

自动炮支架作用原理分析

何永¹, 冯金富², 张培忠¹, 高树滋¹

(1. 南京理工大学 机械学院, 江苏 南京 210094; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:针对在小口径自动炮上使用的支架,将火炮身管和支架简化为空间多段有限元弹性梁单元,引入形函数矩阵描述梁单元的挠度,采用拉格朗日方程建立了考虑支架与身管耦合的有限元动力学模型。在有限元模型的基础上建立了数值计算程序并利用该模型分析和讨论了支架的作用原理,分析结果表明采用设计合适的支架将有助于提高小口径自动炮的射击精度。

关键词:高炮;动力学;有限元;支架;数值模拟

中图分类号:V246;TJ303+.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)01-0016-03

在国外,特别是俄罗斯的小口径高炮上常看到在身管的外面往往带有一个支架,此支架不象早期的高炮外面所带的散热筒,而是具有相当的刚度,身管后坐复进时在此支架内作前后相对的滑动,因此支架对身管有支承的效果。对于在身管外面增加支承起什么作用,有各种不同的意见。有一个意见是一致的,即采用支架的目的是为了提高小口径自动炮的射击精度。为了评估身管支架对火炮射击精度的影响,我们建立了一个考虑身管和支架耦合的有限元动力学模型,对火炮的射击响应进行预测并分析支架对射击振动的影响。

1 支架结构及分析模型的建立

1.1 支架结构

某带支架小高炮的物理模型如图1所示。

如图所示,身管在摇架内做后坐复进运动,支架固定于摇架上。摇架通过移动支承和固定支承为身管导向,在身管前部,身管通过前支承与支架连接并可在支架内前后滑动。

1.2 有限元动力学模型

由于要考虑身管的发射振动情况,可将身管考虑为一个有限元的梁。由于支架与身管的刚度基本上处于相同量级,因此,有必要将支架考虑为弹性体。这样,火炮的发射动力学模型就是考虑两个有限元弹性梁在外载荷作用下的耦合运动情况。其三维耦合动力学模型如图2所示。

将火炮身管和支架简化为多段有限元弹性梁单元。不考虑梁的轴向拉伸变形和扭转变形,则每个节点具有水平、垂直方向的位移和绕水平、垂直轴的转动四个自由度。定义单元位移列阵 U_e 为

$$U_e = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \quad u_4 \quad u_5 \quad u_6 \quad u_7 \quad u_8]^T$$

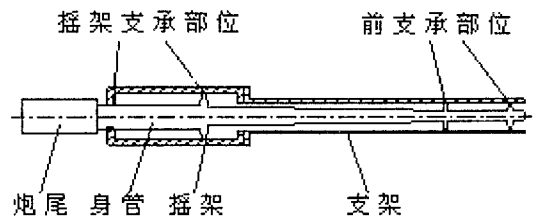


图1 物理模型

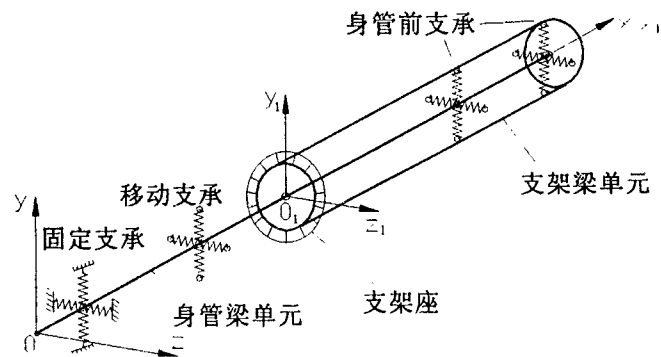


图2 动力学模型

收稿日期:2000-05-09

作者简介:何永(1968-),男,四川成都人,讲师,博士,主要从事火炮结构和总体设计研究。

梁单元内任意点的挠度 W 可用位移模式表示如下 $W=N_c U_c$, 式中, N_c 为形函数矩阵, N_c 和 W 皆为单元局部坐标 x 的函数。

定义表函数矩阵 N_c 如下^[1]

$$N_c = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_4 & N_5 & 0 & 0 & N_8 \\ 0 & N_2 & N_3 & 0 & 0 & N_6 & N_7 & 0 \end{bmatrix}$$

为了导出单元的拉格朗日运动方程, 先写出功能

$$T_c = \frac{1}{2} \int_0^L m \frac{\partial W^T}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial t} dt = \frac{1}{2} \int_0^L \dot{U}_c^T N_c^T m N_c U_c dx$$

式中, m 为单元单位长度的质量。

定义质量矩阵 M_c 为 $M_c = \int_0^L N_c^T m M_c dx$, 则单元功能为 $T_c = \frac{1}{2} \dot{U}_c^T M_c U_c$, 单元势能 $V_c = \frac{EI}{2} \int_0^L m \frac{\partial W^T}{\partial x^2} \frac{\partial W}{\partial x^2} dx = \frac{1}{2} \int_0^L U_c^T \frac{\partial N_c^T}{\partial x^2} EI \frac{\partial N_c}{\partial x^2} U_c dx$ 。式中, EI 为梁单元抗弯刚度。

定义单元刚度矩阵 K_c , $K_c = \int_0^L \frac{\partial N_c^T}{\partial x^2} EI \frac{\partial N_c}{\partial x^2} dx$, 则单元势能为 $V = \frac{1}{2} U_c^T K_c U_c$, 将单元功能和势能代入拉格朗日方程 $\frac{d}{dt} \frac{\partial T_c}{\partial \dot{U}_c} - \frac{\partial T_c}{\partial U_c} + \frac{\partial V}{\partial U_c} = F_c$, 得单元运动方程 $M_c \ddot{U} + K_c U = F_c$, 式中, F_c 为单元各位移 u_i 对应的广义力列阵。

将单元位移列阵扩张为系统位移列阵, 并将相应刚度、质量矩阵扩张为系统矩阵, 得系统运动方程^[2]表示如下, $M\ddot{U} + KU = F$, 此式即为身管及耦合结构有限元模型的运动方程。

对于外力, 假定在单元上局部坐标 x 处作用外力 $f_0 = [f_{01}, f_{02}]^T$ 及矩 $m_0 = [m_{01}, m_{02}]^T$, 单元上荷载的虚功表达式写作 $\delta A_c = f_0^T \delta W + m_0^T \delta R$, 式中 W 及 R 为单元在 x 处的挠度及转角。

代入形函数的定义, 得到各位移的广义力 F_c 为, $F_c = f_0^T N_c + m_0^T \frac{\partial N_c}{\partial x}$, 分布力和力矩也可以作类似的处理并简化为各节点广义力^[3]。

火炮发射对身管产生的力及力矩有分布与集中两类。在这个模型中主要考虑弹丸激励力以及炮膛合力矩对身管振动的影响。

由于弹丸的运动, 弹丸力作用于身管的位置随时间变化。在处理广义力时, 要确定弹丸当前所处的单元及其在单元上的局部坐标, 并将弹丸力简化为各节点的广义力。而炮膛合力矩则作用于身管质心位置。

对于摇架及支架的支撑, 为了更真实地反映运动耦合情况, 将支承约束简化为支承反力的约束。支承反力反映摇架支承以及身管前支承的变形情况, 与支承的刚度、阻尼系数、支承所在位置、单元节点位移及速度有关。

由于身管前支承的作用力取决于两个梁单元在支承接触处的相对位移, 因而它反映了两个有限元部件之间的运动耦合关系, 求解此耦合力, 并将它作为激励力分别引入两个有限元部件的计算中, 就将全系统的系统耦合关系转化为两个部件之间的力耦合关系, 因而可以采用统一的有限元梁振动处理形式并建立统一的计算程序。解耦后的力耦合问题仍属强耦合关系。

2 仿真计算及分析

利用上述身管、支架耦合的系统力学模型建立了数值仿真模型^[4], 对某 30 高炮进行了发射动力学数值仿真。

根据文献^[5]的讨论, 采用支架结构可能是起炮口“阻尼器”的作用, 支架作为炮口的一个支撑点, 在射击中将部分吸收炮口的振动能量, 并对炮口发生的大幅度的位移起限制作用。

图 3 为采用及不采用支架情况下炮口点的横向位移, 由图可见, 当支架结构合适以及前支承位置设计得当的情况下, 采用支架的身管, 炮口扰动有明显减小, 这对减小射击散布具有特别重要的意义。

改变前支承反力的阻尼系数, 图 4 显示身管前支承部位的阻尼增大时炮口横向角位移的改变情况, 有明显减小。这表明支架作为“阻尼器”有吸收炮口振动动能的效果。其物理意义为, 如其它设计条件允许, 可以考虑选用某些阻尼效果更好的材料(比如铜)来制作在身管前部与支架接触的支承环。

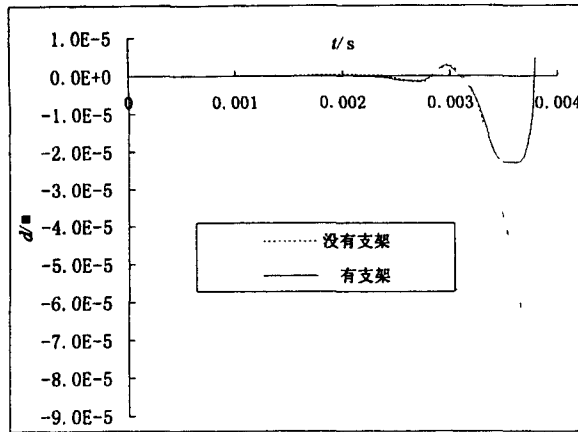


图3 炮口横向位移

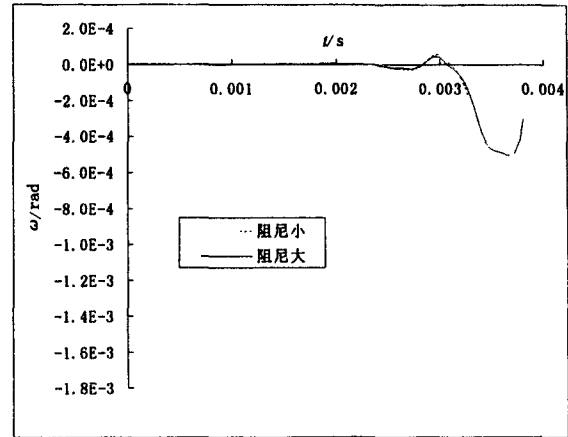


图4 炮口横向角位移

在计算中还发现,身管前支承的位置对炮口振动的影响比较大,通过对身管的模态分析发现,对特定的身管,支承位置变化应处于约束其低阶模态最大位移点的位置。

3 结论

该模型考虑了小口径自动炮单发射击时支架的影响情况,表明支架在设计合适的情况下,有助于改善火炮的射击精度。

目前我国的某些小高炮上也正在考虑安装支架以达到增加射击精度的效果,建立合适的仿真模型,通过仿真模拟分析设计结构的本质,将会大大提高工作质量。对于特定的火炮,某些参数的获取还需要通过适当的实验来修正,使得模型对于被模拟对象的反映更符合其本质规律。

参考文献:

- [1] Meirovitch L. Element of Vibration Analysis[M]. New York:McGraw-Hill Book Co,1975.
- [2] 陆佑方. 柔性多体系统动力学[M]. 北京:高等教育出版社,1996.
- [3] 何永. 火炮总体设计研究[D]. 南京:南京理工大学,1995.
- [4] 户川隼人. 振动分析的有限元法[M]. 北京:地震出版社,1985.
- [5] 林砺忠. 高炮振动分析[D]. 南京:南京理工大学,1992.

Analysis on the principle of bracket for automatic gun

HE Yong¹, FENG Jin-fu², ZHANG Pei-zhong¹, GAO Shu-zi¹

(1. NUST Mechanical Institute, Jiangsu Nanjing 210094;

2. The Engineering Institute, AFEU., Xi'an 710038, China)

Abstract: An analysis on the principle of bracket used on small caliber automatic gun is presented in this paper. A FEM dynamical model is established to simulate the coupled movement of gun barrel and bracket. In the model, gun barrel and bracket are described as some elastic beam elements, shape function is used to describe the disturbing of these elements, and lagrangian equation is used to deduce the dynamical equations. A numerical simulation of the dynamical model is presented, and the analysis and discussing based on the numerical results indicate that a properly designed bracket will be helpful to firing precision of small caliber automatic gun.

Key words: anti-aircraft gun; dynamic; FEM; bracket; numerical simulation