

# 国外空间环境试验与探测技术现状与发展趋势

焦维新

(北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871)

**摘要:** 文章分析了与航天器飞行有关的 4 类空间环境的特点; 介绍了国外空间环境试验技术的现状与发展概况。文章还重点分析了未来空间环境探测的发展趋势: 加强了对空间环境动态变化的探测; 将星座探测摆在重要地位; 以地球轨道卫星为发展的主流; 利用卫星加大对空间环境探测的力度; 加强国际合作。国外空间环境探测的经验表明, 我国应重视发展地球轨道探测卫星, 尽快提高卫星有效载荷的水平。

**关键词:** 空间环境试验; 空间环境探测

中图分类号: V57

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2008)03-0212-03

## 1 空间环境的类型与特点

### 1.1 空间环境的类型

与航天器运行有关的空间环境可分为中性环境、等离子体环境、辐射环境和宏观颗粒环境 4 种类型<sup>[1]</sup>。中性环境包括航天器周围的气体和从航天器表面材料释放出来的气体。因航天器的轨道不同, 它们所经历的等离子体环境有很大差别。低地球轨道所处的环境为冷的、稠密的电离层等离子体, 而地球同步轨道所处的环境是稀薄的、受亚暴直接影响的等离子体。电磁辐射环境包括太阳的电磁辐射和来自太阳、银河系以及辐射带的带电粒子。宏观颗粒环境包括微流星体和空间碎片。

### 1.2 空间环境的特点

空间环境具有以下特点<sup>[1,2]</sup>: (1) 受太阳辐射变化的直接影响; (2) 受太阳风与行星际磁场的影响; (3) 受地磁活动的直接影响; (4) 变化的时间尺度范围宽, 从几分钟到 11 年; (5) 与航天器发生相互作用; (6) 会使航天器以及通信系统产生各种效应; (7) 受来自低层大气一些物理过程的影响, 如声重波与雷电; (8) 受人类活动的影响, 如空间碎片的数量。

## 2 国外的空间环境试验研究

### 2.1 现状

空间环境试验可分为 4 种类型: 发射环境模拟

试验, 真空热试验, 特殊空间环境试验, 载人航天试验和行星科学试验。本文重点分析真空热试验和特殊空间环境试验。

真空热试验目前技术成熟, 试验设备规格齐全, 试验项目由单参数模拟发展到多参数模拟, 从静态模拟发展到动态模拟。美国 NASA Glenn 研究中心建成了世界最大的空间环境模拟设备, 其直径 30 m、高 36 m, 能进行真空热沉试验、振动试验、电磁干扰试验, 可对未来重返月球的飞船“猎户座”进行整机试验。

现在, 各航天大国早已不满足于只是将航天器安全送入太空并能使其正常运行, 而是要求航天器具有高可靠性和长寿命, 因此陆续开展了空间特殊环境试验。这类试验主要包括航天器带电(包括表面带电和内部带电)试验、光学材料污染试验、粒子辐射环境试验、空间等离子体环境试验、磁环境试验、原子氧侵蚀试验、空间碎片撞击试验、电推进试验、零重力环境试验和空间新材料试验等。美国 NASA 马歇尔空间飞行中心的特殊空间环境试验设施包括 X 射线标定设备、轨道原子氧模拟设备、综合环境效应测试设备(CEETC3)以及环境控制与生命保障系统。法国在空间环境试验研究方面建有电离层环境模拟器、电介质充放电试验设备、研究表面和内部带电的辐射设备、单粒子事件效应模拟设备、空间辐射模拟设备和研究电推进系统侵蚀效应的设备。

收稿日期: 2008-02-26; 修回日期: 2008-04-11

作者简介: 焦维新(1946-), 男, 教授, 主要研究方向为空间天气学与空间探测技术。出版的著作有《空间探测》、《空间天气学》与《太空探索》。联系方式: (010) 62767193; E-mail: Jiao@pku.edu.cn

## 2.2 发展趋势

国外未来的空间环境试验研究具有以下特征:

(1) 建立整机多参数综合动态环境模拟设备, 进行多参数综合动态环境模拟试验及人机系统综合环境模拟试验;

(2) 重视发展特殊环境模拟试验;

(3) 注重空间环境作用下材料特性研究;

(4) 为建立月球基地和载人探测火星做准备, 加强空间生命科学试验的研究;

(5) 行星环境模拟试验的范围和规模将不断扩大。

## 3 空间环境探测的现状与发展趋势

### 3.1 现状

#### 3.1.1 电离层与热层探测

目前专门用于电离层与热层探测的卫星有美国 2001 年 12 月 7 日发射的 TIMED (Thermosphere

Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics) 卫星<sup>[3]</sup>, 还有我国台湾于 2005 年 12 月发射的 COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate) 星座卫星, COSMIC 采用 GPS 掩星方法探测电离层<sup>[4]</sup>。

#### 3.1.2 磁层探测

目前正在运行的磁层探测卫星有 GEOTAIL 卫星 (1992 年 7 月 24 日发射)、POLAR 卫星 (1996 年 2 月 24 日发射)、FAST 卫星 (1996 年 8 月 21 日发射)、Cluster 星座 (2000 年 7 月 16 日发射)、THEMIS (History of Events and Macroscale Interactions during Substorms) 卫星 (2007 年 1 月 26 日发射)。

#### 3.1.3 太阳与太阳风观测

在轨运行的太阳与太阳风观测卫星较多, 这些卫星的主要特征列于表 1。

表 1 在轨运行的太阳与太阳风观测卫星

Table 1 The satellites for observing Sun and solar wind in orbit

卫星名称	发射时间	主要特征
WIND	1994-11-01	测量太阳风的等离子体和磁场
SOHO(Solar & Heliospheric Observatory)	1995-12-02	研究太阳的内部结构、日冕和太阳风
ACE(Advanced Composition Explorer)	1997-08-25	位于 L1 点, 测量太阳风的成分和太阳高能粒子
TRACE(Transition Region and Coronal Explorer)	1998-04	研究太阳过渡区特性
RHESSI (High Energy Solar Spectroscopic Imager)	2002-02-05	通过观测硬 X 射线和伽玛射线研究太阳耀斑
SMEI (Solar Mass Ejection Imager)	2003-01	对日冕物质抛射成像
Hinode (日升) (Solar-B)	2006-09-22	用于观测太阳适量磁场的小尺度结构
STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory)	2006-10-25	可观测 CME(Coronal Mass Ejection)的立体结构

#### 3.1.4 当前空间环境探测的特点

(1) 除 COSMIC、THEMIS、Solar-B 和 STEREO 外, 其他卫星在轨运行时间都较长, 接近轨道寿命。

(2) 应用卫星在空间环境监测中发挥越来越大的作用, 如 GOES 和 NOAA 系列气象卫星。

(3) 原有的探测计划 (如 ISTP) 已经结束, 新的计划 (如 STP) 还刚刚起步, 在轨运行的卫星数量不多。

(4) 军事部门独立发射了空间环境卫星, 如 ARGOS (Advanced Research and Global Observation Satellite) 卫星 (由美国空军负责)<sup>[5]</sup>。

### 3.2 国外空间环境探测的发展趋势

(1) 加强对空间环境动态变化的探测计划发射的卫星有“辐射带暴探测器”

(RBSP)、“电离层-热层暴探测器”(I-TSP)、C/NOF 卫星、“磁层多尺度任务”(MMS)、“地球空间电动力学”(GED)和“太阳哨兵”(Solar Sentinels)。这些卫星都具有对空间环境动态变化进行监测的功能。

(2) 星座探测处于重要地位

上述 MMS、GED 和“太阳哨兵”都分别由 4 颗卫星构成星座。而磁层星座则由 30 颗以上卫星组成。

(3) 以地球轨道卫星为主

探测地球空间的卫星都是地球轨道卫星, 大部分太阳与太阳风观测卫星也都是地心轨道, 如:“太阳 EUV 与 X 射线观测”(GOES-R)、“太阳磁场观测”(SOLAR-B)、“太阳质子事件观测”(GOES-R)、“日冕物质抛射”(SMEI)、“太阳动态特征观测”(SDO)。

#### (4) 利用卫星加大对空间环境探测的力度

计划发射的 GOES-R 将携带以下科学仪器<sup>[6]</sup>: 高级基线成像仪(Advanced Baseline Imager, ABI)、超光谱环境探测设备(Hyperspectral Environmental Suite, HES)、磁层粒子探测器(Magnetospheric Particle Sensor, MPS)、能量重离子探测器(Energetic Heavy Ion Sensor, EHIS)、太阳与银河宇宙质子探测器(Solar and Galactic Proton Sensor, SGPS)、太阳 X 射线成像仪(Solar X-Ray Imager, SXI)、太阳 X 射线探测器(Solar X-Ray Sensor, SXS)、极紫外探测器(Extreme Ultraviolet Sensor, EUVS)、地球同步轨道闪电绘图仪(GEO Lightning Mapper, GLM)以及太阳日冕仪(Solar Coronagraph)。

#### (5) 加强了国际合作

国际上目前正在酝酿的空间探测计划是“国际与星同在”(ILWS)计划,参加者包括美国、ESA、俄罗斯、加拿大、中国、日本、澳大利亚和印度。

## 4 结束语

国外的空间环境研究工作给我们带来很多启发。我国的空间环境试验与探测技术研究应进行以下工作:

(1) 应加强材料特性的专项实验研究,以获得我国航天器常用材料的特性参数,这对于深入研究空间环境对航天器的效应是非常关键的。

(2) 我国应尽快发射“空间环境效应卫星”。地面模拟试验对空间环境效应的研究有重要意义,

但模拟试验不能代替对空间环境效应的实际观测。如果没有对空间环境效应的实际观测,就不能验证理论和效应模式的准确性。

(3) 加强我国有关研究部门和大学的合作,集中力量攻克我国环境效应研究中的几个关键问题,如材料参数测定和空间环境效应软件。

(4) 立足我国现有技术条件,重点发射地球轨道环境探测卫星。

(5) 充分利用现有应用卫星,增加空间环境探测的有效载荷;重视新型有效载荷的研究,尽快提高典型有效载荷的水平。

### 参考文献 (References)

- [1] Daniel H. Spacecraft-environment interactions[M]. Cambridge University Press, 2004
- [2] Fineschi S, Rodney A. Solar physics and space weather instrumentation[M]. SPIE, 2005
- [3] Dakermanji G, Butler M, Carlsson P U, et al. The thermosphere, ionosphere, mesosphere energetics and dynamics(TIMED) spacecraft power system[C]// Proceedings of the 32<sup>nd</sup> Intersociety, 1997: 544-549
- [4] Rocken C, Kuo Ying-Hwa, Schreiner W S, et al. COSMIC system description[J]. Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences, 2000, 11(1)
- [5] Bernhardt P A, Huba J D, Selcher C A, et al. New system for space based monitoring of ionospheric irregularities and radio wave scintillations[J]. Geophysical Monograph, 2001, 125: 431-440
- [6] Zee C, Umer L. GOES-R - future operational environmental space observations, AIAA-2004-5916[R]

## 下 期 要 目

月面数字地形构造方法研究

GJB 450A《装备可靠性工作通用要求》的简要介绍和分析

航天器用薄膜材料空间辐照力学性能的研究现状

不同尺度下相变材料熔化过程自然对流影响分析

分子污染光学效应试验研究

力限控制技术应用研究

多轴振动台台面频率优化

F3H 红外定标试验设备