

结构强度 与 环境工程

第一次学术报告会文集

(1980年)

编 者 的 话

结构强度与环境工程第一次学术报告会议文集终于和大家见面了!

根据结构强度与环境工程专业委员会全会决定出版会刊,作为结构强度与环境工程专业方面学术交流的园地。在筹备出版会刊过程中,得到了不少同志的支持,特别是西北工大黄玉珊教授抱病为我们撰写创刊词,在此谨致谢意!

但因某种原因,会刊暂不能出版。经协商将结构强度与环境工程第一次学术报告会的学术报告以文集形式出版。经过一番努力,今天和大家见面。由于筹备仓促,缺乏经验,定有不少缺点,敬请指正。

一九八一年二月二十三日

目 录

强度、环境试验

〈学术报告〉

- 32 路正弦振动参数自动巡测法分析及模拟试验……华银机器厂 徐福祥 (1)
利用火箭橇作着发引信的碰撞试验技术
…………… 二机部 904 所 王懋礼 赵永言 (10)
一个带球弓形鼻部物体的入水过程
…………… 六机部七院 702 所 徐中年 赵希谓 (14)
激光在静、动力试验中的应用……西工大 801 实验室 刘增山 高飞 (22)
结构静力试验理论和方法中的几个问题……七机部一院 702 所 赵善斋 (28)

〈摘 要〉

- 锥壳承受爆炸载荷的实验研究……七机部一院 702 所 胡明志等 (110)
“ 331 ” 工程小贮箱低温试验技术
…………… 七机部一院 702 所 屠振尧 潘汉兴 (110)
带谷试验响应控制振级的确定及其试验方法
…………… 七机部五院 511 站 白松波 (110)
弹头过载开关在冲击作用下的接通试验及其分析
…………… 七机部一院 14 所 蔡成钟 (111)

〈题 目〉

- 振动模拟试验……七机部二院 699 厂 施伯华 (118)
颠簸试验的脉宽问题……四机部五所 陈宗明 (118)
金属薄板的声致振动 (掠入射) ……科学院声学研究所 沈嶸 (118)
航天器表面充电及模拟试验……七机部五院 511 站 曲学基 (118)
实践 2 号的爆炸分离冲击……七机部五院 511 站 贺传贤 梁有余 (118)
人造卫星力学环境试验……七机部五院 511 站 金恂叔 (118)

强度、刚度设计, 计算

〈学术报告〉

- 电子设备的抗振设计问题……新中华厂 鲍贤栋 (40)

〈摘要〉

- 密肋加劲圆筒壳轴压稳定性分析……………七机部一院一部 马修华 (111)
- 表板材料不同,厚度不等各向同性夹层壳的轴压稳定性计算
……………七机部一院一部 张绪香 (111)
- 离散型支承系统的刚度特性及其反力计算
……………二机部 904 所 韦日演 陈正秋 (112)
- 40SiMoCrNiV 钢在撞击冲击波作用下的断裂特性
……………七机部一院 703 所 潘光荣 (112)
- 有限元素法求解线性稳定问题的一种方案……………七机部二院四部 朱跃祖 (112)
- 大开口三心顶盖的结构塑性分析……………七机部一院 11 所 赵连忠 (112)
- 碳纤维绕缠圆柱壳(截锥壳)在轴、外压下的稳定性
……………七机部一院 702 所 蔡泽 (113)
- 多种型式开口的强度、刚度计算与分析……………七机部一院一部 洪祖峻 (113)

〈题目〉

- 对称阻尼结构的初步设计参数……………科学院力学所 张强星 (118)
- 五层粘弹性阻尼梁的损耗因子和频率……………科学院力学所 马邦安 (118)
- 各向异性筒壳及装药发动机在轴压、外压及其联合作用下的稳定性
……………四院 41 所 贾喜章 (118₃)
- 斜置网格加劲旋转壳位移应力有限元计算……………新中华厂 王荣亮 (118)
- 用有限元素法对弹身结构的静力强度分析……………西工大 301 教研室 姜晋庆 (118)
- 用有限元素法对某导弹翼面、舵面的静强度分析—优选超松弛因子等
……………西工大 301 教研室 陈集丰 (118)
- 夹层旋转壳稳定性分析的有限元素法……………七机部一院四部 余文超 (118)
- 等参数轴对称厚壳元……………新江厂 华守廉 (118)
- 低重力下贮箱内液体重定位问题的分析研究初步
……………七机部一院 702 所 应桂炉 (118)
- 宇航器结构模态分析简介……………七机部五院 511 站 衣金增 (118)
- 国家航宇局结构动力学技术研究对未来需求的看法
……………七机部一院情报室 (118)

空间环境

〈学术报告〉

- 空间飞行器的空间环境模拟试验研究的现状和发展
……………七机部五院 511 站 何传大 (50)
- 理想四环方线圈理论……………科学院空间科学部 傅竹风 (58)
- 关于太阳模拟器能量密度非均匀度对航天器温度场影响的修正方法的研究
……………七机部五院 511 站 刘锋 (68)

〈摘要〉

- 空间环境模拟真空室热沉黑色涂层……………上海有机化学所 六室 (113)
温控涂层的真空—紫外辐照模拟试验……………上海硅酸盐所 奚益明 (114)
卫星温控涂层环境模拟试验……………上海硅酸盐所 陈杰锋 奚益明 (114)
雷达舱热环境模拟试验……………七机部一院702所 温桂珍 张莘初 (114)
仪器舱地面日照模拟试验……………七机部一院702所 王乐善 卢文娟 (115)

〈题目〉

- 空间粒子辐射通量的计算……………华银机器厂 范景德 (118)
方形梯度线圈……………科学院空间科学部 付竹凤 (118)

试验规范、条件

〈学术报告〉

- 机动导弹控制系统仪器设备的可靠性鉴定、验收试验条件和方法
……………七机部一院12所 钦天钧 (79)

〈摘要〉

- 带有太阳帆板的卫星结构低频振动规范的讨论……华银机器厂 沈伯良 (115)
通讯卫星系统级振动试验条件及响应控制
……………七机部一院702所 吴家驹 李雅君 (115)

〈题目〉

- 国外军用环境试验规范综述……………二机部904所 黎汝泉 (118)
无孔弹头再入段最大横向过载情况安全系数的建议
……………七机部一院14所 徐孝诚 (118)
对人造卫星空间环境模拟试验规范的看法……七机部五院511站 成致祥 (119)

设 备

△学术报告▷

- 消旋轴承组件润滑性能试验及初步评价……七机部五院510所 骆福英 (93)
研究摩擦与润滑的真空模拟装置
……………科学院兰州化学物理所 徐锦芬 祝洪庚 (103)

〈摘要〉

- 一种新型的振动监控设备……………三机部625所 史永兴 (115)
生保系统模拟舱……………507所 施培家 (116)
一万声瓦气流扬声器……………科学院声学所 张扩基 (116)
超高压球形汞灯的辐照强度及其衰降……………上海硅酸盐所 奚益明等 (116)

TM 3000 AI 小型太阳模拟器·····	长春光机所	赵吉林等	(117)
一种卫星分离系统的模拟试验装置 ·····	七机部五院 508 所	张振声 任志通	(117)

△ 题 目 ▷

φ300 弹道式钛泵机组在真空模拟试验中的应用·····	华银机器厂	黄友仁	(119)
关于 CR5 空间模拟器油的扩散泵系统油蒸气污染的看法 ·····	华银机器厂	汤锐宾 陈根荣	(119)
空间辐射环境模拟设备·····	七机部五院 510 所	刘玉魁等	(119)
大型空间环境模拟设备外流程的研制·····	七机部五院 510 所		(119)
CP712 热超高真空模拟室·····	七机部一院 702 所	盛和旭	(119)
CH-75 型冷热交变仪·····	上海有机化学所		(119)
实验室模拟真空紫外辐照设备·····	上海有机化学所		(119)
KM-4 空间环境模拟设备简介·····	七机部五院 511 站	黄本诚	(119)
我站太阳模拟器的发展设想·····	七机部五院 511 站	申雅春 臧友竹	(119)
大型超高真空容器的检漏·····	七机部五院 511 站	罗舜生	(119)
电动振动台设计原理·····	科学院声学所	沈嵘	(119)
水银传感器及其在弹用干涉光谱仪模型振动环境试验中的应用 ·····	长春光机所	千东英	(119)
微小振幅测量及其在传感器校准和裂纹开裂检测方面的应用 ·····	国家计量站	董显铨	(119)

其 它

◁ 题 目 ▷

车架结构模态试验和分析·····	南京航空学院	赵淳生	(119)
------------------	--------	-----	-------

32路正弦振动参数 自动巡测法分析及模拟试验

华银机器厂 徐福祥

摘要：本文提出了一种经济的多路振动测试方法，可以用一只通用型电荷放大器巡测多路振动数据。对正弦扫描振动这一特例，介绍了一种实现32路巡测的方案。文中就实现上述方案的主要技术问题作了分析，特别对多路巡测电荷放大器的特点，以及对由于各路加速度传感器灵敏度不一致必须自动加以适调的技术问题作了详细介绍。文中叙述了验证该方案可实现的四路模拟试验的概况。最后指出已采用本方案研制了一台〈十六路振动参数自动巡测仪〉，其成本不超过采用十六只精密电荷放大器及磁记录方法的五分之一。若单独使用多路巡测电荷放大器，并配以合适的分析仪器，则也可实现非正弦振动信号的多路巡测。

一、引言

为廉价解决大型振动试验的多点测量问题，最近对实现振动参数巡测的可能性进行了分析，提出了一种经济的测量方法。经模拟试验验证后，即研制了一台〈十六路振动参数自动巡测仪〉，完成了〈FY-1〉卫星结构振动试验的多点测量工作。

众所周知，由于压电传感器的高输出阻抗特性，故每个传感器均需配备一台电荷放大器，所以大型振动试验的多路测量一直是十分费钱的课题。现采用一种通用型电荷放大器经认真设计后可实现多路巡测。对正弦扫描振动，在一定精度要求下，若采用交直流双重采样的四通道方案，只要用四台电荷放大器及相应的四路运算电路就可实现32路振动参数的快速巡测。消耗资金约为采用32台电荷放大器及磁记录设备的1/5，从而可节省资金十多万元。

下面就实现上述方案的主要技术问题进行必要的分析和讨论。

二、测量原理及框图

可以把被测振动试件看作一个系统，其激励 $x(t)$ 和系统的响应 $y(t)$ 的关系如图 1 所示。

图中, $S_x(\omega)$ 为激励的谱密度, $S_y(\omega)$ 为响应谱密度, $H(j\omega)$ 为系统的响应函数。它们的关系为

$$S_y(\omega) = |H(j\omega)|^2 S_x(\omega) \quad (1)$$

可见, 反映系统特性的 $|H(j\omega)|$ 与激励和响应的功率谱密度有关, 所以系统在做正弦扫描激励时, 也应测量其响应的均方根值。

真正的“均方根表”很复杂, 为简便起见, 可籍测量简谐波的平均值, 并以波形因数

标定为均方根值来近似。机械系统往往与电子谐振回路不尽相同, 当扫描到共振时, 由于结构弹性的非线性, 系统的共振响应不再是线性的。为真实反映系统这一特性, 可以测量畸变响应波的平均值。奥利弗^[6]曾证明, 用上述简谐波测量法测量畸变波有效值的误差一般不会太大。例如, 对均方根值为 σ 的高斯随机信号 v , 经整流后的平均电平 V_{av} 为

$$V_{av} = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} v e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} dv = \frac{2\sigma}{\sqrt{2\pi}} \quad (2)$$

经简谐波波形因素标定后测得的结果为

$$V_{rms} = 1.11 V_{av} = 0.89\sigma \quad (3)$$

可见, 用简谐波测量高斯噪声有效值仅比 σ 偏低 1 db。

同样可求得谐波丰富的三角波测量百分误差为

$$e\% = \frac{1.11 \left(\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2t \frac{dt}{\pi} \right) - \left(\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{4t^2}{\pi^2} dt \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{4t^2}{\pi^2} dt \right)^{\frac{1}{2}}} = -3.81\% \quad (4)$$

如要提高均方根测量精度, 可采用峰值检波与平均值检波合成的测量法^[6]。

正弦扫描试验测量的参数主要是加速度和位移(有时也测速度)。当频率不太低时, 一般采用加速度传感器。传感器的输出

电荷 $q(t)$ 正比于振动加速度值 $a(t)$, 而电荷放大器的输出电压 $V_1(t)$ 为

$$V_1(t) = \frac{1}{C} q(t) = S_q a(t) \quad (5)$$

式中, C 为电荷放大器的反馈电容, S_q 为传感器的电荷灵敏度。

欲获得振动位移值, 可对 $V_1(t)$ 二次积分^[2]

$$V_2(t) = S_q \iint V_1(t) dt^2 \quad (6)$$

低频时, 一般均测量位移, 故低频畸变波经二次积分后, 基本上获得了一个简谐波。这一结果是显然的, 因为畸变加速度信号中谐波成分对位移的贡献远小于基波的贡献, 所以无论用峰值法和平均法均可较精确地获得低频位移的有效值。

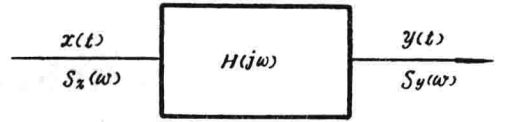


图1 系统的激励和响应

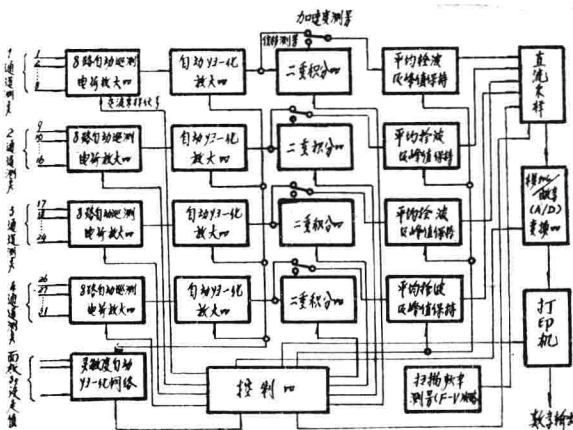


图2 32路振动参数自动巡测方案框图

一个简谐波。这一结果是显然的, 因为畸变加速度信号中谐波成分对位移的贡献远小于基波的贡献, 所以无论用峰值法和平均法均可较精确地获得低频位移的有效值。

将正比于加速度的 $V_1(t)$ 或正比于位移的 $V_2(t)$ 线性检波后送平均响应器, 经标定以获取加速度或位移的均方根值, 再经峰值保持器送 A/D 转换电路, 随即由打印机快速输出数字量。

须指出, 平均法需要一定时间, 兼顾巡逻速度后, 会使低频信号测量值偏高。这可调整整机低频特性加以补偿。

图 2 是一种 32 路正弦扫描振动参数巡逻方案的原理框图。这里采用交直流双重采样, 并有四个通道, 每一台电荷放大器巡逻 8 路振动数据。框图中的主要部分原理和分析详见下文。

三、采样时间间隔的选取和分析

测量某一路正弦扫描振动信号, 主要应真实记录该信号的均方根值随频率变化的规律 (即幅频包络曲线)。其变化的速度直接依赖于试件的共振响应特性和扫频速度。它们之间的关系式是采样速度选取的基本原则。

设常规扫描时间为 T (由频率 f_1 扫描到 f_2 的时间)。由对数扫频公式

$$f_2 = f_1 10^{ST} \quad (7)$$

可求得扫描速度 S 为

$$S = \frac{1}{T} \log\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \quad (8)$$

若试件近似为若干单自由度系统的线性迭加, 显然为了正确地反映出每个谐振峰的特点, 必须至少选取这样的采样时间间隔, 以确保在极端情况下, 其采样值不低于其中最尖锐峰的半功率点值。(不会因离散测量, 漏测谐振峰。)

设试件的谐振放大倍数为 Q , 则可证明谐振峰的半功率点带宽 Δf 为

$$\Delta f = \frac{1}{Q} f_0 \quad (9)$$

式中, f_0 为谐振峰中心频率。

由 (7) (8) (9) 可求得与 Δf 相对应的采样时间间隔 Δt 为

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{1}{S} \log\left(1 + \frac{1}{Q}\right) \\ &= \frac{T \log(1 + 1/Q)}{\log(f_2/f_1)} \end{aligned} \quad (10)$$

由 (10) 可见, 试件的 Q 越高, 扫描速度越快, 则选择的 Δt 就越小。

由采样间隔 Δt 求仪器的频率分辨率 S_f 的公式为

$$S_f = \frac{\Delta f}{f_0} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^{\frac{\Delta t}{T}} - 1 \quad (11)$$

而共振峰频率的最大偏移率可求得为

$$D_f = \frac{1}{2} S_f = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^{\frac{\Delta t}{T}} - 1 \right] \quad (12)$$

若令 f_1 为 20 Hz; f_2 为 2 KHz; T 为 13 分; Q 为 20; 测量点数 m 为 32, 则由 (10) 求得 Δt 为 8 秒。此时, 若仪器只有一个通道, 则每一路数据测量点经历时间 (即该路信

号接入仪器时间)为 $\frac{\Delta t}{m} = 250ms$ 。

实际上,对复杂的多自由度系统,谐振峰的形状是很复杂的。所以实际设计仪器时,采样时间间隔 Δt 应小于上述计算值。并且仪器应有若干个 Δt 时间值,以供选用。

对于 Q 值很高的试件,仪器应能由 32 路测量方便地转换为 16 路测量。这样每路采样时间间隔可缩短一倍,以提高测试精度和频率分辨率。

我厂研制的十六路振动参数巡测仪的最小 Δt 为 2 秒。可计算得 S_f 为 1%; D_f 为 0.5%。由于 Δt 足够小,所以在测量 <FY-1> 卫星的振动数据时,几乎得到了似连续曲线。

四、电荷放大器的多路巡测和自动归一化方法

电荷放大器的原理见图 3。图中 $q(t)$ 为传感器输出电荷, C_A 为传感器电容, C_C 为电缆电容, $(-A)$ 为高输入阻抗运算放大器, C 为反馈电容。

可求得电荷放大器输出电压 U_0 为

$$U_0 = \frac{-Aq(t)}{C_A + C_C + (1+A)C} \quad (13)$$

因为 $(1+A)C \gg C_A + C_C$, 故

$$U_0 = -q(t)/C \quad (14)$$

可见,在一定条件下,电荷放大器的输出与电缆电容及传感器电容无关,这就是电荷放大器的显著优点。

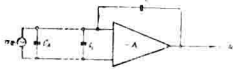


图 3 电荷放大器原理图

然而用这种放大器是不能实现多路测量的。当某路信号经干簧继电器转换至放大器时,由于反馈电容 C 的过渡特性,在放大器的输出端会出现一个持续时间很长的过渡信号。在一个数据点时间内,传感器输出的信息将“淹没”在过渡信号中。

按电路分析,图 3 可等效为图 4。

这样反馈电容 C 就等效为并联在运算放大器输入端的一个大电容。可将电路改成图 5 所示的多路测量,此时运算放大器接成一个高输入阻抗的同相放大器。

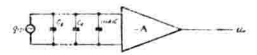


图 4 电荷放大器的等效电路

由图 5 知,在切换开关 K 以后因没有储能元件,从而基本上消除了切换时引起的过渡信号。该电路的输出 U_0 将为

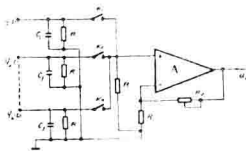


图 5 多路巡测电荷放大器原理图

$$U_0 = \frac{q(t)(R_1 + R_2)}{(C_A + C_C + C_f)R_2} \quad (15)$$

若取 $C_f \gg C_A + C_C$, 则

$$U_0 = \frac{q(t)}{C_f} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (16)$$

但是,在这种称为通用型电荷放大器中^[1], C_f 必须选取精密的大容量电容器。但当电缆不太长时,为节省资金, C_f 不必

选取太大的容量。若令 $C_f = 10(C_A + C_C)$, $R_1 = 10K$, $R_2 = 100K$, 则

$$U_0 = 10 \frac{q(t)}{C_f} \quad (17)$$

如选用 0.1 微法的精密聚苯乙烯电容, 可允许电缆长达 50 米, 其衰减不大于 5%。图中 R 是限制低频噪声的, 低频下限为

$$f_L = \frac{1}{\pi RC_f} \quad (18)$$

我们取 f_L 为 $3Hz \sim 5Hz$ 。RC_f 网络称为电荷/电压变换级。

须指出, 当用一台电荷放大器巡测多路振动信号时, 放大器必须具有对不同灵敏度的传感器实现自动归一化即适调的能力。自动归一化原理见图 6。

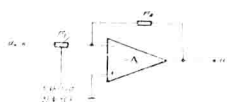


图 6 自动归一化原理图

设传感器的灵敏度 S_q 的单位为 pc/g ; C_f 的单位为 pf , 则由 (17) 式可求得自动归一化输出为

$$\bar{U} = U_0 \frac{R_4}{R_3} = 10 \frac{S_q}{C_f} \cdot \frac{10K\Omega}{R_3} \quad (19)$$

由于自动归一化控制信号的作用, 使

$$R_3 (K\Omega) = 0.01 \times S_q (pc/g)$$

则有
$$\bar{U} = \frac{100}{C_f} (v/g)$$

若取 C_f 为 $10^4 pf$, 则对不同传感器灵敏度, 其输出均为

$$\bar{U} = 100 (mv/g)$$

自动归一化控制原理见图 7。由机内控制器将 32 路面板设定灵敏度数字值逐一送入译码电路, 然后自动改变电阻网络 (即改变 R_3 的阻值), 从而达到自动归一化目的。

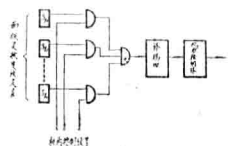


图 7 自动归一化控制原理图

五、积分器的过渡响应

积分器原理见图 8, 一次积分的输出为

$$U_{out} = -\frac{1}{RC} \int U_i dt + U(o)$$

利用积分锁 K, 可使积分初始电平 $U(o)$ 为零。但由于积分的起始时间 t_x 是一个随机量, 所以有

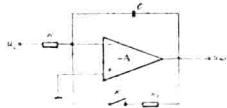


图 8 积分器原理图

$$\begin{aligned} U_{out} &= \frac{1}{RC} \int_{t_x}^t U_i dt = \frac{1}{RC} \int_{t_x}^t U_m \sin \omega t dt \\ &= -\frac{1}{RC} U_m \cos \omega t + U(t_x) \end{aligned} \quad (20)$$

这里, $U(t_x)$ 是一个随机直流电位, 这就使每次积分的暂态过程不尽相同。经分析, 为使 $U(t_x)$ 为零, 积分初始相角为 $(n\pi + \frac{\pi}{2})$ 。即

$$U_{out} = \int_{\pi \pi + \frac{\pi}{2}}^{\omega t} U_m \sin \omega t dt = -U_m \cos \omega t \quad (21)$$

由于一次积分的输出信号刚好与输入信号相差 $\pi/2$ ，故可将输入信号经高频滤波后，由零值检测电路的输出去驱动二次积分锁，这样二次积分的暂态过程可降至最小。这一电路称为同步积分。试验证明，二次积分器的暂态过程小于 50ms。一次积分器采用低截法，也可使一次积分的暂态过程小于 150ms。具有低截和同步积分的二重积分器原理见图 9。图中 R_1 和 R_2 是低截电阻。

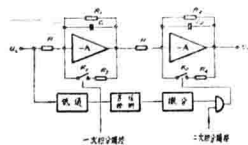


图 9 二重积分原理图

六、四通道双重采样和控制器

由本文三分析知道，每路测点采样间隔时间 Δt 应尽可能短。但测位移时，由本文五讨论知，二重积分时间仍有 200ms，再考虑平均器及 A/D 变换时间，每路测点经历时间 $\Delta t/m$ 必须至少占有 400ms，这样就限制了 Δt 的缩短。为解决矛盾，可采有四通道双重

采样法（见图 2）。将 32 路数据分为四个通道，每个通道所属的测点以 ΔT 间隔交流采样进入电荷放大、积分、检波，平均器及峰值保持器后获得直流信号。然后以 $\Delta t/m$ 为直流采样时间间隔依次将四路直流信号送入 A/D 变换器，这样打印机就以测试点号为序打印出 32 路振动数据。由于四个通道的工作时间由控制器严格又开了 $\Delta T/4$ ，而 ΔT 显然应为采用四通道后每个测点实际经历时间。故

$$\frac{\Delta t}{m} = \frac{1}{4} \Delta T \quad (22)$$

$$\text{所以} \quad \Delta T = 4 \left(\frac{\Delta t}{m} \right) \quad (23)$$

这样每测点经历时间就扩展了 4 倍，但其采样时间间隔仍保持为 Δt ，解决了上述矛盾。

控制器是机器的主要部分，由图 2 知，它需送出各种控制信号。主要控制信号的时间关系见图 10。为确保控制信号的严格时间，控制器的主频采用石英晶振，各种控制信号采用符合门产生。控制器可附有石英钟，以实现其它时控装置。

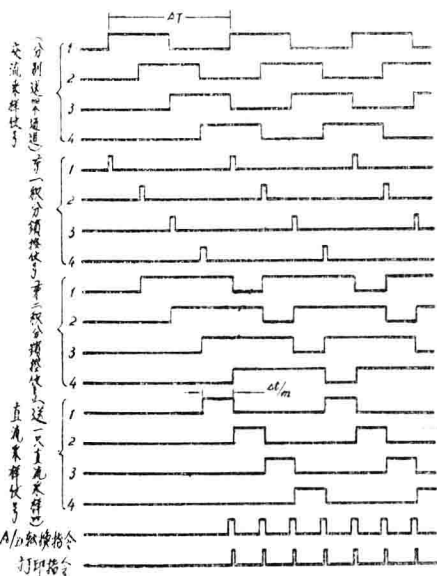


图 10 控制器主要波形时间图

七、测频方法

以往在测量扫描振动频率时，大多在电平记录仪上打标记，或用声音把频率录在磁带上。显然其精度是粗糙的。

本方法是用一路测量点专供测频用。这样扫描频率就和振动数据一起以数字形式打印

输出。测频采用 F-V 电路〔4〕。其基本原理是将振动信号变换为单向标准脉冲，然后向由运算放大器组成的线性充电器充电，充电电压值正比振动频率。精密 F-V 电路采用了自动量程转换器，每个量程有独立的调整元件，以提高测频精度。经我厂研制的十六路巡回仪证明，测频精度可达 $\pm 1\% \pm 1\text{Hz}$ 。

将 F-V 电路的输出馈送至位移—加速度测量自动转换电路后，可任意选择转换频率点，以实现试验规范与测量顺序的一致。

八、模拟试验

为验证上述方案，已做了四路低频位移巡测试验。其它线路如控制器、测频电路等在研制十六路巡回仪时均已成功。这里仅介绍四路模拟试验的概况。试验线路框图见图11。每路数据点时间为450ms至800ms可调。

(一) 一般试验——验证多路巡测性能。

将四只不同型号的加速度传感器贴在400kg电磁振动台台面中心，它们的灵敏度各不相同。振动台由B&K1025仪作定位移激励，频率范围为8Hz至50Hz。试验结果见表1，表2。

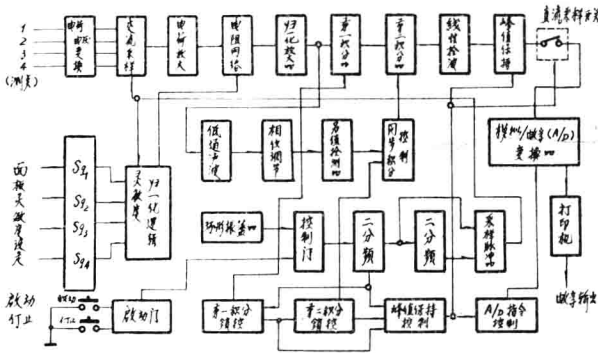


图11 四路模拟试验原理框图

表1 固定频率(10Hz)多次重复测量

测点传感器编号及灵敏度 pc/g	振动台定位移(1mm)时 重复测量值 _{mm}						振动台定位移(4mm)时 重复测量值 _{mm}					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	1. Sq ₁ 21.3	1.05	1.06	1.07	1.07	1.06	1.02	3.91	4.03	4.01	3.99	3.95
2. Sq ₂ 74.1	1.02	0.99	1.01	1.03	1.02	1.00	4.18	4.19	4.20	4.17	4.17	4.17
3. Sq ₃ 28.8	0.99	0.94	0.92	0.94	0.94	0.96	3.83	3.90	3.89	4.01	4.20	4.70
4. Sp ₁ 77.0	0.90	0.91	0.92	0.92	0.89	0.93	3.92	4.00	4.01	4.01	3.84	4.08

表2 频率响应测量值(激励1mm)

测点传感器编号 及灵敏度 pc/g	振动台定位移(1mm)激励时, 对应扫描频率测量值 _{mm}						
	8 Hz	10 Hz	12 Hz	15 Hz	17 Hz	20 Hz	50 Hz
1. Sq ₁ 21.3	0.94	1.04	1.06	1.02	1.04	1.04	1.04
2. Sp ₂ 74.1	0.93	1.03	1.06	1.03	1.04	1.04	1.03
3. Sp ₃ 28.8	0.87	0.95	1.00	0.96	0.96	0.96	0.95
4. Sq ₁ 77.0	0.84	0.92	0.94	0.93	0.93	0.93	0.94

(二) 试验低频共振时仪器的测量性能。

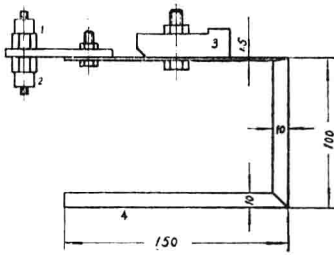


图12 共振试验支架示意图

将图12所示形状的支架安装在振动台面上，显然，该支架共振时的情况较恶劣。为了与丹麦1025仪测量结果比较，将二只传感器如图所示在共振位移最大处对接。图中重块可调整支架的共振频率。这里仅用试验线路的一个测点。

图中，1和2为二只对接加速度传感器，3为调节重块，4为安装面。

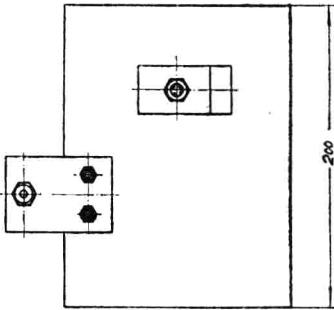


图13 二种仪器测得的试验支架共振曲线

试验结果见表3，表4。

表3 共振频响特性测量（激励2mm）

工作 情况 频率	振动台定位移（2 ^{mm} ）激励时，对应扫描频率测量值mm									
	11 ^{HZ}	12 ^{HZ}	13 ^{HZ}	14 ^{HZ}	15 ^{HZ}	16 ^{HZ}	17 ^{HZ}	18 ^{HZ}	19 ^{HZ}	20 ^{HZ}
本仪器	5.46	9.96	16.32	13.95	2.18	1.20	0.17	0.55	1.30	1.63
B.K. 1025	5.5	9.5	14*	14*~ 15	2.0	1.1	0.1	0.6	1.3	1.7

* 电表指针晃动

表4 共振（13HZ）时重复测量（以2mm振幅激励）

仪器型号	各次测量值							
	1	2	3	4	5	6	7	8
本仪器	16.85	16.22	17.16	14.75	16.51	15.81	15.43	14.97
B.K.1025	在14mm~16mm内							

由以上数据绘制的支架共振曲线见图13。由图可见，二种仪器测得的曲线基本重合

九、结论及存在问题

模拟试验表明

1. 利用改进后的通用型电荷放大器可以实现多路振动数据的巡测, 自动归一化电路是可靠的。尽管四只传感器灵敏度相差很大, 但巡测出了几乎相同的位移值。

2. 验证了同步积分及低频截止电路的优点。它使位移测量的时间大大缩短。如作加速度测量时, 因无需积分运算, 故每路数据点经历时间还可大大缩短。

3. 本方法在非共振时有较好的精度和重复性(见表1)。但共振时误差就较大(见表4), 尽管共振时1025仪测量值也在晃动, 但对此还应进一步分析解决。

在上述试验基础上, 我厂研制的〈十六路振动参数自动巡测仪〉业已投入使用, 性能良好。经电路改进后, 共振时误差已小于10%。详细情况可参阅资料〔4〕〔5〕。本机若能配备数据贮存设备, 则用数字/模拟转换器和XY记录仪就可迅速绘制出直观的模拟曲线。

如果将多路巡测电荷放大器单独使用, 并配以其它分析仪表, 如均方根表, 则同样可实现非正弦振动的多路巡测。

结 束 语

在决定方案、进行模拟试验和试制十六路巡测仪中, 我厂孟执中同志给予了多方指导, 沈伯良、徐金玉、黄玉川等十多位同志始终大力协作, 做了大量工作, 北京702所宋文治、黄友仙等同志给予了热情鼓励, 并提出了宝贵意见, 作者在此表示深切谢意。

参 考 资 料

〔1〕 J.G.Grame“Operational Amplifiers Design and Applications”1971 (中译本 何同杰)

〔2〕 Instruction Manual; Charge Amplifier Type 2626; Type 2635 B&K

〔3〕 晶体管运算放大器及其应用 1978 张郁弘

〔4〕 十六路振动参数自动巡测仪技术资料

上海华银机器厂 1980 徐福祥

〔5〕 带太阳帆板卫星结构振动试验总结

上海华银机器厂 1980 沈伯良

〔6〕 电子测量和仪器 (美) B.M 奥利弗, J.M 卡奇

(中译本) 1978 科学出版社

利用火箭橇作着发引信的 碰撞试验技术

王懋礼 赵永言

摘要：为了模拟高速飞行环境，火箭橇试验技术在国外早已得到广泛的应用。由于我国尚没有专用高速火箭滑轨，我们在普通火车轨道上对这一试验技术作了初步尝试。在兰——坝铁路线上利用火箭橇对着发引信作了80米/秒和130米/秒两种速度的碰撞试验。本文即对这一试验技术作了简要的概述。

一、前 言

据国外文献报导〔1〕，某些导弹的战斗部设有着发引信。该着发引信在着地后能否正常动作，使战斗部起爆，除飞行试验考核外，尚需在研制过程中作大量的地面模拟试验。但目前常用的冲击试验设备速度很低，所获得的数据有一定的局限性。而利用火箭橇试验技术是一种可行的地面模拟办法。

火箭橇又称火箭滑车。它是采用火箭发动机为动力，携带被试对象，在精密度很高的专门轨道上作高速滑行，来模拟飞行环境的一种地面试验设备。据报道〔1〕，国外在五十年代初期就开始建造和使用火箭滑轨设备。至目前最长的、精密度最高的是美国霍洛曼空军基地的Holloman滑轨，全长16公里。其次美国海军军械研究试验站的SNORT滑轨，全长6公里。其他如英、日、苏也都有单、双、叁轨的专门火箭滑轨。直到70年法国还建造了长为0.6公里的HB₂滑轨和长为200米的HB₁滑轨等两条专门火箭滑轨〔2〕。目前，国外长短不同的滑轨约有廿多条。利用这些滑轨，模拟高速飞行环境，广泛地进行着弹射救生、航空生理、着发引信、容器安全、抗冲击波强度、发动机碰撞、机翼颤振、飞行雨蚀等等许多方面的环境模拟试验。由于火箭橇试验技术的特点是速度高，载重量大，可对试件进行1:1的模拟试验。因此，它早已成为宇航、导弹及航空领域中重要的研制工具之一。由于我国目前尚没有专用的高速火箭滑轨，因此，国内有的单位就在普通火车轨道上利用火箭橇做过许多次弹射救生方面的试验。我们这次是在普通铁路线上利用火箭橇对着发引信作了80米/秒和130米/秒两种速度下的碰撞试验。

二、试验方案

试验方案是：把装有引信的头体，固结在火箭滑车的上部。然后，整个滑车由固体火箭发动机在轨道上加速。当整个滑车被加速到最大速度时，由爆炸螺栓解除弹头和滑车间

的约束，弹头即与前方靶体相碰并同时触发测试仪表进行数据测试记录，而滑车则从靶架下面通过。自由滑行一段后，在给定的滑行速度上打开阻力伞减速。最后，滑车被制动停

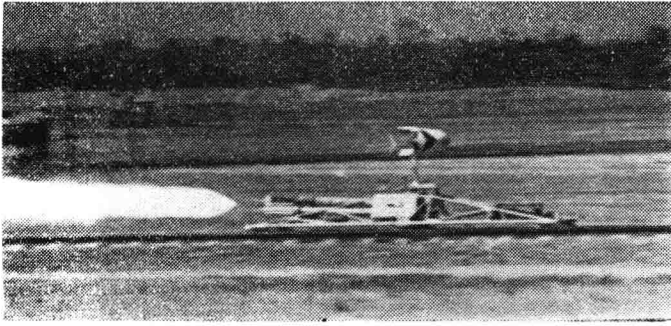


图1 滑跑中的火箭橇

止。滑车拖回后，再换上发动机、试件及靶体进行下次试验。（图一）

三、试验概况〔3〕

整个试验包括轨道、滑车和靶子三部份。分别叙述如下：

1. 轨道：

由于没有专用火箭滑轨，试验使用了兰考县的铁路支线，即兰考至东坝头铁路轨道的一部份。兰坝支线全长14公里，以兰考车站为起点，从0.5公里至6公里处均为直线段。1.5公里后，轨道两旁各有五、六十米的开阔地，无工厂和民房，试验段就选用这一直线段。由于是普通火车轨道，火箭橇滑行前必须对轨内距、两轨的平直度进行较精密的检查和调整，其精度在 ± 1 毫米之内。滑跑前半小时，须在轨道上涂以含15%二硫化钼的煤油润滑油，以减小轨道摩擦阻力，减少滑车底部铜滑块的磨损。

2. 滑车：

试验用的火箭滑车全长5.2米，总高1.6米，最大宽度1.5米。它是由滑车骨架、试件、分离机构、发动机、伞箱和测试仪表六个部分组成。滑车总重约为500公斤。其分配大体如下：

名 称	骨架	试件	分离机构	双发动机	伞箱	测试仪表
重量(公斤)	346	38	16	72	14	12

滑车骨架采用对称刚架结构，其中部顶端放置试件，并通过分离机构与骨架相联结，底部有仪表板，放置测试仪器，其腹部装有固体发动机，发动机上方放置伞箱，滑车前部置有 2° 负攻角的负升力板兼为天线反射板，滑车的两翼置有另两块天线反射板，滑车尾底部置一有线测试用的放线机构，整个滑车依靠底杆上的三对滑块支垫在轨道上，滑块与轨道采用非包复式结构。

试件为铸铝材料的模拟件，其上安装被试引信。试件底部装有安定面，以防试件和滑车过早分离而失去稳定。试件内引信在碰撞中的性能测量是有一套遥测系统、两套有线测