

中国光伏产业发展路线图

(2018 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（按姓氏拼音排序）

丁 建	丁一波	弓传河	王 冬	王 琪
王文静	王体虎	王尚华	王威伟	王莉莉
王堂民	王斯成	王善良	韦小兵	史旭松
冉 祎	冯志强	邢国强	曲东升	全 杨
刘明权	刘建东	江 涛	许洪华	孙 云
纪振双	严大洲	李建飞	李琼慧	杨永亮
时璟丽	吴 奔	吴仕梁	吴良材	汪 晨
沈 峰	宋登元	张升学	张先淼	张跃火
陈 嘉	周 锐	周 斌	宗 冰	钟财富
高连生	盛 建	舒耀兰	熊 震	

编写组

王世江、江华、金艳梅、李嘉彤、叶幸、韩鹏、胡潇文

支持单位

国网能源研究院新能源与统计研究所	苏州中来光伏新材股份有限公司
国家发展改革委能源研究所	天合光能股份有限公司
电力规划设计总院	天津中环半导体股份有限公司
中国科学院电工研究所	通威集团有限公司
南开大学	协鑫（集团）北方投资有限公司
阿特斯阳光电力集团有限公司	协鑫集成科技股份有限公司
保利协鑫能源控股有限公司	协鑫新能源控股有限公司
北京鉴衡认证中心有限公司	新特能源股份有限公司
北控清洁能源集团有限公司	亚洲硅业（青海）有限公司
常州亚玛顿股份有限公司	阳光电源股份有限公司
大全集团有限公司	宜昌南玻硅材料有限公司
东方日升新能源股份有限公司	英利集团有限公司
福建钧石能源有限公司	浙江晴天太阳能科技有限公司
广东爱旭科技股份有限公司	浙江正泰新能源开发有限公司
汉能控股集团有限公司	镇江环太硅科技有限公司
华为技术有限公司	镇江荣德新能源科技有限公司
江山永泰投资控股有限公司	中国建材检验认证集团股份有限公司
江苏固德威电源科技股份有限公司	
江苏劲威新材料有限公司	
江苏林洋新能源科技有限公司	
江苏日托光伏科技股份有限公司	
江苏中能硅业科技发展有限公司	
晋能清洁能源科技有限公司	
晶澳太阳能有限公司	
晶科电力科技股份有限公司	
晶科能源有限公司	
隆基绿能科技股份有限公司	
洛阳中硅高科技有限公司	
上海海优威新材料股份有限公司	
上能电气股份有限公司	
尚德太阳能电力有限公司	
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	

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。2017 年我国多晶硅、硅片、电池和组件等产业链主要环节的全球市场占比已分别达到 55%、83%、68% 和 71%，市场占有率位居世界前列，为全球光伏制造大国，光伏产业已成为我国可参与国际竞争的优势产业之一。与此同时，我国光伏发电应用市场逐步扩大，“十二五”期间年均装机增长率超过 50%，进入“十三五”时期，光伏发电建设速度进一步加快，年平均装机增长率 75%。截至 2018 年底，我国光伏发电累计并网容量已达到 1.74 亿千瓦，已连续六年位居世界光伏装机第一大国。

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。

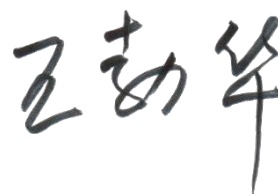
在工业和信息化部指导下，中国光伏行业协会、赛迪智库集成电路研究所组织专家编制了《中国光伏产业发展路线图》（以下简称《路线图》）。《路线图》不仅提出了技术发展方向，也包含了产业、市场等多方面信息，反映了现阶段专家学者和企业界对光伏产业未来发展的共识。鉴于未来产业发展受到政策、技术、市场、企业、经济环境等因素影响存在较多不确定性，光伏产业的发展《路线图》将适时进行动态

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

2019 年 1 月 17 日

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '王' (Wang), '勤' (Qian), and '华' (Hua), which is the name of Wang Qian, Vice President and Secretary General of the China Association of Renewable Energy Industries.

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，赛迪智库集成电路研究所、中国光伏行业协会分别于2016年12月与2017年12月发布了《中国光伏产业发展路线图（2016年版）》与《中国光伏产业发展路线图（2017年版）》。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PERC电池得到大规模应用，黑硅在多晶电池领域逐步普及，双面、半片、MBB、叠片等组件技术快速发展等等。《路线图（2017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，赛迪智库集成电路研究所、中国光伏行业协会组织行业内专家在前两版基础上修订编制完成了《中国光伏产业发展路线图（2018年版）》（以下简称《路线图（2018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、平衡部件、系统等各环节共64个关键指标。

《路线图（2018年版）》根据2018年产业实际，结合技术演进进程以及企业技改现状，预测了2019、2020、2021、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》进行修订，使得《路线图》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。

本《路线图》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
2019年1月17日

目 录

一、路线图编制说明 1

 (一) 涵盖内容..... 1

 (二) 指标值的确定..... 1

二、中国光伏产业发展简况 2

三、产业链各环节关键指标 5

 (一) 多晶硅环节..... 5

 1、还原电耗..... 5

 2、冷氢化电耗 5

 3、综合电耗 6

 4、水耗 6

 5、蒸汽耗量 7

 6、综合能耗 8

 7、硅粉耗量 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 10

 11、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、单晶炉单炉投料量..... 13

 4、铸锭投料量 13

 5、铸锭收料率 14

 6、金刚线切片占比..... 15

 7、硅片厚度 15

 8、金刚线母线直径..... 16

 9、单位方棒/方锭在金刚线切割下的出片量 17

 10、拉棒/铸锭环节的设备投资额..... 17

 11、单多晶市场份额占比 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、电池线人均产出率.....	21
4、电池线投资成本.....	22
5、电池铝浆消耗量.....	22
6、P 型电池银浆消耗量.....	23
7、金属电极技术市场占比.....	24
8、栅线印刷技术占比.....	24
9、电池片方块电阻.....	25
10、背钝化技术.....	26
11、电池正面细栅线宽度.....	26
12、各种主栅市场份额占比.....	27
(四) 组件环节.....	28
1、不同类型电池组件功率（60 片）.....	28
2、单/双面组件市场占有率.....	29
3、全片、半片和叠瓦电池组件市场占有率.....	30
4、不同边框晶硅组件市场占有率.....	31
5、不同电池片互联技术的组件市场占有率.....	31
6、单/多晶电池到组件封装损失（全片组件 CTM）.....	32
7、使用优化器组件的市场占比.....	33
8、组件封装钢化镀膜玻璃透光率.....	33
9、不同材质的正面盖板玻璃市场占有率.....	34
10、不同前盖板玻璃厚度的组件市场占有率.....	35
11、不同封装材料的市场占有率.....	35
12、不同背板材料的市场占有率.....	36
13、边框与玻璃之间粘接材料的市场占有率.....	37
14、组件成本.....	38
15、组件人均产出率.....	38
16、组件生产线投资成本.....	39
(五) 薄膜太阳能电池.....	40
1、CdTe 薄膜太阳能电池转换效率.....	40
2、CIGS 薄膜太阳能电池转换效率.....	40
3、III-V 族薄膜太阳能电池转换效率.....	41
(六) 逆变器.....	42
1、不同类型逆变器的市场份额.....	42
2、不同类型逆变器的中国效率.....	42
3、中压系统逆变器.....	43
(七) 系统环节.....	44
1、全球光伏新增装机量.....	44
2、国内光伏新增装机量.....	44

3、光伏应用市场..... 45

4、我国光伏系统初始投资 46

5、不同等效利用小时数的 LCOE 估算 48

6、不同系统电压等级的市场占比..... 49

7、跟踪系统市场占比..... 50

8、新建光伏电站系统的 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，已经成为全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。

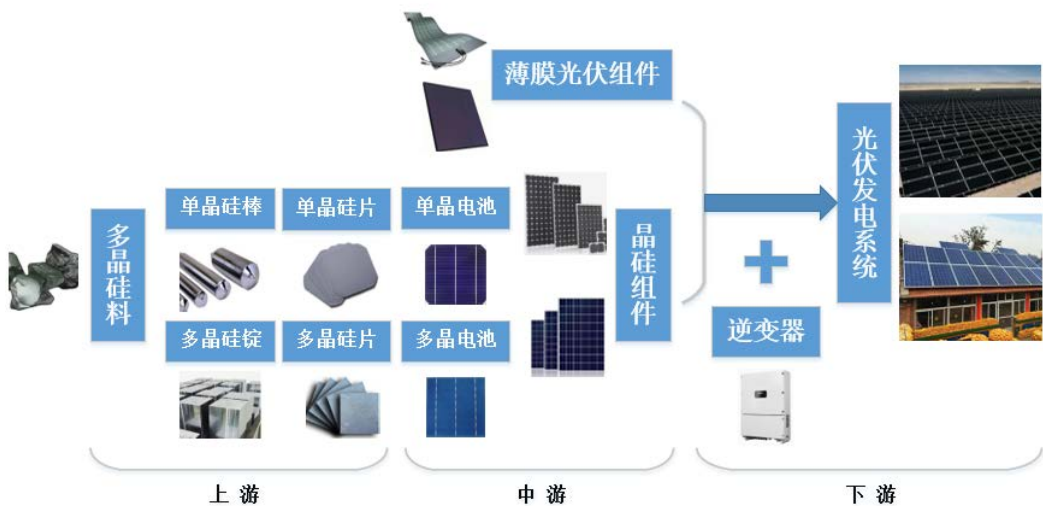


图 1 光伏产业链构成

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的发展现状，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 2016 年版、2017 年版的基础上，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 2018-2025 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，我们计划继续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，并能有效指导行业发展。

二、中国光伏产业发展简况

多晶硅方面，2018 年，全国多晶硅产能超过万吨的企业有 10 家，产能利用率保持在较高水平，产量超过 25 万吨。2019 年多晶硅产量预计将达到 28 万吨。2010-2019 年全国多晶硅产量如下图所示。

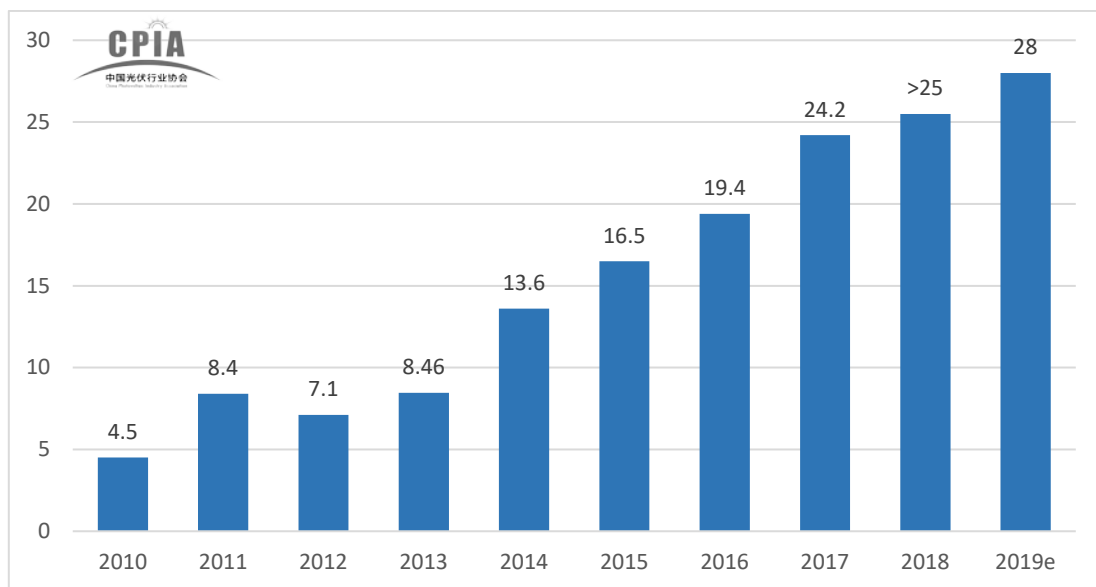


图 2 2010-2019 年全国多晶硅产量情况 (单位: 万吨)

硅片方面，2018 年全国硅片产量约为 109.2GW，同比增长 19.1%。全球前十大生产企业均位居中国大陆，预计 2019 年全国硅片产量将达到 120GW。2010-2019 年全国硅片产量如下图所示。

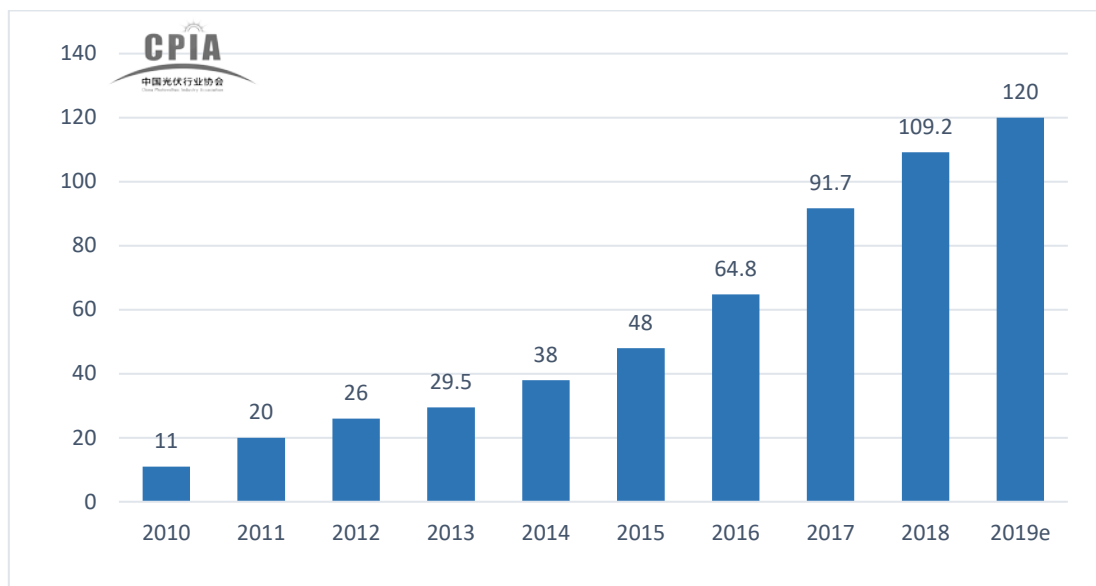


图 3 2010-2019 年全国硅片产量情况 (单位: GW)

晶硅电池片方面，2018 年，全国电池片产量约为 87.2GW，同比增长 21.1%。电池片产量超过 2GW 的企业有 12 家，其产量占总产量的 53.4%，集中度进一步提高。预计 2019 年全国电池片产量将超过 90GW 以上。2010-2019 年全国电池片产量如下图所示。

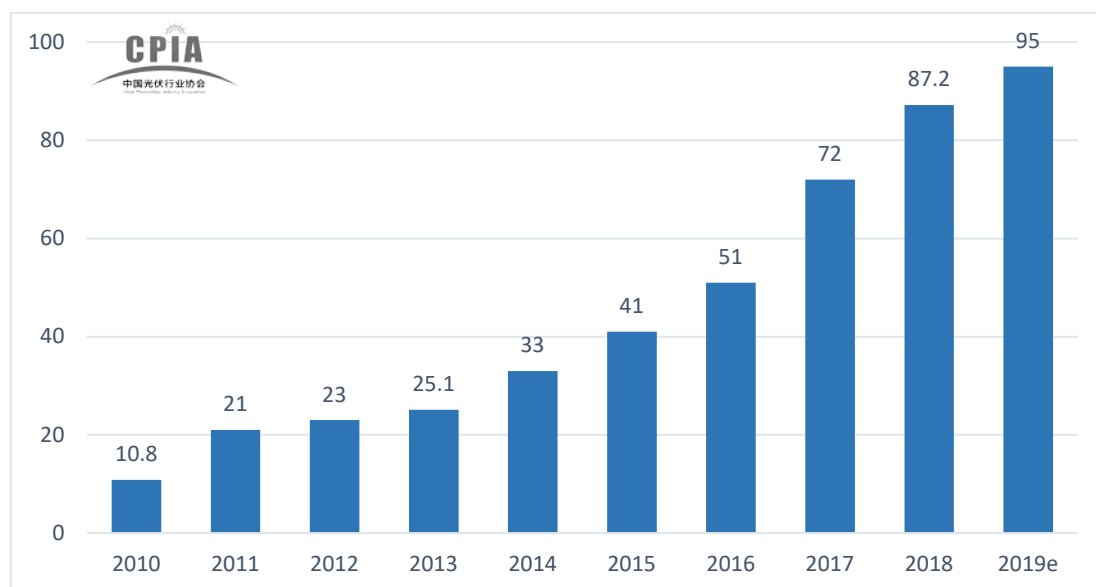


图 4 2010-2019 年全国电池片生产情况 (单位: GW)

组件方面，2018 年，全国组件产量达到 85.7GW，同比增长 14.3%，以晶硅组件为主。组件产量超过 2GW 的企业有 11 家，其产量占总产量的 62.3%，集中度进一步提高。预计 2019 年组件产量将超过 90GW。2010-2019 年全国太阳能组件产量如下图所示。

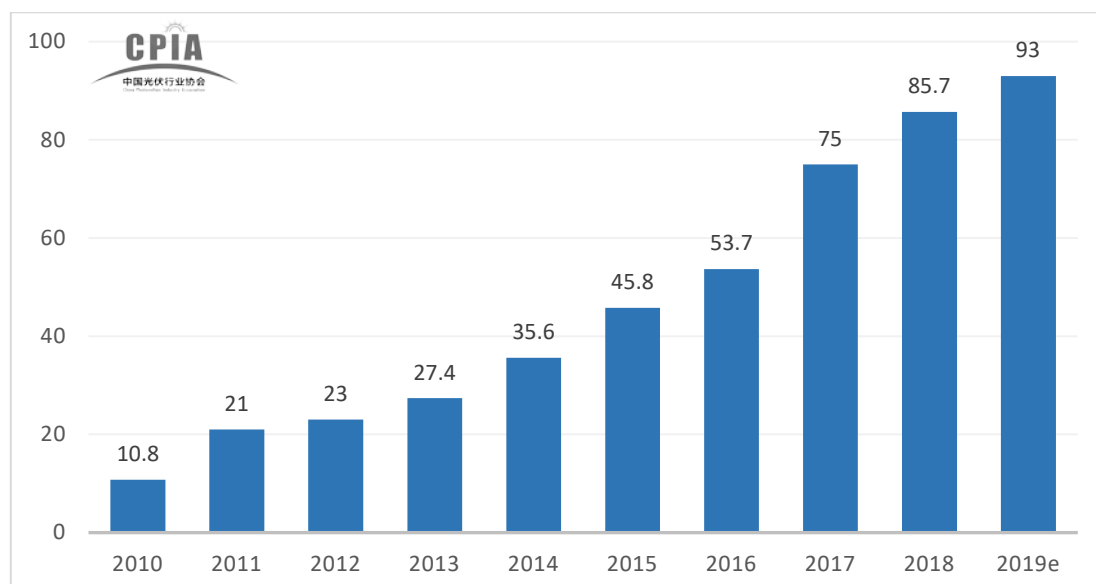


图 5 2010-2019 年全国太阳能组件生产情况 (单位: GW)

光伏市场方面，2018 年全国新增光伏并网装机容量达到 44GW，同比下降 17%。累计光伏装机并网容量超过 174GW。新增和累计装机容量均为全球第一。全年光伏发电量约为 1800 亿千瓦时，约占全国全年总发电量的 2.6%。预计 2019 年光伏新增装机量约为 40GW，与 2018 年基本持平，继续位居全球首位，累计装机有望超过 210GW，位居全球首位。2010-2019 年全国光伏市场情况如图 6 所示。

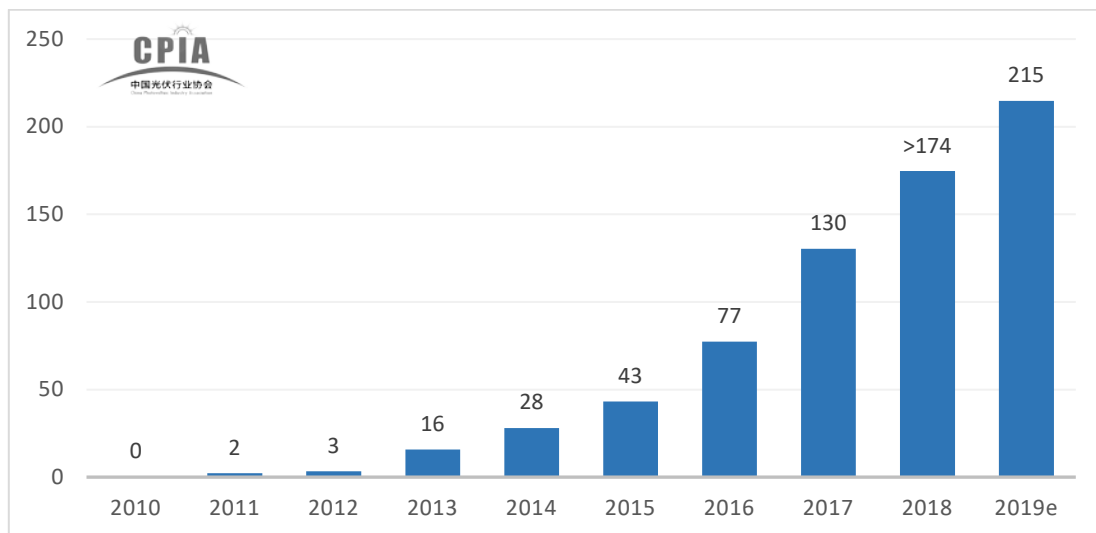


图 6 2010-2019 年全国太阳能光伏发电装机累计容量 (单位: GW)

产品效率方面，2018 年，规模生产的单多晶电池基本采用高效技术，其中多晶电池全面应用黑硅技术，单晶领域则大规模普及 PERC 技术，预计 2-3 年内在多晶领域也将全部由 PERC 技术替代。大规模生产的单多晶电池平均转换效率也分别从 2010 年的 17.5% 和 16.5% 提升至 2018 年的 21.8% 和 19.2%。

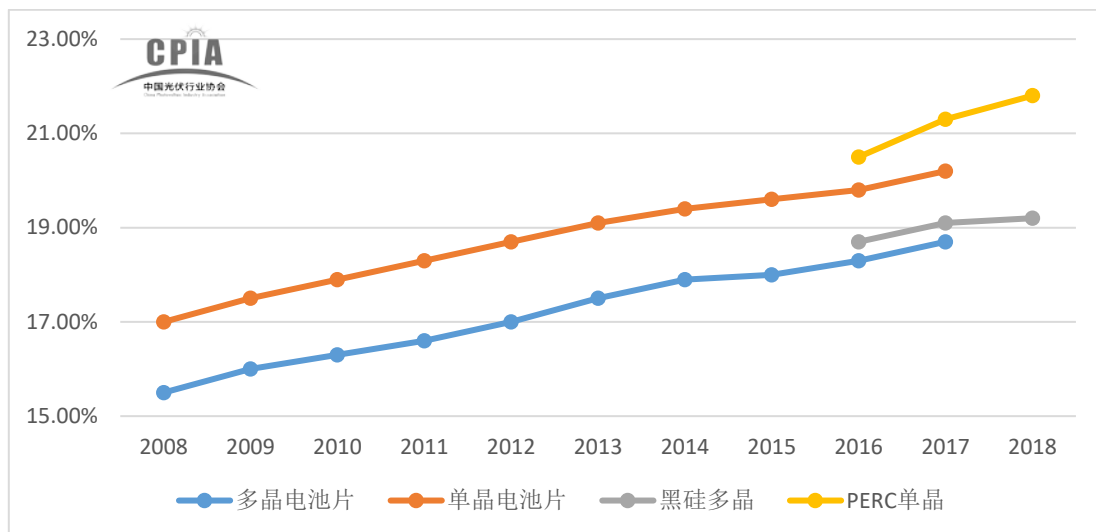


图 7 2008-2018 年国内电池片量产转换效率发展趋势

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。2018 年全国多晶硅平均还原电耗为 49kWh/kg-si，较 2017 年下降 2%，变化幅度不大主要是由于市场对于单晶拉棒所用的致密料的需求不断增大。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 40kWh/kg-si。还原电耗变化趋势如下图所示。

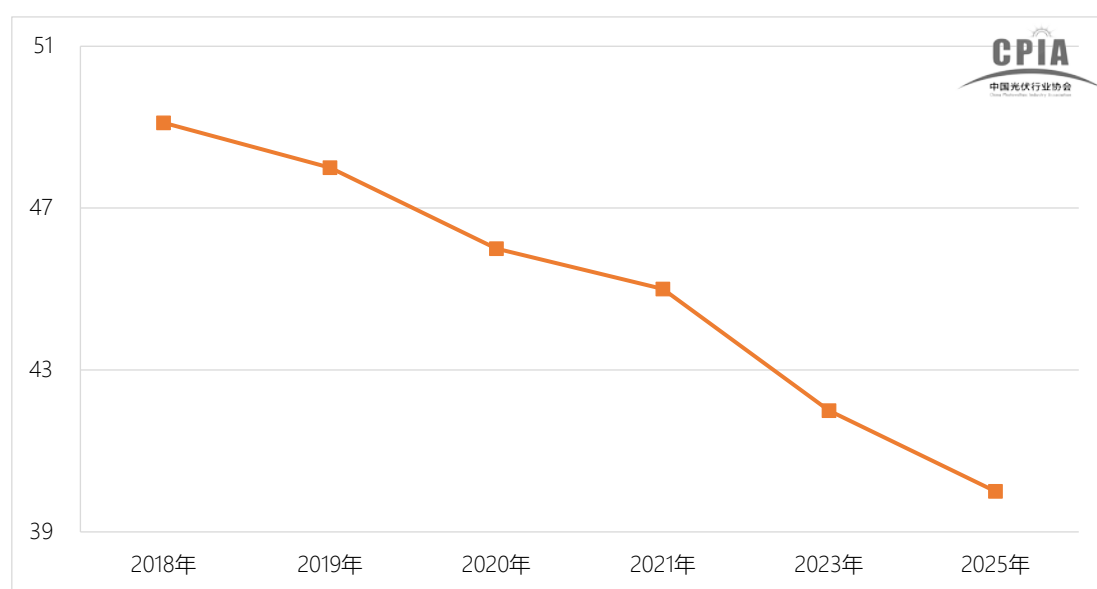


图 8 2018-2025 年还原电耗变化趋势（单位：kWh/kg-si）

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。2018 年，行业冷氢化平均电耗在 5.7kWh/kg-si 左右，同比下降 27%，到 2025 年有望下降至 4.8kWh/kg-si 以下（如下图所示），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。

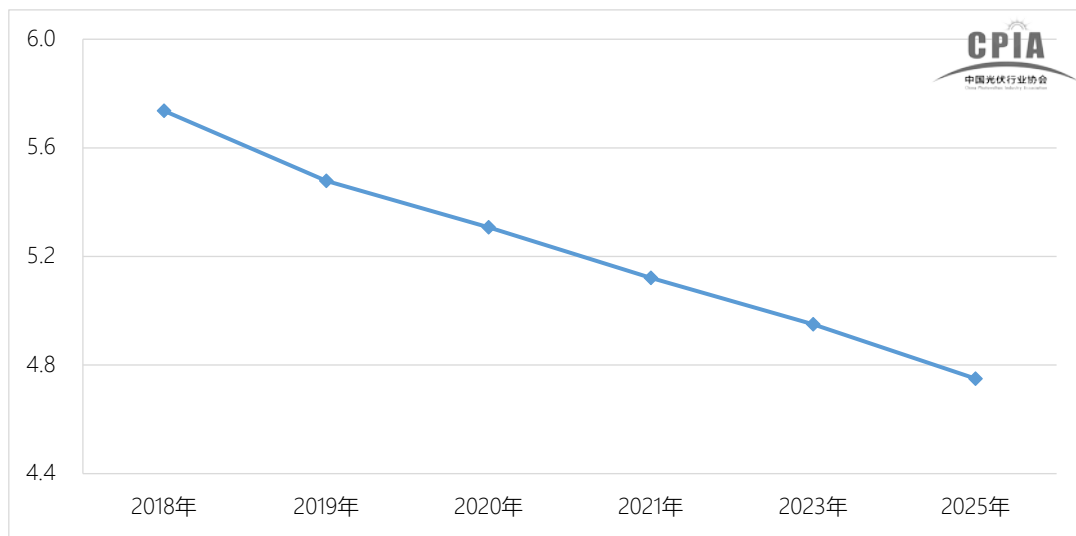


图 9 2018-2025 年冷氢化电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-si)

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。2018 年, 全国多晶硅平均综合电耗已降至 71kWh/kg-si, 同比下降 2.7%, 骨干企业的指标甚至降至 63kWh/kg-si 以下。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 15%以上的下降空间。

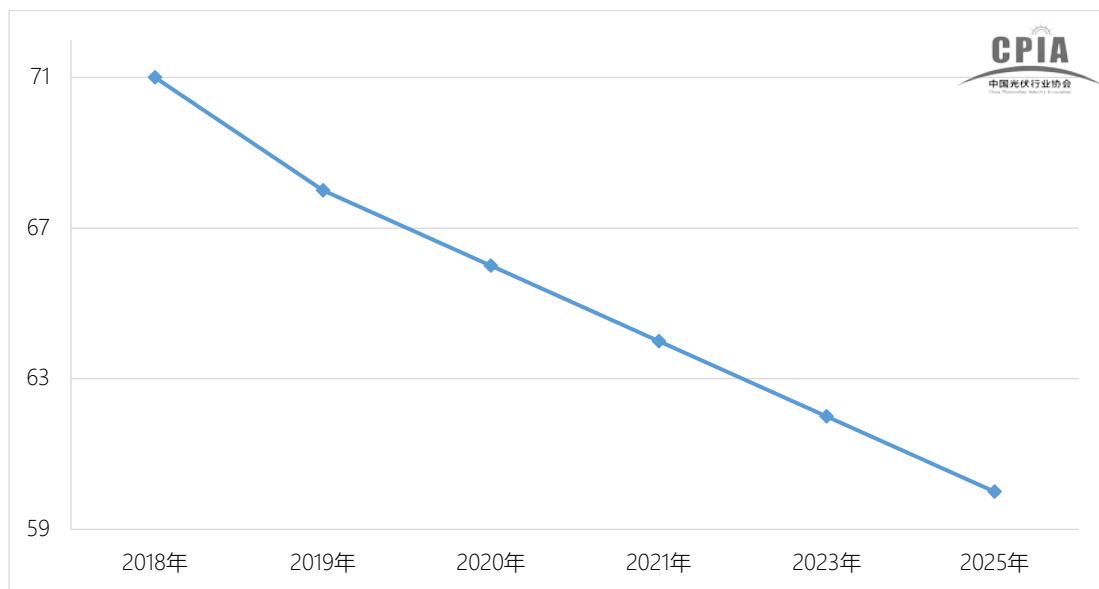


图 10 2018-2025 年综合电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-si)

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。2018 年, 多晶硅平均水耗在 0.14t/kg-si 的水平, 同比下降 26.3%。西部地区如新疆、内蒙等由于水资源匮乏

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。至 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。

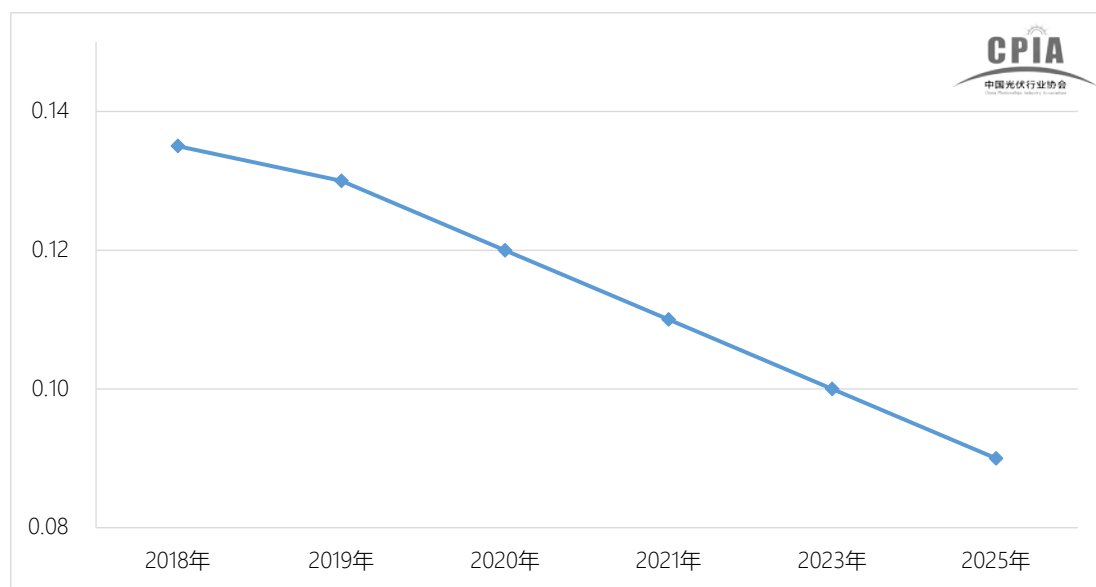


图 11 2018-2025 年水耗变化趋势 (单位: t/kg-si)

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，2018 年企业蒸汽耗量在 15-50kg/kg-Si，均值为 31kg/kg-Si 左右。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，至 2020 年大部分企业将降至 20kg/kg-Si 以下，行业平均蒸汽耗量变化情况如下图所示。

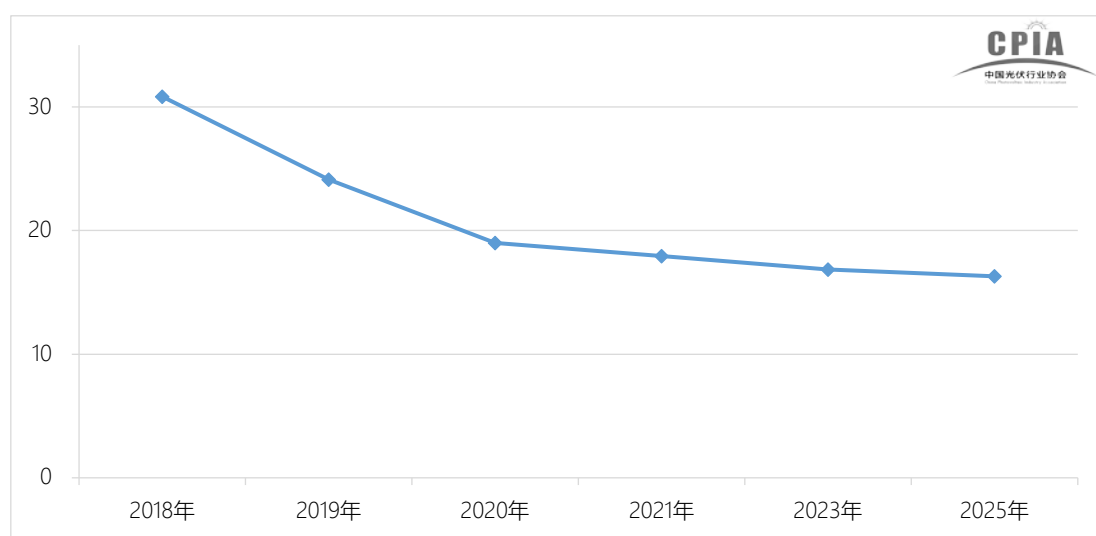


图 12 2018-2025 年蒸汽消耗变化趋势 (单位: kg/kg-Si)

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），2018 年多晶硅企业综合能耗平均值为 13kgce/kg-Si（冷氢化工艺）。随着技术进步和能源的综合利用，到 2025 年预计每年将按 3%-6%比例降低。下图给出了 2018-2025 年综合能耗变化趋势。

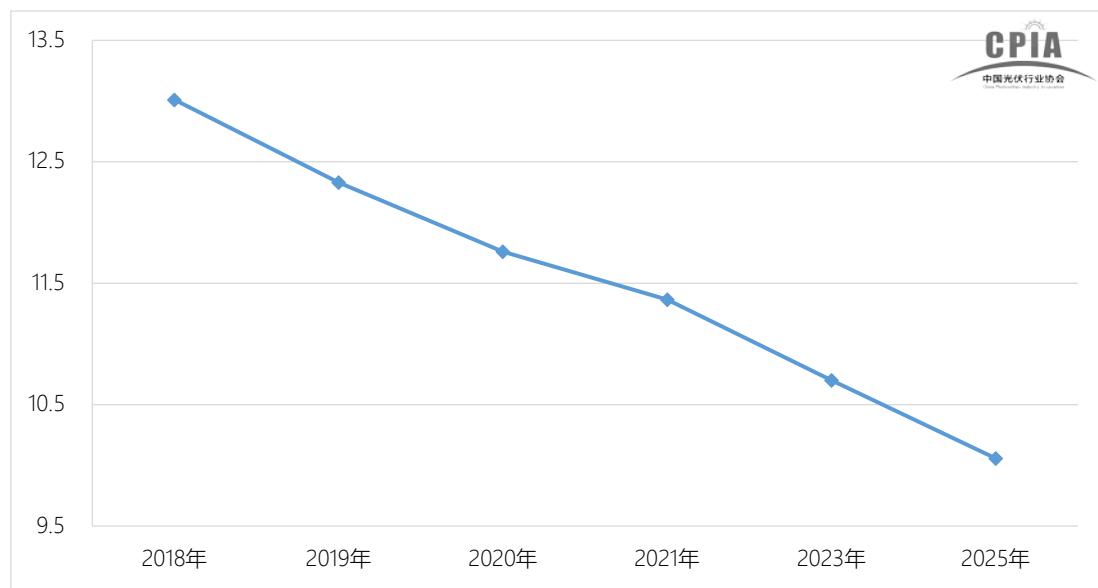


图 13 2018-2025 年综合能耗变化趋势（单位：kgce/kg-Si）

7、硅粉耗量

硅粉耗量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，扣除外售氯硅烷等按含硅比折成纯硅计算，从总量中扣除。2018 年，行业硅耗在 1.12kg/kg-Si 水平，同比下降 2.6%。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。下图给出了 2018-2025 年硅粉耗量变化趋势。

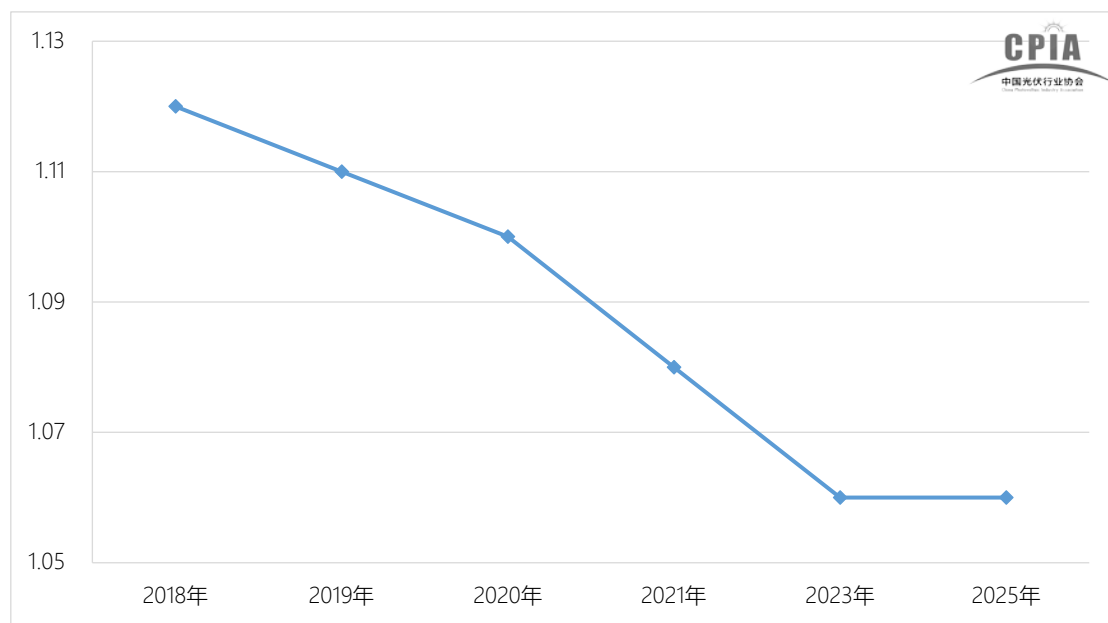


图 14 2018-2025 年硅粉耗量变化趋势 (单位: kg/kg-si)

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。2018 年，多晶硅行业还原余热利用率平均水平在 78%。随着多晶硅工厂节能技术的进步，余热利用率有望进一步提升。下图给出了 2018-2025 年还原余热利用率变化趋势。

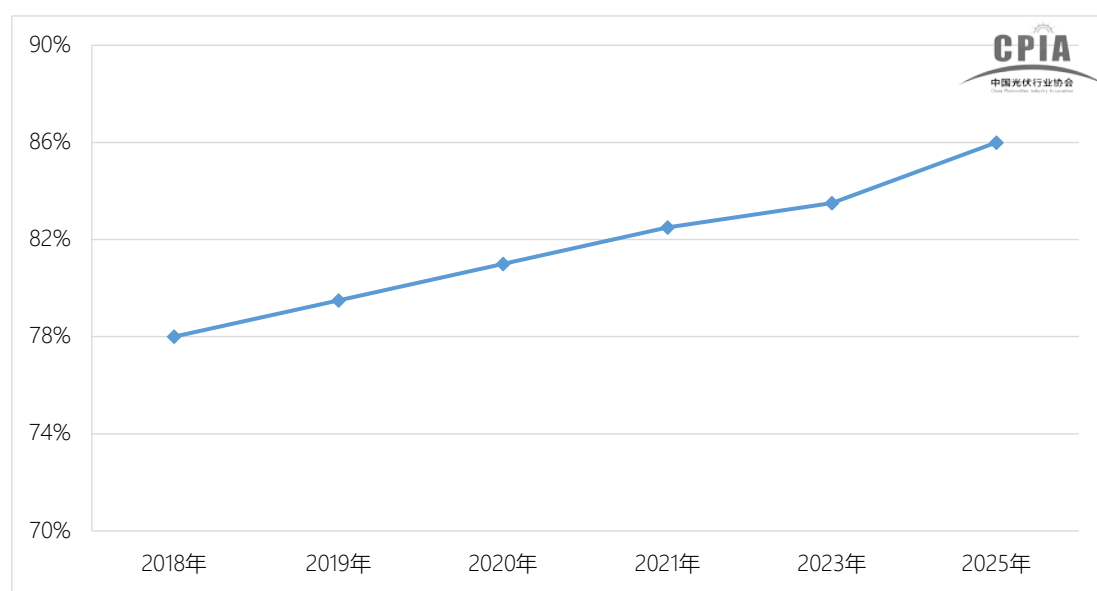


图 15 2018-2025 年还原余热利用率变化趋势

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，2018 年采用此方法生产出的棒状硅约占据全国总产量的 96%，未来仍将是主流生产工艺。下图给出了 2018-2025 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势。

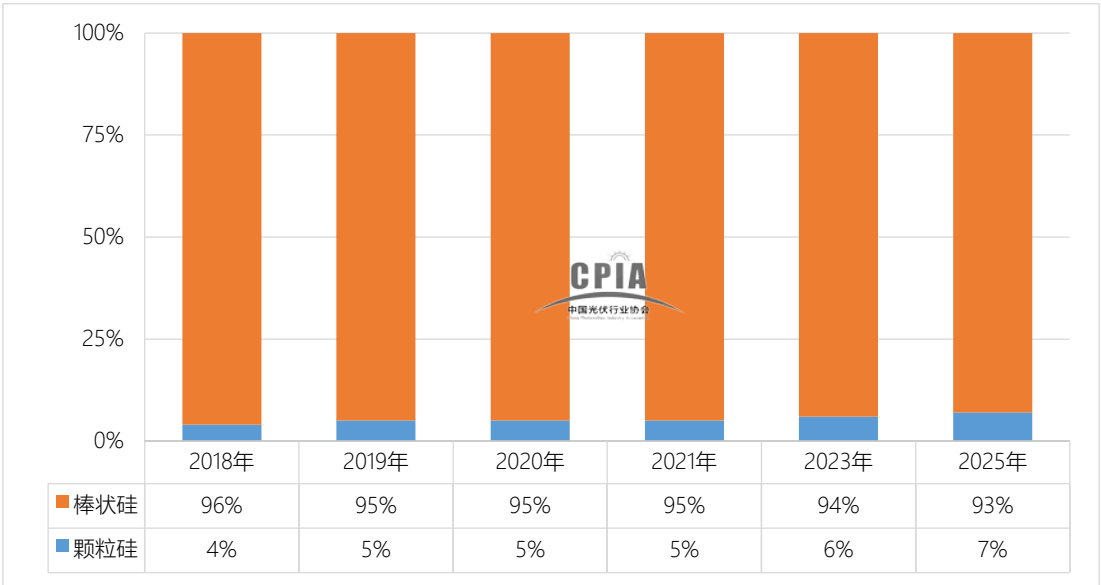


图 16 2018-2025 年棒状硅和颗粒硅市场占比变化趋势

10、三氯氢硅西门子法多晶硅生产线设备投资

随着生产装备技术的进步和工艺水平的提升，三氯氢硅西门子法多晶硅生产线设备投资成本逐年下降。2018 年投产的万吨级多晶硅生产线设备投资成本已下降至 1.15 亿元/千吨的水平。预计到 2020 年，千吨投资可下降至 1 亿元/千吨。下图给出了 2018-2025 年三氯氢硅法多晶硅生产线设备投资成本变化趋势。

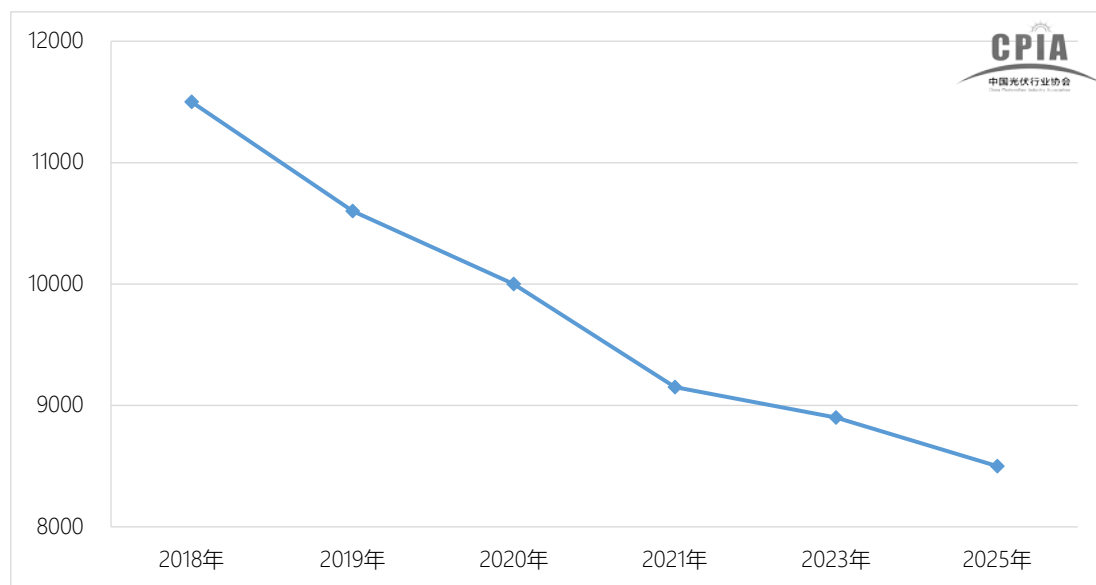


图 17 2018-2025 年三氯氢硅法多晶硅生产线设备投资成本变化趋势 (单位: 万元/千吨)

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。2018 年多晶硅生产线人均产出量为 28 吨/年, 同比增长 21.7%。随着《中国制造 2025》的实施, 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 42 吨/年。下图给出了 2018-2025 年多晶硅生产线人均产出量变化趋势。

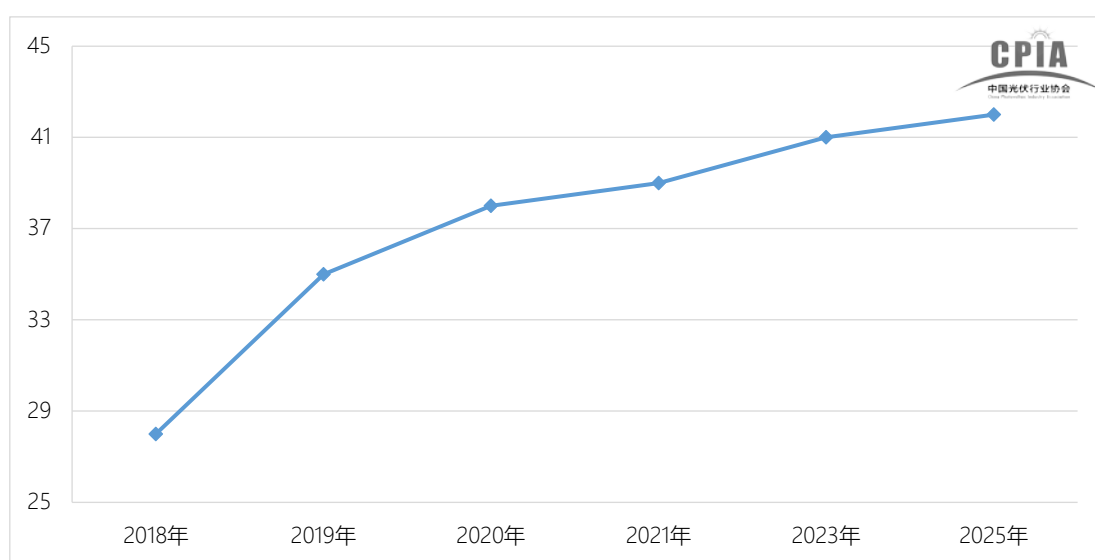


图 18 2018-2025 年多晶硅生产线人均产出量变化趋势 (单位: 吨/年)

（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。2018 年，受益于投料量的提高，光伏行业拉棒平均电耗水平从 2017 年的 35kWh/kg-si 降低为 33.5kWh/kg-si（方棒）。未来可以通过优化拉晶炉热场结构、提高投料量（连续加料、双坩埚、液态加料等）、提升拉速等技术降低单晶拉棒生产能耗，预计到 2020 年，能耗有望下降至 31kWh/kg-si 以下。下图给出了 2018-2025 年拉棒电耗变化趋势。

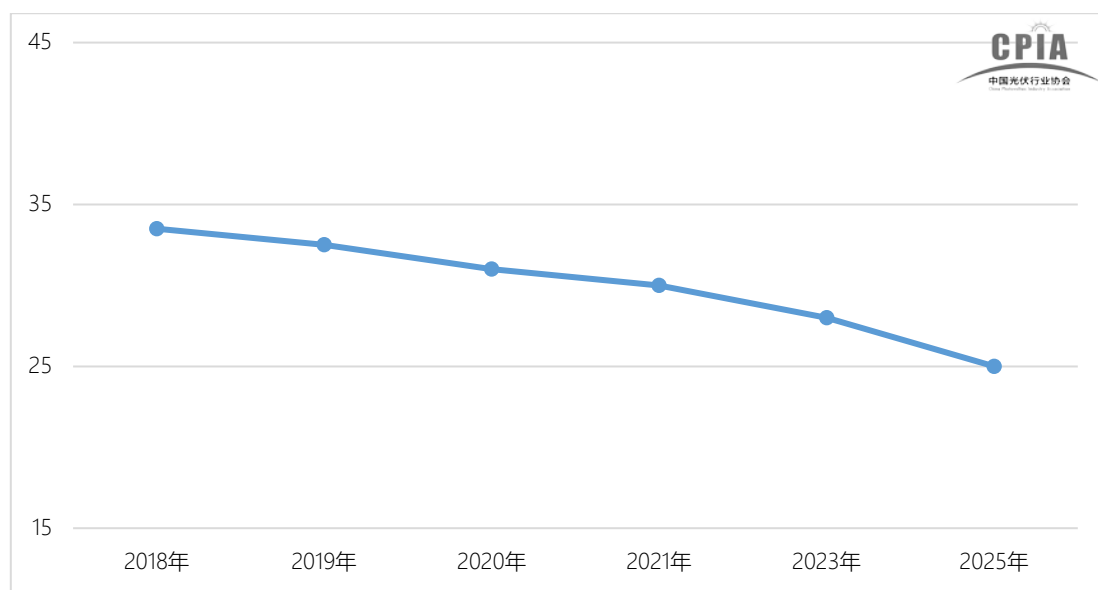


图 19 2018-2025 年拉棒电耗变化趋势（单位：kWh/kg-si）

2、铸锭电耗

铸锭电耗是指通过定向凝固技术生产多晶硅锭（大方锭）所消耗的电量。2018 年，光伏行业多晶铸锭的电耗为 7.8kWh/kg-si，随着部分企业技改升级为 G7、G8 机型铸锭炉配合全熔高效工艺，电耗有望下降至 6.5-7.0kWh/kg-si。下图给出了 2018-2025 年多晶铸锭电耗变化趋势。

² 由于大硅片的应用还未大规模铺开，因此本环节指标均以生产 M2 尺寸单晶硅片、标准尺寸多晶硅片为基准。

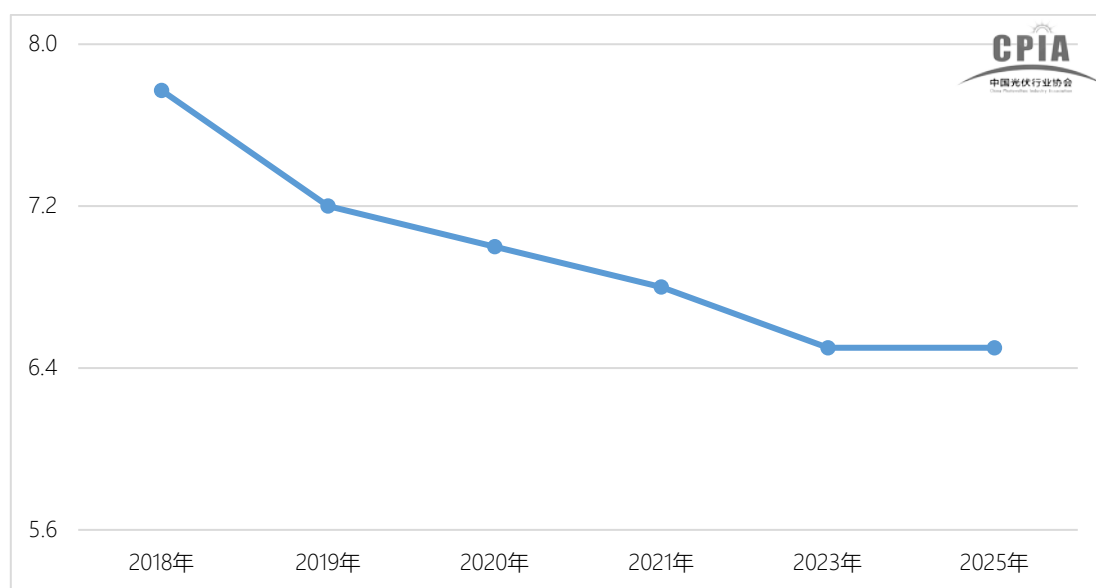


图 20 2018-2025 年多晶铸锭电耗变化趋势 (单位: kWh/kg-si (大方锭))

3、单晶炉单炉投料量

2018 年, 单晶炉单炉投料量为 950kg, 较 2017 年的 530kg 大幅提升, 主要是单炉拉棒数量增加为 3 根。随着热场的增大, 以及连续拉棒技术的提升等, 投料量将逐年增大, 预计到 2020 年可达到 1100kg, 下图给出了 2018-2025 年单晶炉单炉投料量变化趋势。

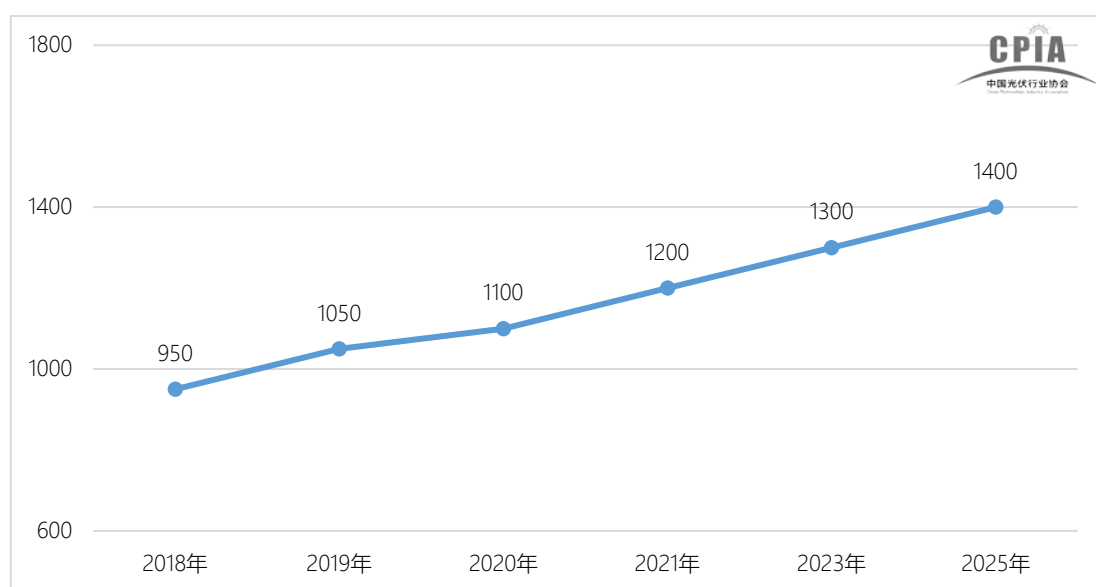


图 21 2018-2025 年单晶炉单炉投料量变化趋势 (单位: kg)

4、铸锭投料量

2018 年, 我国多晶铸锭炉主流为 G6 系统, 单炉平均投料量为 880-900kg。主要企业通过技改升级为 G7 系统, 提高成本竞争力, 投料量可以达到 1000kg 以上。未来两年行业主要以 G6

升级 G7 为主。2017 年行业已经出现 G8 炉的应用，其投料量可以达到 1500kg 以上。下图给出了 2018-2025 年多晶铸锭单炉投料量变化趋势。

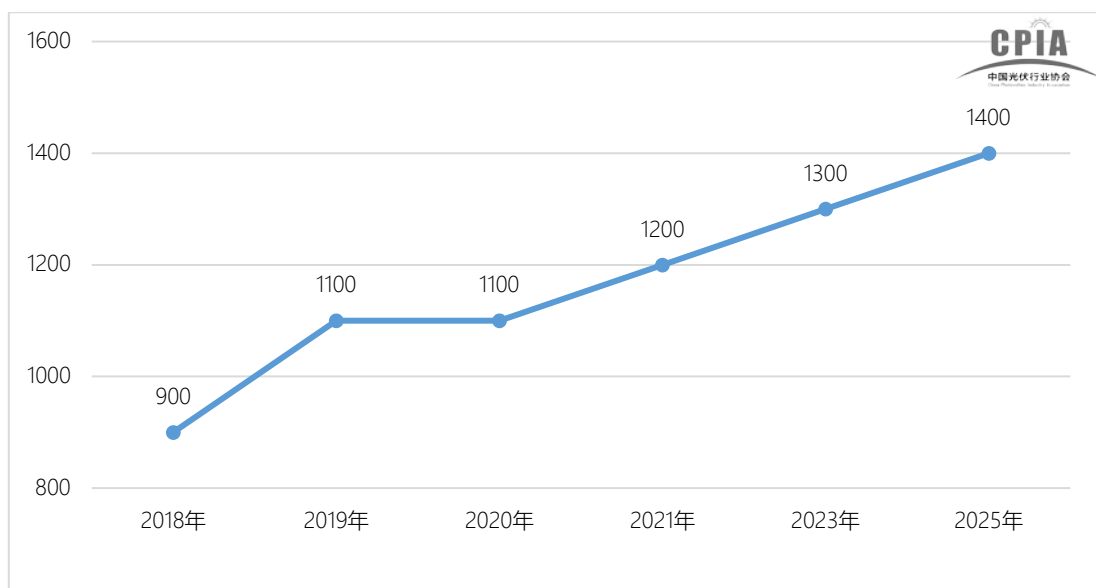


图 22 2018-2025 年多晶铸锭单炉投料量变化趋势 (单位: kg)

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，2018 年，全熔和半熔技术的收料率分别在 67%和 65%左右。随着长晶技术的提升，收料率将会进一步提升。下图给出了 2018-2025 年多晶铸锭收料率变化趋势。

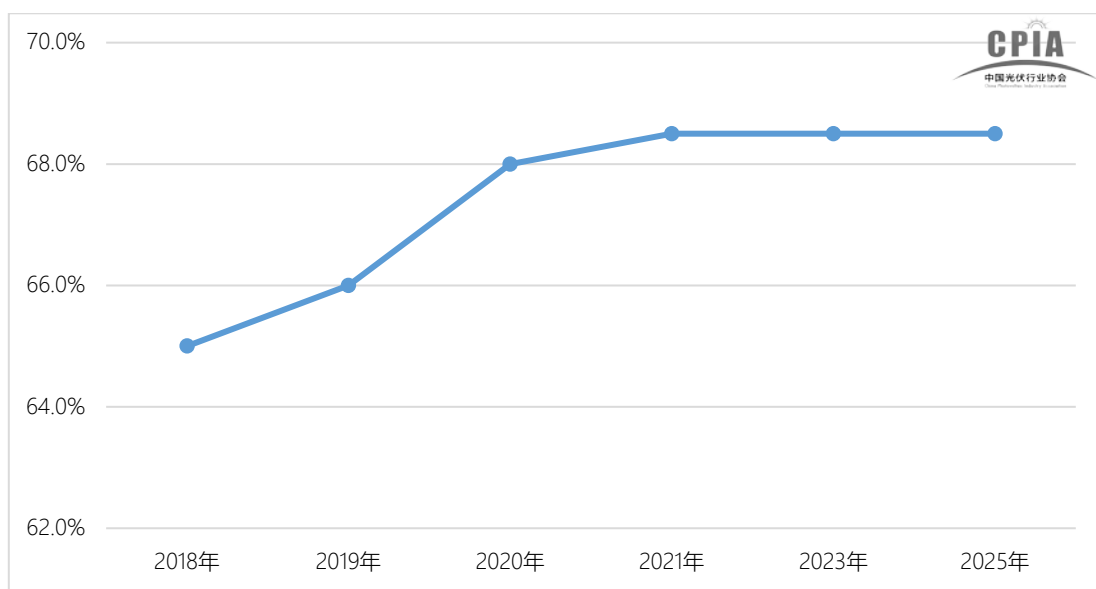


图 23 2018-2025 年多晶铸锭收料率变化趋势 (单位: %)

6、金刚线切片占比

金刚线切割技术相对于传统砂浆切割，具有切割速度快、硅片品质高、成本低、切割液更环保等优点。在单晶硅领域，2017 年已全面取代砂浆切片技术。金刚线切割在多晶领域的应用需要解决铸锭过程中形成的碳化硅硬质点和电池工艺的制绒技术问题。2018 年多晶硅片切片也基本从砂浆切向金刚线切转换，预计 2019 年将全面被取代。下图给出了 2018-2025 年单、多晶金刚线切片市场占比变化趋势。

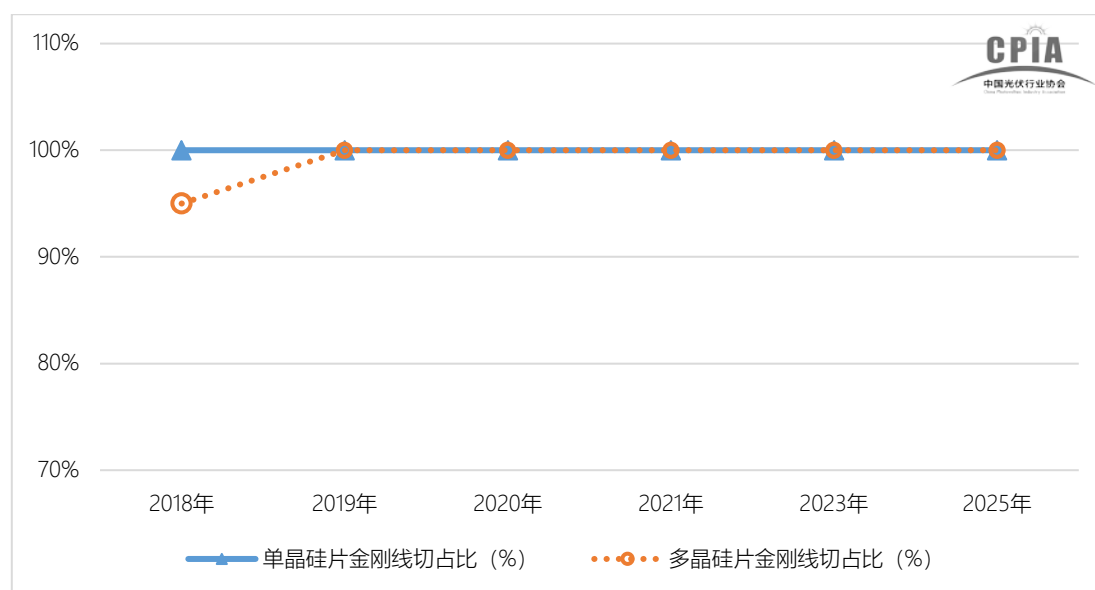


图 24 2018-2025 年单、多晶金刚线切片市场占比变化趋势

7、硅片厚度³

薄硅片有利于降低硅耗和电池成本，但也会降低电池的机械强度。硅片厚度与产品类型及下游电池片使用的技术有关。2018 年，行业单晶硅片平均厚度在 180μm 左右，多晶硅片厚度在 180-185μm 之间，较 2017 年厚度减薄 5μm 左右。随着 P 型单晶双面 PERC 电池的推广，P 型单晶硅片厚度下降速度会加快；多晶硅片厚度下降速度则略慢，但总体厚度呈现下降趋势；N 型单晶硅片目前厚度基本与 P 型单晶硅片一致，部分定制产品的 N 型硅片厚度可达到 125μm，柔软可弯曲。随着异质结电池技术的应用扩大，厚度降幅将进一步加快。下图给出了 2018-2025 年硅片厚度变化趋势。

³ 本指标中单晶硅片主要指 P 型单晶硅片

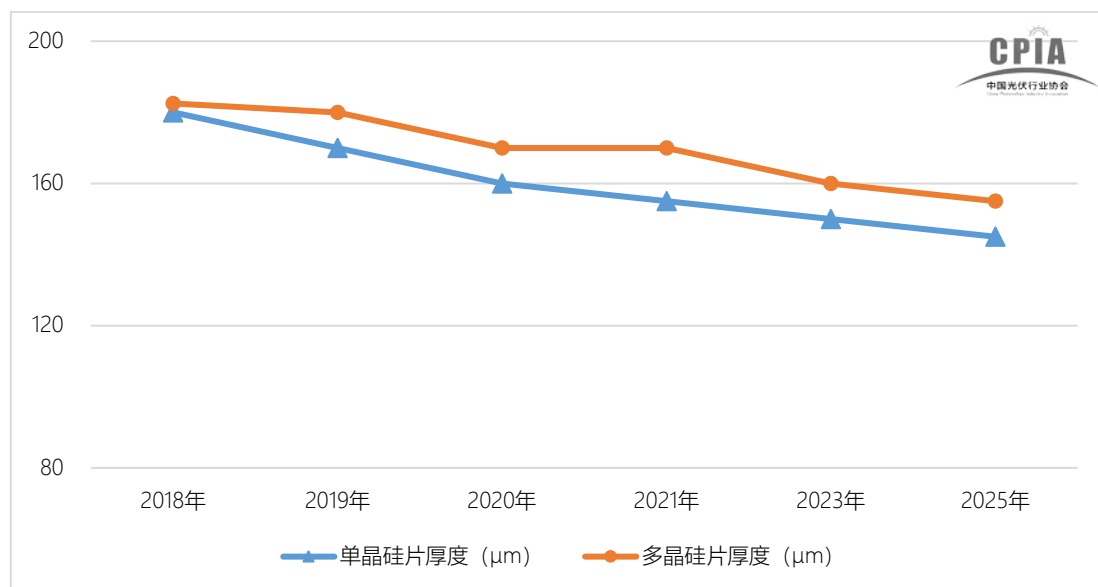


图 25 2018-2025 年硅片厚度变化趋势

8、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提高产品质量、降低切削损耗和生产成本。2018 年,金刚线母线直径为 60-65μm,并不断下降趋势。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。下图给出了 2018-2025 年切割线径变化趋势。

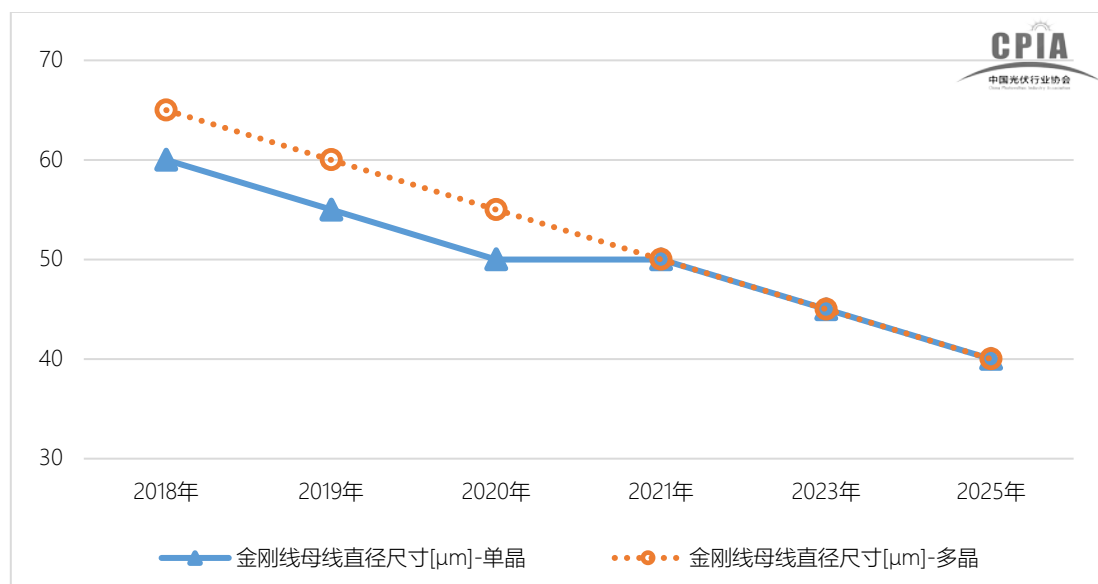


图 26 2018-2025 年金刚线母线直径变化趋势

9、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。2018 年单晶方棒出片量约为 65 片，多晶方锭出片量约为 63 片，与 2017 年相比每公斤出片量增加 5 片。下图给出了 2018-2025 年每公斤方棒/方锭在金刚线切割下的出片量变化趋势。

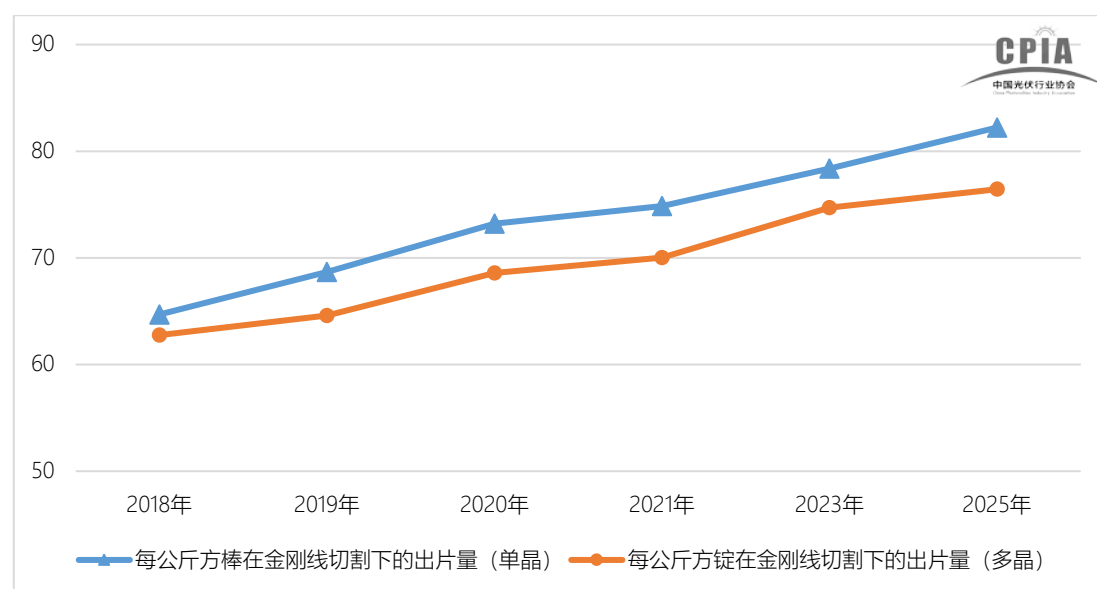


图 27 2018-2025 年每公斤方棒/方锭在金刚线切割下的出片量变化趋势

10、拉棒/铸锭环节的设备投资额

2018 年，拉棒和铸锭环节设备投资额分别为 6.5 万元/吨（包括机加环节）和 2.8 万元/吨，由于市场对单晶硅片的需求不断增加，单晶拉棒设备投资额未呈现明显下降，多晶铸锭设备的投资额则与 2017 年的 4 万元/吨相比大幅下降。下图给出了 2018-2025 年拉棒和铸锭环节设备投资额变化趋势。

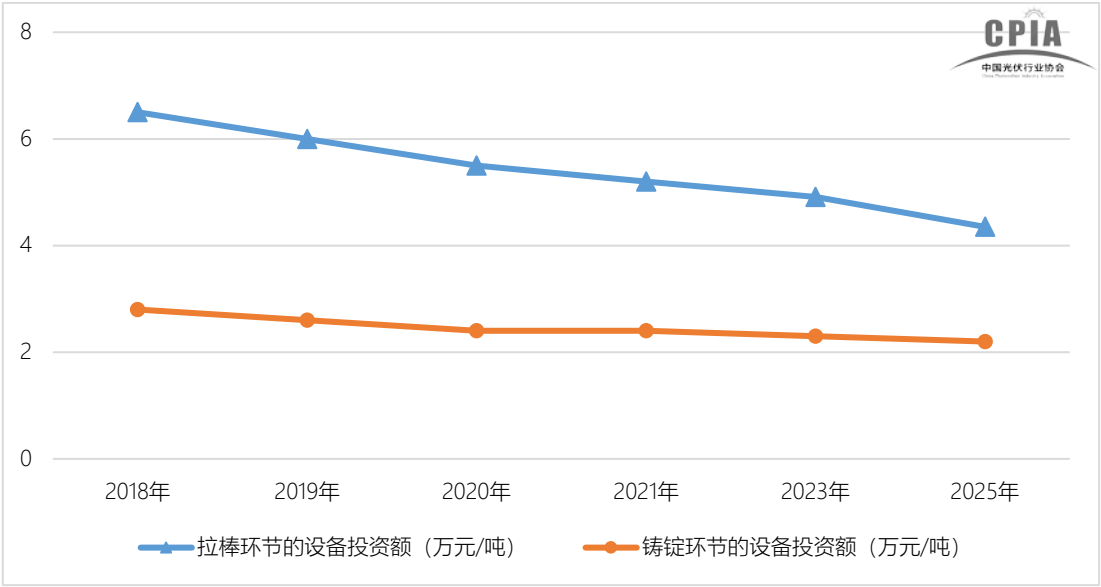


图 28 2018-2025 年不同硅片市场占比变化趋势

11、单多晶市场份额占比

随着光伏市场的不断发展，高效电池将成为市场主导，单晶硅电池市场份额逐步增大，2018 年单晶硅片市场份额超过 40%，预计 2019 年将超过一半。随着异质结电池、N 型 PERT 电池的应用推广，N 型单晶硅片的市场份额，也将逐年提高。而多晶硅片的市场份额未来将逐步下降，铸锭单晶技术在 2018 年有了技术突破，其市场份额有望增加，本次统计中将铸锭单晶硅片合并在了多晶硅片中。下图给出了 2018-2025 年全国不同类型硅片出货量占比变化趋势。

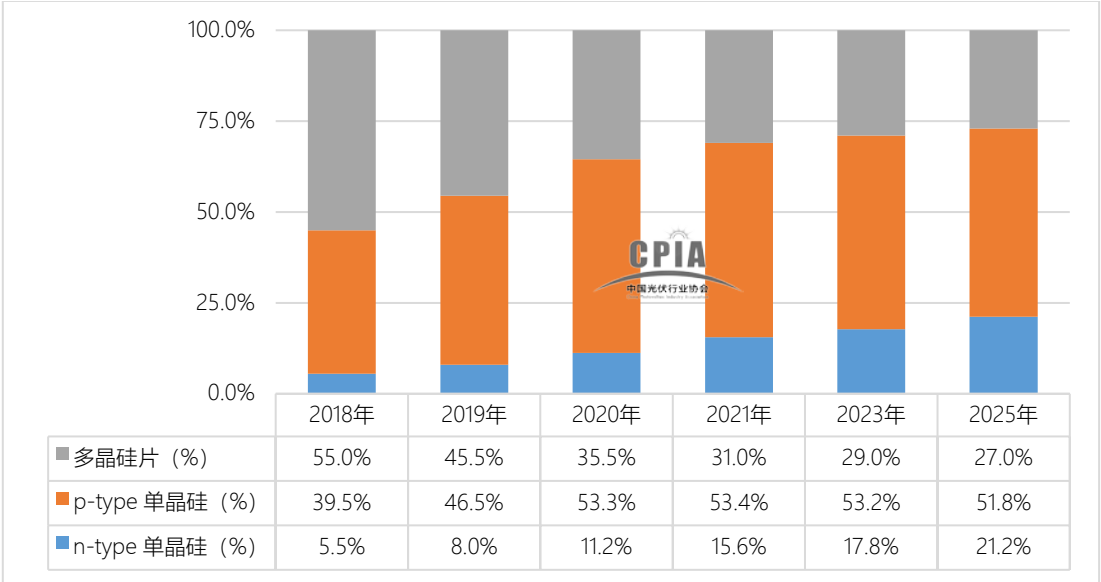


图 29 2018-2025 年全国不同类型硅片市场占比变化趋势

（三）电池片环节

表 1 太阳电池结构列表

名称	不同电池结构和制备技术
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

在《光伏制造行业规范条件》和“领跑者”计划推动下，各种晶硅电池生产技术进步迅速。2018 年，规模化生产的多晶黑硅电池的平均转换效率达到 19.2%，使用 PERC 电池技术的单晶和多晶黑硅电池效率提升至 21.8%和 20.3%，较 2017 年分别提升 0.5 个百分点和 0.3 个百分点，N 型 PERT 单晶电池平均转换效率已经达到 21.5%。双面 N 型 PERT 电池和异质结（HJT）电池已进入量产，并且会成为未来发展的主要方向之一。

表 2 2018-2025 年各种电池转换效率变化趋势

	分类	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年
多晶	BSF P 型多晶黑硅电池平均转换效率	19.2%	19.4%	19.7%	19.9%	20.2%	20.5%
	PERC P 型多晶黑硅电池平均转换效率	20.3%	20.5%	20.8%	21.1%	21.3%	21.6%
	PERC P 型准单晶电池平均转换效率*	21.6%	21.8%	22.2%	22.4%	22.6%	22.8%
P 型单晶	PERC P 型单晶电池平均转换效率	21.8%	22.1%	22.4%	22.6%	22.8%	23.0%
N 型单晶	N-PERT+TopCon 单晶电池平均转换效率（正面效率）	21.5%	22.0%	22.5%	23.0%	23.5%	24.0%
	硅基异质结 N 型单晶电池平均转换效率	22.5%	23.0%	23.5%	24.0%	24.5%	25.0%
	背接触 N 型单晶电池平均转换效率*	23.4%	23.6%	23.8%	24.3%	24.6%	25.0%

*注：PERC P 型准单晶电池与背接触 N 型单晶电池目前处于中试阶段。

2、各种电池技术市场占比

2018 年，BSF 电池⁴仍占据大部分市场份额，但相比 2017 年 83%的占比已下降了 23 个百分点，随着新技术的发展其占比将逐年减少；PERC 电池是当前产能最大的高效电池，2018 年市场份额占比大幅增加，达到 33.5%左右，预计明年 PERC 电池市场占比将反超 BSF 电池，成为市场占比最高的电池种类。双面 N 型 PERT 电池、背接触（IBC）电池、异质结（HJT）电池等新型高效电池市场份额将逐步提高，其中 N-PERT 电池未来将成为市场占比第二的电池种类。下图给出了 2018-2025 年不同电池技术市场占比的变化趋势。

⁴ 常规电池及多晶黑硅电池结构

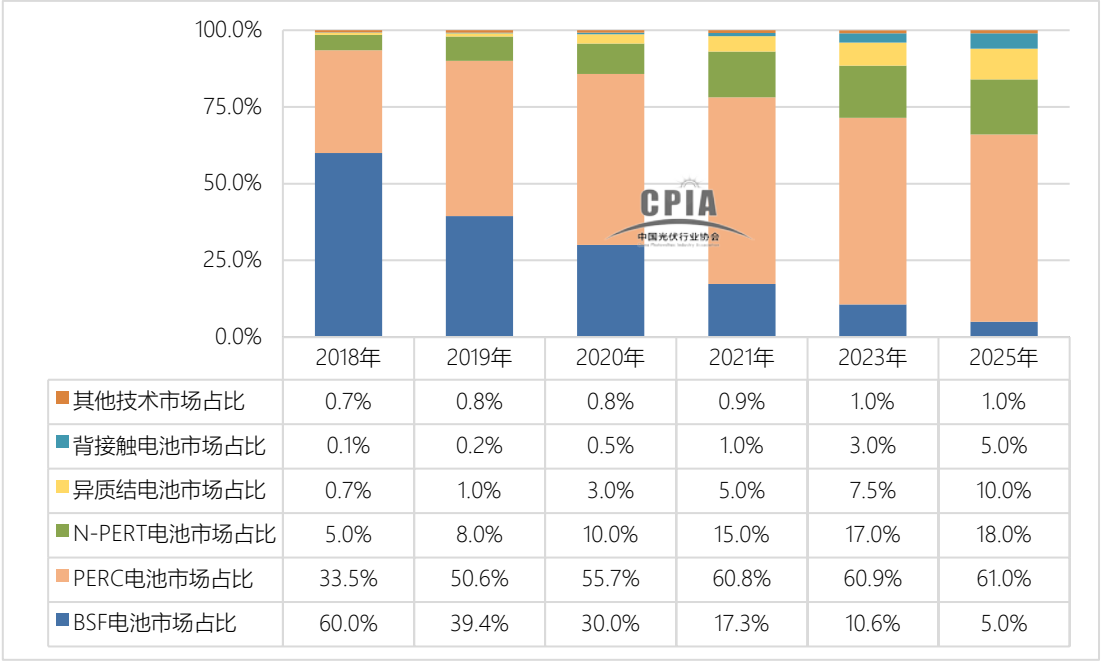


图 30 2018-2025 年不同电池技术市场占比变化趋势

3、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）。2018 年，我国电池产线人均产出率约为 1.7MW/年，部分企业新建的智能透明工厂人均产出率可达 5MW/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，产线人均产出率将不断提升。下图给出了 2018-2025 年每条电池线的人均产出率变化趋势。

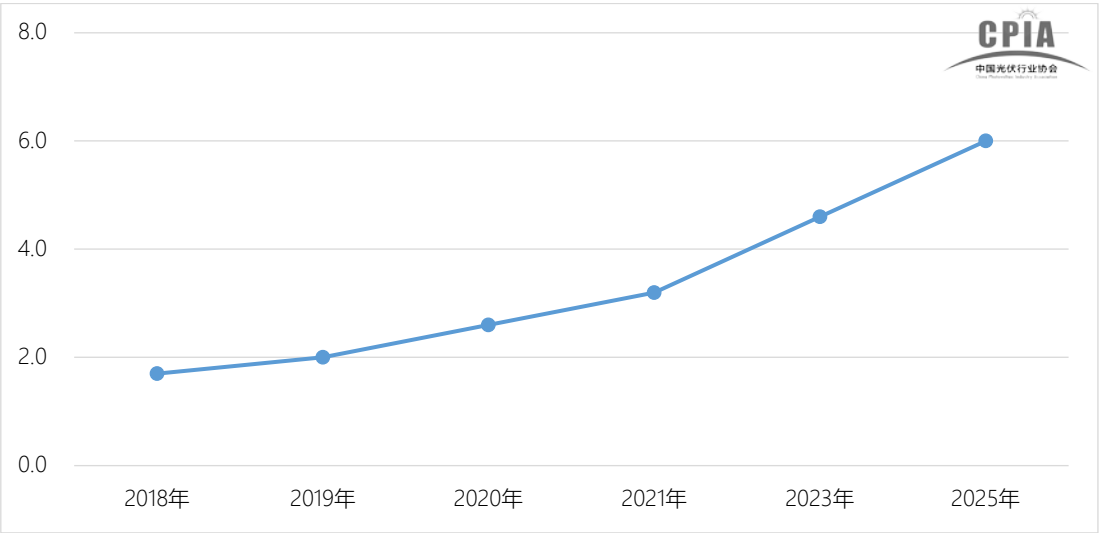


图 31 2018-2025 年每条电池线的人均产出变化趋势（单位：MW/年）

4、电池线投资成本

目前,我国常规电池生产线关键设备已基本完成国产化。2018 年,新建产线已全部为 PERC 产线,原有产线也在加快 PERC 线升级。随着背钝化设备的国产化,2018 年 PERC 电池产线投资成本降至 42 万元/MW,低于 2017 年常规产线的投资额。随着未来关键设备的国产化不断推进,预计到 2020 年将下降到 35 万元/MW。下图给出了 2018-2025 年 PERC 电池线的设备投资成本变化趋势(基于国产设备)。

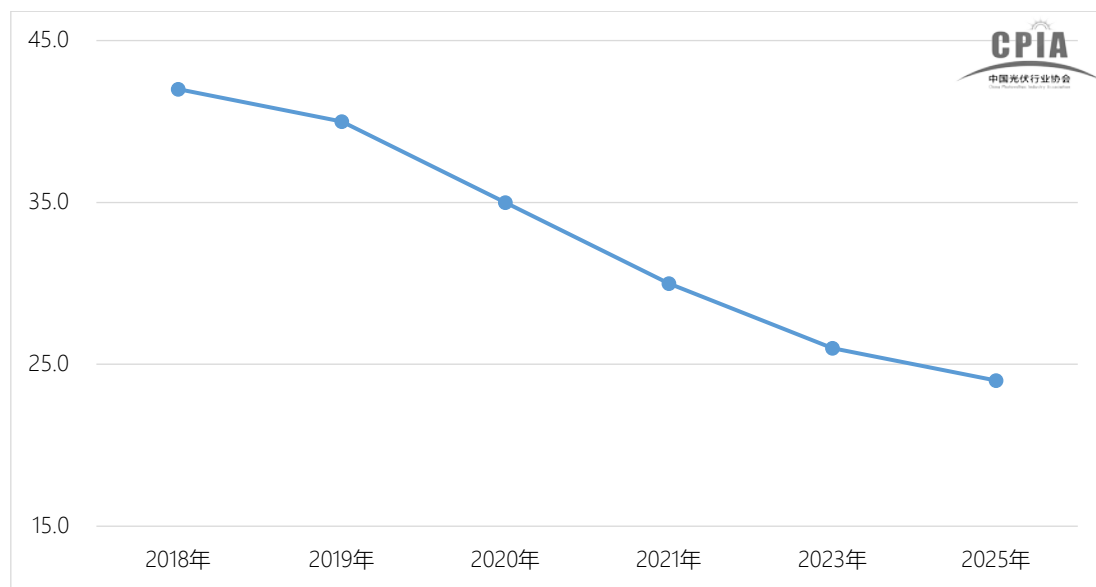


图 32 2018-2025 年 PERC 电池线的设备投资成本变化趋势 (单位: 万元/MW)

5、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所消耗的铝浆,2018 年,随着 PERC 电池迅速推广,电池片铝浆消耗量大幅降至 1100mg/片左右,与 2017 年相比降低了 255mg/片。未来随着 PERC 电池、PERT 电池的推广,每片电池的耗铝量仍有较大下降空间。下图给出了 2018-2025 年铝浆消耗量变化趋势。

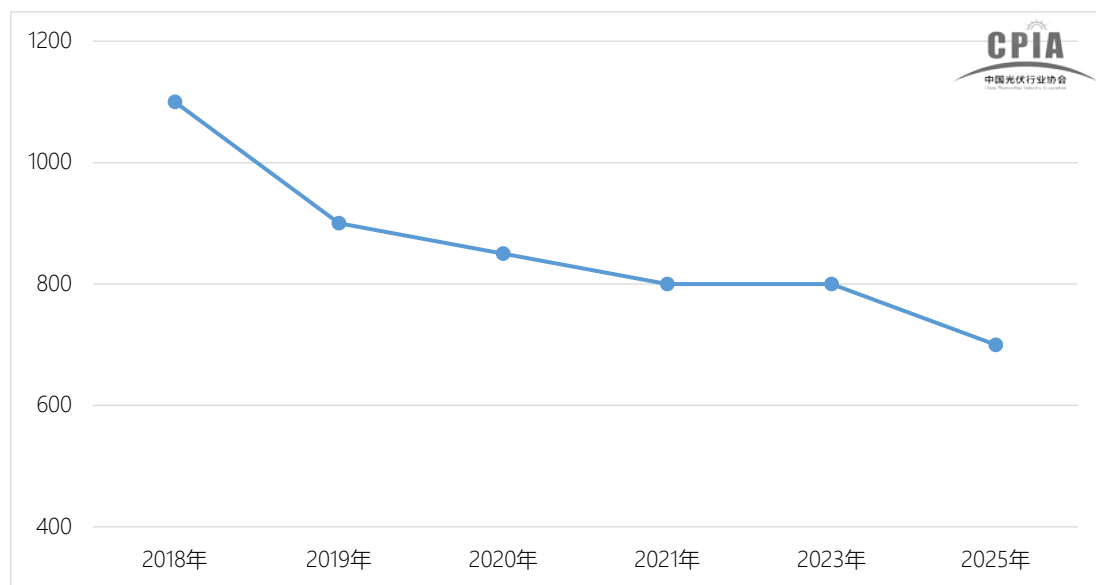


图 33 2018-2025 年单面电池背面铝浆消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

6、P 型电池银浆消耗量

银浆消耗量为电池片上所有的银浆用量，包括正银和背银。2018 年每片电池片耗银量约为 125mg，用银成本在电池片成本中占比仍较高。目前通过增加主栅数量以及减小细栅宽度可以减少正银消耗量，五主栅及多主栅线技术将是未来趋势。随着技术的更替和新科技的发展，如电镀技术、3D 打印技术、贱金属栅线技术等，银浆消耗量有望持续下降。下图给出了 2018-2025 年银浆消耗量变化趋势。

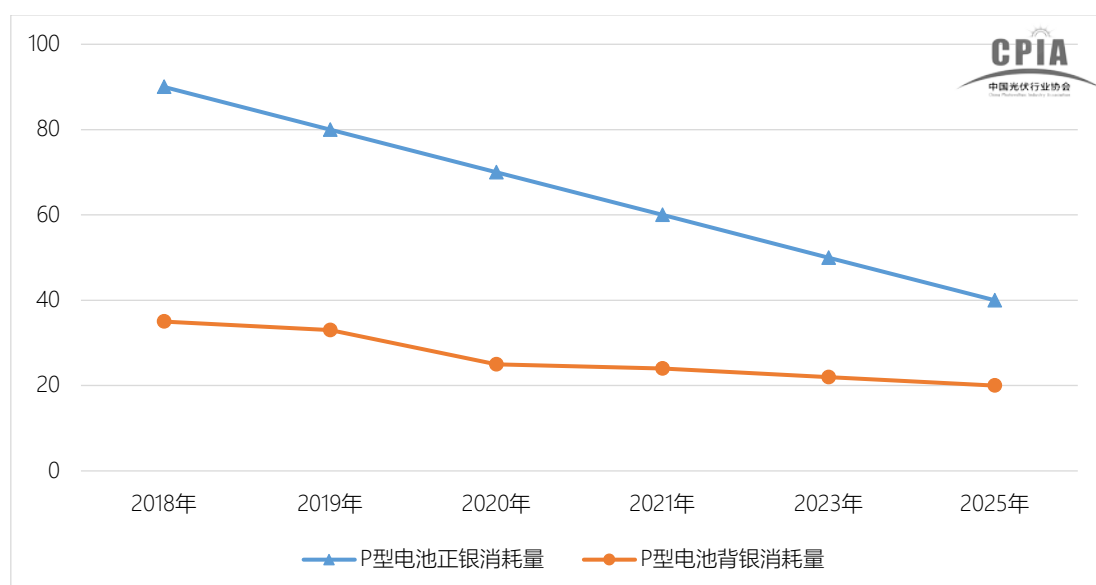


图 34 2018-2025 年银浆消耗量变化趋势 (单位: mg/片)

7、金属电极技术市场占比

目前金属电极主要是银电极，由于银价格较高，部分企业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 N 型 PERT 电池，目前在中试阶段。未来随着 HJT 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。下图给出了 2018-2025 年电池片正面电极市场占比变化趋势。

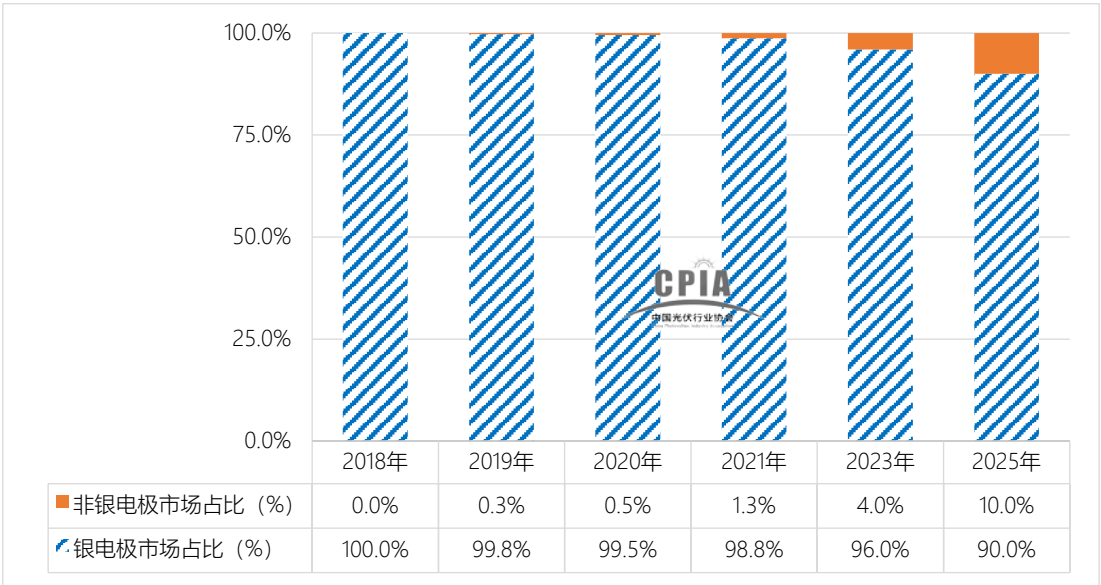


图 35 2018-2025 年电池片正面电极市场占比变化趋势

8、栅线印刷技术占比

2018 年，电池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、电镀等栅线技术。预计到 2025 年丝网印刷技术仍然是主流，但随着技术进步，电池片的栅线设计也将多样化，其他技术的占比将略有上升。下图给出了 2018-2025 年栅线印刷技术占比变化趋势。

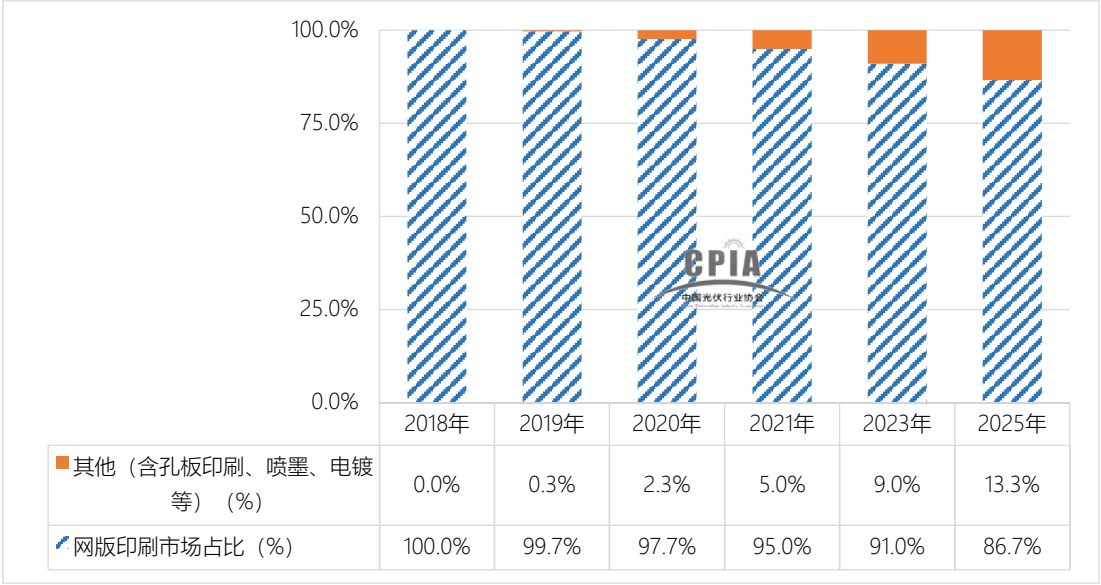


图 36 2018-2025 年栅线印刷技术占比变化趋势

9、电池片方块电阻

方块电阻是反应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。2018 年，P 型电池发射极方块电阻在 95ohm/方左右，PERC 电池采用选择性发射极（SE）技术后达到 100ohm/方以上。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，接触电阻也将不断下降。下图给出了 2018-2025 年电池片发射极方块电阻变化趋势。

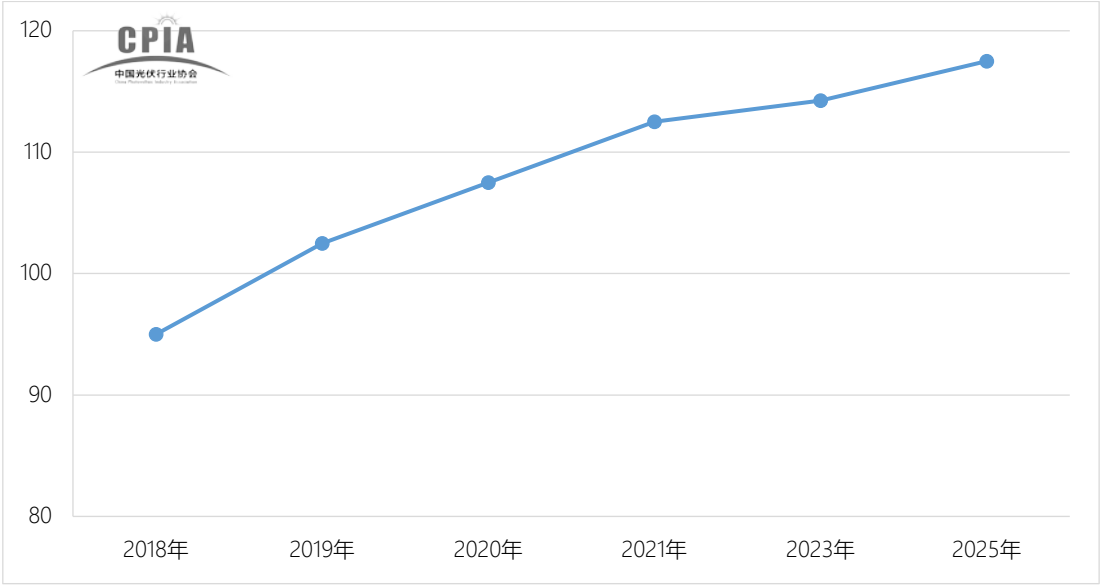


图 37 2018-2025 年电池片发射极方块电变化趋势（单位：ohm/方）

10、背钝化技术

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+盖层两种。其中 PECVD AlOx 技术采用相对成熟的 PECVD 沉积设备，当前应用比较多，2018 年市场占比在 67.5%左右；ALD 沉积工艺有更精确的层厚控制和更好的钝化效果，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。下图给出了 2018-2025 年背面钝化技术市场占比变化趋势。

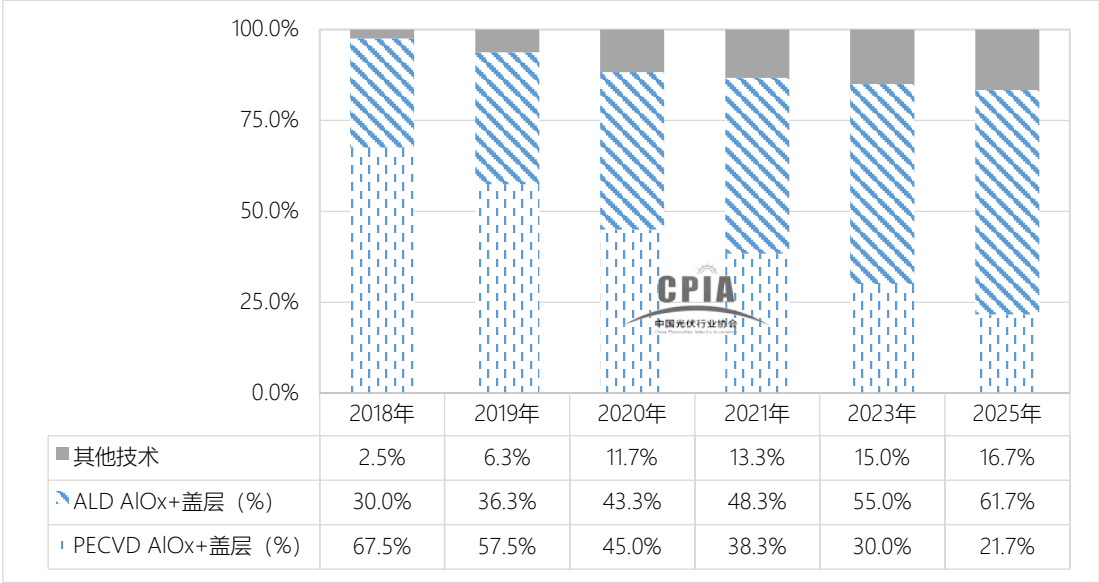
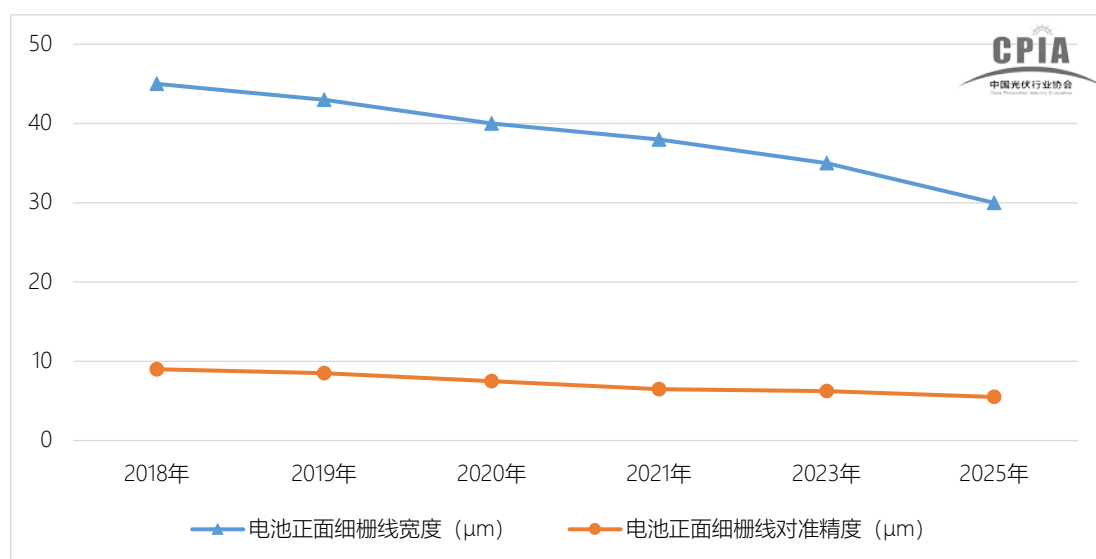


图 38 2018-2025 年背面钝化技术全球市场占比变化趋势

11、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、串联的主栅线和载流子收集的细栅线组成。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。随着浆料技术和印刷工艺的进步，细栅宽度仍会保持一定幅度的下降。2018 年，栅线宽度一般控制在 45μm，预计未来还有 30%的下降空间，到 2025 年下降到 30μm 左右。细栅宽度的下降得益于浆料技术及印刷设备精度的提升，印刷设备精度将由目前的±9μm，提高到 2025 年的±5.5μm。下图给出了 2018-2025 年正面金属化参数变化趋势。

图 39 2018-2025 年正面金属化参数变化趋势 (单位: μm)

12、各种主栅市场份额占比

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, 同时银浆的使用可以降低 5%-10%。2018 年 5 主栅电池片仍为主流, 市场占比高达 85%, 相比 2017 年提高 25 个百分点; 4 主栅电池片市场占比下降至仅为 9%。同样 60 片电池片的组件, 多主栅 (MBB) 组件技术相对 5 主栅技术组件, 功率可以提高 2-3W, 有利于成本下降。随着工艺技术的不断升级以及设备更新, 4 主栅电池片将逐渐退出市场, 多主栅 (MBB) 电池市占率将快速增加。预计到 2021 年左右, 多主栅 (MBB) 电池将代替 5 主栅电池成为市场占比最大的光伏电池种类。下图给出了 2018-2025 年各种主栅市场份额占比变化趋势。

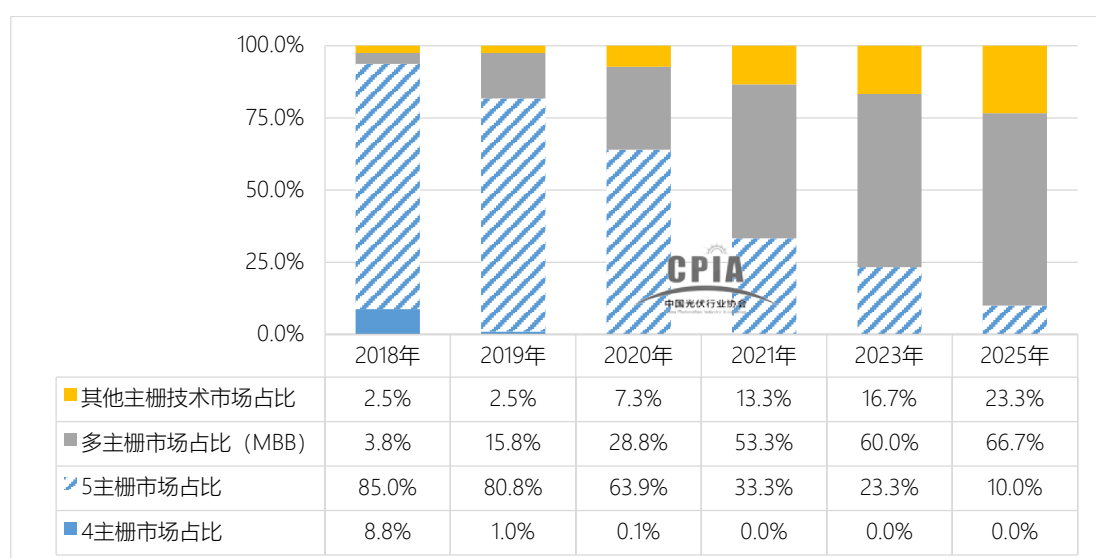


图 40 2018-2025 年各种主栅市场份额占比变化趋势

（四）组件环节

1、不同类型电池组件功率（60 片）

2018 年，60 片常规多晶和单晶电池组件功率已分别达到 275W 和 285W，使用 PERC 技术的单晶和使用黑硅+PERC 技术的多晶电池组件功率则大幅提高到 305W 和 295W，N-PERT 电池组件、HJT 电池组件则可达到 310W 和 320W。未来十年，随着技术的进步，各种组件电池组件基本上以 $\geq 5\text{W}/\text{年}$ 的增速向前推进。

表 3 2018-2025 年不同类型电池组件功率变化趋势

	分类	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年
多晶组件	BSF 多晶电池组件功率 (W)	275	280	285	290	295	300
	黑硅多晶电池组件功率 (W)	280	285	290	295	300	305
	黑硅+PERC 多晶电池组件功率 (W)	295	300	305	315	320	325
单晶组件	BSF 单晶组件功率 (W)	285	290	295	300	303	305
	PERC P 型单晶组件功率 (W)	305	310	315	325	330	340
N 型单晶组件	N-PERT 电池组件功率 (W) (正面功率)	310	320	325	330	340	345
	异质结 N 型单晶组件功率 (W)	320	330	335	340	350	355
	背接触 N 型单晶组件功率 (W)	340	345	350	355	360	365
MWT 封装方式 (采用 PERC 电池片)	MWT 黑硅多晶电池组件功率 (W)	305	310	315	325	330	340
	MWT 单晶电池组件功率 (W)	315	320	325	335	340	350

表 4 2018-2025 年不同类型电池组件转换效率变化趋势

	分类	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年
多晶组件	BSF 多晶电池组件效率 (%)	16.8%	17.1%	17.4%	17.7%	18.0%	18.3%
	黑硅多晶电池组件效率 (%)	17.1%	17.4%	17.7%	18.0%	18.3%	18.6%
	黑硅+PERC 多晶电池组件效率 (%)	18.0%	18.3%	18.6%	19.2%	19.9%	20.2%
单晶组件	BSF 单晶组件效率 (%)	17.4%	17.7%	18.0%	18.3%	18.5%	18.6%
	PERC P 型单晶组件效率 (%)	18.6%	18.9%	19.2%	19.9%	20.2%	20.8%
N 型单晶组件	N-PERT 电池组件效率 (%) (正面功率)	18.9%	19.6%	19.9%	20.2%	20.8%	21.1%
	异质结 N 型单晶组件效率 (%)	19.6%	20.2%	20.5%	20.8%	21.4%	21.7%
	背接触 N 型单晶组件效率 (%)	20.8%	21.1%	21.4%	21.7%	22.0%	22.3%
MWT 封装方式 (采用 PERC 电池片)	MWT 多晶电池组件效率 (%)	18.6%	18.9%	19.2%	19.9%	20.2%	20.8%
	MWT 单晶电池组件效率 (%)	19.2%	19.6%	19.9%	20.5%	20.8%	21.4%

2、单/双面组件市场占有率

2018 年, 单面组件仍然为市场主流, 市占率达到 90%。双面组件主要应用于“领跑者”项目, 其市场占有率有很明显的提升, 与 2017 年相比提高了 8 个百分点, 达到 10%。未来随着农光互补、水光互补等新型光伏应用的扩大, 双面发电组件的应用规模将会不断扩大。下图给出了 2018-2025 年单/双面组件的市场占有率变化趋势。

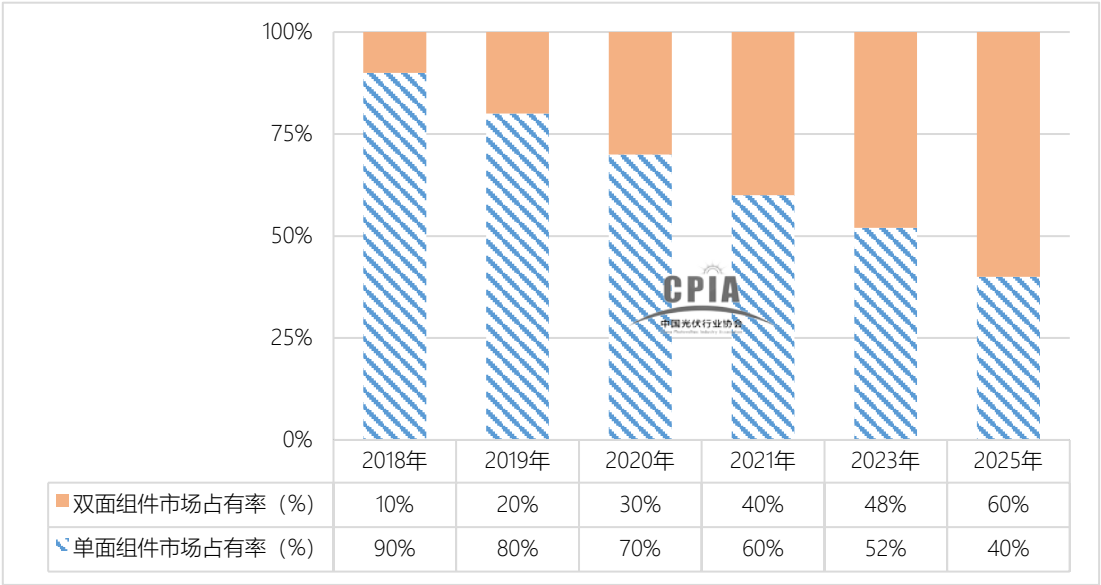


图 41 2018-2025 年单/双面发电电池组件市场占有率变化趋势

3、全片、半片和叠瓦电池组件市场占有率

2018 年，全片电池片的组件仍占据市场绝大部分份额，但相比 2017 年下降了 7 个百分点至 91.7%。由于半片或更小片的电池片组件功率封装损失更小，未来半片及更小尺寸电池片应用市场份额将大幅上升，叠瓦电池组件市占比也会逐渐增长，到 2025 年，全片电池组件市占率将低于 50%。下图给出了 2018-2025 年全片、半片和叠瓦电池组件市场占比变化趋势。

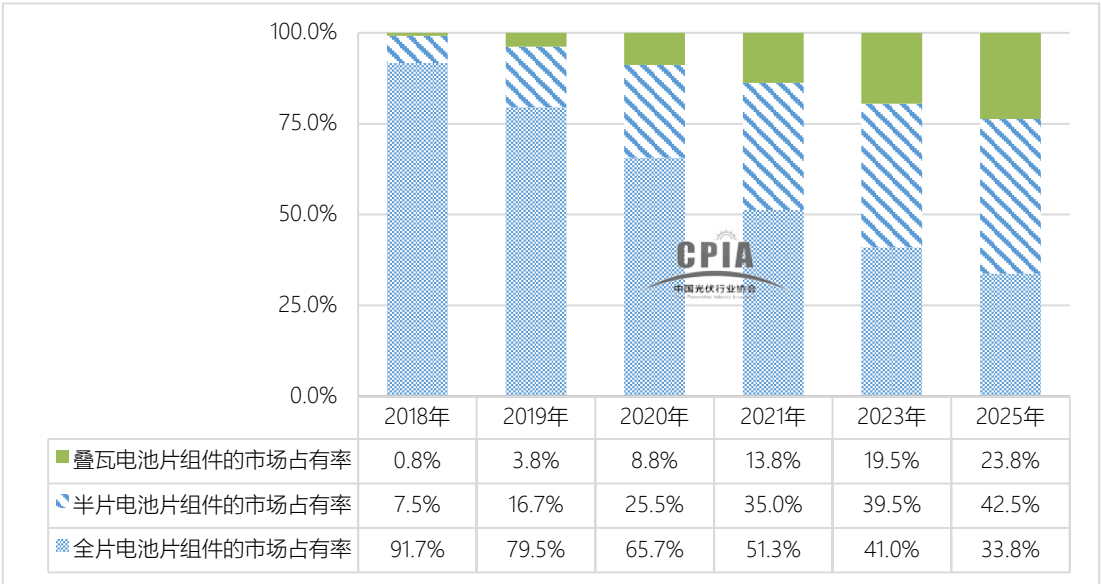


图 42 2018-2025 年全片、半片和叠瓦电池组件市场占比变化趋势

4、不同边框晶硅组件市场占有率

2018 年，市场上大部分电池组件使用的是铝边框电池组件，市占率高达 93.3%。随着双玻组件使用率的增加，无边框晶硅组件市场有增长趋势，但经过 2016-2018 年无边框组件的应用，部分组件商发现无边框组件在运输、搬运及安装过程中，损坏度较高，间接导致成本增加，所以部分组件商又开始选择有边框组件。下图给出了 2018-2025 年不同边框晶硅组件市场的占有率发展趋势。

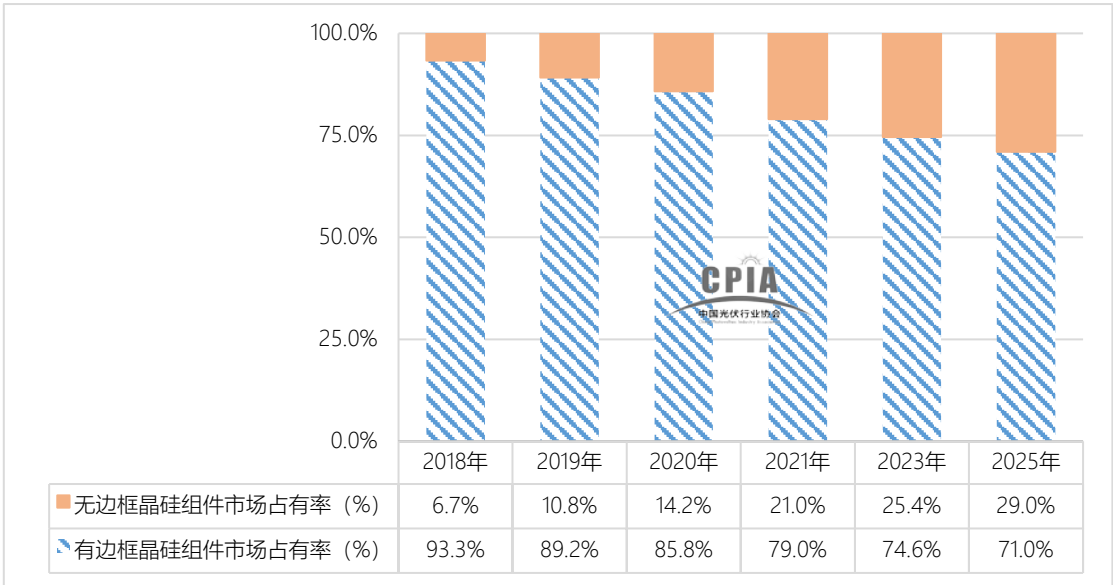


图 43 2018-2025 年不同边框晶硅组件市场占有率变化趋势

5、不同电池片互联技术的组件市场占有率

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，2018 年含铅焊带组件市场份额占据 96%以上。HJT 组件、MWT 组件等使用导电胶互联，未来随着 HJT、MWT 组件市占率提升，导电胶市占率也会同步提升。但由于导电胶及其他新技术使用范围较小，到 2020 年含铅焊带仍会占主导地位。下图给出了 2018 年-2025 年不同电池片互联技术的组件市场占有率发展趋势。

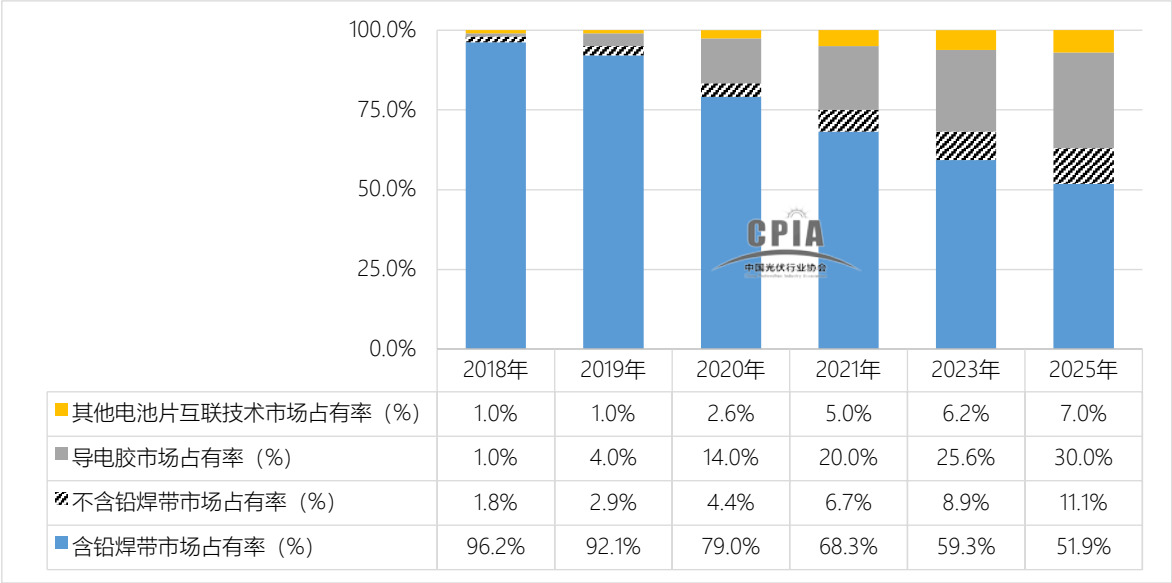


图 44 2018-2025 年不同电池片互联技术的组件市场占有率变化趋势

6、单/多晶电池到组件封装损失（5 主栅、全片组件 CTM）

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的程度越小。采用陷光玻璃、半片及叠片技术，多主栅（MBB）技术、反光焊带等封装技术，均可提升 CTM 值，甚至超过 100%。2018 年，单多晶组件的 CTM 值分别为 97.0%和 99.1%。较同类电池相比，半片技术可提高 2 个百分点、反光焊带可提高 1 个百分点，MBB 技术可提高 2 个百分点。下图给出了 2018-2025 年单/多晶电池到组件封装损失（CTM）变化趋势。

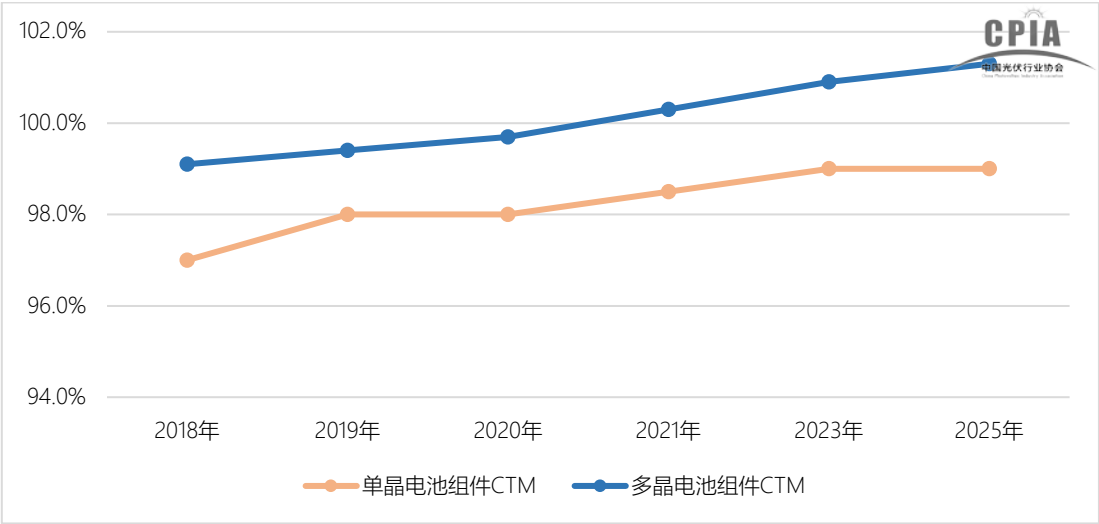


图 45 2018-2025 年单/多晶电池到组件封装损失（CTM）变化趋势

7、使用优化器组件的市场占比

目前，国内市场使用的基本全部是无优化器组件，由于优化器成本较高，到 2025 年无优化器组件仍将是主流。未来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占率会有所提升，预计到 2025 年增至 18%。下图给出了 2018-2025 年使用优化器组件及无优化器组件市占率发展趋势。

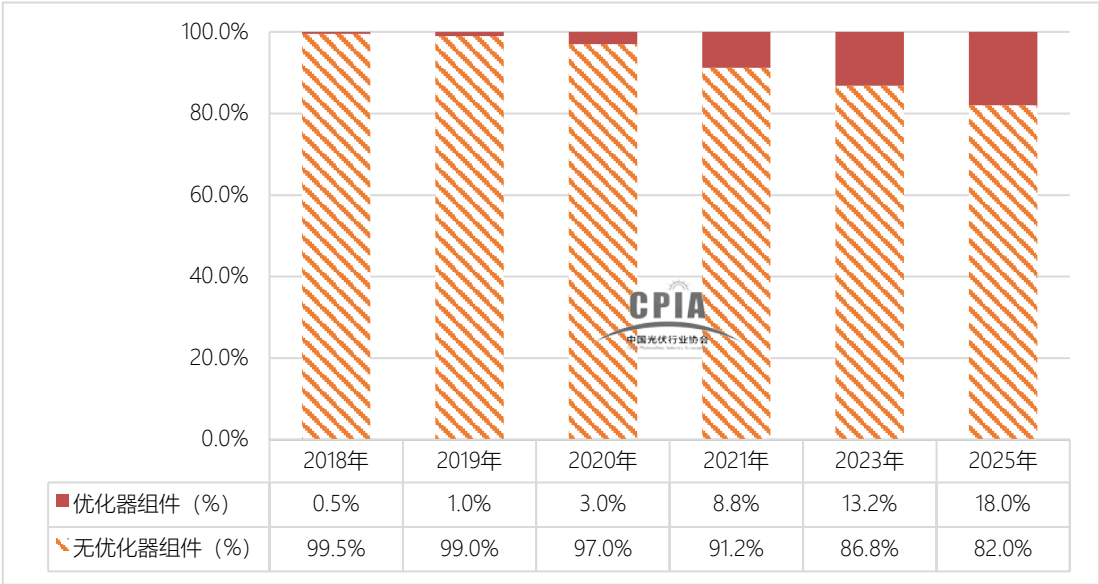


图 46 2018-2025 年使用/不使用优化器组件市场占有率变化趋势

8、组件封装钢化镀膜玻璃透光率

为提升玻璃的透光率，前盖板玻璃采用镀膜技术。目前，组件厂商对透光率的要求在 93.5% 到 93.8%之间。2018 年，钢化镀膜玻璃的透光率最高可以做到在 94%。未来几年，随着工艺进步，透光率有一定增长空间，预计到 2025 年钢化镀膜玻璃透光率可以达到 95%。下图给出了 2018-2025 年组件封装钢化镀膜玻璃透光率变化趋势。

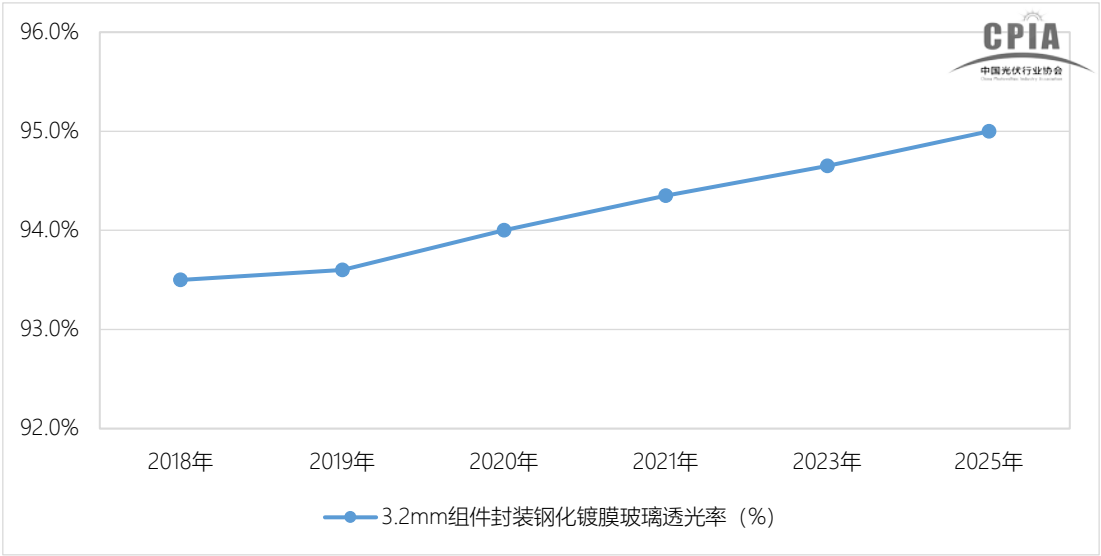


图 47 2018-2025 年组件封装钢化镀膜玻璃透光率变化趋势

9、不同材质的正面盖板玻璃市场占有率

目前，市场上正面盖板玻璃有普通玻璃、镀膜玻璃、拥有深度结构玻璃及其他材料（树脂、有机胶等）。其中，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，并在一段时间内仍然是常用盖板玻璃，2018 年市场占有率进一步提高为 95.3%左右。随着新型材料的出现，预计到 2025 年，传统的镀膜玻璃市占率将下滑至 90%左右。下图给出了 2018-2025 年不同材质正面盖板玻璃的市场占有率的变化趋势。

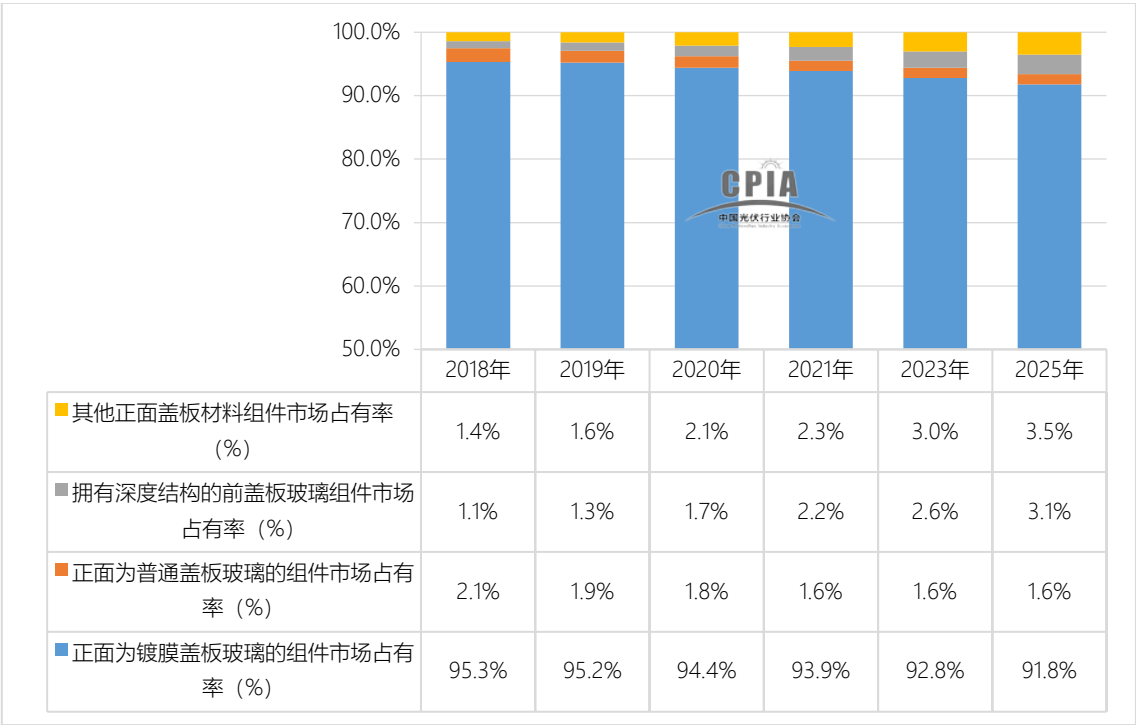


图 48 2018-2025 年不同材质正面盖板玻璃的市场占有率的变化趋势

10、不同前盖板玻璃厚度的组件市场占有率

前盖板玻璃是保护组件不受风雨侵害的重要零部件之一，但在保障组件寿命的同时，玻璃也是削弱太阳光能量的重要因素之一。目前，前盖板玻璃厚度的规格主要有 2.5mm、2.8mm、3.2mm、4.0mm，其中市面上大部分组件厂商使用的是 3.2mm 的前盖板玻璃，2018 年市场占有率为 78.6% 左右。随着组件轻量化及新技术的不断产生，盖板玻璃厚度会向薄片化发展，3.2mm 厚度的前盖板玻璃市占率将不断被压缩，预计到 2025 年，2.5mm 前盖板玻璃将成为市占率第一。其他（2.0mm 以下的前盖板玻璃）厚度的前盖板玻璃市占率也将快速提升。下图给出了 2018-2025 年不同前盖板玻璃厚度的组件市场占有率发展趋势。

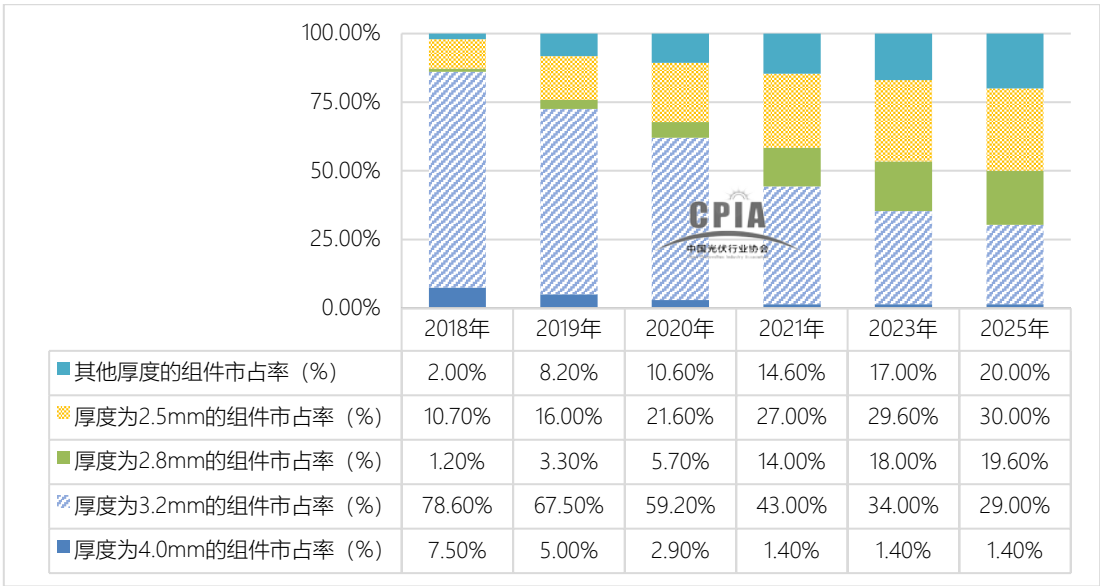


图 49 2018-2025 年不同前盖板玻璃厚度的组件市场占有率发展趋势

11、不同封装材料的市场占有率

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。2018 年，组件市场仍然使用透明 EVA 胶膜为主，约占 80% 的市场份额。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。双玻组件通常采用的是 POE 胶膜，但成本高、原材料基本依赖进口，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，预计未来在双玻组件中将成为主要的封装胶膜。下图给出了 2018-2025 年不同封装胶膜的市场占有率发展趋势。

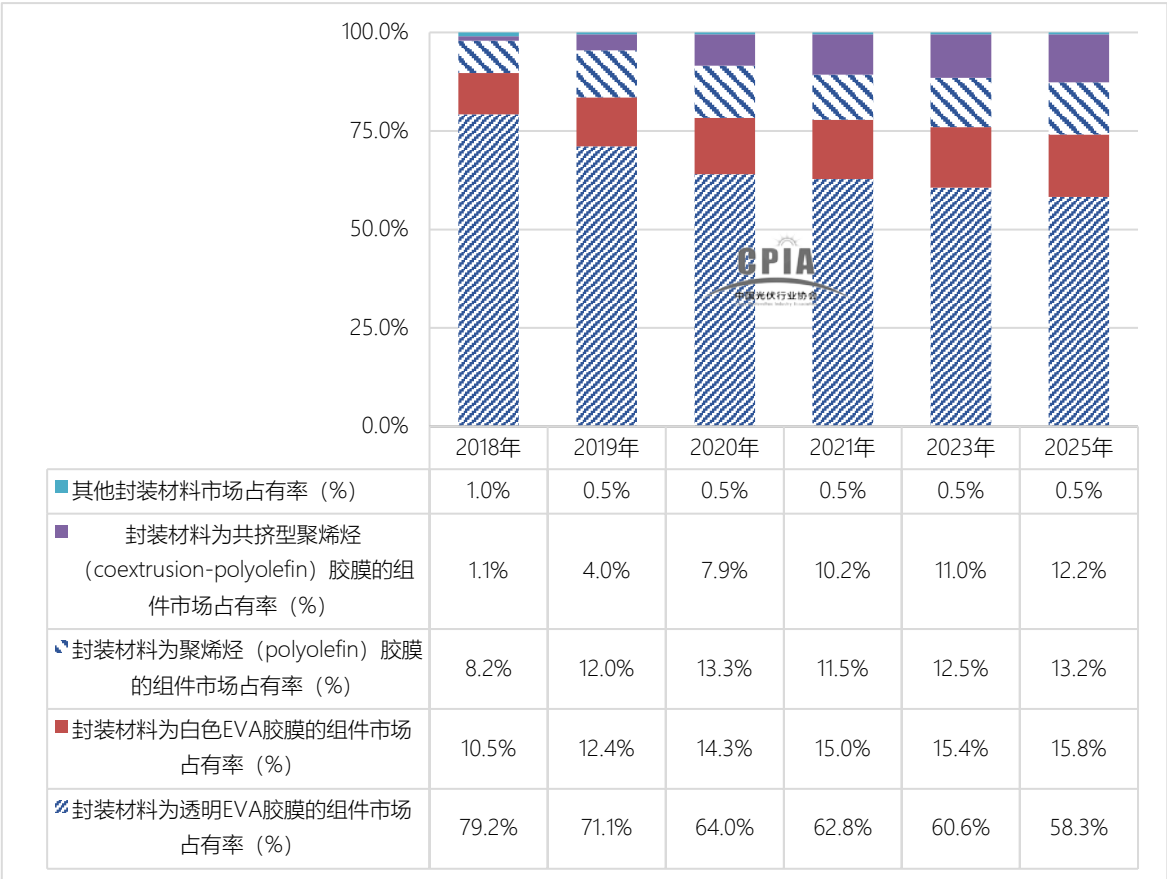


图 50 2018-2025 年不同封装材料的市场占有率发展趋势

12、不同背板材料的市场占有率

目前市场上使用的背板主要有 KPK/KPF/KPE(KPO)结构背板、TPT/TPF/TPE(TPO)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 结构背板、共挤型背板和双面涂料背板等。2018 年，KPK/KPF/KPE(KPO)结构背板市场占有率约为 62%，TPT/TPF/TPE(TPO)结构背板市场占有率约为 16%，其中 TPT/KPK 结构背板市场占有率约为 3%，主要用在国内大型电力央企项目上。其他结构背板中 PET 结构背板主要使用在部分出口至欧洲及日本的组件中，2019 年，欧洲及日本光伏市场需求量的增加可能会导致 PET 结构背板使用量增加。未来随着新型光伏市场的发展及市场需求的变化，双面组件市占率将逐渐增加，玻璃背板和透明有机背板使用量也将逐年提升。下图给出了 2018-2025 年不同背板材料的市场占有率。

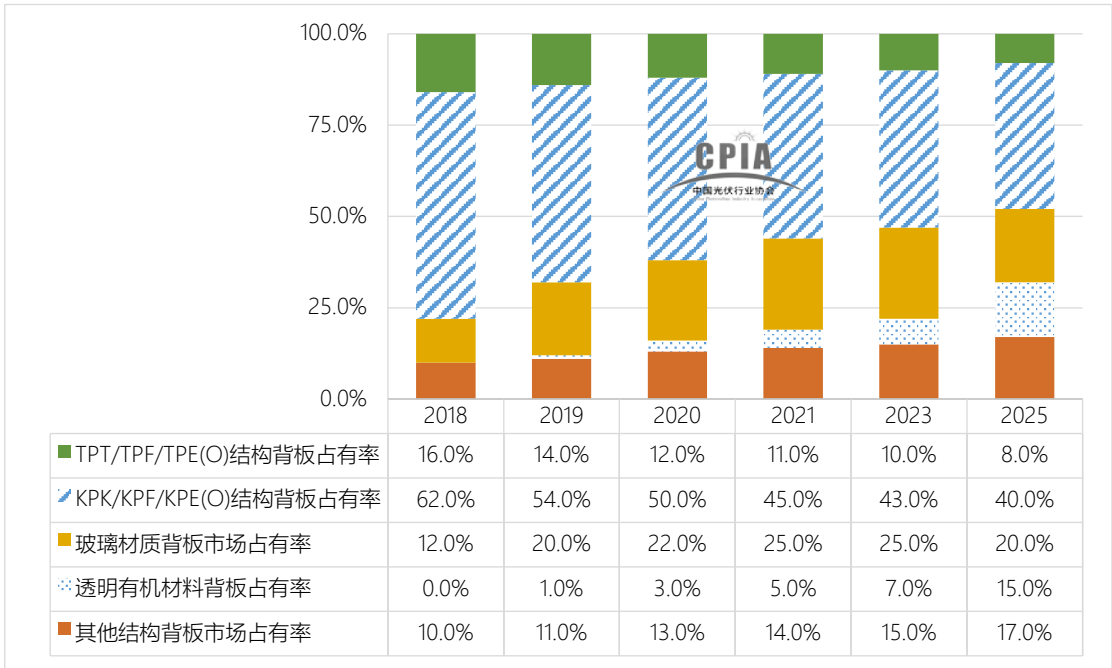


图 51 2018-2025 年不同背板胶膜市场占有率变化趋势

13、边框与玻璃之间粘接材料的市场占有率

目前边框与玻璃间粘接主要采用硅酮胶作为粘接封装材料，2018 年市场份额约 94%左右，相比 2017 年下降了 2 个百分点，但到 2025 年仍会是市场主流。胶带目前已经有企业开始使用，未来市场份额会逐年上升，但空间不大，其他新型粘接材料市占率也会逐年上升。下图给出了 2018-2025 年不同边框材料的市场占有率。

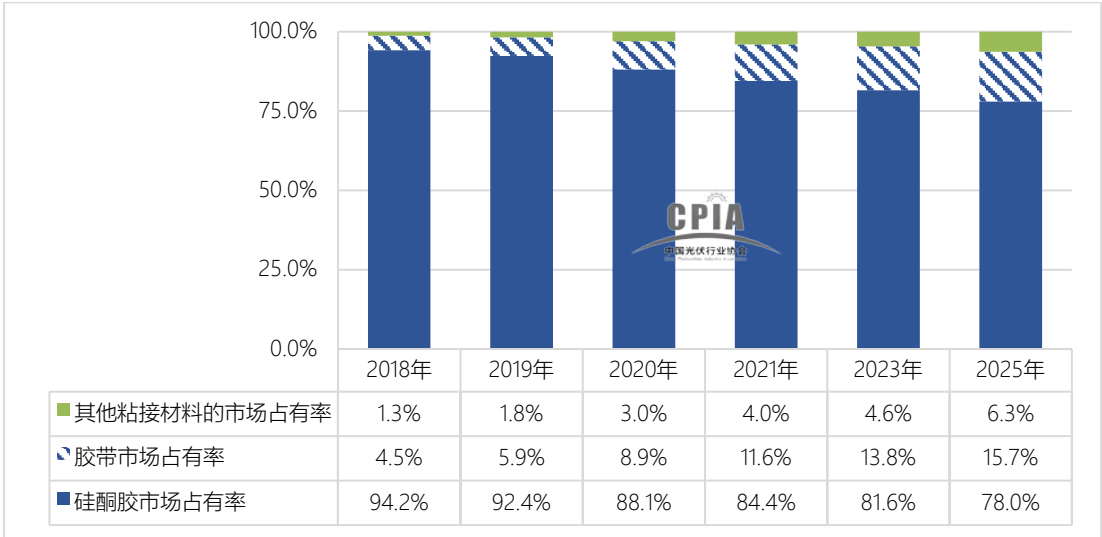


图 52 2018-2025 年不同粘接材料市场占有率变化趋势

14、组件成本

组件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。2018 年底，单晶 PERC 组件成本降至约 1.44 元/W，黑硅多晶组件、黑硅多晶 PERC 组件成本较单晶 PERC 组件低 5-6 分/W。随着电池片转换效率和每公斤硅片出片量的提升，组件成本有望持续下降，预计 2020 年可降至 1.2 元/W，优秀企业成本或更低。下图给出了 2018-2025 年组件成本变化趋势。

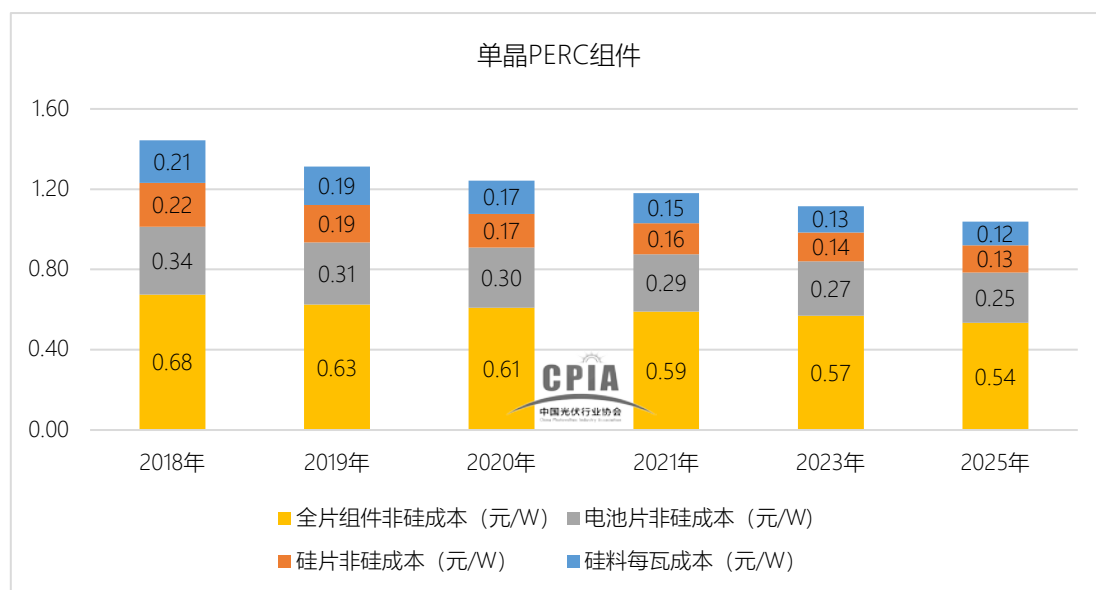


图 53 2018-2025 年组件成本变化趋势

15、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）。2018 年，我国组件工厂人均产出率约为 1.9MW/年，同比提升 11.8%。随着“中国制造 2025”以及“工业 4.0”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 年有望达到每年 3.8MW/年。下图给出了 2018-2025 年组件工厂人均产出变化趋势。

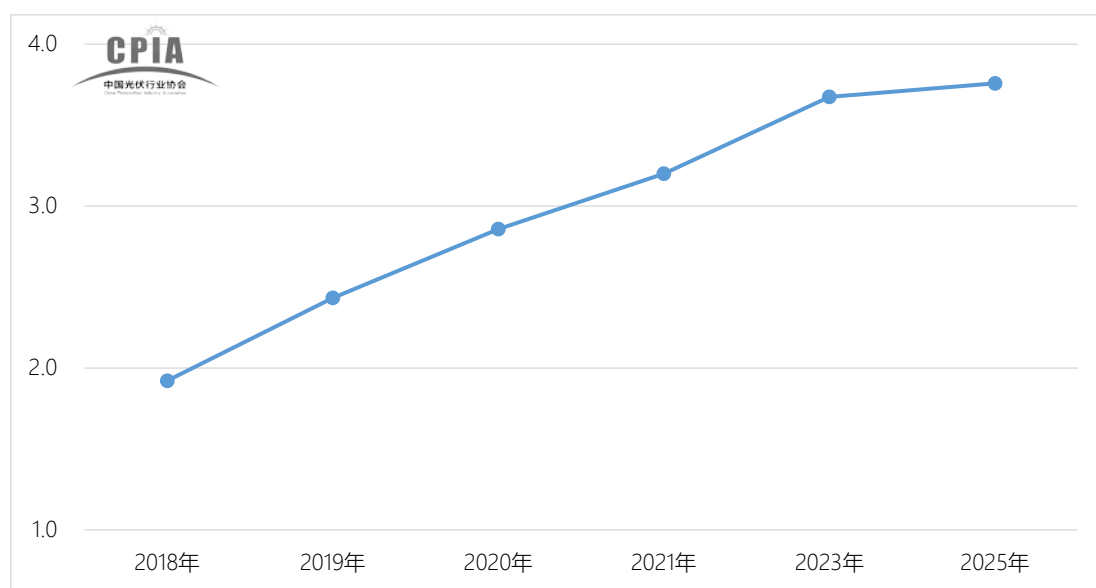


图 54 2018-2025 年组件工厂人均产出变化趋势（单位：MW/年）

16、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。2018 年，国内组件生产线投资成本平均 6.8 万元/MW。随着国产层压机、自动焊接机等设备性能不断提升，单位时间处理的组件块数也会快速增多；同时，电池片转换效率不断提升，半片、叠片以及新型材料的使用，都可以使得组件生产线投资成本进一步降低。下图给出了 2018-2025 年组件生产设备投资的发展趋势。

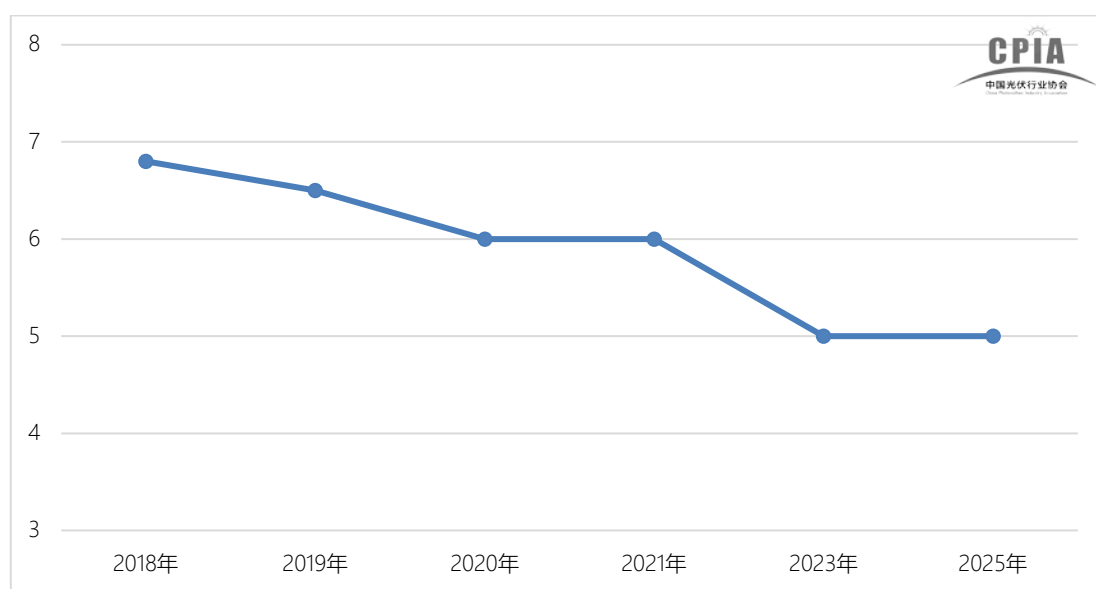


图 55 2018-2025 年组件生产设备投资变化趋势（单位：万元/MW）

（五）薄膜太阳能电池

薄膜太阳能电池具有衰减低、重量轻、材料消耗少、制备能耗低等特点，目前能够商品化的主要包括铜铟镓硒（CIGS）、碲化镉（CdTe）、砷化镓（GaAs）等。目前，全球碲化镉薄膜电池实验室效率纪录达到 22.1%，组件效率达到 17%-18%；铜铟镓硒（CIGS）薄膜太阳能电池实验室效率纪录达到 22.9%，产线组件平均效率达到 15%-16%；Ⅲ-V 族薄膜太阳能电池具有超高转换效率，在特殊的应用场景具备发展潜力，但目前由于成本较高，还未实现大规模量产。

1、CdTe 薄膜太阳能电池转换效率

表 5 2018-2025 年国内 CdTe 薄膜太阳能电池转换效率变化趋势

效率 (%)	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年
小电池片实验室最高转换效率 (%)	18%	19%	20%	21%	23%	25%
组件量产最高转换效率 (%)	14.5%	15.5%	16.5%	17.5%	19%	21%
组件量产平均转换效率 (%)	14%	15%	16%	17%	18%	20%

2018 年国内 CdTe 组件量产平均效率约为 14%，2020 年有望达到 16%。

2、CIGS 薄膜太阳能电池转换效率

表 6 2018-2025 年国内 CIGS 薄膜太阳能电池转换效率变化趋势

效率 (%)	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年
小电池片实验室最高转换效率 ($\geq 1\text{cm}^2$ 孔径面积效率)	21.2%	23.0%	24.0%	24.5%	25.0%	26.0%
玻璃基组件量产最高转换效率 (全面积效率)	17.5%	18.5%	19.5%	20.0%	21.0%	22.0%
玻璃基组件量产平均转换效率 (全面积效率)	16.0%	17.0%	18.0%	18.5%	19.0%	20.0%
柔性小组件最高转换效率 (孔径面积效率)	17.9%	19.0%	20.0%	20.5%	21.0%	22.0%
柔性组件量产平均转换效率 (孔径面积效率)	16.5%	18.0%	18.5%	19.0%	20.0%	20.5%

备注：柔性组件为开口面积效率

2018 年量产的玻璃基 CIGS 组件平均转换效率提升到 16%，柔性 CIGS 组件量产平均转换效率 16.5%。预计到 2020 年，CIGS 小电池片的实验室效率有望达到 24%，组件全面积量产平均效率达到 18%。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。

3、Ⅲ-V 族薄膜太阳能电池转换效率

表 7 2018-2025 年国内Ⅲ-V 族薄膜太阳能电池转换效率变化趋势

效率 (%)	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2023 年	2025 年
小电池片单结实验室最高转换效率 ($\geq 1\text{cm}^2$ 孔径面积效率)	29.1%	29.4%	30%	30%	30%	30%
小电池片单结量产转换效率 (量产产 线产出的芯片的平均孔径面积效率)	27.0%	28.0%	28.3%	28.4%	28.5%	29.0%
小电池片双结实验室最高转换效率 ($\geq 1\text{cm}^2$ 孔径面积效率)	31.6%	33.0%	33.5%	33.5%	33.5%	33.5%
小电池片三结实验室最高转换效率 ($\geq 1\text{cm}^2$ 孔径面积效率)	34.5%	36.0%	38.0%	39.0%	39.0%	39.0%
高倍聚光三结及三结以上实验室最高 转换效率 (芯片聚光效率)	41.0%	42.0%	45.0%	46.0%	48.0%	50.0%

Ⅲ-V 族薄膜电池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。有希望进一步提高光电转换效率的途径包括采用稀氮化合物等新材料，以及晶格匹配、晶格失配的四结电池甚至五结、六结等多结电池。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。预计到 2019 年，双结电池研发效率达到 33%左右，三结电池的研发效率大于 36%。

（六）逆变器

1、不同类型逆变器的市场份额

光伏逆变器是光伏发电系统主要部件之一，光伏逆变器主要的功能是把组件所发的直流电转化成交流电，并跟踪光伏阵列的最大输出功率，将其能量以最小的变换损耗、最佳的电能质量馈入电网。光伏逆变器按照适用场所分为集中式逆变器、集散式逆变器、组串式逆变器以及微型逆变器。2018 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，微型和集散式逆变器占比较小。随着分布式光伏市场的快速增大及集中式光伏电站中组串式逆变器占比的增高，组串式逆变器在 2018 年的市场占比达到了 60.4%。集散式光伏逆变器相比集中式逆变器提升 MPPT 控制效果，且相比组串式逆变解决方案拥有较低的建造成本。因此，市场份额呈现出逐年上升的趋势。2018-2025 年不同类型逆变器的市场份额如下图所示。

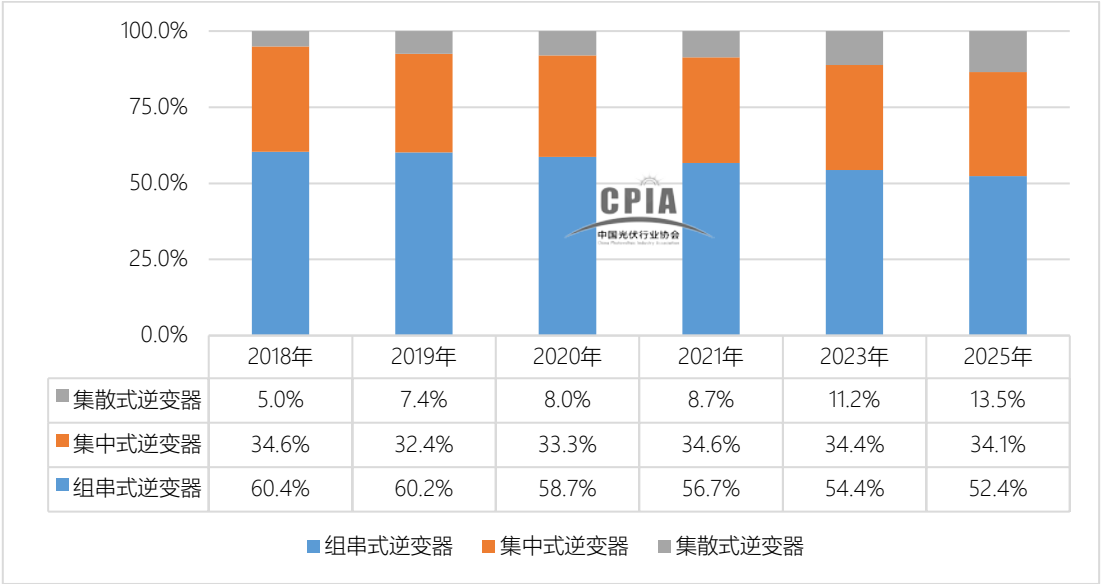


图 56 2018-2025 年不同类型逆变器的市场份额

2、不同类型逆变器的中国效率

2018 年，集中式逆变器的中国效率平均在 98.3%左右，集散式逆变器在 98.4%左右，组串式逆变器在 98.4%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，碳化硅等新型高效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。下图给出了 2018-2025 年不同类型逆变器中国效率变化趋势。

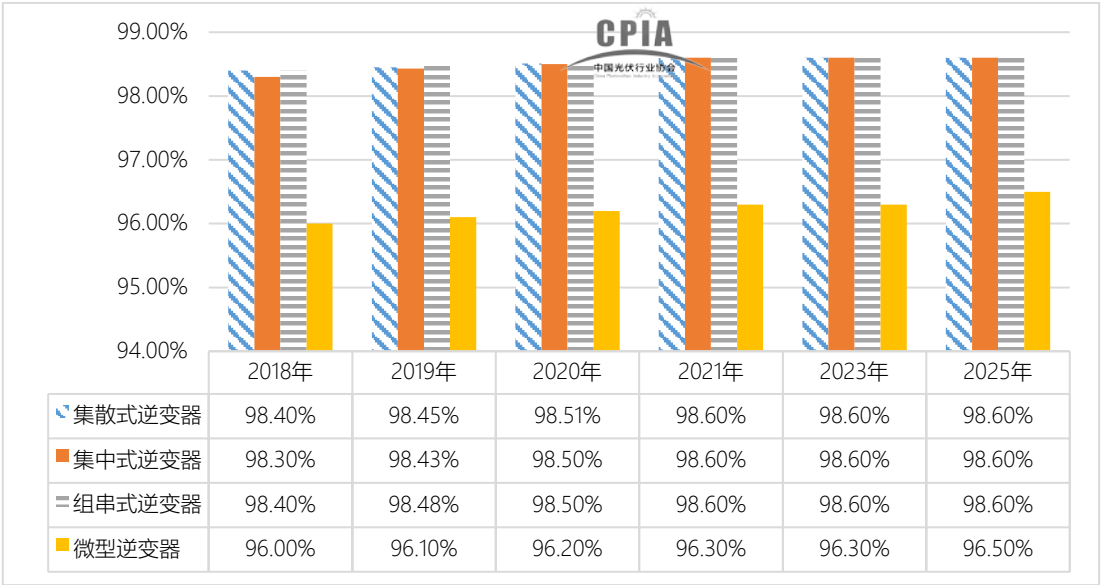


图 57 2018-2025 年不同类型逆变器中国效率变化趋势

3、中压系统逆变器⁵

“集成中压系统逆变器”指逆变器集成了升压变压器的“逆”“变”一体系统；“非集成中压系统逆变器”指逆变器未集成升压变压器的逆变器系统。由于“逆变升压”一体系统，集成了高效升压变，具有逆变器和变压器统一维护、降低系统总投资成本、提升系统效率等优点。2018 年集成中压系统逆变器占比达到了 80%，预计到 2025 年集成中压系统逆变器将占到九成。

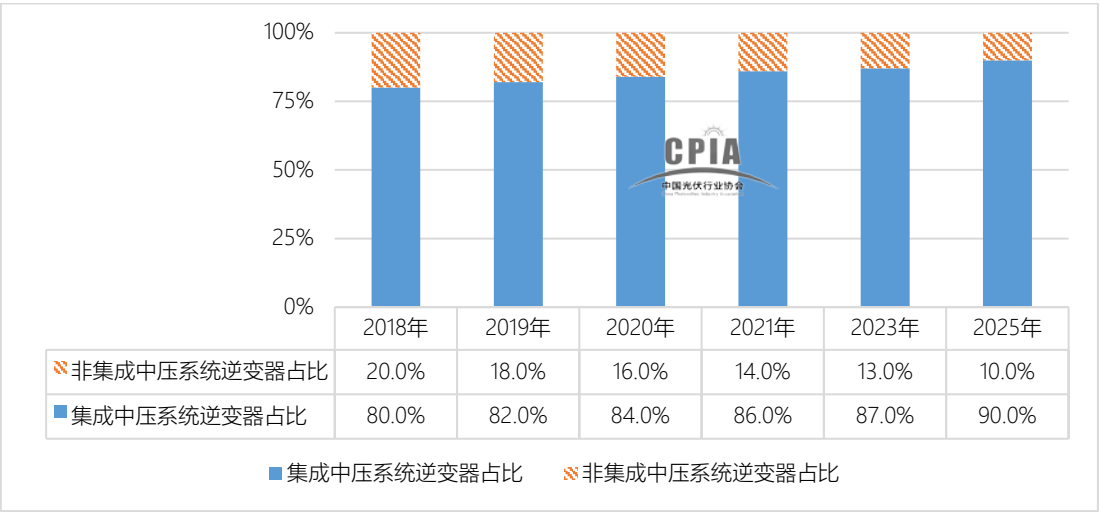


图 58 2018-2025 年不同中压系统逆变器占比

⁵ 本指标仅针对集中式逆变器和分散式逆变器。

（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。2018 年,全球光伏新增装机市场预计达到 110GW,创历史新高。2019 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 110GW,乐观情形下甚至达到 120GW,如下图所示。

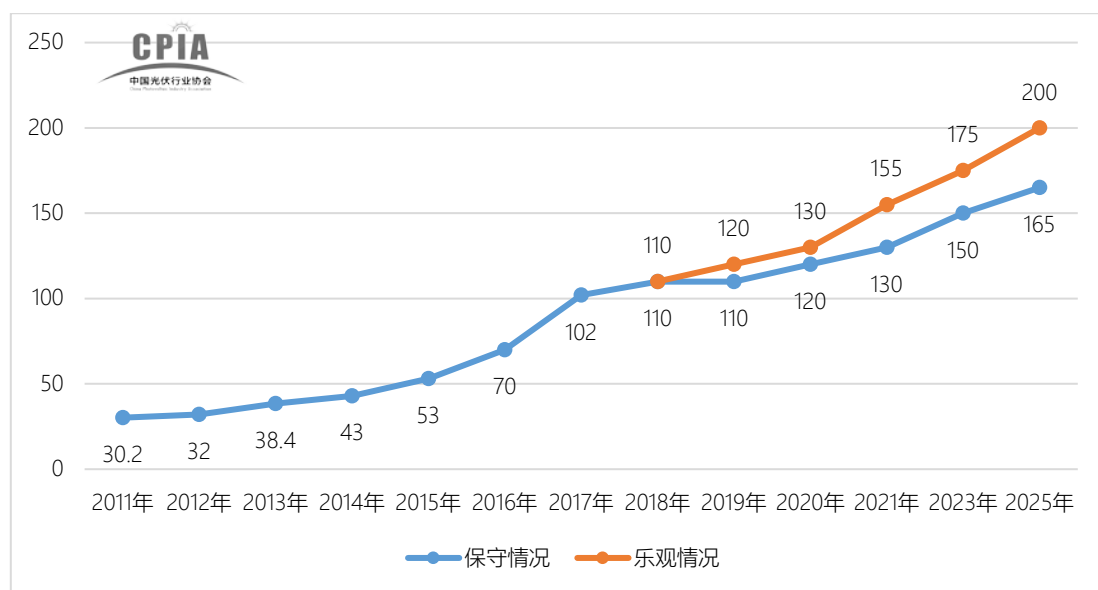


图 59 2011-2018 年全球光伏年度新增装机规模以及 2019-2025 年新增规模预测 (单位: GW)

2、国内光伏新增装机量

2018 年,受政策影响,国内光伏新增装机下滑至 44GW,同比下降 17%,但仍居全球首位。未来两年是进入平价上网时代的关键期,企业面临补贴拖欠、非技术成本居高不下等压力,但电力改革不断深入、弃光限电问题逐步改善等推动光伏发电环境不断优化。预计 2019、2020 年国内新增光伏市场将保持一定规模,且将在资源良好、电价较高地区出现平价项目。“十四五”期间不依赖补贴将使光伏摆脱总量控制束缚,新增装机市场将稳步上升。2011-2018 年国内光伏年度新增装机规模以及 2019-2025 年新增规模预测如下图所示。

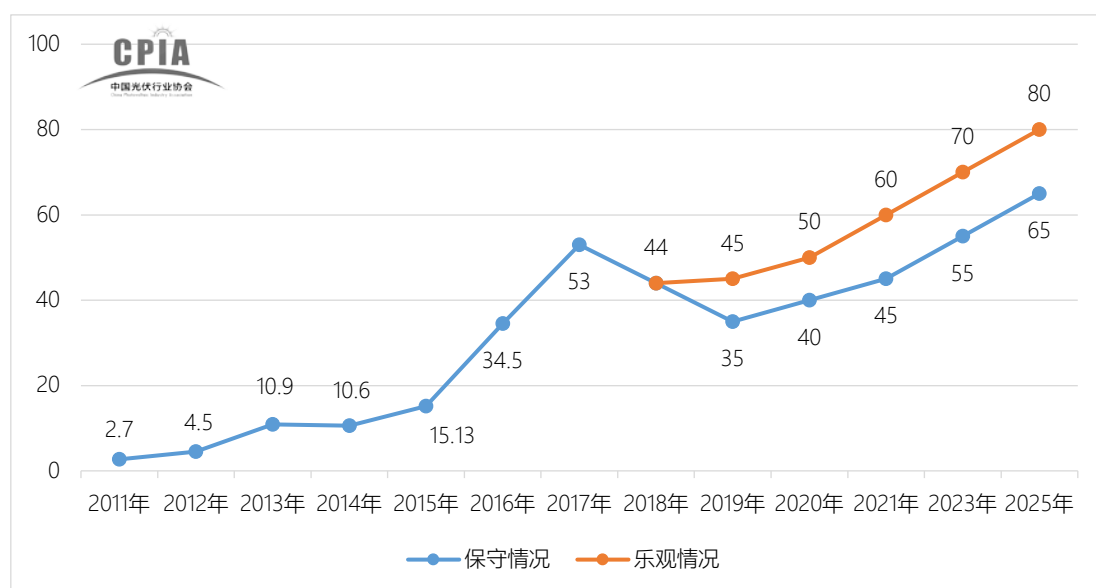


图 60 2011-2018 年国内光伏年度新增装机规模以及 2019-2025 年新增规模预测 (单位: GW)

3、光伏应用市场

2018 年，分布式发电成为发展重点，新增装机规模占新增装机市场的 47.3%，大型地面电站占比 52.7%。预计 2019 年，大型地面电站的装机量占比有所回升至 54%，主要有领跑基地、部分外送通道配套电源、部分存量电站及平价示范项目；分布式光伏发电项目装机量预计占比仍将保持在较高水平。2020 年之后，电力消纳在西北部地区得到较大缓解，光伏发电实现发电侧平价，同时在特高压输电建设、电改、光伏+等驱动下，集中式光伏电站有可能呈现新一轮发展热潮。同时，光伏发电作为可移动电源，也将在消费品领域得到推广应用。

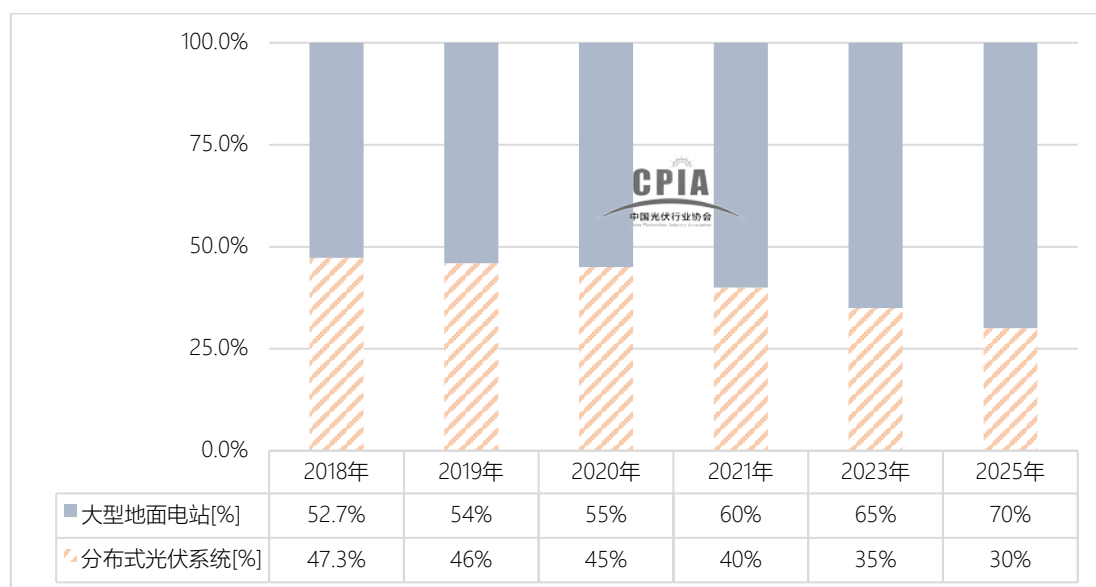


图 61 2018-2025 年不同类型光伏应用市场变化趋势

4、我国光伏系统初始投资

(1) 地面光伏系统初始全投资（CAPEX）⁶

我国地面光伏系统的初始投资主要由组件、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。

2018 年，我国地面光伏系统的初始全投资成本为 4.92 元/W 左右，较 2017 年下降 1.83 元/W。其中，组件约占投资成本的 40%，非技术成本约占 17%（不包含融资成本）。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。预计到 2019 年全投资成本可下降至 4.50 元/W，2020 年可下降至 4.18 元/W。



图 62 2018-2025 年我国地面光伏系统的初始投资变化趋势

⁶ 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的初始投资

我国工商业分布式光伏系统的初始投资主要由组件、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。2018 年我国工商业分布式光伏系统初始投资成本为 4.18 元/W，2019 年预计下降至 3.79 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压缩的可能性较低。

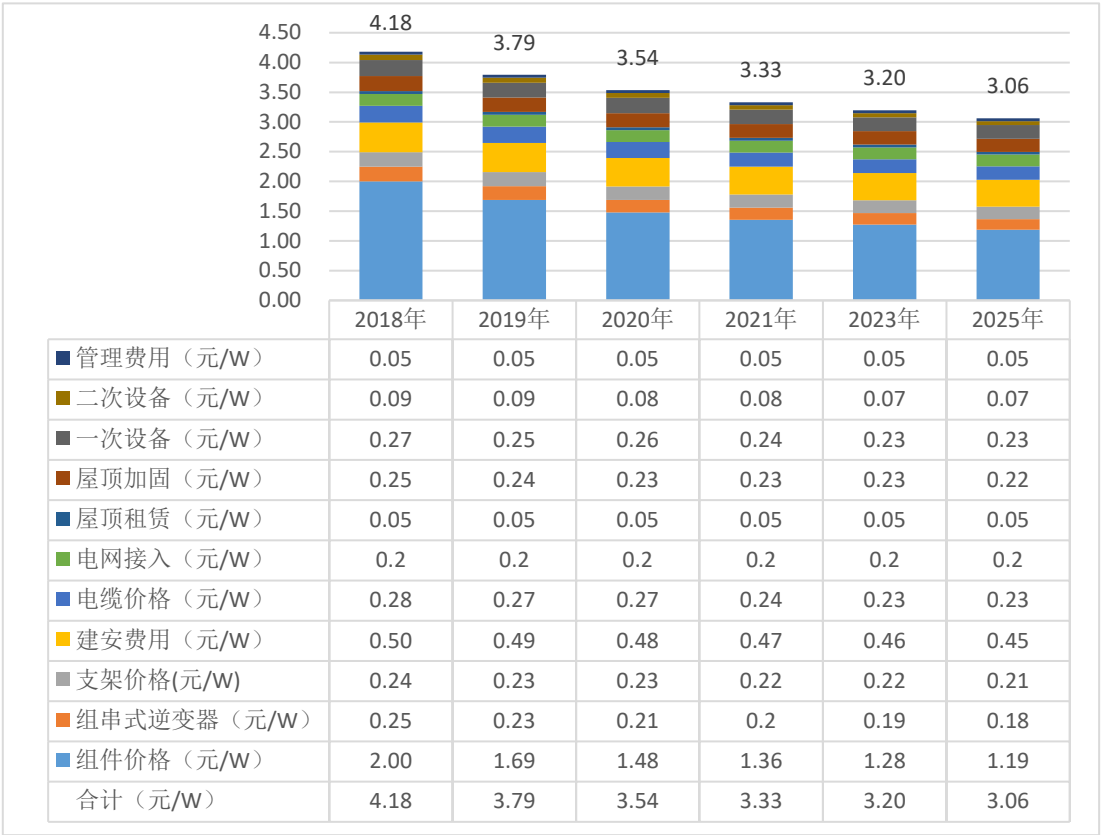


图 63 2018-2025 年我国工商业分布式光伏系统的初始投资变化趋势

(3) 电站运维成本⁷

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。2018 年分布式光伏系统运维成本为 0.06 元/W/年，集中式地面电站为 0.05 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。

⁷ 电站运维仅包括基础运维，不含纳入固定资产更换的部分

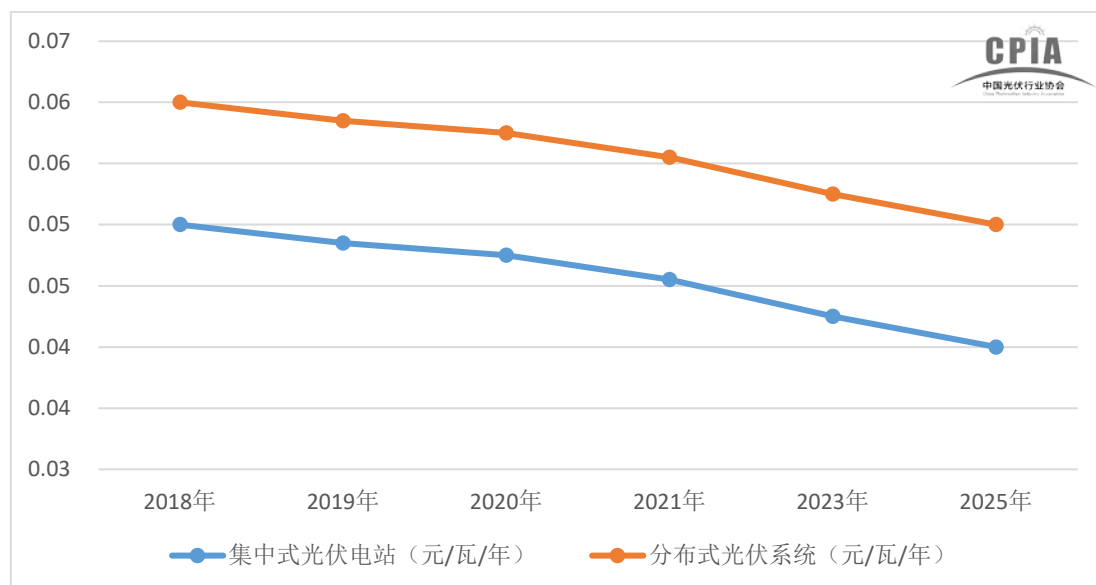


图 64 2018-2025 年我国光伏系统的运维成本变化趋势 (单位: 元/瓦/年)

5、不同等效利用小时数的 LCOE 估算⁸

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的对比。在全投资模型下, LCOE 与初始投资、运维费用、发电量有关。2018 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 0.31、0.37、0.46、0.55 元/KWh。未来随着组件、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 年后在部分高脱硫煤电价地区可优先实现与煤电同价。

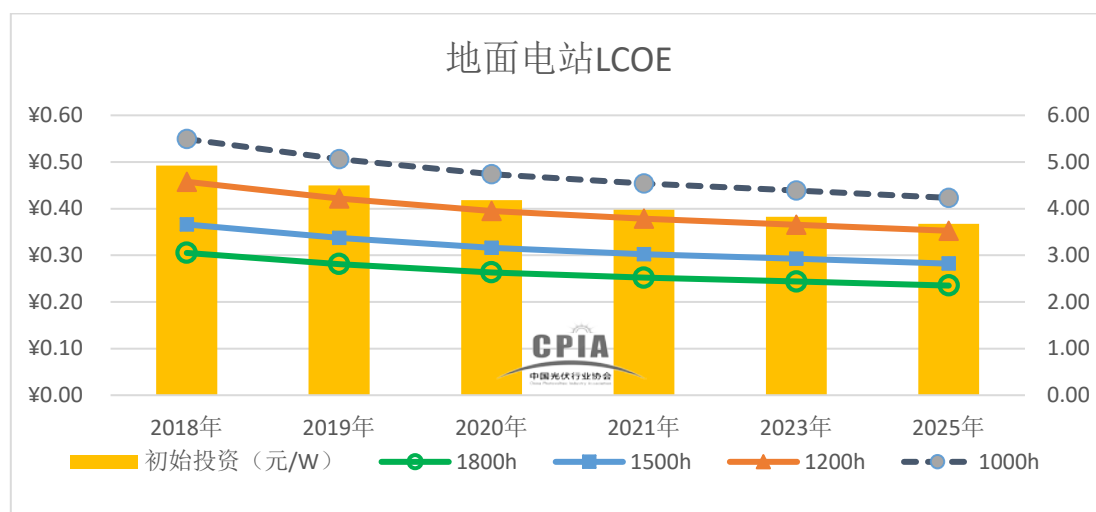


图 65 2018-2025 年光伏地面电站不同等效利用小时数 LCOE 估算 (元/kwh)

⁸ 本估算值仅考虑全投资情景, 不包含融资成本

2018 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 0.27、0.32、0.40、0.48 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。

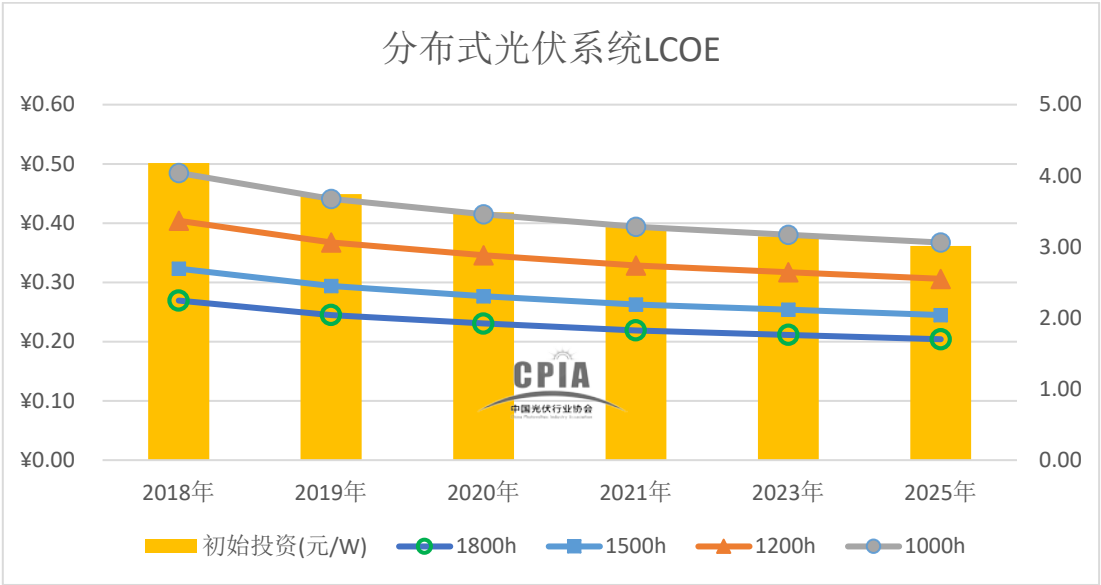


图 66 2018-2025 年分布式光伏系统不同等效利用小时数 LCOE 估算 (元/kwh)

6、不同系统电压等级的市场占比

2018 年，光伏电站建设仍主要以 1000V 为主，占比 90%以上，但未来随着光伏应用多样化，占比将逐年降低。1500V 系统可有效降低线损等，国外地面电站应用较多，国内已经有部分地面电站开始使用，未来将逐渐在地势一致性较好的地面电站上得到更大应用。

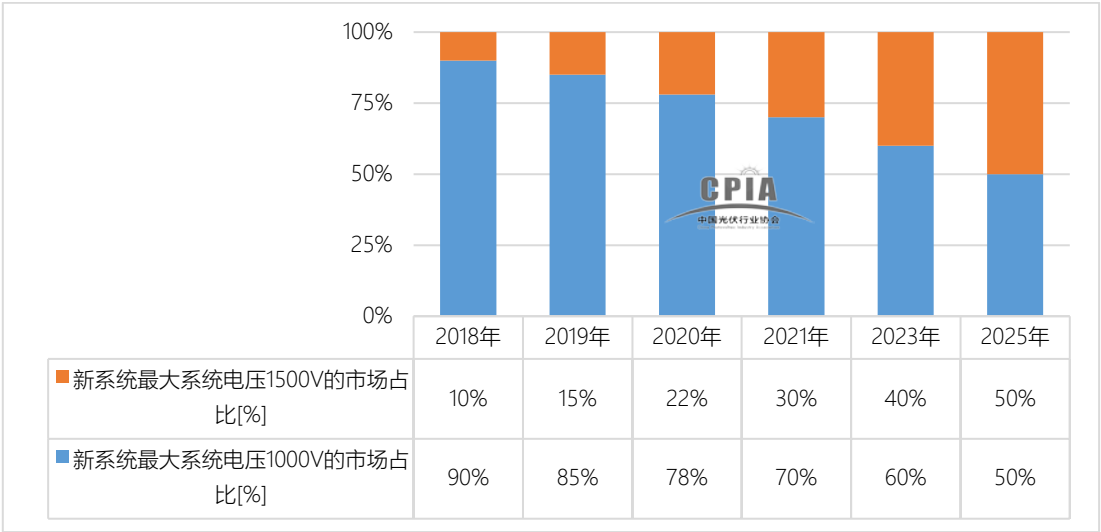


图 67 2018-2025 年不同系统电压市场占比的变化趋势

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（不含固定可调）等，其中单轴跟踪系统又分为平单轴和斜单轴。因其发电量增益的优势，未来光伏电站配套跟踪系统将是行业发展一个重要方向。当前跟踪系统市场主要以单轴跟踪系统为主，2018 年跟踪系统主要用于“领跑者”项目，市场份额占比同比增长 12 个百分点。由于跟踪系统在国内投入应用的时间不长，其稳定性还有待进一步解决，成本也相对较高，因此其市场增速相对缓慢。下图给出了 2018-2025 年跟踪系统市场占比的变化趋势。

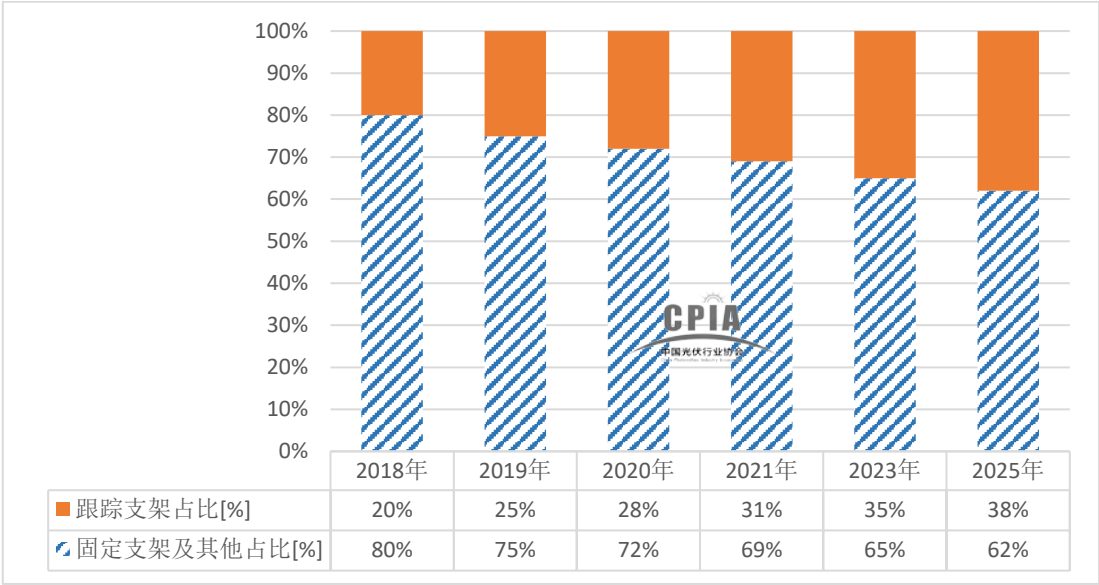


图 68 2018-2025 年跟踪系统市场占比的变化趋势

8、新建光伏电站系统的 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、组件性能衰减、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、减少衰减、减少故障、减少系统各个环节的损失、减少弃光、加强维护清洗等方式来提高 PR 值。下图给出了 2018-2025 年新建光伏电站的 PR 值的变化趋势。

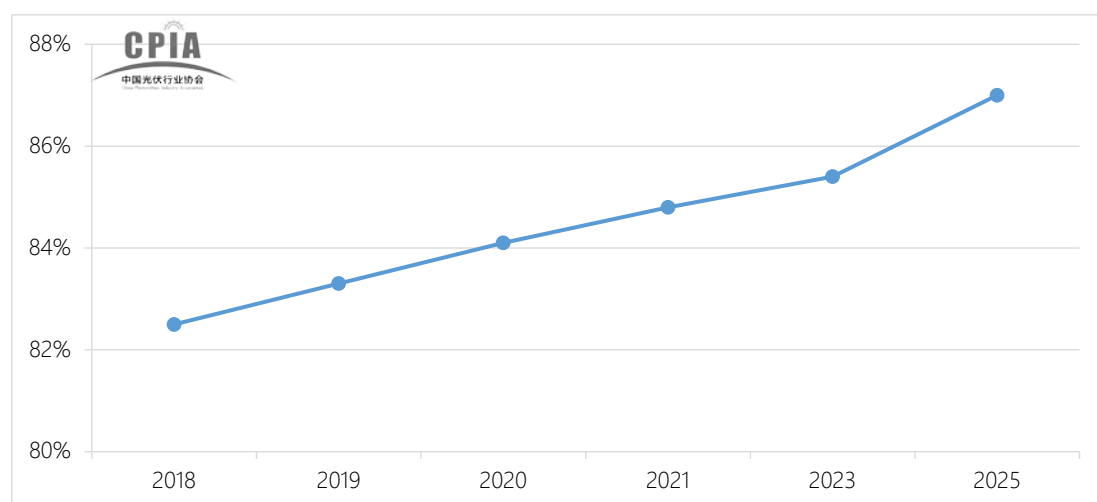


图 69 2018-2025 年 新建光伏电站系统的 PR 值的变化趋势

注：PR (performance Ratio) ⁹:

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

$= E_{ac}/(P_0 H/G)$ = 实发电量/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 $1kW/m^2$

⁹ 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370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 8 层

邮编：100846

电话：010-68200513

传真：010-68209618

网址：<http://www.ccidwise.com/>