

文章编号: 1674-8085(2020)01-0059-06

回转体半自由枪机机构设计与动力学仿真研究

郭浩然,*袁志华, 尹 鑫

(沈阳理工大学装备工程学院, 辽宁, 沈阳 110159)

摘 要: 针对目前自由/半自由枪机结构形式单一, 质量转换效率低的问题, 设计一种回转体半自由枪机式结构。建立了包含导轨参数的转换质量换算模型, 应用多刚体动力学软件对机构进行了动力学仿真, 验证了转换质量换算模型以及机构运动合理性。结果表明该设计具有一定可行性, 可为半自由枪机结构设计提供参考。

关键词: 半自由枪机; 质量转换系数; Adams; 动力学仿真

中图分类号: TJ203.2

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2020.01.012

RESEARCH ON DYNAMICS AND CONVERSION QUALITY OF NEW SEMI-FREE GUNS OF SUBMACHINE GUN

GUO Hao-ran, *YUAN Zhi-hua, YIN Xin

(Shenyang Ligong University, Shenyang, Liaoning 110159, China)

Abstract: In view of the single structure of the free/semi-free gun mechanism and the low efficiency of mass conversion, a semi-free gun type structure of the rotary body was designed. The transformation quality conversion model including the guide rail parameters was established. The multi-rigid dynamics software was used to simulate the dynamics of the mechanism, and the conversion quality conversion model and the rationality of the mechanism motion were verified. The results show that the design has certain feasibility and can provide reference for the structural design of semi-free gun.

Key words: semi-free gun machine; mass conversion coefficient; Adams; dynamics simulation

冲锋枪根据其体积小、质量轻、火力强等特点而广泛采用半自由枪机式自动方式^[1]。目前常见的半自由枪机的结构形式又以 MP5 冲锋枪为代表的滚柱式和以汤姆逊冲锋枪为代表的楔门式^[2]。半自由枪机的实质是通过某些特殊的机械结构、作用形式而产生较大的质量转换系数, 从而获得更大的转换质量^[3]。滚柱式半自由枪机结构简单, 摩擦系数小, 但其性能的实现依赖良好的材料和工艺进行保证, 对材料与加工精度的要求很高。楔门式半自由枪机虽然对加工精度要求较低, 但其开锁工作面在相对滑动过程中容易发生楔紧的现象而导致附加

摩擦力增大^[4]。

基于回转式刚性闭锁机构的工作原理, 提出了一种利用枪机回转来实现开闭锁的半自由枪机机构, 通过枪机外部回转体凸笋在机匣导轨内的受限滑动来实现开闭锁过程。同时空间导轨角度与回转体凸笋的相对限位滑动将一部分后坐能量转化为使回转体转动的能量, 从而获得较大的物理转换质量。

1 回转式半自由枪机工作原理

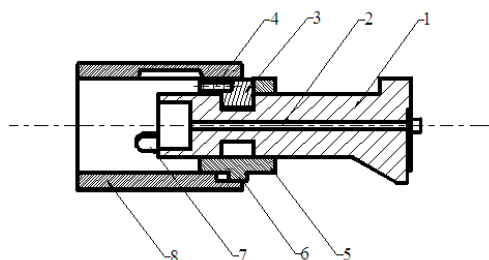
收稿日期: 2019-09-10; 修改日期: 2019-10-12

基金项目: 辽宁省科技创新基金项目(XLYC1802104)

作者简介: 郭浩然(1996-), 男, 湖北潜江人, 硕士生, 主要从事武器系统设计与运用研究(E-mail:540029841@qq.com);

*袁志华(1963-), 男, 辽宁锦州人, 教授, 硕士生导师, 主要从事武器系统设计及其应用研究(E-mail:872881349@qq.com);

尹 鑫(1997-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士生, 主要从事武器系统设计与运用研究(E-mail:1205533960@qq.com)。

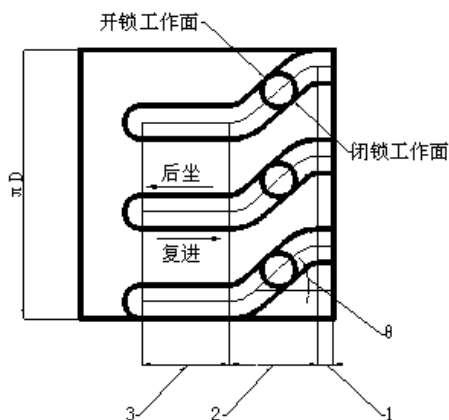


1—枪机；2—击针孔；3—回转体楔块；4—楔柱；5—回转体；6—凸笋；7—导轨；8—枪机座

图1 回转式半自由枪机剖面图

Fig.1 Rotary semi-free gun plane plan

图1所示,机构主体由枪机、回转体、回转体楔块、楔柱、枪机框等零件构成。回转体楔块通过楔柱固定在回转体上,约束回转体只能相对于枪机转动,同时保证回转体能跟随枪机一同在水平方向上移动。枪机匣内部的三条导轨与回转体上的三个凸笋相配合,使凸笋能沿导轨移动。枪机限位机构固定在机匣上,约束枪机使其只能沿水平方向移动。



1—预抽壳行程；2—转动行程；3—工作行程；θ—导轨倾角

图2 导轨平面展开图

Fig.2 Plane plane development

枪机座内表面展开图如图2所示。工作原理：当子弹被击发，火药燃气做功，推动枪机开始后坐。为了避免子弹弹壳因膛压较大而被拉断，回转体凸笋先进入一小段预抽壳行程，随后进入转动行程，枪机开始开锁，回转体转动，使一部分火药燃气的能量转化成回转体旋转的能量。在回转体凸笋走完转动行程后，枪机完成开锁，在水平方向上继续向后运动，完成抛壳等动作。当后坐到位后，枪机受复进簧的作用，推动回转体继续向前运动，完成上弹等动作后，回转体凸笋进入转动行程，回转体开

始转动，复进到位时完成闭锁，完成自动机的一个工作循环。

2 质量转换系数模型的建立

为了能够更清晰、简单地反应该机构枪机转化质量数学模型，对此模型做出如下假设：

- 1) 忽略回转体凸笋进出转动行程的能量损失；
- 2) 不考虑由于弹壳变形而产生的抽壳阻力；
- 3) 忽略复进簧在实际工作中产生的内耗^[6]；
- 4) 不考虑回转体与枪机匣内壁产生的摩擦；
- 5) 忽略零件之间的间隙而产生的震动带来的能量损失。

在保证枪弹正常击发的前提下，设枪机质量为 m_1 ，速度为 v_1 ；回转体的质量为 m_0 ，轴向速度为 v_0 ，转动惯量 J_0 ，角速度 ω_0 。根据动能定理有：

$$E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_0 v_0^2}{2} + \frac{J_0 \omega_0^2}{2\eta_1} \quad (1)$$

$$k_1 = \frac{\omega_0}{v_1} \quad (2)$$

在此机构中 $v_0 = v_1$ ，将(2)式代入(1)式，得：

$$E_k = \frac{v_1^2}{2} (m_1 + m_0 + \frac{k_1^2}{\eta_1} J_0) \quad (3)$$

其中： k_1 为回转体对枪机的传动比； η_1 为枪机推动回转体的传动效率。令 $m_1' = m_1 + m_0 + \frac{k_1^2}{\eta_1} J_0$ ，得到：

$$E_k = \frac{1}{2} m_1' v_1^2 \quad (4)$$

回转体的质量转化到枪机上时，质量增加了 $\frac{k_1^2}{\eta_1} J_0$ 。

称 $\frac{k_1^2}{\eta_1}$ 为质量换算系数^[4]。

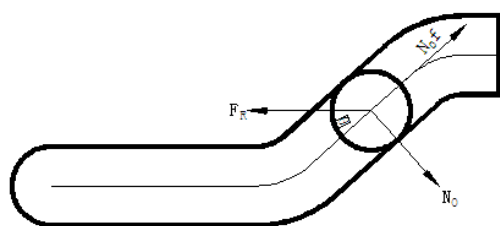
枪机与回转体所受的约束反力如图3所示。导轨壁对回转体的支持力 N_1 与约束力 F_R ，切向力 T 的关系式为：

$$N_0 = F_R \sin \theta \quad (5)$$

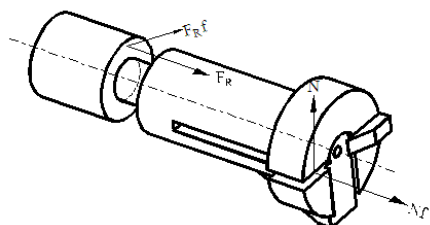
$$T = N_0 \cos \theta - N_0 f \sin \theta \quad (6)$$

在 ω_0 方向上的约束力矩总和为：

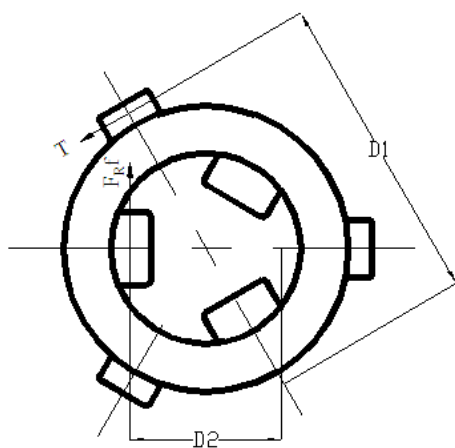
$$M_0 = 3 (TD_1 - F_R f D_2) \quad (7)$$



(a)回转体凸笋在导轨内所受的约束反力



(b)回转体所受的约束反力



(c)枪机所受的约束反力

图3 枪机与回转体所受的约束反力

Fig.3 The restraining reaction force of the gun and the rotating body

机匣对枪机的支持力为 N ，枪机在运动方向上约束力总和为：

$$R = 3F_R + Nf \quad (8)$$

$$ND_3 = 3F_R f D_2 \quad (9)$$

因此力换算系数为：

$$\frac{k_1}{\eta_1} = \frac{(1 + f^2 \frac{D_2}{D_3})}{[(\sin \theta \cos \theta - f \sin^2 \theta) D_1 - f D_2]} \quad (10)$$

传速比 k_1 为：

$$k_1 = \lim_{f \rightarrow 0} \frac{R}{M_0} = \frac{1}{D_1 \sin \theta \cos \theta} \quad (11)$$

质量转换系数为：

$$\frac{k_1^2}{\eta_1} = \frac{1 + f^2 \frac{D_2}{D_3}}{D_1 \sin \theta \cos \theta [(\sin \theta \cos \theta - f \sin^2 \theta) D_1 - f D_2]} \quad (12)$$

由上述公式可以得到，在材料尺寸一定的情况下，通过改变导轨的导轨倾角 θ 的大小，便可改变质量转换系数，以达到期望的转换质量。

3 回转式半自由枪机动力学仿真

3.1 机构模型的建立和动力学参数设计

使用 UG 进行三维建模并导入到 Adams 中，添加如表 1 的约束和部分主要参数如表 2 所示。使用 STEP 函数模拟出枪机在膛压作用下所受的力随时间变化的曲线，如图 4。

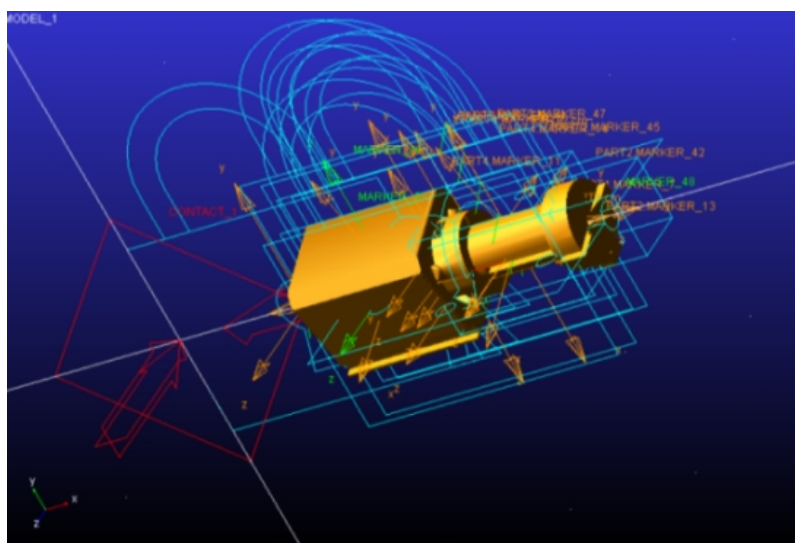


图4 添加完约束、力后的结构

Fig.4 Structure after adding constraints and forces

表 1 主要部件间的约束

Table 1 Constraints between major components

约束副类型	部件 1	部件 2
固定副	回转体楔块×3	回转体
固定副	楔柱×3	回转体楔柱×3
固定副	枪机匣	地面
碰撞	回转体	枪机匣
圆柱副	回转体	枪机匣
转动副	枪机	回转体

表 2 主要参数设置

Table 2 Main parameter settings

参数名称	取值
复进簧刚度系数 k	0.2(newton/mm)
预压力 F_0	50.0(newton)
回转体质量 m_0	0.1(kg)
枪机质量 m_1	0.455(kg)
弹底圆直径 d	9.89(mm)
凸笋与中心的距离 D_1	40(mm)
回转体楔块与中心的距离 D_2	25(mm)
枪机限位机构与中心距离 D_3	25(mm)
导轨倾角 θ	40°
摩擦系数 f	0.1

3.2 仿真结果分析

枪机与回转体沿 x 轴方向的速度曲线如图 5 所示。从图中可以看出两者几乎无相对运动，两者沿 x 轴方向的运动完全同步。在后坐开始后约 0.002 s 左右，回转体凸笋撞击导轨开锁工作面，带动回转体开始转动，开始开锁。在进入转动行程时，由于枪机所受的阻力增大，使枪机水平方向的速度有一段衰减，之后枪机受到火药燃气的推动继续加速。0.005 s 左右，火药燃气的推动力与复进簧的推力大小相等，枪机沿 x 轴方向上的速度达到最大值，之后由于膛压火药燃气的推动力衰减，枪机沿 x 轴方向上的速度开始衰减。0.01 s 左右，回转体凸笋到达导轨末端，后坐完成。

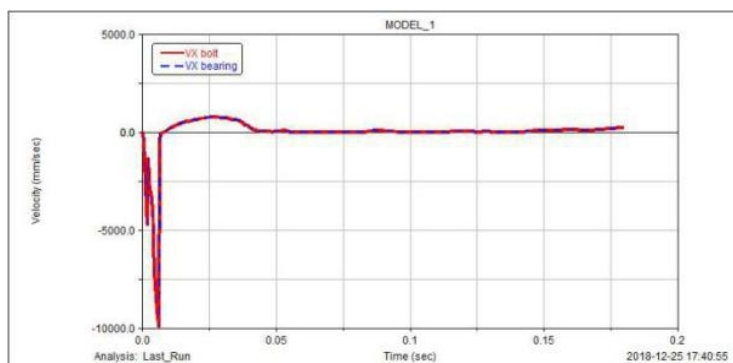


图 5 枪机与回转体的速度曲线

Fig.5 Speed curve of the gun and the rotating body

回转体角速度和旋转角度行程的曲线分别如图 6、图 7 所示。回转体角速度在 0.005 s 左右达到最大值。之后在进入工作行程前有一小段反跳并迅

速复位，并在 0.008 s 左右达到最大回转角度，完成开锁，进入工作行程直到后坐完成，可见，此机构具有一定的防反跳的能力。

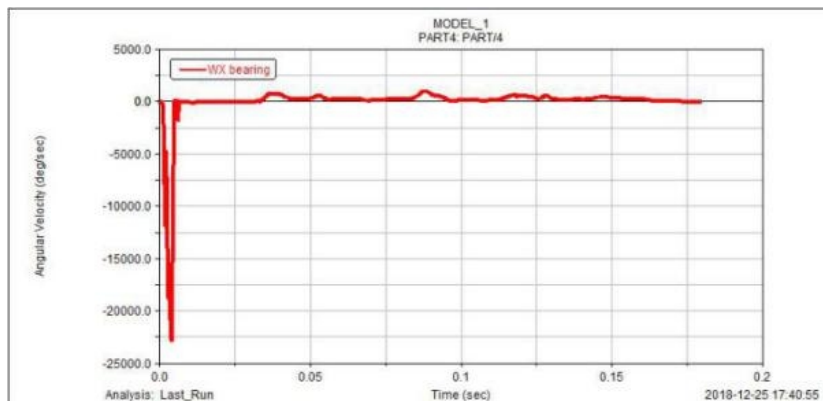


图 6 回转体角速度曲线

Fig.6 Rotary body angular velocity curve

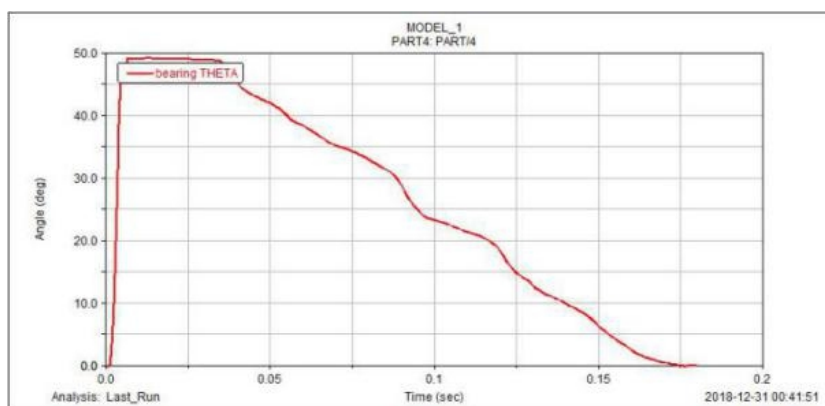


图7 回转体旋转角度曲线

Fig.7 Rotating body rotation angle curve

3.3 枪机转换质量的验证

为了验证转化质量数学模型,在其他条件不变的前提下,设计了两组枪机,将第一组(对照组)枪机框内的导轨改为长为 30 mm 的直槽,使其成为自由式枪机;第二组枪机的导轨展开函数是 $y = 14 \sin\left(\frac{\pi}{14}x - \frac{\pi}{2}\right) + 7$ 。

求得原始枪机转换后的质量 m' 为 0.523 kg,第二组枪机转换后的质量 m'' 为 0.371 kg。将转换质量代入对照组枪机进行仿真。将对照组枪机 x 轴方

向的速度与原枪机的进行对比,结果如图 8、图 9 所示。其中,原始枪机与对照组枪机在 0.003 s 时达到最大速度。原始枪机与对照组枪机最大速度为 9.8 m/s。第二组枪机与对照组枪机在 0.01 s 时达到最大速度。第二组枪机与对照组枪机的最大速度为 17.3m/s。原始枪机和第二组枪机的最大速度与相应的对照组枪机相近,表明该半自由式枪机与对照组自由式枪机后坐过程的运动趋势相似,此转化质量数学模型具有准确性。

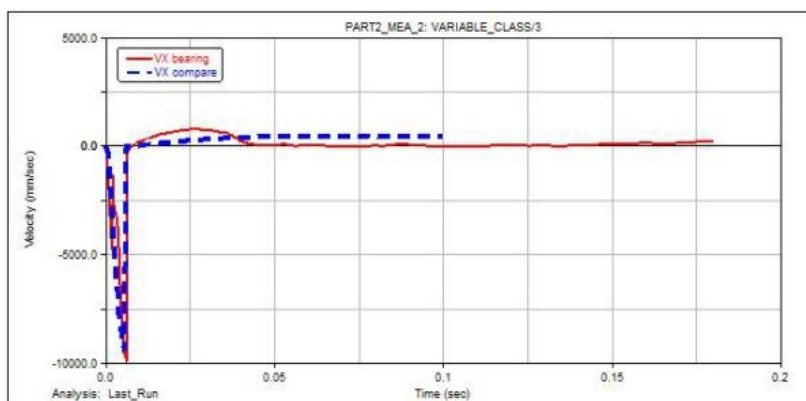


图8 原始枪机与自由枪机速度对比

Fig.8 Comparison of the speed of the original gun and the free gun

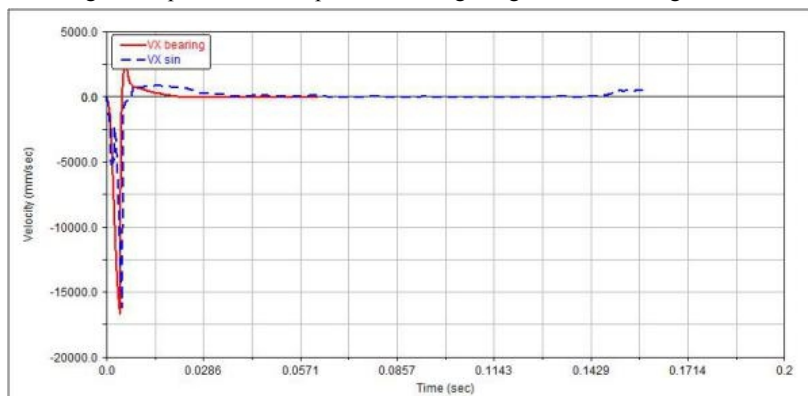


图9 第二组枪机与自由枪机速度对比

Fig.9 The second group gun and free gun speed comparison

4 结论

基于回转式刚性闭锁机构的工作原理,设计了一种新的半自由枪机,通过对枪机的动力学分析,建立该半自由枪机转换质量的数学模型。通过对其进行动力学分析,结合常见冲锋枪枪机的设计参数,代入所需数据并对该机构进行动力学仿真。通过枪机的速度曲线、回转体的角速度和运动曲线仿真,同时将两组回转式半自由式枪机与对照组自由式枪机的速度对照,证明半自由枪机与对照组自由式枪机的运动趋势相似,最大速度相近,检验了该枪机具有一定的可行性。该设计提供了一种用于冲锋枪半自由枪机结构的的新思路,具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 靳通. 某迁移式自动机的设计与仿真研究[D].南京:南京理工大学,2013.
- [2] 师翼,姚养无. 枪机自由后坐式武器动力分析[J].机械管理开发,2005(2):35-36.
- [3] 赵少华. 转管机枪缓冲器优化设计[D].太原:中北大学,2010.
- [4] 陈青华,袁志华,谭千钧,等. 滚柱刚性闭锁机构设计及动力学仿真研究[J].火力与指挥控制,2018,43(9):152-155.
- [5] 姚养无. 火炮与自动武器动力学[M].北京:兵器工业出版社,2000.
- [6] 杨松,赫雷,沈超,等. 某新型自动防暴枪自动机动力学仿真[J].兵器装备工程学报,2017,38(3):57-61.