

## 1. “第一性原理”的践行

## 改变整个宇航业的商业运作模式

“第一性原理”是一种思维逻辑方法，它最早可以追溯到古希腊的哲学家亚里士多德，在人类文明的历史进程中，第一性原理在很多领域被遵循或使用，每个学科和行业或许都有自己的第一性原理，它大致是指思考问题要抓住事物的本质，不要被表面的、外在的细节或框架所迷惑。坐拥特斯拉、SpaceX、Neuralink、xAI 等多家高科技公司的马斯克既是“第一性原理”的“信徒”，又是宣传布道者，可谓是“第一性原理”能够在当下的商业社会中“走红”的居功至伟者。

事实上，从 SpaceX 公司自 2002 年创立至今，“第一性原理”一直贯穿在该公司的经营管理中。SpaceX 最初源自马斯克的梦想，要将梦想变成现实，首要考虑的是可行性。传统火箭制造、卫星发射基本是国家的政府部门或机构主导的事情，超高额的成本壁垒对于民营企业来说似乎是很难跨越的。马斯克运用第一性原理思考，得出的结论却是可行的。其中的理由包括建造火箭最基本的物理条件是金属和燃料，这些材料并不昂贵；微处理器的技术进步——计算能力大幅提升、功耗降低、尺寸减小而集成度高，这些客观因素使得卫星小型化成为可能，因此 SpaceX 的起步便瞄准了小型卫星发射所需的小型运载火箭制造。

这里简要概述一下 SpaceX 创立后的发展历程，该公司的第一款火箭猎鹰 1 号 (Falcon 1) 在经历了从 2006 年 3 月至 2008 年 8 月的三次发射失败后，终于在 2008 年 9 月 28 日发射成功，自此成为世界上第一个由私人公司制造并成功进入预定轨道的液体燃料火箭。2010 年 6 月，比猎鹰 1 号更强大的中型运载火箭猎鹰 9 号 (Falcon 9) 首次发射成功，到 2012 年 5 月，猎鹰 9 号将“龙飞船”成功与国际空间站 (ISS) 对接并返回地球，成为历史上第一艘访问国际空间站的商业飞船。2015 年 12 月，猎鹰 9 号火箭首次成功回收了一级火箭，这是火箭回收技术的重要里程碑。2020 年 5 月，猎鹰 9 号火箭成功将两名 NASA (美国国家航空航天局) 宇航员送入国际空间站，此次发射标志着自 2011 年美国航天飞机退役以来，美国首次在本土进行的载人航天试

验，同时也是载人航天任务首次由私营企业执行完成。在猎鹰 9 号首次成功回收的 2015 年里，SpaceX 于 1 月对外宣布成立星链 (Starlink) 新部门，旨在为地球上网络欠发达地区提供互联网接入服务，到 2019 年 5 月，SpaceX 成功发射首批 60 颗星链卫星。2017 年 9 月，马斯克宣布 SpaceX 将研制开发一枚更大的、可重复使用的大型猎鹰火箭 (BFR)，后更名为星舰。星舰自 2023 年 4 月 20 日开启第一次发射测试，到 2024 年 6 月 6 日进行第四次全系统飞行试验，SpaceX 官方称星舰本体落至印度洋，此次飞行取得成功。

从猎鹰 1 号到猎鹰 9 号再到星舰，甚至连星际基地的发射捕获塔 Mechazilla，从火箭成本的重构、火箭回收技术到星链计划，无一不是“第一性原理”思维的实践。马斯克不止一次在公开场合介绍第一性原理，其中一次在美国媒体采访中，他的原话是这样解释的：“我们运用‘第一性原理’，而不是类比思维思考问题，是非常重要的。我们在生活中总是倾向于比较，对于别人已经做过或者正在做的事情，我们都跟风去做。这样发展的结果，只能产生细小的迭代发展。”

以火箭回收技术为例，国内可回收液体火箭研发制造商深蓝航天常务副总裁赵亚向记者解释，在 SpaceX 创立之前的很长时间内，火箭基本是“一次性”的。推进器使用的是固体燃料，其优势在于研制的技术难度小，一旦装填制造完成，至少能保存几十年，因此在军事工业中使用较广泛。不同于固体火箭，液体火箭则是在发射前几小时的时间窗口内才会去加注填充燃料，具有更高的推力和更灵活的控制能力。按照“第一性原理”的思维，火箭的重复使用是降低太空发射成本，以及实现未来星际运输的关键。如果能够回收并重复使用火箭，那么每次发射的成本显然将大幅降低。实际上，火箭本身的材料成本并不高，主要成本在于制造和发射过程。比如，猎鹰 1 号、猎鹰 9 号、猎鹰重型 (Falcon Heavy) 使用的默林 (Merlin) 发动机均使用液氧和火箭级煤油 (RP-1) 作为推进剂燃料，到研制星舰时其猛禽 (Raptor) 发动机开始使用液氧和甲烷作为燃料，甲烷作为当下火箭发

## 商业航天探路者：马斯克和 SpaceX

**编者按/** 近日，美国太空探索技术公司 (以下简称“SpaceX”) CEO 埃隆·马斯克在自家社交媒体 X 上宣布，将在 2 年后——下一个探测火星的窗口期，发射前往火星的不载人星舰，以测试完整登陆火星的可靠性。如果着陆顺利，将在 4 年内进行星舰的首次载人火星任务。按此计划，进一步的目的是 20 年内火星上建立起自给自足的城市。

火星探测时间表，符合马斯克一贯的工作管理方式，即为目标任务设置一个极其紧迫且看似不可能实现的最终期限，随后激励团队去努力达成目标——尽管他“承诺”的时间并不总是准确，还时常“跳票”，但从任务完成结果看，这一“策略”在 SpaceX 创立至今 18 年里屡试不爽，而且一次次创造历史。

在国内商业航天领域，“中国版 SpaceX”常见诸媒体报道及社交讨论中，不少商业航天公司在液体火箭回收、低轨卫星网络、太空旅行等各个垂直领域中将 SpaceX 作为对标企业。其中一家国产火箭制造负责人曾向《中国经营报》记者坦言：“可能所谓‘中国版 SpaceX’的称呼会有一些争议，但毋庸置疑的是，SpaceX 确实是我们难以绕开的行业标杆。”

SpaceX 的成功，与创始人马斯克的世界观、太空梦想、性格特点、资金实力都有密不可分的关系，这些个人特质显然是无法复制的。但抛开个人特征，我们依然希望从 SpaceX 的成长历程中探讨总结出一些值得思考与借鉴的经验。



视觉中国/图

动机研究的热点，其使用历史可以追溯到 20 世纪，它具有燃烧效率高、绿色环保、易制取、成本低等优势。SpaceX 官网显示，截至目前，猎鹰 9 号火箭累计发射次数达 372 次，总着陆次数 329 次，总复飞次数 303 次，已成为全球范围内重复使用次数最多的火箭型号。

“马斯克在改变整个宇航业的商业运作模式，在保证安全性的同

时降低成本。他把科技产业的优势都集中在一起了，比如开放的办公空间、畅通的沟通互动模式，而传统宇航界的做法与之截然相反，整个运作机制仿佛是为了拟定繁复的条文和审查手续而存在。”美国作家阿什利·万斯所著的《硅谷钢铁侠：埃隆·马斯克的冒险人生》中援引美国宇航员斯托克的评价这样写道。

## 3. 实现商业闭环

## 颠覆行业与开启新竞赛

以“第一性原理”思考、业务管理中严苛控制每项成本的 SpaceX，究竟给行业带来了哪些颠覆与变革？

在 SpaceX 的发展历程中，来自 NASA、美国国防部等政府部门的订单合同发挥了重要的作用。而“硬币”的另一面是，SpaceX 也颠覆改变了政府部门过往常用的成本加成合同、不关心成本投入的固有模式，取而代之的是结果导向模式，即由私营公司竞标执行特定任务，只有当它们完成某些关键验收环节时才能得到报酬。这样一来，竞标企业不得不自己承担风险，倒逼它们创造更具有成本效益的火箭及飞行器，提升发射成功率，由此也激发了私营航天公司的创新活力。

值得一提的是，在全球范围内，尤其是大洋彼岸的中国，SpaceX 的成功也激发了商业航天领域的创业热潮，我国自 2015 年出台政策明确鼓励民营企业发展商业航天后，中国商业航天事业开启并加速踏上新征程。

自 2015 年年初成立的星链新部门，是 SpaceX 创立发展过程中“意外发现”的“大金砖”。按照星链项目最初的设想，最终目标是建立一个由约 4 万颗卫星组成的超级卫星群，不仅为偏远地区的付费用户提供网络连接服务，而且为未来太空探索和通信运输提供基础设施支持。同样基于“第一性原理”思维及成本严格控制方式，卫星制造成本降低的同时，每次猎鹰 9 号搭载的卫星数量不断增加，“一箭多星”已成习惯。据长期追踪监测星链等太空卫星数据的天文学家乔纳森·麦克道尔 (Jonathan McDowell) 统计，截至 2024 年 9 月 13 日，SpaceX 共发射 7022 颗星链卫星，目前在轨卫星共 6384 颗，其中 6327 颗卫星正在运行中。公开数据显示，仅 2023 年，SpaceX 共进行了 81 次商业发射，商业卫星发射 (含搭载) 数量达到 2437 颗，稳居全球商业卫星发射市场的榜首位置。另据星链官方公布的数据，到今年 5 月 21 日，星链卫星互联网服务已覆盖全球 99 个国家，用户总数突破了 300 万。需要指出的是，星链业务的快速发展也

给 SpaceX 的商业化打开了新的空间，实现了商业闭环。

随着 SpaceX 的星链取得成功，全球范围内的低轨道卫星轨道和频率资源争夺战已然打响。中国电子科技集团公司第十四研究所的刘怀伟、陈静然在《我国商业航天发展趋势及建议》一文中指出，按照国际电信联盟 (ITU) “先登先占，先到先得”的统一管理分配原则，作为稀缺不可再生资源的低轨道大规模星座成为国际竞争焦点，占轨保频迫在眉睫。根据 ITU 的测算，近地轨道卫星总容量约为 6 万颗，到 2029 年，地球近地轨道将部署总计约 5.7 万颗低轨卫星，轨道可用空间将所剩无几，而低轨卫星主要采用的 Ku 及 Ka 频段资源也逐渐趋于饱和。在轨道频谱资源不可再生和美国捷足先登的双重倒逼形势下，主要国家纷纷加快了卫星互联网领域的开疆拓土步伐。

需要指出的是，SpaceX 对于航天产业的颠覆与革新探索仍未停止。在未来执行载人登月、星际旅行、移民火星等任务上被寄予厚望的星舰，已分别在 2023 年 4 月 20 日、2023 年 11 月 18 日、2024 年 3 月 14 日、2024 年 6 月 6 日进行了四次发射测试，从第一次发射失败，到第二次实现部分星舰飞船和部分超重型助推器成功分离，再到第三次成功入轨、未成功回收，到第四次成功完成热阶段分离、超重型助推器成功溅落、星舰飞船着陆成功，但仍有部分受损，能够看出 SpaceX 一贯的快速迭代式的设计正在加速星舰性能提升。按照官方计划，星舰的第五次轨道试验飞行将在今年 11 月进行，主要试验目标是使用发射塔的捕获臂以像“筷子”的方式对火箭进行抓取回收。另外值得注意的是，作为 SpaceX 主力型火箭的猎鹰 9 号，于 9 月 10 日成功将 4 名非职业宇航员送入太空，并完成了首次商业太空行走任务。这不仅是商业太空旅行的一大进步，还对星链的激光通信技术、SpaceX 新型舱外宇航服测试等任务进行了测试。不难看出，SpaceX 对全球商业航天以及未来人类星际旅行的影响与探索仍在持续，后来者要完成赶超显然并不容易。

## 2. 严苛的成本控制法

## “白痴指数”和做加法

如果说“第一性原理”是 SpaceX 成功的底层思维逻辑，那么由此带来的对成本的严苛控制则是其更显性的经营策略。美国传记作家沃尔特·艾萨克森所著的《埃隆·马斯克传》一书中记述了在猎鹰 1 号研发制造过程中马斯克对成本把控的诸多细节，例如供应商报价 25 万美元的一个阀门，马斯克认为其“心太黑”，最终团队内部以很低的成本完成；而一种能够使发动机喷管旋转的驱动器，供应商报价 12 万美元，马斯克则要求工程师以每个 5000 美元的成本造出来；甚至猎鹰 1 号在 2006 年 3 月 24 日的首次试验发射失败，就是由使用的廉价 B 型螺母被海风腐蚀所直接导致的。“他 (马斯克) 对成本的关注，以及他天生的控制欲，让他产生了这样一种想法：尽量多地在公司内部制造零部件，而不是从供应商那里购买。”

截至目前，SpaceX 火箭 80% 的部件设计都基于重复使用，同时在动力系统选择、箭体设计、导航控制等方面做到产品通用。综合美国主流媒体报道，猎鹰 9 号的单位有效载荷的发射成本已降至 2000 美元/公斤，在未来几年内或许能够降至 200 美元/公斤，当然这一判断也被不少人指为过度乐观。

艾萨克森写道，马斯克在 SpaceX 内部普及了一个名为“白痴指数”的概念，即一个零部件的总成本与它的原材料成本的比值。如果“白痴指数”很高，比如零部件

成本 1000 美元，而制作它的铝的成本只有 100 美元，那么很可能就是设计过于复杂或制造过程效率太低导致的。

或许 SpaceX 最令业界称道的“神来一笔”便是马斯克将不锈钢材质用于星舰。对此，马斯克曾在出席美国国家科学院联席会议时解释，星舰研发初期曾先后使用过碳纤维、铝锂合金，其成本分别是每公斤 130 美元、40 美元，相比之下，不锈钢的成本每公斤仅三四美元。星舰非常大，高 121 米，第一级火箭助推器高达 70 米，直径达 9 米，不锈钢材质能够满足星舰发射过程中对于强度、韧性、弹性、厚度、加工便利等因素的需求。

在对火箭每一个零部件严格控制成本的同时，SpaceX 的火箭试验采用不断地“炸”的方式，这给行业内外留下了深刻的印象。《埃隆·马斯克传》中总结了 SpaceX 迭代式的设计方法，即“迅速制成火箭和发动机原型，进行测试、炸毁、修改，再次尝试，直到最后做出能用的东西。快速推进，把试验品炸掉，然后重复这一过程。”

为什么“炸得多”反而迭代效率更快呢？不停地“测试、炸毁”与严苛的成本控制难道不相悖吗？

要解答和理解这一问题并不难。在传统航天产业中普遍采用“做减法”的路径，即从一开始就使用最好的材料、最精致的工厂车间，为了保障每一次发射万无一失，在

设计和制造过程中会花费大量的时间和资源进行精细的测试与验证，其优点在于能够确保发射的成功率，与之相伴产生的是高昂的成本和漫长的研发周期。而 SpaceX 则选择的是“做加法”路径，星际基地建立在露天环境中，使用低成本的“粗糙”材料，迅速制造出火箭和发动机原型进行测试，一旦发射失败能够立即分析数据发现问题，从而在设计中进行修改，再次进行测试。这种模式的优点是能够在短时间内积累大量试验数据，从而快速迭代和改进产品。简而言之，虽然看似“炸得多”、失败次数多，但 SpaceX 通过严格控制成本，保障每次失败的代价尽可能最低。正是这种快速迭代和低成本控制的策略，使得 SpaceX 能够以惊人的速度推进技术进步，逐步实现了主火箭 (芯一级)、助推器、整流罩的多次回收复用，最终实现低成本、高效率的太空发射。

公开数据显示，SpaceX 自 2023 年第一季度实现盈利，收入为 15 亿美元，净利润为 5500 万美元。摩根士丹利在 2024 年 4 月发布的研究报告指出，复用性是 SpaceX 降低成本的关键，也是该公司实现盈利的关键。报告显示，SpaceX 的估值在 2023 年年底已达到 1800 亿美元。报告还预测 SpaceX 在 2024 年的收入有望实现 54% 的同比增长，将达到 130 亿美元，而这一数字预计到 2035 年可达 1000 亿美元。

## SpaceX 大事记

- 2002年5月**  
SpaceX注册成立
- 2006年3月24日**  
猎鹰一号第一次发射失败，原因是使用的低价 B 型螺母被海风腐蚀
- 2008年9月28日**  
猎鹰一号第四次发射成功，创造了历史，这是第一个由私人制造的、从地面进入预定轨道的火箭
- 2008年12月22日**  
获得 NASA 价值 16 亿美元的订单合同，在空间站和地球之间进行往返运输
- 2012年5月**  
“龙飞船”成功入轨，成为第一个与国际空间站对接的私营飞行器
- 2015年1月**  
成立星链新部门，向全球提供卫星互联网宽带服务
- 2015年12月21日**  
火箭回收成功，猎鹰九号着陆成功
- 2017年9月**  
宣布启动星舰开发
- 2019年9月**  
星链卫星进入运行状态
- 2021年9月**  
灵感 4 号飞船成功入轨，这是第一个由私营公司为非职业宇航员完成的发射任务
- 2023年4月20日**  
星舰第一次发射，上升阶段在空间站爆炸
- 2024年6月6日**  
星舰第四次发射，助推器成功溅落，飞船着陆成功，但部分受损
- 2024年9月10日**  
猎鹰 9 号将 4 名非职业宇航员送入太空，实现首次商业太空行走

## 观察

## 中国商业航天“蓄势待发”

2023 年 4 月 20 日晚，星舰在位于美国得克萨斯州南部的星际基地 (Starbase) 进行首次发射任务，火箭升空 3 分钟后在大约 39 公里高的空中发生爆炸，此次发射以失败告终，然而此时 SpaceX 地面指挥室里却爆发出一阵欢呼声与掌声。这一场景令包括记者在内的很多人印象深刻且震撼，所谓“成功”与“失败”的界限变得模糊。马斯克对首次发射的“成功”预期是只要离开地面升空爆炸就算突破。在此后星舰的几次发射中，几乎上演着同样的欢呼场景。

震撼之余，中国商业航天的路走向何方，成为我们更为关心的事情。毋庸置疑，在 SpaceX 的“搅局”推动下，全球航天产业正在发生深刻的变革，SpaceX 的低成本、高效率、回收重复使用、卫星互联网等为行业树立了新的标杆。数名来自国内商业航天企业的业内人士都提到，照搬 SpaceX 显然走不通，但它的创新理念和商业模式却值得借鉴与学习，国产企业不应妄自菲薄，未来必然会出现能够比肩甚至超越 SpaceX 的航天企业，尽管这条路充满荆棘。企查查数据显示，自 2015 年国内航天产业向民营企业开放以来，商业航天相关企业注册量呈逐年增加趋

势。仅 2024 年 1 月至 8 月，相关企业注册量新增 3.21 万家，在一级市场发生股权融资事件达 62 起。另据上奇产业通统计，从原材料生产、零部件到航天装备、科学与工程技术研发活动的航天产业链中，截至 2024 年 7 月底，与航天产业链相关的专利申请总量近 27 万件。

2023 年年底召开的中央经济工作会议明确将商业航天列为战略性新兴产业之一，而 2024 年政府工作报告中首次写入“商业航天”，进一步明确了商业航天作为发展新质生产力、新增长引擎的地位。自年初以来，中国航天产业在载人航天、探月工程、空间站建设等方面取得多项突破。其中，海南国际商业航天发射中心建成，我国自主研发的可重复使用液氧甲烷运载火箭完成 10 公里级垂直起降返回飞行试验等代表了中国商业航天的加速发展。

在我国航天向市场化、产业化加速前进的形势下，产学研各界需要凝心聚力，合力推进航空产业的生态建设，创造广阔的生长环境与发展空间，科学助力和促进我国商业航天高质量发展，占据航天产业创新发展的高地。

本版文章均由本报记者曲忠芳撰写