中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

中国光伏（2020年版）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

（2020 年版）

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　宁　弓传河　马擎天　王文静　王亚萍　王同心　王向东　王　林
王栩生　王跃林　王　琪　王善良　卞长乐　方　艳　方　敏　甘新业
史旭松　冯志强　全　杨　刘玉颖　刘松民　刘　涛　闫广宁　许洪华
孙　云　纪振双　严大洲　李灿林　李琼慧　时璟丽　吴　越　宋登元
张凤鸣　张付特　张涛　张海涛　陈凡印　陈其国　陈洪野　陈　嘉
金　磊　宗　冰　钟财富　钟明明　秦　潇　贾　锐　倪志春　徐　岩
高连生　唐　霖　舒耀兰　魏红军

编写组

王世江、金艳梅、江华、李嘉彤、王青、陈丽、强彦政

支持单位

国家发展改革委能源研究所
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
水电水利规划设计总院
阿特斯阳光电力集团股份有限公司
保利协鑫（苏州）新能源有限公司
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
北京科诺伟业科技股份有限公司
常州亚玛顿股份有限公司
大全集团有限公司
东方日升新能源股份有限公司
福建钧石能源有限公司
国家电投集团西安太阳能电力有限公司
汉能移动能源控股集团有限公司
杭州福斯特应用材料股份有限公司
杭州纤纳光电科技有限公司
河南安彩高科股份有限公司
华为技术有限公司
环晟光伏（江苏）有限公司
江苏固德威电源科技股份有限公司
江苏美科太阳能科技有限公司
江苏日托光伏科技股份有限公司
江苏润阳悦达光伏科技有限公司
江苏中能硅业科技发展有限公司
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
科华数据股份有限公司
龙焱能源科技(杭州)有限公司
龙源（北京）太阳能技术有限公司
隆基绿能科技股份有限公司
洛阳中硅高科技有限公司
明冠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
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
四川永祥股份有限公司
苏州赛伍应用技术有限公司
苏州腾晖光伏技术有限公司
苏州中来光伏新材股份有限公司
天合光能股份有限公司
天津环欧国际硅材料有限公司
通威股份有限公司
协鑫集成科技股份有限公司
新特能源股份有限公司
亚洲硅业（青海）股份有限公司
扬州荣德新能源科技有限公司
阳光电源股份有限公司
英利集团有限公司
浙江正泰新能源开发有限公司
中国建材检验认证集团股份有限公司
中山瑞科新能源有限公司
中天光伏材料有限公司

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 9 月22 日，在第七十五届联合国大会一般性辩论上，习近平总书记郑重宣告，中国"二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和"。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！

中国光伏行业协会副理事长兼秘书长　王勃华

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四版《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（2020 年版）》（以下简称《路线图（2020 年版）》），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、逆变器、系统等各环节共 61 个关键指标。《路线图（2020 年版）》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 2020 年发展情况并预测了 2021、2023、2025、2027 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（2020 年版）》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
2021 年 2 月 3 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 7
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 10
10、三氯氢硅西门子法多晶硅生产线设备投资成本 10
11、多晶硅人均产出量 11
(二) 硅片环节 12
1、拉棒电耗 12
2、铸锭电耗 12
3、拉棒单炉投料量 13
4、铸锭投料量 13
5、硅片厚度 14
6、金刚线母线直径 15
7、单位方棒/方锭在金刚线切割下的出片量 15
8、拉棒/铸锭单位产能设备投资额 16
9、硅片人均产出率 17
10、不同类型硅片市场占比 17
11、不同尺寸硅片市场占比 18
(三) 电池片环节 19
1、各种电池技术平均转换效率 19
2、各种电池技术市场占比 20

3、电池铝浆消耗量.....21
4、电池银浆消耗量.....21
5、电池片正面金属电极技术市场占比.....22
6、栅线印刷技术市场占比.....23
7、P 型电池片发射极方块电阻.....23
8、PERC 电池背钝化技术市场占比.....24
9、电池正面细栅线宽度.....25
10、各种主栅市场占比.....25
11、电池线人均产出率.....26
12、电池片单位产能设备投资额.....27
（四）组件环节.....28
1、不同类型组件功率.....28
2、单/双面组件市场占比.....28
3、全片、半片和叠瓦组件市场占比.....29
4、不同电池片互联技术的组件市场占比.....30
5、3.2mm 组件封装用钢化镀膜玻璃透光率.....30
6、不同材质正面盖板组件市场占比.....31
7、不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比.....32
8、不同封装材料的市场占比.....32
9、不同背板材料市场占比.....33
10、组件人均产出率.....34
11、组件单位产能设备投资额.....34
（五）薄膜太阳能电池/组件.....36
1、CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率.....36
2、CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率.....36
3、Ⅲ- Ⅴ族薄膜太阳能电池转换效率.....37
4、钙钛矿太阳能电池转换效率.....37
（六）逆变器.....38
1、不同类型逆变器市场占比.....38
2、逆变器单位容量设备投资额.....38
3、逆变器人均产出率.....39
4、逆变器单机主流额定功率.....39
5、逆变器功率密度.....40
（七）系统环节.....41
1、全球光伏新增装机量.....41
2、国内光伏新增装机量.....41
3、光伏应用市场.....42
4、我国光伏系统初始全投资及运维成本.....43

5、不同等效利用小时数 LCOE 估算 45
6、不同系统电压等级市场占比 47
7、跟踪系统市场占比 47
附录 49
1、铸锭收料率 49
2、不同类型逆变器中国效率 49
3、新建光伏电站系统 PR 值 49

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。

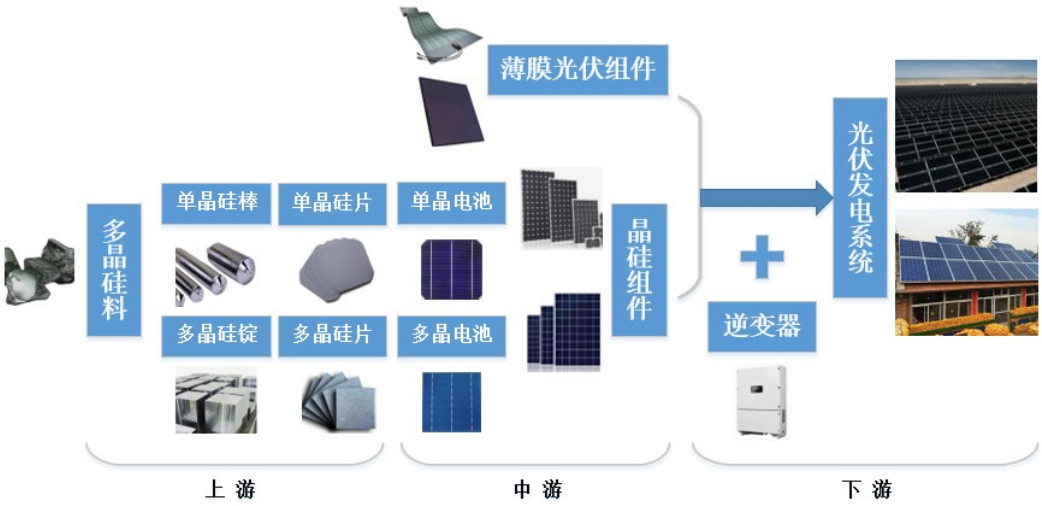


图 1　光伏产业链构成

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、逆变器、系统等各个环节抽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，在前四版的基础上，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 2020-2030 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，2020 年，全国多晶硅产量达 39.2 万吨，同比增长 14.6%。其中，排名前五企业产量占国内多晶硅总产量 87.5%，其中 4 家企业产量超过 5 万吨。2021 年随着多晶硅企业技改及新建产能的释放，产量预计将达到 45 万吨。

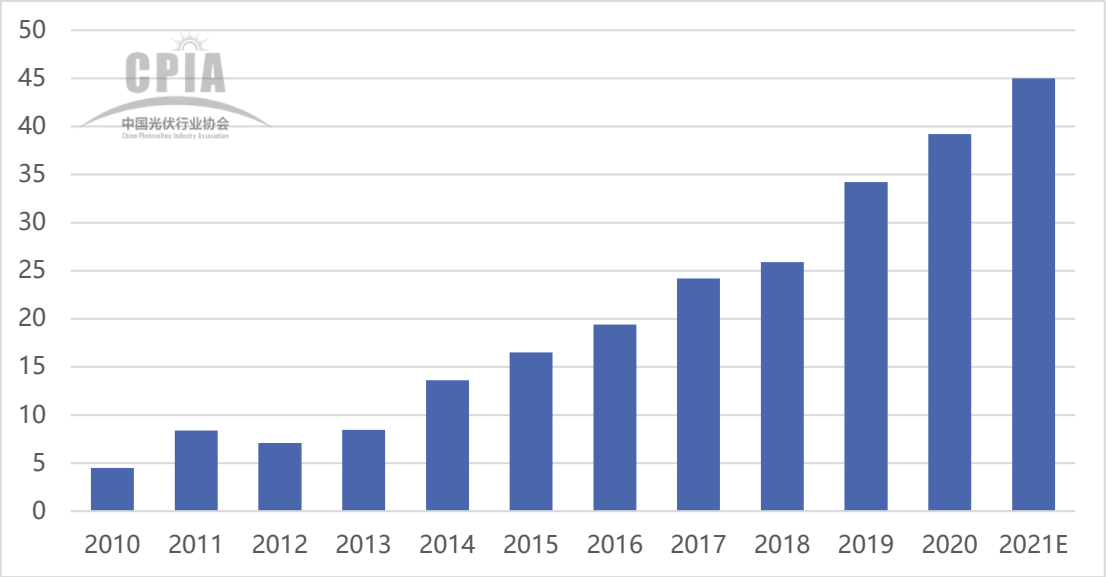


图 2　2010-2021 年全国多晶硅产量情况（单位：万吨）

硅片方面，2020 年全国硅片产量约为 161.3GW，同比增长 19.7%。其中，排名前五企业产量占国内硅片总产量的 88.1%，且产量均超过 10GW。随着头部企业加速扩张，预计 2021 年全国硅片产量将达到 181GW。

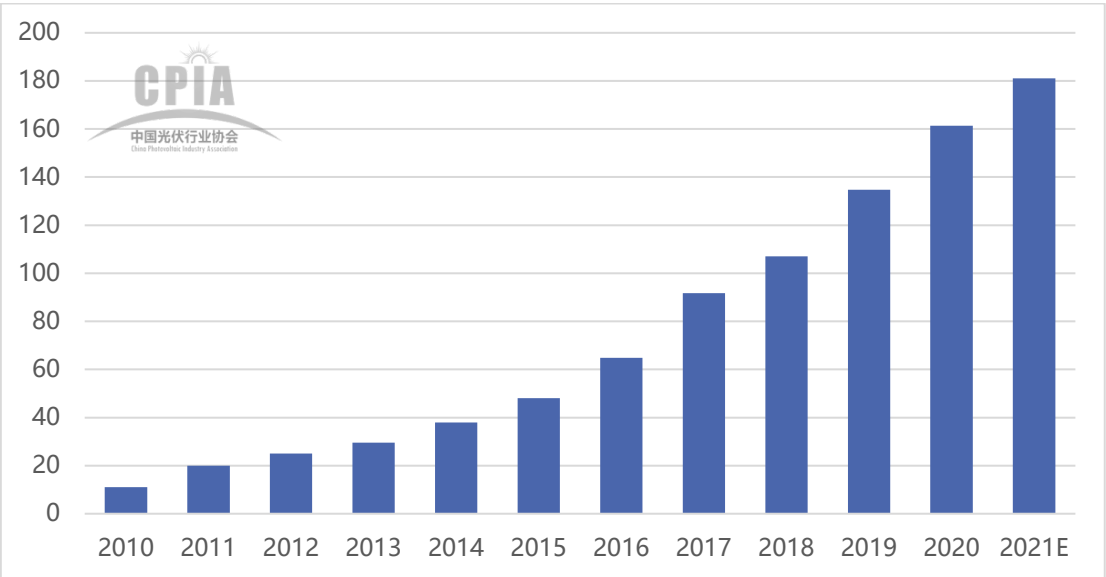


图 3　2010-2021 年全国硅片产量情况（单位：GW）

晶硅电池片方面，2020 年，全国电池片产量约为 134.8GW，同比增长 22.2%。其中，排名前五企业产量占国内电池片总产量的 53.2%，其中前 4 家企业产量超过 10GW。预计 2021 年全国电池片产量将超过 152GW。

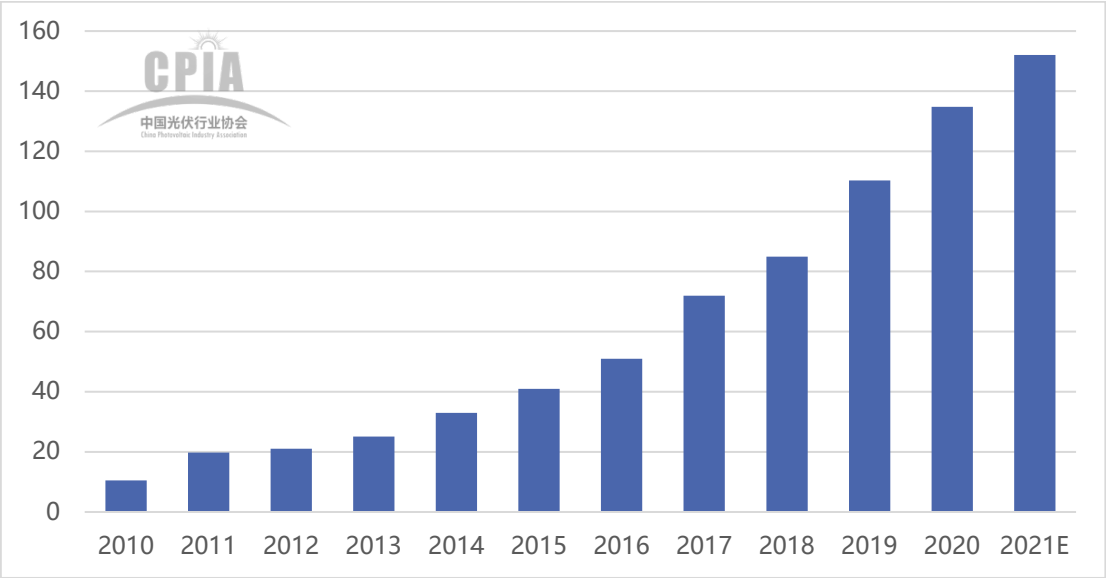


图 4　2010-2021 年全国电池片生产情况（单位：GW）

组件方面，2020 年，全国组件产量达到 124.6GW，同比增长 26.4%，以晶硅组件为主。其中，排名前五企业产量占国内组件总产量的 55.1%，其中前三家企业产量超过 10GW。预计 2021 年组件产量将超过 145GW。

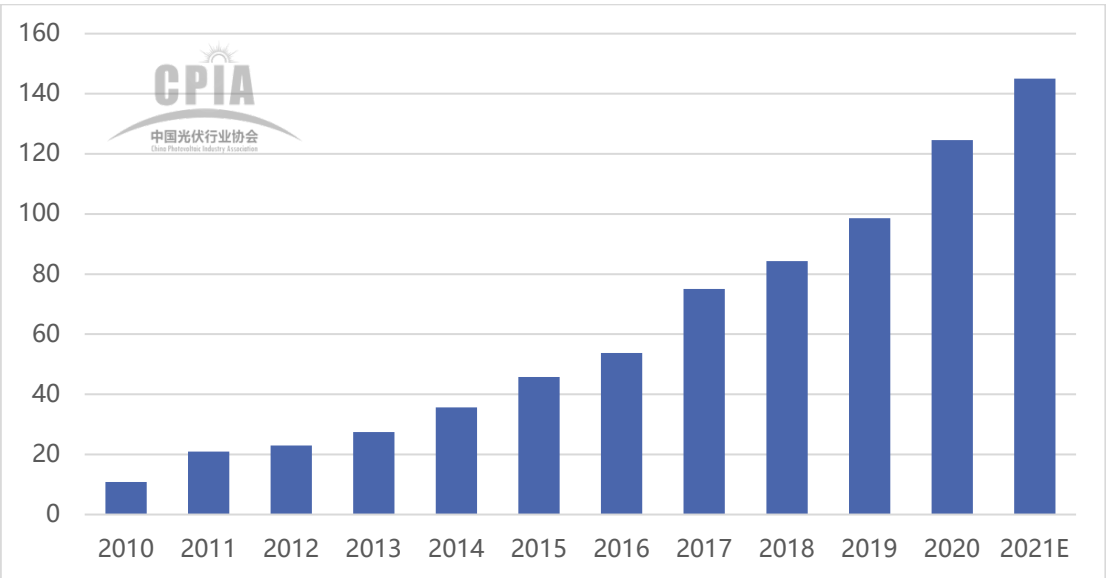


图 5　2010-2021 年全国太阳能组件生产情况（单位：GW）

光伏市场方面，2020 年全国新增光伏并网装机容量 48.2GW，同比上升 60.1%。累计光伏并网装机容量达到 253GW，新增和累计装机容量均为全球第一。全年光伏发电量为 2605 亿千瓦

时，约占全国全年总发电量的 3.5%。预计 2021 年光伏新增装机量超过 55GW，累计装机有望达到约 308GW。

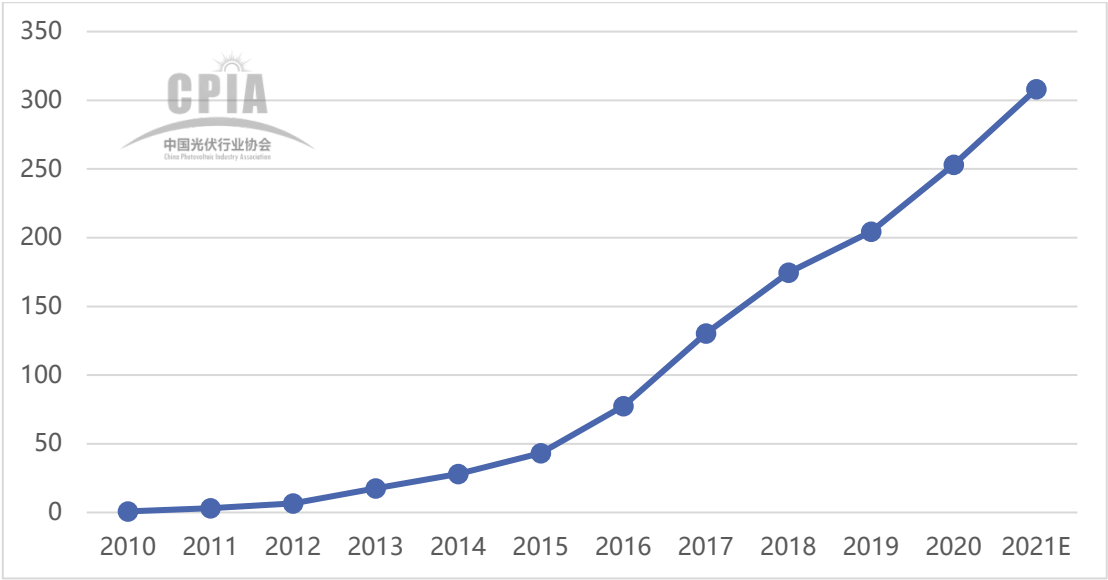


图 6　2010-2021 年全国太阳能光伏发电装机累计容量（单位：GW）

产品效率方面，2020 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 22.8%，较 2019 年提高 0.5 个百分点，先进企业转换效率达到 23%；采用 PERC 技术的黑硅多晶电池片转换效率达到 20.8%，较 2019 年提高 0.3 个百分点；常规黑硅多晶电池效率提升动力不强，2020 年转换效率约 19.4%，仅提升 0.1 个百分点。

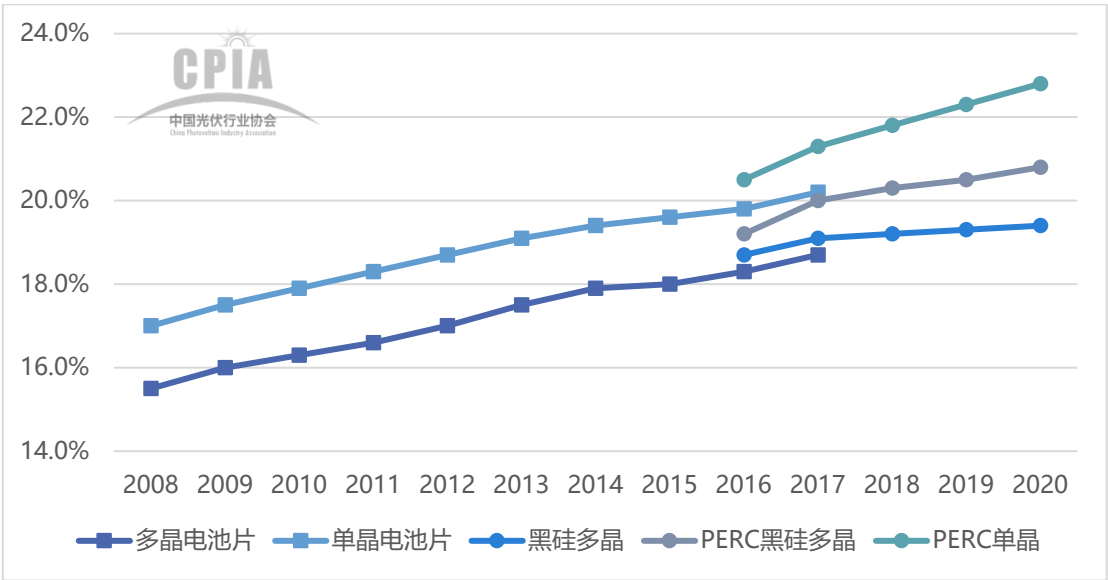


图 7　2008-2020 年国内电池片量产转换效率发展趋势

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。随着市场对单晶产品需求的增大，2020 年单炉致密料占比进一步提升为 70%-80%，多晶硅平均还原电耗较 2019 年有小幅下降，为 49kWh/kg-Si。未来随着气体配比的不断优化、大炉型的投用和稳定生产、以及单晶厂家对于菜花料的试用，还原电耗仍将呈现持续下降趋势，到 2030 年还原电耗有望下降至 44kWh/kg-Si。

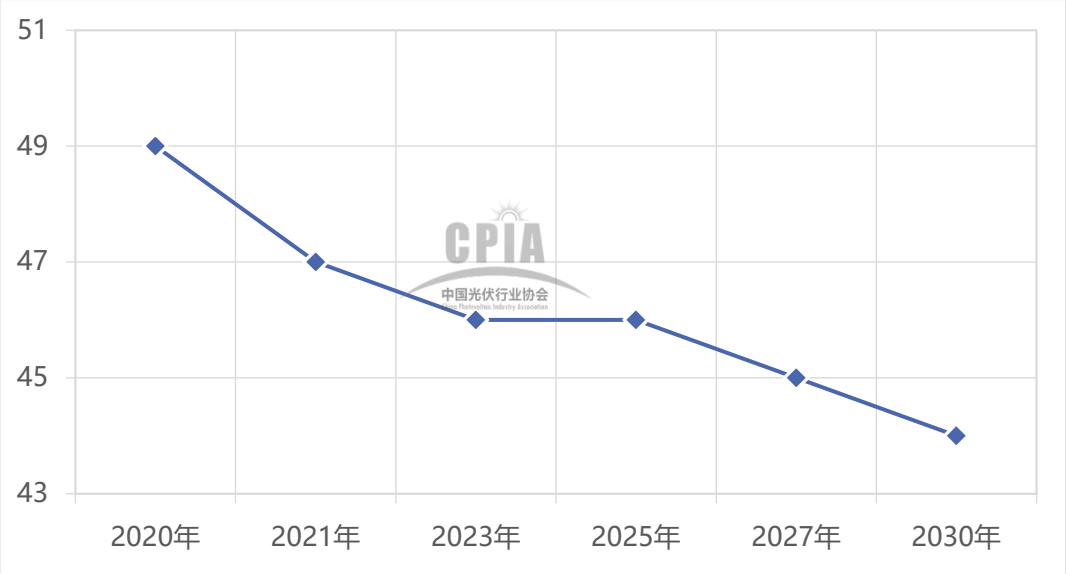


图 8　2020-2030 年还原电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

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、冷凝分离系统和精馏系统的电力消耗。各企业在物料供应环节使用不同的加热方式，如电加热、热油加热、蒸汽加热、天然气加热等，因此各企业冷氢化电耗存在差异。2020 年，冷氢化平均电耗在 5.3kWh/kg-Si 左右，同比下降 3.6%，到 2030 年有望下降至 4.7kWh/kg-Si 以下。技术进步的手段包括反应催化剂的开发、提高工艺环节中热能回收利用率、提高反应效率等。预计未来冷氢化电耗仍将稳步下降。

[1]本章节若无特殊注明，均为三氯氢硅西门子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。

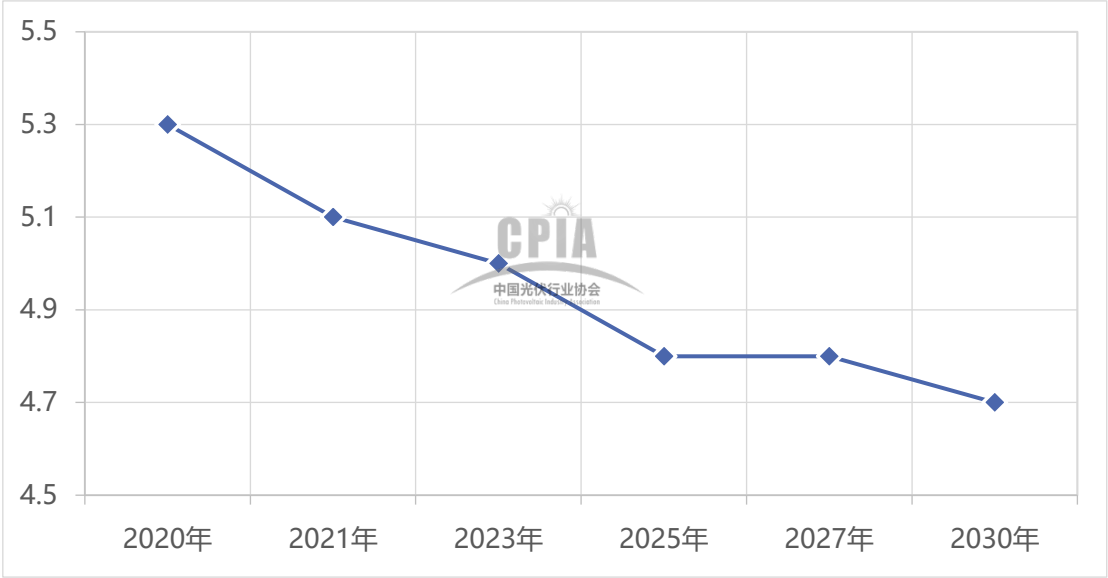


图 9　2020-2030 年冷氢化电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

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。2020 年，多晶硅平均综合电耗已降至 66.5kWh/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 60kWh/kg-Si。目前硅烷流化床法颗粒硅综合电耗较三氯氢硅西门子法棒状硅低 40%-50%。

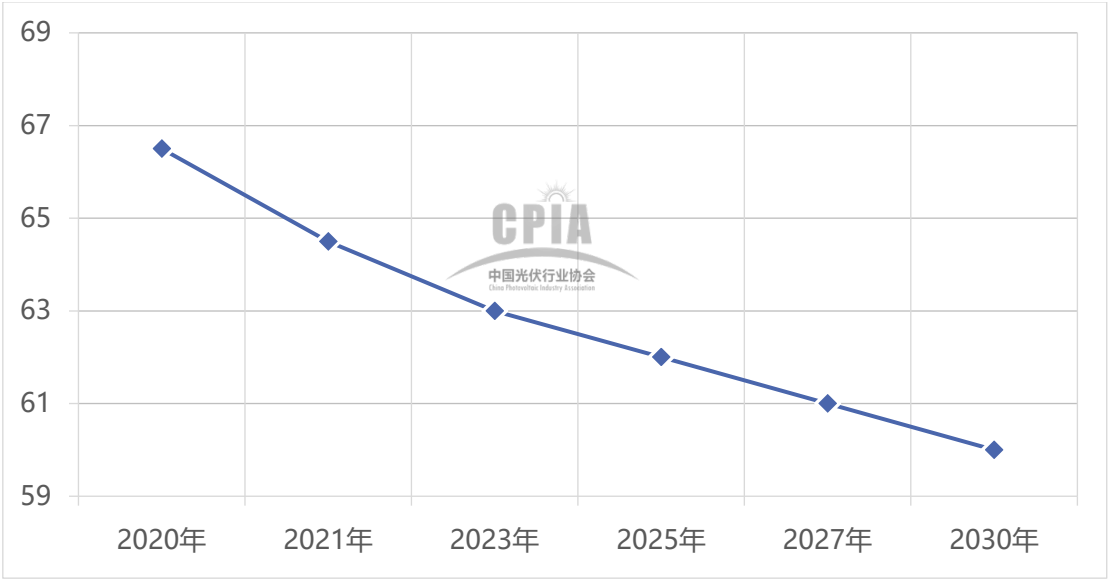


图 10　2020-2030 年综合电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

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。2020 年，多晶硅平均水耗在 0.12 t/kg-Si 的水平，同比下降 7.7%。新疆地区气候干燥，蒸发量大，水耗较行业平均值高。预计到 2030 年，通过余热利用降低蒸发量，精馏塔排出的物料再回收利用降低残液处理水耗等措施，可将耗水量控制在 0.09t/kg-Si 的水平。

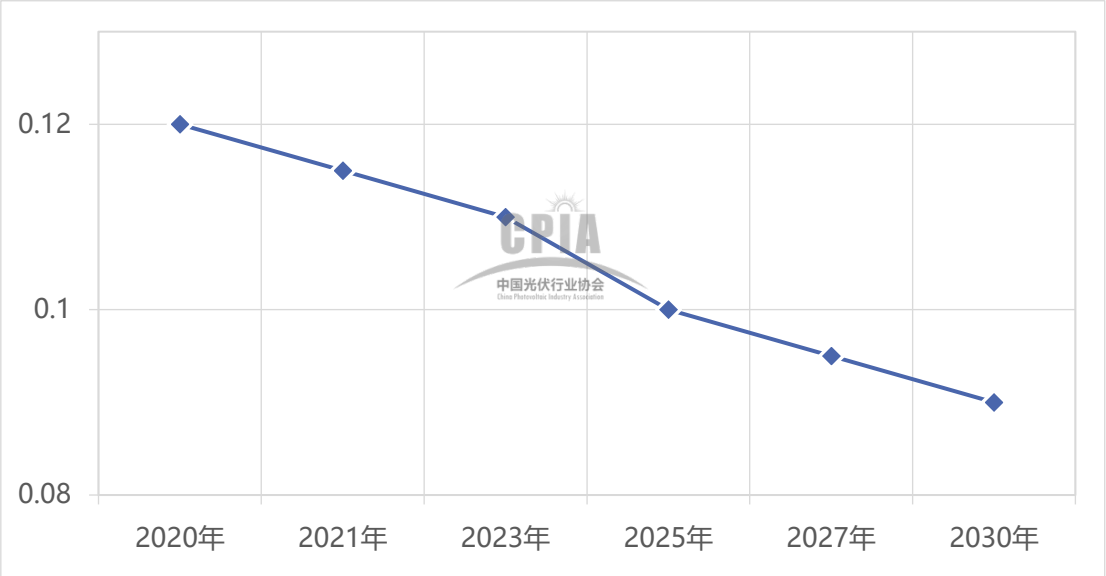


图 11　2020-2030 年水耗变化趋势（单位：t/kg-Si）

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、过程气体回收等环节。2020 年企业蒸汽耗量均值为 23kg/kg-Si 左右，同比下降 17.9%，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 18kg/kg-Si。

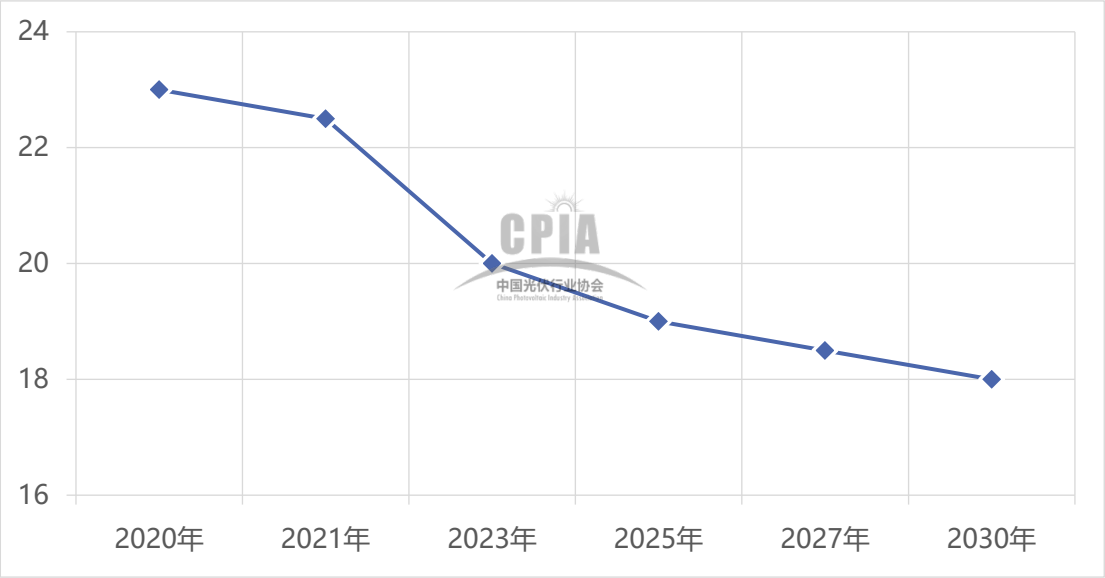


图 12　2020-2030 年蒸汽耗量变化趋势（单位：kg/kg-Si）

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。2020 年多晶硅企业综合能耗平均值为 11.5kgce/kg-Si。随着技术进步和能源的综合利用，到 2030 年预计可降到 9.6kgce/kg-Si。

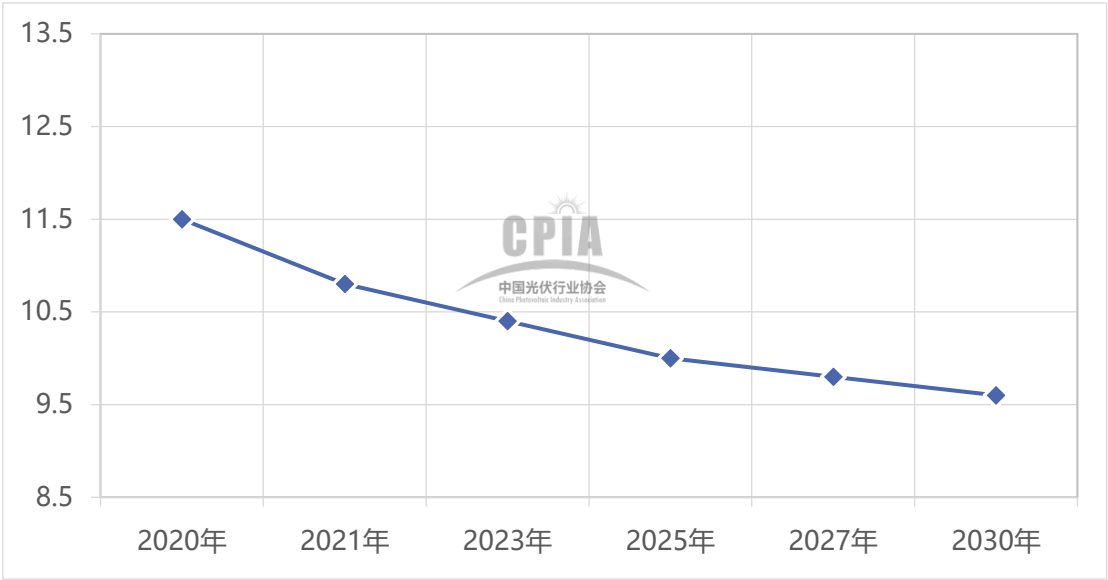


图 13　2020-2030 年综合能耗变化趋势（单位：kgce/kg-Si）

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。2020 年，硅耗在 1.1kg/kg-Si 水平，基本与 2019 年持平，且近 5 年变化幅度不大。随着氢化水平的提升，副产物回收利用率的增强，预计到 2030 年将降低到 1.07kg/kg-Si。

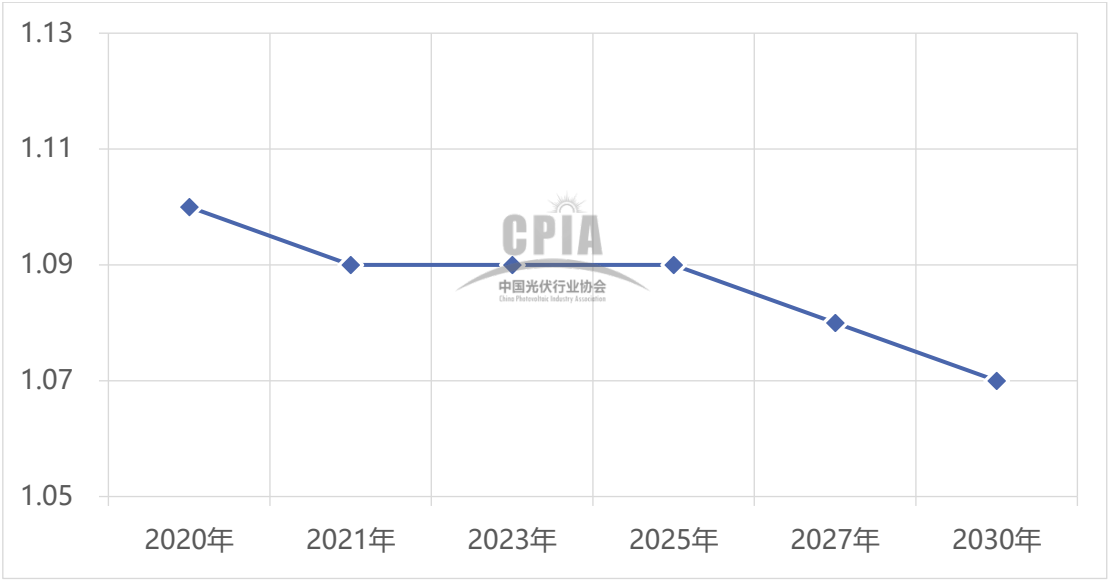


图 14　2020-2030 年硅单耗变化趋势（单位：kg/kg-Si）

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。2020 年，多晶硅还原余热利用率平均水平在 80.5%。随着多晶硅工厂大炉型的使用以及节能技术的进步，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，预计 2030 年还原余热利用率为 82.5%。

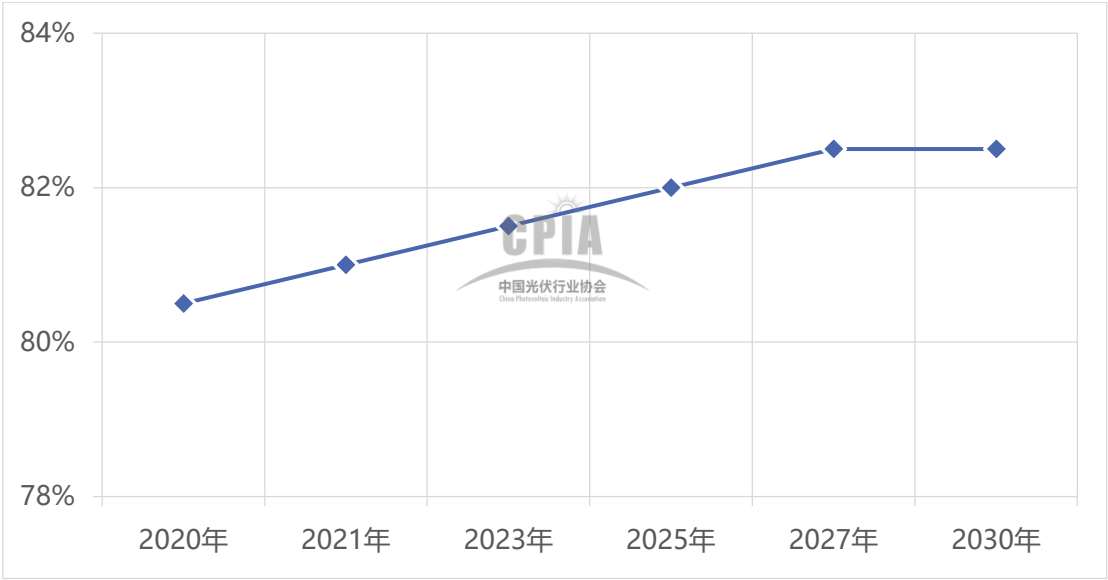


图 15　2020-2030 年还原余热利用率变化趋势

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西门子法和硅烷流化床法，产品形态分别为棒状硅和颗粒硅。三氯氢硅西门子法生产工艺相对成熟，2020 年采用此方法生产出的棒状硅约占全国总产量的 97.2%，未来仍将是主流生产工艺。如果颗粒硅已有的扩产计划如期达产达标，颗粒硅市场占比或将高于目前预期。

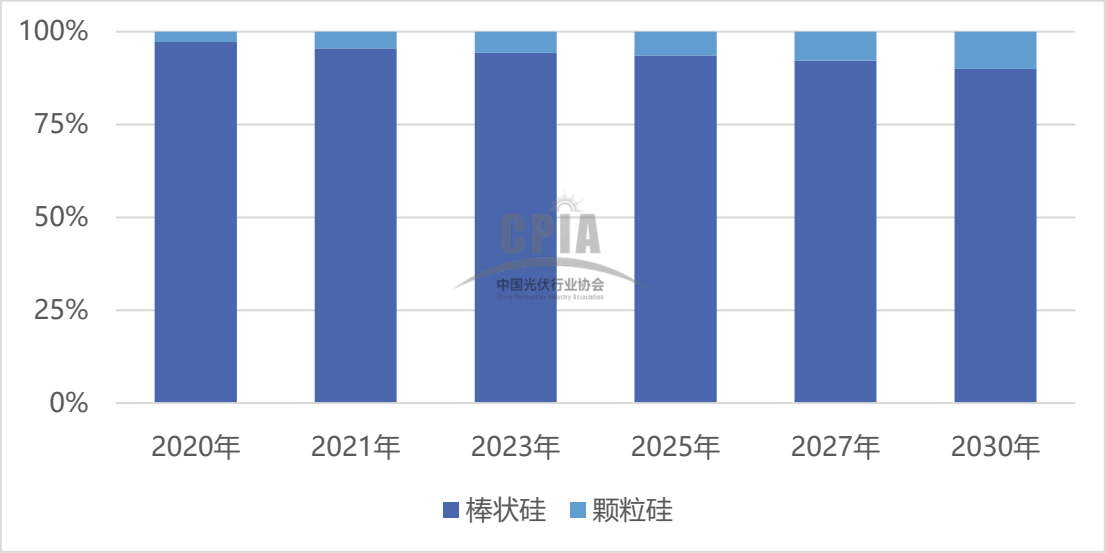


图 16　2020-2030 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势

10、三氯氢硅西门子法多晶硅生产线设备投资成本

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，三氯氢硅西门子法多晶硅生产线设备投资成本逐年下降。2020 年投产的万吨级多晶硅生产线设备投资成本已降至 1.02 亿元/千吨的水平。预计到 2030 年，千吨投资可下降至 0.89 亿元。

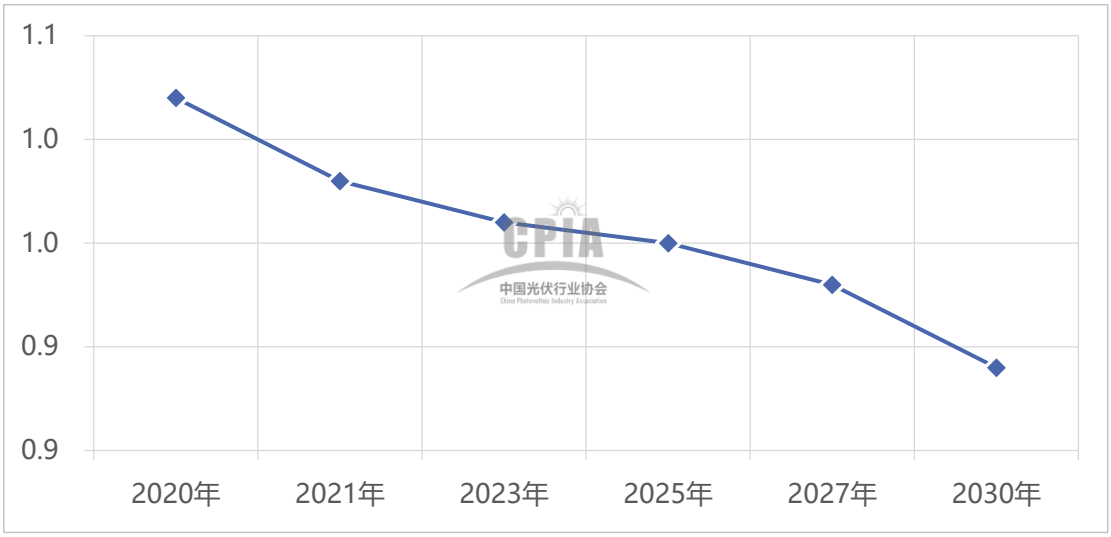


图 17　2020-2030 年三氯氢硅西门子法多晶硅生产线设备投资成本变化趋势（单位：亿元/千吨）

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快速提升。2020 年多晶硅生产线人均产出量为 36 吨/年/人，与去年基本持平。随着 2022-2023 年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，提高到 45 吨/年/人，到 2030 年提高到 47.5 吨/年/人。

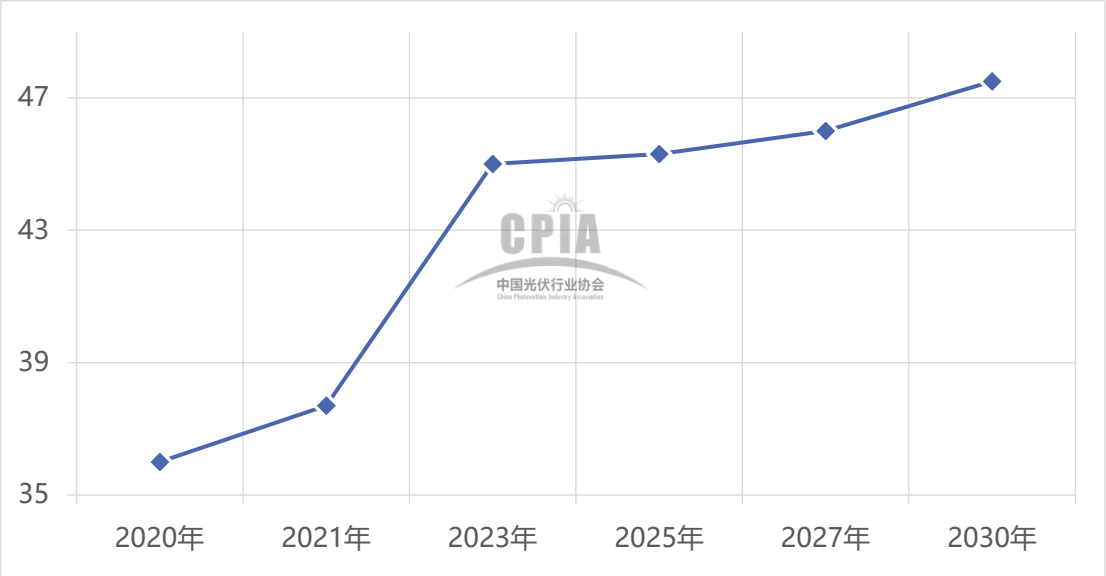


图 18　2020-2030 年多晶硅生产线人均产出量变化趋势（单位：吨/年/人）

（二）硅片环节 [2]

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。2020 年，拉棒平均电耗水平从 2019 年的 29.1kWh/kg-Si 降低为 26.2kWh/kg-Si（方棒）。预计到 2025 年，有望下降至 21.4kWh/kg-Si。

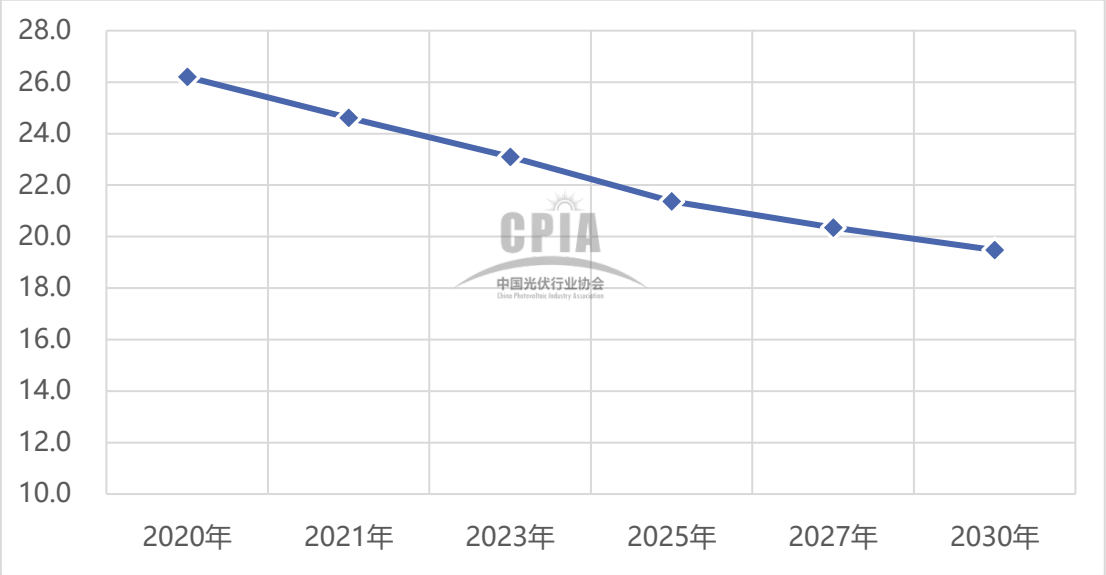


图 19　2020-2030 年拉棒电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

2、铸锭电耗

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。2020 年，铸锭电耗为 6.7kWh/kg-Si，较 2019 年仅有小幅下降。主要是由于多晶硅片市场需求减缓，企业技改或系统升级动力不足，铸锭炉机型仍以 G7 系统为主，预计未来铸锭电耗下降也将呈持续放缓趋势。

[2] 若无特殊说明，本环节指标均以生产 166mm 尺寸硅片为基准。

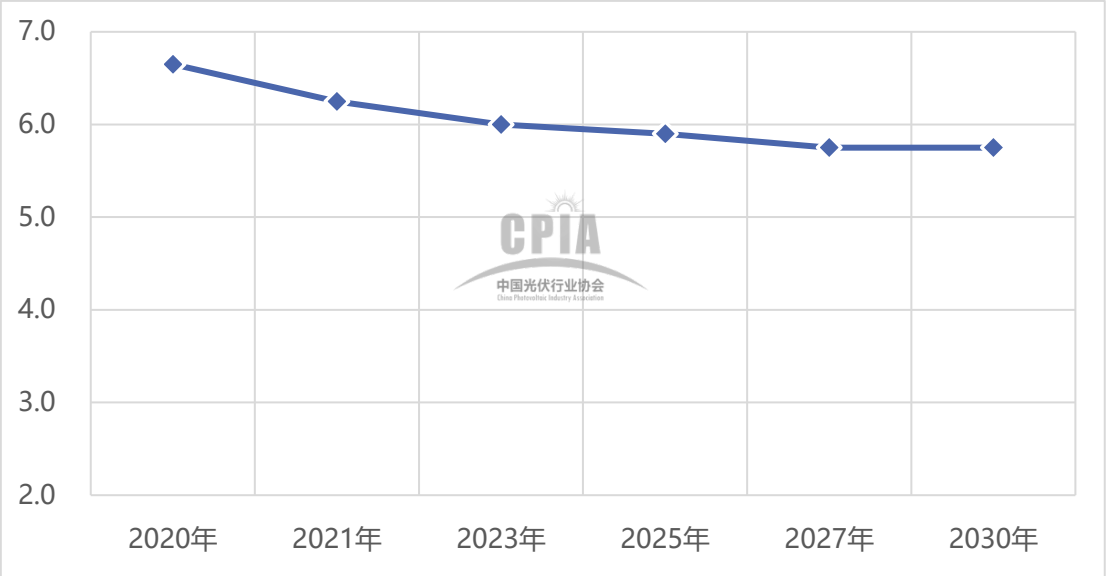


图 20　2020-2030 年铸锭电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si（大方锭））

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。2020 年，拉棒单炉投料量约为 1900kg，较 2019 年的 1300kg 有大幅提升。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。

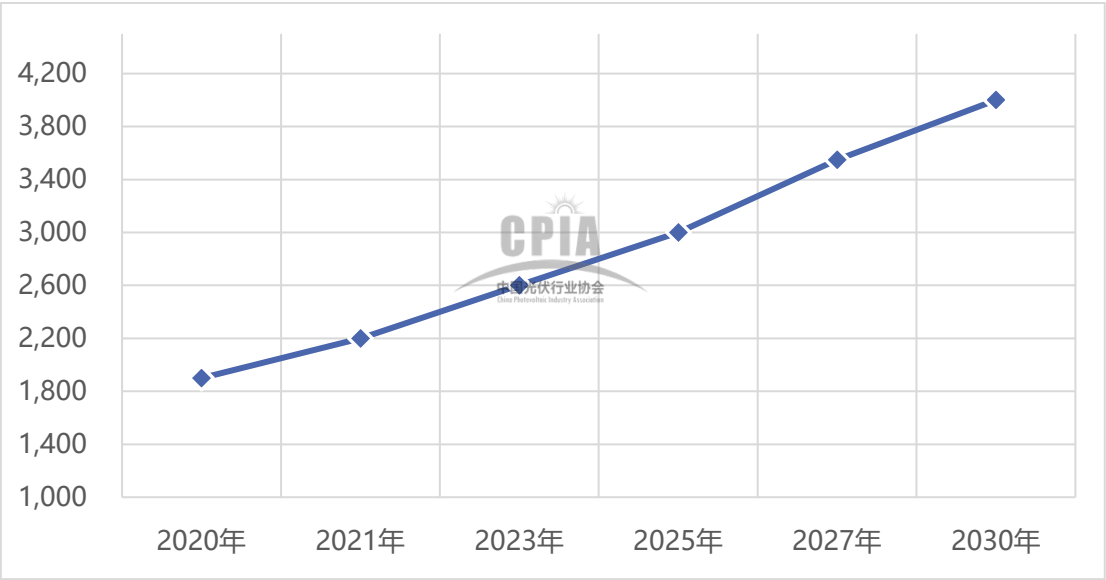


图 21　2020-2030 年拉棒单炉投料量变化趋势（单位：kg）

4、铸锭投料量

铸锭投料量是指用于铸锭的单只坩埚的最大装料量。2020 年，铸锭炉单炉平均投料量为 1100kg 左右，与 2019 年相比基本持平。2017 年行业已经出现 G8 系统的应用，但随着市场中多

晶硅片需求下滑，铸锭单晶技术发展不及预期，未能促进 G8 系统的普及，2020 年我国铸锭炉仍以 G7 系统为主。

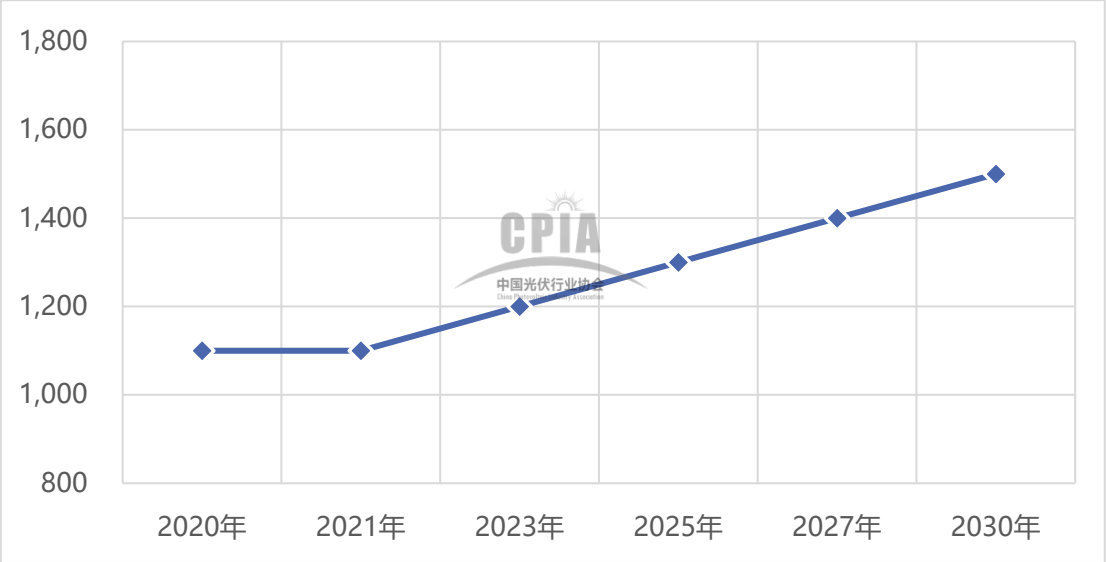


图 22　2020-2030 年铸锭单炉投料量变化趋势（单位：kg）

5、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。2020 年，多晶硅片平均厚度为 180μm，P 型单晶硅片平均厚度在 175μm 左右，N 型硅片平均厚度为 168μm，较 2019 年基本持平。目前，用于 TOPCon 电池的 N 型硅片平均厚度为 175μm，用于异质结电池的硅片厚度约 150μm，用于 IBC 电池的硅片厚度约 130μm。随着硅片尺寸的增大，硅片厚度下降速度将减缓。

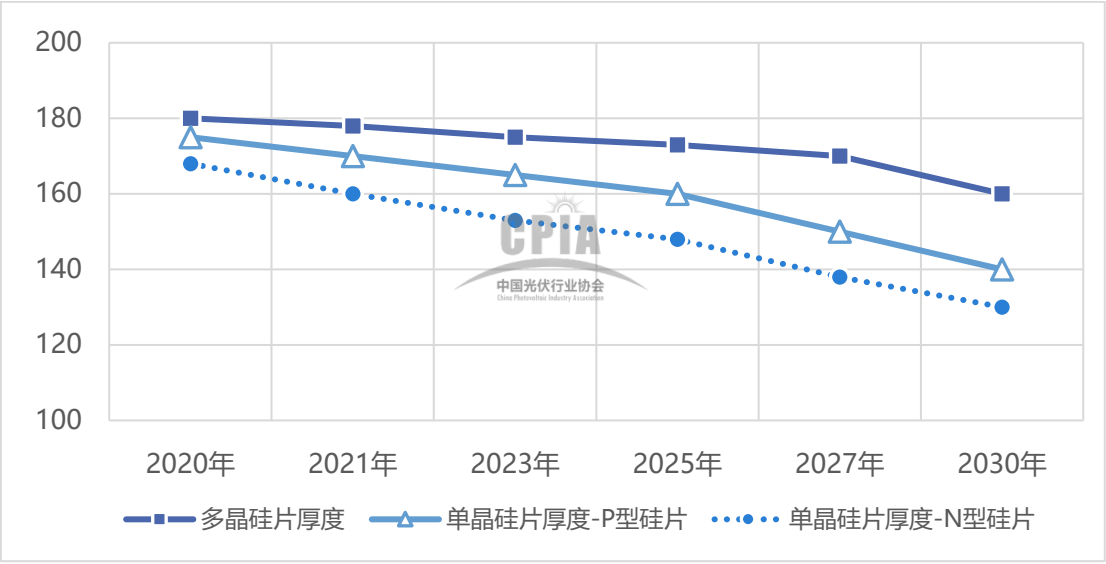


图 23　2020-2030 年硅片厚度变化趋势（单位：μm）

6、金刚线母线直径

切割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。2020 年，金刚线母线直径为 48-57μm，用于单晶硅片的金刚线母线直径降幅较大，且呈不断下降趋势。由于多晶硅片中缺陷及杂质较多，细线容易发生断线，因此用于多晶硅片的金刚线母线直径大于单晶硅片，且随着多晶硅片需求减缓，用于多晶硅片的金刚线母线直径降幅趋缓。

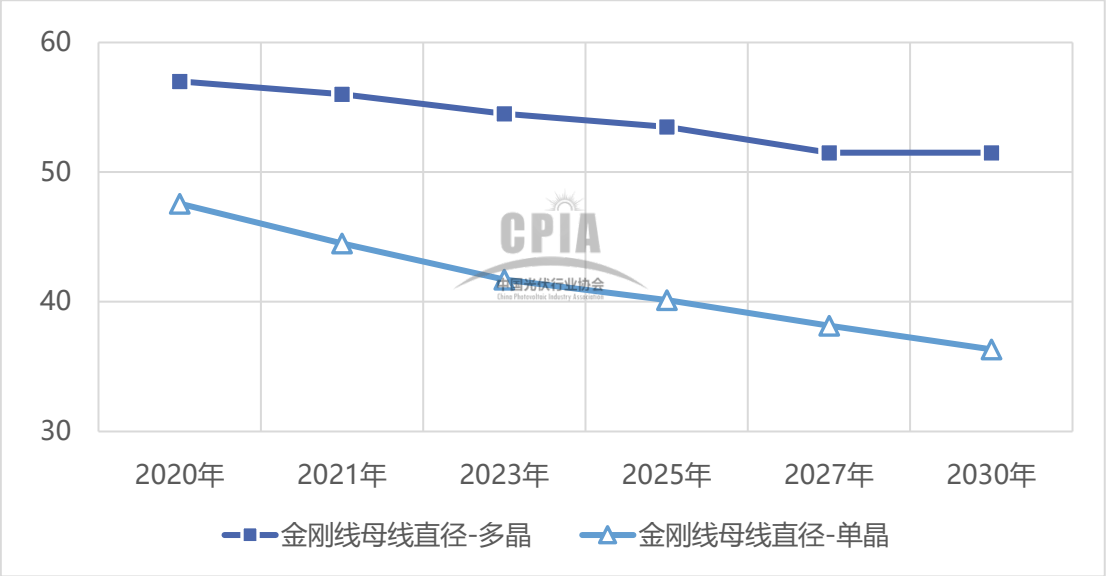


图 24　2020-2030 年金刚线母线直径变化趋势（单位：μm）

7、单位方棒/方锭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/方锭每公斤出片量将增加。2020 年 P 型 166mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 62 片，多晶方锭出片量约为 58 片。(备注：P 型 158.75mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 67 片，P 型 182mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 51 片，P 型 210mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 38 片。)

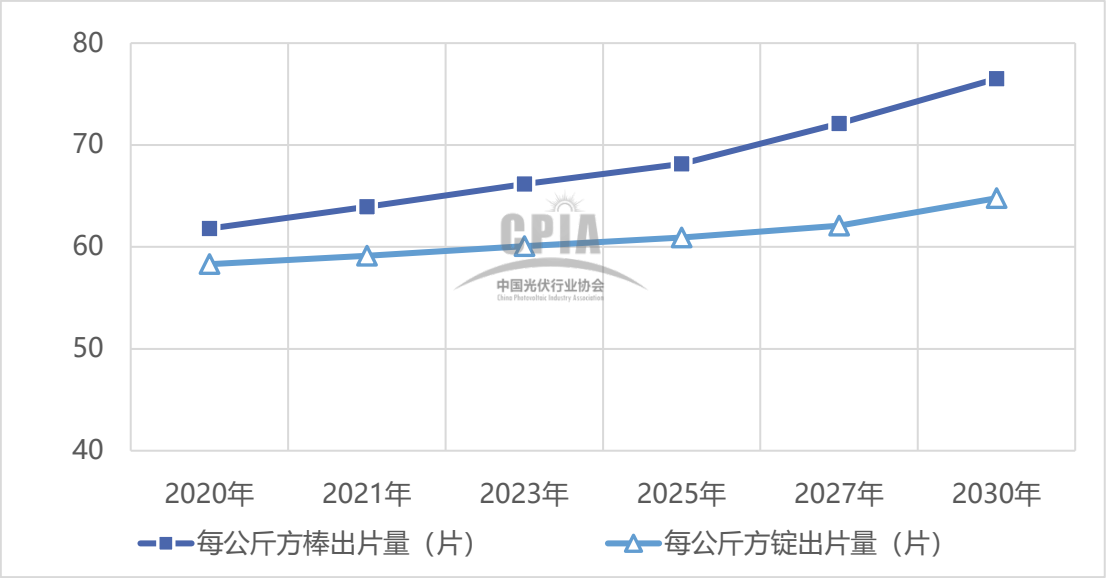


图 25　2020-2030 年每公斤方棒/方锭在金刚线切割下的出片量变化趋势（单位：片）

8、拉棒/铸锭单位产能设备投资额

2020 年，拉棒和铸锭环节单位产能设备投资额（包括机加环节）分别为 5.8 万元/吨和 2.1 万元/吨，较 2019 年均有小幅下降。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。但铸锭设备技改降本动力不足，以及设备生产商利润空间有限，未来设备投资成本下降速度将减缓。

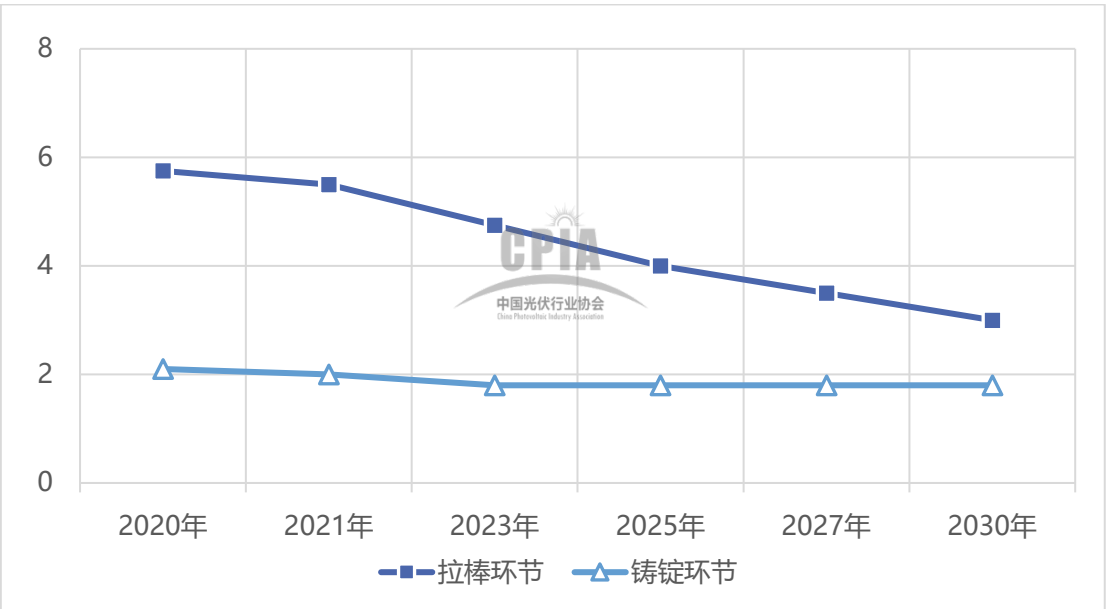


图 26　2020-2030 年拉棒/铸锭环节设备投资成本变化趋势（单位：万元/吨）

9、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。2020 年，硅片产线晶体环节（拉棒/铸锭）人均产出率为 9MW/年/人，切片人均产出率为 14.6MW/年/人。未来大尺寸产能逐步释放，自动化水平显著提升，预计晶体（拉棒/铸锭）人均产出和切片人均产出均会有较为明显的增加。

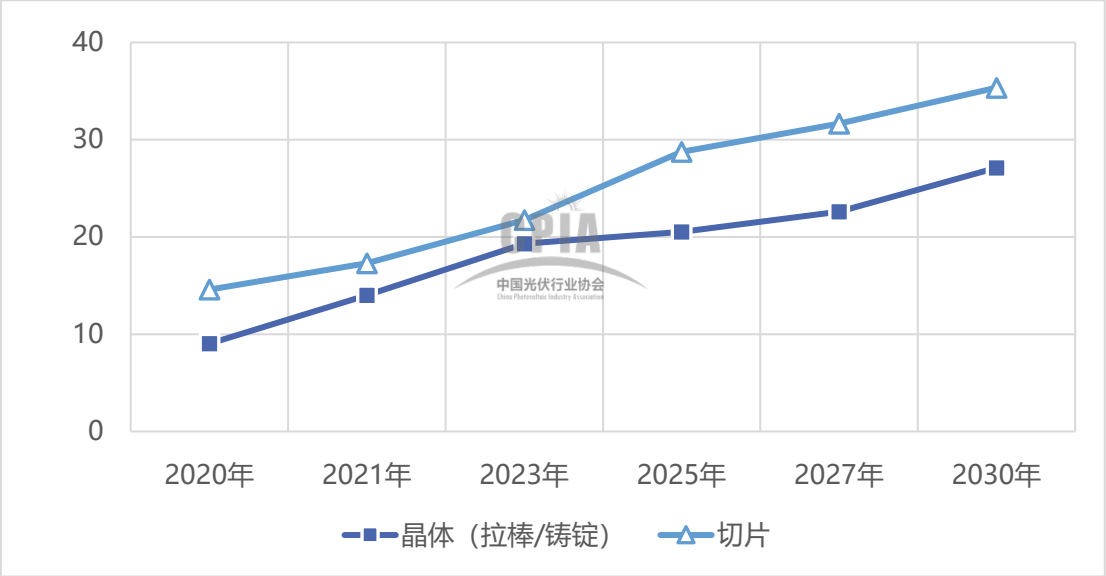


图 27　2020-2030 年硅片人均产出率变化趋势（单位：MW/年/人）

10、不同类型硅片市场占比[3]

2020 年，单晶硅片（P 型+N 型）市场占比约 90.2%，其中 P 型单晶硅片市场占比由 2019 年的 60%增长到 86.9%，N 型单晶硅片约 3.3%。随着下游对单晶产品的需求增大，单晶硅片市场占比也将进一步增大，且 N 型单晶硅片占比将持续提升。多晶硅片的市场份额由 2019 年的 32.5%下降至 2020 年的 9.3%，未来呈逐步下降趋势，但仍会在细分市场保持一定需求量。铸锭单晶市场占比达到 0.5%，未来市场份额保持平稳。

[3] 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。

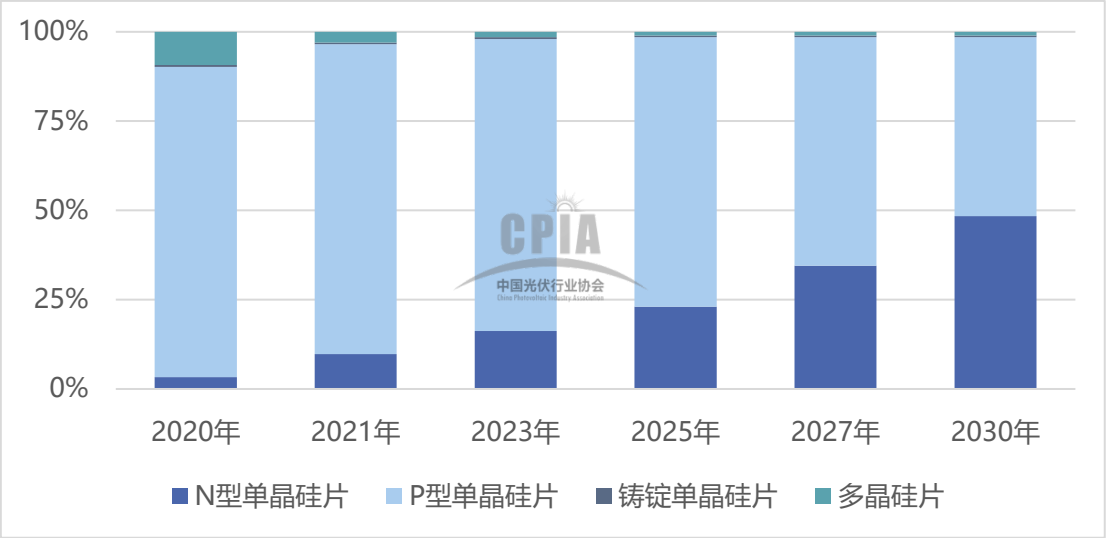


图 28　2020-2030 年不同类型硅片市场占比变化趋势

11、不同尺寸硅片市场占比

2020 年市场上硅片尺寸种类多样，包括 156.75mm、157mm、158.75mm、166mm、182mm、210mm 等，且各占有一定的市场份额。其中，158.75mm 和 166mm 尺寸占比合计达到 77.8%，158.75mm 是现有电池生产线最易升级的方案，166mm 是现有电池产线可升级的最大尺寸方案，因此将是近 2-3 年的过渡尺寸；156.75mm 尺寸（包括 157mm）由 2019 年的主流尺寸下降为 17.7%，预计在 2022 年左右被淘汰；2020 年 182mm 和 210mm 尺寸合计占比约 4.5%，但在 2021 年其占比将快速扩大，或将占据半壁江山，且呈持续扩大趋势。

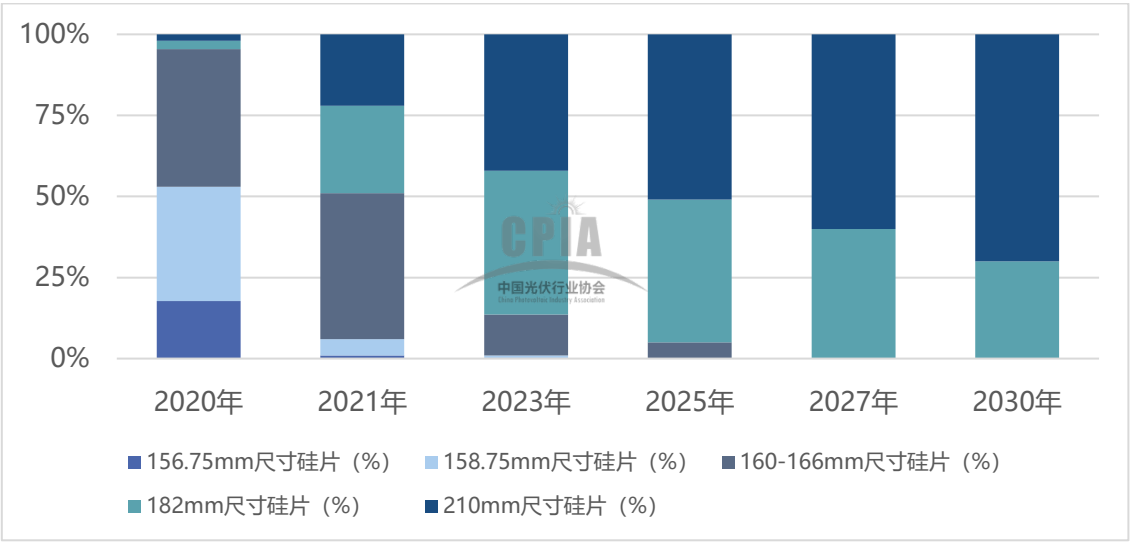


图 29　2020-2030 年不同尺寸硅片市场占比变化趋势

注：156.75mm 尺寸硅片包括 M2 单晶硅片、标准多晶硅片、157mm 多晶硅片；
160-166mm 尺寸硅片主要包括 161.7mm 全方片、161.7mm 类方片、163mm 类方片、166mm 类方片硅片。

（三）电池片环节 [4]

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 with Intrinsic Thin Layer）——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。
PERT	发射极钝化和全背面扩散（Passivated Emitter Rear Totally-diffused ）——PERC 技术的改进型，在形成钝化层基础上进行全面的扩散，加强钝化层效果。

1、各种电池技术平均转换效率

2020 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 22.8%，较 2019 年提高 0.5 个百分点；采用 PERC 技术的多晶黑硅电池片转换效率达到 20.8%，较 2019 年提高 0.3 个百分点；常规多晶黑硅电池则效率提升动力不强，2020 年转换效率约 19.4%，仅提升 0.1 个百分点，未来效率提升空间有限；铸锭单晶 PERC 电池平均转换效率为 22.3%，较单晶 PERC 电池低 0.5 个百分点；N 型 TOPCon 电池平均转换效率达到 23.5%，异质结电池平均转换效率达到 23.8%，两者较 2019 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 型电池将会是电池技术的主要发展方向之一。

[4]若无特殊说明，本环节指标均以生产 166mm 尺寸电池为基准。

表 2　2020-2030 年各种电池技术平均转换效率变化趋势

	分类	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
P 型多晶	BSF P 型多晶黑硅电池	19.4%	19.5%	19.5%	-	-	-
	PERC P 型多晶黑硅电池	20.8%	21.1%	21.4%	21.7%	22.0%	22.5%
	PERC P 型铸锭单晶电池	22.3%	22.6%	23.0%	23.3%	23.5%	23.7%
P 型单晶	PERC P 型单晶电池	22.8%	23.1%	23.4%	23.7%	23.9%	24.1%
N 型单晶	TOPCon 单晶电池	23.5%	24.0%	24.5%	25.0%	25.3%	25.7%
	异质结电池	23.8%	24.2%	24.8%	25.2%	25.5%	25.9%
	背接触电池	23.6%	24.0%	24.5%	25.0%	25.4%	25.8%

注：1.背接触 N 型单晶电池目前处于中试阶段；
2.均只记正面效率。

2、各种电池技术市场占比

2020 年，新建量产产线仍以 PERC 电池产线为主。随着 PERC 电池片新产能持续释放，PERC 电池片市场占比进一步提升至 86.4%。随着国内户用项目的产品需求开始转向高效产品，原本对常规多晶产品需求较高的印度、巴西等海外市场也因疫情导致需求量减弱，2020 年常规电池片（BSF 电池）市场占比下降至 8.8%，较 2019 年下降 22.7 个百分点。N 型电池（主要包括异质结电池和 TOPCon 电池）相对成本较高，量产规模仍较少，目前市场占比约为 3.5%，较 2019 年小幅提升。

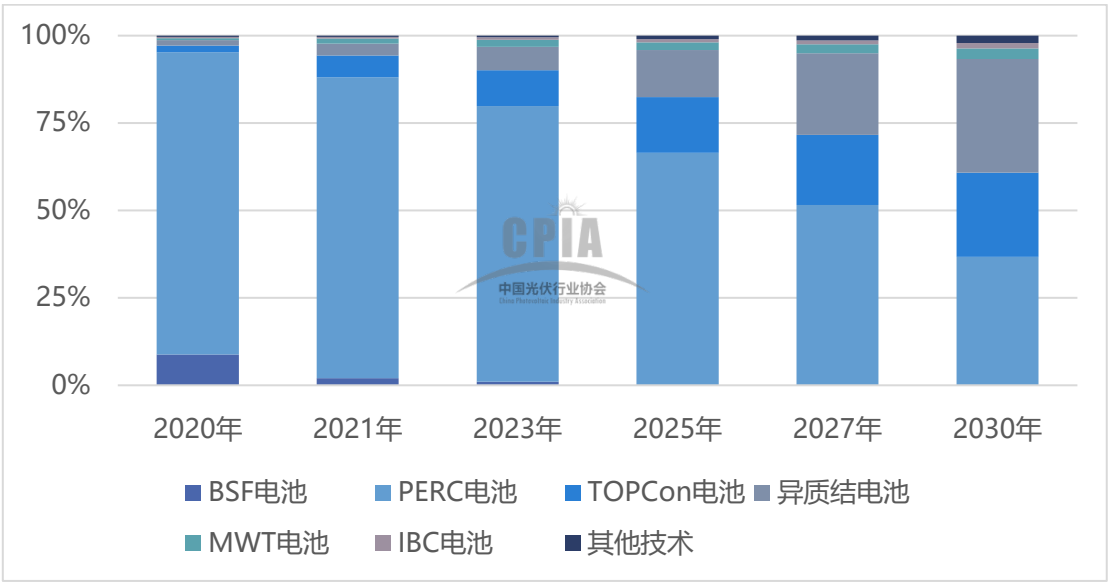


图 30　2020-2030 年各种电池技术市场占比变化趋势

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 电池的迅速发展，电池片铝浆消耗量大幅下降，2020 年单面发电 PERC 电池铝浆消耗量约为 824mg/片，双面 PERC 电池铝浆消耗量约为 260mg/片。随着未来 PERC 电池的技术进步，每片电池耗铝量仍有较大下降空间。

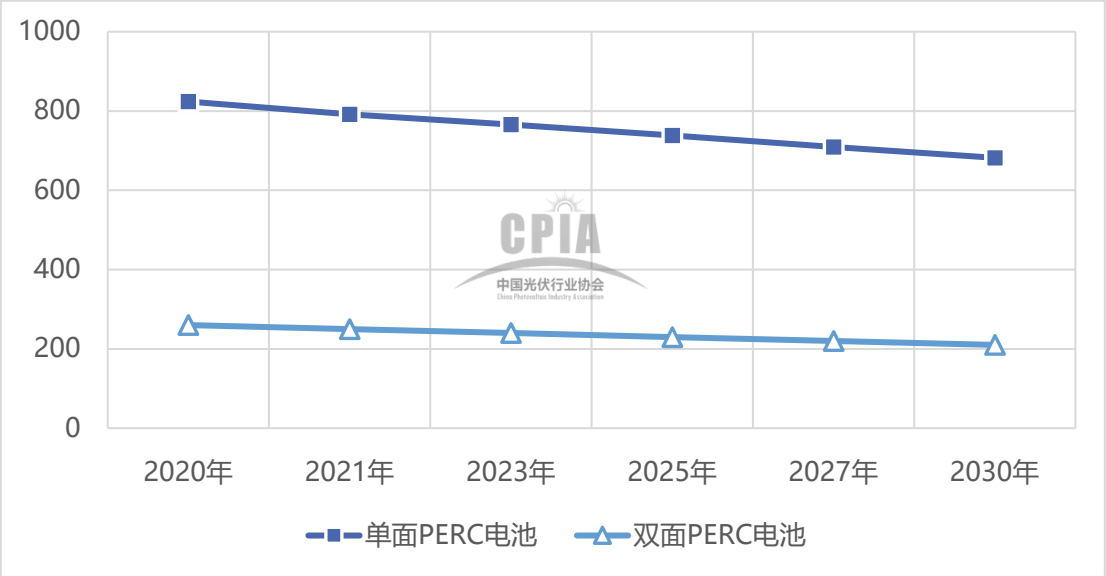


图 31　2020-2030 年单/双面 PERC 电池铝浆消耗量变化趋势（单位：mg/片）

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 型电池和 TOPCon 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，目前通过多主栅技术以及减小细栅宽度来减少正银消耗量。2020 年，P 型电池银浆消耗量约 107.3mg/片，同比下降 6.5%，其中背银消耗量约 29.1mg/片；TOPCon 电池片正面使用的银（铝）浆[5]（95%银）消耗量约 87.1mg/片，背银消耗量约 77mg/片；异质结电池双面低温银浆消耗量约 223.3mg/片，同比下降 25.6%。银浆用量大、价格贵是异质结电池成本高的原因之一，目前正通过技改降低低温银浆消耗量。

[5] TOPCon 电池正面主栅使用银浆，细栅使用的是银铝浆。

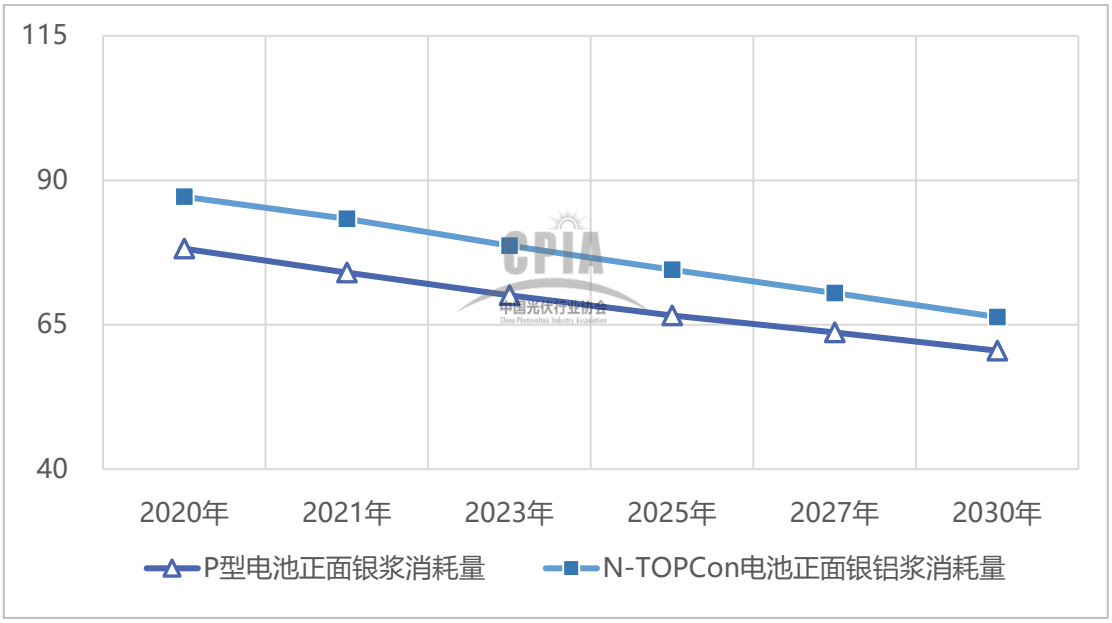


图 32　2020-2030 年高温浆料消耗量变化趋势（单位：mg/片）

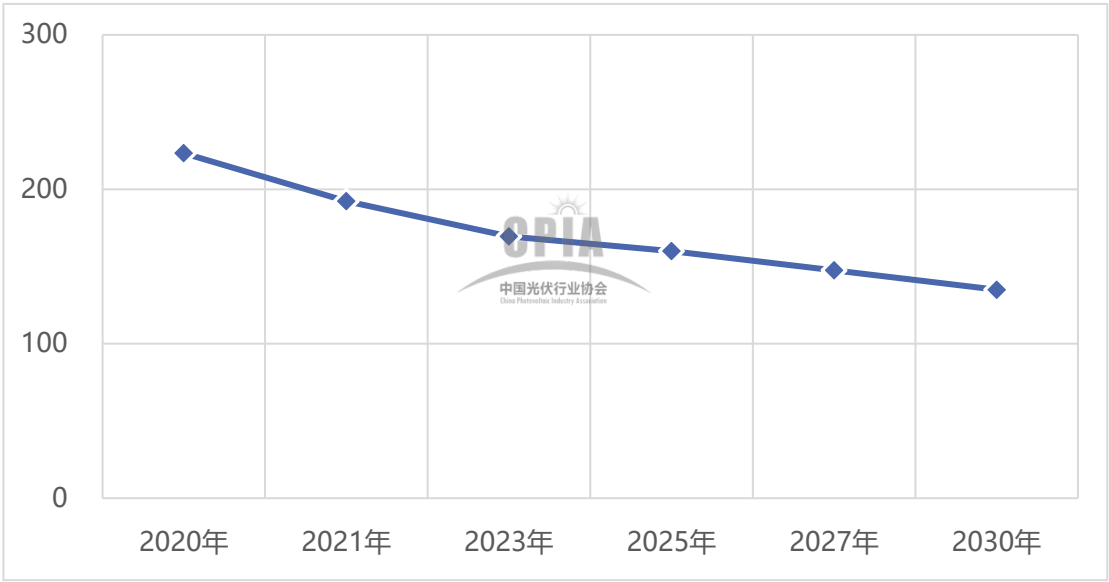


图 33　2020-2030 年低温浆料消耗量变化趋势（单位：mg/片）

5、电池片正面金属电极技术市场占比

目前金属电极仍以银电极为主，2020 年市场占比达到 99.9%。由于银价格较高，部分企业及研究机构正积极开发利用贱金属如铜等替代银的电极技术（比如铜浆料），主要用于异质结电池的电镀铜电极技术则因工艺繁琐，使用率相对较低。

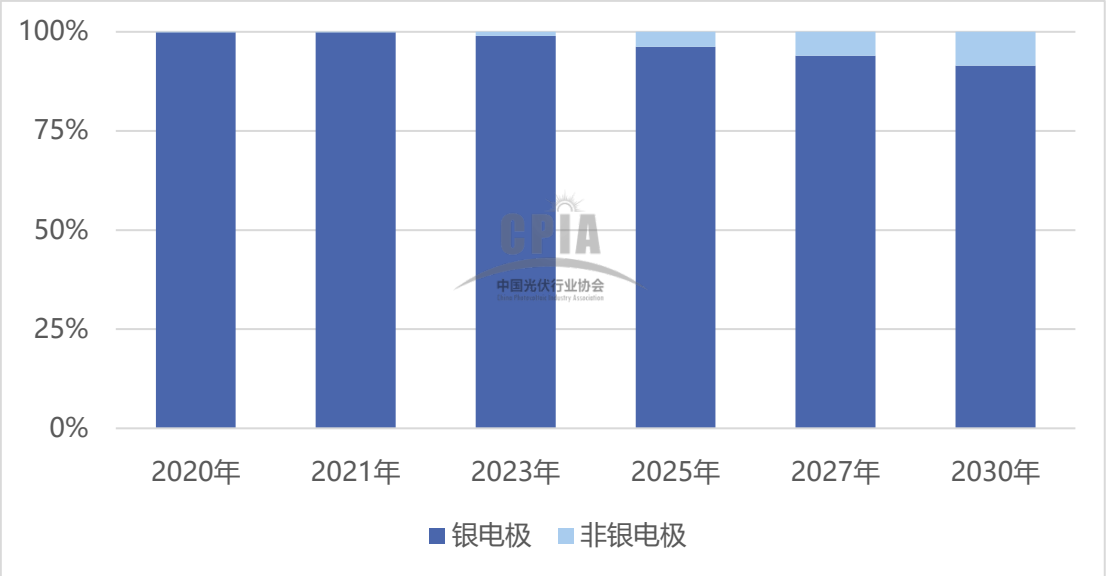


图 34　2020-2030 年电池片正面金属电极技术市场占比变化趋势

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，2020 年市场占比达到 99.9%。生产企业和设备厂家也在研发孔板印刷、喷墨、电镀等其他栅线印刷技术。预计未来 10 年内丝网印刷技术仍将是主流技术。随着技术进步，电池片的栅线印刷技术也将多样化。

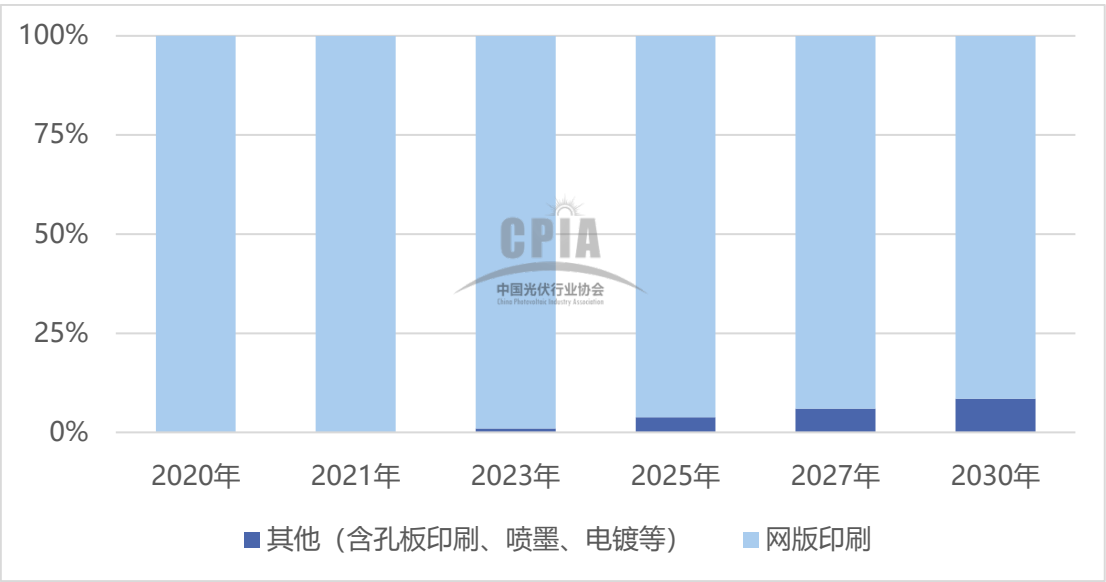


图 35　2020-2030 年栅线印刷技术市场占比变化趋势

7、P 型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，硅片掺杂浓度低则其方阻值相对高。2020 年，PERC 电池发射极电阻进一步提高至 143ohm/□。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。但随着电池片尺寸的增大，考虑到片内均匀性、浆料匹配性以及在高发射极方块电阻上制备低接触电阻较为困难等问题，预计未来发射极方块电阻增速将趋缓。

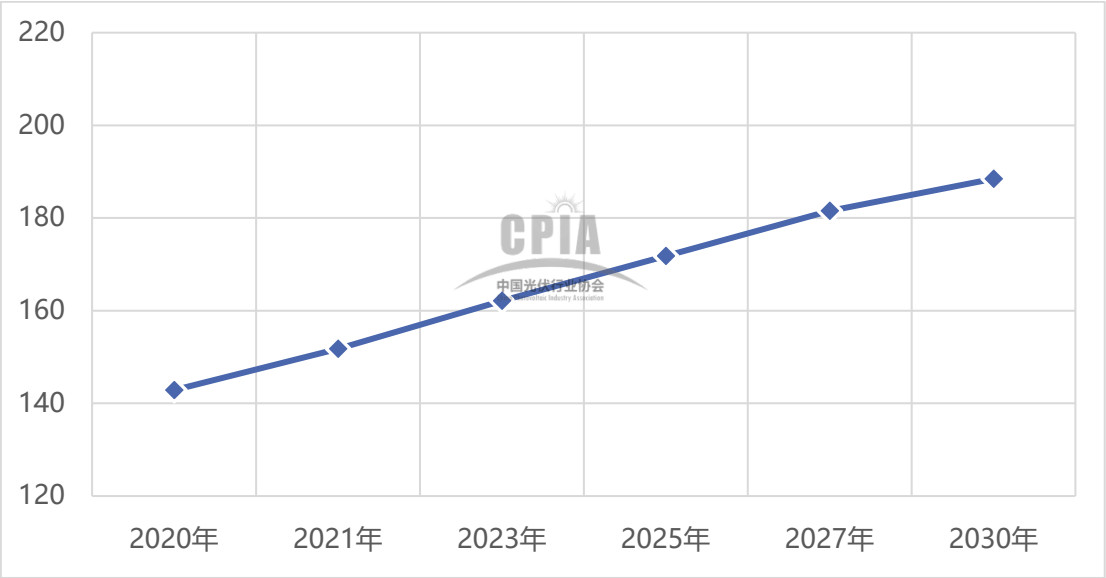


图 36　2020-2030 年 P 型电池片发射极方块电阻变化趋势（单位：ohm/口）

8、PERC 电池背钝化技术市场占比

背面钝化技术主要应用在 PERC 电池，主要有 PECVD AlOx+盖层和 ALD AlOx+盖层等方法。其中 PECVD 沉积技术相对成熟，2020 年市场占比在 50.4%左右；ALD 沉积技术有更精确的层厚控制和更好的钝化效果，2020 年市场占比约 45.9%。除 PECVD 和 ALD 背钝化技术外，目前市场上应用的还有氮氧化硅（SiON）背钝化技术。受知识产权等非技术因素的影响，SiON 沉积技术的市场占比或有望提升。

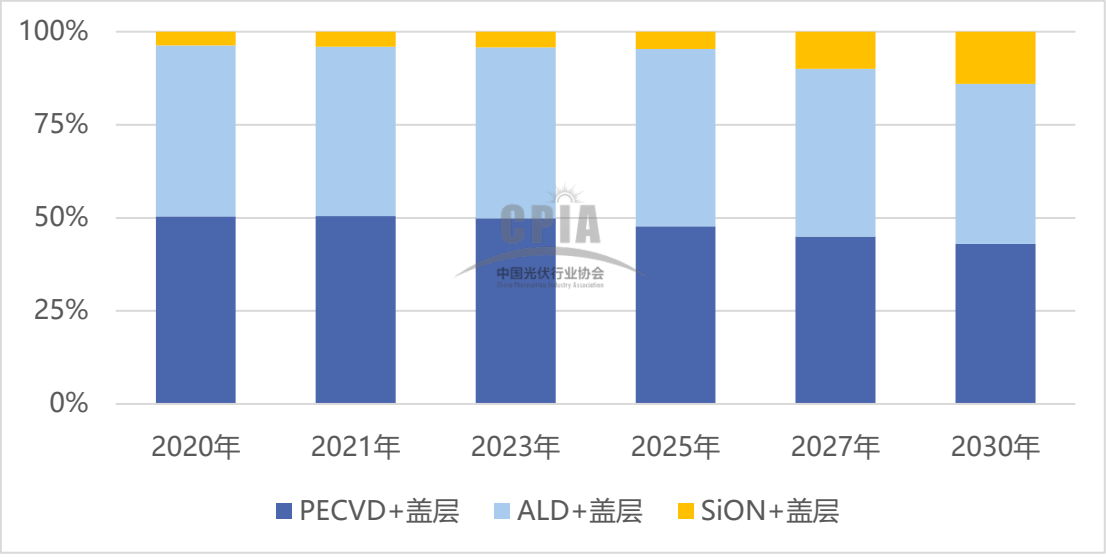


图 37　2020-2030 年 PERC 电池背钝化技术市场占比变化趋势

9、电池正面细栅线宽度

晶硅太阳能电池正面金属化电极由用于汇流、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。2020年，细栅线宽度一般控制在 35.8μm 左右，印刷设备精度在±7.9μm。随着浆料技术和印刷设备精度的提升，细栅宽度仍会保持一定幅度的下降。预计到2030年印刷设备精度可提高到±5.7μm，细栅线宽度或将下降至 25.2μm 左右。

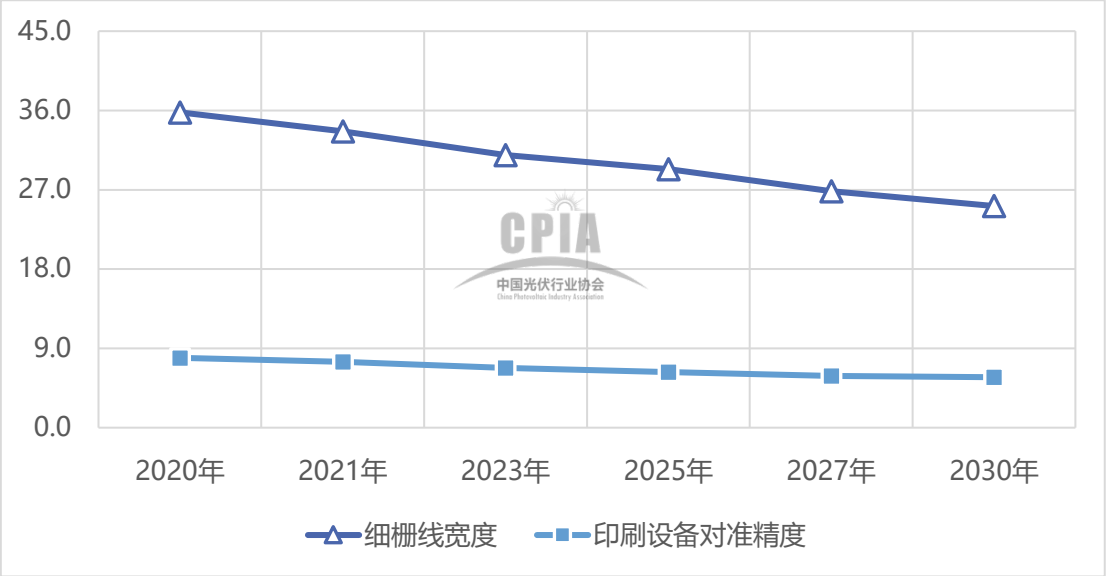


图 38　2020-2030 年电池正面细栅线宽度及对准精度变化趋势（单位：μm）

10、各种主栅市场占比[6]

在不影响电池遮光面积及串联工艺的前提下，提高主栅数目有利于缩短电池片内电流横向收集路径，同时减少电池功率损失，提高电池应力分布的均匀性以降低碎片率，提高导电性。2020年，随着主流电池片尺寸增大，9 主栅及以上技术成为市场主流，相较 2019 年上升 46.1 个百分点至 66.2%，预计到 2030 年，9 主栅及以上电池片市场占有率将持续增加。其他主栅技术包括 MWT、无主栅、IBC 等。

[6] 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。

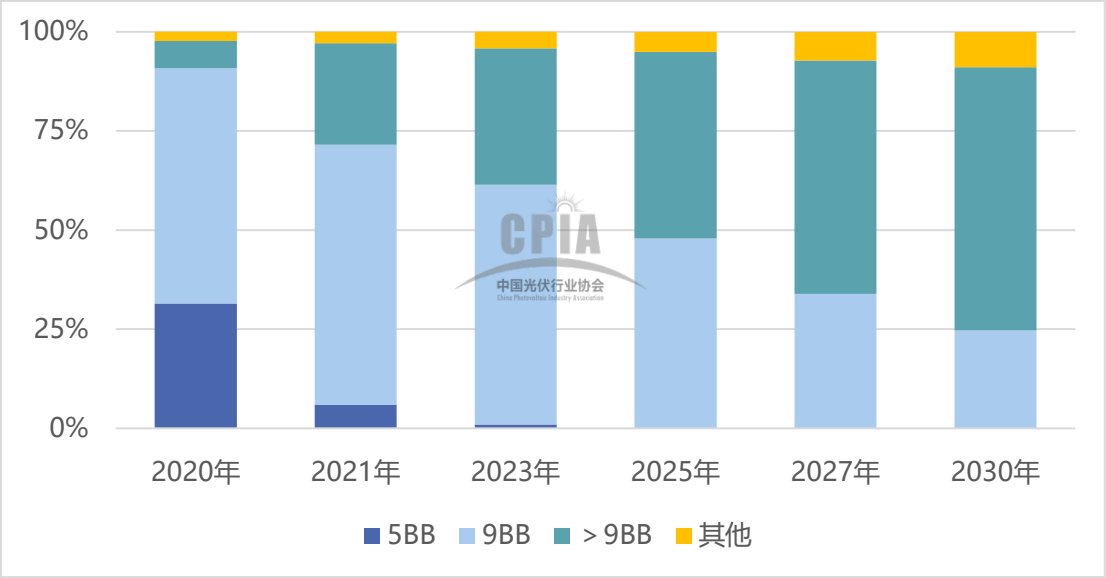


图 39　2020-2030 年各种主栅技术市场占比变化趋势

11、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）。2020 年，电池片产线人均产出率为 2.8 MW/年/人，新投产 PERC 电池产线人均产出率达到约 3.5 MW/年/人，大尺寸（210mm）电池片产线最高能达到 5MW/年/人。未来随着光伏电池片产线大尺寸化的推进，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，人均产出率将有较大进步空间。

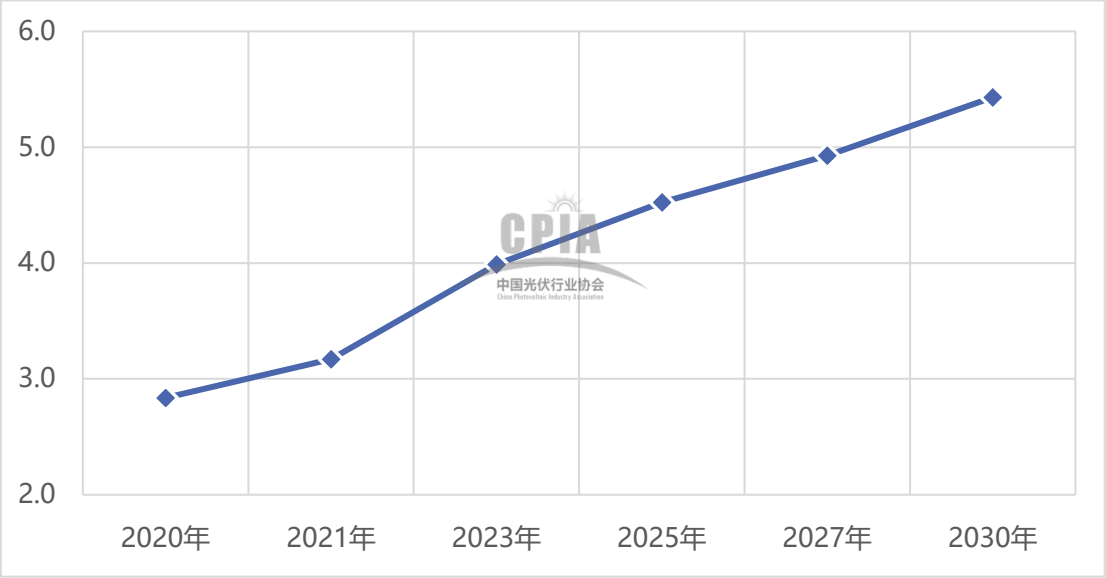


图 40　2020-2030 年电池线人均产出率变化趋势（单位：MW/年/人）

12、电池片单位产能设备投资额

2020 年，新投电池线生产设备基本实现国产化，且仍以 PERC 产线为主，其设备投资成本降至 22.5 万元/MW，同比下降 25.7%，降幅远超 2019 年预期，产线可兼容 182mm 及 210mm 的大尺寸产品，单条产线产能已达到 500MW。2020 年 N-TOPCon 电池线设备投资成本约 27 万元/MW，略高于 PERC 电池；异质结电池设备投资成本 45-55 万元/MW。随着未来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。

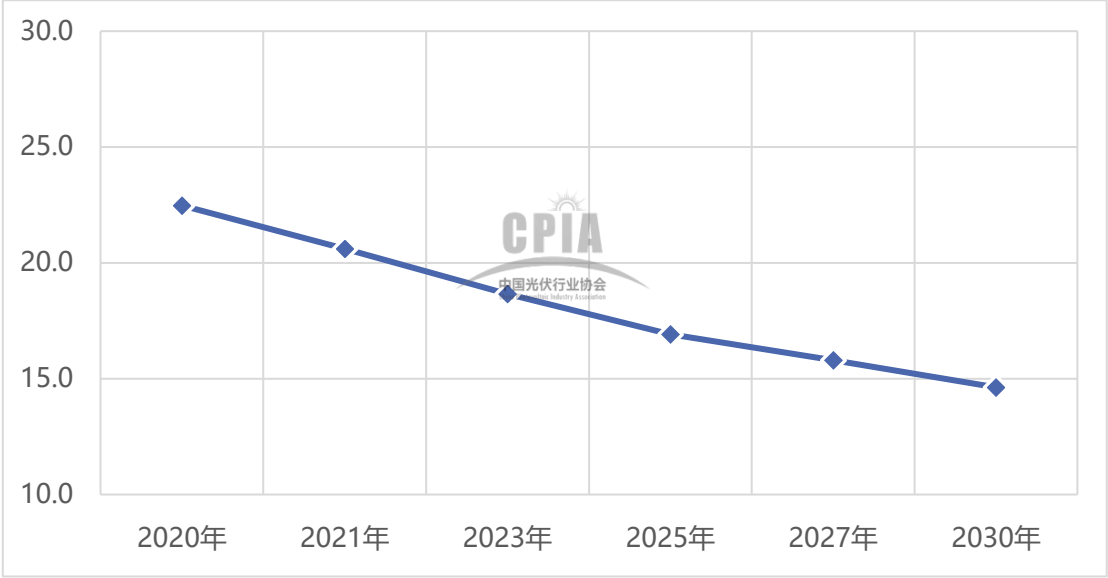


图 41　2020-2030 年 PERC 电池线投资成本变化趋势（单位：万元/MW）

（四）组件环节 [7]

1、不同类型组件功率

2020 年，采用 166、182、210mm 尺寸 PERC 单晶电池的组件功率已分别达到 450W、540W、540W。常规多晶黑硅组件主要用于户用及印度等海外市场，组件功率约为 345W；采用 166mm 尺寸 PERC 多晶黑硅组件功率约为 415W。TOPCon 电池组件、异质结电池组件可达到 455W、460W。未来几年，随着技术的进步，各种类型组件功率基本上以≥5W/年的增速向前推进。

表 3　2020-2030 年不同类型组件功率变化趋势

晶硅电池 72 片半片组件平均功率（W）		2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
多晶	BSF 多晶黑硅组件（157mm）	345	350	350	-	-	-
	PERC P 型多晶黑硅组件	415	420	425	435	440	450
	PERC P 型铸锭单晶组件	445	450	460	465	470	475
P 型单晶	PERC P 型单晶组件	450	455	465	470	475	480
	PERC P 型单晶组件（182mm）	540	545	550	555	560	570
	PERC P 型单晶组件（210mm）	540	545	550	557	565	575
N 型单晶	TOPCon 单晶组件	455	465	475	485	490	495
	异质结组件	460	470	480	490	495	505
	IBC 组件（158.75mm）	350	355	360	370	375	380
MWT 封装	MWT 单晶组件	465	470	488	505	513	520

注：1、本指标均以采用 9BB 电池片的单玻单面组件为基准，双面组件只记正面功率；

2、P 型单晶组件（210mm）以 55 片为基准，IBC 组件以 60 片为基准，MWT 组件以 78 片为基准，其他组件均以 72 片为基准；

3、非特殊注明，均以 166mm 尺寸电池为基准。2020 年 MWT 组件采用 PERC 电池技术及 162mm 尺寸电池片；2021 年将采用 TOPCon 电池技术及 166mm 尺寸电池片；

4、除异质结组件外，以上其他组件均为半片组件。

2、单/双面组件市场占比

2020 年，随着下游应用端对于双面组件发电增益的认可，以及受到美国豁免双面组件 201 关税影响，双面组件市场占比较 2019 年上涨 15.7 个百分点至 29.7%，如果没有玻璃价格上涨影响，其市场占比增幅或将更大。2021 年，玻璃供应紧张的局面将逐步缓解，双面发电组件的应用规模将进一步扩大，预计到 2023 年，单双面组件市场占比相当。

[7] 若无特殊说明，本环节指标均以使用 166mm 尺寸电池片封装为基准。

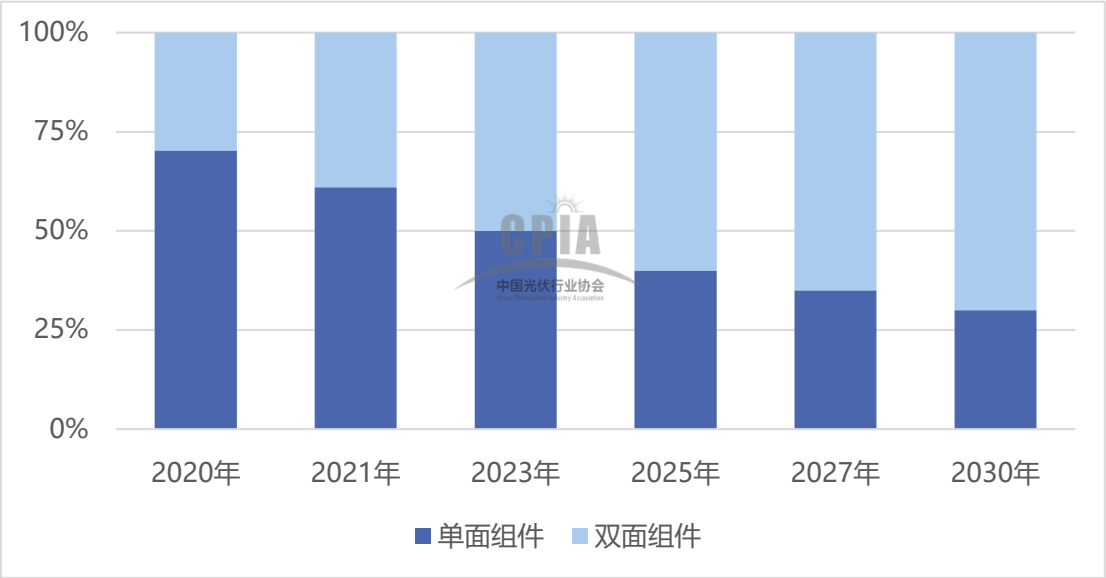


图 42　2020-2030 年单/双面组件市场占比变化趋势

3、全片、半片和叠瓦组件市场占比

2020 年，半片组件市场占比反超全片组件，占据了主要市场份额，市场占比达到 71%，同比增加 50.1 个百分点。由于半片或更小片电池片的组件封装方式可提升组件功率，预计未来其所占市场份额会持续增大。

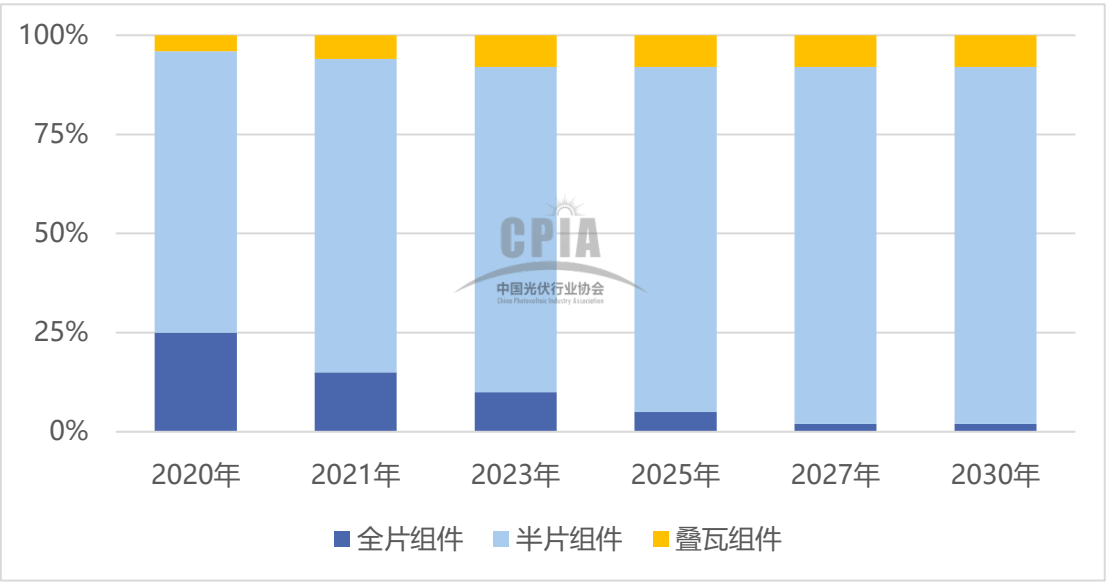


图 43　2020-2030 年全片、半片和叠瓦组件市场占比变化趋势

4、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有含铅焊带、不含铅焊带、导电胶等。含铅焊带具有成本低，焊接可靠性高，导电性好等优势，仍为当前主要使用的互联方式，2020 年市场份额为 96.9%。导电胶互联主要应用在叠瓦组件、MWT 组件及部分异质结组件中。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，到 2030 年使用含铅焊带仍将会是市场主流。

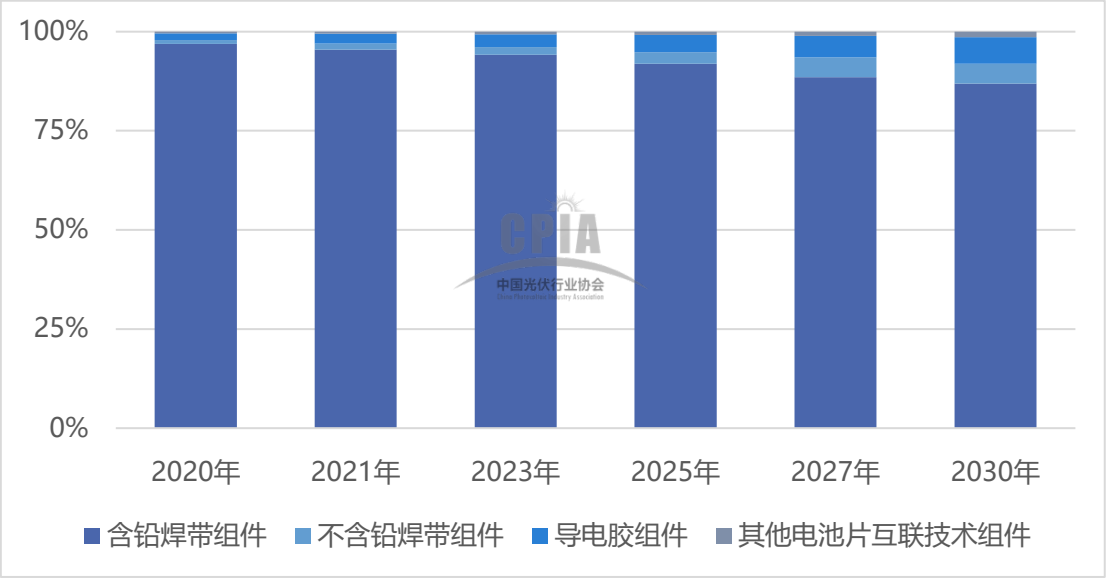


图 44　2020-2030 年不同电池片互联技术的组件市场占比变化趋势

5、3.2mm 组件封装用钢化镀膜玻璃透光率

晶体硅太阳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。目前，组件厂商对透光率的要求在 93.5%到 94%之间。2020 年，钢化镀膜玻璃大部分为单层镀膜，透光率平均约 93.9%。2021 年以后新投玻璃产能基本均采用双层镀膜，透光率可做到 94.2%以上。未来随着工艺进步，透光率仍有一定的增长空间。

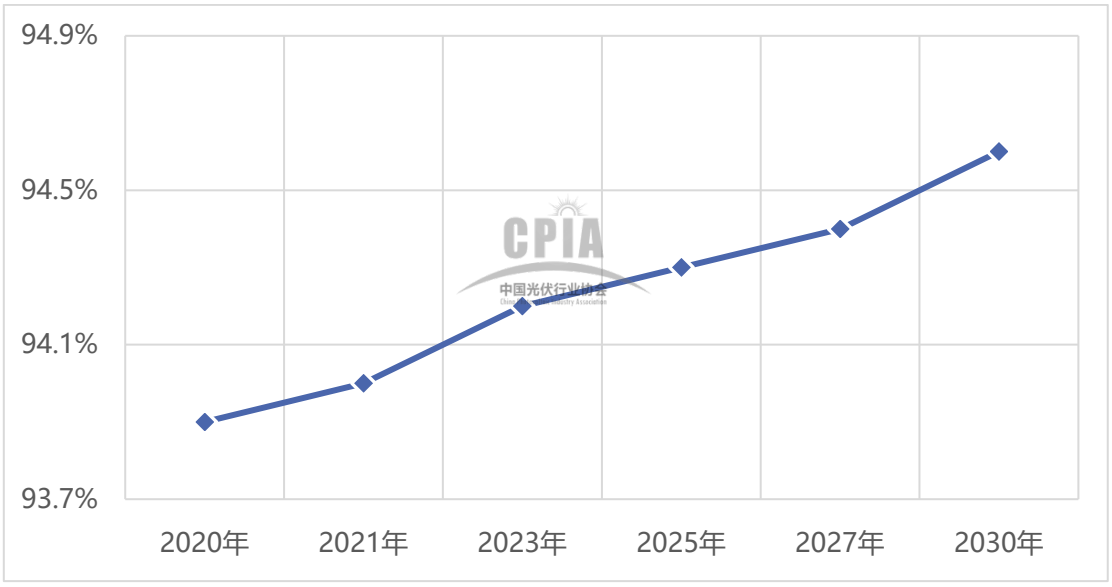


图 45　2020-2030 年 3.2mm 组件封装用钢化镀膜玻璃透光率变化趋势

6、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、拥有深度结构的前盖板玻璃等）。其中，拥有深度结构的前盖板玻璃组件主要应用于机场防眩光等特定场所。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，未来一段时间受其他正面盖板材料的发展，市场占比有所下降，但仍将占据主要市场份额。

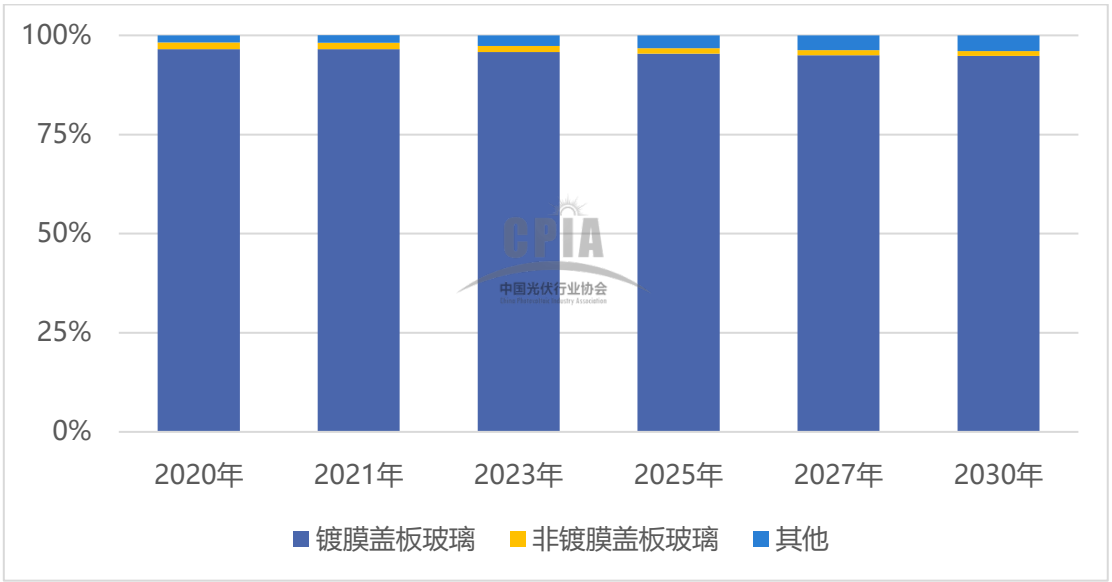


图 46　2020-2030 年不同材质正面盖板组件市场占比变化趋势

7、不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比

目前，前盖板玻璃厚度主要有小于等于 2.5mm、2.8mm、3.2mm 等规格，其中厚度≤2.5mm 的玻璃主要用于双玻组件。2020 年，3.2mm 的前盖板玻璃市场占有率最高，约 71.3%。随着组件轻量化、双玻组件以及新技术的不断发展，在保证组件发电性能的前提下，盖板玻璃会向薄片化发展，3.2mm 厚度的前盖板玻璃市占率将不断被压缩，2.5mm 及以下前盖板玻璃市场份额将逐步提升。

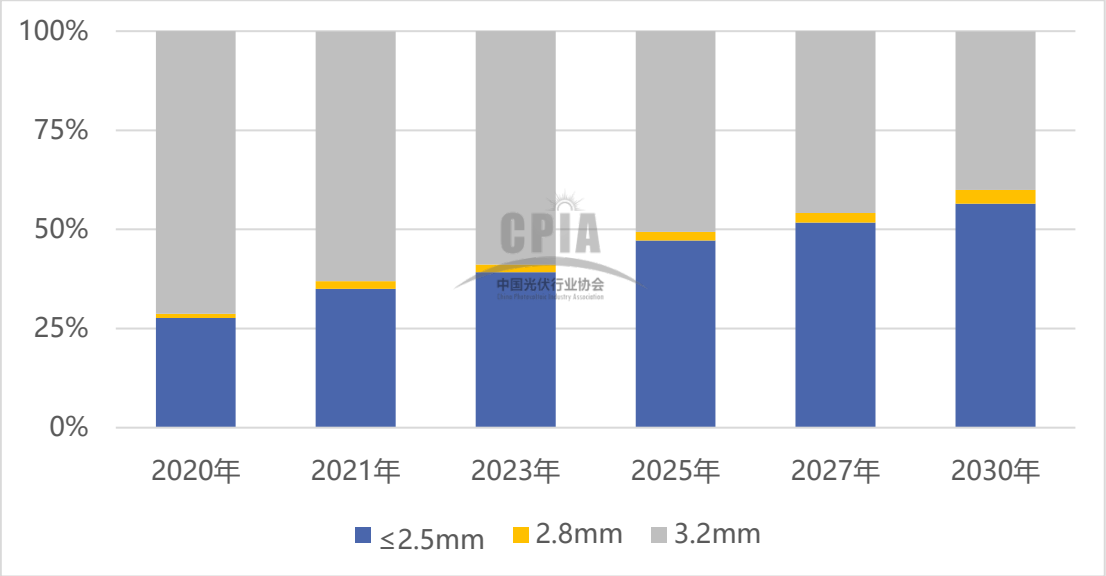


图 47　2020-2030 年不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比变化趋势

8、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 POE（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，双玻组件通常采用的是 POE 胶膜；共挤型 POE 胶膜不仅有 POE 胶膜的性能，还可以降低成本，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，因此采用白色 EVA 胶膜可用玻璃背板替代有机背板来降低组件成本。2020 年，组件封装材料仍以透明 EVA 胶膜为主，约占 56.7%的市场份额，较 2019 年下降 12.9 个百分点，主要是双玻组件市场占比的提升和 EVA 粒子涨价导致，其下降部分由共挤型 POE 胶膜和 POE 胶膜替代。2020 年 POE 胶膜和共挤型 POE 胶膜合计市场占比提升至 25.5%，随着未来双玻组件市场占比的提升，其市场占比将进一步增大。而由于成本原因及原材料市场供需不平衡，短期内 POE 市场占比或将下降。随着未来供需关系的改善以及异质结组件封装需求的扩大，POE 胶膜市场占比将进一步提升。

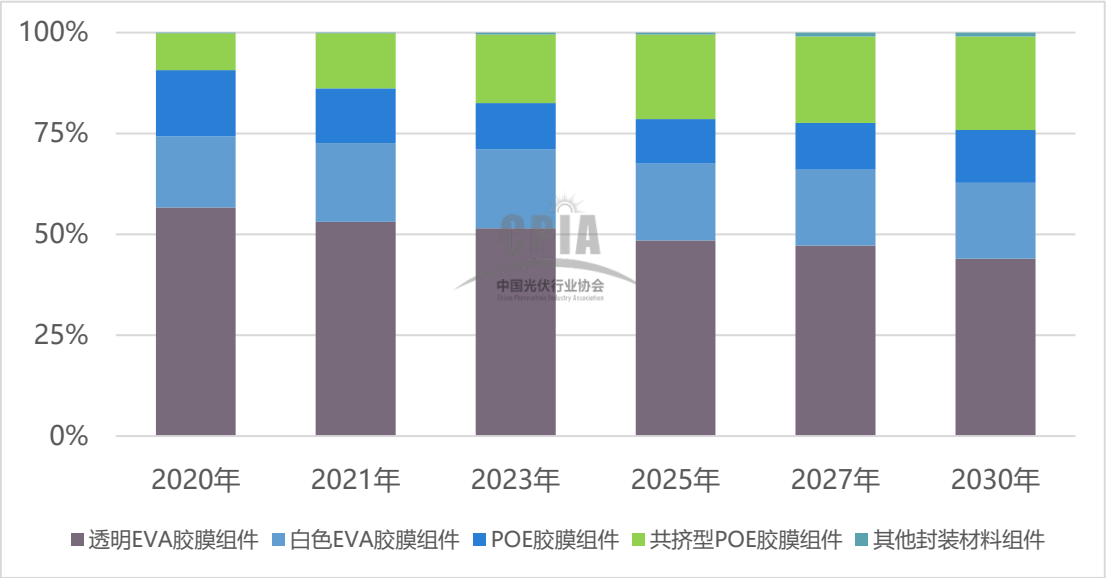


图 48　2020-2030 年不同封装材料的市场占比变化趋势

9、不同背板材料市场占比

目前市场上使用的背板主要有白色 KPK/KPF/KPE 结构背板、白色 TPT/TPF/TPE 结构背板、白色 CPC 结构背板、玻璃背板、透明有机材料背板和其他结构背板，其他结构背板包括 PET、PO 等结构背板、共挤型背板等。2020 年，随着双面组件市场份额的增长，透明有机材质与玻璃材质背板市场份额呈现不同程度增长，分别同比增加 1.5 个百分点和 14.2 个百分点，未来呈继续增长的态势。KPK/KPF/KPE 结构背板市场与 TPT/TPF/TPE 结构背板市场占有率均有所下降，未来呈继续下降的态势。其中 KPK/KPF/KPE 结构背板市场占比约为 45.8%，同比下降 13.7 个百分点；TPT/TPF/TPE 结构背板市场占比约为 10.8%，同比下降 3.2 个百分点。

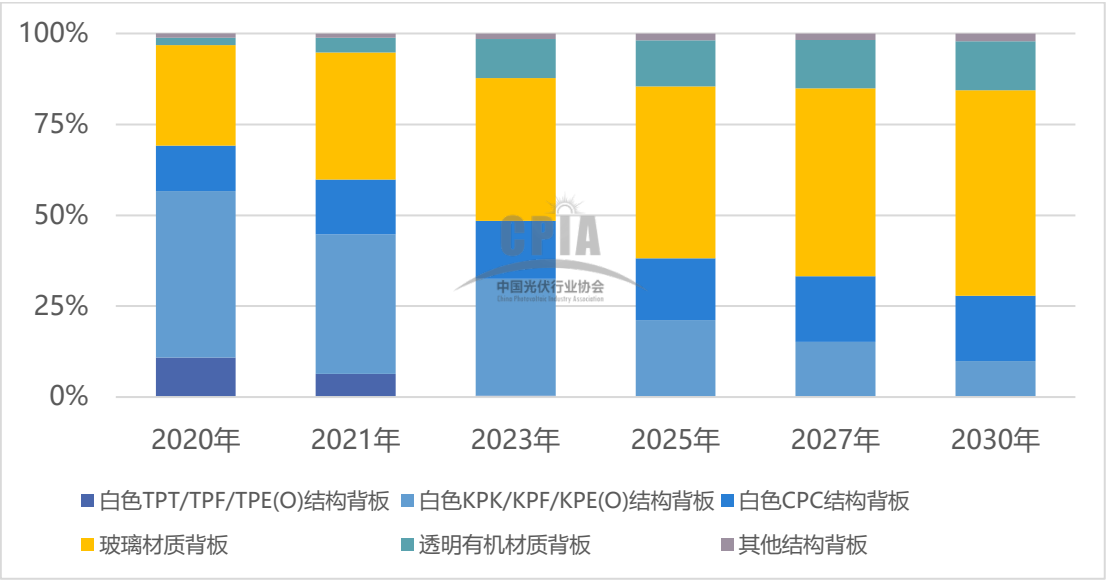


图 49　2020-2030 年不同背板材料市场占比变化趋势

10、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）。2020 年，我国组件工厂人均产出率约为 3.4MW/年/人，同比提升 41.7%。随着"智能制造"的推进，产线自动化、数字化和智能化水平的提高，以及组件功率的提升，未来人均产出率将不断提升，到 2030 年有望达到人均 6MW/年/人。

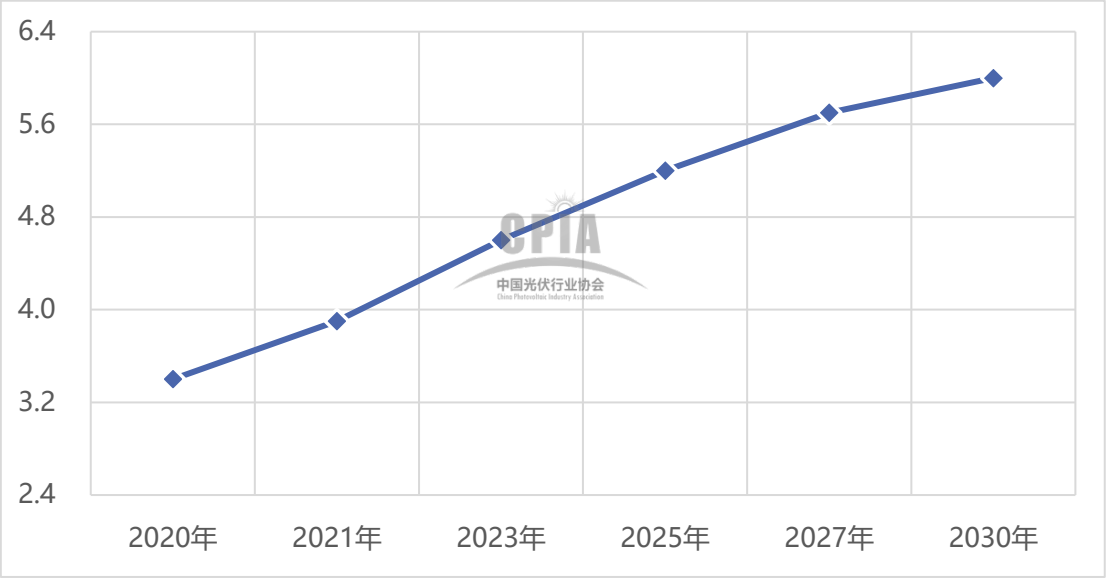


图 50　2020-2030 年组件人均产出率变化趋势（单位：MW/年/人）

11、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焊接机、划片机、层压机、EL 测试仪、IV 测试仪、装框机、打胶机、上下载机械手等八种设备，已经全部实现国产化。2020 年新投产线设备投资额为 6.3 万元/MW，与 2019 年相比稍有降低。随着组件设备的性能、单台产能以及电池片效率不断提升，组件生产线投资成本有望进一步降低。

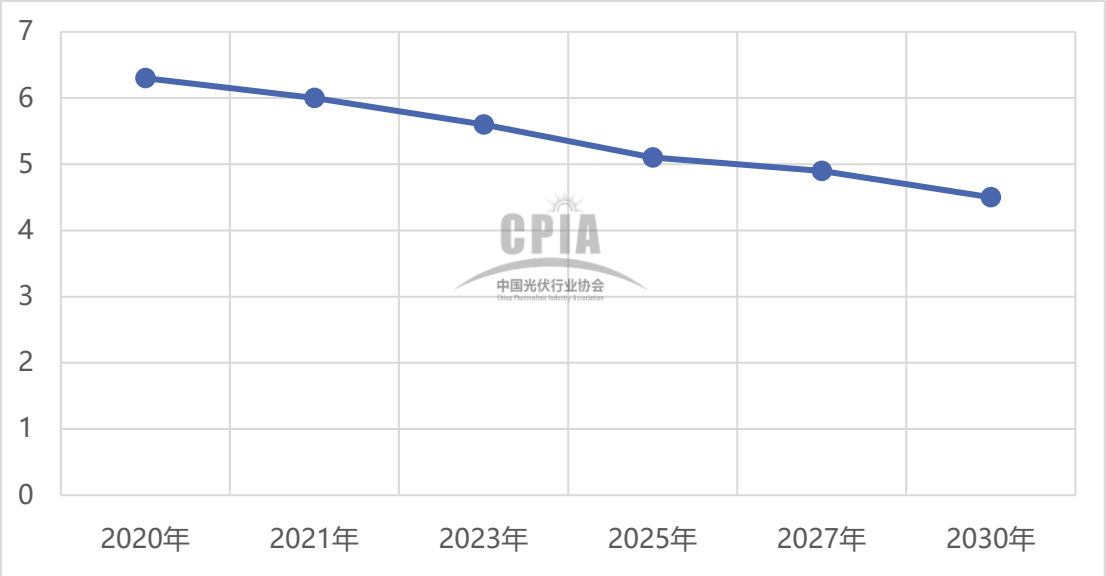


图 51　2020-2030 年组件生产线投资成本变化趋势（单位：万元/MW）

（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、适合与建筑结合（BIPV）等特点，目前能够商品化的薄膜太阳能电池主要包括铜铟镓硒（CIGS）、碲化镉（CdTe），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 22.1%，组件实验室效率达19.5%左右，产线平均效率在 18%；铜铟镓硒（CIGS）薄膜太阳能电池实验室效率纪录达到 23.35%，组件产线平均效率在 16-17%；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；钙钛矿太阳能电池，实验室转换效率较高，但稳定性差，目前仍处于实验室研究阶段。

1、CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率

2020 年我国小面积 CdTe 电池（<1cm^2）实验室最高转换效率约 20.2%。CdTe 组件（面积为 1200×600mm^2）量产最高转换效率为 16%，量产平均转换效率为 15.1%，较 2019 年提升了 0.5 个百分点，2021 年有望达到 15.8%。

表 4　2020-2030 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（%）	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
碲化镉 CdTe 小电池片实验室最高转换效率	20.2%	21%	22.3%	23.8%	24.5%	25.3%
碲化镉 CdTe 组件量产最高转换效率	16.0%	16.7%	18.3%	19.8%	20.7%	21.8%
碲化镉 CdTe 组件量产平均转换效率	15.1%	15.8%	17.7%	18.5%	19.0%	20.0%

2、CIGS 薄膜太阳能电池/组件转换效率

铜铟镓锡(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）。2020 年我国 CIGS 小电池片（≤1cm^2 孔径面积）实验室最高转换效率为 23.2%。量产的玻璃基 CIGS 组件（面积为 1200×600mm^2）最高转换效率约 17.6%，平均转换效率（面积为 1200 x 600mm^2）已提升至 16.5%。柔性 CIGS 组件（≤1m^2 开口面积）最高转换效率为 17.3%，量产平均转换效率 16.1%。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国产化、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　2020-2030 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（%）	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
小电池片实验室最高转换效率	23.2%	23.5%	23.4%	24%	24.6%	26.0%
玻璃基组件量产最高转换效率	17.6%	18.2%	18.9%	19.8%	21.2%	22.6%
玻璃基组件量产平均转换效率	16.5%	17.4%	17.6%	18.5%	20.0%	21.4%
柔性组件最高转换效率	17.3%	18.0%	19.5%	20.0%	21.5%	22.0%
柔性组件量产平均转换效率	16.1%	17.0%	17.5%	18.5%	19.5%	21.0%

3、Ⅲ-Ⅴ族薄膜太阳能电池转换效率 [8]

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。2020 年，双结电池实验室最高转换效率达到 32.8%，三结电池的研发平均转换效率达到 36%。

表 6　2020-2030 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（%）	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
砷化镓 GaAs 小电池片单结实验室最高转换效率	27.1%	29.1%	29.5%	30.0%	30.5%	31.0%
砷化镓 GaAs 小电池片单结量产转换效率	25.5%	26.0%	26.5%	27.0%	27.5%	28.0%
砷化镓 GaAs 小电池片双结实验室最高转换效率	32.8%	33.0%	33.2%	33.5%	33.8%	34.0%
砷化镓 GaAs 小电池片三结研发平均转换效率	36.0%	38.0%	39.0%	39.5%	40.0%	40.5%

4、钙钛矿太阳能电池转换效率

钙钛矿太阳能电池因其具有转换效率发展速度快、电池制作工艺简单、电池发电成本低等优势目前被广泛研究。但由于电池本身受温度及湿度影响，化学键合作用弱，易形变，光致衰退明显，因此稳定性问题仍未解决，尚处于小规模试验阶段。目前，小电池片实验室最高转换效率为 25.5%，玻璃基小组件最高转换效率为 18.6%。处于小规模试验线量产阶段的玻璃基组件量产最高转换效率达到 16.1%，柔性组件最高转换效率为 17.8%。牛津光伏钙钛矿小面积叠层太阳能电池在 1.12cm^2 的面积上转换效率达到 29.52%。

表 7　2020-2030 年国内钙钛矿太阳能电池转换效率变化趋势

钙钛矿太阳能电池转换效率(%)	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
小电池片实验室最高转换效率（0.1cm^2）	25.5%	25.5%	26.5%	27.0%	28.0%	31.0%
玻璃基小组件最高转换效率（30cm^2）	18.6%	18.6%	19.0%	21.0%	23.0%	25.0%
玻璃基量产组件最高转换效率（30*30cm^2）	16.1%	16.5%	17.5%	18.5%	19.0%	21.0%
柔性组件最高转换效率（10cm^2）	17.8%	18.5%	19.0%	19.5%	21.0%	22.0%

[8] 国内已无企业、研究机构研究生产聚光电池，故不再统计聚光电池效率。

（六）逆变器 [9]

1、不同类型逆变器市场占比

2020 年，光伏逆变器市场仍然以集中式逆变器和组串式逆变器为主，集散式逆变器占比较小。其中，组串式逆变器依然占据主要地位，占比为 66.5%，集中式逆变器占比为 28.5%，集散式逆变器的市场占有率约为 5.0%。

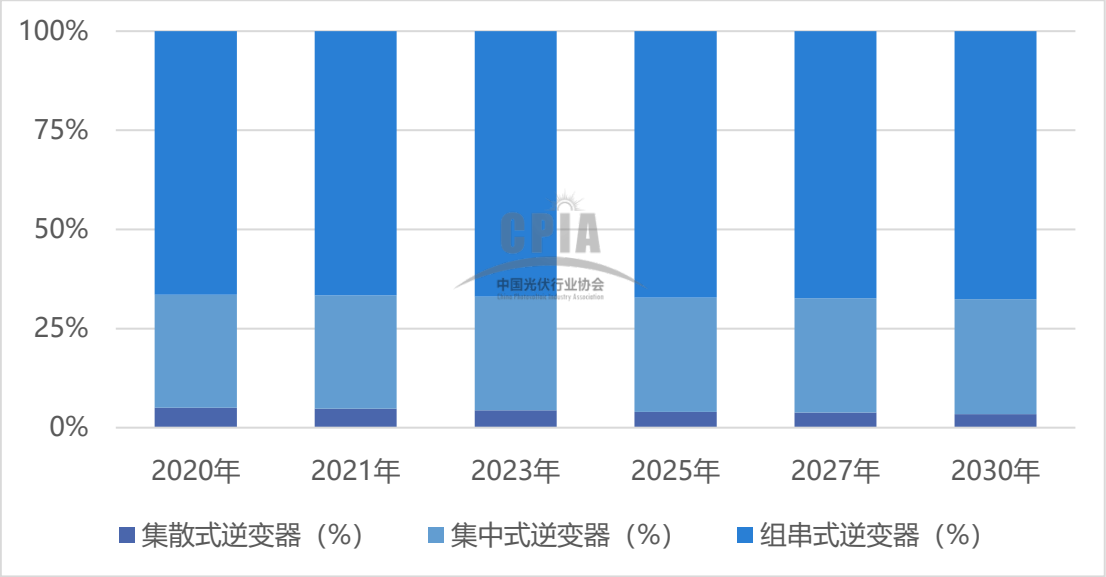


图 52　2020-2030 年不同类型逆变器市场占比变化趋势

2、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投资成本。2020 年，逆变器设备投资成本为 6.0 万元/MW。逆变器功率密度的提升和自动化水平的提高，将使单位容量设备投资额呈逐年下降趋势，预计 2030 年可降低至 5.6 万元/MW。

[9] 逆变器环节的参数均代表国内出货情况。

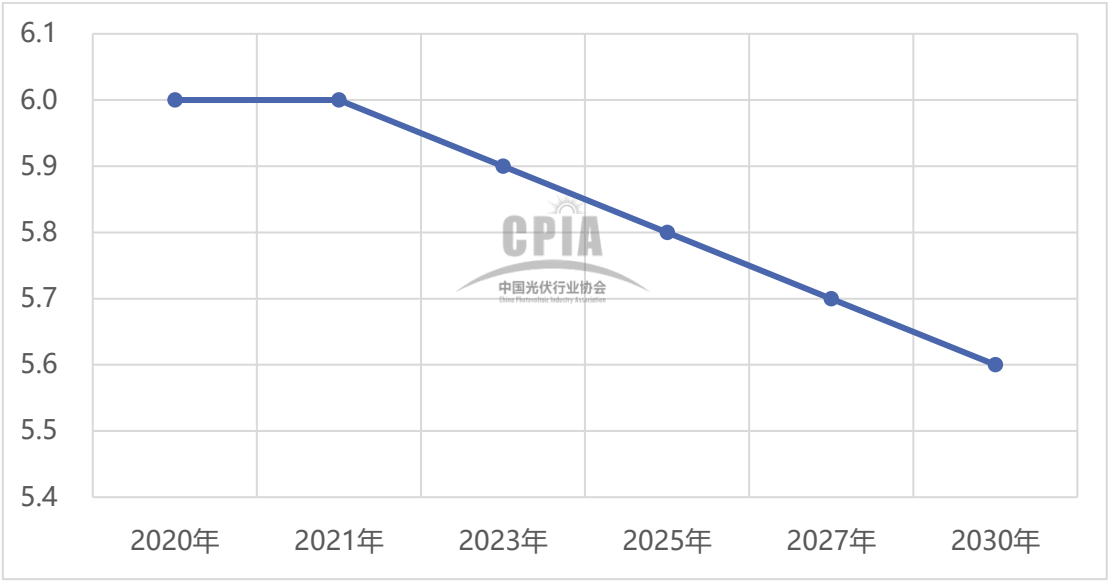


图 53　2020-2030 年逆变器设备投资额变化趋势（单位：万元/MW）

3、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，不包括外协加工和元器件制造人员）。2020 年，我国逆变器人均产出率约为 17.5MW/年/人，随着产线自动化、数字化和智能化水平的提高，未来人均产出率将不断提升，到 2030 年有望达到 18.8MW/年/人。

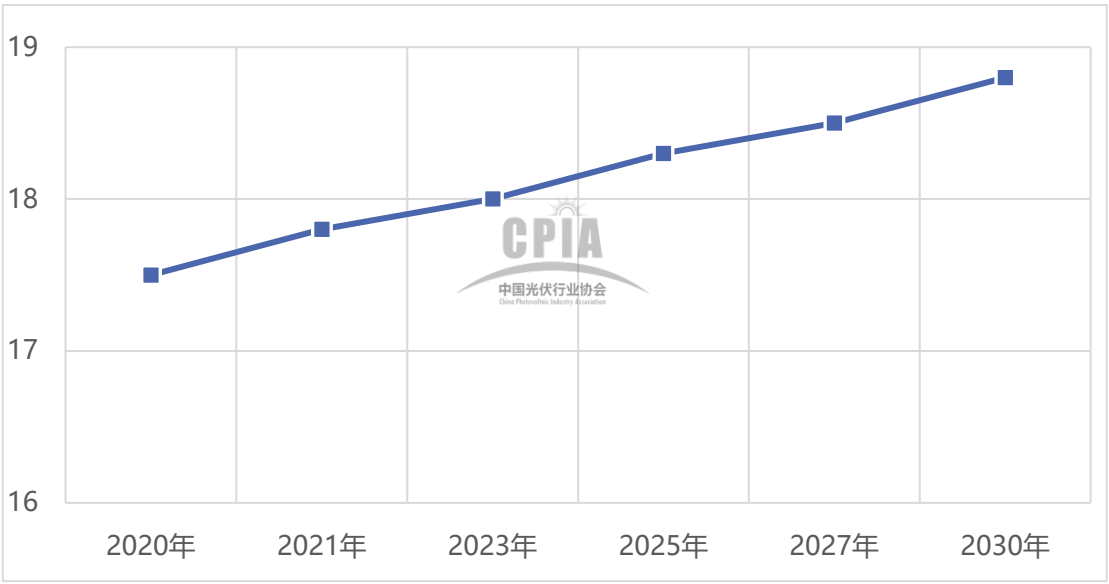


图 54　2020-2030 年我国逆变器人均产出率变化趋势（单位：MW/年/人）

4、逆变器单机主流额定功率

逆变器额定输出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。2020 年，集中式逆变器单机功率为 3125kW/台，集中式电站用组串式逆变器单机功率为 225kW/台，集散式

逆变器单机功率为 3150kW/台，户用光伏逆变器单机功率，在 220V 电压下为 8kW/台，在 380V 电压下约 15-20kW/台。随着 IGBT、MOSFET 等功率开关耐压等级和电流提升，以及更好的散热材质和设计，逆变器额定功率提升在技术上是可行的。但未来逆变器单机额定功率的提升除技术创新外，同时也要考虑 LCOE 成本最优以及与高功率组件的匹配等因素，因此市场中逆变器单机主流额定功率，将由市场需求确定。

表 8　2020-2030 年我国逆变器单机主流额定功率（单位：kW/台）

单台功率	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
集中式逆变器	3125	3125	3400	4000	5000	6250
组串式逆变器—集中式电站用	225	250	315	355	375	425
集散式逆变器	3150	3150	3400	4000	5000	6250

5、逆变器功率密度

逆变器功率密度是指逆变器额定输出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家在逆变器结构上的创新，逆变器的功率密度显著提升。2020 年集中式逆变器功率密度为 1.16kW/kg，集中式电站用组串式逆变器功率密度为 2.14kW/kg，集散式逆变器功率密度为 1.17kW/kg，单相户用光伏逆变器功率密度为 0.57kW/kg，三相户用逆变器功率密度为 1.00kW/kg。

表 9　2020-2030 年我国逆变器功率密度变化趋势（单位：kW/kg）

功率密度	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年	2027 年	2030 年
集中式逆变器	1.16	1.16	1.24	1.39	1.60	1.73
组串式逆变器—集中式电站用	2.14	2.38	2.70	2.79	2.81	3.03
集散式逆变器	1.17	1.17	1.4	1.48	1.85	2.1

（七）系统环节

1、全球光伏新增装机量

光伏发电在很多国家已成为清洁、低碳、同时具有价格优势的能源形式。不仅在欧美日等发达地区，中东、南美等地区国家也快速兴起。2020 年，全球光伏新增装机预计可达 130GW，创历史新高。2021 年，在光伏发电成本持续下降和全球绿色复苏等有利因素的推动下，全球光伏市场将快速增长。在多国"碳中和"目标、清洁能源转型及绿色复苏的推动下，预计"十四五"期间，全球每年新增光伏装机约 210-260GW。

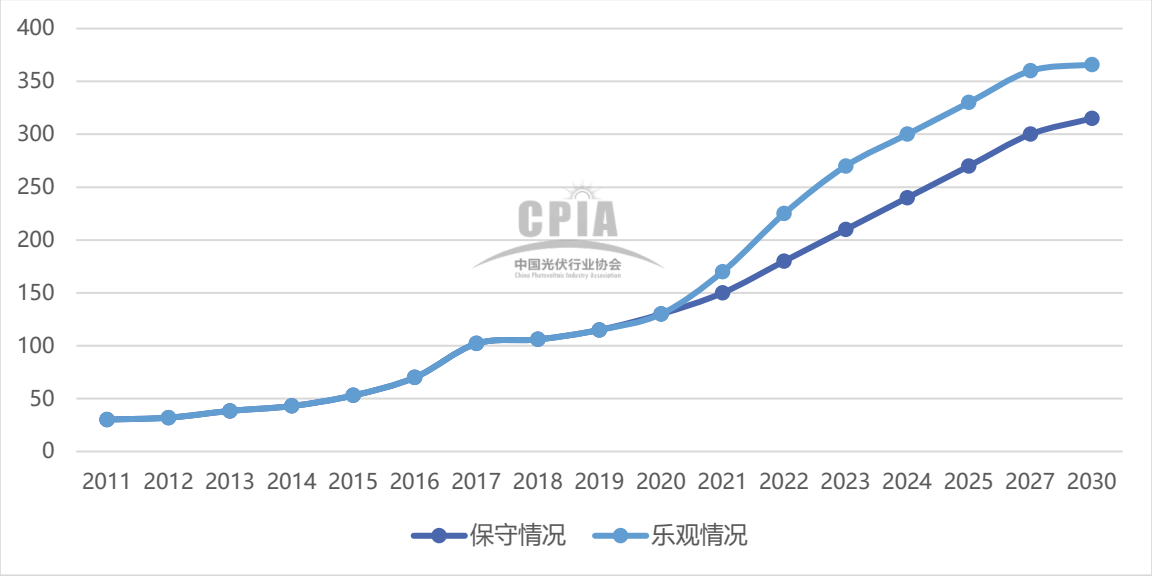


图 55　2011-2020 年全球光伏年度新增装机规模以及 2021-2030 年新增规模预测（单位：GW）

2、国内光伏新增装机量

2020 年，国内光伏新增装机 48.2GW，创历史第二高，同比增加 60.1%。2020 年受疫情影响，上半年电站装机规模较少，全年装机主要集中在下半年，尤其是 12 月，在抢装推动下，单月新增光伏装机规模达到 29.5GW，创历史新高。2020 年户用光伏装机超 10GW，占到了全年光伏新增装机约 20%。12 月 12 日，习近平主席在气候雄心峰会上宣布，到 2030 年，中国非化石能源占一次能源消费比重将达到 25%左右。为达到此目标，在"十四五"期间，我国光伏年均新增光伏装机或将在 70-90GW 之间。

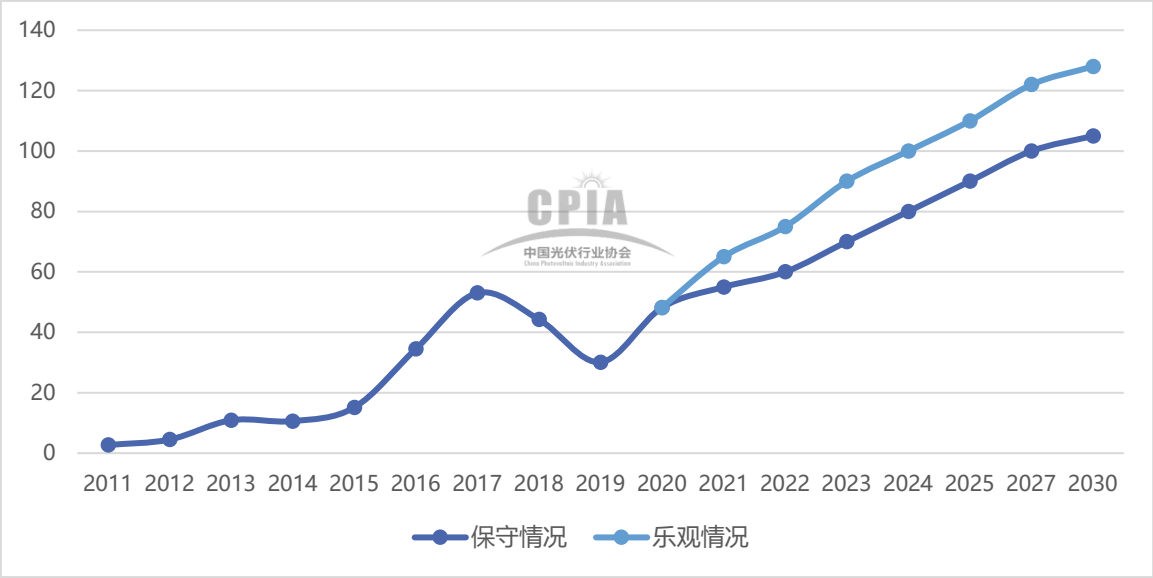


图 56　2011-2020 年国内光伏年度新增装机规模以及 2021-2030 年新增规模预测（单位：GW）

3、光伏应用市场

2020 年，大型地面电站占比为 67.8%，分布式电站占比为 32.2%，其中户用光伏可以占到分布式市场的 65.2%左右。随着 2020 年公布的竞价项目和平价项目以及特高压外送项目的逐步并网，预计 2021 年大型地面电站的装机量占比将进一步上升。“十四五”初期，光伏发电将全面进入平价时代，叠加“碳中和”目标的推动以及大基地的开发模式，集中式光伏电站有可能迎来新一轮发展热潮。另外，随着光伏在建筑、交通等领域的融合发展，叠加户用的应用规模，分布式项目仍将保持一定的市场份额。

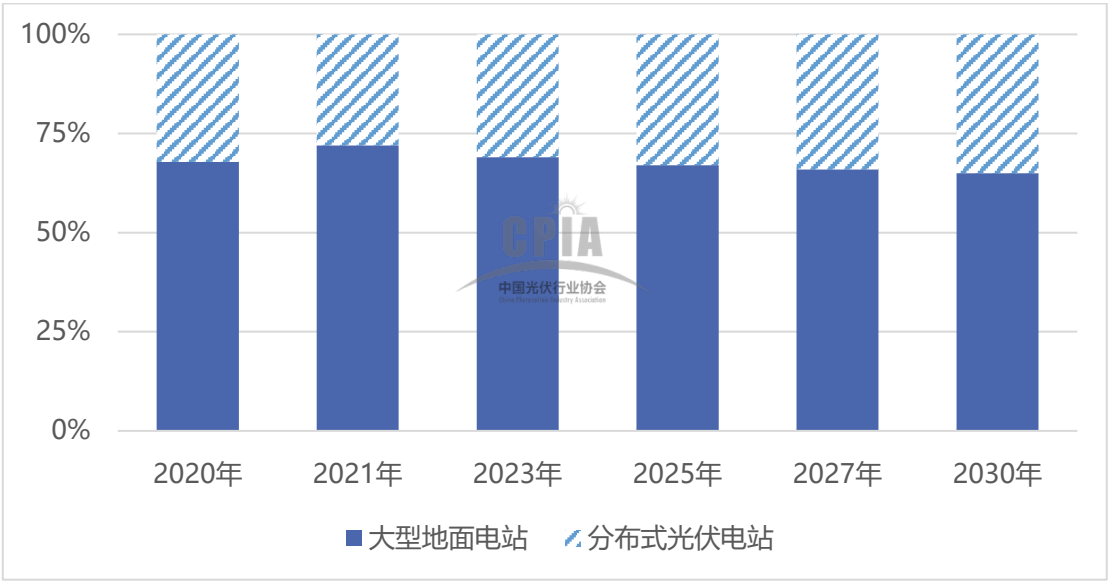


图 57　2020-2030 年不同类型光伏应用市场变化趋势

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）[10]

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（50MW,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 50MW，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、逆变器等关键设备成本随着技术进步和规模化效益，仍有一定下降空间。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，降低非技术成本有助于加快推动光伏发电平价上网。

2020 年，我国地面光伏系统的初始全投资成本为 3.99 元/W 左右，较 2019 年下降 0.56 元/W，降幅为 12.3%。其中，组件约占投资成本的 39.3%，占比较去年上升 0.8 个百分点。非技术成本约占 17.3%（不包含融资成本），较 2019 年下降了 0.3 个百分点。2020 年上半年，受疫情影响下游市场需求减弱，组件价格及光伏发电系统投资成本快速下降，下半年受多晶硅、玻璃、胶膜等原材料价格上涨影响，组件价格及光伏发电系统投资成本上涨，项目经济性降低，我们预计平价时期光伏系统投资成本对供应链价格波动更加敏感。预计 2021 年，随着产业链各环节新建产能的逐步释放，组件价格回归合理水平，光伏系统初始全投资成本可下降至 3.81 元/W。

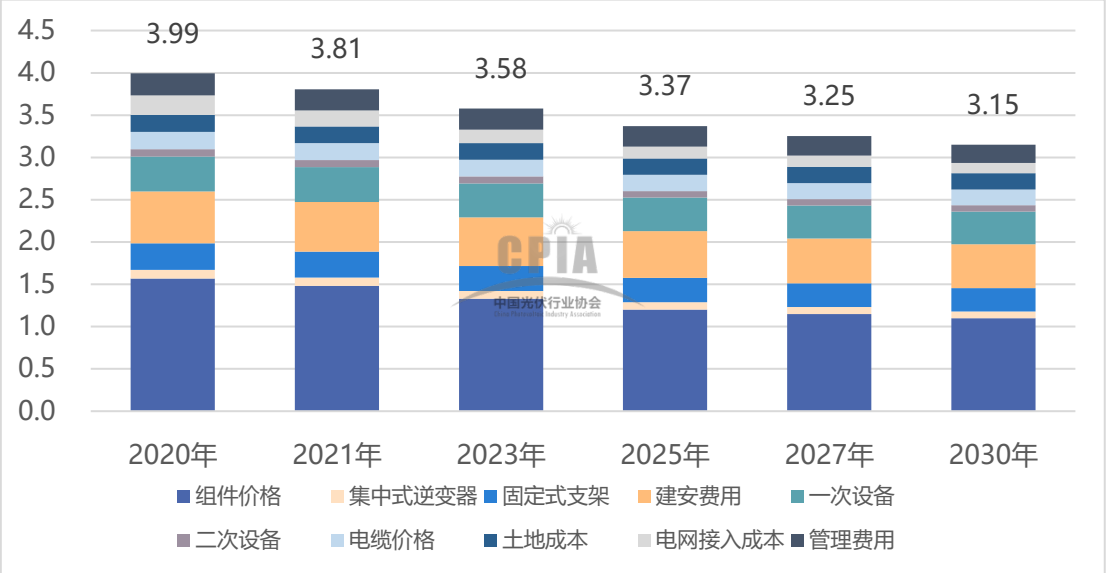


图 58　2020-2030 年我国地面光伏系统初始全投资变化趋势（单位：元/W）

[10] 本指标以投资建设 50MW，接入 110kV 地面光伏系统为例，容配比按 1:1 考虑。

（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。2020 年我国工商业分布式光伏系统初始投资成本为 3.38 元/W，2021 年预计下降至 3.24 元/W。其中，支架价格、建安费用、屋顶租赁以及屋顶加固的费用在未来继续下降的可能性较低。

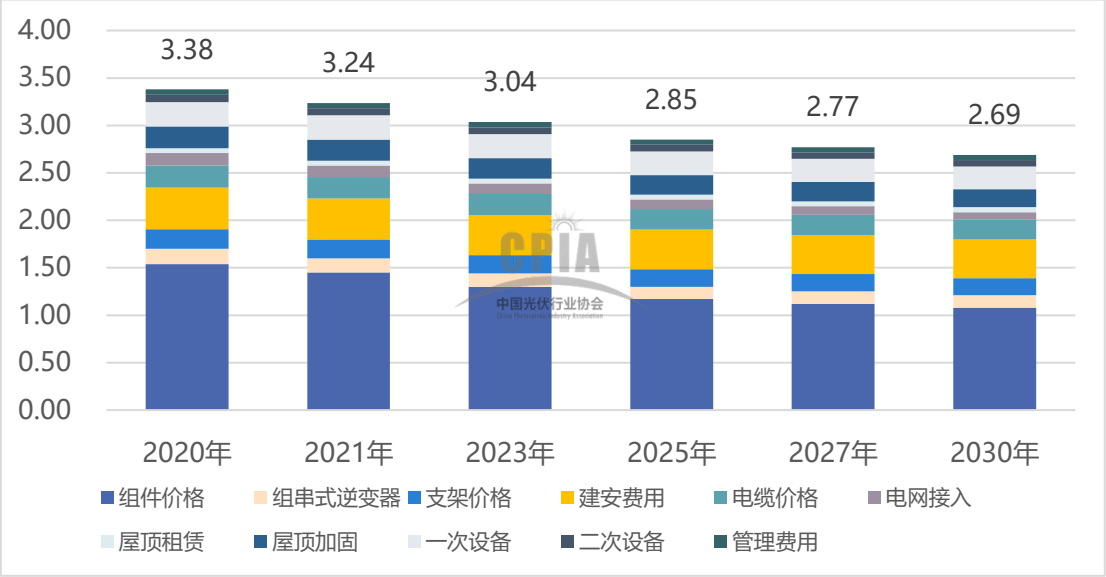


图 59　2020-2030 年我国工商业分布式光伏系统初始全投资变化趋势（单位：元/W）

（3）电站运维成本 [11]

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，科学合理的对电站进行管理，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。2020 年分布式光伏系统运维成本为 0.054 元/W/年，集中式地面电站为 0.046 元/W/年，基本维持 2019 年的水平。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持续保持在这个水平并略有下降。

[11] 电站运维仅包括基础运维，不含纳入固定资产更换的部分

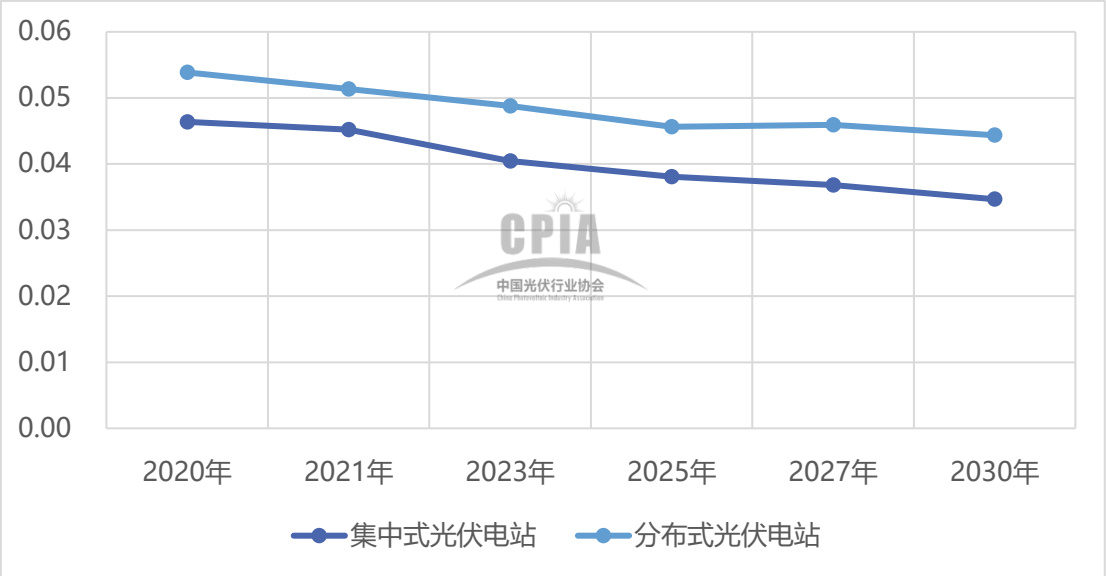


图 60　2020-2030 年我国电站运维成本变化趋势（单位：元/W/年）

5、不同等效利用小时数 LCOE 估算 [12]

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。2020 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 0.2、0.24、0.29、0.35 元/kWh。随着组件、逆变器等关键设备的效率提升，双面组件、跟踪支架等的使用，运维能力提高，2021 年后在大部分地区可实现与煤电基准价同价。

[12] 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。③容配比按 1:1 考虑。

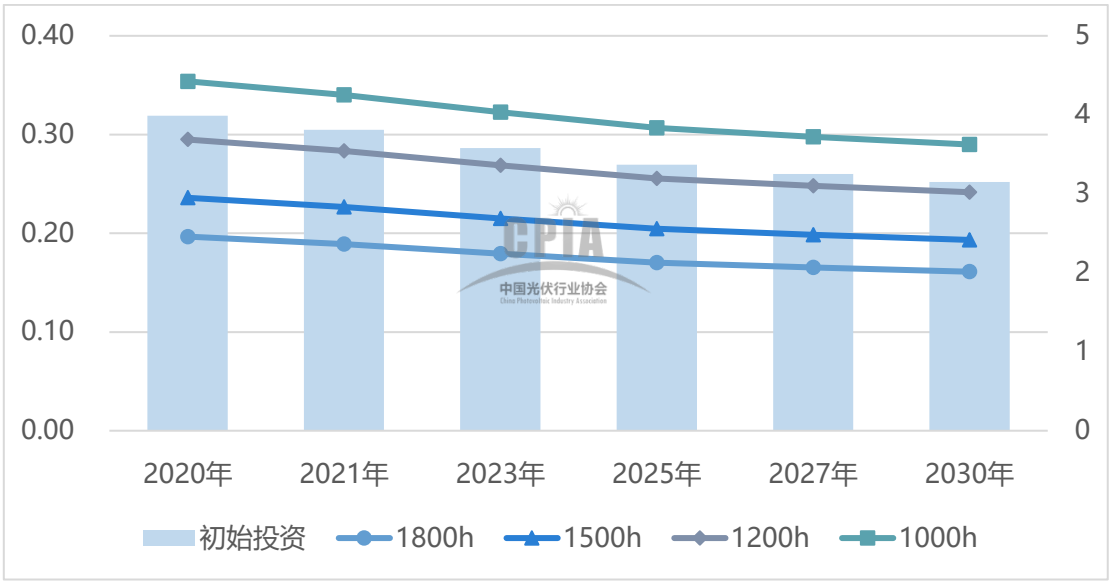


图 61　2020-2030 年光伏地面电站不同等效利用小时数 LCOE 估算（元/kWh）

2020 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 0.17、0.2、0.26、0.31 元/kWh。目前国内分布式光伏主要分布在山东、河北、河南、浙江等省份，等效利用小时数通常在 1000-1100 小时左右。

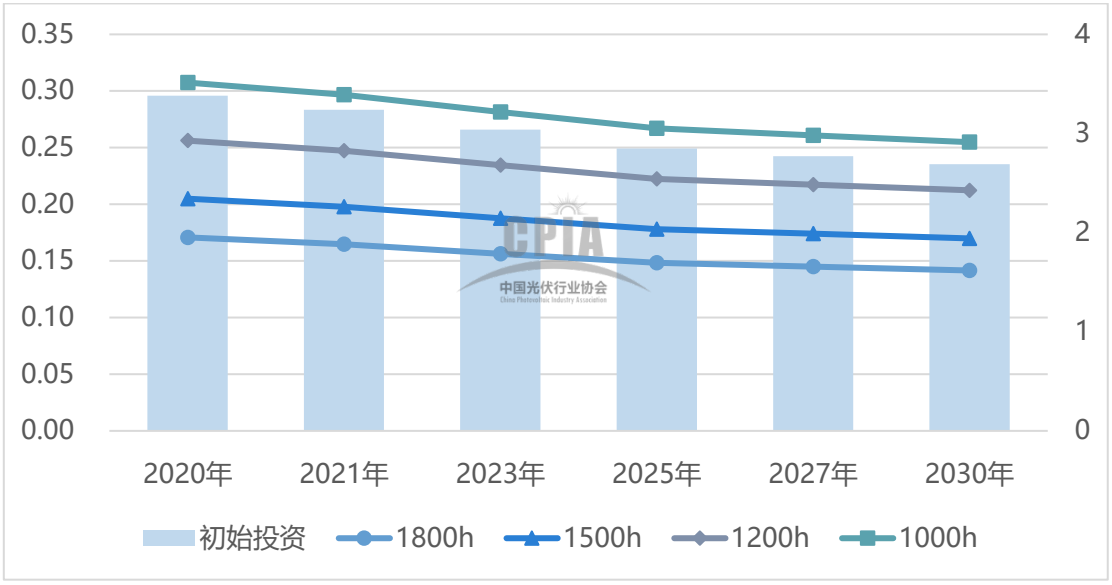


图 62　2020-2030 年光伏分布式电站不同等效利用小时数 LCOE 估算（元/kWh）

6、不同系统电压等级市场占比[13]

高电压等级可有效降低线损，2020 年国内新增大型地面电站基本都使用 1500V 系统，占比约 70%，部分组件和逆变器企业在探索 2000V 光伏发电系统。考虑到运维安全等因素，目前分布式电站基本采用 1000V 或更小电压等级系统。

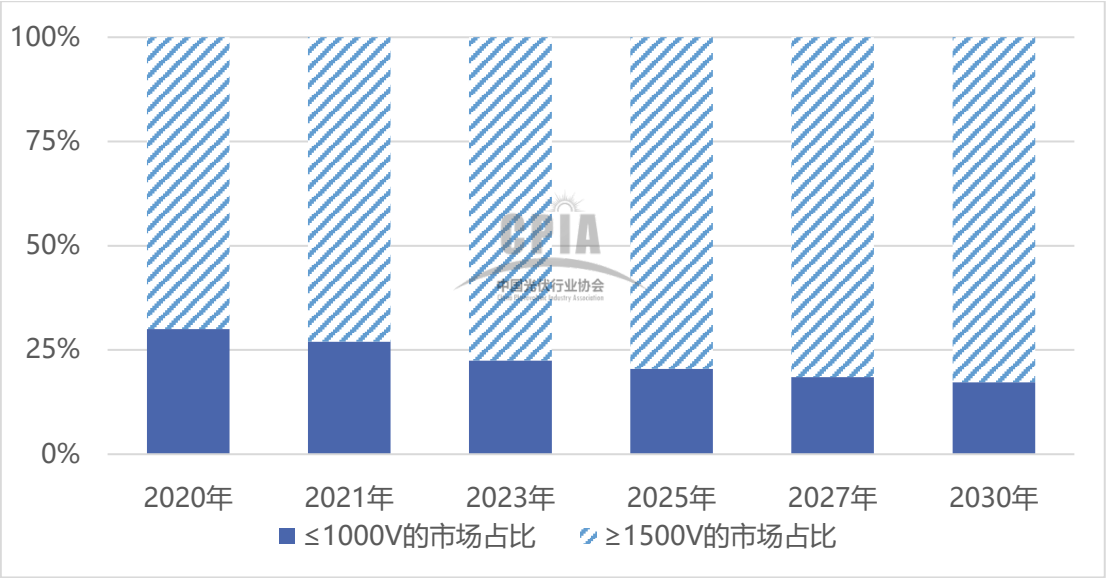


图 63　2020-2030 年不同系统电压等级市场占比变化趋势

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，2020 年跟踪系统市场占比相较 2019 年仅上涨 2.7 个百分点，随着其成本的下降以及可靠性的解决，市场占比将稳步提升。

[13] 该指标包含地面电站及分布式光伏系统。

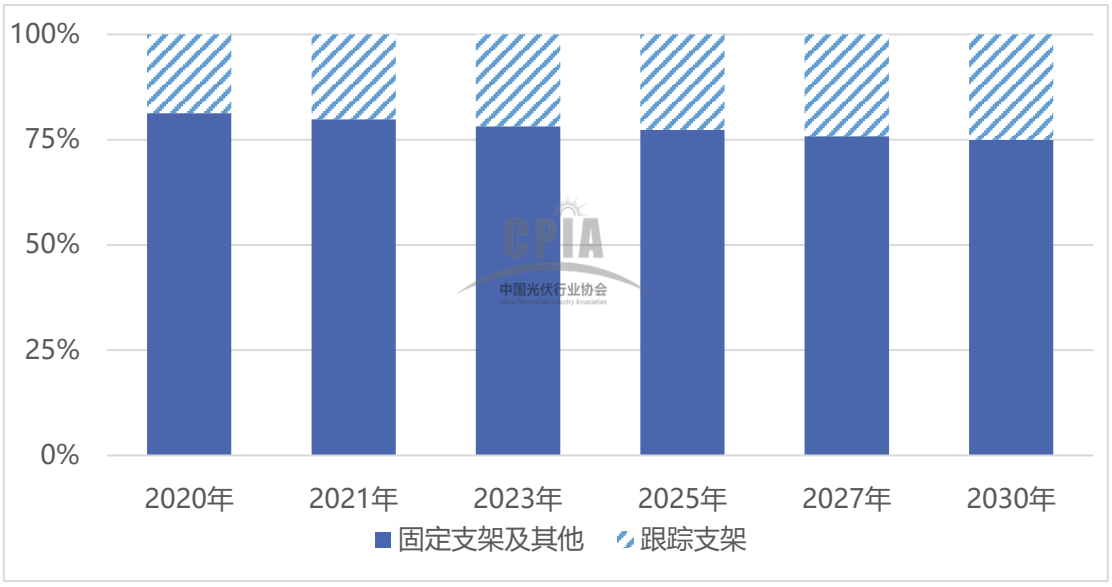


图 64　2020-2030 年跟踪系统市场占比变化趋势

附录

1、铸锭收料率

铸锭收料率是指铸锭后得到的合格小方锭量与投料量的比值，与铸锭机型或全/半熔技术有关，铸锭最高收料率约为 68-69%。目前行业铸锭多晶收料率在 65-66%之间，铸锭单晶收料率约为 50%。

2、不同类型逆变器中国效率

逆变器中国效率是指在不同输入电压下反应中国日照资源特征加权总效率的平均值。其大小主要受逆变器内部的功率半导体器件以及磁性器件在工作过程中所产生的损耗影响。2020 年，集中式逆变器的中国效率平均在 98.5%左右，集散式逆变器在 98.5%左右，组串式逆变器在 98.49%左右。

3、新建光伏电站系统 PR 值

系统能效比（即 PR 值，Performance Ratio）指光伏发电系统上网电量与理论发电量的比值，用于衡量光伏发电系统发电效率。2020 年新建光伏电站系统 PR 值约 83%。

$$PR = \frac{\sum_1^n E_{p.i}}{(\sum_1^n H_i \times P_{dc})/G_0}$$

PR：系统能效比指标；

n：光伏发电系统效能评价周期小时数，单位为小时（h）；

$E_{p.i}$：评价周期内光伏发电系统上网电量，单位为千瓦时（kWh），i=1,2,3,..,n；

H_i：评价周期内光伏组件阵列面正面上的太阳总辐照量，单位为千瓦时每平方米（kWh/m^2），i=1,2,3,..,n；

P_{dc}：光伏发电系统安装容量，单位为千瓦（kWp）；

G_0：标准条件下太阳辐照强度（常数=1 kW/m^2）

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459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旗下专业从事集成电路、太阳能光伏、新型显示等行业有关产业、市场、投资研究及规划制定的咨询服务部门，凭借扎实的理论基础、丰富的政策研究经验、深厚的行业积累，为中央部委、大基金、中央企业、地方政府、园区管委会提供半导体领域相关产业政策、规划、投资、平台运营、招商引资等咨询服务。集成电路所是国家集成电路领导小组办公室、工信部电子司、国家发改委高新技术司、国家能源局、中央网信办信息化局、国家集成电路产业投资基金公司的主要业务支撑单位，参与起草了《国务院关于印发鼓励软件产业和集成电路产业发展若干政策的通知》（18号文）、《国务院关于促进光伏产业健康发展若干意见》、《新型显示"三年"行动计划》、《国务院关于印发进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展若干政策的通知》（4号文）、《国家集成电路产业发展推进纲要》、《光伏制造行业规范条件》、《关于进一步优化光伏企业兼并重组市场环境的意见》、《太阳能发展"十三五"规划》等一系列重要政策文件。

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

CPIA

中国光伏行业协会

China Photovoltaic Industry Association

