

doi: 10.7690/bgzdh.2015.07.020

## 双初速自动机结构参数匹配研究

王亚平, 王永娟, 张 宁

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 针对兼容发射致命弹与非致命弹的要求, 提出双初速自动机原理, 进行双初速自动机关键结构参数的匹配研究。采用多体动力学理论, 基于 ADAMS 软件建立双初速自动机 22 个刚体 34 个自由度仿真分析模型。采用不同前/后枪机质量、前/后复进簧刚度与预压力的匹配方案, 分析枪机的运动特性、抛壳动作的可靠性及枪机结合时的运动稳定性, 给出结构参数对自动机运动的影响规律。结果表明: 该方法动作连贯平稳, 能确定双初速自动机原理的可行性, 实现致命性与非致命性发射的功能, 为双初速自动机的设计提供有效的技术支持。

**关键词:** 双初速; 自动机; 参数匹配; 动力学

**中图分类号:** TJ203 **文献标志码:** A

## Parameter Matching of Automaton with Two Velocities

Wang Yaping, Wang Yongjuan, Zhang Ning

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

**Abstract:** The primary goal for the automaton with two velocities design is satisfy the demand of fatal and non-fatal capabilities. Carry out parameter matching of two velocities automata key structure. Adopt multi-body dynamic theory, based on ADAMS software to establish simulation analysis model of 22 rigid bodies and 34 degree of freedom two velocities automata. Use different front/back gun quality, front/back recoil spring's stiffness and preloading matching scheme, analyze the kinematic characters of bolt, reliability of ejecting bullet's case and contact between front bolt and rear bolt are analyzed, and put forward influence rule of structure parameter on automata movement. The results show that, the method movement is coherence and stable, the automaton with two velocities is feasible. And it can realize fatal and non-fatal shooting and give technology support to two velocities design.

**Keywords:** two velocities; automaton; parameter matching; dynamics

### 0 引言

随着反恐防暴形势的日益严峻, 对手持武器提出了兼容致命与非致命的功能要求, 使用者在不更换枪械的情况下, 可根据不同作战任务选择不同弹种, 既能实现致命又具有非致命打击的能力<sup>[1-2]</sup>。

笔者提出应用双初速自动机技术, 通过 2 种不同质量自动机的转换, 以实现 9 mm 手枪弹与 9 mm 橡皮弹兼容发射。双初速自动机采用自由枪机惯性闭锁方式, 由前、后 2 个枪机组成。由于采用自由枪机惯性闭锁方式, 双初速自动机对由枪机和复进簧形成的自动机存储能量的能力要求比较严格, 如果自动机存储能量的能力过小, 弹壳在高膛压下退出弹膛过多, 可能会产生炸壳故障。另外, 若自动机运动速度过大, 会造成射频过高, 因剧烈碰撞影响射击精度, 以及影响供弹及时性等一系列问题; 若自动机存储能量的能力过大, 又会出现后坐速度过低、能量不足等问题。对于双初速自动机, 还需考虑手枪弹与橡皮弹对自动机存储能量能力的不同要求。因此前/后枪机质量、前/后复进簧设计参数的正确匹配是双初速自动机能否实现致命与非致命

兼容发射的关键。

笔者基于 ADAMS 软件, 建立了双初速自动机多体动力学仿真分析模型, 对前/后枪机质量、前/后复进簧设计参数的匹配进行了分析, 给出了结构参数对自动机运动的影响规律。

### 1 双初速自动机多体动力学模型

对双初速自动机多刚体动力学模型做如下假设: 1) 将结构中平移运动(如前、后枪机运动、托弹板运动等)、回转运动(如扳机运动、各类阻铁运动等), 处理为理想约束, 不考虑间隙与碰撞对运动的影响; 2) 不考虑弹簧质量的影响; 3) 由于将弹壳和枪弹处理为刚体, 故将抽壳阻力与推弹阻力简化为一随时间变化的阶跃力。

双初速自动机多体系统动力学模型包含了前、后枪机, 发射机构, 供弹机构等 22 个刚体, 共 34 个自由度。双初速自动发射装置的仿真模型如图 1 所示, 图 2 为供弹部分模型细节。

施加载荷分别是膛底作用力、抽壳阻力与推弹阻力、复进簧力、托弹簧力和各运动副摩擦力。其中 9 mm 手枪弹膛压曲线如图 3 所示, 9 mm 橡皮膛

收稿日期: 2015-03-14; 修回日期: 2015-04-16

作者简介: 王亚平(1975—), 女, 江西人, 工学博士, 副研究员, 从事复杂武器系统动力学分析及优化研究。

压曲线如图 4 所示。

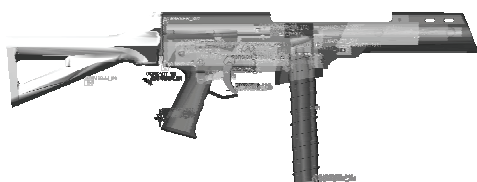


图 1 双初速自动发射装置仿真模型图

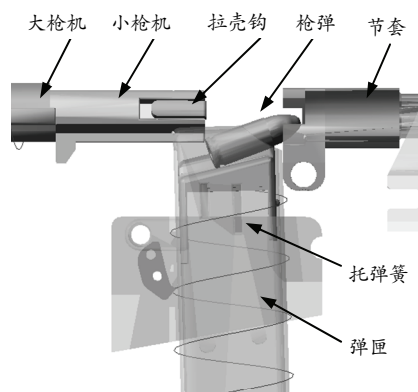


图 2 供弹部分模型

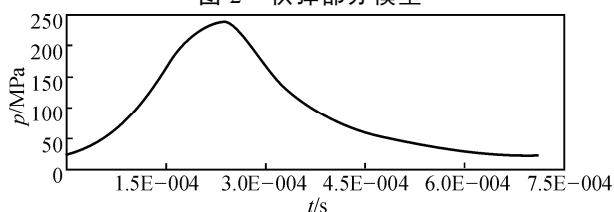


图 3 9 mm 手枪弹膛压曲线

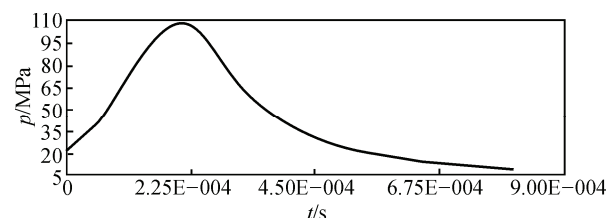


图 4 9 mm 橡皮弹膛压曲线

## 2 发射手枪弹时结构设计参数的确定

由于发射手枪弹时，前、后枪机与前、后复进簧要同时工作，因此需确定的参数为（前+后）枪机总质量、（前+后）复进簧总刚度以及总预压力，进行射频、枪机开始及后坐到位速度、抛壳路线等运动特性的分析，确定设计参数方案。

图 5~图 7 分别显示在不同枪机总质量、复进簧总刚度和总预压力下枪机速度的变化。

通过分析，可知：

1) 枪机总质量为 0.5、0.6 kg 时，后坐到位的速度分别为 3.82、3.1 m/s，后坐到位速度偏大，会使得后坐到位撞击力过大；总质量为 0.7、0.8 kg 时后坐到位速度合理。

3) 复进簧总刚度为 700 N/m 时，射频为 649

发/min，射频过低，会减小枪械的射击威力；总刚度为 300 N/m 时，射频及枪机运动速度均合理，但是考虑到 300 N/m 的刚度，在进行下一步前、后复进簧参数配比时，余量不足；总刚度为 500 N/m 时，其射频、后坐到位速度等均满足要求。

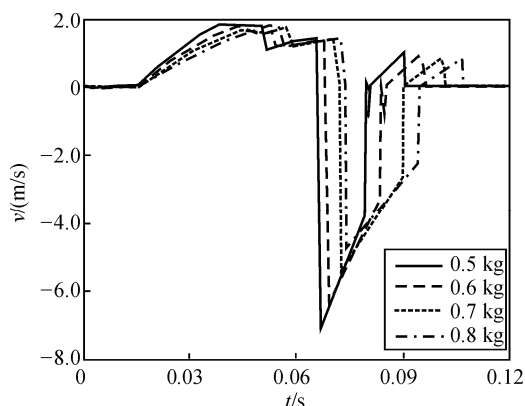


图 5 不同枪机总质量下枪机速度曲线

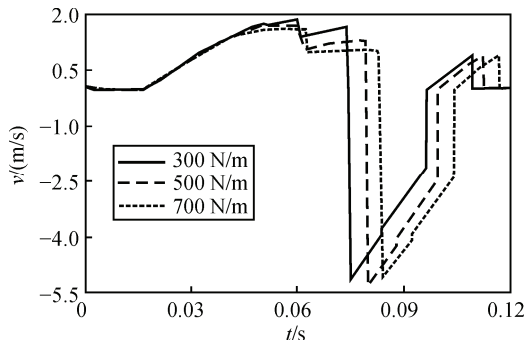


图 6 不同复进簧刚度下枪机速度曲线

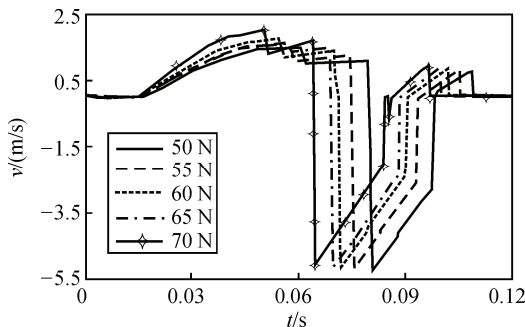


图 7 不同复进簧预压力下枪机速度曲线

4) 复进簧总预压力为 50、55 N 时，射频偏低；总预压力为 70 N 时后坐到位运动不稳定；总预压力为 60、65 N 时，射频及后坐到位速度都比较合理，但考虑到枪机速度对抛壳动作可靠性的影响，速度越高，越有利于抛壳，确定总预压力为 60 N。

表 1 运动特性分析结果

项目名称	分析结果	项目名称	分析结果
射频/(发/min)	720	开始后坐速度/(m/s)	-5.19
复进到位速度/(m/s)	1.5	后坐到位速度/(m/s)	-2.45

据此，选择枪机总质量为 0.7 kg、复进簧总刚度为 500 N/m、总预压力为 60 N 作为研制。方案的

运动特性分析结果如表 1 所示。

### 3 发射橡皮弹时结构参数匹配

发射橡皮弹时，枪口冲量小射频较低，后坐速度不宜过大。通过对射频、后坐撞击力以及前枪机与后枪机结合时撞击力的分析，可研究结构参数的匹配程度，而前枪机与后枪机结合时的撞击力可影响结合是否顺利。

#### 1) 枪机质量配比。

表 2 列举了 5 种前枪机与后枪机质量的配比方案，其分析结果如图 8~图 10 所示。

表 2 枪机质量配比方案 kg

方案号	参数	
	前枪机质量	后枪机质量
方案 1	0.10	0.60
方案 2	0.15	0.55
方案 3	0.20	0.50
方案 4	0.30	0.40
方案 5	0.35	0.35

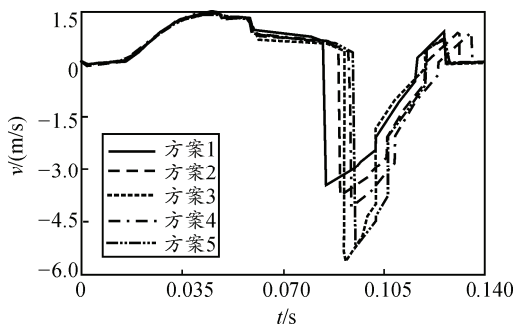


图 8 不同质量配比下前枪机速度曲线

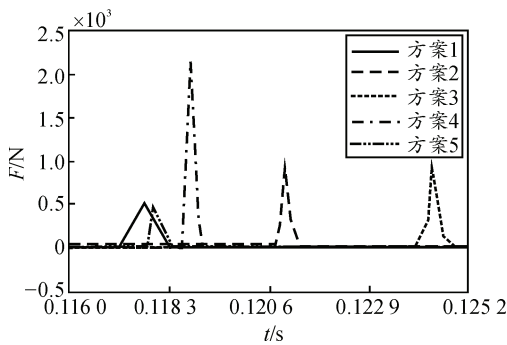


图 9 不同质量配比下后坐到位撞击力

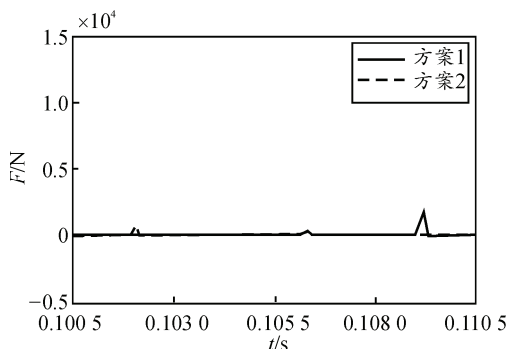


图 10 不同质量配比下前枪机与后枪机结合时的撞击力

由图 8~图 10 可知：方案 3 的射频最低，但前枪机与后枪机结合时的撞击力过大且后坐到位速度过低，若在运动过程中出现干扰很可能后坐不到位，运动不可靠。方案 2 的射频低，后坐开始速度低，后坐撞击力及前枪机与后枪机结合时撞击力不大。因此选择方案 2。

#### 2) 复进簧刚度配比。

前复进簧和后复进簧的刚度配比方案见表 3，且选择枪机质量配比(0.15+0.55) kg，复进簧预压力配比(25+35) N，上述方案的仿真分析结果如图 11~图 13 所示。

表 3 复进簧刚度配比方案 N/m

方案号	参数	
	前复进簧刚度	后复进簧刚度
方案 1	100	400
方案 2	200	300
方案 3	250	250
方案 4	300	200
方案 5	400	100

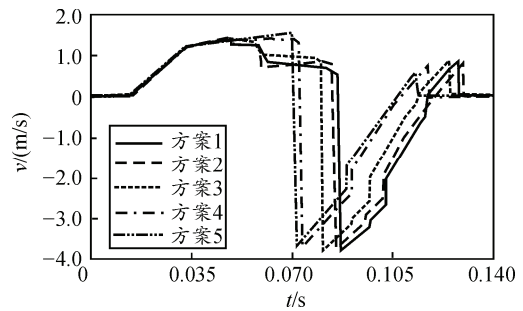


图 11 不同刚度配比下前枪机速度曲线

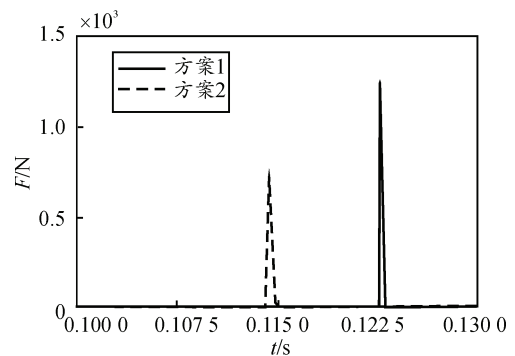


图 12 不同刚度配比下后坐到位撞击力

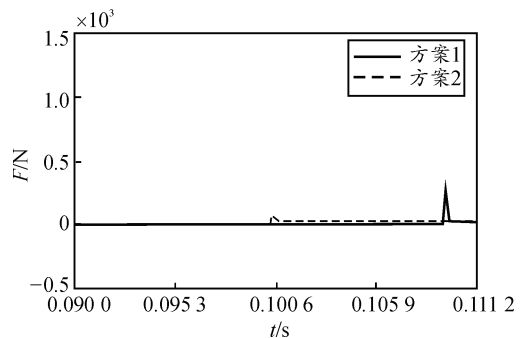


图 13 不同刚度配比下前枪机与后枪机结合时的撞击力  
由图 11~图 13 可知：方案 3、4、5 的枪机后

坐不到位，无法完成自动循环全过程。方案 1、2 虽可完成自动循环动作，但是方案 1 的射频更低，且其后坐到位撞击力和前枪机与后枪机结合时的撞击力都不大；方案 2 虽然其后坐到位撞击力和前枪机与后枪机结合时产生的撞击力更小，但因其后坐到位速度过小，若有间隙或者其他不定因素存在，则后坐可能不到位，因此复进簧刚度配比最终选择为方案 1。

### 3) 复进簧预压力配比

前复进簧和后复进簧的预压力配比方案如表 4 所示，选取枪机质量配比(0.15+0.55) kg，复进簧刚度配比(400+100) N/m，上述方案的仿真分析结果如图 14~图 16 所示。

表 4 复进簧预压力配比方案 N

方案号	参数	
	前复进簧预压力	后复进簧预压力
方案 1	23	37
方案 2	40	20
方案 3	30	30
方案 4	20	40

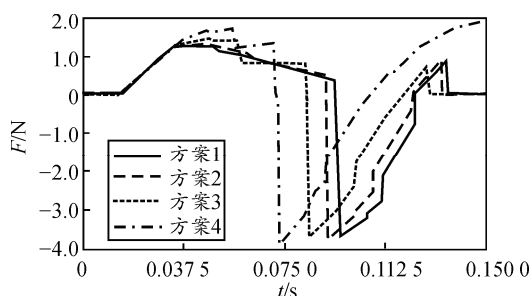


图 14 不同预压力配比下前枪机速度曲线

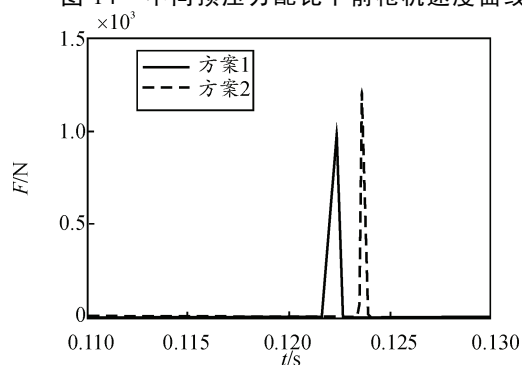


图 15 不同预压力配比下后坐到位撞击力

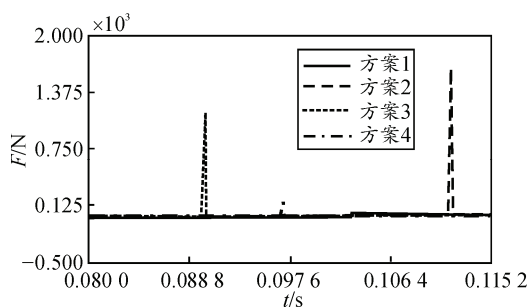


图 16 不同预压力配比下前枪机与后枪机结合时的撞击力

由图 14~图 16 可知，方案 3、4 的枪机后坐不到位。方案 1、2 虽可完成完整的自动循环动作，但方案 2 的后坐到位撞击力和前枪机与后枪机结合时的撞击力都较大，所以复进簧预压力配比最终选择为方案 1。

### 4) 最终方案仿真分析。

参数配比最终方案：枪机质量(0.55+0.15) kg，复进簧刚度(400+100) N/m，复进簧预压力(23+37) N。图 17 为此方案下发射橡皮弹时前、后枪机速度曲线，运动特性分析值见表 5。

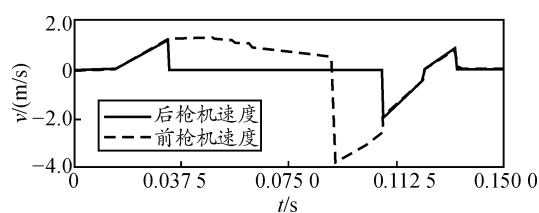


图 17 发射橡皮弹时前、后枪机速度曲线(X)

表 5 发射橡皮弹时运动特性分析结果

项目名称	分析结果
射频/(发/min)	508
复进到位速度/(m/s)	0.51
开始后坐速度/(m/s)	-3.71
后坐到位速度/(m/s)	-0.48

## 4 结束语

笔者通过对双初速自动机的仿真分析，得到了不同前/后枪机质量、前后复进簧刚度与预压力匹配方案，并分析了枪机的运动特性，抛壳可靠性及前、后枪机结合时的运动稳定性。通过以上分析，可初步确定双初速自动机原理的可行性，其动作连贯平稳，能够实现致命性与非致命发射的功能。

双初速自动机的提出为实现兼容发射提供了一个全新的途径。在对结构进一步细化后，将开展发射击发机构及弹种变化机构的动作可靠性研究。

### 参考文献：

- [1] 萧忠良, 贺增弟, 刘幼平, 等. 变燃速发射药的原理与实现方法[J]. 火炸药学报, 2005, 28(1): 25-27.
- [2] 王华序. 基于非致命的变初速技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2012: 5-9.
- [3] 倪进峰, 徐诚, 王亚平. 基于多体动力学技术的自动武器数值仿真[J]. 南京理工大学学报, 2005, 29(4): 430-432.
- [4] 董雪花, 王亚平, 徐诚. 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.
- [5] 冉景禄, 王永娟, 徐诚. 模块化枪族发射动力参数匹配关系研究[J]. 弹道学报, 2010(6): 71-76.