



卫星互联网行业系列之 3：复盘猎鹰 1 号火箭研发历程，看好发动机组件供应商以及试验检测服务商

2025 年 10 月 14 日

看好/维持

通信

行业报告

分析师

石伟晶 电话：021-25102907 邮箱：shi_wj@dxzq.net.cn

执业证书编号：S1480518080001

投资摘要：

本篇专题报告中，我们从商业航天产业的火箭环节，梳理美国私营航天企业 SpaceX 早期阶段研发猎鹰 1 号的历程，总结其火箭技术特点以及研发特点，从而映射国内商业火箭产业链，挖掘相应的投资机会。

在猎鹰 1 号火箭研发第一阶段，Merlin 1A 发动机是猎鹰 1 号火箭系统的核心装备，其中燃烧室又是发动机的“心脏”。液体火箭发动机的基本组成包括推力室、推进剂供应系统和发动机控制系统等。推力室主要由喷注器、燃烧室和喷管组成。液体火箭发动机工作原理：液体推进剂贮存在推进剂贮箱内，当发动机工作时推进剂在推进剂供应系统的作用下按照要求的压力和流量输送至燃烧室，经雾化、蒸发、混合和燃烧生成高温高压燃气，再通过喷管加速至超声速排出，从而产生推力。燃烧室是液体火箭发动机中工作条件最恶劣的组件，燃烧温度 3000~4000℃，压力高达二百多个大气压。

无论是 Merlin 1A 发动机，还是其他类型火箭，燃烧室均将铜合金作为主要材料。燃烧室材料及制造技术成为再生冷却技术应用的关键。燃烧室内壁需要极佳的导热性来快速散热，而外壁需要优异的高温强度来承受压力。国内斯瑞新材公司在液体火箭发动机推力室内壁行业处于行业重要地位，公司铜合金推力室内壁材料及零部件通过了商业航天各主要客户的多次试车、发射验证。目前主要客户有蓝箭航天、九州云箭、深蓝航天等。

涡轮泵是液体火箭发动机的核心组件。涡轮泵具体工作原理如下：涡轮泵通常由涡轮部分和泵部分组成，两者一般采用直联形式，由涡轮去驱动泵的工作。火箭点火后，燃料和氧化剂燃烧产生的燃气推动涡轮高速旋转，并通过轴直接或间接带动泵的叶轮旋转。叶轮高速旋转产生离心力，从而将来自贮箱的燃料和氧化剂吸入泵体，并对其进行加速和增压。经过泵的增压，燃料和氧化剂的压力由几个大气压提高到几十个大气压。增压后的燃料和氧化剂以高速流体状态，分别通过各自的输送管道，按照精确的流量和比例，被输送到发动机的推力室中。在推力室内，燃料和氧化剂混合并燃烧，产生高温高压燃气，燃气通过喷管膨胀加速后喷出，产生反作用力推动火箭前进。

火箭发动机涡轮泵设计难度大，在高速旋转中又要承受高温、极低温、高压和剧烈震动等恶劣环境。其中轴承需承受巨大离心力和摩擦力。国内国机精工在卫星及其运载火箭上的专用轴承领域，市场占有率 90% 以上。

复盘猎鹰 1 号火箭研发历程，第二阶段模块测试耗时最多。猎鹰 1 号火箭从启动研发到首次飞行试验经历 46 个月。其中核心部件研发占时约 14 个月，测试和验收占时约 21 个月，总装完成后飞行试验准备占时约 12 个月（第三阶段原计划准备期 6 个月，由于发射地点改变等原因耽误，导致准备期延长到 12 个月）。可以看到，第二阶段耗时最多，也证明火箭研发过程中，测试是最为重要的环节。

试验检测是火箭实现重复使用的关键技术。在猎鹰 1 号火箭研发第二阶段，SpaceX 对猎鹰 1 火箭所有主要结构进行大量鉴定和验收测试工作。具体包括：猎鹰 1 主要结构的子系统，包括伺服、传力结构、一级贮箱总成、级间段、二级贮箱总成、仪器舱、有效载荷适配器和整流罩；级间段和整流罩分离系统也已成功进行了地面测试。

大量试验验证是 SpaceX 公司旗下火箭实现入轨成功率达到 97.76%的关键。

根据北京航天试验技术研究所的一篇公开文章，在猎鹰 1 号火箭研发期间，截至 2015 年 3 月，SpaceX 研发团队在麦格雷戈试验基地共进行了 4000 多次梅林发动机测试，其中包括约 50 次 9 台发动机并联组合的一子级点火试验，基地已知至少拥有 16 个试验台。

根据 SpaceX 公司官方网站公布，截至 2025 年 7 月 31 日，SpaceX 公司共进行了 535 次发射任务，成功 523 次，失利 12 次，成功率 97.76%。历史上，SpaceX 公司曾达成连续 335 次发射全部成功记录，目前最近连续成功发射次数为 156 次。

投资策略：通过复盘 SpaceX 早期阶段研发猎鹰 1 号的历程，我们看到，发动机是火箭系统的核心装备，试验检测是火箭实现重复使用的关键技术。因此，我们看好为国内民营火箭公司提供发动机组件的供应商，以及为商业火箭提供试验检测服务的企业。

相关标的：

- （1）火箭发动机组件供应商：斯瑞新材（688102.SH）、国机精工（002046.SZ）；
- （2）火箭试验检测服务商：西测测试（301306.SZ）、苏试试验（300416.SZ）、广电计量（002967.SZ）。

风险提示：（1）宏观经济不景气；（2）商业航天技术不成熟；（3）商业火箭发射频次低于预期。

目 录

1. 复盘猎鹰 1 号火箭研发历程，模块测试耗时最多	4
2. 火箭发动机：核心材料铜合金，核心组件涡轮泵	6
2.1 发动机燃烧室材料采用铜合金	7
2.2 涡轮泵是液体火箭发动机的核心组件	10
3. 试验检测是火箭实现重复使用的关键技术	12
4. 投资策略	15
5. 风险提示	15

插图目录

图 1： SpaceX 公司旗下猎鹰 1 号火箭外观	4
图 2： 猎鹰 1 号火箭研发历程	5
图 3： Merlin 1A 发动机铜质燃烧室试车试验	6
图 4： Merlin 1A 发动机涡轮泵	6
图 5： Merlin 1A 发动机涡轮泵测试	6
图 6： 液体火箭发动机推力室工作原理	7
图 7： 火神发动机燃烧室冷却通道	9
图 8： 火神发动机外壁焊接部位	9
图 9： 涡轮泵的工作原理	10
图 10： 火箭发动机涡轮泵的设计研发难点	11
图 11： 火箭常见检测	12
图 12： SpaceX 公司不同型号火箭发射成功率统计	13
图 13： SpaceX 公司火箭发射失利原因统计	13

表格目录

表 1： 火箭燃烧室和喷管冷却技术	8
表 2： 火箭燃烧室材料及制造技术方向	8

在《通信行业 2025 年投资展望：卫星互联网产业化落地，看好星地融合、基站上星、卫星高集成发展趋势》（2024-12-31）报告中，我们总结了商业航天产业链中的星座环节技术路线以及相应的投资机会。

在《卫星互联网行业系列：商业航天发射场工位数快速增长，看好测试发射指挥监控系统以及加注及供气系统服务商》（2025-08-18）报告中，我们从商业航天产业链的发射场环节，跟踪国内发射场建设进展，以及整理发射场背后的技术特点，并挖掘相应的投资机会。

本篇专题报告中，我们从商业航天产业的火箭环节，梳理美国私营航天企业 SpaceX 早期阶段研发猎鹰 1 号的历程，总结其火箭技术特点以及研发特点，从而映射国内商业火箭产业链，挖掘相应的投资机会。

1. 复盘猎鹰 1 号火箭研发历程，模块测试耗时最多

猎鹰 1 号火箭是 SpaceX 的首款产品，其成功发射验证了 Merlin 发动机、箭体结构、制导控制等核心技术的可行性。猎鹰 1 号火箭主体采用铝合金框架+碳纤维复合材料结构，直径 1.7 米，高度 21.3 米，质量为 38.555 吨，近地轨道运载能力约为 0.67 吨，太阳同步轨道运载能力约为 0.43 吨，Merlin 1A 发动机推力约为 31.02 吨力。

图1：SpaceX 公司旗下猎鹰 1 号火箭外观



资料来源：环球天文公众号，东兴证券研究所

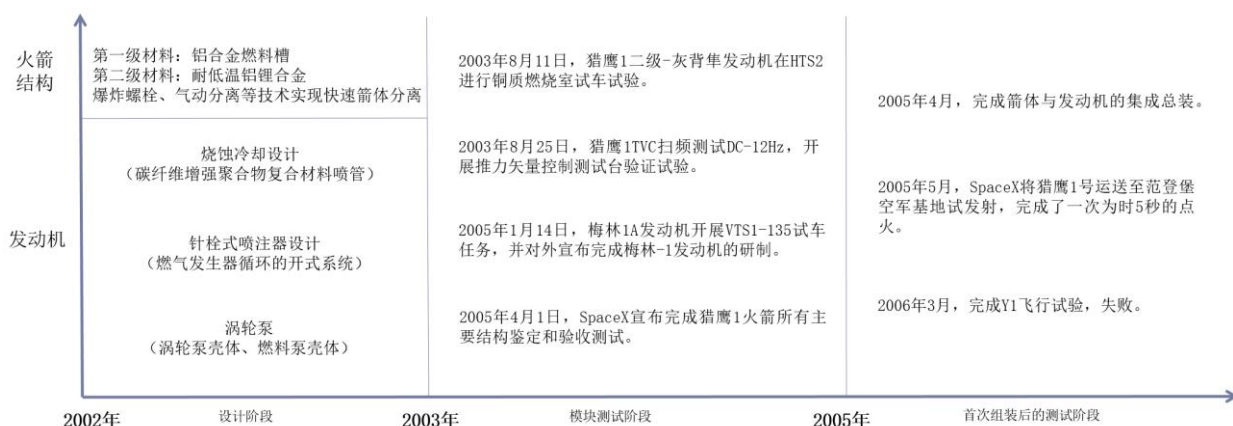
复盘猎鹰 1 号火箭研发历程，第二阶段模块测试耗时最多。猎鹰 1 号火箭从启动研发到首次飞行试验经历 46 个月。其中核心部件研发耗时约 14 个月，测试和验收耗时约 21 个月，总装完成后飞行试验准备耗时约 12 个月（第三阶段原计划准备期 6 个月，由于发射地点改变等原因耽误，导致准备期延长到 12 个月）。可以看到，第二阶段耗时最多，也证明火箭研发过程中，测试是最为重要的环节。

第一阶段（2002.6-2003.8）：成立初期聚焦核心技术研发，成功研制 Merlin 1A 发动机，采用燃气发生器循环和针栓式喷注器技术，实现深度节流能力；同步设计火箭基础架构，确定铝合金燃料槽和铝锂合金燃料箱方案，奠定可重复使用技术基础。

第二阶段（2003.8-2005.4）：分模块完成主要结构鉴定与验收，为后续组装提供实践基础。

第三阶段（2005.4-2006.3）：先于 4 月完成猎鹰 1 号火箭箭体与发动机的集成总装，5 月将其运送至范登堡空军基地完成 5 秒点火测试，验证了发动机点火功能，~~第三阶段~~^{第二阶段}开展的首次飞行试验（Y1）虽以失败告终，但为后续改进积累了关键数据和经验。

图2：猎鹰 1 号火箭研发历程



资料来源：36 氪，星空之恋公众号，快懂百科，虎嗅网，东兴证券研究所

2. 火箭发动机：核心材料铜合金，核心组件涡轮泵

在猎鹰 1 号火箭研发第一阶段，Merlin 1A 发动机是其核心动力装置。作为 Merlin 系列发动机的第一款，Merlin 1A 发动机推力室采用碳纤维增强聚合物复合材料喷管进行烧蚀冷却，点火方式为火炬点火。Merlin 1A 涡轮泵采用摩擦焊接技术，将主轴与因康镍 718 合金材料的涡轮盘进行焊接，主轴驱动 RP-1 型离心泵进行增压。涡轮泵壳体采用熔模铸造，涡轮壳体材料为铬镍铁合金，燃料泵壳体材料为铝，液氧泵壳体材料为不锈钢。涡轮泵转速高达 20000 转/分，总重量为 68kg。

图3：Merlin 1A 发动机铜质燃烧室试车试验



资料来源：虎嗅，东兴证券研究所

图4：Merlin 1A 发动机涡轮泵



资料来源：星空之恋公众号，东兴证券研究所

图5：Merlin 1A 发动机涡轮泵测试



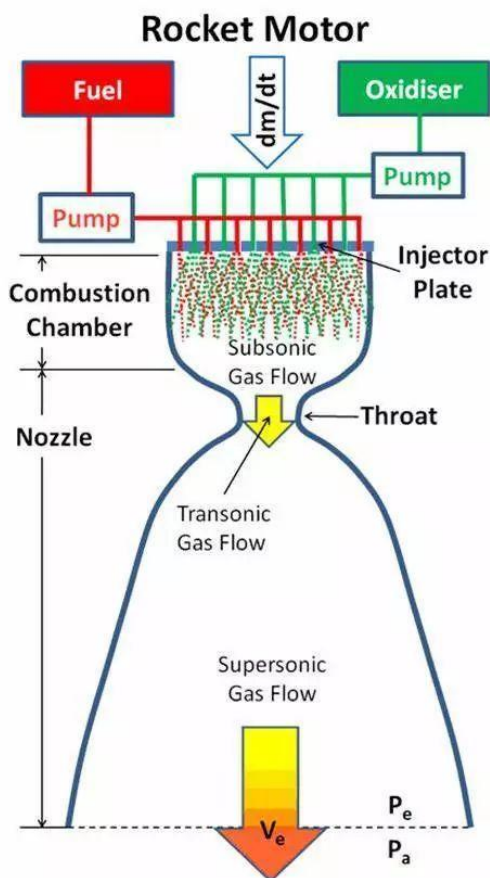
资料来源：虎嗅，东兴证券研究所

2.1 发动机燃烧室材料采用铜合金

Merlin 1A 发动机是猎鹰 1 号火箭系统的核心装备，其中燃烧室又是发动机的“心脏”。液体火箭发动机的基本组成包括推力室、推进剂供应系统和发动机控制系统等。推力室主要由喷注器、燃烧室和喷管组成。

液体火箭发动机工作原理：液体推进剂贮存在推进剂贮箱内，当发动机工作时推进剂在推进剂供应系统的作用下按照要求的压力和流量输送至燃烧室，经雾化、蒸发、混合和燃烧生成高温高压燃气，再通过喷管加速至超声速排出，从而产生推力。燃烧室是液体火箭发动机中工作条件最恶劣的组件，燃烧温度 $3000\sim 4000^{\circ}\text{C}$ ，压力高达二百多个大气压。

图6：液体火箭发动机推力室工作原理



资料来源：星空之恋公众号，东兴证券研究所

为了实现发动机燃烧室“高效燃烧”与“有效冷却”，燃烧室技术方向主要有烧蚀冷却、再生冷却、薄膜冷却、辐射冷却。

Merlin 1A 发动机采用烧蚀冷却方式，后在 Merlin 1C 与 Merlin 1D 中改进成再生冷却的燃烧室及喷管。再生冷却技术原理是在燃烧室壁内设计复杂的“迷宫通道”，让低温燃料在进入燃烧室之前先流经这些通道，像“水冷散热器”一样持续为室壁降温，防止其被熔毁，同时预热燃料提升效率，从而有利于发动机的重复使用。当前再生冷却技术成为液体火箭的普遍选择。

表1：火箭燃烧室和喷管冷却技术

	烧蚀冷却	再生冷却	薄膜冷却	辐射冷却
工作原理	燃烧室和喷管的壁内有一层碳复合材料充当烧蚀层，燃烧时碳层升华吸收热量	在燃烧室和喷管的壁中切割出小通道，用高导热的铜或镍合金密封，低温推进剂流过后吸收热量	将更多燃料从喷注器外周注入燃烧室，靠近腔壁的燃料因缺乏氧化剂而形成不燃绝缘层，起到隔热作用	喷管延伸段由超薄钨合金制成；发动机在通电时，金属将热量辐射到太空
优点	最简单有效	发动机可重复使用	方便将煤油等碳基燃料产生的废气用于喷管下部气膜冷却	喷管能承受更高热量
弊端	发动机使用前无法进行全面测试；发动机不能重复使用	技术难度大，因为前提要保证喷注器具有比燃烧室更高的压力	技术难度大，因为前提要保证泵入废气的压力比燃烧室更大	喷管较脆弱；仅限真空环境

资料来源：星空之恋公众号，设备维修服务号公众号，东兴证券研究所

无论是 Merlin 1A 发动机，还是其他类型火箭，燃烧室均将铜合金作为主要材料。燃烧室材料及制造技术成为再生冷却技术应用的关键难点。燃烧室内壁需要极佳的导热性来快速散热，而外壁需要优异的高温强度来承受压力。国内斯瑞新材公司在液体火箭发动机推力室内壁行业处于行业重要地位，公司铜合金推力室内壁材料及零部件通过了商业航天各主要客户的多次试车、发射验证。目前主要客户有蓝箭航天、九州云箭、深蓝航天等。

表2：火箭燃烧室材料及制造技术方向

	传统方案	新兴方案	核心挑战与优势
主体材料	铜合金(如 NARloy-Z)、镍基高温合金	高导热铜合金(如 NASA 的 GRCop-84, GRCop-42)	铜合金导热性极佳，但高温强度不足；镍基合金强度高，但导热性相对较差。GRCop 系列旨在兼顾高强度与高导热。
冷却结构材料	电铸成形(如“火神”发动机)、钎焊、管束式结构焊接	激光粉末床熔融(SLM/L-PBF)、定向能量沉积(DED)、增减材复合制造	传统工艺复杂、耗时漫长(数月)、成本高昂。3D 打印可一体化制造复杂冷却流道，显著缩短周期(数周或数天)，并减轻重量，但面临打印质量、表面处理等新挑战。
复合结构	通过电铸(铜内壁+镍外壁)或钎焊等方式实现不同材料的结合	多材料一体化 3D 打印	传统方法存在界面结合强度和热疲劳寿命问题。3D 打印有望实现更优的材料梯度过渡和整体性能优化，但技术难度极大，尤其是打印铜这类高反射材料。

资料来源：AMLetters 公众号，东兴证券研究所

除了猎鹰 1 号火箭，阿丽亚娜 5 型运载火箭在发动机材料的选择以及制造工艺上，具有较强的代表性，有助于我们进一步了解液体火箭发动机燃烧室的技术特点。从材料端看，其所用的“火神”发动机同样采用铜合金。具体信息如下：

阿丽亚娜 5 型运载火箭是欧洲航天发射的标志性载具。阿丽亚娜 5 型运载火箭(Ariane 5)是欧洲航天局(ESA)主导研发的一次性重型运载火箭，由欧洲航天局及法国国家太空研究中心出资建造，空中客车集团为主要承包商与建造者。阿丽亚娜 5 型运载火箭自 1996 年首飞至 2023 年退役，在其 28 年的服役生涯中，阿丽亚娜 5 运载火箭共进行了 117 次发射，其中完全成功 112 次，完全失败 2 次，部分失败 3 次，成功率高达 95.7%。

阿丽亚娜 5 火箭是一种两级半火箭，芯一级和芯二级各有一台液氢液氧发动机，并捆绑两枚固体助推器。其芯一级所用的发动机为“火神”发动机(Vulcain，最新型号使用改进型 Vulcain 2)。“火神”发动机采用燃气发生器循环，部分液氢和液氧在燃气发生器内燃烧产生高温高压燃气，驱动涡轮泵，以每分钟数万转的转速将液氢和液氧加压到 100 多个大气压。除了少部分液氢、液氧进入燃气发生器外，液氢流经主燃烧室壁内的通道，起到冷却作用，随后经喷注器注入主燃烧室；液氧则直接从喷注器进入主燃烧室。每秒两百多千克的液氢液氧混合燃烧，从喷管喷出，产生一百多吨的推力。

火神发动机内壁材料采用铜银钎合金，具有良好的导热性和高温强度。对于主燃烧室，材料上的挑战在于满足耐高温、高强度的性能要求，且要通过特殊工艺制作出供液氢流动的空心夹层。具体技术特点：通过旋压成型的方法，制造出铜制内壁。随后，在内壁的外表面铣削出供液氢流动的凹槽。外壁是由金属镍制成。

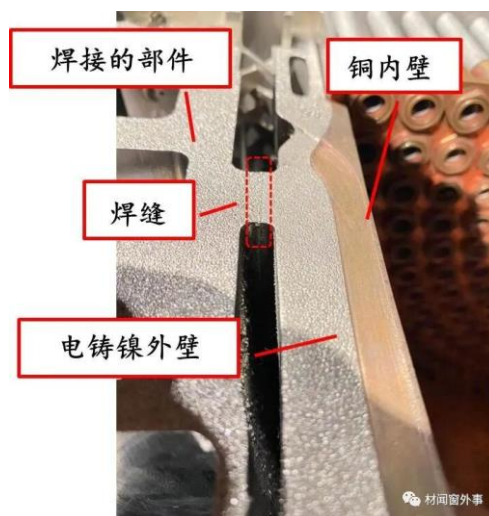
铜与镍复合的方法有两种，“火神”发动机采用的是电铸法。所谓电铸，就是电解沉积，使溶液中的金属阳离子还原沉积到基体表面，类似于传统的电镀，不过电铸的目的是获得大厚度的金属沉积层。用导电蜡填充铜基体上的凹槽，先电铸一层铜，封闭住冷却通道，随后再电铸数十毫米厚的镍。电铸之后把蜡融化去除，就得到通道。这样的复合工艺能够保留铜内壁的加工硬化状态，获得较高的力学性能，但电铸镍外壁的性能较差，需要较大的厚度。电铸获得的镍外壁经过机械加工，再与其他镍合金部件焊接。

图7：火神发动机燃烧室冷却通道



资料来源：观察者网风闻社区，东兴证券研究所

图8：火神发动机外壁焊接部位



资料来源：观察者网风闻社区，东兴证券研究所

相关公司：斯瑞新材（688102.SH）

公司简介：公司的主营业务是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关键基础材料和零组件。公司的主要产品是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、光模块芯片基座/壳体、液体火箭发动机推力室内壁。

相关产品：公司在液体火箭发动机推力室内壁行业处于行业重要地位，其主要原因一是得益于公司处于高强高导铜合金材料的行业领先地位；二是公司拥有高强高导铜合金制造的核心技术和关键装备；三是公司铜合金推力室内壁材料及零部件通过了商业航天各主要客户的多次试车、发射验证。公司在火箭发动机推力室内壁细分领域处于领先地位，目前主要客户有蓝箭航天、九州云箭、深蓝航天等。

2.2 涡轮泵是液体火箭发动机的核心组件

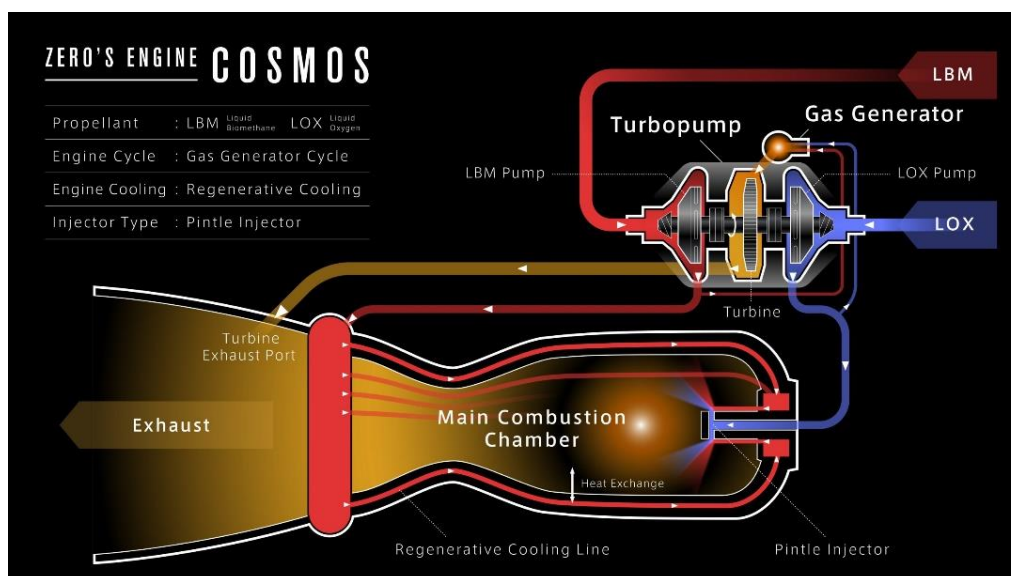
涡轮泵是液体火箭发动机的核心组件。Merlin 1A 涡轮泵转速高达 20000 转/分，Merlin 1B 的涡轮增加了额外的喷嘴，将部分进气设计改为完全进气，增大了煤油与液氧离心泵的叶轮外径。改进后的涡轮泵转速 22000 转/分，涡轮泵功率输出从 1500kW 增加到 1900 kW。

涡轮泵具体工作原理如下：

涡轮泵通常由涡轮部分和泵部分组成，两者一般采用直联形式，由涡轮去驱动泵的工作。火箭点火后，燃料和氧化剂燃烧产生的燃气推动涡轮高速旋转，并通过轴直接或间接带动泵的叶轮旋转。叶轮高速旋转产生离心力，从而将来自贮箱的燃料和氧化剂吸入泵体，并对其进行加速和增压。

经过泵的增压，燃料和氧化剂的压力由几个大气压提高到几十个大气压。增压后的燃料和氧化剂以高速流体状态，分别通过各自的输送管道，按照精确的流量和比例，被输送到发动机的推力室中。在推力室内，燃料和氧化剂混合并燃烧，产生高温高压燃气，燃气通过喷管膨胀加速后喷出，产生反作用力推动火箭前进。

图9：涡轮泵的工作原理



资料来源：中国航天科工三院 31 所公众号，东兴证券研究所

火箭发动机涡轮泵设计难度大，在高速旋转中又要承受高温、极低温、高压和剧烈震动等恶劣环境。其中轴承需承受巨大离心力和摩擦力。国内国机精工在卫星及其运载火箭上的专用轴承领域，市场占有率 90%以上。

主要设计挑战：

(1) 汽蚀问题：当涡轮泵转速较高时，涡轮泵内部流场局部压力较低，容易发生汽蚀。为消除气蚀，需要增加离心泵第一级叶轮入口的压力，主要采用预压泵和诱导轮两种办法，但预压泵需要消耗能源并增加整个系统的复杂性；诱导轮设计如果设计不当，可能导致气蚀问题依然存在。

(2) 高速轴承问题：涡轮泵需在高转速下运行（可达数万转/分钟），轴承需承受巨大离心力和摩擦力。材料需具备耐磨损、耐高温和高强度特性，同时需解决冷却和间隙控制问题，否则易引发轴承故障。

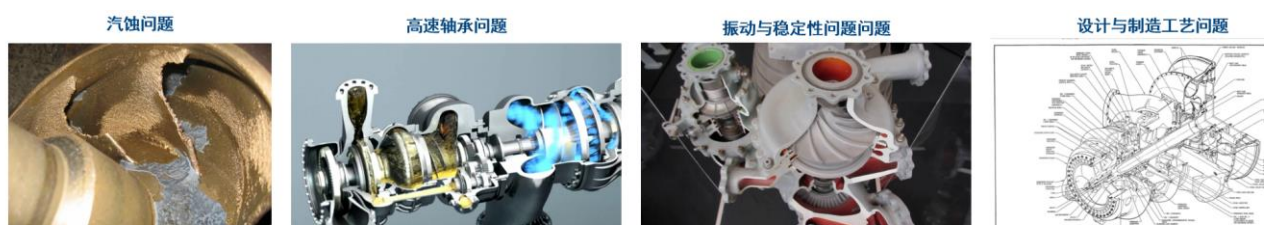
(3) 高速密封问题：涡轮泵在几十个大气压下工作，密封要求极高。机械密封和动态密封在高温、高压、高速环境下易出现热膨胀、磨损等问题，导致推进剂泄漏，可能引发安全事故。

(4) 振动与稳定性问题：高转速下涡轮泵易产生振动，当振动频率接近固有频率时会发生共振，损坏零部件甚至引发发动机故障。振动源包括转子动力学问题、流体激振和热载荷等，需从设计、制造、装配和运行多环节综合解决。

(5) 材料与热管理问题：涡轮泵在极端的工作环境下，面临高温、高压和强腐蚀等恶劣条件，对材料的性能要求极高。

(6) 设计与制造工艺问题：需兼顾功率、效率、可靠性等多因素，制造工艺要求极高，叶片加工精度和装配精度直接影响性能。此外，复杂几何形状（如诱导轮）的数控加工需解决刀轴方向和干涉问题。

图10：火箭发动机涡轮泵的设计研发难点



资料来源：西安市生态环境空间遥感应用协会公众号，中国航天科工三院 31 所公众号，推进技术公众号，东兴证券研究所

相关公司：国机精工（002046.SZ）

公司简介：国机精工集团股份有限公司的主营业务是轴承行业、工磨具行业及相关领域的研发制造、行业服务与技术咨询、贸易服务等。公司的主要产品是新材料、基础零部件、机床工具、高端装备、供应链管理与服务等。

相关产品：公司在卫星及其运载火箭上的专用轴承领域，市场占有率 90%以上。

3. 试验检测是火箭实现重复使用的关键技术

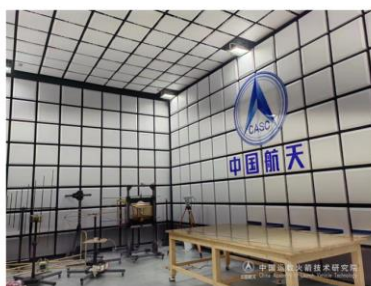
试验检测是火箭实现重复使用的关键技术。在猎鹰 1 号火箭研发第二阶段，SpaceX 对猎鹰 1 火箭所有主要结构进行大量鉴定和验收测试工作。具体包括：猎鹰 1 主要结构的子系统，包括伺服、传力结构、一级贮箱总成、级间段、二级贮箱总成、仪器舱、有效载荷适配器和整流罩；级间段和整流罩分离系统也已成功进行了地面测试。

图11：火箭常见检测

碳纤维复合材料贮箱低温测试



电磁兼容实验室暗室及测试设备



发动机短舱红外无损检测平台



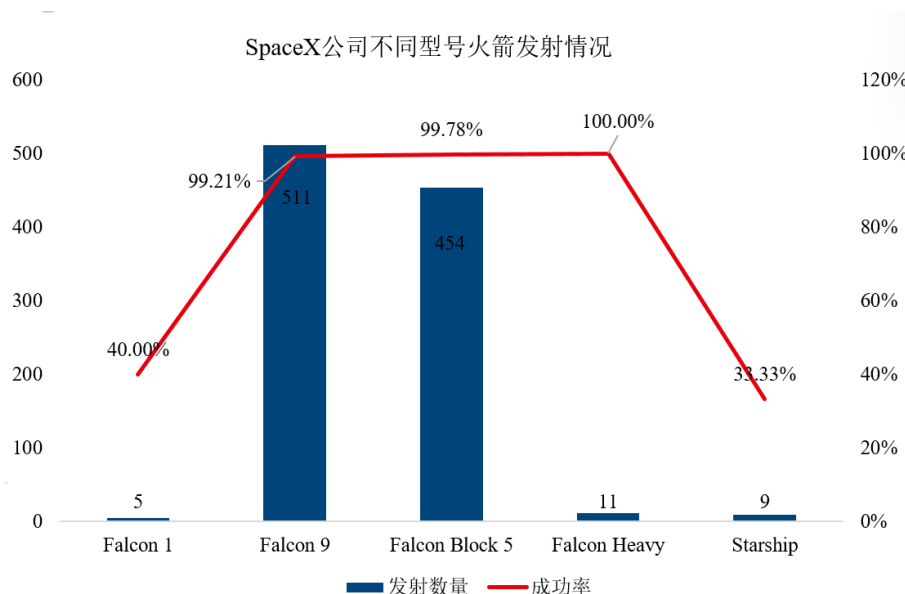
资料来源：微光启航公众号，中国运载火箭技术研究院公众号，无损检测 NDT 公众号，东兴证券研究所

大量试验验证是 SpaceX 公司旗下火箭实现入轨成功率达到 97.76% 的关键。

根据北京航天试验技术研究所的一篇公开文章，在猎鹰 1 号火箭研发期间，截至 2015 年 3 月，SpaceX 研发团队在麦格雷戈试验基地共进行了 4000 多次梅林发动机测试，其中包括约 50 次 9 台发动机并联组合的一子级点火试验，基地已知至少拥有 16 个试验台。

根据 SpaceX 公司官方网站公布，截至 2025 年 7 月 31 日，SpaceX 公司共 523 次发射任务，成功 523 次，失利 12 次，成功率 97.76%。历史上，SpaceX 公司曾达成连续 335 次发射全部成功记录，目前最近连续成功发射次数为 156 次。

图12：SpaceX 公司不同型号火箭发射成功率统计



资料来源：太空与网络公众号，东兴证券研究所

在火箭研发设计过程中，SpaceX 公司提出主动试错机制。在早期阶段，面对发射失利，SpaceX 公司主要采取被动修复的传统工程管理机制。随着故障重复性的暴露也迫使 SpaceX 公司开展了技术管理范式变革，2015 年 CRS-7 任务氦气罐断裂等事件成为该变革的转折点，SpaceX 公司开始走向主动试错机制；至 2020 年后，该机制升级为失效场景主动构建阶段，例如，带有微裂纹的梅林发动机得到了飞行许可，这些代表 SpaceX 公司开启了预防性设计。

图13：SpaceX 公司火箭发射失利原因统计

猎鹰1号失利3次	猎鹰9号失利5次	星舰失利6次
■ 发动机燃料管路破裂（1次） 2006年：铝制燃料管路因腐蚀和振动破裂，引发燃料泄漏和火灾。 ■ 级间分离碰撞（2次） 2008年：一级发动机推力衰减时间过长，追尾碰撞二级。 2015年：二级液氧箱内复合材料高压氦气瓶支撑杆断裂，引发超压爆炸。	■ 发动机材料缺陷（1次） 2012年：发动机燃烧室护套材料缺陷致燃料穹顶破裂。 ■ 结构部件断裂（1次） 2015年：二级液氧箱内复合材料高压氦气瓶支撑杆断裂，引发超压爆炸。 ■ 复合材料压力容器故障（1次） 2016年：静态点火测试中，COPV储罐衬里弯曲导致氧积聚点燃。 ■ 液压系统故障（1次） 2018年：一级液压泵单点故障导致栅格翼失控，着陆偏离。 ■ 液氧泄漏（1次） 2024年：二级发动机液氧泄漏致卫星未能入轨	■ 发动机过滤器堵塞（2次） 2023年（S25）：超重火箭发动机因过滤器堵塞爆炸。 2024年（S28）：13台发动机中6台因过滤器堵塞故障。 ■ 推进剂泄漏与控制系统失效（4次） 2023年（S24）：超重火箭尾部推进剂泄漏引发火灾。 2025年（S33）：推进剂泄漏超限致发动机提前关机。 2025年（S34）：中央发动机硬件故障导致推进剂泄漏，引发旋转失控。 2025年（S35）：推进剂泄漏导致姿态失控。

资料来源：太空与网络公众号，东兴证券研究所

相关公司：

（1）西测测试（301306.SZ）

公司简介：公司是一家从事军用装备和民用飞机产品检验检测的第三方检验检测服务机构，为客户提供环境与可靠性试验、电子元器件检测筛选、电磁兼容性试验、同时开展检测设备的销售以及电装业务。

产业布局：公司拥有 CNAS、CMA 及其他等开展军用装备和民用飞机产品检验检测业务及电子装联业务的相关资质，取得了中国商用飞机有限责任公司的试验资格证书，是军用装备和民用飞机机载设备检测项目较为齐全的第三方检验检测机构，具备集技术支持、检验检测、标准起草、方案咨询为一体的服务能力。近年来承担了多种型号航空、航天以及民用飞机产品的检测试验、电子装联任务。

（2）苏试试验（300416.SZ）

公司简介：公司是一家工业产品环境与可靠性试验验证与综合分析服务解决方案提供商，致力于环境试验设备的研发和生产，及为客户提供从芯片到部件到终端整机产品全面的、全产业链的环境与可靠性综合试验验证及分析服务。

产业布局：公司聚焦新兴产业赛道，丰富试验检测能力。深入探索商业航天、航空装备、智能机器人、新能源等领域。在航空航天领域，公司的主要客户包括中国航空工业集团有限公司等客户。

（3）广电计量（002967.SZ）

公司简介：广电计量检测集团股份有限公司的主营业务是计量服务、检测服务、检测装备研发等专业技术服务。

产业布局：公司是国内规模最大的可靠性与环境试验服务机构之一，在全国建有多多个可靠性与环境试验实验室，在可靠性试验工程、环境试验等专业领域具有国内领先的“一站式”服务能力。公司在特殊装备、汽车、新能源、商业航天等行业领域保持技术领先和客户认可，形成了一定的竞争优势。

4. 投资策略

投资策略：通过复盘 SpaceX 早期阶段研发猎鹰 1 号的历程，我们看到，发动机是火箭系统的核心装备，试验检测是火箭实现重复使用的关键技术。因此，我们看好为国内民营火箭公司提供发动机组件的供应商，以及为商业火箭提供试验检测服务的企业。

相关标的：

- (1) 火箭发动机组件供应商：斯瑞新材（688102.SH）、国机精工（002046.SZ）；
- (2) 火箭试验检测服务商：西测测试（301306.SZ）、苏试试验（300416.SZ）、广电计量（002967.SZ）。

5. 风险提示

- (1) 宏观经济不景气；(2) 商业航天技术不成熟；(3) 商业火箭发射频次低于预期。

分析师简介

石伟晶

首席分析师，覆盖传媒、互联网、云计算、通信等行业。上海交通大学工学硕士。9 年证券从业经验，曾供职于华创证券、安信证券，2018 年加入东兴证券研究所。

分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，在此申明，本报告的观点、逻辑和论据均为分析师本人研究成果，引用的相关信息和文字均已注明出处。本报告依据公开的信息来源，力求清晰、准确地反映分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

风险提示

本证券研究报告所载的信息、观点、结论等内容仅供投资者决策参考。在任何情况下，本公司证券研究报告均不构成对任何机构和个人的投资建议，市场有风险，投资者在决定投资前，务必要审慎。投资者应自主作出投资决策，自行承担投资风险。

免责声明

本研究报告由东兴证券股份有限公司研究所撰写，东兴证券股份有限公司是具有合法证券投资咨询业务资格的机构。本研究报告中所引用信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，报告中的信息或意见并不构成所述证券的买卖出价或征价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。

我公司及报告作者在自身所知情的范围内，与本报告所评价或推荐的证券或投资标的的存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，我公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本报告版权仅为我公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为东兴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本研究报告仅供东兴证券股份有限公司客户和经本公司授权刊载机构的客户使用，未经授权私自刊载研究报告的机构以及其阅读和使用者应慎重使用报告、防止被误导，本公司不承担由于非授权机构私自刊发和非授权客户使用该报告所产生的相关风险和法律责任。

行业评级体系

公司投资评级（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数）：
以报告日后的 6 个月内，公司股价相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

强烈推荐：相对强于市场基准指数收益率 15% 以上；

推荐：相对强于市场基准指数收益率 5%~15% 之间；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5%~+5% 之间；

回避：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。

行业投资评级（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数）：
以报告日后的 6 个月内，行业指数相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5% 以上；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5%~+5% 之间；

看淡：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。

东兴证券研究所

北京

西城区金融大街 28 号
座 16 层

邮编：100033

电话：010-66554070

传真：010-66554008

上海

B 虹口区杨树浦路 248 号瑞丰国际
大厦 23 层

邮编：200082

电话：021-25102800

传真：021-25102881

深圳

福田区益田路 6009 号新世界中心
46F

邮编：518038

电话：0755-83239601

传真：0755-23824526