

# 中国光伏产业发展路线图

(2016年版)

中国光伏行业协会  
中国电子信息产业发展研究院



## 项目指导单位

---

工业和信息化部电子信息司

## 项目承担单位

---

中国光伏行业协会  
中国电子信息产业发展研究院

## 项目咨询专家（按姓氏拼音排序）

---

陈立民、陈文杰、崔成军、丁建、冯志强、胡动力、黄强、金浩、金锐、贾锐、李定武、李华、李建飞、李立伟、廉锐、刘正新、罗宇浩、倪志春、彭程、时璟丽、宋登元、宋锋兵、宋高杰、孙云、唐小棠、万宏、万跃鹏、王霁雪、王斯成、王士涛、王体虎、王文静、吴选之、邢国强、许洪华、徐永邦、严大洲、易正义、袁桐、张凤鸣、张磊、张先淼、朱国平

## 项目编写组

---

王世江、陈杰勇、江华、刘渝声、王双、朱彬、金艳梅

## 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。光伏产业是我国具有国际竞争优势的战略性新兴产业，长期以来，工业和信息化部作为行业主管部门，始终高度重视我国光伏产业发展，通过规划、标准、准入条件等政策措施，有力推动了光伏产业快速发展，光伏电池制造产业规模迅速扩大，2015年我国多晶硅、硅片、电池、组件和逆变器等产业链主要环节的全球市场占比已分别达到48%、76%、65%、68%和40%，市场占有率位居世界前列，成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，我国光伏发电装机容量年均增长179%，截至2015年底，我国光伏发电累计并网容量已达到4318万千瓦，成为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，中国电子信息产业发展研究院、中国光伏行业协会组织专家编制了《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。鉴于未来产业发展存在较多不确定性，光伏产业的发展受到政策、技术、市场、企业、经济环境等因素影响，《路线图》要适时进行动态调整，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。

祝愿中国光伏产业发展越来越好！

工业和信息化部电子信息司司长

2016年12月28日





## 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。

通过制定产业发展路线图的方式引领产业发展方向，有利于中长期的产业布局 and 规划，有利于进一步扩大我国光伏制造业优势，有利于抢占产业发展的制高点，有利于在世界上引领全球光伏产业的发展，同时也是全球产业界的普遍做法。因此，作为全球光伏制造和光伏应用大国，制定符合我国国情的光伏产业发展路线图，对于引导光伏产业“十三五”期间健康良性发展具有重要意义。为此，在行业主管部门的指导下，中国光伏行业协会组织专家历时一年编制了《中国光伏产业发展路线图》（以下简称《路线图》）。

《路线图》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 62 个关键指标。

《路线图》广泛征集了 100 多家光伏企业的一线意见，先后多次召开各环节专家会议以及整体性专家会议，在此基础上，根据 2016 年产业情况，参考过往产业发展实情，预测了 2017、2018、2020、2022 和 2025 年的发展目标。这些指标体现了产业、技术、市场等发展趋势，具有一定的前瞻性，我们计划每年都对《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  
中国电子信息产业发展研究院  
2016 年 12 月 28 日

## 目录

<b>一、路线图编制说明</b> .....	<b>1</b>
(一) 涵盖内容 .....	1
(二) 指标值的确定 .....	1
(三) 路线图编制过程 .....	2
<b>二、中国光伏产业发展简况</b> .....	<b>2</b>
<b>三、产业链各环节关键指标</b> .....	<b>5</b>
(一) <b>多晶硅环节</b> .....	<b>5</b>
1、还原电耗 .....	5
2、冷氢化电耗 .....	6
3、综合电耗 .....	7
4、水耗 .....	7
5、蒸汽耗量 .....	8
6、多晶硅综合能耗 .....	8
7、硅耗量 .....	9
8、还原余热利用率 .....	9
9、各种生产技术市场占比 .....	10
10、多晶硅生产线设备投资 .....	10
11、人均产出量 .....	11
(二) <b>硅片环节</b> .....	<b>11</b>
1、拉棒电耗 .....	11
2、铸锭电耗 .....	12
3、硅片厚度 .....	13
4、铸锭投料量 .....	13
5、金刚线切片 .....	14
6、铸锭收料率 .....	15
7、切割线线径 .....	15



8、切割磨料尺寸·····	16
9、单多晶市场份额占比·····	16
<b>(三) 电池片环节·····</b>	<b>17</b>
1、各种电池技术平均转换效率·····	17
2、各种电池技术市场占比·····	18
3、电池线人均产出率·····	18
4、电池线设备投资·····	19
5、电池铝浆消耗量·····	19
6、P型电池银浆消耗量·····	20
7、铜电极技术·····	21
8、电池片方块电阻·····	21
9、P型硅电池发射极掺杂技术·····	22
10、N型硅电池发射极掺杂技术·····	22
11、背钝化技术·····	23
12、电池正面细栅线宽度·····	24
13、各种主栅市场份额占比·····	24
<b>(四) 组件环节·····</b>	<b>25</b>
1、组件人均产出率·····	25
2、电池到组件封装损失(CTM)·····	26
3、60片电池的组件功率·····	26
4、全片和半片电池组件市场占比·····	27
5、60片和72片组件市场占比·····	27
6、组件封装钢化非镀膜玻璃透光率·····	28
7、组件封装钢化镀膜玻璃透光率·····	29
8、不同盖板材料的市场占有率·····	29
9、不同盖板玻璃厚度的市场占有率·····	30
10、电池片互联技术市场占有率·····	30
11、不同封装胶膜材料的市场占有率·····	31
12、不同封装背板材料的市场占有率·····	31
13、不同边框材料的市场占有率·····	32
14、不同粘接材料的市场占有率·····	33
15、组件关键环节生产效率·····	33
16、电池片厚度·····	34

<b>(五) 薄膜太阳能电池</b>	<b>34</b>
1、CdTe 薄膜太阳能电池转换效率	34
2、CIGS 薄膜太阳能电池转换效率	35
3、GaAs 薄膜太阳能电池转换效率	35
<b>(六) 逆变器和系统环节</b>	<b>36</b>
1、不同类型逆变器的中国效率	36
2、不同类型逆变器的最大效率	37
3、不同功率等级逆变器的市场份额	37
4、不同类型逆变器的市场占比	38
<b>(七) 系统环节</b>	<b>39</b>
1、全球光伏新增装机量	39
2、国内光伏年度新增装机量预测	39
3、国内光伏电站投资成本预期	40
4、光伏应用市场	41
5、不同系统电压等级的市场占比	42
6、跟踪系统市场占比	43



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，我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。光伏产业链构成如图 1 所示。

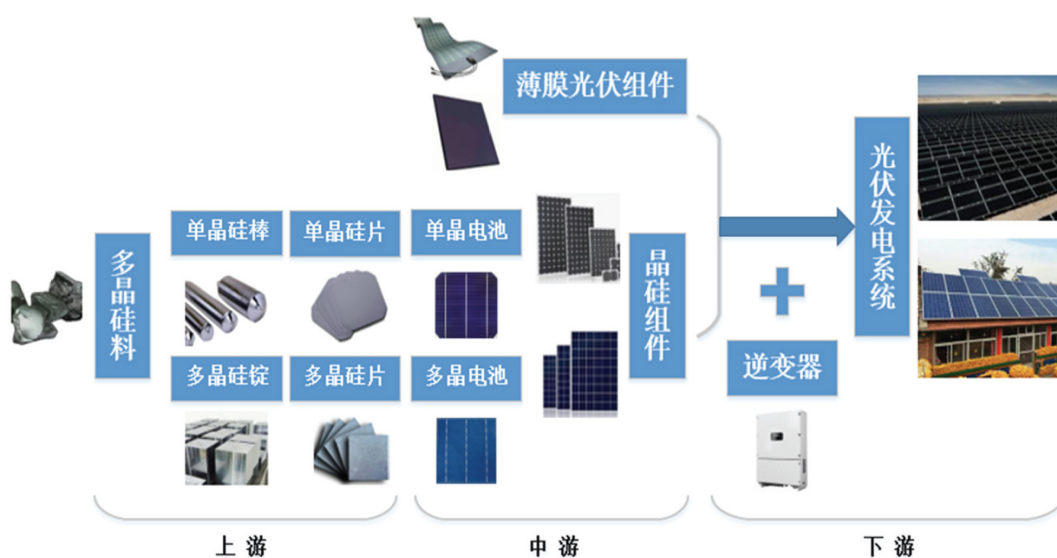


图 1 光伏产业链构成

## 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、平衡部件、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

路线图在制定过程中坚持客观性、科学性、广泛性和前瞻性的原则，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在未来 5-10 年的发展趋势。其中，问卷调查的对象以光伏骨干生产企业为主，设备、材料等企业为辅，同时邀请行业内主要的光伏科研院所、政府机关、咨询机构等单位参与，本次路线图中各个环节参与企业的生产规模占到我国总生产规模的 70% 以上；现场研讨以围绕产业链关键环节的专题会为主要形式，对指标取值的合理性、科学性等进行研讨。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，且计划每年对路线图进行更新，以不断逼近“真值”，更好地及时地反映行业发展情况。

### (三)《路线图》编制过程

《路线图》编制工作历经近一年时间，大致可分为19个阶段（如表1所示）。

表1 路线图编制时间表

《路线图》编制过程	时间
1、参与单位的召集	2015年11月
2、指标意见征集	2015年11月
3、设计调查指标问卷	2015年12月
4、发放调查指标问卷	2016年1月
5、回收调查指标问卷	2016年2月
6、整理多晶硅、硅片环节指标并得出初步数值	2016年3月
7、召开多晶硅和硅片环节专家研讨会	2016年3月
8、整理电池片和组件环节指标并得出初步数值	2016年4月
9、召开电池片和组件环节专家研讨会	2016年4月
10、整理逆变器和系统环节指标并得出初步数值	2016年6月
11、召开《路线图》逆变器和系统环节专家研讨会	2016年7月
12、撰写路线图初稿	2016年8月
13、路线图工作组专家分环节审阅	2016年9月
14、根据专家意见，撰写路线图第二稿	2016年9月
15、路线图核心专家审阅，确定指标数值	2016年10月
16、撰写路线图第三稿	2016年10月
17、召开路线图专家评审会	2016年11月
18、征求协会专家咨询委员会意见	2016年11月
19、《路线图》定稿	2016年12月

## 二、中国光伏产业发展简况

多晶硅方面，2015年我国多晶硅生产保持持续增长势头，全年正常生产的多晶硅企业达16家，产能达19万吨（不含物理冶金法），产量16.5万吨，占全球



总产量的 47.8%，有 4 家企业生产规模位居全球前十。2010-2016 年我国多晶硅产量如图 2 所示。

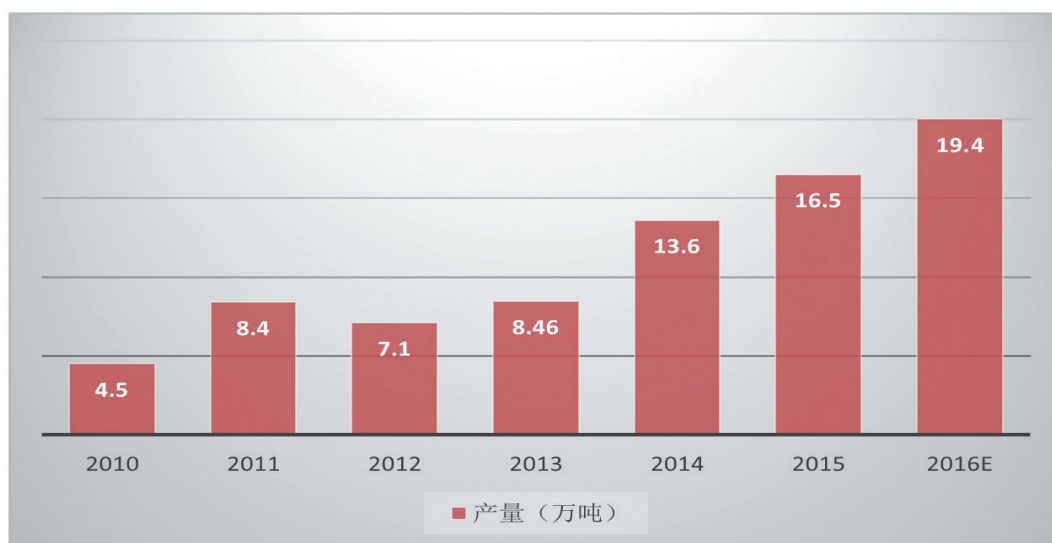


图 2 2010-2016 年我国多晶硅生产情况

硅片方面，2015 年我国硅片总产能约为 64.3GW<sup>1</sup>，产量约 48GW，同比增长 26.3%，约占全球总产量的 79.6%，全球生产规模最大的前十家企业有九家均位于中国大陆。2010-2016 年全国硅片产量如图 3 所示。

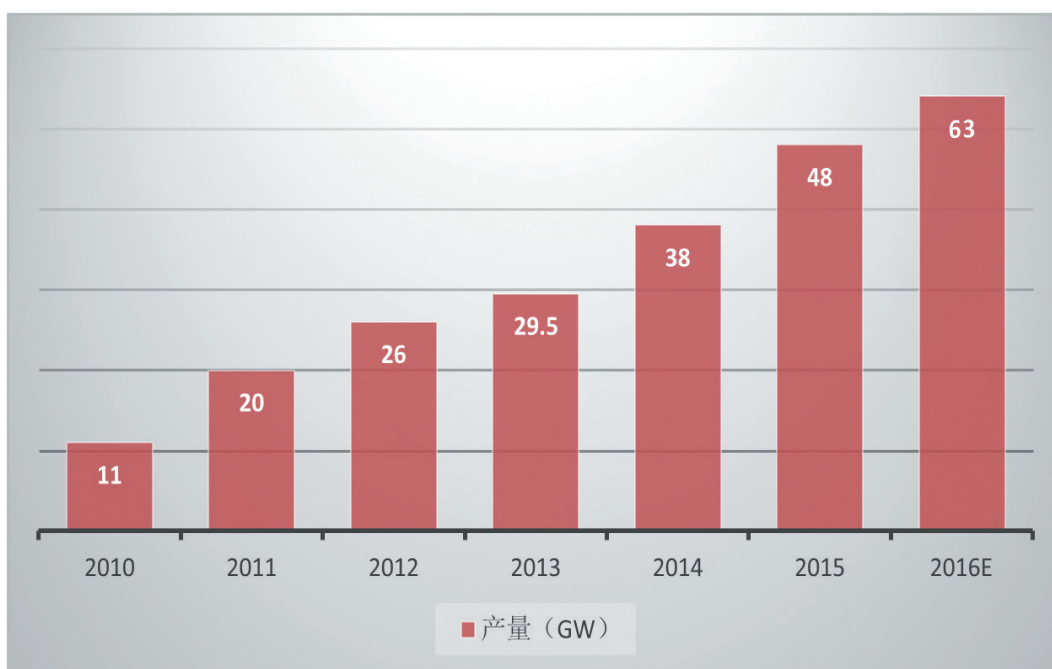


图 3 2010-2016 年我国硅片生产情况

<sup>1</sup> 我国相关数据仅含中国大陆的生产情况，未含中国台湾地区相关数据，下文同。

晶硅电池片方面，2015年我国电池片总产能约为49GW，产量约为41GW，同比增幅24.2%，产量全球占比约66%，中国大陆有7家企业跻身全球产量排名前十。2010-2016年全国电池片产量如图4所示。

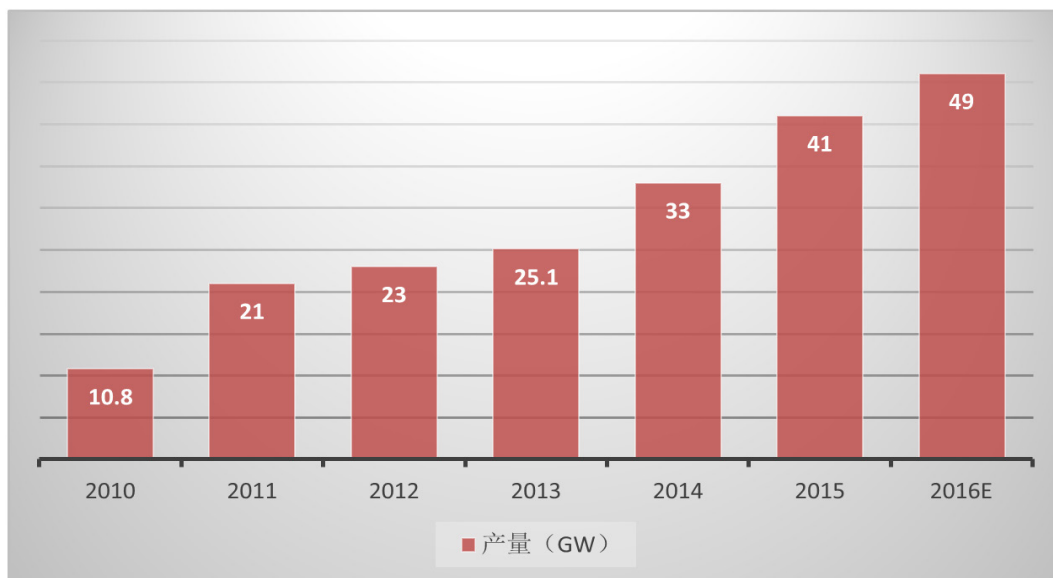


图4 2010-2016年我国电池片生产情况

组件方面，2015年我国组件总产能71GW以上，组件产量达到45.8GW，其中中国大陆生产组件约为43.9GW，同比增长23.3%，约占全球总产量的69.1%，如图5所示。其中晶体硅组件产量约为45.4GW，约占总产量的99.1%，薄膜组件产量约为300MW，聚光组件产量约为60MW。中国大陆有6家企业位居全球生产规模前十。2010-2016年我国光伏组件产量如图5所示。

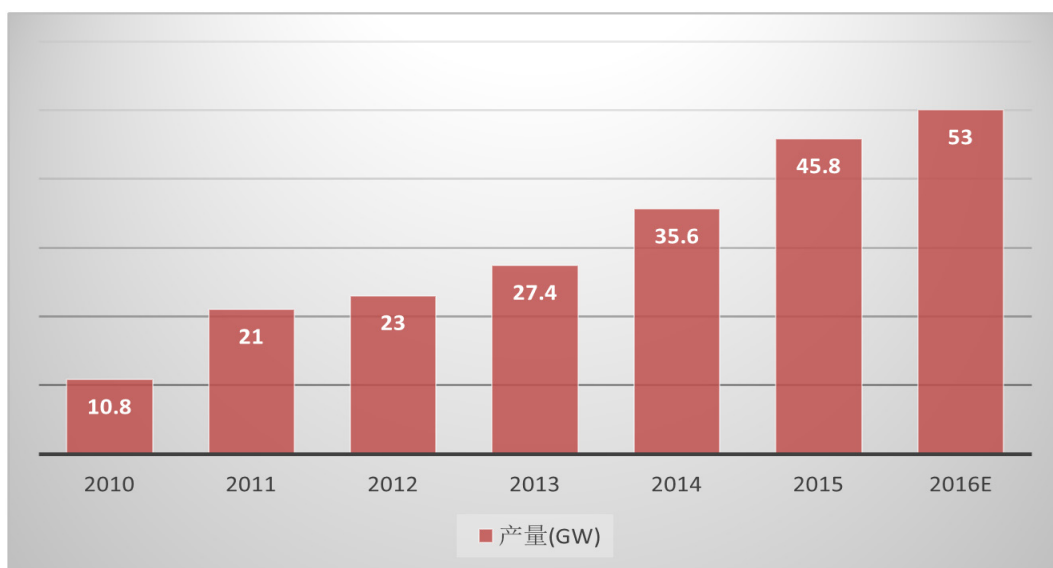


图5 2010-2016年我国光伏组件生产情况

光伏市场方面，2015年，我国太阳能光伏发电新增并网装机容量达到15.13GW，约占全球新增装机容量的30%。累计并网容量达43.18GW，同比增长67.3%，首次超过德国成为世界光伏装机第一大国。其中，地面光伏电站37.12GW，分布式电站6.06GW。2010-2016年我国光伏市场情况如图6所示。

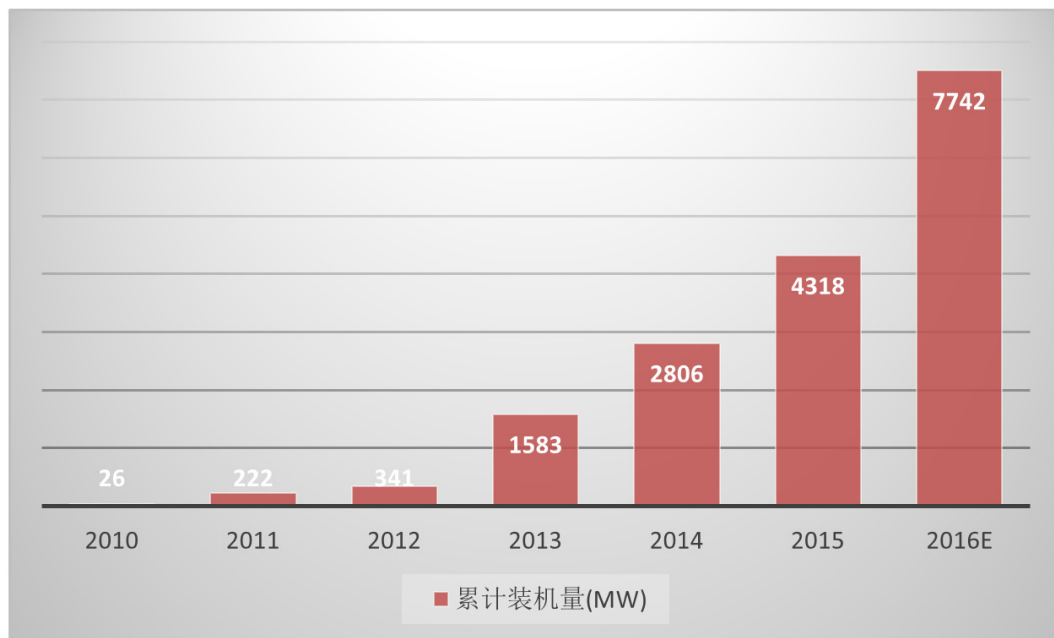


图6 2010-2016年我国太阳能光伏发电逐年装机容量

产品价格方面、晶体硅组件产品价格从2010年的12元/W，下降至2016年的3.2元/W，降幅达到73%，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2016年的19.8%和18.5%，产品质保期也从过去20年提升至25年甚至30年以上，物美价廉的光伏产品为全球光伏市场发展和应对气候变化做出巨大贡献、光伏产业已成为我国为数不多可参与世界竞争并取得领先优势的产业。

### 三、产业链各环节关键指标

#### (一) 多晶硅环节<sup>2</sup>

##### 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。2016年我国多晶硅还原电耗已降至52kWh/kg，未来在大型还原炉的开发和使用、炉内壁材料升级优

<sup>2</sup>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。

化、硅管代替硅芯技术、气体配比优化等带动下，到2025年还原电耗有望下降至40kWh/kg。还原电耗变化趋势如图7所示。

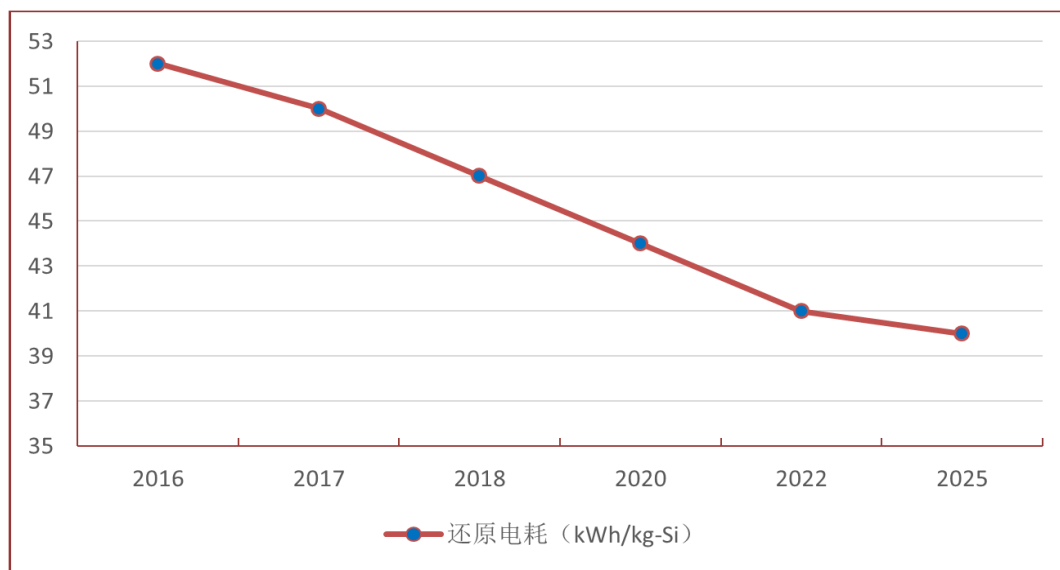


图7 2016-2025年还原电耗变化趋势

## 2、冷氢化电耗

冷氢化是我国多晶硅工厂普遍采用的生产工艺，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。当前、行业冷氢化电耗在9.35kWh/kg-Si左右、预计未来10年冷氢化电耗仍将稳步下降、到2018年有望下降至8kWh/kg-Si以下（如图8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。

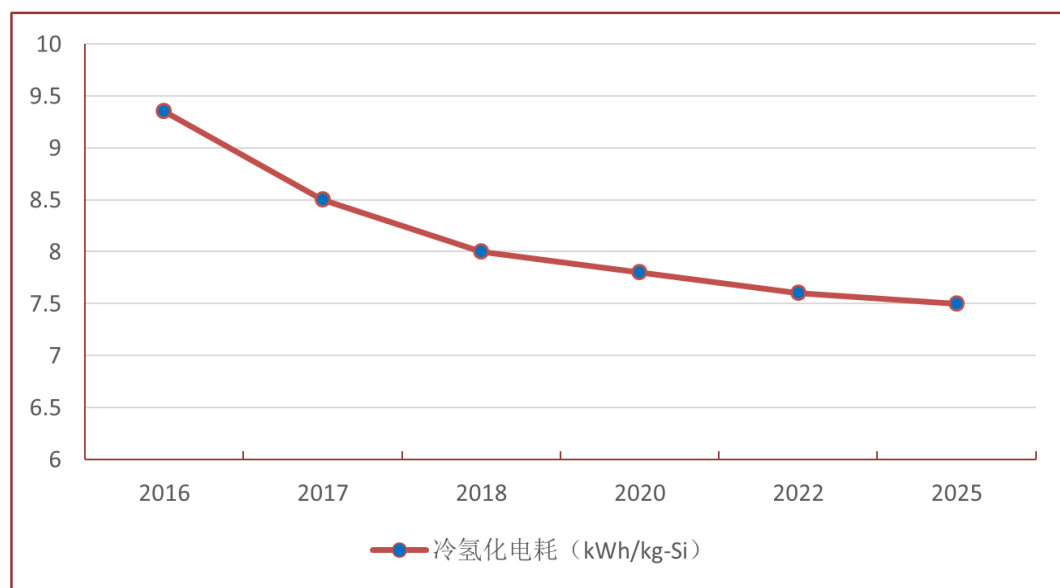


图8 2016-2025年冷氢化电耗变化趋势



### 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、精馏、还原、尾气回收和氢化等环节的电力消耗。目前，我国多晶硅平均综合电耗已达到 80kWh/kg，部分企业的指标甚至降至 70kWh/kg 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，预计未来 10 年还有 27% 的下降空间。

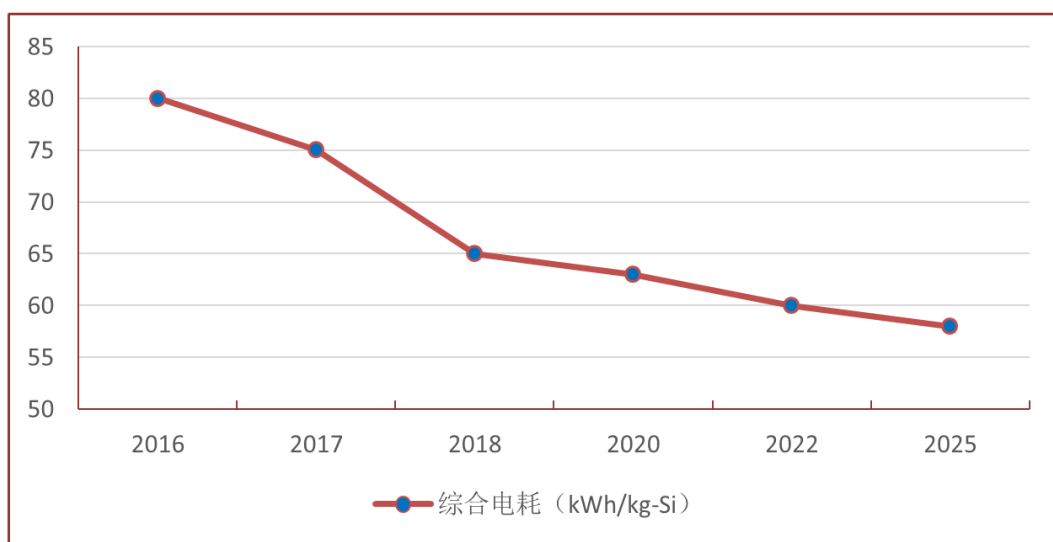


图 9 2016-2025 年综合电耗变化趋势

### 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。目前多晶硅水耗在 0.23t/kg-Si 的水平。未来三年，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 0.15-0.2t/kg-Si 的水平。图 10 给出了 2016-2025 年水耗变化趋势。

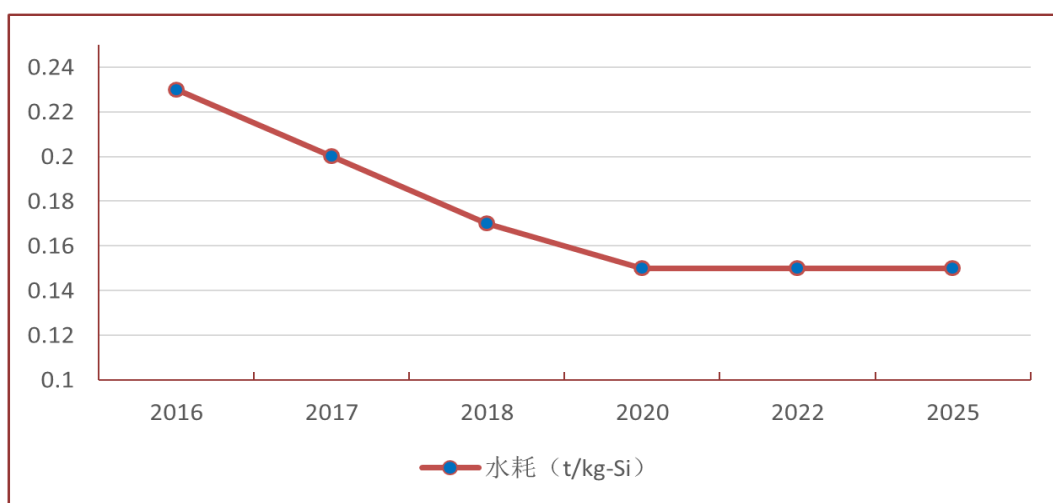


图 10 2016-2025 年水耗变化趋势

## 5、蒸汽耗量

蒸汽耗量是指生产单位多晶硅产品所消耗的蒸汽量。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，目前蒸汽耗量在 30-55kg/kg-Si，随着还原等余热利用率提升，未来 10 年仍将有 20% 的下降空间。以 2016 年为基准，2017-2025 年蒸汽消耗变化趋势如下图 11 所示。

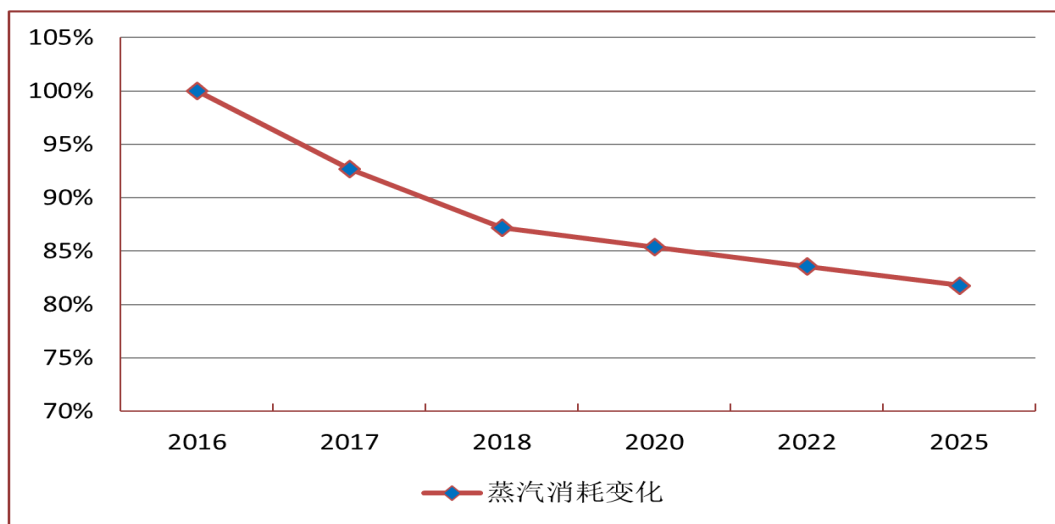


图 11 2016-2025 年蒸汽消耗变化趋势

## 6、多晶硅综合能耗

现有多晶硅企业单位产品能耗限额限定值（冷氢化工艺） $\leq 16.3\text{kgce/kg}$ ，多晶硅企业综合能耗先进值为  $11.8\text{kgce/kg}$ （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%-5% 比例降低。图 12 给出了 2016-2025 年综合能耗变化趋势。

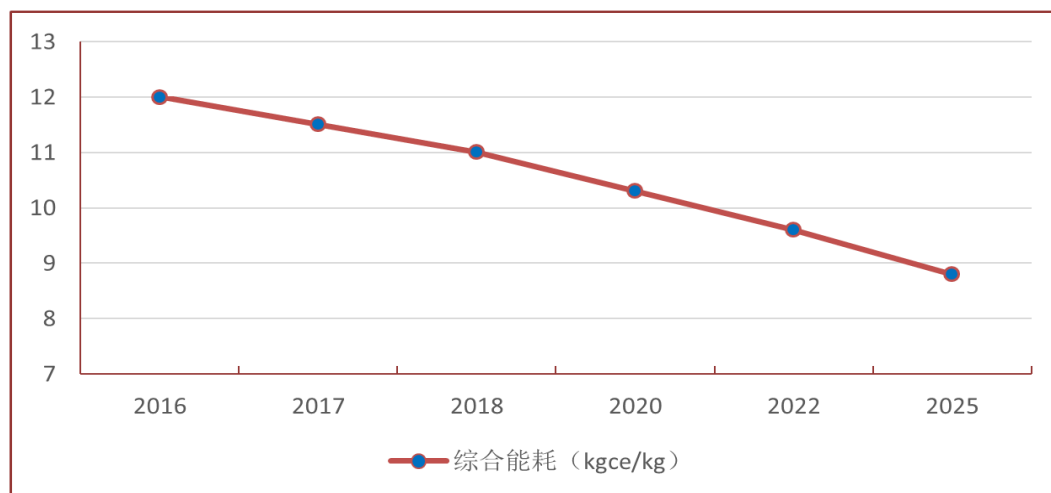


图 12 2016-2025 年综合能耗变化趋势

## 7、硅耗量

硅耗量指生产单位高纯硅产品所耗费的硅量（含合成、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）。目前，行业硅耗在 1.2kg/kg-Si。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 1.08kg/kg-Si，接近理论值。图 13 给出了 2016-2025 年硅耗变化趋势。

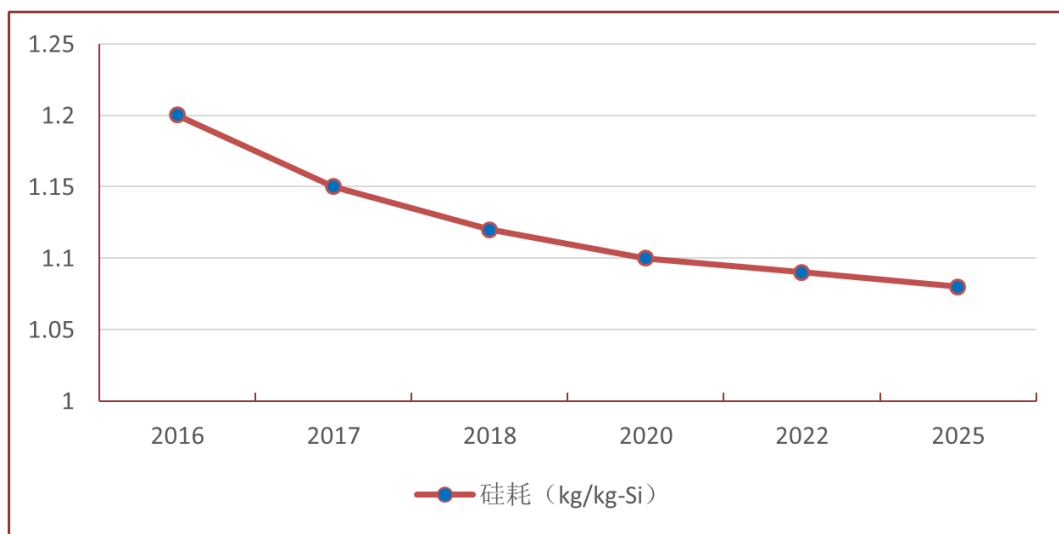


图 13 2016-2025 年硅耗变化趋势

## 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。目前多晶硅行业还原余热利用率在 76%，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。图 14 给出了 2016-2025 年还原余热利用率变化趋势。

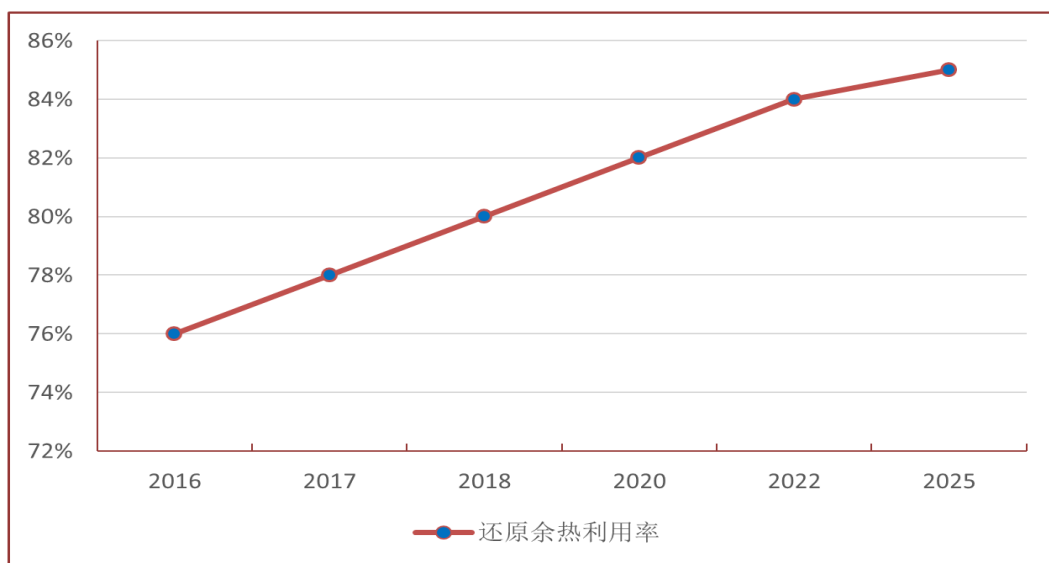


图 14 2016-2025 年还原余热利用率变化趋势

## 9、各种生产技术市场占比

改良西门子法生产工艺相对成熟，现在采用此方法生产的多晶硅约占据我国总产量的98%，未来仍将是主流生产工艺。流化床法生产工艺也不断受到重视，预计未来随着陕西天宏和江苏中能等流化床法生产线的量产，颗粒硅的产量占比将会逐步提升。图15给出了2016-2025年多晶硅各种生产技术市场占比变化趋势。

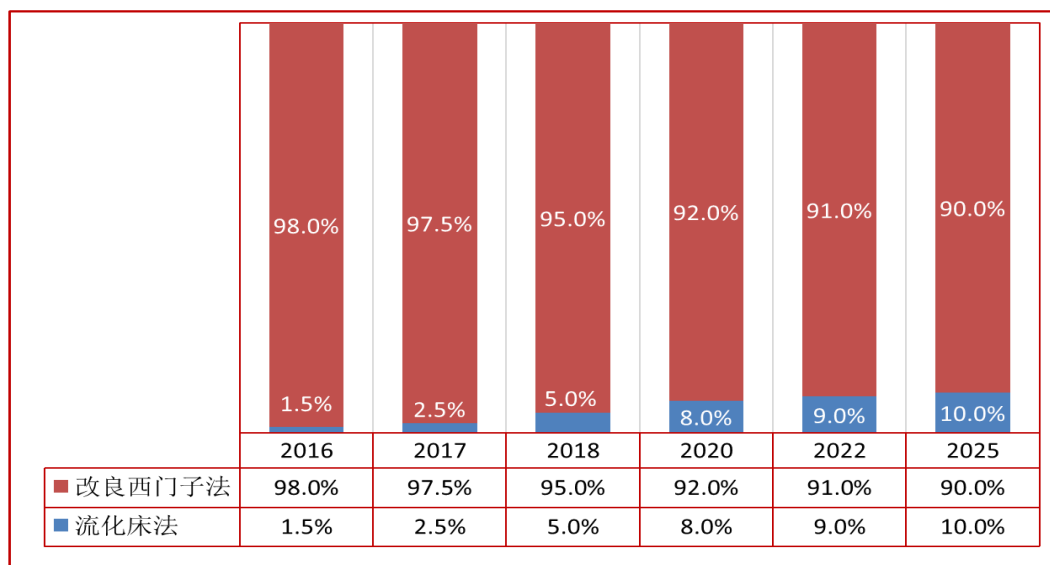


图15 2016-2025年多晶硅生产技术市场占比变化趋势

## 10、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，改良西门子法多晶硅生产线设备投资成本逐年下降，目前投产的万吨级多晶硅生产线已下降至1.5亿元/千吨的水平。预计未来五年内，千吨投资成本将下降至亿元以下。图16给出了2016-2025年改良西门子法多晶硅投资成本变化趋势。

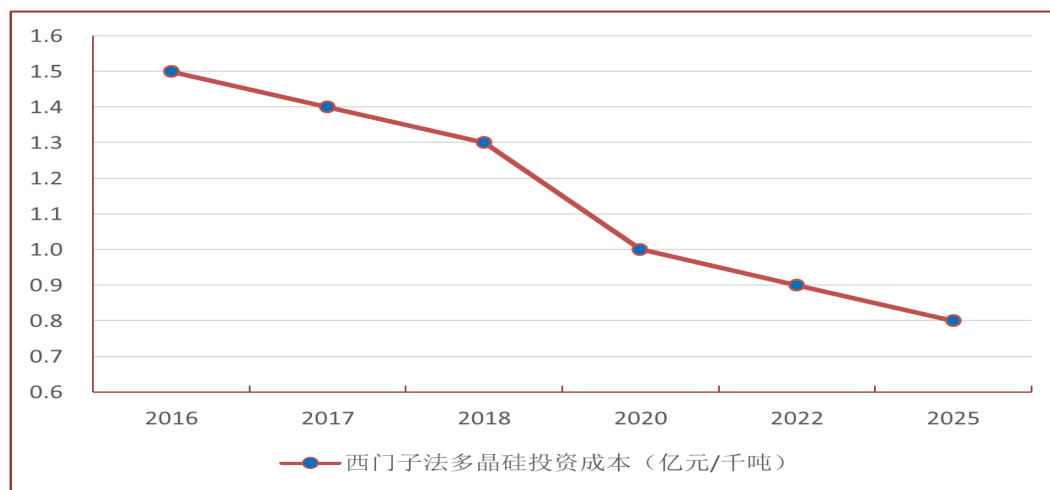


图16 2016-2025年改良西门子法多晶硅投资成本变化趋势



## 11、人均产出量

目前多晶硅生产线人均产出量为 18 吨 / 年，随着《中国制造 2025》的实施，国内智能制造水平的提升，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 37.5 吨 / 年。图 17 给出了 2016-2025 年多晶硅人均产出量变化趋势。

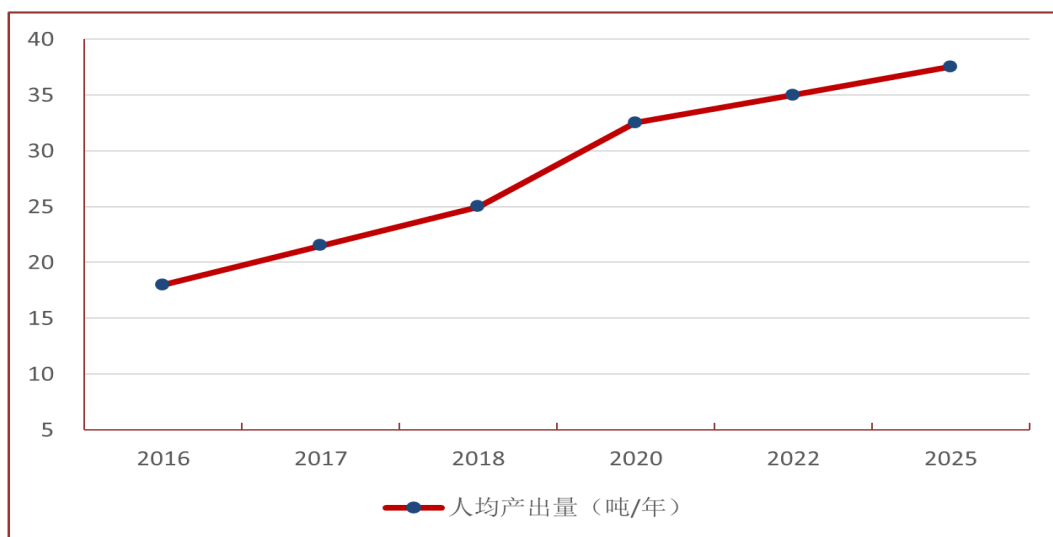


图 17 2016-2025 年多晶硅人均产出量变化趋势

## (二) 硅片环节

### 1、拉棒电耗

单晶拉棒电耗是指 CZ 法生产单位合格单晶硅棒所消耗的电量。行业领先水平的拉棒电耗为 36kWh/kg(方棒)，企业仍在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“十三五”末期，能耗有望下降至 31kWh/kg 以下。图 18 给出了 2016-2025 年拉棒电耗变化趋势。

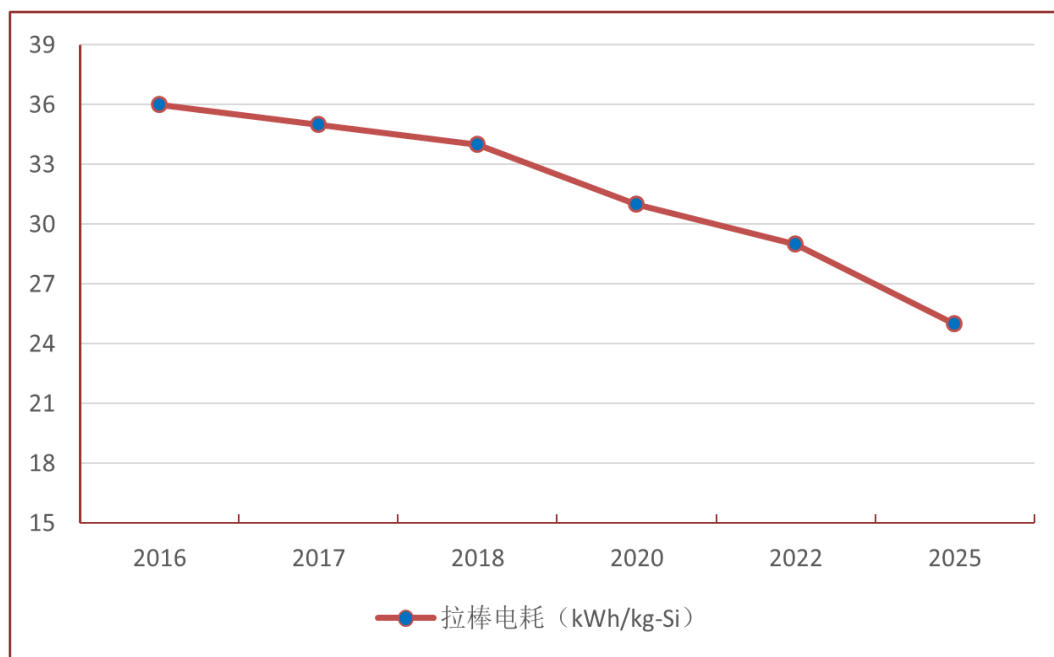


图 18 2016-2025 年拉棒电耗变化趋势

## 2、铸锭电耗

铸锭是指通过定向凝固等技术生产多晶硅锭。2016年，我国光伏行业多晶铸锭的电耗为 8.5kWh/kg，预计未来随着 G7 机型铸锭炉在 2018 年的普及，电耗有望下降至 7.5kWh/kg，下一代 G8 机型在“十三五”末普及，电耗可进一步下降至 6.8kWh/kg。图 19 给出了 2016-2025 年多晶铸锭电耗变化趋势。

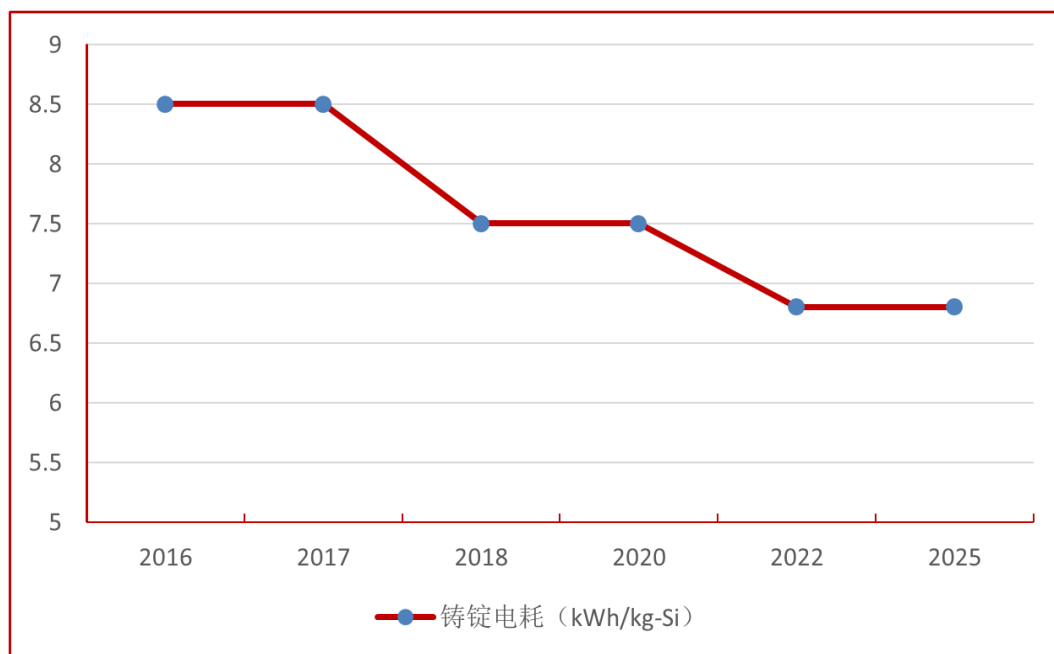


图 19 2016-2025 年多晶铸锭电耗变化趋势

### 3、硅片厚度

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使用需求息息相关。目前，行业单晶硅片平均厚度在 160-190  $\mu\text{m}$  左右，多晶硅片厚度在 185-192  $\mu\text{m}$  之间，未来的三年内，硅片厚度变化不会太大。图 20 给出了 2016-2025 年硅片厚度变化趋势。

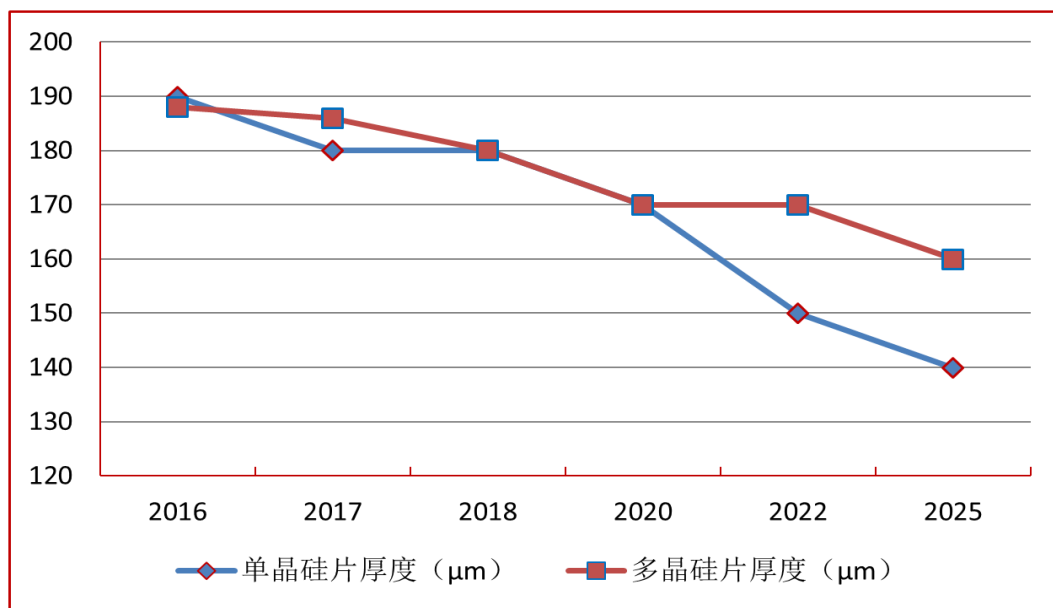


图 20 2016-2025 年硅片厚度变化趋势

### 4、铸锭投料量

我国主要多晶铸锭企业普遍升级至 G6 铸锭炉系统，单炉投料量已经达到 800-890Kg 以上，部分企业正在朝着投料量更大的 G7 系统改进，投料量可以达到 1100-1200Kg。2016 年行业已经出现 G8 炉的应用，其投料量可以达到 1500Kg 以上。预计到 2018 年，行业新增铸锭炉将为 G7、G8 系统。图 21 给出了 2016-2025 年多晶铸锭投料量变化趋势。

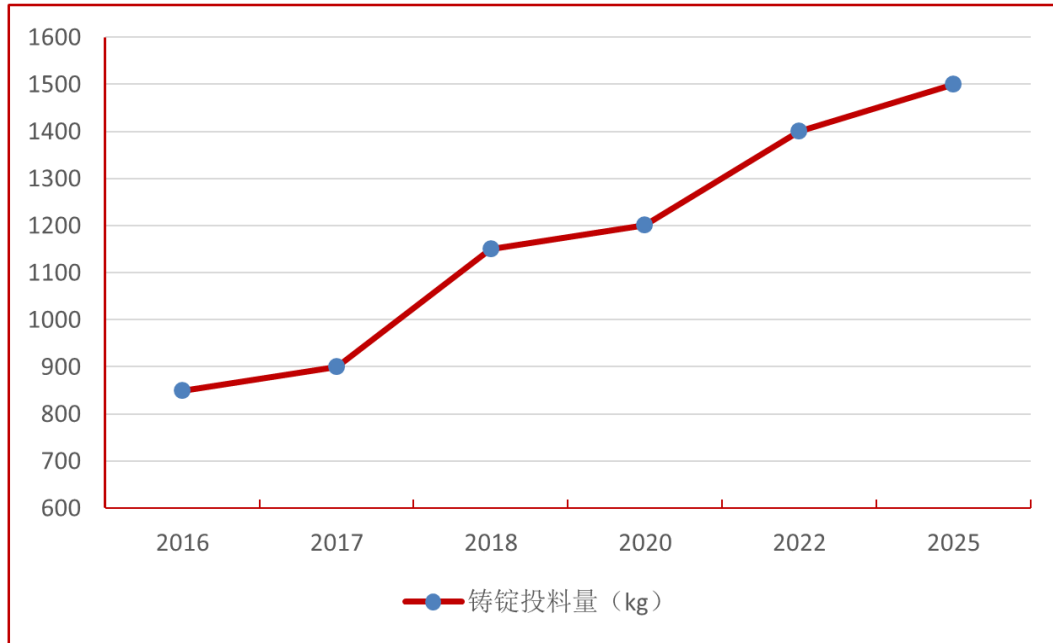


图 21 2016-2025 年多晶铸锭投料量变化趋势

## 5、金刚线切片

金刚线切割技术相对于传统砂浆切割，具有切割速度快、单片损耗低、切割液更环保等优点，目前，在单晶硅领域已经得到广泛应用（如图 22），预计到 2018 年在单晶硅领域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。目前，多晶硅切片技术仍以传统砂浆切割为主，随着配套工艺的成熟推广，预计到 2020 年切割设备大规模更新换代，将使金刚线切割成为多晶硅切片主流工艺。

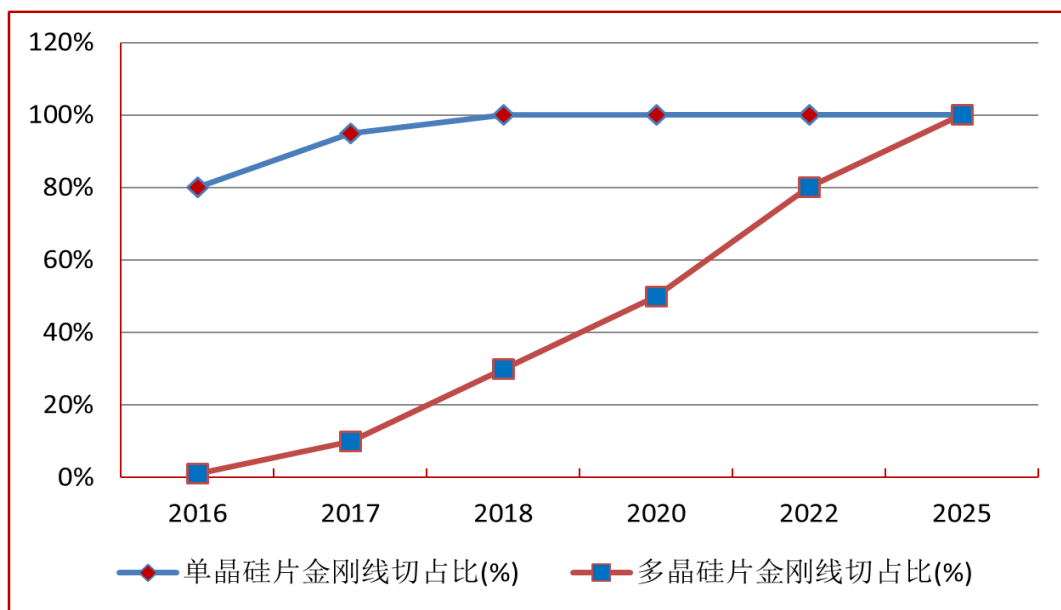


图 22 2016-2025 年硅片金刚线切占比变化趋势



## 6、铸锭收料率

铸锭收料率是指铸锭后得到的方棒量与投料量的比值，当前全融和半融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。图 23 给出了 2016-2025 年多晶铸锭收料率变化趋势。

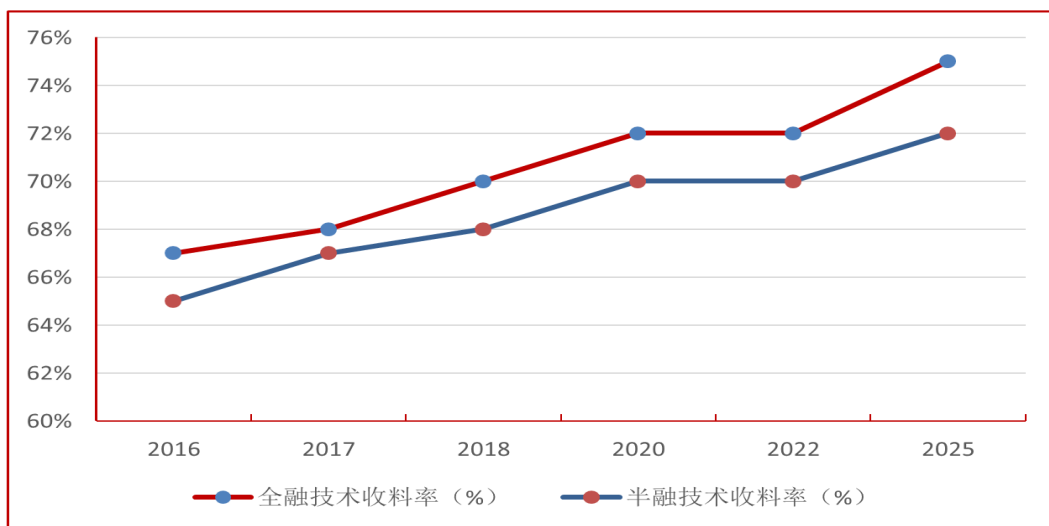


图 23 2016-2025 年多晶铸锭收料率变化趋势

## 7、切割线线径

切割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。目前，行业切片金刚线直径为 80  $\mu\text{m}$ ，预计到 2018 年可下降至 70  $\mu\text{m}$  的水平。砂浆切割用的钢线直径下降空间不大，预计到 2018 年可从现在的 115 微米下降至 110 微米。图 24 给出了 2016-2025 年切割线径变化趋势。

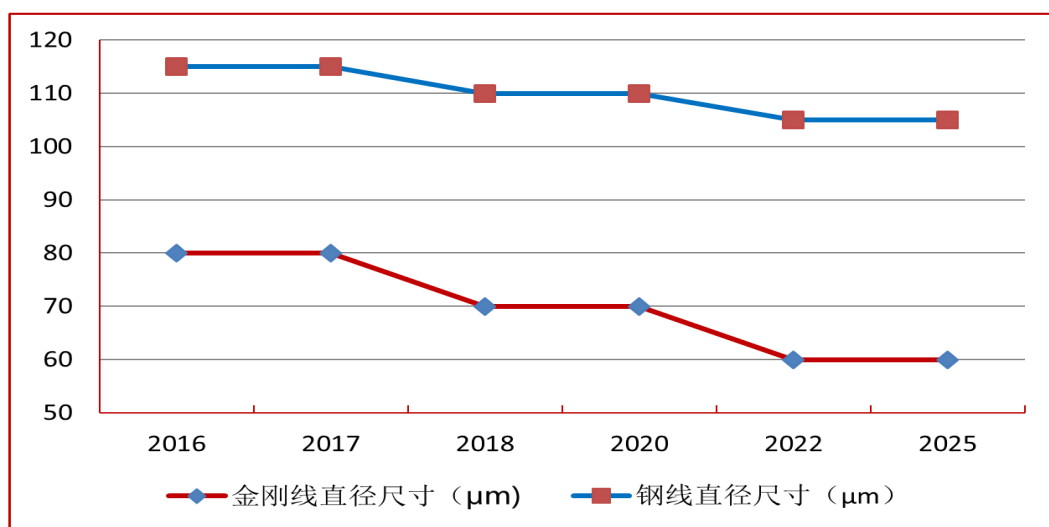


图 24 2016-2025 年切割线径变化趋势

## 8、切割磨料尺寸

目前行业切片用金刚石磨料尺寸在  $8.5\ \mu\text{m}$  左右，预计未来两三年变化不大，但在 2018 年后有望下降至  $8\ \mu\text{m}$  以下。砂浆切割用的碳化硅磨料尺寸为  $8.6\ \mu\text{m}$ ，未来下降空间较为有限。图 25 给出了 2016-2025 年切割磨粒尺寸变化趋势。

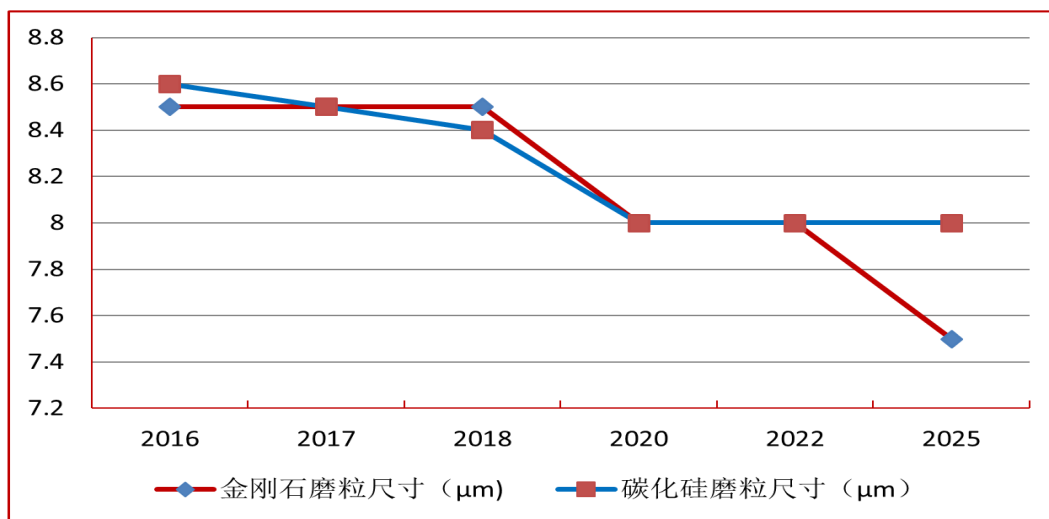


图 25 2016-2025 年切割磨粒尺寸变化趋势

## 9、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将会逐步增大，预计到 2025 年达到 48%，其中 N 型单晶硅电池的市场份额由 2016 年的 3.5% 提高到 2025 年的 30%，而多晶硅电池的市场份额将由 2016 年的 80% 下降到 2025 年的 48%。

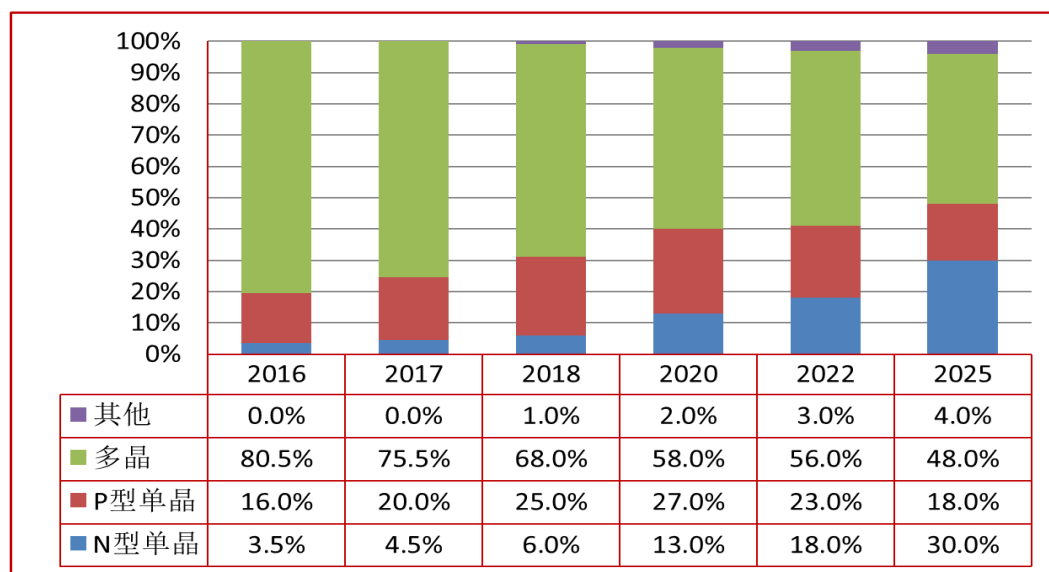


图 26 2016-2025 年不同硅片市场占比变化趋势

### (三) 电池片环节

表 2 主要电池结构及缩写

电池结构	缩写
铝背场 (Aluminium back surface field)	Al-BSF
钝化发射极和背表面 (Passivated emitter and rear cell)	PERC
发射极钝化和背面局域扩散 (Passivated emitter, rear locally-diffused)	PERL
发射极钝化和全背面扩散 (Passivated emitter, rear totally-diffused)	PERT
金属穿孔卷绕 (Metallization wrapthrough)	MWT
具有本征非晶层的异质结 (Heterojunction with intrinsic thin layer)	HIT
交指式背接触 (Interdigitated back contact)	IBC
背结和背接触 (Back junction and back contact)	BJBC

#### 1、各种电池技术平均转换效率

当前，在“领跑者计划”和产业转型升级的推动下，各种晶体硅电池生产技术呈现百花齐放发展态势，规模化生产的普通结构铝背场单晶和多晶硅电池的平均转换效率分别达到 19.8% 和 18.5% 的水平，使用 PERC 电池技术的单晶和多晶硅电池则进一步使效率提升至 20.5% 和 19%，未来仍有较大的技术进步空间。而 N 型晶硅电池技术则开始进入小规模量产，技术进展也较为迅速，包括使用 PERT 技术的 N 型晶硅电池、HIT 等异质结电池和 IBC 等背接触电池将会是未来发展的主要方向之一。

表 3 2016-2025 年各种晶硅电池平均转换效率变化趋势

晶硅电池平均转换效率	2016 年	2017 年	2018 年	2020 年	2022 年	2025 年
PERT N 型单晶电池平均转换效率	20.5%	21.0%	21.5%	22.1%	22.5%	23.0%
BSF P 型单晶电池平均转换效率	19.8%	20.0%	20.2%	20.5%	20.8%	21.0%
BSF P 型多晶电池平均转换效率	18.5%	18.7%	18.9%	19.5%	19.7%	20.0%
PERC P 型单晶电池平均转换效率	20.5%	20.7%	21.0%	21.5%	22.0%	22.5%
PERC P 型多晶电池平均转换效率	19.0%	19.3%	19.6%	19.7%	20.0%	20.4%
黑硅多晶电池平均转换效率	18.9%	19.2%	19.4%	19.6%	19.8%	20.0%
PERC+黑硅多晶电池平均转换效率	19.2%	19.6%	19.8%	20.1%	20.3%	20.7%
异质结 N 型单晶电池平均转换效率	21.5%	22.0%	22.5%	23.5%	24.0%	25.0%
背接触 N 型单晶电池平均转换效率	23.0%	23.3%	23.6%	24.0%	24.2%	24.5%

## 2、各种电池技术市场占比

BSF 电池目前仍占据大部分市场份额,2016 年占比为 87.8% 左右,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,2016 年市场份额占比将达到 10% 左右,2018 年预计将达到 20% 甚至更多,未来随着各厂家产能建设完成及逐渐释放,PERC 电池市场占比将逐年增加,2025 年有望达到 46%。而双面 N 型单晶电池、背接触 (IBC) 电池、异质结 (HIT) 电池等新兴高效电池也将逐步提高其市场份额。图 27 给出了 2016-2025 年不同电池技术市场占比变化趋势。

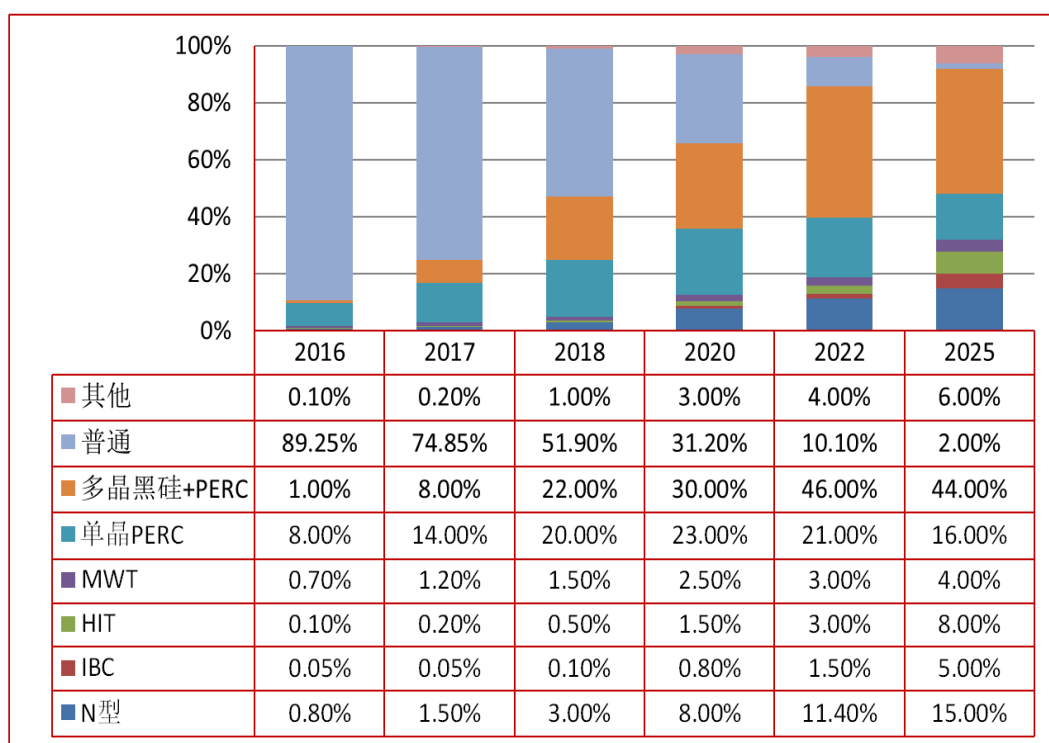


图 27 2016-2025 年不同电池技术市场占比变化趋势

## 3、电池线人均产出率

电池线人均产出主要指产线直接员工的人均产出,不含管理人员。2016 年,我国电池产线人均产出率为 1MW/人-年,未来光伏制造业将更多向智能制造发展,产线自动化程度不断提升,电池转换效率持续提高,预计 2025 年每条电池线的人均产出率将比 2016 年水平提高一倍以上。图 28 给出了 2016-2025 年每条电池线的人均产出变化趋势。



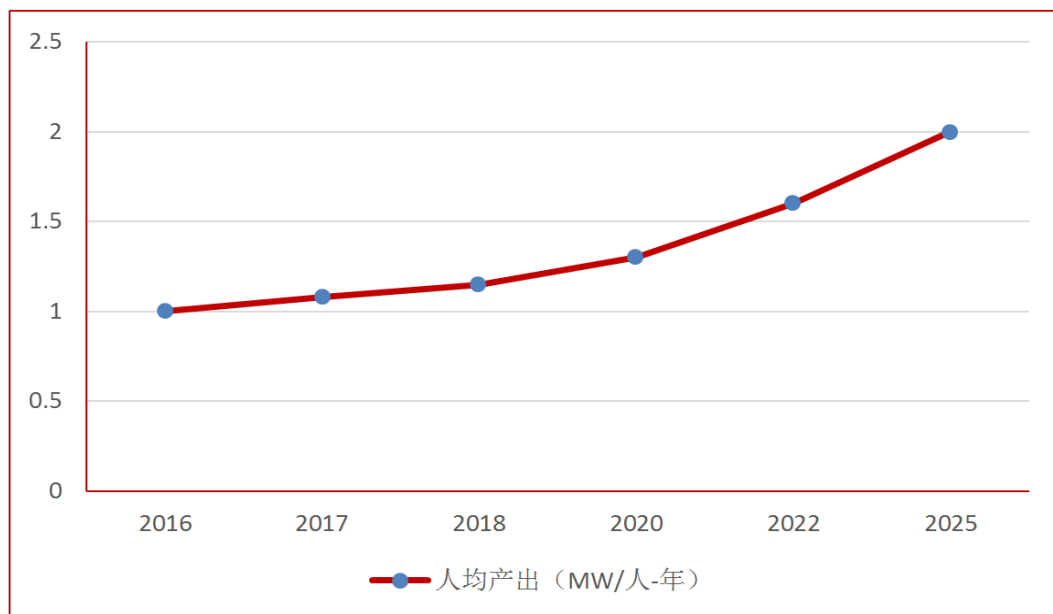


图 28 2016-2025 年每条电池线的人均产出变化趋势

#### 4、电池线设备投资

目前，我国电池产线设备投资成本在 60 万元 /MW，随着关键设备的进口替代不断推进，产线投资成本预计未来 10 年有 37% 左右下降空间，到 2025 年将下降到 37.8 万元 /MW。图 29 给出了 2016-2025 年电池线的设备投资成本变化趋势。

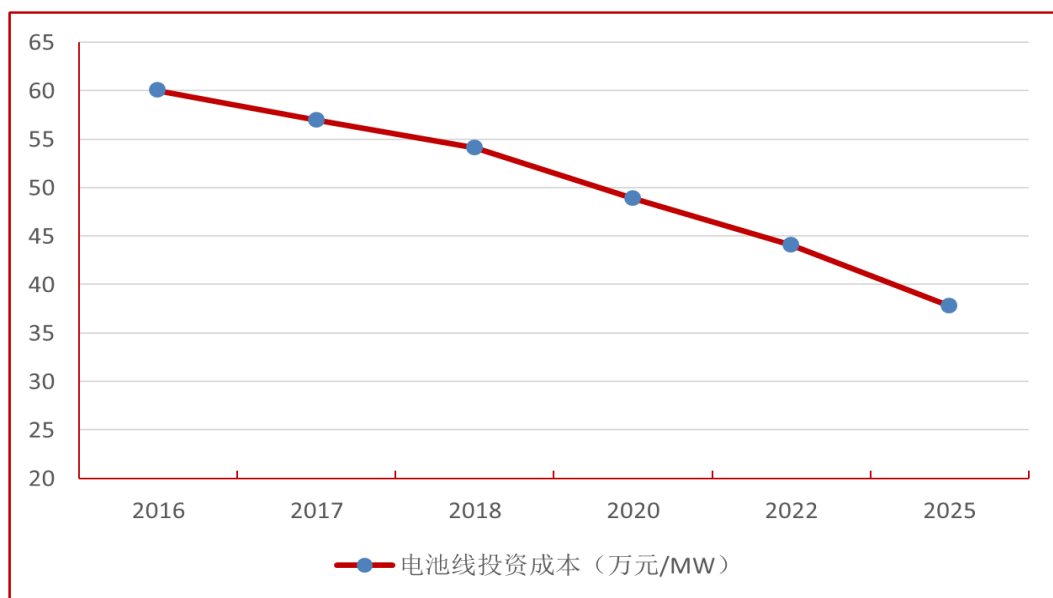


图 29 2016-2025 年电池线的设备投资成本变化趋势

#### 5、电池铝浆消耗量

铝浆消耗量主要包括晶体硅电池片中铝背场所消耗的铝浆，目前 6 英寸电池片每片铝浆消耗量在 1375mg/片左右，未来随着 PERC 等工艺技术的大规模应用，

每片电池的耗铝量仍有较大下降空间。图 30 给出了 2016-2025 年铝浆消耗量变化趋势。

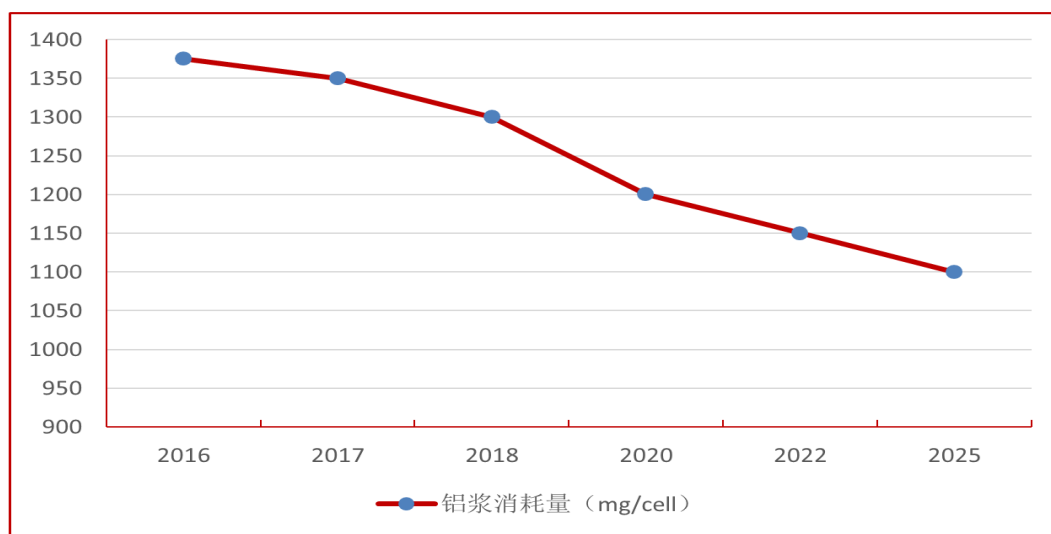


图 30 2016-2025 年铝浆消耗量变化趋势

## 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。2016 年 6 英寸电池片的每片银浆的消耗量行业平均水平在 143mg/片左右，用银成本在电池片占比仍较高。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，五主栅等多主栅线技术替代三主栅、四主栅将是未来趋势，并且随着技术路线替代和新技术发展，例如电镀技术、3D 打印技术、贱金属栅线技术的发展，银浆消耗量有望在 2020 年以后下降得更快。图 31 给出了 2016-2025 年银浆消耗量变化趋势。

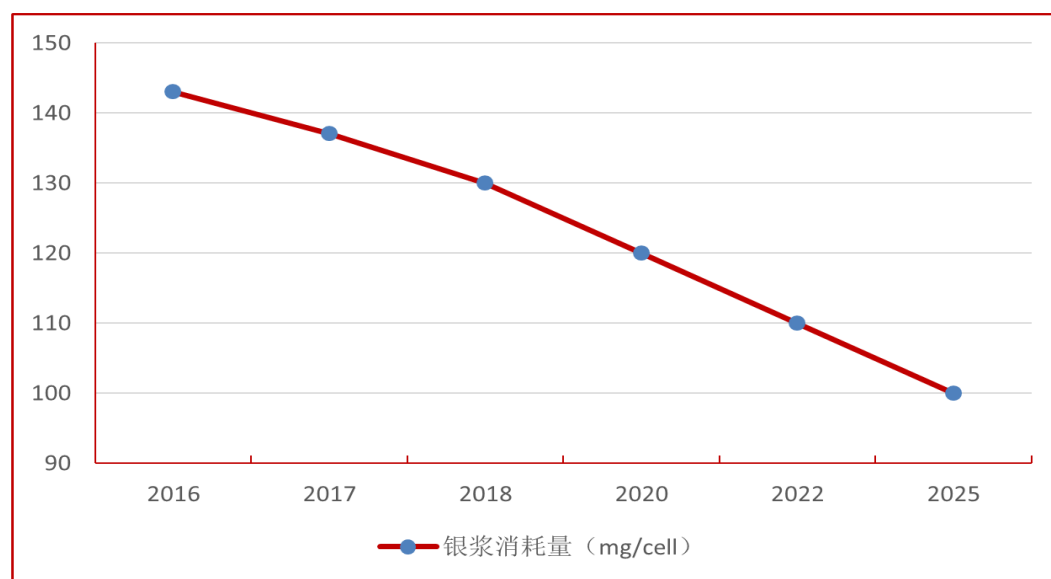


图 31 2016-2025 年银浆消耗量变化趋势

## 7、铜电极技术

由于银价格较高，部分企业积极开发铜替代银的电极技术，铜电极技术的应用目前主要应用在N型电池上，市场占比很小，只有0.1%左右。未来随着HIT电池发展及正面电极金属化技术（电镀技术）进步，铜电极在正面电极上会得到更多应用。图32给出了2016-2025年电池片正面电极市场占比变化趋势。

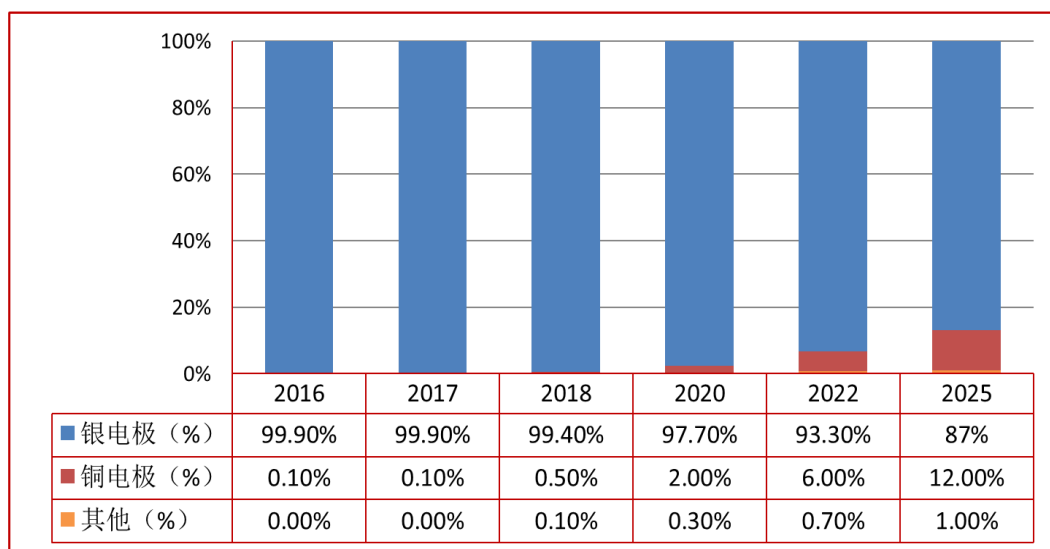


图 32 2016-2025 年电池片正面电极市场占比变化趋势

## 8、电池片方块电阻

方块电阻是反映太阳电池发射区掺杂浓度的重要指标，硅片掺杂浓度低其方块电阻相对高。目前P型电池发射极方块电阻在90( $\Omega/\square$ )左右，未来随着金属化浆料技术进步和电池效率的提高，方块电阻会不断提高，接触电阻会不断下降。图33给出了2016-2025年电池片发射极方块电变化趋势。

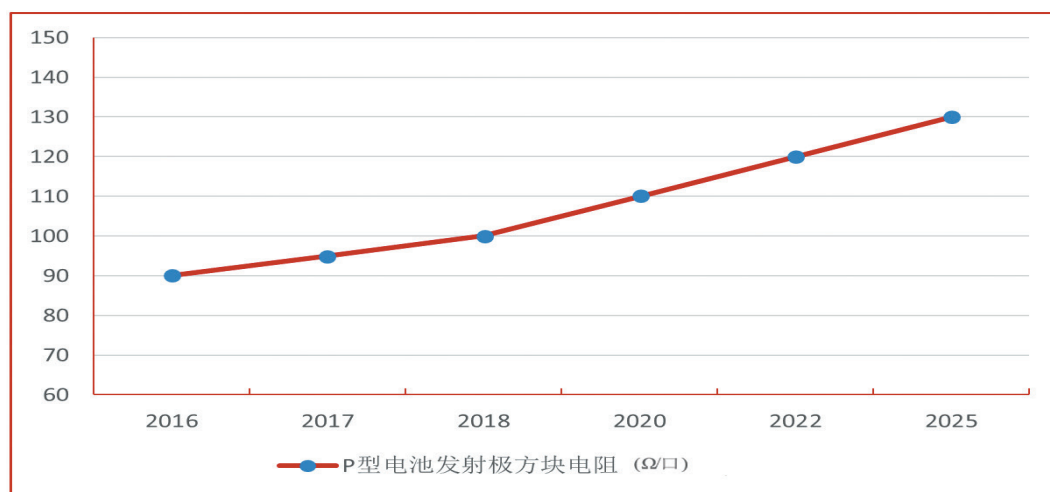


图 33 2016-2025 年电池片发射极方块电变化趋势

## 9、P 型硅电池发射极掺杂技术

目前，掺磷的 P 型硅电池发射极掺杂技术以  $\text{POCl}_3$  气相扩散的均匀掺杂为主，2016 年的市场份额占比达到 98.2%，未来十年仍将是技术主流。回刻蚀的选择性发射极技术和离子注入掺杂的均匀发射极技术未来会占有小部分市场；激光掺杂的选择性发射极技术在 2020 年左右可能会出现应用，随着激光掺杂技术逐渐成熟，该种技术将是一种比较有潜力的技术。图 34 给出了 2016-2025 年掺磷的 P 型电池发射极技术市场占比变化趋势。

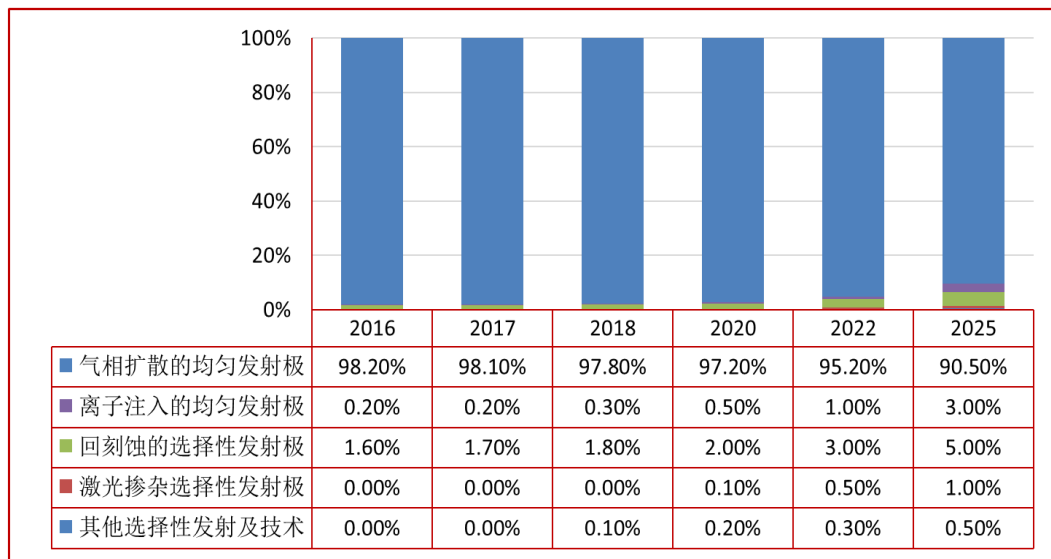


图 34 2016-2025 年掺磷的 P 型电池发射极技术市场占比变化趋势

## 10、N 型硅电池发射极掺杂技术

$\text{BBr}_3$  扩散硼掺杂技术是目前 N 型硅电池发射极掺杂的主流技术，2016 年的市场份额占比在 90.5% 左右，该技术成熟度高，未来仍将是主流技术。随着涂源法硼掺杂和离子注入硼掺杂技术成熟度及可靠性提高，未来会逐渐得到更多应用。图 35 给出了 2016-2025 年 N 型硅电池发射极掺杂技术变化趋势。

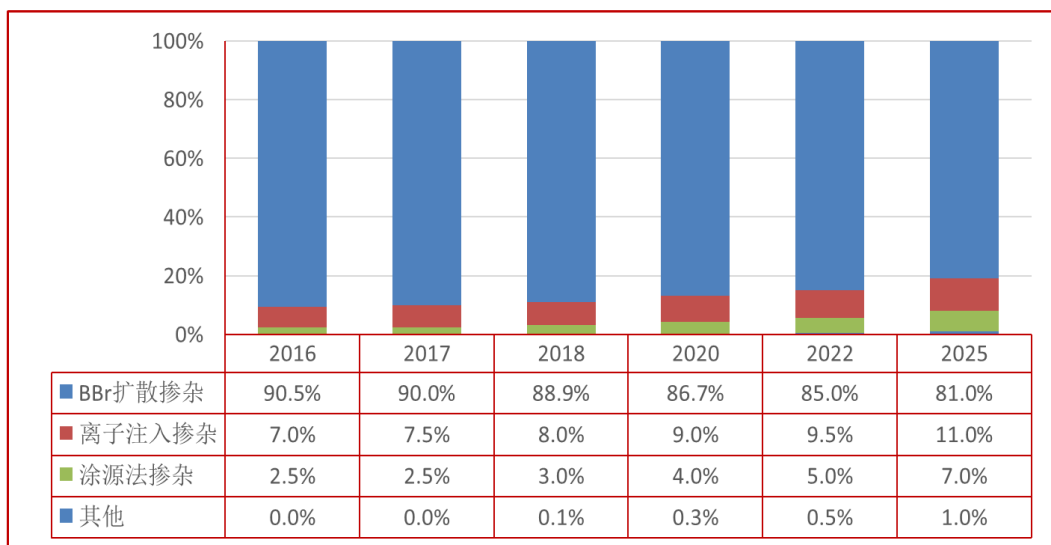


图 35 2016-2025 年 N 型硅电池发射极掺杂技术变化趋势

## 11、背钝化技术

背面钝化技术主要应用在 PERC 电池或 PERT 电池上。目前，背面钝化技术主要有 PECVDA10x+ 盖层和 ALDA10x+ 盖层两种。其中 PECVDA10x 技术采用相对成熟的 PECVD 沉积设备，当前应用比较多，2016 年市场占比在 90% 左右，未来预计仍会占据较大市场份额；ALD 沉积工艺有更精确的层厚控制和更好的钝化效果，但受限于目前设备的产能效率及成本，还需要进一步提升设备及工艺成熟度。图 36 给出了 2016-2025 年背面钝化技术全球市场占比变化趋势。

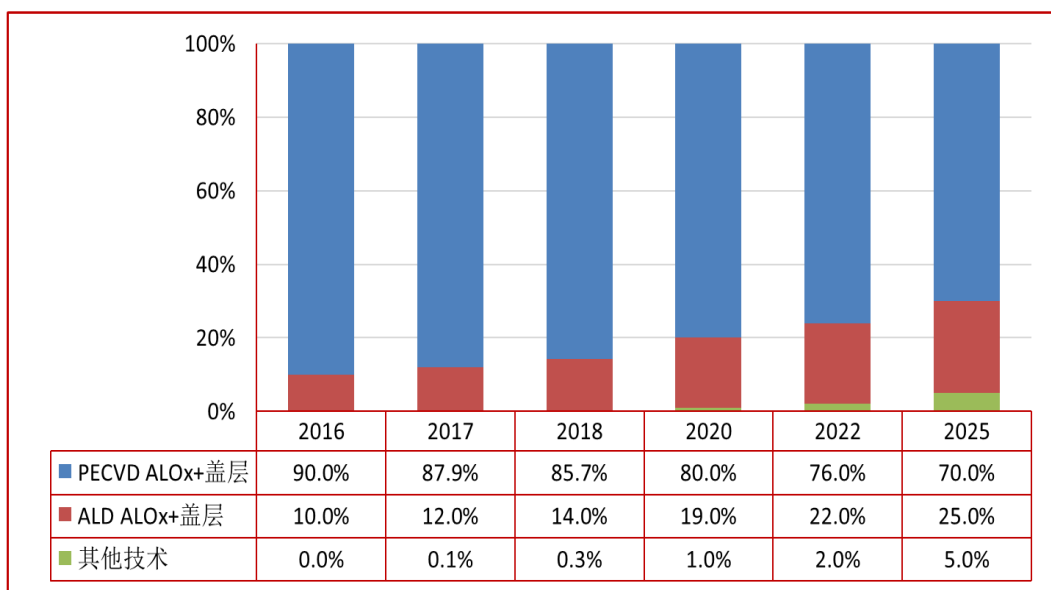


图 36 2016-2025 年背面钝化技术全球市场占比变化趋势

## 12、电池正面细栅线宽度

晶体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地下降。目前，栅线宽度一般控制在  $50\ \mu\text{m}$ ，预计未来还有 48% 的下降空间，到 2025 年下降到  $26\ \mu\text{m}$  左右。细栅宽度的下降将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  $\pm 10\ \mu\text{m}$ ，提高到  $\pm 5\ \mu\text{m}$ 。图 37 给出了 2016-2025 年正面金属化参数变化趋势。

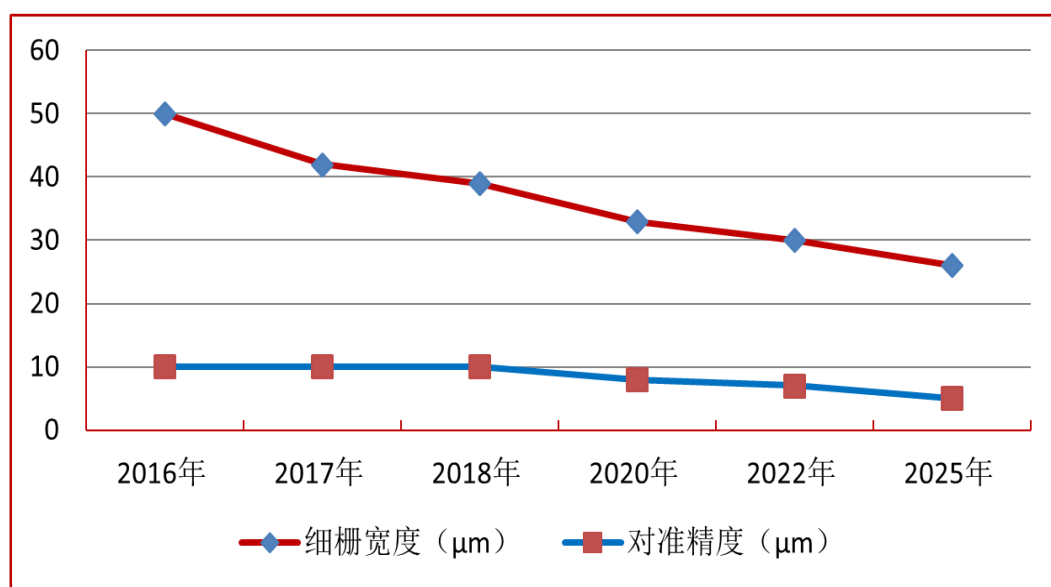


图 37 2016-2025 年正面金属化参数变化趋势

## 13、各种主栅市场份额占比

2016 年，我国电池片仍以 3 主栅和 4 主栅工艺为主，其中 4 主栅电池片市场占比在 60% 左右，3 主栅电池片市场占比接近 30%。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，提高电池应力分布均匀性以降低碎片率。同样 60 片电池片的组件，5 主栅技术相对 4 主栅技术可以提高 2-3W 的组件功率，有利于成本下降。随着工艺技术成熟及设备升级，5 主栅技术将成为主流，而早期的 3 主栅技术会逐渐被淘汰，4 主栅技术可能仍会占据一定市场份额。图 38 给出了 2016-2025 年各种主栅市场份额占比变化趋势。



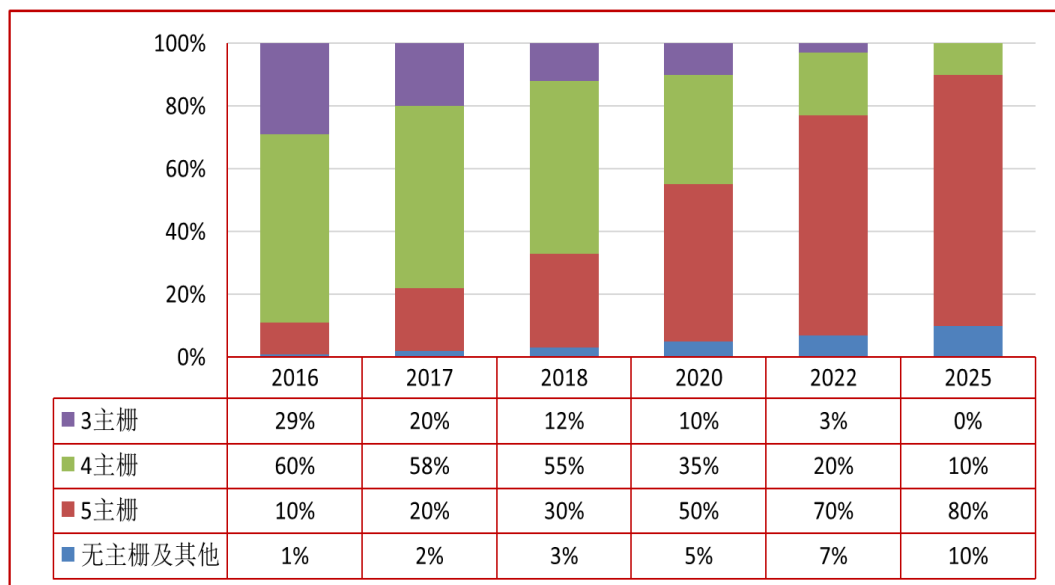


图 38 2016-2025 年各种主栅市场份额占比变化趋势

## (四) 组件环节

### 1、组件人均产出率

2016年，我国自动化水平比较高的组件工厂人均产出率为1.5MW/人-年，随着《中国制造2025》的推进，产线自动化、数字化和智能化水平提高，未来人均产出率将不断提升，有望提升至3MW/人-年。图39给出了2016-2025年组件工厂人均产出变化趋势。

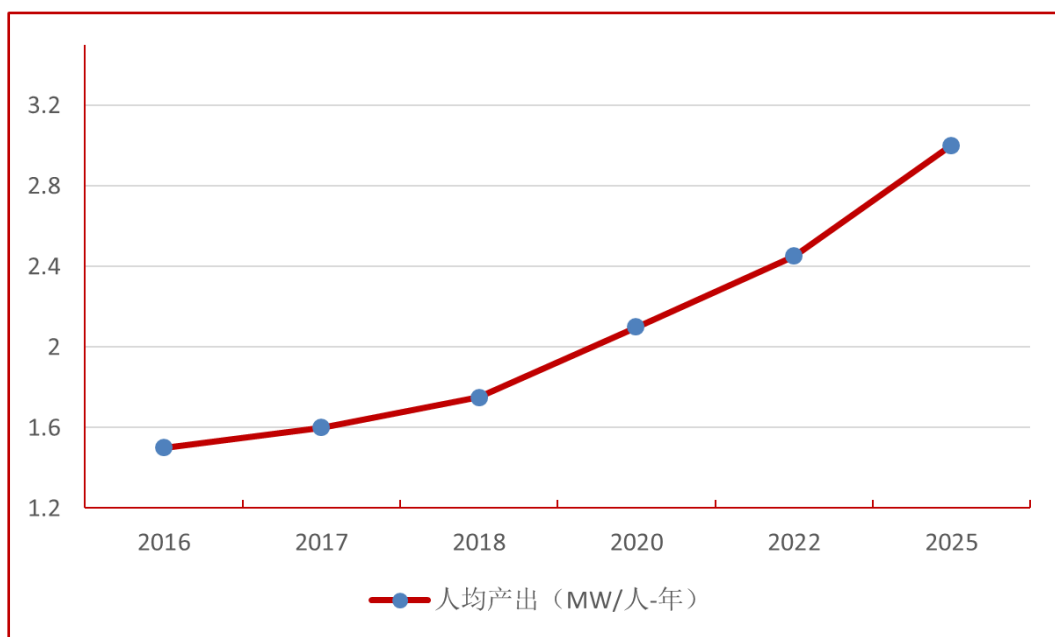


图 39 2016-2025 年组件工厂人均产出变化趋势

## 2、电池到组件封装损失 (CTM)

CTM 值 (Cell To Module) 为衡量电池封装成为组件带来的效率损失, 即用组件输出功率与电池片功率总和的百分比来表示, 该指标值与电池种类、盖板玻璃的透光率、封装材料的光学特性、封装工艺等因素相关, CTM 值越高表示组件封装功率损失的程度越小。目前, 组件的 CTM 都在 95% 以上。随着采用组件光线陷光技术、半片及叠片等电池技术, 以及高透光率玻璃、反光焊带等封装材料技术, CTM 有望继续提升。图 40 给出了 2016-2025 年电池到组件封装损失 (CTM) 变化趋势。

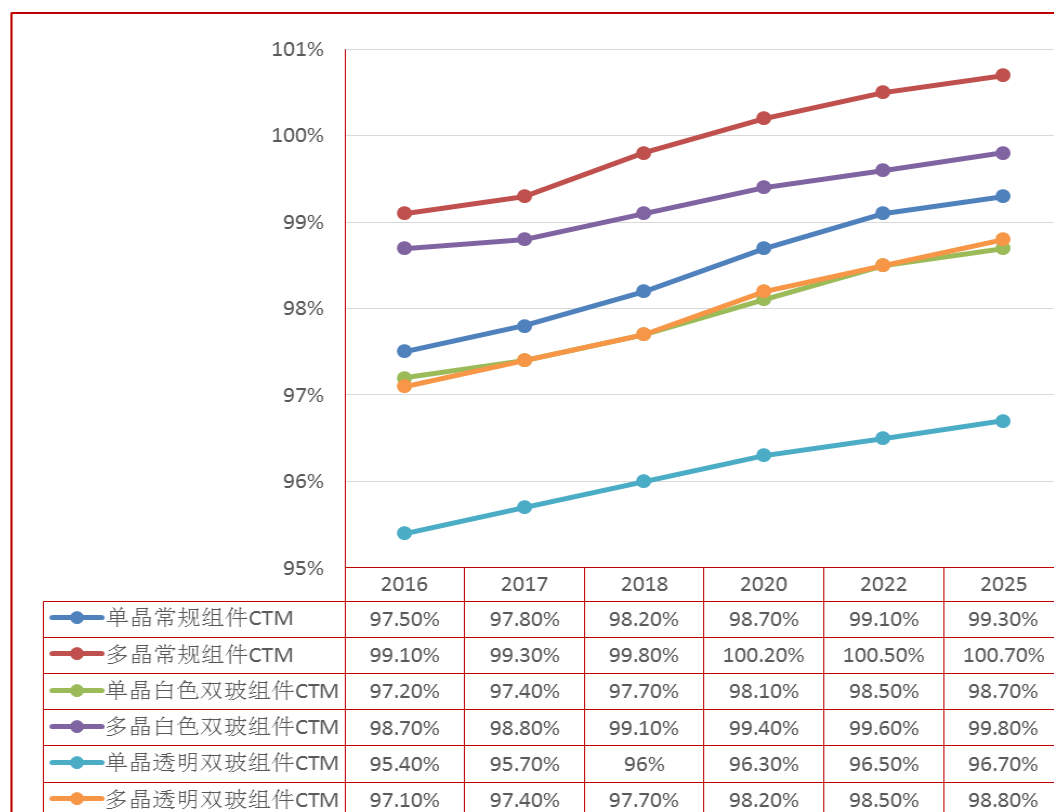


图 40 2016-2025 年电池到组件封装损失 (CTM) 变化趋势

## 3、60 片电池的组件功率

2016 年, 主流的 60 片多晶和单晶电池组件功率已分别达到 265W 和 280W, 使用 PERC 技术的单晶和采用黑硅技术的多晶电池组件功率则可达到 290W 和 270W, N 型硅 PERT 电池、异质结电池则可达到 290W 和 305W, 未来十年, 随着技术的进步, 各种电池组件基本上以每年一个档位 (5W) 的增加速度向前推进。

表 4 2016-2025 年 60 片电池片的组件功率变化趋势

60 片电池片的组件功率	2016 年	2017 年	2018 年	2020 年	2022 年	2025 年
PERT N 型单晶组件功率 (W)	290	295	300	315	325	330
BSF P 型单晶组件功率 (W)	280	285	290	295	300	305
BSF P 型多晶组件功率 (W)	265	270	275	280	285	290
PERC P 型单晶组件功率 (W)	290	295	300	305	315	325
PERC P 型多晶组件功率 (W)	270	275	280	285	290	295
黑硅多晶组件功率 (W)	270	275	280	285	285	290
PERC+黑硅多晶组件功率 (W)	275	280	285	290	295	300
异质结 N 型单晶组件功率 (W)	305	315	320	335	345	360
背接触 N 型单晶组件功率 (W)	320	335	340	345	350	360

#### 4、全片和半片电池组件市场占比

目前，全片电池片的组件占据市场绝大部分份额，市场占比接近 99%，未来仍是市场主流。半片或更小片的电池片组件的功率封装损失更小，未来半片及更小尺寸电池片应用市场份额占比会上升。图 41 给出了 2016-2025 年全片和半片电池组件市场占比变化趋势。

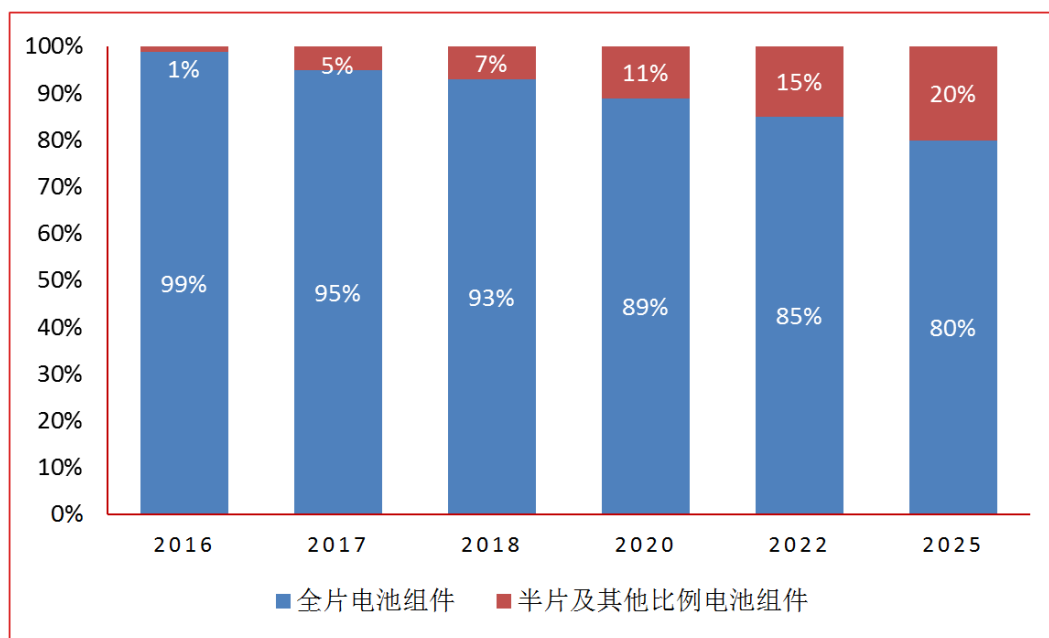


图 41 2016-2025 年全片和半片电池组件市场占比变化趋势

#### 5、60 片和 72 片组件市场占比

2016 年，60 片组件仍然是市场主流，市场占有率达到近 65%，但 72 片组件功率较大，可节省安装空间，有利于在场地较为平缓的地区使用，预计未来这两

种组件仍将共存。其他应用于特殊场合的定制化组件也会受到重视。图 42 给出了 2016-2025 年 60 片和 72 片组件市场占比变化趋势。

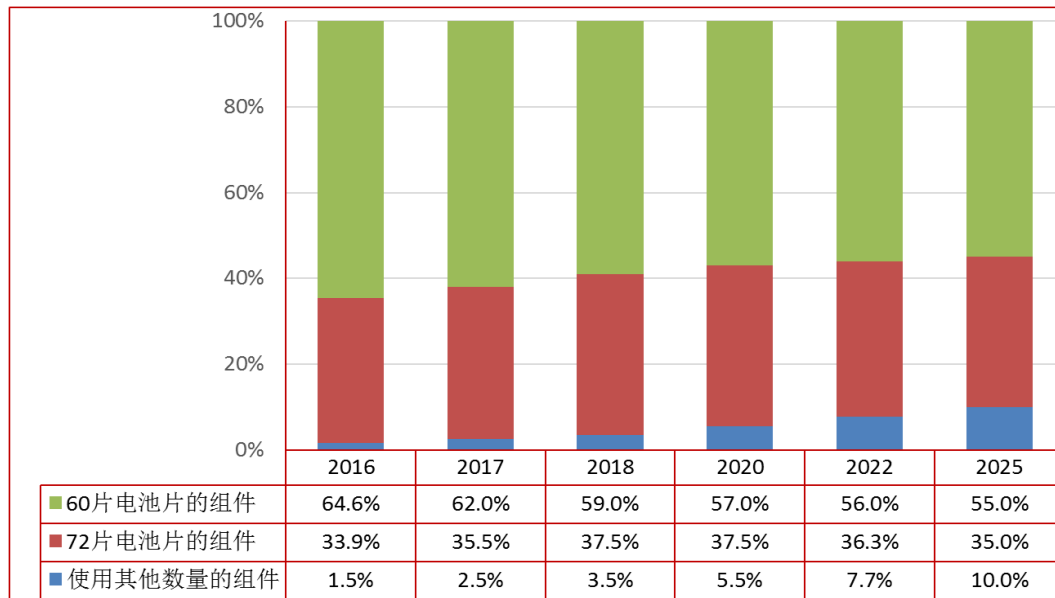


图 42 2016-2025 年 60 片和 72 片组件市场占比变化趋势

## 6、组件封装钢化非镀膜玻璃透光率

钢化非镀膜玻璃的透光率是指在 AM1.5 光谱环境下，对 300-1200nm 波长可见光平均透光率。目前钢化非镀膜玻璃的透光率在 91.5% 左右。按照现有工艺技术水平，未来 10 年还能有 0.5 个百分点的提升空间。图 43 给出了 2016-2025 年组件封装钢化非镀膜玻璃透光率变化趋势。

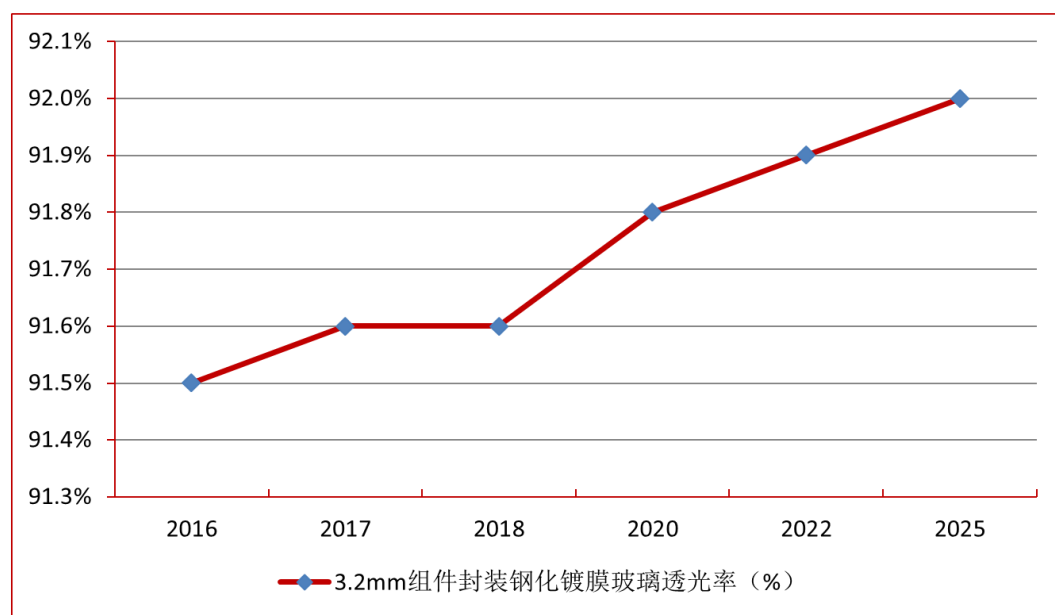


图 43 2016-2025 年组件封装钢化非镀膜玻璃透光率变化趋势

## 7、组件封装钢化镀膜玻璃透光率

目前钢化镀膜玻璃的透光率在 94% 左右。随着工艺进步，透光率仍有一定增长空间，预计到 2020 年透光率有望达到 94.5%。图 44 给出了 2016-2025 年组件封装钢化镀膜玻璃透光率变化趋势。

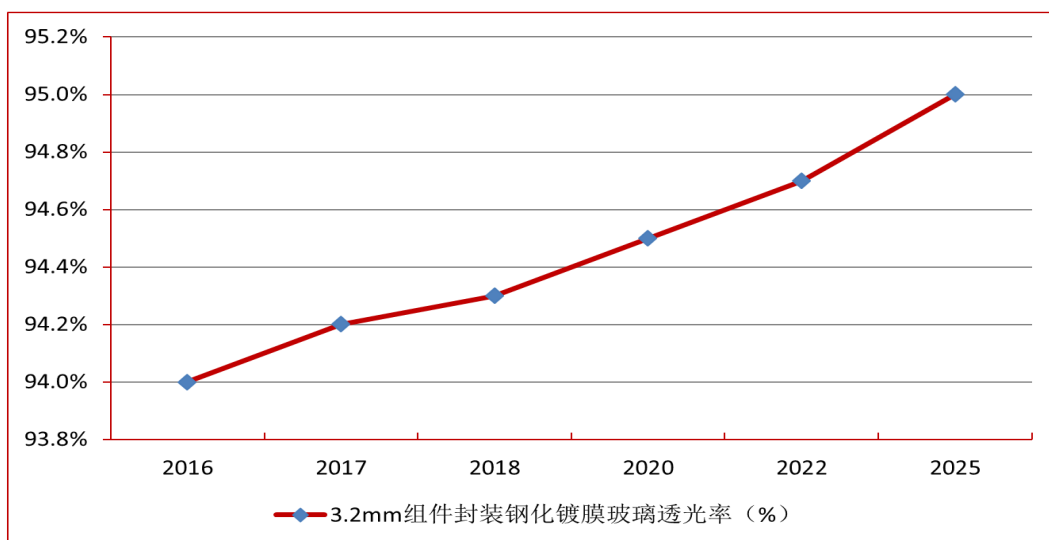


图 44 2016-2025 年组件封装钢化镀膜玻璃透光率变化趋势

## 8、不同盖板材料的市场占有率

2016 年正面为减反射镀膜盖板玻璃的组件市场占有率大概在 84% 左右，正面为非镀膜盖板玻璃的组件占到 16% 左右；未来自清洁镀膜盖板玻璃作为前盖板材料的应用会逐渐增多，尤其在双玻组件的应用上。图 45 给出了 2016-2025 年不同盖板材料的组件市场占有率变化趋势。

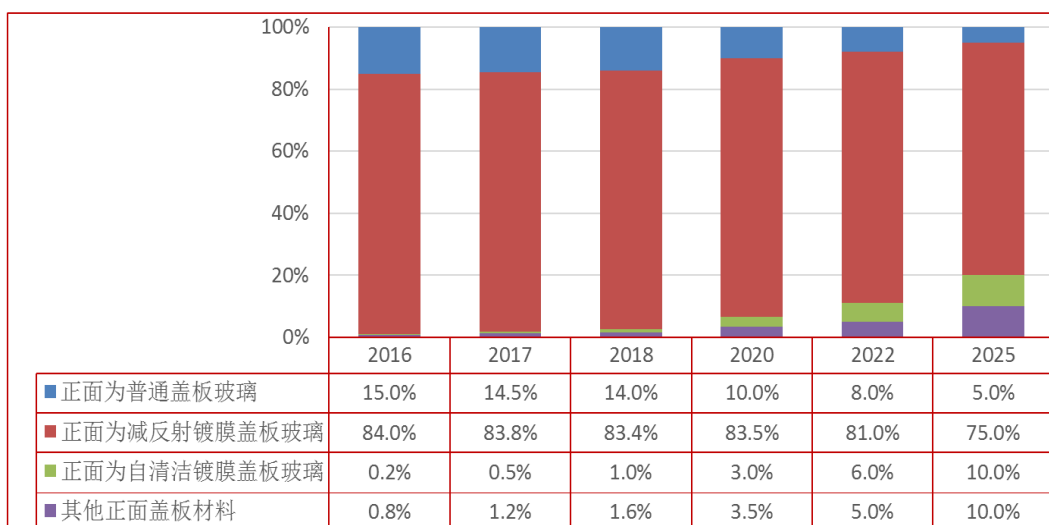


图 45 2016-2025 年不同盖板材料的组件市场占有率变化趋势

## 9、不同盖板玻璃厚度的市场占有率

2016年，组件前盖板玻璃厚度仍以3.2mm厚度为主，厚度为4.0mm盖板玻璃的组件仍有部分市场占有率；未来前盖板玻璃厚度呈逐渐下降的趋势，主流组件前盖板厚度将由3.2mm过渡到2.5mm，到2020年左右2.0mm厚度的玻璃也将得到更多应用。图46给出了2016-2025年不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比变化趋势。

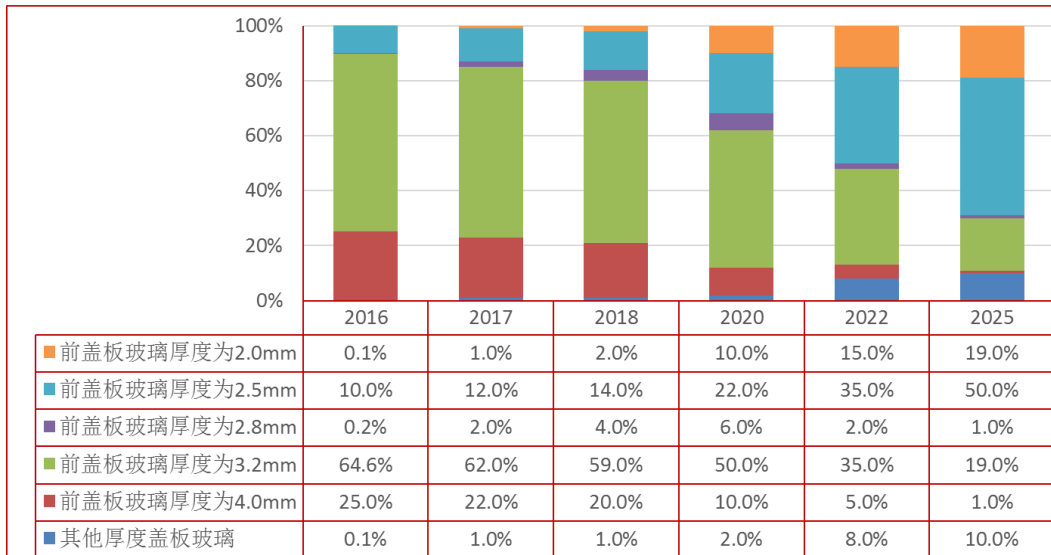


图 46 2016-2025 年不同前盖板玻璃厚度的组件市场占比变化趋势

## 10、电池片互联技术市场占有率

焊带仍是最主要的电池片互联材料，2016年含铅焊带作为电池片互联材料的市场份额占比接近100%，随着对环保的重视力度不断加大，不含铅焊带将是未来发展趋势。而像导电胶互联、smart wire 以及 MWT 等互联技术未来也会得到更多应用，通过互联技术提高电池性能、降低成本将是未来技术发展的主要方向。图47给出了2016-2025年不同电池片互联技术市场占有率变化趋势。



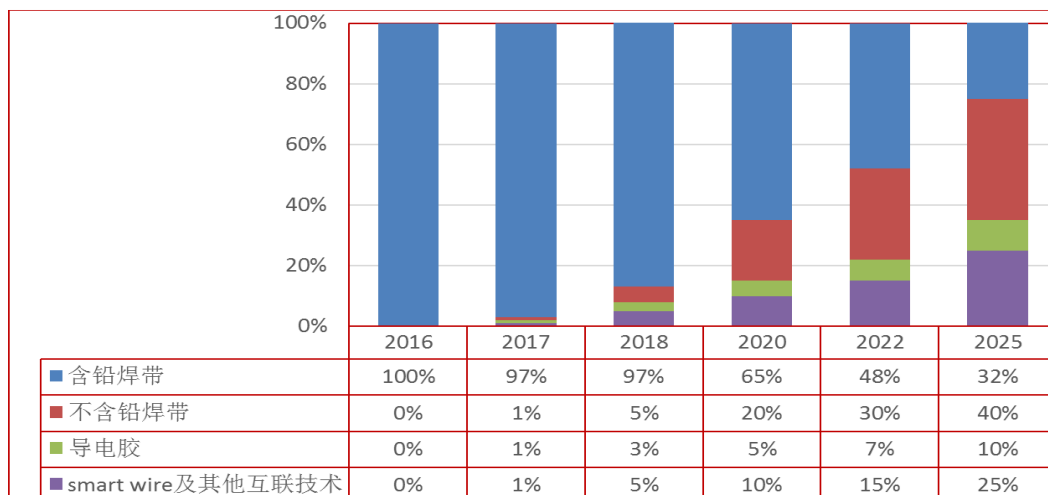


图 47 2016-2025 年不同电池片互联技术市场占有率变化趋势

## 11、不同封装胶膜材料的市场占有率

当前 EVA 胶膜占封装材料大部分市场份额，约占 93%，但随着新型材料的推广该比例将逐年减少。POE 胶膜目前已开始大规模使用，2018 年市场份额占比达 10%，预计未来市场占有率将进一步扩大。而 PVB 胶膜主要应用在双玻组件上，随着双玻组件的发展，其市场份额也将有所提升。图 48 给出了 2016-2025 年不同封装胶膜材料的市场占有率变化趋势。

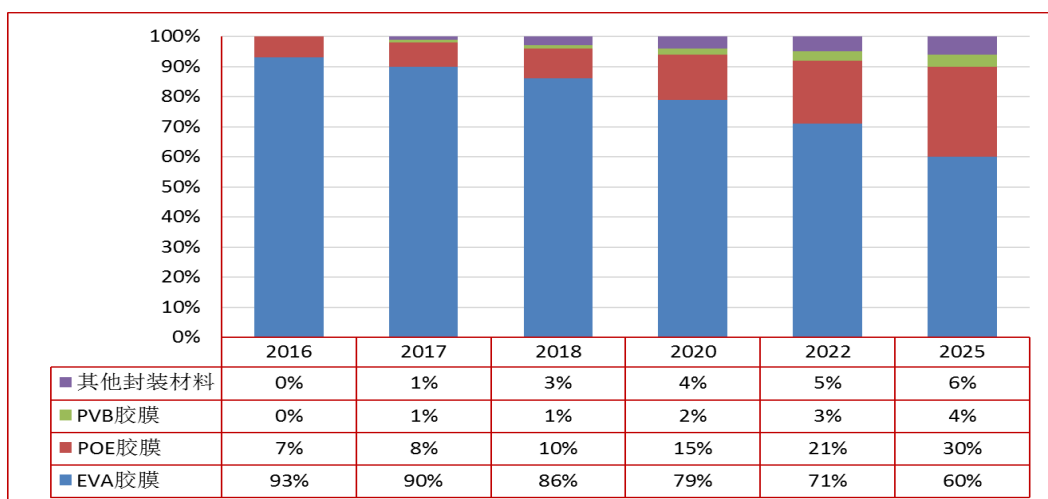


图 48 2016-2025 年不同封装胶膜材料的市场占有率变化趋势

## 12、不同封装背板材料的市场占有率

2016年，背板材料可大概分为TPT背板和非TPT背板（包括TPE背板、APA背板、TPA背板等），2016年非TPT背板市场份额占比将超过80%，预计未来几年市场份额将有所下滑，但仍将保持市场主流地位；TPT背板2016年市场份额占比预计将达到14%，但由于其价格相对较高且下降幅度有限，未来市场份额将逐年下滑。玻

璃背板由于其突出的耐久性优势，将是未来背板材料重要发展方向。图 49 给出了 2016-2025 年不同封装背板材料的市场占有率变化趋势。

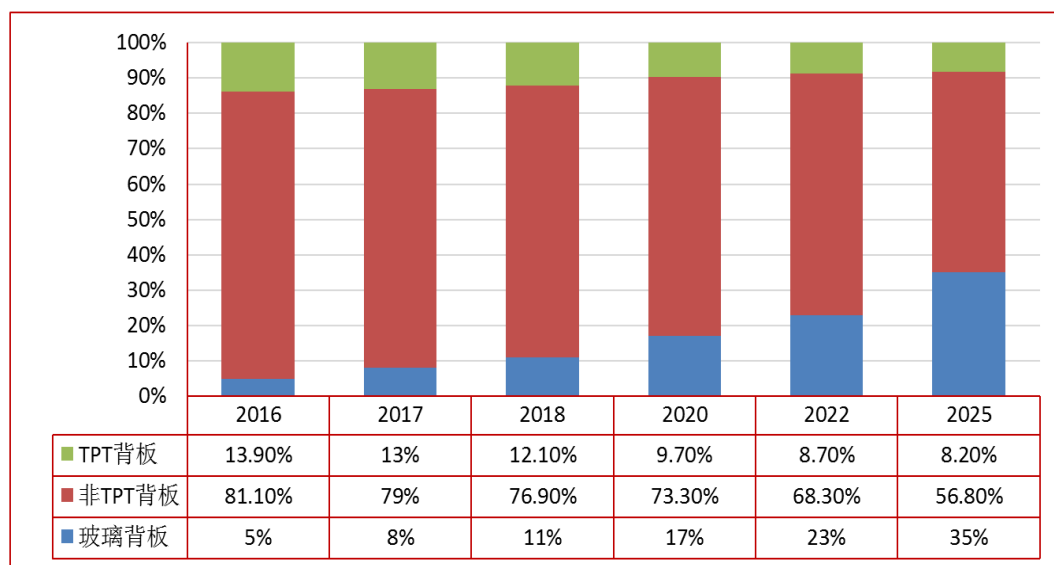


图 49 2016-2025 年不同封装背板材料的市场占有率变化趋势

### 13、不同边框材料的市场占有率

目前边框材料主要还是铝型材边框，2016 年市场份额占比接近 100%，未来使用铝材边框仍是市场主流。塑料及其他材料边框是未来重点研究方向，随着高分子材料及新材料的发展及应用，预计 2025 使用塑料及其他材料边框的市场份额占比将达到接近 15%。图 50 给出了 2016-2025 年不同边框材料的市场占有率变化趋势。

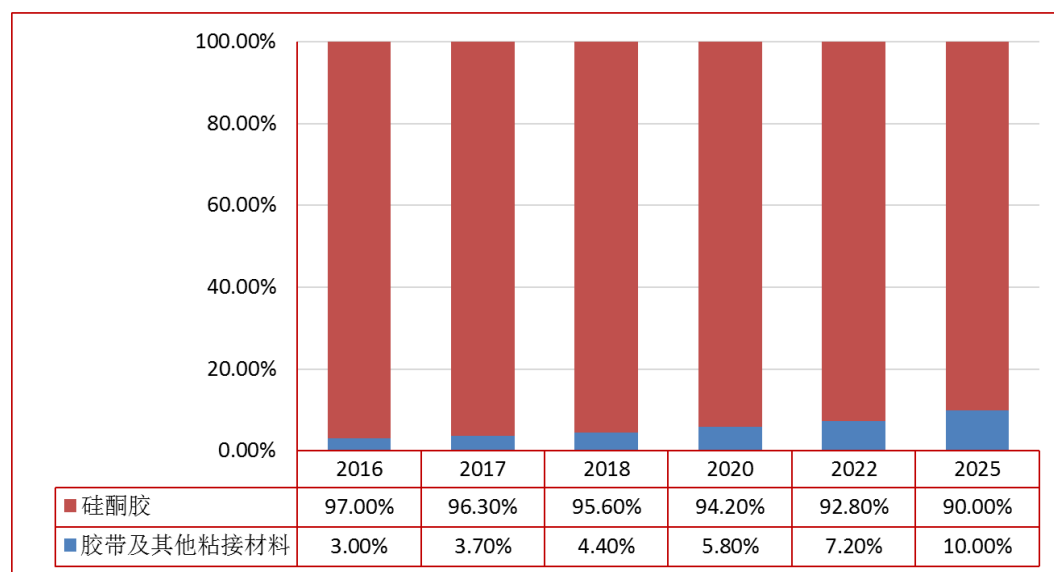


图 50 2016-2025 年不同边框材料的市场占有率变化趋势

## 14、不同粘接材料的市场占有率

边框与玻璃间粘接目前主要采用硅酮胶作为粘接封装材料，预计2016年硅酮胶作为粘接封装材料的市场份额约97%左右，未来仍是市场主流。胶带目前已经有一些企业开始使用，未来市场份额会逐年上升。图51给出了2016-2025年不同粘接封装材料市场占有率变化趋势。

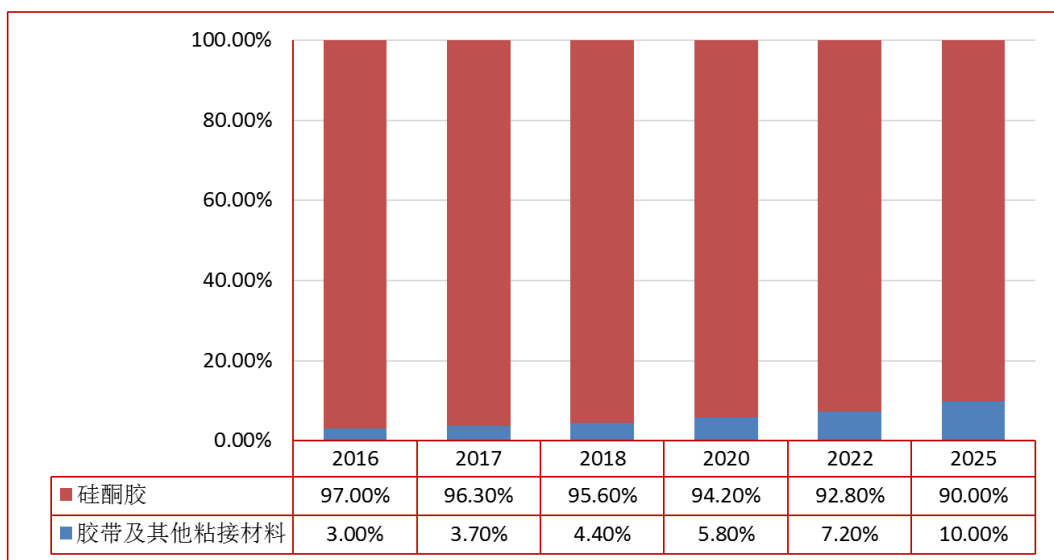


图 51 2016-2025 年不同粘接封装材料市场占有率变化趋势

## 15、组件关键环节生产效率

组件生产中较为关键的环节即为串焊和层压环节，以2015年的生产效率为基准，2016年串焊效率和层压效率均将有不同程度的提升，未来一段时间内，随着设备性能的提升以及工艺的进步，生产效率仍有较大的提升空间。图52给出了2016-2025年组件关键环节生产效率变化趋势。

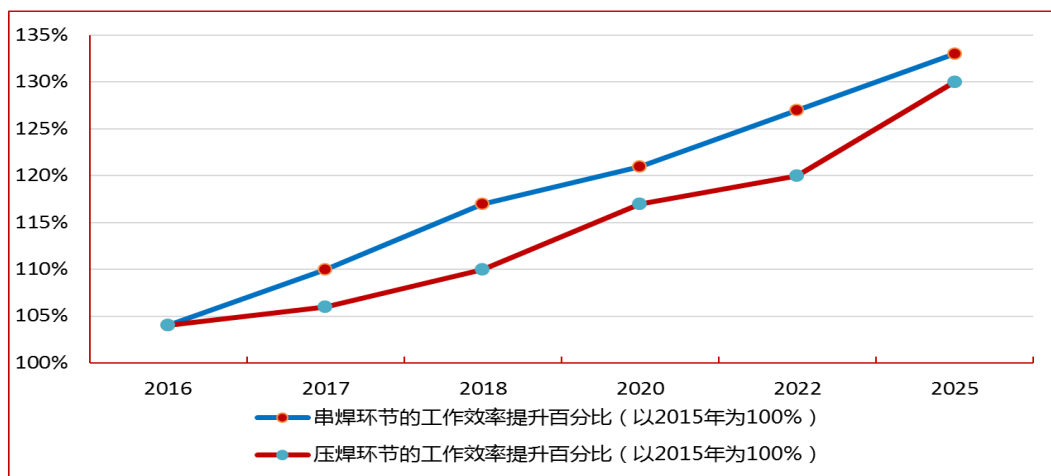


图 52 2016-2025 年组件关键环节生产效率变化趋势

## 16、电池片厚度

考虑到层压时的碎片率问题，组件厂商对电池片的厚度要求相对保守。组件厂可接受的最小多晶硅电池或硅片的厚度在未来三年内可能仍保持在 180 微米左右，而单晶硅电池则有逐步降低的趋势，如下图所示。图 53 给出了 2016-2025 年组件对电池片厚度要求变化趋势。

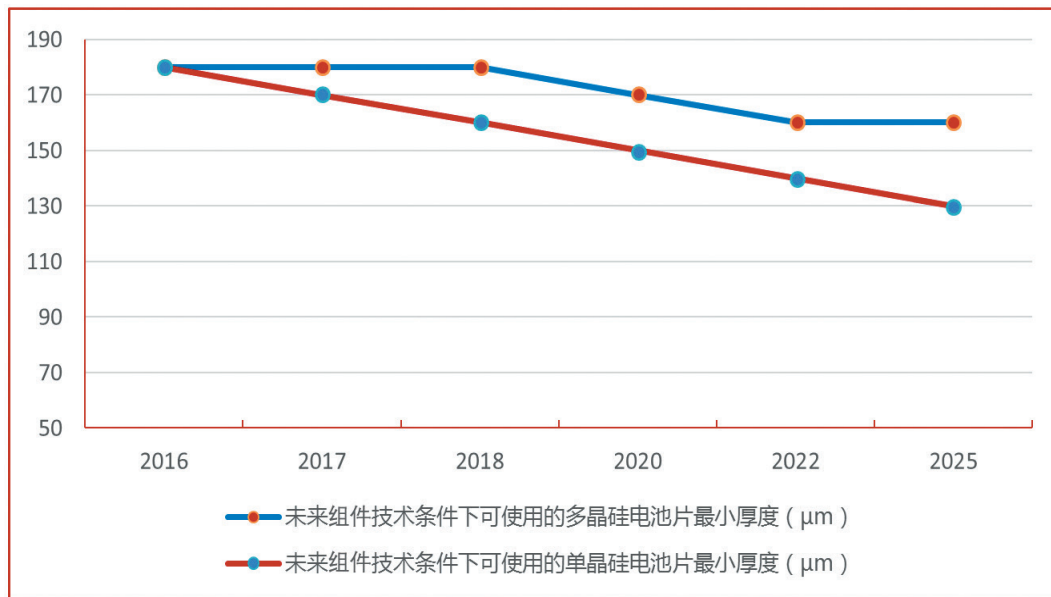


图 53 2016-2025 年组件对电池片厚度要求变化趋势

### (五) 薄膜太阳能电池

薄膜太阳能电池理论效率高、材料消耗少、制备能耗低，主要包括硅基薄膜、铜铟镓硒 (CIGS)、碲化镉 (CdTe)、砷化镓 (GaAs) 等。硅基薄膜电池目前由于技术提升空间有限，企业相继退出、减产，或将硅基薄膜组件用于具有更高附加值的光伏建筑一体化领域。CIGS 及 CdTe 电池目前实验室最高转换效率分别达到 22.6% 及 22.1%，组件全面积转换效率均已超过 16%，技术上仍有提升空间，且产业化技术逐步成熟，发展前景看好。此外，具有超高转换效率的 GaAs 电池，在特殊的应用场景具备很大的发展潜力，但是目前由于成本较高，还未实现大规模量产。

#### 1、CdTe 薄膜太阳能电池转换效率

表 5 2016-2025 年 CdTe 薄膜太阳能电池转换效率变化趋势

效率	2016 年	2017 年	2018 年	2020 年	2022 年	2025 年
小电池片实验室最高转换效率 (%)	17.0%	17.5%	18.0%	20.0%	21.0%	23.0%
组件量产最高转换效率 (%)	14.0%	14.5%	15.5%	17.0%	18.0%	20.0%
组件量产平均转换效率 (%)	13.0%	13.5%	14.5%	16.0%	17.0%	19.0%

数据来源：龙焱能源及国内其他 CdTe 企业（不考虑 first solar）

2015 年全球具备规模生产碲化镉太阳能电池的企业仍只有三家：美国的 First Solar、德国的 Calyxo 和中国的龙焱能源科技。预计 2016 年中国 CdTe 组件量产平均效率将超过 13%，2020 年量产平均效率将超过 16%。

## 2、CIGS 薄膜太阳能电池转换效率

表 6 2016-2025 年 CIGS 薄膜太阳能电池转换效率变化趋势

效率	2016 年	2017 年	2018 年	2020 年	2022 年	2025 年	备注
小电池片实验室最高转换效率 (%)	21.0%	22.0%	22.5%	23.5%	24.5%	26.0%	
玻璃基组件量产最高转换效率 (%)	16.5%	17.5%	18.5%	19.5%	20.5%	22.0%	
玻璃基组件量产平均转换效率 (%)	14.5%	15.5%	16.5%	18.0%	19.0%	20.0%	
柔性小组件最高转换效率 (%)	17.5%	18.5%	19.0%	20.0%	21.0%	22.0%	柔性组件为开口面积效率
柔性组件量产平均转换效率 (%)	16.0%	17.0%	18.0%	19.0%	19.5%	20.5%	

2015 年全球具备 CIGS 生产规模的企业包括日本 SolarFrontier、中国汉能等。2016 年，CIGS 小面积 (1cm<sup>2</sup>) 转换效率已提升至 21%，15.89cm<sup>2</sup> 小组件面积的转换效率达到 18.7%。量产的玻璃基 CIGS 组件最高转换效率将超过 16.5%，柔性 CIGS 组件量产平均转换效率超过 16.0%。预计到 2020 年，CIGS 小电池片的实验室效率有望达到 23.5%，全面积组件超过 18% 的效率。未来，随着大面积均匀镀膜、快速的工艺流程以及更高效的铜铟镓硒镀膜设备的开发、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 薄膜电池有进一步的成本下降空间。

## 3、GaAs 薄膜太阳能电池转换效率

表 7 2016-2025 年 GaAs 薄膜太阳能电池转换效率变化趋势

效率	2016 年	2017 年	2018 年	2020 年	2022 年	2025 年	备注
小电池片实验室最高转换效率 (%)	28.8%	29.0%	29.4%	30.0%	30.0%	30.0%	非聚光
小电池片单结量产转换效率 (%)	26.5%	27.5%	28.0%	28.3%	28.5%	29.0%	非聚光
小电池片双结实验室最高转换效率 (%)	32.0%	32.5%	33.0%	33.5%	33.5%	33.5%	非聚光
小电池片三结实验室最高转换效率 (%)	34.5%	35.0%	36.0%	38.0%	39.0%	39.0%	非聚光
高倍聚光三结及三结以上实验室最高转换效率 (%)	39.0%	40.0%	42.0%	45.0%	48.0%	50.0%	高倍聚光

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，国内目前主要有汉能、国电科环、厦门乾照、天津十八所等几家企业在研究。预计到 2017 年，双结电池研发效率达到 32.5% 左右，三结电池的研发效率大于 35%。

## (六) 逆变器和系统环节

### 1、不同类型逆变器的中国效率

逆变器的发电效率会直接影响光伏发电系统的整体发电量，而随着工作电压和负载率的不同，逆变器的转换效率会在不同工况下有较为明显的差异，仅以某一下测得的最大效率来衡量逆变器发电性能的好坏会存在一定的片面性。因此，欧美等国家发布和实施了相关的标准和法规，分别推出欧洲效率和加州效率，即通过不同输出功率条件下的逆变器发电效率配以不同加权系数来模拟真实使用环境，用于综合评价光伏逆变器发电效率。由于我国太阳能资源条件与欧美相差较大，欧洲效率或加州效率不能完全适用于我国使用要求。中国效率是在借鉴欧美地区光伏逆变器效率评价方式的基础上，从我国太阳能辐照条件出发，优化了不同负载率下逆变器效率的权重系数，并进一步结合了对逆变器实际发电量有重要影响的MPPT效率之后，在不同输入电压条件下所得出的平均加权总效率。中国效率可以更加全面的评价逆变器的发电效率以及逆变器对发电量的影响。

2016年，集中式逆变器的中国效率平均在98.2%左右，集散式逆变器的中国效率平均在98.3%左右，组串式逆变器的中国效率平均在98.3%左右。逆变器内部的功率半导体器件，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，中国效率指标未来仍有进一步提升的空间。图54给出了2016-2025年不同类型逆变器中国效率变化趋势。

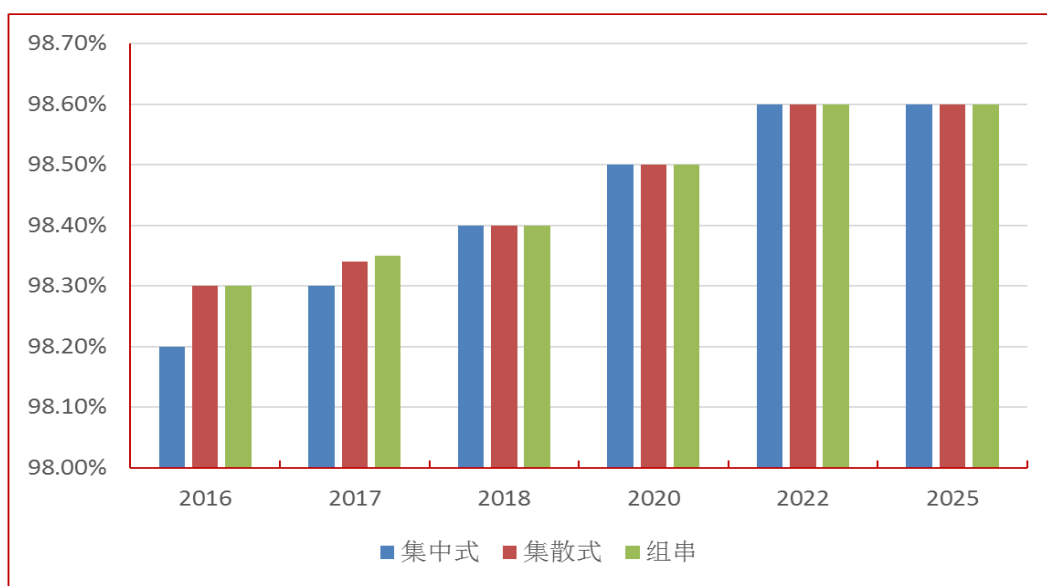


图 54 2016-2025 年不同类型逆变器中国效率变化趋势



## 2、不同类型逆变器的最大效率

逆变器在某一特定输入电压条件，特定负载率条件下，会测得一个效率最大值，即逆变器最大效率。最大效率表征了逆变器所能达到的一个效率极值，也是代表逆变器技术发展水平的一个重要指标。目前，集中式逆变器、集散式逆变器和组串式逆变器的最大效率均已达到99%，其未来的变化趋势与中国效率的提升趋势基本相同。图55给出了2016-2025年不同类型逆变器的中国最大效率变化趋势。

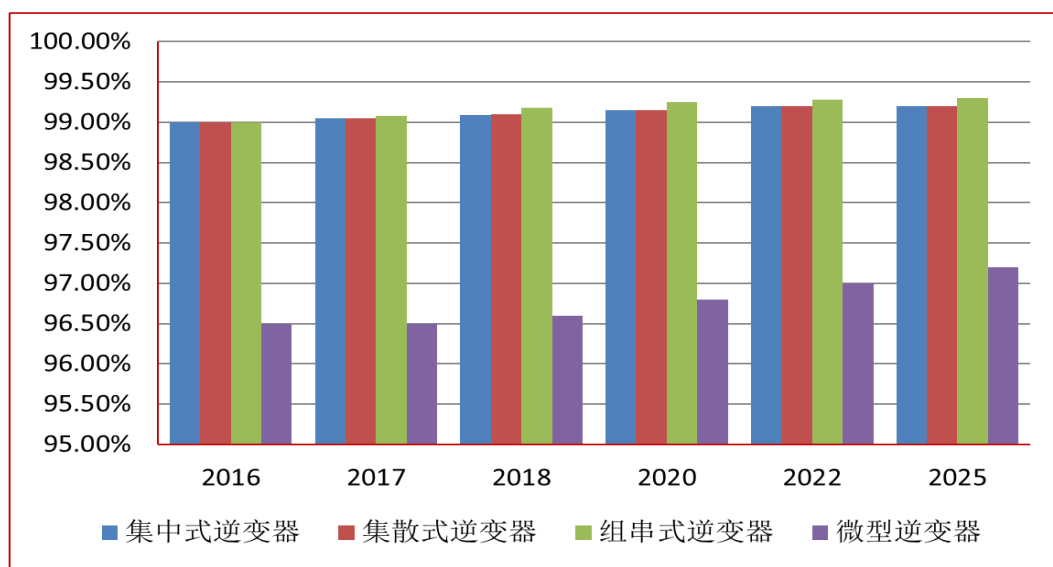


图 55 2016-2025 年不同类型逆变器的中国最大效率变化趋势

## 3、不同功率等级逆变器的市场份额

大型地面电站当前采取的主流 1MW 方案将逐渐减少，逐步向 2MW 甚至 3MW 的方向发展，以期进一步降低系统成本。分布式电站采用的逆变器率等级也将逐渐从 40kW/50kW 向更高功率等级的方向发展。户用逆变器市场份额也将逐步增加，功率段主要在 5kW-10kW。微型逆变器的市场份额随着户用系统及民用产品的增加也在逐渐增加。图 56 给出了 2016-2025 年不同功率等级逆变器市场占比变化趋势。

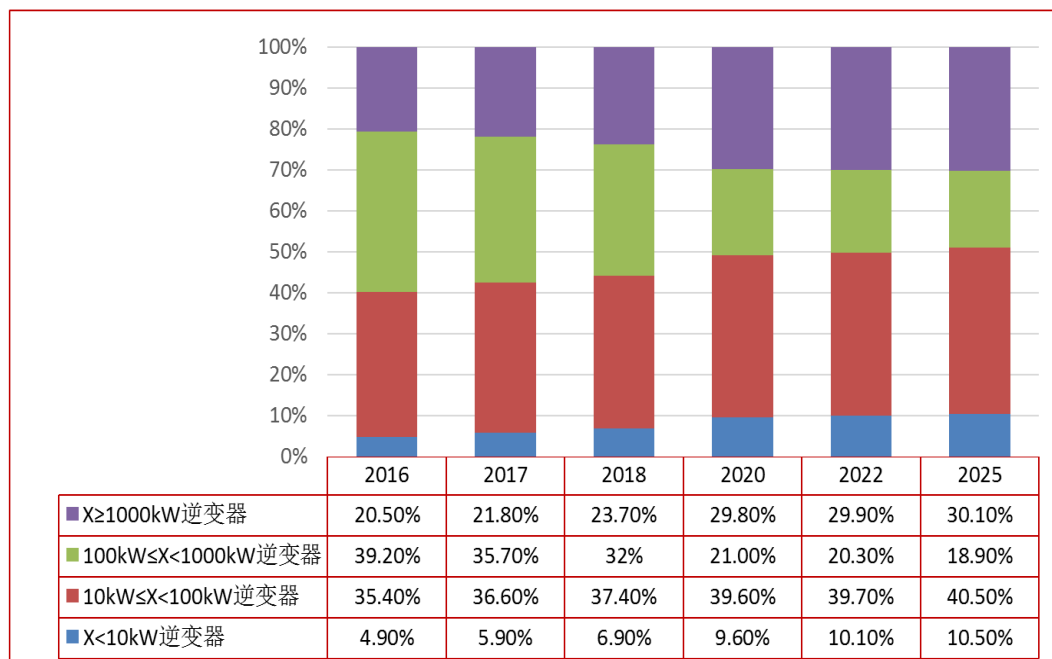


图 56 2016-2025 年不同功率等级逆变器市场占比变化趋势

#### 4、不同类型逆变器的市场占比

随着大规模并网电站占比的下降，集中式逆变器的市场占有率也会逐年下滑。集散式方案凭借其可实现大容量和多路 MPPT 跟踪优势，未来市场应用会逐年增加并占据一定市场份额。分布式市场正在快速崛起，组串式机型（包括单相和三相）的应用会越来越多。微型逆变器在国内市场应用较少，未来的应用会随着户用市场及民用市场的发展逐渐增加。图 57 给出了 2016-2025 年不同类型逆变器的市场占比变化趋势。

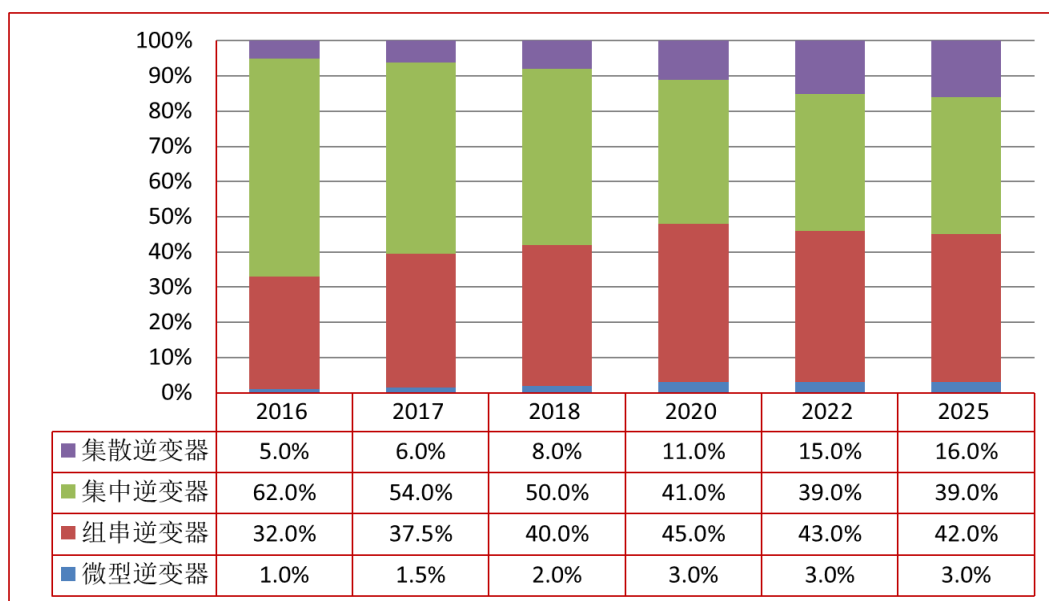


图 57 2016-2025 年不同类型逆变器的市场占比变化趋势

## (七) 系统环节

### 1、全球光伏新增装机量

虽然国内光伏新增装机量未来两三年出现政策性调整较大，但随着全球气候协议《巴黎协定》落实以及光伏发电 LCOE 的不断下降，光伏发电应用地域和领域将会继续扩大，全球光伏市场将会逐年增加。以彭博、Energytrend、Gartner 等机构预测的最低值作为保守形式、最高值作为乐观情形进行未来市场规模预测，2016 全球光伏年度新增装机有望达到 70GW 以上，如下图 58 所示，2016-2020 年间全球光伏市场将以 9% 复合增长率继续扩大市场规模。

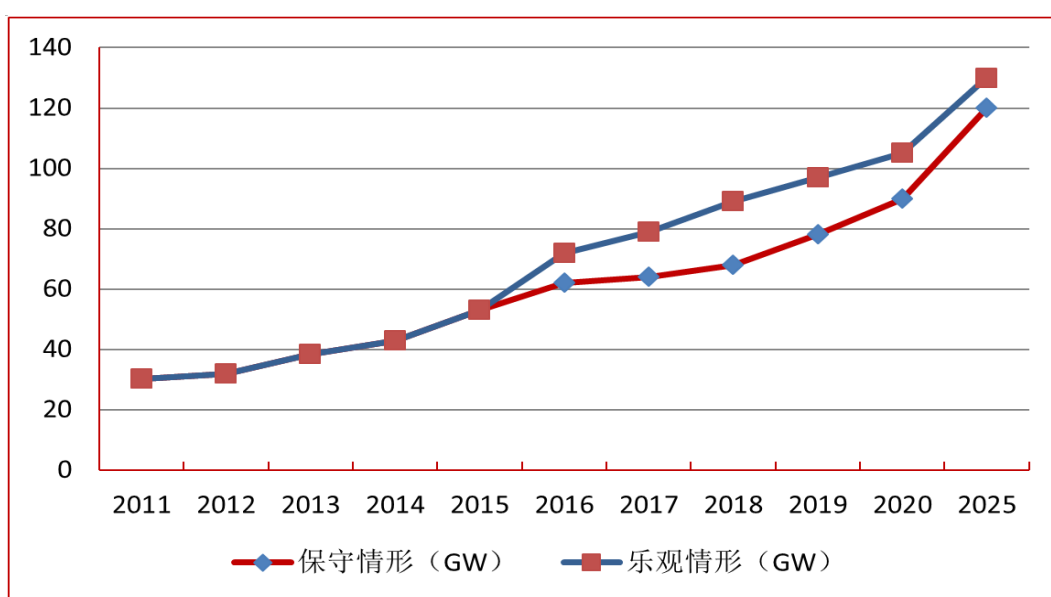


图 58 2016-2025 年全球光伏年度新增装机

### 2、国内光伏年度新增装机量预测

2016 年国内新增装机量达到 34.54GW，2017 年，保守的情境下 2016 年确定的普通电站、领跑者基地和光伏扶贫指标等基本完成建设，加上部分 2016 年未批先建项目，预计新增装机量可达到 20GW 以上，且 2017 年光伏上网电价调整将是大概率事件，将不排除再次发生抢装，乐观情境下 2017 年新增装机量可达到 30GW。考虑到光伏发电“十三五”规划目标为累计装机 110-150GW，且有电价下降、补贴延迟发放、弃光限电等问题，预计 2018-2020 年保守情况下国内市场规模在 10GW 左右，但随着分布式发电的崛起，乐观情况下可到 20GW。2020 年后，电改开始见成效，光伏发电在部分地区具备竞争力的市场恢复到较高装机水平，但受电力市场需求影响，光伏市场将处于相对平稳发展状态。图 59 给出了 2011-2015 年国内光伏年度新增装机规模以及 2016-2025 年新增规模预测。

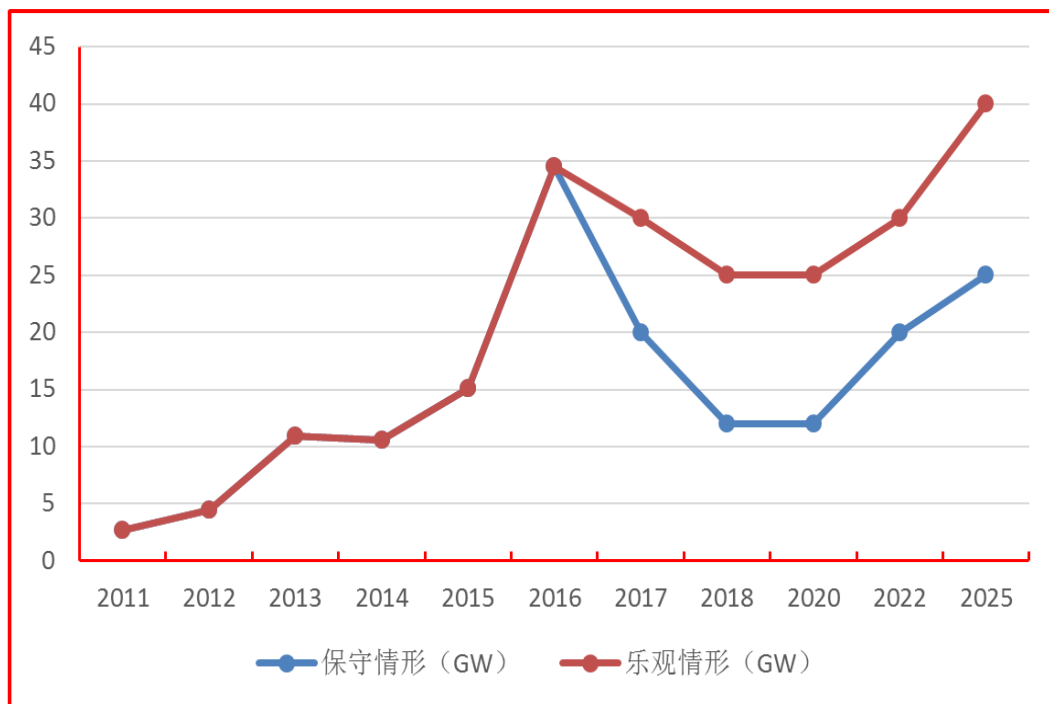


图 59 2011-2015 年国内光伏年度新增装机规模以及 2016-2025 年新增规模预测

### 3、国内光伏电站投资成本预期

光伏发电系统投资主要由组件、逆变器、支架、电缆等主要设备成本，以及土建、安装工程、项目设计、工程验收和前期相关费用等部分构成。虽然电缆、建安等投资下降空间不大，但组件、逆变器等设备成本仍有一定下降空间，而接网、土地、项目前期开发费用等不同项目差别较大，这里取典型值计算。2016年，系统投资平均成本为7.3元/W左右，到2017年可下降至6.9元/W以下，到2020年可下降至5.7元/W。如若能有效降低土地、电网接入以及项目前期开发费用等非技术成本，至2020年电站系统投资可有望下降至5元/W以下。考虑到未来部分电站为了提高发电小时数，可能会引入容配比设计、跟踪系统、智能化运维等，投资成本可能会提升，但发电成本总体呈现下降趋势。图60给出了2016-2025年大型地面电站投资成本变化趋势。

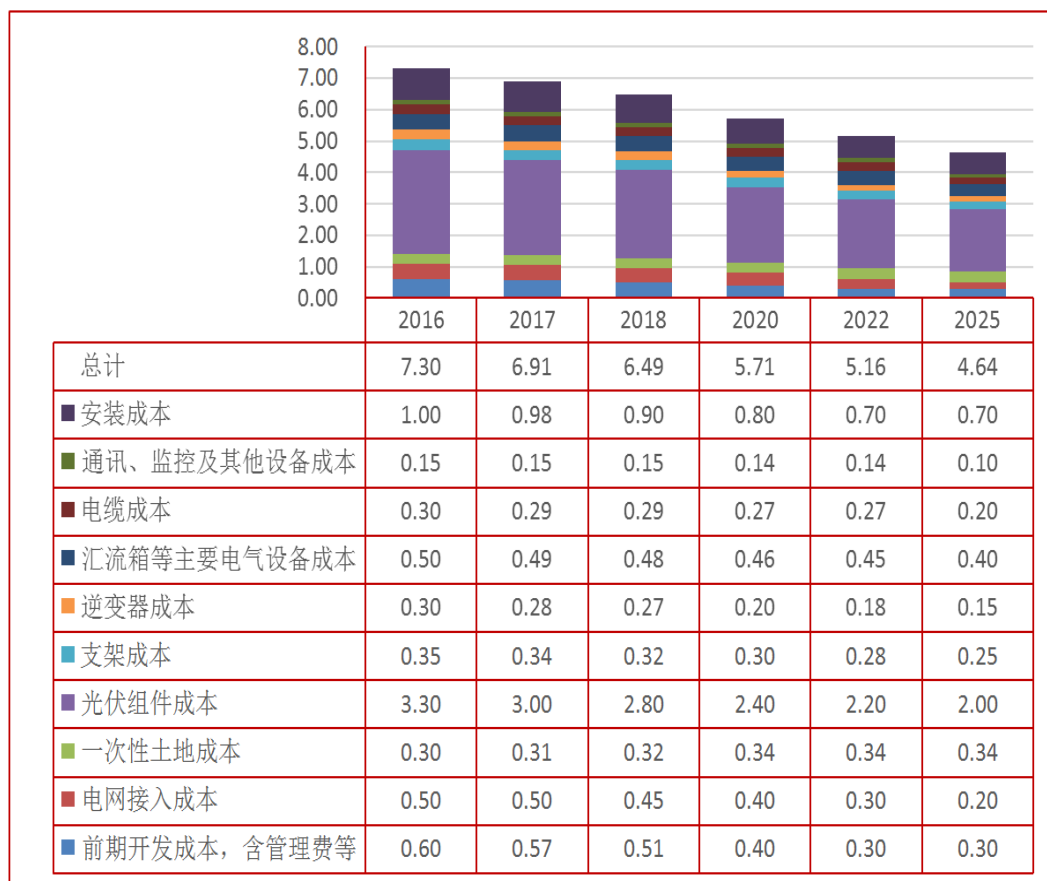


图 60 2016-2025 年大型地面电站投资成本变化趋势

#### 4、光伏应用市场

2016 年分布式发电装机容量达到 4.24GW，市场份额占比预计达到 12%，而大型地面电站仍将是主流，预计占比在 85-90%。预期 2017 年，随着扶贫电站的建设，以及可能的电价政策调整利好分布式，分布式光伏装机有望达到 6GW 以上，预计占比超过 20%，而 2016 年下发的领跑者基地、普通光伏电站及扶贫电站建设，大型地面电站占比仍将在 78% 以上。2018 年之后，分布式电站在国家相关规划引导下占比将会快速增大，但考虑到安装空间、商业模式等问题，大型地面电站在特高压输电建设、电改以及光伏+等因素驱动下，仍将占据一定市场空间。同时，光伏发电作为可移动电源，也将在消费品领域得到较大应用。图 61 给出了 2016-2025 年不同类型光伏应用市场变化趋势。

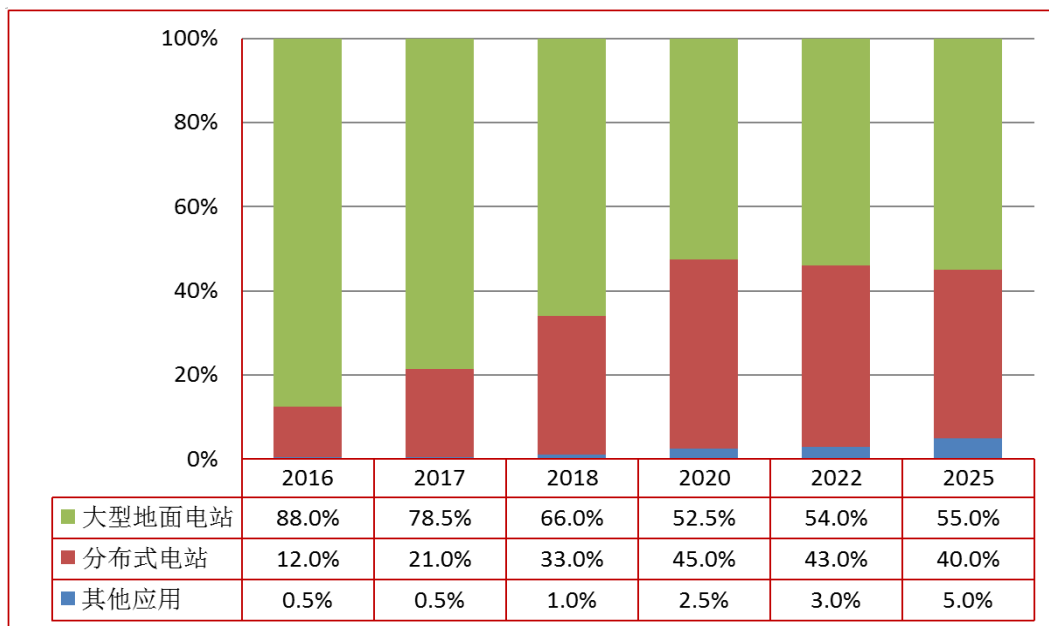


图 61 2016-2025 年不同类型光伏应用市场变化趋势

## 5、不同系统电压等级的市场占比

2016 年，光伏电站建设仍主要以 1000V 系统为主，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，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成为主流。其他系统电压主要包括工商业分布式系统电压及户用系统电压，随着分布式光伏电站的发展，其他电压系统等级的市场份额将逐渐增加。图 62 给出了 2016-2025 年不同系统电压市场占比的变化趋势。

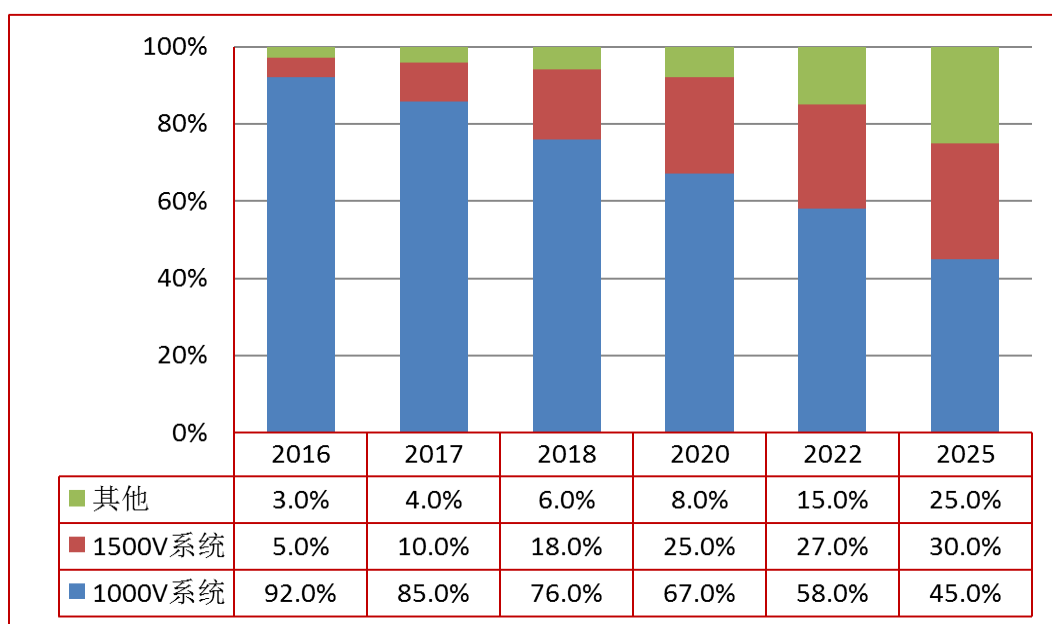


图 62 2016-2025 年不同系统电压市场占比的变化趋势



## 6、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，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流，2016年跟踪系统的市场份额占比接近5%，未来光伏电站配套跟踪系统将是行业发展一个重要方向。图63给出了2016-2025年跟踪系统市场占比的变化趋势。

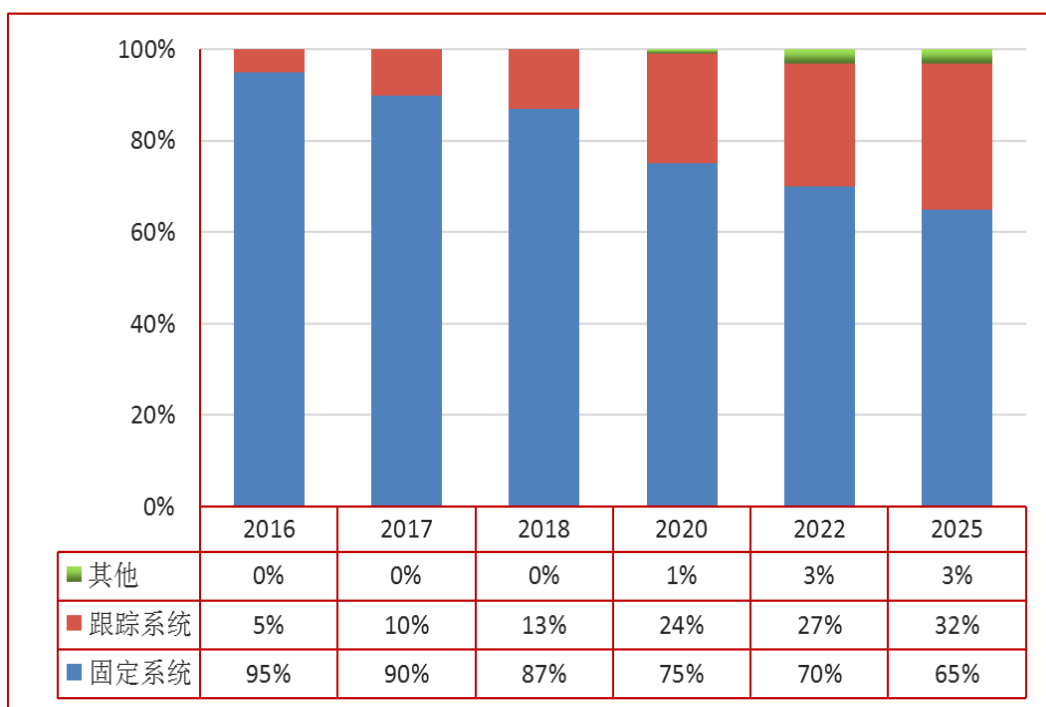


图 63 2016-2025 年跟踪系统市场占比的变化趋势

## 后记

值此《路线图》付梓之际，恰逢国家刚刚出台有关光伏规划等政策措施，我们希望《路线图》的发布，能更有利于助力产业技术创新，以进一步增强我国光伏核心竞争力，更有效贯彻落实国家相关规划以早日实现平价上网。我们深信：今天的所有思考、探索和付出，必将催生我国光伏产业发展的又一春天！最后，感谢工业和信息化部电子信息司的指导和大力支持。



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 260 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 10 层

邮编：100846

电话：010-68207622

传真：010-68207621

网址：[www.chinapv.org.cn](http://www.chinapv.org.cn)



电子信息产业所是赛迪智库下属的专业从事信息和新能源产业战略与规划研究的咨询服务部门，是国内最早的信息产业专业研究机构之一，以提供信息产业和新能源产业领域专业化研究为目标，长期致力于为政府部门和企业提供信息产业发展政策、战略、规划、方案等研究服务，承担并完成了多项国家重大项目，取得了丰富的研究成果。电子信息产业所研究方向涉及信息、新能源产业各子行业及国民经济与社会信息化建设各领域，并针对太阳能光伏、动力电池、物联网、云计算、移动智能终端、LED照明、新型显示等新兴产业门类不断开拓研究视野。研究团队站在国家和产业的战略高度，紧扣时代脉搏，将自己对产业的深刻理解，连同他们的智慧和热情，凝聚在日常的研究当中，持续而高效地为中国信息产业及新能源的蓬勃发展做出贡献！

地址：北京市海淀区万寿路 27 号院电子大厦 4 层

邮编：100846

电话：010-68200513

传真：010-68209618

网址：<http://www.ccidwise.com/>



太阳能光伏  
PHOTOVOLTAIC