



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113177269 B

(45) 授权公告日 2021.09.21

(21) 申请号 202110733652.6

G06F 30/20 (2020.01)

(22) 申请日 2021.06.30

G06T 17/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113177269 A

审查员 赵玲玉

(43) 申请公布日 2021.07.27

(73) 专利权人 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 胡小伟 朱永泉 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 胡剑辉

(51) Int. Cl.  
G06F 30/15 (2020.01)

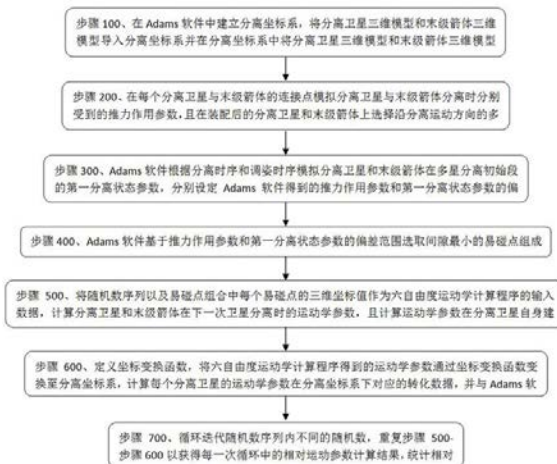
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种多星分离安全距离参数优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种多星分离安全距离参数优化方法,以Adams软件为初始分离段分析工具,将各分离体真实外形下的质量特性、分离弹簧力、后效推力等输入参数的偏差工况,利用目标函数组合计算姿态干扰和两体最小间隙的单偏差叠加和偏差工况,以获取姿态偏差和易碰点组合,将Adams软件计算中获取的姿态偏差和易碰点组合作为六自由度运动学计算程序的输入参数,利用输入参数的偏差数据的概率分布建立随机数,开展随机打靶仿真计算,获取概率分布条件下的近场分离姿态偏差分布和星-星、星-箭安全距离分布,本发明克服了对各输入参数连续变化情况下的计算结果覆盖性不足以及对初始分离段真实外形下两体最小间隙精细化不足的问题。



1. 一种多星分离安全距离参数优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤100、在Adams软件中建立分离坐标系,将分离卫星三维模型和末级箭体三维模型导入所述分离坐标系,并在所述分离坐标系中将所述分离卫星三维模型和末级箭体三维模型按照布局位置进行装配;

步骤200、三维模拟每个分离卫星与末级箭体装配时的连接点,且在每个所述分离卫星与末级箭体的连接点模拟所述分离卫星与末级箭体分离时分别受到的推力作用参数,且在装配后的所述分离卫星和末级箭体上选择沿分离运动方向的多个边界点作为易碰点,并记录每个所述边界点在所述分离坐标系的三维坐标值;

步骤300、所述Adams软件根据分离时序和调姿时序模拟所述分离卫星和末级箭体在多星分离初始段的第一分离状态参数,分别设定所述Adams软件得到的推力作用参数和所述第一分离状态参数的偏差范围,生成所述推力作用参数对应偏差范围以及所述第一分离状态参数对应偏差范围的随机数序列;

步骤400、所述Adams软件基于所述推力作用参数和第一分离状态参数的偏差范围选取间隙最小的易碰点组成易碰点组合;

其中,所述随机数序列包括由所述推力作用参数上偏差和下偏差为边界形成的概率分布下的多组随机数,以及由所述分离卫星以及所述末级箭体的第一分离状态参数上偏差和下偏差为边界形成的概率分布下的多组随机数,所述Adams软件利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差确定易碰点组合的实现步骤为:

设置星-星分离时的弹簧力和力偏差、后效推力及力偏差;

设置卫星质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;

设置箭体质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;

生成偏差工况组合,并确定组合内的元素数量;

按照分离时序和调姿时序,针对每个工况开展单次仿真计算;

获取偏差组合工况下的各分离体最小间隙、质心最小距离,选择最小间隙的点-点组合作为易碰点组合;

步骤500、将所述随机数序列以及所述易碰点组合中每个所述易碰点的三维坐标值作为六自由度运动学计算程序的输入数据,所述六自由度运动学计算程序按照分离时序和调姿时序对多星分离工作进行分段模拟,计算所述分离卫星和末级箭体在下次卫星分离时的运动学参数,且计算所述运动学参数在所述分离卫星自身建立的坐标系内对应的坐标值;

步骤600、定义坐标变换函数,将六自由度运动学计算程序得到的运动学参数通过所述坐标变换函数变换至所述分离坐标系,计算每个所述分离卫星的运动学参数在所述分离坐标系下对应的转化数据,并将换算的转化数据与Adams软件获取的相同数据进行对比;

步骤700、循环迭代所述随机数序列内不同的随机数,重复步骤500-步骤600以获得每一次循环中的相对运动参数计算结果,统计相对值的概率分布情况。

2. 根据权利要求1所述的一种多星分离安全距离参数优化方法,其特征在于,在步骤200中,在每个所述分离卫星与末级箭体的连接点模拟所述分离卫星与末级箭体分离时分别受到的推力作用参数的实现方式为:

在每个所述分离卫星与末级箭体的连接面中心位置设置连接点;

在每个所述分离卫星与末级箭体上的连接点之间设置分离弹簧处,且在每个所述分离弹簧处设置与位移相关作用力来模拟弹簧力;

在发动机喷管摆动中心点设置具有轴向分力和横向分力的发动机后效推力以模拟发动机轴向推力和残余摆角引起的横向推力。

3. 根据权利要求2所述的一种多星分离安全距离参数优化方法,其特征在于:在步骤300中,所述推力作用参数和所述第一分离状态参数包括力参数、质量特性参数以及空间位置参数,其中所述力参数表示弹簧力和后效推力、所述质量特性参数表示质量惯量以及转动惯量,所述空间位置参数表示质心位置、弹簧力位置以及后效推力位置。

4. 根据权利要求1所述的一种多星分离安全距离参数优化方法,其特征在于:在步骤400中,所述易碰点选取为临近所述分离卫星的边缘点、或所述分离卫星与末级箭体之间的边缘点、或两个所述分离卫星之间的最小间隙点、或所述末级箭体的末级喷管的边缘点。

5. 根据权利要求1所述的一种多星分离安全距离参数优化方法,其特征在于:所述第一分离状态参数中关于所述分离卫星以及所述末级箭体的数据偏差包括所述分离卫星的质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;以及所述末级箭体的质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差。

6. 根据权利要求1所述的一种多星分离安全距离参数优化方法,其特征在于,所述Adams软件利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差确定分离姿态角速度的实现步骤为:

设置星-星分离时的弹簧力和力偏差;

设置卫星质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;

生成偏差组合工况,并确定组合内的元素数量;

针对每个偏差组合工况开展单次仿真计算,获取偏差组合工况下的卫星分离姿态角和姿态角速度。

7. 根据权利要求1所述的一种多星分离安全距离参数优化方法,其特征在于:在步骤500中,按照分离时序、分离后调姿时序对星箭分离程序进行分段,每段结束时刻的末级速度、位置、姿态信息作为下一段星箭分离前的初始条件,所述运动学参数包括加速度、线速度、位移、角速度、飞行角度。

## 一种多星分离安全距离参数优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及卫星分离技术领域,具体涉及一种多星分离安全距离参数优化方法。

### 背景技术

[0002] 随着星座计划的发展,卫星组网发射需求日益强烈,卫星设计也向着小型化、高集成度的方向发展。一箭多星发射提升了运载效率,但也对卫星布局、星箭分离装置和星箭分离方案设计提出了较高的要求。

[0003] 卫星分离过程中,除了轨道精度外,关注的关键技术指标包括分离姿态角速度偏差和与其他分离体的安全距离。分离姿态角速度偏差的主要决定因素是分离弹簧力偏差与质心位置偏差,而不同批次释放卫星之间、卫星与末级箭体之间的安全距离受到发动机后效推力、分离前箭体质量特性偏差的影响,如固体发动机的后效推力存在较大的不确定性,预示结果难以精确模拟飞行状态;分离前箭体质量特性与称重精度、末修推进剂消耗量密切相关,质心偏差也存在较大的不确定性,这就造成了卫星多次释放后星-星、星-箭之间的安全距离预示结果受到诸多因素的影响。

[0004] 通常的分离系统设计中由于分离体数量较少,采用偏差组合工况仿真分析实现了各输入参数在上、下偏差和标准状态下的特征量计算,往往能够覆盖所有恶劣情况,但是在现有技术中,星箭分离系统特别是多星、多批次分离系统设计中,分离体数量众多导致偏差组合工况的模式难以充分遍历,组合往往不能覆盖所有最恶劣情况。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种多星分离安全距离参数优化方法,以解决现有技术中分离体数量众多导致偏差组合工况的模式难以充分遍历,组合往往不能覆盖所有最恶劣情况的技术问题。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0007] 一种多星分离安全距离参数优化方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤100、在Adams软件中建立分离坐标系,将分离卫星三维模型和末级箭体三维模型导入所述分离坐标系并在所述分离坐标系中将所述分离卫星三维模型和末级箭体三维模型按照布局位置进行装配;

[0009] 步骤200、三维模拟每个分离卫星与末级箭体装配时的连接点,且在每个所述分离卫星与末级箭体的连接点模拟所述分离卫星与末级箭体分离时分别受到的推力作用参数,且在装配后的所述分离卫星和末级箭体上选择沿分离运动方向的多个边界点作为易碰点,并记录每个所述边界点在所述分离坐标系的三维坐标值;

[0010] 步骤300、所述Adams软件根据分离时序和调姿时序模拟所述分离卫星和末级箭体在多星分离初始段的第一分离状态参数,分别设定所述Adams软件得到的推力作用参数和所述第一分离状态参数的偏差范围,生成所述推力作用参数对应偏差范围以及所述第一分离状态参数对应偏差范围的随机数序列;

[0011] 步骤400、基于所述推力作用参数和第一分离状态参数的偏差范围选取间隙最小的易碰点组成易碰点组合；

[0012] 步骤500、将所述随机数序列以及所述易碰点组合中每个所述易碰点的三维坐标值作为所述六自由度运动学计算程序的输入数据，从所述随机数序列内任意选择偏差数据组作为多星分离试验的输入数据，所述六自由度运动学计算程序按照分离时序和调姿时序对多星分离工作进行分段模拟，计算所述分离卫星和末级箭体在下一次卫星分离时的运动学参数，且计算所述运动学参数在所述分离卫星自身建立的坐标系内对应的坐标值；

[0013] 步骤600、定义坐标变换函数，将六自由度运动学计算程序得到的运动学参数通过所述坐标变换函数变换至所述分离坐标系，计算每个所述分离卫星的运动学参数在所述分离坐标系下对应的第二分离状态参数，并确定该换算的第二分离状态参数与所述第一分离状态参数的相对值；

[0014] 步骤700、循环迭代所述随机数序列内不同的随机数，重复步骤500-步骤600以获得每一次循环中的相对运动参数计算结果，统计相对值的概率分布情况。

[0015] 作为本发明的优选方案，在步骤200中，在每个所述分离卫星与末级箭体的连接点模拟所述分离卫星与末级箭体分离时分别受到的推力作用参数的实现方式为：

[0016] 在每个所述分离卫星与末级箭体的连接面中心位置设置连接点；

[0017] 在每个所述分离卫星与末级箭体上的连接点之间设置分离弹簧处，且在每个所述分离弹簧处设置与位移相关作用力来模拟弹簧力；

[0018] 在发动机喷管摆动中心点设置具有轴向分力和横向分力的发动机后效推力以模拟发动机轴向推力和残余摆角引起的横向推力。

[0019] 作为本发明的优选方案，在步骤300中，所述推力作用参数和所述第一分离状态参数包括力参数、质量特性参数以及空间位置参数，其中所述力参数表示弹簧力和后效推力、所述质量特性参数表示质量惯量以及转动惯量，所述空间位置参数表示质心位置、弹簧力位置以及后效推力位置。

[0020] 作为本发明的优选方案，在步骤400中，所述易碰点选取为临近所述分离卫星的边缘点、或所述分离卫星与末级箭体之间的边缘点、或两个所述分离卫星之间的最小间隙点、或所述末级箭体的末级喷管的边缘点。

[0021] 作为本发明的优选方案，所述第一分离状态参数中关于所述分离卫星以及所述末级箭体的数据偏差包括所述分离卫星的质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差；以及所述末级箭体的质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差。

[0022] 作为本发明的优选方案，在步骤400中，所述随机数序列包括由所述推力作用参数下偏差和下偏差为边界形成的概率分布下的多组随机数，以及由所述分离卫星以及所述末级箭体的第一分离状态参数下偏差和下偏差为边界形成的概率分布下的多组随机数，所述Adams软件利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差确定易碰点组合的实现步骤为：

[0023] 设置星-星分离时的弹簧力和力偏差、后效推力及力偏差；

[0024] 设置卫星质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差；

[0025] 设置箭体质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差；

[0026] 生成偏差工况组合，并确定组合内的元素数量；

- [0027] 按照分离时序和调姿时序,针对每个工况开展单次仿真计算;
- [0028] 获取偏差组合工况下的各分离体最小间隙、质心最小距离,选择最小间隙的点-点组合作为易碰点组合。
- [0029] 作为本发明的优选方案,所述Adams软件利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差确定分离姿态角速度的实现步骤为:
- [0030] 设置星-星分离时的弹簧力和力偏差;
- [0031] 设置卫星质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;
- [0032] 生成偏差组合工况,并确定组合内的元素数量;
- [0033] 针对每个偏差组合工况开展单次仿真计算,获取偏差组合工况下的卫星分离姿态角和姿态角速度。
- [0034] 作为本发明的优选方案,在步骤500中,按照分离时序、分离后调姿时序对星箭分离程序进行分段,每段结束时刻的末级速度、位置、姿态信息作为下一段星箭分离前的初始条件;
- [0035] 所述运动学参数包括加速度、线速度、位移、角速度、飞行角度。
- [0036] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:
- [0037] 本发明通过Adams软件和六自由度运动学计算程序相结合,将Adams软件计算中获取的姿态偏差和易碰点组合作为六自由度运动学计算程序的输入条件和参考依据,利用分离卫星和末级箭体的输入参数(质量特性、分离弹簧力以及后效推力)偏差工况的概率分布建立随机数,实现多体之间运动学参数的随机打靶仿真,弥补偏差工况组合有限次计算可能带来的不覆盖性,提高多星分离安全性计算的工况覆盖性,为多星分离方案设计提供更加有效的仿真计算手段。

## 附图说明

[0038] 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。

[0039] 图1为本发明实施例提供安全具体参数优化方法的流程示意图。

## 具体实施方式

[0040] 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。

[0041] 如图1所示,本发明提供了一种多星分离安全距离参数优化方法,不同批次释放卫星之间、卫星与末级箭体之间的安全距离受到发动机后效推力、分离前箭体质量特性偏差的影响,分离前箭体质量特性与称重精度、末修推进剂消耗量密切相关,质心偏差也存在较大的不确定性,采用偏差组合工况仿真分析实现了各输入参数在上、下偏差和标准状态下的特征量计算,往往能够覆盖所有恶劣情况,因此,使用参数概率分布下的随机变量作为输

入,开展随机打靶分析成为越来越实用的分析手段。

[0042] Adams软件能够将真实的分离体外形直观显示,并能够实时获取两体真实外形下的最小间隙,但一套输入参数只能开展一次仿真,在输入参数偏差组合情况下,即使修改一个参数,也需要单独开展一次仿真,对多参数偏差组合工况仿真适应性不强,只能满足几十次、几百次手工修改参数下的仿真工况。

[0043] C#六自由度计算程序的缺点是不能直观表征真实分离体外形和两体最小间隙,在初始分离段的分离体间隙计算不够精细,但优点是能够通过将输入参数进行概率化分布,实现多体之间运动学参数的随机打靶仿真,弥补偏差工况组合有限次计算可能带来的不覆盖性。

[0044] 因此为了结合Adams软件和C#六自由度计算程序的优点,并解决Adams软件和C#六自由度计算程序的缺点,本实施方式通过Adams软件和六自由度运动学计算程序相结合,将多星分离初始段的姿态偏差和两体最小间隙进行偏差工况计算,将计算结果、易碰点组合选取参考作为六自由度运动学计算程序的输入,开展输入参数概率分布下的随机打靶仿真,提高多星分离安全性计算的工况覆盖性,为多星分离方案设计提供更加有效的仿真计算手段。

[0045] 具体包括以下步骤:

[0046] 步骤100、在Adams软件中建立分离坐标系,将分离卫星三维模型和末级箭体三维模型导入分离坐标系并在分离坐标系中将分离卫星三维模型和末级箭体三维模型按照布局位置进行装配。

[0047] 在Adams软件中将卫星和箭体按照布局位置进行装配,在每个卫星与箭体连接面中心位置设置Joint连接,在每个分离弹簧处设置点-点之间与位移相关的作用力模拟弹簧力;发动机后效推力作用于发动机喷管摆动中心点,共有轴向和横向两个分力,分别模拟发动机轴向推力和残余摆角引起的横向推力。

[0048] 步骤200、三维模拟每个分离卫星与末级箭体装配时的连接点,且在每个分离卫星与末级箭体的连接点模拟分离卫星与末级箭体分离时分别受到的推力作用参数,且在装配后的分离卫星和末级箭体上选择沿分离运动方向的多个边界点作为易碰点,并记录每个边界点在分离坐标系的三维坐标值。

[0049] 在步骤200中,推力作用参数包括表示弹簧力和后效推力的力参数,在每个分离卫星与末级箭体的连接点模拟分离卫星与末级箭体分离时分别受到的推力作用参数的实现方式为:

[0050] 在每个分离卫星与末级箭体的连接面中心位置设置连接点;

[0051] 在每个分离卫星与末级箭体上的连接点之间设置分离弹簧处,且在每个分离弹簧处设置与位移相关作用力来模拟弹簧力;

[0052] 在发动机喷管摆动中心点设置具有轴向分力和横向分力的发动机后效推力以模拟发动机轴向推力和残余摆角引起的横向推力。

[0053] 步骤300、Adams软件根据分离时序和调姿时序模拟分离卫星和末级箭体在多星分离初始段的第一分离状态参数,分别设定Adams软件得到的推力作用参数和第一分离状态参数的偏差范围,生成推力作用参数对应偏差范围以及第一分离状态参数对应偏差范围的随机数序列。

[0054] 易碰点选取为临近分离卫星的边缘点、或分离卫星与末级箭体之间的边缘点、或两个分离卫星之间的最小间隙点、或末级箭体的末级喷管的边缘点。

[0055] 第一分离状态参数包括表示质量惯量以及转动惯量的质量特性参数,以及表示质心位置、弹簧力位置以及后效推力位置的空间位置参数,推力作用参数包括表示力参数的弹簧力,第一分离状态参数中关于分离卫星以及末级箭体的数据偏差包括分离卫星的质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;以及末级箭体的质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差,推力作用参数中关于分离卫星以及末级箭体的数据偏差包括分离卫星以及末级箭体受到的弹簧力偏差。

[0056] 需要进一步补充说明的是,卫星分离过程中,除了轨道精度外,关注的关键技术指标包括分离姿态角速度以及与其他分离体的安全距离,分离姿态角速度的主要决定因素是分离弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及质心位置偏差。

[0057] Adams软件利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差确定分离姿态角速度的实现步骤为:

[0058] 设置星-星分离时的弹簧力和力偏差;

[0059] 设置卫星质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;

[0060] 生成偏差工况组合,并确定组合内的元素数量;

[0061] 针对每个工况开展单次仿真计算,获取偏差组合工况下的卫星分离姿态角和姿态角速度。

[0062] 步骤400、基于推力作用参数和第一分离状态参数的偏差范围选取间隙最小的易碰点组成易碰点组合。

[0063] 由于弹簧力偏差、质量特性偏差、空间位置偏差会引起对末级箭体计算的姿态偏差,其偏差量级由作为输入条件的偏差量级所决定,易碰点组合的确定是在输入条件偏差选取的基础上,对存在最小间隙的点-点组合进行辨识,最终确定最小间隙的点-点组合作为易碰点组合,其中,易碰点间隙指的是分离路径上两体最可能发生碰撞的危险点之间的距离,静态安装下的间隙称为静态间隙,动态运动过程中的间隙称为动态间隙,一般来说,由于分离体存在一定的初始姿态角速度干扰,动态间隙会小于静态间隙。

[0064] Adams软件利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差确定易碰点组合的实现步骤为:

[0065] 设置星-星分离时的弹簧力和力偏差、后效推力及力偏差;

[0066] 设置卫星质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;

[0067] 设置箭体质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;

[0068] 生成偏差工况组合,并确定组合内的元素数量;

[0069] 按照分离时序和调姿时序,针对每个工况开展单次仿真计算;

[0070] 获取偏差组合工况下的各分离体最小间隙、质心最小距离,选择最小间隙的点-点组合作为易碰点组合。

[0071] 因此本实施方式以Adams软件为初始分离段分析工具,确定分离卫星以及末级箭体真实外形下的质量特性、分离弹簧力、后效推力的偏差工况组合,计算姿态干扰和两体最小间隙的单偏差叠加和偏差工况组合,以获取姿态偏差和易碰点组合。

[0072] 将Adams软件计算中获取的姿态偏差和易碰点组合作为六自由度运动学计算程序



的输入条件和参考依据,利用各分离体输入参数的概率分布建立随机数,开展随机打靶仿真计算,获取概率分布条件下的近场分离姿态偏差分布和星-星、星-箭安全距离分布。

[0073] 步骤500、将随机数序列以及易碰点组合中每个易碰点的三维坐标值作为六自由度运动学计算程序的输入数据,从随机数序列内任意选择偏差数据组合作为多星分离试验的输入数据,六自由度运动学计算程序按照分离时序和调姿时序对多星分离工作进行分段模拟,计算分离卫星和末级箭体在下一次卫星分离时的运动学参数,且计算运动学参数在分离卫星自身建立的坐标系内对应的坐标值。

[0074] 按照分离时序、分离后调姿时序对星箭分离程序进行分段,每段结束时刻的末级速度、位置、姿态信息作为下一段星箭分离前的初始条件。

[0075] 随机数序列包括由推力作用参数下偏差和下偏差为边界形成的概率分布下的多组随机数,以及由分离卫星以及末级箭体的第一分离状态参数下偏差和下偏差为边界形成的概率分布下的多组随机数,随机数序列包括三个元素,分别为质量特性参数、力参数以及空间位置参数,偏差数据具体为星体质量偏差、转动惯量偏差、弹簧力偏差、后效推力偏差、质心位置偏差、弹簧力位置偏差、后效推力位置偏差等。

[0076] 其中,运动学参数包括加速度、线速度、位移、角速度、飞行角度以及易碰点空间坐标,从而Adams软件与六自由度运动学程序之间完成易碰点空间坐标、分离速度、分离姿态、分离位移等实现数据交互。

[0077] 步骤600、定义坐标变换函数,将六自由度运动学计算程序得到的运动学参数通过坐标变换函数变换至分离坐标系,计算每个分离卫星的运动学参数在分离坐标系下对应的转化数据,并确定该换算的转化数据与Adams软件获取的相同数据进行对比。

[0078] 六自由度运动学计算程序按照分离时序和调姿时序对多星分离工作进行分段模拟,具体的实现方式为:

[0079] (1) 选择从随机数序列内选择任一个弹簧力偏差数据、质量特性偏差数据,各分离体空间位置偏差数据及易碰点坐标作为输入参数;

[0080] (2) 设置各星分离时序和调姿时序,设置分离点位置、速度、姿态信息传递方向,计算分离体在自身坐标系下的位置、速度和姿态参数

[0081] (3) 将分离体运动学参数坐标变换至分离坐标系计算分离体在分离坐标系下的位置、速度和姿态参数;

[0082] (4) 计算运动学参数相对值,获取相对分离姿态、易碰点间隙、质心位置、速度等。

[0083] 具体的,六自由度运动学计算程序利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差确定分离姿态角速度的实现步骤为:

[0084] 1、设置星-星分离时的弹簧力和力偏差;

[0085] 2、设置卫星质量偏差、转动惯量偏差以及质心位置偏差;

[0086] 3、建立各参数概率分布下的随机数,针对随机数开展随机打靶计算;

[0087] 4、获取随机打靶工况下的卫星分离姿态角和姿态角速度。

[0088] 将六自由度运动学计算程序计算得到的姿态参数、力参数、质性惯量参数以及空间位置参数与Adams软件计算得到的数据进行对比,选择差距较少的数据参数作为优化参数。

[0089] 六自由度运动学计算程序利用弹簧力偏差、质量特性参数偏差以及空间位置偏差

确定易碰点组合的实现步骤为：

[0090] 设置分离弹簧力及力偏差后效推力及力偏差

[0091] 设置卫星质量、转动惯量及偏差质心位置及偏差

[0092] 设置箭体质量、转动惯量及偏差质心位置及偏差

[0093] 建立各参数概率分布下的随机数，按照分离时序和调姿时序，针对随机数开展随机打靶计算

[0094] 获取随机打靶工况下各分离体最小间隙、质心最小距离、相对分离速度等。

[0095] 其中，第二分离状态参数同样包括运动学参数、力参数、质性惯量参数以及空间位置参数，力参数包括弹簧力以及后效推力；空间位置参数包括质心位置、弹簧力位置以及后效推力位置等，质性惯量参数包括质量和转动惯量。

[0096] 根据上述六自由度运动学计算程序和Adams软件计算易碰点组合和姿态角速度的实现方式可知，Adams软件能够将真实的分离体外形直观显示，并能够实时获取两体真实外形下的最小间隙，但一套输入参数只能开展一次仿真，在输入参数偏差组合情况下，即使修改一个参数，也需要单独开展一次仿真，对多参数偏差组合工况仿真适应性不强，只能满足几十次、几百次手工修改参数下的仿真工况。

[0097] 由于力参数偏差、质量特性偏差和空间位置偏差导致海量的仿真数据，因此Adams软件并不适合进行仿真工作，六自由度计算程序能够通过将力参数、质量特性参数和空间位置参数进行概率化分布，实现多体之间运动学参数的随机打靶仿真，弥补偏差工况组合有限次计算可能带来的不覆盖性。

[0098] 因此本实施方式结合两种计算程序的优点，利用Adams软件能够将真实的分离体外形直观显示，并能够实时获取两体真实外形下的最小间隙，同时将力参数、质量特性参数和空间位置参数进行概率化分布，实现多体之间运动学参数的随机打靶仿真，弥补偏差工况组合有限次计算可能带来的不覆盖性。

[0099] 步骤700、循环迭代随机数序列内不同的随机数，重复步骤500-步骤600以获得每一次循环中的相对运动参数计算结果，统计相对值的概率分布情况。

[0100] 本实施方式实现了Adams软件与六自由度运动学计算程序的结合使用，使初始分离段和近场分离段姿态偏差和易碰点间隙、安全距离计算实现无缝衔接；克服了单纯使用Adams软件分离计算对各输入参数连续变化情况下的计算结果覆盖性问题；克服了单纯使用C#六自由度运动学计算程序对初始分离段真实外形下两体最小间隙精细化预示不足的问题。

[0101] 因此本发明通过Adams软件和六自由度运动学计算程序相结合，将Adams软件计算中获取的姿态偏差和易碰点组合作为六自由度运动学计算程序的输入条件和参考依据，利用分离卫星和末级箭体的输入参数（质量特性、分离弹簧力以及后效推力）偏差工况的概率分布建立随机数，实现多体之间运动学参数的随机打靶仿真，弥补偏差工况组合有限次计算可能带来的不覆盖性，提高多星分离安全性计算的工况覆盖性，为多星分离方案设计提供更加有效的仿真计算手段。

[0102] 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。

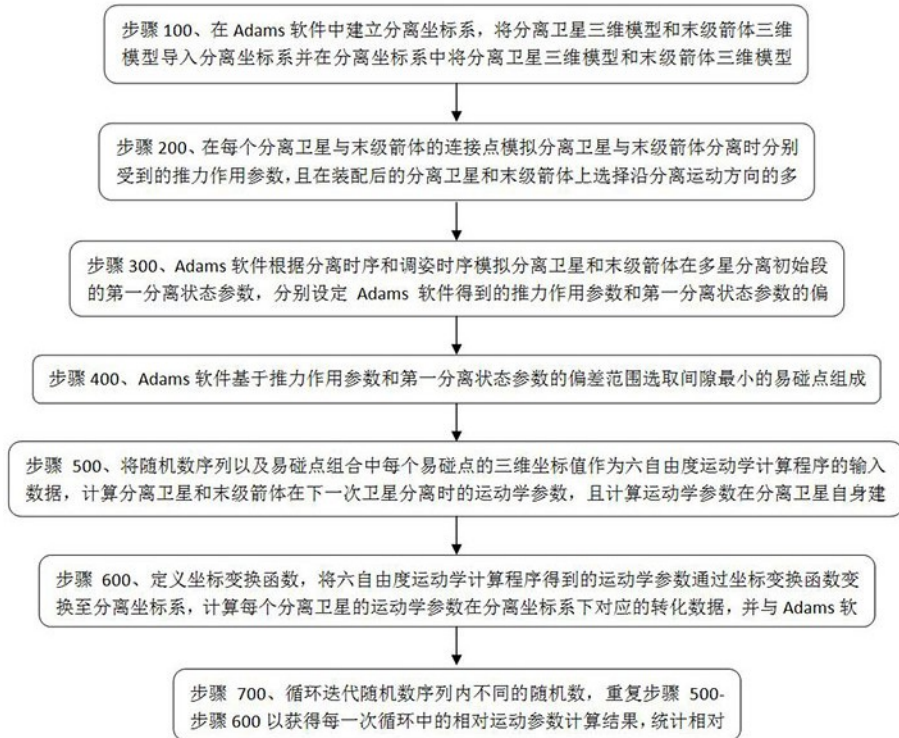


图1