

满眼生机转化钧，天工人巧日争“新”

2023 年 12 月 12 日

➤ **新技术&新场景带来新需求**：材料产业的升级发展离不开经久不息的技术迭代更新，技术创新可以开拓新应用领域，如机器人、AI 等，技术进步可以拓宽新应用场景，如光伏硅片切割引入钨丝、3C 领域引入钛金属和 3D 打印工艺、超导在电磁领域应用等，创新的应用需求也带来“新”材料的发展机遇。

➤ **稀土磁材：新能源车持续拉动，人形机器人开拓新增长极**。新能源车依旧维持较快增长，持续拉动磁材需求。除了新能源车外，远期特斯拉人形机器人有望带来 2 万吨高性能钕铁硼磁材毛坯需求增量，占 2022 年钕铁硼总需求的 7.1%，有望成为拉动磁材需求的新增长极。

➤ **钨：战略金属之王，期待“登顶时刻”**。我国钨资源丰富，钨战略地位高，钨矿开采难度大，国内钨矿产量近两年负增长；随着制造业复苏，硬质合金刀具等需求有望回升，新兴领域光伏钨丝放量，预计未来 3 年钨将维持供应偏紧格局。

➤ **钛材：从航空航天向 3C 拓展，今朝“钛”不一样**。C919 圆满完成首次商业飞行，以 C919 为代表的国产机型交付量蓄势待发，目前 C919 订单约 1095 架，我们测算预计可拉动 2.15 万吨钛材需求；苹果和小米采用钛金属手机中框设计开启钛材新应用场景，有望引领 3C 钛应用潮流，预计到 2027 年可拉动近 2 万吨钛材需求。航空航天高速增长叠加 3C 贡献新增长极，钛材需求未来可期。

➤ **电子新材料：AIGC 促进产业变革，创新应用助力行业复苏**。AIGC 产业化不断推进，算力需求提升刺激光模块往更高速率迭代、高密度服务器和 GPU 功耗增加驱动散热需求从风冷向液冷升级，相关产业链上游材料如光芯片衬底材料砷化镓、磷化铟、铌酸锂，光芯片基座，液冷板等深度受益 AIGC 产业化应用持续拓宽。目前电子行业呈现显著复苏趋势，AIGC 增添创新性应用有望加速行业回暖进程，电子行业上游原材料有望受益行业周期景气回暖机遇。

➤ **3D 打印金属粉末：3D 打印商业化加速，上游材料深度受益**。伴随 3D 打印工艺持续升级以及经济性的提升，荣耀首次将 3D 打印方式引入折叠屏手机铰链制造成为 3D 打印在 3C 领域应用的开篇，有望开拓 3D 打印产业新增长极，3D 打印上游金属粉末原材料有望深度受益，我们测算预计 2027 年折叠屏+智能手机有望拉动千吨级 3D 打印钛合金粉末需求。

➤ **超导材料：超导研究持续推进，星辰大海未来可期**。超导体因为具有绝对的零电阻和完全的抗磁性两大特性，在所有涉及电和磁的领域都有用武之地，应用领域广泛。低温超导材料应用目前占据整个超导材料市场的 90% 以上，高温超导伴随技术突破蓄势待发。伴随新型超导材料研究的不断推进，下游 MRI、核聚变、粒子加速器、MCZ、超导感应加热、超导输电、超导电动悬浮列车等应用场景有望拉动超导材料可观需求，超导应用未来可期。

➤ **投资建议**：我们推荐重要战略资源板块以及受益新兴产业发展机遇的稀土磁材、钨、钛材、电子新材料、3D 打印金属粉末和超导材料等板块，相关标的：金力永磁、厦门钨业、章源钨业、宝钛股份、西部超导、有研粉材、博迁新材。

➤ **风险提示**：海外地缘政治风险、需求不及预期、新品研发不及预期等。

重点公司盈利预测、估值与评级

代码	简称	股价 (元)	EPS (元)			PE (倍)			评级
			2022A	2023E	2024E	2022A	2023E	2024E	
300748.SZ	金力永磁	19.35	0.52	0.51	0.67	37	38	29	推荐
600549.SH	厦门钨业	17.12	1.02	1.09	1.40	17	16	12	推荐
002378.SZ	章源钨业	5.59	0.17	0.12	0.20	33	47	28	推荐
600456.SH	宝钛股份	32.89	1.17	1.48	1.87	28	22	18	推荐
688122.SH	西部超导	51.15	1.66	1.09	1.43	31	47	36	推荐
688456.SH	有研粉材	31.00	0.53	0.56	0.77	58	55	40	推荐
605376.SH	博迁新材	28.89	0.59	0.15	0.52	49	194	56	推荐

资料来源：Wind，民生证券研究院预测；

(注：股价为 2023 年 12 月 11 日收盘价)

推荐

维持评级



分析师 邱祖学

执业证书：S0100521120001

邮箱：qiu zuxue@mszq.com

分析师 李挺

执业证书：S0100523090006

邮箱：liting@mszq.com

分析师 张弋清

执业证书：S0100523100001

邮箱：zhangyiqing@mszq.com

研究助理 孙二春

执业证书：S0100121120036

邮箱：sunerchun@mszq.com

相关研究

1. 有色金属周报 20231210：制造业 PMI 重回扩张区间，将带动金属价格上行-2023/12/10
2. 有色金属周报 20231203：加息周期有望终结，金属价格或将全线上行-2023/12/03
3. 真“锂”探寻系列 10：海外盐湖 23Q3 跟踪：业绩下滑，阿根廷增量将显现-2023/11/28
4. 有色金属周报 20231126：欧盟推四万亿电网升级计划，金属价格稳步回升-2023/11/26
5. 有色金属行业深度报告：“底部掘金”系列之一：能源金属投资手册-2023/11/19

目录

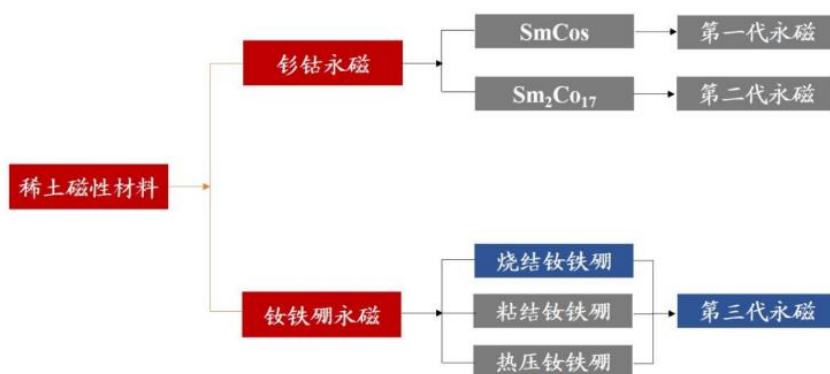
1 稀土磁材：新能源车持续拉动，人形机器人开拓新增长极	3
1.1 产业链：磁材的上游为稀土，下游为电机	3
1.2 稀土行业受磁材需求增长拉动	4
2 钨：战略金属之王，期待“登顶时刻”	15
2.1 钨资源大国，战略地位特殊	15
2.2 硬质合金领域，从工业的“牙齿”到高端制造的“脊梁”	19
2.3 新兴领域，人造金刚石与培育钻石市场推动顶锤需求	22
2.4 硅料下跌不改产业趋势，钨丝正成为下一代切割母线	27
2.5 军工领域，钨需求不可小觑	32
3 钛：从航空航天向 3C 拓展，今朝“钛”不一样	34
3.1 钛产业链难点在于中游加工制造	34
3.2 钛材供应集中度较高，多家企业积极扩张产能	37
3.3 大飞机商业首飞，航空航天钛材需求放量在即	42
3.4 3C 消费新领域，打开钛材应用新需求	48
4 电子新材料：AIGC 促进产业变革，创新应用助力行业复苏	53
4.1 AIGC 抬升算力需求，光模块产业链材料深度受益	53
4.2 液冷板：“一体两翼”，需求快速增长	70
4.3 金属镍粉材料：MLCC 电极核心材料，享电子复苏红利	94
5 3D 打印金属粉末：3D 打印商业化加速，上游材料深度受益	101
5.1 3D 打印创新加工方式，下游应用场景丰富	101
5.2 3D 打印产业化脚步持续提速，3C 应用开拓新市场	106
6 超导材料：超导研究持续推进，星辰大海未来可期	111
6.1 低温超导应用场景拓展，高温超导产业化蓄势待发	111
6.2 下游应用场景持续突破，超导产业星辰大海	117
7 投资建议	140
7.1 行业投资建议	140
7.2 重点公司	141
8 风险提示	151
插图目录	152
表格目录	156

1 稀土磁材：新能源车持续拉动，人形机器人开拓新增长极

1.1 产业链：磁材的上游为稀土，下游为电机

稀土永磁材料是金属系和铁氧体系之后开发成功的第三代永磁材料。稀土永磁材料自 60 年代问世以来，一直保持高速发展，按其开发应用的时间顺序可分为四代：第一代钐钴永磁(SmCo5)系材料；第二代钐钴永磁(Sm₂Co₁₇)系磁体；第三代稀土永磁则为 80 年代初期开发成功的钕铁硼系磁性材料，因其优异的性能和较低的价格很快在许多领域取代了钐钴永磁磁体，并快速实现工业化生产，其中烧结钕铁硼又称为高性能钕铁硼，其内禀矫顽力和最大磁能之和大于 60，性能更加优异；第四代为稀土铁氮和稀土铁碳，目前仍在实验室阶段，距离量产仍有一定距离。

图1：钕铁硼永磁为第三代永磁

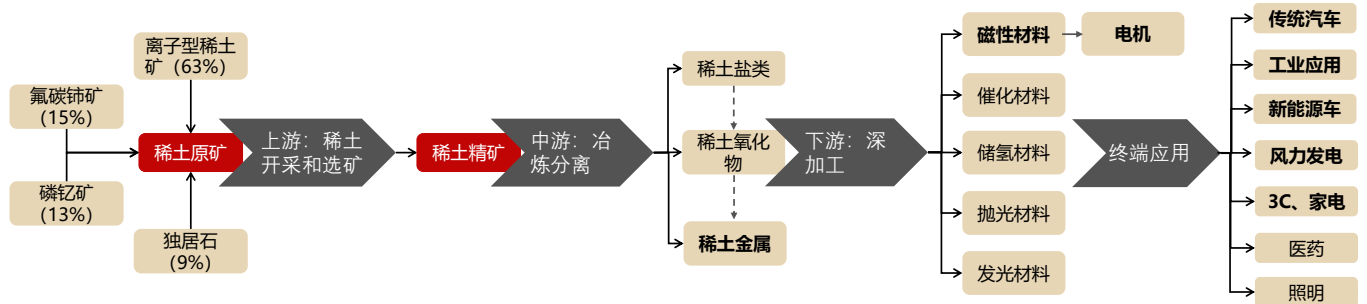


资料来源：正海磁材公告，民生证券研究院

稀土永磁材料的上游为稀土采选、分离、冶炼，下游为电机制造，终端分布在汽车、风电、3C、家电等多个领域。稀土永磁材料的直接原材料为稀土金属，包括金属镨钕、金属镱铽等，为了得到稀土金属，稀土供应商需要首先完成稀土原矿开采，不同稀土原矿的各种稀土元素配分不尽相同，使得其对应的价值量也相差较大，总体来看中重稀土矿（离子型稀土矿、独居石）价值量高于轻稀土矿（氟碳铈矿）。得到原矿后需要将其分选为稀土精矿，此过程为稀土元素富集的过程。由于稀土包括 17 种元素，因此在进一步富集之前，需要将其分离成不同的稀土金属元素，这一步也是稀土与其他金属品种最大的不同点。分离完成后将得到稀土盐类以及稀土氧化物产品，此时可以选择直接出售给下游客户制作成催化材料、发光材料等，也可以进一步冶炼成为稀土金属，稀土金属也即稀土永磁材料的原材料。此后经过毛坯生产、机加工、表面处理、包装检测等步骤后生产得到钕铁硼磁体，即我们通常所说的稀土永磁材料。多数情况下磁材厂商会将产品卖给下游的电机厂商，

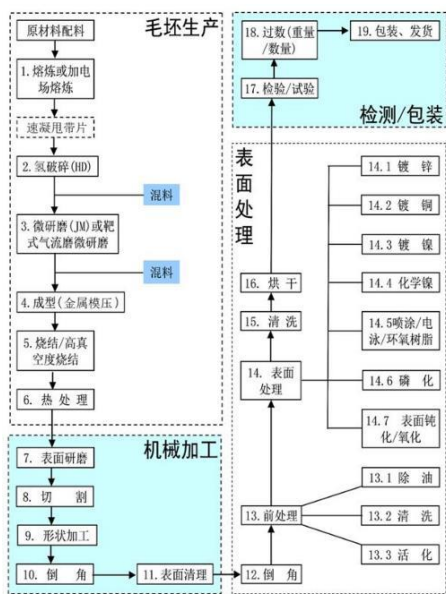
电机厂商再制作成电机成品销售给终端客户。

图2：稀土磁材产业链



资料来源：百川盈孚，民生证券研究院整理绘制

图3：稀土永磁材料生产流程



资料来源：中科三环配股说明书，民生证券研究院

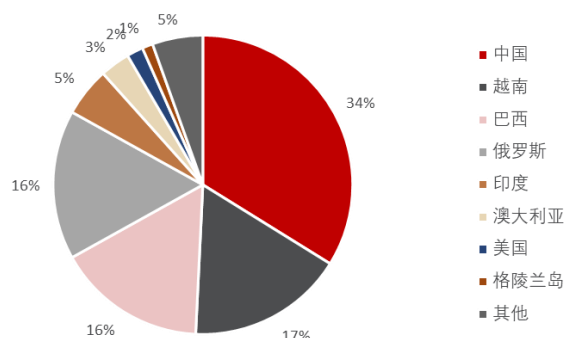
1.2 稀土行业受磁材需求增长拉动

1.2.1 供给端：增量主要看国内开采配额，海外增量有限

从储量看，2022 年全球稀土储量约 1.3 亿吨，中国稀土储量世界第一，为 4400 万吨，占比 34%。越南稀土储量为 2200 万吨、占比为 17%，排名第二；巴西稀土储量为 2100 万吨、占比为 16%，排名第三；俄罗斯稀土储量为 2100 万吨，占比为 16%，排名第四，前四大稀土储量国的储量占世界总储量的 83%，资源的分布非常集中。

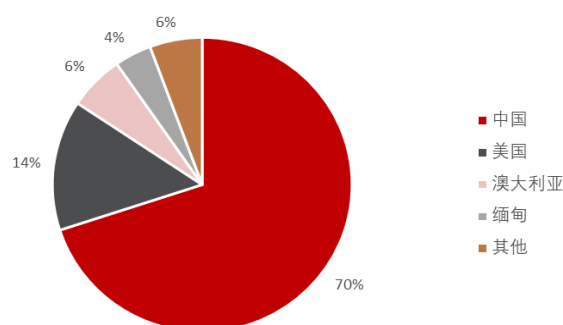
从产量看，2022 年全球稀土产量约 30 万吨，中国稀土产量世界第一，为 21 万吨，占比 70%。美国稀土产量为 4.3 万吨、占比为 14%，排名第二。澳大利亚稀土产量为 1.8 万吨、占比为 6%，排名第三。缅甸稀土产量为 1.2 万吨，占比为 4%。前四大稀土产量国的产量占世界总产量的 94%，产量的分布也十分集中。

图4：全球稀土储量分布（2022）



资料来源：USGS，民生证券研究院

图5：全球稀土产量分布（2022）

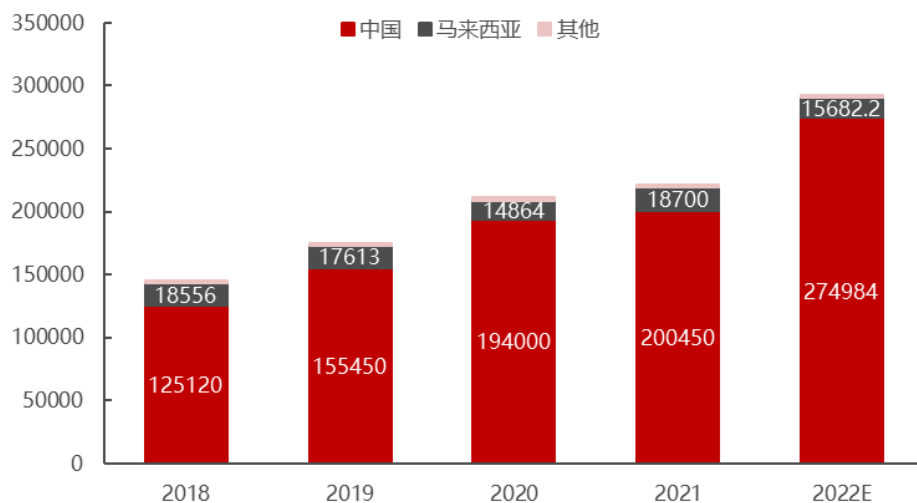


资料来源：USGS，民生证券研究院

中国稀土冶炼分离产品产量占全球 93%以上。安泰科数据显示，2022 年全球稀土冶炼分离产品产量合计约 29.3 万吨（REO），同比增长 30.7%。其中，中国产量约 27.5 万吨，占比 93.8%，含四大稀土集团生产总量指标 20.2 万吨，利用进口美国矿和独居石矿生产的冶炼分离产品产量分别为 4.2 万吨和 3.1 万吨；澳大利亚莱纳斯公司位于马来西亚的关丹稀土（LAMP）分离厂受疫情及缺水影响，全年产量同比下降 16%至 1.6 万吨。

中国具有领先全球的稀土冶炼分离技术，且分离技术禁止出口，因此分离环节壁垒较高。在实现高效稀土冶炼分离的同时，兼顾环境保护。以上构成了我国稀土冶炼分离行业壁垒。

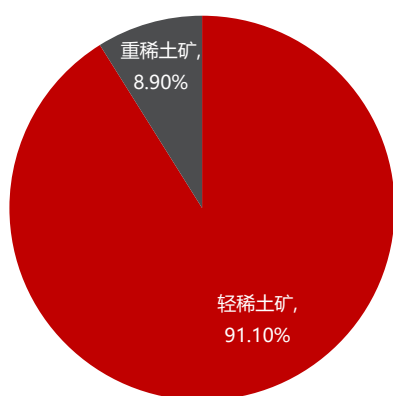
图6：2022 年中国稀土冶炼分离产品产量占全球 93%以上（单位：吨 REO）



资料来源：安泰科，民生证券研究院
注：2022 年数据为安泰科年报预测数据

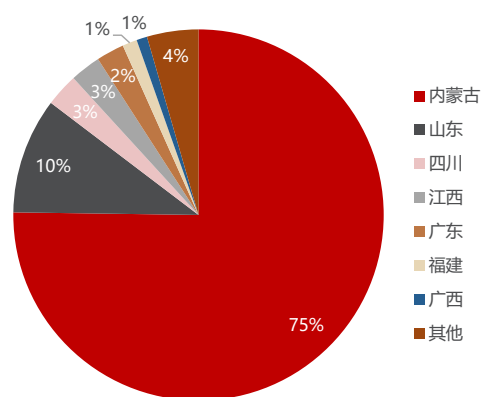
中国稀土资源呈现北轻南重的特点。从资源量看，2020 年已查明轻稀土资源量 1.23 亿吨（91%），重稀土矿 1203 万吨（9%）。北方地区轻稀土资源丰富，主要分布在内蒙古，其资源量为 1.02 亿吨，占稀土总资源量的比例为 75.22%。南方地区以离子吸附型中稀土、重稀土矿为主，其中广东省的重稀土资源最为丰富，有 389 万吨，占稀土总资源量的 2.88%，占国内中重稀土资源量的 32.34%。

图7：中国轻重稀土资源量分布（2020）



资料来源：《AM 中国稀土矿资源开发研究报告 2021》，民生证券研究院

图8：中国稀土资源地区分布（2020）



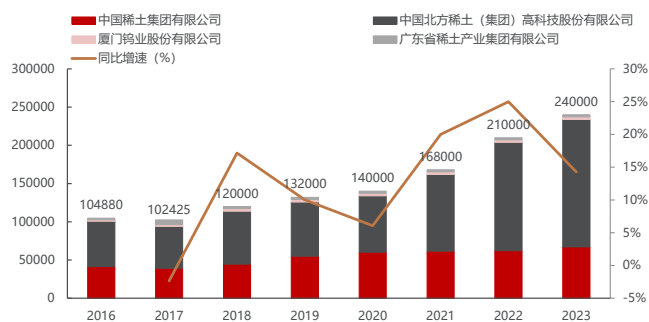
资料来源：《AM 中国稀土矿资源开发研究报告 2021》，民生证券研究院

国内供给：实质上的双寡头供应格局，核心是稀土配额的增长。2021 年 12 月稀土行业新央企中国稀土集团有限公司成立，将原有的六大稀土集团格局打破，变成了四大稀土集团，若考虑到指标分布中厦门钨业和广东稀土的指标占比较小，

且中国稀土集团已分别与广东稀土集团和厦门钨业签署了战略合作协议，国内稀土的供应实质上已经由六大集团掌控转变南北两大集团格局。

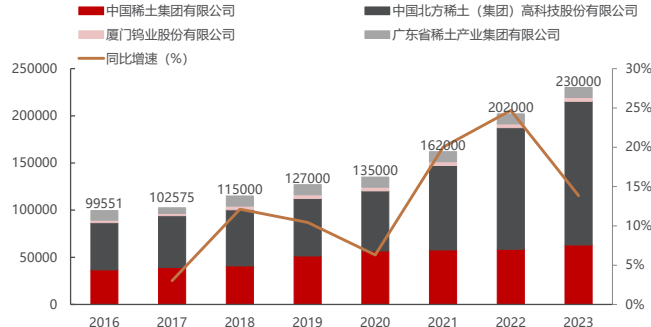
2023 年稀土开采总量同比增长 14.3%，其中轻稀土指标同比增长 15.7%，中重稀土指标同比不变。目前的四大稀土集团中，轻稀土只有北方稀土一家，其它三家均为中重稀土公司。2023 年岩矿型稀土(轻稀土)开采总量为 22.1 万吨，同比增长 15.7%，占比全部开采配额的比重为 92%，其中北方稀土轻稀土矿指标增长 2.5 万吨，同比增长 17.6%，中国稀土集团轻稀土矿指标增加 5000 吨。离子型稀土(中重稀土)指标同比不变仍未 1.9 万吨，占全部开采配额的 8%，其中中国稀土集团拥有 1.3 万吨中重稀土配额，占比达到 68%，为中重稀土的核心供应商。

图9：2023 年稀土矿产品指标同比增长 14.3% (吨 REO)



资料来源：工信部，民生证券研究院

图10：2023 年稀土冶炼分离产品指标同比增长 13.9% (吨 REO)



资料来源：工信部，民生证券研究院

综合考虑指标和钕铁硼回收增长，2021/2022/2023 年稀土指标增速分别为 20%/25%/14.3%，由于稀土需求增速放缓，我们假设 2024-2025 年指标增速与 2023 年第二批指标增速相同，均为 10%，预计 2023-2025 年国内氧化镨钕总供给为 7.1/7.9/8.7 万吨。

表1：国内氧化镨钕供给 (单位：吨 REO)

国内供给(吨 REO)	单位	2020	2021	2022	2023E	2024E	2025E
稀土矿总量开采指标	吨 REO	140000	168000	210000	240000	264000	290400
	增速	6.1%	20.0%	25%	14.3%	10%	10%
白云鄂博	吨 REO	73550	100350	141380	170391	193381	218752
四川和山东	吨 REO	47300	48500	49470	50459	51469	52498
南方离子矿	吨 REO	19150	19150	19150	19150	19150	19150
国内矿山合计	吨 REO	140000	168000	210000	240000	264000	290400
白云鄂博-氧化镨钕 (20%镨钕配比)	吨 REO	14710	20070	28276	34078	38676	43750
四川和山东-氧化镨钕 (17%镨钕配比)	吨 REO	8041	8245	8410	8578	8750	8925
南方离子矿-氧化镨钕 (25%镨钕配比)	吨 REO	4788	4788	4788	4788	4788	4788

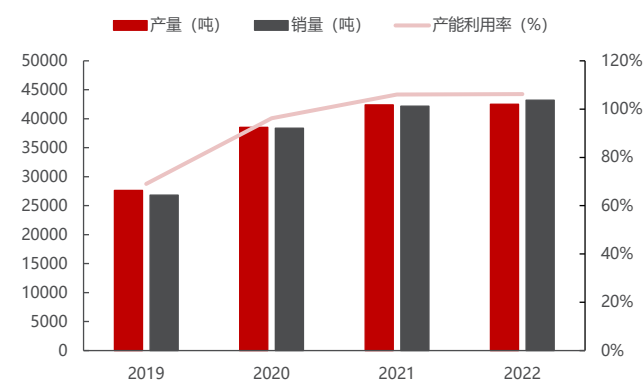
国内矿山氧化镨钕合计	吨 REO	27539	33103	41473	47444	52213	57463
综合氧化镨钕占比	%	19.7%	19.7%	19.7%	19.8%	19.8%	19.8%
氧化镨钕供给——开采指标	吨 REO	27539	33103	41473	47444	52213	57463
氧化镨钕供给——废料回收	吨 REO	20000	23000	26450	24035	26439	29082
氧化镨钕总供给	吨 REO	47539	56103	67923	71479	78652	86545

资料来源：工信部，公司公告，民生证券研究院测算

海外供给：在产矿山无增量计划，新建矿山短期内难以投产，预计海外增量有限。除中国之外，2021 年海外最大的三个稀土供应国家分别是美国（16%）、缅甸（9%）、澳大利亚（8%）。由于冶炼分离的产能绝大多数都在国内，因此从矿端来看我国需要进口大量的稀土矿进行分离冶炼，除了澳大利亚的矿是出口到马来西亚进行分离之外，美国和缅甸大多数的矿都需要出口到我国进行后续的处理。自 2012 年起，美国部分海外大型矿山陆续投产复产，同时缅甸高品位中重稀土矿也在逐渐放量。由于我国稀土矿存在总量指标限制，因此海外的进口稀土矿一直是作为稀土矿供应的一大补充来源。

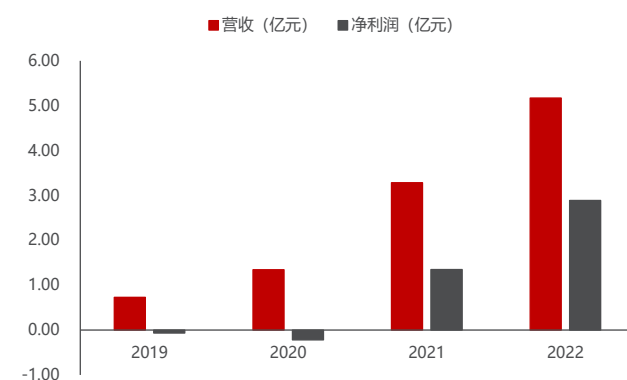
① **美国：MP 公司未来的发展计划以扩展分离冶炼产能为主，预计稀土精矿产能在每年 4 万吨左右维持稳定，目前产能利用已接近极限。** Mountain Pass 稀土矿山是世界品位最高的矿山之一，稀土含量超过 7%，有 70 余年的开采历史，上世纪 60-90 年代一度成为世界稀土的主要来源。随着中国稀土行业不断发展，美国稀土行业不断萎缩，MP 矿山也于 2002 年停产。2017 年盛和资源通过资源和技术介入重启了该矿山的生产工作，因此 2019 年开始其产量重新爬升，目前产量已达到其 4 万吨的产能极限。

图11：2019-2022 年 MP 矿山产销量



资料来源：MP 公司年报，民生证券研究院

图12：2019-2022 年 MP 公司营收与利润

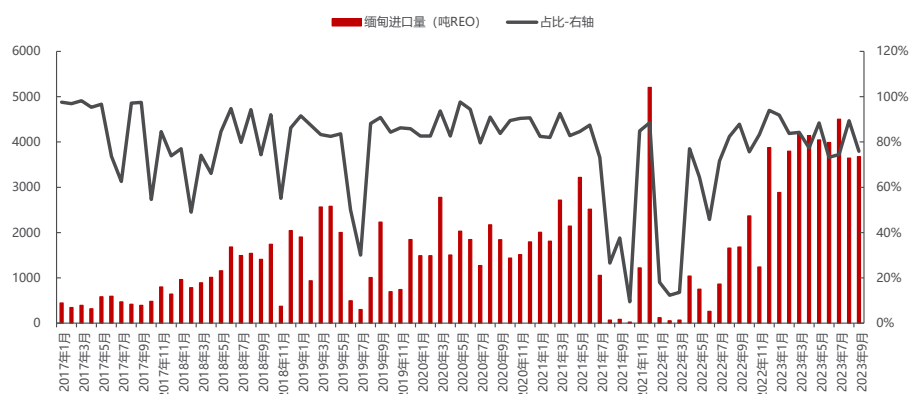


资料来源：MP 公司年报，民生证券研究院

② **缅甸：缅甸 2022 年受封关影响进口量大幅减少，2023 年前三季度进口量同比大幅增长，成为供给端超预期的供给增量。**工信部打黑后，国内稀土黑色产

业链逐渐瓦解，为了满足下游需求，我国开始从缅甸等地进口稀土矿，尤其是重稀土矿。2022 年受到公共卫生事件影响，全年中有数月未能进口稀土矿，缅甸稀土供给量大幅减少至 13981 吨 REO。2023 年公共卫生事件影响解除后，年初以来缅甸进口量大幅增加，前三季度合计进口 3.5 万吨 REO 稀土矿，我们预计全年缅甸进口量或在 4.5 万吨 REO 左右。但从中长期来看，缅甸稀土产业前期过度开采的问题仍较为严重，预计后续随着品位下滑，缅甸稀土中长期供应增量或有限。

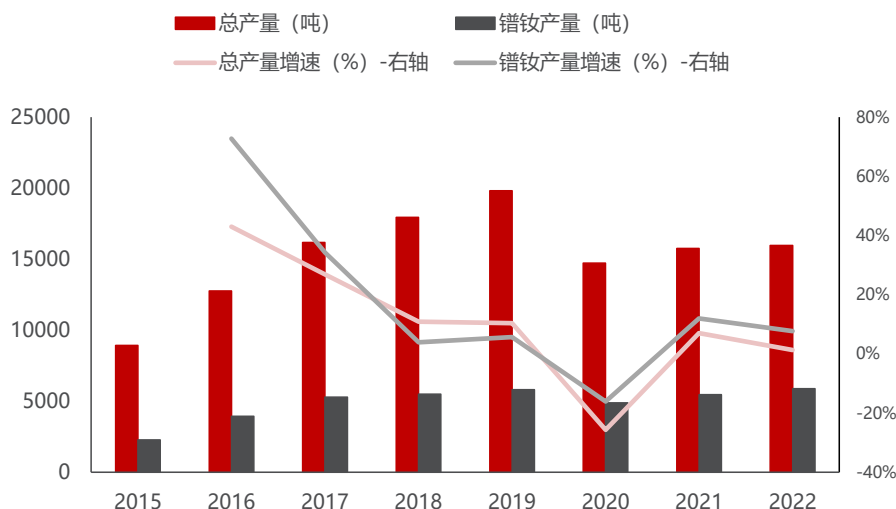
图13：2023 年 1-9 月缅甸进口稀土量同比大幅增长



资料来源：海关总署，民生证券研究院

- ③ 澳大利亚：Lynas 主要从事稀土开采与冶炼，稀土储量 1890 万吨，资源量折 REO 157.1 万吨，平均品位 8.3%，是全球第二大的稀土供应商，年产能 2.5 万吨 REO。稀土矿山位于西澳大利亚州首府珀斯西北约 1000 公里的 Mountain Weld，矿山产能已满负荷，未来产能增量有限。现有分离产能布局在马来西亚关丹附近的格宾工业园，位于西澳大利亚州的 Kalgroolie 分离冶炼厂完成所有审批手续，正在建设中。位于美国的轻重稀土分离冶炼厂还处于规划中。

图14: 2015-2022 年 Lynas 稀土总产量和镨钕产量



资料来源: 公司公告, 民生证券研究院

④ **独居石: 独居石为镨钕选矿的副产品, 主要生产商为盛和资源 and Iluka, 2021 年产量 3 万吨 REO 左右。盛和资源连云港 150 万吨镨钕选矿项目目前已经投产, 将新增 2 万吨独居石实物吨产能, 预计将在 2023-2024 年逐步释放。**

⑤ **海外其他矿山: 大多处于项目早期阶段, 短期难有增量, 2024-2025 年或有部分产能投产。**目前较为可能投产的项目主要有四个: 1) 澳大利亚 Hastings 公司矿山 2024 年年产 1.5 万吨混合稀土碳酸盐, 假设折合镨钕氧化物 25%, 即 3750 吨, 假设 2024 年当年贡献 25%, 2025 年贡献 75%; 2) 澳大利亚 Dubbo 稀土项目年产 6664 吨稀土氧化物, 其中 20% 为镨钕氧化物, 假设 2024 年贡献 50% 满产产量; 3) 澳大利亚 Arafura 年产 4357 吨镨钕氧化物于 2024 年底投产, 2025 年贡献产量; 4) 坦桑尼亚 Ngualla 项目镨钕占比 21.26%, 拟于 2025 年二季度投产, 年产稀土精矿约 1.8 万吨 REO, 4000 吨左右的镨钕。

表2: 海外氧化镨钕供给 (单位: 吨 REO)

海外供给(吨 REO)	单位	2020	2021	2022	2023E	2024E	2025E
美国矿-镨钕供给	吨 REO	6045	6659	6672	6751	6751	6751
澳大利亚矿-镨钕供给	吨 REO	4876	5461	5880	5577	5671	5713
缅甸矿-镨钕供给	吨 REO	4376	4936	3495	11250	10000	8750
独居石-镨钕供给	吨 REO	5980	6900	7153	8418	9430	9430
海外其他镨钕产量	吨 REO	2250	2250	2250	2250	3853.9	11709
其中: 澳大利亚 Hastings	吨 REO	0	0	0	0	937.5	2812.5
澳大利亚 Dubbo 稀土	吨 REO	0	0	0	0	666.4	1332.8

澳大利亚 Arafura	吨 REO	0	0	0	0	0	4357
坦桑尼亚 Ngualla	吨 REO	0	0	0	0	0	956.7
海外氧化镨钕供给合计	吨 REO	23526	26206	25451	34246	35705	42353

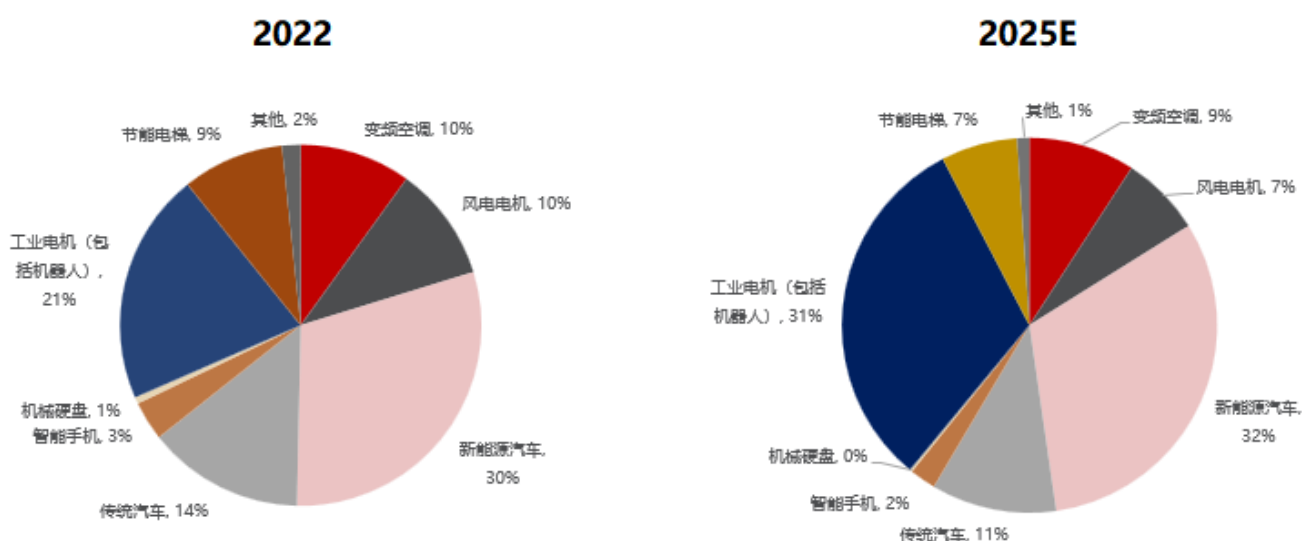
资料来源：各公司公告，民生证券研究院

1.2.2 需求端：新能源汽车+节能电机需求快速增长，AI 机器人或成未来新的增长极

镨钕氧化物主要用于制造钕铁硼，高性能钕铁硼对镨钕氧化物的需求将受新能源汽车、风电、节能电机、空调能效标准提高等因素拉动迎来迅速增长。其中钕铁硼的性能越好，需要添加的镨钕氧化物越多。中低端钕铁硼需求较为分散，包括箱包扣、门扣、玩具、电动自行车等众多领域，这部分需求进入壁垒较低，市场处于完全竞争市场，产品同质化高，整体需求量变化不大。而高性能钕铁硼被广泛应用于汽车、风电、变频空调等领域，有较高的准入门槛，有望受益于新能源行业景气需求高增。

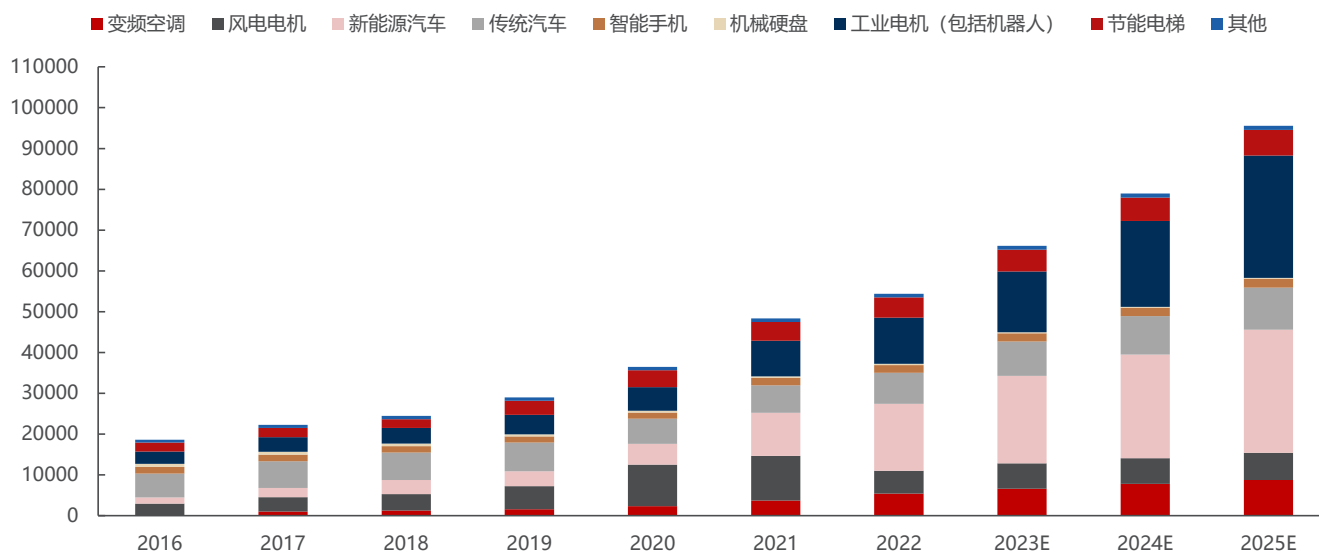
磁材的终端需求主要集中在汽车、风电、工业电机领域，其他消费场景较为分散。随着全球能源危机及环保意识的加强，新能源汽车、风电节能、变频空调等产业或将迎来高速发展，高性能钕铁硼需求有望释放巨大潜力。我们预计全球高性能钕铁硼需求量到 2025 年将达到 21.3 万吨，2022-2025 年 CAGR 为 20.66%，带动的镨钕氧化物需求达 9.6 万吨。

图15：2022 和 2025 年的高性能钕铁硼下游需求分布



资料来源：国家统计局，IDC，wind，OICA，EVSales，民生证券研究院测算

图16: 2016-2025 年全球高性能钕铁硼带动的氧化镨钕需求量快速增长 (单位: 吨 REO)

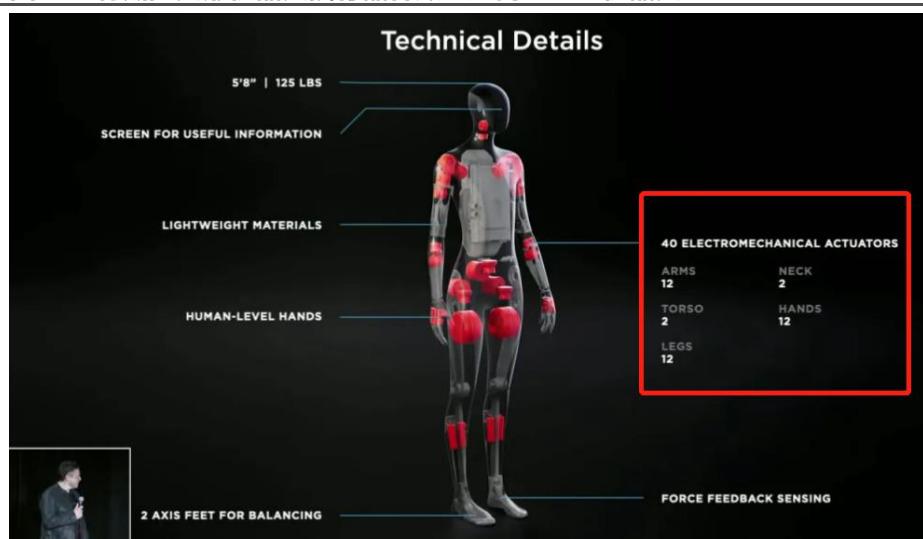


资料来源: 国家统计局, IDC, wind, OICA, EVSales, 民生证券研究院测算

从终端领域的需求增速情况来看, 新能源车依旧维持强劲增长, 节能电机需求增长受政策支持有所提振, 风电、家电增速略显疲态。此前报告中有详细阐述过各个下游领域的需求增长情况, 此处不再赘述。

人形机器人由于其对伺服电机的需求较大, 而伺服电机的核心原材料为钕铁硼磁材, 因此人形机器人放量将会带来较大的钕铁硼磁材以及上游原材料氧化镨钕的需求。

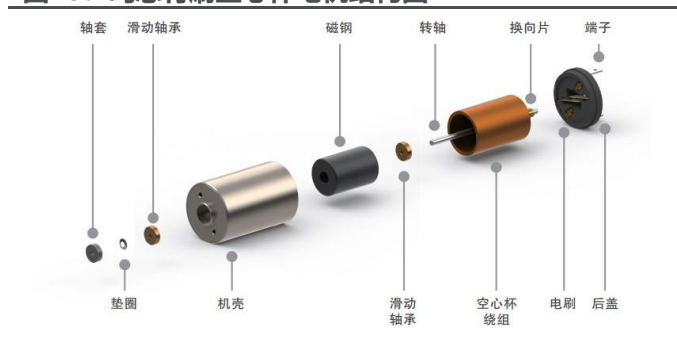
图17: 特斯拉人形机器人执行器件数量远高于工业机器人



资料来源: 澎湃新闻, 民生证券研究院

目前市场预计特斯拉人形机器人使用两类伺服电机：**空心杯电机和无框力矩电机**。**①空心杯电机：用于灵巧手**。空心杯电机的转子在结构上突破了普通电机的转子结构形式，采用的是无铁芯转子，是一个空心的杯状结构，内部环绕着绕组和磁铁。这种转子结构彻底消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗，同时其重量和转动惯量大幅降低，从而减少了转子自身的机械能损耗。**②无框力矩电机：用于执行器中**。无框力矩电机不同于传统的伺服电机，没有机壳，只有定子和转子2个部件，相较于有框电机，无框电机配置灵活，安装方便，着眼于目前驱动系统的高度集成化趋势，可以说无框电机更贴合工程师的目标期望；工程师无需像传统设计那样考虑电机接口，只需要在系统设计中给予电机相当小的空间位置预留即可，可以最大限度的缩小驱动系统中动力输出单元的空间占用，以此来达到更高的系统集成，非常适用于人形机器人这种对空间利用要求苛刻的应用场景。

图18：鸣志有刷空心杯电机结构图



资料来源：鸣志电器官网，民生证券研究院

图19：步科股份无框力矩电机示意图



资料来源：步科股份官网，民生证券研究院

我们这里的测算主要考虑到特斯拉人形机器人，根据特斯拉官网介绍，人形机器人全身共40个电机，每个电机消耗50g-100g高性能钕铁硼磁材，因此单位用量预计在2-4kg，我们取中值3kg作为单位用量的假设。中性预期下，假设特斯拉人形机器人2024/2025/2026/2030年分别生产5/25/50/500万台，则特斯拉人形机器人2030年将带来2万吨高性能钕铁硼磁材毛坯需求增量，6747吨镨钕氧化物需求增量，分别占2022年钕铁硼/镨钕氧化物总需求的7.1%/7.2%。

表3：人形机器人带动的钕铁硼磁材和镨钕氧化物需求预测

	2024E	2025E	2026E	2030E
特斯拉人形机器人产量（万台）	5	25	50	500
单台人形机器人钕铁硼需求量（千克）	3	3	3	3
人形机器人消耗钕铁硼磁材成品（吨）	150	750	1500	15000
人形机器人消耗钕铁硼磁材毛坯（吨）	200	1000	2000	20000
人形机器人镨钕氧化物需求量合计（吨）	67	337	675	6747

资料来源：民生证券研究院测算

得益于下游需求的快速增长，磁材企业大多快速扩张以谋求市占率的提升，近两年磁材企业多具备较强成长性。不仅以稀土磁材为主业的各大企业在快速扩张，包括金力永磁、正海磁材、宁波韵升、中科三环、大地熊、英洛华等，部分上游或其他磁材厂商也在往稀土磁材板块进行扩张。大量的产能增长意味着行业竞争加剧，老牌磁材厂商或可凭借客户开拓、产品迭代等优势保持一定的领先地位。

表4：2022-2025年稀土下游厂商钕铁硼永磁材料产能扩张规划

代码	公司	产能 (吨)					
		2021	2022	2023E	2024E	2025E	远期
300748.SZ	金力永磁	15000	23000	30000	38000	40000	-
300224.SZ	正海磁材	16000	24000	30000	-	-	36000
600366.SH	宁波韵升	12000	21000	29000	36000	-	-
000970.SZ	中科三环	21500	21500	26500	31500	31500	52500
688077.SH	大地熊	6000	8000	12000	15000	-	21000
000795.SZ	英洛华	10000	12000	15000	-	-	-
002057.SZ	中钢天源	2000	-	-	-	-	10000
000969.SZ	安泰科技	5500	-	10500	-	-	20000
601609.SH	金田铜业	5000	-	9000	-	13000	-
600259.SH	广晟有色	1500	2100	6100	12600	-	-
600549.SH	厦门钨业	8000	12000	-	-	-	-

资料来源：各公司公告，民生证券研究院预测

注：上述产能均为钕铁硼磁材毛坯产能

1.2.3 供需平衡：供需或将重回紧平衡，稀土价格中枢抬升

我们预计由于需求多点放量，全球镨钕氧化物迎来中长期的供需紧张，但2023年由于供给端超预期增长，或将面临短期的供需过剩压力。短期来看，预计2023年供需过剩为2590吨，供需过剩比例为2.4%。中长期来看，考虑指标增长保持2023第二批指标的同比增速（2024-2025年，采矿指标总量年增长率均为10%），以及回收，独居石放量，远期多个矿山在2024-2025年陆续投产带来的增量，2024-2025年均面临供需紧平衡状态，供需缺口比例分别为1.4%/2.8%。

表5：全球镨钕氧化物供需平衡表

	单位	2018	2019	2020	2021	2022	2023E	2024E	2025E
全球镨钕氧化物供给	吨	65170	69720	71065	82309	92224	105725	114357	128898
其中中国	吨	47000	47900	47539	56103	66773	71479	78652	86545
增速	%		7.0%	1.9%	15.8%	12.0%	14.6%	8.2%	12.7%
全球镨钕氧化物需求	吨	61065	65987	73823	86107	91764	103134	115967	132553
增速	%		8.1%	11.9%	16.6%	6.6%	12.4%	12.4%	14.3%
供需平衡（-不足/+过剩）	吨	4105	3734	-2758	-3799	460	2590	-1609	-3656
供需缺口比例	%	6.3%	5.4%	-3.9%	-4.6%	0.5%	2.4%	-1.4%	-2.8%

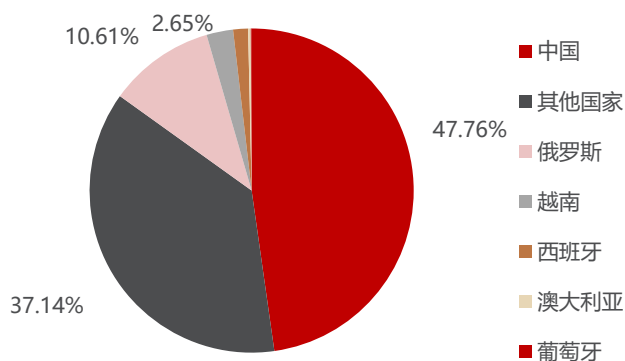
资料来源：安泰科，民生证券研究院测算

2 钨：战略金属之王，期待“登顶时刻”

2.1 钨资源大国，战略地位特殊

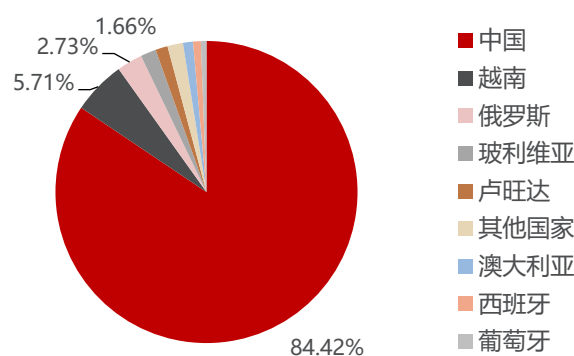
我国的钨资源丰富，钨储量及矿山钨产量世界第一，2022 年占比分别为 48% 和 84%。2022 年全球钨资源储量约 479 万吨，中国钨资源储量为 227 万吨，占比最大为 48%；全球矿山钨产量约 11 万吨，中国矿山钨产量为 9 万吨，占比最大为 84%，且 1994 年以来，我国一直贡献世界最大的钨矿产量。

图20：2022 年全球钨储量分布（万吨，%）



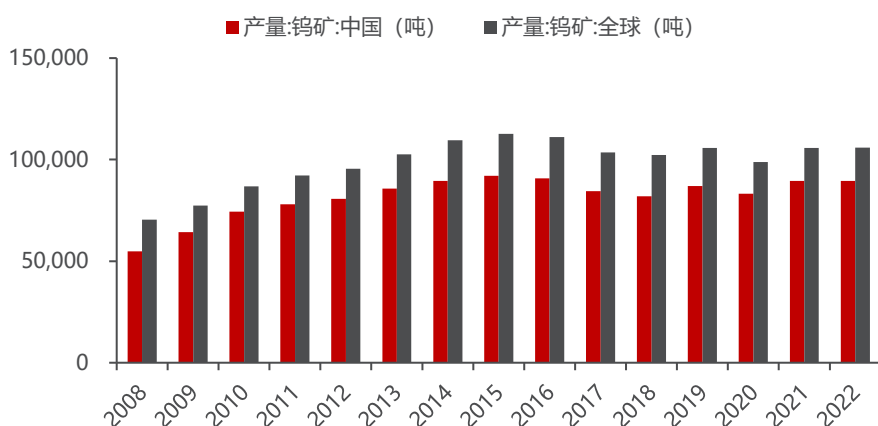
资料来源：USGS，民生证券研究院

图21：2022 年全球矿山钨产量分布（吨，%）



资料来源：USGS，民生证券研究院

图22：2008-2022 年矿山钨产量情况（单位：吨）

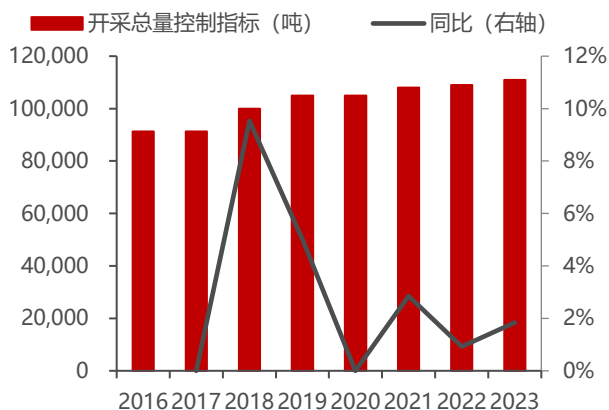


资料来源：USGS，民生证券研究院

国家对钨矿开采实行总量控制，钨矿的开采总量控制指标逐步提升，但是增量较小。钨矿开采总量指标由 2016 年的 9.13 万吨增长至 2023 年的 11.1 万吨，CAGR 为 2.83%。我国钨矿主要分布在江西，湖南，广东，广西等地，2023 年江

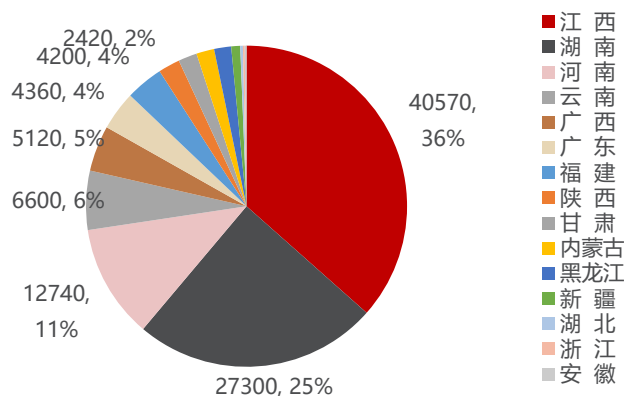
西省钨精矿开采总量控制指标为 4.06 万吨，占全国总量的 36.55%，居第一位，其次为湖南省（2.73 万吨，24.59%），河南省（1.27 万吨，11.48%）。

图23：我国钨矿开采总量控制指标



资料来源：自然资源部，民生证券研究院

图24：2023 年我国各省钨精矿开采总量控制指标（折 WO₃ 吨）



资料来源：自然资源部，民生证券研究院

图25：我国钨矿分布图



资料来源：矿业在线，民生证券研究院

钨资源虽然在我国蕴藏丰富，但是从全球来看，它在地壳中的含量较少（只占地壳重的 0.001% 左右）。然而钨金属因为其硬度大，熔沸点高，能耐高温，

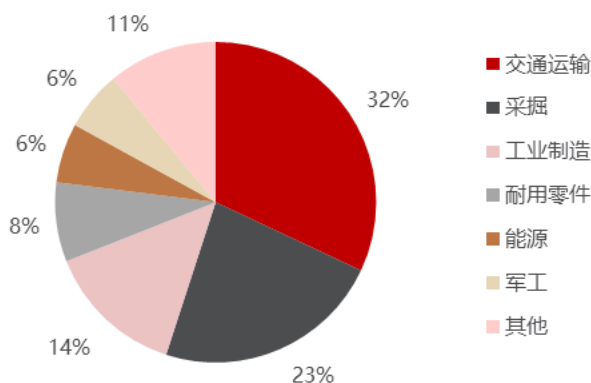
耐侵蚀等特点，通常被加工成硬质合金工具，钨特钢等，被应用于交通运输、采矿、工业制造、军工等领域，是加工国之重器的关键工具，素有“工业牙齿”之称，更是“高端制造业的脊梁”。正是因为钨资源的稀缺性和不可替代性，我国将钨视为战略性资源，它的开采受到国家的严格管控。

图26：钨的硬度高，熔点高

项目	数值
密度(25°C)/(g/cm ³)	19.2
熔点/°C	3410
沸点/°C	5700
抗拉强度/MPa	981~1472
屈服强度/MPa	670-710
硬度 HBS	290-350

资料来源：百川盈孚，民生证券研究院

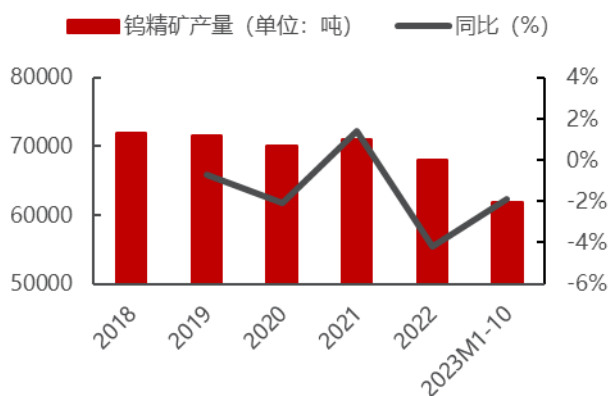
图27：钨的终端应用十分广泛（2022）



资料来源：百川盈孚，民生证券研究院

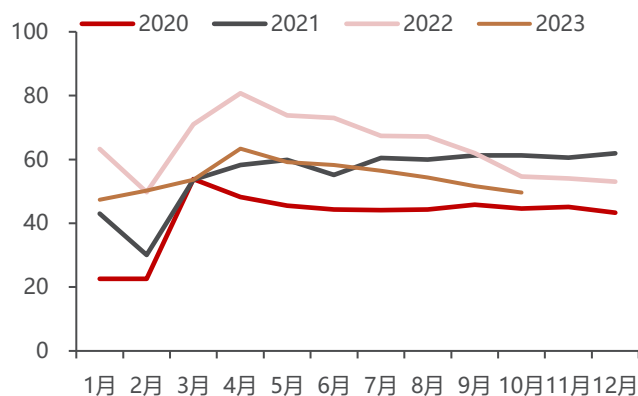
在开采指标的限制下，供应端的难有大的增量。安泰科数据显示，2022年全年钨精矿产量6.8万吨，同比下滑4.23%。2023年1-10月，钨精矿的产量约为6.19万吨，同比下滑1.88%。2023年1-10月，钨精矿的开工率整体低于去年同期，10月开工率下滑至49.63%，对比去年同期（54.61%）下滑明显。

图28：我国的钨矿产量



资料来源：百川盈孚，民生证券研究院

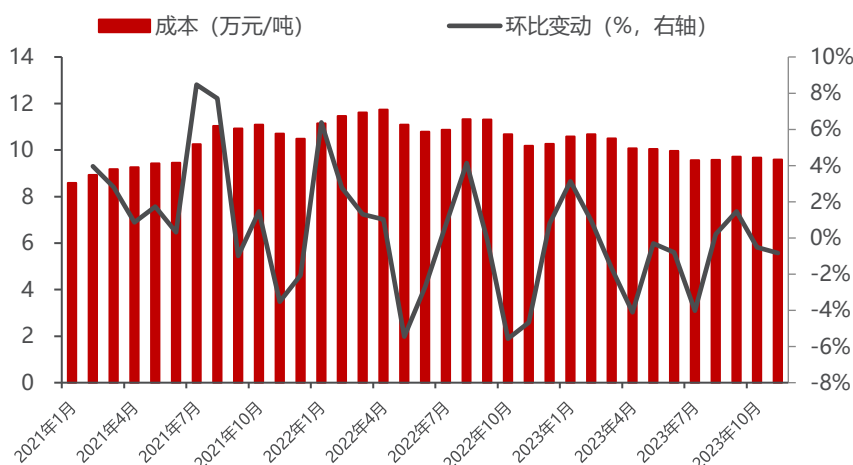
图29：钨精矿开工率情况 (%)



资料来源：百川盈孚，民生证券研究院

钨矿开采难度高，成本端支撑较强。近年来钨精矿的开采品位越来越低，开采条件和技术难度越来越大，社会和国家对产业人员的生产、生活环境和质量要求的进一步提高，钨精矿成本维持高位。2023年1-11月，钨精矿生产成本在9.6-10.6万元/吨，钨精矿成本支撑能力较强。

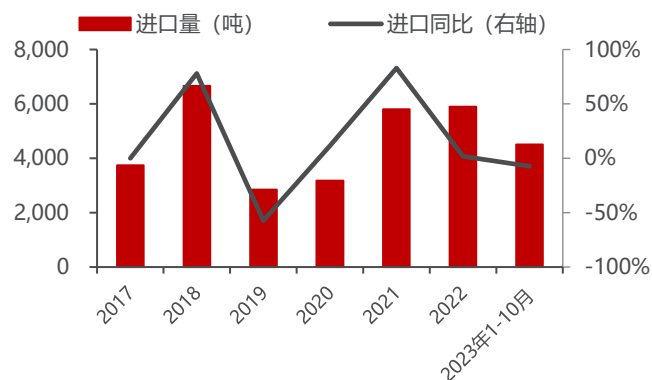
图30：钨精矿生产成本



资料来源：百川盈孚，民生证券研究院

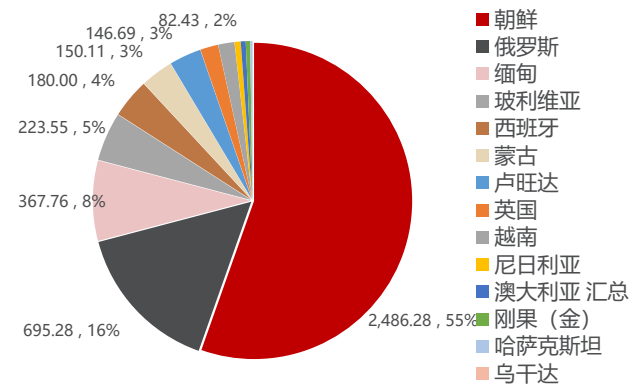
我国每年会进口少量钨精矿，2022年进口量为5900.96吨，同比增加1.69%，2023年1-10月进口量为4511.4吨，同比减少7.47%。进口国主要是朝鲜（55.41%）、俄罗斯（15.49%）、缅甸（8.2%）等。

图31：我国钨精矿进口量



资料来源：海关总署，民生证券研究院

图32：2023年1-10月我国钨精矿进口国分布（单位：吨）

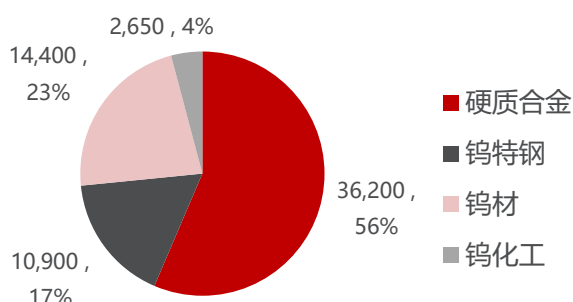


资料来源：海关总署，民生证券研究院

2.2 硬质合金领域, 从工业的“牙齿”到高端制造的“脊梁”

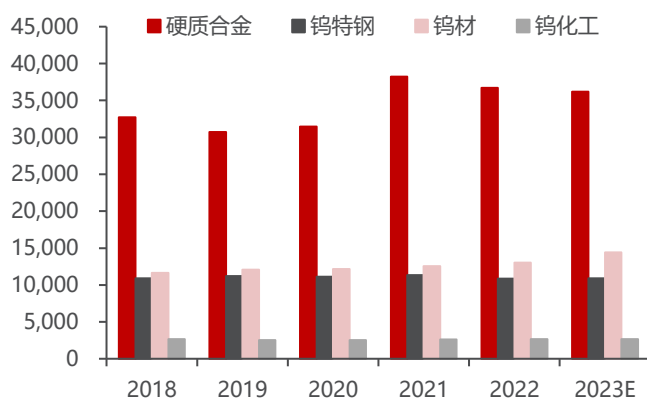
钨的初级消费领域, 2023 年下游总消费量或将同比增长 1.33%至 6.42 万吨, 其中, 硬质合金行业的钨消费量最大约为 3.62 万吨, 同比下滑 1.42%, 占比 56%。钨下游消费领域还包括钨材、钨特钢以及钨化工, 预计 2023 年钨材、钨特钢以及钨化工消费量或将分别为 1.44 万吨、1.09 万吨、2650 吨, 同比变化 10.43%、0.29%、-1.12%。

图33: 2023 年钨下游消费结构 (单位: 吨)



资料来源: 安泰科, 民生证券研究院测算

图34: 下游领域钨消费量 (单位: 吨)



资料来源: 安泰科, 民生证券研究院测算 (注: 2023 年为预测值)

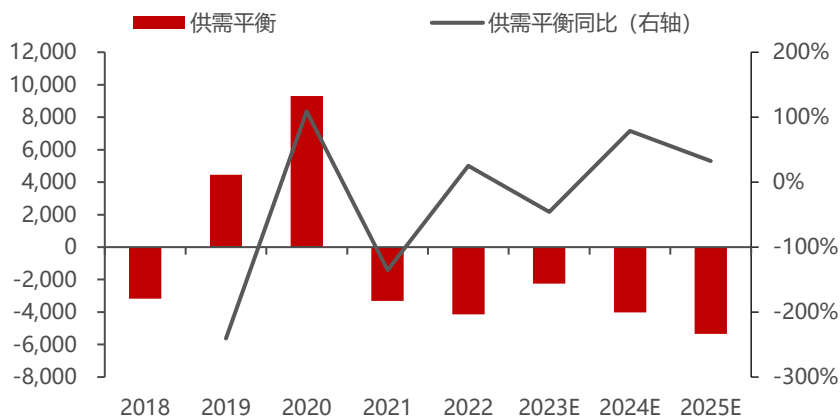
钨精矿的供应受指标控制难有大的增量, 随着制造业复苏, 对于精矿的需求将提升, 钨精矿供应预计将偏紧。2022 年钨精矿供应紧缺, 国内供需缺口为-4139 吨, 预计 2023 年-2025 年缺口将由 2250 吨变化至 5331 吨; 受供需关系影响, 钨精矿等价格或将继续上升。

表6: 中国国内供需平衡表 (单位: 金属吨)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023E	2024E	2025E
硬质合金	32725	30707	31450	38250	36720	36200	37500	38625
钨特钢	10918	11200	11100	11322	10869	10900	11200	11536
钨材	11648	12056	12177	12542	13040	14400	15500	16430
钨化工	2678	2544	2519	2607	2680	2650	2725	2800
消费合计	57969	56507	57245	64721	63309	64150	66925	69391
废钨	8775	9000	9000	10000	11000	11000	12000	13000
原钨消费	49194	47507	48245	54721	52309	53150	54925	56391
出口	30455	22136	15492	24038	24794	20000	21000	22000
钨精矿产量	72000	71500	70000	71000	68000	66700	67300	68000
进口	4483	2591	3032	4446	4964	4200	4600	5060
供需平衡	-3166	4448	9295	-3313	-4139	-2250	-4025	-5331

资料来源: 安泰科, 民生证券研究院测算

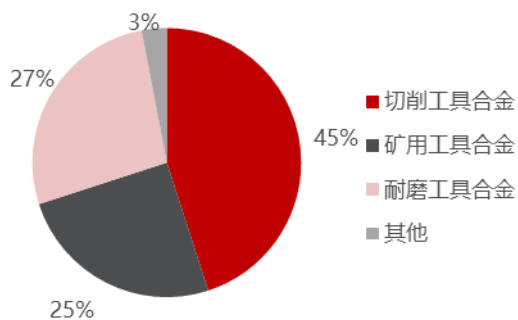
图35：钨精矿供需平衡（单位：金属吨）



资料来源：安泰科，民生证券研究院测算

在硬质合金的下游消费结构中，占比最大（45%）的是切削工具合金，其次是耐磨工具合金（27%），矿用工具合金（25%）。

图36：2019年不同类型硬质合金产量结构



资料来源：安泰科，民生证券研究院

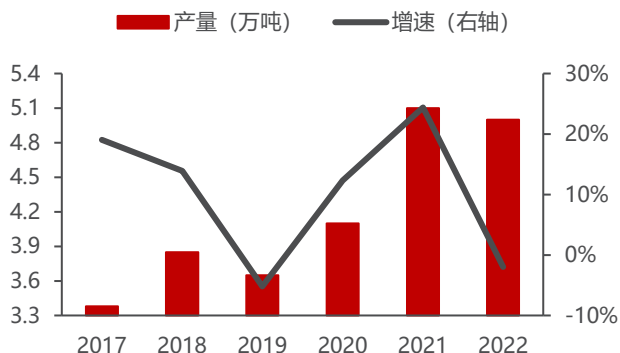
图37：不同类型硬质合金制品



资料来源：安泰科，民生证券研究院

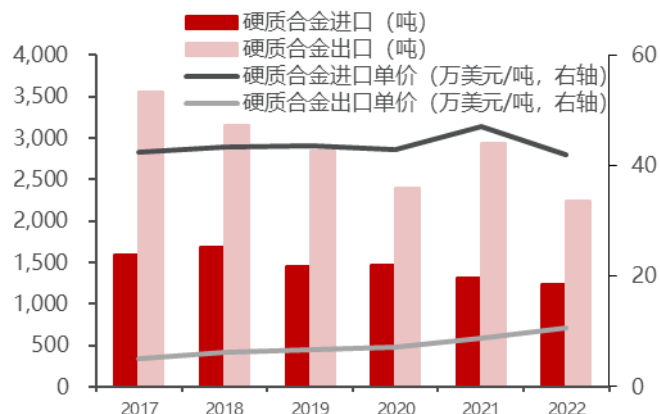
中国硬质合金行业产量呈增长态势，产品的国际竞争力在不断提升，逐步推进国产化替代进程。国内硬质合金行业产量从2017年的3.38万吨增长至2022年的5.0万吨，CAGR为8.15%。虽然2022年我国出口的硬质合金产品单价均价约为11万美元/吨，较进口单价41万美元/吨差距较大，但是自2017年开始，我国出口产品单价均价就在逐步提升，不断缩小国内外差距。2023年在国家自主可控的政策鼓励下，产品创新将更上一个台阶，将更多的输出高端的硬质合金产品，逐步实现国产替代。

图38: 2022 年硬质合金行业产量为 5 万吨



资料来源: 安泰科, 民生证券研究院

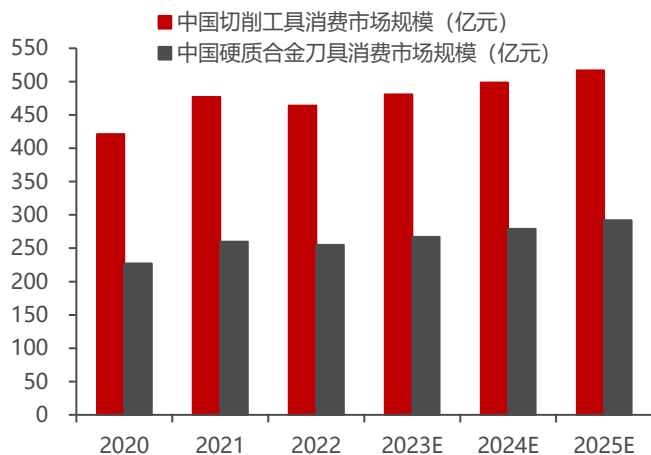
图39: 硬质合金进出口情况



资料来源: 安泰科, 民生证券研究院

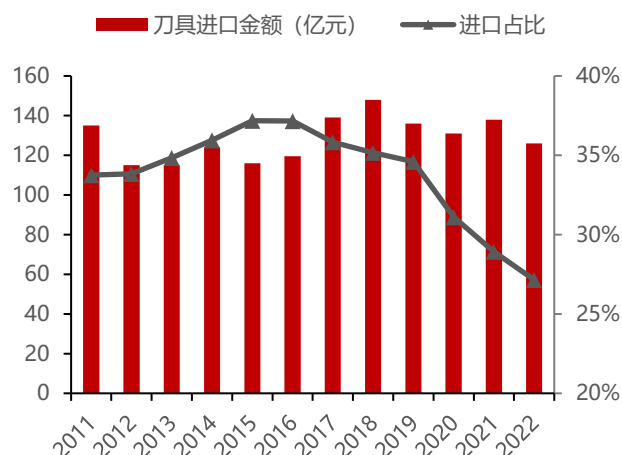
硬质合金刀具行业将稳步增长, 国内市场具备较大的国产化替代的空间。预计 2022 年-2025 年, 中国硬质合金刀具消费市场规模将由 255 亿元增长至 292 亿元, CAGR 为 4.58%。2015 年-2022 年我国刀具进口依赖度从 37.18%降至 27.16%, 2022 年我国进口刀具规模为 126 亿元, 国产替代空间仍然较大; 在国家政策指引下, 国内高端应用领域企业对国产刀具的尝试意愿加强。

图40: 中国切削工具消费市场情况



资料来源: 前瞻研究院, 民生证券研究院

图41: 刀具进口情况

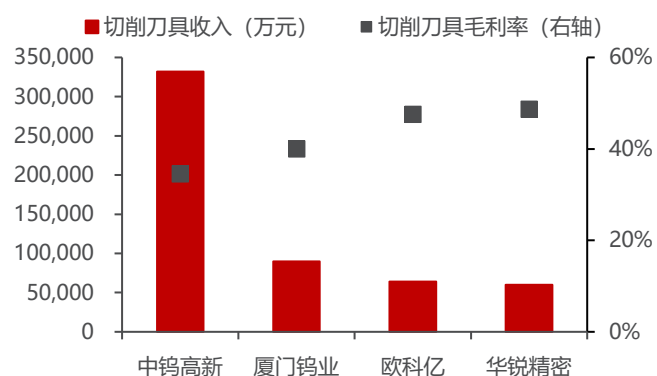


资料来源: 中国机床工具工业协会, 民生证券研究院

国内具有领先的硬质合金刀具生产企业, 它们将带领着行业走出创新升级、国产替代的道路。切削工具生产行业上市公司中, 中钨高新 2022 年营收最高约为 33.18 亿元, 毛利率约为 34.48%, 虽然厦门钨业营收低于中钨高新, 但是毛利率

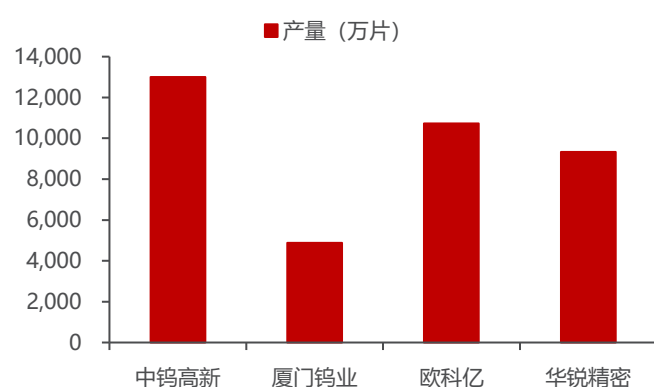
较高。行业中领先的企业还有欧科亿、华锐精密，2022 年切削刀具部分营收分别为 6.43 亿元、5.99 亿元，毛利率分别为 47.52%、48.65%。在细分的数控刀片领域中，2022 年中钨高新的产量约为 1.3 亿片，占国内产量约 23%，领先于同行业的厦门钨业、欧科亿、华锐精密等公司。

图42：2022 年切削刀具同行业上市公司营收、毛利率情况



资料来源：各公司公告，民生证券研究院

图43：2022 年同行业数控刀片产量对比



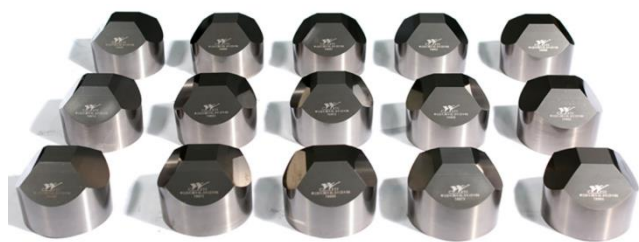
资料来源：中国机床工具工业协会，民生证券研究院

2.3 新兴领域，人造金刚石与培育钻石市场推动顶锤需求

2.3.1 顶锤：合成人造金刚石的关键部件

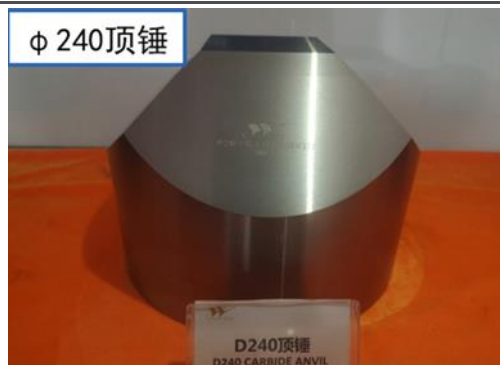
硬质合金顶锤是高温高压法合成人造金刚石等超硬材料的关键部件。顶锤是合成压机内部的重要耗材，合成压机是生产金刚石单晶和培育钻石的核心装备。由于顶锤要承受复杂苛刻的压缩、剪切、拉伸应力的作用，加上加热时瞬时锤面温度达 500~600°C，要求近万次反复使用寿命，因此顶锤大多采用钨钴系列硬质合金制成，具有硬度高、刚性好、强度高、耐热优良的特性。随着超硬材料产业的技术升级，工业用大单晶得到广泛应用，叠加培育钻石进入消费领域，形成千亿级珠宝市场，带动超硬材料产业高速发展。为满足大规格超硬材料产品的合成，提高产品质量和生产效率，压机大型化成为超硬材料行业的发展趋势，六面顶压机缸径从 550mm 扩大为 850mm，甚至 1100mm。压机大型化带动顶锤大型化发展，为超大规格顶锤（直径≥185mm）的应用创造了良好的机遇。

图44：硬质合金顶锤



资料来源：洛阳金鹭官网，民生证券研究院

图45：超大规格硬质合金顶锤



资料来源：洛阳金鹭官网，民生证券研究院

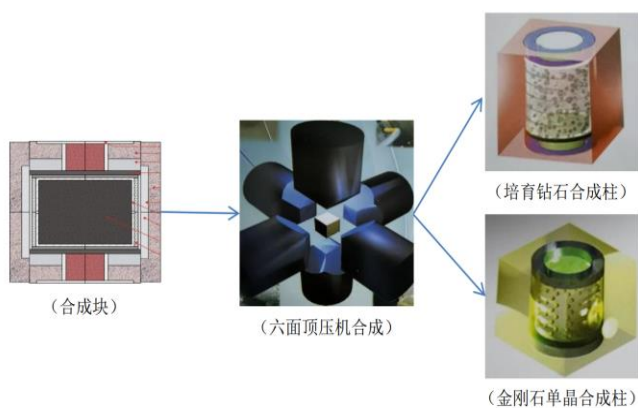
合成压机是生产金刚石单晶和培育钻石的核心装备，硬质合金顶锤是合成压机内部的重要耗材。合成压机的合成腔体可以为金刚石单晶合成创造一个超高温（>1400°C）、超高压（>5GPa）的生长环境，促使活性碳原子生长成稳定的金刚石晶体。我国所采用自主研发的六面顶压机经过不断的研发突破和技术改进，其在压机吨位、油缸结构、油缸直径、整机精度、同步性和控制系统等方面不断提升。

图46：六面顶压机



资料来源：洛阳启明官网，民生证券研究院

图47：单晶合成环节简易图



资料来源：力量钻石招股说明书，民生证券研究院

碳化钨占六面顶压机顶锤质量分数 87.5%以上。硬质合金顶锤基本采用 WC-Co（8%~10%Co，质量分数）合金或其改进型，在成分上并不十分特殊，但其制备技术大有考究。硬质合金顶锤的工艺流程主要包括压制、烧结、材质鉴定、机加工、外观检测和包装。目前国内顶锤生产企业陆续引进了冷等静压技术、新的湿磨工艺、压制工艺，采用了低压烧结等硬质合金先进技术，对产品制造中的缺陷进行了重点控制，产品质量和稳定性得到很大提高。

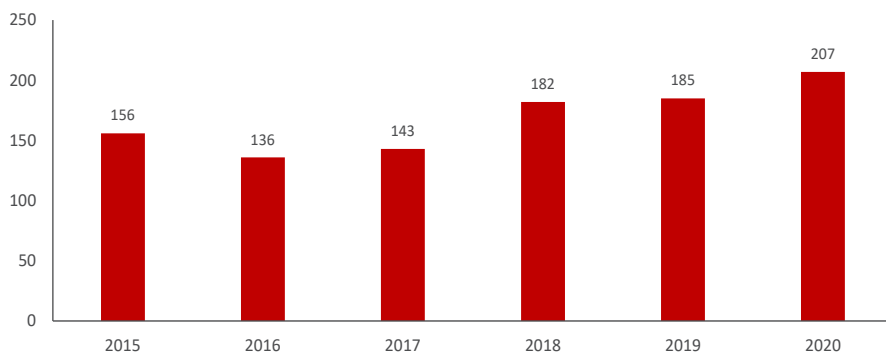
表7：硬质合金顶锤化学成分标准

产品	Co (%)	WC (%)	其他 (%)
六面顶	> 7.5~12.5	> 87.5~92.0	余量
两面顶	> 4~7	> 93~95.5	余量

资料来源：《中华人民共和国有色金属行业标准——硬质合金顶锤及压缸》，民生证券研究院

2.3.2 金刚石市场稳定增长，带动顶锤行业需求释放

中国人造金刚石产量位居全球第一。自 1963 年 12 月中国合成出国内第一个金刚石以来，在 50 多年的时间里，中国人造金刚石产量不断提升。2000 年，中国人造金刚石年产量第一次突破 10 亿克拉，成为世界上人造金刚石产量最大的国家。2011 年，中国人造金刚石年产量突破 100 亿克拉，到 2020 年，年产量再次突破 200 亿克拉，占据全球总产量 90% 以上，始终保持全球第一。在国内，金刚石产量主要集中在河南省，河南产量占全国产量的 80%，主要厂商中南钻石、黄河旋风、郑州华晶、力量钻石占据全球市场 70% 的份额。

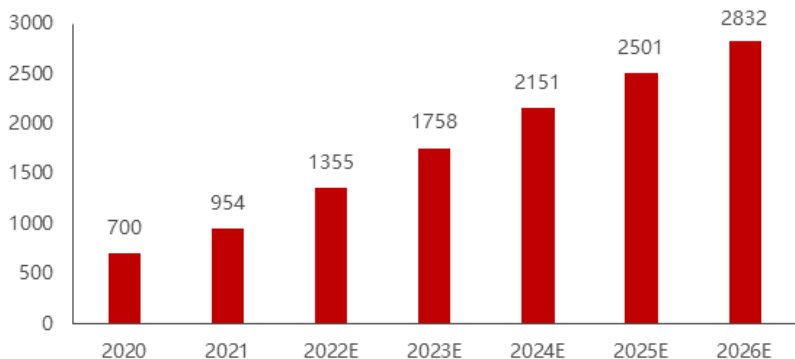
图48：2015-2020 年中国人造金刚石年产量规模（单位：亿克拉）


资料来源：观研天下，民生证券研究院测算

2.3.3 培育钻石迎来黄金发展期

全球培育钻石市场规模不断攀升。2017-2021 年，全球培育钻石产量由 150 万克拉增长至 900 万克拉。根据贝恩咨询预测数据，2025 年全球培育钻石市场规模将从 2020 年的 167 亿元增至 368 亿元，其中我国培育钻石市场规模将由 83 亿元增至 295 亿元。

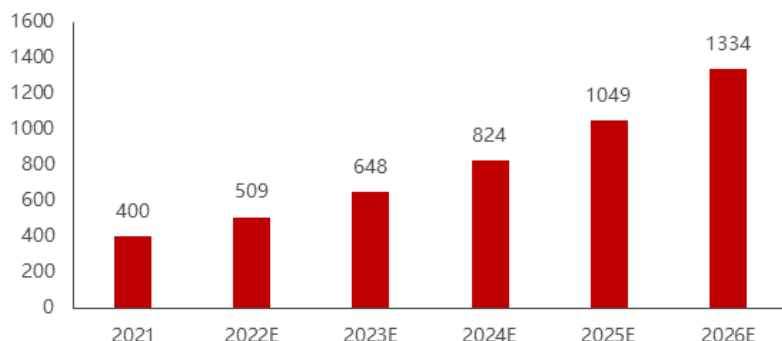
图49：2020-2026 年全球培育钻石年产量及预测（单位：万克拉）



资料来源：中商情报网，民生证券研究院

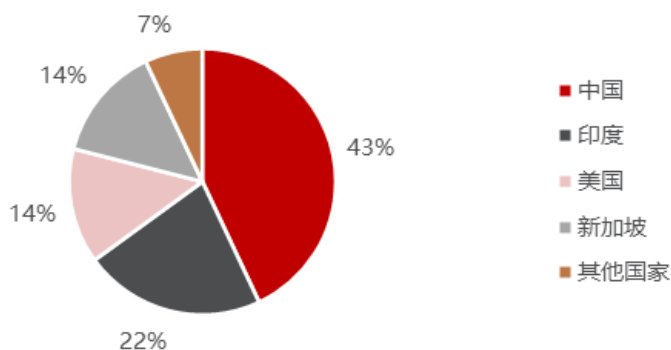
中国培育钻石市场规模全球第一。2021 年全球培育钻石产量共有 900 万克拉，其中中国产量约 400 万克拉，占比 40%以上，位居全球第一，其次是印度、美国和新加坡等国家。国内的主要培育钻石生产企业有中兵红箭、黄河旋风和力量钻石等。

图50：2021-2026 年中国培育钻石年产量及预测（单位：万克拉）



资料来源：中商情报网，民生证券研究院测算

图51：2021 年全球培育钻石产量分布



资料来源：观研数据，民生证券研究院

表8：2022 年国内培育钻石重要在建项目

项目名称	总投资/万元	2022 计划投资/万元	所在地区
商丘力量钻石培育钻石智能工厂建设项目	219,148	--	商丘市
力量二期金刚石和培育钻石智能化工厂建设项目	172,020	--	商丘市
中晶公司培育钻石、超硬材料系列制成项目	307,600	100,000	南阳市
年产 120 万克拉首饰级培育钻石项目	255,000	80,000	南阳市
中南钻石高品质工业钻石、宝石级钻石建设项目	115,000	50,000	南阳市
美钻钻石培育二期项目	25,000	20,000	洛阳市

资料来源：超硬材料网，河南省人民政府，力量钻石向特定对象发行股票募投说明书，民生证券研究院

2.3.4 测算：预计到 2025 年消耗的顶锤量将达到 2940.3 吨，2021-2025 年复合增长率 10.1%。

预计 2025 年人造金刚石领域将消耗顶锤需求量达 2939.4 吨，年复合增长率为 10.1%。2021 年国内人造金刚石产量达 223 亿克拉，其中依赖顶锤生产的 HPHT 法生产的人造金刚石产量为 200 亿克拉。假设每万克拉人造金刚石生产消耗顶锤数量为 0.9-1kg 左右。预计到 2025 年国内 HPHT 法生产人造金刚石数量将达 327 亿克拉，带动消耗顶锤需求量为 2939.4 吨，2021-2025 年复合增长率为 10.1%。

预计 2025 年培育钻石领域将消耗顶锤需求量 0.8 吨，年复合增长率为 23.9%。2021 年国内培育钻石产量达 400 万克拉，其中依赖顶锤生产的 HPHT 法生产的培育钻石产量为 360 万克拉。预计到 2025 年国内 HPHT 法生产培育钻石数量将达 944 万克拉，带动消耗顶锤需求量为 0.8 吨，年复合增长率达到 23.9%。

结合培育钻石以及人造金刚石领域来看，预计到 2025 年消耗的顶锤量将达到 2940.3 吨，2021-2025 年复合增长率 10.1%。

表9：顶锤需求量测算

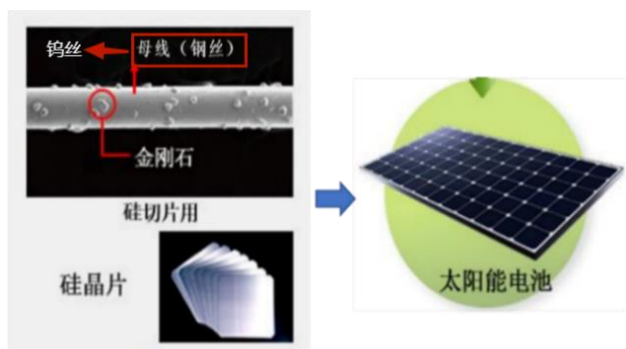
产品	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
培育钻石					
总产量/万克拉	400	509	648	824	1049
HPHT 法/万克拉	360	458	583	742	944
锤耗 (kg/万克拉)	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9
顶锤消耗 (吨)	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
工业金刚石					
总产量/亿克拉	223	249	282	318	363
HPHT 法/亿克拉	200	224	254	286	327
锤耗 (kg/万克拉)	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9
顶锤消耗 (吨)	2003.3	2243.7	2535.4	2578.5	2939.4
顶锤需求 (工业金刚石+培育钻石, 吨)	2003.6	2244.1	2535.9	2579.1	2940.3

资料来源：中商情报网，观研天下，民生证券研究院预测

2.4 硅料下跌不改产业趋势，钨丝正成为下一代切割母线

钨丝可用于硅片切割金刚石线的母线。钨丝是一种以难熔金属钨 (W) 为主要原材料的细丝，具有熔点高、电阻率大、强度好、蒸气压低等特点，可广泛应用于照明市场，现已拓展至光伏领域，用于硅片切割金刚石线的母线。光伏产业链主要包括硅料、硅片、晶硅电池片、光伏组件、光伏发电系统 5 个环节。上游为硅料、硅片的生产环节；中游为晶硅电池片、光伏组件的生产环节；下游为光伏发电系统的集成和运营环节。其中，硅片切割是切片环节的主要工序，金刚线可用于硅棒截断、硅锭开方、硅片切割，其切割性能直接影响硅片的质量及光伏组件的光电转换性能。随着硅片薄片化及金刚线细线化的推进，用钨丝替代高碳钢丝作为金刚线母线的趋势逐步明朗。

图52：金刚石线的结构及应用



资料来源：美畅股份招股说明书，民生证券研究院

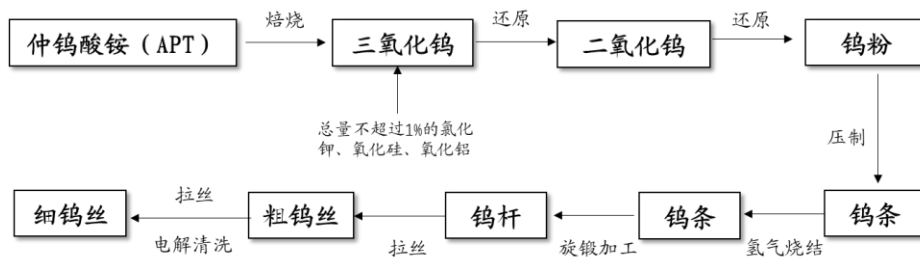
图53：钨丝图片



资料来源：厦门虹鹭官网，民生证券研究院

光伏用细钨丝的生产需要多道工序：首先通过焙烧 APT 得到三氧化钨，经两次还原反应后生成钨粉，钨粉通过压制、烧结得到钨条，钨条再经过旋锻加工制成钨杆，钨杆经过拉拔形成粗钨丝，最后粗钨丝经过再次拉拔，以及电解清洗后得到细钨丝。

图54：光伏用细钨丝生产流程图



资料来源：中钨在线，中钨高新光伏用高强度钨丝建设项目环境影响报告，民生证券研究院

硅片薄片化、金刚线细线化不断推进，钨丝替代高碳钢丝大势所趋。光伏硅片未来将向“大尺寸”和“薄片化”方向发展。“大尺寸”利于在不增加设备和人力的情况下增加设备产能；“薄片化”提高硅料使用率、减少硅料消耗，进而最终降低光伏产品成本。硅片薄片化仍存在较大发展空间，2021年，p型单晶硅片平均厚度约170 μm ，较2020年下降5 μm 。2021年，TOPCon电池的n型硅片平均厚度为165 μm ，异质结电池的硅片厚度约150 μm ；未来单晶硅片将向130-160 μm 发展；据光伏协会预测，至2030年，单晶硅片厚度将明显下降，达110-140 μm ；此外，硅片厚度会影响电池片的自动化、良率、转换效率等，需满足下游电池片、组件制造端的需求。

表10：光伏硅片发展趋势

发展趋势	具体情况
大尺寸	增大硅片尺寸，在不增加设备、不增加人力消耗的情况下增加了现有设备的产能，进而摊低单位成本。2021年182mm和210mm尺寸硅片合计约为45%，根据中国光伏行业协会的预测，2022年大尺寸硅片占比有望达到75%，或将占据半壁江山，且呈持续扩大趋势。
薄片化	通过降低硅片厚度，提高硅料使用率，降低单片硅片的硅料成本，进而最终降低光伏产品应用成本。根据中国光伏行业协会统计的数据，目前行业内单晶硅片平均厚度在168-175 μm ，未来将向160 μm 甚至130 μm 发展，硅片薄片化还存在较大的发展空间。

资料来源：高测股份公告，民生证券研究院

“细线化、高速度”是金刚线主要发展趋势。金刚线越细，固结在钢线基体上的金刚石微粉颗粒越小，切割加工时对硅片的表面损伤越小，硅片表面质量越好，硅片TTV等质量指标表现也就越好。

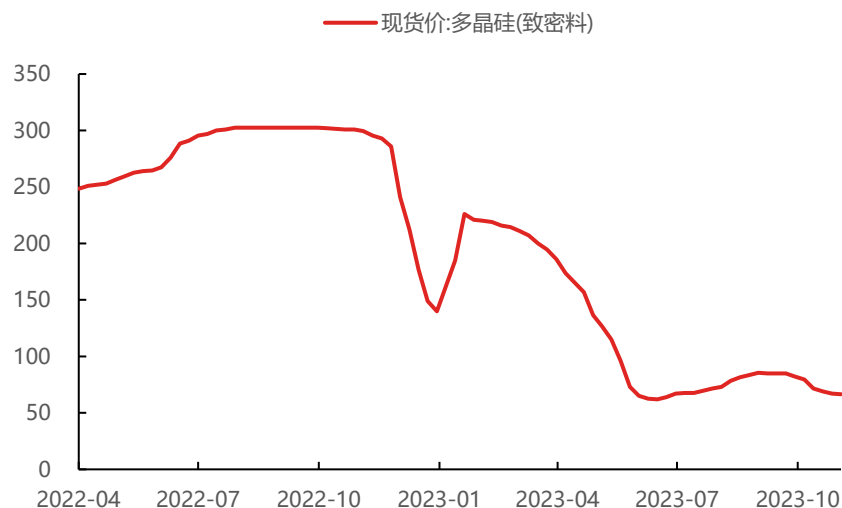
金刚线母线细线化长期趋势下，钨丝有望替代高碳钢丝。切割线母线直径及研磨介质粒度同硅片切割质量及切削损耗量相关，较小的线径和介质粒度有利于降低切削损耗和生产成本。2021年，金刚线母线直径为40-47 μm ，用于单晶硅片的金刚线母线直径降幅较大，且持续下降。

表11：金刚线发展趋势

发展趋势	具体情况
细线化	金刚线线径越细，锯缝越小，切割时产生的锯缝硅料损失就越少，同样一根硅棒可切割加工出的硅片数量越多，制造硅片所需的硅材料就越少。金刚线母线直径已由 2016 年的 80 μ m 降至 2021 年的 40-47 μ m，相应降低了切割料损。 相同切割工艺下，金刚线越细，固结在钢线基体上的金刚石微粉颗粒越小，切割加工时对硅片的表面损伤越小，硅片表面质量越好，硅片 TTV 等质量指标表现也就越好。金刚线母线直径已由 2016 年的 80 μ m 降至 2021 年的 40-47 μ m，相应降低了硅片的表面损伤。
高速化	金刚线高线速运动，使得单位时间内作用于硅棒表面的金刚石颗粒数量增加，进而提高切割效率，提升单机产能。

资料来源：高测股份公告，民生证券研究院

硅料价格变化较大，母线细化具有长期优势。2022 年底开始，硅料产能逐步释放，硅料供大于求，硅料价格下跌，下游硅片厂成本压力缓解。金刚线细线化趋势下，硅料价格的周期波动不会影响光伏用钨丝替代碳钢丝的长期优势。随着技术发展，光伏用硅片薄片化不断推进，为节省硅料及降低切割过程中金刚线断线造成的损失，物理性能更为优异的钨丝替代高碳钢丝是大势所趋。

图55：硅料价格走势（单位：元/kg）


资料来源：wind，民生证券研究院（注：数据截至 2023 年 11 月 22 日）

钨丝凭借细径、高破断力及显著经济性，需求将快速增长。钨丝具有细线空间大、抗拉强度高、破断力强、韧性好、耐疲劳和耐腐蚀等优势，将逐步取代高碳钢丝来生产金刚线：在同等线径 40 μ m 情况下，钨丝的断线率、破断力、电阻率、

扭转性能、线耗、稳定性、硬度均显著优于高碳钢丝，可以节省硅料，延长金刚石线的使用寿命。

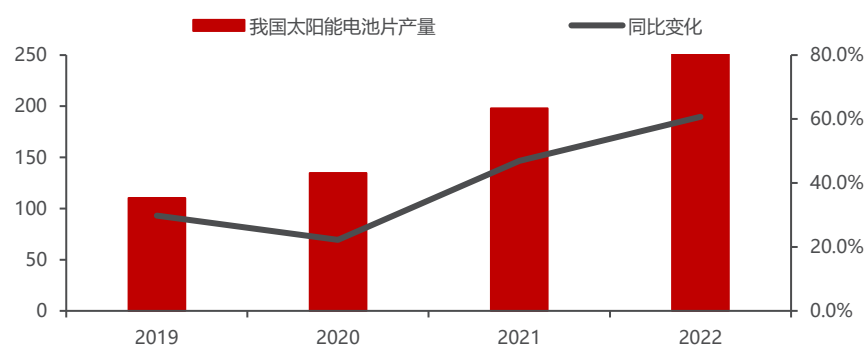
表12：钨丝金刚线相较于高碳钢丝金刚线的优势性能体现

发展趋势	具体情况
破断力高、抗压抗拉性强	钨丝的破断拉力为同规格碳钢的 1.2~1.3 倍，高扭转值为同规格 10 倍以上，合金钨丝杨氏模量为钢丝的 1.7 倍、拉伸率仅为碳钢的约 60%
细线化空间大、晶粒细致	钨属于体心立方晶格，经过掺杂改性后的合金钨丝属于微晶结构，晶粒尺寸约 100nm，使其组织均匀，内部无夹杂颗粒，其纯度高达 99.95%，有利于超细钨丝拉拔
导电性能好	合金钨丝的电阻率为 $5.4 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}$ ，仅为碳钢的 55.7%，可以承载高一倍的电流，镍镀层沉积更均匀致密
耐腐蚀力高	钨丝在硫酸或盐酸中均不腐蚀，有效避免生产过程酸的腐蚀导致母线的缺陷断丝

资料来源：《一种超细高强度合金钨丝金刚石线锯及其制备方法与流程技术》韩登峰等，民生证券研究院

全球光伏装机规模不断扩大，拉动金刚线市场增长。在绿色环保、节能减排的背景下，全球光伏装机规模不断扩大，其中我国太阳能电池片产量占全球总产量比例较高且优势突出，从而持续拉动金刚线市场增长。根据中国光伏行业协会统计，2021 年，全国电池片产量约 198GW，同比增长 46.9%，占全球总产量 88.39%。2022 年，全国电池片产量约 318GW，同比增长 60.7%。2023 年 1-10 月我国太阳能电池产量为 436.43GW，2023 年电池产量将迎来新高。

图56：2019-2022 中国太阳能电池片产量情况 (单位: GW)



资料来源：中国光伏行业协会，民生证券研究院

光伏钨丝存在技术及前端原料质量双重壁垒，目前能够量产的只有中钨高新与厦门钨业两家企业。光伏钨基合金母线加入了铼/镧等金属元素，通过提升冲击镀的镀层厚度，显著提升上砂能力、上砂均匀性，相较于同规格碳钢母线，其强度、脆断次数低、弹性模量高、耐蚀性更强，掺杂金属的含量及旋锻、拉丝等加工工艺需要不断进行迭代积累，以逐步优化钨丝金刚线的切割性能。中钨高新及厦门钨业

钨丝生产的技术积累深厚，工艺已经成熟。此外，光伏钨丝细线化对前端钨粉材料的质量要求很高，厦钨和中钨能够保证稳定的一体化原料供应。

表13：高碳钢丝与钨丝合金制取金刚线参数比较

	规格	掺杂	砂密度	出刃高度	破断力	脆断次数	断线率	线耗 (米/片)
高碳钢丝金刚线	43	铝、砷、镓	140-215	5.0-5.4	≥8.2	0.2	1.98%	2.3
钨丝金刚线	43	铈-镧	140-215	5.0-5.4	≥8.8	0	0.56%	2.1
钨丝金刚线	40	铈-镧	140-215	4.8-5.2	≥7.8	0	0.59%	2.2
钨丝金刚线	37	铈-镧	100-170	5.0-5.6	≥6.9	0.1	0.64%	2.4

资料来源：《一种钨丝合金线和其制成的金刚石线锯及其制备方法和应用与流程》张福军等，民生证券研究院

主要公司光伏钨丝产能逐步放量，且下游需求旺盛。厦门钨业光伏钨丝快速放量，目前厦门钨业光伏钨丝产能已达 50 亿米/月，定增项目 1000 亿米产能投产后，公司钨丝产能将达到 1845 亿米。2022 年，厦门钨业光伏钨丝销量超 160 亿米，细钨丝销量同比增长 202.89%至 272 亿米，产销率为 90.67%，2023 年 1-4 月光伏钨丝销量为 157.78 亿米，同比增长 694.8%；2023 年，中钨高新将新增光伏钨丝产能 100 亿米/年，预计或将于 2023 年二季度逐步释放产能，二期 200 亿米也在规划中；同年下半年海盛钨业开展年产 400 亿米光伏用钨丝项目（一期），预计达产后实现光伏钨丝产能 120 亿米/年，项目建设期两年。

表14：光伏用钨丝产线项目（厦钨、中钨及海盛钨业）

公司名称	项目名称	建成后产能	项目投资	项目进展
厦钨钨业	年产 88 亿米细钨丝产线设备项目（其中 45 亿米为光伏用钨丝）	88 亿米/年	0.43 亿元	已投产
	年产 200 亿米细钨丝产线项目	200 亿米/年	2.5 亿元	已投产
	年产 600 亿米光伏用钨丝产线项目	600 亿米/年	8.4 亿元	已投产
	年产 1000 亿米光伏用钨丝产线建设项目	1000 亿米/年	12.31 亿元	预计 2026 年项目建设完成
中钨高新	年产 100 亿米细钨丝扩能改造项目（一期）	100 亿米/年	0.98 亿元	2022 年 3 月项目已启动，项目建设期为 9 个月，目前正在进行技术调试
	年产 200 亿米细钨丝扩能改造项目（二期）	200 亿米/年	约 2.2 亿元	规划阶段
海盛钨业	年产 400 亿米光伏用钨丝项目（一期）	120 亿米/年	2.5 亿元	在建，项目建设期为 24 个月

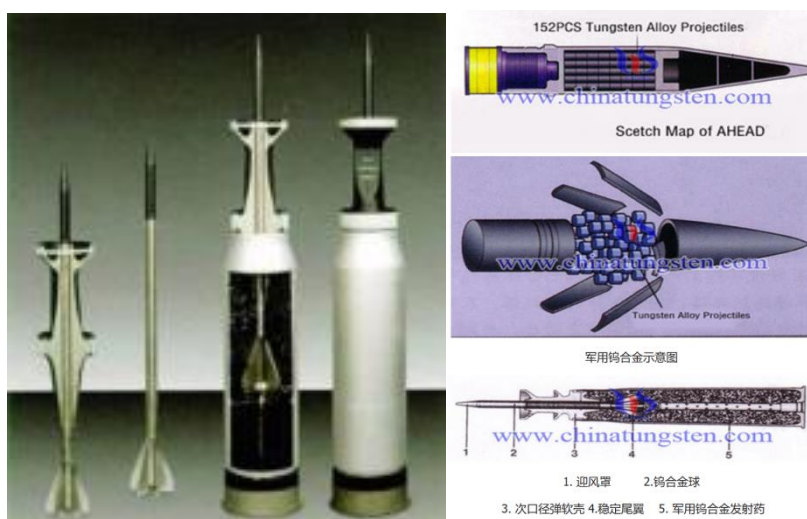
年产 400 亿米光伏用钨丝	280 亿米/年	-	规划阶段
项目（二期）			

资料来源：中钨高新光伏用高强度钨丝建设项目环评报告书，厦门虹鹭细钨丝扩产项目环评，中钨高新公告，厦门钨业公告，海盛钨业公告，民生证券研究院整理

2.5 军工领域，钨需求不可小觑

钨被广泛地应用于军事武器装备中。钨的突出的优点是高熔点带来材料良好的高温强度与耐蚀性，在军事工业特别是武器制造方面表现出了优异的特性。兵器工业中常采用高密度钨合金作为侵入体的杀伤破片，包含常规武器中的大口径动能穿甲弹弹芯、机枪脱壳穿甲弹弹芯、杆式动能穿甲弹弹芯、战术导弹的杀伤破片、枪弹和航炮弹用的弹头，聚能弹的药形罩（聚能弹的穿甲能力与药型罩材质的密度的平方成正比），子母弹及导弹的（数百公斤）钨合金弹丸或（上万发）钨合金小箭弹，以及鱼雷、舰艇、坦克等兵器的陀螺外缘转子体、配重等等。

图57：钨在军事武器中运用



资料来源：中钨在线，江钨集团，民生证券研究院

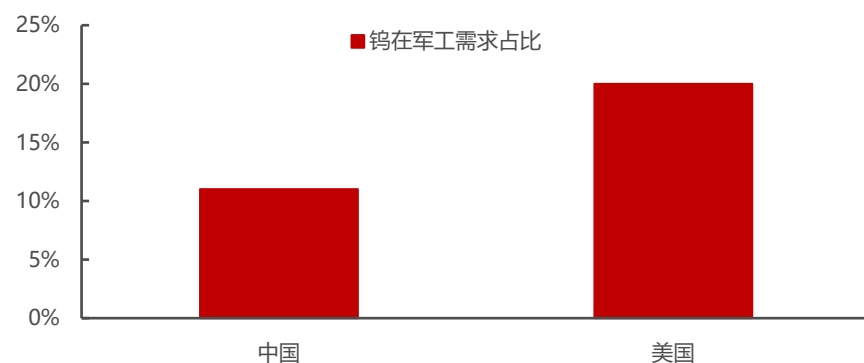
穿甲弹用钨合金材料性能优异。通过粉末预处理技术和大变形强化技术，细化了材料的晶粒，拉长了晶粒的取向，钨合金材料的强韧性和侵彻威力大大提高。我国研制的主战坦克 125 II 型穿甲弹钨芯材料为 W-Ni-Fe，采用变密度压坯烧结工艺，平均性能达到抗拉强度 1200 兆帕，延伸率为 15% 以上，战技指标为 2000 米距离击穿 600 毫米厚均质钢装甲。目前钨合金广泛应用于主战坦克大长径比穿甲弹、中小口径防空穿甲弹和超高速动能穿甲弹用弹芯材料，这使各种穿甲弹具有更为强大的击穿威力。

表15：高密度钨合金牌号、成分、性能及应用范围

牌号	合金成份/%					状态	硬度	应用范围
	W	Ni	Cu	Fe	Mo			
W264	90	6		4		烧结	≥22	穿甲弹心、杀伤破片、重锤、配重、放射性容器、射线屏蔽材料、调速器、离心离合器、电动机减振器、铆锤、
W273	90	7		3		烧结	≥22	
W263	91	6		3		烧结	≥24	
W243	93	4		3		烧结	≥26	
W252	93	5		2		烧结	≥26	
W232	95	3		2		烧结	≥28	
W231	96	3		1		烧结	≥28	
W221	97	2		1		烧结	≥29	
W212	98	1		1		烧结	≥30	

资料来源：《高密度钨合金及其在军事工业中的应用》王伏生等，民生证券研究院整理

国内钨在军工领域需求占比 11%，未来军工领域需求增量不可小觑。作为国家战略储备资源，钨是新型战略武器研究的重要原材料之一，具有难以替代性。近年来，随着军工技术的飞速发展，武器装备也成为钨合金用量的消耗大户之一，国内钨的军工需求占钨需求量的 11%，而美国军工用钨的需求占比更是达到了 20%，钨在军工领域需求增量不可小觑。

图58：国内钨在军工领域需求占比 11% (2021)


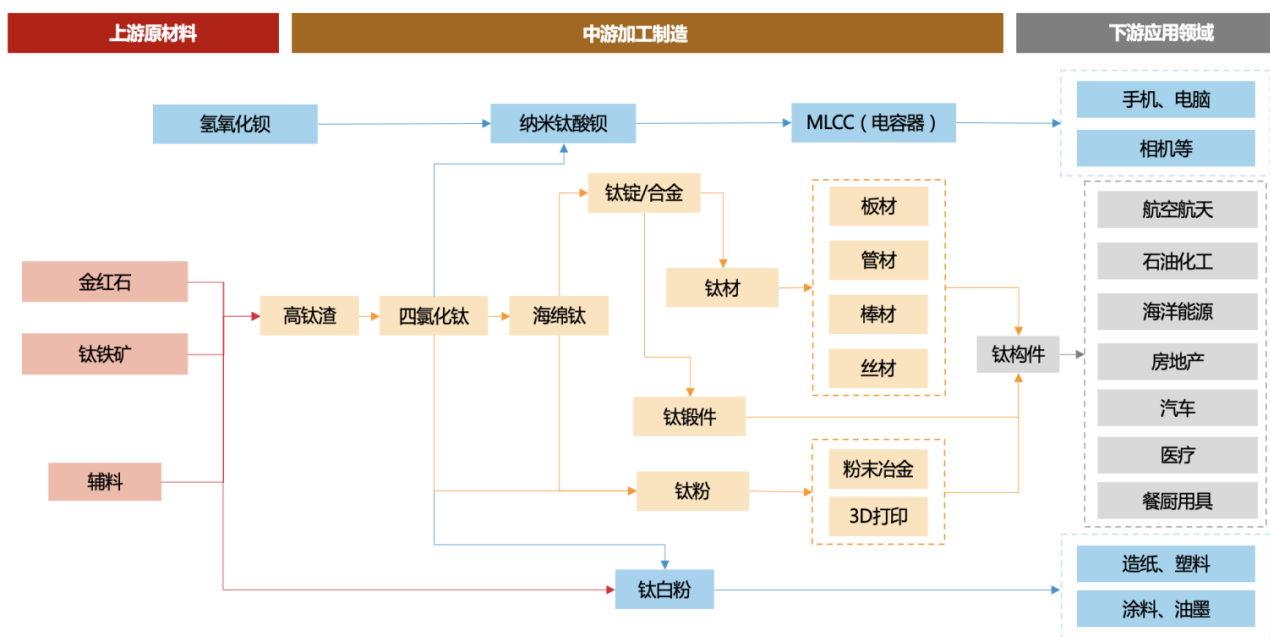
资料来源：前沿材料，民生证券研究院

3 钛：从航空航天向 3C 拓展，今朝“钛”不一样

3.1 钛产业链难点在于中游加工制造

钛主要应用于航空航天领域，被誉为“空间金属”和“战略金属”。钛具有密度小、比强度高、导热系数低、耐高温低温性能好，耐腐蚀能力强、生物相容性好等突出特点，被广泛运用于航空航天、舰船、兵器、生物医疗、化工冶金、海洋工程、体育休闲等领域，被誉为“空间金属”和“战略金属”。钛在地壳中的丰度为 0.56%，在所有元素中排第 9 位，但由于钛熔炼技术复杂、加工难度大，钛被归类为“稀有”金属。从钛产业链来看，上游端为原材料的供应，主要为钛铁矿和金红石；中游为钛材料产品加工过程，产品包括海绵钛、钛白粉和钛加工材；下游为各应用市场。

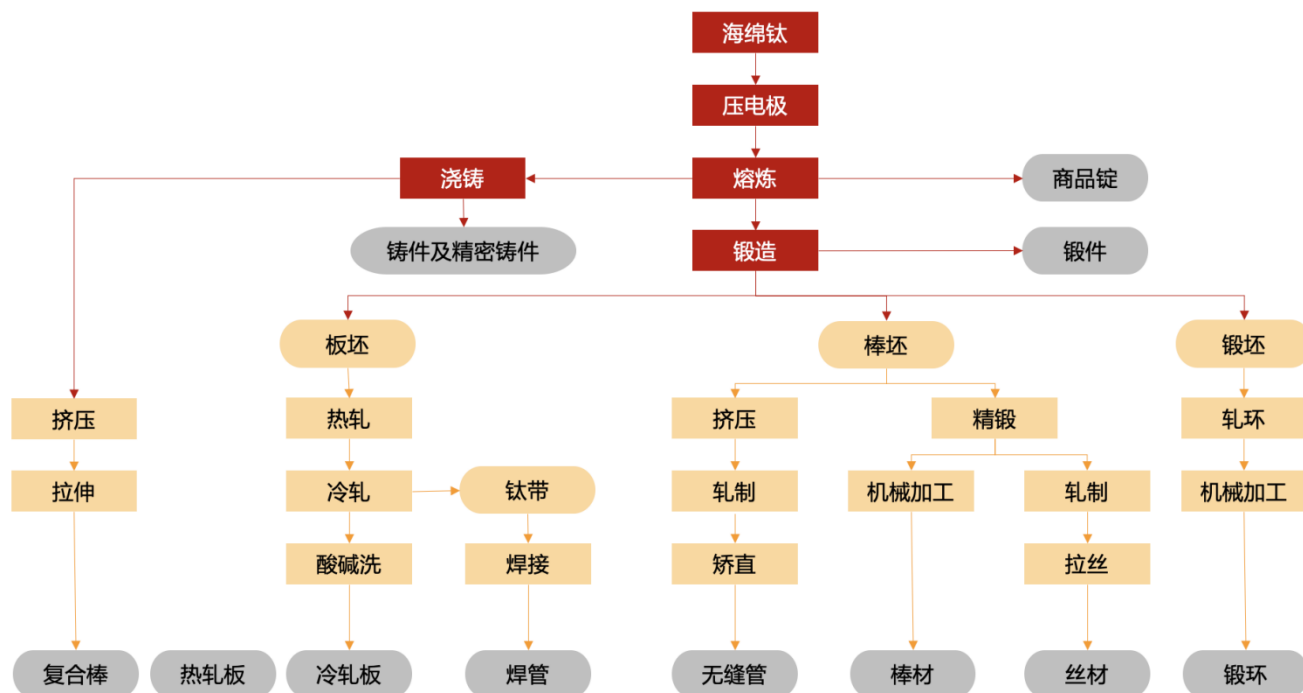
图59：钛产业链



资料来源：蒙格斯智库，新材料在线，民生证券研究院

钛的熔炼、压力加工和热处理的难度都比较大，工艺复杂、技术含量高。钛及钛合金从熔炼到最终产品一般需要海绵钛的制备、钛材的制备和钛材的应用三步，其中前两步的技术复杂、制备难度大，是钛应用的难点和关键环节，海绵钛和钛材的质量直接决定钛制品的质量。高钛渣经过氯化、镁还原法得到海绵钛，海绵钛经过熔铸得到钛锭或钛合金锭，然后再经过锻造、轧制等环节的变形处理和机械加工制成钛材，经过进一步的加工制造成钛设备。

图60：钛材生产工艺



资料来源：蒙格斯智库，新材料在线，民生证券研究院

钛合金牌号主要有 TA/TB/TC 三种。按照是否添加合金元素可将钛产品分成纯钛和钛合金，钛合金按照相组成可分为：密排六方结构的 α 型钛合金(包括近 α 型合金)——即国内牌号 TA；体心立方结构的 β 型钛合金(包括近 β 型合金)——即国内牌号为 TB；两相混合的 $\alpha+\beta$ 型钛合金——即国内牌号 TC；不同种类钛合金由于其不同的物理化学性能具有不同的应用倾向。

表16：钛合金主要分类

合金类型	中国牌号	特点与应用
工业纯钛	TA0、TA1	工业纯钛系指几种具有不同的 Fe、C、N、O 等杂质含量的非合金钛。不能进行热处理强化，成形性能优异，易于熔焊和钎焊。用于制造各种非承力件，可在 300°C 下长期工作。
	TA2、TA3	
α	TA5	具有优良的焊接性能和耐腐蚀性，制造海洋环境下使用的结构件。
	TA7	中强 α 钛合金，不能热处理强化。室温和高温下具有良好的断裂韧性。焊接性能良好，可制造机匣壳体、壁板等。可在 500°C 下长期工作。
	TA9	少量钼的加入改善了在氧化性介质中的耐蚀性，特别是抗缝隙腐蚀能力，可在化工和防腐工程中应用。
近 α	TA16	低强度、高塑性、耐腐蚀性能和焊接性能好的管材合金。
	TA10	耐蚀性能显著优于纯钛而接近 TA9。
	TA11	属于近 α 型钛合金，具有较高弹性模量和较的密度。室温强度与 TC4 相当，但高温性能高于 TC4。适于制造发动机压气机盘、叶片和机匣等。
	TA12	属近 α 型热强钛合金，可在 550°C 下长期工作，具有良好的工艺塑性，适于制造航空发动机压气机盘、鼓筒和叶片等。
	TA18	属近 α 型钛合金，主要用于可冷加工管材，其焊接性能和冷成形优于 TC4 合金。该合金无缝管用于承压的航空液压和燃油等管路系统。
	TA19	可在 500°C 下长期工作的近 α 型钛合金，高温强度和蠕变性能优于 TA11 合金。适于制造航空发动机的压气机匣和飞机蒙皮等。
	TA21	低强度、高塑性，耐腐蚀性能和焊接性能好，主要用作管材和钣金零件。

	TC1	主要性能特点是比纯钛略高的使用强度和很好的工艺塑性，兼具良好的焊接性能和热稳定性。不能采用固溶时效强化，可在 350°C 下长期工作，适于制造形状复杂的航空钣金件。
	TC2	属于中强近α型钛合金，不能热处理强化。具有良好的冲击焊接性能，可在 350°C 下长期工作，适于制造航空钣金件。
	TA15	属于高铝当量的近α型钛合金，既具有α型钛合金的良好热强性和可焊性，又具有近似α+β型钛合金的工艺塑性。TA15 具有中强、良好的热稳定性和焊接性能。适于制造在 500°C 长期工作的航空零件。
	TC20	本合金用无毒元素 Nb 取代 TC4 合金中的有毒元素 V。其主要力学性能与 TC4 相当。是一种外科植人物医用钛合金，迄今用量已超过 200 t，目前在国内外已有临床应用，并符合 ISO-5832-11-2014 标准。
α+β	TC4	属中强α+β型钛合金，具有优良的综合性能，热加工工艺性能好，在航空航天工业中获得了广泛的应用。可在 400°C 下长期工作。适于制造航空发动机的风扇和压气机盘和叶片以及飞机的框和接头等零件。
	TC6	属马氏体α+β型钛合金，可在 450°C 下长期工作，具有良好的热强性能，兼具优良的热加工性能。适于制造航空发动机压气机盘和叶片以及飞机的高推、接头等承力件。
	TC11	属α+β型热强钛合金，可在 500°C 下长期工作，具有优异的热强性能并具有较高的室温强度和良好的热加工工艺性能。适于制造航空发动机压气机盘和叶片等零件。
	TC16	属马氏体α+β型钛合金，属高强度钛合金，固溶时效后强度可达 1030 MPa 以上，且应力集中敏感性小，适于制造紧固件。
	TC17	属富β稳定元素的α+β型高强度钛合金。具有高强、断裂韧性好、淬透性高和锻造温度宽等优点。适于制造航空发动机风扇和压气机盘等大截面锻件，并能在 490°C 下长期工作。
	TC18	退火状态有高的强度，淬火状态有高的淬透性(250mm)，适宜制造承力构件和起落架零件。
	TC19	适合于中等温度、高强度的发动机压气机盘、风扇盘和叶片等重要构件。
	TC451	热处理性能好，相同强度下其塑性和韧性优于 Ti-6Al-4V。冷热成形性、焊接性能良好。
	TC21	属于高强度韧性损伤容限型钛合金，用于航空重要承载构件。
近β	TB2	在固溶状态有优良的冷成形性能和焊接性能。在固溶时效态有高强度和良好塑性匹配。适于作火箭连接带和航空航天用紧固件。
	TB3	在固溶态有优异冷成形性能，在固溶时，强韧性匹配良好。适于作航空航天紧固件和弹性元件。
	TB5	具有优异的冷成形性能，可在室温下成形中等复杂钣金件，也可在 700°C 以上超塑成形，焊接性能优良。适于制造航空航天钣金件和紧固件。
	TB6	属于高强度高韧性钛合金，可用于等温锻造。可用于飞机机身、机翼和起落架结构中，若取代同等强度的高强度钢，可减轻结构质量约 40%。
	TB8	良好的抗氧化、耐腐蚀、高强度合金。用于制造中等复杂程度的冷成形钣金零件和高强、抗氧化的承力构件。钛箔为复合材料的基体。
	TB9	高强、耐腐蚀，可制作紧固件、弹簧、扭力棒，油、气、地热井的井管和壳体，钛箔为复合材料的基体。
	TB10	比强度高，断裂韧性好，淬透性高，热加工性能和切削性能优良。已用于石化承压构件及航空航天高强构件。
β	TB7	优异的耐蚀性能，用于铸造化工机械的泵、阀等零件。
	Ti-40	耐 500°C 以下高温，阻燃钛合金，适于航空发动机部件。

资料来源：材易通，民生证券研究院

钛材运用领域广泛。钛材具有密度低、耐腐蚀、强度高、强度高等优良特性，其应用领域非常广泛，全球有近一半的钛材用于航空领域。相比之下，中国的钛材消费则相对集中在化工领域，航空航天领域占比较低。

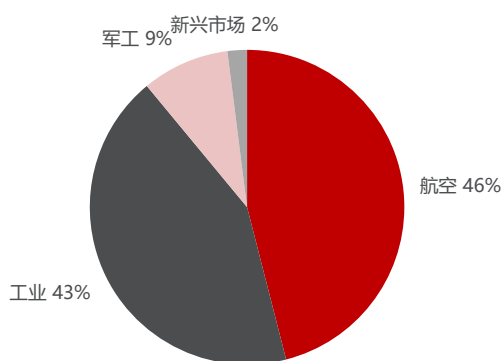
表17：钛材主要应用领域

领域	主要产品
航空	飞机上的发动机叶片、防护板、肋、翼、起落架等。
航天	宇宙飞船的船舱骨架，火箭发动机壳件，航天液体燃料发动机燃烧舱、对接件和发动机吊臂等。
船舶	舰船上的水翼、行进器等。

石油	炼油生产中的冷凝器、空气冷却换热器等。
化工	氯碱行业中的冷却管、钛阳极等，电解槽工业和电镀行业中的电解槽设备主要结构件等。
冶金	湿法冶金制取贵金属的管道、泵、阀和加热盘等。
海洋工程	海水淡化工业中的管道、蒸发器等。
建筑	建筑主体结构，避雷针，钛瓦，造型屋面等。
医疗	医疗器械，骨与关节替代物，牙科、心脏血管、颅骨修复、骨接合、脊柱植入物等。
体育休闲	羽毛球拍，高尔夫球头、球杆，登山杖，象棋，海豹杆等。
文具饰品	文房五宝，印章盒，笔筒，签字笔，耳环，手表，花瓶等。
生活用品	眼镜架，餐具套装，烟灰缸，茶具，保温杯等。

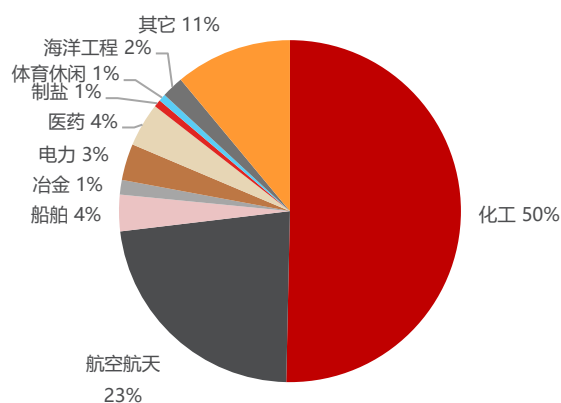
资料来源：宝钛股份公告，宝钛股份官网，民生证券研究院

图61：全球钛消费分布（2019）



资料来源：宝钛股份官网，民生证券研究院

图62：中国钛消费分布（2022）

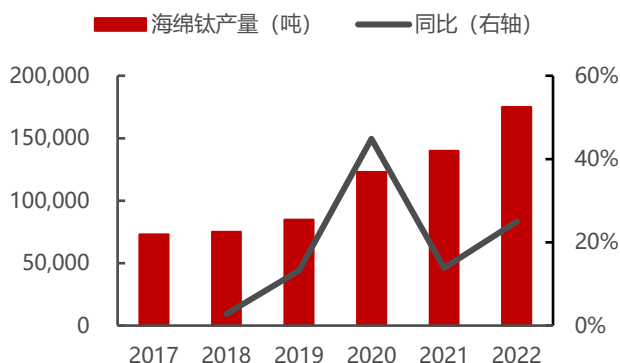


资料来源：中国钛工业发展报告，民生证券研究院

3.2 钛材供应集中度较高，多家企业积极扩张产能

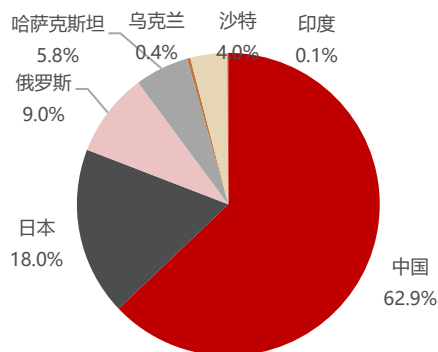
中国海绵钛产能产量全球第一。我国海绵钛市场总体供应充足，但高品质小粒度海绵钛缺口较大。据美国地质调查局数据，2022年全球海绵钛产能约35万吨，其中中国海绵钛产能最大为18.1万吨，占比达51.7%，日本海绵钛产能为6.88万吨，占比约19.7%位列第二，俄罗斯海绵钛产能为4.65万吨，占比约13.3%位列第三。据2022年中国钛工业发展报告，2022年全球海绵钛产量总计27.9万吨，其中中国海绵钛产量最大为17.5万吨，占比约62.7%，日本海绵钛产量5万吨，占比18.0%，俄罗斯海绵钛产量2.5万吨，占比9.0%。在中国钛产业分布方面，中国海绵钛生产主要集中在辽宁、云南、新疆，占到全国海绵钛总产量的58.9%。

图63: 中国海绵钛产量



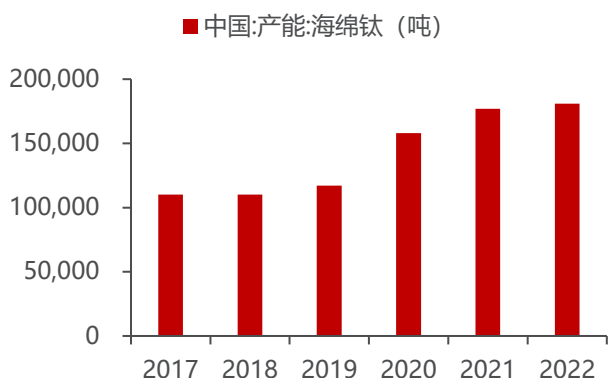
资料来源: 中国钛工业发展报告, 民生证券研究院

图64: 全球海绵钛产量分布 (2022年)



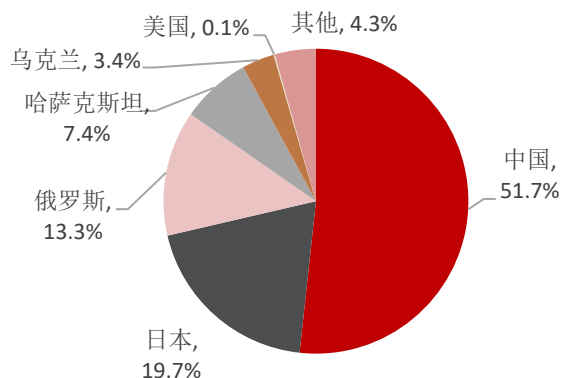
资料来源: 中国钛工业发展报告, 民生证券研究院

图65: 中国海绵钛产能



资料来源: 美国地质调查局, 民生证券研究院

图66: 全球海绵钛产能分布 (2022年)



资料来源: 美国地质调查局, 民生证券研究院

我国目前小颗粒高等级的高端海绵钛生产仍不足。海绵钛根据粒度规格可以分为标准粒度 (0.83mm~25.4mm)、小粒度 (0.83mm~12.7mm) 和细粒度 (0.83mm~5.0mm) 三种。海绵钛根据不同的纯度和性状划分为从 0A 级到 5 级共七个等级, Ti 纯度越高, 海绵钛质量越好, 0A 级海绵钛纯度高于 99.8%, 是最高等级的海绵钛。例如转子级海绵钛是海绵钛领域等级最高产品, 主要应用于生产航空发动机的转子和叶片。

目前我国海绵钛生产仍以化工民用低端海绵钛为主, 高品质 (0 级及 0A 级) 细小粒度 (5mm-13mm) 海绵钛仍需要进口。虽然我国已有较多的海绵钛生产企业掌握高端海绵钛生产能力, 但小颗粒海绵钛的产能依旧不足。因为小颗粒海绵钛的生产工艺需要多次还原蒸馏, 生产成本高的同时工艺流程复杂, 国内能够稳定供货的企业仅有遵义钛业、宝钛华神、朝阳金达等少数几家, 需求缺口主要通过从乌克兰和哈萨克斯坦进口弥补。

表18：海绵钛不同等级化学成分表

产品等级	产品牌号	化学成分 (质量分数): %												
		Ti	Fe	Si	Cl	C	N	O	Mn	Mg	H	Ni	Cr	其他杂质
0 _A 级	MHT-96	99.8	0.03	0.01	0.06	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.003	0.01	0.01	0.02
0级	MHT-100	99.7	0.04	0.01	0.06	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	0.003	0.02	0.02	0.02
1级	MHT-110	99.6	0.07	0.02	0.08	0.02	0.02	0.08	0.01	0.03	0.005	0.03	0.03	0.03
2级	MHT-125	99.4	0.10	0.02	0.10	0.03	0.03	0.10	0.02	0.04	0.005	0.05	0.05	0.05
3级	MHT-140	99.3	0.20	0.03	0.15	0.03	0.04	0.15	0.02	0.06	0.01			0.05
4级	MHT-160	99.1	0.30	0.04	0.15	0.04	0.05	0.20	0.03	0.09	0.012			
5级	MHT-200	98.5	0.40	0.06	0.30	0.05	0.10	0.30	0.08	0.15	0.03			

资料来源：GB/T 2524-2019，民生证券研究院

我国海绵钛生产厂商格局集中度较高。目前我国海绵钛主要生产厂商有9家，产量排名前三的企业为新疆湘润新材料科技有限公司、攀钢集团矿业有限公海绵钛分公司以及洛阳双瑞万基钛业有限公司，海绵钛 2021 年年产量均达到 2 万吨以上，三家海绵钛总产量占比达到 50%以上。海绵钛产能规划在建项目的企业主要有宝钛股份、龙佰集团和安宁股份等。宝钛股份子公司宝钛华神规划建设年产 12000 吨海绵钛生产线及年产 3000 吨四氯化锆生产线项目（已投产）；龙佰集团规划建设 3 万吨/年高品质海绵钛技术提升改造项目、1 万吨海绵钛升级改造项目和年产 3 万吨转子级海绵钛智能制造技改项目；安宁股份拟通过 2022 年非公开发行股票募资规划建设年产 6 万吨能源级钛（合金）材料全产业链项目。

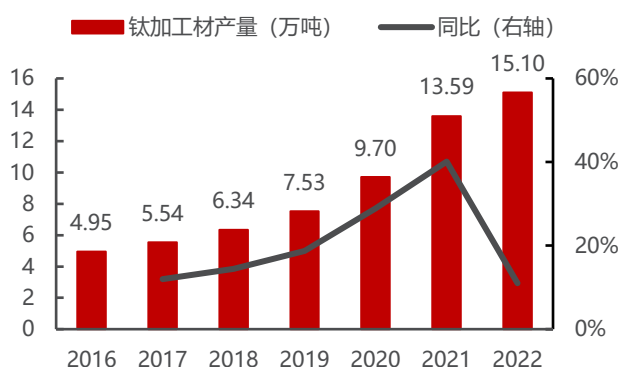
表19：2021 年中国主要海绵钛生产企业产量

企业名称	产量(吨)	占比
新疆湘润新材料科技有限公司	26,011	18.59%
攀钢集团矿业有限公海绵钛分公司	24,271	17.35%
洛阳双瑞万基钛业有限公司	20,000	14.29%
朝阳金达钛业股份有限公司	17,786	12.71%
贵州遵钛(集团)有限责任公司	15,670	11.20%
龙蟒佰利联新立钛业公司	14,848	10.61%
朝阳百盛钛业股份有限公司	10,000	7.15%
宝钛华神钛业有限公司	8,443	6.03%
四川盛丰钛业有限公司	2,900	2.07%
合计	139,929	100.00%

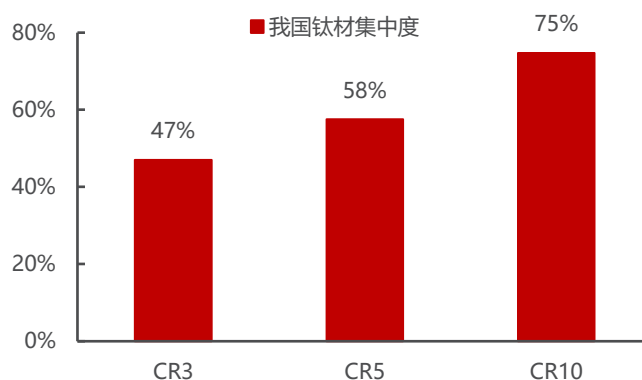
资料来源：中国钛工业发展报告，民生证券研究院

钛材供应集中度高，不同种类中钛板材占比最大。据 2021 年中国钛工业发展报告，排名前三的钛材企业分别是宝钛股份、新疆湘润、湖南湘投金天，2021 年

三家总占比达到了年总产量的 47%。据 2022 年中国钛工业发展报告，2022 年我国总计生产钛加工材 15.1 万吨，连续 8 年实现增长；在各类钛加工材种类中，钛板材产量占比最高，达到钛加工材总产量的 56.29%，棒材产量占比 21.85%，管材产量占比 11.92%，锻材产量占比 5.30%，丝材产量占比 1.32%，铸件产量占比 0.66%，箔带产量占比 1.99%，其他钛加工材产量占比 0.66%。

图67：中国钛材产量


资料来源：中国钛工业发展报告，民生证券研究院

图68：钛材行业集中度 (2021 年)


资料来源：中国钛工业发展报告，民生证券研究院

表20：2021-2022 年中国各类钛加工材产量

年度	产量 (万吨)	板材		棒材	管材		锻材	丝线材	铸件	箔带材	其他	合计
		钛板	冷轧 卷带	热轧 卷带	无缝管	焊管						
2021	13.6		7.0	2.5	1.5		0.9	0.1	0.1	0.3	1.1	13.6
2022	15.1	5.8	1.0	1.7	3.3	1.2	0.6	0.8	0.2	0.1	0.3	15.1

资料来源：《2022 年中国钛工业发展报告》，民生证券研究院

海绵钛是钛材生产成本构成中的重要部分。根据西部超导公开资料显示，公司在高端钛合金材料的成本构成中，原材料成本约占总成本 60%以上，人工费用成本占比 12%-15%，制造费用成本占比 24%-26%。原材料构成主要是海绵钛和中间合金（钒、钼等合金），其中海绵钛在原材料成本占比达 60%（2018 年度），在总成本中占比约 35-40%，是钛材成本构成中的重要成本。

表21：西部超导高端钛合金成本构成

项目	2022 年度	2021 年度	2020 年度	2019 年度	2018 年度	2017 年度	2016 年度
原材料	65.82%	63.17%	65.50%	64.72%	61.12%	61.07%	59.58%
海绵钛					35.97%	39.87%	36.18%
中间合金					22.58%	19.28%	21.28%
人工费用	10.68%	11.05%	10.50%	8.93%	12.02%	14.62%	13.98%
制造费用	23.50%	25.78%	24%	26.35%	26.86%	24.31%	26.44%
合计	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

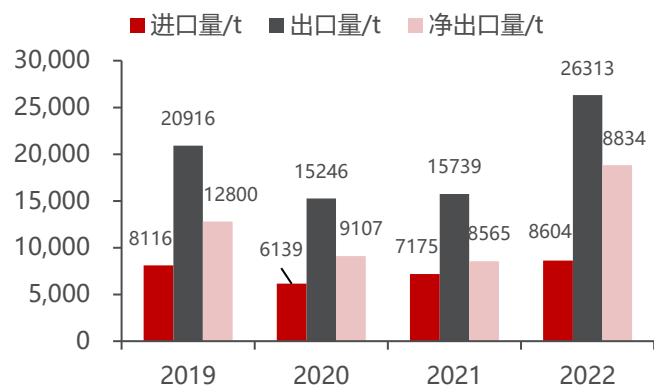
资料来源：西部超导公司公告，民生证券研究院

高端领域钛加工材应用显著增长，部分产品技术水平仍存在不足。2022 年我国钛加工材用量最大的领域为化工，化工领域用钛量为 7.3 万吨，同比增长 23.7%；其次为航空航天，航空航天领域用钛量为 3.3 万吨，同比增长约 46.7%；医药、船舶领域用钛量的绝对数值依然相对较低，但增速都在 30%以上；冶金、电力、制盐、体育休闲、海洋工程领域的用钛量均出现不同程度的下降，我国钛工业仍处于从中低端向高端的产业升级加速期。国家提倡科技创新、鼓励技术进步的政策，以及在国防军工、“三航”领域中对钛的大量使用成为推动我国中高端钛加工材发展的最大驱动力。随着国防军工、高端装备制造等领域对钛加工材需求的增长，国内几家大型钛加工材企业全方位发力，向大而强的方向发展；部分中小型企业通过几年时间的技术沉淀，在某一细分领域中取得快速进步，成为该细分领域的头部企业，实现小而精的发展模式。目前我国在超薄钛带、超厚钛板材、大壁厚管材、大尺寸型材、锻件、航空紧固件等产品的加工水平尚不过关，产品品质与国外相比仍有明显差距，相关产品仍然没有摆脱依赖进口的局面，一定程度上制约了我国航空航天、国防军工、能源等关键行业的长远发展。

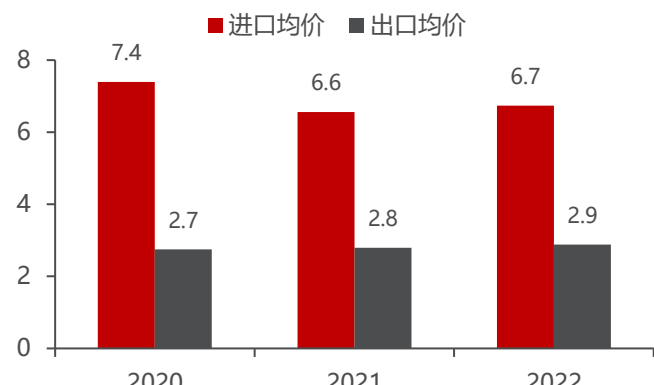
表22：2021 年-2022 年中国钛加工材在不同领域的应用量对比

年度	化工	医药	航空 航天	船舶	冶金	电力	制盐	体育休 闲	海洋工 程	其他	合计
2021 年 应用量 (万吨)	5.9	0.4	2.2	0.4	0.6	0.7	0.2	0.2	0.4	1.4	12.41
2022 年 应用量 (万吨)	7.3	0.6	3.3	0.5	0.2	0.5	0.1	0.1	0.3	1.6	14.5

资料来源：中国钛工业发展报告，民生证券研究院

图69: 2022 年钛材进口量 7479 吨


资料来源: 中国钛工业发展报告, 民生证券研究院

图70: 钛材进口均价远高于出口均价 (万美元/吨)


资料来源: 中国钛工业发展报告, 民生证券研究院

多家企业规划建设钛加工材生产线项目, 提升钛加工材产能。宝钛股份规划宇航级宽幅钛合金板材、带箔材建设项目和高品质钛锭、管材、型材生产线建设项目, 攀枝花钢城集团规划建设精密钛、钢薄板冷轧生产线项目, 西部超导规划建设航空航天用高性能金属材料产业化项目, 建成达产后均对钛加工材年产能和性能有显著提升。

表23: 钛材新建项目情况

公司	在建项目	增产内容	项目进度
宝钛股份	宇航级宽幅钛合金板材、带箔材建设项目	板材: 1500 吨	80%
		带材: 5000 吨	
		箔材: 500 吨	
宝钛股份	高品质钛锭、管材、型材生产线建设项目	钛及钛合金锭: 10000 吨	95%
		钛合金管材: 290 吨	
		钛合金型材: 100 吨	
攀枝花钢城集团	精密钛、钢薄板冷轧生产线项目	钛板: 3000 吨	2022 年 12 月全面建成投产
西部超导	航空航天用高性能金属材料产业化项目	钛合金材料: 5050 吨 高温合金: 1500 吨	预计 2024 年后投产

资料来源: 宝钛股份 2023 年半年报, 西部超导公告, 民生证券研究院

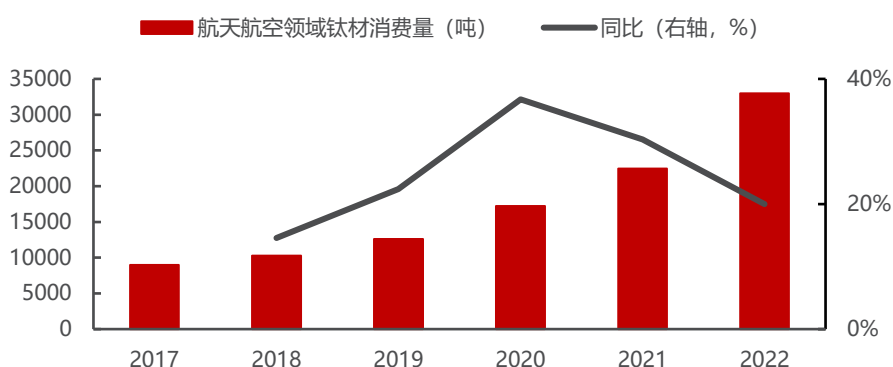
3.3 大飞机商业首飞, 航空航天钛材需求放量在即

3.3.1 军机升级打开高端钛材成长空间

国内以航空航天领域为代表的高端钛材占比较小, 但需求前景较好, 未来有望保持高增长。根据 USGS 统计, 全球航空航天钛合金消费量占整体消费量的比重

约为 50%，其中美、俄军事强国，航空钛材在整个钛合金应用市场占比超过了 70%；2022 年，我国航空航天领域钛材应用占比为 23%，我国目前航空航天领域钛材应用与全球乃至发达国家仍存在一定差距。近几年国内航空航天领域钛材消费持续放量，2017-2022 年 CAGR 达到 24.56%，2022 年国内航天航空领域钛材消费突破达 3.3 万吨，同比增长约 46.7%，未来随着国内军用、民用航空等领域发展，高端钛材需求有望保持高增长。

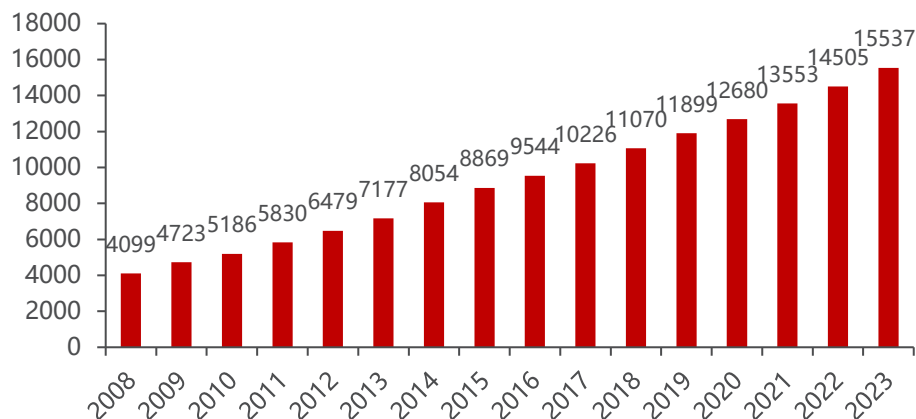
图71：中国航天航空领域钛材消费量



资料来源：中国钛工业发展报告，民生证券研究院

我国军用飞机市场存在较大增长潜力，军用高端钛合金材料空间可期。尽管和平与发展是当今世界的主题，但是我国面临的安全形势仍然严峻，特别是近年来我国周边海域纷争不断，积极推进国防和军队的现代化建设意义重大。近年来中国军费支出持续增长，2008 年中国军费预算支出为 4099 亿元，2023 年增至 15537 亿元，年均复合增长率为 9.29%。随着未来我国对军用飞机数量增长特别是新型战机升级换代的需求提升，军用高端钛合金材料空间可期。

图72：中国军费预算支出（单位：亿元）

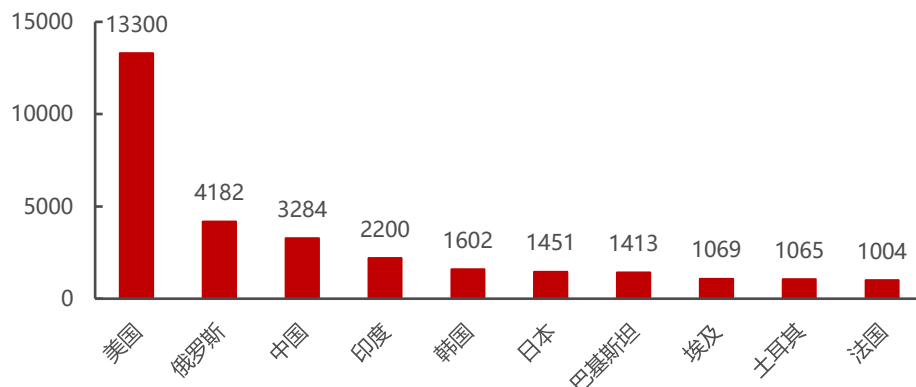


资料来源：wind，民生证券研究院

当前我国军用飞机数量与世界先进国家尚存在较大差距，未来市场空间巨大。

据《World air forces 2023》统计，从军机数量上来看，截至 2022 年末我国现役军机数量为 3284 架，远落后于美国的 13300 架；从军机结构上看，以战斗机为例，截至 2022 年末我国以 X-7、X-8 为代表的二代战斗机占比达到 47%，以 X-10、X-11/16 及 X-15 为主的三代战机占比 51%，四代机占比仅为 2%，而美国现役已无二代战斗机，其三、四代机型占比分别为 78%和 22%；中国各型军用飞机的保有量以及先进战机结构与世界先进国家相比仍存在巨大差距，随着近年来我国军用飞机的升级换代，军机带来的对飞机机体及发动机钛合金需求将为我我国航空领域用钛合金市场带来巨大市场增量。

图73：各国军用飞机现役数量（单位：架）

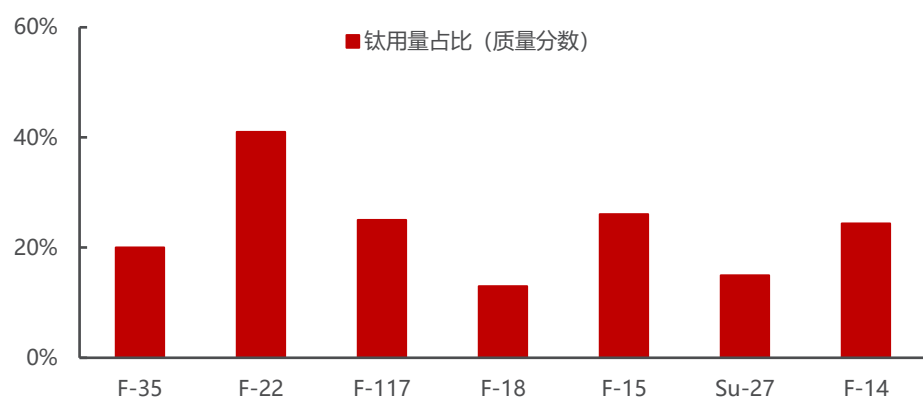


资料来源：World air forces 2023，民生证券研究院

新型战机升级换代带来单机钛合金的用量不断提升，航空领域钛合金需求有望持续增长。在军用飞机领域，钛合金的用量发展非常迅速，钛用量、使用水平已

成为衡量机型先进程度的重要指标。根据金天钛业招股说明书，美国的战斗机和轰炸机的钛合金用量不断增高，其战斗机单机机体钛用量占比从 F-16 的 2% 增至 F-35 的 27% 及 F/A-22 的 41%；轰炸机从 B-1 的 21% 增至 B-2 的 26%；运输机从 C-5 的 6% 增至 C-17 的 10.30%。我国战斗机亦呈相同趋势，我国战斗机单机机体钛用量占比从 X-8 的 2% 增至 X-20 的 20% 及 X-31 的 25%。伴随新型战斗机用钛量不断提升，军用飞机的升级换代有望为高端钛合金材料带来巨大市场空间。

图74：国外主要战斗机钛用量占比（质量分数）



资料来源：《飞机钛合金结构设计与应用》，民生证券研究院

3.3.2 大飞机商业首飞，钛材需求放量在即

大飞机商业首飞，开启市场化运营、产业化发展新征程。5月28日，由C919大型客机执飞的东方航空 MU9191 航班平稳降落在北京首都国际机场，穿过象征民航最高礼仪的“水门”，标志着该机型圆满完成首个商业航班飞行，正式进入民航市场，开启市场化运营、产业化发展新征程。C919 大型客机是我国首次按照国际通行适航标准自行研制、具有自主知识产权的喷气式干线客机，于 2007 年立项，2017 年首飞，2022 年 9 月完成全部适航审定工作后获中国民用航空局颁发的型号合格证。

表24：C919 大事记

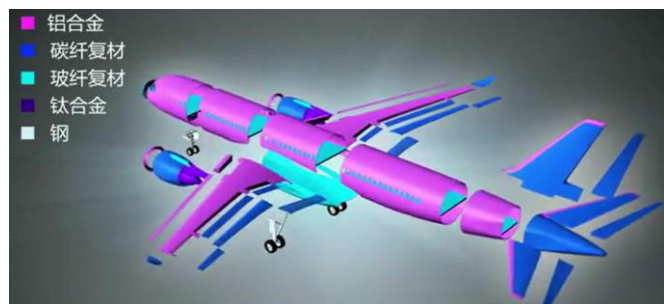
时间	大事记
2006 年 2 月 9 日	国务院发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》。大型飞机重大专项被确定为 16 个重大科技专项之一
2007 年 2 月 26 日	国务院召开第 170 次常务会议，原则通过了《大型飞机方案论证报告》，原则批准大型飞机研制重大科技专项正式立项
2008 年 5 月 11 日	中国商飞公司成立
2009 年 1 月 6 日	中国商飞公司正式发布首个单通道常规布局 150 座级大型客机机型代号“COMAC919”，简称“C919”。
2010 年 11 月 15 日	C919 大型客机 1: 1 展示样机在珠海航展上首次展出，获得 100 架启动订单。
2011 年 12 月 9 日	C919 大型客机项目通过国家级初步设计评审，转入详细设计阶段。

2012年7月31日	《C919飞机专项合格审定计划（PSCP）》在上海签署。
2013年12月30日	C919飞机铁鸟试验台在中国商飞上飞院正式投用，C919项目系统验证工作正式启动。
2014年9月19日	C919大型客机首架机在中国商飞总装制造中心浦东基地开始结构总装。
2015年11月2日	C919大型客机首架机在浦东基地正式总装下线，标志着C919大型客机项目工程发展阶段研制取得了阶段性成果
2016年11月1日	东方航空成为C919飞机全球首家用户。
2017年5月5日	C919大型客机在上海圆满首飞，标志着项目研制取得重大里程碑进展
2017年12月17日	第二架C919飞机在上海浦东国际机场完成首次飞行。
2018年3月24日	C919飞机102架机（C919第二架机）顺利完成第5次试飞。
2018年6月6日	C919完成全机静力试验首个极限载荷工况。
2018年12月28日	三架C919飞机在上海浦东国际机场完成首次飞行。
2019年8月1日	C919大型客机104架机（C919第四架机）完成首次试验飞行。
2019年10月24日	C919大型客机105架机（C919第五架机）完成首次试验飞行。
2020年10月31日	在南昌飞行大会上，C919大型客机进行全球首次动态展示。
2021年3月1日	中国东方航空与中国商飞正式签署首批5架C919购机合同。
2022年9月29日	C919大型客机获中国民用航空局颁发的型号合格证
2022年11月29日	中国民航局向中国商飞公司颁发C919大型客机生产许可证
2022年12月9日	全球首架C919大型客机交付中国东方航空
2023年5月28日	圆满完成首次商业飞行

资料来源：中国商飞，民生证券研究院

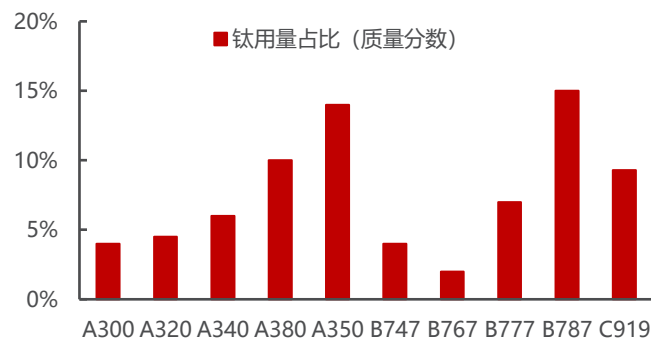
民用飞机关键材料国产化打开高端钛合金材料需求空间。减轻飞机重量、增加运载能力、降低油耗是航空公司选择飞机的重要依据，提高钛材用量对于未来民用客机的开发具有重要意义。从两大国际飞机制造商的数据来看，波音和空客主要机型的用钛量逐步提高。以当前民航主流空客及波音飞机为例，空客从A300的4.0%增至A350的14.0%，波音从B747的4.0%增至B787的15.0%。国内方面，商用客机ARJ21单机钛用量4.8%，C919大型客机因作为完全按照最新国际适航标准研制的单通道涡扇喷气客机，广泛采用钛合金，其单机钛用量占比已达9.3%。

图75：C919先进材料简图



资料来源：中国商飞，民生证券研究院

图76：主要民用客机钛用量占比（质量分数）



资料来源：《中国钛合金材料及应用发展战略研究》，民生证券研究院

C919 订单充足, 钛材需求放量在即。单架 C919 钛含量 3.92 吨, 单价 ARJ21 钛含量 1.2 吨, 假设损耗率为 80%, 单架 C919 需要的钛合金原材料需求量将达到 19.6 吨, 单架 ARJ21 钛合金原材料需求量为 6 吨。根据上海市科委发布的《2022 上海科技进步报告》, 截至 2022 年底, C919 累计获得 32 家客户、1035 架订单, ARJ21 已获得 690 架订单。此外, 2023 年 4 月 27 日, 海航航空集团与中国商飞公司在上海签署百架飞机采购协议, 其中包括 60 架 C919 飞机确认订单和 40 架 ARJ21 飞机意向订单, 测算目前 C919 大飞机订单至少 1095 架, ARJ21 订单至少 730 架。结合订单我们测算, 目前 C919 和 ARJ21 订单可拉动约 2.58 万吨钛合金需求。

表25: C919 和 ARJ21 拉动钛合金需求量测算

机型	钛含量	空机重量 (吨)	单机钛含量 (吨)	加工耗损比例	单机钛合金原材料需求量 (吨)	订单 (架)	拉动钛合金需求量 (吨)
C919	9.30%	42.1	3.92	80%	19.6	1095	21462
ARJ21	4.80%	24.96	1.2	80%	6	730	4380

资料来源: 中国商飞公司市场预测年报 (2022-2041), 民生证券研究院测算

图77: C919 产业链



资料来源: 航空产业网, 中国商飞, 民生证券研究院

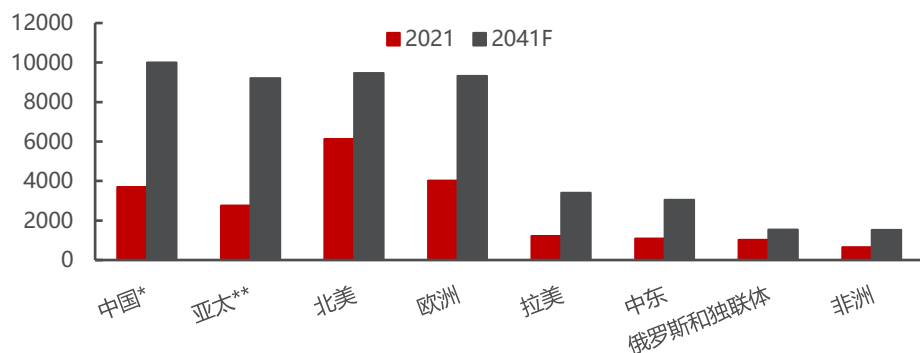
表26: 国内主要钛材供应企业

公司	产品	下游直接客户	飞机上部件
西部超导	钛合金棒材、丝材等	中国航空工业集团下属公司、三角防务、航亚科技等	结构件、紧固件、起落架部件、机身的梁、框和紧固件等、发动机风扇、压气机等
宝钛股份	钛合金厚板、薄板、棒材等	航宇科技、航亚科技等	起落架、引擎机舱、尾翼等、紧固件、发动机低压封严环, 外涵道支撑等
西部材料	钛合金板材	/	飞机机身 (蒙皮)

资料来源: 公司公告, 民生证券研究院

未来 20 年中国将成为全球最大的民用客机市场。根据中国商飞预测,到 2041 年中国客机规模将达到 10007 架,占全球比例 21.1%,成为全球最大民用航空市场。未来 20 年,中国新机交付量将达到 9284 架,其中单通道喷气客机交付 6288 架,以 C919 为代表的国产机型交付量蓄势待发。

图78: 全球各地客机机队预测 (单位: 架)



资料来源: 中国商飞公司市场预测年报 (2022-2041), 民生证券研究院

注: 中国包含香港、澳门特别行政区和台湾地区, 亚太不包含中国

表27: 全球和中国的客机机队预测 (单位: 架)

年份	全球	中国	中国占比
2021	20,563	3,695	18.0%
2026F	26,578	5,296	19.9%
2031F	32,637	6,995	21.4%
2036F	39,035	8,376	21.5%
2041F	47,531	10,007	21.1%
2022-2041 年均增长率(%)	4.30%	5.10%	

资料来源: 中国商飞公司市场预测年报 (2022-2041), 民生证券研究院

表28: 中国未来 20 年客机增量 (单位: 架)

类型	国产机型代表	中国新机交付量
涡扇直线客机	ARJ21	958
单通道喷气客机	C919	6288

资料来源: 中国商飞公司市场预测年报 (2022-2041), 民生证券研究院

3.4 3C 消费新领域, 打开钛材应用新需求

钛合金手机中框开拓钛材 3C 新应用场景。2023 年 9 月, 苹果新一代的 iPhone 15 Pro 和 15 Pro Max 首次采用了钛合金手机中框取代不锈钢手机中框, 由此可

以获得更高强度和更轻的重量 (iPhone15 Pro 和 15 Pro Max 重量分别为 187 克和 221 克, iPhone14 Pro 和 14 Pro Max 重量分别为 206 克和 240 克); 2023 年 10 月, 小米 14 pro 发布钛金属特别版, 采用通过航天级 99%高纯钛和高强铝合金材料精密复合的方式制作手机中框。两大智能手机终端厂商有望引领钛材在 3C 领域应用持续拓宽。

图79: 小米 14pro 钛金属特别版


资料来源: 小米官网, 民生证券研究院

图80: iphone15 系列采用航空级钛金属


资料来源: 苹果官网, 民生证券研究院

钛合金材料比不锈钢更轻, 比铝合金强度高, 是手机中框的理想材料。手机中框是手机结构的重要组成部分, 它不仅起到支撑和保护内部零件的作用, 而且也影响手机的整体外观和手感, 因此手机中框材料的关键要素在于强度和重量。铝合金比不锈钢更轻, 不锈钢比铝合金硬度更高, 而钛合金密度比不锈钢低, 硬度比铝合金和不锈钢要高, 综合性能更加优异; 同时钛还具备优异的抗腐蚀性和极佳的生物相容性, 钛合金是手机中框的理想材料。钛合金的边框使得手机更加耐用, 能够抵抗日常使用中的磨损和划痕, 同时使得手机更加便携, 减少了手机内部的结构负担, 并且钛合金的外观光泽度和独特性也为手机增添了美感。

表29: 不同金属材料性能比较

金属	纯钛	钛合金 (TC4)	铝合金	镁合金	不锈钢 (304)
密度/(g/cm ³)	4.40	4.42	2.74	1.82	7.93
比强度	93	253	117	154	66
热导率/W·(m·K) ⁻¹	17	8	96	72	16
弹性模量/GPa	110±10	110±10	72	45	193
抗拉强度/Mpa	410±20	1120±20	320	230	520
屈服强度/Mpa	345±20	1010±50	160	150	205
维氏硬度 (HV5)	195±5	370±5	150	/	200

资料来源: 新材料在线公众号, 中国腐蚀与防护网公众号, 厦门金鹭合金棒材公众号等, 民生证券研究院

钛合金手机中框产业链包括上游钛材、中游加工、下游组装等环节。目前手机中框多采用 CNC（数控机床）方式进行加工，对于钛合金而言，由于钛合金热导率很低，切削钛合金过程中热量会集聚在切削区域，导致刀具磨损加快，缩短刀具寿命，增加加工成本。因此目前苹果和小米的钛合金手机中框采用的都是钛铝复合材料。钛合金手机中框产业链上游原材料是钛材，中游是钛铝复合材料、CNC 加工，下游是零部件及组装代工厂。

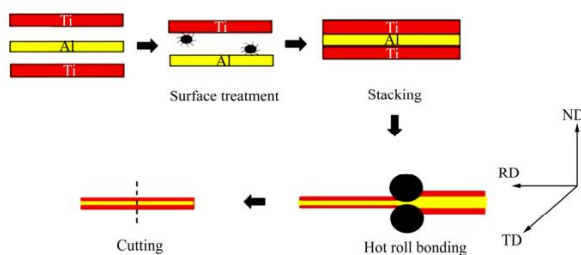
图81：钛合金手机中框产业链梳理



资料来源：伟迈特官网，搜狐，腾讯网，上海证券报，证券时报网，第一财经等，民生证券研究院

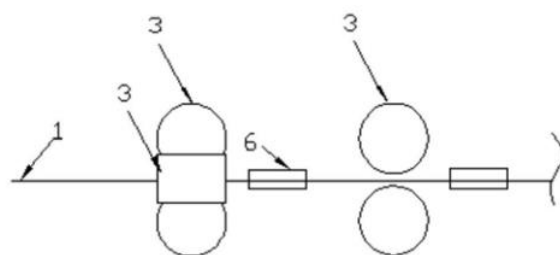
钛/铝复合材料的制备方法主要为固-固复合法，主要包括爆炸焊接复合法、挤压复合法、轧制复合法等。轧制复合法优点具有工艺简单、生产效率高、成本低、便于批量化生产等优点，可生产质量稳定的复合板，难点是受温度的影响，轧制复合过程中界面处易出现脆性金属间化合物，从而影响结合质量，因此轧制参数(压下率，轧制温度，轧制速度等)的选择至关重要；由于钛、铝板的变形抗力差异较大，在轧制工艺不当的情况下很容易出现板材翘曲、边裂以及钛板变形量小的问题。爆炸复合法更适合宽厚板制备，所产生的波纹状界面结合强度更高，但容易出现覆板和断裂、表面灼伤等缺陷。挤压复合法适用于生产连续的长方形和矩形断面的复合型材，需要大功率挤压机，而且不能连续化生产，材料利用率低。

图82：轧制法钛铝板复合工艺 (3C 钛边框为双层复合)



资料来源：小米官网，民生证券研究院

图83：钛边框用棒材轧制工艺



资料来源：苹果官网，民生证券研究院
注：1、钛合金棒材，3、轧辊，6、管式炉

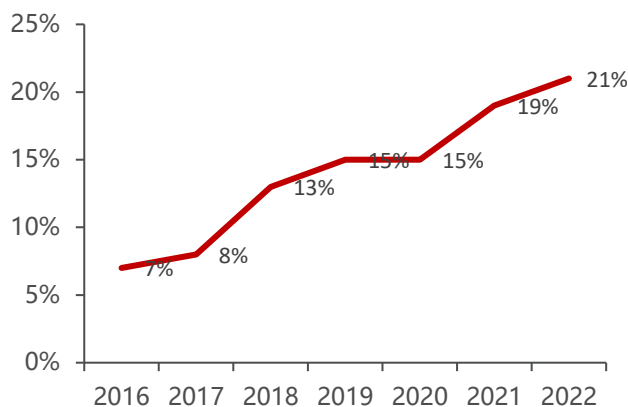
智能手机市场稳步复苏，高端手机市场份额持续提升。据 Canals 数据，2022 年全球智能手机出货 11.9 亿部，同比下滑约 12%，2023 年全球智能手机市场呈现逐步回暖趋势，Canals 预计，2023 年智能手机出货量将达到 11.3 亿部，同比下滑 5%，到 2024 年将达 11.7 亿部，同比增长 4%，到 2027 年将达到 12.5 亿部，2023-2027 年将实现 2.6% 年复合增长率。根据 Counterpoint research 最新公布的报告显示，2022 年全球高端(≥600 美元)智能手机销量市场份额达 21%，近年来呈现持续提升趋势，我们预计未来高端手机销量占比有望逐步提升。

图84：全球智能手机出货量（单位：百万部）



资料来源：Canals，民生证券研究院

图85：全球高端手机销量占比



资料来源：Counterpoint research，民生证券研究院

我们对于智能手机中框有望拉动的钛材需求量及价值量进行测算：假设一部手机钛材耗用量 70g，全球手机销量约 11 亿部，其中高端机型占比逐年提升；假设苹果、小米下一代高端机型继续扩大钛金属的使用范围，其他智能手机品牌也开始涉足钛手机中框，钛应用渗透率逐年提高；假设 TC4 不含税价为 21.68 万元/吨，纯钛不含税价为 13.27 万元/吨，两种材料各占 50% 份额，则均价为 17.48 万元/吨。结合上述假设我们预计智能手机中框有望拉动钛需求量达到 1.87 万吨（2027 年）；价值量有望达到 32.70 亿元。

表30：智能手机中框拉动的钛材需求量及价值量测算

	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
一部手机钛耗用量(g)	70	70	70	70	70
全球手机销量 (亿部)	11	11	11	11	11
高端机占比	23%	24%	25%	26%	27%
钛边框手机高端机渗透率	36%	60%	70%	80%	90%
钛总使用量 (t)	6375.6	11088	13475	16016	18711
TC4 不含税价 (万元/t)	21.68	21.68	21.68	21.68	21.68
纯钛不含税价 (万元/t)	13.27	13.27	13.27	13.27	13.27
钛材料均价 (万元/t)	17.48	17.48	17.48	17.48	17.48
3C 钛边框钛价值量(亿元)	11.14	19.38	23.55	27.99	32.70

资料来源：wind，搜钛网，民生证券研究院测算

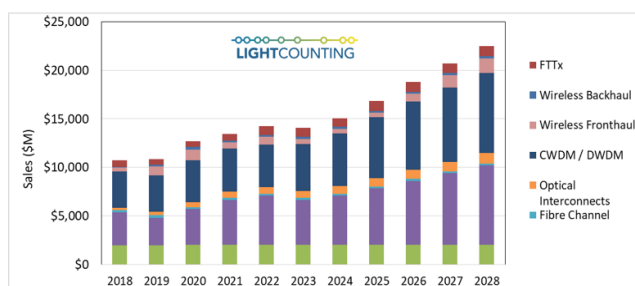
4 电子新材料: AIGC 促进产业变革, 创新应用助力行业复苏

4.1 AIGC 抬升算力需求, 光模块产业链材料深度受益

4.1.1 光模块是光通信环节重要器件

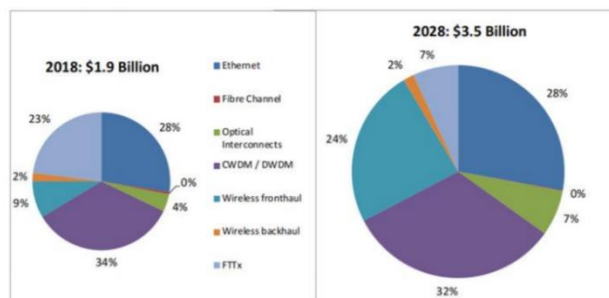
AI 算力需求快速增长, 全球光模块市场规模有望持续攀升。AI 正引领新一轮科技革命, AI 大模型的训练大幅拉动了算力需求, AI 产业化的落地需要云厂商庞大的算力支持, 而光通信网络是算力网络的重要基础和坚实底座, 预计 AI 将进一步推动海外云巨头对于数据中心硬件设备的需求增长与技术升级; 同时超高清视频、AR/VR 应用以及云服务等应用也将继续推动数据中心需求增长, 光模块市场有望快速发展。Lightcounting 预测, 全球光模块的市场规模 2023-2028 年复合增速约 11%, 2027 年将突破 200 亿美元。数字经济成为推动经济增长的重要引擎, 数字中国顶层设计的落地将带来算力提升能耗增长。伴随着“东数西算”战略的逐步落地, 国内数据中心也同步加快新建、扩容步伐, 而光模块作为数据中心内部设备互联的载体, 在加大 AI 投入的背景下, 光模块市场有望持续扩张。国家统计局数据显示, 2023 年上半年, 新型基础设施建设投资同比增长 16.2%, 其中 5G、数据中心等信息类新型基础设施投资增长 13.10%, 工业互联网、智慧交通等融合类新型基础设施投资增长 34.10%。Lightcounting 预计 2028 年中国光模块市场规模有望达 35 亿美元。

图86: 全球光模块市场规模及预测



资料来源: LightCounting, 中际旭创 2023 年半年报, 民生证券研究院

图87: 中国光模块市场规模及预测



资料来源: LightCounting, 中际旭创 2023 年半年报, 民生证券研究院

光模块市场前十大厂商中, 国产厂商占据七席, 国内企业有望充分享受 AI 快速发展红利。2022 年全球光模块市场中, 中际旭创与 Coherent 并列第一, Acacia 排名第三, 华为海思排名第四, 光迅科技排名第五, 海信宽带排名第六, 新易盛排名第七, 华工正源排名第八, Intel 排名第九, 索尔思光电排名第十, 国产厂商占据七席。

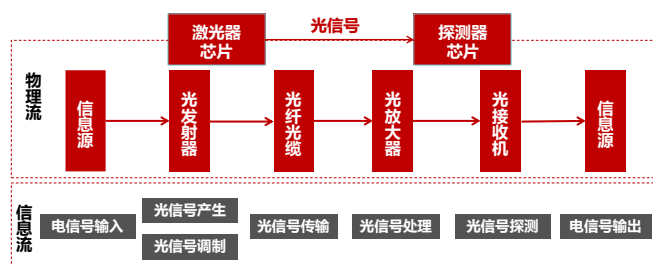
图88：全球前十大光模块市场竞争格局

Ranking of Top 10 Transceiver Suppliers				
2016	2018	2021	2022	
Finisar	Finisar	1	II-VI	Innolight & Coherent (tie)
Hisense	Innolight	2	&Innolight(tie)	
Accelink	Hisense	3	Huawei (HiSilicon)	Cisco (Acacia)
Acacia	Accelink	4	Cisco (Acacia)	Huawei (HiSilicon)
FOIT (Avago)	FOIT (Avago)	5	Hisense	Accelink
Oclaro	Lumentum/Oclaro	6	Accelink	Hisense
Innolight	Acacia	7	Broadcom	Eoptolink
Sumitomo	Intel	8	HGG	HGG
Lumentum	AOi	9	Eoptolink	Intel
Source Photonics	Sumitomo	10	Molex	Source Photonics

资料来源：LightCounting, 中际旭创 2023 年半年报, 民生证券研究院

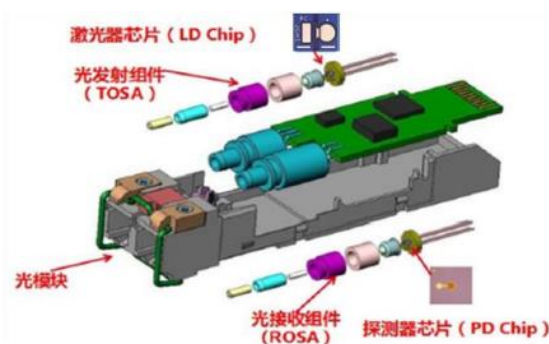
光通信是以光信号为信息载体，以光纤作为传输介质，通过电光转换，以光信号进行传输信息的系统，光模块是光纤通信中实现光电信号互相转换的光电子器件。在传统的通信传输领域，早期的信号主要通过电缆传输，但电传输损耗大、中继距离短、承载数据量小、信号频率提升受限；在全球信息互联规模不断扩大的背景下，光通信凭借通信容量大、传输距离远、布设成本低、网络覆盖广、抗电磁干扰等优点已逐步替代电传输方式。光通信是以光信号为信息载体，以光纤作为传输介质，以光电子器件实现电光转换，在光通信系统传输信号过程中，发射端通过光发射组件进行电光转换，将电信号转换为光信号，经过光纤传输至接收端，接收端通过光接收组件进行光电转换，将光信号转换为电信号。

图89：光通信系统工作原理



资料来源：中国电子元件行业协会, 民生证券研究院

图90：光模块结构示意图

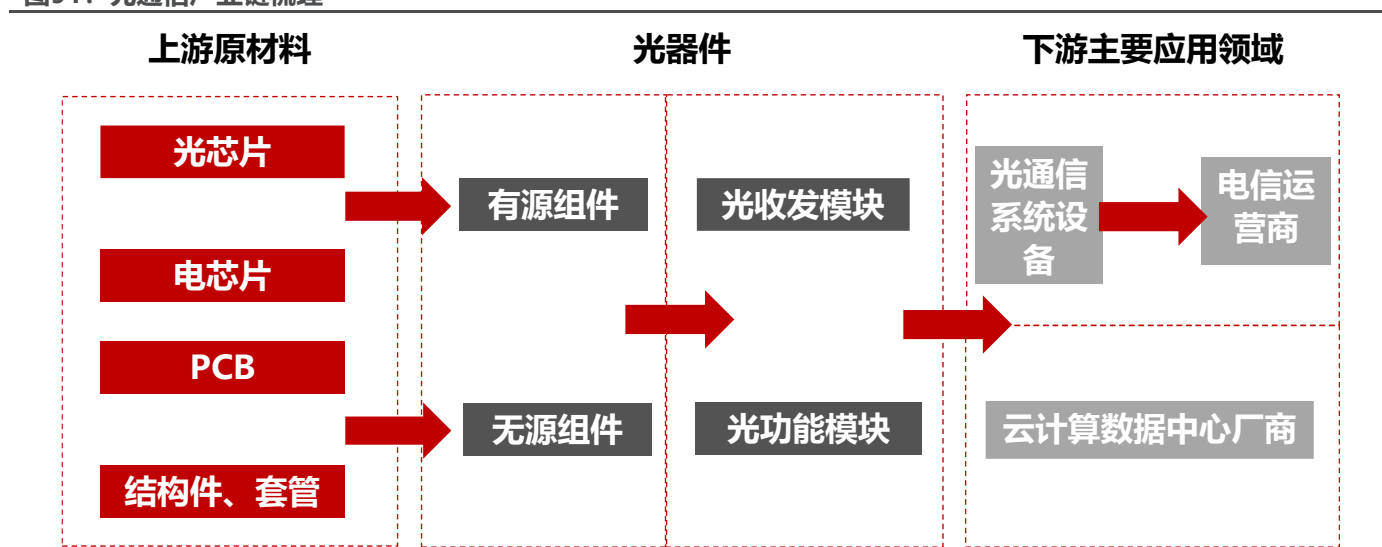


资料来源：源杰科技招股说明书, 民生证券研究院

光模块主要由光收发组件、电芯片、结构件等组成。具体来看光通信产业链，光芯片、电芯片、PCB、结构件等构成光通信产业上游；光通信产业中游为光电子

器件, 包括光组件与光模块, 光无源组件主要包括光隔离器、光分路器、光开关、光连接器、光背板等, 光有源组件主要包括光发射组件、光接收组件、光调制器等, 光模块由光收发组件、电芯片、结构件等进一步加工而成; 光通信产业下游为电信设备制造商、数据通信设备制造商等光通信设备制造商, 最终应用于电信市场, 如光纤接入、4G/5G 移动通信网络、云计算和互联网厂商数据中心等领域。

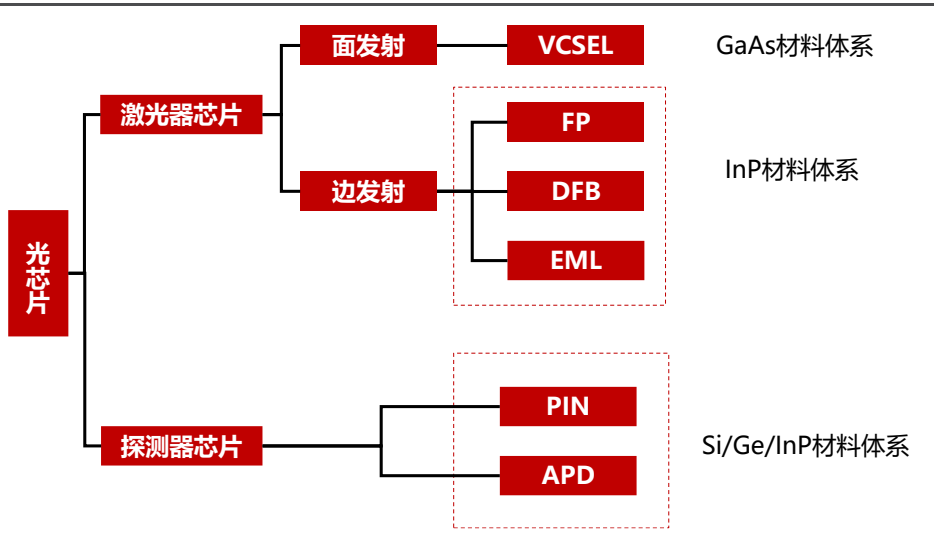
图91: 光通信产业链梳理



资料来源: 源杰科技招股说明书, 民生证券研究院

光芯片的性能直接决定光模块的传输速率, 是光通信产业链的核心, 光芯片重要原材料包括砷化镓、磷化铟、铌酸锂等。光芯片按功能可以分为激光器芯片、探测器芯片以及调制器芯片, 其中激光器芯片主要用于发射信号, 将电信号转化为光信号, 探测器芯片主要用于接收信号, 将光信号转化为电信号, 调制器芯片主要用于光信号的调制。激光器芯片按出光结构可进一步分为面发射芯片和边发射芯片, 面发射芯片包括 VCSEL 芯片, 边发射芯片包括 FP、DFB 和 EML 芯片; 探测器芯片主要分为 PIN 和 APD 两类。光芯片按照材料分类可分为硅 (Si) 系列、磷化铟 (InP) 系列、砷化镓 (GaAs) 系列、铌酸锂 (LiNbO3) 系列等。磷化铟 (InP) 衬底用于制作 FP、DFB、EML 边发射激光器芯片和 PIN、APD 探测器芯片, 主要应用于电信、数据中心等中长距离传输; 砷化镓 (GaAs) 衬底用于制作 VCSEL 面发射激光器芯片, 主要应用于数据中心短距离传输、3D 感测等领域, 铌酸锂 (LiNbO3) 主要用于制作调制器芯片。

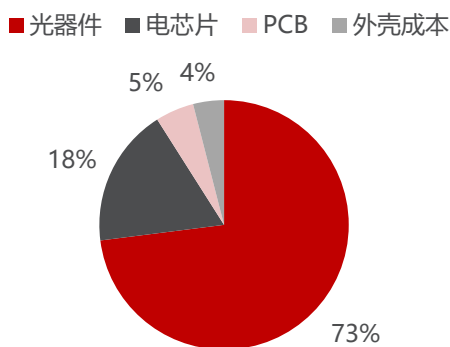
图92：光芯片分类



资料来源：源杰科技招股说明书，民生证券研究院

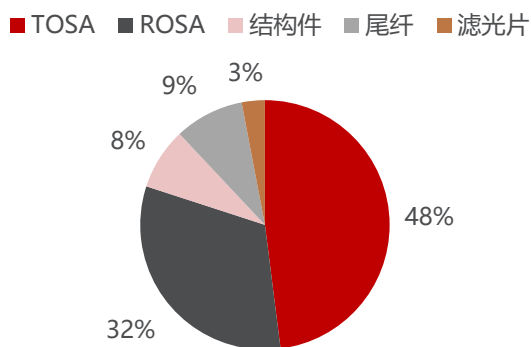
光芯片为光模块成本最主要的构成部分，占比超 50%。拆分光模块成本结构，光器件成本占比约为 73%，电芯片占比约 18%，PCB 和外壳分别占比 5%、4%。对光器件成本进一步分拆可知，在光器件成本中 TOSA（光发射机）和 ROSA（光接收机）占比分别为 48%、32%，由此可推算光芯片（TOSA 和 ROSA）占光模块的成本比重约超 50%。

图93：光模块成本结构分拆（2022）



资料来源：观研报告网，民生证券研究院

图94：光模块光器件成本结构分拆（2022）



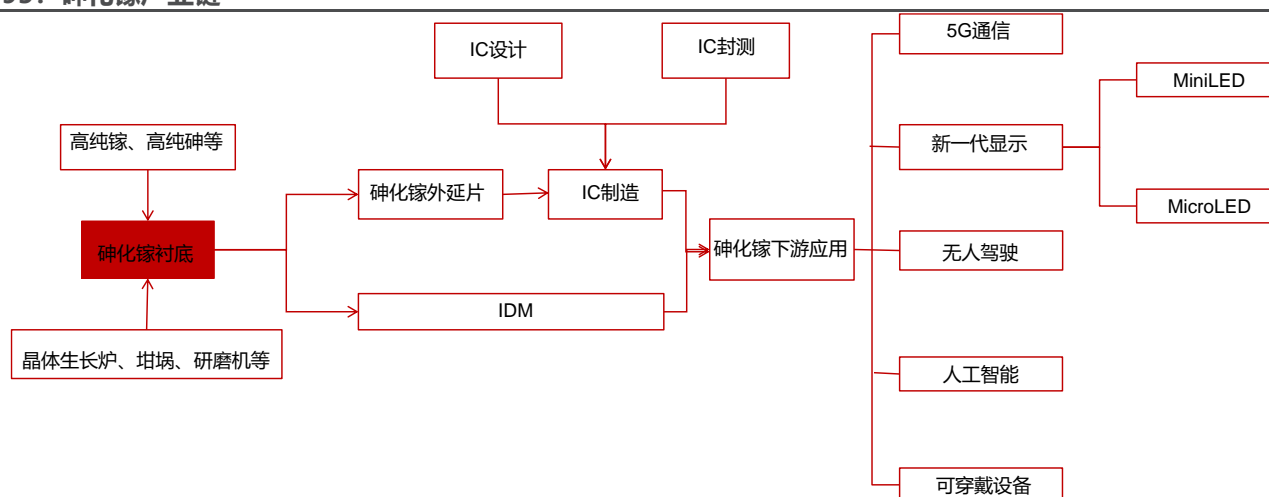
资料来源：观研报告网，民生证券研究院

4.1.2 砷化镓：VCSEL 激光器芯片衬底材料

砷化镓具有优良的特性，广泛应用于光电子和微电子领域，是 VCSEL 激光器芯片的衬底材料。砷化镓是砷与镓的化合物，属于 III-V 族化合物半导体材料，使用砷化镓衬底制造的半导体器件，具备高功率密度、低能耗、抗高温、高发光效率、

抗辐射、高击穿电压等特性，因此砷化镓衬底被广泛用于生产 LED、射频器件、激光器等器件产品。砷化镓早期主要应用于 LED 和太阳能电池，后续逐步拓展到射频器件和 VCSEL 激光器。**砷化镓产业链上游为砷化镓晶体生长、衬底和外延片生产加工环节。**衬底是外延层半导体材料生长的基础，在芯片中起到承载和固定的关键作用。生产砷化镓衬底的原材料包括金属镓、砷等，由于自然界不存在天然的砷化镓单晶，需要通过人工合成制备；砷化镓衬底生产设备主要涉及晶体生长炉、研磨机、抛光机、切割机、检测与测试设备等。砷化镓产业链下游应用主要涉及 5G 通信、新一代显示 (Mini LED、Micro LED)、无人驾驶、人工智能、可穿戴设备等多个领域。

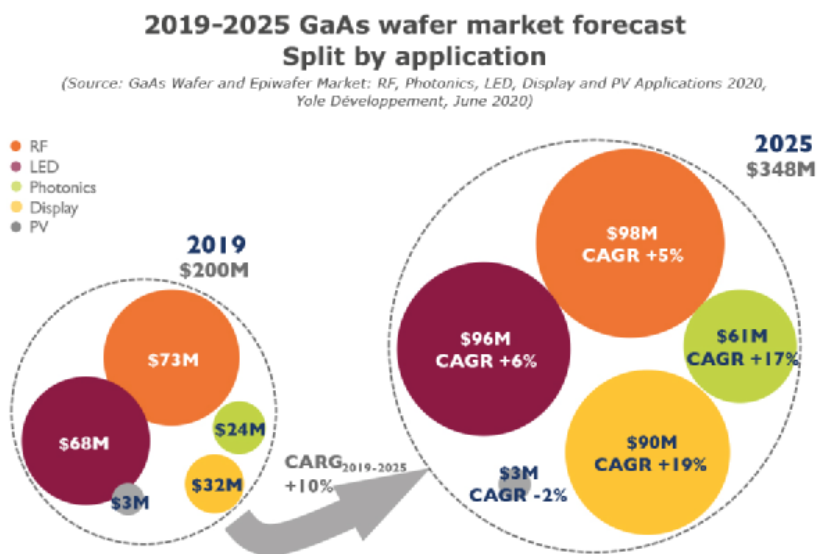
图95：砷化镓产业链



资料来源：北京通美招股说明书，民生证券研究院

砷化镓衬底下游应用包括射频器件、LED、显示、激光器等，其中射频和 LED 占比较大，显示和激光器未来增速较快。据 Yole 数据显示，2019 年砷化镓衬底应用结构中射频占比最大，约 37%，其次是 LED，占比约 34%，显示 (microLED 等) 占比 16%，激光器占比约 12%，光伏占比约 2%。预计到 2025 年射频占比将下滑到约 28%，LED 占比约 28%，显示 (microLED 等) 占比 26%，激光器占比约 18%，光伏占比约 1%。

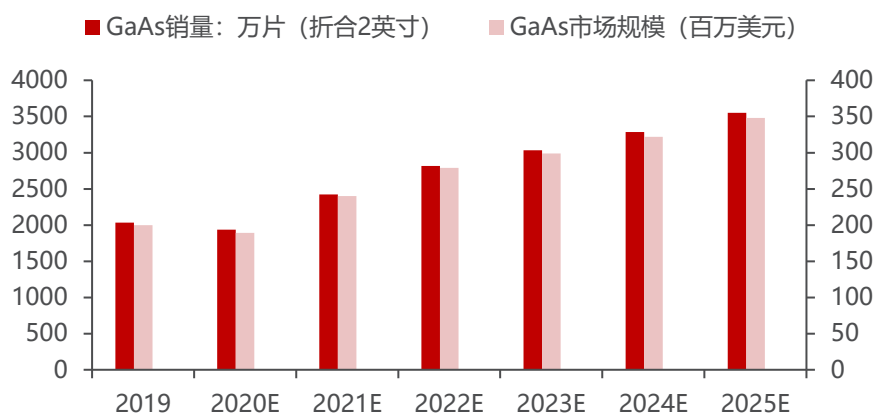
图96：全球砷化镓衬底应用分布结构



资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

受益于下游市场需求不断拓宽，砷化镓衬底市场规模有望持续增长。20 世纪 90 年代以来，砷化镓技术得以迅速发展，并逐渐成为最成熟的半导体材料之一，但长期以来，由于下游应用领域的发展滞后，市场需求有限，砷化镓衬底市场规模相对较小。2019 年后，在 5G 通信、新一代显示 (MiniLED、MicroLED)、无人驾驶、人工智能、可穿戴设备等新兴市场需求的带动下，未来砷化镓衬底市场规模将逐步扩大。根据 Yole 测算，2019 年全球折合二英寸砷化镓衬底市场销量约为 2,000 万片，预计到 2025 年全球折二英寸砷化镓衬底市场销量将超过 3,500 万片；2019 年全球砷化镓衬底市场规模约为 2 亿美元，预计到 2025 年全球砷化镓衬底市场规模将达到 3.48 亿美元，2019-2025 年复合增长率 9.67%。

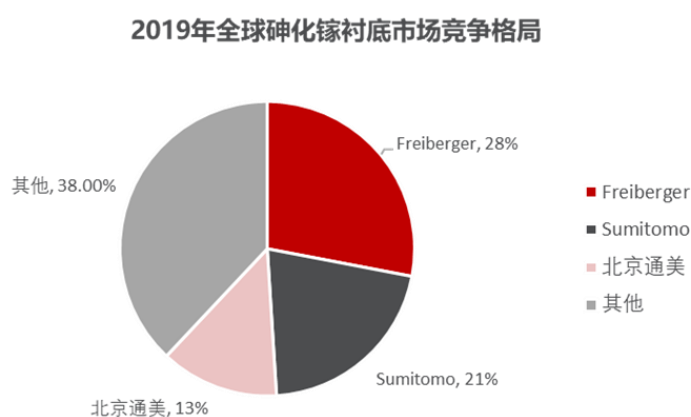
图97：2019-2025 年全球砷化镓衬底销量和市场规模展望



资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

全球砷化镓衬底市场集中度较高。根据 Yole 统计，2019 年全球砷化镓衬底市场主要生产商包括 Freiberger、Sumitomo 和北京通美，其中 Freiberger 占比 28%、Sumitomo 占比 21%、北京通美占比 13%。目前砷化镓晶体主流生长工艺包括 LEC 法、HB 法、VB 法以及 VGF 法等，其中 Sumitomo 砷化镓单晶生产以 VB 法为主，Freiberger 以 VGF 和 LEC 法为主，而北京通美则以 VGF 法为主。目前国内涉及砷化镓衬底业务的公司较少，除北京通美外，广东先导先进材料股份有限公司等公司在生产 LED 的砷化镓衬底方面已具备一定规模。

图98：2019 年全球砷化镓衬底市场竞争格局



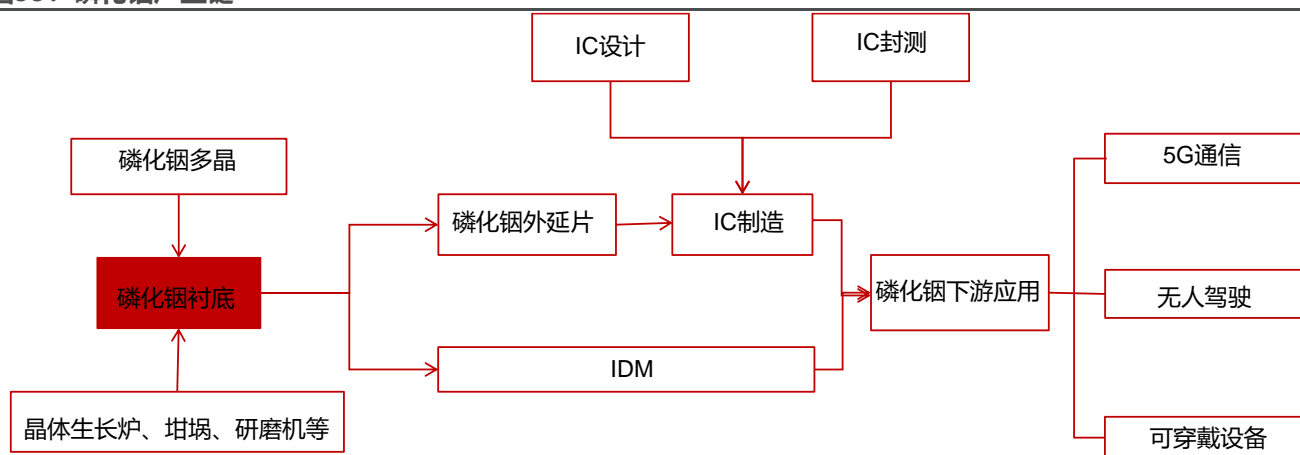
资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

4.1.3 磷化铟：光芯片关键衬底材料

磷化铟衬底光电性能好，电子迁移率高，被广泛应用于制造光模块器件、传感器件、高端射频器件等。磷化铟是磷和铟的化合物，是 III-V 族半导体材料，使用磷化铟衬底制造的半导体器件，具备饱和电子漂移速度高、发光波长适宜光纤低损通信、抗辐射能力强、导热性好、光电转换效率高、禁带宽度较高等特性。磷化铟早期被应用于太阳能电池，后续逐步拓展到光电芯片和射频器件领域。**磷化铟产业链上游为晶体生长、衬底和外延片的生产加工环节。**从衬底生产的原材料和设备来看，其中原材料包括金属铟、红磷、坩埚等；生产设备涉及晶体生长炉、研磨机、抛光机、切割机、检测与测试设备等。产业链中游包括集成电路设计、制造和封测环节，产业链下游应用主要涉及光通信、无人驾驶、人工智能、可穿戴设备等多个领域。磷化铟产业链上游企业包括衬底厂商及外延厂商，如北京通美、日本 JX、Sumitomo 及其他国内衬底厂商，IQE、中国台湾联亚光电、中国台湾全新光电、II-VI、中国台湾英特磊等外延厂商，器件领域包括 Finisar、Lumentum、AOI、Mitsubishi 等企业，下游主机厂商包括华为、中兴、Nokia、Cisco 等企业，终端

应用包括中国移动、中国电信、中国联通、腾讯、阿里巴巴、Apple、Google、Amazon、Meta 等企业。

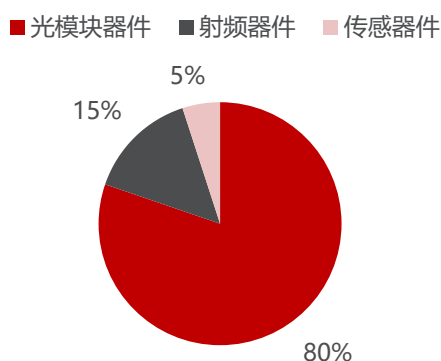
图99：磷化铟产业链



资料来源：北京通美招股说明书，民生证券研究院

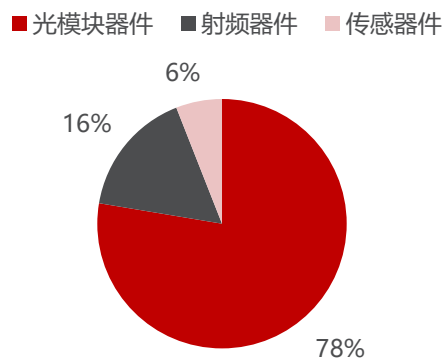
光模块为磷化铟衬底下游最大应用领域。磷化铟衬底主要应用下游器件包括光模块器件、传感器件、射频器件，对应下游终端领域包括 5G 通信、数据中心、人工智能、无人驾驶、可穿戴设备等领域，从全球磷化铟衬底应用情况来看，据 Yole 数据显示，2019 年光模块器件、传感器件、射频器件三者销量占比分别为 80%、5%和 15%，光模块器件和射频器件目前是磷化铟下游主要的应用。

图100：全球磷化铟衬底应用结构（销量口径）



资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

图101：全球磷化铟衬底应用结构（价值量口径）

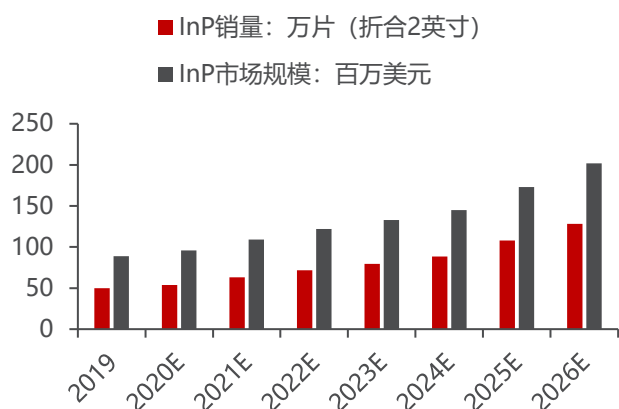


资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

受益于下游市场需求的增加，磷化铟衬底材料市场规模将持续扩大。根据 Yole 预测，2019 年全球磷化铟衬底（折合二英寸）销量为约 50 万片，2026 年全球磷

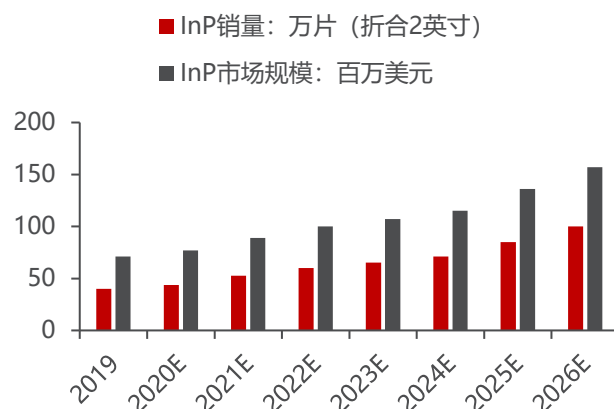
化镓衬底（折合二英寸）预计销量为 128.19 万片，2019-2026 年复合增长率为 14.40%；2019 年全球磷化镓衬底市场规模为 0.89 亿美元，2026 年全球磷化镓衬底市场规模为 2.02 亿美元，2019-2026 年复合增长率为 12.42%。**受益 5G 通信、云计算、AI 等市场拉动光模块市场快速发展，光模块器件磷化镓衬底市场快速增长。**根据 Yole 统计显示，2019 年全球光模块器件磷化镓衬底（折合两英寸）销量约 40 万片，到 2026 年全球光模块器件磷化镓衬底（折合两英寸）预计销量将超过 100 万片，2019 年-2026 年复合增长率达 13.94%，2019 年全球光模块器件磷化镓衬底预计市场规模约 0.71 亿美元，2026 年全球光模块器件磷化镓衬底预计市场规模将达到 1.57 亿美元，2019-2026 年复合增长率达 13.94%。

图102：2019-2026 年全球磷化镓衬底销量和市场规模



资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

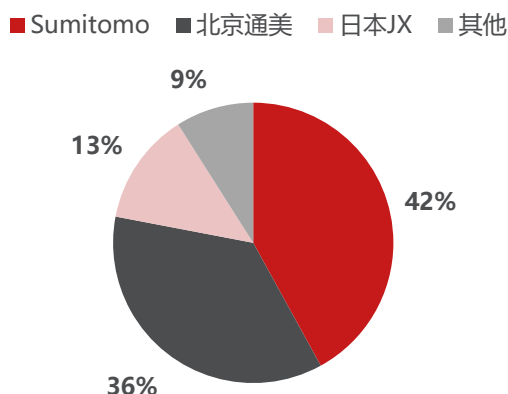
图103：2019-2026 年全球磷化镓衬底光模块器件领域应用销量和市场规模



资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

从市场格局来看，磷化镓衬底材料市场头部企业集中度很高，主要供应商包括日本住友 (Sumitomo)、北京通美、日本 JX 等。据 Yole 数据显示，2020 年全球前三大厂商占据磷化镓衬底市场 90% 以上市场份额，其中日本住友为全球第一大厂商，占比为 42%；北京通美位居第二，占比 36%。磷化镓单晶批量生长的技术主要包括 LEC 法、VGF 法和 VB 法。北京通美和 Sumitomo 分别使用 VGF 和 VB 技术可以生长出直径 6 英寸磷化镓单晶，日本 JX 使用 LEC 技术可以生长出直径 4 英寸的磷化镓单晶。

图104：全球磷化铟衬底市场竞争格局（2020）



资料来源：Yole，北京通美招股说明书，民生证券研究院

4.1.4 铌酸锂：新一代电光调制器重要材料

铌酸锂晶体的压电性能、光电效应十分优异，铌酸锂材料产业链包括上游晶体生长、中游制造加工和下游应用。铌酸锂是一种无机物，化学式为LiNbO₃，是一种负性晶体、铁电晶体，经过极化处理的铌酸锂晶体具有压电、铁电、光电、非线性光学、热电等多性能的材料，在声学滤波器中和光通讯中都有重要应用。铌酸锂材料产业链中，上游材料端首先是通过氧化铌制备铌酸锂单晶，然后通过提拉法生长铌酸锂晶体，也可以通过离子切片等方法制备铌酸锂单晶薄膜；中游制造加工主要是铌酸锂调制器芯片及器件制造，包括体材料铌酸锂调制器和薄膜铌酸锂调制器；下游主要应用于光通信、光纤陀螺、超快激光器、有线电视等领域。

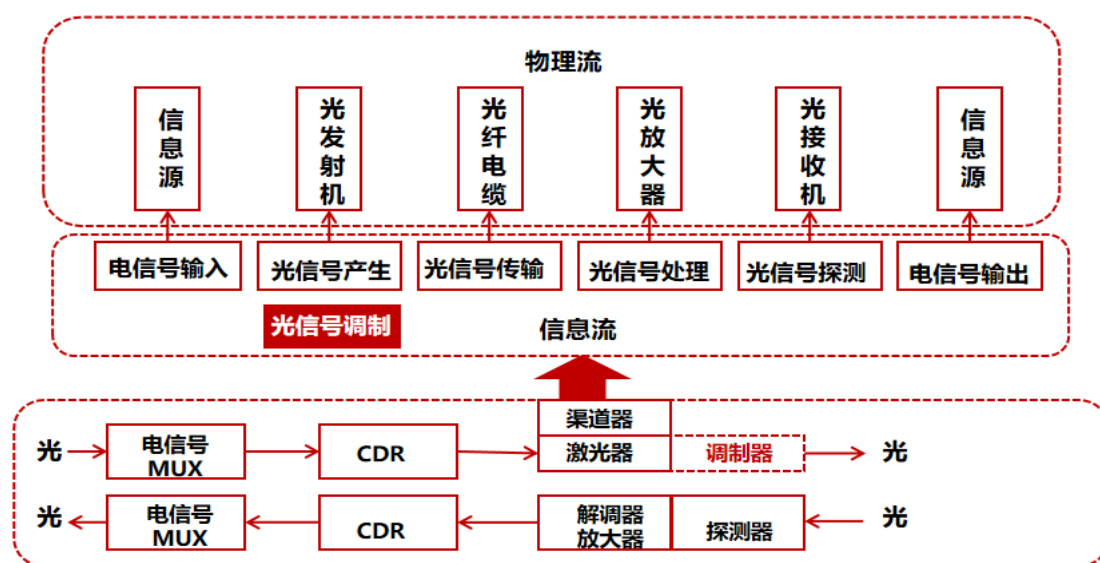
图105：光学级铌酸锂材料产业链梳理



资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

光信号调制是光模块的必要功能，电光调制器包括内调制和独立调制两种模式。光信号调制是光模块的必要功能，通过将信号加载在光波上，实现了可靠高速的光通信，但是调制器不是光模块中的必要器件，在短距离场景下，可以采用内调整的方式替代独立的调制器。内调制或直接调制是直接控制激光器泵浦源，从而使激光的某些参量得到调制；独立调制器进行的外调制是指光输出光源的振幅和频率作为光载波经过光调制器，光信号通过调制器来实现振幅、频率和光学载波的相位调整。在中长距光通信场景中，特别是相干通信中，独立的调制器是必要器件。

图106：光信号调制在光信号处理流程中的位置



资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

目前行业内的主流电光调制器有三种，其基底分别采用硅、磷化铟和铌酸锂材料，并且根据其优缺点不同，可适用于不同通信距离的应用场景。比较来看，铌酸锂方案具有高带宽、低插损、高可靠性、较高消光比、工艺成熟等优点。基于硅基的调制器期限速率约为 60-90Gbaud，基于磷化铟的调制器可达到 130Gbaud，而基于铌酸锂的调制器可能超过 130Gbaud。受材料性质所限，硅基方案存在插入损耗高、存在温漂等问题，因而主要应用在短距离；磷化铟方案主要是通过牺牲一定的参数从而在中短距离传输中替代铌酸锂。铌酸锂调制器在长途相干光传输和超高速数据中心的场景具备良好的竞争力，主要用在 100Gbps 以上的长距骨干网相干通讯和单波 100/200Gbps 的超高速数据中心中。

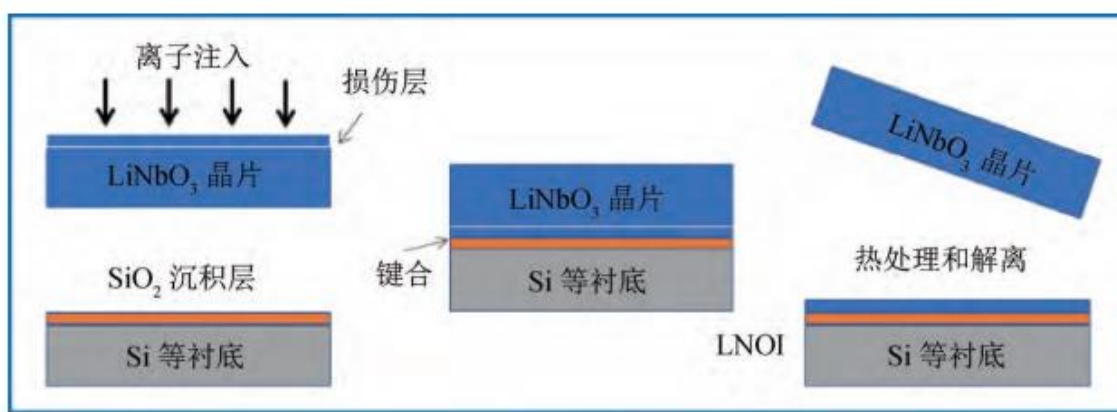
表31：光调制器对比

调制器类型	应用场景	优点	缺点
硅基调制器	短程的数据通信用收发模块	尺寸小	性能一般，高速长距离通信网络不适用
磷化铟基调制器	中距和长距光通信网络收发模块	调制效率高，驱动电压小，带宽可调制，器件结构紧凑	对材料和工艺要求高，成本和集成难度大
铌酸锂基调制器	100G 及以上长距骨干网相干通信	电光系数大、调制带宽大、波导传输损耗小、稳定性好，发展成熟	体积较大

资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

随着光通信系统的不断升级和流量继续快速攀升，当前的高速通信系统对铌酸锂调制器产生了新的要求，包括更高调制速率以及小型化、集成化，薄膜铌酸锂调制器优势凸显。传统块状铌酸锂制作的体铌酸锂电光调制器，存在着一些技术上的局限性：其一体积大，无法满足器件微纳化的发展需求；其二性能难提升，无法适应大容量通信网络的快速发展。薄膜铌酸锂调制器相比于体铌酸锂调制器，既能解决传统铌酸锂块材料器件尺寸过大、不利于集成的问题，又能兼容成熟的硅基光子学工艺，与其它集成光子学器件实现片上集成，在光通信高速率发展背景下优势凸显。

图107：离子切片法制备铌酸锂薄膜示意图



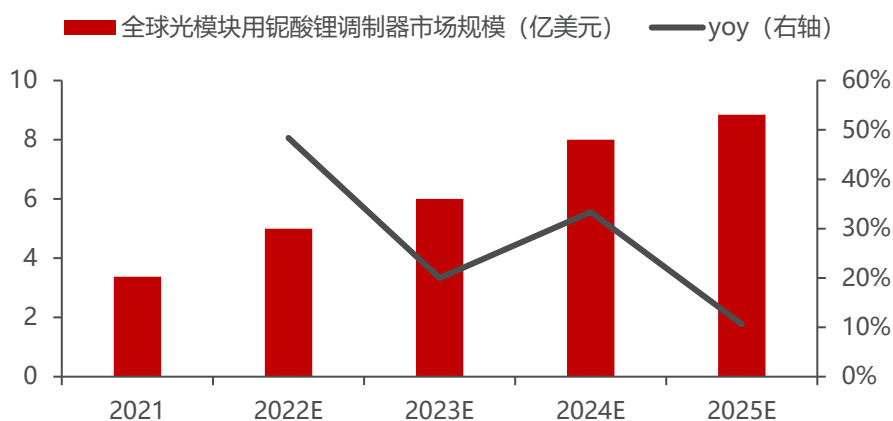
资料来源：《信息时代的铌酸锂晶体：进展与展望》刘宏，民生证券研究院

AI 产业化趋势驱动光通信传输速率持续提升，打开铌酸锂调制器市场需求。

铌酸锂调制器适合数据中心中高速传输应用场景，有望受益于 AI 产业化所拉动的巨大算力基础设施需求实现快速发展。同时薄膜铌酸锂调制器能实现更小尺寸的封装，适应于未来核心网络端口密度不断加大的需求，预计全球光模块用铌酸锂调

制器市场空间持续增长。据华经产业研究院数据，2021 年全球光模块用铌酸锂调制器市场规模约 3.37 亿美元，预计到 2025 年将达 8.85 亿美元，2021-2025 年 CAGR 约 27.3%。

图108: 2021-2025 年全球光模块用铌酸锂调制器市场空间及展望



资料来源: 华经产业研究院, 民生证券研究院

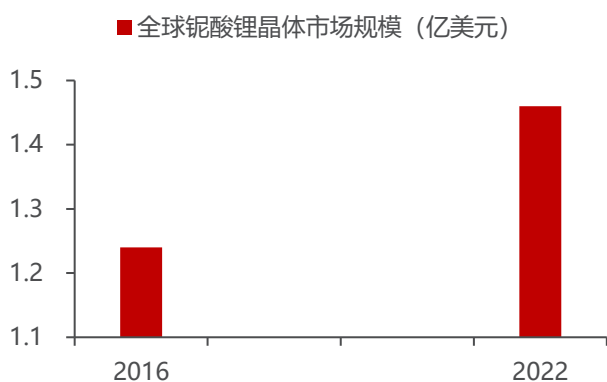
铌酸锂调制器行业主要被日本企业占据主要份额。由于铌酸锂系列高速调制器芯片及器件行业壁垒较高，全球仅有三家主要供应商可以批量供货，分别是日本的 Fujitsu（富士通）、日本的 Sumitomo（住友集团）和 Lumentum。2020 年光库科技通过收购 Lumentum 相关产品线进入该领域，目前是国内少数可以提供铌酸锂技术的厂家之一。受益于国内薄膜铌酸锂产业链逐渐成熟，随下游新易盛等厂商相继展示或推出薄膜铌酸锂光模块，国内厂商有望在薄膜铌酸锂调制器领域占据卡位优势。

表32: 铌酸锂调制器行业主要公司

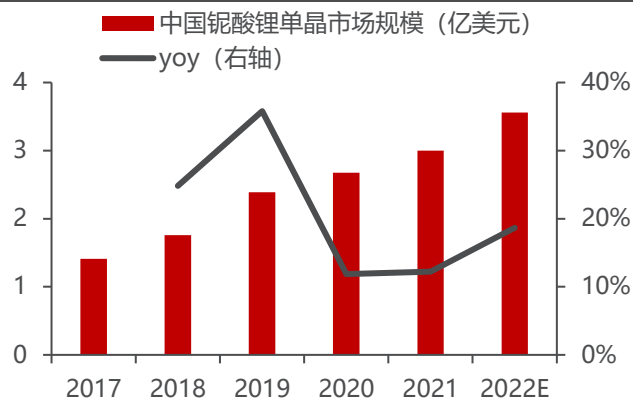
公司名称	国家	基本情况
Fujitsu (富士通)	日本	Fujitsu 的光器件业务（包括铌酸锂调制器业务）主要由子公司 Fujitsu Optical Components Limited 来运营，该子公司位于日本。2009 年成功推出世界第一个高速大容量光传输的铌酸锂调制器，2017 年推出 600G 铌酸锂调制器，全球市场份额约为 70%。
Sumitomo (住友集团)	日本	Sumitomo 的光器件业务（包括铌酸锂调制器业务）主要由子公司 Sumi tomo Osaka Cement CO.,Ltd 运营。
Lumentum (光库科技收购)	中国	Lumentum 是全球领先的光通信产品、消费市场和工业激光器提供商，2020 年光库科技收购 Lumentum 位于意大利 San Donato 及其代工厂的铌酸锂系列高速调制器产品线。

资料来源: 光库科技公告, 智研咨询, 民生证券研究院

铌酸锂晶体市场规模稳步增长。随着下游 5G 通信、云计算等主要行业的持续发展，以及 AI 大模型的训练和应用带来数据中心等基础设施的增长需求，有望驱动光模块行业的用量增长和技术升级，上游铌酸锂晶体市场需求有望稳步增长。据华经产业研究院数据，2016 年全球铌酸锂晶体市场规模约 1.24 亿美元，2022 年增长至约 1.46 亿美元。光学级是铌酸锂晶体的主要类型，2022 年全球光学级铌酸锂晶体市场规模约 0.85 亿美元，约占全球铌酸锂晶体市场份额的 60%。近年来我国铌酸锂单晶市场规模同样在不断扩大，2021 年中国铌酸锂单晶市场规模约 3 亿元，预计 2022 年中国铌酸锂单晶市场规模将达到 3.56 亿元。

图109：全球铌酸锂晶体市场规模


资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

图110：2017-2022 年中国铌酸锂晶体市场规模


资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

铌酸锂单晶行业主要被日本企业占据主要份额。日本企业在滤波器以及铌酸锂调制器领域都占据主要份额，上游铌酸锂单晶材料领域同样是日本企业占据领先地位，代表企业包括日本信越化学、日本住友金属。国内铌酸锂单晶材料代表企业主要是天通股份和德清华莹。国内企业在铌酸锂单晶薄膜材料领域占据卡位优势，济南晶正在国际上率先开发出并产业化 300-900 纳米厚度铌酸锂单晶薄膜材料产品。

表33：铌酸锂材料行业主要企业梳理

公司	国家	基本情况
信越化学	日本	全球最大的硅材料生产商，LN、LT 晶体与基材产能位居全球前列。
住友金属	日本	日本硅材料头部企业的旗下公司，2018 年退出盈利不佳的蓝宝石基板转向 LN、LT 晶体。
台湾兆远科技	中国	中国台湾蓝宝石衬底头部厂商，2006 年后逐渐布局 LN、LT 晶体。
天通股份	中国	已形成 3/4/5 英寸 LN、LT 晶片量产能力，通过多个国内外企业验证，国内主要客户包括好达电子、中电 26 所。

德清华莹	中国	3、4寸 LN、LT 晶体年产能达 18 吨，晶片年加工能力 100 万片。
济南晶正	中国	济南晶正电子科技有限公司成立于 2010 年,是一家致力于纳微米级厚度光电、压电单晶薄膜材料研发、生产及销售为一体的高新技术企业，在国际上率先开发出并产业化 300-900 纳米厚度铌酸锂单晶薄膜材料产品。

资料来源：华经产业研究院，济南晶正官网，民生证券研究院

4.1.5 金属基复合材料：光芯片基座重要材料

金属基复合材料可以将金属基体较高的热导率和增强相材料较低的热膨胀系数结合起来，制备出热物理性能与电子器件材料相匹配的封装材料。在集成电路中，封装起着芯片保护、芯片支撑、芯片散热、芯片绝缘以及芯片与外电路连接的作用，电子封装材料的研究重点经历了金属、陶瓷、塑料、复合材料的变化，微电子和半导体器件对封装材料要求越来越高，加速了先进金属基复合材料的发展。金属基电子封装材料由基体和增强相两部分组成，基体一般为金属（如铝、铜、镁）及其合金，增强相主要为碳（如碳纤维、金刚石、碳纳米管）、陶瓷（如碳化硅、氮化铝）及金属（钨、钼）等。这些基体合金具有良好的导热性能、可加工性能以及焊接性能，而增强相具有较好的热膨胀性能、良好的化学稳定性、高强度、低密度以及与基体金属较好的润湿性，从而确保金属基复合材料具有优异的热物理性能和封装性能。

图111：电子封装金属基材料性能

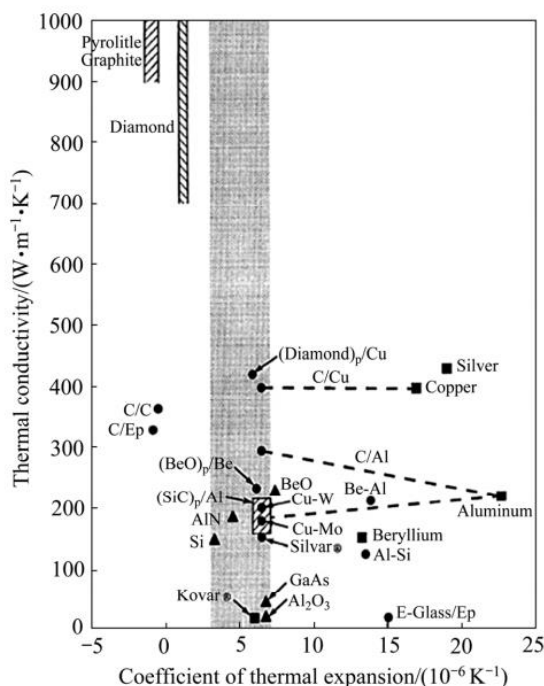
Matrix	Strengthening Phase	TC (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	CTE/ (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Density (g·cm ⁻³)
Al		230	23	2.7
Cu		400	17	8.9
	Si-C _p	80-200	4	3.21
	Si _p	150	4.1	2.3
	Diamond	1200-2600	1.3	3.52
	W	174	4.5	19.3
Al	Si-C _p	120-250	4.5-11	2.3-2.7
Al	Si _p	75-180	7-17	2.4-2.5
Al	Diamond	300-500	7-9	3
Cu	Si-C _p	280-360	7-11	7-9
Cu	Diamond	410-920	4-6	4-5
Cu	W	140-210	5.6-9.1	15.6-17

资料来源：《电子封装用金属基复合材料的研究进展》曾婧，民生证券研究院

钨铜合金和钼铜合金为目前应用最广泛的金属基电子封装材料，铝碳化硅

(SiC/Al) 和铝硅 (Si/Al) 合金复合材料为新兴金属基电子封装材料, 金刚石/铜复合材料有望成为下一代电子封装材料。早期采用 Kovar 合金等材料作为电子封装材料, 伴随电子封装逐步往小型化、高密度、热量易散发的应用需求方向迭代, 电子封装材料的性能要求也在不断提高。钨铜 (W/Cu)、钼铜 (Mo/Cu) 复合材料也称为钨铜、钼铜合金, 即以金属颗粒 W、Mo 为增强相的金属基复合材料, 其热导率为 150~230W/(m·K), 热膨胀系数为 $5.7 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6} K^{-1}$, 是目前应用最广泛的金属基电子封装材料, 主要应用于电子散热器件以及热沉材料。我国 W/Cu、Mo/Cu 等传统电子封装材料的制备与应用技术较成熟, 已进行大规模工业化生产, 但这种材料的热导率已不能满足现代大功率器件的更高要求, 特别是其密度大(W/Cu: 15~17g/cm³, Mo/Cu: 9.9~10.0g/cm³), 不适于在便携电子和航空航天装备中应用。在航空航天飞行器领域所需的电子管理设备中, 在满足电子封装材料的基本要求的前提下, 轻质是其最亟待解决的问题, 铝碳化硅 (SiC/Al) 和铝硅 (Si/Al) 复合材料正好具有质量轻, 热膨胀系数低, 热传导性能良好, 强度和刚度高等优越性能, 成为新一代电子封装材料。金刚石是目前已知的在自然界中存在的最坚硬的物质, 同时也是自然界中导热系数最高的物质之一, 导热系数高达 1.2~2.6kW/(m·K)。铜的导热、导电、延展性都较好, 热导率远高于铝、钼等金属, 并且价格低廉, 被广泛应用于集成电路领域。综合金刚石和铜的导热性能, 金刚石/铜复合材料有望成为未来主流的高导热电子封装材料。

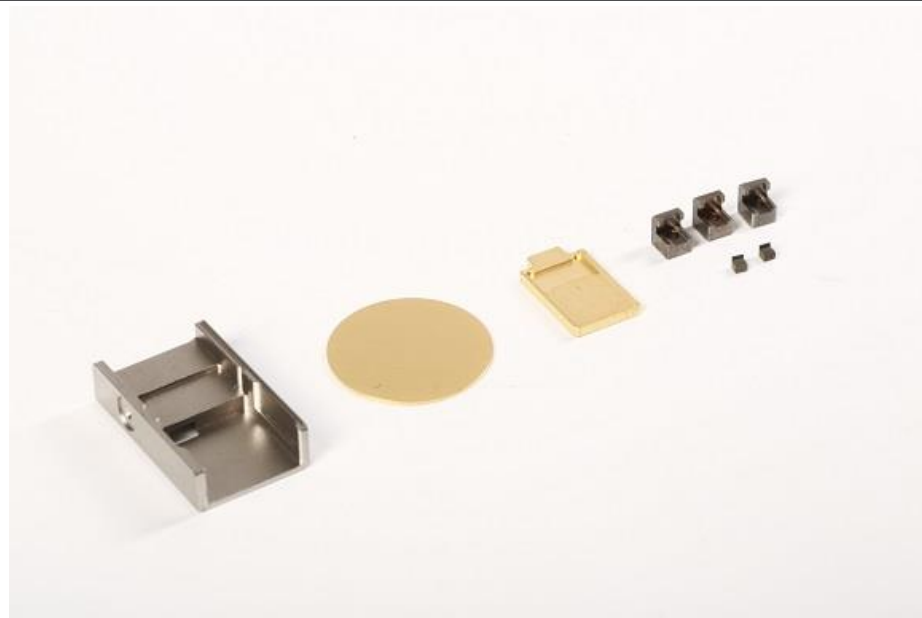
图112: 电子封装常用复合材料性能比较



资料来源:《电子封装用金属基复合材料的研究进展》曾婧, 民生证券研究院

光芯片基座是光模块部件中重要的散热部件，光模块往高速率迭代驱动光芯片基座材料升级迭代。光模块是 5G 承载网络、数据中心互联和全光接入网络的基础构成单元，它由光器件、功能电路和光接口组成，主要功能为完成光信号的光电、电光转换，主要用于电信传输、数据中心和 5G 基站。光模块中有三大核心部件，光芯片、激光器和光棱镜，此三大部件对光芯片基座载体材料的散热系数和热膨胀系数有着苛刻的要求。光模块目前主要以 200G 以下为主，200G 及以下对于芯片基座材料的散热要求不高，低膨胀高导热的可伐合金(Kovar)可以满足要求，400G 以上光模块芯片对散热要求大幅提高，需要具有低膨胀更高导热特性的新材料来满足要求，不同成份的钨铜合金可以满足 400G、800G、1.6T 光模块需求，大于 1.6T 的光模块需要更优异性能的金金刚石/铜复合材料才能满足要求。用于光模块芯片基座的钨铜材料主要技术要求是超细钨粉均匀弥散分布在铜相中，并且材料要求高洁净度、高致密度，不允许有任何气孔、夹杂、钨颗粒团聚，这些缺陷都会严重影响光模块组件焊接和使用性能。目前市场上普通的钨铜材料无法满足这些精细要求，而且良品率低。斯瑞新材采用 3D 打印骨架、真空熔渗定向凝固、微精密加工、自建专用镀金线满足了这一细分市场的特殊需求。在此基础上，斯瑞新材正在研发低成本批量生产金刚石/铜复合材料工艺，为 1.6T 以上光模块大批量应用储备能力，以支撑未来更高性能 GPU 的快速发展需求。

图113：光芯片基座示意图



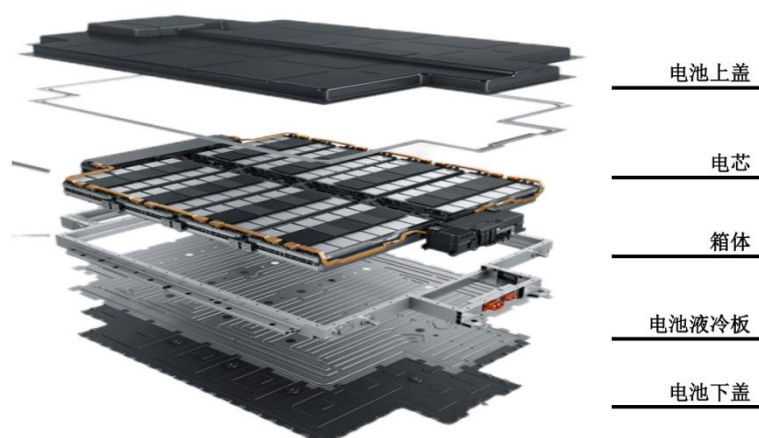
资料来源：斯瑞新材官网，民生证券研究院

4.2 液冷板：“一体两翼”，需求快速增长

4.2.1 电池液冷板是电池热管理系统中直接与电池进行热交换的部件

电池液冷板是电池热管理系统中直接与电池进行热交换的部件。液冷板是液冷散热器的一种产品元件，其散热原理是在金属板材内加工形成流道，电子部件安装在水冷板的表面并在之间涂装导热介质，内部的冷却液从板的进口进去，再从出口带走部件传导的热量。根据形状和结构的不同，目前市场常见的液冷板主要有口琴管式、冲压式、挤压式、吹胀式等多种类型。在新能源车领域，电池液冷板作为电池热管理系统中直接与电池进行热交换的部件，通过液冷板流道中的冷却液将电池产生的热量转移到冷却装置中或通过冷却液将热量输送到电池处，实现将电池温度维持在最适合其工作效率 20°C-35°C 范围内。

图114：电池水冷板结构



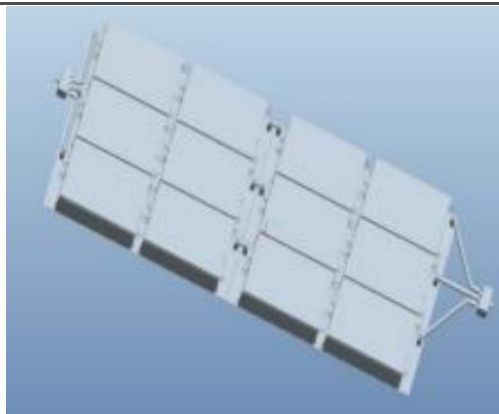
资料来源：纳百川招股说明书，民生证券研究院

图115：口琴管式水冷板



资料来源：纳百川招股说明书，民生证券研究院

图116：冲压式水冷板



资料来源：纳百川招股说明书，民生证券研究院

从产业链结构来看，液冷板行业上游为中铝集团、紫金矿业等铝、铜金属原材料企业；中游为银邦股份、华锋铝业等铝热传输材料生产以及银轮股份、纳百川等液冷板配套加工企业；下游终端应用主要包括新能源汽车、服务器液冷以及储能等领域。

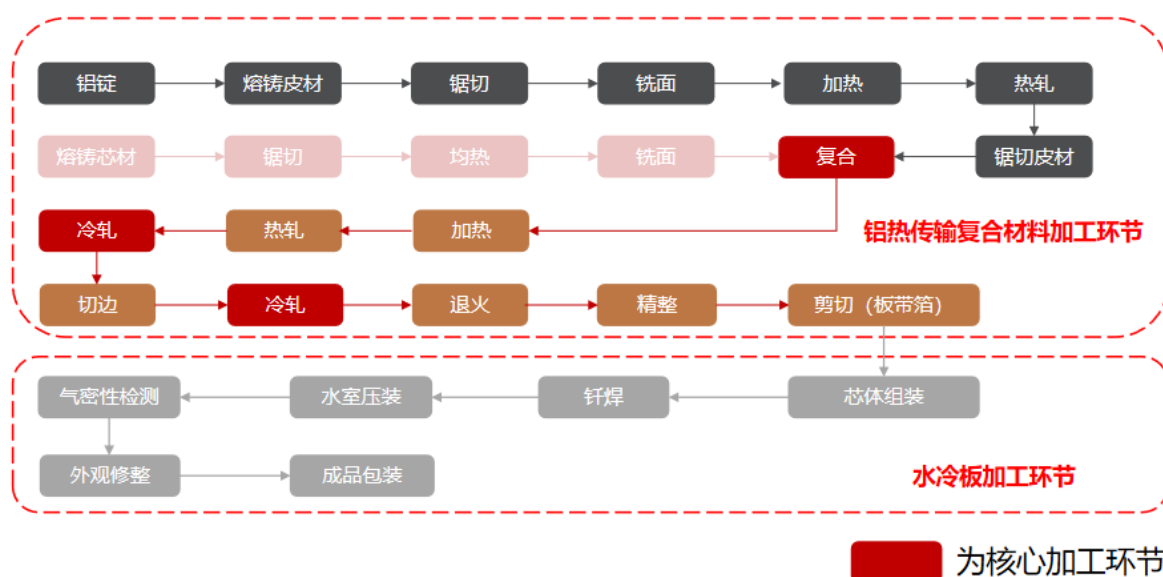
图117：液冷板行业产业链



资料来源：华经情报网，民生证券研究院

液冷板生产流程包含铝热传输材料加工环节和液冷板加工环节。在液冷板生产工艺上，同一终端应用下的液冷板不同类型产品虽在结构设计上有所不同，但加工工艺高度类似。以铝热传输复合材料为例，液冷板生产前道工序主要包括材料的复合以及冷轧、热轧等环节，其中复合和冷轧为水冷板生产的核心工序，冷轧为热轧卷或铸轧卷在再结晶温度之下强烈塑性变形的过程。冷轧后的半成品具有组织性能均匀、尺寸精确、表面品质高等特性。后道包括对前端退火精整后的产品再进行芯体组装、钎焊以及气密性检测等工序。

图118：液冷板生产流程（以复合材料为例）



资料来源：华峰铝业招股说明书，纳百川招股说明书，民生证券研究院

铝的物理优势使其成为交通领域热传输材料的主要选择。质量与加工方面，铝的密度为 2.69g/cm^3 ，仅为钢密度的 34%，铜密度的 30%。且铝可以通过添加合金元素提高材料性能，塑形优良，可加工成复杂性质；导热能力方面，铝的导热系数为 $247\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，略低于银 ($411\text{W/m}\cdot\text{K}$) 和铜 ($398\text{W/m}\cdot\text{K}$) 但远高于铁 ($73\text{W/m}\cdot\text{K}$)。因而铝是行业内综合考虑下最优的金属热传输材料。

表34：铝是目前性价比最高的导热金属材料

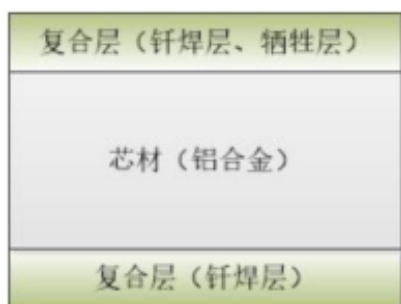
项目	铝	铜	镁	钛	锌
密度 $\rho(20^\circ\text{C})/(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.69	8.93	1.738	4.507	7.133
熔点/ $^\circ\text{C}$	600.4	1084.88	650	1668 ± 10	420
熔化热/ (kJ/mol)	10.47	13.02	8.71	18.8	7.2
比热容 $c(20^\circ\text{C})/[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	900	386	102.5	522.3	382
热导率 $\lambda/[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$	247	398	155.5	11.4	113
硬度 HBS	20~35	37	35	60~74	30~42
弹性模量 (拉伸) E/GPa	62	128	44	106	130

资料来源：Mechtool，民生证券研究院

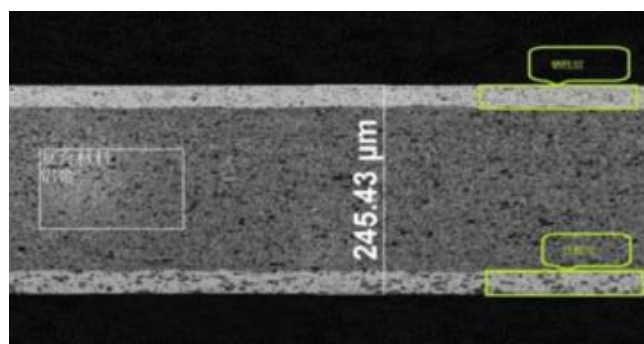
注：锌的断后伸长率指标为断面收缩率数值

水冷板使用的复合材料一般以 3 系铝合金为芯材，4 系铝合金为复合层。铝热传输复合材料是以铝锰 3 系合金为基础核心材料，即芯材，利用轧制复合工艺使芯材和其他一种或一种以上物理、化学性能不同的牌号的铝合金在接触面上形

成冶金结合的新型铝合金材料。与单一金属相比较，不同金属的结合可以使其物理、化学性能更优越，热膨胀性、导热性、强度、耐腐蚀性、导电性可得到很大提高。芯材由铝锰 3 系铝合金构成，起强度支撑和散热作用；复合层由铝硅 4 系合金或其他牌号的铝合金构成，起到钎焊或改善整体材料性能的作用。以华峰铝业水冷板材料为例，芯材主要是 3003 牌号铝合金，复合层主要是 4343 牌号铝合金。

图119：铝热传输复合材料基本结构


资料来源：华峰铝业招股说明书，民生证券研究院

图120：铝热传输复合材料放大图


资料来源：华峰铝业招股说明书，民生证券研究院

表35：复合材牌号、状态、包覆率及尺寸规格

钎焊层牌号	基体牌号	状态	包覆率 %	厚度 mm	宽度 mm	板材长度 mm	典型内径 mm	卷材外径 mm
4A13	3A11	O					75.0	
4A17	3B11	H12					150.0	
4A43	3003	H22					200.0	
4A45	3005	H14					250.0	
4004	6A02	H24	3.0~25.0	0.050~6.000	7.0~1600.0	≤10000	300.0	450~2500
4045	6060	H16					400.0	
4047	6063	H26					405.0	
4104	6951	H18					500.0	
4343	7A11						505.0	
	7072							

资料来源：《钎焊用铝合金复合板、带、箔材》国家标准，民生证券研究院

表36：华峰铝业水冷板型号

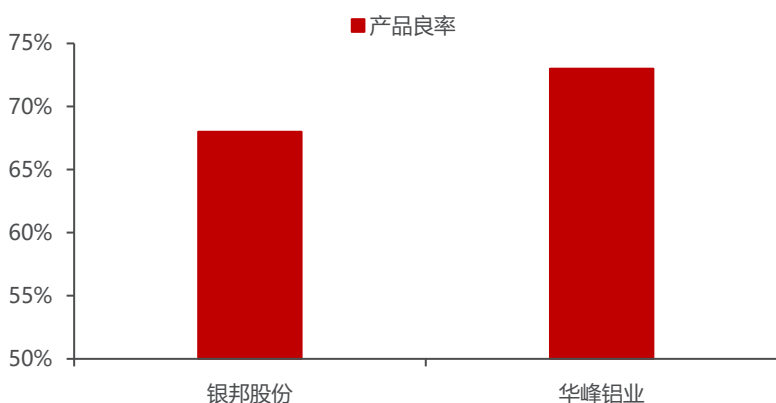
编号	零部件	典型材料	常规厚度
1	水冷板	AA3003MOD	0.6~3.0mm
2	水冷板	AA3003MOD/AA4343	0.6~3.0mm
3	水冷板	AA4343/AA3003MOD/AA3003MOD	0.6~3.0mm

资料来源：华峰铝业官网，民生证券研究院

4.2.2 行业壁垒较高，头部企业规模优势显著

液冷板材料壁垒较高，主要来源于工艺复杂、供应链认证周期长、建厂投资大三个方面。**工艺壁垒方面**：铝钎焊复合材料制程长，需要经过多道轧制工序，理论良率在 70%，实际良率约 67-68%。参考《热传输用铝基合金轧制复合的技术特点及其发展趋势》，铝热传输复合材料在复合过程中不仅要进行**复合界面清理**以充分去除氧化层、表面油污；同时热轧复合时的**道次加工率**设计也深有考究，太小的道次加工率使塑性变形仅在皮材层产生，从而使皮材延伸向上翘起而不能实现皮材与芯材的结合；过大的道次加工率会使变形区深入到深处，在复合界面上不能充分暴露新鲜金属，从而也难以实现皮材与芯材的有效结合；**加热工艺和开轧温度**如果温度过高可能会使皮材熔化；而加热时间过短，又可能使坯锭温度不均匀，轧制时因温度差异而使金属延伸不均匀，严重时会出现轧裂现象而报废；此外**终轧温度**以及**材料状态和性能**的控制也会对产品质量与生产良率产生影响，复合料生产工艺复杂且细节繁多。

图121：主要公司产品良率



资料来源：各公司公告，民生证券研究院

建厂投资壁垒方面：铝基复合材料生产所在的铝压延加工行业属于高能耗行业，因此**投资建厂能耗限制高**；此外，行业整体**投资规模较大**，**铺底流动资金需求高**，**建设周期较长**，特别是轧制设备方面，主要部件均为定制化，建造周期基本要两年以上，加上安装调试时间，整体一般需要**三年以上时间**。

图122：华峰铝业年产15万吨新能源用板带箔项目周期需要3年

序号	项目	进度	工程建设进度																																				
			月份																																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
1	可行性研究报告批复/备案	★	█																																				
2	设备考察及签订合同		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3	提供初步设计资料				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
4	初步设计与评审					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
5	提供施工图设计资料																																						
6	工厂施工图设计																																						
7	施工准备与土建施工																																						
8	设备设计制造及交货																																						
9	设备安装调试																																						
10	人员培训与技术准备																																						
11	试生产与工程验收																																						

资料来源：华峰铝业《关于非公开发行股票申请文件反馈意见的回复（修订稿）》，民生证券研究院

表37：液冷板建厂投资情况（以华峰铝业15万吨项目为例）

项目	车间	主要设备	单价 (万元)	投资金额 (万元)
设备投资	热轧车间	四机架热精轧机组	47000	47000
	冷轧精整车间	2000mm 冷轧机	5000	5000
	新增冲压车间	自动化冲压线	2320	2320
	铝箔车间	2000mm 铝箔轧机	3230	3230
	其他设备	通风设备及噪声防治	1800	1800
		各车间其他设备		
	设备总投资合计			94759
	单吨设备投资费用 (万元)			0.63
	其他投资 (其他建设投资、建筑工程、安装工程等) (万元)			40,442
	总项目投资 (万元)			135201
	单吨项目投资费用 (万元)			0.90

资料来源：公司公告，民生证券研究院

注：不考虑预备费与流动资金

供应链壁垒方面，汽车行业有 2-3 年的导入期：参考普华有策说明，一般而言，汽车行业有 2-3 年的导入期，零部件企业首先需要通过独立第三方的 IATF16949:2016 **质量管理体系认证**，然后经历审核方的严格审核，在研发能力、采购管理、生产工艺、质量控制等方面达到要求，并通过供货测试后才能成为合格供应商，客户整体的**认证周期较长**；此外，**下游车型广泛使得铝热传输产品具有高度定制化的特点，产品种类繁多且尺寸规格复杂**。因而当前的主要厂商已与客户深度绑定，新进入企业难以轻易打破供应链壁垒。

生产工艺复杂等壁垒塑造行业高集中度。由于行业壁垒较高，目前市场上仅包括格朗吉斯 (Granges)、华峰铝业以及银邦股份三家主要企业，行业 CR3 超过

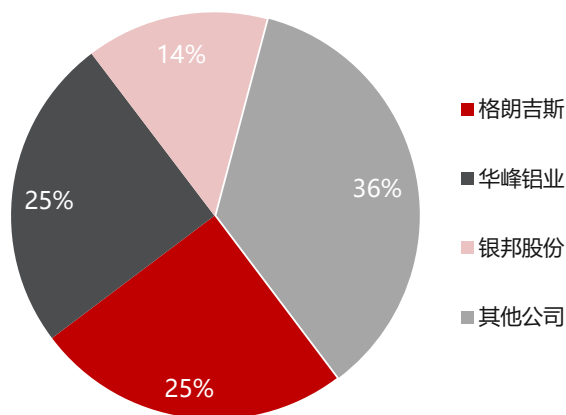
60%。格朗吉斯铝业集团是世界主要铝型材生产者之一，其钎焊热交换器业务占全球市场份额的 25%，2022 年销量约为 29.4 万吨。华峰铝业是目前国内产能最大的铝热传输材料生产供应商，现有产能 34-35 万吨，并有 15 万吨在建产能，2022 年铝热传输材料销量 29.37 万吨；银邦股份主要生产钎焊用铝热传输材料、铝钢复合带材料等产品，是国内的电站空冷系统用铝钢复合带材的主要生产企业之一，2022 年复合材料销量约 17 万吨。

表38：主要公司产能、产量及扩产情况

企业	总产能 (万吨)	2022 年产量 (万吨)	扩产情况
格朗吉斯	58	47.9 (全部业务)	Finspång 工厂扩产项目，达产后产能将翻倍
华峰铝业	34-35	29.8 (不包含电池料及冲压件)	15 万吨新能源汽车用高端铝板带箔项目
银邦股份	22	17.3 (金属复合材料)	35 万吨新能源车用再生低碳铝热传输材料项目

资料来源：各公司公告，民生证券研究院

图123：全球钎焊热交换器用轧制铝材市占率 (2022)



资料来源：各公司公告，民生证券研究院

4.2.3 新能源汽车电池热管理驱动液冷板市场快速增长

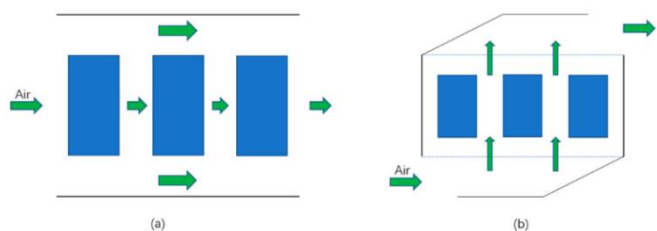
液冷是动力汽车电池热管理系统的主要方案。对于新能源汽车而言，电池热管理系统(BTMS)技术主要分为空气冷却、液体冷却、相变材料冷却和热管冷却，随着应用环境对电池的要求越来越高，液冷技术正逐渐取代风冷技术成为各大车企的优先选择。目前包括比亚迪、北汽、广汽、别克、云度、江淮、小鹏汽车等车企均拥抱了液冷技术方案，国内外的典型车型如宝马 i3、特斯拉 ModelS、通用 Volt、华晨宝马之诺、吉利帝豪 EV 等也采用了液冷技术。根据 IDTechEx 数据，2022 年上半年电动汽车采用液体冷却的比例约为 70%，NE 时代预计 2025 年乘用车市场的液冷比例将达到八成以上。

表39：电池热管理系统不同冷却方案对比

冷却方案	细分类别	材料	优势	劣势	代表车型
风冷	强制性风冷	空气	结构简单、成本低、占地面	导热系数低、电池均匀性控	Volkswagen eGolf
	被动式风冷	空气	积小、重量轻等	制不佳等	Nissan Leaf
液冷	冷却液冷却	水/乙二醇混合物等	导热性能好、冷却效果好、 散热均匀等	维护困难、重量大、结构复 杂等	Tesla Model S
	制冷剂冷却	1234yf, 二氧化碳等			BMW i3
	浸没式冷却	碳氢基油			McLaren SpeedTail
相变材料 冷却	相变材料冷却	膨胀石墨、碳纤维、石墨 烯、泡沫铝和泡沫铜等	热密度高、潜热大、稳定性 好、散热快等	相变材料吸收热量难以散发 等	尚未规模应用
热管冷却	热管冷却	水、液氨、乙醇等	导热系数高、散热效率高、 均匀性能好、安全性好等	成本高、换热介质难以控 制、结构复杂等	尚未规模应用

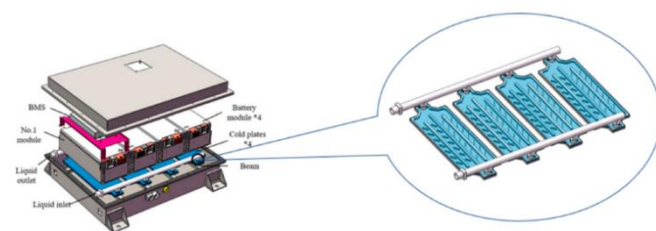
资料来源：EXOES, CNET, 《Power Battery Thermal Management System》, 民生证券研究院

图124：风冷系统方式示意图



资料来源：《Power Battery Thermal Management System》, 民生证券研究院。注：a 为串联送风方案，b 为并联送风方案

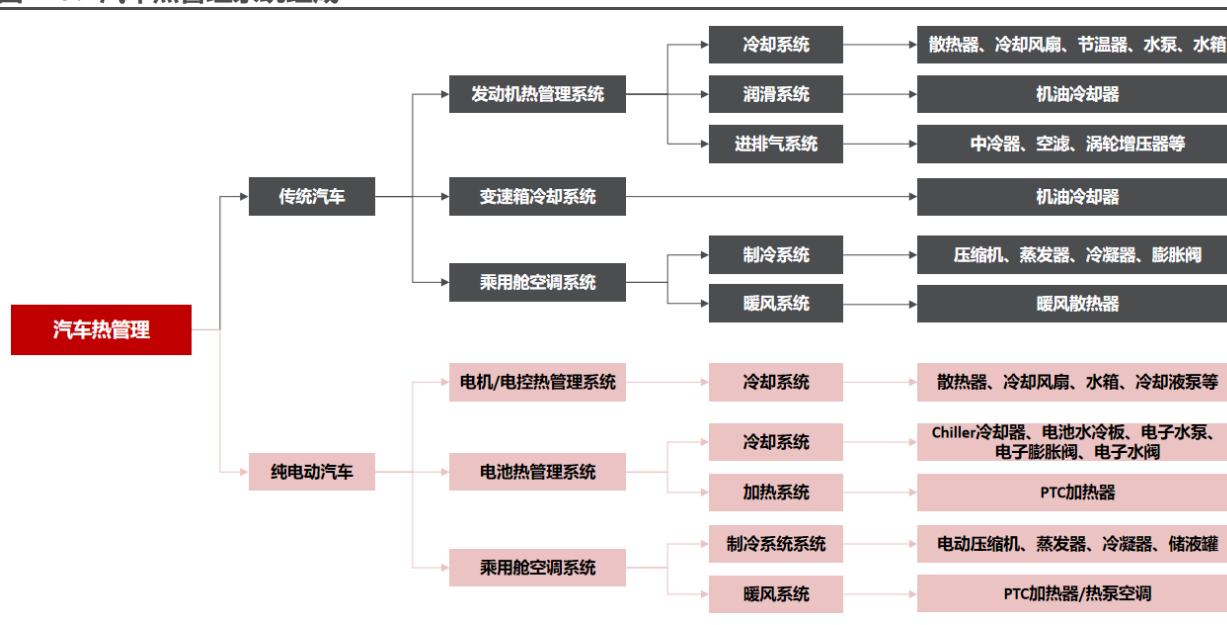
图125：液冷方式示意图（翅片液冷板）



资料来源：《Research on battery liquid-cooled system based on the parallel connection of cold plates》, 民生证券研究院

新能源汽车相比于传统车型有更多的热传输用铝需求。汽车热管理系统内部包括冷凝器、蒸发器、水箱散热器、中冷器、暖风机、油冷却器等部件，新能源汽车由于新增三电系统将会有更多的热传输需求，其中水冷板作为重要散热部件属于电池热管理系统。参考 Ducker 提供的估计，2030 年车内各部件用铝量还有进一步的增长趋势。

图126：汽车热管理系统组成



资料来源：控安汽车研究院，民生证券研究院

表40：不同动力车型热管理系统用铝测算

模块	部件	型号 (mm) /参考规格	质量 (kg)
汽车空调	冷凝器	三层复合带 (0.1~0.2×19/22/32/44×L)	2.5
汽车空调	蒸发器	三层复合带 (0.1~0.2×84.98×L)	1.5
汽车空调	暖风机		0.6
汽车空调	小计		4.6
水箱散热器	波浪带	三层复合箔带材 (0.1×34×L)	0.8
水箱散热器	冷却管带	三层复合带 (0.35×65×L)	1.4
水箱散热器	主片	双层复合带 (1.52×78×L)	0.22
水箱散热器	侧片	双层复合带 (2×40×L)	0.23
水箱散热器	拉条	300带 (1.52×L)	0.02
水箱散热器	小计		2.67
机油冷却器	油路板料		0.25
中冷器	主板、波浪带翅片		2.5
传统车合计			10.02
电池热管理系统	水冷板		10
电池热管理系统	电池冷却器	中长款单 Chiller 结构 (135.8×65.6×70)	2
新能源车合计			22.02

资料来源：《新型铝热传输材料剪切工艺及其设备研究与设计》，银邦股份招股说明书，Constellium, Ducker, AVIC，民生证券研究院

注：考虑传统与新能源汽车热管理功能存在质量重合的情况，因此新能源汽车增量主要考虑水冷板与电池冷却器两部分

表41：2030年新能源汽车主要部件含铝增量预测

项目	2022-2030年含铝增量 (kg)
电机壳	22.7
电池壳	11.8
一体化压铸	8.4
托盘	7.0
液冷板	5.1

资料来源：Ducker，民生证券研究院

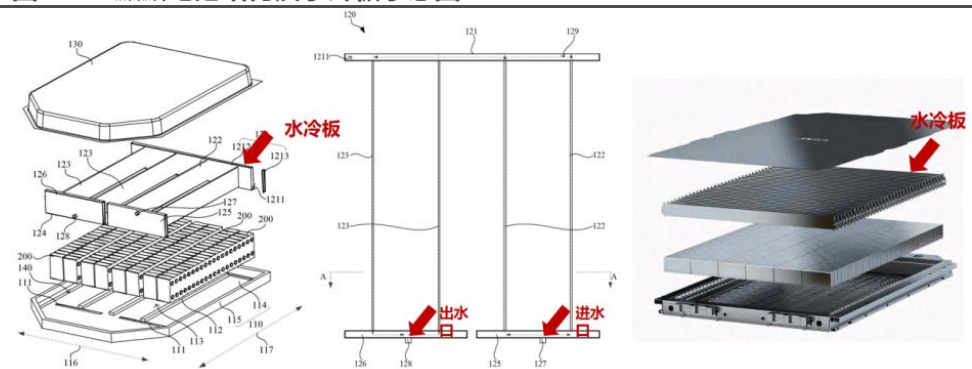
单车用铝量提升的驱动因素在于电池能量密度提升和空间结构的优化。2022年6月23日宁德时代发布第三代CTP——麒麟电池，在体积利用率突破72%的同时三元电池系统能量密度达到255Wh/kg，磷酸铁锂电池系统能量密度达到160Wh/kg。结构功能方面，麒麟电池水冷板除散热面积是传统方案的四倍还兼顾着结构支撑、电芯隔热和膨胀缓冲其他职责。从发展趋势看，未来在材料性能开发逐步面临瓶颈的条件下，汽车热传输用铝除了作为散热功能的刚需外，更要实现在性能、结构、工艺以及用量等方面的迭代更新，以满足电池空间利用率、结构部件替代与隔热性能等潜在的更多要求。

表42：国产动力锂电池能量密度逐步上升

时间	公司	名字/技术类别	能量密度 (三元)
2019年9月	宁德时代	CTP1.0	180Wh/kg
2021年3月	广汽埃安	弹匣电池	185Wh/kg
2021年6月	长城汽车	大禹电池	190Wh/kg
2021年下半年量产	宁德时代	CTP2.0	190Wh/kg
2022年5月	比亚迪	CTB 电池	280Wh/kg
2022年6月	宁德时代	CTP3.0—麒麟电池	255Wh/kg

资料来源：新锂念，OFweek，澎湃新闻，车家号，民生证券研究院

图127：麒麟电池结构及水冷板示意图



资料来源：宁德时代公司专利《箱体结构、电池及用电装置》，国家知识产权局，宁德时代官网，民生证券研究院

参考公开数据对 2020-2027 年全球乘用车水冷板市场进行测算。其中销量数据参考 Statista 和中商情报网的公开资料, 并对后三年销量进行了平滑处理; 各车型销售比重参考 Markline 和 GlobalData 数据, 液冷板参考银邦股份公开资料赋予 2023 年 11kg 的质量, 混动车液冷板用量取纯电车的二分之一并赋予新能源车液冷板用量一定的增长空间, 进而求得新能源液冷板市场规模及市场增速。

我们认为: 1) 受益于乘用车销量回暖和新能源汽车的普及, 2023 年全球新能源汽车水冷板市场将达到 14.5 万吨, 同比增长 62.96%; 2) 随着乘用车销量增速放缓以及新能源汽车的逐渐渗透, 预计未来新能源汽车水冷板市场增速将逐渐放缓, 稳定于 20-25% 的水平; 3) 预计 2027 年新能源汽车水冷板市场将达到 36.18 万吨, 2020-2027 年复合增长率为 47.63%。

表43: 2020-2027 年全球乘用车液冷板市场测算

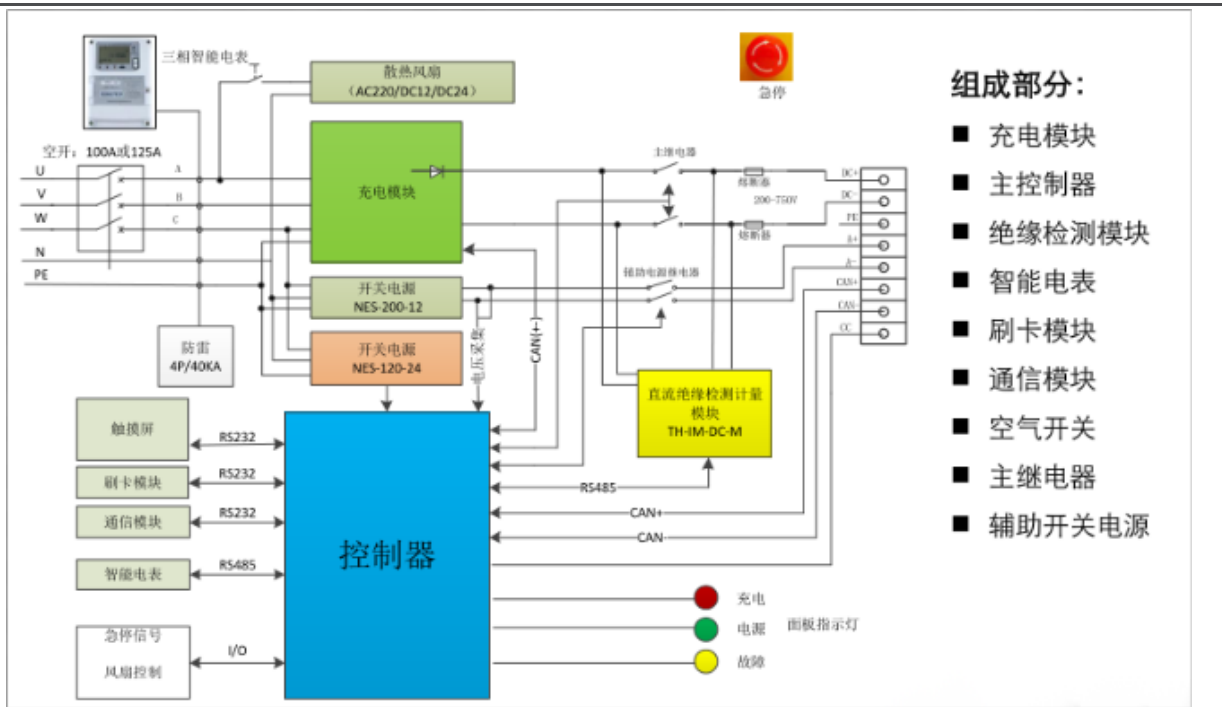
项目	2020A	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
全球乘用车销量 (千辆)	55830	57050	61580	69020	73020	73380	73590	73870
燃油车销量占比	89.6%	83.0%	76.1%	71.0%	64.8%	59.0%	54.6%	50.2%
混合动力车销量占比	4.80%	6.90%	8.70%	10.00%	11.70%	13.00%	13.70%	14.50%
混合动力车销量 (千辆)	2679.84	3936.45	5357.46	6902	8543.34	9539.4	10081.83	10711.15
单位混合动力车液冷板用量 (kg)	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
混合动力车液冷板用铝需求 (万吨)	1.07	1.77	2.68	3.80	5.13	6.20	7.06	8.03
纯电动车销量占比	2.90%	5.90%	10.10%	14.10%	15.90%	18.60%	22.00%	25.40%
纯电动车销量 (千辆)	1619.07	3365.95	6219.58	9731.82	11610.18	13648.68	16189.8	18762.98
单位纯电动车液冷板用量 (kg)	8	9	10	11	12	13	14	15
纯电动车液冷板用铝需求 (万吨)	1.30	3.03	6.22	10.71	13.93	17.74	22.67	28.14
新能源车液冷板用铝总需求 (万吨)	2.37	4.80	8.90	14.50	19.06	23.94	29.72	36.18
同比增速		102.80%	85.35%	62.96%	31.43%	25.64%	24.14%	21.72%

资料来源: Markline, GlobalData, Statista, 中商情报网, 纳百川招股说明书, 银邦股份公告, 民生证券研究院测算

4.2.4 液冷充电桩开辟新能源基础设施新市场

充电桩作为新能源汽车基础设施承担着关键作用。在新能源汽车市场迅速发展的同时, “续航里程”一直是影响消费者是否购买新能源汽车的关键因素之一, 除了汽车本身的续航能力外, 充电桩作为电动汽车提供能量补充的充电装置, 其功能类似于加油站里面的加油机, 安装于公共建筑和居民小区停车场或充电站内, 可以根据不同的电压等级为各种型号的电动汽车充电。在新能源汽车不断渗透的背景下, 我国充电桩市场在日渐庞大。根据国家发改委数据, 截至 2023 年 6 月底, 我国累计建成各类充电桩超过 660 万台, 累计建成换电站超过 2200 座。

图128：直流充电桩电气结构示意图



资料来源：21 世纪电源网，民生证券研究院

按照不同的充电技术分类，充电桩充电模式可分为交流充电和直流充电。交流充电又称“慢充”，即充电桩输入电动汽车交流电，由电动汽车通过车载充电机（OBC）将电网的交流电进行变压和整流，转换为直流电后对动力电池充电。直流充电又称“快充”，即将电网输入的交流电通过直流充电桩内置的充电模块变压整流为直流电，再通过充电枪输入给电动汽车内部的动力电池。与交流充电相比，直流充电一般具有功率高、充电快的特点，技术和设备与交流充电相比更为复杂，直流充电桩的制造成本和安装成本也较高，更适用于对充电速率要求较高的应用场景。

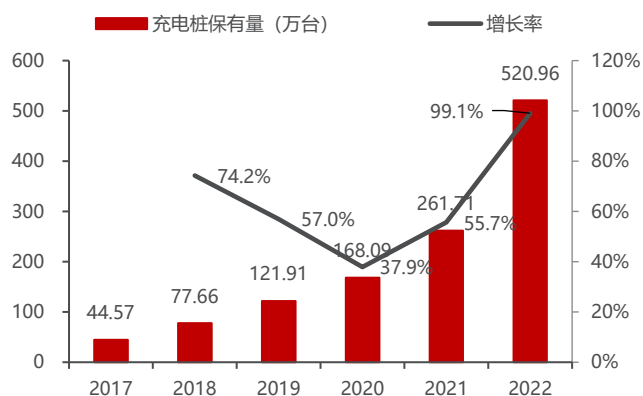
表44：不同充电桩充电技术对比

项目	直流充电	交流充电
功率等级	充电桩功率一般不超过 60KW	充电桩功率一般为 7KW
充电速度	充电速度较快	充电速度较慢
成本	设备较复杂，成本较高	技术较成熟，成本较低
体积大小	体积较大，占地面积较大	体积较小，易于安装
应用场景	公交、出租车、物流车、重卡等运营车辆的集中场所，以及充电站、高速公路服务区等公共服务场所	居民社区、公共停车场、购物中心等

资料来源：优优绿能招股说明书，民生证券研究院

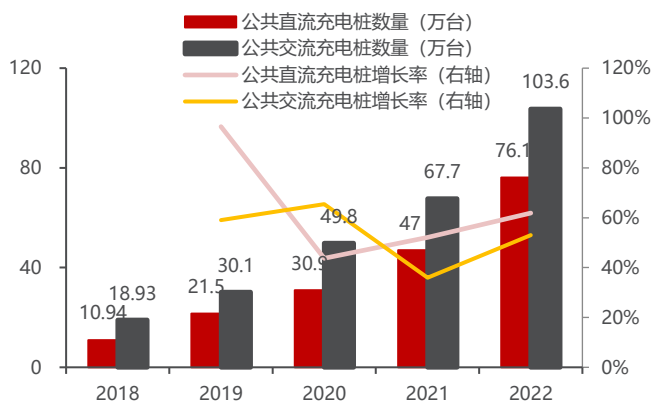
我国充电桩市场发展迅速，充电桩保有量加快攀升。在新能源汽车销量、保有量持续增加以及国家政策扶持的背景下，我国充电基础设施建设进入高速发展阶段。根据充电联盟的数据显示，2022 年末中国大陆充电桩保有量达到 520.96 万台，2017-2022 年均复合增长率达 63.51%。其中公共直流充电桩 76.10 万台，公共交流充电桩 103.60 万台，均实现大幅增长。

图129：中国大陆充电桩保有量及增长率



资料来源：优优绿能招股说明书，充电联盟，iFinD，民生证券研究院

图130：中国大陆公共直流、交流充电桩保有量及增长率



资料来源：中国信息通信研究院，民生证券研究院

华为发布全液冷超快充充电桩，2024 年底布局将超过 10 万个。目前充电桩行业玩家众多，除传统车企外，2023 年 4 月，华为在第二十届上海国际汽车工业展览会上正式并发布了“新一代全液冷超充架构”的充电网络解决方案，融合光储，通过“一个架构、两个协同、三个极致”，实现十年 IRR 提升 66.7%。液冷散热确保设备 10 年使用寿命，全模块化打造单柜最大功率 720kW、12 路枪线输出，功率共享使市电利用率提升 30%，实现全生命周期 TCO 下降 40%。11 月 28 日，在智界 S7 及华为全场景新品发布会上，华为常务董事、终端 BG CEO、智能汽车解决方案 BU 董事长余承东预计到 2024 年年底，华为全液冷超充桩布局将超过 10 万个。

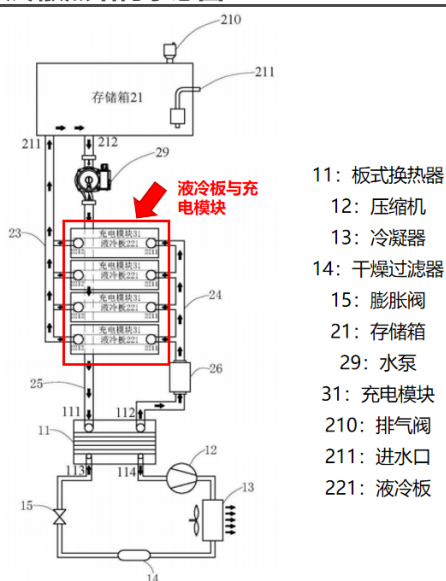
图131：华为新一代全液冷超快充电桩



资料来源：国际能源网，民生证券研究院

从趋势上看，液冷方案的渗透是充电效率与使用安全的综合选择。参考小得热能科技说明，目前充电桩市场呈现以下几个发展趋势：**直流代替交流、充电模块大功率化、标准化，液冷散热替代风冷散热，去 OBC 化**。这四个趋势又进行着相互作用，直流电使得新能源汽车充电时间减少，充电效率明显提高，同时充电模块的大功率趋势将促使电池在一定体积内的能量密度进一步提高，快充使得电流增大产热明显，对于充电设备的散热能力要求提升显著，液冷技术将在高压快充趋势下得到广泛运用。

图132：充电桩液冷散热结构示意图



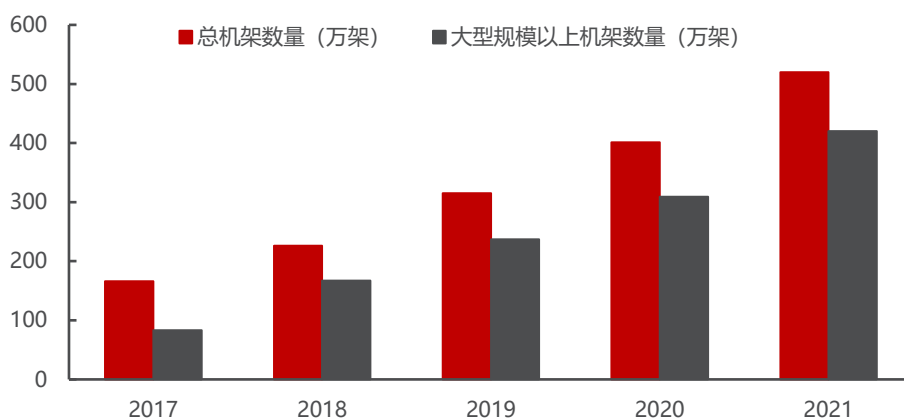
资料来源：国家知识产权局《充电桩散热系统和充电桩》，民生证券研究院

4.2.5 AI 产业与锂电储能液冷有望打开新的市场空间

(1) 数据中心快速发展，液冷成为散热产业未来发展方向

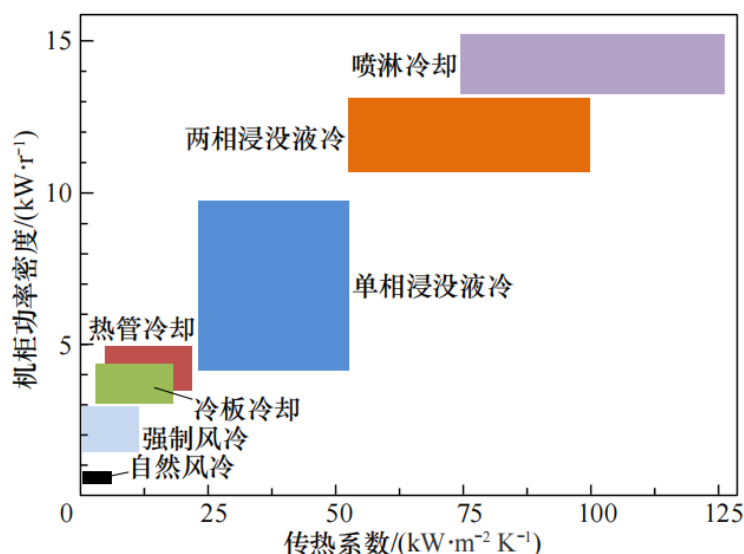
当前我国数据中心正处于快速发展期，尤其是大型以上数据中心规模增长迅速，按照标准机架 2.5kW 统计，截至 2021 年年底，我国在用数据中心机架规模达到 520 万架，近五年年均复合增速超过 30%。其中大型以上数据中心机架规模为 420 万架，占比达到 80%。水的导热率是空气的 23 倍，相同体积下水的吸热能力远大于空气。液冷散热模组虽然成本更高，但其散热功耗可突破千瓦，替代风冷散热成为服务器散热产业发展的前进方向。

图133：我国数据中心机架规模



资料来源：工信部信息通信发展司，民生证券研究院

图134：机柜功率密度及相应散热模式图

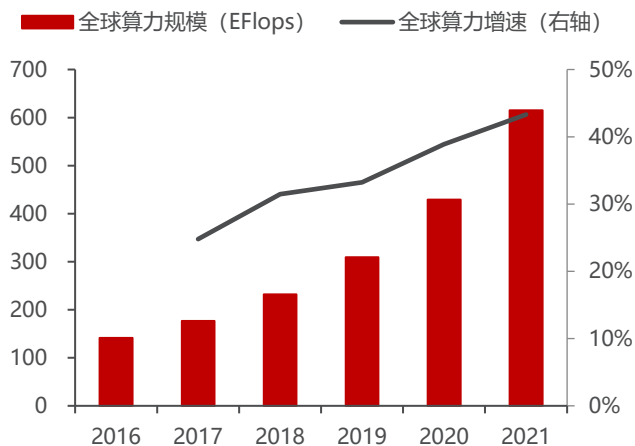


资料来源：《绿色高效数据中心散热冷却技术研究现状及发展趋势》(陈心拓,周黎暘,张程宾等)，民生证券研究院

(2) AI 蓬勃发展，算力需求快速提升

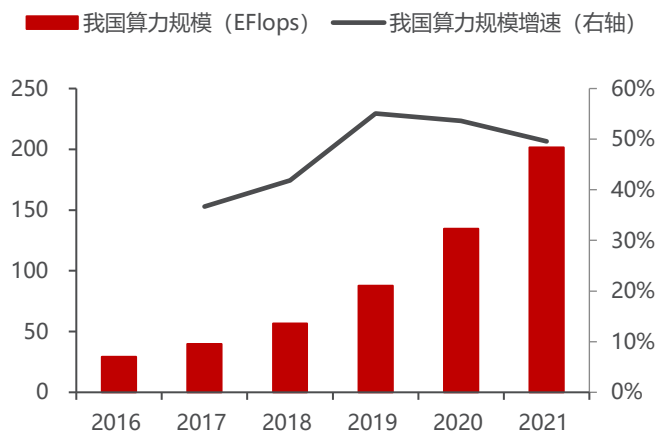
以 ChatGPT 为代表的人工智能生成内容催动我国算力规模增长。人工智能生成内容 (AIGC) 又称生成式 AI，是指利用人工智能技术来生成内容，包括绘画、作曲、剪辑、写作等。OpenAI 在 2018 年推出的 GPT 参数量为 1.17 亿，预训练数据量约 5GB，而 GPT-3 参数量达 1750 亿，预训练数据量达 45TB。在模型训练阶段，根据 OpenAI 公布数据，ChatGPT 的总算力消耗约为 3640PF-days。结合中国信通院和华为 GIV 公布的数据，2021 年全球计算设备算力总规模达到 615EFlops，预计 2030 年全球算力规模将达到 56ZFlops，年复合增长率达 65%。

图135：全球算力规模及增速



资料来源：中国信息通信研究院，民生证券研究院

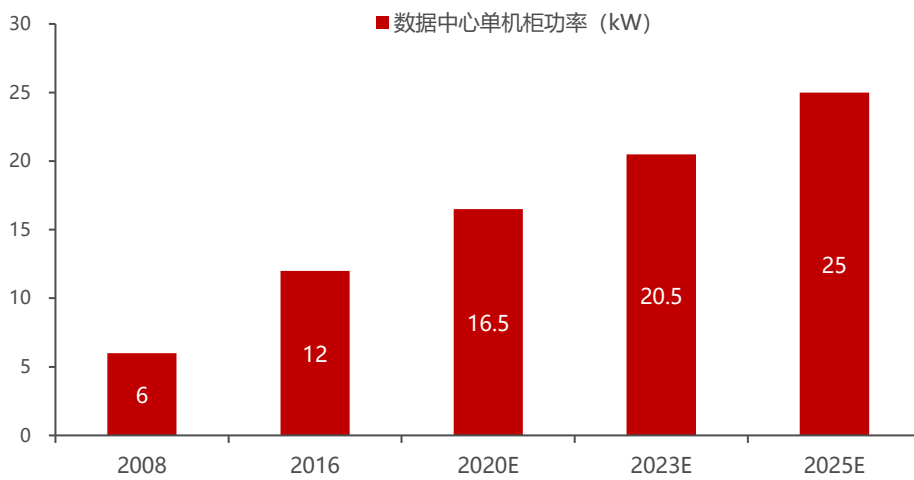
图136：我国算力规模及增速



资料来源：中国信息通信研究院，民生证券研究院

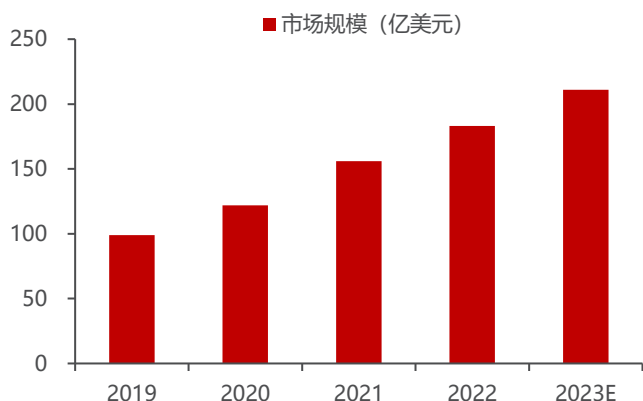
算力提升直接带动服务器需求。作为解决算力的核心支撑，AI 服务器既可以用来支持本地应用程序和网页，也可以为云和本地服务器提供复杂的 AI 模型和服务，因而算力作为刚需将直接带动服务器的性能与市场需求提升。具体而言，**性能：**据 CDCC 调研统计，2021 年全行业 8kW 以上机组占比约为 11%，2022 年 8kw 以上机组占比达到约 25%；据 Colocation America 数据，2020 年全球数据中心单机柜平均密度达 16.5kW，赛迪顾问预计至 2025 年该数值有望达到 25kW；**出货量：**2022 年全球 AI 服务器出货量约为 14.5 万台，预计 2023 年出货量将达 15 万台，2026 年将增长至 22.5 万台，年复合增长率达 11.6%；**市场规模：**中商情报网预计 2019 年全球 AI 服务器市场规模为 99 亿美元，2022 年为 183 亿美元，预计 2023 年市场规模将达 211 亿美元，2019-2023 年复合增长率约为 16.6%。

图137: 2025 年全球数据中心单机柜平均功率有望达 25kW



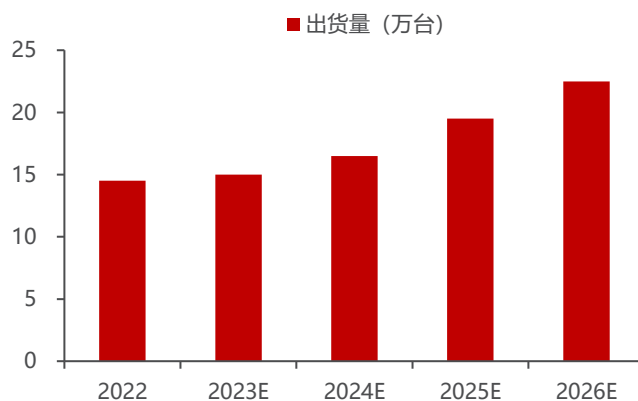
资料来源: Colocation America, 赛迪顾问, 民生证券研究院

图138: 全球 AI 服务器市场规模预测



资料来源: 中商情报网, 民生证券研究院

图139: 全球 AI 服务器出货量预测



资料来源: 中商情报网, 民生证券研究院

功率提升催动散热性能, 铝热传输可用于冷板式方案市场。 受限于数据中心建设面积及环保要求, 传统风冷难以满足散热需求, 需要液冷技术提升服务器使用效率及稳定性。而液冷主要包括浸没式、喷淋式、冷板式三种主流方式, 其中冷板式液冷是目前最成熟的方案, 安装较为简洁, 改造成本低, 材料的兼容性好, 发展速度最快。从发展趋势来看, 参考《电信运营商液冷技术白皮书》等数据, 预计到 2025 年液冷服务器渗透率大约保持在 20%-30%的水平, 届时 50%的服务器都将应用液冷技术, 受高密度服务器和 GPU 功耗增加等需求驱动, 叠加液冷成本的逐步可控, 未来风冷将逐步被液冷替代, 有望打开铝热传输新市场。

表45：冷板式、浸没式、喷淋式液冷技术方案对比

分类	冷板式液冷	浸没式液冷	喷淋式液冷
作用原理	冷却液与服务器发热部件不直接接触，将液冷冷板固定在服务器的主要发热器件上依靠流经冷板的液体将热量带走	服务器发热部件完全浸泡在冷却液中，发热部件与冷却液接触充分发出的热量随时被循环的冷却液带走	面向服务器发热部件，冷却液借助重力或系统压力直接喷淋至发热器件或与之连接的固体导热材料上，与之进行热交换
冷却液使用情况	冷却液用量小，要求低	冷却液用量大，对冷却液安全性要求高	冷却液用量适中，要求高
建设成本	主要成本在换热系统和冷却系统，成本适中	架构调整大且冷却液用量大，成本较高	仅增加必需装置，成本较低
服务器改造成本	冷板需要定制，改造成本高	无需改造，新、老设备均可使用	服务器改动小，成本较低
运营成本	与传统风冷基本相同，运维成本低	遇故障需将服务器从冷却液中取出，运维成本高	服务器部件表面带有冷却液，运维成本适中
服务器兼容性	根据服务器定制冷板，兼容所有机器	因冷却液不同，需要进行兼容性测试	因冷却液不同，需要进行兼容性测试
空间利用率	较高	中等	最高
总结	散热均匀，可靠性高，维护方便，但成本高，更适合高性能计算和更高规格的机房	散热效果好，系统稳定，具备性价比优势但对机房要求较高，不利于管理和维护	散热快速，节能降耗，操作便利，但成本较高且适应范围较窄，不适合高密度服务器和超大规模数据中心

资料来源：通信世界，民生证券研究院

(3) 新型储能热管理需求打造铝热传输新增长极

电化学储能系统主要包括电池模组、逆变器、EMS、BMS 等多个部件。基于储能系统的构成，储能产业链上游包括电芯厂家和各类电子元器件厂家；储能产业链中游主要包括储能电池厂家、逆变器厂家、BMS 厂家、EMS 厂家以及储能系统生产商等；储能产业链下游则包括储能系统销售渠道（安装商、贸易商等）以及包括发电侧、电网侧和用户侧在内的各类用户。

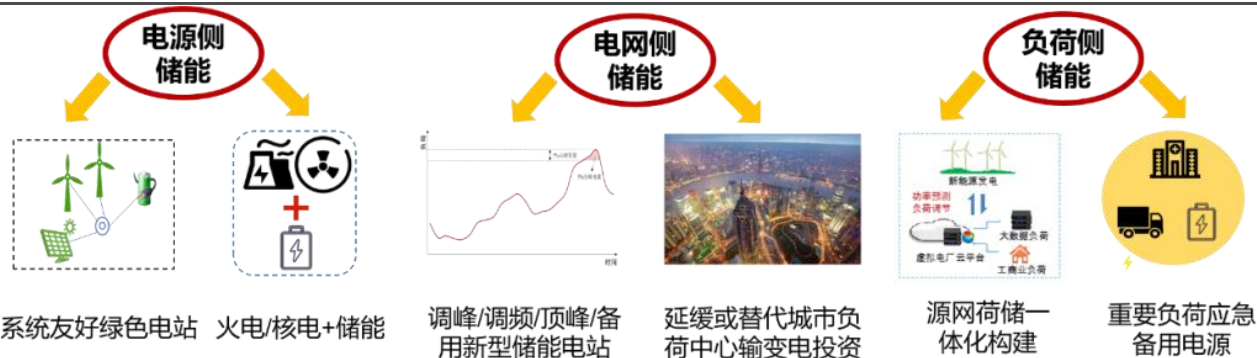
图140：储能产业链结构图



资料来源：沃太能源招股说明书，民生证券研究院

储能按照应用场景分类可以分为电源侧、电网侧、用户侧储能，其中电源侧、电网侧储能可称为表前储能或大储，用户侧储能又称为表后储能，具体还可分为工商业储能与家庭储能。2023年1月，国家能源局印发《新型电力系统发展蓝皮书（征求意见稿）》，提到新型电力系统以确保能源电力安全为基本前提、以满足经济社会发展电力需求为首要目标、以最大化消纳系能源为主要任务，以“源网荷储”互动与多功能互补为支撑，其中发电侧、电网侧、用户侧储能分别对应“源网荷储”的源、网、荷（储）。储能在我国新型电力系统建设中发挥重要作用。

图141：源网荷各侧新型储能应用场景



资料来源：新型电力系统发展蓝皮书（征求意见稿），民生证券研究院

液冷方案目前是工商业储能热管理的主流选择，户储使用传统风冷就可以满足散热要求。用户侧储能方面，工商业与户用储能有很大不同。工商业储能主要应用于充电站、工业园区、数据中心、通信基站等用电规律的对象，一般使用功率高、占地面积大，通常 1MWh 的储能电站占地面积为 10 平方米左右，如考虑前后安全距离则需 20-30 平方米，液冷方案目前是工商业储能热管理的主流选择；户用储能通常包括蓄电池、超级电容器和储热水箱等设备，可以将家庭自产的太阳能、风能等清洁能源进行有效的储存，由于户用储能发热量较小，因而热管理方面传统风冷就可满足散热需求。

表46：户用储能系统和工商业储能系统的技术对比

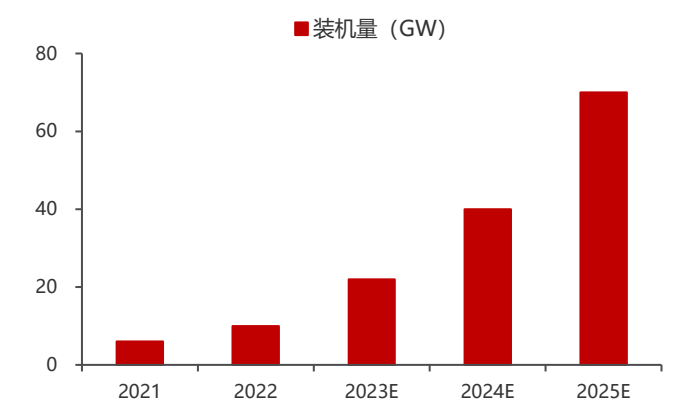
项目	户用储能系统	工商业储能系统
应用场景	1kW 至 10kW 功率段的家庭应用场景为主	30kW 功率以上的应用场景为主
技术难点	<ol style="list-style-type: none"> BMS 方面：各电池模组的内阻及动力线的阻抗差异会影响电池的充放电电流，使得各电池电量状态不一致，从而影响电池一致性，进而影响系统使用寿命。因此，如何提升电池模组间的一致性为行业技术难点； EMS 方面：由于不同用户针对不用应用场景和不同工况有多样化的需求，因此 EMS 的多功能性属于行业技术难点； 热管理方面：户用储能系统多安装于家庭生活场景中，因此热管理直接影响系统安全性。此外，热管理对于电池一致性、均衡性均有较大影响，属于行业技术难点； 充放电控制模型：充放电控制模型直接影响了产品的经济性，因此如何实现更优化的控制逻辑也是行业的技术难点 	<ol style="list-style-type: none"> BMS 方面：工商业储能系统的电池模组数量远多于户用储能系统，因此电池模组间的一致性、均衡性管理难度更大； 结构设计方面：工商业储能系统需要对集装箱级别的产品进行热管理、安全管理，因此整体结构的合理、高效、安全设计属于行业技术难点； 热管理方面：工商业储能系统的电池模组数量远多于户用储能系统，因此如何控制模组间的温升、温差属于行业技术难点； 系统电气安全方面：工商业储能系统涉及多系统并网及控制，需要多种高压电气控制器件对系统进行分级通断控制和安全保护。如果设计不合理，会导致系统保护不及时、保护失效或电气件燃弧等情况发生，诱发储能系统的安全问题。因此如何提升系统电气安全的有效性成为行业技术难点
技术壁垒	铜、不锈钢、硅石	铝

资料来源：沃太能源《发行人及保荐机构关于问询回复函的回复》，民生证券研究院

低碳政策叠加成本下行有望促进新型储能市场快速放量。2021年7月15日，国家发改委明确将发展新型储能作为提升能源电力系统调节能力、综合效率和安全保障能力，支撑新型电力系统建设的重要举措，新型储能成为能源领域碳达峰碳中和的关键支撑。而作为电化学储能成本的重要来源，碳酸锂的价格在经历 2022 年的高峰期后逐步走低，低碳政策叠加成本下行有望促进储能市场快速放量。根据 CESA 数据，2022 年中国新型储能新增装机量约为 14.7GW，其中锂离子电池储能占比 90.7%，预计 2023 年我国新型储能市场规模有望达到 15GW-20GW。

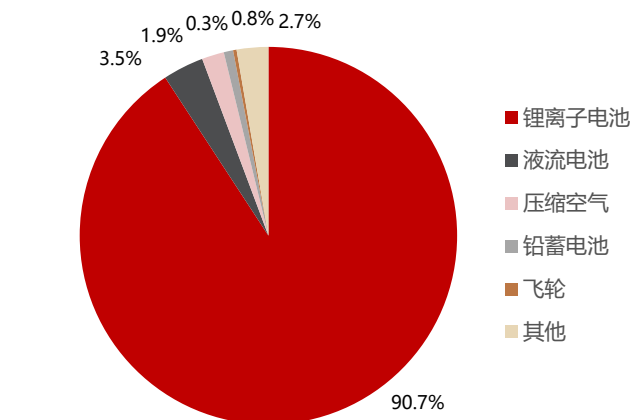
2023-2025 年增量接近 60GW（不含抽水蓄能），到 2025 年累计规模有望达到 70GW。

图142：“十四五”新型储能累计装机容量预测



资料来源：CESA，民生证券研究院

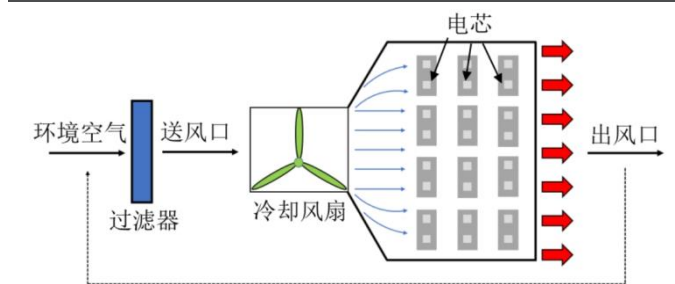
图143：2022 年我国新型储能装机占比



资料来源：CESA，民生证券研究院

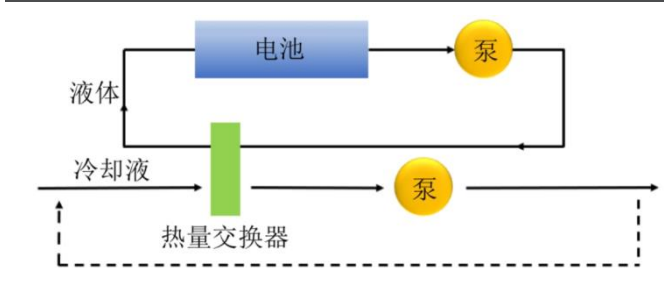
热管理是电化学储能的重要环节，液冷方案优势凸显。目前主流储能热管理方案有风冷和液冷两种方式，风冷是以低温空气为介质，利用自然风或风机与电芯产生热对流，进而降低电池温度。风冷结构简单，但是换热效率低下且无法实现精准控温，相比而言液冷方案采用水、乙醇、制冷剂冷却液，通过液冷板上均匀分布的导流槽和电芯间接接触，靠近热源、换热效率高、能耗低，可以保证电池单体温度的一致性。预计未来随着高容量储能电池系统需求起量，更高效的液冷方案渗透率将快速提升。

图144：储能热管理系统风冷方式示意图



资料来源：《集装箱储能系统热管理系统的现状及发展》朱信龙等，民生证券研究院

图145：储能热管理系统液冷方式示意图



资料来源：《集装箱储能系统热管理系统的现状及发展》朱信龙等，民生证券研究院

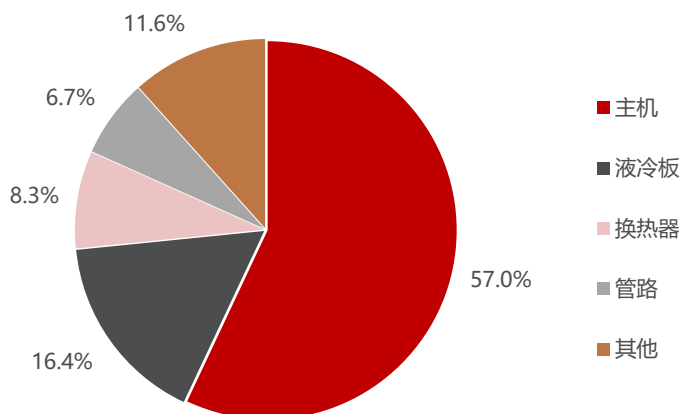
表47：储能热管理系统液冷方案优势明显

方案	风冷	液冷
冷却介质	空气	液体（水、含水乙醇等）
接触方式	直接	间接
设计和安装难度	简单	复杂
换热系数	25-100	1000-50000
散热效率	中	高
占地面积	大	较小
PUE 值	1.5	<1.1
可靠性	部件多，可靠性略低	部件较少，故障点少，可靠性优
自耗电	大	小

资料来源：《A review of power battery thermal energy management》Zhonghao Rao 等，民生证券研究院

液冷板作为液冷方案的重要部件有望打开铝热传输新市场。储能液冷系统主要包括液冷板、液冷主机、管路、接头、蒸发器等。液冷板作为液冷方案的重要部件在成本上占比达到约 16%，仅次于主机，储能温控有望成为液冷板新增长极。

图146：储能液冷方案成本占比（2022）



资料来源：艾邦储能与充电，华经产业研究院，民生证券研究院

4.2.6 AI 服务器与锂电储能液冷市场空间测算

参考上文对全球 AI 服务器液冷市场空间进行测算。其中 AI 服务器出货量数据参考中商情报网数据预计 2025 年达到 19.5 万台；单台 AI 服务器平均功率以英伟达 DGXA100 服务器为例并参考财联社数据，赋予 2022 年 6 kW 的功率，且年增长率为 20%；考虑 AI 服务器属于高功率服务器，传统风冷方案难以满足散热

需求，因此假设均使用液冷方案，其中冷板式与浸没式液冷价格数据参考《基于价值工程的数据中心液冷与风冷比较分析》等数据并进行取整处理，分别为 12000 元/kw 和 4000 元/kw，并赋予每年 10% 的降本水平，两种方案占比参考赛迪研究院数据，进而求得市场规模与增速。

结论：我们预测 2023-2025 年 AI 服务器液冷市场规模分别为 66.87/ 81.29/ 106.12 亿元，其中冷板式方案 24.88/28.64/35.37 亿元，浸没式方案 41.99/52.66/70.75 亿元；2022-2025 年 AI 服务器液冷市场需求年复合增长率为 21.50%。

表48：全球 AI 服务器液冷市场规模测算

项目	2022E	2023E	2024E	2025E
AI 服务器出货量 (万台)	14.5	15	16.5	19.5
AI 服务器平均功率 (kw)	6.0	7.2	8.6	10.4
AI 服务器总功率需求 (Mw)	870	1080	1426	2022
冷板式方案占比	65%	64%	62%	60%
冷板式方案功率 (Mw)	566	691	884	1213
冷板式方案价格 (元/kw)	4000	3600	3240	2916
冷板式方案市场规模 (亿元)	22.62	24.88	28.64	35.37
浸没式方案占比	35%	36%	38%	40%
浸没式方案总功率 (Mw)	305	389	542	809
浸没式方案价格 (元/kw)	12000	10800	9720	8748
浸没式方案市场规模 (亿元)	36.54	41.99	52.66	70.75
AI 服务器液冷市场规模 (亿元)	59.16	66.87	81.29	106.12
同比增速		13.04%	21.56%	30.54%
年复合增长率		21.50%		

资料来源：中商情报网，英伟达，财联社，赛迪研究院，《基于价值工程的数据中心液冷与风冷比较分析》，民生证券研究院测算

参考上文对中国锂电新型储能液冷方案进行市场规模测算。其中装机总量数据来源于 CESA；平均储能时长参考国家能源局公布的 2023 年上半年的 2.1 小时并假设未来略有上升；锂电方案装机占比参考 CESA 公布的 2022 年数据并结合发展趋势预测 2025 年为 93%；锂电装机价格参考储能产业技术联盟公布的 2023 年 8 月的 2 小时磷酸铁锂电池储能系统（不含用户侧应用）中标均价 1084.96 元/kWh，同时赋予未来每年 10% 的降本水平；液冷方案价格参考高工储能等数据并结合实际情况估计 2022 年为 0.9 亿元/Gwh 并给予 5% 的年降本水平，液冷板成本占比参考爱邦储能与充电公布的数据并假设在未来保持不变，进而求得锂电储能市场以及对应的液冷市场和液冷板市场规模。

结论：我们预计 2022-2025 年我国新型锂电储能市场规模分别为 82.7/230.5/320.2/496.5 亿元，年复合增长率为 81.78%，对应液冷市场

1.71/6.06/10.65/21.8 亿元，液冷板市场 0.27/0.97/1.70/3.49 亿元。若液冷板价值量占比不变，则预估液冷市场与液冷板市场 2022-2025 年复合增长率为 133.41%。

表49：中国锂电新型储能液冷方案市场规模测算

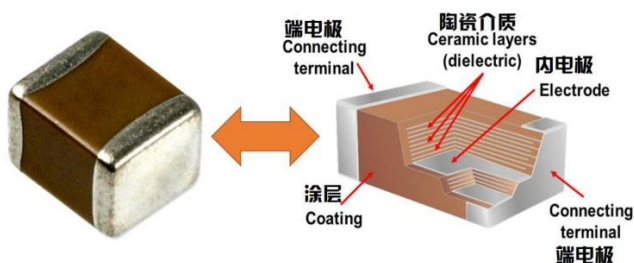
项目	2022E	2023E	2024E	2025E
新型储能累计装机量(GW)	10	22	40	70
新型储能新增装机量 (GW)	4	12	18	30
平均储能时长	2.1	2.15	2.2	2.25
锂电方案装机占比	90.70%	91.50%	92%	93%
锂电新增装机量 (GWh)	7.62	23.61	36.43	62.78
锂电装机价格 (元/kwh)	1085	976	879	791
锂电储能市场规模 (亿元)	82.7	230.5	320.2	496.5
年复合增长率		81.78%		
液冷方案占比	25%	30%	36%	45%
液冷方案价格 (亿元/GWh)	0.90	0.86	0.81	0.77
锂电储能液冷市场规模 (亿元)	1.71	6.06	10.65	21.80
液冷板成本占比	16%	16%	16%	16%
锂电储能液冷板市场规模 (亿元)	0.27	0.97	1.70	3.49
年复合增长率		133.41%		

资料来源：CESA，国家能源局，储能产业技术联盟，高工储能，艾邦储能与充电，民生证券研究院测算

4.3 金属镍粉材料：MLCC 电极核心材料，享电子复苏红利

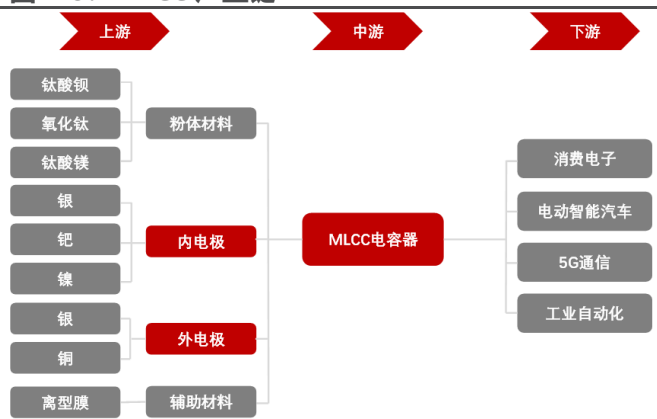
电子高端金属粉体材料是 MLCC 内外电极制作的重要原材料，包括银、钯、铜、镍等，纳米级镍粉是 MLCC 内电极的重要原材料。MLCC 是由印好电极（内电极）的陶瓷介质膜片以错位的方式叠合起来，经过一次性高温烧结形成陶瓷芯片，再在芯片的两端封上金属层（外电极）而成。MLCC 原材料主要包含陶瓷粉料、内外电极浆料和辅助材料，陶瓷粉料主要原料是钛酸钡、氧化钛、钛酸镁等，内外电极浆料主要原料包含银、钯、铜、镍等金属粉体材料和粘结剂（玻璃相）、有机载体等，辅助材料主要是离型膜。金属粉体材料在浆料中含量较高，它是决定电极性能的主要因素，电极浆料经高温烧结后，其中的金属粉体材料形成金属网络结构实现导电功能。MLCC 内电极一般选择钯-银合金(1220℃)、钯(1549℃)、镍(1445℃)等高熔点金属粉体材料，要求能够在 1400℃左右高温下烧结而不致发生氧化、熔化、挥发、流失等现象（由于 MLCC 采用 BaTiO3 系列陶瓷作介质，一般都在 950~1300℃左右烧成）；MLCC 外电极主要是连接内电极，使用的金属粉体材料一般是银和铜，其烧结温度低于内电极材料和陶瓷介质材料，由其制成的电极浆料适用于 MLCC 外电极的二次烧结。

图147：MLCC 结构图



资料来源：乃棠电子，民生证券研究院

图148：MLCC 产业链

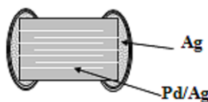
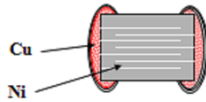


资料来源：博迁新材招股说明书，华经情报网，民生证券研究院

BME 制程技术采用贱金属镍、铜金属粉体材料制作 MLCC 电极，具备成本优势和小尺寸优势，占据市场主流。根据采用的金属材料不同，MLCC 有 NME (Noble Metal Electrode, 贵金属电极)和 BME (Base Metal Electrode, 贱金属电极) 两种制程技术。早期 MLCC 采用 NME 制程技术利用钯、银等贵金属材料制作，烧结气氛是空气，产品具有高可靠性、耐高压等特性，但成本较高。镍具有成本低、电导率高、电迁移率小、对焊料的耐蚀性和耐热性好、烧结温度较高等特点，并且与陶瓷介质材料的高温共烧性较好，BME 制程技术应运而生。BME 制程技术采用镍、铜等贱金属材料替代之前的贵金属材料，虽然在烧结时为了避免氧

化需要营造合适的烧结气氛，但微观结构（即晶粒）更加均匀可以在固定结构内叠加更多的电极和电介质层提供更高的容值。凭借成本优势和小尺寸优势 BME 制程技术逐步占据主流。

图149: NME 和 BME 对比

制程技术	NME (Noble Metal Electrode)	BME (Base Metal Electrode)
图片示例		
材料	金属材料: 银/钯 成本: 高	金属材料: 镍/铜 成本: 低
制程	热制程: 空气 成本: 低	热制程: 氮/氢, 还原气氛 成本: 高
产品	低容、高压产品	高容产品

资料来源: 深圳市千代源电子有限公司, 民生证券研究院

MLCC 用金属粉体材料在熔点、纯度、粒径、形貌、振实密度、电迁移率等性能特点上都有严苛要求。熔点方面, MLCC 内电极用金属粉体材料熔点一般要高于 1000°C, 从而防止与陶瓷介质同时烧结时发生金属粉末的熔化现象, MLCC 外电极用金属粉体材料熔点一般比陶瓷介质烧结温度低; 纯度方面, 为了保证良好的导电性 MLCC 金属粉体材料纯度必须要高; 粒径方面, MLCC 内电极用金属粉体材料粒径一般为亚微米级到纳米级, MLCC 外电极用金属粉体材料粒径一般在微米级到亚微米级, 并且粒径要均匀; 形貌方面, MLCC 电极用金属粉体材料要求为球形或类球形, 并且分散性要好, 粒径均匀的球形金属粉末可保证导电浆料的均匀性, 使金属颗粒在烧结后接触良好; 振实密度方面, MLCC 电极用金属粉体材料的振实密度要足够大, 金属粉末的振实密度越大, 在烧结过程中抗收缩能力越强; 电迁移率方面, MLCC 电极用金属忌有高迁移性, 以防止与陶瓷介质同时烧结时向介质中扩散, 影响介质的介电性能。

表50: MLCC 用金属粉体性能要求

性能	熔点	纯度	粒径	形貌	振实密度	电迁移率
要求	内电极材料熔点高于 1000°C, 外电极熔点低于烧结温度	高纯度以保证导电性	内电极亚微米级到纳米级, 外电极微米级到亚微米级, 粒径要均匀	球形, 分散性好	振实密度越大, 在烧结过程中抗收缩能力越强	忌有高迁移性, 以防止与陶瓷介质同时烧结时向介质中扩散, 影响介质的介电性能

资料来源: 乃棠电子, 民生证券研究院

高端金属粉体制造工艺复杂，技术要求高，制备方法可分为机械法、化学法和物理法。机械法是借助机械外力将金属破碎成所需粒径粉末的加工方法，代表方法有雾化法和高能球磨法。高能球磨法工艺简单，成本低，产量大，但是粉末纯度低、粒径不均匀；雾化法虽然制得粉体球形度高、粒度可控、氧含量低、生产成本低，但生产效率较低，超细粉末收得率不高。化学法是在粉末制备过程中，通过改变原料的化学成分获得超细粉末的生产方法，代表方法有电解法、羰基法和还原法。电解法制得粉体纯度高，粒度可控，但是耗电量大，成本较高；羰基法制得的粉末很细，纯度很高，但成本高；还原法操作简单，生产效率高，成本较低，但是只适用于易与氢气反应、吸氢后变脆易破碎的金属材料。物理法代表方法是常压等离子体加热气相冷凝法（PVD法），是将纯金属经高温熔融至沸点形成金属蒸汽，随后快速冷却为粉末状固体颗粒，整个过程在密闭的氮气系统内运行，都是物理变化。PVD法可用以制备绝大部分的纳米级、亚微米级和微米级球形纯金属粉体或合金粉体，具有多品种、灵活多变的生特点；制备的粉体具有高纯度、高球形度、高结晶度、分散性好、抗氧化能力强、夹杂少、粘接/团聚少的特性；生产流程短，既适合于大批量常规粉体产品生产，也适合于客户定制的小批量特殊规格粉体生产，生产灵活度高，大大提高资源和设备的使用效率。

表51：高端金属粉体材料制备工艺对比

方法分类	代表方法	具体介绍	工艺特点
物理法	常压等离子体加热气相冷凝法（PVD法）	PVD法生产过程是纯金属经高温熔融至沸点形成金属蒸汽，随后快速冷却为粉末状固体颗粒，整个过程是物理变化，并且在密闭的氮气系统内运行，生产所需的氮气和冷却水循环回收利用，资源利用率高，对环境绿色友好。	制得粉体具有高纯度、高球形度、高结晶度、分散性好、抗氧化能力强、夹杂少、粘接/团聚少的特性；同时生产流程短，生产灵活度高，可以根据市场需求最大限度利用生产能力，提高资源和设备的使用效率。
	电解法	电解法是通过电解熔盐或盐的水溶液使得金属粉末在阴极沉积析出的方法。用电解法几乎可以制取所有金属粉末，生产铜粉、银粉、锡粉尤为适宜。	电解法制取的金属粉末纯度较高，一般单质粉末的纯度可达99.7%以上，另外还可以很好的控制粉末的粒度，可以制取出超精细粉末；缺点是制粉耗电量大，制粉成本较高。
化学法	羰基法	羰基法是将某些金属（铁、镍等）与一氧化碳合成为金属羰基化合物，再热分解为金属粉末和一氧化碳。	羰基法制得的粉末很细，纯度很高，但成本高
	还原法	金属氧化物及盐类的还原法基本原理为，所使用的还原剂对氧的亲合力比氧化物和所用盐类中相应金属对氧的亲合力大，因而能够夺取金属氧化物或盐类中的氧而使金属被还原出来。	还原法优点是操作简单，工艺参数易于控制，生产效率高，成本较低，适合工业化生产；缺点是只适用于易与氢气反应、吸氢后变脆易破碎的金属材料。
机械法	雾化法	雾化法一般是利用高压气体、高压液体或高速旋转的叶片，将经高温、高压熔融的金属或合金破碎成细小的液滴，然后在收集器内冷凝而得到超细金属粉末，该过程不发生化学变化。	雾化粉末具有球形度高、粉末粒度可控、氧含量低、生产成本低以及适应多种金属粉末的生产等优点，但雾化法具有生产效率低，超细粉末的收得率不高，能耗相对较大等缺陷。
	高能球磨法	高能球磨法是在较低的温度下，于保护气氛中，利用球磨机的转动或振动，使硬球对原料进行强烈的撞击、研磨和搅拌，将金属粉碎为纳米级颗粒。	高能球磨法优点是操作工艺简单，成本低廉，制备效率高，且能够制备出常规方法难以获得的高熔点金属超微颗粒；缺点是粒径分布不均匀，纯度较低。

资料来源：博迁新材招股书，民生证券研究院

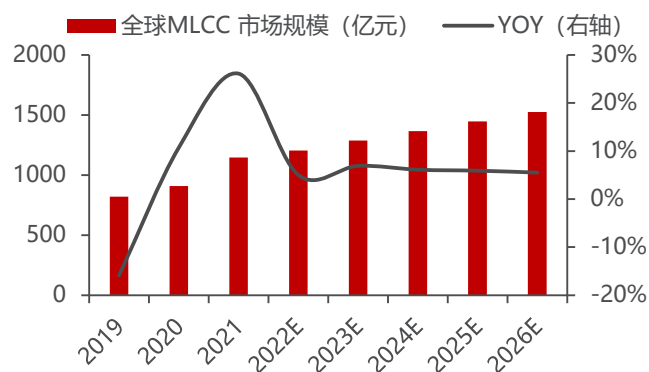
MLCC 用镍粉市场目前主要生产企业均为日本企业。电子专用高端金属粉体材料由于其对材料性能要求具有特殊性，且制备工艺复杂、难度较大，尤其是大批量制备纯度高、粉体颗粒近球形、粒径小及分散性好的金属粉体材料存在一定的技术壁垒；同时，镍粉、铜粉作为 MLCC 的关键原材料之一，下游客户对其产品质量、性能有较高的要求，因此，目前世界上能够工业化量产 MLCC 等电子元器件用镍粉的企业较少。目前 MLCC 用镍粉在世界范围内只有少数几家企业具备规模化生产能力，基本均为日本企业，包括 JFE 矿业、住友金属矿山、昭荣化学工业、东邦钛和村田制作所，国内主要是博迁新材具备规模化生产能力。昭荣化学工业采用和博迁新材都采用 PVD 方法制备 MLCC 镍粉，昭荣化学工业目前在 MLCC 内电极镍粉和浆料领域占有约 40% 的市场份额；JFE 矿业和东邦钛采用 CVD 法制备 MLCC 镍粉；住友金属矿山采用反应结晶法（液相法）生产。

表52：MLCC 镍粉主要厂商

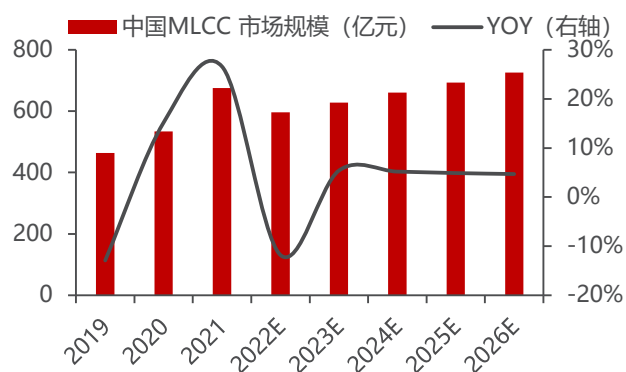
公司名称	公司介绍	制粉工艺	产品规格
JFE 矿业有限公司	JFE 矿业有限公司是 JFE（日本钢铁工程控股公司）的子公司，成立于 2004 年 7 月 1 日，JFE 的业务涵盖三个部分，矿产品业务、钢铁业务和新材料业务。新材料业务主要涉及超细镍粉、镍钴基氧化物材料等新材料生产。JFE 矿业有限公司是全球第一家利用化学气相沉积（CVD）方法成功将镍超细粉末工业生产商业化的公司。	采用 CVD 法（化学气相沉积法），通过加热和蒸发氯化镍，允许氯化镍与氢气反应来生产镍超细粉末。	可生产粒径为 200-400nm 的高结晶度、光滑球形镍粉颗粒。
住友金属矿山株式会社	住友金属矿山株式会社创建于 1900 年，1939 年 11 月开始生产电解镍，住友的主要产品有：各类金属、各类合金及其粉末；镍铁合金箔、泡沫镍、氢氧化镍（钴）、镍（钴）酸锂、超细镍（钴）粉末、系列磁性材料以及电子元件、热敏元件等。	采用反应结晶法，反应结晶法是液相法的一种，该技术通过镍化合物和还原剂的反应制造镍的细颗粒。	可生产粒径为 450nm 的均匀球形镍粉。
昭荣化学工业株式会社	昭荣化学工业株式会社成立于 1956 年，以开发、制造和销售电子材料为主。昭荣的主要产品有导电性糊剂，包括银浆、金膏、钯糊剂、钯糊、镍膏、铜膏等；以及电阻糊剂、绝缘膏、金属粉末、金属氧化物等产品。昭荣化学工业在 MLCC 内电极材料领域占有约 40% 的市场份额。	早期采用喷雾热分解法，2007 年收购加拿大电子粉体公司后采用 PVD 法	可生产粒径 80nm 及以上的镍粉。
东邦钛株式会社	东邦钛株式会社成立于 1953 年，业务主要涵盖三方面，钛金属业务、催化剂业务和功能性化学品业务。在功能性化学品业务领域，东邦钛制造和销售超细镍粉和其他材料，多用于电子产品的基础材料，如多层陶瓷电容器、PTC 热敏电阻和介质谐振器。	采用 CVD 法，用气态氯化物氢还原法制备镍粉。	可生产粒径为 180-400nm 的镍粉。
株式会社村田制作所	株式会社村田制作所成立于 1944 年 10 月，是一家设计、制造电子元器件及多功能高密度模块的企业。日本村田的主要产品包括 MLCC，市场占比高居世界首位。同时，村田制作所也自产自销超细镍粉，用做 MLCC 的生产。	/	/

资料来源：博迁新材招股书，各公司官网，民生证券研究院

受益于汽车电动智能网联化趋势、消费电子产品更新迭代、5G 通信的推广和工业自动化不断深入，MLCC 市场需求有望持续增长。2021 年全球经济反弹，下游主要应用市场呈现高速增长态势，MLCC 市场增长迅速；2022 年，受新冠肺炎疫情的反复及行业周期波动影响，手机、穿戴式设备、计算机、家电等消费电子市场需求下滑，MLCC 市场增长放缓；但从结构性来看，汽车、通信设备、工业设备、医疗电子等高端领域的 MLCC 市场却保持增长，预计随着消费电子市场的复苏以及汽车市场的强劲发展，未来 MLCC 需求仍将保持增长。据博迁新材公告引用中国电子元件行业协会数据，从 MLCC 需求规模来看，2022 年全球 MLCC 市场规模预计将达 1204.41 亿元，同比增长 5%，到 2026 年预计将达 1525.49 亿元，2022-2026 年 CAGR 约为 6.09%；2022 年中国 MLCC 行业市场规模预计将达 595.98 亿元，同比下降 11.8%，到 2026 年预计将达 726.30 亿元，2022-2026 年 CAGR 约为 5.07%。

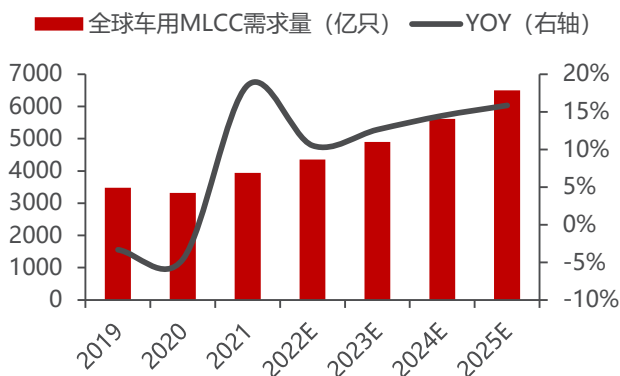
图150：MLCC 全球市场规模及增速


资料来源：《博迁新材 2022 年度非公开发行 A 股股票预案》，民生证券研究院

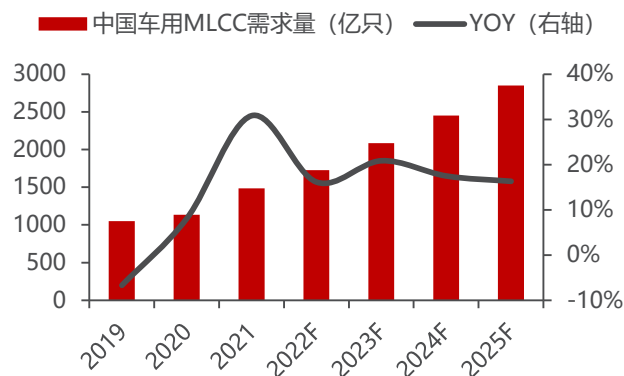
图151：MLCC 中国市场规模及增速


资料来源：《博迁新材 2022 年度非公开发行 A 股股票预案》，民生证券研究院

伴随着新能源车销量不断增长，叠加单车 MLCC 用量持续提升，车用 MLCC 需求量有望快速增长。据集微咨询数据，2021 年全球新能源汽车销量已达 623 万辆，渗透率提升到 7.69%，预计到 2025 年全球新能源汽车销量将达 2000 万辆，渗透率将提升至 21.59%，2021-2025 年 CAGR 为 33.85%；中国市场方面，2021 年国内新能源汽车销量达 352 万辆，预计到 2025 年国内新能源汽车销量将达 1189 万辆，2021 年-2025 年 CAGR 为 35.56%。伴随着新能源汽车销量的大幅增长，2021 年全球车用 MLCC 用量大幅增长至 3936 亿只，预计 2022 年全球车用 MLCC 用量将超 4300 亿只，2025 年有望突破 6000 亿只。中国车用 MLCC 用量的增长更为明显，据集微咨询数据，2021 年-2025 年中国车用 MLCC 用量预计将从近 1500 亿只提升至超 2800 亿只，并且预计 2022 年，中国新能源汽车 MLCC 用量将达到约 900 亿颗，首次超过燃油车用量。

图152: 车用 MLCC 全球市场出货量


资料来源: 集微咨询, 民生证券研究院

图153: 车用 MLCC 国内市场出货量


资料来源: 集微咨询, 民生证券研究院

受益于 MLCC 行业快速发展, MLCC 用镍粉市场有望持续增长, 预计 2027 年 MLCC 用镍粉空间达到 95 亿元。拆分 MLCC 的成本结构, 可以看到从低容 MLCC 到高容 MLCC 关键原材料成本占比显著提高。陶瓷粉末作为关键原材料占比较高, 低容 MLCC 中占比约 20%-25%, 高容 MLCC 中占比提升到 35%-45%; 内外电极成本占比相同, 低容 MLCC 中占比约 5%, 高容 MLCC 中提升到 5%-10%。我们参考村田毛利率水平假设 MLCC 毛利率为 40%, 考虑 MLCC 持续往高端化发展关键原材料占比持续提升趋势, 假设内电极成本占比逐步提升, 结合 MLCC 市场规模测算, 预计 2027 年 MLCC 用镍粉市场规模将达 95 亿元。

表53: MLCC 成本结构

成本结构	成本比重	
	低容 MLCC	高容 MLCC
陶瓷粉料	20-25%	35-45%
内电极 (镍/银/钯)	0.05	5-10%
外电极 (铜/银)	0.05	5-10%
包装材料	20-30%	1-5%
人工成本	10-20%	10-20%
设备折旧及其他	20-35%	20-30%

资料来源: 华经情报网, 民生证券研究院

表54: MLCC 镍粉市场空间

	2020	2021	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
全球 MLCC 市场规模 (亿元)	910	1147	1046	946	1028	1116	1212	1317
MLCC 毛利率	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
MLCC 内电极成本占比	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.50%	11.00%	11.50%	12.00%
MLCC 镍粉市场规模 (亿元)	55	69	63	57	65	74	84	95

资料来源: 华经情报网, 民生证券研究院测算

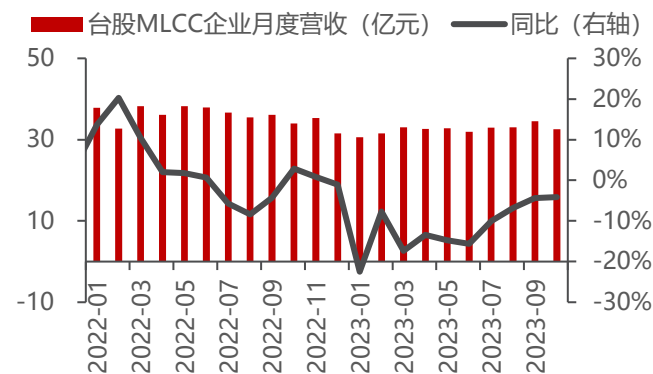
电子行业持续回暖，MLCC 镍粉有望受益。2023 年，全球智能手机出货持续回暖，2022 年第四季度全球智能手机出货量同比下降 18%，2023 年前三季度，全球智能手机出货同比降幅持续收窄，分别为 13%、10%、1%，电子行业复苏趋势明确。从台股 MLCC 企业月度营收数据来看，2023 年下半年以来，营收同比跌幅呈现持续收窄趋势，2023 年 6-10 月营收同比数据分别为-15.63%、-10.02%、-6.82%、-4.41%、-4.16%，复苏迹象显著。伴随电子行业持续回暖，上游材料 MLCC 镍粉有望受益。

图154：全球智能手机出货量持续回暖



资料来源: Canalis, 民生证券研究院

图155：台股 MLCC 企业月度营收



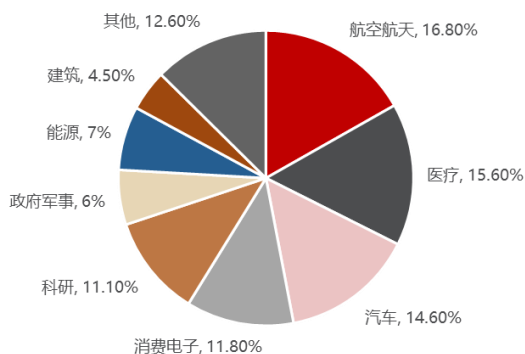
资料来源: 集微咨询, 民生证券研究院

5 3D 打印金属粉末：3D 打印商业化加速，上游材料深度受益

5.1 3D 打印创新加工方式，下游应用场景丰富

3D 打印又称“增材制造”，是一种将建立的三维数字化模型通过切片软件进行路径规划，再使用粉末、线材、液体等材料逐层堆积完成三维实体模型制造的技术。相较于传统加工方式，3D 打印技术的优势在于无需开模、材料利用率高、产品实现周期短，并且能够实现高性能复杂结构零件的无模具、快速、全致密成形，逐步成为应对众多领域技术挑战的最佳技术途径。航空航天领域、医疗和汽车是 3D 打印产品最重要的应用领域，航空航天占比 16.8%，医疗占比 15.6%，汽车占比 14.6%，其他应用领域包括消费电子产品占比 11.8%，科研机构占比 11.1%，政府军事占比 6%，能源 7%，建筑 4.5%，其他 12.6%。

图156：全球 3D 打印行业应用领域及占比（2021 年）



资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

航空航天领域是金属 3D 打印产品最重要的应用领域之一。随着航空领域使用要求和设计水平的不断提高，新型航空飞行器不断向性能高、寿命长、成本低、可靠性好等方向发展，航空零件逐渐趋于结构复杂化和整体化。金属 3D 打印具有加工周期短、材料利用率高、设计更自由等优势，能够满足航空零件制造的低成本、短周期需求，在航空制造领域得到了广泛的应用。2023 年 5 月 28 日，我国自主研发的国产大型客机 C919 顺利完成首次商业载客飞行，C919 飞机中应用了大量通过 3D 打印技术制造的零部件，零部件包括机头主风挡窗框、发动机燃油喷嘴、舱门件等，通过 3D 打印技术生产的零部件具有更高的强度和更轻的重量，提高了飞机的性能和燃油效率，降低了制造成本。

表55：金属 3D 打印在航空航天领域的应用

应用类型	应用案例	图例	优势
直接制造	机身结构件、发动机零部件等		低成本、快速制造、减重、提升强度及可靠性
设计验证	结构件、零部件的性能测试		降低研发成本、缩短研发周期、优化结构设计
维修	高价值易损零部件修复		提高再利用率，降低成本

资料来源：铂力特招股说明书，民生证券研究院

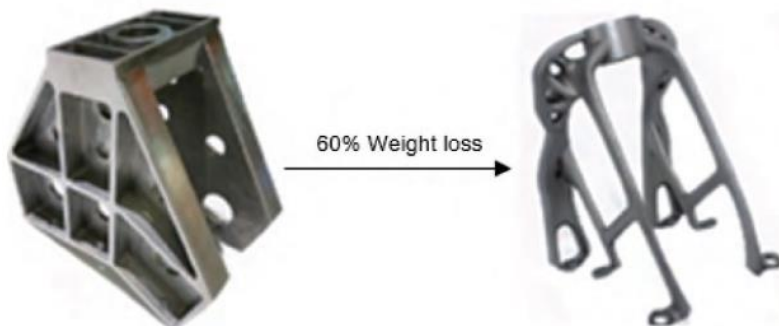
图157：C919 飞机中使用 3D 打印技术制造的零部件



资料来源：3D 打印资料库，民生证券研究院

汽车领域是金属 3D 打印产品又一重要的应用领域。3D 打印技术在汽车行业的应用贯穿汽车整个生命周期，包括研发、生产以及使用环节，就应用范围来看，目前 3D 打印技术在汽车领域的应用主要集中于研发环节的试验模型和功能性原型制造，在生产和使用环节相对较少。随着 3D 打印技术不断发展、车企对 3D 打印认知度提高以及汽车行业自身发展需求，3D 打印技术在汽车行业的应用将向市场空间更大的生产和使用环节扩展，在最终零部件生产、汽车维修、汽车改装等方面的应用将逐渐提高。

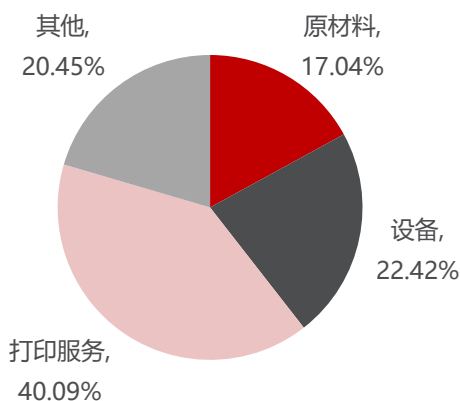
图158: 拓扑优化前后车架零件对比



资料来源:《金属增材制造技术轻量化应用研究进展》刘景博等, 民生证券研究院

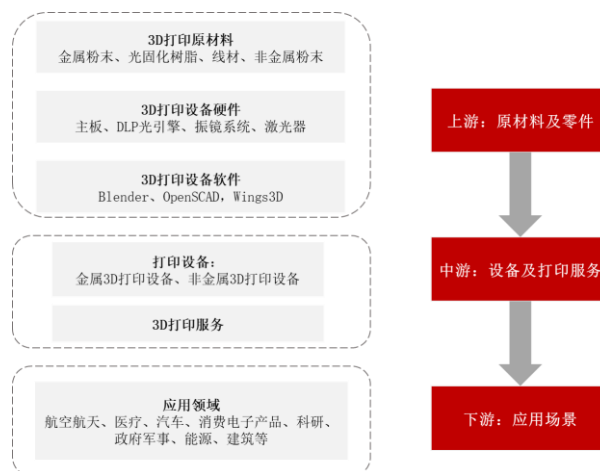
3D 打印产业链包括材料、设备、打印服务等环节。3D 打印行业上游涵盖三维扫描设备、三维软件、原材料商及 3D 打印设备零部件制造等企业。3D 打印专用的原材料包括金属粉末、塑料线和树脂等, 这些原材料的品质与可靠性是影响最终制造品质的重要因素, 因此原材料供应商的产品质量和供货能力关系到产业链的稳定性与发展。中游以 3D 打印设备生产厂商为主, 负责打印设备的设计、制造和销售, 大多亦提供打印服务业务及原材料供应。下游主要是 3D 打印服务商, 提供 3D 打印零件, 终端应用覆盖航天航空、汽车工业、船舶制造、能源动力、轨道交通、电子工业、模具制造、医疗健康、文化创意、建筑等众多领域。从 2021 年全球 3D 打印细分市场市场份额占比来看, 3D 打印原材料占比约 17%, 3D 打印设备占比约 22%, 3D 打印服务约 40%。

图159: 全球 3D 打印细分产品市场占比 (2021 年)



资料来源: 华经产业研究院, 民生证券研究院

图160: 3D 打印行业产业链



资料来源: 华经产业研究院, 民生证券研究院

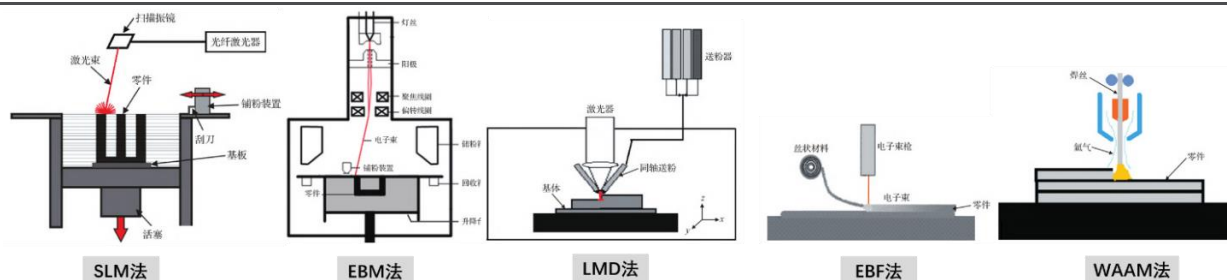
金属 3D 打印技术包括选区激光熔融成形、电子束熔化成形、激光熔化沉积成形、电子束自由成形、电弧增材制造等工艺技术。金属 3D 打印技术在我国快速发展，国内设备厂商在 3D 打印设备所需的专用材料、工艺装备、关键零部件、软件系统等实现了技术突破和工艺经验积累，具有了一定的批产能力，带动整个产业的竞争能力明显提升。目前，我国的激光熔化沉积成形、选区激光熔融成形、光固化成形等一大批工艺装备实现产业化，部分增材制造工艺装备已经达到国际先进水平。

表56：典型金属增材制造技术

成形方法	输出热源	增材形式	应用对象	特点	代表厂商
选区激光熔融成形 (SLM)	激光	铺放金属粉末	小型复杂金属功能结构、次承力结构	精度较高 ($\pm 0.1\text{mm}$)，成形尺寸较小，可实现多激光束同时加工制作	Concepy Laser、Renishaw、EOS、西安铂力特、华科三维、华曙高科技等
电子束熔化成形 (EBM)	电子束	铺放金属粉末	小型复杂金属结构及承力结构	精度高 ($\pm 0.4\text{mm}$)，成形尺寸较小，在真空条件下制造，内部质量高	Acram、智熔系统、西安塞隆、天津清研智束
激光熔化沉积成形 (LMD)	激光	同步送进金属粉末	大型复杂金属结构件的制备	精度低，需二次加工，成形尺寸较大；可进行零件修复与材料表面改性	Optomec、InssTek、西安铂力特、北京隆源、江苏永年等
电子束自由成形 (EBF)	电子束	同步送进金属丝材	复杂金属结构件的制备	精度低，需二次加工；成形速度快，内部质量高	Sciaky、智熔系统等
电弧增材制造 (WAAM)	电弧	同步送进金属丝材	复杂金属结构件的制备	精度低，需二次加工；成形速度快，运行成本低	RAMLAB 中心、青岛卓思三维

资料来源：《金属增材制造技术在航空领域的应用现状及前景展望》许世娇等，增材制造硕博联盟，民生证券研究院

图161：金属增材制造技术示意图



资料来源：《金属增材制造技术在航空领域的应用现状及前景展望》许世娇等，民生证券研究院

通常用于 3D 打印的金属原材料为金属粉末，指标要求较粉末冶金材料更高。传统粉末冶金主要对金属粉末进行压胚、烧结，烧结温度比所用的金属粉末熔点低；而目前主流的金属 3D 打印技术均是对金属粉末直接熔化成形，最终成形产品的机械性能受金属粉末各项参数指标的影响较大。因此，金属 3D 打印对粉末材料各项参数指标要求有别于传统粉末冶金。

3D 打印金属粉末材料的主要性能指标包括纯净度、粉末粒度分布、粉末形态、粉末流动性和松装密度等。金属 3D 打印粉末必须同时满足粉末实心（空心粉、卫星粉少）、纯度高、粒度分布窄、球形度高、氧含量低、流动性好和松装密度高等要求。因为粉末空心，打印过程中易形成气隙、卷入性和析出性气孔、裂纹等缺陷；粉末粒径越大，球化现象越严重，粉末粒度越小，表面光洁度更高，但是粉末流动性会变差，影响铺粉的均匀性；粉末粒度分布太宽，打印的一致性与均匀性较难保障；粉末球形度越高，流动性能越好，松装密度也越高，得到的烧结件致密度越高；粉末的氧含量高，表面活性越大，润湿性越差，球化现象越严重，导致熔化效果差。

表57：3D 打印金属粉末指标及具体要求

3D 打印金属粉末指标	具体要求
纯净度	要求粉末中无陶瓷夹杂物，氧、氮含量也需要严格控制
粉末粒度分布	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 以激光作为能量源的打印机：适合使用 15 ~ 53μm 的粉末作为耗材； ➢ 以电子束作为能量源的铺粉型打印机：适合使用 53 ~ 105μm 的粗粉； ➢ 同轴送粉型打印机：采用粒度为 105 ~ 150μm 的粉末
粉末形貌	3D 打印金属粉末要求球形度在 98%以上，这样打印时铺粉及送粉更容易进行
粉末流动性和松装密度	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 粉末颗粒越大、颗粒形状越规则、粒度组成中极细的粉末所占的比例越小，其流动性越好； ➢ 颗粒表面吸附水、气体等会降低粉末流动性； ➢ 松装密度增加，可改善粉末的流动性

资料来源：中国粉体网，民生证券研究院

增材制造用金属粉体涉及材料种类较多，包括钛合金、铝合金、铜合金、高温合金、模具钢、不锈钢、钴铬合金、难熔金属等。其中，目前钛合金的用量最大，应用占比超过 50%；高强度、高韧性铝合金粉末逐步引起越来越多生产商的兴趣，应用占比约 20%，未来市场潜力巨大；镍基、钴基、铁基等高温合金材料在增材制造中的批量应用也将成为未来行业重点关注方向；铜合金正逐步成为研究和应用热点；模具钢和钴铬合金在模具和齿科领域已经初具规模。

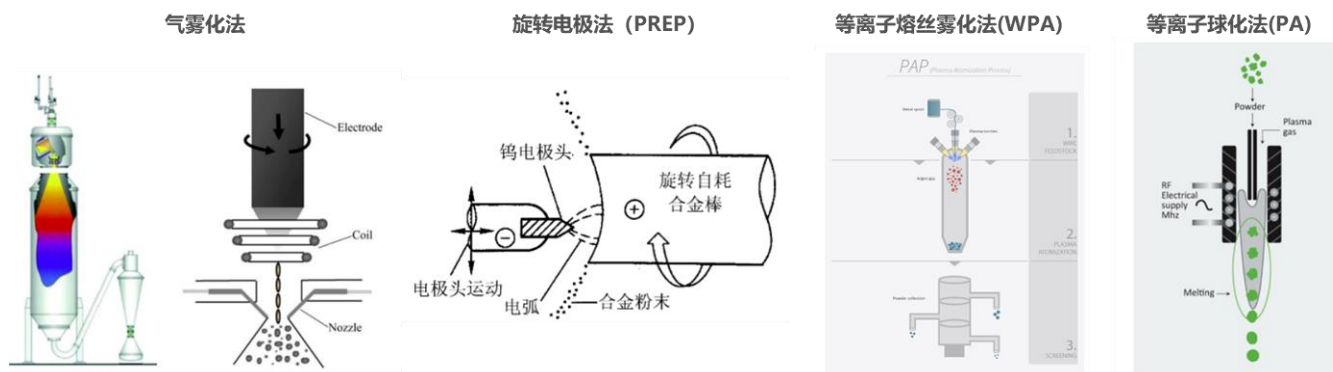
表58：3D 打印金属粉末类型及特性

金属粉末类型	材料特性
铝合金粉末	密度低，比强度较高，接近或超过优质钢，塑性好；3D 打印用铝合金可以做到零件致密、组织细小
钛合金粉末	强度高、热强度高、抗蚀性好、低温性能好，在航空航天领域应用非常广泛
铜合金粉末	具有优异的导热性和导电性，可以结合设计自由度，产生复杂的内部结构和随形冷却通道
高温合金粉末	在很广的温度范围内能维持良好的机械性质
钴铬合金粉末	耐磨性、耐腐蚀性好，常用于打印人工关节和牙齿等
不锈钢粉末	价格低廉、耐腐蚀性能好、强度高，可打印复杂工业零部件

资料来源：北京中诺新材，民生证券研究院

3D 打印金属粉末制备方法主要包括雾化法(以气雾化为主, 包括真空气雾化(VIGA)和电极感应雾化(EIGA)等)、等离子旋转电极雾化法(PREP)、等离子熔丝雾化法(WPA)和等离子球化法(PA)等, 目前气雾化生产的粉末约占世界粉末总产量的30%~50%。但是目前 3D 打印金属粉末行业出粉率较低, 约 20%-40%。

图162: 不同的 3D 打印金属粉体材料制备方法



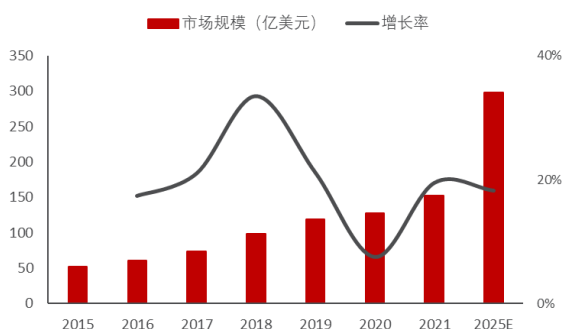
资料来源: 粉体网, 民生证券研究院

5.2 3D 打印产业化脚步持续提速, 3C 应用开拓新市场

全球 3D 打印产业正从起步期迈入成长期, 呈现出加速增长的态势。根据华经产业研究院数据, 2021 年全球增材市场规模 152.44 亿美元, 同比增加 19.5%, 2015-2021 年增材市场规模年复合增长率达到了 19.8%, 预计 2025 年增材制造收入规模将达到 298 亿美元, 2021-2025 年 GAGR 为 18.2%; 2030 年增材制造收入规模将达到 853 亿美元, 2025-2030 年 CAGR 为 23.4%。

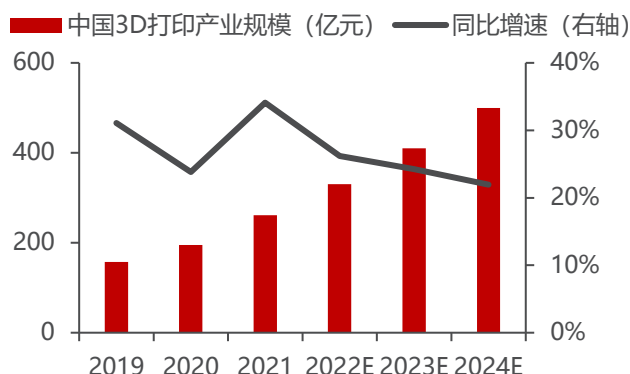
我国增材制造产业规模逐年高速增长, 未来潜力巨大。在经历了初期产业链分离、原材料不成熟、技术标准不统一与不完善及成本昂贵等问题后, 当前中国增材制造技术已日趋成熟, 市场呈现快速增长趋势。据中商情报网数据, 2019 年中国 3D 打印产业规模 157.5 亿元, 2021 年增至 261.5 亿元, 预计 2024 年突破 500 亿元, CAGR 为 24.1%。

图163: 2015-2025 年全球增材制造行业市场规模及增长率



资料来源: 华经产业研究院, 民生证券研究院
注: 2025 年增长率为 2021-2025 复合增长率

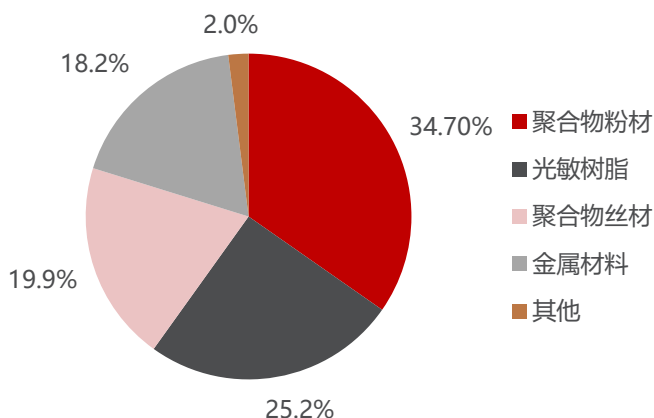
图164: 2019-2024 年中国增材制造行业市场规模及增长率



资料来源: 中商情报网, 民生证券研究院

金属 3D 打印发展迅速, 3D 打印金属粉末市场潜力巨大。从 3D 打印产业细分产品来看, 3D 打印原材料占比 17.04%, 打印装备占比 22.42%, 打印服务占比 40.09%, 其他占比 20.45%。3D 打印专用材料是行业重要的细分市场, 材料的品类和品质在很大程度上决定产品及服务的质量。根据华经产业研究院数据, **2021 年全球增材制造材料产业规模达到 25.98 亿美元**, 约占总产值的 17%。其中, 金属原材料占比 18.2%, 光敏树脂占比 25.2%, 聚合物丝材占比 19.9%, 聚合物粉材占比 34.7%。

图165: 全球增材制造行业原材料种类及占比 (2021 年)

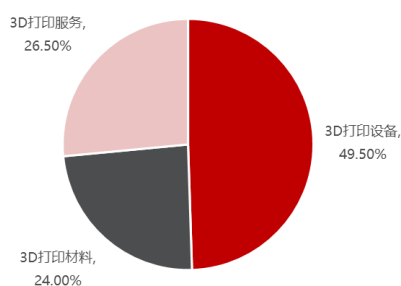


资料来源: 华经产业研究院, 民生证券研究院

从产业细分结构来看, 2021 年我国 3D 打印材料占据行业市场规模的 24.0%,

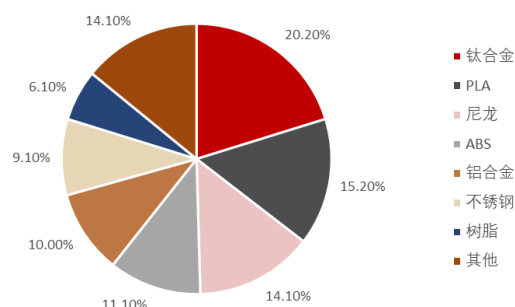
材料市场中金属原材料合计占比 39.3%。据此估算，2021 年我国 3D 打印材料市场规模约为 63.85 亿元，金属 3D 打印材料收入估计为 25.09 亿元，其中钛合金、铝合金、不锈钢分别占 20.2%、10.0%、9.1%，其余 60.6%均为非金属材料，包括尼龙、PLA、ABS 塑料、树脂等。预计未来随着航空航天、汽车和生物医疗等行业的发展，金属 3D 打印材料的需求量将不断攀升，市场空间也将进一步扩大。

图166：中国增材制造细分产品市场规模（2021 年）



资料来源：中商产业研究院，民生证券研究院

图167：中国增材制造行业原材料种类及占比（2021 年）



资料来源：中商产业研究院，民生证券研究院

国际市场上，增材制造金属粉体材料供应商以欧美厂商为主，如德国 EOS、德国 TLSTechNIK、AP&C、Arcam、瑞典 solvay、瑞典 Hoganas、ConceptLaser、ExOne 等，总产能超过 10,000 吨/年。国内市场，主要厂商包括中航迈特、飞尔康、西安赛隆、成都优材、亚通焊材、宇光飞利、南通智源等，总产能约 1600 吨/年。

表59：国内外增材制造金属粉体主要厂商的技术及产能

公司名	国别	产品类别	制备技术	产能（吨/年）
Sandvik	瑞典	镍基超合金工模具钢、不锈钢	真空气体雾化	3000
Carpenter Technology	美国	不锈钢、工具钢	真空气体雾化	3000
GKN	跨国	铁基合金、钛合金	高压水雾化、气体雾化	2000
AP&C	加拿大	钛合金	等离子火炬雾化技术	100
LPW Technology	英国	铝基、钴基、铜基等	气体雾化、等离子体雾化、等离子球化	1000
产能合计				9100
中国航发北京航空材料研究院		高温合金、工模具钢、不锈钢等	真空气体雾化	450
江苏威拉里新材料科技有限公司		钛合金、镍基高温合金	真空雾化、等离子雾化	约 300
无锡飞而康		钛合金粉末	电极感应熔炼雾化	约 60
中航迈特		钛合金、高温合金、铁基合金、钴铬钨合金	真空感应气雾化、等离子旋转电极雾化技术、电极感应气雾化	800
上海材料研究所		钛合金、镍基高温合金、不锈钢、	电极感应熔炼气体雾化	-

模具钢

产能合计

约 1610

资料来源：《增材及特种粉体材料产业公司化运营项目可行性研究报告》，民生证券研究院

3D 打印工艺钛合金零部件首次在 3C 领域得到应用。2023 年 7 月荣耀发布折叠屏手机 Magic V2，其铰链轴盖部分采用了钛合金 3D 打印工艺，是金属 3D 打印工艺在 3C 领域的首次应用，宽度相较于铝合金材质降低 27%，强度却提升 150%，完美的平衡了轻薄与可靠性要求。苹果也在智能手表表壳的制造中引入 3D 打印工艺，有望在下一代智能手表中采用 3D 打印工艺制备钛合金表壳。**金属 3D 打印工艺和钛合金材料加工适配度很高。**钛合金加工工艺目前主要包括 CNC 工艺（切削磨削）和金属 3D 打印工艺，CNC 工艺在面对结构复杂的钛合金件时存在加工难度大、效率低、良品率低、成本高的问题，金属 3D 打印工艺是用增材的方式成型，避开了 CNC 加工的难点，在复杂结构零件生产上效率更高、可定制性更强。

图168：荣耀 Magic V2 铰链轴盖采用钛合金 3D 打印工艺



资料来源：荣耀官网，民生证券研究院

图169：Apple Watch Ultra 智能手表表壳采用钛合金材料



资料来源：Apple 官网，民生证券研究院

我们对于钛合金 3D 打印应用拉动钛材需求量进行测算：假设智能手表和折叠屏手机市场持续增长，单只表壳钛合金材料用量 13.7g，单部手机铰链零部件钛合金材料用量 20g；假设苹果、荣耀以及其他厂商继续推广钛合金 3D 打印工艺，渗透率有望持续提升；假设 3D 打印金属粉体成品率 30%，3D 打印后道加工耗损率 50%。结合以上假设，我们测算钛合金 3D 打印工艺预计到 2027 年有望拉动钛材用量约 6886 吨，按照 TC4 不含税价 21.68 万元/吨对应价值量 14.93 亿元。

表60：钛合金 3D 打印应用需求量测算

	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
全球智能手表出货量 (万只)	15376	16452	17604	18836	20155
高端比例 (300 美元以上)	20%	20%	20%	20%	20%
钛合金 3D 打印渗透率	0%	10%	20%	30%	40%
单只表壳钛合金材料用量 (克)	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7
全球折叠屏手机出货量 (万部)	1860	3570	5470	7860	10150
钛合金 3D 打印渗透率	1%	10%	20%	30%	40%
单部手机铰链零部件钛合金材料用量 (克)	20	20	20	20	20
3D 打印钛合金粉末总用量 (吨)	4	116	315	626	1033
3D 打印后道处理损耗率	50%	50%	50%	50%	50%
3D 打印金属粉体出粉率	30%	30%	30%	30%	30%
钛材原材料需求量 (吨)	25	777	2102	4176	6886

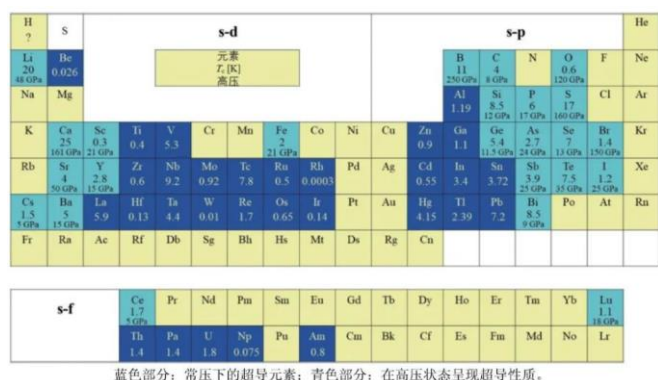
资料来源: Counterpoint, IDC, apple 官网, 3D 打印技术参考, 3D 科学谷等, 民生证券研究院测算

6 超导材料：超导研究持续推进，星辰大海未来可期

6.1 低温超导应用场景拓展，高温超导产业化蓄势待发

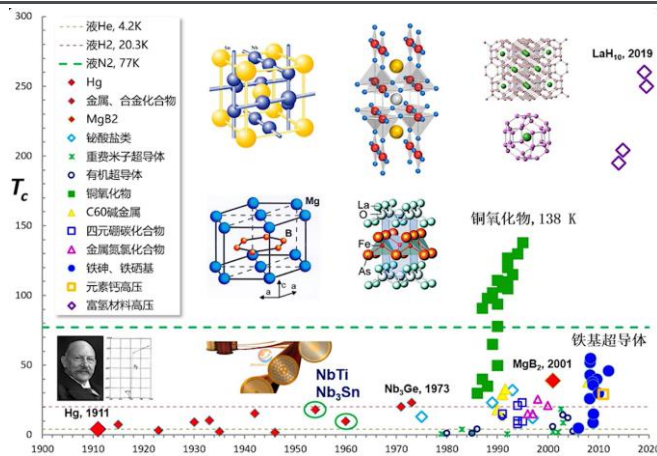
超导材料具有常规材料不具备的零电阻、完全抗磁性等宏观量子现象，是典型的量子材料。超导，全称超导电性，指导体在某一温度下，电阻为零的状态。超导材料的探索主要经历了几个阶段：1911~1986年，是低温超导材料发展阶段，1986年发现铜氧化物高温超导体，2021年发现临界转变温度为39K的金属化合物MgB₂超导体，2008年发现铁基超导体。此外，自从超导材料被发现以来，人们就没有停止过对“室温超导”的向往与探索。

图170：周期表具有超导电性的元素及其转变温度 T_c



资料来源：马行伟《超导材料科学与技术》，民生证券研究院

图171：超导材料的探索历程



资料来源：罗会仟《超导“小时代”》，民生证券研究院

超导最常见被分类为低温超导，高温超导。超导体最常见的分类方法是按临界温度划分为低温超导，高温超导。超导物理中将临界温度在液氮温区(4.2K)的超导体称为低温超导体，也称为常规超导体，譬如目前商业化的NbTi、Nb₃Sn；将临界温度在液氮温区(77K)的超导体称为高温超导体，譬如Y-Ba-Cu-O超导体。

表61：超导材料分类

分类依据	具体分类	描述
临界温度	低温超导	临界温度在液氮温区(4.2K)
	高温超导	临界温度在液氮温区(77K)
化学成分	金属超导	元素、合金、化合物等
	超导陶瓷	铜基氧化物、铁基化合物
	有机超导	C10 ₄ 、PF ₆ 、AsF ₆ 等
	绝缘超导	SiC、金刚石、石墨烯等
迈斯纳效应	第I类超导体	一个临界磁场：在常温下具有良好导电性的纯金属，如Al、Zn、Ga、Ge、Sn、In等

第II类超导体

两个临界磁场：下临界场 HC1 和上临界场 HC2。除金属元素 V 和 Nb 外，第 II 类超导体主要包括金属化合物及其合金，以及陶瓷超导体

资料来源：邹芹等《超导材料的研究进展及应用》，民生证券研究院

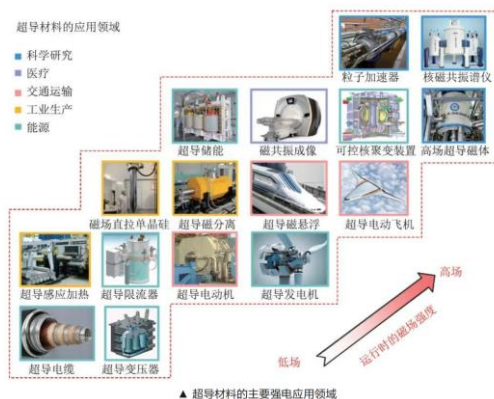
在应用领域方面，超导体因为具有绝对的零电阻和完全的抗磁性两大特性，在所有涉及电和磁的领域都有超导体的用武之地，应用领域广泛，包括电子学、生物医学、科学工程、交通运输、电力等领域。

图172：超导材料及其应用领域

研究方向	应用领域	说明
超导电力技术	超导电力电缆	高效大容量电力输送
	超导限流器	输电网的安全稳定性
	超导储能系统	电力质量调节和电网稳定性
	超导变压器	高效大容量电力变压器
	超导电动机	船舶电力推进
超导磁体技术	强磁场磁体	粒子物理和核物理的大科学工程、核磁共振、磁分离技术、磁性扫描技术、高性能的材料制备、作物育种等
	磁悬浮技术	磁悬浮列车和磁悬浮推进、飞轮、轴承和高精度陀螺仪等
微波应用与单光子探测	滤波器	微波通信
	谐振器	微波通信
	延迟线	微波通信
	单光子探测器	精密测量
量子器件应用	量子干涉仪	用于微弱信号检测，如脑磁、心磁、大地探测、无损检测等
	超导芯片	低能耗超级计算机
	超导Qubit	超导量子计算机
高频应用	THz高频电磁波的发射与接收	

资料来源：肖立业等《超导材料及其应用现状与发展前景》，民生证券研究院

图173：超导材料主要强电运用领域



资料来源：马行伟《超导材料科学与技术》，民生证券研究院

超导材料大规模应用受到临界温度、临界磁场和临界电流密度等参数的多重限制。纵然超导应用潜力巨大，但超导材料的实现有严格的条件，限制超导应用有三个临界参数：临界温度、临界磁场和临界电流密度，这意味着超导电性必须在足够低的温度、不太高的磁场和不特别大的电流密度下才能实现。一旦突破某个临界参数，材料有可能瞬间从零电阻变成有电阻的状态，从而失去超导性能。三个临界参数中后两者决定了它的应用场景范围，而临界温度则是应用的最大瓶颈。因为低温就意味着在应用超导体的同时，还面临着高昂的制冷成本。因此，科学家们在研究超导的过程中，一直在努力提高超导材料的临界温度，其中“三重天花板”是重点突破的目标。

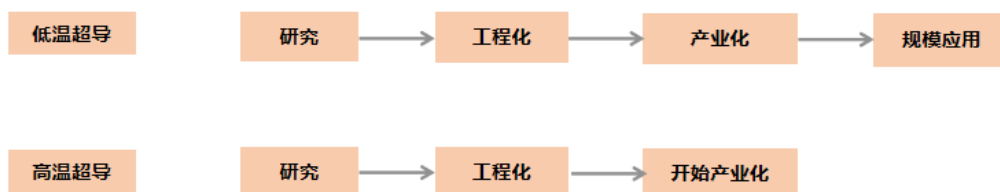
表62：三重天花板介绍

分类	超导温度	介绍
第一重天花板	40K	40K 又称“麦克米兰极限”，1987 年因在 Y-Ba-Cu-O 体系发现 93 K 的超导电性，第一重天花板被突破
第二重天花板	77K	77K 又被称为“液氮沸点”，1987 年因在 Y-Ba-Cu-O 体系发现 93 K 的超导电性，第二重天花板被突破
第三重天花板	300K	300K 在凝聚态物理学中又被定义为室温，目前仍未被突破

资料来源：中国科学院物理研究所，民生证券研究院

低温超导已经规模商业化，高温超导正逐步开始产业化。虽然已发现了上千种超导材料，但具有实用化前景的材料并不多。低温超导材料自 1965 年开始研究，目前低温超导材料 NbTi 与 Nb₃Sn 已实现商业化。而高温超导材料自 1986 年进行研究，目前刚开始进行产业化。

图174：超导材料进展概况



资料来源：张平祥等《强电用超导材料的发展现状与展望》，民生证券研究院

图175：国内超导产业链



资料来源：西部超导公告，联创光电公告，永鼎股份公告，辰光医疗公告，张平祥等《强电用超导材料的发展现状与展望》，民生证券研究院

NbTi 超导线材用量占整个超导材料市场的 90%以上。低温超导根据成分分为金属低温超导材料、合金低温超导材料和化合物低温超导材料。低温超导材料在

批量化加工技术、成本、使用稳定性方面的优势无可替代。目前已实现商业化的包括 NbTi (铌钛, $T_c=9.5K$) 和 Nb₃Sn (铌三锡, $T_c=18k$), NbTi 超导线材由于具有优异的中低磁场超导性能、良好的机械性能和加工性能、价格优势, 在实践中获得了大规模应用, 其用量占整个超导材料市场的 90% 以上; 而 Nb₃Sn 的临界温度相对较高, 在 18K 左右, 该材料本身具有脆性, 力学加工性能较差, 临界电流对应变比较敏感, 且制造困难、造价相对较高。

表63: NbTi 超导合金棒材化学成分的质量分数要求

元素	质量分数
Al	$\leq 1 \times 10^{-4}$
C	$\leq 2 \times 10^{-4}$
Cr	$\leq 1 \times 10^{-4}$
Cu	$\leq 1 \times 10^{-4}$
H	$\leq 4.5 \times 10^{-5}$
Fe	$\leq 2 \times 10^{-4}$
Ni	$\leq 1 \times 10^{-4}$
N	$\leq 1.5 \times 10^{-4}$
O	$\leq 1 \times 10^{-3}$
Si	$\leq 1 \times 10^{-4}$
Ta	$\leq 2.5 \times 10^{-3}$
Ti	46%-48%

资料来源: 全国超导标准化技术委员会 (GB-T/25080-2022), 民生证券研究院

表64: NbTi 和 Nb₃Sn 超导线在各个领域的应用

应用领域	介绍	所用材料
MRI	MRI 是生物磁自旋成像技术, 利用原子核自旋运动的特点, 经射频脉冲激发后产生信号, 最后获得图像	NbTi
MCZ	MCZ 技术的物理基础是通过磁场对导电硅流体的热对流形成抑制作用, 抑制单晶硅生长过程中杂质和缺陷的产生, 可实现高质量大尺寸单晶硅快速生长	NbTi
NMR	NMR 是利用不同元素原子核核磁共振效应的差异分析物质的磁学式分析仪器, 其广泛用于化合物的结构测定、定量分析和生物学研究等方面	主要是 Nb ₃ Sn, 部分 NbTi
ITER	ITER 要把由氘、氦组成的上亿度高温等离子体约束在一个有限的空间里, 实现聚变反应	Nb ₃ Sn, NbTi
加速器	利用超导磁体可以在很小的激磁功率下产生强大的约束磁场, 可大大缩减加速器的尺寸	NbTi

资料来源: 前瞻产业研究院, 民生证券研究院

图176: 低温超导产业链



资料来源: 西部超导招股说明书, 民生证券研究院

西部超导是全球唯一的铌钛锭棒、超导线材、超导磁体的全流程生产企业。低温超导产业链相关的行业包括超导锭棒、超导线材、超导磁体和超导设备。从全球来看, 有的公司专注某一领域, 有的公司横跨多个领域。西部超导是目前国内唯一低温超导线材商业化生产的企业, 也是目前全球唯一的铌钛锭棒、超导线材、超导磁体的全流程生产企业。

图177: 全球低温超导主要企业

公司名称	NbTi		Nb ₃ Sn		超导磁体	超导设备	
	锭棒	线材	青铜法	内锡法		MRI	NMR
国内							
西部超导	●	●	●	●	●		
宁波健信					●	●	
潍坊新力					●		
成都奥泰					●	●	
苏州安科						●	
东软医疗						●	
上海联影						●	
鑫高益						●	
国外							
美国 ATI	●						
英国 Oxford		●	●	●	●		
德国 Bruker		●	●	●	●		●
英国 Luvata		●	●	●			
日本 JASTE C		●	●		●		
美国 GE					●	●	
德国 Siemens					●	●	
荷兰 Philips					●	●	
日本 JEOL							●
美国 Varian							●

资料来源: 西部超导招股说明书, 民生证券研究院

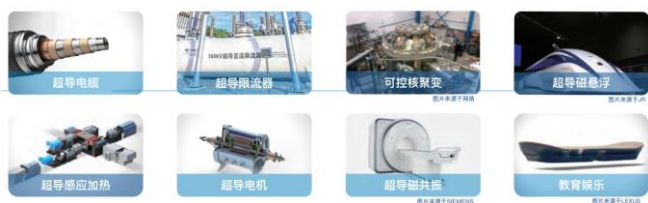
高温超导材料产业化加速。在高温超导材料中，由于铜氧化物超导材料的临界温度相比其他材料较高，制冷成本更低，因而具有更加广阔的应用前景。高温铜氧化物超导材料主要有 Bi-Sr-Ca-Cu-O 系、Y-Ba-Cu-O 系、Hg-Ba-Ca-Cu-O 系、Tl-Ba-Ca-Cu-O 系，但是 Hg 和 Tl 元素有毒，因此 Bi-Sr-Ca-Cu-O 系和 Y-Ba-Cu-O 系在实用化上更具有优势。以 Bi-Sr-Ca-Cu-O 为代表的第一代高温超导材料，和以 Y-Ba-Cu-O 为代表的第二代高温超导材料受到广泛关注。同时，MgB₂ (Tc=40K) 材料，铁基超导材料等应用价值也在不断开拓。2022 年，永鼎股份二代高温超导带材在磁感应加热设备中实现产业化供货，2023 年 4 月 20 日，联创超导自主研发的世界首台兆瓦级高温超导感应加热装置在黑龙江中铝集团东北轻合金公司成功投运，高温超导材料产业化开始加速。

表65：高温超导与低温超导的比较

	临界温度	所用材料	下游应用
低温超导	NbTi:9.5K	NbTi, Nb ₃ Sn	加速器磁体、核聚变工程用超导磁体、核磁共振，(MRI 和 NMR) 磁体、通用超导磁体
	Nb ₃ Sn:18K		
高温超导	90K-110K	BSCCO (第一代高温超导材料)	电力电缆、磁悬浮、超导变压器、直流感应加热、大型加速器、可控核聚变用超导磁体等
	90K	YBCO (第二代高温超导材料)	
	55K	铁基超导体	

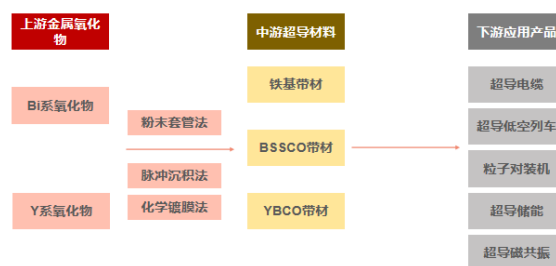
资料来源：肖立业等《超导材料及其应用现状与发展前景》，民生证券研究院

图178：二代高温超导应用领域



资料来源：上海超导官网，民生证券研究院

图179：高温超导行业产业链



资料来源：上海超导官网，新材料智库等公开资料，民生证券研究院

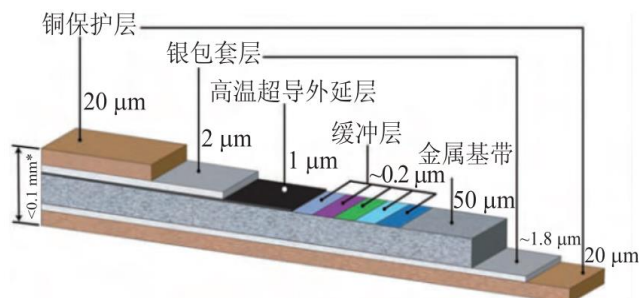
第二代高温超导带材 YBCO 成为行业重点发展方向。第二代高温超导带材及应用产品将在许多重要领域，如绿色能源、智能电网、军事工业、医疗器械、交通及科学研究等领域被大力推广应用，目前我国高温超导材料大规模应用的瓶颈问题是材料价格过高，需要进一步提高技术成熟度，提升产业化能力，并改善材料综合性能，从而提高材料性价比。

图180：二代高温超导带材



资料来源：永鼎股份公告，民生证券研究院

图181：二代高温超导带材结构



资料来源：罗会仟《超导“小时代”》，民生证券研究院

6.2 下游应用场景持续突破，超导产业星辰大海

6.2.1 MRI 带动超导材料需求释放

磁共振成像 (Magnetic Resonance Imaging, 简称 MRI) 通过对静磁场中的人体施加某种特定频率的射频脉冲，使人体中的原子核 (主要是氢质子) 受到激励而发生磁共振现象，在停止脉冲后，原子核在弛豫过程中产生 MR 信号，通过对 MR 信号的接收、空间编码和图像重建等处理过程，最终处理成图像信息。

图182：MRI (磁共振成像仪)



注：左图为 MRI 用超导材料，中图为 MRI 扫描仪，右图为头部成像

资料来源：西部超导公告，民生证券研究院

MRI 产业链括上游 MRI 设备原材料供应商，中游 MRI 设备制造经销商和下游的 MRI 诊断及衍生服务机构。上游主要提供核磁共振设备基础的技术与材料，上游行业的进步对核磁共振行业的发展至关重要。行业中游为核磁共振设备的生产与销售，以 GE、飞利浦、西门子(合称“GPS”)为首的外商品牌占据高场强的超

导产品市场，而国产品牌则以低场强的永磁系列产品的市场为主。行业下游则由需求方构成，包括医疗机构、体检中心及独立影像中心。

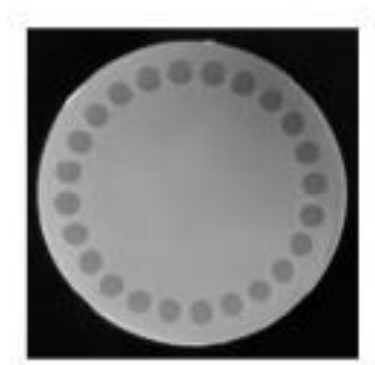
图183: MRI 行业产业链



资料来源: 辰光医疗招股说明书, 沙利文, 民生证券研究院

磁体是 MRI 设备中产生主磁场的核心部件，可保持在目标区域中的高磁场和高均匀度，核磁共振设备按磁体类型可分为永磁型 MRI 设备，常导型 MRI 设备和超导型 MRI 设备。按磁体产生静磁场的磁场强度大小可分为低场 (0.1T-0.5T) MRI 设备，中场 (0.6T-1T) MRI 设备，高场 (1.5T-2T) MRI 设备，以及超高场 (3T 及以上) MRI 设备，当前临床上所用的磁场强度为 1.5T。超导磁体通过超导线圈运行，磁场强度更强，稳定性更高，是当前市场主流技术。

图184: MRI 用超导材料 1



资料来源: 西部超导招股说明书, 民生证券研究院

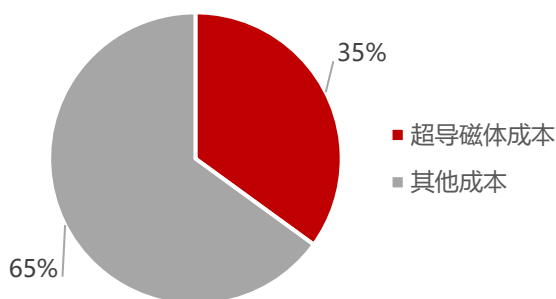
图185: MRI 用超导材料 2



资料来源: 西部超导招股说明书, 民生证券研究院

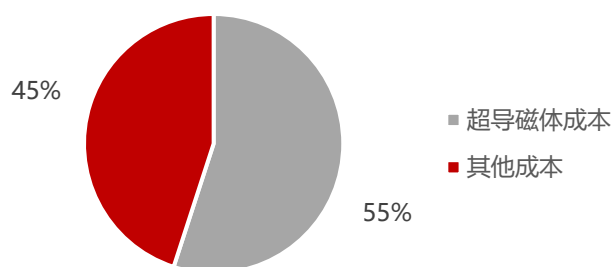
超导磁体作为磁共振的核心，其成本占总成本的很大一部分。根据曦合超导资料，1.5T 磁共振超导磁体成本占比在 30%~40%，3.0T 磁共振超导磁体的成本占比在 50%~60%，占总成本的一半以上。

图186: 1.5T 磁共振设备成本分布



资料来源：曦合超导，民生证券研究院

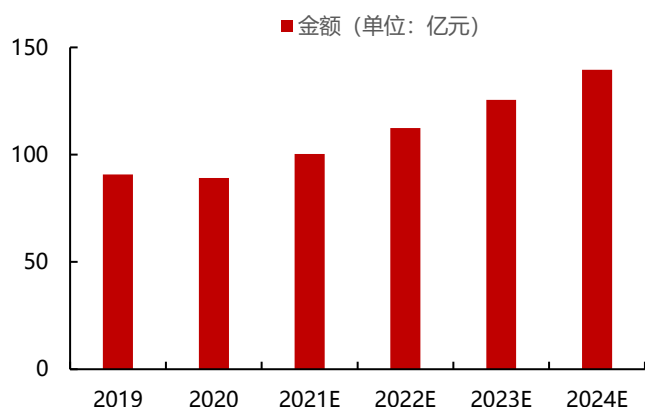
图187: 3.0T 磁共振设备成本分布



资料来源：曦合超导，民生证券研究院

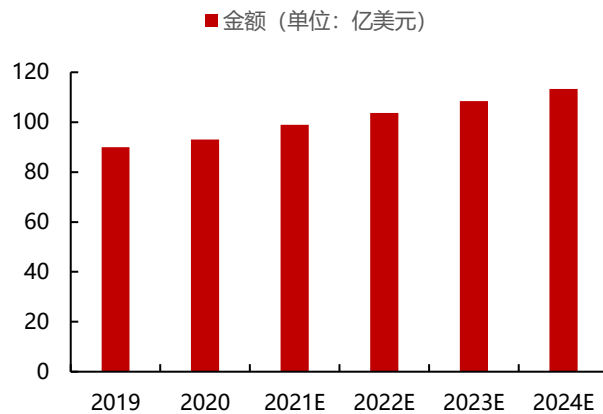
MRI 设备需求快速增长。根据联影医疗招股说明书，中国 MRI 设备市场保有量近年来一直保持快速增长态势。2018 年，日本、美国每百万人 MRI 人均保有量分别约为 55.2 台和 40.4 台，同期中国每百万人 MRI 人均保有量约为 9.7 台，我国当前人均 MRI 拥有量与发达国家的差距较大，随着临床需求的持续增加，中国成为全球增长速度最快的市场。2020 年，中国 MRI 市场规模达 89.2 亿元，预计 2030 年将增长至 244.2 亿元，年复合增长率为 10.6%。

图188: 我国 MRI 设备市场规模 (单位: 亿元)



资料来源：联影医疗招股说明书，民生证券研究院

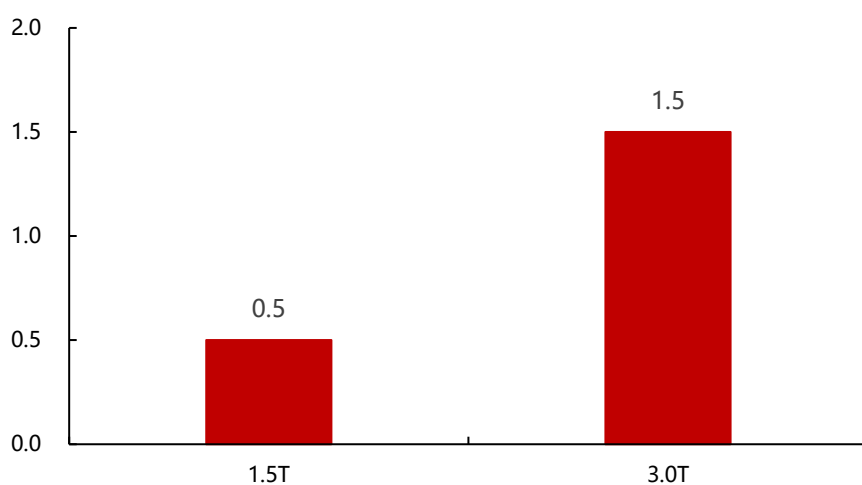
图189: 全球 MRI 设备市场规模 (单位: 亿美元)



资料来源：联影医疗招股说明书，民生证券研究院

MRI 用超导线材需求量不断增加。目前，国内 MRI 存量市场主要以 1.5T 和 3.0T 两种型号为主。其中，1.5T MRI 因能够满足基本临床需求，市场占比远高于 3.0T MRI。2020 年，中国 1.5T MRI 设备保有量占比为 75.3%；3.0T MRI 设备因产品价格高且采购需经政府批准，保有量占比为 24.7%。根据西部超导的测算，1.5T MRI 设备所需线材为 0.5 吨，3.0T MRI 设备所需线材为 1.5 吨。由于 1.5T MRI 仅满足基本临床需求，3.0T MRI 分辨率更高、检查更精细，因此，未来 3.0T MRI 设备的占比有望进一步提高，对超导线材的需求量亦会进一步增加。

图190：每台 MRI 设备所需超导线材（单位：吨）



资料来源：西部超导招股说明书，民生证券研究院

表66：超导线材需求测算（单位：吨）

项目	2020	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
MRI 新增台数	2346	2698	3103	3568	4103	4719
3.0T MRI	579	666	766	881	1013	1166
1.5T MRI	1767	2032	2336	2687	3090	3553
超导线材需求量 (吨)	1752.46	2015.33	2317.63	2665.28	3065.07	3524.83
3.0T MRI	869.19	999.57	1149.51	1321.93	1520.22	1748.26
1.5T MRI	883.27	1015.76	1168.12	1343.34	1544.84	1776.57

资料来源：西部超导公告，民生证券研究院

表67：行业内主要公司

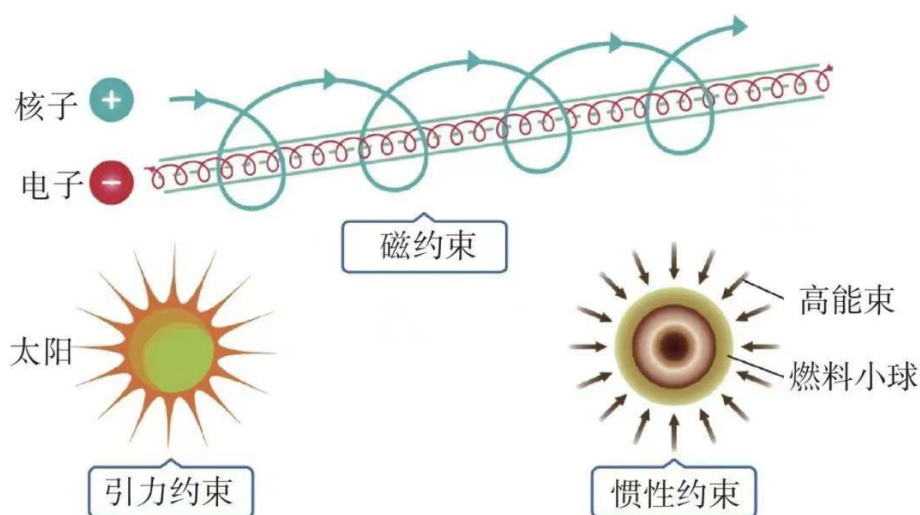
	超导磁体	MRI
国内	西部超导、宁波建信、潍坊新力、成都奥泰	宁波健信、成都奥泰、苏州安科、东软医疗、上海联影、鑫高益
国外	英国 Oxford、德国 Bruker、日本 JASTEC、美国 GE、德国 Siemens、荷兰 Philips	美国 GE、德国 Siemens、荷兰 Philips

资料来源：西部超导招股说明书，民生证券研究院

6.2.2 超导在核聚变领域发挥重要作用

核能具有能量密度高、稳定可靠、清洁无污染等优点，是化石能源的最佳替代项，核能的利用分为核裂变能和核聚变能。尽管核裂变和核聚变都使用原子能，但这两个过程之间有关键的差别。相比核裂变能，核聚变能是具有清洁、安全、可持续等优点的终极能源。因此，许多国家的科研机构 and 科技公司为之持续研究，希望早日实现聚变能发电，但其挑战巨大，尚需解决众多科学和技术难题。目前实现可控聚变约束有三种途径，包括引力（重力）约束、惯性约束和磁约束。在三类约束方式中，引力约束无法在地球上实现，惯性约束也难以实现持续的聚变功率输出，因此磁约束核聚变是实现聚变能开发的有效途径。

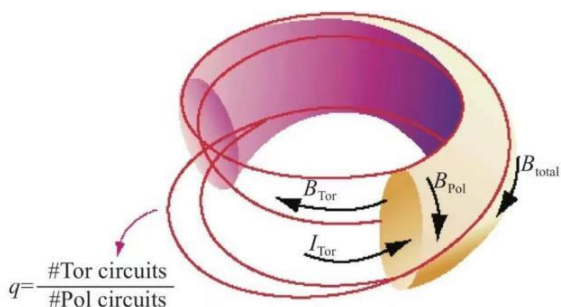
图191：核聚变的约束方式



资料来源：南方能源建设编辑部，民生证券研究院

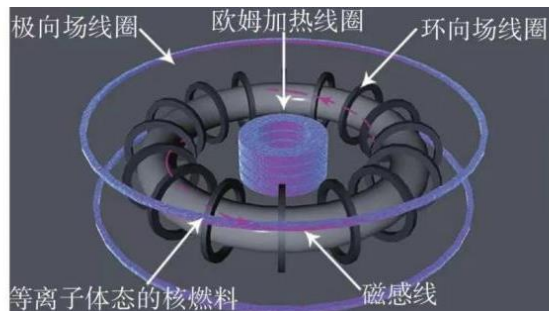
托卡马克是最有可能首先实现聚变能商业化的途径。磁约束是实现聚变能开发的有效途径，而在各种类型的磁约束聚变装置中，托卡马克以其优异的等离子体约束品质而备受重视。托卡马克，是一种利用磁约束来实现受控核聚变的环形容器。托卡马克的中央是一个环形的真空室，外面缠绕着线圈。在通电的时候托卡马克的内部会产生巨大的螺旋型磁场，将其中的等离子体加热到很高的温度，以达到核聚变的目的。

图192：托卡马克约束磁场示意图



资料来源：南方能源建设编辑部，民生证券研究院

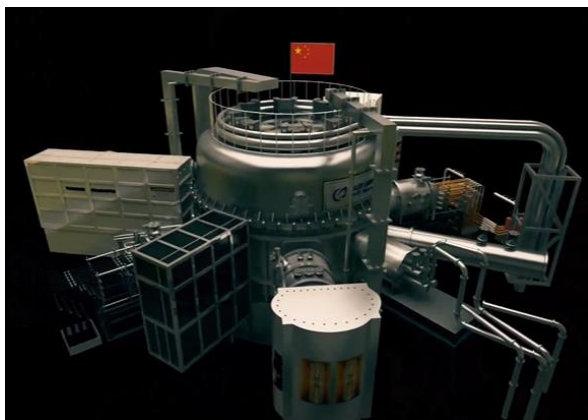
图193：托卡马克基本结构



资料来源：南方能源建设编辑部，民生证券研究院

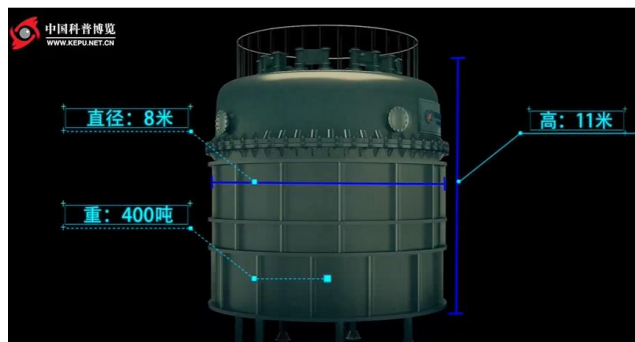
中科院等离子体所自主研制并建成世界上第一个全超导托卡马克实验装置 EAST (东方超环)，标志着聚变能发展步入全超导托卡马克时代。由于常规超导托卡马克装置在长脉冲稳态运行方面有所缺陷，而全超导托卡马克装置具备开展长脉冲稳态实验运行能力，所以从常规装置向全超导装置发展势在必行。由中国科学院等离子体物理研究所(以下简称“中科院等离子体所”)承担建设的国家“九五”重大科学工程项目“EAST(原名 HT-7U)”超导托卡马克核聚变实验装置”，是一个拥有超导纵场磁体和超导极向场磁体系统的全超导大型非圆截面托卡马克装置。EAST是由 Experimental (实验)、Advanced (先进)、Superconducting (超导)、Tokamak (托卡马克) 四个单词首字母拼写而成。2006年，中科院等离子体所自主研制并建成世界上第一个全超导托卡马克实验装置 EAST (东方超环)，标志着聚变能发展步入全超导托卡马克时代，向着实现稳态核聚变能源方向发展。**EAST 超导磁体采用 CICC 超导体，选用 NbTi 为超导材料。**

图194：EAST 装置



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所，民生证券研究院

图195：EAST 装置主机部分



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所，民生证券研究院

超导材料在中国聚变工程试验堆 (CFETR) 的线圈中发挥了重要的作用。中国聚变工程实验堆 (CFETR), 是中国自主设计和研制并联合国际合作的重大科学工程, 也是我国聚变实用化研究的关键一步。虽然我国自 20 世纪 90 年代开始托卡马克研究, 并先后建成运行合肥超环 (HT-7)、中国环流器二号 (HL-2A) 及东方超环 (EAST) 等装置。然而目前来看, 要填补未来商用聚变示范堆 (DEMO) 之间的技术空白还有很大的差距, 很多的工程技术难题也还没有解决。CFETR 将着力解决 ITER 与 DEMO 之间存在的物理与工程技术难题, 为我国 2050 年前后独立自主建设聚变电站奠定坚实的基础。在物理设计方面, CFETR 同样采用全超导磁体集成方案, 因此超导磁体系统是 CFETR 的核心部件之一。未来线圈更有可能在高场区采用高温超导体, 在低场区采用低温超导体。

图196: CFETR 效果图 1



资料来源: 中国科学院等离子体物理研究所, 民生证券研究院

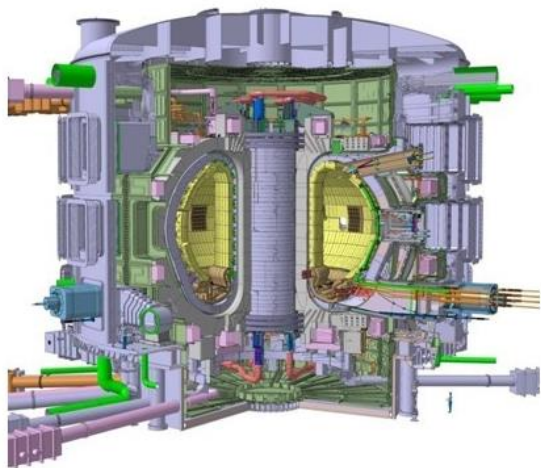
图197: 中国约束聚变能发展技术路线图



资料来源: 高翔等《CFETR 物理与工程研究进展》, 民生证券研究院

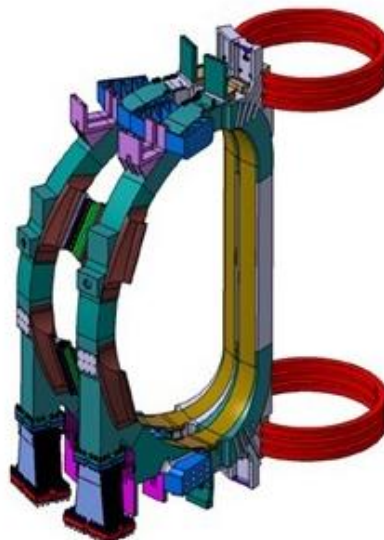
除了发展 EAST 和 CFETR, 我国还积极参与国际大工程科学计划--ITER 计划。ITER 计划全称“国际热核实验堆”, 于 1985 年确立。在上个世纪五十年代氢弹爆炸成功之后, 人们就开始了聚变核电站的研制研究工作。最初的聚变研究是作为国家机密, 每个国家各自进行研究。但是由于受控聚变的实现难度超乎寻常, 超越了任何一个国家的承受能力。于是从 60 年代开始, 世界各国开始谋求合作以进行人类聚变能的开发。在这种背景下, ITER 计划最终确立, 并以建造一个可持续燃烧的托卡马克聚变实验堆为目标。目前合作承担 ITER 计划的七个成员是欧盟、中国、韩国、俄罗斯、日本、印度和美国, 这七方包括了全世界主要的核国家和主要的亚洲国家。ITER 计划共需要超导线材 802 吨, 其中我国西部超导承担了 208 吨 (NbTi 超导线材 173 吨, Nb₃Sn 超导线材 35 吨) 的超导线材供应工作, 于 2017 年全部交付, 得到国际同行的高度评价。

图198: ITER 聚变实验堆



资料来源: 中国科学院等离子体物理研究所, 民生证券研究院

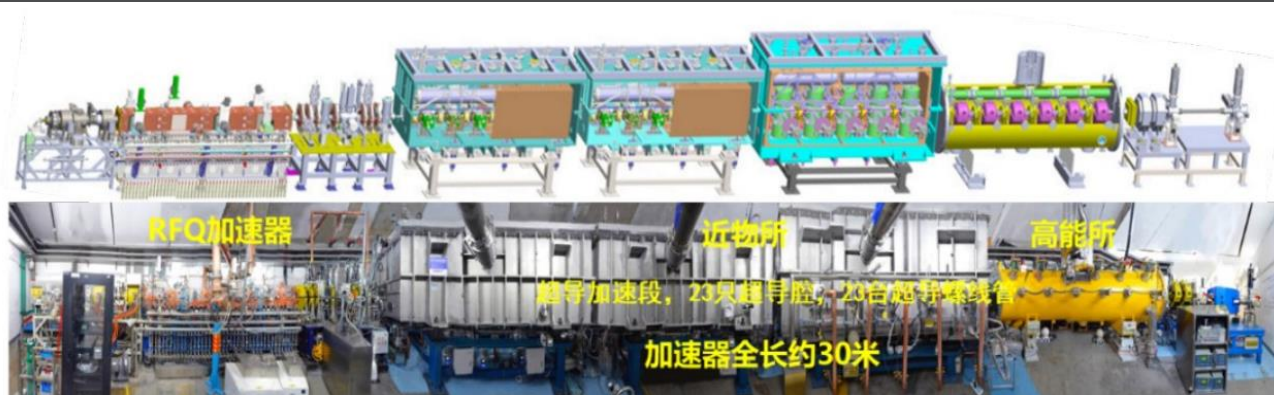
图199: ITER 纵场超导线圈



资料来源: 中国科学院等离子体物理研究所, 民生证券研究院

大科学装置将需要高性能低温和高温超导材料近 20000 吨。随着科技的进步, 国际上前沿技术领域对超导材料和应用技术提出了更高、更全面的要求。新一代环形正负电子对撞机及超级质子对撞机 (CEPC/SPPC) 磁场水平达到国际最高水平 20T、中国聚变工程试验堆 (CFETR) 磁场水平达到 15T、欧洲环形对撞机 (FCC) 磁场水平达到 15T, 这些大科学装置将需要高性能低温和高温超导材料近 20000 吨。

图200: 近物所与高能所联合研制的世界首台 25 MeV 连续波质子超导直线加速器



资料来源: 中国科学院近代物理研究所, 民生证券研究院

6.2.3 射频超导腔是粒子加速器关键部件

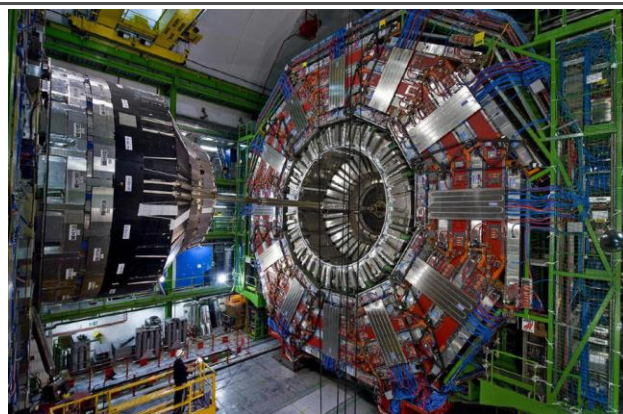
射频超导腔是新一代粒子加速器中的关键部件，采用铌超导腔的粒子加速器具有运行稳定好、平均流强度高、加速梯度高、低损耗、运行成本低的特点。射频超导腔是加速器中给粒子束流提供能量的核心部件，相当于加速器的发动机。它的工作原理是：输入耦合器馈入腔体的微波在超导腔内部建立特定谐振模式的电磁场；当带电粒子以合适的相位通过射频腔时，会正好受到正向加速场的作用，从而被加速。根据谐振腔的材料特性和工作温度，可以分为常温加速腔和超导加速腔。常温加速腔的材料主要是无氧铜，腔的表面电阻在 $m\Omega$ 量级，对应的本征品质因数 Q_0 在 10^4 量级。而超导加速腔的材料目前主要是高纯铌，高纯铌是具有较高临界温度 ($T_c=9.2\text{ K}$) 的第 II 类超导材料，由于其高临界温度、高临界磁场以及低表面电阻的特点逐步被用来代替铜作为高能粒子加速器的内腔材料。超导加速腔工作在超导状态，腔的表面电阻一般为 $n\Omega$ 量级，对应的本征品质因数 Q_0 在 10^9 量级，高于铜腔 5 个数量级，并且功率损耗小、加速场梯度高、阻抗小，可以达到很好的能量分辨率和稳定度。

图201：射频超导腔



资料来源：东方钽业官网，民生证券研究院

图202：粒子加速器



资料来源：新华网，民生证券研究院

国际上最早开始研究射频超导的应用试验是 1965 年斯坦福大学的汉森物理实验室首次采用铜表面镀铅的超导腔进行载束实验，但是加速梯度非常低。随后，1968 年 J.Turneure 和 N.Viet 采用的纯铌超导腔载束实验获得突破，加速梯度超过 10 MV/m ，从此之后纯铌被广泛应用于制造超导加速腔。目前应用纯铌超导腔的在运行电子加速器有：美国 JLab 实验室的连续电子束加速装置 CEBAF，美国直线加速器相干光源升级项目 LCLS-II，德国的欧洲 X 射线自由电子激光装置 XFEL，我国北京环形正负电子对撞机 BEPC-II 和上海硬 X 射线自由电子激光装置 SHINE 等。质子或者重离子加速器有：美国橡树岭国家实验室的散裂中子源项目 SNS，密歇根州立大学的稀有同位素束流装置 FRIB，欧洲散裂中子源项目 ESS，

以及我国近代物理研究所的加速器驱动嬗变研究装置 CiADS 和先进重离子加速器装置 HIAF 等。

图203：北京环形正负电子对撞机 (BEPC-II) 直线加速器



资料来源：中国科学院高能物理研究所，民生证券研究院

图204：德国的欧洲 X 射线自由电子激光装置加速器



资料来源：普发真空，民生证券研究院

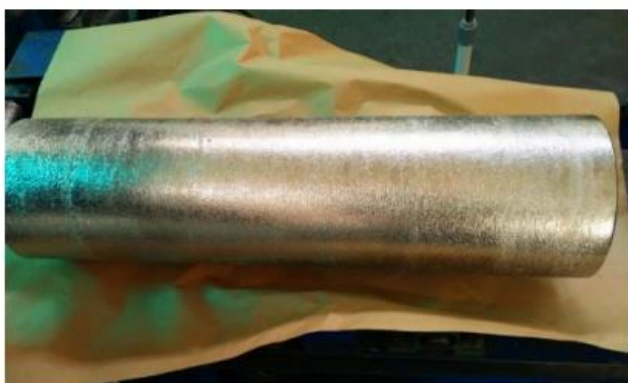
射频超导腔制作流程可分为高纯铌锭熔炼、超导铌材加工、射频超导腔制造三大部分，每个部分都有很严格的技术要求。

(1) 高纯铌锭熔炼：高纯铌锭的制备是制造射频超导腔用铌板最为关键的环节，必须将高纯铌锭的 RRR 值提高到一定的水平。铌的超导和热传导性能与自身纯度有着紧密的关系，因此加速器用铌材必须满足特殊的纯度，要使其残余电阻率 (RRR) 大于 300，并且冶金缺陷尺寸要小于 $50\mu\text{m}$ 。目前，世界上可以生产 RRR 值大于 300 高纯铌锭的公司主要有德国 W. C. Heraeus 公司、日本 Denkai 公司、美国 Wahchang 公司、巴西 CBMM 公司、中国东方钽业等。

(2) 超导铌材加工：国际上射频超导腔用铌板的制备工艺路线为高纯铌锭 (RRR 值大于 300) → 开坯 → 初轧 → 酸洗 → 退火 → 精轧 → 酸洗 → 退火 → 抛光 → 酸洗 → 超导铌板。

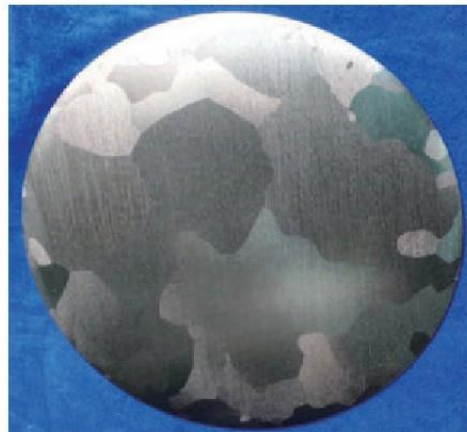
(3) 射频超导腔制造：从超导铌材到最终的射频超导腔的成型过程需要经过超导腔半腔冲压与精加工、电子束焊接、超导腔射频频率与场平坦化调整、超导腔后处理工艺、超导腔性能测试等生产流程，其中每一过程的完成质量都会影响到超导腔的性能，因此在生产流程每一步骤完成后，都要对各种元件(半碗、哑铃、高阶模耦合器和端腔)进行微波测量和调谐以保证整腔的均匀性和确定精密加工的加工量，特别是所有哑铃的谐振频率、耦合系数和尺寸都应该尽可能保持一致。

图205：高纯铌铸锭



资料来源：任军帅等《射频超导腔用高纯铌材制备》，民生证券研究院

图206：大晶粒 RRR300 高纯超导铌板



资料来源：邵杰等《超导腔用大晶粒 RRR300 高纯超导铌板的 RRR 值分布》，民生证券研究院

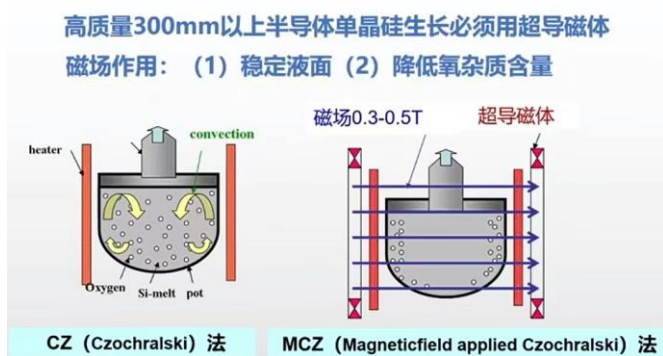
德国研究仪器公司(Research Instruments)在射频超导腔制造环节全球领先，市占率超 5 成。德国研究仪器公司是从德国 ACCEL 公司分离出来的，是全球超导腔制造龙头，业务布局覆盖超导腔部件、加速器模块以及加速器系统，目前射频超导腔产能约 200 只/年，近些年已经累计交付超 2000 只，全球市占率超 5 成。国内北京大学射频超导实验室自 20 世纪 80 年代末开始射频超导加速腔研究。1993 年，北京大学采用国产铌材研制国内第一只超导腔（频率 1.5GHz，1cell 椭球腔），当时国产铌材的残余电阻比（RRR）仅约 60。2005 年开始，北京大学与宁夏东方钽业集团合作研究满足超导腔要求的大晶粒铌材。早期像电子束焊接、表面处理、垂直测试等环节都需要送往海外实验室进行，伴随着国内射频超导腔研究不断推进，射频超导腔产业国产化进程持续向前。2011 年东方钽业集团和北京大学联合的宁夏东方超导科技有限公司成立，开始建立国内集超导腔冲压成型、机加工、高真空电子束焊接、表面处理、常温微波测量等一体化的基地。**目前，东方超导已形成一套完整的射频超导腔的生产线，成为国内唯一具有超导腔生产及后续处理的产业链。**

超导加速器主要用于高能物理、散裂中子源、洁净核能源、同步辐射光源、自由电子激光等，具有广泛的应用前景和现实应用价值，国内相关科学项目预计将带来超 800 只需求。国内正在建设的粒子加速器有上海硬 X 射线自由电子激光 (SHINE)项目,项目共需 1.3GHz-9Cell 超导腔 600 只和 3.9GHz-9Cell 超导腔 16 只；加速器驱动嬗变研究装置(CIADS)项目,项目共需 Spoke、HWR 等不同型号的超导腔 137 只；强流重离子加速装置(HIAF)项目,项目共需 QWR、HWR 等不同型号的超导腔 106 只；高能同步辐射光源项目,项目共需轮辐超导腔 500MHz 超导腔 7 只，需求空间可观。

6.2.4 超导在 MCZ 应用逐步放量

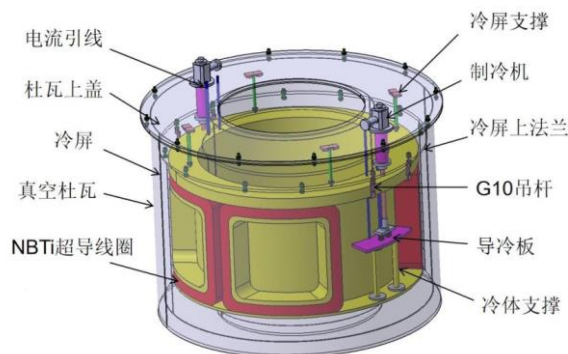
MCZ(磁控直拉单晶硅技术)配置超导磁体。磁控直拉单晶硅技术 (Magnetic Applied Czochralski Method), 简称 MCZ, 是目前国际上生产 300mm 以上大尺寸半导体级单晶硅的最主要方法。MCZ 法制备硅单晶的原理与 CZ 法基本相同, 只是在生产过程中对硅熔液施加了一个横向的电磁场, 其目的是为了抑制硅溶液中的对流现象, 从而控制晶体中的氧含量。单晶硅中氧的来源主要是石英坩埚的溶解, 而通过磁场对导电硅流体的热对流形成抑制作用, 抑制单晶硅生长过程中杂质和缺陷的产生, 可以使晶体完整性、均匀性得到很大改善, 从而实现高质量大尺寸单晶硅快速生长。

图207: MCZ 与 CZ 法单晶硅制备



资料来源: 中国工程科学, 民生证券研究院

图208: 超导磁体系统整体结构图



资料来源: 吴小四《直拉式单晶硅生长炉超导磁体研究》, 民生证券研究院

晶盛机电与西部超导强强联合, 助力超导材料需求放量。2023年5月, 晶盛机电推出了第五代光伏低氧单晶炉配置了超导磁场, 截至2023年6月, 第五代单晶炉已签订约3500台设备订单, 预计2023年配置近300台超导磁场。2023年6月, 晶盛机电与西部超导签订战略合作协议, 将进一步加强和巩固双方在各自领域的技术优势和竞争力, 加快超导磁场产能供给, 持续推动光伏技术革新, 助力全球新能源产业发展。

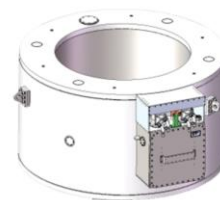
图209: 晶盛机电第五代单晶炉



资料来源: 晶盛机电官网, 民生证券研究院

图210: 西部超导 MCZ 用超导磁体

8英寸MCZ直拉单晶硅磁体

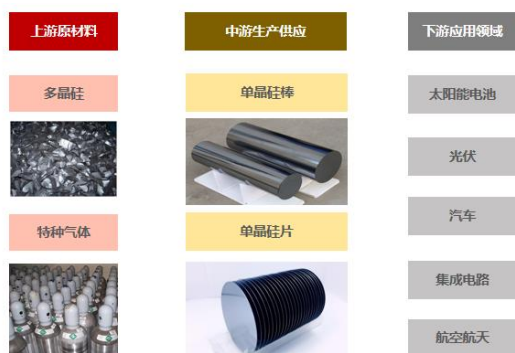


名称: 8英寸MCZ直拉单晶硅磁体
型号: XSMT-0.3T1420MCZ
制冷机数量: 2台
磁场方向: 水平
中心磁场强度: 0.3T
励退磁时间: <30分钟

资料来源: 西部超导官网, 民生证券研究院

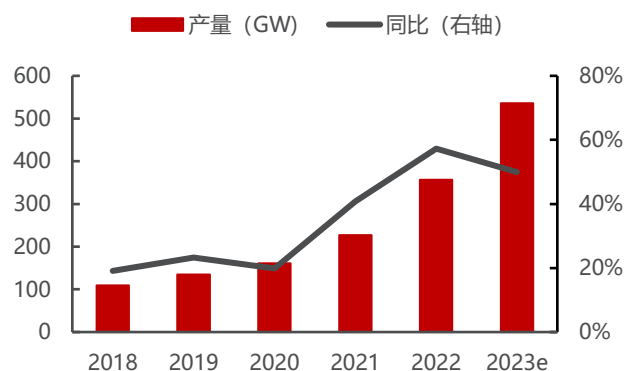
单晶硅市场规模不断扩大, 拉动超导磁体需求释放。单晶硅行业产业链上游为多晶硅及各类特种气体; 中游为单晶硅的生产供应环节; 下游主要应用于太阳能电池、光伏、半导体、航空航天、汽车等领域。从我国单晶硅产出情况来看, 得益于下游需求的不断增长以及各企业产能布局进程加快, 近年来我国单晶硅产能及产量均快速增长。随着未来硅片不断向大尺寸方向发展, 叠加半导体产业与光伏产业对于硅片的需求, 对于用 MCZ 法制备单晶硅所用的超导磁体需求量也会增加。根据辰光医疗招股说明书, 按照 67 台/GW 的行业标准计算, 未来伴随着 N 型单晶硅逐步替代 P 型单晶硅, 对磁拉单晶超导磁体的需求将达到近万台。

图211: 单晶硅产业链



资料来源: 华经产业研究院, 民生证券研究院

图212: 中国光伏硅片产量

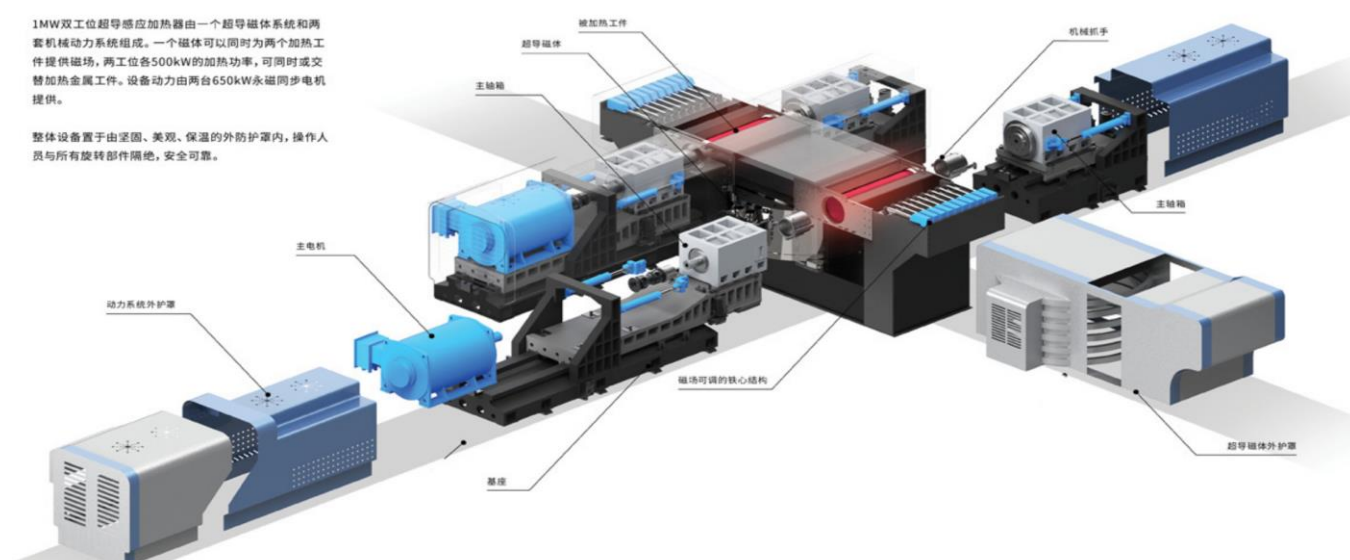


资料来源: 中国光伏行业协会《中国光伏产业发展路线图》, 民生证券研究院

6.2.5 高温超导感应加热技术产业化前景广阔

高温超导感应加热器是一种以超导体为核心的新型的电磁感应加热设备。利用超导体在低温下可实现稳定零电阻超导态的特性，在金属热加工、热处理等领域展现出优良特性，广泛应用于包括铝、铜、钛等金属的加工成型领域（包括挤压、锻造、轧制等）。新型超导感应加热设备主要包括直流励磁电源、超导主磁体系统和机械旋转系统等。超导感应加热技术加热原理和传统感应加热相同，都是法拉第电磁感应定律、涡流效应与焦耳定律。高温超导感应加热技术利用超导材料在临界低温下呈现零电阻的特性，产生强直流磁场，由机械传动系统带动如铝锭等金属工件在磁场中旋转，产生相对运动，工件切割磁力线形成涡流并产生焦耳热，实现对工件的热处理。

图213：联创超导双工位超导感应加热装置



资料来源：联创超导官网，民生证券研究院

高温超导感应加热技术节能效果明显。目前成熟的电机技术可以让超导感应加热效率达 90%以上，约为传统方式的两倍，节能效果明显；高温超导感应加热可以得到更深入、更均匀的轴向温度分布，提高加热质量，从而适用于如镁合金、钛合金等传统方式不能加热的合金。

高温超导感应加热经济性体现在综合经营成本低、投资回收期短、能效高等方面。高温超导感应加热设备生产利用率越高，产生的经济效益越显著，超导线圈基本无能耗，大大节约了外围辅助设备的电力成本。以 1MW 超导感应装置为例，按电费 0.6 元/kWh 计算，每年约能节约电费 547 万元，静态设备投资回收期仅 2-3 年。

表68：传统交流感应加热与超导感应加热性能对比

性能参数	高温超导感应加热	传统交流感应加热	高温超导设备优点
加热频率/Hz	4~12 (240~720rpm)	大于 50	加热质量高， 轴向温度分布更深入、更均匀
电流穿透深度	50	15	
加热效率/%	80~85	40~45	加热效率高，节能效果好。
能耗/ (kWh/t)	140	280 (含冷却)	每年节省约 800 万度电，节省电费约 450 万元/年
芯表温度/°C	±5	±20	芯表温差小，不会因为内外受热不均而裂开
加热工艺	可双根加热	可双根加热	安装维护简单
无功补偿	不需要	需要	
电力谐波污染	无	严重	环境友好
适合铝锭挤压场景	大于 36MN 热挤压机	大于 36MN 热挤压机	

资料来源：新材料产业，民生证券研究院

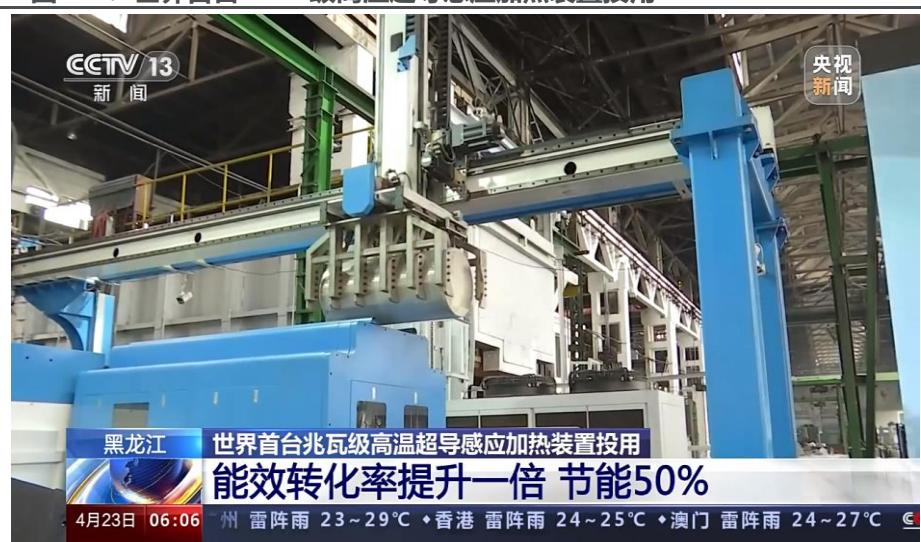
表69：传统交流感应加热与超导感应加热经济分析（以铝锭坯加热为例）

参数	传统大功率感应加热	超导感应加热	备注
加热频率	60Hz	(4~8) Hz	
功率	1.25MW×2	1.0MW	同样生产能力
能效 (典型值)	45%	80%	
加热性能 (锭坯心表温差)	±15°C	±2°C	
设备费用	600 万元 (国产) 1500 万元 (进口)	1200 万元	
设备占地	100 m ²	100 m ²	包含物料传送
加热温度	450°C	450°C	
生产率	5656t/月	5656t/月	每月工作 30 日
吨料耗电	280kWh	160kWh	
年外围设备电费	100 万元	18 万元	按 0.6 元/度
年总电费	1239 万元	692 万元	年总电费= (生产率×12/t 耗电×0.6) /10000+年外围设备电费
年运营维护费用	5 万元	26 万元	
每吨料生产成本	194 万元	106 万元	每吨生产成本 (元/t) = (总电费+运营维护费用) ×10000/ (生产率×12)
每年节约电费		547 万元	
设备年折旧成本	30 万元 (国产)	60 万元	假设折旧年限 20a, 无残值
投资回收期 (静态)		2.05a	按净利润=传统感应加热总电费及运营维护费用-超导感应加热总电费及运营维护费用 固定资产=设备费用 不考虑折现
投资回收期 (动态)		2.50a	按折现率 12%

资料来源：张强等《推广应用铝圆锭坯超导感应加热技术》，民生证券研究院

2023年4月20日，联创超导自主研发的世界首台兆瓦级高温超导感应加热装置于黑龙江中铝集团东北轻合金公司投用，标志我国超导热加工技术在全球实现重大突破。该设备具有磁场强度高、透热深度大、能效转化率高显著优势，并对超导磁体、旋转加热等核心关键技术的稳定性和可靠性进行了验证，在金属热加工行业实现了颠覆性替代应用。联创光电预计2024年兆瓦级超导感应加热器年产能达100台，超导产业园达产后，可实现年产500台的目标。此外，高温超导感应加热设备可用于铜、铝、镁、钛等材料的热加工及单晶硅生长炉、选矿和污水处理等方面，国内超导感应加热技术持续发展，应用范围广，设备市场空间巨大。

图214：世界首台 MW 级高温超导感应加热装置投用



资料来源：联创超导官网，民生证券研究院

6.2.6 超导在电力领域产业化应用曙光初现

高温超导技术在电力工业具有广阔的应用前景和巨大的市场潜力。超导电力的结合包括高温超导限流器、高温超导电缆、高温超导变压器等一系列产品，且均已在实际生活中得到使用，其中高温超导输电电缆在超导体实现规模化的商业应用过程中，率先迈向产业化，目前已有多个长距离高温超导电缆挂网运行。

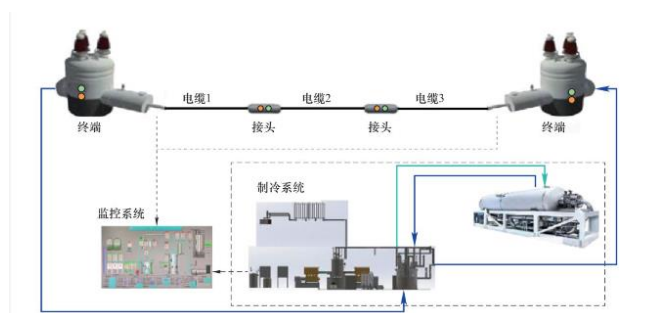
图215：超导电力技术应用场景



资料来源：中天科技公告，民生证券研究院

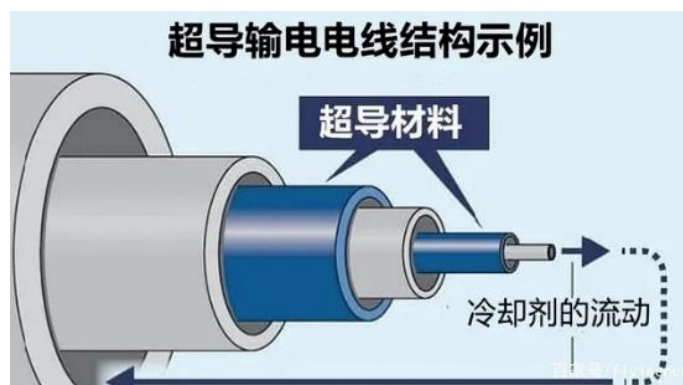
超导输电技术是一种利用高密度载流能力的超导材料发展而成的新型输电技术。超导输电系统的主要组成部分由超导电缆本体、超导电缆终端、循环低温制冷装置和配套的超导电缆及线路监控保护设施。超导输电电缆主要由超导材料、绝缘材料和维持超导状态的低温容器构成。目前高温超导电缆按绝缘方式可分为常温绝缘 (Warm-Dielectric, WD) 电缆和低温绝缘 (Cold-Dielectric, CD) 电缆两种；按电缆结构可分为单相型、三相同轴型和三相统包型电缆，分别适用于高电压等级 (110kV)、额定电压 10kV 商业化超导电缆系统和 66kV 以下的电压等级。

图216：超导电缆示范工程的系统构成示意图



资料来源：国网上海市电力公司《超导电缆在城市电网中的应用》，民生证券研究院

图217：超导电缆结构

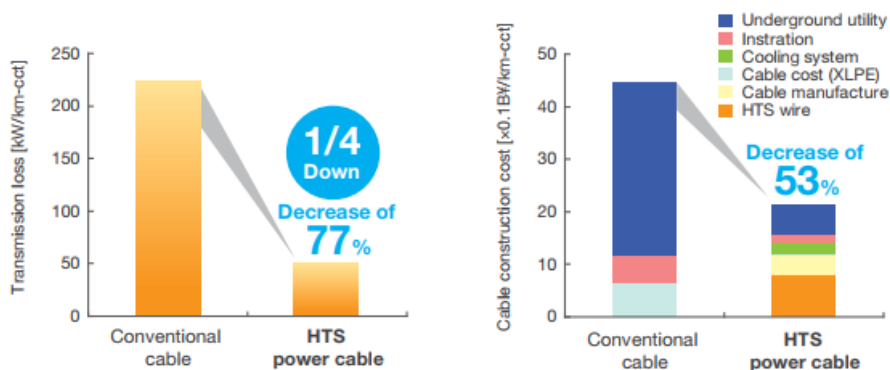


资料来源：科 way 公众号，民生证券研究院

高温超导电缆可能会替代传统电缆成为输电电缆的主流。常规电缆输电时，由于电阻生热都会有所损耗，如输送 1000 万千瓦电力的损失可能达到一座 100 万千瓦发电站的发电量，如果能通过给输电线降温使其达到超导状态，就能将电阻几乎变为零，从而实现无损输电，大大提升输电效率。和传统的铜、铝制成的电缆相

比，高温超导电缆可以将发电厂与用户之间传输的电力损耗减少至 1/4。考虑到高载流密度的特性让超导输电系统的安装占地空间变小，土地开挖和占用量也得以减少，利用现有的基础设施铺设超导电缆的可行性较高。同时，超导导线截面积较普通电缆大大减少，可以减轻输电系统的总重量。在城市密集区域、跨越性输电工程等场景下，高温超导线路将成为更具优势的选择。

图218：高温超导电缆和普通电缆对比



资料来源：古河电气工业株式会社官网，民生证券研究院

表70：各种输电技术的技术优势比较

	超高压交流	高压直流	直流电缆	高温超导直流输电
大功率传输容量	√	√	×	√
相较于超高压交流的成本优势	×	√	×	√
交流多点互联能力	√	×	×	√
地下直流电缆的隐蔽性和高可靠性	×	×	√	√
直流系统的系统控制特征	×	√	√	√
地下电缆的最小占地	×	×	√	√

资料来源：肖立业等《超导输电技术发展现状与趋势》，民生证券研究院

随着示范工程推进，超导电缆产业化大幕有望逐步拉开。超导输电逐步从示范性工程向商业 20 世纪 90 年代以来，美国、日本、韩国、德国等相继开展了高温超导电缆及其输电技术的研究工作，并有多个工程投运。虽然关于超导电缆工程的研究起步较晚，但我国已经成为国际超导领域的中坚力量。随着示范工程推进，超导电缆产业化大幕有望逐步拉开。

表71：世界主要高温超导电缆示范工程项目

国家	年份	项目选址	关键参数
韩国	2004	高敞郡	100m (22.9kV/1.25kA)
日本	2004	横须贺市	500m (77kV/1kA)
美国	2006	奥尔巴尼市	350m (34.5kV/0.8kA)

美国	2006	哥伦布市	200m (13kV/3kA)
日本	2007	横滨市	240m (66kV/2kA)
美国	2008	长岛市	600m (138kV/3kA)
韩国	2008	利川市	400m (22.9kV/1.25kA)
韩国	2014	济州岛	500m (80kV/6.25kA)
德国	2014	埃森市	1000m (10kV/2.4kA)
中国	2021	深圳市	400m (10kV/2.5kA)
中国	2021	上海市	1200m (35kV/2.2kA)

资料来源：电力与能源，民生证券研究院

6.2.7 超导在高速电动悬浮领域应用前景可期

超导电动悬浮列车最具实用化前景。根据磁悬浮列车的悬浮方式不同，可以将磁悬浮列车划分为：电磁悬浮（electromagnetic suspension, EMS）列车、电动悬浮列车（electrodynamic suspension, EDS）、超导钉扎悬浮（superconducting pinning levitation, SPL）列车。电动悬浮按照场源形式可以分为超导电动悬浮和永磁电动悬浮，超导电动悬浮按照磁体的工作温度又可以划分为高温超导电动悬浮和低温超导电动悬浮。在上述的几种电动悬浮方式中，日本研发的线圈式超导电动悬浮列车最具实用化前景。电动悬浮、超导磁悬浮列车具有运行速度快、车辆轻、悬浮间隙大等优点，是目前超高速磁悬浮列车发展的主流趋势。

表72：不同悬浮方式的磁悬浮列车对比

悬浮类型	悬浮原理	悬浮高度/mm	最高试验速度/(km/h)	最高应用速度/(km/h)	悬浮、导向控制	车载磁体	路轨铺设	车辆重量(单节车厢)	研究进展
EMS	车载磁与铁磁轨道间的相互吸引产生悬浮力	8~10	550 (德国 TR09)	430 (上海磁浮线 TR08)	需要闭环控制，有静态悬浮	电磁铁	硅钢片	重，56.5 t (德国 TR09)	商业运营
EDS	车载磁体与“8”字线圈、导电板之间相对运动产生悬浮力	80~150 (超导电悬浮)， 20~30 (永磁电动悬浮)	603 (JR 东海 L0)	505 (日本山梨试验线 L0)	自稳定，无需控制，无静态悬浮	超导磁体，永磁体	“8”字线圈，金属导电板	轻，25 t (JR 东海 L0)	准商业运营
SPL	非理想第二类超导体抗磁特性产生悬浮力	10~30	300 (西南交通大学模型车)		自稳定，无需控制，无静态悬浮	超导块材	永磁导轨	轻，12 t (西南交通大学工程化样车)	准商业运营

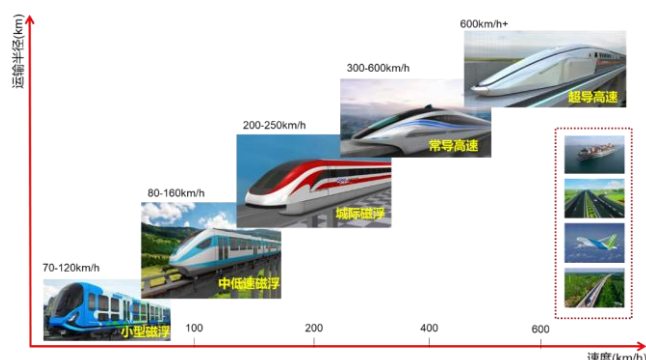
资料来源：刘士范等《电动悬浮列车及车载超导磁体研究综述》，民生证券研究院

图219：磁浮悬浮原理分类



资料来源：轨道世界公众号、民生证券研究院

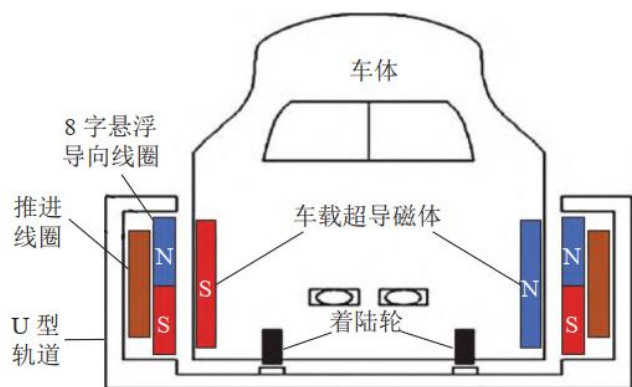
图220：磁浮速度等级分类



资料来源：轨道世界公众号、民生证券研究院

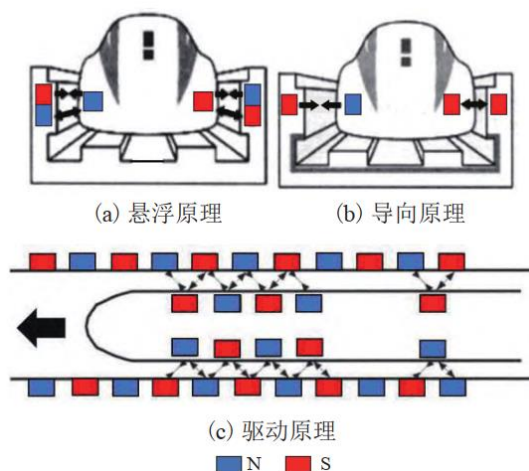
车载超导磁体是核心部件，承担着与地面线圈（驱动、悬浮、导向线圈）相互作用，实现列车驱动、悬浮、导向的任务。根据超导线圈的绕制线材不同，超导磁体可以分为基于 NbTi 低温超导线绕制的低温超导（low temperature superconducting,LTS）磁体、基于 Bi 系一代高温超导带材绕制的高温超导（high temperature superconducting,HTS）磁体和基于 ReBCO 二代高温超导带材绕制的高温超导磁体，基于高温超导带材绕制的超导线圈可以大幅降低超导磁体的运行成本。日本磁悬浮列车的车载超导磁体采用低温超导线 NbTi 绕制超导线圈。磁体系统主要由超导线圈、内杜瓦、支撑系统、冷屏、外杜瓦、液氮罐、液氦罐等设备组成。

图221：超导电动悬浮系统



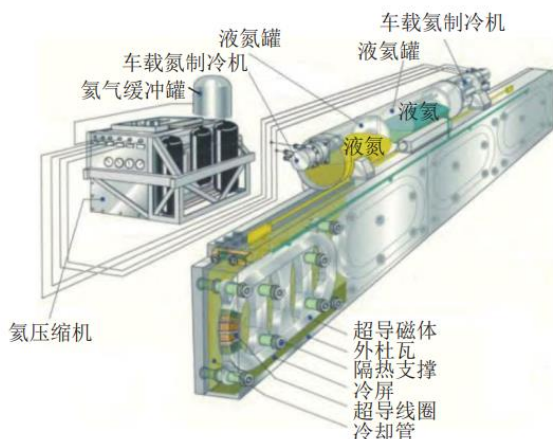
资料来源：刘士莞等《电动悬浮列车及车载超导磁体研究综述》，民生证券研究院

图222：超导电动悬浮原理



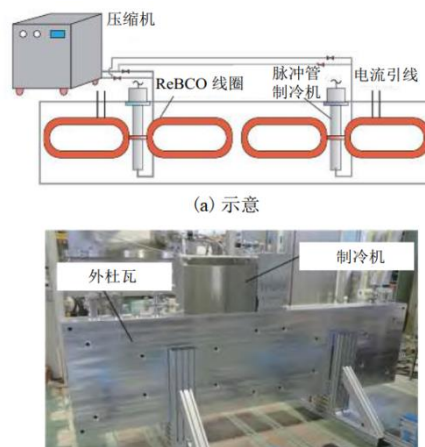
资料来源：刘士莞等《电动悬浮列车及车载超导磁体研究综述》，民生证券研究院

图223：日本研制的车载低温超导磁体



资料来源：刘士苒等《电动悬浮列车及车载超导磁体研究综述》，民生证券研究院

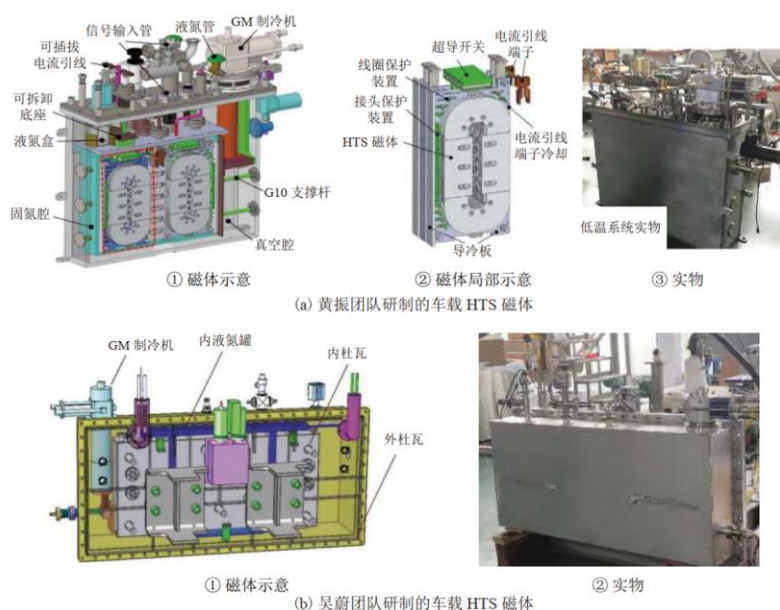
图224：日本研制的 ReBCO 带材车载高温超导磁体



资料来源：刘士苒等《电动悬浮列车及车载超导磁体研究综述》，民生证券研究院

国内车载高温超导磁体投入实验运行,在高速电动悬浮领域应用前景可期。国内车载超导磁体研究包括中国合肥物质研究院 LTS 磁体、中国上海交通大学 HTS 磁体、中国西南交通大学 HTS 磁体等，其中上海交通大学设计的闭环车载 HTS 磁体的电流衰减率是最低的，设计的非浸渍、固氮低温系统也是目前低温维持时间最长的，部分磁体已经投入实验运行。高温超导带材具有临界电流高、温度裕度大、机械强度高优点，采用二代 HTS 带材绕制超导磁体具有结构紧凑、磁场强度高的优点，在高速电动悬浮领域应用前景可期。

图225：中国上海交通大学研制的车载高温超导磁体

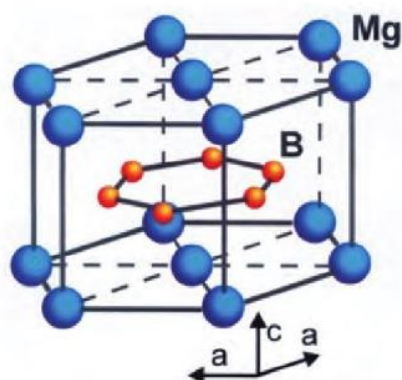


资料来源：刘士苒等《电动悬浮列车及车载超导磁体研究综述》，民生证券研究院

6.2.8 二硼化镁 (MgB₂) 超导材料有望逐步迈入商业化

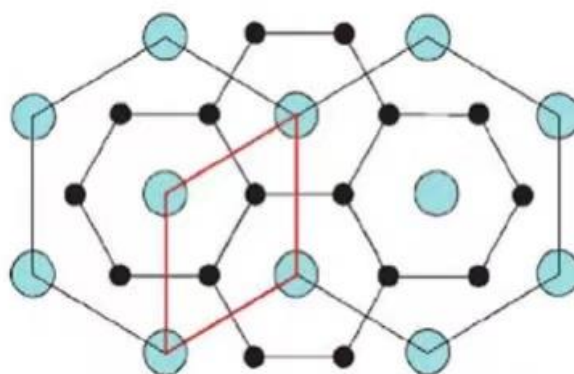
MgB₂ 超导转变温度达 39K。二硼化镁 (MgB₂) 是日本科学家在 2001 年偶然发现的金属间化合物超导体，结构由镁所构成的三角格子和硼所构成的蜂窝六角结构平面交错堆砌而成。它的超导转变温度达 39K，几乎高达其他同类型超导体的两倍，属于典型的 BCS 超导体。它是结构非常简单的二元中间金属化合物。

图226: MgB₂ 超导体的结构图



资料来源: 闻海虎《新型高温超导材料研究进展》, 民生证券研究院

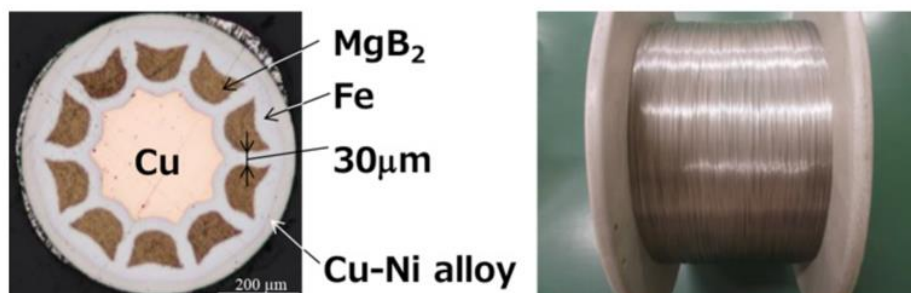
图227: MgB₂ 超导体的顶视图



资料来源: 闻海虎《新型高温超导材料研究进展》, 民生证券研究院

MgB₂ 超导体有一定应用潜力, 可用于核磁共振成像 (MRI) 系统、特殊电缆、风力发电电机及空间系统驱动电机等领域。MgB₂ 具有相干长度大、晶界不存在弱连接、材料成本低、加工性能好的优点, 利用粉末套管轧制技术 (PIT) 和原位反应技术可以轻松制备出千米级的导线。美国 Hyper Tech 公司已制备出单根长度大于 3km、J_c 值 25K 的 Monel/Cu/Nb 基多芯 MgB₂ 线材; 日本日立 (Hitachi) 公司已具备制出千米级 MgB₂ 线材的生产能力; 我国西部超导材料科技股份有限公司和西北有色金属研究院可制备千米级长度 19 芯及 37 芯结构的 MgB₂ 长线。

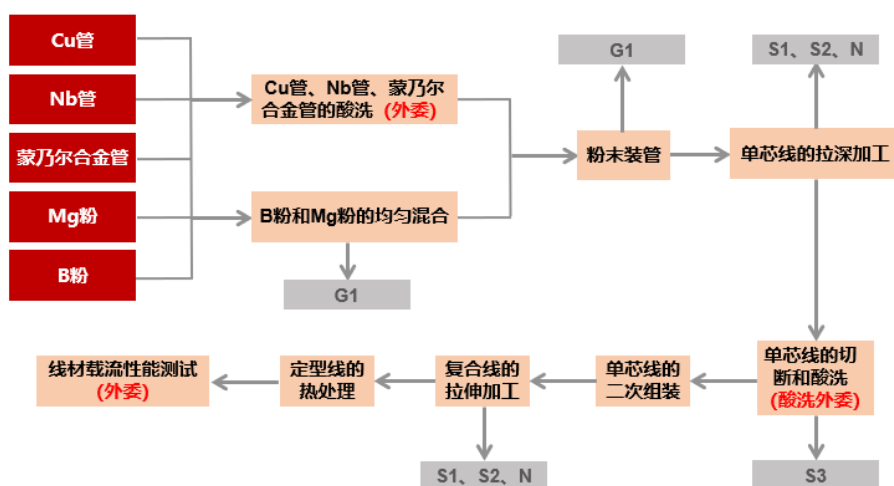
图228: 日本日立公司 MgB₂ 超导线材截面照片及外观图 (线径: 0.67mm)



资料来源: 日立官网, 民生证券研究院

在 MgB_2 高温超导线材生产工艺方面，各国不断进行研究和突破，目前二硼化镁高温超导线材的生产流程已较为成熟，较为主流的是粉末套管法 (PIT)、中心镁扩散法 (IMD) 和连续管线成型法 (CTFF)。提高 MgB_2 超导带材的 J_c 和稳定性是未来研究的突破方向，制备工艺在取得突破后， MgB_2 超导带材及其应用将迈向商业化模式。西北有色金属研究院正用自己生产的 MgB_2 超导线材，制备开放式 0.6T 医用核磁成像系统。基于 MgB_2 高温超导带材制备的开放式医用核磁共振成像系统有望投入使用，并逐步向商业化发展。

图229: MgB_2 高温超导线材工艺流程



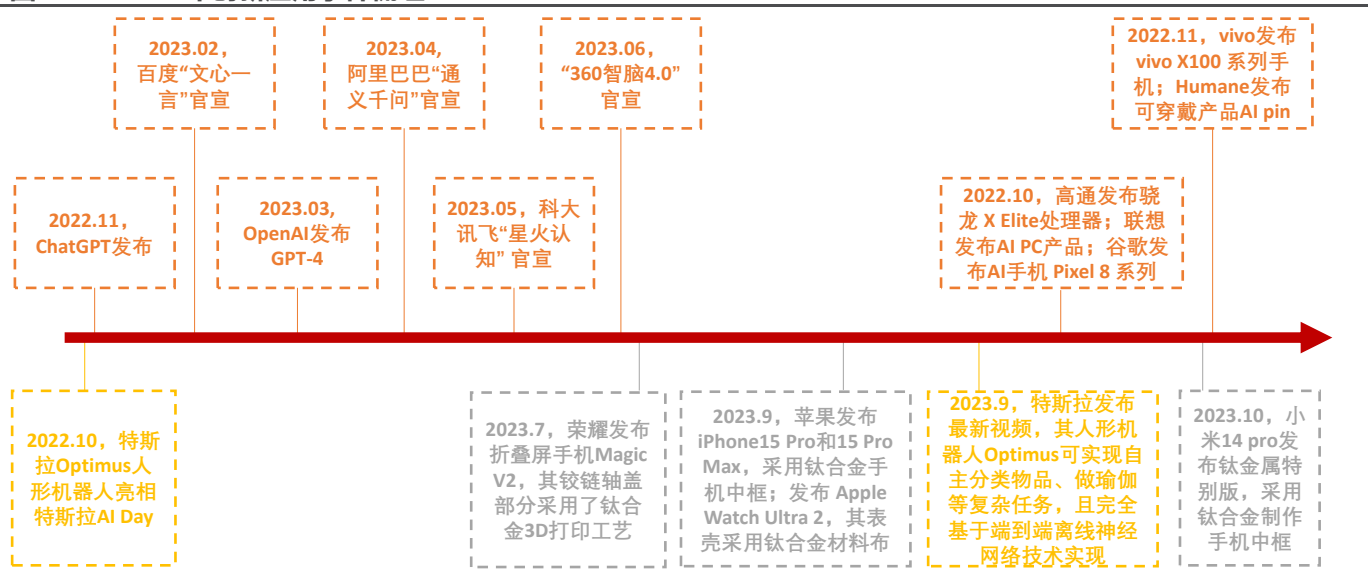
资料来源：西安聚能超导线材环评书，民生证券研究院

7 投资建议

7.1 行业投资建议

新技术&新场景带来新需求:材料产业的升级发展离不开经久不息的技术迭代更新,技术创新可以开拓新应用领域,如机器人、AI等,技术进步可以拓宽新应用场景,如光伏硅片切割引入钨丝、3C领域引入钛金属和3D打印工艺、超导在电磁领域应用等,创新的应用需求也带来“新”材料的发展机遇。

图230: 2023年创新应用事件梳理



资料来源: 澎湃新闻, 36 氪, IT 之家, TechWeb 等, 民生证券研究院

稀土磁材: 新能源车持续拉动, 人形机器人开拓新增长极。新能源车依旧维持较快增长,持续拉动磁材需求。除了新能源车外,远期特斯拉人形机器人有望带来2万吨高性能钕铁硼磁材毛坯需求增量,占2022年钕铁硼总需求的7.1%,有望成为拉动磁材需求的新增长极。

钨: 战略金属之王, 期待“登顶时刻”。我国钨资源丰富,钨战略地位高,钨矿开采难度大,国内钨矿产量近两年负增长;随着制造业复苏,硬质合金刀具等需求有望回升,新兴领域光伏钨丝放量,预计未来3年钨将维持供应偏紧格局。

钛材: 从航空航天向 3C 拓展, 今朝“钛”不一样。C919 圆满完成首次商业飞行,以C919为代表的国产机型交付量蓄势待发,目前C919订单至少1095架,测算C919订单总价值达到7150亿元;苹果和小米采用手机钛金属中框设计开启钛金属3C应用场景,有望引领消费电子钛应用潮流,预计可拉动近2万吨钛材需求。航空航天领域高速增长叠加3C贡献新增长极,钛材需求未来可期。

电子新材料：AIGC 促进产业变革，创新应用助力行业复苏。AIGC 产业化不断推进，算力需求提升刺激光模块往更高速率迭代、高密度服务器和 GPU 功耗增加驱动散热需求从风冷向液冷升级，相关产业链上游材料如光芯片衬底材料砷化镓、磷化铟、碲酸锂，光芯片基座，液冷板等深度受益 AIGC 产业化应用持续拓宽。目前电子行业呈现显著复苏趋势，AIGC 增添创新性应用有望加速行业回暖进程，电子行业上游原材料有望受益行业周期景气回暖机遇。

3D 打印金属粉末：3D 打印商业化加速，上游材料深度受益。伴随 3D 打印工艺持续升级以及经济性的提升，荣耀首次将 3D 打印方式引入折叠屏手机铰链制造成为 3D 打印在 3C 领域应用的开篇，有望开拓 3D 打印产业新增长极，3D 打印上游金属粉末原材料有望深度受益，我们测算预计 2027 年折叠屏+智能手表有望拉动千吨级 3D 打印钛合金粉末需求。

超导材料：超导研究持续推进，星辰大海未来可期。超导体因为具有绝对的零电阻和完全的抗磁性两大特性，在所有涉及电和磁的领域都有用武之地，应用领域广泛。低温超导材料应用目前占据整个超导材料市场的 90%以上，高温超导伴随技术突破蓄势待发。伴随新型超导材料研究的不断推进，下游 MRI、核聚变、粒子加速器、MCZ、超导感应加热、超导输电、超导电动悬浮列车等应用场景有望拉动超导材料可观需求，超导应用未来可期。

投资建议：我们推荐重要战略资源板块以及受益新兴产业发展机遇的稀土磁材、钨、钛材、电子新材料、3D 打印金属粉末和超导材料等板块，相关标的：金力永磁、厦门钨业、章源钨业、宝钛股份、西部超导、有研粉材、博迁新材。

7.2 重点公司

7.2.1 金力永磁：磁材龙头企业，正打造新的成长极

高性能钕铁硼磁材产品方面，1) 公司在包头投资建设的“高性能稀土永磁材料基地项目”在 2021 年底竣工，该项目已于 2022 年 6 月达产，形成 8,000 吨/年的高性能稀土永磁材料生产能力。另外，年产 12,000 吨的包头二期项目也于 2022 年开工。2) 宁波“年产 3,000 吨高端磁材及 1 亿台套组件项目”项目已经开工建设，预计 2023 年可以建成投产。3) 公司还规划了赣州投资建设年产 2000 吨高效节能电机用磁材基地项目。

稀土原材料供应方面，公司与包括南方稀土集团、北方稀土集团在内的重要稀土原材料供应商建立了稳定的合作关系，从而保证原材料的供应，和未来产能的释放。

远期产能规划较大，成长可期。目前高性能钕铁硼磁材受益于下游新能源汽车、风电、工业电机等领域的蓬勃发展拉动需求，磁材产销两旺，未来随着宁波项目、

包头二期项目、赣州本部项目的逐步投产，公司计划于“十四五”末达到 40000 吨高性能钕铁硼永磁材料的产能，其中赣州 17000 吨/年，包头 20000 吨/年，宁波 3000 吨/年，2022-2025 年的产能 CAGR 将达到 20.3%。

墨西哥布局磁组件项目，提升公司人形机器人、新能源汽车等领域市场竞争力。公司在墨西哥投资建设年产 100 万台/套磁组件生产线项目。项目计划总投资额为 1 亿美元，资金来源为自筹资金及 H 股募集资金。项目建设期为 3 年。该项目符合国家相关的产业政策以及未来公司整体战略发展方向，有助于提升公司在人形机器人、新能源汽车等领域的市场竞争力，对于公司拓展海外市场，提升全球市场份额，增加与国际客户合作的深度和广度具有重要战略意义。

营收占比来看，新能源车为公司营收占比最高的产品。2023 年前三季度，公司磁材产品在新能源汽车及汽车零部件、节能变频空调、风力发电、机器人及工业电机领域的营收占比分别为 47.7%、21.0%、8.8%、3.3%，其余 19.3% 的营收占比为 3C 消费电子、节能电梯、以及其他非主营业务收入。随着机器人行业的快速发展，未来公司机器人业务营收占比或将快速提升。

盈利预测与评级：考虑到公司有高性能钕铁硼在建项目，且磁材下游需求有望迎来复苏，未来公司产能将逐步释放，业绩持续增厚，我们预计 2023/2024/2025 年分别实现归母净利润 6.90/8.99/10.45 亿元，对应 12 月 11 日收盘价的 PE 分别为 38/29/25 倍，维持“推荐”评级。

风险提示：订单不及预期，机器人业务发展低于预期，稀土价格暴跌等。

表73：金力永磁盈利预测与财务指标

项目/年度	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入 (百万元)	7,165	7,039	8,861	10,230
增长率 (%)	75.6	-1.8	25.9	15.4
归属母公司股东净利润 (百万元)	703	690	899	1,045
增长率 (%)	55.1	-1.8	30.2	16.3
每股收益 (元)	0.52	0.51	0.67	0.78
PE (现价)	37	38	29	25
PB	3.8	3.6	3.3	3.0

资料来源：Wind，民生证券研究院预测；(注：股价为 2023 年 12 月 11 日收盘价)

7.2.2 厦门钨业：材料平台，厚积薄发

厦门钨业形成了钨钼、稀土和新能源材料三大业务平台。公司拥有“钨钼+稀土+正极材料”三大业务，是目前全球领先的钨冶炼产品加工企业，和世界级大型钨粉生产基地，拥有完整钨产业链，是国内高端硬质合金行业标杆企业；也是福建省稀土整合主体，国内四大稀土集团之一，具有完整的稀土产业链，下游磁材业务发力明显；公司同时也是锂离子电池正极材料生产企业，在钴酸锂、三元及磷酸铁锂深耕多年，在高压正极材料领域行业领先。

钨钼板块：向深加工业务发力，老树发新芽。公司钨钼板块已构建起完整的产业链，大湖塘钨矿注入预期，定增的油麻坡钨钼矿项目完全达产后，公司钨自给率将大幅提升，有望提升至 45%。公司持续发力下游深加工业务，定增项目投产后，公司数控刀片总规划产能将达到 9000 万片，整刀将超过 1200 万件。钨钼板块毛利率有望提升。另外钨钼新兴应用领域也获得突破，光伏切割用钨丝产品正处于大规模放量阶段，此次定增的 1000 亿米产能投产后，公司钨丝产能将达到 1845 亿米。

正极材料板块：定位高压，全球领先。正极材料业务主要是由子公司厦钨新能为主体开展，公司通过技术创新、上游原材料布局、扩充产能，占据行业优势地位。三元材料产能正快速扩展，磷酸铁锂加速布局。公司正极材料名义产能将从 2021 年的 8 万吨，提升到 2023 年的 18 万吨。

稀土板块：弥补资源短板，发力深加工。公司是福建省稀土资源整合主体，拥有其中四本采矿证，但限于资源储备不足，公司正与赤峰黄金合作在老挝开矿，与北方稀土签订框架协议。公司也在大力发展下游深加工产品，公司现有磁材毛坯产能 1.2 万吨，在建产能 5000 吨。此外公司探索稀土的高端应用，未来稀土光电晶体，稀土靶材或将成为新的利润增长点。

投资建议：公司三个板块业务均有扩产在建项目，成长势头良好。定增加码钨钼板块产能，钨丝+刀具提升下游深加工产品竞争力，钨矿项目增强上游原料自给率，公司钨钼板块盈利能力有望持续提升。我们预计 2023-2025 年归母净利润分别为 15.51/19.82/24.29 亿元，对应 12 月 11 日收盘价的 PE 分别为 16/12/10 倍，维持“推荐”评级。

风险提示：经济波动影响需求和价格的风险；原材料风险；产业重点项目不达预期的风险。

表74：厦门钨业盈利预测与财务指标

项目/年度	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入(百万元)	48,223	39,115	46,028	52,816
增长率(%)	51.4	-18.9	17.7	14.7
归属母公司股东净利润(百万元)	1,446	1,551	1,982	2,429
增长率(%)	22.7	7.2	27.8	22.5
每股收益(元)	1.02	1.09	1.40	1.71
PE	17	16	12	10
PB	2.4	2.2	1.9	1.7

资料来源：Wind，民生证券研究院预测；(注：股价为 2023 年 12 月 11 日收盘价)

7.2.3 章源钨业：上游钨矿受益钨价上涨，下游刀具板块好转

公司拥有钨全产业链体系。公司主要从事钨精矿的采选及以钨为原料的仲钨酸铵 (APT)、氧化钨、钨粉、碳化钨粉、热喷涂粉、硬质合金的生产及销售，建

立了从钨上游探矿、采矿、选矿，中游冶炼、制粉，下游精深加工的一体化生产体系，是国内拥有完整产业链的厂商之一。

公司资源储备丰富，钨矿盈利能力较强。公司拥有 6 座采矿权矿山，8 个探矿权矿区。2022 年，公司所辖矿权保有钨资源储量 9.46 万吨，锡资源储量 1.76 万吨，铜资源储量 1.28 万吨。22 年公司钨矿开采配额 5480 吨，随着矿山技改及矿山整合逐步推进，公司钨矿产量有望进一步提升，公司钨矿生产成本较低，矿端盈利能力较强。

抓住发展机遇，下游刀具板块涅槃重生。公司全资子公司赣州澳克泰目前具有高性能硬质合金精密刀具产能 2000 万片/年、硬质合金棒材产能 1000 吨/年。22 年，赣州澳克泰营收增长 17.54%，至 5.01 亿元，净利润增长 56.82%，至 0.03 亿元。国产硬质合金刀片发展前景广阔，公司刀具板块有望成为重要的业绩增长点。

发挥全产业链优势，钨粉产量国内领先。公司拥有从钨上游采矿、选矿，中游冶炼至下游精深加工的完整一体化生产体系。根据中国钨业协会 2022 年度统计数据，2022 年公司钨粉产量排名国内行业第一，碳化钨粉产量排名国内行业第二。

投资建议：公司作为国内钨产业链一体化企业，持续扩张产能，刀片板块发展前景广阔，公司业绩未来可期。我们预计公司 2023-2025 年归母净利润分别为 1.49/2.35/3.07 亿元，对应 12 月 11 日收盘价的 PE 分别为 45/29/22 倍，维持“推荐”评级。

风险提示：产品价格大幅下跌、原材料价格大幅波动、项目进展不及预期等。

表75：章源钨业盈利预测与财务指标

项目/年度	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入 (百万元)	3,203	3,316	4,023	4,889
增长率 (%)	20.2	3.5	21.3	21.5
归属母公司股东净利润 (百万元)	203	149	235	307
增长率 (%)	23.2	-26.5	57.1	30.7
每股收益 (元)	0.17	0.12	0.20	0.26
PE (现价)	33	45	29	22
PB	3.4	3.3	3.0	2.7

资料来源：Wind，民生证券研究院预测；(注：股价为 2023 年 12 月 11 日收盘价)

7.2.4 宝钛股份：国内钛材龙头，钛材有望持续放量

公司是国内钛材龙头，“十四五”规划成为国际钛业强企。公司钛材年产量位居全国第一，是国内及出口航空航天钛材的最主要供应商之一，2022 实际钛加工材产能达到 34214 吨。公司“十四五”发展战略计划达到 5 万吨钛产品及一定量的锆、镍等金属产品生产能力，有望建成国际钛业强企。

高端钛材项目逐步投产，钛产品结构持续优化。公司 2021 年初成功完成非公

开发行股票，募集资金净额 19.68 亿元，保障募投的钛材项目顺利实施。(1) 宇航级宽幅钛合金板材、带箔材项目预计增产板材 1500 吨/年、钛带 5000 吨/年、箔材 500 吨/年；(2) 高品质钛锭、管材、型材项目预计增产钛锭 10000 吨/年、管材 290 吨/年、钛合金型材 100 吨/年；随着钛材项目逐步投产，届时公司钛产品结构将进一步优化。

海绵钛及四氯化锆扩产，公司原料自给率提升。年产 12000 吨海绵钛及 3000 吨四氯化锆的扩建项目逐步推进。随着海绵钛产能逐步建成投放，公司原料自给率提升，保障公司业绩稳定性。

3C 领域拓宽钛材应用场景，钛材需求获新增量。钛合金材料比不锈钢更轻，比铝合金强度高，同时还具备优异的抗腐蚀性和极佳的生物相容性，是手机中框的理想材料。苹果和小米在最新发布手机产品中采用钛合金手机中框设计，有望引领其他智能手机品牌厂商采用钛金属设计，提升 3C 领域钛材需求增量。

投资建议：受益于航天航空等下游领域发展，公司产品需求空间广阔，随着高端产品项目投产，公司盈利能力有望持续攀升。我们预计公司 2023-2025 年归母净利润为 7.06/8.92/11.64 亿元，对应 12 月 11 日收盘价的 PE 依次为 22/18/13 倍，维持“推荐”评级。

风险提示：下游需求不及预期；原材料价格波动风险；项目进展不及预期。

表76：宝钛股份盈利预测与财务指标

项目/年度	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入 (百万元)	6,635	7,443	9,002	10,752
增长率 (%)	26.5	12.2	21.0	19.4
归属母公司股东净利润 (百万元)	557	706	892	1,164
增长率 (%)	-0.6	26.7	26.3	30.6
每股收益 (元)	1.17	1.48	1.87	2.44
PE (现价)	28	22	18	13
PB	2.5	2.4	2.2	1.9

资料来源：Wind，民生证券研究院预测；(注：股价为 2023 年 12 月 11 日收盘价)

7.2.5 西部超导：超导产品销量翻倍，高温合金+钛合金项目稳步推进

高温合金业绩贡献逐步显现。公司作为国内高性能高温合金材料的新兴供应商之一，众多产品广泛应用于国家军工重大装备、大型科学工程等，GH4169、GH738 等典型高温合金在多个型号发动机、燃机和商发长江系列发动机进入批量供货阶段。2022 年公司高温合金销量 732.41 吨，同比+45.67%，随着未来逐步释放产能，叠加原料端镍、钴等价格趋弱，高温合金业绩贡献有望逐步抬升。

定增项目加码高温合金+钛合金材料，成长性再上台阶。2022 年 1 月公司完成定增，共募集资金净额 19.81 亿元，其中 9.91 亿元规划建设航空航天用高性能金属材料产业化项目，新增钛合金材料 5050 吨，高温合金 1500 吨的生产能力。

定增项目 2024 年投产后, 钛合金总产能将达到 1 万吨。高温合金方面, 随着 2019 年公司首发募投的 2500 吨在 2023 年投产, 定增募投的 1500 吨在 2024 年投产, 公司高温合金产能将达到 6000 吨, 届时高温合金生产能力将处于国内第一梯队, 未来将充分受益下游军工等领域发展。

超导产品放量。超导产品市场开拓顺利, 公司持续开发超导材料和磁体技术在半导体、光伏、医疗及电力领域的应用, 其中 MRI 用超导导线 22 年产销量再创新高, 1.5T-5T 高场超导磁共振成像仪 (MRI) 用 NbTi 线材产品国际国内市场份额持续扩大。此外公司相继中标国家重大项目超导导线采购项目, 核聚变用高性能 Nb₃Sn 超导导线打破国外垄断, 形成批量供应。2022 年公司超导产品销量同比 +99.36% 至 1110 吨, 随着公司超导产品产能提升, 超导产品业绩贡献可期。

投资建议: 受益于航天航空等下游领域发展, 公司产品需求空间广阔, 随着高端产品项目投产, 公司盈利能力有望持续攀升。我们预计公司 2023-2025 年归母净利润分别为 7.11/9.27/12.11 亿, 对应 12 月 11 日收盘价的 PE 分别为 47/36/27 倍, 维持公司“推荐”评级。

风险提示: 下游需求不及预期; 原材料涨价超预期; 项目进展不及预期。

表77: 西部超导盈利预测与财务指标

项目/年度	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入 (百万元)	4,227	4,049	4,942	6,026
增长率 (%)	44.4	-4.2	22.1	21.9
归属母公司股东净利润 (百万元)	1,080	711	927	1,211
增长率 (%)	45.7	-34.2	30.3	30.7
每股收益 (元)	1.66	1.09	1.43	1.86
PE (现价)	31	47	36	27
PB	5.5	5.3	4.8	4.3

资料来源: Wind, 民生证券研究院预测; (注: 股价为 2023 年 12 月 11 日收盘价)

7.2.6 有研粉材: 金属粉体材料平台, 3D 打印材料开拓新空间

3D 打印金属粉体材料代表企业, 受益 3D 打印产业化机遇。公司子公司有研增材布局 3D 打印粉体材料业务, 3D 打印金属粉体材料目前产能 500 吨, 目前产能主要包括铝合金粉末 (200 吨)、高温合金粉体材料 (200 吨)、钛合金粉末 (75 吨) 以及铜合金粉末 (25 吨), 高温特种粉体材料产能规划 2000 吨, 主要包括软磁粉末、MIM 粉末、真空钎焊粉末等。受益于苹果、荣耀等终端厂商推出 3D 打印钛合金系列产品, 3D 打印行业有望迎来产业化发展机遇。公司抓住 3D 打印行业快速发展机遇, 不断开发新客户, 开辟新的应用领域。受益航天航空领域需求放量叠加 3C 领域开拓新需求增量, 公司 3D 打印粉末业务有望快速增长。

积极拓展产品应用领域贡献成长动力, 泰国生产基地将投产为铜粉海外市场拓展奠基。公司铜基金属粉体材料国内市占率约四成, 占据龙头地位享规模优势。公司还积极丰富产品品类, 布局电解铜粉、雾化铜/合金粉、电子级氧化铜粉等产

品，贡献长期成长动力。重庆基地产能 23 年 6 月已投产，泰国基地产能预计 23 年年底投产，整体铜基粉体产能提升到 4 万吨，泰国生产基地具备成本优势有望与英国子公司 Makin 发挥协同效应拓展海外市场，实现铜基粉体规模更上一层楼。

产业链纵向延伸走高附加值发展路线，有研纳微独立运行布局电子浆料拥有粉浆一体化优势。公司锡基粉体材料产能合计约 5000 吨，公司持续推进产品结构升级，粒度更细的高附加值锡粉产品份额持续提升。同时公司往锡粉下游延伸拓展包括锡膏、银浆等电子浆料环节，子公司有研纳微 23 年独立运行经营电子浆料业务，相较同行拥有粉浆一体化优势，未来锡基粉体和电子浆料板块盈利能力有望持续提升。

投资建议：公司为国内铜基和锡基粉体材料龙头，募投项目达产实现产能进一步扩充，锡基粉体材料走高附加值发展路线盈利能力有望持续提升，伴随 3C 等新兴市场应用加速 3D 打印产业化发展脚步，公司积极扩充 3D 打印金属粉体材料产能，公司业绩有望实现快速增长。我们预计公司 2023-2025 年实现归母净利润 0.58、0.80、1.31 亿元，对应 2023 年 12 月 11 日股价的 PE 分别为 56/40/25 倍，维持“推荐”评级。

风险提示：下游需求不及预期，原材料价格波动风险，研发进度不及预期。

表78：有研粉材盈利预测与财务指标

项目/年度	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入（百万元）	2,781	2,784	3,064	3,493
增长率（%）	0.0	0.1	10.1	14.0
归属母公司股东净利润（百万元）	55	58	80	131
增长率（%）	-31.7	3.9	39.3	63.3
每股收益（元）	0.53	0.56	0.77	1.26
PE（现价）	58	56	40	25
PB	2.9	2.8	2.6	2.4

资料来源：Wind，民生证券研究院预测；（注：股价为 2023 年 12 月 11 日收盘价）

7.2.7 博迁新材：电子高端金属粉体材料龙头，行业复苏盈利回暖可期

公司是全球领先的实现纳米级电子专用高端金属粉体材料规模化量产及商业销售的企业，掌握常压下物理气相冷凝法（PVD）核心技术。公司成立于 2010 年，立足电子专用高端金属粉体材料领域不断进行投入研发和产能扩张，目前业务布局覆盖纳米级、亚微米级镍粉和亚微米级、微米级铜粉、银粉、合金粉，还依托自身技术优势拓展了银包铜粉、纳米硅粉等新产品。目前公司金属粉体产线数量已超 150 条，凭借领先的技术和优异的产品品质，公司与三星电机、国巨股份、华新科、风华高科、潮州三环等国际、国内电子元器件行业领先企业都保持了长期良好的业

务合作关系。

电子行业周期呈现复苏态势，产能利用率提升有望拉动公司盈利回暖。MLCC 镍粉是制备 MLCC 内电极的核心原料，目前已替代贵金属占据市场主流，在熔点、纯度、粒径、形貌、振实密度、电迁移率等性能特点上都有严苛要求，制备工艺也十分复杂，拥有极高的技术壁垒，叠加下游客户认证壁垒导致目前全球 MLCC 镍粉市场主要被日本企业垄断。受益于 MLCC 不断朝着小型化、薄层化、大容量化、高可靠性和低成本方向发展，MLCC 市场规模持续增长，同时拉动 MLCC 镍粉市场需求，预计 2025 年 MLCC 镍粉市场规模将达到 87 亿元。公司作为国内电子高端金属粉体材料龙头打破国外垄断，有望受益行业增长以及份额提升实现快速增长。

银包铜作为 HJT 电池主要降本路径之一，伴随 HJT 电池渗透率不断提升有望打开公司新成长空间。HJT 电池转换效率更高、衰减率低、工艺步骤少、降本路径清晰，成为下一代主流电池技术路线之一，银包铜方案可替代 HJT 电池低温银浆实现降本。伴随 HJT 电池渗透率不断提升预计 2025 年低温银浆市场需求量将超 1000 吨，银包铜替代空间巨大，光伏银浆企业均积极开始布局银包铜方案。公司凭借在高端纳米粉体技术方面的积累拓展银包铜粉，伴随银包铜市场放量有望打开公司新成长空间。

纳米硅粉是硅基负极的核心原料，伴随硅基负极材料渗透率不断提升有望打开公司新成长空间。硅基负极凭借更高的比容量成为下一代锂电负极材料主流路线，特斯拉已率先在 4680 大圆柱电池采用硅基负极材料。纳米硅粉是硅碳负极材料的核心原料，其性能直接影响硅基负极材料的首次库伦效率以及循环稳定性等表现。纳米硅粉制备难度很高，公司的常压下物理气相冷凝法核心技术（PVD）在制备超细粉体方面具备优势，伴随硅基负极材料市场放量有望打开公司新成长空间。

投资建议：公司作为国内电子高端金属粉体材料龙头，受益于 MLCC 需求回暖叠加份额提升双轮驱动，以及银包铜粉体业务有望起量，预计 2023-2025 年归母净利润分别为 0.38/1.36/2.46 亿元，对应 12 月 11 日收盘价的 PE 分别为 199/56/31 倍，维持“推荐”评级。

风险提示：下游需求不及预期、原材料价格波动风险、新品研发不及预期。

表79：博迁新材盈利预测与财务指标

项目/年度	2022A	2023E	2024E	2025E
营业收入 (百万元)	747	749	1,296	1,640
增长率 (%)	-23.0	0.3	73.0	26.6
归属母公司股东净利润 (百万元)	153	38	136	246
增长率 (%)	-35.5	-75.3	257.3	81.0
每股收益 (元)	0.59	0.15	0.52	0.94
PE	49	199	56	31
PB	4.5	4.6	4.3	3.9

资料来源：Wind，民生证券研究院预测；（注：股价为 2023 年 12 月 12 日收盘价）

7.2.8 斯瑞新材：铜基合金技术为基，拓展光芯片基座享 AI 红利

公司是工信部认证的有色金属新材料领域“单项冠军”。公司专注于高强高导铜合金等细分领域的研发和制造，是一家以轨道交通、电力电子、医疗影像等高端应用领域为目标市场，向客户提供高强高导铜合金材料及制品、中高压电接触材料及制品、高性能金属铬粉、CT 和 DR 球管零组件等产品的高新技术企业。

光模块技术迭代带来光芯片基座材料升级要求。光模块是进行光电和电光转换的光电子器件，是支撑算力中心和数据中心的关键一环，目前主要以 200G 以下为主，200G 及以下对于芯片基座材料的散热要求不高，低膨胀高导热的可伐合金可以满足要求。400G 以上光模块芯片对散热要求大幅提高，需要具有低膨胀更高导热特性的新材料来满足要求，不同成份的钨铜合金可以满足 400G、800G、1.6T 光模块需求，大于 1.6T 的光模块需要更优异性能的铜金刚石材料才能满足要求。

立足铜基合金技术拓展光芯片基座，产能配套扩充享 AI 发展红利。用于光模块芯片基座的钨铜材料主要技术要求是超细钨粉均匀弥散分布在铜相中，并且材料要求高洁净度、高致密度，不允许有任何气孔、夹杂、钨颗粒团聚，这些缺陷都会严重影响光模块组件焊接和使用性能。目前市场上普通的钨铜材料无法满足这些精细要求，而且良品率低。公司采用 3D 打印骨架、真空熔渗定向凝固、微精密加工、自建专用镀金线满足了这一细分市场的特殊需求。目前公司主要客户有 Finisar、天孚通信、环球广电和东莞讯滔等，公司正在规划建设年产 200 万件产能。公司还在研发低成本批量生产金刚石铜工艺，为 1.6T 以上光模块大批量应用储备能力，以支撑未来更高性能 GPU 的快速发展需求。

7.2.9 华峰铝业：铝热传输龙头企业，新能源车调动液冷板业务放量

公司为铝热传输行业龙头企业。公司业务板块聚焦于铝热传输领域，所处行业为铝压延加工行业，交通运输行业是主要下游需求来源。公司产品包括热传输领域内的铝合金板带箔材料以及新能源汽车用电池料产品并兼有冲压件业务，公司现

有年产能 34-35 万吨,预计 2025 年重庆二期项目投产后产能将达到 49-50 万吨。

新能源是主要发力点,服务器与储能液冷打开新市场。铝热传输业务,受宏观新能源汽车及液冷方案渗透以及微观电池能量密度提升和空间结构优化共同驱动,行业整体有望实现快速增长。此外,由 AI 算力增长引致的服务器性能和需求量的提升进一步带动温控市场,叠加新型储能对液冷的需求有望打开铝热传输新增长极。

良率与客户优势明显,产品盈利能力高于同行。公司复合料产品生产技术及客户壁垒强,加工费优势明显,且设备以进口为主,实现预埋钎剂材料等产品的自主研发,同时公司良率达 73%,在提升产品议价能力抬升加工费的基础上进一步降本增效,使得公司盈利水平位居业内前列。另一方面,伴随新能源政策退坡,市场竞争逐渐成为行业主题,公司深度绑定下游龙头客户,产能稳健扩张,有望享受行业整体增长与下游企业市占率提升的双重红利。

8 风险提示

1) **海外地缘政治风险。**俄乌冲突加剧以及南美政策均影响供应，同时地缘冲突风险也影响市场避险情绪，影响未来金属需求。

2) **需求不及预期。**美联储加息，全球经济有下行风险，需求或弱于预期。

3) **新品研发不及预期。**新产品技术路线可能提出更多要求，增加研发难度，导致新品研发进程或不及预期。

插图目录

图 1: 钕铁硼永磁为第三代永磁.....	3
图 2: 稀土磁材产业链.....	4
图 3: 稀土永磁材料生产流程.....	4
图 4: 全球稀土储量分布 (2022)	5
图 5: 全球稀土产量分布 (2022)	5
图 6: 2022 年中国稀土冶炼分离产品产量占全球 93%以上 (单位: 吨 REO)	6
图 7: 中国轻重稀土资源量分布 (2020)	6
图 8: 中国稀土资源地区分布 (2020)	6
图 9: 2023 年稀土矿产品指标同比增长 14.3% (吨 REO)	7
图 10: 2023 年稀土冶炼分离产品指标同比增长 13.9% (吨 REO)	7
图 11: 2019-2022 年 MP 矿山产销量.....	8
图 12: 2019-2022 年 MP 公司营收与利润.....	8
图 13: 2023 年 1-9 月缅甸进口稀土量同比大幅增长.....	9
图 14: 2015-2022 年 Lynas 稀土总产量和镨钕产量.....	10
图 15: 2022 和 2025 年的高性能钕铁硼下游需求分布.....	11
图 16: 2016-2025 年全球高性能钕铁硼带动的氧化镨钕需求量快速增长 (单位: 吨 REO)	12
图 17: 特斯拉人形机器人执行器数量远高于工业机器人.....	12
图 18: 鸣志有刷空心杯电机结构图.....	13
图 19: 步科股份无框力矩电机示意图.....	13
图 20: 2022 年全球钨储量分布 (万吨, %)	15
图 21: 2022 年全球矿山钨产量分布 (吨, %)	15
图 22: 2008-2022 年矿山钨产量情况 (单位: 吨)	15
图 23: 我国钨矿开采总量控制指标.....	16
图 24: 2023 年我国各省钨精矿开采总量控制指标 (折 WO ₃ 吨)	16
图 25: 我国钨矿分布图.....	16
图 26: 钨的硬度高, 熔点高.....	17
图 27: 钨的终端应用十分广泛 (2022)	17
图 28: 我国的钨矿产量.....	17
图 29: 钨精矿开工率情况 (%)	17
图 30: 钨精矿生产成本.....	18
图 31: 我国钨精矿进口量.....	18
图 32: 2023 年 1-10 月我国钨精矿进口国分布 (单位: 吨)	18
图 33: 2023 年钨下游消费结构 (单位: 吨)	19
图 34: 下游领域钨消费量 (单位: 吨)	19
图 35: 钨精矿供需平衡 (单位: 金属吨)	20
图 36: 2019 年不同类型硬质合金产量结构.....	20
图 37: 不同类型硬质合金制品.....	20
图 38: 2022 年硬质合金行业产量为 5 万吨.....	21
图 39: 硬质合金进出口情况.....	21
图 40: 中国切削工具消费市场情况.....	21
图 41: 刀具进口情况.....	21
图 42: 2022 年切削刀具同行业上市公司营收、毛利率情况.....	22
图 43: 2022 年同行业数控刀片产量对比.....	22
图 44: 硬质合金顶锤.....	23
图 45: 超大规格硬质合金顶锤.....	23
图 46: 六面顶压机.....	23
图 47: 单晶合成环节简易图.....	23
图 48: 2015-2020 年中国人造金刚石年产量规模 (单位: 亿克拉)	24
图 49: 2020-2026 年全球培育钻石年产量及预测 (单位: 万克拉)	25
图 50: 2021-2026 年中国培育钻石年产量及预测 (单位: 万克拉)	25
图 51: 2021 年全球培育钻石产量分布.....	25
图 52: 金刚石线的结构及应用.....	27
图 53: 钨丝图片.....	27
图 54: 光伏用细钨丝生产流程图.....	28

图 55: 硅料价格走势 (单位: 元/kg)	29
图 56: 2019-2022 中国太阳能电池片产量情况 (单位: GW)	30
图 57: 钨在军事武器中运用	32
图 58: 国内钨在军工领域需求占比 11% (2021)	33
图 59: 钛产业链	34
图 60: 钛材生产工艺	35
图 61: 全球钛消费分布 (2019)	37
图 62: 中国钛消费分布 (2022)	37
图 63: 中国海绵钛产量	38
图 64: 全球海绵钛产量分布 (2022 年)	38
图 65: 中国海绵钛产能	38
图 66: 全球海绵钛产能分布 (2022 年)	38
图 67: 中国钛材产量	40
图 68: 钛材行业集中度 (2021 年)	40
图 69: 2022 年钛材进口量 7479 吨	42
图 70: 钛材进口均价远高于出口均价 (万美元/吨)	42
图 71: 中国航天航空领域钛材消费量	43
图 72: 中国军费预算支出 (单位: 亿元)	44
图 73: 各国军用飞机现役数量 (单位: 架)	44
图 74: 国外主要战斗机钛用量占比 (质量分数)	45
图 75: C919 先进材料简图	46
图 76: 主要民用客机钛用量占比 (质量分数)	46
图 77: C919 产业链	47
图 78: 全球各地客机机队预测 (单位: 架)	48
图 79: 小米 14pro 钛金属特别版	49
图 80: iphone15 系列采用航空级钛金属	49
图 81: 钛合金手机中框产业链梳理	50
图 82: 轧制法钛铝板复合工艺 (3C 钛边框为双层复合)	50
图 83: 钛边框用棒材轧制工艺	50
图 84: 全球智能手机出货量 (单位: 百万部)	51
图 85: 全球高端手机销量占比	51
图 86: 全球光模块市场规模及预测	53
图 87: 中国光模块市场规模及预测	53
图 88: 全球前十大光模块市场竞争格局	54
图 89: 光通信系统工作原理	54
图 90: 光模块结构示意图	54
图 91: 光通信产业链梳理	55
图 92: 光芯片分类	56
图 93: 光模块成本结构分拆 (2022)	56
图 94: 光模块光器件成本结构分拆 (2022)	56
图 95: 砷化镓产业链	57
图 96: 全球砷化镓衬底应用分布结构	58
图 97: 2019-2025 年全球砷化镓衬底销量和市场规模展望	58
图 98: 2019 年全球砷化镓衬底市场竞争格局	59
图 99: 磷化铟产业链	60
图 100: 全球磷化铟衬底应用结构 (销量口径)	60
图 101: 全球磷化铟衬底应用结构 (价值量口径)	60
图 102: 2019-2026 年全球磷化铟衬底销量和市场规模	61
图 103: 2019-2026 年全球磷化铟衬底光模块器件领域应用销量和市场规模	61
图 104: 全球磷化铟衬底市场竞争格局 (2020)	62
图 105: 光学级铌酸锂材料产业链梳理	62
图 106: 光信号调制在光信号处理流程中的位置	63
图 107: 离子切片法制备铌酸锂薄膜示意图	64
图 108: 2021-2025 年全球光模块用铌酸锂调制器市场空间及展望	65
图 109: 全球铌酸锂晶体市场规模	66
图 110: 2017-2022 年中国铌酸锂晶体市场规模	66
图 111: 电子封装金属基材料性能	67

图 112:	电子封装常用复合材料性能比较.....	68
图 113:	光芯片基座示意图.....	69
图 114:	电池水冷板结构.....	70
图 115:	口琴管式水冷板.....	70
图 116:	冲压式水冷板.....	70
图 117:	液冷板行业产业链.....	71
图 118:	液冷板生产流程（以复合材料为例）.....	72
图 119:	铝热传输复合材料基本结构.....	73
图 120:	铝热传输复合材料放大图.....	73
图 121:	主要公司产品良率.....	74
图 122:	华峰铝业年产 15 万吨新能源用板带箔项目周期需要 3 年.....	75
图 123:	全球钎焊热交换器用轧制铝材市占率（2022）.....	76
图 124:	风冷系统方式示意图.....	77
图 125:	液冷方式示意图（翅片液冷板）.....	77
图 126:	汽车热管理系统组成.....	78
图 127:	麒麟电池结构及水冷板示意图.....	79
图 128:	直流充电桩电气结构示意图.....	81
图 129:	中国大陆充电桩保有量及增长率.....	82
图 130:	中国大陆公共直流、交流充电桩保有量及增长率.....	82
图 131:	华为新一代全液冷超快充电桩.....	83
图 132:	充电桩液冷散热结构示意图.....	83
图 133:	我国数据中心机架规模.....	84
图 134:	机柜功率密度及相应散热模式图.....	84
图 135:	全球算力规模及增速.....	85
图 136:	我国算力规模及增速.....	85
图 137:	2025 年全球数据中心单机柜平均功率有望达 25kW.....	86
图 138:	全球 AI 服务器市场规模预测.....	86
图 139:	全球 AI 服务器出货量预测.....	86
图 140:	储能产业链结构图.....	88
图 141:	源网荷各侧新型储能应用场景.....	88
图 142:	“十四五”新型储能累计装机容量预测.....	90
图 143:	2022 年我国新型储能装机占比.....	90
图 144:	储能热管理系统风冷方式示意图.....	90
图 145:	储能热管理系统液冷方式示意图.....	90
图 146:	储能液冷方案成本占比（2022）.....	91
图 147:	MLCC 结构图.....	94
图 148:	MLCC 产业链.....	94
图 149:	NME 和 BME 对比.....	95
图 150:	MLCC 全球市场规模及增速.....	98
图 151:	MLCC 中国市场规模及增速.....	98
图 152:	车用 MLCC 全球市场出货量.....	99
图 153:	车用 MLCC 国内市场出货量.....	99
图 154:	全球智能手机出货量持续回暖.....	100
图 155:	台股 MLCC 企业月度营收.....	100
图 156:	全球 3D 打印行业应用领域及占比（2021 年）.....	101
图 157:	C919 飞机中使用 3D 打印技术制造的零部件.....	102
图 158:	拓扑优化前后车架零件对比.....	103
图 159:	全球 3D 打印细分产品市场占比（2021 年）.....	103
图 160:	3D 打印行业产业链.....	103
图 161:	金属增材制造技术示意图.....	104
图 162:	不同的 3D 打印金属粉体材料制备方法.....	106
图 163:	2015-2025 年全球增材制造行业市场规模及增长率.....	107
图 164:	2019-2024 年中国增材制造行业市场规模及增长率.....	107
图 165:	全球增材制造行业原材料种类及占比（2021 年）.....	107
图 166:	中国增材制造细分产品市场规模（2021 年）.....	108
图 167:	中国增材制造行业原材料种类及占比（2021 年）.....	108
图 168:	荣耀 Magic V2 铰链轴盖采用钛合金 3D 打印工艺.....	109

图 169:	Apple Watch Ultra 智能手表表壳采用钛合金材料	109
图 170:	周期表具有超导电性的元素及其转变温度 T_c	111
图 171:	超导材料的探索历程	111
图 172:	超导材料及其应用领域	112
图 173:	超导材料主要强电运用领域	112
图 174:	超导材料进展概况	113
图 175:	国内超导产业链	113
图 176:	低温超导产业链	115
图 177:	全球低温超导主要企业	115
图 178:	二代高温超导应用领域	116
图 179:	高温超导行业产业链	116
图 180:	二代高温超导带材	117
图 181:	二代高温超导带材结构	117
图 182:	MRI (磁共振成像仪)	117
图 183:	MRI 行业产业链	118
图 184:	MRI 用超导材料 1	118
图 185:	MRI 用超导材料 2	118
图 186:	1.5T 磁共振设备成本分布	119
图 187:	3.0T 磁共振设备成本分布	119
图 188:	我国 MRI 设备市场规模 (单位: 亿元)	119
图 189:	全球 MRI 设备市场规模 (单位: 亿美元)	119
图 190:	每台 MRI 设备所需超导线材 (单位: 吨)	120
图 191:	核聚变的约束方式	121
图 192:	托卡马克约束磁场示意图	122
图 193:	托卡马克基本结构	122
图 194:	EAST 装置	122
图 195:	EAST 装置主机部分	122
图 196:	CFETR 效果图 1	123
图 197:	中国磁约束聚变能发展技术路线图	123
图 198:	ITER 聚变实验堆	124
图 199:	ITER 纵场超导线圈	124
图 200:	近物所与高能所联合研制的世界上首台 25 MeV 连续波质子超导直线加速器	124
图 201:	射频超导腔	125
图 202:	粒子加速器	125
图 203:	北京环形正负电子对撞机 (BEPC-II) 直线加速器	126
图 204:	德国的欧洲 X 射线自由电子激光装置加速器	126
图 205:	高纯铌铸锭	127
图 206:	大晶粒 RRR300 高纯超导铌板	127
图 207:	MCZ 与 CZ 法单晶硅制备	128
图 208:	超导磁体系统整体结构图	128
图 209:	晶盛机电第五代单晶炉	129
图 210:	西部超导 MCZ 用超导磁体	129
图 211:	单晶硅产业链	129
图 212:	中国光伏硅片产量	129
图 213:	联创超导双工位超导感应加热装置	130
图 214:	世界上首台 MW 级高温超导感应加热装置投用	132
图 215:	超导电力技术应用场景	133
图 216:	超导电缆示范工程的系统构成示意图	133
图 217:	超导电缆结构	133
图 218:	高温超导电缆和普通电缆对比	134
图 219:	磁悬浮原理分类	136
图 220:	磁浮速度等级分类	136
图 221:	超导电动悬浮系统	136
图 222:	超导电动悬浮原理	136
图 223:	日本研制的车载低温超导磁体	137
图 224:	日本研制的 ReBCO 带材车载高温超导磁体	137
图 225:	中国上海交通大学研制的车载高温超导磁体	137

图 226: MgB ₂ 超导体的结构图	138
图 227: MgB ₂ 超导体的顶视图	138
图 228: 日本日立公司 MgB ₂ 超导线材截面照片及外观图 (线径: 0.67mm)	138
图 229: MgB ₂ 高温超导线材工艺流程	139
图 230: 2023 年创新应用事件梳理	140

表格目录

重点公司盈利预测、估值与评级	1
表 1: 国内氧化镨钕供给 (单位: 吨 REO)	7
表 2: 海外氧化镨钕供给 (单位: 吨 REO)	10
表 3: 人形机器人带动的钕铁硼磁材和镨钕氧化物需求预测	13
表 4: 2022-2025 年稀土下游厂商钕铁硼永磁材料产能扩张规划	14
表 5: 全球镨钕氧化物供需平衡表	14
表 6: 中国国内供需平衡表 (单位: 金属吨)	19
表 7: 硬质合金顶锤化学成分标准	24
表 8: 2022 年国内培育钻石重要在建项目	26
表 9: 顶锤需求量测算	26
表 10: 光伏硅片发展趋势	28
表 11: 金刚线发展趋势	29
表 12: 钨丝金刚线相较于高碳钢丝金刚线的优势性能体现	30
表 13: 高碳钢丝与钨丝合金制取金刚线参数比较	31
表 14: 光伏用钨丝产线项目 (厦钨、中钨及海盛钨业)	31
表 15: 高密度钨合金牌号、成分、性能及应用范围	33
表 16: 钛合金主要分类	35
表 17: 钛材主要应用领域	36
表 18: 海绵钛不同等级化学成分表	39
表 19: 2021 年中国主要海绵钛生产企业产量	39
表 20: 2021-2022 年中国各类钛加工材产量	40
表 21: 西部超导高端钛合金成本构成	41
表 22: 2021 年-2022 年中国钛加工材在不同领域的应用量对比	41
表 23: 钛材新建项目情况	42
表 24: C919 大事记	45
表 25: C919 和 ARJ21 拉动钛合金需求量测算	47
表 26: 国内主要钛材供应企业	47
表 27: 全球和中国的客机机队预测 (单位: 架)	48
表 28: 中国未来 20 年客机增量 (单位: 架)	48
表 29: 不同金属材料性能比较	49
表 30: 智能手机中框拉动的钛材需求量及价值量测算	52
表 31: 光调制器对比	64
表 32: 铌酸锂调制器行业主要公司	65
表 33: 铌酸锂材料行业主要企业梳理	66
表 34: 铝是目前性价比最高的导热金属材料	72
表 35: 复合材牌号、状态、包覆率及尺寸规格	73
表 36: 华峰铝业水冷板型号	73
表 37: 液冷板建厂投资情况 (以华峰铝业 15 万吨项目为例)	75
表 38: 主要公司产能、产量及扩产情况	76
表 39: 电池热管理系统不同冷却方案对比	77
表 40: 不同动力车型热管理系统用铝测算	78
表 41: 2030 年新能源汽车主要部件含铝增量预测	79
表 42: 国产动力锂电池能量密度逐步上升	79
表 43: 2020-2027 年全球乘用车液冷板市场测算	80
表 44: 不同充电桩充电技术对比	81

表 45:	冷板式、浸没式、喷淋式液冷技术方案对比	87
表 46:	户用储能系统和工商业储能系统的技术对比	89
表 47:	储能热管理系统液冷方案优势明显	91
表 48:	全球 AI 服务器液冷市场规模测算	92
表 49:	中国锂电新型储能液冷方案市场规模测算	93
表 50:	MLCC 用金属粉体性能要求	95
表 51:	高端金属粉体材料制备工艺对比	96
表 52:	MLCC 镍粉主要厂商	97
表 53:	MLCC 成本结构	99
表 54:	MLCC 镍粉市场空间	99
表 55:	金属 3D 打印在航空航天领域的应用	102
表 56:	典型金属增材制造技术	104
表 57:	3D 打印金属粉末指标及具体要求	105
表 58:	3D 打印金属粉末类型及特性	105
表 59:	国内外增材制造金属粉体主要厂商的技术及产能	108
表 60:	钛合金 3D 打印应用需求量测算	110
表 61:	超导材料分类	111
表 62:	三重天花板介绍	112
表 63:	NbTi 超导合金棒材化学成分的质量分数要求	114
表 64:	NbTi 和 Nb ₃ Sn 超导线在各个领域的应用	114
表 65:	高温超导与低温超导的比较	116
表 66:	超导线材需求测算 (单位: 吨)	120
表 67:	行业内主要公司	120
表 68:	传统交流感应加热与超导感应加热性能对比	131
表 69:	传统交流感应加热与超导感应加热经济分析 (以铝锭坯加热为例)	131
表 70:	各种输电技术的技术优势比较	134
表 71:	世界主要高温超导电缆示范工程项目	134
表 72:	不同悬浮方式的磁悬浮列车对比	135
表 73:	金力永磁盈利预测与财务指标	142
表 74:	厦门钨业盈利预测与财务指标	143
表 75:	章源钨业盈利预测与财务指标	144
表 76:	宝钛股份盈利预测与财务指标	145
表 77:	西部超导盈利预测与财务指标	146
表 78:	有研粉材盈利预测与财务指标	147
表 79:	博迁新材盈利预测与财务指标	149

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明

投资建议评级标准	评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	推荐	相对基准指数涨幅 15%以上
	谨慎推荐	相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间
	中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
	回避	相对基准指数跌幅 5%以上
行业评级	推荐	相对基准指数涨幅 5%以上
	中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
	回避	相对基准指数跌幅 5%以上

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路 8 号财富金融广场 1 幢 5F； 200120

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层； 100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 32 层 05 单元； 518026