

中国光伏产业发展路线图 (2019年版)

**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

(2019 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	王文静	王向东	王威伟	王 莉	王莉莉	王栩生
王跃林	王 琪	王善良	甘新业	史旭松	冯志强	邢国强	曲东升
全 杨	刘亚峰	刘松民	刘 琦	江 涛	许洪华	孙 云	纪振双
严大洲	李化阳	李琼慧	时璟丽	吴 越	何 胜	汪 晨	宋登元
张海涛	张跃火	陈 嘉	宗 冰	钟财富	秦 潇	倪志春	高连生
高 原	唐 霖	黄碧斌	盛 建	常传波	董燕军	舒耀兰	魏红军

编写组

王世江、王亮、金艳梅、江华、李嘉彤、叶幸、韩鹏、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有限公司
北京鉴衡认证中心有限公司
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
重庆神华薄膜太阳能科技有限公司
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
国家电投光伏产业创新中心
国家电投集团西安太阳能电力有限公司
汉能控股集团有限公司
杭州福斯特应用材料股份有限公司
华为技术有限公司
江苏固德威电源科技股份有限公司
江苏劲威科技有限公司
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
晋能清洁能源科技股份公司
晶澳太阳能控股有限公司
晶科电力科技股份有限公司
晶科能源有限公司
龙焱能源科技(杭州)有限公司
隆基绿能科技股份有限公司
洛阳中硅高科技有限公司
内蒙古神舟硅业有限责任公司
陕西天宏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
苏州腾晖光伏科技有限公司
苏州中来光伏新材股份有限公司
天合光能股份有限公司
天津中环半导体股份有限公司
通威集团有限公司
协鑫（集团）控股有限公司
新特能源股份有限公司
亚洲硅业（青海）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
镇江环太硅科技有限公司
镇江荣德新能源科技有限公司
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

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。习近平总书记多次强调，中国坚持创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，将大力推进绿色低碳循环发展，采取有力行动应对气候变化，将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现，2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60% - 65%，非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右。

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。

据国际能源署 (IEA) 预测，到2030年全球光伏累计装机量有望达到1721GW，到2050年将进一步增加至4670GW，发展潜力巨大。经过十几年的发展，光伏产业已经成为我国为数不多、可以同步参与国际竞争、并有望达到国际领先水平的战略性新兴产业，也成为我国产业经济发展的一张崭新名片和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。

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。

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先进性，真正能起到行业引领作用，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

光伏产业是我国具有国际竞争优势的战略性、朝阳性产业。近年来，在政策引导和市场需求双轮驱动下，我国光伏产业快速发展，产业规模迅速扩大，产业链各环节市场占有率多年位居全球首位，已经成为世界上重要的光伏大国。

为引领产业发展方向，引导我国光伏产业“十三五”期间健康良性发展，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于2016年-2018年期间发布了三版《中国光伏产业发展路线图》。但光伏行业发展较快，特别是技术进步异常迅速，产业处于快速变革期。如单晶占比快速提升、硅片尺寸种类增多、N型电池逐步迈向产业化，双面、半片、MBB、叠片等组件技术快速发展等。

《路线图（2018年版）》的部分预测数据需要根据行业发展最新情况进行修订，并且也需要根据新的发展情况对关键技术指标进行增减。

为此，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组织行业内专家在前三版基础上修订编制完成了《中国光伏产业发展路线图（2019年版）》（以下简称《路线图（2019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62个关键指标。

《路线图（2019年版）》根据2019年产业实际，结合技术演进进程以及企业技改现状，预测了2020、2021、2022、2023和2025年的发展目标。这些指标体现了产业、技术、市场等下一步发展方向和发展趋势，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，及时对《路线图（2019年版）》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（2019年版）》在编写过程中得到了行业主管部门领导、行业专家、产业链各环节企业家的大力支持，在此一并表示感谢。由于时间仓促，且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
2020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	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	9
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	11
11. 人均产出量	11
(二) 硅片环节	13
1. 拉棒电耗	13
2. 铸锭电耗	13
3. 拉棒单炉投料量	14
4. 铸锭投料量	15
5. 铸锭收料率	15
6. 硅片厚度	16
7. 金刚线母线直径	17
8. 单位方棒/方锭在金刚线切割下的出片量	17
9. 拉棒/铸锭环节设备投资成本	18
10. 不同类型硅片市场占比	19
11. 不同尺寸硅片市场占比	19
(三) 电池片环节	21
1. 各种电池技术平均转换效率*	21
2. 各种电池技术市场占比	22

3、电池铝浆消耗量.....	23
4、电池银浆消耗量.....	23
5、电池片正面金属电极技术市场占比.....	24
6、栅线印刷技术市场占比.....	25
7、P型电池片方块电阻.....	25
8、背钝化技术市场占比.....	26
9、电池正面细栅线宽度.....	27
10、各种主栅市场占比.....	27
11、电池线人均产出率.....	28
12、PERC电池线投资成本.....	29
(四) 组件环节.....	30
1、不同类型组件功率(60片,全片).....	30
2、单/双面组件市场占比.....	30
3、全片、半片和叠瓦组件市场占比.....	31
4、不同边框晶硅组件市场占比.....	32
5、不同电池片互联技术的组件市场占比.....	32
6、电池到组件封装损失(CTM)值(60片电池组件).....	33
7、优化器组件市场占比.....	33
8、3.2mm组件封装用钢化镀膜玻璃透光率.....	34
9、不同材质正面盖板组件市场占比.....	35
10、不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比.....	35
11、不同封装材料的市场占比.....	36
12、不同背板材料市场占比.....	37
13、组件生产成本.....	37
14、组件人均产出率.....	38
15、组件生产线投资成本.....	39
(五) 薄膜太阳能电池/组件.....	40
1、CdTe薄膜太阳能电池/组件转换效率.....	40
2、CIGS薄膜太阳能电池/组件转换效率.....	40
3、III-V族薄膜太阳能电池转换效率.....	41
(六) 逆变器.....	42
1、不同类型逆变器市场占比.....	42
2、不同类型逆变器中国效率.....	42
(七) 系统环节.....	43
1、全球光伏新增装机量.....	43
2、国内光伏新增装机量.....	43
3、光伏应用市场.....	44
4、我国光伏系统初始全投资及运维成本.....	45

5、不同等效利用小时数 LCOE 估算	47
6、不同系统电压等级市场占比	48
7、跟踪系统市场占比	49
8、新建光伏电站系统 PR 值	50

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。

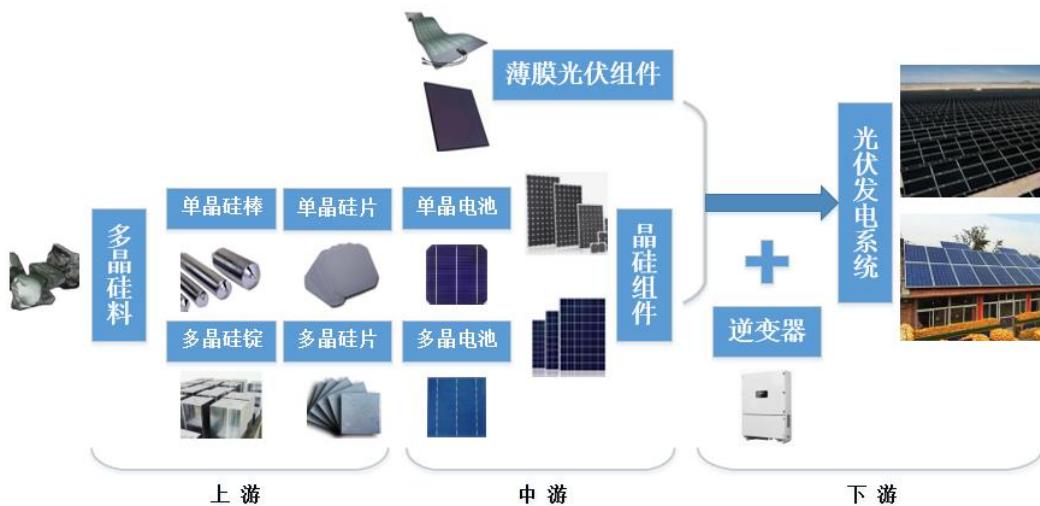


图1 光伏产业链构成

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，在前三版的基础上，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 2019-2025 年发展现状与趋势。本次修订问卷调查主要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 次以上专家现场研讨会，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，2019年，全国多晶硅产量达34.2万吨，同比增长32.0%。截至2019年底，国内年产量在万吨以上的企业有6家，其产量约28.7万吨，占总产量的83.9%。2020年随着多晶硅产能增量的释放，产量预计将达到39万吨。

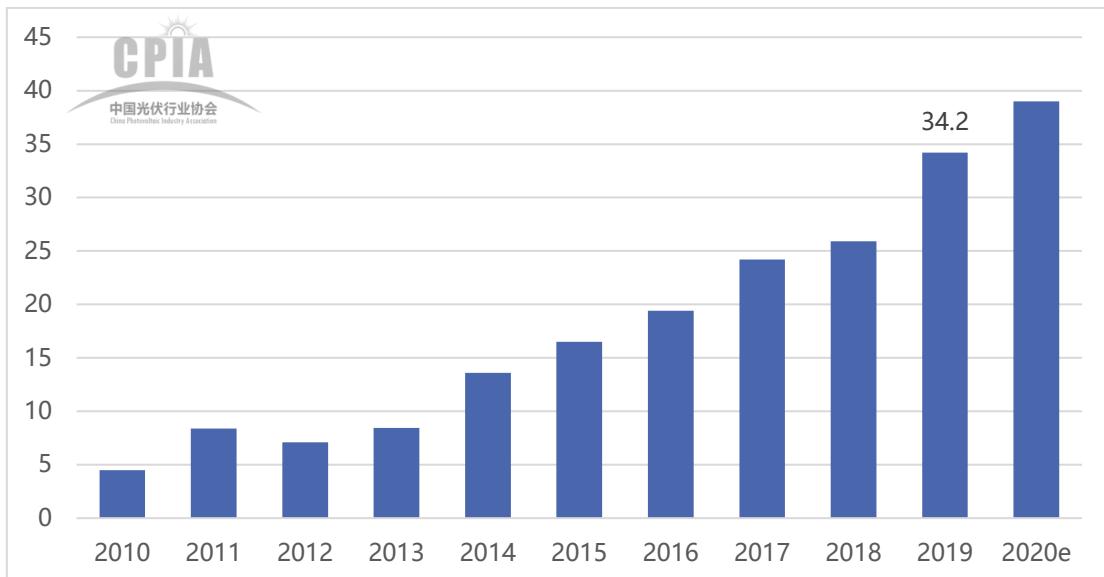


图2 2010-2020年全国多晶硅产量情况 (单位: 万吨)

硅片方面，2019年全国硅片产量约为134.6GW，同比增长25.7%。截至2019年底，产量超2GW的企业有9家，产量约占总产量的85.5%，全球前十大生产企业均位居中国大陆。随着头部企业加速扩张，预计2020年全国硅片产量将达到145GW。

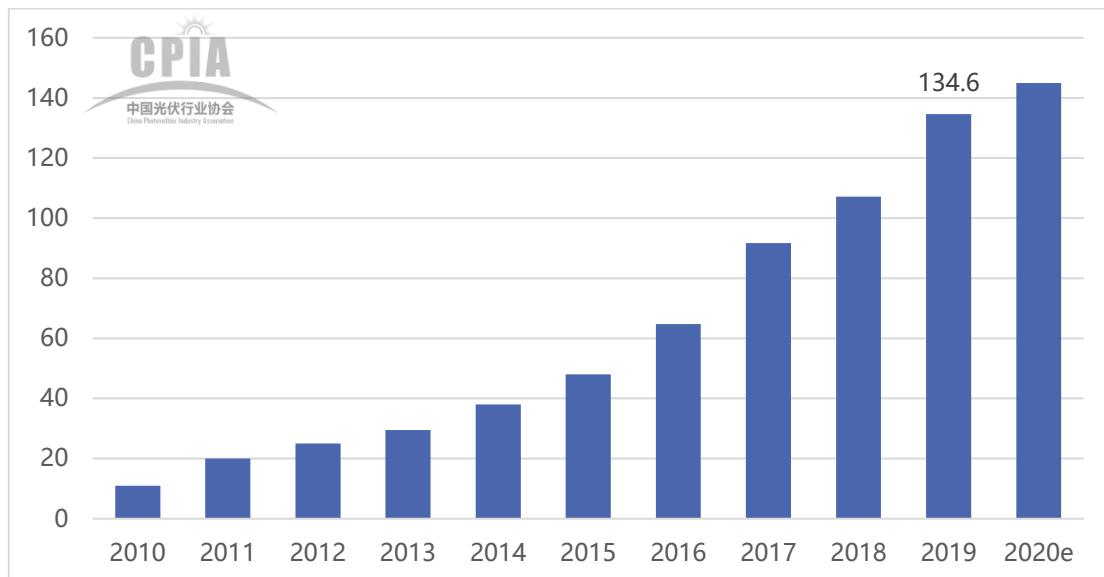


图3 2010-2020年全国硅片产量情况 (单位: GW)

晶硅电池片方面，2019年，全国电池片产量约为108.6GW，同比增长27.8%。电池片产量超过2GW的企业有20家，其产量占总产量的77.7%，集中度进一步提高。预计2020年全国电池片产量将超过118GW。

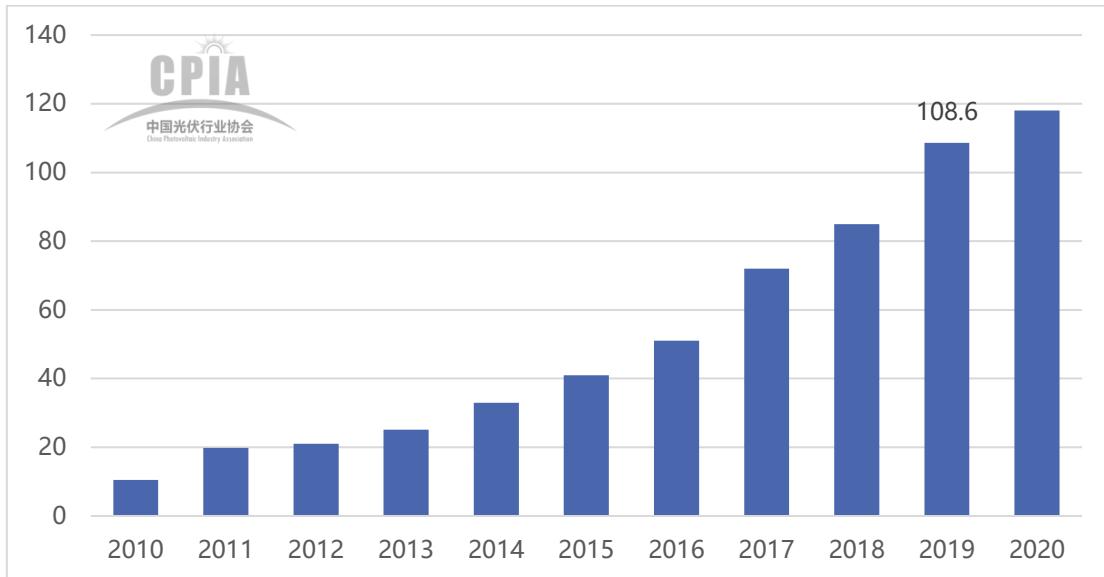


图4 2010-2020年全国电池片生产情况 (单位: GW)

组件方面，2019年，全国组件产量达到98.6GW，同比增长17.0%，以晶硅组件为主。组件产量超过2GW的企业有13家，其产量占总产量的65.6%，集中度进一步提高。预计2020年组件产量将超过107GW。

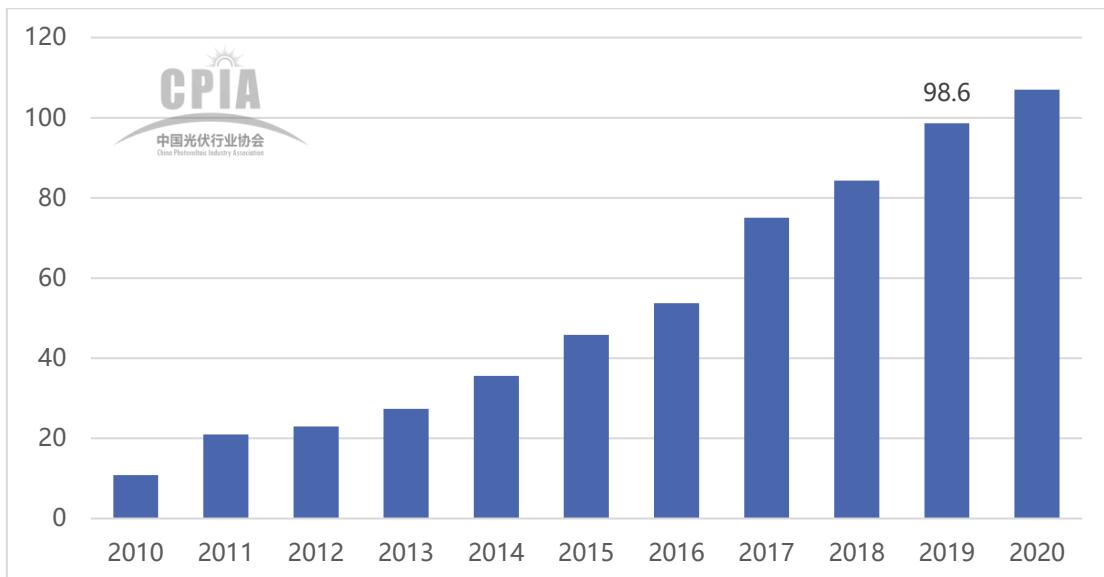


图5 2010-2020年全国太阳能组件生产情况 (单位: GW)

光伏市场方面，2019年全国新增光伏并网装机容量30.1GW，同比下降32%。累计光伏并网装机容量超过204GW，新增和累计装机容量均为全球第一。全年光伏发电量约为2242.6亿

千瓦时，约占全国全年总发电量的 3.1%。预计 2020 年光伏新增装机量超过 35GW，较 2019 年有所回升，累计装机有望达到约 240GW。

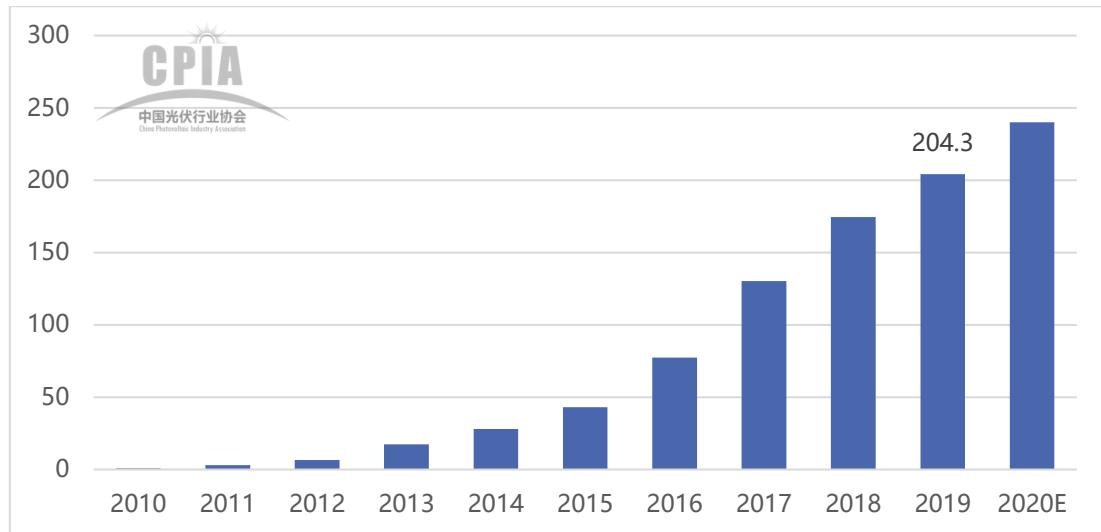


图 6 2010-2020 年全国太阳能光伏发电装机累计容量 (单位: GW)

产品效率方面，2019 年，规模生产的单多晶电池平均转换效率分别为 22.3% 和 19.3%。单晶电池均采用 PERC 技术，平均转换效率较 2018 年提高 0.5 个百分点，领先企业转换效率达到 22.6%。多晶电池主要应用于户用市场和印度、巴西等海外市场，因市场需求减缓，技术创新动力不足。

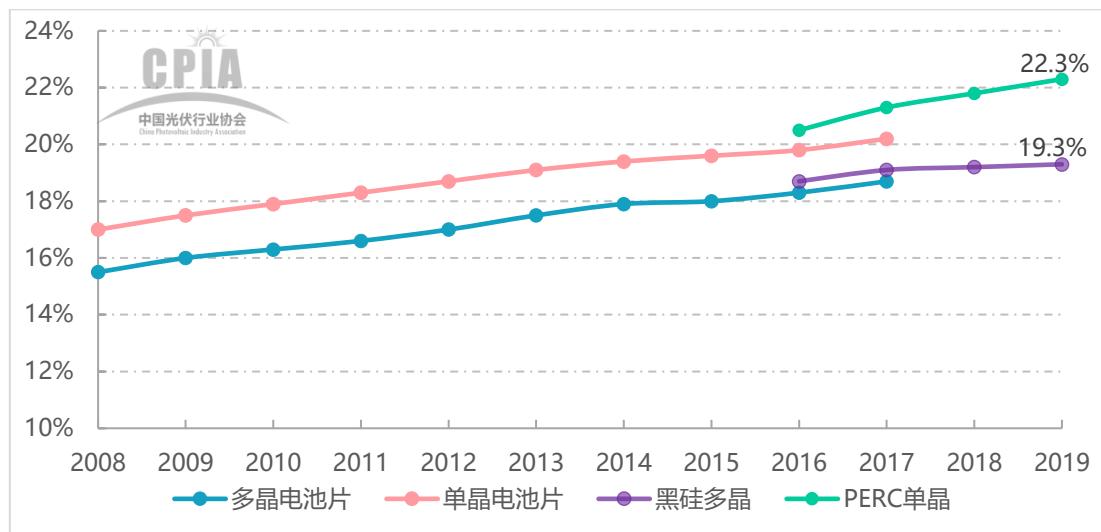


图 7 2008-2019 年国内电池片量产转换效率发展趋势

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。由于市场对于单晶拉棒所用致密料的需求不断增大，2019年全国多晶硅平均还原电耗较2018年有小幅提升，为50kWh/kg-Si，对应的致密料占比约为65-70%。若单炉产出80%为致密料，则还原电耗约为55kWh/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2025年还原电耗有望下降至45kWh/kg-Si。

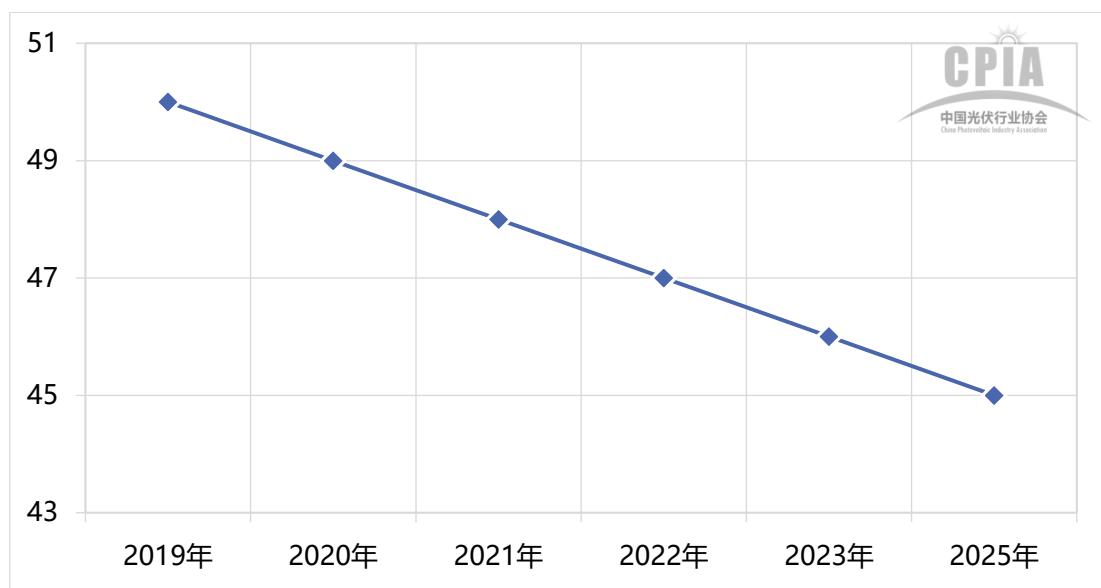


图8 2019-2025年还原电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si)

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、蒸汽加热、天然气加热等，因此各企业冷氢化电耗存在差异。2019年，行业冷氢化平均电耗在5.5kWh/kg-Si左右，同比下降3.5%，到2025年有望下降至5kWh/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。

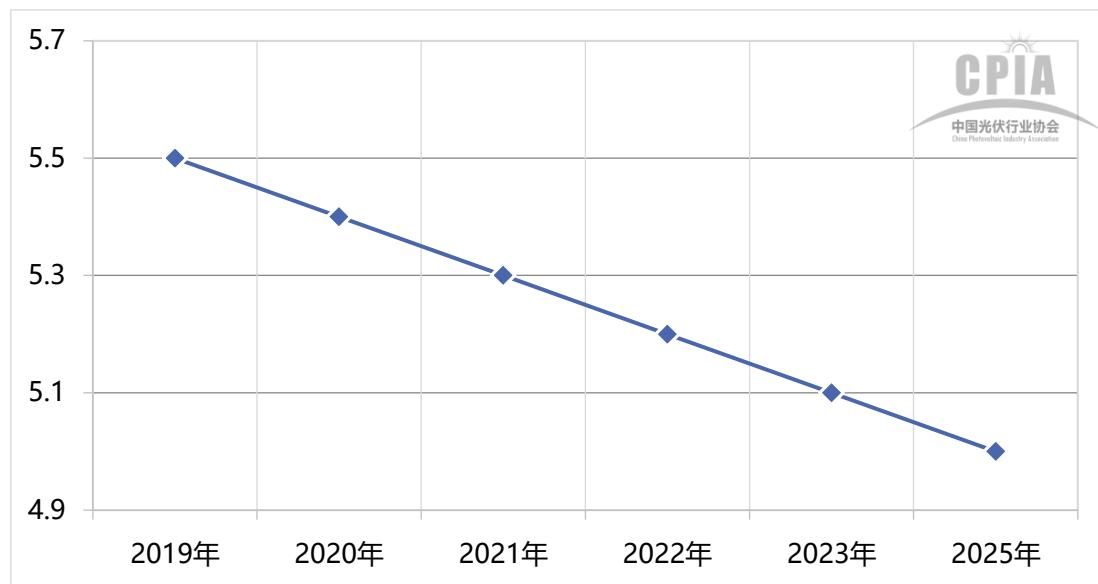


图 9 2019-2025 年冷氢化电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si)

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。2019 年，全国多晶硅平均综合电耗已降至 70kWh/kg-Si，与上年基本持平。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 2025 年还有 5%以上的下降空间。

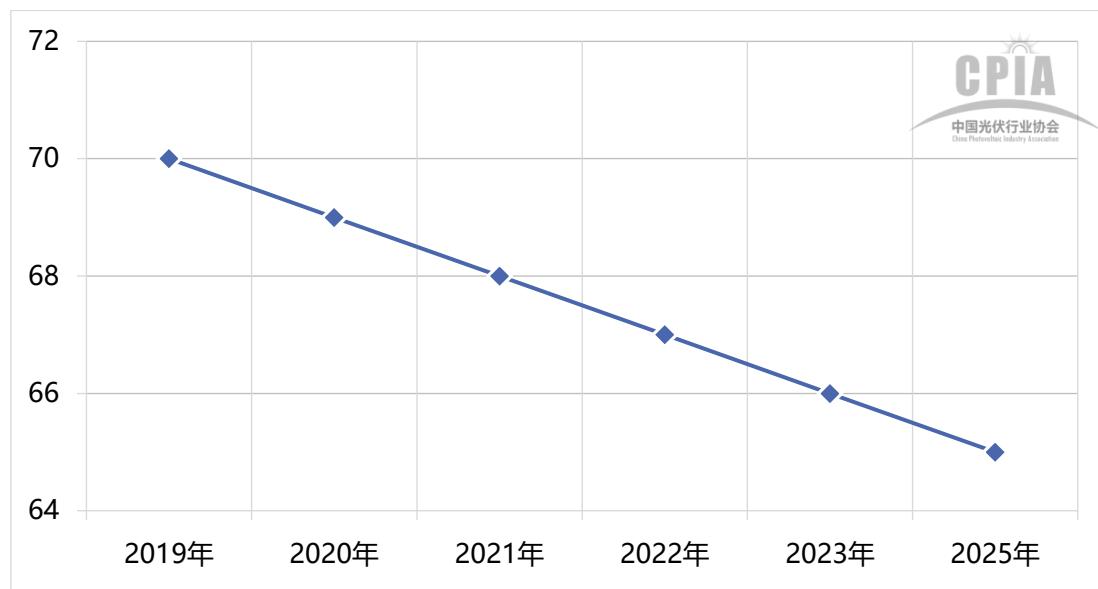


图 10 2019-2025 年综合电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si)

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。2019年,多晶硅平均水耗在0.13t/kg-Si的水平,同比下降7.1%。西部地区如新疆、内蒙等由于水资源匮乏、水费高、环保等原因,多采用空冷,水耗进一步下降,多在0.1t/kg-Si左右。预计到2025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。

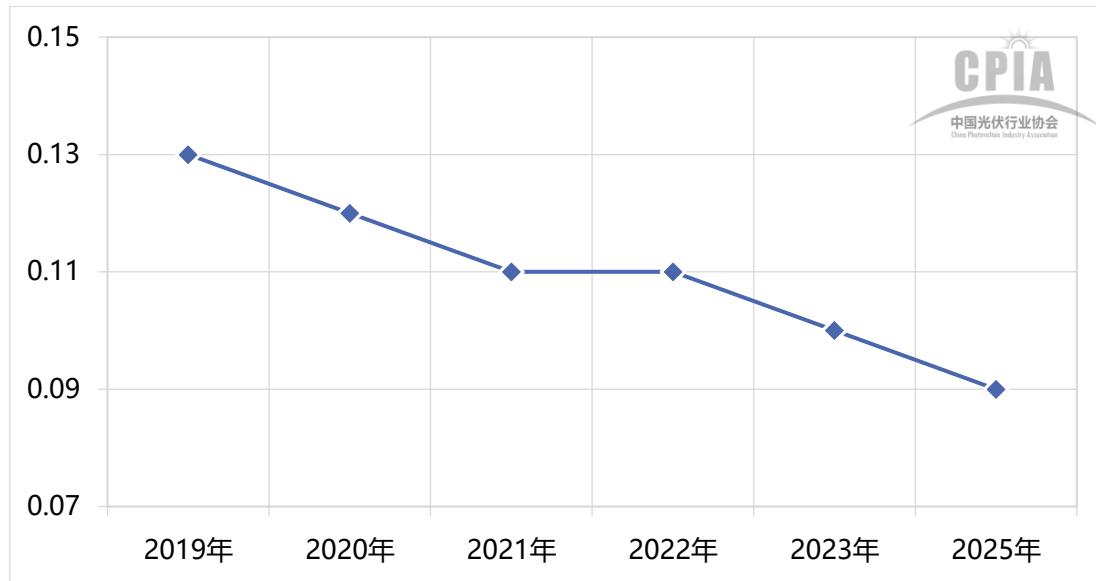


图11 2019-2025年水耗变化趋势 (单位: t/kg-Si)

5、蒸汽耗量

蒸汽耗量是指生产单位多晶硅产品所补充的蒸汽量,不考虑余热利用所产生的蒸汽,蒸汽的补充主要用于精馏、冷氢化等环节。受地域气候条件、能源价格及使用能源类别等因素影响,蒸汽消耗数据在不同企业间差别较大,2019年企业蒸汽耗量在9-30kg/kg-Si之间,均值为28kg/kg-Si左右,同比下降9.7%。随着企业还原余热利用率提升、精馏系统优化、压力等级优化等,2020年大部分企业蒸汽耗量将降至25kg/kg-Si以下。

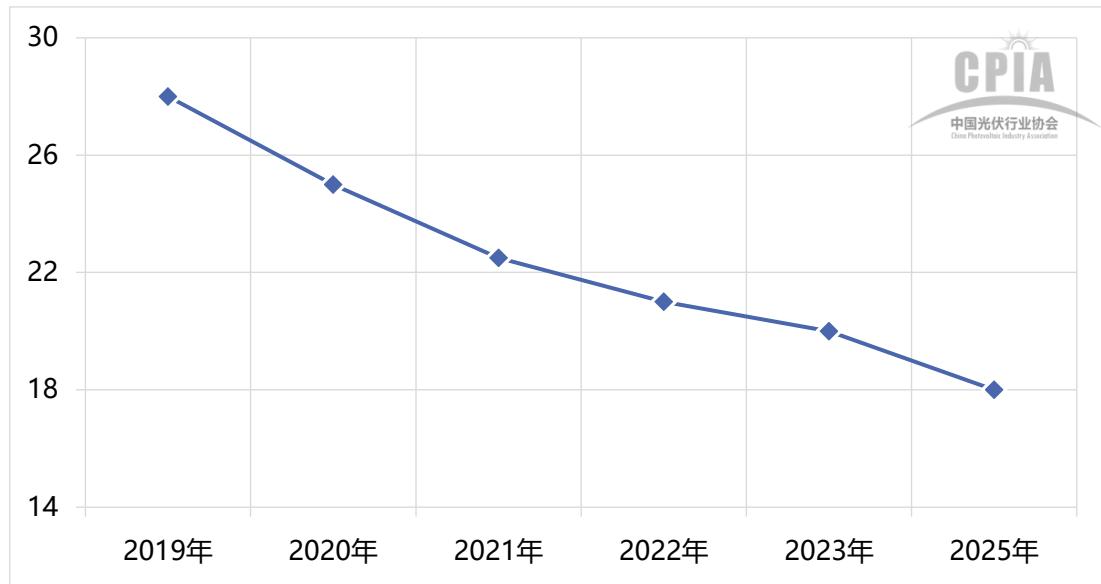


图 12 2019-2025 年蒸汽耗量变化趋势 (单位: kg/kg-Si)

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电力、蒸汽、水等 (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》GB29447-2012 执行)。2019 年多晶硅企业综合能耗平均值为 12.5kgce/kg-Si。随着技术进步和能源的综合利用, 到 2025 年预计可降到 10.1 kgce/kg-Si。

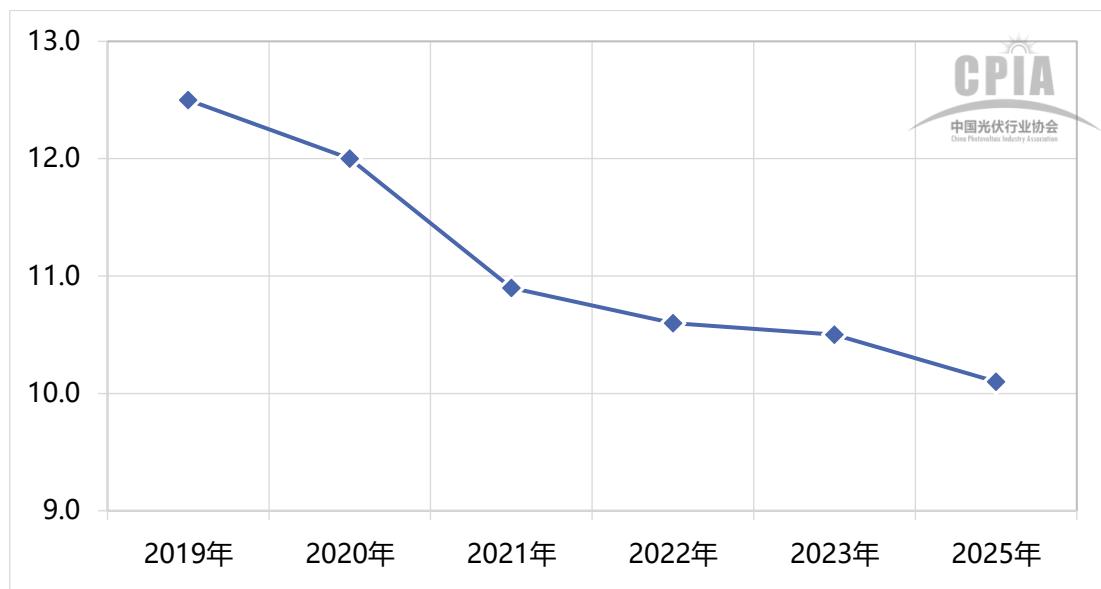


图 13 2019-2025 年综合能耗变化趋势 (单位: kgce/kg-Si)

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。2019年，行业硅耗在1.11kg/kg-Si水平，基本与2018年持平。随着氢化水平的提升，副产物回收利用率的增强，预计到2025年将降低到1.06kg/kg-Si。

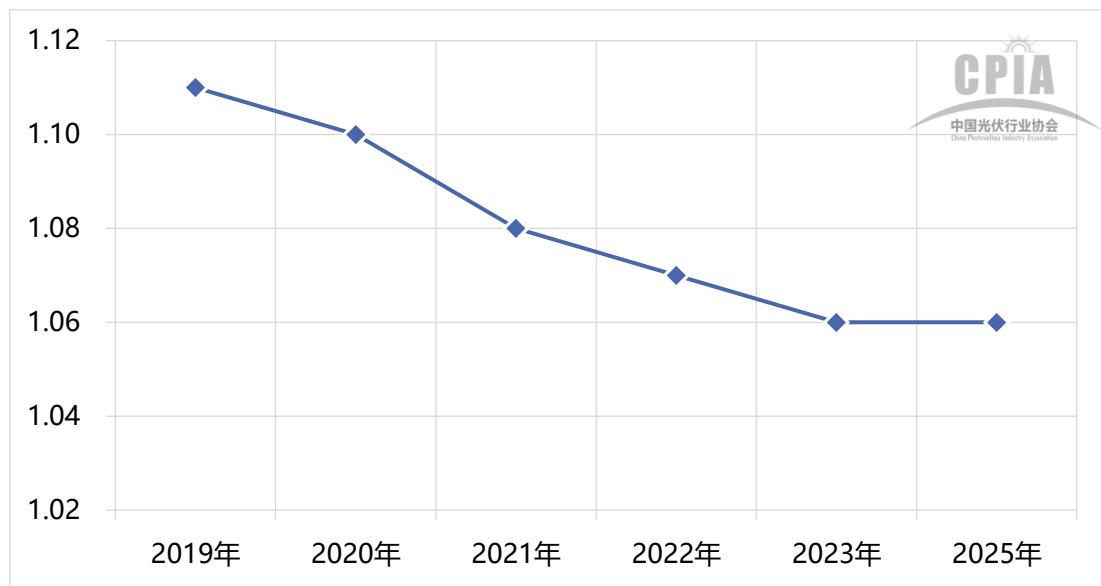


图14 2019-2025年硅单耗变化趋势 (单位: kg/kg-Si)

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。2019年，多晶硅行业还原余热利用率平均水平在80%。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。

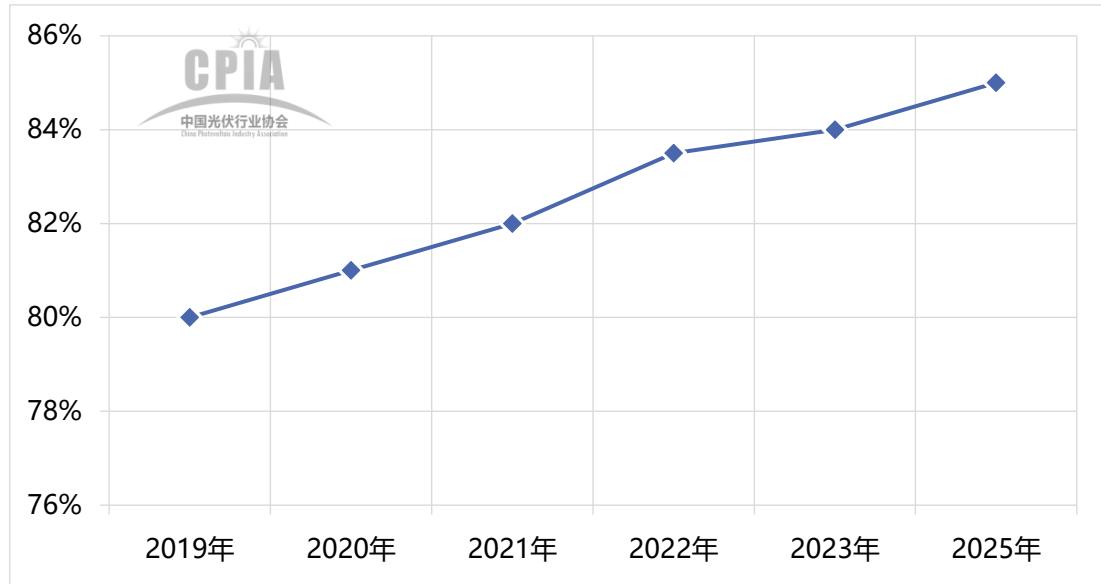


图 15 2019-2025 年还原余热利用率变化趋势

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，2019 年采用此方法生产出的棒状硅约占全国总产量的 97.5%，未来仍将是主流生产工艺。但 N 型电池的发展将扩大颗粒硅的市场需求，一旦颗粒硅解决生产稳定性、一致性、规模化以及产品质量的问题，不排除颗粒硅市场份额会出现快速增长。

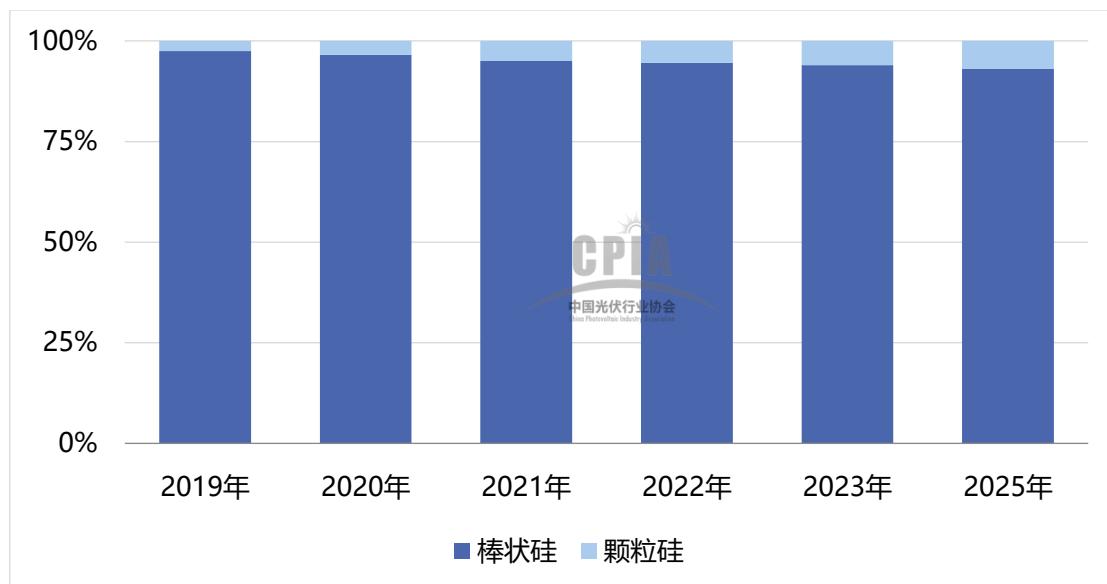


图 16 2019-2025 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势

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。2019 年投产的万吨级多晶硅生产线设备投资成本已降至 1.1 亿元/千吨的水平。预计到 2020 年，千吨投资可下降至 1.04 亿元，较之前的预测下降幅度有所收窄，主要是考虑到物价上涨的因素。

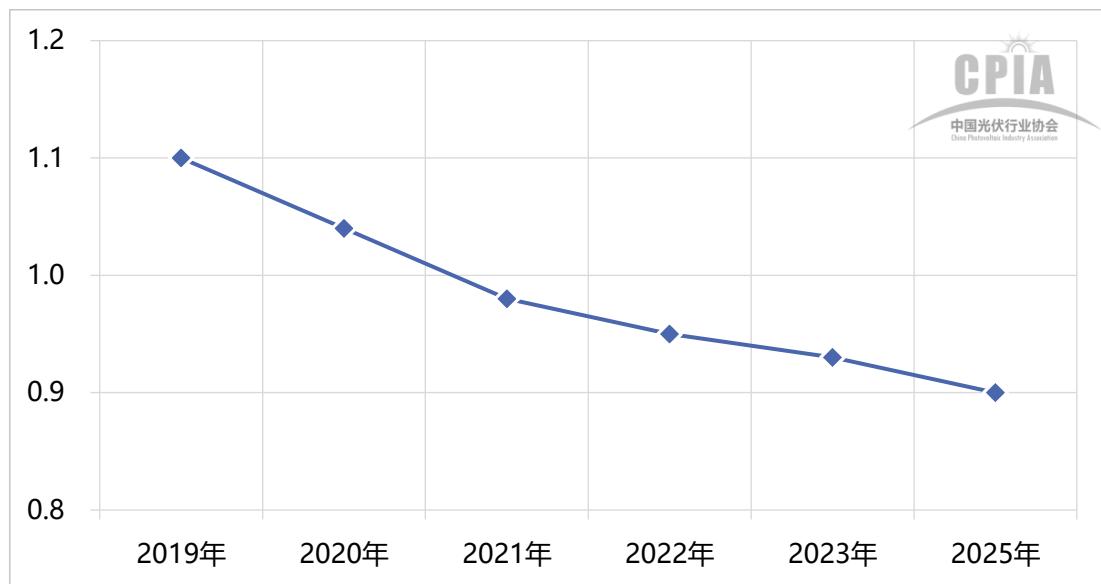


图 17 2019-2025 年三氯氢硅西门子法多晶硅生产线设备投资成本变化趋势 (单位: 亿元/千吨)

11、人均产出量

随着多晶硅工艺技术瓶颈不断突破，工厂自动化水平的不断提升，多晶硅工厂的人均产出也快速提升。2019 年多晶硅生产线人均产出量为 35 吨/年，同比增长 25%。随着国内智能制造水平的提升，以及多晶硅单线生产规模的增大，未来多晶硅工厂的人均产出量将保持稳定提高，到 2025 年提高到 50 吨/年。

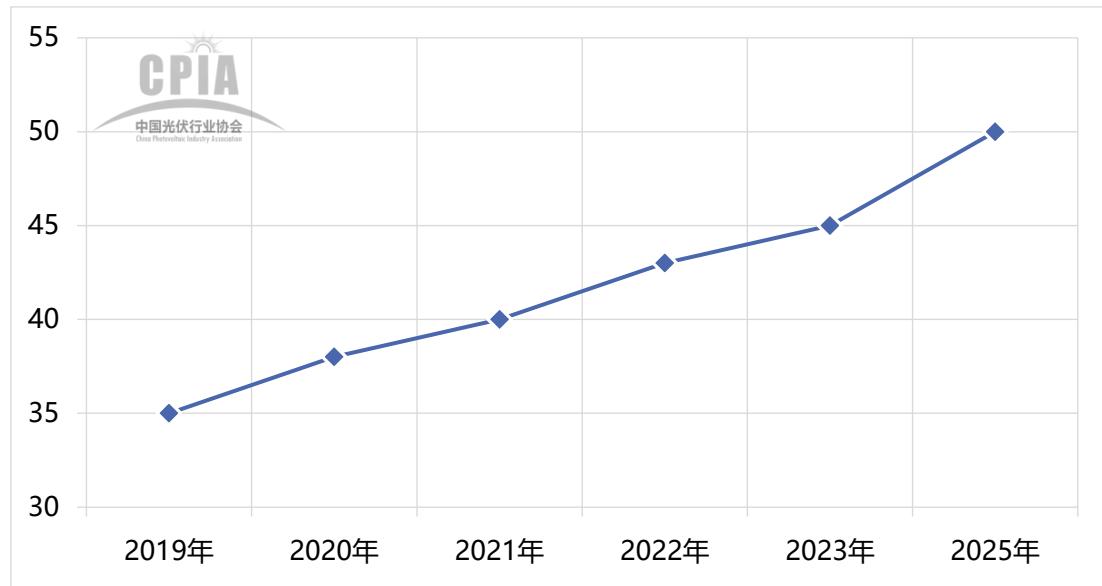


图 18 2019-2025 年多晶硅生产线人均产出量变化趋势 (单位: 吨/年)

(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，降低拉棒生产能耗。2019年，拉棒平均电耗水平从2018年的33.5kWh/kg-Si降低为29.1kWh/kg-Si（方棒）。预计到2025年，有望下降至21.6kWh/kg-Si。

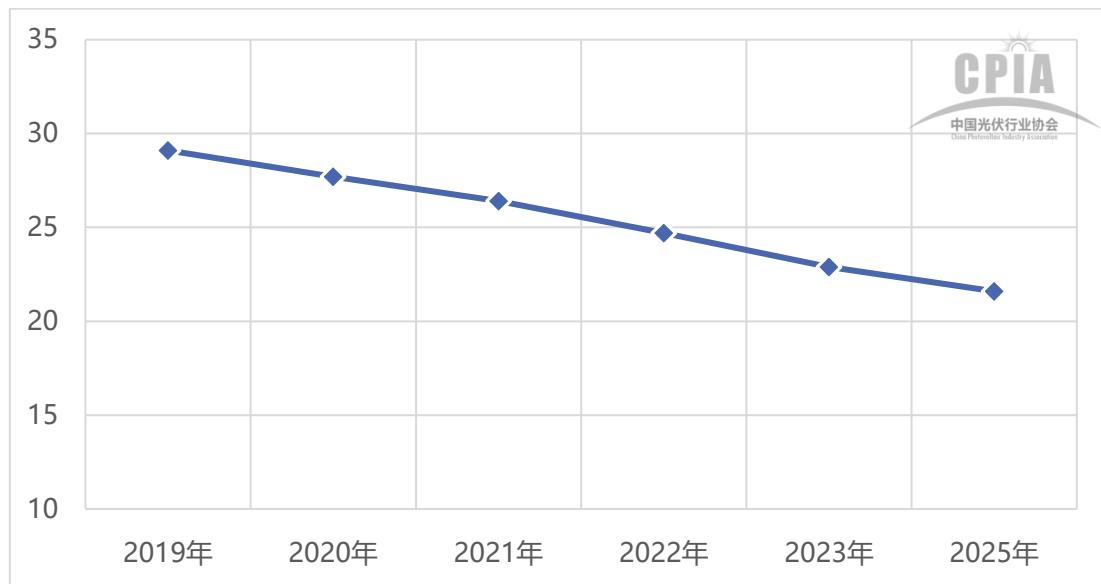


图19 2019-2025年拉棒电耗变化趋势（单位：kWh/kg-Si）

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。2019年，光伏行业铸锭的电耗为7.0kWh/kg-Si。2020年，铸锭炉以技改为主，企业主要铸锭炉机型为G7系统，新增设备虽采用G8系统，但新增动力不强。随着铸锭炉的升级带来的投料量提高以及保温设计的改善，铸锭电耗有望进一步下降。

² 本环节指标均以生产M2尺寸单晶硅片、多晶硅片（包括157mm尺寸）为基准。

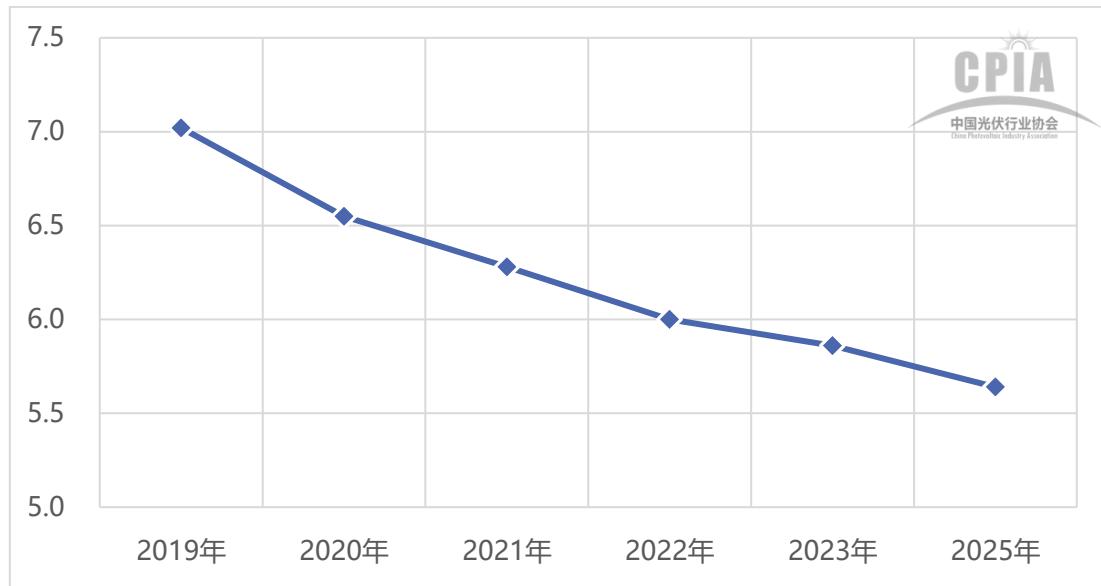


图 20 2019-2025 年铸锭电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-Si (大方锭))

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。2019 年,拉棒单炉投料量约为 1300kg,较 2018 年的 950kg 有大幅提升,先进设备单炉投料量达到 1600kg 左右。随着坩埚制作工艺、拉棒技术的不断提升,坩埚使用的优化,投料量仍有较大增长空间。

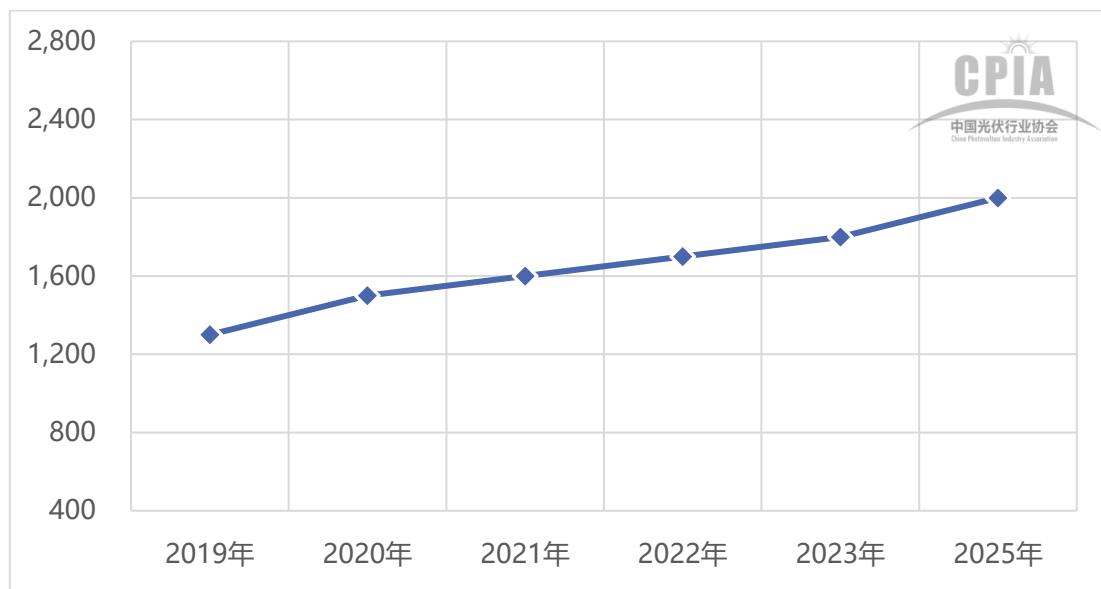


图 21 2019-2025 年拉棒单炉投料量变化趋势 (单位: kg)

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。2019 年，铸锭炉单炉平均投料量为 1100kg 左右，通过升级为 G7 系统，较 2018 年的 900kg 有大幅提升。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，G8 系统未能快速普及，2019 年我国铸锭炉以 G6 或 G7 系统为主。铸锭单晶的产业化应用将推动铸锭技术的进步以及 G8 系统的应用，促进铸锭投料量也将随之提高。

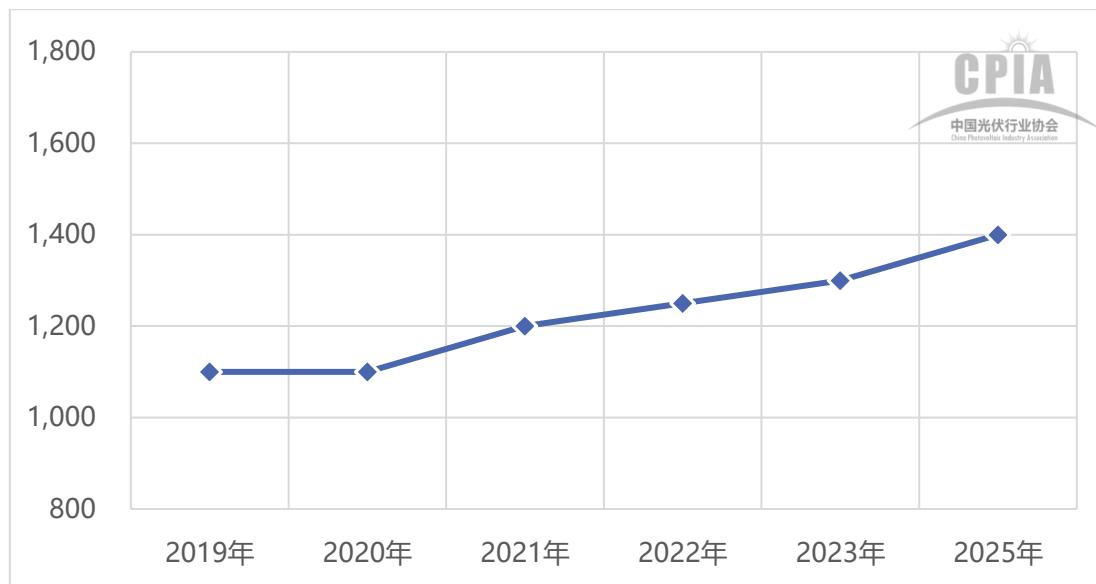


图 22 2019-2025 年铸锭单炉投料量变化趋势 (单位: kg)

5、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%。2019 年，铸锭多晶收料率在 65-66% 之间，铸锭单晶收料率约为 50%。随着长晶技术的提升，铸锭单晶收料率有望进一步提升。

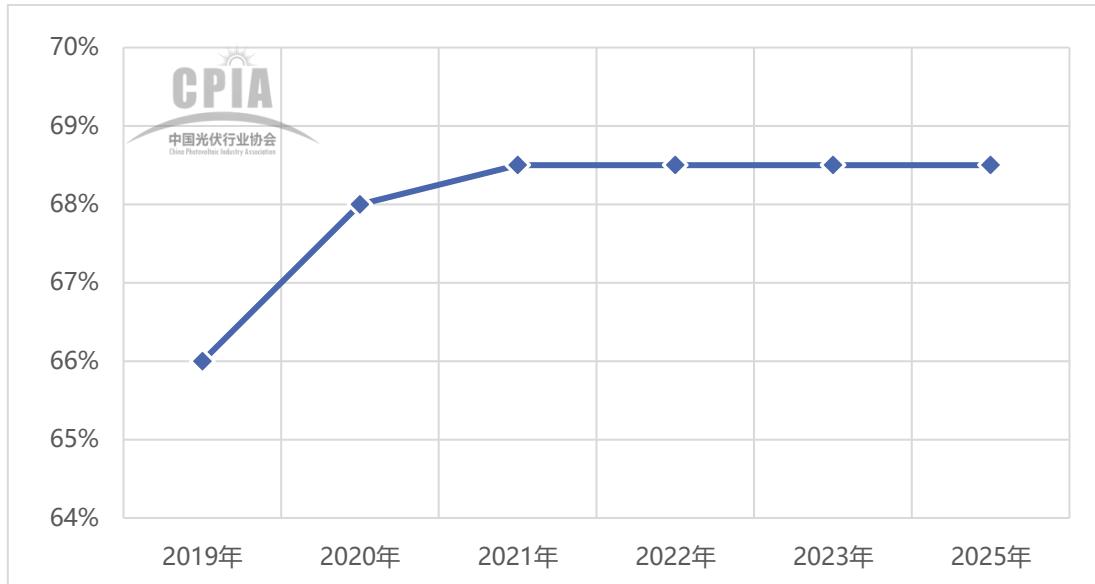


图 23 2019-2025 年多晶铸锭收料率变化趋势

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。目前硅片切片技术已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。2019 年，多晶硅片平均厚度为 $180\mu\text{m}$ ，P 型单晶硅片平均厚度在 $175\mu\text{m}$ 左右，N 型硅片平均厚度为 $170\mu\text{m}$ 。硅片厚度较 2018 年均呈下降趋势，多晶硅片厚度下降速度略慢。N 型单晶硅片目前厚度基本与 P 型单晶硅片一致，主要用于 TOPCon 电池的制作。随着硅片尺寸的增大，硅片厚度下降速度将减缓。用于异质结电池的硅片厚度约为 $150\mu\text{m}$ ，随着异质结电池技术的应用，硅片厚度降速将进一步加快。

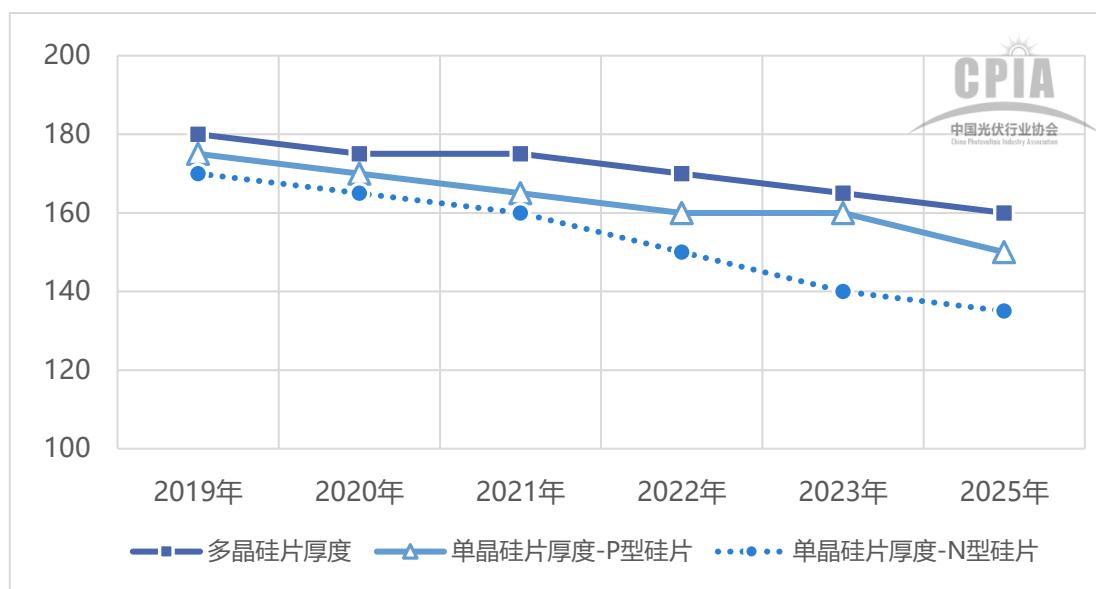


图 24 2019-2025 年硅片厚度变化趋势 (单位: μm)

7、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。2019年,金刚线母线直径为55-60μm,较2018年普遍降低5μm,并呈不断下降趋势。由于多晶硅片中缺陷及杂质等多于单晶硅片,用于多晶硅片的金刚线母线直径大于单晶硅片。随着多晶铸锭质量的提高及金刚线母线产品质量的提高,预计未来用于单晶硅片和多晶硅片的金刚线母线直径趋于一致。

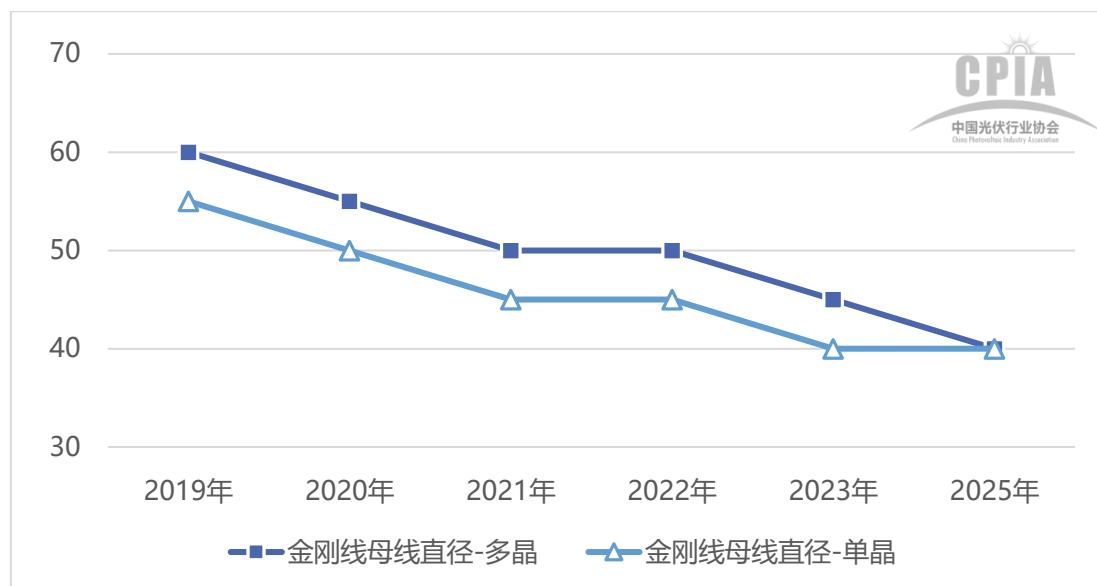


图 25 2019-2025 年金刚线母线直径变化趋势 (单位: μm)

8、单位方棒/方锭在金刚线切割下的出片量

随着金刚线母线直径及磨粒粒径的降低,以及硅片厚度下降,每公斤方棒/方锭的出片量将增加。2019年每公斤单晶方棒出片量约为67片,多晶方锭出片量约为65片,较2018年增加2片。

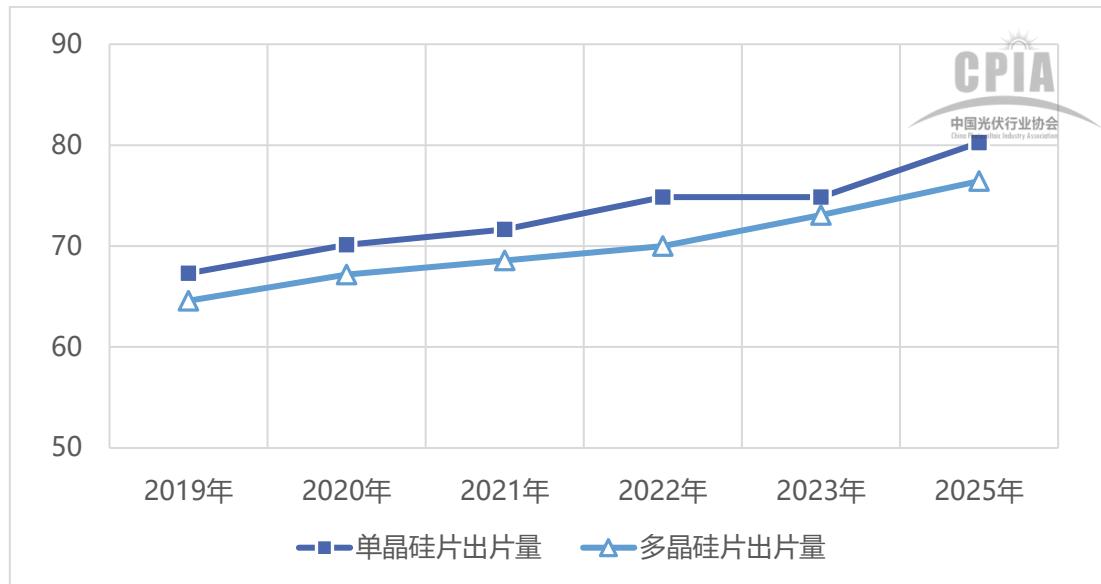


图 26 2019-2025 年每公斤方棒/方锭在金刚线切割下的出片量变化趋势 (单位: 片)

9、拉棒/铸锭环节设备投资成本

2019 年, 拉棒和铸锭环节设备投资成本 (包括机加环节) 分别为 6.1 万元/吨和 2.6 万元/吨, 较 2018 年均小幅下降。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。

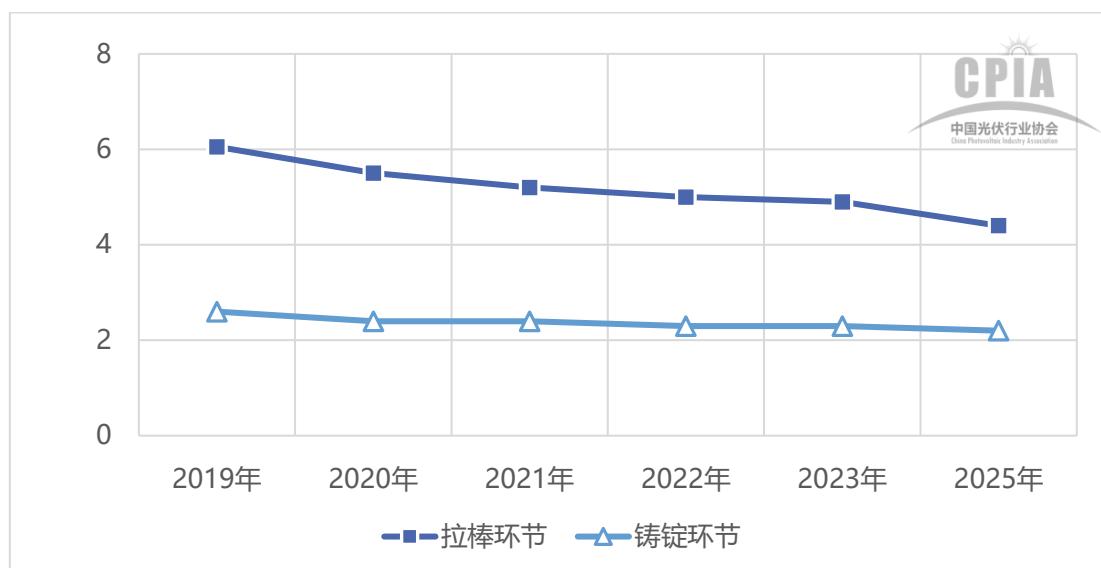


图 27 2019-2025 年拉棒/铸锭环节设备投资成本变化趋势 (单位: 万元/吨)

10、不同类型硅片市场占比

2019年，单晶硅片市场占比约65%，其中P型单晶硅片市场占比由2018年的39.5%增长为60%，N型单晶硅片约为5%，较2018年基本持平。随着下游对单晶产品的需求增大，单晶硅片市场占比也将逐年增高，预计2022年单晶硅片（P型+N型）市场占比将达到80%。多晶硅片的市场份额由2018年的55%下降至2019年的32.5%，未来呈逐步下降趋势。铸锭单晶技术在2018年有了技术突破，2019年逐步放量，市场占比达到2.5%，未来市场份额有望进一步扩大。

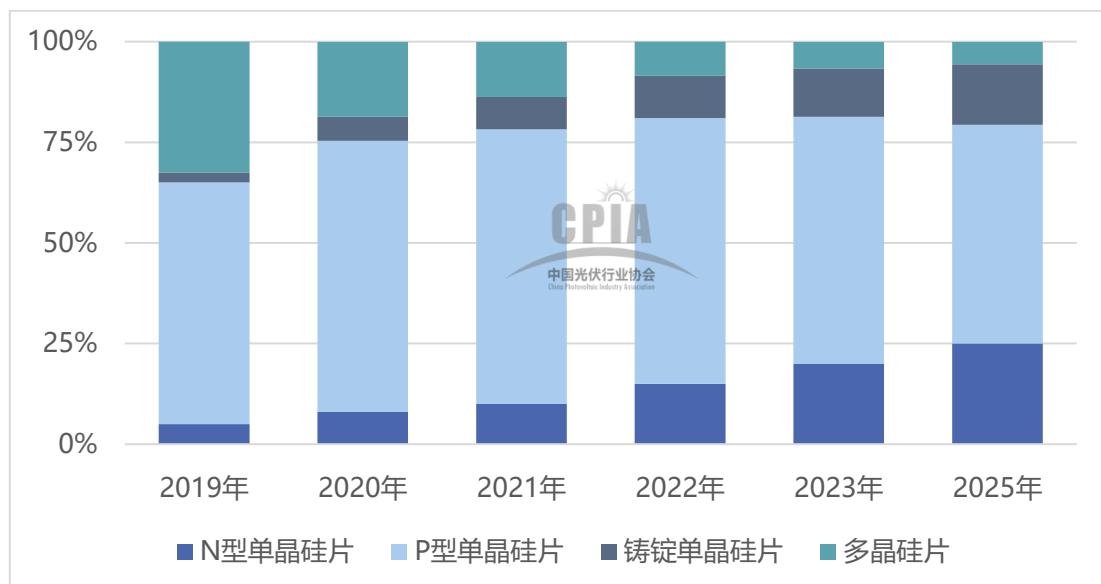


图 28 2019-2025 年不同类型硅片市场占比变化趋势

11、不同尺寸硅片市场占比

为获得更高组件功率以降低单位成本，企业纷纷发布158.75mm、161.7mm、163mm、166mm以及210mm等大尺寸硅片，且逐步投入到下游制造中。2019年，市场仍然以156.75mm尺寸为主，市场占比约61%；158.75mm尺寸是现有电池及组件生产线最易升级的方案，2020年市占比有望超过40%；161.7mm尺寸主要以出口韩国为主；160-166mm尺寸通过新投产或现有电池、组件产线技改，未来两年市场占比呈增长趋势；210mm尺寸需投入新的电池、组件生产线，新投产线主要采用210mm、166mm等尺寸可兼容的产线。

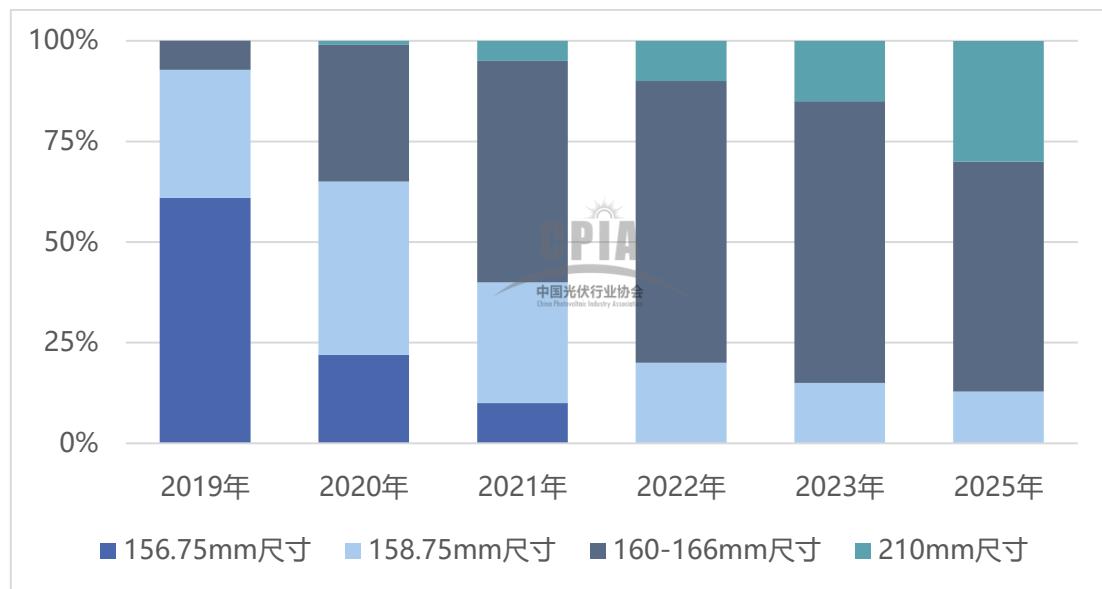


图 29 2019-2025 年不同尺寸硅片市场占比变化趋势

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³

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。
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。
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。
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。

1. 各种电池技术平均转换效率*

2019 年, 规模化生产的单多晶电池平均转换效率分别为 22.3% 和 19.3%。单晶电池均采用 PERC 技术, 平均转换效率较 2018 年提高 0.5 个百分点, 电池效率近两年仍有较大的提升空间; 多晶黑硅电池则效率提升动力不强, 空间也已不大; 使用 PERC 电池技术的多晶电池效率为 20.5%, 较 2018 年提升 0.2 个百分点; 铸锭单晶 PERC 电池平均转换效率为 22%, 较单晶 PERC 电池低 0.3 个百分点; N-PERT/TOPCon 电池平均转换效率为 22.7%, 异质结电池平均转换效率为 23.0%, 已有部分企业投入量产, 未来 N 型电池将会是电池技术的主要发展方向之一。

³ 本环节指标均以生产 M2 尺寸单晶电池、多晶电池 (包括 157mm 尺寸) 为基准。

表 2 2019-2025 年各种电池技术平均转换效率变化趋势

	分类	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2025 年
多晶	BSF P 型多晶黑硅电池	19.3%	19.4%	19.5%	--	--	--
	PERC P 型多晶黑硅电池	20.5%	20.8%	21.0%	21.2%	21.5%	21.7%
	PERC P 型铸锭单晶电池	22.0%	22.3%	22.5%	22.7%	22.9%	23.2%
P 型单晶	PERC P 型单晶电池	22.3%	22.7%	23.0%	23.2%	23.4%	24.0%
N 型单晶	N-PERT/TOPCon 电池	22.7%	23.3%	23.5%	23.8%	24.0%	24.5%
	异质结电池	23.0%	23.5%	24.0%	24.5%	25.0%	25.5%
	背接触电池	23.6%	23.8%	24.1%	24.3%	25.0%	25.5%

*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

2019 年，新建电池产线均采用 PERC 技术，并且部分电池企业对老旧电池产线进行技改，使得 2019 年 PERC 电池技术迅速反超 BSF 电池，占据了超过 65% 的市场。国内户用项目及印度、巴西等海外市场仍对 BSF 常规组件保持一定需求，2019 年 BSF 电池市场占比约 31.5%，较 2018 年下降 28.5 个百分点。异质结电池和 N-PERT/TOPCon 电池成本较高，目前仅有部分企业进行了中试或小规模量产。

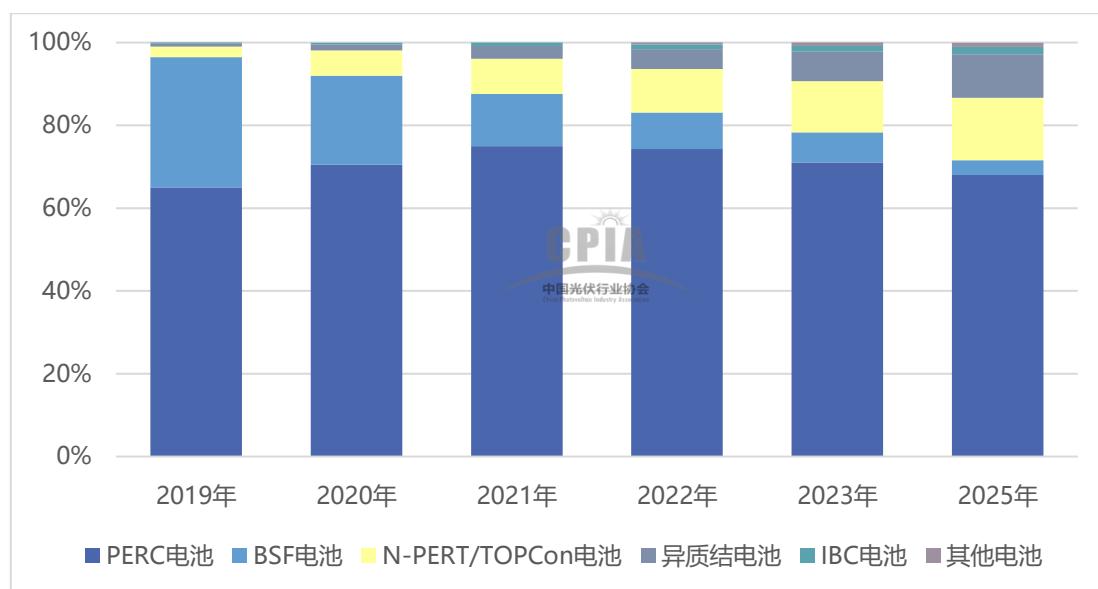
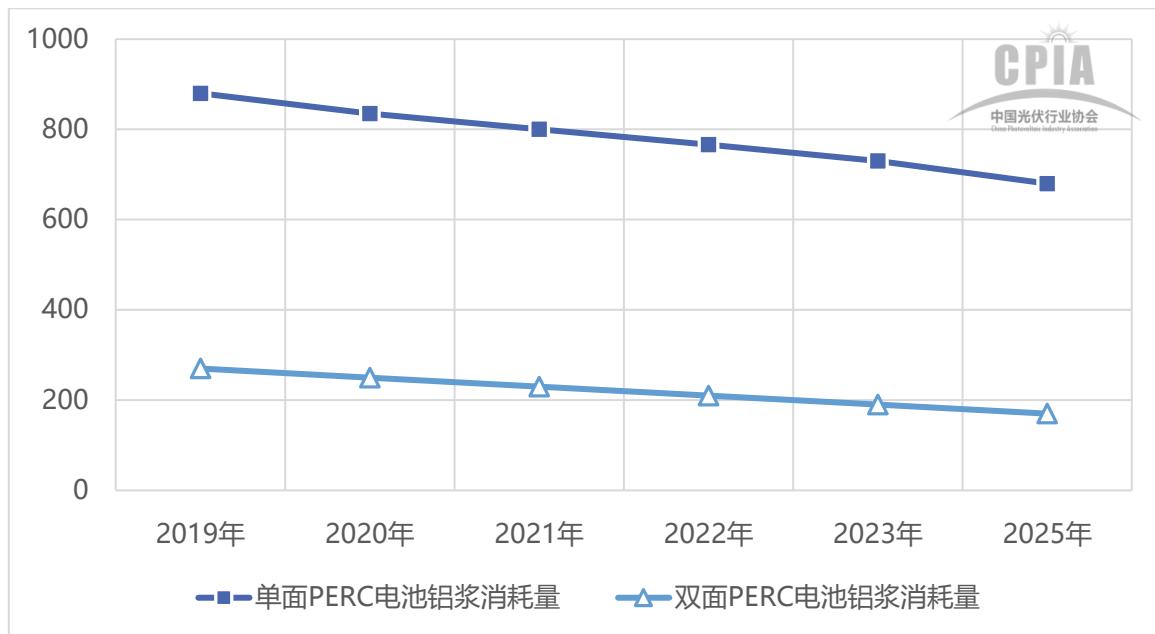


图 30 2019-2025 年各种电池技术市场占比变化趋势

3、电池铝浆消耗量

铝浆消耗量主要包括晶硅电池片中铝背场消耗的铝浆。随着 PERC 电池在市场中的迅速扩张,电池片铝浆消耗量大幅下降,2019 年单面发电 PERC 电池铝浆消耗量约为 880mg/片,双面 PERC 电池背铝消耗量约为 270mg/片。随着未来技术进步,每片电池耗铝量仍有较大下降空间。



4、电池银浆消耗量

目前电池银浆大致分为高温银浆和低温银浆两种。P 型电池和 N-PERT/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,目前通过增加主栅数量以及减小细栅宽度来减少正银消耗量。2019 年,P 型电池银浆消耗量约 114.7mg/片,同比下降 8.2%,其中背银消耗量约 32mg/片;N-PERT/TOPCon 电池正面使用的银铝浆(95%银)消耗量约 95mg/片;异质结电池双面低温银浆消耗量约 300mg/片,用量大、价格贵是异质结电池成本高的原因之一,目前企业正通过技改降低低温银浆消耗量。

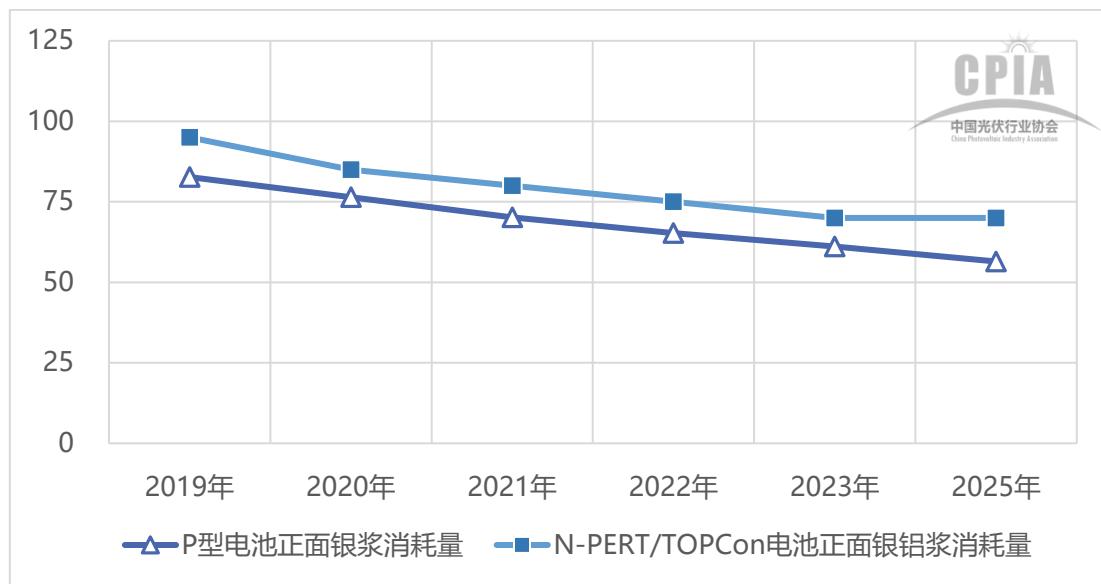


图 32 2019-2025 年高温浆料消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

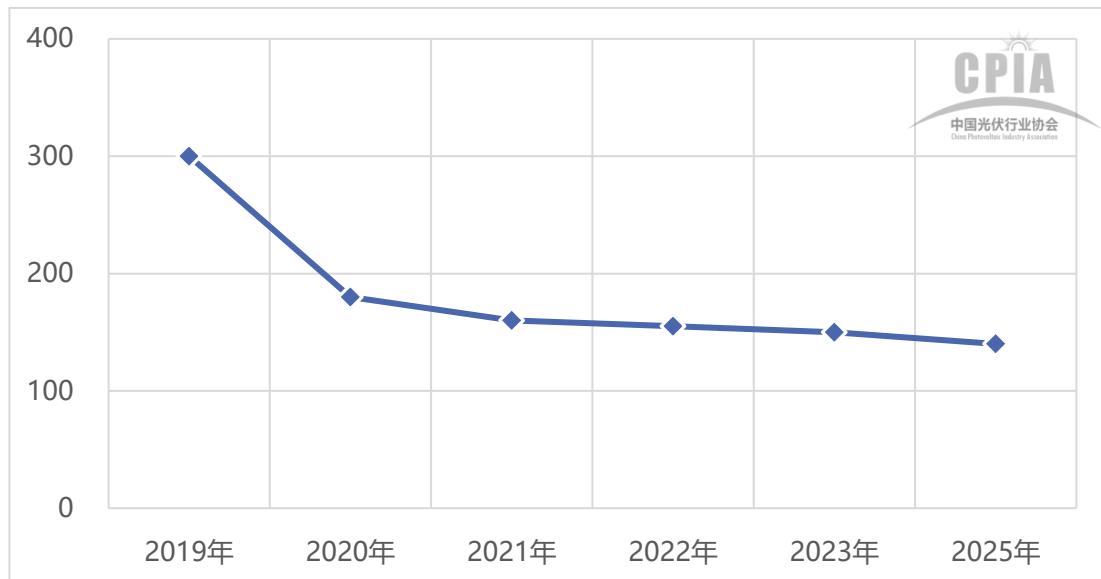


图 33 2019-2025 年低温浆料消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

5、电池片正面金属电极技术市场占比

2019 年金属电极以银电极为主, 市场中占比达到 99.7%。由于银价格较高, 部分企业正积极开发利用铜等其他金属替代银的电极技术, 其中铜电极技术主要应用于异质结电池, 因工艺繁琐使用率相对较低。未来随着异质结电池发展及正面电极金属化技术(电镀技术)的进步, 铜电极在正面电极上会得到更多应用。



图 34 2019-2025 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

2019 年，电池的金属栅线几乎全部通过丝网印刷的方式制备。生产企业和设备厂家也在积极研发推广孔板印刷、喷墨、电镀等其他栅线印刷技术。预计未来 5 年内丝网印刷技术仍然是主流技术，随着技术进步，电池片的栅线印刷技术也将多样化。

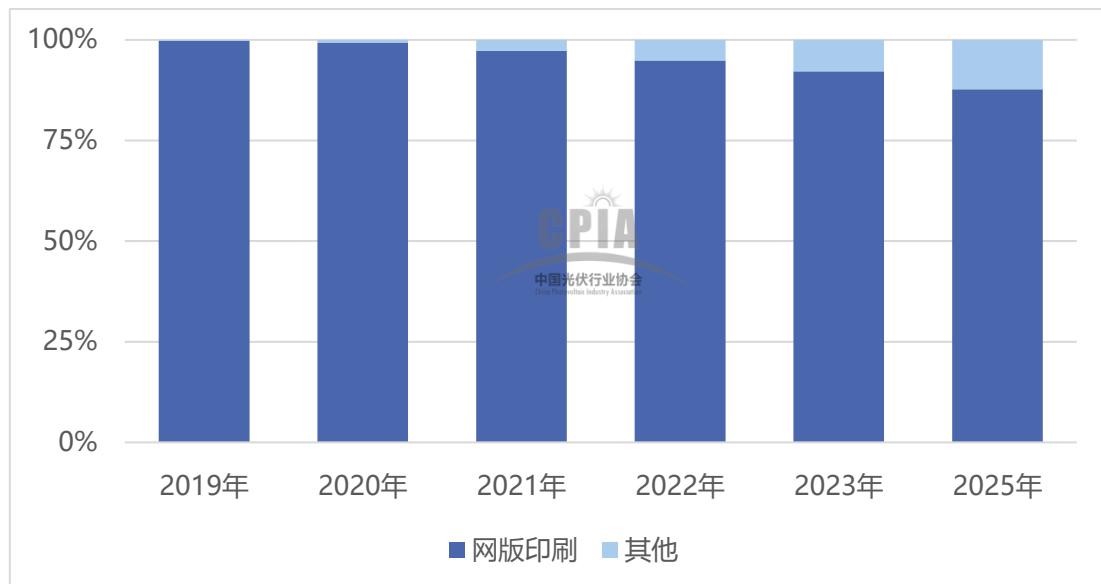


图 35 2019-2025 年栅线印刷技术市场占比变化趋势

7、P 型电池片方块电阻

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。2019 年，PERC 电池占市场主流，选择性发射极 (SE) 技术使得 PERC 电池发射极方块电阻达到

120 ohm/方,先进企业的方块电阻能达到160 ohm/方左右。未来随着金属化浆料技术的不断进步,方块电阻会不断提高,接触电阻则会下降。

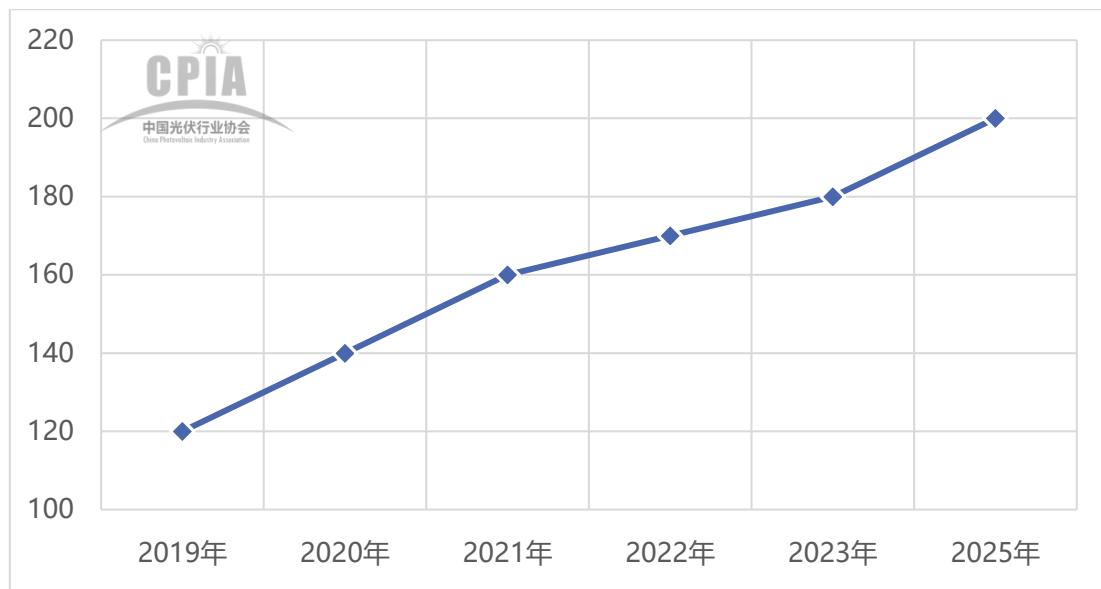


图36 2019-2025年P型电池片方块电阻变化趋势 (单位: ohm/方)

8、背钝化技术市场占比

背面钝化技术主要应用在PERC电池或PERT电池上,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,2019年市场占比在58.9%左右;ALD沉积技术有更精确的层厚控制和更好的钝化效果,2019年市场占比约38%。随着ALD沉积设备的国产化突破,ALD AlOx+技术的市场占比将提高。其他技术及材料中包括氮氧硅镀膜及氧化锌镀膜等背钝化方法。

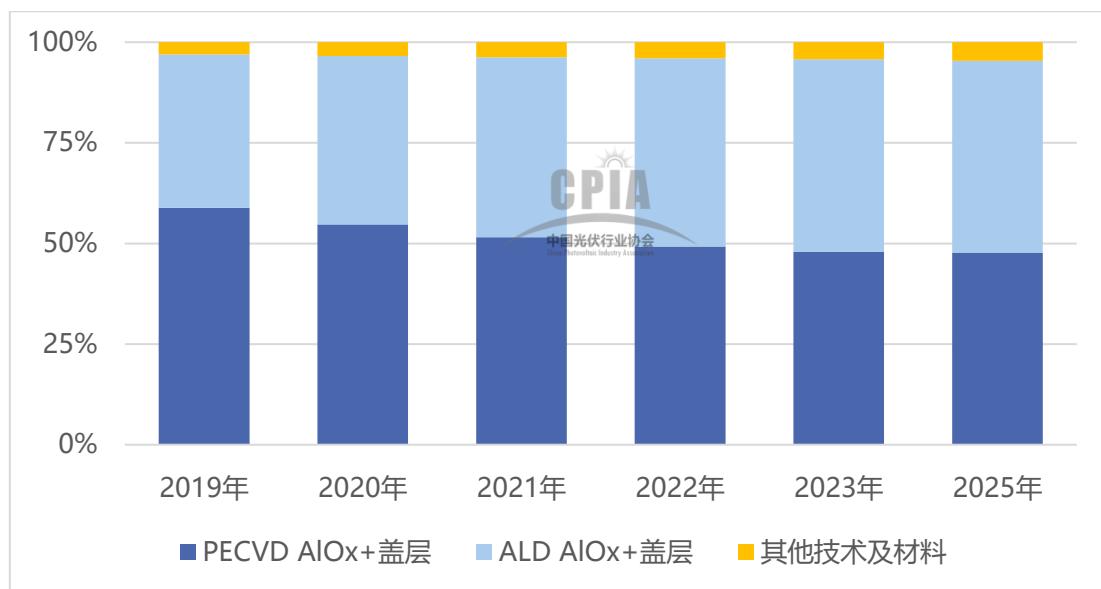


图37 2019-2025年背钝化技术市场占比变化趋势

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对太阳光的遮挡，减少正银用量。2019年，细栅线宽度一般控制在40 μm 左右，印刷设备精度在 $\pm 8.4\mu\text{m}$ 。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2025年印刷设备精度可提高到 $\pm 6\mu\text{m}$ ，细栅线宽度或将下降至25 μm 左右。

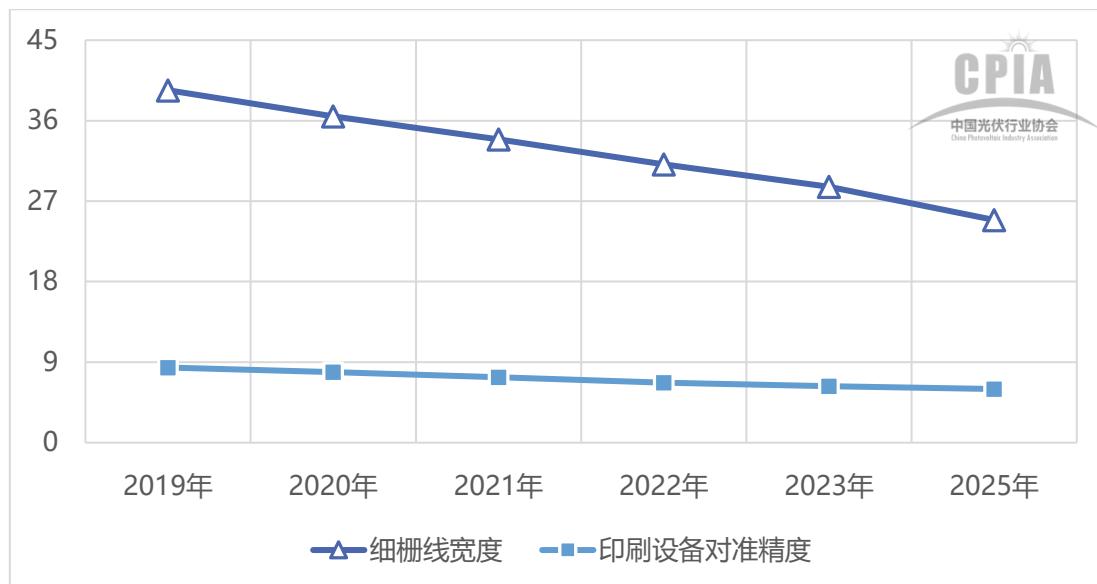


图 38 2019-2025 年电池正面细栅线宽度及对准精度变化趋势 (单位: μm)

10、各种主栅市场占比

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。2019年5主栅电池片仍为主流，但相较2018年下降6.1个百分点至78.9%，而4主栅已经基本被市场淘汰。同时9主栅电池片涌入市场，2019年市场占比达到约16.5%。9主栅电池片相较5主栅电池片，银浆用量下降25%，同样60片电池片的全片组件，其功率可以提升2-3W，间接使得组件成本下降。预计到2025年9主栅以上电池市场占有率将逐渐增加。其他主栅技术包括MWT、无主栅、IBC等。

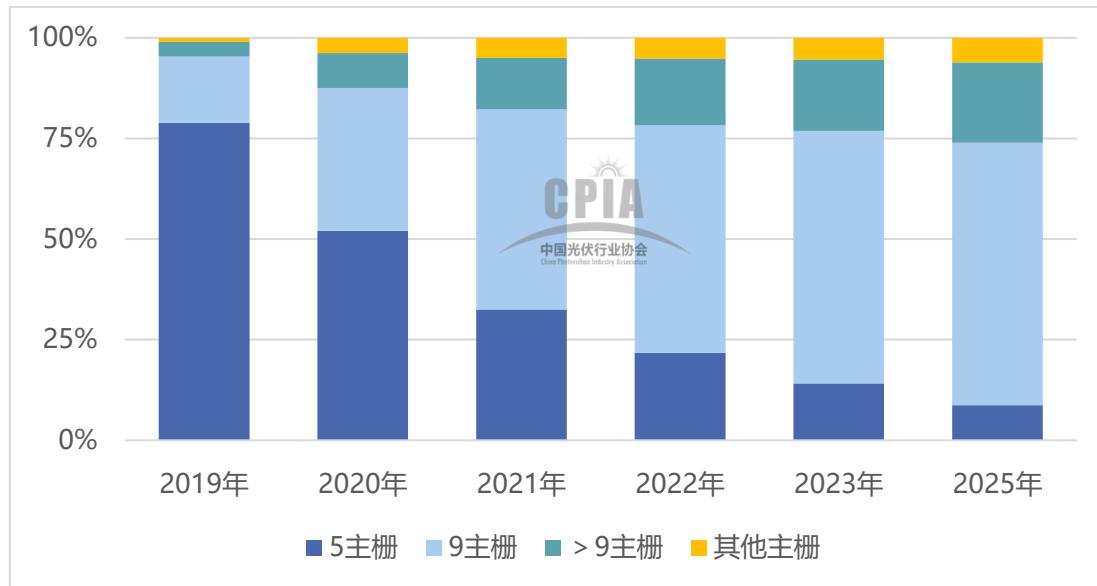


图 39 2019-2025 年各种主栅市场占比变化趋势

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）。2019 年，电池产线平均人均产出率为 2.3MW/年，新投产 PERC 电池产线人均产出率达到约 3MW/年。未来随着光伏制造业产线自动化、智能化程度不断提升，以及电池转换效率的持续提高，人均产出率将不断提升。

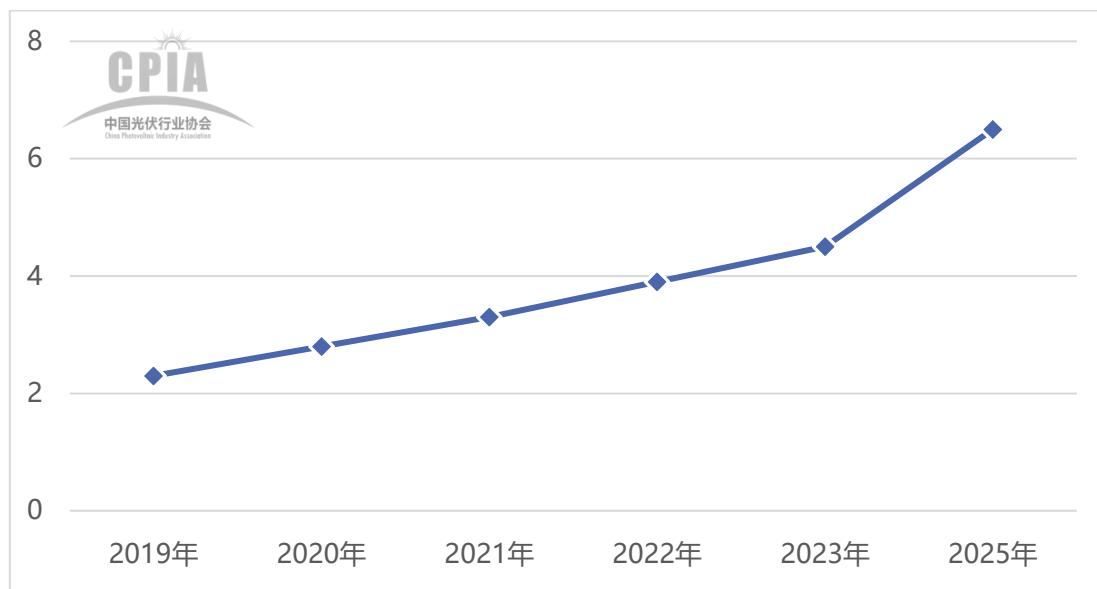


图 40 2019-2025 年电池线人均产出率变化趋势（单位：MW/年）

12、PERC 电池线投资成本

目前，我国 PERC 电池生产线关键设备已基本完成国产化。2019 年，新投产的电池产线均为 PERC 电池，单条产线产能约 250MW，部分原有普通单晶电池产线也在 2019 年技改为 PERC 产线。2019 年 PERC 电池产线投资成本已降至 30.3 万元/MW，同比下降超过 27%，降幅远超去年预期。随着未来设备生产能力的提高及技术进步，单位设备投资额将进一步下降。

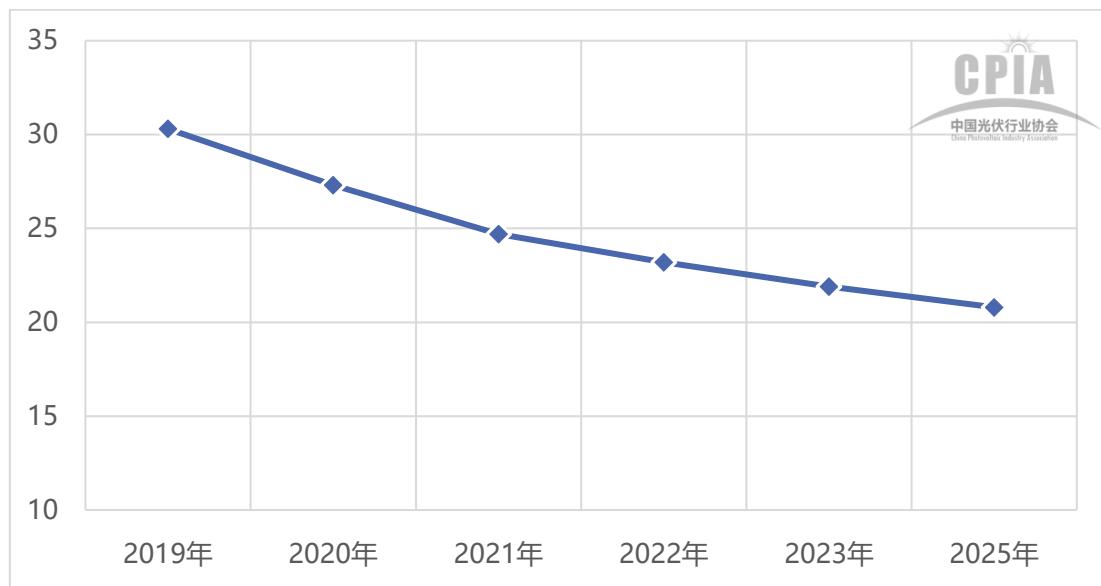


图 41 2019-2025 年 PERC 电池线投资成本变化趋势 (单位：万元/MW)

(四) 组件环节⁴

1、不同类型组件功率 (60 片, 全片)

2019年,采用PERC单晶电池的组件功率已达到320W,较2018年提高15W,采用158.75mm尺寸PERC单晶电池的组件功率约为330W,采用166mm尺寸PERC单晶电池组件功率约为360W。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285W,采用166mm尺寸PERC多晶黑硅组件功率约为330W。N-PERT/TOPCon电池组件、异质结电池组件可达到330W。未来几年,随着技术的进步,各种类型电池组件基本上以≥5W/年的增速向前推进。

表3 2019-2025年不同类型组件功率变化趋势

晶硅电池 60 片全片组件平均功率 (W)		2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2025 年
多晶	BSF 多晶黑硅组件	285	290	295	-	-	-
	PERC P 型多晶黑硅组件	300	305	310	315	320	330
	PERC P 型铸锭单晶组件	315	320	325	330	335	345
P 型单晶	PERC P 型单晶组件	320	325	330	335	340	350
N 型单晶	N-PERT/TOPCon 单晶组件	330	335	340	345	350	355
	异质结组件	330	340	345	350	360	370
	IBC 组件	342	345	350	353	363	370
MWT 封装	MWT 多晶组件	305	310	315	320	325	335
	MWT 单晶组件	330	337	344	351	358	365

注: 1、组件采用 5BB 电池为基准

2、双面组件只记正面功率;

3、MWT 组件采用 PERC 电池。

2、单/双面组件市场占比

2019 年,单面组件仍是市场主流,市场占比为 86%。随着下游应用端对于双面组件发电增益的认可,以及安装方式的逐步优化,双面发电组件的应用规模将会不断扩大。

⁴ 如无特殊说明,本环节指标均以使用 M2 尺寸电池片(包括 157mm 尺寸)封装为基准。

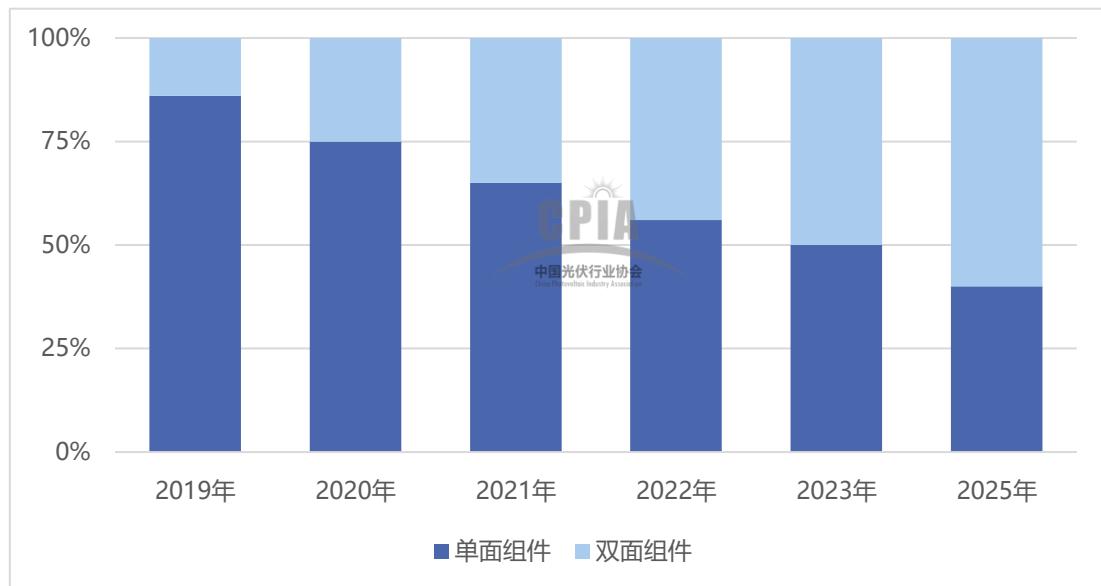


图 42 2019-2025 年单/双面组件市场占比变化趋势

3、全片、半片和叠瓦组件市场占比

2019 年，全片组件仍占据主要市场份额，市场占比约为 77.1%，较 2018 年下降了 14.6 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，未来将会取代全片封装方式占据主导份额。

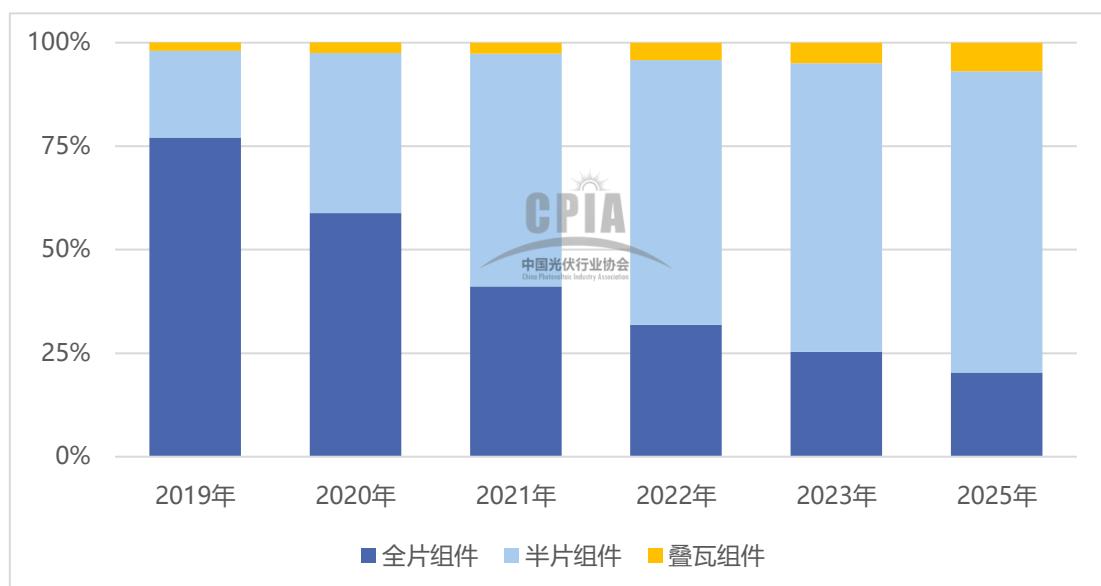


图 43 2019-2025 年全片、半片和叠瓦组件市场占比变化趋势

4、不同边框晶硅组件市场占比

2019年，使用铝边框的组件在市场中占据主导地位，市占率高达96%，较2018年增长2.7个百分点，且呈增长趋势。一方面，早期双玻组件为控制成本，多采用无边框设计，但随着在运输、搬运及安装过程中，出现破损度较高，间接增加成本等问题，无边框组件出货比例下降；另一方面，随着组件尺寸增大，组件增重，驱使盖板玻璃薄片化，需采用边框加强机械刚性。

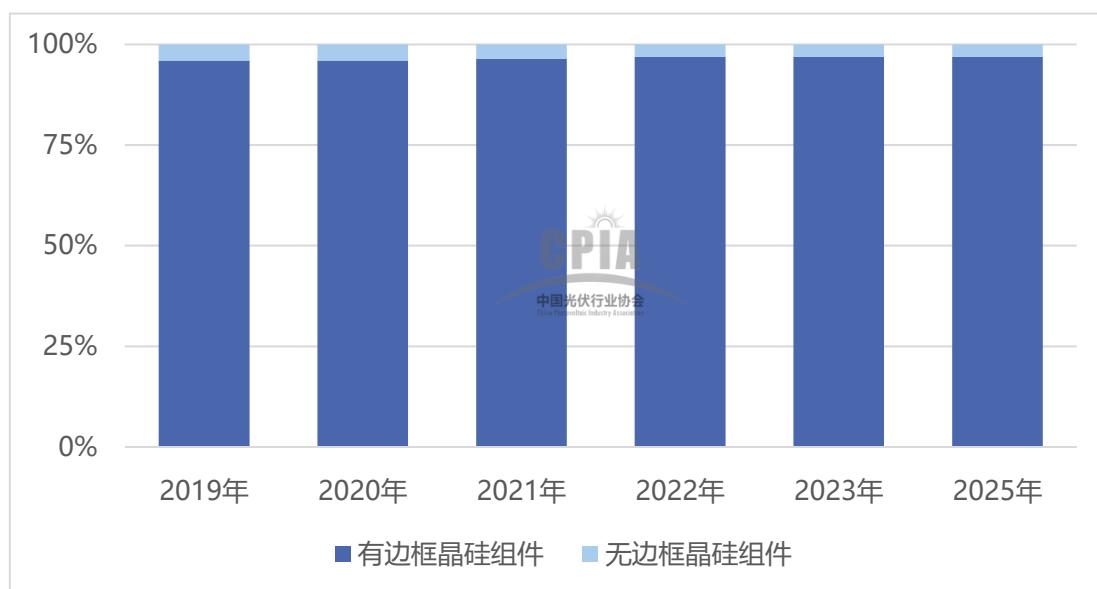


图 44 2019-2025 年不同边框晶硅组件市场占比变化趋势

5、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，2019年含铅焊带组件市场份额为95.6%，与2018年市占率基本持平。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2025年使用含铅焊带仍将会是市场主流。



图 45 2019-2025 年不同电池片互联技术的组件市场占比变化趋势

6、电池到组件封装损失 (CTM) 值 (60 片电池组件)

CTM 值 (Cell To Module) 为衡量电池封装成为组件过程中的功率损失，即用组件额定功率与电池片功率总和的比值来表示，CTM 值越高表示组件封装功率损失越小。2019 年，5 主栅全片单晶组件 CTM 值为 98%，多晶组件 CTM 值为 99.5%，企业主要采用 9 主栅、半片封装等方式较少封装损失，提高组件功率。

表 4 2019 年叠加不同类型技术的电池到组件封装损失 (CTM) 值

封装损失 (CTM) 值	5 主栅	9 主栅	多主栅 (MBB)	Smart Wire	半片	MWT	叠瓦	反光膜
5 主栅全片基础上增益	-	1%	1%	1.4%	1.0%	0.5%	-2%	0.5%
单晶组件	98%	99%	99%	99.4%	99.0%	98.5%	96%	98.5%
多晶组件	99.5%	100.5%	100.5%	100.9%	100.5%	100%	97.5%	100%

7、优化器组件市场占比

目前，由于优化器成本较高，国内市场对优化器的需求较少，2019 年无优化器组件市场占比约 99.1%。未来随着单片组件功率的增大，将摊薄优化器成本，并且随着光伏应用的多样化以及对安全性的要求越来越高，使用优化器的组件市场占有率会有所提升。

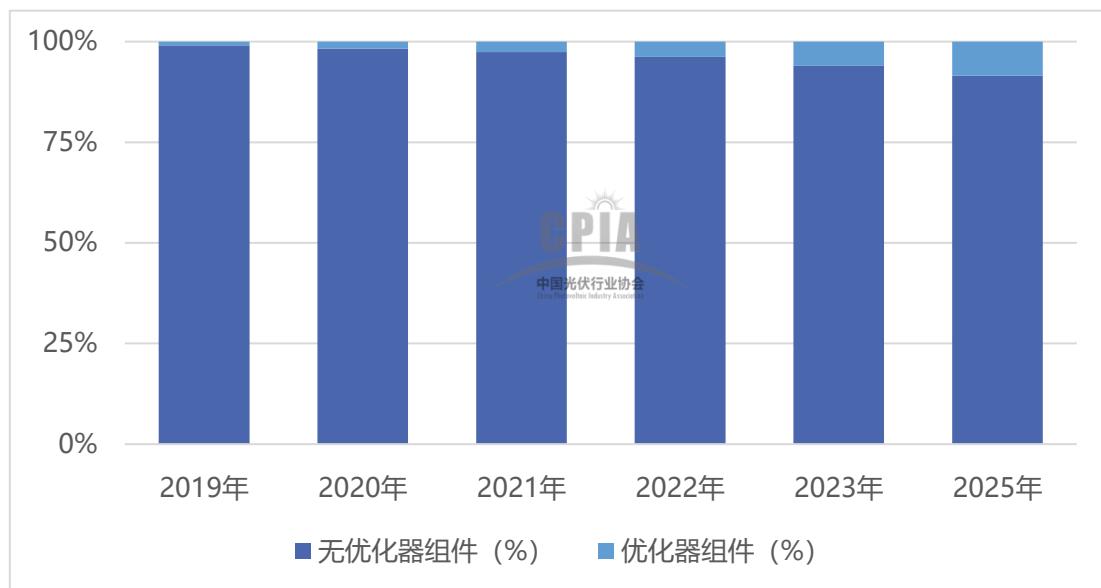


图 46 2019-2025 年优化器组件市场占比变化趋势

8、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。2019 年, 钢化镀膜玻璃的透光率平均可做到 93.7%。未来几年, 随着工艺进步, 透光率有一定增长空间。

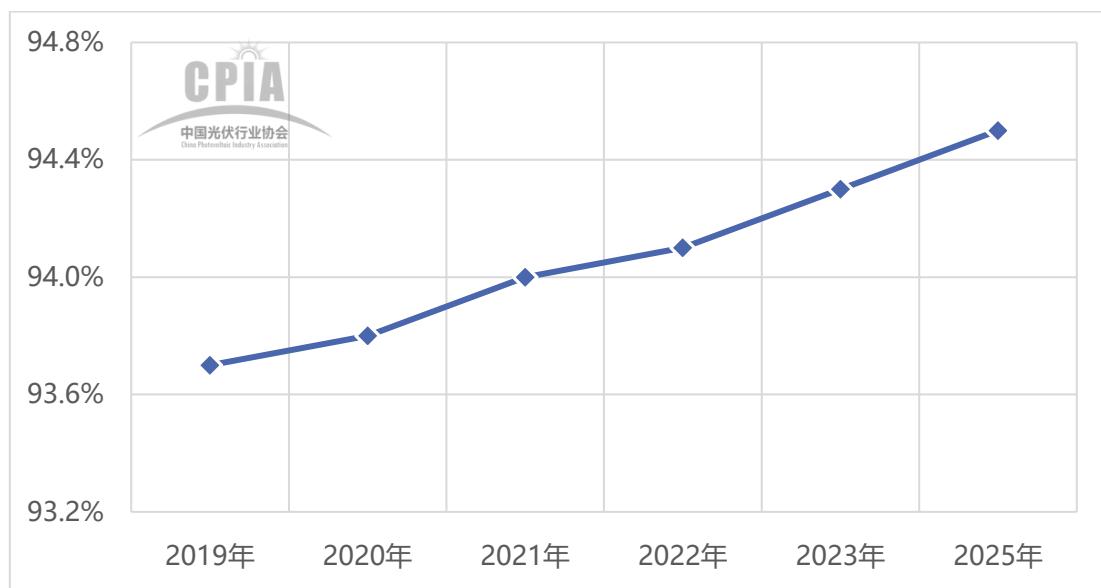


图 47 2019-2025 年 3.2mm 组件封装用钢化镀膜玻璃透光率变化趋势

9、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、抗老化性能好等优势，占据主要市场份额，未来几年市场占有率均可保持在 95%左右。

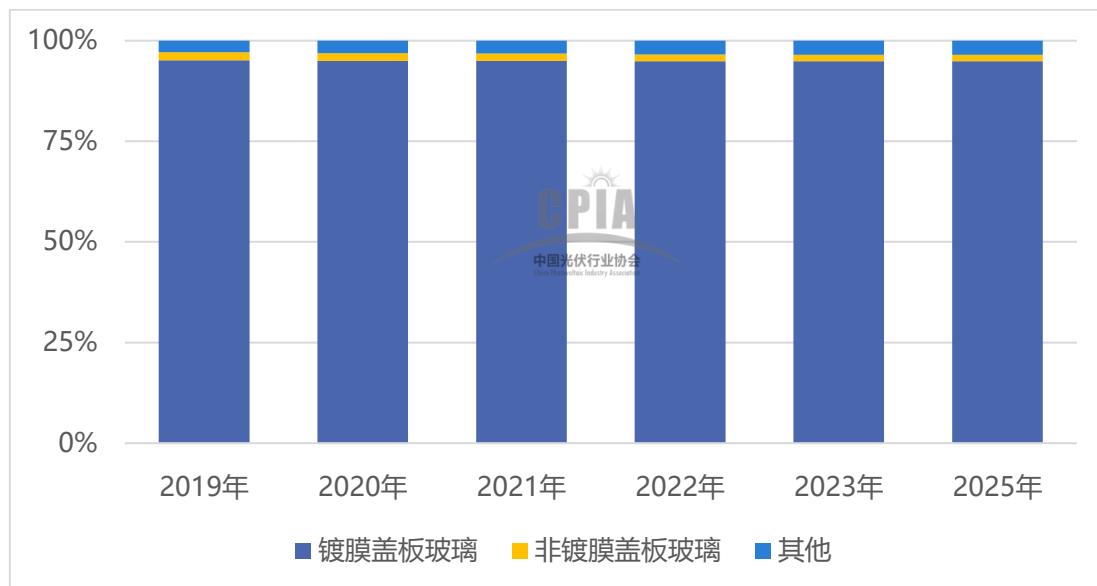


图 48 2019-2025 年不同材质正面盖板组件市场占比变化趋势

10、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 2.5mm 以下、2.5mm、2.8mm、3.2mm、4.0mm 等几种规格。2019 年，3.2mm 的前盖板玻璃市场占有率为 76.8%。随着组件轻量化和新技术的不断产生，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，2.8mm 及以下前盖板玻璃市场份额将逐步提升。

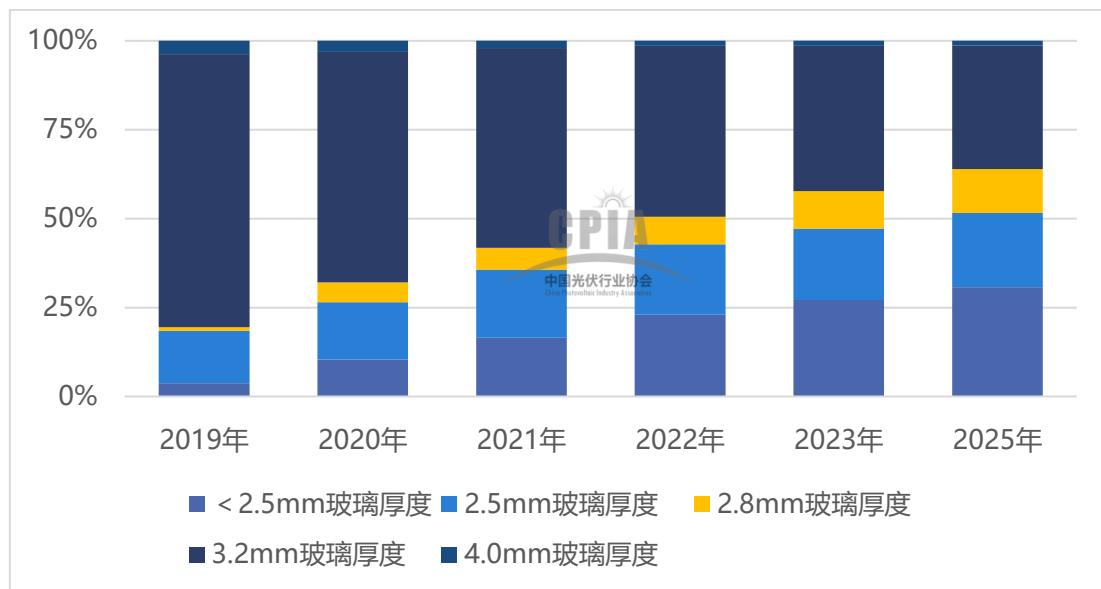


图 49 2019-2025 年不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比变化趋势

11、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) 胶膜与其他封装胶膜（包括 PDMS/Silicon 胶膜、PVB 胶膜、TPU 胶膜）等。2019 年，组件封装材料仍以透明 EVA 胶膜为主，约占 69.6% 的市场份额，较 2018 年下降 10.4 个百分点，由白色 EVA 和 POE 胶膜替代。近几年研发出的白色 EVA 胶膜，具有提高反射率的作用，采用白色 EVA 胶膜可用成本较低的玻璃背板替代成本较高的有机背板。聚烯烃 (POE) 胶膜具有高抗 PID 的性能，双玻组件通常采用的是 POE 胶膜，2019 年 POE 胶膜市占率提升至 12%，并呈增长趋势。但 POE 胶膜成本高、原材料基本依赖进口，因共挤型聚烯烃胶膜 (EVA-POE-EVA) 不仅有 POE 胶膜的性能，还可以降低成本，企业纷纷投入研发。

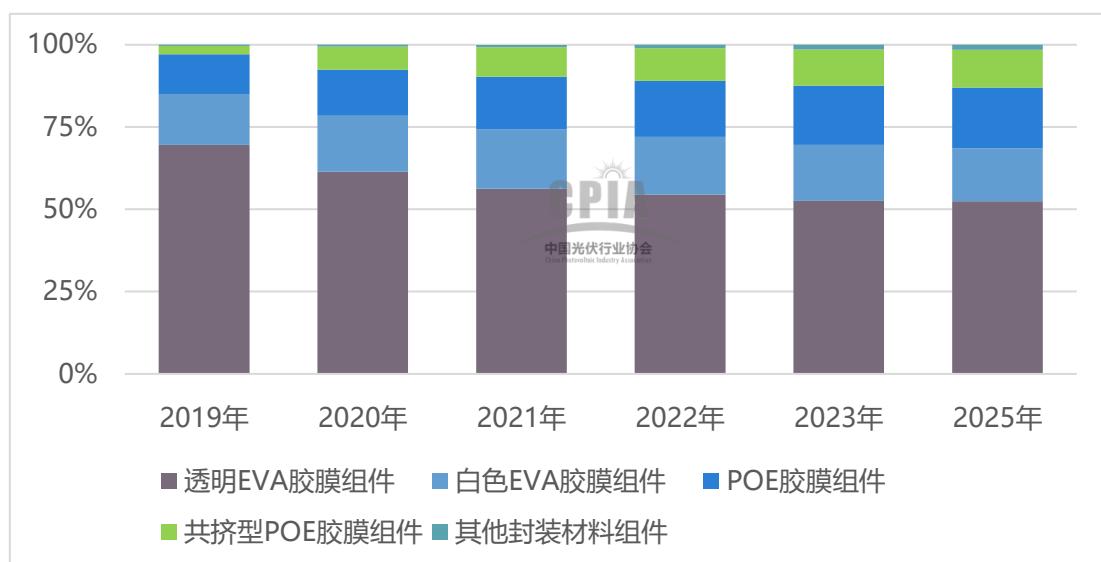


图 50 2019-2025 年不同封装材料的市场占比变化趋势

12、不同背板材料市场占比

目前市场上使用的背板主要有 KPK/KPF/KPE 结构背板、TPT/TPF/TPE 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、共挤型背板和双面涂料背板 (CPC) 等。2019 年，随着双面组件的市场份额增长，透明有机材质与玻璃材质背板市场份额同比去年增加约 2 个百分点，未来继续呈增长态势。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，其中 KPK/KPF/KPE 结构背板市占率约为 59.5%，较 2018 年下降 2.5 个百分点；TPT/TPF/TPE 结构背板市占率约为 14%，较 2018 年下降 2 个百分点。其他结构背板中 PET 结构背板主要使用在出口至欧洲及日本的部分组件中，未来或将呈上升趋势。

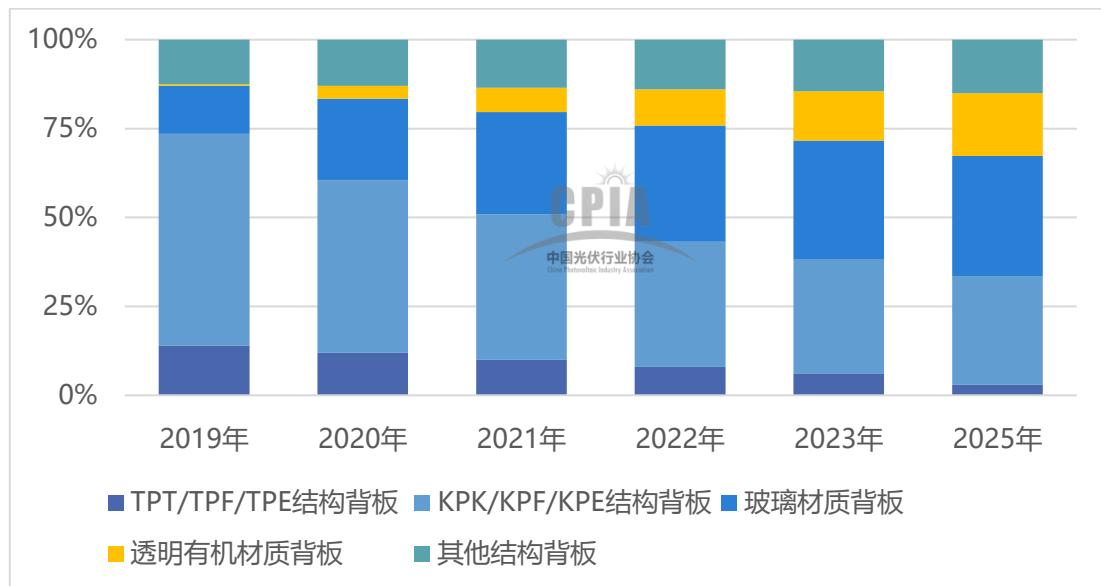


图 51 2019-2025 年不同背板胶膜市场占比变化趋势

13、组件生产成本⁵

组件生产成本按照生产环节分为硅料成本、硅片非硅成本、电池片非硅成本、组件非硅成本。2019 年，随着各环节技术进步与成本控制，单晶 PERC 组件成本降至约 1.31 元/W，较 2018 年下降超过 9%；黑硅多晶组件、黑硅多晶 PERC 组件成本较单晶 PERC 组件低 6-7 分/W。随着电池片转换效率、每公斤硅片出片量及生产设备生产能力的进一步提升，组件成本有望持续降低，预计 2021 年可降至 1.15 元/W，优秀企业或可将成本控制到更低。

⁵ 本指标不含税，不考虑硅片、电池片、组件环节利润

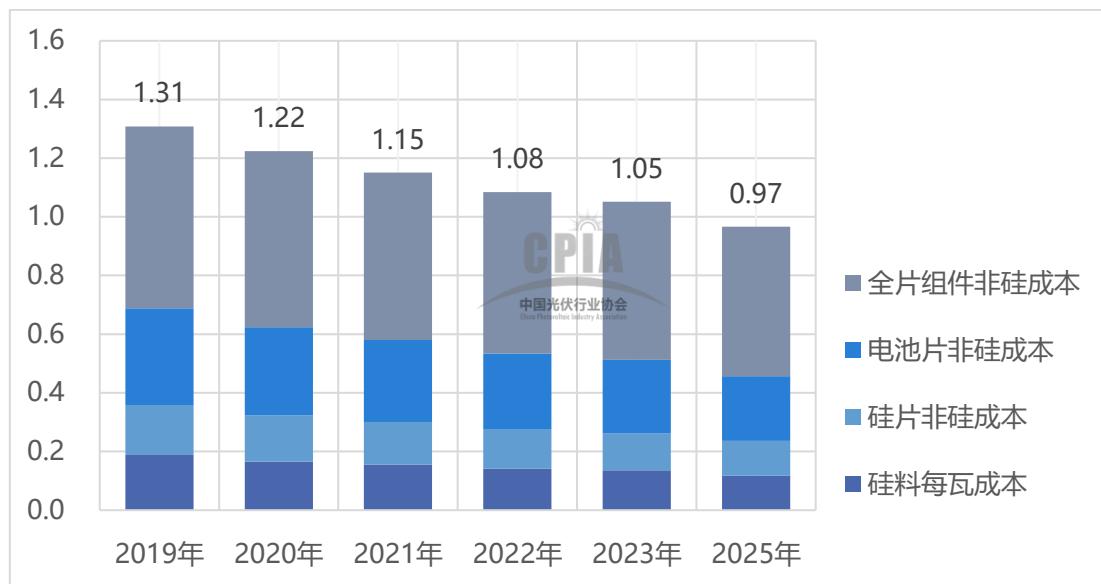


图 52 2019-2025 年组件生产成本变化趋势 (单位: 元/W)

14、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）。2019 年，我国组件工厂人均产出率约为 2.4MW/年，同比提升 26.3%。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 2025 年有望达到人均 3.8MW/年。

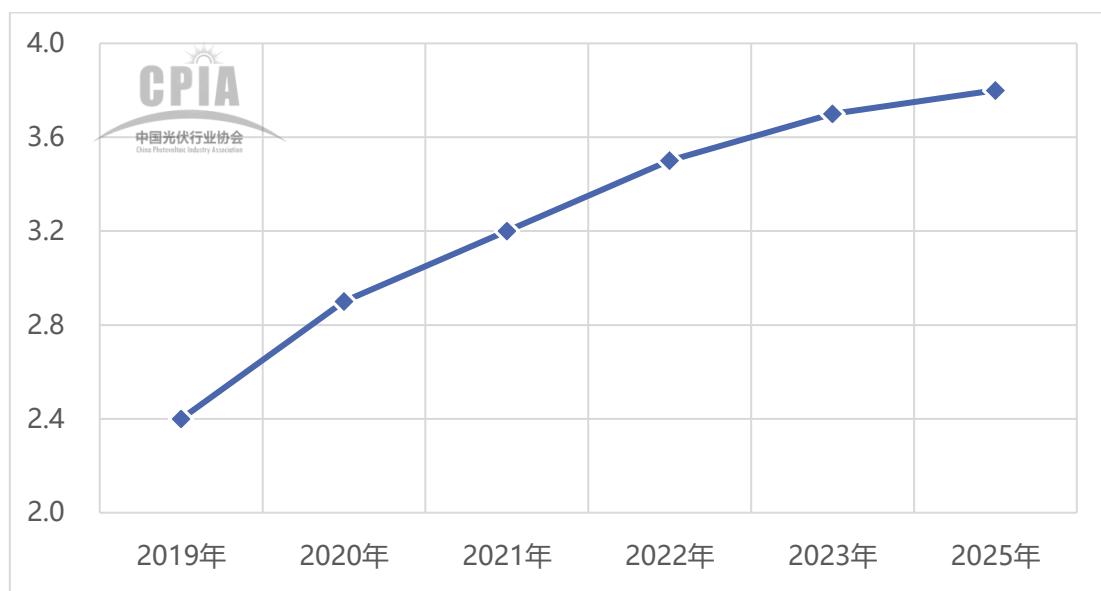


图 53 2019-2025 年组件人均产出率变化趋势 (单位: MW/年)

15、组件生产线投资成本

目前，国内组件生产设备已经全部国产化。随着半片、叠瓦等技术的应用，新上产线需增加激光划片机、叠焊机等新型设备，从而提高了设备投资额。2019年新上产线设备投资额为6.8万元/MW，与2018年基本持平。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。

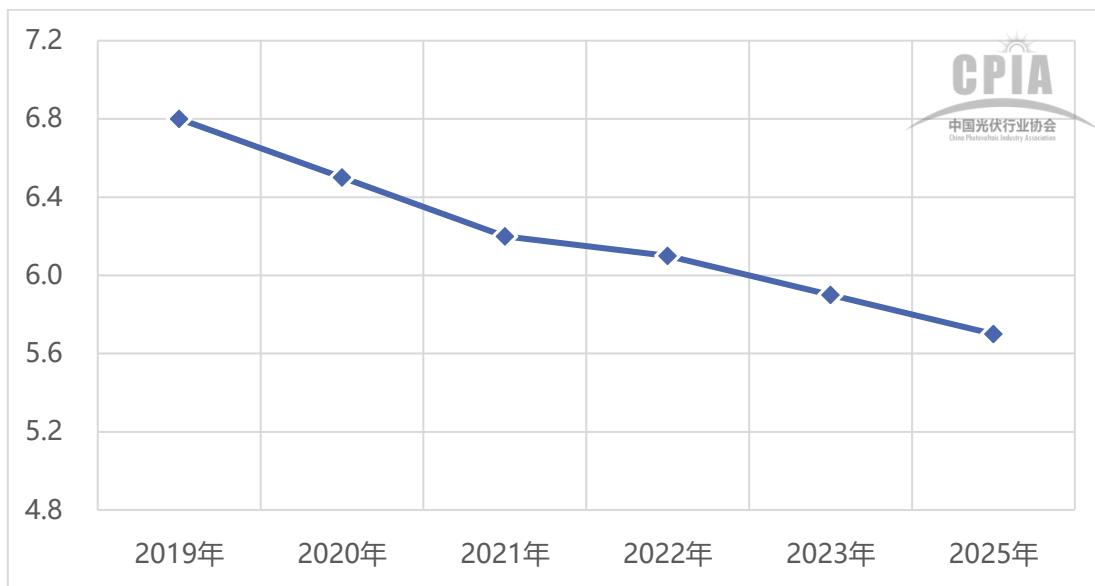


图 54 2019-2025 年组件生产线投资成本变化趋势 (单位: 万元/MW)

（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17-18%；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。

1、CdTe 薄膜太阳能电池/组件转换效率

2019年我国小面积CdTe电池(0.5mm^2)实验室最高转换效率约19.2%。CdTe组件(面积为 $1200\times600\text{mm}^2$)量产最高转换效率为15.9%，量产平均转换效率为14.6%，较2018年提升了0.6个百分点，2020年有望达到15.9%。

表5 2019-2025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(%)	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2025年
碲化镉 CdTe 小电池片实验室最高转换效率	19.2%	20.2%	21.0%	21.8%	22.5%	24.0%
碲化镉 CdTe 组件量产最高转换效率	15.9%	16.8%	17.9%	18.6%	19.3%	20.8%
碲化镉 CdTe 组件量产平均转换效率	14.6%	15.9%	17.0%	17.6%	18.3%	19.5%

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）。2019年我国CIGS小电池片($\leq1\text{cm}^2$ 孔径面积)实验室最高转换效率为22.9%。量产的玻璃基CIGS组件(面积为 $1200\times600\text{mm}^2$)最高转换效率约17.6%，平均转换效率(面积为 $1100\times780\text{mm}^2$)已提升至16.0%。柔性CIGS组件(面积为 $1700\times640\text{mm}^2$)最高转换效率为18.6%，量产平均转换效率17.5%。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6 2019-2025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(%)	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2025年
小电池片实验室最高转换效率	22.9%	23.5%	24.0%	24.5%	25.0%	26.0%
玻璃基组件量产最高转换效率	17.6%	18.5%	19.0%	19.5%	20.0%	21.0%
玻璃基组件量产平均转换效率	16.0%	16.5%	17.0%	17.5%	18.0%	18.5%
柔性组件最高转换效率	18.6%	19.0%	19.5%	20.0%	20.5%	21.0%
柔性组件量产平均转换效率	17.5%	18.0%	18.5%	19.0%	19.5%	20.0%

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。国内已没有企业、研究机构研究生产聚光电池，所以不再统计聚光电池效率。预计到 2020 年，双结电池研发效率达到 33% 左右，三结电池的研发效率超过 34%。

表 7 2019-2025 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 (%)	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2025 年
砷化镓 GaAs 小电池片单结实验室最高转换效率	29.1%	29.4%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%
砷化镓 GaAs 小电池片单结量产转换效率	27.1%	28.0%	28.3%	28.4%	28.5%	29.0%
砷化镓 GaAs 小电池片双结实验室最高转换效率	32.1%	33.0%	33.5%	33.5%	33.5%	33.5%
砷化镓 GaAs 小电池片三结研发平均转换效率	32.7%	34.0%	35.0%	36.0%	37.0%	38.0%

(六) 逆变器⁶

1、不同类型逆变器市场占比

2019 年，光伏逆变器市场仍然主要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，虽然集中式光伏电站中组串式逆变器使用占比升高，但因分布式光伏市场占比下滑，组串式逆变器市场占有率较 2018 年小幅下滑至 59.4%。2019 年，集散式逆变器的市场占有率为 7.0%，同比提升了 2 个百分点。

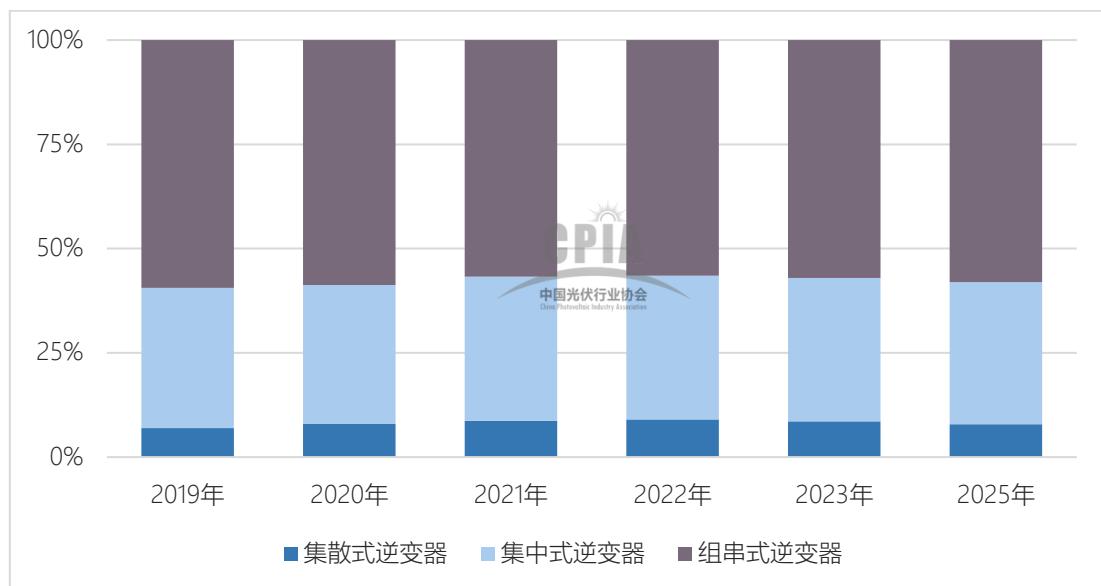


图 55 2019-2025 年不同类型逆变器市场占比变化趋势

2、不同类型逆变器中国效率

2019 年，集中式逆变器的中国效率平均在 98.43% 左右，集散式逆变器在 98.45% 左右，组串式逆变器在 98.48% 左右。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是影响逆变器效率的重要因素。随着未来硅半导体功率器件技术指标的进一步提升，碳化硅等新型半导体材料工艺的日益成熟，磁性材料单位损耗的逐步降低，并结合更加完善的电力电子变换拓扑和控制技术，逆变器效率未来仍有进一步提升的空间。

表 8 2019-2025 年不同类型逆变器中国效率变化趋势

不同类型逆变器的中国效率 (%)	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2025 年
集散式逆变器	98.45%	98.51%	98.60%	98.60%	98.60%	98.60%
集中式逆变器	98.43%	98.50%	98.60%	98.60%	98.60%	98.60%
组串式逆变器	98.48%	98.50%	98.60%	98.60%	98.60%	98.60%
微型逆变器	96.10%	96.20%	96.30%	96.30%	96.30%	96.50%

⁶ 逆变器环节的参数均代表国内出货情况。

(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，在中东、南美等地区国家也快速兴起。2019年，全球光伏新增装机市场预计达到120GW，创历史新高。2020年，在光伏发电成本持续下降和新兴市场拉动等有利因素的推动下，全球光伏市场仍将保持增长，预计全年全球光伏新增装机量将超过130GW，乐观情形下甚至达到140GW。

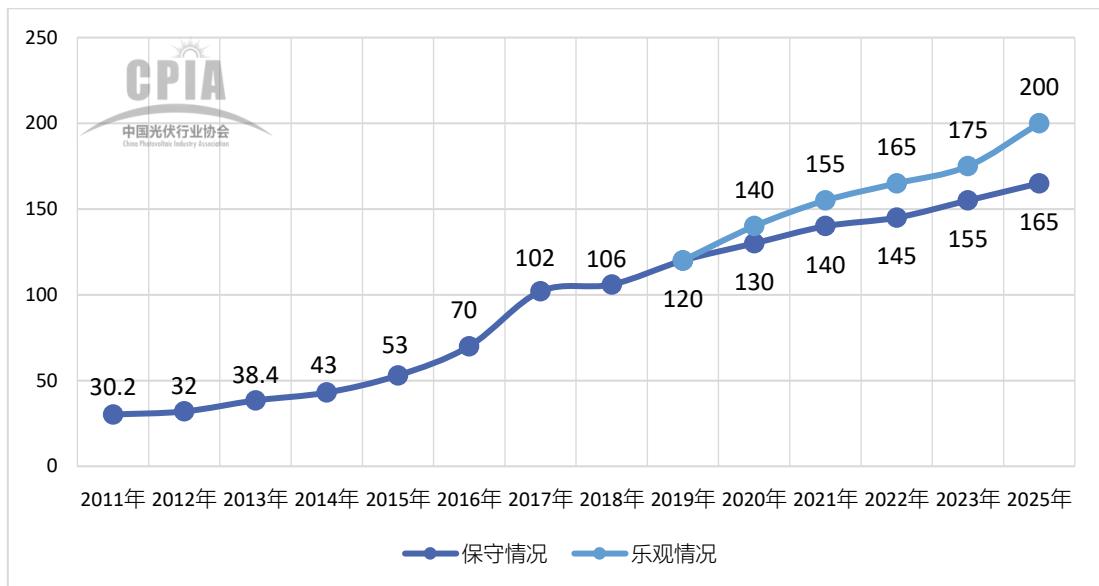


图 56 2011-2019 年全球光伏年度新增装机规模以及 2020-2025 年新增规模预测 (单位: GW)

2、国内光伏新增装机量

2019年，国内光伏新增装机下滑至30.1GW，同比下降32%。2019年对需要国家补贴的项目采取竞争配置方式确定市场规模，因政策出台时间较晚，项目建设时间不足半年，很多项目年底前无法并网，再加上补贴拖欠导致民营企业投资积极性下降等原因，截止2019年底竞价项目实际并网量只有目标规模的三分之一。2020年，在未建成的2019年竞价项目、特高压项目，加上新增竞价项目、平价项目等拉动下，预计国内新增光伏市场将恢复性增长。“十四五”期间，随着应用市场多样化以及电力市场化交易、“隔墙售电”的开展，新增光伏装机将稳步上升。

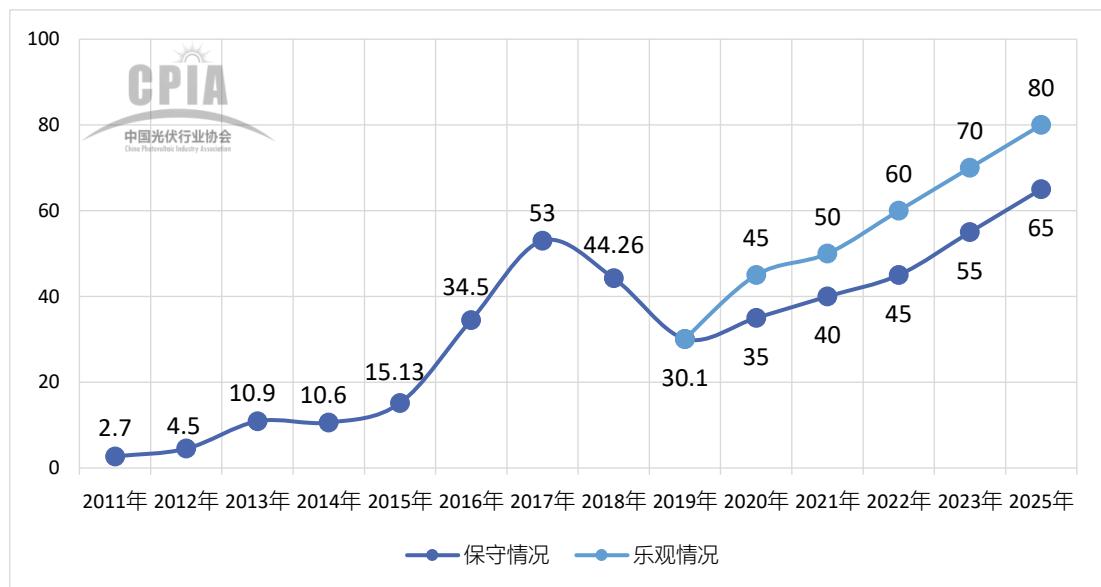


图 57 2011-2019 年国内光伏年度新增装机规模以及 2020-2025 年新增规模预测（单位：GW）

3、光伏应用市场

2019 年，大型地面电站占比为 60%，同比增长 7.3 个百分点；分布式电站占比为 40%，其中户用光伏超过分布式市场的三分之一。随着部分特高压外送项目、竞价项目及平价项目的实施，预计 2020 年大型地面电站的装机量占比将进一步上升；分布式光伏发电项目将保持一定的市场份额。2021 年，光伏发电将全面进入平价时代，随着大型平价基地项目的实施，集中式光伏电站有可能呈现新一轮发展热潮。另外，光伏发电作为可移动电源，在消费品领域以及 BIPV 领域的推广，预计“十四五”中后期，分布式光伏占比或将回升。

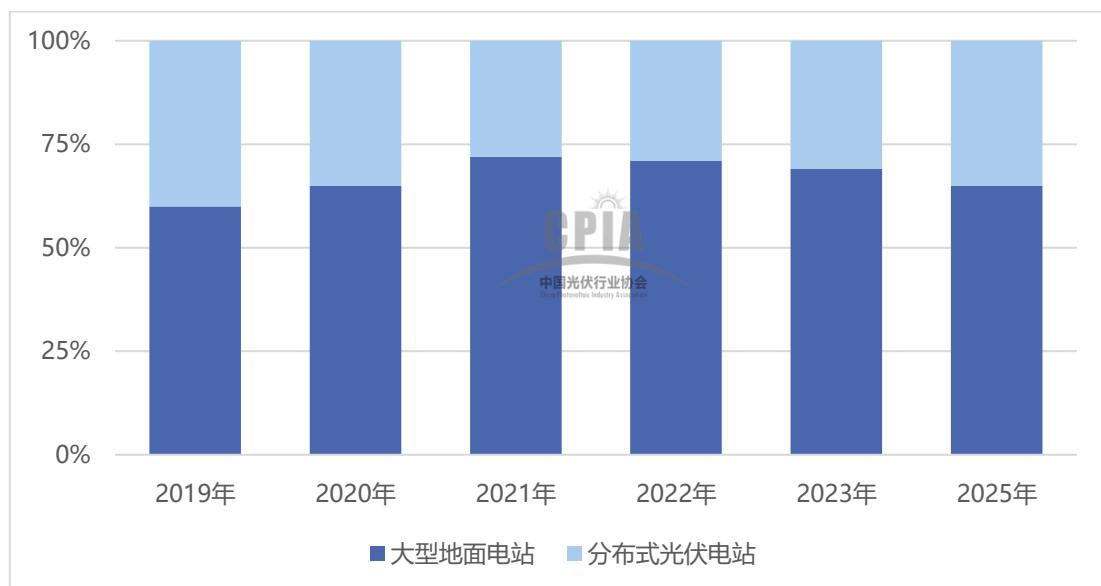


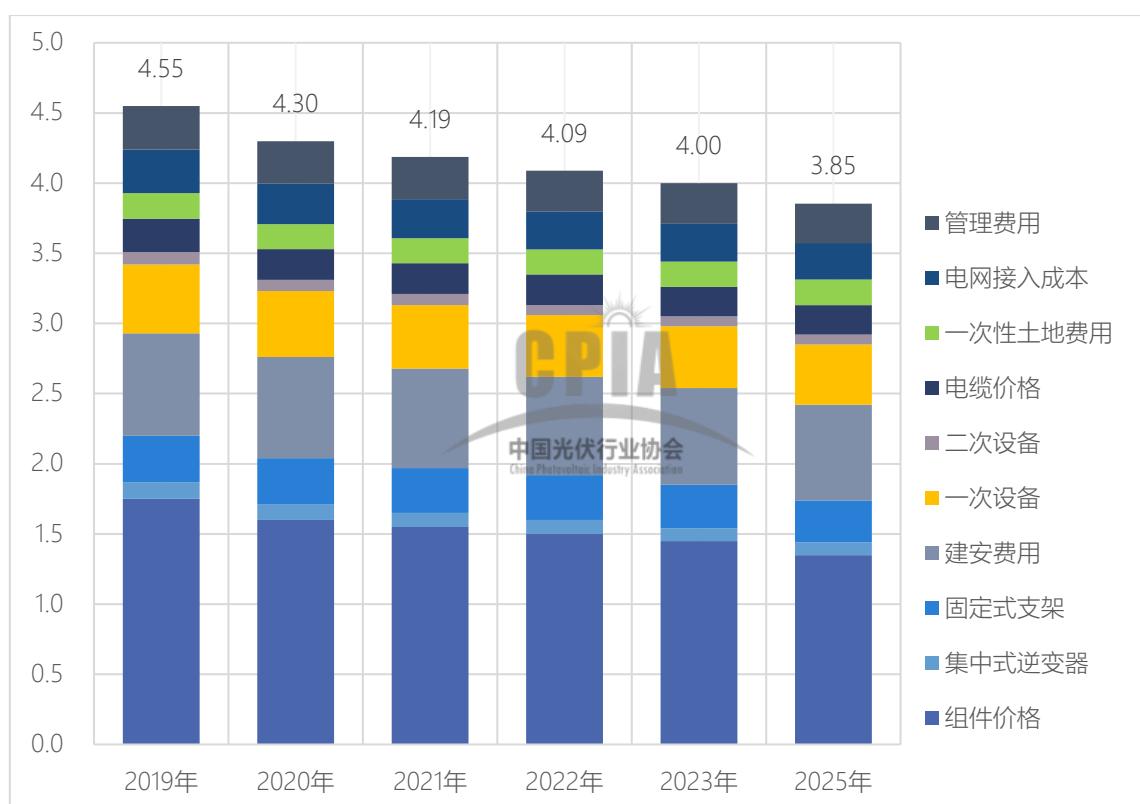
图 58 2019-2025 年不同类型光伏应用市场变化趋势

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)⁷

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。一次性土地费用包括首年租金以及植被恢复；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，下降空间不大。但组件、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、融资成本等属于非技术成本，因不同区域、不同项目差别较大，降低非技术成本有助于加快推动光伏发电平价上网。

2019 年，我国地面光伏系统的初始全投资成本为 4.55 元/W 左右，较 2018 年下降 0.37 元/W，降幅为 7.5%。其中，组件约占投资成本的 38.5%，占比较去年下降 1.5 个百分点。非技术成本约占 17.6% (不包含融资成本)，较 2018 年上升了 0.8 个百分点。随着技术进步，降本增效，组件价格将持续降低，在总投资成本中的占比也将减少，其他成本虽有下降趋势但其降幅不大。预计 2020 年全投资成本可下降至 4.30 元/W。



⁷ 本指标以投资建设 50MW，接入 110kV 地面光伏系统为例

(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。2019年我国工商业分布式光伏系统初始投资成本为3.84元/W，2020年预计下降至3.66元/W。其中，支架价格、建安费用、电网接入、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。

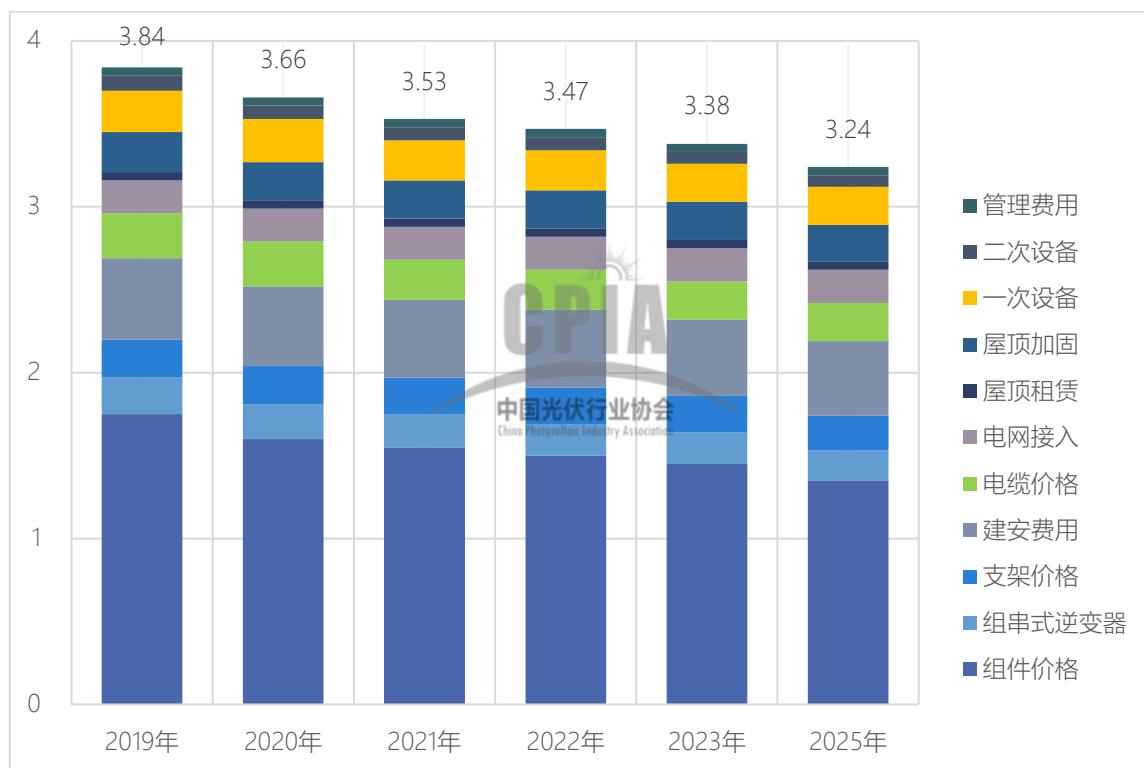


图 60 2019-2025 年我国工商业分布式光伏系统初始全投资变化趋势 (单位: 元/W)

(3) 电站运维成本⁸

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。2019年分布式光伏系统运维成本为0.055元/W/年，集中式地面电站为0.046元/W/年。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。

⁸ 电站运维仅包括基础运维，不含纳入固定资产更换的部分

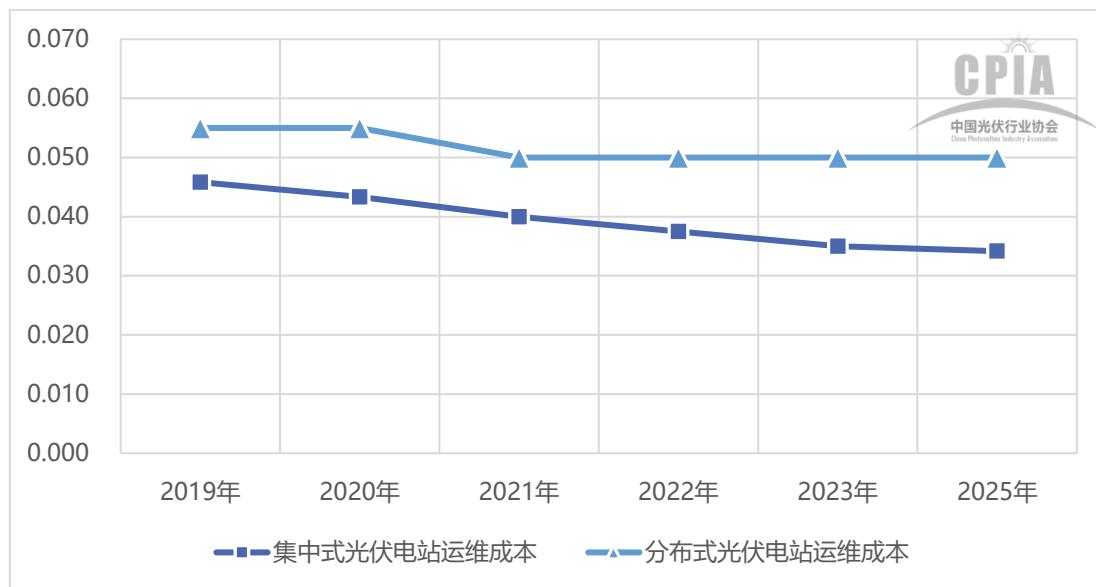


图 61 2019-2025 年我国电站运维成本变化趋势 (单位: 元/W/年)

5、不同等效利用小时数 LCOE 估算⁹

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。2019 年, 全投资模型下地面光伏电站 1800 小时、1500 小时、1200 小时、1000 小时等效利用小时数的 LCOE 分别为 0.28、0.34、0.42、0.51 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。

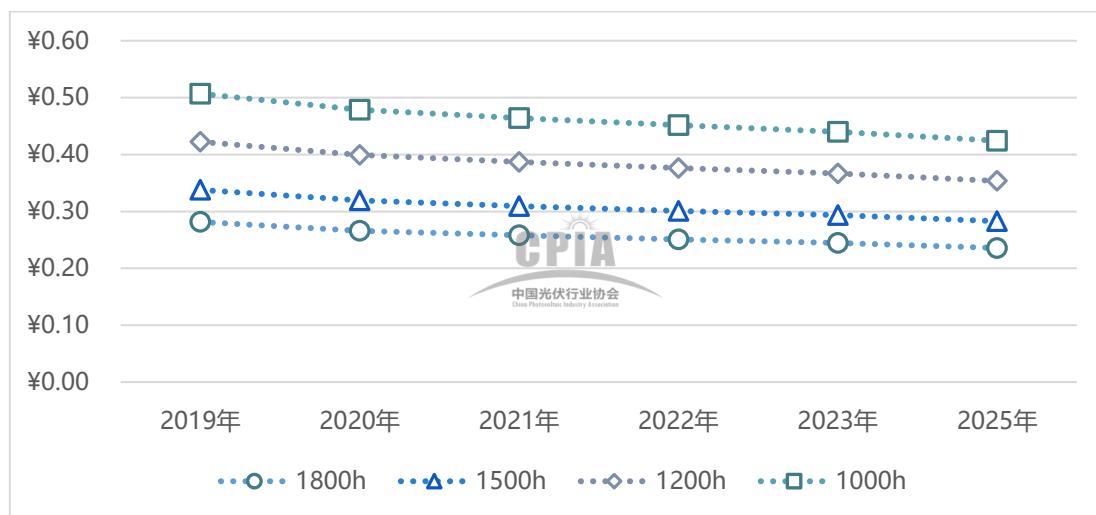


图 62 2019-2025 年光伏地面电站不同等效利用小时数 LCOE 估算 (元/kWh)

⁹ 本估算值仅考虑全投资情景，不包含融资成本

2019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0.25、0.30、0.37、0.45元/kWh。目前国内分布式光伏主要分布在浙江、山东、河南、广东等省份，等效利用小时数通常在1000-1100小时左右。由于工商业电价较高，工商业分布式光伏发电已实现用电侧平价，预计未来1-2年内也可实现居民用电侧平价。

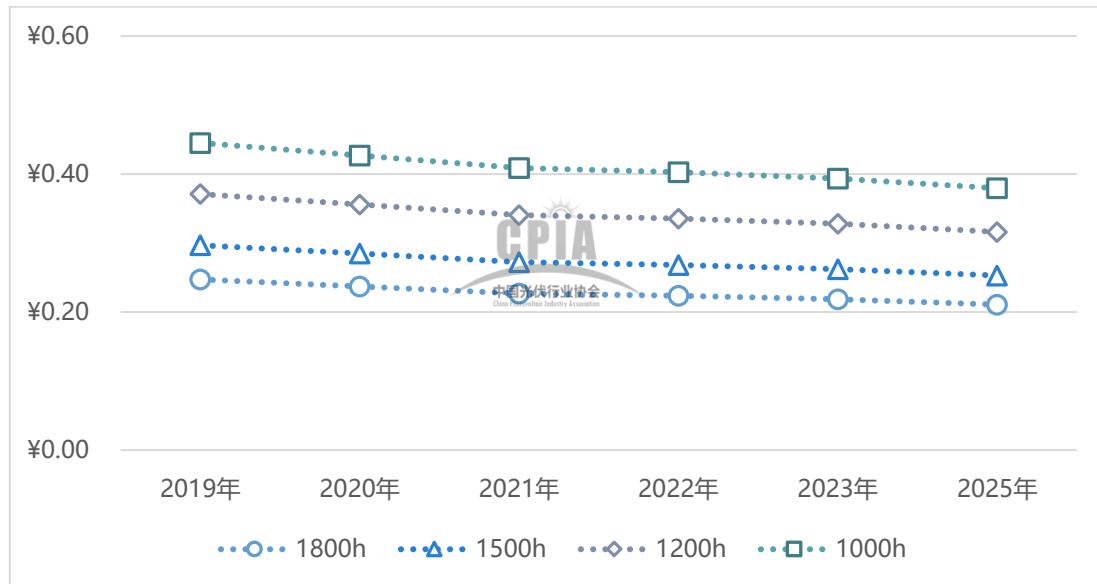


图 63 2019-2025 年光伏分布式电站不同等效利用小时数 LCOE 估算. (元/kWh)

6、不同系统电压等级市场占比¹⁰

2019年，光伏系统建设以1000V为主，占比约58%。1500V系统可有效降低线损等，2019年国内大部分大型地面电站使用1500V系统。考虑到运维安全等因素，目前分布式电站基本全部采用1000V系统。

¹⁰ 该指标包含地面电站及分布式光伏系统。

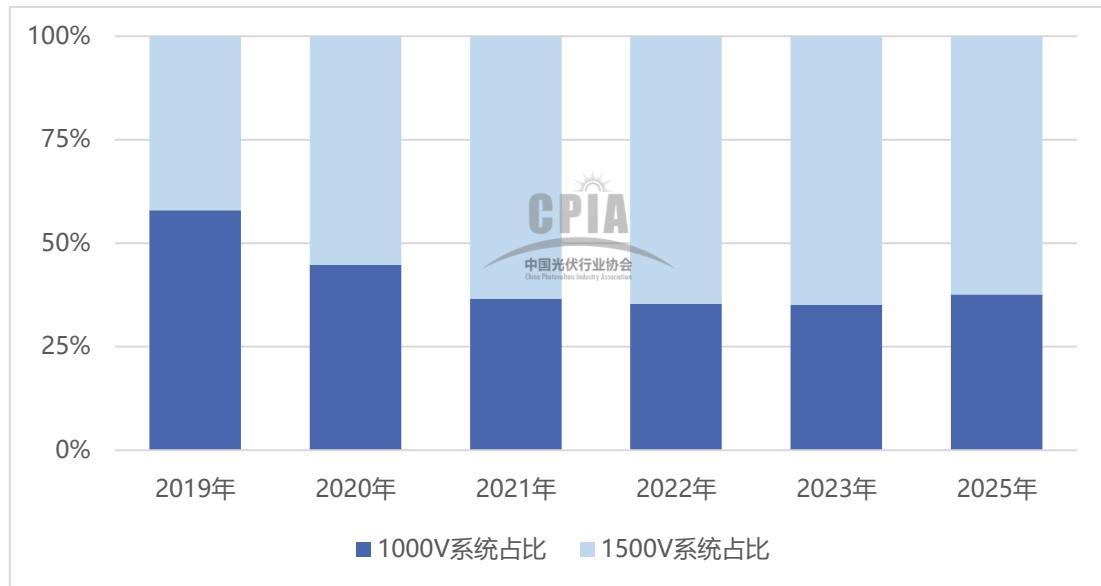


图 64 2019-2025 年不同系统电压等级市场占比变化趋势

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，2019 年之前主要应用于领跑基地项目。2019 年，领跑基地项目减少，因此跟踪系统市场占比下滑至 16%，较 2018 年下滑 4 个百分点。但随着其成本的下降以及稳定性的解决，市场占比将稳步提升。

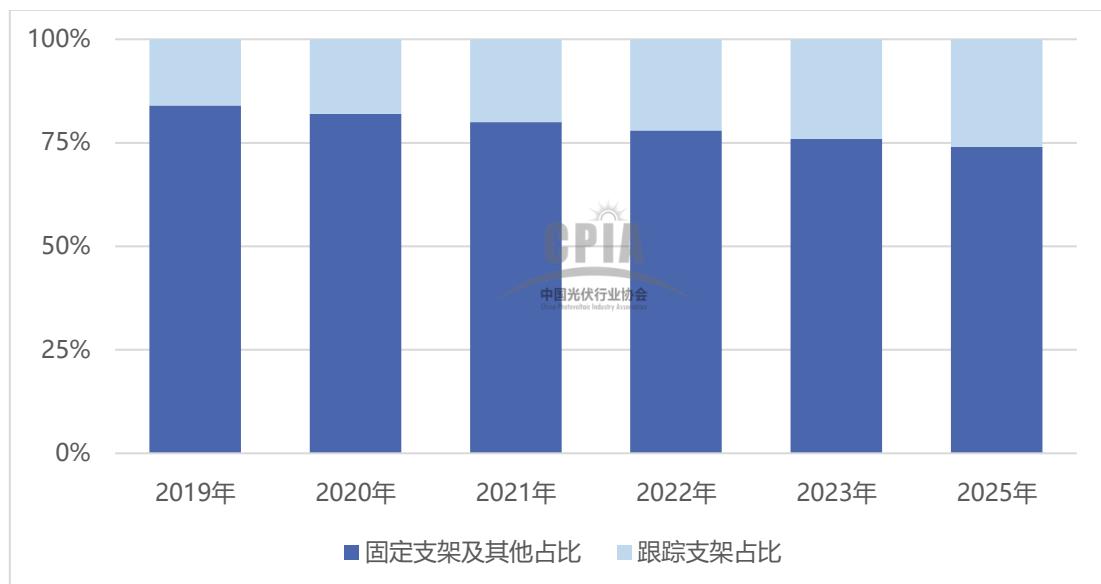


图 65 2019-2025 年跟踪系统市场占比变化趋势

8、新建光伏电站系统 PR 值

PR 值 (Performance Ratio, 能效比) 是国际通用的光伏系统质量评价指标, 用于判定系统运行期间的可靠性和运行期间各个环节的效率。影响 PR 值的因素有很多, 包括光谱失配、遮挡、积尘污渍、反射损失、逆变器启动阈值、组件性能衰降、串并联失配、温升损失、直流线损、MPPT 效率、逆变器效率、变压器效率、交流线损、设备故障检修、弃光限电等 15 个指标, PR 值亦可以用上述 15 个效率项的乘积求出。目前, 主要通过提高产品质量、减少衰降、减少故障、减少系统各环节损失、减少弃光、加强维护清洗等方式来提高 PR 值。

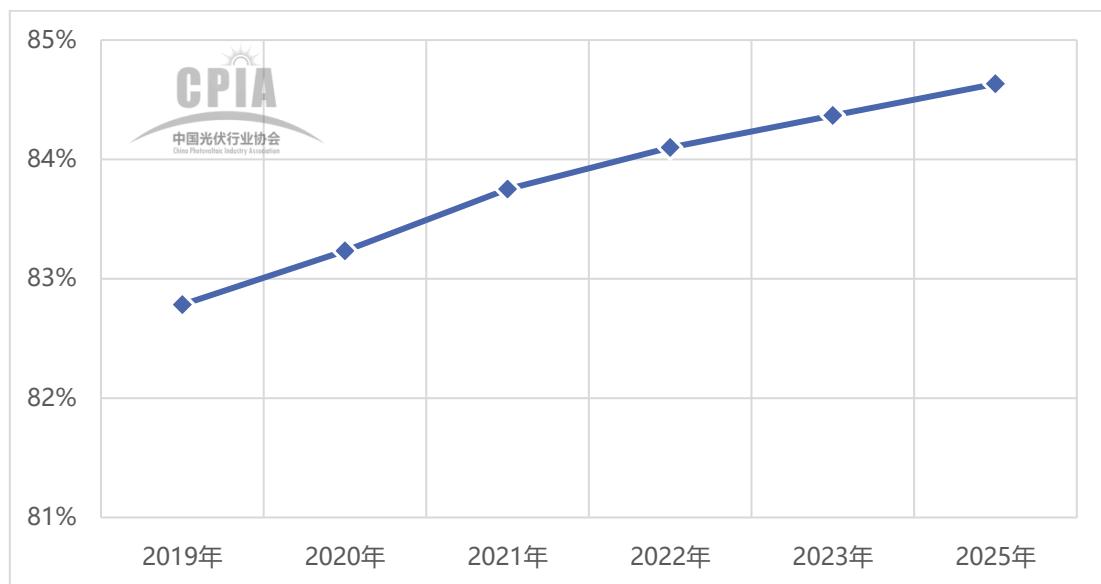


图 66 2019-2025 年新建光伏电站系统 PR 值变化趋势

注: PR (performance Ratio) ¹¹:

$PR = (Eac/P_0)/(H/G) = \text{光伏等效利用小时数}/\text{峰值日照时数}$,

$= Eac/(P_0 H/G) = \text{实发电量}/\text{应发电量}$ (比值, 无量纲) ,

P_0 : 光伏系统直流标称功率 (光伏组件标称功率之和, 单位: kW)

H: 运行周期光伏方阵面辐射量 (kWh/m^2)

G: 标准测试条件辐照度, 等于 $1\text{kW}/\text{m}^2$

¹¹ IEC 61724-1



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402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