

doi: 10.7690/bgzd.2019.03.016

弹鼓供弹装置的驱动及传动交接分析

张 斌¹, 戴劲松¹, 王茂森¹, 孙 悦²

(1. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094; 2. 江苏大学土木工程与力学学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 为提高火炮的供弹能力, 对弹鼓供弹的驱动特性及其传动交接特性进行研究。在借鉴现有国内外供弹系统的基础上, 以某外鼓驱动供弹装置为对象, 建立弹鼓供弹模型。进行转动惯量的计算, 根据设计的运动规律计算启动弹鼓所需的驱动力矩, 在理论分析的基础上, 对弹鼓模型进行仿真分析, 选取其中的 5 发弹做了交接特性研究。仿真结果表明, 该研究可为相关设计提供参考依据。

关键词: 机械工程; 弹鼓供弹; 驱动; 传动交接

中图分类号: TJ302 **文献标志码:** A

Analysis of Driving and Connecting Characteristics of a Cannon Drum Feeding Device

Zhang Bin¹, Dai Jinsong¹, Wang Maoseng¹, Sun Yue²

(1. College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China; 2. Faculty of Civil Engineering & Mechanics, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: For improving the ammunition feeding ability, study the driving characteristic of the cannon drum shell-feeding device and its transfer characteristic. On the basis of the study of existing domestic and international feeding device, a feeding model is established for exterior cannon drum feeding device. Carry out rotating inertia calculation, and calculate the driving torque according to design movement principle. Based on theory analysis, carry out simulation analysis on cannon drum feeding, and select 5 bullets for transfer research. The simulation results show that the research can provide related design for reference.

Keywords: mechanical; cannon drum feeding; driving; transmission transfer

0 引言

火炮的供弹装置设计比较复杂, 既要考虑自身结构的紧凑性, 又要考虑与自动机的匹配。目前, 国内外研究人员对供弹装置研究主要集中在弹鼓式无链供弹和弹箱式无链供弹^[1]。现阶段弹鼓供弹装置的储弹数量有限, 因此, 研究新型的弹鼓供弹装置将有很重要的意义。

刘杰等研究了弹鼓的传动系统并对其做了受力分析^[2]; 王杰等对弹鼓式供弹系统的隔板进行了拓扑优化研究^[3]。笔者以某外鼓驱动供弹装置为研究对象。该装置储弹数多, 能够为自动机连续快速供弹, 与现有的弹鼓供弹结构有较大的区别。由于该装置采用外鼓驱动且储弹量大, 需要对其驱动特性和弹的交接特性进行分析。笔者运用虚拟样机技术建立该装置的虚拟样机模型, 分析弹的交接特性^[4]。

1 弹鼓供弹模型的建立

1.1 3 维模型的建立

弹鼓供弹机构由外弹鼓、单螺旋叶片、双环型

节片导引、锥齿轮传动机构和规整装置组成。该供弹系统的整体原理如 1 所示。运用 3 维建模软件, 建立弹鼓和传动交接机构的 3 维模型, 并进行装配。图 2 为装配完的整体模型。

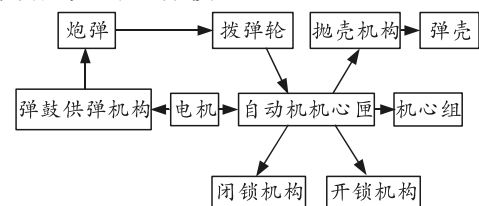


图 1 弹鼓供弹系统原理

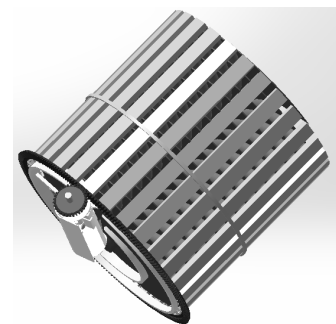


图 2 装配完的弹鼓整体模型

收稿日期: 2018-10-27; 修回日期: 2018-12-08

作者简介: 张 斌(1993—), 男, 江苏人, 硕士, 从事从事机械工程、机电一体化、机械设计研究。

1.2 部分结构参数的设计

在综合考虑外弹鼓轴向尺寸和容弹量之间的矛盾关系后,采用外弹鼓装载 392 发炮弹的设计,外弹鼓一周由 28 个容弹具组成,每个容弹具轴向分布 14 发弹。内部螺旋叶片与外弹鼓同轴分布,模型如图 1。外弹鼓与左侧拨弹交接机构通过一对锥齿轮连接,模型如图 2。为保证弹能顺利地交接到直线传输单元上,设计了双环型节片导引和规整装置,模型如图 3 和图 4。部分结构相关参数如表 1。

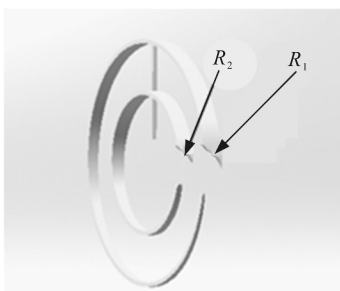


图 3 双环型节片导引模型

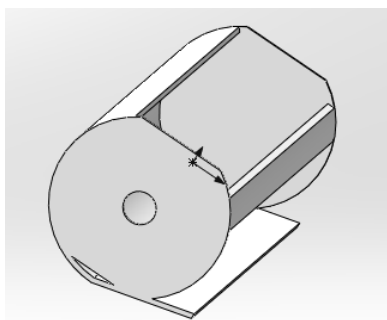


图 4 规整装置模型

表 1 部分结构相关参数

| 参数 | 参数值 |
|--------------------------------|------|
| 锥齿轮传动比 I | 7 |
| 环型节片导引上端开口圆弧半径 R_1/mm | 82.5 |
| 环型节片导引下端开口圆弧半径 R_2/mm | 65 |
| 螺旋叶片螺距 P/mm | 63 |
| 叶片端面直径 Φ/mm | 860 |
| 规整装置开口宽度 W_2/mm | 100 |
| 规整装置外侧圆弧半径 D/mm | 81.5 |

表中的锥齿轮传动比是根据理论力学运动学:绝对速度=相对速度+牵连速度^[5],为保证弹能连续交接到拨弹轮的各个齿上(不存在某个齿上没弹),可得该对锥齿轮传动比为 28:4=7。根据实际需要得到其他参数,为进行虚拟样机仿真提供基础。

2 外弹鼓驱动特性分析

2.1 弹鼓回转部分转动惯量的计算

刚体对转动轴的转动惯量等于刚体内各质点的质量和它到回转轴距离平方乘积的总和^[6],即

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = \int_M r^2 dm \quad (1)$$

式中 m 为积分范围遍及刚体的全部质量。

组合物体对某一转动轴的转动惯量等于该组合物体各物体对该轴转动惯量的和^[2],即

$$J = J_1 + J_2 + \dots + J_n \quad (2)$$

物体对某一轴的转动惯量可在 3 维软件中测量得到。它可对单个零件或装配体相对于自身重心坐标或某一输出坐标下各轴的转动惯量进行测量计算。该模型是测量各组合体对 Y 转动轴的转动惯量,测量结果是:外弹鼓对转动轴的转动惯量为 $33.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$,炮弹对转动轴的转动惯量为 $0.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 。那么外弹鼓装满弹时回转部分的转动惯量为

$$J = 33.1 + 0.2 \times 392 = 111.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad (3)$$

2.2 弹鼓回转部分驱动力矩的计算

该弹鼓供弹装置是为某 2 800 发/min 的自动机供输弹,射击时供弹动力来源于自动机的交流伺服电机;因此,弹鼓的供弹频率与自动机的射速一致^[7]。弹鼓一周排放 28 发弹,可推算出该弹鼓的稳定转速为 100 r/min。

根据图 5 弹鼓的设计运动规律可知:弹鼓的启动加速时间为 0.5 s,稳定转速为 $600 \text{ (}^\circ\text{)/s}$,则加速阶段弹鼓的角加速度为

$$\alpha = \omega / t = 600 \times \frac{\pi}{180} / 0.5 = \frac{20\pi}{3} \text{ rad/s}^2 \quad (4)$$

根据式(3)算出转动惯量,加速时回转部分所需的驱动力矩为

$$T_\alpha = J \times \alpha = 111.5 \times \frac{20\pi}{3} = 2335 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (5)$$

最终回转部分所需的最大驱动力矩为 $2335 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。若选择电机主轴到弹鼓外围齿圈的传动比为 40,则该电机的最大启动力矩约为 $58 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。为了适当降低电机启动力矩,在设计可以引入气缸辅助驱动的方法。

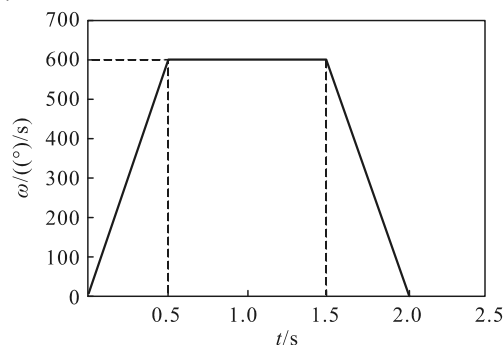


图 5 弹鼓设计的运动规律

3 弹鼓回转及传动交接动态仿真

由于该弹鼓供弹装置特殊的结构与工作条件，在理论分析的基础上，需要建立虚拟样机仿真其实际工作情况^[8]。出于简化考虑，弹鼓中先排放一圈即 28 发弹。

3.1 虚拟样机模型的建立

动态仿真的虚拟样机模型如图 6 所示。

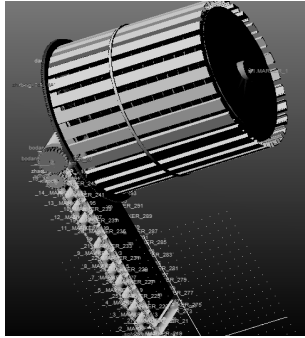


图 6 虚拟样机模型

在该虚拟样机模型中：螺旋叶片、拨弹轮轴、双环环节片导引、规整装置以及挡板均与大地之间由固定副连接；拨弹轮和拨弹轮轴、小锥齿轮和拨弹轮轴、大锥齿轮和弹鼓、弹托和弹带之间均由固定副连接；弹和弹鼓、螺旋叶片、双环环节片导引、规整装置、拨弹轮、弹托、挡板之间直接添加的是接触。根据 Hertz 弹性接触理论，文中碰撞力参数选取：刚度系数均为 1×10^5 N/m，最大穿透深度均为 0.1 mm，力指数均为 2.2。

考虑到启动阶段工况的恶劣性，仿真中直接给弹鼓添加 100 r/min 的恒定转速，研究弹在各单元中的交接特性。

3.2 仿真结果分析

由于该机构是将弹鼓内每圈的弹挤出去从而交接弹托上，因此需要针对第一圈 28 发弹的交接情况做分析。笔者主要选取第 1 发、第 2 发、第 14 发、第 21 发和第 28 发弹作为研究对象进行分析。

第 1 发弹和第 2 发弹 Y 方向的位移和速度的仿真结果如图 7、图 8 所示。

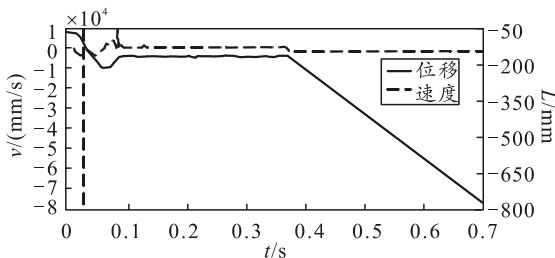


图 7 第 1 发弹仿真结果

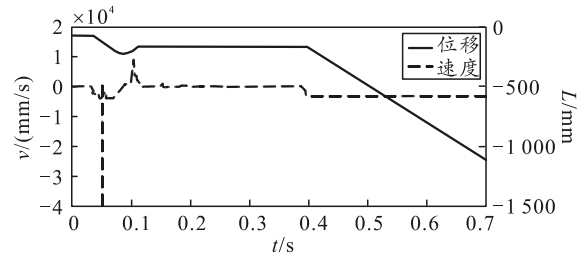


图 8 第 2 发弹仿真结果

从图 7 中可看出：由于一开始运动弹与螺旋叶片之间有距离，所以第 1 发弹刚开始速度为 0，位移也保持在 -68 mm 左右；随后弹开始挤出弹鼓并交接拨弹轮上，可以看出速度在交接过程中有明显波动，位移沿 Y 负方向下降随后又上升；在约 0.098 3 s 时，弹已经成功交接输弹直线单元，弹的位移和速度都保持不变。从图 8 中可看出，第 2 发弹在 0.1197 s 左右成功交接输弹直线单元上。第 1 发弹与第 2 发弹的交接间隔时间为 0.021 4 s。通过前两发弹的分析，可推算出第 14 发弹、第 21 发弹和第 28 发弹的交接时间分别为 0.376 5、0.526 3 和 0.676 1 s。

第 14 发弹、第 21 发弹和第 28 发弹 Y 方向的位移和速度的仿真结果如图 9—11 所示。

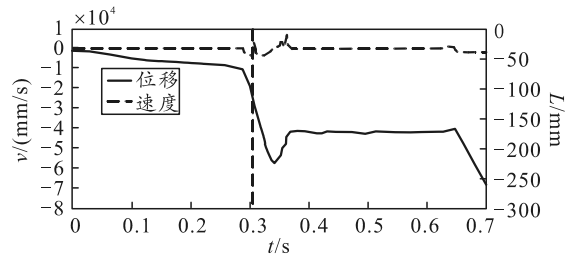


图 9 第 14 发弹仿真结果

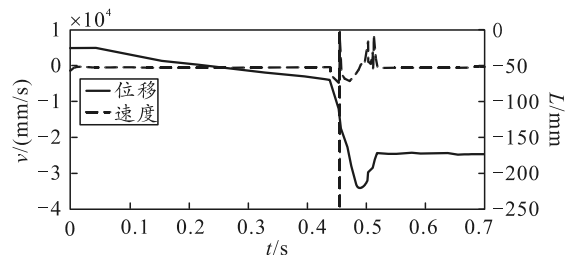


图 10 第 21 发弹仿真结果

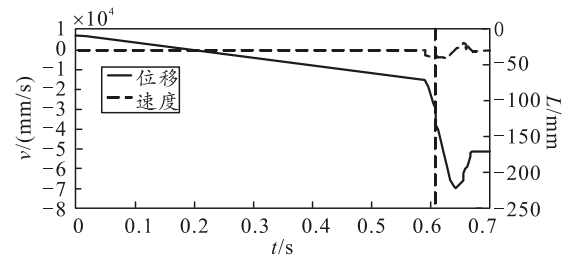


图 11 第 28 发弹仿真结果

5 结论

笔者设计了一种半圆形腿的六足机器人，对该机器人爬楼梯的四足步态进行步态规划和运动建模，并通过 ADAMS 进行仿真实验。实验结果证明了六足机器人结构设计的合理性、运动分析的准确性和爬楼梯的四足步态的可行性，为进一步研制物理样机和爬楼的控制算法提供了理论依据。

参考文献：

- [1] HERBERT S D, DRENNER A, PAPANIKOLOPOULOS N. Loper: A quadruped-hybrid stair climbing robot[Z]. 2008: 799-804.
- [2] MOORE E Z, CAMPBELL D, GRIMMINGER F, et al. Reliable stair climbing in the simple hexapod 'RHex'[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA. IEEE, 2002: 2222-2227.
- [3] VU Q H, KIM B S, SONG J B. Autonomous stair climbing algorithm for a small four-tracked robot[C]//

(上接第 70 页)

从图 9—图 11 可看出：第 14、21、28 发弹的运动规律与前两发弹类似，对应的速度和位移在不同时刻都出现了较大的变化，随后又恢复平稳，表明各发弹均成功完成交接。各发弹分别在 0.381 1、0.530 5 和 0.682 3 s 进行交接。

后 3 发弹进行交接的仿真结果与通过前两发弹推算得到的交接时间数据对比如表 2 所示。

表 2 仿真结果与推算结果的时间对比 s

| 类别 | 第 <i>i</i> 发弹 | | |
|--------|---------------|---------|---------|
| | 14 | 21 | 28 |
| 仿真 | 0.381 1 | 0.530 5 | 0.682 3 |
| 理论推算 | 0.376 5 | 0.526 3 | 0.676 1 |
| 误差分析/% | 0.46 | 0.79 | 0.92 |

从表中可看出：各发弹理论推算的交接时间均低于仿真值，这是由于仿真时弹跟中间构件会存在碰撞和摩擦，从而使弹的交接时间偏大了，但是仿真值与理论推算值之间的误差均小于 1%。等到弹鼓转到第 2 圈时，第 2 圈的第一发弹又回到了第 1 圈的第一发弹的位置（即每转一圈弹的交接误差就会消除）。

4 结论

笔者对弹鼓供弹装置回转部分的驱动特性进行研究，得出驱动回转部分的最大驱动力矩约为 2 335 N·m；接着对弹鼓供弹装置在恒速状态下，炮弹从

International Conference on Control, Automation and Systems. IEEE, 2008: 2356-2360.

- [4] 乔凤斌, 杨汝清. 六轮移动机器人爬楼梯能力分析[J]. 机器人, 2004, 26(4): 301-305.
- [5] 朱坚民, 李付才, 李海伟, 等. 轮腿式爬楼梯移动机器人的设计及运动特性分析[J]. 中国机械工程, 2013, 24(20): 2722-2730.
- [6] 谭兴军. 偏心轮腿六足机器人设计与分析[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 1-65.
- [7] 陈兴芳. 预顺腿仿生六足机器人控制系统的设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2011: 1-59.
- [8] 于常娟, 张明路, 李满宏. 六足仿生机器人步态规划与足端可达空间分析[J]. 机械设计与研究, 2014, 30(5): 53-55.
- [9] 孔子文, 张世武, 许昱. 六足机器人爬楼梯步态规划[J]. 机械与电子, 2014(9): 77-80.
- [10] 康玉辉. 基于虚拟样机技术的六轮腿移动机器人研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007: 1-60.

弹鼓到直线供弹单元的交接运动进行了仿真，得到了弹在不同时间的速度和位移曲线图。结果表明：28 发弹都能成功地交接到直线供弹单元上，并且总的交接误差不超过 1%；因此，在满载状态下，该弹鼓供弹装置能保证 392 发弹的交接过程平稳安全。该研究为后续电机选型和多数量弹的成功交接提供了一定的参考依据。

参考文献：

- [1] 戴劲松, 姜铁牛, 王茂森, 等. 现代小口径自动炮设计理论与方法[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2011: 399.
- [2] 刘杰, 李慧, 李强. 弹鼓传动系统设计及其受力分析[J]. 机械传动, 2015, 39(2): 67-69, 83.
- [3] 王杰, 续彦芳, 毛虎平. 弹鼓式供弹系统隔板的拓扑优化研究[J]. 机械管理开发, 2014, 29(1): 58-60.
- [4] 刘志桐, 戴劲松, 王茂森. 无链供弹装置交接误差分析[J]. 兵工自动化, 2017, 36(4): 85-88.
- [5] 张克猛, 张义忠. 理论力学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2016: 70-71.
- [6] 濮良贵, 陈国定, 吴国立. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 322.
- [7] 张相炎. 火炮自动机设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010: 411-412.
- [8] DEAN C K, DONALD L M, RONALD C R. 系统动力学—机电系统的建模与仿真[M]. 4 版. 刘玉庆, 译. 北京: 国防工业出版社, 2006: 36-37.