

基于 Matlab 的滑翔增程弹道的计算机仿真

刘丽荣, 王军波, 黄景德

(军械工程学院弹药工程系, 河北 石家庄 050003)

摘要: 在分析滑翔增程技术原理的基础上, 建立了滑翔增程弹道的简化模型(无滚转、无风状态下), 探讨了实现滑翔增程的技术途径, 运用 Matlab 软件, 进行了计算机数字仿真, 结果表明滑翔增程效果理想。

关键词: 滑翔; 增程; 弹道; 仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

1 引言

射程是炮兵武器的三大指标之一, 射程往往决定了部队在战场上的机动能力和对抗能力, 大的射程使指挥员更具有主动性, 更利于把握战场的主动权, 灵活控制战场的局面, 最终取得胜利, 因此远程弹已经成为我国常规弹药发展的必然趋势。

随着系统仿真理论和应用技术研究的深入及计算机技术的飞速发展, 仿真技术的应用越来越广泛, 不仅应用在航空、航天、航海、原子能、电力等民用领域, 而且在军事领域也有了广泛应用, 如大型导弹系统的仿真、网上练兵等。仿真技术已经成为从论证、设计、生产试验、训练到更新等全寿命周期各个阶段不可缺少的技术手段, 为研究解决复杂系统乃至巨系统问题提供了有效的工具。所以将其用于弹道的仿真, 模拟弹丸的飞行姿态和飞行轨迹, 可以为真正的靶场试验提供丰富的技术参考数据, 因此对于弹丸的设计也有着重要的现实意义。

2 滑翔增程弹道数学模型的建立

2.1 滑翔增程技术的基本原理

滑翔增程技术是远程炮弹的一种关键技术, 它的原理是利用炮弹在飞行中产生的升力与重力平衡, 减小炮弹在铅垂方向的加速度, 从而达到增程的目的。也就是说滑翔增程首先要增大升力系数与升阻比, 其次在弹道上必须确定向上的攻角。但它的缺点是要解决鸭舵适时张开的控制问题, 这样势必会增加结构的复杂性。

2.2 滑翔弹道方程的建立

由于弹丸在外弹道飞行过程中, 所受的气动力和各种扰动比较复杂, 而且为了达到滑翔飞行, 还需要有控制系统(目前大多采用鸭舵的偏转来控制)的作用, 由于篇幅所限, 本文首先从最简单情况入手, 不考虑风扰动的影响和控制系统的影

响, 将鸭舵的作用用平衡攻角近似代替, 来进行分析。

方程建立的基本假设条件如下:

弹丸在纵向平面内运动, 没有弹道偏离现象;

不考虑风扰动的影响, 且弹丸控制是理想的, 只是用鸭舵的平衡攻角来近似代替;

地表面为平面;

弹丸滑翔飞行时的气象条件是标准的;

由于滑翔段与全弹道有关, 建立全弹道运动方程;

弹丸只受空气动力和重力的作用, 且认为重力加速度的大小始终不变;

弹丸无滚转, 且为轴对称。

基于以上基本假设, 在地面坐标系内建立弹丸刚体运动方程:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dv_x}{dt} = \frac{F_p}{m} \cos \alpha - \frac{R_x}{m} \frac{v_x}{V} - \frac{R_y}{m} \frac{v_y}{V} \\ \frac{dv_y}{dt} = \frac{F_p}{m} \sin \alpha - \frac{R_x}{m} \frac{v_x}{V} + \frac{R_y}{m} \frac{v_y}{V} - g \\ \frac{d\alpha}{dt} = \frac{M_z}{A} - \frac{M_{z_d}}{A} \\ \frac{d\beta}{dt} = \dot{\alpha} \\ \frac{dx}{dt} = v_x \\ \frac{dy}{dt} = v_y \\ V = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2)} \\ \beta = \arctan(v_x/v_y) \\ \alpha = \beta + \end{array} \right.$$

其中 α 代表弹丸摆动角(弹轴与水平线 X 轴的夹角), β 是弹道倾角(弹速与 X 轴的夹角), γ 是弹丸攻角(弹速与弹轴夹角), v_x, v_y 分别为弹丸速度的水平与垂直分量。

公式中的参数:

F_p —— 火箭推力;

R_x —— 空气动力的阻力分量, $R_x = \frac{V^2 S C_x}{2}$, C_x 为阻力系数;

R_y ——空气动力的升力分量, $R_y = \frac{V^2 S C_y (\alpha + \epsilon)}{2}$,
 C_y 为升力系数导数, ϵ 为平衡攻角(即近似代替鸭舵产生的使弹丸攻角减小的作用角度);

M_z ——弹丸攻角产生的静力矩, 也就是稳定力矩, 由于鸭舵的平衡攻角作用产生了俯仰力矩, 所以 $M_z = \frac{V^2 S L m_z (\alpha - \epsilon)}{2}$;

M_{zd} ——由于 α 变化产生的俯仰阻尼力矩, $M_{zd} = K_{zd} \dot{\alpha} V$, 其中 $K_{zd} = S L m_{zd} / 2A$, m_{zd} 赤道阻尼力矩系数导数。

3 仿真程序流程图

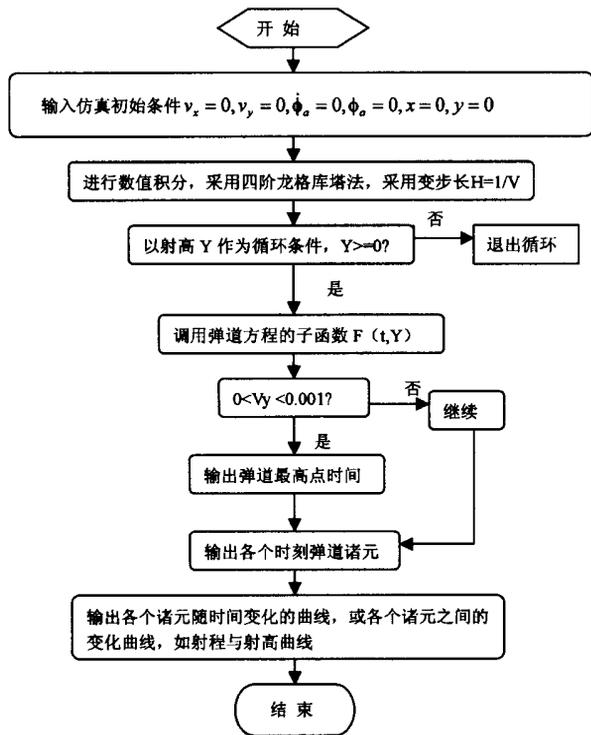


图1 仿真程序流程图

4 滑翔增程弹道的计算机仿真

利用 Matlab 软件编制相应的仿真程序, 并采用四阶龙格库塔法解算该弹道方程, 在仿真过程中发现, 攻角随时间 t 变化并有发散现象, 故通过计算其近似波长 $\lambda = 2 / \sqrt{-k_z} = 2 / \sqrt{-S_m l m_z / 2A} = 52$, 所得波动周期为 $52 / V = 0.06, 0.06 / 20 = 0.003$ 即为应该采取的步长, 这意味着在攻角波动较大的情况下, 应改变仿真步长, 根据所画出的攻角曲线变化规律, 最后决定采用变步长 $H = 1/V$, 这时 $t - Y$ 曲线呈现较为规律的变化。由此绘制射程与射高的曲线见图 2。

要使弹丸按预定的空中轨迹运动 —— 滑翔飞行, 需要通过控制其飞行倾角和攻角按设定的方案变化来实现。无动

力滑翔弹丸在滑翔段上的理想运动特点 <http://www.81tech.com>

过控制使弹丸保持一定的攻角飞行, 从而产生克服重力影响的升力。为了保持一定的攻角飞行, 必须控制鸭舵产生的平衡攻角, 使其能稳定其飞行攻角。所以在滑翔段定义平衡攻角阻

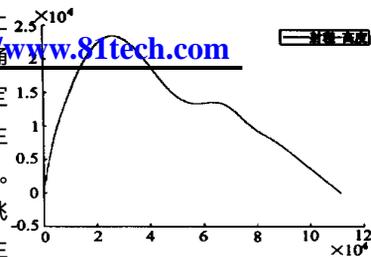


图2 射程与射高曲线图

尼系数为: $-b_x V^2 - g \sin(\alpha)$, 其中 $b_x = S_m C_{x0} / 2m_0$ 。所以平衡攻角 $\epsilon = k / (k_1 V + k_2 (-b_x V^2 - g \sin(\alpha)))$, k, k_1, k_2 分别为控制平衡攻角变化的系数。适当选取 k_1 和 k_2 的值, 可以使平衡攻角变化趋于缓和, 这种做法在实际中是通过控制系统实现的, 事实上它相当于鸭舵随弹丸飞行姿态的变化而及时的调整张开角度, 保证弹丸平稳地滑翔飞行, 从而实现增程的效果。

5 仿真结果的讨论

以某型 155mm 炮弹为例进行仿真, 有下述数据:

空气密度 $\rho = 1.206$, 弹丸质量 $m = 57.62$, 弹丸长度 $l = 1.623$,

赤道转动惯量 $A = 10.8873$, 弹丸直径 $D = 0.155$, 弹丸横截面积 $S_m = D^2 / 4$,

升力系数导数 $C_y = 0.05 \times 57.3$, 阻力系数 $C_x = 0.4$,

静力矩系数导数 $m_z = 0.15 \times 57.3$, $K_{zd} = 2$ (以上数据均采用标准单位制)。

进行仿真计算, 采用变步长 $H = 1/V$ 计算, 可以求出弹丸到达顶点时间为 45 秒, 全弹道飞行时间为 788 秒, 飞行射程为 98.61 公里, 落地速度为 106 米/秒。

射程 X 与射高 Y 的函数关系曲线如图 3 所示。

横轴代表射程 X , 纵轴代表射高 Y , 图 3 表明, 滑翔弹道比普通弹道增程近 120%。可以看出采用鸭舵, 滑翔增程作用十分理想。

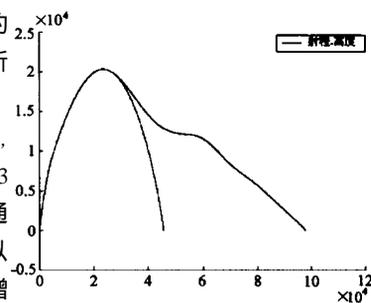


图3 射程与射高的函数关系曲线图

如果给定不同参数, 对该弹道进行优化,

可以得出在不同参数条件下的射程, 如调整升力系数, 或俯仰阻尼力矩系数, 可以在弹道滑翔平缓的情况下, 达到增程的作用。表 1 为不同参数下的射程与飞行时间数据表 (取系数 $K = 40$ 计算)。

表1 射程与飞行时间数据表

系数 K_1	阻尼系数 K_2	射程 (Km)	落地速度 (m/s)	飞行时间 (s)
0.6	- 5	66.36	128	477
0.6	- 10	98.61	106	788
1	- 2	40.1	136	268
0.9	- 1	40.4	86	410
1	2	26.6	108	213

由表1数据可以看出,改变系数 k_1 、 k_2 的值,可以得到不同的增程效果。

5 结束语

本文是在忽略弹丸滚转、发动机推力、气动扰动、控制系统和鸭舵的实际展开角度等情况下,对滑翔增程弹道进行的一种尝试性的模拟仿真,该弹道还有很大的优化潜力,其优化最佳结果对于考虑所有弹道扰动因素的滑翔弹道具有很

大的参考价值,同时对于控制系统的关键设计也有一定的指导作用和参考价值。<http://www.81tech.com>

如果加上发动机推力,再考虑各种扰动因素,弹道曲线可能还会有变化,还需要通过优化设计继续优化弹道特性曲线,如优化最佳发动机点火时间、鸭舵张开最佳位置等,使其更接近实际的弹道环境,从而为深入研究和确定滑翔弹道以及设计控制系统打下坚实的基础。

参考文献:

- [1] 宋丕极. 枪炮与火箭外弹道学[M]. 兵器工业出版社, 1993.



[作者简介]

刘丽荣(1973 -),女(汉族),河北石家庄人,讲师,硕士,研究方向:弹药领域与仿真技术;

王军波(1963 -),男(汉族),河北藁城人,副教授,硕士,研究方向:弹药领域与仿真技术;

黄景德(1973 -),男(汉族),河南漯河人,讲师,博士,研究方向:仿真技术。

Computer Simulation of Sliding and Distance - increasing Trajectory Based on Matlab

LIU Li - rong , Wang Jun - bo , HUANG Jing - de

(Ammunition Department of Ordnance Engineering , Shijiazhuang Hebei 050003 ,China)

ABSTRACT: The paper sets up the simplified module of sliding and distance - increasing trajectory in non - wind , non - rolling condition , based on analyzing the principle of sliding and distance - increasing technology , discusses the method of completing sliding range , and makes digit - simulation using Matlab software . The result indicates its sound effect of sliding range .

KEY WORDS: Sliding ; Distance - increasing ; Trajectory ; Simulation

(上接第 101 页)

An Intelligent Device and Remote Fault Diagnosis

XU Meng , WANG Zong - xue , WU Yun - jie

(Department of Automatic Control , BeiHang University , Beijing 100083 , China)

ABSTRACT: This paper introduced the principle , components and functions of a new type intelligent device , AS electric actuator . The fault diagnosis system was established with the expert system theory , which based on the knowledge and experience of the field experts . The remote fault diagnosis technology of the device was realized by GSM . At last , it made certain the fault characteristic , and realized the fault diagnosis by the fault modeling and simulation .

KEY WORDS: Electric actuator ; Expert system ; Remote fault diagnosis