

8-20-2020

Firing Stability Calculation and Simulation Analysis of New Large Calibre Machine Gun

Zhiteng Fan

1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;;2. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China;;

Ruilin Wang

1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;;

Yongjian Li

1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;;

Binbin Hua

1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Firing Stability Calculation and Simulation Analysis of New Large Calibre Machine Gun

Abstract

Abstract: To study the firing stability of a new large calibre machine gun in different ground environment, the stability model of arms rack and dynamic model of the whole gun were established respectively. The stability condition in clunch and concrete environment was educed, and the force in shoulder which was required for the stability of machine gun was also calculated. Then a dynamic model of this gun at one firing movement was established. Based on this and dynamic simulation software, the muzzle displacement response in different ground environment was obtained. Comparing the simulation result and contrasting with one older machine gun, the well favorable adjustability and firing stability are proved strongly, which is the firm theory and practice foundation for stability argumentation and improving of new large calibre machine gun.

Keywords

new large calibre machine gun, firing stability, ground environment, muzzle response, dynamic simulation

Authors

Zhiteng Fan, Ruilin Wang, Yongjian Li, Binbin Hua, and Wang Kai

Recommended Citation

Fan Zhiteng, Wang Ruilin, Li Yongjian, Hua Binbin, Wang Kai. Firing Stability Calculation and Simulation Analysis of New Large Calibre Machine Gun[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(4): 907-912.

某新型大口径机枪射击稳定性计算与仿真分析

范智滕^{1,2}, 王瑞林¹, 李永建¹, 化斌斌¹, 王凯³

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 西北核技术研究所, 西安 710024; 3. 73823 部队, 六安 237200)

摘要: 为研究某新型大口径机枪在不同地面环境下的射击稳定性, 分别建立了枪架稳定性模型与整枪的动力学模型。得出在粘土地和水泥地环境下的稳定条件, 并计算了机枪稳定所需的抵肩力; 建立了其某个击发动作的动力学模型, 采用仿真软件计算出了不同地面环境下的枪口位移响应结果。通过不同地面环境下枪口响应的比较以及与某相似型机枪的横向对比, 证明了该枪对不同地面具有良好的适应性及射击稳定性, 为大口径机枪的稳定性论证及改进奠定了理论及实践基础。

关键词: 新型大口径机枪; 射击稳定性; 地面环境; 枪口响应; 动力学计算

中图分类号: TJ25 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 04-0907-06

Firing Stability Calculation and Simulation Analysis of New Large Calibre Machine Gun

Fan Zhiteng^{1,2}, Wang Ruilin¹, Li Yongjian¹, Hua Binbin¹, Wang Kai³

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China; 3. Unit 73823 of PLA, Liuan 237200, China)

Abstract: To study the firing stability of a new large calibre machine gun in different ground environment, the stability model of arms rack and dynamic model of the whole gun were established respectively. The stability condition in clunch and concrete environment was educed, and the force in shoulder which was required for the stability of machine gun was also calculated. Then a dynamic model of this gun at one firing movement was established. Based on this and dynamic simulation software, the muzzle displacement response in different ground environment was obtained. Comparing the simulation result and contrasting with one older machine gun, the well favorable adjustability and firing stability are proved strongly, which is the firm theory and practice foundation for stability argumentation and improving of new large calibre machine gun.

Keywords: new large calibre machine gun; firing stability; ground environment; muzzle response; dynamic simulation

引言

某新型大口径机枪的作战区域主要位于海拔较高的高原山地, 严酷的作战环境要求该枪在粘土、砂质土、碎石地等多种地面环境下都有良好的射击精度。

在该枪的设计过程中为减轻重量提高机动性, 在枪身尤其是枪架的设计上采用了大量新材料和新工艺; 同时为减小后坐力提高射击稳定性, 该枪还采用了枪身浮动、前冲击发的技术手段。但是, 武器系统重量的减轻不可避免地会带来射击精度的降低。因此, 为使该枪在多种地面环境下都能达到良好的作战效能, 必须对其射击稳定性进行充分的论证研究。

根据以上背景, 本文分别从理论分析和动力学计算方面入手, 对该枪的射击稳定性进行验证, 并与某型重机枪做了对比, 得出了相关结论。



收稿日期: 2014-05-03 修回日期: 2014-07-07
作者简介: 范智滕(1990-), 男, 山东德州, 硕士生, 研究方向为武器系统动力学理论与应用; 王瑞林(1963-), 男, 湖南望城, 博士, 教授, 博导, 研究方向为武器系统动力学理论与应用; 李永建(1974-), 男, 河北鹿泉, 博士, 讲师, 研究方向为武器结构动力学与仿真。

<http://www.china-simulation.com>

1 稳定性模型

1.1 基本假设

为了建立机枪稳定性的一般模型, 提出以下基本假设:

- 枪架位于水平地面上, 水平射击;
- 计算时不考虑枪架的变形和振动, 视枪械为刚体;
- 不考虑土壤后坐方向的变形过程, 视地面介质提供驻锄的抗力为静力。前后驻锄所承受的水平抗力的大小左右对称, 射击时所有外力或其合力均位于机枪垂直对称面内;
- 机枪在结构上左右对称, 射击时所有外力或其合力均位于机枪垂直对称面内;
- 射击时, 机枪各支脚不下沉。

1.2 理论模型

将机枪枪身的重量加到枪架上, 并将枪身对枪架的作用力等效为一个力和力矩。由此, 机枪稳定性计算时枪架的受力模型^[1]如图1所示。

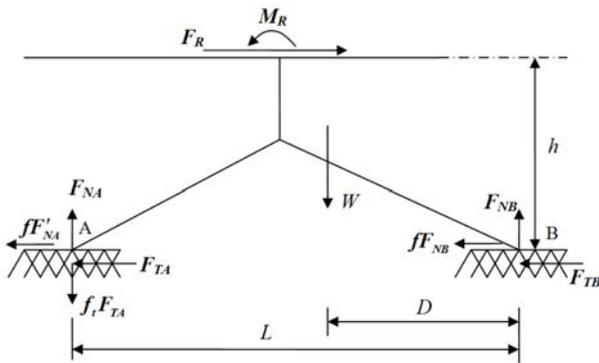


图1 机枪枪架受力图

列平衡方程为:

$$\begin{aligned} \sum X = 0: & F_{TA} + F_{TB} + f(F'_{NA} + F_{NB}) - F_R = 0 \\ \sum Y = 0: & F_{NA} + F_{NB} - f_t F_{TA} - W = 0 \\ \sum M_B = 0: & WD + M_R - F_R h + f_t F_{TA} L - F_{NA} L = 0 \end{aligned}$$

其中: $F'_{NA} = F_{NA} - f_t F_{TA}$, $M_R = F_R e$

$$\text{令 } \tau = \frac{F_{TA}}{F_{TB}}, \text{ 则 } \tau = \frac{S_A}{S_B}$$

可解得:

$$\begin{cases} F_{NA} = \frac{WD + F_R e - F_R h}{L} + \frac{\tau}{\tau + 1} f_t (F_R - fW) \\ F_{NB} = \frac{W(L - D) - FR(h - e)}{L} \end{cases}$$

式中: F_R 为枪身对枪架的后坐推力; F_{TA} , F_{TB} 为地面对前、后支点的水平作用力; F_{NA} , F_{NB} 为地面对前、后支点的垂直作用力; W 为全枪的重力; D 为全枪重心到后支点的距离; L 为前后支点之间的距离; fF_{NB} 为地面对后支点的水平摩擦力; $f_t F_{TA}$ 为地面介质对前支点垂直驻锄面产生的静摩擦力; e 为枪身重心到枪膛轴线的距离; h 为后支点到枪膛轴线的距离; S_A , S_B 分别为前后交点垂直驻锄板与土壤的有效接触面积, 即为前后驻锄向枪管轴线垂直面的投影面积。

该枪在采用三脚架时, 三脚架与外机匣刚性相连。对于 F_R , 因为该枪的枪身在外机匣上运动时前后均不发生刚性碰撞, 所以在其射击过程中枪身对枪架的最大后坐推力即为浮动簧压缩最大时的簧力加上浮动部分对外机匣的摩擦力。

由稳定条件 $F_{NA} \geq 0$ 可得, 稳定条件式为:

$$WD + \frac{\tau}{\tau + 1} f_t L (F_R - fW) \geq F_R h - F_R e \quad (1)$$

不等式左侧为稳定力矩, 右侧为翻倒力矩。

1.3 计算结果

由稳定性计算模型可知, 翻倒力矩取最大值时机枪最不稳定。浮动簧在最大压缩量瞬间后坐力最大, 翻倒力矩也最大。因此, 校核机枪射击时的稳定性应该取浮动簧的最大压缩量瞬间。

在粘土地上射击时其稳定条件即为式(1), 但在水泥地上射击时, 因为在竖直方向没有摩擦力, 要满足 $M_{翻} \leq M_{稳}$, 需提供一个抵肩力 F , 作用点近似在外机匣受力轴线上, 稳定条件式变为:

$$WD + F(h - e) \geq F_R h - F_R e \quad (2)$$

$$\text{则有 } F \geq \frac{F_R(h - e) - WD}{h - e} \quad (3)$$

对该新型重机枪, 其各弹簧刚度以及结构尺寸可由计算说明书中获取; 对已装备部队多年的某型

重机枪其结构参数可参考董应超^[2]和陈锦喜^[3]的论文。通过计算可得出计算结果如表1所示。

表1 两枪稳定性对比

	粘土地		水泥地	
	F_R (N)	$M_{\text{稳}}$ (N·m)	$M_{\text{翻}}$ (N·m)	枪架不跳动所需 抵肩力(N)
某新型 重机枪	851.57	621.81	272.84	407.13
某型 重机枪	4560.0	3366.0	1678.1	4013.7

通过对比发现, 相对某型重机枪, 该新型重机枪枪架所受的最大后坐力减小超过80%, 在射击过程中的稳定力矩和翻转力矩也都有明显的减小。同时, 在水泥路面上射击时, 达到稳定性所需的抵肩力也比某型重机枪要小的多。说明后坐力的减小大大降低了该机枪在射击过程中的跳动, 从而, 射击稳定性得到良好的保证。

2 动力学计算

动力学计算采用理论建模分析加仿真计算的方式, 既能在简化的基础上直观地了解模型中运动构件的受力情况, 又能通过仿真软件较真实的进行动力学计算, 从而得出可信的结果。

2.1 理论建模

(1) 基本假设

在该机枪运动的整个过程中, 各运动构件的受力、运动情况是十分复杂的, 属于多自由度运动。为了简化问题, 又不失真实性, 在理论建模时对机枪的运动做了如下假设^[4]:

a. 该枪的结构及质量分布相对于膛线的铅垂面左右对称;

b. 该枪各连接部分紧固, 均为刚性, 认为每个零件均为刚体;

c. 忽略全枪在垂直枪管轴线方向上的运动和转动对自动机运动的影响, 只考虑自动机和机匣沿枪管轴线方向的运动。

(2) 边界条件

a. 射手边界条件

人体阻尼和弹性的非线性是明显的, 它取决于施加在人体上外力的幅度。研究表明小幅度冲击时人体的响应可视为线性问题, 该新型重机枪在射击时主要依靠前冲击发原理抵消后坐能量, 使对射手的冲击较小, 因此, 可将抵肩系统简化成以集总参数表示的线弹性时不变系统, 人体的作用完全可以通过一个施加在机枪尾端即枪托部分的集总参数模型来替代, 模型参数可通过系统辨识方法得出^[5]。在射击过程中, 忽略人体各部位相对运动的影响认为抵肩力始终作用在枪托上。

b. 土壤边界条件

射击过程中, 驻锄与土壤相互作用时间很短, 在此瞬态过程中, 土壤的粘性几乎没有来得及发生作用^[6], 驻锄对土壤的作用主要体现在弹性范围内。可将驻锄与土壤的相互作用问题简化为具有圆形底面的刚性质量块与无限大、均质、各向同性的线弹性介质之间的相互作用问题, 称之为“驻锄/土壤”系统的动力学模型^[7]。

(3) 模型建立

机枪的运动件受力简图如图2所示, 运动构件有3个自由度, 其中 x_1 表示枪机框组件相对外机匣组件的位移, x_2 表示内机匣、枪管组件相对外机匣组件的位移, x_3 表示外机匣组件的绝对位移。取枪口朝向为运动的正方向。

以复进推弹过程为例, 分析各组件的受力并建立运动方程。

对枪机、枪机框组件:

$$(m_{qj} + m_{jk})(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_3) = F_{fj} - F_{bd} - f \quad (4)$$

对内机匣、枪管组件:

$$m_{jg}(\ddot{x}_2 + \ddot{x}_3) = F_{fd} - F_{fj} + f \quad (5)$$

对外机匣组件:

$$m_{jx}\ddot{x}_3 = F_{dj} - F_{fd} + F_{bd} + F_{tr1} + F_{tr2} + f \quad (6)$$

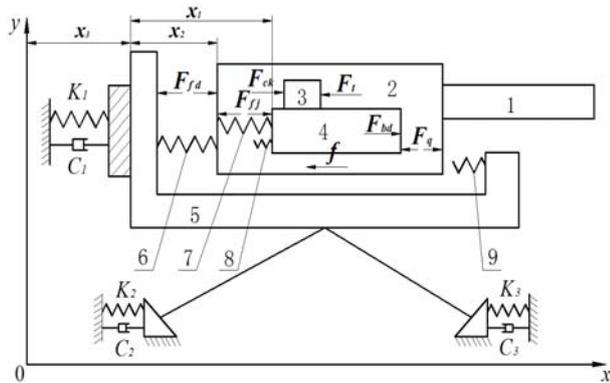
其中:

$$F_{dj} = K_1 x_3 + C_1 \dot{x}_3, \quad F_{tr1} = 2K_2 x_3 + 2C_2 \dot{x}_3,$$

$$F_{tr2} = K_3 x_3 + C_3 \dot{x}_3$$

式中:

m_{qj} 为枪机组件的质量; m_{jk} 为枪机框组件的质量; m_{jg} 为内机匣、枪管组件的质量; m_{jx} 为外机匣组件的质量; F_{r1} 为土壤对后驻锄的作用力; F_{r2} 为土壤对前驻锄的作用力。



1为枪管; 2为内机匣; 3为枪机; 4为枪机框及复进机; 5为外机匣; 6为浮动簧; 7为复进簧; 8为机框缓冲簧; 9为缓冲器簧。
 F_{fd} 为浮动簧力; F_{bd} 为拨弹阻力; F_l 为枪膛合力; F_{ck} 为抽壳阻力; F_{fj} 为复进簧力; F_q 为气室压力; f 为摩擦力; K_1 、 K_2 、 K_3 、 C_1 、 C_2 、 C_3 为集总参数模型中的各参数。

图2 机枪结构及受力简图

2.2 仿真计算

(1) 仿真模型的建立

基于对该型机枪边界条件的处理, 根据实际情况添加运动副、施加载荷以及各弹簧参数, 并将枪架部分柔性化, 建立了该新型重机枪的刚柔耦合虚拟样机模型如图3所示。

对机枪在不同地面环境下的枪口响应进行了仿真分析。选择方案如表2所示。

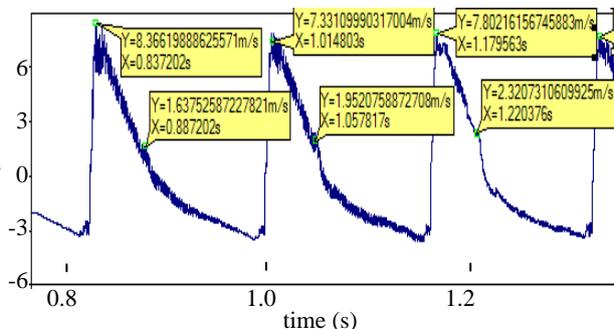
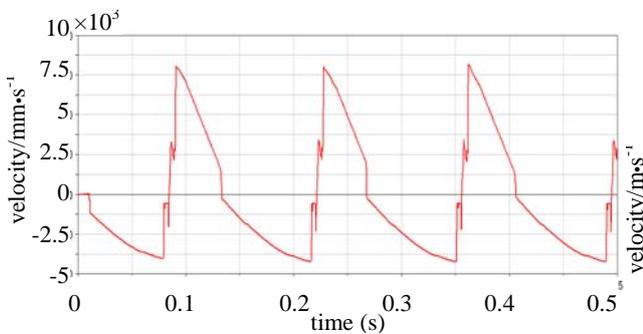


图4 枪机速度的仿真曲线和实验曲线

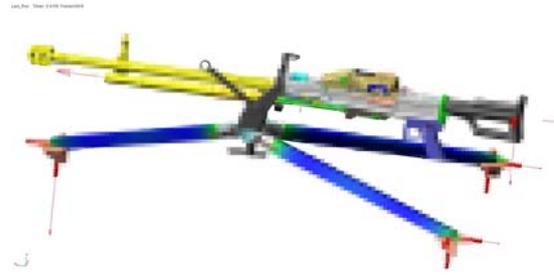


图3 机枪虚拟样机模型

表2 各种地面环境物理、力学参数表

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
密度 (g/cm ³)	1.47	1.77	1.86	1.96	2.20
弹性模量 (N/cm ²)	44.10	100.9	343.0	686.0	1470

运用土壤集总参数计算公式^[7], 计算得5种方案的机枪前后驻锄的等效参数, 其中第3种方案的边界条件等效参数计算结果如表3所示。

表3 方案3的等效参数计算结果

	前驻锄			后驻锄		
	上下	左右	前后	上下	左右	前后
m_0 (kg)	0.284	0.033	0.008	0.284	0.035	0.003
k (kN/m)	849.0	762.6	484.0	849.0	781.8	359.2
C (N·(m/s) ⁻¹)	717.84	321.74	129.64	717.84	338.15	71.38

(2) 模型验证

为验证仿真模型的可信性, 本文将枪机运动速度的仿真结果与实验结果进行了对比。图4所示为枪击运动速度的仿真曲线和实验曲线, 表4所示为两者结果的对比。通过对比可以看出, 仿真结果与实验结果的误差均在5%内, 证明建立的仿真模型可信。

表4 枪机运动速度仿真值与实验数据比较

枪机速度	仿真计算值(m/s)				实验数据(m/s)	误差
	第一发	第二发	第三发	平均值		
后坐最大速度	8.07	8.02	8.15	8.08	7.83	3.2%
后坐到位速度	1.94	2.10	1.81	2.05	1.99	2.0%
复进最大速度	3.69	3.80	3.83	3.76	3.59	4.7%

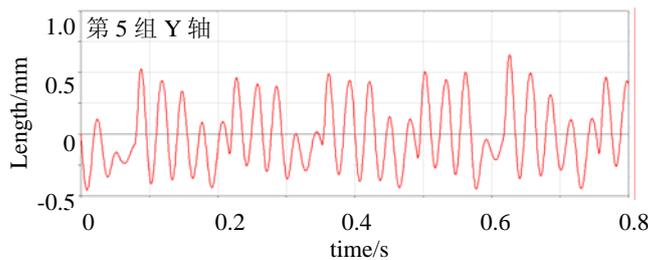
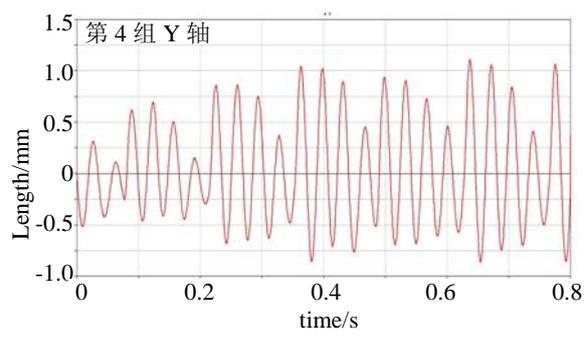
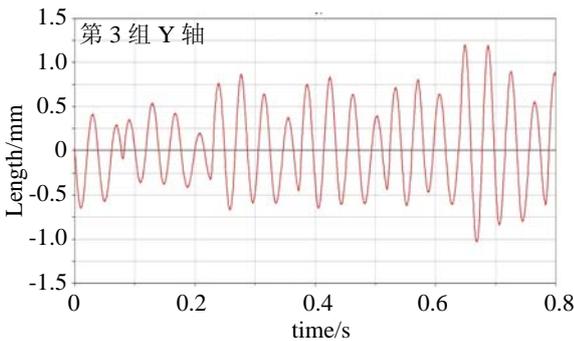
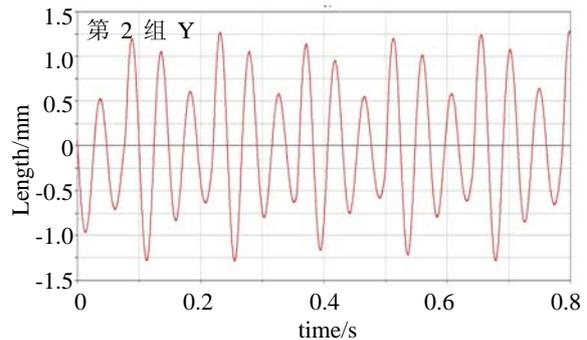
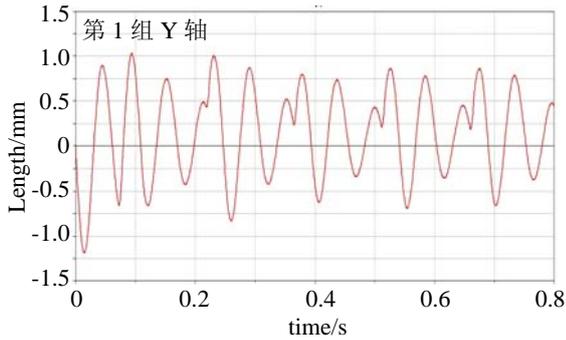


图5 不同地面环境下的枪口位移响应

表5 不同地面环境下的枪口响应

方案	1	2	3	4	5
Y轴峰值/mm	1.15	1.29	1.20	1.11	0.70

横向对比5种不同方案的Y轴响应幅值, 可以看出该新型重机枪在5种不同的地面环境下, 枪口上下方向的位移在0.70~1.29 mm之间, 枪口振动幅值很小, 且波动也不大。为进一步说明该枪的良好射击稳定性, 将该新型机枪与某型机枪在同等条

(3) 结果分析

将数据输入虚拟样机模型中对应的弹簧-阻尼系统, 可以得到5种方案的枪口位移响应如图5所列。图中Y轴为上下方向。

由图5可以得出不同地面环境下的枪口响应幅值如表5所示。

件下的枪口响应作对比, 如图6所示。

图6中下侧为该新型重机枪的枪口位移响应。从图中可以看出, 某型机枪上下方向的枪口位移响应幅值为5 mm, 而在同等条件下, 该新型机枪的响应幅值为1.05 mm, 约为前者的20%。

综合静力学分析和不同地面环境的动力学计算结果, 可以看出, 该新型重机枪相对于某型机枪, 后坐力大大减小, 枪口振动较为减弱, 在相同的地

面环境下更易达到射击稳定,且对地面环境的变化不敏感。

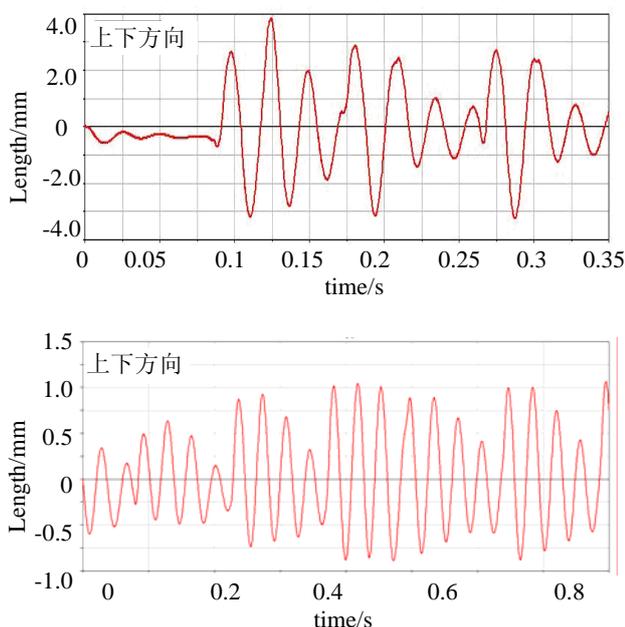


图6 两枪在同等条件下的枪口位移响应

3 结论

本文以某新型大口径机枪为研究对象,运用枪架稳定性模型与全枪动力学仿真模型,结合理论分析与仿真计算,并通过与相似型号的对比,有力的

论证了该机枪良好的射击稳定性,虽然该机枪的重量减轻,但因武器后坐力的减小,降低了射击振动,提高了武器射击精度,使之能够适应高海拔下粘土、砂质土、碎石地等不同的地面环境。该稳定性论证方法结合理论建模分析与仿真计算,并引入同等条件下类似型号的对比,较为逻辑且有利的证明了武器的稳定性。为大口径机枪的稳定性论证及改进设计打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] 王瑞林, 陈运生, 郝跃伟. 机枪相对稳定性理论及模型研究 [J]. 南京理工大学学报, 2004, 28(5): 472-475.
- [2] 董应超. 某三脚架座的大口径机枪动力学仿真与关键技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2011.
- [3] 陈锦喜. 某型重机枪枪架结构改进及其动态特性研究 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2011.
- [4] 朱蓉. 89式 12.7mm 重机枪动力学仿真与优化 [D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [5] 李涛, 王瑞林, 张军挪, 等. 某型转管机枪刚柔耦合多体发射动力学仿真 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(6): 1382-1387.
- [6] 张国栋. 土与结构相互作用体系动力特性研究 [J]. 岩土力学, 2004 (11): 397-400.
- [7] 王瑞林. 大口径机枪动力学特性与射击精度研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2003.

《系统仿真学报》荣获“2014 中国最具国际影响力学术期刊”证书

由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心,以美国汤森路透 Web of Science 收录的 1.2 万余种期刊为引文统计源,首次研制发布了 2012《中国学术期刊国际引证年报》(CAJ-IJCR 年报)。第一次给出了我国 5600 余种中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标,并采用了新的国际影响力综合评价指标 CI 对期刊排序,发布了“中国最具国际影响力学术期刊”(排序 TOP5%)和“中国国际影响力优秀学术期刊”(排序 TOP5-10%),在国内外学术界产生了较大反响。之后,2013 年版年报,将引文统计源期刊扩展到 1.44 万多种。目前,2014 版国际、国内年报与 TOP5%和 TOP5-10%期刊的遴选业已完成,《系统仿真学报》被列入“2014 中国最具国际影响力学术期刊”行列。

我学报连续 2 年被列入 TOP5%国内一流的中国最具国际影响力学术期刊,走向世界,进入国际一流,指日可待!