



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY



空间科学与技术学院
School of Aerospace Science and Technology

电子系统空间环境实验



- 一、空间环境及其效应
- 二、电子系统可靠性介绍
- 三、实验内容
- 四、实验安排



空间环境特点

航天器从运输、发射、入轨、返回地面，要经受各种环境的考验，特别是在空间长期运行期间，会遭遇很复杂的空间环境。

美国1965—1986年发射的航天器发生了近2000个异常现象与故障。美国“探险者”14号、15号、“电星一号”由于空间辐射而损坏。

“阿波罗13号”的失败，原苏联“联盟11号”在返回途中三名航天员的死亡，以及欧洲、日本、中国发射的航天器也出现了各种各样的故障。这些故障很大程度上与环境有关。



空间环境特点

空间环境很复杂。包括真空、冷黑、太阳辐照、弱磁场、粒子辐照、微重力、原子氧、微流星、电离层等离子体等环境。

各种环境对航天器及其分系统、组件与材料产生不同的效应。



一、空间真空环境与其效应

- 航天器入轨后始终运行在高真空与超真空环境中，所产生的效应如下。
- 压力差效应
- 真空放电效应
- 辐射传热效应
- 真空出气效应
- 材料蒸发、升华和分解效应
- 粘着和冷焊效应
- 空间大气密度对航天器的阻尼效应
- 真空下材料出气污染效应



- （一）压力差效应

压力差效应在 10^{-5} — 10^{-2} Pa的粗真空范围内发生。真空环境可能使密封舱变形或损坏，使储罐中校体或气体的泄漏增大，缩短了使用时间。



• (二)真空放电效应

当真空达到 10^{-2}Pa 或更高时，在真空中分开一定距离的两个金属表面，在受到具有一定能量的电子碰撞时，会从金属表面激发出更多的次级电子。它们还可能与两个面发生来回多次碰撞，使这种放电成为稳定态，这种现象称为放电。它会使金属受到侵蚀，引起温度升高，使附近压力升高，甚至会造成严重的电晕放电。射频空腔、波导管等装置，有可能由于微放电面使其性能下降，甚至产生永久性失效。



- （三）辐射传热效应

在真空环境下，航天器与外界的传热主要通过辐射形式，它表面的辐射特性对航天器的温度控制起着重大作用。航天器中静态接触的部件，由于表面存在微小不均匀性和它们之间的真空空隙，使接触热阻增大。



- （四）真空出气效应

在高于 10^{-2}Pa 的真空度下，气体会不断地从材料表面释放出来。

卫星材料在真空下消气，使高温处吸附的气体转移到低温处，造成低温表面污染，改变表面的性能。严重的污染，会降低观察窗和光学镜头的透明度、改变温控涂层的性能、减少太阳能电池的光吸收率以及增加电气元件的接触电阻等。



空间材料的蒸发、升华会造成材料组分的变化，引起材料质量损失，造成有机物的膨胀,改变材料的性能，引起自污染等。

- (六)粘着和冷焊效应

粘着和冷焊效应一般发生在 10^{-7}Pa 以上的超高真空环境下。这种现象可使航天器上的一些活动部件出现故障，如加速轴承磨损而使其工作寿命减少；使电机滑环、电刷、继电器和开关触点接触不良，甚至使航天器上一些活动部件出现故障；使天线或重力梯度杆展不开，太阳电池帆板、散热百叶窗打不开等。



- (七)空间大气密度对航天器的阻尼效应

大气密度随高度的增高迅速降低，虽然200km的高空真空度为 10^{-4}Pa ，密度只有 $3 \times 10^{-13}\text{g} / \text{m}^3$ 左右，但对航天器的阻尼效应仍不能忽视。大气对航天器作用力的大小与大气密度成正比，在高轨道上运行的航天器，阻尼小，轨道寿命较长；反之，轨道寿命短。



- (八)真空下材料出气污染效应

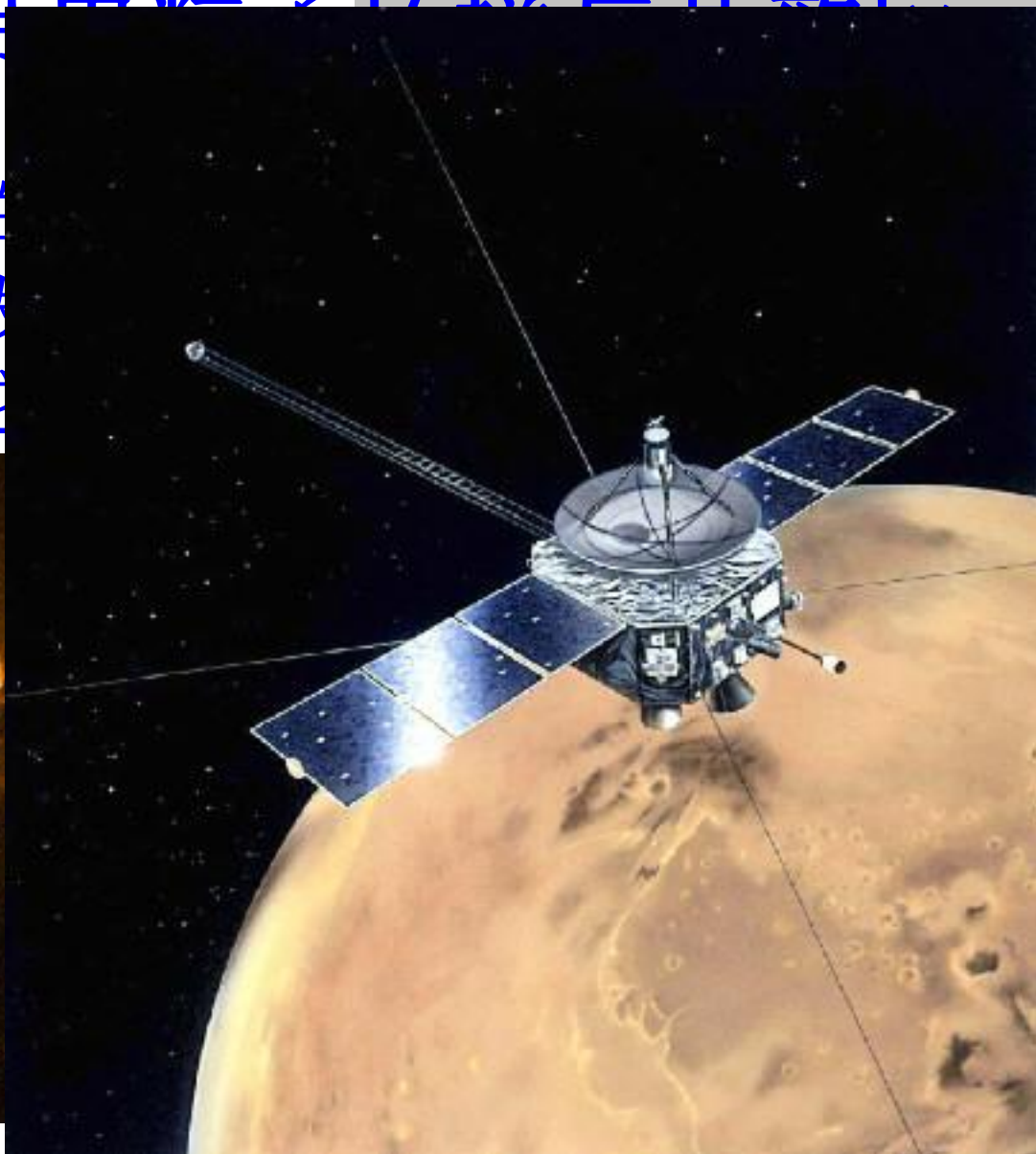
材料在真空状态下都会出气，它包括材料放出所吸收的气态生成物、吸收的气体或材料本身的分解物。发动机的尾流也是一种污染源，其污染程度随真空度的增加而增加。

由于污染，飞行期间光学系统的性能下降，太阳能吸收率发生变化，使航天器的平均温度增加，带来某些性能故障。



二、空间高能带电粒子环境及其效应

- 地球和木星辐射带的宇宙线和太阳耀斑喷发主要由高能质子组成，它





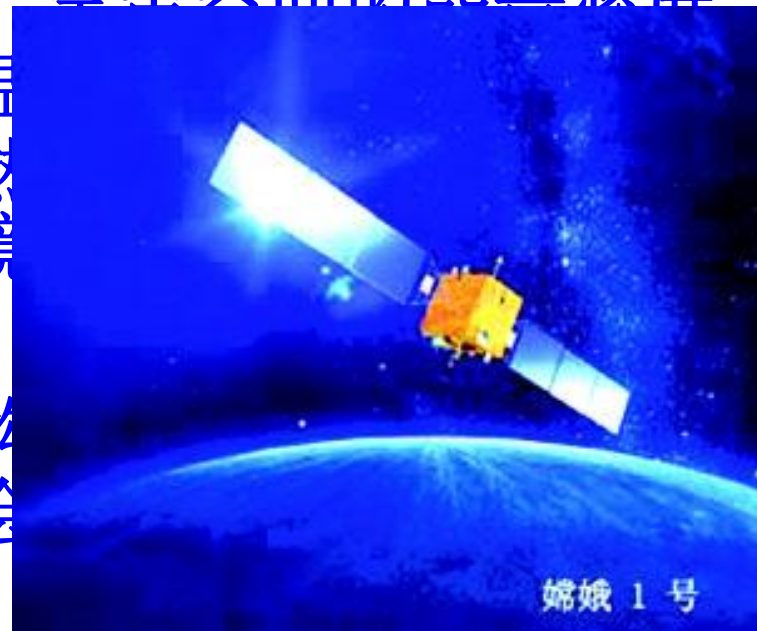
三、空间弱磁场环境与其效应

- 磁场的强度和方向是宇宙空间很重要的环境参数。在星际空间或磁层内离地球几个地球半径以外的区域，磁场较弱，只有几个到几百个纳特。卫星受外磁场产生的力矩作用，使卫星扭转。
- 实测结果表明，“先锋1号”卫星在2年多的时间里，自旋率从每秒两周半降到约每30s一周。因此，低轨道卫星，特别是需要进行长时间工作的、姿态精度要求比较高的航天器，必须考虑磁场的影响。
- 此外，还可以考虑利用空间磁场对航天器进行姿态控制。



四、空间冷黑环境与其效应

- 太空是冷黑环境，能量密度低，温度极低，约-273℃。
- 卫星在太空运行时，会吸收太阳辐射，但也会向太空散热，导致卫星温度波动。
- 卫星上某些有机材料在冷黑环境下会产生老化和变脆，影响材料的性能。





是



六、空间微流星环境与其效应

- 微流星体通常指直径在**1mm**以下、质量在**1g**以下的固体颗粒，它们在太阳引力作用下运动，其速度相当于地球的平均速度，约为**10~30km/s**，最大速度可达**72km / s**。
- 由于微流星体的速度很快，当它与航天器相撞时，释放出巨大的能量，对航天器有很大的危害。（沙蚀、影响太阳能电池效率；产生裂痕和撞击）



我国研制的“飞天”舱外航天服

人类

头盔

照明灯

电控台，包括照明、数码管控、机械式压力表等9个开关

气液组合插座，用轨道舱舱载气源为航天员供气

手掌部分为灰色的橡胶颗粒

2根安全系绳，与轨道舱外的把手相连，内有弹簧，可承受1吨的力

面窗

背包

内部集成了氧瓶、净化装置、水升华器、液路系统等

可为航天员舱外活动提供至少 **4** 小时生命安全和工效保障

电脐带，与轨道舱内部设备连接，一用于航天员的通讯，二作为安全系绳的备份

气液控制台，集成了供氧、液温调节的多个阀门

示意图

总重量：**120** 公斤

造价：约 **3000** 万元人民币

主

000多万个

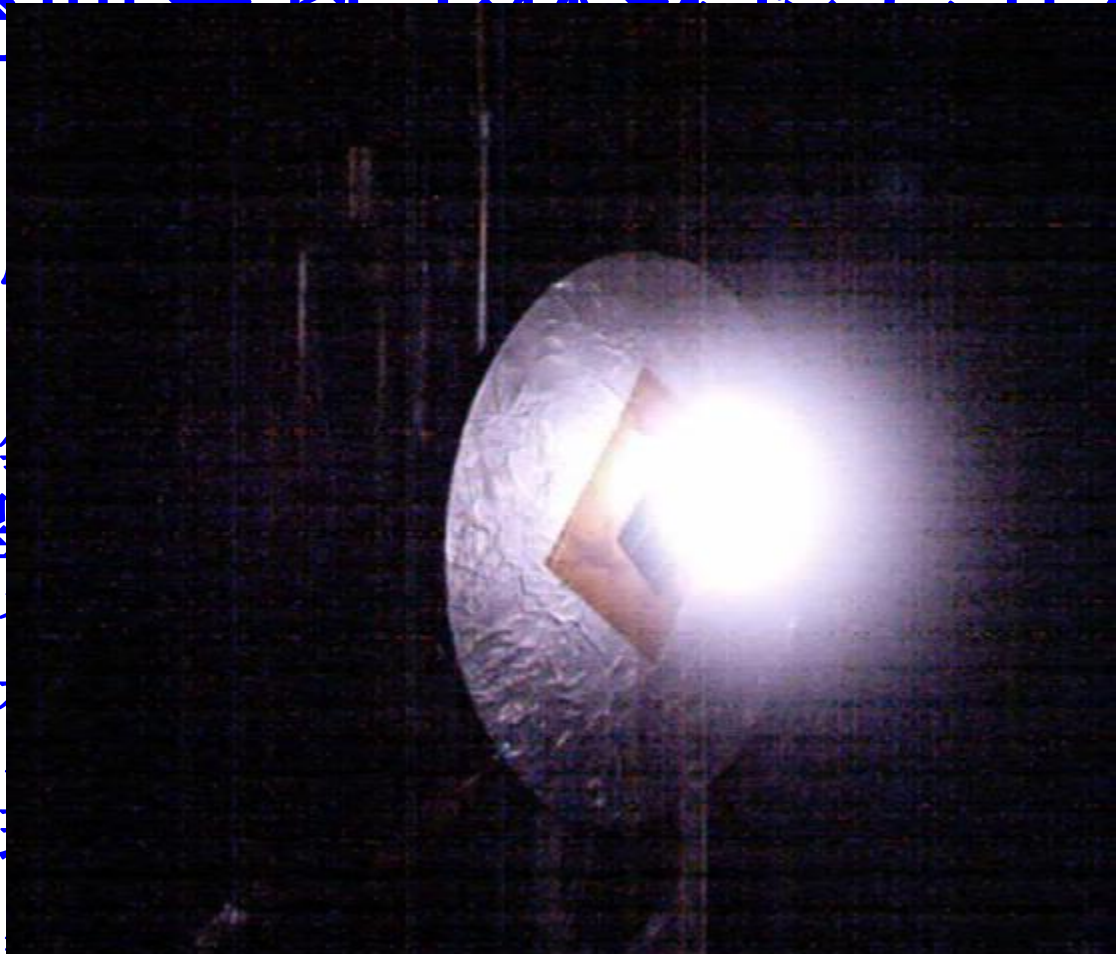
示意图

王东明 编制 新华社发



八、空间等离子体环境及其效应

- 是由部分正负离子组成的（存在于宇宙3000km）
- 空间高温（上）使卫星发热，这使卫星的部件击穿
- 等离子体加电阻力，电源系统漏电、大型天线增益下降和指向精度减小等。



后产
广泛
km~

千伏以
0kv。
发出的
星的

星附
阳阵
精度减



九、空间微重力环境与其效应

- 航天器不是一个纯质点，且有其他星球引力的作用，因此，航天器总是处于微重力条件下(约有 $10^{-4}g$ 大小的重力加速度)。
- 对航天器的姿态及轨道稳定性有影响，需要不断校正，近地卫星更是如此。
- 对航天员的生理健康有影响，易疲劳。
- 微重力使航天器的结构设计发生了变化，可采用轻质柔性结构，可用很小的力来移动伸展大型构件。



航天器用元器件及其质量保证

- 航天器用元器件特殊要求及质量控制—满足四类特殊要求
- 航天器发射入轨后不可维修，需要很高的可靠性；
- 空间环境复杂，元器件要在辐照、真空、高低温交变等恶劣环境下保持其性能的稳定性；
- 受运载工具的限制和在轨能源应用的限制，需要满足体积小、重量轻、功耗低的要求；
- 如载人航天要求元器件不能释放有害气体、防结露，某些探测卫星要求元器件无磁、低磁，主/备份切换及冷、热备应用等专项要求。



元器件使用的一般要求

- 功能、性能要求
- 使用环境要求
- 可靠性要求：冗余、备件
- 安全性要求
- 优化设计要求：降额、容差
- 体积尺寸要求
- 重量要求
- 经济性要求
- 可获得性要求：产品及服务
- 自主可控要求



航天器使用元器件的特殊考虑和要求

- 不可调整、不可修复性；慎用可变电容、禁用可变电阻等
- 特殊设计要求：冷备份、低功耗
- 特殊环境要求：力学环境、真空环境、高低温及交变温度、空间原子氧、真空；
- 载人环境：防潮湿、防结露；
- 特殊其他要求，如低磁；



典型案例

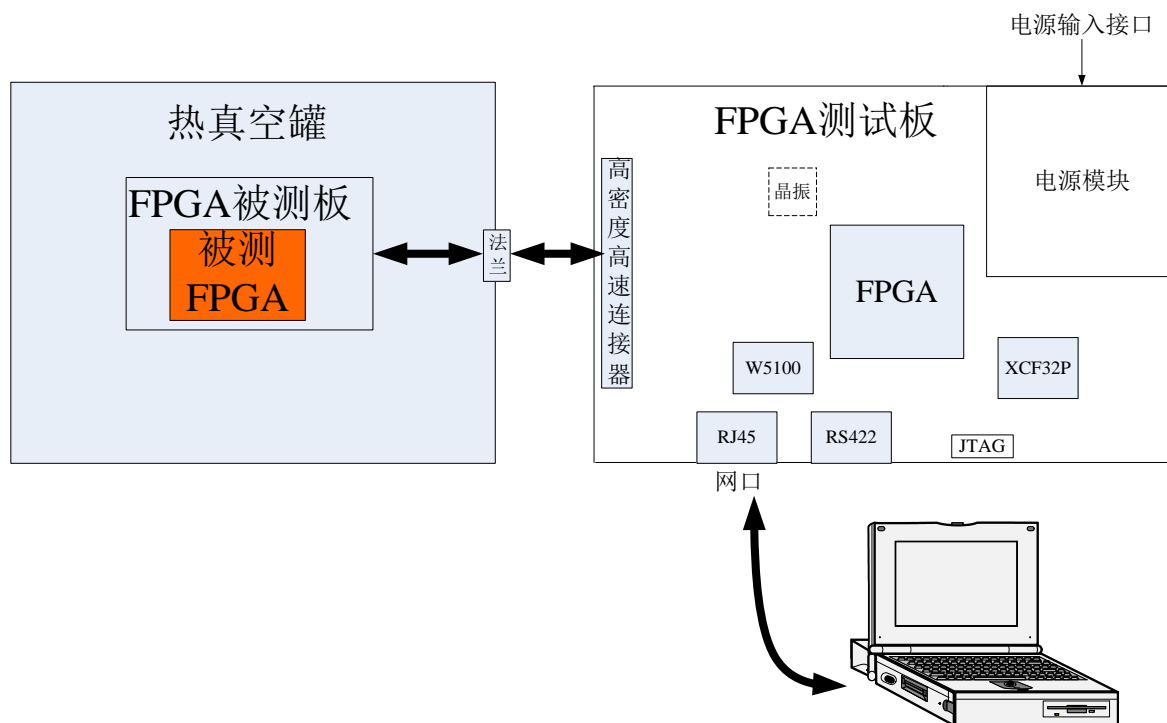
- 典型问题1— 运放跟随信号高频噪声问题
- 典型问题2— 电连接器安装螺钉垫片断裂脱落问题
- 典型问题3—SRAM读写错译问题
- 典型问题4—电路输出动态响应问题
- 典型问题5—器件键合丝过长
- 典型问题6—电连接器焊装后透锡不充分问题
- 典型问题7— 总线电路通信异常
- 典型问题8—FLASH编程后读出错误问题
- 典型问题9—国产SRAM数据读取错误
- 典型问题10—DSP指令执行错误问题



- **2015年航天某单位印刷电路板清洗后，上面某厂的光偶内引线断裂。**
- **原因：超声清洗的频率与光偶内引线的共振频率一致。**



- 关于等离子清洗。
- 背景：某型值班导弹进行定期循检时发现异常。会使落点精度大约差**600米**。分析定位一混合电路中的三极管收集极串连电阻由原来的几**mΩ**变几十**Ω**。到生产单位查同批产品**1/3**有此状态。
- 问题：有**1/3** 的三极管粘接前进行了二次等离子清洗返工。
- 原因：不彻底的等离子清洗导致活化的硅与残留有机物生成了难以清除的化合物。后续反应导致粘接物的寄生电阻变大。
- 结论：批次性失效。





实验内容

- 1、电阻高低温特性实验
- 2、电容电感高低温特性实验

步骤:

- (1) 焊接引线
- (2) 测量（万用表、LCR表）
- (3) 温度实验、测量，记录
- (4) 实验报告、分析



实验内容

| 温度（摄氏 度） | -40 | -20 | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|-------------|-----|-----|---|----|----|----|----|-----|
| 碳膜电阻 | | | | | | | | |
| 碳膜电阻 | | | | | | | | |
| 金属膜电阻 | | | | | | | | |
| 金属膜电阻 | | | | | | | | |
| 线绕电阻 | | | | | | | | |
| 热敏电阻 | | | | | | | | |



实验内容

40度

| 频率 (Hz) | 100 | 1K | 5K | 10K | 15k | 20k | 25k | 30k | 35k | 40k |
|---------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 铝电解电容 | | | | | | | | | | |
| 陶瓷电容 | | | | | | | | | | |
| 钽电容 | | | | | | | | | | |
| 电感 | | | | | | | | | | |
| 电感 | | | | | | | | | | |



实验安排

- 1、分5组，每组6人，实验地点：E楼环境实验室（两个温箱，一个是深冷试验箱，一个是高低温度-湿度试验箱）
- 2、时间：周三（下午、晚上）、周四（下午、晚上）、周五晚上。