

基于 ISIGHT/MATLAB 的平衡机参数集成优化设计

杨 戩, 王敏毅, 黄朝学, 宋向华

(中国船舶重工集团公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘 要 针对主动式平衡机和某多管火箭发射装置间适配性不佳的问题, 通过分别建立发射装置重力矩和平衡机平衡力矩的数学模型, 分析并提出可行的优化方案, 最后采用 ISIGHT/MATLAB 集成的优化策略实现优化方案。结果表明, 主动式平衡机在优化后的工作效率大幅提高, 发射装置剩余的最大不平衡力矩相较优化前减少了 79.8%, 且文中采用的集成优化策略为其它优化问题提供了新的解决思路。

关键词 主动式平衡机; ISIGHT; MATLAB; 集成优化策略

中图分类号 TH113 **文献标识码** A

Integrated Optimization Design of Balancing Machine Based on ISIGHT/MATLAB

YANG Jian, WANG Minyi, HUANG Chaoxue, SONG Xianghua

(No. 710 R&D Institute, CSIC, Yichang 443003, China)

Abstract With the problem of poor suitability between active balancing machine and certain multiple rocket launcher, this paper establishes mathematical model of the launcher's gravity torque and the balancing machine's balancing torque, then analyzes and presents feasible optimization scheme, and uses the ISIGHT/MATLAB integrated optimization strategy to achieve the optimization scheme. The results show that after optimization, the active balancing machine's efficiency is greatly increased, and the rest of the maximum unbalanced torque of the launcher is reduced by 79.8%. The integrated optimization strategy provides a new solution for other optimization problems.

Key words active balancing machine; ISIGHT; MATLAB; Integrated optimization strategy

0 引言

平衡机是多管火箭发射装置的重要组成部分, 主要用于平衡起落架相对耳轴产生的重力矩。传统式平衡机^[1]中的弹性元件由扭簧构成, 当刚度确定之后, 其产生的重力矩只与起落架的俯仰角有关。对于多管火箭发射装置而言, 空载状态和满载状态下的重力矩数值相差较大, 在设计平衡机时取空载工况和满载工况的中间值作为平衡目标, 导致发射装置剩余的最大不平衡力矩仍然较大。为此, 某设计人员提出了主动式平衡机^[2]的设计思路。

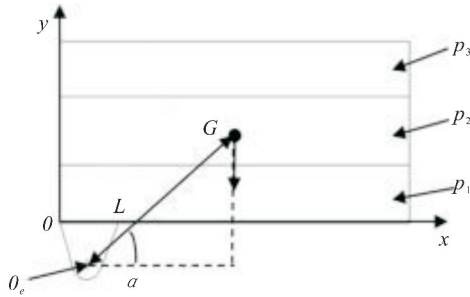
主动式平衡机在传统式平衡机的设计基础上, 将平衡机的刚度设计为可调的, 即在不同的装弹模式下, 可以调整相应的平衡机刚度与之适应, 从而将发射装置剩余的最大不平衡力矩减少了 59.4%。通过对主动式平衡机和发射装置的深入研究之后, 发现剩余的最大不平衡力矩仍可以进一步减小。本文拟采用 MATLAB 软件对主动式平衡机和发射装置进行优化设计, 使两者间的适配性达到最佳, 从而在最大限度上减少剩余的最大不平衡力矩。

1 模型建立

1.1 起落架重力矩

某 24 管火箭发射装置的俯仰范围为 $0 \sim 75^\circ$ ，装载 A、B 两种弹，其中 A 弹 18 枚，每枚 40 kg；B 弹 6 枚，每枚 75 kg。为了保证发射装置整体重心位置尽可能的低，规定较重的 B 弹装载在最下面一层定向器中^[3]。

起落架重心和耳轴的相对位置如图 1 所示，起落架重心到耳轴的距离为 L ，由于弹的种类、弹的数量和弹的位置都是可以任意变动的，重心位置、起落架质量和距离 L 都会发生改变。图 1 为起落架的侧向视图，以起落架尾部为原点建立坐标系。



p_1, p_2, p_3 - 第 1、2、3 层定向器； O_e - 耳轴位置； G - 起落架重心；

图 1 起落架简图

Fig. 1 Sketch of landing gear

设重心坐标为 $G(x_G, y_G)$ ，则空载情况下的重心坐标为 $G_0(x_0, y_0)$ ，耳轴中心位置坐标为 $O_e(x_e, y_e)$ ，第 1、2、3 层炮管中分别装载 A 弹 i, j, k 枚，B 弹装载在第 1 层，为 q 枚，且弹的质心在定向器中心轴线上，则重心的坐标可以表示为

$$x_G = \frac{(i + j + k)m_A x_A + qm_B x_B + m_0 x_0}{m_0 + (i + j + k)m_A + qm_B} \quad (1)$$

$$y_G = \frac{(h_1 i + h_2 j + h_3 k)m_A + qh_1 m_B + m_0 y_0}{m_0 + (i + j + k)m_A + qm_B} \quad (2)$$

式中： m_A, m_B 为 A、B 弹的质量； x_A, x_B 为 A、B 弹质心相对坐标系中 x 轴的位置坐标； h_1, h_2, h_3 为第 1、2、3 层定向器中心轴线到 x 轴的距离。

则重力矩函数可写为

$$M(\theta) = L \cdot mg \cdot \cos(\alpha + \theta), (0 \leq \theta \leq 75) \quad (3)$$

式中： L 为耳轴轴心位置到重心的距离， $L^2 = (x_G -$

$x_e)^2 + (y_G - y_e)^2$ ； α 为耳轴轴心位置到重心的连线与水平方向的夹角， $\alpha = \arctan\left(\frac{y_G - y_e}{x_G - x_e}\right)$ ； m 为发射装置起落架的质量， $m = m_0 + (i + j + k)m_A + qm_B$ ； g 为重力加速度，取 10 m/s^2 ； θ 为起落架的俯仰角度。

1.2 平衡力矩

主动式平衡机选取每种装弹模式下的最大重力矩值为平衡目标，则平衡力矩为

$$T(\theta) = K \cdot (\theta - 37.5), (0 \leq \theta \leq 75) \quad (4)$$

式中 K 为不同装弹模式对应的平衡机刚度值。

2 问题描述

某装弹模式下的起落架重力矩曲线和主动式平衡机输出的平衡力矩曲线如图 2 所示。

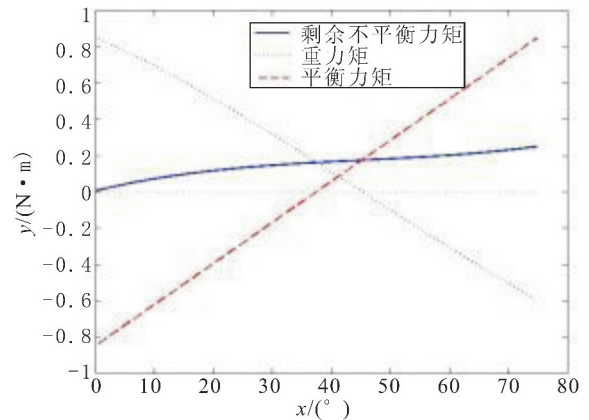


图 2 优化前力矩曲线

Fig. 2 Torque curve before optimization

随着俯仰角的增大，起落架相对耳轴轴心产生的重力矩会由正变负，将重力矩为零时对应的俯仰角称为重力矩零点。同样的，平衡机中的扭簧需要进行 2 个方向的扭转来产生平衡力矩，为了保证扭簧工作可靠性，规定扭簧双向等幅度扭转^[4]，则俯仰角为 37.5° 时为平衡力矩零点。

通过对力矩曲线的分析可知，导致主动式平衡机和发射装置间适配不佳的原因主要有：

- 1) 重力矩零点偏离平衡力矩零点较远；
- 2) 设计每种装弹模式对应的平衡机刚度时没有取最优值。

3 优化设计目标模型

3.1 重力矩零点优化

通过对重力矩函数的分析,在装弹模式和俯仰角不变的前提下,重力矩零点只与耳轴位置有关,即以耳轴位置 (x_e, y_e) 为设计变量。

不同装弹模式对应的重力矩零点不同,但都分布在一个重力矩零点区间内,通过分析,该区间的中点与平衡力矩零点重合时可以达到最优,即优化目标就是使该中点向平衡力矩零点靠近。以某装弹模式为例,根据式(1) - (3),该装弹模式下的起落架重心位置为 $G(x_G, y_G)$, 则其重力矩零点为

$$\theta = \arctan\left(\frac{x_G - x_e}{y_G - y_e}\right)$$

不同的耳轴位置,对应不同的重力矩零点区间,建立耳轴位置坐标和重力矩零点区间中点的函数关系,则优化目标函数可写为

$$\min f(x_e, y_e) = \left| \frac{\theta_{\min} + \theta_{\max}}{2} - 37.5 \right| \quad (5)$$

其约束条件主要是空间约束^[5]:

1) 设计变量上下限。根据发射装置总体布局要求,则有:

$$x_{\min} \leq x_e \leq x_{\max}, y_{\min} \leq y_e \leq y_{\max}$$

2) 重心位置约束。在俯仰运动全过程中,要求重心位置不低于 1 400 mm,即:

$$y_{G\min} \geq 1\ 400$$

综上所述,耳轴位置优化是一个带约束的二维非线性规划问题。

3.2 平衡机刚度值优化

完成对耳轴位置优化之后,需要对每种装弹模式对应的平衡机刚度进行优化,使每种装弹模式下剩余的最大不平衡力矩最小。

以空载工况为研究对象,该装弹模式下剩余的不平衡力矩函数可写为

$$\Delta M(\theta) = |M_0(\theta) + K(\theta - 37.5)| \quad (6)$$

即求对应的 K 值使剩余的最大不平衡力矩最小。

4 基于 ISIGHT 的优化设计

4.1 优化流程设计

本文采用 ISIGHT 作为优化软件^[6-8], 一是

ISIGHT 提供了较为完备的优化算法,其次是利于在之后的优化过程中整合有限元等分析软件,对模型的优化进行多方面的仿真验证。针对耳轴的位置优化和平衡机刚度值优化的问题,利用 ISIGHT 集成 MATLAB 组件进行优化计算。首先采用 ISIGHT 中的二次规划算法(NLPQL)对耳轴位置进行优化,然后将优化后的耳轴坐标作为输入值输入 MATLAB 程序中,完成对平衡机刚度值的优化。

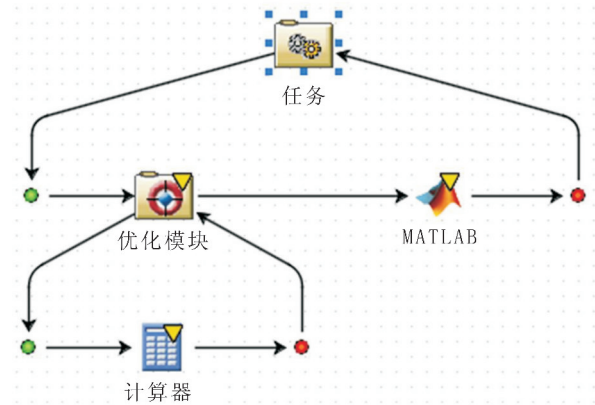


图 3 优化平台搭建

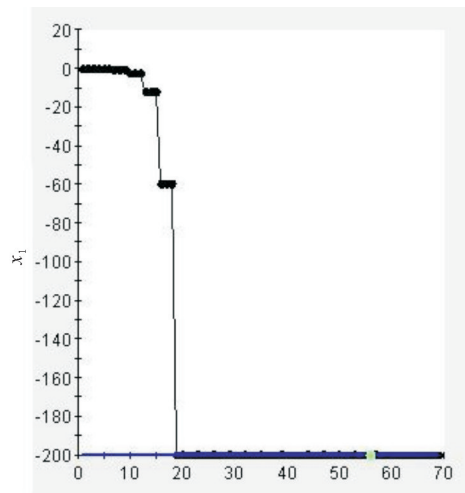
Fig. 3 Construction of optimization platform

4.2 优化结果分析

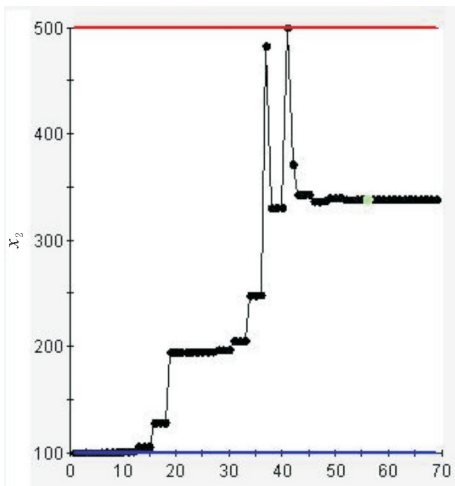
ISIGHT 中对耳轴位置坐标以及优化目标函数的迭代过程如图 4 所示,最终得到的优化结果为 $(-200, 338)$ 。

得到了新的耳轴位置后,即对每种装弹模式对应的平衡机刚度值进行优化。优化前,设计者以俯仰角为 0 时的重力矩作为平衡机的平衡目标,虽然此时的剩余不平衡力矩接近 0,但是随着俯仰角的增大,剩余的不平衡力矩会越来越大,并且在俯仰角为 75° 时达到最大。为此,需要选择合适的 K 值使整个俯仰范围内剩余的最大不平衡力矩最小。

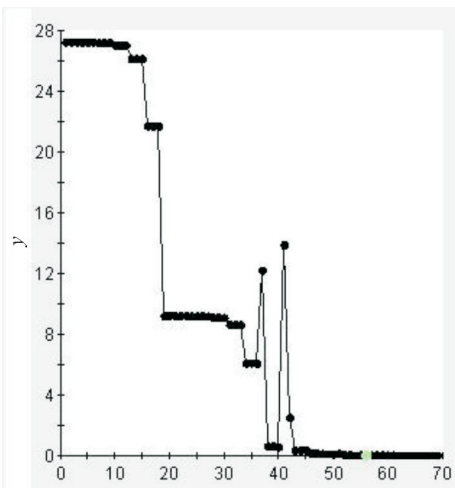
根据式(6)编写 MATLAB 优化程序,将新的耳轴位置坐标输入优化程序中,得到每种装弹模式对应的最优刚度值,此时某装弹模式下的起落架重力矩曲线和主动式平衡机输出的平衡力矩曲线如图 5 所示。



(a) x_e 迭代过程



(b) y_e 迭代过程



(c) 目标函数迭代过程

图 4 优化迭代过程

Fig. 4 Iterative process of optimization

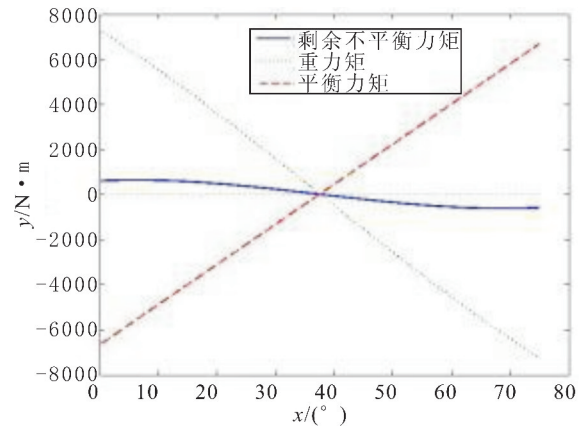


图 5 优化后力矩曲线

Fig. 5 Torque curve after optimization

优化前后发射装置满载、半载和空载工况下剩余的最大不平衡力矩如表 1 和表 2 所示。

通过优化前后的对比,优化后的剩余最大不平衡力矩大幅度降低,较大地改善了发射时的工况。

表 1 优化前的力矩

Table 1 Torques before optimization

俯仰角	空载/(N·m)	半载/(N·m)	满载/(N·m)
0	- 5.30	- 2.33	1.70
75°	2 435.9	1 827.39	1 667.1
最大	2 435.9	1 827.39	1 667.1

表 2 优化后的力矩

Table 2 Torques after optimization

俯仰角	空载/(N·m)	半载/(N·m)	满载/(N·m)
0	202.48	126.59	50.22
75°	493.84	470.67	449.43
最大	494.02	470.84	449.74

5 结束语

针对主动式平衡机和某多管火箭发射装置间的适配性不佳的问题,提出了合适的优化方案,并通过 ISIGHT/MATLAB 的集成优化算法,实现了在最大程度上减少发射装置的剩余最大不平衡力矩的目标。本次优化是建立在数学模型优化基础上的,后期仍可以集成其它仿真软件对优化结果进行实时验证,不过优化过程中的参数设置和其他相关设置还有待进一步的研究和讨论。

参考文献

- [1] 李军. 火箭发射系统设计[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [2] 方航,王敏毅,黄朝学. 某火箭弹发射装置自适应平衡机原理方案研究[J]. 舰船电子工程,2015,35(9):51-55.
- [3] 张毅敏,黄朝学. 后置式俯仰机构布局方案优化设计研究[J]. 应用技术,2015(2):57-59.
- [4] 黄朝学. 某扭杆式双向平衡机的设计及疲劳寿命分析[J]. 机械设计,2010,27(9):72-75.
- [5] 王亮宽,高鑫. 基于复合形法的某高炮平衡机优化设计[J]. 火炮发射与控制学报,2015,36(1):29-32.
- [6] 杨铭. 基于 ISIGHT 的船型生成及耐波性优化研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2010.
- [7] 何强,马大为. 基于 ISIGHT 的某型多管火箭炮基座的轻量化设计[J]. 火力与指挥控制,2014,39(10):113-116.
- [8] 魏璐璐,左正兴. 基于 ISIGHT 的曲柄连杆机构多学科优化[J]. 机电工程,2011,28(12):1435-1438.

(上接第 84 页)

冲击载荷相等或接近;3) 有抗干扰要求时,药包产生的声场强度应大于引信工作门限;4) 利用冲击因子公式进行等效计算;5) 确定等效药量时应考虑被试品尺度因素,建议选择 15 ~ 20 kg TNT 当量;6) 尽早制定等效实施规范、标准。

参考文献

- [1] 张志华,钟强晖,李庆民. 小药量水下爆炸对水下目标的毁伤有效值评估[J]. 兵工学报,2009,30(10):1344-1348.
- [2] 杨一方,郭锐,刘萌萌,等. 一种新型水下爆炸冲击等效加载实验方法[J]. 鱼雷技术,2014,22(5):357-360.
- [3] 库尔P. 水下爆炸[M]. 北京:国防工业出版社,1960.
- [4] GJB4000—2000 舰船通用规范 1 组船体结构[S]. 北京:2000.
- [5] 张振华. 舰艇结构水下抗爆能力研究[D]. 武汉:海军工程大学,2004.
- [6] 姚熊亮,郭君,曹宇,等. 在水下爆炸冲击波作用下的新型冲击因子[J]. 中国造船,2008,49(2):52-59.
- [7] 姚熊亮,曹宇,郭君,等. 一种用于水面舰船的水下爆炸冲击因子[J]. 哈尔滨工程大学学报,2007,28(5):501-509.
- [8] GJB260A—1997 水雷定型试验规程[S]. 北京:1997.