

## 内容目录

<b>第一章 商业运载火箭+AI 应用概述</b> .....	<b>3</b>
第一节 AI 是什么? .....	3
第二节 AI 和商业运载火箭行业有什么关系? .....	3
一、AI 给商业运载火箭行业带来的变化分析 .....	3
二、AI 给商业运载火箭行业带来的冲击分析 .....	4
三、AI 给商业运载火箭行业带来的变革分析 .....	4
<b>第二章 2023-2028 年商业运载火箭市场前景及趋势预测</b> .....	<b>5</b>
第一节 全球商业航天产业介绍 .....	5
第二节 火箭发动机发展 .....	6
一、固体火箭 .....	6
二、液体火箭 .....	6
(1) 液氧/液氢火箭发动机 .....	8
(2) 液氧/煤油火箭发动机 .....	9
(3) 液氧/甲烷火箭发动机 .....	10
第三节 美国 spaceX 发展历程 .....	11
第四节 国内商业火箭企业发展 .....	14
<b>第三章 商业运载火箭+AI 的应用现状及前景预测</b> .....	<b>15</b>
第一节 为什么众多企业纷纷入局 AI .....	15
第二节 AI 的意义和作用 .....	18
一、AI 对企业发展的实际意义 .....	18
二、智能化改造需求 .....	18
三、AI 为企业创造价值的模式 .....	19
第三节 商业运载火箭+AI 市场应用情况分析 .....	19
一、人工智能开始发挥实际作用 .....	20
二、人工智能渗透到整个企业中 .....	20
三、借助人工智能快速推进自动化 .....	20
四、利用人工智能获得更大收益 .....	20
五、人工智能战略需要集体的转变 .....	21
六、人工智能触发业务流程转变 .....	21
七、机器学习操作 (MLOps) 成为现实 .....	21
八、企业铺设人工智能通道 .....	21
九、新的业务模式可能出现 .....	22
第四节 2023-2028 年商业运载火箭+AI 市场发展前景 .....	22
一、AI 给商业运载火箭行业带来的机遇分析 .....	22
二、AI 给商业运载火箭行业带来的挑战分析 .....	23
三、2023-2028 年商业运载火箭+AI 市场发展潜力 .....	23
四、2023-2028 年商业运载火箭+AI 市场发展前景 .....	24
五、2023-2028 年商业运载火箭+AI 应用前景预测分析 .....	25
<b>第四章 商业运载火箭制定和布局+AI 的策略建议</b> .....	<b>25</b>

第一节 企业如何建立人工智能战略 .....	25
一、专注于战略业务目标 .....	26
二、通过新的、支持人工智能的业务模型产生颠覆性影响 .....	26
三、通过合适的人来执行人工智能战略 .....	26
第二节 人工智能时代下的企业战略分析 .....	27
一、现阶段企业战略管理存在的问题 .....	27
二、人工智能时代下企业战略管理的策略 .....	29
第三节 商业运载火箭布局 AI 的发展思路及对策 .....	31
一、构建全方位人工智能管理体系 .....	31
二、健全治理制度:建立合规机制与规范行为 .....	32
三、完善治理组织:明确责任归属与岗位分工 .....	33
四、丰富治理能力:结合风险防范与前沿探索 .....	35
第四节 商业运载火箭+AI 切入模式及发展路径分析 .....	37
一、企业快速部署 AI 的动力非常强大 .....	39
二、AI 成熟度:如何衡量? .....	40
三、不同行业应用 AI 的差距正在缩小 .....	42
四、以传统绩效指标评价, AI 领军者表现非凡 .....	43
五、三一集团:从“聪明工厂”到智造生态 .....	45
六、如何成为 AI 领军者? 五大成功因素 .....	47
七、京东集团:探索 AI 前沿, 沉淀 AI 实力 .....	49
八、从实践到实效, 驱动非凡价值 .....	52
<b>第五章 商业运载火箭《+AI 应用前景及布局策略》制定手册 .....</b>	<b>53</b>
第一节 动员与组织 .....	53
一、动员 .....	54
二、组织 .....	54
第二节 学习与研究 .....	55
一、学习方案 .....	55
二、研究方案 .....	55
第三节 制定前准备 .....	56
一、制定原则 .....	56
二、注意事项 .....	57
三、有效战略的关键点 .....	58
第四节 战略组成与制定流程 .....	61
一、战略结构组成 .....	61
二、战略制定流程 .....	61
第五节 具体方案制定 .....	62
一、具体方案制定 .....	62
二、配套方案制定 .....	65
<b>第六章 商业运载火箭《+AI 应用前景及布局策略》实施手册 .....</b>	<b>65</b>
第一节 培训与实施准备 .....	65
第二节 试运行与正式实施 .....	66
一、试运行与正式实施 .....	66
二、实施方案 .....	66
第三节 构建执行与推进体系 .....	67

第四节 增强实施保障能力 .....	68
第五节 动态管理与完善 .....	68
第六节 战略评估、考核与审计 .....	69
第七章 总结：商业自是有胜算 .....	69

## 第一章 商业运载火箭+AI 应用概述

### 第一节 AI 是什么？

人工智能（Artificial Intelligence），英文缩写为 AI。它是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。人工智能从诞生以来，理论和技术日益成熟，应用领域也不断扩大，可以设想，未来人工智能带来的科技产品，将会是人类智慧的“容器”。人工智能可以对人的意识、思维的信息过程的模拟。

### 第二节 AI 和商业运载火箭行业有什么关系？

#### 一、AI 给商业运载火箭行业带来的变化分析

人工智能是制造业迈向工业 4.0 和工业互联网时代的重要新兴技术能力。制造业对于人工智能技术的使用正在稳步上升。

在制造业中人工智能不断丰富和迭代自身的分析和决策能力，以适应不断变化的工业环境，帮助企业在产生大量结构化和非结构化数据的复杂生产环境中更为快速、准确地梳理参数之间的相关性，提高生产效率，优化设备产品性能，具有自感知、自学习、自执行、自决策、自适应等特征。制造业中的人工智能的本质是实现复杂工业技术、经验、知识的模型化和在线化，从而实现各类创新的工业智能应用。

人工智能还能为提升用户体验做出贡献，诸如智能客服、智能推荐、精准营销等场景深入落地到各行各业；企业有意在数字人、虚拟 NFT 等数字化营销内容创作领域布局，以创造差异化的营销

体验，升级品牌形象。

## 二、AI 给商业运载火箭行业带来的冲击分析

从技术的行业应用而言，创新应用场景逐步增多。过去一年，中国人工智能应用保持快速发展的势头，行业应用场景相较去年也更加深入和细化。除了相对成熟的应用场景之外，物流、制造、能源、公共事业和农业等在人工智能的应用方面得到快速发展，创新应用场景逐步增多。

未来五年，随着人机交互、机器学习、计算机视觉、语音识别技术达到更为成熟阶段，人工智能应用将呈现出如下发展趋势：从单点技术应用迈向多种人工智能能力融合、从事后分析迈向事前预判和主动执行、从计算智能和感知智能迈向认知智能和决策智能，以知识为主要生产工具的创作型工作（如文字、视频、图像和音频创作，软件开发，IP 孵化等）将实现更大程度的智能化；行业企业也将持续创新，拓展数字孪生与人工智能技术的融合应用，推进在能源电力、制造、建筑等行业的发展，构建虚拟工厂、数字孪生电网、数字孪生城市，加强数字与现实世界的连接，优化流程，实现全域管理，决策智能。

人工智能正在加深对实体经济的支持，产生一批成熟应用的场景，包括但不限于人员设备管理、行为预测、供需销售预测等。另外，科学家们越来越多地利用人工智能技术和方法，从数据中建立模型，重点围绕新材料研发等领域加速对前沿科学问题的探究。例如，在材料领域，科学家基于人工智能网络模型和大规模分子数据集，提升分子动力学模拟的极限，以快速、准确的方式预测新材料的特征

## 三、AI 给商业运载火箭行业带来的变革分析

制造业在人工智能的主要应用场景包括：交互界面智能化、质量管理及推荐系统、维修及生产检测自动化、供应链管理自动化、产品分拣等。IDC 预计，到 2023 年年底，中国 50%的制造业供应链环节将采用人工智能，从而可以提高 15%的效率。这将使企业能够更好地预测市场变化、消费趋势和习惯的变化，甚至是气候变化，进而将预测结果与库存管理相联系，帮助企业努力使库存水平贴近市场需求，促进销售，同时降低成本，把控风险。此外，诸如媒体和娱乐、游戏、建筑等行业也在加速元宇宙技术的落地和应用，基于人工智能、物联网、智能边缘等技术，满足市场对于多元化、定制化、共情化的体验，改善运营流程，加速学习、分享、创造，产生更大的经济和社会价值。实现元宇宙构想以及物理与数字世界间的互联，需要创建更多的数字资产/数字人，这对计算性能与计算资源提出新的要求。目前元宇宙基础设施的搭建已经开始起步，通过构建能够支持应用落地的人工智能算力基础设施，提升基础平台的支撑力度，为将来满足企业和用户在虚拟环境中的应用需求夯实基础。

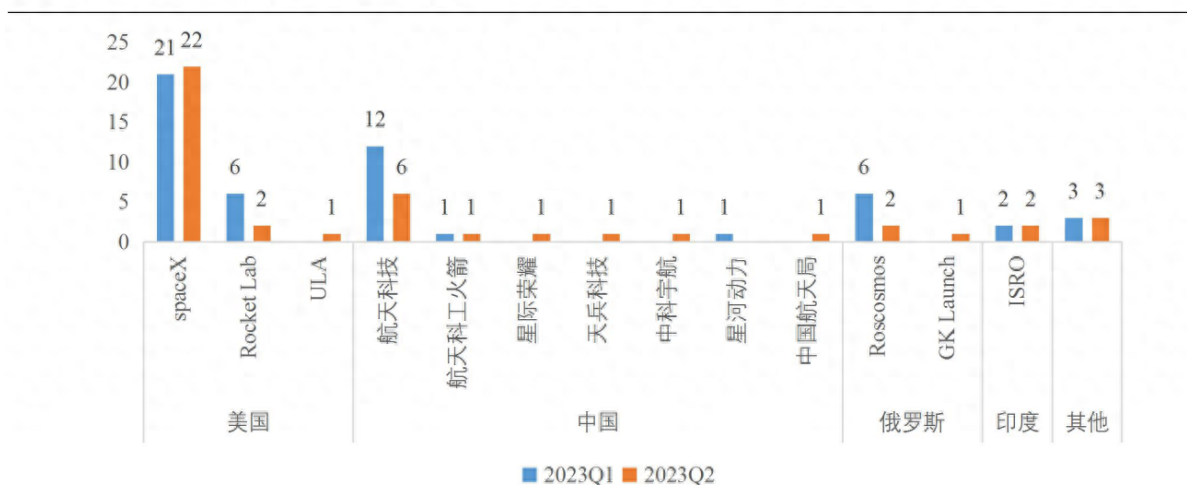
## 第二章 2023-2028 年商业运载火箭市场前景及趋势预测

### 第一节 全球商业航天产业介绍

商业航天产业链总体分为四个环节：（1）电子元器件、材料及燃料厂商；（2）卫星研制商、发射服务提供商和地面设备制造商；（3）卫星运营商与卫星应用服务提供商（国内卫星运营商主要是中国卫星网络集团有限公司）；（4）终端用户（政府、企事业单位、个人）。根据美国卫星产业协会（SIA）的统计数据，2022 年全球航天产业的总收入是 3840 亿美元，其中非卫星产业总收入为 1030 亿美元，主要包括载人航天飞行收入、非地球轨道航天器收入和政府预算，卫星产业总收入为 2810 亿美元，占全球航天产业收入的 73%，主要包括了卫星制造业收入、发射服务业收入（约 70 亿美元）、卫星服务业收入和地面设备制造业收入等。

运载是进入空间的入口，目前我国火箭运力严重不足。虽然发射服务产值仅占整个航天产业的 1.5%~2%，但是运载是进入空间的入口，是连接卫星制造及卫星应用的中枢环节，随着国内外纷纷推出多个小型、中型、大型和巨型星座计划，卫星发射需求不断增长，但是火箭发射成本居高不下，成为制约星座大规模部署的主要瓶颈。对比 spaceX 的运载能力，我国现役运载火箭运载能力偏低，急需大力发展中大型可重复使用液体运载火箭，来满足星座大规模部署所需的“低成本、高可靠、高频次”发射能力。

图 3：2023Q1 和 Q2 全球火箭发射次数



运载火箭主要由结构系统（箭体结构）、动力装置系统（推进系统）以及控制系统等三个系统组成，这三个系统称为运载火箭的主系统。运载火箭一般由 2~4 级火箭组成，每一级火箭都包括箭体结构、推进系统和飞行控制系统，末级有仪器舱，可装载人造卫星和飞船，外面套有整流罩。



如果火箭发射的有效载荷较大，可以在一枚火箭外面捆绑几枚小火箭，称为捆绑式火箭，中间的大火箭称为芯级火箭，外围捆绑的火箭称为助推火箭。

## 第二节 火箭发动机发展

发展航天，动力先行。航天发展的瓶颈在火箭，火箭研发的瓶颈在发动机。火箭最核心的动力系统直接决定了火箭推力与运载能力，占全箭成本的 70%到 80%，对于运载火箭的系统复杂度、任务适应性、产品成本等均有较大影响。最早的运载火箭出现于第二次世界大战的德国，V-2 导弹是最典型代表，发动机是采用了以液氧/酒精作为推进剂的液体火箭发动机。目前液体和固体火箭发动机是火箭发动机中最基本、应用最广泛的两种发动机，其中固体火箭具有系统简单、发射准备周期短、发射点选择灵活等特点，在快速组网和补网等方面具有独特优势，但是固体火箭发动机一经点燃，就按照预定的推力方案工作，可控性差，难以实现可回收重复利用，而且固体火箭涉及的贮运安全和生产资质等问题难以解决，也制约了固体火箭成本的进一步下降，所以近年来，能够实现重复使用从而大幅降低运载成本的液体火箭优势突显，成为商业火箭公司竞争的焦点。

从效率方面评价火箭发动机的设计质量常常用到比冲的概念。比冲是消耗单位质量的推进剂所产生的推力冲量，是火箭发动机的主要性能参数之一。比冲越大，火箭可以达到的最大速度也越大，射程也越远。固体推进剂的比冲一般都低于液体推进剂。

### 一、固体火箭

固体火箭发动机是指使用固体推进剂的化学火箭发动机。固体火箭发动机由药柱、燃烧室、喷管组件和点火装置等组成。固体推进剂点燃后在燃烧室燃烧，产生高温高压的燃烧产物，燃烧产物流经喷管膨胀加速，以高速从喷管排出从而产生推力。

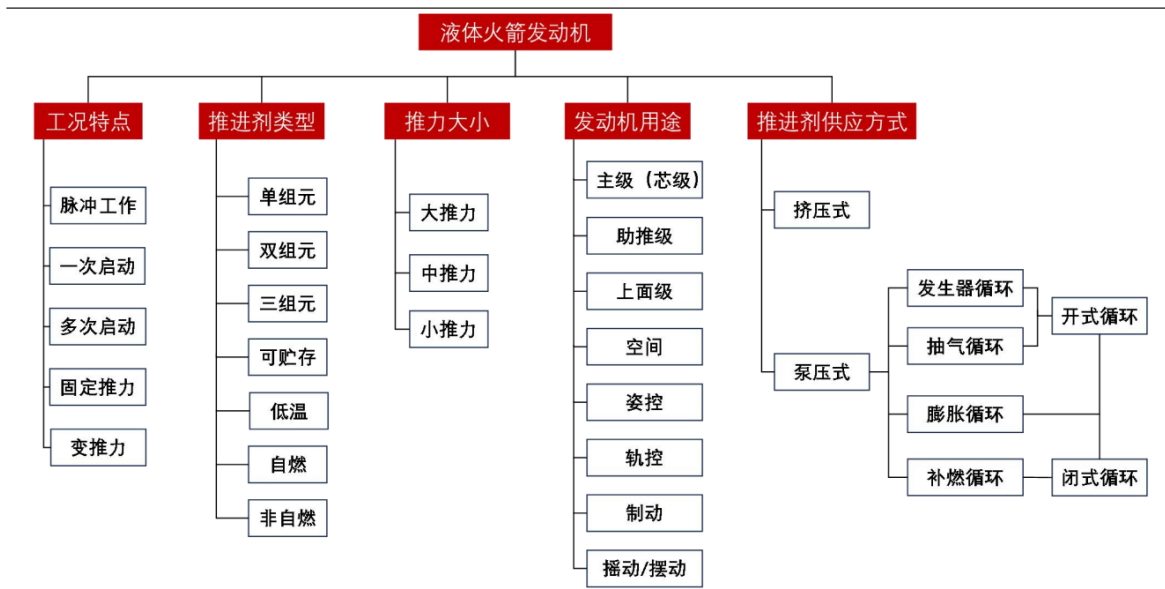
固体火箭发动机凭借其结构简单、可靠性高、便于机动部署、快速响应、维护使用方便等诸多优点，现已成为战略/战术导弹武器的主要动力装置，同时，固体火箭发动机是航天运载火箭系统的重要动力源，国外大型或重型捆绑式运载火箭多将其作为首选助推动力。由于固体火箭推进剂比冲较低，固体火箭一般需要采用多级构型才能实现入轨，但是多级构型会影响到火箭整体的复杂性、可靠性以及成本问题。虽然固体火箭发动机在起步阶段研发和制造成本低，固体火箭也是很多民营运载火箭公司进入商业发射服务领域的敲门砖，但当需要大推力火箭来发射更重的载荷时，固体火箭发动机的技术难度和成本就会爆发式增长。目前，固体火箭主要用于执行近地轨道或太阳同步轨道任务，更适合于追求快速发射的小卫星需求。

### 二、液体火箭

液体火箭发动机是目前运载火箭主级或上面级的主要动力。随着导弹和航天事业的迅猛发展，

液体火箭发动机的应用范围和种类越来越多，可按工况特点、推进剂类型、推进剂供应方式和用途等分类。各种不同类型的液体火箭发动机虽然结构有一定差别，但是基本组成都有推力室、推进剂贮箱、推进剂供应系统、涡轮工质供应系统、增压系统和自动器等几部分。

图 8：液体火箭发动机分类



液体火箭发动机动力路线的选择主要从三方面考虑，即推进剂类型、推进剂供应方式与泵压式系统的循环方式。目前，大多数液体火箭发动机使用双组元推进剂，典型的双组元推进剂组合主要包括四氧化二氮/偏二甲肼、液氧/液氢、液氧/煤油和液氧/甲烷。四氧化二氮/偏二甲肼属于常温推进剂，稳定性好，对冲击振动均不敏感，能够长时间贮存，加注过程简单，可以缩短发射准备时间，但是偏二甲肼是剧毒燃料，四氧化二氮/偏二甲肼燃烧会产生橘红色有害烟雾，严重污染环境。液氧/液氢比冲最高，性能优异，是无毒、绿色环保推进剂组合，但是密度比冲最低，需要体积较大的燃料贮箱，导致飞行器体积很大，另外由于液氢的温度极低，贮箱和管路必须很好地隔热，以尽量减少液氢的蒸发，以及湿气和空气在贮箱外壁的凝结，引入推进剂之前，必须吹除所有管道和贮箱中的空气，不然固态空气与液氢混合易发生爆炸，并且固态空气也容易堵塞管道和阀门，这使得系统结构和发射工序都更为复杂，成本较高。液氧/煤油和液氧/甲烷同为无毒、绿色环保推进剂组合，由于甲烷比热容高、结焦温度高、黏度小，是较为理想的冷却剂，可以更好地满足重复使用推力室冷却的要求，另外煤油在富燃燃烧时存在比较严重的积碳问题，将导致涡轮堵塞影响发动机推力，而甲烷在富燃燃烧时积碳极少，基本上没有影响，甲烷的以上优势降低了重复使用的维护成本，此外甲烷沸点与液氧相近，推进剂贮箱可以采用共底贮箱结构形式，从而提升了结构效率，考虑到未来月球和火星探测的需求，甲烷是最适合就地取材制取的。迄今为止，俄罗斯的 RD-170 系列代表了液氧/煤油发动机技术的最高水平，美国的 SSME 代表了液氧/液氢发动机技术的最高水平，美国蓝色起源公司的 BE-4 与 SpaceX 公司的 Raptor 代表了液氧/甲烷发动机技术的最高水平。

液体火箭发动机按推进剂供应方式分为泵压式发动机和挤压式发动机。挤压式供应系统利用高压气体将贮箱中的液体推进剂挤压输送到发动机的推力室，是最简单的推进剂供应方式，通常用在推进剂量和总冲量较小且比冲要求不高的发动机上。泵压式供应系统通常采用燃气驱动的涡轮泵作为主要增压装置，可以使推进剂组元在泵出口获得很高的压力，有效减少贮箱和增压系统的结构质量，并且获得很高的燃烧压力，提高发动机比冲，通常应用在推进剂流量大、推力大、性能高的场合，如运载火箭和战略导弹的主动力、上面级主推进系统等，系统较复杂。

泵压式系统的循环方式按照涡轮工质的来源可以分为燃气发生器循环、补燃循环（又称分级燃烧循环）、膨胀循环及抽气循环，其中补燃循环又分为富氧补燃循环、富燃补燃循环和全流量补燃循环。按照涡轮工质的排放方式又可分为开式循环和闭式循环，其中燃气发生器循环和抽气循环属于开式循环，补燃循环和膨胀循环属于闭式循环。各类循环方式的主要区别在于性能和结构复杂度，性能包括比冲、推力和推重比，它决定了飞行器的运载能力，结构复杂度包括组件数目和技术成熟度，决定了研制经费、生产周期和成本以及产品可靠性。综合比较，补燃循环技术先进，无比冲损失，发动机性能更高，可以有效降低航天运载器的发射成本，代表着液体火箭发动机的发展方向。

## （1）液氧/液氢火箭发动机

在火箭发动机领域，氢氧液体火箭发动机具有最高的比冲性能，燃烧产物是水，环保无污染，另外液氢具有良好的冷却性能，使用液氢作冷却剂的推力室可以重复使用，冷却通道内也非常干净，所以不论在一次性使用运载火箭还是未来可重复使用运载器中，氢氧液体火箭发动机都占有重要地位。但是液氢在使用上仍有不少缺陷，首先液氢温度极低，需要隔热建立超低温的环境，其次氢分子量小，黏度低，很容易泄露，混合空气后易爆炸，需要认真解决低温密封问题，最后是液氢的密度很小，需要体积较大的燃料贮箱，导致飞行器体积很大。由于研制氢氧火箭发动机需要克服上面这些缺点，研制难度较大，加之液氢成本高昂，因此液氧液氢火箭发动机不适应低成本发射需求的商业运载火箭。

1958 年美国开始研制世界第一台氢氧发动机 RL-10，纵观半个多世纪的发展历程，氢氧发动机发展大致分为 3 个阶段。第一个阶段是起步发展时期（20 世纪 50 年末到 70 年代初），发动机推力不大，推力级多为 10t 左右，各种循环方式全面发展，主要用于运载火箭上面级，代表型号有美国 RL-10 和 J-2、苏联的 RD-56、欧洲的 HM-7 和日本的 LE-5，各国通过小推力氢氧发动机的研制，基本掌握了氢氧发动机的设计、生产和试验技术，为大推力的氢氧发动机研制奠定了基础。第二阶段是高速发展时期（20 世纪 70 年代中期至 80 年代末），这一阶段关注于实现更大的推力和更高的性能，发动机循环方案以补燃循环为主，代表型号有美国的 SSME、苏联的 RD-0120、欧洲的 Vulcain 和日本的 LE-7，推力量级为 100t~200t，其中美国的 SSME 发动机还提出了多次重复使用的目标，迄今为止代表了液氧/液氢发动机技术的最高水平。第三阶段是全面发展时期（20 世纪 90 年代至今），这一阶段各种推力量级和各种循环方式均全面发展，在追求性能的同时，也更加注重可靠性和研制成本，例如日本在 LE-7 基础上发展了简化设计的 LE-7A，美国



在拥有 SSME 之后，发展了低性能低成本的 RS-68，Vulcain、RL-10、J-2 则通过不断优化提升性能和可靠性。此外，闭式膨胀循环开式向 20t 推力量级发展，日本独辟蹊径发展了开式膨胀循环氢氧发动机。

我国氢氧发动机研制始于 20 世纪 70 年代，曾先后成功研制出用于 CZ-3 系列运载火箭上面级 YF-73 和 YF-75，以及用于 CZ-5 芯一级的 50t 级 YF-77 和芯二级的 9t 级 YF-75D。相比国外先进氢氧发动机，国内氢氧发动机推力偏小，由于尚未掌握氢氧发动机补燃循环技术，以及在设计和材料工艺方面的差距，国内氢氧发动机比冲和推重比水平偏低。目前我国正在研制 220t 级氢氧发动机，采用高压补燃循环技术方案，设计参数达到世界先进水平，未来将作为重型火箭二级和三级的动力。大推力高压补燃循环氢氧发动机的研制将大幅提升我国氢氧火箭发动机的水平，带动我国氢氧发动机设计、制造工艺和试验技术水平的提高升级。

## (2) 液氧/煤油火箭发动机

液氧/煤油是无毒、绿色环保推进剂组合，燃烧产物是水蒸气和二氧化碳，是综合性能优秀的推进剂。煤油作为常温推进剂，贮存性能好，液氧煤油推进剂组合密度比冲高，使得火箭贮箱尺寸小、成本低。液氧煤油发动机作为运载火箭主动力装置，是大规模、低成本进出空间的优选动力装置，在国家重大航天运载项目、商业航天运输系统和重复使用运载器领域占有重要位置。

20 世纪 50~60 年代，美国和苏联的航天运载主动力均以液氧煤油发动机为主。1957 年苏联成功研制了 80t 级的 RD-107/108 液氧煤油发动机，并以此动力成功将第一颗人造卫星和第一名宇航员送入太空。60 年代苏联研制了 150t 级的 NK-33 液氧煤油发动机，用于载人登月的 N-1 火箭，美国的土星 V 重型运载火箭采用 680t 级的 F-1 液氧煤油发动机作为一级主动力，成功实现了载人登月。20 世纪 70~80 年代，主动力选择出现分歧。苏联致力于发展大推力液氧煤油高压补燃循环发动机技术并取得突出成就，针对能源号 and 天顶号运载火箭需求，成功研制了 740t 级推力的 RD-170 和 85t 级的 RD-120 液氧煤油发动机，RD-170 时至今日仍代表了液氧/煤油发动机技术的最高水平。由于技术和相关工业体系发展方向等原因，美国航天飞机、欧洲阿里安 5 火箭和日本 H-2A 火箭等运载火箭的主动力，转向采用大推力固体助推器加液氧液氢发动机的模式。20 世纪 90 年代以来，俄罗斯液氧煤油发动机技术达到世界最高水平。90 年代，俄罗斯在继承 RD-170 发动机的基础上，成功拓展研制了 400t 级推力的 RD-180 和 200t 级推力的 RD-191 液氧煤油发动机，其中 RD-180 发动机出口美国用于宇宙神系列运载火箭，另外还有 NK-33（用于美国阿塔瑞斯运载火箭）和 RD-120 也被引入美国。进入 21 世纪，美国民营宇航公司迅速发展，2005 年以来 SpaceX 公司研制了 Merlin-1 系列液氧煤油发动机，成为猎鹰 1/9 运载火箭成功和 SpaceX 公司崛起的关键。

20 世纪 80 年代起，我国开始研究液氧煤油发动机技术，经历三十余年发展我国已成为世界第二个完全掌握液氧煤油高压补燃循环发动机技术的国家，并形成了系列化、型谱化发展路线。目

前我国正在研制 500t 级和 240t 级液氧煤油高压补燃循环发动机，未来可作为重型、中大型运载火箭主动力，这些发动机的研制将大幅提升我国航天动力的技术水平，助力载人登月、深空探测等重大航天任务实施，有力提升我国未来大规模进入空间、利用空间的能力。

### (3) 液氧/甲烷火箭发动机

液氧甲烷发动机的概念早在 20 世纪 60 年代就已提出，但是航天大国苏联和美国的研究重点分别放在液氧煤油和液氧液氢发动机上，并没有给予足够重视。近年来随着可重复使用运载器动力需求的提出，液氧甲烷发动机由于具备无毒环保、高比冲、不易结焦积碳、易于重复使用、低成本等综合优势，受到商业航天公司的青睐，并涌现出一批不同成熟度的代表型号。

液氧甲烷发动机因为具有低成本、无毒无污染、不易结焦积碳、使用维护方便、适于重复使用、比冲较高等特点，更加适宜于重复使用、低成本运载器的使用要求，已成为下一代液体运载火箭的理想动力选择，世界主要航天强国都在积极开展液氧/甲烷发动机技术和火箭技术的研究。美国是最早对液氧/甲烷发动机进行研究的国家之一，目前走在液氧甲烷发动机研制与应用的前列，美国 SpaceX 和 Blue Origin 两家私有企业主导了大推力液氧/甲烷发动机（Raptor、BE-4）的研制工作。“猛禽”（Raptor）是美国太空探索技术公司（SpaceX）正在研发的液氧甲烷发动机系列，计划作为该公司“星舰”和“超重”助推器的主动力，是世界首款实用化的全流量补燃循环火箭发动机，该系列有“猛禽”1（Raptor 1）、“猛禽”2（Raptor 2）和“猛禽”真空版（Raptor Vacuum）3 个版本。2021 年 5 月，“猛禽”1 首次完成全任务时长发动机试验，“猛禽”2 是“猛禽”1 的改进版，2022 年 3 月开始交付给进行轨道测试的“星舰”使用，目前“猛禽”2 仍在持续改进中。

表 9：不同型号“猛禽”发动机的参数指标

型号	“猛禽”1	“猛禽”2	“猛禽”真空版
混合比	3.6	3.55	3.6
室压/MPa	25	30（最高 33）	30
海平面推力/kN	1850	2300	—
海平面比冲/s	330	327	—
真空推力/N	—	—	2600
真空比冲/s	—	—	363
喷管面积比	34.34	34.34	80
推重比	92.5	143.75	—
包络尺寸	Φ1.3mx3.1m	Φ1.3mx3.1m	Φ3.8mx5m
变推力	40%~100%	40%~100%	—
质量/kg	2000	1600	—

资料来源：《美国商业航天公司液氧甲烷发动机研制进展》、山西证券研究所

BE-4 发动机是蓝色起源公司（Blue Origin）正在研发的大推力液氧甲烷发动机，计划用于其自主开发的“新格伦”火箭和联合发射联盟的“火神-半人马”火箭上。BE-4 的设计推力高达

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/605040142210011212>