

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.07.002

基于虚拟样机的某型速射迫击炮自动机运动学仿真研究

张军挪¹, 李进东², 程军^{1,2}

(1. 军械工程学院 火炮工程系, 河北 石家庄 050003; 2. 中国人民解放军 65193 部队, 辽宁 沈阳 110101)

摘要: 为获得某速射迫击炮发射时自动机的动力学响应, 对该武器自动机虚拟样机的建模和仿真进行初步探讨和研究。在对某火炮自动机的结构组成和机构动作分析的基础上, 应用 ADAMS 软件建立虚拟样机模型, 并结合实验数据和理论数据对自动机连发打击仿真结果进行对比, 再以虚拟样机为工具, 对自动机的动力学特征进行仿真分析。结果表明, 该样机是可行、正确的, 可为修改该武器结构运动特性以及提高作战效能奠定基础。

关键词: 自动机; 动力学仿真; 虚拟样机**中图分类号:** N945.13; O313 **文献标识码:** A

Dynamic Simulation Research about Automatic Mechanism of Rapid-Fire Mortar Based on Virtual Prototype

Zhang Junnuo¹, Li Jindong², Cheng Jun^{1,2}(1. Dept. of Artillery Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;
2. No. 65193 Unit of PLA, Shenyang 110101, China)

Abstract: In order to acquire dynamics response of certain type automatic mechanism during gun fire, modeling and simulation for virtual prototype of gun automatic mechanism were investigated and studied. Based on the analysis of automat configuration and mechanism movement, virtual prototype model was set up by means of ADAMS software package. Firing dynamic simulation of the automatic mechanism is carried out under the conditions of repeating shots by comparing the test results with the simulated data. A series of kinematics curves of the automatic mechanism are obtained and analyzed, and the results show that the virtual prototype is feasible, which built the groundwork for rectifying the dynamic characteristics and improving the campaign efficiency of this rapid-fire mortar.

Keywords: automatic mechanism; dynamic simulation; virtual prototype

0 引言

近年来, 随着计算机技术和多体系统动力学理论的迅猛发展, 三维实体建模技术和虚拟样机技术也得到了较快发展^[1]。在武器设计和研制过程中, 三维实体建模技术和虚拟样机技术可以大大缩短新一代武器的研制周期, 降低研制成本, 提高研制质量。故基于多体系统动力学理论, 利用机械系统动力学分析软件 ADAMS 建立某型迫击炮自动机的虚拟样机, 并对其进行深入细致的校核, 对自动机在射击状态下各构件的运动学特性进行研究。

1 某型速射迫击炮自动机的结构特点

某型速射迫击炮是我国新装备的一种迫击炮, 该迫击炮突破了传统迫击炮单发装填射击的理念, 可以实现全自动和半自动射击, 连发射击时发射速度可以达到每 1.5 s 发射 4 发炮弹。该武器不仅能够象其它便携式迫击炮一样进行曲射, 也能够进行平射。自动机用于连接炮身和炮架, 完成开关门、发射等动作, 在火炮射击时与火药气体配合, 实现自

动供弹、发射和射击, 该自动机由机匣、炮闩、连杆机构、液压缓冲器、发射机、供弹机构、手动开闩装置以及补偿机构等组成。该炮的自动方式为浮动炮闩式, 即炮闩在推炮弹进膛后复进过程中完成击发, 发火后, 火药气体直接作用于炮闩进而推动后坐组件进行后坐, 由于是在复进过程中击发, 可以减小后坐力。

2 自动机虚拟样机的建立

基于该武器自动机的结构特点, 首先选用 SolidWorks 建模软件建立了自动机各部件的三维实体模型, 然后将模型导入机械动力学仿真软件 ADAMS 中, 建立自动机运动学分析模型^[2]。具体建模过程如图 1。

2.1 模型的简化与假设

自动机动力学模型的建立与简化过程如下:

- 1) 忽略小零部件的影响, 其质量添加到相应的部件上;
- 2) 所建模型选取的射角为 45° 状态;

收稿日期: 2010-01-09; 修回日期: 2010-03-12

作者简介: 张军挪 (1978-), 男, 河南人, 博士, 军械工程学院讲师, 从事结构动力学仿真与应用、步兵武器构造与维修研究。

3) 将炮箱与地面固定, 与其固定连接的部分用 merge 功能合并;

4) 通过对运动副添加阻力, 再修改摩擦系数, 可添加摩擦阻力。

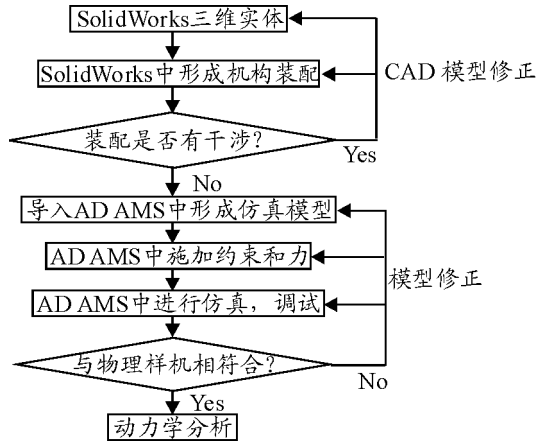


图 1 建模过程框图

2.2 自动机物理样机的建立

自动机系统的实体模型需要在 SolidWorks 中创建好后, 将模型文件输出为 igs 格式, 再导入到 ADAMS 软件中。导入模型的零部件间装配关系不会发生变化。在模型的转换过程中, 要检查零件转换后的效果。由于自动机的零件非常复杂, 在转换后, 会有一些复杂结构边界上的特征点丢失, 从而使模型结构发生较大失真, 这时就必须对导入 ADAMS 中的模型进行修补。另外, 在转换模型过程中要注意统一设置两个软件单位, 并对模型的物理特性进行检查 (如物理特性有丢失可在 ADAMS 中重新指定)。导入 ADAMS 中的装配体模型如图 2。



图 2 导入 ADAMS 中的装配体模型

2.3 约束及力的施加

ADAMS 软件提供了丰富的约束库, 可以方便地施加约束。根据上述建立的机枪发射系统动力学模型, 在各刚体之间施加约束。施加的力有: 弹簧力、接触力和主动力。这些力有些比较简单, 可以利用 ADAMS 中提供的工具直接施加, 比如弹簧力、碰撞力^[3]; 有些则比较复杂, 如火炮发射时的炮膛合力, 难以直接利用 ADAMS 提供的内部函数库实现, 采用 Fortran 语言编写相应的计算模块, 形成 OBJ 文件, 利用 ADAMS 软件的用户程序命令生成

动态链接, 从而实现火炮特殊载荷计算模块与 ADAMS 软件的有机对接。

3 仿真分析

将炮膛合力、弹簧力、碰撞力、摩擦系数以及各种阻尼和约束施加到动力学模型中, 通过仿真计算可以得出该武器射击时自动机各部件的运动情况。图 3~图 6 分别为该武器 4 连发射击时炮闩的速度曲线、炮闩的位移曲线、拨弹板的速度曲线和拨弹板的位移曲线。为了验证虚拟样机的正确性, 可以将自动机运动参数的仿真计算结果与试验测试结果进行对比, 对比结果如表 1。

表 1 自动机运动参数比较

自动机运动参数	试验结果	仿真结果	相对误差
最大后坐速度/ $m \cdot s^{-1}$	7.42	7.80	5.1%
最大复进速度/ $m \cdot s^{-1}$	4.68	4.53	3.2%
最大后坐行程/mm	451	430	4.6%
最大复进行程/mm	419	415	0.9%
最大拨弹速度/ $m \cdot s^{-1}$	2.49	2.40	3.6%

由表 1 可以看出, 自动机运动参数的仿真结果与试验测试结果的相对误差均 $< 6\%$, 满足工程分析的要求, 说明所建立的虚拟样机是科学合理的, 仿真结果是可信的。

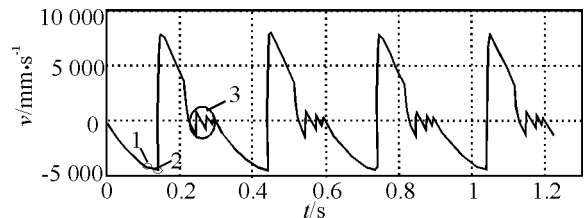


图 3 炮闩速度曲线

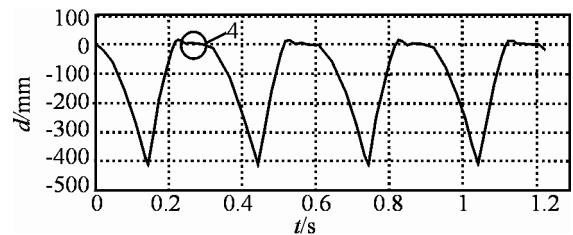


图 4 炮闩位移曲线

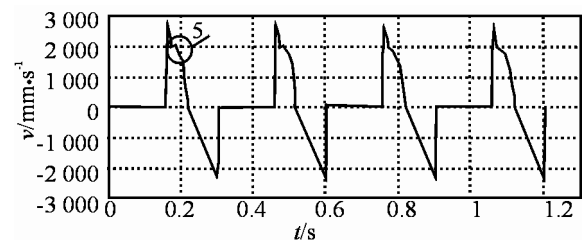


图 5 拨弹板速度曲线

(下转第 8 页)

要求。装药精度可达±0.02 g，药量调节范围 0.5 g，跳差出现的概率为 1/500，满足企业对发射药装药这一工艺过程的要求。跳差原因与装药压力存在一定关系，具体原因还有待进一步研究。

3 结束语

该技术及装备可实现小口径枪弹高速旋转连续动态精装药，各项技术指标均达到国内领先水平，在装药效率方面与欧洲同类型装置无明显差异。该装置能广泛应用于大中口径枪弹及相关民爆、火工品的装药过程，将显著提高我国小口径枪弹的整体

生产能力。

参考文献：

[1] 王泽山, 等. 火药装药设计原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
 [2] 高丰. 基于高速转子式结构的小口径枪弹装药装配设备与技术研究[J]. 兵工自动化, 2009, 11(4): 1-4.
 [3] 哈里斯. 汴荣宣 译. 美国枪弹生产的现代化[J]. 美国步枪手, 1979(11): 4-18.
 [4] 马云富. 我国弹药装药装配技术现状及发展对策[J]. 兵工自动化, 2009, 28(9): 1-3.
 [5] 张洪林, 刘宝民, 焦宗平. 双模块装药弹道设计[J]. 四川兵工学报, 2009(7): 45-47.

(上接第 3 页)

参考文献：

[1] 单惠民. 立足现有适应需求加快战区应急装备保障力量建设[J]. 装备, 2007(2): 24-25.
 [2] 孙国至. 加强战区装备应急保障机构建设的思考[J]. 通用装备保障, 2006(2): 16-17.
 [3] 王建民. 着眼一体化联合作战需求, 努力构建一体化作战体系[J]. 军事学术, 2005(7): 9-11.
 [4] 刘江桂. 一体化联合作战价值论[J]. 中国军事科学, 2006, 19(1): 131-137.

[5] 白松卫. 一体化作战通用装备保障训练理论研究[D]. 石家庄: 军械工程学院博士学位论文, 2007.
 [6] 张学林, 董爱群. 关于陆军部队的组织结构问题研究[J]. 南昌陆军学院学报, 2005(3): 133-134.
 [7] 马伟宏, 江敬灼, 滕仪奎. 模块化部队兵力结构分析方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2008(2): 49-54.
 [8] 周游, 梁剑. 组织结构扁平化与军队管理创新[J]. 国防科技, 2007(5): 53-57.
 [9] 王朕, 曹建亮. 信息化条件下联合作战效能评估[J]. 四川兵工学报, 2009(4): 91-93.

(上接第 5 页)

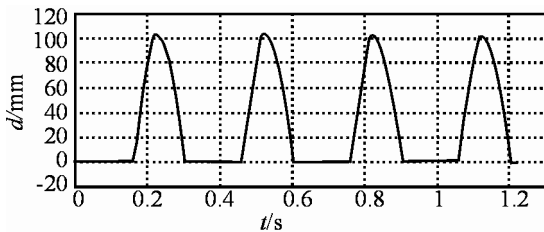


图 6 拨弹板位移曲线

从图 3、图 4 的仿真结果可以看出连发射击时炮闩的运动过程，拉发射手柄发射后，炮闩及其它后坐组件在弹簧力的作用下向前复进，且速度逐渐增大，炮闩在复进过程中推炮弹进入膛后，在预定位置击发炮弹。图 3 中的标注 1 为击针撞击底火炮弹发火的位置，发火后，在火药气体的作用下炮闩的复进速度迅速减小，图 3 中的标注 2 为炮闩前冲到位，开始后坐，同时拨动板开始返回；图 3 中的标注 3 和图 4 中的标注 4 均有一个振荡过程，表示炮闩后坐到位以后，在弹簧力的作用下会使后坐组件向前运动，而此时加强机还没有向后运动到位，击发阻铁仍在槽内与挡铁配合限制上连杆的运动，进而会使后坐组件（包括炮闩）向前运动受阻发生的前后振荡，待加强机运动到位使击发阻铁解脱对

上连杆的限制后，后坐组件开始复进进入下一个射击循环。图 5 中的标注 5 表示拨弹板向右移动时，当拨弹齿与下一发弹箍作用时阻力发生变化而引起的速度变化，拨弹齿越过下一发弹箍后向上抬起恢复正常。

4 结论

根据某火炮自动机机构动作，对火炮自动机虚拟样机的建模和仿真进行了初步探讨，建立了该自动机的发射动力学模型，并证明了所建模型的正确性，通过仿真得到满意的结果。该研究对该武器进行有限元分析、结构参数优化、疲劳寿命以及可靠性分析等奠定了坚实的基础。

参考文献：

[1] 陈锦喜, 王瑞林, 李永建. 基于 ADAMS 的某榴弹发射器虚拟样机仿真及其动力学特性分析[J]. 军械工程学院学报, 2007, 19(6): 42-45.
 [2] 张军娜. 某型重机枪结构动力学仿真与参数优化[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2007: 73-95.
 [3] 曾晋春, 杨国来, 王晓锋. 某火炮自动机虚拟样机建模与仿真[J]. 火炮发射与控制学报, 2008, 109(1): 42-45.
 [4] 李杰仁, 马吉胜, 郑海起, 等. 某高炮自动机虚拟样机仿真[J]. 四川兵工学报, 2009(6): 69-71.