



2024-2025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
赛迪智库集成电路研究所

中国光伏产业发展路线图

(2024-2025 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）

丁小海	万 松	弓传河	马 强	王小勇	王文静	王亚萍	王昭云
王 琤	王 莉	王莹莹	王栩生	方 艳	甘新业	田清勇	田 誉
田 磊	史旭松	丛建鸥	邢国强	邢莹莹	毕恩兵	吕锦标	朱 磊
任宇航	刘玉颖	刘亚锋	刘松民	刘宗豪	刘建东	刘 莹	刘 晓
刘 涛	许洪华	孙 云	孙丽平	纪振双	严大洲	李 峰	李 晨
李琼慧	李 锋	李新军	李 静	李燕燕	杨天锋	杨立红	肖鹏军
时璟丽	吴 倩	何 帅	宋登元	张一峰	张小明	张 军	张 迟
张 莹	张雪囡	张 敏	陆荷峰	陈达明	陈伟文	陈国清	陈奕峰
陈 嘉	欧阳洁瑜	周志英	周 肃	郑 策	宗贝贝	孟 磊	赵志国
赵旭东	胡 伟	胡 琴	南亚雄	柳 典	宫 鹏	袁 超	莫 群
贾迎雪	夏正月	夏新中	钱洪强	殷晋杰	高 原	郭大伟	诸荣耀
黄旭光	黄国华	黄 铭	梅 麟	盛 健	常传波	逯好峰	蒋方丹
韩庆辉	焦美萍	谢益敏	蔡子贺	蔡永梅	颜步一	潘和平	戴 健

编写组

刘译阳、江华、王青、丁语珊、郝敏、白桦林、张天宇、戴思源、解赓宸、凌黎明

支持单位

国家发展改革委能源研究所	江苏美科太阳能科技股份有限公司
国网能源研究院新能源与统计研究所	江苏天合储能有限公司
水电水利规划设计总院	江苏中信博新能源科技股份有限公司
电力规划设计总院	锦浪科技股份有限公司
南开大学	锦州阳光能源有限公司
华中科技大学	晋能清洁能源科技股份公司
厦门大学	晶澳太阳能科技股份有限公司
TCL 中环新能源科技股份有限公司	晶科电力科技股份有限公司
阿特斯阳光电力集团股份有限公司	晶科能源有限公司
安徽华晟新能源科技股份有限公司	昆山协鑫光电材料有限公司
棒杰新能源科技有限公司	龙焱能源科技(杭州)有限公司
北京海博思创科技股份有限公司	隆基绿能科技股份有限公司
北京建龙重工集团有限公司	明冠新材料股份有限公司
北京鉴衡认证中心有限公司	宁夏银星能源股份有限公司
北京京运通科技股份有限公司	青岛高测科技股份有限公司
北京科诺伟业科技股份有限公司	青海丽豪清能股份有限公司
北京瑞科同创能源科技有限公司	三一硅能有限公司
常州百佳年代薄膜科技股份有限公司	厦门科华数能科技有限公司
常州聚和新材料股份有限公司	陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司
常州亚玛顿股份有限公司	陕西众森电能科技有限公司
常州亿晶光电科技有限公司	上海爱旭新能源股份有限公司
成都中建材光电材料有限公司	上海海优威新材料股份有限公司
大唐环境产业集团股份有限公司	上能电气股份有限公司
东方日升新能源股份有限公司	上海恒羲光伏科技有限公司
福建金石能源有限公司	深圳古瑞瓦特新能源有限公司
福建闽东电力股份有限公司	深圳科士达科技股份有限公司
广州市儒兴科技股份有限公司	深圳市捷佳伟创新能源装备股份有限公司
国家能源集团技术经济研究院	深圳市首航新能源股份有限公司
国晟世安科技股份有限公司	深圳市英威腾光伏科技有限公司
杭州福斯特应用材料股份有限公司	深圳现象光伏科技有限公司
杭州纤纳光电科技有限公司	四川永祥股份有限公司
河南安彩高科股份有限公司	苏州博萃循环科技有限公司
湖南旗滨光能科技有限公司	苏州赛伍应用技术股份有限公司
华为技术有限公司	苏州腾晖光伏技术有限公司
华为数字能源技术有限公司	苏州宇邦新型材料股份有限公司
极电光能有限公司	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
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
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
浙江索特材料科技有限公司
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
中国新型储能产业创新联盟

序 言

气候变化是全球性问题，世界各国认识到需要共同采取行动应对这一挑战。《巴黎协定》等国际协议的达成，体现了国际社会在减排温室气体、控制全球气温上升方面的共同意愿和责任，为全球应对气候变化提供了基本框架和目标导向。2020年9月22日，习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上宣布，中国力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值、2060年前实现碳中和。推进碳达峰碳中和是党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策，既是对国际社会的庄严承诺，也是推动高质量发展的内在要求。为实现双碳目标，发展可再生能源势在必行，不仅有助于推动我国加快能源转型，提高可再生能源的占比，也能增强能源供应的稳定性和安全性，降低对传统化石能源的依赖。

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。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！

中国光伏行业协会执行秘书长



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性新兴产业，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八版《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（2024-2025 年）》（以下简称《路线图（2024-2025 年）》），内容涵盖了光伏产业链上下游各环节，包括多晶硅、硅棒/硅片、电池、组件、薄膜、逆变器、系统、新型储能等各环节共 76 个关键指标。《路线图（2024-2025 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 2024 年发展情况并预测了 2025、2026、2027、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（2024-2025 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
2025 年 2 月 27 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	3
三、产业链各环节关键指标	6
(一) 多晶硅环节.....	6
1、还原电耗.....	6
2、冷氢化电耗.....	6
3、综合电耗	7
4、水耗	8
5、蒸汽耗量	8
6、综合能耗	9
7、硅单耗	9
8、还原余热利用率.....	10
9、棒状硅和颗粒硅市场占比	11
10、三氯氢硅法多晶硅生产线投资成本	11
11、多晶硅人均产出量.....	12
(二) 硅片环节.....	13
1、拉棒电耗.....	13
2、切片电耗	13
3、拉棒单炉投料量.....	14
4、耗硅量	15
5、耗水量	15
6、硅片厚度	16
7、金刚线母线直径.....	17
8、单位方棒在金刚线切割下的出片量	17
9、拉棒/切片单位产能设备投资额	18
10、硅片人均产出率	19
11、不同类型硅片市场占比	20
12、不同尺寸硅片市场占比.....	21
(三) 电池片环节.....	22
1、各种电池技术平均转换效率.....	23
2、不同电池技术路线市场占比.....	23
3、电池铝浆消耗量.....	24
4、电池银浆消耗量.....	24
5、异质结电池片金属电极技术市场占比	26

6、栅线印刷技术市场占比	27
7、电池片发射极方块电阻	28
8、TOPCon 电池片背钝化技术市场占比	28
9、异质结电池片 TCO 沉积方法市场占比	29
10、电池正面细栅线宽度	29
11、各种主栅市场占比	30
12、电池线人均产出率	32
13、电耗	33
14、水耗	34
15、电池片单位产能设备投资额	34
(四) 组件环节	35
1、不同类型组件功率	35
2、单/双面发电组件市场占比	35
3、不同电池片互联技术的组件市场占比	36
4、组件封装用钢化镀膜玻璃透光率	37
5、不同材质正面盖板组件市场占比	37
6、不同厚度的前盖板玻璃组件市场占比	38
7、不同封装材料的市场占比	39
8、树脂粒子在地化供应率	39
9、不同背板材料市场占比	40
10、组件电耗	41
11、组件人均产出率	41
12、组件单位产能设备投资额	42
(五) 薄膜太阳能电池/组件	43
1、CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率	43
2、CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率	43
3、III-V 族薄膜太阳能电池转换效率	44
4、钙钛矿太阳能电池转换效率	44
(六) 逆变器	47
1、不同类型逆变器市场占比	47
2、逆变器人均产出率	47
3、逆变器单机主流额定功率	48
4、逆变器功率密度	48
5、逆变器功率模块在地化供应率	49
6、逆变器主控制芯片在地化供应率	49
7、逆变器单位容量设备投资额	50
(七) 系统环节	51
1、全球光伏新增装机量	51

2、国内光伏新增装机量	51
3、光伏应用市场	52
4、我国光伏系统初始全投资及运维成本	53
5、不同等效利用小时数 LCOE 估算	56
6、不同系统电压等级市场占比	58
7、跟踪系统市场占比	58
(八) 新型储能环节	60
1、新型储能年度新增装机规模	61
2、不同新型储能技术市场占比	61
3、不同锂电储能温控技术占比	62
4、锂电储能系统年度平均价格	63
5、锂电储能系统能量转换效率	63
6、锂电储能电池单体电芯容量	64
7、锂电储能电池单体电芯循环寿命	65
8、锂电储能单体电芯质量/体积能量密度	65

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。

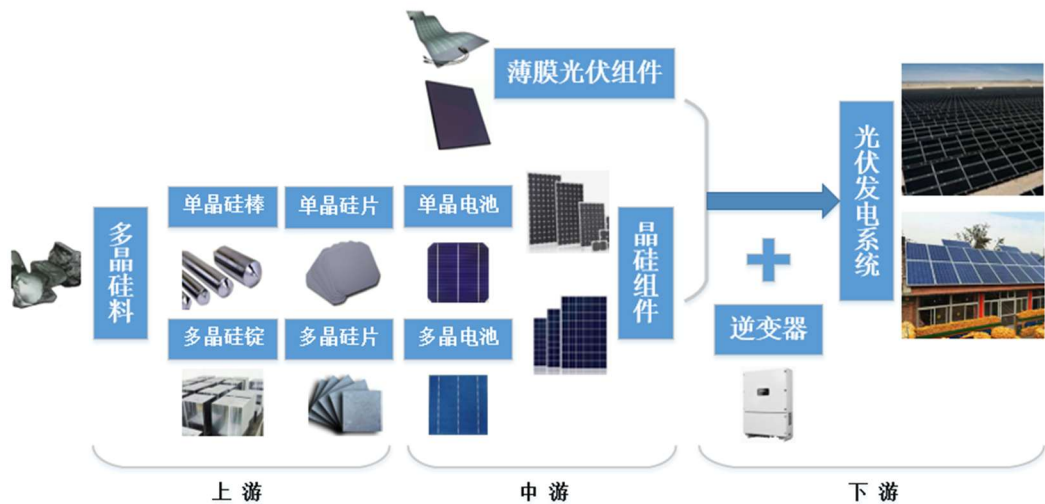


图1 光伏产业链构成

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/硅片、电池片、组件、薄膜、逆变器、系统、新型储能等各个环节抽取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，在前八版的基础上，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 2024-2030 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。2024 年光伏行业技术不断发展，产业不断升级，路线图作为指导行业发展的重要工具，也在持续演进以适应新的市场需求和技术趋势。经与行业专家探讨，本次路线图针对技术发展情况新增或删除部分指标，如新增 XBC 电池和组件相关指标，栅线印刷技术市场占比增加金属板印刷市场占比指标，新增

刚性/柔性/钙钛矿-晶硅叠层/钙钛矿-钙钛矿叠层太阳能电池转换效率指标，删除铸锭相关指标，删除全片、半片及多分片组件市场占比指标等，以期通过动态调整，及时反映最新的技术进展，也为产业升级明确发展方向。

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，2024 年，全国多晶硅产量达 182 万吨，同比增长 23.6%。

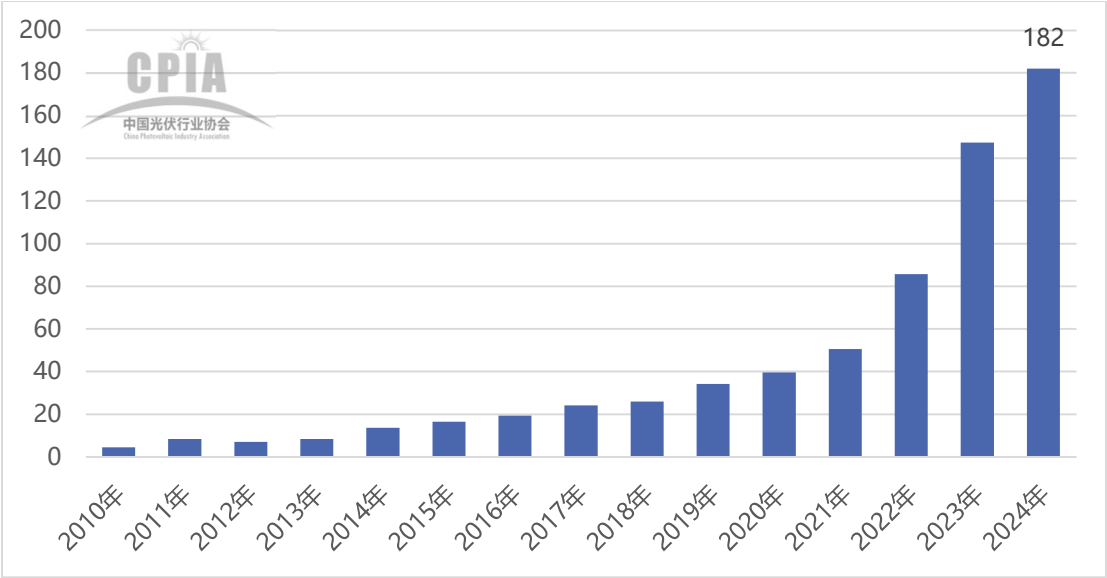


图 2 2010-2024 年全国多晶硅产量情况 (单位: 万吨)

硅片方面，2024 年全国硅片产量约为 753GW，同比增长 12.7%。

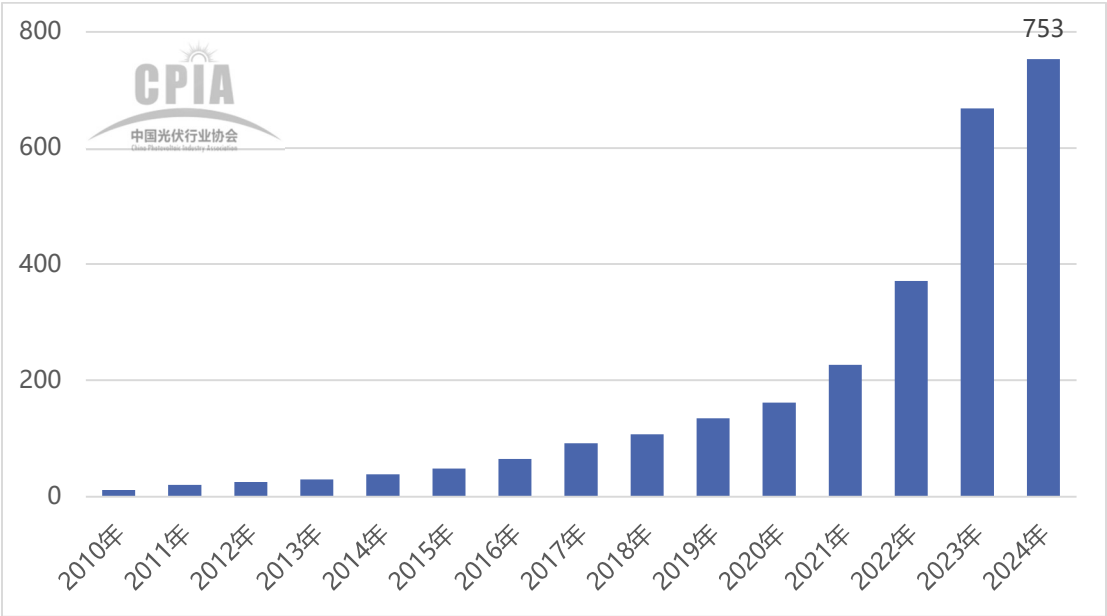


图 3 2010-2024 年全国硅片产量情况 (单位: GW)

电池片方面，2024 年，全国电池片产量约为 654GW，同比增长 10.6%。

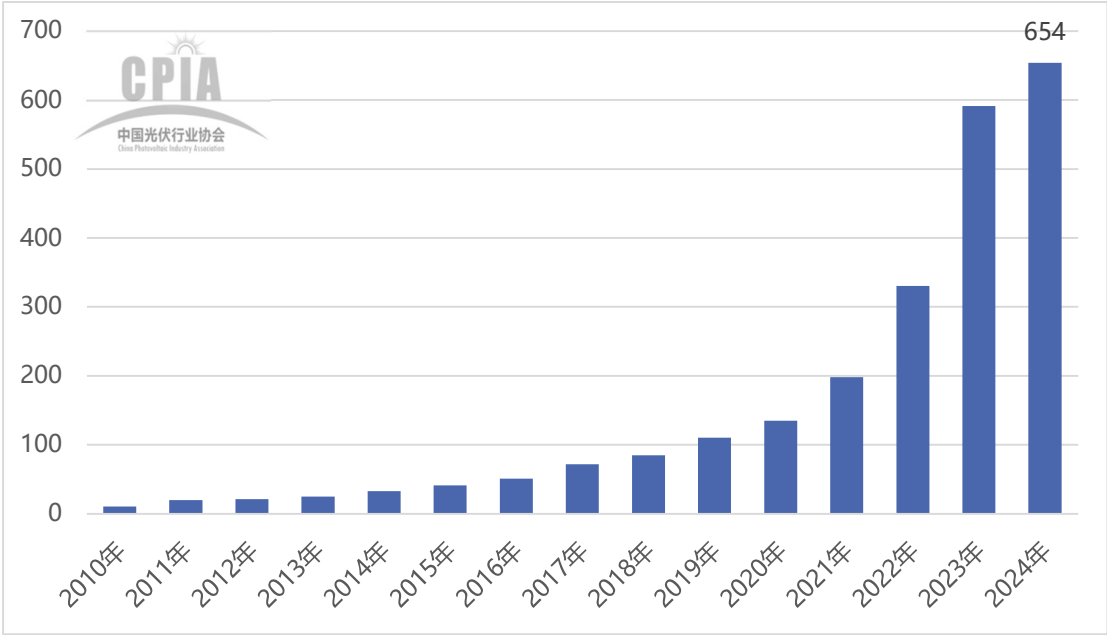


图 4 2010-2024 年全国电池片生产情况 (单位: GW)

组件方面，2024 年，全国晶硅组件产量达到 588GW，同比增长 13.5%。

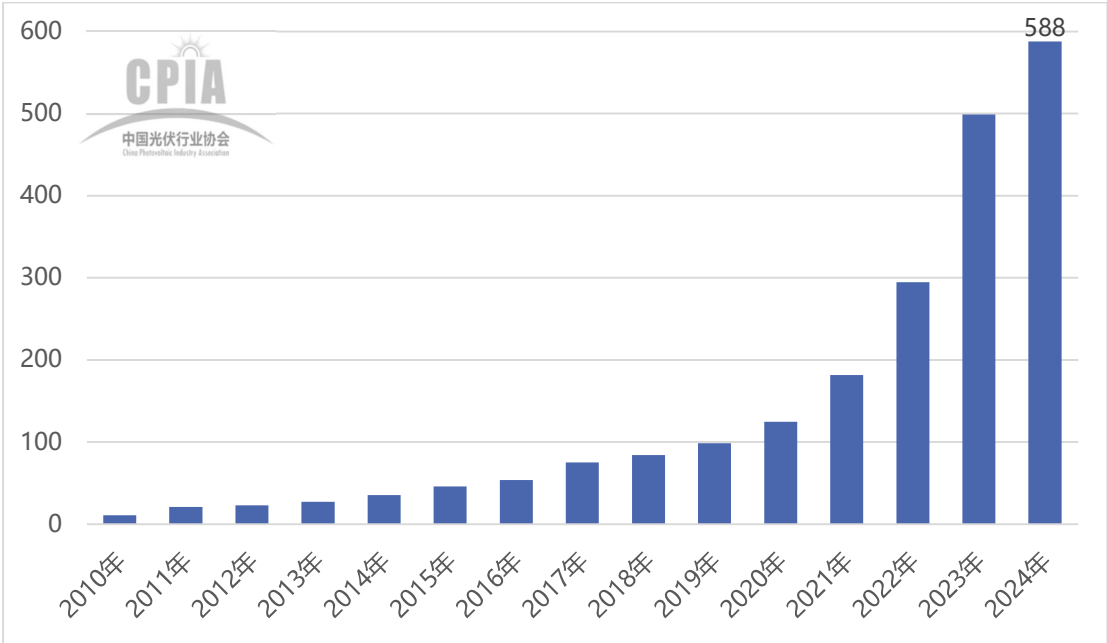


图 5 2010-2024 年全国晶硅组件生产情况 (单位: GW)

光伏市场方面, 2024 年全国太阳能光伏新增装机容量 277.57GW, 光伏累计并网装机容量超过 880GW, 新增和累计装机容量均为全球第一。

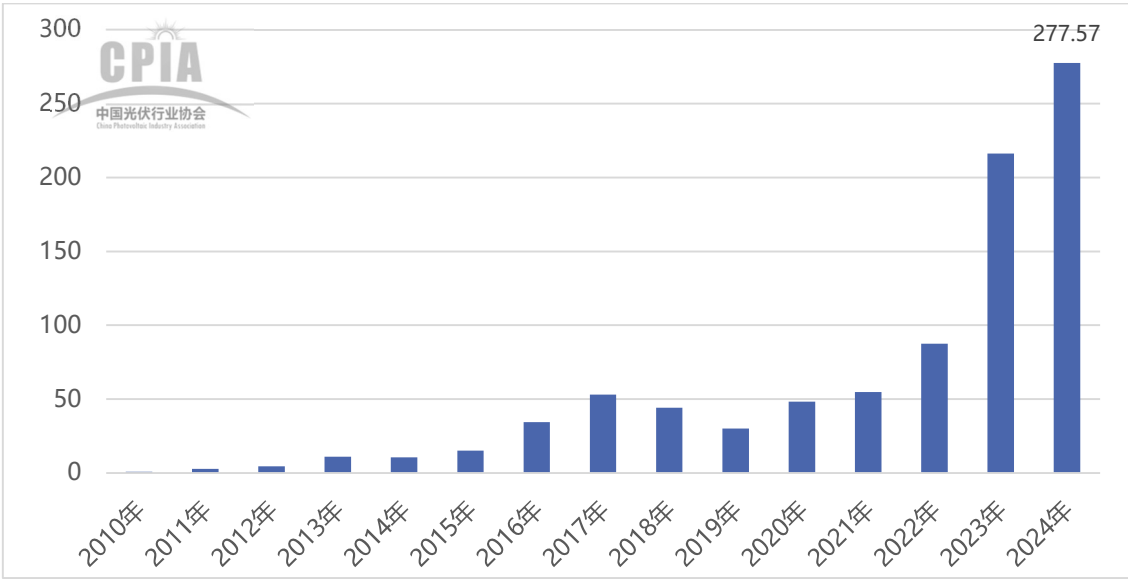


图 6 2010-2024 年全国太阳能光伏新增装机容量 (单位: GW)

产品效率方面, 2024 年, 规模化生产的 n 型 TOPCon 电池片行业平均转换效率达到 25.4%, HJT 电池片行业平均转换效率达到 25.6%, XBC 电池片行业平均转换效率达到 26.0%。

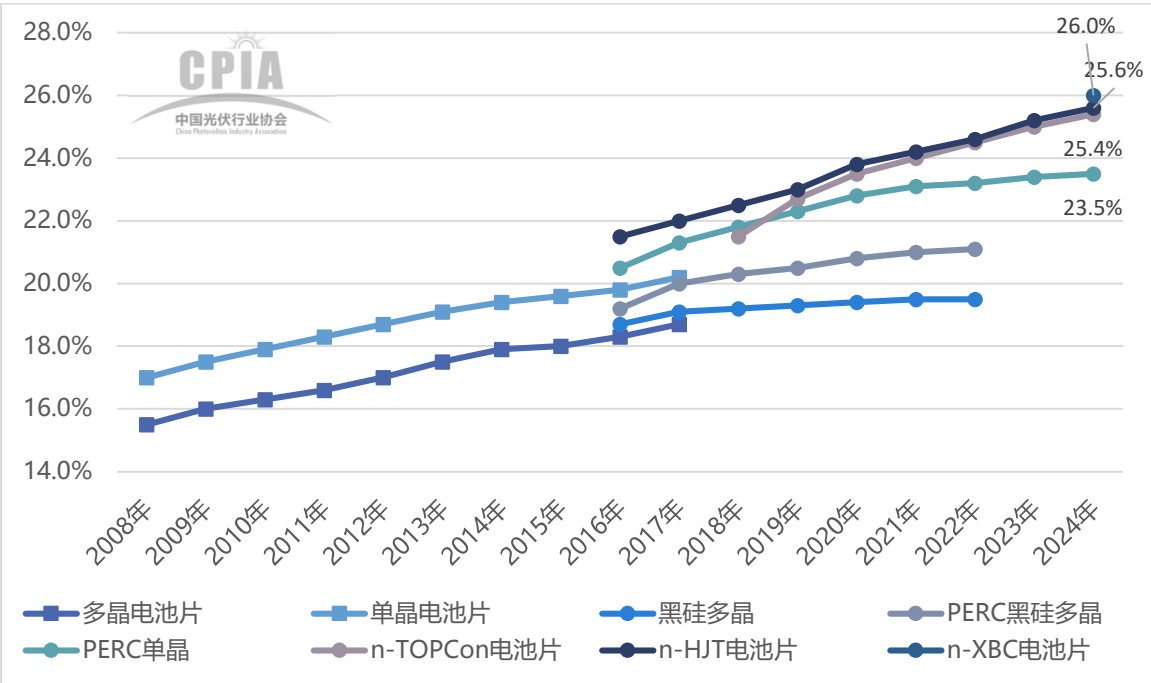


图 7 2008-2024 年国内电池片量产转换效率发展趋势

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。2024 年随着还原炉炉型规格变大、硅芯尺寸的增加，设备稳定性得到提升，多晶硅还原电耗指标进一步下降，平均还原电耗较 2023 年下降 3.5%，为 41.5kWh/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 37.0kWh/kg-Si。

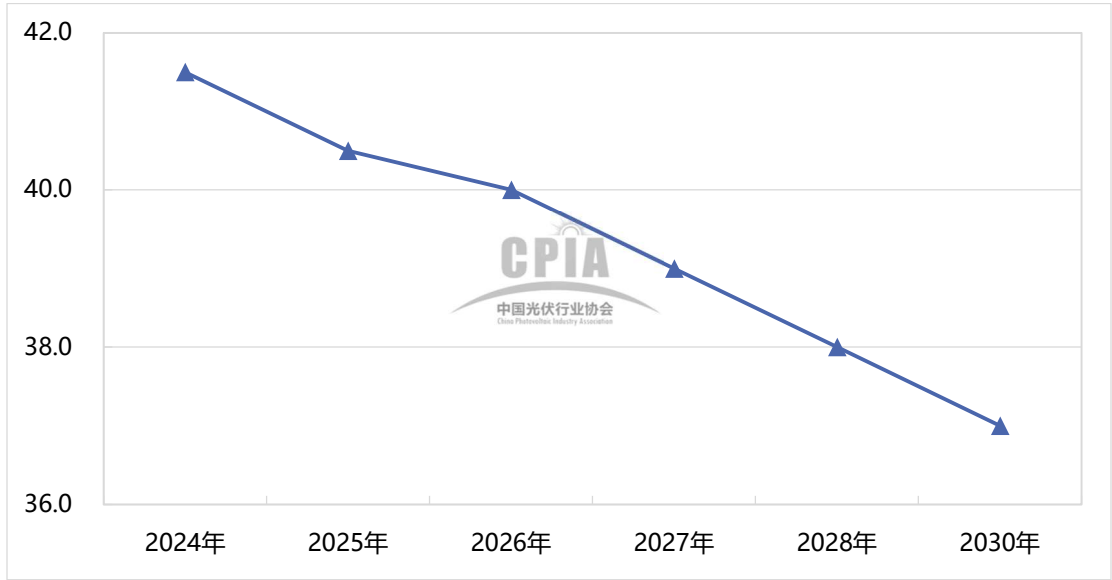


图 8 2024-2030 年还原电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

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。得益于氢化量的降低，2024 年冷氢化平均电耗同比下降 12.5%，在 3.5kWh/kg-Si 左右，到 2030 年有望下降至 2.8kWh/kg-Si。技术进步的手段包括使用大炉型、开发新型反应催化剂、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。

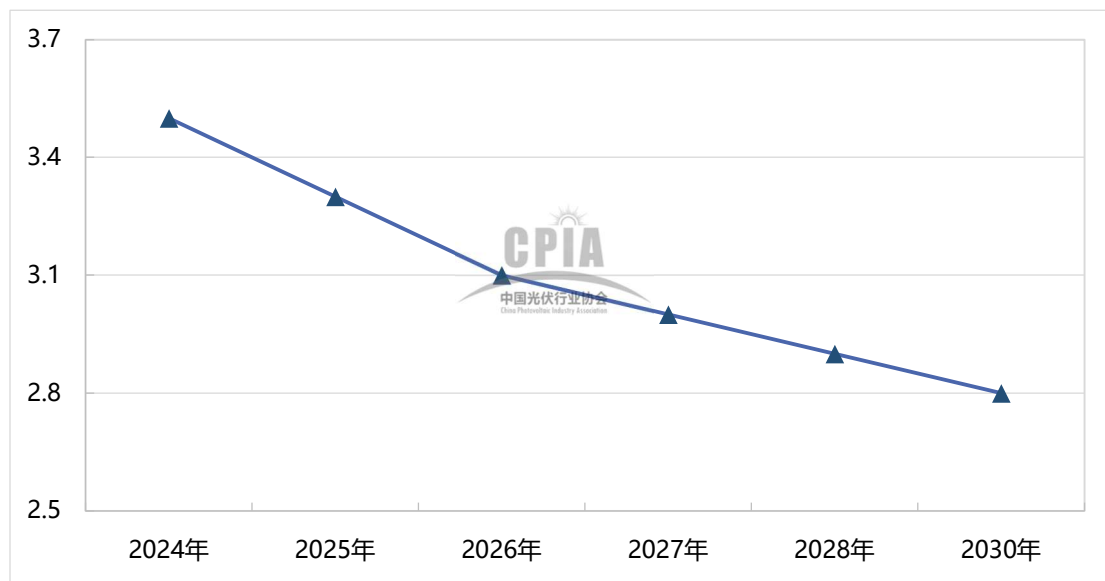


图9 2024-2030年冷氢化电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si)

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。2024年，多晶硅平均综合电耗已降至 54.5kWh/kg-Si，同比下降 4.4%。未来随着生产装备技术提升、系统优化能力提高、生产规模增大等因素影响，预计至 2030 年有望下降至 49kWh/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 55%-68%。

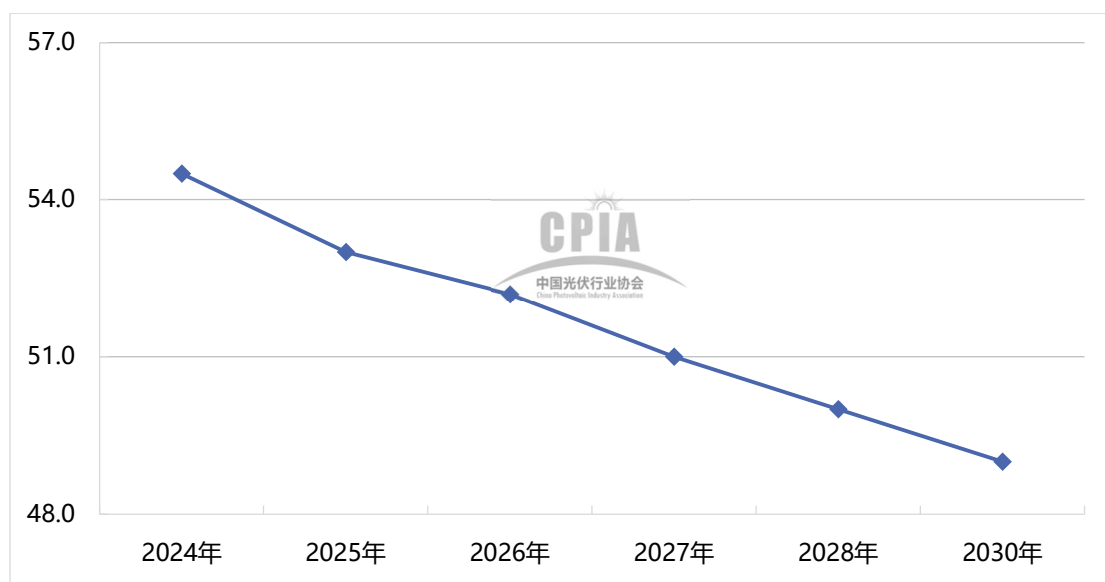


图10 2024-2030年综合电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si)

4、水耗²

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。2024 年，多晶硅平均水耗在 60.0kg/kg-Si 的水平，同比下降 25%。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 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 43kg/kg-Si 的水平。目前硅烷流化床法颗粒硅水耗较三氯氢硅法棒状硅低 30%左右。

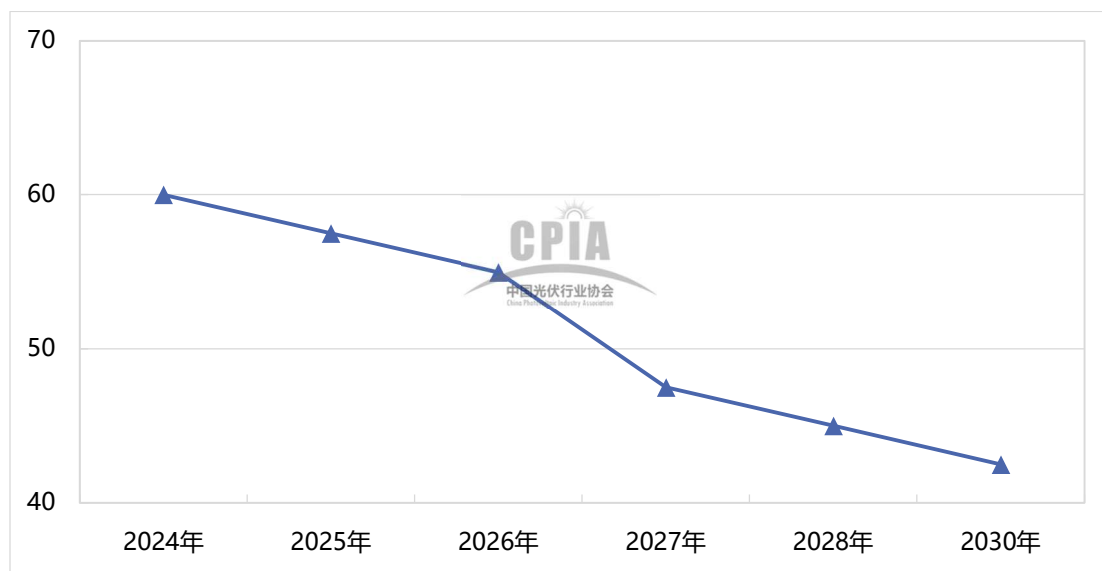


图 11 2024-2030 年水耗变化趋势 (单位: kg/kg-Si)

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。2024 年部分企业已实现零外购蒸汽量，考虑到新疆等寒冷地区的特殊地域需求，2024 年企业蒸汽耗量均值为 7.7kg/kg-Si 左右，同比下降 15.4%。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。目前硅烷流化床法颗粒硅蒸汽耗量是三氯氢硅法棒状硅的 3 倍左右。

² 为详细展示水耗指标变化情况，2024 版路线图水耗单位从 t/kg-Si 修改为 kg/kg-Si。

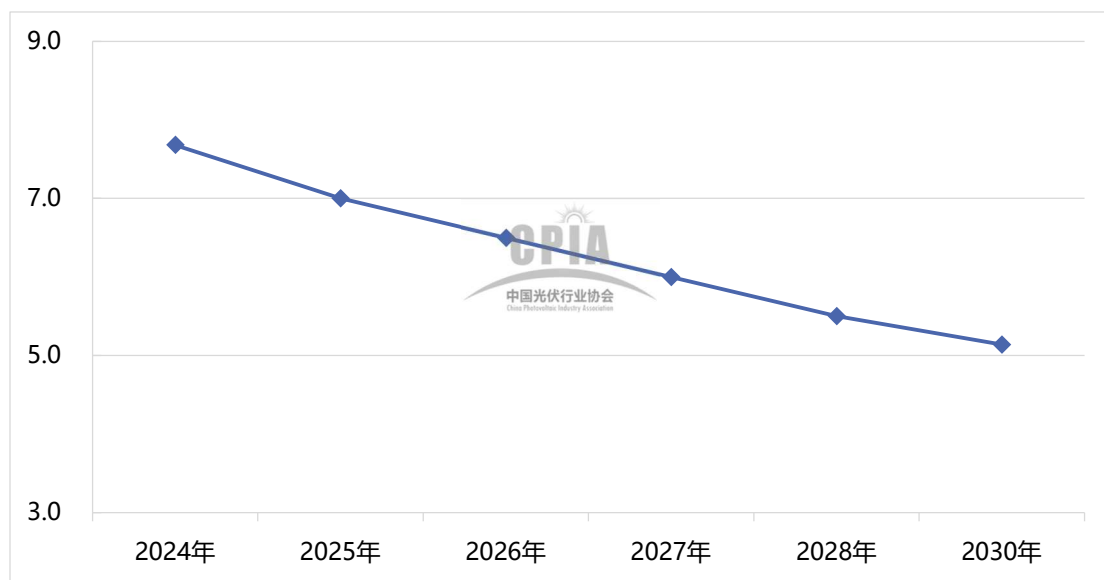


图 12 2024-2030 年蒸汽耗量变化趋势 (单位: kg/kg-Si)

6、综合能耗

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，2024 年三氯氢硅法多晶硅企业综合能耗平均值为 7.4kgce/kg-Si，同比下降 8.6%，随着技术进步和能源的综合利用，到 2030 年预计可降到 6.5kgce/kg-Si。

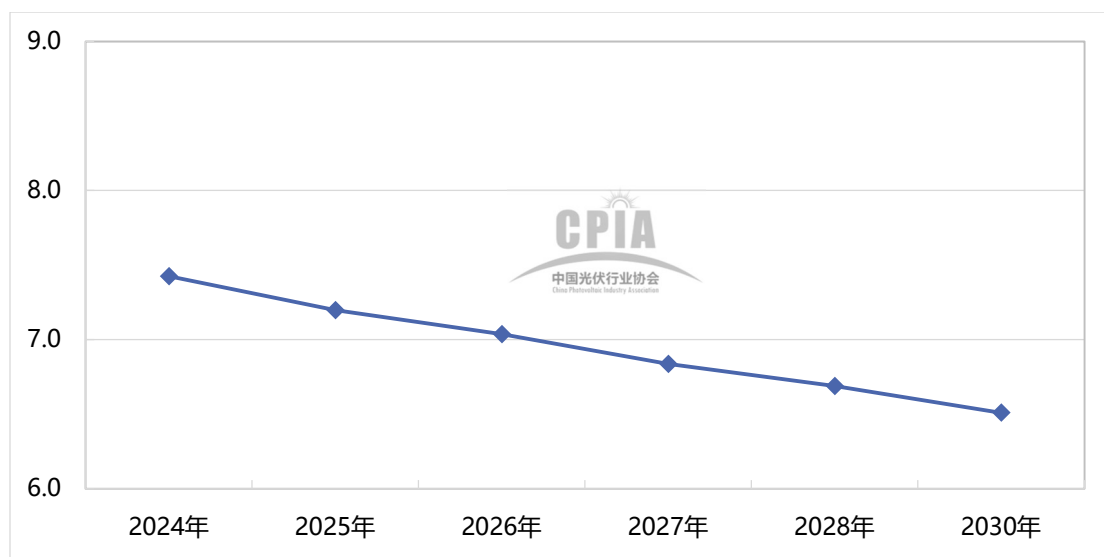


图 13 2024-2030 年综合能耗变化趋势 (单位: kgce/kg-Si)

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。2024 年，硅烷流化床法与三氯氢硅法硅耗均在 1.07kg/kg-Si 水平，且未来 5 年内变化幅度

不大。随着氢化水平的提升，副产物回收利用率增强，预计未来新上项目会拉低硅耗水平，到2030年将降低到1.06kg/kg-Si。

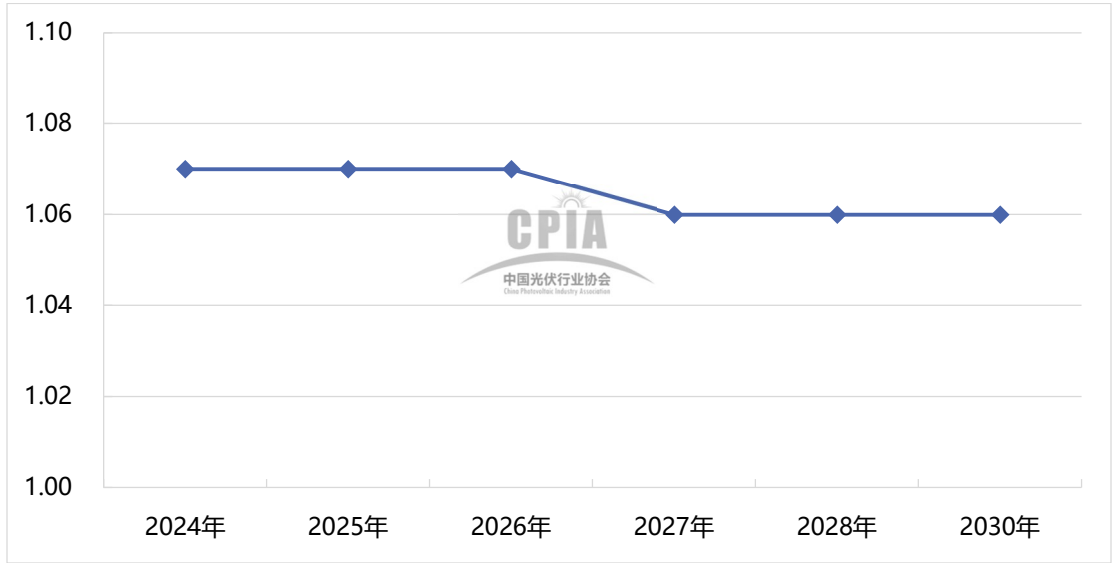


图 14 2024-2030 年硅单耗变化趋势（单位：kg/kg-Si）

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。2024 年，多晶硅还原余热利用率平均水平在 82.0%，较 2023 年提升了 0.1 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，但上升空间有限，考虑设备本身散热和尾气带走热等影响，预计 2030 年还原余热利用率将会达到 83.0%。

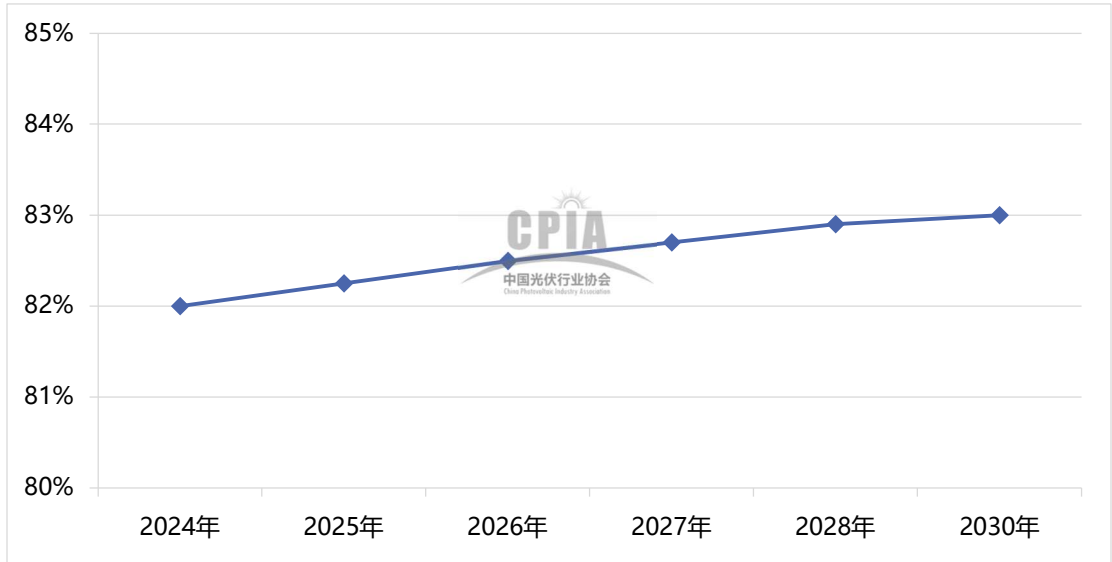


图 15 2024-2030 年还原余热利用率变化趋势

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。2024 年棒状硅市场占比为 85.6%，颗粒硅占 14.4%。未来随着下游市场对颗粒硅的逐渐认可，以及拉晶技术的进步，颗粒硅的市场占比有望继续提升，2030 年颗粒硅与棒状硅市场占比分别可达 23.9%和 76.1%。

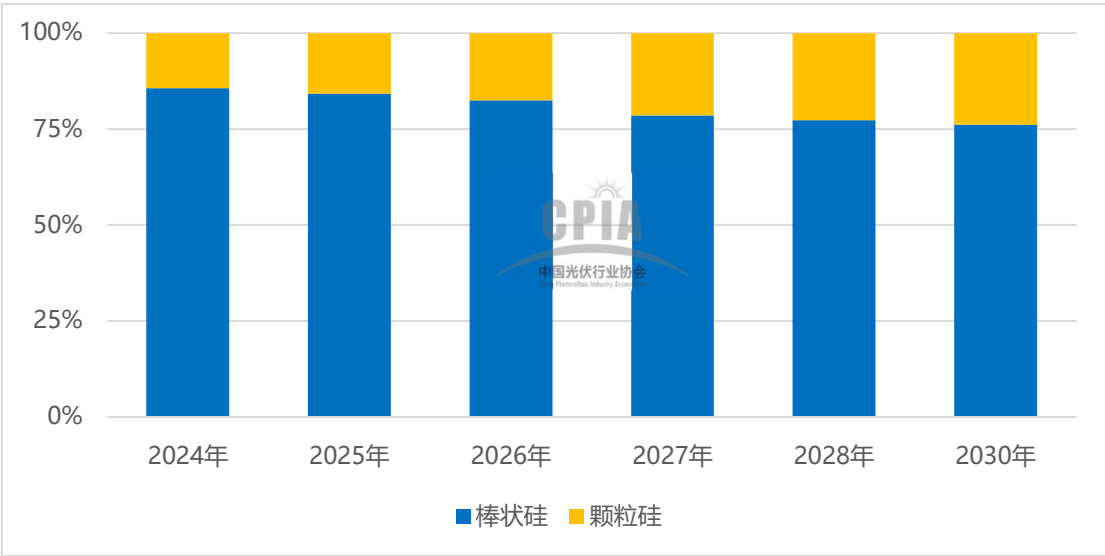


图 16 2024-2030 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势

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 55%-60%。2024 年随着材料成本的下降，万吨级多晶硅生产线投资成本为 0.8 亿元/千吨，较 2023 年下降 0.1 亿元/千吨。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逐年下降。预计到 2030 年，千吨投资可下降至 0.70 亿元。

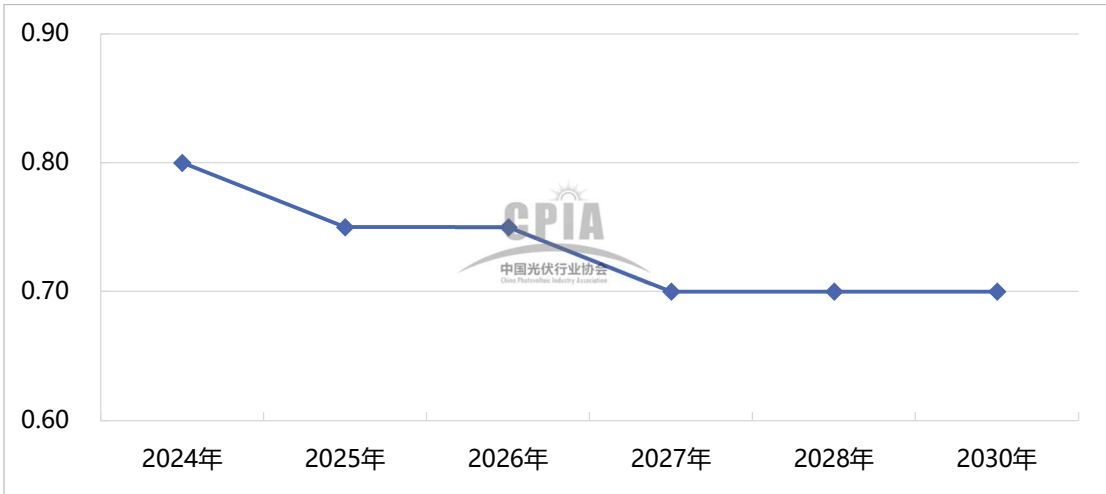


图 17 2024-2030 年三氯氢硅法多晶硅生产线投资成本变化趋势（单位：亿元/千吨）

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，多晶硅工厂的直接员工的人均产出（不含管理人员）也快速提升。2024年多晶硅生产线人均产出量为70吨/(人·年)，同比提升16.7%，这与单线产能提升、系统集成化等因素有关。随着多晶硅新投产线单线规模增大，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95吨/(人·年)。

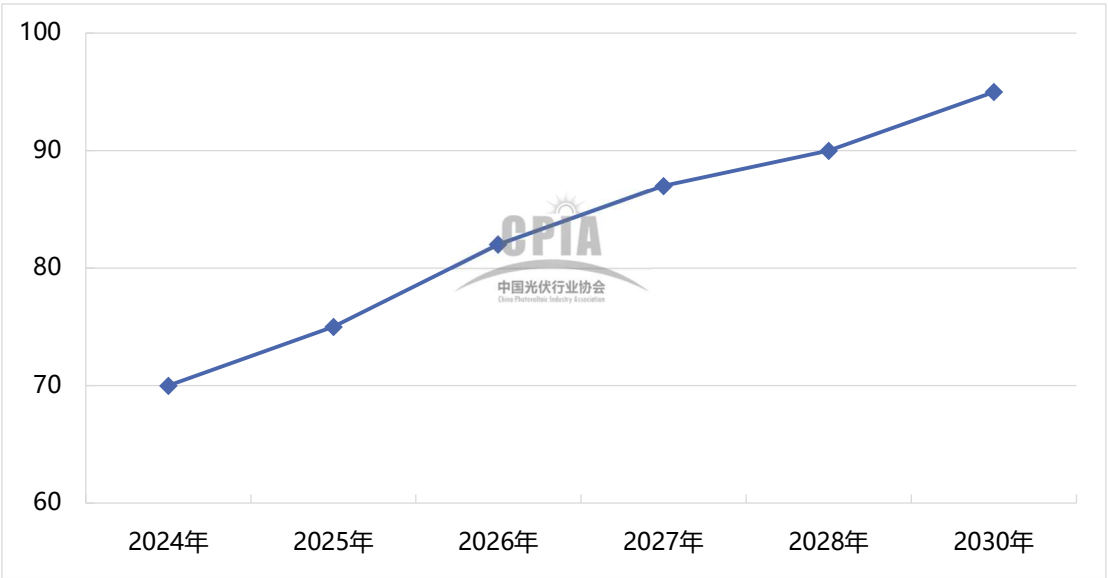


图 18 2024-2030 年多晶硅生产线人均产出量变化趋势（单位：吨/(人·年)）

（二）硅片环节³

1、拉棒电耗

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。2024 年，拉棒平均电耗水平从 2023 年 23.4kWh/kg-Si 下降至 22.3kWh/kg-Si（方棒）。

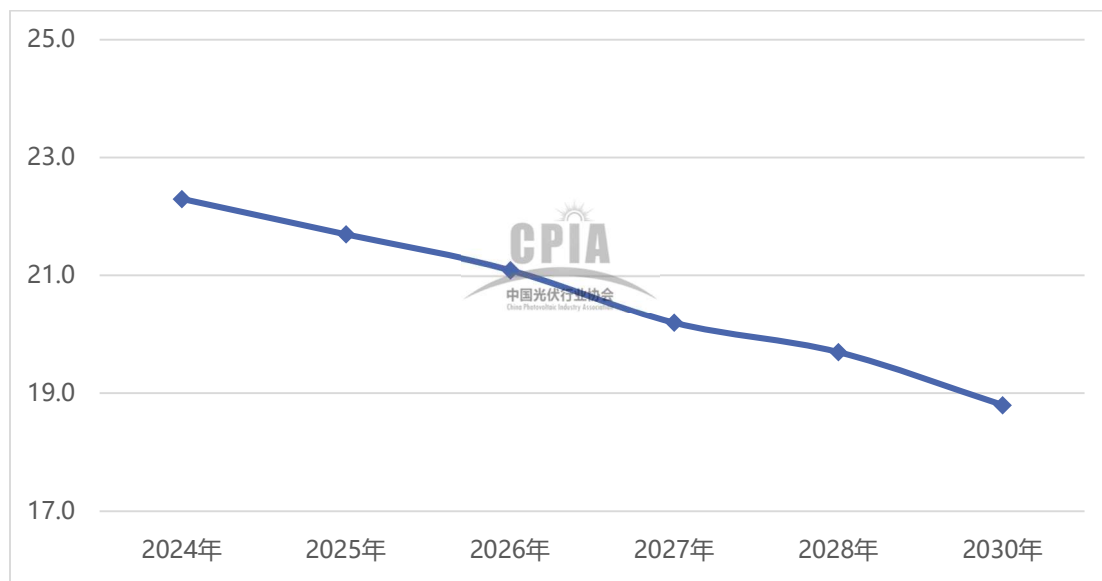


图 19 2024-2030 年拉棒电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

注：方棒指硅棒开方之后的产品，本指标数据范围含开方电耗。

2、切片电耗

切片电耗是指通过切片工序，从方棒到成品硅片所消耗的电量。2024 年，切片电耗约为 7.9 万 kWh/百万片，较 2023 年小幅下降，主要原因是硅片市场的薄片化，切片装备技术提升，出片率、良率增加。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。

³ 若无特殊说明，本环节指标均以生产 182mm 尺寸硅片为基准。由于铸锭市场缩减，因此本年度开始删除铸锭相关指标。

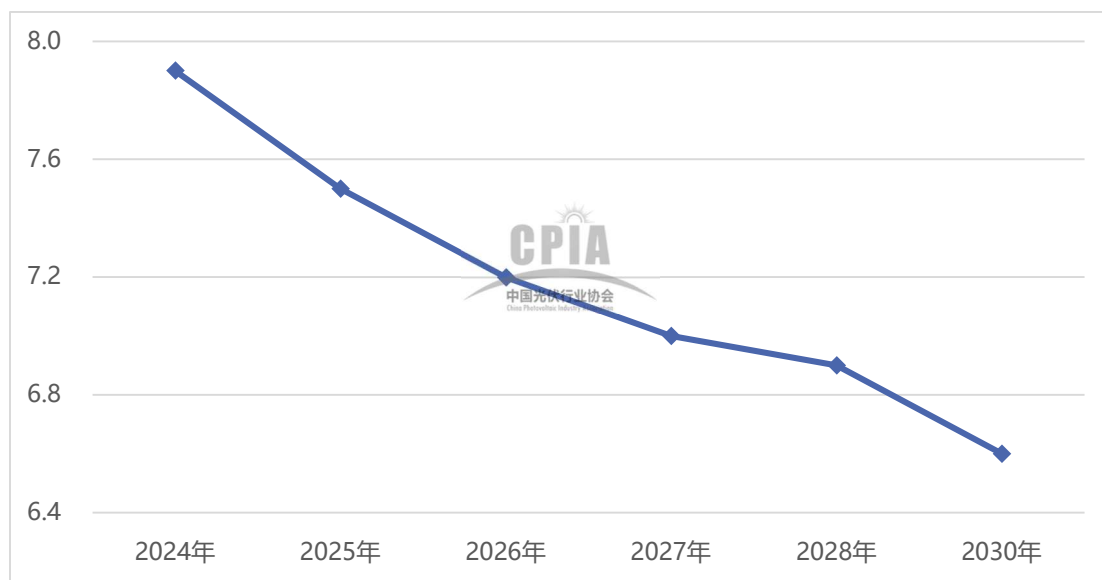


图 20 2024-2030 年切片电耗变化趋势 (单位: 万 kWh/百万片)

3、拉棒单炉投料量

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。2024 年,拉棒单炉投料量约为 3700kg,较 2023 年的 3300kg 有较大幅提升,主要是由于大尺寸热场配置的增加及其稳定性的提高、坩埚质量不断提升等原因。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。

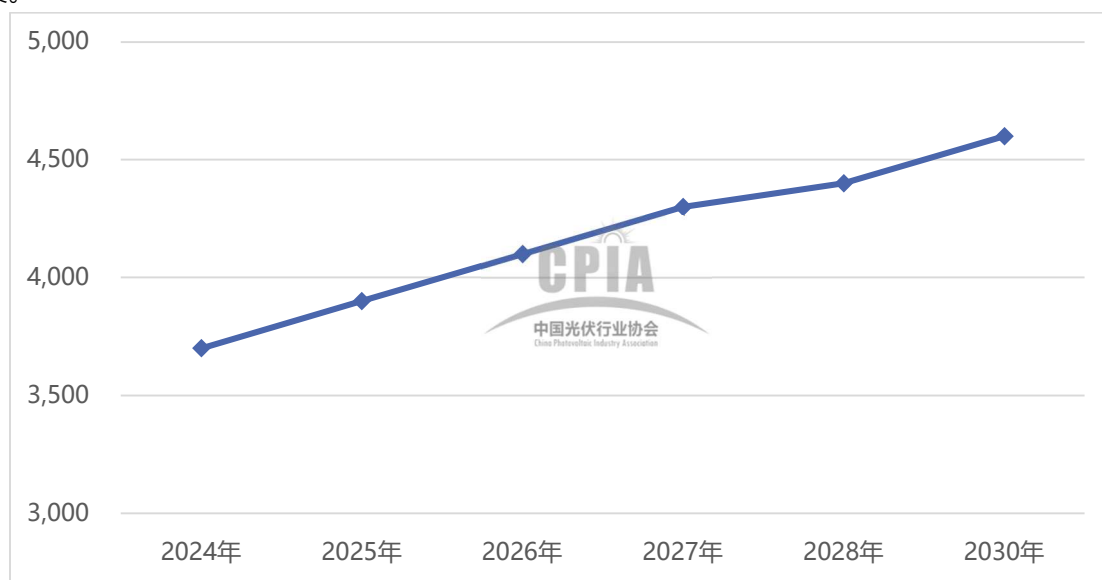


图 21 2024-2030 年拉棒单炉投料量变化趋势 (单位: kg)

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）。2024 年拉棒耗硅量为 1.060kg/kg，与 2023 年基本持平。未来随着降低清洗、破碎环节的损耗，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，减少机加工损耗量，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。

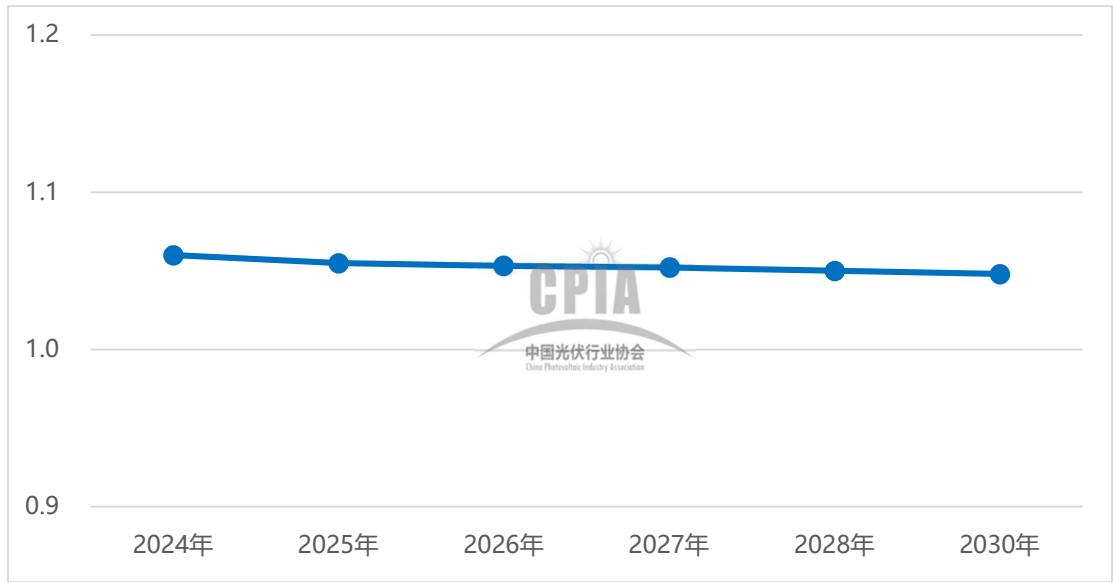


图 22 2024-2030 年拉棒耗硅量变化趋势 (单位: kg/kg)

5、耗水量

切片工序取水量包括切片、脱胶、插片、清洗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）。2024 年切片环节耗水量，较 2023 年下降 160t/百万片，达到 710t/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，例如清洗工艺优化等措施。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。

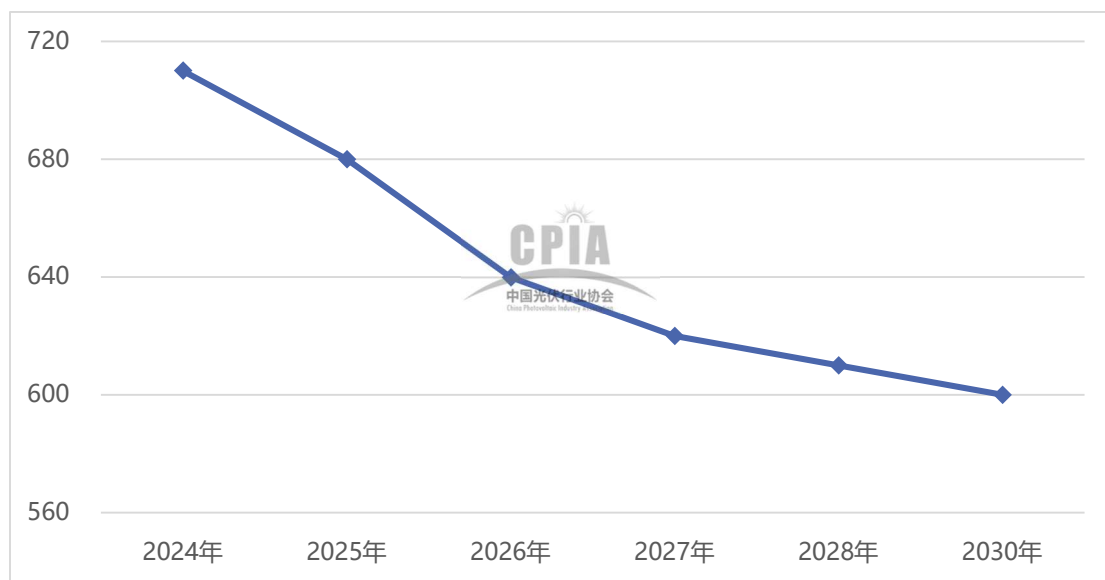


图 23 2024-2030 年耗水量变化趋势 (单位: t/百万片)

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。2024 年，p 型单晶硅片平均厚度在 150 μm 左右，与 2023 年持平。由于多晶硅价格持续下降，硅片减薄动力减弱，用于 TOPCon 电池的 n 型硅片平均厚度为 130 μm ，较 2023 年增加 5 μm ，用于异质结电池的硅片平均厚度为 110 μm ，较 2023 年下降 10 μm 。

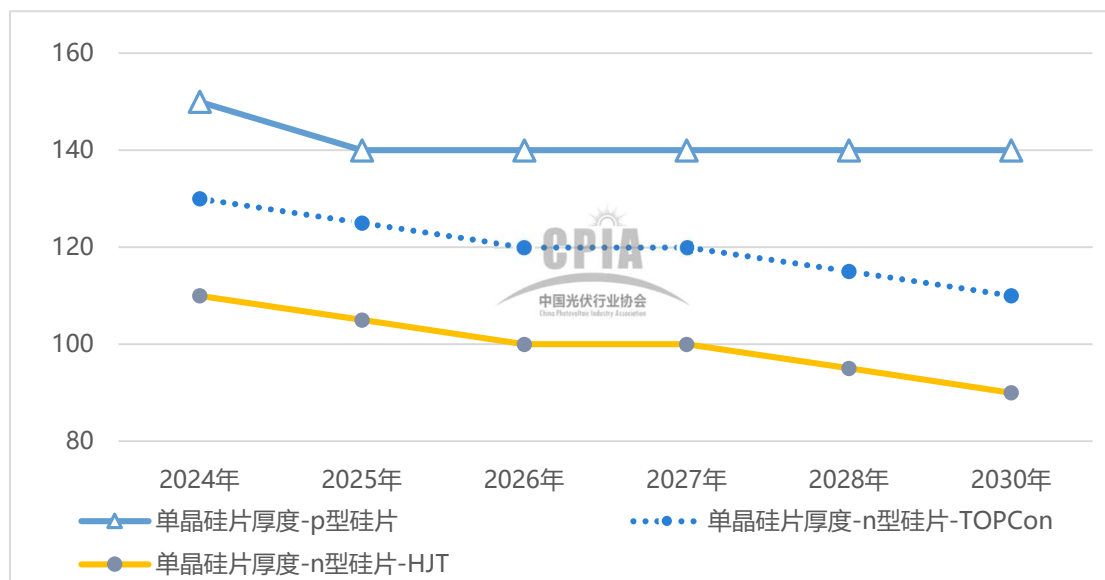


图 24 2024-2030 年硅片厚度变化趋势 (单位: μm)

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，2024 年，用于单晶硅片的高碳钢丝母线直径为 35 μm ，较 2023 年小幅下降。鉴于钨丝线的应用日益广泛，预计 2026 年后，高碳钢丝线将几乎完全被钨丝线所取代，高碳钢丝线母线直径将维持在 32 μm 。2024 年，用于单晶硅片的钨丝母线直径为 33 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，钨丝母线直径将不断下降。

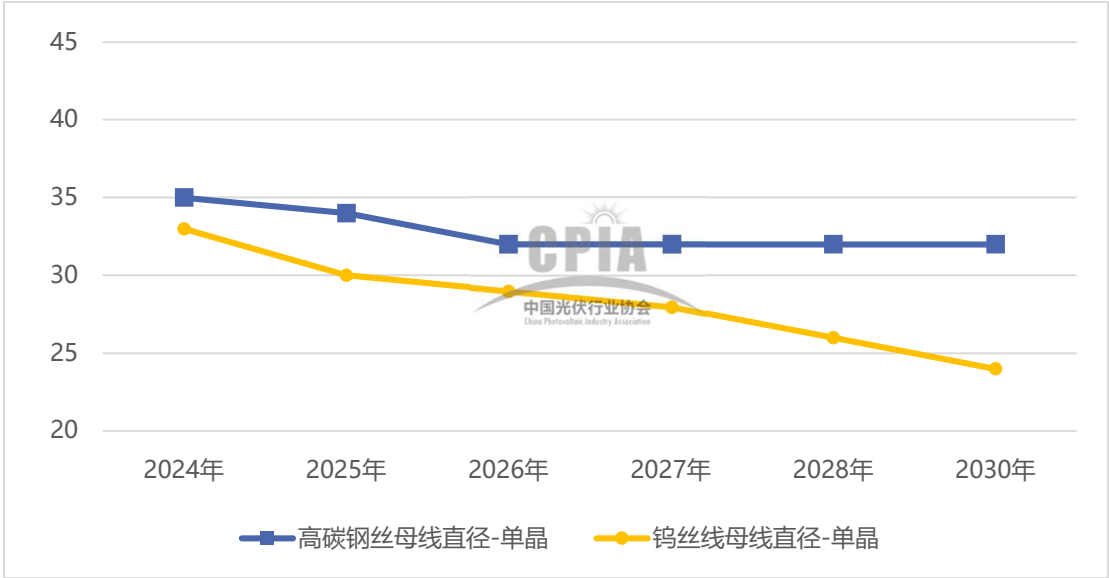


图 25 2024-2030 年金刚线母线直径变化趋势 (单位: μm)

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。2024 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 46 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 154 片，n 型 210mm 尺寸 HJT 每公斤单晶方棒出片量约为 116 片。n 型 210R 尺寸 TOPCon 每公斤单晶方棒出片量约为 60 片，n 型 210R 尺寸 HJT 每公斤单晶方棒出片量约为 131 片。未来随着 p 型硅片使用减少，预计 2026 年后 p 型硅片的出片量将维持不变。

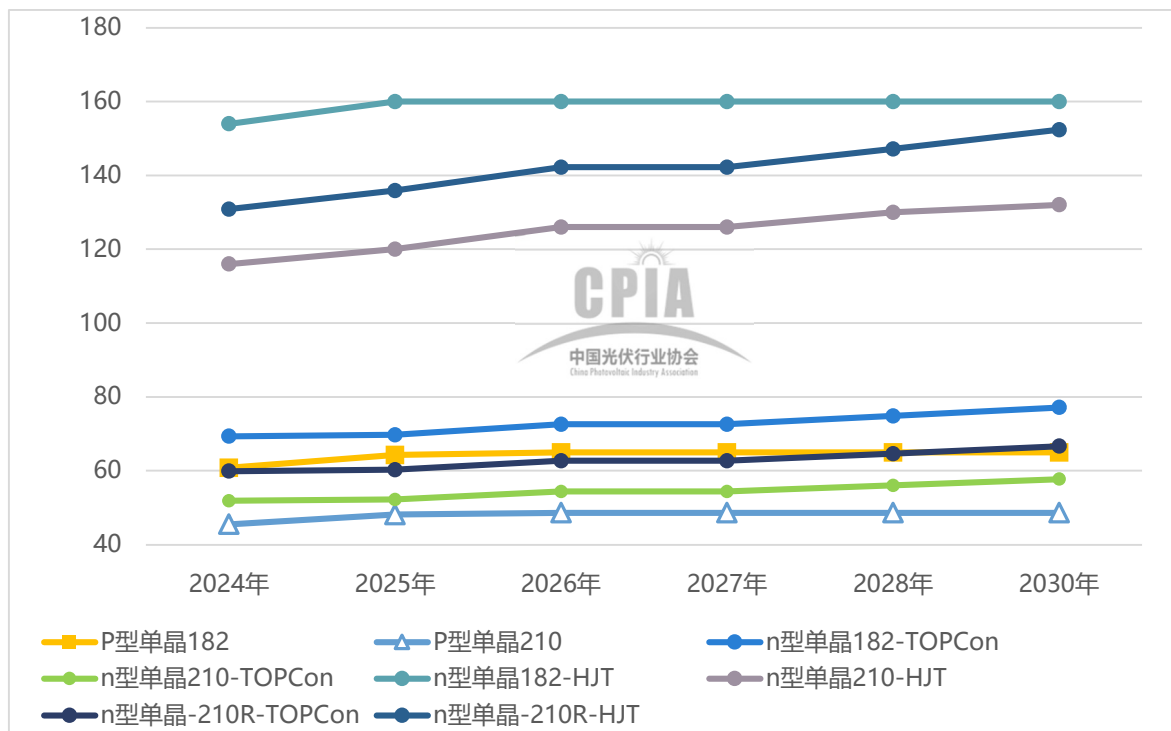


图 26 2024-2030 年每公斤方棒在金刚线切割下的出片量变化趋势 (单位: 片)

注: 本指标出片数 n 型单晶 182-HJT、n 型单晶 210-HJT 以及 n 型单晶 210R-HJT 以半片计算, 其余均以整片计算。

9、拉棒/切片单位产能设备投资额

2024 年, 由于拉棒环节扩产规模相对较小, 叠加自动化水平的提升导致装备投入的增加, 单位产能设备投资额 (包括机加环节) 为 4.4 万元/吨, 较 2023 年下降 0.2 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到制成硅片的设备投资, 2024 年为 20 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。

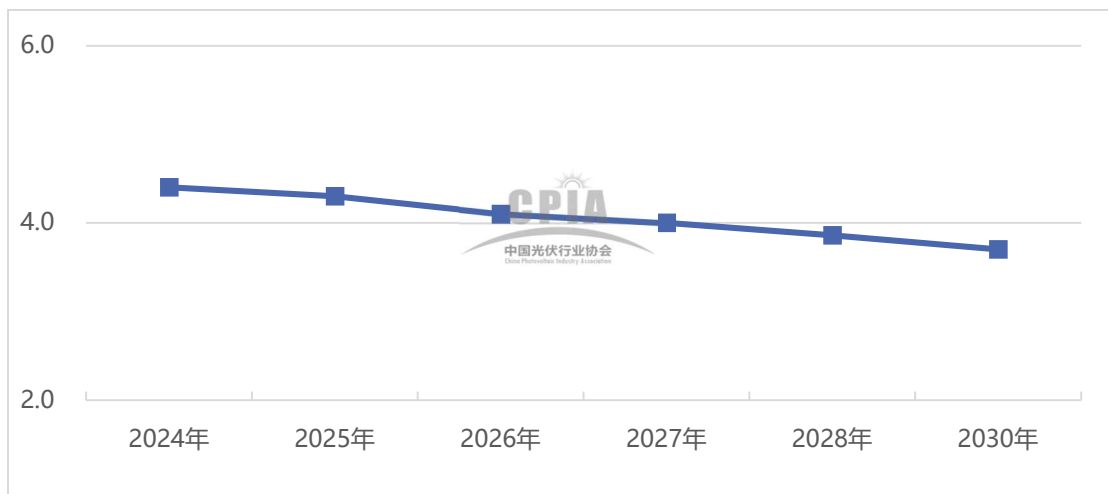


图 27 2024-2030 年拉棒环节设备投资成本变化趋势 (单位: 万元/吨)

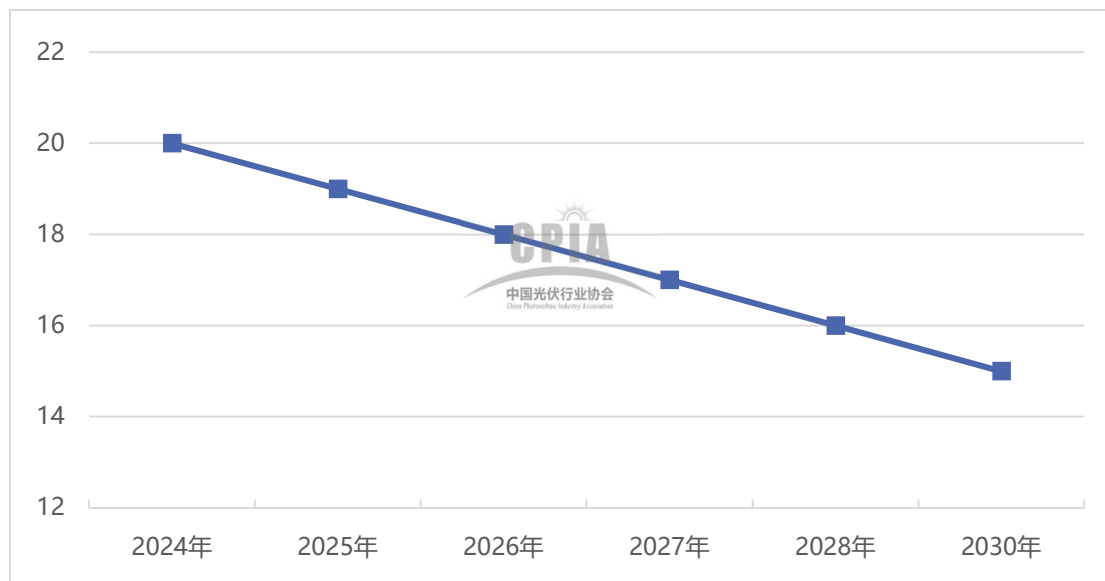


图 28 2024-2030 年切片环节设备投资成本变化趋势 (单位: 万元/百万片)

10、硅片人均产出率

硅片人均产出主要指产线直接员工的人均产出 (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。2024 年, 硅片产线单晶环节拉棒 (方棒) 人均产出率为 29.4 吨/(人·年), 切片人均产出率为 2.5 百万片/(人·年)。随着自动化水平的提升, 预计单晶拉棒 (方棒) 人均产出和切片人均产出均会有所增加。

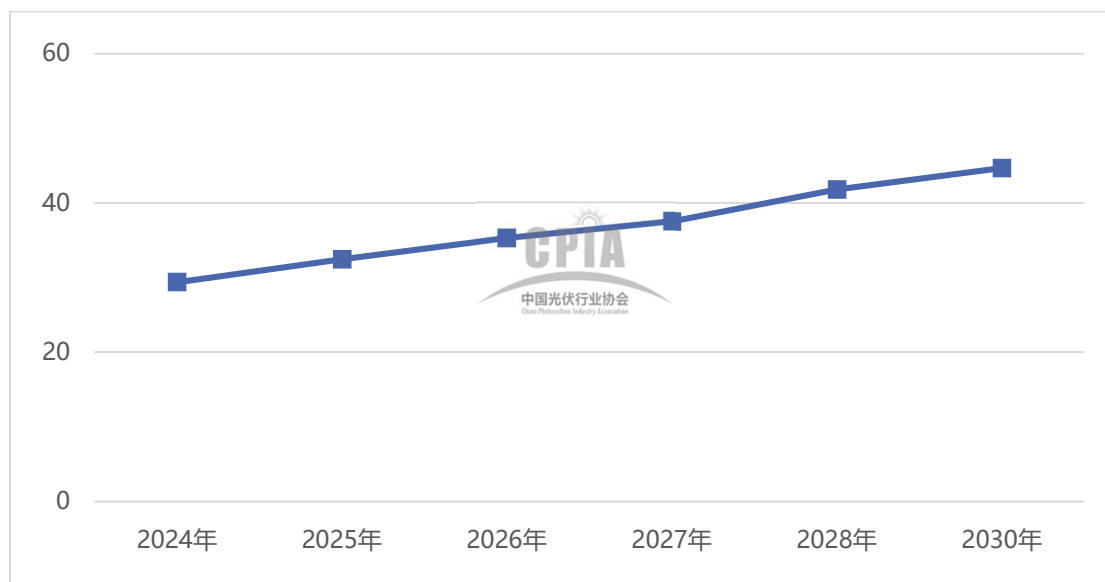


图 29 2024-2030 年拉棒 (方棒) 人均产出率变化趋势 (单位: t/(人·年))

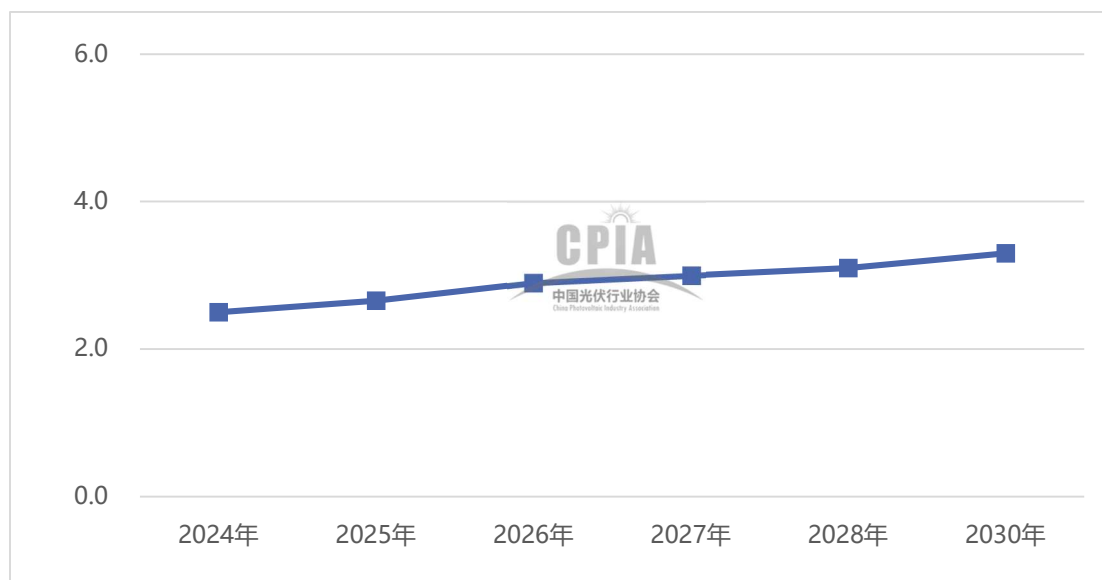


图 30 2024-2030 年切片人均产出率变化趋势 (单位: 百万片/(人·年))

11、不同类型硅片市场占比⁴

2024 年, 多晶产品市场份额被单晶产品几乎完全取代, 单晶硅片 (p 型+n 型) 市场占比已接近 100%。随着 n 型产品的释放, p 型单晶硅片市场占比减少至 27.5%, n 型单晶硅片占比增长至 72.5%。未来随着下游对 n 型单晶产品的需求增大, 其市场占比也将进一步提升。

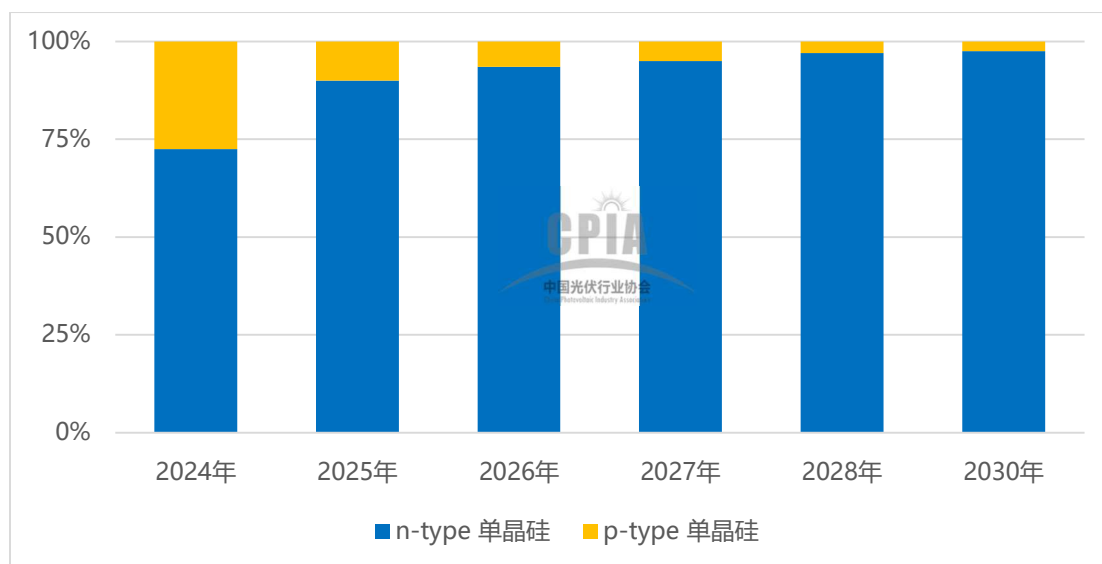


图 31 2024-2030 年不同类型硅片市场占比变化趋势

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

2024 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 1.3%、23%、30%，但接下来几年占比都将逐步减少，预计 166mm 及以下尺寸硅片、182mm 方片、微矩形片 2026 年-2028 年之间将逐渐淡出市场；2024 年，210mm 方片及矩形尺寸硅片市场占比分别为 19.0%、26.7%，以目前来看，矩形片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。

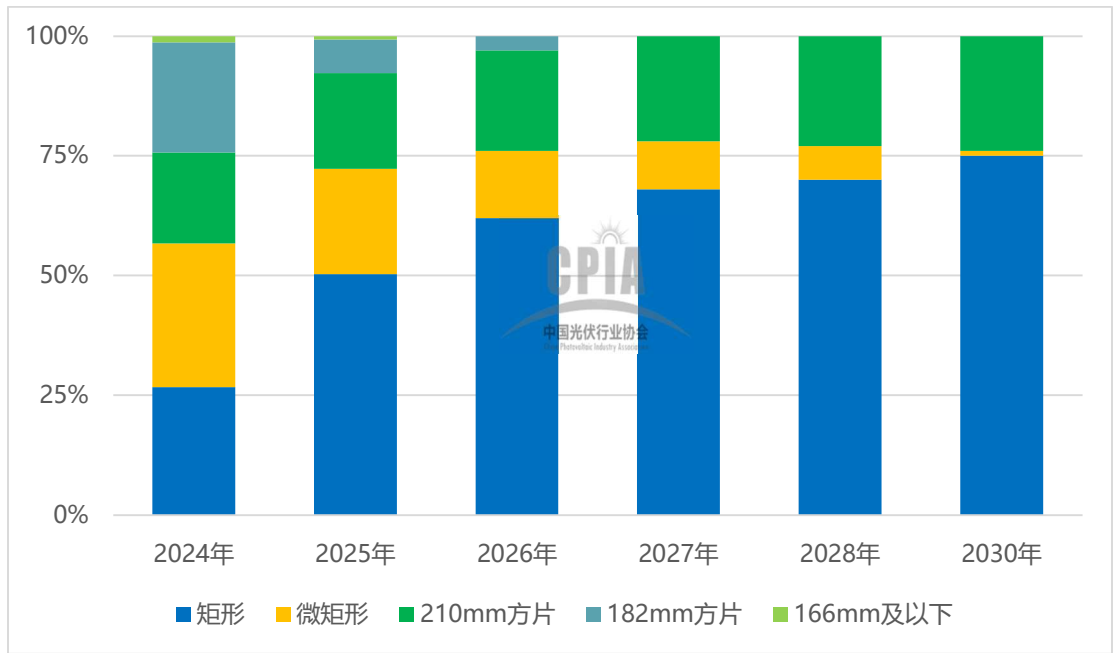


图 32 2024-2030 年不同尺寸硅片市场占比变化趋势

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：182*183.75mm、182*185.3mm 等；

矩形尺寸硅片主要包括：182*105mm 半片、210*105mm 半片及矩形 182*188mm、182*191.6mm、182*199mm、182*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。

HTBC	隧穿氧化层钝化与异质结背接触（Tunneling Oxide Passivated and Heterojunction Back Contact）——利用隧穿氧化层钝化接触（TOPCon）和异质结（HJT）电池结构与背接触（BC）电池结构相结合，形成的新型太阳电池结构。这种电池结合了 TOPCon 和 HJT 电池各自的钝化优势，具有高效率 and 低成本的特点。
------	--

1、各种电池技术平均转换效率

2024 年，p 型 PERC 单晶电池平均转换效率达到 23.5%，较 2023 年提高 0.1 个百分点，预计 2026 年以后 p 型技术路线基本退出市场，其效率指标的进步将基本停滞。在 n 型电池对 p 型电池实现全面替代的背景下，2024 年 n 型 TOPCon 电池平均转换效率达到 25.4%，异质结电池平均转换效率达到 25.6%，二者较 2023 年均有较大提升；XBC 电池平均转换效率达到 26.0%。未来随着 n 型电池各技术路线工艺技术的进步及生产成本的降低，n 型电池将在未来一段时间内保持主流电池技术的地位，效率也将较快提升。

表 2 2024-2030 年各种电池技术平均转换效率变化趋势

分类		2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
p 型单晶	PERC p 型单晶电池	23.5%	23.6%	23.7%	23.7%	23.7%	23.7%
n 型单晶	TOPCon 单晶电池	25.4%	25.7%	26.0%	26.2%	26.4%	26.6%
	异质结电池	25.6%	25.9%	26.2%	26.5%	26.7%	26.9%
	XBC 电池	26.0%	26.3%	26.6%	26.9%	27.2%	27.4%

注：均只记正面效率；n 型异质结单晶电池统计规格主要为 210mm 半片。2024 年 XBC 电池主要为 n 型 TBC 电池，且包含部分 p 型 BC 电池数据。

2、不同电池技术路线市场占比

2024 年，新投产的量产产线基本都是 n 型电池片产线。随着 n 型电池片产能快速释放，PERC 电池片市场占比下降至 20.5%；n 型 TOPCon 电池片市场占比达到 71.1%，成为占比最高的电池技术路线；异质结电池片市场占比约 3.3%；XBC 电池片市场占比约为 5.0%，由于行业头部企业的大力推广，其市占率相较 2023 年有较大幅度的提升。2024 年，BSF、MWT 等电池片产品的市场占比约 0.1%。

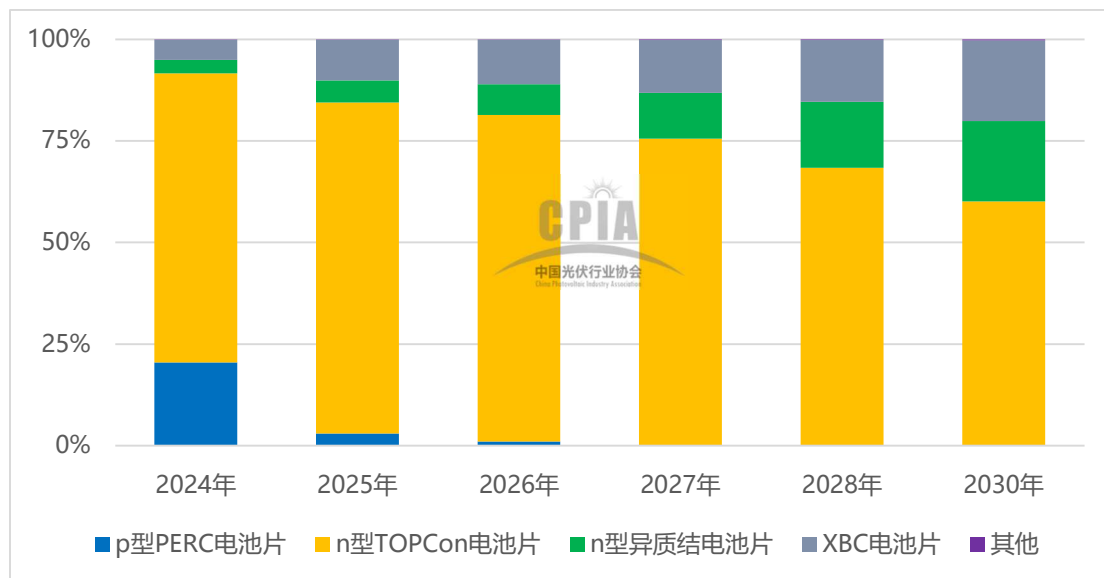


图 33 2024-2030 年不同电池技术路线市场占比变化趋势

3、电池铝浆消耗量

铝浆消耗量主要为晶硅电池片中铝背场消耗的铝浆。随着双面 PERC 电池技术的发展，电池片铝浆平均消耗量保持下降趋势。2024 年双面 PERC 电池片铝浆消耗量约为 248mg/片。随着未来 PERC 技术逐渐退出市场，每片电池耗铝量的水平预计在 2027 年以后保持停滞。

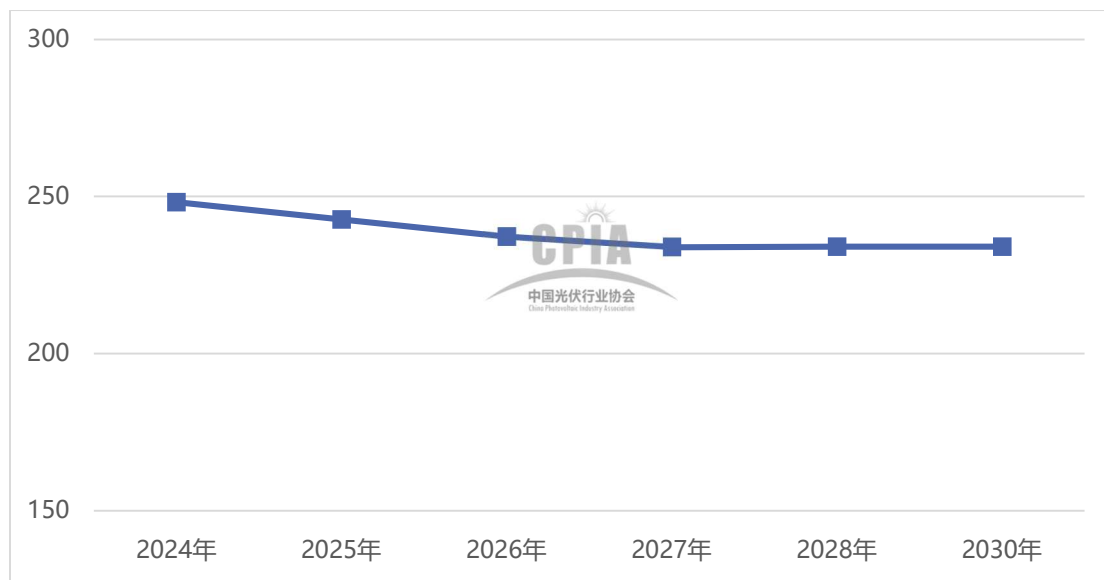


图 34 2024-2030 年双面 PERC 电池铝浆消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

4、电池银浆消耗量

目前电池银浆分为高温银浆和低温银浆两种。p 型电池、TOPCon 电池、TBC 电池使用高温银浆，异质结电池使用低温银浆。银浆在电池片成本中占比较高，目前主要通过多主栅技术、减小栅线宽度、贱金属技术等来减少银浆消耗量。

2024 年, p 型电池片主栅数量主要为 10BB 及以上 (包括 11BB、16BB 等), 正银消耗量降低至约 52mg/片, 背银消耗量约 22mg/片。n 型 TOPCon 电池双面银浆平均消耗量约 86mg/片, 由于 2024 年激光诱导烧结技术 (Laser Induced Firing, LIF) 对激光选择性发射结技术 (Laser Selective Emitter, LSE) 的大规模替代, TOPCon 电池已无需使用银铝浆; 同时由于未来 0BB、贱金属等技术的大规模应用, 银浆耗量将加速下降。异质结电池双面低温银浆消耗量约 75mg/片, 目前普遍采用银含量 30-50% 的银包铜技术, 未来预计将进一步采用银含量更低的技术; XBC 电池银浆消耗量约 135mg/片。

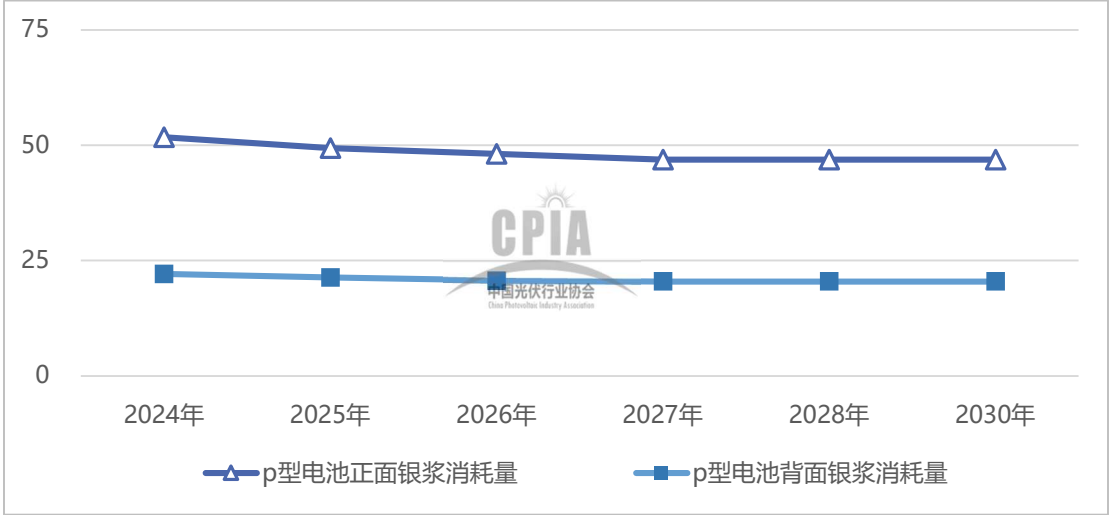


图 35 2024-2030 年 p 型电池片正/背面银浆消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

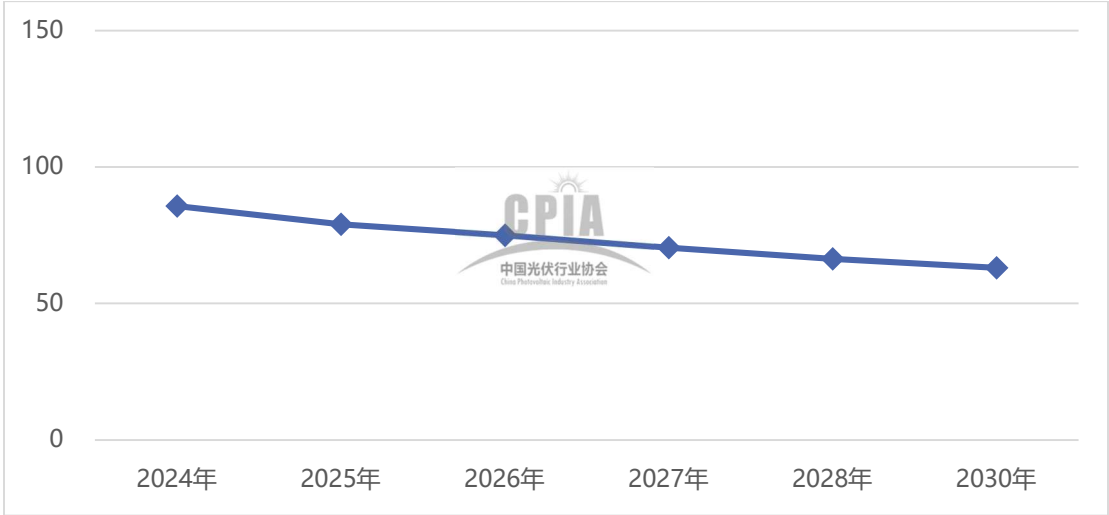


图 36 2024-2030 年 n 型 TOPCon 电池片双面银浆消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

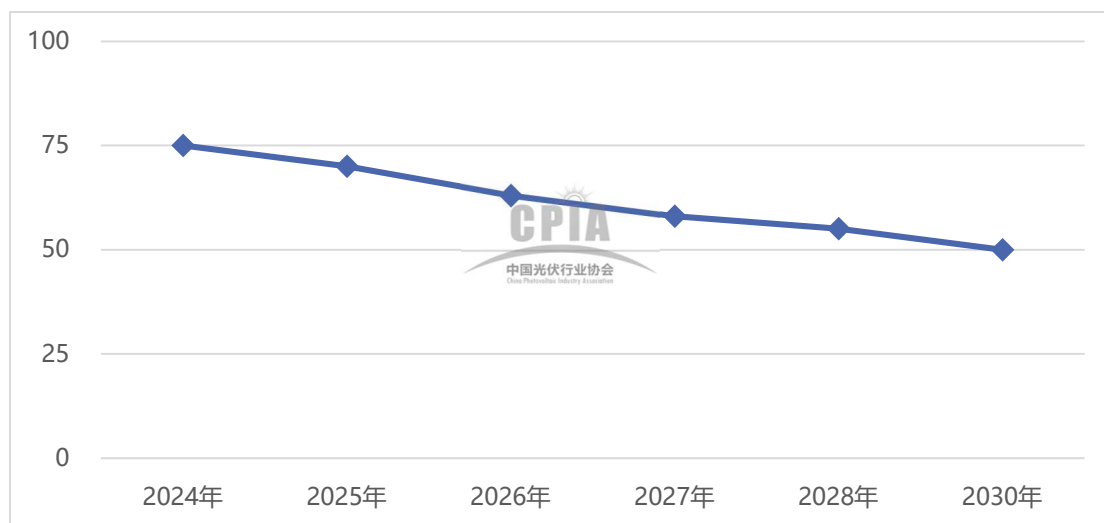


图 37 2024-2030 年异质结电池双面低温银浆消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

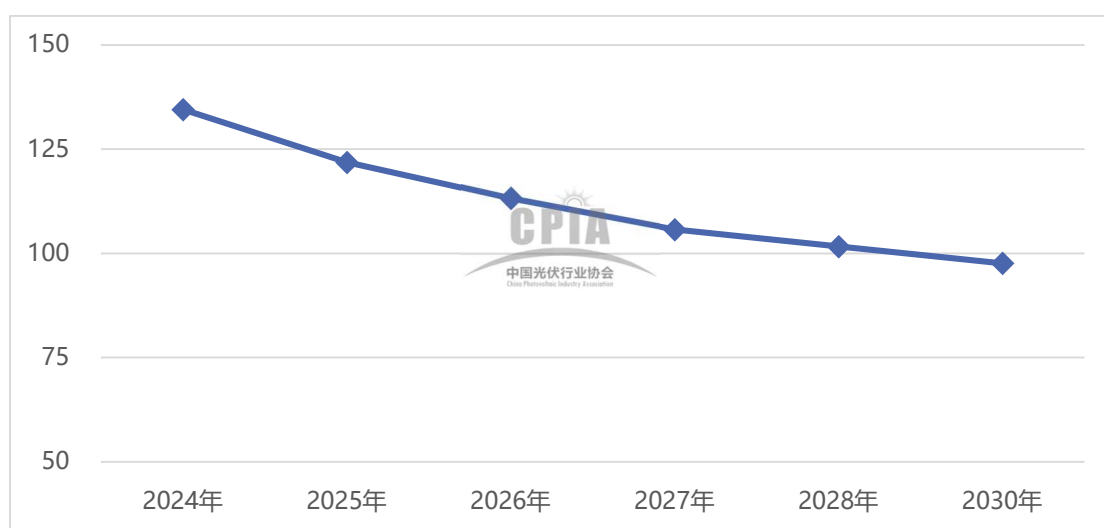


图 38 2024-2030 年 XBC 电池银浆消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

5、异质结电池片金属电极技术市场占比

由于低温银浆价格较高，为进一步降低应用成本，2024 年异质结电池片金属电极制备的主流由低温纯银浆料转变为低温银包铜浆料，当前银包铜电极市场占比达到 75%。未来部分企业及研究机构正在积极开发银含量更低的银包铜技术。目前用于异质结电池的电镀铜电极技术性价比仍需提升，使用率相对较低。

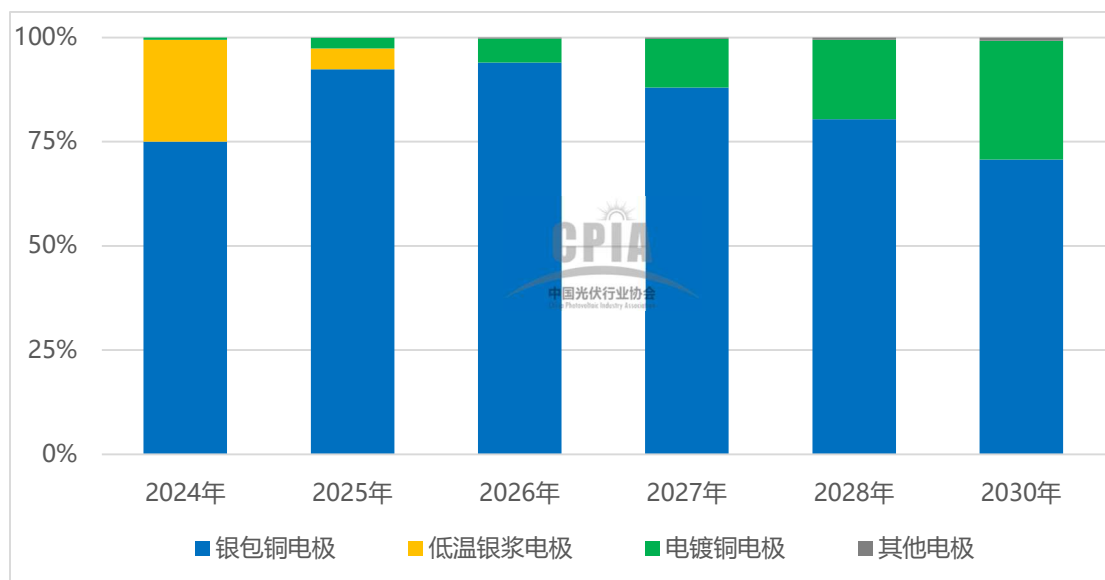
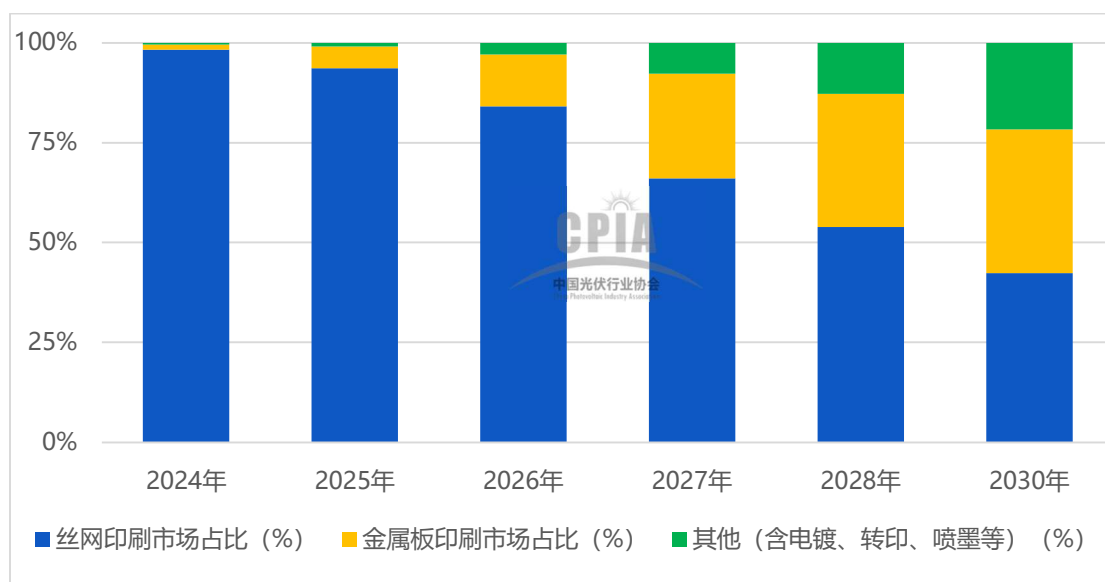


图 39 2024-2030 年电池片正面金属电极技术市场占比变化趋势

6、栅线印刷技术市场占比

目前, 电池片的金属栅线几乎全部通过丝网印刷的方式制备, 2024 年市场占比达到 98.3%。近年来, 为进一步实现电池技术的降本增效, 金属板印刷技术占比逐步提升。此外, 生产企业和设备厂家正在不断研发电镀、转印、喷墨等其他栅线印刷技术。随着栅线宽度变窄的需求增加, 也会出现新的电池片栅线制备技术。



注：金属板指全开口网板

图 40 2024-2030 年栅线印刷技术市场占比变化趋势

7、电池片发射极方块电阻

发射极方块电阻是反映太阳能电池发射区掺杂浓度的重要指标，硅片单位面积掺杂浓度低则其方阻值相对高。2024 年，PERC 电池发射极电阻提高至 190ohm/sq，n 型电池发射极电阻约 305ohm/sq。随着金属化浆料技术及硅片品质的不断提升，发射极方块电阻会不断提高，但 p 型电池方块电阻的增长将随着 p 型技术路线的逐渐退出而停止。

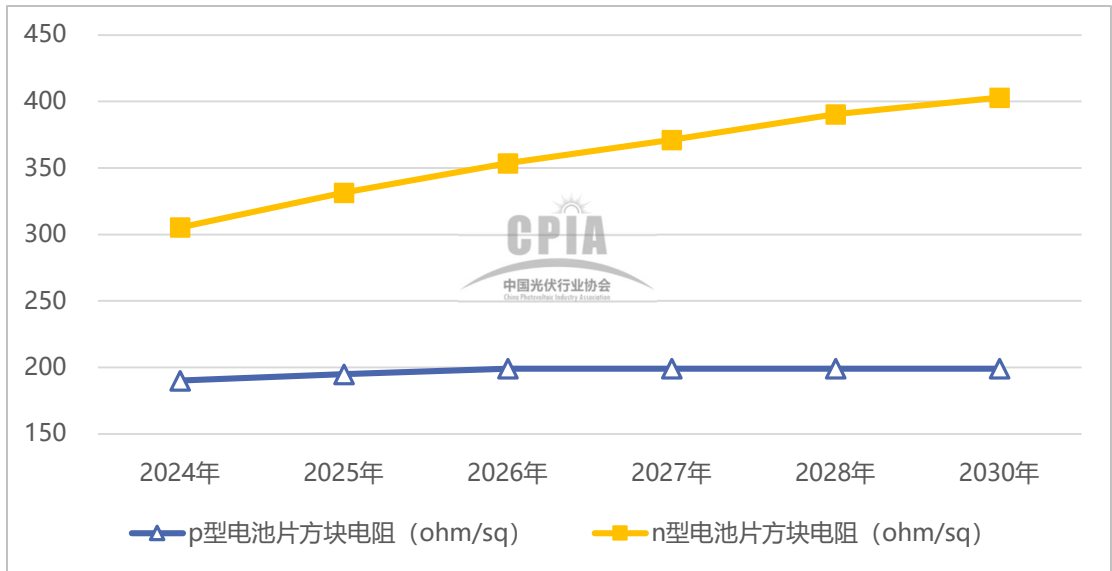


图 41 2024-2030 年电池片发射极方块电阻变化趋势（单位：ohm/sq）

8、TOPCon 电池片背钝化技术市场占比

TOPCon 电池片背面钝化技术主要有 LPCVD、PECVD、PVD 等方法。其中 LPCVD 沉积技术 2024 年市场占比约 42.5%，PECVD 沉积技术市场占比约 52.4%，还有少部分使用 PVD 沉积技术，市场占比约 5.1%。PECVD 因成膜速度快、绕镀较轻等优势，其市场占比或将逐步提高。

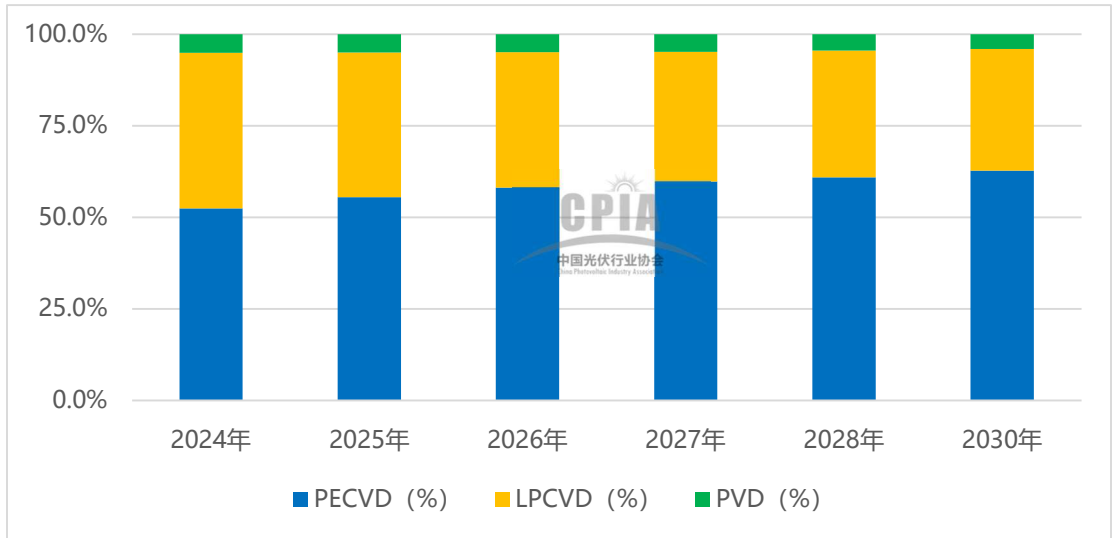


图 42 2024-2030 年 TOPCon 电池片背钝化技术市场占比变化趋势

9、异质结电池片 TCO 沉积方法市场占比

异质结电池片的 TCO 沉积方法主要有 PVD 和 RPD 两种。2024 年主要以 PVD 为主，市场占比达到约 99.9%，RPD 由于其成本较高，且维护频率高，2024 年投产的异质结电池片产线基本都使用 PVD 技术路线。目前，RPD 市场占比约为 0.1%左右。未来到 2030 年，PVD 仍将占据市场主流。

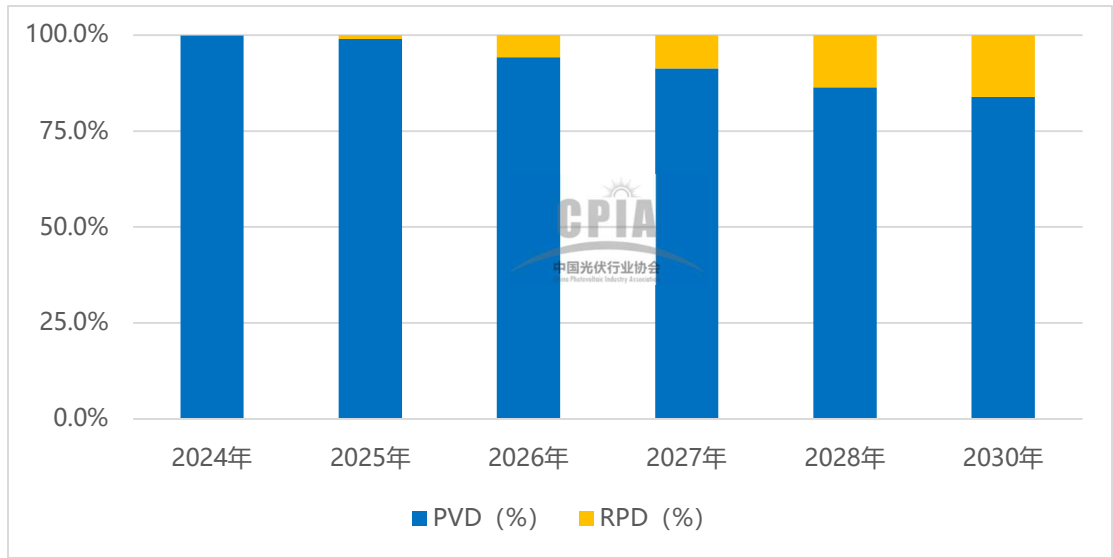


图 43 2024-2030 年异质结电池片 TCO 沉积方法市场占比变化趋势

10、电池正面细栅线宽度⁶

晶硅太阳能电池正面金属化电极由汇流、串联的主栅线和收集载流子的细栅线组成。在保持电池串联电阻不提高的条件下，减小细栅宽度有利于降低遮光损失并减少正银用量。2024 年，细栅线宽度一般控制在 22.5 μm 左右，印刷设备精度在 $\pm 6.5\mu\text{m}$ 。随着浆料技术和印刷设备精度的提升，细栅宽度将会保持下降趋势，预计随着 2025 年金属板印刷技术的成熟，将在一定程度上加快栅线宽度下降的速度。在印刷设备精度方面，预计 2028 年以后，机械精度的进步速度将保持平缓，到 2030 年印刷设备精度可提高至 $\pm 5.1\mu\text{m}$ ，细栅线宽度或将下降至 14.0 μm 左右。

⁶ 该指标为烧结后栅线宽度。

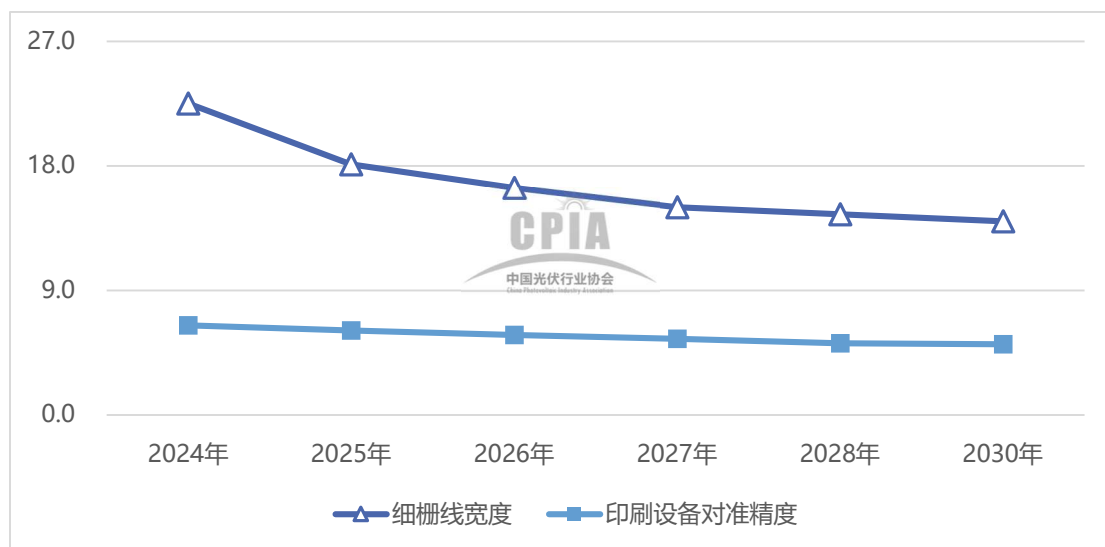


图 44 2024-2030 年电池正面细栅线宽度及对准精度变化趋势 (单位: μm)

11、各种主栅市场占比⁷

在不增加电池遮光面积及影响组件串联焊接工艺的前提下, 提高主栅数目有利于缩短电池片内细栅电流传输路径, 减少电池功率损失, 提高电池应力分布的均匀性以降低碎片率, 降低断栅及隐裂对电池功率的影响。

(1) PERC 电池片

2024 年, 随着 PERC 主流电池片尺寸增大, 9 主栅及以上技术保持着市场主流的地位, 其中 9BB 技术市场占比约 5.8%, 10BB 技术市场占比约 31.9%, 11BB 及以上市场占比约 62.3%。预计 2026 年以后, 随着 p 型技术路线的退出, p 型 PERC 电池主栅数量将保持稳定。

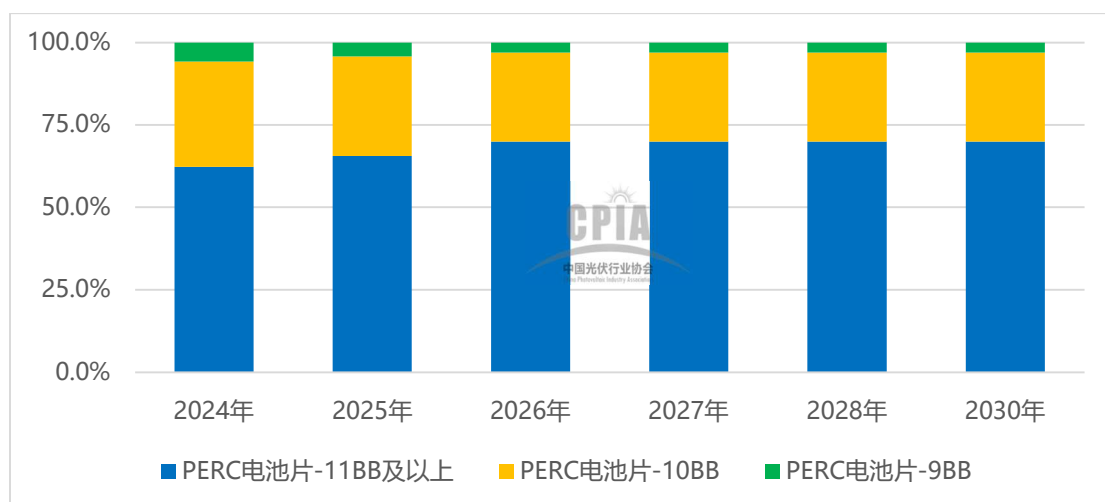


图 45 2024-2030 年 PERC 电池片各种主栅技术市场占比变化趋势

⁷ 本指标是指不同类型主栅在国内电池片企业总出货量中的占比。

(2) TOPCon 电池片

2024 年，TOPCon 电池片的尺寸集中在 182mm 方片、210mm 方片、微矩形、矩形片等类型，采用 16BB 及以上技术的市场占比进一步提升至约 98%。未来随着新产能的逐步释放以及旧产线的技术升级，9BB 或 10BB 技术将基本出清。在提效及降本驱动下，2024 年 0BB 的市场占比增至约 1%，未来占比将继续增加，预计在 2030 年达到约 39.6%。

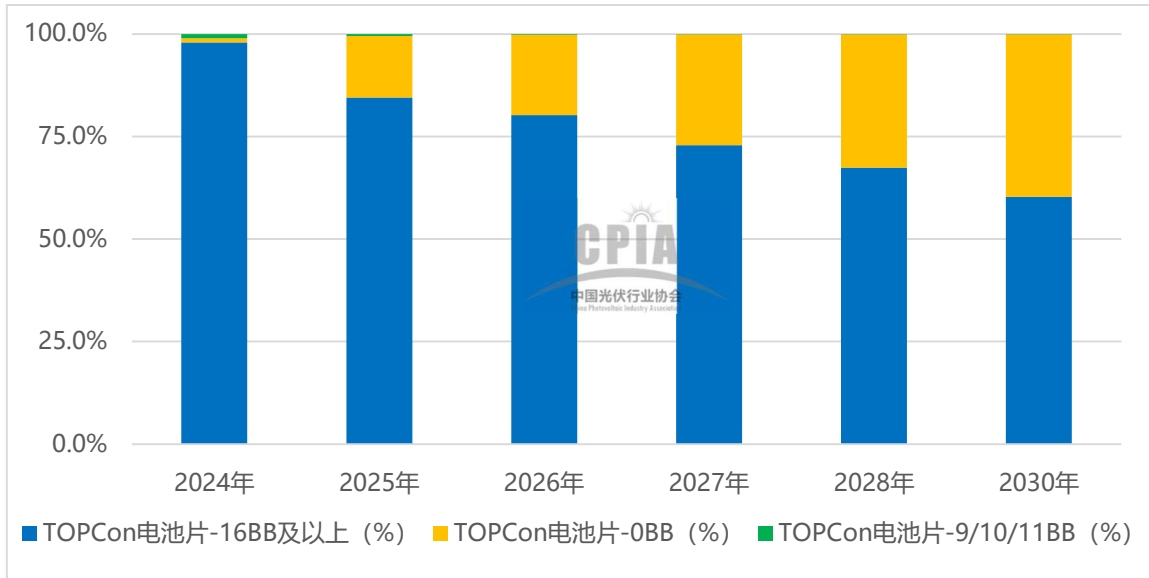


图 46 2024-2030 年 TOPCon 电池片各种主栅技术市场占比变化趋势

(3) 异质结电池片

2024 年，异质结电池片的尺寸主要集中在 210mm*105mm 的类型，以 SMBB（16BB 及以上）与 0BB 技术为主。由于 0BB 技术在降低银浆消耗、提升电池效率领域带来的巨大进步，预计在 2025 年 0BB 技术将成为市场主流。

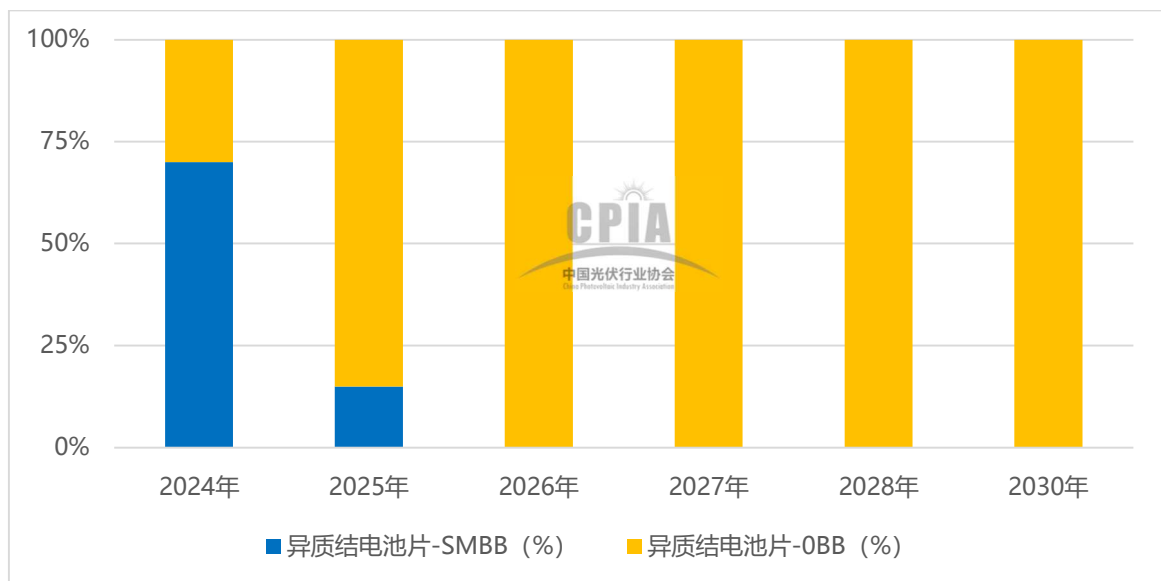


图 47 2024-2030 年异质结电池片各种主栅技术市场占比变化趋势

(4) XBC 电池片

2024 年，XBC 电池片与 TOPCon 电池片保持类似的趋势，以 MBB 技术为主。由于 OBB 技术在降低银浆消耗、提升电池效率领域带来的巨大进步，预计在未来将成为 XBC 电池领域的市场主流。

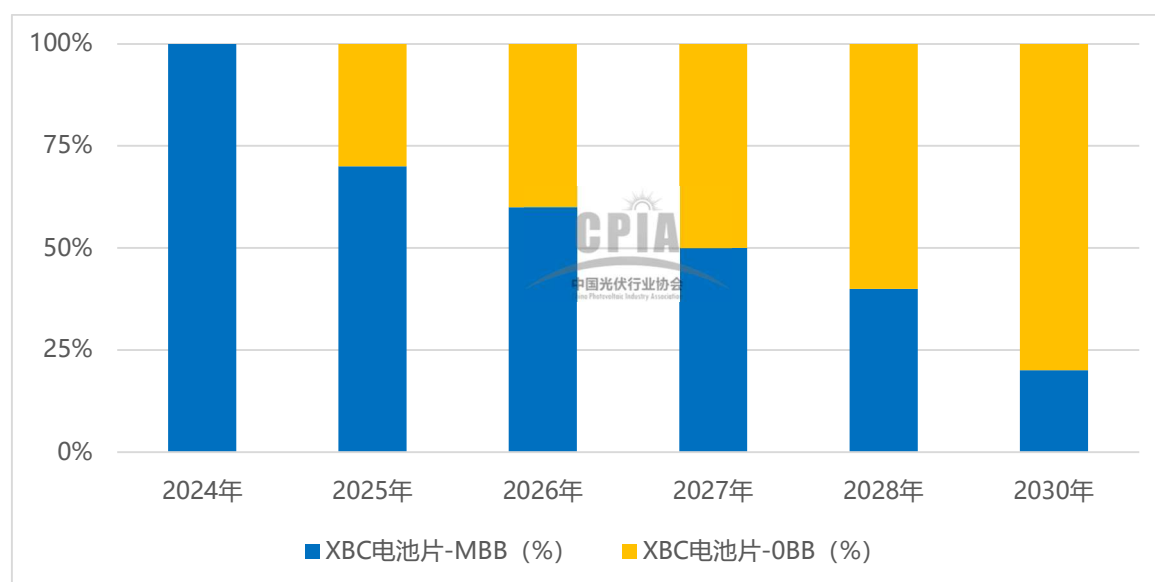


图 48 2024-2030 年 XBC 电池片各种主栅技术市场占比变化趋势

12、电池线人均产出率

电池线人均产出率主要指产线直接员工的人均产出（不含管理人员）。2024 年，PERC 电池片产线人均产出率为 4.7 MW/（人·年），预计在 2026 年后随着 p 型产线的退出停止增长。未来随着光伏电池片产线自动化、智能化程度的不断提升，以及电池转换效率的持续提高，n 型电池人均产出率将有较大提升空间。TOPCon 产线由于大部分是 2023 年以后新投产的产线，集成的智能化水准较高，2024 年人均产出率约 5.8 MW/（人·年）。异质结生产工艺流程较短，产线人数也较少，2024 年异质结电池片人均产出率约 7.7MW/（人·年）。XBC 电池目前处于生产爬坡阶段，技术处于不断优化的阶段，其效率的优势将弥补更多工序、更多用人需求带来的人均产出变化。预计 XBC 电池的人均产出将与 TOPCon 电池接近。

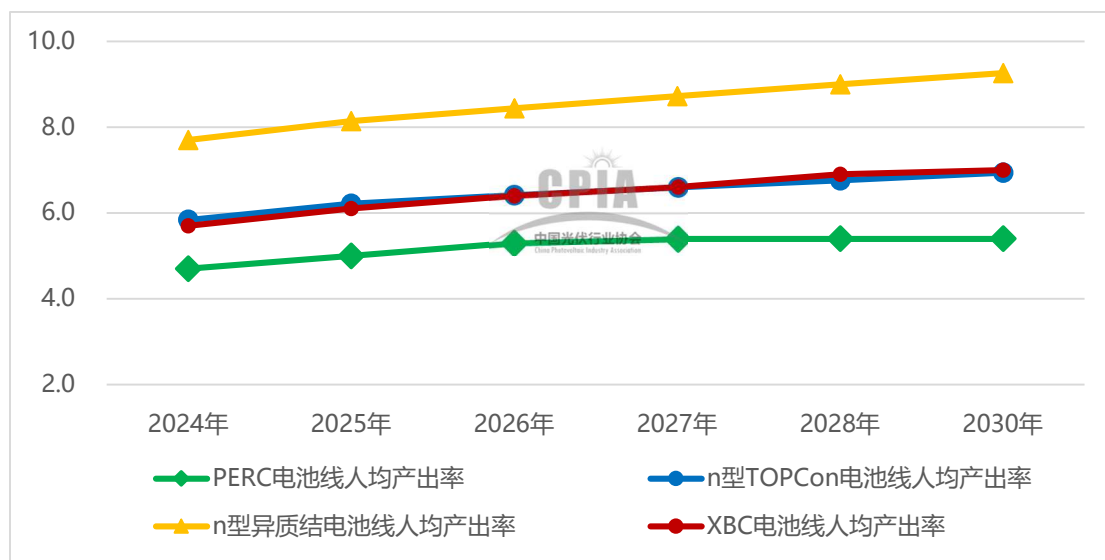


图 49 2024-2030 年不同类型电池线人均产出率变化趋势 (单位: MW/ (人·年))

13、电耗

电耗是指工厂生产电池片产品所耗用的全部电力 (不包含办公区域及生活用电)。随着各种电池片产品效率的提升, 2024 年 p 型 PERC 电池片电耗降至 4.3 万 kWh/MW, n 型 TOPCon 电池片电耗约 5.2 万 kWh/MW, n 型异质结电池片电耗约 4.4 万 kWh/MW, XBC 电池片由于工序较多、工艺较为复杂、激光工序占比较大, 其电耗相对较高, 约为 6.4 万 kWh/MW。未来随着生产装备技术提升、系统优化能力提高等因素, 预计至 2030 年 TOPCon 电池片电耗将降至 4.7 万 kWh/MW, n 型异质结电池片电耗将降至 3.8 万 kWh/MW, XBC 电池生产电耗降至 5.1 万 kWh/MW。

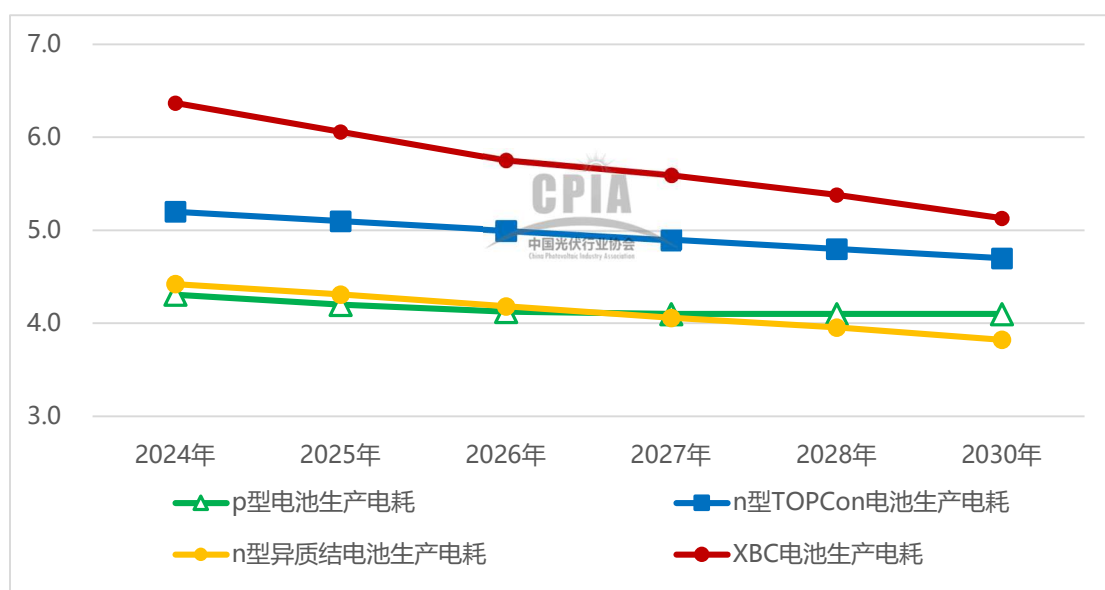


图 50 2024-2030 年各种类型电池片电耗变化趋势 (单位: 万 kWh/MW)

14、水耗

水耗是指工厂生产电池片产品过程中，在清洁和扩散后清洗等环节所消耗的总水量。2024 年，p 型 PERC 电池片水耗为 315t/MW，n 型 TOPCon 电池片水耗为 554t/MW，n 型异质结电池片水耗约 218t/MW，XBC 电池片水耗约 623t/MW。未来随着生产装备技术提升、系统优化能力提高、再生水应用比例增加等因素的影响，电池生产的水耗量将呈逐年下降趋势。

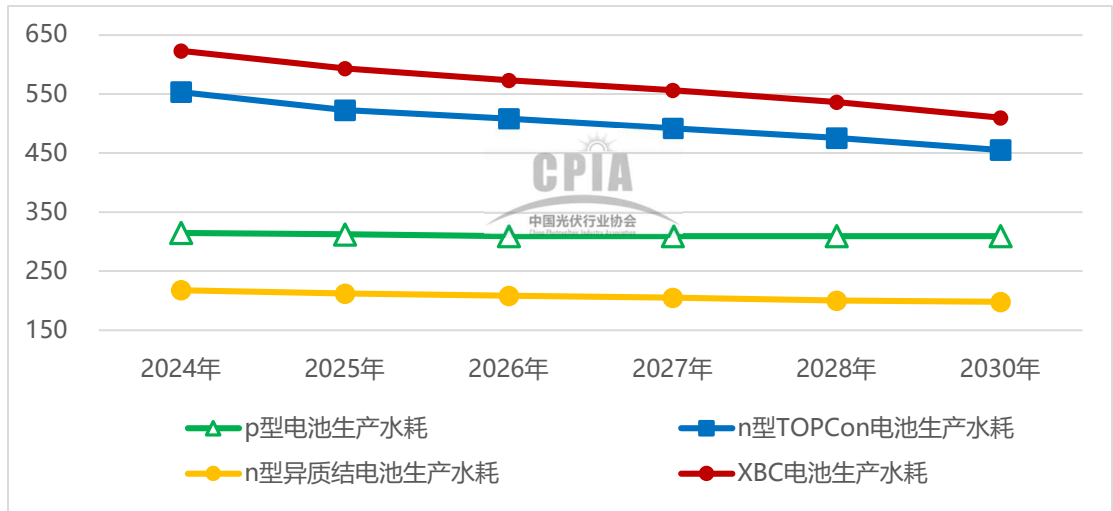


图 51 2024-2030 年不同类型电池片水耗变化趋势 (单位: t/MW)

15、电池片单位产能设备投资额

2024 年，基本不存在新建 PERC 电池片产线，新建 TOPCon 电池片产线生产设备基本实现本土化。PERC 电池产线设备投资成本降至 1.24 亿元/GW，预计在 2026 年以后将不再变化。2024 年新建 TOPCon 电池产线可兼容 182mm 及 210mm 的大尺寸产品，设备投资成本约 1.42 亿元/GW；异质结电池设备投资成本约 3.22 亿元/GW；XBC 电池设备投资成本约 3 亿元/GW，略低于异质结电池设备。未来随着产业规模的进一步增大、设备生产能力的提高及技术进步，单位产能设备投资额将进一步下降。

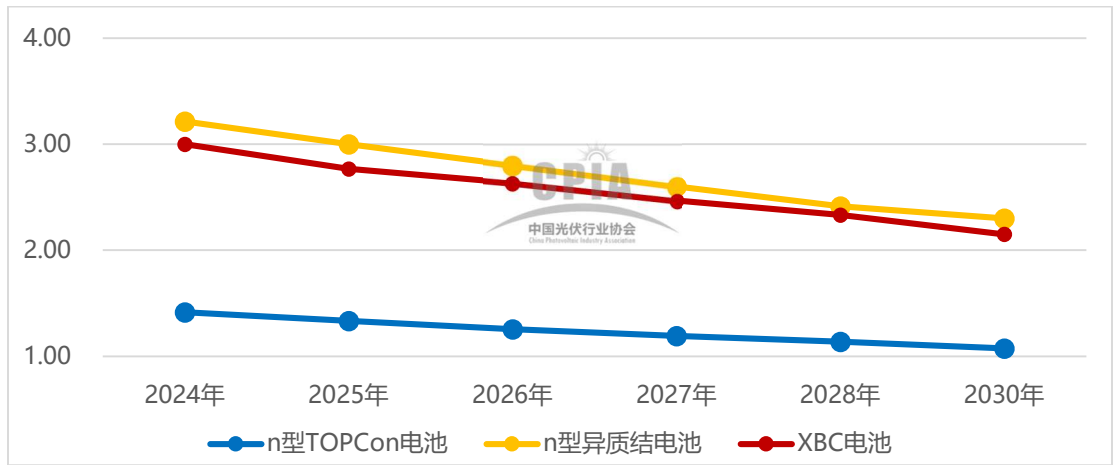


图 52 2024-2030 年不同电池类型产线投资成本变化趋势 (单位: 亿元/GW)

（四）组件环节⁸

1、不同类型组件功率

2024 年, 采用 182mm 方片尺寸 72 片 PERC 单晶电池的组件功率达到 555W; 采用 210mm 方片尺寸 66 片 PERC 单晶电池的组件功率达到 665W, 预计 2026 年以后 p 型技术路线基本退出市场, 其功率进一步增长将基本停滞。采用 182mm 方片尺寸 72 片 TOPCon 单晶电池组件功率达到 593W, 采用 182*210mm 尺寸 66 片 TOPCon 单晶电池组件功率达到 619W, 采用 210mm 方片尺寸 66 片 TOPCon 单晶电池组件功率达到 712W; 采用 210mm 方片尺寸 66 片异质结电池组件功率达到 720W; 采用 182*210mm 尺寸 66 片 XBC 电池组件功率达到 645W。

表 3 2024-2030 年不同类型组件功率变化趋势

晶硅电池组件平均功率 (W)		2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
p 型单晶	PERC p 型单晶组件 (182mm 方片)	555	560	560	560	560	560
	PERC p 型单晶组件 (210mm 方片)	665	670	670	670	670	670
n 型单晶	TOPCon 单晶组件 (182mm 方片)	593	603	611	618	625	630
	TOPCon 单晶组件 (182*210mm)	619	636	648	656	660	666
	TOPCon 单晶组件 (210mm 方片)	712	726	734	740	745	755
	异质结组件 (210mm 方片)	720	730	738	745	750	760
	XBC 组件 (182*210mm)	645	660	670	675	680	685

注: 1、本指标均以采用 11BB 的 PERC 电池片、采用 16BB 的 TOPCon 电池片的单玻单面组件为基准, 双面组件为正面功率;

2、PERC 单晶组件 (210mm 方片)、TOPCon 单晶组件 (182*210mm)、TOPCon 单晶组件 (210mm 方片)、异质结组件 (210mm 方片) 和 XBC (182*210mm) 组件以 66 片为基准, PERC 单晶组件 (182mm 方片) 和 TOPCon (182mm 方片) 以 72 片为基准;

3、以上组件均采用半片封装形式。

2、单/双面发电组件市场占比⁹

2024 年, 随着下游应用端对双面发电组件发电增益的认可, 双面组件市场占比提升至 77.6%, 远超单面组件, 成为市场主流。受市场需求因素的影响, 未来双面组件市场占有率将进一步增长。

⁸ 若无特殊说明, 本环节指标均以使用 182mm 尺寸电池片封装为基准。

⁹ 单/双面发电组件是指封装组件的发电模式。

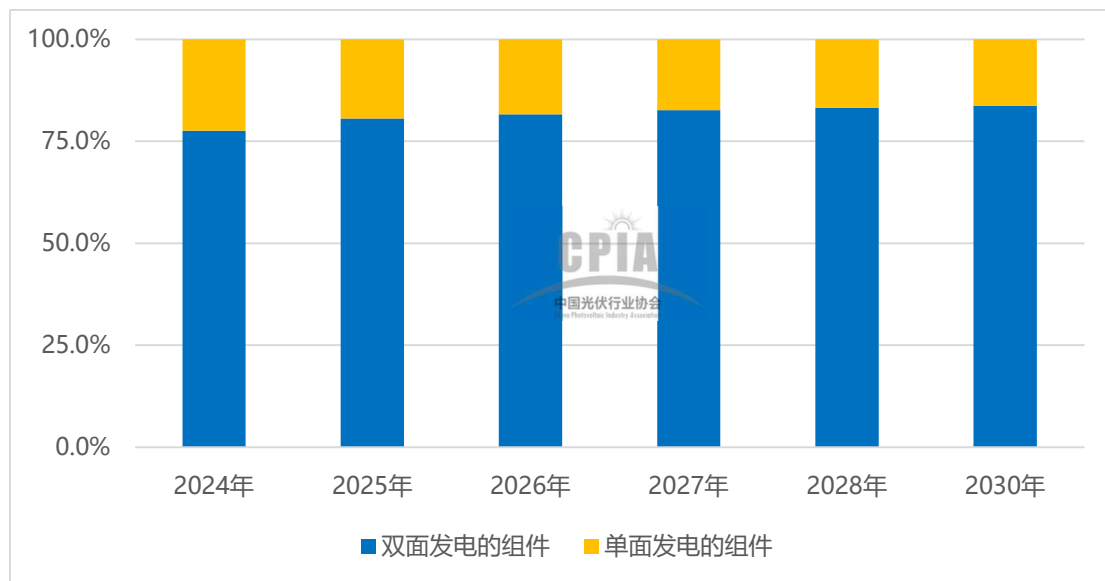


图 53 2024-2030 年单/双面组件市场占比变化趋势

3、不同电池片互联技术的组件市场占比

目前，市场上电池片互联技术分为红外焊接、导电胶、0BB 互联和其他互联技术，导电胶主要用于叠瓦组件的互联，0BB 互联是基于无主栅电池的新型互联技术，其他互联技术主要包含电磁和激光等。2024 年红外焊接技术仍为市场主流焊接技术，市场份额约 98.8%；导电胶互联技术的市场占比约 0.1%；0BB 互联技术能够有效提高组件功率，且能够降低银耗，市场占比为 1.0%；其他互联技术主要应用在 XBC 和异质结电池中，2024 年市场占比约 0.1%。由于成本等原因，导电胶及其他新型互联技术应用范围较小。随着降本增效不断推进，0BB 互联技术将保持较快增长。

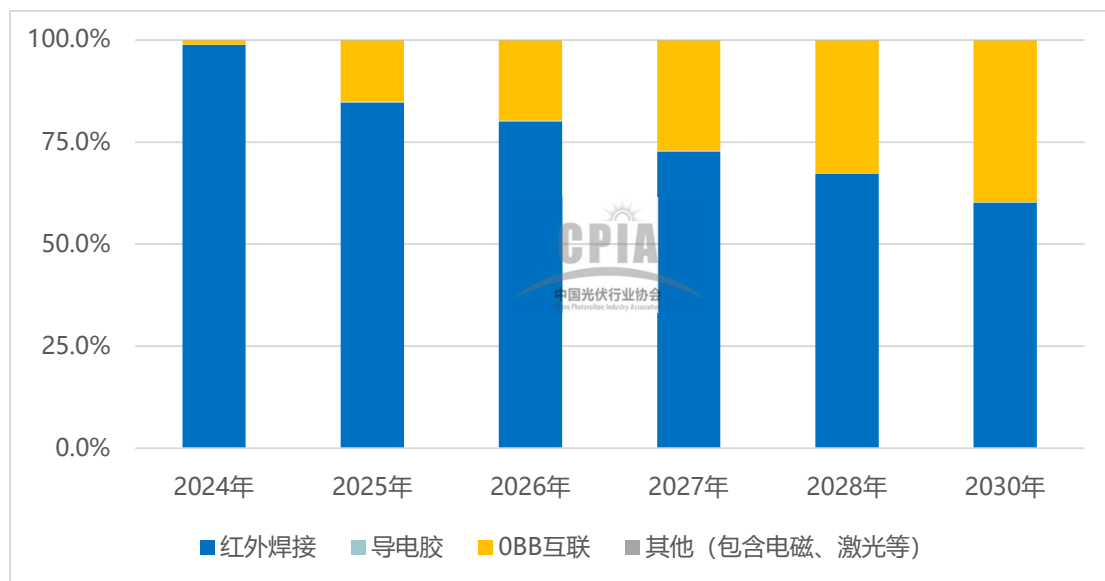


图 54 2024-2030 年不同电池片互联技术的组件市场占比变化趋势

4、组件封装用钢化镀膜玻璃透光率¹⁰

晶体硅太阳能电池光谱响应范围为 300-1200nm，减反射镀膜玻璃可以有效降低此波段内太阳光反射损失，提升玻璃透光率。2024 年，钢化镀膜玻璃透光率与去年变化不大，平均约 94.1%。随着玻璃薄片化、铁含量进一步降低及多层镀膜等技术的进步，透光率仍有一定的增长空间。

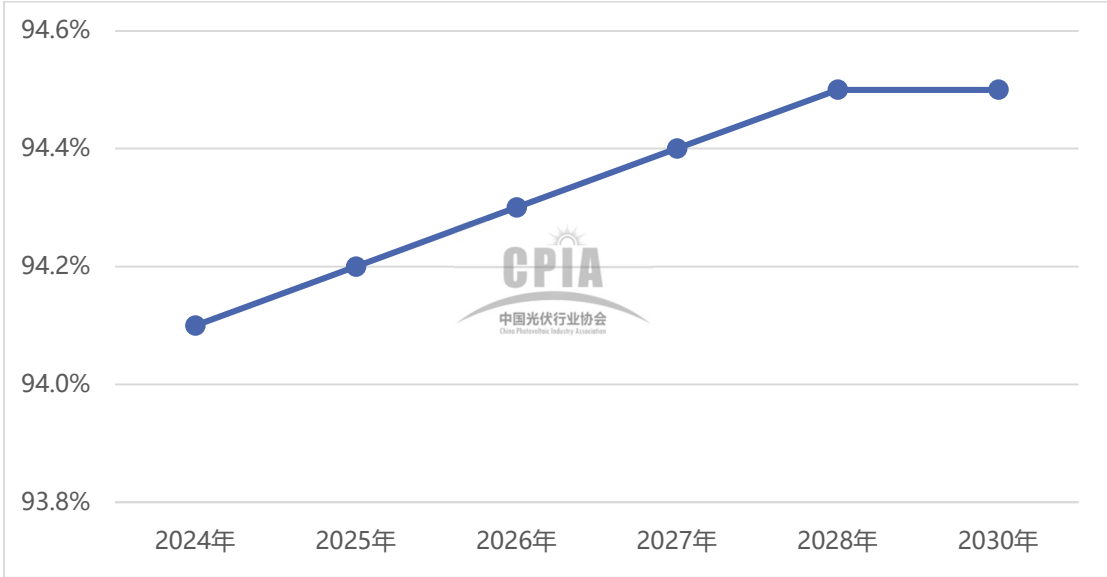


图 55 2024-2030 年组件封装用钢化镀膜玻璃透光率变化趋势

5、不同材质正面盖板组件市场占比

目前，市场上正面盖板材料主要有镀膜玻璃、非镀膜玻璃及其他材料（树脂、有机胶等）。镀膜盖板玻璃具有透光率高、表面耐脏污、抗老化性能好等优点，大部分电站以镀膜盖板玻璃为主，2024 年市场占比为 99.66%。未来几年光伏应用场景多样化或将带动其他正面盖板市场的增长。

¹⁰ 此透光率是指 380-1100nm 波段的加权平均值。

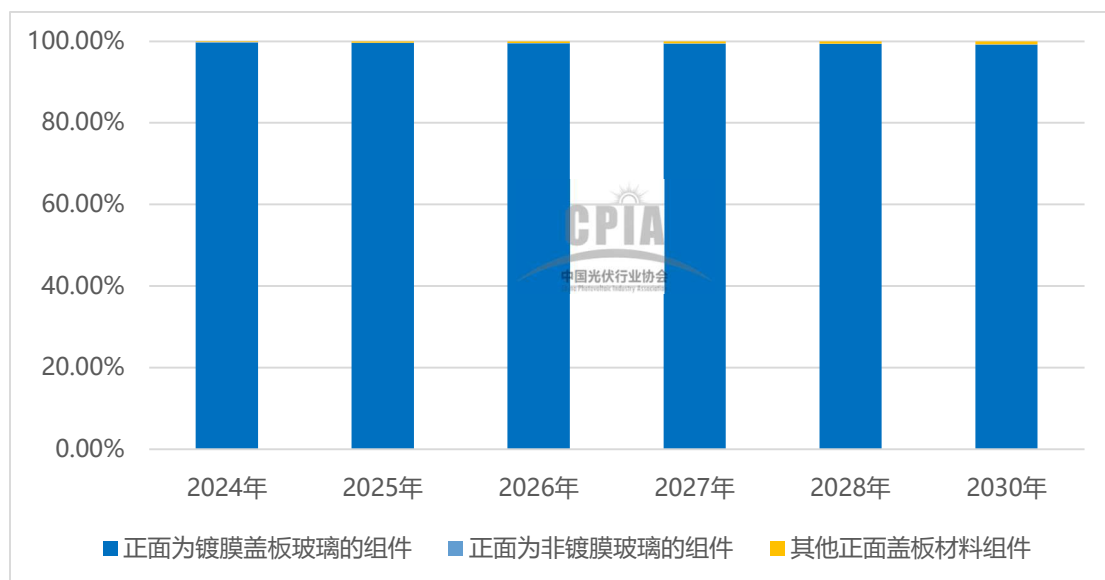


图 56 2024-2030 年不同材质正面盖板组件市场占比变化趋势

6、不同厚度的前盖板玻璃组件市场占比

目前，前盖板玻璃厚度主要有 1.6mm、2.0mm 和其他规格，其中厚度为 2.0mm 的玻璃主要用于双玻组件。2024 年，由于双面组件市场占有率进一步提高，厚度为 2.0mm 的前盖板玻璃市场占有率达到 75.8%，较去年进一步提升；同时双玻组件试用 1.6mm 厚度玻璃，其市场占有率有所提升，约为 3.3%。未来，在保证组件可靠性的前提下，盖板玻璃会向薄片化发展。

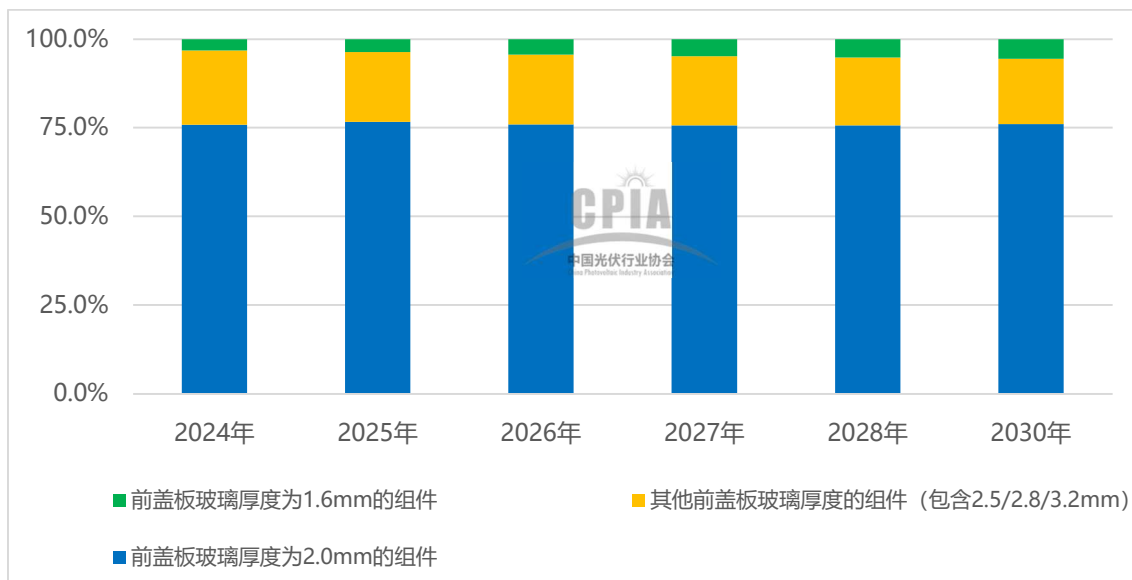


图 57 2024-2030 年不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比变化趋势

7、不同封装材料的市场占比

目前，市场上封装材料主要有透明 EVA 胶膜、白色 EVA 胶膜、聚烯烃（POE）胶膜、共挤型聚烯烃复合膜 EPE（EVA-POE-EVA）胶膜与其他封装胶膜（包括 PDMS/Silicon 胶膜、PVB 胶膜、TPU 胶膜）等。其中，POE 胶膜具有高抗 PID 的性能和高阻水性能，双玻组件通常采用的是 POE 胶膜；共挤型 EPE 胶膜不仅有 POE 胶膜的高阻水性能，同时具有 EVA 的高粘附特性，可作为 POE 胶膜的替代产品，用于双玻组件；白色 EVA 胶膜具有提高反射率的作用，可提高组件的正面输出功率。2024 年，组件封装材料仍以透明 EVA 胶膜为主，约占 41.6% 的市场份额。随着 TOPCon 组件及双玻组件市场占比的提升，共挤型 EPE 胶膜 2024 年市场占比提升至 37.0%，未来预计其市场占比将进一步增大。

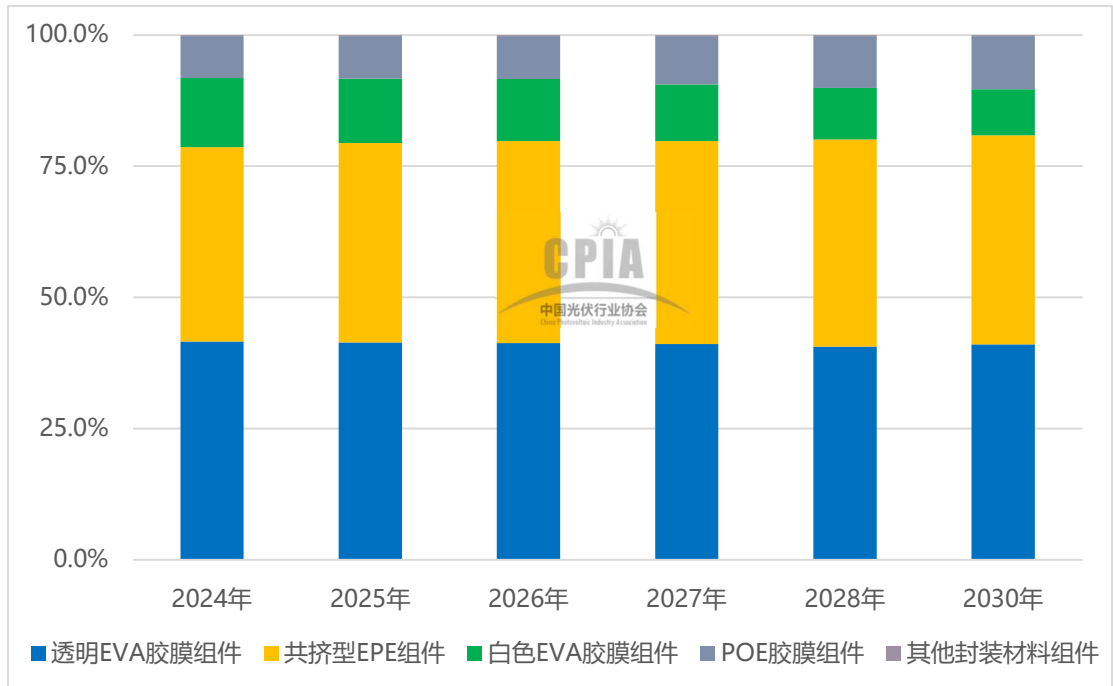


图 58 2024-2030 年不同封装材料的市场占比变化趋势

8、树脂粒子在地化供应率

树脂粒子主要包含 EVA 树脂粒子和 POE 树脂粒子。2024 年，我国已有多家企业可实现 EVA 粒子的量产，在地化供应率已基本达到 73.0% 左右。未来在光伏行业及其他行业的需求驱动下，2030 年我国 EVA 粒子在地化供应率或将进一步提升至 85% 以上。随着近两年 n 型技术的发展加快，POE 粒子的需求加速提升，国内也加快了 POE 产业化的进程，2024 年我国有部分企业完成 POE 粒子中试，新增产能稳步上升，目前在地化供应率为 6.2%。预计 2025 年新建产能将实现投产，陆续有企业进入量产阶段，在地化供应率将进一步提升。

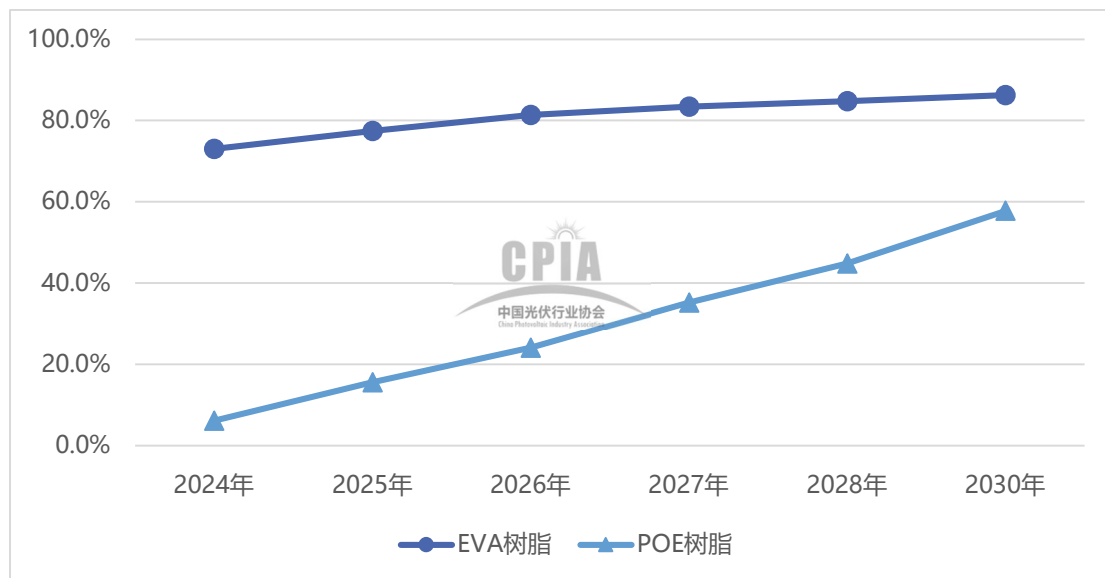


图 59 2024-2030 年树脂粒子在地化供应率变化趋势

9、不同背板材料市场占比

目前，市场上使用的背板主要包括双面涂覆型、涂覆复合型、玻璃及共挤型背板。2024 年，由于双面发电组件市场占有率进一步提升，玻璃背板仍是行业主流，占比达到 76.8%，双面涂覆型背板市场占比下降至 16.8%。未来几年，随着技术的不断进步，玻璃背板市场占有率仍有望持续增长。

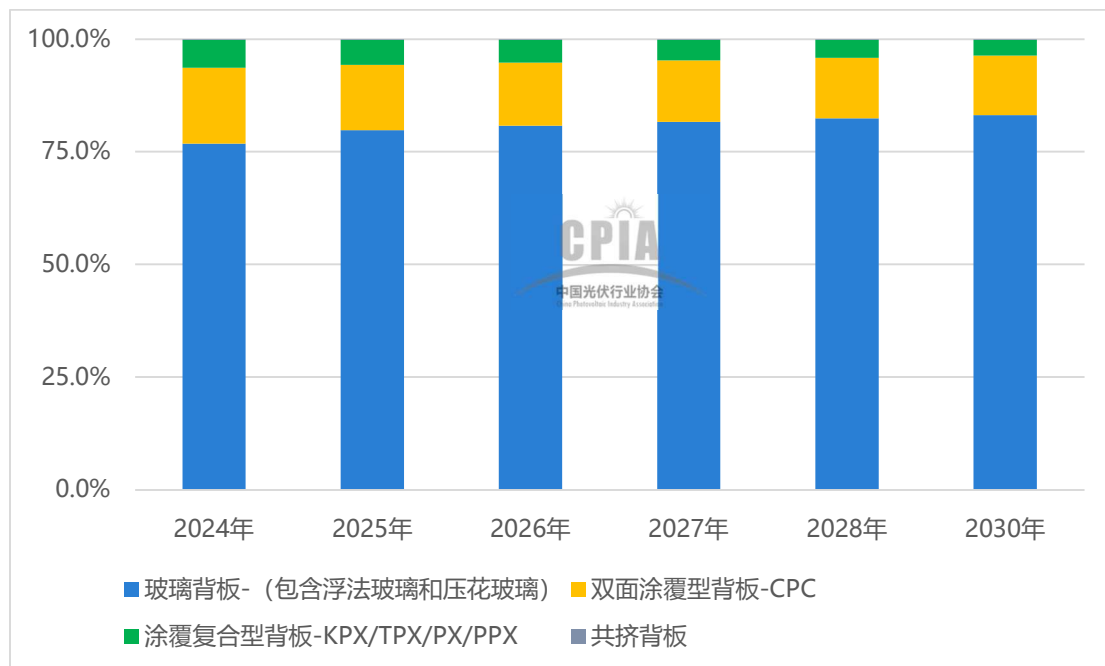


图 60 2024-2030 年不同背板材料市场占比变化趋势

10、组件电耗

组件电耗包括生产系统耗电，辅助生产系统耗电或分摊，不包含办公区域及生活用电。2024 年 PERC 组件、TOPCon 组件、HJT 组件和 XBC 组件的生产电耗分别为 1.32、1.31、1.31、1.53 万 kWh/MW。预计未来几年组件电耗随着电池效率的提升以及组件的大功率化等呈下降趋势。

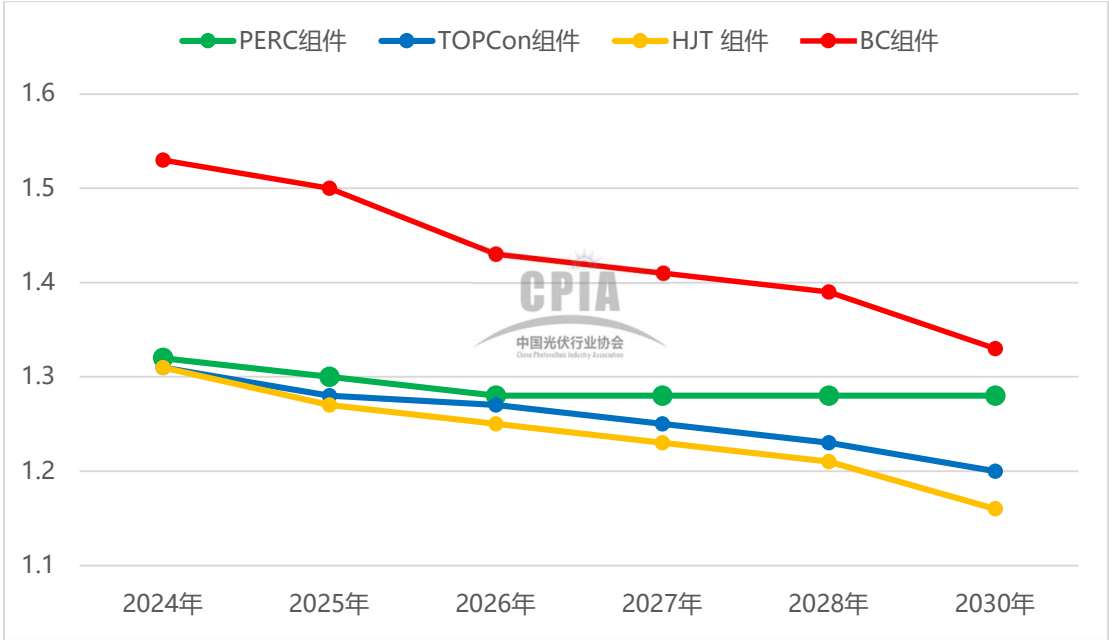


图 61 2024-2030 年组件电耗变化趋势 (单位: 万 kWh/MW)

11、组件人均产出率

组件人均产出率主要指产线直接员工的人均产出（不含管理人员）。2024 年，随着组件功率的进一步提升，单线产能增加，生产节拍加快，我国组件工厂人均产出率也提升至约 5.6MW/（人·年）。未来随着产线自动化、数字化和智能化水平的提高，以及组件功率的进一步提升，人均产出率将不断增长，到 2030 年有望达到 7.1MW/（人·年）。

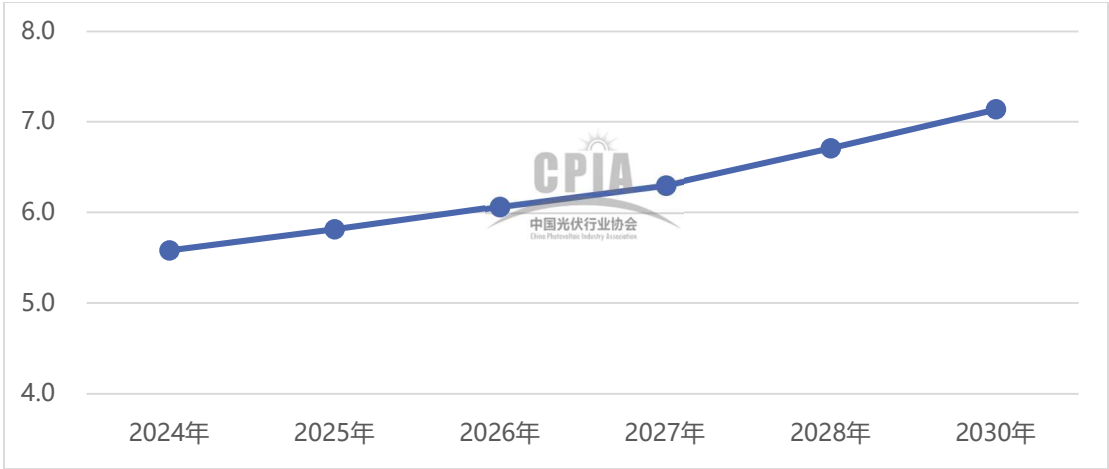


图 62 2024-2030 年组件人均产出率变化趋势 (单位: MW/ (人·年))

12、组件单位产能设备投资额

目前，国内组件生产线设备主要包括串焊机、划片机、层压机、EL 测试仪、IV 测试仪、装框机、打胶机、上下载机械手等，已经全部实现本土化。2024 年，基本不存在新建 PERC 组件产线，新投 TOPCon、HJT、XBC 产线的设备投资额分别为 4.9、5.4、6.3 万元/MW。未来随着组件设备性能、单台产能以及组件功率不断提升，组件生产线投资成本仍会下降。

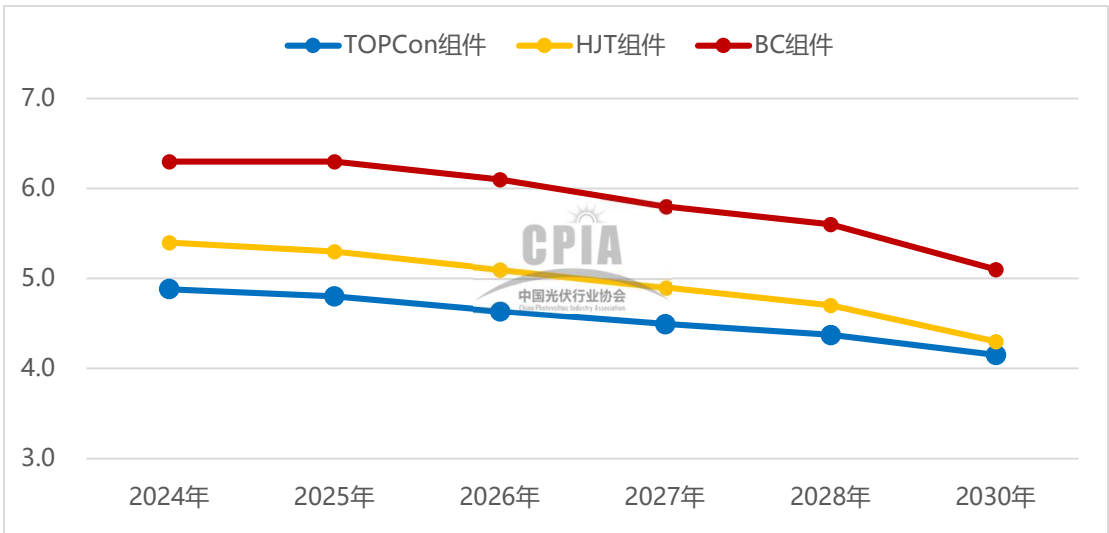


图 63 2024-2030 年组件生产线投资成本变化趋势（单位：万元/MW）

（五）薄膜太阳能电池/组件

薄膜太阳能电池具有衰减低、重量轻、材料消耗少、制备能耗低、无隐裂无边框，不怕遮挡，适合与建筑结合（BIPV）；轻质柔性薄膜电池组件可卷曲折叠，抗撞击，可实现便携式移动光伏电源等特点。目前能够商品化的薄膜太阳能电池主要包括碲化镉（CdTe）、铜铟镓硒（CIGS）、砷化镓（GaAs）等。当前，全球碲化镉薄膜电池实验室效率纪录达到 23.1%，组件量产最高效率达 19.9%，产线平均效率为 15-19%；铜铟镓硒（CIGS）薄膜太阳能电池实验室效率纪录达到 23.64%，可量产尺寸组件最高效率达 17.6%（≥0.72m²，全面积组件效率）左右，组件产线平均效率为 14-17%；Ⅲ-V 族薄膜太阳能电池，具有超高的转换效率，稳定性好，抗辐射能力强，在特殊的应用市场具备发展潜力，但由于目前成本高，市场有待开拓，生产规模不大。

1、CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率

2024 年我国小面积 CdTe 电池（≥0.5cm²）实验室最高转换效率约 20.6%。CdTe 组件（面积≥0.72m²）量产最高转换效率为 17.7%，量产平均转换效率为 16.1%，2025 年有望达到 16.5%。

表 4 2024-2030 年国内 CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率变化趋势

CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率 (%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
碲化镉 CdTe 小电池片实验室最高转换效率	20.6%	20.9%	21.3%	22.0%	22.8%	24.2%
碲化镉 CdTe 组件量产最高转换效率	17.7%	18.0%	18.5%	19.3%	20.2%	21.8%
碲化镉 CdTe 组件量产平均转换效率	16.1%	16.5%	17.0%	17.9%	18.8%	20.6%

2、CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率

铜铟镓硒(CIGS)薄膜太阳能电池，一般采用玻璃材质衬底，也可以采用柔性衬底（如不锈钢箔等）。2024 年我国玻璃基 CIGS 小电池片（≥1cm² 孔径面积）实验室最高转换效率为 23.0%。量产的玻璃基 CIGS 组件（面积为 1200×600mm²）最高转换效率约 17.6%，平均转换效率（面积为 1200 x 600mm²）约 16.5%。柔性 CIGS 小电池片（≥1cm² 孔径面积）实验室最高转换效率为 22.5%，柔性 CIGS 组件（≥0.5 m² 开口面积）最高转换效率为 18.6%，量产平均转换效率 17.3%。未来，在大面积均匀镀膜、快速工艺流程、更高效镀膜设备的开发和本土化、组件效率的提升、生产良率的提高、规模经济效益的发挥等因素带动下，CIGS 薄膜电池生产成本有望进一步下降。

表 5 2024-2030 年国内 CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率变化趋势

CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率 (%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
小电池片实验室最高转换效率	23.0%	23.4%	23.8%	24.2%	24.6%	25.3%
玻璃基组件量产最高转换效率	17.6%	17.9%	18.4%	19.1%	19.8%	21.5%
玻璃基组件量产平均转换效率	16.5%	16.9%	17.5%	18.2%	18.9%	20.6%
柔性小电池片实验室最高转换效率	22.5%	22.8%	23.2%	23.8%	24.3%	25.3%

CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率 (%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
柔性组件最高转换效率	18.6%	18.8%	19.3%	19.8%	20.3%	21.5%
柔性组件量产平均转换效率	17.3%	17.8%	18.3%	18.9%	19.4%	20.7%

3、Ⅲ-V 族薄膜太阳能电池转换效率

Ⅲ-V 族薄膜电池由于能隙与太阳光谱匹配较适合，具有较高的理论效率，主要应用于空间高效太阳电池，目前主流技术是金属有机化合物气相外延（MOCVD），及衬底剥离转移技术。较为成熟的电池结构有晶格匹配的单结 GaAs 电池、晶格匹配的 GaInP/GaAs 双结电池，以及晶格失配的 GaInP/GaAs/GaInAs 三结电池。由于该领域的设备及技术独特性，进行研发的研究机构及企业较少，目前企业研发主要以三结电池为主。2024 年，三结电池的研发平均转换效率达到 36.9%。

表 6 2024-2030 年国内Ⅲ-V 族薄膜太阳能电池转换效率变化趋势

Ⅲ-V 族薄膜太阳能电池转换效率 (%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
砷化镓 GaAs 小电池片三结研发平均转换效率	36.9%	37.1%	37.3%	37.7%	38.0%	39.0%

4、钙钛矿太阳能电池转换效率

钙钛矿太阳能电池具有高光电转换效率、带隙可调、降本空间大等优势，具有广阔的发展前景。近几年来，学术与产业界的研究人员通过不断优化钙钛矿太阳能电池的配方和工艺，单结、柔性、叠层钙钛矿电池的转换效率和稳定性均不断取得突破。

（1）刚性钙钛矿太阳能电池转换效率

刚性钙钛矿太阳能电池是基于刚性衬底利用钙钛矿型有机/无机金属卤化物半导体作为吸光材料的太阳能电池。与传统晶硅太阳能电池相比，刚性钙钛矿太阳能电池具有效率潜力更高、成本更低的优点以及透明度可调的特点。目前，行业内刚性钙钛矿电池生产已进入量产阶段，已有 7 条 100MW 及以上中试线投产，3 条 GW 级产线在建。截至 2024 年底，已有 5 座 MW 级单结钙钛矿组件地面示范电站，最大单体装机量为 8.6MW。2024 年，对于刚性钙钛矿太阳能电池，微型电池片实验室（ $\leq 10\text{cm}^2$ ）最高转换效率为 26.7%（@ 0.0519cm^2 ），玻璃基小组件（ $10 < S < 200\text{cm}^2$ ）最高转换效率为 23.5%（@ 19.19cm^2 ），玻璃基中试组件（ $200 \leq S < 7200\text{cm}^2$ ）最高转换效率为 22.4%（@ 2048cm^2 ），玻璃基量产组件（ $\geq 7200\text{cm}^2$ ）最高转换效率为 19.0%（@ 20000cm^2 ）。

表 7 2024-2030 年国内刚性钙钛矿太阳能电池转换效率变化趋势

刚性钙钛矿太阳能电池转换效率(%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
微型电池片实验室最高转换效率 ($\leq 10\text{cm}^2$)	26.7%	27.2%	27.6%	28.0%	28.4%	29.0%
玻璃基小组件最高转换效率 ($10 < S < 200\text{cm}^2$)	23.5%	24.2%	24.8%	25.4%	26.0%	27.0%
玻璃基中试组件最高转换效率 ($200 \leq S < 7200\text{cm}^2$)	22.4%	22.8%	23.5%	24.2%	24.9%	26.0%
玻璃基量产组件最高转换效率 ($\geq 7200\text{cm}^2$)	19.0%	20.3%	21.1%	21.9%	22.7%	24.0%

(2) 柔性钙钛矿太阳能电池转换效率

柔性钙钛矿太阳能电池是基于柔性衬底利用钙钛矿半导体作为吸光材料的太阳能电池,一般具有高光电转换效率和轻便、可弯曲特性,特别适用于需要灵活电源的移动设备。柔性大面积制造技术对于柔性钙钛矿能否实现商业化至关重要。目前,柔性钙钛矿电池大多处于小规模试验阶段,6条1MW及以上柔性电池试验线已建成。2024年,对于柔性钙钛矿电池,柔性小组件(幅宽 $\leq 100\text{mm}$)最高转换效率为26.6%(幅宽 $\approx 3\text{mm}$),柔性中试组件($100 < \text{幅宽} < 400\text{mm}$)最高转换效率为18.1%(@ 300mm),柔性量产组件(幅宽 $\geq 400\text{mm}$)最高转换效率为17.5%(@ 400mm)。

表 8 2024-2030 年国内柔性钙钛矿太阳能电池转换效率变化趋势

柔性钙钛矿太阳能电池转换效率(%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
柔性小组件最高转换效率 (幅宽 $\leq 100\text{mm}$)	26.6%	27.1%	27.5%	27.9%	28.3%	28.9%
柔性中试组件最高转换效率 ($100 < \text{幅宽} < 400\text{mm}$)	18.1%	19.4%	20.2%	21.0%	21.8%	23.1%
柔性量产组件最高转换效率 (幅宽 $\geq 400\text{mm}$)	17.5%	18.8%	19.6%	20.4%	21.2%	22.5%

(3) 钙钛矿-晶硅叠层太阳能电池转换效率

钙钛矿-晶硅叠层电池通过将钙钛矿太阳能电池和晶硅太阳能电池叠加在一起,形成梯度带隙结构,以实现更高的光电转换效率和更好的性能。钙钛矿-晶硅叠层电池的理论效率极限可达43%左右。2024年,对于钙钛矿-晶硅叠层电池,小型电池片($1 \leq S < 165\text{cm}^2$)实验室最高转换效率为34.6%(@ 1cm^2),硅片级电池片($165 \leq S < 441\text{cm}^2$)实验室最高转换效率为30.0%(@ 212cm^2),中试叠层组件($441 \leq S < 6500\text{cm}^2$,硅片级子电池数量 ≥ 4 片)最高转换效率为27.0%(@ 2050cm^2),叠层量产组件($\geq 6500\text{cm}^2$)实验室最高转换效率为26.3%(@ 17100cm^2)。

表 9 2024-2030 年国内钙钛矿-晶硅叠层太阳能电池转换效率变化趋势

钙钛矿-晶硅叠层太阳能电池转换效率(%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
小型电池片实验室最高转换效率 ($1 \leq S < 165\text{cm}^2$)	34.6%	35.3%	36.0%	36.5%	37.0%	38.0%
硅片级电池片实验室最高转换效率 ($165 \leq S < 441\text{cm}^2$)	30.0%	31.0%	32.0%	32.5%	32.7%	33.0%
中试叠层组件最高转换效率 ($441 \leq S < 6500\text{cm}^2$, 硅片级子电池数量 ≥ 4 片)	27.0%	28.0%	29.0%	29.5%	29.7%	30.0%
叠层量产组件实验室最高转换效率 ($\geq 6500\text{cm}^2$)	26.3%	27.5%	28.5%	29.0%	29.3%	29.5%

(4) 钙钛矿-钙钛矿叠层太阳能电池转换效率

钙钛矿-钙钛矿叠层太阳能电池通过将两个或更多个具有不同带隙宽度的钙钛矿层叠加在一起，形成梯度带隙结构，以此来提高光电转换效率。2024 年，对于钙钛矿-钙钛矿叠层电池，微型电池片 ($\leq 10\text{cm}^2$) 实验室最高转换效率为 30.0% (@ 0.0493cm^2)，小组件 ($> 10\text{cm}^2$) 最高转换效率为 24.8% (@ 64.98cm^2)。

表 10 2024-2030 年国内钙钛矿-钙钛矿叠层太阳能电池转换效率变化趋势

钙钛矿-钙钛矿叠层太阳能电池转换效率(%)	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
微型电池片实验室最高转换效率 ($\leq 10\text{cm}^2$)	30.0%	31.0%	32.0%	33.0%	34.0%	35.0%
小组件最高转换效率 ($> 10\text{cm}^2$)	24.8%	26.0%	27.0%	28.0%	29.0%	30.0%

（六）逆变器¹¹

1、不同类型逆变器市场占比

2024 年，光伏逆变器市场仍然以组串式逆变器和集中式逆变器为主。其中，组串式逆变器市场占比为 80%，集中式逆变器市场占比为 20%。未来受应用场景变化、特高压直流送出改造等多种因素影响，不同类型逆变器市场占比变化的不确定性较大。

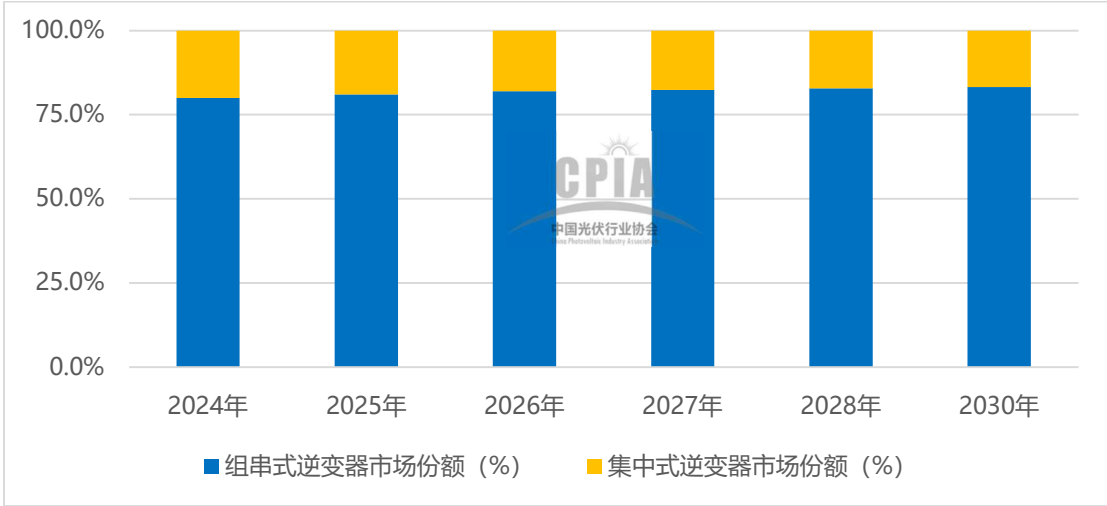


图 64 2024-2030 年我国不同类型逆变器市场占比变化趋势

2、逆变器人均产出率

逆变器人均产出率主要指产线直接员工的人均产出（不含管理人员、外协加工和元器件制造人员）。2024 年，我国逆变器人均产出率约为 28.0MW/（人·年），随着产线自动化、数字化、智能化水平及单台逆变器容量的提高，未来逆变器人均产出率有望实现大幅提升，到 2030 年有望达到 37.5MW/（人·年）。

¹¹ 逆变器环节的参数均代表国内应用情况。

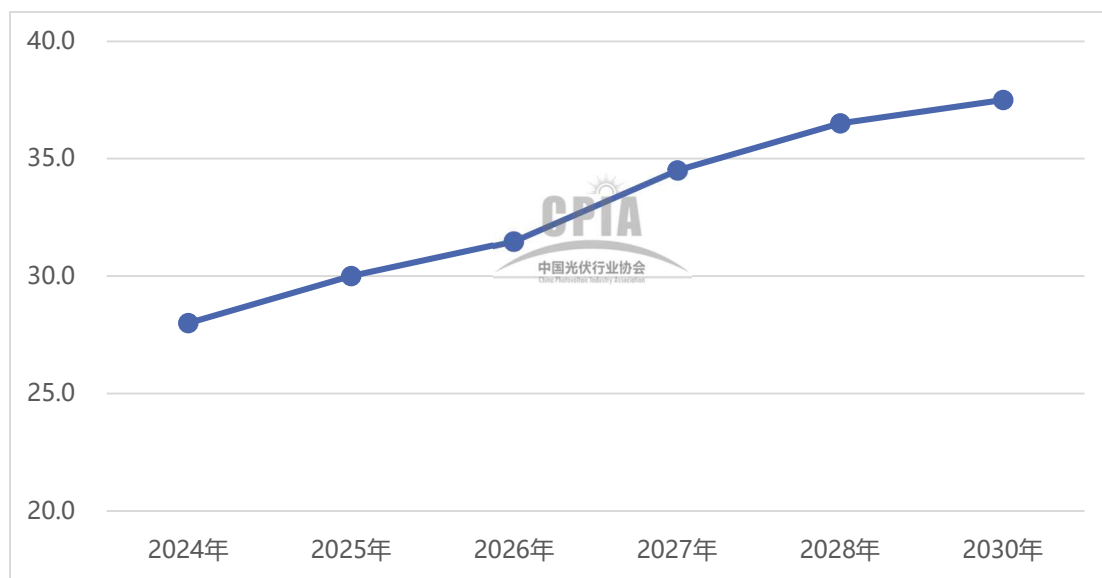


图 65 2024-2030 年我国逆变器人均产出率变化趋势 (单位: MW/ (人·年))

3、逆变器单机主流额定功率

逆变器额定功率是指在一定的环境温度下可长时间持续稳定输出的功率。2024 年集中式逆变器单机主流功率为 3400kW/台¹², 2024 年集中式电站用组串式逆变器单机主流功率为 315kW/台¹³。未来组件方阵变大将带动逆变器单机额定功率提升, 好处和安全隐患并存。逆变器单机主流额定功率将由技术发展和市场需求共同决定, 除了技术创新外, 也需考虑与高功率组件的匹配、箱变保护熔断器、人员配备、运维检测设备更高安规要求等因素。

表 11 2024-2030 年我国逆变器单机主流额定功率 (单位: kW/台)

单台平均功率	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
集中式逆变器	3400	3800	3900	4000	4100	4200
组串式逆变器—集中式电站用	315	315	325	340	350	365

4、逆变器功率密度

逆变器功率密度是指逆变器额定功率与逆变器设备自身的重量比值。随着电力电子器件的升级以及逆变器生产厂商在逆变器结构上的创新, 逆变器的功率密度显著提升。2024 年集中式逆变器功率密度为 1.25kW/kg, 集中式电站用组串式逆变器功率密度为 2.76kW/kg。

¹² 2024 年集中式逆变器的单机主流额定功率是 3125 kW/台、3300 kW/台和 4400 kW/台, 取加权平均值为 3400 kW/台。

¹³ 2024 年集中式电站用组串式逆变器的单机主流额定功率是 300kW/台和 320kW/台, 取加权平均值为 315kW/台。

表 12 2024-2030 年我国逆变器功率密度变化趋势（单位：kW/kg）

功率密度	2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2030 年
集中式逆变器	1.25	1.39	1.48	1.54	1.68	1.73
组串式逆变器—集中式电站用	2.76	2.79	2.93	3.05	3.25	3.50

5、逆变器功率模块在地化供应率

逆变器功率模块在地化供应率指的是应用国内本土产功率模块的逆变器占出货至国内所有逆变器总量的比例。在近几年国际局势影响下，出于加强我国产品供应链安全的考虑，我国需要具备一定的功率芯片和器件的在地化生产能力。2024 年集中式逆变器在地化供应率为 50%；1500V 组串式逆变器在地化供应率为 39.4%；1000V 组串式逆变器在地化供应率已经达到 60%。随着逆变器厂商技术进步，我国逆变器功率模块在地化供应率将得到显著提升。

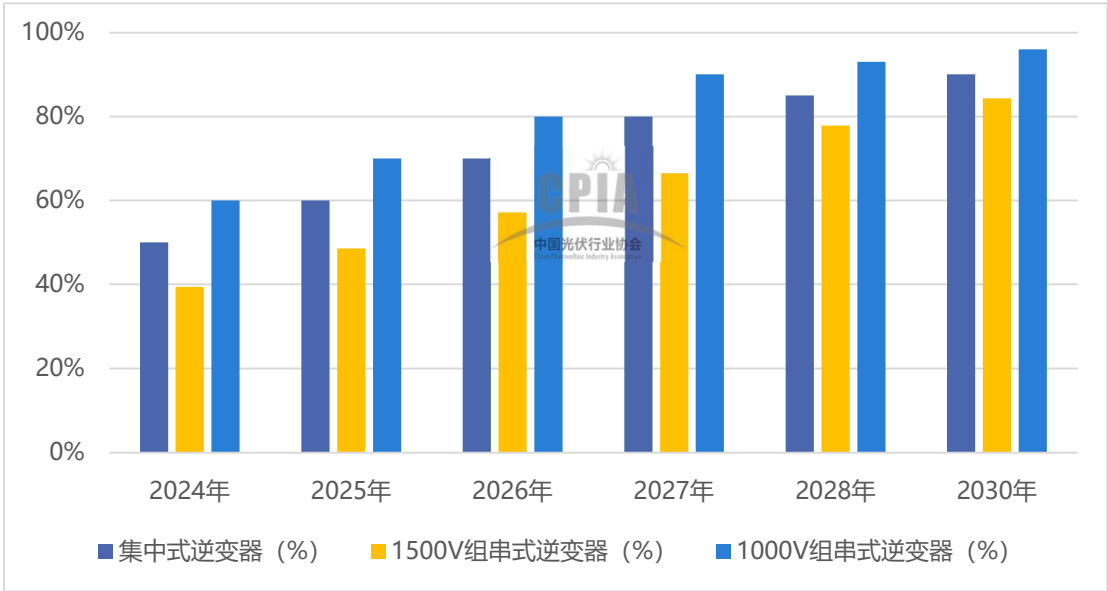


图 66 2024-2030 年我国逆变器功率器件在地化供应率变化趋势

6、逆变器主控制芯片在地化供应率

逆变器主控制芯片在地化供应率指的是使用国内本土产主控制芯片的逆变器占出货至国内所有逆变器总量的比例。2024 年我国逆变器主控制芯片在地化供应率为 29%，同比 2023 年提升超过 5 个百分点。随着国内控制芯片厂商的不断发展，预计 2030 年我国逆变器主控制芯片在地化供应率或将超过 72%，行业对本土产芯片有所期待。

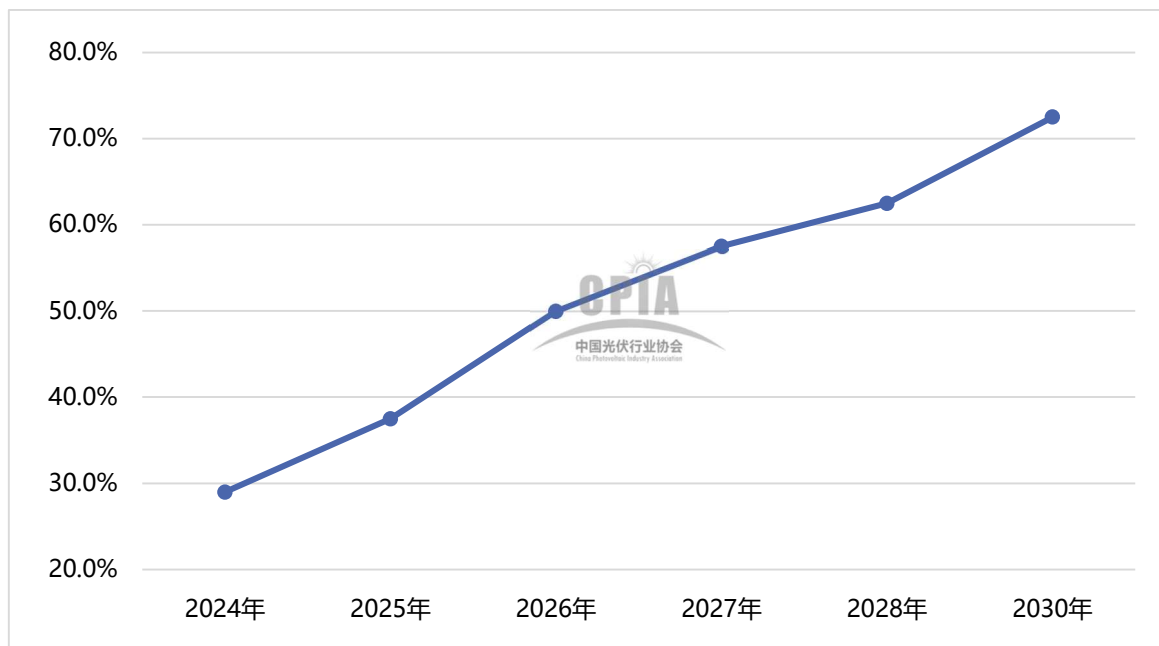


图 67 2024-2030 年我国逆变器控制芯片在地化供应率变化趋势

7、逆变器单位容量设备投资额

逆变器单位容量设备投资额指从锡膏印刷到组装以及包装环节所用生产设备所需的投资成本。2024 年，逆变器设备投资成本由 2023 的 4.5 万元/MW 下降到 4.3 万元/MW。未来随着逆变器功率密度的提升和自动化水平的提高，以及市场需求的增加使得产线利用率有所提升，都将使单位容量设备投资额呈下降趋势，预计 2030 年可降低至 4 万元/MW。

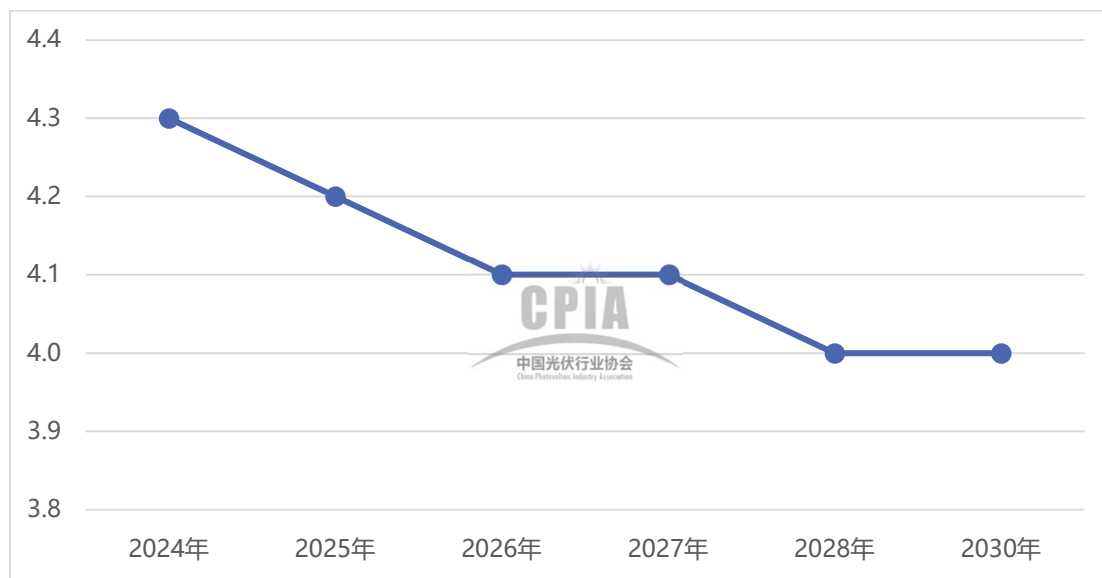


图 68 2024-2030 年逆变器设备投资额变化趋势（单位：万元/MW）

（七）系统环节

1、全球光伏新增装机量

全球已有多个国家提出了“碳中和”或“气候中和”的气候目标，发展以光伏为代表的可再生能源已成为全球共识。根据国际可再生能源机构（IRENA）在《全球能源转型展望》中提出的 1.5℃ 情景，到 2030 年，可再生能源装机将达到 11000GW 以上，其中光伏装机将超过 5400GW。根据国际能源署（IEA）在《2024 年可再生能源分析与展望》中预测，到 2030 年，光伏新增装机容量在各种电源形式中占比将达到 70%。整体而言，全球光伏市场仍有增长空间。2024 年全球光伏新增装机约 530GW。未来在光伏发电成本持续下降和新兴市场需求增长等有利因素的推动下，全球光伏新增装机仍将持续增长。

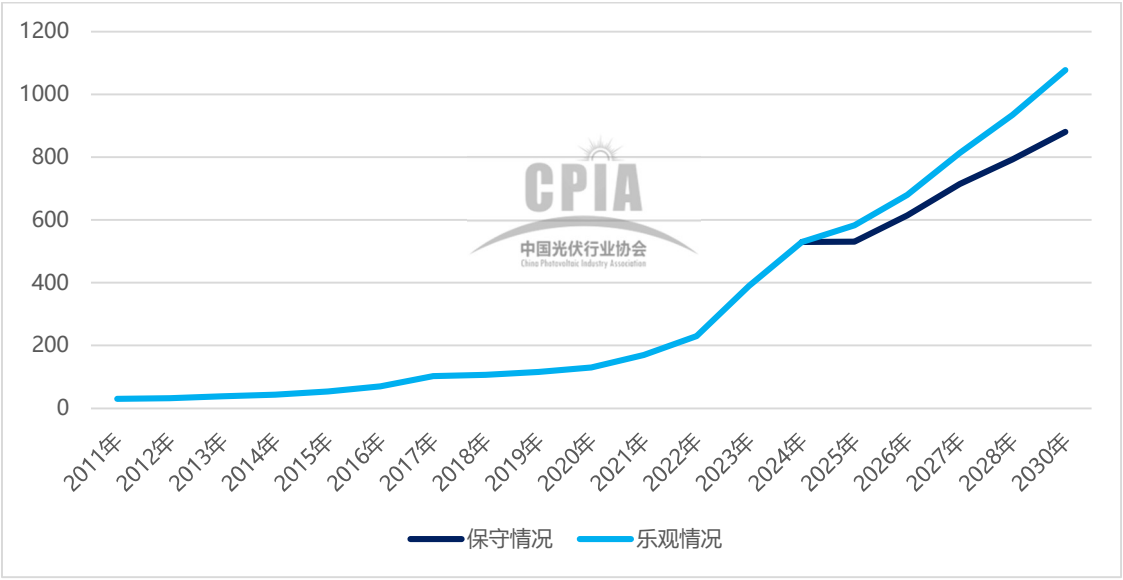


图 69 2011-2024 年全球光伏年度新增装机规模以及 2025-2030 年新增规模预测（单位：GW）

2、国内光伏新增装机量

2024 年，我国国内光伏新增装机 277.57GW，同比增加 28.3%。其中集中式增量更加显著，新增装机 159.39GW，同比增长 32.8%；分布式光伏电站新增装机 118.18GW，同比增长 22.7%。2025 年，受分布式光伏发电管理办法、新能源上网电价市场化改革等政策及上述政策与各省具体实施办法出台时间差的影响，行业存在一定观望情绪，从而增加 2025 年装机预期的不确定性。

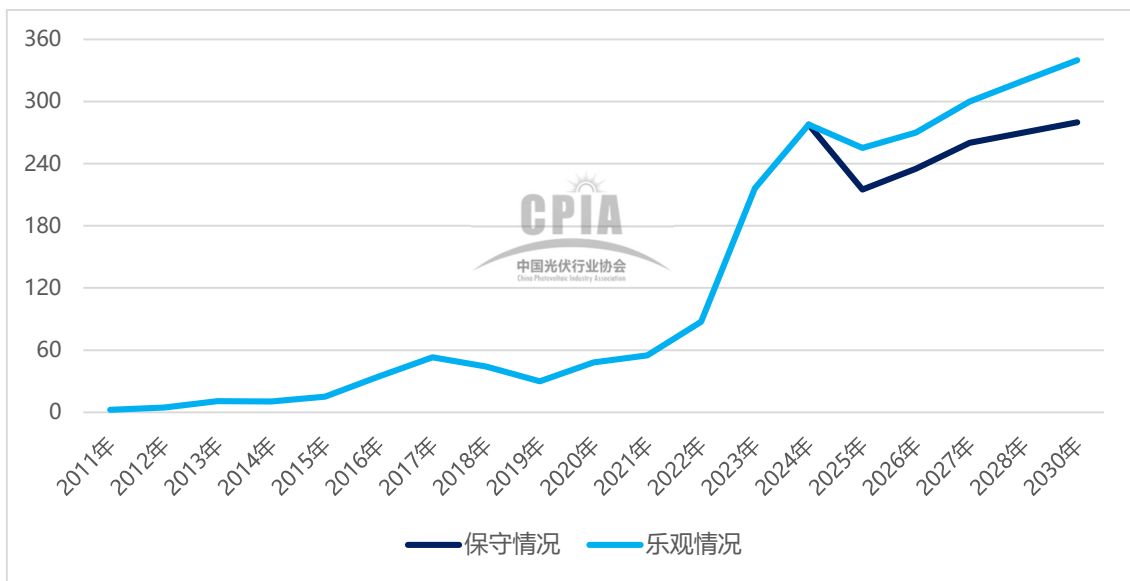


图 70 2011-2024 年国内光伏年度新增装机规模以及 2025-2030 年新增规模预测 (单位: GW)

3、光伏应用市场

2024 年光伏新增装机 277.57GW，其中集中式新增 159.39GW，占比 57.4%，以“沙戈荒”为重点的大型风电光伏基地是支撑集中式光伏装机的重要因素。分布式新增 118.18GW，占比 42.6%，其中，工商业分布式新增 88.63GW，占比 31.9%，市场分布以东部地区省份为主；户用分布式新增 29.55GW，占比 10.7%，户用分布式新增装机出现下降，也与统计口径变化有关（部分企业开发的户用光伏按照工商业分布式统计）。受消纳、电价以及分布式光伏发电管理办法中对分布式光伏定义的变化等因素影响，未来光伏应用市场结构存在较大不确定性。

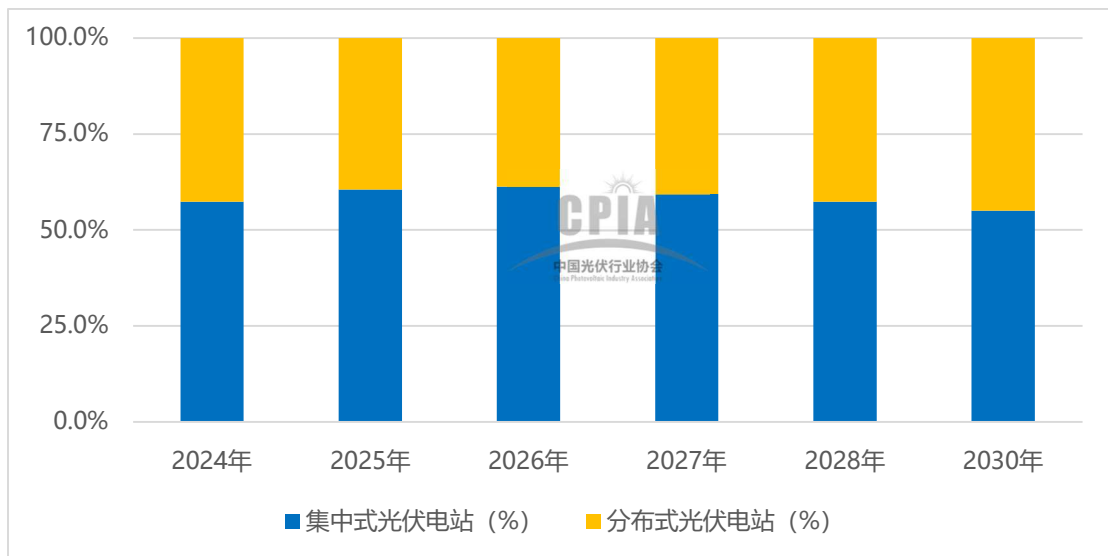


图 71 2024-2030 年不同类型光伏应用市场变化趋势

4、我国光伏系统初始全投资及运维成本

(1) 地面光伏系统初始全投资（CAPEX）¹⁴

我国地面光伏系统的初始全投资主要由组件、逆变器、支架、电缆、一次设备、二次设备等关键设备成本，以及土地费用、电网接入、建安、管理费用等部分构成。其中，一次设备包含箱变、主变、开关柜、升压站（100MW,110kV）等设备，二次设备包括监控、通信等设备。土地费用包括全生命周期土地租金以及植被恢复费或相关补偿费用；电网接入成本仅含送出 100MW, 110kV, 10km 的对侧改造；管理费用包括前期管理、勘察、设计以及招投标等费用。建安费用主要为人工费用、土石方工程费用及常规钢筋水泥费用等，未来下降空间不大。组件、逆变器等关键设备价格目前已经处于低位，未来更倾向于逐渐企稳。接网、土地、项目前期开发费用等属于非技术成本，不同区域及项目之间差别较大。

2024 年，我国地面光伏系统的初始全投资成本为 2.90 元/W 左右，其中组件约占投资成本的 29.3%，非技术成本约占 19.6%（不包含融资成本）。从占比来看，各分项占比有较大变化，主要原因是 2024 年组件成本有较大幅度下降，组件占比从 2023 年的 38.8%降至 29.3%，其他部分的占比相应提升，但绝对值基本保持一致。预计未来光伏系统的初始全投资将呈小幅下降趋势。

¹⁴本指标以投资建设 100MW，接入 110kV 地面光伏系统为例，容配比按 1:1.25 考虑。

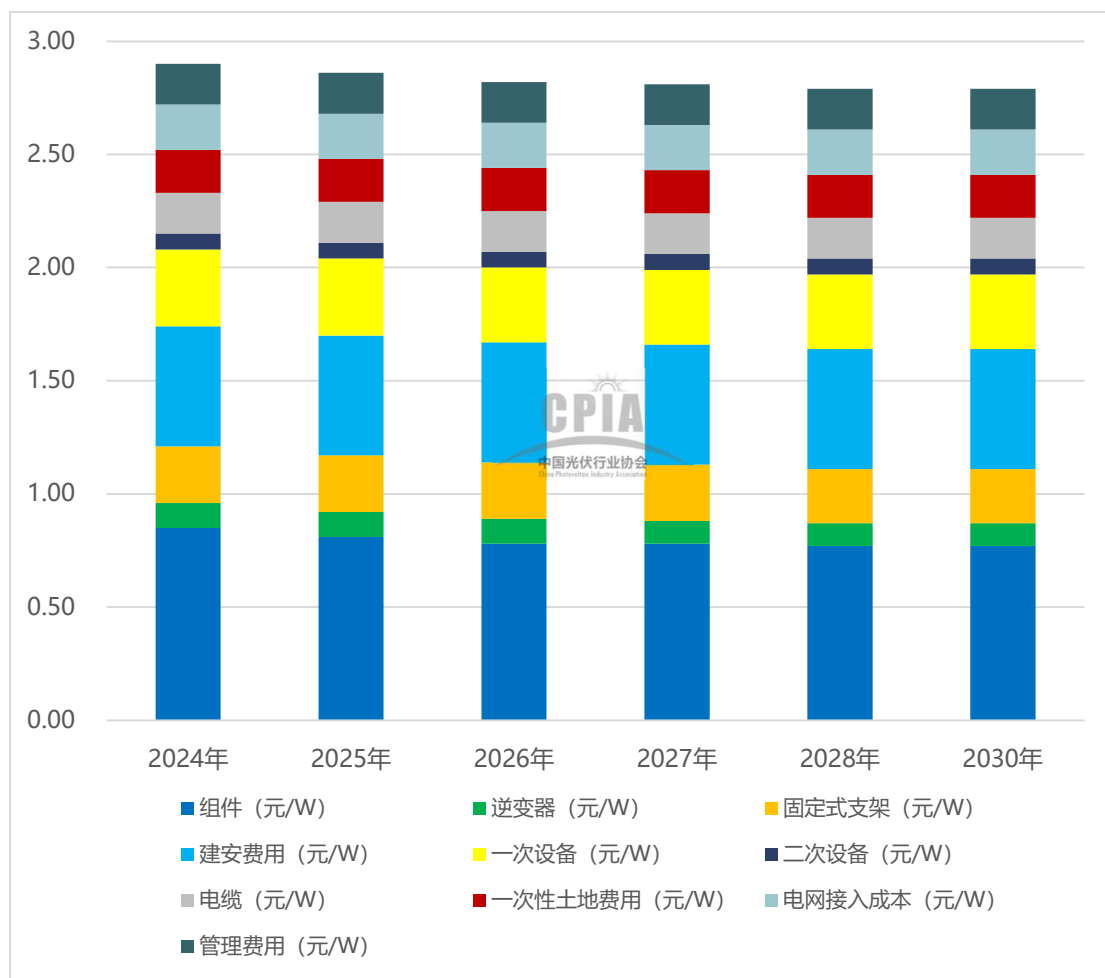


图 72 2024-2030 年我国地面光伏系统初始全投资变化趋势 (单位: 元/W)

(2) 工商业分布式光伏系统初始全投资

我国工商业分布式光伏系统的初始全投资主要由组件、逆变器、支架、电缆、建安费用、电网接入、屋顶租赁、屋顶加固以及一次设备、二次设备等部分构成。其中一次设备包括箱变、开关箱以及预制舱。2024 年我国工商业分布式光伏系统初始投资成本为 2.70 元/W，预计 2030 年下降至 2.57 元/W。

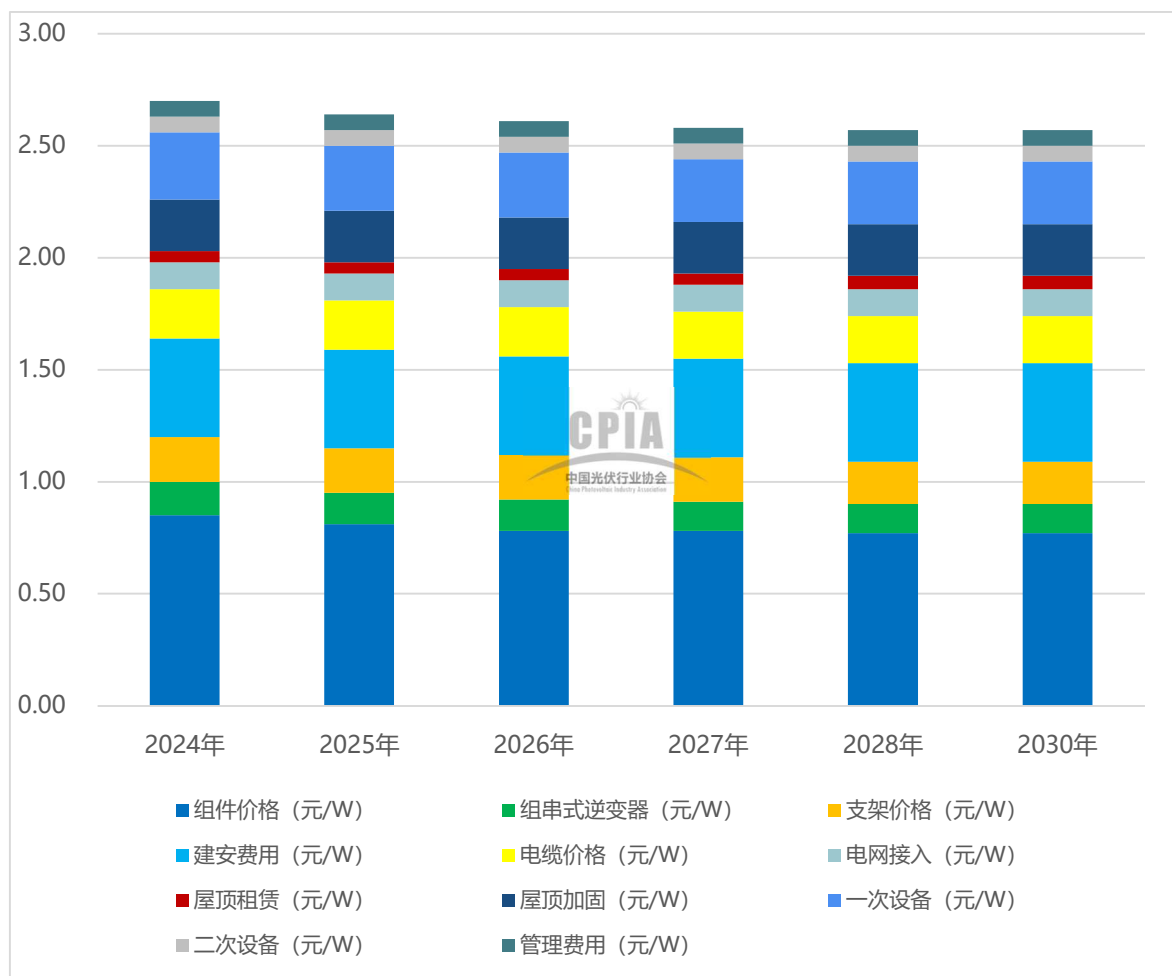


图 73 2024-2030 年我国工商业分布式光伏系统初始全投资变化趋势 (单位: 元/W)

(3) 电站运维成本¹⁵

电站运维是太阳能光伏发电系统运行维护的简称, 是以系统安全为基础, 通过预防性维护、周期性维护以及定期的设备性能测试等手段, 科学合理地对电站进行管理, 以保障整个电站光伏发电系统的安全、稳定、高效运行, 从而保证投资者的收益回报, 也是电站交易、再融资的基础。2024 年, 分布式光伏系统运维成本为 0.046 元/(W·年), 集中式地面电站为 0.038 元/(W·年), 较 2023 年小幅下降。预计未来几年地面光伏电站以及分布式系统的运维成本将略有下降。

¹⁵ 电站运维仅包括基础运维, 不含纳入固定资产更换的部分。

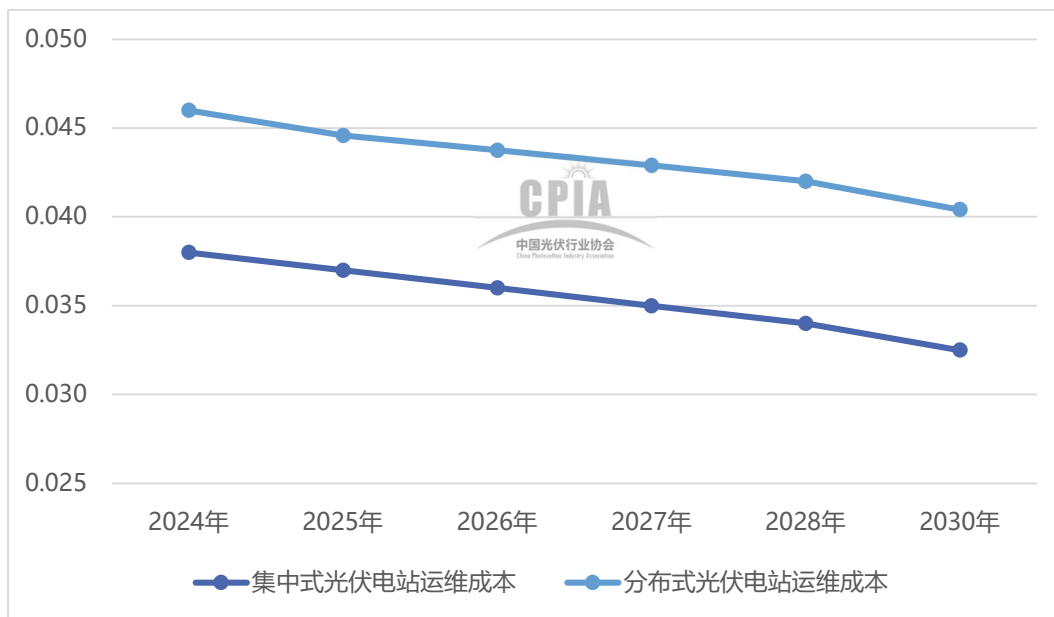


图 74 2024-2030 年我国电站运维成本变化趋势 (单位: 元/(W·年))

5、不同等效利用小时数 LCOE 估算¹⁶

通常用 LCOE (Levelized Cost of Electricity, 平准发电成本) 来衡量光伏电站整个生命周期的单位发电量成本, 并可用来与其他电源发电成本对比。在全投资模型下, LCOE 与初始投资、运维费用、发电小时数有关。2024 年, 全投资模型下地面光伏电站在 1800 小时、1500 小时、1200 小时、1000 小时等效利用小时数的 LCOE 分别为 0.130、0.157、0.205、0.246 元/kWh。

¹⁶ ①本估算值仅考虑全投资情景, 不包含融资成本; ②LCOE 值计算按照《光伏发电系统效能规范》中 LCOE 计算公式得出, 其中折现率按照 5% 计算, 电站残值按照 5% 计算, 增值税按 5 年分期完成抵扣, 土地年租金 (东部地区 0.015, 西部地区 0.005, 其中地面电站 1800h 和 1500h 采用西部地区土地年租金计算, 地面电站 1200h、1000h 和分布式电站采用东部地区土地年租金计算), 运营期按 25 年计算。③容配比按 1:1.25 考虑。

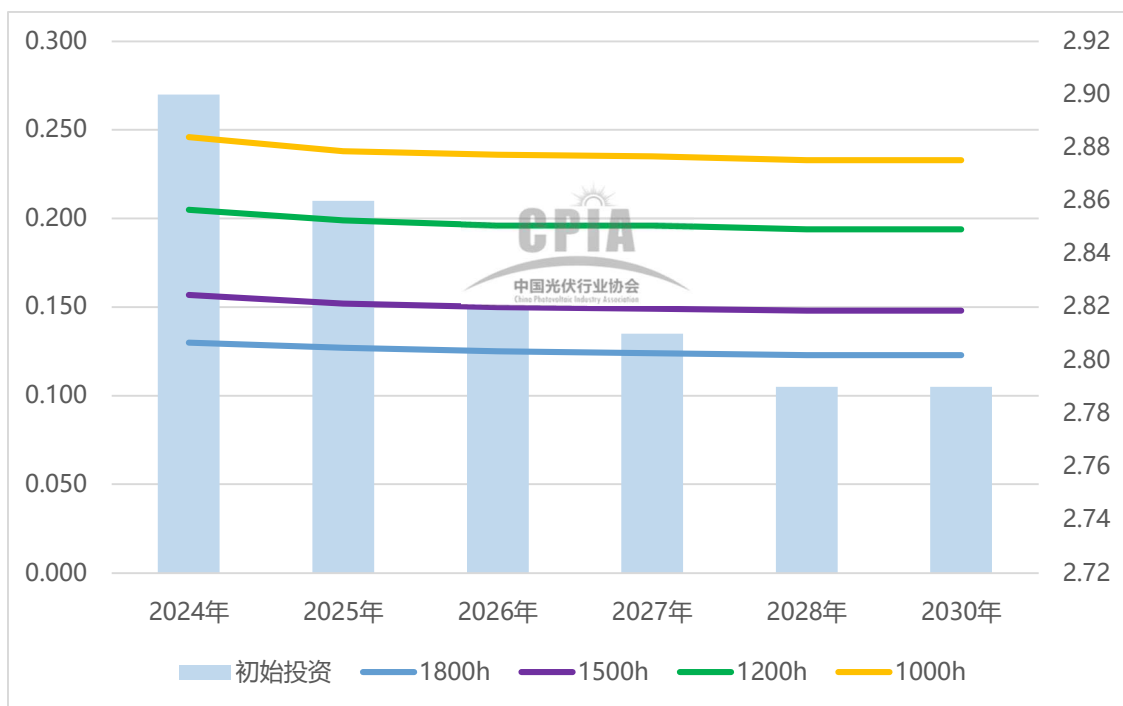


图 75 2024-2030 年光伏地面电站不同等效利用小时数 LCOE 估算 (元/kWh)

2024 年，全投资模型下分布式光伏发电系统在 1800 小时、1500 小时、1200 小时、1000 小时等效利用小时数的 LCOE 分别为 0.136、0.163、0.204、0.245 元/kWh。目前国内分布式光伏已在全国大部分地区具有经济性。

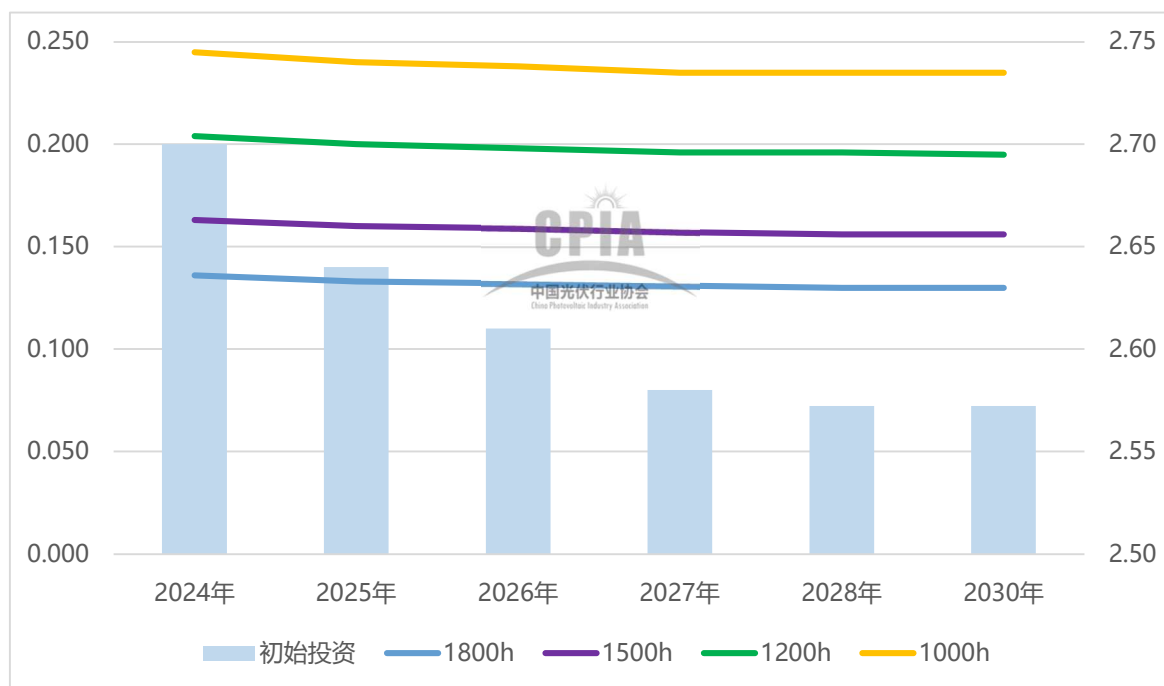


图 76 2024-2030 年光伏分布式电站不同等效利用小时数 LCOE 估算 (元/kWh)

6、不同系统电压等级市场占比¹⁷

2024 年国内新系统最小系统电压 1500V 的市场占比 58.4%，新系统最大系统电压 1000V 市场占比 41.6%。当前分布式光伏较少使用 1500V 系统，未来随着成本降低、发电效率的提升以及适应电网需求等因素，预计 1500V 系统在分布式光伏中的使用比例可能增加。

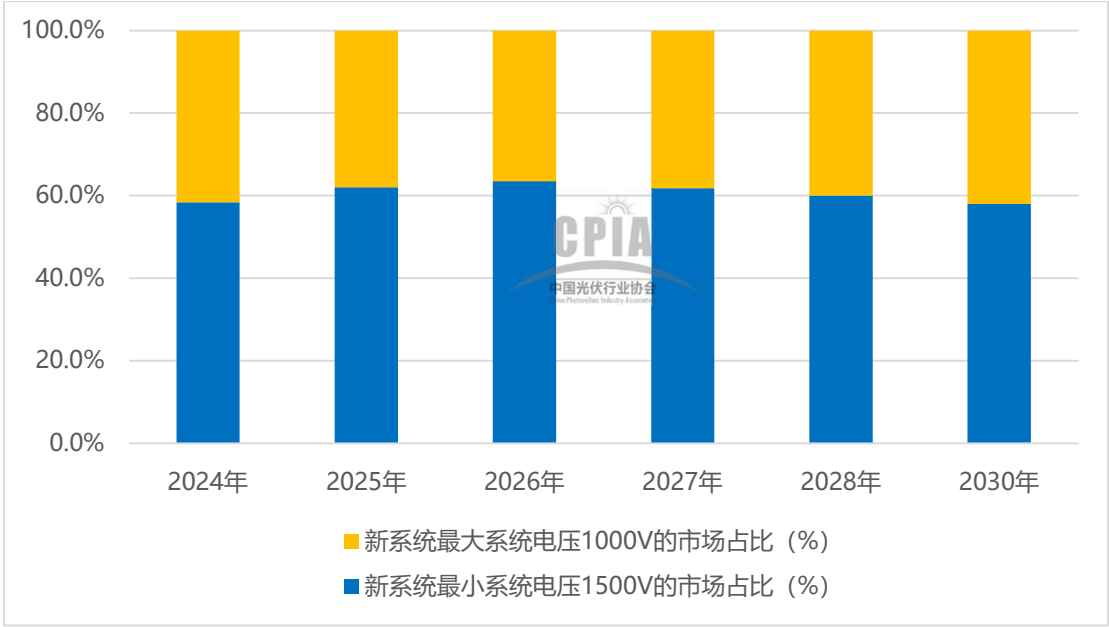


图 77 2024-2030 年不同系统电压等级市场占比变化趋势

7、跟踪系统市场占比

跟踪系统包括单轴跟踪系统和双轴跟踪系统等（不含固定可调），其中单轴跟踪系统又分为平单轴和斜单轴，当前跟踪系统市场主要以单轴跟踪系统为主。虽然跟踪系统具有发电量增益的优势，但因其成本相对较高，目前国内市场使用较少，未来随着其成本的下降以及可靠性的解决，市场占比或将有所提升。

¹⁷ 该指标包含地面电站及分布式光伏系统。

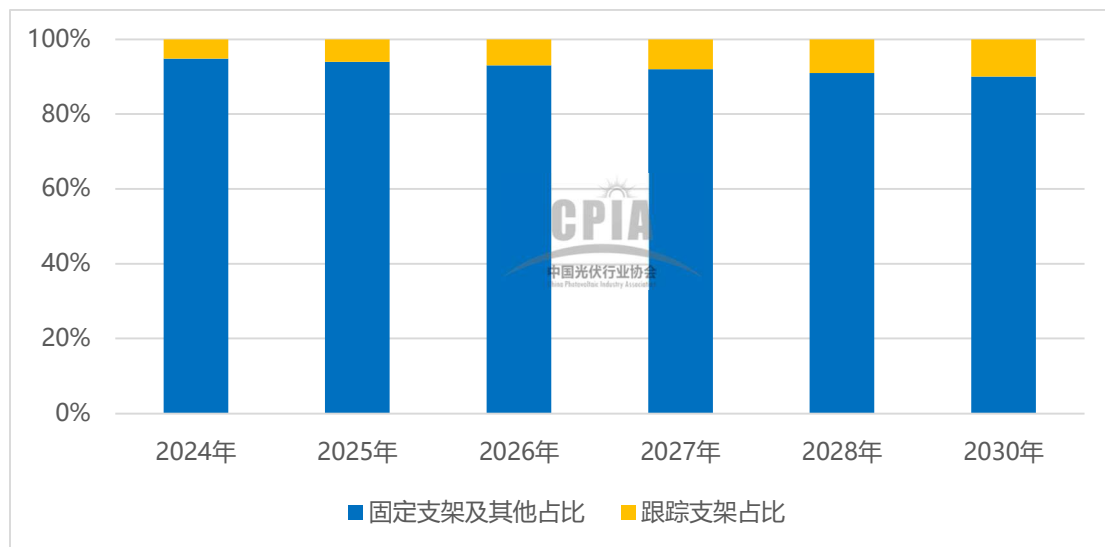


图 78 2024-2030 年跟踪系统市场占比变化趋势

（八）新型储能环节

新型储能是指除抽水蓄能外，以输出电力为主要形式的各类储能技术，包含锂离子电池、钠离子电池、液流电池等电化学储能；压缩空气、飞轮等机械储能；超级电容、超导等电磁储能等相关技术路线。

表 13 部分新型储能技术释义

名称	释义
锂离子电池储能	基于锂离子电池的储能形式，目前以磷酸铁锂电池为主。主要依靠锂离子在正极和负极之间移动来工作，通过化学能和电能相互转换实现充放电。
铅炭电池储能	基于铅炭电池的储能形式。铅炭电池是指正极为二氧化铅、负极为铅炭复合电极、电解液为硫酸溶液，通过化学能和电能相互转换实现充放电的电池。
液流电池储能	基于液流电池的储能形式。液流电池是指通过流动的正极和/或负极电解液中活性物质的电化学反应，进行化学能和电能相互转换实现充放电的电池。目前应用比较多的为全钒液流电池。
钠离子电池储能	基于钠离子电池的储能形式。钠离子电池主要依靠钠离子在正极和负极之间移动来工作，通过化学能和电能相互转换实现充放电。
压缩空气储能	通过空气介质的压缩和膨胀，实现能量存储和释放的储能形式。
飞轮储能	以飞轮为储能载体，通过动能和电能相互转换实现电能存储、释放的储能形式。
超级电容器储能	通过电极/电解液界面形成的双电层电容或电极表面快速氧化还原反应形成的赝电容，实现能量存储、转换及释放的储能形式。
超导电磁储能	通过超导线圈在超导状态下实现电能存储及释放的储能形式。
重力储能	基于高度落差对储能介质进行升降以实现能量存储和释放的储能形式。

1、新型储能年度新增装机规模

当前，美欧日韩等主要经济体将发展新型储能产业上升为国家或地区战略，我国也在持续推动新型储能产业高质量发展以支撑新型能源体系建设和碳达峰、碳中和目标实现。2024 年国内新型储能新增装机约为 42GW。展望未来，“双碳”目标的深入推进将进一步激发电力系统对新型储能等调节资源的需求。同时，新型储能技术成本的逐步优化，将使其更贴合发电侧、电网侧以及用户侧的实际需求。预计 2025 年，全球及我国新型储能年度新增装机或分别超过 76GW、41GW，有望达到 89GW、48GW。

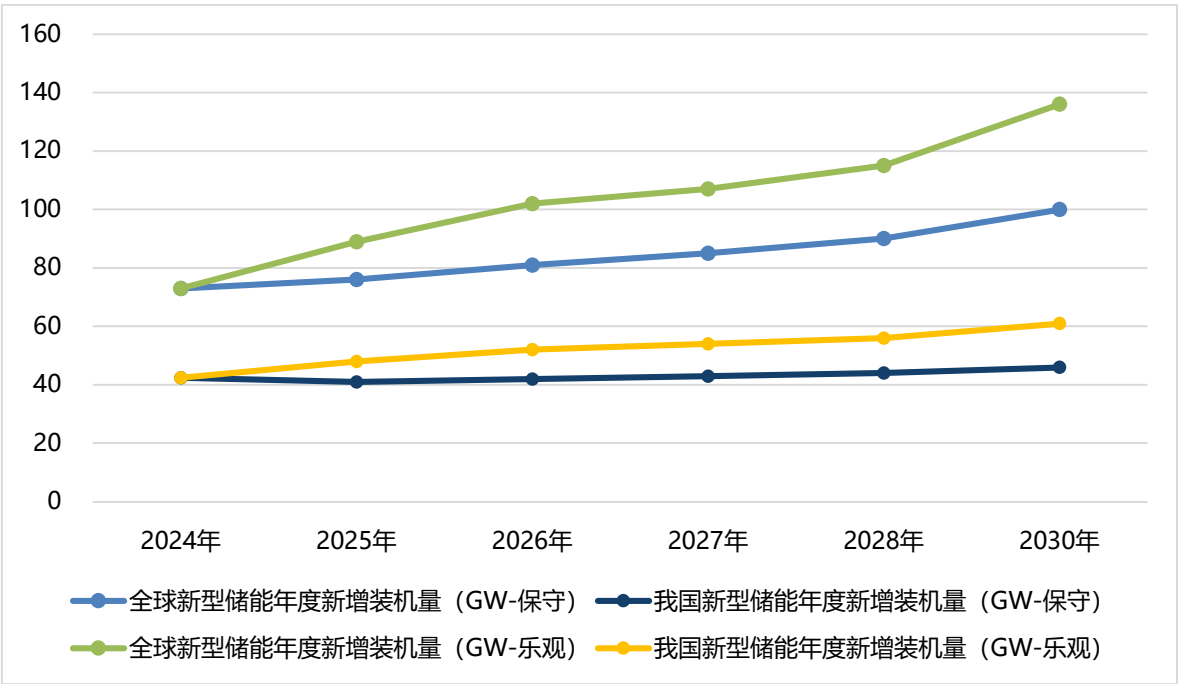


图 79 2024-2030 年全球及国内新型储能新增装机规模预测（单位：GW）

2、不同新型储能技术市场占比

2024 年，锂离子电池储能在新颖储能新增装机中功率占比略微下降但仍占据绝对主导地位，市场占比约 96%。由于我国锂电池产业在技术、成本和产能方面的巨大优势，预计后几年锂电储能占比仍将维持高位；同时，压缩空气储能、液流电池储能、钠离子电池储能等技术快速发展将推动其他新型储能装机规模提升。远期而言，随着波动性可再生能源发电在能源结构中比重持续攀升，能量成本更低的长时储能技术变得愈发关键。

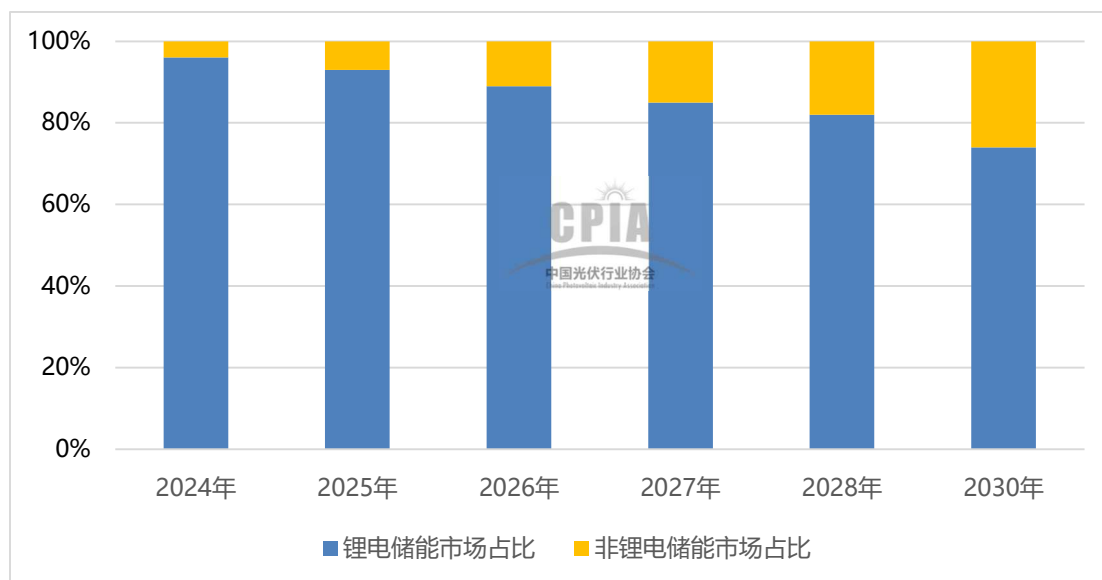


图 80 2024-2030 年新型储能新增装机中不同储能技术市场占比变化趋势

3、不同锂电储能温控技术占比

目前，磷酸铁锂电池技术是我国锂电储能的主导技术，以磷酸铁锂电池储能为例分析系列指标的变化趋势。锂电池对运行温度要求较严格，最佳工作温度有助于锂电池提效增寿并保障安全。因此，温控系统成为锂电储能产业链关键一环，主流技术路线是风冷和液冷。2024 年，我国锂电储能温控技术中液冷占比为 90%左右，预计未来将继续提升。在极端环境下风冷系统有其独特的优势，液冷技术在未来一段时间内难以完全取代风冷技术。

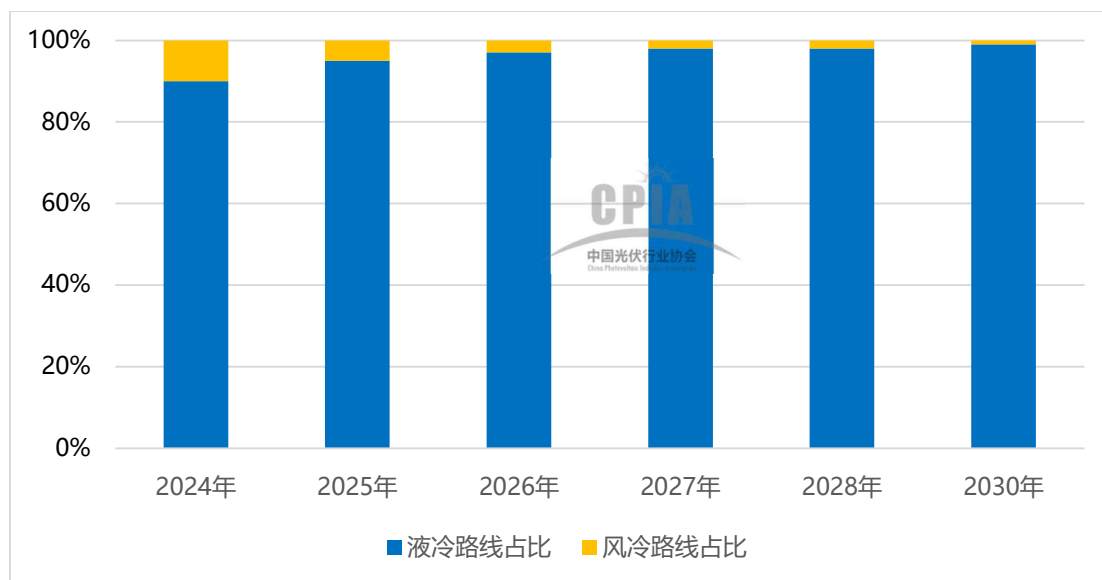


图 81 2024-2030 年新型储能新增装机中不同温控技术市场占比变化趋势

4、锂电储能系统年度平均价格

2024 年以来，由于锂电池上游原材料延续产量放量和价格低位态势，加上相关环节产能持续释放等因素，我国储能锂电池系统中标价格延续下行趋势。2024 年全年我国锂电储能系统均价为 0.64 元/Wh（2 小时），较上一年降幅超过 40%。随着综合整治“内卷式”竞争的逐渐发力以及储能锂电池技术持续创新，预计锂电价格中长期将呈合理态势，助推新型储能商业化规模应用和行业可持续发展。

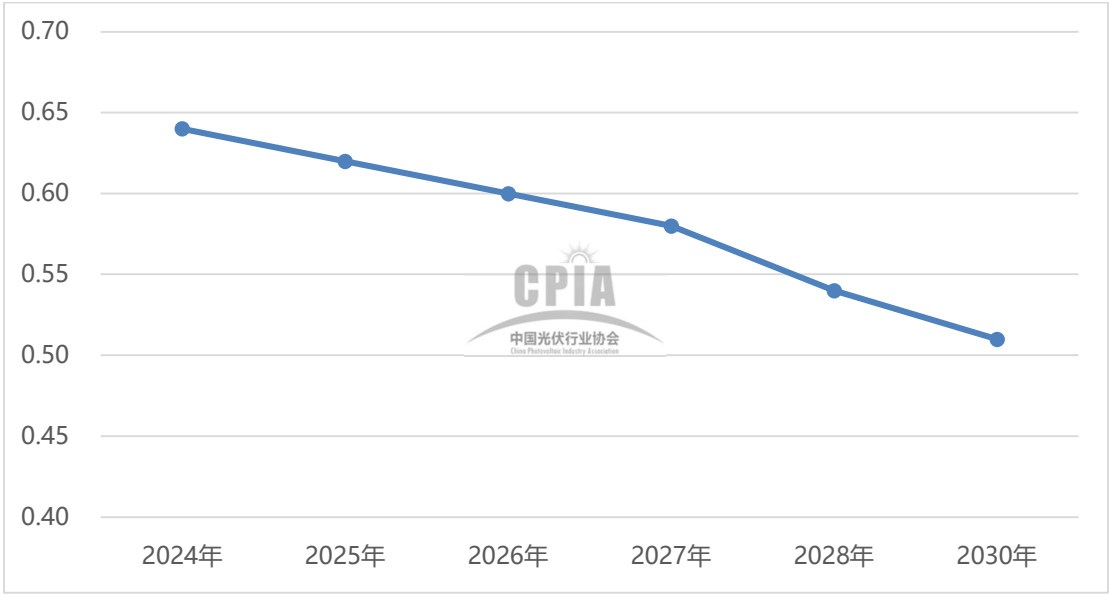


图 82 2024-2030 年我国锂电储能系统价格变化趋势（单位：元/Wh）

5、锂电储能系统能量转换效率

相较其他新型储能方式，锂电池储能系统具有高能量转换效率的突出优点。2024 年，我国锂电储能系统装置效率约为 86.5%。随着锂电池技术、功率变换效率、系统集成能力、控制调用监控水平的提升，锂电储能系统装置效率将有所提升。

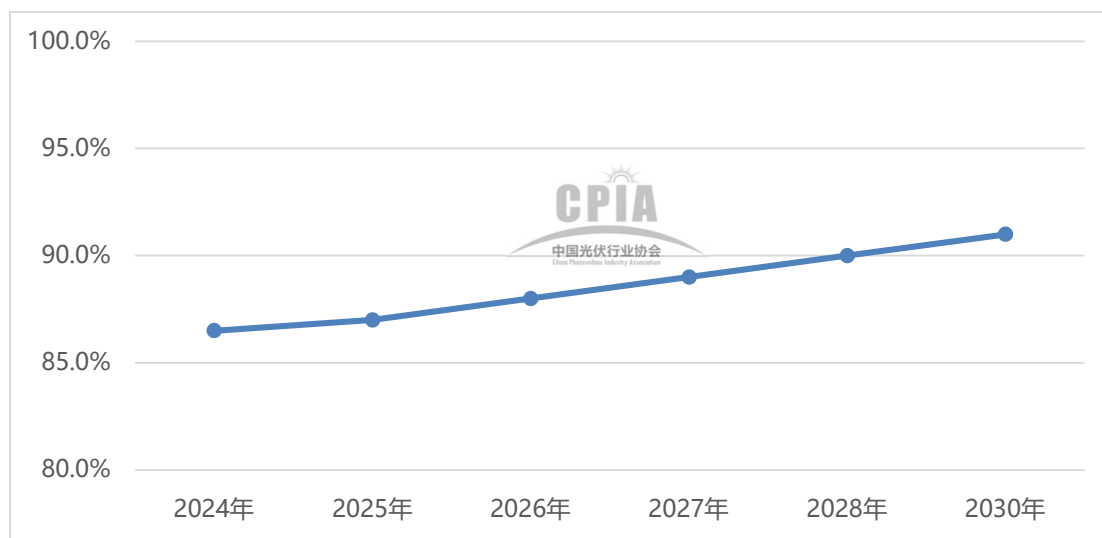


图 83 2024-2030 年我国锂电储能系统能量转化效率变化趋势（装置效率¹⁸）

6、锂电储能电池单体电芯容量¹⁹

2024 年，储能锂电池电芯容量由 280Ah 加速向 314Ah 演进。314Ah 电芯凭借度电成本、集成简化等多重优势，在大储、工商业储能市场占比快速提升，海外应用步伐也在加快。同时，300Ah+ 储能电芯产品赛道百家争鸣，几十家电池厂商推出如 305、314、320、340、530、580、625、690、1130Ah、1175Ah 等电芯产品。大容量电芯的降本增效优势显著，可以减少 PACK 电芯数量和储能系统连接件，提升电芯一致性及产线生产效率。预计未来锂电储能电池单体电芯容量将在低成本、高安全、长寿命等多项性能中寻求平衡并得到提升。

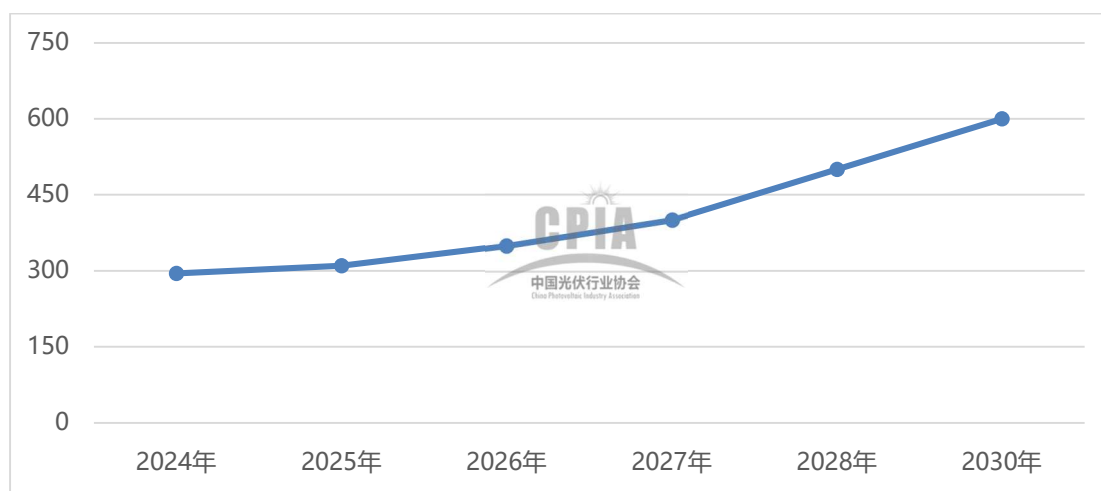


图 84 2024-2030 年我国锂电储能电池单体电芯容量变化趋势（单位：Ah）

¹⁸ 注：锂电储能系统装置效率主要包括电池效率、功率变换系统效率、电力线路效率、变压器效率等。

¹⁹ 注：图中容量并非电芯型号，是产品型号的加权平均，目前主流产品仍为 280Ah、314Ah 等电芯。

7、锂电储能电池单体电芯循环寿命

储能应用场景对锂电池循环寿命提出更高要求,《锂离子电池行业规范条件(2024 年本)》要求储能型电池的单体电池循环寿命 ≥ 6000 次且容量保持率 $\geq 80\%$ 。2024 年,成本主导下我国锂电储能电池单体电芯循环寿命约为 7500 次(80%SOH, 100%DOD);同时,受益于正负极补锂等技术进步,多家企业发布的储能电芯寿命达到甚至超过 12000 次。就电芯循环寿命而言,未来规模应用储能锂电池电芯有望达到 16000 次。同时,需要说明的是,实际工况下,系统的循环寿命受到电芯技术水平、系统集成水平、维护保养情况等多种因素的影响。以现在系统集成水平和实际调用来看,储能系统的实际充放电寿命会出现较大程度的降低。

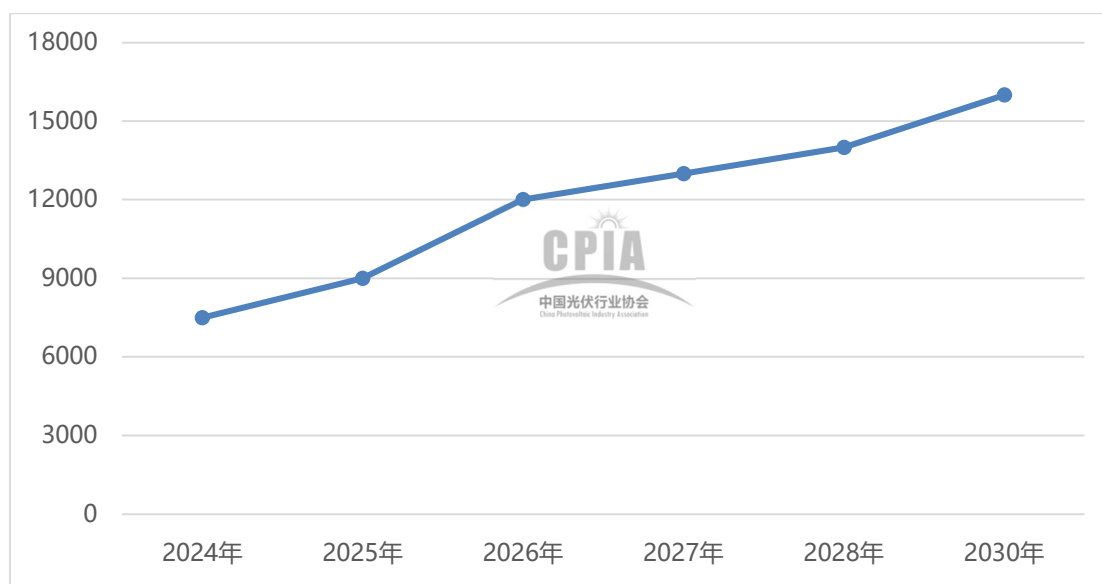


图 85 2024-2030 年我国锂电储能电池单体电芯循环寿命变化趋势 (单位: 次)

8、锂电储能单体电芯质量/体积能量密度

电池质量/体积能量密度是指单位质量/体积电池所能释放出的能量。2024 年,锂电储能单体电芯质量能量密度和体积能量密度分别为 176Wh/kg、382Wh/L。长期而言,随着材料开发、电池制造及系统集成等水平的进一步提升,同时考虑到储能场景对能量密度、储能成本、安全性能的综合考量,预计锂电储能单体电芯质量、体积能量密度将分别超过 210Wh/kg、468Wh/L。后续伴随着固态电池的产业化,储能单体电芯的能量密度将进一步增加。但目前产业化面临诸多问题,尚难以可靠预计其产业化时间。

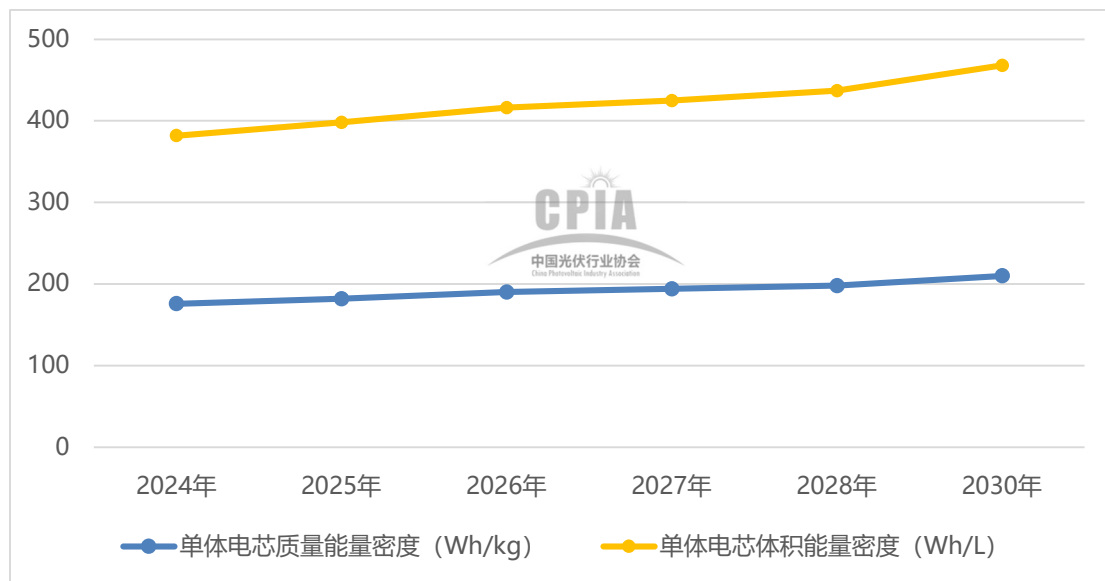


图 86 2024-2030 年我国锂电储能单体电芯质量/体积能量密度变化趋势 (单位: Wh/L)



中国光伏行业协会（英文名称为：CHINA PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION，缩写为CPIA）是由中华人民共和国民政部批准成立的国家一级协会。会员单位主要由从事光伏产品、设备、相关辅配料（件）及光伏产品应用的研究、开发、制造、教学、检测、认证、标准化、服务的企事业单位、社会组织及个人自愿组成，是全国性、行业性、非营利性社会组织。目前协会会员数量超940家。中国光伏行业协会的宗旨是维护会员合法权益和光伏行业整体利益，加强行业自律，保障行业公平竞争；完善标准体系建设，营造良好的发展环境；推动技术交流与合作，提升行业自主创新能力；在政府和企业之间发挥桥梁、纽带作用，开展各项活动为企业、行业和政府服务；推动国际交流与合作，组织行业积极参与国际竞争，统筹应对贸易争端。

地址：北京市海淀区万寿路 27 号院电子大厦 5 层

邮编：100846

电话：010-68207621

传真：010-68200243

网址：www.chinapv.org.cn

赛迪智库

面向政府·服务决策

赛迪智库集成电路研究所是中国电子信息产业发展研究院专业从事半导体产业政策文件编制、发展战略规划研究、行业洞察分析、投资尽职调查的咨询服务机构，长期为9个部委的17个司局提供支撑服务工作，协助集成电路行业主管部门研究制定并组织实施相关产业政策。研究范围包括集成电路产品与系统、制造、半导体材料、半导体设备、后摩尔、产教融合与应用创新、新能源产业、基础电子、汽车半导体与系统、分立器件与化合物半导体等。集成电路研究所也是国家集成电路咨询委、“芯火”创新创业基地、中国高端芯片联盟、集成电路产教融合联盟等机构秘书处挂靠单位，深度支撑中国半导体行业协会、中国光伏行业协会、中国OLED产业联盟等协会联盟工作，与半导体领域顶尖专家、行业内骨干企业联系紧密。

地址：北京市海淀区万寿路 27 号院 8 号楼 12 层

邮编：100846

电话：010-68200513

传真：010-68209618

网址：www.ccidwise.com



地址：北京市海淀区万寿路27号院

网址：www.chinapv.org.cn

邮箱：cpia@chinapv.org.cn