

doi: 10.7690/bgzd.2024.03.019

某枪械的连发改进仿真

贺大为, 籍飞超, 郭丽君

(湖南兵器轻武器研究所有限责任公司, 湖南 益阳 413000)

摘要: 为研究在某型 18.4 mm 功能多防暴枪结构的基础上将半自动发射方式改为全自动发射的可行性, 结合 3 维作图软件和仿真软件建立其动力学仿真模型。通过单发射击仿真结果和试验结果对比验证模型的有效性, 并在此基础上进行连发射击仿真, 对该型半自动防暴枪连发功能改进后的自动循环、抛壳、供弹等工况进行仿真分析。结果表明: 防暴枪现有自动循环、供弹、抛壳等结构满足连发射击的要求, 仅需对其发射机部分进行细微改动即可实现全自动射击。

关键词: 防暴枪; 动力学仿真; 全自动射击; 供弹; 抛壳

中图分类号: TJ279 **文献标志码:** A

Improved Simulation of Certain Gun's Repeating Firing

He Dawei, Ji Feichao, Guo Lijun

(Hu'nan Institute Co., Ltd. of Weapons and Light Weapons, Yiyang 413000, China)

Abstract: In order to study the feasibility of changing the semi-automatic firing mode into full-automatic firing mode on the basis of the structure of certain type of 18.4 multi-function riot gun, a dynamic simulation model was established by using three-dimensional mapping software and simulation software. The validity of the model was verified by comparing the simulation results of single shot with the experimental results, and on this basis, the simulation of continuous firing was carried out, and the simulation analysis of automatic cycle, ejection, ammunition feeding and other working conditions of the semi-automatic riot gun after the improvement of continuous firing function was carried out. The results show that the existing automatic circulation, ammunition feeding, ejection and other structures of the riot gun meet the requirements of continuous firing, and only the transmitter part of the riot gun needs to be slightly modified to achieve fully automatic firing.

Keywords: anti-riot gun; dynamic simulation; automatic firing; ammunition feeding; ejection

0 引言

某型 18.4 mm 多功能防暴枪(以下简称防暴枪)是一种非致命性与致命性相结合的单兵武器, 使用 18.4 mm 系列弹药, 发射方式为半自动, 主要用于反恐、制暴, 既可以发射杀伤弹用于反恐作战, 杀伤 50 m 距离内恐怖分子; 也可发射防暴弹药用于防暴控制, 驱散 10~50 m 距离内非法集会、游行、斗殴等聚众骚乱群体。

防暴枪采用可调的复合式自动原理, 发射低膛压防暴弹药时, 采用自由枪机模式; 发射高膛压弹药时, 采用强制闭锁模式, 能够可靠实现不同弹药的半自动发射。全枪重 < 3.5 kg, 有效射程 > 50 m, 战斗射速 > 20 发/min。

发射杀伤弹时, 防暴枪可作为军用霰弹枪用于城市作战, 也可作为反恐防暴武器用于对武装暴恐分子的清剿。作为一种近距离的面杀伤性武器, 其使用环境多是复杂地形下近距离的遭遇战等突发战斗场景, 对火力爆发能力和首发命中率要求较高。

在相关外贸改进型号产品及军用霰弹枪的研制输入中都明确要求产品具有连发射击功能, 并对其连发频率、连发精度等性能指标提出了要求。通过改进使防暴枪具备连发射击功能, 提升其在遭遇战时的压制能力和命中概率, 提高其作战效能, 无论是从客户需求还是实战效果来看, 都具有积极意义。

防暴枪发射机构采用的是超越式单发机构, 从其发射机结构上来说可以较容易地实现连发射击功能, 在保留其原有功能的基础上增加连发射击的功能可明显提升防暴枪在面对多名犯罪嫌疑人时的压制或杀伤能力, 改进性价比较高。

基于此, 笔者利用动力学仿真软件 ADAMS 为平台对防暴枪进行连发功能改进后的仿真分析, 对其改进后在自动循环、供弹、抛壳等机构动作的完成情况进行了摸底。

1 虚拟样机模型建立

通过 3 维作图软件 SOLIDWORKS 绘制防暴枪的 3 维实体模型, 将其转化为中性文件后导入到仿

收稿日期: 2023-11-16; 修回日期: 2023-12-15

第一作者: 贺大为(1989—), 男, 湖北人, 硕士。

真软件 ADAMS 中建立虚拟样机模型。

1.1 虚拟样机建模方案

根据仿真分析方案对相关的自动机组件、机匣组件、枪管组件、发射机组件、弹匣组件等主要零部件及弹药进行建模，对准星、照门、膛口装置、销轴等零部件不予考虑。

1.2 3 维实体模型的建立

如图 1 所示，通过 3 维作图软件 SOLIDWORKS 绘制防暴枪各零件的 3 维实体模型并装配成装配体，装配体保证各零件初始位置正确。整个装配体共包含自动机、机匣、枪管、发射机和弹匣等 5 个组件，共 46 个零件。



图 1 防暴枪总装模型

1.3 添加运动副和约束

通过 SOLIDWORKS 将防暴枪 3 维实体模型另存为 .x_t 格式文件，并将其导入 ADAMS 中^[1]。对导入的各零件重新命名，并对运动分析过程相关的零件赋予材料属性、运动关系和约束关系，其中材料属性按产品实际材料进行赋予，弹药整体赋予铝合金材料属性^[2]。

创建的主要运动副有：

机匣 (jixia) 和 ground、转换套 (tao2) 和机匣、枪管 (qiangguan) 和节套 (jietao)、弹匣体 (danxiati) 和机匣、发射机体 (fashejiti) 和机匣之间设置固定副；

枪管和机匣、击针 (jizhen) 和枪机 (qiangji)、枪机和机匣之间设置滑移副；

闭锁片 (bisuopian) 和枪机、阻铁 (zutie) 和发射机体之间设置旋转副；

除运动副外对发生碰撞的零件之间添加实体接触力，在枪机导杆 (qiangjidaogan) 与机匣、托弹板 (tuodanban) 与弹匣体、击针与枪机间添加线性弹簧阻尼器，分别模拟复进簧、托弹板簧和击针簧。

所有运动副和约束添加完成后的虚拟样机模型如图 2 所示。



图 2 防暴枪虚拟样机模型

2 施加载荷

2.1 测量及计算载荷

防暴枪采用半自由枪机、刚性闭锁和前冲击发结构，其射击时受到的主要载荷为来自弹药的膛底压力。

利用电测压传感器和弹道枪对防暴枪配用的某型杀伤弹膛压进行测量，得到弹药的膛压-时间曲线，在此基础上根据力和压力转换公式 $F=PS$ (式中： P 为膛压，MPa； S 为弹药药室底面积， mm^2) 计算膛底载荷 F (单位：N)，得到作用在弹药及机体上的载荷力随时间变化数据。

2.2 导入载荷

将作用在弹药及机体上的载荷力随时间变化数据保存为文本文档，命名为 18.4tangya.TXT，文件中数据分为 2 列，第 1 列为时间，第 2 列为载荷力。

如图 3 所示，用 ADAMS 中的 Test Date(*.*) 导入功能将载荷力文档导入，利用 AKISPL 样条函数实现数据拟合，生成相应的样条曲线^[3]，得到载荷曲线 SPLINE_1。

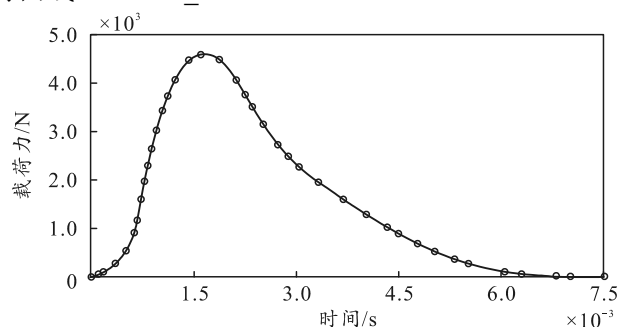


图 3 机体所受载荷力曲线

3 模型验证与分析

3.1 模型验证

在 ADAMS 中对虚拟样机进行单发情况下的运动学和动力学仿真^[4]，虚拟样机初始状态为弹匣装满 5 发弹药，自动机组件处于挂机待击发位置。

防暴枪采用开膛待机、前冲击发结构，载荷时间起点为击针撞击弹药底火的时间。为计算该时间起点，先进行一次不添加膛压载荷的仿真分析，根

据仿真得到击针上固定点(MARKER_20bn6)与节套上固定点(MARKER_51)在沿枪管轴线方向上的位移(FUNCTION_MEA_2)-时间曲线如图 4 所示。

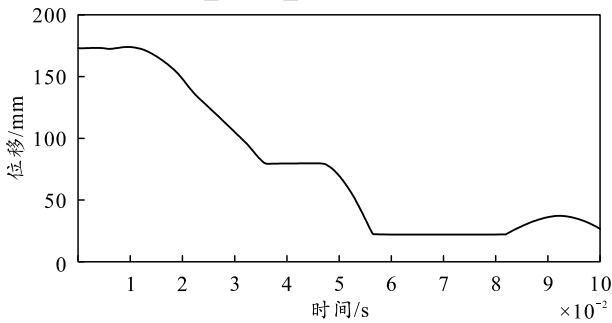


图 4 单发仿真时击针位移-时间曲线

由上图可知, 载荷时间起点为 0.056 4 s。

根据模型所处空间坐标系所示, 在第 1 发弹药(dan1)上沿 z 轴正向(枪管指向枪尾方向)的作用力, 作用力类型为“On One Body, Moving with Body”, 作用力大小为: if(time-0.0564: 0, 0, if(time-0.056 4-0.007: akispl(time-0.0564, 0, SPLINE_1, 0), 0, 0)); 其中: SPLINE-1 为导入的载荷数据拟合的载荷力样条曲线; Time-0.056 4 为击针撞击弹药底火前载荷力为 0; time-0.056 4-0.007 为有效载荷力只存在于载荷时间起点至载荷时间起点后 0.007 s 之间。

在扳机及握把保险上增加相应的作用力模拟射击动作, 进行时间 0.1 s, 步长 0.000 1 s 的仿真分析, 得到机体的速度-时间曲线如图 5 所示。

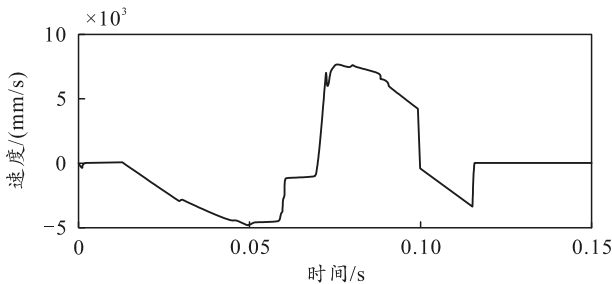


图 5 单发仿真时的机体速度-时间曲线

由上图可以看出复进过程中最大速度为 4.798 m/s, 后坐过程中最大速度为 7.674 m/s, 后坐到位速度为 4.329 m/s, 从曲线中可以看出整个运动过程中机体运动平稳。

对防暴枪实弹射击过程中的自动机运动情况进行高速摄影并测量机体运动过程中关键参数值, 如图 6 所示。表 1 为仿真及试验中的几个关键参数的对比情况, 相对误差均在 10%以内, 这表明虚拟样机各种参数的设置是合理的, 建立的虚拟样机模型是合适、可靠的, 仿真结果是可信的^[2]。

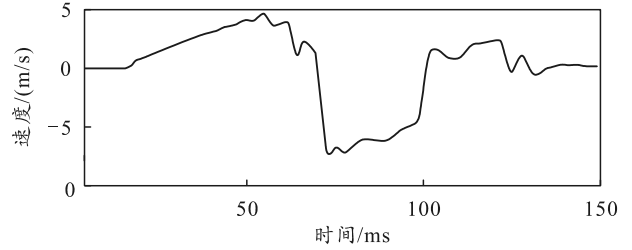


图 6 高速摄影采样实测机体速度-时间曲线

表 1 机体运动速度仿真结果与试验值对比 m/s

参数	后坐最大速度	后坐到位速度	复进最大速度
仿真值	7.674	4.329	4.798
试验值	7.420	4.530	4.690

3.2 机体、枪管运动分析

图 7 是仿真得到的枪管位移-时间、速度-时间曲线;图 8 是仿真得到的机体、枪管速度-时间曲线。

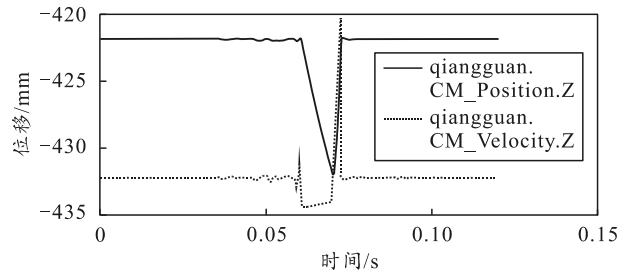


图 7 单发仿真时的枪管位移-时间曲线

由上图可看出: 枪管前冲行程为 10.27 mm, 前冲行程中其运动速度有急速减小的过程, 说明击针在枪管前冲过程中撞击底火、载荷开始作用, 枪管在载荷作用下、复位过程中得到的最大速度为 6.306 m/s。

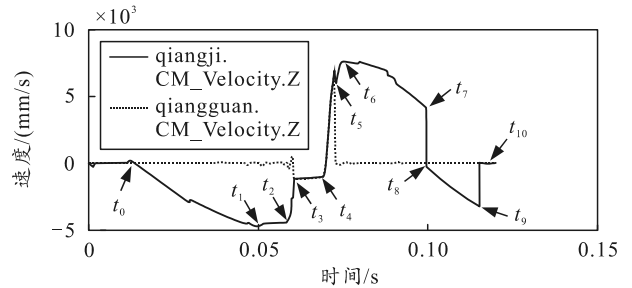


图 8 单发仿真时的机体、枪管速度-时间曲线

由上图可以看出: 时间段 0~t₀ 是枪机挂机状态下扣扳机前和扣扳机过程; t₀~t₂ 是枪机复进过程, 其中 t₁ 时间点击针被击发阻铁挂住; t₂~t₃ 是枪机撞击节套、闭锁过程, 其中 t₃ 时间点枪机闭锁到位; t₃~t₄ 是机体与枪管部件一起前冲过程; t₄~t₅ 是枪机和枪管部件在膛压作用一起前冲到位、加速后坐过程, 其中 t₅ 时间点枪管部件后坐到位撞击机匣限位面, 枪机开锁并继续后坐; t₅~t₆ 是枪机在残余膛压作用下继续加速后坐过程; t₆~t₇ 是枪机在复

进簧力作用下减速后坐过程，其中 t_7 时间点是后坐到位过程； $t_8 \sim t_9$ 是枪机复进过程； $t_9 \sim t_{10}$ 是枪机复进到挂机位置的过程，其中枪机挂机时有轻微反跳。

4 连发射击仿真分析

根据单发仿真结果及实弹射击试验结果可知防暴枪在单发射击时的自动机运动、供弹及抛壳过程均能可靠完成，为分析防暴枪连发射击时的机构动作可靠性，在虚拟样机的基础上首先进行连发射击仿真^[5]。

为满足连发射击条件，将阻铁与机体的接触力删除，保持原参数不变进行时间 0.15 s，步长 0.000 1 s 的仿真分析，得到二次击发击针的运动-位移曲线如图 9 所示。

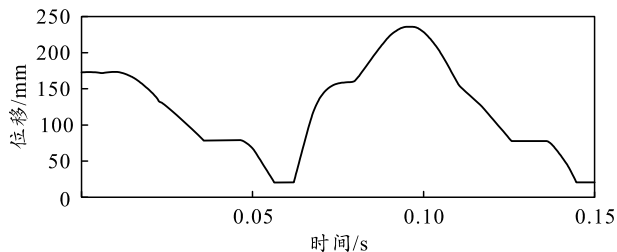


图9 二次击发击针位移-时间曲线

由上图可知击针撞击第 2 发弹药底火的时间点为 0.144 s，在第 2 发弹药 (dan2) 上添加沿 z 轴正向的作用力，作用力类型为“On One Body, Moving with Body”，作用力大小为： $\text{if}(\text{time}-0.144: 0, 0, \text{if}(\text{time}-0.144-0.007: \text{akispl}(\text{time}-0.144, 0, \text{SPLINE}_1, 0), 0, 0))$ 。

其他参数保持不变，进行 0.3 s，步长 0.000 1 s 的仿真分析，得到 2 连发时的击针运动曲线，由曲线可知击针撞击第 3 发弹药底火的时间点为 0.226 s，在第 3 发弹药 (dan3) 上添加沿 z 轴正向的作用力，作用力类型为“On One Body, Moving with Body”，作用力大小为： $\text{if}(\text{time}-0.226: 0, 0, \text{if}(\text{time}-0.226-0.007: \text{akispl}(\text{time}-0.226, 0, \text{SPLINE}_1, 0), 0, 0))$ 。

按以上步骤，分别得到击针撞击第 4、5 发弹药底火的时间点为 0.304、0.385 s，在第 4、5 发弹药 (dan4、dan5) 上添加沿 z 轴正向的作用力，作用力类型为“On One Body, Moving with Body”，作用力大小分别为： $\text{if}(\text{time}-0.304: 0, 0, \text{if}(\text{time}-0.304-0.007: \text{akispl}(\text{time}-0.304, 0, \text{SPLINE}_1, 0), 0, 0))$ 、 $\text{if}(\text{time}-0.385: 0, 0, \text{if}(\text{time}-0.385-0.007: \text{akispl}(\text{time}-0.385, 0, \text{SPLINE}_1, 0), 0, 0))$ 。

全部载荷添加完成后，进行 0.6 s，步长 0.000 1 s

的仿真分析，得到防暴枪的 5 连发射击仿真结果。图 10 是仿真得到的击针位移-时间曲线，图 11 是仿真得到的机体速度-时间曲线，图 12、13 是仿真得到的枪管位移-时间、速度-时间曲线，图 14、15 分别是仿真得到的弹壳位移-时间、速度-时间曲线。

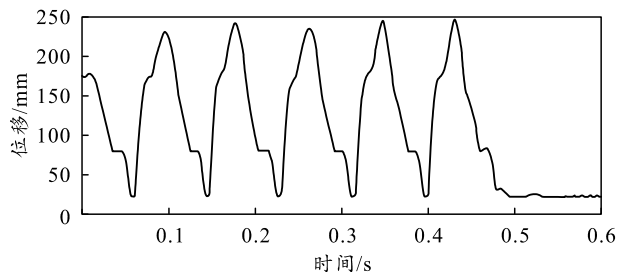


图10 5连发仿真时的击针位移-时间曲线

由上图可知，5 连发仿真时击针运动一致性较好，载荷加载时间点符合击针打击弹药底火的时间规律。

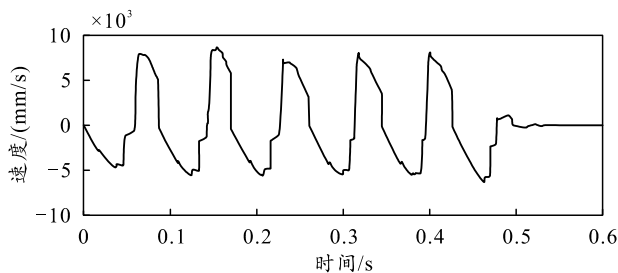


图11 5连发仿真时的机体速度-时间曲线

由上图可知，5 连发仿真时机体后坐最大速度为 7.447~8.62 m/s、后坐到位速度为 3.104~5.672 m/s、复进最大速度 4.738~5.593 m/s、射频为 640 发/min，机体单个循环运动速度有差异，但总体运动规律与单发仿真结果基本一致。

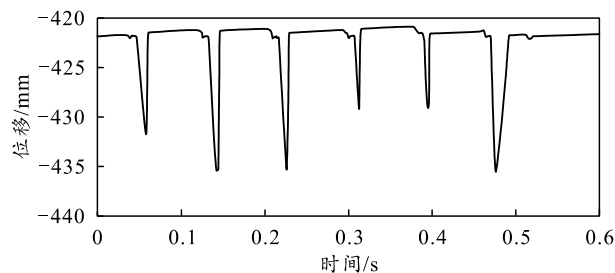


图12 5连发仿真时的枪管位移-时间曲线

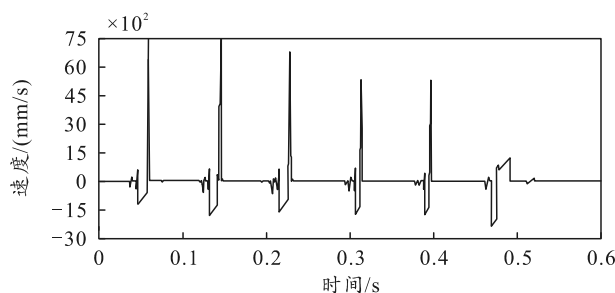


图13 5连发仿真时的枪管速度-时间曲线

由图 12、13 可知，5 连发仿真时枪管前冲行程为 8.3~14.5 mm、前冲最大速度为 1.18~1.795 m/s、后坐最大速度为 5.254~7.485 m/s，枪管单个运动循环由于与枪机闭锁后获得的前冲速度有差异，导致对应击发时间点的前冲行程、获得的后坐速度均有差异。

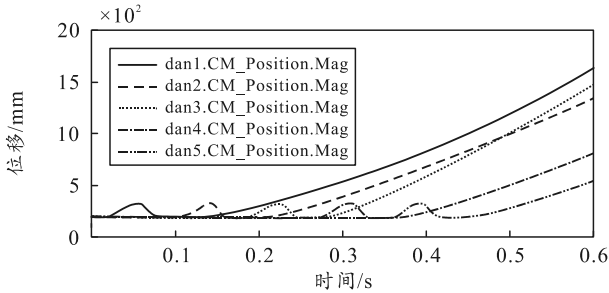


图 14 5 连发仿真时的弹壳位移-时间曲线

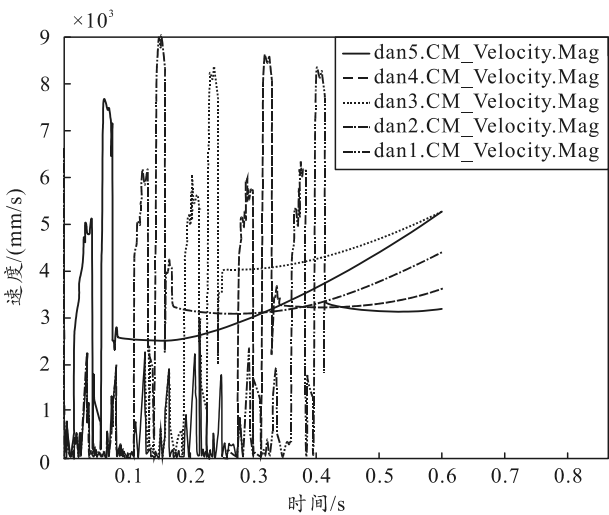


图 15 5 连发仿真时的弹壳速度-时间曲线

由图 14、15 可知，5 连发仿真时的抛壳轨迹基本一致，抛壳前弹药轴向速度为 6.089~7.957 m/s、抛壳后弹药横向(垂直身管轴线，沿抛壳口向右)速度为 2.353~3.234 m/s、弹药在弹匣内的上抬速度最大为 2.121~2.878 m/s，供弹及时性和抛壳可靠性能够满足连发射击要求。

仿真过程中模型各关键节点画面如图 16—19 所示。



图 16 首发弹推弹进膛过程



图 17 首发弹闭锁前冲过程



图 18 首发弹射击时后坐抛壳过程

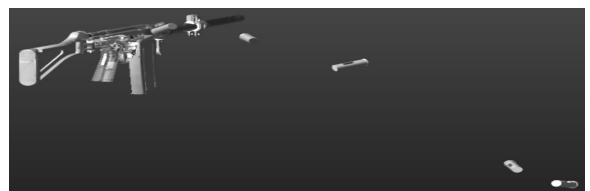


图 19 5 连发后的抛壳轨迹

5 结论

以防暴枪现有结构为基础进行连发仿真分析。仿真结果表明：连发时自动机后坐到位速度最小为 3.104 m/s，连发时供弹及时、抛壳稳定，防暴枪能够通过改动发射机构实现连发射击功能；同时，前冲行程和击发时机对后坐速度有明显影响，击发时，枪管、机体前冲速度越大后坐速度越小，反之则越大。当连发过程中不同弹药击发时间点分布于前冲到位时间点前后时，就会存在自动机后坐速度波动较大的问题，对射击时的稳定性和可靠性造成影响。在后续研究中，将进一步分析寻找击发时间点、前冲行程和与前冲、后坐运动相关的弹簧参数的最优匹配关系，提高防暴枪连发射击的稳定性和可靠性。

参考文献：

- [1] 陈志伟, 董月亮. MSC Adams 多体动力学仿真基础与实例解析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [2] 贾相武. 电动切卡机的创新设计及仿真优化[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [3] 吴海静. 某转管机枪导气装置的动力学分析[J]. 兵工自动化, 2009, 28(8): 4-7.
- [4] 赵彦峻, 骆宇飞, 齐玉辉, 等. 单兵自动武器建模与仿真分析[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2009, 33(6): 774-778.
- [5] 贾智宏, 葛藤, 周克栋. 基于 ADAMS 的自动武器虚拟样机研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(3): 648-650.