

风物长宜放眼量，降本增效尤可期



HJT的电池效率相对更高，更有可能成为未来主流

- **效率上限决定未来主流晶硅电池路线选择：**通过复盘PERC电池替代BSF电池，以及TOPCon电池开始替代PERC电池，可以看到晶硅电池的发展一直在朝着更高转换效率的方向去演进，我们认为高效率晶硅电池的高量产成本有望随着相关技术和工艺进步而得到解决，未来更有可能成为主流电池路线选择的还是具备更高转换效率上限的晶硅电池；
- **理论效率方面，HJT电池大于双面POLY的TOPCon电池：**晶硅电池的转换效率可分为理论效率、实验室效率和量产效率，从理论效率来看，PERC的理论效率上限为24.5%，TOPCon电池在可实现双面POLY的情况下则可达到28.7%的理论效率，若是单面POLY则为27.1%，HJT的理论效率上限为29.2%，比双面POLY的TOPCon电池理论效率略高，同时考虑到TOPCon电池实现双面POLY的难度较大，HJT与单面POLY的TOPCon电池相比在理论效率上具有比较优势；
- **实验室效率方面，HJT电池与TOPCon电池接近：**2022年9月迈为和sundrive联合开发的M6尺寸无种子层电镀HJT电池转换效率达到26.41%，2022年11月隆基自主研发的HJT电池转换效率达到26.81%；2023年10月晶科能源研发的182 TOPCon电池转换效率达到26.89%，实验室效率来看HJT电池与TOPCon电池接近。

表：三种类型电池效率对比

	平均量产效率（2023）	实验室效率	理论效率上限
PERC	23.3%	24.5%（天合）	24.5%
TOPCon	25.4%	26.89%（晶科）	28.7%（双面POLY）/ 27.1%（单面POLY）
HJT	25.4%	26.81%（隆基）；26.41%（迈为&sundrive）	29.2%

24年HJT行业扩产预计80GW，核心逻辑在于与topcon成本回收周期拉平+差异化产品属性

□ 24年HJT行业扩产量预计在80GW，行业将继续加大扩产规模；

- 复盘22年H2和23年topcon扩产逻辑，核心非单W成本打平perc，而是初始投资回收周期上的优势，展望24年，HJT与topcon的回本周期有望拉平；
- 2024年HJT的回本周期有望拉平TOPCon：topcon在22年下半年开始初步扩产，23年开始正式加速扩产，但截至目前topcon的单W成本依旧未打平perc，同样HJT单W成本是否打平topcon或perc并非影响行业扩产选择的关键因素。我们认为，这轮topcon扩产的核心逻辑在于相比perc有单W盈利上的优势（销售溢价大于成本增加），潜在回本周期更短。根据pv infolink数据，HJT组件相比topcon组件单W溢价保持在0.1-0.2元/W，HJT与topcon的单W成本差距23年底有望降低至0.04-0.05元，展望24年底有望降低至0.02-0.04元，2024年HJT与topcon的回本周期有望拉平甚至更短，且之后单W盈利可能更高。
- 2024年HJT可能具有差异化产品属性：2024年topcon可能偏标准化产品，单W盈利预计有所下行，HJT组件功率更高且市场供给有限，属于差异化产品，对于各家已提前有技术储备的电池组件企业而言，布局差异化产品可能为更好的选择。

表：展望23年底，HJT与topcon相比回本周期依旧更久

含税价格	单位	PERC	TOPCon	HJT（纯银）	HJT（银包铜）
硅片成本	元/W	0.37	0.35	0.33	0.33
浆料成本	元/W	0.05	0.06	0.08	0.07
靶材成本	元/W	-	-	0.026	0.026
设备折旧	元/W	0.013	0.017	0.032	0.032
人工成本	元/W	0.01	0.01	0.01	0.01
电力成本	元/W	0.021	0.022	0.019	0.019
其他成本+期间费用	元/W	0.05	0.05	0.07	0.07
非硅成本合计	元/W	0.14	0.16	0.24	0.23
电池片成本	元/W	0.51	0.52	0.57	0.56
电池片良率		99.0%	98.0%	98.0%	98.0%
电池片全成本	元/W	0.51	0.53	0.58	0.57
HJT与topcon成本差距	元/W			0.05	0.04
HJT与topcon单W销售差价				0.13	0.13
HJT单W盈利（元）				0.17	0.18
HJT初始投资（亿元）				3.70	3.70
HJT回本周期（年）				2.20	2.05
topcon初始投资（亿元）			1.70		
topcon单W盈利（元）			0.09		
topcon回本周期（年）			1.89		

表：展望24年底，HJT与topcon相比回本周期可拉平，且单W盈利可能会更高

含税价格	单位	PERC	TOPCon	HJT（银包铜）	HJT（铜电镀）
硅片成本	元/W	0.37	0.35	0.32	0.32
浆料成本	元/W	0.04	0.05	0.05	0.07
靶材成本	元/W	-	-	0.017	0.017
设备折旧	元/W	0.013	0.016	0.03	0.04
人工成本	元/W	0.01	0.01	0.01	0.01
电力成本	元/W	0.021	0.022	0.019	0.019
其他成本+期间费用	元/W	0.05	0.05	0.06	0.06
非硅成本合计	元/W	0.14	0.15	0.19	0.22
电池片成本	元/W	0.50	0.49	0.51	0.54
电池片良率		99.0%	98.0%	98.0%	98.0%
电池片全成本	元/W	0.51	0.50	0.52	0.55
HJT与topcon成本差距	元/W			0.02	0.04
HJT与topcon单W销售差价				0.10	0.13
HJT单W盈利（元）				0.13	0.14
HJT初始投资（亿元）				3.20	4.00
HJT回本周期（年）				2.45	2.86
topcon初始投资（亿元）			1.50		
topcon单W盈利（元）			0.05		
topcon回本周期（年）			3.00		

硅料：硅料价格下降至7万元/吨时，HJT单W硅片成本预计相比TOPCon节约0.02元

2023年需关注硅料价格下降对于HJT与TOPCon动态成本比较上的影响，经我们测算，当硅料价格由25万元/吨下降至10万元/吨和7万元/吨时，HJT相比TOPCon在单W硅片成本上会分别节约0.03元/W和0.02元/W。

- 假设按硅料25万元/吨、硅片厚度TOPCon140 μ m、HJT130 μ m，HJT单W硅片成本相比TOPCon节约0.06元；
- 假设按硅料15万元/吨、TOPCon硅片130 μ m、HJT硅片120 μ m，HJT单W硅片成本相比TOPCon节约0.04元；
- 假设按硅料价格10万元/吨、TOPCon硅片130 μ m、HJT硅片110 μ m，HJT单W硅片成本相比TOPCon同样会节约0.03元；
- 假设按硅料价格7万元/吨、TOPCon硅片130 μ m、HJT硅片110 μ m，HJT单W硅片成本相比TOPCon同样会节约0.02元。

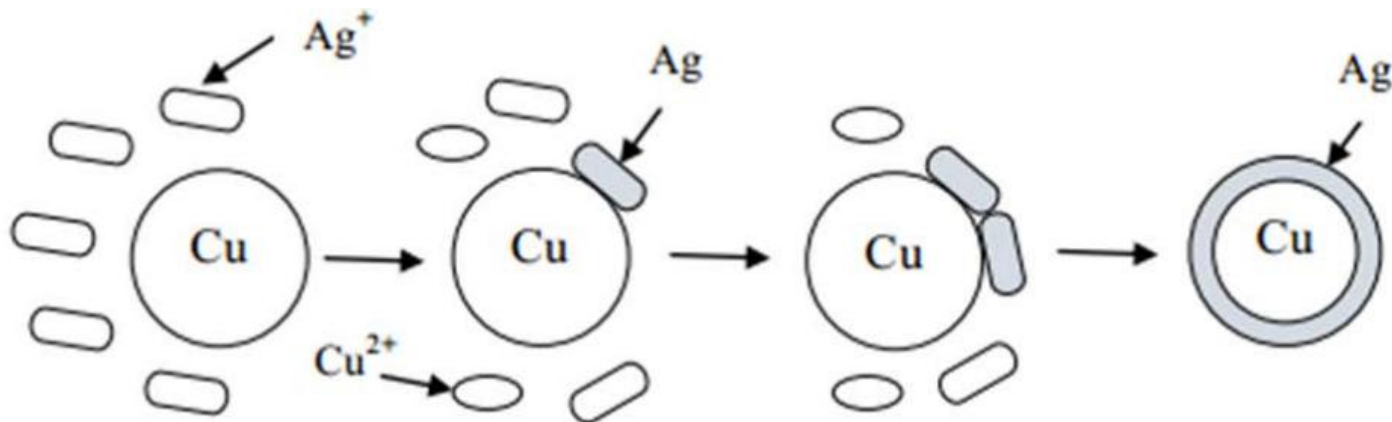
表：不同硅料价格下HJT、TOPCon单W硅片成本测算

硅料价格 (万元/吨)	7		10		15		20		25	
	TOPCon	HJT	TOPCon	HJT	TOPCon	HJT	TOPCon	HJT	TOPCon	HJT
硅片尺寸	182	210	182	210	182	210	182	210	182	210
电池片效率	24.7%	25.2%	25.5%	26.0%	25.0%	25.5%	24.8%	25.3%	24.5%	25.0%
单片电池片功率	8.17	11.11	8.44	11.47	8.27	11.25	8.20	11.16	8.10	11.03
硅片厚度	130	110	130	110	130	120	140	130	140	130
硅片价格	2.90	3.69	5.49	7.10	5.94	7.68	6.52	8.35	7.00	8.89
单W硅片成本	0.35	0.33	0.65	0.62	0.72	0.68	0.79	0.75	0.86	0.81
HJT-TOPCon单W节约		-0.02		-0.03		-0.04		-0.05		-0.06

金属化：50%银含量的银包铜浆料已经出货，激光转印可进一步降低浆料耗量

- **银包铜**：银包铜技术通过化学镀的方式，在超细铜粉表面形成不同厚度的银镀层，调节浆料的银、铜比例提高抗氧化能力，来实现低价金属代替高价金属的降本目标。目前，苏州晶银已经出货50%银含量的浆料产品应用于背面细栅；
- **激光转印**：激光转印技术是通过在柔性透光材料的凹槽上填充浆料，再用激光高速图形化扫描，将浆料从柔性透光材料上转移至硅片表面形成栅线。由于采用非接触印刷模式，激光转印可降低隐裂、碎片、污染、划伤等风险，适用于薄片化、柔性异质结电池。同时，相比传统丝网印刷，激光转印技术可大幅降低HJT栅线线宽，实现银浆消耗量减少，帝尔激光转印设备在HJT上可节约30%-40%浆料并带来电池效率0.3%以上的提升。

图：化学置换制备银包铜颗粒原理图



铜电镀：对于HJT的主要意义在于提效，远期量产成本预计与银包铜相当

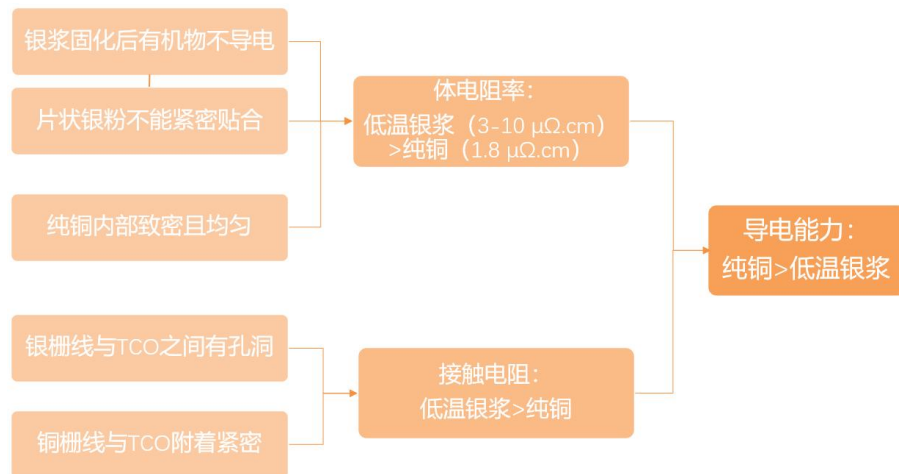
□ **铜电镀的基本原理：**铜电镀是一种非接触式的电极金属化技术，在基本金属表面通过电解方法沉积金属铜制作铜栅线，用于收集光伏效应产生的载流子。

□ **铜电镀对于HJT的意义：提效 > 降本**

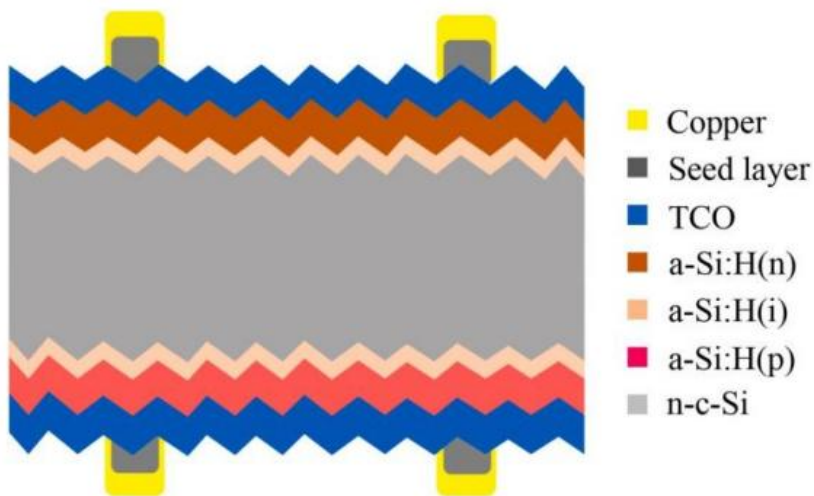
➢ **优势1：铜电镀效率更高：**铜栅线相比银栅线形貌更好，体电阻率更低，导电性更强，同时，铜栅线与TCO薄膜之间附着更为紧密，接触电阻相比低温银浆更小，综合来看可提高电池转换效率；

➢ **优势2：铜电镀金属化成本可与银包铜相当：**我们预计远期银包铜+0BB的金属化成本可降至0.06元/W，铜电镀成熟后预计量产成本也约0.06元/W，但铜电镀可提效0.2%–0.3%，银包铜可能会降效；

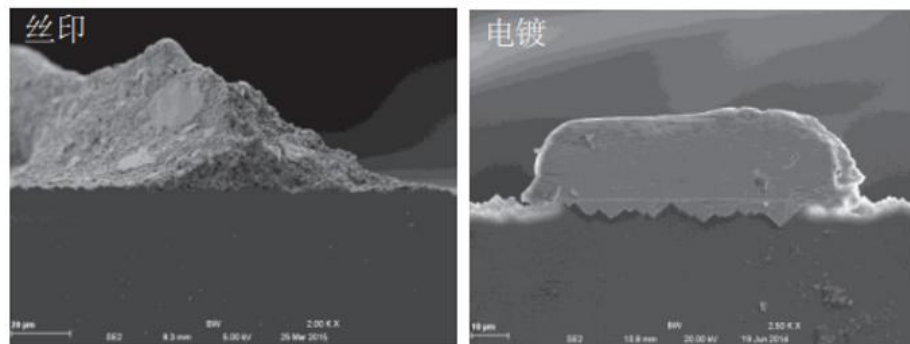
图：纯铜的导电能力好于低温银浆



图：采用铜栅线的异质结电池结构



图：电镀电极相比丝印电极的形貌更好



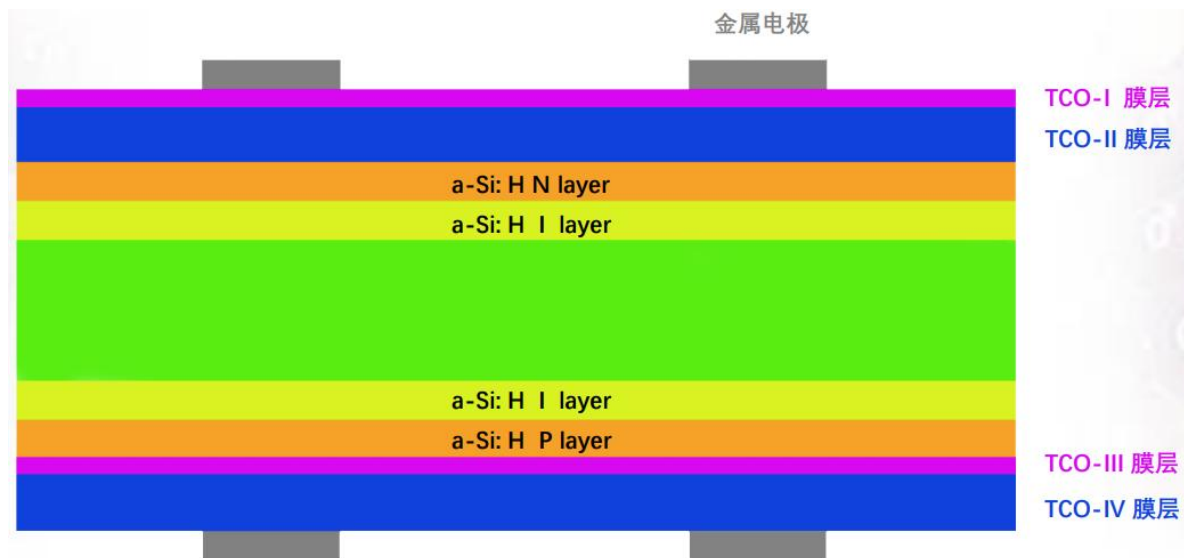
a. 丝印电极截面图

c. 电镀电极截面图

无铟化：TCO膜层各项要求较高，可通过复合膜层等方式实现降本

- HJT电池中的TCO膜层需同时满足多项要求，未来有望通过设备改进或复合膜层的设计来降低靶材成本。HJT电池中的TCO膜层需同时满足透明性好、电导率高、与其接触的硅薄膜的功函数相匹配、靶材料成本要足够低、镀成的薄膜较为稳定等要求。功函数匹配方面，由于HJT在HJT电池中TCO膜层与N型或P型非晶硅膜层接触，属于半导体与半导体接触，TCO膜与金属电极接触，属于半导体和金属接触；这两种界面之间，当材料间功函数不匹配时会产生大的接触电阻。
- HJT电池中较高的靶材成本可通过复合膜的方式来降低：靶材主要由稀有元素铟构成，2023年2月23日铟价为230美元/公斤，未来可能通过复合膜层等方式来减少铟的用量。
- 钢网和非铟 TCO 靶材可以互相配合：理论上，非铟 TCO 靶材因为导电性略差会对效率有一定影响。采用钢网一方面可以让使用非铟的 TCO 靶材的效率基本没有下降，还可以提升 0.2% 的电池效率，另一方面，浆料用量方面也有一定下降。

图：应用TCO复合膜层的HJT电池结构示意图



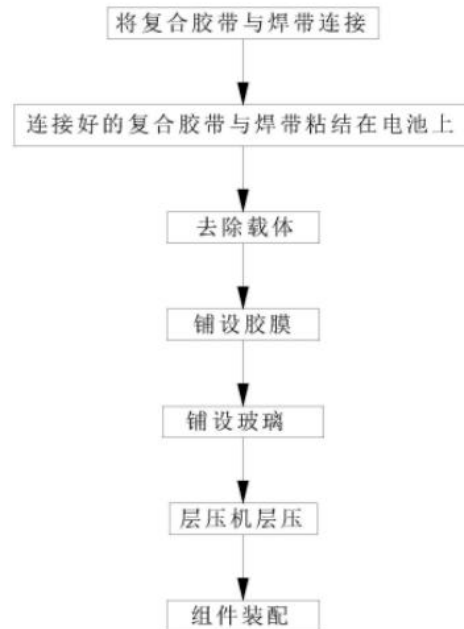
OBB：对于HJT可同时带来降本+提效，东方日升OBB专利布局较多

- OBB可同时完成提效降本，专利方面东方日升布局较多：OBB只网印细栅，利用内嵌铜线的聚合物薄膜代替主栅，并优化了细栅的宽度和间距，减少了电池遮光面积和电阻损失，带来电池效率的提升和浆料耗量的节省。OBB专利方面，国内东方日升申请了较多与无主栅太阳能电池串连接方法、组件制备方法相关的专利。
- TOPCon也可以应用OBB，但由于HJT电池的浆料耗量更多，且HJT可以使用银包铜，整体来看OBB给HJT带来的成本节约更多。2022年HJT纯银低温银浆耗量约23mg/W，TOPCon电池约14mg/W，加之HJT可使用银包铜浆料，HJT应用OBB后相比TOPCon预计可节省更多浆料用量。

图：东方日升在无主栅技术上有较多专利布局

公开号	申请日	发明名称	申请人
CN115295673A	2022.08.11	太阳能电池串的连接方法及光伏组件	东方日升新能源股份有限公司
CN217883369U	2022.07.12	一种太阳能电池测试装置	东方日升（常州）新能源有限公司
CN114023841A	2021.11.03	太阳能电池串的连接方法、太阳能电池组件及其制备工艺	东方日升新能源股份有限公司
CN114023842A	2021.11.03	太阳能电池串的连接方法、太阳能电池组件及其制备方法	东方日升新能源股份有限公司
CN114023840A	2021.11.03	太阳能电池串的连接方法、太阳能电池组件的制作方法	东方日升新能源股份有限公司
CN214848646U	2021.07.08	光伏组件	东方日升（常州）新能源有限公司
CN215988800U	2021.06.18	光伏组件以及光伏串焊设备	东方日升（常州）新能源有限公司
CN114765229A	2020.12.30	一种太阳能电池组件的封装方法及太阳能电池组件	东方日升（常州）新能源有限公司

图：一种无主栅电池和焊带的连接方法（浙江制能科技）



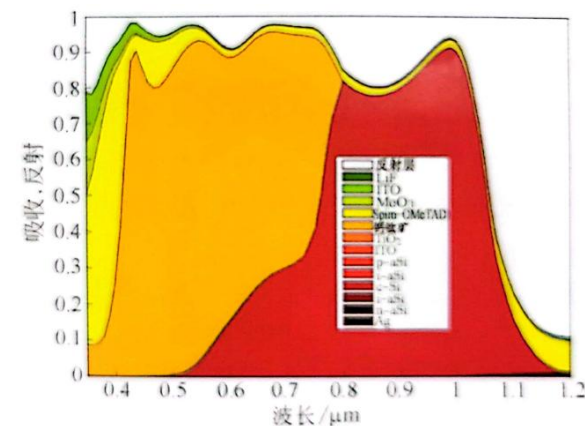
钙钛矿叠层：异质结与钙钛矿具有良好的叠层电池匹配度，国内企业已开始陆续布局

- 钙钛矿太阳能电池和传统晶硅太阳能电池叠加形成的叠层太阳能电池，宽带隙钙钛矿材料吸收短/中波段入射光，窄带系单晶硅材料吸收中/长波段入射光，可最大限度利用太阳光。
- HJT/钙钛矿叠层电池可实现更高的光电转换效率：在转化效率贡献上，异质结可以贡献25%-26%的转化效率，而钙钛矿叠层则是增加其3%-5%增量效益。

图：HJT/钙钛矿叠层电池结构



图：钙钛矿吸收短波长的光，晶硅层吸收长波长光



- 已有中试线：华晟新能源（完成实现钙钛矿-HJT叠层电池 M6 大面积叠层均匀制备，目标2025年实现G12异质结钙钛矿晶硅叠层电池效率30%，G12-132组件功率840W+）、牛津光伏（金风科技入股，已有钙钛矿叠层电池产线）；
- 中试线规划建设中：宝馨科技（布局2GW异质结电池项目，与张春福、朱卫东教授团队建立HJT-钙钛矿叠层电池合作关系，2024年启动100MW钙钛矿叠层线的建设，实验室效率大于32%，加速老化等效外推达到25年；2026年钙钛矿/异质结叠层GW级产线升级，实现量产210半片钙钛矿/异质结叠层电池，电池效率在基底异质结的基础上提升率大于15%，首年衰减不超过3%，以后每年衰减不超过0.5%）；
- 已有实验线：晶科能源（实验室中研发，Topcon/钙钛矿叠层太阳能电池效率达27.6%）、通威股份（钙钛矿实验室已经建立完成，首块钙钛矿电池原定2022年内下线）。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下