

【制造技术】

上架联接螺栓的炮口扰动建模及影响

李雷¹, 杨国来², 张培林¹, 曾晋春¹

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 南京理工大学 机械工程学院, 南京 21004)

摘要:以某车载榴弹炮为研究对象, 分析了上架联接螺栓松紧程度对炮口扰动的影响, 建立了考虑螺栓联接的上架联接有限元模型, 通过计算获得了螺栓联接情况对模态特性的影响, 在此基础上利用 ADAMS 软件建立了车载榴弹炮炮口扰动计算模型, 对螺栓松动和紧固时的炮口扰动进行了比较分析。

关键词:动力学; 炮口扰动; 螺栓联接; 有限元

中图分类号: TJ302

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)10-0082-03

某型车载榴弹炮在设计中利用上架通过连接螺栓与座圈连接, 从而实现了与车体的刚性连接。该炮在设计定型试验中发现地面密集度指标不达标, 在分析原因时发现连接螺栓有松动现象。

1 考虑螺栓联接的上架有限元建模与分析

建立上架本体、联接座圈和活动座圈的有限元模型, 联接座圈和活动座圈根据实际联接关系, 利用 18 个螺栓联接单元模拟, 如图 1 所示(为清晰地显示螺栓联接单元, 图 1 中将活动座圈隐去)。

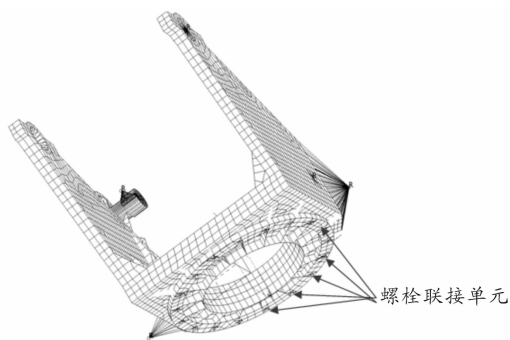


图 1 上架有限元模型

当螺栓松动时释放对应的螺栓联接单元, 螺栓紧固和左侧 6 个螺栓松动时的上架固有振动频率如表 1 所示, 部分振型如图 2、图 3 所示。

由表 1 可以看出, 螺栓松动后, 上架的固有振动频率将减小。其中, 第 1 阶频率下降约 13.4%, 第 2 阶频率下降约 10.8%, 从而使上架的整体刚度下降, 这已是使炮口扰动增加的必然因素, 再考虑到螺栓松动存在的间隙在火炮

发射时会引起剧烈的冲击, 使炮口扰动加剧, 又由于松动的间隙量在每次发射是随机的, 因此炮口扰动很大, 且一致性较差, 必然导致较差的密集度水平。

从图 2、图 3 可以看出, 由于左侧螺栓的松动, 上架的振型在左侧存在联接座圈与内座圈分离的趋势, 而螺栓紧固时则没有这种趋势, 这也充分说明了螺栓松动时对火炮动态特性影响较大。

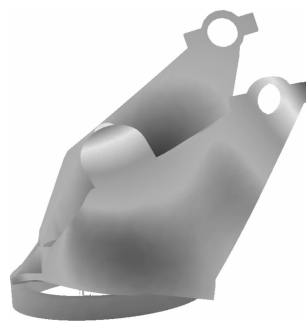


图 2 上架的第 4 阶振型(螺栓松动, $f_4 = 199.9330$)

表 1 螺栓联接紧固与松动时的上架固有振动频率比较

模态阶数	螺栓紧固时的 振动频率/Hz	左侧螺栓松动的 振动频率/Hz	下降百分比/%
1	96.936 3	83.942 2	13.4
2	138.148 7	123.297 8	10.8
3	199.423 1	156.632 6	21.5
4	326.244 8	199.933 0	38.7
5	415.039 0	330.586 5	20.3
6	495.038 7	466.194 8	5.8

收稿日期: 2010-07-22

作者简介: 李雷(1978—), 男, 工程师, 主要从事车辆工程研究。

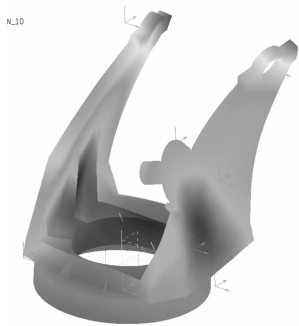


图3 上架的第4阶振型(螺栓紧固, $f_4 = 326.2448$)

2 上架螺栓联接的炮口扰动建模及分析

将上述模态文件导入到全炮多柔体系统动力学模型中,为了反映螺栓松动时引起的冲击碰撞,将连接座圈松动螺栓处对应的节点定义为界面节点,在活动座圈上平面定义一平面,该平面与活动座圈固结,定义螺栓界面节点与该平面的接触关系。考虑装药和间隙的随机性,模拟了50发弹丸(底凹弹、全装药、常温、高低射角 45°)发射时的炮口扰动。从模拟的情况来看,上架左侧螺栓松动后,除高低方向的炮口扰动和炮口高低跳角减小外,炮口高低跳动位移、跳动速度和高低角速度(尤其是炮口角速度)都比紧固时大得多,因此螺栓松动后将使炮口扰动急剧增大,使火炮武器的射击密集度难以满足指标要求。

螺栓松动和紧固时的部分炮口扰动比较曲线如图4~图7所示,其中实线和虚线分别表示螺栓松开和紧固2种状态。

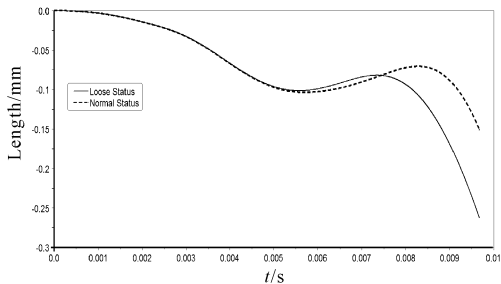


图4 炮口高低跳动位移比较曲线

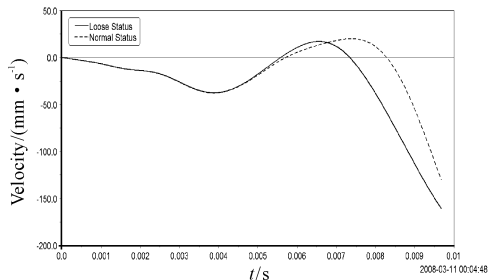


图5 炮口高低跳动速度比较曲线

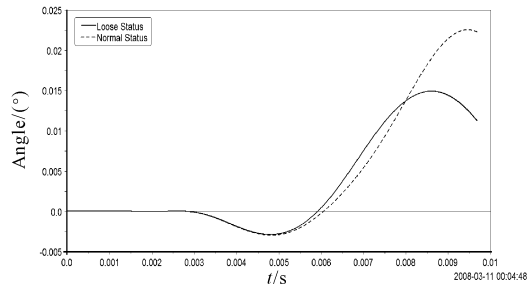


图6 炮口高低跳动角度比较曲线

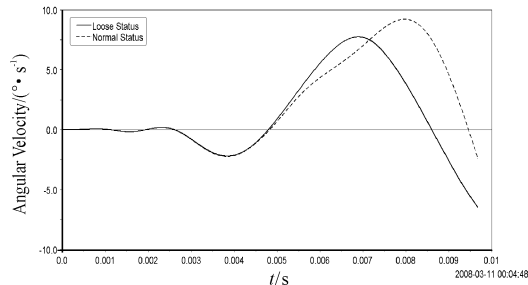


图7 炮口高低跳动角速度比较曲线

为了分析火炮整体模态(刚度)对炮口扰动的影响,对炮口高低跳角时域曲线经FFT变换得到频谱曲线,如图8、图9所示,贡献较大的4阶频率如表2所示。

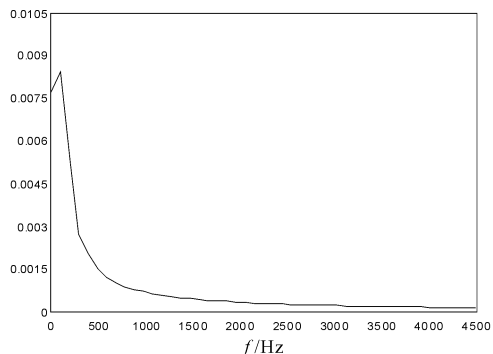


图8 螺栓紧固时的炮口跳角频谱曲线

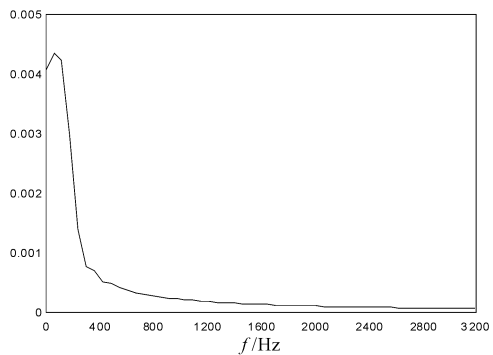


图9 螺栓松动时的炮口跳角频谱曲线

表2 对炮口高低跳角贡献较大的频率对比

模态阶数	螺栓紧固时的 振动频率/Hz	左侧螺栓松动的 振动频率/Hz	下降百 分比/%
1	95.692 5	61.068 7	36.2
2	292.939 2	118.647 8	59.5
3	488.670 0	244.247 8	50.0
4	587.848 9	301.853 9	48.7

由表2可以看出,螺栓松动时振动频率降幅较大,说明螺栓松动不仅降低了上架的刚度,也造成了火炮整体刚度的下降,从而使炮口扰动较大。

3 结束语

本文通过对螺栓松动和紧固时炮口扰动情况进行比较分析,表明螺栓联接对炮口扰动影响明显。需要说明的是,实际结构中螺栓的联接关系比较复杂,如多个接触面具有非线性特性、微小滑移,联接部位具有空间变形,螺栓夹紧力有变化、接触表面压力不均匀分布、各个螺栓松紧程度不一致等,故在现有技术条件下建立的理论模型不能完全刻画这些复杂的因素,只能非常近似地反映螺栓联

接的主要力学现象,因此,理论模型预测的结果仅从方向和趋势上反映螺栓松动造成的不利影响,可为火炮的工程研制提供一定的理论指导。

参考文献:

- [1] 陈运生,杨国来.自行火炮动力学的 Kane 方法建模研究[J].火炮发射与控制学报,1996(1):1-4.
 - [2] 何永.火炮总体设计方法研究[D]:南京:南京理工大学,1995.
 - [3] 刘雷,陈运生.某火炮挡筒装置结构改进研究[J].弹道学报,2004,16(2):37-41.
 - [4] 刘雷,陈运生.火炮虚拟样机仿真研究[J].系统仿真学报,2005(1):111-113.
 - [5] 于清,洪嘉振.柔性多体系统动力学的若干热点问题[J].力学进展,1999,29(2):145-155.
 - [6] 石明全,陈运生.某火炮自动供弹机横向振动特性研究[J].弹道学报,2002,14(3):42-46.
 - [7] 陈运生,敖勇.自行火炮动力学分析的一种广义模态综合法[J].弹道学报,1997,9(1):31-33.
- (责任编辑 周江川)
-
- (上接第 81 页)
- [7] Lindholm U. S., Yeakley L. M. High strain rate testing: Tension and compression [J]. Experimental Mechanics, 1968(8):1-9.
 - [8] Cambell J. D., Ferguson W. G. The Temperature and Strain-rate Dependence of the Shear Strength of Mild Steel[J]. Phi. Mag., 1970(21):63-82.
 - [9] 夏开文,刘文彦,唐志平.30CrMnSiA 钢高温动态力学性质的实验研究[J].爆炸与冲击,1998,18(4):310-316.
 - [10] 周国才,胡时胜,付峰.用于测量材料高温动态力学性能的 SHPB 技术[J].实验力学,2010,25(1):9-15.
 - [11] Eleiche A. M., Duffy J. Effects of temperature on the static and dynamic stress-strain characteristics in torsion of 1100-0 aluminum[J]. Int. J. Mech. Sci. 1975(17):85-95.
 - [12] Lankford J. Temperature-strain rate dependance of compressive strength and damage mechanisms in aluminum oxide[J]. Journal of Materials Science, 1981(16):1567-1578.
 - [13] Rosenberg Z, Dawicke D, Strader E and Bless S. J. A New Technique for Heating Specimens in Split-Hopkinson-Bar Experiments Using Induction-Coil Heaters[J]. Experimental Mechanics, 1986(4):275-278.
 - [14] Franze C. E., Follansbee P. S., Wright W. E. New Experimental Techniques with the Split Hopkinson Pressure Bar [C]//High Energy Rate Forming, ED. I. Berman and J. W. Schroeder, ASME, New York, 1984.
 - [15] Kapoor. R, Nemat-Nasser S. Determination of temperature rise during high strain rate deformation[J]. Mechanics of Materials, 1998(27):1-12.
 - [16] Nemat-Nasser S, Isaacs J. B., Starrett J. E. Hopkinson techniques for dynamic recovery experiments[C]//Mathematical and Physical Sciences. London:Proceeding the Royal Society,1991,435:371-391.
 - [17] Lennon A. M., Ramesh K. T. A technique for measuring the dynamic behavior of materials at high temperatures [J]. International Journal of Plasticity, 1998,14(12):1279-1292.
 - [18] 郭伟国.高温分离式 Hopkinson 压杆技术及其应用[J].实验力学,2006,21(4):447-453.
 - [19] 李玉龙,索涛,郭伟国,等.确定材料在高温高应变率下动态性能的 Hopkinson 杆系统[J],爆炸与冲击,2005,25(6):487-492.
 - [20] 谢若泽,张方举,颜怡霞,等.高温 SHPB 实验技术及其应用[J].爆炸与冲击,2005,25(4):330-334.
 - [21] 张方举,谢若泽,田常津,等. SHPB 系统高温实验自动组装技术[J],实验力学,2005,20(2):281-284.
 - [22] 谢若泽.用于高温霍普金森压杆实验的双向双气路自动组装装置[P].中国专利:200610021096.5,2007-01-03.
- (责任编辑 周江川)