

航天器在轨寿命预测与可靠性评价

何世禹

(哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001)

摘要: 文章重点分析了航天器在轨寿命和可靠性的影响因素, 提出了航天器在轨寿命预测和可靠性评价的基本研究思路并分析了研究的内容, 提出了航天器基础在轨寿命的概念。

关键词: 航天器; 基础在轨寿命; 可靠性

中图分类号: V57

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2008)03-0209-03

1 前言

人类的一切航天活动都要通过运载工具和各种航天器才能实现。航天器的寿命与可靠性是航天核心技术之一, 也是航天技术水平的综合体现。因此, 凡是从事航天活动的国家都把航天器的寿命与可靠性作为航天技术发展的重要研究领域, 并为此投入大量的人力、物力和财力。

我国对航天器的寿命和可靠性进行了多年的研究, 取得重要的研究成果。但由于这个问题的研究是属于若干个系统的集成, 目前我国尚没有一个全面的研究集成的成果, 各系统处于一种分散状态, 没有形成解决这个问题的理论、研究及应用体系, 因此尚不能满足航天发展的需要。另外, 从工程上看, 在我国发射的部分航天器还时常出现一些问题, 从这个意义上说, 有关航天器寿命和可靠性问题尚需进行深入研究。

综上所述, 在我国开展航天器寿命预测和可靠性评价研究是非常必要的, 也是完全正确的。

2 航天器基础在轨寿命的预测

2.1 空间环境^[1]

空间环境是指航天器的发射环境、在轨服役环境、返回环境、深空环境和空间对抗环境。

发射环境是指航天器与大气层的作用, 产生高温、高压、高冲刷; 克服地球引力到微重力状态; 克服地球磁场的作用。

在轨服役环境包括: 空间带电粒子, 主要是指

银河宇宙射线、太阳宇宙射线、地球辐射带、太阳风等环境中的不同能量的质子、电子、中子、重离子等; 太阳电磁辐射, 即不同波长的太阳光谱, 其中包括波长为5~200 nm的真空紫外、200~400 nm的近紫外、400~800 nm的可见光, >800 nm的红外等, 其基本粒子主要是光子; 真空; 低温; 热循环; 空间粉尘; 空间碎片; 原子氧; 地球磁场; 电离层; 微重力。

返回环境是指再入大气层高温、高冲刷、地球引力、磁场环境。

深空探测环境是指探测月球、火星、太阳、土星等经历的环境。

空间对抗环境包括核爆炸、激光、电子束等, 它会导致卫星出现各种效应, 使航天器的寿命和可靠性受到严重的影响。

2.2 空间环境效应^[2]

(1) 基本带电粒子(电子、质子、中子、重离子)与材料基本粒子的作用, 会导致材料微观结构变化而出现各种效应, 如电离效应、位移效应、二次核反应、化学键的断裂等。

(2) 太阳电磁辐照下非金属材料损伤效应, 主要是光子对材料的破坏作用。

(3) 真空条件下材料的析气, 低熔点元素的蒸发、热交换规律的变化导致材料行为的变化。

(4) 热循环条件下材料的尺寸稳定性、组织结构的变化、热应力-应变累积规律。

收稿日期: 2008-02-26; 修回日期: 2008-04-29

作者简介: 何世禹(1937-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为空间材料。联系电话: (0451) 86414055; E-mail: syhe@21cn.com.

(5) 低温条件下材料的蠕变、电子状态的变化,如超导等。

(6) 空间原子氧作用下材料的剥蚀规律、氧化过程及材料损伤机制。

(7) 空间粉尘对材料的塑性变形、断裂、熔化、蒸发及电离效应等。

(8) 空间碎片对材料撞击损伤效应、断裂效应。

2.3 航天器基础在轨寿命预测的思路

2.3.1 基本概念

航天器的寿命通常是指它的设计寿命和在轨工作寿命,后者简称为在轨寿命。航天实践表明,影响航天器在轨寿命的因素主要有两个方面:

(1) 航天器在轨服役期间,在空间环境作用下其性能将退化,当它的性能退化到低于设计指标时,会导致航天器的功能失效,航天器终止工作。这个退化时间称为航天器的基础在轨寿命。

(2) 航天器可靠性的影响。可靠性是产品在预定的条件下,在规定时间内或使用寿命期间成功完成预定功能的能力。航天器选用材料不合理或有缺陷、加工工艺不正确或有加工缺陷以及在空间环境作用下出现缺陷,都会导致卫星在轨运行中发生重大致命故障。通常用出现重大致命性故障的概率来表征可靠性。

因此,航天器的在轨寿命是基础在轨寿命和可靠性影响后的最终寿命。

2.3.2 研究目标

(1) 针对航天器在轨服役所遭遇的复杂而苛刻的空间综合环境效应,开展损伤微细观过程、数学表征及在轨预测一体化研究,建立空间综合环境下航天器损伤效应的宏观与微细观理论及寿命预测理论模型,形成我国航天器在轨基础寿命预测理论体系。

(2) 在系统基础理论研究的指导下,创立航天器轨道环境效应等效模拟、加速试验、计算机仿真、搭载试验验证及航天器在轨环境模式与寿命预测建模等方法,形成有效的航天器在轨基础寿命预测研究方法体系。

(3) 针对大多数航天器运行的地球同步轨道、中高度圆轨道与太阳同步轨道,在集成有关在轨基

础寿命预测理论与方法研究成果的基础上,建立航天器在轨寿命预测软件和数据库,形成我国航天器基础在轨寿命预测应用方法体系。

2.3.3 研究内容

(1) 建立航天器基础在轨寿命预测的研究方法体系

a. 空间环境量化表征

- 空间环境计算模型:主要包括银河宇宙射线,太阳宇宙射线,地球辐射带,原子氧,太阳电磁辐照,空间粉尘等环境;

- 轨道粒子辐射环境微分和积分能谱计算模型;

- 卫星吸收剂量计算模型。

b. 空间环境的剪裁

c. 空间环境地面模拟技术

- 空间环境等效模拟技术;

- 空间环境加速试验技术;

- 卫星性能原位测试技术与损伤的动态分析技术;

- 空间环境地面模拟设备。

d. 复杂空间环境效应计算机仿真技术

e. 卫星寿命预测模型验证技术

- 卫星在轨运行遥测数据;

- 搭载试验。

(2) 建立航天器基础在轨寿命预测理论体系

a. 航天器在空间环境作用下的性能退化理论;

b. 航天器在空间环境作用下的微观损伤理论;

c. 空间辐射环境和吸收剂量计算模型;

d. 空间环境地面等效模拟和加速试验原理;

e. 航天器在轨寿命预测验证方法原理。

(3) 建立航天器基础在轨寿命预测应用方法体系

建立空间环境计算软件系统,主要包括:

a. 卫星三维结构与在轨飞行仿真软件;

b. 地磁场模型与计算软件;

c. 地球辐射带质子模型与计算软件;

d. 地球辐射带电子模型与计算软件;

e. 太阳宇宙线模型与计算软件;

- f. 银河宇宙线模型与计算软件;
- g. 空间原子氧环境参数计算软件;
- h. 卫星表面太阳紫外辐射参数计算软件;
- i. 吸收剂量计算模型与软件;
- j. 位移辐射损伤计算模型与软件;
- k. 卫星三维结构单元表面辐射吸收剂量计算软件;
- l. 单粒子效应计算软件;
- m. 计算带电粒子辐射效应的 Monte-Carlo 软件;
- n. 太阳能电池辐照损伤等效注量计算软件;
- o. 太阳能电池在轨性能退化预测软件;
- p. 热控涂层在轨性能退化预测软件;
- q. 卫星分子污染效应计算软件;
- r. 卫星轨控发动机羽流效应计算软件。
- s. 卫星充放电效应计算软件;
- t. 光学器件性能退化预测软件;
- u. 卫星活动件在轨性能退化预测软件;
- v. 铷频标器铷量消耗计算程序。

3 航天器在轨可靠性评价

3.1 影响航天器可靠性的因素

- (1) 航天器所用材料的质量和选材合理性。
- (2) 航天器各部组件的加工质量和工艺的正确性。
- (3) 航天器发射和在轨运行期间的环境影响, 其中主要是在轨环境。

(4) 其他因素。

3.2 航天器在轨可靠性的基本研究思路

研究的对象应以构成航天器的零件或元器件为主, 具体包括: 结构件、电子元器件、活动件、关键暴露器件以及其他器件。

3.3 航天器在轨可靠性的研究内容

航天器在轨可靠性的研究工作主要包括:

- (1) 各种已知缺陷对可靠性影响计算模型;
- (2) 空间环境作用下服役期各种缺陷预测模型;
- (3) 航天器可靠性计算模型与模型的验证试验;
- (4) 航天器可靠性评价技术体系。

4 结束语

航天器在轨寿命预测与可靠性评价是一个复杂的系统工程项, 应当组织航天器设计、制造、发射、空间环境评价等各专业, 根据所研究问题的专业性进行分工, 集中人力物力, 在统一指挥下完成一个代表国家水平的全面、系统的研究, 形成国家的评价方法与技术规范并建立相应的标准。

参考文献 (References)

- [1] 徐福祥. 卫星工程[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2007
- [2] Панасюка М И, Новикова Л С. Модель космоса (I - II)[M]. 2007

重 要 更 正

由于我们工作中的疏忽, 本刊 2008 年第 2 期的扉页介绍“空间环境试验与观测技术发展论坛召开”中的李锋总工程师致词的照片应为马恒儒巡视员兼副司长, 在此特向马恒儒巡视员兼副司长和李锋总工程师致以歉意, 并向广大关心我刊物的领导、读者们致以歉意。

《航天器环境工程》编辑部