

doi: 10.7690/bgzdh.2014.10.013

某无链供弹装置的仿真与试验

陈继芹, 戴劲松, 王茂森, 申培刚

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为了提高供弹装置各运动构件的可靠性, 对某无链供弹装置进行建模进行研究。通过 ADAMS 软件建立无链供弹装置的运动学及动力学方程, 以 2 发弹的仿真曲线为例进行多发炮弹与闭合弹链运动交接的仿真分析, 得到弹丸位移、加速度等参数曲线, 并通过激光位移传感器进行系统测试。测试结果表明, 供弹机构的动态特性明显, 对供弹机构可靠性的进一步提高及结构的改进提供了参考。

关键词: 无链供弹装置; 传感器; 运动交接; 可靠性

中图分类号: TJ306 **文献标志码:** A

Simulation and Test of a Linkless Feed Mechanism

Chen Jiqin, Dai Jinsong, Wang Maosen, Shen Peigang

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

Abstract: In order to improve the reliability of each motion component of a feed mechanism, a linkless feed mechanism is modeled and studied. Established kinematics and dynamics equations of the linkless feed mechanism through the ADAMS software, the simulation analysis of multiple shells and closed bomb chain movement handover is done by taking the simulation curves of 2 bullets as an example, we get the displacement, acceleration and other parameters of projectile curve, and the system is tested by laser displacement sensor. Test results show that the dynamic characteristic of feed mechanism is obvious, and provides reference to further improve the reliability and the improved structure of the feeding mechanism.

Keywords: linkless feed mechanism; sensor; movement handover, reliability

0 引言

无链供弹装置是将炮弹一发接一发准确、可靠地送至自动机供弹接口, 与弹链供弹相比, 供弹过程不需要除链、排链等动作, 且具有传动阻力小等优点^[1]。在自动炮高速供弹的过程中, 供弹装置各运动构件间通过相互冲击、碰撞等完成各种规定的动作。供弹过程中, 各运动构件的可靠性是火炮总体设计的关键问题之一^[2]。笔者对多发炮弹与闭合弹链运动的交接过程进行了仿真分析和供弹测试试验, 并针对相关问题进行了分析和改进。

1 供弹机构虚拟样机建模

1.1 供弹机构拓扑关系

该无链供弹机构模型主要包括解锁部分、多并列供弹单元部分、并列多弹夹装弹部分、闭合弹链部分、闭合弹链安装架体部分等模块, 根据各部件构成及质量特性, 在三维造型软件中简化出各组成单元的几何模型, 为虚拟样机的建立奠定了基础^[3]。

采用美国 MSC 公司的 ADAMS 软件作为虚拟样机系统建模及仿真分析的软件。将建立好的三维

实体模型导入 ADAMS 中^[4-5], 会自动建立其运动学及动力学方程, 但供弹机构的拓扑关系及构件间约束的添加就会显得尤为重要。

供弹机构的拓扑关系简图如图 1 所示。

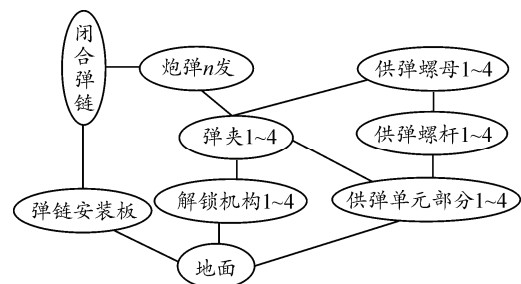


图 1 供弹机构拓扑结构简图

通过铰来连接各构件间的运动约束, 其中用固定铰连接的是弹链安装板与地面间、并列解锁部分与地面间、供弹单元部分与地面间和解锁部分的通道和供弹单元部分的轨道(因为每个完整供弹单元轨道都由这两部分的轨道组成);用旋转铰连接的是供弹单元部分与供弹螺杆间以及闭合弹链链节间;采用实体与实体接触的有弹夹与供弹螺母、弹夹上的炮弹、解锁机构、供弹单元部分间、炮弹与闭合

收稿日期: 2014-05-04; 修回日期: 2014-07-04

作者简介: 陈继芹(1990—), 女, 山东人, 在读硕士, 从事自动机动力学研究。

弹链间和闭合弹链与弹链安装板上的链轮；采用旋转铰连接的是供弹螺杆与供弹螺母；解锁机构部分、弹夹与供弹单元部分是用滑移铰连接的。

1.2 力学模型的建立

设 n 个构件组成的供弹机构的广义坐标矢量组为 $q = [q_1^T, q_2^T, \dots, q_i^T, \dots, q_n^T]^T$ ，其中 q_i 供弹机构中构件 i 的广义坐标，采用归一化约束后系统欧拉参数的统一矢量方程表达式为 $\Phi^p = [\Phi_1^p, \Phi_2^p, \dots, \Phi_n^p]^T = 0$ 。设其与系统运动副等价的约束方程为 nm 个，得到运动学约束矢量方程表达式^[6]为： $\Phi^k = [\Phi_1^k(q), \Phi_2^k(q), \dots, \Phi_{nm}^k]^T = 0$ 。约束方程、运动学约束及系统的驱动约束方程组成的位置方程可表示为：

$$\Phi(q, t) = \begin{bmatrix} \Phi^p(q) \\ \Phi^k(q) \\ \Phi^D(q, t) \end{bmatrix} = 0$$

机械系统动力学仿真中据实际碰撞接触及持续接触 2 种模型情况，采用碰撞函数和泊松模型函数来计算碰撞力。由于碰撞函数法的计算速度快，且使用的参数(如刚度系数、阻尼系数等)能够更好地控制碰撞力，在仿真中能够得到较好的效果，因此在系统供弹过程中采用该法来计算，其表达式为

$$\text{Impact} = \begin{cases} 0 & x \geq x_0 \\ k(x_0 - x)^e - c_{\max} \frac{dx}{dt} \cdot \text{step}(x, x_0 - d, 1, x_0, 0) & x < x_0 \end{cases}$$

式中： k 为惩罚因子，也称刚度系数； e 为非线性系数； c_{\max} 为阻尼系数； d 指切入深度； x 为接触构件的距离变量； x_0 是两构件的碰撞的初始距离^[7]。

2 仿真分析结果

以 2 发弹的仿真曲线为例进行多发炮弹与闭合弹链运动交接的仿真分析。其中垂直方向为单元轨道上装弹弹夹的运动方向，水平方向为在闭合弹链链接的带动下炮弹沿弹链的运动方向，如图 2 所示。

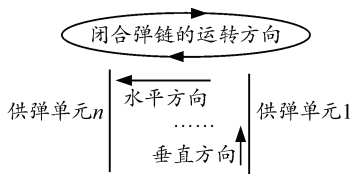


图 2 炮弹交接方向

从图 3~图 8 得知，在 0.075 s 时，炮弹 1 与闭合弹链开始交接，其垂直方向和水平方向的加速度

都有较大的突变，在 0.13 s 左右交接基本完成，此时加速度曲线趋于相对稳定，但会有一些波动，这是由弹链的多边形效应^[8]及啮合冲击所造成的，使闭合弹链在运动中会出现波动，造成供弹不平稳^[9]。炮弹 2 与闭合弹链在 0.2 s 左右开始交接，在图 5~图 8 中可以看出曲线在此时有一定的波动，但波动位移不是特大，在条件满足的范围内。因此炮弹 2 对炮弹 1 的运动影响不大，多发炮弹与闭合弹链交接是可以实现的。

在单元供弹 300、500 发/min 时对炮弹与闭合弹链交接时产生的接触力进行仿真如图 9~图 10。

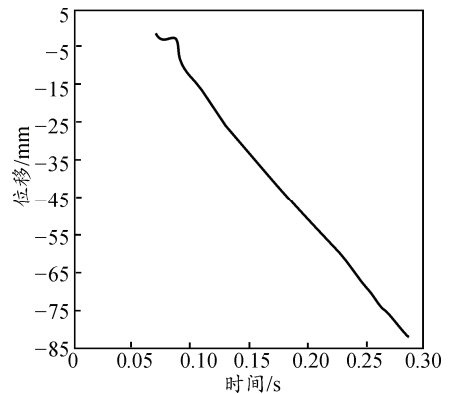


图 3 炮弹 1 水平方向运动的位移

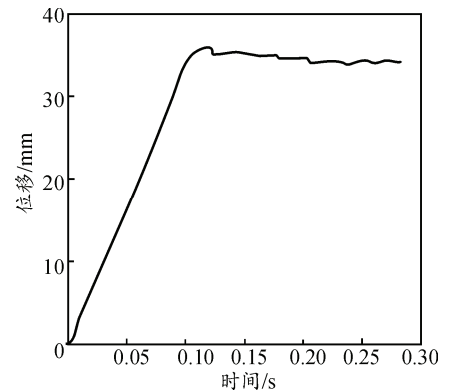


图 4 炮弹 1 垂直方向运动的位移

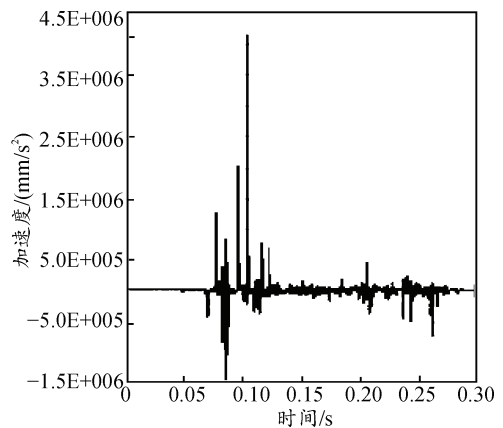


图 5 炮弹 1 水平方向运动的加速度

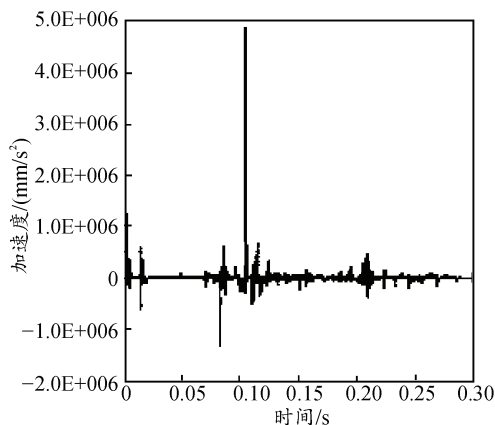


图6 炮弹1垂直方向运动的加速度

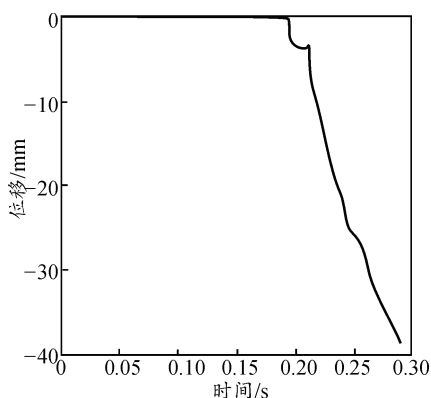


图7 炮弹2水平方向运动的位移

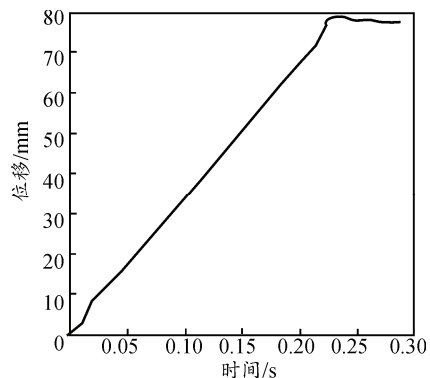


图8 炮弹2垂直方向运动的位移

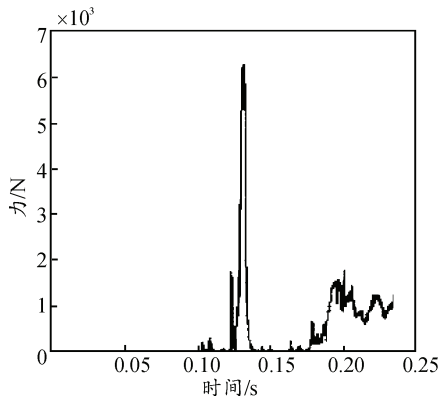


图9 320发/min时接触力

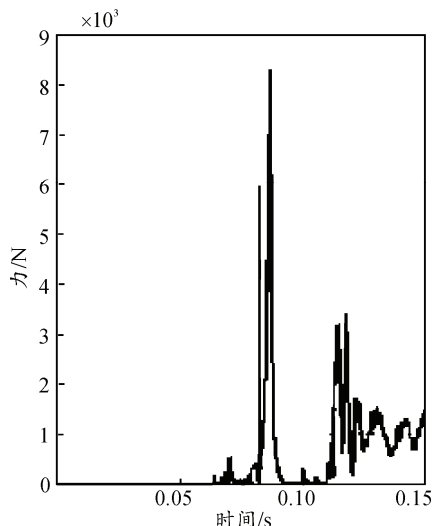


图10 500发/min时接触力

图9、图10清楚地描绘了接触力随时间的变化规律，在供弹交接时曲线剧烈波动，说明炮弹与闭合弹链在交接过程中会产生剧烈的碰撞，且交接最初时刻碰撞力最大，其大小会直接影响构件的强度及供弹过程中的安全可靠。在以后的结构改进中，可以通过改变闭合弹链与单元通道间的位置关系，使闭合弹链与单元通道间有一个倾斜角度，从而可以在交接时产生一个切向分量，让炮弹与闭合弹链较顺畅地交接，同时改善构件受力与工作环境。

3 供弹试验测试

该无链供弹机构是由多个并列的单元组成的，在实际供弹过程中，由多个单元联合供弹，不仅需要仿真多发炮弹与闭合弹链的运动交接，还需对多个供弹单元进行运动交接测试试验，这是验证原理样机可行性的关键环节。试验通过采用激光位移传感器来记录丝杠末端凸台旋转产生的高度差的周期性变化^[10]。在各单元选弹完成后，检查各供弹装置在正常工作的情况下，开始进行供弹交接测试。

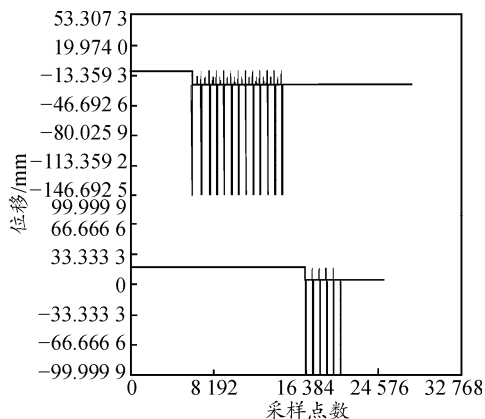


图11 单元1、2联调供弹测试曲线