

doi: 10.7690/bgzdh.2021.02.002

运动参数优化在降低供弹系统弹药偏移幅值中的应用

李 猛

(中国船舶重工集团公司第七一三研究所第二研究室, 郑州 450015)

摘要: 为解决弹药在运转过程中晃动影响供弹系统接口交接可靠性的问题, 提出一种减小弹药偏移幅值的设计方法。根据供弹系统供弹速率及结构参数等条件, 基于供弹系统结构参数的基本假设, 建立板簧结构简化模型, 使用运动方程对弹药单元的运动规律进行描述, 利用 Matlab 进行循环迭代计算, 以弹药偏移幅值为目标函数, 求解运动参数最优值, 并在某型舰炮供弹系统上进行验证。实验结果证明了该方法的有效性。

关键词: 舰炮; 供弹系统; 弹药偏移幅值

中图分类号: TJ391 **文献标志码:** A

Application of Motion Parameter Optimization in Reducing Ammunition Offset Amplitude of Ammunition Supply System

Li Meng

(No. 2 Research Department, No. 713 Research Institute, China Shipbuilding Industry Corporation, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: In order to solve the problem that the ammunition sloshing affects the reliability of interface handover of ammunition feeding system, a design method of reducing ammunition offset amplitude is proposed. According to the condition of feeding rate and structural parameters of ammunition feeding system, based on the basic assumption of structural parameters of ammunition feeding system, a simplified model of leaf spring structure is established. The motion law of ammunition unit is described by using motion equation, using Matlab for loop iterative calculation, and the optimal value of motion parameters is solved by taking the ammunition offset amplitude as the objective function and carried out on certain type naval gun ammunition feeding system verification. The experimental results show the effectiveness of the method.

Keywords: naval gun; ammunition supply system; ammunition offset amplitude

0 引言

供弹系统是舰炮的重要组成部分, 用于向发射系统输送弹药, 并具有存储弹药的功能^[1]。弹药在运转过程中的晃动影响供弹系统接口交接可靠性。笔者以典型舰炮供弹系统的弹药单元为研究对象, 研究运动参数设计在减小弹药晃动的应用, 偏移幅值为晃动的量化指标。

1 弹药单元的简化

弹药单元是供弹系统的重要组成部分。如图 1 所示, 一个弹药单元主要由托弹筒、弹药、底部链条组成, 托弹筒与链条螺纹连接, 弹药置于托弹筒内, 机构动作过程中链条带动托弹筒运动。弹药单元运动过程的偏移量没有成熟的计算方法, 所以需要对其进行简化。由于底部弹链的加速度以及惯性力的影响, 弹药单元在运动过程中产生弹性变形, 整体绕底部旋转, 产生偏移, 底部链条运动停止后

在弹性力作用下弹药单元恢复初始状态(偏移幅值为 0)。弹药单元运动规律与典型板簧结构具有相似性, 故将弹药单元简化为板簧结构, 利用板簧挠度计算公式计算弹药的偏移幅值, 解决了偏移幅值求解问题^[2]。

$$f = PL^3/3EJ。 \quad (1)$$

式中: E 为弹性模量; P 为板簧偏移幅值为 f 时产生的板簧力; L 为重心高度; J 为惯性矩; f 为偏移幅值。其中, E, L, J 为装备结构的固有属性, 均为常量。

典型弹药单元为周期循环转运, 一个周期内从静止开始, t 秒内移动距离 S , 然后立刻制动停止。某弹药单元底部链条的速度方程如下式所示, 曲线如图 2^[3]所示。

$$\left. \begin{aligned} v_t &= k_1 t, \quad t \in (0 \sim t_0] \\ v_t &= v_{t_0} - k_2 (t - t_0), \quad t \in (t_0 \sim 1] \end{aligned} \right\}。 \quad (2)$$

其中: k_1, k_2 为加速度; v_t 为 t 时刻的运动速度。 t

收稿日期: 2020-09-20; 修回日期: 2020-10-10

作者简介: 李 猛(1986—), 男, 山东人, 硕士, 工程师, 从事舰炮供弹系统设计、舰炮可靠性工程研究。E-mail: njlgm@163.com。

时刻两者函数关系为：

$$k_2 = 0.4k_1 / (0.4 - k_1) \quad (3)$$



图 1 弹药单元

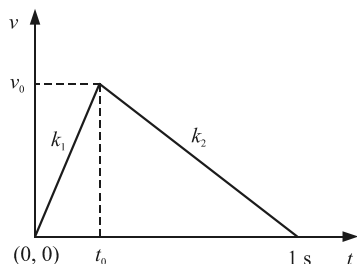


图 2 运动曲线

在弹药单元的运动过程中，底部链条的运动加速度 k_n 是弹药单元的外部动力输入，由此得到弹药单元的惯性力

$$F = -mk_n (n=1,2) \quad (4)$$

2 最优弹药单元运动规律的求解

使用运动方程对弹药单元的运动规律进行描述，用以反映在外部运动加速度 k_n 的作用下，弹药单元的运动、受力情况。偏移幅值 f 是外部运动加速度 k_n 的函数，在装备结构的约束下，可以寻找使得偏移幅值 f 最小的最优解^[4]。

将弹药单元一个 1 s 的运动周期等分为 i 个时间单元，每个时间单元为 t 。在第 1 个时间单元内的运动方程组为：

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= P_1 L^3 / (3EJ) = a_1 t^2 / 2 \\ (F_1 - P_1) / m &= a_1 \\ v_1 &= a_1 t \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

第 i 个时间单元内的运动方程组为：

$$\left. \begin{aligned} f_i &= P_i L^3 / (3EJ) = f_{i-1} + v_i t + a_i t^2 / 2 \\ (F_i - P_i) / m &= a_i \\ v_i &= \sum_{n=1}^{i-1} a_n t \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中： f_i, P_i, v_i, a_i 为第 i 时间单元内弹药单元的偏移幅值、载荷、速度、加速度 F_i 为第 i 时间单元内弹药单元的惯性力。其中将偏移幅值离散化，以时间间隔 t 将 f 划分为 i 个离散点，在每个时间 t 内将运

动加速度 a 视为恒定值。每个离散点的偏移幅值拆分为上一离散点对应的偏移幅值与上一个时间 t 内弹药单元的运动距离之和^[5]。根据式(6)求解得到 f_i 如式(7)，其中， E, L, J, m 是与弹药单元结构相关的常量， F_i 由式(4)求得。 f_i 为 k_n 的函数、 k_n 为 k_1 的函数，该问题描述为寻找参数， k_1 确定 f_i 的最小值。

$$f_i = \frac{(f_{i-1} + \sum_{n=1}^{i-1} a_n t^2 + k_n t^2 / 2) L^3}{3EJ(L^3 / (3EJ) + t^2 / (2m))} \quad (7)$$

将 1 s 划分为 200 个时间单元，利用 Matlab 进行循环迭代计算，最终得到最优解，主要语句如图 3^[6]所示。

```

for i=2:1:n;
    V(i)=V(i-1)+a(i-1)*t;
    a(i)=(k*n-3*EJ*(f(i-1)+V(i)*t)/L^3)/(0.5*3*EJ*t^2/L^3+m);
    f(i)=f(i-1)+V(i)*t+0.5*a(i)*t^2;
end
f(n)
for i=n:1:200
    V(i)=V(i-1)+a(i-1)*t;
    a(i)=(-0.4*k/(k-0.4))*m-3*EJ*(f(i-1)+V(i)*t)/L^3/(0.5*3*EJ*t^2/L^3+m);
    f(i)=f(i-1)+V(i)*t+0.5*a(i)*t^2;
end
abs(f(200))
    
```

图 3 主要求解语句

3 方法的应用与验证

以上最优运动规律的求解，旨在根据现有弹药结构，求解最小偏移幅度的弹链运动加速度^[7]。某弹药单元已知 $L=1$ m、 $m=50$ kg。使用弹性模量 E 、惯性矩 J 的乘积 $E \cdot J$ 表征弹药单元的材料属性和外形特征，以 $E \cdot J=100$ Pa·m⁴ 和 $E \cdot J=150$ Pa·m⁴ 2 种结构参数进行仿真，一是求解 2 种结构的最优加速度 k_1 ，二是对比不同结构参数(材料属性和外形特征)对结果的影响。求解结果见图 4、图 5。

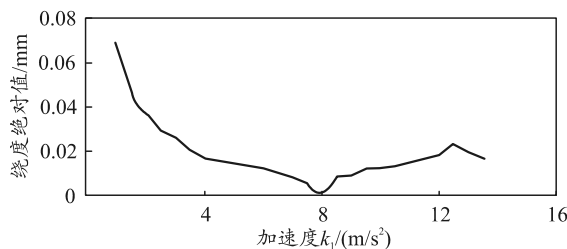


图 4 $E \cdot J=100$ Pa·m⁴ 求解结果

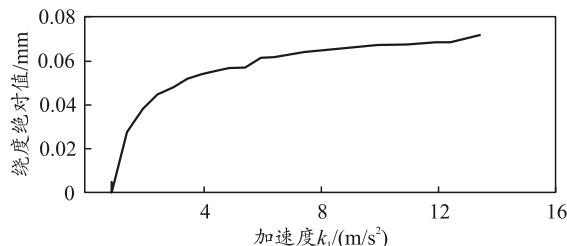


图 5 $E \cdot J=150$ Pa·m⁴ 求解结果