

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.011

## 基于 Simulink 的火炮反后坐装置仿真分析

何卫国, 谈乐斌, 潘孝斌

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 为进一步研究反后坐装置的性能, 加快研究的周期和效率, 提出运用 Simulink 研究反后坐装置仿真的可行性。通过分析反后坐装置的运动过程, 建立反后坐装置运动微分方程, 在此基础上, 建立反后坐装置的仿真模型, 并进行仿真分析。仿真结果表明: 仿真结果的动态特性与反后坐装置的运动过程基本符合, 为研究和分析反后坐装置提供了一定的平台。

**关键词:** 反后坐装置; 后坐过程; 复进过程; 仿真

**中图分类号:** TJ303+.4 **文献标志码:** A

## Simulation of Gun Recoil Devices Based on Simulink

He Weiguo, Tan Lebin, Pan Xiaobin

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

**Abstract:** In order to further study the performance of gun recoil devices, and speed up the research period and improve efficiency, the feasibility of researching the recoil devices by simulink was presented. The kinematics differential equation was established by analyzing the motion process of the recoil devices. Based on that, the simulink model was set up. The simulation results showed that: the simulation results basically complied with the recoil devices which provided a platform for researching and analyzing the recoil devices.

**Key words:** recoil devices; recoil process; counter-recoil process; simulation

### 0 引言

火炮反后坐装置是火炮必不可少的重要部件之一, 在火炮射击过程中, 采用反后坐装置的火炮, 得以与复进机和驻退机一起弹性连接在炮架上。在此过程中, 火药燃气作用于炮身的炮膛合力使火炮产生加速后坐过程, 同时, 通过制退机和复进机的缓冲, 把本来短时间作用于火炮身管的炮膛合力, 传递到炮架上。笔者通过对反后坐装置的动力学分析, 建立反后坐装置的运动微分方程, 依据 Simulink 控制仿真软件进行仿真。

### 1 数学模型的建立

#### 1.1 炮膛合力分析

炮膛合力的计算过程主要分为 2 个阶段: 1) 弹丸沿着膛线运动时的炮膛合力, 膛内受到的力主要有: 火药气体作用在膛底的力、作用在药室锥面上的力以及弹丸作用在膛线上的力; 2) 火药气体后效期的炮膛合力, 对于后效期的合力计算主要是依据实验和经验, 找出后效期炮膛合力与火药气体的关系<sup>[3]</sup>。

弹丸沿膛线运动时期的炮膛合力

$$F_{pt} = F_t - F_{ZM} - F_{dz} \quad (1)$$

对于火炮作用在膛底的合力

$$F_t = \frac{1}{\varphi} \left( \varphi_1 + \frac{\omega}{2m} \right) p A_t \quad (2)$$

对于气体作用在药室锥面的轴向分力

$$F_{ZM} = (A_t - A) P_t \quad (3)$$

对于弹丸作用在膛线的轴向分力

$$F_{dz} = \frac{1}{\varphi} (\varphi_1 - 1) A p \quad (4)$$

将式 (2)、(3)、(4) 带入式 (1), 最终可得

$$F_{pt} = \frac{1}{\varphi} \left( 1 + \frac{\omega}{2m} \right) A p$$

火药气体后效期的炮膛合力

$$F_{pt} = F_g e^{-\frac{t}{b}} \quad (5)$$

对于式 (5) 中的  $F_g$ , 为进入后效期开始瞬间的合力

$$F_g = \frac{1}{\varphi} \left( \varphi_1 + \frac{\omega}{2m} \right) A p_g$$

收稿日期: 2012-05-23; 修回日期: 2012-06-28

作者简介: 何卫国(1987—), 男, 江苏人, 硕士研究生, 从事高精度快速传动系统研究。

后期参数的计算，一般认为膛内火药的压力降至  $P_k=0.1764 \text{ Mpa}$  时后效期开始，此时的膛合力  $F_{pt}=AP_k$ ，由式 (5) 可知：

$$F_{ptr} = F_g e^{-\frac{\tau}{b}} \approx AP_k \quad (6)$$

而根据近似计算后效期开始时的膛合力  $F_g$ ，可按式 (7) 进行计算：

$$F_g = AP_g \quad (7)$$

联立式 (6)、(7)，可以解得  $\tau$

$$\tau = b \ln \frac{P_g}{P_k} = 2.303b \ln \frac{P_g}{P_k} = 2.303b \ln \frac{P_g}{0.1764}$$

计算后效期时间常数  $b$ ，可根据自由后坐最大速度公式最终求得：

$$b = \frac{(\beta - 0.5)\omega V_0}{A(P_g - 0.1764)} \approx \frac{(\beta - 0.5)\omega V_0}{F_g}$$

依据上述分析，可以建立 Simulink 仿真模型，如图 1 所示。

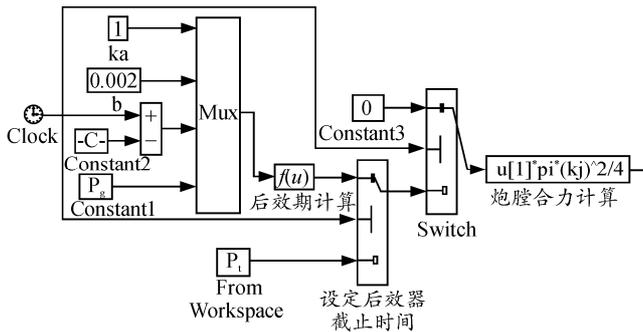


图 1 膛膛合力计算模块

最终得到膛膛合力的曲线，如图 2 所示。

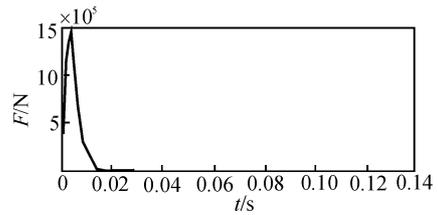


图 2 膛膛合力曲线

### 1.2 后坐过程分析

在火炮后坐过程中，后坐时所受的主动为膛膛合力和后坐部分的重力，分别作用于火炮轴线和后坐部分质心上，其约束反力主要包括驻退机力、复进机力以及相应的摩擦力。根据对反后坐装置设计的假设，运用达朗贝尔原理，可以得到后坐运动微分方程：

$$m_h \frac{d^2x}{dt^2} = F_{pt} - F_{\Phi h} - F_f - F - F_T + m_h g \sin \vartheta \quad (8)$$

在后坐过程中，习惯将式 (8) 记做式 (9)：

$$m_h \frac{d^2x}{dt^2} = F_{pt} - F_{\Phi h} - F_f - N_c \quad (9)$$

其中：

$$F_{\Phi h} = \frac{K_1 \rho}{2} \left[ \frac{(A_0 - A_p)^3}{a_x^2} + \frac{K_2 A_{\Phi}^3}{K_1 A_1^2} \right] V^2$$

$$N_c = F + F_T - m_h g \sin \varphi$$

$$F_f = A_f p_{f0} \left( \frac{\gamma_0}{\gamma_0 - A_f x} \right)^n = F_{f0} \left( \frac{\gamma_0}{\gamma_0 - A_f x} \right)^n$$

通过以上建立的后坐过程运动微分方程，可以在 Simulink 中建立如图 3 所示的后坐仿真模型。

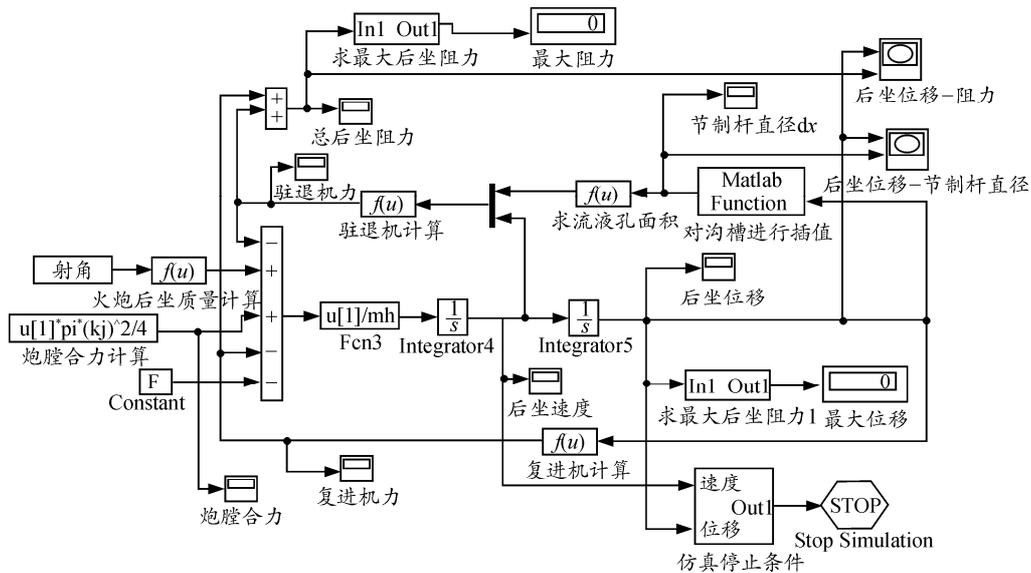


图 3 后坐仿真模型

### 1.3 复进制动分析

由分析可知, 为了使后坐部分在任何射角时都保持在待发位置, 复进机的初力应大于最大射角时的后坐部分的沿炮轴线的重力分量以及摩擦力之和。复进机末力  $F_{f0} = C_m F_{f0}$ , 可见复进机所储存的能量不仅足以克服后坐部分的重力分量和各种摩擦力所做的功, 并将后坐部分推回到待发位置, 而且使后坐部分在复进过程中获得相当大的速度。同时, 要保证火炮在复进过程中的稳定性和静止性<sup>[6]</sup>。

在复进过程中, 复进机力  $F_f$  为主动动力, 复进时的摩擦力、驻退机力以及复进节制器液压阻力为后坐阻力, 通过对复进过程中后坐部分的力学和运动分析, 可以得到如式 (10) 所示的运动微分方程:

$$m_h \frac{d^2 \xi}{dt^2} = F_f - F_{\Phi_{fj}} - (F + F_T + m_h g \sin \varphi) \quad (10)$$

式中  $\xi$  为复进行程, 取复进时炮口方向为正方向, 则有  $\xi = \lambda - X$ 。

通过对复进时驻退机和复进节制器的分析, 可以得到复进时驻退机和复进节制器提供的液压阻力分别为:

$$F_{\Phi_f} = A_{0f} P_{2f} = \frac{K_{1f}}{2} \rho \frac{A_{0f}^3}{a_x^2} u^2$$

$$F_{\Phi_{fj}} = \frac{K_{2f}}{2} \rho A_{fj} \left( \frac{A_{fj} + a_f}{a_f} \right)^2 u^2$$

依据运动微分方程以及各相关量的具体表达式, 在 Simulink 中可建立如图 4 所示复进仿真模型。

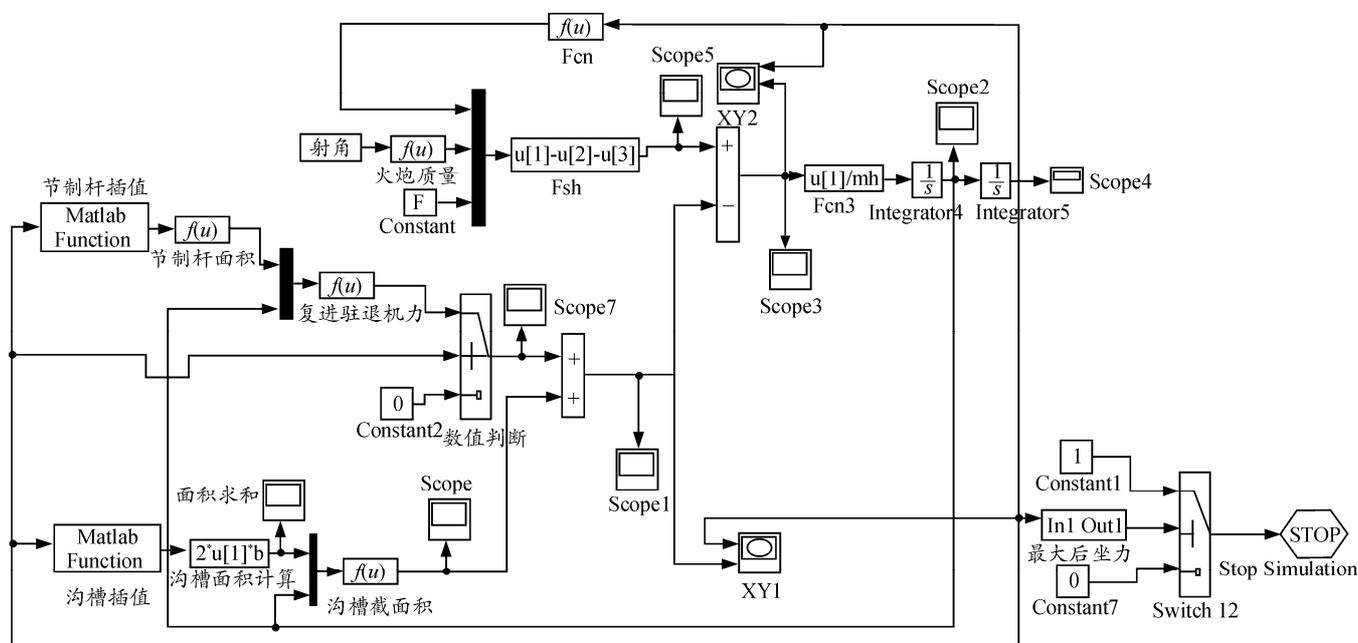


图 4 复进仿真模型

## 2 仿真及其分析

在上一章节动力学分析以及 Simulink 建模基础之上, 建立反后坐装置分析的一般过程, 以实现反后坐装置运动过程的仿真分析。同时, 可以利用仿真模型, 通过调整仿真过程中的参数和结构, 达到设计和优化反后坐装置的目的。下面, 依据某型火炮反后坐装置的结构尺寸和参数选择, 设置仿真的时间和步长等参数<sup>[1]</sup>, 进行仿真分析, 其结果如图 5~图 7 所示, 并对其进行优化。

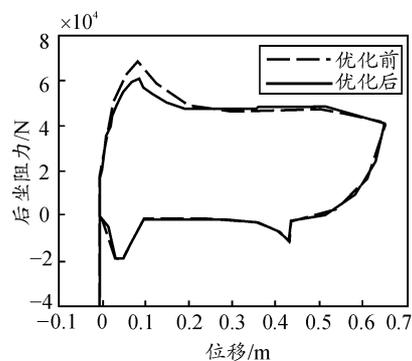


图 5 后坐阻力与位移曲线