

复杂环境下手枪参数匹配仿真分析

张秀华¹, 杨臻¹, 罗浩然², 景春温²

(1. 中北大学 机电工程学院, 太原 030051; 2. 建设工业技术中心, 重庆 400054)

摘要:复进楔紧不到位故障分析是手枪环境试验的重心;为准确分析复杂环境下手枪运动特性,利用 ADAMS 软件与三维建模软件 UG 相结合建立了手枪虚拟样机模型;对摩擦因数进行参数化,将仿真所得套筒速度与高速摄影所得实验结果相匹配,拟合不同环境下摩擦因数;然后建立不同环境下样机模型,基于该模型对不同环境下开闭锁可靠性进行了分析;结果表明:将数值仿真技术与传统实验技术相结合,考虑复杂环境的影响,进一步提高了仿真模型的可靠性,缩短了枪械研制周期。

关键词:手枪;复杂环境;参数化;速度匹配

本文引用格式:张秀华,杨臻,罗浩然,等.复杂环境下手枪参数匹配仿真分析[J].兵器装备工程学报,2016(11):40-43.

Citation format:ZHANG Xiu-hua, YANG Zhen, LUO Hao-ran, et al. Simulation Analysis and Parameters Matching of Pistol Under Complex Environment[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(11):40-43.

中图分类号:TJ3

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2016)11-0040-04

Simulation Analysis and Parameters Matching of Pistol Under Complex Environment

ZHANG Xiu-hua¹, YANG Zhen¹, LUO Hao-ran², JING Chun-wen²

(1. School of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Construction Industry Technology Center, Chongqing 400054, China)

Abstract: The fault analysis of the wedge is the focus of the pistol environment test. In order to accurately analyze characteristics of pistol in complex environment, the virtual prototype of pistol was established by combining the ADAMS software and the 3D modeling software UG. The friction factor was parameterized, and the simulation results were matched with the experimental results of high speed photography, and the friction factor was fitted under different environment. Then, the prototype model was built in different environment, and the reliability of the open lock was analyzed. Based on the model the kinematics and dynamics characteristic of the main components were obtained. The results show that considering the influence of the complex environment, the combination of numerical simulation technology, the traditional experimental technology can further improve the reliability of the simulation model and greatly shorten the arms development cycle.

Key words: pistol; complex environment; parametric; velocity matching

枪械运动学动力学是枪械设计的基础知识,构建基于 ADAMS 的虚拟样机模型在枪械设计中尤为重要,而合理的样机模型受使用环境的影响^[1-3]。此处的复杂环境主要指枪械处于扬尘、扬尘后淋雨和浸河水等这些恶劣环境。在这

些环境条件下,由于大量的尘土和泥水渗入枪械内,造成运动摩擦阻力急剧增加,后坐及复进能量消耗过大,造成后坐不到位和复进不到位及其他故障。可以通过适当增大运动零部件间间隙解决这些问题,然而间隙的存在破坏了理想机

收稿日期:2016-05-20;修回日期:2016-07-15

作者简介:张秀华(1991—),女,硕士研究生,主要从事武器结构设计与仿真分析研究,E-mail:1561593942@qq.com。

构的模型,使机构实际运动与理想运动产生误差。过大的间隙会使枪械各零部件之间发生冲击和跳动。因此,在对枪械分析和设计过程中,选择合理的运动副间隙,提高枪械环境适应性,并在枪械设计中减小其负面作用是很有必要的^[4-5]。

本文旨在建立可靠的虚拟样机模型,在 ADAMS 软件平台上,建立手枪虚拟样机模型,通过高速摄影测得不同环境下套筒运动特性,然后通过仿真数据与实验数据对比,验证模型的可靠性,并对不同环境下摩擦因数进行拟合,最后建立复杂环境下虚拟样机模型^[6]。

1 手枪虚拟样机模型的建立

1.1 手枪主要机构运动过程

新式手枪结构如图 1 所示,该结构的主要部件包括:枪管模块、自动机模块、弹匣模块、复进机模块、击发机模块。运动过程:当子弹击发的瞬间,在火药燃气作用下,弹壳将力传至枪机,枪机通过闭锁支撑面带动枪管一起后坐,当枪机与枪管及弹壳一起走完自由行程后,枪管开闭锁凸榫和联接座的螺旋面发生斜碰撞,受到回转力矩的作用,随枪机一边后坐一边绕轴旋转,旋转一定角度后与枪机解脱完成开锁。枪机继续后坐,之后完成压倒击锤、抛壳压缩复进簧并后坐到位。后坐到位后自动机在复进簧作用下完成复进、枪机推弹入膛,枪机继续复进带动枪管复进,复进到位时完成自动机的闭锁。这就是自动机的一个工作循环。



图 1 手枪结构简图

1.2 接触理论分析

仿真过程中,接触力的添加需要设置接触刚度系数、碰撞指数、阻尼系数和阻尼达到最大值时的切入深度等,而这些参数的设置需要依据相关理论计算或经验而定,要符合实际运动情况。基于赫兹接触理论对系统进行仿真分析。由赫兹(Hertz)弹性接触理论得接触法向力和变形的关系如下:

$$\delta = \frac{a^2}{R^2} = \left(\frac{9P^2}{16RE^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

其中, R 为 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$; R_1 、 R_2 分别为两个接触物体在接触

点的接触半径; E 为 $\frac{1}{E} = \frac{(1-\mu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\mu_2^2)}{E_2}$, 其中 μ_1 、 μ_2 为两个接触物体的材料泊松比; E_1 、 E_2 为两个接触物体的材料

的杨氏模量。由此可得:

$$P = \delta^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{16RE^2}{9}} = k\delta^{3/2}$$

令两碰撞物体的接触刚度系数为 k , 则:

$$k = \sqrt{\frac{16RE^2}{9}}$$

基于赫兹接触理论与理论计算公式得接触参数如表 1 所示。

表 1 接触参数设置

	刚度系数	阻尼系数	碰撞指数	切入深度
钢/钢	100 000	50	1.5	0.1
铝/钢	35 000	28	1.5	0.1

1.3 载荷的计算

自动机所承载荷主要是火药燃气压力,根据经典内弹道原理,内弹道时期的作用力可由内弹道的压力 p 和枪膛横截面积 s 相乘得到,根据内弹道的数据即可计算出作用在枪机上的后坐力即膛底压力,其曲线如图 2 所示,载荷添加如图 3 所示。

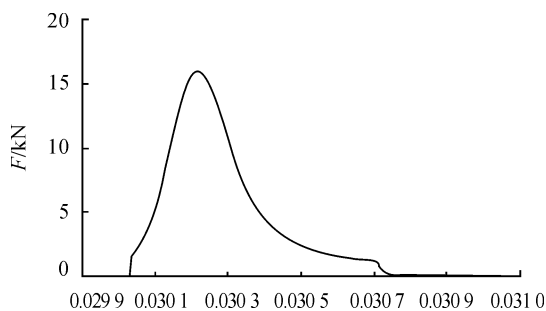


图 2 某手枪后坐力曲线

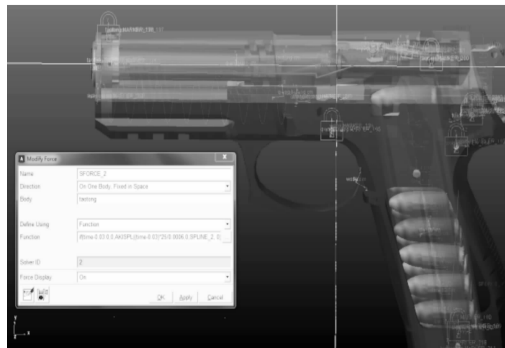


图 3 后坐力载荷添加

1.4 模型边界条件设置

枪械在运动过程中枪机框与机匣导轨、枪机与机匣导轨、枪机框与枪机之间均存在运动间隙。间隙值的定义通过在 UG 中修改相应的配合尺寸以及配合位置关系实现。

刚体间的簧力包括 3 个压簧(复进簧、托弹簧、拉壳钩簧)和 1 个扭簧击锤簧产生的力;模型还包括一个外力载荷弹底压力。

建立好的虚拟样机模型示意图如图4所示。

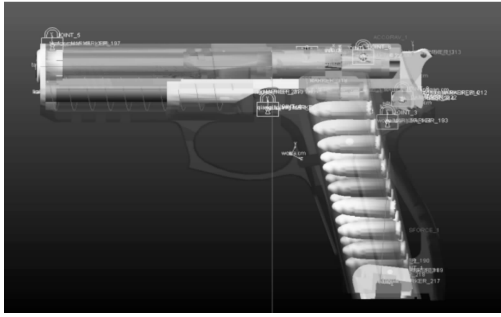


图4 虚拟样机模型

2 实验研究

2.1 手枪枪机运动学特性测量

试验目的:测量枪机水平方向位移

试验方法:采用高速摄影法实施非接触测量,在手枪的枪机上设置一些特征点,采用高速摄影机同步跟踪枪机上的标记点。将高速摄影所获得的视频文件进行处理,得到特征点的位移、速度数据。仿真结果与实验结果对比见表2,验证了仿真模型。

表2 仿真结果与实验数据对比

数据	最大后坐速度	复进最大速度	枪机复位时间
实验	8.0	4.2	0.040
仿真	7.86	4.3	0.042

2.2 手枪复杂环境下试验

试验目的:得出淋雨、扬尘、扬尘淋雨试验前后手枪运动件修正系数。

试验方法:采用高速摄影法实施非接触测量,测量不同环境下套筒的速度。

如图5所示,以动摩擦因数 μ 为设计变量,通过对摩擦因数 μ 进行参数化,使仿真数据与已存在的测试数据达到最佳拟合,对该样机套筒速度进行参数匹配。

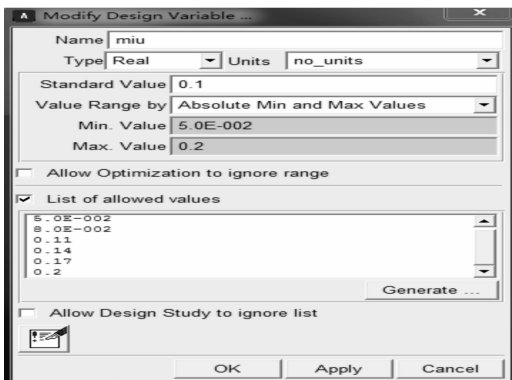


图5 设计变量的定义

扬尘情况下优化分析结果如图6所示,动摩擦因数取0.2时拟合较好。按照以上方法结合试验与仿真结果对不同环境下摩擦因数进行拟合,参数如下(表3)。

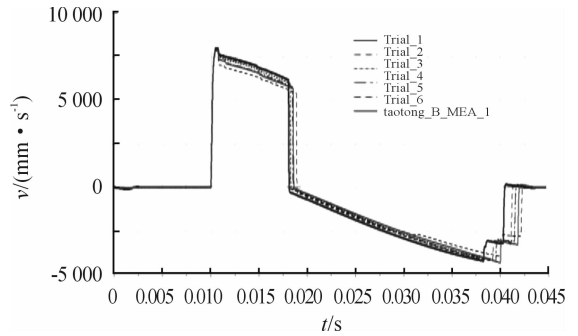


图6 同参数下套筒速度匹配曲线

表3 摩擦因数拟合参数

	淋雨	正常	扬尘	扬尘淋雨
静摩擦	0.3	0.3	0.3	0.45
动摩擦	0.05	0.1	0.2	0.3

3 仿真结果分析

通过以上对比验证了虚拟样机模型的正确性,对于难以通过实验测试的参数,可通过仿真得到。下面就主要构件的关键参数进行仿真分析。

3.1 不同闭锁间隙开闭锁可靠性分析

在不影响结构性能的前提下,适当增大各零部件运动间隙,可以提高枪械对扬尘淋雨等复杂环境的适应性。针对枪管闭锁支撑面与套筒之间间隙为0.02 mm、0.2 mm、0.3 mm时3种不同情况进行仿真,由图7作用力曲线可以看出间隙为0.2 mm时零部件间作用力无明显增大,而间隙为0.3 mm时撞击力较大,因此选择间隙0.2 mm。合理的闭锁间隙可以提高枪械复杂环境适应性。如图8所示枪管在0.7 ms内完成开锁,1 ms内完成闭锁,枪管开闭锁过程可靠。

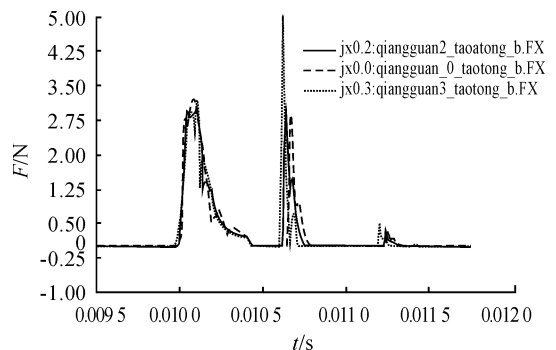


图7 管与套筒作用力曲线

3.2 复杂环境下开闭锁可靠性分析

在极度恶劣环境下出现复进楔紧现象,分析其原因如

下:枪机后坐到位复进时,枪管在自身重力和枪机摩擦力的作用下向前复进,枪管凸笋闭锁面与连接座螺旋槽作用,迫使枪管提前回转,枪管闭锁支撑面凸起与枪机导槽相互作用,出现复进楔紧现象。扬尘后淋雨使运动件摩擦因数增大,从而使枪管运动速度增大,迫使枪管回转趋势加剧,由于枪机运动摩擦力增大,从而消耗了枪机的复进能量,因此极度恶劣环境下开闭锁可靠性较低。

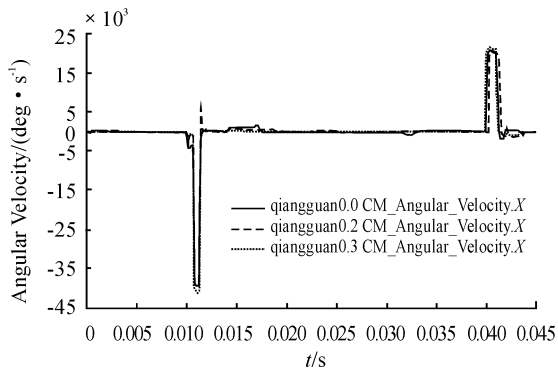


图8 不同间隙下枪管角速度

图9中a处的力是枪击凸榫与连接座导槽之间作用力,使枪管提前回转;图中b处作用力是枪管闭锁支撑面与套筒之间作用力,使枪管向前复进。此时两作用力相互作用出现复进楔紧,由图10复进过程中套筒速度提前降为零,此时出现枪击复进不到位现象。解决措施在枪管上增加预转面与拉壳钩作用消除楔紧现象。改进后仿真结果如图11所示。

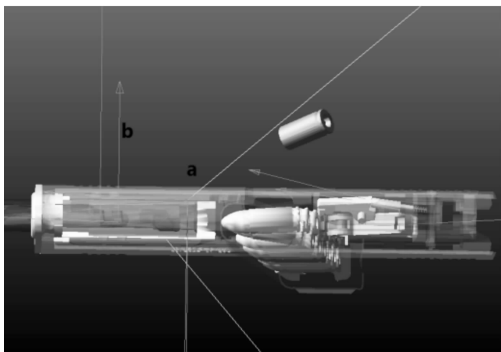


图9 复进楔紧故障

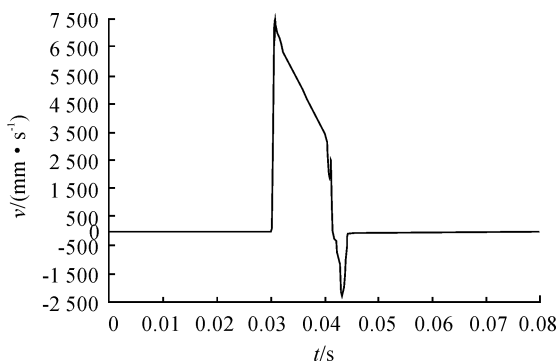


图10 楔紧时套筒速度曲线

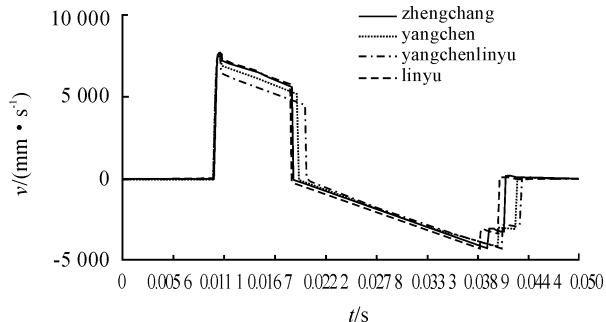


图11 不同环境下套筒速度曲线

由表4仿真结果可以看出:手枪复进楔紧现象得到有效解决,复杂环境下复进不到位现象也得到较好的解决。在不同环境下枪械运动可靠。

表4 不同环境下速度

	V_{\max}	V_h	V_f	t
淋雨	7.85	5.78	3.34	0.041 2
正常	7.86	5.68	3.29	0.041 8
扬尘	7.85	5.15	3.13	0.043 1
扬尘淋雨	7.76	4.49	2.95	0.043 5

其中 V_{\max} 为套筒最大后坐速度, V_h 为后坐到位速度, V_f 为复进到位速度, t 为复进到位的时间。

4 结论

本文基于ADAMS软件建立了某手枪虚拟样机模型,经数值仿真计算得到了枪机框运动学参数值,与实验结果吻合较好,表明了该模型的正确性。对不同环境下摩擦因数进行了拟合,在此基础上,对开闭锁可靠性进行了仿真分析,为枪械设计提供定量分析和参考依据。适当增加运动件间隙,在枪管尾端设置预转面措施有效解决了前期的复进楔紧和复进不到位现象。在手枪虚拟样机建模中将复杂环境的影响考虑在内,与手枪环境试验实验技术相结合,为研制不同环境下的枪械提供了新的方法。

参考文献:

- [1] 薄玉成,王惠源,李强. 自动机结构设计[M]. 北京:兵器工业出版社,2009.
- [2] 李杰仁,马吉胜,陈明,等. 基于ADAMS的自动机动力学建模与仿真[J]. 计算机仿真,2010,27(10):246-249.
- [3] 赵彦峻,骆宇飞. 单兵自动武器建模与仿真分析[J]. 南京理工大学学报,2009,33(6):774-778.
- [4] 李强,彭京启. 导气式自动机闭锁系统优化设计[J]. 华北工学院学报,1999,13(5):21-24.
- [5] 徐家凡,何玲,王永娟. 闭锁间隙对回转闭锁接触应力影响数值仿真分析[J]. 火炮发射与控制学报,2012,3(1):34-38.
- [6] 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,2010,22(2):71-76.