

低成本角度下航天运载器技术发展

沈洁

上海航天控制技术研究所

[摘要]基于分析低成本角度下航天运载器技术发展,通过传统航天运载器、空天飞行器以及空天飞行器所面临的技术问题这几个方面展开分析,以此来促进航天运载器技术的发展,并且可以实现航天运载发射成本的幅度降低,进而可以早日实现人类进入太空的自由。

[关键词]低成本; 航天运载器; 技术; 发展

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.09.204

引言

因为现阶段卫星应用的规模越来越大,所以对于航天发射费用降低方面的要求也变得越来越。星链计划是美太空探索技术公司在19年的时候提出来的,并且已经得到了美国联邦通信委员会的批准,在该计划当中建成的卫星数量高达的4.2万颗,并以此构成低轨互联网巨型星座。对于航天运载器而言,其体现了进入空间能力,并且这也是空间资源开发利用的前提条件。使得航天运载发射周期缩短、降低航天发射的费用是航天运载器未来发展的主要方向。因此,本文从低成本的角度来对航天运载器技术的发展展开有效的分析,并以此来实现航天运载发射成本的幅度降低。

一、传统航天运载器

(一) 一次性使用运载火箭

在航天发射的过程中,我国长期采用的都是多级运载火箭^[1]。该火箭在垂直发射的时候,可以快速的穿过五十千米的稠密大气层,接着倾斜到水平状态之后进入到轨道。对于该火箭的发动机而言,因为其比冲比较低(发动机用液氧或者是液氢的地面比冲为390s,而发动机用煤油或者是液氢的地面比冲为300s),为了可以将入轨飞行实现,运载火箭需求采取多级的形式,而在飞行的过程中,将已工作完成的一级火箭、二级火箭依次抛掉,使得后级加速质量减轻,这样才可以使得卫星不断加速,进而将火箭送入轨道。而火箭的各级残骸在脱离之后就会烧毁或者是在大气层坠毁,由此可以发现一次性使用运载火箭的费用还是很高的。对于一次性使用运载火箭而言,其成本构成主要由几下各部分组成:推进剂的成本约占总成本的0.7%,在总成本中箭体结构约占23.6%,级间分离、点火等火工品约占总成本的5.3%,在总成本中发动机的成本约占54.3%,执行机构以及阀门管路的成本约占总成本的8.1%,电气系统的成本约占总成本的8%。对于低地球轨道中,一次性使用运载火箭的发射费用每一吨大约在300万美元左右,但是这样的成本费用对于未来大规模的低成本空间开发要求还是很难满足的。

(二) 航天飞机

对于运载火箭而言,在其发射成本中,箭体结构和发动机占到了总成本的78%左右,所以2造成一次性使用运载火箭

发射成本过高的关键因素就是箭体结构和发动机的价值过高^[2]。所以,在二十世纪七十年代的时候,美国就开始了有关航天飞机方面的研究,尝试采取整机以及火箭发动机水平着落的方式来对其进行回收并重复使用,以此来使得发射的成本大幅度降低。对于航天飞机而言,预计其单次发射的费用大概在5400万美元左右,其运载能力在24吨,每一吨的费用子啊225万美元,从1981年开始使用起飞之后,在三十年的时间内总共飞行了135次。就航天飞机而言,主要由整体外挂内部隔开液氧或者是液氢燃料箱组、轨道飞行器还有两个固体燃料助推器构成,对于航天飞机中的外挂液氧或者是液氢燃料箱以及轨道飞行器而言,在飞行分离到大气层中的时候就会被烧毁,而其中的固体燃料助推器还有轨道飞行器就可以进行重复使用。航天飞机飞行的总高度大约在五十六米,其起飞的推力大约为280吨,其起飞的质量大约在2040吨,并且航天飞机的翼展大约为23.8米,而轨道飞行器约长37.2米。对于航天飞机而言,其起飞的方式和运载火箭一样,都是采取垂直起飞的方式,而区别就是在将空间任务完成之后,其轨道飞行器离轨之后会再次进入到大气层,运用空气来使其减速,下降没有动力,水平着陆,然后再检修之后还可以再次发射^[3]。所以,对于航天飞机而言,其不但可以将发射任务执行,同时还可以把空间载荷运回到地球。而对于航天飞机的轨道飞行器而言,再次进入到大气层的时候,会面临严酷的气动加热,并且机体的表面需要面临着2000℃的高温。但是就现阶段采取的重复使用结构热防护技术而言,还不够成熟,所以当其着陆之后还需要进行大量的维护、拆解还有检测工作,这也导致航天飞机发射的成本久居不下,因此在2011年之后,航天飞机便退役了。就航天飞机而言,这虽然没有实现发射费用大幅度降低的目标,但是也指出了相应的探索方向。

(三) 可重复使用运载火箭

对于航天飞机项目而言,导致项目失败的关键因素就是因为再入大气层重复使用热防护技术不成熟的问题,使得航天运载成本得到有效的降低的技术就是回收成本最高的火箭发动机,并对其进行重复利用^[4]。对于一级火箭而言,其成本和火箭质量占全部运载火箭的70%以上,美国太空探索技术

公司提出了垂直回收一级火箭的思路,以此来使得成本大幅度降低,这样还可以有效的防止再入大气层面对的严酷热环境。

二、空天飞行器

对于可重复使用运载火箭、一次性使用运载火箭还有航天飞机而言,之所以这些航天运载器技术不能使得成本大幅度进一步降低的关键因素就是因为火箭发动机的比冲比较低,所以在飞行的过程中只能采取多级运载的方式实现入轨,但是这种方式的运用就会使得箭体的数量和分离还有火箭发动机等增加,这样就很难大幅度降低成本。与此同时,对于传统运载器而言,因为其火箭发动机的动力形式需要携带大量的氧化剂,这也会使得成本增加。而对于空天飞行器而言,其构型采取的是升力式,而动力则采取吸气式组合动力,这样就可以在普通的机场实现水平起降,航天运输系统可以重复的使用在临近空间、稠密大气还有轨道空间中飞行^[5]。就空天飞行器而言,因为可以对大气层中的氧气进行充分的利用,并且还可以使得氧化剂的携带量大幅度的降低,进而可以使得发射的规模还有质量大幅度的降低。与此同时,对于空天飞行器而言,因为其采取了升力体构型,通过升力来对重力进行克服,这个时候只需要比较小的推力既可以将不断加速实现。对其进行运用就有希望可以实现完全的重复使用,并且还有助于使得发射的成本大幅度降低。

三、空天飞行器所面临的技术问题

(一) 燃烧以及宽域高超超声流动方面的问题

在飞行速度不断增加的情况下,相应的黏性系数也随之增加,进而使得附面层逐渐增厚。对于黏性效应而言,在高超声速飞行的过程中可以使其增强到能够支配整体的内流场,而以往运用的控制理论还有分析边界层的方式在这里一定不能使用了^[6]。在高超声速飞行的过程中,气流的总温度已经高达了5000℃,这时的热化学非平衡效应可以使得平动温度和空气振动温度的偏差达到50%,这时已经不能适用以往超燃冲压发动机的化学反应速率计算的模型。

(二) 真实气体效应中存在的问题

一旦飞行马赫数超过八的时候,那么就会产生高温气体效应,并且还会同时产生化学非平衡效应、气流离解电离还有表明催化等现象,这样就会造成热性能或者是气动力和理想气体模型的预测模型之间出现比较大的差异性,并且还会对其预测的精准性造成影响。与此同时,在大气稀薄的空间,以往常规的预测气动性能连续流的假设已经不能再适用,所以针对这些问题一定要有针对性展开相应的研究。

(三) 多种热力匹配以及循环模态转换中存在的问题

对于空天飞行而言,需要经历低、亚、跨、超以及高超声这几个飞行阶段,而对于冲压发动机而言,如果不能实

现零速起动,那么若是想要实现空天飞行器的全域飞行就需要和其他的发动机进行组合^[7]。但是在宽域工作组成的发动机,其性能在高度耦合的时候也会互相的干扰,这对于发动机全域的高性能要求是不能满足的,所以就需调节尾喷管和进气道的流道。然而,就空天飞行器而言,其飞行的马赫数越宽,那么发动机流道的调节范围也会变得越来越大,这就导致发动机组合设计的难度不断的增加。

(四) 超高温作用下结构以及材料的失效和防护问题

就超高速而言,其机体结构的温度可以高达3000℃以上,并且其飞行的时间比较长,存在突出的结构蠕变以及热机械疲劳方面的问题,甚至严重的时候还会对热结构的重复使用能力还有完整性造成影响。而对于现阶段的热防护材料以及结构而言,在这样的高温环境下就很容易会被氧化,而且还可能会发生烧蚀的问题^[8]。因而就需要对材料以及结构的超高温抗氧化机理、结构设计技术、高效热疏导技术等有针对性研究。

结束语

综上所述,为了可以使得航天发射的费用大幅度的降低,并且可以将进出空间的自由、廉价、方便以及快捷实现,那么就应当要从低成本的角度来对航天运载器技术展开分析,通过传统的火箭发展历程进行分析来发现空天飞行器重复使用水平起降来使得航天运载发射的成本有望大幅度的降低,以此来促进航天运载器技术的发展,进而可以早日实现人类进入太空的自由。

参考文献

- [1]朱坤,杨铁成,周宁.从低成本角度探讨航天运载器技术发展路线[J].飞航导弹,2021(6):7.
- [2]刘观日,吴迪,姚重阳,等.航天运载器结构先进材料及工艺技术应用与发展展望[J].宇航材料工艺.
- [3]陈伟,王志有,李晓斐.航天运载器外测系统精度鉴定技术发展及展望[J].导弹与航天运载技术,2016(6):6.
- [4]才满瑞,王向阳,刘兴武,等.国外航天运载器的发展状况,发展趋势及采用的关键技术[J].导弹与航天运载技术,1998(3):10.
- [5]曾昭焯.航空航天发动机及运载器的技术现状及发展概况[J].导弹与航天运载技术,1991,000(011):27-35.
- [6]王培垣.大型运载器姿态控制系统的发展与展望[C]//全国空间及运动体控制技术学术交流会.0.
- [7]符锡理.战略导弹与航天运载器液体推进剂加注技术发展展望[J].导弹与航天运载技术,1993(4):6.
- [8]姜昌.运载器和航天器测控技术发展异同及其未来面临的挑战[J].导弹与航天运载技术,2001(3):6.