

## 时间控制参数对增程修正弹射程影响仿真分析

石章松, 傅冰, 胡献君  
(海军工程大学电子工程学院, 武汉 430033)

**摘要:** 针对增程修正弹如何实现同时弹着火控问题, 增程修正弹射程是影响其实现同时弹着的关键因素。为了分析增程修正弹的时间控制参数对其射程的影响, 通过建立复合增程质点弹道模型, 采取数字仿真计算的方式, 分析了火箭点火时间、阻力环开环时间等时间控制参数分别对射程的影响, 并分别建立了影响关系拟合函数, 对增程修正弹药实现同时弹着提供了定量描述手段, 具有重要应用参考价值。

**关键词:** 火力控制; 增程修正弹; 同时弹着; 火箭点火时间; 阻力环开环时间; 射程

**中图分类号:** V43; TP202 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)08-0011-03

## Influence of Time Control Parameters to Firing Range of Extended Range and Trajectory Correction Projectile

SHI Zhangsong, FU Bing, HU Xianjun  
(College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** The firing range of extended range and trajectory correction projectile is the key factor for the projectile to achieve simultaneous impact. In order to study the influence of time control parameter to the firing range, we established a compound extended range particle trajectory model, and analyzed the influence of the time control parameters, such as rocket firing time and drag ring open-loop time, to the firing range by using digital simulation method. Further more, the fitting functions were established for the influences. A quantitative description method was presented for extended range and trajectory correction projectile to achieve simultaneous impact, which has important application and reference value.

**Key words:** fire control; extended range and trajectory correction projectile; Time-On-Target; rocket firing time; drag ring open-loop time; firing range

### 0 引言

火炮单炮多发射弹同时到达同一目标的射击方法称为单炮多发同时弹着技术, 简称 TOT (Time-On-Target) 技术或 MRSI (Multiple Round Simultaneous Impact) 技术<sup>[1-2]</sup>。

文献[3]分析了常规弹药同时弹着的射击要求, 但由于常规弹药射程较近, 其在海军对岸火力支援中同时弹着应用受限; 文献[4]研究了增程修正弹同时弹着火控诸元仿真计算, 探讨了利用增程修正弹实现同时弹着的可行性。本文以增程修正弹为对象, 从实现 TOT 的需求出发, 研究火箭点火时间和阻力环开启

时间对增程修正弹射程的影响关系, 给出定量描述方程, 对研究增程修正弹的 TOT 问题具有重要意义。

### 1 火箭点火时间对弹丸射程的影响

#### 1.1 弹道建模及计算方法选择

增程修正弹的弹道分为复合增程段和末修正段, 按照弹道质点运动规律, 建立质点弹道微分方程组<sup>[5-6]</sup>。该弹道方程组的数值解法有多种, 诸如龙格-库塔法、迭代法、牛顿插值法等<sup>[7]</sup>。这里采用最常用的龙格-库塔法来求解。其仿真初始条件和结果分析如下文所述。

#### 1.2 仿真结果与分析

1) 初始条件。

初速  $v_0$  为 890 m/s; 瞄准角  $\theta_0$  为  $50^\circ$ ; 底排药燃烧时间 (弹丸出炮口即开始底排)  $t_d = 20$  s; 火箭工作时间  $t_j = 0.5$  s; 我舰炮位在二维平面上距离和高度方位

$x_0 = y_0 = 0$ 。

## 2) 仿真结果。

通过数字仿真的方式,使用 Matlab 软件进行弹道仿真,传统弹道和复合增程弹道如图 1 所示。

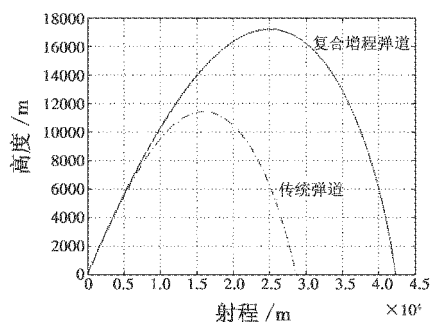


图 1 传统弹药与复合增程弹药弹道仿真图

Fig.1 Trajectory simulations of traditional ammunition and compound extended range ammunition

由图 1 可知,在射击诸元相同的条件下,采用复合增程技术的弹药较普通弹药在射程上提高 10 km 以上,在战争中具有十分重要的意义。

在相同的射击诸元条件下,火箭主要的作用是提高弹丸速度、增加射程,火箭点火时间在修正射程上起次要作用。复合增程弹药火箭点火时间对弹丸射程的影响如图 2 所示。

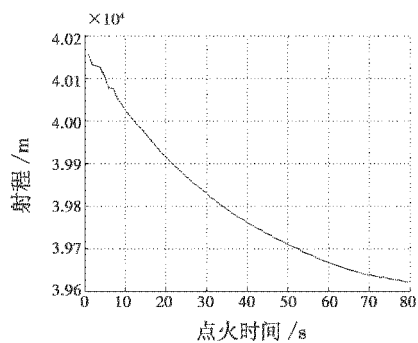


图 2 火箭点火时间与射程关系图

Fig.2 Rocket firing time and firing range

经过数据拟合后可以得出拟合函数,其射程随点火时间增大而下降,该拟合函数为

$$f(t) = \begin{cases} t^2 - 111t + 45801, & 21 \text{ s} \leq t < 40 \text{ s} \\ -62t + 43423, & t \geq 40 \text{ s} \end{cases} \quad (1)$$

## 2 阻力环开环时间对射程修正量的影响

### 2.1 开启时间与修正距离关系分析

由弹丸质心运动方程组<sup>[8]</sup>求解阻力执行机构开启时刻  $t_k$ ,这一过程相当复杂,求解时间太长。因此,寻求和建立阻力执行机构开启时间与修正距离的关系式至关重要<sup>[9-10]</sup>。

按照文献[8]中提出的阻力执行机构开启时间的算法,采用在弹道降弧段对纵向射程进行修正,达到提高纵向射击精度的目的。在此方法中,阻力执行机构开启时间的不同,直接影响修正距离的大小,从而决定落点位置,所以,影响弹道修正炮弹射程精度的最关键因素是阻力执行机构开启时刻的准确性。

### 2.2 仿真结果与分析

#### 1) 初始条件。

初始条件同上例,阻力环增阻系数为  $\lambda = 2.25$ 。

#### 2) 仿真结果。

使用 Matlab 软件进行弹道仿真计算,其弹道曲线如图 3 所示。

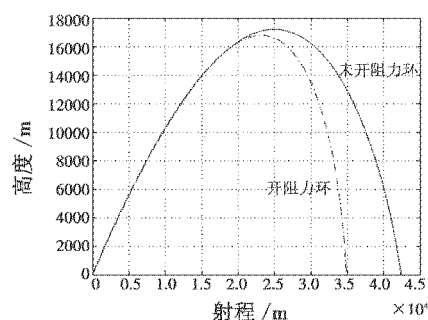


图 3 开启阻力环与未开启阻力环的弹道对比图

Fig.3 The comparison of trajectory with drag ring opened or not  
通过数据分析,可以得到开环时间与射程及修正量的函数关系,如图 4 所示。

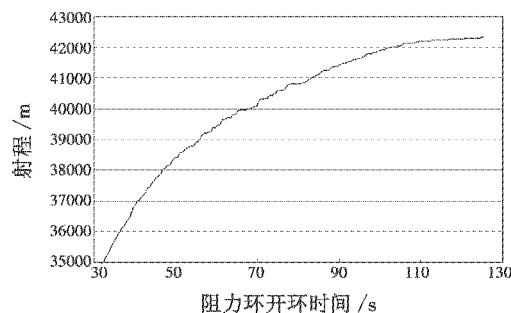


图 4 开环时间与射程的关系图

Fig.4 The relationship between drag ring open-loop time and firing range

由图 4 可以看出,射程随着开环时间的增大而增大,由于开阻力环使弹丸的阻力系数增大,射程减小,实现“打远修近”。经数据拟合,射程与阻力环开环时间  $t$  的拟合函数为

$$f(t) = \begin{cases} -3t^2 + 434t + 24149, & 32 \text{ s} \leq t < 65 \text{ s} \\ 126t + 33399, & 65 \text{ s} \leq t < 95 \text{ s} \\ -t^2 + 217t + 29109, & 95 \text{ s} \leq t < 125 \text{ s} \end{cases} \quad (2)$$

同理,阻力环开环时间与射程修正量的关系如图 5 所示。

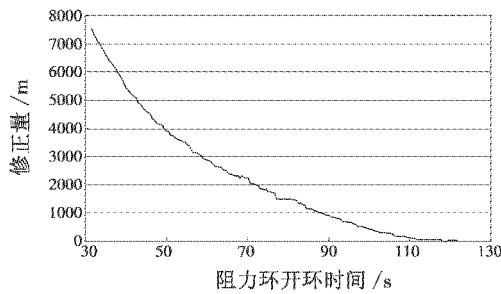


图 5 开环时间与射程修正量的关系图

Fig. 5 The relationship between drag ring open-loop time and ballistic correction

由图 5 可以看出,射程修正量随着开环时间增大而减小,需要修正的距离越大,开环时间越早。经数据拟合,射程修正量与阻力环开环时间  $t$  的拟合函数为

$$f(t) = \begin{cases} 4t^2 - 527t + 20116, & 32 \text{ s} \leq t < 50 \text{ s} \\ t^2 - 174t + 10755, & 50 \text{ s} \leq t < 90 \text{ s} \\ t^2 - 211t + 12902, & 90 \text{ s} \leq t < 127 \text{ s} \end{cases} \quad (3)$$

### 3 点火时间和开启时间对复合增程修正弹道模型的综合影响分析

通过对复合增程和弹道修正模型的分析,来仿真复合增程和弹道修正综合作用下对弹道的影响。

在初始条件同上例的情况下,使用 Matlab 软件进行弹道仿真,在火箭点火时间和阻力环开环时间均变化的情况下计算增程修正弹的射程,分析火箭点火时间和阻力环开环时间对射程的影响,其结果见图 6 和图 7。

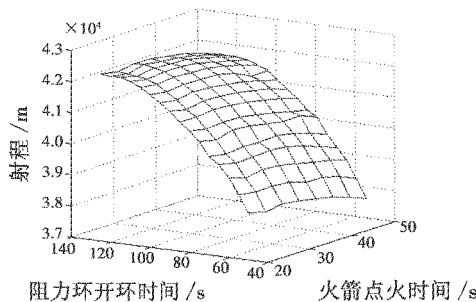


图 6 两个时间变量对射程影响的三维图

Fig. 6 The 3-D diagram of two time variables' influence to firing range

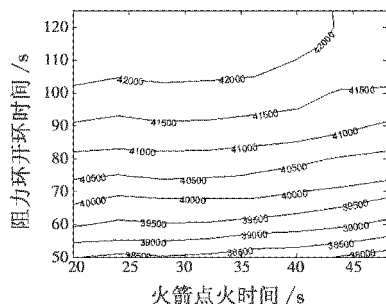


图 7 两个时间变量对射程影响的等高线图

Fig. 7 The contour map of two time variables' influence to firing range

图 6 是以火箭点火时间、阻力环开环时间和射程分别为  $x, y, z$  轴做出三维曲面图,曲面的最高点为最大射程,选择任意射程即可从图中得到与之对应的多组点火时间和开环时间,火控解算时间大大减少。图 7 是以火箭点火时间、阻力环开环时间分别为  $x, y$  轴,射程为等高线,任意等高线上任意一点都与一组点火时间和开环时间相对应,火控解算时间大大减少。

### 4 结束语

随着舰炮技术和信息化弹药的不断创新发展,采用增程修正弹药的 TOT 技术能使大口径舰炮武器系统作战效能成倍提高。本文从实现 TOT 的需求出发,采取数字仿真方式,分析了复合增程修正的时间控制参数对射程的影响关系。其实,影响射程的弹道参数和环境因素较复杂,需要结合具体应用进行深入分析,但本文得出的时间控制参数与射程之间的关系函数,对增程修正弹药实现同时弹着提供了定量描述手段,具有一定应用价值,为下一步同时弹着控制方法的实现打下基础。

### 参考文献

- [1] KOGLER T M. Single gun multiple round time-on-target capability for advanced towed cannon artillery[R]. U. S. Army Research Laboratory Weapons Technology Directorate, Aberdeen Proving Ground, MD 21010-5066, ARL-MR-225, 1995.
- [2] 吴杰. 外军舰炮制导炮弹发展现状及对我军的启示[J]. 国防技术基础,2010(1):51-53.
- [3] 李开龙,石章松. 大口径舰炮多发同时弹着射击效力分析[J]. 舰船电子工程,2011(9):31-33.
- [4] 刘剑威,王海川. 增程修正弹单炮多发同时弹着火控技术研究[J]. 指挥控制与仿真,2012(1):23-27.
- [5] 郭锡福,赵子华. 火控弹道模型理论及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1997.
- [6] 吴宪举,倪庆杰,郭文革,等. 改进的质点弹道在底排-火箭复合增程弹上的应用[J]. 沈阳理工大学学报,2010,29(1):51-54.
- [7] 陆欣,周彦煌. 单炮多发同时弹着的数学模型和数值分析[J]. 火炮发射与控制学报,2001(3):5-6.
- [8] 程正兴,李永根. 数值逼近与常微分方程数值解[M]. 西安:西安交通大学出版社,2000.
- [9] 王永周,刘明喜,赵小侠. 一维弹道修正弹阻力执行机构开启时间确定算法[J]. 弹箭与制导学报,2009,29(6):165-168.
- [10] 胡荣林,李兴国. 确定射程弹道修正弹阻力器展开时刻的算法研究[J]. 兵工学报,2008(2):235-239.