

doi: 10.7690/bgzdh.2016.11.009

## 基于 ADAMS 的某转管武器缓冲装置的参数化设计

马 超, 李 强, 程驰青

(中北大学机电工程学院, 太原 030051)

**摘要:** 针对速转管武器射速的增加引起后坐力增大的问题, 设计一种基于 ADAMS 的某转管武器缓冲装置。以某小口径自动武器缓冲装置为研究对象, 在 Solidworks 中建立三维模型, 以 ADAMS 为分析平台, 对缓冲装置的关键设计参数进行优化分析, 得到最优的参数组合。仿真结果表明: 采用参数化分析结果匹配设计的缓冲装置, 能够满足后坐阻力和后坐位移的要求, 对武器其他结构参数的优化设计有一定的参考价值。

**关键词:** 转管武器; 缓冲装置; ADAMS; 参数优化

**中图分类号:** TJ302 **文献标志码:** A

## Parameter Design of Certain Type Gatling Gun Buffer Device Based on ADAMS

Ma Chao, Li Qiang, Cheng Chiqing

(School of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Aiming at the recoil force increasing caused by Gatling gun firing rate increasing, design certain type Gatling gun buffer device based on ADAMS. Take certain type small caliber automatic weapon buffer device as the study target, establishes the three-dimensional model in Solidworks, take the ADAMS as the analysis platform, carry out optimal analysis for important parameters of the buffer device, obtain optimal parameter combination. The simulation result shows that the buffer device used parameters optimization can satisfy the demand of the recoil resistance and the translation. It has certain value for reference to optimize design other parameters of the weapon mechanism.

**Keywords:** Gatling gun; buffer device; ADAMS; parameters optimization

### 0 引言

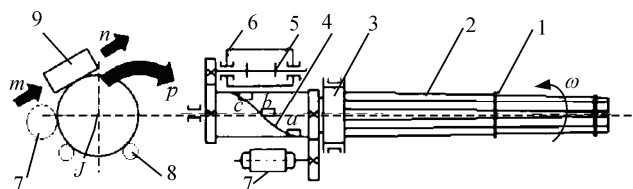
速转管武器射速的增加必然引起后坐力增大。国内外研究表明, 采用高效缓冲器是解决后坐力过大的主要方法之一<sup>[1]</sup>。但是, 若缓冲装置参数匹配不好, 或自动机射速出现较大波动时, 会发生浮动位移虽很小, 而后坐位移叠加增大的现象, 即后坐叠加问题; 因此, 合理选择转管自动参数的变量和缓冲装置的结构参数变量, 实现两者参数变量的合理匹配<sup>[2]</sup>是解决该问题的技术途径。基于上述分析, 笔者以某高射速转管武器为研究对象, 基于 ADAMS 对其缓冲装置进行了优化设计。

### 1 工作原理介绍

#### 1.1 转管炮工作原理介绍

某转管武器工作原理如图 1 所示。6 根炮管绕同一轴线均匀排列, 固定在同一个炮尾上, 每根炮管对应一套自动机, 所有自动机共用一套进弹机构、开闭锁机构和抛壳机构。开始射击时, 电机驱动炮管和行星体, 机芯滚轮在凸轮曲线槽的导引作用下,

在行星体的导槽内做往复直线运动。自动机在相应位置上依次分别完成进弹、闭锁、击发、开锁、抽壳和抛壳等自动动作, 完成武器的射击循环<sup>[3]</sup>。



1. 枪管箍; 2. 枪管; 3. 节套; 4. 凸轮曲线槽; 5. 拔弹轮; 6, 9. 进弹机构; 7. 电机; 8. 缓冲装置。

图 1 外能源转管炮结构

#### 1.2 缓冲装置工作原理

缓冲装置主要作用是消耗和吸收自动机后坐能量, 从而减轻后坐时机构间的撞击<sup>[4]</sup>。其工作原理: 后坐时通过压缩特定的缓冲材料吸收并储存后坐能量, 复进时释放能量。在武器射击循环中的后坐阶段, 各机构运动剧烈, 容易引起构件间的撞击, 后坐能量越大, 撞击越猛烈, 这对武器射击稳定性及使用寿命产生不利影响。缓冲装置设计要求: 尽量

收稿日期: 2016-07-20; 修回日期: 2016-08-25

基金项目: 国家基础科研项目资助(A0820132003)

作者简介: 马 超(1990—), 男, 山西人, 硕士, 从事高射速武器理论与技术研究。

减小后坐力，降低后坐剩余能量；充分释放所吸收的后坐能量，以缩短复进速度，提高射速；同时为保证武器结构紧凑质量轻，应避免后坐位移过大<sup>[5]</sup>。

### 1.3 缓冲装置的力学模型

火炮射击时，火药燃气产生的压力一方面作用于弹丸，使其加速向前运动；另一方面也同时作用于炮身，使其产生后坐运动。如果后坐力过大，就会影响武器的射击；所以，笔者试图利用缓冲装置产生的后坐阻力来减小对武器射击效果的影响。通过对击发后的后坐部分进行受力分析，笔者建立图 2 所示动力学模型。

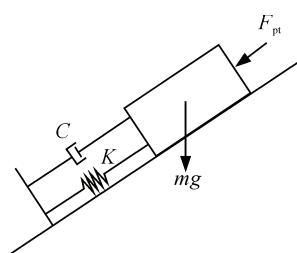


图 2 简化后的动力学模型

炮身后坐运动微分方程为：

$$ma = F_{pt} - F_R; \quad (1)$$

$$F_R = Kx \pm F_0 \pm C\dot{x} - mg \sin \theta。 \quad (2)$$

式中： $m$  为炮身质量； $a$  为炮身运动加速度； $F_{pt}$  为炮膛合力； $F_R$  为后坐阻力； $F_0$  为弹簧预压力； $C$  为各摩擦力等效的阻尼系数； $K$  为缓冲簧刚度； $x$  为后坐位移； $\dot{x}$  为速度； $\theta$  为射角<sup>[6]</sup>。

## 2 建立分析模型

### 2.1 建立样枪实体模型

利用计算机辅助设计软件 SolidWorks 建立转管武器的结构，转化为 Parasolid 格式并导入机械动力学仿真软件 ADAMS 中，建立动力学仿真模型并进行动力学仿真。建模流程图见图 3<sup>[7]</sup>。

### 2.2 导入并定义约束模型

由于笔者只研究转管武器缓冲装置对其后坐运动的后坐阻力影响，所以对导入的仿真模型做合理的简化处理。

1) 对导入的模型，可以通过布尔操作合并相互之间没有运动关系的零部件成为一个刚性体，删除不参与运动且不影响仿真分析结果的刚性体；

2) 忽略零部件之间由于制造加工产生的误差，以及运动过程中的零部件产生的变形，所有的零部

件均视为刚性体；

3) 将转管武器的炮膛合力作用以外力的形式给出；

4) 弹簧阻尼器使用辅助装置与回转中心轴线平行。

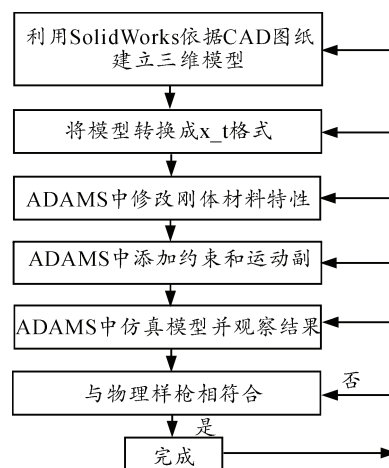


图 3 建模流程

经过上述的设置和简化处理之后，添加相应的约束和载荷，便得到转管武器的虚拟样机模型，如图 4 所示。

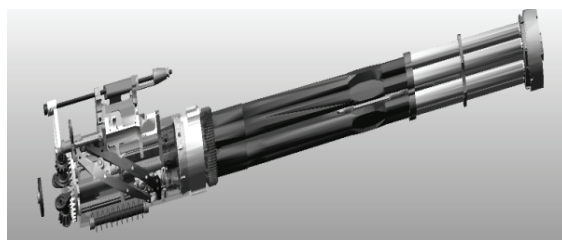


图 4 定义后的整炮模型

## 3 设计变量和优化目标

### 3.1 确定设计变量

ADAMS 参数化设计模块提供了 4 种参数化方式：参数化点坐标、参数化运动方式、使用参数表达式和使用设计变量<sup>[8]</sup>。笔者采用设计变量法。根据分析，最主要的变量有以下 3 个：刚度  $K$ 、阻尼系数  $C$  和预压力  $F_0$ 。参考某转管炮设计参数，选定缓冲装置设计变量如表 1 所示。

表 1 缓冲装置设计变量

变量	变量名	标准值	区间
$K/(N/mm)$	DV_gd	2 000	1 000~3 000
$C/(N \cdot s \cdot mm^{-1})$	DV_zn	30	20~40
$F_0/N$	DV_yyl	4 000	3 000~5 000

### 3.2 优化目标及指标的确定

高速射武器缓冲装置设计要考虑 2 方面问题：

首发后坐阻力大小和连发状态下后坐阻力叠加问题。缓冲装置参数的确定一方面要保证后坐平稳，另一方面要保证自动机能稳定工作。参数优化的目的是得到满足不叠加时较小后坐力，同时速度达到前冲后坐要求的缓冲器参数组合<sup>[9]</sup>。以后坐阻力为优化目标，根据仿真结果，适当调节设计参数以满足后坐位移和速度的匹配。根据总体设计方案和实验数据，要求满足后坐阻力不大于 68.6 kN，后坐位移不大于 16.98 mm。

#### 4 仿真结果及其分析

文中参数化分析过程为：第一，首先考虑单个参数的影响；第二，在得到的单个较优参数时，将其组合后的参数一起仿真分析；第三，在指定的设计参数变化范围内，获得优化对象的最佳参数组合。

##### 4.1 单个参数变化的影响分析

以下是各设计变量在不同取值时，对后坐阻力  $F_R$  和后坐位移  $x$  的影响。

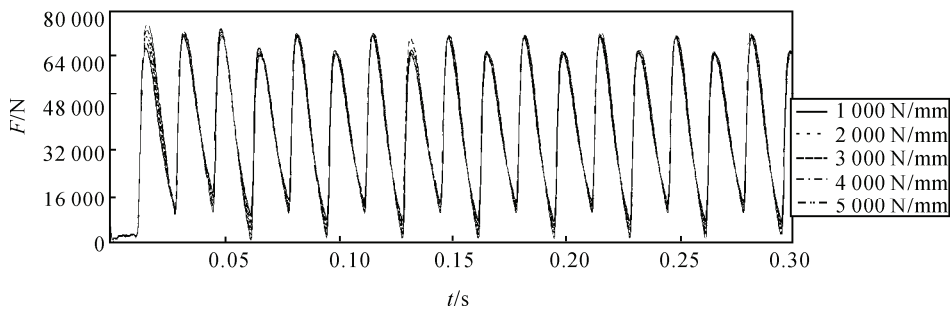


图 5 刚度  $K$  对后坐阻力影响

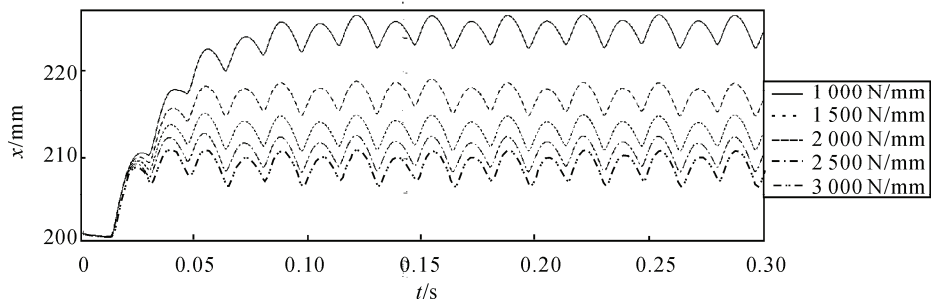


图 6 刚度  $K$  对后坐位移影响

1) 刚度  $K$  对后坐阻力、后坐位移影响分别见图 5、图 6 和表 2。

表 2 刚度  $K$  对后坐阻力、后坐位移影响

试验	$K/(N/mm)$	$F_R/N$	$x/mm$
1	1 000	73 397	225.7
2	1 500	73 073	217.5
3	2 000	72 299	214.4
4	2 500	72 804	211.9
5	3 000	75 074	210.3

由图 5、图 6 和表 2 可以看出：首先分析后坐力，后坐力的最大值为表中的最大值减去预压力

4 000 N，可以求出只有当刚度系数为 2 000 N/mm 时，后坐力的最大值不大于 68.6 kN。然后分析后坐位移，后坐位移的最大值为表中的最大值减去起始位移 201 mm，可以得出当刚度系数大于等于 1 500 N/mm 时，均满足后坐位移不大于 16.98 mm 的要求。综合以上 2 种情况，最终弹簧刚度系数的取值为 2 000 N/mm。

2) 阻尼  $C$  对后坐阻力、后坐位移影响分别见图 7、图 8 和表 3。

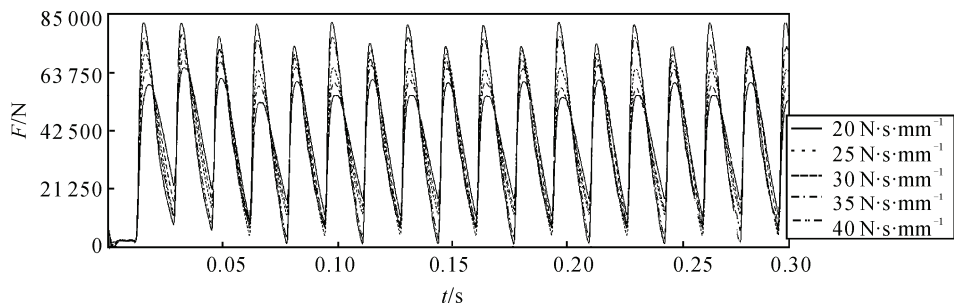


图 7 阻尼  $C$  对后坐阻力影响

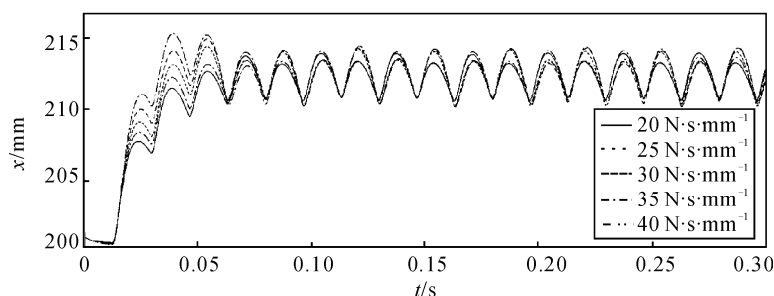


图 8 阻尼  $C$  对后坐位移影响

表 3 阻尼  $C$  对后坐阻力、后坐位移影响

试验	$C/(N \cdot s \cdot mm^{-1})$	$F_R/N$	$x/mm$
1	20	65 699	215.3
2	25	68 726	215.1
3	30	72 645	214.7
4	35	77 637	214.3
5	40	82 385	214.2

由图 7、图 8 和表 3 可看出：阻尼系数的变化对后坐位移的影响不大，均在设计要求范围内<sup>[10]</sup>。当阻尼大于  $25 N \cdot s \cdot mm^{-1}$  时，后坐阻力将不满足要求，所以综合考虑阻尼系数选择  $25 N \cdot s \cdot mm^{-1}$ 。

3) 预压力  $F_0$  对后坐阻力、后坐位移影响分别见图 9、图 10 和表 4。

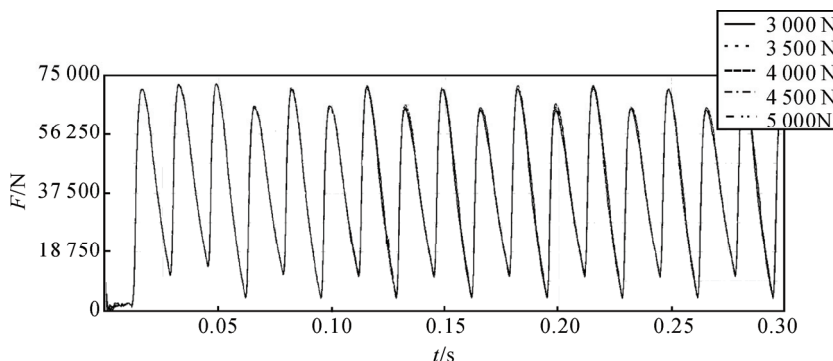


图 9 预压力  $F_0$  对后坐阻力影响

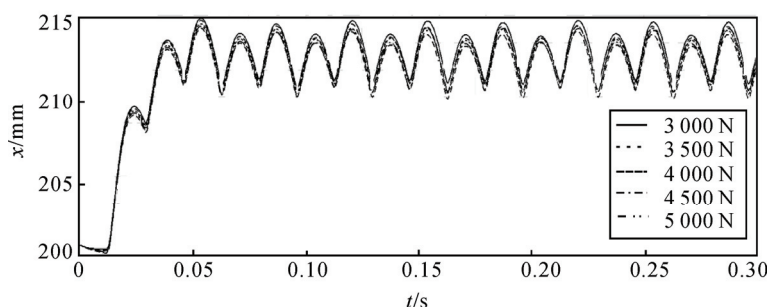


图 10 预压力  $F_0$  对后坐位移影响

表 4 预压力  $F_0$  对后坐阻力、后坐位移影响

试验	$F_0/N$	$F_R/N$	$x/mm$
1	3 000	71 465	214.9
2	3 500	71 952	214.8
3	4 000	71 758	214.7
4	4 500	71 833	214.5
5	5 000	71 328	214.2

由图 9、图 10 和表 4 可以看出：预压力的变化对后坐阻力和后坐位移影响均不是特别大，而且均在设计要求的范围内，所以此处预压力取中间值 4 000 N。

#### 4.2 设计参数的调试

通过上面的仿真分析可以得出，当刚度系数为  $2\ 000 N/mm$ ，阻尼系数为  $25 N \cdot s \cdot mm^{-1}$ ，预压力为  $4\ 000 N$  时，仿真结果符合目标函数要求。笔者利用 4.1 节中的分析数据，运用 ADAMS 仿真软件得出缓冲装置的各个精确函数图像与数据点。

当弹簧刚度系数  $K=2\ 000 N/mm$ ，阻尼系数为  $C=25 N \cdot s \cdot mm^{-1}$ ，预压力  $F_0=4\ 000 N$ ，武器射速在  $3\ 600$  发/min 时缓冲装置工作性能如图 11 所示。

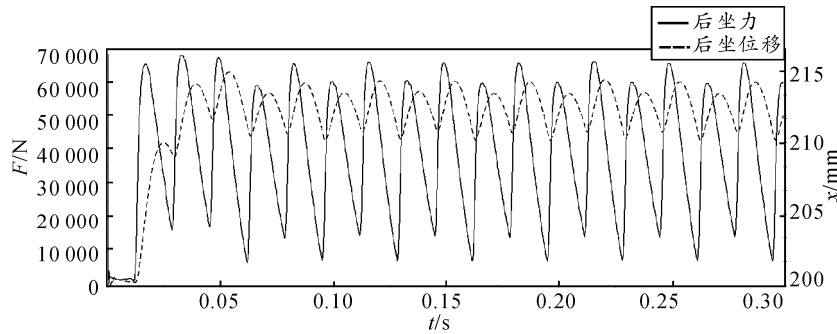


图 11  $F-t$ 、 $x-t$  曲线

仿真结果分析表明：在此参数条件下，缓冲器性能能够达到优化目标，从而得出较优参数的组合。

### 4.3 不同射速时较优参数的分析

由于射速的不同会对后坐力和位移产生较大的

影响，笔者分别对射速为 4 200、4 800 发/min 时的情况进行分析，得到结果如图 12、图 13 所示。

从图 12、图 13 可知：不同射频时，该转管武器的后坐阻力和位移均满足整体设计的技术要求，从而验证了笔者优化设计所确定的参数的合理性。

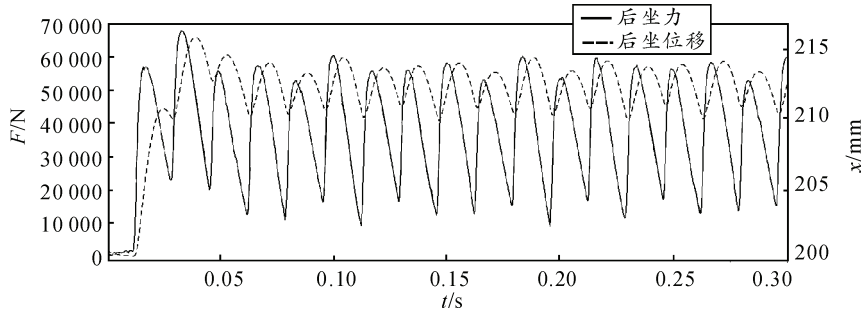


图 12 射速为 4 200 发/分时  $F-t$ 、 $x-t$  曲线

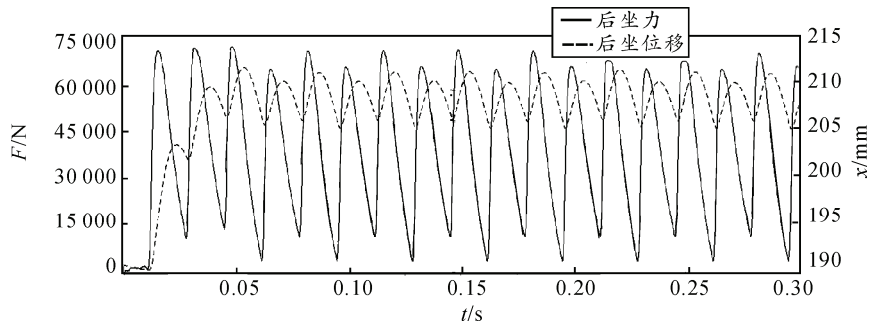


图 13 射速为 4 800 发/分时  $F-t$ 、 $x-t$  曲线

## 5 结论

笔者基于某转管武器，运用 ADAMS 仿真软件对其缓冲装置进行了设计参数的仿真分析。通过多次的仿真分析并结合基本理论，得出了较优缓冲装置参数，可以满足设计要求，达到减少试验次数的目的，对武器其他结构参数的优化设计有一定的参考价值。

### 参考文献：

[1] 李涛, 王瑞林, 吴海锋. 基于虚拟样机的某型转管机枪动力学仿真[J]. 机械设计, 2013, 30(4): 89-91.  
 [2] 何志强, 黄守仁, 李载弘. 航空自动武器设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.  
 [3] 戴成勋, 靳天佑, 朵英贤. 自动武器设计新编[M]. 北京:

国防工业出版社, 1990: 328-334.  
 [4] 郝秀平, 薄玉成, 景英萍, 等. 超高射速自动机缓冲装置参数优化设计方法[J]. 火炮发射与控制学报, 2009(4): 32-33.  
 [5] 薄玉成, 王惠源, 李强. 自动机结构设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 312-329.  
 [6] 高跃飞. 火炮反后坐装置设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 305-320.  
 [7] 郑建荣. ADAMS—虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.  
 [8] 郭卫东. 虚拟样机技术与 ADAMS 应用实例教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.  
 [9] 苏高峰, 薄玉成, 王惠源, 等. 某转管武器弹簧缓冲装置的优化设计[J]. 火炮发射与控制学报, 2012(3): 44-47.  
 [10] 戴德沛. 阻尼技术的工程应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991: 17-48.