



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113408158 A

(43) 申请公布日 2021.09.17

(21) 申请号 202110951744.1

(22) 申请日 2021.08.19

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 杨毅强 张延瑞 李新宇 李秦峰

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390

代理人 焦海峰

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 30/15 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

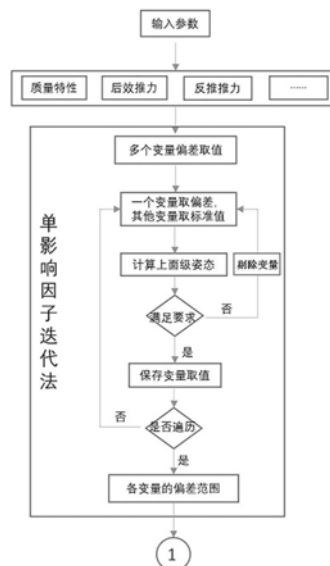
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法

(57) 摘要

本发明公开了一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,利用单影响因子迭代法对多影响因子解耦,逐个剥离求解单个影响因子的边界值,并利用目标函数求解上面级姿态,将单个影响因子变化对应的上面级姿态与姿态要求对比剔除,以缩小每个影响因子的偏差取值范围;将影响因子在对应的偏差取值范围内离散化,多个影响因子在对应偏差取值范围内的参数自由组合形成参数组合;利用ADAMS对所有的参数组合遍历仿真,每次仿真结果与姿控要求进行比对直到遍历所有影响因子的取值,剔除仿真结果不符合姿控要求的参数组合,以进一步缩小每个影响因子的偏差取值范围;本发明以上面级姿态为导向,缩小了每个影响因子的偏差取值范围,减少ADAMS仿真工作量。



1. 一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤100、利用单影响因子迭代法解耦火箭级间冷分离过程的多影响因子,逐个剥离求解单个影响因子的偏差取值范围,通过目标函数求解上面级姿态;

步骤200、逐一选择单个所述影响因子对应偏差取值范围的参数,根据所述目标函数获取单个所述影响因子的参数变化对应的上面级姿态,并将所述上面级姿态与姿态要求对比剔除,以缩小每个所述影响因子的偏差取值范围;

步骤300、将所述影响因子在所述步骤200得到的偏差取值范围内离散化,多个所述影响因子在对应偏差取值范围内的参数自由组合形成参数组合;

步骤400、利用ADAMS对所有的参数组合遍历仿真,每次仿真结果与姿控要求进行比对直到遍历所有影响因子的取值,剔除仿真结果不符合所述姿控要求的参数组合,以进一步缩小每个所述影响因子的偏差取值范围。

2. 根据权利要求1所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于:火箭级间分离的影响因子包括质量特性、后效推力特性和反推力特性,多因素的取值变化则造成了不同的偏差工况;

所述质量特性的质量偏差包含七个参数,分别为:质量偏差、三维方向的心位置偏差和三维度的转动惯量偏差;

所述后效推力特性的后效推力偏差包含三个参数,分别为:推力大小偏差、推力方向偏差、推力作用时间偏差;

所述反推力特性的反推力偏差包含三个参数,分别为:推力大小偏差、推力方向偏差、推力作用时间偏差。

3. 根据权利要求2所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于,利用所述目标函数求解上面级姿态的实现方式为:

在地面建立固定坐标系,在上面级建立随上面级运动的移动坐标系;

在所述固定坐标系取一个微小的时间步长,根据所述上面级当前的受力求得加速度和角加速度,对时间积分得到速度和角速度,再对所述速度和角速度积分得到上面级质心位移和上面级姿态角;

通过所述固定坐标系与所述移动坐标系之间的坐标转换将位移和角度转换至所述移动坐标系,得到新的力和力矩的向量以重新计算坐标转换后的上面级质心位移和上面级姿态角,所述上面级质心位移和上面级姿态角组成上面级姿态;

其中,所述上面级姿态角为所述上面级与所述移动坐标系的三维坐标值轴之间的转动角度。

4. 根据权利要求2所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于:在步骤200中,单影响因子迭代法的实现方法为:

步骤201、获取解耦的多个影响因子,且对多个所述影响因子进行排序;

步骤202、按序选择所述影响因子在其偏差取值范围内的参数,且其他的所述影响因子均取标准值,利用目标函数求解上面级姿态;

步骤203、对比所述上面级姿态和姿控要求,剔除掉所述影响因子的偏差范围内不满足要求的参数;

步骤204、依次按照排序选择下一个所述影响因子,并在该影响因子的偏差范围选取参

数,其他的所述影响因子均取标准值,重复步骤202-步骤203以缩小所有影响因子的偏差取值范围。

5. 根据权利要求4所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于:选择单个所述影响因子在偏差取值范围内的参数,利用目标函数计算上面级质心位移和上面级姿态角,当上面级质心位移或上面级姿态角任一个不符合对应的姿控要求时,则剔除掉该影响因子的参数;

当上面级质心位移以及上面级姿态角共同符合对应的姿控要求,则在所述偏差取值范围内保留该参数。

6. 根据权利要求1所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于,在步骤300中,将所述影响因子在对应的偏差取值范围内离散化的实现方法为:在ADAMS中把所述影响因子作为可变参数,并用脚本文件实现所述影响因子的参数值变化。

7. 根据权利要求6所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于:所有的所述影响因子选择在对应的偏差范围内的参数,且多个所述影响因子自由组合, m 个所述影响因子,且每个所述影响因子分为 n 个离散点,则所述影响因子自由组合的数量为 n^m 。

8. 根据权利要求7所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于:在所述步骤400中,将每个参数组合的仿真结果与姿控要求进行比对,如果仿真结果超出姿控要求,则剔除该参数组合,且在对应的所述影响因子的偏差取值范围内剔除该参数;

如果每个参数组合的仿真结果在所述姿控要求的范围内,则继续选择下一组所述参数组合进行仿真。

9. 根据权利要求8所述的一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,其特征在于:所述ADAMS对所有的参数组合遍历仿真的仿真对象具体包括上面级姿控结果、分离间隙和远场追击;

当任一个仿真对象的仿真结果不符合对应的上面级姿控要求、分离间隙要求或远场追击要求时,则判定仿真结果超出姿控要求;

当所有的仿真对象的仿真结果符合对应的上面级姿控要求、分离间隙要求或远场追击要求时,则判定每个参数组合的仿真结果在所述姿控要求的范围。

一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法

技术领域

[0001] 本发明涉及箭级间冷分离技术领域,具体涉及一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法。

背景技术

[0002] 冷分离又称为减速分离,主要依靠辅助反推装置使下面级减速或使上面级加速,在两级拉开一定距离时,上面级发动机才点火建立推力。若辅助反推装置提供的推力有限,若下面级在分离后还存在后效推力,则存在下面级追击上面级、发生碰撞的可能性。冷分离要考虑气动、质量特性、环境、两级动力特性、飞行控制等因素的影响,实现安全分离,即分离间隙足够大,上面级发动机喷管在拔出过程中不与壳段内部的仪器、支架等发生碰撞;不发生远场追击碰撞。

[0003] 现有的冷分离方案中,一般使用小火箭作为辅助反推装置,直接作用于下面级分离体上产生反推力以实现下面级的减速,而对上面级不产生影响,但是随着分离系统对低冲击、可检可测要求的提升,火工品不能满足越来越高分离要求,非火工工作动辅助反推装置成为了新兴的发展方向。非火工工作动辅助反推装置与小火箭的喷出高压高速气流产生推力的作用原理不同,而是需要同时作用于上面级、下面级两分离体上,以把两体推开,实现分离。这种作用模式就会对上面级的位姿产生影响,而目前针对非火工反推装置导致的上面级姿态变化的研究较少,上面级姿态、近场间隙、远场追击三个方面是相互影响、相互制约的。首先,一方面上面级的姿态变化会导致两体存在相对转角,从而使一侧分离间隙增大、一侧分离间隙缩小;另一方面上、下面级的姿态变化会导致两体分离轨迹的变化,从而导致回追路线的偏离。其次,上面级的姿态变化会影响姿控系统对后续飞行的控制。

[0004] 因此目前对分离的研究未把上面级的姿态变化作为目标函数,现有的方法中ADAMS仿真方法的可视性强,但不能遍历所有偏差工况,蒙特卡洛打靶法不适应质量、惯量分布不均匀的分离体,不能适应新兴的非火工工作动反推装置作为分离能源的分离系统设计。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,以解决现有技术中的技术问题。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,包括以下步骤:

步骤100、利用单影响因子迭代法解耦火箭级间冷分离过程的多影响因子,逐个剥离求解单个影响因子的偏差取值范围,通过目标函数求解上面级姿态;

步骤200、逐一选择单个所述影响因子对应偏差取值范围的参数,根据所述目标函数获取单个所述影响因子的参数变化对应的上面级姿态,并将所述上面级姿态与姿态要求对比剔除,以缩小每个所述影响因子的偏差取值范围;

步骤300、将所述影响因子在所述步骤200得到的偏差取值范围内离散化,多个所述影响因子在对应偏差取值范围内的参数自由组合形成参数组合;

步骤400、利用ADAMS对所有的参数组合遍历仿真,每次仿真结果与姿控要求进行对比直到遍历所有影响因子的取值,剔除仿真结果不符合所述姿控要求的参数组合,以进一步缩小每个所述影响因子的偏差取值范围。

[0007] 作为本发明的一种优选方案,火箭级间分离的影响因子包括质量特性、后效推力特性和反推力特性,多因素的取值变化则造成了不同的偏差工况;

所述质量特性的质量偏差包含七个参数,分别为:质量偏差、三维方向的心位置偏差和三维度的转动惯量偏差;

所述后效推力特性的后效推力偏差包含三个参数,分别为:推力大小偏差、推力方向偏差、推力作用时间偏差;

所述反推力特性的反推力偏差包含三个参数,分别为:推力大小偏差、推力方向偏差、推力作用时间偏差。

[0008] 作为本发明的一种优选方案,利用所述目标函数求解上面级姿态的实现方式为:

在地面建立固定坐标系,在上面级建立随上面级运动的移动坐标系;

在所述固定坐标系取一个微小的时间步长,根据所述上面级当前的受力求得加速度和角加速度,对时间积分得到速度和角速度,再对所述速度和角速度积分得到上面级质心位移和上面级姿态角;

通过所述固定坐标系与所述移动坐标系之间的坐标转换将位移和角度转换至所述移动坐标系,得到新的力和力矩的向量以重新计算坐标转换后的上面级质心位移和上面级姿态角,所述上面级质心位移和上面级姿态角组成上面级姿态;

其中,所述上面级姿态角为所述上面级与所述移动坐标系的三维坐标值轴之间的转动角度。

[0009] 作为本发明的一种优选方案,在步骤200中,单影响因子迭代法的实现方法为:

步骤201、获取解耦的多个影响因子,且对多个所述影响因子进行排序;

步骤202、按序选择所述影响因子在其偏差取值范围内的参数,且其他的所述影响因子均取标准值,利用目标函数求解上面级姿态;

步骤203、对比所述上面级姿态和姿控要求,剔除掉所述影响因子的偏差范围内不满足要求的参数;

步骤204、依次按照排序选择下一个所述影响因子,并在该影响因子的偏差范围选取参数,其他的所述影响因子均取标准值,重复步骤202-步骤203以缩小所有影响因子的偏差取值范围。

[0010] 作为本发明的一种优选方案,选择单个所述影响因子在偏差取值范围内的参数,利用目标函数计算上面级质心位移和上面级姿态角,当上面级质心位移或上面级姿态角任一不符合对应的姿控要求时,则剔除掉该影响因子的参数;

当上面级质心位移以及上面级姿态角共同符合对应的姿控要求,则在所述偏差取值范围内保留该参数。

[0011] 作为本发明的一种优选方案,在步骤300中,将所述影响因子在对应的偏差取值范围内离散化的实现方法为:在ADAMS中把所述影响因子作为可变参数,并用脚本文件实现所

述影响因子的参数值变化。

[0012] 作为本发明的一种优选方案,所有的所述影响因子选择在对应的偏差范围内的参数,且多个所述影响因子自由组合, m 个所述影响因子,且每个所述影响因子分为 n 个离散点,则所述影响因子自由组合的数量为 nm 。

[0013] 作为本发明的一种优选方案,在所述步骤400中,将每个参数组合的仿真结果与姿控要求进行比对,如果仿真结果超出姿控要求,则剔除该参数组合,且在对应的所述影响因子的偏差取值范围内剔除该参数;

如果每个参数组合的仿真结果在所述姿控要求的范围内,则继续选择下一组所述参数组合进行仿真。

[0014] 作为本发明的一种优选方案,所述ADAMS对所有的参数组合遍历仿真的仿真对象具体包括上面级姿控结果、分离间隙和远场追击;

当任一个仿真对象的仿真结果不符合对应的上面级姿控要求、分离间隙要求或远场追击要求时,则判定仿真结果超出姿控要求;

当所有的仿真对象的仿真结果符合对应的上面级姿控要求、分离间隙要求或远场追击要求时,则判定每个参数组合的仿真结果在所述姿控要求的范围。

[0015] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:

本发明以上面级姿态为导向,通过计算每个影响因子(即质量特性、后效推力特性和反推力特性)在其偏差取值范围内的参量对应的上面级姿态,将上面级姿态与对应的姿态要求对比以剔除不符合要求的参数,先缩小了每个影响因子的偏差取值范围,减少ADAMS仿真工作量,后利用参数化仿真的方法,结合了ADAMS仿真能模拟真实质量分布的优点和蒙特卡洛打靶法遍历多种偏差组合的优点。

附图说明

[0016] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0017] 图1为本发明实施例提供的单影响因子迭代法的流程示意图;

图2为本发明实施例提供的ADAMS仿真方法的流程示意图。

具体实施方式

[0018] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0019] 如图1所示,本发明提供了一种适用于运载火箭级间冷分离的实现方法,本实施方式以上面级姿态为导向,通过计算每个影响因子(即质量特性、后效推力特性和反推力特性)在其偏差取值范围内的参量对应的上面级姿态,将上面级姿态与对应的姿态要求对比以剔除不符合要求的参数,先缩小了每个影响因子的偏差取值范围,减少ADAMS仿真工作

量,后利用参数化仿真的方法,结合了ADAMS仿真能模拟真实质量分布的优点和蒙特卡洛打靶法遍历多种偏差组合的优点,嵌套的脚本文件的方法使仿真更加自动化。

[0020] 具体包括以下步骤:

步骤100、利用单影响因子迭代法解耦火箭级间冷分离过程的多影响因子,逐个剥离求解单个影响因子的偏差取值范围,通过目标函数求解上面级姿态。

[0021] 火箭级间分离的影响因子包括质量特性、后效推力特性和反推力特性,多因素的取值变化则造成了不同的偏差工况;所述质量特性的质量偏差包含七个参数,分别为质量偏差、三维方向的心位置偏差(x、y、z)和三维度的转动惯量偏差(I_{xx} 、 I_{yy} 、 I_{zz});所述后效推力特性的后效推力偏差包含三个参数,分别为推力大小偏差、推力方向偏差、推力作用时间偏差;所述反推力特性的反推力偏差包含三个参数,分别为推力大小偏差、推力方向偏差、推力作用时间偏差。

[0022] 其中每个影响因子的偏差取值范围根据各系统的接口来确定。比如根据结构系统确定质量、转动惯量偏差;根据分离装置的设计和试验结果确定推力大小和时间偏差、根据安装装配公差确定方向偏差;根据发动机设计和试车结果确定发动机后效偏差。

[0023] 因此多因素影响下的分离与姿控干扰研究较为复杂,多影响因子的取值变化则造成了不同的分离工况,每个影响因子的偏差工况的选取一直是冷分离过程中的关键问题,因此,建立一种简单、快捷、覆盖因素全面的偏差工况选取方法对冷分离的研究具有巨大的应用价值。

[0024] 其中,通过目标函数求解上面级姿态的实现原理为:在地面建立固定坐标系,在上面级建立随上面级运动的移动坐标系。

[0025] 在所述固定坐标系取一个微小的时间步长,根据所述上面级当前的受力求得加速度和角加速度,对时间积分得到速度和角速度,再对所述速度和角速度积分得到上面级质心位移和上面级姿态角。

[0026] 通过所述固定坐标系与所述移动坐标系之间的坐标转换将位移和角度转换至所述移动坐标系,得到新的力和力矩的向量以重新计算坐标转换后的上面级质心位移和上面级姿态角,所述上面级质心位移和上面级姿态角组成上面级姿态。其中,所述上面级姿态角为所述上面级与所述移动坐标系的三维坐标轴之间的转动角度。

[0027] 总的来说,就是利用坐标变换和积分的方法,计算上面级位置和姿态,具体过程如下:

在上面级和下面级分离解锁时刻 T_0 时刻,以空间两体分离面与箭体轴线的交点为原点、以沿箭体轴线为X轴、指向飞行方向为X轴正方向建立固定坐标系 $O-XYZ$ 。以上面级质心为原点、平行于坐标系 $O-XYZ$ 建立随上面级运动的移动坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$,以下面级质心为原点、平行于坐标系 $O-XYZ$ 建立随下面级运动的移动坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$,两级分离解锁后,两级的移动坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 和 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 随着上面级和下面级移动而移动。

[0028] 用移动坐标系的原点在固定坐标系 $O-XYZ$ 中的位置 $\vec{s} = \overline{OO_1} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$ 表征两体的位移,

用移动坐标系在固定坐标系0-XYZ中的姿态角 $\bar{\theta} = \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \beta_0 \\ \gamma_0 \end{bmatrix}$ 来表征两体的姿态。在分离解锁时

刻T0两体的质心距离为 $D_0 = |\overline{O_{10}O_{20}}|$ ，则定义两体的分离距离为： $D = |\overline{O_1O_2}| - |\overline{O_{10}O_{20}}|$ ；

以上面级为例，计算上面级分离体的质心位移 $\overline{s_{10}}(t)$ 和姿态 $\overline{\theta_{10}}(t)$ 。

[0029] 在上面级在固定坐标系0-XYZ中的初始条件如下：初始速度为 $\overline{v_{10}}(0) = [v_{01x}(0), v_{01y}(0), v_{01z}(0)]^T$ ，初始角速度为 $\overline{\omega_{10}}(0) = [\omega_{01x}(0), \omega_{01y}(0), \omega_{01z}(0)]^T$ ，初始位移 $\overline{s_{10}}(0) = [0, 0, 0]^T$ ，初始姿态角为 $\overline{\theta_{10}}(0) = [0, 0, 0]^T$ 。

[0030] 由坐标系0-XYZ到坐标系 $O_1 - X_1Y_1Z_1$ 的姿态变换矩阵为 T_{01} ，则：

$$T_{01} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} ;$$

其中， α 、 β 、 γ 为上面级相对于固定坐标系0-XYZ的三个姿态角。由于坐标系 $O_1 - X_1Y_1Z_1$ 随分离体运动，姿态角和姿态变换矩阵也会跟着改变。

[0031] 一般情况下，分离时，下面级受到恒沿箭体轴线向前的推力。因此在坐标系 $O_1 - X_1Y_1Z_1$ 中对上面级受到的力进行分析，得到力 $\overline{F_{11}}(t) = [F_{11x}(t), F_{11y}(t), F_{11z}(t)]^T$ 和力矩 $\overline{M_{11}}(t) = [M_{11x}(t), M_{11y}(t), M_{11z}(t)]^T$ 。根据坐标系变换理论，上面级在坐标系0-XYZ受到的力和力矩为：

$$\begin{aligned} \overline{F_{10}}(t) &= T_{01}(t) \cdot \overline{F_{11}}(t) \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & -\sin(\alpha(t)) & 0 \\ \sin(\alpha(t)) & \cos(\alpha(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta(t)) & -\sin(\beta(t)) \\ 0 & \sin(\beta(t)) & \cos(\beta(t)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\gamma(t)) & -\sin(\gamma(t)) & 0 \\ \sin(\gamma(t)) & \cos(\gamma(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11x}(t) \\ F_{11y}(t) \\ F_{11z}(t) \end{bmatrix} \\ \overline{M_{10}}(t) &= T_{01}(t) \cdot \overline{M_{11}}(t) \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha(t)) & -\sin(\alpha(t)) & 0 \\ \sin(\alpha(t)) & \cos(\alpha(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta(t)) & -\sin(\beta(t)) \\ 0 & \sin(\beta(t)) & \cos(\beta(t)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\gamma(t)) & -\sin(\gamma(t)) & 0 \\ \sin(\gamma(t)) & \cos(\gamma(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11x}(t) \\ M_{11y}(t) \\ M_{11z}(t) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

在T0时刻，上面级受到的力为：

$$\overline{F_{10}}(0) = T_{01}(0) \cdot \overline{F_{11}}(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11x}(0) \\ F_{11y}(0) \\ F_{11z}(0) \end{bmatrix} ;$$

$$\overline{M}_{10}(0) = T_{01}(0) \cdot \overline{M}_{11}(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11x}(0) \\ M_{11y}(0) \\ M_{11z}(0) \end{bmatrix};$$

那么,此时上面级的加速度和角加速度为:

$$\overline{a}_{10}(0) = [a_{10x}(0), a_{10y}(0), a_{10z}(0)] = \left[\frac{F_{10x}(0)}{m_1}, \frac{F_{10y}(0)}{m_1}, \frac{F_{10z}(0)}{m_1} \right];$$

$$\overline{\alpha}_{10}(0) = [\alpha_{10x}(0), \alpha_{10y}(0), \alpha_{10z}(0)] = \left[\frac{M_{10x}(0)}{J_{10x}(0)}, \frac{M_{10y}(0)}{J_{10y}(0)}, \frac{M_{10z}(0)}{J_{10z}(0)} \right];$$

其中: m_1 为上面级的总质量, $J_{10}(0) = [J_{10x}(0), J_{10y}(0), J_{10z}(0)]^T$ 为上面级在固定坐标系0-XYZ中的转动惯量。由于 $J_{10}(t) = T_{01}(t) \cdot J_{11} = T_{01}(t) \cdot [J_{11x}, J_{11y}, J_{11z}]^T$, J_{11} 为上面级在自身坐标系 $O_1 - X_1Y_1Z_1$ 中的转动惯量, 为定值, 则 $J_{10}(t)$ 随坐标系 $O_1 - X_1Y_1Z_1$ 的运动而改变。

[0032] 取时间步长 Δt , 则下一时刻为, 对时间积分, 那么 T_1 时刻上面级的位移、角位移:

$$\overline{s}_{10}(1) = \overline{s}_{10}(0) + \overline{v}_{10}(0) \cdot \Delta t = \begin{bmatrix} x_{10}(1) \\ y_{10}(1) \\ z_{10}(1) \end{bmatrix};$$

$$\overline{\theta}_{10}(1) = \overline{\theta}_{10}(0) + \overline{\omega}_{10}(0) \cdot \Delta t = \begin{bmatrix} \alpha_{10}(1) \\ \beta_{10}(1) \\ \gamma_{10}(1) \end{bmatrix};$$

计算得到的 $\overline{s}_{10}(1)$ 即为时刻上面级质心的位移, $\overline{\theta}_{10}(1)$ 为 T_1 时刻上面级相对于固定坐标系0-XYZ的姿态, 因此可以得到新的姿态角 $\overline{\theta}_0(1) = \begin{bmatrix} \alpha_0(1) \\ \beta_0(1) \\ \gamma_0(1) \end{bmatrix}$ 和姿态矩阵 $T_{01}(1)$ 作为下一时刻的计算依据。

[0033] 考虑到上面级受到的力随时间发生变化, 因此重新计算 T_1 时刻上面级的力 $\overline{F}_{10}(1)$ 和力矩 $\overline{M}_{10}(1)$, 再由此计算得到 T_1 时刻的加速度 $\overline{a}_{10}(1)$ 和角加速度 $\overline{\alpha}_{10}(1)$ 。由此依次循环迭代, 得到整个分离过程中上面级的质心位移 $\overline{s}_{10}(t)$ 和姿态 $\overline{\theta}_{10}(t)$ 。

[0034] 步骤200、逐一选择单个所述影响因子对应偏差取值范围的参数, 根据所述目标函数获取单个所述影响因子的参数变化对应的上面级姿态, 并将所述上面级姿态与姿态要求对比剔除, 以缩小每个所述影响因子的偏差取值范围;

在步骤200中, 以姿控为导向, 利用单影响因子迭代法有效缩小影响因子的偏差取

值范围,为后续ADAMS的参数化仿真提供实现条件,如图1所示,具体的实现方法为:

1、获取解耦的多个影响因子,且对多个所述影响因子进行排序。

[0035] 2、按序选择所述影响因子在其偏差取值范围内的参数,且其他的所述影响因子均取标准值,以目标函数求解上面级姿态,上面级姿态的目标函数求为单个影响因子的单调函数或二次函数,因此比较容易得到一个满足姿控要求的取值范围。

[0036] 3、对比所述上面级姿态和姿控要求,剔除掉所述影响因子的偏差范围内不满足要求的参数。

[0037] 4、依次按照排序选择下一个所述影响因子,并在其偏差范围选取参数,其他的所述影响因子均取标准值,重复上述操作以缩小所有影响因子的偏差取值范围。

[0038] 选择单个所述影响因子在偏差取值范围内的参数,利用目标函数计算上面级质心位移和上面级姿态角,当上面级质心位移或上面级姿态角任一个不符合对应的姿控要求时,则剔除掉该影响因子的参数,当上面级质心位移以及上面级姿态角共同符合对应的姿控要求,则在所述偏差取值范围内保留该参数。

[0039] 步骤300、将所述影响因子在所述步骤200得到的偏差取值范围内离散化,多个所述影响因子在对应偏差取值范围内的参数自由组合形成参数组合;

在步骤300中,将所述影响因子在对应的偏差取值范围内离散化的实现方法为:在ADAMS中把所述影响因子作为可变参数,并用脚本文件实现所述影响因子的参数值变化。

[0040] 如图2所示,所有的所述影响因子选择在对应的偏差范围内的参数,且多个所述影响因子自由组合, m 个所述影响因子,且每个所述影响因子分为 n 个离散点,则所述影响因子自由组合的数量为 n^m 。

[0041] 此时的偏差取值范围为经过步骤100筛选剔除后的偏差取值范围,所以步骤200中的每个影响因子在偏差取值范围内的参数量小于步骤100中的每个影响因子在偏差取值范围内的参数量,因此缩小了参数范围,进而大幅度的降低参数组合的数量。

[0042] 步骤400、利用ADAMS对所有的参数组合遍历仿真,每次仿真结果与姿控要求进行比对直到遍历所有影响因子的取值,剔除仿真结果不符合所述姿控要求的参数组合,以进一步缩小每个所述影响因子的偏差取值范围。

[0043] 在所述步骤400中,将每个参数组合的仿真结果与姿控要求进行比对,如果仿真结果超出姿控要求,则剔除该参数组合,且在对应的所述影响因子的偏差取值范围内剔除该参数。如果每个参数组合的仿真结果在所述姿控要求的范围内,则继续选择下一组所述参数组合进行仿真。

[0044] 所述ADAMS对所有的参数组合遍历仿真的仿真对象具体包括上面级姿控结果、分离间隙和远场追击。

[0045] 当任一个仿真对象的仿真结果不符合对应的上面级姿控要求、分离间隙要求或远场追击要求时,则判定仿真结果超出姿控要求,当所有的仿真对象的仿真结果符合对应的上面级姿控要求、分离间隙要求或远场追击要求时,则判定每个参数组合的仿真结果在所述姿控要求的范围。

[0046] 本实施方式以上面级姿态为导向的分离设计方法,能够满足现在作动式分离装置的设计需求,且通过单影响因子迭代法缩小参数的取值范围,减少仿真工作量,并利用参数化仿真的方法,结合了ADAMS仿真能模拟真实质量分布的优点和蒙特卡洛打靶法遍历多种

偏差组合的优点,嵌套的脚本文件的方法使仿真更加自动化,通过筛选多个影响因子的偏差取值来适应质量、惯量分布不均匀的分离体,且可视性强,能遍历所有偏差工况。

[0047] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

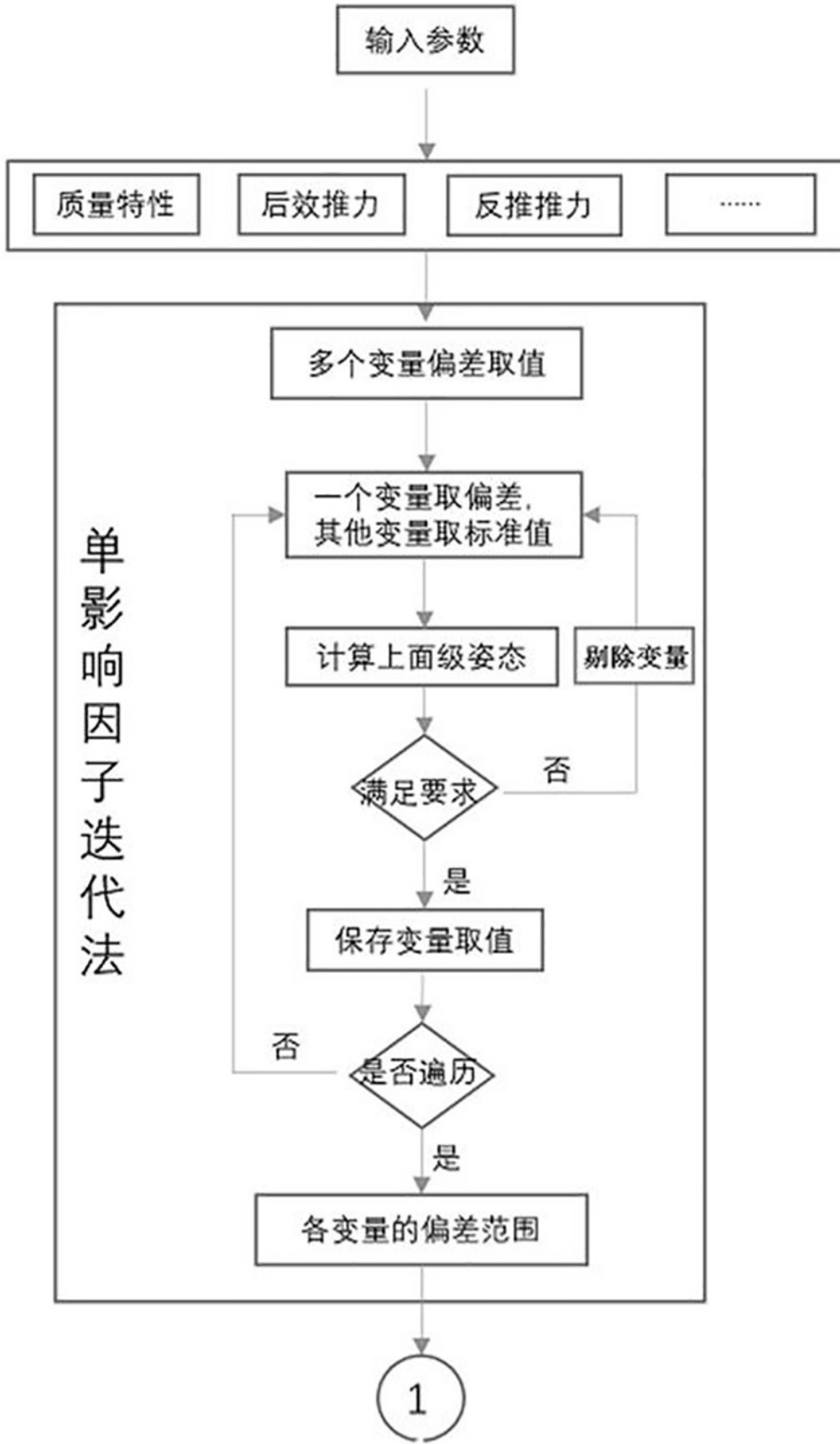


图1

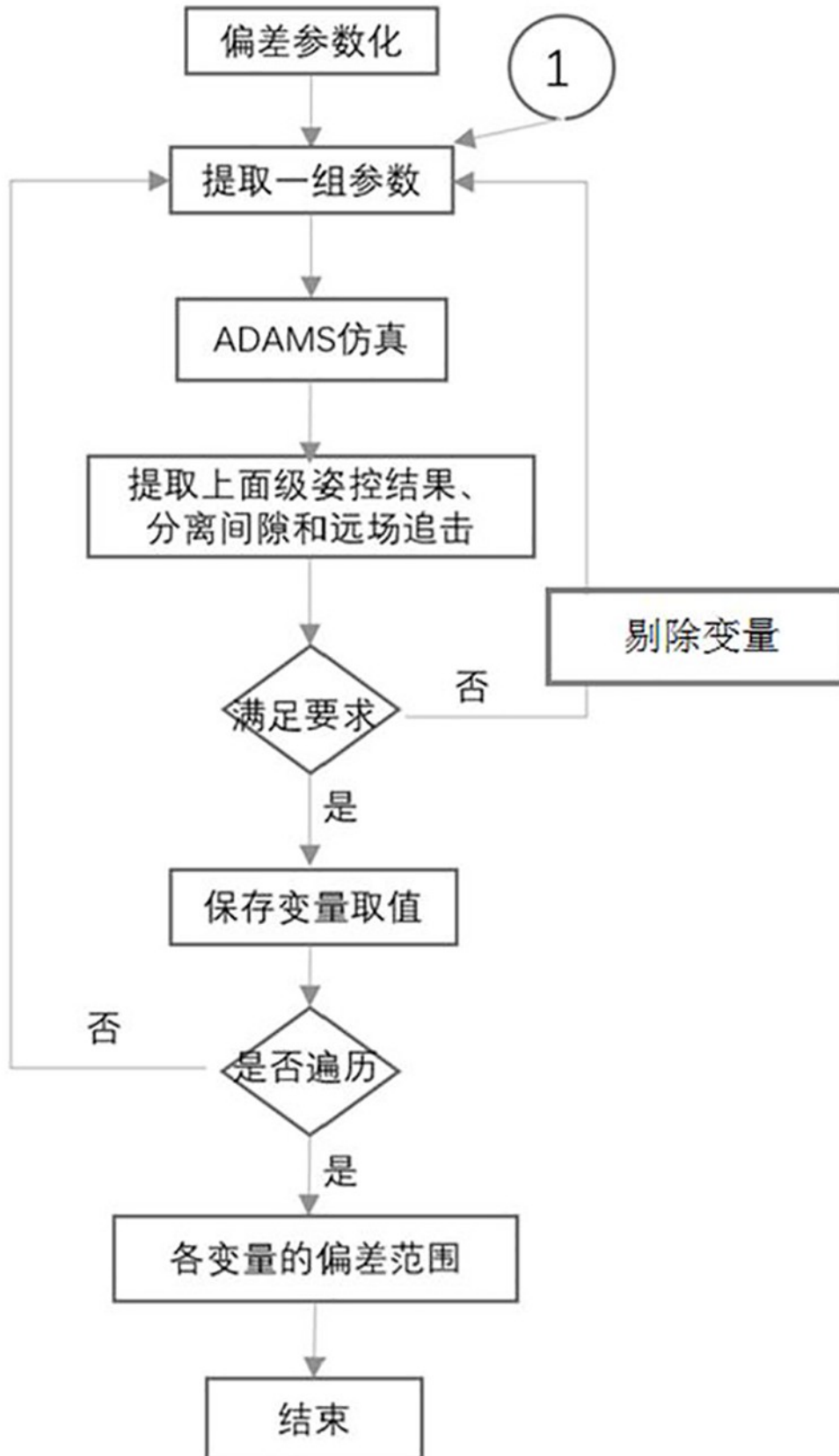


图2