

《问天寻梦：航天科技与星际探索》

课程作业 II

完成人：卢胜禹

学 号：2022141530023

完成日期：2023/3/14

两种航天器的略述

1 猎鹰 9 号

猎鹰 9 号是一种部分可复用运载火箭，主要复用的部分是其一子级。猎鹰 9 号火箭一级使用 9 台 Merlin 1D 液氧煤油引擎，在不进行火箭回收的情况下，可以向 LEO 发射 22.8 吨重的有效载荷，这一数据接近我国拥有最大 LEO 运力的火箭长征 5 B。猎鹰 9 号在一子级回收的时候，其 LEO 运力将下降至 18.5 吨，运力损失约 18.9%。猎鹰 9 号的成功掀起了 VTVL 可复用火箭热潮，也掀起了全球航天热。表 1 的数据说明 VTVL 已经是一条比航天飞机更成熟的道路。

表 1 猎鹰 9 号与美国航天飞机对比

型号	猎鹰 9 号 ¹	美国航天飞机
单位质量成本 ² / (\$/kg)	2720	22500 (全项目周期平均)
单位时间入轨质量 / (t/年)	690	176.4 (1985 年, 估计)
目的导向	近地轨道货运	近地轨道 (自由号空间站) 货运

猎鹰 9 号能超越航天飞机的另一个原因是其能够在项目的整个生命周期中进行敏捷开发。猎鹰 9 号低起点高目标，在每个开发环节都能够变现，换句话说就是先成为可运行火箭，然后再成为高精尖的可回收火箭。猎鹰 9 号以其 3.8% 的运载系数 (不回收)，2022 年 60 次的发射次数，宣告着这种开发方式的成功。而航天飞机从一开始就被指定为可回收的，高起点高指标带来的是系统首次运行前漫长的开发周期和高昂的开发成本，且因其客货不分离，后续改进也就无从说起，无法降低运行成本使得 NASA 反过来削减其经费，随后造成 2003 年的悲剧，最终将航天飞机送入坟墓。³

¹ 使用 2022 年数据，以下全文数据不做引用。

² Elon Musk 也使用另一个指标“单位推力成本”，这个指标是从发动机方面衡量的，两个指标最终都是在瞄准同样的问题：如何以最小的代价最大限度地将化学能转化为动能。

³ 参考知乎回答：能否详细介绍航天飞机的兴衰？ - 老慢半拍的回答 - 知乎

<https://www.zhihu.com/question/463980514/answer/1966092602>

2 星舰

如果猎鹰 9 号是踢开了 VTVL 回收的大门，那么星舰则将踢开近地轨道产业化的大门。我国计划中的国之重器超重型运载火箭长征 9 号，在进行了将近 10 年的技术储备后，从去年起突然 6 次改变构型，最终对标星舰(见表 2)，其重要性可见一斑。

表 2 星舰与长征 9 号指标对比

型号	星舰	长征 9 号(龙乐豪 2023 年版本)
起飞级发动机数量/台	33	30
推进剂组合	液氧/甲烷	液氧/甲烷
发动机循环方式	全流量分级燃烧循环	全流量分级燃烧循环
起飞推力 ⁴ /t	7590	6118
LEO 荷载质量/t	150 (不回收时 250)	150 (未标明构型)
火箭构型	两级串联	三级串联/两级串联
是否复用	全复用	一级复用 ⁵

为了降低到达火星单位质量的价格，星舰被设计成具有全复用化、频率航班化、生产规模化这“三化”特性。换言之，真正的全复用是一项系统性工程，单单在图纸上画出一款复用火箭是不能成功的。

在一般的预计中，星舰能将近地轨道的运输成本降低至 200 美元每千克，这将大大促进信息化基建在太空中的部署，进而催生出围绕太空基建的整个太空产业链。其对载荷制造的冲击也将改变太空科学领域，低廉的单位价格会使得科学任务与载荷的设计有无限可能，甚至从根本上改变曾经的科学任务流程，NASA 在最近已经对其中的可能性展开研究。

SpaceX 也为星舰安排了星链二代卫星(Starship 总线)的发射任务以充分利用其运力。星链二代卫星(Starship 总线)每颗重约 2 吨。FCC 批准二代星座中的 7500 颗,要求在 2030 年前部署其中至少一半的卫星，假设其中 85%由星舰部署⁶。平均每次部署 60 颗，则自 2023 年首次载荷部署开始，7 年内产生至少 53 次发射需求来部署这些载荷。

⁴ 在正文中都不使用 kN 等标准单位，也不标明轨道具体参数，数据粗糙是为了方便阅读。

⁵ 二级串联构型下有全复用的远期规划。

⁶ 其余由 F9 部署，F9-2 总线 Gen2 卫星每颗重 790kg，F9 每次发射 21 颗。

总之，大规模低成本进入太空的能力将会让人类进入真正的太空时代。

3 附录

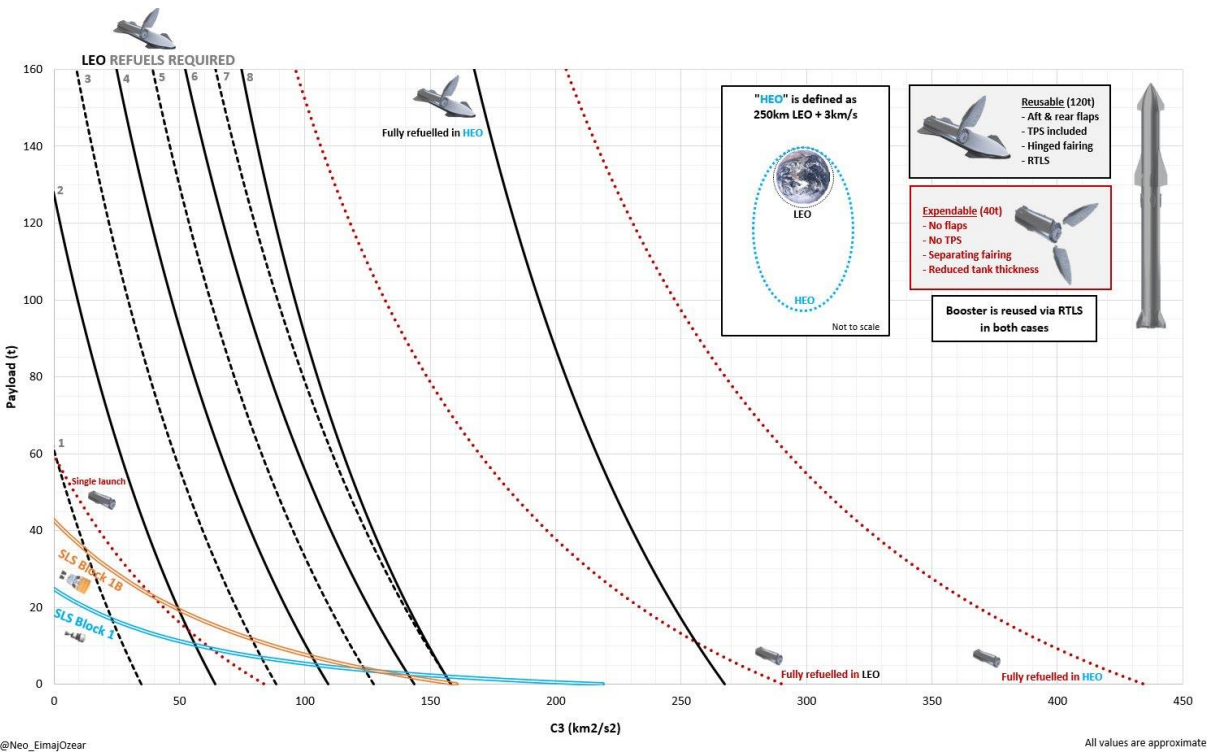


图 1 星舰在各种配置下的 C3-Payload 图

表 3 各型全流量分级燃烧循环甲烷机

型号	猛禽 2	YF-2XX ¹	LandSpace200tFFSCC ²
混合比	3.6	--	3.6±8%
室压/Mpa	30 (Max 33)	>20	26
海平面推力/kN	2300	>2000	2200
海平面比冲/(m • s ⁻¹)	3270	3270	3219
喷管面积比	34.34	--	--
推重比	143.5	>66	--
包络尺寸/m×m	Φ1.3×3.1	--	--
变推力	40% - 100%	--	40% - 120%
重量/kg	1600	3000	--

1. 六院 11 所预研中的 FFSCC 甲烷机，可能会用于长征 9 号。
2. 蓝箭航天预研中的 FFSCC 甲烷机，数据来自张小平的论文。