

中国兵工学会
第四届测试技术学术年会
論 文 集

(秘 密)

4

厦 门

1988

中国兵工学会测试技术学会

论文目录

秘密

测试技术理论

- 1、某火箭发射系统激振方法研究……………潘宏侠 郑海起 (1)
- 2、高一 g 遥测设备有关技术问题探讨……………梁燕熙 (12)
- 3、火炮冲击加速度测量中的低频干扰误差问题……………潘宏侠 (18)

传感器技术

- 4、枪炮噪声测试中传声器的选择与安装……………王秉义 诸倩倩 袁俊 (27)
- 5、传感器、铜柱测压优劣之比较……………曾光宇 (36)
- 6、关于放入式测压器刚度的探讨……………吴世超 (42)

测试与检测技术

- 7、固体火箭推进剂动态燃速测定法……………吴建华 (50)
- 8、机枪连续射击时枪管壁温的测试及膛面温度的推算……………卓穗如 (60)
- 9、某火箭系统试验模态分析与参数识别……………潘宏侠 王福明 (69)
- 10、温度测试新技术在火炮中的应用……………杨文华 张春元 (77)
- 11、连续波测速雷达测脱壳穿甲弹速度的初步探讨……………赵立冬 成民选 (86)
- 12、远距离多卜勒雷达在靶场中的应用……………吴守裕 (92)
- 13、提高靶场高炮系统射击测量设备性能的两项措施……………蒋寿庭 (105)
- 14、对美军火炮试验规程——冲击波测速法不同看法……………孙忠良 (111)
- 15、水下声发射法测定复合固体推进剂燃速……………赵清娣 (115)
- 16、利用冲击波测试原理测试自动武器的射速……………吴智麟 (119)
- 17、六管转管炮炮口振动测试探讨……………刘育平 (123)

测试仪器

- 18、电子测压蛋……………祖静 张文栋 (132)
- 19、微机在狭缝摄影弹道测试中的应用……………沈佩珂 曹家禧 (137)

- 20、遥测弹载设备的结构设计..... 孟庆海 (142)
- 21、火炮运动参数自动测试系统..... 郑宾 宋文爱 徐长福 (151)
- 22、电荷—峰值仪及其在兵器动态参量测试中的应用
..... 金伯英 崔跟尚 国 华 王一科 (163)
- 23、动态角位移测试装置..... 蒋小奇 刘建国 张智杰 (172)

微机技术

- 24、应用时间序列法识别某多管火箭发射装置模态参数..... 王放明 (176)
- 25、航炮自动机协调性在位检测技术..... 吴军基 罗 军 (186)
- 26、130mm弹体自动检验机的设计原理..... 顾焕良 (194)
- 27、可编程多通道数采系统控制器..... 张文栋 祖 静 (202)
- 28、一种新型的兵器试验测试仪器——《DAS—1通用数据采集系统》
..... 陆际联 吴鹏程 (210)
- 29、微机在测试技术中的应用——《MS-A》瞬态信号分析仪的研制
..... 罗 军 吴军基 (215)
- 30、APPLE II 计算机在640测速雷达上的应用..... 许月定 (220)
- 31、自动武器自动机运动参数的微机辅助测试系统
..... 石晓晶 梁人杰 孔德仁 (227)
- 32、对空射击结果评价系统的逻辑设计..... 周大铮 (232)
- 33、火炮反后座装置参数数据处理软件的设计与编织..... 李伟纲 (240)
- 34、HP-DL微机测试系统在固体火箭发动机测试中的应用..... 郝华峰 (249)
- 35、微型计算机用于火箭发动机压力——时间曲线的测定..... 杜祥瑞 (257)
- 36、智能测温仪在烟火药燃烧剂火焰温度测试中的应用..... 张天利 (268)
- 37、微机化膛压测试仪中模数转换与快速数据传送通道的设计
..... 陈 洪 丁振荣 (274)
- 38、用单片微机实现导弹应答机频率的自动化测量..... 李为民 (280)
- 39、微处理机在线扫雷达测角系统的应用..... 高未远 (286)
- 40、高速数据采集处理系统在固体火箭发动机试车中的应用
..... 贾福临 周 锋 (292)
- 41、数据采集系统在电火工品无损检测中的应用..... 罗德泉 (306)
- 42、微型计算机在固体火箭发动机静止试验中的应用..... 范兴维 (309)
- 43、16位微型计算机通用数据采集接口设计..... 冯思平 (317)

光测技术

- 44、能直接连续测量弹丸在膛内运动速度的JSQ-1型激光速度干涉仪
.....马如超 胡绍楼 (324)
- 45、利用闪光X射线照相测弹道参数.....董庆东 (330)
- 46、用激光速度干涉仪和微波位移干涉仪测量弹丸膛内运动
.....肖 峰 李建锋 周翠香 (345)
- 47、枪管内膛粗糙度测试新方法.....沈远美 (357)
- 48、膛口二次燃烧区火焰温度的光谱测量.....李鸿志 许厚谦 (363)
- 49、连续测量烟火药制品瞬时光色的理想仪器——电脑光色仪
.....黄 润 姚海顺 (367)
- 50、动态测试技术在苏珊试验中的应用.....阮庆云 (373)
- 51、大炸高射流摄影技术.....陈正国 (379)
- 52、用光电比色技术测定炸药爆轰温度.....史慧生 韩成邦 康淑芳 (383)
- 53、天空微弱目标的CCD光学探测技术研究.....朱耆祥 谢 谦 (389)
- 54、新型光电经纬仪在实时测量中的空间和时间误差修正方法研究
.....何照才 (400)
- 55、介绍一种小型红外测速装置.....何月生 郑广亚 (405)
- 56、一种测量膛口激波结构与二次焰对应关系的阴影照像方法
.....许厚谦 张 勇 (407)
- 57、弹体穿甲试验时的速度和过靶时间测定技术.....乐国培 严开丰 (410)
- 58、双狭缝摄影机弹丸速度测量系统.....赵建基 (417)
- 59、ZS-83型正交闪光摄影站模型位置、姿态测试系统的静态定位误差
.....宋光威 (422)

无损检测技术

- 60、电火工品的无损检测技术的研究.....戚人杰 (433)
- 61、炮弹装药质量无损检测的新方法.....朱森元等 (439)
- 62、弹体装药检测技术综合评论.....于恩超 王东生 (444)

某火箭发射系统激振方法研究

潘宏侠 郑海起

(太原机械学院 军械工程学院)

[摘要] 本文针对大型火箭发射系统模态分析中激励能量不足的实际情况,比较分析了儿种常见的激励方法,选择了效果较好的激振器随机激励和随机锤击方法,取得了一些有益的结论。

一 问题的提出

无控多管火箭由于其火力密度大,高度机动而成为受部队欢迎的压制兵器,然而其射击密集度方面的不足,又限制了它优势的发挥。在影响火箭射击散布的诸因素之中,起始扰动占有很大比重,而弹起始扰动又主要由射击时火箭炮的剧烈振动所引起。为从振动角度研究火箭炮的射弹散布,直接进行发射现场的振动测试是十分必要的,但这还不够,还应将火箭炮固有振动特性摸清,以便在结构上改善火箭炮的响应特性,找出影响射弹散布的各主要振动模态。

由于火箭炮固有振动特性与外界激励方式无关,只与结构形式、刚度与质量分布等有关,故当火箭炮设计、装配出厂,其射击时振动特性就基本上确定了,由一些特性参数即可描述。那么,我们就可以采用不同的方式,把火箭炮激励起来,测取其响应信号,并识别其固有特性参数。

某火箭炮系统属于大型复杂结构,其零部件多,连接方式复杂,在高低机和方向机等部位还有少量的间隙,射击时表现为不同程度的非线性,不但影响动态特性的分析,而且也给结构的振动激励带来麻烦。为识别某火箭炮的固有特性参数,采用频域法进行分析,必须对火箭炮结构进行激励,并测试激励力的历程曲线和响应历程曲线,做出两者的传递函数(频响函数)。

有很多种激振方式,早期的单点稳态正弦激振,以后常用的单点瞬态激振,包括快速扫频和锤击激振,以及阶跃松弛激振,还有宽频带的随机激振等。在这些方法中,由于锤击法仅需用少量的激励设备,且操作方便,快速省时,被很快普及起来,但其激励能量有限,对于激励象某火箭炮那样的大型复杂结构,其效果较差。表现为,对火箭炮上部进行锤击,其下部炮车部分响应甚微,外部的干扰噪声很容易侵入,使得某些传递函数的信噪比很低,不能使用。图1给出一组传递函数和其

相干函数，为对某火箭炮定向器床前部横向锤击，炮车横梁测试加速度响应的关系曲线。

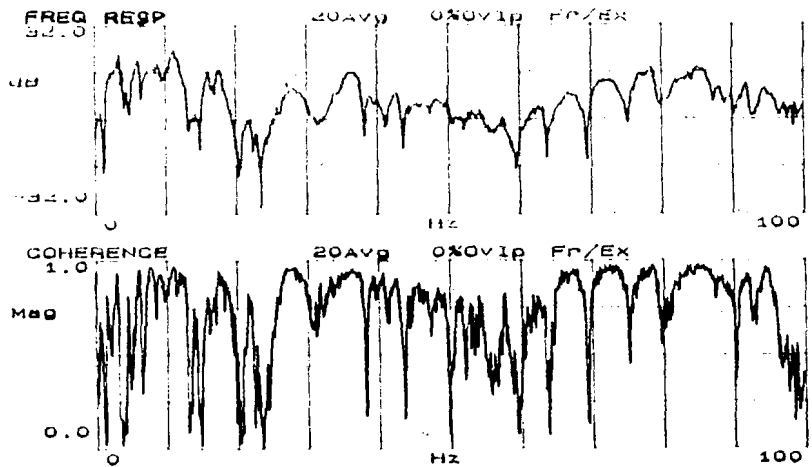


图1 单点锤击的频响及相干系数

为能获得较好的提供参数识别的各组传递函数，我们先后选用了单脉冲锤击法，激振器单点随机激振和随机锤击法激振等方式，对某火箭炮系统进行激振。试验中，对各种方法进行了比较，提出了一些看法，并通过对实际结构的分析验证了这些结论性意见。

二 几种激振方法的基本原理

1. 单次脉冲锤击

由于某火箭炮系统在200Hz以下的固有频率有几十阶，所以我们更关心其低频

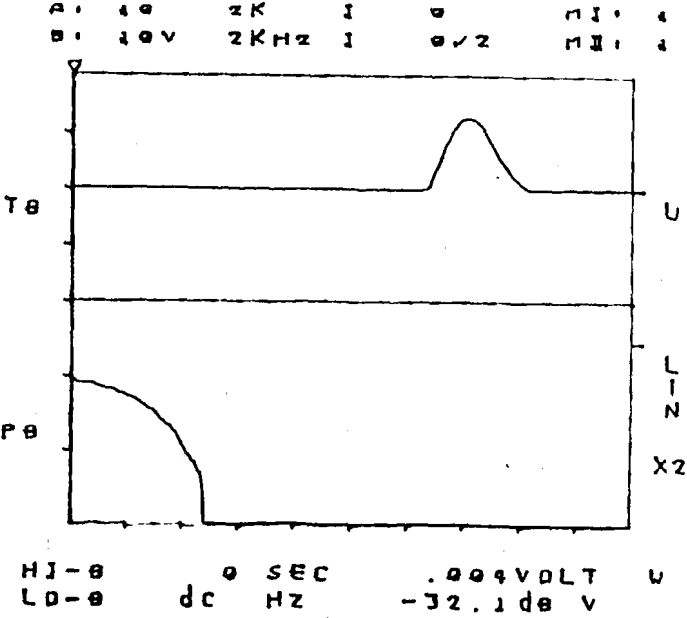


图 2

振动特性。根据激振的频带范围和实际结构庞大的特点，要求有较大的激振能量，因而，我们锤击时选用橡皮头锤帽，配5吨的力传感器。实测得到的力脉冲信号及其频谱如图2所示。与理论上的半正弦脉冲及其频谱接近。

半正弦脉冲信号的数学表达式是：

$$x(t) = \begin{cases} A \sin(\pi/T)t & |t| \leq T \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

其中A为力幅，T为脉冲宽度(单位秒)

这种力脉冲的功率谱密度函数为：

$$\begin{aligned} s(f) &= |G(f)|^2 = G(f) \cdot G^*(f) \\ &= [AT/\pi(1-4f^2T^2)]^2 (1 + \exp(-j2\pi fT)(1 + \exp(j2\pi fT)) \\ &= [2AT/\pi(1-4f^2T^2)]^2 \cos^2 \pi fT \end{aligned}$$

其中， $G(f)$ 为力脉冲信号的傅里叶变换，即

$$G(f) = F[x(t)] = AT/\pi(1 + \exp(-j2\pi fT)/(1-4f^2T^2)$$

半正弦脉冲及其频谱的理论曲线如图3所示。

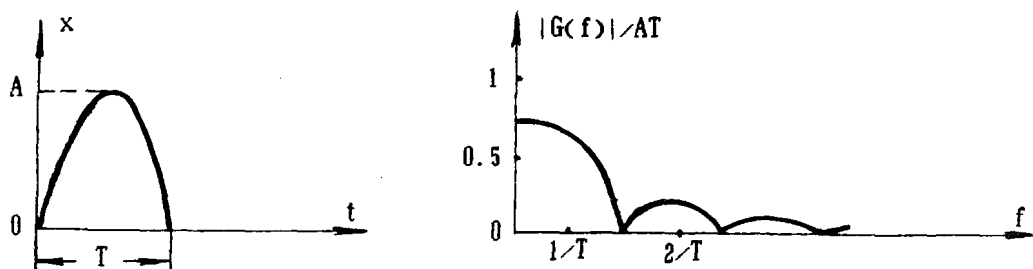


图 3

脉冲锤击法具有简单快速等优点，但由于力信号的持续时间短，每次锤击力度不会保持一致，就使得在整个样本函数上只有一小部分包含有真正的激励信号，其余部分均为干扰噪声。为提高时域力信号的信噪比，我们应严格控制试验中的噪声侵入，包括导线接头、绝缘、屏蔽、接地等方面，另外，需要对所采集到的信号进行数字处理。

数字信号的处理包括平均和加窗等，因为脉冲激励可近似认为是确定性信号，平均目的就是排除噪声，当信号品质较好时，只需平均5~6次，通常取N=20例就可以了。对脉冲信号，因作用时间很短，不存在因信号截断带来的泄漏问题，加窗处理只是为了提高信噪比。我们在处理时，分别是对信号加力窗和指数窗，所得到的信号及其功率谱如图4所示。

很显然，通过加窗处理，可以消除脉冲锤击力信号中的干扰噪声，消除响应信号中不需要的噪声，提高信噪比。这在分析样本时间较长时尤为突出。

2. 随机脉冲锤击

单次脉冲锤击的激励能量小，测量得到的力信号设为

$$x(t) = x_i(t) + n x_i(t)$$

其信噪比 $r = S/N = \overline{x_i^2(t)} / n_{xi}^2(t) = P_x / \sigma_n^2$

其中 P_x —信号的功率 σ_n^2 —信号噪声方差

经过N次平均, 其信噪比 $r_n = \overline{x_i^2(t)} / (\sigma_n^2 / N) = Nr$, 即可以提高N倍。为增加激励能量, 采用随机脉冲锤击, 即在一次计算时间(2048点采样区间)内, 进行多次随机间隔的脉冲激励。

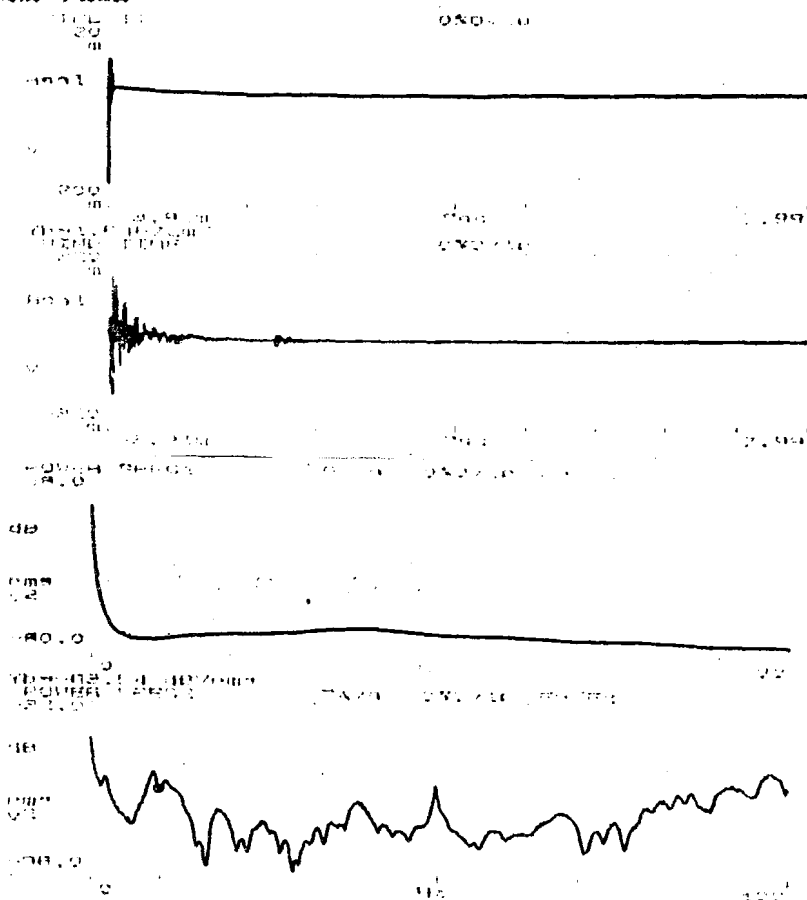


图 4

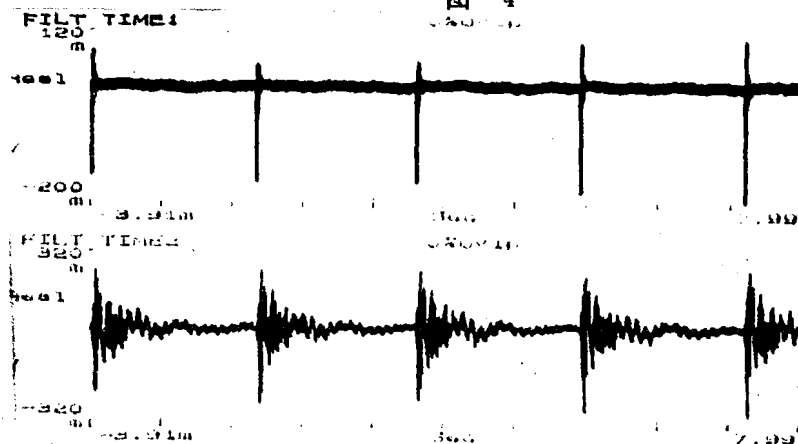


图 5

时域随机力脉冲信号及其火箭炮上的结构响应信号如图5所示。相应的功率谱如图6所示。

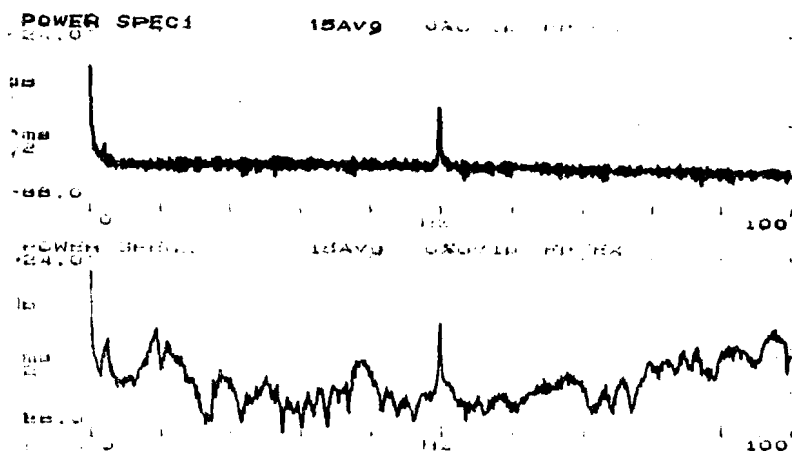


图 6

设每段时间内输入 m 次随机间隔的锤击脉冲信号，则其信噪比

$$r_m = m r_N = m N r$$

即比单次脉冲锤击提高 m 倍，其激励能量也大大提高了。

半正弦随机脉冲信号的数学表达式为：

$$x(t) = \begin{cases} A_i \sin(\pi/T) \cdot t & t_i \leq |t| \leq t_i + T \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中 i 为力脉冲序号， $i=1, 2, \dots, m$ ， t_i 为第 i 个力脉冲的滞后时间，是个随机变量。随机力脉冲的傅里叶变换为：

$$G(f) = F[x(t)] = T/\pi (1 + \exp(-j2\pi fT)) / (1 - 4f^2T^2) \sum_{i=1}^m A_i \exp(-j2\pi f t_i)$$

随机力脉冲的力谱为

$$S(f) = G(f) \cdot G^*(f) = [2T \cos \pi fT / \pi (1 - 4f^2T^2)]^2$$

$$[\sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^m A_i A_k \exp[j2\pi f(t_i - t_k)]]$$

$$\text{或 } S(f) = [2T \cos \pi fT / \pi (1 - 4f^2T^2)]^2 [\sum_{i=0}^m A_i^2 + \sum_{i=0}^m \sum_{\substack{k=0 \\ i \neq k}}^m A_i A_k \cos 2\pi f(t_k - t_i)]$$

式中 t_i ， t_k 是随机变量，当 $f \neq 0$ 时，方括号中的第二项具有零均值，经多次平均后趋近于零，则有

$$\overline{S(f)} = [2A_0 T \cos \pi fT / \pi (1 - 4f^2T^2)]^2 (1 + \sum_{i=1}^m \gamma_i^2)$$

式中 $\gamma_i = A_i/A_0$ 为第 i 个力脉冲与起始力脉冲的幅值比。其力谱(理论曲线)如图7所示。

由随机脉冲的力谱表达式可知，作用在结构系统上的激励能量是单脉冲的 $(1 + \sum_{i=1}^m \gamma_i^2)$ 倍。激振能量的分布同样取决于力脉冲的宽度 T ，在我们关心火箭炮系统低

阶振动频率及其特性参数时，应选用橡皮锤头。取分析频率范围0~100Hz，其采样时间较长，对于 HP3562A系统2048点数据分析约需8秒钟。单脉冲只占其中很小一时间间隔，大部分是零信号与噪声。随机脉冲激振，离散的

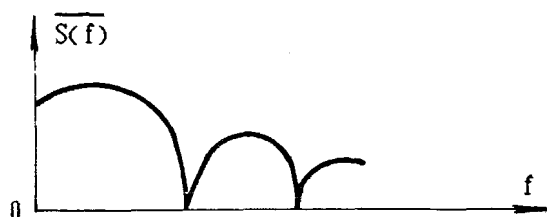


图 7

力脉冲随机地分布在整个采样时间内，会大大提高信噪比，对于响应信号也同样有这个问题。

3. 激振器宽带随机激振

随机激振试验通常用随机信号发生器，输出宽频带或经滤波输出所需频率范围的白噪声，经功率放大器推动电动式激振器进行激振。激振信号有纯随机和伪随机之分，纯随机激振是用宽带的白噪声信号发生器作为信号源，产生的纯随机信号有高斯分布函数其功率谱为白谱。为消除纯随机试验中的泄漏误差，用伪随机信号激振，它由计算机或数字式分析仪器产生一个有限长随机数序列周而复始地循环输出。因此，伪随机信号具有周期T，所以其谱线是离散的。典型的功率谱如图8所示。

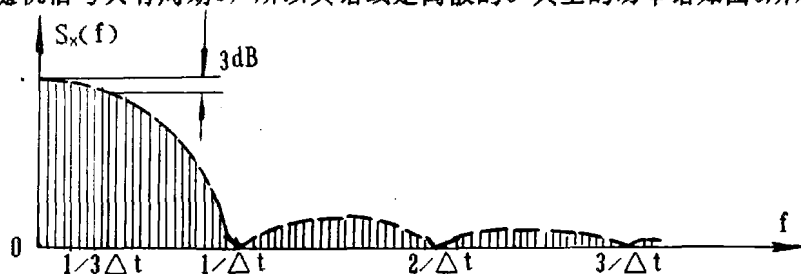


图8 伪随机信号 $x(t)$ 的功率谱图

在火箭炮系统激振试验时，先后选用了纯随机激励信号和伪随机激励信号，在

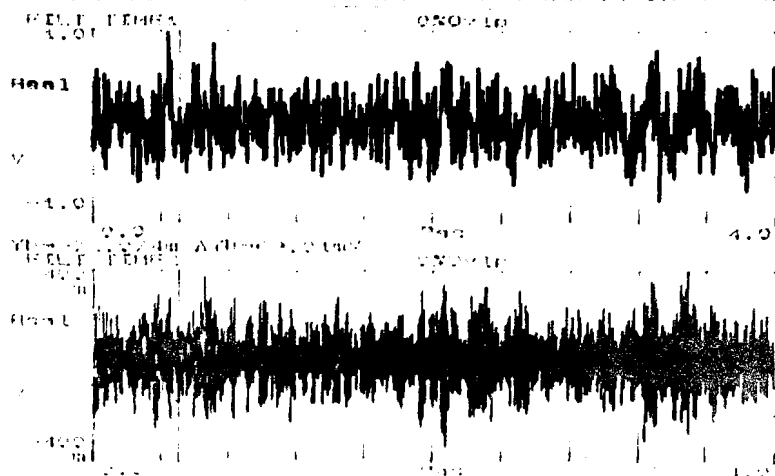


图 9

所分析低频(100Hz以下)段, 实际得到的激励力信号和响应信号如图9所示。相应的功率谱如图10所示。

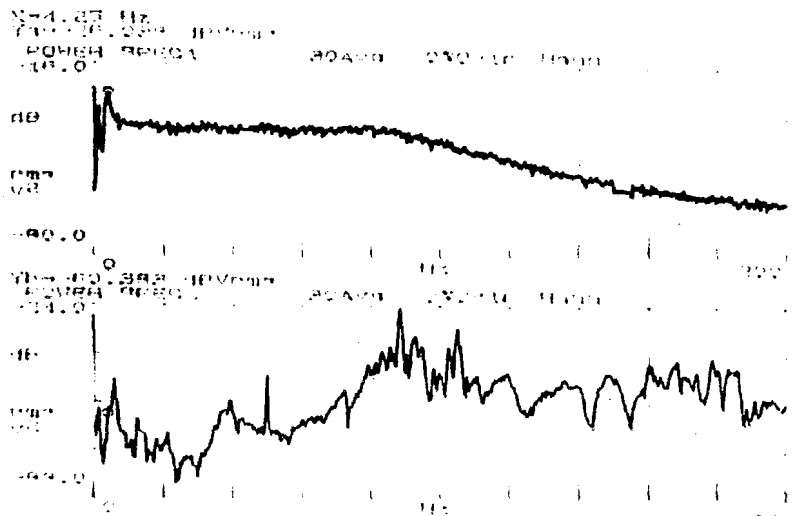


图 10

4. 快速正弦扫频激振

这也是一种快速瞬态激励方式。作为激振力函数, 希望在两极限频率间产生平直频谱, 复盖所需激起的频率范围, 而在极限频率之外, 谱幅为零, 即可得到接近矩形的频谱, 其力函数可写成:

$$x(t)=A\sin(at^b+bt) \quad 0<t<T$$

其中 $a=\pi(f_2-f_1)T$, $b=2\pi f_1$

T 为激振力持续时间; f_1 为扫描下限频率; f_2 为扫描上限频率;

这种激振力信号的幅值谱如图11所示。

这种激振需要专门的信号发生器, 如果激振力扫频时间不足很短(常要求几秒钟扫完整个频段), 可以周而复始地重复扫频, 即从 f_1 扫到 f_2 , 再由 f_2 扫回 f_1 , 连续重复, 直到激振的力谱达到所需的幅度。

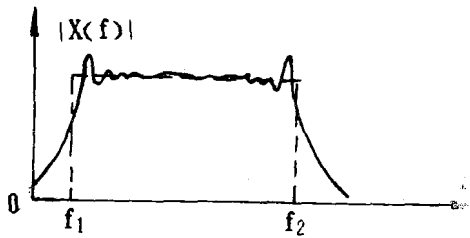


图 11

在对某火箭系统的激振中, 曾试图选用这种方法。但由于所用B. K1047型号的扫频下限 f_1 不能满足结构参数识别的要求, 所以没有采纳。这种激振方法, 同样可以有较高的激振能量, 只是频率极限范围不容易满足火箭炮系统的要求。

三 火箭系统激振的实例

在对某火箭系统的试验模态分析中，针对结构大型复杂的特点，试验比较并分析了几种激振方法，分别获得某火箭系统激振力与结构加速度响应之间的频率响应函数和相干函数，分析后认为随机脉冲激振和宽带随机激振是可行的，它们的频响函数与相干函数分别如图12和图13所示。

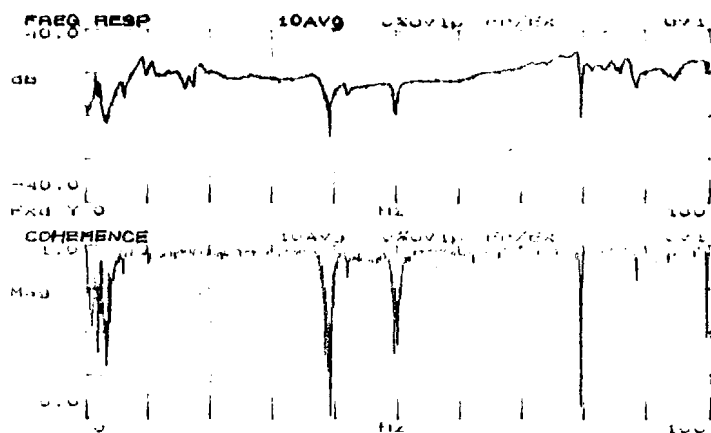


图12 频响函数及相干

(46点激,4点y响应)

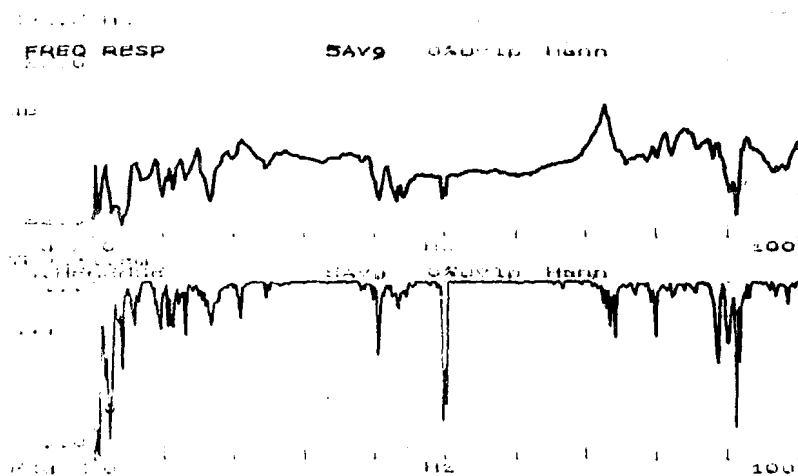


图13 频响及相干

(13点随机激, -y-4点测响应)

综合随机脉冲与激振器随机激励两种方法的优缺点及现有设备情况，最终选择激振器宽带随机激振进行结构的模态分析，其测试框图如图14所示。

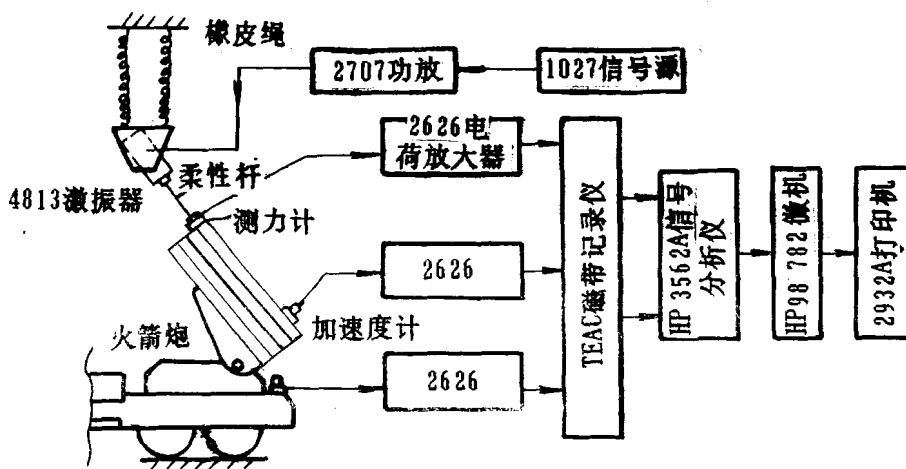


图14 测试系统框图

在测试系统中，由于激振器悬吊系统(橡皮绳与激振器构成的系统)的固有频率不是很低，加之激振器低频特性的影响，使得激励力的谱在低频段非平直。如图10随机力信号的功率谱扩展开，并给出力谱与响应谱间的相干函数，如图15所示。显然，在4Hz以下，相干函数的值某些不满足 $\gamma_{yx}^2 = |G_{yx}(f)|^2 / G_{yy}(f) \cdot G_{xx}(f) \geq 0.9$ ，这就必然影响我们所关心火箭炮系统低频段的模态参数精度，(这儿的平均次数取 $N=10$ 次，实际参数识别时 $N>30$ ，那时相干会好得多)。

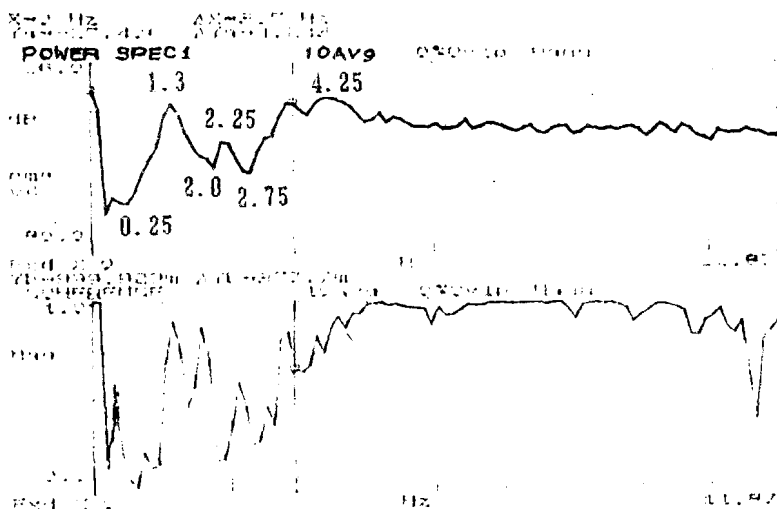


图15 扩展低频段的功率谱及相干(39点+y向响应)

仔细分析图15中力谱低频段的曲线，找出相应于波峰与波谷的频率值。并通过传感器(加速度计)直接测试悬吊系统的各阶固有频率，惊奇地发现，波峰所对应的1.3~1.4Hz, 2.25Hz, 3.4Hz频率所反映的振型分别是激振器水平摆动(沿x向)，沿y轴上下摆动和沿z轴的横摆及绕z轴的扭摆，如图16所示，可以认为，当处于悬挂系统固有频率时，由于谐振，激振器外壳振动起来，激励能量能部分地施加在火箭炮结构上。当离开共振频率时，激振器只有很少部分能量作用在结构上，这时激励与响应之间的相干也就较差。当激励频率远大于悬吊系统固有频率后，激振器壳体在空中近似于一个不动点，激励能量通过动圈及柔性杆等较均匀地施加在火箭炮上，表现为较平直的力谱曲线。

为识别火箭炮系统的固有振动参数，我们在火箭系统定向器口部沿管子方向随机激振，在火箭炮结构上设置了180多个测点，每个测点测试正交三个方向的响应曲线，共计573条频响曲线及相应的相干函数曲线(由HP3526A分析仪获得)，传输到计算机中，经SMS公司的模态软件包—MODAL.30，识别了火箭炮的模态参数。

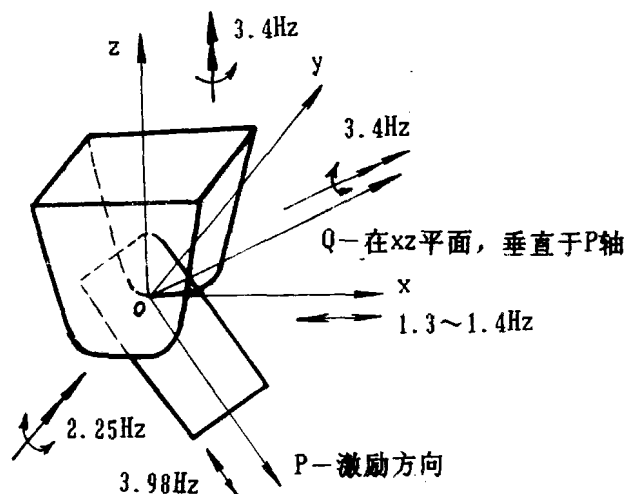


图 16 激振器固有振动示意图

为获得较好的结构振动参数，提供识别的频响函数曲线需有较高的信噪比，除了选择罗为理想的激振方法外，与测试时测试系统的配置，传感器的安装，导线的连接等关系也很大。通常都是通过检查相干函数来判断信噪比的大小，进一步衡量识别参数的精度。可以说，相干函数的检查是综合判断测试效果的重要步骤。对测试中相干特性较差的曲线，我们又反复试测，直到相干函数在所识别频率段基本达到 $V_{xy}^2 > 0.9$ 为止。

四 结论与致谢

1. 随机脉冲锤击激振，设备简单，输入激励能量大，故其信噪比远高于单次脉冲锤击激振。可以用较小力锤，激起大型复杂结构，来识别其模态参数。

2. 对于某火箭系统这样的结构，应用较大力的随机锤击法激励，或用较大推力的激振器随机激励，才能获得较高信噪比的系统频响特性曲线，单次锤击和小推力随机激励都不能得到较理想的试验结果。

3. 为得到较好的火箭系统低频特性参数，激振器的悬吊系统应很好设定，最好形成单度系统，且固有频率低—0.5Hz。地可将激振器半刚性固定，谐振频率高于300~500Hz。

4. 400N推力的激振器激励某火箭炮系统, 仍显得能量不够, 主要反映在火箭炮系统低频响应偏小, 如条件允许, 应上电液式随机振动台, 或多点随机激励, 但需昂贵的试验设备。

在上述激振方法的试验和研究中, 得到王福明、赵维昌、刘沃野、崔晓明、平、张振斌、李宇同志的协助, 在此表示衷心感谢!

参考文献

- [1] D.J.Ewins, "Modal Testing Theory and Practice", 1984
- [2] 黄友仙, "锤击法的实施", 《强度与不境》, 85年第1期
- [3] 潘宏侠、赵剡, 《振动分析基础与模态参数识别技术》, 太原机械学院, 1
- [4] 林砺宗, "锤击模态实验中的几个问题", 《测试学会第3届年会论文集》, 1986年

高一 g 遥测设备有关技术问题探讨

梁燕熙

(国家机械委二一二研究所)

[摘要] 本文针对常规箭弹遥测的特点, 简述了高一 g 遥测设备小型化、通用化设计涉及的有关技术问题, 对设备今后的发展进行了必要的讨论。

随着兵器工业的发展, 新型箭、弹及引信的研制过程中急需对被研制对象在弹道飞行中的诸参数进行测量。以往的测试手段如光测、电测等对弹丸内部工作参数及引信工作参数的测量是无能为力的。同时由于常规箭弹工作环境异常恶劣, 因此必须研制适用于常规箭弹的无线电遥测设备, 通常称之为高一 g 遥测设备。

一 箭弹遥测特点及体制的选择

众所周知常规箭、弹本身体积小、工作环境恶劣、造价低, 飞行时间短。通常的遥测设备是不能在箭弹上使用的。归纳起来常规箭弹遥测弹上设备应具备以下的特点。

1. 在炮射恶劣环境下可靠地工作。
2. 全设备体积小、重量轻, 不影响弹丸气动外形, 配重适当保证弹丸的真实飞行状态。
3. 通道容量要适当, 变化要灵活, 以适应速度信号和变信号同时传输的特点。同时还应具备同时传输一个弹丸上两个或两个以上相关联参数的测量能力。
4. 因设备是一次性使用, 必须成本低, 否则就限制了它的使用。

根据上述特点, 综合现有的遥测体制, 考虑到路数不多且被测量多为速变量, 有的被测量是随机的, 因此多选用FM/FM体制。当然随着末制导弹的出现, 要求路数增加, 常规箭弹高一 g 遥测设备也采用PAM/FM/FM体制和PCM/FM/FM体制, 但各种体制配置亦应灵活, 地面设备应具备较强的兼容性。

对于弹载设备而言, 由于常规箭弹种类繁多口径各异, 因此要尽量实现小型化、通用化。

二 箭弹遥测需测参数及环境概况

根据目前已知情况一般箭、弹、引信需测参数可以用下两表表示。

表 1 箭弹分类及需测参数

被测弹种 被测参数	航 弹	火箭弹	增程火箭弹	旋转稳定弹	尾叶稳定弹
速 度	△	△	△	△	△
加速度	△	△	△	△	△
转 速	△	△	△	△	△
章动角	△	△	△	△	△
滚动角	△	—	△	—	△
壁 温	△	△	△	△	△
发动机推力	—	△	△	—	—
增程点火时间	—	—	△	—	—
灭火时间	—	△	△	—	—
尾叶张开时间	—	△	△	—	△
发动机压力	—	△	△	—	—

表 2 引信外弹道需测参数

注：△者需 一者不需

被测对象 被测参数	机械引信	压电引信	无线电引信
解脱保险时间	△	△	△
作用时间	△	—	△
爬行力	△	△	△
弹道波动电压	—	△	—
温差效应电压	—	△	—
弹道储存电压	—	△	—
电池电压	—	—	△
电池噪音	—	—	△
输出电压	—	—	△
输出波形	—	—	△
输出电压噪音	—	—	△
钟表走时精度	△	—	△