基于永磁涡流的垂直轨道火箭橇制动技术研究

Research on the Sled Braking Technology of Vertical Orbit Rocket Based on Permanent Magnet Eddy Current

郑奎涛 刘军 王纬华

Kuitao Zheng Jun Liu Weihua Wang

航宇救生装备有限公司
中国·湖北 襄阳 441003
Aerospace Lifesaving Equipment Co., Ltd.,
Xiangyang, Hubei, 441003, China

【摘要】针对弹射塔垂直轨道开展下沉率弹射试验时火箭橇安全回收问题,基于永磁涡流制动原理提出一种双边型 Halback 磁体阵列的永磁涡流制动装置。论文介绍了 Halback 磁体阵列的特点,分析了制动阻力的主要影响因素,并研制了一套试验样机。试验结果和理论计算对比表明,现有永磁涡流制动性能分析的可行性和准确性,为后续制动系统的研制提供了重要的数据支撑。

【Abstract】Aiming at the problem of safe recovery of rocket sled when launching sinkage rate ejection test on vertical orbit of ejection tower, a permanent magnet eddy current brake device with bilateral Halback magnet array is proposed based on the principle of permanent magnet eddy current brake. This paper introduces the characteristics of Halback magnet array, analyses the main influencing factors of braking resistance, and develops a set of test prototype. The comparison of test results and theoretical calculation shows that the feasibility and accuracy of the existing permanent magnet eddy current braking performance analysis, which provides important data support for the subsequent development of the braking system.

【关键词】永磁涡流; Halback 阵列; 火箭橇; 制动

【Keywords】permanent magnet eddy current; Halback array; rocket sled; braking

【DOI】10.36012/etr.v1i2.301

1 引言

弹射塔垂直轨道火箭橇是在垂直轨道上以一定速度滑行的试验装置, 需要实现火箭橇的安全回收。由于其橇车质量大、垂直轨道长度有限, 传统的水刹车、伞刹车等水平轨道火箭橇的制动方式无法使用。

涡流制动是一种新型的制动方式, 其结构较为紧凑, 对火箭橇的结构改动较小, 且涡流制动方式无直接接触, 维护简单。涡流制动分为电磁涡流制动和永磁涡流制动^[1], 其中, 电磁涡流制动需要外加激励电源, 而永磁涡流制动利用永磁体产生磁场, 不需要外加激励电源, 但是, 永磁涡流制动方式对制动力的调节比电磁涡流制动方式困难。由于垂直轨道火箭橇对制动的要求为高可靠性, 同时不需要进行制动力的调节, 永磁涡流制动较好地满足了该系统对于制动的要求。

2 制动原理

2.1 永磁涡流制动原理

永磁涡流制动是利用导体在永磁阵列外部磁场中运动时切割磁感线, 使导体中产生感应涡流, 形成与导体运动方向相反的洛伦兹力实现制动。

2.2 Halback 磁体阵列

Halback 磁体阵列是一种典型的永磁阵列排布方式, 它将不同磁化方向的永磁体按照一定的顺序排列, 阵列一边的磁场显著增强而另一边显著减弱, 且很容易在空间内得到较理想的正弦分布磁场。在永磁体体积相同的情况下, Halback 永磁阵列结构紧凑、空间利用率高且制动能力最强。

双边型 Halback 磁体阵列的永磁涡流制动装置的模型^[2]如图 1, 2 组永磁阵列及其永磁单体的长度和宽度应相等, 以保证磁场强度变化周期相同。

图 1 双边型 Halback 阵列的制动装置模型

当永磁阵列静止在制动段时, 永磁体的气隙中的磁感线垂直于导体板, 导体板中没有涡流。当火箭橇上的永磁体以

一定速度通过制动段时,导体板切割磁感线,在导体板中感应出电动势和电涡流,从而实现制动。

3 制动特性分析

永磁涡流制动系统是利用永磁体与感应板之间相对运动时产生的阻力进行制动的,阻力分析是制动系统的核心问题。制动阻力的主要影响因素有:

- ①感应板与永磁体相对运动时的速度。当感应板材料一定时,在一定的速度范围类,阻力与速度的大小成递增关系,但当速度增加到了一定的数值后阻力就与速度成递减关系。
- ②感应板的材料特性(导电率)决定了阻力的特性曲线。
- ③永磁体材料的磁场强度。
- ④感应板与永磁体之间切割的面积。
- ⑤感应板与永磁体之间的间隙。

在其他条件不变和速度相同的情况下,制动力随气隙增大而减小,随永磁体厚度增大而增大。

4 试验方案

基于上述分析,结合弹射塔垂直轨道火箭橇的结构,论文设计并试制了样机试验平台,试验平台包括气动弹射系统一套、铝合金、铜镍合金材料感应板各一块,永磁阵列 2 组、测速定位传感器一组、拉压力传感器 2 个、缓冲设备 1 套。

感应板安装在运动载体上,永磁体阵列安装在轨道上,在感应板两侧安装,距离感应板间隙可调,每个永磁体整列分别安装运动方向的拉压力传感器,测速定位传感器沿轨道分布安装,缓冲设备安装在轨道末端,三维模型如图 2 所示。

图 2 试验平台设计图

4.1 低速铝合金感应板试验

①感应板中置,气动炮分别以 0.3~1.5MPa 的压力射出 7~8 次,推动感应板以不同初速度进入永磁体,采集感应板运行速度的变化,以及永磁体处所受到运动方向的推力。

②感应板偏置 5mm,重复以上试验过程,并采集数据。

4.2 中速铜镍合金感应板试验

除气动炮分别以 0.5~2MPa 的压力射出 7~8 次外,其他步骤同低速铝合金感应板试验。

②感应板偏置 5mm,重复以上试验过程,并采集数据。

5 试验结果及分析

两侧间隙 8mm,铝合金板和铜镍合金板中置时的试验数据与理论计算结果对比见图 3 和图 4。

图 3 铝合金板中置

图 4 铜镍合金板中置

2 侧间隙 8mm,铝合金板和铜镍合金板横向偏移 5mm 时的试验数据与理论计算结果对比见图 5 和图 6。

图 5 铝合金板横向偏移 5mm

图 6 铜镍合金板横向偏移 5mm

依据试验结果,可以看出:

①28m/s 以下铜镍合金、铝合金感应板制动力的试验测试结果与理论计算结果相比偏小,但非常接近,因计算时没有考虑到摩擦力、风阻等因素的影响,理论计算基本正确。

②感应板中置与偏置 5mm 2 种状态时,制动力相差不多,甚至感应板偏置 5mm 时,制动力还比中置时还要略大。在实际使用中,永磁体阵列与感应板之间的间隙发生偏移时,不会对制动力有明显影响,能够保证其正常工作。

6 结语

通过试验样机的试验结果与理论计算和仿真计算的对比分析,表明试验样机设计方案是可行的,样机各参数的选择是合理的,理论计算与仿真计算结果是可信的,为永磁涡流制动系统在弹射塔垂直轨道火箭橇的工程化应用提供了理论分析和重要的数据参考。

参考文献

- [1]唐永春,叶云岳.永磁涡流制动的有限元分析与设计[J].微电机(伺服技术),2006(3):34-36.
- [2]肖尧,吴峻.电磁飞机弹射系统永磁涡流制动装置的分析与设计[J].微特电机,2013,41(8):10-12+25.