

评级： 看好

核心观点

吴轩

有色行业首席分析师

SAC 执证编号：S0110521120001

wuxuan123@sczq.com.cn

电话：021-58820297

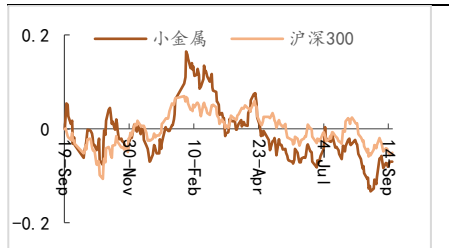
刘崇娜

有色行业研究助理

liuchongna@sczq.com.cn

电话：010-81152687

市场指数走势（最近1年）



资料来源：聚源数据

相关研究

- 镁建筑模板：兼具经济性及高性能 需求元年开启
- 镁电池——潜力无限的下一代高性能 电池突破方向

- **政策+技术支持，氢能产业加速发展。**氢能源具有“能量密度高、零排放、效率高、来源广、可再生”的特点，氢能的发展有助于推动全球能源结构由化石能源向清洁能源转变。在全球碳中和目标下，一系列氢能产业支持政策陆续出台，叠加技术积累，制氢、储氢发展前景广阔，是双碳目标的重要载体。目前储氢环节仍以高压气态储氢和低温液态储氢为主，其成本高、密度低、安全性差的缺陷制约着氢能大规模商业化，而固态储氢属于常压储氢路线，其在提升储氢密度及降低成本等方面具有较高的发展潜力，有望在未来解决储氢困局。
- **固态储氢优于气液态储氢，发展潜力巨大。**储氢方式分为固态、气态和液态储氢三种。目前气态储氢技术成熟，但储氢密度低；液态储氢在液化过程中能耗高、易挥发、成本高，皆不是首选储氢方式。固态储氢兼具可靠、安全、体积效率高的优点，具有巨大发展潜力。固态储氢中，物理吸附类储氢脱附氢能力强，但适用场景有限；配位氢化物理论储氢密度高，但放氢速度缓慢，可逆性差；水合物储氢成本低，但储氢密度不足；金属基储氢材料储氢密度大，安全性强，综合性能更加优异。
- **储能密度高+成本低+安全性强，镁基储氢在固态储氢材料中脱颖而出。**镁基储氢密度是气态储氢的1000倍、液态储氢的1.5倍，储氢密度高；储氢过程中化学反应简单，无需额外的低温、高压装置，成本低；存储及运输过程条件简单，安全性强。镁基储氢由于其巨大潜力近年来获得了大量关注，多所高校研究所对镁基储氢进行了深入研究；此外，镁资源丰富、反应过程环保也使其在储氢环节具备得天独厚的优势。
- **镁基储氢应用场景不断拓展，或将在冶金及煤化工领域率先运用。**镁基材料只有在高温下才有优异的吸附氢性能，这是制约镁基储氢发展的一大痛点，冶金和煤化工领域工作温度高，恰好弥补了镁基材料的缺陷，冶金和煤化工有望在镁基储氢的帮助下降低碳排放量。随着镁基储氢技术日渐完善，氢储能具备就地消纳清洁能源能力，并可在一定程度上替代传统能源，有望在能源互联系统中发挥重大作用。随着国家对氢能产业的重视，未来镁基储氢有机会在氢能源汽车行业发挥巨大作用。
- **相关标的：**与重庆大学合作有望加速镁储氢实现产业化，多项目即将投产具备高成长性的**云海金属**。
- **风险提示：**商业化进程存在不确定性；镁价剧烈波动风险

目录

1 氢能发展不断提速 拉动储氢材料广阔市场	1
1.1 氢能：双碳目标的重要载体	1
1.2 成本高+密度低是液体储氢和气态储氢的主要缺陷	3
1.3 兼具安全性及高效率 固态储氢发展潜力大	5
2 固态储氢百花齐放 镁基储氢优势瞩目	6
2.1 固态储氢材料安全性强 储氢效率高	6
2.1.1 物理吸附类储氢脱附氢能力强 适用场景有限	6
2.1.2 金属基储氢储氢密度大 安全性强	7
2.1.3 配位氢化物放氢速度缓慢 可逆性差	7
2.1.4 水合物储氢成本低 储氢密度不足	7
2.2 镁基储氢密度高 成本下降空间巨大	7
2.2.1 高储氢密度+高安全性 镁基储氢材料性能优势显著	8
2.2.2 镁基储氢化学反应简单 研究团队雄厚 具备技术优势	9
2.2.3 镁资源丰富 可满足镁基储氢大规模应用	10
2.2.4 镁基础能环境友好 符合安全环保要求	11
2.3 降低吸附氢所需温度是镁基储氢发展关键	11
2.3.1 纳米化减小颗粒尺寸 改善吸附氢速率	11
2.3.2 合金化有效降低吸附氢温度	11
2.3.3 添加催化剂综合提升储氢性能	12
2.3.4 复合轻金属配位氢化物提高储氢容量	12
3 冶金及煤化工或率先运用镁基储氢 储能应用前景广阔	12
3.1 氢冶金技术是冶金行业减排的重要方向	12
3.1.1 氢能是炼铁过程中减少 CO ₂ 排放的关键	12
3.1.2 绿氢耦合加快煤炭的高效清洁利用	14
3.2 镁储氢有助电网大规模调峰和跨季节、跨地域储能	15
3.3 镁基储氢有望赋能新能源汽车	16
3.3.1 我国加氢站建设加速中 首个固态加氢站落地	17
3.3.2 合金储氢解决氢燃料汽车安全难题	18
4 相关标的：云海金属	18
5 风险提示	19

插图目录

图 1 氢能产业示意图	1
图 2 未势能源第二代 70MPa-57L IV型储氢	4
图 3 未势能源IV型储氢结构	4
图 4 首个工业规模 LOHC 绿色氢气进口方案	5
图 5 液态有机氢载体运氢示意图	5
图 6 常见固态储氢罐——圆柱形冷却管	5
图 7 常见固态储氢罐——盘管式换热器	5
图 8 储氢合金吸放氢的示意图	6
图 9 全国首台吨级镁基固态储运氢车	9

图 10 镁基储氢氢化反应过程示意图	9
图 11 自然界镁资源主要存在形式	10
图 12 2022 年全球菱镁矿产量分布	11
图 13 2022 年全球镁锭产量分布	11
图 14 吸放氢过程与颗粒大小的关系示意图	11
图 15 氢冶金“四步走”发展线路图	13
图 16 微波氢气还原铁矿石结构示意图	14
图 17 绿氢耦合煤化工系统示意	14
图 18 合成氨生产产业链示意	15
图 19 甲醇生产产业链示意	15
图 20 含氢能流的电—气能源互联系统结构示意图	16
图 21 2018-2022 年中国燃料电池汽车产销情况	17
图 22 气氢、液氢加氢站工作原理	17
图 23 小虎岛电氢智慧能源站	18
图 24 云海金属 2012-2023H1 营业收入	19
图 25 云海金属 2012-2023H1 年归母净利润	19

表格目录

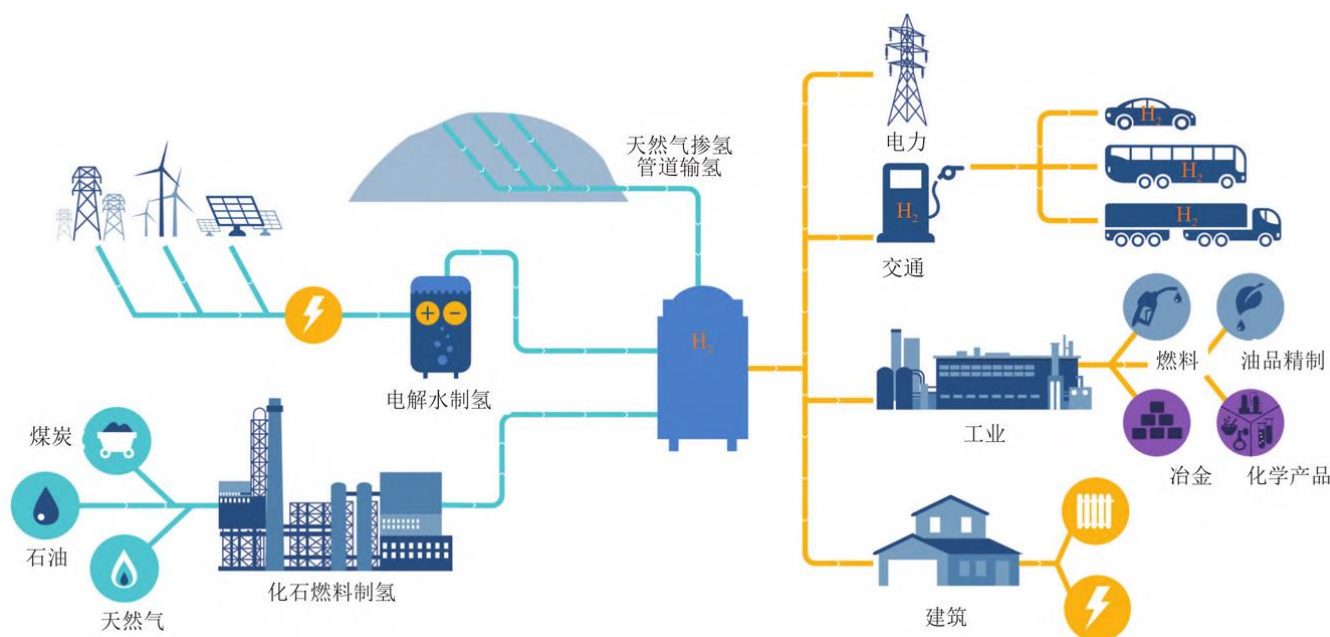
表 1 氢能重点政策	2
表 2 典型制氢技术的成熟度、生产规模和碳排放强度对比	2
表 3 典型储氢技术对比	3
表 4 现有氢液化理论原理及应用情况	4
表 5 固态储氢材料储氢量高	6
表 6 物理吸附类储氢材料优劣势	7
表 7 金属基储氢材料优劣势	7
表 8 配位氢化物储氢材料优劣势	7
表 9 镁基储氢材料储氢量高	8
表 10 镁基储氢运营成本低	8
表 11 镁基储氢研究团队介绍	9
表 12 资源储量及分布地区	10
表 13 不同镁基合金储氢性能	12
表 14 全球氢能炼钢试验项目的技术的投资与减排效果	13
表 15 云海金属产品介绍	18

1 氢能发展不断提速 拉动储氢材料广阔市场

1.1 氢能：双碳目标的重要载体

氢能是一种清洁零碳、灵活高效、来源丰富的二次能源，对环境保护、节能减排具有重要意义。一方面，由于风、光等可再生能源的波动性导致其难以直接并网大规模利用，而氢能可以帮助可再生能源大规模消纳，实现电网大规模调峰和跨季节、跨地域储能。由可再生能源制取氢气，氢气再转化为终端能源，有利于促进可再生能源消纳；另一方面，中国工业和交通业高度依赖传统化石能源，脱碳难度高。推行绿氢替代可促进绿色化工、绿色交通的发展，助力工业、交通业等碳密集行业实现碳中和。

图 1 氢能产业示意图



资料来源：《氢能工业现状、技术进展、挑战及前景》，首创证券

氢能应用广泛，发展潜力大。第一，氢能是一种理想的清洁能源。不管是直接燃烧还是在燃料电池中的电化学反应，其产物只有水，且效率高。随着燃料电池技术的不断完善，以燃料电池为核心的新兴产业将使氢能的清洁利用得到充分发挥，主要表现在氢燃料电池汽车、分布式发电、氢燃料电池叉车和应急电源产业化初现端倪。第二，氢能是一种良好的能源载体，具有清洁高效、便于存储和运输的特点。可再生能源，特别是风能和太阳能在近十年来发展迅猛，但由于本身的不稳定，导致其电力上网难，出现大量的弃风、弃光现象，严重制约了它们的发展。将多余电量用于电解制氢，可大规模消纳风能、太阳能，制得的氢既可作为清洁能源直接利用，还能掺入到天然气中经天然气管网输运并利用。第三，氢气是化石能源清洁利用的重要原料。成熟的化石能源清洁利用技术对氢气的需求量巨大，其中包括炼油化工过程中的加氢裂化、加氢精制以及煤清洁利用过程中的煤制气加氢化、煤制油直接液化等工艺过程，推进氢能在这方面的应用有望加速氢能的规模化利用。

政策支持+技术突破，我国氢能产业发展迅速。氢能已经成为“十四五”期间重点产业，国家及各省市陆续出台一系列氢能产业支持政策，已初步形成涵盖宏观综合、行业管理、科技创新、财税优惠等方面的支持政策体系。随着我国政策的引导以及大批氢能项目落地实施，氢能技术不断突破，产业体系逐步完善，我国氢能领域的发展已加速进入产业化阶段。经过多年的工业积累，中国已经是世界最大的制氢国，氢能市场潜力巨大。

表 1 氢能重点政策

时间	部门	政策	意义
2020.4	财政部、工业和信息化部等	《关于完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》	对燃料电池汽车的购置补贴采取“以奖代补”的方式，争取年内建立氢能汽车完整产业链
2020.4	国家能源局	《中华人民共和国能源法（征求意见稿）》	优先发展可再生能源，开发应用替代油气的新型燃料
2020.6	国家能源局	《2020 年能源工作指导意见》	从改革创新和推动新技术产业化角度推动氢能发展
2020.10	国务院	《新能源汽车产业发展规划（2021—2035 年）》	攻克氢能储运、加氢站、车载储氢等氢燃料电池技术，健全氢燃料制、储、运
2021.2	国务院	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	坚持节能优先，提升可再生能源氢能利用比例，因地制宜发展氢能
2021.6	国家能源局	《关于组织开展“十四五”第一批国家能源研发创新平台认证工作的通知》	大力发展氢燃料电池的使用，推动燃料电池电动汽车能耗及续航里程、车载氢系统等标准的制定
2021.10	国务院	《“十四五”全国清洁生产推行方案》	鼓励绿氢炼化、二氧化碳耦合控制甲醇等降碳工程
2021.10	国务院	《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	推进经济社会发展全面绿色转型，加快构建清洁低碳安全高效能源体系，提高对外开放绿色低碳
2021.10	国家能源局	《2030 年前碳达峰行动方案》	拓展了氢能在交通运输领域的应用，推广氢燃料动力重型货运车辆
2021.11	国资委	《关于推进中央企业高质量发展做好碳达峰碳中和工作的指导意见》	稳步构建氢能产业体系，完善氢能制、储、输、用一体化布局
2021.11	工信部	《“十四五”工业绿色发展规划》	提高清洁能源的比重，鼓励氢能的应用
2021.12	国务院	《“十四五”节能减排综合工作方案》	推动绿色转型，助力实现碳达峰
2022.3	发改委、能源局等六部门	《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》	加速石化化工行业变革、提高清洁生产水平，促进了氢能的发展
2022.3	发改委	《氢能产业发展中长期规划（2021—2035 年）》	将氢能作为未来能源体系的重要组成部分，保障了战略地位
2022.4	教育部	《加强碳达峰碳中和高等教育人才培养体系建设工作方案》	为实现碳达峰、碳中和目标提供人才储备

资料来源：《氢能产业政策及商业化模式分析》，首创证券

按照制取过程中的碳排放强度，氢气被分为灰氢、蓝氢和绿氢。灰氢指由化石燃料重整制得的氢气，碳排放强度高，技术成熟，适合大规模制氢，成本优势显著，占据目前全球市场氢源供应的绝大多数。蓝氢包括加装碳捕集与封存（CCS）技术的化石能源制氢和工业副产氢，在灰氢的基础上碳排放量大幅降低。绿氢即可再生能源制氢及核能制氢，制氢过程中几乎不产生碳排放，是未来氢气制取的主流方向。但绿氢制取技术目前成熟度较低，技术成本高，推广应用仍需要时间。

表 1 典型制氢技术的成熟度、生产规模和碳排放强度对比

氢气	工艺路线	技术成熟度	生产规模（标准立方米/小时）	碳排放（千克 CO ₂ /千克 H ₂ ）
灰氢	煤制氢	成熟	1 000~20×10 ⁴	19
	天然气制氢	成熟	200~20×10 ⁴	10
蓝氢	煤制氢+CCS	示范论证	1 000~20×10 ⁴	2
	天然气重整制氢+CCS	示范论证	200~20×10 ⁴	1
	甲醇裂解制氢	成熟	50~500	8.25
	芳烃重整副产氢	成熟	—	有
	焦炉煤气副产氢	成熟	—	有
	氯碱副产氢	成熟	—	有
绿氢	水电解制氢	初步成熟	0.01~4×10 ⁴	—
	核能制氢	基础研究	—	—

请务必仔细阅读本报告最后部分的重要法律声明

生物质制氢	基础研究	—	—
光催化制氢	基础研究	—	—

资料来源：《中国氢能技术发展现状与未来展望》，首创证券

目前，氢能加氢时间长、运输成本高，储氢安全性、稳定性等问题制约了氢能源大规模商业化。随着氢能源政策大量出台，氢能源产业链加快建设，氢能技术研发也同时取得进展，但仍有部分技术瓶颈有待突破。

- (1) 加氢检测时间长。加氢过程只需几分钟，但加氢前的检查、静电释放等要 10~20 min。在不考虑排队的情况下，加一次氢气需近 0.5 h。
- (2) 氢能源车价格高，加氢成本也高。氢能源车的生产、研发成本高，导致整车的售价也高；制氢、运输、运营成本偏高，加氢成本也比传统燃油成本高。
- (3) 加氢站建设投资大、手续繁琐。加氢站投资回报周期较长，手续办理不成体系。
- (4) 储氢罐面临安全问题。储氢压力高(35MPa 或 70MPa)。氢气在高压高温(30MPa, 300℃以上)环境下，产生“氢脆现象”，腐蚀金属，引起裂纹导致储氢罐破裂。

1.2 成本高+密度低是液体储氢和气态储氢的主要缺陷

氢气的储运具有一定难度，但也是保证氢气安全且经济化应用的关键。标准状况下，氢气的密度约为空气的 1/14，因此其体积能量密度并不占优势。按照美国能源部提出的商业化储氢密度要求，质量储氢密度需达到 6.5 wt%（存储氢气质量占整个储氢系统的质量百分比），体积储氢密度达到 62 千克/立方米。此外，氢气分子尺寸小，易泄露，还可能引起氢脆和氢腐蚀问题，对储存容器要求极高。此外，氢气是易燃易爆气体，其燃点为 574℃，爆炸极限广至 4%~75%，安全问题极为重要。

储氢技术分为两个方向：**物理储氢和化学储氢**。物理储氢主要包括常温高压储氢、低温液化储氢、低温高压储氢和多孔材料吸附储氢；化学储氢主要包括金属氢化物储氢和有机液体储氢。

表 3 典型储氢技术对比

储氢技术	高压气态储氢	低温液态储氢	固态金属储氢	有机溶液储氢
储氢密度 /wt%	1.0~5.7	5.1~10.0	1.0~10.5	5.0~10.0
优点	技术成熟，成本低，充放氢快，工作条件较宽	储氢密度高，氢纯度高	不需要压力容器，氢纯度高	储氢密度高，成本较低，安全性较高，运输便利
缺点	储氢密度低，存在泄漏安全隐患	液化过程能耗高，易挥发，成本高	放氢率低，吸放氢有温度要求，储氢材料循环性差	副反应产生杂质气体，脱氢反应需高温，催化剂易结焦失活
应用情况	成熟商业化	国外商业化，国内仅航空领域	研发阶段	研发阶段

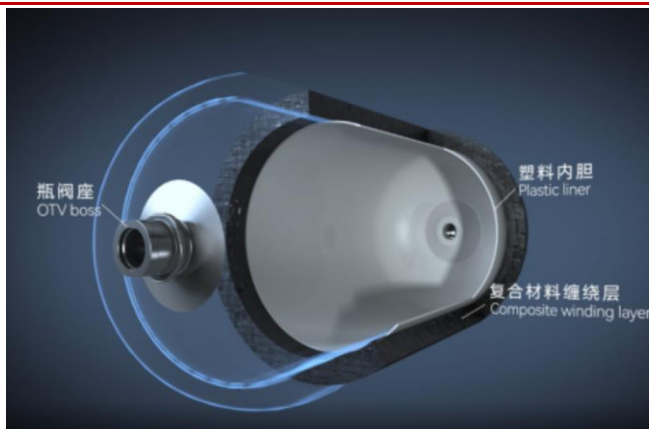
资料来源：《中国氢能技术发展现状与未来展望》，首创证券

高压气态储氢是目前应用广泛、相对成熟的储氢技术，即通过压力将氢气液化至气瓶中加以储存，运输成本是气态储氢经济性的制约因素。该技术的优点在于，其充装释放氢气速度快，技术成熟及成本低。而其缺点在于，一是对储氢压力容器的耐高压要求较高，商用气瓶设计压力达到 20MPa，一般充压力至 15MPa；二是其体积储氢密度不高，其体积储氢密度一般在 18~40g/L；三是在氢气压缩过程中能耗较大，且存在氢气泄漏和容器爆破等安全隐患问题。

图 2 未势能源第二代 70MPa-57L IV型储氢



图 3 未势能源IV型储氢结构



资料来源：全球氢能网，首创证券

资料来源：全球氢能网，首创证券

低温液态储氢解决了高压气体储氢体积储氢密度低的问题，但其液化过程能耗高，易挥发，成本高。低温液态储氢将氢气冷却至-253℃，液化储存于低温绝热液氢罐中，储氢密度可达 70.6kg/m³，体积密度为气态时的 845 倍。其优点是储氢密度高，输送效率高，体积占比小，安全系数高。但低温液态储氢也存在一系列的问题，如对储氢容器材料要求高，氢气液化过程成本高、能耗高等，因此不适合广泛使用，但可以作为航空燃料，并且已在航空领域发挥着巨大的作用。

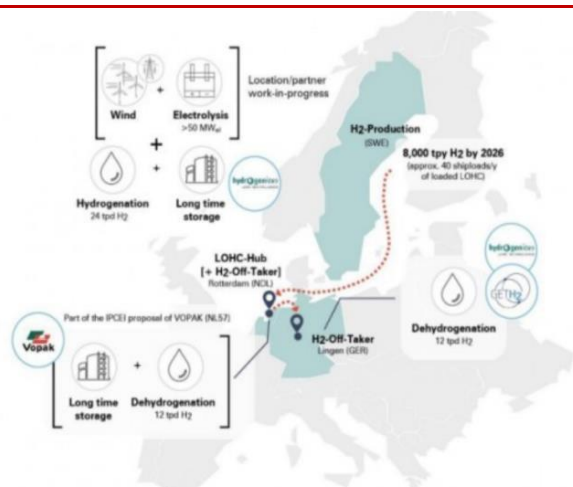
表 4 现有氢液化理论原理及应用情况

氢液化理论	提出者 / 时间	原理	应用情况
克劳德液化循环理论	乔治·克劳德/1902 年	高压气体经膨胀机绝热膨胀做功，气体内能得以消耗，提高制冷循环效率，获得更大的温降和冷量。	带膨胀机的液化循环在气体液化和分离工艺中应用最广
克劳德预冷却液化理论	蒂莫豪斯、弗林等/1989 年	将克劳德液化循环使用液氮进行预冷却，与节流循环相比液化效率提高 50%-70%	德国慕尼黑附近英戈尔斯塔特的氢液化工厂，自 1992 年运行至今
氮制冷氢液化系统	南迪、萨兰吉等/1994 年	使用二次氮气制冷机液化氢气，由氮制冷循环提供氢冷凝液化所需的冷量	1995 年，中航 101 所引进氮制冷氢液化机保障航天器液氢燃料供应

资料来源：《氢气低温液化与储运技术进展》，首创证券

管道和 LOHC 将主导氢气分配网络。在 5000 公里的距离之内，管道很可能是最具成本效益的输送方式，但随着距离越来越远，管道的巨大资金成本和缺乏灵活性都在限制着它。如果氢可以以液体——在极低的温度下，作为氨的组成部分(NH₃)，或作为其他液态有机氢载体(LOHC)，以同样的储存容量可携带多达 19000 吨，而气态氢在同等储存容量下，只能携带 13 吨氢气。

图 4 首个工业规模 LOHC 绿色氢气进口方案



资料来源：全球氢能网，首创证券

图 5 液态有机氢载体运氢示意图

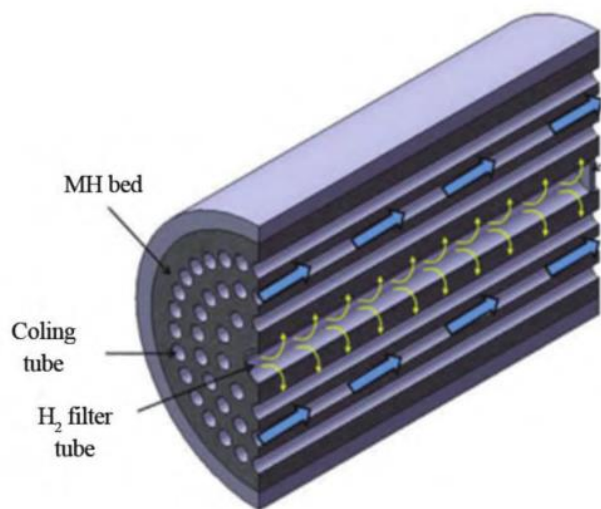


资料来源：全球氢能网，首创证券

1.3 兼具安全性及高效率 固态储氢发展潜力大

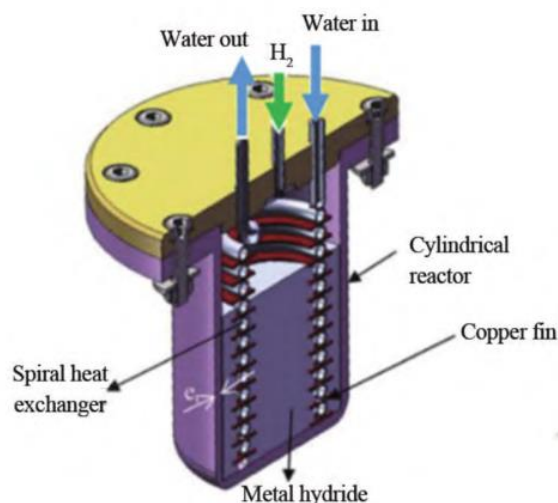
在目前的储氢方式中，固态储氢兼具可靠、安全、体积效率高的优点。固体材料在储氢领域能很好地解决气态储氢、液态储氢的不足，如储氢密度低、安全系数差。固体材料储氢机理总体上可分为两类，即物理吸附储氢和化学吸收储氢。

图 6 常见固态储氢罐——圆柱形冷却管



资料来源：《镁基固态储氢材料研究进展》，首创证券

图 7 常见固态储氢罐——盘管式换热器



资料来源：《镁基固态储氢材料研究进展》，首创证券

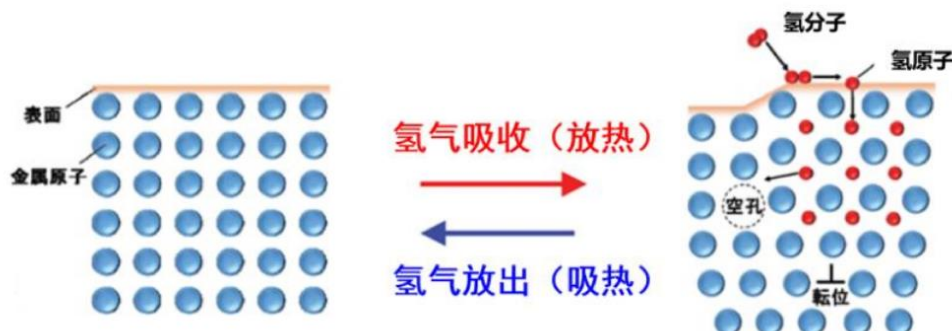
物理吸附类储氢材料的工作原理是运用范德华力对氢气的吸附作用，提高材料对氢气的吸附作用。物理吸附类储氢材料使氢分子更容易、更牢固地吸附在微孔材料的表面或孔隙中，在特定条件下对氢气具有良好、可逆的热力学吸附、脱附性能。主要包括：

- (1) 碳基储氢材料：活性炭、碳纳米管、碳纳米纤维、
- (2) 无机多孔储氢材料：沸石、海泡石、硅藻土等
- (3) 金属有机框架储氢材料（MOFs）

金属基储氢材料储氢合金是指在一定温度和氢气压力下，能可逆地大量吸收、储存和释放氢气的金属间化合物。在一定的温度和压力下，金属和氢气接触会发生反应，生

成金属氢化物来进行储氢，金属氢化物经加热又可以释放出氢，由此实现合金的循环储氢。主要包括镁基储氢、镁合金储氢、其他金属化合物储氢、钛基储氢、稀土基储氢。

图 8 储氢合金吸放氢的示意图



资料来源：北京大学官网，首创证券

配位氢化物储氢材料实际达到的氢容量与理论储氢密度有很大差距，动力学性能差、可逆储氢容量低是该材料的主要限制因素。起初被认为是一种单向储氢材料，热力学稳定、动力学缓慢、可逆储氢性能极差，后来研究发现添加 Ti 可以使得 NaAlH_4 在中等温度压力条件下实现吸放氢可逆循环，具有潜在实用价值和应用前景。主要包括：铝氢化物、硼氢化物、碱金属氨基化物。

固体储氢成为近年来新能源领域研究和发展的热点及难点，镁基储氢被学术界认为是极具商业价值的储氢技术路线之一。镁基储氢具有储氢容量大、吸放氢可逆性好、成本低、资源丰富等优点，其的理论储氢量 7.6wt%，体积储氢密度 110kg/m^3 ，被认为是极具应用前景的一类固态储氢材料。但由于其高热力学稳定性和较差的动力学性质， MgH_2 只能高温下 ($\geq 300^\circ\text{C}$) 才有优异的吸附氢性能，且放氢循环中， MgH_2/Mg 颗粒的团聚和长大导致循环稳定性差，仍具有相对苛刻的释放场景。

2 固态储氢百花齐放 镁基储氢优势瞩目

2.1 固态储氢材料安全性强 储氢效率高

在目前的储氢方式中，固态储氢系统是最可靠、最安全、最高体积效率的储氢方式。相比于高压气态储氢和低温液态储氢，固体材料储氢能很好的解决传统储氢技术储氢密度低和安全系数差的问题。具体来讲，固态储氢可以大幅提高体积储氢密度、在常温常压安全性好、氢气纯度高、可长距离运输、跨季节安全存储。

表 5 固态储氢材料储氢量高

储氢方式	分类	储氢量 (wt%)
气态储氢	高压气态储氢	4.0-5.7
液态储氢	低温液态储氢	>5.7
	有机液态储氢	>5.7
固态储氢	物理吸附储氢	1.0-12.0
	金属合金储氢	1.0-8.0
	配位氢化物储氢	10.6 (理论值)
	水合物储氢	0.22-11.2

资料来源：国际氢能网，首创证券

2.1.1 物理吸附类储氢脱附氢能力强 适用场景有限

物理吸附类储氢材料脱附氢能力强，但条件严格。在特定条件下对氢气具有良好、可逆的热力学吸附、脱附性能，但大多在常温下储氢量低，低温下才能表现出良好的氢吸附能力，不适合氢能规模化应用。

表 6 物理吸附类储氢材料优劣势

材料	优势	劣势
碳基储氢材料	安全性高；成本低；寿命长；吸放氢条件合适	高吸氢对温度、压强有一定要求；制作成本高
无机多孔储氢材料	选择性吸附气体	高吸氢对温度、压强有要求
金属有机框架储氢材料	可逆；能实现高速氢吸附	常温下储氢量低

资料来源：《固体储氢材料的研究进展》，首创证券

2.1.2 金属基储氢储氢密度大 安全性强

金属基储氢材料储氢密度大，安全指数高。金属基储氢材料是研究较早的一类固体储氢材料，制备技术和制备工艺均已成熟。金属基储氢材料储氢性能高，操作安全，过程清洁无污染。金属储氢种类很多，不同金属在吸放氢过程中反应条件不同，对于反应条件苛刻的金属，学者们正在通过不同的方式调整其性能，日后反应效率将会得到进一步提升。

表 7 金属基储氢材料优劣势

材料	优势	劣势
稀土基	吸放氢条件温和；吸放氢速率快；对杂质不敏感；平衡压差小	储氢量小；吸氢后金属晶胞体积膨胀大、易粉化
镁基	储量丰富；理论储氢量和体积储氢密度高；成本低	对温度要求高；循环稳定性差
钛基	资源丰富、制备简单、价格低廉、吸放氢条件温和	抗毒性能较差；对温度、压强要求高
钒基	常温常压下进行可逆吸放氢循环	高稳定性所需成本高
锆基	反应速度快；吸氢量大；循环寿命长；没有滞后效应	合金成本高；稳定性较差；较难活化

资料来源：国际氢能网，《固体储氢材料的研究进展》，首创证券

2.1.3 配位氢化物放氢速度缓慢 可逆性差

配位氢化物储氢材料理论储氢密度在现有固态储氢材料中是最高的，但实际储氢密度与理论差距大，且可逆性差。由于放氢速度缓慢，放氢条件苛刻，配位氢化物起初被认为是一种单向储氢材料，催化剂的加入使其从单向储氢材料成为有潜在实用价值的储氢材料。

表 8 配位氢化物储氢材料优劣势

材料	具体物质	优势	劣势
铝氢化物	NaAlH ₄	理论储氢量高	催化机理尚不清楚
	LiAlH ₄	理论储氢量高	可逆性差
	KAlH ₄	理论储氢量高；不需要催化剂	理论储氢量低
硼氢化物	LiBH ₄	理论储氢量极高	吸放氢温度高；放氢速度慢；可逆性差
	NaBH ₄	理论储氢量高	放氢效率低
	Mg(BH ₄) ₂	理论储氢量高	放氢过程复杂
碱金属氨基化物	LiNH ₂	理论储氢量高	放氢过程伴随氨气

资料来源：《固体储氢材料的研究进展》，首创证券

2.1.4 水合物储氢成本低 储氢密度不足

水合物储氢材料成本低，环境友好，但储氢密度不足。水合物储氢原料是水，充气和放气过程环境友好可逆，成本低，1m³水合物可容纳160~170m³标准体积气体。这些特性使得水合物在气体储运方面相较传统气体储运技术有着明显的优势，也因此被视为一个具有巨大应用潜力的储氢方向。但氢气水合物的相平衡条件极为苛刻，储氢密度不足，这极大地影响了水合物储氢的商业应用。

2.2 镁基储氢密度高 成本下降空间巨大

镁基储氢是新型储能技术的重要选择，被广泛认为是最具发展潜力的储氢材料。对于固体储氢材料的实际应用来讲，金属基储氢材料目前是极具有应用优势的。镁基储氢

材料作为金属基储氢材料的一种，有着独特的优势。镁基储氢具有性能优势，储氢密度高，安全性强；技术优势，化学反应简单，研究团队实力雄厚；资源优势，镁资源丰富，成本低；环境优势，反应过程绿色安全，符合“双碳”目标。因此，镁基储氢材料是综合性能最为优异的储氢材料。

2.2.1 高储氢密度+高安全性 镁基储氢材料性能优势显著

镁基储氢材料储氢密度高。镁储氢密度是气态氢的 1000 倍、液态氢的 1.5 倍。具体而言， MgH_2 储氢重量密度可达 7.6%，体积储氢密度可达 $105kg/m^3$ ，同其他类金属储氢材料相比具有明显优势。

表 9 镁基储氢材料储氢量高

材料	合金种类	储氢量 (wt%)
镁基储氢材料	MgH_2	7.60
钛基储氢材料	TiFe	1.89
	TiMn ₂	2.00
钒基储氢材料	VH_2	3.80
铜基储氢材料	LaNi ₅	1.37

资料来源：《固体储氢材料的研究进展》，《固态金属储氢技术在加氢站领域的应用及展望》，首创证券

镁基储氢运营成本低。与高压气态储氢和低温液态储氢相比，镁基储氢无需低温或高压装置，大大降低了运营成本。从原料气开始，到最后的加氢站，考虑过程中每个环节的设备折旧和能耗，三种储运氢方式在 100、300、500 公里三个运输半径的经济性情况有较大差异。根据氢储科技测算，三种距离下，镁基固态储氢的单位运营成本均低于高压气态储氢和低温液态储氢。镁基固态储氢运营成本包括三块，充装设备、固态储氢车、放气及增压设备的投入折旧和能耗。与高压气态和液氢不同点在于，原料气没有加压或液化的过程，镁基储氢最大的成本支出在加氢站放气增压上。

表 10 镁基储氢运营成本低

	100km	300km	500km
高压气态储氢	7 元/公斤	21 元/公斤	35 元/公斤
低温液态储氢	18 元/公斤	20 元/公斤	22 元/公斤
镁基固态储氢	4 元/公斤	12 元/公斤	20 元/公斤

资料来源：维科网，首创证券

镁基储氢安全性高。氢气从气态变为固态后，氢气可以被储存在镁合金材料里，在常温常压下进行长距离运输，安全性大幅提高。2023 年 4 月，全国首台镁基固态储运氢车发布，该辆镁基固态储运氢车，搭载 12 个储氢罐，40 尺大小，可以储存 1 吨氢气，是目前主流 20 MPa 高压长管拖车的 3 倍以上常规（气态储氢）3—4 倍的存储量，经济效益十分明显。车辆在常温常压下储运，安全性高；能够适应铁路、公路、水路等不同的运输方式，适合长距离、大规模氢运输。

图 9 全国首台吨级镁基固态储运氢车

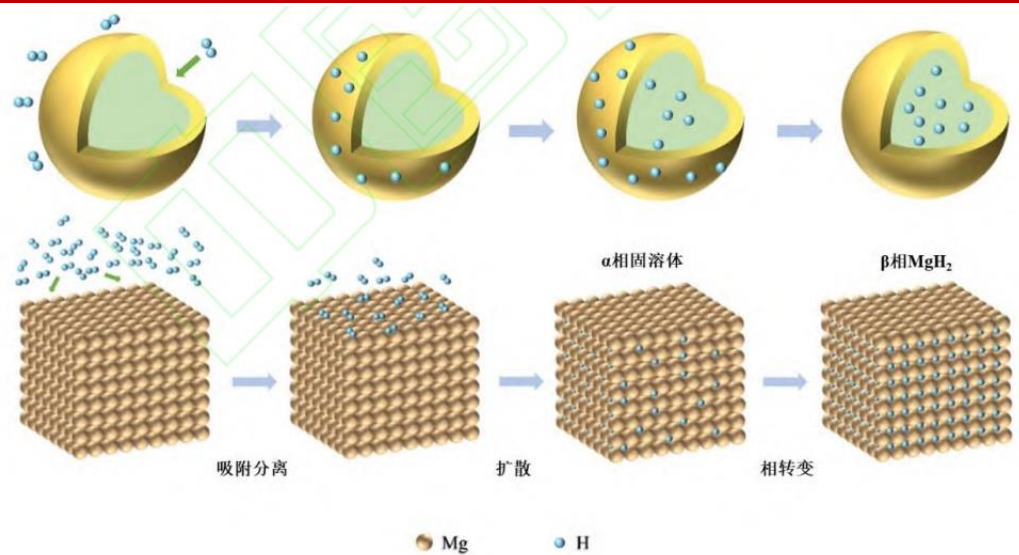


资料来源：澎湃新闻，首创证券

2.2.2 镁基储氢化学反应简单 研究团队雄厚 具备技术优势

镁基储氢化学反应简单，无副产物，控制性良好。单质镁可以在高温条件下与氢气反应生成 MgH_2 ，化学反应方程式简单，反应过程中没有其他产物。

图 10 镁基储氢氢化反应过程示意图



资料来源：《固体储氢材料的研究进展》，首创证券

镁基储氢相关研究团队雄厚，近年研究成果频出。镁基储氢研究团队主要包括上海交通大学丁文江院士团队、重庆大学潘复生院士团队、上海交通大学邹建新教授团队。研究团队实力雄厚，资金充足，近年来在镁基储氢产业化和理论研究上都取得了一定进展。

表 11 镁基储氢研究团队介绍

名称	介绍	最新进展
上海交通大学 丁文江院士团队	丁文江院士从事先进镁合金研究 30 多年,从事氢科学特别是固态镁基储氢材料的应用研发 10 余年, 2019 年创建上海交通大学氢科学中心, 致	2019 年, 由氢枫能源和上海交大团队联合成立氢储(上海)科技有限公司, 实施项目落地。2022 年, 推出镁基固态储氢车。2023 年推出首台吨级

力于氢科学领域的前瞻性基础研究。

镁基固态储氢车。

重庆大学
潘复生院士团队

潘复生院士团队依托国家镁合金材料工程技术研究中心，在围绕国家重大战略需求和镁产业迫切需求、突破若干关键技术和解决核心难题过程中自然形成的。

2021 年，重庆大学与广东省国研科技研究中心有限公司签订“固态镁基储氢材料及技术开发与应用”合作协议。

上海交通大学
邹建新教授团队

邹建新教授围绕镁基能源和结构材料开展了深入研究，目前负责材料基因组国家重点研发计划项目“轻质高强镁合金集成计算与制备”，研究方向为镁基储氢材料，镁电池和燃料电池系统。

2023 年，上海交通大学氢科学中心邹建新教授团队在国际知名期刊《ACS Nano》上发表了纳米氢化镁的研究成果，在先进纳米镁复合储氢材料方面取得重要进展。

资料来源：上海交通大学氢科学中心，重庆大学新闻网，首创证券

2.2.3 镁资源丰富 可满足镁基储氢大规模应用

中国镁资源丰富，原料对外依存度低。镁资源主要来源于菱镁矿、含镁白云岩、盐湖区镁盐以及海水等，我国镁资源类型全，分布广泛。中国菱镁矿储量仅次于俄罗斯，位居全球第二。在国内，菱镁矿储量相对集中且大型矿床多。中国含镁白云石储量也很丰富，现已探明储量 40 亿吨以上，遍及我国各省区。盐湖镁主要分布在西藏自治区的北部和青海省柴达木盆地，其中柴达木盆地的镁盐储量占全国已探明储量的 99%。根据 USGS 数据，2022 年我国菱镁矿产量 1700 万吨，占全球总产量 63%。进口依赖度低，相较于铝土矿石而言优势明显。我国镁锭产量 90 万吨，占全球总产量 90%。

图 11 自然界镁资源主要存在形式



资料来源：亚洲金属网，首创证券

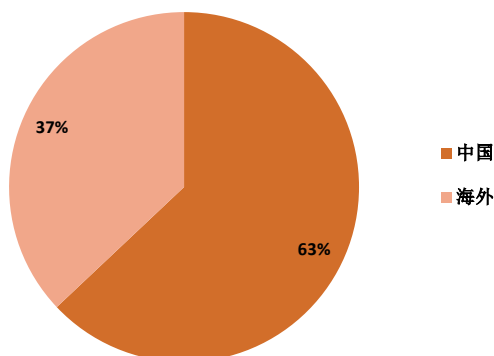
中国是镁资源和原镁产量大国，因此国内镁合金的应用推广有着先天优势。当前国资和民营资本逐步进入镁合金行业，同时国内核心整车厂也开始不断尝试镁合金产品的应用和开发。

表 12 资源储量及分布地区

	资源储量	分布地区
菱镁矿	5.8 亿吨	辽宁、山东、西藏、新疆、甘肃等
盐湖资源	氧化镁 42.81 亿吨、硫酸镁 17.22 亿吨	西藏自治区的北部和青海省柴达木盆地
白云石	40 亿吨以上	山西、宁夏、河南、吉林等全国遍及

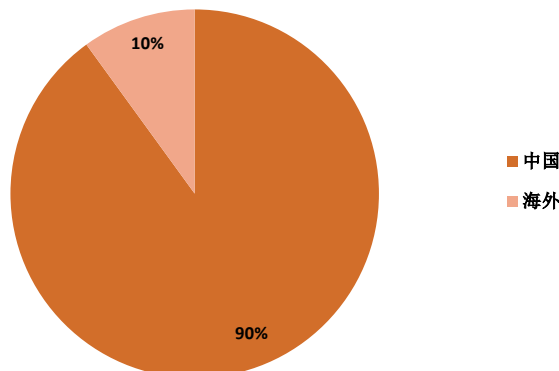
资料来源：Wind，华通白银网，首创证券

图 12 2022 年全球菱镁矿产量分布



资料来源：USGS，首创证券

图 13 2022 年全球镁锭产量分布



资料来源：USGS，首创证券

2.2.4 镁基础能环境友好 符合安全环保要求

镁基储能材料可回收，对环境友好，反应过程中无三害产生。发改委、能源局关于推动新型储能发展的指导意见指出“新型储能是支撑新型电力系统的重要技术和基础装备，对推动能源绿色转型有重要意义”，要求“以需求为导向，探索开展储氢、储热及其他创新储能技术的研究和示范应用”。新型储能材料与装备的发展是实现“双碳”目标的关键途径和刚性需求，更是国家未来竞争力的重要体现，镁基储氢是新型储能技术的重要选择。

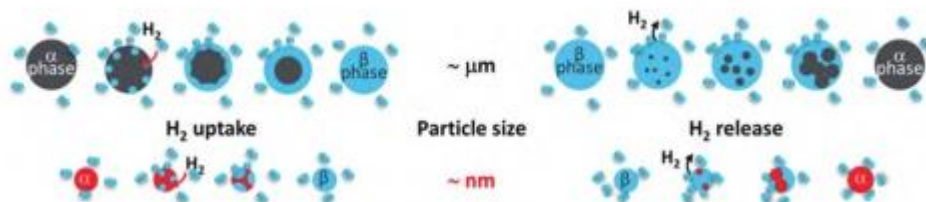
2.3 降低吸附氢所需温度是镁基储氢发展关键

降低吸附氢所需的温度是镁基储氢发展的关键。 MgH_2 热力学稳定性高和动力学性质差，只有在高温下才有优质的吸附氢性能，且在吸放氢循环中， MgH_2/Mg 颗粒的团聚和长大导致循环稳定性差。因此，为了使 MgH_2 在储氢应用中得到广泛应用，必须调整其热力学和动力学性能，以降低镁基储氢吸附氢所需的温度，放宽反应条件。目前在改善 MgH_2/Mg 体系储氢性能方面，多使用纳米化、合金化、添加催化剂、复合轻金属配位氢氧化物等方法。

2.3.1 纳米化减小颗粒尺寸 改善吸附氢速率

MgH_2 尺寸的纳米化可以调控热力学和动力学性能，有利于氢分子的吸附和扩散。当块体 MgH_2 尺寸被减小至纳米级别时，材料的比表面积、表面能、晶界密度都将发生显著改变。高的表面能有利于氢分子的解离，纳米颗粒表面与 H_2 反应的活性位点大量增加；由于尺寸的减小，H 原子的扩散距离随之缩短，避免了 H 的长程扩散；大量的晶界为 H 原子的快速扩散提供了通道。

图 14 吸放氢过程与颗粒大小的关系示意图



资料来源：《镁基固态储氢材料研究进展》，首创证券

2.3.2 合金化有效降低吸附氢温度

合金化能有效降低镁基储氢材料吸附氢所需温度，但是与过渡金属合金化后材料的储氢量会有明显的降低。通过将 Mg 与过渡金属复合，能够制备出含有单相或多相的镁

基储氢合金，合金的存在可以促进氢的解离和吸附，添加的金属元素与 Mg 和 H 结合生成次稳定的氢化物而降低 MgH_2 的稳定性，多相边界也可以为吸/放氢反应提供大量的活性位点，从而改善 Mg/MgH₂ 储氢体系的储氢性能。

表 33 不同镁基合金储氢性能

合金	$\Delta H(kJ \cdot mol^{-1}H_2)$	储氢量 (wt%)
Mg ₂ Ni	64.5	3.6
Mg ₂ Si	36.4	5
Mg ₂ Fe(H ₆)	87.0	5.5
Mg _{0.95} In _{0.05}	68.1	5.3
Mg ₃ Ag	68.2	2.1
Mg ₃ La	81.0	2.89
Mg ₂ CoH ₅	79.0	4.5

资料来源：《镁基固态储氢材料研究进展》，首创证券

2.3.3 添加催化剂综合提升储氢性能

添加催化剂改性是最简单，最高效的方法。添加催化剂能在 Mg/MgH₂ 吸放氢过程中的 H 吸附、解离和 H₂ 分子的扩散提供活性位点，改善其动力学性能。目前常用于改善 Mg/MgH₂ 体系性能的催化剂主要是过渡金属单质、金属氧化物、其他过渡金属化合物和碳基材料等。

2.3.4 复合轻金属配位氢化物提高储氢容量

用轻金属配位氢化物与 MgH₂ 构建复合材料可以显著增加体系的储氢容量，改善热力学性能，但动力学性能仍有不足，仍需进一步调整。轻金属配位氢化物由于都是由轻质元素组成，其理论储氢容量要比其他传统的固体储氢合金高很多，学者使用多种材料进行尝试，实现了更高的吸放氢容量。

3 冶金及煤化工或率先运用镁基储氢 储能应用前景广阔

3.1 氢冶金技术是冶金行业减排的重要方向

3.1.1 氢能是炼铁过程中减少 CO₂ 排放的关键

目前镁基材料只有在高温下才有优异的吸附氢性能，冶金和煤化工领域可满足镁基储氢的高温应用场景。冶金和煤化工领域工作温度高，有大量废热，可支持镁基储氢运用场景里需要高温的重要痛点，降低了运用成本，镁基储氢有望在这两个领域中率先应用。

冶金业碳排放量巨大，急需降低碳排放量以满足碳中和目标。国际钢铁协会估计，每生产 1t 钢坯会导致平均 1.8t 的 CO₂ 排放，2023 年，预计世界钢铁需求量将继续增长 2.2%，达到 18.814 亿吨。铁矿石还原成铁的过程产生了占整个炼钢过程高达 90% 的碳排放量，因此降低还原过程的碳排放对钢铁行业的低碳发展至关重要。利用氢气作为还原剂，可以使炼铁工序中产生水，而不是 CO₂，从而大幅度减少温室气体的排放。氢能炼钢需要大量氢气供给，这需要成熟且低成本的制氢、储氢产业链作为支撑，也需要相关技术和材料的突破。

相关研究表明，在炼铁过程中减少 CO₂ 排放的重要方式是增加 H₂ 的使用。经济性是制约钢铁行业氢冶金发展的关键因素之一，其中主要涉及氢气成本及碳排放成本。随着镁基储氢技术不断完善，储氢的长距离运输安全性得以保证，单位体积储氢量得以提升，氢气在冶金行业的使用率将会大大提升。

自然资源保护协会（NRDC）发布了《面向碳中和的氢冶金发展战略研究》，提出了从现阶段到 2060 年我国氢冶金发展的路线图和政策建议。报告在综合考虑中远期钢产

量变化趋势和钢铁工业“双碳”愿景的基础上，提出我国氢冶金发展按四步走的建议：

图 15 氢冶金“四步走”发展线路图

			2050-2060
			第四阶段
			目标：吨钢碳排放强度较2020年下降95%。
			技术攻关：进一步提升纯氢基直接还原+绿电电炉短流程钢产量占比，“纯氢基直接还原+绿电电炉”短流程钢产量占比达到35%。至2060年，钢铁行业年碳排放量降低至约1亿吨，需进一步借助CCUS和碳汇实现“碳中和”目标。
			2040-2050
			第三阶段
			目标：吨钢碳排放强度较2020年下降85%。
			技术攻关：大力推广纯氢基直接还原技术，加快“高炉-转炉”长流程制钢向“纯氢基还原+电炉”短流程制钢转型，“氢基还原+电炉”短流程制钢产能占比达到25%。绿氢供应量占钢铁产业需氢总量达到85%。
			2030-2040
			第二阶段
			目标：吨钢碳排放强度较2020年下降55%。
			技术攻关：纯氢基直接还原技术及氢基直接还原装备的国产化、大型化，国家氢能产业体系初步形成，氢源供应增长，成本下降，富氢高炉产能占比超过60%，力争绿氢用量占比达到30%以上。
			2030
			第一阶段
			目标：吨钢碳排放强度较2020年下降15%。
			技术攻关：高炉富氢冶炼技术和纯氢基直接还原技术，以及相应的软硬件，争取富氢高炉产能占比达到15%。

资料来源：《破题深度脱碳 氢冶金将成重要发展方向》，首创证券

国内外各企业大力发展氢冶金技术，部分工艺正处于试验阶段。国内中国宝武、鞍钢、河钢、建龙等企业，发布了各自的《碳达峰碳中和行动方案》《低碳技术路线图》《低碳发展路线图》，都将氢冶金作为其重要的降碳技术路径。美国、欧洲、日本、韩国等国家也已经投入部分氢能炼钢项目。欧洲有3个项目是基于氢能炼钢的：HY-BRIT、SALCOS 和 H₂ Future/Susteel，前两个项目主要是基于目前现有的还原技术，而最后一个是要利用等离子熔融还原技术。

表 14 全球氢能炼钢试验项目的技术的投资与减排效果

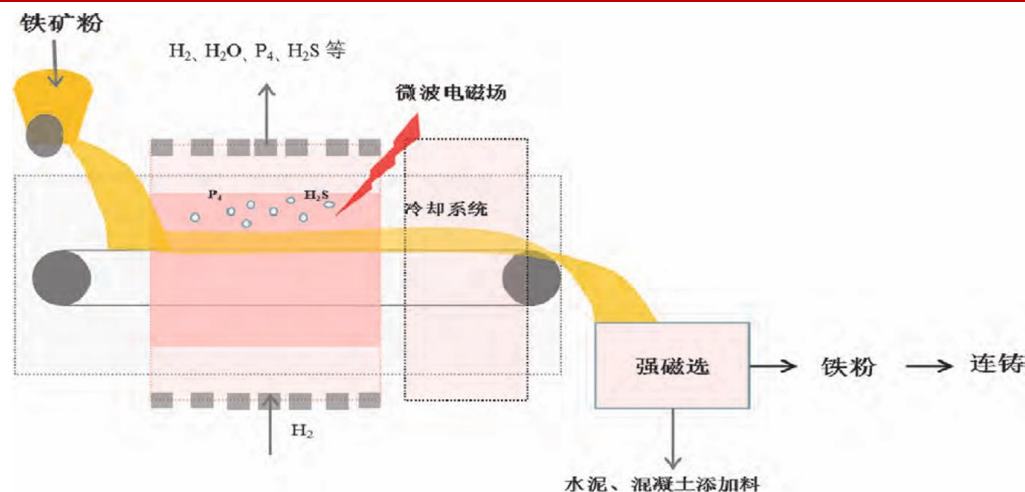
国别	技术手段	预期减排	投资需求	备注说明
日本四家大型钢铁企业	应用氢的试验高炉作业与普通的高炉作业相比	减少近 10%	-	如果按照与现有技术中的细煤粉喷吹设备为相同规模设想，推测每座高炉将需要几十亿元人民币的投资
韩国	氢还原炼铁工艺开发成功	降低 15%以上	9.15 亿人民币（研发）；每座高炉投资大约 2.5 亿元人民币	-
HYBRIT 项目（瑞典）	氢还原炼铁工艺	HYBRIT 项目有望减少瑞典 CO ₂ 排放总量的 10%，降低芬兰 CO ₂ 总量的 7%	中试阶段的投资将花费 14 亿瑞典克朗（瑞典能源署出资接近 50%）	HRBRIT 的生产成本大约比传统炼钢工艺高出 20%~30%，通过欧盟排放交易体系（ETS），随着可再生能源成本的下降和二氧化碳排放成本的增加，预计这一成本差距将会随之缩小；HYBRIT 技术需要大量廉价的再生电力，所有氢气均是通过利用电解方式将电流通过水中而获得。虽然此工艺属于能源密集型，但是如果所需电力可以再生，那么整个工艺的碳排放可以忽略不计
SALCOS 项目（德国）	氢还原炼铁工艺	减排 50%~85%	-	-
MIDREXH2®（美国）	氢还原炼铁工艺	减排 80%	-	-
奥钢联	绿色氢气生产	-	1800 万欧元	项目周期是 4.5 年

资料来源：《中国氢能产业高质量发展前景》，首创证券

氢冶金技术需要结合 CCUS 技术，在微波场利用氢气还原铁矿石更有优势。现阶段的氢冶金并不是 100%的氢气冶炼，而是还原气中氢气含量大于 50%，氢冶金技术可以结合技术(碳捕集、碳封存技术)更好地实现钢铁行业的绿色发展，CCUS 技术是指将二

氧化碳从工业或者能源生产相关源中分离并捕集,加以利用,或输送到适宜的场地封存,使与大气长期隔离的技术体系。研究表明,微波处理是一种既能降低化学反应活化能又能快速加热的方法,与传统工艺相比,微波氢气还原铁矿石,大大降低了能耗和污染。

图 16 微波氢气还原铁矿石结构示意图

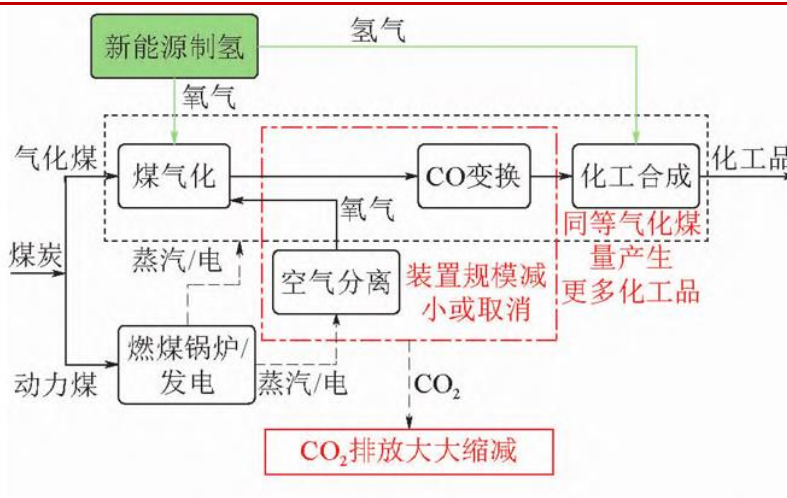


资料来源：《氮冶金基础研究和新工艺探索》，首创证券

3.1.2 绿氢耦合加快煤炭的高效清洁利用

绿氢耦合煤化工采用太阳能和风能等绿色能源，与煤炭技术结合利用，可降低煤炭的能源消耗，减少污染物的排放。随着绿氢生产技术日益完善，镁基储氢保证了氢能运输效率，氢能运输成本及使用成本将进一步降低，氢气的原料和燃料属性将得到更大的拓展。利用绿氢与煤化工实现耦合的最大优势在于电解水制氢的同时，还能产生氧气，既可以省去合成气变换装置，还可以省去空气分离装置。主要有以下三方面：一是空气分离和 CO 变换装置规模减小，甚至可以取消；二是在同等气化煤量的前提下可以生产更多的化工品；三是由于空气分离装置消耗的动力煤减少和 CO 变换的程度降低，使得系统的 CO₂ 排放大大缩减。

图 17 绿氢耦合煤化工系统示意



资料来源：《绿氢耦合现代煤化工发展路径研究》，首创证券

镁基储氢技术可以满足未来合成氨领域氢运输。从目前氢气消费的终端来看，合成氨、合成甲醇、石油炼化的氢气消费占比较高，可占整个氢气消耗量的 85% 以上。目前

我国的合成氨产量近 6000 万 t/a，其中 4500 万吨来自煤炭，消耗约 5000 万吨标准煤，排放近 1.5 亿吨 CO₂，假设 4500 万吨煤制合成氨的氢都来自绿氢，则需消耗 800 万吨绿氢，可减少 1.5 亿吨的 CO₂ 排放，同时纯碱和尿素还可以消耗其他来源的高纯 CO₂ 约 5000 万吨。

镁基储氢助力甲醇产业链脱碳。 目前我国的甲醇产量近 7800 万吨，其中 6200 万吨来自煤炭，消耗约 1 亿吨标准煤，排放 CO₂ 近 2 亿吨。假设 6200 万吨煤制甲醇的氢都来自绿氢，则需消耗 750 万吨绿氢，可减少 1.6 亿吨的 CO₂ 排放。

图 18 合成氨生产产业链示意

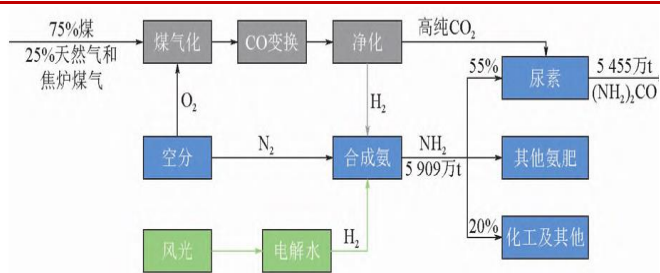
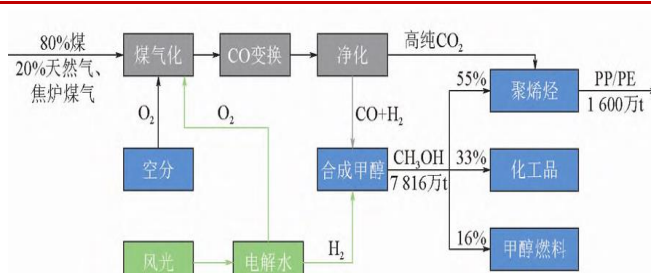


图 19 甲醇生产产业链示意



资料来源：《绿氢耦合现代煤化工发展路径研究》，首创证券

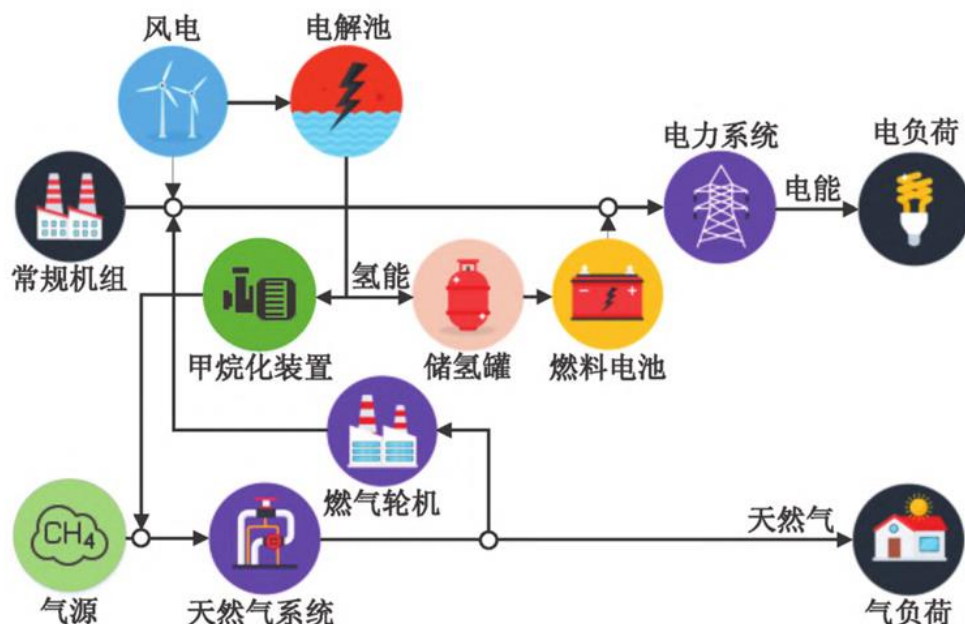
资料来源：《绿氢耦合现代煤化工发展路径研究》，首创证券

3.2 镁储氢有助电网大规模调峰和跨季节、跨地域储能

氢储能具备就地消纳清洁能源、零碳排放等优点，并可在一定程度上替代传统能源，有望在能源互联系统中发挥重大作用。随着风电和光伏发电装机规模的扩大，在并网的过程中，其随机性和间歇性会给电网安全稳定和运行调度等方面带来诸多危害，还导致弃风、弃光问题日益严重，制约了新能源发电的规模化应用。氢能作为清洁高效的二次能源，与电能有着良好的互补特性，灵活应用于能源互联系统中，能够提高用能效率、加强多能耦合。

传统电网对风电等间歇性可再生能源的消纳，在供应侧、需求侧等方面已有多种应对方案，但都因其弊端无法大规模推广，电网与气网协调运行，配以镁基储氢方式的方案前景广阔。采用常规调峰电源和储能应对可再生能源的间歇性和波动性的效果显著，但二者的配置运行成本过高，大规模的配置缺乏效益；采用需求侧管理的应对方案具有低成本的优势，但受项目推广不足以及负荷本身不确定性的影响，响应能力和响应可靠性有待提高，且参与主体众多，利益传导方式复杂，政策机制要求高，短期内不具备大规模应用的条件。电网与气网的协调运行，加以绿氢存储运输至下游用氢产业的方案，转换方式灵活、成本显著降低、应用场景广阔，而作为其能量转换枢纽的电转气(P2G)技术也日益受到关注。

图 20 含氢能流的电—气能源互联系统结构示意图



资料来源：《面向规模化风电消纳的电-气-氢能源互联系统协同规划》，首创证券

储氢技术的发展与 P2G 技术相辅相成，共同促进电网跨季节，跨地域储能。电转气技术（power to gas, P2G）是一种用于电网和天然气系统耦合的技术，它使能量以甲烷的形式从电网流向天然气系统。电转气过程，首先是电解水，将水分离成 H_2 和 O_2 ：

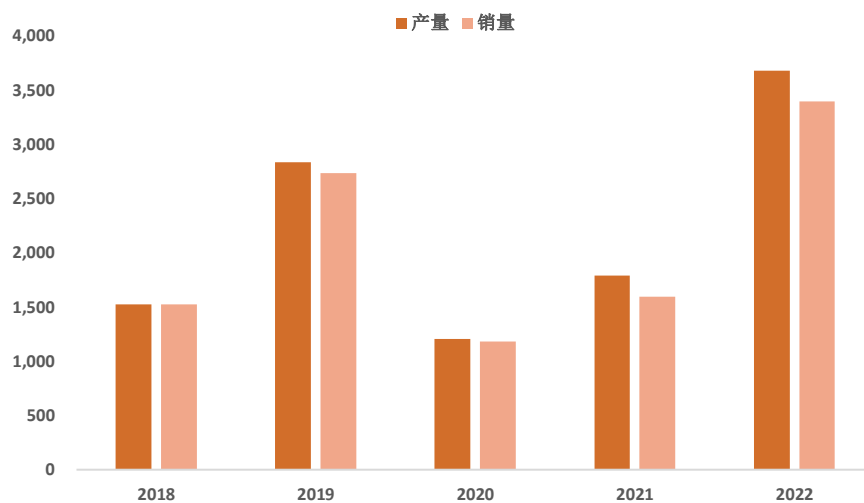


其次，一部分 H_2 和 O_2 在高温高压下转化成人造甲烷，合成效率 60%~80%；另一部分 H_2 则是以绿氢的形式储存下来，用于电网大规模调峰，也可以用作其他用氢途径。镁储氢作为当前最具经济价值的固态储氢方法，其安全性、单位体积储氢量大等特点进一步支撑风电、光伏发电量消纳。

3.3 镁基储氢有望赋能新能源汽车

氢能源电池汽车市场发展空间巨大，镁储氢有望推广到新能源汽车，成为汽车新动力。目前氢能源电池汽车市场规模较小，2022 年，燃料电池汽车产量 3677 辆，销量 3397 辆。《氢能产业发展中长期规划(2021-2035 年)》明确了氢是未来国家能源体系的重要组成部分。《规划》提出，到 2025 年，燃料电池车辆保有量约 5 万辆，将部署建设一批加氢站。

图 21 2018-2022 年中国燃料电池汽车产销情况



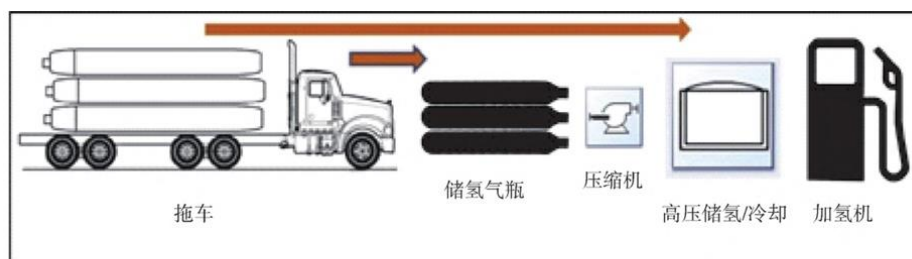
资料来源: Wind, 首创证券

3.3.1 我国加氢站建设加速中 首个固态加氢站落地

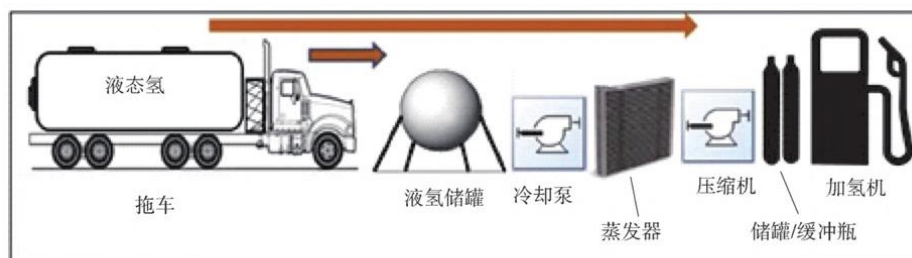
加氢站是氢燃料电池车的动力来源。根据 EVTank 统计,截至 2023 年上半年,全球累计已经建成加氢站达到 1089 座,其中中国累计建成加氢站为 351 座,全球占比达到 32.2%。

我国主流加氢站是气氢加氢站和液氢加氢站。通过外部供氢或站内制氢获得氢气后,以液氢形式储藏或转化为压力稳定的干燥气体,进入高压储氢罐储存,最后通过氢气加氢机为燃料电池汽车进行加注。

图 22 气氢、液氢加氢站工作原理



a. 气态加氢站



b. 液氢到站高压气氢加注加氢站

资料来源:《加氢站核心装备制造方法与关键技术研究》, 首创证券

固态金属储氢加氢站优势明显,首个固态加氢站已在广州落地。固态金属储氢加氢站的工艺设备更简约,可通过拖车和加氢机直接为燃料电池汽车加注,无需增压,站内

储氢容器的设计压力也可降低，从而可省去高压气态储氢中最复杂的压缩机及其高压储氢容器。进一步地，设备费用得到节省，加氢站成本显著降低。小虎岛电氢智慧能源站也是国内首个应用固态储供氢技术的电网侧储能型加氢站，实现了从电解水制氢，到固态氢储存，再到加氢、燃料电池发电和余电并网，氢和电的融合，加快建成新型电力系统。

图 23 小虎岛电氢智慧能源站



资料来源：广州南沙发布公众号，首创证券

3.3.2 合金储氢解决氢燃料汽车安全难题

氢燃料电池汽车安全问题显著，合金储氢能够有效解决这一问题。合金储氢技术中，氢以粉末状的氢化物存在，且工作压力小，如果发生意外，只会产生小火苗，而不是高压气态储氢的瞬间爆炸。

合金储氢应用于车载储氢有一定优势。第一，合金储氢中，氢气并非以气体方式储存，且氢气的释放需要满足一定的温度条件，所以常温条件下发生氢气泄漏的风险较小。第二，普通汽车的油箱的储油量相当于 5 公斤-6 公斤的氢产生的能量，需要 80 公斤-90 公斤的镁合金容器，在质量与普通油箱相仿的情况下，体积较小。

4 相关标的：云海金属

镁行业龙头，一体化布局优势明显。云海金属为镁行业一体化龙头企业，已构建“白云石开采-原镁冶炼-镁合金熔炼-镁合金精密铸造、变形加工-镁合金再生回收”的完整镁产业链。(1) 上游资源端：子公司巢湖云海镁业有限公司拥有 8864.25 万吨白云石的采矿权，合资公司安徽宝镁轻合金有限公司拥有 131978.13 万吨白云石的采矿权。(2) 原镁和镁合金：公司目前拥有 10 万吨原镁产能，20 万吨镁合金产能，镁合金产销量连续多年保持全球领先。(3) 下游深加工：南京云海、巢湖云海精密、荆州云海、天津六合、重庆博奥镁铝已完成精密加工布局。全产业链优化公司产品成本结构和增强抵御风险能力，能稳定给客户提供各种产品。

表 15 云海金属产品介绍

产品类别	具体产品
金属类	金属镁、镁合金、铝合金、金属锆、中间合金
矿石类	白云石
压铸类	汽车类、其他（笔记本内衬、电动工具壳体、电机壳体、机器人底座、平衡车等）

挤压类

扁管、汽车、电子

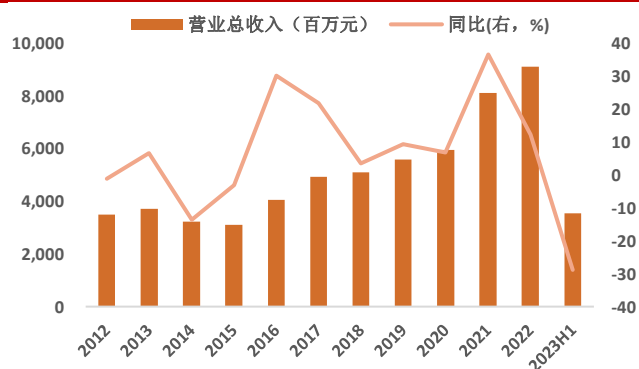
数据来源：云海金属官网，首创证券

宝钢金属控股，公司发展开启新纪元。宝钢金属以高性能金属材料、轻金属材料制造及延伸加工、新型炭材料及纤维材料、新型陶瓷基复合材料等为重点发展方向，双方发展战略高度契合。同时，中国宝武拥有国际化的市场资源，依托中国宝武强大的汽车市场背景，可进一步加速公司在汽车轻量化领域的渗透。随着技术、客户及资源的共享，强强联合有望加速镁合金材料在汽车轻量化、镁建筑模板等多领域的渗透，有利于做大镁行业，促进行业长期健康发展。

与重大合作，镁储氢规模化生产有望加速实现。2023年4月公司和宝钢金属与重庆大学签署了“关于公司和宝钢金属委托重庆大学进行中温高密度低成本镁基固态储氢材料产品研发及中试的协议”。采取产学研合作的协同发展模式。此次合作的目标是在前期三方合作既得成果的基础上继续合力优化固态储氢材料并且进行产线化试制，快速推进规模化生产。

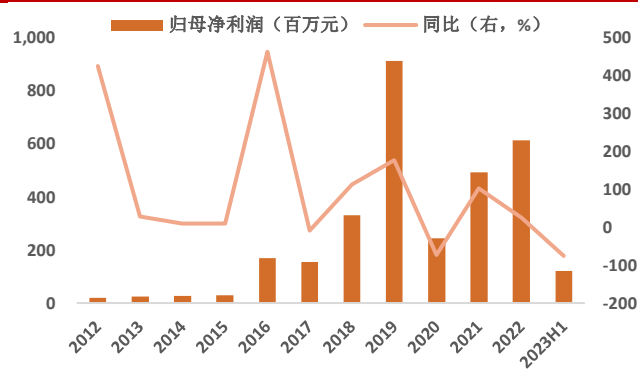
多项目投产在即，公司具备高成长性。目前公司巢湖5万吨原镁项目、安徽青阳30万吨原镁和30万吨镁合金项目、安徽铝业15吨铝挤压型材项目预计2023年底前建成。白云石储备在满足未来产能扩张需要下，仍可外售部分骨料和熔剂增厚利润，例如年产骨料及机制砂2500万吨、年产100万吨熔剂项目。另外，公司拟建设年产30万吨高品质硅铁合金项目，铁合金作为原镁冶炼的原料，项目达产后，公司实现硅铁部分自给，原镁生产成本有望进一步降低。

图 24 云海金属 2012-2023H1 营业收入



资料来源：Wind，首创证券

图 25 云海金属 2012-2023H1 年归母净利润



资料来源：Wind，首创证券

5 风险提示

(1) **商业化进程存在不确定性。**尽管镁基储氢已经在研发和技术层面积累丰富的经验，但商业化需要考虑产业配套、经济性、市场推广等多方面因素，存在不确定性。

(2) **镁价剧烈波动风险。**镁价在一定区间的相对稳定运行，有利于镁储氢、镁建筑模板等下游新应用领域的推广，反之剧烈波动不利于其推广。

分析师简介

吴轩，金融硕士，曾就职于长城证券。2021 年 12 月加入首创证券，负责有色金属板块研究。

刘崇娜，有色行业研究助理，FRM，2022 年 5 月加入首创证券。

分析师声明

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，作者将对报告的内容和观点负责。

免责声明

本报告由首创证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告所在资料的来源及观点的出处皆被首创证券认为可靠，但首创证券不保证其准确性或完整性。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。投资者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、税收等方面咨询专业财务顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，首创证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。投资者需自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告所载的信息、材料或分析工具仅提供给阁下作参考用，不是也不应被视为出售、购买或认购证券或其他金融工具的要约或要约邀请。该等信息、材料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，首创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。

首创证券的销售人员、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。首创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。首创证券的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。

在法律许可的情况下，首创证券可能会持有本报告中提及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争取提供投资银行业务服务。因此，投资者应当考虑到首创证券及/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信赖依据。

本报告的版权仅为首创证券所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式转发、翻版、复制、刊登、发表或引用。

评级说明

	评级	说明
1. 投资建议的比较标准		
投资评级分为股票评级和行业评级	股票投资评级	买入 相对沪深 300 指数涨幅 15% 以上
以报告发布后的 6 个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准	增持	相对沪深 300 指数涨幅 5%-15% 之间
	中性	相对沪深 300 指数涨幅—5%-5% 之间
	减持	相对沪深 300 指数跌幅 5% 以上
2. 投资建议的评级标准	行业投资评级	看好 行业超越整体市场表现
报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准	中性	行业与整体市场表现基本持平
	看淡	行业弱于整体市场表现