

doi: 10.7690/bgzd.2023.12.002

一种立式弹丸回转自动弹仓设计

王玉浩¹, 高跃飞¹, 余牟杨¹, 李保在²

(1. 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2. 山西北方机械制造责任有限公司机电设备分公司, 太原 030009)

摘要: 针对链式回转弹仓的链式回转结构存在多边形效应比较突出的问题, 设计一种立式弹丸回转机构的自动弹仓。采用多个链节对应一个储弹筒的方式, 减小输送链所用链节的节距, 进而减小回转弹仓的多边形效应及动载荷, 提高弹丸传送的平稳性和准确性; 在低速转动和高速转动 2 种不同情况下, 对立式弹丸回转弹仓传送一发弹丸的运动过程进行动力学仿真。结果表明: 弹丸横向运动误差小, 纵向跳动量小, 满足运动平稳、传输可靠的要求。

关键词: 弹药自动装填系统; 回转弹仓; 多边形效应; 动载荷

中图分类号: TJ30 **文献标志码:** A

Design of an Automatic Rotary Magazine for Vertical Projectile

Wang Yuhao¹, Gao Yuefei¹, She Muyang¹, Li Baozai²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Electromechanical Equipment Branch, Shanxi North Machine-building Co., Ltd., Taiyuan 030009, China)

Abstract: In order to solve the problem of polygon effect in the chain rotating structure of chain rotating magazine, a rotary automatic magazine with the projectile vertical placed is designed. The method of multiple chain links corresponding to one ammunition storage cylinder is adopted to reduce the pitch of the chain links used in the conveying chain, so as to reduce the polygon effect and dynamic load of the rotating magazine and improve the stability and accuracy of projectile transmission; Under two different conditions of low-speed rotation and high-speed rotation, the dynamic simulation of the movement process of a round of projectile conveyed by the vertical projectile rotating magazine is carried out. The results show that the lateral motion error of the projectile is small, and the longitudinal runout is small, which meets the requirements of stable motion and reliable transmission.

Keywords: automatic ammunition loading system; rotating magazine; polygon effect; dynamic load

0 引言

弹药自动装填系统对于火炮武器系统自动化的实现尤为重要^[1], 大口径火炮杀伤力大、射程远, 使其在常规武器中占有重要席位^[2]。由于其弹药具有质量重、体积大等特点, 不便于人工装填, 因而更需要弹药自动装填系统。

从 20 世纪 50 年代开始, 弹药自动装填系统开始应用于大口径火炮中^[3]。彭青^[4]针对链式回转弹仓啮合冲击力大、转动不平稳等缺点, 从链轮结构和控制系统 2 方面进行了改进。魏继卿等^[5]通过改进导轨设计和改变链轮连接方式, 有效减小了弹仓回转所受冲击。王月桐等^[6]针对大口径迫击炮自动装填系统的功能和需求, 设计一种传动性能较好的齿形链式回转弹仓。目前, 大口径火炮多采用链式自动回转弹仓进行存储和供弹, 其回转机构采用一个链节载一个储弹筒的方式。这种回转机构工作时, 链传动的多边形效应及动载荷会增大, 导致弹仓回

转运动具有明显的不稳定现象, 对弹丸传送的平稳性和准确性影响较大。笔者设计一种立式弹丸回转的自动弹仓, 采用多个链节对应一个储弹筒的方式, 可有效减小多边形效应及动载荷, 使弹丸传送运动平稳、准确性高, 适应于大口径火炮弹药的自动装填。

1 立式弹丸回转弹仓结构设计

笔者设计的立式弹丸回转弹仓如图 1 所示。

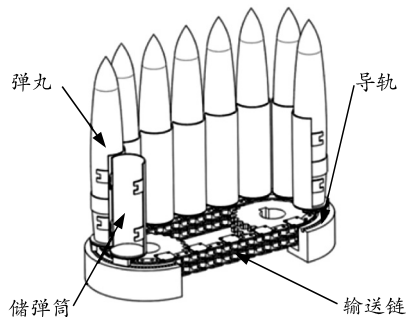


图 1 立式弹丸回转弹仓

收稿日期: 2023-08-08; 修回日期: 2023-09-05

第一作者: 王玉浩(1996—), 男, 山东人, 硕士。

1.1 弹药立式弹丸回转弹仓组成

立式弹丸回转弹仓主要由输送链、储弹筒、弹丸和导轨等部分组成。

1) 输送链由主动链轮、从动链轮、内链节、外链节、外链节副板等组成(如图 2 所示)。通过结合弹仓安装的空间尺寸、载弹数量的要求及具体弹丸直径大小等实际情况来确定所用链节的节距及数量。根据实际情况在外链节上合理布置外链节副板,用来搭载弹筒,从而实现多个链节对应一个储弹筒。

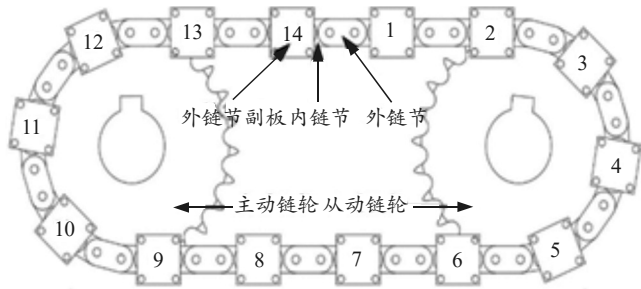


图 2 输送链

2) 储弹筒是一个半圆形筒体,安装在外链节副板上,用来放置弹丸。储弹筒上布置有 2 组柔性夹,用来固定弹丸,保证弹丸随储弹筒做回转运动。储弹筒的下端支撑在导轨滑槽内的钢球上,使输送链在回转时不受弹丸和储弹筒等重力的影响。

3) 导轨布置在储弹筒的下方,为储弹筒提供支撑。在导轨滑槽内安装钢球,导轨按照储弹筒下方支撑块的回转路径进行设置,如图 3 所示。

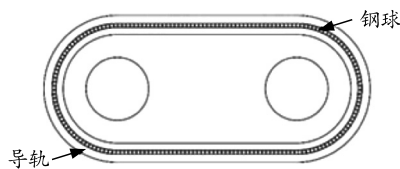


图 3 导轨

4) 立式弹丸回转弹仓的取弹方式:立式弹丸回转弹仓可利用机械手来完成取弹动作(如图 4 所示)。机械手可以沿着导轨运动,完成抓取弹丸、升降、伸缩、转向及放置弹丸等动作,进而将弹丸从立式弹丸回转弹仓的取弹位置处取出,并将弹丸送至传送装置,完成取弹动作。

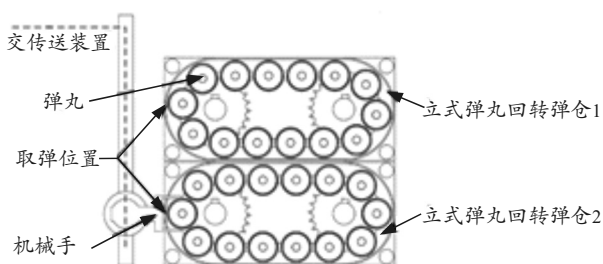


图 4 取弹方式

1.2 立式弹丸回转弹仓的特点

1.2.1 结构紧凑,便于安装

大口径火炮所用的弹药口径较大,使得卧式弹丸回转弹仓所用链节的节距增大,导致其径向尺寸增加。笔者设计的立式弹丸回转弹仓,使用多个链节来对应一个储弹筒,可以减小所用链节的节距,有利于增加链轮齿数,减小链轮尺寸(链轮分度圆直径计算公式: $d=p/\sin(180^\circ/Z)$,其中 p 为节距; Z 为齿数),节省空间。在径向方向上减小了设计尺寸,使结构更加紧凑,空间利用率高。

在安装方面,立式弹丸回转弹仓安装比较轻便,可直接通过将立式弹丸回转弹仓的底板与弹仓载体固定的方式进行安装,并且可根据弹仓载体的实际空间尺寸情况来合理布置立式弹丸回转弹仓的数量。

1.2.2 弹丸输送的稳定性和准确性好

对于大口径火炮弹药自动装填系统,以往回转弹仓一个链节搭载一个储弹筒的布置,导致链传动的多边形效应和动载荷较大,使得回转弹仓工作时振动和磨损加剧,传力不平稳,进而影响弹药自动装填系统的工作性能。相对于此,笔者设计的立式弹丸回转弹仓在传送弹丸时的多边形效应及动载荷大为减小,运动稳定性和传送准确性方面将有较大优势。

2 立式弹丸回转弹仓运动分析

链传动中,当链条的主动链轮以定角速度转动时,从动链轮的转速以及链条的速度均不恒定,而是呈现出周期性变化^[7-9],链传动的速度分析如图 5 所示。

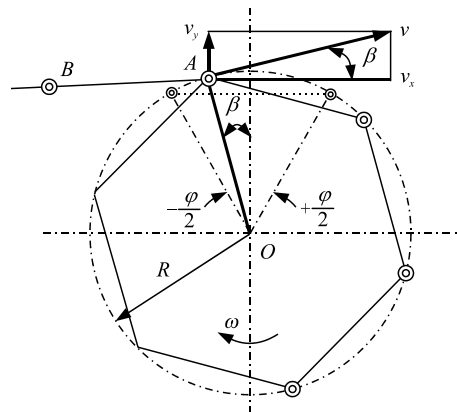


图 5 链传动的速度分析

铰链 A 的线速度为:

$$v=R\omega. \tag{1}$$

其方向垂直于 OA 连线, 与链条直线运动方向的夹角为 β 。

铰链 A 实际用于牵引链条直线运动的速度为:

$$v_x = v \cos \beta = R \omega \cos \beta \quad (2)$$

式中: R 为主动链轮分度圆半径; ω 为角速度。

因为在链条的运动过程中, β 不断改变, 所以链条运动速度也会产生变化。

链的水平速度为:

$$v_x = R \omega \cos \beta$$

则其水平加速度为:

$$a_x = -R \omega^2 \sin \beta \quad (3)$$

同理可得链的垂直方向加速度为:

$$a_y = -R \omega^2 \cos \beta \quad (4)$$

由于 β 呈周期性变化, 因而会导致链上下振动。由分度圆直径计算公式可知:

$$R = p / 2 \sin(180^\circ / Z) \quad (5)$$

式中: p 为节距; Z 为齿数。

由此可见, 适当减小节距, 增加齿数可有效减小链传动的多边形效应及动载荷。

回转弹仓在工作时需准确地将弹丸运送至取弹位置, 多边形效应和动载荷将对其传动的准确性、平稳性造成影响^[10]。大口径火炮因其弹丸直径大, 原来链传动结构所用节距随之增大, 使这一不良影响更为加剧。立式弹丸回转弹仓利用外链节副板来辅助载弹(如图 6 所示), 由多个链节的节距长度对应一个储弹筒, 可以减小轮齿节距, 增加轮齿齿数, 有效地减小了输送链运动的多边形效应及动载荷, 提高了弹丸传送的准确性和平稳性。

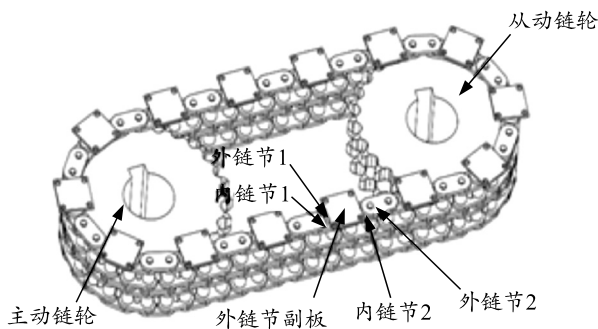


图 6 链传动结构

3 立式弹丸回转弹仓动力学仿真

3.1 模型建立

笔者利用 SolidWorks 软件完成立式弹丸回转弹仓的弹丸、储弹筒、输送链、底板导轨等各个构件实体模型的建立, 并对其进行装配。通过干涉检查, 确保输送链没有干涉。

3.2 模型简化

模型导入到 ADAMS 后, 将零件定义为刚体, 由于过多的实体在仿真过程中难以处理, 因此对模型进行如下简化^[11]:

1) 合并构件, 忽略质量较小, 且对整体仿真影响不大的细小非关键零部件, 如安装在储弹筒上起固定弹丸作用的柔性夹。

2) 立式弹丸回转弹仓的各构件均视为刚体, 忽略弹性变形对运动的影响。

3) 不考虑电机等一些传动装置对仿真的影响, 而是将转化后的加速度曲线直接施加到主动链轮轴上。

4) 考虑到弹仓载体角度变化的问题, 弹仓载体水平放置, 并将立式弹丸回转弹仓的底板与弹仓载体固定。

5) 在仿真模型中去掉底板导轨滑槽中的钢球, 简化模型, 改为在 ADAMS 中添加储弹筒下方支撑块与导轨滑槽间的接触, 并赋予适当的摩擦参数。

3.3 添加约束与碰撞接触

将模型导入到 ADAMS 后, 首先对立式弹丸回转弹仓的各构件进行编辑操作, 定义构件之间的约束关系和构件的材料属性。此外, 为对立式弹丸回转弹仓的真实运动情况进行模拟, 需参照立式弹丸回转弹仓各构件间的相互运动情况, 在各个构件间添加恰当的运动副进行约束。所添加的约束主要如下:

1) 在弹丸与储弹筒间添加固定副约束。
2) 在储弹筒与外链节副板间添加固定副约束。
3) 在外链节与外链节副板间添加固定副约束。
4) 在输送链的内外链节间添加约束, 如果只添加旋转副, 则检查模型时会有冗余约束, 可将其中 2 个旋转副改为圆柱副和球铰副^[12]。

5) 主、从动链轮与主、从动链轮轴间添加固定副。

6) 在主动链轮轴与底板、从动链轮轴与底板间添加旋转副约束。

7) 在底板与弹仓载体(这里为 ground)间添加固定副约束。

8) 定义链轮与链节间的接触, 采用冲击函数法 (Impact), 选用有润滑的钢与钢之间的接触参数和摩擦参数^[13-15], 其主要参数接触刚度为 100 000、指数为 1.5、阻尼系数为 50、切入深度为 0.1。摩擦力计算方法采用库伦法, 静摩擦系数为 0.12、动摩

擦系数为 0.1、静临界速度值为 0.1、动临界速度值为 10。

9) 定义储弹筒下方支撑块与底板导轨滑槽间的接触, 摩擦力的计算方法采用库伦法 (Coulomb), 摩擦参数采用钢对钢的滚动摩擦参数。

3.4 仿真设置

笔者设计的立式弹丸回转弹仓的输送链所用的链轮齿数为 25 齿, 采用 4 个链节对应一个储弹筒, 链轮每转动 57.6° 可带动一发弹丸至取弹位置处, 对立式弹丸回转弹仓在低速转动和高速转动 2 种不同情况进行仿真分析。其中, 低速转动情况为 $0\sim 0.2$ s 启动, $0.2\sim 0.8$ s 匀速, $0.8\sim 1$ s 制动, 匀速时的角速度为 0.4π (rad/s); 高速转动情况为 $0\sim 0.02$ s 启动, $0.02\sim 0.08$ s 匀速, $0.08\sim 0.1$ s 制动, 匀速时的角速度为 0.4π (rad/s)。

将仿真时间分别设置为 1 和 0.1 s, 在主动链轮轴与底板间的旋转运动副上添加旋转驱动, 对旋转驱动进行编辑, 利用 IF 函数定义加速度来进行驱动。

3.5 仿真计算及结果

通过对立式弹丸回转弹仓在低速转动和高速转动 2 种不同情况转动一发弹丸的运动过程进行仿真, 得到立式弹丸回转弹仓工作时弹丸质心的横向位移及纵向跳动的情况, 如图 7—10 所示。

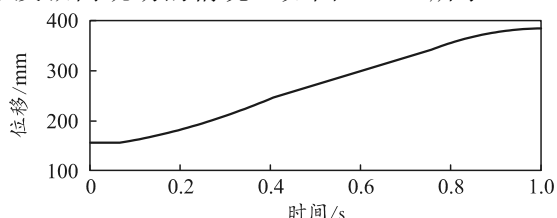


图 7 低速转动时弹丸 1 质心横向位移曲线

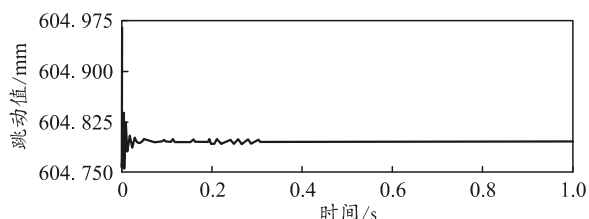


图 8 低速转动时弹丸 1 质心纵向跳动曲线

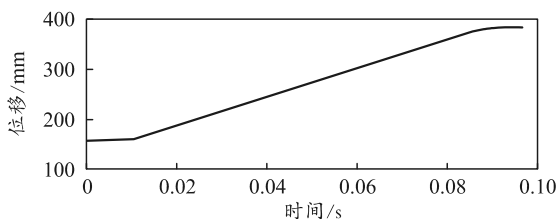


图 9 高速转动时弹丸 1 质心横向位移曲线

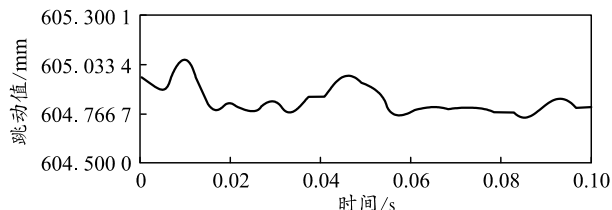


图 10 高速转动时弹丸 1 质心纵向跳动曲线

3.5.1 低速转动情况

通过仿真计算, 立式弹丸回转弹仓低速转动时, 弹丸横向运动了 228.649 mm, 相距一个弹距, 误差仅为 0.552 mm, 即相对误差为 0.24%, 满足传输要求, 最大跳动量为 0.214 mm, 传输过程较为平稳。

3.5.2 高速转动情况

通过仿真计算, 立式弹丸回转弹仓高速转动时, 弹丸横向运动了 229.628 mm, 相距一个弹距, 误差仅为 0.427 mm, 即相对误差为 0.19%, 满足传输要求, 纵向跳动量变化较低速转动时更为明显, 但其最大跳动量仅为 0.323 mm。

信义兵等^[16]对以往回转结构的某链式回转弹仓运动过程进行仿真分析, 其弹丸横向运动误差为 1%, 最大跳动量为 1.76 mm, 笔者设计的立式弹丸回转弹仓, 在弹径比其大的前提下, 将弹丸横向运动误差降低为 0.24%, 将最大跳动量降低为 0.323 mm, 明显提高了回转弹仓弹丸传送精度和运动稳定性。

4 结束语

笔者对回转弹仓进行优化设计, 利用多个链节对应一个储弹筒的方式, 减小输送链所用链节的节距, 起到减小多边形效应及动载荷的作用, 保证传动过程的准确性、平稳性。对立式弹丸回转弹仓低速转动与高速转动 2 种不同情况进行仿真, 结果显示: 立式弹丸回转弹仓传动相对误差小, 仅为 0.24%, 满足传输要求, 纵向跳动量小, 最大跳动量仅为 0.323 mm, 传输过程平稳。笔者设计的立式弹丸回转弹仓传送弹丸的准确度高, 传动平稳可靠, 为大口径火炮弹药自动装填系统的自动弹仓提供了一种可行的技术途径。

参考文献:

- [1] 梁辉, 马春茂, 潘江峰, 等. 大口径火炮弹药自动装填系统研发现状和趋势[J]. 火炮发射与控制学报, 2010(3): 103-107.