

doi: 10.7690/bgzd.2013.12.004

某导弹折叠弹翼展开过程的仿真分析

崔二巍, 于存贵, 李猛, 齐贤伟

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 折叠弹翼的展开性能关系着导弹发射后能否正常飞行。以某导弹的折叠弹翼为研究对象, 对其展开过程进行仿真分析。根据其结构和工作原理, 在 Adams 多体动力学软件中建立仿真模型, 仿真其在不同作动力曲线下的展开过程, 得到弹翼展开角度、角速度、动能曲线和弹翼与锁定销之间的碰撞力曲线, 并对弹翼展开过程中的性能进行检验。仿真结果表明: 弹翼能迅速展开到位, 并能准确定位、可靠锁定, 展开过程中各部件之间不会相互干涉。

关键词: 折叠弹翼; 展开; 锁定; 作动力; 仿真

中图分类号: TJ765.2 **文献标志码:** A

Simulation Analysis of a Missile Folding Wing Deployment Process

Cui Erwei, Yu Cungui, Li Meng, Qi Xianwei

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The deployment performance of folding wing has relation to the normal flight of missile. A certain type missile folding wing is studied, and the deployment process is simulated. According to its structure and working principle, build simulation model in Adams. Simulate the deployment process under different driving forces, and get the folding wing's angle, angular velocity, and kinetic energy curve, and the impact force curve between folding wing and the locking pin. Estimate the performance of deployment process. Simulation results show that the folding wing can unfurl to the appointed place quickly, can be located accurately and locked reliably, and there is no interference between each parts during the deployment process.

Key words: folding wing; deployment; lock; driving force; simulation

0 引言

为使导弹发射装置小型化, 方便运输和贮存, 战术导弹大量采用了箱(筒)式发射。为适应这种情况, 导弹采用折叠弹翼。在通常情况下, 弹翼折转叠合后与发射箱(筒)内壁相适应, 贮存在发射箱(筒)中; 导弹发射离筒后, 弹翼在驱动力作用下展开到位并且锁定。折叠弹翼可缩小导弹的横向尺寸, 便于贮存、运输和发射, 节省导弹的贮运空间, 增加贮运装置的贮运能力, 提高了武器系统的机动性和作战能力^[1]。

折叠弹翼的展开性能关系着导弹发射后能否正常飞行。在折叠弹翼的设计过程中, 不仅要保证弹翼能按要求展开, 而且要可靠锁定, 冲击力不能太大, 以免对导弹产生不利影响^[2]; 因此, 研究折叠弹翼的展开过程具有重要意义。

1 折叠弹翼展开机构

1.1 折叠弹翼展开机构的结构

折叠弹翼展开机构包括翼面、驱动能源、展开机构、限位缓冲机构和锁定机构等部分。某导弹的折叠弹翼展开机构如图 1 所示, 为左右对称结构。

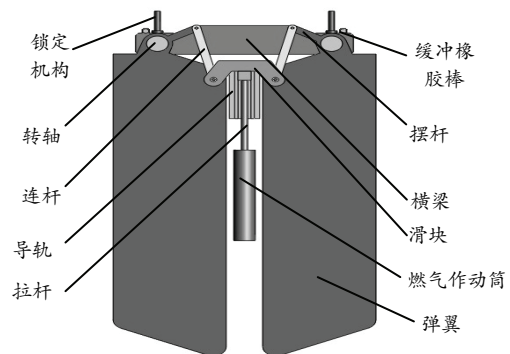


图 1 折叠弹翼展开机构

折叠弹翼的展开过程以燃气作动筒为驱动, 通过拉杆拉动滑块沿导轨向下运动, 与滑块相连的连杆带动摆杆绕转轴转动, 摆杆与弹翼为一体, 从而使弹翼向外侧转动而展开。展开到位后, 弹翼先与缓冲橡胶棒发生碰撞, 限制弹翼的继续摆动并能减小对锁定销的冲击, 然后锁定机构将弹翼锁定在展开位置。

折叠弹翼的展开过程如图 2 所示。

燃气作动筒如图 3 所示。高温高压燃气从进气嘴进入气腔 2, 气腔 1 与外界大气相通, 活塞杆在高压燃气作用下向左运动, 拉杆与活塞杆相连, 拉动弹翼展开。

收稿日期: 2013-07-10; 修回日期: 2013-08-26

作者简介: 崔二巍(1989—), 男, 山西人, 在读硕士, 从事火箭导弹发射理论与技术研究。

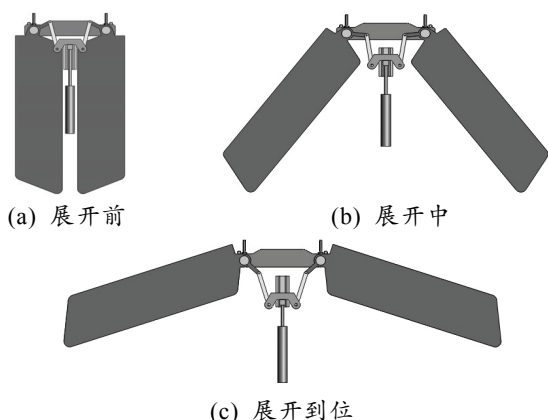


图2 折叠弹翼的展开过程

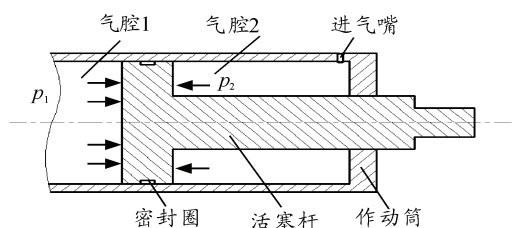


图3 燃气作动筒的结构

由图3计算可得，活塞杆提供的拉力为

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)p_2 - \frac{\pi}{4}D^2p_1 - T \quad (1)$$

其中： p_1 为大气环境压强； p_2 为内弹道计算得到的高压燃气压强； T 为工作时的总阻力； D 为作动筒的内径； d 为活塞杆的直径。活塞杆的拉力 F 即为拉杆的驱动力。

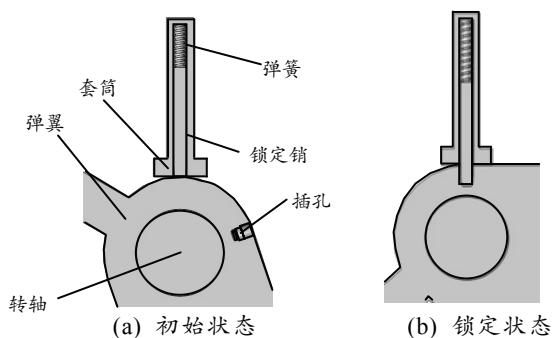


图4 弹翼锁定机构

锁定机构如图4所示。初始状态弹翼未展开时，弹簧处于压缩状态，为锁定销提供向下的压力，使锁定销抵在弹翼侧面。弹翼侧面设置有插孔，弹翼展开到位时，插孔恰好转到锁定销下方，弹簧将锁定销压入插孔中，弹翼锁定。

1.2 折叠弹翼展开的性能要求

折叠弹翼展开的性能关系着导弹发射后能否正常飞行，是设计折叠弹翼时的重要指标，主要包括以下内容：

1) 折叠弹翼能迅速展开到位，展开时间在400ms

以内，并且左右弹翼同步展开，确保导弹正常飞行时，两侧弹翼所承载的气动载荷呈对称分布^[3]；

2) 展开到位后，弹翼定位准确，锁定机构能可靠地将弹翼锁定在展开位置，并且锁定后弹翼不会有过大的振动，且能快速稳定下来；

3) 折叠弹翼结构简单，安装使用方便，工作可靠，展开过程中各部件不会发生相互干涉。

2 动力学模型的建立

在Pro/E软件中建立折叠弹翼的三维模型，导入Adams多体动力学软件中，添加约束并施加载荷，从而建立弹翼展开过程的动力学仿真模型^[4]。

2.1 添加约束

根据折叠弹翼的展开原理，在几何模型的各部件之间添加运动副和约束。作动筒、导轨、横梁均与大地固定，拉杆和滑块、缓冲橡胶棒与横梁、套筒与横梁之间分别固定。拉杆与作动筒、滑块与导轨之间分别添加移动副，锁定销与套筒之间添加圆柱副；弹翼与转轴之间添加转动副，连杆通过转动副分别与弹翼摆杆和滑块相连。折叠弹翼在实际展开过程中，各部件之间的连接处存在摩擦力，因此为各个运动副添加合适的摩擦系数^[5]。

在套筒和锁定销之间添加弹簧力，弹簧初始设置为受压状态。在锁定销和弹翼、缓冲橡胶棒与弹翼之间添加接触力。

2.2 施加载荷

弹翼在展开过程中，受气动力作用，可分解为法向力和轴向力。气动力作用在弹翼的压心位置上，轴向力为气动阻力，方向沿弹体轴向，法向力为气动升力，方向垂直于翼面向上。参照文献，将气动力的大小表示为弹翼展开角度的函数^[6]。

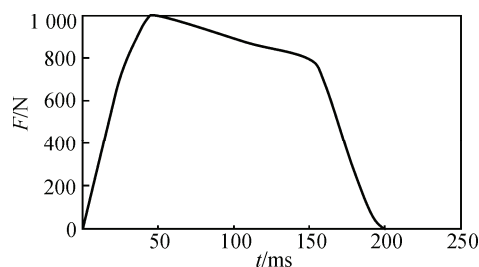


图5 作动力曲线

折叠弹翼展开的驱动力为燃气作动筒提供的作动力，在拉杆上添加向下的作动力曲线。根据高温燃气的压强，由式(1)可计算得到作动力曲线。参考相关文献，峰值为1000N的作动力曲线如图5^[7]所示。不同峰值的作动力曲线可在此曲线上乘以一个比例系数 k 得到。

3 弹翼展开的仿真分析

燃气作动筒的工作介质为火药或推进剂燃气,不同的装药量或进气量可提供不同的作动力。为比较不同作动力曲线下弹翼展开的性能,以图 5 中所述的作动力曲线为基准,选取比例系数 k 为 2、3、4,即峰值为 2 000 N、3 000 N 和 4 000 N 的作动力曲线分别作用于拉杆上,在 Adams 中仿真折叠弹翼的展开过程。

弹翼展开的角度和角速度随时间的变化曲线如图 6 和图 7 所示。

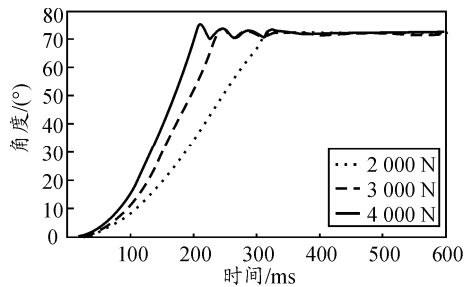


图 6 弹翼展开的角度曲线

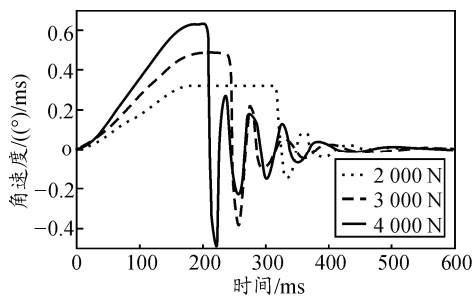


图 7 弹翼展开的角速度曲线

由角度变化曲线可得,作动力曲线峰值为 2 000 N、3 000 N 和 4 000 N 时,弹翼展开到位的时间分别为 316 ms、241 ms 和 204 ms,均满足展开时间的要求。展开到位后的最大振幅与稳定值的比分别为 1.94%、3.33% 和 4.01%,振动持续时间分别为 47 ms、89 ms 和 149 ms。分析可得,当作动力增大时,弹翼展开到位的时间变短,但展开到位后的振幅增大,振动时间变长。左右两侧的弹翼展开的角度变化曲线重合,具有良好的展开同步性。展开到位后,由于缓冲橡胶棒和锁定机构的作用,将弹翼准确定位并可靠锁定。

由角速度变化曲线可得,作动力增大时,弹翼展开时的角速度增加更快也更大,展开到位后的振动幅值增大,振动次数也增加。

弹翼展开过程的动能变化曲线如图 8。弹翼动能的大小决定了其展开到位时碰撞的激烈程度,动能越大,与缓冲橡胶棒和锁定销的碰撞越激烈。

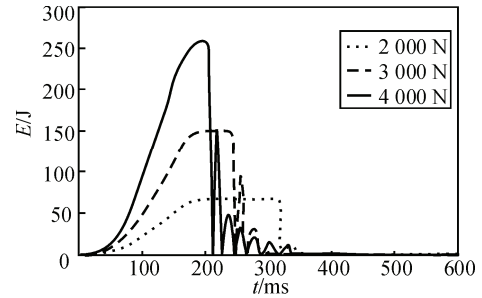


图 8 弹翼展开过程的动能曲线

弹翼展开到位后与锁定销的碰撞力如图 9。

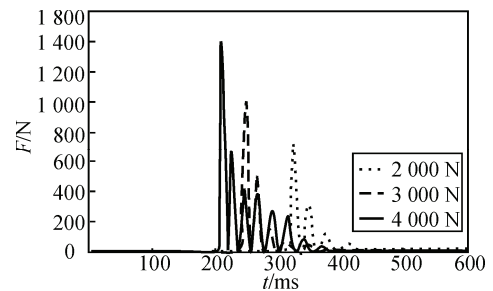


图 9 弹翼与锁定销的碰撞力曲线

由图 8 和图 9 可得,随着作动力的增加,展开过程中弹翼的动能越大,展开到位后与锁定销的碰撞力也越大,锁定后的振动也越激烈。锁定销为锁定机构的关键部件,受力最大,应保证其有足够的刚度。

4 结论

仿真结果表明:折叠弹翼展开机构工作可靠,弹翼能迅速展开到位,左右弹翼展开同步性良好,展开到位后能准确定位,可靠锁定,发生较小的振动后迅速稳定,展开中各部件间不会相互干涉。当作动力增大时,弹翼展开时间变短,但锁定后振动增大,与锁定销的碰撞力增大,在折叠弹翼设计中,应根据展开性能的要求,选择合适的作动力曲线。

参考文献:

- [1] 余旭东,葛金玉,段德高,等. 导弹现代结构设计[M]. 北京:国防工业出版社,2007:218-219.
- [2] 李莉. 折叠翼展开性能仿真研究与实验[D]. 天津:西北工业大学,2007:1-2.
- [3] 钟世宏,任华,何薇,等. 可折叠弹翼支架中双弹翼同步问题的分析与研究[J]. 制造技术研究,2011,29(3):11-14.
- [4] 王松超,王惠方,于存贵. 某多管火箭炮支撑动力学分析[J]. 兵工自动化,2012,31(3):24-26.
- [5] 李莉,任茶仙,张铎. 折叠翼机构展开动力学仿真及优化[J]. 强度与环境,2007,34(1):17-21.
- [6] 余旭东,赵伟,马彩霞,等. 战术导弹折叠翼结构动态响应分析[J]. 西北工业大学学报,1994,12(6):463-466.
- [7] 赵俊锋,刘莉,杨武,等. 折叠弹翼展开动力学仿真及优化[J]. 弹箭与制导学报,2012,32(2):155-157.