

储能金属，卓尔不“钒”

行业投资评级：强大于市|维持

李帅华/魏欣

中邮证券研究所 新材料团队

中邮证券

2023年3月6日

- **钒电池安全可靠，长时储能下成本占优：**全钒液流电池作为新型储能的一种，具有安全性高、循环寿命极长、环境友好、响应速度快、容量规模易调节等优点。长时储能场景下钒电池占地面积大、初始投资成本高的缺点能够得到较好弥补。根据我们测算，储能时长越长，初始投资成本越低，4小时储能项目下，行业平均水准可以做到3000元/kWh的初始投资成本和0.85元/kWh的度电成本，行业头部企业可以做到2650元/kWh的初始投资成本，在考虑回收残值情况下，其度电成本与磷酸铁锂电池成本接近。
- **产业链国产替代推动降本：**产业链不成熟是钒电池成本较高的另一大原因，随着国内企业在电解液、质子交换膜、电极、双极板等关键环节不断推进国产替代，目前已形成了初步完整的全钒液流电池产业链，未来在政策支持下有望实现从1到10的腾飞，规模扩张下成本仍有降低空间。
- **钒资源自主可控，储能用钒打破平衡：**钒是我国的优势资源，在储量、产量、消费三方面占比分别达36.54%/70%/57.6%，钒下游需求主要用于钢铁工业（91.4%），储能是钒的新需求，2021年占比约为2.44%，我们预计2025年钒电池占新型储能累计装机渗透率将从目前的2.44%提升至接近20%，五氧化二钒供需缺口达到1.72万吨。
- **投资建议：**建议关注钒钛股份。
- **风险提示：**政策变动风险；模型假设与实际不符风险；技术迭代风险；原材料价格上涨风险等。

目录

- 一 | **钒电池：国内起步较早，政策东风支持**
- 二 | **优缺点：安全有保证，长时储能下成本占优**
- 三 | **产业链：关键环节推进国产替代**
- 四 | **供需：钒资源自主可控，储能用钒打破平衡**
- 五 | **钒价回顾与投资建议**



钒电池：国内起步较早，政策东风支持

1.1 钒电池介绍

- 液流电池是一种新型的大规模高效电化学储能技术，国际上液流电池的种类主要有全钒液流电池、锌溴电池、铁铬电池、多硫化钠溴电池4种技术路线，其中**全钒液流电池目前成熟度最高，商业化进程最快，国内外参与其研究开发的机构与企业较多。**
- 全钒氧化还原液流电池又称钒电池（Vanadium Redox Battery，VRB），原理主要是通过钒离子价态变换实现电的储能和释放。
- 具体来看，钒电池由两个电解液储液罐和中间的电堆构成，工作时，正负两极的电解液罐分别含有V⁴⁺、V⁵⁺和V²⁺、V³⁺的水溶液，通过外接泵将电解液压入电池堆，使其在不同的储液罐和半电池的闭合回路中循环流动，采用离子交换膜作为电池组的隔膜，电解质溶液平行流过电极表面并发生氧化和还原反应，实现对电池的充放电。

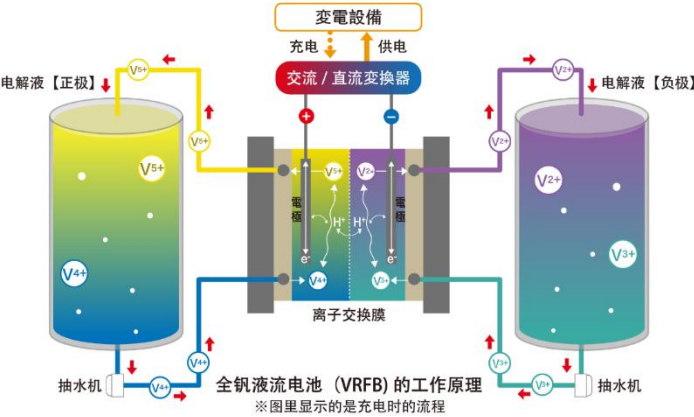
图表1：储能技术分类



资料来源：CNESA，中邮证券研究所

请参阅附注免责声明

图表2：钒电池反应原理

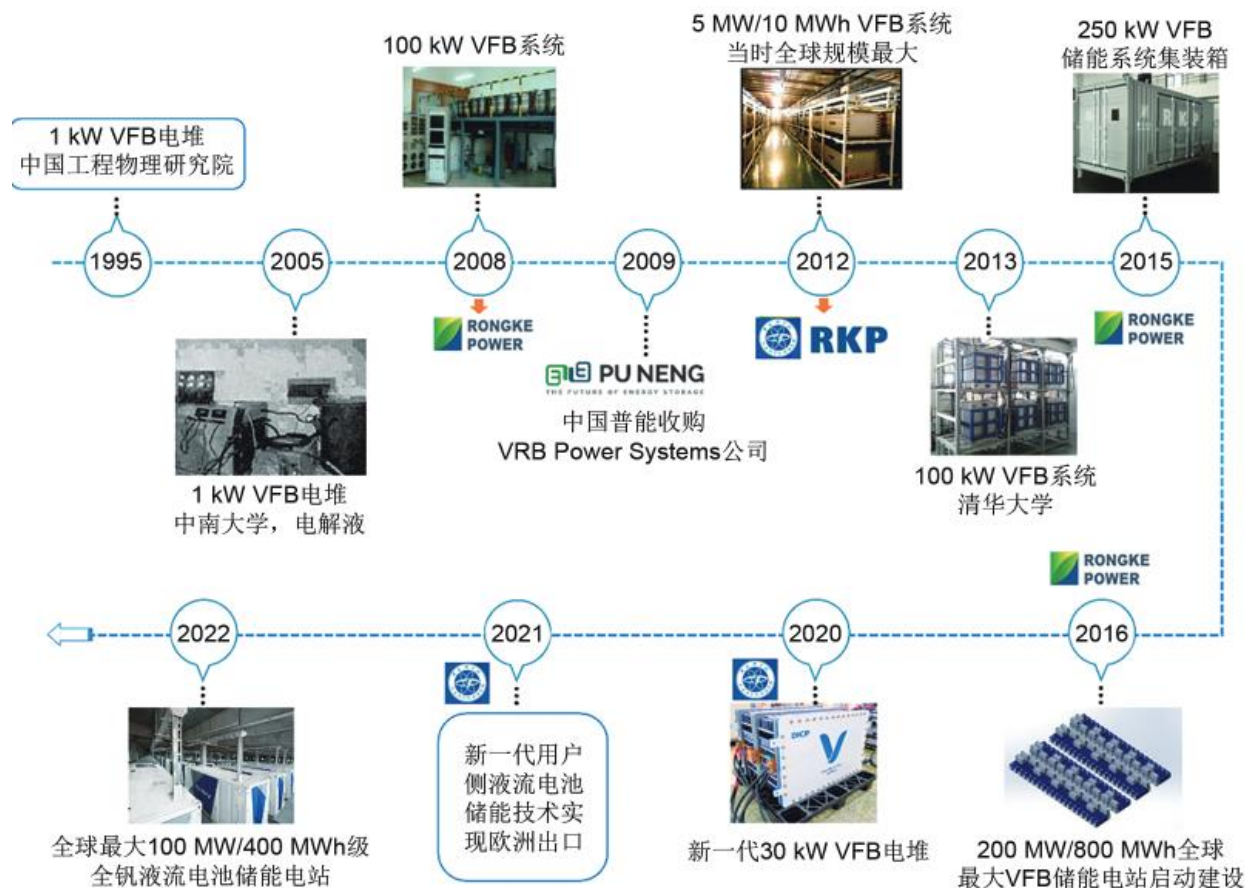


资料来源：LE SYSTEM Co., Ltd.，中邮证券研究所

1.2 钒电池发展历程

- 全钒液流电池技术最早由澳大利亚新南威尔士大学 Skyllas-Kazacos 在1985年提出。
- 随着清洁能源发展对技术成熟度高、大规模、高安全、长时储能技术需求的急剧增加，日本、美国等签约了大量全钒液流电池示范项目，加速推进了全钒液流储能示范项目的应用和推广。
- 我国在20 世纪 80 年代末开始研究全钒液流电池技术，1995 年研制出500W、1kW的样机，拥有电解质溶液制备、导电塑料成型等专利。
- 此后中国科学院大连化学物理研究所、大连融科储能技术发展有限公司、清华大学、中科院沈阳金属所、中南大学等机构开始从事全钒液流电池的研发工作，攻克多项关键核心技术。

图表3：储能技术分类



资料来源：《液流电池储能技术研究进展》，中邮证券研究所

1.3 政策东风加速钒电池发展

- 钒电池作为新型储能的一种，已经进入商业化初期。
- 2022年3月21日，十四五新型储能发展实施方案发布，提出到 2025 年，新型储能由商业化初期步入规模化发展阶段；到 2030 年，新型储能全面市场化发展。其中液流电池被重点提及，《实施方案》将百兆瓦级液流电池技术纳入“十四五”新型储能核心技术装备攻关重点方向之一。
- 2022年7月1日，国家能源局发布的《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2022年版）（征求意见稿）》提出，中大型电化学储能电站不得选用三元锂电池、钠硫电池，不宜选用梯次利用动力电池。
- 钒电池已成为新型储能电站的重要力量。

图表4：国家储能政策梳理

政策名称	时间	主要内容
《关于促进储能技术与产业发展的指导意见》	2017.9	明确促进我国储能技术与产业发展的重要意义、总体要求、重点任务和保障措施。
《2019-2020年储能行动计划》	2019.7	涵盖电化学、抽水储能、物理储能、新能源汽车动力电池储能等多项技术规划和应用场景。
《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》	2021.3	优化整合本地电源侧、电网侧、负荷侧资源，探索构建源网荷储高度融合的新型电力系统发展路径。
《关于加快推动新型储能发展的指导意见》	2021.7	2025年，新型储能从商业化初期向规模化发展转变，装机规模达30GW以上。2030年，新型储能全面市场化发展，新型储能装机规模基本满足新型电力系统相应需求。
《关于进一步完善分时电价机制的通知》	2021.7	合理拉大峰谷电价价差，系统峰谷差率超过40%的地方，峰谷电价价差原则上不低于4:1，其他地方原则上不低于3:1。分时电价机制执行范围扩大到工商业电力用户（个别有专门规定的除外）。
《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模的通知》	2021.8	明确了在电网企业承担消纳主体责任的基础上，企业自建或购买调峰能力增加并网规模的具体方式。
《电力系统辅助服务管理办法（征求意见稿）》	2021.12	将新型储能纳入提供辅助服务的主体范围，提出了按照“谁提供，谁获利；谁受益，谁分担”的原则。
《关于加快推进电力现货市场建设工作的通知》	2022.2	引导储能、分布式能源、新能源汽车、虚拟电厂、能源综合体等新型市场主体，以及增量配电网、微电网内的市场主体参与现货市场，充分激发和释放用户侧灵活调节能力。
《“十四五”新型储能发展实施方案》	2022.3	到2025年，新型储能由商业化初期步入规模化发展阶段，具有大规模商业化应用条件；到2030年，新型储能全面市场化发展。
《关于进一步推动新型储能参与电力市场和调度运用的通知》	2022.6	新型储能可作为独立储能参与电力市场，并对其“入市”后的市场、价格和运行等机制作出部署，旨在推动新型储能产业健康发展
《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2022年版）（征求意见稿）》	2022.7	中大型电化学储能电站不得选用三元锂电池、钠硫电池，不宜选用梯次利用动力电池。液流电池已成为新型储能电站的重要后备力量。

资料来源：国家发改委、国家能源局、Powerlab，中邮证券研究所

1.4 钒电池项目情况

- 2016 年国家能源局批复了第一个百兆瓦级全钒液流电池储能调峰电站，2022年5月大连液流电池国家100MW/400MW示范项目接入大连电网，2022年11月中核汇能1GWh全钒液流电池储能系统招标完成，这是钒电池首个GWh级别项目。

图表5：2021年至今部分全钒液流电池项目情况

时间	项目名称	功率/容量
2021/2/7	河北承德森吉图全钒液流电池风储示范项目	5kW/20kWh
2021/3/18	北京普能世纪湖北襄阳全钒液流电池集成电站项目	100MW/500MWh
2021/8/11	国家电投湖北全钒液流电池储能电站项目	100MW/500MWh
2021/11/18	国网盐城射阳港全钒液流储能电站	20MW/100MWh
2021/12/6	中广核全钒液流集中式储能电站	100MW/200MWh
2021/12/7	宁夏伟力得电网侧新能源共享储能电站项目	200MW/800MWh
2022/3/7	上海电气盐城立铠储能电站项目	300MWh
2022/5/5	大唐中宁共享储能项目	100MW/400MWh
2022/5/24	大连液流电池储能调峰电站国家示范项目接入大连电网	一期：100MW/400MWh
2022/6/23	北京普能与河钢钒钛等签约300MW钒电池储能产业链项目	300MWh
2022/7/1	国内首个盐酸基液流储能电站一期	10MW/40MWh
2022/7/7	寰泰储能全钒液流储能全产业链项目	100MW/500MWh
2022/11/4	中核汇能1GWh全钒液流电池储能系统	1GWh
2022/12/16	林源集团甘肃金昌全钒液流储能系统	500MWh

资料来源：北极星储能网，中邮证券研究所



优缺点：安全有保证，长时储能下成本占优

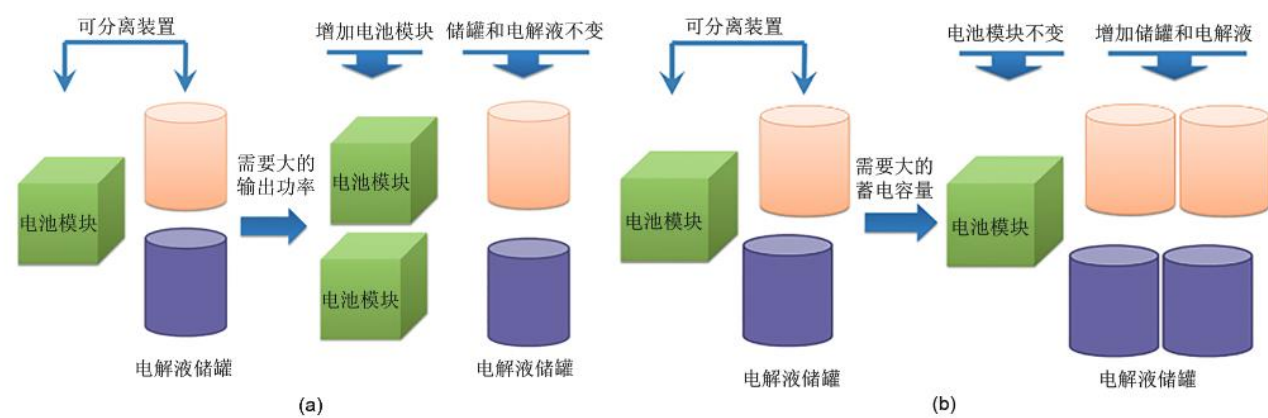
2.1 钒电池的优点

- **钒电池具有安全性高、循环寿命极长、环境友好、响应速度快、容量规模易调节等优点。**
- **安全性是储能技术需要首先考虑的因素。**据不完全统计，过去几年全球储能领域共发生70起储能安全事故，2022年1-10月，全球就已经发生了17起以上的储能着火事故，其中三元电池、磷酸铁锂电池均有涉及。
- **钒电池本征安全，理论上不存在着火爆炸危险。**钒电池的电解液为钒离子的稀硫酸水溶液，电池中的化学反应在溶液中进行，固体电极只是负责电流的传导，受到各种副反应的影响较少，理论上只要控制好充放电截止电压，保持电池系统存放空间通风良好，即可保证安全，不存在着火爆炸的危险。此外，隔膜即使出现破损，电解液混合后也不会导致电堆完全损坏。
- **使用寿命长，几乎无衰减。**影响电池使用寿命的一个重要因素是电池的深度充放电，当电池中的活性物质被反应完全时，继续充电或放电便很容易产生副产物，从而使电池容量减小。由于全钒液流电池是通过电解液中钒离子价态的变化实现电能的存储和释放，没有电极固体中复杂的副反应，即使常年运行由于微量的副反应和正、负极电解液微量互串的累计造成容量衰减，也可以通过在线或离线再生反复循环利用，因此钒电池项目通常可以运营15-20年。
- **全生命周期环境友好，易回收利用。**钒电池的电堆和系统主要是由碳材料、塑料和金属材料组装而成，当全钒液流电池系统废弃时，金属材料可以循环利用，碳材料、塑料可以作为燃料加以利用；电解液方面，由于全钒液流电池的充放电主要是钒离子的价态变化，因此其充放电几乎不产生杂质，也不产生环境污染物，回收处理的难度低，环境非常友好。
- **响应速度快、充电便捷。**钒电池组充满电解液瞬间启动。运行过程中，充放电状态切换仅需0.02秒，响应速度为1毫秒。另外可以通过直接更换电解液实现钒电池的瞬间充电。

2.1 钒电池的优点

- **输出功率和储能容量相互独立，模块化程度高，配置灵活。** 钒电池储能系统的输出功率由电堆的大小和数量决定，而储能容量由电解液的体积决定。如果需要增加输出功率，只要增大电堆的电极面积和电堆数量即可实现；如需增加储能容量，只要增加电解液的体积即可实现。
- 以融科储能200 MW/800MWh国家示范储能电站的一期工程为例，单体电堆的额定输出功率是31.5kW，有8个这样的单体电堆组成了一套可实现单独充放电控制的500kW/2MWh储能模块，由50套储能模块构建1套具有就地监控系统的25MW/100MWh储能单元，最后再由4套储能单元构建出100MW/400MWh全钒液流电池储能系统。

图表6：全钒液流电池储能系统的输出功率和储能容量可独立设计



图表7：国家储能示范电站模块化结构示意图

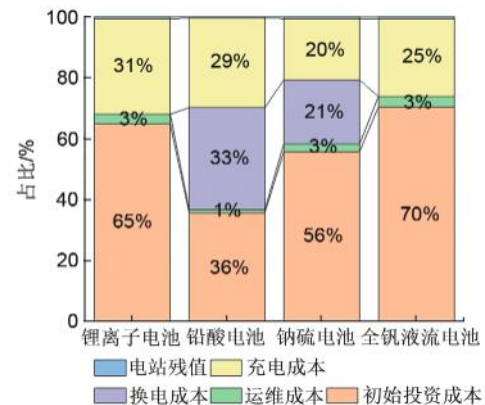


资料来源：《全钒液流电池的技术进展、不同储能时长系统的价格分析及展望》，张华民，中邮证券研究所

2.2 钒电池的缺点

- **钒电池主要缺点体现为能量密度低**，全钒液流电池能量密度一般为15-50Wh/kg，同铅酸电池相当，低于锂离子电池，因此实际占地较大，以100兆瓦/400兆瓦时的钒电池的大型储能项目来说，用同样的场地，如果换做锂电池大概可以达到800-1000兆瓦时。
- **工作环境相对局限**，钒电池通常需要在0-45℃的环境下工作，温度过低会导致电解液凝固，而温度过高则会导致溶液中的V⁵⁺形成V₂O₅析出，从而堵塞电解液通道，导致电池报废。
- **成本是制约全钒液流电池发展的核心问题**。目前钒电池的系统投资成本约为3000-4000元/kWh，锂离子电池约为1500-2000元/kWh，结合中核汇能招标价，全钒液流电池储能系统平均单价约3.1元/Wh，中标价为2.65元/Wh，磷酸铁锂储能的平均单价是1.44元/Wh，**钒电池的投资成本约是磷酸铁锂的2倍左右**。

图表8：多元电化学储能电站成本占比



资料来源：《规模化多元电化学储能电站成本及其经济性分析》，刘阳等，中邮证券研究所

2.3 不同储能技术对比

图表9：不同储能技术对比

电池类型	锂离子电池（磷酸铁锂）	钠离子电池	全钒液流电池	锌溴液流电池	铁铬液流电池
原材料丰富程度	对外依赖强	丰富	丰富	丰富	丰富
能量密度（w/kg）	130-200	100-150	15-50	75-85	10-20
循环寿命（次）	3000-6000	2000+	15000	15000	15000
充放电效率（%）	90-95	90-95	70	70	70
储能系统效率（%）	85-90	85-90	65-70	60-65	60-70
运行温度	常温-45	-30-55	5-50	-30-60	零下40-70
寿命	10	6	15-20	15-20	15-20
深度充放电是否影响寿命	是	基本无影响	基本无影响	基本无影响	基本无影响
容量	衰减后不可恢复	衰减后不可恢复	可再生	可再生	可再生
回收难易	较复杂	较复杂	易回收	易回收	易回收
安全性	较差，存在过热起火爆炸风险	好	好	中	好
单位投资成本（元/kWh）	1500-2000	1100左右	2500-4000	2000-3000	1000-2000
适用场景	≤4h	≤4h	≥4h	≥4h	≥4h
市场情况	当前主流技术路线	示范项目	初步商业化（GW级）	示范项目	示范项目
优势	长寿命，能量密度高，高效率，x响应速度快，环境适应性强	成本低，环境友好	适用范围广，原材料丰富，15-20年寿命，工作温度高	适用范围广，原材料丰富，15-20年寿命，工作温度高	适用范围广，原材料丰富，15-20年寿命，工作温度范围较大
挑战	存在安全风险	能量密度低，技术不成熟	能量密度偏低，占地面积大，原材料价格波动大	能量密度偏低，充放电倍率低，效率较低	能量密度偏低，充放电倍率低，效率较低，容量衰减快

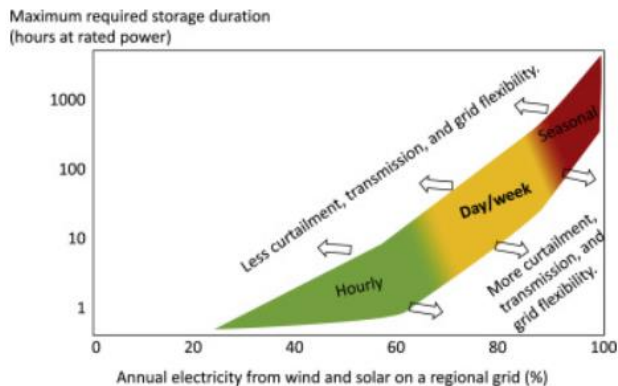
资料来源：2021年储能白皮书，《规模化多元电化学储能度电成本及其经济性分析》，中邮证券研究所整理

请参阅附注免责声明

2.4 钒电池适用于长时储能领域

- **可再生能源占比提升需长时储能配套发展。**长时储能通常是指大于4小时，可以实现数天、数月充放电循环的储能系统。由于太阳能、风能等可再生能源发电具有不稳定、不连续、不可控等特点，大规模并网会给电网安全稳定运行带来冲击，因此也造成了大量的弃风弃光现象，发展配套储能电池系统并实现电能并网是目前新能源发电利用的重要问题。根据相关文献，风能/太阳能发电量占比50%-80%时，10小时以内的长时储能将不可或缺。
- **4小时以上长时储能已成为真实刚需。**根据相关经验，新能源占比达到15-20%之后，4小时以上的长时储能需求成为刚需。内蒙古发布《关于加快推动新型储能发展的实施意见》提出，新建市场化并网新能源项目，配建储能规模原则上不低于新能源项目装机容量的15%，储能时长4小时以上。科技部下发的《“十四五”国家重点研发计划“储能与智能电网技术”重点专项2022年度项目申报指南》中也提出，储能技术时长持续4个小时以上，将作为一项重要的考核指标进行验收。在美国加州等光伏占比要求较高的地区，已开始使用6-8小时的储能进行调峰。

图表10：可再生能源占比提高要求储能时长提升

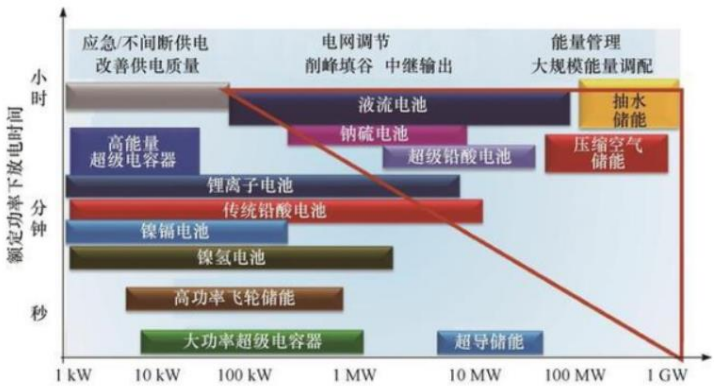


资料来源：《Long-Duration Electricity Storage Applications, Economics, and Technologies》，中邮证券研究所

2.4 钒电池适用于长时储能领域

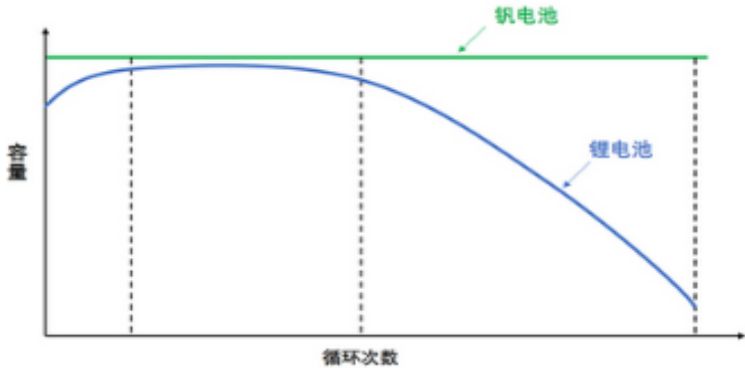
- 锂离子电池、钠电池在长时储能场景下存在缺陷，更适用于4h以下储能。
- ✓ 成本方面，磷酸铁锂电池提供功率与贮存能量的装置绑定在一起，提升容量的情况下，电池成本等比例增加。
- ✓ 技术方面，锂离子和钠电池均采用涂布电极，很难储能时长十小时以上。
- ✓ 安全性方面，增加电池容量将伴随电芯的加厚，安全隐患更大。
- ✓ 寿命方面，锂电池通常可以用14年左右，钠离子电池寿命更短，且使用后期都面临容量衰减，储能电站通常寿命都是在20年以上。
- 抽水蓄能、压缩空气储能对地理条件有一定要求。从目前的已开发的各种储能技术来看，抽水蓄能、压缩空气、液流电池是主流应用，前两者在地理条件上有较多要求，需要靠近河流或岩石洞穴等。
- 综合来看，钒电池循环寿命长，通常可以运行20年以上，容量无衰减，安全性高，散热性好，且储能电站一般位于空旷地区，占地面积大的缺陷得到弥补，因此有望在长时储能领域首先爆发，与锂离子电池、抽水蓄能等储能形式形成互补。

图表11：已开发的各种储能技术及其适用范围



资料来源：国际储能网，中邮证券研究所

图表12：钒电池生命周期内无效率衰减

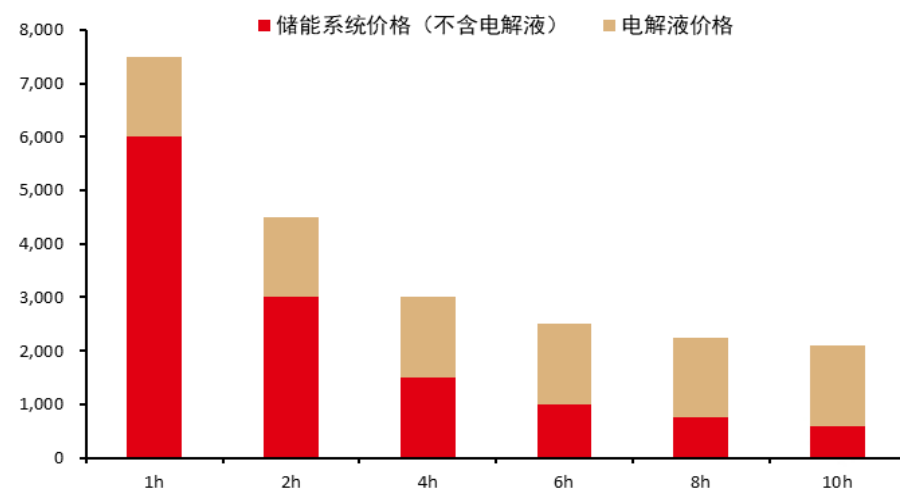


资料来源：融科储能，中邮证券研究所

2.5 储能时长越长，初始投资成本越低

- 钒电池面临的成本困境随着长时储能规模扩张能够得到缓解。
- 储能时长越长，钒电池储能系统初始投资成本越低。假设电解液价格约为1500元/kWh，储能时长为1h的储能系统价格约为6000元/kWh，随着储能时长变长，储能系统成本被分摊，初始投资成本为3630元/kWh，参考行业内招标信息，头部企业如大连融科2.65元/Wh，平均报价为3.1元/Wh。
- 钒电池回收利用残值高，可以半永久使用。由于钒电池电解液可在线或离线再生循环使用，自身不会降解，回收利用率较高，残值可达70%以上，除电解液可循环利用外，电堆的电极和双极板(碳材料)及电极框(塑料)可作为燃料使用，燃烧后只产生 CO₂ 和 H₂O，集流板为铜板，端板为铝合金板或铸铁板，紧固螺杆为钢材，电池系统报废后，很容易回收循环利用。

图表13：不同储能时长钒电池初始投资成本（元/kWh）



资料来源：《全钒液流电池的技术进展、不同储能时长系统的价格分析及展望》，张华民，中邮证券研究所

2.6 全生命周期下钒电池度电成本占优

- 由于钒电池电解液理论回收残值较高，对考虑残值及不考虑残值两种情形进行测算。假设钒电池初始投资成本为3000元/kWh，储能时长为4h。
- 不考虑回收残值情况下，钒电池初始投资成本及度电成本较高。不考虑回收残值情况下，全钒液流电池度电成本约为0.85元/kWh。
- 考虑回收残值情况下，度电成本有所降低，行业头部企业可以做到与磷酸铁锂电池接近的度电成本。考虑回收残值情况下，全钒液流电池全生命周期度电成本约为0.81元/kWh，行业头部企业可以做到与磷酸铁锂电池接近的度电成本0.71元/kWh。主要原因是全钒液流电池拥有更长的运营年限，较高的充放电深度和回收成本以及更低的衰减率。

图表14：不同情境下度电成本测算（元/kWh）

项目	全钒液流电池储能 (不考虑回收残值)	全钒液流电池储能 (考虑回收残值)	全钒液流电池储能 (行业头部企业) (考虑回收残值)	磷酸铁锂电池储能
初始投资假设				
储能容量QE/(MW·h)	400	400	400	400
储能时长(h)	4	4	4	4
储能功率/MW	100	100	100	100
年衰减率	0.00%	0.00%	0.00%	2.00%
储能效率ηRT/%	60	60	60	88
单位投资成本(元/kWh)	3000	3000	2650	1500
初始投资成本Cinv/万元	120000	120000	106000	60000
运维费用(%)	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%
寿命	20	20	20	10
报废成本率	15%	40%	40%	15%
残值	18000	48000	42400	9000
运营假设				
放电深度θDoD/%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%
年循环次数Ny/(次·a-1)	365	365	365	365
充电电价/(元·(kW·h)-1)	0.288	0.288	0.288	0.288
折现率	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%
测算结果				
度电成本LCOE(元/kWh)	0.85	0.81	0.71	0.71

资料来源：《储能技术全生命周期度电成本分析》，文军等，中邮证券研究所计算

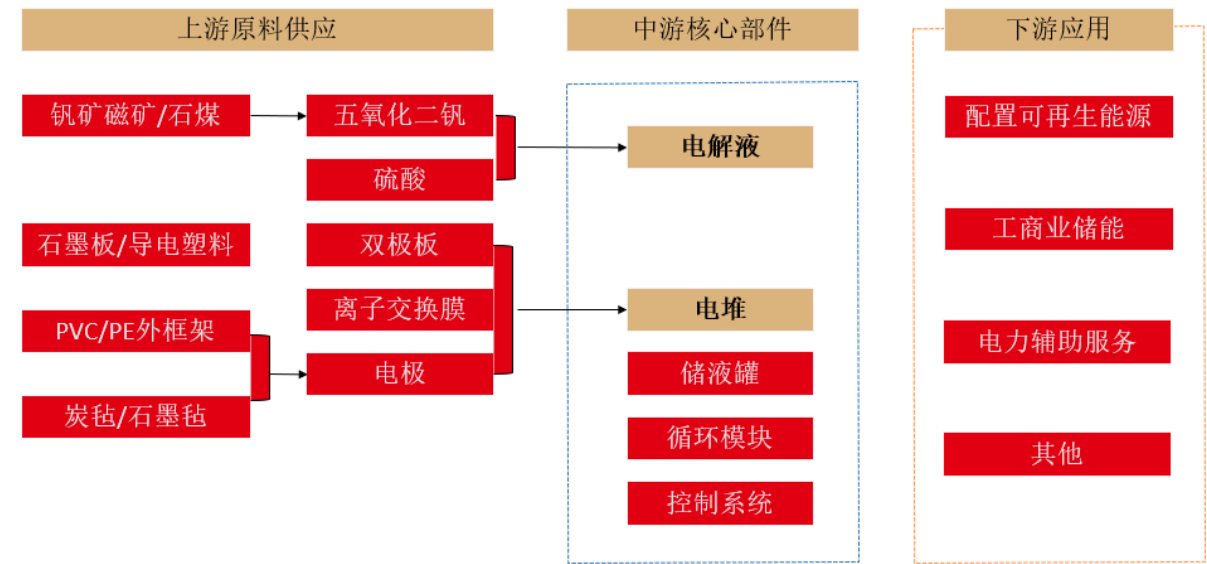
三

产业链：关键环节推进国产替代

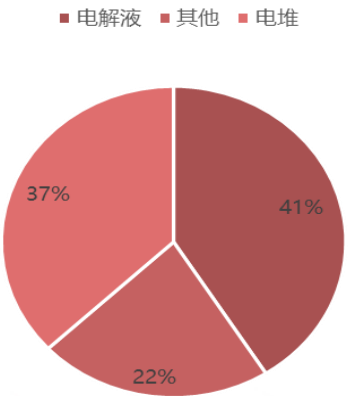
3.1 国产替代有望推动降本

- 全钒液流电池系统由电堆、电解质溶液储供子系统、电池管理子系统等组成，系统相对复杂。
- **电解液和电堆是钒电池的核心环节。**从成本占比看，电解液占比约41%，电堆占比约37%，二者是钒电池的主要成本来源。
- **产业链不成熟，供给配套不完善，关键环节如离子交换膜等依赖进口产品，是钒电池成本较高的原因之一。**
- **国产替代有望推动降本。**从近期产业链跟踪来看，国内钒电池产业链建设正在加速推进，产品性能追赶进口产品，随着装机规模不断扩张和政策大力支持，关键环节国产替代将推动钒电池进一步降本。

图表15：全钒液流电池产业链



图表16：钒电池成本占比



资料来源：powerlab，中邮证券研究所

3.2 电解液：提高利用率、创新商业模式推动降本

- **电解液是钒电池最大的成本来源，主要降本路径为提高实际利用率和创新商业模式。**
- **电解液利用率有待提升。**电解液的体积和浓度决定了全钒液流电池储能系统能够储存的最大能量，电解液中五氧化二钒占成本的2/3以上，理论上储存1kWh的电需要5.6kg五氧化二钒，但目前电解液的实际利用率仅能做到70%，五氧化二钒用量约为8kg，电解液利用率的提升将减少五氧化二钒用量，进而降低投资成本。
- **商业模式创新。**由于电解液本身寿命较长、衰减少，通过金融租赁等商业模式可以降低初期投资成本，目前业界正在逐步试点该模式。
- **工业制备电解液多采用电解法，壁垒较高。**电解液制备主要采用化学还原法和电解法，工业上多采用电解法，便于大规模生产，但也存在速率慢、设备要求高、耗能高、成本高等缺点。由于过程中需要考虑电解质配比、温度、添加剂等多种元素才可实现高效率生产高性能钒电解液，行业壁垒较高。目前国内能够批量生产电解液的企业只有大连融科和河钢股份等少数几家企业。

图表17：电解液制造工艺

	原料	工艺	优点	缺点
化学合成法	钒氧化物、钒盐	在适量的硫酸溶液中通过加热或加入还原剂	方法简单、设备要求不高、速度快、可制备高浓度的钒电解液	操作较复杂、合成量少、制备周期长、杂质多、难以提纯高纯度的钒电解液
电解法	五氧化二钒、偏钒酸盐	在有隔膜的电解池负极区加入含钒硫酸溶液，正极区加入相同浓度的硫酸溶液，并在电池两极加上适当的直流电	能够持续制备大量高浓度的钒电解液、操作简单、易于工业化生产	速率慢、设备要求高、耗能高、成本高

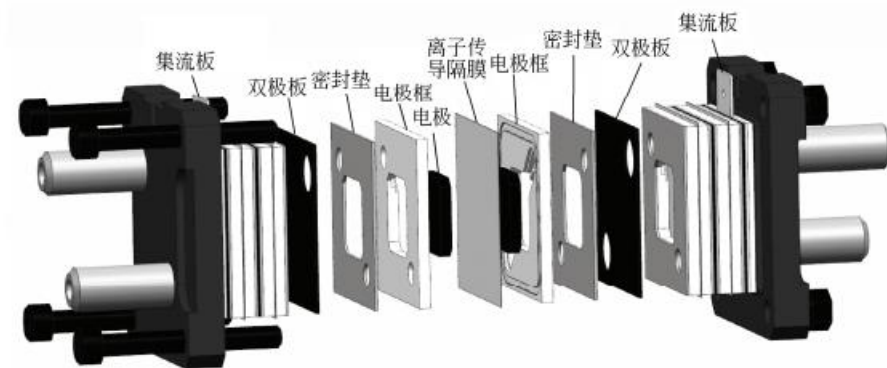
资料来源：《全钒氧化还原液流电池电解液》，王刚等，中邮证券研究所

请参阅附注免责声明

3.3 质子交换膜：国产产品成本占优，渗透率有望提升

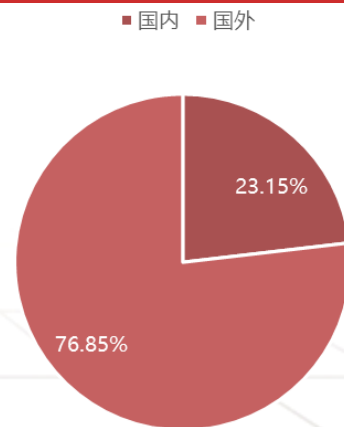
- **进口质子交换膜价格昂贵。**质子交换膜是电极的主要成本来源，全钒液流电池产业链的明珠。传统钒电池使用的膜材料主要使用国外杜邦公司生产的全氟磺酸离子交换膜，其成本较高，约占电堆成本的55%，且钒离子选择性相对较差。。
- **国产膜材料已实现技术突破，成本仅为进口产品1/3，渗透率有望提升。**根据GGII，2021年中国市场液流电池质子交换膜国产化率约为23.15%，其中科慕（原杜邦）的全氟磺酸树脂膜市场占比达75%，国内出货量靠前的企业为科润新材料和东岳未来氢能。国产质子交换膜虽然在断裂伸长率、机械强度等仍有差距，但在电导率、含水率等关键指标已追赶上国外企业，且成本更低，据科润新材介绍，其产品造价仅为进口产品的1/3，因此国产质子交换膜未来渗透率有望进一步提升。

图表18：全钒液流电池的典型结构



资料来源：《全钒液流电池技术最新研究进展》，张华民等，中邮证券研究所

图表19：2021年液流电池质子交换膜国产化率

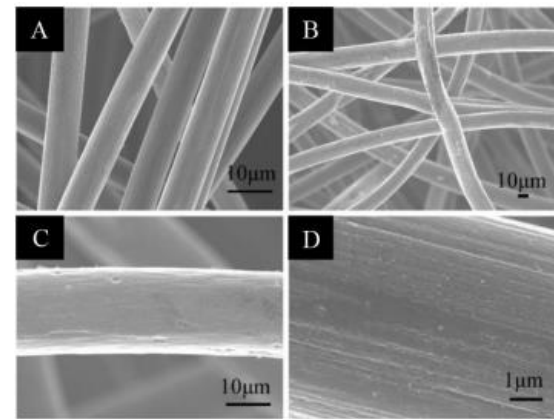


资料来源：GGII，中邮证券研究所

3.4 电堆：规模化生产推动降本

- **电极材料是钒电池功率模块成本和电池转化效率高低的决定性因素。**
- 电极表面是全钒液流电池发生氧化还原反应的场所，电极材料常用碳毡或石墨毡。碳毡和石墨毡的制造流程是高温碳化处理高分子纤维织物得到，成本较为低廉，并且具有稳定性好，导电能力突出等优点，但也存在电化学活性较低的缺点，是造成钒电池功率密度较低的关键因素之一。根据长沙理工大学丁美、贾传坤教授团队研究成果，团队最新自主研发出的新型大尺寸石墨烯复合电极功率密度较原始电极材料可提升80%以上，同时还表现出了优越的循环稳定性，目前已进入商业应用孵化和中试阶段。
- 双极板常用碳塑复合双极板，起到连接各电池单体的作用，目前已实现大规模应用，主要生产方式为模压成型，注塑成型在成本和产量方面更具有优势，但初始投入成本较高，适合大规模生产。根据相关研究，目前最有潜力的降低成本方式是推动标准化和大规模生产。

图表20：石墨毡 SEM 图像



资料来源：《全钒氧化还原液流电池用石墨毡电极的分步氧化活化》，姜景媛等，中邮证券研究所

3.5 总结：产业链初步完整，从1-10腾飞

- **钒电池产业链已经完整，开始1-10的腾飞。**经过 20 多年的努力，我国全钒液流电池储能技术水平处于国际领先地位，已形成了初步完整的全钒液流电池产业链，从上游的资源开采、冶炼，到电解液、电池堆、双极板、隔膜、电极等的生产，相关领域都有对应企业从事细分产业的产品工作，已满足产业化应用的要求。

图表21：全钒液流电池产业链主要公司

产业链	国内企业	国外企业
五氧化二钒	攀钢钒钛、安宁股份、河钢股份、西部矿业、明星电力	
电解液	四川省川威集团、博融材料、湖南汇锋高新能源、湖南省银峰新能源、湖北平凡矿业	美国史查克(Straco)，德国电冶金公司(GFE)
隔膜	大连融科储能技术发展有限公司、江苏科润新材料股份、辽宁科京新材料、山西国润储能科技、辽宁格瑞洛孚新能源、山东东岳未来氢能材、贵州聚能世纪科技、新新钒钛	美国杜邦、德国Fumatech、美国戈尔Gore、日本旭硝子、日本旭化成公司
电极	辽宁金谷炭材料股份、四川省江油润生石墨毡有限公司、嘉兴纳科新材料有限公司、旭能翰源	日本东丽、日本东邦、美国郝克利、美国阿莫克
双极板	威海南海炭材料、大连博融新材料、辽宁科京新材料、青海百能汇通新能源科技、中科能源材料科技(大连)、佛山市瑞能达特种材料科技	
电池堆与系统集成	大连融科储能装备、北京普能世纪科技、乐山伟力得能源、大力电工襄阳股份、上海电气储能科技、国网电力科学研究院武汉南瑞、寰泰储能科技、承德新新钒钛、国际能源集团北京低碳清洁能源研究院、杭州德海艾科能源科技、开封时代新能源科技	日本住友电工、美国UniEnergy Technologies、奥地利Gildemeiste

资料来源：绿色和平和中华环保联合会，EVTank，中邮证券研究所

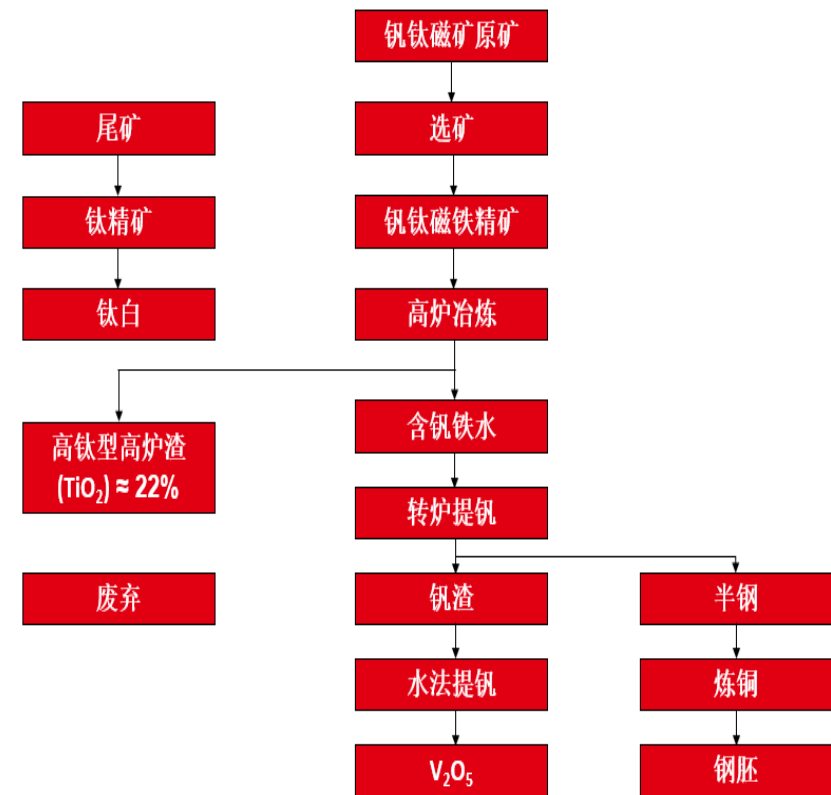
四

供需：钒资源自主可控，储能用钒打破平衡

4.1 钒主要存在于钒钛磁铁矿

- **98%的钒储存在于钒钛磁铁矿，88%的钒产量来自于钒钛磁铁矿。**
钒在自然界中广泛存在，目前发现的含钒矿物有70多种，但主要的矿物有以下3种：钒钛磁铁矿、钾钒铀矿、石油伴生矿。其中钒钛磁铁矿是主要存在形式，现在已探明的钒资源储量的98%赋存于钒钛磁铁矿中。据钒钛股份2021年公告，**全球约88%的钒产量来自于钒钛磁铁矿（原生矿20%+和钒渣60%+）**，约12%的钒由含钒二次资源（含钒燃油灰渣、废化学催化剂等）及含钒石煤生产。
- **五氧化二钒是钒的主要二级产品，可作为合金添加剂用于冶炼钒铁，约占五氧化二钒消费量的80%以上。**五氧化二钒通常从钒钛磁铁矿的尾矿和含钒石煤矿中提取冶炼，高炉-转炉流程是目前国内外钒钛磁铁矿最主要的冶炼方法。从原矿经选矿、高炉炼铁、转炉提钒后得到钒渣，钒回收率约为50%，未来仍有提升空间。

图表22：攀钢高炉法提钒工艺流程。

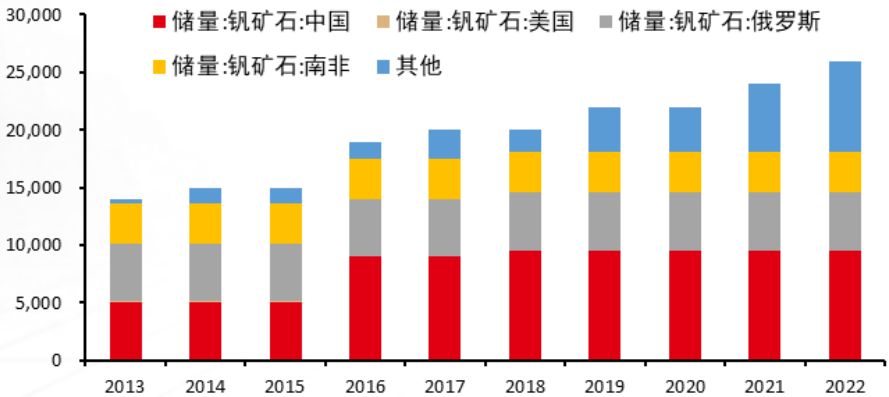


资料来源：《钒钛产品发展应用战略研究报告》，钒钛产品发展应用战略研究项目组，中邮证券研究所

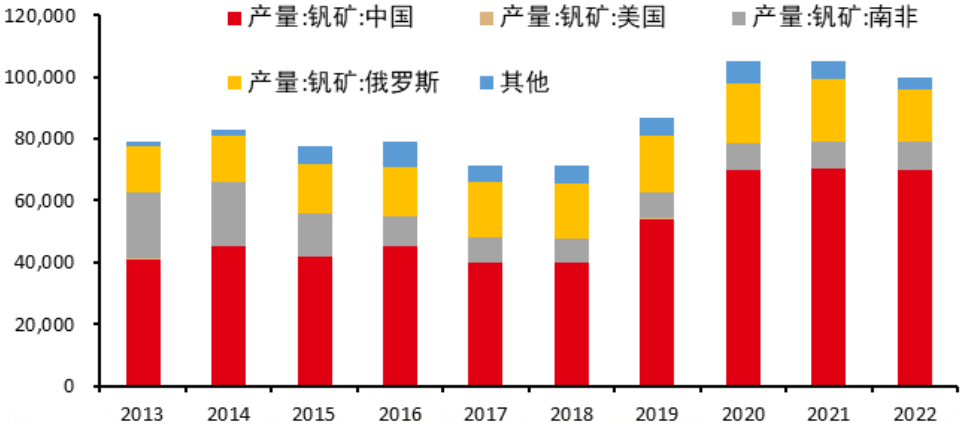
4.2 我国是钒生产和消费大国

- **钒资源储量丰富，逐步提升。**根据USGS，2022年全球钒金属储量超过6300万吨，其中钒矿金属钒储量约为2600万吨，当年产量为10万吨，储采比为260:1，储量较为丰富。
- **我国是钒生产和消费大国，钒资源充分自主可控。**2022年我国钒矿储量达950万吨，产量达7万吨，在储量、产量两端占比分别达36.54%/70%，据国际钒技术委员会数据，2021年中国钒消费全球占比达57.6%，为全球最大的钒消费国，因此我国对钒资源具有较强的定价权。

图表23：2013-2022全球钒矿储量（千公吨）



图表24：2013-2022全球钒矿产量（千公吨）

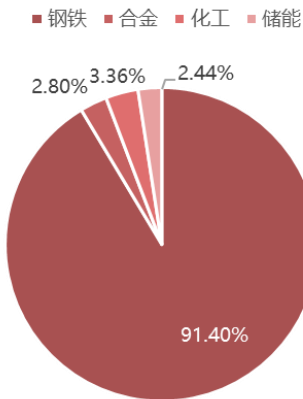


资料来源：USGS，中邮证券研究所

4.3 政策推动下，液流电池渗透率迅速提升

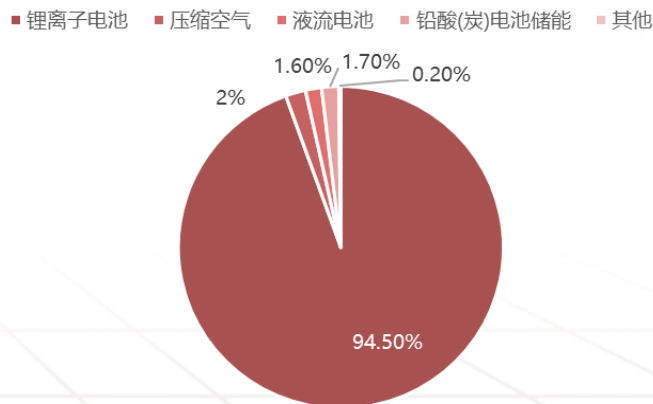
- **钢铁工业是钒的主要下游。**传统需求方面，钒在钢铁工业主要用于制造钒铁、氮化钒、钒氮合金等；在合金领域可用于制造钛合金，应用在飞机发动机、宇航船舱骨架、导弹、蒸汽轮机叶片、火箭发动机壳等方面；在化工领域主要用于硫酸、尿素等的催化剂和着色剂使用。三大领域分别占比91.4%/2.80%/3.36%。
- **储能领域是钒下游的新兴需求，2021年占比约为2.44%。**
- **政策推动新型储能进入发展快车道。**我们认为是2022年新型储能政策元年，未来随着电力市场的逐渐完善，储能供应链配套、商业模式的日臻成熟，新型储能将进入发展快车道。根据CNESA预测，在保守场景下2026年新型储能累计规模将达到48.5GW，2022-2026年复合增长率约为53.3%，理想场景下将达到79.5GW，年复合年均增长率约为69.2%。
- **液流电池储能渗透率迅速提升。**液流电池作为目前较为成熟的长时储能路线，渗透率有望迎来迅速提升。根据国家能源局，2022年全国新型储能累计装机中，锂离子电池储能占比94.5%、液流电池储能占比1.6%，较上年提高1%。

图表25：2021年钒下游市场消费结构



资料来源：Mysteel，中邮证券研究所

图表26：2022年新型储能累计装机占比



资料来源：国家能源局，中邮证券研究所

4.4 2025年储能用钒占比接近20%，供需缺口-1.72万吨

- 供给端，国内钒产品主要来自钢铁冶炼后的钢渣，与钒钢产量挂钩，供给相对稳定。
- 需求端，我们假设未来传统需求在地产政策支持下保持稳定增长，全钒液流电池渗透率逐步提升，保守估计到2025年将达到15%，以五氧化二钒单位用量0.8万吨/GW计算，**2025年储能领域用钒达到3.29万吨，占比接近20%，供需缺口将在储能需求驱动下达到1.72万吨。**

图表27：国内五氧化二钒供需平衡表

	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
传统需求合计	13.86	12.94	12.29	12.66	13.04	13.43
钢铁	12.68	12.12	11.51	11.86	12.21	12.58
钛合金	0.39	0.37	0.35	0.36	0.37	0.39
化工	0.79	0.45	0.42	0.44	0.45	0.46
增速			-5%	3%	3%	3%
国内新型储能累计装机（GWh）	3.28	5.73	8.70	13.34	20.45	31.34
液流电池装机渗透率	0.60%	0.60%	1.60%	5.00%	10.00%	15.00%
全钒液流电池新增装机（GWh）	0.02	0.03	0.14	0.67	2.04	4.70
单位需求量（万吨/GWh）	0.80	0.80	0.78	0.75	0.72	0.70
五氧化二钒需求量（万吨）	0.02	0.03	0.11	0.50	1.47	3.29
占比	0.11%	0.21%	0.88%	3.80%	10.15%	19.68%
需求	13.87	13.26	12.40	13.16	14.51	16.72
供给	13.63	13.97	12.00	12.50	13.60	15.00
供需缺口	-0.25	0.71	-0.40	-0.66	-0.91	-1.72

资料来源：CNESA，中钢协钒业分会，中邮证券研究所

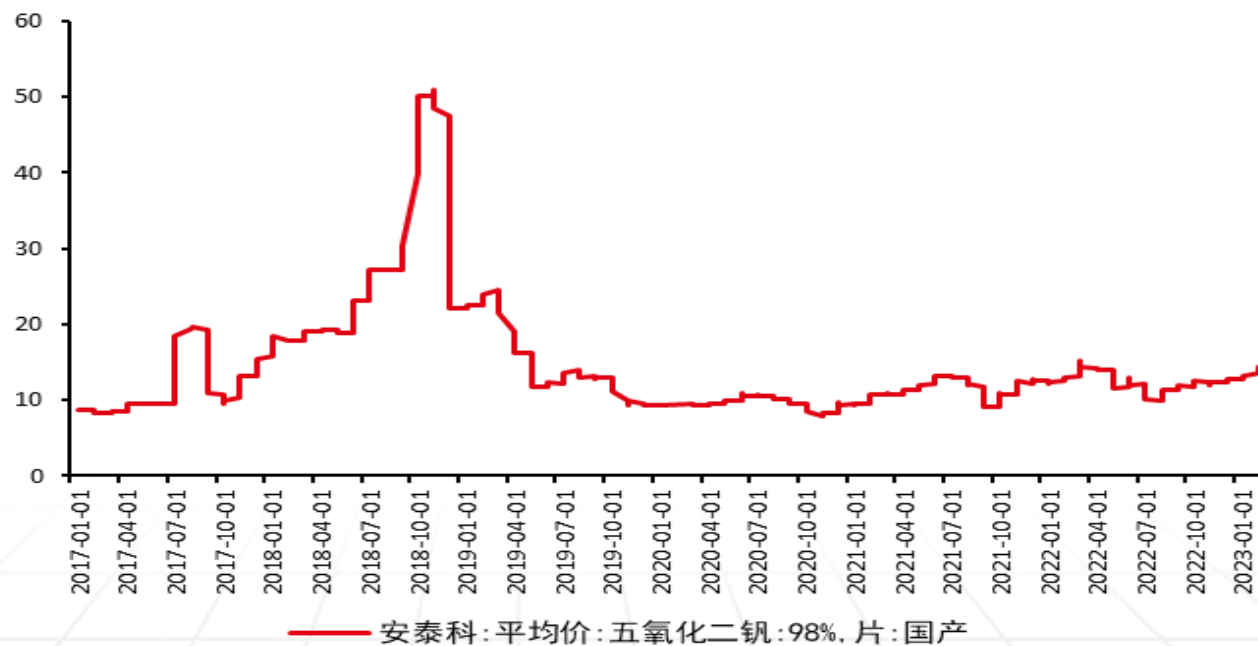
五

钒价回顾与投资建议

5.1 钒价回顾

- 复盘钒价，2018年钒价迎来大幅上涨，主要由于螺纹钢执行新的国家标准，需添加钒、铌等合金元素以提高性能，钒价大幅上涨后，含铌合金替代叠加新国标执行不及预期，价格快速回落。
- 2019年至今总体相对稳定，2022年8月钒价自底部上涨40.2%至目前的13.95万元每吨，主要由于钢铁产能限制供给有限，地产刺激政策下，钢筋用钒需求量有所提振。**未来随着储能用钒逐步发展，有望打破供需紧平衡局面。**

图表28：2017年至今五氧化二钒价格变化



资料来源: wind, 安泰科 (数据截至2023/2/28), 中邮证券研究所

■ 钒钛股份

- **业务介绍：**公司成立于1993年3月27日，公司拥有以五氧化二钒、高钒铁、钒氮合金、钒铝合金为代表的钒系列产品，以钛白粉、钛渣等为代表的钛系列产品，是世界主要的钒制品供应商，中国主要的钛原料供应商。公司大股东为攀钢集团，第二大股东为鞍山钢铁，炼钒用原料主要从鞍钢集团采购，供应有保障。
- **产能：**2021 年公司具备年产钒制品（以 V_2O_5 计）4 万吨以上、钛白粉 23.5万吨、高钛渣 24 万吨的综合生产能力。
- **产量：**2021年公司累计完成钒制品4.33万吨，钛白粉24.44万吨，钛渣21.24万吨的生产。
- **未来规划：**公司计划将现有硫酸法钛白粉产量稳定在 22 万吨/年水平，2月28日公告募集资金建设攀钢 6 万吨/年熔盐氯化法钛白项目和攀枝花钒厂五氧化二钒提质升级改造项目。根据公司与大连融科签订的《2023年钒电池储能原料合作年度框架协议》，若交易得以全部顺利执行，2023年预计将有8,000吨左右的钒产品应用于储能，公司2023年应用于储能领域的钒产品占比将接近20%。

- 政策变动风险;
- 模型假设与实际不符风险;
- 技术迭代风险;
- 原材料价格上涨风险等;

感谢您的信任与支持!

THANK YOU

李帅华（首席分析师）

SAC编号：S1340522060001

邮箱：lishuaihua@cnpsec.com

魏欣（研究助理）

SAC编号：S1340123020001

邮箱：weixin@cnpsec.com

分析师声明

李帅华承诺本机构、本人以及财产利害关系人与所评价或推荐的证券无利害关系。

本报告所采用的数据均来自我们认为可靠的目前已公开的信息，并通过独立判断并得出结论，力求独立、客观、公平，报告结论不受本公司其他部门和人员以及证券发行人、上市公司、基金公司、证券资产管理公司、特定客户等利益相关方的干涉和影响，特此声明。

免责声明

中邮证券有限责任公司（以下简称“中邮证券”）具备经中国证监会批准的开展证券投资咨询业务的资格。

本报告信息均来源于公开资料或者我们认为可靠的资料，我们力求但不保证这些信息的准确性和完整性。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价，中邮证券不对因使用本报告的内容而导致的损失承担任何责任。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策。

中邮证券可发出其它与本报告所载信息不一致或有不同结论的报告。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且不予通告。

中邮证券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头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者计划提供投资银行、财务顾问或者其他金融产品等相关服务。

《证券期货投资者适当性管理办法》于2017年7月1日起正式实施，本报告仅供中邮证券客户中的专业投资者使用，若您非中邮证券客户中的专业投资者，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司不会因接收人收到、阅读或关注本报告中的内容而视其为专业投资者。

本报告版权归中邮证券所有，未经书面许可，任何机构或个人不得存在对本报告以任何形式进行翻版、修改、节选、复制、发布，或对本报告进行改编、汇编等侵犯知识产权的行为，亦不得存在其他有损中邮证券商业性权益的任何情形。如经中邮证券授权后引用发布，需注明出处为中邮证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节或修改。

中邮证券对于本申明具有最终解释权。

公司简介

中邮证券有限责任公司，2002年9月经中国证券监督管理委员会批准设立，注册资本50.6亿元人民币。中邮证券是中国邮政集团有限公司绝对控股的证券类金融子公司。

中邮证券的经营经营范围包括证券经纪、证券投资咨询、证券投资基金销售、融资融券、代销金融产品、证券资产管理、证券承销与保荐、证券自营和与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问等。中邮证券目前已经在北京、陕西、深圳、山东、江苏、四川、江西、湖北、湖南、福建、辽宁、吉林、黑龙江、广东、浙江、贵州、新疆、河南、山西等地设有分支机构。

中邮证券紧紧依托中国邮政集团有限公司雄厚的实力，坚持诚信经营，践行普惠服务，为社会大众提供全方位专业化的证券投、融资服务，帮助客户实现价值增长。中邮证券努力成为客户认同、社会尊重，股东满意，员工自豪的优秀企业。

投资评级说明

投资评级标准	类型	评级	说明
报告中投资建议的评级标准： 报告发布日后的6个月内的相对市场表现，即报告发布日后的6个月内的公司股价（或行业指数、可转债价格）的涨跌幅相对同期相关证券市场基准指数的涨跌幅。 市场基准指数的选取：A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指为基准；可转债市场以中信标普可转债指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普500或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期基准指数涨幅在20%以上
		增持	预期个股相对同期基准指数涨幅在10%与20%之间
		中性	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%与10%之间
		回避	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	行业评级	强于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在10%以上
		中性	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%与10%之间
		弱于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	可转债评级	推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在10%以上
		谨慎推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在5%与10%之间
		中性	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%与5%之间
		回避	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%以下

中邮证券研究所

北京

电话：010-67017788

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：北京市东城区前门街道珠市口东大街17号

邮编：100050

上海

电话：18717767929

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：上海市虹口区东大名路1080号大厦3楼

邮编：200000

深圳

电话：15800181922

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：深圳市福田区滨河大道9023号国通大厦二楼

邮编：518048



中 邮 证 券

CHINA POST SECURITIES