

ISSN 1000-0887
CODEN YSHLEM

应用数学和力学

Applied Mathematics and Mechanics

工程索引(EI)及我国力学类、数学类、物理学类核心期刊

交通部重庆交通学院主办
重庆出版社出版

第17卷 1996年 第11期

航炮链带运动的计算机模拟

章定国¹

(邬瑞峰推荐, 1995年3月17日收到)

摘 要

本文首先运用动力学理论对航炮弹带进行了动力学和撞击动力学的理论建模, 然后再借助计算机技术对弹带的运动进行了数值和图形模拟。

关键词 动力学 链带 碰撞 计算机模拟

一、引 言

随着多体动力学理论、计算机技术的发展及武器高精度、轻型化的需求, 人们开始注重将动力学仿真技术引入武器的设计中。传统的单一的靠“打”的方式来改良的校验武器性能的方法日益表现其弊端, 人们业已发现“仿真”在武器的开发中起着愈来愈重要的作用。本文将动力学理论和计算机技术相结合, 首次应用于某航炮弹带系统的设计和优化中, 并开发了仿真软件。

航炮弹带在发射中发生卡弹现象是一个巨大的隐患, 工程界亟待需要解决。昂贵的实验并不能起到预期的效果, 然而, 将计算机技术和动力学理论相结合, 却为重演实际发射过程, 进行弹带运动优化提供了好方法。

实际的航炮弹带系统可抽象为弹带和导轨组成的系统(如图1所示)。弹带之间用钩环相连, 钩环间存在有间隙, 相对自由度为6个。弹带被卡在扁平导轨中运动, 失去 y_i 向的移动及绕 x_i 轴之转动。

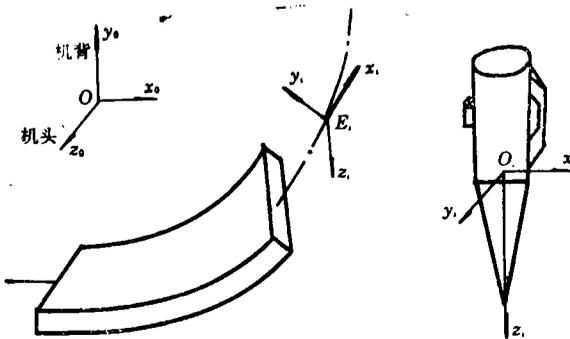


图1 弹链系统

¹ 南京理工大学, 南京 210094.

二、弹带系统中的撞击动力学

2.1 航炮弹带系统撞击的数学描述

在航炮弹带系统中,存在着多刚体动力学中的两类撞击问题,即:一类是系统与外界相撞;另一类是系统内部各物体相撞。对于航炮弹带来讲,链带和导轨的撞击是第一类;链带内各弹间的撞击是第二类。撞击会出现以下几种形式:

- A. 两个或两个以上弹链节之间均存在着撞击;
- B. 弹链节间无撞击。

在同一时刻,出现A现象的次数用 s 表示,称为第 s 撞击段,每段所含节数称为长度,用 n_s 表示。在A情况中,又可能有弹体和导轨的撞击,A中会出现撞击的全部二类问题。B情况在链节之间无撞击,是单链节的,但也可能和导轨相撞,B情况只可能出现第一类问题,是A的退化情形。A情况从力学模型来看是一种受约束体的分离式分叉树状多点撞击,目前对这种撞击情形研究得比较少。

在第 s 碰撞段中,对弹体从 $1, 2, \dots, n_s$ 重新编号,为了同时考虑撞击的二类问题,把导轨看作“虚拟弹体”,用 n_s+1 表示其顺序,并设在这个“扩充弹链撞击段”中有 Q_s 个撞击点(见图2)。用实线表示撞击,在撞击点 $k(k=1, 2, \dots, Q_s)$ 相撞的两个弹体中,编号较小的称为内侧弹体,其下标记为 $l^+(k)$;编号较大的称为外侧弹体,下标为 $l^-(k)$,两弹体名为 $B_{l^+(k)}, B_{l^-(k)}$ 。对于撞击点 k 作如下约定:内侧体小的撞击点 k 取小号,若撞击内侧体相同,则外侧体小的撞点编号取小号。

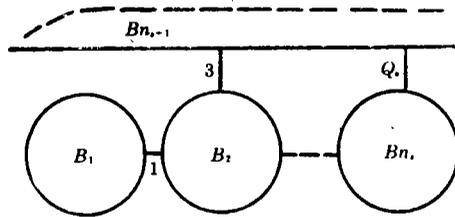


图2 撞击拓扑图

定义第 s 段的撞击关联矩阵 $W_s^{(1)}$

$$W_s(l)(k) = \begin{cases} -1 & (\text{当 } l=l^+(k), l=1, 2, \dots, n_s+1) \\ +1 & (\text{当 } l=l^-(k) \quad k=1, 2, \dots, Q_s) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases} \quad (2.1)$$

定义从弹体 l 质心到各撞点的矢量为 ρ_{lk}^* ,当 $l \neq l^-(k)$ 时,此向量为 O 即: $\rho_{lk}^* = 0$

$$\text{定义 } \rho_{lk} = W_s(l)(k) \cdot \rho_{lk}^*, \quad (2.2)$$

则 ρ_{lk} 构成 $(n_s+1) \times Q_s$ 阶矢量阵 ρ 。

为了一般起见,假设弹体 l 可能受到多个弹体的撞击,将各撞点的冲量向该弹体质心简化为冲量主矢 I_l 和主矩 T_l ,它与撞点冲量 I_k^* 的关系为:

$$I = W_s I^* \quad (2.3)$$

$$T = \rho \times I^* \quad (2.4)$$

$$\text{其中 } I^* = n I_k^* \quad (2.5)$$

ISSN 1000-0887
CODEN YSHLEM

应用数学和力学

Applied Mathematics and Mechanics

工程索引(EI)及我国力学类、数学类、物理学类核心期刊

交通部重庆交通学院主办
重庆出版社出版

第17卷 1996年 第11期

弹带运动较平稳，入膛前 φ_2 角较小，弹体间撞击不激烈，不发生窜弹现象见图9。

五、结 论

仿真结果表明，现有系统在发射过程中发生卡弹现象是必然的。为使卡弹次数减少或消

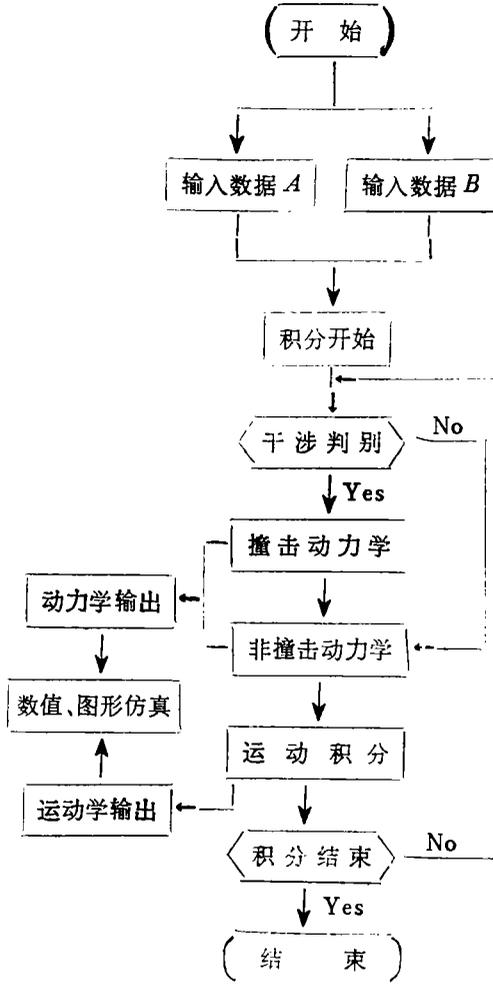


图3 仿真过程

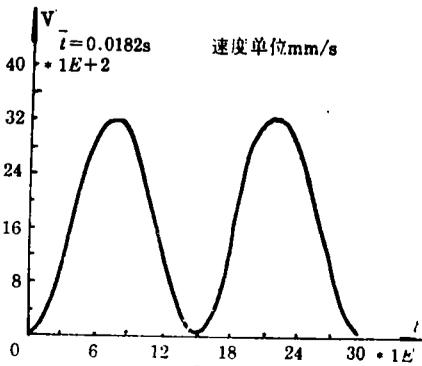


图4 供弹机运动曲线

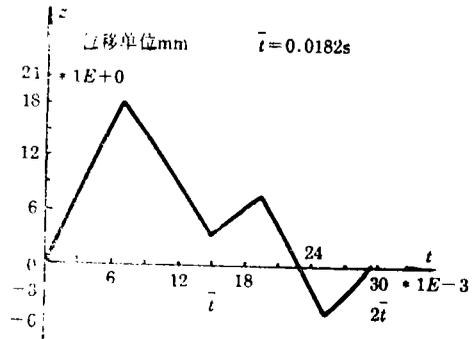
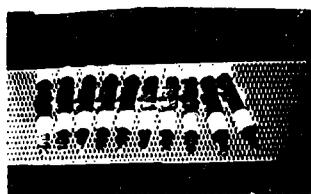
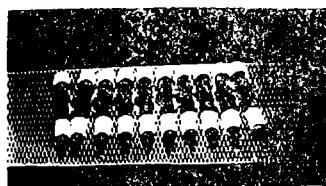


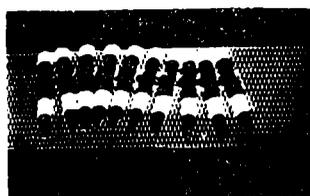
图5 炮后座运动曲线
 (本图横坐标同图 5)



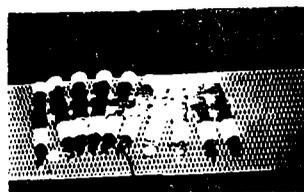
$t=0.0$ 秒



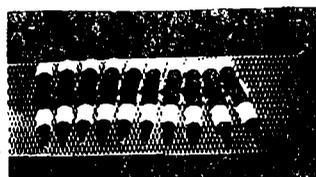
$t=0.0061$ 秒



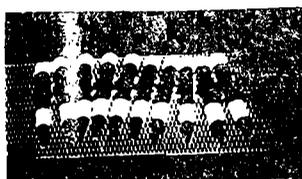
$t=0.0031$ 秒



$t=0.0096$ 秒



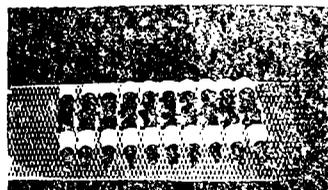
$t=0.0121$ 秒



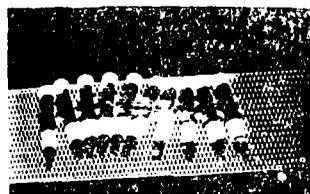
$t=0.0147$ 秒



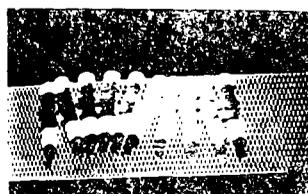
$t=0.0152$ 秒



$t=0.0167$ 秒



$t=0.0177$ 秒



$t=0.0182$ 秒

图6 动画仿真

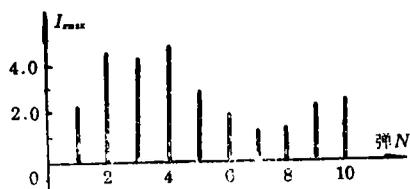
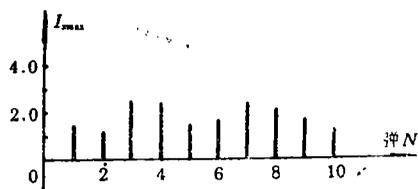
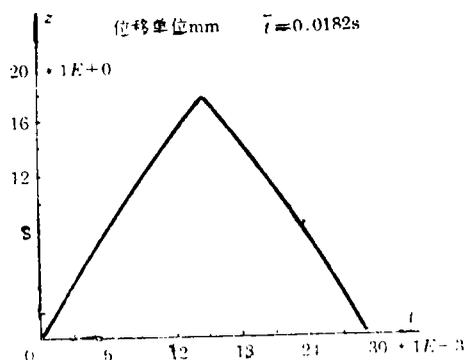
图7 碰撞冲量 z 向之最大值图9 优化的冲量 z 向之最大值

图8 优化的后座运动曲线

(本图横坐标同图5)

除, 必须采取措施使弹带运动平稳化, 努力使子弹进膛时的姿态误差和前后窜动量控制在允许的误差范围内。建议从下述方面着手弹带的平稳化:

- 适当调整抱弹爪子位置;
- 优化炮后座运动规律。

参 考 文 献

- [1] 梁敏、洪嘉振、刘延柱, 多刚体系统碰撞动力学方程及可解性判别准则, 应用力学学报, 8(1) (1991)。
- [2] J., Wittenburg, *Dynamics of System of Rigid bodies.*, Teubner, (1977)

Computer Simulation of the Motion of the Bullet Belt of Airplane Gun

Zhang Dingguo

*(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing
210094, P. R, China)*

Abstract

With the dynamic theory of multi-rigidbody systems, first the paper establishes the mathematical model of dynamics and impact dynamics of the bullet belt of airplane gun, and then it carries out the numerical and graphic simulation of the motion of the bullet belt by way of computer.

Key words dynamics, bullet belt, collision, computer simulation