

doi: 10.7690/bgzd.2015.01.012

弹簧缓冲器对某机枪射频和后坐力的影响分析

贺大为, 李忠新

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 为研究缓冲架座对轻型遥控武器站的影响, 建立一种某机枪和连接机枪与枪架的弹簧缓冲器的虚拟样机模型。利用三维作图软件 Pro/E 和动力学仿真软件 ADAMS 建立虚拟样机模型, 通过进行不同条件下模型的仿真, 分析了缓冲器对机枪射击时射频的影响和对传递至枪架后坐力大小的影响。结果表明: 弹簧缓冲器会降低武器射频同时明显减小传递至枪架的后坐力, 有缓冲器时机枪三连发射击每两发间的射频减小, 且射击时传递至枪架的后坐力峰值较无缓冲器时减小 88.3%。

关键词: 弹簧缓冲器; 动力学仿真; 射频; 后坐力

中图分类号: TJ203 **文献标志码:** B

Analysis of Spring Buffer Influence on a Gun's RF and Recoil

He Dawei, Li Zhongxin

(College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To study the impact of cushion holder for light remote weapon station, established the virtual prototype model of a general purpose machine gun and the spring buffer by using three-dimensional drawing software Pro/E and dynamic simulation software ADAMS, through the simulation under different conditions of the model, analysis the impact of the spring buffer for gun fire, include the influence of RF and the force transfer to frame seat, results showed that: when fire three round with spring buffer the RF between every two round is decreases and the RF between first round and second round is different from the RF between second round and third round. The analysis showed that: the spring buffer can reduce the weapon RF and the recoil peak transmitted to frame seat. Spring buffer can significantly reduce the recoil peak transmitted to frame seat by 88.3% when firing.

Keywords: spring buffer; dynamic simulation; RF; recoil

0 引言

现有的大口径机枪和部分重机枪, 其枪身与枪架之间多通过弹簧缓冲器联接。采用弹簧缓冲器后, 射击时作用于枪身的后坐力经缓冲器缓冲而减小后传至枪架, 减小枪架受力, 因而可减轻枪架重量^[1]。在研究某轻型遥控武器站的过程中, 为尽量减轻武器站重量, 突出“轻型”的特点, 在武器站配备的某通用机枪和枪架之间选择通过弹簧缓冲器进行联接。基于此, 笔者以动力学仿真软件 ADAMS 为平台对轻型遥控武器站缓冲架座缓冲器进行了研究, 分析了缓冲器对遥控武器站配备的某通用机枪射击的影响。

1 虚拟样机模型建立

ADAMS 软件提供有创建几何模型的部件库, 但造型功能不强。自动武器系统通常结构较为复杂, 很多零件结构由众多高级实体特征组成。这样直接在 ADAMS 中建立模型难以实现, 因而采用先利用三维作图软件建立三维实体模型, 然后再通过转化

为中性文件格式导入到 ADAMS 中的方法建立虚拟样机模型。

1.1 虚拟样机建模方案

文中的研究对象是导气式自动武器。其自动原理是利用导气孔导出的火药燃气能量, 推枪机框带动枪机后退, 完成自动动作。全枪主要包括枪管、机匣、自动机、拉柄、枪托、脚架、复进簧、弹链箱、弹链、附件、上架、下架等组件^[2]。根据文中研究对象的工作环境及分析方面, 在建立虚拟样机模型时只考虑枪管、机匣、枪机、枪机框、复进簧和相关部件, 对枪架和弹链、弹链箱等不予考虑。忽略供弹机构, 击发机构和发射机构等的影响。另外根据全枪的外部形态, 简化设计联接机枪和架座的弹簧缓冲器。

1.2 三维实体模型的建立

在 Pro/ENGINEER 中建立各零件并装配成装配体, 装配过程中并不需要添加完整的运动副, 只需要保证各零件的初始位置正确即可。整个装配体

收稿日期: 2014-07-23; 修回日期: 2014-08-30

作者简介: 贺大为(1989—), 男, 湖北人, 在读硕士, 从事动力学仿真研究。

包含枪托、复进杆、机匣、枪机框、枪机、枪管、缓冲器杆、缓冲器筒和2个垫片，总共10个零件。

1.3 添加运动副和约束

在 Pro/ENGINEER 中将三维实体模型保存为 .x_t 格式的副本，并选择零件枪管的坐标系作为输出坐标系。打开 ADAMS 并新建模型，然后点击 File-Import，导入 Pro/E 生成的 .x_t 格式文件。

导入到 ADAMS 中的三维实体模型是没有质量属性和运动副的，需要先对各个零件赋予材料属性，添加运动副关系和约束关系。为便于观察，对各零件进行重新命名。

创建的运动副有：

缓冲器筒 (hcqt) 和 ground 之间设置固定副 (JOINT_1)；

机匣 (jx) 和缓冲器杆 (hcqg) 之间设置固定副 (JOINT_2)；

枪托 (qt) 和机匣 (jx) 之间设置固定副 (JOINT_3)；

复进杆 (fjg) 和枪托 (qt) 之间设置固定副 (JOINT_4)；

缓冲器杆 (hcqg) 和缓冲气筒 (hcqt) 之间设置滑移副 (JOINT_5)；

枪机框 (qjk) 和机匣 (jx) 之间设置滑移副 (JOINT_6)；

垫片 1 (dp1) 和缓冲器杆 (hcqg) 之间设置圆柱副 (JOINT_7)；

垫片 2 (dp2) 和缓冲器杆 (hcqg) 之间设置圆柱副 (JOINT_8)；

枪机 (qj) 和枪机框 (qjk) 之间设置圆柱副 (JOINT_9)；

枪管 (qg) 和机匣 (jx) 之间设置固定副 (JOINT_10)。



图1 虚拟样机模型

为了让结果更加接近真实情况，在发生碰撞的

各零件间添加实体接触力。并在枪机框和复进杆之间添加线性弹簧阻尼器模拟复进簧（刚度 0.3 N/mm，阻尼 0，预压力 25 N）^[3]，在垫片 1 和垫片 2 之间添加线性弹簧阻尼器（刚度 30 N/mm，阻尼 0，预压力 300 N）^[1]模拟缓冲器缓冲簧。所有运动副和约束添加完成后的虚拟样机模型如图 1。

2 施加载荷

2.1 计算载荷

导气式自动武器需要施加的载荷主要有膛压和导气式压力。内弹道时期平均膛压原始数据可根据内弹道基本方程组自编内弹道计算软件获得，后效期膛压可在内弹道时期平均膛压的基础上根据式 (1) 所示的后效期布拉文经验公式计算得出^[4]：

$$p = p_k e^{-At} \quad (1)$$

式中： p_k 为弹丸出膛口时的膛内平均压力； t 为从后效期开始计时的时间； A 为常系数或时间系数，由下式求出

$$A = \frac{Sp_k}{(\beta - 0.5)m_Y v_0} \quad (2)$$

式中： S 为线膛横截面积； m_Y 为装药质量； v_0 弹丸通过膛口的速度； β 为火药燃气后效作用系数。

导气式压力可由导气式布拉文经验公式得到：

$$p_s = p_d e^{-\frac{t}{b}} (1 - e^{-\frac{a}{b}t}) \quad (3)$$

式中： p_d 为弹头经过导气孔瞬时的膛内平均压力； b 为与膛内压力冲量有关的时间系数； a 为与导气装置结构参数有关的系数； t 为从弹丸经过导气孔瞬间算起的时间，结构系数 a 由下式求出

$$a = \frac{1}{1/\eta_s - 1} \quad (4)$$

时间系数 b 由式下求出

$$b = \frac{I_0}{p_d} \quad (5)$$

式中： η_s 为导气装置的冲量效率； I_0 为弹丸经过导气孔到后效期末膛内火药燃气单位面积压力总冲量冲量。

通过 ADAMS 软件的 import 接口将所求得的膛压数据、气室压力数据导入到所建虚拟样机模型^[5]。利用 AKISPL 样条函数实现膛压数据拟合，生成相应的样条曲线，如图 2、3 所示。

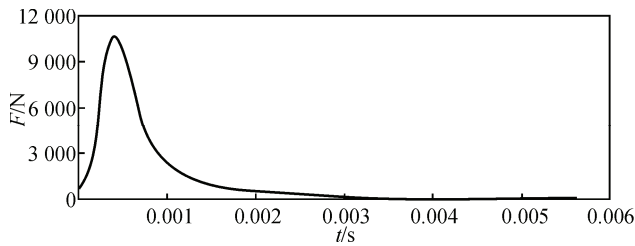


图 2 膛底压力曲线

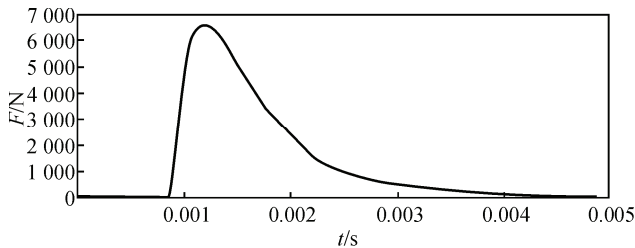


图 3 导气室压力曲线

2.2 添加载荷

在枪机上沿 z 轴正向添加通过枪管轴线的作用力, 作用力类型为“On One Body, Moving with Body”, 作用力大小为:

$$\text{if}(\text{time}-0.0056:\text{akispl}(\text{time},0,\text{SPLINE}_1,0),0,0)$$

其中 SPLINE-1 为导入的膛压数据拟合的膛底压力样条曲线。

在枪机框活塞和导气室前端沿活塞轴线添加作用力, 作用力类型为“Between Two Bodies In Line-Of-Sight”, 作用力大小为:

$$\text{if}(\text{time}-0.00485:\text{akispl}(\text{time},0,\text{SPLINE}_2,0),0,0)$$

其中 SPLINE-2 为导入的导气式压力数据拟合的导气室压力样条曲线。

3 模型验证与分析^[6]

3.1 模型验证^[6]

构建虚拟样机模型后, 在 ADAMS 中对虚拟样机自动机进行单发情况下的运动学和动力学仿真。验证分析时不考虑弹簧缓冲器的影响, 因此仿真前在垫片 1、垫片 2 和缓冲器杆之间添加固定副 (JOINT-11、JOINT_12) 模拟无弹簧缓冲器时的工作状态。

图 4 为仿真得到的枪机框速度-时间、位移-时间曲线, 由图可以看出枪机框后坐到位时位移为 182 mm, 时间为 22.9 ms, 枪机框后坐过程中最大速度为 9.436 m/s, 复进到位时速度为 4.735 m/s, 从曲线中可以看出整个运动过程中枪机框运动平稳。

图 5 为仿真得到的枪机速度-时间、位移-时间曲线。由图可以看出枪机后坐过程中最大速度为

8.932 m/s, 复进到位时速度为 4.687 m/s。由于在枪机开、闭锁过程中枪机框与枪机导柱发生碰撞, 枪机速度曲线在开、闭锁过程中有抖动和振荡现象。表 1 为仿真及实验中的几个关键参数的对比情况, 相对误差在 10%之内, 这表明虚拟样机各种参数的设置合理, 建立的虚拟样机模型是合适、可靠的, 仿真结果是可信的。

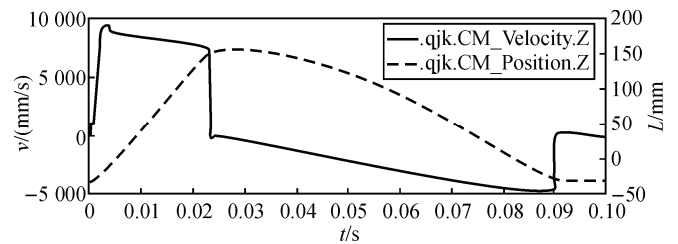


图 4 枪机框速度-时间、位移-时间曲线

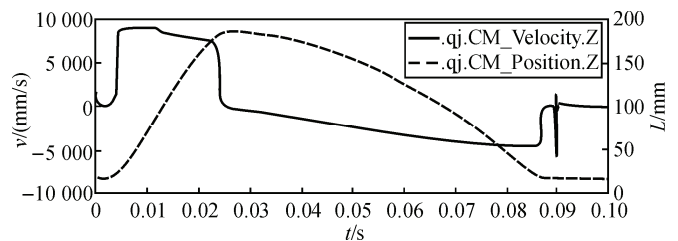


图 5 枪机速度-时间、位移-时间曲线

表 1 枪机框仿真与实验值对比 m/s

数值	后坐最大速度	复进开始速度	复进到位速度
仿真值	9.436	0.464	4.735
实验值	9.650	0.490	4.960

3.2 枪机、枪机框运动分析

图 6 是仿真得到的枪机位移-时间、枪机框位移-时间曲线图。

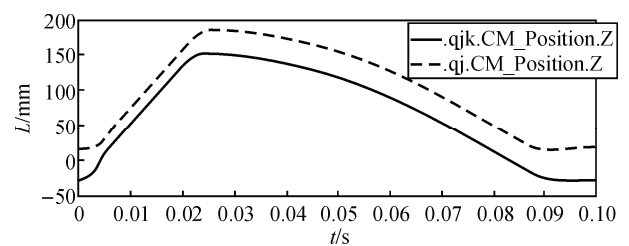
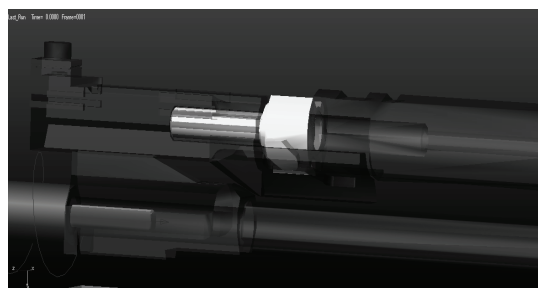


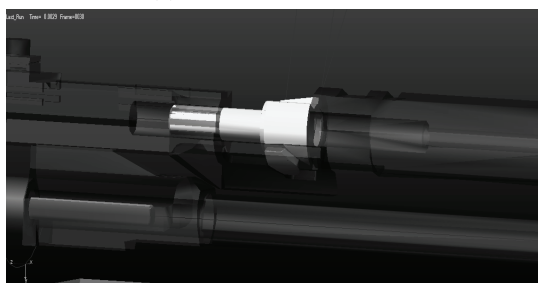
图 6 枪机位移-时间、枪机框位移-时间曲线

由图中可以看出时间段 $0-t_1$ 是内弹道开始到弹丸通过导气孔瞬间的过程, 此时间段内导气式压力为零, 枪机框速度为零, 膛压通过弹壳底部作用在枪机上, 将枪机紧压在机匣的闭锁面上, 枪机速度也为零; 时间段 t_1-t_2 是开锁时间段, 此时间段内, 枪机框受作用于活塞上的导气室压力作用开始加速, 与枪机导柱发生碰撞, 使枪机开始旋转解锁, 这段时间内枪机框走过的行程为开锁自由行程; 从

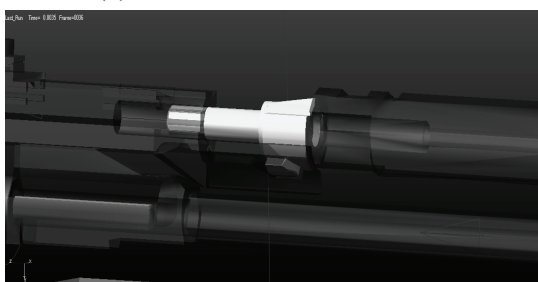
时间 t_2 开始开锁完成，枪机框带动枪机一起加速后坐，后坐到位后一起复进，同样的过程枪机复进到位与枪管发生碰撞后枪机框仍继续复进并与枪机导柱发生碰撞带动枪机旋转闭锁直至走完闭锁自由行程完成闭锁。图 7 是枪机的开锁过程画面。



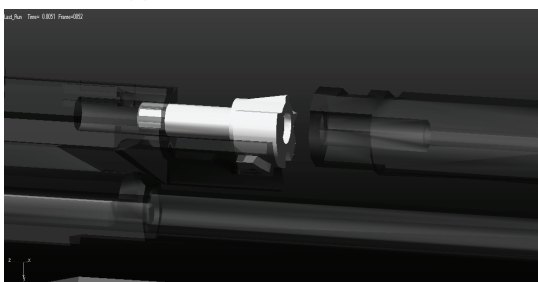
(a) 开锁前自动机位置



(b) 开锁过程开始时自动机位置



(c) 开锁完成时自动机位置



(d) 开锁后自动机位置

图 7 枪机的开锁过程

4 弹簧缓冲器对射频和后坐力的影响分析

4.1 对射频的影响分析^[7]

4.1.1 无弹簧缓冲器时的连发仿真

单发仿真时，作用在枪机上的力的大小为：

$$SFORCE_3 = \text{if}(\text{time} - 0.0056 : \text{akispl}(\text{time}, 0, \text{SPLINE_1}, 0), 0, 0);$$

作用在活塞上的力的大小为：

$$SFORCE_4 = \text{if}(\text{time} - 0.00485 : \text{akispl}(\text{time}, 0, \text{SPLINE_2}, 0), 0, 0);$$

从单发仿真得到的枪机框速度-时间曲线(图 6)上可以得到单发仿真时枪机框复进到位时间 $t_{f1} = 0.0907\text{s}$ ，则两连发时的载荷力大小为：

$$SFORCE_3 = \text{if}(\text{time} - 0.0056 : \text{akispl}(\text{time}, 0, \text{SPLINE_1}, 0), 0, 0) + \text{if}(\text{time} - 0.0907 : 0, 0, \text{if}(\text{time} - 0.0963 : \text{akispl}(\text{time} - 0.0907, 0, \text{SPLINE_1}, 0), 0, 0));$$

$$SFORCE_4 = \text{if}(\text{time} - 0.00485 : \text{akispl}(\text{time}, 0, \text{SPLINE_2}, 0), 0, 0) + \text{if}(\text{time} - 0.0907 : 0, 0, \text{if}(\text{time} - 0.0955 : \text{akispl}(\text{time} - 0.0907, 0, \text{SPLINE_2}, 0), 0, 0));$$

进行两连发仿真得到两连发时枪机框的速度-时间、位移-时间曲线如图 8 所示。

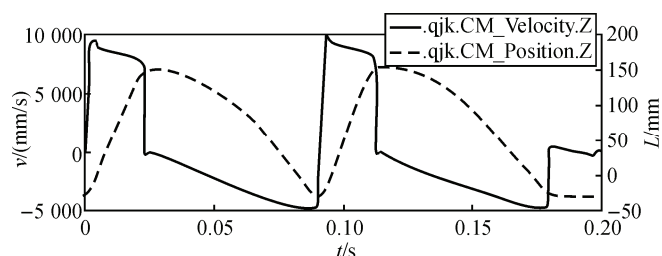


图 8 两连发仿真时枪机框速度-时间、位移-时间曲线

从上图可以得到第 2 发弹复进到位时间 $t_{f2} = 0.1814\text{s}$ ，则三连发时的载荷力大小为：

$$SFORCE_3 = \text{if}(\text{time} - 0.0056 : \text{akispl}(\text{time}, 0, \text{SPLINE_1}, 0), 0, 0) + \text{if}(\text{time} - 0.0907 : 0, 0, \text{if}(\text{time} - 0.0963 : \text{akispl}(\text{time} - 0.0907, 0, \text{SPLINE_1}, 0), 0, 0)) + \text{if}(\text{time} - 0.1814 : 0, 0, \text{if}(\text{time} - 0.187 : \text{akispl}(\text{time} - 0.1814, 0, \text{SPLINE_1}, 0), 0, 0));$$

$$SFORCE_4 = \text{if}(\text{time} - 0.00485 : \text{akispl}(\text{time}, 0, \text{SPLINE_2}, 0), 0, 0) + \text{if}(\text{time} - 0.0907 : 0, 0, \text{if}(\text{time} - 0.0955 : \text{akispl}(\text{time} - 0.0907, 0, \text{SPLINE_2}, 0), 0, 0)) + \text{if}(\text{time} - 0.1814 : 0, 0, \text{if}(\text{time} - 0.18625 : \text{akispl}(\text{time} - 0.1814, 0, \text{SPLINE_2}, 0), 0, 0));$$

进行三连发仿真得到三连发时的枪机框速度-时间、位移-时间曲线如图 9 所示。

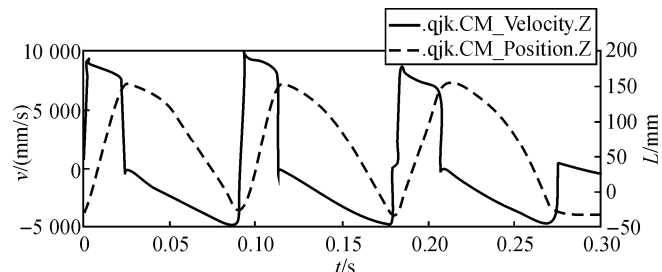


图 9 三连发仿真时枪机框速度-时间、位移-时间曲线

由上图可见，无弹簧缓冲器时三连发仿真，第 1 发弹和第 2 发弹之间间隔时间为 0.0907s ，射频为 661 发/min；第 2 发弹和第 3 发弹之间间隔时间为 0.0907s ，射频为 661 发/min。

4.1.2 有弹簧缓冲器时的连发仿真

先将删除垫片 1、垫片 2 和缓冲器杆之间的固定副(JIONT_11、JOINT_12)，然后进行有缓冲器时的单发仿真，得到枪机框速度-时间、位移-时间曲线如图 10，从图中得到有缓冲器单发仿真时枪机框复进到位时间 $T_{f1}=0.095$ s；按与无弹簧缓冲器时相同的方法修改载荷力，进行二连发的仿真，得到有缓冲器二连发仿真时枪机框速度-时间、位移-时间曲线如图 11，从图中得到第 2 发复进到位时间 $T_{f2}=0.1957$ s；同理再进行三连发仿真，得到带缓冲器三连发仿真时枪机框速度-时间、位移-时间曲线如图 12。

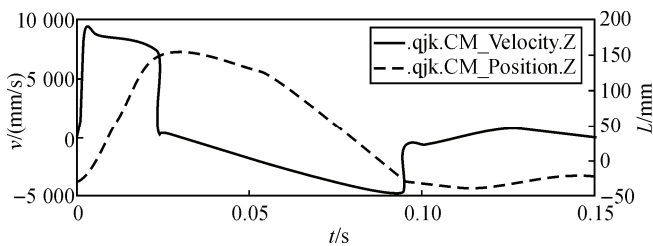


图 10 带缓冲器单发仿真枪机框速度-时间、位移-时间曲线

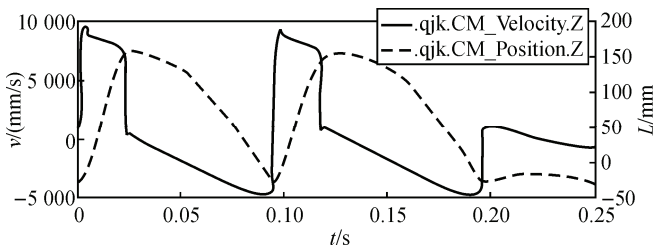


图 11 带缓冲器二连发仿真枪机框速度-时间、位移-时间曲线

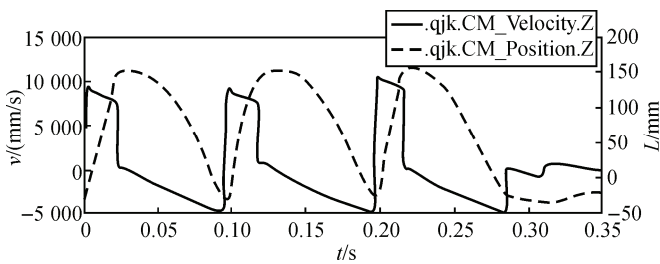


图 12 带缓冲器三连发仿真枪机框速度-时间、位移-时间曲线

有弹簧缓冲器且弹簧缓冲器刚度为 20 N/mm，阻尼为 0，预压力为 100 N 时进行三连发仿真，第 1 发弹和第 2 发弹之间间隔时间为 0.095 s，射频为 631 发/min；第 2 发弹和第 3 发弹之间间隔时间为 0.095 8 s，射频为 595 发/min。

根据有无弹簧缓冲器的连发仿真结果对比发现，有弹簧缓冲器时在前三发机枪的射频较无缓冲器时降低，同时每两发弹之间的射频不相同，与无

缓冲器时机枪射频保持稳定的情况不同。

4.2 对后座力的影响分析

机枪射击传递至枪架的后坐力需要用某一具体的力来表示。根据对带缓冲器机枪的运动分析结果，笔者决定用垫片与缓冲器筒之间的接触力来表达机枪射击时传递至枪架的后坐力；对于无缓冲器射击时的情况则按前文模型验证时的方法，将垫片 1、垫片 2 与缓冲器杆固定，同样以垫片和缓冲器筒之间的接触力来表达无缓冲器时机枪射击传递至枪架的后坐力。

带缓冲器三连发仿真得到垫片 1、垫片 2 与缓冲器筒之间 z 方向上的接触力 (CONTACT_1、CONTACT_2) 曲线如图 13 所示。

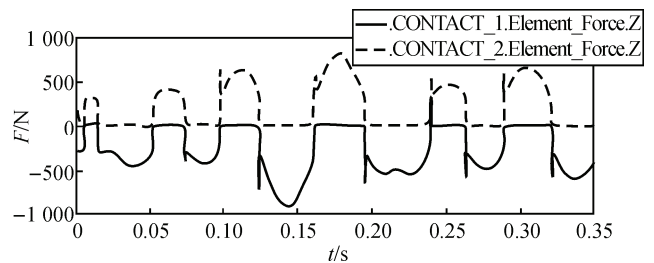


图 13 带缓冲器三连发仿真 CONTACT_1、CONTACT_2 z 轴方向上的受力曲线

由图中可知，有弹簧缓冲器时射击时传递至枪架的后座力最大值 $F_{max1}=921.8084$ N。在垫片 1、垫片 2 与缓冲器杆之间重新添加固定副 (JOINT_11、JOINT_12) 以考虑没有缓冲器时的后座力。按前述模型验证时的连发仿真方法进行此种情况下的三连发仿真，得到无缓冲器三连发仿真垫片 1、垫片 2 与缓冲器筒之间 z 方向上的接触力曲线如图 14。

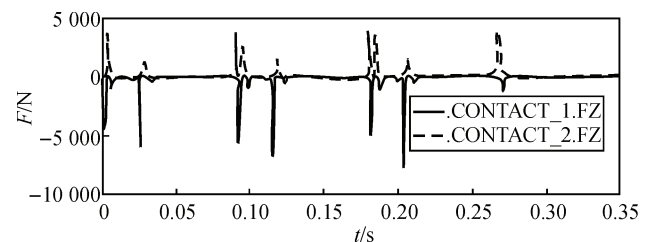


图 14 无缓冲器三连发仿真 CONTACT_1、CONTACT_2 z 轴方向上的受力曲线

由图中可知，无弹簧缓冲器射击时传递至枪架的后座力最大值为 $F_{max2}=7878.1573$ N。对比有无缓冲器时的仿真结果能够发现，有缓冲器时传递至枪架的后坐力峰值与无缓冲器时传递至枪架的后坐力峰值相比减小了 88.3%。