



2022.12.27 ,

产业研究中心

储能技术路线选择（二）： 锂电、钠电、氢能、钒电产业链谁将胜出

摘要：

国内储能的未来：市场化竞争、多技术路线并存。储能的下游是电网、电站运营、户用等，与车用锂电（认证周期长、一致性要求高）进入壁垒高、集中度高不同，很难出现寡头的格局，更多是以经济性和成本优势为核心的竞争格局，更像是光伏产业。

钠电：产业化的进程快于市场的预期，主要基于高锂价带来的理论上的成本优势，以及锂电产业链的复用。从电池到正极、负极、隔膜等产能大部分可以通用，这个跟光伏领域的单晶多晶之争、异质结不同，成熟产业链的阻力非常小。钠电不会颠覆锂电龙头的竞争格局，更多地是行业β的机会，我们更需要寻找钠电和锂电在材料端的差异，比如石墨负极和硬碳/软碳的工艺和成本差异，几条不同路线正极前驱体性能和成本差异、集流体材料的差异等等。

氢能：产业链庞杂，包括制氢、储运、加氢、电堆等，最像三大化石能源中的天然气，虽然最清洁，但基于其运输瓶颈未来在能源领域大概率是补充，而不是主角；氢能的应用参考巴拉德的年报可以分为公交、重卡、船用、备用电源，在时长和功率层面要求高的领域最为适用，高功率才是氢能的核心竞争力。更简便的办法是去找柴油和燃料油的替代领域，单看商用车市场可能没多少，但看柴油和汽油的消费量，前者更大，氢能估值的天花板是否可以用柴油的需求来衡量？更长周期，氢能在能源领域的应用之外，是大量的工业领域（尤其是化工）的减排需求。

液流体系（钒电）：安全性、长寿命以及易回收等优势，长期来看是储能最优的解决方案，但产业化受制于钒资源的稀缺性和钒的提纯工艺。另外，由于液流体系和氢燃料电池在结构上的相似性，氢能产业的发展速度、燃料电池的产业链能力也同样影响了液流体系的产业化进程。燃料电池产业链尤其是材料环节和龙头竞争力将大部分传承给液流体系，我们更关注在电堆中，氢燃料电池和液流电池的共用组件部分，比如双极板、质子交换膜、气体扩散层等，单一技术路线的应用空间不应该是上游材料的估值天花板。

我们的结论：钠锂求异，氢钒求同，寻找上游材料的投资机会。我们以钠电和锂电的负极为例，寻找在原材料端的差异，酚醛树脂、生物质均是钠电不同于锂电的负极原料；我们以氢能电堆和液流电池的双极板为例，对于共用组件石墨双极板来讲，长期来看在液流电池中的应用很可能远远大于氢能电堆。

作者：肖洁
电话：021-38674660
邮箱：xiaojie@gtjas.com
资格证书编号：S0880513080002

作者：鲍雁辛
电话：0755-23976830
邮箱：baoyanxin@gtjas.com
资格证书编号：S0880513070005

往期回顾

- 探索核能制氢星辰大海 2022.12.14
- XR 光学显示：元宇宙的大门，沉浸式体验之基 2022.12.13
- 脑机技术：人机交互的新通路 2022.12.05
- 正极材料技术迭代：高镍化方向探讨 2022.12.01
- 储能技术路线选择（一）：从长时储能需求说起 2022.10.23

目 录

1. 钠锂求异：产业链重合度高，关注上游原材料	4
1.1. 锂电钠电原理相同，钠电产业化道路平坦	4
1.2. 钠锂求异：以负极材料为例	6
2. 钒氢求同：降本之路方向一致，关注共用组件	9
2.1. 液流电池为储能“量身打造”	9
2.2. 钒氢同体系，模块化结构中电堆为核心	9
2.3. 钒氢尚处产业化初期，共用组件更具高确定性未来	11
2.4. 钒氢求同：以双极板为例	12

图表目录

图 1: 钠离子电池产业链布局承袭锂电.....	5
图 2: 针状焦（左）、酚醛树脂（中）、无烟煤（右）价格自 2021 年以来呈上涨趋势.....	7
图 3: 负极材料加工费用主要取决于温度及时长.....	8
图 4: 安全和耐用是液流电池的核心优势.....	9
图 5: 小型化全钒液流电池体积具备竞争性.....	9
图 6: 全钒液流电池和氢燃料电池原理类似.....	9
图 7: 全钒液流电池和氢燃料电池单芯结构及组合方式类似.....	10
图 8: 东岳产业链一体化.....	11
图 9: 2020 年石墨板仍为市场主流，占比达 65%.....	13
表 1: 上游原材料变化显著，控制成本与优质提纯技术是制胜关键.....	5
表 2: 碳基负极材料结构及电池性能.....	6
表 3: 天然石墨单耗相对确定，人造石墨单耗波动较大.....	7
表 4: 翔丰华产品单位成本构成（万元/吨）.....	8
表 5: 凯金能源产品单位成本构成（万元/吨）.....	8
表 6: 重塑燃料电池系统销售情况与成本（kW、万元/套、万元/kW、套）.....	10
表 7: 亿华通燃料电池系统销售情况与成本（kW、万元/套、万元/kW、套）.....	11
表 8: 各类型双极板比较.....	12
表 9: 石墨板最小厚度（1.3mm）正向金属板（1.1mm）靠近.....	12
表 10: 主要厂商电堆产品功率密度已突破 4kW/L.....	13
表 11: 国内双极板产业化进程正在加速.....	14

国内储能的未来：市场化竞争、多技术路线并存。我们的结论：钠锂求异，氢钒求同，寻找上游材料的投资机会。

储能的下游是电网、电站运营、户用等，与车用锂电（认证周期长、一致性要求高）进入壁垒高、集中度高不同，很难出现寡头的格局，更多是以经济性和成本优势为核心的竞争格局，更像是光伏产业。

放在产业大背景里去看技术路线的差异、演变和未来，我们希望回答更加细节的问题：

1、氢能领域丰田选择金属双极板，巴拉德选择石墨及复合板，作为双极板厂商哪个才更有未来？

2、钠电负极厂商，面对性能强成本高的硬碳、性能弱成本低的软碳，更优的选择是什么？

3、钒电体系承袭于氢能，除一致的材料降本之外，叠加了钒的提纯。如果储能的终极是液流体系（全钒、锌溴、铁铬、有机），钒的上游资源企业是否具备在提纯领域快速降成本的能力？

本文数据和图表参考于国泰君安的系列产业深度报告：

《钠离子电池系列报告（一）（二）（三）（四）》

《氢能专题系列报告（一）（二）（三）》

《全钒液流电池专题：沿流溯源，超“钒”脱俗》

1. 钠锂求异：产业链重合度高，关注上游原材料

1.1. 锂电钠电原理相同，钠电产业化道路平坦

钠离子电池工作原理与锂离子电池“摇椅式”原理相同，利用钠离子(Na⁺)在正负极材料之间的可逆脱嵌实现充放电。钠离子电池主要由正极、负极、隔膜和电解液组成，和锂离子电池的生产设备基本可实现兼容，降低了产业化难度。

钠电产业链布局承袭锂电，利于产业化快速导入。我国钠离子电池产业链还处于初级阶段，产业布局尚不成熟。钠离子电池产业链结构与锂电类似，包括上游资源企业、中游电池材料及电芯企业。

图 1：钠离子电池产业链布局承袭锂电



资料来源：国泰君安产业深度《钠离子电池系列报告》

表 1：上游原材料变化显著，控制成本与优质提纯技术是制胜关键

材料	公司	主营业务	相关材料产能 (万吨/年)	企业优势	是否上市
层状金属氧化物正极主要原料：二氧化锰	湘潭电化	电解二氧化锰、硫酸锰	12.2	1、电解二氧化锰产量最大企业 2、与下游电池厂商宁德时代、比亚迪等保持紧密合作	是
	红星发展	钒盐、锗盐、锰盐	3	1、基础化工龙头，向新能源、新材料供应商转型 2、拥有国内储量最大锰矿	是
	南方锰业 (港股)	电解二氧化锰、电解金属锰	12	中国目前最大电解二氧化锰制造厂，具备加蓬矿山供应成本优势	港股
	桂柳新材料 (未上市)	电解二氧化锰	5.5	位于锰矿丰富广西百色市，国内 EMD 重点企业之一	否
	湘潭伟鑫	电解二氧化锰、活性二氧化锰、锰砂滤料	2.4	毗邻亚洲“锰都”湘潭锰矿鹤岭镇	否
普鲁士蓝正极主要原料：氰化钠	安庆曙光	氰化钠	8 (固态), 20 (液态)	国内传统氰化钠生产厂商	否
	河北诚信	氰化钠	5 (固态), 60 (液态)	国内传统氰化物生产厂商	否
	重庆紫光	氰化钠	2.5 (固态), 30 (液态)	传统化工龙头，具有天然气精细化工生产基地	否
	鸿生化工	氰化钠	3 (固态), 10 (液态)	采用先进工艺，纯度高、杂质少	否
聚阴离子化合物正极	攀钢钒钛	FeV、VN、氧化钒、钒铝合金	4	钒钛产业的龙头企业，国内最大的钒制品生产企业	是

极主要原料：钒	河钢股份	FeV、VN、氧化钒、钒铝合金	2.5	钒钛钢铁冶炼和钒产品生产技术方面处于世界领先地位，拥有世界首条亚熔盐法高效提钒清洁生产线	是
	建龙集团	VN、氧化钒	1.5	集勘察、开发、产品加工、销售于一体	否
负极：煤炭	华阳股份	煤炭	4322 (产量)	无烟煤龙头，与中科海钠深度绑定。1) 间接控股中科海钠 19.5%的股份；2) 合资建立华钠铜能、华钠碳能	是
铝箔	鼎盛新材	空调箔、单零箔、双零箔、铝板带、电池箔	9.4 (电池箔)	空调铝箔龙头，与宁德时代签订未来 4 年 51.2 万吨销售长单	是
	万顺新材	纸包装材料、铝板带箔加工及功能性薄膜制造	4 (电池箔)	纸包装起家、2012 年切入高精度铝箔及功能性薄膜市场，迅速成长为铝箔龙头	是
	南山铝业	冶金级氧化铝、新型合金铝板带箔产品及航空航天用新型材料、铝合金热轧卷、高精度铝箔产品	4 (电池箔)	铝行业龙头，涵盖上游氧化铝和下游深加工的完整产业链，已向宁德时代、比亚迪、中航锂电供货	是
	云铝股份	铝土矿开采、氧化铝生产、铝冶炼、铝加工	建设中	水电铝龙头，涵盖全产业链	是

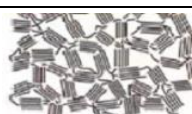


资料来源：公司公告，国泰君安证券研究

1.2. 钠锂求异：以负极材料为例

硬碳占据负极主流，改善首周循环效率为商业化关键。硬碳材料由于高比容量（300 mAh/g 左右）、低储钠电压（平台段电压在 0.1V 左右）、长循环寿命、来源广而被认为是钠离子电池最具商业化潜力的负极材料。目前，商业化的钠离子电池所使用的负极几乎都是硬碳，硬碳比石墨更易合成。

在商业化应用过程中，硬碳面临着首周库伦效率较低的问题，其在酯基电解液中首周库伦效率大多在 50-80% 左右。因此，需要通过改进前驱体、改善合成条件等方法减少其内部缺陷，制备出孔隙率低且缺陷少的硬碳。

表 2：碳基负极材料结构及电池性能

负极材料	难石墨化碳（硬碳）	易石墨化碳（软碳）	石墨
结构			
原料	植物、沥青、高分子聚合物	沥青、高分子聚合物	沥青、天然石墨
碳化温度	1000-1500°C	1000-2000°C	2500-3000°C
层间距	0.37-0.38 nm	0.34-0.35 nm	0.335-0.34 nm
电极密度	0.9-1.0 g/cm ³	1.2-1.3 g/cm ³	1.5-1.8 g/cm ³
电极压实难易度	困难	困难	容易
比能量	低~中	中	高
电极膨胀率	小	中	大
循环耐久性	高	高温时性能有所下降	中

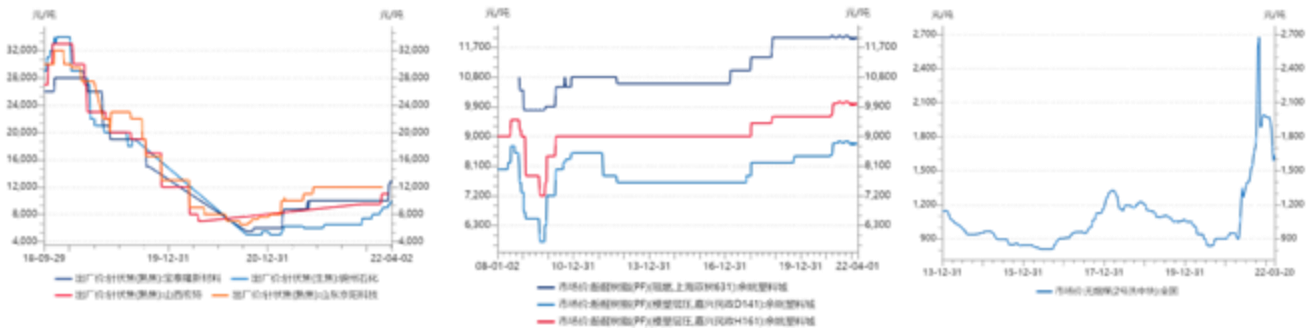
资料来源：吴羽电池材料株式会社，国泰君安证券研究

规模化后生产成本的决定因素：原料价格、残碳率(单耗)、电费(温度

和时间)。综合来看,我们认为硬碳成本应该低于人造石墨,软碳成本使用无烟煤之后则更低。

原料价格:过去优质负极材料主要采用进口原料(主要指进口针状焦),2019-2020年原料国产化替代加速,产品成本显著下降。2021年以来,国内负极材料主要原料的价格呈现上涨趋势。下游需求持续增长,供需博弈下原料价格的上涨已成定局,负极材料厂商成本承压,而压力能否传导至下游电池厂商,取决于企业基于技术壁垒和客户资源所构筑的议价能力。

图 2: 针状焦(左)、酚醛树脂(中)、无烟煤(右)价格自 2021 年以来呈上涨趋势



资料来源: Wind, 国泰君安证券研究

残碳率(单耗):石墨负极材料中,天然石墨单耗相对确定,人造石墨单耗波动较大,依据负极材料厂商披露的数据计算,单耗在 1.21-2.28 区间内。单耗可能随石油焦和针状焦用量的占比差异而有所变化,除高端人造石墨主要采用针状焦为主外,其余不同品质的负极材料原料用量的具体配比未知。硬碳/软碳负极中,酚醛树脂分子中含有大量的芳香环,残碳率高于其它高分子聚合物,理论值在 55~70%,产业化后可能低于 50%,原料单耗 2 以上;生物质原料的残碳率可能只有 20%;无烟煤的残碳率大概 50-80%,但软碳性能弱于硬碳。

表 3: 天然石墨单耗相对确定,人造石墨单耗波动较大

企业	产品	原材料	年份	原料单价(万元/吨)	采购数量(吨)	产品单价(万元/吨)	产量(吨)	平均单耗
翔丰华	天然石墨	初级石墨	2017	1.24	3,138.20	2.59	2,779.55	1.13
			2018	1.47	4,017.93	2.42	4,191.31	0.96
			2019	1.43	16,465.33	2.6	3,436.45	1.02
凯金能源	人造石墨	焦类原料	2017	0.6	14,407.87	4.27	7,022.71	2.05
			2018	1.05	16,465.33	5.15	9,780.52	1.68
			2019	0.64	17,370.80	4.23	14,334.29	1.21
			2018	0.73	61174.17	3.76	26,813.56	2.28
			2019	0.45	70,655.48	3.76	44,185.92	1.6
			2020	0.25	82,581.79	2.99	50,418.95	1.64
			2021.1-6	0.34	95,877.09	3	42,793.77	2.24

注 1: 此处单耗=原料采购数量/单期产量

注 2: 单耗受原料库存影响

资料来源: 招股说明书, 国泰君安证券研究

加工费用:无论是软碳还是硬碳,由于其温度和时长要求远远低于人造石墨,成本结构可参考天然石墨,大规模产业化后制造费用(含电费能

耗等)可能略高于天然石墨。

表 4: 翔丰华产品单位成本构成 (万元/吨)

产品类型	单位成本	2017	2018	2019
天然石墨	直接材料	1.43	1.66	1.57
	炭化加工费	0.14	0.15	0
	炭化运费	0.02	0.02	-
	直接人工	0.07	0.08	0.15
	制造费用	0.14	0.15	0.22
	合计	1.8	2.06	1.94
人造石墨	直接材料	0.97	1.69	1.43
	石墨化加工费	1.75	1.97	1.64
	石墨化运费	0.05	0.08	0.04
	直接人工	0.07	0.07	0.09
	制造费用	0.14	0.13	0.13
	合计	2.98	3.94	3.32

注 1: 此处单位成本=营业成本/单期销量

注 2: 加工费和制造费用将随企业外协石墨化比重同步变化

资料来源: 翔丰华招股说明书, 国泰君安证券研究

表 5: 凯金能源产品单位成本构成 (万元/吨)

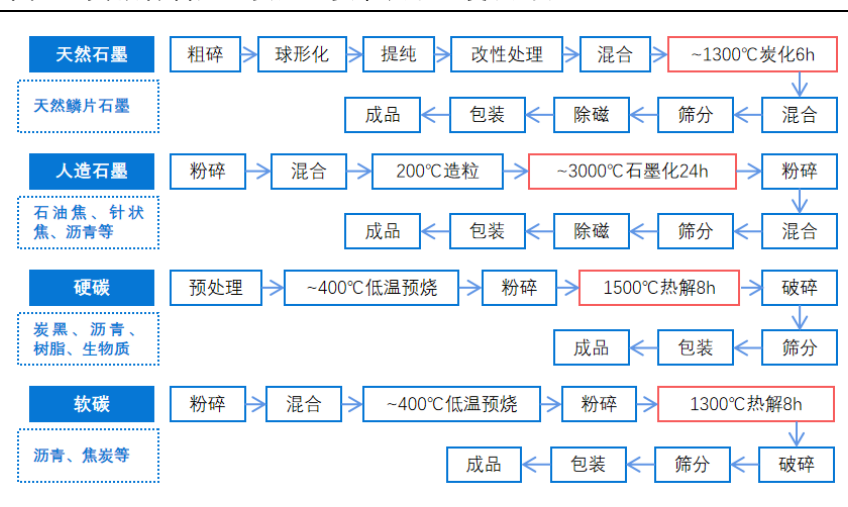
产品类型	单位成本	2018	2019	2020	2021.1-6
人造石墨	委外加工费及相关运费	1.41	0.94	0.5	0.55
	直接材料	1.09	0.97	0.74	0.85
	制造费用	0.44	0.89	0.98	0.75
	直接人工	0.05	0.09	0.08	0.07
	合计	2.98	2.88	2.31	2.21

注 1: 此处单位成本=营业成本/单期销量

注 2: 加工费和制造费用将随企业外协石墨化比重同步变化

资料来源: 凯金能源招股说明书, 国泰君安证券研究

图 3: 负极材料加工费用主要取决于温度及时长



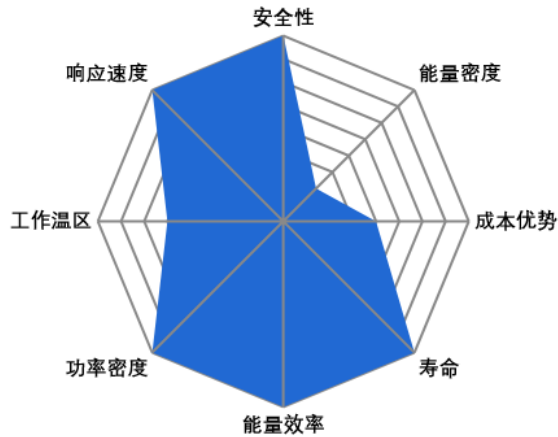
资料来源: 国家专利局, 国泰君安证券研究

2. 钒氢求同：降本之路方向一致，关注共用组件

2.1. 液流电池为储能“量身打造”

液流电池具备两大核心优势：1) 安全：从根本上避免爆燃，2) 耐用：活性物质衰减缓慢，工作寿命长达 15-20 年，加之储能系统一般是静态设施，对重量、体积的要求不高，能量密度并非关键指标，使得其尤其适合作为大规模储能系统。


图 4：安全和耐用是液流电池的核心优势



资料来源：国泰君安证券研究

全钒液流电池技术已成熟、综合性能好,是目前所有液流电池技术中最成熟、最可能实现大规模商业化的。其除液流电池的普遍优点外,还有三项优势：1) 环境友好：全封闭运行，几乎零排放；2) 残值较高：电解液钒元素不发生损耗，残值约 70%；3) 回收方便：电解液只含单一过渡金属，容易提取。虽然钒电体积相对锂电更大，但是户用储能钒电产品体积仍有一定竞争性，叠加其安全、高生命周期性价比两大优势，除大规模储能系统外，小型化全钒液流电池同样能与家用光伏配套使用。

图 5：小型化全钒液流电池体积具备竞争性

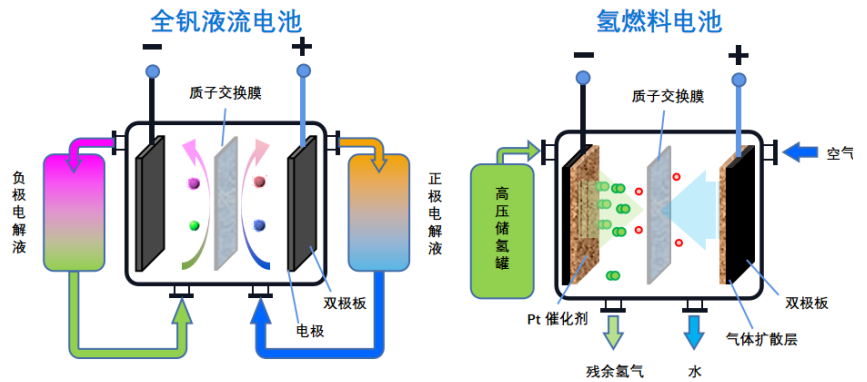
	品牌	大连融科		品牌	德国 Voltstorage
	功率 (kW)	10		功率 (kW)	1.5
	容量 (kWh)	40		容量 (kWh)	6.2
	规格 (m)	0.84*1.69*2.05		规格 (m)	0.58*0.58*1.406

资料来源：企业官网，国泰君安证券研究

2.2. 钒氢同体系，模块化结构中电堆为核心

全钒液流电池与氢燃料电池结构与原理类似,电堆是系统的核心部件,是发生电化学反应和产生电能的场所,电解液或氢气储存在外部储罐中。

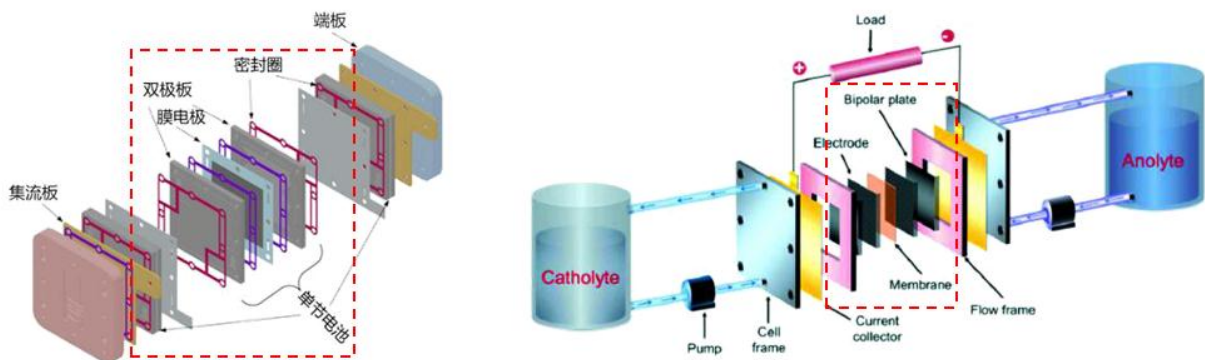
图 6：全钒液流电池和氢燃料电池原理类似



资料来源：大连融科官网，国泰君安证券研究

鉴于单个电池单元输出功率较小，实践中通常通过将多个单元以串联方式层叠组合构成电堆来提高整体输出功率。以氢燃料电池为例，电堆是由双极板与膜电极交替叠合，各单体之间嵌入密封件，经前、后端板压紧后用螺杆拴牢，构成的复合组件。

图 7：全钒液流电池和氢燃料电池单芯结构及组合方式类似



资料来源：亿华通招股书，CNKI

从成本构成看，电堆是电池系统的价值量核心，国内电堆在核心材料缺乏与关键技术方面存在短板。钒氢共用材料中，目前石墨双极板基本实现国产化，质子交换膜、气体扩散层仍主要依赖进口。

电堆的降本之路：据GGII统计，电堆近年的降价幅度约为每年30%。与此同时，氢燃料电池系统的平均降价幅度约为每年15%。2021年，批量采购的电堆价格已降至2000元/kW以下，这也使得燃料电池系统价格低于5000元/kW成为可能。

表 6：重塑燃料电池系统销售情况与成本（kW、万元/套、万元/kW、套）

年份	2017				2018				2019				2020.1-9			
	功率	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量			
Caven3 系列	32	60.16	1.88	107	44.51	1.39	24	47.79	1.49	600	/	/	/			
Caven4 系列	46-50	/	/	/	80.6	1.68	15	62.62	1.3	562	53.51	1.11	286			
合计	每 kW 平均价格		1.88			1.5			1.4			1.11				
	每 kW 平均成本		1.19			1.01			0.96			0.64				

资料来源：重塑股份招股说明书，国泰君安证券研究

表 7：亿华通燃料电池系统销售情况与成本（kW、万元/套、万元/kW、套）

年份		2017				2018				2019				2020				2021.1-9			
主要产品	功率	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量	单价	每 kW 售价	销量		
30kW 系统	30	76.43	2.55	138	92.35	3.08	150	65.69	2.19	55	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
40kW 系统	40	/	/	/	/	/	/	78.47	1.96	224	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
60kW 系统	60	152.26	2.54	54	124.59	2.08	153	122.42	2.04	218	/	/	125	/	/	/	/	/	/		
80kW 系统	80	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	324	/	/	/	/	/	94		
120kW 系统	120	/	/	/	/	/	/	230.09	1.92	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
150kW 系统	150	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	140		
合计	每 kW 平均价格		2.54			2.57			2.02				1.4					1.08			
	每 kW 平均成本		1.38			1.12			1.06				0.79					0.79			

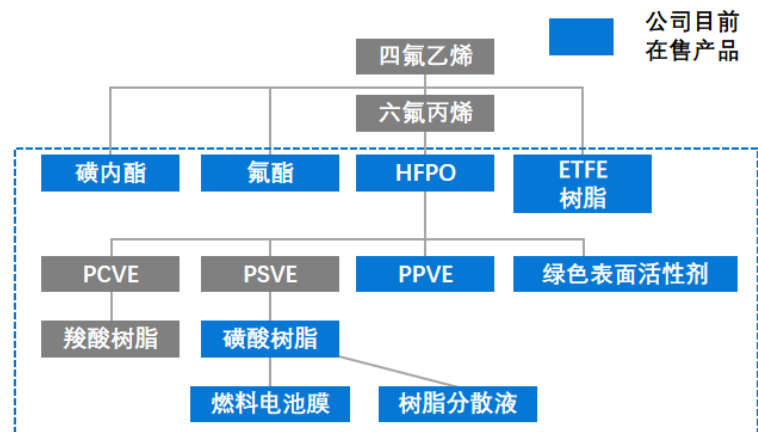
资料来源：亿华通招股说明书，国泰君安证券研究

2.3. 钒氢尚处产业化初期，共用组件更具有确定性未来

气体扩散层(GDL): 位于气体流场层和催化层之间, 主要由碳纸/碳布经疏水处理和微孔层涂覆形成。气体扩散层的质量主要取决于碳纸基材, 而基材的质量则取决于上游碳纤维。碳纸的制备中, 体现技术难度的主要在打浆环节, 该环节需要控制打浆度以确保碳纤维的切断的长度适中, 粘合剂、分散剂等溶液的材料选择与配比均会影响碳纸的性能。竞争格局方面, 龙头包括日本 Toray、德国 SGL 以及美国 AvCarb 等, 其中 Toray、SGL 均布局碳纤维全产业链。

质子交换膜 (PEM): 目前主流技术是全氟磺酸质子交换膜。PEM 逐渐趋于薄型化, 由几十微米降低到十几微米, 降低质子传递的欧姆极化, 以达到更高的性能。竞争格局方面, 美国的科慕和戈尔领先市场, 后者产品系列最为丰富、产品实际应用案例最多, 是车用燃料电池市场的主导者。国内研制能力强、已有规模化生产能力的主要是东岳未来, 其以完整的含氟精细化工产业链为特点。

图 8：东岳产业链一体化



资料来源：东岳未来官网、国泰君安证券研究

双极板 (BP): 依材质可分为石墨双极板、金属双极板和复合双极板。氢燃料电池目前主要采用石墨板或金属板, 钒液流电池倾向复合板。国产化进程方面, 石墨板基本已实现国产化, 金属板已有部分企业实现量产, 复合板尚处研发阶段。

表 8: 各类型双极板比较

双极板类型	一般制法	优点	缺点	国内进展	国外企业	国内企业
石墨板	利用碳粉或石墨粉混合石墨化树脂制备	质量轻 耐腐蚀性好 导电性好	难薄型化 机械性能差 加工难, 成本高	基本已实现国产化	美国 POCO、Graftech; 日本 Fujikura Rubber; 英国 Bac2; 加拿大 Ballard	国鸿氢能、弘枫实业、弘俊实业、鑫能石墨、沪江科技、联强碳素、神州碳制品、喜丽碳素、嘉裕碳素、华熔科技
金属板	不锈钢、钛合金、铝合金等直接加工制成	导电导热性好 机械性能高 阻气性好 更易薄型化	易腐蚀, 寿命短 装配精度要求高 密度大, 较重	部分企业实现量产	瑞典 Cellimpact; 德国 Dana、Grabener; 美国 Treadstone; 日本 本田	上汽捷氢、新源动力、上海治臻、爱德曼氢能、安泰科技、三佳机械、博远新能源
复合板	热塑或热固性树脂料混合石墨粉、增强纤维等形成预制品并固化、石墨化成型	机械性能好 耐腐蚀性好	制备工艺复杂 成本高	主要处于研发阶段	英国 Porvair; 美国 ORNL	青岛社科、新源动力、武汉喜马拉雅、中科院大连化物所

资料来源: 公司官网、国泰君安证券研究

2.4. 钒氢求同: 以双极板为例

石墨板适应需求趋于薄型化, 乘用车为金属板带来机遇。石墨板: 由于其高耐腐蚀性、高耐久性, 以及相对较低的技术壁垒, 率先实现国产化, 在对体积较不敏感而对耐久性敏感的特种车、商用车领域示范应用。然而, 石墨双极板的制作周期长、机械性能差、加工难度大、制作成本高等劣势也不可忽视。市场已有越来越多的企业成功开发出超薄超精细石墨双极板, 提前突破了国家制定 2025 年前单组石墨双极板厚度 1.5mm 的要求, 功率密度开始接近丰田第一代金属双极板的水平。**金属板:** 抗腐蚀性差, 寿命过短是其应用的阻碍, 然而随着涂层工艺的持续进步与突破, 其有望实现和石墨板相同的使用寿命。丰田汽车公司率先在旗下 Mirai 燃料电池汽车上使用金属双极板和涂层, 解决了腐蚀、成本和导电等一系列问题。凭借其机械性能优异、高体积功率密度、成本低廉且易批量生产等优势, 金属双极板将在乘用车规模化应用的进程中实现突破。

表 9: 石墨板最小厚度 (1.3mm) 正向金属板 (1.1mm) 靠近

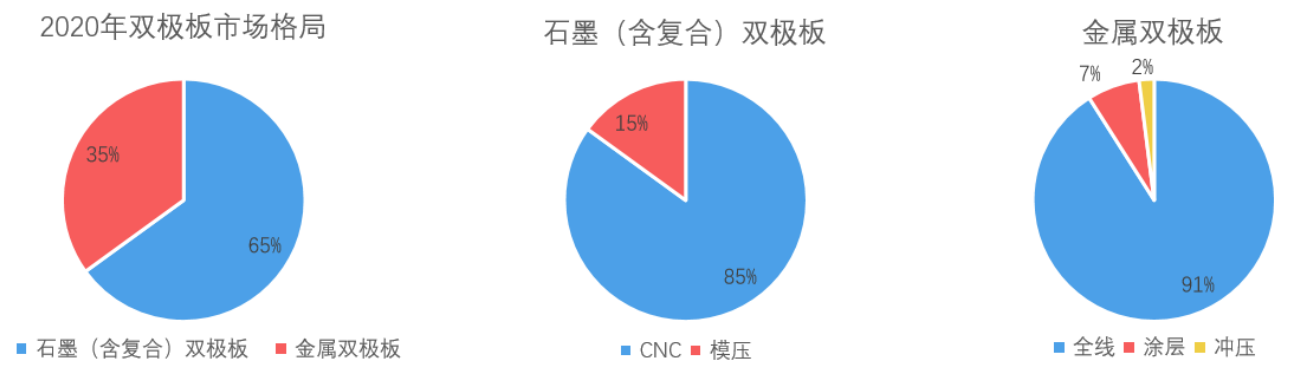
生产厂商	产品类型	抗弯强度 (Mpa)	抗压强度 (Mpa)	接触电阻 (mΩ.cm ²)	电阻率 (uΩ m)	密度 (g/cm ³)	最小厚度 (mm)
美国 POCO	石墨	90	152	-	14.7	1.78	-
上海弘枫	石墨	>50	>100	<6.5	<12	>1.9	1.4
武汉喜马拉雅	石墨	>51	>50	-	<16	1.80-1.95	-
嘉裕碳素	石墨	-	-	<10	-	-	1.5/1.3
上海治臻	金属 (钛合金)	-	-	-	-	-	1.1

资料来源: 企业官网, 国泰君安证券研究

市场格局: 仍以石墨板为主, 金属板或后来居上。氢燃料电池方面, 2020

年我国氢燃料电池双极板市场规模达 3.1 亿元，石墨板（包含碳塑复合板）和金属板的占比分别为 65%和 35%，2021 年石墨双极板与金属双极板趋于平分秋色。GGII 数据显示，2021 年 H1 金属双极板出货量在双极板总出货量的占比已达 45.0%(2020 年同期为 36.0%)。钒液流电池方面，基本不考虑金属板，即使是涂层处理后的金属板，在酸性液体环境中也难以长期稳定工作。石墨双极板（机加工）不被看好，因为其机加工过程复杂且成本高。钒液流电池主要采用碳塑复合板，因为其热塑或模压工艺相对机加工简单，但是混合高分子树脂所带来的电阻率增加仍是需要解决的问题。

图 9：2020 年石墨板仍为市场主流，占比达 65%



资料来源：GGII，国泰君安证券研究

技术趋势：细密化程度、流道深宽比更高，版型更小，能够使单板能够支撑的功率密度更高，每 kW 所需板数下降，从而降低电堆集成的难度以及成本。目前 100kW 电堆一般需要 350-400 节单芯，而 Ballard 已经实现 140kW 高功率电堆仅需 309 节，大幅减少双极板数量，提升电堆功率密度。

表 10：主要厂商电堆产品功率密度已突破 4kW/L

生产厂商	产品型号	双极板类型	额定功率 (kW)	功率密度 (kW/L)	功率密度 (kW/kg)	低温启动 (C°)	L*W*H (mm)
Ballard	FCgen®-HPS	石墨/复合	140 (309 节)	4.3	4.7	-28	484*555*195
捷氢科技	M4H	金属	163	4.2	-	-30	558*473*148
捷氢科技	M3X	金属	140	3.7	-	-30	540*474*149
新源动力	HYSTK-70	金属	70	-	-	-30	-
新源动力	HYSTK-40	复合	110	4.2	-	-	-
国鸿氢能	鸿芯 G1	石墨	84 (280 节)	-	2.87	-	641*420*104
神力科技	SFC-B9P	石墨	80-150	4	-	-35	-
丰田	Mirai 二代	金属	128 (330 节)	4.4	4	-	-

资料来源：企业官网，国泰君安证券研究

国内产业化进程正在加速：据 GGII 统计，2021 年期间，国内主流双极板企业出货量增长显著，金属双极板领域已出现单个企业单个客户出货达百万片级别的现象；石墨板市场各家出货也均有较大增长，表现明显的是原万片级出货企业的出货量级达到 10 万片以上，头部企业的出货更是达到了 50 万片/年以上。

表 11：国内双极板产业化进程正在加速

主要企业	类型	出货量	产能	技术突破
华熔科技	石墨双极板	约 50 万组（含风冷双极板），同比增速达 300%	公司二期项目（2021 年底完成初步验收）逐步实现投产，月产能有望达到 15-20 万组	/
青岛杜科	复合石墨双极板	/	已经建成年产 100 万组超薄复合石墨双极板的生产线	模压石墨复合板拥有知识产权，已授权发明专利，拥有技术可控和成本可控的优势
弘竣新能源	石墨双极板	/	拥有浙江嘉善、山东泰安两大生产基地，年产能 200 万片	/
嘉裕碳素	石墨双极板	/	产能提升至 80-120 万片/年	目前单组石墨双极板的厚度在 1.3mm 左右，提前突破国家制定的 2025 目标
上海弘枫	石墨双极板	达 200 万片，同比增长 100%，其中海外业务占比 80%，国内业务占比 20%，营收实现 1.2 亿元，累计出货量已达 500 万片	年产能达 400 万片	/
上海治臻	金属双极板	/	年产千万片级金属极板产线在常熟市投产（目前全球最大的一条金属极板产线）	推出新型碳涂层金属极板产品，在极板成本降低 40%-50% 的同时，将金属板燃料电池发动机预期寿命延长至 2 万小时以上
三佳机械	金属双极板	年产双极板 200 万片、模具 50 套，已成功交付了 80 多款不同流道形态的金属双极板	/	/
博远新能源	金属双极板	/	已组装金属双极板的批量化生产线，一期产能为 60-100 万副/年（后续产能逐步提升，预计在 2023-2024 年会达到 600 万副/年）	所用为涂层是非贵金属涂层，有效降低制造成本；具有接触电阻低耐腐蚀性强的优势，技术指标远超 DOE 要求水平，耐久性达 10000-15000h

资料来源：GGII，国泰君安证券研究

本公司具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格

分析师声明

作者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，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

本报告仅供国泰君安证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。

本报告的信息来源于已公开的资料，本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌。过往表现不应作为日后的表现依据。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

本公司利用信息隔离墙控制内部一个或多个领域、部门或关联机构之间的信息流动。因此，投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的情况下，本公司的员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎决策。

本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许范围内使用，并注明出处为“国泰君安证券研究”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息或进而交易本报告中提及的证券。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议，本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

国泰君安证券研究

	上海	深圳	北京
地址	上海市静安区新闻路 669 号博华广场 20 层	深圳市福田区益田路 6009 号新世界中心 34 层	北京市西城区金融大街甲 9 号金融街中心南楼 18 层
邮编	200041	518026	100032
电话	(021) 38676666	(0755) 23976888	(010) 83939888
E-mail :	gtjaresearch@gtjas.com		