

中国光伏行业协会
CPIPV Association

2023-2024年

中国光伏产业发展路线图

CHINA PV INDUSTRY DEVELOPMENT ROADMAP

中国光伏行业协会
秘书处 编委组 编

中国光伏产业发展路线图

(2023-2024 年)

中国光伏行业协会
赛迪智库集成电路研究所

指导单位

工业和信息化部电子信息司

承担单位

中国光伏行业协会
赛迪智库集成电路研究所

咨询专家 (按姓氏笔划排序)

万军鹏	弓传河	王文静	王亚萍	王进	王垒	王莉	王栩生
王娟	方敏	甘新业	田先瑞	史旭松	丛建鸥	邢国强	吕锦标
朱磊	全杨	刘玉颖	刘亚锋	刘刚锋	刘苗苗	刘松民	刘建东
刘晓	刘涛	闫广宁	许洪华	孙云	孙丽平	纪振双	严大洲
李建弘	李娜	李琼慧	李新军	李燕燕	杨立红	杨伟光	杨楠
时璟丽	何帅	何胜	何晨旭	宋登元	张付特	张良	张晓峰
张雪囡	张超	张翼	陆荷峰	陈永翀	陈如龙	陈奕峰	陈嘉
欧阳洁瑜	周波	周肃	宗冰	柳典	宫鹏	袁超	夏正月
高连生	郭大伟	郭迺达	梅麟	盛健	常传波	逯好峰	蒋方丹
韩庆辉	游经碧	颜步一	戴文忠	魏志立			

编写组

王世江、江华、李嘉彤、王青、郝敏、解虞宸、雷淳、李耀、张卓、凌黎明、张天宇、杨俊峰

支持单位

国家发展改革委能源研究所
中国科学院半导体研究所
中国科学院电工研究所
南开大学
国网能源研究院新能源与统计研究所
TCL 中环新能源科技股份有限公司
阿特斯光伏电力（洛阳）有限公司
阿特斯阳光电力集团有限公司
安徽华晟新能源科技股份有限公司
包头晶澳太阳能科技有限公司
北京海博思创科技股份有限公司
北京建龙重工集团有限公司
北京鉴衡认证中心有限公司
北京京运通科技股份有限公司
北京晶澳太阳能光伏科技有限公司
北京科诺伟业科技股份有限公司
北京瑞科同创能源科技有限公司
常州百佳年代薄膜科技股份有限公司
常州聚和新材料股份有限公司
常州亚玛顿股份有限公司
常州亿晶光电科技有限公司
成都中建材光电材料有限公司
电力规划设计总院
东方日升新能源股份有限公司
福建闽东电力股份有限公司
高景太阳能股份有限公司
广东联塑班皓新能源科技集团有限公司
广州市儒兴科技股份有限公司
国家能源集团技术经济研究院
韩华新能源（启东）有限公司
杭州福斯特应用材料股份有限公司
杭州纤纳光电科技股份有限公司
湖南旗滨光能科技有限公司
华碧光能科技（苏州）有限公司
华为技术有限公司
华为数字能源技术有限公司
极电光能有限公司
江苏国晟世安新能源有限公司
江苏美科太阳能科技股份有限公司
江苏润阳新能源科技股份有限公司
锦浪科技股份有限公司
锦州阳光能源有限公司
晋能清洁能源科技股份公司
晶澳太阳能科技股份有限公司
晶科电力科技股份有限公司
晶科能源有限公司
昆山协鑫光电材料有限公司
龙焱能源科技(杭州)有限公司
隆基绿能科技股份有限公司
明冠新材料股份有限公司
青岛高测科技股份有限公司
三一硅能（株洲）有限公司
厦门科华数能科技有限公司
陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司
上海爱旭新能源股份有限公司
上海海优威新材料股份有限公司
上能电气股份有限公司
深圳古瑞瓦特新能源股份有限公司
深圳科士达科技股份有限公司
深圳市首航新能源股份有限公司
深圳市英威腾电气股份有限公司
水电水利规划设计总院
四川永祥股份有限公司
苏州爱康光电科技有限公司
苏州博萃循环科技有限公司
苏州赛伍应用技术股份有限公司
苏州腾晖光伏技术有限公司
苏州宇邦新型材料股份有限公司
苏州中来光伏新材股份有限公司
泰州中来光电科技有限公司
天合光能股份有限公司
通威股份有限公司

通威太阳能有限公司
通威新能源有限公司
无锡帝科电子材料股份有限公司
无锡华晟光伏科技有限公司
协鑫科技控股有限公司
新疆大全新能源股份有限公司
新特能源股份有限公司
亚洲硅业（青海）股份有限公司
阳光电源股份有限公司
杨凌美畅新材料股份有限公司
一道新能源科技股份有限公司
英利能源发展有限公司
浙江润海新能源有限公司
浙江尚越新能源开发有限公司
浙江矽盛有限公司
浙江祥邦科技股份有限公司
正泰新能科技股份有限公司
中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司
中国恩菲工程技术有限公司
中国国检测试控股集团股份有限公司
中国华电科工集团有限公司
中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司
中国三峡新能源（集团）股份有限公司
中煤天津设计工程有限责任公司
中能创光电科技（常州）有限公司
中能建氢能源有限公司

序 言

在全球气候变暖及化石能源日益枯竭的大背景下，可再生能源开发利用日益受到国际社会的重视，大力发展可再生能源已成为世界各国的共识。《巴黎协定》在 2016 年 11 月 4 日生效，凸显了世界各国发展可再生能源产业的决心。2020 年 12 月 12 日，习近平总书记在气候雄心峰会上强调：“到 2030 年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比 2005 年下降 65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到 25%左右，森林蓄积量将比 2005 年增加 60 亿立方米，风电、太阳能发电总装机容量将达到 12 亿千瓦以上。”为实现上述目标，发展可再生能源势在必行。各种可再生能源中，太阳能以其清洁、安全、取之不尽、用之不竭等显著优势，已成为发展最快的可再生能源。开发利用太阳能对调整能源结构、推进能源生产和消费革命、促进生态文明建设均具有重要意义。

2016 年，习近平总书记在网络安全和信息化工作座谈会上指出，突破核心技术要“制定路线图、时间表、任务书，明确近期、中期、远期目标，遵循技术规律，分梯次、分门类、分阶段推进”。我国作为全球光伏制造大国，应通过制定光伏产业发展路线图，引导我国光伏产业持续健康发展，为全球光伏产业发展做出应有贡献。

为此，在工业和信息化部指导下，中国光伏行业协会、赛迪智库集成电路研究所组织专家编制了《中国光伏产业发展路线图》（以下简称《路线图》）。《路线图》不仅提出了技术发展方向，也包含了产业、市场等多方面信息，反映了现阶段专家、学者和企业家对光伏产业未来发展的共识。鉴于未来产业发展受到政策、技术、市场、企业、经济环境等因素影响存在较多不确定性，光伏产业的发展《路线图》将适时进行动态调整以保证其能客观反映光伏产业发展现状，合理预测未来产业发展趋势，真正起到行业引领作用，也希望《路线图》能成为全球光伏产业发展的风向标。

最后，祝愿中国光伏产业发展越来越好！

中国光伏行业协会秘书长

前 言

经过十几年的发展，光伏产业已成为我国少有的形成国际竞争优势、实现端到端自主可控、并有望率先成为高质量发展典范的战略新兴产业，也是推动我国能源变革的重要引擎。目前我国光伏产业在制造业规模、产业化技术水平、应用市场拓展、产业体系建设等方面均位居全球前列。

为引领产业发展方向，引导我国光伏产业健康良性发展，在工业和信息化部电子信息司指导下，中国光伏行业协会、赛迪智库集成电路研究所已发布七版《中国光伏产业发展路线图》。在此基础上，我们组织行业专家编制了《中国光伏产业发展路线图（2023-2024年）》（以下简称《路线图（2023-2024年）》），内容涵盖了光伏产业链上下游各环节，包括多晶硅、硅棒/硅锭/硅片、电池、组件、薄膜、逆变器、系统、新型储能各环节共77个关键指标。《路线图（2023-2024年）》根据产业实际情况，结合技术演进进程以及企业技改现状，总结了2023年发展情况并预测了2024、2025、2026、2028和2030年的发展趋势。这些指标体现了产业、技术、市场等发展现状和发展趋势，具有一定的前瞻性，供社会各界朋友参考。我们将根据产业发展变化情况及时进行修订，使其能够更及时、准确地反映产业的实际情况，更好地指导行业发展。

《路线图（2023-2024年）》在编写过程中得到了行业主管部门、行业专家、产业链各环节企业的大力支持，在此一并表示感谢。由于时间仓促，编写人员阅历和能力有限，如有不妥当之处，请不吝指正，以便我们在后续修订中进一步完善。

中国光伏行业协会
赛迪智库集成电路研究所
2024年2月28日

目录

一、路线图编制说明	1
(一) 涵盖内容	1
(二) 指标值的确定	1
二、中国光伏产业发展简况	2
三、产业链各环节关键指标	5
(一) 多晶硅环节	5
1、还原电耗	5
2、冷氢化电耗	5
3、综合电耗	6
4、水耗	6
5、蒸汽耗量	7
6、综合能耗	8
7、硅单耗	8
8、还原余热利用率	9
9、棒状硅和颗粒硅市场占比	9
10、三氯氢硅法多晶硅生产线投资成本	10
11、多晶硅人均产出量	10
(二) 硅片环节	11
1、拉棒/铸锭电耗	11
2、切片电耗	11
3、拉棒单炉投料量/铸锭投料量	12
4、耗硅量	13
5、耗水量	13
6、硅片厚度	14
7、金刚线母线直径	15
8、单位方棒/方锭在金刚线切割下的出片量	15
9、拉棒/切片单位产能设备投资额	16
10、硅片人均产出率	17
11、不同类型硅片市场占比	18
12、不同尺寸硅片市场占比	19
(三) 电池片环节	20
1、各种电池技术平均转换效率	21
2、不同电池技术路线市场占比	21
3、电池铝浆消耗量	22
4、电池银浆消耗量	22
5、异质结电池片金属电极技术市场占比	24

6、栅线印刷技术市场占比.....	24
7、电池片发射极方块电阻.....	25
8、TOPCon 电池片背钝化技术市场占比.....	26
9、异质结电池片 TCO 沉积方法市场占比.....	26
10、电池正面细栅线宽度.....	27
11、各种主栅市场占比.....	27
12、电池线人均产出率.....	28
13、电耗.....	29
14、水耗.....	30
15、电池片单位产能设备投资额.....	30
(四) 组件环节.....	31
1、不同类型组件功率.....	31
2、单/双面发电组件市场占比.....	31
3、全片、半片及多分片组件市场占比.....	32
4、不同电池片互联技术的组件市场占比.....	32
5、3.2mm 组件封装用钢化镀膜玻璃透光率.....	33
6、不同材质正面盖板组件市场占比.....	34
7、不同厚度的前盖板玻璃组件市场占比.....	35
8、不同封装材料的市场占比.....	35
9、树脂粒子在地化供应率.....	36
10、不同背板材料市场占比.....	37
11、组件电耗.....	37
12、组件人均产出率.....	38
13、组件单位产能设备投资额.....	38
(五) 薄膜太阳能电池/组件.....	40
1、CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率.....	40
2、CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率.....	40
3、III-V 族薄膜太阳能电池转换效率.....	41
4、钙钛矿太阳能电池转换效率.....	41
(六) 逆变器.....	42
1、不同类型逆变器市场占比.....	42
2、逆变器单位容量设备投资额.....	42
3、逆变器人均产出率.....	43
4、逆变器单机主流额定功率.....	44
5、逆变器功率密度.....	44
6、逆变器功率模块在地化供应率.....	44
7、逆变器主控制芯片在地化供应率.....	45
(七) 系统环节.....	46

1、全球光伏新增装机量.....	46
2、国内光伏新增装机量.....	46
3、光伏应用市场.....	47
4、我国光伏系统初始全投资及运维成本.....	48
5、不同等效利用小时数 LCOE 估算.....	51
6、不同系统电压等级市场占比.....	53
7、跟踪系统市场占比.....	53
(八) 新型储能环节.....	55
1、新型储能年度新增装机规模.....	56
2、不同新型储能技术市场占比.....	56
3、不同锂电储能温控技术占比.....	57
4、锂电储能系统年度平均价格.....	58
5、锂电储能系统能量转换效率.....	58
6、锂电储能电池单体电芯容量.....	59
7、锂电储能电池单体电芯循环寿命.....	59
8、锂电储能单体电芯质量/体积能量密度.....	60

光伏产业是半导体技术与新能源需求相结合而衍生的产业。大力发展光伏产业，对调整能源结构、推进能源生产和消费革命、促进生态文明建设具有重要意义。我国已将光伏产业列为国家战略性新兴产业之一，在产业政策引导和市场需求驱动的双重作用下，全国光伏产业实现了快速发展，已经成为我国为数不多可参与国际竞争并取得领先优势的产业。光伏产业链构成如下图所示。



图 1 光伏产业链构成

一、路线图编制说明

（一）涵盖内容

路线图编制以为国家制定产业政策提供支撑、为行业技术发展指明方向、为企业战略决策提供参考为主要目标，基于当前光伏技术和产业发展现状，从光伏产业链多晶硅、硅棒/硅锭、硅片、电池、组件、薄膜、逆变器、系统、新型储能等各个环节提取出可代表该领域发展水平的指标，这些指标涵盖产业、技术、市场等各个层面。

（二）指标值的确定

本次路线图的修订，在前七版的基础上，秉持客观性、科学性、广泛性和前瞻性的原则，再次通过调查问卷、现场调研、专家研讨等形式，广泛征求意见尤其是重点企业和专家的建议，由此确定各环节关键指标 2023-2030 年发展现状与趋势。本次修订问卷调查以产业链各环节主要光伏企业为主，同时，多次通过邮件等书面形式广泛征求企业和专家意见，并组织 2 次以上专家研讨会，对各个指标的合理性及必要性等进行详尽分析，以此确定指标取值。考虑到未来发展的不确定性会增加指标值预判的难度，路线图在制定过程中力求准确预测近期的发展方向，中远期的预测更多代表行业各界对未来的一种趋势反映。今后，我们仍将定期对路线图进行更新，以不断逼近“真值”，更好地及时地反映行业发展情况，并有效指导行业发展。

二、中国光伏产业发展简况

多晶硅方面，2023 年，全国多晶硅产量达 143 万吨，同比增长 66.9%。2024 年随着多晶硅企业技改及新建产能的释放，产量预计将超过 210 万吨。

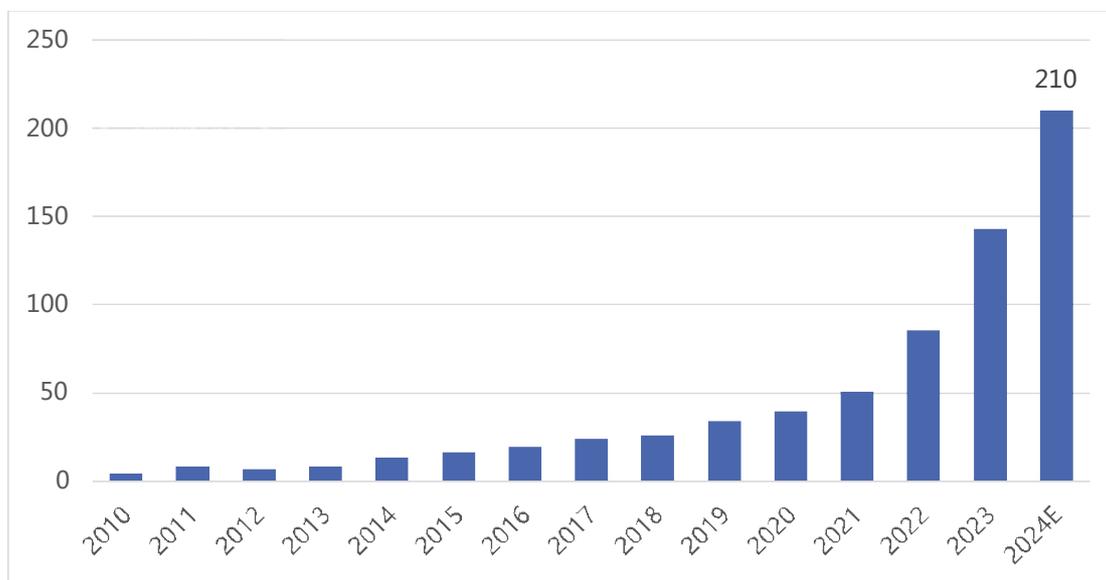


图 2 2010-2024 年全国多晶硅产量情况（单位：万吨）

硅片方面，2023 年全国硅片产量约为 622GW，同比增长 67.5%。随着头部企业产能的逐步落实，预计 2024 年全国硅片产量将超过 935GW。

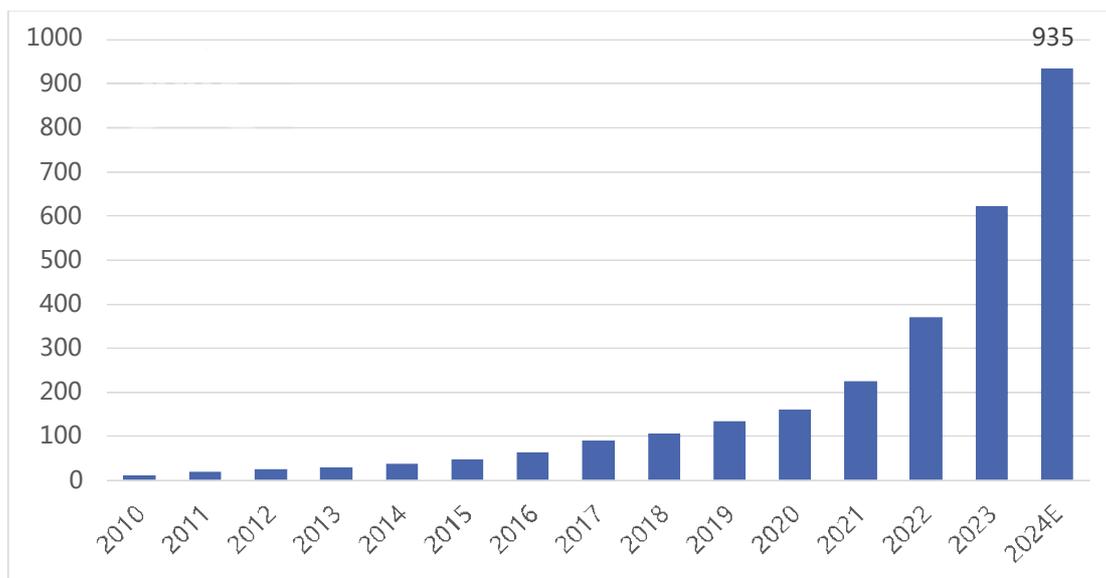


图 3 2010-2024 年全国硅片产量情况（单位：GW）

晶硅电池片方面，2022 年，全国电池片产量约为 545GW，同比增长 64.9%。预计 2024 年全国电池片产量将超过 820GW。

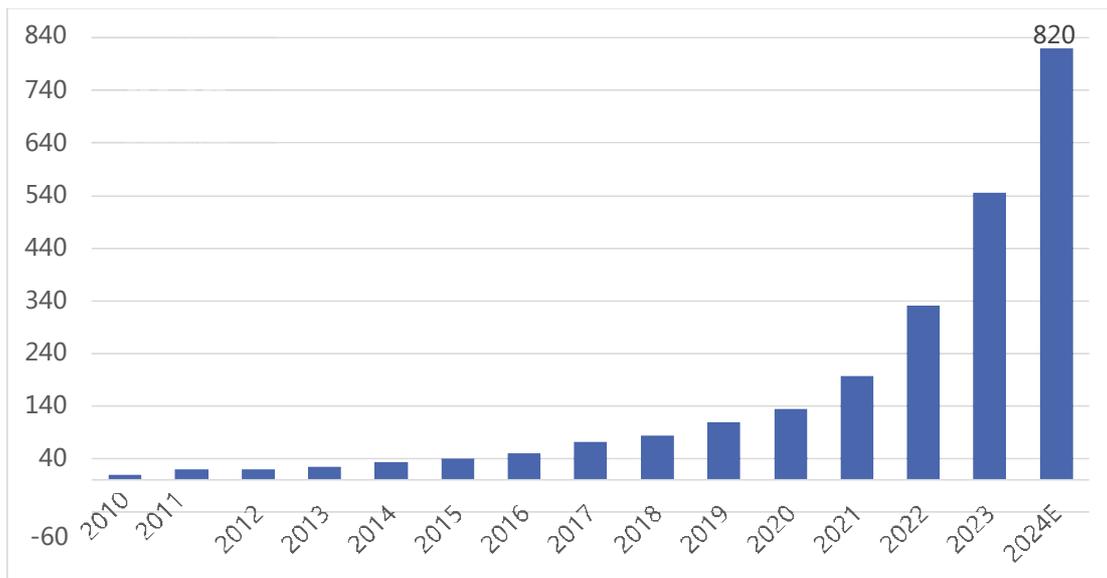


图 4 2010-2024 年全国电池片生产情况 (单位 : GW)

组件方面，2023 年，全国组件产量达到 499GW，同比增长 69.3%，以晶硅组件为主。预计 2024 年组件产量将超过 750GW。

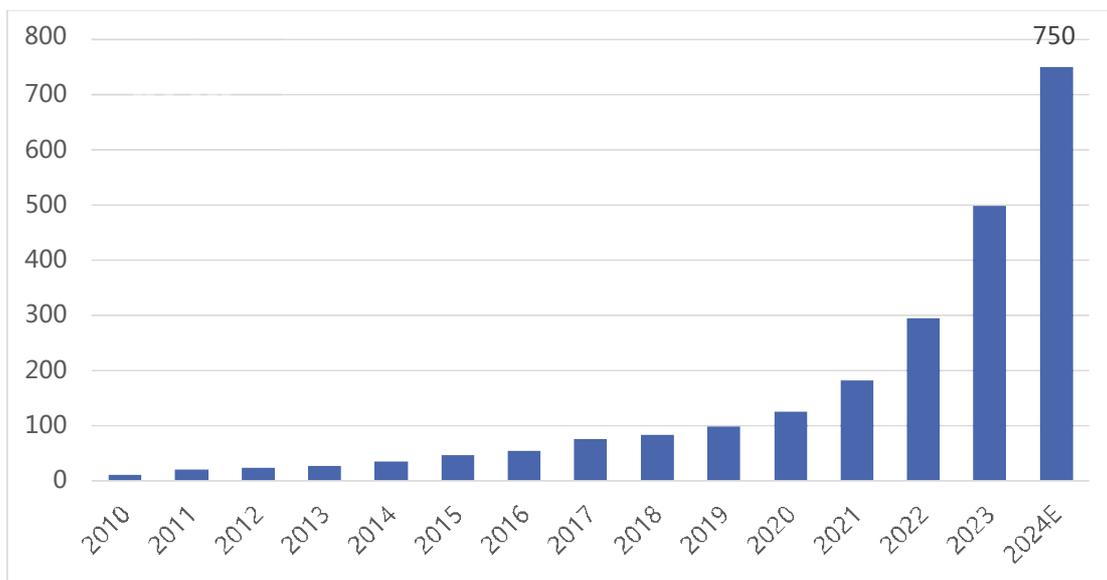


图 5 2010-2024 年全国太阳能组件生产情况 (单位 : GW)

光伏市场方面，2023 年全国新增光伏并网装机容量 216.88GW。累计光伏并网装机容量超过 600GW，新增和累计装机容量均为全球第一。预计 2024 年光伏新增装机量将超过 200GW，累计装机有望超过 810GW。

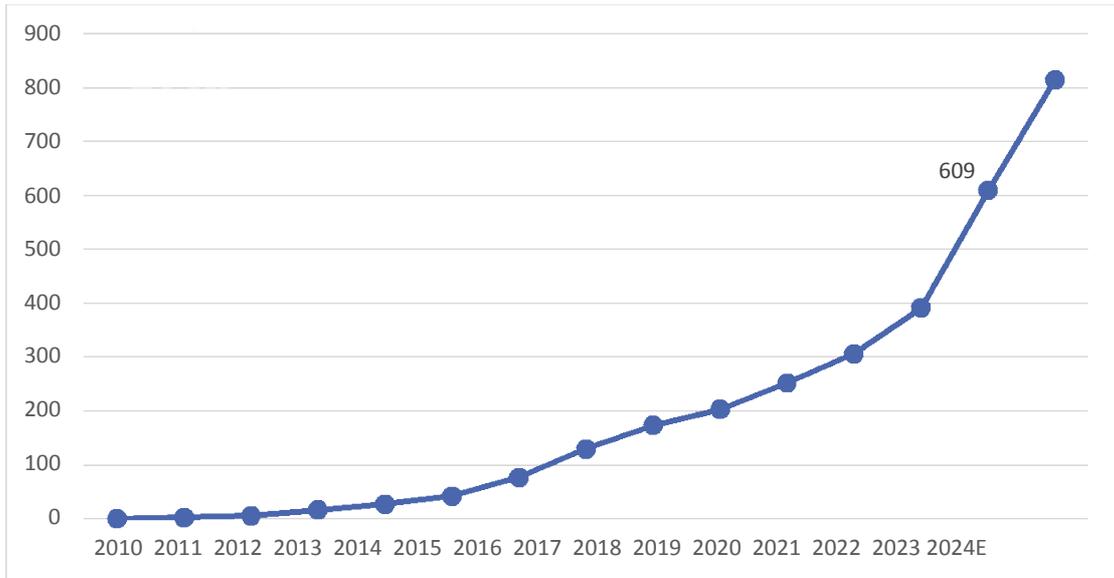


图6 2010-2023年全国太阳能光伏发电装机累计容量(单位:GW)

产品效率方面,2023年,规模化生产的p型单晶电池均采用PERC技术,平均转换效率达到23.4%;n型产品已在市场中崭露头角,TOPCon电池片行业平均转换效率达到25%,HJT电池片行业平均转换效率达到25.2%。

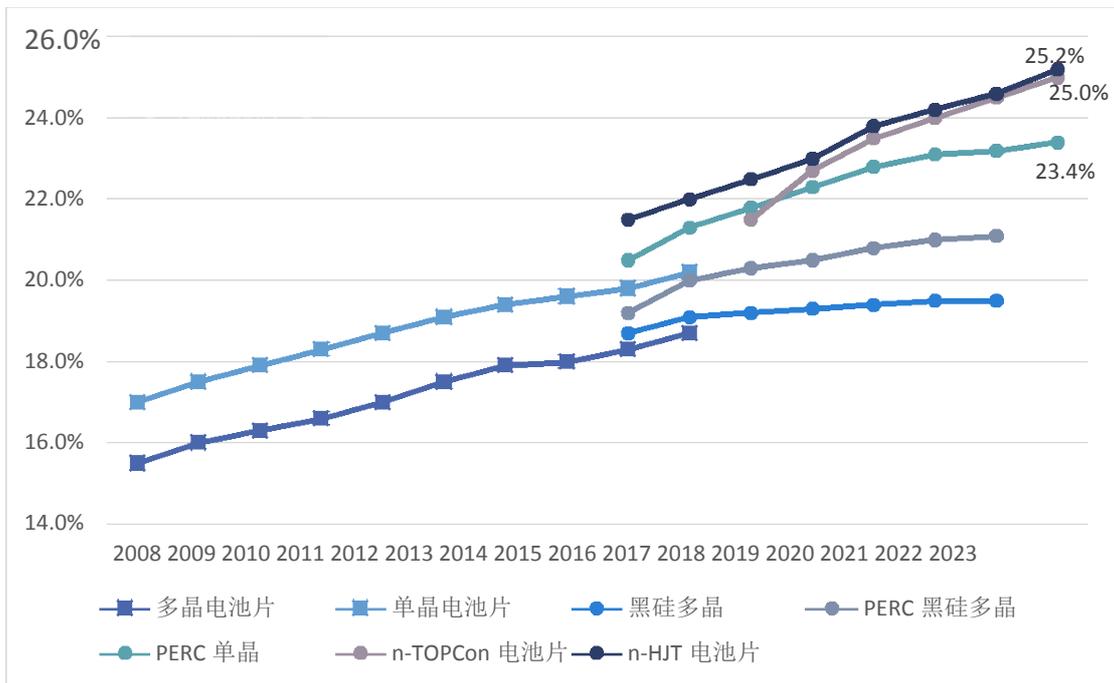


图7 2008-2023年国内电池片量产转换效率发展趋势

人才方面,2022年中国光伏从业人员总计353.4万人,其中直接从业人员总数约为58.9万人;预计到2025年,中国光伏直接从业人员需求将达到81.3—96.8万人,中国光伏从业人员需求总量将达到487.5—580.8万人,2023—2025年年均新增需求42.1—73.2万人。

三、产业链各环节关键指标

(一) 多晶硅环节¹

1、还原电耗

多晶硅还原是指三氯氢硅和氢气发生还原反应生成高纯硅料的过程，其电耗包括硅芯预热、沉积、保温、结束换气等工艺过程中的电力消耗。2023年n型硅料占比逐月增加，年初到年底n型产品的硅料占比从20%提升到50%左右，不同企业差别较大，多晶硅还原电耗的下降有一定减缓，平均还原电耗较2022年下降3.4%，为43.0kWh/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，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38.2kWh/kg-Si。

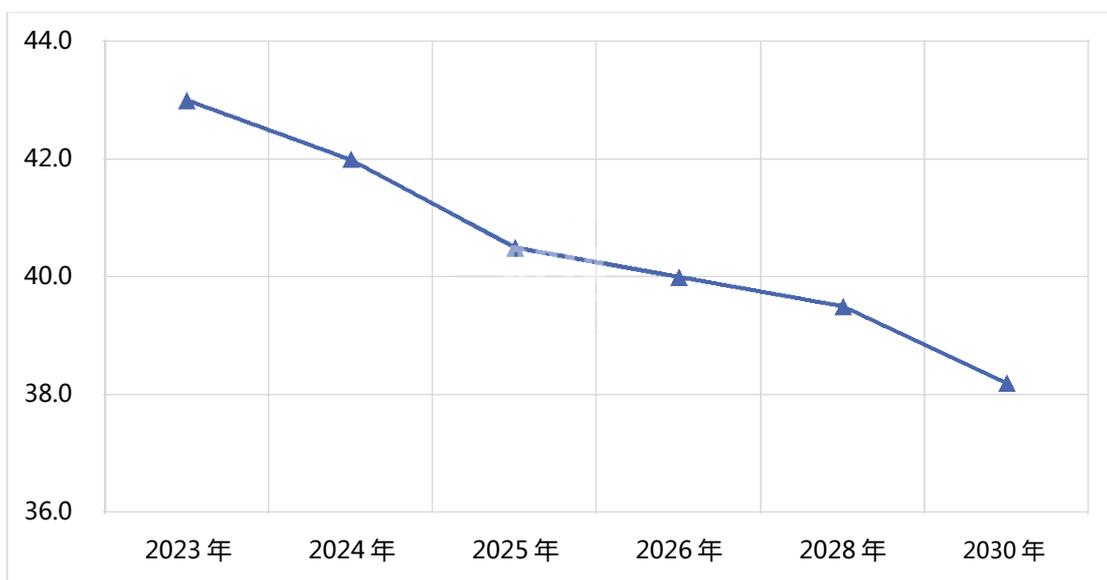


图8 2023-2030年还原电耗变化趋势(单位:kWh/kg-Si)

2、冷氢化电耗

冷氢化技术是把多晶硅生产过程中的副产物四氯化硅(SiCl_4)转化为三氯氢硅(SiHCl_3)的技术，其电耗包括物料供应、氢化反应系统、冷凝分离系统和初馏系统的电力消耗。各企业在物料供应环节使用不同的加热方式，如电加热、导热油加热、蒸汽加热等，因此各企业冷氢化电耗存在差异。2023年，冷氢化平均电耗在4.0kWh/kg-Si左右，同比下降7%，到2030年有望下降至3.5kWh/kg-Si以下。技术进步的手段包括大炉型的使用、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。

¹本章节若无特殊注明，均为三氯氢硅法棒状硅的生产指标。多晶硅生产各环节工序划分、能源消耗种类、计量和计算方法按《多晶硅企业单位产品能源消耗限额》GB29447执行。

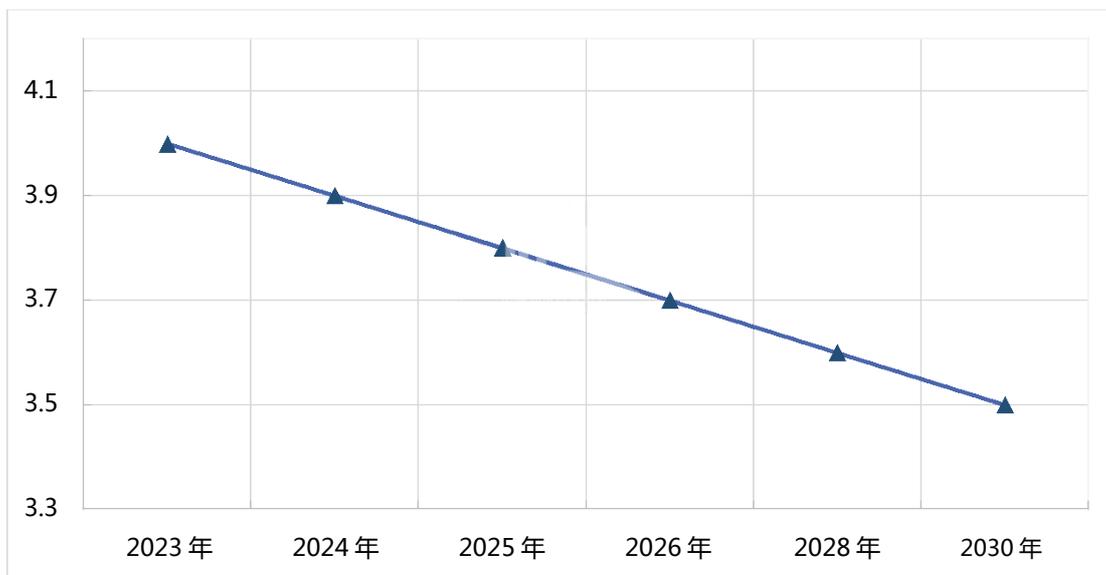


图9 2023-2030年冷氢化电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si)

3、综合电耗

综合电耗是指工厂生产单位多晶硅产品所耗用的全部电力，包括合成、电解制氢、精馏、还原、尾气回收和氢化等环节的电力消耗。由于各家生产工艺不同，因此综合电耗有一定差异。2023年，多晶硅平均综合电耗已降至 57kWh/kg-Si，同比下降 5%。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 52.5kWh/kg-Si。

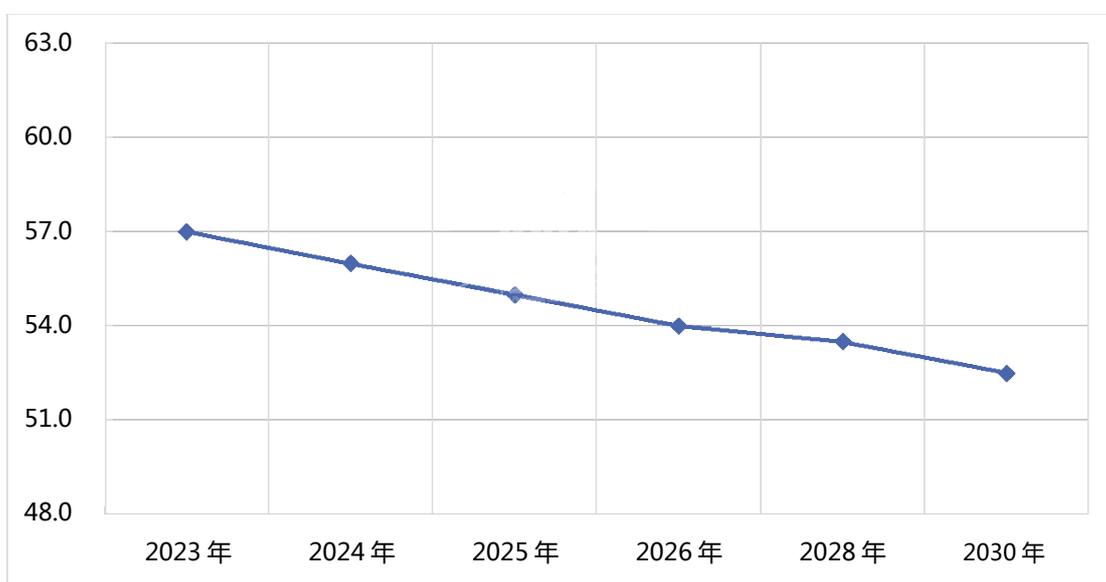


图10 2023-2030年综合电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si)

4、水耗

水耗是指生产单位多晶硅产品所需要补充的水量，水的消耗主要包括蒸发、清洗等。2023年，多晶硅平均水耗在 0.08t/kg-Si 的水平，同比下降 11%。新疆地区气候干燥，蒸发量大，水耗

较行业平均值高，数据综合了青海、内蒙、四川、新疆等各大产区的数据。预计到 2026 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 0.07t/kg-Si 的水平并维持到 2030 年。

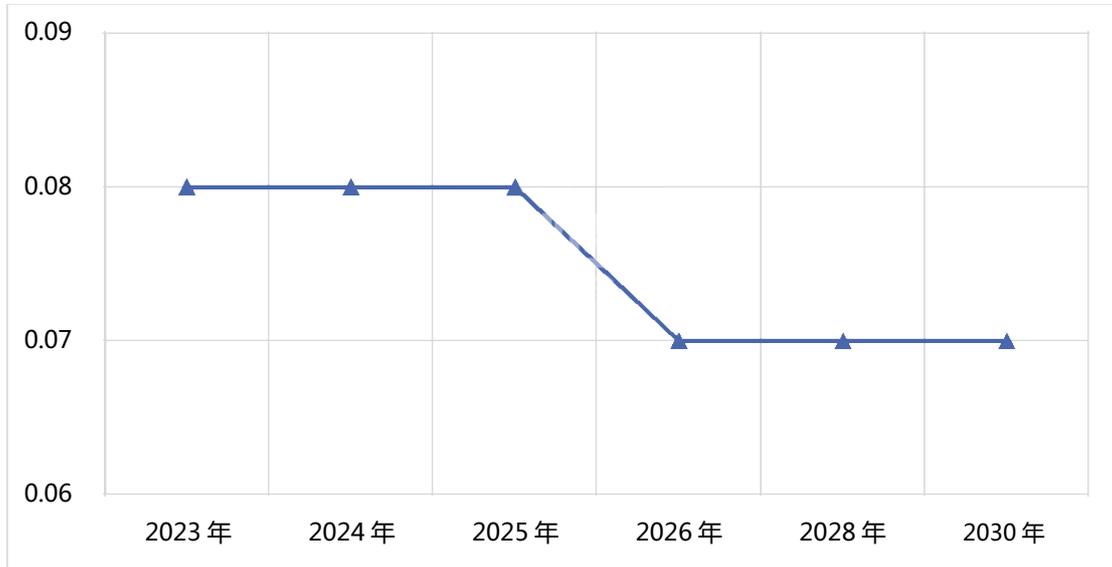


图 11 2023-2030 年水耗变化趋势 (单位 : t/kg-Si)

5、蒸汽耗量

蒸汽耗量是指生产单位多晶硅产品外购蒸汽量，不考虑还原炉余热利用所产生的蒸汽（该能量已通过电力的形式计入）。蒸汽的补充主要用于精馏、冷氢化、尾气回收等环节。2023 年企业蒸汽耗量均值为 9.1kg/kg-Si 左右，同比下降 39.3%，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 5.1kg/kg-Si。

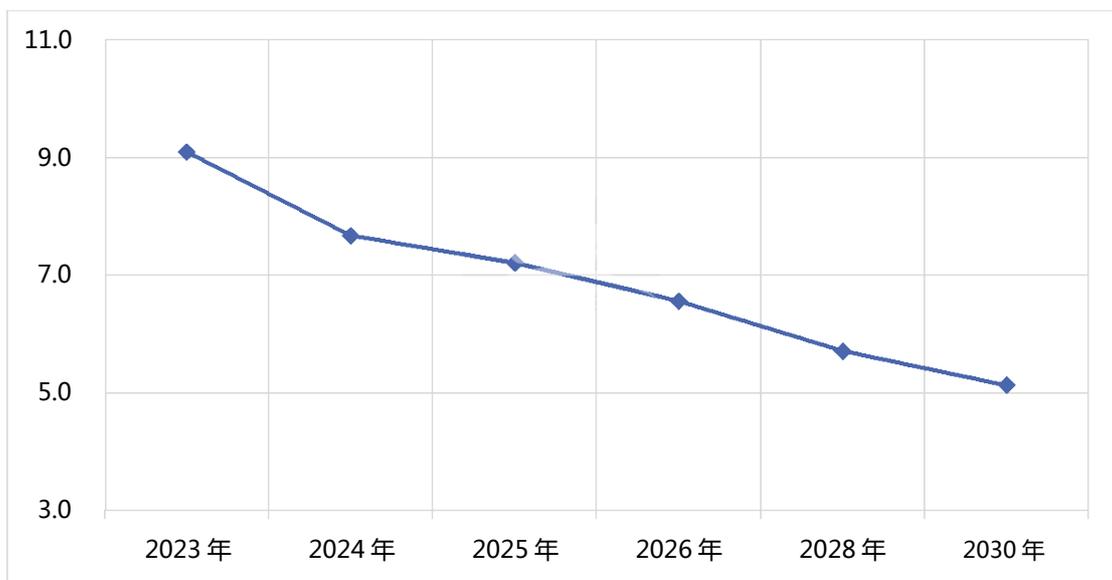


图 12 2023-2030 年蒸汽耗量变化趋势 (单位 : kg/kg-Si)

6、综合能耗

多晶硅综合能耗包括多晶硅生产过程中所消耗的天然气、煤炭、电力、蒸汽、水等。综合各大区域和新建产能的情况，2023 年三氯氢硅法多晶硅企业综合能耗平均值为 8.1kgce/kg-Si，同比下降 8.99%，随着技术进步和能源的综合利用，到 2030 年预计可降到 7.2kgce/kg-Si。

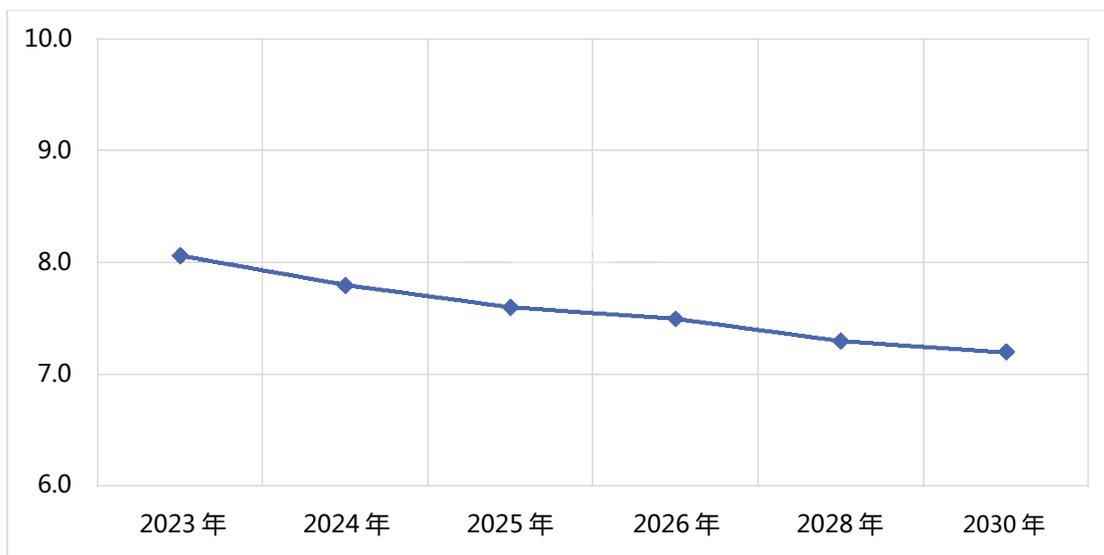


图 13 2023-2030 年综合能耗变化趋势 (单位 : kgce/kg-Si)

7、硅单耗

硅单耗指生产单位高纯硅产品所耗费的硅量，主要包括合成、氢化工序，外购硅粉、三氯氢硅、四氯化硅等含硅物料全部折成纯硅计算，外售氯硅烷等按含硅比折成纯硅计算，从总量中扣除。2023 年，硅耗在 1.08kg/kg-Si 水平，同比下降 0.92%，且未来 5 年内变化幅度不大。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。

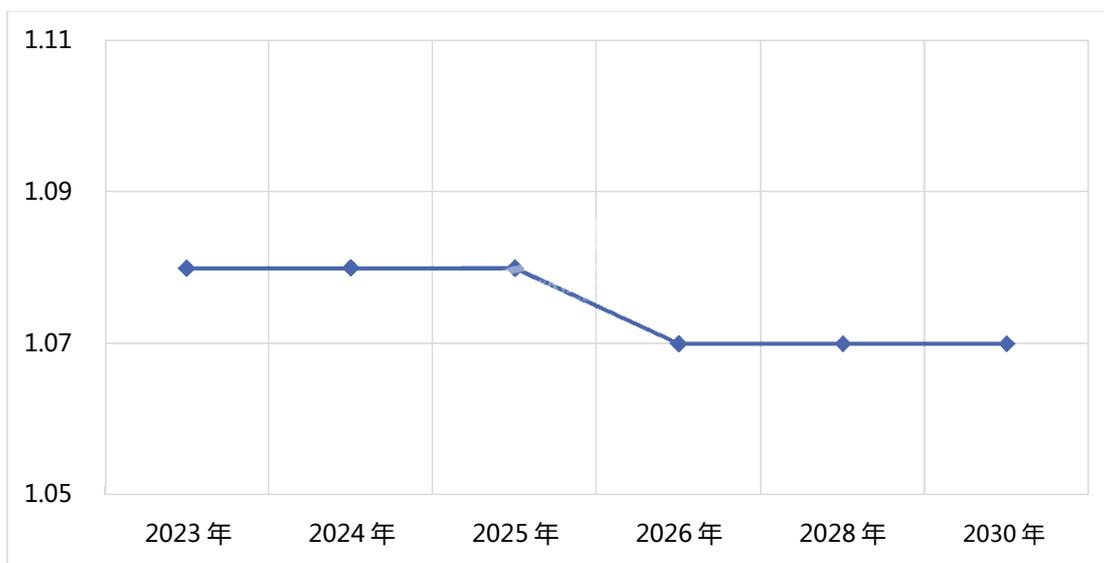


图 14 2023-2030 年硅单耗变化趋势 (单位 : kg/kg-Si)

8、还原余热利用率

还原余热利用率是指回收利用还原工艺中热量占还原工艺能耗比。2023 年，多晶硅还原余热利用率平均水平在 81.9%，较 2022 年提升了 0.5 个百分点。随着多晶硅工厂大炉型的使用，节能技术的进步，以及低品位热的利用，余热利用率有望进一步提升，但考虑设备本身散热和尾气带走热等影响，还原余热利用率有一定上限，预计 2030 年还原余热利用率将会达到 83%。

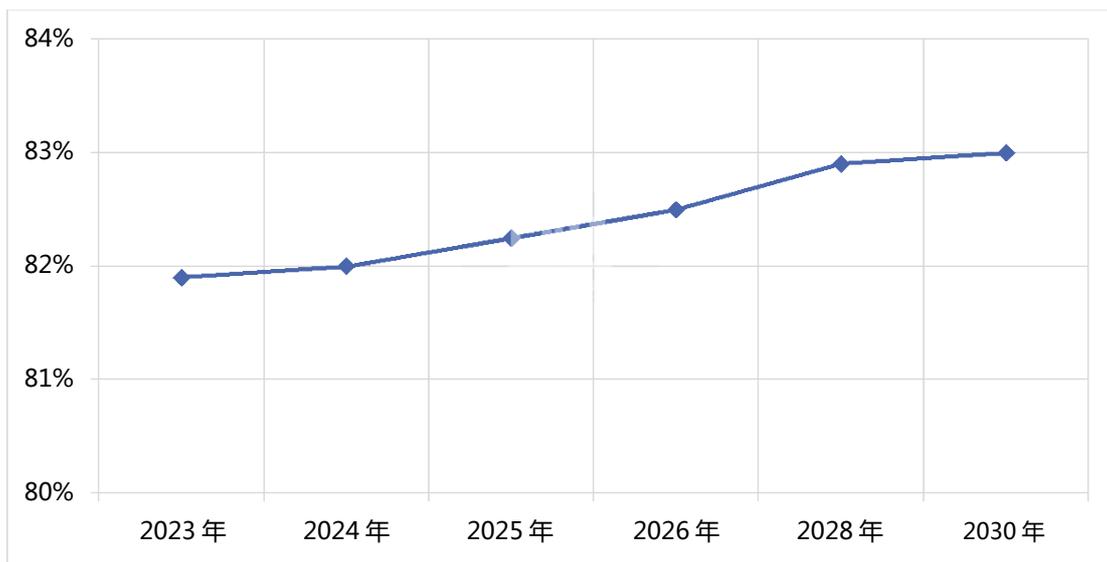


图 15 2023-2030 年还原余热利用率变化趋势

9、棒状硅和颗粒硅市场占比

当前主流的多晶硅生产技术主要有三氯氢硅法和硅烷流化床法，产品形态分别为棒状硅和颗粒硅。三氯氢硅法生产工艺相对成熟，随着 2023 年硅烷法颗粒硅产能和产量的增加，颗粒硅市场占比有所上涨，达到 17.3%，棒状硅占 82.7%。

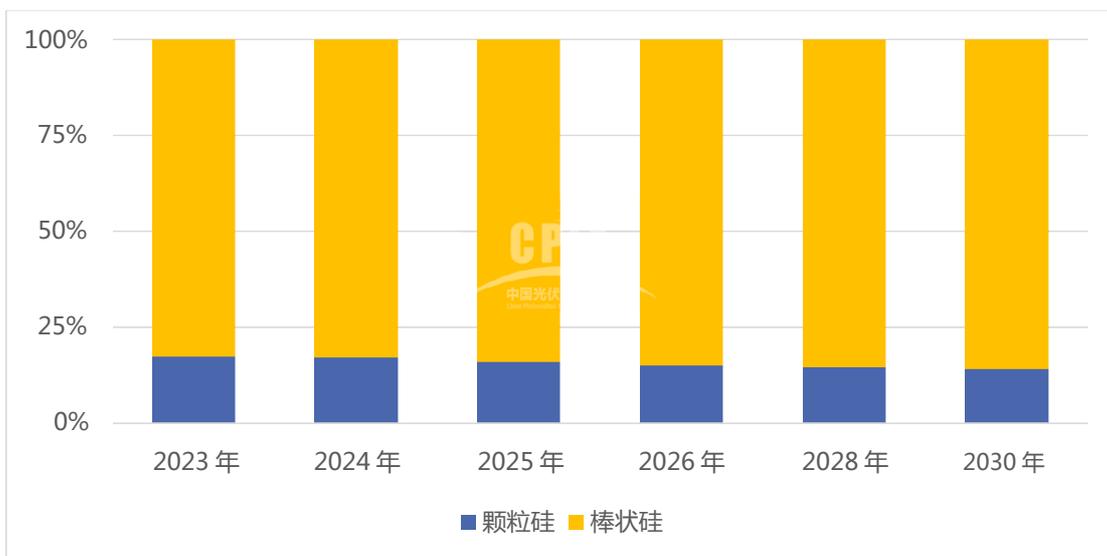


图 16 2023-2030 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势

10、三氯氢硅法多晶硅生产线投资成本

多晶硅生产线投资主要包含土建、设备、安装费用，其中设备投资成本占比 60%-70%。2023 年投产的万吨级多晶硅生产线投资成本为 0.9 亿元/千吨，较 2022 年有小幅下降。但随着生产装备技术的进步、单体规模的提高和工艺水平的提升，三氯氢硅法多晶硅生产线投资成本仍有下降空间。预计到 2030 年，千吨投资可下降至 0.80 亿元。

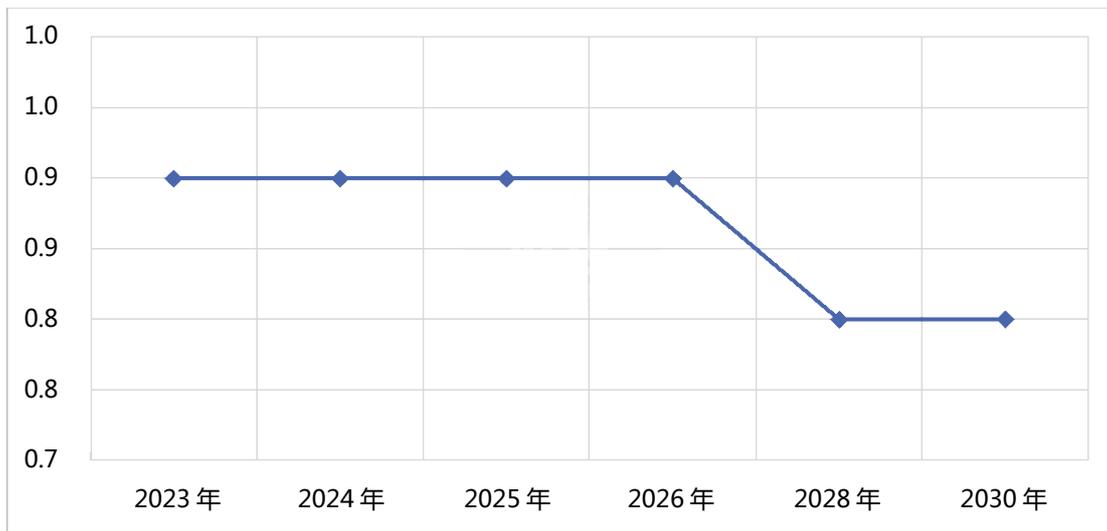


图 17 2023-2030 年三氯氢硅法多晶硅生产线投资成本变化趋势 (单位：亿元/千吨)

11、多晶硅人均产出量

随着多晶硅工艺技术瓶颈不断突破，工厂智能化制造水平的不断提升，多晶硅工厂的人均产出也逐步提升。2023 年多晶硅生产线人均产出量为 60 吨/(人·年)，同比提升 3.4%，这与单线产能提升、系统集成化、以及产线满产等因素有关。随着多晶硅新投产产线单线规模增大，自动化程度提升，人均产出量将会有较大幅度的增长，到 2030 年提高到 80 吨/(人·年)。

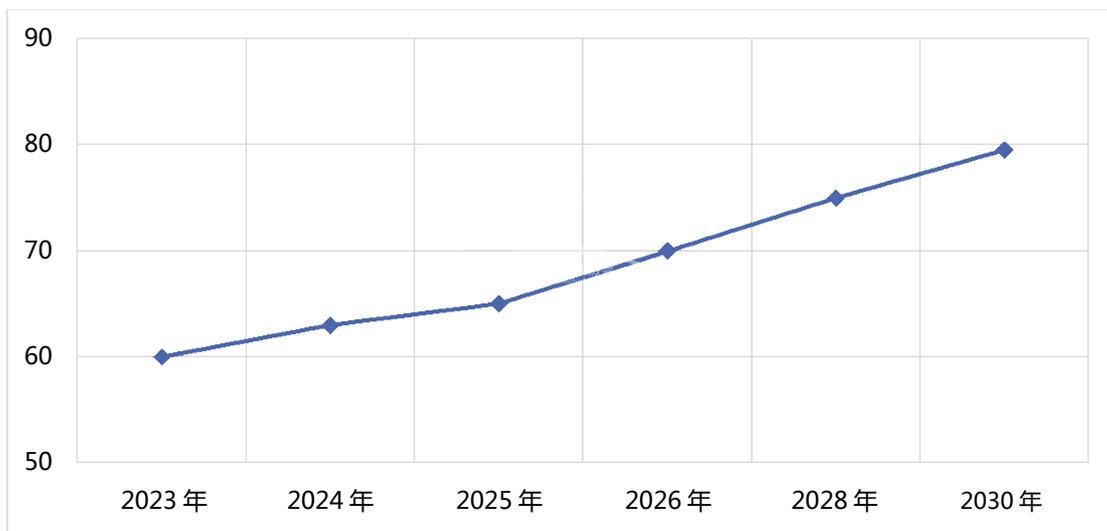


图 18 2023-2030 年多晶硅生产线人均产出量变化趋势 (单位：吨/(人·年))

（二）硅片环节^{2 3}

1、拉棒/铸锭电耗

单晶拉棒电耗是指直拉法生产单位合格单晶硅棒所消耗的电量，可以通过改善热场、保温性能、提升设备自动化、智能化程度、提高连续拉棒技术等方法，降低拉棒生产电耗。2023年，拉棒平均电耗水平从2022年24.4kWh/kg-Si下降至23.4kWh/kg-Si（方棒）。由于坩埚品质的不稳定以及客户对品质要求的提高，2024年-2026年能耗预测数据较2022年预测数据略高。

铸锭电耗是指通过定向凝固技术生产硅锭（大方锭）所消耗的电量。2023年，多晶产品市场需求下降，铸锭产品提升需求不大，铸锭电耗为7.8-8.0kWh/kg-Si，较2022年变化不大。

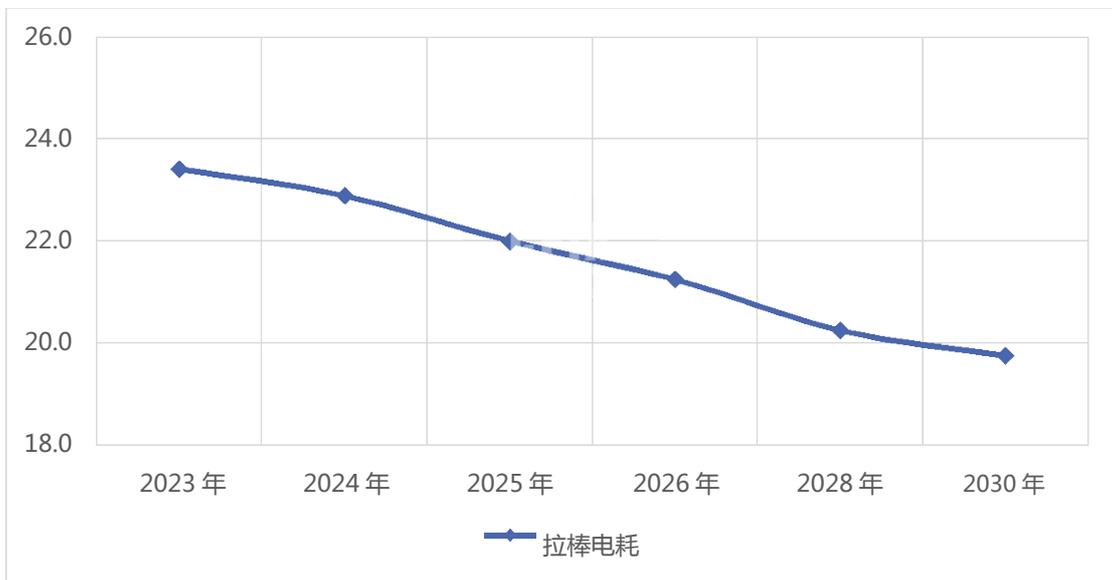


图 19 2023-2030 年拉棒电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

2、切片电耗

切片电耗是指通过切片工序，从方棒/方块到成品硅片所消耗的电量。2023年，切片电耗约为8.0万kWh/百万片，较2022年小幅下降，主要原因是n型硅片市场占比有所增加，切片装备技术提升，硅片减薄速度增加。未来，硅棒棒长增长、产线切速提升、细线化和薄片化带来的单次出片量增加等都将促进切片电耗继续下降。

² 若无特殊说明，本环节指标均以生产182mm尺寸P硅片为基准。

³ 由于铸锭市场缩减，因此本年度对铸锭相关指标不做预测。

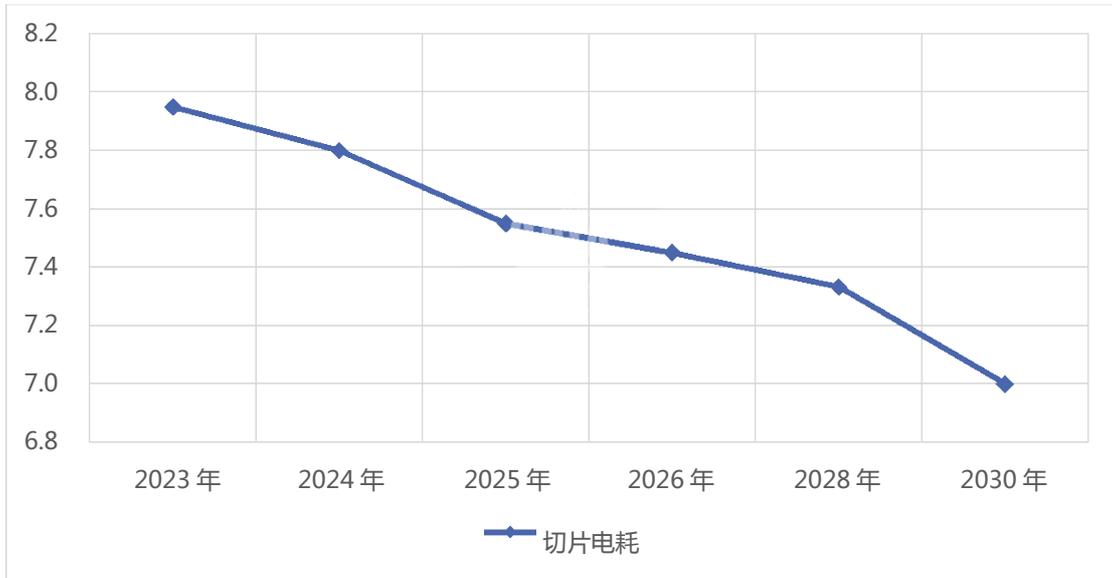


图 20 2023-2030 年切片电耗变化趋势 (单位: 万 kWh/百万片)

注: 本指标以 182mm 尺寸切片为基准, 包含 p 型和 n 型。

3、拉棒单炉投料量/铸锭投料量

拉棒单炉投料量是指一只坩埚用于多次拉棒生产的总投料量, 其中坩埚使用时间为关键因素之一。2023 年, 拉棒单炉投料量约为 3300kg, 较 2022 年的 3100kg 有小幅提升, 主要是由于热场尺寸增大以及拉棒数增加。未来随着坩埚制作工艺、拉棒技术的不断提升以及坩埚使用的优化, 投料量仍有较大增长空间, 或向着连续投料的方向发展。

铸锭投料量是指用于铸锭的单只坩埚的最大装料量。2023 年多晶产品市场需求继续降低, 铸锭投料量为 1200kg, 与 2022 年基本持平。

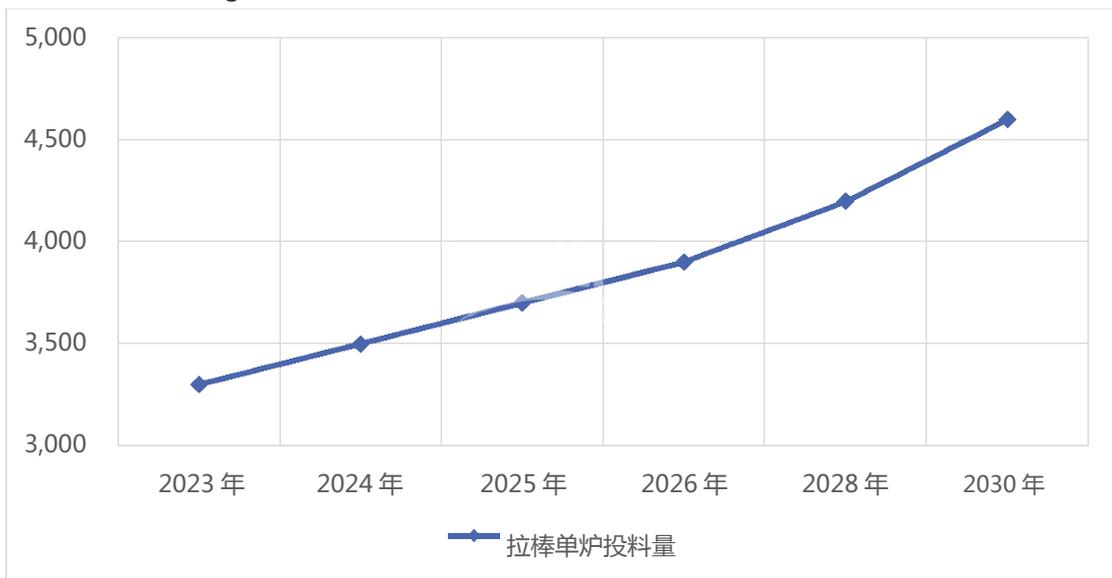


图 21 2023-2030 年拉棒单炉投料量变化趋势 (单位: kg)

4、耗硅量

耗硅量是指生产每公斤方棒（含边皮复投料）所消耗的多晶硅原料量（按年度统计）。2023 年铸锭耗硅量为 1.08kg/kg，拉棒耗硅量为 1.061kg/kg，与 2022 年基本持平。清洗、破碎环节的损耗降低，生产环节环境控制，降低锅底料比例，优化机加环节精度控制，减少加工余量，提升降级硅料的分级和处理技术等，都将促使拉棒耗硅量继续下降。

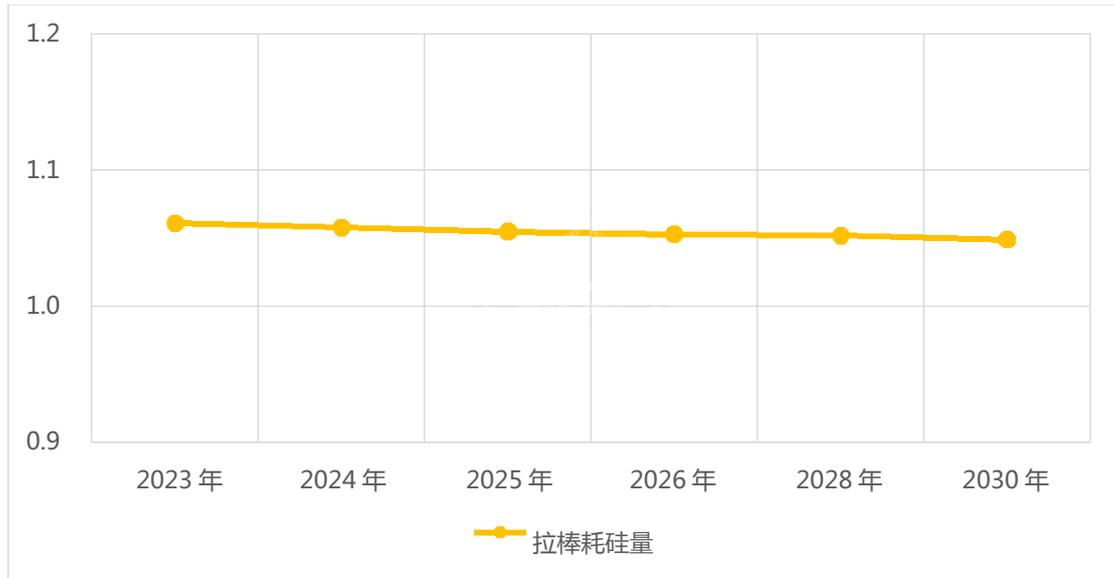


图 22 2023-2030 年拉棒耗硅量变化趋势（单位：kg/kg）

5、耗水量

切片工序取水量包括脱胶、清洗、切片等所有环节的生产设备、辅助设备、污水处理设备等取水量或分摊量，不包含办公区域及生活用水（纯水量应折算成新鲜水量）。2023 年切片环节耗水量为 870 t/百万片，主要原因是片厚减薄，单刀切片量提升，同时配合了其他节水措施。未来通过循环用水、水的回收再处理再应用、工艺水平提升、清洗剂的性能优化等方法，耗水量将逐步下降。

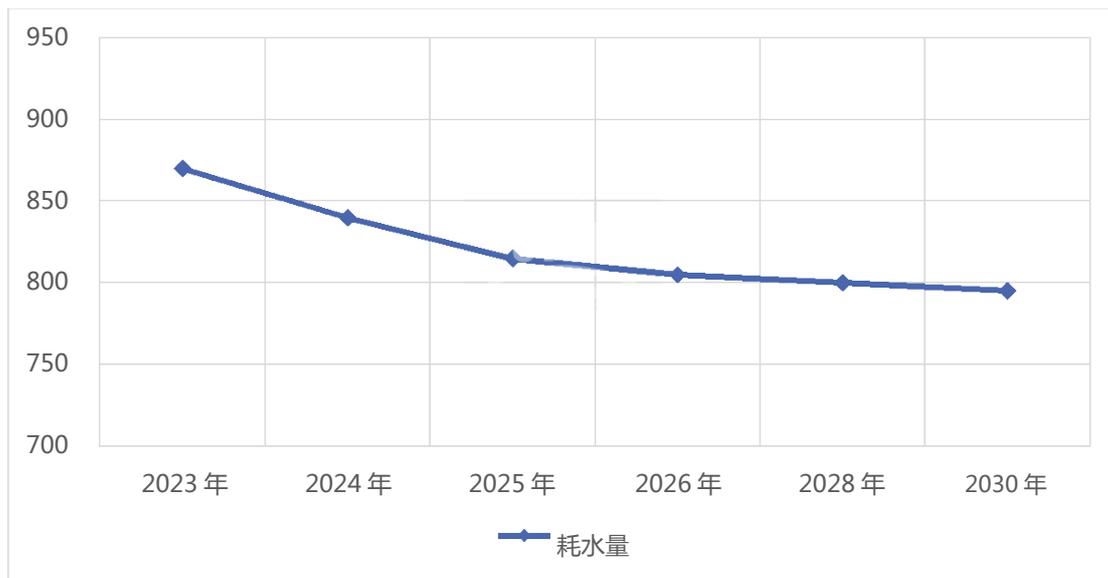


图 23 2023-2030 年耗水量变化趋势 (单位: t/百万片)

6、硅片厚度

薄片化有利于降低硅耗和硅片成本，但会影响碎片率。目前切片工艺完全能满足薄片化的需要，但硅片厚度还要满足下游电池片、组件制造端的需求。硅片厚度对电池片的自动化、良率、转换效率等均有影响。2023 年，多晶硅片平均厚度为 170 μm ，由于市场终端需求量较小，无继续减薄的动力，因此预测 2024 年之后厚度维持 170 μm 不变，但不排除后期仍有变薄的可能。p 型单晶硅片平均厚度在 150 μm 左右，较 2022 年下降 5 μm 。为保持 n 型产品竞争力，用于 TOPCon 电池片和异质结电池片的 n 型硅片产品片厚减薄动力较强，用于 TOPCon 电池的 n 型硅片平均厚度为 125 μm ，用于异质结电池的硅片厚度约 120 μm ，分别较 2022 年下降 15 μm 和 5 μm 。

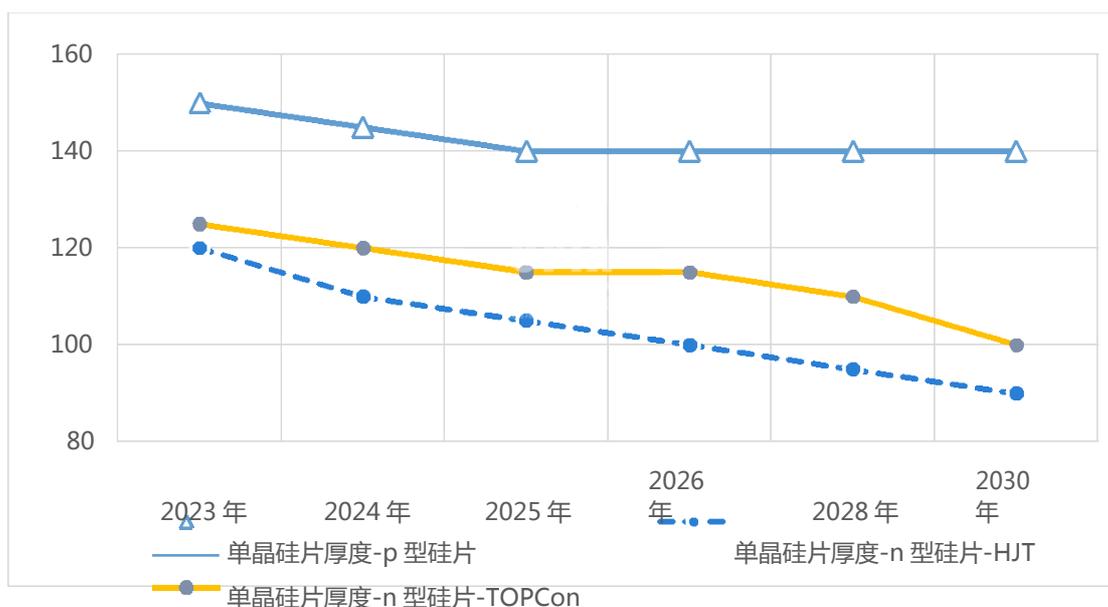


图 24 2023-2030 年硅片厚度变化趋势 (单位: μm)

注：单晶硅片厚度-n 型硅片-HJT 以异质结半片硅片为基准。

7、金刚线母线直径

金刚线母线直径及研磨介质粒度同硅片切割质量及切削损耗量相关，较小的线径和介质粒度有利于降低切削损耗和生产成本。金刚线主要分为高碳钢丝线和钨丝线，2023 年主流金刚线为高碳钢丝线，钨丝线已小范围进入市场，预计钨丝线大量进入市场后，其母线直径将会进一步下降。2023 年，用于单晶硅片的高碳钢丝母线直径为 36 μm ，降幅较大，且呈不断下降趋势。2023 年，用于单晶硅片的钨丝母线直径为 35 μm ，且随着硅料继续降本+硅片薄片化、大尺寸化，双轮驱动钨丝母线的应用渗透，钨丝母线直径也将不断下降。

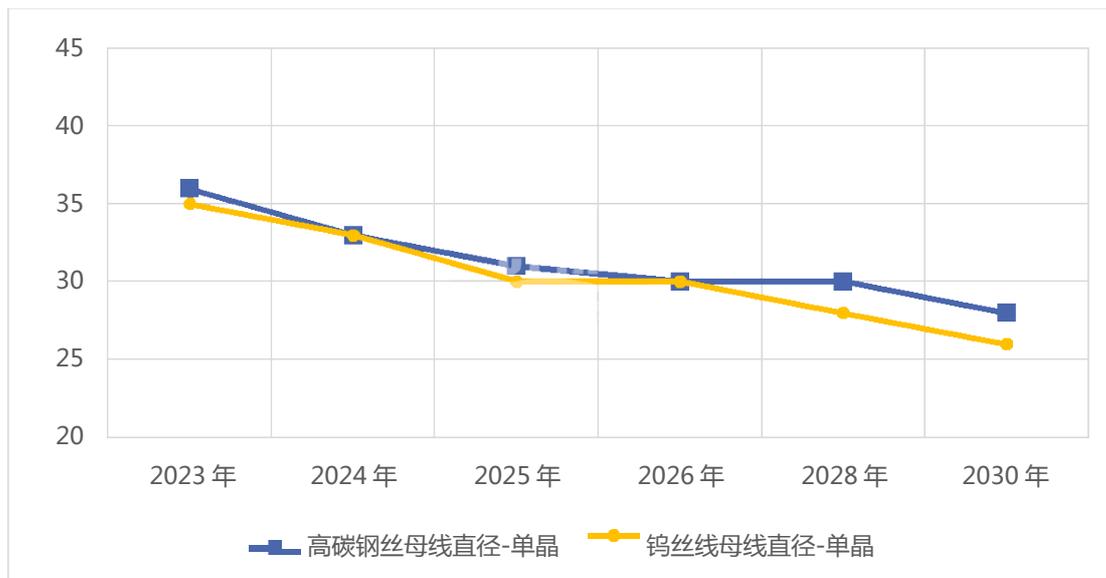


图 25 2023-2030 年金刚线母线直径变化趋势 (单位： μm)

注：高碳钢丝母线直径及钨丝线母线直径均为等效线径。

8、单位方棒在金刚线切割下的出片量

随着金刚线直径降低以及硅片厚度下降，等径方棒每公斤出片量将增加。2023 年 p 型 182mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 61 片，p 型 210mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 45 片，n 型 182mm 尺寸 TOPCon 每公斤单晶方棒出片量约为 69 片，n 型 210mm 尺寸 TOPCon 每公斤单晶方棒出片量约为 52 片，n 型 182mm 尺寸 HJT 每公斤单晶方棒出片量约为 71 片，n 型 210mm 尺寸 HJT 每公斤单晶方棒出片量约为 53 片。

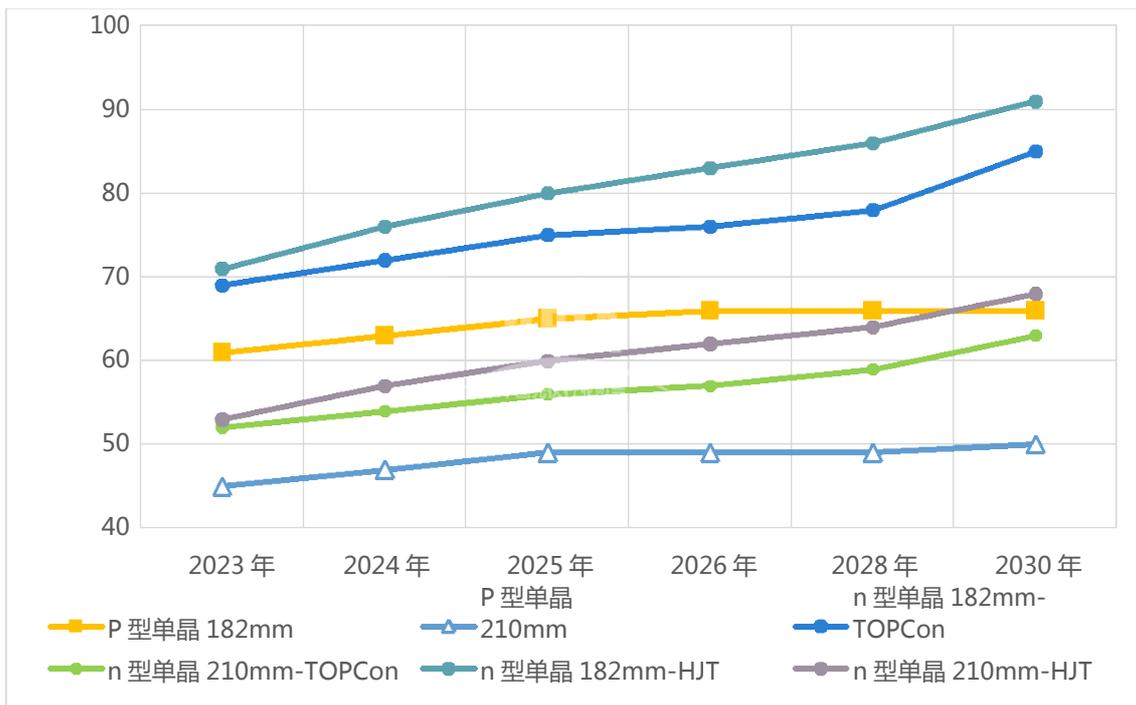


图 26 2023-2030 年每公斤方棒在金刚线切割下的出片量变化趋势 (单位: 片)

注: 本指标出片数均以整片计算。

9、拉棒/切片单位产能设备投资额

2023 年, 拉棒环节单位产能设备投资额 (包括机加环节) 为 4.6 万元/吨。随着单晶拉棒设备供应能力提高及技术进步, 设备投资成本呈逐年下降趋势。切片环节单位产能设备投资是指从方棒/方锭到制成硅片的设备投资, 2023 年为 23.6 万元/百万片, 未来呈逐渐下降的趋势, 但是如果加入自动化设备, 切片环节设备投资额的变化趋势可能持平甚至增加。

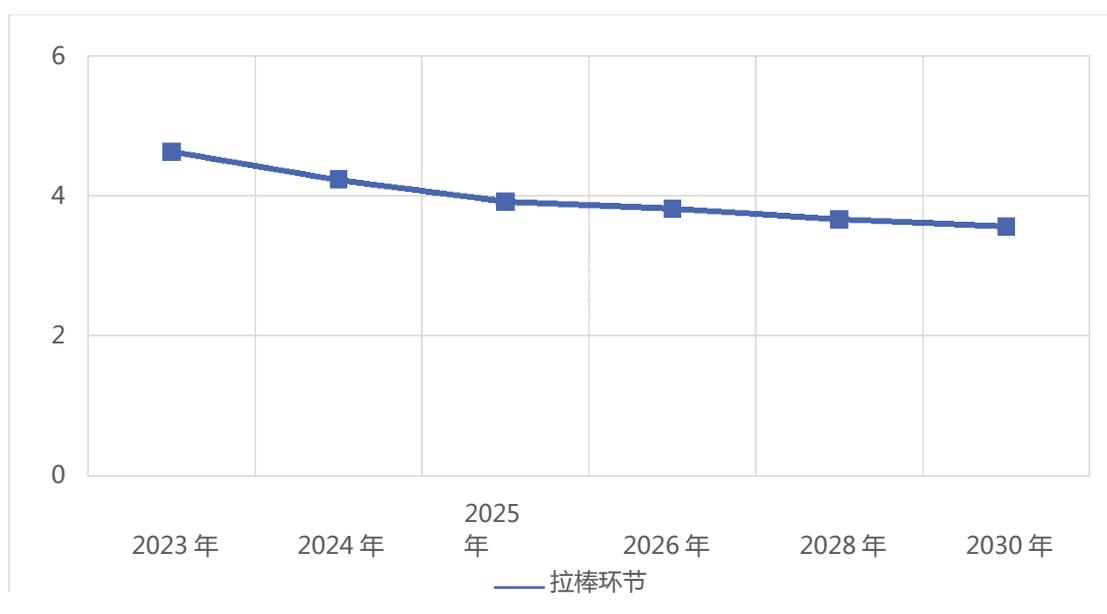


图 27 2023-2030 年拉棒环节设备投资成本变化趋势 (单位: 万元/吨)

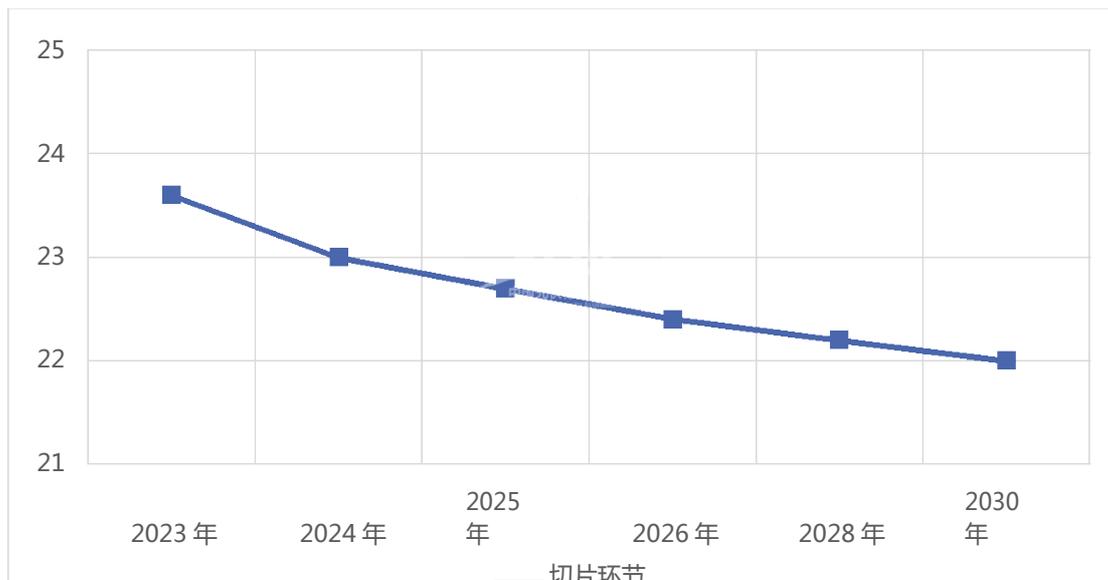


图 28 2023-2030 年切片环节设备投资成本变化趋势 (单位: 万元/百万片)

10、硅片人均产出率

硅片人均产出主要指产线员工的人均产出 (包含产线直接和间接人员, 不含管理人员)。随着工厂自动化水平的不断提升, 单位产能逐步增加, 硅片工厂的人均产出也快速提高。2023 年, 硅片产线晶体环节拉棒 (方棒) 人均产出率为 27.5t/(人·年), 切片人均产出率为 2.3 百万片/(人·年)。随着未来大尺寸产能的持续释放以及自动化水平的提升, 预计晶体拉棒 (方棒) 人均产出和切片人均产出均会有所增加。但考虑到企业为社会提供就业机会等因素, 此指标的增速或将放缓。

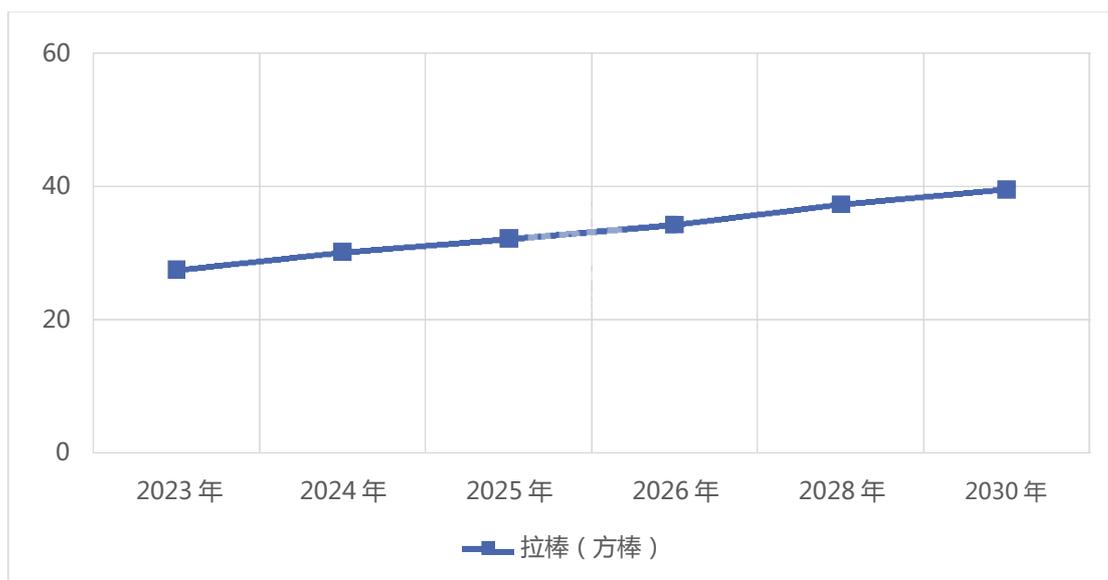


图 29 2023-2030 年拉棒 (方棒) 人均产出率变化趋势 (单位: t/(人·年))

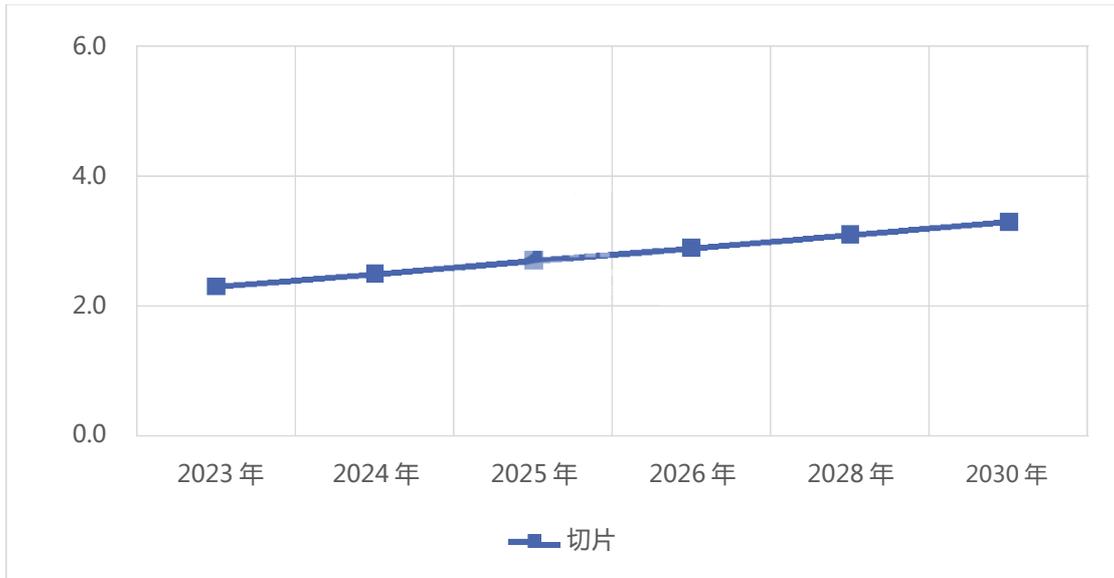


图 30 2023-2030 年切片人均产出率变化趋势 (单位: 百万片/(人·年))

11、不同类型硅片市场占比⁴

2023 年, 单晶硅片 (p 型+n 型) 市场占比已超过 99%。随着 n 型产品的释放, p 型单晶硅片市场占比压缩至 74.5%, n 型单晶硅片占比增长至 24.7%。随着下游对 n 型单晶产品的需求增大, 其市场占比也将进一步提升。多晶产品市场份额由 2022 年的 2.5% 下降至 0.8%, 未来, 多晶产品将存在于部分小众细分市场, 多晶硅片仍将存在, 但其市场占比将继续被单晶硅片压缩。

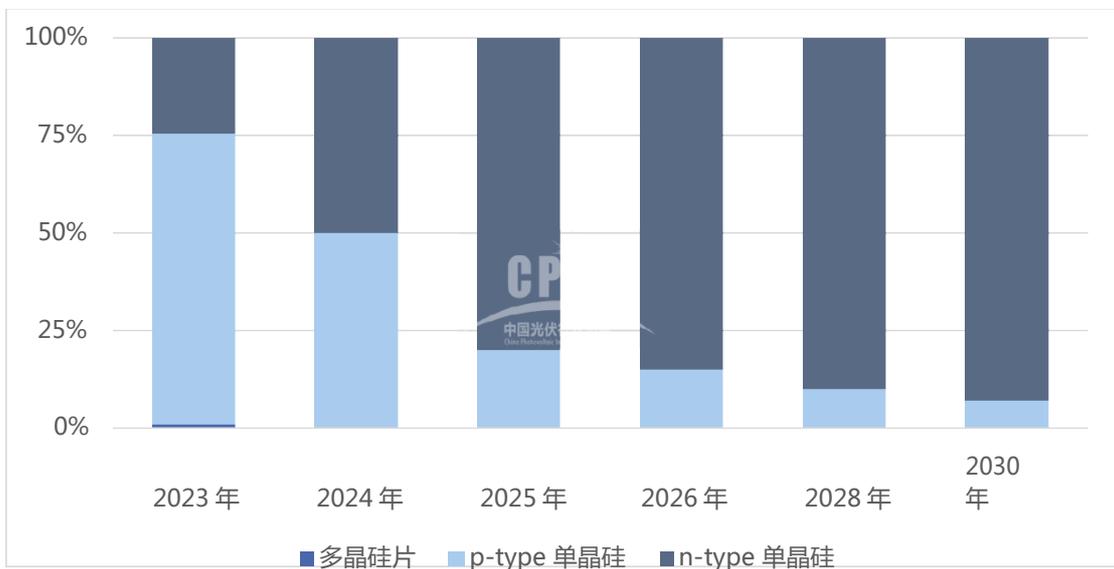


图 31 2023-2030 年不同类型硅片市场占比变化趋势

⁴ 本环节市场占比是各类产品在国内硅片企业总出货量 (含出口) 中的占比。

12、不同尺寸硅片市场占比

2023 年市场上硅片尺寸种类多样，包括 166mm 及以下硅片、182mm 方片、微矩形片、矩形片、210mm 方片等，且各占有一定的市场份额。其中，166mm 及以下、182mm 方片以及微矩形硅片占比分别为 2.0%、47.7%、20.3%，但接下来几年占比都将逐步减少，预计 166mm 及以下尺寸硅片 2026 年左右将退出市场，而 182mm 方片和微矩形片 2028 年或将淡出市场；2023 年，210mm 方片及矩形尺寸硅片市场占比分别为 20%、10%，以目前来看，两者可能成为未来的市场主流尺寸，市场占比或将迅速增长，但仍需要市场的不断验证。

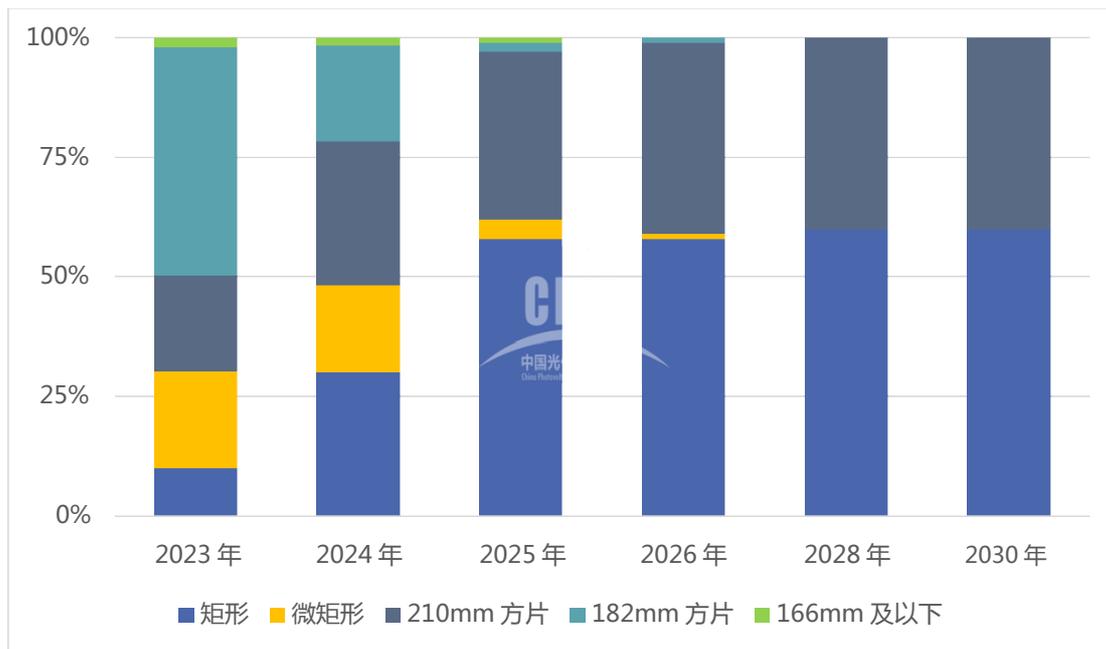


图 32 2023-2030 年不同尺寸硅片市场占比变化趋势

注：166mm 及以下尺寸硅片主要包括：M2 单晶硅片、标准多晶硅片、157mm 多晶硅片、161.7mm 全方片、161.7mm 类方片、163mm 类方片、166mm 类方片硅片等；

微矩形尺寸硅片主要包括：182mm*183.75mm、182mm*185.3mm 等；

矩形尺寸硅片主要包括：矩形 182mm*188mm、182mm*191.6mm、182mm*199mm、182mm*210mm 等。

（三）电池片环节⁵

表 1 各种晶硅电池名称缩写及释义对照表

名称缩写	各种晶硅电池释义
Al-BSF	铝背场电池 (Aluminium Back Surface Field) ——为改善太阳能电池的效率，在 p-n 结制备完成后，在硅片的背光面沉积一层铝膜，制备 P+层，称为铝背场电池。
PERC	发射极钝化和背面接触 (Passivated Emitter and Rear Contact) ——利用特殊材料在电池片背面形成钝化层作为背反射器，增加长波光的吸收，同时增大 p-n 极间的电势差，降低电子复合，提高效率。
TOPCon	隧穿氧化层钝化接触 (Tunnel Oxide Passivated Contact) ——在电池背面制备一层超薄氧化硅，然后再沉积一层掺杂硅薄层，二者共同形成了钝化接触结构。
HJT	具有本征非晶层的异质结 (Heterojunction Technology) ——在电池片里同时存在晶体和非晶体级别的硅，非晶硅的出现能更好地实现钝化效果。
IBC	交指式背接触 (Interdigitated Back Contact) ——把正负电极都置于电池背面，减少置于正面的电极反射一部分入射光带来的阴影损失。
MWT	金属穿透电极技术 (Metal-wrap through) ——通过在电池片上开孔并填充导电浆料而将电池正面电极引到背面，使得电池片的正、负电极均位于电池背面，从而发挥电池组件的低挡光、低应力衰减、不含铅等优势。
HBC	异质结背接触 (Heterojunction Back Contact) ——利用异质结 (HJT) 电池结构与交指式背接触 (IBC) 电池结构相结合，形成的新型太阳电池结构。这种电池结构结合了 IBC 电池高的短路电流与 HJT 电池高的开路电压的优势，因此能获得更高的电池效率。
TBC	隧穿氧化层钝化背接触 (Tunneling Oxide Passivated Back Contact) ——利用隧穿氧化层钝化接触 (TOPCon) 电池结构与交指式背接触 (IBC) 电池结构相结合，形成的新型太阳电池结构。这种电池结构结合了 IBC 电池高的短路电流与 TOPCon 优异的钝化接触特性，因此能获得更高的电池效率。

⁵ 若无特殊说明，本环节指标均以生产 182mm 尺寸电池为基准。

1、各种电池技术平均转换效率

2023 年，规模化生产的 p 型 BSF 多晶黑硅电池平均转换效率达到 19.7%，较 2022 年提高 0.2 个百分点；p 型 PERC 多晶黑硅电池平均转换效率达到 21.4%，较 2022 年提高 0.3 个百分点；p 型 PERC 铸锭单晶电池平均转换效率达到 22.7%，较 2022 年提高 0.2 个百分点。多晶产品下游需求不强，不能提供效率提升的动力，转换效率增长点主要由硅片质量提升所带来，未来效率也将基本维持现状，不会有较大提升。2023 年，p 型单晶电池均采用 PERC 技术，平均转换效率达到 23.4%，较 2022 年提高 0.2 个百分点；n 型 TOPCon 电池平均转换效率达到 25.0%，异质结电池平均转换效率达到 25.2%，两者较 2022 年均有较大提升。未来随着生产成本的降低及良率的提升，n 型电池将会成为电池技术的主要发展方向之一，效率也将较快提升。

表 2 2023-2030 年各种电池技术平均转换效率变化趋势

	分类	2023 年	2024 年	2025 年	2026 年	2028 年	2030 年
p 型单晶	PERC p 型单晶电池	23.4%	23.6%	23.7%	23.8%	23.9%	24.0%
n 型单晶	TOPCon 单晶电池	25.0%	25.4%	25.7%	26.0%	26.3%	26.5%
	异质结电池	25.2%	25.8%	26.2%	26.4%	26.6%	26.8%

注：均只记正面效率；n 型异质结单晶电池统计规格为 182mm 半片与 210mm 半片。

2、不同电池技术路线市场占比

2023 年，新投产的量产产线以 n 型电池片产线为主。随着 n 型电池片产能陆续释放，PERC 电池片市场占比被压缩至 73.0%。n 型电池片占比合计达到约 26.5%，其中 n 型 TOPCon 电池片市场占比约 23.0%，异质结电池片市场占比约 2.6%，XBC 电池片市场占比约 0.9%，相较 2022 年都有大幅提升。2023 年，BSF 产品以及 MWT 产品电池片市场占比约 0.5%。

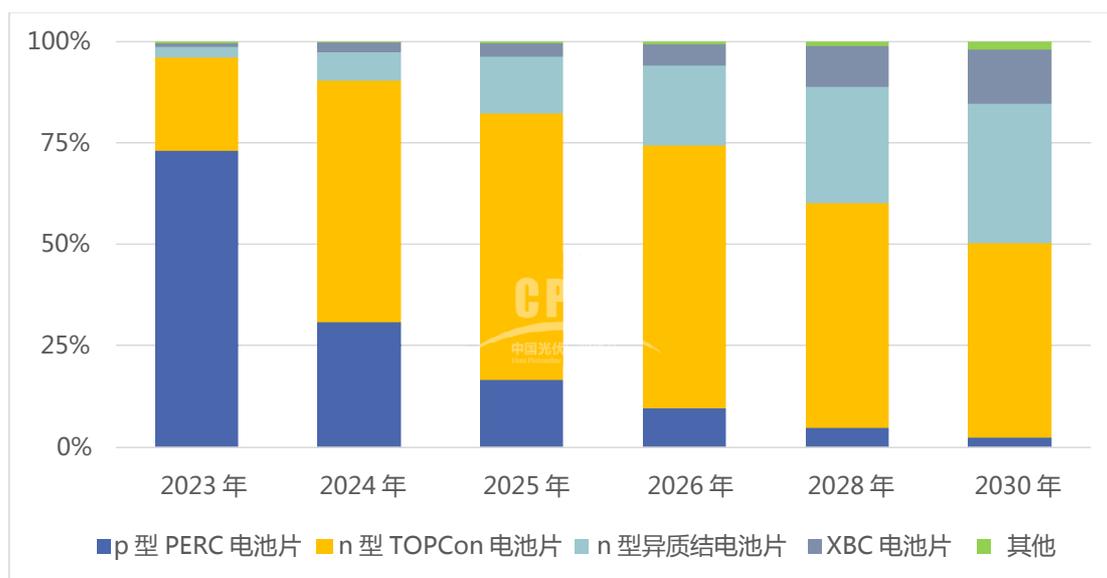


图 33 2023-2030 年不同电池技术路线市场占比变化趋势

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/777140021102006061>