



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114261538 A

(43) 申请公布日 2022.04.01

(21) 申请号 202210173791.2

(22) 申请日 2022.02.25

(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 汪运鹏 王粤 姜宗林

(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.

B64G 1/14 (2006.01)

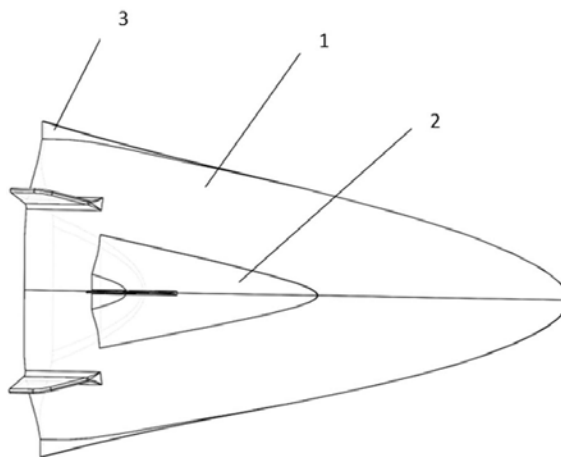
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法,包括构建轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体结构;在所述的组合体结构的飞行达到级间分离条件时,使助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡,进而使组合体结构绕机身侧向滚转 $90^\circ$ ;在保持组合体结构的侧向滚转 $90^\circ$ 下,轨道级乘波体飞行器在自身动力推动下沿助推级乘波体飞行器上表面进行水平分离动作;轨道级乘波体飞行器脱离助推级乘波体飞行器后,继续侧向滚转 $90^\circ$ ,并爬升至目标轨道,助推级乘波体飞行器反向滚转 $90^\circ$ 恢复初始的飞行状态,实现两者水平级间分离。本发明的水平级间分离方法避免了高超声速条件下常规分离过程中的高压、高热流、稳定性问题。



1. 一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法,其特征在于,包括具体步骤:

步骤100、在确定的级间分离条件下构建轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体结构,使轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器在飞行过程中受到相向的法向力约束;

步骤200、在所述的组合体结构的飞行达到级间分离条件时,使助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡,进而使组合体结构绕机身侧向滚转 $90^{\circ}$ ;

步骤300、在保持组合体结构的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下,轨道级乘波体飞行器在自身动力推动下沿助推级乘波体飞行器上表面进行水平分离动作;

轨道级乘波体飞行器脱离助推级乘波体飞行器后,轨道级乘波体飞行器调节两侧翼所受升力不平衡进而在所述的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下继续侧向滚转 $90^{\circ}$ ,并爬升至目标轨道;

步骤400、通过再次使助推级乘波体飞行器两侧翼产生的升力不平衡变化,使助推级乘波体飞行器在所述的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下反向滚转 $90^{\circ}$ ,恢复初始的飞行状态,实现助推级乘波体飞行器和轨道级乘波体飞行器的水平级间分离。

2. 根据权利要求1所述的一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法,其特征在于,在步骤200和步骤300中,控制轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡的具体方法包括:

在轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的两侧设置变形机翼和副翼;

在所述的组合体结构达到级间分离条件时,助推级乘波体飞行器由飞行控制系统产生的瞬时滚转激励信号控制下产生初始滚转,并且飞行控制系统控制副翼动作或控制变形机翼的变形使助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡,进而使所述的组合体结构产生滚转力矩,产生初始滚转加速度。

3. 根据权利要求2所述的一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法,其特征在于,当所述的组合体结构在滚转的过程中产生的滚转阻尼力矩的大小与所述的滚转力矩的大小相等达到平衡时,组合体结构做定常滚转;

当所述的组合体结构处于所述的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下后,调节所述的助推级乘波体飞行器的变形机翼的翼展使得滚转力矩与滚转阻尼力矩达到平衡,组合体结构滚转角维持到 $90^{\circ}$ ;

当作用在轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体上的滚转力矩撤销后,由所述的组合体受到的滚转阻尼力矩使得所述的组合体由定常滚转运动状态开始减速,并终止。

4. 根据权利要求3所述的一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法,其特征在于,在步骤100中,在确定的级间分离条件下构建轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体结构的具体方法包括:

步骤101、针对现有两级入轨空天飞行器级间分离方式,确定轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的基准线线型;

其中,助推级乘波体飞行器的基准线线型包括一条水平线段,连接在水平线段两端的第一曲线段,且位于水平线段两端的第一曲线段呈镜像对称,以及光滑相切所述第一曲线

段的第二曲线段；

轨道级乘波体飞行器的基准线线型为一条水平线段，且长度与助推级乘波体飞行器的基准线线型的水平线段长度相等；

根据锥导乘波体生成理论分别生成轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的乘波基体结构；

步骤102、在轨道级乘波体飞行器的乘波基体的迎风面设置轨道级垂直尾翼方向舵；

在助推级乘波体飞行器的乘波基体的两侧设置变形机翼，在所述助推级乘波体飞行器的乘波基体的迎风面上设置一对对称的助推级垂直尾翼方向舵；

步骤103、将轨道级乘波体飞行器的乘波基体由水平线段形成的表面和助推级乘波体飞行器的乘波基体由水平线段形成的表面进行贴合连接，构建轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体结构。

5. 根据权利要求4所述的一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法，其特征在于，在步骤101中，构建助推级乘波体飞行器的具体方法为：

步骤1011、由所述的助推级乘波体飞行器的基准线线型在锥形激波面上的水平投影得到助推级乘波体飞行器的前缘曲线；

步骤1012、由所述的前缘曲线通过流线追踪得到助推级乘波体飞行器的下表面以及后缘曲线；

通过前缘曲线形成的自流面构成助推级乘波体飞行器的上表面；

步骤1013、通过所述的基准线线型与所述的后缘曲线一起构成所述助推级乘波体飞行器的后端面，完成助推级乘波体飞行器的乘波基体的构建。

6. 根据权利要求5所述的一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法，其特征在于，所述变形机翼从所述的助推级乘波体飞行器的乘波基体的前缘曲线的两侧位置的中点向所述乘波基体的后端面延伸，且沿所述的助推级乘波体飞行器的乘波基体的宽度方向扩展，直至所述变形机翼的端部与所述乘波基体的后端面保持一致；

且所述变形机翼与所述乘波基体的前缘曲线保持光滑相切。

7. 根据权利要求6所述的一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法，其特征在于，所述垂直尾翼方向舵垂直于由所述第一曲线段形成的所述的乘波基体的上表面，且所述垂直尾翼方向舵与所述的第一曲线段在所述锥形激波面的投影方向保持一致。

8. 根据权利要求6所述的一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法，其特征在于，在所述飞行控制系统控制变形机翼的变形实现助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡中，变形机翼具体改变的状态包括：机翼翼展、后掠角和上、下反角。

## 一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及航空技术领域,具体涉及一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法。

### 背景技术

[0002] 两级入轨飞行器以低成本、高效率、高可靠性作为下一代可重复使用天地运输往返系统受到了广泛的研究。水平起降两级入轨飞行器由吸气式动力的助推级和可重复使用火箭动力的轨道级组成。水平起降两级入轨飞行器一般由助推级驮着轨道级在常规机场进行滑跑起飞,在助推级吸气式动力下快速爬升加速达到两级飞行器级间分离条件,级间分离之后,助推级机动控制自行返回机场,轨道级在火箭动力推动下加速爬升入轨,完成入轨任务之后轨道级滑翔返回降落。所以两级入轨飞行器作为一项大型科研工程建设面对三大技术难关:助推级吸气式组合动力发动机、两级飞行器高超声速级间分离、飞行器热防护等。

[0003] 两级入轨飞行器级间分离一般在高超声速条件下进行分离,这会给两级飞行器级间分离过程中带来复杂的气动干扰和严酷的气动加热问题。一般两级分离概念方案中,级间分离采用垂直分离方式,但是垂直分离会在两级之间产生严重的激波干扰,由此带来的非定常气动载荷和气动加热不利于两级飞行器的操纵稳定性和热防护,可能直接导致两级入轨任务失败。水平分离则可以避免这个问题,两级之间表面贴合无间隙分离,两级之间不会产生激波干扰反射带来的非定常气动力载荷以及气动热问题。两级入轨飞行器助推级一般选择升阻比高的翼身融合体飞行器或者乘波体飞行器,轨道级一般选择航天飞机或者乘波体飞行器。为了解决上述问题,在现有技术中,如公开号为CN201910784771.7的一种水平起降两级入轨重复使用空天飞机布局,以满足基于TBCC的TSTO飞行原理,达成了全速域、全空域的升阻匹配、推阻匹配、操稳匹配、容重匹配等设计需求,实现了概念设计阶段TSTO技术方案的闭合,但任然会存在一些缺陷,如当轨道级气动布局选择高升阻比乘波体气动布局时,由于乘波体下表面一般呈曲面(非平面)无法与助推级上表面在水平分离完全贴合(分离时激波干扰会产生高压、高热流区域)。针对此问题,本发明从两级入轨任务需求出发,采用将轨道级乘波体水平自由来流上表面与助推级上表面贴合,乘波面朝上的两级气动布局布置方法,提出一种并联双乘波体两级入轨飞行器90°滚转水平级间分离技术。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法,以解决现有技术中并联双乘波体飞行器水平分离的技术问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级间分离设计方法,包括具体步骤:

步骤100、在确定的级间分离条件下构建轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体结构,使轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器在飞行过程中受到相向

的法向力约束；

步骤200、在所述的组合体结构的飞行达到级间分离条件时，使助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡，进而使组合体结构绕机身侧向滚转 $90^\circ$ ；

步骤300、在保持组合体结构的侧向滚转 $90^\circ$ 的滚转角姿态下，轨道级乘波体飞行器在自身动力推动下沿助推级乘波体飞行器上表面进行水平分离动作；

轨道级乘波体飞行器脱离助推级乘波体飞行器后，轨道级乘波体飞行器调节两侧翼所受升力不平衡进而在所述的侧向滚转 $90^\circ$ 的滚转角姿态下继续侧向滚转 $90^\circ$ ，并爬升至目标轨道；

步骤400、通过再次使助推级乘波体飞行器两侧翼产生的升力不平衡变化，使助推级乘波体飞行器在所述的侧向滚转 $90^\circ$ 的滚转角姿态下反向滚转 $90^\circ$ ，恢复初始的飞行状态，实现助推级乘波体飞行器和轨道级乘波体飞行器的水平级间分离。

[0006] 作为本发明的一种优选方案，在步骤200和步骤300中，控制轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡具体方法包括：

在轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的两侧设置变形机翼和副翼；

在所述的组合体结构达到级间分离条件时，助推级乘波体飞行器由飞行控制系统产生的瞬时滚转激励信号控制下产生初始滚转，并且飞行控制系统控制副翼动作或控制变形机翼的变形使助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡，进而使所述的组合体结构产生滚转力矩，产生初始滚转加速度。

[0007] 作为本发明的一种优选方案，当所述的组合体结构在滚转的过程中产生的滚转阻尼力矩的大小与所述的滚转力矩的大小相等达到平衡时，组合体结构做定常滚转；

当所述的组合体结构处于所述的侧向滚转 $90^\circ$ 的滚转角姿态下后，调节所述的助推级乘波体飞行器的变形机翼的翼展使得滚转力矩与滚转阻尼力矩达到平衡，组合体结构滚转角维持到 $90^\circ$ ；

当作用在轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体上的滚转力矩撤销后，由所述的组合体受到的滚转阻尼力矩使得所述的组合体由定常滚转运动状态开始减速，并终止。

[0008] 作为本发明的一种优选方案，在步骤100中，在确定的级间分离条件下构建轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体结构的具体方法包括：

步骤101、针对现有两级入轨空天飞行器级间分离方式，确定轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的基准线线型；

其中，助推级乘波体飞行器的基准线线型包括一条水平线段，连接在水平线段两端的第一曲线段，且位于水平线段两端的第一曲线段呈镜像对称，以及光滑相切所述第一曲线段的第二曲线段；

轨道级乘波体飞行器的基准线线型为一条水平线段，且长度与助推级乘波体飞行器的基准线线型的水平线段长度相等；

根据锥导乘波体生成理论分别生成轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的乘波基体结构；

步骤102、在轨道级乘波体飞行器的乘波基体的迎风面设置轨道级垂直尾翼方向舵；

在助推级乘波体飞行器的乘波基体的两侧设置变形机翼,在所述助推级乘波体飞行器的乘波基体的迎风面上设置一对对称的助推级垂直尾翼方向舵;

步骤103、将轨道级乘波体飞行器的乘波基体由水平线段形成的表面和助推级乘波体飞行器的乘波基体由水平线段形成的表面进行贴合连接,构建轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合体结构。

[0009] 作为本发明的一种优选方案,在步骤101中,构建助推级乘波体飞行器的具体方法为:

步骤1011、由所述的助推级乘波体飞行器的基准线线型在锥形激波面上的水平投影得到助推级乘波体飞行器的前缘曲线;

步骤1012、由所述的前缘曲线通过流线追踪得到助推级乘波体飞行器的下表面以及后缘曲线;

通过前缘曲线形成的自流面构成助推级乘波体飞行器的上表面;

步骤1013、通过所述的基准线线型与所述的后缘曲线一起构成所述助推级乘波体飞行器的后端面,完成助推级乘波体飞行器的乘波基体的构建。

[0010] 作为本发明的一种优选方案,所述变形机翼从所述的助推级乘波体飞行器的乘波基体的前缘曲线的两侧位置的中点向所述乘波基体的后端面延伸,且沿所述的助推级乘波体飞行器的乘波基体的宽度方向扩展,直至所述变形机翼的端部与所述乘波基体的后端面保持一致;

且所述变形机翼与所述乘波基体的前缘曲线保持光滑相切。

[0011] 作为本发明的一种优选方案,所述垂直尾翼方向舵垂直于由所述第一曲线段形成的所述的乘波基体的上表面,且所述垂直尾翼方向舵与所述的第一曲线段在所述锥形激波面的投影方向保持一致。

[0012] 作为本发明的一种优选方案,在所述飞行控制系统控制变形机翼的变形实现助推级乘波体飞行器的两侧翼所受升力不平衡中,变形机翼具体改变的状态包括:机翼翼展、后掠角和上、下反角。

[0013] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:

本发明提出一种并联双乘波体两级入轨飞行器 $90^\circ$ 滚转水平级间分离技术;

本发明在当两级入轨飞行器的级间分离方式采用水平分离时,可以避免普通垂直级间分离过程中的复杂严重的激波干扰问题,使得两级避免了在级间分离过程中受到的非定常气动载荷,有利于分离过程中的飞行稳定性操纵;同时避免在两级表面产生高压、高热流区域,提高了两级入轨级间分离过程中的安全性和可靠性;

本发明提出并联双乘波体飞行器采用“背对背”方式组合布局,将常规乘波体布局飞行器外形应用到两级入轨水平级间分离方案上,并采用上面所述的滚转水平分离技术,可以容易快速使得两级乘波体飞行器回到设计飞行状态,避免两级分离之后发生碰撞。

[0014] 本发明的两级组合体飞行器在进行 $90^\circ$ 滚转机动时,可以通过副翼操纵实现滚转,也可以通过助推级改变左右机翼翼展长进行滚转操纵,使得该并联双乘波体飞行器 $90^\circ$ 滚转水平分离技术具有灵活性。

## 附图说明

[0015] 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。

[0016] 图1为本发明实施例提供并联双乘波体两级入轨组合体的结构示意图;

图2为本发明实施例提供并联双乘波体两级入轨飞行的水平级间分离方法的分离过程示意图;

图3为本发明实施例提供图2中的并联双乘波体的水平级间分离尾部视角分离过程示意图。

[0017] 图中的标号分别表示如下:

1-轨道级乘波体飞行器;2-助推级乘波体飞行器;3-变形机翼。

## 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,本发明在针对两级入轨飞行器的水平级间分离过程具体设计了并联乘波体两级入轨的飞行器结构,该并联双乘波体飞行器是针对水平起降两级入轨飞行任务,分别为助推级乘波体飞行器2和轨道级乘波体飞行器1。

[0020] 该并联双乘波体飞行器作为两级入轨的助推级和轨道级,助推级为具有乘波特性的可变翼展宽速域飞行器,轨道级为乘波体,两级乘波体设计马赫数为级间分离马赫数  $Ma = 7$ 。

[0021] 在确定的级间分离条件下构建轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的组合物体的具体方法包括:

步骤101、针对现有两级入轨空天飞行器级间分离方式,确定轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的基准线线型;

其中,助推级乘波体飞行器2的基准线线型包括一条水平线段,连接在水平线段两端的第一曲线段,且位于水平线段两端的第一曲线段呈镜像对称,以及光滑相切所述第一曲线段的第二曲线段;

轨道级乘波体飞行器1的基准线线型为一条水平线段,且长度与助推级乘波体飞行器2的基准线线型的水平线段长度相等;

根据锥导乘波体生成理论分别生成轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的乘波基体结构;

步骤102、在轨道级乘波体飞行器1的乘波基体的迎风面设置轨道级垂直尾翼方向舵;

在助推级乘波体飞行器2的乘波基体的两侧设置变形机翼3,在所述助推级乘波体飞行器2的乘波基体的迎风面上设置一对对称的助推级垂直尾翼方向舵;

步骤103、将轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的乘波基体由水平线段形成的表面进行贴合连接,构建轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的组合物体结构。

[0022] 助推级乘波体飞行器2上表面中间水平面与轨道级乘波体飞行器1的水平自由来流面相贴合,两级之间没有间隙。两级飞行器达到级间分离条件时,轨道级乘波体飞行器1在自身火箭动力推动下沿助推级乘波体飞行器2上表面向前水平分离,这种水平分离方式可以避免级间分离过程中两级之间的严重的激波干扰问题和气动热问题,避免严峻的气动力急剧变化,有利于分离过程中两级的飞行稳定性和安全性。

[0023] 在步骤101中,构建助推级乘波体飞行器2的具体方法为:

步骤1011、由所述的助推级乘波体飞行器2的基准线线型在锥形激波面上的水平投影得到助推级乘波体飞行器2的前缘曲线;

步骤1012、由所述的前缘曲线通过流线追踪得到助推级乘波体飞行器2的下表面以及后缘曲线;

通过前缘曲线形成的自流面构成助推级乘波体飞行器2的上表面;

步骤1013、通过所述的基准线线型与所述的后缘曲线一起构成所述助推级乘波体飞行器2的后端面,完成助推级乘波体飞行器2的乘波基体的构建。

[0024] 所述变形机翼3从所述的助推级乘波体飞行器2的乘波基体的前缘曲线的两侧位置的中点向所述乘波基体的后端面延伸,且沿所述的助推级乘波体飞行器2的乘波基体的宽度方向扩展,直至所述变形机翼3的端部与所述乘波基体的后端面保持一致;

且所述变形机翼3与所述乘波基体的前缘曲线保持光滑相切。

[0025] 所述垂直尾翼方向舵垂直于由所述第一曲线段形成的所述的乘波基体的上表面,且所述垂直尾翼方向舵与所述的第一曲线段在所述锥形激波面的投影方向保持一致。

[0026] 在所述飞行控制系统控制变形机翼3的变形实现助推级乘波体飞行器2的两侧翼所受升力不平衡中,变形机翼3具体改变的状态包括:机翼翼展、后掠角和上、下反角。

[0027] 由于两级并联乘波体构成组合物体布局之后,由于助推级乘波体飞行器2的乘波特性,并联双乘波体会受到相向的法向力约束,使得两级组合物体在分离之前连接更加紧密。

[0028] 由于这种法向力约束,在两级水平分离过程中,轨道级乘波体飞行器1会紧紧的贴合助推级乘波体飞行器2表面,在火箭动力推动下水平向前运动。

[0029] 这种水平分离方式由于不会在两级之间产生间隙,所以避免了高超声速条件下级间分离过程中两级之间的严重激波干扰问题:

其一、不会在两级表面产生高压、高热流区域;

其二、不会在两级分离过程中对两级产生急剧变化的非定常气动载荷,对分离过程中两级飞行器的稳定性操纵是有利的。

[0030] 其中,在轨道级乘波体飞行器1在火箭动力推动下脱离助推级乘波体飞行器2上表面之后,若需要恢复设计状态下的高升阻比乘波气动特性,轨道级乘波体需要滚转 $180^{\circ}$ 。

[0031] 对于高超声速两级分离条件下,轨道级乘波体滚转 $180^{\circ}$ 操纵难度大、风险高,而且极易与助推级发生碰撞,使得两级入轨任务失败。针对此问题并且为了将乘波构型飞行器应用到两级入轨水平分离中,提出并联双乘波体 $90^{\circ}$ 滚转水平分离技术:

如图2和图3所示,为此,本发明提供了一种并联双乘波体两级入轨飞行器水平级



间分离设计方法,包括具体步骤:

步骤100、在确定的级间分离条件下构建轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的组合物体结构,使轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2在飞行过程中受到相向的法向力约束;

步骤200、在所述的组合物体结构的飞行达到级间分离条件时,使助推级乘波体飞行器2的两侧翼所受升力不平衡,进而使组合物体结构绕机身侧向滚转 $90^{\circ}$ ;

步骤300、在保持组合物体结构的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下,轨道级乘波体飞行器1在自身动力推动下沿助推级乘波体飞行器上表面进行水平分离动作;

轨道级乘波体飞行器1脱离助推级乘波体飞行器2后,轨道级乘波体飞行器1调节两侧翼所受升力不平衡进而在所述的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下继续侧向滚转 $90^{\circ}$ ,并爬升至目标轨道;

步骤400、助推级乘波体飞行器2通过两侧翼的再次升力不平衡变化,使助推级乘波体飞行器2在所述的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下反向滚转 $90^{\circ}$ 恢复初始的飞行状态,实现助推级乘波体飞行器2和轨道级乘波体飞行器1的水平级间分离。

[0032] 在步骤200和步骤300中,控制轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的两侧翼所受升力不平衡具体方法包括:

在轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的两侧设置变形机翼3和副翼;

在所述的组合物体结构达到级间分离条件时,助推级乘波体飞行器2由飞行控制系统产生的瞬时滚转激励信号控制下产生初始滚转,并且飞行控制系统控制副翼和/或变形机翼3的变形使助推级乘波体飞行器2的两侧翼所受升力不平衡,进而使所述的组合物体结构产生滚转力矩,产生初始滚转加速度。

[0033] 上述轨道级乘波体飞行器1和助推级乘波体飞行器2的组合物体滚转激励和副翼、可变形机翼3操纵以及滚转力矩撤销由飞行器控制系统统一控制。

[0034] 当所述的组合物体结构在滚转的过程中产生的滚转阻尼力矩的大小与所述的滚转力矩的大小相等达到平衡时,组合物体结构做定常滚转。

[0035] 当所述的组合物体结构处于所述的侧向滚转 $90^{\circ}$ 的滚转角姿态下后,调节所述的助推级乘波体飞行器2的变形机翼3的翼展使得滚转力矩与滚转阻尼力矩达到平衡,组合物体结构滚转角维持到 $90^{\circ}$ 。

[0036] 当作用在轨道级乘波体飞行器和助推级乘波体飞行器的组合物体上的滚转力矩撤销后,由所述的组合物体受到的滚转阻尼力矩使得所述的组合物体由定常滚转运动状态开始减速,并终止。

[0037] 本发明中,针对两级入轨飞行器水平级间分离方式,将双乘波体(轨道级乘波体飞行器1和轨道级乘波体飞行器1)外形飞行器组合布局方式应用到两级入轨任务中,并采用 $90^{\circ}$ 滚转水平分离方式将并联双乘波体的组合物体成功分离。

在并联双乘波体两级入轨飞行器达到级间分离条件时,两级组合物体在助推级乘波体副翼操纵下或者助推级乘波体飞行左右可变形翼改变翼展使得左右两翼所受升力不平衡,使得两级组合物体绕机身侧向滚转 $90^{\circ}$ ,该并联双乘波体两级入轨飞行器组合物体侧向滚转 $90^{\circ}$ 示意图如图2所示。

[0038] 图3为本发明的并联双乘波体两级入轨飞行器组合物体滚转水平分离过程示意图。

[0039] 本发明提出一种并联双乘波体两级入轨飞行器 $90^\circ$ 滚转水平级间分离技术,将并联双乘波体飞行器采用“背对背”组合方式(保持助推级乘波体飞行器2和轨道级乘波体飞行器1的整体乘波面向上)作为两级入轨飞行器,并通过 $90^\circ$ 滚转水平分离技术将两级乘波体成功分离,技术风险性低,安全可靠,避免了高超声速条件下常规分离过程中的高压、高热流、稳定性问题,成功应用并联双乘波体两级构型。

[0040] 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。

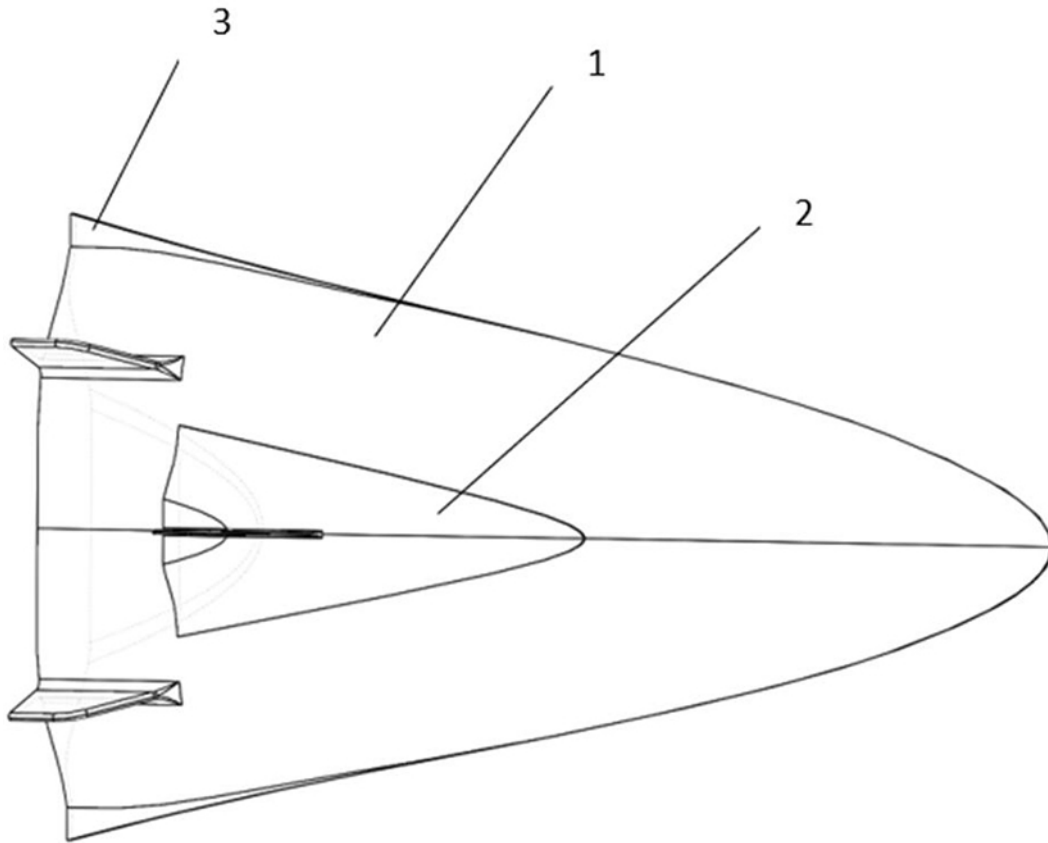


图1

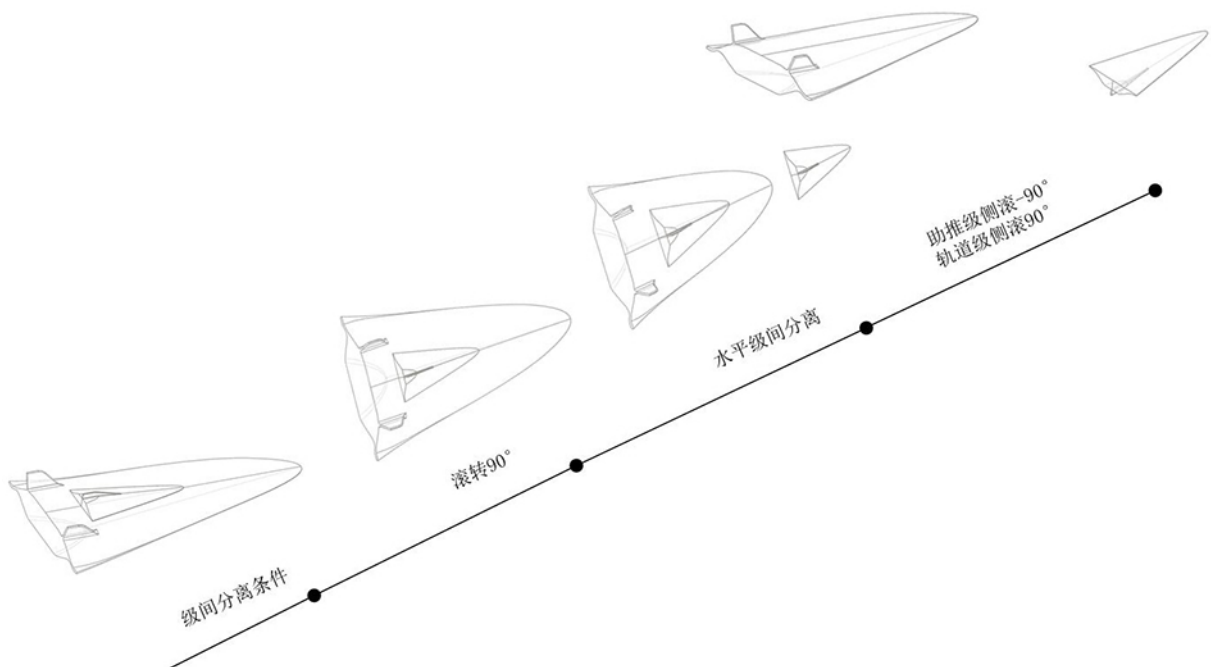


图2

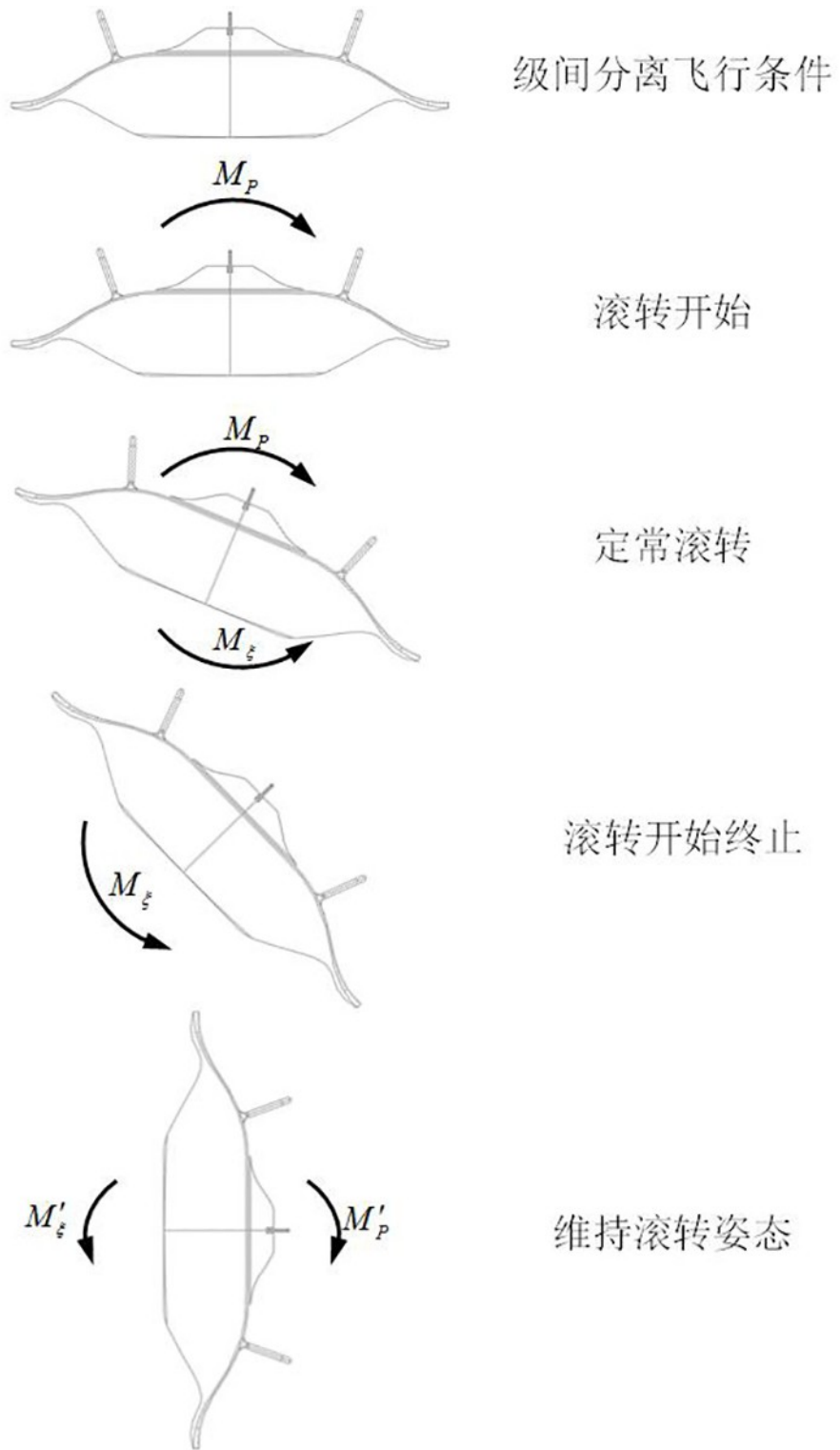


图3