

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.003

某供输弹系统螺旋导引设计与仿真

王茂森, 廖瑞珍, 戴劲松

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为获取更大的供弹弹药基数, 提高火炮的战斗能力, 对某供输弹系统螺旋导引进行设计。建立了螺旋导引的数学模型, 并利用 solidworks 软件进行三维建模, 在 ADAMS 中建立炮弹与螺旋导引碰撞的多体动力学模型, 分析炮弹在螺旋导引中的运动规律, 并进行仿真分析。仿真结果表明: 该螺旋导引的供弹阻力并不是很大, 能保证过弹的通畅性, 螺旋导引设计方法的具有可行性, 为供弹系统的导引结构设计提供了一种设计思路。

关键词: 螺旋导引机械设计; 弹链柔度; 扭转; 弹簧阻尼模型

中图分类号: TJ303 **文献标志码:** A

Design and Simulation for Spiral Guidance of Certain Type Ammunition Feed System

Wang Maosen, Liao Ruizhen, Dai Jinsong

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To obtain a larger basic ammunition and improve the combat capability of caliber, discuss the spiral guidance design of ammunition feed system. This paper established the mathematical model of spiral guidance and use solidworks software for 3D modeling, established multi-body dynamics model of the spiral guidance in ADAMS software. The simulation results show: the resistance of this spiral guidance is not great, shells can be smoothly passed, verify the feasibility of this design method. Provide a new way for the structural design of ammunition feed system.

Keywords: spiral guidance; flexibility of ammunition belt; spiral; spring and damping model

0 引言

弹链供输弹系统主要由弹箱、供弹导引、辅助动力装置(扬弹机)等组成^[1]。供弹导引又分刚性导引和柔性导引, 其中刚性导引主要是连接弹箱和柔性导引。作为刚性导引的一种形式, 螺旋导引位于供弹系统的中部, 其主要作用是利用弹链的柔度, 引导规正炮弹按一定的扭转规律运动到指定的位置, 满足供弹的总体布局^[2]。

合理的螺旋导引规划设计是供弹通畅的前提, 螺旋导引能够规正炮弹, 满足炮弹在进弹口与出弹口在特定高度内扭转一定的角度。基于此, 笔者对某供输弹系统螺旋导引进行设计, 建立三维模型, 对螺旋导引中炮弹的运动规律进行仿真分析, 验证螺旋导引设计方法的可行性。

1 螺旋导引的数学模型

1.1 螺旋导引的几何特征

螺旋导引是由一个截面沿着一根固定轴线, 按一定的扭转规律连续扫描形成。螺旋导引的构成要素包括过弹截面, 固定轴线, 沿轴线的扭转扫描规

律。固定轴线是螺旋导引最核心的构成要素。轴线形状的确定需要根据供弹系统的整体布局、进弹口与出弹口的位置, 同时结合弹链的柔度性能。弹链柔度如图 1 所示。

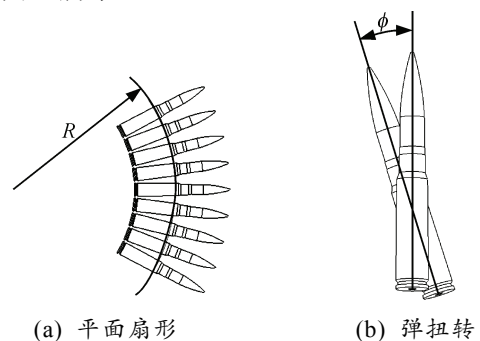


图 1 弹链柔度示意图

固定轴线分为平面曲线和空间曲线, 在设计时要满足如下要求: 整个轴线函数应该连续可导; 进口和出口处轴线的圆弧半径应大于弹链柔度所确定的最小扇形半径 R ; 轴线在进弹、出弹口应尽量与相连供弹线路相切, 若受总体结构的布局不能满足相切要求时, 应使轴线两端的切向量与接口平面的法向量的夹角尽量小。

收稿日期: 2015-12-11; 修回日期: 2016-01-17

作者简介: 王茂森(1970—), 男, 江苏人, 博士, 副教授, 从事火炮自动武器与弹药工程研究。

1.2 螺旋导引固定轴线的数学描述

笔者对某炮平面轴线型螺旋导引建立数学模型，从而确定各垂直于固定轴线的过弹截面上的任一点。该螺旋导引的平面轴线由三段组成，两端为圆弧段，中间为直线。

已知某弹链带的柔度：沿弹链中心的扇形半径为 R ，两弹链节之间的最大扭转角度为 ψ 。由炮塔高度、耳轴位置和扬弹机位置可以确定一些基本参数：转角 θ 、扇形圆弧半径 r 、总扭角 β 。

过固定轴线起点建立 XYZ 坐标系， XYZ 坐标系绕 Z 轴旋转 θ ，建立 $X'Y'Z'$ 坐标系，根据上述已知参数可以作出由 R, r 圆弧段及其公切线段构成的固定轴线，如图 2。

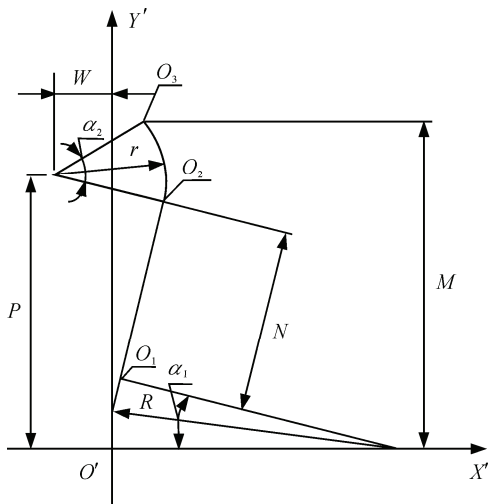


图 2 螺旋导引固定轴线坐标

得到尺寸 $\alpha_1, \alpha_2, N, P, M$ ，并求得轴线三段长度 $L_1 = \frac{\pi R \alpha_1}{180}$ ， $L_2 = L_1 + N$ ， $L_3 = L_2 + \frac{r \pi \alpha_2}{180}$ 。

轴线在 $X'Y'Z'$ 坐标系的方程：

$$\left. \begin{aligned} (R-x')^2 + y'^2 = R^2 \rightarrow \\ 0 < y' < R \sin \alpha_1 \\ \frac{x' - R + R \cos \alpha_1}{y' - R \sin \alpha_1} = \tan \alpha_1 \rightarrow \\ R \sin \alpha_1 \leq y' < R \sin \alpha_1 + N \cos \alpha_1 \\ (x' + W)^2 + (y' - P)^2 = r^2 \rightarrow \\ R \sin \alpha_1 + N \cos \alpha_1 \leq y' < M \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中对 y' 求导可得轴线上任一点处的切线斜率，如下式：

$$k = \begin{cases} \frac{y'}{\sqrt{R^2 - y'^2}} \rightarrow (0 < y' < R \sin \alpha_1) \\ \tan \alpha_1 \rightarrow \\ (R \sin \alpha_1 \leq y' < R \sin \alpha_1 + N \cos \alpha_1) \\ \frac{P - y'}{\sqrt{r^2 - (y' - P)^2}} \rightarrow \\ (R \sin \alpha_1 + N \cos \alpha_1 \leq y' < M) \end{cases} \quad (2)$$

对轴线上任一点的法平面建立 $X''Y''Z''$ 坐标系，螺旋导引截面在该点的扭角为 λ (在设计时确定取值)，该法平面上任一点 H 在 $X''Y''Z''$ 坐标系坐标值为 $(0, m, n)$ ，由坐标转换可求的该点在 $X'Y'Z'$ 坐标系的坐标值，也就可求得轴线上 $(x'_0, y'_0, 0)$ 点处的法向截面上任一点 $(0, m, n)$ 在 $X'Y'Z'$ 坐标系中的坐标值，如下式：

$$\left. \begin{aligned} x' &= (m \cos \lambda + n \sin \lambda) \sin \gamma + x'_0 \\ y' &= -(m \cos \lambda + n \sin \lambda) \cos \gamma + y'_0 \\ z' &= -m \sin \lambda + n \cos \lambda \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 $\lambda = \arctan k (0^\circ < \lambda \leq 180^\circ)$ 。

最终得到螺旋导引轴线截面上任一点 $H(0, m, n)$ 在 XYZ 坐标系中的数学表达式，如下式：

$$\left. \begin{aligned} x &= [(m \cos \lambda + n \sin \lambda) \sin \gamma + x'_0] \sin \theta \\ y &= [-(m \cos \lambda + n \sin \lambda) \cos \gamma + y'_0] \cos \theta \\ z &= -m \sin \lambda + n \cos \lambda \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

1.3 过弹截面沿导引轴线的扫描扭转规律

炮弹在螺旋导引中沿轴线切向运动的同时还要绕导引轴线扭转；因此，要确定扭转角沿轴线的变化规律。如图 3 所示，首先应满足弹链的扭转柔度要求，即两弹的相对扭转角必须小于两节弹链的最大扭转角 ψ ；其次，为了简化结构与方便制造，截面沿轴线的扭转规律应尽可能为线性关系，但在接口处，为了保证过弹的通畅性以及减小过弹阻力可采取二次函数曲线，同时导引轴线各分段的扭转规律函数应连续可导^[3]。

在轴线 OL_1 段，扭转角 β 的扭转规律选为抛物线方程如下式：

$$\beta = \frac{l^2}{2p} \leq \frac{l\varphi}{S} \quad (5)$$

式中： p 为参数； φ 为弹链柔度； S 为弹链节距。

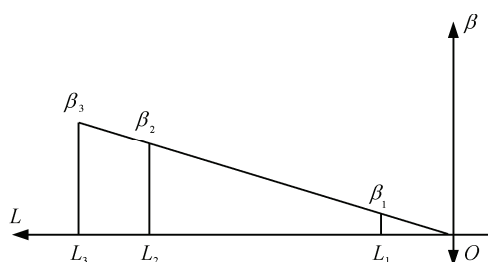


图3 螺旋导引轴线扫描规律

在 $L_1 \sim L_2$ 段扭转角 β 的扭转规律为直线。在 $L_2 \sim L_3$ 段即出弹段扭转角 β 的扭转规律宜取为抛物线，但比较复杂，取为直线也能有效保证过弹的通畅性。为此 $L_1 \sim L_2$ 段和 $L_2 \sim L_3$ 段扭转规律方程为：

$$\beta = kL + b = \beta_1 + \frac{\beta_3 - \beta_1}{L_3 - L_1}(L - L_1) \quad (6)$$

式中 k , b 为参数。

由于 β 、 L_1 、 L_2 已知，可求得参数值为式 (7)~式 (9) 所示：

$$p = \frac{2L_1L_3 - L_2^2}{2\beta_3}; \quad (7)$$

$$k = \frac{2\beta_3}{2L_3 - L_1}; \quad (8)$$

$$b = \frac{-\beta_3L_1}{2L_3 - L_1} \quad (9)$$

2 螺旋导引仿真模型建立

通过上述对螺旋导引的数学模型分析，运用 solidworks 软件建立螺旋导引的三维实体模型如图 4 所示。



图4 螺旋导引实体模型

该实体模型是根据仿真研究的需要简化后的模型。简化的原则是既能顺利地仿真验证螺旋导引的

通畅性，又能比较真实地反映炮弹在螺旋导引内的运动规律。间隙、弹性变形是实际链节的主要特征，为此，弹与弹之间采用等效集中质量弹簧阻尼模型^[4]，即采用无质量弹簧和阻尼器来描述弹链节之间的变形和碰撞能量损失。如图 5 所示，该简化后的实体模型能比较真实地反映炮弹在螺旋导引内的运动规律，且符合仿真原则。

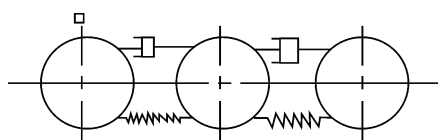


图5 集中质量等效弹簧阻尼模型

弹簧刚度 k 可通过有限元软件计算弹链节间载荷与变形的关系来确定^[5]。对于给定弹链，通过实验测量弹链上应力波的衰减求得阻尼系数 c 。

将实体模型导入动力学仿真软件 ADAMS 中，建立螺旋导引的仿真模型如图 6 所示。

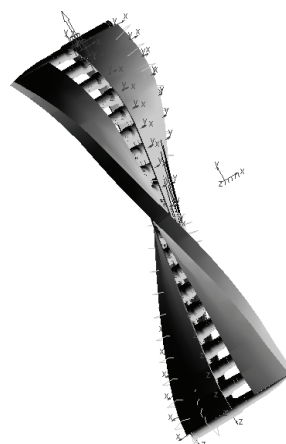


图6 螺旋导引在 ADAMS 中的仿真模型

在螺旋导引内存在两类碰撞：一类是外部碰撞，即炮弹、弹链节与导引的碰撞；另一类是内部碰撞，即炮弹与炮弹、炮弹与链节、链节与链节的碰撞^[6]。为此，仿真模型中，炮弹与炮弹之间通过质心用弹簧力铰链约束；炮弹与导引、炮弹与炮弹之间添加刚体碰撞接触约束；第 1 发弹进行平动约束，运动速度为实际测定的给定拨弹速度曲线^[7]。

3 仿真结果分析

取第 14 弹作为研究对象，对其进行沿轴线切线方向的运动仿真分析。在给定第 1 发炮弹的三连发脉冲拨弹速度曲线下，得到第 14 炮弹在螺旋导引约束下的切向位移、速度、加速度以及与螺旋导引的碰撞力曲线，见图 7~图 10。

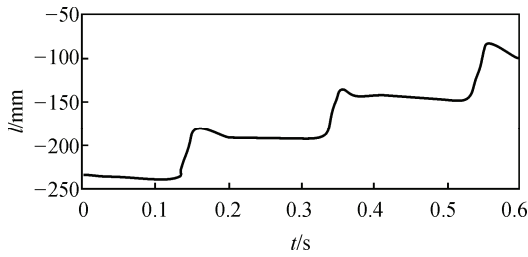


图 7 三连发射击时质心位移曲线

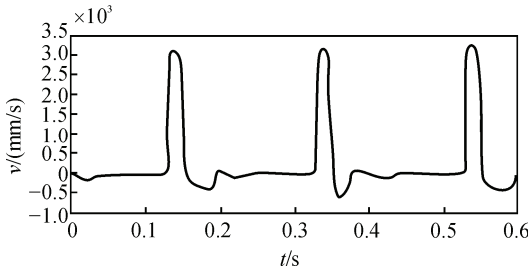


图 8 三连发射击时速度曲线

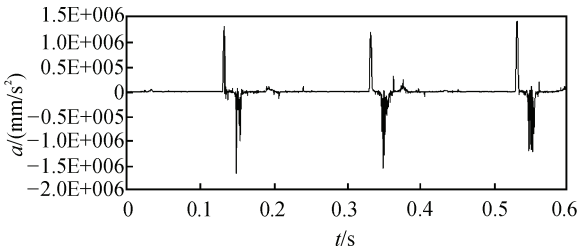


图 9 三连发射击时加速度曲线

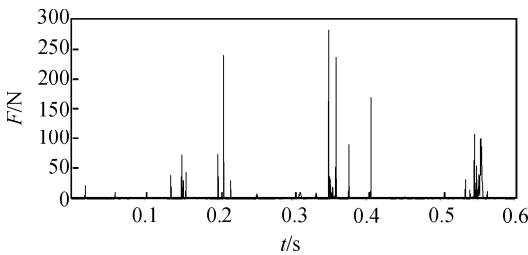


图 10 三连发射击时炮弹与螺旋导引碰撞力

其中,图 7 和图 8 反映了炮弹 14 在螺旋导引内运动规律, 由于拨弹速度的脉冲特性, 在连射间隔区间弹链弹簧阻尼碰撞, 炮弹会在螺旋导引内后退振动, 图 7 位移曲线下降和图 8 速度曲线小于 0 很好地反映了这种振动特点。图 10 反映了炮弹与螺旋导引之间的碰撞力, 最大值为 300 N 左右, 其间接反映的是供弹阻力, 结果表明: 该螺旋导引的供弹阻力并不是很大, 能保证过弹的通畅性。

4 结束语

在现代小口径自动炮武器系统中, 供弹系统的炮弹输送稳定性、通畅性占据了重要地位。笔者研究了具有螺旋导引的弹链供弹运动规律, 建立了螺旋导引的数学模型, 并通过对所建立的螺旋导引模型的仿真分析, 验证了该设计方法设计的螺旋导引的可行性, 可为火炮供弹导引的设计提供理论指导。

参考文献:

- [1] 魏志方, 陈国光, 曹红松. 弹链供弹软导引的空间姿态仿真[J]. 火炮发射与控制学报, 2001(1): 18-40.
- [2] 庞伟, 刘杰, 李强段, 等. 多弹种快速供弹系统设计[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(1): 142-149.
- [3] 戴劲松, 王茂森, 管红根. 拨弹轮齿数对供弹运动的影响分析[J]. 兵工自动化, 2015, 34(12): 69.
- [4] 陈希友, 瞿章林. 30 mm 自动炮供弹输送系统性能分析[J]. 四川兵工学报, 2003, 26(4): 25-43.
- [5] 张相炎, 郑建国, 杨军荣. 火炮设计理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005: 215-233.
- [6] 郑建荣. ADAMS 虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 12-19.
- [7] 李继科. 火炮供输弹系统虚拟样机技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.