

载人飞船遭遇 M/OD 失效风险评估及其防护设计

刘有英¹, 王海福², 黄 海¹

1. 北京航空航天大学宇航学院, 北京 100191
2. 北京理工大学; 爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081

摘要 采用自主开发的 M/OD 风险评估软件系统, 对某载人飞船遭遇 M/OD 的失效风险进行评估分析, 给出了不同舱壁厚度下载人飞船遭遇 M/OD 的失效风险分析结果及其表面失效数分布。载人飞船舱壁厚度为 0.6cm 时, 遭遇 M/OD 碰撞的非失效概率为 96.447%, 而当舱壁厚度减小为 0.3cm 时, 非失效概率仅为 9.460%。由于空间碎片具有方向性, 使得载人飞船遭遇空间碎片时, 其两侧失效风险最大, 微流星体的任意分布性使其失效数呈带状分布。本文还对载人飞船进行了防护结构设计, 给出了不同防护下载人飞船失效风险分析结果。采用与 0.6cm 厚舱壁面密度相同的 Whipple 和 SW 防护结构进行防护时, 载人飞船非失效概率分别为 99.704% 和 99.924%。若采用波纹角为 30° 和 60° 的 CSW 防护结构, 则其非失效概率可分别提高到 99.939% 和 99.995%, 显著降低了载人飞船失效风险。

关键词 空间碎片; 失效风险评估; 载人飞船; 非失效概率

中图分类号 V414

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)10-0037-04

Assessment of M/OD Failure Risk for Manned Spacecraft and Its Shield Design

LIU Youying¹, WANG Haifu², HUANG Hai¹

1. School of Astronautics, Beihang University, Beijing 100191, China
2. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology; Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Abstract The failure risk of a certain manned spacecraft is assessed by using Meteoroid & Orbital Debris Risk Assessment System (MODRAS). The failure risk assessment results and the distribution of failure number in the surface of the manned spacecraft are obtained. The Probability of No Penetration failure (PNP) for the manned spacecraft is 96.447% when its wall thickness is 0.6cm. But the PNP is only 9.460% with wall thickness of 0.3cm. The failure probability of two sides is larger than other sides because of the directionality of orbital debris. The distribution of failure number in the surface of the manned spacecraft is in a shape of band with meteoroid impact. The risk assessment results of different shields are also obtained. The PNP can be enhanced to 99.704% using Whipple shield with same areal density for wall thickness of 0.6cm. If Stuffed Whipple (SW) shield with the same areal density is used, the PNP can be increased to 99.924%. When the Corrugated Stuffed Whipple (CSW) shield with 30° or 60° corrugated angle is used, the PNP can be increased to 99.939% and 99.995%. The failure risk is reduced significantly with shield performance enhanced.

Keywords orbital debris; failure risk assessment; manned spacecraft; probability of no penetration failure

0 引言

自 1957 年苏联发射世界上第一颗人造卫星迄今, 人类已进行了 4300 多次空间发射活动, 发射入轨的航天器超过 5500 个。据美国空间监视网 (SSN) 和天基探测统计数据, 目前

地球轨道上, 尺寸 10cm 以上的已编目空间物体超过 15000 个, 其中正常运行的航天器只约占 6%, 其余 94% 均为空间碎片。尺寸 1cm 以上的空间碎片超过 50 万个, 1mm 以上空间碎片超过 3500 万个, 微米级以上空间碎片数量则更庞大, 且每

收稿日期: 2010-03-10

基金项目: 爆炸科学与技术国家重点实验室基金项目 (20080231)

作者简介: 刘有英, 博士后, 研究方向为空间碎片防护技术, 电子信箱: lyliu@163.com

防护结构。与 Whipple 防护结构具有相同面密度时,SW 和 CSW 防护结构抗 M/OD 碰撞的能力明显增强。分析结果表明,采用 SW 防护结构,载人飞船非失效概率可提高到 99.924%,采用波纹角为 30°的 CSW 防护结构,载人飞船非失效概率则可提高到 99.939%,而当采用波纹角为 60°的 CSW 防护结构时,载人飞船的非失效概率甚至可达到 99.995%。

4 结论

采用自主开发的太空碎片风险评估系统 MODRAS 对某载人飞船遭遇 M/OD 失效风险进行评估,主要结论有:

- 1) 载人飞船相同材料舱壁越厚,遭遇 M/OD 碰撞失效风险越高。
- 2) 采用与舱壁具有相同面密度的 Whipple 防护结构,可以将载人飞船遭遇 M/OD 的非失效概率从 96.447%提高到 99.704%,采用波纹角为 60°的 CSW 防护结构,非失效概率甚至可提高至 99.995%。
- 3) 载人飞船遭遇 M/OD 碰撞时,空间碎片的方向性使其碰撞失效数主要分布在载人飞船两侧;而微流星体的任意分布性使其碰撞失效数在载人飞船表面呈带状分布。

参考文献 (References)

- [1] Christiansen E L. Meteoroid/Debris Shielding [R]. TP-2003-210788,

2003.

- [2] IADC WG3 members. Protection manual [R]. IADC-04-03, 2004.
- [3] Meshcheryakov S. The orbital debris impact risk analysis methods, the COLLO system [C]. Third European Conference on Space Debris. Darmstadt, Germany, 2000.
- [4] Williamsen J, and Howard E. Video imaging of debris clouds following penetration of lightweight spacecraft materials[J]. *Int J Impact Eng*, 2001, 26: 865-877.
- [5] Ryan S, Christiansen E L, Lear D M. Shielding against micrometeoroid and orbital debris impact with metallic foams[J]. *Orbital Debris Quarterly News*, 2010, 14(1): 4-7.
- [6] 刘有英. 空间碎片碰撞风险评估建模与仿真技术研究 [D]. 北京: 北京理工大学宇航学院, 2007.
- Liu Youying. Modeling and simulation of orbital debris risk assessment [D]. Beijing: School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology, 2007.
- [7] 刘有英, 王海福, 黄海. 空间碎片防护结构效能评价仿真系统和应用 [J]. 科技导报, 2009, 27(18): 33-37.
- Liu Youying, Wang Fuhai, Huang Hai. *Science & Technology Review*, 2009, 27(18): 33-37.
- [8] 刘有英, 王海福, 黄海. M/OD 失效风险评估系统开发及标准校验[J]. 科技导报, 2010, 28(6): 88-92.
- Liu Youying, Wang Fuhai, Huang Hai. *Science & Technology Review*, 2010, 28(6): 88-92.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·



“2010 中国作物学会学术年会”征文

中国作物学会将于 2010 年 9 月 15-17 日在沈阳召开“2010 中国作物学会学术年会”,大会主题是“生物技术产业与粮食安全”。

会议各分会内容如下。

1) 重要基因发掘鉴定与分子育种

① 重要基因的克隆与功能分析; ② 重要基因定位与标记开发; ③ 作物转基因技术与转基因育种; ④ 作物分子标记育种; ⑤ 分子设计育种理论与应用。

2) 种质资源创新与新基因挖掘利用

① 主要农作物种质资源遗传多样性及核心种质构建; ② 种质资源的鉴定与评价; ③ 主要作物种质改良与创新; ④ 基于基因组学的种质资源研究; ⑤ 新基因挖掘途径和有效利用。

3) 新品种培育与种业发展

① 新品种培育方法创新; ② 新品种的有效鉴定途径; ③ 主要农作物重要性状遗传规律与育种理论和方法研究; ④ 高产优质广适性农作物新品种培育与应用。

4) 作物栽培耕作与高产高效生产

① 作物可持续高产与超高产理论与技术; ② 作物高产高效生态生理; ③ 作物品质形成与优质高产技术; ④ 作物抗逆与中低产田技术; ⑤ 精准栽培与轻简化技术; ⑥ 节水与抗旱栽培; ⑦ 秸秆还田与保护性耕作; ⑧ 气候变化与新型耕作制; ⑨ 作物生产系统资源优质化配置与全年高产高效技术。

5) 农业技术推广与农业生产发展

① 农业生产在国民经济中的地位; 农业机械化作业与大面积种植技术; ② 农业生产发展目前存在的困难和阻力; ③ 农业技术推广在农业生产发展中的地位和作用; ④ 当前农业技术推广的瓶颈; ⑤ 农业技术推广的有效方法和途径。

会议还设有研究生论坛,作物科学领域在校硕士、博士研究生均可提交论文和墙报。论文摘要截稿日期为 2010 年 8 月 15 日。

会议网站: <http://www.chinacrops.org/>。

通信地址: 北京中关村南大街 12 号 (100081), 中国作物学会办公室。

电话: 010-82108616; 电子信箱: cssc304@sina.com。