

临近空间平台动力系统技术和环境影响分析

张珉

(中国航天科工集团三十一研究所, 北京 100074)

摘要:从临近空间平台所采用的动力系统出发,探讨了低速和高速两类临近空间飞行器动力系统的技术特点。以平流层飞艇为代表的低速临近空间平台动力系统主要采用太阳能、电动机和螺旋桨的推进方式,高速临近空间平台动力系统目前主要有超燃冲压动力型和组合循环动力型。分析了临近空间稀薄大气、太阳紫外辐射和臭氧以及温度等环境对平台动力系统产生的可能影响,并提出了相应的解决措施。

关键词: 临近空间; 动力系统; 环境

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.05.027

中图分类号: V11 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)05-0123-03

Power System Technology of Near-space Platforms and Environmental Effects

ZHANG Min

(The 31st Research Institute of CASIC, Beijing 100074, China)

Abstract: Characters of two kinds of power and propulsion system technology, including low-speed and high-speed near-space platforms, were discussed. Low-speed near-space platforms, such as stratospheric airship uses solar energy as power, electric motors and propellers as propulsion. The power and propulsion systems of high-speed near-space platforms mainly include supersonic combustion ramjets types and combined cycle types. The possible effects of thin atmosphere, UV radiation, ozone, and temperature on the power and propulsion systems were analyzed and the corresponding solutions were put forward.

Key words: near-space; power system; environment

自20世纪80年代以来,临近空间的开发和应用日益受到关注。临近空间泛指传统航空飞机等飞行高度以上而又比卫星等航天器飞行高度低的区域,临近空间飞行器具备连续探测时间长、安全性高、探测覆盖范围大等优势,军事应用前景广阔,对空天一体化作战起着重要作用^[1]。

作为临近空间平台的核心技术之一,动力系统必须满足持续飞行能力强、飞行高度范围广、飞行速度

范围宽、整备质量较轻等要求。以飞行速度马赫数3为基准,临近空间飞行器可分为低速和高速2类。

另一方面,临近空间环境特点具有较大的特殊性,临近空间飞行器设计时必须充分考虑其环境特点^[2-3]。一是临近空间高度范围为20~100 km,此区域内温度变化范围大,温度并非单纯升高或者降低;二是在临近空间内,随着高度增加,大气密度逐渐变小;三是临近空间部分区域内又有起各自较

收稿日期: 2013-03-18

作者简介: 张珉(1978—),女,河南洛宁人,工程师,主要从事临近空间飞行器的研究工作。

为突出的特点,如臭氧浓度在平流层区域内含量高等。另外,临近空间中子环境辐射能力强,对电子设备会产生影响^[4]。上述临近空间环境特点对其平台动力系统将提出更为严格复杂的要求。

1 低速临近空间平台动力系统

作为低速临近空间平台代表的平流层飞艇^[5-7],其原理是通过装配的动力装置和产生的浮力进行升空并能够实现自主飞行,依靠其动力系统抵消临近空间的风力,可以进行长期的飞行并能够进行定点控制。目前,在国内外平流层飞艇动力系统设计,一般考虑太阳能、电动机和螺旋桨的组合。

1.1 太阳能

平流层飞艇采用太阳能薄膜电池作为一次电池,电化学储能电池作为二次电池来为系统提供能源。其中,白天通过太阳能薄膜电池直接把太阳能转化成电能,为飞艇提供能源的同时在储能电池中存储;夜晚则使用储能电池保障飞艇的正常运行。

发展新型超轻柔性薄膜太阳电池和多结薄膜太阳电池是未来研究的重点,以高效锂电池或可再生燃料电池为代表的储能电池受到广大研制人员青睐。

1.2 电动机

与太阳能为平流层飞艇提供能源相匹配,电动机被用作平流层飞艇的推进装置。电动机可以采用具有高功率密度的永磁无刷直流电动机,调速范围广,转速范围大,且启动时具有较大的转矩,是高空稀薄大气工作环境下的较好选择。

1.3 螺旋桨

在高空稀薄大气环境下,低空飞艇常常采用的涵道将不再能够发挥作用,平流层飞艇只有通过推进器效率的提升才能克服风的阻力。高空螺旋桨在当前平流层飞艇设计中常常使用,研究重点主要解决临近空间雷诺数较低、高亚声速流动带来的技术问题。

2 高速临近空间平台动力系统

根据采用动力的种类不同,高速临近空间飞行

器有超燃冲压动力型和组合循环动力型等类型。

2.1 超燃冲压动力型

超燃冲压发动机(Scramjet)是一种在超声速气流中燃烧的冲压发动机,其中固体燃料超燃冲压发动机具有速度高、结构简单、高超声速飞行性能好等优点,特别适用于高速临近空间平台作为动力系统。从20世纪90年代起,国外研究固体燃料超燃冲压发动机日益增多,在燃烧效率方面、燃烧室结构设计、燃烧火焰稳定方面都取得了显著成就。

在超燃冲压的固体燃料选择方面,要求燃料在超声速气流中易燃、易气化,具有小颗粒、高能量和高效率等特点,国外目前采用成分简单的固体燃料如锂化氢、聚乙烯和黑聚甲基丙烯酸甲酯等。其中,锂化氢是一种良好的固体燃料,具备密度小、分子量小、气化热较高等特性,常常被用作超燃冲压发动机的燃料。

与火箭发动机比较来看,超燃冲压发动机具有安全性高、灵活性好,且发动机结构小而轻,便于搭载更多的有效载荷完成任务。

2.2 组合循环动力型

组合循环发动机根据组合的类型不同,大体上有超燃冲压发动机与火箭发动机组合的RBCC(Rocket-Based Combined Cycle)发动机和超燃冲压发动机与涡轮发动机组合的TBCC(Turbine-Based Combined Cycle)发动机。RBCC发动机可以多种模态工作,能够提供较高比冲和推重比,是一种较为通用的推进系统。TBCC发动机实现变循环工作过程,使飞行器在不同的飞行条件下都能得到良好的推进性能。

空气涡轮火箭发动机^[8](Air Turbo Rocket, ATR)是一种由涡轮发动机、冲压发动机和火箭发动机组合的新型吸气式发动机,集3种发动机最佳工作状态于1个发动机循环中,在不同飞行条件下都可以获得最优的推进性能。ATR具有速度、高度适应范围广等特点且技术难度适中,可用作高速临近空间飞行平台的动力系统。

组合循环动力技术是发展高超声速技术的关键,也是高超声速飞行器推进系统发展的关键。

3 临近空间平台环境影响分析

从目前临近空间平台动力技术特点来看,临近空间具有的稀薄大气环境、太阳紫外辐射和臭氧、温度变化复杂等环境特征大大增加了临近空间飞行器动力系统的研制难度。

3.1 稀薄大气

随着高度增加,临近空间大气压力呈指数级降低,如图1所示。

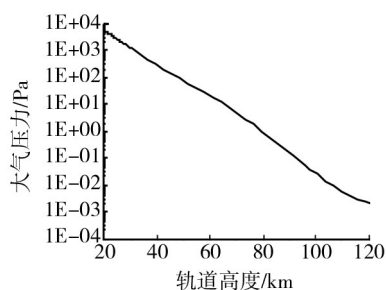


图1 临近空间大气压力随轨道高度变化曲线

Fig.1 The relation curve between atmospheric pressure and orbit altitude in near space

以稀薄空气为工质、实现稀薄空气的高压比增压是临近空间吸气式动力系统面临的核心问题,有关研究正逐步开展。如复合朗肯循环吸气式推进技术的研究,就是利用低温制冷把稀薄空气液化后进行增压,高压的空气直接或加热后喷出产生推力^[9]。

3.2 太阳紫外辐射和臭氧

太阳紫外辐射在临近空间具有极强的作用,在某些区域内辐射强度基本达到太空环境中的量级。紫外光子能量相对较高,可以破坏化合物的化学键,从而导致材料性能退化。平流层飞艇动力系统受到紫外辐照的部位主要是太阳能薄膜电池,紫外辐射可以导致太阳能电池转换效率降低。

临近空间平流层还存在浓度极高的臭氧环境。臭氧具有较高的氧化性,与太阳能电池上使用的聚合物材料产生严重的氧化腐蚀,导致平流层飞艇动力系统出现受损而影响正常飞行。

另外,紫外辐射与臭氧的共同作用可以加剧材料性能的退化,从而对粘合剂和橡胶等高分子材料

的密封性能产生影响,需要特别考虑。

3.3 温度

临近空间具有变化复杂的温度环境,如图2所示。

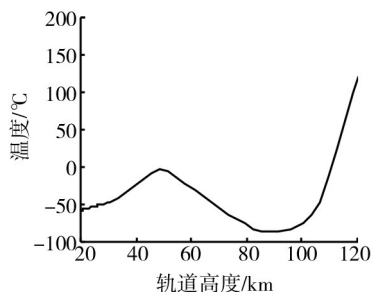


图2 临近空间温度随轨道高度变化曲线

Fig.2 The relation curve between temperature and orbit altitude in near space

研究表明,从10 km到45 km左右的平流层温度随高度增加而上升,从45 km到95 km的中间层温度则随高度增加而下降,在从95 km以上的热层则又随高度增加而快速上升。如此复杂的温度变化对临近空间飞行器设计带来严峻的考验,要求动力系统采用材料能够克服低温条件下的发脆,同时,也需要满足温度交变带来的性能影响。

4 结论

以平流层飞艇为代表的低速临近空间平台动力系统主要采用太阳能——电动机——螺旋桨的推进方式,高速临近空间平台动力系统目前主要有超燃冲压发动机和组合循环动力型。临近空间环境具有的稀薄大气环境、太阳紫外辐射、温度变化复杂等环境特征对临近空间平台动力系统提出了苛刻的要求,在设计和研制中必须重视此类环境特征对系统的影响,开展大量的地面验证试验,逐步建立临近空间平台动力系统环境适应性评价体系。

参考文献:

- [1] 康士峰. 临近空间大气环境特性监测与研究[J]. 装备环境工程, 2008, 5(1): 20—23.
- [2] 童靖宇, 向树红. 临近空间环境及环境试验[J]. 装备环境工程, 2012, 9(3): 1—4.
- [3] YOUNG M, KEITH S, PANCOTTI A. An Overview of Ad

(下转第133页)

$$R(t, T_0) = \exp\left(-\frac{t}{\eta_y}\right) \quad (5)$$

同样,也可以给出置信度为 $1-\alpha$ 的电子部件在常温 T_0 条件下可靠度的置信下限。

$$R_L(t, T_0) = \exp\left(-\frac{t}{\eta_{yL}}\right) \quad (6)$$

3.4 失效机理一致性分析

电子部件SSADT失效机理的一致性可以从2个方面进行考虑。

1) 各个应力水平下性能退化轨迹模型的一致性。

2) 在保证性能退化轨迹模型一致性的基础上,判断激活能 E_a 是否发生改变。

上述第1个条件是要求所有试验样品在不同应力水平下,同一退化敏感参数的退化轨迹模型只能是1种。假如在高应力水平下退化轨迹模型是幂律退化模型,而低应力水平下退化轨迹模型是线性退化模型,说明高应力水平下失效机理发生了改变,此时,应剔除高应力水平的试验数据,再按照3.2的步骤进行可靠性评估。

至于高应力水平下试验样品的激活能 E_a 是否发生改变,需要进行相关分析。以样品 p_i 和线性退化模型为例,要使失效机理保持一致,在直角坐标系上画出 $(-1/T_1, \ln \beta_1), (-1/T_2, \ln \beta_2), (-1/T_3, \ln \beta_3)$ 这3个点的散点图,这3个点应该大致在一条直线上。其中 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 为退化速度。

4 结语

主要探讨了基于累积退化量的电子部件SSADT

可靠性评估方法,该方法为新型弹药中电子部件“零失效”情况下开展储存可靠性评估提供了一个新的思路。另外,要进一步在弹药领域开展加速退化试验,还应在试验应力水平、试验总时间和样本量等试验方案进行优化。

参考文献:

- [1] 邓爱民,陈循,张春华,等. 加速退化试验技术综述[J]. 兵工学报,2007(8):1002—1007.
- [2] 王召斌,任万滨,翟国富. 加速退化试验与加速寿命试验技术综述[J]. 低压电器,2010(9):1—6.
- [3] 贾占强,蔡金燕,梁玉英,等. 步进加速退化试验及其在电子产品可靠性评估中的应用[J]. 军械工程学院学报,2009,21(5):14—19.
- [4] 郑德强,张正平,李海波,等. 加速退化试验技术研究、应用与发展[J]. 装备环境工程,2011,8(2):100—104.
- [5] 麻连净,李晓钢,姚金勇. 基于Wiener过程的DRO加速退化试验方法研究[J]. 装备环境工程,2010,7(3):18—21.
- [6] GJB 5103—2004,弹药元件加速寿命试验方法[S].
- [7] MEEKER W Q, ESCOBAR L A, LU J C. Accelerated Degradation Tests: Modeling and Analysis[J]. Technometrics, 1998,40(2):89—99.
- [8] 邓爱民. 高可靠长寿命产品可靠性技术研究[D]. 长沙:国防科技大学研究生院,2006.
- [9] ZHAO Wen-biao, ELSAYED E A. An Accelerated Life Testing Model Involving Performance Degradation[C]//Norman Butler Annual Reliability and Maintainability Symposium. Los Angeles: IEEE, 2004:324—329.
- [10] LOBBIA M A, GONG R H. A Modular Sizing Model for High-altitude/Long-endurance Airships[R]. AIAA 2006-821, 2006.
- [11] 聂莹,王生. 2007年中国浮空气大会论文集[C]. 北京:航空工业出版社,2007.
- [12] 南向谊,王拴虎,李平. 空气涡轮火箭发动机研究的进展及展望[J]. 火箭推进,2008,34(6):31—35.
- [13] 于达仁,吕晓武,姚战立,等. 2008年全国博士生学术论坛(航空宇航科学与技术)论文集[C]. 南京,2008.
- [14] 蔡明辉,张振龙,封国强,等. 临近空间中子环境及其对电子设备的影响研究[J]. 装备环境工程,2007,4(5):23—29.
- [15] COLOZZA A. Initial Feasibility Assessment of a High Altitude Long Endurance Airship[R]. NASA CR-2003-212724, 2003.
- [16] vanced Concepts for Near-Space Systems[R]. AIAA-2009-4805, 2009.

(上接第125页)