

2023

# 新能源电池材料发展概览报告

能源结构转型下的电池材料发展趋势

---

出品机构：甲子光年智库

发布时间：2023.5

# 目录

## CONTENTS



### Part 01 新能源与新材料

P02

### Part 02 HJT电池新材料发展趋势

P06

### Part 03 钙钛矿电池新材料发展趋势

P17

### Part 04 锂离子电池新材料发展趋势

P28

### Part 05 氢燃料电池新材料发展趋势

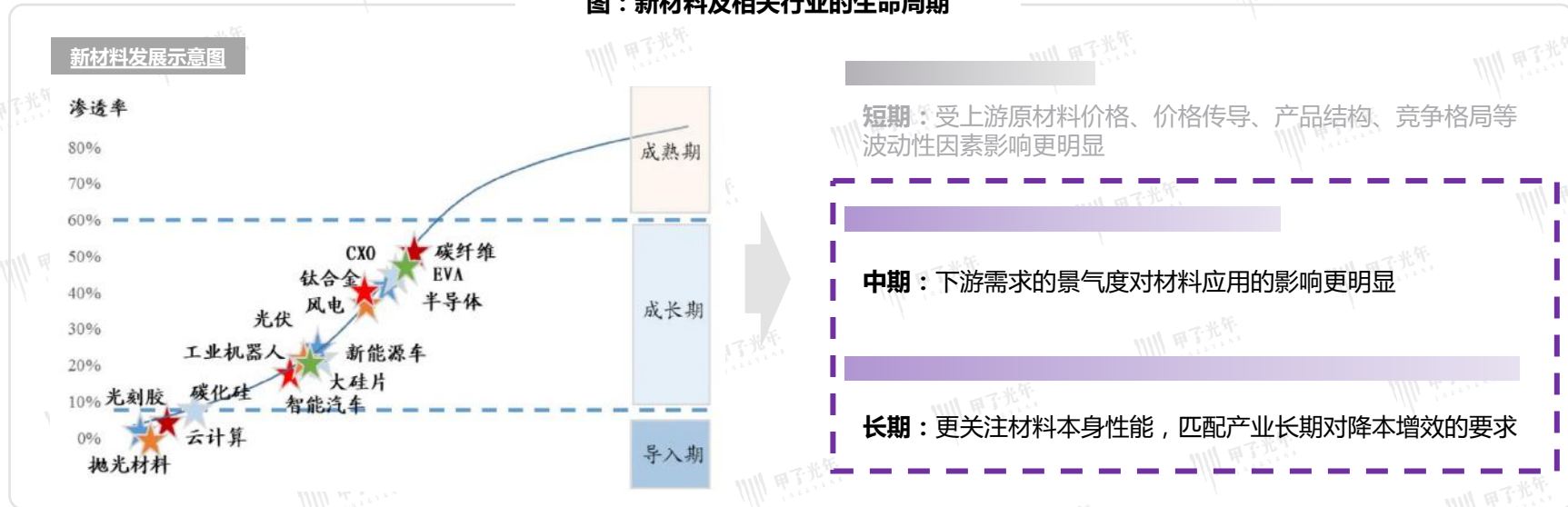
P41

# 新材料：需要下游行业需求带动

## 下游应用催生多元化新诉求，新材料发展要求“高景气产业+高技术壁垒”。

- 当前，中国面临着复杂的发展安全问题，同时也处于发展高端制造的战略机遇期。
- 发展新材料是成为制造业强国的关键，是摆脱关键材料与技术瓶颈的重要途径，也是寻找经济发展新动力的理想突破口。
- 新材料的发展需要长时间导入周期和高额前期投入，需要经过“材料开发-产业化-客户送样测试-小试-量产”等环节，通常需要10年以上的时间。

图：新材料及相关行业的生命周期



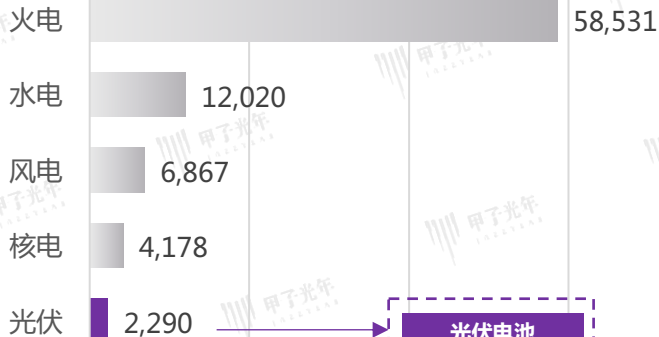
## “双碳”战略目标下，新能源领域的新材料应用将迎来长久的高景气周期。

□ 本次报告在发电侧主要关注新型光伏电池片的材料发展，在储能侧主要关注锂电池与氢燃料电池的材料发展。

### 关注“发电+储能”两侧的新材料应用进展

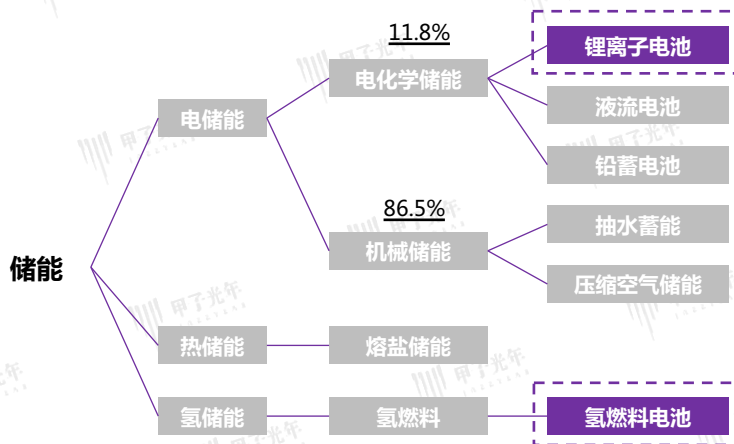
#### 发电侧

2022年全国发电量（单位：亿千瓦时）



- 实现双碳目标的过程中，发电量总量逐步提高，同时风电、光伏、核电的占比要稳定提升。
- 当前光伏发电量占比仍然很低，未来三十年发展空间大。

#### 储能侧（部分）



- 储能环节以抽水蓄能为代表的机械储能仍然是主流。
- 锂离子电池是电化学储能的绝对主力，装机功率占比约为电化学储能技术的99%。

## 从价值投资的角度看，在材料性能之外，新材料的评估模型需要综合多方面评估。

- 虽然光伏、锂电、氢燃料电池分属新能源领域的不同赛道，但他们的投资评估逻辑是相通的。
- 在性能满足发展需求的基础上，再综合考虑材料的市场规模与格局、商业化上量节点、产业发展周期的变化（比如2023Q1的锂价）等其他因素。

### 新材料投资发展前景评估模型

当前投资是不是好的时间点：整个行业的供需水平？当前时间点是顺周期还是逆周期？

不同材料的起量时间不同；中下游对该材料的尝试验证意愿/验证周期不同...

材料  
性能

新材料相比当前主流材料，针对当前该行业的需求痛点，在哪些方面有突破，会带来哪些好处？

产业  
发展周期

市场  
规模

对应的材料替代市场规模有多大？未来几年的增速是什么水平？

新材料发展  
前景评估

商业  
化节点

竞争  
格局

竞争格局现状是什么？是小而美的市场，还是需要卷成本卷规模的市场？先发者是否有优势？

# 目录

## CONTENTS



### Part 01 新能源与新材料

P02

### Part 02 HJT电池新材料发展趋势

P06

### Part 03 钙钛矿电池新材料发展趋势

P17

### Part 04 锂离子电池新材料发展趋势

P28

### Part 05 氢燃料电池新材料发展趋势

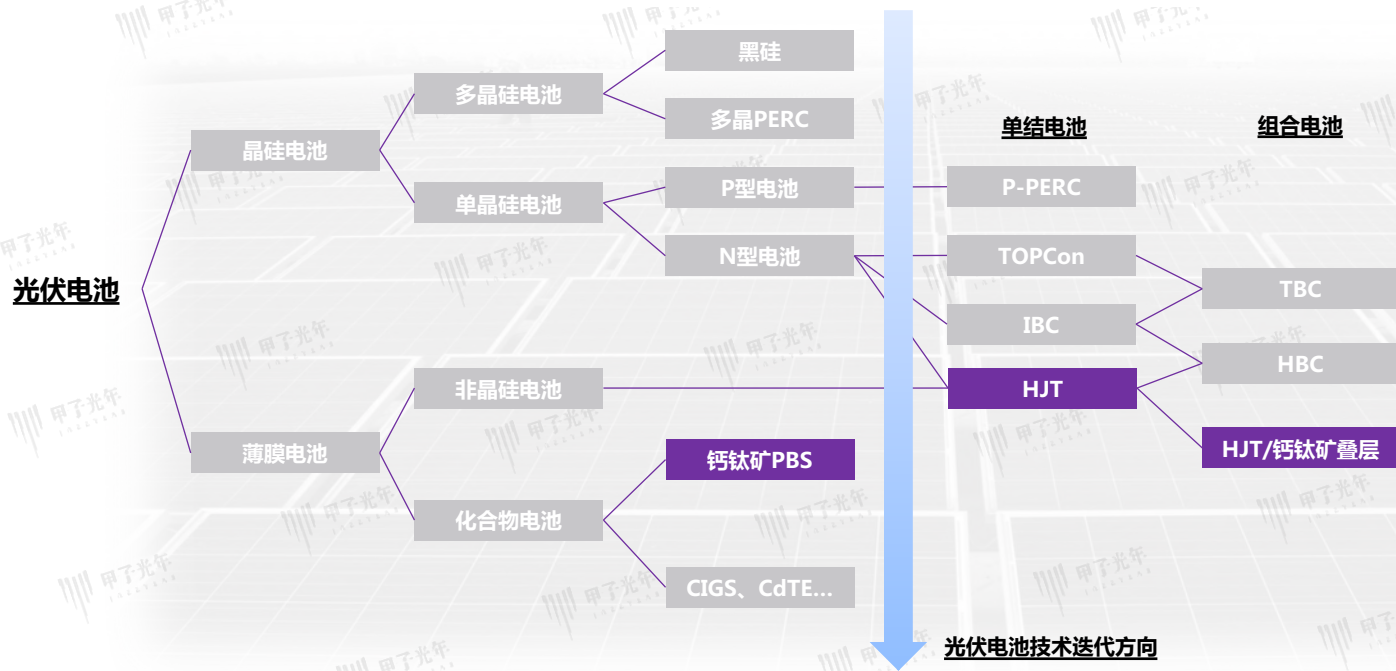
P41



# 光伏电池片的分类

产业正在逼近晶硅电池片的极限，新型材料应用助力突破转换率瓶颈。

图：光伏电池的迭代路线-追求更高的光电转换效率

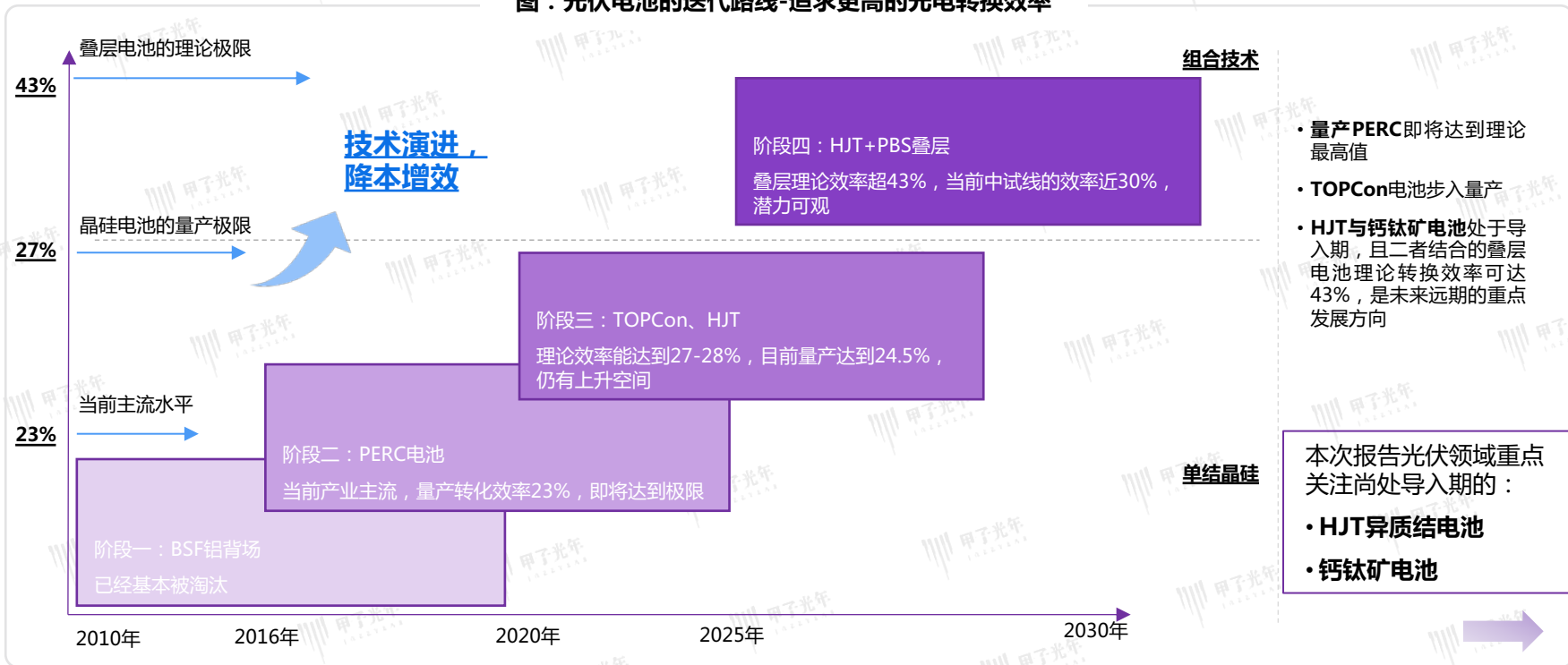


- **当前主流：**现阶段光伏产业的PERC电池量产技术成熟，已经大规模流入市场
- **短期：**TOPCon电池得益于与PERC电池类似的产线，已于2023年进入扩产阶段
- **中长期：**HJT与钙钛矿进入产线投产、量产验证与试生产周期

# 光伏技术迭代路线

HJT与钙钛矿电池是光伏中长期的技术发展路线，关注相关材料迭代机遇。

图：光伏电池的迭代路线-追求更高的光电转换效率





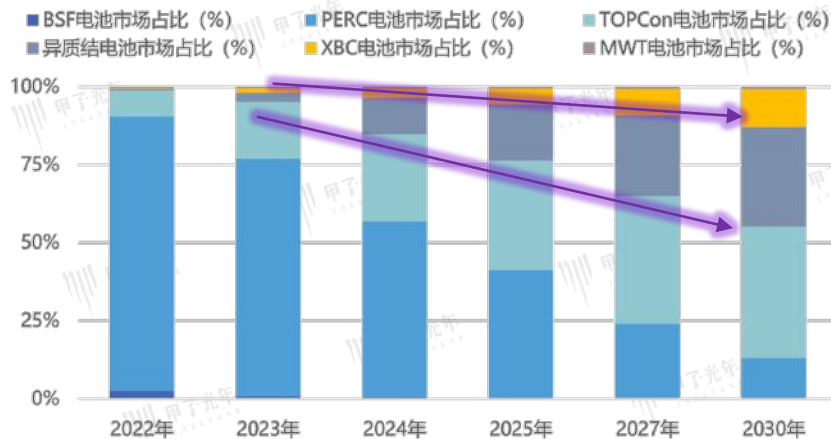
## 结合晶硅与非晶硅薄膜优势，HJT异质结电池将是光伏未来中期的路线选择。

- 根据光伏龙头隆基绿能的公告，其自主研发的HJT电池实验室已经能够达到26.81%，通威股份在25.67%，结合更精简的工艺产线和低能耗，HJT的综合优势开始显现。
- HJT工艺不同，生产线与传统PERC/TOPCon也大不相同，在规模未放量之前，不具备成本优势。

图1：HJT电池的性能优势

性能比较	工艺简单	晶硅薄片化	转换效率高
	大尺寸	低光性能好	抗PID性能好
性能比较	PERC	TOPCon	HJT
理论效率极限	24.5%	28.2%	27.5%
量产产品效率	23.5%	24.5%	24.5%
工艺成熟度/产线兼容度	非常成熟	比较成熟，高度复用PERC产线	技术爬坡中，需要新建产线
主要工序数量	9-12	12（与PERC类似）	4-6（工序很少）
电池成本	0.84元/W	0.91元/W	1.08元/W
优劣势比较	当前成本最低，但转换效率难以提升	效率提升，但工序复杂，非硅成本高	效率高，生产工艺温度低，但产线设备投资大

图2：性能优势将推动HJT的渗透率上升



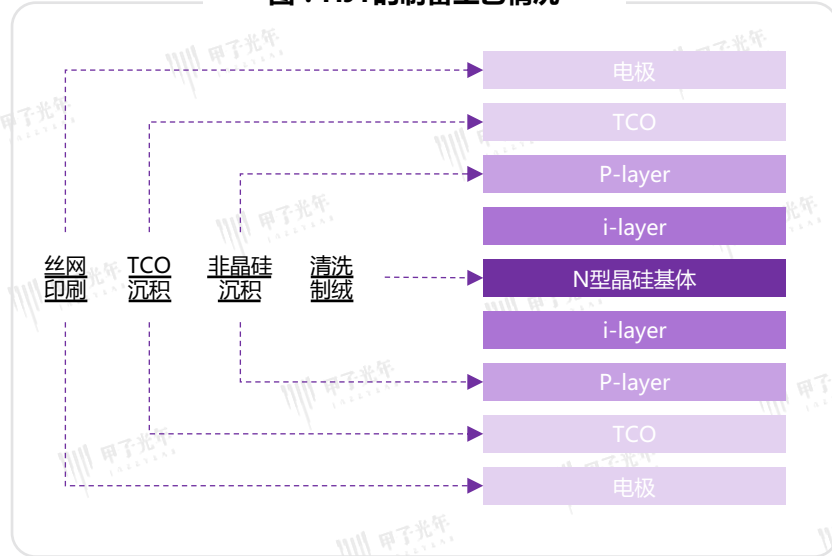
- HJT电池预计在2023年进入试生产；
- HJT电池预计在2024年开始上量，到2030年渗透率预计可达30%以上。

# HJT电池结构与成本构成

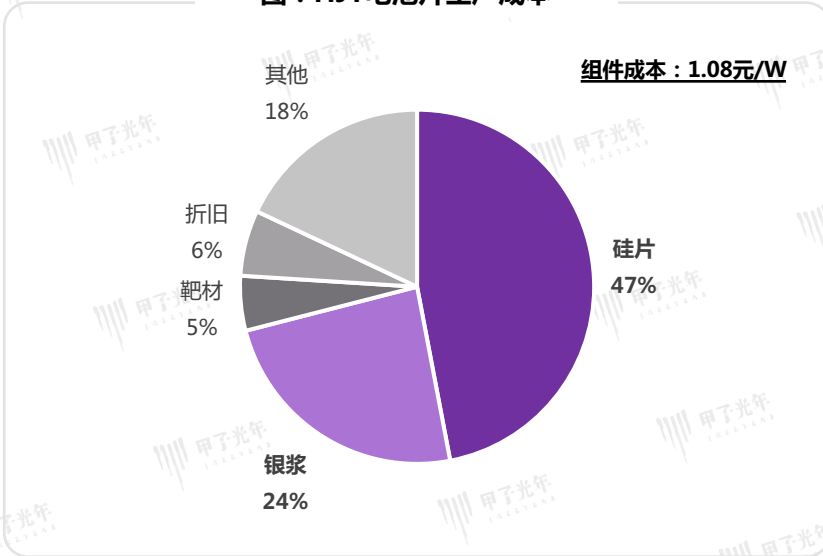
对于采用低温丝网印刷工艺的HJT而言，硅片与银浆是材料成本的主要组成部分。

- 由于HJT电池工艺和结构的不同，是双面对称结构，叠加电池制备需要低温工艺，银浆的成本要显著高于传统P型电池和TOPCon电池。
- 从降本提效的角度看，如何降低整体硅耗和金属化过程中的浆料成本，是从材料方面推动HJT晶硅电池规模化的主要途径。

图：HJT的制备工艺情况



图：HJT电池片生产成本



# HJT电池产业发展现状

多家厂商在规划10GW级别产线，上游的材料厂商也在积极配合。

## HJT产业链

### 上游原材料厂商

### 中游电池片厂商

### 下游应用场景

#### HJT薄硅片

#### 浆料

高测股份

苏州固锝

上机数控

帝科股份

TCL中环

聚合材料

国晟能源

金刚光伏

国立科技

华晟新能源

三五互联

东方日升

光伏电站

厂房屋顶

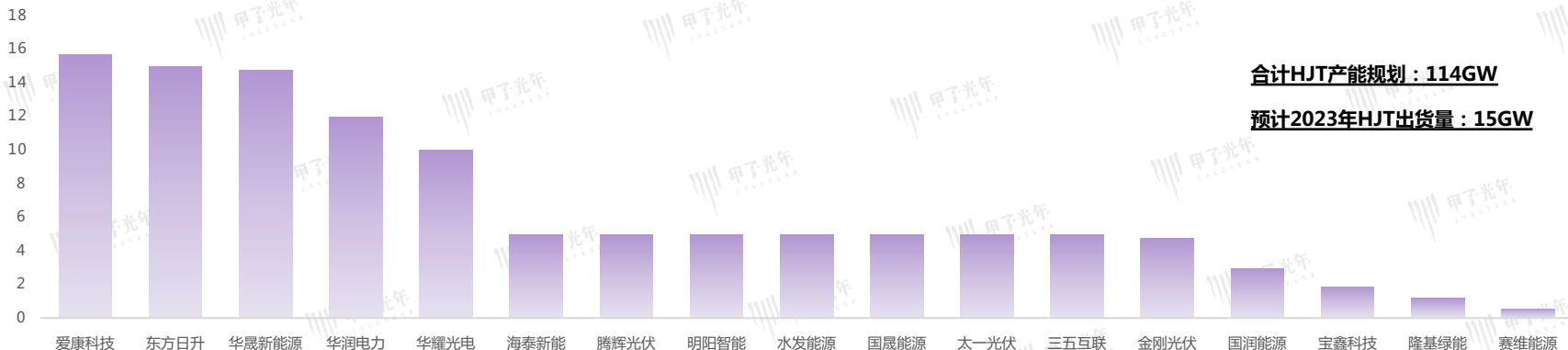
商用光伏

通信基站

光伏道路

.....

图：目前国内HJT新建与规划产能（不完全统计）



# HJT光伏组件的材料发展方向

## HJT电池片新材料应当关注“2减1加”。

- ❑ HJT电池片制备工艺的最大区别在于温度：因为TCO薄膜等非晶硅导电层的加入，如果烧结温度大于250℃，材料会向晶体转变，使电池失效。
- ❑ 低温工艺无需顾虑高温烧结过程导致的硅片翘曲，因此HJT电池也有较大的硅片薄化潜力，为降低成本提供更多可能性。

HJT电池片的“两减一加”

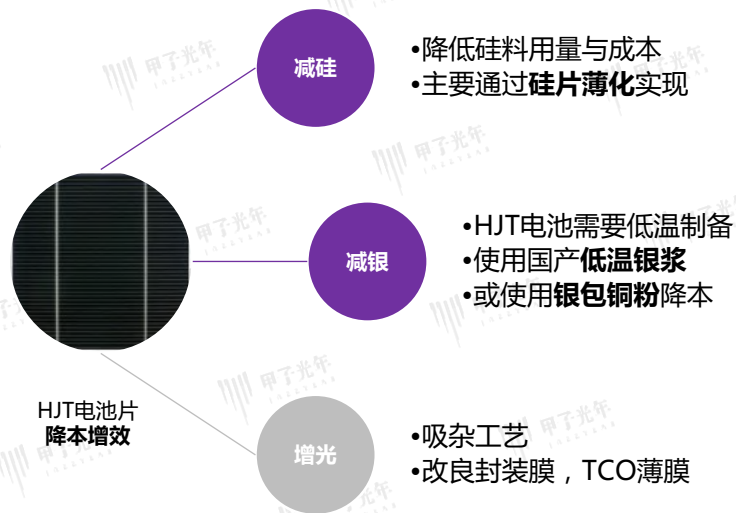
类目	PERC	TOPCon	HJT
工艺过程	烧结	硼扩	烧结
温度	>850℃	>900℃	<200℃

电极
TCO
P-layer
i-layer

**非晶硅薄层**：如果烧结温度过高（大于250℃）将导致非晶薄层材料从非晶向晶体转变，进而导致电池片失效

N型晶硅衬底

**硅片**：PERC与TOPCon高温工艺会引起硅片翘曲，因此不具备薄化条件，而HJT低温工艺则不会引起硅片翘曲



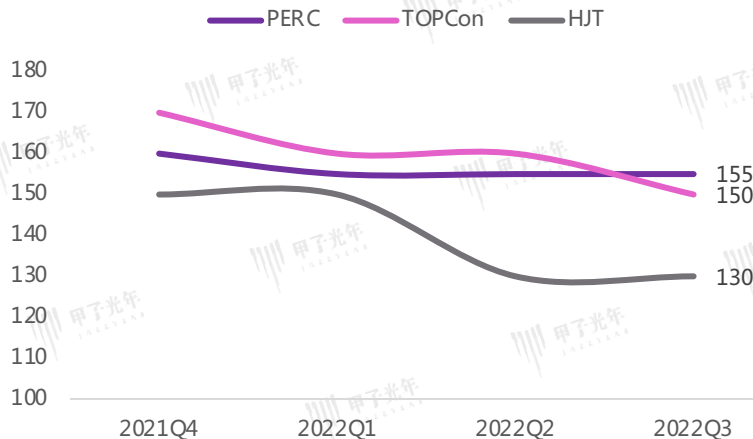
# 材料选择1：HJT薄化硅片

## 硅片是主要成本构成，硅片薄化是HJT电池独有的降本项。

- 得益于低温工艺，HJT电池硅片有做薄的潜力：当前主流PERC硅片厚度约155 $\mu\text{m}$ ，而HJT已达到130 $\mu\text{m}$ ，向120 $\mu\text{m}$ 迈进，极限薄化厚度是80 $\mu\text{m}$ 。
- 从硅料价格来看，近期硅料价格回升至200元/kg左右，在25%转换效率条件下，单W硅耗可降低约0.016元/W；换言之，以200元/kg的硅料价格计算，当前130 $\mu\text{m}$ 的N型硅片成本将比150 $\mu\text{m}$ 的成本降低0.032元/W，约占硅片成本的10%。

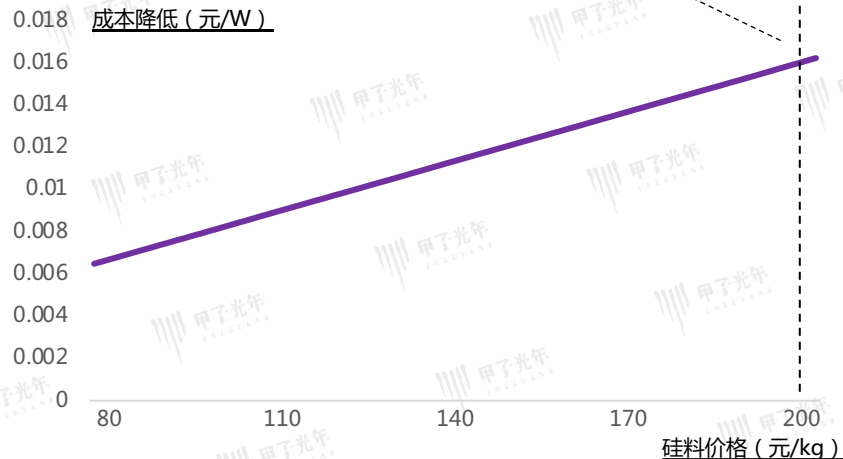
图：硅片厚度对比（ $\mu\text{m}$ ）

- HJT在硅片减薄降本方面，相比PERC与TOPCon电池有更大潜力



图：硅片减薄每10 $\mu\text{m}$ 促使硅料成本下降（元/W）

- 当前硅料价格在200元/kg左右，25%转换效率条件下，硅片每减薄10微米，HJT电池成本下降约0.016元/W



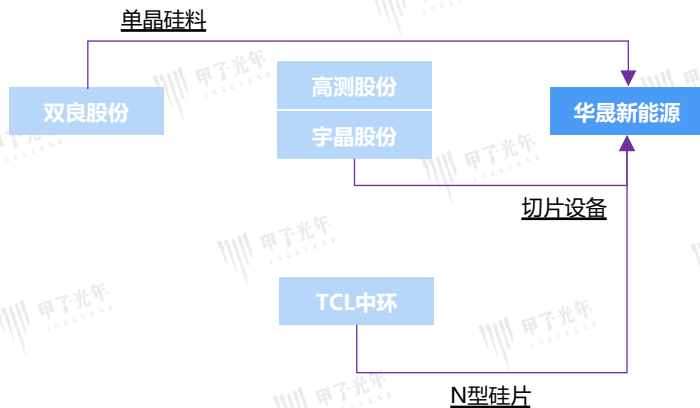
# 材料选择1：HJT薄化硅片

## 薄化硅片的价值点在于硅片切割设备，衍生出不同的产业协同模式。

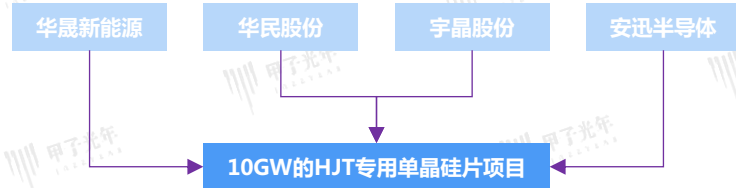
- ❑ HJT硅片切片的关键在于电池片设备，当前布局HJT晶硅电池薄片生产的厂商比较有限。
- ❑ 从商业模式上看，多数晶硅电池厂家选择自主采购硅料与切片设备进行HJT薄化硅片制备，同时也存在头部企业联合硅料、设备厂商合资设立HJT电池专用单晶硅片项目，为自身HJT电池制备供应。
- ❑ 待HJT在未来真正走向放量，那么专门从事第三方硅片切割的厂商将有望在这一轮HJT薄硅片的产业化进程中获益。

### HJT专用薄硅片的商业模式一览

#### 模式一：HJT厂商自主切片



#### 模式二：联合成立专用硅片项目



#### 模式三：设备厂商部署代工业务

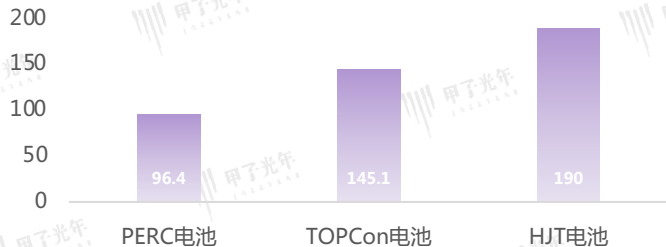


## 材料选择2：低温银浆&银包铜粉

### 浆料的降本主要通过银浆的国产替代和银包铜粉的放量应用。

- 目前光伏浆料市场国产厂商已经打开局面，国产化率已经超过60%，但多集中于高温银浆领域。
- 在HJT电池尚未放量增长的时间点下，光伏行业对低温银浆的需求体量仍然有限，目前全球低温银浆市场基本被KE、贺利氏等公司垄断。
- 银浆的主材是银粉，而目前业界对银粉的降本途径主要是银包铜，通过降低含银量以大幅降低银浆的整体成本。

图：HJT需要低温银浆，且单片银耗量更高（单位：mg）



项目	低温银浆	高温银浆
金属化温度	170-200℃	700-800℃
接触机理	浆料与TCO层接触，与PN结无关	浆料与PN结直接接触
组成成分	片状与球状银粉混合物，有机组分	球状银粉，片状玻璃粉，有机组分
组成作用	印刷作用、粘结银粉和TCO层	主要起印刷作用
技术成熟度	起步晚，不成熟	起步早，比较成熟

### 如何降低HJT电池片银耗？

#### 制备工艺：

- 采用细线化丝网印刷工艺，减少栅线宽度，一方面降低光吸收损失，同时可以降低银耗
- 未来有望彻底抛弃银浆，使用电镀铜

#### 国产替代：

- 国产浆料与银粉厂商跟进，打破当前进口产品的垄断局面

#### 材料改良：

- 采用银、铜混合材料（银包铜），大幅降低含银量

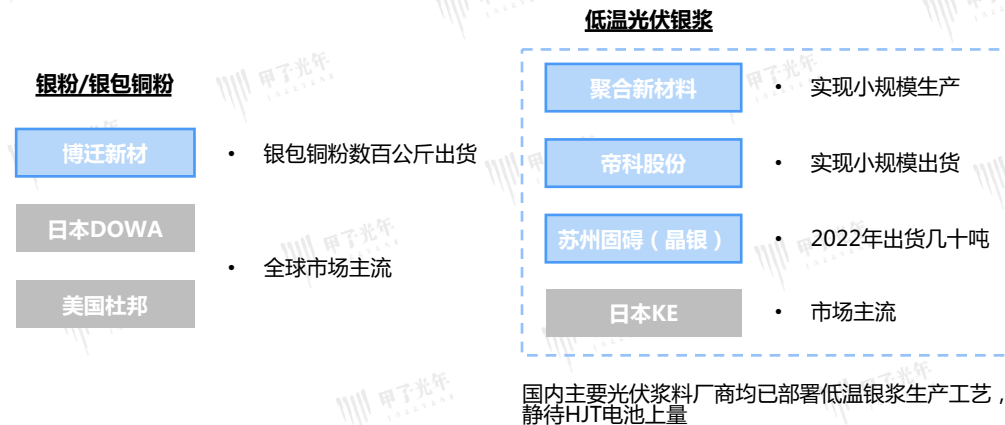


## 材料选择2：低温银浆&银包铜粉

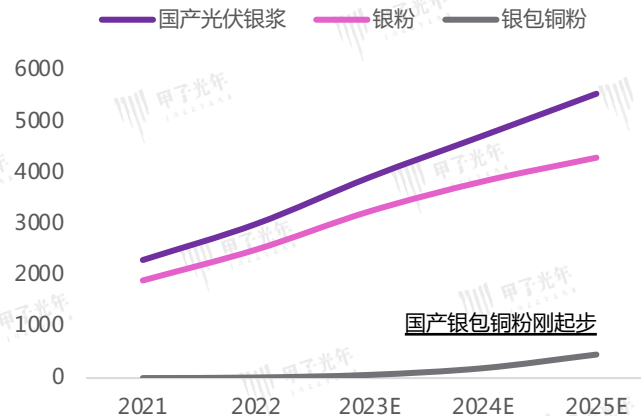
### 市场机遇主要在国产替代方面，国产产品尚处于产品导入期。

- 银浆材料成本主要集中于银粉上，一般光伏银浆的银粉成本占比98%以上，银粉的国产替代进程将有力推动组件的成本下降。
- 在HJT低温银浆领域，光伏银浆龙头苏州固锟处于国内领先地位，2022年已实现少量国产替代，聚和、帝科也加速布局，预计2023年有望在国产HJT低温银浆的基础上迎来新一轮技术渗透，进一步加速HJT电池的降本。
- 银粉和银包铜粉方面，博迁新材也在已经打开金属粉末国产替代的口子，进入下游验证测试阶段。

图：国内头部浆料公司均已部署HJT用低温银浆



图：国内银包铜粉仍处于起步阶段（单位：吨）



# 目录

## CONTENTS



### Part 01 新能源与新材料

P02

### Part 02 HJT电池新材料发展趋势

P06

### Part 03 钙钛矿电池新材料发展趋势

P17

### Part 04 锂离子电池新材料发展趋势

P28

### Part 05 氢燃料电池新材料发展趋势

P41

# 钙钛矿电池的优势

相比较传统晶硅电池，钙钛矿电池有多项优势，将是未来光伏电池发展的重要路线。

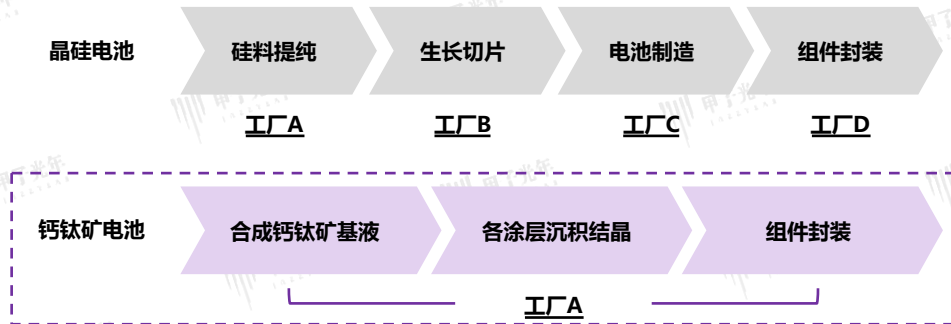
- 从材料性能本身看，钙钛矿相比传统的晶硅电池在实验室效率、弱光环境、生产工艺与效率等方面有明显的比较优势。
- 并且，钙钛矿的工艺流程相对简单，产线投资成本较低，再加上本身材料的低价，钙钛矿材料基本被确定是推动光伏要降本增效的有效途径。

图：光伏的未来-钙钛矿电池片相比其他类型光伏电池优势

## 性能比较

指标	晶硅电池			钙钛矿
	PERC	TOPCon	HJT	Perovskite
理论效率极限	24.50%	28.20%	27.50%	33.00%
量产效率	23.50%	24.50%	24.50%	-
弱光环境	弱	中	中	强
稳定性	优	优	优	较弱
稳定性极限	30年	30年	30年	25年
环保性	无毒	无毒	无毒	含铅
原料纯度	99.9999%	99.9999%	99.9999%	97%以上
生产工艺温度	900	TOPCon	200	250
生产效率	5d	5d	5d	50min

## 产线比较



- 钙钛矿光伏电池工艺流程简单，同一工厂内的300米长产线即可实现完整生产流程，且耗时仅45分钟；
- 相应地，产线投资成本显著降低，1GW产能产线月5亿元，较晶硅降低50%左右。

制备流程简单

物理性能优秀

产线投资金额少

叠层转换效率高

柔性材料应用

弱光场景吸光性

材料成本低廉

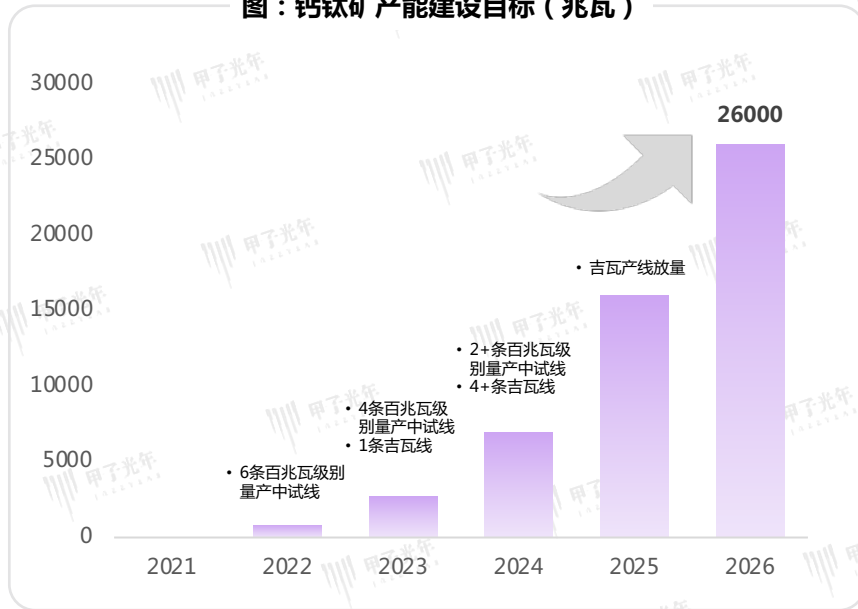
...

# 钙钛矿电池的市场规模

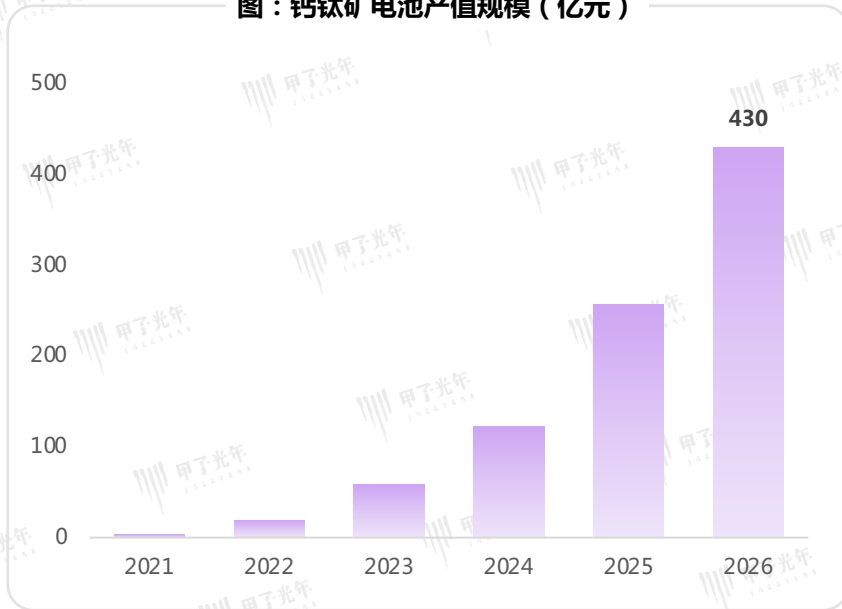
钙钛矿进入试量产，乐观预测产能将于2026年突破25GW，制造产值达到400亿。

- 2022年，协鑫光电、纤纳光电等多家先发企业已经开始百兆瓦产线的调试与试量产，其他企业也在快速跟进设备与产品验证工作。
- 得益于钙钛矿的性能与成本优势，在产品验证普遍通过的情况下，行业乐观预测钙钛矿总产能将快速上升，于2026年达到26GW。

图：钙钛矿产能建设目标（兆瓦）



图：钙钛矿电池产值规模（亿元）



# 钙钛矿电池的结构与成本

## 钙钛矿吸光层成本占比极低，主要成本集中在玻璃及其他封装材料上。

- 钙钛矿材料的光吸收能力强，在组件中的薄膜厚度与晶硅电池硅片厚度相差甚远，显著降低了材料成本。
- 电池的材料成本主要集中在封装层，其中TCO导电玻璃、POE胶膜等占比较高。

图1：钙钛矿电池的组成结构

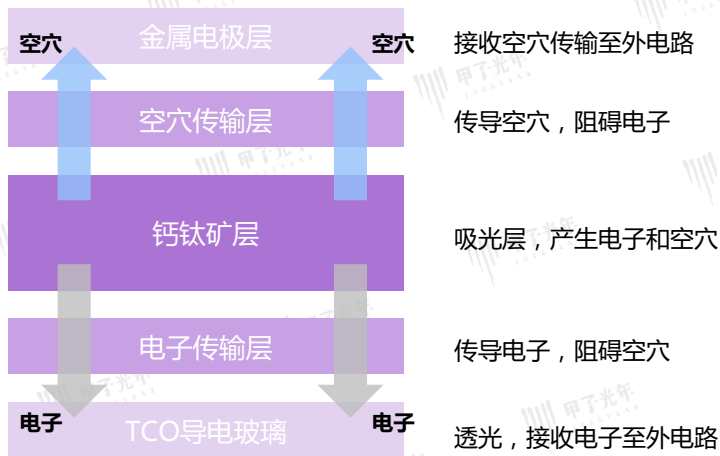
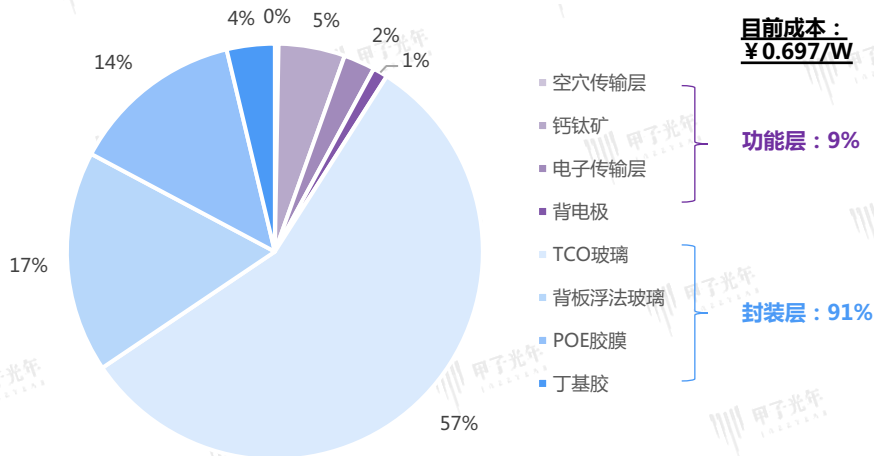


图2：钙钛矿电池的成本构成



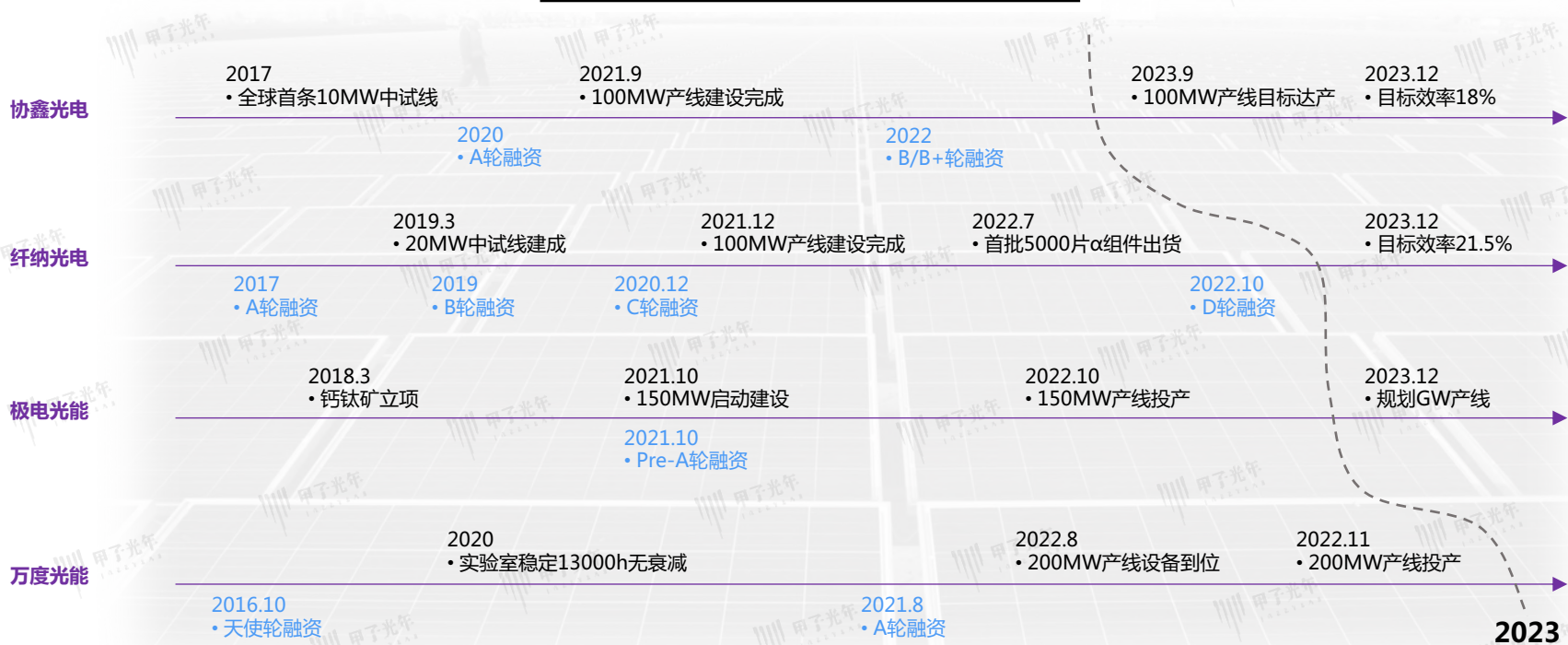
对比晶硅电池：

- 钙钛矿电池的吸光层是多种钙钛矿材料，自然界中存量极多，且对纯度并没有晶硅电池的高要求，因此成本占比极低，仅5%左右
- 生产成本主要集中于封装材料，如TCO导电玻璃、POE胶膜等

# 钙钛矿的产业发展现状

百兆瓦产线已经陆续部署完成，2023年将成为钙钛矿的量产元年。

## 国内主要厂商钙钛矿厂商产能建设进度与规划



## 封装材料发展应针对性改善钙钛矿电池的产业化难点。

- ❑ 钙钛矿电池的主要难点集中在两个方面：（1）溶液涂布工艺中，大面积的钙钛矿薄膜容易出现均匀性与平整度的问题，最终严重影响光电转换效率；（2）钙钛矿材料本身的稳定性一般，产线上的产品在吸湿性、热稳定性等性能不达标。
- ❑ 从材料应用上讲，在封装过程中使用POE膜与TCO导电玻璃，将有助于提升材料稳定性，增加钙钛矿组件的使用寿命。

### 当前需要攻克的难点

### 正在尝试的解决方法

#### 大面积制备难题

主流溶液涂布工艺下，钙钛矿的均匀性和平整度在大面积制备时难以达到标准



#### 材料稳定性难题

当前仍然受限于钙钛矿薄膜的吸湿性、热不稳定性、离子迁移等特性，实际量产产品的使用寿命仍不理想

#### 工艺与设备：

- 狭缝涂布 ➡ 真空镀膜（PVD、热蒸镀等）
- 改良激光、PVD、RPD、涂布等设备

#### 材料体系：

- TCO导电玻璃
- POE粒子胶膜
- ITO靶材（透明背电极）
- 丁基胶



# 材料选择1：POE胶膜

## POE胶膜是当前钙钛矿电池封装的唯一选择（也适用HJT）。

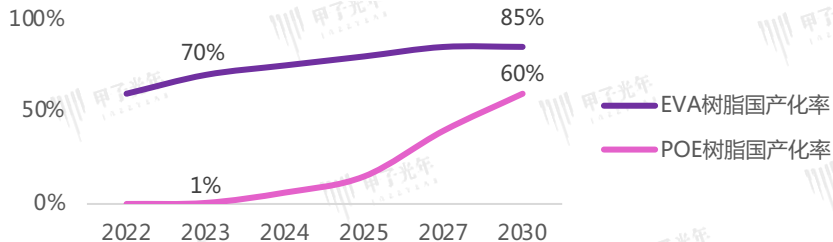
- ❑ N型电池片的推动下，逐步取代EVA的POE胶膜将是未来钙钛矿电池封装时的必备材料（传统EVA胶膜老化产生的小分子酸会破坏钙钛矿层）：POE胶膜具备更好的离子阻隔能力与抗水性，延长光伏组件的使用寿命。
- ❑ 乐观预测，在光伏电池片沿着TOPCon（短期）、HJT（中期）和钙钛矿（长期）的迭代路线发展前提下，未来4-5年POE材料需求复合增速将达到50%以上。

### 光伏迭代带动POE胶膜的应用

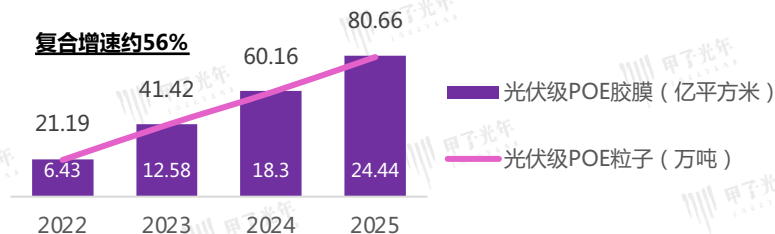


指标	EVA	POE
抗PID性	弱（正面96h后衰减6-7%）	强（正面96h后衰减3-4%）
体积电容率	低（85℃1013Ω·cm）	高（85℃1015Ω·cm）
隔水性	弱（水汽透过率34g/(m <sup>2</sup> *d)）	强（水汽透过率3.3g/(m <sup>2</sup> *d)）
耐候性	弱	强
克重	高（密度0.96g/cm <sup>3</sup> ）	低（密度0.88g/cm <sup>3</sup> ）

### 图：POE的国产化率与市场规模



### 复合增速约56%



# 材料选择1：POE胶膜

## 突破重点技术壁垒，开启POE粒子国产替代。

- ❑ 受限于基础化工技术水平，中国POE粒子仍主要来源于进口；国产POE粒子正在突破催化剂、 $\alpha$ -烯烃制备等技术壁垒，目前正处于导入期。
- ❑ 福斯特、赛伍技术、祥邦科技等国内胶膜厂商已有相关POE技术储备，并处于产能规划扩建期，但上游的POE粒子仍全部采用进口品牌。
- ❑ 陶氏、Exxon、三井等供应商垄断全球POE粒子市场，但随着中国N型光伏电池片的放量，供给或出现紧缺的局面，为国产厂商提供一些机遇。

图1：POE粒子行业竞争壁垒

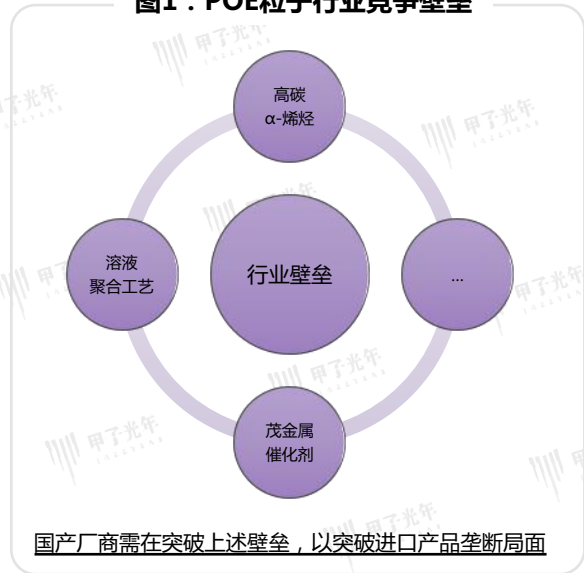
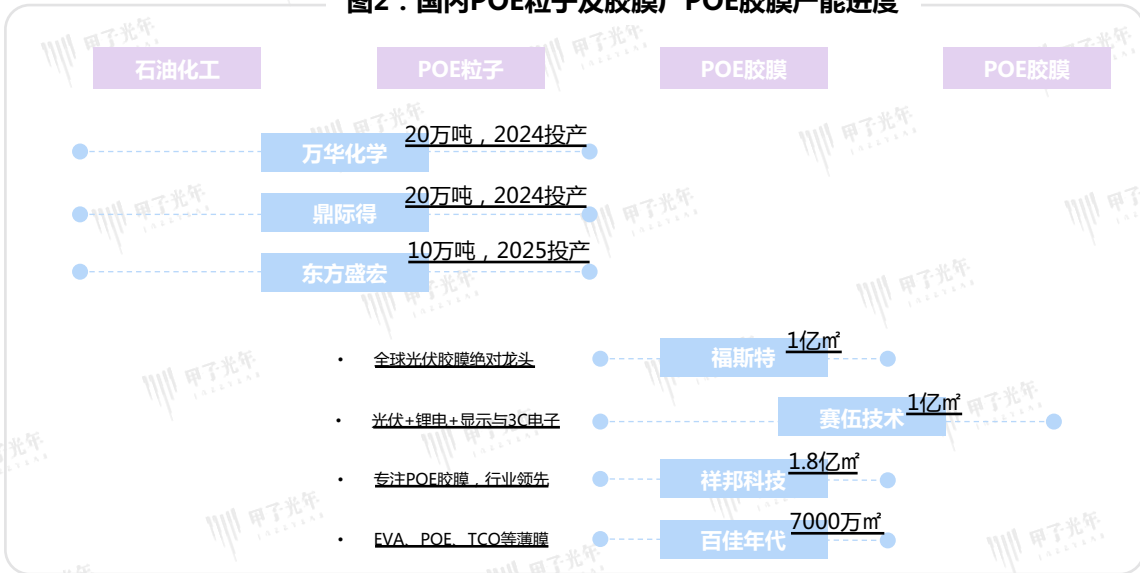


图2：国内POE粒子及胶膜厂POE胶膜产能进度

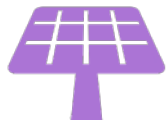


## 材料选择2：TCO导电玻璃

### 具备超白玻璃产线的企业将具备光伏TCO玻璃的先发优势。

- TCO ( FTO ) 导电玻璃已具备相当成熟的制备工艺，当钙钛矿组件的订单量开始增长时，导电玻璃的产能也将随之快速扩张，相关企业充分受益。
- 钙钛矿薄膜电池所需的TCO玻璃多是超白浮法玻璃在线沉积FTO材料，确保玻璃的高透光性与稳定的导电性。
- 从竞争壁垒的角度上看，工艺、产线设备、客户资源将是TCO导电玻璃赛道的核心竞争力。

#### TCO导电玻璃对于钙钛矿电池的作用



TCO导电玻璃

钙钛矿材料以薄膜形式出现，需要TCO玻璃作机械支撑

高透光度，利于吸光层更多吸收太阳光

组件电极材料，具备导电性，收集电池板上产生的电流

光伏透射比、电导率、雾度、激光刻蚀性能.....

工艺与生产设备

客户资源能力

#### 可生产光伏TCO玻璃的企业

##### 自主研发

金晶科技

向钙钛矿组件厂供应导电玻璃

纤纳光电

- 高透速率基片基础上相继开发成功3.2mm和2.65mm超白TCO导电玻璃
- 与纤纳光电达成战略合作协议

##### 技术合作

艾杰旭

企业收购

耀皮玻璃

间接持股

板硝子NSG

- 耀皮玻璃收购的艾杰旭产线具备TCO玻璃生产能力
- 日本NSG板硝子间接持股耀皮玻璃，形成技术协同

中国玻璃

旗滨集团

信义玻璃

# 发展趋势：钙钛矿叠层电池

## 利用钙钛矿材料的优势，叠层电池的出现可提供更高的光电转换效率。

- 叠层电池的原理是组合电池片，增加光谱吸收范围，以达到增加电池片效率的效果。
- 钙钛矿+HJT是当前业界认可的理想方案：上层宽带隙钙钛矿电池吸收短波段光，底层HJT晶硅电池吸收长波段光，理论效率提升至40%以上。
- 此外，钙钛矿有可调带隙宽度的特点，可以叠加两块不同带隙的钙钛矿电池，以更低的成本达到更高的光电转化效率。

钙钛矿叠层电池的分类（按材料）

叠层电池的分类

钙钛矿/晶硅叠层

HJT+钙钛矿叠层

TOPCon+钙钛矿叠层

全钙钛矿叠层

钙钛矿/有机叠层

钙钛矿/CIGS叠层

- HJT+钙钛矿叠层是当前的研发主流，低温工艺+自带TCO膜层使得二者适配度很高
- 全钙钛矿叠层电池的瓶颈在于窄带系材料，近两年在研发层面有所突破
- 预计叠层电池前中期以晶硅/钙钛矿为主，远期来看仍是全钙钛矿叠层更有前景

电池种类	钙钛矿+HJT	全钙钛矿
优点	结构对称；开路电压高；HJT本身有TCO材料，与钙钛矿适配	带隙可调；柔性材料
缺点	HJT绒面与钙钛矿涂层的磨合还不够完善	大面积制备存疑
应用场景（当前）	光伏电站	建筑、车顶
企业类型	电池片厂商	钙钛矿电池研发企业
厂商	隆基、爱旭、和特光电、华晟新能源、宝馨、金风科技	协鑫光电、任烁光能

# 发展趋势：钙钛矿叠层电池

## 当前叠层电池尚处于产业规划初期，需要等待钙钛矿材料的量产技术成熟。

- 目前规划叠层电池的厂商，一部分是传统的晶硅电池厂商，在HJT的基础上规划远期钙钛矿叠层的技术，循序渐进；另一部分是专注研究钙钛矿组件的企业，争取建立钙钛矿赛道的先发优势。
- 基因不同，二者在叠层的路线选择上会出现分歧：在钙钛矿薄膜带隙可调的优势性能上，晶硅电池厂商会选择N型电池+钙钛矿的叠层路线，而协鑫光电等厂商会专注钙钛矿+钙钛矿的叠层电池。

### 布局叠层电池的企业及进度

#### 晶硅电池片厂商

#### 钙钛矿+HJT叠层

隆基绿能

- 钙钛矿/HJT制备方法专利

爱旭股份

- 钙钛矿/HJT制备方法专利

华晟新能源

- 规划2023年完成中试线搭建，目标效率28%

合特光能

- 规划2023年完成中试线搭建，产能100MW，目标效率28%

金寨喜悦

- 拟建设钙钛矿/HJT电池项目

宝馨科技

- 规划2024年启动100MW产线建设，实验室效率>32%

#### 钙钛矿电池厂商

#### 钙钛矿叠层：更便宜的成本

协鑫光电

- 10MW全钙钛矿研发线已经跑通

任烁光能

- 10MW全钙钛矿研发线已经跑通，预计5年内建设数条GW级产线
- 同时部署光伏幕墙等建筑光伏解决方案

# 目录

## CONTENTS



### Part 01 新能源与新材料

P02

### Part 02 HJT电池新材料发展趋势

P06

### Part 03 钙钛矿电池新材料发展趋势

P17

### Part 04 锂离子电池新材料发展趋势

P28

### Part 05 氢燃料电池新材料发展趋势

P41

# 新能源汽车与储能应用为锂电池长期需求筑基

## 储能与新能源汽车迸发超级需求，储能/动力电池前景广阔。

- 虽然补贴正在退坡，但得益于续航里程的不断突破，以及驾乘体验的稳定进步，新能源汽车的渗透率不断增长，动力电池装机量大增。
- 储能方面，风力发电与光伏发电的建设如火如荼，总发电量不断增长，但风光发电因其间歇性、周期性以及随机性的特点，会对电网整体的安全性和供电稳定性造成威胁，因此需要配备储能系统，以解决电力的就地存储，在国家层面提升绿色能源占比。

图1：动力电池与储能电池装机量（GWh）

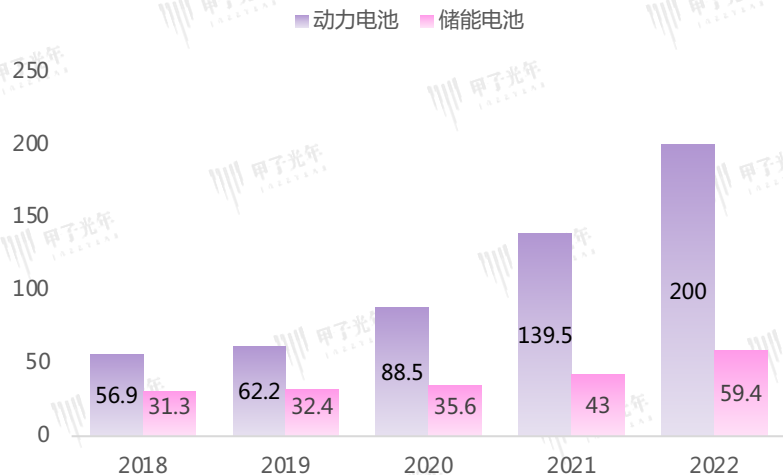
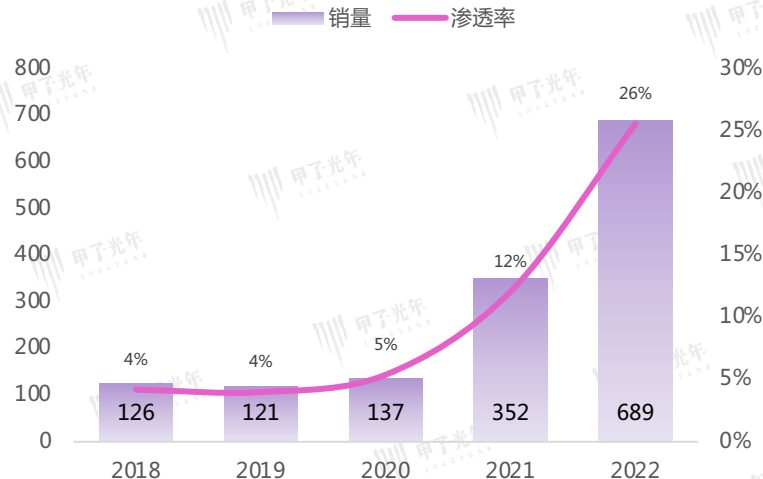


图2：新能源汽车销量（万辆）





# 锂电池仍是未来中长期的主流选择

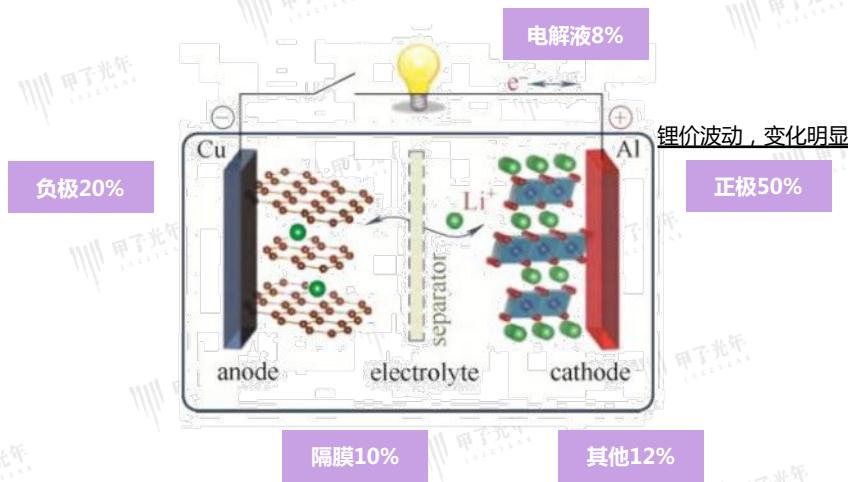
## 对比其他常见二次电池，锂离子电池综合性能仍具备比较优势。

- 相较此前常见的可充电电池，锂离子电池有着工作电压高、能量密度大、循环寿命长、可高功率放电等性能特点。
- 电池充电时，正极材料中的锂脱出来，穿过隔膜进入到负极石墨中；电池放电时，锂离子又从负极石墨中脱出来，穿过隔膜回到正极材料中。
- 从材料成本上看，当前锂电池的正极材料占比最高，但随着2023Q1的碳酸锂价格下跌，正极材料成本占比有所下降。

图表：锂离子电池vs其他二次电池

	锂电池	铅酸电池	镍镉电池	镍氢电池
工作电压	3.2-3.8	2.0	1.2	1.2
能量密度	100-200	<30	50	60-80
循环寿命	>1000	300	500	500
优点	可快速充电、高功率放电	价格低，技术成熟	支持快充，价格便宜	支持快充，能量密度较高，循环寿命较长
缺点	价格偏高	不可快充，能量密度低，体积大	有记忆效应，能量密度低	有记忆效应，充放电效率差

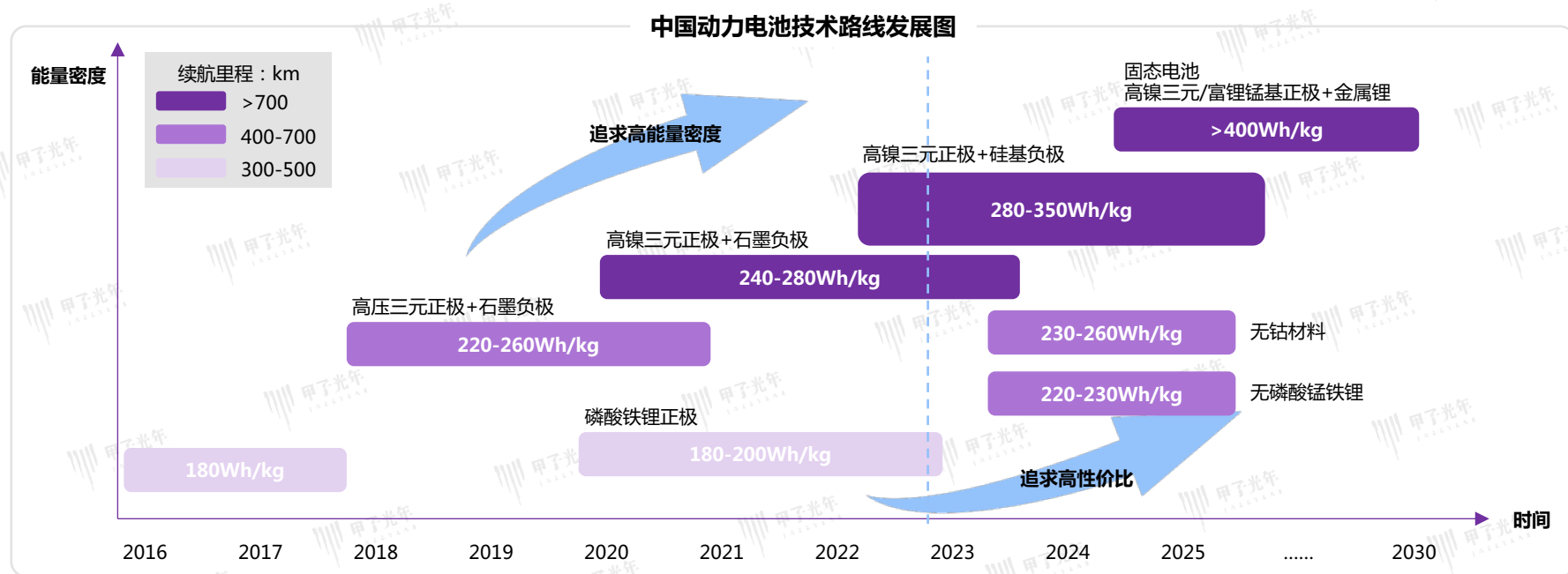
图：锂电池的工作原理与成本结构



# 动力电池的技术发展路线

## 材料与化学体系的持续更新迭代，向“高能量密度”与“高性价比”发力。

- 新能源汽车等下游市场需求的放量增长，对电池的能量密度与量产价格提出了高要求，而若想满足不断精进的市场需求，需要电池厂商和上游原材料厂商在材料体系和电池结构等方面做出针对性的革新。
- 高能量密度代表着未来的发展方向，而高性价比意味着更快的商业化进度。



# 市场需求与锂电池的发展方向

## 随着下游应用面不断开拓，市场对锂电池不断提出新的要求。

- 随着锂电在新能源汽车动力电池、风光储能电池方面的应用不断加深，多元化的应用场景也对锂电池的性能提出更高、更多元的需求。
- 主要体现在锂电池的能量密度、安全性能、使用寿命/循环次数、高压快充匹配、材料经济性等方面。

图：新能源汽车与储能锂电池的发展需要新材料的补足



### 现存问题

成本高昂

续航里程短

充电时间长

安全性不足

使用寿命有限

### 发展方向

更具经济性

提升能量密度

高压大电流适配

短路过热保护

增加循环次数

### 新材料示例

钠离子电池、复合集流体...

高镍三元材料、硅基负极、补锂剂...

硅基负极、磷酸锰铁锂、单晶三元材料...

复合铜箔、粘结剂...

导电炭黑、碳纳米管...

# 锂电新材料的发展前景需要考虑商业化节点

## 随着下游应用面不断开拓，市场也不断对锂电池提出新的要求。

- 随着锂电在新能源汽车动力电池、风光储能电池方面的应用不断加深，多元化的应用场景也对锂电池的性能提出更高、更多元的需求。
- 主要体现在锂电池的能量密度、安全性能、使用寿命/循环次数、高压快充匹配、材料经济性等方面。

图：新材料投资发展前景评估模型



## 近年来锂电行业涌现了众多新型材料，从多角度尝试破局现存桎梏。

- 通过全面梳理锂电池各部分生产制备过程中用到的各种材料和辅材，挖掘未来锂电池产业链中的潜力新型材料。
- 若想取代已经成熟量产的主流材料，需要至少在能量密度、高压工作、稳定性、经济性等方面有一项有突出优势，方有取代潜力。

图表：锂电池新材料性能要匹配市场需求痛点（部分）

新材料	材料相对优势	能量密度改良	高压工作环境	稳定性改良	经济性改良	应用场景
正极材料	磷酸锰铁锂LMFP	比三元更好的热稳定性、化学稳定性和经济性，且能量密度高于磷酸铁锂；高度复用磷酸铁锂产线	★	★		车用动力电池、两轮电动车、储能
	超高镍三元9系	活性物质镍的含量更高，提升能量密度，同时通过低钴控制成本；瓦时成本正不断走低；对制备工艺有要求，形成技术壁垒	★	★		用于一线品牌高端汽车电池
	单晶中镍NCM6系	毛利与能量密度基本追平8系，加工难度稍弱于高镍三元，优异的高电压循环稳定性和安全性能	★	★		汽车电池、3C、储能
负极材料	钠离子电池	大幅降低原材料成本，适用于储能及其他低端场景			★	储能、消费电子
	硅碳负极材料	容量超高，充放电倍率更高，工作电压更高，适配快充技术	★	★		高端汽车动力电池
隔膜材料	湿法涂覆隔膜	★		★		
其他材料	碳纳米粉	提升硅基负极材料的稳定性、导电性	★	★		硅基负极制作
	复合集流体	相比铜箔成本降低40%，安全性高		★	★	负极集流体材料

# 正极新材料：高镍三元的优势

## 三元继续高镍化趋势，9系超高镍或在2024年落地。

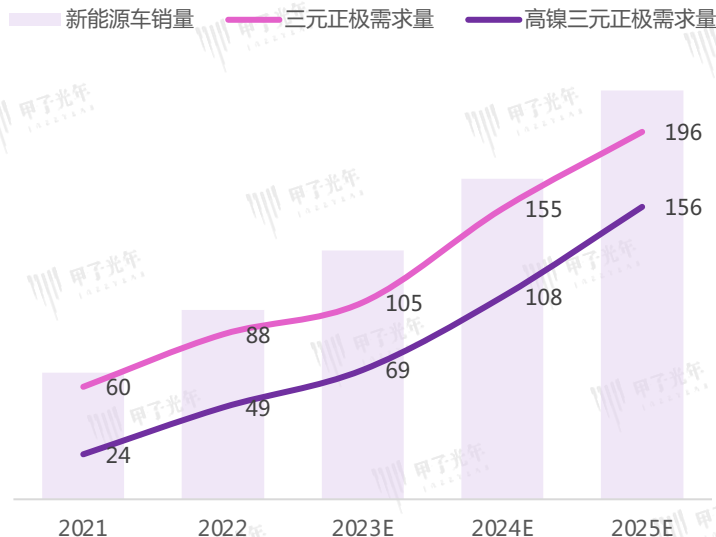
- 高镍三元正极材料具有更高的能量密度与较低的综合成本，是高端新能源汽车的理想选择。随着特斯拉4680电池和宁德时代麒麟电池量产，高镍三元电池批量上车，进入快速发展期。
- 在富锂锰基、半固态电池材料规模商业化之前，三元正极材料的高镍化趋势有强确定性，未来9系超高镍将进一步提升高端动力电池性能。

图：高镍化发展，追求更高的能量密度

三元材料	NCM333	NCM523	NCM622	NCM811
能量密度	150Wh/kg	165Wh/kg	180Wh/kg	>200Wh/kg
安全性	良好	较好	较好	达标
瓦时成本	高	低	中	低
优点	倍率性能好 安全性好	综合性能好 工艺成熟	容量相对较高	容量高、 循环性能较好
缺点	能量密度低 成本较高	能量密度低	成本较高	工艺复杂 加工难度大
电池产品	安全性较好，但 容量较低且成本 较高，目前用量 较少	性能、成本、量 产性上有较好平 衡，广泛用于数 码和车用电池	能量密度较高但 成本较高，应用 于高端车用电池	具有最高的能量密 度、较低的综合成 本，对电池企业的 生产技术和设备要 求较高，用于高端 车用电池

追求更高的能量密度：从中低镍（5系以下）到高镍（8系），再到未来的超高镍（9系）

图：高镍三元需求量持续升高

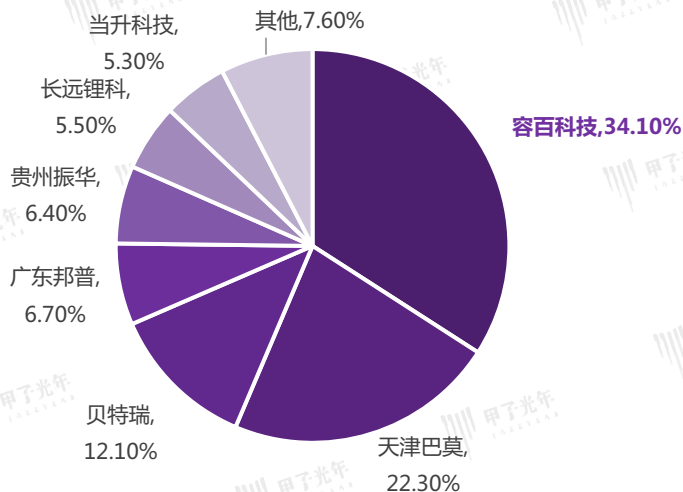


# 正极新材料：高镍三元的市场格局

## 9系三元是当前8系的迭代演进，主要企业均在部署超高镍研发。

- 目前NCM811已经进入规模量产并批量上车的时间点，而厂商也在延续着高镍化路线，向超高镍（Ni90及以上）的三元产品演化。
- 高镍三元的生产制备对三元正极产线提出更高要求，技术壁垒较高，高镍三元正极的头部企业有先发优势。

图1：国内高镍三元市场格局（2021）



超高镍三元的研发进度（不完全统计）

三元正极企业	研发与生产进度
容百科技	Ni90体系进入批量生产，超高镍工艺定性并通过部分客户验证
当升科技	Ni90实现海外出口，Ni95完成部分客户验证，继续开展Ni98研发
巴莫科技	NCM9系和NCMA进入批量生产

前驱体企业	研发与生产进度
格林美	Ni90及以上的高镍产品销售占比提升



# 正极新材料：富锂锰基

## 三元材料之后，或是层状结构正极的下一代选择，但目前尚无商业化基础。

- 新能源汽车等下游应用对锂电池的容量密度提出了更高要求，高比容量和更高电压的正极材料正在成为正极的发展方向；
- 富锂锰基材料以廉价的锰为主要过渡金属元素，放电比容量可以达到250mAh/g以上，如果能够现存问题，将能够替代三元正极材料与部分铁锂正极，进而被广泛应用在新能源汽车与3C电子领域，潜力巨大。

图表：富锂锰基正极材料的性能优势

评价指标	富锂锰基正极	三元正极	磷酸铁锂
克容量	250mAh/g以上	150-220	160左右
工作电压	3.7-4.6	3.7	3.2
循环寿命	1000-6000	1000-3000	3000以上
优点	比容量高，高压平台，成本低廉	能量密度较高，高压平台	寿命长，成本低，安全性好
缺点	倍率性能差，循环过程中的电压衰减明显，首次不可逆容量损失大	循环性能一般，成本高	能量密度略低，低温性能不好

图：头部对富锂锰基的布局

### 一体化布局企业

宁德时代

蜂巢能源

国轩高科

### 正极材料企业

当升科技

天津巴莫

长远锂科

- 富锂材料还处于研发的初期，很多产业问题并没有解决，商业化节点仍远
- 除了CATL等头部锂电池生产销售企业之外，碳酸锂、三元等正极材料企业也进行了一些专利储备

# 负极新材料-硅碳负极

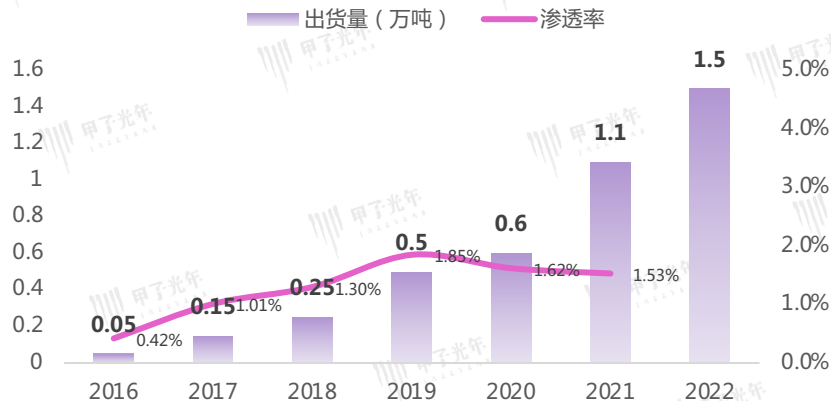
## 硅基材料的掺杂可以大幅提升电池负极的锂离子嵌入潜力，有效提升电池容量。

- ❑ 特斯拉4680电池的量产开始带动硅基负极材料的需求量激增，2022年出货量已经达到1.5万吨。
- ❑ 硅基材料的应用，在能量密度外，主要还是针对石墨负极在快充场景产生的锂枝晶问题：高压大电流充电过程中容易发生锂沉积、析出，形成锂枝晶，可能会刺穿隔膜，危害电池安全。

图表：硅基vs石墨负极性能对比

类型	硅基负极	石墨负极
理论容量	4000mAh/g	310-360mAh/g
倍率性	较好	一般
成本	较高	较低
膨胀率	300%以上	12-25%
安全性	良好	一般
快充	良好	一般
优点	能量密度高	膨胀可控，循环性能好
缺点	材料会膨胀，首次效率较低，循环性能不佳	能量密度低，加工性能不好

图：硅基负极材料出货量快速增长，渗透率待提升



### 负极材料龙头布局

贝特瑞

杉杉股份

璞泰来

星城石墨

正拓能源

- 国内的硅基负极龙头
- 已进入松下-特斯拉供应链

# 隔膜新材料-涂覆改性膜

## 基膜+涂覆一体化的企业更能迎合产业对高性能薄膜的需求。

- 固态电池是未来锂电的发展方向，但它的商业化节点预计将在10年之后。在此之前，产业对隔膜的需求将维持高位。
- 隔膜行业的竞争壁垒高，强调前期的重资产投入与客户资源，对应的产品毛利率也比较高，恩捷的隔膜毛利可达50%。
- 头部基膜企业已经纷纷布局涂覆工艺，涂覆一体化的战略布局将为这些企业打造第二增长曲线，在基膜的基础之上，继续消化涂覆的高利润，以继续保持隔膜厂在锂电产业链中的高议价能力。

### 隔膜涂覆的重要性日益显现

涂覆改性，满足电池厂对隔膜的多种性能需求：

降低热收缩率

提升抗穿刺强度

提升导电性

颗粒

无机材料

勃姆石、氧化铝

有机材料

芳纶、PVDF

溶剂

水性

乙醇、丙三醇

油性

丙酮、NMP

壹口通

TEIJIN

WANHUA

住友化学

### 涂覆改性薄膜厂商的不同模式

#### 浆料+涂覆一体化

壹石通

• 勃姆石龙头企业

#### 涂覆代工企业

璞泰来

• 同时部署石墨负极材料

#### 基膜+涂覆一体化

- 当前隔膜基膜的主要生产商，离客户需求最近
- 保持隔膜厂商的议价能力

恩捷股份

星源材质

沧州明珠

美联新材

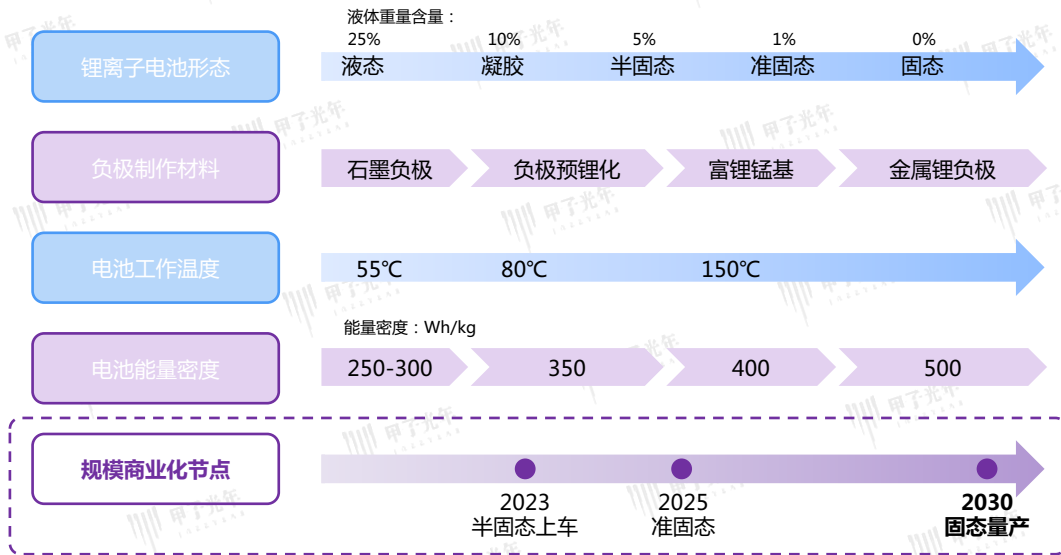
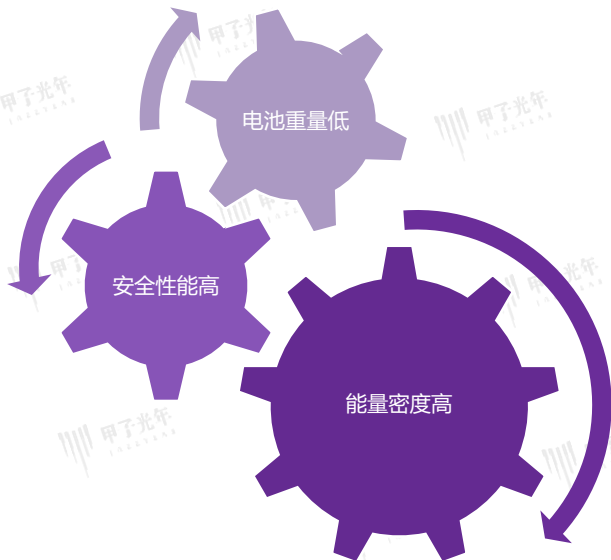
基膜涂覆的毛利水平：≈45%

# 固态&半固态电池：未来趋势所向

## 固态电池优势明显，但技术瓶颈有待突破，商业化阶段尚未到来。

- 相较传统液态锂离子电池，固态电池的理论能量密度更高（高能密度的正负极材料），安全性能更高（机械强度更好，热稳定性更强），电池重量和体积降低（不再需要电解液和隔膜）；
- 理想很丰满，但固态电池技术尚未成熟，界面阻抗与锂离子迁移率问题尚需解决，距离量产商业化仍有较长的距离，未来大概率沿“液态-半固态-固态”的路线循序渐进。

图：固态电池量产路阻且长，半固态是中间过渡阶段



# 目录

## CONTENTS



### Part 01 新能源与新材料

P02

### Part 02 HJT电池新材料发展趋势

P06

### Part 03 钙钛矿电池新材料发展趋势

P17

### Part 04 锂离子电池新材料发展趋势

P28

### Part 05 氢燃料电池新材料发展趋势

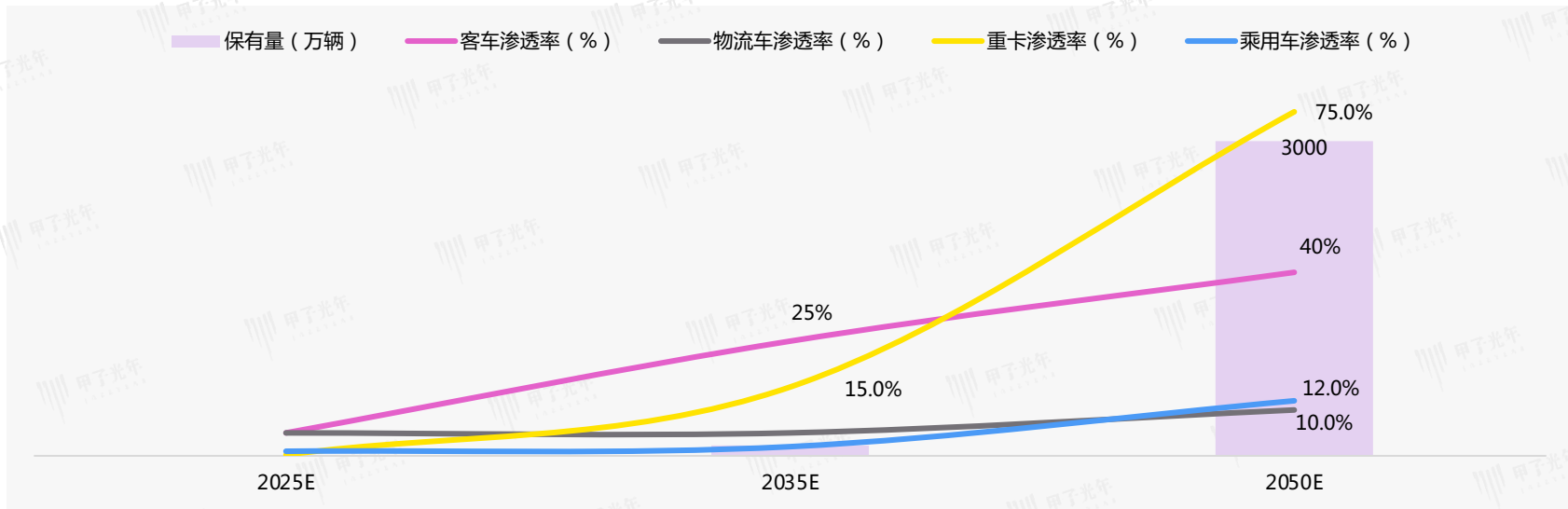
P41

# 氢燃料电池的市场需求

## 客车和重卡为代表的交通运输领域是氢燃料电池的重点应用场景。

- 随着双碳目标的确定，氢能产业在实现碳中和路径中发挥至关重要的作用。
- 按照《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》规划，到2025年氢燃料电池车辆保有量约10万辆，到2035年突破100万辆。
- 氢燃料电池汽车领域将率先实现产业化应用与运行，氢燃料电池客车、物流车、重卡等细分赛道，有望于2030年左右实现与纯电动车型相当的全生命周期经济性。

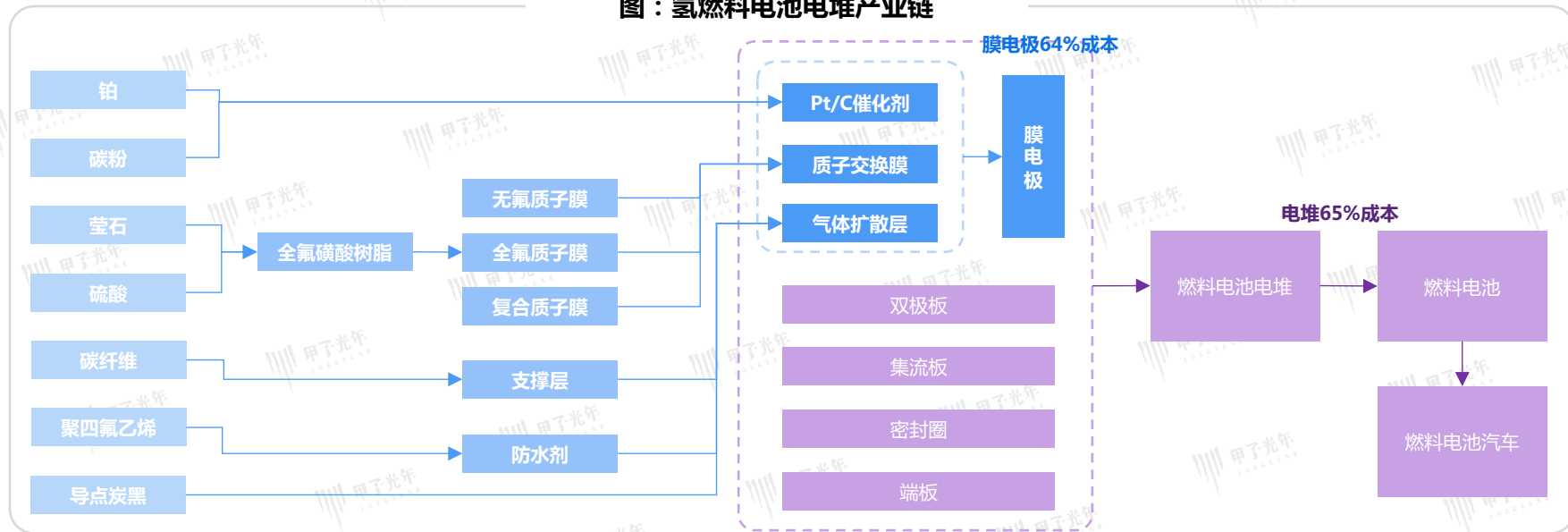
氢燃料电池汽车保有量（万辆）及各细分赛道渗透率



## 氢燃料电池是中国能源结构转型的重点，燃料电池汽车是重要的下游基础。

- ❑ 电堆是燃料电池的核心组成部分，成本占燃料电池整体的65%；膜电极则是电堆的最关键部件，成本占电堆成本的64%。
- ❑ 膜电极不仅是氢燃料电池降本增效的核心部件，也是当前材料科技含量最高的环节，是氢燃料电池当之无愧的“心脏”。
- ❑ 催化剂、质子交换膜主要来源于进口，国产化程度很低，是未来氢燃料电池国产替代的主要环节。

图：氢燃料电池电堆产业链





# 氢燃料电池内部构造与成本

## 膜电极是氢燃料电池的核心部件，膜电极的材料发展与国产化值得关注。

- 氢燃料电池能够将氢气和氧气的化学能直接转换成电能，是电解水的逆反应。基本原理是把氢和氧分别供到氢燃料电池的阳极和阴极，氢通过阳极向外扩散和电解质发生反应后，放出电子，再通过外部的负载到达阴极。
- 电堆是氢燃料电池的核心，成本占比65%；膜电极则是电堆的核心，成本占比64%。因此，膜电极相关的材料发展将很大程度上决定氢燃料电池的产业化进度。

图1：氢燃料电池的内部构造

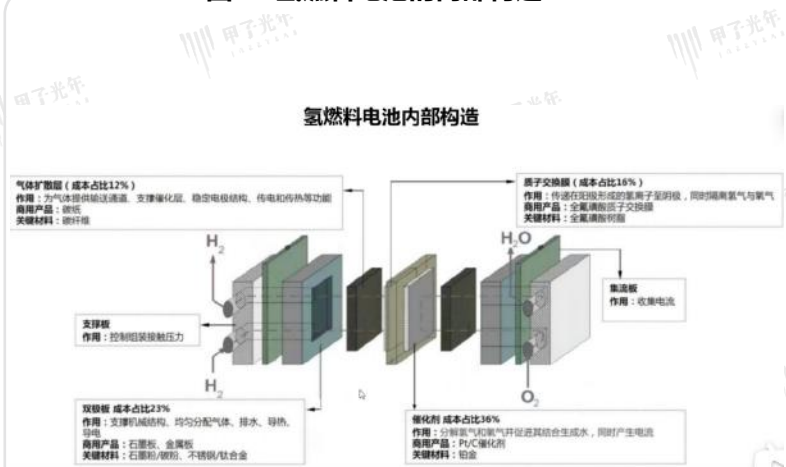
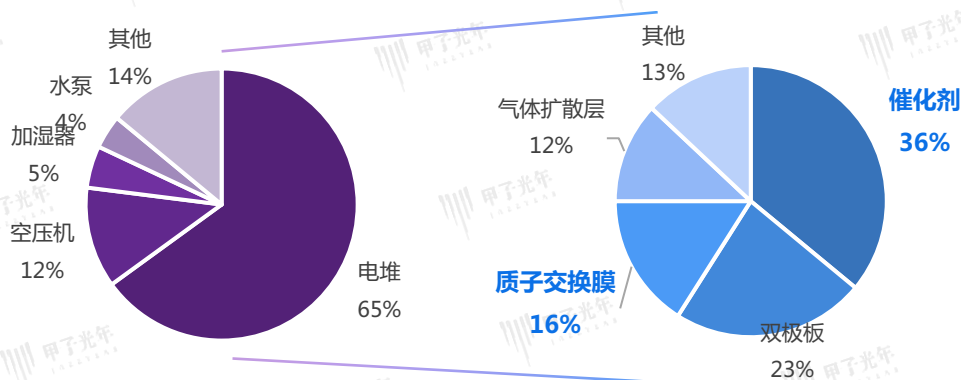


图2：氢燃料电池与电堆成本拆分

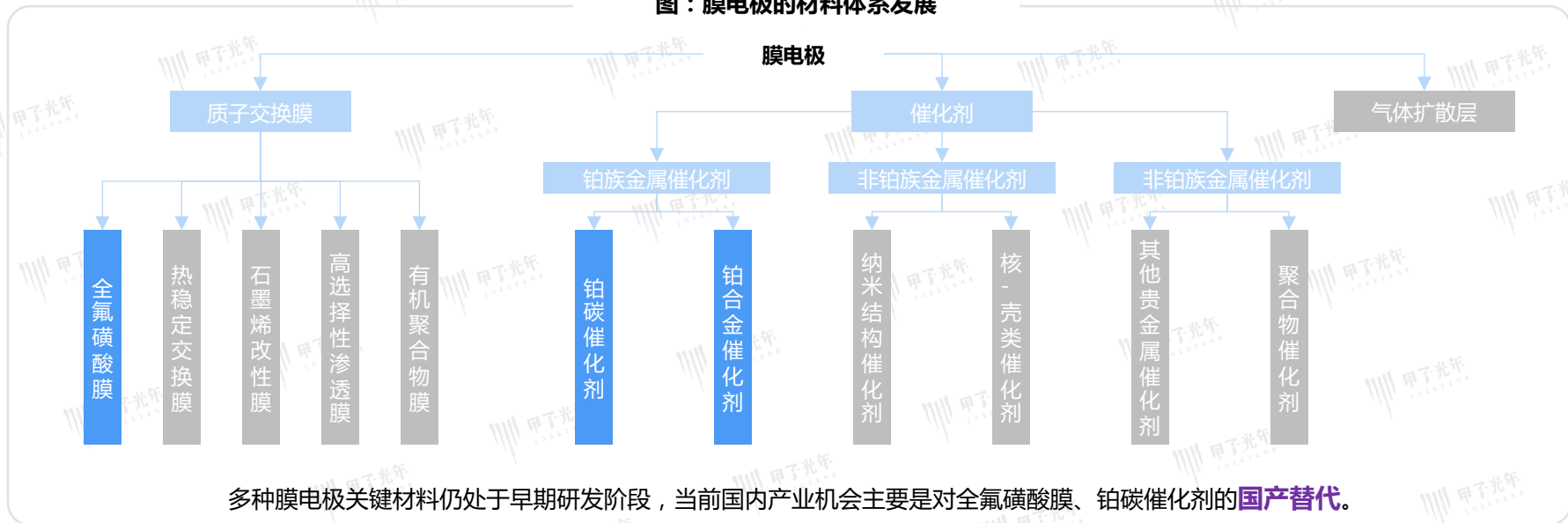
- 氢燃料电池的生产成本主要集中于电堆，占比高达65%；
- 电堆成本中，膜电极（催化剂、质子交换膜、气体扩散层）为主要成本项，占比64%。



## 国产替代是国内质子交换膜和催化剂的主要机遇。

- ❑ 质子交换膜：以全氟磺酸型膜为主，其他的复合膜、高选择性膜、石墨烯改性膜、碱性膜还处在研发阶段。
- ❑ 催化剂：催化剂以铂基为主，目前主流的催化层是铂碳催化剂，即将铂负载到活性炭上的一种载体催化剂。但由于铂是贵金属，资源稀缺，成本高昂，因此处于降本的考虑，发展低铂催化剂、无铂非贵金属催化剂被认为是膜电极企业未来的重点攻关方向。

图：膜电极的材料体系发展

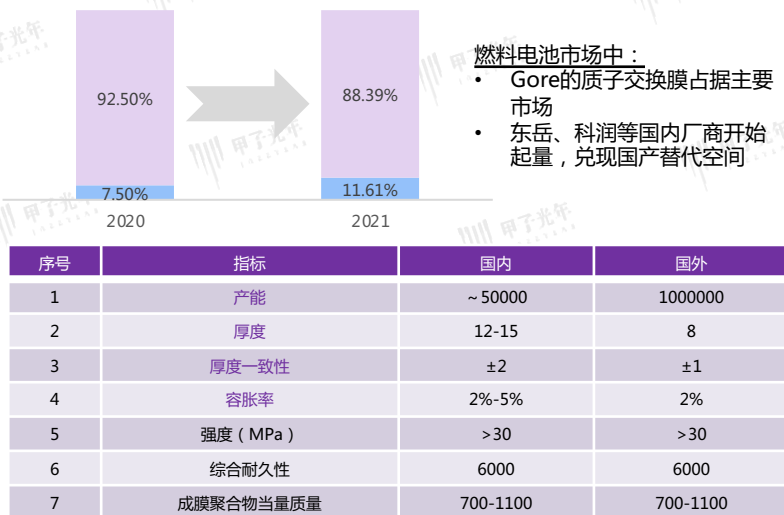


# 材料选择1：质子交换膜-瞄准国产替代

## 质子交换膜的重点机会在于全氟磺酸质子交换膜的国产替代。

- 得益于在热稳定性、化学稳定性、较高的力学强度方面的相对优势，全氟磺酸膜将在未来5-10年继续保持产业主导地位。
- 目前国内可自主生产全氟磺酸质子交换膜的企业极少，市场长期由美国Gore公司占主导，国产替代率仅10%左右，主要原因是国产膜在厚度、厚度一致性、容胀率等方面与国外产品仍有差距。
- 质子交换膜的生产成本主要在技术工艺上，设备工艺成本占比高达85%，所以**全氟磺酸质子膜的减薄工艺**和**复合膜生产工艺**的突破重点发展方向。

图：国内外质子交换膜市场占比与性能对比



图：国产替代过程中的突破点

### 更薄的质子交换膜

燃料电池多用复合膜，在两层全氟磺酸膜之间夹一层以提升机械性能；  
Gore已量产8μm，而国内仅可小批量生产15μm，制备工艺差距明显。

### 寻求下游验证测试

过往多使用进口产品，替换国产产品需要进行整个**材料体系调整**，催化剂和扩散层都需要变更，这需要下游膜电极厂家配合

### 生产规模快速增长

在获得足够的匹配验证数据后，下游膜电极和电堆厂商方有可能更换供应商

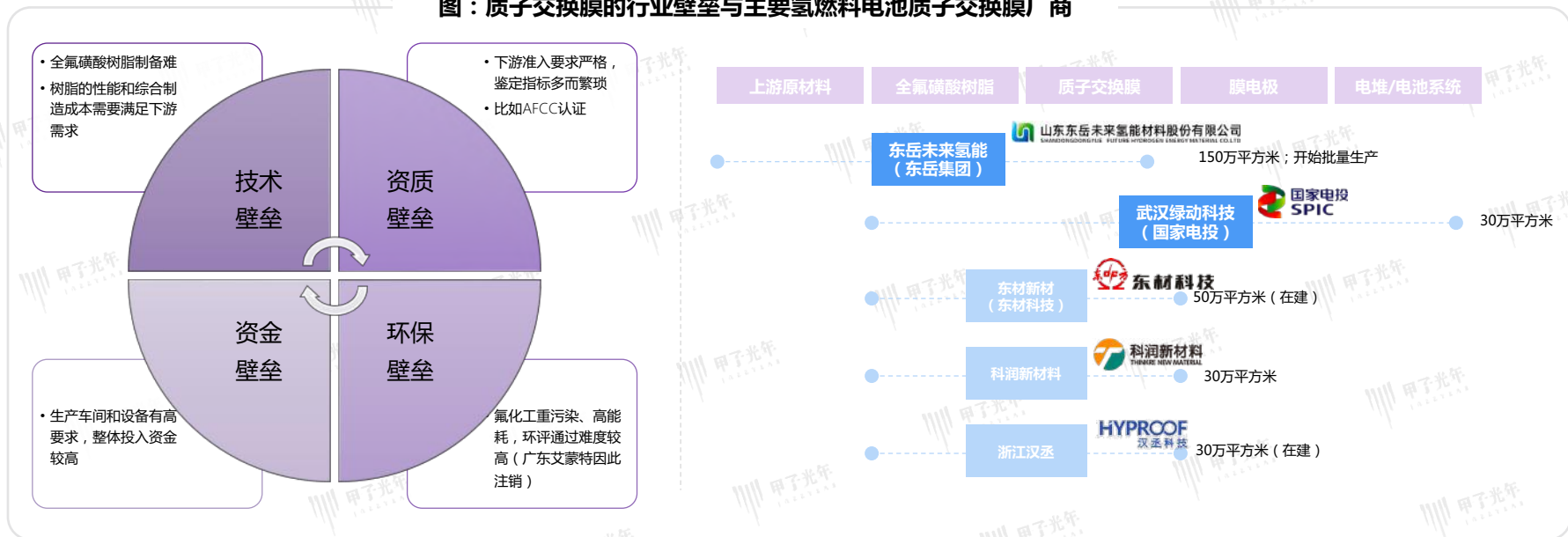
- 单纯从市场角度看，目前没有替代进口产品的实际需求，需要政策推动
- 第一批量产装车达成后，增长速度会快很多

# 材料选择1：质子交换膜

## 国产质子交换膜尚处于起步阶段，相关企业需要具备全氟磺酸树脂制备技术。

- ❑ 技术、资质、环保和资金构筑了较高的行业壁垒，新玩家入场比较难，多数国内玩家需要运用在化工、氢能产业链中的资源来发展壮大。
- ❑ 东岳未来氢能背靠东岳集团强大的氟化工能力打造技术壁垒，而武汉绿动科技则通过国家电投的强大影响力高效打通下游，已经在北京冬奥会200辆氢能大巴上得到应用。

图：质子交换膜的行业壁垒与主要氢燃料电池质子交换膜厂商

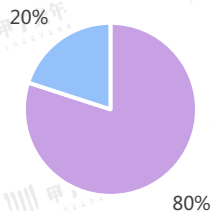


## 材料选择2：催化剂-国产替代的机遇

### 燃料电池催化剂的铂载量决定国产催化剂的商业化进度。

- ❑ 催化剂是影响氢燃料电池活化极化的主要因素，也是整个电堆成本中占比最高的核心材料，降低铂族金属的载量，提高铂金属的利用效率，是当前催化剂材料发展的主要方向。
- ❑ 当前国产催化剂和进口催化剂在性能上仍有较大差距，铂族金属的载量更高，导致成本高企，市场竞争力不强。
- ❑ 通过新材料与制备工艺的提升，在保证材料性能的前提下压缩生产制备成本，在增量市场中兑现国产替代的机遇。

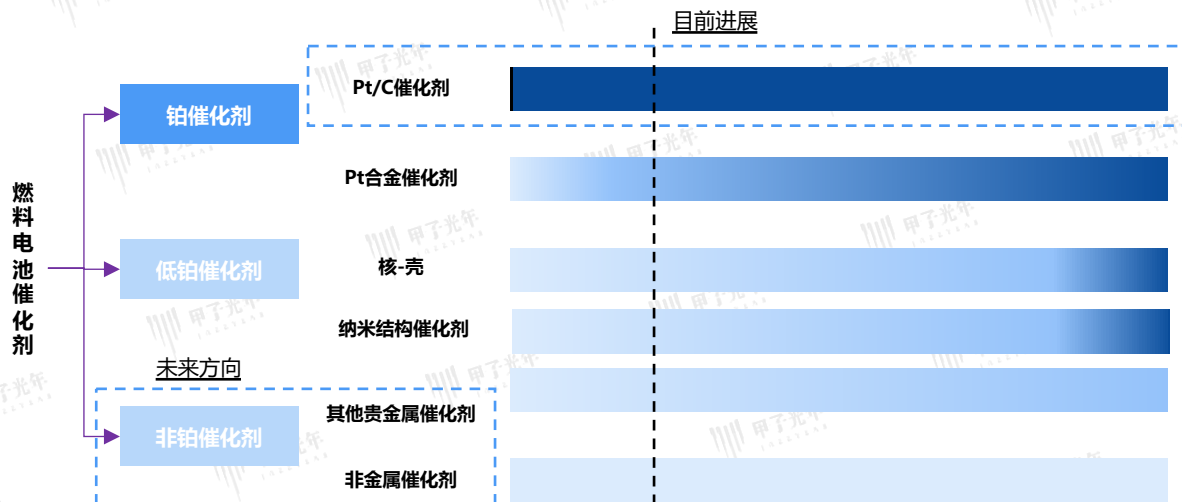
图1：量产燃料电池催化剂国内外对比



- 国外：TKK、JM、Umicore
- 国内：氢电中科、济平新能源、中科创

性能指标	国外	国内
铂金属载量 (g/kW)	0.06	0.3
铂金属载量 (0.35mg/cm <sup>2</sup> )	0.35	0.16
衰减情况	3万次5%以内	3000次86%

图2：铂碳催化剂是目前批量出货主流



## 材料选择2：催化剂-国产替代降本

### 国产氢燃料电池催化剂开始进入验证、小批量出货阶段。

- 对于多数贵金属催化剂厂商而言，氢燃料电池催化剂均为新近发展的产品业务，于近两年刚刚起步，多处于研发验证测试与小批量出货装车阶段。
- 从商业模式上看，多数企业专注铂族贵金属催化剂的生产研发，不仅用于质子交换膜燃料电池，部分大型企业进行由贵金属开采到催化剂生产的一体化布局。

图：国内主要铂碳催化剂生产厂商（部分）



# THANKS

# 谢谢

北京甲子光年科技服务有限公司是一家科技智库，包含智库、媒体、社群、企业服务版块，立足于中国科技创新前沿阵地，动态跟踪头部科技企业发展和传统产业技术升级案例，致力于推动人工智能、大数据、物联网、云计算、AR/VR交互技术、信息安全、金融科技、大健康等科技创新在产业之中的应用与落地



关注甲子光年公众号



扫码联系商务合作

分析师

翟惠宇微信  
zhaihy1203

智库院长

宋涛微信  
stgg\_6406