

News & Focus

## 第一级火箭回收

Lance A. Davis

Senior Advisor, US National Academy of Engineering

2016年4月8日, SpaceX的猎鹰9号火箭携带了有效载荷从美国佛罗里达州卡纳维拉尔角空军基地成功发射, 并且第一级火箭在位于大西洋的漂浮的遥控船上成功着陆[1]。这是轨道火箭第二次实现成功返回。第一次是在2015年12月21日, 当时猎鹰9号从卡纳维拉尔角发射, 第一级火箭返回发射台[2](图1)。过去, 第一级火箭通常设计为在重返大气层时烧毁。这些回收操作在制导、导航与控制方面取得了显著的成绩, 并且从外贮



图1. 即将降落在发射台上的第一级火箭, 支腿部署在底部, 栅格尾翼部署在顶部以控制重返大气层时提升的方向。

燃料箱的视角提供了一些壮观的远程视频[1–3]和着陆时的静态图片[4]。

与在陆地上着陆相比, 火箭在海上平台上着陆需要的燃料较少。如果所需的火箭轨迹范围太远或重载荷需要过多的可用燃料, 那么引导火箭返回到发射台似乎不太现实。遥控船可以部署在火箭自然落地目标距离区域内或附近。SpaceX希望未来三分之一的火箭可以在陆地平台着陆。在火箭是否可以立即返回到发射台以便重复使用方面仍需权衡。参考文献[1]中的视频提供了不同飞行路线方案的信息示意图。

SpaceX是一家私营公司, 成立于2002年, 致力于设计、制造并推出先进的火箭和航天器。主要的运载火箭是猎鹰9号火箭。该火箭由9台梅林发动机提供动力, 在海平面上其组合推力可以达到6806 kN( $1.53 \times 10^6$  lbf)[5]。具有最大推力的梅林1D火箭发动机的推重比为180.1, 几乎是土星5号第一级火箭F-1发动机(94.1)的两倍[6]。该发动机由液态氧和火箭级煤油提供动力。SpaceX声称, 猎鹰9号在9台发动机中的2台出现故障的情况下仍然可以完成它的使命。火箭可以运送13 150 kg(28 991 lb)的重物至低地球轨道(LEO)。此前, 为了证明火箭可以重新着陆, 猎鹰9号已经成功完成了多次飞行任务, 其中包括向国际空间站运送补给(包括第一级可回收的外贮燃料箱)和发射各种卫星(第一级回收已经作为任务的一部分为客户Orbcomm部署了11颗通信卫星)。在未来数年内, 该火箭将与命名为“飞龙”的增压乘员舱结合使用, 完成载人飞行任务。虽然SpaceX是一家致力于复杂技术领域(该领域的研究活动以前主要由各国政府主导)

的年轻公司，但是据报道该公司可以实现盈利，并具有正现金流[7]。

猎鹰9号航天器是SpaceX战略的一部分，旨在利用可重复使用的火箭以降低发射成本，从而建立和维持一个具有成本效益的商业发射业务。除此以外，为了实现重复使用，火箭的设计使得火箭在重返大气层时不会被烧毁，同时也提供了为火箭着陆时部署的可伸缩支腿。虽然着陆时需要额外的燃料成本，但与猎鹰9号铝锂合金箭体和油箱以及相关硬件的1600万美元的成本相比，燃料成本是额定的(完整的火箭需要200 000美元)。SpaceX发射猎鹰9号的目前报价约为6100万美元，但是格温·肖特韦尔总裁表示，由于火箭可以重复使用，发射成本将会降低30%。

猎鹰重型运载火箭目前处于开发阶段。其第一级火箭基于配置了两台额外发动机内核的猎鹰9号火箭，每个内核都含有与猎鹰9号相同的9台并联梅林发动机。猎鹰重型运载火箭预计将会在2016年进行第一次发射，有望成为国际火箭领域现有的最强劲的运载火箭，可以将53 000 kg的有效载荷运送至LEO，其运载能力是下一

代运载能力最强的德尔塔IV重型火箭的两倍，预计发射成本将达到9000万美元，约为德尔塔火箭成本的三分之一[8]。

## References

- [1] Grush L. SpaceX successfully lands its rocket on a floating drone ship for the first time [Internet]. New York: The Verge. 2016 Apr 8 [cited 2016 May 3]. Available from: <http://www.theverge.com/2016/4/8/11392138/spacex-landing-success-falcon-9-rocket-barge-at-sea>.
- [2] Malik T. The Falcon has landed! Epic views of SpaceX's amazing rocket landing [Internet]. New York: Space.com. 2015 Dec 22 [cited 2016 May 3]. Available from: <http://www.space.com/31444-spacex-falcon-rocket-landing-epic-photos.html>.
- [3] SpaceX.com [Internet]. Hawthorne: Space Exploration Technologies Corp.; c2016 [cited 2016 May 3]. Available from: <http://www.spacex.com/>.
- [4] Limer E. You can practically smell the rocket fuel in SpaceX's barge landing photos [Internet]. New York: Popular Mechanics. 2016 Apr 12 [cited 2016 May 3]. Available from: <http://www.popularmechanics.com/space/rockets/advice/g2571/space-x-barge-landing-photos/>.
- [5] Falcon 9 [Internet]. Hawthorne: Space Exploration Technologies Corp.; c2016 [cited 2016 May 3]. Available from: <http://www.spacex.com/falcon9>.
- [6] Rocket engine [Internet]. San Francisco: Wikimedia Foundation, Inc.; [cited 2016 May 3]. Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rocket\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Rocket_engine).
- [7] About SpaceX [Internet]. Hawthorne: Space Exploration Technologies Corp.; c2016 [cited 2016 May 3]. Available from: <http://www.spacex.com/about>.
- [8] Falcon Heavy [Internet]. Hawthorne: Space Exploration Technologies Corp.; c2016 [cited 2016 May 3]. Available from: <http://www.spacex.com/falcon-heavy>.