# 目录

高端升级+上游资源放量，新材料迎爆发 ..... 8
资本开支领先需求，打造长期优秀基因 ..... 9
需求萌芽，资本开支加速 ..... 12
3C 铰链&钛材：技术&成本共驱替代，景气全面爆发 ..... 12
芯片电感：AI 大时代，金属软磁电感蓄势待发 ..... 30
高性能铜合金：大空间赛道，光模块+卫星互联网催化 ..... 31
汽车新材料：龙头引领，镁铝钢新材料迎接产业化拐点 ..... 36
需求高增，资本开支稳增 ..... 43
高温合金：航发稀缺赛道，成本压力趋缓 ..... 43
航空钛合金：军工化加速+海绵钛降本，静待花开 ..... 48
需求稳健，资本开支放缓 ..... 50
铝热传输材料：格局壁垒最为凸出，龙头经营稳健发展 ..... 50
工业不锈钢管：细分多元的高壁垒赛道，长期格局稳固 ..... 55
高端制造出海：海外制造产业链重构+细分领域高景气，产业链充分受益 ..... 57
风险提示 ..... 66

# 图表目录

图 1：部分商品 2011 年以来历史价格分位一览 ..... 8
图 2：铜铁矿焦煤供给相对刚性，价格坚挺，镁钛镍与之相反 ..... 9
图 3：全市场近 20 年涨幅或市值靠前对应行业分布一览 ..... 9
图 4：近 20 年四轮上游材料和中游工业的资本开支和盈利复盘 ..... 10
图 5：钛金属产业链 ..... 12
图 6：2023 上半年，国内海绵钛产量同比增长 59.7% ..... 13
图 7：随着海绵钛价格回落至历史底部，钛材成本端受益明显 ..... 13
图 8：海绵钛在西部超导钛合金产品成本占比约 36%（2018 年） ..... 14
图 9：以苹果手机为例，看手机中框材质变化 ..... 14
图 10：除手机中框外，钛合金有望用于其他消费电子产品外壳材料 ..... 15
图 11：钛金属拥有极强的耐腐蚀性 ..... 15
图 12：钛金属在高强度、轻量化、耐疲劳、环保友好等方面皆具有良好的性能 ..... 16
图 13：钛材加工环节中技术、资质、科研和资金壁垒环环相扣 ..... 16
图 14：3C 领域钛材加工与深加工产业链梳理 ..... 17
图 15：3D 打印产业链图谱 ..... 18
图 16：苹果新一代手机表壳上运用了 3D 打印钛合金 ..... 19
图 17：国内折叠屏手机的市场渗透率快速提升 ..... 19
图 18：荣耀 Magic Vs2 采用由钛合金 3D 打印技术制成的荣耀鲁班钛金铰链 ..... 20
图 19：金属注射成型（MIM）工艺流程图 ..... 21
图 20：预计 2026 年国内 MIM 行业市场规模约 141 亿元 ..... 22

图 21：3C 是 MIM 下游应用占比最大的领域 ..... 22
图 22：MIM 产品在消费电子领域的应用示意图 ..... 22
图 23：天工国际钛合金铸锭熔炼与钛材制造工艺路线图 ..... 24
图 24：不同热源的钛熔炼技术 ..... 24
图 25：钛合金和特钢的后道工序类似，部分设备与产线能够互通 ..... 26
图 26：2023H1 天工股份的钛线材销售量大幅增长 ..... 27
图 27：2023H1 天工股份的钛线材销售单价大幅增长 ..... 27
图 28：天工股份的钛线材毛利远高于板材和管材 ..... 27
图 29：2023 年前三季度，天工股份的归母净利润显著增长 ..... 27
图 30：轧制法制备钛/铝复合板示意图 ..... 28
图 31：中钨高新的子公司株洲钻石设计的专门用于钛合金机床加工的刀具 ..... 29
图 32：芯片电感用于 CPU、GPU 电源供电 ..... 30
图 33：由金属软磁材料制备的电感较铁氧体电感的体积可以减少 50%~75% ..... 30
图 34：金属软磁粉芯作为最新一代软磁材料，性能指标较铁氧体等传统材料更优异 ..... 31
图 35：铂科新材第四代软磁粉芯材料 NPX 实现高频下的低损耗 ..... 31
图 36：光模块的结构 ..... 32
图 37：斯瑞新材生产的光模块基座材料 ..... 32
图 38：钨铜合金兼具较小的膨胀系数和较高的高导热特性，成为光芯片基座成熟的解决方案 ..... 32
图 39：全球光模块竞争格局分散，国内企业约占 40%市场份额 ..... 33
图 40：各国主要卫星互联网星座部署计划 ..... 33
图 41：火箭燃烧室（推力室）内壁在受到极端热冲击下，要保证可靠冷却性和抗疲劳蠕变性能 ..... 34
图 42：近年国内镁表观消费量有所回落 ..... 39
图 43：中国轻量化技术发展路线图规划 ..... 39
图 44：镁合金汽车压铸件市场有望快速增长，十年需求 CAGR 增速达 12% ..... 40
图 45：国内镁合金企业 CR4 高达 75% ..... 41
图 46：主要镁合金压铸公司梳理一览 ..... 41
图 47：Cybertruck 野兽版的性能参数 ..... 42
图 48：近年来航发动力和中航沈飞收入增速增长处于历史高位 ..... 43
图 49：航发动力的在产品存货规模稳步提升 ..... 43
图 50：2023H1，航发动力的合同负债企稳回升 ..... 44
图 51：2023H1，航发动力销售毛利率小幅修复 ..... 44
图 52：航空发动机全寿命周期费用占比 ..... 44
图 53：未来民航发动机市场空间是军用航空发动机市场的 5.5 倍 ..... 44
图 54：高温合金、钛合金、特钢在航空发动机中的应用 ..... 45
图 55：2023 年 9 月以来，镍价大幅下跌 ..... 46
图 56：抚顺特钢的高温合金产品“量增+涨价”效应逐步体现 ..... 46
图 57：镍重要下游环节的用量和成本占比一览 ..... 46
图 58：变形高温合金与铸造高温合金一览 ..... 47
图 59：变形高温合金主要公司 ROE 对比（2023 年用前三季度年化） ..... 47
图 60：变形高温合金主要公司的高温合金产品毛利率对比 ..... 47
图 61：铸造高温合金主要公司 ROE 对比（2023 年用前三季度年化） ..... 47
图 62：铸造高温合金主要公司毛利率对比 ..... 47

图 63：全球钛材需求结构中航空航天占比高达 46% ....48
图 64：2022 年，国内航空航天在钛材需求占比仅 23% ....48
图 65：航空钛材主要公司 ROE 对比（2023 年用前三季度年化） ....48
图 66：航空钛材主要公司的钛材产品毛利率对比 ....48
图 67：中国钛加工材行业集中度较高 ....49
图 68：传统乘用车热交换器需要使用铝合金复合材料用量一览 ....51
图 69：测算全球汽车铝热传输复合材料需求稳增，22-25 年 CAGR 达 8% ....51
图 70：华峰铝业主要产品和下游应用领域一览 ....52
图 71：2022 年全球市场铝热传输材料的 CR3 高达 57% ....53
图 72：铝热传输材料吨投资处于铝板带箔加工行业高位水平 ....53
图 73：铝热传输材料上下游产业链一览（灰框表示与华峰铝业相关） ....54
图 74：华峰铝业的吨收入在行业中处于较高水平 ....54
图 75：华峰铝业的吨净利在行业中处于较高水平 ....54
图 76：全球油气开采龙头资本开支水平处于高位 ....55
图 77：久立特材海外业务毛利率明显高于国内业务 ....56
图 78：久立特材国内业务与海外业务毛利 ....56
图 79：“核电第一管”从募投资金到获得订单经过 8 年时间，是公司深耕核电的印证 ....56
图 80：2019 年起我国核电核准节奏已经呈现出常态化 ....57
图 81：机械设备零部件产业链一览 ....58
图 82：全球空气压缩机和制冷压缩机市场规模稳步增长，带动配套零部件广阔的增长空间 ....58
图 83：海外制造业产业链中游铸造精加工企业与下游设备和产品制造公司的营业收入对比 ....59
图 84：Nemak 公司 2022 年的职工人数高于 2019 年，然而产量未恢复至 2019 年水平 ....60
图 85：机械设备零部件的铸造精加工环节工艺复杂，流程长；熟练工人的培训周期往往需要 1~2 年的时间 ....60
图 86：美国、欧盟 2023H1 电价相较于 2019H1 增长 18%、125% ....61
图 87：中国的工业电价在全球范围内处于低位 ....61
图 88：精密冲压钢用于汽车多个零部件，单车用量约 12kg ....62
图 89：翔楼新材五大主要客户以海外客户为主 ....63
图 90：民品高温耐蚀合金下游需求一览 ....64
图 91：中洲特材下游领域中，石油化工、化学工业、油气钻采合计占收入比例的 82.5% ....65

表 1：海绵钛新建产能汇总 ....13
表 2：当前钛金属逐步导入 3C 消费电子领域 ....14
表 3：钛材加工难度较大的原因 ....17
表 4：金属 3D 打印技术与传统精密加工技术的对比 ....19
表 5：　　、荣耀、三星各代主要折叠屏手机铰链特点 ....19
表 6：3C 领域钛合金 3D 打印产业链金属粉末材料相关标的 ....20
表 7：MIM 头部企业正加大在 3C 领域的布局 ....23
表 8：国内前 10 大 MIM 工厂 ....23
表 9：VAR 和 EB 熔炼钛合金铸锭的比较 ....25
表 10：公司钛合金产品的主要研发与在研项目一览 ....25
表 11：天工股份的前五大客户及销售情况 ....27
表 12：3C 领域钛铝复合材料相关标的 ....28

表 13：高温条件下，铜铬锆合金和铜铬铌合金在高强度、高延伸率、低膨胀系数等性能领先 ..... 34
表 14：卫星互联网燃烧室（推力室）内壁材料相关企业 ..... 35
表 15：2021-2025 年国内乘用车压铸件市场规模和一体压铸渗透率测算 ..... 36
表 16：全球铝-硅系免热处理合金机械性能的比较 ..... 37
表 17：铝合金一体化压铸相关公司一览 ..... 37
表 18：铝热材料相关公司一览 ..... 54
表 19：联德股份电力采购金额与采购金额在主营业务成本的占比 ..... 61
表 20：铸造精加工企业的出口的收入和毛利数据一览（2022 年） ..... 61
表 21：机械设备零部件制造铸造精加工相关公司 ..... 62
表 22：精密冲压钢相关公司一览 ..... 63
表 23：民品高温、耐蚀合金公司一览 ..... 65

# 高端升级+上游资源放量，新材料迎爆发

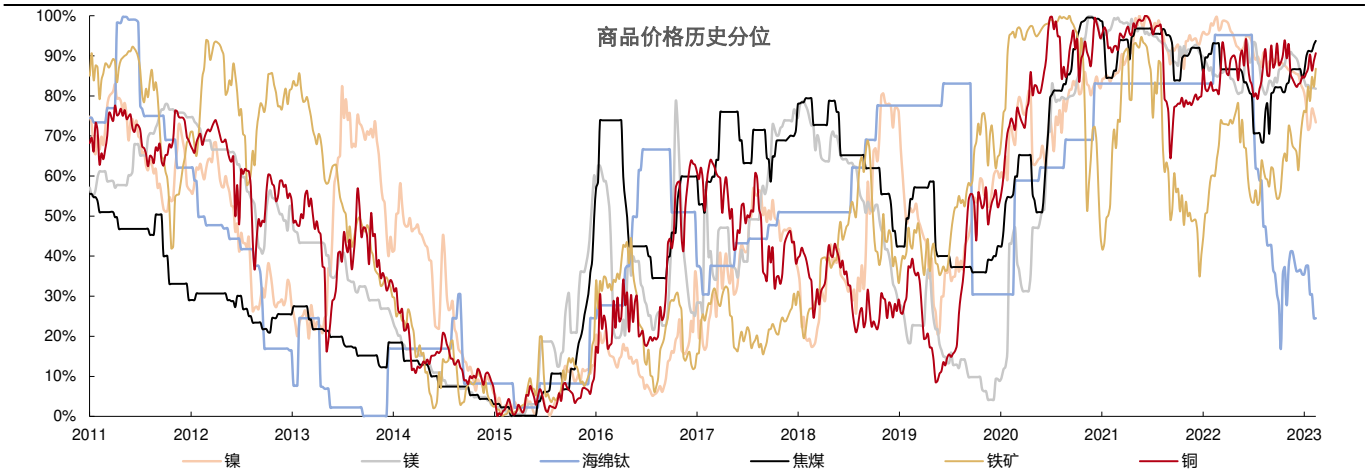
科技、能源、装备等高端产业迭代浪潮下，航空航天、机器人、电子诸多细分领域爆发，催生金属新材料迎来产业化的大时代。

此外，金属价格是推动诸多新材料在新产业爆发的重要因素。从大金属整体视角来看，在全球经济步入稳态的大时代之下，轻量化、高端化和智能化等高端制造业升级，有效对冲原传统建筑需求波动，支撑经济需求波动趋于扁平化。尽管能源成本、地缘政治、物流成本等扰动，一定程度推升商品价格中枢上移，但是边际影响资源品价格最大的扰动因子当属供给。

具体来看，商品供给亦产生显著分化：**一方面，铜矿、铁矿、焦煤等品种资本开支持续偏紧导致供给维持刚性；另一方面，镍矿、海绵钛、原镁等品种供给明显过剩，由此导致价格中枢明显下移。**究其原因，一则具备资源的大龙头拥有充足的镍矿、海绵钛、原镁资源，且基于这类金属中远期以替代为主，因此需要供给大幅放量以降低成本，由此推动产业化；二则建筑需求大幅回落，　　诸多建筑端产能纷纷转行至工业，进一步加剧工业端资源品产能的过剩，如钛白粉到海绵钛，螺纹钢到热轧，建筑铝型材至汽车铝型材等。

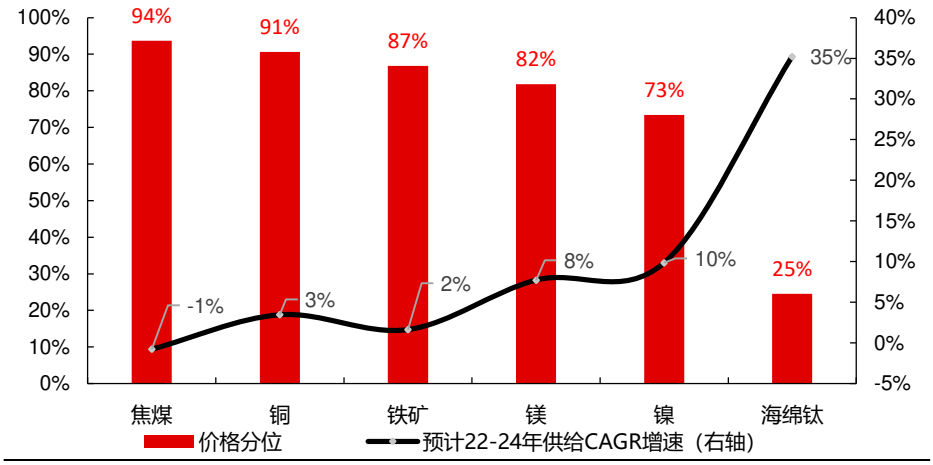
因此，部分供给明显过剩的资源品，有望继续迎来价格中枢下移，与此同时，叠加航空航天、机器人、消费电子等下游细分领域爆发，共同从成本下降和需求爆发，引领新材料爆发的大拐点。

图 1：部分商品 2011 年以来历史价格分位一览




资料　　：Wind，长江证券研究所（注：价格截至 2023 年 12 月 23 日）

图 2：铜铁矿焦煤供给相对刚性，价格坚挺，镁钛镍与之相反




资料 ：Wind，Mysteel，长江煤炭，公司公告，长江证券研究所（注：焦煤 22-24 年供给 CAGR 增速由长江煤炭小组预测）

# 资本开支领先需求，打造长期优秀基因

公司维度来看，在 2022 年度策略《莫愁前路无知己》中，我们从强α、强β、α与β兼具的三维视角寻找隐形冠军；在 2023 年度策略《 的大时代》中，我们从高端主动式、尖端被动式、低价市场化三种 路径掘金具有高壁垒的新材料产业链。**在竞争格局及壁垒愈发重要的大时代，长期优秀阿尔法龙头更加值得重视。过往，我们遴选优秀公司主要从 ROE 三个维度出发：一是高端技术赋予的产品高价格；二是开源节流的低成本费用，这两者共同支撑高净利率；三是面对零部件模式定制化多规格的精细化管理能力，要求资产周转率高位。现在，我们将新增资本开支视角，以探寻企业长期战略择时能力以及杠杆水平，进一步实现标的从优秀长期走向卓越的挖掘。**

复盘近 20 年万得全 A 标的（因为复盘中长期，剔除 5 年之内新上市公司），我们发现，**在中国经济腾飞的近 20 年里，上游材料领域的涨幅或者市值靠前公司，各个维度均显示明显比中游工业更少。**比如从年均复合涨幅前 1001 个数占比来看，上游材料、中游工业、下游消费、TMT 和金融+公用+地产五大领域分别为 16%、26%、29%、25%和 4%。因为是面对相同的需求景气大周期，而且时间维度长达 20 周年，所以差异或主要为不同领域的供给周期或商业模式，我们从资本开支维度试以阐述。

图 3：全市场近 20 年涨幅或市值靠前对应行业分布一览

| 行业 | 累计涨幅前500个数 | 占比 | 行业 | 市值超300亿个数 | 占比 | 行业 | 复合涨幅前501个数 | 占比 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **上游材料** | **71** | **14%** | **上游材料** | **29** | **14%** | **上游材料** | **72** | **14%** |
| **中游工业** | **126** | **25%** | **中游工业** | **45** | **22%** | **中游工业** | **126** | **25%** |
| 下游消费 | 146 | 29% | 下游消费 | 45 | 22% | 下游消费 | 146 | 29% |
| TMT | 147 | 29% | TMT | 31 | 15% | TMT | 147 | 29% |
| 金融+公用+地产 | 10 | 2% | 金融+公用+地产 | 51 | 25% | 金融+公用+地产 | 10 | 2% |
| **行业** | **累计涨幅前1000个数** | **占比** | **行业** | **市值超500亿个数** | **占比** | **行业** | **复合涨幅前1001个数** | **占比** |
| **上游材料** | **168** | **17%** | **上游材料** | **54** | **16%** | **上游材料** | **158** | **16%** |
| **中游工业** | **231** | **23%** | **中游工业** | **72** | **22%** | **中游工业** | **262** | **26%** |
| 下游消费 | 313 | 31% | 下游消费 | 77 | 23% | 下游消费 | 288 | 29% |
| TMT | 210 | 21% | TMT | 58 | 18% | TMT | 254 | 25% |
| 金融+公用+地产 | 78 | 8% | 金融+公用+地产 | 69 | 21% | 金融+公用+地产 | 39 | 4% |

资料 ：Wind，长江证券研究所

注：采用万得全 A 成分股，选取上市时间超 5 年的标的。行业划分采用长江行业指数，上游材料包括能源+原材料，中游工业指工业，下游消费包括可选消费+必选消费+医疗，TMT 包括信息技术与硬件+通讯业务，金融+公用+地产包括：金融+公用事业及服务+房地产及服务。数据截至 2023 年 12 月 17 日。

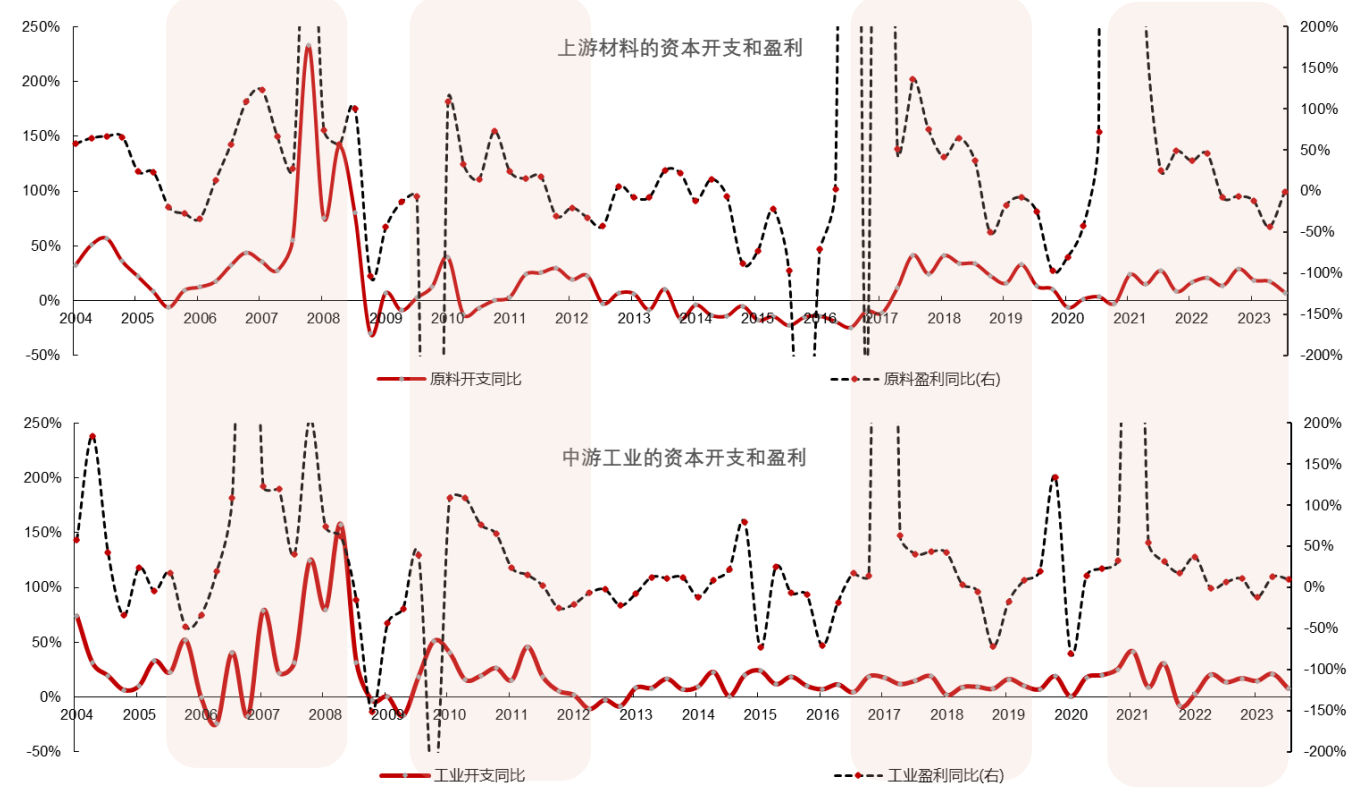
从主要几类领域商业模式来看，上游材料侧重价格弹性，中游工业侧重零部件周转率，下游消费侧重渠道和终端零售溢价，TMT 侧重技术创新催生的放量。基于上游材料和中游工业领域直接关联，我们复盘其两者近 20 年的盈利和资本开支周期差异，景气催生共四轮开支：2006-2008 年、2009 年-2011 年、2016 年-2019 年、2021 年-2023 年。

（1） **波动幅度：**上游材料资本开支新增和去化的幅度明显都高于中游工业，本质源于上游企业倚重周期价格贝塔，往往在价格高位更倾向于大幅扩张；中游工业本质是比拼精细化生产管理能力，虽然亦存在竞争格局激烈同质化的困境，但是景气高点利润弹性不如上游，因此扩张的幅度也不如上游；

（2） **及时性：**上游材料资本开支明显对盈利的及时性反馈更加敏感，本质是周期对需求贝塔更灵敏，中游工业除了需求贝塔，企业扩张还需兼顾自身阿尔法；

（3） **纵向波动幅度收敛：**相比之下，中游工业在 2006 年和 2009 年两轮大型资本开支后，或基于学习效应趋于谨慎，在 2016 年和 2021 年两轮复苏的扩张节奏明显更为平缓，而上游材料在 2016 年仍旧保持一轮新的开支。

图 4：近 20 年四轮上游材料和中游工业的资本开支和盈利复盘




资料 ：Wind，长江证券研究所

**总结来看，上游材料资本开支跟随价格敏感性和弹性都比中游工业更强，由此导致每轮供给格局更易弱化，其或为上游材料领域的涨幅或者市值靠前公司，明显少于中游、下**

**游和 TMT 的原因之一。**值得说明的是，长期能在周期低点扩张且高点谨慎的优质阿尔法龙头，如紫金矿业，其相对行业的超额利润亦超越其余领域。

在遴选优质新材料标的中，我们引入资本开支指标，**尽可能寻找资本开支领先需求爆发的赛道或者公司**：

（1）从 0 到 1 的爆发性领域，选择资本开支前期投入高且在加速的龙头；

（2）在需求快速增长的成长性领域，选择资本开支维持高位的龙头；

（3）在需求维持的稳健性领域，选择资本开支增速从高位放缓的龙头。

# 需求萌芽，资本开支加速

新材料的升级迭代，催生众多需求从“0”到“1”的爆发领域。如 3C 消费电子的钛；汽车新材料的镁、铝、不锈钢；卫星互联网、光模块领域的特殊铜合金等新材料纷纷迎来拐点。新材料渗透率提升，配合市场需求扩容，二次加速爆发赛道的弹性值得重视。

**在众多需求处于萌芽阶段的行业中，我们优选资本开支加速的标的。**资本开支加速，意味着企业抢占先机，在迅速攫取市场份额的同时，有望充分受益于后续市场需求的爆发。

# 3C 铰链&钛材：技术&成本共驱替代，景气全面爆发

钛金属以“轻”、“牢”、“不生锈”等优异特性，在工业生产后首先应用于航空航天、化学、电力等领域，并逐步扩张至建筑、土木、医疗等民用领域。当前，3C 对材料和设计创新的需求驱动，叠加海绵钛加速放量下，钛材替代的性价比提升，3C 领域的“钛”金属时代有望来临。

## 海绵钛加速放量，钛材替代性价比提升

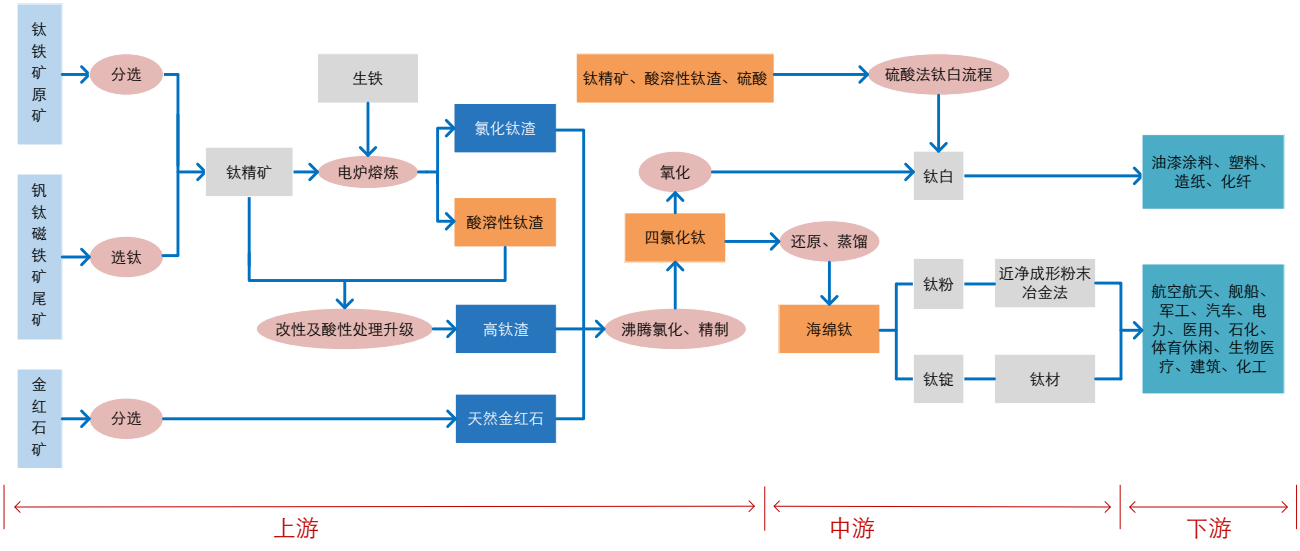
钛金属的产业链可以简单地分为两条，一是有色金属领域产业链：**钛矿→海绵钛→钛锭→钛材**；二是化工领域产业链：**钛矿→钛白粉**。这两条产业链在上游彼此紧密联系，在中游和下游却又彼此相互独立。**钛有色金属产业链**自上而下可划分为三大部分：

1) **上游**包括钛铁矿、金红石等钛矿资源，以及由钛铁矿加工而成的人造金红石、钛渣和四氯化钛。

2) **中游**分为两部分：一是四氯化钛还原生成海绵钛；二是海绵钛熔铸成钛锭，再制备钛加工材，包括锻件、棒材、板材、管材、线材、丝材等。

3) **下游**根据具体的应用如航空航天、石化、核电、舰船、海水淡化、汽车、体育医药等领域的要求将钛材毛坯进一步深加工。

图 5：钛金属产业链




资料 ：亚洲金属网，长江证券研究所

**海绵钛加速放量下，钛材降本趋势明显。**当前，全球范围内海绵钛的规模化生产工艺及相关设备大型化已经非常成熟。国内钛工业经历研究、中试、工业化、应用推广及高速发展几个阶段后，已经迅速发展成世界的钛工业大国，建立了“钛矿开采-海绵钛制备-钛材加工生产”的完整钛加工体系。在军品和民品钛材广阔的前景催化下，无论是上游钛资源型企业（龙佰、安宁、攀钢等），还是下游以宝钛为代表的钛材加工企业，纷纷加大对中游海绵钛产能的布局，海绵钛进入加速放量期。2022 年，国内海绵钛产量 17.5 万吨，同比增长 25%；2023 上半年，国内生产海绵钛约 11 万吨，同比增长 59.7%。

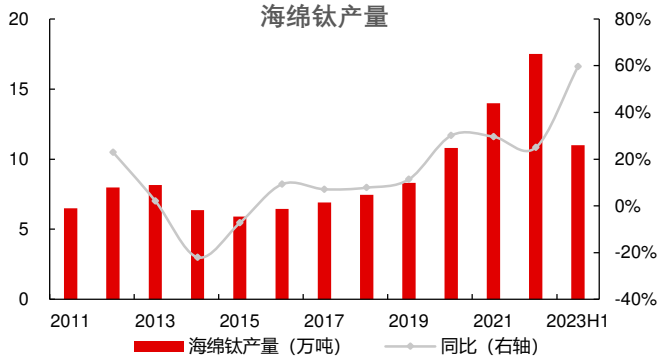
**展望来看**，当前正在建设以及规划新建的海绵钛产能合计超过 20 万吨。后续海绵钛产能的逐步释放下，钛材的降本趋势有望延续。当前海绵钛价格跌至约 5 万元/吨，较 23 年初约 8 万元/吨下降 37%。倘若成本中枢下移，钛材替代性价比相应提升，有望加速钛材在民用领域对特钢、不锈钢、铝合金等传统材料的替代空间。

表 1：海绵钛新建产能汇总

| 公司 | 新建产能情况 |
|---|---|
| 国钛金属（龙佰集团子公司） | 2022 年底产能 5 万吨，规划 2023 年底达到 8 万吨产能，下一步，将在四川攀枝花新建 6 万吨海绵钛生产线，总产能将达到 14 万吨 |
| 安宁股份 | 新建 6 万吨能源钛合金材料，包含配套的海绵钛产能 |
| 攀钢集团矿业有限公司 | 新建一条 3.5 万 t/a 海绵钛生产线；项目建成后，年产海绵钛 5.5 万 t/a（含 0.5 万吨钛及钛合金产品） |
| 新疆湘润新材料 | 新建年产 3 万吨高性能钛及钛合金材料项目，预计在 2024 年投产，届时整体产能预计将达 5 万吨 |
| 朝阳金达新材料 | 年产海绵钛超 20000 吨，扩建年产 2 万吨高品质海绵钛建设项目，当前正在试生产 |
| 四川盛丰钛业 | 二期海绵钛项目于 2021 年 8 月开建，设计产能 14000 吨/年，计划于 2023 年 7 月正式投产 |
| 七二五所双瑞万基 | 2022 年 11 月，年产 1.5 万吨海绵钛二期技改项目进行现场竣工验收 |
| 遵义钛业集团 | 2023 年 3 月，年产 4000 吨高端海绵钛技改扩能项目首炉产品成功出炉 |

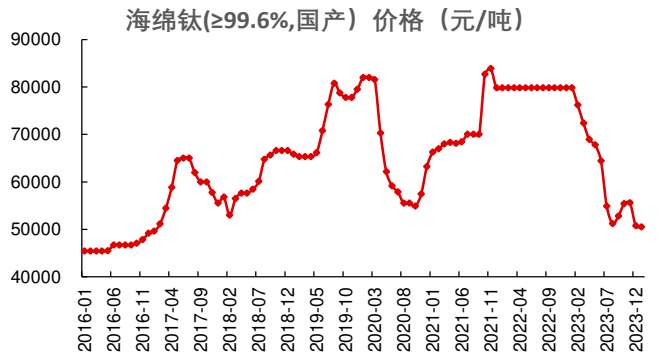
资料 ：龙佰集团公告，安宁股份公告，四川省生态环境厅，中国新闻网，朝阳市人民政府，盐边县人民政府，四川省钒钛钢铁产业协会，搜钛网，新华网，长江证券研究所

图 6：2023 上半年，国内海绵钛产量同比增长 59.7%



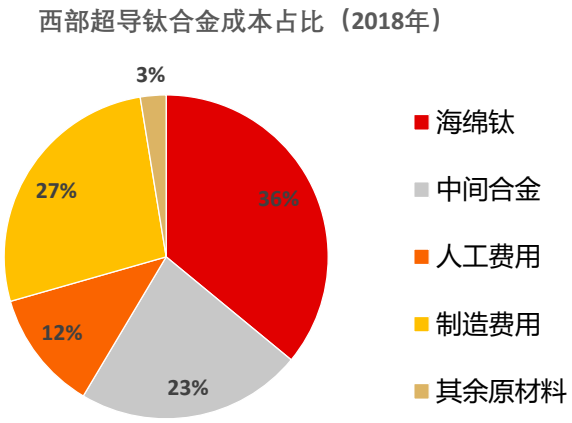

资料 ：《2022 年中国钛工业发展报告》（安仲生等），钛业信息网，长江证券研究所

图 7：随着海绵钛价格回落至历史底部，钛材成本端受益明显




资料 ：Wind，长江证券研究所

图 8：海绵钛在西部超导钛合金产品成本占比约 36%（2018 年）

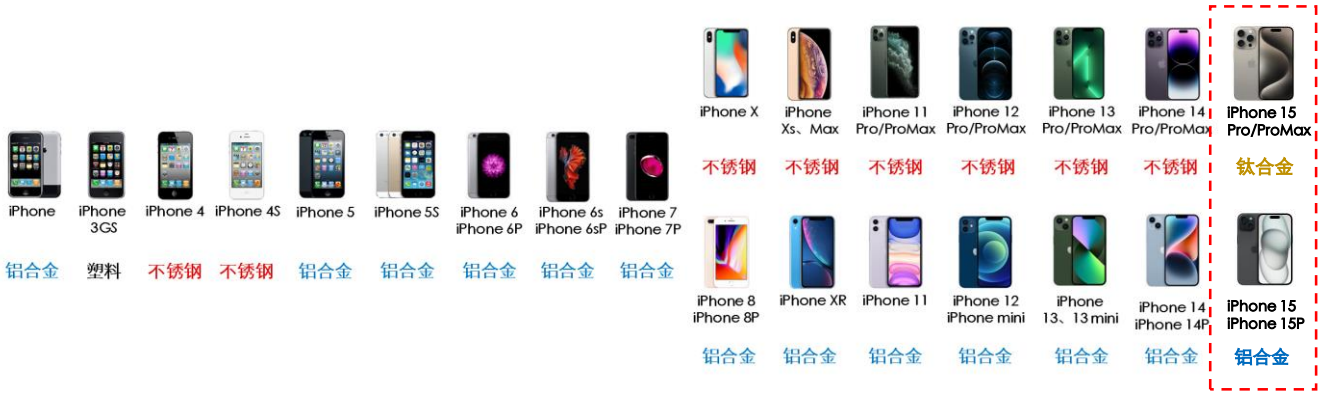



资料 ：西部超导招股说明书，长江证券研究所

## 同质化创新突围，材料&工艺创新必要性凸显

**消费电子的创新包括终端产品创新、功能创新以及材料&工艺创新三大领域。智能手机产品和功能创新瓶颈之下，“材料&工艺”创新成为各大厂商的必争之地。**梳理各大主流厂商近年来的主要机型，钛合金逐渐成为高端手机外观材质的应用趋势。目前，OPPO 使用钛合金作为铰链螺丝及镜头圆环；荣耀折叠屏 Magic V2 采用钛合金 3D 打印技术满足折叠屏轻薄需求；iPhone 15 Pro 系列使用钛金属中框；小米 14 Pro 采用 99%纯钛打造手机中框。在头部企业率先产业化应用的示范效应下，钛金属在消费电子产品的渗透率有望实现从“1”到“100”的突破。

图 9：以苹果手机为例，看手机中框材质变化




资料 ：苹果官网，liquid metal 官网，长江证券研究所

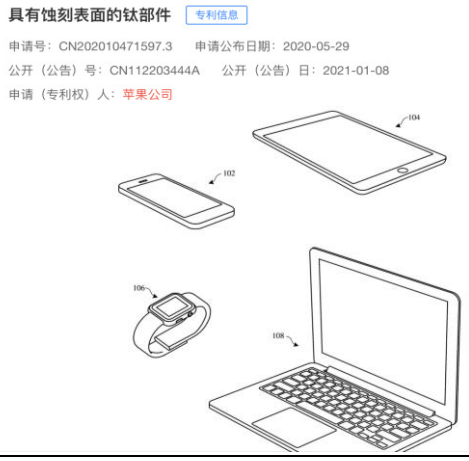
表 2：当前钛金属逐步导入 3C 消费电子领域

| 品牌 | 产品 | 使用钛合金的部位 | 详细说明 |
|---|---|---|---|
| 苹果 | iPhone15 Pro/ProMax | 钛合金中框 | iPhone 15 Pro 机型所用钛金属为五级钛（TC4,Ti-6Al-4V），是钛和少量铝和钒组成的钛合金，以优异的耐腐蚀性而闻名，广泛应用于航空航天，赛车和假肢制造等各种材料。 |
| | Apple Watch Ultra 2 | 钛合金表壳 | 部分钛金属机构件将采用 3D 打印技术，还需经过 CNC 工序做后段处理。 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 小米 | 小米 14 Pro | 高纯钛中框 | 手机中框采用航天级 99%高纯钛和高强铝合金材料，精密复合，浑然一体。 |
| 三星 | Galaxy S24 Ultra | 钛合金中框 | 预计采用钛合金中框。 |
| | Galaxy Watch 5 Pro | 钛合金表壳 | 三星为 Galaxy Watch 5 Pro 配备了钛合金表壳，比普通 Galaxy Watch 5 的铝合金表壳更耐用。 |
| | HUAWEI WATCH 4 Pro | 钛合金表壳 | HUAWEI WATCH 4 Pro 采用航天级钛合金前壳+陶瓷后壳的设计。 |
| 荣耀 | Magic V2<br>Magic Vs2 | 钛合金铰链 | Magic V2 折叠屏手机铰链轴盖采用钛合金 3D 打印工艺，成为 3D 打印在手机上的首次规模化应用。 |

资料 ：苹果官网， 官网，IT 之家，荣耀发布会，长江电子，长江证券研究所

图 10：除手机中框外，钛合金有望用于其他消费电子产品外壳材料




资料 ：专利之星，长江证券研究所

**钛及钛合金由于具有一系列优异的性能，应用到 3C 外壳材料时具有显著优势**：

1）**优秀的耐腐蚀性能**：钛金属在常温下容易形成稳定的氧化膜，没有不锈钢存在的应力腐蚀、孔蚀、间隙腐蚀等问题，对酸、盐都具有优秀的耐腐蚀性。

图 11：钛金属拥有极强的耐腐蚀性

*表1. 各种金属耐候性比较*（资料来源：日本钛协会）

| | 钛 | 不锈钢 SUS 304 | 铜 |
|---|---|---|---|
| 耐海盐粒子性（孔蚀） | ◎ | △ | ○ |
| 耐紫外线性 | ◎ | ◎ | ◎ |
| 耐酸雨性（孔蚀） | ◎ | △ | △ |
| 耐酸性气氛性 | ◎ | △ | × |
| 耐派生锈性* | ◎ | × | △ |
| 耐流锈性 | ◎ | ○ | × |
| 耐热性 | ◎ | ◎ | ◎ |
| 耐烧蚀性 | ◎ | ◎ | ○ |

评价：◎=优 ○=良 △=中 ×=差
*派生锈：因附着物，金属自身产生腐蚀的现象

*表2. 各种金属耐药品性比较*（资料来源：日本钛协会）

| | | 钛 | 不锈钢 SUS 304 | 不锈钢 SUS 316 | 铜 |
|---|---|---|---|---|---|
| 海水 | 常温 | ◎ | ◎* | ◎* | ○ |
| 盐酸 HCℓ | 10% 常温 | ○ | × | × | × |
| 硫酸 $H_2SO_4$ | 10% 常温 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 硝酸 $HNO_3$ | 10% 常温 | ◎ | ◎ | ◎ | × |
| 氢氧化纳 NaOH | 50% 常温 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| 氯化钠 NaCℓ | 20% 常温 | ◎ | ○ | ○ | ◎ |
| 氯气 $Cℓ_2$ | 100% wet | ◎ | × | × | × |
| 硫化氢气 $H_2S$ | 100% wet | ◎ | ○ | ◎ | × |
| 亚硫酸气 $SO_2$ | 30～90°C | ◎ | ○ | ○ | × |

评价 ◎：<0.05 ○：0.05～0.5 △：0.55～1.27 ×：>1.27mm/年
*发生孔蚀以及间隙腐蚀。

资料 ：《钛建材的特点》（日本制铁），长江证券研究所

2）**高强度+轻量化**：钛拥有和钢几乎同程度的强度，然而其密度仅 4.51g/cm$^3$，是钢的 60%、铜的 1/2，铝的 1.7 倍，是比强度非常高的金属；能够满足消费电子功能硬件优化后的轻薄化需求。

3）**无毒金属，环保友好**：钛是无毒性的金属，相对于不锈钢中含有镍等毒性元素，钛金属离子溶出少，对人体负担小又环保。

4）**卓越的意匠性**：钛金属本身是雅致而稳重的银色，拥有出色的质感；并且能通过阳极氧化法，进行各种各样的着色。

图 12：钛金属在高强度、轻量化、耐疲劳、环保友好等方面皆具有良好的性能

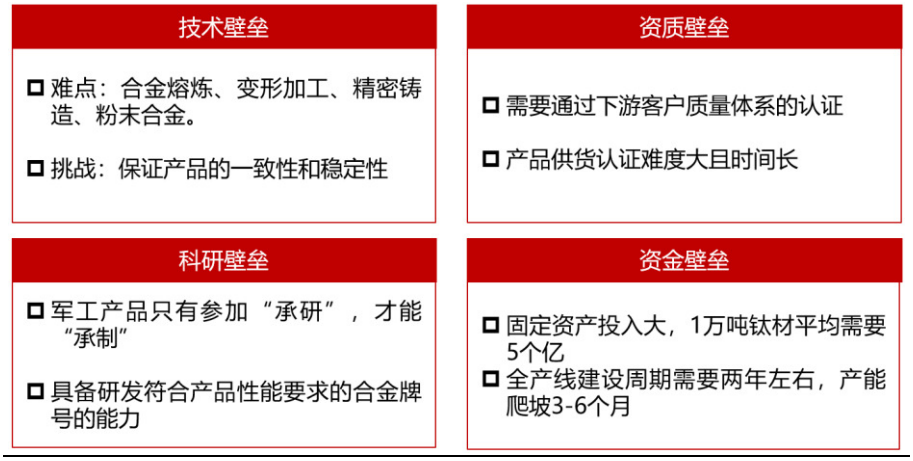
| 指标 | 铝合金 | 不锈钢 | 钢铝复合压铸 | 钛合金 |
|---|---|---|---|---|
| 成本 | ★ | ★★★ | ★★ | ★★★★ |
| 种类 | ★ | ★★★★ | ★★ | ★★★ |
| 强度（硬度） | ★ | ★★★ | ★★★ | ★★★★ |
| 耐疲劳度 | ★ | ★★★ | ★★ | ★★★★ |
| 环保型 | ★ | ★★ | ★ | ★★★★ |
| 阳极氧化（成熟度） | ★★★★ | 不能 | ★★ | 不能 |
| 电镀（成熟度） | ★ | ★★★★ | ★★★ | ★★ |
| 加工难度 | ★ | ★★★ | ★★ | ★★★★ |
| 良率 | 80% | 30-40% | 70% | 30-40% |
| 外观效果 | ★ | ★★★ | ★★ | ★★★ |
| 工艺成熟度 | ★★★★ | ★★ | ★★★ | ★ |
| 加工方式 | 多样化加工 | 锻压+CNC<br>纯CNC | 压铸+CNC | 锻压+CNC<br>纯CNC |

资料　：艾邦智造，长江证券研究所

**铸锭冶炼和钛材加工环节壁垒高，是掣肘钛金属在 3C 产业化的核心因素。**纵观钛金属产业链，核心壁垒不在于上游的资源环节以及中游的海绵钛冶炼，而在于钛合金的熔炼及钛材的变形加工环节，尤其是高端钛材的研发能力和制造工艺。

从良率上看，钛的加工良率仅 30%~40%，明显低于易加工的铝合金和钢铝复合材料，属于难切削材料，相对切削性仅为 0.15~0.25，加工效率仅为铝合金的 10%。并且，由于钛的热传导率较低，在切削过程中产生大量的热难以导出，高温促进钛合金和刀具材料扩散、反应产生积屑瘤。较低的加工效率严重制约了钛合金材料的批量生产。

图 13：钛材加工环节中技术、资质、科研和资金壁垒环环相扣




资料　：中国有色金属工业协会钛锆铪分会、《钛》，长江证券研究所

表 3：钛材加工难度较大的原因

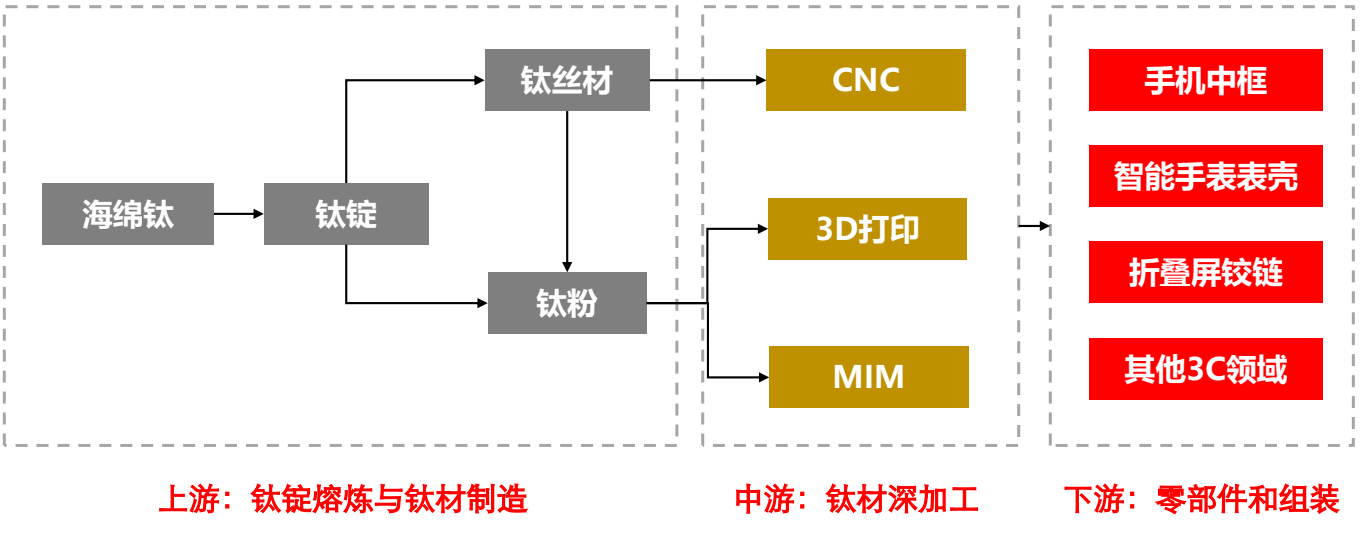
| 原因 | 说明 |
| --- | --- |
| 大切削力 | 钛合金材料强度高，在切削时产生的切削阻力大，导致切削刃口产生大量的切削热。 |
| 导热率低 | 钛合金的热扩散率低，大量的切削热集中在切削区域。 |
| 刀尖应力大 | 钛合金的塑性低，加工产生的切屑极易弯曲，导致切屑与前刀面的接触长度短，因此切削刃上单位面积存力增大，造成刀尖部位应力集中。 |
| 摩擦力大 | 钛合金的弹性模量小，造成前后刀面的摩擦加剧。 |
| 化学活泼性高 | 钛合金在高的切削温度下，很容易和空气中的氢、氧、氮等气体发生反应，形成表面镀层，加速刀具磨损。 |

资料 ：株洲钻石官网，长江证券研究所

**工艺配套升级+海绵钛持续降本，钛合金在 3C 领域的应用空间逐步打开。**近年来，钛合金铸锭冶炼和后端加工技术的成熟化，以及加工刀具、设备等产业链配套的逐步完善，为钛及钛合金材料的应用与推广提供强有力的技术保障。另一方面，海绵钛加速放量，推动钛材降本趋势明显，进一步增加了替代性价比。随着钛合金行业从粗加工向精加工、深加工转型升级，新一代材料在消费电子、3D 打印等应用领域有望取得较大突破。

当前，钛金属在 3C 领域产业化应用最明确的三个方向分别是手机中框、智能手表表壳和折叠屏手机铰链。对结构较为简单的手机中框，当前主流的制造工艺是经济性更佳的“海绵钛-钛锭-钛丝材-CNC 加工-零部件”；对结构复杂的智能手表表壳和折叠屏铰链，主流工艺为定制化属性更强的“海绵钛-钛锭-（钛材）-钛粉-3D 打印/金属注射成型（MIM）”。在 3C 领域的蓝海市场中，钛材制造和深加工工艺上兼具技术和成本优势的企业，有望率先切入供应链，充分受益于景气的爆发。

图 14：3C 领域钛材加工与深加工产业链梳理




资料 ：长江证券研究所

## 折叠屏铰链：如日方升，3D 打印/MIM 先进工艺前景广阔

增材制造又称“3D 打印”，是基于三维模型数据，采用与传统减材制造技术（对原材料去除、切削、组装的加工模式）完全相反的逐层叠加材料的方式，直接制造与相应数字模型完全一致的三维物理实体模型的制造方法。

增材制造经过近 40 年的发展，已经形成了一条完整的产业链。**上游**涵盖三维扫描设备、三维软件、增材制造原材料类及 3D 打印设备零部件制造等企业，**中游**以 3D 打印设备生产厂商为主，大多亦提供打印服务业务及原材料供应，在整个产业链中占据主导地位，**下游**行业应用已覆盖航天航空、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、建筑等各领域。

图 15：3D 打印产业链图谱




资料　：《铂力特：2022 年度向特定对象发行 A 股股票募集说明书》，长江证券研究所

**与传统精密加工技术相比，3D 打印具有小批量、复杂化、轻量化、定制化的特点，能够实现复杂结构的高效成型。**利用钛合金、高温合金等难加工材料生产结构复杂的零部件时，传统的精密加工技术存在较大的局限性，成型难度较大；即使能成型，较低的良率也使得加工成本过高。3D 打印通过将复杂的三维几何体剖分为二维的截面形状来叠层制造，故可以实现传统精密加工较难实现的复杂构件成形，提升零件成品率。不过，从零件的尺寸精度以及表面粗糙度上看，传统精密加工工艺更胜一筹，并且传统精密加工能够批量化、大规模制造。由此，3D 打印有望更多应用于小批量、定制化属性强、结构复杂、功能一体化的零部件制造。

**在 3C 领域，传统 CNC 工艺在加工结构复杂的钛合金零部件时加工难度大、良品率低，3D 打印对复杂结构的低成本优势或成为切入点。**当前，3D 打印钛合金在智能手表表壳

上的运用已经较为成熟；2023 年以来，折叠屏手机市场规模的爆发，为 3D 打印钛合金打开新的空间。

表 4：金属 3D 打印技术与传统精密加工技术的对比

| 项目 | 金属 3D 打印技术 | 传统精密加工技术 |
|---|---|---|
| 技术原理 | “增”材制造<br>（分层制造、逐层叠加） | “减”材制造<br>（材料去除、切削、组装） |
| 技术手段 | SLM、LSF 等 | 磨削、超精细切削、精细磨削与抛光等 |
| 适用场合 | 小批量、复杂化、轻量化、定制化、功能一体化零部件制造 | 批量化、大规模制造，但在复杂化零部件制造方面存在局限 |
| 使用材料 | 金属粉末、金属丝材等（受限） | 几乎所有材料（不受限） |
| 材料利用率 | 高，可超过 95% | 低，材料浪费 |
| 产品实现周期 | 短 | 相对较长 |
| 零件尺寸精度 | ±0.1mm<br>（相对于传统精密加工而言偏差较大） | 0.1-10μm<br>（超精密加工精度甚至可达纳米级） |
| 零件表面粗糙度 | Ra2μm-Ra10μm 之间<br>（表面光洁程度较低） | Ra0.1μm 以下<br>（表面光洁度较高，甚至可达镜面效果） |

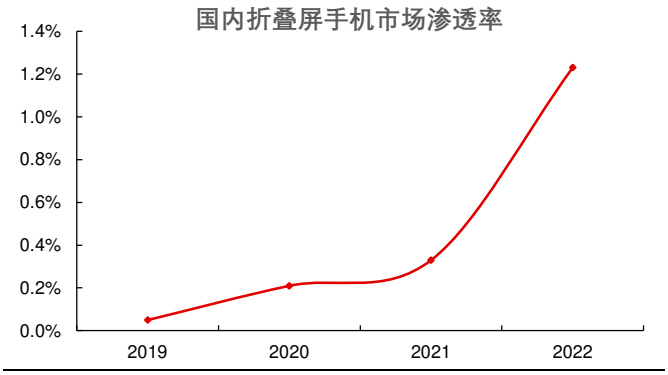
资料 ：《铂力特：2022 年度向特定对象发行 A 股股票募集说明书》，长江证券研究所

图 16：苹果新一代手机表壳上运用了 3D 打印钛合金




资料 ：苹果官网，长江证券研究所

图 17：国内折叠屏手机的市场渗透率快速提升




资料 ：Counterpoint，长江证券研究所

**折叠屏手机依赖于精密的机械铰链，3D 钛合金打印逐步导入。**精密机械铰链包含数十甚至一百多种金属零部件，组装程序复杂，设计、制造壁垒很高。为了使折叠屏能够实现紧密贴合和平整展开等操作，铰链需要完成精密限位、阻尼保护以及多次开合等功能，是实现稳定、可靠的折叠屏产品的关键。目前来看，除了传统 CNC 加工工艺外，3D 打印、MIM 等技术逐步导入铰链精密零部件的制造，材料上也逐步向液态金属（非晶合金）、钛合金、高强钢和碳纤维等新材料扩展。随着铰链朝着高性能方向发展，制造工艺和材料的升级有望带来产品附加值的提升。

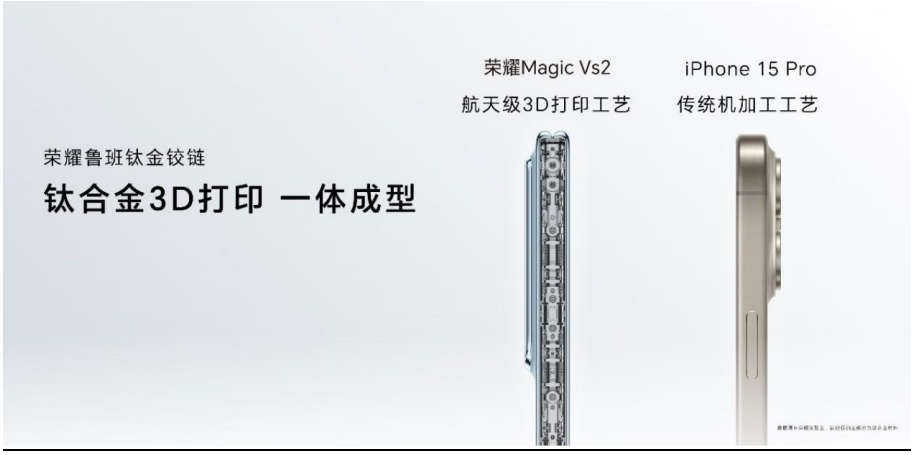
表 5： 、荣耀、三星各代主要折叠屏手机铰链特点

| 品牌 | 机型 | 重量（g） | 折叠厚度（mm） | 铰链类型 | 部分铰链材料 | 铰链特点 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mate X | 300 | 11 | 鹰翼式铰链 | | 外折方案，实现折叠状态下机身无缝连接 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mate Xs | 300 | 11 | 鹰翼式铰链 | 锆基液态金属 | 关键部位加入锆基液态金属提升抗摔能力 |
| | Mate X2 | 295 | 14.7 | 双旋水滴铰链 | 锆基液态金属/碳纤维/高强度钢 | 采用业界独有水滴转轴 |
| | Mate Xs2 | 255 | 11.1 | 双旋鹰翼铰链 | 超轻超强钢 | 外折方案，新一代双旋鹰翼铰链 |
| | Mate X3 | 239 | 11.08 | 双旋水滴铰链 | 航空级机翼铝/碳纤维 | 采用 700MPa 高强铝合金材料 |
| | Mate X5 | 243 | 11.08 | 双旋水滴铰链 | 超纯净超高强钢 | 折叠展开更加平稳，增加可靠性 |
| 荣耀 | Magic V | 288 | 14.3 | 超薄悬浮水滴铰链 | 锆基液态金属/**钛合金**/碳纤维 | 三重航天级用材 |
| 荣耀 | Magic Vs | 261 | 12.9 | 鲁班 0 齿轮铰链 | | 航天级轻质材料、榫卯一体化成型工艺 |
| 荣耀 | Magic V2 | 231 | 9.9 | 鲁班钛金铰链 | 盾构钢/**钛合金** | 轴盖采用钛金，主体自研盾构钢 |
| 荣耀 | Magic Vs2 | 229 | 10.7 | 鲁班钛金铰链 | **钛合金** | 钛合金 3D 打印 |
| 三星 | Galaxy Fold | 276 | 15.7 | U 型铰链 | | 形式简单，容易弯折，内部浪费多 |
| 三星 | Galaxy Z Fold2 | 282 | 16.8 | U 型铰链 | | 采用凸轮结构设计、防尘纤维技术 |
| 三星 | Galaxy Z Fold3 | 271 | 16 | U 型铰链 | | 相较于上一代产品，耐用性提升 10% |
| 三星 | Galaxy Z Fold4 | 263 | 15.8 | U 型铰链 | | 螺旋结构线性运动，取代齿轮铰链 |
| 三星 | Galaxy Z Fold5 | 253 | 13.4 | 超闭合精工铰链 | | 全新改进，类似水滴铰链 |

资料 ：各品牌官网，长江电子，长江证券研究所

图 18：荣耀 Magic Vs2 采用由钛合金 3D 打印技术制成的荣耀鲁班钛金铰链




资料 ：荣耀官网，长江证券研究所

表 6：3C 领域钛合金 3D 打印产业链金属粉末材料相关标的

| 公司 | 相关业务 |
|---|---|
| 有研粉材 | 公司产品方面增材制造主要包括铝合金粉体、钛合金粉体、高温合金粉体和铜合金粉体四类产品，特种粉体包括软磁粉末、MIM 粉末、钎焊合金粉等产品。公司增材板块的 500 吨产能中，铝基合金粉体材料占比 40%，高温合金粉体材料占比 40%，钛合金粉体材料占比 15%，铜基合金粉体材料占比 5%。公司当前在建设钛粉生产专线，目标 2024 年年底之前达产。 |
| 悦安新材 | 公司主要产品为微纳金属粉体及相关深加工制品，主要包括羰基铁粉系列产品、雾化合金粉系列产品、软磁粉系列产品、金属注射成型喂料系列产品、吸波材料系列产品等。公司的雾化合金粉系列产品、金属注射成型喂料系列产品直接或间接供应给 vivo 公司、苹果/三星产业链供应商精研科技（300709.SZ）等客户。主要应用于 MIM 制造 3C 结构件、通讯基座结构件、工具类结构件、3D 打印材料、软磁材料等领域。 |

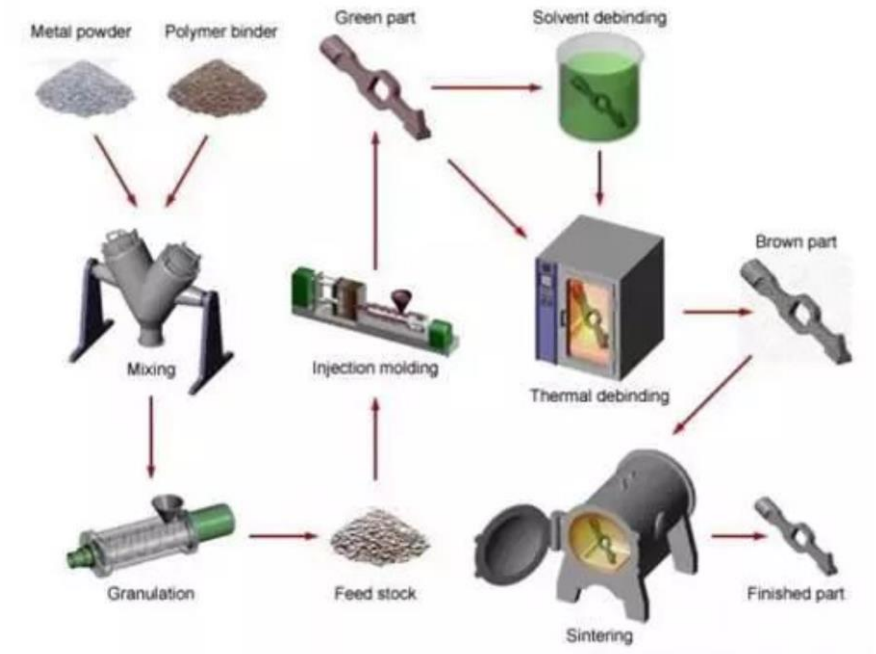
| | |
|---|---|
| 铂力特 | 公司在现有高温合金粉末、不锈钢粉末、钛合金粉末、铝合金粉末、钨合金粉末、铜合金粉末等金属粉末研究的基础上，根据合金的成形性和性能指标要求，开发了一系列的金属增材制造专用粉末，其中研发出金属增材制造专用新型金属粉末材料——钛合金粉末 TiAM1，有效降低大尺寸复杂结构件增材制造过程中的“变形、开裂”现象，增材制造工艺显著提高。 |

资料 ：有研粉材公告，悦安新材公告，铂力特公告，长江证券研究所

➢ **金属注射成型：复杂零部件的低成本解决方案，3C 领域拓空间**

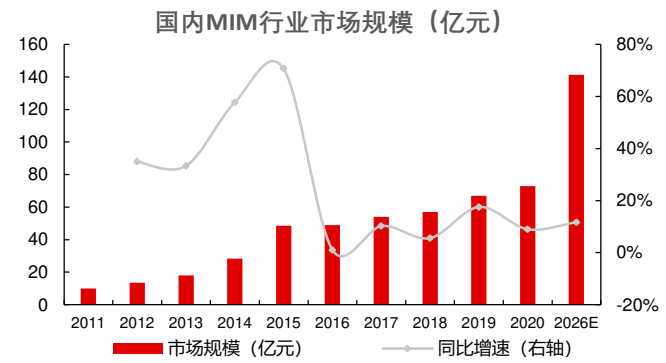
MIM（Metal Injection Molding）是金属注射成型的简称，是一种将金属粉末与其粘结剂的增塑混合料注射于模型中的成形方法。**MIM 流程结合了注塑成型设计的灵活性和精密金属的高强度和整体性，来实现极度复杂几何部件的低成本解决方案。**制造流程上看，MIM 包括“混合-成型-脱脂-烧结”四个加工步骤，针对产品特性决定是否需要进行表面处理。目前，不锈钢、铁基合金、磁性材料、钨合金、硬质合金、钛合金、精细陶瓷粉末都可以用于 MIM 注射。

图 19：金属注射成型（MIM）工艺流程图



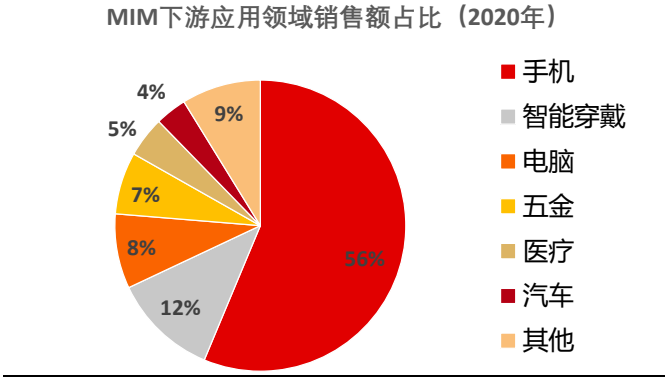

资料 ：《一文看懂金属注射成型（MIM）》（材料馆），长江证券研究所

图 20：预计 2026 年国内 MIM 行业市场规模约 141 亿元




资料 ：华经情报网，长江证券研究所（注：2026E 的同比增速为 2020 年到 2026 年预测市场规模的复合增速）

图 21：3C 是 MIM 下游应用占比最大的领域




资料 ：华经情报网，长江证券研究所

**消费电子领域是金属注射成形 MIM 零件的主要应用领域。**MIM 工艺应用于消费电子领域的第一代规模化产品为亚马逊电子书上的异形金属卡扣，此后 SIM 卡托和苹果 Lightening 数据线插头在很长时间内都是 MIM 工艺的代表性明星产品。最近两年，随着智能手机行业后置多摄像头以及升降前置摄像头潮流的兴起，摄像头支架成为 MIM 行业主要的价值贡献者，由于该类产品要求无磁、耐蚀，不同手机厂家分别选择了不同的材料路线。

**2019 年以来，折叠屏手机成为智能手机行业热点，其中复杂的折叠铰链机构为 MIM 产业带来新的市场机会，同时也提出了更大挑战**，其关键挑战在于在保证高强度的同时，还要保证产品的高精度及产品尺寸和性能的一致性。智能穿戴产品的快速发展也为 MIM 产业提供了新机遇，如智能手表表壳、VR 眼镜铰链等，在工艺发展上需要为这类外观零件开发出保证高抛光质量的不锈钢原料方案和工艺路线，未来还要发展其他轻质材料。

图 22：MIM 产品在消费电子领域的应用示意图




资料 ：精研科技招股说明书，长江证券研究所

**当前 MIM 头部企业纷纷加大 3C 领域的布局。**例如东睦股份、精研科技、统联精密、信维通信等头部企业为知名手机厂商提供折叠屏铰链的 MIM 精密零部件。值得注意的是，

3C 领域的发展不仅促进 MIM 市场空间的扩容，并且基于铰链零部件的工艺制程更为复杂，且对零部件精度要求更高，单机 MIM 零部件的价值量有望进一步提升。

表 7：MIM 头部企业正加大在 3C 领域的布局

| 公司 | MIM 业务在 3C 领域的布局 |
|---|---|
| 东睦股份 | 旗下子公司东莞华晶粉末公司于 2018 年成功进入为 供应链体系，成为折叠屏手机转轴 MIM 精密结构件等产品的主力供应商 |
| 精研科技 | 为折叠屏手机安卓系头部客户供应手机转轴（铰链）用 MIM 件、手机转轴（铰链） |
| 统联精密 | 为国内的一家手机品牌厂商提供铰链的 MIM 精密零部件 |
| 信维通信 | 为国内知名手机厂商供应折叠屏转轴的 MIM 部件 |

资料 ：东睦股份公告，长江电子，长江证券研究所

表 8：国内前 10 大 MIM 工厂

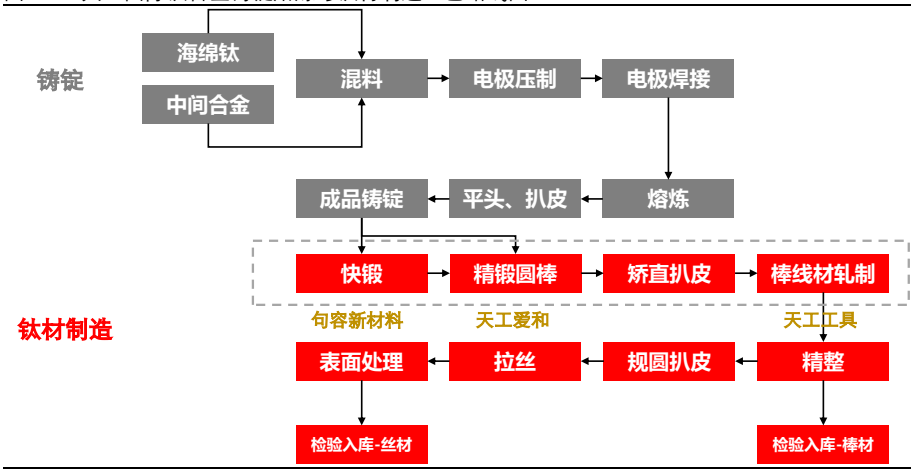
| 序号 | 厂家名称 | 所在地点 | 烧结能力预计（升/日） | 产品品类 | 苹果供应商 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 精研科技 | 江苏常州/东莞长安 | 50000 | 3C/手机 | 是 |
| 2 | 富驰高科（东睦股份控股子公司） | 上海宝山/江苏连云港/东莞东城 | 25000 | 3C/手机 | 是 |
| 3 | 中南创发 | 广东广州番禺 | 18000 | 3C/表 | 是 |
| 4 | 铭郝科技（安费诺） | 浙江杭州下沙/云南曲靖 | 16000 | 3C/手机 | 是 |
| 5 | 中耀科技（舜宇） | 江苏吴江/安徽滁州 | 16000 | 3C/手机 | 是 |
| 6 | 全亿大科技 | 广东广州佛山 | 15000 | 3C/手机 | 是 |
| 7 | 通达精密 | 福建厦门海沧 | 15000 | 3C/配重块 | 是 |
| 8 | 智见/象限科技 | 浙江宁波 | 10000 | 3C/配重块 | 是 |
| 9 | 启祥电子/骏派科技 | 江苏宿迁 | 10000 | 3C/配重块 | 是 |
| 10 | 鑫迪科技 | 广东惠州 | 6800 | 3C/配件 | 是 |

资料 ：SMART Molding(CN)，长江电子，长江证券研究所

## 钛合金中框：EB 炉工艺升级+钢钛产线共用降本，迎接爆点时刻

钛及钛合金由于具有高强度、高耐腐蚀性能和良好的表面纹理，适合作为便携式电子产品外壳材料，应用范围有望从手机外壳拓展至照相机、笔记本电脑等。生产工艺上看，3C 领域的钛合金外壳主要原材料是钛丝材（线材），其生产工艺的难点主要集中于“铸锭”和“钛材制造”两个环节。

图 23：天工国际钛合金铸锭熔炼与钛材制造工艺路线图



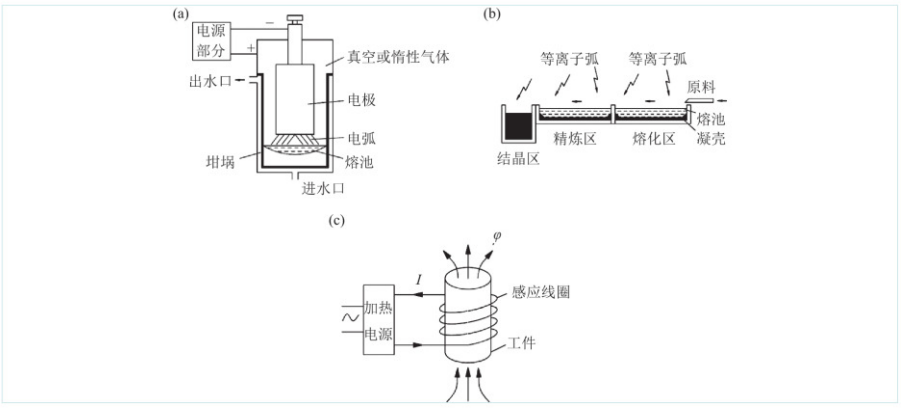

资料　：天工股份招股说明书，长江证券研究所（注：方框外为天工国际控股子公司天工股份包含的生产步骤，快锻、精锻圆棒、棒线材轧制分别为天工国际控股子公司句容新材料、天工爱和、天工工具的生产步骤）

**天工国际**是高速钢、模具钢、钛材料及切削工具四大业务板块协同发展的行业龙头。天工国际股权集中，管理规范且精细化，公司依次开拓了切削工具、高速钢、模具钢和新材料业务，实现了全品种特种新材料生产体系，产品广销国内外。钛合金业务方面，公司凭借 EB 炉领先的熔炼工艺+钢钛产线互通的协同降本，成为 3C 外壳钛合金材料的开拓者之一。

➢ **EB 炉工艺升级，合金铸锭纯净度进一步提升**

**在钛合金铸锭的制造过程中，熔炼是工艺要求最高的步骤之一。**熔炼是固体金属用加热炉熔化成液体并调质，通过熔炼海绵钛和中间合金得到钛合金铸锭。根据热源不同，钛及钛合金的熔炼热源主要有电弧、电子束和电磁加热，相应工艺分别为真空自耗电弧熔炼（vacuum arc remelting，VAR）、电子束冷床熔炼（electron beam cold hearth melting，EBCHM）和感应熔炼（induction melting，IM）。

图 24：不同热源的钛熔炼技术




资料　：《金属增材制造用钛粉制备研究》（郭广浩等），长江证券研究所（注：（a）真空自耗电弧熔炼；（b）电子束冷床熔炼；（c）感应熔炼）

真空自耗电弧炉（VAR）是钛合金铸锭生产中最成熟的工艺。然而，VAR 具有杂质过多的问题，难以满足 3C 钛材对纯净度的需求。迄今为止，VAR 工艺已经发展超过半个世纪，其实质是利用电弧产生的高温热能将钛合金的自耗电极在保护性氛围或真空中下重新熔炼，形成重熔铸锭。尽管 VAR 工艺操作简单，自动化程度高，然而不能从根本上消除高低密度夹杂，且在重熔过程中会出现自耗电极“断裂”这一现象。

电子束冷床熔炼（EB）作为更先进的熔炼技术，能更好地消除 Mo、W、Nb 等杂质元素引起的高低密度夹杂；并且能够灵活控制熔炼过程，确保各合金元素均匀化程度提高，减少成分偏析。利用 VAR+EB 工艺，能够满足航空发动机、3C 领域关键零部件所需优质钛合金的要求。

表 9：VAR 和 EB 熔炼钛合金铸锭的比较

| 熔炼方法 | 热源 | 杂质元素 | 效率 | 成本 |
|---|---|---|---|---|
| 真空自耗电弧炉 | 电弧 | 多 | 低 | 高 |
| 电子束冷床熔炼 | 电子束 | 少 | 高 | 低 |

资料 ：《金属增材制造用钛粉制备研究》（郭广浩等），长江证券研究所

凭借持续技术研发的积累，天工国际当前已攻克 VAR+EB 熔炼技术，具备真空电子束冷床炉、真空自耗电弧炉等高端生产设备。根据天工国际钛材子公司天工股份的招股说明书，公司拟募集资金用于购置真空电子束冷床炉，解决钛材铸锭内部的高/低密度夹杂技术难题，增强产品成分均匀性，有效改善钛及钛合金材料内部组织结构，从而全面提升钛及钛合金材料质量。EB 炉技术的领先，为公司切入 3C 钛材供应链奠定基础。

表 10：公司钛合金产品的主要研发与在研项目一览

| 项目名称 | 起止日期 | 达到目的 |
|---|---|---|
| 提高φ1040mm 大规格铸锭成品率研究 | 2018 年 9 月至 2021 年 4 月 | 提高大规格铸锭成品率，进一步降低生产成本，提高企业效益。 |
| 高均匀性等轴细晶组织调控技术研究 | 2018 年 9 月至 2021 年 6 月 | 研发高均匀性等轴细晶组织调控技术，实现大口径钛合金目的及组织实管坏组织细化及均匀化。 |
| 眼镜架用 Ti-4Al-22V 丝材研制 | 2020 年 2 月至 2022 年 6 月 | 通过研究 Ti-4Al-22V 钛合金的熔炼、锻造、轧制及拉拔工艺，开发出相应的熔炼、锻造、轧制及拉拔生产工艺。 |
| 增材用高抗冲击低成本钛合金丝材研制 | 2020 年 7 月至 2022 年 6 月 | 通过研究高抗冲击低成本钛合金熔炼与锻造技术以及高抗冲击低成本钛合金丝材超精拉拔生产工艺，开发出高抗冲击低成本钛合金产品。 |
| 高性能 TC4 板材生产工艺的研发 | 2021 年 7 月至 2023 年 6 月 | 研究锻造道次压下率及其分配，优化工艺流程组合，开发一种高效的加工工艺；研究轧制方式，形成成熟生产工艺；通过系统集成 TC4 钛合金加工工艺，开发出高塑性 TC4 钛合金板材生产工艺。 |
| 钛及钛合金返回炉料利用技术研究 | 在研 | （1）研究状块材料的处理技术；（2）研究屑状残料的处理技术。 |
| 3C 产品用 TC4 钛合金盘圆组织性能研究 | 在研 | （1）优化现有熔炼工艺流程，进一步提高铸化学成分均匀及稳定性。（2）优化现有锻造工艺流程，保证棒材形成均匀细小的等轴组织。（3）优化现有轧制工艺技术，确保 TC4 圆为均细小的等轴组织，提高综合机械性能。 |
| 纯钛大型铸锭锻造技术研究 | 在研 | （1）优化现有熔炼工艺流程，进一步提高铸锭化学成分均匀及稳定性；（2）优化现有锻造工艺流程，保证锻造后的锻件在后续加工过程中满足客户要求。 |
| TC4 钛合金大型铸锭锻造技术研究 | 在研 | （1）优化现有熔炼工艺流程，进一步提高铸锭化学成分均匀及稳定性；（2）优化现有锻造工艺流程，保证锻造后的锻件在后续加工过程中满足客户要求 |

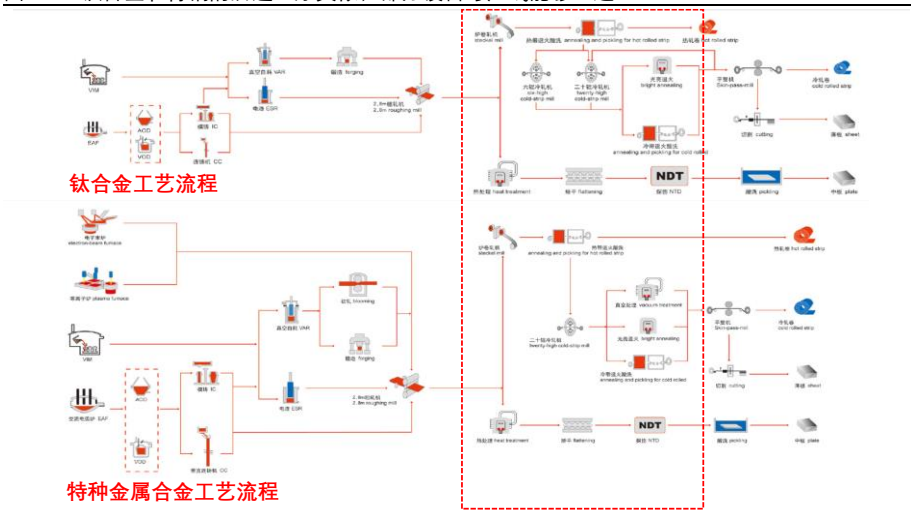
资料 ：天工股份招股说明书，长江证券研究所

### ➢ 钢钛产线互通，推进产业链降本

在钛材的加工过程中，需经过“快锻、精锻和线棒材轧制”等步骤。根据天工股份公告，精锻、快锻等加工设备生产线资金投入大；钛材行业内，中小企业普遍采用以自主生产为主，委托加工部分工序为辅的生产方式。上市公司如西部超导、宝钛股份等均采用外协加工方式辅助完成部分生产工序，如锻造、轧制、精整等工序。天工国际的钛材子公司天工股份将快锻、精锻圆棒、棒线材轧制等生产步骤向关联公司句容新材料、天工爱和与天工工具委托加工。

**公司充分利用钢钛协同生产的优势，推进产业链降本。**句容新材料、天工爱和与天工工具的主营业务均为高速钢及模具钢的研发与生产。基于钛合金与工模具钢部分后道加工工序类似，产线设备可以互通使用。在工模具钢+钛合金的协同生产的优势下，天工国际可以节省重复购置锻造、轧制设备的成本，相较于竞争对手形成的成本优势显著。

图 25：钛合金和特钢的后道工序类似，部分设备与产线能够互通



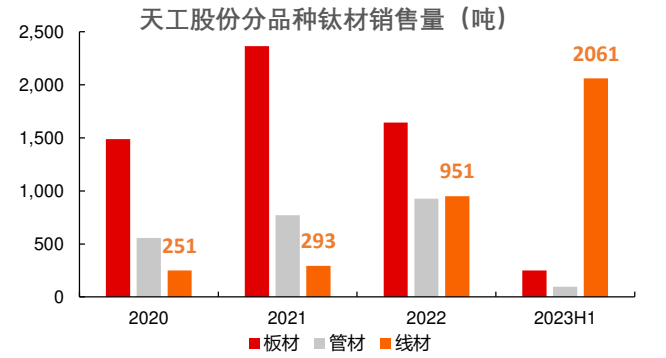

资料 ：宝钢在线，长江证券研究所

### ➢ 天工国际：率先切入核心供应链，长期成长可期

**凭借技术+成本领先的优势，天工国际成为 3C 钛合金材料的开拓者。**子公司天工股份前三季度实现归母净利润 1.28 亿元，同比+266%。

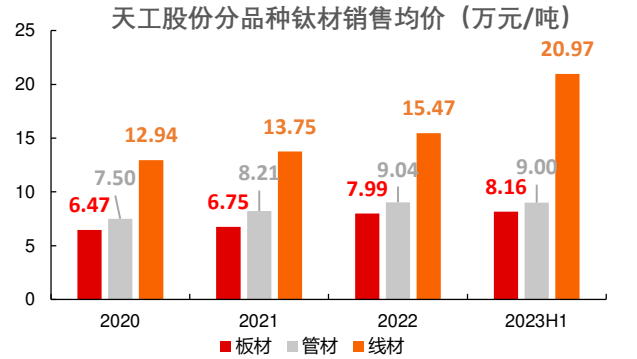
从销量上看，2023 上半年，在下游 3C 消费电子需求增长催化下，线材销售量达 2061 吨，同比 2022 年的 951 吨增长明显。从售价上看，基于 3C 钛材对铸锭纯净度具有更高要求，且线材加工工艺更加复杂，良率较低，催生钛线材单吨售价明显高于钛板材和钛管材。2023 上半年，公司钛线材平均销售单价为 20.97 万元/吨，显著高于板材 8.16 万元/吨和管材 9.00 万元/吨。从盈利水平上看，2023H1 钛线材的吨毛利约 7.08 万元/吨，亦明显高于板材、管材的 707、4171 元/吨。

图 26：2023H1 天工股份的钛线材销售量大幅增长



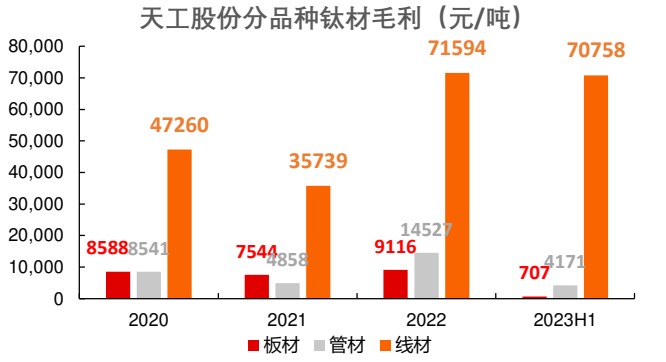

资料 ：天工股份招股说明书，长江证券研究所

图 27：2023H1 天工股份的钛线材销售单价大幅增长



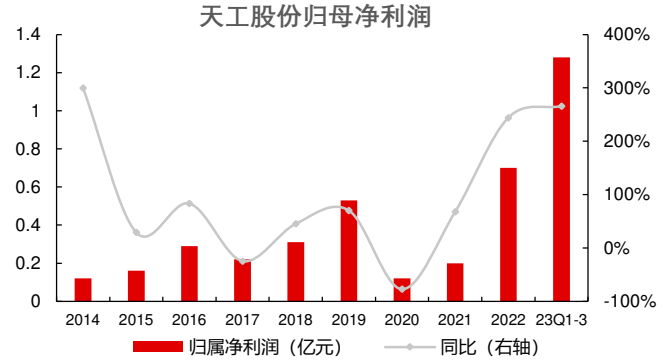

资料 ：天工股份招股说明书，长江证券研究所

图 28：天工股份的钛线材毛利远高于板材和管材




资料 ：天工股份招股说明书，长江证券研究所

图 29：2023 年前三季度，天工股份的归母净利润显著增长




资料 ：天工股份招股说明书，长江证券研究所

表 11：天工股份的前五大客户及销售情况

| 2023 上半年 | | | 2022 年 | | | 2021 年 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 客户名称 | 销售产品类型 | 销售收入（万元） | 客户名称 | 销售产品类型 | 销售收入（万元） | 客户名称 | 销售产品类型 | 销售收入（万元） |
| 客户 1 | 线材 | 42186 | 客户 1 | 线材 | 10686 | 宝钛集团及其关联公司 | 板材 | 7516 |
| 凯利特 | 钛及钛合金废料 | 1765 | 圣珀新材及其关联公司 | 板材 | 6668 | 圣珀新材及其关联公司 | 板材 | 5174 |
| 圣珀新材及其关联公司 | 板材 | 967 | 宝杰钛业及其关联公司 | 管材 | 1961 | 金天钛金 | 板材 | 2310 |
| 中润新材 | 板材 | 597 | 巨成钛业 | 板材 | 1688 | 宝杰钛业及其关联公司 | 管材 | 2087 |
| 力泰金属 | 钛及钛合金废料 | 578 | 维诺金属 | 管材、线材 | 1590 | 维诺金属 | 板材、管材 | 1202 |

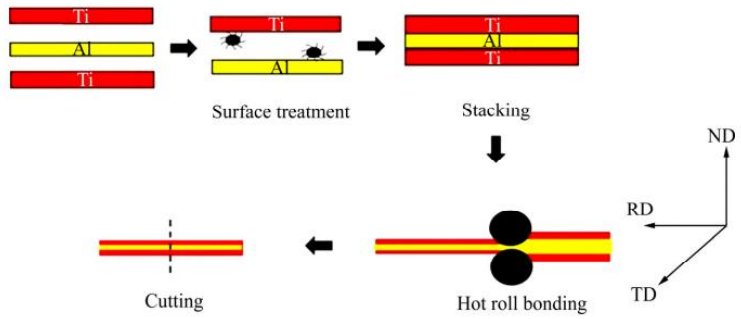
资料 ：天工股份招股说明书，长江证券研究所

➢ **钛铝复合材料：高性能+低成本优势，空间逐步打开**

3C 领域的钛合金外壳材料中，钛铝层状复合材料是应用最广泛的方案之一。例如 iPhone 15 Pro 的钛合金中框使用了五级钛（Ti-6Al-4V）和铝合金（Al 6013 T6）的复合。在接合面上，两种金属在原子层面是相互“扩散”的，形成“钛包铝”的结构。一方面有助于热量传导，同时金属铝均为回收材料，满足苹果公司的环保需求。

**层状金属复合材料是利用复合技术使两种或两种以上物理、化学、力学性能不同的金属在界面上实现牢固的冶金结合而制备的一种新型材料。**与单一金属相比，通过不同金属单元的组合，层状金属复合材料的物理、化学、力学性能更加优越，热膨胀性、强度、耐腐蚀性、导电性、导磁性等诸多性能都可以得到很大的提高，同时可以节约稀有的贵金属材料，具有很好的经济效益和社会效益。在产业链降本趋势的推动下，钛合金与铝合金复合材料有望成为消费电子龙头青睐的方案。

图 30：轧制法制备钛/铝复合板示意图




资料　：《钛/铝复合板研究进展》（韩建超等），长江证券研究所

表 12：3C 领域钛铝复合材料相关标的

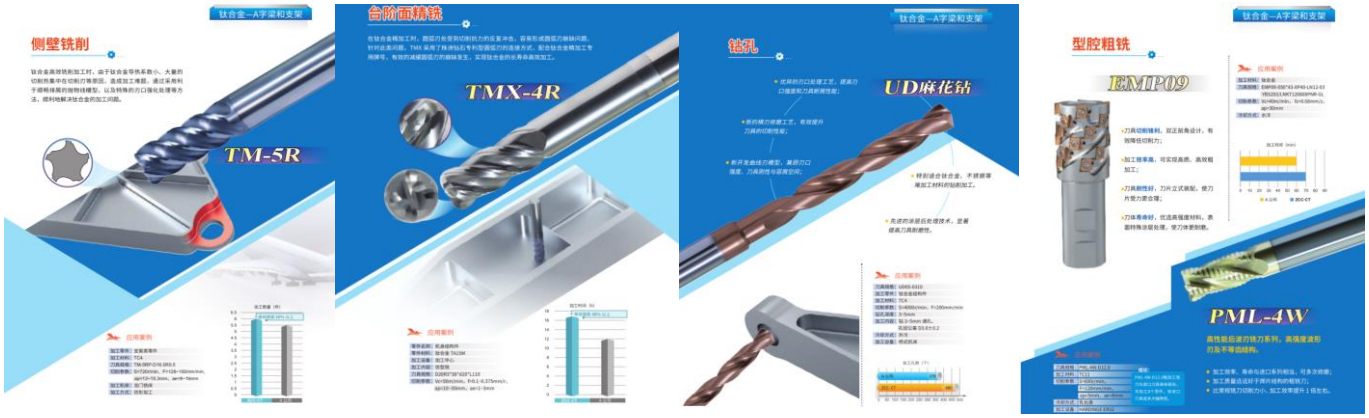
| 公司 | 简介 |
| --- | --- |
| 银邦股份 | 公司通过自主研发的特殊表面处理技术以及高温轧制复合技术，掌握了钛铝复合技术，解决了铝材强度不高、钢材重量，复合材料高温热处理易生成金属间化合物从而破坏结合强度等技术难题，该产品具有耐蚀性好、传热效率高、寿命长，表面光洁无结垢层、密度小、强度高等优势，现已成功开发出了满足 3C 行业、家电行业的特殊要求的铝/钛、碳钢/铝/钛、不锈钢/铝/钛等多种特种材料。 |

资料　：银邦股份公告，长江证券研究所

➢ **钛合金切削刀具：高性能+低成本优势，高端硬质合金刀具充分受益**

基于钛合金难加工的特点，传统 CNC 加工方式的切削速度一般不超过 60m/min。钛合金粗加工主要以大切深、低转速、低进给的方式获得最大的金属去除率；精加工则采用 PVD 涂层硬质合金刀具进行小切宽、大切深的高速铣削获得高速切削。刀具材料向强力切削时避免振颤、减小切削力和降低切削温度等方面进行改进。

图 31：中钨高新的子公司株洲钻石设计的专门用于钛合金机床加工的刀具




资料　　：株洲钻石官网，长江证券研究所

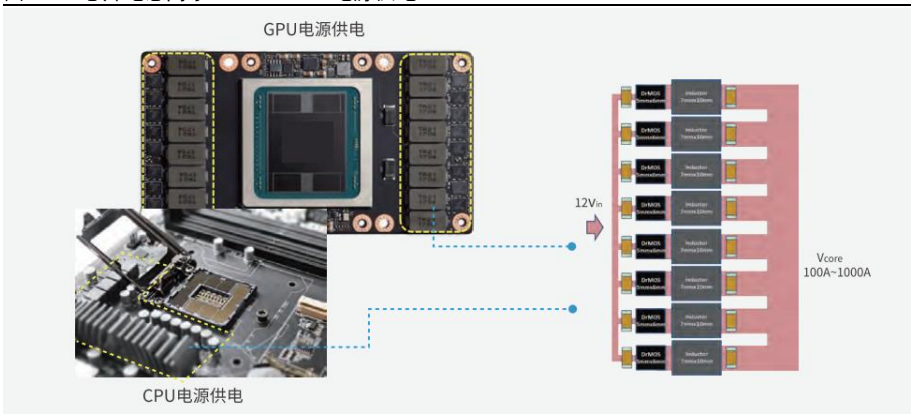
**中钨高新**是国内最大的硬质合金综合供应商，主营切削刀具及工具、其它硬质合金、难熔金属、粉末制品等业务。根据中钨高新公告，钛合金加工刀具由株钻公司供应。目前来看，钛合金在手机端的应用有明显趋势，钛合金对刀具要求较高，刀具损耗大寿命短，随着钛合金应用的增多，对刀具的需求量也会相应的大量增加。从 2023 年三季度看已经带来了阶段性的需求增长，公司跟行业内的客户一直有合作，供应钛合金刀具，未来也会抓住这块的市场机会加大合作和供应。

**厦门钨业**深耕刀具行业多年，技术积累丰富，产品广泛应用于航空航天、汽车、医疗、能源重工、通用机械、模具及 3C 等领域。公司旗下厦门金鹭针对钛合金加工的痛点和难点，研发推出“银雀”系列钛合金铣削刀具，在刀具基体、涂层和表面刃口处理等方面实现了重大突破，解决钛合金加工过程容易粘屑、异常崩刃、寿命短的问题。该新品系列牌号凭借优异的抗粘结技术，并匹配抗崩性专用基体，在精到半精的中低速加工中有着优异的表现，可提升刀具寿命，提高加工效率。公司同时推出了钛合金整体解决方案，在基于用户需求的基础上，综合考虑了影响提效的因素（加工设备、切削液、毛坯、工件夹持、工艺方案及刀具选型），通过合理的加工工艺方案，让零件加工更快更合理；通过正确的刀具选择，让加工效率最大化。

# 芯片电感：AI 大时代，金属软磁电感蓄势待发

**金属软磁芯片电感大有可为，有望在新一代 GPU 广泛应用。**芯片电感起到为芯片前端供电的作用，可广泛应用于服务器、通讯电源、GPU、FPGA、电源模组、笔记本电脑、矿机等领域。目前，主流芯片电感主要采用铁氧体材质，但铁氧体饱和特性较差，随着未来电源模块的小型化和应用电流的增加，铁氧体电感体积和饱和特性已经很难满足未来发展趋势，而金属软磁材料电感具有更高效率、小体积、能够响应大电流变化的优势，有望在百亿级规模市场实现对铁氧体材质电感的全面替代。

图 32：芯片电感用于 CPU、GPU 电源供电

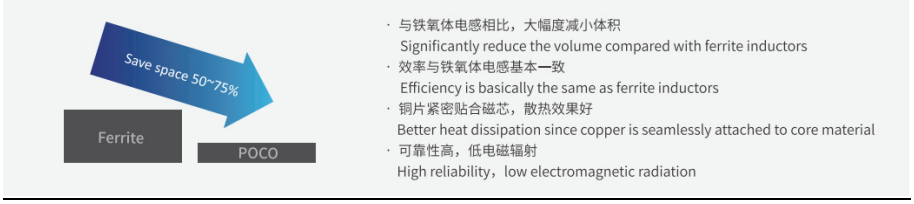



资料 ：铂科新材公告，长江证券研究所

**金属粉芯的特点是可以承受大电流、大功率，并且相比于铁氧体电感可以大幅减小体积。**根据铂科新材公告，电脑或者服务器主板上面的芯片需要供电才能运算，一般供电电压不超过 1V,如果电压太高容易击穿芯片，需要芯片电感对电路降压。电压要从 24V 或更高降低到 1V，电压下降同时电流相应要提升十多倍。传统芯片电感普遍采用铁氧体，电路需要几级变压，比如从 48V 先降到 24V，再降到 12V，再降至 1V；金属软磁芯片电感可以直接从 24V 降到 1V。并且，基于金属软磁在饱和磁感应强度上的优势，由最新一代金属软磁粉芯（NPX）制备的电感在损耗性能上和铁氧体接近，在体积上同比减少 50%~75%，符合计算芯片高集成、小型化的发展趋势。

当前，金属软磁材料芯片电感已经实现交货，目前以服务器领域的应用场景居多，倘若稳定性符合标准，替代过程有望加速。

图 33：由金属软磁材料制备的电感较铁氧体电感的体积可以减少 50%~75%



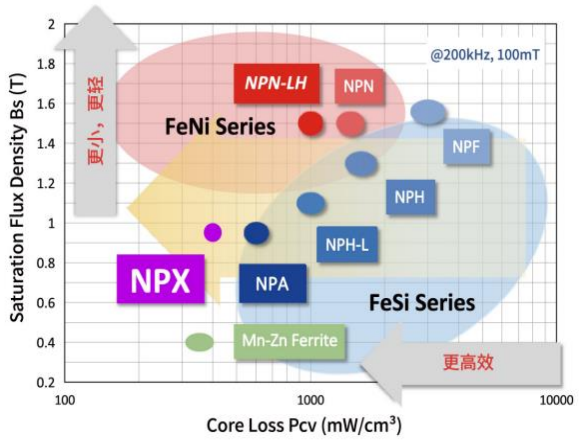

资料 ：铂科新材公告，长江证券研究所

图 34：金属软磁粉芯作为最新一代软磁材料，性能指标较铁氧体等传统材料更优异

| 金属软磁材料 | 饱和磁通密度 $B_s$（T） | 电阻率 ρ（μΩ*cm） | 磁致伸缩系数 \|λ\|（$10^{-6}$） | 居里温度 $T_c$（℃） | 综合成本 |
|---|---|---|---|---|---|
| 指标说明 | 越高电器元件越能够小型化 | 决定损耗，越高越可适用于高频率 | 决定噪音，越低噪音越小 | 决定高温稳定性，越高在温升时越稳定 | 越低越好 |
| 金属软磁粉芯 | 1.0~2.15 | $10^7$~$10^8$ | 0~0.1 | 550~770 | 低 |
| 纯铁 | 2.15 | 10~12 | 19~26 | 770 | 低 |
| 硅钢 | 1.6~2.12 | 23~80 | 取向：1~3<br>无取向：0.1~5.5 | 740 | 低 |
| 铁硅铝合金 | 0.9~1.1 | 80 | ~0 | 500 | 低 |
| 铁镍合金（50%镍） | 1.5 | 40 | 25 | 500 | 很高 |
| 铁镍钼合金 | 0.75 | 60 | ~0 | 450 | 最高 |
| Mn-Zn铁氧体 | 0.3~0.55 | $10^7$~$10^8$ | 14~21 | 120~270 | 最低 |
| Ni-Zn铁氧体 | 0.2 | $10^8$~$10^{15}$ | 5~26 | 70 | 较低 |
| 铁基非晶（1K101） | 1.56 | 120~180 | 27~30 | 415 | 较高 |
| 铁基纳米晶（1K107） | 1.25 | 80 | 0.5~2 | 570 | 高 |

资料 ：《金属软磁粉芯的现状及未来研发方向》（苏海林等），长江证券研究所

图 35：铂科新材第四代软磁粉芯材料 NPX 实现高频下的低损耗




资料 ：铂科新材公告，长江证券研究所

# 高性能铜合金：大空间赛道，光模块+卫星互联网催化

## 光模块：传输速率提升，高性能钨铜合金蓄势待发

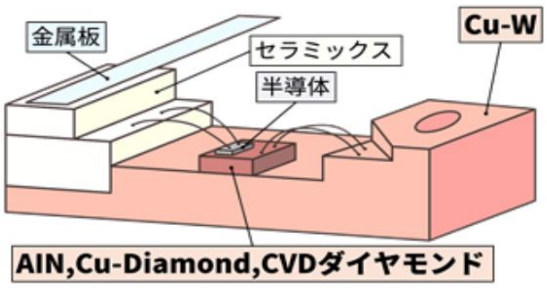
光模块由光器件、功能电路和光接口组成。主要功能为完成光信号的光电、电光转换。主要用于电信传输、数据中心和 5G 基站。模块中有件三大核心部，光芯片、激光器和光棱镜；此三大部件对载体材料的散热系数和热膨胀系数有着苛刻的要求，此载体叫光芯片基座。

**随着光模块传输速率的升级，钨铜合金成为光芯片基座的必备材料。**根据斯瑞新材公告，能满足 100G 以上速率光模块性能要求的基座材料只有可伐合金（Kovar）和钨铜合金（CuW）、钼铜（CuMo）。200G/400G 光模块使用 CuW 光芯片基座来保证散热。CuW

合金既有钨的低膨胀特性，又具有铜的高导热特性，其热膨胀系数和导电导热性可以通过调整材料的成分而加以改变，以使之与芯片的热膨胀系数更匹配。由此，钨铜合金或将成为 800G 光模块架构下，光芯片基座成熟的解决方案。

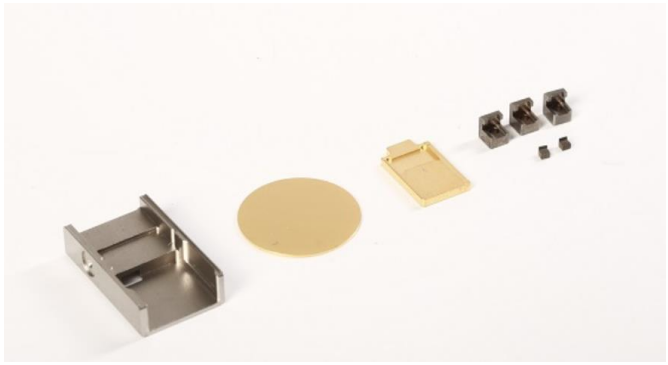
**国内钨铜合金生产企业正逐步打开光芯片基座市场。**当前，国内铜合金生产企业所生产的钨铜合金正在逐步通过下游标杆客户认证，进入国际供应体系，目前潜在的直接客户有菲尼萨（Finisar）、AOI、中际旭创、天孚通讯、新易盛等。从斯瑞新材官网上可看到，公司的钨铜合金光模块基座材料已经应用于全球最大、技术最先进的光通讯器件供应商菲尼萨的产品。

图 36：光模块的结构



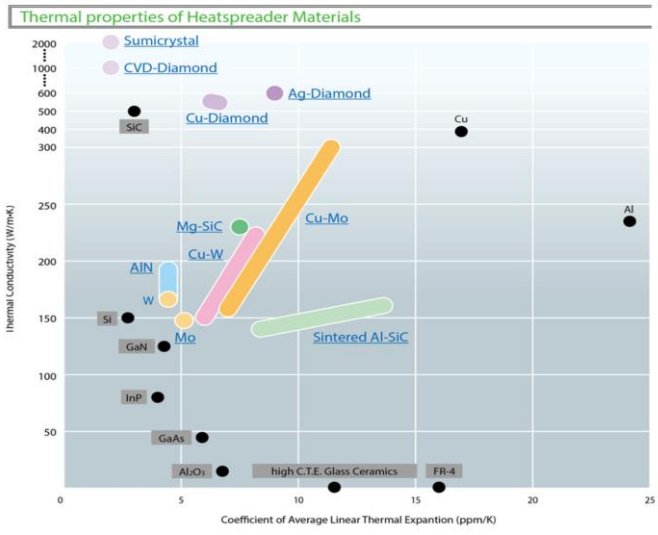

资料　：A.L.M.T 公司官网，长江证券研究所

图 37：斯瑞新材生产的光模块基座材料



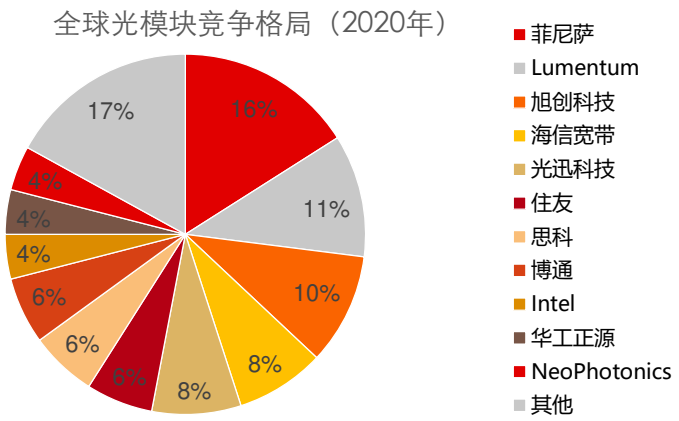
资料　：斯瑞新材官网，长江证券研究所

图 38：钨铜合金兼具较小的膨胀系数和较高的高导热特性，成为光芯片基座成熟的解决方案




资料　：A.L.M.T 公司官网，长江证券研究所

图 39：全球光模块竞争格局分散，国内企业约占 40%市场份额




资料 ： ，长江证券研究所

## 卫星互联网：材料升级，高强高导铜合金未来已来

**全球卫星争夺战拉开序幕，卫星市场进入爆发期。**低轨卫星通信网络在全球通信和互联网接入、5G、物联网、太空军事能力应用等方面极具潜力，是商业航天技术和主要大国太空和军事战略博弈的必争之地。由于卫星轨道和频谱资源十分有限，世界各国已充分意识到近地轨道和频谱资源的战略价值，以及低轨卫星通信系统的巨大商业价值，近年来悄然开展卫星发射争夺战。

我国积极实施低轨卫星互联网星座计划，其中，央企计划包括星网集团“GW”巨型星座计划、航天科技集团的“鸿雁”星座和航天科工集团的“虹云”工程和“行云”工程；民营商业航天公司具有代表性的包括上海垣信的 G60 计划、银河航天的“银河 Galaxy”星座计划等，中国大规模卫星发射时代已成为确定性未来。

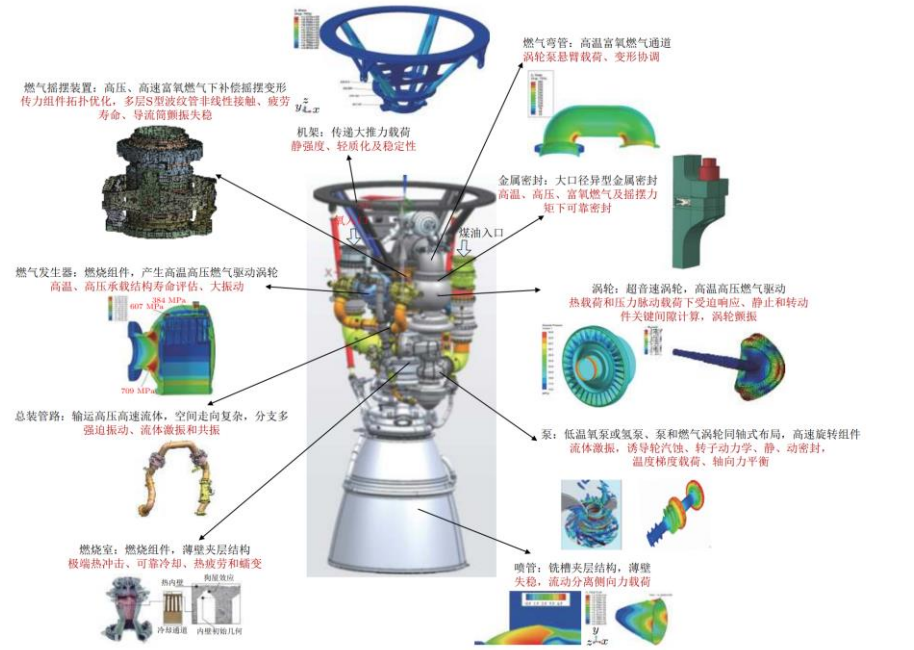
图 40：各国主要卫星互联网星座部署计划

| 国家 | 公司 | 星座名称 | 数量（颗） | 建成年份 | 轨道高度 | 频段 | 用途 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 美国 | Space X | StarLink | 11,927 | 2027 | 1,130km | Ku,Ka,V | 宽带 |
| 英国 | OneWeb | OneWeb | 2,468 | 2027 | 1,200km | Ku,Ka, V,E | 宽带 |
| 美国 | 铱星公司 | 第二代铱星 | 75 | 2018 | 780km | - | 宽带、STL |
| 美国 | 波音 | 波音 | 2,956 | 2022 | 1,200km | V | 宽带 |
| 美国 | 亚马逊 | Kuiper | 3,236 | - | 590km/610km/630km | Ka | 宽带 |
| 美国 | Facebook | Facebook Athena Project | 77 | - | 1,200km | - | - |
| 加拿大 | Telesat | Telesat | 298 | 2023 | 1,248km/1,000km | Ka | 宽带 |
| 加拿大 | AAC Clyde | Kepler | 140 | 2022 | - | Ku/Ka | 物联网 |
| 印度 | Astrome | Space Net | 150 | 2020 | 1,400km | 毫米波 | 宽带 |
| 俄罗斯 | Yaliny | Yaliny | 135 | - | 600km | - | 宽带 |
| 德国 | KLEO Connect | KLEO | 624 | - | 1,050km/1,425km | Ka | 工业 物联网 |
| 韩国 | 三星 | 三星 | 4,600 | - | 1,400km | - | 宽带 |

资料 ：铖昌科技招股说明书，长江证券研究所

**卫星互联网的发展有望打开高性能高强高导铜合金的需求空间。**推力室（燃烧室）是液体火箭发动机的重要装置，推进剂燃烧产生的高温、高压燃气热能在推力室内转化为动能。要求推力室内壁材料具有良好的耐高温性能、导热性能，将火箭发射过程中燃料燃烧的热量导出，确保发动机正常工作；高强高导铜合金成为可行方案。

图 41：火箭燃烧室（推力室）内壁在受到极端热冲击下，要保证可靠冷却性和抗疲劳蠕变性能




资料　：《大推力液体火箭发动机结构中的力学问题》（李斌等），长江证券研究所

**推力室内壁的制造主要由耐高温高导热铜合金材料设计、制备、3D 打印或锻造旋压、精密加工及组装焊接等产业环节构成。**整个产业链中，耐高温高导热铜合金材料设计、制备、3D 打印、精密加工与组装焊接是目前技术壁垒较高的关键环节。根据《高强高导高耐热铜合金的研究进展与展望》（雷前等），考虑到材料需在高温下长期服役，材料内外两侧分别是高温燃气环境和低温冷却环境，且使用的燃料和助燃剂具有腐蚀性，在高温高压以及高速燃气冲蚀下对材料的腐蚀极其严重。要求服役的材料具有较高的高温强度、导热率、抗高温氧化性能、高温低周疲劳性能和蠕变性能。**当前国内通用的燃烧室内衬材料为铜铬合金；新一代的铜铬锆、铜铬铌合金在耐高温、高强度、低膨胀系数上的性能更为优越，有望对铜铬合金形成替代，支撑更大的火箭推动力。**

表 13：高温条件下，铜铬锆合金和铜铬铌合金在高强度、高延伸率、低膨胀系数等性能领先

| 温度（℃） | C18200（铜铬合金） | C18150（铜铬锆合金） | GRCop-84（铜铬铌合金） |
|---|---|---|---|
| 高温极限拉伸强度（Mpa） | | | |
| 500 | 206.5 | 293.9 | 156.6 |
| 650 | 104.0 | 119.5 | 87.8 |
| 800 | 25.3 | 21.2 | 36.2 |
| 高温伸长率(%) | | | |
| 500 | 1.6 | 20.3 | 18.4 |
| 650 | 2.8 | 20.7 | 19.8（600℃） |
| 800 | 9.6 | 41.8 | 20.3 |
| 热膨胀率(%) | | | |
| 500 | 0.895 | 0.897 | 0.336 |

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/275231244023011110