

# 中国航天的可复用未来

卢胜禹

(年级: 2022 级 专业: 网络空间安全 学号: 2022141530023)

**摘要:** 分析了世界航天的近期发展趋势, 对人类进入太空方式的革命这一话题进行探讨, 并且对中国航天未来的发展方向给出建议。

**关键词:** 航天; 可重复使用; 太空经济; 火箭航班化

## 0 引言

中国航天事业的发展始于 1956 年, 当时由钱学森作为院长, 中国成立了第一个航天研究院。在接下来的几年中, 中国进行了许多航天技术研究, 而后在 1970 年成功地发射了第一颗人造卫星东方红一号。进入改革开放的年代, 随着 863 计划和 921 计划的提出, 中国载人航天工程快速发展, 并在 2003 年实现了历史性的成就——将第一位中国宇航员送入太空。来自空军的航天员杨利伟成功完成了 21 小时 22 分的太空飞行任务。在之后的几年中, 中国又发射了许多载人航天飞行器, 并在 2022 年完成了载人空间站的建造任务, 圆满完成中国载人航天工程第一阶段的三步走计划。

近年来, 中国也在积极探索深空探测技术, 中国在 2020 年成功地将嫦娥 5 号着陆器送到了月球背面, 这是人类历史上第一次实现月球背面软着陆。中国还在 2021 年使祝融号火星探测器成功着陆在火星乌托邦平原, 这使得中国成为第二个

完全成功着陆地外行星的国家。

随着中国探月工程、行星探测工程和载人航天工程的逐步推进, 中国人预计将在未来十年内踏上月球, 十五年内从火星无人采样后射回地球, 二十年后登陆火星, 在三十年内向各个行星发射无人探测器, 建国 100 周年之际把探测器发送到 100 个日地距离远的位置去。可以说在短短三十年内, 凭借着“中国速度”, 中国的航天事业取得了斐然的成绩, 且创造了无数的历史, 未来更是所图甚大, 助力中国不仅成为航天大国, 更将成为航天强国, 跻身世界前列。

但是世界航天产业日新月异, 近年来, 可重复使用火箭的出现完全打破了航天原有的发展路线, 带来了一场产业革命, 世界航天产业正在向可重复使用火箭以及随之而来的太空产业化发展, 中国航天也面临着这种“大势所趋”下的压力。本文就将探讨可重复使用这一潮流的现状以及未来, 并结合现状为中国航天的未来发展提供些许建议。

## 1 可重复使用火箭现状

### 1.1 火箭参数

目前世界上唯一拥有轨道级可复用火箭技术的是美国的 SpaceX 公司，SpaceX 公司现役的 Falcon 9 火箭以及衍生而来的 Falcon Heavy 火箭都是可部分重复使用的，主要复用的部分是其一子级，SpaceX 公司还从海中打捞并复用其火箭的整流罩，整流罩一般在一二级分离不久后分离并落入海中。Falcon 9 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，长征 5 B 是我国空间站建设的主力运载火箭，它能向 LEO 发射 25 吨的有效载荷。Falcon 9 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%。SpaceX 的 Falcon Heavy 火箭是其拥有的最大运力火箭，它看起来是由三个 Falcon 9 火箭“拼在一起”得来的，因此一级使用了 27 台 Merlin 1D 引擎，在不回收的情况下，它的 LEO 运力高达 63.8 吨，在 2022 年 11 月 16 日 SLS 火箭首飞前，它是世界现役火箭中 LEO 运载能力最强的。

这两款火箭所使用的回收方案都是 VTVL(垂直起降)，在一二级分离后，一级将会返回发射场或者降落到海上的着陆平台上，在着陆时，依靠发动机点火反推来抵消下落速度，直到速度减少到 3m/s，并且火箭接近平台时，展开火箭下部的四个

着陆腿来着陆。

### 1.2 可重复使用的能力

凭借着可重复使用技术，SpaceX 做到了高发射频率，高入轨质量，低发射价格，其 Falcon 系列火箭涵盖了 60 吨以内的运力区间，能够满足国际上以及美国政府大多数的发射合同，并且其 2300 美元每千克的发射价格是全世界最低的，这让 SpaceX 吞占了国际发射市场的很大一部分，对客户来说，最重要的是 SpaceX 快速发射的能力，客户可以在任何想要的时候进行发射，SpaceX 的快速发射能力总能满足客户的需求。基于这样的现状，SpaceX 如今成为了美国航天的“顶梁柱”，在 2022 年，SpaceX 总计进行了 61 次发射，而我国 2022 年总共进行了 63 次发射，SpaceX 发射入轨的质量则更多(见图 1.1.1)

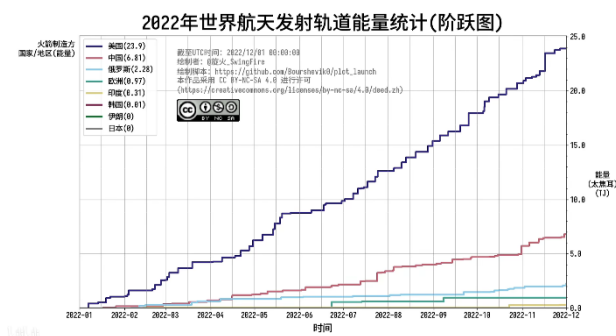


图 1.1.1 2022 年世界航天发射轨道能量统计图

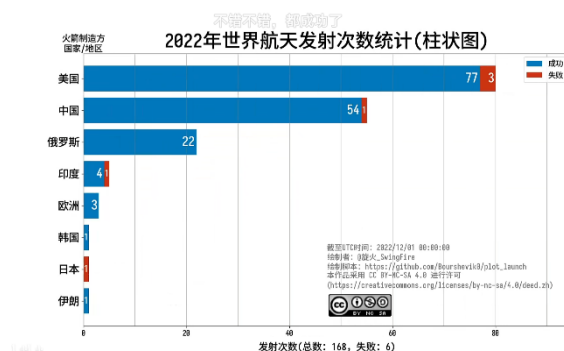


图 1.1.2 2022 年世界航天发射次数统计

2 中国对可重复使用火箭的计划

我国自然也看到了可重复使用火箭的好处，因此，中国现在有计划中的长征 8R 火箭(见图 2.1)



图 2.1 长征 8R 一级回收方案

其构型为芯级加两个助推器，在回收时计划将助推器和芯级一起捆绑回收，而不是像 Falcon Heavy 那样分开回收，同样采用 VTVL 回收方案，将会降落在海上平台。此外原本计划中并无可回收设计的新一代载人火箭和长征 9 号火箭，在今年也都增加了可回收复用的设计，其中新一代载人火箭(见图 2.2)作为我国未来载人登月任务的支柱火箭，其芯一级如今被设计成可以重复使用，其回收方案可能类似 Falcon 9 火箭，也可能采用绳系回收(见图 2.3)，



图 2.2 新一代载人火箭构型

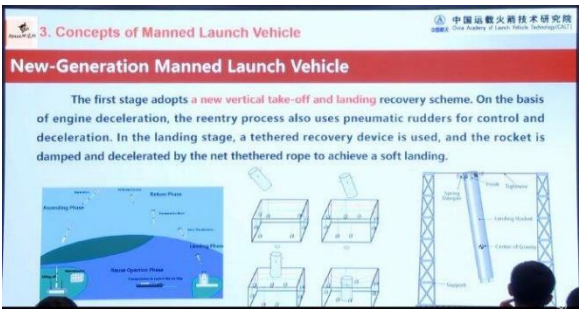


图 2.3 绳系回收方案

而长征 9 号火箭作为我国第一个超重型火箭，其未来将要成为中国航天的中流砥柱，它的改变更是堪称大转向(见图 2.4)



图 2.4 长征 9 号构型变化

如今的设计里芯一级是可回收的，且采用绳系回收方案，二级也可能在今后的设计改动中改为可回收(见图 2.5)。

可以看到，我国十分重视可重复使用火箭的研发，在未来十年内，我国将逐步形成

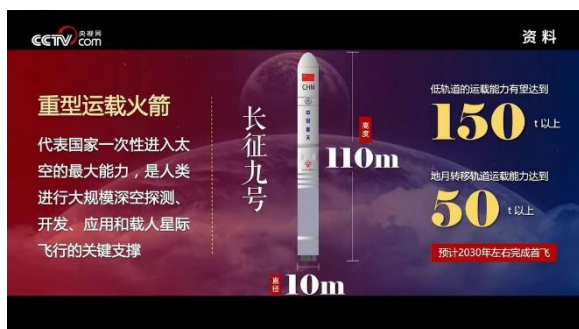


图 2.5 长征 9 号最新构型

火箭复用的能力，长征 9 号这一国之重器也将因为拥有可重复使用和多发动机的特性而提供强大的运载能力，为我国建设航天强国做出贡献。

### 3 可重复使用航天的未来

#### 3.1 设计上的全部可复用

早在上个世纪的太空竞赛年代，就有人设想火箭将会变得和飞机一样，飞机能够在着陆后稍作检修就再次起飞，并且没人会让飞机只飞一次就报废，航天先驱们认为火箭也应该发展出这样的能力，火箭发射应该航班化，到那时，火箭的发射成本将会降低到一个阈值之下，而人类将会迎来太空时代，太空的产业化就有可能发生。上个世纪的航天飞机是人类第一次尝试火箭可复用之路，但是最终因为其检修的高昂成本，以及 NASA 经费缺失所造成的一系列问题而失败了。如今火箭 VTVL 技术和航天产业化的成熟也许代表着人类第一次真正推开了太空时代的大门，但最终要完全推开这扇门走上康庄大道还缺少一些东西。目前大多数火箭设计都分为两级，而 Falcon 系列火箭只是回收了其第一

级，第二级却被丢弃，这被称做部分可回收，因此，SpaceX 设计了他们的下一款火箭，其名称为 Starship(见图 3.1.1)，它将拥有完全可回收能力。鉴于这是第一个拥有完全可回收能力的设计，我们接下来就分析这个设计，一窥可重复使用航天的未来。

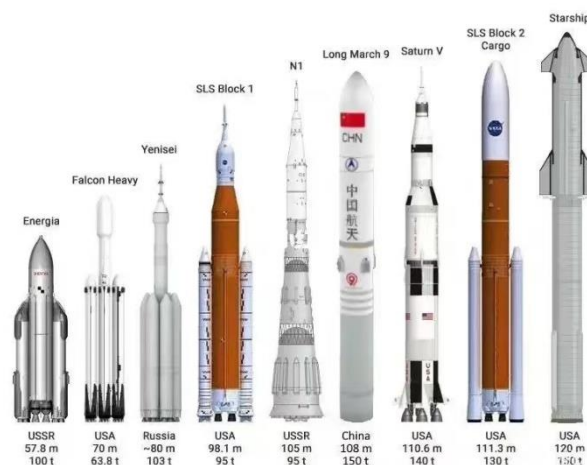


图 3.1.1 超重型发射系统(Starship 为最右)

乍一看它其实就是将 Falcon 9 的一级回收方案和航天飞机的回收方案结合在了一起，这样的方案回收复用了火箭上的每一个部分，也就是说，火箭的发射成本中将不再包含箭体制造成本本身，这是一个巨大的飞跃，至此火箭在设计上才同飞机一样。

#### 3.2 快速发射能力

SpaceX 公司为 Starship 设计了一个配套设施，以支撑 Starship 的快速发射，他们将其称为“第零级”(见图 3.2.1)其中最重要的部分是第零级中的发射塔和发射台，发射塔拥有一对机械臂，既可以把火箭抬到发射台上，也可以在火箭返回发射场时抓住火箭，然后放回发射台，我国则采用与之不同的绳系回收方案。发射塔和发射台被设计成可以在 1 小时内为其加满燃料并



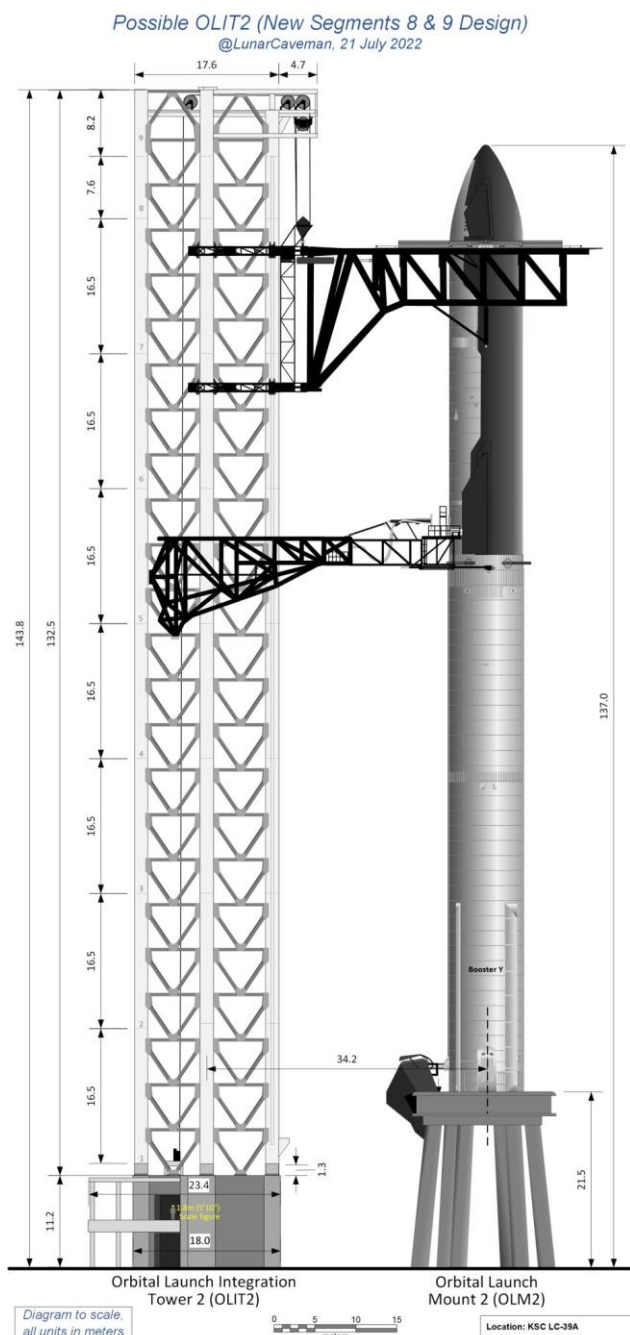


图 3.2.1 第零级和 Starship

再次发射，如果加上载荷整合的时间，理论上商用载荷的发射最快可以 3 小时进行一次，而如果只将燃料发射入轨，则可以 1.5 小时就发射一次，这样的发射频率是颠覆式的（尽管不太可能做到，业界预计其运转时长在 10 年内都是上面数据的 10 倍）。而且火箭本身的设计

上尽量避免了大规模复杂检修的可能，比如其隔热瓦基本都是同样的形状（而航天飞机的隔热瓦则每一块都不一样），发动机设计本身也是不需要检修的。至此，火箭在运转能力的设计上才和飞机一样。

### 3.3 大规模低成本生产

Starship 被设计为可以大规模低成本生产的，它使用的主要材料是不锈钢 300 系列，不同于通常的航天材料，不锈钢的成本一般只在 3 美元每千克，并且其易于加工，适合工厂大规模生产的情景，SpaceX 宣称将来可以一年生产数十发火箭，Starship 所使用的发动机名为猛禽发动机，它是一款液氧甲烷发动机，这意味着其燃料只是氧气和天然气，这是十分常见的物质，价格也相对低廉。发动机本身也被规模化生产，如今已经可以做到每天下线一台猛禽发动机。其实这样的规模生产并不是很困难的事情，如波音 747 一样大的飞机，仅仅 50 年内就生产了总共 1600 架。所以这样看来，在设计上，至此生产火箭的能力才同飞机一样。

## 未来

我们将拥有可重复使用运载器，实现“经济、机动、快速、可靠”进出太空，支撑低成本太空利用目标实现。我们还将推出航班化航天运输系统，像飞机一样实现航班化运营，革命性提升航天运输系统能力，满足未来大规模进出太空的任务需求。

图 4.1 火箭发射航班化

#### 4 建议与总结

可复用火箭是无数航天先驱的梦想，它也曾出现在我国航天之父钱学森的《星际航行概论》中，一旦火箭真正实现了航班化，相信将会是人类进入太空方式的一次巨大变革，我国也志在于此(见图 4.1)。但是就我国目前的火箭设计来说，却还未曾见到任何拥有全回收能力的设计，类似水平起飞垂直降落的设计则运载能力太小，其 10 吨左右的运载能力实在不能担负起打开太空时代大门的重任，长征 9 号的可回收设计也是不完全的。目前的火箭型谱不一定能够支撑如载人火星任务这样一次就有近千吨发射需求的任务<sup>[1]</sup>，因此我国应该站在目前可回收火箭研究的成果上，继续推进研制拥有全回收能力，可大规模

生产的重型运载火箭。拥有这样一款火箭将会使我国的航天产业快速发展，以我国的市场体量，这不失为一个较好的产业发展点，拥有大规模进入太空的能力也将为我国建设航天强国，提振民族信心，保卫我国高边疆提供强大的基础。从全世界的情况看来，人类正站在太空时代的大门前，一只手已经要把大门推开，在这样的历史时刻，我们中国决不能缺席，太空中应该要有中国人的声音。

#### 参考文献

- [1] 杨彬,唐生勇,李爽,等.核热推进载人火星探测方案设计[J].宇航学报,2018(11):1197-1208.