

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.006

某霰弹枪自动机运动特性分析

段风伟, 李忠新

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为了解不同自动方式对自动机运动特性的影响, 以某霰弹枪为例进行自动机运动特性分析。介绍自动机的自动原理, 利用三维建模软件与 ADAMS 动力学仿真软件建立虚拟样机模型, 确定构件间的约束关系、摩擦、接触以及工作载荷, 进而分析膛压、惯性簧刚度、约束弹簧刚度等因素对霰弹枪自动机运动特性的影响规律。分析结果表明: 膛压、惯性簧刚度以及枪身约束弹簧刚度对该自动机影响较小, 不同情况下自动机均能够可靠稳定工作; 但是弹簧阻尼约束与实际射击过程中人枪相互作用有一定差异, 需要进一步研究。

关键词: 霰弹枪; 自动机; 运动特性

中图分类号: TJ279 **文献标志码:** A

Kinematic Characteristics Analysis of Certain Type Shotgun Automatic Mechanisms

Duan Fengwei, Li Zhongxin

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

Abstract: To research the influence of different gun's automatic type on kinematic characteristics of shotgun automatic mechanisms, the kinematic characteristic analysis is based on a shotgun as an example. The principle of the automatic mechanisms is introduced; the virtual prototype model of the shotgun is established by three-dimensional modeling software and the ADAMS. The constraint relation, friction, contact and loads among components are properly set to research how the factor, such as inertial spring stiffness, internal ballistics and inertia constraint spring stiffness, influences the kinematic characteristics. The result shows that the chamber pressure, inertial spring stiffness and inertia constraint spring stiffness has a minimal effect; the automatic mechanism can operate reliably and steadily. But the spring-damping constraint on the gun body is different from the shooter's shoulder, a further research is needed.

Keywords: shotgun; automatic mechanisms; kinematic characteristics

0 引言

自动机是自动武器中的核心部分, 其运动规律是分析比较武器动态性能的重要参考, 无论是设计自动武器还是分析自动武器, 对自动机进行动力学分析都是十分重要的^[1]。自动机的结构特点、运动特性又随着武器的自动方式不同而不同。目前一般的内能源自动武器的自动方式有导气式、管退式和枪机后坐式。在民用枪械中也有着比较特殊的自动方式; 因此, 笔者基于 ADAMS 对一款半自动霰弹枪^[2]进行运动特性分析。

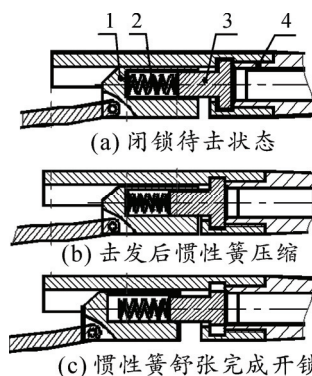
1 自动原理

该半自动霰弹枪主要包括机匣组件、枪管组件、自动机组件、发射机组件、枪托护木组件等; 复进装置布置于机匣后方的枪托内, 管式弹仓布置在枪管下方, 护木固定在弹仓管上, 全枪如图 1 所示。



图 1 全枪模型

自动机采用刚性回转闭锁。该枪没有导气装置, 而是利用了枪机框的惯性实现开锁, 继而完成自动动作。基本原理如图 2 所示。



1. 枪机框; 2. 惯性簧; 3. 枪机; 4. 枪管。

图 2 自动原理

自动机主要由枪机、枪机框和惯性簧组成。当枪弹击发后, 全枪向后运动, 枪机框由于惯性作用而“停留”, 枪机框相对于全枪向前移动一小段距离, 压缩惯性簧(图 2(b)所示), 到达一定阶段后惯性簧开始舒张, 把枪击框往后推, 此时枪机框带动枪机

收稿日期: 2015-12-25; 修回日期: 2016-02-05

作者简介: 段风伟(1988—), 男, 山东人, 硕士, 从事新概念、新原理、新结构武器技术研究。

回转开锁，继而完成自动动作(图 2(c)所示)。

为了避免自动机反跳开锁，螺旋槽闭锁工作面采用两段不同螺旋角设计，并且在枪机销上加工平面，增大闭锁时的阻力。如图 3 所示， β_1 为第一阶段闭锁螺旋角， β_2 为第二阶段闭锁螺旋角，其中 β_1 较小使得闭锁阻力大，消耗自动机较多能量。

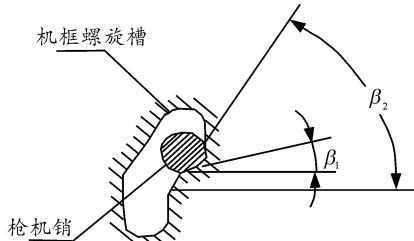


图 3 螺旋槽曲线

2 虚拟样机模型建立

2.1 建立模型

通过三维建模软件，建立三维实体模型。将模型导入 ADAMS 后，根据实际运动和润滑环境，添加自动机与其他机构之间的运动副、接触关系和摩擦参数^[3-4]，具体如表 1~表 3 所示。

表 1 主要运动副和接触关系

参与零件	枪机	机匣	复进顶杆	复进簧管
枪管组件	接触副	固定副		
枪机框	接触副	接触副	旋转副	
复进导杆			球铰副	圆柱副
大地		滑移副		

表 2 接触碰撞力参数设置

项目	值
Normal Force	Impact
Stiffness/(N·mm ⁻¹)	1.0E+005
Force Exponent	2.2
Damping/(N·s·mm ⁻¹)	10.0
Penetration Depth/mm	0.1

表 3 摩擦参数设置

项目	值
Friction Force	Coulomb
Coulomb Friction	On
Static Coefficient	0.3
Dynamic Coefficient	0.15
Stiction Transition Vel./(mm·s ⁻¹)	100
Friction Transition Vel./(mm·s ⁻¹)	1 000

该自动方式在该枪固定后射击时无法完成自动动作。而射击过程中的人枪相互作用非常复杂，人体肩部带给枪支的约束刚度是非线性的^[5-6]。为了研究该自动机的运动特性，笔者在枪身和大地之间建立滑移副，并且在枪管轴向上施加枪身与大地之间的线性弹簧阻尼器。

由于机框内的惯性簧不与任何零件固连，所以将惯性簧转化为 ADAMS 中用弹簧单元连接两实体的等效形式，其中弹簧单元的刚度、预压力、两实

体的总质量等参数与原惯性簧相同。惯性簧模型、仿真模型如图 4、图 5 所示。

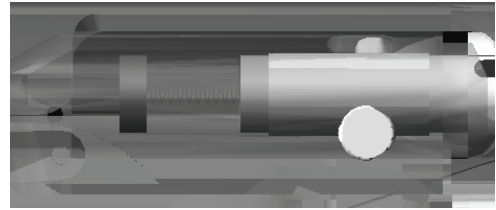


图 4 惯性簧模型



图 5 仿真模型

2.2 施加载荷

模型中需要施加的载荷主要是膛内火药气体压力(不考虑抽壳阻力的影响)。根据经典内弹道理论计算得到 12 号口径 2³/₄”霰弹的膛压线，如图 6。

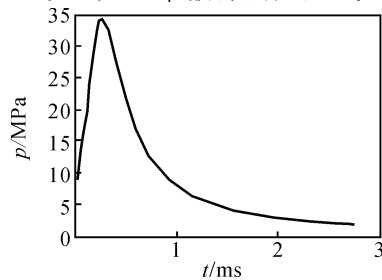


图 6 12 号口径 2³/₄”霰弹内弹道曲线

由于霰弹弹种较多，为了研究不同弹种对自动机运动的影响，另外计算了一种较高膛压的内弹道曲线，如图 7 所示。

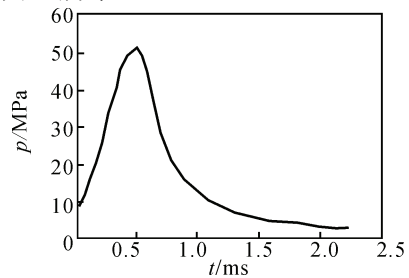


图 7 高膛压曲线

利用 ADAMS 的数据接口，将膛压数据导入到所建虚拟样机模型^[7]，利用 AKISPL 插值函数加载膛压。另外，由于该枪采用管式弹仓供弹，自动机进弹动作如图 8 所示，自动机复进过程中变换挺尖端卡入枪机框底部的槽内(如图 8(b))，枪机框继续复进压迫变换挺，变换挺被迫带动输弹器抬起准备进弹(如图 8(c))，进弹过程中自动机需要克服较大的阻力，所以在仿真过程中要考虑进弹的阻力。

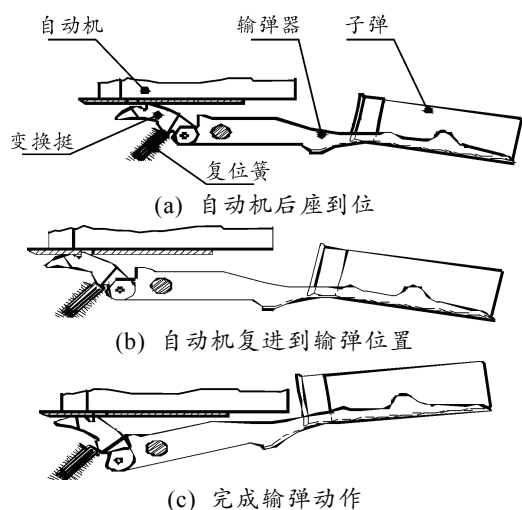


图 8 弹仓式霰弹枪进弹过程

3 运动特性分析

3.1 不同膛压作用下自动机的运动

用图 6 所示的内弹道曲线进行仿真得到结果如图 9、图 10 所示。由图 9 可以看到枪身在膛底压力的作用下后坐，到 2.2 ms 时枪身获得最大后坐速度 2.19 m/s(以后坐运动方向为正方向)；枪机框在惯性簧的作用下也产生后坐运动，到 4.8 ms 时获得最大速度 3.71 m/s；枪身和枪机框都获得向后的速度，但是枪身后坐速度大于枪机框后坐速度，二者在 1.1 ms 时刻的相对速度达到 1 个峰值为 -1.43 m/s；42 ms 时自动机后坐到位发生撞击，54.6 ms 时枪机框使输弹器抬起，89 ms 时枪机撞击枪管尾端面开始闭锁，98 ms 第 2 阶段螺旋闭锁，110 ms 时完成闭锁，之后自动机随着枪身在弹簧约束下往复运动，慢慢趋于同步。以上几个时刻都可以看到枪机框相对枪管的速度发生突变。

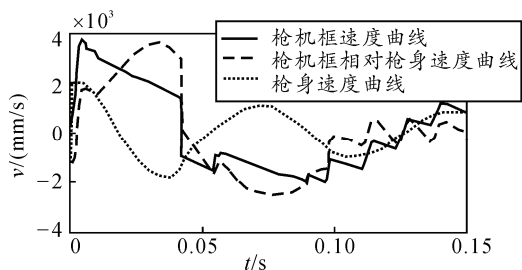


图 9 低膛压下特征速度曲线

由图 10 枪枪机框相对枪机的位移曲线可以看出：到 2.6 ms 枪机框相对枪机运动了 -2.6 mm；枪机框在惯性簧的作用下加速，在 11 ms 时刻完成开锁动作，由于螺旋槽前段存在一段自由行程，所以开锁完成后以及抬起输弹器的过程中，枪机框和枪机之间存在约 4.5 mm 的相对运动；在 110 ms 后枪机

框与枪机之间存在幅值小于 1 mm 的震荡运动。

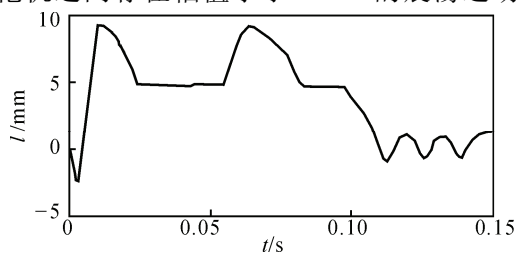


图 10 低膛压下枪机框与枪机相对位移曲线

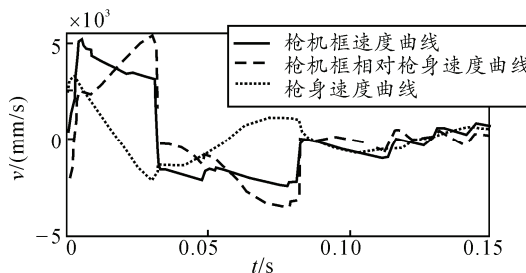


图 11 高膛压速度曲线

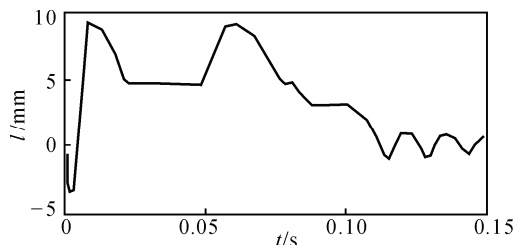


图 12 高膛压枪机框与枪机相对位移曲线

图 11、图 12 分别是在图 7 所示高膛压曲线作用下的仿真曲线。从图中可以看出：由于膛底压力增大，后坐部分的各个速度、位移特征参数的绝对值较图 9、图 10 都有所增大，时间参数相应提前；但是自动机复进到位第 1 阶段闭锁时，枪机框相对速度大，闭锁所受阻力增大，速度衰减也增大，使得第 2 阶段自动机速度较第 1 阶段小得多，所以闭锁完成后的时间为 112.2 ms，较低膛压仅相差 2 ms。

2 种不同膛压的条件下，该自动机的运动特性都能保证在内弹道过程完毕后开锁，保证开锁安全。

3.2 惯性簧刚度影响分析

对不同惯性簧刚度进行仿真，仿真结果如图 13、图 14 所示。由图 13 可以看出随着弹簧刚度的增大，最大相对后坐速度(枪机框相对枪身的速度)有着减小的趋势，弹簧刚度由 150 N/mm 增大到 350 N/mm，速度由 3.7 m/s 降低到 3.5 m/s，惯性簧刚度增加了 1.3 倍，最大后坐速度仅变化了 5%；图 14 所示为开锁阶段枪机框与枪机的相对位移曲线，随着弹簧刚度的增大，枪机框惯性压缩距离缩小，由 3.5 mm 减小到 2.2 mm，由最小刚度到最大刚度惯性簧储能减小了约 7%。

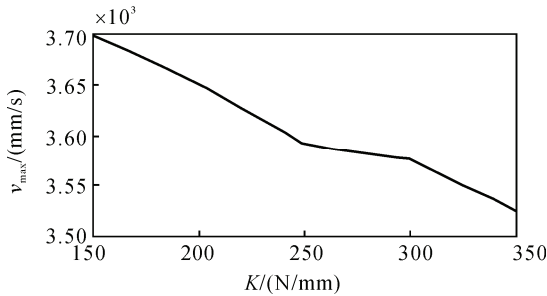


图 13 最大相对后坐速度随惯性簧刚度变化曲线

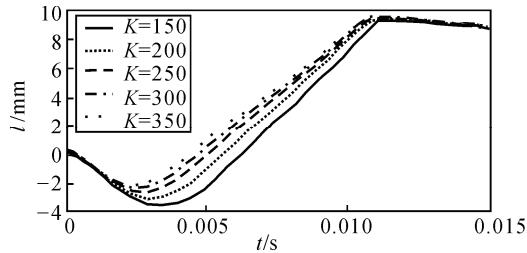


图 14 5 种不同惯性簧刚度枪机框与枪机相对位移曲线

自动机运动特征参数如表 4 所示，自动机运动特性基本上能够保持稳定。

表 4 不同惯性簧刚度下的主要运动参数

参数	惯性簧刚度/(N/mm)				
	150	200	250	300	350
弹簧压缩长度/mm	3.52	2.98	2.61	2.34	2.11
开锁完成时刻/ms	11.3	10.9	10.8	10.7	10.7
闭锁完成时刻/ms	109.7	107.4	110	111.3	111.4

3.3 枪身约束弹簧刚度变化影响

不同枪身约束弹簧刚度对自动机运动的影响分析结果如图 15~图 17 所示。随着约束弹簧刚度的增大，枪机框最大相对后坐速度也增大。主要是因为约束弹簧刚度增大，枪身往复运动的速度幅值变大，枪机框相对后坐速度最大位置一般是在枪身速度第 1 次达到负向最大速度时。

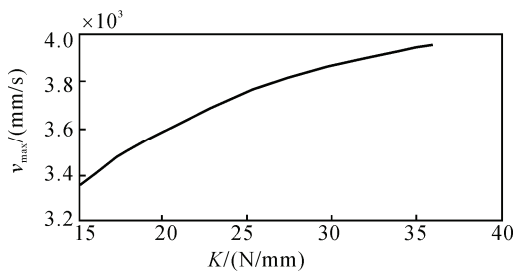


图 15 最大相对后坐速度随枪身约束簧刚度变化曲线

由图 16 和图 17 可以看到：约束弹簧刚度的变化对自动机内惯性簧的压缩影响很小，可忽略不计，主要是因为内弹道时期作用时间很短，约束弹簧对枪身的作用很小。随着时间增长，约束弹簧对自动机的影响越来越大。人体的主动反应最小时间约为 330~820 ms^[8]，且人体的作用规律与模型中的弹簧

阻尼模型的作用规律不同，所以自动机复进过程中的变化规律与真实射击有一定差异。

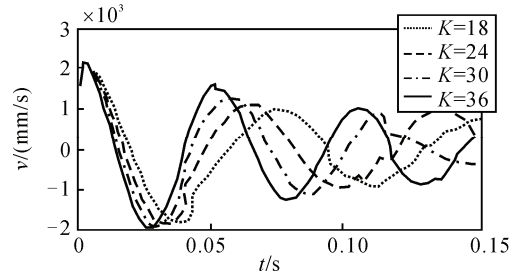


图 16 不同枪身约束弹簧刚度下枪身速度曲线

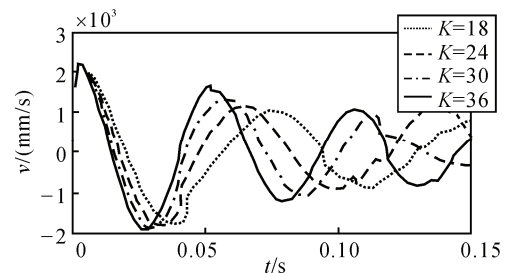


图 17 不同枪身约束弹簧刚度下枪机框相对速度曲线

4 结束语

笔者正确地建立了半自动霰弹枪的虚拟仿真模型，经过仿真计算得到了该枪自动机的运动特性，对半自动霰弹枪的研究提供一定的参考。并且对主要参数进行了仿真研究，可以得到以下结论：

- 1) 该自动机在不同膛压、不同惯性簧刚度及不同枪身约束弹簧刚度的工作条件下，均能可靠工作；
- 2) 惯性簧刚度、枪身约束弹簧刚度对自动机能量获取基本没有影响，但弹簧阻尼约束与实际射击过程中人枪相互作用有一定差异，需要进一步研究。

参考文献：

- [1] 姚养无. 火炮与自动武器动力学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000: 1-6.
- [2] Paolo Benelli, Pesaro, Italy. Bolt Assembly With A Rotating Locking Bolt Head And A Floating Bolt Element For Automatic Firearms. US, 4604942[P]. 1986.
- [3] 董雪花. 某突击步枪自动机含间隙刚柔耦合建模与仿真分析[J]. 兵工学报, 2007, 28(9): 1132-1137.
- [4] 王永娟. 某微口径武器的动力特性分析[C]. 徐宁//王建中. 自动武器论坛自动武器论坛: 贺朵英贤院士七十五华诞. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [5] 王长庚. 枪械后座作用及测评方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014: 52-54, 56-59.
- [6] 李涛. 某型转管机枪刚柔耦合多体发射动力学仿真[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(6): 1382-1387.
- [7] 尚利民, 宫鹏涵, 康小勇, 等. 基于 ADAMS 某自动步枪虚拟样机建模及仿真分析[J]. 兵工自动化, 2013, 32(7): 19-20.
- [8] 包建东. 人-枪相互作用试验研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006: 51.