

# 传感子弹开伞高度仿真计算\*

李俊<sup>1</sup>, 陈坤培<sup>1</sup>, 李天刚<sup>1,2</sup>, 何苗<sup>3</sup>

(1 解放军炮兵学院信息化弹药研究所, 合肥 230031; 2 驻 672 厂军事代表室, 黑龙江齐齐哈尔 161006;  
3 65657 部队, 内蒙古赤峰 024000)

**摘要:** 传感子弹开伞高度的不同对其落地状态和落点精度有着很大的影响, 为了确定传感子弹开伞高度, 在建立伞弹系统弹道模型的基础上, 利用 Matlab/Simulink 仿真平台, 对伞弹系统的运动过程进行了仿真计算, 计算结果与试验数据吻合较好, 之后综合考虑风、装药号数以及射角等各种因素的影响, 利用该仿真模型对传感子弹的开伞高度进行了仿真计算, 计算结果表明: 一号装药开伞高度应选择在 175~250m 范围内, 六号装药开伞高度应选择在 150~225m 范围内。

**关键词:** 传感子弹; 开伞高度; Matlab/Simulink

**中图分类号:** TJ012.3 **文献标志码:** A

## Calculation Research on Deployment Height of Sensing Reconnaissance Submunition

LI Jun<sup>1</sup>, CHEN Shenpei<sup>1</sup>, LI Tiangang<sup>1,2</sup>, He Miao<sup>3</sup>

(1 Institute of Information Ammunition, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China;

2 Representative Office in No. 672 Factory, Heilongjiang Qiqihar 161006, China;

3 No. 65657 Unit, Nei Mongol Chifeng 024000, China)

**Abstract:** The parachute deployment height of sensing reconnaissance submunition has great effect on its landing state and precision. To determine the deployment height of the sensing reconnaissance submunition, Matlab/Simulink simulation platform was used for the motion of parachute-bomb system. The results are in good agreement with the experimental data. And considering the wind, charge number and firing angle etc, the height of the reconnaissance submunition was simulated, the result indicate that the deployment height of 1# charge should be 175~250m, and that of 6# charge should be 150~225m. The method has some certain reference value for deciding the deployment height of other parachute landing submunition.

**Keywords:** sensing reconnaissance submunition; deployment height; Matlab/Simulink

## 0 引言

传感侦察弹是指利用火炮发射榴弹母弹, 母弹将弹内装有传感器的子弹布撒至敌方区域, 以完成特种侦察任务的一种新型子母弹药。由于传感子弹装有精密的传感器设备, 为避免仪器损坏, 要求子弹落地速度不能太大, 且为保持任务设备正常工作, 落地后的姿态需要扶正, 系统对子弹落地倾角也有要求。当开伞高度在某一高度范围内, 子弹落地时, 其飞行基本达到稳定。若开伞高度过高, 母弹水平方向飞行速度较大, 开伞点位移变化范围较大, 而且子弹下落时间延长, 子弹在下落过程受外界条件影响较大, 落点难以控制; 若开伞点过低时, 虽然子弹的飞行时间、

飞行距离减小, 子弹受外界条件的影响较小, 但当子弹刚被抛出时, 飞行速度大, 弹道诸元变化剧烈, 子弹很可能还未达到稳定下降状态就已经着地, 从而影响子弹的正常工作。因此, 选择合适的开伞高度对于子弹的稳定着地和落点的精确控制至关重要。

## 1 伞降子弹弹道模型建立

子弹在布撒过程中, 首先随母弹无控飞行至目标区, 之后在一定高度弹丸底部打开, 减速伞从母弹底抛出, 靠伞作用将子弹带出, 子弹在减速伞的作用下迅速减速, 并悬挂于减速伞下缓慢降落于侦察区域。由此可见, 子弹在空中飞行的轨迹是较为复杂的复合弹道。

\* 收稿日期: 2010-11-25

作者简介: 李俊(1982-), 男, 安徽天长人, 博士研究生, 研究方向: 信息化弹药理论与运用。

由于子弹伞降特别是开伞过程十分复杂, 时间极短, 而且此时子弹状态变化很小, 因此不考虑抛射与拉直过程。可将子弹与伞当成伞-弹系统。子弹在下落阶段运动过程基本相同, 都要经历子弹减速段、稳定下落段两个阶段。假设不考虑伞的呼吸及透气, 充气过程中伞弹轴线始终重合, 且不考虑伞绳的弹性。

### 1.1 减速段

由于减速伞张开后阻力很大, 这样由伞绳连接的伞和子弹之间就会存在急剧的相对运动。如果将减速伞和子弹看成一个整体来研究, 弹道模型自然会产生较大误差。因此, 有必要将伞和子弹两者作为研究对象<sup>[1]</sup>。

根据动量定理  $m \frac{dv}{dt} = \sum F$ , 可得子弹质心运动微分方程组:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v \cos \psi \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} = -v \cos \theta \sin \psi \\ \frac{dz}{dt} = v \sin \theta \\ \frac{dv}{dt} = g \cos \psi \sin \theta - \frac{R_d + N}{m_d} \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{g \cos \theta}{v \cos \psi} \\ \frac{d\psi}{dt} = -\frac{g \sin \psi \sin \theta}{v} \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $v$  为下落速度;  $\theta$  为弹道倾角;  $\psi$  为弹道偏角;  $R_d$  为弹体空气阻力;  $N$  为伞对弹体的拉力;  $m_d$  为子弹质量。

对伞建立方程组:

$$\frac{d}{dt} [(m_p + m_t)v] = F_k - R_p + m_p g \cos \psi \sin \theta \quad (2)$$

其中:  $m_p$  为降落伞质量;  $R_p$  为降落伞空气阻力;  $F_k$  为开伞动载;  $m_t$  为附加质量,  $m_t = K_t \rho C_A^{3/2}$ ,  $C_A$  为伞系统瞬时阻力系数。篇幅原因, 其它参数可参考文献[2]。

根据文献[2], 降落伞充气过程中阻力系数的满足变化规律为:

$$C_A = \begin{cases} Ks & s_0 \leq s \leq s_1 \\ C_{A_1} + \beta (s - s_1)^4 & s_1 \leq s \leq s_m \end{cases} \quad (3)$$

其中:  $C_{A_1} = 0.04 C_{A_t}$ ,  $s_1 = \lambda D_p$ ,  $K = C_{A_1} / s_1$ ,  $\beta = (C_{A_t} - C_{A_1}) / (s_m - s_1)^4$ ,  $\lambda = 1.74$ ,  $\alpha \in [6, 7]$ 。

联立以上方程, 可得伞弹系统的运动方程组为:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v \cos \psi \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} = v \sin \theta - v \cos \theta \sin \psi \\ \frac{dz}{dt} = v \sin \theta \\ \frac{dv}{dt} = g \cos \psi \sin \theta - \frac{R_d + N}{m_d} \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{g \cos \theta}{v \cos \psi} \\ \frac{d\psi}{dt} = -\frac{g \sin \psi \sin \theta}{v} \\ F_k = R_p + v \frac{dm_t}{dt} + (m_{ps} + m_t) \frac{dv}{dt} - m_{ps} g \cos \psi \sin \theta \\ m_t = K_t \rho C_A^{3/2} \\ \frac{dm_t}{dt} = \frac{3}{2} K_t \rho C_A^{1/2} \frac{dC_A}{ds} \\ C_A = \begin{cases} Ks & s_0 \leq s \leq s_1 \\ C_{A_1} + \beta (s - s_1)^4 & s_1 \leq s \leq s_m \end{cases} \\ \frac{dC_A}{dt} = \begin{cases} K & s_0 \leq s \leq s_1 \\ 4\beta (s - s_1)^3 & s_1 \leq s \leq s_m \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

降落伞伞衣投影面积最大时刻为降落伞充气结束。

### 1.2 稳定下落段

在降落伞充气充满后, 在气动阻力的作用下, 物伞系统作为一个整体继续减速下落, 直至物伞系统达到一个平衡状态, 保持某一稳定的速度稳定下落。

伞弹系统运动方程组如下:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -\frac{1}{2(m_p + m_d)} \rho v (S_d C_{d2} + S_p C_{p2}) (v_x - w_x) \\ \frac{dv_y}{dt} = -\frac{1}{2(m_p + m_d)} \rho v (S_d C_{d2} + S_p C_{p2}) v_y - g \\ \frac{dv_z}{dt} = -\frac{1}{2(m_p + m_d)} \rho v (S_d C_{d2} + S_p C_{p2}) (v_z - w_z) \\ \frac{dx}{dt} = v_x, \frac{dy}{dt} = v_y, \frac{dz}{dt} = v_z \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $S_d$  为子弹有效面积;  $C_{d2}$  为子弹阻力系数;  $S_p$  为伞衣有效面积;  $C_{p2}$  为伞阻力系数, 其它参数同上。

## 2 仿真计算

### 2.1 仿真模型的建立

Matlab/Simulink 仿真工具是一个交互式的动态系统建模、仿真和分析的集成开发环境, 具有强大的数值计算能力, 用户也可自定义其中的功能<sup>[3]</sup>。它提供了友好的图形用户界面, 摆脱了繁琐的代码编程。

因此文中采用 Matlab/Simulink 仿真工具对伞降过程仿真。

为了描述伞降过程,采用 Simulink 内的模块库中的航空模块(aerospace blockset)提供了描述大气环境的国际标准大气模块(ISA atmosphere model),以及反映各变量关系的数学操作模块(math opera-

tion)等模块建立伞降模型。

根据将子弹伞降过程分为两个阶段描述,可按照阶段将整个系统仿真按照时间分为两个部分,前一部分的结果作为后一阶段的起始条件,首先减速段建立伞弹系统仿真模型,如图 1 所示;稳定下落段将伞弹看作整体进行三自由度仿真,如图 2 所示。

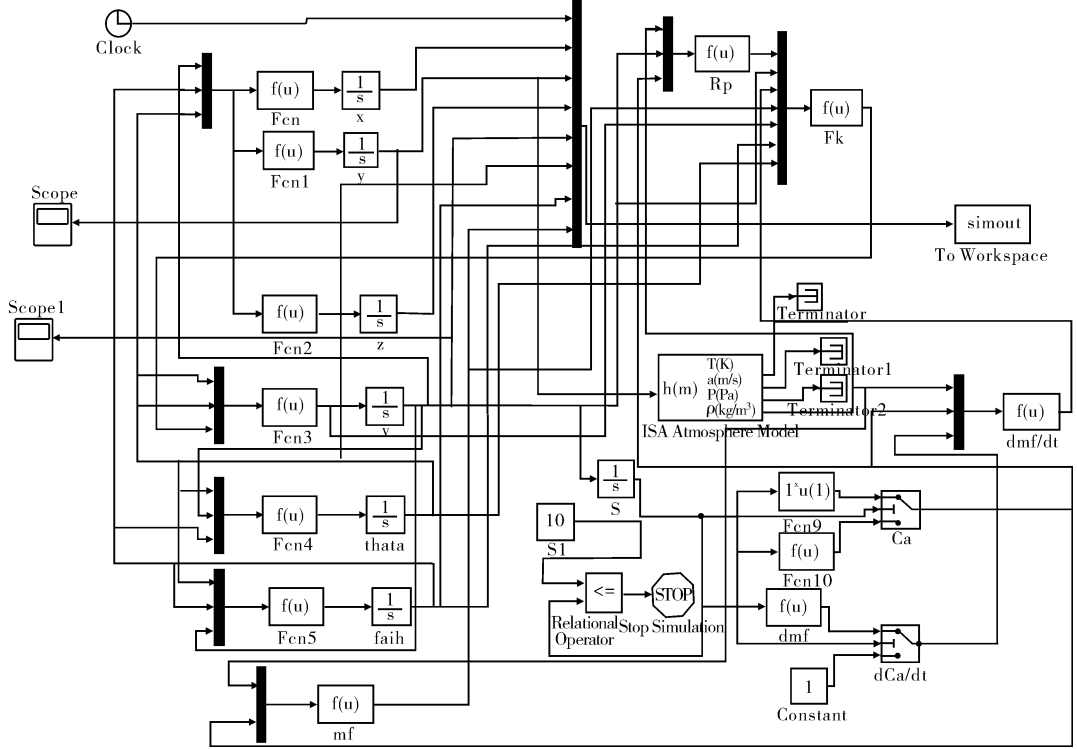


图 1 减速段仿真图

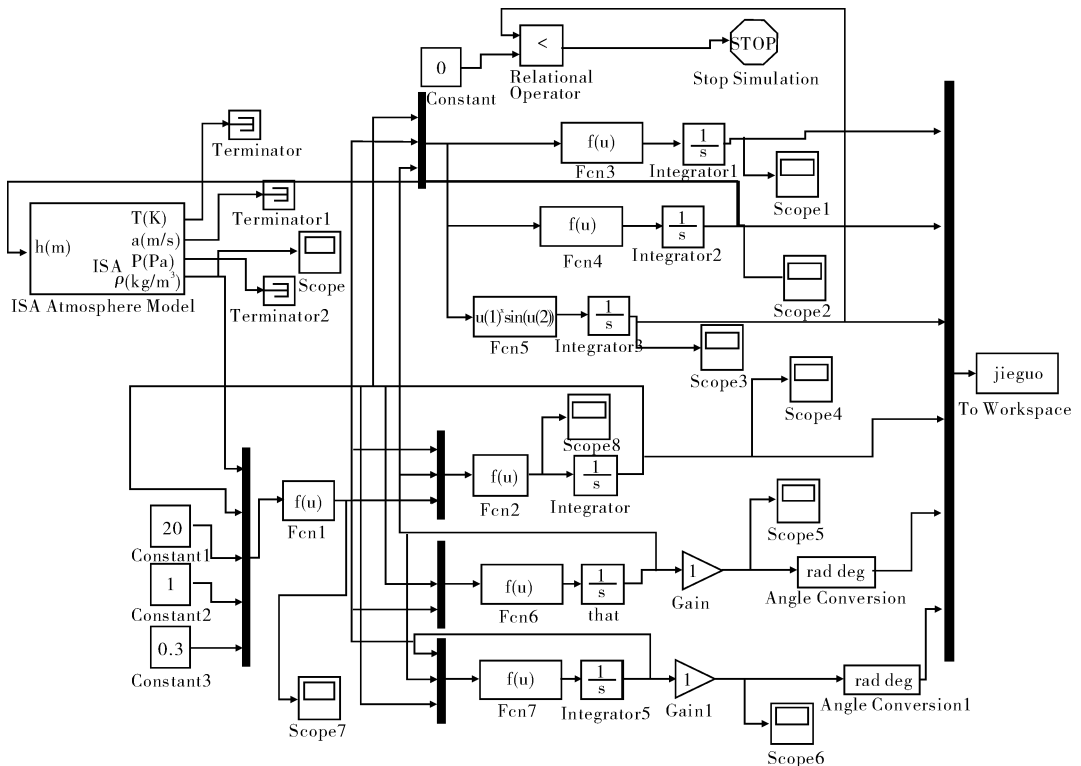


图 2 稳定下落段仿真图

### 2.2 仿真计算结果

以某型传感子弹为例,利用上述仿真过程进行了仿真计算,并将计算结果与同一初始条件下在东北某靶场进行的一次实弹射击试验的结果(通过雷达测量从子弹被抛出到子弹落地这一个过程子弹滞空时间、落地速度和飞行距离)进行对比,结果如表 1 所示。

表 1 不同抛撒高度对应的子弹诸元

抛撒高度/ m	子弹滞空时间/s		子弹落地速度/(m/s)		子弹飞行距离/m	
	实验值	计算值	实验值	计算值	实验值	计算值
165	17.1	16.3	11.0	11.4	128	133
206	20.1	19.1	11.7	11.2	197	189
225	21.3	20.6	11.4	10.7	246	241

由表 1 可以看出,计算值与实验值相比误差是非常小的,可见仿真计算是正确可行的,所建立的伞弹弹道模型也是有效的。

### 3 开伞高度的确定

根据上述建立的仿真模型,分析某型制式装药的一号、六号装药不同开伞高度对应纵风、横风为 5m/s 时引起的距离和方向偏差,如表 2 所示。仿真开伞高度为 75m 至 300m 时落地速度与落地弹道倾角,如图 3、图 4 所示。考虑到系统为实现子弹正常工作和精确布撒,要求落地速度小于 15m/s,落地倾角大于 80°,风对子弹落点偏差控制在 80m 范围内。根据表 2 和图 3、图 4 得出结果分析可知,一号装药开伞高度应选择在 175~250m 范围内,六号装药开伞高度应选择在 150~225m 范围内。

表 2 纵风、横风为 5m/s 时引起的距离和方向偏差

开伞高度/m	装药号			
	1#		6#	
	距离	方向	距离	方向
75	8.7	9.2	10.6	11.7
100	17.4	18.5	20.6	21.2
125	21.1	26.7	29.5	31.6
150	27.8	36.3	41.3	41.2
175	36.3	45.0	53.3	55.7
200	42.7	53.8	66.5	70.2
225	64.2	66.2	71.1	79.4
250	67.1	70.2	76.4	87.6
275	74.9	81.1	80.9	87.8
300	84.3	87.4	93.8	95.1

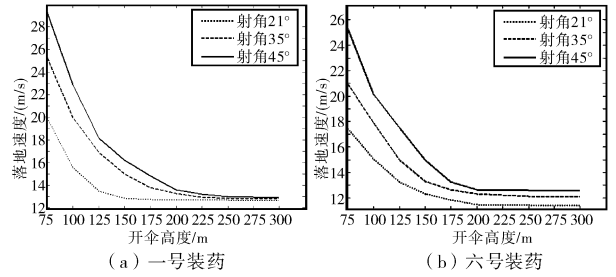


图 3 落地速度与开伞高度关系图

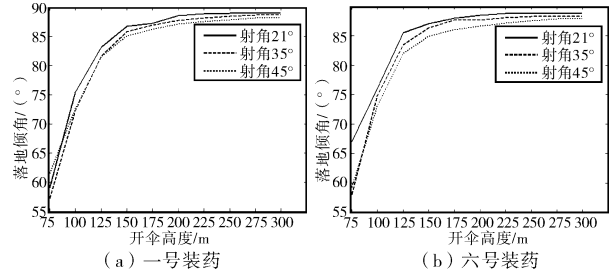


图 4 落地倾角与开伞高度关系图

### 4 结论

文中在建立伞弹系统弹道模型的基础上,利用 Matlab/Simulink 仿真平台,综合考虑纵风、横风、装药号数以及射角等因素对传感子弹下落段影响,对伞弹系统的运动进行了仿真计算,计算结果表明:

- 1)文中所采用的模型能够较准确的反映传感子弹下落段飞行过程,计算结果与试验数据吻合较好;
- 2)在实际射击中,弹丸开伞高度的选择应综合考虑各种因素的影响,应在保证子弹下落过程基本稳定的前提下,尽量选择低点开伞,以减小任务设备的滞空时间,避免外界环境的过多影响,从而达到提高落点精度的目的。

#### 参考文献:

[1] 钱立志. 炮射地面震动传感器系统研究[R]. 研究报告, 2008.

[2] 刘玉文, 马建华, 邵显涛, 等. 传感侦察炮弹子弹弹道模型建立与仿真[J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29(5): 177-178.

[3] 杨赵兵. 伞弹群散布特性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2009.

[4] 薛定宇, 陈阳泉. MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.