

基于 ADAMS 的整流罩 分离仿真技术研究

刘 建^{1,2} 李海阳¹

(1 国防科技大学航天与材料工程学院 2 北京宇航系统工程研究所)

摘 要 利用 ADAMS 等商用软件计算大型柔性整流罩分离时的呼吸变形及动包络,并按照运载火箭实际的飞行状态进行整流罩的分离仿真分析。

关键词 整流罩 柔性 分离仿真 运载火箭 计算方法

1 前言

运载火箭整流罩在火箭飞行过程中必须为有效载荷提供安全、可靠的自由空间-净空间,而对净空间影响最大的是整流罩分离过程中的动态变形,有效载荷整流罩分离瞬间,在弹簧力的作用下,整流罩产生平动、转动及弹性低频振动(或称呼吸效应)。半罩分离过程的呼吸效应与其固有频率、结构形式及弹簧力等有关,研究整流罩在分离过程中的动态特性及动态响应,对保证有效载荷整流罩的净空间及有效载荷的安全性意义重大。

2 整流罩分离计算研究现状

目前整流罩分离计算通常是将整流罩的柔性多体动力学模型简化为多刚体系统动力学和结构动力学模型,分别求解后进行迭加,并利用整流罩的地面试验结果验证整流罩的计算模型,因整流罩结构的弹性变形会损失一部分分离能量,分离能量的效能只能使用统一的估算数据,但对不同尺寸大小、不同结构形式(有无倒锥、锥角大小等)及不同模态的整流罩,其分离能量的损失必定不同,采用刚体动力学模型及统一分离能量的效能系数,不能准确描述整流罩实际分离过程,同时,因采用刚体模型,整流罩分离过程中的变形,特别是对整流罩与其内部有效载荷间的安全间隙无法进行定量分析。

在国外已将整流罩分离动力学作为运载火箭动

特性分析的一个重要组成部分,上世纪八十年代,国外的航天大国已经利用 ANSYS、MSC. NASTRAN 软件,分别对平推与旋转两种分离形式的卫星整流罩进行了动力学响应分析,并通过地面试验对整流罩的分离模型进行了修正。

随著柔性多体动力学理论和计算机辅助技术的发展,在整流罩研制过程中,系统解决整流罩分离过程的动特性及动包络技术上已具备条件,国内已在大运载整流罩的研制过程中探索采用柔性分离仿真技术的可行性。MSC 公司的 ADAMS2005 版的 ADAMS.FLEX 模块,采用动态缩聚技术,输入 MSC. NASTRAN 整流罩有限元模型,这样 ADAMS 中整流罩模型具有刚体运动和弹性动力学特性,可以进行整流罩的弹性动力学分离仿真。

3 刚性整流罩分离仿真

3.1 整流罩建模

ADAMS 软件能够对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析,ADAMS/view 造型功能相对薄弱,难以创建具有复杂特性的零件,但 ADAMS/view 可以通过输入其它程序的 CAD 图形文件的形式解决复杂零件外形的建模问题。

利用 Solid works 软件,按整流罩半罩理论外形建模,然后以 parasolid 格式保存。运行 ADAMS/view 软件,打开 file/import 界面,将整流罩的刚体模型输入到 ADAMS/view 里,在 ADAMS/view 里给模型加上

质量、力、力矩、约束和运动仿真脚本等初始条件就可以进行静力学、动力学和运动学仿真。

3.2 半罩 ADAMS 刚体模型

在 ADAMS/view 中导入整流罩的 Solidworks 的 parasolid 格式模型,定义模型的坐标系、坐标原点关系后,半罩的刚体模型就可以在 ADAMS/view 中显示。按照整流罩的实际质量特性定义整流罩模型的质心位置及转动惯量,并按照整流罩分离弹簧的实际位置(坐标点),分别在地(ground)、半罩模型上建立 MARKER(MARKER 是 ADAMS 常用的几何建模辅助工具,具有位置和方向,可用于定义力的作用位置、零件的几何形状和方向、形心位置等,下同)点,在两点间建立分离弹簧模型,力的特性选择自定义,弹簧力的表达式按 $(6200/230 * DIM(905, DM(MARKER_i, MARKER_j)))$ 设定弹簧力的大小,式中 MARKER_i, MARKER_j 分别为弹簧的上、下作用点(MARKER 点),这样就完成了分离弹簧及弹簧力的模型。

整流罩翻转分离的工作原理:推动装置对整流罩转轴的力矩使半罩绕转轴翻转,其质心绕转轴作圆周运动,飞行过载使半罩加速转动,当半罩旋转到离心力大于过载沿离心力方向上的分量时,半罩开始脱钩,并沿其脱钩时的运动姿态进行平动和转动。铰链模型用 ADAMS 的旋转副(JOINT)表示,在实际整流罩的铰链中心建立沿半罩翻转方向的旋转副。

为正确描述铰链的脱钩动作,在 ADAMS 中建立 sensor 模型(ADAMS 的传感器,用于确定判定方程及满足方程后的动作),增加整流罩脱钩的判据方程,即当半罩旋转到离心力大于过载沿离心力方向上的分量时,旋转副(JOINT)失效,整流罩沿此时的分离姿态进行平动和转动。

在半罩模型、弹簧及铰链模型建立完成之后,建立过载环境,按照整流罩分离时的过载环境设定重力场。

3.3 仿真控制

最后设定仿真脚本文件,指定仿真时间及步长,判定传感器失效的条件,当满足传感器判据条件下,设定传感器失效,旋转铰链失效及弹簧力全部失效等,待这些工作完成后,整流罩半罩分离仿真建模工作结束,可以进行整流罩的仿真

计算工作。

3.4 整流罩分离的仿真结果

整流罩分离仿真模型建完后,运行 ADAMS/view 中的 simulate/scripted controls 命令,通过仿真计算,整流罩分离计算结果为:弹簧作用时间 0.61s,过顶时间为 0.47s,过顶角速度约 25.18°/s,脱钩时间为 1.823s,脱钩角速度为 55.50°/s。

4 柔性整流罩分离仿真分析

按照整流罩实际外形尺寸、结构形式及材料属性,用 MSC.Nastran 进行整流罩半罩的建模及有限元分析,整流罩的前四阶模态分别为:2.361Hz、5.31Hz、6.89Hz、10.932Hz。以模态中性文件格式(mnf)输出整流罩的有限元模型。导入 ADAMS 中,并设定初始条件。

整流罩分离仿真模型建完后,运行 ADAMS/view 中的 simulate/scripted controls 命令,通过仿真计算,整流罩分离计算结果:弹簧作用时间为 0.62s,过顶时间 0.47s,过顶角速度约 28.94°/s,脱钩时间为 1.810s,脱钩角速度为 55.15°/s。

整流罩分离过程中,整流罩倒锥、柱段前、后点(见图 1)间距离存在较大变化,尺寸变化分别见图 2~图 4。由于整流罩倒锥段有较大的半锥角(20°),整流罩分离开始瞬间,分离弹簧沿半罩分离面存在向外的分离,使整流罩分离开始时存

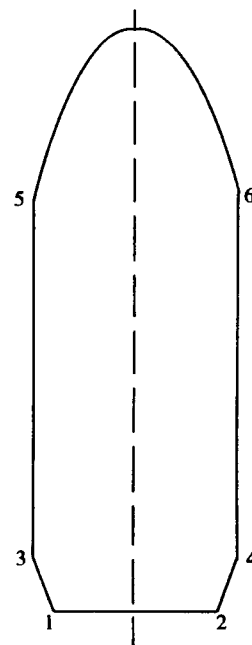


图 1 整流罩半罩标记点

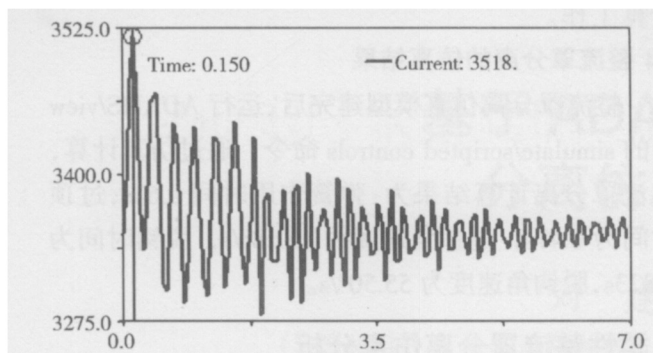


图 2 半罩分离过程中 1-2 间距离

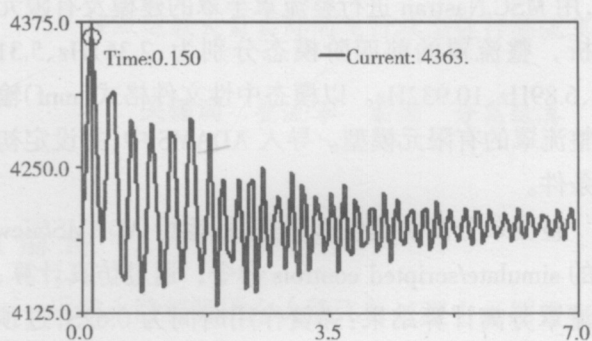


图 3 半罩分离过程中 3-4 间距离

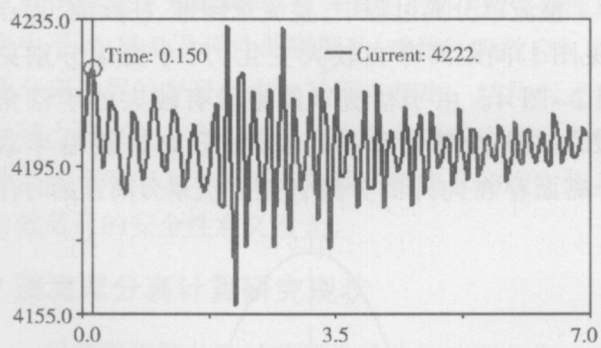


图 4 半罩分离过程中 5-6 间距离

在向外较大的变形。

整流罩倒锥 1-2 点间分离后变形较大, 分离 0.15s 时两点间距离最大变形约 168mm(外移), 0.58s 时, 1-2 点间距离变化 58mm(内移), 脱钩时(1.81s), 1-2 点间距离变化 83mm(外移), 此后 1-2 点间进行等幅振荡, 逐步衰减。

柱段后端点 3-4 点间分离后 0.15s 时两点间距离变形最大, 间距最大变形约 163mm(外移), 0.58s 时,

3-4 点间距离变化 57mm(内移), 脱钩时(1.81s), 3-4 点间距离变化 80mm(外移), 此后 3-4 点间进行等幅振荡, 逐步衰减。

柱段前端点 5-6 点间分离后变形较小, 分离瞬间两点间距离最大变形幅度不到 30mm, 0.58s 时, 5-6 点间距离变化 13mm(内移), 5-6 点在 2.02s 时出现最大振幅, 5-6 点间距离最大达到 36 mm(外移), 此后进行等幅振荡, 逐步衰减。

5 结论

综上所述, 基于 ADAMS 的刚体整流罩与柔性整流罩分离仿真结果可以看出, 整流罩的弹簧作用、过顶角速度、脱钩角速度及脱钩时间基本一致, 说明结合 MSC.NASTRAN 和 ADAMS 软件进行柔性体的分离仿真是可行的, 计算结果可通过地面试验验证, 柔性整流罩的分离仿真结果表明, 整流罩分离过程中的呼吸变形幅度较大, 应引起足够重视, 避免整流罩分离过程中的动包络造成整流罩与有效载荷间干涉。◇

参 考 文 献

- [1] 李耀民. 卫星整流罩设计与“三化”. 《导弹与航天运载技术》. 北京: 宇航系统工程设计部. 1999 年第 2 期, 总第 238 期
- [2] PAVILLALAZ. 阿里安 4 卫星整流罩分离特性预示.
- [3] 刘小平等. Solid works 与 ADAMS/VIEW 之间的图形数据交换研究. 华东理工大学机械工程学院 CAE 与虚拟现实技术研究中心. 上海, 2002, 3, 7
- [4] R W Jaejer. 阿里安整流罩及其分离系统.
- [5] 李长纯. 长征二号 E 火箭有效载荷整流罩分离技术. 北京宇航系统工程研究所.
- [6] 陈立平等. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用教程. 清华大学出版社, 2006
- [7] Ariane 5 User's Manual. Issue 3, Revision 0, Ariespace. March 2000
- [8] Orlandea N, Berenyi T. Dynamic continuous path synthesis of industrial robots using ADAMS computer program [J]. ASME, Journal of Mechanical
- [9] Mechanical Dynamics. Inc, Using Adams/View V. 1998
- [10] Mechanical Dynamics. Inc, Using Adams/flex V. 1998 [5] 白师贤. 高等机构学[M]. 上海科学出版社, 1988