

doi: 10.7690/bgzdh.2015.12.018

拨弹轮齿数对供弹运动的影响分析

闵杰, 戴劲松, 王茂森, 管红根

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为保证炮弹在动态交接过程中炮弹速度的平稳性和交接的准确性, 分析供弹交接单元中拨弹轮齿数对炮弹交接过程的影响。以某小口径自动机无链供弹系统为例, 建立供弹交接单元的动力学模型, 对拨弹轮在不同齿数情况下进行炮弹交接仿真分析, 得到炮弹速度曲线图, 并分析了炮弹与拨弹轮之间的碰撞力。仿真结果表明: 拨弹轮齿数的不同对炮弹在不同单元之间的交接有直接的影响, 当前后交接单元齿数相同时, 炮弹交接速度最平稳可靠。随着供弹速度的不断提高, 炮弹与拨弹轮之间的接触力也不断增大。

关键词: 无链供弹; 拨弹轮; 运动交接; 动力学仿真

中图分类号: TJ303 **文献标志码:** A

Analysis of Impact of Different Number of Shells on Movement of Projectile

Min Jie, Dai Jinsong, Wang Maosen, Guan Honggen

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

Abstract: In order to ensure the artillery shell speed stability and the accuracy of the handover in the process of dynamic transition, the influence of gear teeth number on the transfer process is emphatically analyzed. Taking a small caliber automatic linear chainless feeding system as an example, the dynamic analysis model of the transfer unit is established. Under the condition of different number of teeth for shell transition simulation analysis, getting projectile velocity curve, and carry on the analysis to the shell and plucking round between the collision force by transferring simulation analysis. The results show that pluck wheel with different number tooth has direct influence to the transition between different units. When the transfer unit teeth at the same time, shell delivery speed is the most stable and reliable. With the constant improvement of the speed, contact force between shell and dial wheel is also increasing.

Keywords: chainless feeding; dial wheel; movement handover; dynamics simulation analysis

0 引言

随着高速、超高速空中来袭目标的出现, 现代战争对防空高炮射速的要求越来越高, 小口径火炮作为防空武器的末端防御屏障, 被广泛应用。而提高射速一直是小口径火炮发展的永恒主题之一^[1]。随着射速的不断提高, 供弹系统能否保证快速地供弹, 对整个自动机系统的可靠性起着关键性的作用。传统的弹链式供弹技术已经越来越无法满足当代高射速火炮的要求; 因此, 为了进一步提高小口径火炮的射速和其工作的可靠性, 无链供弹技术应运而生, 是现在高射速小口径火炮供弹系统研究的热点方向^[2]。无链供弹系统交接的实质就是对高速运动的炮弹与弹链传动后经拨弹轮在不同传输单元间的交接问题^[3]。如何保证炮弹在交接过程中运动的准确性与可靠性是炮弹交接过程的关键所在^[4]。炮弹在交接过程中, 各构件之间通过相互冲击和碰撞来完成炮弹按照指定的轨迹运动。

目前无链供弹系统中, 炮弹在 2 个不同供弹单

元模块间的交接主要靠拨弹轮来完成。拨弹轮的作用是将前一个供弹单元上的炮弹准确、可靠地传送到后一个单元上, 实现炮弹在不同传输单元间的运动交接。如何设计拨弹轮的外形轮廓, 保证炮弹在交接过程中的冲击载荷最小, 而且使炮弹在整个过程中的运动准确和可靠地交接是拨弹轮设计时的一个关键问题。笔者首先分析了拨弹轮在交接过程中的运动过程; 再以某小口径自动机为例, 建立多刚体模型, 并对其进行动力学分析。在拨弹轮过渡半径一定的条件下, 拨弹轮齿数的不同对炮弹交接过程的影响进行仿真, 分析结果对无链供弹系统拨弹轮的优化设计提供了一定的参考。

1 拨弹轮交接结构及其运动

目前无链供弹系统中, 炮弹在 2 个不同供弹单元模块间的交接主要靠拨弹轮来完成。拨弹轮的作用是将前一个供弹单元上的炮弹准确、可靠地传送到后一个单元上, 实现炮弹在不同传输单元间的运动交接。图 1 为拨弹轮将闭合弹带上的炮弹拨出,

收稿日期: 2015-08-02; 修回日期: 2015-09-09

作者简介: 闵杰(1990—), 男, 湖北人, 在读硕士, 从事自动机动力学研究。

交接到下一个供弹单元上。

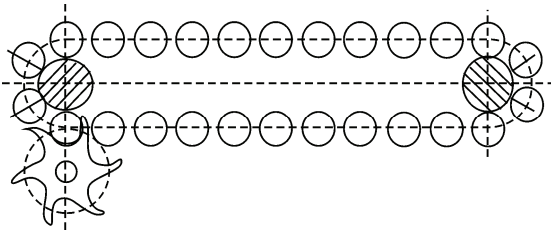


图 1 拨弹轮交接示意图

2 供弹交接动力学模型建立

2.1 供弹单元交接原理

供弹系统中，炮弹在两相邻的闭合弹带之间的运动，都是依靠拨弹轮来实现炮弹在不同传输单元之间的交接。而拨弹轮之间的交接一般是通过反旋向交接，反旋向交接过程中炮弹的交接过程速度变化较小，同时炮弹与拨弹轮和炮弹导引之间的冲击载荷小，可保证交接动作的可靠性，因而在供弹单元中得到广泛应用^[5]。

在拨弹轮交接运动过程中，拨弹轮分度圆半径大小以及拨弹轮的齿数是影响整个炮弹交接过程的重要因素。笔者着重分析在拨弹轮分度圆半径一定的情况，分别使拨弹轮齿数为四齿、五齿和六齿，分析炮弹在拨弹轮之间运动时速度的变化情况以及冲击力的大小。

2.2 接触碰撞模型理论

在供弹过程中，考虑接触碰撞问题更贴近于系统实际的工作情况，在工作时炮弹与闭合弹链、炮弹与拨弹轮的接触碰撞等，如果不定义其接触，只考虑其滑动铰接和移动铰接等约束，两构件就会发生穿透，而在现实中是不存在的。所加载的系统约束是按照某种规律变化的，为了尽可能地使分析模型更真实地接近物理模型的运动特性，在模型分析中利用接触碰撞对有接触发生的构件进行建模。

为了研究拨弹轮与炮弹在交接过程中的碰撞对其运动速度的影响，将撞击理论的基本原理应用各构件的撞击，需作以下 2 种基本假设：

1) 刚性假设：假设构件间的撞击是刚体间的撞击，而不考虑构件撞击瞬间的局部变形与恢复，认为构件本身是不变形的；

2) 瞬时假设：假设构件的撞击是瞬时完成的，撞击其位移不发生变化，只有速度会发生突变，而且撞击的过程很短暂，作用在构件上的外力远小于构件的撞击力。

机械系统动力学仿真中，根据实际碰撞接触及持续接触 2 种模型情况，采用碰撞函数和泊松模型函数来计算碰撞力。由于碰撞函数的计算速度快，且使用的参数能够更好地控制碰撞力，在仿真中能够得到较好的效果；因此，在系统供弹过程中采用该法来计算^[6]：

$$\text{Impact} = \begin{cases} 0 \\ k(x_0 - x)^e - c_{\max} \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \text{step}(x, x_0 - d, 1, x_0, 0) \end{cases} \circ$$

2.3 拨弹轮与炮弹受力分析

在拨弹轮上交接的炮弹称为交接弹，以拨弹轮和其上交接的炮弹为例，建立拨弹轮在拨弹时与炮弹间的受力分析，采用动静法对拨弹机构中相互作用的构件进行受力分析，如图 2 所示。

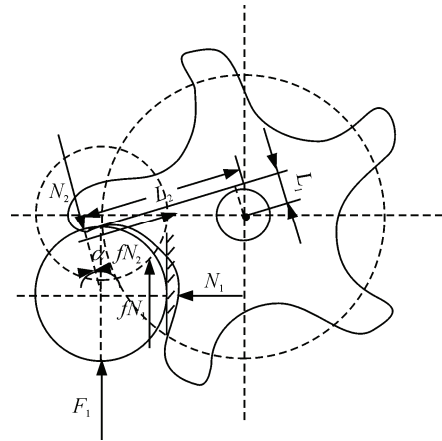


图 2 拨弹轮与炮弹受力分析示意图

根据图 2 的受力分析，可得下式平衡方程组^[7]：

$$\begin{aligned} T_1 &= N_2(L_2 - fL_1); \\ F_1 &= N_2(\cos \alpha - f \sin \alpha) - fN_1; \\ N_1 &= N_2(\sin \alpha + f \cos \alpha). \end{aligned}$$

式中： L_1, L_2 为拨弹轮中心点到炮弹对拨弹轮反作用力的作用线的力臂； N_1, N_2 为拨弹轮受到的作用力； f 为构件间的摩擦系数； T_1 为外加的作用力矩； α 为拨弹轮转过的角度。

3 动力学仿真与结果分析

3.1 模型简化

拨弹轮在 2 个不同的闭合弹带之间进行炮弹的交接运动。为了仿真分析拨弹轮输入参数对炮弹运动性能的影响，将前后 2 个闭合弹带的运动简化为类似的圆周运动，拨弹轮将炮弹从前一个单元交接后一个单元的运动过程。各齿交接如图 3~图 5 所示。

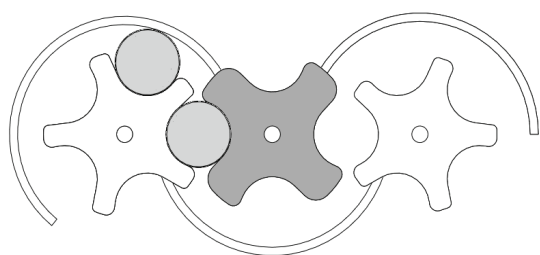


图3 四齿交接

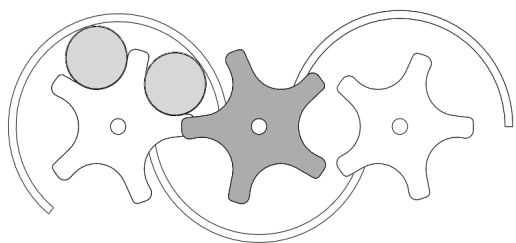


图4 五齿交接

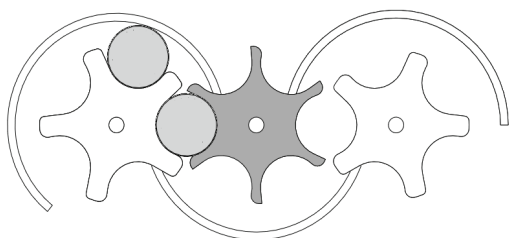


图5 六齿交接

3.2 仿真模型与结果分析

确定拨弹轮在设计输入时的4个主要参数条件：拨弹轮与前后供输单元间中心距；拨弹轮分度圆半径；拨弹轮齿数；炮弹导引半径。根据实际的布局情况，在中心距、分度圆半径、导引半径一定的条件下，主要分析拨弹轮在不同齿数（四齿、五齿、六齿）情况下，对炮弹运动速度以及冲击力性能的影响情况。

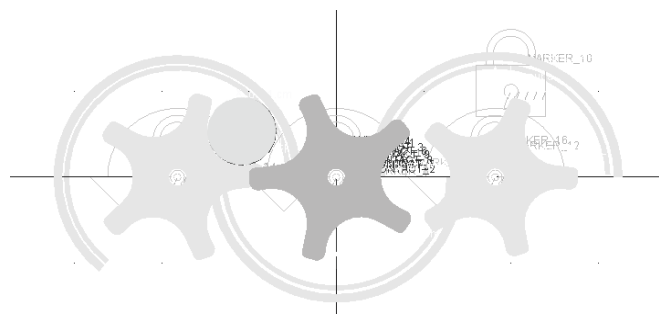


图6 供弹交接单元仿真模型

在三维软件中，将建立的模型简化后保存为 $x-t$ 的格式，再导入到机械动力学仿真软件 ADAMS 中^[8-9]。建立炮弹交接单元参数化仿真模型，保证3个拨弹轮的中心距一致，炮弹处于左拨弹轮与中间

拨弹轮正常交接的初始位置，炮弹沿着导轨完成从左拨弹轮到右拨弹轮的交接运动过程，供弹交接单元仿真模型如图6所示。再定义各个构件的材料特性以及构件之间的运动约束关系，其中拨弹轮、导引和炮弹之间均为碰撞接触。

在该自动机供弹速度3 000发/min的速度下，经动力学仿真计算，得到在不同拨弹轮齿数情况下，炮弹在交接过程中的速度变化曲线，如图7~图9所示。从图中可以看出：在拨弹轮分度圆半径一定的情况下，当中间拨弹轮与左右两拨弹轮的齿数相同时，炮弹的速度过渡更平稳，波动范围很小，基本上保持在一个恒定的数值，只有在刚开始进入中间拨弹轮和右侧拨弹轮的时刻有周期性的上下跳动。这是由于炮弹刚与拨弹轮接触时会出现的波动，在允许的范围内，对炮弹速度的平稳性影响不大；而在四齿和六齿拨弹轮的情况下，由于需考虑左右侧与中间拨弹轮速度匹配的问题，从而会使拨弹轮的转速不一样，彼此之间存在一定关系的转速比，因而会影响炮弹在不同拨弹轮单元间的速度^[10]。

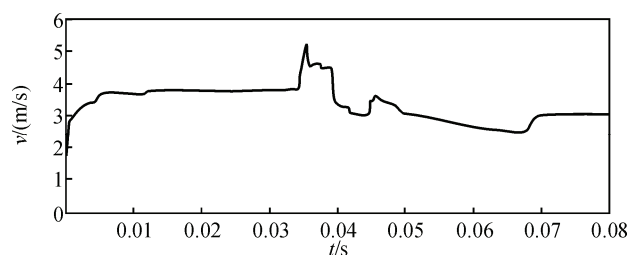


图7 四齿拨弹轮炮弹速度变化曲线

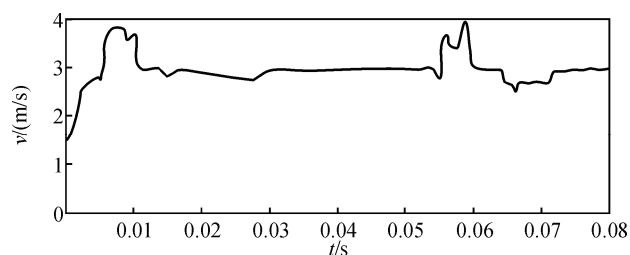


图8 五齿拨弹轮炮弹速度变化曲线

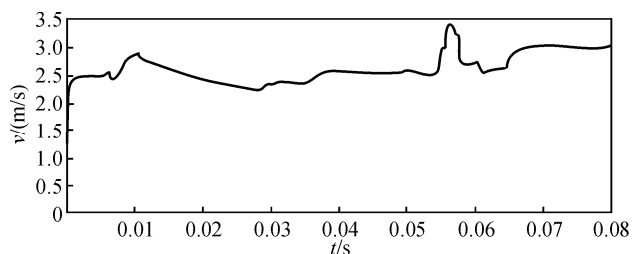


图9 六齿拨弹轮炮弹速度变化曲线

在五齿拨弹轮不同供弹速度的情况下，拨弹轮转速分别在1 000、2 000和3 000 r/min的条件下，分析炮弹与拨弹轮间碰撞力的变化情况。图10~图

18 描述了供弹机在不同转速下与炮弹之间的碰撞情况，在炮弹刚与拨弹轮接触时产生剧烈的碰撞，且交接初始时刻的碰撞力最大。在 1 000 r/min 的供弹速度下，拨弹轮与炮弹间的碰撞力最大值为 4 890 N；在 2 000 r/min 的供弹速度下，拨弹轮与炮弹间的碰撞力最大值为 12 646 N；在 3 000 r/min 的供弹速度下，拨弹轮与炮弹间的碰撞力最大值为 21 202 N。而拨弹轮与炮弹间碰撞力的大小，会直接影响到整个供弹机构的强度以及供弹过程中炮弹的安全可靠性。同时，在不同转速情况下，从几组碰撞力曲线的对比可以看出：随着供弹系统供弹速度的不断提高，炮弹与拨弹轮间的碰撞力明显增大。

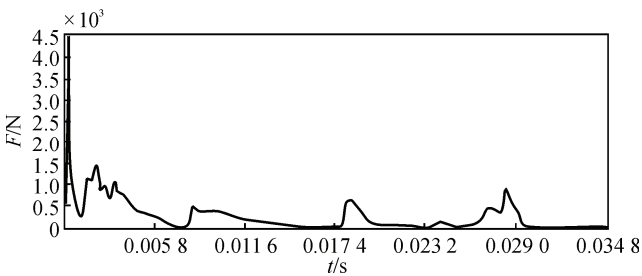


图 10 1 000 发/min 左拨弹轮与炮弹碰撞力

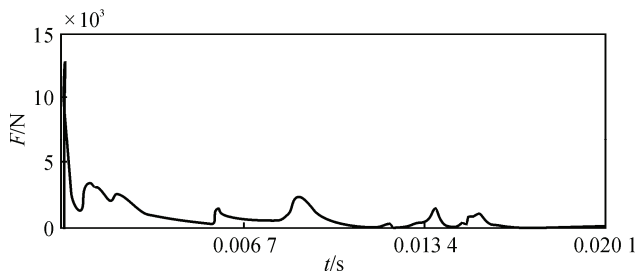


图 11 2 000 发/min 左拨弹轮与炮弹碰撞力

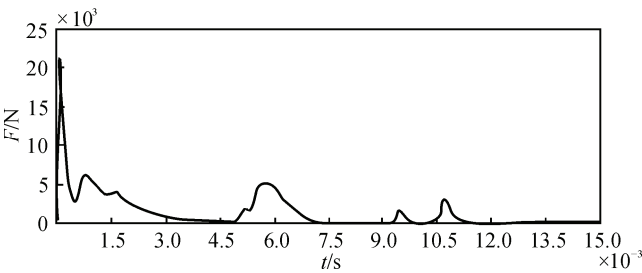


图 12 3 000 发/min 左拨弹轮与炮弹碰撞力

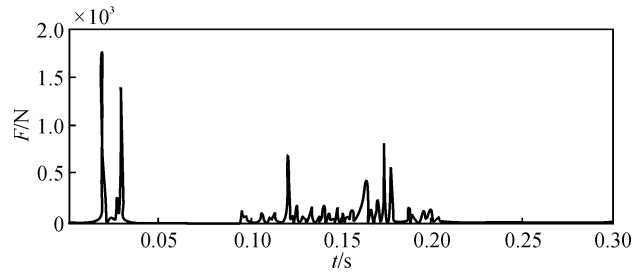


图 13 1 000 发/min 中间拨弹轮与炮弹碰撞力

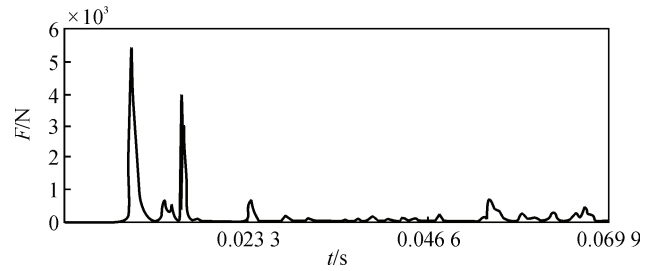


图 14 2 000 发/min 中间拨弹轮与炮弹碰撞力

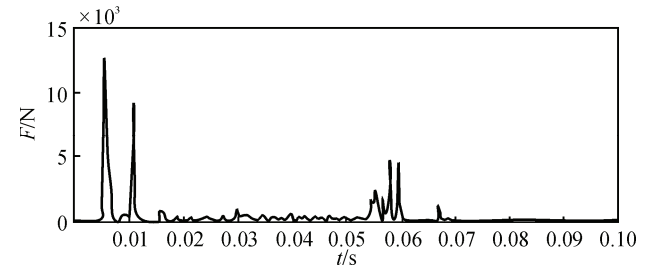


图 15 3 000 发/min 中间拨弹轮与炮弹碰撞力

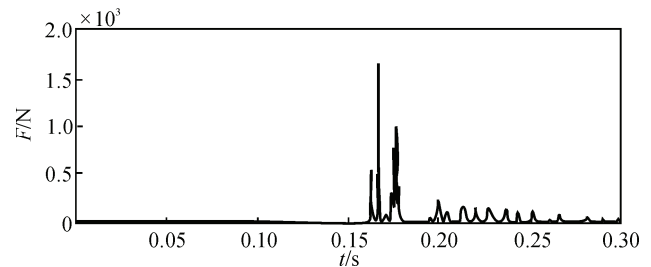


图 16 1 000 发/min 右拨弹轮与炮弹碰撞力

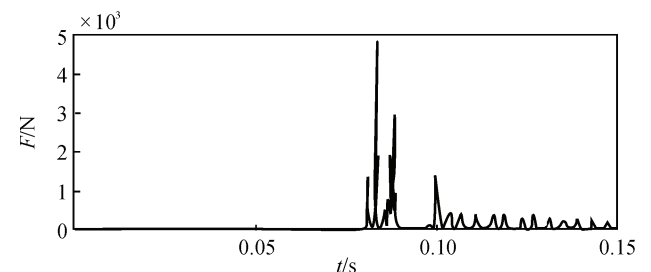


图 17 2 000 发/min 右拨弹轮与炮弹碰撞力

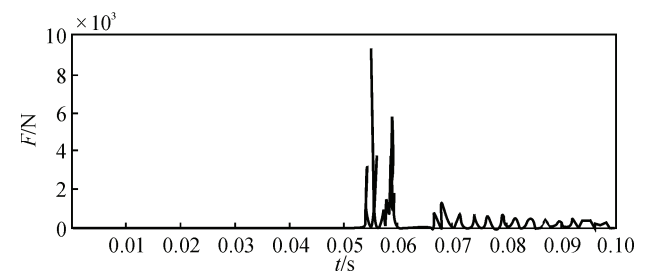


图 18 3 000 发/min 右拨弹轮与炮弹碰撞力

4 结论

笔者对无链供弹装置中炮弹在不同单元的交接运动过程进行了仿真研究，获得了炮弹在不同拨弹轮齿数情况下的速度曲线图，并以五齿拨弹轮为例，分析了炮弹在不同供弹速度下与拨弹轮之间接触力的大小。