

单级入轨运载器干质量影响因素分析*

黄卫东 王克昌 陈启智

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

摘要 提出了单级入轨运载器干质量计算方法。对给定的飞行任务,提出了基准运载器,并计算了贮箱材料、热防护系统及设计余量对运载器干质量的影响。计算结果表明,先进的材料和设计能降低运载器的干质量,并使运载器干质量对设计余量的敏感性降低。

关键词 单级入轨,运载器干质量,设计余量

分类号 V 423

The Analysis of the Effects of the Dry Mass of Single-Stage-to-Orbit Vehicle

Huang Weidong Wang Kechang Chen Qizhi

(Department of Astronautics, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract A method to calculate the dry mass of single-stage vehicle is proposed in this paper. A baseline vehicle is presented for the given flight mission, and the effects of the tank material, the thermal protection system and the design margin on the vehicle dry mass are calculated. The calculation results show that the advanced material and design can decrease the vehicle dry mass and its sensitivity to the design margin.

Key Words single stage to orbit, vehicle dry mass, design margin

随着发动机水平和运载器结构设计水平的提高,运载器单级入轨的可行性不断增大。与一次性使用的运载火箭相比,完全可重复使用的单级入轨运载器能较大地降低发射费用。为满足未来发射任务的需要,美国 NASA 已对单级入轨运载器可行性和可实现性进行大量研究^[1]。

1 运载器干质量计算方法

运载器干质量计算框图如图 1 所示。其中初步气动分析模块用于确定单级入轨运载器的气动特性,弹道计算模块用于计算运载器上升段弹道,质量尺寸计算模块用于确定运

* 1996 年 7 月 1 日收稿

载器的干质量和外形尺寸。本文进行弹道计算时假设侧滑角和滚动角为零,只考虑3个自由度。运载器各分系统的质量计算一般采用经验公式或拟合公式,如机翼的质量采用公式 $m_{wing} = c_1 [(m_{land} b_{st} x_{lf} S_{wing}) / (T_r \cdot 10^9)]^{c_2}$ 计算,其中 m_{land} 为运载器着陆质量, b_{st} 为结构翼展, x_{lf} 为极限载荷因子, S_{wing} 为暴露翼面积, T_r 为最大翼根厚度, c_1, c_2 为常数。

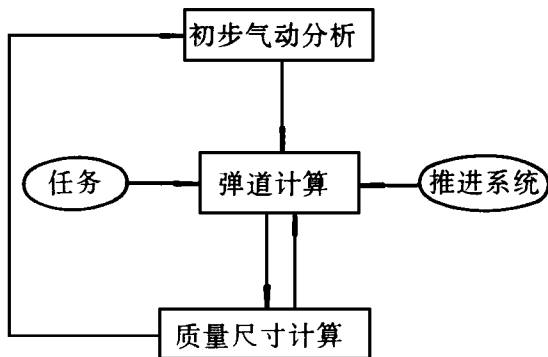


图1 单级入轨运载器干质量计算框图

计算时,首先给定飞行任务、运载器推进系统参数以及运载器起飞质量,由弹道计算得到运载器入轨后的质量。然后将运载器起飞质量和入轨质量作为质量尺寸计算模块的输入,质量尺寸计算模块根据这两个参数对基准运载器按比例缩放进行重构,并计算按比例缩放后运载器的干质量、入轨质量和起飞质量,如果由此算得的运载器入轨质量与由弹道计算得到的运载器入轨质量之差小于规定的容许差值,则停止计算。如果两者之差大于规定的容许差值,则用质量尺寸计算模块算得的运载器起飞质量取代原来的起飞质量,重新进行弹道计算,根据新的弹道计算结果再重构运载器。

2 任务与基准运载器

运载器飞行任务设定为从位于北纬 28.2 的发射场将 10t 的有效载荷送入轨道倾角为 28.5° 轨道高度为 200km 的圆轨道。基准运载器由机翼、机体、热防护系统、着陆装置、贮箱、主推进系统、轨道机动推进系统、姿态控制系统、电源系统、电子设备、环境控制系统等子系统组成。基准运载器长度为 45m,翼展为 28m,干质量为 72.8t,起飞质量为 750t。采用 5 台液氢液氧发动机推进,运载器起飞推力为 9760kN。

3 影响因素分析

就单级入轨运载器而言,运载器结构质量的增加将直接导致有效载荷的减少。与多级运载火箭相比,单级入轨运载器的有效载荷对运载器结构质量的变化更为敏感。单级入轨可行性和可实现性的因素之一就是在运载器起飞质量可实现以及保证完成飞行任务的情况下,运载器能否提供足够的结构质量设计余量,以防止具体设计时分系统超出设计质量。参考美国航天飞机轨道器的设计经验,运载器应能提供 25% 的设计余量。

为分析材料和设计余量对单级入轨运载器干质量和起飞质量的影响,在基准运载器的基础上,分别计算了在下面三种情况下运载器的干质量和起飞质量。

(1) 采用与基准运载器相同的结构和材料, 给定不同的设计余量。运载器干质量和起飞质量随设计余量的变化见图 2 和图 3 中的曲线 1。

(2) 将基准运载器的贮箱材料由铝改为铝锂合金, 其它材料及结构均不变。运载器干质量和起飞质量随设计余量的变化见图 2 和图 3 中的曲线 2。

(3) 在 2 的基础上再采用更先进的热防护系统, 假定更先进的热防护系统单位面积的质量比原来的热防护系统降低 10%。运载器干质量和起飞质量随设计余量的变化见图 2 和图 3 中的曲线 3。

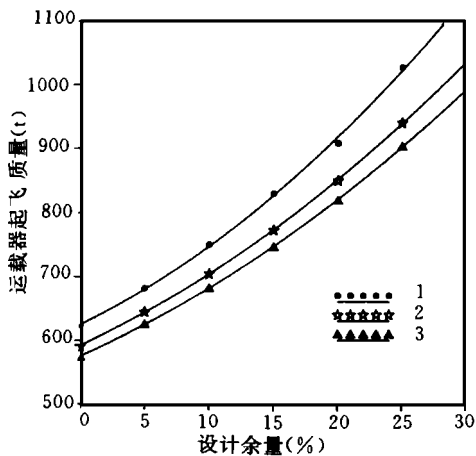


图2 运载器起飞质量图

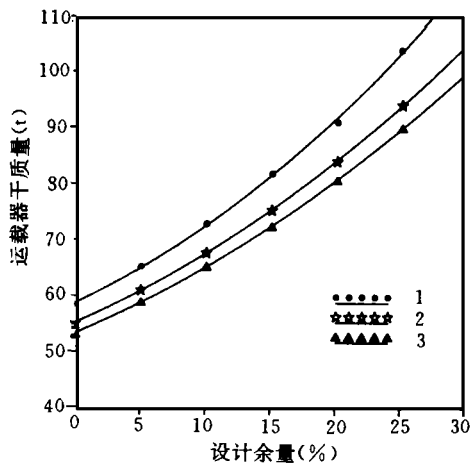


图3 运载器干质量变化图

从图 2 和图 3 可以看出, 同采用与基准运载器相同的材料和结构的运载器相比, 在相同的设计余量下, 采用铝锂合金贮箱可以降低运载器的干质量和起飞质量, 采用铝锂合金贮箱和更先进的热防护系统可进一步降低运载器的干质量。随着设计余量的增加, 采用与基准运载器相同的材料和结构的运载器的干质量和起飞质量增长较快, 但使用铝锂合金贮箱后, 增长速度减缓, 再采用更先进的热防护系统可使增长速度进一步减缓。由此可见, 采用多项先进技术可使运载器的干质量和起飞质量对设计余量的敏感性降低。

4 结论

采用先进的材料和技术, 可降低单级入轨运载器的干质量, 并且使运载器干质量对设计余量的敏感性降低。在运载器起飞质量一定的情况下, 同时采用多项先进技术可提供较大的运载器结构质量设计余量, 有利于运载器的设计和实现。

参考文献

1 Ivan B. Why SSTO Rocket Launch Vehicles Are Now Feasible and Practical. IAF-94-V.1.524

(责任编辑 石少平)