

TOPCon技术是当下N型电池中最具有成本优势的技术路线之一，可能从今年开始实现规模化应用。

TOPCon：角逐下一代太阳能技术

文/袁素

谁能主导下一代太阳能技术？

太阳能发电正在紧锣密鼓地技术迭代。光伏电池从P型到N型是业内公认的技术发展方向，在N型电池的四种技术路线中，TOPCon（Tunnel Oxide Passivated Contact，隧穿氧化钝化接触）技术在量产上走得最快，有望最快步入商业化应用阶段。

根据中信建投的分析，由于TOPCon技术现阶段量产成本相对较低，预计2022年将会有较大规模放量，2022年有望成为TOPCon技术大规模商业化应用的元年。

根据PV InfoLink近期的报告，在产能方面，预计2022年年底TOPCon累计产能(含在建)有望超过50吉瓦，2023年年底将接近80吉瓦。在产出

方面，2022年将迎来TOPCon电池产出的明显增长，预计全年产出将达到16.7吉瓦，相比2021年的3.3吉瓦增长约400%。

此外，值得关注的是，同为N型电池之一的异质结太阳能电池也是一条备受关注的技术路线，多家光伏企业同时布局了TOPCon和异质结两个技术路线。最终哪个技术路线能成为N型电池的主流，有待进一步观察。

优缺点喜忧参半

根据基体材料的特性，太阳能电池可以分为有机太阳能电池和无机太阳能电池。

其中，无机太阳能电池可分为晶硅太阳能电池和薄膜太阳能电池，晶体

硅太阳能电池又分为单晶硅太阳能电池和多晶硅太阳能电池。目前晶硅太阳能电池，特别是单晶硅太阳能电池因其效率高、可靠性强、成本下降潜力大而成为市场主流。

根据基体硅片的掺杂种类，单晶硅太阳能电池可分为P型电池和N型电池。P型电池的基体材料为掺杂硼的P型硅，N型电池的基体材料为掺杂磷形成的N型硅片。

P型电池中PERC（Passivated Emitter and Rear，钝化发射极和背面）技术在2017年之后成为主流，叠加SE（选择性发射极）技术，电池效率逐渐提升。但是P型电池的光电转换效率已经接近其24.5%的理论转化效率极限，提升空间不大；而N型电池效



多家光伏企业同时布局了TOPCon和异质结两个技术路线。设备企业以及新进入光伏行业的企业则都倾向于布局异质结电池。

率提升潜力大，单结的理论转化极限效率为28.7%，投资成本不断降低，所以被称为新一代光伏电池发展方向。

N型电池主要包括 PERT（发射结钝化及背场全扩散）、TOPCon（隧穿氧化钝化接触）、IBC（全背电极接触）、HJT（异质结）四种技术路径。

其中，PERT技术可实现量产，技术难度低，设备投资较少，但是与双面 P-PERC 技术相比没有性价比优势，已被证明为不经济的技术路线；TOPCon技术具有低衰减、低

功率温度系数、高双面率、高弱光响应能力等优良的特性，但量产较难；IBC技术目前效率最高，可以达到23.5%~24.5%，但技术难度极高、设备投资高、成本高，国内尚未实现量产；HJT技术效率高，工序少，可实现量产，但成本比较高。

从产业进程来看，有望最快实现量产并得到商业应用的是TOPCon技术。该技术是在2013年第28届欧洲PVSEC光伏大会上由德国弗劳恩霍夫太阳能研究所首次提出的，理论转化效率高达28.7%。

从原理上来看，该技术首先在电池背面制备一层1~2纳米的隧穿氧化层，然后再沉积一层掺杂多晶硅，二者共同形成了钝化接触结构，为硅片的背面提供了良好的界面钝化。

从应用上来看，TOPCon技术具备三个优点。

第一，发电效率更高，提效路径明确，速度快，空间大。根据中国光伏行业协会的统计数据，2018年以来TOPCon电池效率提升2.5个百分点，同期PERC技术提效幅度为1.3个百分点，PERC电池在周期中后段接近理论极限，提效进程不及TOPCon电池。

第二，高双面率、低衰减等特性提升全周期发电量。TOPCon电池双面率可以达到85%，较PERC电池70%左右的双面效率明显提高，折算至综合效率端大致形成约1个百分点的效率优势。实例测算全周期发电量优势达到4%~5%。

第三，生产线切换成本低。TOPCon技术最大的优势在于可以基于现有PERC生产线升级改造实现技术的平滑切换。据不完全统计，目前市场上前十家光伏电池厂的存量PERC产能超过200吉瓦。基于PERC技术的生产线只需要增加硼扩散、非晶硅沉积以及刻蚀等几道工序，增加0.5亿~1亿元/吉瓦的投资即可切换为TOPCon生产线，这一技术路线更容易被现有企业接受。

同时，TOPCon技术也存在三个缺点。

首先，工艺路线不清晰。TOPCon主流技术路线有三种：低压气相沉积法、等离子体增强气相沉积法和物理气相沉积法（PVD），但每种技术路线都有缺陷，未来哪种技术路线会成为主流尚无法确定。

其次，工序繁多，良品率较低。TOPCon的生产工序达到12步，较PERC增加了4步，较HJT增加8步，这也使得其良品率目前只有92%~95%，远低于PERC和异质结的98%以上的良品率，直接影响到其成本和生产线效率。

第三，降成本路线难度大。TOPCon电池的成本结构大头是硅片和银浆。从硅片来看，降成本的核心技术是薄片化，但由于高温工艺下钝化层存在掺杂元素烧穿、金属浆料烧穿情况，厚度做到160微米以下存在一定困难（目前TOPCon电池所用的182尺寸硅片对应180微米，166尺寸硅片对应170微米左右），未来还需进一步优化工艺找到实现薄片化的方法。从银浆来看，TOPCon电池使用的银浆含量也比PERC电池要高。

量产和应用加速

根据招商证券的统计，2021年PERC电池市占率约为91%，BSF（铝背场）电池市占率降至5%，N型电池

份额仅为3%。但随着TOPCon电池开始由中试向规模化发展，2022年将成为TOPCon技术的商业化应用拐点，其性价比逐渐显示。

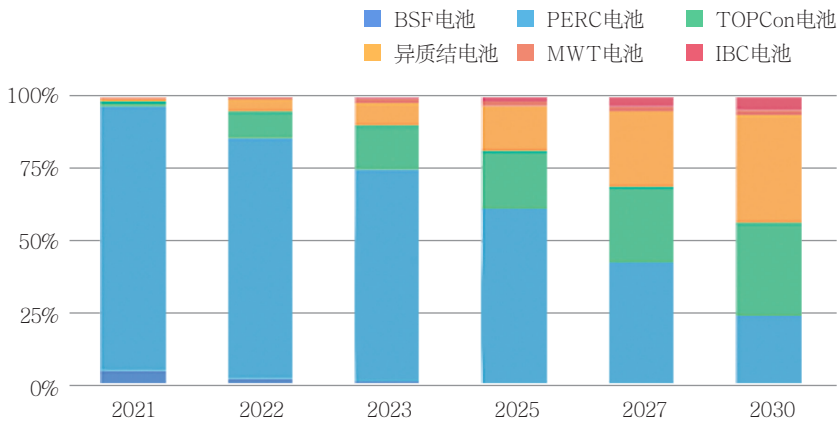
今年1月，晶科能源控股有限公司在安徽的8吉瓦TOPCon电池项目投产。该项目为全国首个大规模量产的TOPCon生产线，电池平均量产效率为24.5%，最高效率已经达到25.4%。2月，该公司海宁基地产出首片TOPCon电池，预计到年中TOPCon电池产能将逐步爬升至16吉瓦，成为量产规模最大的N型电池/组件企业。

深耕N型电池多年的中来股份在江苏泰州已有3.6吉瓦电池产能，并在山西太原规划了16吉瓦电池产能，目前该项目正在建设中。在转化效率方面，该公司TOPCon电池的量产平均效率达到24%。

一道新能源科技(衢州)有限公司2022年预计产能将达到20吉瓦，其TOPCon电池最高效率达到25%，在工艺流程不增加或者少量增加的情况下，极限效率可能达到25.5%以上，量产效率达到24.5%。

从价格来看，基于当前的工艺、效率水平测算，TOPCon电池从硅料到组件端各环节合计成本增加大致为0.06~0.1元/瓦，实际能够提供的溢价合理区间在0.1~0.15元/瓦（单双面略有差异）。从行业实际招标情况看，TOPCon组件价格较同版型PERC

2021~2030年不同电池技术市场占比变化趋势



>> 数据来源：中国光伏行业协会

组件高出0.1~0.14元/瓦，意味着率先实现TOPCon产品批量供应的电池企业、组件企业能够享受额外红利。

随着光伏生产设备国产化率的提高，TOPCon技术的投资成本也在迅速下降。根据中国光伏行业协会统计的数据，2021年PERC生产线投资额约为1.94亿元/吉瓦，TOPCon生产线投资额约为2.2亿元/吉瓦，二者新建生产线的投资强度逐渐接近。

而券商调研反馈则显示，当前实际的PERC生产线投资额已经降至1.5亿元/吉瓦以下，而TOPCon生产线投资额也降至2亿元/吉瓦上下，叠加生产线生命周期造成的折旧年限差异以及供需造成的排产差异，新建

TOPCon生产线平摊至单瓦折旧额已经接近PERC。

市场机构预测，TOPCon技术是当下N型电池中最具有成本优势的技术路线之一，可能从今年开始实现规模化应用，预计明年将全面具备与PERC技术相当的综合优势。

从国内企业布局来看，中来股份、晶科能源、隆基股份、一道新能源、天合光能、国家电投、通威股份、阿特斯、无锡尚德、晶澳、东方日升等传统晶硅企业都布局了TOPCon技术，隆基股份、天合光能、通威股份、阿特斯、晶澳、阿特斯等企业也同时布局了异质结太阳能电池。换句话说，诸多企业都在同时下注两条技术路线。

同样值得关注的是，越来越多的太阳能设备企业以及新进入光伏行业的企业倾向于选择布局异质结电池，表示了对异质结技术路线的长期看好。

伴随着低温银浆以及光伏设备国产化率的提升，异质结电池自身的成本会大幅下降，其工艺简单、可以和其他电池（IBC电池和钙钛矿电池）叠层实现更高效率的优点将会更加受到关注。

因此，预计TOPCon电池在未来两三年会有一个短暂的红利期，从中期来看其将面临与异质结电池的激烈竞争。■