

PERC

太阳能电池的 现状与未来

2018

中国光伏行业系列
调研报告 ▶



摘要

ABSTRACT

2017版《PERC技术专刊》旨在探讨和回答以下三个问题：1. PERC技术是如何实现的？2. PERC技术有哪些优势？以及3. PERC技术发展前景如何？

钝化发射极和背面（PERC）技术是晶硅太阳能电池近年来最具性价比的效率提升手段，与常规电池产线相比，仅需增加背钝化和激光开槽工段，以及金属化工艺的适当配合，就能有效提升单晶和多晶电池转换效率。

PERC技术使P型晶硅太阳能电池的效率提升到以前无法想象的地步。2014-2017年，全球主流太阳能电池厂商积极投入PERC技术研发，不断刷新电池效率。晶科能源2017年10月宣布了创纪录的多晶PERC电池22.04%效率，隆基乐叶2018年2月宣布了创纪录的单晶PERC电池23.6%效率。

与效率同时提升的，是PERC电池的产能。制造工艺的成熟和较低的资本投入使PERC电池产能易于扩张，加上国家高效领跑者项目的驱动，以及下游市场对高功率组件的需求，光伏行业积极扩张PERC电池产能。2016年底全球PERC产能约为15GW，到2017年底，全球PERC产能增至约35GW。随着PERC工艺的快速普及，PERC电池正在成为“新一代的常规电池”！

光伏行业对PERC技术投入如此大的热情，主要在于PERC电池组件强大的发电能力和更低的度电成本。相对于常规组件，PERC组件单位功率发电量更高，海南、吐鲁番、大同的实证电站数据显示，单晶PERC组件比常规组件每KWh平均多发3%以上。高效组件由于节省了BOS成本和土地成本，以及更强的单瓦发电量，在合理的组件价差下，高效PERC组件更具性价比优势，电站投资回报率也更优。

PERC技术的优势还体现在与其他高效电池和组件技术的兼容性，以及进一步提升效率和发电能力的潜力。通过与多主栅、选择性发射极和先进陷光等技术的叠加，单晶PERC电池效率可以进一步提升。而双面PERC电池在几乎不增加制造成本的情况下实现双面发电，在系统端实现10%-25%的发电增益，极大地提升了PERC技术的竞争力与未来发展潜力。

目录

CONTENTS

3 前言

4 1. PERC电池工艺

- 1.1 背钝化工艺
- 1.2 激光工艺
- 1.3 金属化工艺

8 2. 2017年PERC电池的效率优势已经有多大？

- 2.1 PERC电池技术与常规电池效率比较
- 2.2 主流厂商PERC电池效率进展

11 3. 主流光伏企业到底建设了多少PERC电池产能？

- 3.1 PERC电池产能统计
- 3.2 2017年PERC电池制造商产能现状及规划
- 3.3 2018-2021年PERC电池产能预测

13 4. 为何PERC电池组件每瓦能多发3%左右的电？

- 4.1 PERC组件多发电的原因
- 4.2 PERC组件多发电的实证案例

16 5. 为什么PERC电池组件具有更低的度电成本？

- 5.1 PERC组件具有更低度电成本的原因
- 5.2 PERC组件电站应用性价比分析

18 6. 多晶PERC面临的挑战

- 6.1 光致衰减效应（LID）
- 6.2 生产成本
- 6.3 技术成熟的节奏

20 7. 中国领跑者基地PERC产品应用情况

- 7.1 PERC在2015年领跑者基地
- 7.2 PERC在2016年领跑者基地
- 7.3 PERC在2017年领跑者基地

27 8. PERC电池技术展望

- 8.1 PERC电池效率还能持续提升吗？
- 8.2 双面PERC——PERC技术极具竞争力的进一步发展方向
 - 8.2.1 双面PERC相对简单的工艺
 - 8.2.2 双面PERC强悍的发电能力
 - 8.2.3 双面PERC电站应用性价比分析
- 8.3 PERC电池的未来——被新技术替代，还是持续保持竞争力？

前言 PREFACE

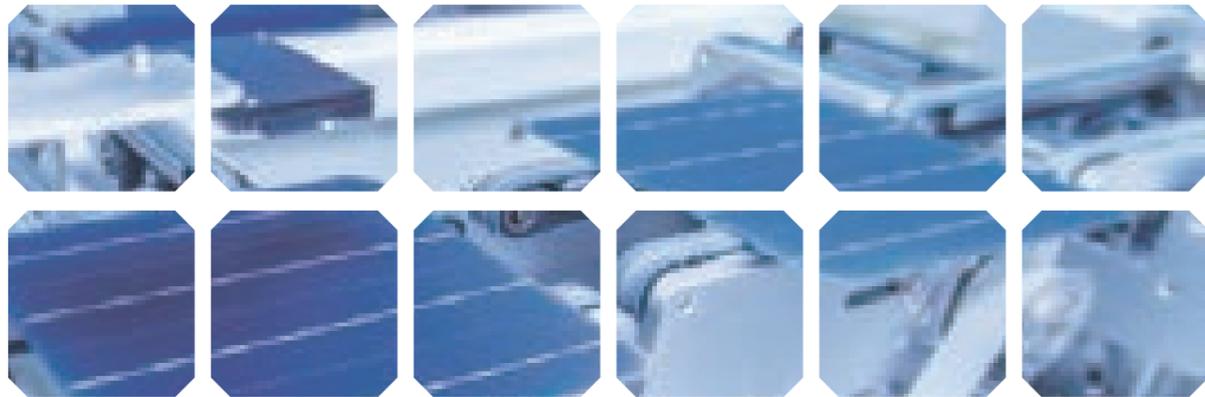
人类既渴望清洁的生活环境，又想要充足而便捷的能源供应。随着装机容量的快速增长和度电成本的持续降低，光伏发电有望成为两种优势兼具的解决方案。

2017年，中国新增光伏装机容量53.06GW，累计装机容量超过130GW。中国既是全球最大的光伏市场，也是最大的光伏制造国，更可贵的是，中国企业还引领着光伏新技术研发和规模化应用的世界潮流。

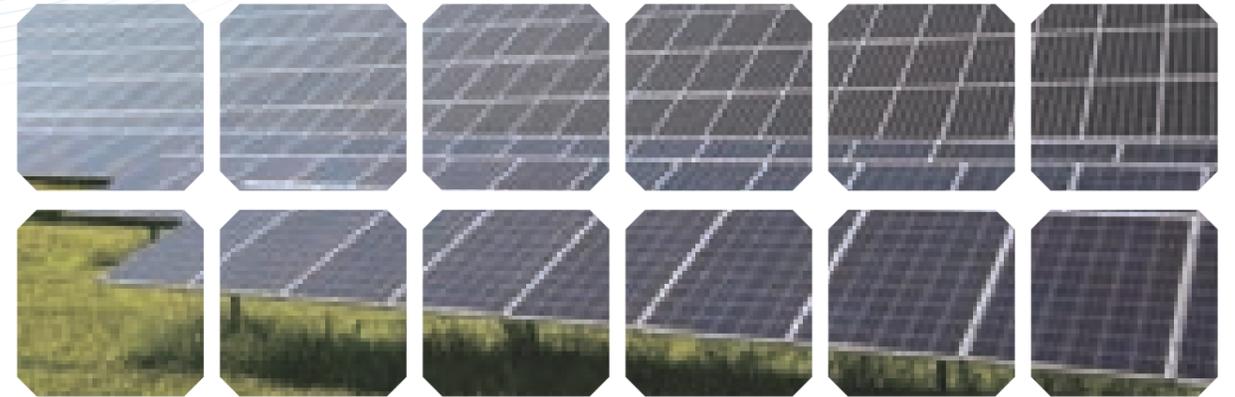
规模化生产和成本的降低可以实现良性循环；不依赖补贴，实现“平价上网”是光伏产业可持续发展的前提。要实现这些目标，易于量产，资金投入低而效率提升显著的先进光伏技术是关键。PERC工艺正是光伏行业所需求的这种技术：工艺简单、与现有电池产线兼容性高、用较低的产线投资即可有效提升电池转换效率，是晶硅太阳能电池最具性价比的效率提升手段。

政策层面也要求高效电池的大规模应用。2017年7月，国家能源局出台《关于可再生能源发展“十三五”规划实施的指导意见》。文件提出，2017-2020年中国光伏发电共新增指标86.5GW，其中“领跑者”项目指标为每年8GW，共32GW。“领跑者”计划将确保中国继续成为高效电池组件最主要的需求国。

中国光伏行业极具活力。充分竞争的市场环境，积极进取的行业参与者，以及对降低成本、提升投资回报率的不懈追求，驱动了PERC技术的发展和大规模应用，也将成就PERC电池效率的持续提升和双面PERC发电的推广。



PERC电池工艺



PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) 技术，即钝化发射极和背面电池，利用 Al_2O_3 等钝化材料对电池背面进行钝化，可以有效降低背表面复合，提高开路电压(Voc)，增加背表面反射，提高短路电流(Isc)，从而提升电池转换效率。

PERC电池结构如图1所示。电池结构特点是：
 (1) 电池的背面需沉积钝化膜；
 (2) 背场的铝浆直接覆盖在背面钝化膜上，与硅基体形成局部接触。该结构使得电池具有以下优点：
 (1) 电池背面具有更低的复合速度，可获得更高的开路电压；
 (2) 具有更优的红外背反射性能，可提高短路电流；
 (3) 串联电阻增加，填充因子(FF)相对较低。

根据PERC电池结构特点，电池需要背面钝化和背面局部接触，背面钝化要求电池背面沉积钝化膜，背面局部接触需要背面开膜。因此，相对于常规电池，PERC电池仅增加两步工艺过程：背面沉积钝化膜和背面开槽。PERC电池工艺流程为：(1) 制绒 (2) 磷扩散 (3) 背面抛光 (4) 正面镀 SiN_x (5) 背面沉积钝化膜 (6) 背面激光开槽 (7) 金属化 (8) 烧结 (9) 测试。具体流程如图2所示。

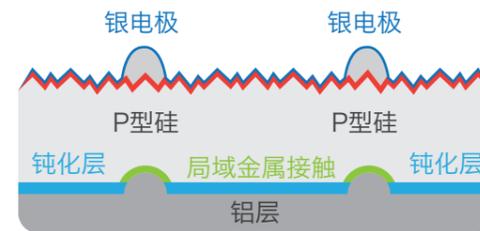


图1-PERC电池结构示意图



图2-PERC电池工艺流程图

1.1 背钝化工艺

背钝化材料

背面钝化膜的制备是PERC电池的核心工艺步骤。在钝化膜材料的选择上。氧化铝 (Al₂O₃) 由于具备较高的电荷密度，可以对P型表面提供良好的钝化，目前被广泛应用于PERC电池量产的背面钝化材料。除氧化铝外，氧化硅 (SiO₂)、氮氧化硅等也可作为背面钝化材料。

此外，为了完全满足背面钝化条件，还需要在氧化铝表面覆一层氮化硅 (SiN_x)，以保护背部钝化膜，并保证电池背面的光学性能。故PERC电池背面钝化多采用Al₂O₃/SiN_x双层结构。

不同背钝化材料市场份额如图3。图3为2018第九版ITRPV对于氧化铝和其他材料的市场份额预测。可以看出，2017年氧化铝的市场份额占比达95%，占据着绝对主导地位，其他钝化材料将逐渐消失。

钝化膜沉积技术

目前，用于PERC电池量产的Al₂O₃钝化膜沉积方法主要包括原子层沉积法 (ALD) 和等离子化学气相沉积法 (PECVD)。由于早期ALD量产设备存在开机率低，易碎片等问题，目前PECVD技术占据主要的市场份额。

PECVD与ALD Al₂O₃钝化膜制备比较如表1所示。在沉积工艺上，PECVD可以在一台设备中完成

背面氧化铝和氮化硅钝化叠层的沉积，而ALD则需额外增加一台PECVD设备用于氮化硅的沉积，且PECVD的沉积速率优于ALD。但PECVD沉积的氧化铝薄膜质量相对ALD较差，成膜厚度通常较厚，约为ALD镀膜厚度的2-3倍，造成三甲基铝 (TMA) 消耗量较高，运行成本提升。

采用 PECVD 沉积氧化铝的设备厂商包括梅耶博格 (Meyer Burger)、Centrotherm、Manz、Semco以及迅立等。其中梅耶博格的MAIA 2in1为市场占有率最高的PERC背钝化镀膜设备，截至2017年6月，其全球订单量已达27GW。在此基础上，梅耶博格还开发了MAiA 3in1设备，该设备可以一次完成正反面3层镀膜工艺，降低设备占地面积需求，并提升产能。

采用ALD技术沉积氧化铝膜的量产设备包括两个类型：一种是以NCD、BeneQ、ASM为代表的批量式ALD设备，另外一种则以SolayTec, Levitech为代表的在线式ALD设备。

国产设备供应商理想能源推出的ALD设备是全球首款采用In-Line+Batch ALD方式的平板 In-line设备。该背钝化设备特征如下：(1) 托盘式批量电池片传输方式，低碎片率、高开机率；(2) 无微波管，耗材少，维护时间短，运行成本低；(3) ALD方式成膜质量高，TMA耗量低；(4) PERC电池效率高，PM周期内效率稳定；(5) PM周期长，维护少。

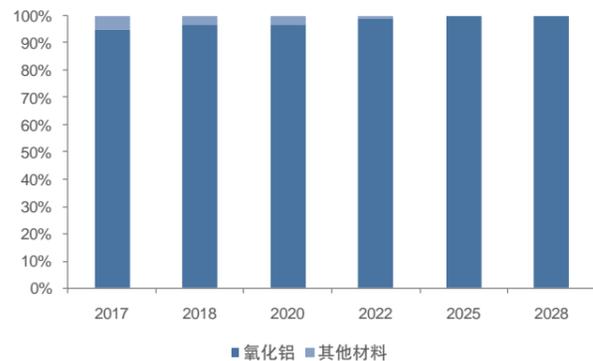


图3-不同钝化材料的市场份额预测
数据来源：ITRPV 2018

| | PECVD | ALD |
|-------|---|---|
| 沉积工艺 | 在一台设备中完成Al ₂ O ₃ /SiN _x 沉积 | Al ₂ O ₃ 和SiN _x 在两台设备中完成 |
| 沉积速率 | 高 | 低 |
| 镀膜厚度 | 15-20nm | 5-6nm |
| TMA耗量 | 9-10mg | 2-5mg |
| 钝化质量 | 低 | 高 |
| 设备厂商 | Meyer Burger/ Centrotherm/Semco/迅立 | SolayTec/Levitech/NCD/ 理想能源/微导 |

表1-PECVD与ALD Al₂O₃钝化膜制备工艺比较

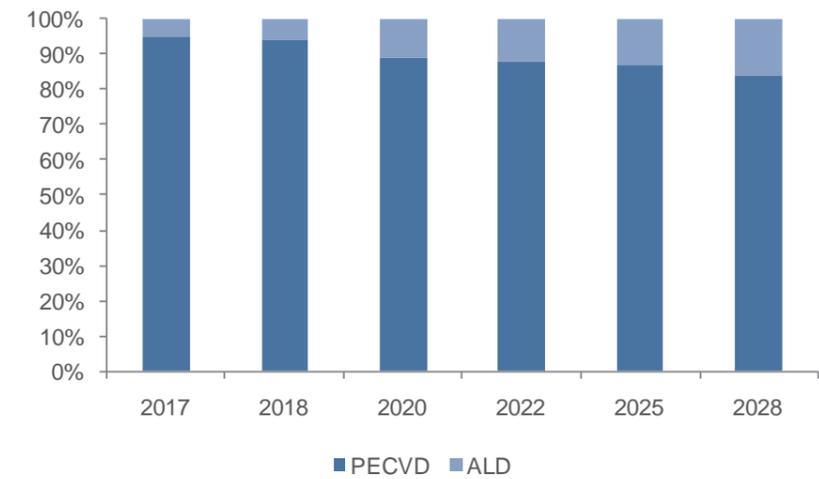


图4-不同沉积技术市场份额预测
数据来源：ITRPV 2018

ITRPV 2018对PECVD和ALD沉积技术的市场份额预测如图4所示。从图中可以看出，PECVD技术将持续处于主导地位，2017年约占95%的市场份额，到2020年仍将保持90%左右的市场份额；ALD技术将从2017年的5%的市场份额成长至2028年的约16%。

PERC电池背面钝化膜沉积量产技术除PECVD和ALD外，还有涂覆法。该方法不需要额外增加新设备，采用涂覆Al₂O₃钝化膜，通过丝网印刷，利用现有产线设备稍加修改即可实现，能够降低电池生产成本。目前，台湾益通光能采用该方法实现量产。

1.2 激光工艺

PERC电池的另一关键工艺则是背面钝化层开槽，以实现电池背面局部接触，可采用激光技术和腐蚀浆料。

激光技术

激光技术在光伏行业中应用广泛，目前PERC背面开膜的市场主流技术即为激光技术。对于激光技术，激光源的选择对激光系统性能非常重要。激光器分为皮秒激光器与纳秒激光器，其中利用皮秒激光对背面钝化层进行局部开膜，对硅衬底的损伤程度小，开膜的精度更高，但皮秒激光的成本远高于纳秒激光。因此目前主流的激光量产设备采用的是性价比更高的纳秒激光器。

背面开膜激光设备国外供应商主要有InnoLas Solutions、Rofin、3D-Micromac、Manz、Schmid等，中国大陆供应商有武汉帝尔激光、大族激光、常州雷射等，台湾地区有友晁等。相较于背钝化镀膜设备，激光开膜设备更加成熟，竞争也更加激烈。其中国产设备供应商帝尔激光占据较大的市场份额，截至2017年底，帝尔激光全球PERC设备累积安装量超过20GW。

腐蚀浆料技术

除了激光技术外，腐蚀浆料也可实现PERC电池背面开孔。该技术无需激光开膜步骤，背面栅线采用传统丝网印刷工艺，通过采用腐蚀性铝浆，利用铝浆的腐蚀作用穿透背钝化膜，一步形成欧姆接触并完成局部铝背场结构。该技术的关键点在于平衡被背钝化膜膜厚以及铝浆腐蚀性和烧结条件之间的关系。

相对于激光开槽技术，腐蚀浆料技术成本更低，只需额外增加一个印刷步骤即可。日本东洋铝业已开发出用于PERC电池的腐蚀性浆料，国内浆料公司也在配合电池厂积极开发。

1.3 金属化工艺

对于PERC电池，其金属化工艺仍可采用丝网印刷工艺，但由于PERC电池的背面结构发生改变，对导电浆料的性能提出了不同于常规电池浆料的要求。

在背面局部金属化阶段，会遇到铝背场空洞问题，即局部金属接触区域未形成铝背场，硅溶解进铝而形成空洞，会造成接触电阻的提高和填充因子的下降。PERC电池对背面铝浆基本要求如下：

(1) 开膜处填充效果良好；(2) 对介质膜的损伤适中；(3) 形成连续的、均匀的、厚度合适的局部铝背场(LBSF)；(4) 具备良好的可靠性，如附着性、EL、耐老化性能等。

对于PERC背面银浆，除需具备传统晶硅电池背银所必需的良好印刷性能和较低的银含量特性之外，还应当具备如下几条要素：(1) 低活性，减少玻璃粉与钝化膜的反应，避免银浆与硅片接触部分形成大量复合中心，提高电池片开路电压；(2) 较宽的工艺窗口，适应低温烧结工艺；(3) 优秀的附着力，及老化附着力。

对于PERC电池正面银浆而言，为了配合PERC技术获得更高的转换效率，除了提高接触性能，细线印刷降低栅线遮光面积等常规性能之外，还需要能够叠加双次印刷，分步印刷，多主栅技术。同时，为了帮助PERC电池降低光致衰减效应，还要求银浆拥有宽的烧结工艺窗口，能够适应低温烧结。

随着PERC电池快速发展，市场对PERC电池专用金属导电浆料的需求越来越强烈。为了配合PERC电池对浆料的特殊需求，浆料供应商开发了一系列PERC电池专用浆料，如PERC正面低温银浆、背面铝浆、PERC+背面烧穿浆料等。

杜邦是第一个推出PERC电池专用的整合金属化解决方案，其中包括新一代PERC正面银浆Solamet®PV20A、Solamet®PV56x系列背面银浆和Solamet®PV36x系列背面铝浆，可显著提升电池转换效率。通过采用Solamet®PV20A，元晶太阳能V-系列单晶PERC组件已实现21.15%电池效率和305瓦（60片）的组件输出功率。REC是采用Solamet®PV20x，其最新的双峰2系列(Twin-Peak2)60片多晶硅PERC组件峰值功率可达295瓦。

贺利氏光伏全球业务单元在2016 SNEC上推出两款高级“PERC套装”银浆系列产品，分别为SOL9631和SOL326，前者为低温正银浆料，后者为低反应活性背银浆料，可有效帮助客户提高PERC电池转换效率和附着力，减轻光致衰减，以及提升组件可靠性。在2017 SNEC上，贺利氏推出最新的SOL9641B系列PERC正面银浆，采用改良的副栅线设计，最多可提升电池效率0.2%。

此外，国产浆料企业近年来发展迅速，上海匡宇、无锡帝科、苏州晶银、常州聚和、深圳首聘等紧跟市场需求，纷纷推出PERC电池专用浆料，抢占PERC电池浆料市场份额。

2017年PERC电池的效率优势已经有多大？

2.1 PERC电池技术与常规电池效率比较

光电转换效率是晶体硅太阳能电池最重要的参数。2017年，我国产业化生产的常规多晶硅电池转换效率达到18.8%，单晶硅电池转换效率达到20.2%。

与常规电池相比，PERC电池的优势主要有两个方面：(1) 内背反射增强，降低长波的光学损失；(2) 高质量的背面钝化，这使得PERC电池的开路电压(Voc)和短路电流(Isc)较之常规电池有大幅提升，从而电池转化效率更高。

目前，PERC技术成为P型电池效率继续提升的主要方法，但PERC技术应用在多晶及单晶电池片上的效率表现有所差异。单晶电池产线在导入PERC技术后，可使转换效率绝对值提升1%以上，即单晶PERC电池产业化效率可达到21%以上，部分领先企业可将效率提升至21.5%；应用在多晶电池上有绝对值0.6%以上的效率提升，PERC多晶电池产业化效率可达到19.5%。此外，若在多晶PERC电池上叠加黑硅技术，产业化效率可达到20%以上。目前市场主流太阳能电池效率水平如图5所示。

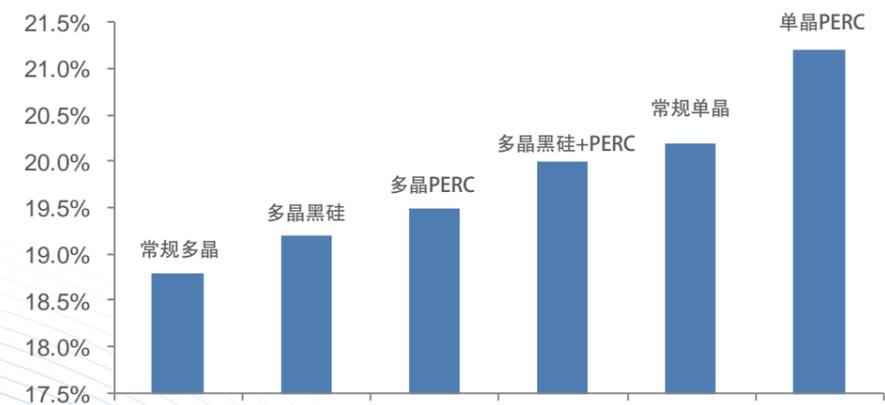
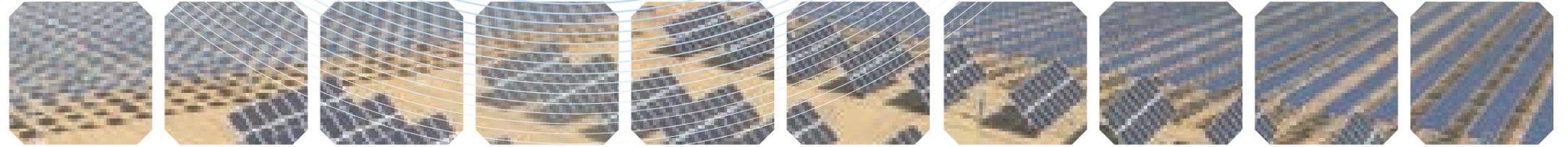


图5-2017年市场主流晶硅太阳能电池效率水平

2.2 主流厂商PERC电池 效率进展



晶澳太阳能

晶澳是我国最早、最大规模应用PERC技术的企业，早在2012年就获得了PERC电池发明专利的授权，2013年自主研发的工业化PERC电池平均转换效率在全球首次超过20%，2014年实现PERC电池和组件的大规模量产。

目前，晶澳单晶PERC电池量产效率提升至21.2%，60型单晶PERC量产组件的平均功率达到300W，最高功率创世界纪录达326.67W。

天合光能

天合光能曾是单晶PERC和多晶PERC电池记录的保持者，创造了多项世界纪录。

在单晶PERC上，2014年，天合光能凭借其大面积P型单晶PERC太阳能电池21.40%的效率创造世界纪录，并在一年后以22.13%的转换率刷新该记录。2016年7月，天合光能量产P型单晶PERC电池的平均效率已达21.1%。2016年12月，天合光能以22.61%的转换效率再创单晶PERC电池世界纪录。该破纪录的PERC太阳能电池采用了大面积工业级硼掺杂的直拉法硅片，集成正反面钝化及反光衰等先进的工业钝化发射极触点电池技术。

在多晶PERC上，2015年11月，天合光能大面积P型多晶硅PERC太阳能电池光电转换率达到21.25%，创造了新的世界纪录；2016年7月，天合光能在多晶PERC上整合RIE技术，量产化P型多晶PERC电池平均转换效率达20.16%；2016年10月，天合光能基于120片自产高效多晶PERC电池的高效多晶组件窗口效率达19.86%，再次创造了P型多晶硅组件窗口效率新的世界纪录。

尚德

2017年1月，无锡尚德宣布，公司自主研发的高效多晶硅PERC太阳能电池，量产转换效率最高达到20%。此外，无锡尚德还和澳大利亚新南威尔士大学合作开发氢钝化技术，能将多晶PERC电池片光致衰减比率降为零。

2017年7月，上海尚德成功开发P型双面PERC电池和组件产品。双面PERC电池正面电池转换效率达到21.4%以上，同时背面电池效率能够达到正面电池效率的65%以上。在双面PERC电池的基础上，搭配双玻封装技术，尚德开发的高效P型双面双玻PERC单晶组件正面功率可达300W。

晶科能源

晶科能源是目前多晶PERC电池效率世界纪录的保持者。

2017年10月2日，晶科能源宣布其研发的实用面积（245.83平方厘米）P型多晶PERC电池转换效率高达22.04%，创造新的世界纪录。此前，晶科能源在2016年10月曾以21.63%的多晶PERC电池效率创造世界纪录。

2017年10月26日，晶科能源宣布，经中科院检测实验室验证，其研发的P型单晶PERC电池转换效率高达22.78%，创造新的世界纪录。11月8日，晶科能源P型单晶PERC多栅电池效率达到23.45%，再次打破P型单晶电池效率的世界纪录。

晶科能源表示，其P型单多晶PERC太阳能电池效率大幅提升，主要基于数项高效技术的应用，包括：高性能P型硅基底，体钝化技术，多层减反膜技术、选择性发射极技术和细栅金属化技术等。其中选择性发射极（SE）和细栅金属化技术极大降低了电池表面复合损失，有效提高了PERC电池开路电压和电池效率。同时晶科特有的多层膜钝化技术亦极大贡献了电池效率的提升。

隆基乐叶

隆基乐叶致力于单晶技术路线的研发与提升。在单晶PERC电池转换效率上始终处于领先水平，并多次打破世界纪录，目前是单晶PERC电池效率的世界纪录保持者。

2017年4月，隆基乐叶100MW电池示范线量产最高效率达到22.17%；9月，隆基乐叶将该效率升级到22.43%；10月17日，隆基乐叶宣布，经德国弗劳恩霍夫太阳能系统研究所测试认证，其单晶PERC电池光电转换效率达到22.71%，创下新的PERC电池世界纪录；10月27日，隆基乐叶收到国家太阳能光伏产品质量监督检验中心（CPVT）测试报告，报告显示其单晶PERC电池转换效率最高水平达到23.26%，再一次刷新世界纪录。

2018年2月28日，隆基乐叶宣布，经中国国家太阳能光伏产品质量监督检验中心（CPVT）测试认证，其单晶PERC电池转化效率最高已达到23.6%，再次成为新世界纪录保持者。

在单晶PERC组件功率上，隆基乐叶在2018年1月宣布，其60型高效PERC组件光电转换效率达到20.41%，创造了新的单晶PERC组件转换效率世界纪录。

隆基乐叶于2017SNEC上推出了高效单晶PERC双面发电组件产品Hi-MO2。72型组件功率达360/365W，60型组件功率300/305W。该电池正面发电效率超过21%，与单面PERC电池相当。同时，背面采用了玻璃封装，实现了双面受光、双面发电，背面功率与正面功率相比不低于75%，产品背面可带来最高25%的发电量增益。Hi-MO2首年光衰可低于2%，平均年衰减低于0.45%，均优于常规组件。此外，2017年11月，隆基乐叶单晶双面PERC电池双面率达82.15%，突破PERC双面率记录。

协鑫集成

在行业单晶热潮中，协鑫集成坚持多晶高效电池及组件产品的推广。在金刚线切割多晶硅片的基础上，坚持推广黑硅+PERC电池技术。

2017年2月，协鑫集成开始稳定量产基于金刚线切割的多晶硅片的黑硅PERC电池。2018年2月，其高效多晶黑硅PERC电池量产平均效率达到20.8%，最高效率达到21.3%，多晶60版型组件功率突破300W。据悉，协鑫集成有效解决了多晶PERC电池的衰减问题，LID可控制在1.5%以内。

在多晶黑硅PERC电池技术量产的基础上，协鑫集成进一步开发了双面多晶黑硅PERC电池。该组件产品在系统端的不同应用场景下发电量可以增加10%-30%（电池的等效效率21%-24%）。

广东爱旭

目前，广东爱旭PERC双面电池在量产中正面光电转换效率大于21.5%，背面光电转换效率大于15%，60片电池双面双玻组件平均功率增加20%，可达到365W。下一阶段，爱旭产线还将叠加新量产工艺技术，预计PERC电池正面效率将突破22%。

韩华Q CELLS

韩华Q CELLS推出的Q.ANTUM电池是全球第一家商业化量产的多晶PERC电池，于2012年开始量产。目前韩华量产的Q.ANTUM多晶电池转换效率达19.5%，Q.ANTUM单晶电池转换效率达21.5%。截至2017年6月，韩华Q CELLS已经量产了约5GW Q.ANTUM太阳电池。

此外，韩华Q CELLS还与硅片制造商1366科技在技术上展开合作。2017年8月，韩华Q CELLS采用1366科技的直接硅片（“Direct Wafer”）技术，使得Q.ANTUM背钝化电池转化效率达20.3%。韩华Q CELLS曾在2016年3月与1366科技签订700MW直接硅片供应协议，该技术可大幅降低生产成本。

主流光伏企业到底建设了多少PERC电池产能？

3.1 PERC电池产能统计

近年来，随着国家高效领跑者项目的驱动，以及下游市场对高功率组件的需求，PERC产能扩张非常迅速。

截至2016年底，全球PERC产能约为15GW；截至2017年底，全球已建PERC产能达34.81GW，拟在建产能32.89GW，如图6和图7所示。其中，相对于多晶PERC，单晶PERC因为其高效率，技术成熟等优势，占据80%以上的市场份额，目前处于主导地位。



图6-PERC已建产能



图7-PERC拟在建产能

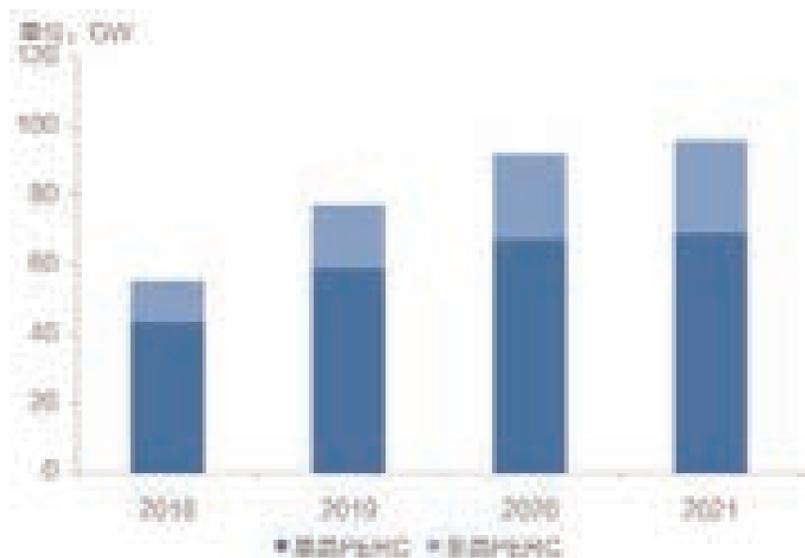


图8-2018-2021年PERC电池产能预测

数据来源：PVInfoLink

3.2 2017年PERC电池制造商产能现状及规划

- 2017年3月，南通苏民新能源5GW电池项目举行奠基仪式。该项目位于江苏省南通市通州湾示范区，占地面积约511.5亩，总投资53.7亿元，项目建成后将形成年产5GW高效PERC太阳能电池的生产能力。据悉，该项目分两期投入使用，2018年3月，项目一期正式投产。

- 2017年3月，无锡尚德表示，其PERC电池产能将扩大到600MW，2018年将扩大到1GW。

- 2017年7月，苏州润阳光伏总投资15亿元的2GW高效PERC电池项目落户盐城经济开发区。该项目于2017年9月开工建设，2018年3月该项目首片电池片成功下线。

- 2017年7月，润峰集团泗洪1GW高效PERC太阳能电池项目正式开工，项目总投资10亿元。

- 2017年8月，晶澳太阳能表示，预计2017年底，晶澳单晶PERC组件产能储备将达2600MW，晶澳多晶PERC组件产能储备将达到500MW，2020年PERC产能将扩充至5GW。

- 2017年9月，亿晶光电2017半年报披露，已具备700MW的PERC电池生产线，预计在2018年一季度达到1.2GW的PERC高效电池产能。

- 2017年9月，晶科能源在2017年二季度财报表示，正在对PERC电池进行积极扩产，预计2017年底达到2.5GW单晶PERC产能。

- 2017年10月，协鑫集成宣布，其高效多晶黑硅PERC电池量产产能已突破1GW，预计2017年底产能将达2GW。

- 2017年10月，隆基乐叶表示，目前已拥有约2GW的PERC电池产能，江苏泰州的产线1GW，安徽合肥的产线0.5GW，马来西亚的产线0.5GW。隆基乐叶计划在2018年6月底，将所有的电池产线将改造为PERC电池，到2018年下半年将拥有3.5-4GW的自主PERC电池产能，再通过外部战略合作的方式，总共拥有约8GW的PERC电池供应能力。

- 2017年10月，广东爱旭完成了佛山生产基地PERC产线全自动化升级，释放高效PERC产能1.15GW。2017年11月，广东爱旭义乌8GW高效PERC生产基地首期2.65GW项目正式试投产。2018年1月，广东爱旭义乌生产基地首期2.65GW高效PERC（单/双面）电池全面投产。至此，广东爱旭已实现4GW高效PERC电池产能。

- 2017年10月，台湾昱晶、新日光、升阳光电签署合并意向书，预计于2018年第三季度完成合并案。合并后，三家电池片产能将达5GW，PERC产能约为1.8GW。

- 2017年12月，韩华Q CELLS开始将其江苏启东工厂部分电池产能转移到PERC，总计1.4GW，余下常规铝背场电池产能保留约1.2GW。

3.3 2018-2021年PERC电池产能预测

随着PERC技术成熟度的不断提升，常规单晶与单晶PERC的成本差距在逐步缩小，预计2018年起，PERC将逐步替代常规单晶，成为单晶产线的标配。

在多晶方面，在金刚线切多晶硅片搭配黑硅技术大幅降本提效的基础上，再叠加PERC技术，可以实现“1+1>2”的效果，预计2018年起，电池厂商将陆续开始做多晶黑硅+PERC技术的升级。

据PVInfoLink预估，2018-2021年，PERC年产能将逐步增加，分别达到55GW、77GW、91GW和96GW，如图8所示。单晶PERC仍将占据PERC市场的主要份额。

为何PERC电池组件每瓦能多发3%左右的电？

光伏行业对PERC技术投入巨大的热情，持续技术研发以提高效率，不断建设产线以提升产能，主要原因在于PERC电池组件强大的发电能力和更低的度电成本。

同样一块60片电池的标准组件，高效PERC电池组件不仅功率优于常规组件，而且每瓦功率的发电量也比常规组件更高！海南、吐鲁番和大同的实证电站数据显示，单晶PERC组件比常规组件每瓦平均多发电3%左右。

4.1 PERC组件多发电的原因

PERC组件单位功率更多的发电量基于以下两大优势：

- 优秀的低辐照性能
- 更好的功率温度系数

PERC电池优秀的低辐照性能。如第一章所述，PERC电池具有更高的开路电压和更优的红外背反射性能。小于标准光强下的相对效率主要由开路电压的变化来决定，常规电池的相对开路电压低于PERC电池，且光强越弱，相对效率相差越多；而且PERC电池红外波段的量子效率显著提高，在1000nm以上红外光的光电转化率高。因此PERC组件在正常辐照下由于低辐照特性可以多发电，而在阴雨天以及早晚，相对常规组件的多发电优势更加明显。

更好的功率温度系数。虽然PERC电池由于红外波段量子效率高，其电流温度系数略高；但PERC电池的开路电压更高，其电压温度系数低。综合来看，PERC电池的功率温度系数低于常规电池。公开数据显示，PERC组件的功率温度系数为0.39%/°C，低于常规单晶组件的0.41%/°C。

PERC电池优秀的低辐照性能和更好的功率温度系数带来了每瓦组件更多的发电量。2016-2017年，多家行业机构的不同电池户外发电性能对比实证数据证实了这一点。

4.2 PERC组件多发电的实证案例

中国电器科学研究院三亚实证基地

中国电器科学研究院国家重点实验室研究披露了在三亚湿热海洋气候下，单晶PERC组件与多晶组件在户外实证基地的电站发电情况。

三亚实证基地使用来自一线厂商的290W单晶PERC组件与265W多晶组件和270W多晶组件，搭配3kW逆变器，分别接入8块晶硅组件，比发电量（单位安装容量下的发电量）计算采用组件实测功率。

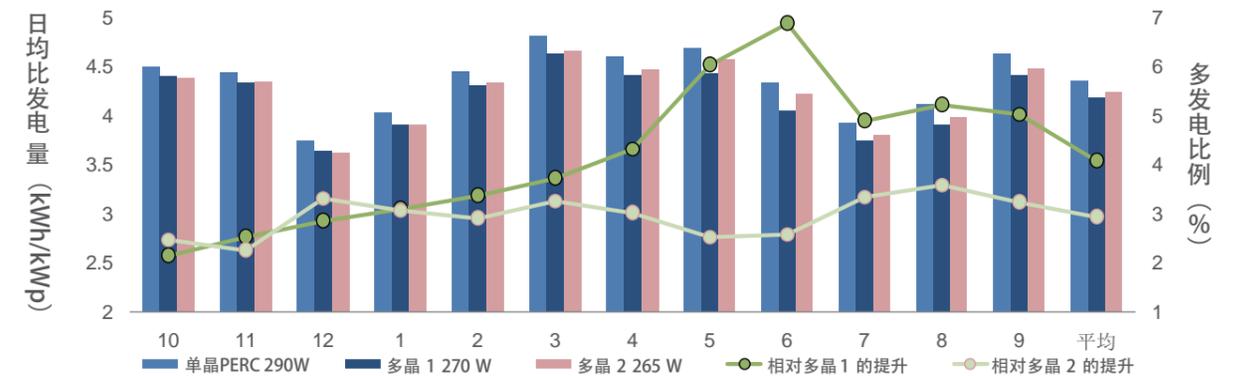


图9-中国电器院三亚实证基地2016.10-2017.9日均比发电量统计

图9为三亚实证基地2016年10月至2017年9月的发电情况。可以看出，使用了单晶PERC组件的系统每月日均比发电量始终高于多晶组件系统，每日增发电比例范围约为2%~6%。从一年的运行数据来看，290W单晶PERC组件日平均比发电量相比265W多晶组件系统高出4.07%，相比270W多晶组件系统高出2.93%。

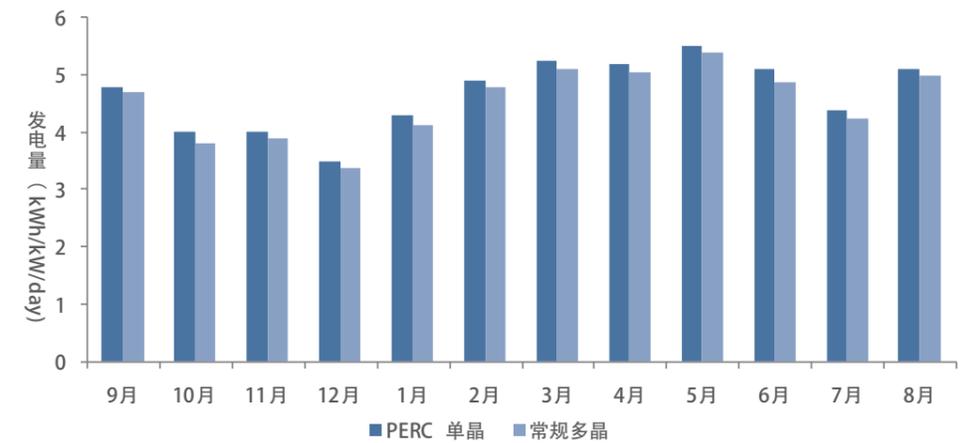


图10-晶澳大同领跑者项目PERC组件与常规组件发电量对比

晶澳实证电站

2017年晶澳太阳能在公开演讲中分享了单晶PERC组件在大型电站方面的发电表现，如图10所示。晶澳太阳能在50MW大同领跑者项目中，分别使用了25MW单晶PERC 295W组件与25MW常规多晶270W组件。从运行一年的数据来看，晶澳单晶PERC组件比常规多晶组件每千瓦平均多发电2.9%左右。

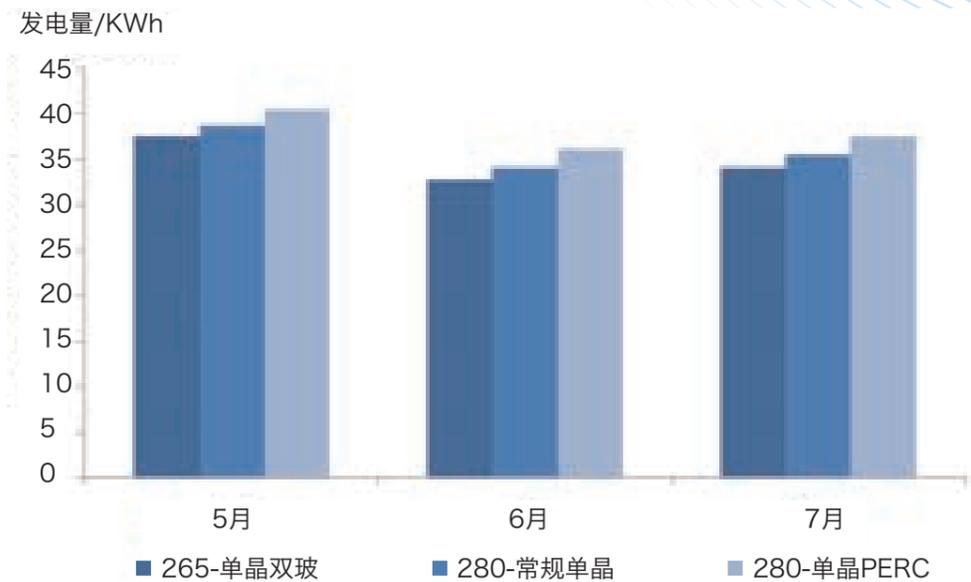


图11-中国电力科学研究院大同领跑者基地实证运行数据

大同光伏“领跑者”基地

中国电力科学研究院于2016年在山西大同光伏“领跑者”基地内建设光伏电站实证监测平台，对基地内所用所有类型光伏组件等运行性能开展现场长期实证监测，通过海量运行数据对光伏电站关键部件中长期运行性能开展评估工作。

现在我们已经明确了高效PERC电池及组件的两大优势：1. 更高的电池效率及组件功率；2. 更高的每瓦功率发电量。下面我们将分析，为何这两大优势可以带来更低的度电成本。

该实证平台组件测试区涉及13家电站31种光伏组件，部分运行数据如图11所示。该组数据对比了265W常规单晶双玻组件、280W常规单晶组件与280W单晶PERC组件的发电量。可以看出，280W单晶PERC组件发电量高出280W常规单晶组件和265W常规单晶双玻组件。通过测算，280W单晶PERC组件比280W常规单晶组件发电量高5.3%，比265W常规单晶双玻组件发电量高9.4%。

为什么PERC电池组件具有更低的度电成本？

5.1 PERC组件具有更低度电成本的原因

度电成本（LCOE）是评价风电、光伏等新能源发电的主要指标之一，度电成本对新能源发电项目的投资回报率至关重要。光伏电站的度电成本就是生命周期总成本除以生命周期总发电量。因此，降低总成本，或提高总发电量，都有利于降低光伏发电的度电成本。

光伏电站的总成本，包括建设成本和运维成本。其中建设成本的影响因素包括：1. 项目投资额；2. 贷款比例与利率。项目投资额，又包括以下4方面：

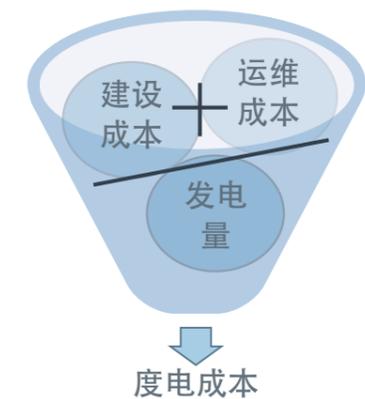
- ✓ 光伏组件
- ✓ BOS (Balance of System, 系统中除光伏组件以外的其他部件)
- ✓ 土地成本
- ✓ 接入成本

高效PERC电池及组件有更高的电池效率及组件功率，因此同样功率规模的电站所需组件数量、BOS和土地面积都更少，从而可以节省BOS和土地

成本，并且运维成本也可以略低。

PERC技术更高的每瓦功率发电量，有利于提升光伏电站生命周期总发电量。并且由于单晶PERC电池光致衰减（LID）问题的解决，更加强了其单位功率发电量的优势。

综上所述，在合理的组件价差下，高效PERC组件度电成本更低，电站投资回报率也更优。



5.2 PERC组件电站应用性价比分析

根据公开报道的测算数据，可以说明PERC组件更低的度电成本所带来的收益。目前典型的常规组件功率为270W，单晶PERC组件功率为300W。以270W常规组件与300W PERC组件为例，对常规组件与PERC组件在系统端的表现进行对比分析。

根据河北电力勘测设计研究院公开发表的文章，以场址北纬34°为例测算大型电站相同安装容量下的不同功率组件的BOS成本。测算结果显示，对于普通地面电站，组件功率每提高15W，可节省BOS约0.09元/W。即300W组件相对270W常规组件在BOS成本方面具有0.18元/W左右的价值。

在土地成本上，使用300W的PERC组件相比270W常规组件可节省10%的土地。目前大型地面电站的土地的使用成本大约500元/亩/年，部分成

本较高的地区为1000元/亩/年，鱼塘等农业项目可达1500元/亩/年。因此高效组件在土地成本方面又具有更高的价值。据河北电力勘测设计研究院测算结果显示，300W组件相对270W组件在土地成本方面具有0.01元/W以上的价值。

在单瓦发电量上，根据第四章内容中PERC组件与常规组件的发电量对比，PERC组件比常规组件有着3%左右的单瓦发电提升。根据河北电力勘测设计研究院测算，仍以二类资源区为例，使用300W组件与270W组件带来的BOS成本差按0.18元/W计算，未考虑不同的土地使用成本，单瓦发电能力提升3%，300W组件相对270W组件可在系统端带来0.19元/W的价值增益。

| 组件功率 (W) | 270 | 300 |
|--------------------|--------------|-------|
| BOS 成本 (元/W) | 2.769 | 2.587 |
| 首年发电量 (kWh/W) | 1.25 | 1.25 |
| 融资情况 | 75%/15年/6.5% | |
| 电价 (元/kWh) | 0.75 | |
| 电站衰减 (%/年) | 0.7 | |
| 资本金内部收益率 | ~17.845% | |
| 土地成本 500元时 | / | 0.012 |
| 高效组件价值 (元/W) | | |
| 高效组件多发电 3%价值 (元/W) | / | 0.19 |

表2-270W组件与300W 组件性价比分析

数据来源:《寇凤海:高功率组件能为系统端带来什么?》

根据表2的测算结果,对比270W的常规组件,使用300WPERC高效组件由于节省了BOS成本和土地成本,在系统端可带来约0.19元/W的系统成本降低;同时采用PERC技术的高效组件由于比常规组件具有更好的单瓦发电能力,若按3%的单瓦发电能力提升计算,高效组件能为系统端另外带来0.19元每瓦的价值增益。综合系统端成本降低与发电增益,当价差在0.38元/W以内时,300WPERC高效组件对比270W常规组件的度电成本更低,在地面光伏项目上更具有性价比优势。

对于分布式光伏电站,在有限的屋顶面积下,业主们都希望能安装高功率的光伏组件,在相同面积下可以多发电,提高收益。因此行业公认,分布式光伏项目更加青睐高效组件。

多晶PERC面临的挑战

6.1 光致衰减效应 (LID)

P型晶硅太阳能电池普遍有光致衰减效应(LID)问题,P型晶硅高效电池技术如PERC电池的LID相比常规铝背场电池更为明显。

根据光伏行业的普遍观点,P型单晶PERC电池的LID主要与硼氧(B-O)对有关,通过降低硅片中的氧含量,采用掺镓(Ga)代替掺硼(B)可有效控制光致衰减。此外,使用光照加退火的工艺,可以使钝化膜中的氢原子进入硅体内与硼氧对结合成新的复合体,这种复合体不捕获少子,从而有效解决硼氧对导致的LID。

因此,光照退火工艺在单晶PERC电池生产中的大规模应用,说明P型单晶PERC电池的LID问题已经基本得到解决,P型单晶PERC电池的大规模量产已经成熟。

多晶PERC电池较多晶常规电池的光致衰减高6~10%,LID问题更为复杂。一方面多晶PERC电池

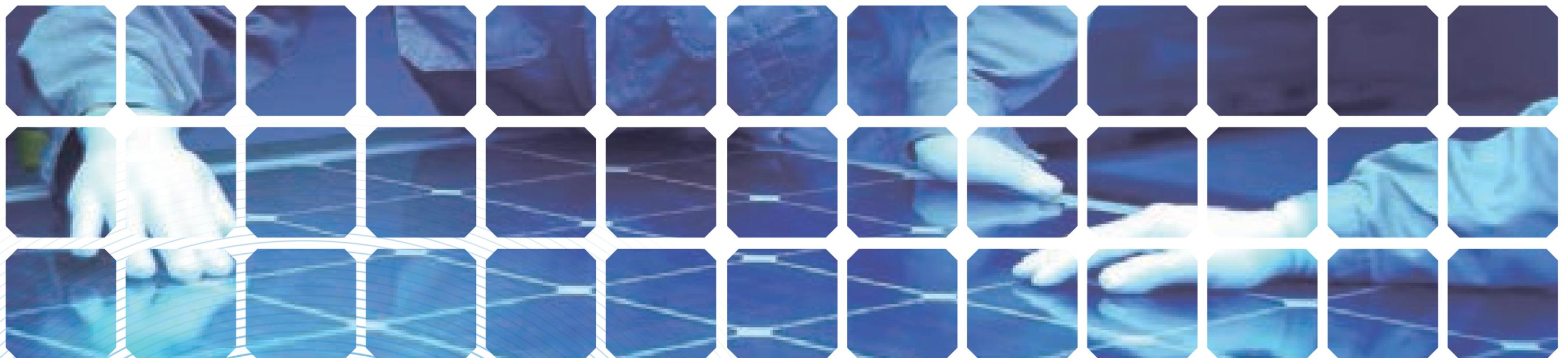
也有由硼氧对导致的少子复合,另一方面多晶PERC电池还有机理尚未研究清楚的光照热衰减(LeTID)效应。

光伏行业正在探索抑制LeTID的途径,包括高温、高光强辐照,氢钝化,以及电注入等技术工艺。

截至2017年,韩华QCells和REC Solar都已制造出解决了光致衰减问题的多晶PERC电池,但具体工艺尚未公布。

尚德于2017年初宣布,采用与UNSW大学共同研发的氢化技术,已成功解决多晶PERC电池的光衰问题。

总的来说,多晶PERC电池由于光致衰减效应机理较为复杂,其LID抑制技术尚未被光伏行业普遍掌握。当光伏行业掌握具有普适性并且效果良好的多晶PERC光致衰减解决方案,就能充分解决多晶PERC的LID问题。



6.2 生产成本

单晶PERC电池和多晶PERC电池都面临不断降低成本的挑战。如第五章所述，当价差在0.38元/W以内时，300WPERC高效组件对比270W常规组件的度电成本更低，在地面光伏项目上更具有性价比优势。也就是说，PERC电池必须控制好成本，才能为光伏电站带来更好的投资回报。

因为对标的主要竞争对手是单晶常规电池，多晶PERC电池控制成本的任务更为紧迫。现阶段主流光伏电池企业量产的高效单晶常规电池效率约为20%，所封装的60片规格组件功率可达285瓦。而行业领先多晶电池企业，采用多晶硅片叠加湿法黑硅和PERC工艺，量产多晶PERC电池效率近20%，所封装的60片规格组件功率也在285瓦级别。

多晶硅片用湿法黑硅技术成本增加0.2元/片（考虑到中国趋于严格的环保要求，为实现完全达标排放，可能还需增加废液处理成本），再使用PERC技术成本增加0.5元/片，也就是说，当单晶和多晶硅片价差（含增值税）在0.82元/片之内的时候，高效单晶常规电池更具性价比。

因此，多晶硅片迫切需要降低成本和市场价格，拉开与单晶硅片的价格差距，以维持市场竞争力。多晶硅片行业正在推进普及金刚线切割取代砂浆切割工艺，可以有效降低多晶硅片成本。

6.3 技术成熟的节奏

相比对标的产品，多晶PERC电池在技术成熟的节奏方面略慢一点。

与高效单晶常规电池对标的是多晶黑硅PERC电池，截至目前，可以认为黑硅技术（包括干法黑硅和湿法黑硅）已经开发成功，并且正在大规模推广应用。但黑硅技术距离“非常成熟”仍需要一些时间。

与此同时，单晶PERC电池却已经在往双面发电的方向发展。天合光能、隆基乐叶、晶澳等一线大厂都已于2017年推出并量产双面PERC电池与组件。

2018年1月，浙江爱旭太阳能8GW高效PERC生产基地首期2.65GW项目正式投产。该项目既可以供应高效单晶单面PERC电池，也可以供应高效单晶双面PERC电池。根据公开资料，其双面电池的正面效率大于21.5%，背面效率大于15%。截至目前，尚未有黑硅多晶PERC双面电池大规模供应于市场的公开报道。

中国领跑者基地PERC产品应用情况

近年来，我国光伏产业实现了快速发展，新建装机规模自2015年起稳居世界第一。但与化石能源相比，光伏发电仍存在建设成本高、市场竞争力不强、补贴需求不断扩大等问题。

为此，2015年国家能源局提出了实施光伏发电“领跑者”计划和建设领跑基地，通过市场支持和试验示范，以点带面，加速技术成果向市场应用转化和推广，加快促进光伏发电技术进步、产业升级，推进光伏发电成本下降、电价降低、补贴减少，最终实现平价上网。

自国家能源局提出光伏发电“领跑者”计划以来，前两批领跑者计划共组织开展了9个领跑基地建设，规模达到6.5GW。其中包括2015年首个1GW山西大同领跑者基地，以及2016年第二批共计5.5GW的8个光伏领跑者基地。

据2017年7月国家能源局出台的《关于可再生能源发展“十三五”规划实施的指导意见》，2017-2020年，光伏“领跑者”计划指标为每年8GW，共32GW，进一步扩大了领跑者项目规模。2017年11月，国家能源局批复了第三批领跑者基地，包括10个应用领跑基地和3个技术领跑基地。

在“领跑者”计划的带动下，各种先进技术开始竞相进行技术创新与升级，PERC、黑硅、MWT、N型双面、异质结等技术呈现百花齐放的局面。在这些先进技术之中，性价比极高的PERC技术脱颖而出，正在逐渐成为“领跑者”基地应用的主力军。



7.1 PERC在2015年领跑者基地

2015年6月，山西大同采煤沉陷区国家先进技术领跑者基地正式获批，成为“领跑者”计划的首个获批示范项目。大同领跑者基地总装机容量3GW，分三年实施，一期建设规模为1GW，已于2015年9月开工建设，2016年6月30日前全部并网，并完成了验收。

技术指标

2015年6月，国家能源局、工业和信息化部等下发的《关于促进先进光伏技术产品应用和产业升级的意见》指出，2015年“领跑者”先进技术产品应达到以下指标：多晶硅电池组件和单晶硅电池组件的光电转换效率分别达到16.5%和17%以上。

按照领跑者技术组件效率的指标要求，60片电池和72片电池的多晶组件功率要分别达到270W和325W，60片电池和72片电池的单晶组件功率要分别达到275W和330W，如表3所示。

| | 多晶组件 | 单晶组件 |
|-----------|-------|------|
| 组件效率 | 16.5% | 17% |
| 60片电池组件功率 | 270W | 275W |
| 72片电池组件功率 | 325W | 330W |

表3-2015年领跑者计划技术指标

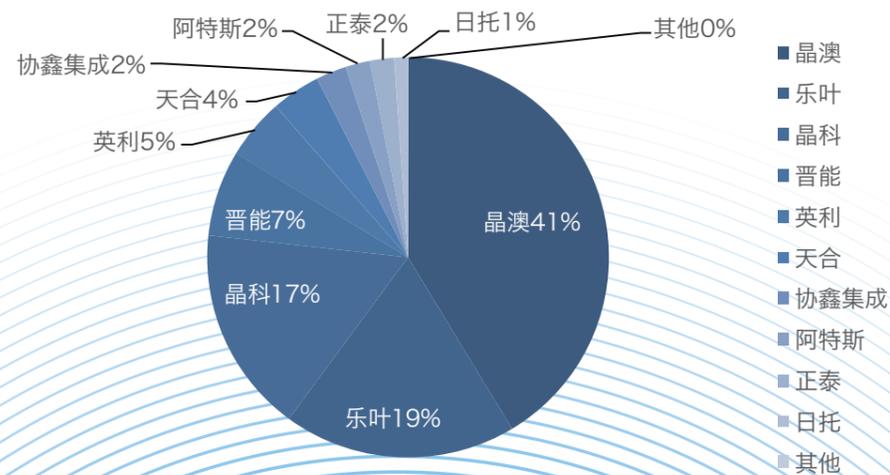


图12-2015大同领跑者项目组件供应商

中标企业

大同1GW领跑者基地项目共有7个单体容量为100MW的项目和6个单体容量为50MW的项目。项目招商通过招标竞争的方式进行，中广核、华电、中电国际、招商新能源、三峡新能源、京能、大同煤矿分别中标100MW项目，晶澳、晶科、英利、中节能、正泰新能源、阳光电源分别中标50MW项目。

组件供应商

据统计，2015年1GW领跑者项目共有12家企业的光伏组件产品获得应用，其中主要的组件供应商共有10家。

晶澳凭借420MW的供应量排名第一，其中单晶303MW，多晶117MW，其次分别为乐叶光伏（191MW）和晶科能源（169MW）。前三家总计780MW，占比78%；前五家总计900MW，占比90%。组件供应商占比如图12所示。

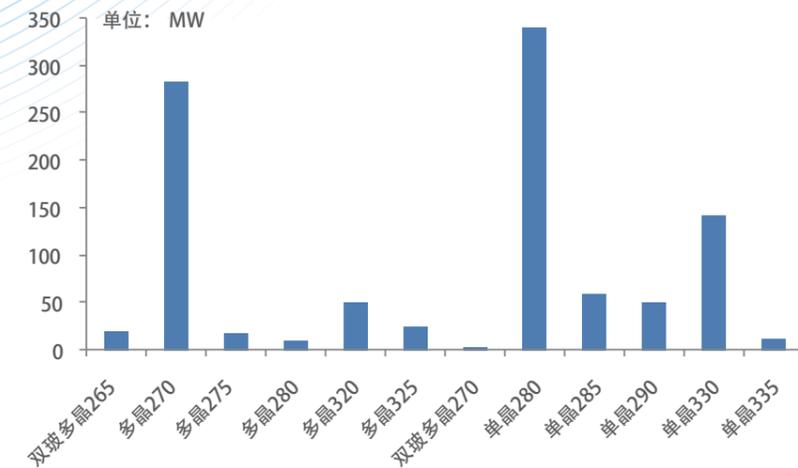


图13-2015大同领跑者项目不同功率组件使用情况

数据来源：光伏們

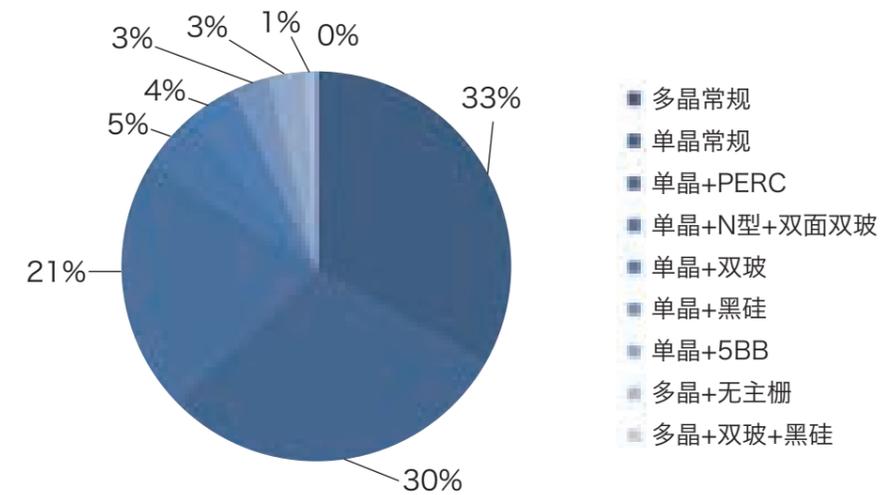


图14-2015大同领跑者不同技术占比

数据来源：中国电力科学研究院

PERC应用情况

据统计，在1GW大同领跑者基地中，使用单晶组件约60%，多晶组件约40%。若除去设备厂家自投项目，在剩余的800MW项目中，单晶组件供应了511MW，占比64%；多晶组件供应了289MW，占比36%。

大同领跑者项目中，不同功率组件使用情况如图13所示。在多晶组件中，270W的60片多晶电池组件用量最多；单晶组件中，280W的60片单晶电池组件用量最多。可见，大多数多晶组件刚满足领跑者效率指标，而单晶组件中超越领跑者效率的比例相对更多。

从组件技术路线看，2015大同领跑者基地采用了包括PERC、黑硅、N型双面等多种技术路线的新型组件，如图14所示。据中国电力科学院统计，单晶PERC组件用量占21%，在新型组件占比中遥遥领先。

其中，晶澳供应了150MW的采用PERC技术的博秀（PERCIUM）高效单晶组件，60片PERC单晶组件功率达到290W，远远超过领跑者计划的技术指标。

其余高效技术产品还包括：英利供应的50MW N型双面双玻组件（285W），多晶高效新技术产品包括晶澳采用黑硅技术的17MW润秀组件（275W）、日托11MW的MWT技术组件（280W）。

7.2 PERC在2016年领跑者基地

2016年第二批“领跑者”计划共批复了8个领跑者基地，总规模达5.5GW。

2016领跑者基地概况

2016年8个领跑者基地包括Ⅰ类资源区的内蒙古包头、乌海，Ⅱ类资源区的河北张家口以及Ⅲ类资源区的山东济宁、新泰、安徽两淮、山西阳泉、芮城。2016领跑者基地具体情况见下表4。

第二批“领跑者”计划已于2016年10月底前完成所有基地招标，目前尚未全部完成并网。在第二批8个领跑者基地中，新泰、芮城等基地建设进度较快，已完成并网，其余基地仍在抓紧实施。

技术指标

与2015年领跑者技术指标相比，2016年领跑者计划的技术指标门槛并未增加，依旧为多晶硅电池组件和单晶硅电池组件的光电转换效率分别达到16.5%和17%以上，如表4所示。

但2016领跑者基地采取招标、优选等竞争性比选方式配置项目。根据国家能源局发布的领跑者基地的投资主体优选评分标准，在技术先进性指标中，若组件效率超过领跑者指标0.5%及1%以上，则会相应给予更高分值，引导企业采用更为先进的技术产品。

可见，达到更高技术指标的先进产品，在领跑者基地的竞争更具优势。

| 领跑者基地 | 总容量 (万千瓦) | 平台项目 (万千瓦) | 水平总辐射 (kWh/m ²) |
|-------|-----------|------------|-----------------------------|
| 山西阳泉 | 100 | 5 | 1394 |
| 山西芮城 | 50 | 5 | 1354 |
| 安徽两淮 | 100 | 无 | 1323 |
| 山东济宁 | 50 | 5 | 1314 |
| 山东新泰 | 50 | 5 | 1357 |
| 内蒙古包头 | 100 | 10 | 1652 |
| 内蒙古乌海 | 50 | 无 | 1554 |
| 河北张家口 | 50 | 无 | 1504 |

表4-2016领跑者基地基本情况

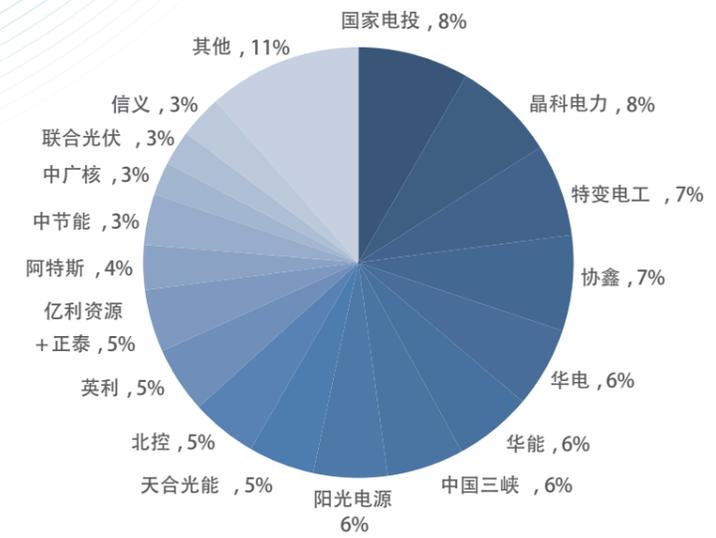


图15-2016领跑者中标企业占比情况

中标企业

第二批基地采取竞争方式选择投资主体，并将上网电价作为主要竞争条件。

2016年8个领跑者基地的中标企业如图15所示。中标规模在300MW及以上的企业共有八家，分别为国家电投（430MW）、晶科电力（400MW）、特变电工（370MW）、协鑫（360MW）、华电（320MW）、华能（300MW）、中国三峡（300MW）、阳光电源（300MW），该八家企业中标总容量占比超过一半。

PERC应用情况

目前，第二批5.5GW领跑者项目建设还未全部落地。据不完全统计，除去组件设备厂商自投项目，剩余3.25GW，目前已经确认组件选型的项目中，单晶占比超过80%。相较2015年领跑者64%的单晶占比，2016年领跑者项目单晶占比进一步加大。

在PERC组件应用上，据不完全统计，目前已经确认组件选型的项目中，约1.64GW的PERC组件会应用到2016第二批领跑者项目中，PERC组件用量占比达30%，其中单晶PERC组件占比约为80%。相比2015领跑者基地21%的PERC占比，2016年PERC产品的应用比例和规模得到大幅提升。

得益于PERC技术的快速发展，在2016领跑者基地中，更多的PERC组件供应商参与其中，晶澳、隆基乐叶、晶科、协鑫集成、天合、晋能、正信光电等均提供了PERC组件。其中，晶澳和隆基乐叶的PERC组件供应量名列前茅。

据悉，在第二批领跑者已经确定的项目中，隆基乐叶供应了超过620MW单晶组件，在第二批领跑者投资商项目中占比接近20%。其中高效单晶PERC组件供应了约430MW，在其总组件供应中占比接近70%。

7.3 PERC在2017年领跑者基地

2017年7月，国家能源局出台《关于可再生能源发展“十三五”规划实施的指导意见》，2017-2020年，光伏“领跑者”计划项目指标为每年8GW，共32GW，进一步扩大了领跑者项目规模。

| 领跑者基地 | 地点 | 规模 (MW) | 完成竞争优选 | 开工建设 | 建成并网 |
|-------|---------|---------|-----------|-----------|------------|
| 应用领跑者 | 山西大同 | 500 | 2018.3.31 | 2018.6.30 | 2018.12.31 |
| | 山西寿阳 | 500 | | | |
| | 陕西渭南 | 500 | | | |
| | 河北海兴 | 500 | | | |
| | 吉林白城 | 500 | | | |
| | 江苏泗洪 | 500 | | | |
| | 内蒙古达拉特旗 | 500 | | | |
| | 青海格尔木 | 500 | | | |
| | 青海德令哈 | 500 | | | |
| 技术领跑者 | 江苏宝应 | 500 | 2018.4.30 | 2019.3.31 | 2019.6.30 |
| | 江西上饶 | 500 | | | |
| | 山西长治 | 500 | | | |
| | 陕西铜川 | 500 | | | |

表5-2017领跑者基地概况

2017领跑者基地概况

2017年11月，国家能源局下发《关于公布2017年光伏发电领跑基地名单及落实有关要求的通知》，确定2017年光伏发电应用领跑基地和技术领跑基地名单，共10个应用领跑基地和3个技术领跑基地。

入选应用领跑基地的依次为：山西大同、山西寿阳、陕西渭南、河北海兴、吉林白城、江苏泗洪、青海格尔木、内蒙古达拉特、青海德令哈和江苏宝应等10个基地；入选技术领跑基地的依次为：江西上饶、山西长治和陕西铜川等3个基地。

目前，已公布的应用领跑基地和技术领跑基地规模分别为5GW及1.5GW，每个基地的规模分别为500MW。剩余的1.5GW应用领跑规模，将预留作为激励机制，届时会根据应用领跑各基地状况，选出三个基地给予等量规模增加。

在领跑者项目开工与建成并网日期上，要求应于2018年3月31日前完成竞争优选，6月30日前全部开工建设，12月31日前全部容量建成并网；技术领跑基地要求应于2018年4月30日前完成竞争优选，2019年3月31日前全部开工建设，6月30日前全部容量建成并网。

| 领跑者基地 | 单多晶 | 组件门槛效率 | 组件门槛功率 (60片) | 组件满分效率 | 组件满分功率 (60片) |
|-------|-----|--------|--------------|--------|--------------|
| 应用领跑者 | 多晶 | 17% | 280W | 17.9% | 295W |
| | 单晶 | 17.8% | 295W | 18.7% | 310W |
| 技术领跑者 | 多晶 | 18% | 295W | 19.4% | 320W |
| | 单晶 | 18.9% | 310W | 20.4% | 335W |

表6-2017领跑者计划指标要求

技术指标

2017领跑者基地除了规模大幅提升之外，技术指标门槛也有所提高。

根据国家能源局《关于推进光伏发电“领跑者”计划实施和2017年领跑基地建设有关要求的通知》要求，2017年应用领跑基地采用的多晶硅电池组件和单晶硅电池组件的光电转换效率应分别达到17%和17.8%以上，对应组件功率要达到280W和295W以上；技术领跑基地采用的多晶硅电池组件和单晶硅电池组件的光电转换效率应分别达到18%和18.9%以上，对应组件功率要达到295W和310W以上。如表6所示。

除了门槛效率指标外，能源局还规定了组件满分效率指标。在光伏发电领跑基地竞争优选标准中，指出2017年应用领跑基地采用的多晶组件和单晶组件的转换效率达到17.9%和18.7%，即可达到技术满分标准，对应组件功率应达到295W和310W；技术领跑基地采用的多晶组件和单晶组件的满分转换效率分别为19.4%和20.4%，对应组件功率要达到320W和335W。

PERC将成为2017领跑者基地应用的主力军

对于应用领跑者，常规电池组件已很难达到技术指标要求，必须叠加新的电池技术或组件技术。从现行产品看，若要达到技术门槛指标要求，单晶PERC与多晶PERC无疑是最具竞争力的选择。此外，为了进一步提升竞争力，技术满分标准将成为各大企业追逐的目标。根据表7，单晶310W、多晶295W的标准才可以达到应用领跑者的满分要求。

目前，主流厂商的单晶PERC组件功率在300W，已超过应用领跑者技术门槛指标要求。随着PERC电池技术的提升，预计2018年主流单晶PERC

电池的功率将提升至310W，即可以达到满分要求。若再叠加半片或MBB等技术，组件功率可再提升5W左右，可以更好的满足第三批领跑者项目要求。

据悉，全球最大的单晶组件企业隆基乐叶2018年6月所有组件产线将转为PERC，并全面实现310W；到2018年底将实现12GW单晶PERC组件产能，其中310W组件产能达到8GW。顺风光电表示，2018年底，其70%以上的PERC量产电池可实现组件封装功率超过310W。

在多晶方面，主流厂商的多晶PERC组件多在电池端叠加黑硅技术，干法黑硅PERC组件主档位功率达290W，湿法黑硅PERC组件功率达285W，均达到或超过了应用领跑者技术指标要求。预计2018年，主流干法黑硅多晶PERC电池的功率将提升至295W，则可以达到满分要求；湿法黑硅多晶PERC电池功率在2018年预计将提升至290W，若想达到满分标准，还需在组件端叠加半片或MBB等技术，以进一步提升组件功率。

根据第三章的PERC产能统计，2017年PERC产能已达到35GW。随着2017领跑者基地的逐步推广建设，PERC产能将得到有效释放，并将进一步提升，成为应用领跑者基地的主力军。

在目前已建的PERC产能中，单晶PERC占据绝大部分市场份额，且在不叠加其他技术的前提下，即可满足应用领跑者基地的技术满分标准。随着2018年单晶硅片的降价以及供应的充足，单晶PERC有望成为领跑者基地高效产品中的“性价比之王”。

技术领跑者的效率指标则比较有挑战性。技术领跑基地要求使用自主研发、市场尚未应用的前沿技术或突破性技术产品，因此N型高效产品如HJT、IBC、TOPCon等较易达标。随着技术领跑者基地的推广建设，N型电池等新型技术应用将逐步得到规模化应用。

PERC电池技术展望

8.1 PERC电池效率还能持续提升吗？

目前，领先厂商的单晶PERC电池的量产效率可以达21.5%左右，多晶PERC的量产效率可达19.7%左右。而截至目前，单晶PERC和多晶PERC的世界最高效率分别已达23.6%和22.04%，分别由隆基乐叶和晶科能源创造。可以看出，PERC电池仍有很大的效率提升空间。

PERC电池效率进一步提升的方向有：（1）细栅金属化技术，减少正面遮挡，如应用5BB或MBB技术；（2）正面采用选择性发射极，降低表面复合损失；（3）先进的陷光技术，如采用多层减反膜技术；（4）降低背面金属接触区域的复合，如采用局部B掺杂；（5）采用高质量硅片，如提高硅片的少子寿命；（6）双面PERC电池。

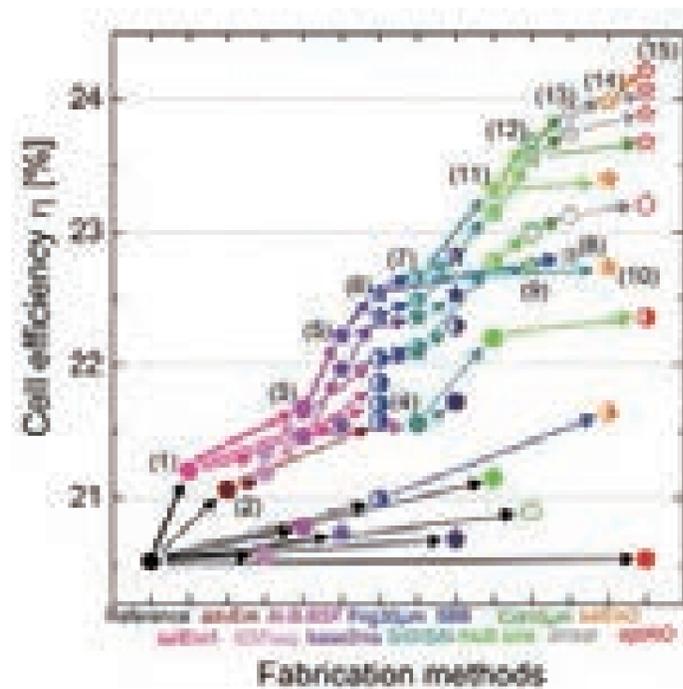


图16-PERC电池效率优化途径

来源：B Min, M Müller, H Wagner, A Roadmap Toward 24% Efficient PERC Solar Cells in Industrial Mass Production, IEEE Journal of Photovoltaics, 2017, PP (99):1-10

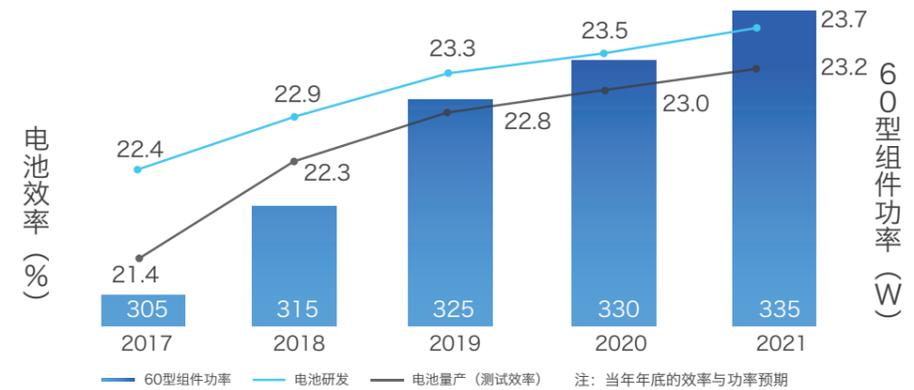


图17-隆基乐叶高效PERC技术路线图

不同的优化途径对PERC电池效率提升效果如图16所示。通过采用新型发射极结构、掺硼铝背场、减少正面电极栅线宽度、提高硅片质量、多主栅等技术优化之后，PERC电池效率可达到24%以上。天合光能副总裁冯志强博士表示，如果没有重要的突破性技术，预计2025年左右，单晶PERC电池可实现24%的转换效率，产线效率可达到23%；同时随着PERC电池产业规模的扩大和技术优化，预计至2025年成本也将降低至目前的一半。

图17为隆基乐叶的高效PERC技术路线图。2017年底，隆基乐叶单晶PERC电池研发效率达22.5%，电池量产效率达21.4%，60型组件功率达305W。到2019年，其单晶PERC电池研发效率预计将达23.3%，电池量产效率将达22.8%，60型组件功率达325W。到2021年，隆基乐叶预计其单晶PERC电池研发效率将达23.7%，电池量产效率达23.2%，60型组件功率达335W。

8.2 双面PERC——PERC技术极具竞争力的进一步发展方向

8.2.1 双面PERC相对简单的工艺

目前双面电池主要分为三类：P型的PERC双面、N型PERT双面及N型异质结双面电池。ITRPV2018预测，2020年，双面电池市场份额将达到15%，2018年将逐步提升至约40%。



图18-单面PERC电池与双面PERC电池结构

PERC是最简单和最具成本效益的双面结构，如图18所示。PERC双面电池制造的常用技术是在PERC单面电池的基础上，改变PERC电池的印刷工艺，背面由全铝层改为局部铝层，因此背面的入射光可由未被铝层遮挡的区域进入电池，从而实现双面光电转换功能。

PERC双面电池工艺如下：(1)制绒(2)磷扩散(3)去PSG和单面抛光(4)背面沉积钝化膜(5)正面沉积减反膜(6)背面激光刻划接触区(7)背面印刷铝栅线(8)正面印刷银栅线(9)高温烧结。目前，PERC双面电池的正面效率可达21.5%，双面率可达70%左右，隆基乐叶的PERC双面电池双面率甚至达到75%以上。

双面PERC太阳能电池具有如下优势：(1)可实现双面发电；(2)双玻封装高可靠性；(3)可降低铝浆用量；(4)与现有PERC生产线兼容；(5)可采用单晶硅或多晶硅作为基体，成本优势显著。

同时双面PERC太阳能电池也存在一些特殊工艺要求：

- (1) 背面印刷精度较单面PERC电池的要求略高；
- (2) 对铝浆提出了更高的要求。

可见，双面PERC可以保持原先单面PERC的高转换效率，同时背面也可以发电。这样在生产制造成本没有明显增加的情况下，将双面PERC电池封装成双面双玻发电组件，在系统端可实现10%-25%的发电增益，从而显著地降低了光伏系统的度电成本。

PERC双面电池的出现再次提升了PERC电池的竞争力，多家制造商将双面PERC电池列入战略规划中。2017年上半年，天合、隆基乐叶、晶澳、爱旭等均推出了双面PERC产品。天合60片PERC双核组件实现了285W-300W的组件功率和68%的组件双面率；隆基乐叶Hi-MO2更实现了300/305W的组件功率和75%的组件双面率；晶澳也在SNEC上展示了295W(60片)和350W(72片)的产品。预计双面PERC将成为PERC电池后续发展的重要路线。

8.2.2 双面PERC强悍的发电能力

隆基乐叶蒲城实验电站

双面PERC在成本上与单面PERC产品相差无几，正面效率同单面PERC相当，但是背面效率可达15%左右，能够实现额外发电增益。目前已有不少实证甚至规模应用结果，双面PERC组件相对常规组件即可多发电10%-25%以上。

图19为隆基乐叶位于蒲城的单晶PERC双面组件Hi-MO2与常规单晶组件发电实验电站。该电站Hi-MO2装机容量为18.9kW，常规单晶装机容量18.48kW，均安装于不运动的斜单轴系统上，离地高度1.3m，倾角15度。通过收集2017年5-6月的发电数据测算得出，Hi-MO2组件单瓦平均多发电12.04%。

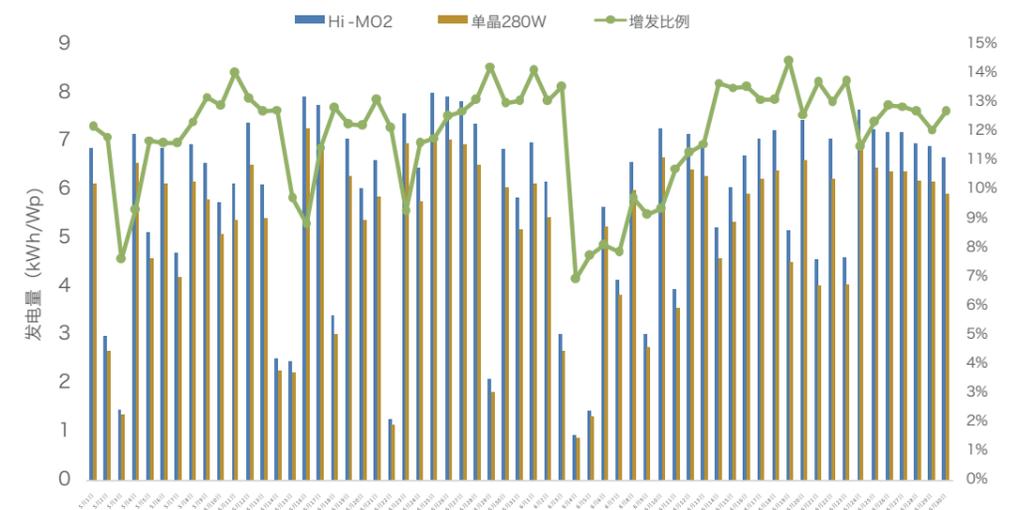


图19-隆基乐叶蒲城PERC双面组件与常规单晶组件发电实验电站

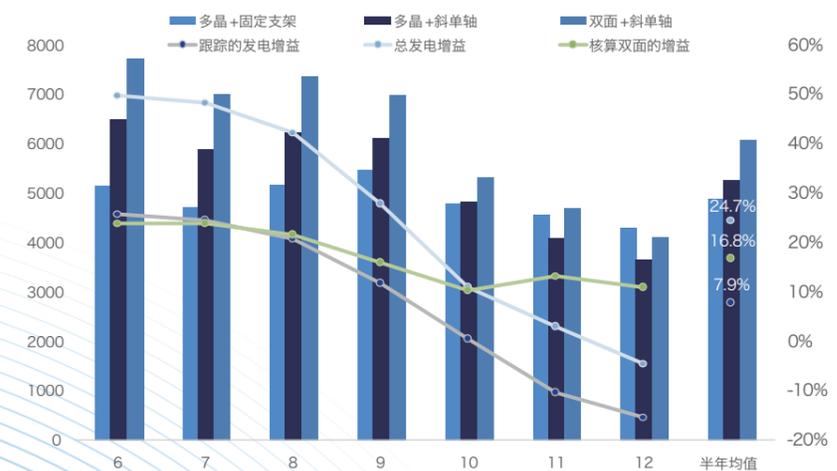


图20 隆基乐叶库布奇示范项目日均发电量对比 (kWh/MWp)

| 组件类型 | 支架形式 | 日均发电 (kWh/kWp) | 发电结果对比 |
|----------------|-------------|----------------|--|
| 多晶常规 310W | 固定支架 | 4.876 | 双面+跟踪比多晶+固定高24.7%； 双面+跟踪比多晶+跟踪高15.6%； 多晶+跟踪比多晶+固定高7.96%。 |
| 多晶常规 310W | 带15° 倾角单轴支架 | 5.260 | |
| 单晶双面 PERC 350W | 12.5° 斜单轴支架 | 6.078 | |

表7-隆基乐叶库布奇示范项目发电数据对比

隆基乐叶库布奇示范项目

库布奇项目2017年6-12月的发电数据如图20和表7所示。多晶常规+固定支架的日均发电量为4.876kWh/kWp，多晶常规+固定支架的日均发电量为5.260kWh/kWp，多晶常规+固定支架的日均发电量为6.078kWh/kWp。

通过对比发现，Hi-MO2双面组件+跟踪系统的发电量相对于多晶常规+固定支架提升24.7%，Hi-MO2双面组件+跟踪系统的发电量相对于多晶常规+固定支架提升15.6%，多晶组件+跟踪系统的发电量相对于多晶+固定支架提升7.9%。

隆基乐叶库布奇示范项目



图21-天合光能单面PERC组件和双面PERC组件发电量对比



图22-黄河晨阳100MW光伏电站项目PERC双面组件与常规组件发电量对比

天合光能常州实验基地

天合光能在其常州实验基地对单面PERC组件和双面PERC组件进行了精确的实验对比。实验选取了天合光能的PERC单晶单面组件为对比组，PERC双核组件为实验组，采用背面无遮挡安装方式，分别使用固定和跟踪两种支架，对草地、沙地和白漆地面三个场景进行实验对比。为了保证结果的准确性，实验在同一试验场内进行，在光照、温度等环境条件一致的前提下，采用同一品牌，同一批次的逆变器。实验时间为2017年2月至7月，共收集了6个月的实时监测数据。

通过图21可以看出：在相同条件下，安装在涂有白漆的地面上，并搭配跟踪支架使用的组件背面增益最大，达30.9%。其次是沙地搭配跟踪支架使用，增益为24.6%。实验中，在草地场景下，发电量增益相对较低，比单面PERC单晶组件高出14%。另外，从实验数据上可知，搭配跟踪支架的效果远远好于固定安装方式，PERC双核+跟踪支架体现出了1+1>2的叠加优势。

黄河晨阳共和光伏电站项目

在大型地面电站方面，黄河晨阳共和光伏电站100兆瓦项目率先采用了晶澳的PERC双面双玻组件。该项目除了PERC双面双玻345瓦组件外，黄河晨阳共和光伏电站还安装了常规单晶335瓦组件。在近期该电站提供的一份发电量统计表中，记录了两种组件在一周内发电量的对比数据，如图22所示。

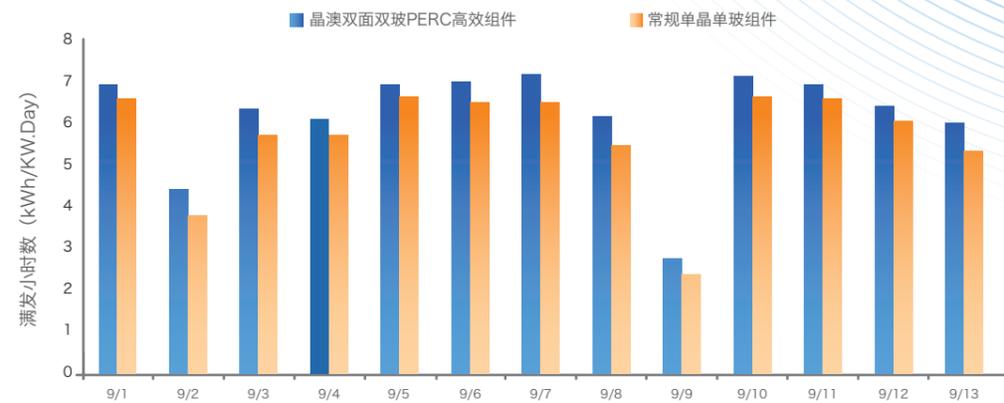


图23-双面双玻PERC组件与常规单晶单玻组件发电量对比

统计数据显示，常规单晶平均发电量为3.8千瓦时/千瓦/天，PERC双面双玻组件平均发电量为4.19千瓦时/千瓦/天，PERC双面双玻组件较单晶组件发电量平均提高10.2%。若100兆瓦采用普通单晶的电站全部使用晶澳PERC双面双玻产品，仅安装90兆瓦就可以达到相同的发电量，将减少近10兆瓦的安装，以电站造价6元/瓦进行计算，可节省项目投资6000多万元。

晶澳地面电站项目

晶澳在国内的另一地面电站项目发电量如图23所示。该项目分别采用晶澳双面双玻组件和常规单晶单玻组件，两种产品在同一区域均采用平单轴方式。相比于常规单晶组件，PERC双面组件发电量增益为9.16%左右。

从以上实证电站数据可以看出，双面PERC组件的发电优势显著。而且，若以双面PERC组件搭配跟踪支架，发电效果则远优于固定安装方式，体现出了1+1>2的叠加优势。预计双面PERC+跟踪支架或将成为双面组件光伏系统的发展趋势。

8.2.3双面PERC电站应用性价比分析

第五章已经论述了在合理的组件价差下，高效PERC组件度电成本更低，电站投资回报率更优。那么，双面PERC电站应用的性价比如何？

表8以一类地区50MW电站为例，对不同组件的电站应用性价比进行测算。电站采用330W多晶组件及360W双面PERC组件，其中多晶组件采用固定支架，双面组件分别采用固定支架和跟踪支架，以多晶组件和双面组件价格以2.9元/W和3.5元/W为例，三种组件的BOS成本分别为2.899元/W、2.870元/W和3.504元/W。加上支架、逆变器等其他费用，三种组件的项目总费用分别为5.799元/W、6.370元/W和7.004元/W。一类地区项目电价执行0.65元/kwh，假设按项目投资75%贷款，贷款利率为4.5%，贷款期限为15年，以双面组件+固定支架、双面组件+跟踪支架保守发电增益分别为10%和24%测算，多晶组件+固定支架、双面组件+固定支架、双面组件+跟踪支架三种电站内部收益率分别为14.26%、17.49%和19.65%。

通过此测算可以看出，双面组件的电站收益率高于常规多晶组件，而采用跟踪支架的双面组件电站则具有最高的收益率。因此，双面组件+跟踪支架在电站应用上具有更高的性价比。

| 一类地区50MW电站为例 | | | |
|--|------------------|---------------|---------------|
| 组件功率(W)+支架类 型 DC/AC | 多晶 330+固定 1.1 | 双面 360W+固定 1 | 双面 360W+跟踪 1 |
| 1 开发费用 (元/W) | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 2 土地初始补偿和首 年租金费用 (元/W) | 0.0315 | 0.0289 | 0.0289 |
| 3 组件 (元/W) | 2.9 | 3.5 | 3.5 |
| 4 BOS 成本 | 2.899 | 2.870 | 3.504 |
| 4.1 支架 | 0.310 | 0.284 | 0.800 |
| 4.2 组串逆变器/交流 汇流箱/箱变 | 0.530 | 0.583 | 0.583 |
| 4.3 光伏电缆、交流电 缆、高压电缆 | 0.300 | 0.302 | 0.314 |
| 4.4 基础、场平、道路、 支架/组件安装、防雷 接地 | 0.680 | 0.623 | 0.723 |
| 4.5 电缆铺设、汇流箱 /逆变器安装等 | 0.197 | 0.199 | 0.205 |
| 4.6 公共部分 | 0.800 | 0.800 | 0.800 |
| 项目总费用 (元/W) | 5.799 | 6.370 | 7.004 |
| 年运维人工与设备维 护费用 (元/W) | 0.05 | 0.05 | 0.055 |
| 兆瓦用地 (亩) | 35 | 32 | 32 |
| 最佳倾角年辐照量 (kWh/m ²) PR | 2000 80% | | |
| 保守发电增益 | / | 10% | 24% |
| 组件首年衰减 | 2.5% | 2.0% | 2.0% |
| 组件线性衰减 | 0.70% | 0.45% | 0.45% |
| 贷款情况 | 75% / 15年 / 4.5% | | |
| 脱硫电价 (元/kWh) | 0.3 | | |
| 资本金内部收益率 | 14.26% | 17.49% | 19.65% |

表8-采用不同组件的电站内部收益率测算
数据来源：世纪新能源网

8.3 PERC电池的未来—— 被新技术替代，还是持续保持竞争力？

PERC将取代常规电池技术， 成为晶硅电池主流发展技术

PERC电池工艺简单，与现有电池产线兼容性强，用较低的产线改造投资，即可有效提升电池转换效率，是晶硅太阳能电池近年来最具性价比的效率提升手段。

与常规晶硅电池相比，PERC电池在转换效率、发电能力、电站投资性价比等方面，均具有显著优势；与其他高效电池技术如N型PERT、HJT、IBC电池相比，PERC电池技术工艺简单，具有成本优势，且产业化效率差别不大。可以预见，PERC技术将替代常规电池技术，成为晶硅电池发展的主流技术。

单晶PERC产能将迅速扩张， 多晶PERC仍面临挑战

随着光伏市场对高效产品需求的不断提升，PERC产能将迅速增长，2017年底PERC产能已达到35GW。

技术愈加成熟的单晶PERC电池将成为PERC扩张的主要领域，有望逐渐代替常规单晶产线，成为产线标准配备技术；多晶PERC仍面临光衰等问题的挑战，需要逐步改进并得到量产化解决方案。不过随着金刚线切硅片及黑硅技术的普及，多晶硅片有望在成本上与单晶硅片竞争，从而推动多晶PERC电池的发展。

量产PERC电池效率有望进一步提升

目前，领先厂商的单晶PERC电池的量产效率可达21.5%左右，多晶PERC的量产效率可达19.7%左右，各大厂商仍在不断致力于PERC电池量产效率的提升。通过对可量化的技术手段的不断优化，PERC电池效率有望突破24%，竞争力得到进一步提升。

双面PERC有望成为 PERC发展的主流产品

双面PERC在几乎没增加制造成本的情况下让组件实现背面发电，显著地降低了光伏系统的度电成本。主流厂商已开始投入双面PERC研发及量产，2017年底量产逐渐增多。

双面PERC电池的出现再次提升了PERC电池的竞争力。双面PERC电池不仅拓宽了PERC电池的应用场景，而且可获得更高的发电增益。大量双面PERC组件发电项目的户外发电量数据显示，双面组件最高具有40%以上的发电增益。双面PERC组件在电站应用端具有极高的性价比，有望成为PERC技术发展的主流应用产品。

PERC技术将成为 “领跑者”新担当

“领跑者”计划对光伏产业技术发展起到了巨大的推动作用。在“十三五”期间，“领跑者”计划的规模和技术指标都将进一步提升，使得PERC技术继续成为“领跑者”项目的担当，PERC高效产品的需求将进一步增大。

此外，预计PERC在成为高效单晶标配的基础上，还将叠加双面发电、半片、多主栅等技术，以进一步提升产品竞争力。

PERC在分布式光伏应用上 将大有作为

2018年光伏发电项目价格政策显示，光伏电站标杆上网电价下降明显，而分布式光伏度电补贴仅下降5分。随着政策对分布式光伏的大力加持，分布式光伏发电将迎来爆发期。因此，分布式光伏对高效组件的需求将持续攀升，PERC高效组件将在分布式光伏应用上大有作为。



主题

1. 全球与中国光伏行业展望与 PERC 技术前景
Global and China PV industry outlook and PERC prospect
2. PERC 电池产能扩张与市场份额展望
PERC solar cell capacity expansion and market share outlook
3. 多晶与单晶 PERC 电池的竞争力分析
Competitive analysis of multi-Si and mono-Si PERC cell
4. PERC 电池效率提升展望——如何实现 24% 以上的转换率？
PERC efficiency outlook - how to achieve above 24% conversion efficiency?
5. PERC 电池光致衰减 (LID) 机理与应对措施
LID mechanism and solutions for PERC cell
6. 双面 PERC 电池技术挑战与解决方案
Bifacial PERC technical challenges and solutions
7. 双面 PERC 电池测试标准与背面发电优化
Bifacial PERC test standards and rear side generation optimization
8. 双面 PERC 电池组件实际发电投资回报分析
Bifacial PERC module real power generation return on investment
9. PERC 背钝化工艺设备——PECVD 与 ALD
PERC rear passivation process equipment——PECVD and ALD
10. 高品质 TMA 前驱体助力 PERC 背钝化效果提升
High quality TMA precursors boost PERC rear passivation
11. 用于 PERC 背膜开孔的先进激光技术
Advanced laser opening technologies for PERC passivation layer
12. PERC 电池导电浆料与金属化工艺创新
PERC solar cell paste and metallization technology
13. 常规电池产线升级改造为 PERC 产线的经验
Experience of upgrading the conventional solar cell production line to PERC
14. PERC 电池生产线优化与新一代技术研发
PERC production line optimization and next-generation technology R&D
15. TOPCon 技术在 PERC 电池的应用前景
TOPCon technology application prospects on PERC

会议请联系：

陈小姐 021-68726606-109, 13701609248, 或 E-mail 至: joanna_chen@chemweekly.com

朱小姐 021-68726606-107, 13918257168, 或 E-mail 至: rita@chemweekly.com

孔小姐 021-68726606-102, 13918486381, 或 E-mail 至: emma.k@chemweekly.com



2018

中国光伏行业系列
调研报告

