡季接近尾声，下游开工提升补库增加而反弹至 200 元/kg 左右，但向下趋势已经明确，未来预计将回归至大幅上涨前水平。

图 23: 国内月度累计硅料产量情况



资料来源：硅业分会，国海证券研究所

图 24: 多晶硅致密料价格变动情况（单位：元/kg）



资料来源：PV InfoLink，国海证券研究所

表 8: 全年硅料总产能及对应下游产量情况

项目	2020 年底	2021 年底	估计 2022 年底	估计 2023 年底
硅料总产能（万吨）	60.6	77.9	124.5	272.5
对应下游环节产量:				
——硅片（GW）	194	274	469	1076
——电池（GW）	188	268	460	1055
——组件（GW）	186	265	455	1044
——并网（GW）	155	221	379	870

资料来源：CPIA、各公司公告，国海证券研究所

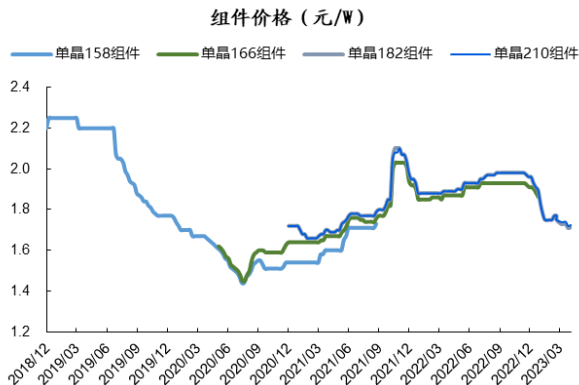
**原材料成本回落奠定 2023 年全球光伏市场“高增长”基调。**硅料作为光伏产业主要原材料，此前价格高涨对下游产品造成不小的成本压力，价格回落则能为下游降价留出较大空间。

从组件端来看，随硅料价格回落，主流 182/210 产品平均价格已经从 2022 年 11 月的 1.98 元/W 回落至 1.72/1.73 元/W 水平。组件价格的下降则将带动光伏系统成本降低，光伏发电项目收益率显著提升，从而激发更多的建设投资。

因此，我们预计 2023 年全球光伏市场将保持较高的增速，总装机量有望突破 350GW，硅片作为主要中间材料也将迎来高速增长。从更长期角度来看，光伏发电量占比目前不到 5%，根据 IRENA 预测，到 2050 年全球总装机量有望突破

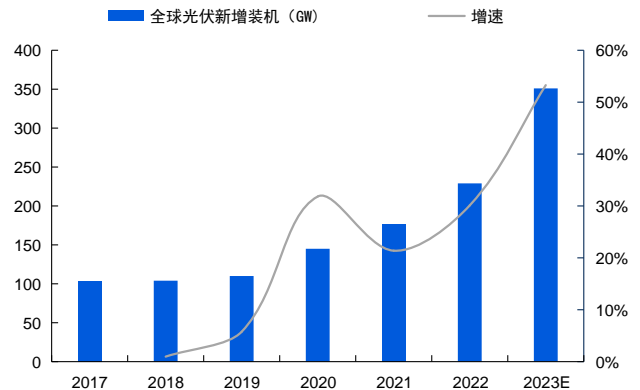
1.4TW，仍有很大增长空间。

图 25: 全球光伏累计装机及发电量占比



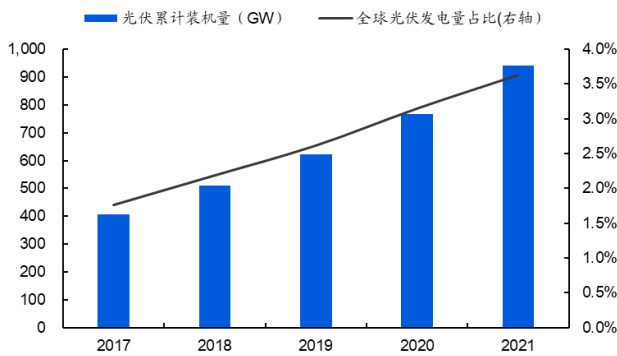
资料来源: PV infolink, 国海证券研究所

图 26: 全球新增光伏装机及预测



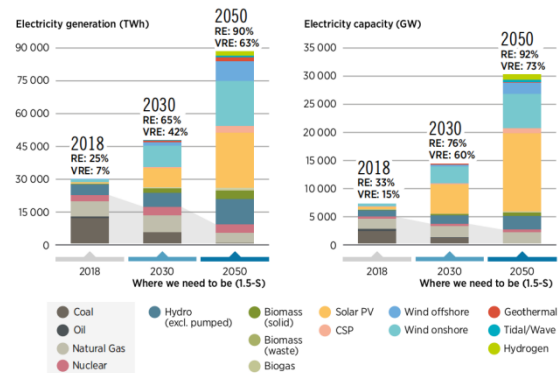
资料来源: IEA、国家能源局、集邦咨询, 国海证券研究所

图 27: 全球光伏累计装机及发电量占比



资料来源: IEA、BP, 国海证券研究所

图 28: 2050 年全球光伏总装机量可达 14000GW

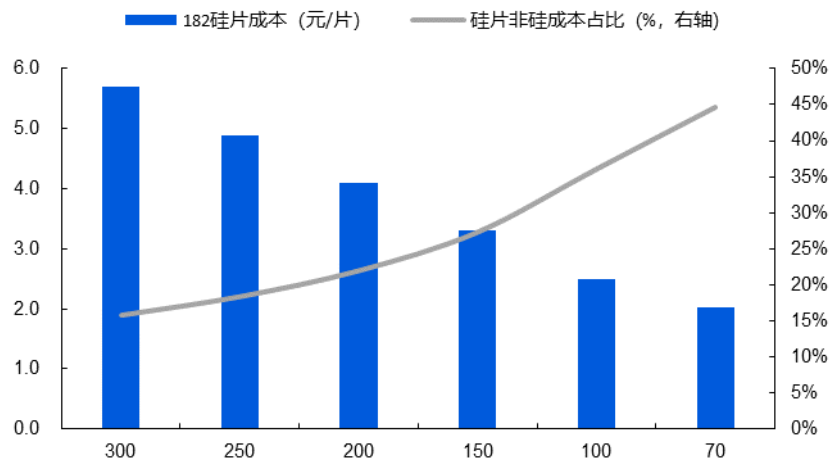


资料来源: IRENA

硅片成本端原材料采购影响弱化，制造技术水平重要性将逐步凸显。在硅料价格高企时，硅料在硅片整体成本中占据绝大部分，因此原材料采购的具体价格、时点节奏把握、未来趋势判断、库存管理等方面对硅片企业的盈利影响较大，而由生产技术、工艺、管理水平等方面因素决定的非硅成本影响不易体现。

我们根据资料测算，硅料价格在 300/200 元/kg 时，主流 182 型号硅片的成本约 5.69/4.10 元/片，其中硅成本占比分别达到 84/78%，非硅成本仅 0.9 元/片。当硅料成本下降至 80 元/kg 以下时，非硅成本占比将提升至 40%以上，优秀硅片企业本身的制造能力和规模竞争优势将会凸显，与行业一般水平拉开差距。

图 29: 硅片生产成本与非硅成本占比价格弹性测试 (2023 年 4 月)



资料来源: Solarzoom, 国海证券研究所

## 2.2、“高效 N 型+大尺寸+薄片化”，行业技术壁垒加深

产业降本需求无止境，驱动光伏技术持续进步。光伏作为一种输出电力的能源形式，具备“无碳排、可持续”等绿色优势，然而对这种能源的实际需求空间最主要还是取决于经济性：1) 更强的成本竞争力是光伏替代其他能源的基础，随发电成本进一步下降，能源结构中光伏的占比有望能加速提升，2) 光伏成本的下降也可以带来电力需求的进一步增长。

光伏降本的实现，主要是通过技术和制造工艺升级，降低单位发电功率组件产品的成本，从而降低发电系统初始固定投资。而从制造企业的角度来看，实现技术上的突破，带来成本的降低，也就获得了更强的竞争力和盈利能力。因此，虽然在多年的技术积累下，光伏平价上网目前已经基本实现，但产业对于持续降本的追求难以停息，技术升级也将持续进行。

图 30: 光伏发电度电成本及组件成本构成

$$\text{光伏平准化度电成本 LCOE (元/瓦)} = \frac{\text{系统生命周期总成本}}{\text{系统总发电量}}$$

$$= \frac{\text{系统初始固定投资} - \text{残值现值} + \text{历年 (运营} + \text{折旧} + \text{利息) 累计现值}}{\text{历年发电量累计现值}}$$

$$\text{组件单位成本 (按功率计算, 元/W)} = \frac{\text{各制造环节成本之和}}{\text{单个组件总功率}}$$

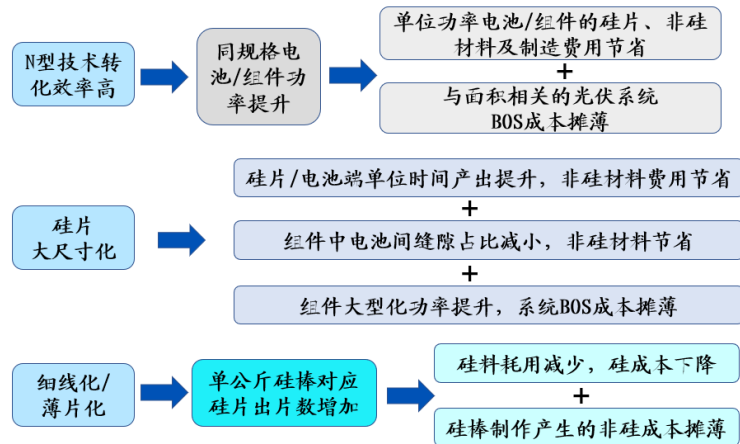
$$= \frac{\text{硅片硅料成本} + \text{硅片非硅成本} + \text{电池非硅} + \text{组件非硅}}{\text{电池转化效率} \times \text{光照功率} \times \text{单个电池面积} \times \text{所含电池数量} \times \text{封装损失 CTM}}$$

■ 颜色部分主要通过技术手段实现降低

资料来源: CPIA, 国海证券研究所

**硅片端三大趋势明确。**在单晶对多晶的替代基本完成后，硅片环节“高效 N 型、大尺寸化和薄片化/细线化”的进一步趋势明确，不仅能实现硅片本身硅成本和非硅成本的降低，还能在电池、组件以及系统 BOS 端实现降本。而这对制造能力的要求也不断提高，能在低成本条件下实现技术升级的优秀硅片企业将与行业逐步拉开差距。

**图 31：硅片相关光伏产业技术降本路径**



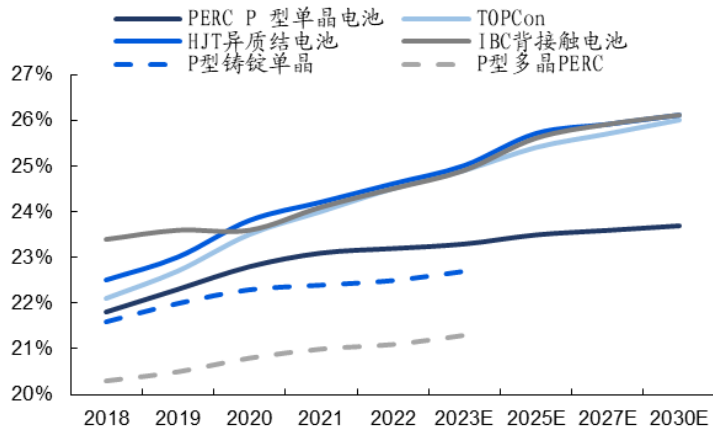
资料来源：CPIA，国海证券研究所

### 2.2.1、 高效 N 型：产业化提速开启，对硅片品质和拉晶生产要求提升

提升光伏电池的光电转换效率是实现降本的核心方式：在同等条件下，随同规格电池和组件的功率提升，1) 单位发电功率电池和组件端的硅片、非硅材料（胶膜、玻璃）及制造费用（设备、电力耗用等）可以节省，2) 同等装机容量的组件使用数量的减少，土地、支架、线缆、安装运输等与面积相关的 BOS 成本节省。

当前来看，基于 P 型单晶硅片的 PERC 电池技术仍然是市场主流，但在量产转化效率方面已经临近理论极限（24.5%），工艺成本也趋于成熟，而 TOPCon、HJT 等基于 N 型单晶硅片的新兴技术具有更高的转化效率和上限空间（TOPCon28.7%、HJT28.5%），成本端也有较大下降空间。

图 32: 不同电池技术转换效率趋势

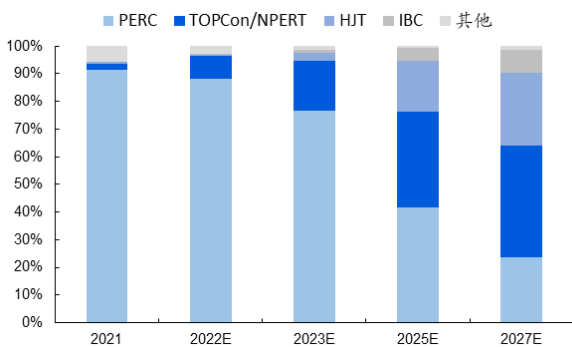


资料来源: CPIA, 国海证券研究所

随技术水平的快速突破, TOPCon 技术的效率成本优势已逐步显现, 特别是在近期因需求旺盛组件溢价提升, 达到约 0.1 元/W 左右, 而相关产能也持续大规模投放和建设中, 正加速成为主流。而 HJT 技术待关键降本手段实现突破后, 也有望快速迎来大规模产业化。

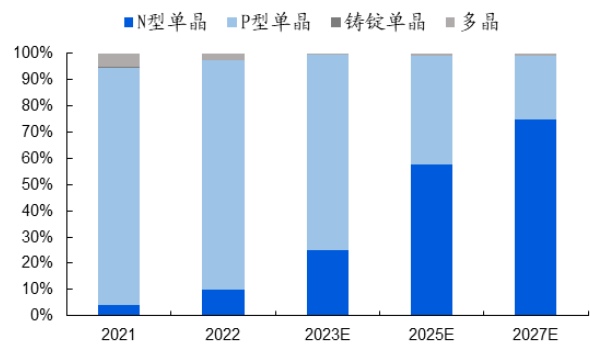
根据我们此前测算在 2022 年底行业 TOPCon 产能已超 70GW, HJT 产能也已达到 10GW 规模, 二者规划产能均达到数百 GW, 而在 2023 年内 TOPCon 预计会有超 100GW 的项目投产。而根据 CPIA 预测, 2022-2025 年随 N 电池市场份额的快速提升, N 型硅片的市场份额将从 10% 提升至 58% 左右。

图 33: 各种电池技术市场占比 (单位: %)



资料来源: CPIA, 国海证券研究所

图 34: 不同类型硅片市场占比 (含出口)



资料来源: CPIA, 国海证券研究所

为搭配更高效率的电池技术, N 硅片在品质要求上更高, 最主要一个方面是非平衡少数载流子寿命, 在一定电阻率下至少要达到 500 甚至 1000  $\mu\text{m}$  以上, 而 P 型硅片仅需要达到 50  $\mu\text{m}$  以上。而氧、碳、金属等杂质及晶体缺陷等都会对少数载流子寿命和单晶品质造成影响, 其中, 氧作为第一大杂质, 与光衰和同心圆问题联系紧密, 对不同技术路线电池效率也可能产生明显影响, 金属杂质大多为深能级, 容易造成缺陷中心复合从而减少载流子寿命。

因此，生产 N 型硅片对拉晶环节的技术工艺要求提高，包括工艺制程、自动化水平、车间环境洁净度、热场设计和纯度以及石英坩埚和各种与原材料接触工具的纯度。同时，多晶硅原材的品质纯度品质也需要逐步达到电子级的高水平，包括在清洗破碎环节的优化，防止引入金属杂质。另外，因下游实际需求的差异化较大，N 型硅片的具体品类目前已接近 300 种，进一步加大了生产管理难度。

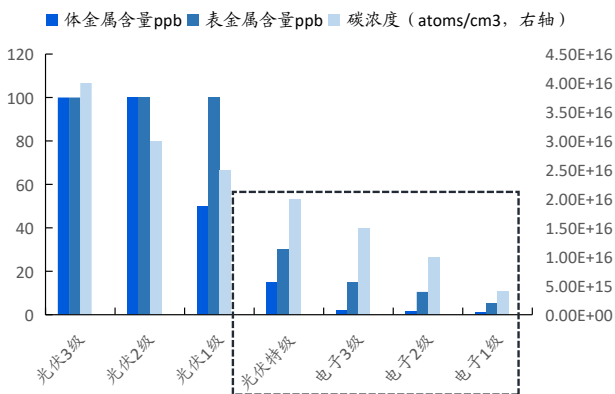
表 9: P 型与 N 型单晶硅片规格参数对比

硅片类型	P 型	N 型
掺杂元素	镓 (Ga)	磷 (P)
少子寿命 (μs)	≥ 50	≥ 500/1000
电阻率 (Ω.cm)	0.4-1.1	0.3-2.1/1.0-7.0
间隙氧含量 (at/cm <sup>3</sup> )	≤ 8E + 17	≤ 8E + 17
替位碳含量 (at/cm <sup>3</sup> )	≤ 5E + 16	≤ 5E + 16
位错密度 (cm <sup>-2</sup> )	≤ 500	≤ 500

资料来源：隆基股份，国海证券研究所

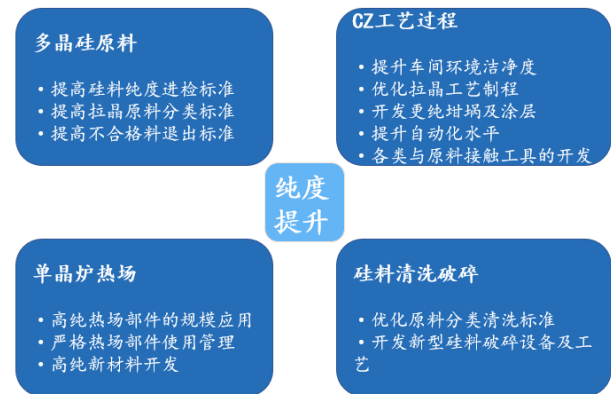
注：N 型少子寿命列出为两种规格产品

图 35: N 型硅片对多晶硅品质要求更高



资料来源：晶澳《N 型直拉单晶硅中的同心圆缺陷分析》，国海证券研究所

图 36: N 型硅片工艺纯度提升途径



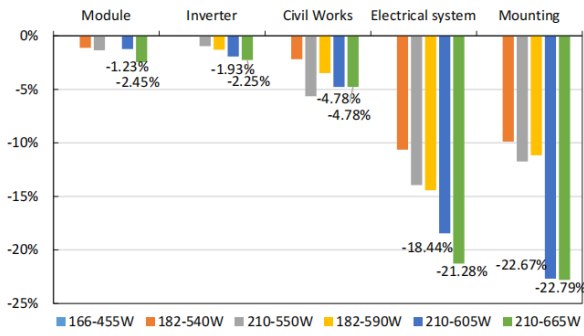
资料来源：晶澳《N 型高效单晶硅片技术概况及展望》，国海证券研究所

### 2.2.2、大尺寸：高经济性快速成为行业主流，制造水平要求提升

硅片大尺寸化可以带来三方面的整体降本效果：1) 单位时间硅片/电池端的面积产出增加，节省非硅材料耗用和制造费用；2) 组件中电池间缝隙占比减小，节省单位功率非硅材料；3) 组件大型化功率提升，节省与面积相关的光伏系统 BOS 成本。

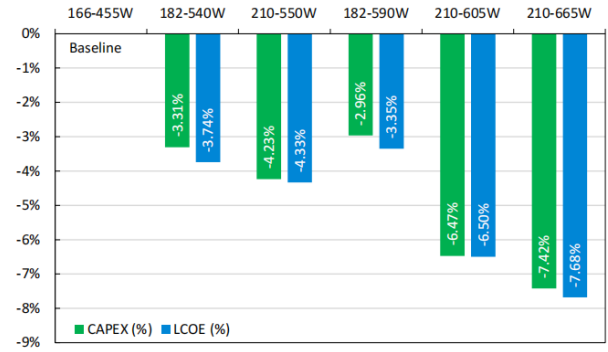
根据 ISE 位于德国 Brandenburg 的 10MW 电站数据显示，基于大尺寸硅片，组件、逆变器、人工、配电系统、支架初始等投资成本都能得到降低，其中配电系统和支架成本下降最为明显，其中 210-665W 版型的降幅可以达到 21.28% 和 22.79%，而初始投资成本整体方面可下降 7.42%，对应度电成本 LCOE 可下降 7.68%。

图 37: 不同尺寸组件初始投资成本拆分对比



资料来源: 天合光能《PV Module System Value Assessment White Paper》

图 38: 不同尺寸组件初始投资成本及 LCOE 对比

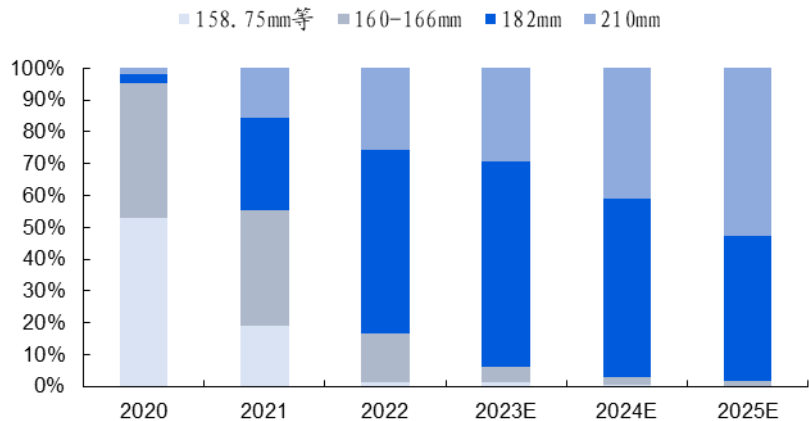


资料来源: 天合光能《PV Module System Value Assessment White Paper》

良好的经济性增益使得大尺寸硅片市场份额快速提升, 根据光伏业协会数据, 2020-2022 年间 182mm 和 210mm 大尺寸硅片合计市占率由 5%左右提升至 83%, 成为绝对市场主流, 166mm 以下小尺寸则在加速退出市场。

硅片大尺寸化同样提升了制造技术水平要求, 拉晶时硅棒直径越大, 径向温差就会越大, 容易引起增殖位错以及单晶失败、断线问题, 同时, 大直径拉晶会增加硅棒重量, 对生产企业的提拉工艺和后续加工处理技术提出更高的要求。

图 39: 不同尺寸硅片市场占比变化趋势 (单位: %)



资料来源: CPIA, 国海证券研究所

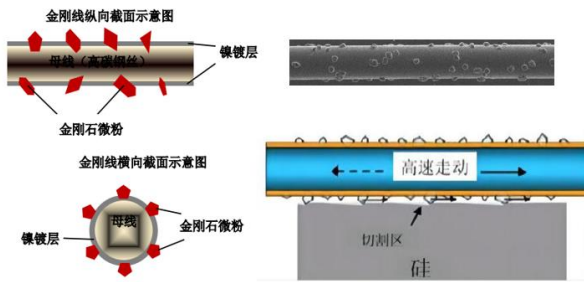
### 2.2.3、薄片化/细线化: 降低硅成本, 摊薄拉棒非硅, 工艺难度加大

光伏行业中将拉晶制成的硅棒加工成硅片采用金刚线多线切割的方法, 即通过表面附着金刚石微粒的钢线在硅棒进行高速往复运动, 以线锯的形式切割成片。

硅片薄片化和金刚线细线化都能增加单位长度硅棒所能产出硅片的数量, 这样主要可以达到降低硅片硅成本的效果: 1) 在对后道电池效率不产生明显影响的情况下, 硅片厚度越薄, 单片直接耗用的硅料就越少, 2) 金刚线线径越细, 磨削损耗掉的硅料也越少; 同时, 也可以摊薄每片硅片对应的硅方棒非硅制造成本。

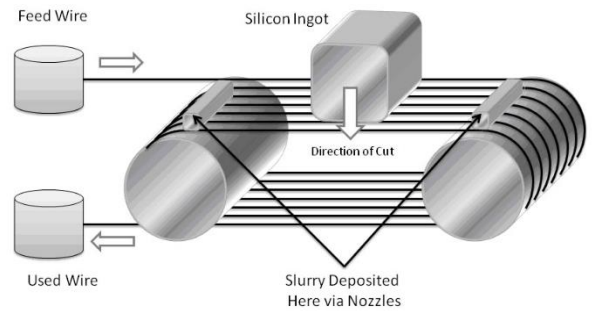


图 40: 晶硅线结构及切割方式



资料来源: 高测股份招股书、岱勒新材招股书, 国海证券研究所

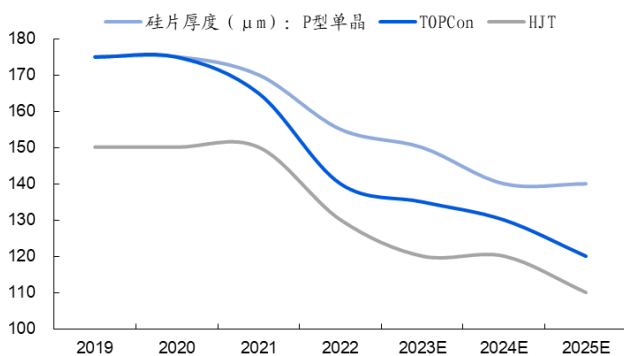
图 41: 多线切割技术



资料来源: Pogue 等《Measurement and analysis of wire sawing induced residual stress in photovoltaic silicon wafers》, 国海证券研究所

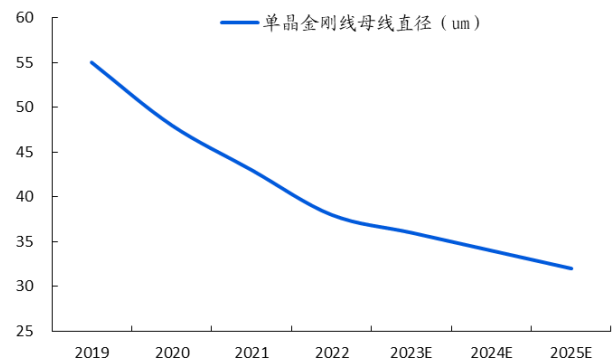
在近两年硅料价格高企的促进下, 硅片薄片化和细线化推进迅速, 根据光伏业协会数据: 2020 年-2022 年, 1) P 型单晶硅片平均厚度从 175  $\mu\text{m}$  下降至 155  $\mu\text{m}$ , TOPCon/HJT 所用 N 型硅片平均厚度则从 175/150  $\mu\text{m}$  降至 140/130  $\mu\text{m}$ , 2) 晶硅线母线直径从平均 48  $\mu\text{m}$  下降至 38  $\mu\text{m}$ 。即使未来硅料价格回落, 我们预计趋势也不会发生逆转, 二者仍会有下降空间。

图 42: 硅片厚度变化趋势 (单位:  $\mu\text{m}$ )



资料来源: CPIA, 国海证券研究所

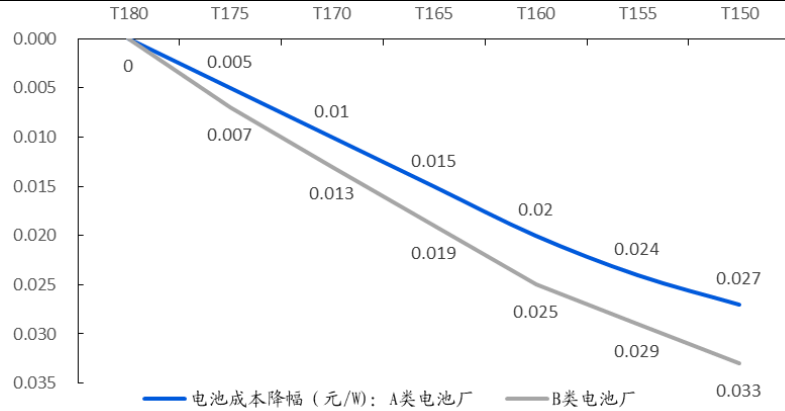
图 43: 金刚线母线直径变化趋势 (单位:  $\mu\text{m}$ )



资料来源: CPIA, 国海证券研究所

根据 TCL 中环 2021 年 3 月公布资料, 当 G12 硅片的厚度从 180  $\mu\text{m}$  下降至 170/160/150  $\mu\text{m}$  时, 下游 A 类电池厂成本降幅可达 0.01/0.02/0.027 元/W, B 类电池厂则可达 0.013/0.025/0.033 元/W, 而根据 PV Infolink 数据, 2021Q1 多晶硅致密料均价约 98 元/kg, 远低于当前 200 元/kg 左右的水平, 降本作用明显。

图 44: 22.75%效率下不同厚度 G12 硅片对电池成本降幅 (2021 年 3 月公布)



资料来源: TCL 中环, 国海证券研究所

注: 根据 PV Infolink 2021Q1 多晶硅致密料均价约 98 元/kg。

我们基于 210 型号硅片, 进一步分析细线化/薄片化对硅成本和非硅成本的影响。首先, 我们测算了在不同的金刚线母线直径 (30 μm - 40 μm) 与硅片厚度 (125 μm - 155 μm) 下单公斤方棒的出片数情况: 等量的硅片厚度下降与金刚线母线直径下降带来的出片数增加效果相同, 厚度/线径每下降 5/1 μm, 出片数可增加超过 1/0.2 片, 且随厚度的减薄或母线直径下降, 出片数增量会小幅上升。

更直观来看, 以厚度 150 μm、金刚线母线直径 38 μm 情况作为参照, 出片数约 45.9 片, 当厚度下降至 140/130 μm 时出片数可增加至 48.2/50.7 片, 当母线直径下降至 36/34 μm 时出片数可增加至 46.3/46.8 片, 当厚度和母线直径同步下降时 (即分别下降至 140 μm/36 μm, 130 μm/34 μm), 出片数可增加至 48.7/51.8 片。

表 10: 不同硅片厚度及金刚线母线直径下单公斤方棒出片数测算 (210 规格)

单公斤方棒出片数 (片)	硅片厚度 (μm)						
	155	150	145	140	135	130	125
金刚线母线直径 (μm)							
40	44.4	45.4	46.5	47.7	48.9	50.2	51.6
39	44.6	45.6	46.8	47.9	49.2	50.5	51.8
38	44.8	45.9	47.0	48.2	49.4	50.7	52.1
37	45.0	46.1	47.2	48.4	49.7	51.0	52.4
36	45.2	46.3	47.5	48.7	49.9	51.3	52.7
35	45.4	46.5	47.7	48.9	50.2	51.6	53.0
34	45.6	46.8	47.9	49.2	50.5	51.8	53.3
33	45.9	47.0	48.2	49.4	50.7	52.1	53.6
32	46.1	47.2	48.4	49.7	51.0	52.4	53.9
31	46.3	47.5	48.7	49.9	51.3	52.7	54.2
30	46.5	47.7	48.9	50.2	51.6	53.0	54.5

资料来源: 北极星太阳能光伏网, Solarzoom, 国海证券研究所

假设: 硅片面积 44096mm<sup>2</sup>, 金刚线外径较母线大 20 μm, 切片合格率 98%。

然后, 我们测算了不同硅料价格下 (含税 70-300 元/kg), 不同的方棒出片数 (44-51) 对应硅片的硅成本情况: 硅料价格对出片数带来的硅成本下降影响较大, 在硅料价格 300/200/100 元/kg 时, 出片数每增加一片, 可带来平均 0.012/0.008/0.004 元/W 的硅成本降幅, 但幅度随出片数的增加略为减少。

具体来看, 以硅料价格 300/200/100 元/kg, 出片数 45 片为的情况参照, 硅片对应硅成本约 0.611/0.408/0.204 元/W, 当出片数上升至 48 片时, 硅成本为

0.573/0.382/0.191 元/W, 当出片数进一步上升至 51 片时, 硅成本为 0.539/0.360/0.180 元/W。

表 11: 不同硅料价格及单公斤方棒出片数下硅成本测算 (210 规格)

硅成本 (元/W)	单公斤方棒出片数 (片)							
硅料含税价 (元/kg)	44	45	46	47	48	49	50	51
300	0.625	0.611	0.598	0.585	0.573	0.561	0.550	0.539
250	0.521	0.509	0.498	0.488	0.478	0.468	0.458	0.449
200	0.417	0.408	0.399	0.390	0.382	0.374	0.367	0.360
150	0.313	0.306	0.299	0.293	0.287	0.281	0.275	0.270
100	0.208	0.204	0.199	0.195	0.191	0.187	0.183	0.180
70	0.146	0.143	0.140	0.137	0.134	0.131	0.128	0.126

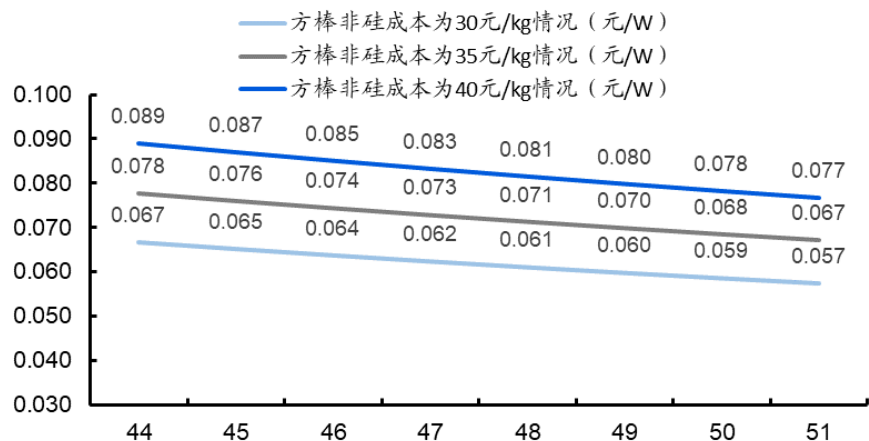
资料来源: CPIA, 北极星太阳能光伏网, 国海证券研究所

假设: 电池转换效率 23.2%, 对应硅片功率 10.23 瓦

最后, 我们还测算了不同出片数下 (44-51 片), 硅片所分摊的方棒非硅成本情况: 总体来看出片数增加对方棒非硅成本分摊影响较小, 随方棒非硅成本增加而增大, 出片数增加 1 片对成本的影响在 0.001-0.002 元/W 之间。

当方棒非硅成本为 40/35/30 元/kg 时, 出片数 45 片对应硅成本约 0.087/0.076/0.065 元/W, 当出片数上升至 48 片时为 0.081/0.071/0.061 元/W, 而当出片数上升至 51 片时为 0.077/0.067/0.057 元/W。

图 45: 不同出片数下硅片非硅成本中的方棒环节成本 (元/W)



资料来源: solarzoom, 国海证券研究所

假设: 电池转换效率 23.2%, 对应硅片功率 10.23 瓦

硅片薄片化和金刚线细线化相辅相成共同推进, 这也使得切片工艺的难度持续提高, 如对切割时金刚线张力、进线速度等方面的控制需要更为精细, 否则可能造成切片良率过低, 线耗过高, 反而使得成本增加, 因此有利于具备良好技术积累和应用能力的硅片企业进一步增强竞争优势。

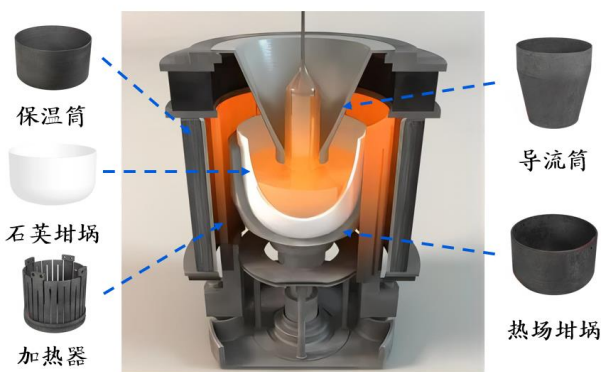
## 2.3、石英砂已成关键资源, 坩埚成本拉开行业差距

石英坩埚是生产单晶硅棒的必要器件, 硅片品质的重要决定因素。光伏单晶硅片的生产方法为先通过切克劳斯基法 (CZ 法) 将熔融的硅料拉制出单晶硅棒, 然后切割加工成片, 而整个拉晶过程都是在由石英 (SiO<sub>2</sub>) 制成的坩埚中进行。

拉晶所用的石英坩埚有着很高的品质要求，主要系光伏单晶硅片的纯度要求达到 99.9999%以上(业内简称 6N)，有时可达 9N，同时拉晶时温度一般会达到 1430℃-1500℃。因此石英坩埚本身必须具有很低的杂质含量，且对高温要有较强的承受能力，防止软化、开裂、鼓包、塌边等现象，否则将容易造成位错、断线、漏液等问题，导致成晶率低拉晶失败，石英坩埚本身也是主要的氧杂质来源。

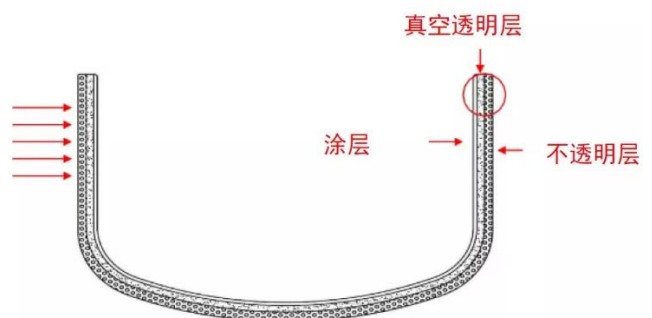
拉晶石英坩埚具有多层复合结构，一般最内层为透明层，厚度在壁厚中占 1/3，大约 3-5mm，气泡含量较低，外层则气泡含量较高，起到支持石英坩埚变形强度、保证热源均匀辐射作用。随技术进步，石英坩埚目前已发展出具有透明层、气泡透明层、外层薄气泡层这样的三层结构，同时也有在最内层涂碱金属(如 Ba)离子溶液或增加超高纯合成石英的技术，为实现提升品质或优化成本的效果。

图 46: 石英坩埚拉晶环节示例



资料来源: WAFERPRO, 金博股份官网, 欧晶科技官网, 国海证券研究所

图 47: 石英坩埚结构



资料来源: SMM 光伏视界

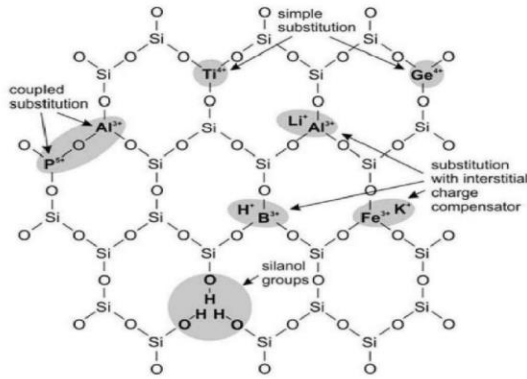
单个石英坩埚可用于硅棒拉制的次数有限，使用寿命受品质影响。在当前多次拉晶技术(RCZ)下，一根硅棒拉制完成后，直接对坩埚中的剩余硅液进行补充填料即可再次拉晶，因此使用一个石英坩埚可以拉制多根单晶硅棒，但单炉重复拉晶存在数次上限，其中一个核心原因便是坩埚本身使用寿命有限：

1) 析晶层会导致坩埚破裂，高于 1000℃ 的温度下坩埚外表面 SiO<sub>2</sub> 分子振动加速，产生越来越厚的析晶层，达到一定厚度后石英坩埚随之破裂。2) 微气泡破裂会影响成晶率和引入过量杂质，坩埚透明层中的气泡不能完全去除，随拉晶的进行，气泡会逐步膨胀破裂，导致 SiO<sub>2</sub> 颗粒等杂质进入熔融硅液，导致位错发生和污染，而坩埚外层气泡也可能移动至内层。

因此，品质良好的石英坩埚内层的微气泡含量较少，可以有较长的使用寿命。一般正常 P 型拉晶坩埚使用时间可达到 400 小时以上，N 型则在 250 小时以上，根据 2022 年 12 月三方数据，单个坩埚可以拉制的 182 硅棒在 8 根左右。

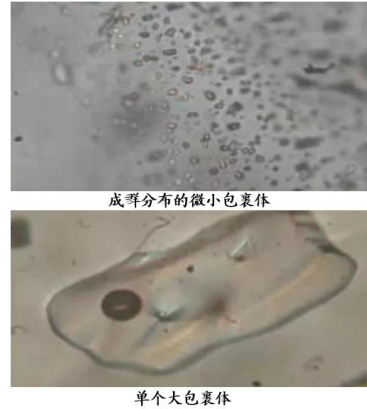
石英砂品质决定坩埚质量，内层原料要求较高。石英坩埚由石英砂加工而成，其中的杂质、微气泡也都是源于天然石英砂原料，因此坩埚用石英砂也需要具备很高的纯度：1) 各类元素杂质含量需要很低，2) 对于造成微气泡的气液包裹体杂质也需要尽量少，特别是用于内层透明层的石英砂。

图 48: 元素杂质在石英内赋存状态



资料来源: 《去除微小气液包裹体制备高纯石英砂的研究\_赵动》

图 49: 石英砂内部气液包裹体



资料来源: 粉体技术网, 国海证券研究所

按照宽泛的标准,  $\text{SiO}_2$  含量达到 99.9% 以上即可被视为高纯石英砂。根据国内质量标准, 用于光伏坩锅的生产的石英砂  $\text{SiO}_2$  含量不能低于 99.99% (4N), 同时 Al、Ca、Fe 等十三种杂质元素总含量应不大于  $25 \mu\text{g/g}$  (ppm), 其中会促使坩锅析晶的 K、Li、Na 碱金属含量总和小于  $2.5 \mu\text{g/g}$ 。而国际公认的光伏坩锅行业标准为高纯石英砂龙头尤尼明(现矽比科)制定的 IOTA CG, 其对元素杂质含量要求更为严苛, 该标准下的坩锅适合长时间的拉晶生产。另外, 人工合成石英可以达到更高等级的纯度(6N 以上), 但本身价格昂贵, 且软化点过低, 一般仅可用于最内一个薄层。

表 12: 光伏用高纯石英砂各杂质元素含量要求 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

杂质元素	铝 (Al)	钙 (Ca)	铁 (Fe)	钠 (Na)	钾 (K)	锂 (Li)	镁 (Mg)	铬 (Cr)	镍 (Ni)	硼 (B)	锰 (Mn)	铜 (Cu)	钛 (Ti)
国标 GB/T 32649-2016													
允许含量	<20	<1	<0.5	<1	<1	<1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	<0.1	<1.5
尤尼明 IOTA CG													
允许含量	<14	<0.6	<0.3	<1	<0.7	<0.5	<0.04	<0.007	0.001	<0.1	<0.029	<0.019	<1.2

资料来源: 中国粉体网, 国海证券研究所

**优质矿源稀缺, 内层坩锅砂依赖于进口。**由于高纯天然石英砂是通过石英矿加工提纯所得, 因此需要有良好矿石质量和先进的生产设备及工艺。通过酸洗、高温等加工处理工艺, 石英砂中的许多杂质和气液包裹体都可以被提纯处理掉, 国内部分企业目前也较好掌握了相关技术, 但是否具有足够的品质还是取决于石英砂的特点。

当前来看, 石英坩锅内层透明层仍需要使用美国尤尼明或挪威 TQC 公司的进口高纯石英砂, 二者都源于美国北卡罗来纳州的斯普鲁斯派恩矿床 (Spruce Pine), 其独有的白岗岩型高纯石英原料矿, 提供了全球 90% 的高纯石英砂。中层用砂方面则可以使用国内石英股份通过海外矿源加工而成的部分石英砂。

**表 13: 主要坩埚石英砂供应商情况**

主要供应商	主要矿床	类型	矿石特点	矿源地	拥有资源量
尤尼明 挪威 TQC	Spruce Pine (斯普 鲁斯派恩)	白岗岩;伟晶岩	石英晶粒极粗 (d>5 mm), 磨矿后与脉石完全解离, 且 单体石英杂质含量极少	美国北卡罗来纳州	可满足数十年 矿山服务年限 >1000 万吨
石英股份	-	-	-	大部分印度, 俄罗斯、 挪威、国内	-

资料来源: 《全球高纯石英原料矿的资源分布与开发现状》, 《高纯石英砂资源及加工技术分析》, 国海证券研究所

**进口高纯石英砂供给增量不明朗, 紧平衡趋势明显。**按目前普遍使用的三层结构光伏石英坩埚来看, 可生产内层用进口砂的尤尼明和 TQC 公司 2022 年总供给能力大概在 2.3 万吨左右, 但扩产增产情况并不明朗, 即使扩产也需要 1.5 年左右的周期。而发现其他合适矿源的不确定性更高, 开发周期也 longer。若要进一步增加低品级石英砂在坩埚中使用占比, 则将导致坩埚使用寿命的明显缩短。

因此, 在硅片需求随光伏终端需求快速增长的背景下, 高品质的内层石英砂将持续呈现紧缺态势。我们根据一些关键假设对全球石英砂供需情况进行测算:

1) 全球新增光伏装机在 2022-2024 年为 230-408GW, 对应硅片需求 290-514GW, 2) 单 GW 硅片生产所需单晶炉 80 台, 3) 单个石英坩埚内中外层占比为 3:4:3, 石英砂用量为 100kg/只, 4) 用于 P 型生产坩埚寿命为 400h, 用于 N 型生产寿命为 250h, N 型占比 2022-2024 年从 9.7%提升到 57.7%。

根据测算, 内层石英砂在 2022-2024 年的需求量为 1.6/2.6/3.4 万吨, 仅依靠尤尼明和 TQC 现有供给能力, 将在 2023-2024 年分别出现 0.3/1.1 万吨缺口。另外, 虽然中外层石英砂总体供给尚能覆盖需求, 但我们认为实际也可能存在结构问题, 过量的外层砂对缓解坩埚需求帮助较小, 而较高要求的中层砂则同样可能面临供给不足。

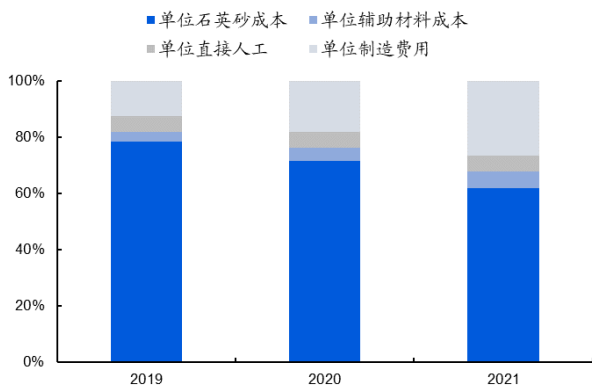
表 14: 进口砂新增有限情况下石英砂供需测算

	2021	2022E	2023E	2024E
<b>需求端:</b>				
全球新增光伏装机需求 (GW)	170	230	355	408
全球硅片需求量 (GW)	214	290	447	514
单 GW 硅片所需单晶炉数量 (台)	80	80	80	80
单晶炉总数量 (台)	17136	23184	35784	41126
坩埚平均使用寿命 (h)	394	385	363	313
-P 型坩埚使用寿命 (h)	400	400	400	400
-N 型坩埚使用寿命 (h)	250	250	250	250
-N 型占比	4.1%	9.7%	25.0%	57.7%
全年坩埚需求量 (万只)	37.6	52.0	85.3	113.4
高纯石英砂需求 (万吨)	3.8	5.2	8.5	11.3
-内层砂(万吨)	1.1	1.6	2.6	3.4
-中层砂(万吨)	1.5	2.1	3.4	4.5
-外层砂(万吨)	1.1	1.6	2.6	3.4
<b>供给端:</b>				
尤尼明+TQC (万吨)	1.4	2.3	2.3	2.3
石英股份 (万吨)	2.4	3.9	7.4	10.5
国内其余厂商 (万吨)	0.7	0.7	0.7	0.7
总供给 (万吨)	4.5	6.9	10.4	13.5
<b>平衡:</b>				
内层砂供需差(万吨)	0.3	0.7	-0.3	-1.1
中外层砂供需差(万吨)	0.5	1.0	2.1	3.3
总供需差(万吨)	0.7	1.7	1.9	2.2

资料来源: 公司公告, 石英石网, BNEF, 索比咨询, 国海证券研究所

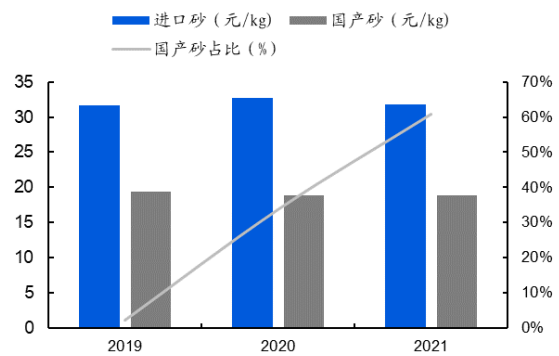
石英坩埚价格抬升耗量增加, 非硅成本影响越发显著, 拉开各企业竞争力差距。原本石英坩埚在硅片成本中的绝对量和占比都很小, 根据三方数据显示, 在 2022 年下半年来看坩埚对应的硅片成本仅 1 分/瓦左右。而石英砂在石英坩埚成本中虽然占绝大部分, 但随低价国产砂使用比例的增加也有所下降。

图 50: 欧晶科技石英坩埚历史成本构成



资料来源: 欧晶科技公告, 国海证券研究所

图 51: 欧晶科技进口砂与国产砂历史价格及占比



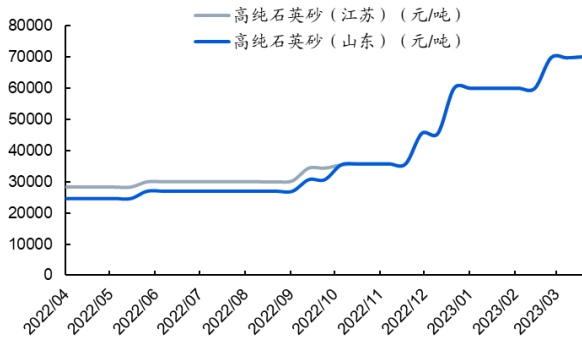
资料来源: 欧晶科技公告, 国海证券研究所

随高品质石英砂不断面临供应紧张, 此前石英砂价格已呈现逐步抬升, 近期则快速上行, 反映供需矛盾加剧。在 2022 年, 即使国产石英砂的价格也从上半年 2.5-3 万元/吨上涨至年底 4.5 万/吨左右, 到 2023 年 3 月则迅速上涨至 7 万元/吨。

坩埚端来看, 单个价格在 2022 年上半年维持 12000 元, 下半年则上涨至 15000 元, 在近期则已经涨至 30000, 另一方面, 由于高品质石英砂用量的减少, 坩埚

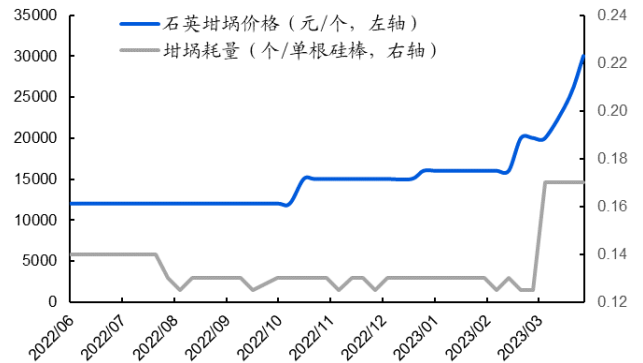
的使用寿命也受到影响，导致消耗量明显增加。综合来看，目前石英坩埚成本对应的硅片成本已经达到 3 分/瓦，成为非硅成本中占比最大的项目，若供给偏紧进一步加剧则还有可能继续抬高。

图 52: 国产石英砂价格



资料来源：中粉咨询，国海证券研究所

图 53: 石英坩埚价格及用量



资料来源：solarzoom，国海证券研究所

对于部分硅片企业，在当前优质坩埚供给紧张、成本快速上升的背景下，在成本端有机会再与其他企业拉开差距，实现成本竞争力的进一步增强，特别是综合实力优秀的龙头企业，主要依靠：1) 良好拉晶技术积累，可以将同样品质的坩埚使用更长时间，2) 高品质坩埚供应保障较强，能较好掌控进口石英砂资源。

另一方面，从行业格局来看，虽然近两年产能扩张较快新进入者较多，但综合产能利用率和成本因素考量，硅片企业对坩埚和石英砂资源的把控能力较大程度决定了企业实际生产出货和进一步扩张能力，竞争有可能向更为有序方向发展。

### 3、坚定践行工业 4.0 战略，铸就硅片先进制造优势

#### 3.1、多年半导体领域积淀，打造工业 4.0 “智慧工厂”

半导体硅片品质与工艺要求极高，建立深厚“know-how”积淀和行业经验。光伏单晶硅片的基本生产方法来自于半导体产业，但在半导体领域中，出于对下游集成电路或其他器件产品的可靠性保证，硅片方面的品质性能要求非常高，例如：

- 1) 半导体硅片纯度标准要求为 99.999999999% (11N) 以上，而光伏硅片纯度要求较低，
- 2) 表面平整度、光滑度需要控制在 1nm 以内，对洁净度的要求也较高，
- 3) 点缺陷、位错等晶体缺陷尽可能少等。

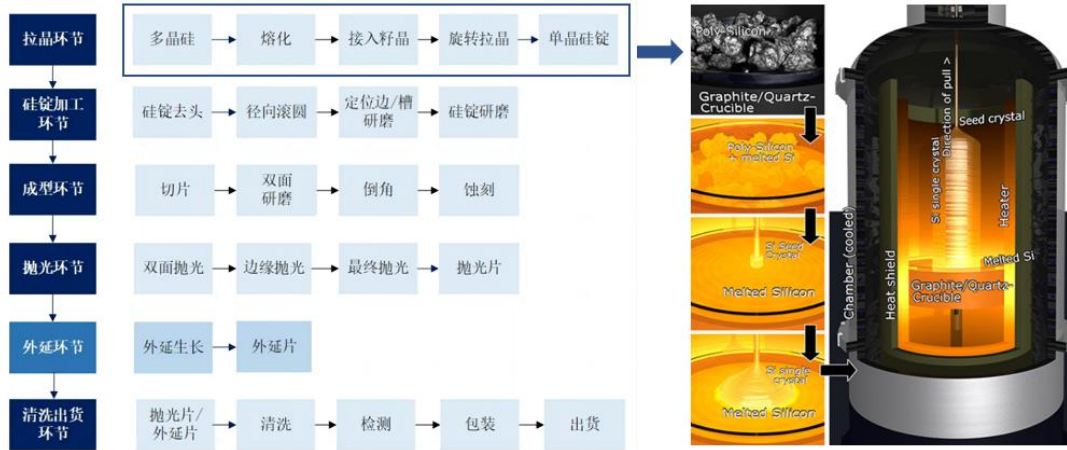
因此，半导体硅片生产在原材料、工艺等方面的要求也更高，如需要使用杂质浓度更低、载流子寿命更高的电子级多晶硅料，拉晶过程中对熔体温度、提拉速度及籽晶/石英坩埚转速良好控制，加工过程中还需要用到研磨、抛光等精细工艺。

公司作为历史悠久的国内半导体硅片主要生产企业，长年积累了大量知识、技术与工艺经验，成为光伏制造领域“know-how”的重要基石，对行业发展和管理



特点也有着深刻理解。

图 54: 半导体硅片一般生产流程



资料来源：沪硅产业招股书、microchemicals，国海证券研究所

表 15: 电子级与太阳能级多晶硅料产品指标参数对比

项目	电子级多晶硅			太阳能级多晶硅	
	电子 1 级	电子 2 级	电子 3 级	特级品	1 级品
施主杂质浓度, $10^{-9}$	$\leq 0.15$	$\leq 0.25$	$\leq 0.30$	$\leq 0.68$	$\leq 1.40$
受主杂质浓度, $10^{-9}$	$\leq 0.05$	$\leq 0.08$	$\leq 0.10$	$\leq 0.26$	$\leq 0.54$
少数载流子寿命 $\mu s$	$\geq 1000$	$\geq 1000$	$\geq 500$	$\geq 300$	$\geq 200$
碳浓度 atoms/cm <sup>3</sup>	$<4.0 \times 10^{15}$	$<1.0 \times 10^{16}$	$<1.5 \times 10^{16}$	$\leq 2.0 \times 10^{16}$	$\leq 2.5 \times 10^{16}$
氧浓度 atoms/cm <sup>3</sup>	$\leq 1 \times 10^{16}$	-	-	$\leq 0.2 \times 10^{17}$	$\leq 0.5 \times 10^{17}$
基体金属杂质含量/(ng/g):	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$	$\leq 2.0$	$\leq 15$	$\leq 50$
表面金属杂质含量/(ng/g):	$\leq 5.5$	$\leq 10.5$	$\leq 15$	$\leq 30$	$\leq 100$

资料来源：国家标准全文公开系统，国海证券研究所

注：基体金属杂质包括 Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Na；表面金属杂质包括 Fe、Cr、Ni、Cu、Zn、Al、K、Na

不断践行工业 4.0，结合创新技术，向柔性化“智慧工厂”升级。公司自 2015 年开始推进以“智能工厂”“智能生产”和“智能物流”为主题的工业 4.0 制造体系，建立具有自动化、标准化、信息化、数字化、智慧化特点的生产模式。

公司结合不断完善的制造工艺定式，持续开发“Deep Blue”AI 学习模型作为工业 4.0 的重要核心，打造“黑灯工厂”、形成“柔性化制造能力”、实现“人力赋能”，向具有低成本和大规模个性化制造能力的“智慧工厂”升级。

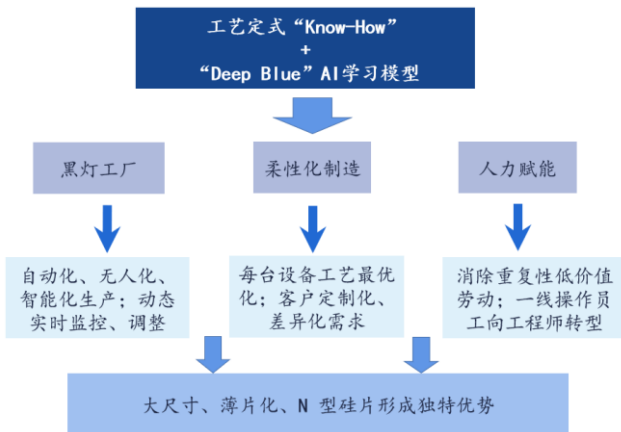
1) 在“黑灯工厂”中，从原材料到最终成品，所有的加工、运输、检测过程均无需人工操作，智能化的设备可实现高效、实时、自动运行，产线生产状态数据细节也将被实时监控，可随时做出预警和调整。

2) “柔性化制造能力”可体现为通过中央信息处理，使得每台设备按照最优化工艺运行，同时能与客户协同合作，凭借大规模工艺配方自由切换的能力，满足其定制化、差异化的需求，实现硅片 Totalsolution 产品供应体系。

3) “人力赋能”方面，低价值重复性劳动被智能化设备所解决，技能人才的 Know-How 沉淀成为核心，一线员工掌握智能化技术和思考方式，集体向工程师转型，

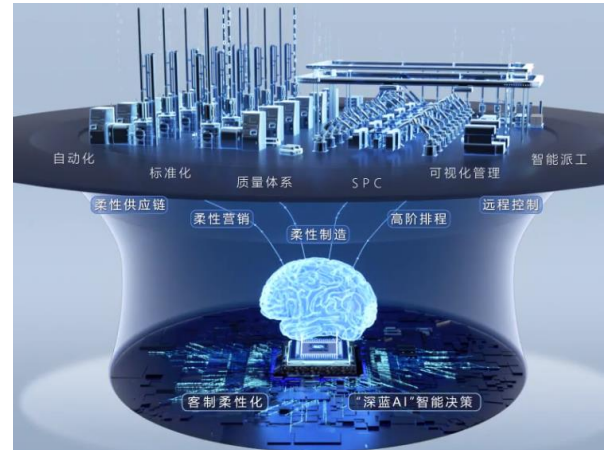
而人才队伍也将被打造成“橄榄型”结构，中坚骨干团队更加年轻化、专业化。

图 55: 公司工业 4.0 制造优势



资料来源: 公司公告, 公司公众号, 国海证券研究所

图 56: 中环智慧工厂模型



资料来源: 公司官网

**工业 4.0 强化“大尺寸、薄片化、N 型”硅片制造优势。**生产大尺寸、薄片化硅片本身要求制造水平的提高，公司作为 G12 大尺寸硅片的引领者，通过 G12 技术平台与工业 4.0 产线的深度融合，实现了技术优势的协同强化。对于产品品质和差异化要求更高的 N 型硅片，按具体参数规格可达百余种以上，公司凭借本身的半导体基因结合工业 4.0 制造体系，则在技术、成本和客制化方面能形成强大优势。从 2021 年来看，公司 G12 硅片和 N 型硅片全球市占率皆为第一。

**“智慧工厂”更有利全球化生产布局。**基于工业 4.0 打造的先进“智慧工厂”具有较强的可复制性，能够较容易地将已经形成的工艺技术优势迁移，并在不同环境下良好适应，更有利于全球化的生产能力布局，特别是对于人力成本较高、法律规范较为严格的发达国家地区。

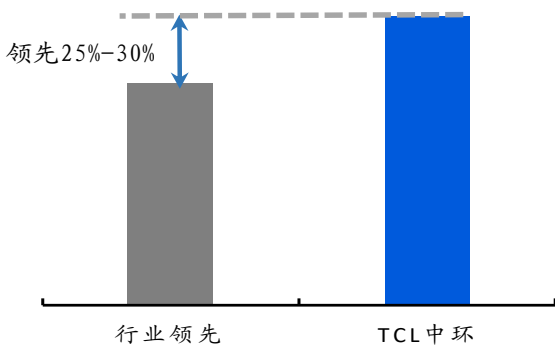
### 3.2、赋能提效成果斐然，成本领先行业翘楚

**生产效率全面提升，达成“333”成本领先目标。**制造体系工业 4.0 的推进，从实际效果来看已经为公司带来了生产效率、品质良率和人均劳动生产率的全面提升，也帮助公司取得了显著的成本优势。公司在 2022 年实现了“单公斤硅料成本领先 3 元以上，单公斤开炉成本领先 3 元以上，圆棒单位公斤出片数领先 3 片以上”的目标。

#### (1) 拉晶环节：单炉月产突出，人机配比大幅领先，原材料运用能力强

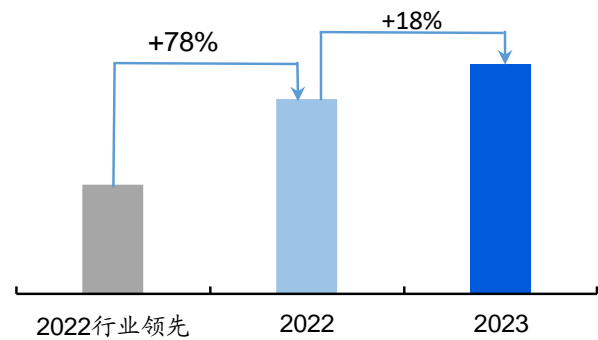
基于“工业 4.0”打造的智慧工厂和领先拉晶技术，公司单晶炉单炉月产出可较行业水平领先 25-30%，我们预计主要系单炉投料量更大，同一坩埚拉棒时间更长，拉棒断线率更低、硅料损耗更小等原因，而能够更长时间利用坩埚的优势在供应紧张的局面下将更为突出。假设按照单炉月产能一般 1MW 来计算，公司单台单晶炉全年可多生产 3MW 以上产品，单 GW 所需炉台数也能减少接近 20 台。另一方面，公司单人可同时管理 384 台设备，人机配比较同行业提升 200%，劳动生产率领先 78%。

图 57: 公司单炉月产行业领先 (单位: GW)



资料来源: 公司公众号, 国海证券研究所

图 58: 公司晶体环节劳动生产率持续领先

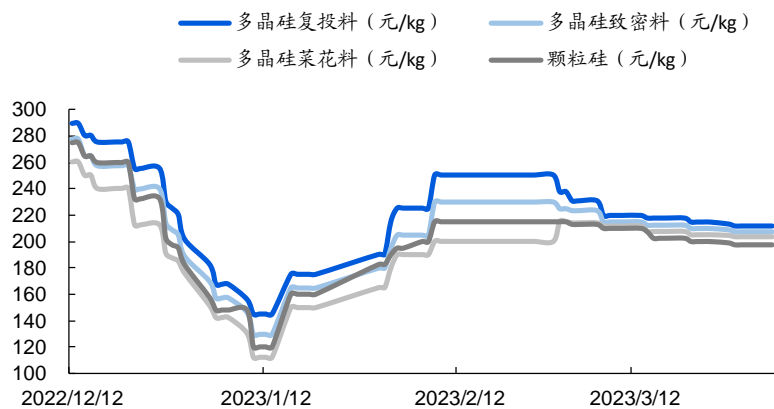


资料来源: 公司公众号, 国海证券研究所

注: 劳动生产率: 劳动者在一定时期内创造的劳动成果与其相适应的劳动消耗量的比值。

此外, 在硅料使用方面, 公司凭借对半导体材料制造的深厚技术积累, 即使利用低品级硅料也可以制作出相对良好的硅片产品, 因此在采购成本方面也能获得一定优势。参考近期公开价格, 多晶硅菜花料可较致密料低约 4 元/kg, 而颗粒硅则较复投料低约 14 元/kg, 因此我们简单测算当低品级硅料用量占比提升 10%, 硅料采购成本可降低约 0.9 元/kg。

图 59: 不同品级硅料价格对比 (元/kg)



资料来源: SMM 光伏视界, 国海证券研究所

## (2) 切片环节: 细线化、薄片化引领行业, 劳动生产率优秀

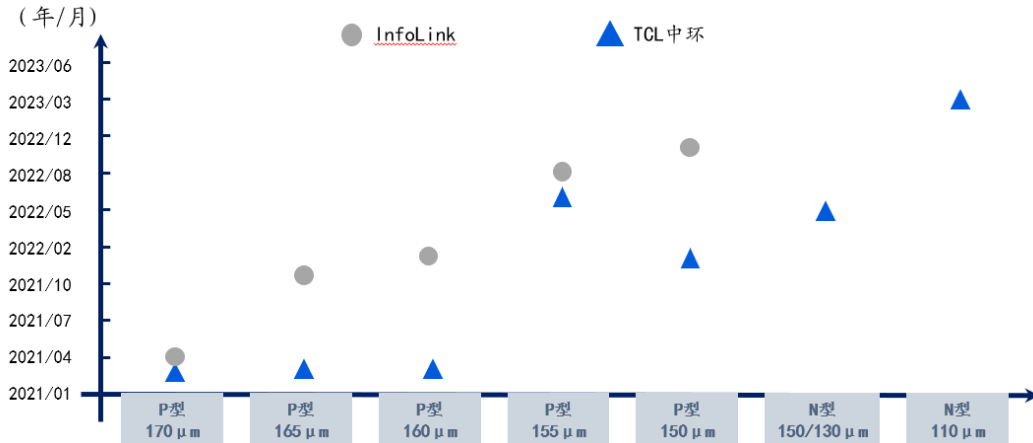
公司为国内最早采用金刚线切割工艺的硅片企业之一, 本身长年的技术积累结合工业 4.0 加持, 在硅片薄片化和金刚线细线化方面持续引领行业:

1) 减薄方面, 在 2021-2022 两年间, 公司平均硅片厚度已经从 175  $\mu\text{m}$  减至 150  $\mu\text{m}$ , 2022 年内减薄 10  $\mu\text{m}$ , 对于 165/160/155/150  $\mu\text{m}$  等厚度规格, 公司一直都先于行业进行推广, 对于 130/110  $\mu\text{m}$  领先厚度的 N 型硅片, 公司同样率先进行了报价。2) 细线化方面, 公司 2022 年使用的金刚线线径较行业领先 5-8  $\mu\text{m}$ , 而根据其 主要供应商原轼新材公开信息, 公司近年来在领先行业的

线径方面一直不断推进。

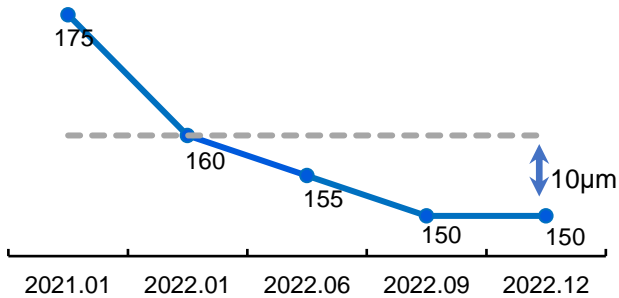
同时，高水平的良率是公司推进大尺寸、薄片化、细线化的基础，公司在 2020 年已经能做到 210 硅片规模化生产良率 95%，到 2021 年时则已实现 210 产品良率 97% 以上，整片率 98.5% 以上。此外，2022 年公司还在切片环节整体劳动生产率方面领先行业 48%。

图 60: TCL 中环与 InfoLink 相同厚度硅片公开价格时间对比



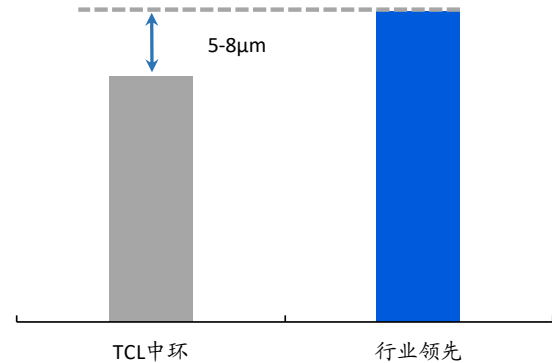
资料来源: 公司公众号, InfoLink, 国海证券研究所

图 61: 公司 2022 年硅片持续减薄 (单位: μm)



资料来源: 公司公众号, 国海证券研究所

图 62: 公司 2022 年线径领先情况 (单位: μm)



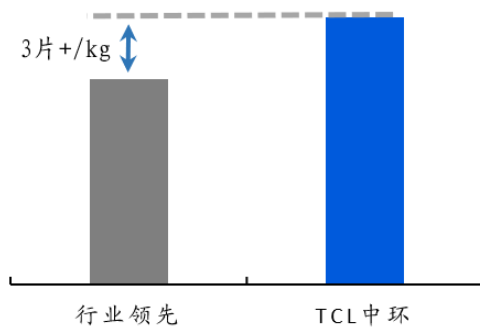
资料来源: 公司公众号, 国海证券研究所

表 16: TCL 中环使用金刚线径与行业主流对比

	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
行业主流金刚线径 (μm)	55-60	48-57	43-56	38
中环金刚线径 (μm)	55/50	50/45/43	47/43/38	35/33/30

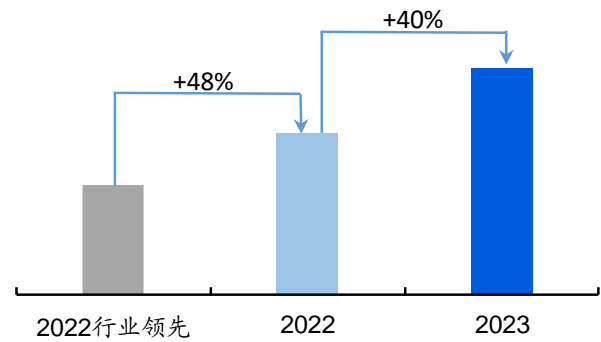
资料来源: CPIA, 原轼新材招股说明书, 国海证券研究所

图 63: 公司单公斤硅棒出片数



资料来源: 公司公众号, 国海证券研究所

图 64: 公司晶片环节劳动生产率持续领先



资料来源: 公司公众号, 国海证券研究所

## 4、上游端战略布局深远，供应链竞争力卓著

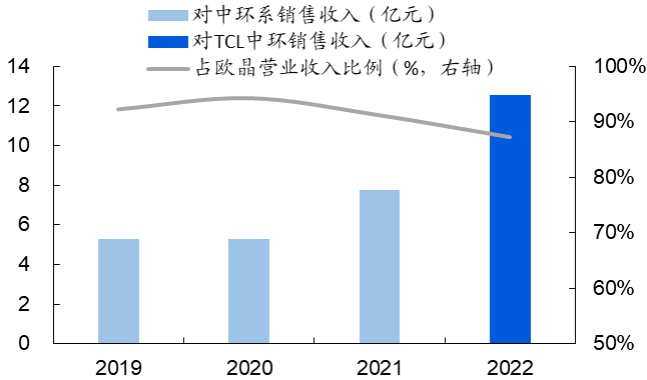
### 4.1、战略伙伴长期共进，龙头优势保障高品质坩埚供应

发挥自身龙头地位优势，拥有可靠长期战略供应商，快速扩张下石英坩埚无虞。公司长期深耕硅片领域，拥有深厚的行业经验与洞见，因此在高品质石英坩埚紧缺对行业产生较大影响时，公司仍能凭借自身规模优势和与战略合作伙伴长期紧密关系，保障自身的使用和扩产需求。

欧晶科技是公司石英坩埚的核心供应商，按照双方协议供应公司不低于 50% 的需求。欧晶科技在 2022 年已经拥有每年 12 万只以上的石英坩埚供应能力，并与进口高纯石英砂主要供应商尤尼明（现西比科）建立了多年合作关系，在 2019 年也与北京博雅（西比科中国代理商）和石英股份签订了五年战略合作协议，保障高纯石英砂供应的长期稳定。

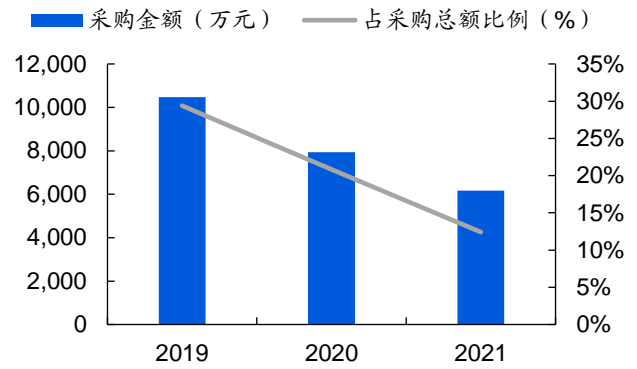
公司自 2011 年欧晶科技设立以来一直与其合作至今，作为第一大客户，近几年采购额占欧晶科技销售额比重基本都在 90% 左右。实际在欧晶设立之初，公司就是出资方之一，到 2018 年时公司才将所持有的股份完全转让，可以说为欧晶科技的发展提供了重要的支持，双方的战略合作关系非常深厚。

图 65: 中环采购金额占欧晶科技营收比例 (%)



资料来源: 欧晶科技公告, 国海证券研究所

图 66: 欧晶科技向北京博雅采购高纯石英砂比例 (%)



资料来源: 欧晶科技招股书, 国海证券研究所

晶盛机电则是能为公司保障石英坩埚供应的另一家长期战略合作伙伴, 其控股的美晶新材料 (持股 57.84%, 筹划分拆上市中) 通过持续扩产已拥有每年 25 万只坩埚的生产能力。晶盛机电本身是公司单晶炉等硅片设备的主要提供商, 与欧晶情况类似, 公司也是其长年的第一大客户, 双方拥有十余年的合作历史, 此外晶盛机电还是中环子公司中环领先的参股方之一。

表 17: 晶盛机电相关石英坩埚产能布局情况

时间	项目主体	地点	进度
2021年9月	内蒙古鑫晶新材料	内蒙古	第一只大尺寸石英坩埚成功下线
2022年5月	宁夏鑫晶新材料	银川	年产 16 万只石英坩埚项目一期 (年产 4.8 万只石英坩埚项目) 投产暨二期签约, 合计建设 12 条产线
2022年8月	宁夏鑫晶新材料	银川	投资 5 亿元分四期建设 24 条坩埚生产线, 一期项目预计 2023 年 6 月试投产

资料来源: 晶盛机电, 浙江美晶, 粉体技术网, 国海证券研究所

另一方面, 公司本身也凭借自身地位锁定了海外石英砂企业 35% 的产出, 在原材料的保障下, 公司可进一步实现与欧晶、晶盛等坩埚供应商的双赢。

## 4.2、协同参股携手硅料龙头, 主要原材料布局稳健

与协鑫科技相互战略参股, 控股股东加码合资颗粒硅技术产能。公司对于主要原材料硅料也在较早时期就进行了战略布局, 特别是与硅料行业前二龙头企业协鑫科技建立战略协同, 在后来硅料供应产生瓶颈、价格高企时, 无论在采购端还是成本端都起到了积极作用。

公司于 2017 年出资入股江苏中能硅业 (协鑫科技全资子公司) 的新疆协鑫多晶硅料项目, 项目建成后产能达到 6 万吨, 当前仍有 27% 持股。同时协鑫科技也参股投资了中环在内蒙古的硅片生产核心子公司中环协鑫 (内现中环晶体), 目前仍通过旗下子公司持有约 16.04% 的股份, 二者形成良好上下游协同。

随产业扩大, 公司现控股股东 TCL 科技于 2022 年 4 月参股投资协鑫科技呼和浩特 10 万吨颗粒硅项目及 1 万吨电子级多晶硅项目。颗粒硅作为光伏多晶硅料

的一种技术路线，所用烷流化床法具有能耗更低、成本更低等优势，在品质提升方面已不断取得下游主流客户验证，有望为公司带来进一步硅料供应保障优势。

同时，公司与通威、大全等其他硅料行业龙头，也有着长期良好的合作关系。

**表 18: 中环及与协鑫的硅料项目合作情况**

项目名称	公告时间	投资方	项目地点	项目规模	股权比例	项目进度
新疆 6 万吨多晶硅项目	2017 年 7 月	TCL 中环	新疆	6 万吨	27%	已达产
10 万吨颗粒硅项目	2022 年 4 月	TCL 科技	内蒙古	10 万吨	40%	建设中
1 万吨电子级多晶硅项目	2022 年 4 月	TCL 科技	内蒙古	1 万吨	40%	建设中

资料来源：公司公告，Wind，国海证券研究所

**表 19: TCL 中环与通威、大全合作协议**

合作企业	签署时间	环节	合作协议内容
大全新能源	2021 年 3 月	多晶硅料	多晶硅料采购
通威股份	2018 年 5 月	原材料、硅片、电池	采购多晶硅料和太阳能电池

资料来源：欧晶科技招股书，国海证券研究所

## 5、盈利预测与评级

**智能制造标杆光伏龙头，供应链保障深化优势，维持“买入”评级。**公司拥有 60 余年半导体行业深厚技术工艺积累，在光伏领域稳居单晶硅片双寡头之列，工业 4.0 降本提效为行业标杆，在关键生产资源高品质石英坩埚战略保障下，成本及定价权优势将更为突出，海外布局也值得期待，基于公司业务表现良好，我们调整公司盈利预测，预计 2023-2025 年硅片出货 125/165/210GW，营业收入 1025.0/1183.0/1336.9 亿元，归母净利润 105.1/123.7/137.8 亿元，对应 PE 为 12.5/10.6/9.5，维持“买入”评级。

**表 20: 业务拆分情况**

业务名称	项目	单位	2020	2021	2022	2023E	2024E	2025E
硅片业务	销量	GW	34	52	68	125	165	210
	单 W 价格(不含税)	元/W	0.416	0.615	0.75	0.59	0.47	0.39
	毛利率	%	19.3%	22.7%	19.0%	25.4%	23.0%	22.6%
	收入	亿元	141.6	318.0	509.01	733.7	775.5	827.1
组件业务	销量	GW	1.89	4.17	6.61	15	25	35
	单 W 价格(不含税)	元/W	1.41	1.469	1.641	1.503	1.340	1.230
	毛利率	%	10.49%	13.26%	7.36%	9.5%	13.5%	14.0%
	收入	亿元	26.68	61.19	108.42	225.4	335.0	430.5
其他硅材料(半导体材料)	销量	亿平方英寸	6.27	7.52	7.438	10.0	11.0	12.0
	单平价格(不含税)	元/平方英寸	2.15	2.71	4.39	4.40	4.40	4.40
	毛利率	%	23.07%	24.20%	25.20%	19.00%	23.00%	25.00%
	收入	亿元	13.51	20.34	32.65	44.00	48.40	52.80
光伏电站(电力)	销量	亿度	7.37	8.10	12.31	14.00	16.00	18.00
	单位价格(不含税)	元/度	0.721	0.657	0.503	0.48	0.46	0.45
	毛利率	%	56.99%	51.89%	56.20%	55.0%	55.0%	55.0%
	收入	亿元	5.31	5.33	6.19	6.36	7.36	8.10
其他(服务业、半导体器件、其他业务等)	毛利率	%	-9.39%	17.45%	23.63%	20.00%	20.00%	20.00%
	收入	亿元	3.46	6.23	13.84	15.22	16.75	18.42
合计	收入	亿元	190.57	411.05	670.10	1024.99	1183.01	1336.90
	毛利率	%	18.9%	21.7%	17.8%	21.8%	20.5%	20.1%
	毛利润	亿元	35.93	89.14	119.43	223.03	242.12	268.53

资料来源: 公司公告, 国海证券研究所

## 6、风险提示

- 1) 风险提示一: 下游行业需求增长不及预期, 行业出现产能过剩
- 2) 风险提示二: 行业产能扩张过快竞争加剧, 影响公司毛利率
- 3) 风险提示三: 国际贸易摩擦与壁垒加强, 影响公司海外市场布局和出货
- 4) 风险提示四: 关键原材料出现供应不足风险, 影响公司产能利用率
- 5) 风险提示五: 各国产业政策变化, 影响公司的海外布局



附表：TCL 中环盈利预测表

证券代码:	002129				股价:	40.45		投资评级:	买入		日期:	2023/05/05	
财务指标	2022A	2023E	2024E	2025E	每股指标与估值	2022A	2023E	2024E	2025E				
<b>盈利能力</b>					<b>每股指标</b>								
ROE	18%	22%	21%	19%	EPS	2.12	3.25	3.82	4.26				
毛利率	18%	22%	20%	20%	BVPS	11.63	14.64	18.47	22.73				
期间费率	3%	3%	3%	3%	<b>估值</b>								
销售净利率	10%	10%	10%	10%	P/E	17.75	12.45	10.58	9.49				
<b>成长能力</b>					P/B	3.24	2.76	2.19	1.78				
收入增长率	63%	53%	15%	13%	P/S	1.82	1.28	1.11	0.98				
利润增长率	69%	54%	18%	11%									
<b>营运能力</b>					<b>利润表 (百万元)</b>	<b>2022A</b>	<b>2023E</b>	<b>2024E</b>	<b>2025E</b>				
总资产周转率	0.61	0.78	0.77	0.76	营业收入	67010	102499	118301	133690				
应收账款周转率	17.58	18.45	18.45	18.45	营业成本	55067	80196	94089	106837				
存货周转率	10.42	10.80	10.47	10.31	营业税金及附加	249	381	439	497				
<b>偿债能力</b>					销售费用	277	1025	1183	1337				
资产负债率	57%	56%	53%	50%	管理费用	908	1330	1192	1624				
流动比	1.38	1.35	1.57	1.87	财务费用	792	1106	1128	1117				
速动比	0.96	0.98	1.19	1.49	其他费用/(-收入)	2923	5637	4495	4813				
<b>资产负债表 (百万元)</b>	<b>2022A</b>	<b>2023E</b>	<b>2024E</b>	<b>2025E</b>	营业利润	7325	13272	15946	17862				
现金及现金等价物	14674	22065	33436	50112	营业外净收支	124	70	70	70				
应收款项	3932	5837	6736	7612	利润总额	7449	13342	16016	17932				
存货净额	6430	9487	11300	12972	所得税费用	376	1734	2082	2331				
其他流动资产	6793	6582	7700	8779	净利润	7073	11607	13934	15601				
<b>流动资产合计</b>	<b>31830</b>	<b>43972</b>	<b>59172</b>	<b>79474</b>	少数股东损益	254	1099	1569	1822				
固定资产	41624	55159	63278	66906	归属于母公司净利润	6819	10509	12365	13779				
在建工程	13962	9981	6990	4745									
无形资产及其他	14808	15108	15308	15408	<b>现金流量表 (百万元)</b>	<b>2022A</b>	<b>2023E</b>	<b>2024E</b>	<b>2025E</b>				
长期股权投资	6911	7911	8911	9911	经营活动现金流	5057	21814	21454	23195				
<b>资产总计</b>	<b>109134</b>	<b>132130</b>	<b>153659</b>	<b>176444</b>	净利润	6819	10509	12365	13779				
短期借款	651	651	651	651	少数股东权益	254	1099	1569	1822				
应付款项	16576	24169	28355	32197	折旧摊销	4582	4696	5121	5367				
预收帐款	0	0	0	0	公允价值变动	-56	-10	-10	-10				
其他流动负债	5793	7866	8775	9617	营运资金变动	-7468	4443	886	768				
<b>流动负债合计</b>	<b>23020</b>	<b>32685</b>	<b>37781</b>	<b>42465</b>	投资活动现金流	-16292	-15972	-12338	-8704				
长期借款及应付债券	31911	33911	35911	37911	资本支出	-11208	-14632	-10548	-6964				
其他长期负债	7143	7643	8143	8643	长期投资	-5169	-2000	-2000	-2000				
<b>长期负债合计</b>	<b>39054</b>	<b>41554</b>	<b>44054</b>	<b>46554</b>	其他	85	660	210	260				
<b>负债合计</b>	<b>62074</b>	<b>74239</b>	<b>81835</b>	<b>89019</b>	筹资活动现金流	10654	549	1256	1186				
股本	3234	3234	3234	3234	债务融资	14279	2510	2510	2510				
股东权益	47060	57891	71825	87425	权益融资	462	0	0	0				
<b>负债和股东权益总计</b>	<b>109134</b>	<b>132130</b>	<b>153659</b>	<b>176444</b>	其它	-4087	-1961	-1254	-1324				
					现金净增加额	-382	6391	10371	15676				

资料来源：Wind 资讯、国海证券研究所

## 【电新小组介绍】

李航，首席分析师，曾先后就职于广发证券、西部证券等，新财富最佳分析师新能源和电力设备领域团队第五，卖方分析师水晶球新能源行业前五，新浪财经金麒麟电力设备及新能源最佳分析师团队第四，上证报最佳新能源电力设备分析师第三等团队核心成员。

邱迪，中国矿业大学（北京）硕士，电力电子与电气传动专业，4年证券从业经验，曾任职于明阳智能资本市场部、华创证券等，主要覆盖新能源发电、储能等方向。

彭若恒，布里斯托大学金融硕士，4年证券分析师相关从业经验，曾于国信证券消费行业新财富团队任职，后独立负责新三板深化改革及北交所优质上市公司研究工作，目前主要覆盖光伏领域的研究覆盖工作。

## 【分析师承诺】

李航，彭若恒，邱迪，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

## 【国海证券投资评级标准】

### 行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深 300 指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深 300 指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深 300 指数。

### 股票投资评级

买入：相对沪深 300 指数涨幅 20%以上；

增持：相对沪深 300 指数涨幅介于 10%~20%之间；

中性：相对沪深 300 指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深 300 指数跌幅 10%以上。

## 【免责声明】

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（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。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。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，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。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。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

## 【风险提示】

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

### 【郑重声明】

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。