

doi: 10.7690/bgzdh.2018.12.019

炮闩前冲击发的迫击炮内弹道特性仿真分析

刘晓磊

(海装西安军代局, 西安 710000)

摘要: 为解决传统迫击炮内弹道分析理论已不能完全适用于具有炮闩前冲击发特点的迫击炮内弹道分析的问题, 建立炮闩前冲击发的迫击炮内弹道数学模型。研究炮闩前冲击发的迫击炮内弹道特性及其仿真分析方法, 通过 Matlab 软件平台实现对该类型内弹道数学模型的分析 and 求解。仿真结果表明: 该分析有效、可行, 可为进一步设计内弹道提供有效的理论支撑。

关键词: 炮闩前冲击发的迫击炮; 内弹道; 数学模型; Matlab 软件

中图分类号: TJ012.1 **文献标志码:** A

Mortar Interior Ballistic Characteristics Simulation and Analysis of Impact Firing in Front of Breech

Liu Xiaolei

(Naval Military Representative Bureau of Xi'an, Xi'an 710000, China)

Abstract: The traditional mortar interior ballistic characteristics analysis theory can not totally carry out the mortar interior ballistic characteristics analysis of impact firing in front of breech, establish the mortar interior ballistic model of impact firing in front of breech. Research the simulation and analysis of mortar interior ballistic character of impact firing in front of breech. Realize the analysis and calculation of mortar interior ballistic by Matlab software platform. The simulation results show that the analysis is effective and feasible and it can give theoretical support for further interior ballistic design.

Keywords: mortar of impact firing in front of breech; interior ballistics; mathematical model; Matlab software

0 引言

炮闩前冲击发的迫击炮炮身与炮箱刚性连接。炮闩在炮箱中作后坐和复进运动, 并采用炮闩定点复进和定点击发相结合技术。自动机的击发动作是在炮闩输弹入膛后的复进过程中进行, 发射时, 炮闩不与身管相联锁, 主要靠本身的惯性力、复进簧力和炮闩上的附加阻力起闭锁炮膛的作用。某炮闩前冲击发形式的迫击炮具有特殊性, 其膛压变化规律和弹丸的运动规律均有别于传统迫击炮, 国内外学者在相关领域没有较多可以借鉴的参考文献。笔者借鉴其他领域相关结构设计的仿真分析和火箭炮内弹道仿真分析的成果, 建立针对该迫击炮的仿真分析基础^[1-2]。

与传统迫击炮内弹道相比, 炮闩前冲击发的迫击炮内弹道有 2 大特点: 1) 弹丸的起始速度不为零, 弹丸的起始速度为击发瞬间炮闩的复进速度, 弹丸在膛内的运动速度比传统迫击炮大; 2) 在内弹道期间, 炮闩在膛内作前冲和后坐运动, 火药燃烧容积的变化受炮闩运动的影响。因此, 传统的迫击

炮内弹道分析理论已不能完全适用于具有炮闩前冲击发特点的迫击炮内弹道的分析。笔者结合炮闩前冲击发的迫击炮内弹道特性, 建立炮闩前冲击发的迫击炮内弹道数学模型, 并通过 Matlab 软件平台实现对该类型内弹道数学模型的分析 and 求解。

1 理论分析

射击时, 从弹丸的击发开始到炮口所经历的全过程, 称为火炮的内弹道过程。根据经典迫击炮内弹道理论, 结合具有炮闩前冲击发特点的迫击炮内弹道的特性, 建立炮闩前冲的内弹道基本方程。

1.1 建立炮闩前冲击发内弹道基本方程的假设基础

- 1) 火药燃烧遵循几何燃烧定律^[3];
- 2) 膛内气流运动遵循拉格朗日假设, 且设药粒均在平均压力下燃烧, 遵循燃烧速度定律^[4];
- 3) 内膛表面热散失用减小火药力 f 或增加比热比 k 的方法间接修正^[4];
- 4) 用系数 φ 来考虑其他的次要功;
- 5) 火药燃气服从诺贝尔-阿贝尔状态方程;

收稿日期: 2018-11-09; 修回日期: 2018-12-14

作者简介: 刘晓磊(1981—), 男, 山西人, 硕士, 工程师, 从事机械自动化技术在机械制造中的应用及无源干扰发射装置研究。

6) 单位质量火药燃烧所放出的能量及生成燃气的燃烧温度均为定值，在以后膨胀做功过程中，燃气组分变化不予考虑，虽然燃气温度因膨胀而下降，但火药力 f 、余容 α 及比热比 K 等均视为常数^[5-6]；

7) 假定基本装药是在击发后瞬时燃完，并在该瞬间火药气体冲破纸筒流出尾管点燃辅助装药，与此同时炮闩达到最大复进速度，弹丸开始加速运动，故取弹丸起始速度为炮闩复进的最大速度；

8) 由于炮闩前冲击发的迫击炮通常采用炮尾装填方式，因此炮弹与炮膛的间隙很小，故认为身管与炮弹同心，并忽略气体从间隙流出所造成的能量损失。

1.2 炮闩前冲击发的迫击炮内弹道方程

根据炮闩前冲击发内弹道相关假设基础，选择相关方程，组成方程组，共有式(1)一式(7)，8个自变量，属 1 阶非线性微分方程。与传统迫击炮内弹道方程不同，新增 2 个炮闩运动方程，且在建立能量方程时因考虑了炮闩复进和后坐运动而多引入了一项参数。

药燃气生成方程：

$$\psi = xz + x\lambda z^2. \quad (1)$$

火药燃烧速度方程：

$$\frac{dz}{dt} = \frac{P}{I_k}. \quad (2)$$

弹丸运动方程：

$$SPdt = \varphi m_d dv. \quad (3)$$

炮闩运动方程：

$$m_p \frac{dv_p}{dt} = F_0 - Cx_p + F_f + PS. \quad (4)$$

能量方程：

$$SP(l_\psi + l) = \bar{f}(\omega_0 + \omega_t \psi + \omega R_b Z) - \frac{1}{2} m_p (v_p^2 - v_{p0}^2) - \frac{\theta}{2} \varphi m d (v^2 - v_0^2). \quad (5)$$

炮闩速度方程：

$$v = \frac{dl}{dt}. \quad (6)$$

弹丸速度方程：

$$v_p = \frac{dx_p}{dt}. \quad (7)$$

式中： $l_\psi = \frac{W_0}{S} [1 - \frac{\Delta}{\delta} - (\alpha - \frac{1}{\delta}) \Delta \psi]$ 为药室自由容积缩径长； $\bar{f} = \frac{\omega_0}{\omega} f_0 + \frac{\omega_t}{\omega} f_i$ ； $R_b = \varphi_2 \cdot K_0 \cdot S_\Delta \cdot I_k / (\sqrt{f} / \omega)$ ；

m_p 为后坐部分质量， m_d 为弹丸质量； φ 为次要功系数， φ_2 为消耗系数； K_0 为流量系数与绝热指数 k 有关的函数； θ 为比热系数， $\theta = k - 1$ ， k 为比热比； λ 、 x 为火药形状特征量； I_k 为压力全冲量； W_0 为药室起始容积； Δ 为装填密度； δ 为火药密度； α 为火药余容； $\omega = \omega_i + \omega_0$ 为火药质量， ω_0 为基本装药量， ω_i 为附加装药量； X 为炮闩位移； S 为炮膛的横截面积； S_Δ 为间隙面积； f_0 为基本装药火药力； f_i 为附加装药火药力， v_{p0} 为炮闩前冲击发初始速度； v_0 为击发点弹丸起始速度， F_0 为炮闩复进簧等效初力； C 为炮闩复进簧等效刚度(11 根簧)； F_f 为炮闩所受摩擦力。

8 个自变量分别为： z 为火药相对厚度， ψ 为相对燃烧质量， P 为火药气体压力， l 为弹丸位移， v 为弹丸速度， x_p 为炮闩位移， v_p 为炮闩速度， t 为炮闩运动时间。

2 数值模拟

笔者所建内弹道方程组为 1 阶非线性微分方程。该方程组采用龙格-库塔数值法进行求解^[6]。

2.1 龙格库塔法

对于 1 阶微分方程组：

$$\begin{cases} \frac{dy_i}{dx} = f_i(x_1, y_1, y_2, \dots, y_n), \\ y_i(x_0) = y_{i0}. \end{cases}$$

其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

4 阶龙格-库塔公式可写成：

$$y_{i,k+1} = y_{i,k} + \frac{h}{6} (K_{i1} + 2K_{i2} + 2K_{i3} + K_{i4}),$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

其中，步长 $h = x_{k+1} - x_k$ ，

$$\begin{cases} K_{i1} = f_i(x_k, y_{1k}, \dots, y_{nk}) \\ K_{i2} = f_i(x_k + \frac{h}{2}, y_{1k} + \frac{hK_{11}}{2}, \dots, y_{nk} + \frac{hK_{n1}}{2}) \\ K_{i3} = f_i(x_k + \frac{h}{2}, y_{1k} + \frac{hK_{12}}{2}, \dots, y_{nk} + \frac{hK_{n2}}{2}) \\ K_{i4} = f_i(x_k + h, y_{1k} + hK_{13}, \dots, y_{nk} + hK_{n3}) \end{cases}.$$

2.2 程序算法流程

炮闩前冲击发的迫击炮弹道过程分为前期、第一时期、第二时期和后效期，迫击炮弹道后效期对后坐影响小，文中不考虑其对后坐的作用。对各个时期分

别进行仿真分析，分析的算法流程如图 1 所示。其中：前期为击针击发底火到基本药管内的火药气体从弹尾传火孔冲出为止；第一时期从附加药包开始点燃 ($z=0$) 到附加装药燃烧结束为止 ($z=1$)；第二时期从装药燃烧结束到炮弹定心部到达炮口为止。

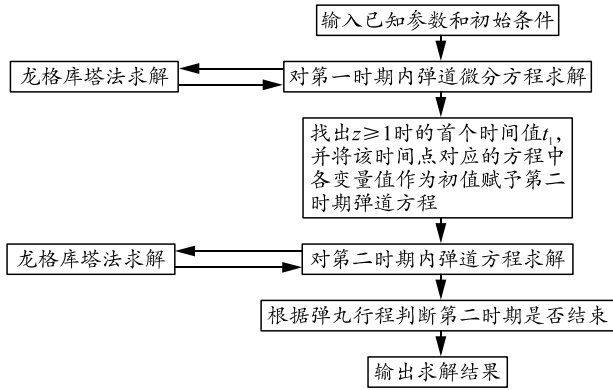


图 1 算法流程

2.3 仿真结果

根据图 1 所示的算法流程建立仿真模型，由 Matlab 软件得出仿真结果。由仿真结果分析可知，弹丸速度的变化规律如图 2 所示，膛内压强的变化规律如图 3 所示，与实际相吻合。表 1 为仿真所需的迫击炮自动机运动相关主要诸元参数。

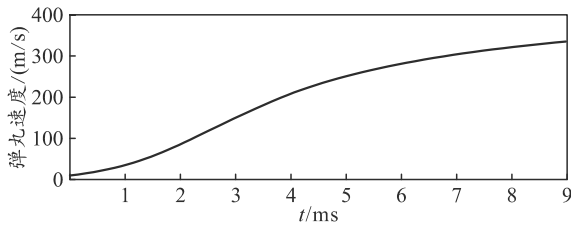


图 2 弹丸速度曲线

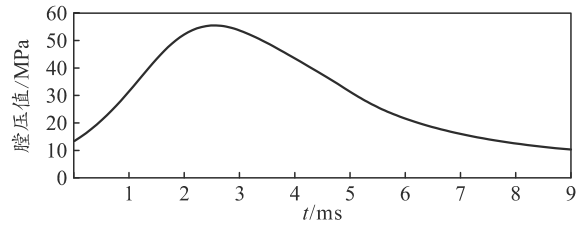


图 3 膛压曲线

表 1 自动机主要运动诸元

最大膛压值/MPa	炮口初速/(m/s)	最大后坐速度/(m/s)	弹丸行程/m	内弹道期间后坐量/m
55.5	332.9	9.76	1.777	0.029

3 结束语

由上述分析结果可知：笔者研究的具有炮闩前冲击发特点的迫击炮内弹道特性的理论分析、数学建模和仿真分析方法均有效可行，可对进一步设计内弹道提供有效的理论支撑。

参考文献：

- [1] 杨军荣. 自动迫击炮炮闩浮动及内弹道分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2000(4): 49-52.
- [2] 杨军荣. 基于软后坐技术的某自动迫击炮动力学分析[J]. 弹道学报, 2006, 18(1): 63-67.
- [3] 金志明. 枪炮内弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004: 2-16
- [4] 鲍廷钰, 邱文坚. 内弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995: 3-45.
- [5] 金文奇, 冯三任, 徐达. 火炮身管寿命推断技术与工程实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 2-4.
- [6] 张小兵. 枪炮内弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 5-7.