



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110510157 A

(43)申请公布日 2019. 11. 29

(21)申请号 201910774204.3

(22)申请日 2019.08.21

(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 李文皓 冯冠华 张珩 张钊
张琛 杨磊

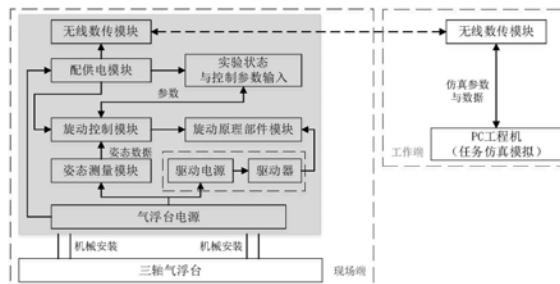
(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.
B64G 99/00(2009.01)
G01M 99/00(2011.01)
B64G 1/24(2006.01)
B64G 1/66(2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称
一种低轨道地磁蓄能地面实验系统及方法

(57)摘要
本发明实施例公开了一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,包括现场端和工作端,其特征在于,所述现场端包括三轴气浮台、安装在所述三轴气浮台上的气浮台电源,以及用于低轨道地磁蓄能过程的模拟测试系统,所述模拟测试系统与所述工作端无线通讯连接,所述工作端接收所述模拟测试系统的数据并进行任务仿真模拟。本发明采用模块化的设计,积木式结构实现对低轨道地磁蓄能的地面实验,实验系统的设备通用性和可更换性强,系统整体设计成本低,能够有效的验证低轨道地磁储能方法,为未来进一步研究发展低轨道地磁蓄能方法及其相关关键技术提供实验支持平台。



1. 一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,包括现场端和工作端,其特征在于,所述现场端包括三轴气浮台、安装在所述三轴气浮台上的气浮台电源,以及用于低轨道地磁蓄能过程的模拟测试系统,所述模拟测试系统与所述工作端无线通讯连接,所述工作端接收所述模拟测试系统的数据并进行任务仿真模拟。

2. 根据权利要求1所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,其特征在于,所述模拟测试系统包括姿态测量模块、旋动控制模块、配供电模块、第一无线数传模块、实验状态与控制数据输入模块、旋动原理部件模块和驱动电源;所述气浮台电源分别给所述姿态测量模块、所述驱动电源和所述配供电模块提供电能,所述驱动电源通过驱动器与所述旋动原理部件模块连接,所述姿态测量模块与所述旋动控制模块连接,所述旋动控制模块连接并控制所述旋动原理部件模块实现对所述三轴气浮台的转动抑制,所述配供电模块分别给所述第一无线数传模块、旋动控制模块和第一无线数传模块分配并提供电能,所述实验状态与控制数据输入模块与所述旋动控制模块连接。

3. 根据权利要求2所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,其特征在于,所述工作端包括与所述第一无线数传模块无线通讯连接的第二无线数传模块,以及与所述第二无线数传模块之间实现仿真参数与数据进行传输的PC工程机。

4. 根据权利要求2所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,其特征在于,所述旋动原理部件模块包括设置在三轴气浮台(4)上的旋动连接件(8),在所述旋动连接件(8)的相对两侧端均水平连接有磁基座(3),在所述三轴气浮台(4)上连接力矩电机支座(7),在所述力矩电机支座(7)上设置力矩电机(6),所述力矩电机(6)的输出轴(5)连接投送杆(2),在所述投送杆(2)的端部设置模拟投送目标(1)。

5. 根据权利要求2所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,其特征在于,所述磁基座(3)为中空圆柱状框架结构,用于放置所述旋动原理部件模块所需的所述驱动电源和所述驱动器,且在且其外圆柱表面缠绕若干匝数的漆包线用于产生磁矩体。

6. 根据权利要求2所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,其特征在于,所述旋动连接件(8)与所述三轴气浮台(4)之间为转动副,并且加装轴承。

7. 根据权利要求2所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,其特征在于,所述力矩电机可采用NSK直接传动式PS系列电机及其驱动器。

8. 根据权利要求2所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,其特征在于,所述旋动控制模块(12)的控制计算机采用PC104板卡,内置DOS强实时操作系统。

9. 一种基于权利要求1所述实验系统的低轨道地磁蓄能地面实验方法,包括如下步骤:

步骤100:确定电气抗干扰以及实验系统的正常工作后,为整个实验系统上电,经配供电模块为各个模块分配电压供电;

步骤200:输入实验状态与控制参数到旋动控制模块,产生大小和方向均时变的磁矩体,磁力矩效应下磁基座开始转动;

磁基座转动后,依据低轨道地磁蓄能空间碎片离轨控制方法,控制调整磁矩体的方向,达到持续加速整个旋动原理部件模块的目的;

步骤300:姿态测量模块实时测量磁基座的转动速度,反馈给旋动控制模块,同时,旋动控制模块经无线数传模块,实现测量数据信息与工作端的实时交互,实时复现显示在工作端的PC工程机上;

步骤400:实时测量数据反馈到旋动控制模块后,计算并输出控制指令到相应的转速控制子系统,实现投送杆的转动;

步骤500:旋动控制模块实时调整反作用传动机构,进行动态平衡,使得产生的磁矩体不旋转,而投送杆加速旋转,直到达到预期转速。

10.根据权利要求9所述的一种低轨道地磁蓄能地面实验方法,其特征在于,所述姿态测量模块通过角速度陀螺对磁基座的转动速度进行测量,具体采用多轴MEMS陀螺仪。

一种低轨道地磁蓄能地面实验系统及方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及空间碎片离轨技术领域,具体涉及一种低轨道地磁蓄能地面实验系统及方法。

背景技术

[0002] 10cm直径大小的太空垃圾就可以给航天器和宇航员带来严重威胁,哈勃望远镜、航天飞机以及国际空间站均受到过太空碎片的撞击;随着人类太空活动的日益活跃和Kessler效应太空垃圾造成威胁的几率快速增加,(Kessler效应:由于太空碎片的撞击,导致更多太空碎片的产生)。

[0003] Kessler效应进一步加重太空碎片的威胁,如2009年,俄罗斯废弃的Comos卫星和美国的Iridium卫星相撞,产生2000多个太空碎片,如果不能主动的有效清除现有空间碎片,空间碎片仍会持续大幅增加,这将严重影响人类的太空开发进程。

[0004] 目前在轨的近20000余个大于10cm的空间碎片,有近70%分布在500km~1000km不同倾角的近地轨道上,这些碎片如仅靠自身的大气阻力衰减轨道高度,在数十年内都无法进入地球大气层,相比于地球同步轨道(36000km,轨道唯一,资源稀缺)低轨空间碎片分布散、数量多兼具高威胁和低价值特点,尽管可以主动清除,但清除低轨道太空碎片的效率性和经济性却难以解决。

[0005] 空间碎片处理的较优方式是通过人为改变其运行的轨道高度,并将其轨道的近地点高度降低至200km以下,使得碎片受地球大气阻力的影响迅速减小轨道半长轴并坠入大气层烧毁。

[0006] 目前提出的各种方法中,使用化学/电推力的主动拖拽离轨方法最为成熟,但耗费极高;在碎片上安装气囊阻力帆/涂抹泡沫等增加面质比的被动降轨方式,虽然省去了离轨推进工质消耗,但需要消耗安装材料,且碎片降轨所需的时间也数以年计,这无疑极大增加了二次碰撞的概率。

[0007] 此外,各国均积极的发展无工质消耗型碎片清理方法,有的方法虽然设想很好,但难以实现,比如使用地面/天基高能激光清理碎片,其基本原理是通过高能激光灼烧,使灼烧产物急剧膨胀离开碎片,碎片获得反冲量而降轨,这种方法虽有理论实现的可能性,但如何产生预期的反冲量,如何有效灼烧而非破坏产生新的碎片群等问题均难以解决,因此目前只能用于清除10cm以下的微物体。

[0008] 在无工质消耗型变轨和离轨方法中,电动绳系是目前认为可行性和可实现性最高的一种方式,电动绳系通过收集空间的带电粒子,在低轨空间的地球磁场中通过通电绳所受到的安培力进行轨道调整,仅有电力消耗,没有工质消耗,不论是电动绳系效能依赖于绳系尺度,数千米至数十千米的巨大尺度使得绳系系统在空间稳定运行的可靠性问题非常突出。

[0009] 尽管有多个理论研究和空间试验表明绳系系统具有相当的安全系数,但是也有惨痛经历,美国的SED-2(1994年发射,绳系展开19.7km)绳系展开仅4天便被空间碎片/微流星

切断,说明绳系的空间安全问题尚待解决,为此,采用地磁蓄能低轨道空间碎片离轨方法可以有效解决该问题,对于低轨道地磁储能进行地面实验验证对未来进一步研究发展低轨道地磁蓄能方法及其相关关键技术具有重要意义。

发明内容

[0010] 为此,本发明实施例提供一种低轨道地磁蓄能地面实验系统及方法,以解决现有技术中的问题。

[0011] 为了实现上述目的,本发明的实施方式提供如下技术方案:

[0012] 在本发明实施例的第一个方面,提供了一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,包括现场端和工作端,所述现场端包括三轴气浮台、安装在所述三轴气浮台上的气浮台电源,以及用于低轨道地磁蓄能过程的模拟测试系统,所述模拟测试系统与所述工作端无线通讯连接,所述工作端接收所述模拟测试系统的数据并进行任务仿真模拟。

[0013] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述模拟测试系统包括姿态测量模块、旋动控制模块、配供电模块、第一无线数传模块、实验状态与控制数据输入模块、旋动原理部件模块和驱动电源;所述气浮台电源分别给所述姿态测量模块、所述驱动电源和所述配供电模块提供电能,所述驱动电源通过驱动器与所述旋动原理部件模块连接,所述姿态测量模块与所述旋动控制模块连接,所述旋动控制模块连接并控制所述旋动原理部件模块实现对所述三轴气浮台的转动抑制,所述配供电模块分别给所述第一无线数传模块、旋动控制模块和第一无线数传模块分配并提供电能,所述实验状态与控制数据输入模块与所述旋动控制模块连接。

[0014] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述工作端包括与所述第一无线数传模块无线通讯连接的第二无线数传模块,以及与所述第二无线数传模块之间实现仿真参数与数据进行传输的PC工程机。

[0015] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述旋动原理部件模块包括设置在三轴气浮台上的旋动连接件,在所述旋动连接件的相对两侧端均水平连接有磁基座,在所述三轴气浮台上连接力矩电机支座,在所述力矩电机支座上设置力矩电机,所述力矩电机的输出轴连接投送杆,在所述投送杆的端部设置模拟投送目标。

[0016] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述磁基座为中空圆柱状框架结构,用于放置所述旋动原理部件模块所需的所述驱动电源和所述驱动器,且在且其外圆柱表面缠绕若干匝数的漆包线用于产生磁矩体。

[0017] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述旋动连接件与所述三轴气浮台之间为转动副,并且加装轴承。

[0018] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述力矩电机可采用NSK直接传动式PS系列电机及其驱动器。

[0019] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述旋动控制模块(12)的控制计算机采用PC104板卡,内置DOS强实时操作系统。

[0020] 在本发明实施例的第二个方面,提供了一种低轨道地磁蓄能地面实验方法,包括如下步骤:

[0021] 步骤100:确定电气抗干扰以及实验系统的正常工作后,为整个实验系统上电,经

配供电模块为各个模块分配电压供电；

[0022] 步骤200:输入实验状态与控制参数到旋动控制模块,产生大小和方向均时变的磁矩体,磁力矩效应下磁基座开始转动；

[0023] 磁基座转动后,依据低轨道地磁蓄能空间碎片离轨控制方法,控制调整磁矩体的方向,达到持续加速整个旋动原理部件模块的目的；

[0024] 步骤300:姿态测量模块实时测量磁基座的转动速度,反馈给旋动控制模块,同时,旋动控制模块经无线数传模块,实现测量数据信息与工作端的实时交互,实时复现显示在工作端的PC工程机上；

[0025] 步骤400:实时测量数据反馈到旋动控制模块后,计算并输出控制指令到相应的转速控制子系统,实现投送杆的转动；

[0026] 步骤500:旋动控制模块实时调整反作用传动机构,进行动态平衡,使得产生的磁矩体不旋转,而投送杆加速旋转,直到达到预期转速。

[0027] 作为本发明实施例一种优选地方案,所述姿态测量模块通过角速度陀螺对磁基座的转动速度进行测量,具体采用多轴MEMS陀螺仪。

[0028] 本发明的实施方式具有如下优点：

[0029] 本发明采用模块化的设计,积木式结构实现对低轨道地磁蓄能的地面实验,实验系统的设备通用性和可更换性强,系统整体设计成本低,能够有效的验证低轨道地磁储能方法,为未来进一步研究发展低轨道地磁蓄能方法及其相关关键技术提供实验支持平台。

附图说明

[0030] 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。

[0031] 图1为本发明实施例1的方法流程图；

[0032] 图2为本发明实施例1的轨道飞行倾角的示意图；

[0033] 图3为本发明实施例2的实验系统结构示意图；

[0034] 图4为本发明实施例2的旋动原理部件模块结构示意图；

[0035] 图5为本发明实施例2的实验方法的流程图。

[0036] 图中标号为：

[0037] 1-模拟投送目标；2-投送杆；3-磁基座；4-三轴气浮台；5-输出轴；6-力矩电机；7-力矩电机支座；8-旋动连接件。

具体实施方式

[0038] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,显然,所描述的实施例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。

[0039] 实施例1：

[0040] 如图1和图2所示,本发明提供了一种地磁蓄能低轨道空间碎片离轨控制方法,通过航天器抓取空间碎片进行地磁蓄能,所述地磁蓄能包括如下步骤:

[0041] 步骤100、依据所述航天器的轨道飞行倾角,确定蓄能方向;

[0042] 当航天器的轨道飞行倾角大于设定角度时,绕轨道面y轴进行蓄能累积;

[0043] 当轨道飞行倾角小于设定角度时,绕轨道面z轴进行蓄能累积。

[0044] 其中,蓄能累积在本实施例中,具体指持续的在一个预设的方向进行加速,需要持续的在预设方向产生磁力矩,随着时间推移,使得在该方向的速度不断增加。

[0045] 根据遍历100-1000km轨道高度,不同的轨道倾角下,采用两种不同的方式进行蓄能累积的效率计算,对比效率结果得出其倾角的分界点在优选角度上,设定角度优选为 49.14° 。

[0046] 步骤200、测量所述航天器当前的飞行姿态,其参数包括航天器的高度h、轨道倾角、航天器星下点的地理经度和纬度、航天器当前位置在地磁坐标系下的地磁场的分量 B_x^l 、 B_y^l 、 B_z^l ;

[0047] 调整所述航天器的飞行姿态,将固连在航天器上的正交线圈的磁矩产生方向、磁矩累计的转动距方向与航天器的飞行姿态关联,并保持关联后的飞行姿态;

[0048] 其中,磁矩的产生是用固连在航天器上的正交线圈产生的电流实现的,与航天器的姿态无关,产生磁矩和累积的转矩方向也不相同,在瞬时是一个正交关系。

[0049] 关联的过程可以理解为:航天器执行具体任务时会要求有一个姿态角,为了在特定的轨道面产生特定的积累速度,需要将航天器固连的投送机构的方向对准,另外强磁矩生成装置(正交线圈)与航天器固连,强磁矩生成的解算策略又和地磁场分布强相关,因此需要根据航天器姿态进行预装调整,以上三个需要在投送前进行确定相对关系。

[0050] 步骤300、生成强磁矩 \vec{m} ,为矢量;

[0051] 当绕轨道面Y轴进行蓄能累积时,磁矩 \vec{m} 生成的策略如下式:

$$[0052] \begin{cases} Cmd_m_x = \begin{cases} \mp \frac{2tg\varphi|m|}{\sqrt{1+4tg^2\varphi}} & -\frac{\pi}{2} \leq u \leq \frac{\pi}{2} \\ \pm \frac{2tg\varphi|m|}{\sqrt{1+4tg^2\varphi}} & \frac{\pi}{2} \leq u \leq \frac{3\pi}{2} \end{cases} \\ Cmd_m_y = 0 \\ Cmd_m_z = \begin{cases} \pm \frac{|m|}{\sqrt{1+4tg^2\varphi}} & -\frac{\pi}{2} \leq u \leq \frac{\pi}{2} \\ \mp \frac{|m|}{\sqrt{1+4tg^2\varphi}} & \frac{\pi}{2} \leq u \leq \frac{3\pi}{2} \end{cases} \end{cases}$$

[0053] 当绕轨道面Z轴进行蓄能累积时,磁矩 \vec{m} 生成的策略下式:

$$[0054] \begin{cases} Cmd_m_x = 0 \\ Cmd_m_y = \pm|m| \\ Cmd_m_z = 0 \end{cases};$$

[0055] 其中,Cmd_{m_x}、Cmd_{m_y}、Cmd_{m_z}表示在地磁坐标系下,各方向的期望调节的磁矩大小分量,|m|表示可产生的总磁矩大小, φ 为航天器在轨飞行中,当前时刻航天器星下点对应的地理纬度,u表示航天器当前飞行的升交点角距;

[0056] 步骤400、持续加速旋转被抓取碎片端并检测其积累的角动量值,以及所述航天器的被抓取碎片端的相对线速度 ΔV ,计算当前组合体飞行速度 V 与相对线速度 ΔV 的差值 $V-\Delta V$ 是否满足离轨要求;

[0057] 步骤500、当差值 $V-\Delta V$ 满足离轨要求时,则选取所述被抓取碎片端旋转后所述相对线速度 ΔV 的方向与组合体飞行速度 V 的方向平行,且在方向相反的时刻,释放被抓取的碎片,完成动量交换;如果不满足,则执行步骤300。

[0058] 其中,动量交换为系统的旋动能转换为平动能,空间碎片或者目标获得离轨速度增量,离开现有轨道并进入大气层烧毁。

[0059] 本发明实施例1利用磁体在地球空间磁场中受到旋动的力矩,(比如指南针,当磁体的方向和大小得到主动有效的控制时,则可以不断的加速旋转),在航天器抓取了空间碎片或者目标时,通过不断加速旋转被抓取碎片端,使得被抓取的空间碎片随之旋转,在松开的瞬间,系统旋动能转换为平动能,空间碎片或者目标获得离轨速度增量,离开现有轨道并进入大气层。

[0060] 本发明实施例1可以无工质消耗型在轨投送,低成本离轨和变轨,无需消耗工质意味着可以长期在轨飞行和开展任务,实施大数量的空间碎片/目标的离轨操作,使得低轨道太空碎片的效率性和经济性问题得到明显改善。

[0061] 本发明实施例1还具有灵活的面内/面外投送的优点,而且碎片的离轨的反所用动量可用于投送主星的无工质消耗的机动变轨。该方法的可控性高,投送能力对系统尺度依赖性低,同样利用地磁场的能量,但是对尺度的要求少,使得实施的可控性提高,受到的外部威胁的概率则有效降低。

[0062] 实施例2:

[0063] 如图3所示,结合实施例1的离轨控制方法,本发明提供了一种低轨道地磁蓄能地面实验系统,包括现场端和工作端,所述现场端包括三轴气浮台、安装在所述三轴气浮台上的气浮台电源,以及用于低轨道地磁蓄能过程的模拟测试系统,所述模拟测试系统与所述工作端无线通讯连接,所述工作端接收所述模拟测试系统的数据并进行任务仿真模拟,工作端包括与所述第一无线数传模块无线通讯连接的第二无线数传模块,以及与所述第二无线数传模块之间实现仿真参数与数据进行传输的PC工程机。

[0064] 其中,所述模拟测试系统包括姿态测量模块、旋动控制模块、配供电模块、第一无线数传模块、实验状态与控制数据输入模块、旋动原理部件模块和驱动电源;所述气浮台电源分别给所述姿态测量模块、所述驱动电源和所述配供电模块提供电能,所述驱动电源通过驱动器与所述旋动原理部件模块连接,所述姿态测量模块与所述旋动控制模块连接,所述旋动控制模块连接并控制所述旋动原理部件模块实现对所述三轴气浮台的转动抑制,所述配供电模块分别给所述第一无线数传模块、旋动控制模块和第一无线数传模块分配并提供电能,所述实验状态与控制数据输入模块与所述旋动控制模块连接。

[0065] 在本实施例中,旋动控制模块的作用是控制旋动原理部件模块,以实现地磁储能系统中气浮台转动抑制。旋动控制模块中的控制计算机可采用常见的兼具高性能、应用扩展灵活及软件兼容等特点的PC104计算机板卡;其软件系统可采用DOS强实时操作系统,以实现高速实时闭环控制。

[0066] 旋动原理部件模块中的反作用传动机构模块,实现地磁储能系统中磁底座转动抑

制,该装置的硬件力矩电机的配置具备高精度、大转矩、轻量小型化等特点,还具体提供一种该模块硬件的硬件配置,如力矩电机可采用NSK直接传动式PS系列电机及其驱动器,具体电机型号可采用力矩电机PS1006KN002,相对应的选择驱动器型号为M-EDC-PS1006AB502,其它配件为线缆驱动器-电机线缆M-C002SCP03、232C通信线缆M-C003RS03,采用控制计算机通过RS232C串口与驱动器之间通信,来直接对电机转速的控制。

[0067] 三轴气浮台的姿态测量模块中,检测磁底座的转动角度速度,可由角速度陀螺测量实现,如采用SENSOR STIM210多轴MEMS陀螺仪,由配供电模块提供5V电源供电,可采用RS422作为通信总线,采用DC/DC模块将气浮台电源转换为5V,控制计算机直接提供RS422接口与STIM210角速度陀螺对接。

[0068] 无线数传模块的选择必须考虑到其在整个大系统中的功能,同时结合性能指标,经功能和性能对比分析,可选用UOTEK UT-930-ZIGBEE无线通信模块。

[0069] 在本实施例中,电气抗干扰贯穿于整个系统的全过程,该系统的干扰抑制在3%以内,以保证现场调试后能达到系统正常工作要求,具体地采取以下措施:

[0070] (1)屏蔽措施,对设备内易受电磁干扰的或能产生强电磁干扰的电路应加屏蔽,电缆应为屏蔽电缆。

[0071] (2)设备接地,采用单端接地原则,在产品一侧接地。地线设计应保证产品信号地与支架外壳、台体外壳间的绝缘电阻应不小于20MΩ;

[0072] (3)阻抗隔离,测试设备与产品之间信号增加隔离,使设备与产品之间不发生串扰。

[0073] (4)电路设计,模拟地、数字地、电源地均分开走线,模拟电路,数字电路分开布局;尽量多加耦合电容,采用0.1uF高额小电容去耦,保证减小电源线及地线上的毛刺。

[0074] 气浮台所承载的磁底座的转动角速度由陀螺测量实现,(轻质高强度)投送杆转动通过电机和驱动器实现闭环控制,控制计算机采用PC104板卡实现,内置DOS强实时操作系统,通过实时测量转速、运行控制算法、输出控制指令,实现磁矩体不转动。

[0075] 如图4所示,旋动原理部件模块包括设置在三轴气浮台4上的旋动连接件8,在所述旋动连接件8的相对两侧端均水平连接有磁基座3,在所述三轴气浮台4上连接力矩电机支座7,在所述力矩电机支座7上设置力矩电机6,所述力矩电机6的输出轴5连接投送杆2,在所述投送杆2的端部设置模拟投送目标1。

[0076] 其中,模拟投送目标1为具有一定重量的重物,用来替代空间碎片,两个模拟投送目标1分别机械固连于投送杆2的两端;磁基座3的中空设计,其用于放置整个旋动原理部件模块所需的驱动电源、驱动器等设备,且其外圆柱表面,需要缠绕一定匝数的漆包线,用于产生一定大小的磁矩体,并且放置能源模块。

[0077] 三轴气浮台4用于支撑整个系统,其与磁基座3之间采用机械连接;输出轴5为力矩电机输出轴,其末端与投送杆2机械固连;力矩电机6机械固连于力矩电机支座7上,力矩电机支座7用于支持力矩电机6的同时,其中空结构用于放置力矩电机6的配套驱动器,并为电机接线端走线预留了空间。

[0078] 旋动连接件8两端分别与两个磁基座3机械固连,其与三轴气浮台4间为转动副,二者之间需加装轴承。

[0079] 基于上述实验系统,如图5所示,提供一种低轨道地磁蓄能地面实验方法,包括如

下步骤:

[0080] 步骤100:确定电气抗干扰以及实验系统的正常工作后,包括设备接地、电磁屏蔽等电气抗干扰正常可靠工作、系统机械部件可正常旋转、计算机屏幕显示及音响报警等功能可正常工作;然后为整个实验系统上电,经配供电模块为各个模块分配电压供电;

[0081] 步骤200:输入实验状态与控制参数到旋转控制模块,产生大小和方向均时变的磁矩体,磁力矩效应下磁基座开始转动;

[0082] 磁基座转动后,依据低轨道地磁蓄能空间碎片离轨控制方法,控制调整磁矩体的方向,达到持续加速整个旋转原理部件模块的目的;

[0083] 步骤300:姿态测量模块实时测量磁基座的转动速度,反馈给旋转控制模块,同时,旋转控制模块经无线数传模块,实现测量数据信息与工作端的实时交互,实时复现显示在工作端的PC工程机上;

[0084] 步骤400:实时测量数据反馈到旋转控制模块后,计算并输出控制指令到相应的转速控制子系统,实现投送杆的转动;

[0085] 步骤500:旋转控制模块实时调整反作用传动机构,进行动态平衡,使得产生的磁矩体不旋转,而投送杆加速旋转,直到达到预期转速。

[0086] 本发明采用模块化的设计,积木式结构实现对低轨道地磁蓄能的地面实验,实验系统的设备通用性和可更换性强,系统整体设计成本低,能够有效的验证低轨道地磁储能方法,为未来进一步研究发展低轨道地磁蓄能方法及其相关关键技术提供实验支持平台。

[0087] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

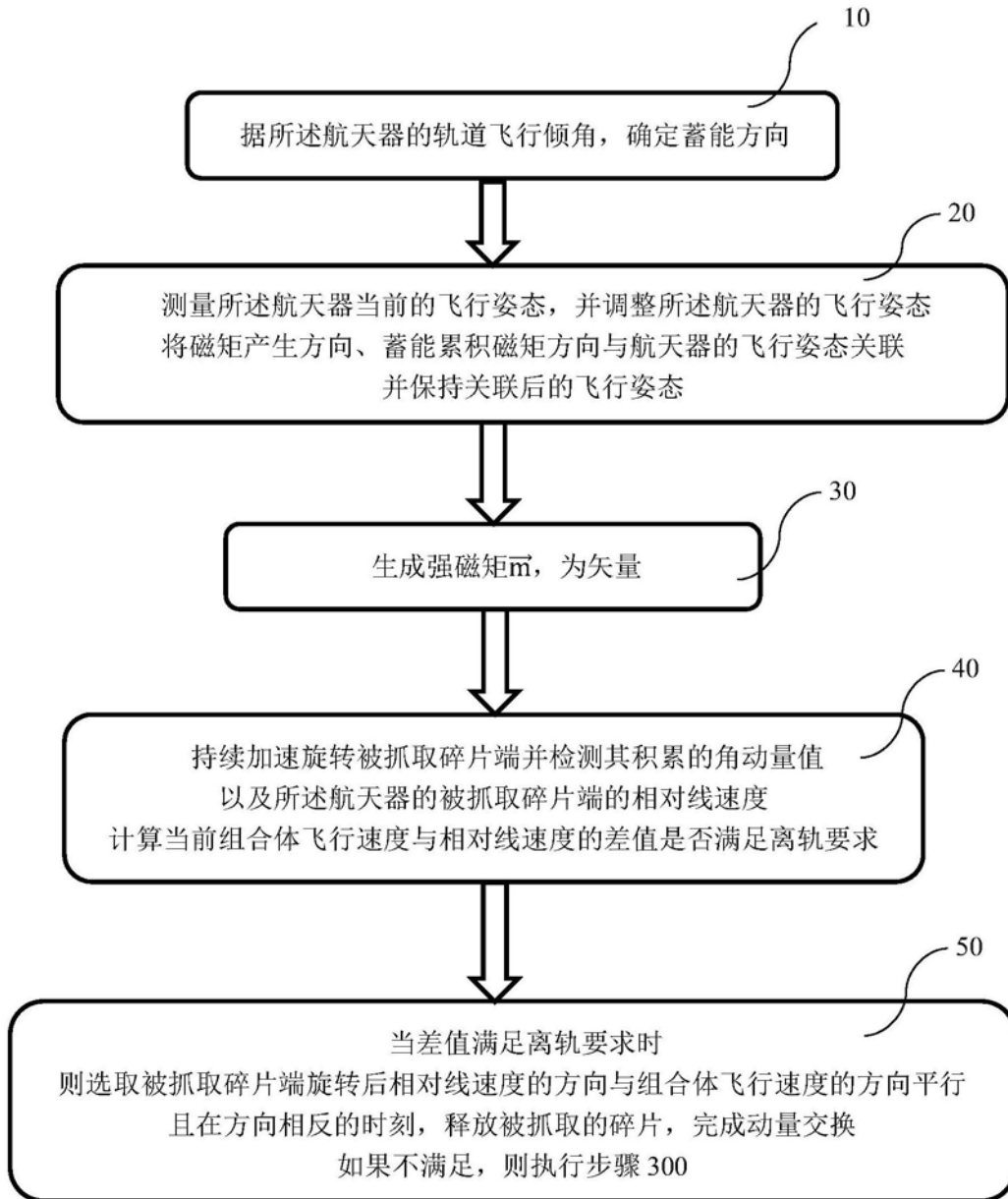


图1

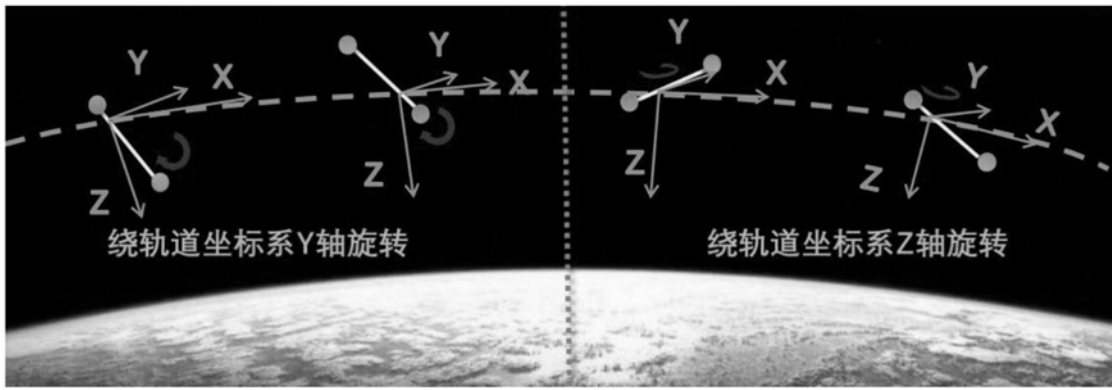


图2

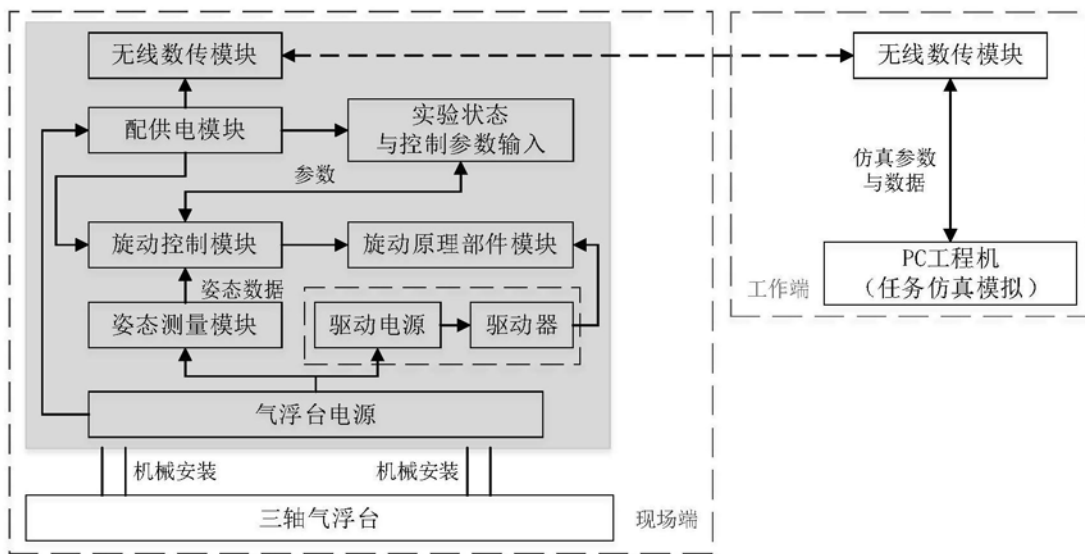


图3

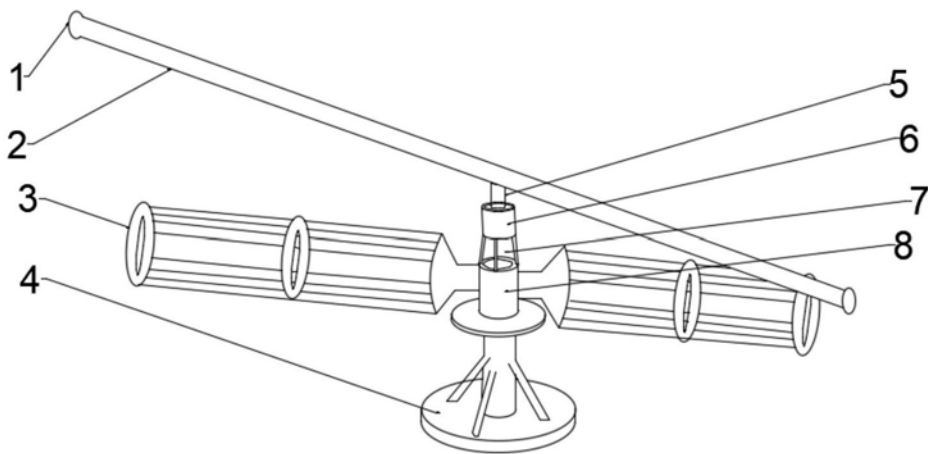


图4

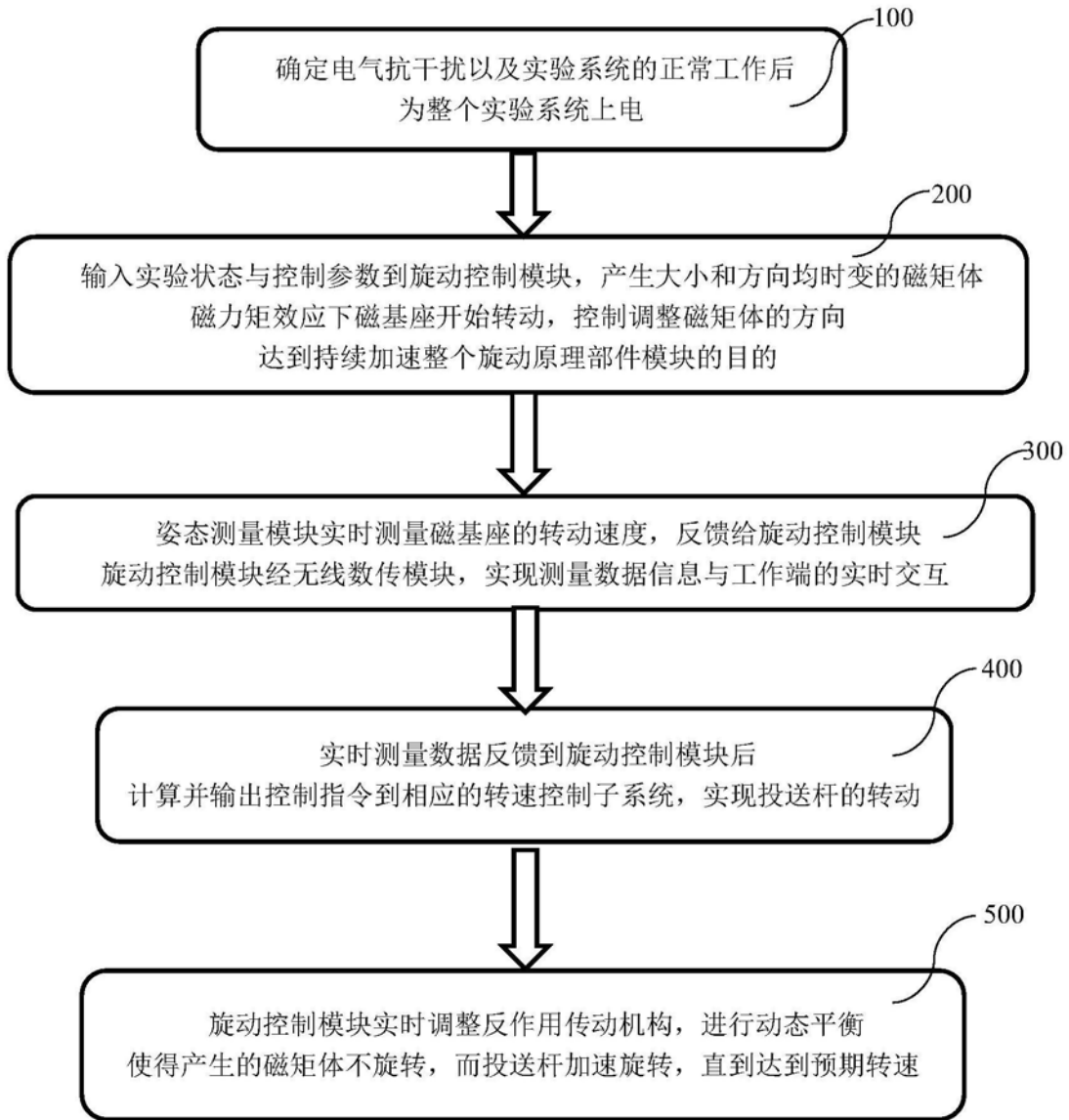


图5