

# MTA-92 计算机辅助试验系统在材料的谱载裂纹扩展试验中的应用

北京航空材料研究所 黄新跃 吴学仁 刘绍伦 欧阳辉

MTA-92 是以微机为主机, 配备专门设计的数字式函数发生器, 数据采样板和相应控制软件的计算机辅助试验系统, 在飞机结构材料 2124-T7351 高强铝合金的随机谱载裂纹扩展试验中应用, 取得了满意的效果。

## Application of Computer-Aided System MTA-92 to Crack Growth Test of Spectrum Loading

Huang Xinyue Wu Xueren Liu Shaolun Ouyang Hui  
(Beijing Institute of Aeronautical Materials)

A computer-aided testing system MTA-92 was developed. The system was based on computer and equipped with designed digital function generator, data acquisition board and some softwares. The application of MTA-92 to random spectrum loading tests for aircraft structural materials has been made with success.

### 一、前言

谱载裂纹扩展试验与其它材料性能试验不同, 特别是随机谱, 要求根据指定随机谱变化载荷水平, 即使具有一般程控能力的试验机, 也是无法完成这类试验的。随着近年来飞机设计思想的进步, 特别是耐久性和损伤容限设计思想在飞机设计中的应用, 随机加载的材料试验的要求将越来越多, 因此, 迫切需要有计算机控制的疲劳试验机。

采用计算机进行控制的试验机首先在美国出现, 70 年代美国 MTS 试验机公司生产了用 PDP11 控制的材料试验机, 这些试验机在材料的耐久性和裂纹扩展性能的试验方面, 发挥了很大的作用。随着计算机技术的进步, 特别是近十年来, 自动化技术得到了大步的推进, 实验室自动化进程也大大加快。国外出现了采用微机全数字式自动控制的液压伺服疲劳试验机, 国内也在探索实现这一目标。本文介绍的计算机辅助系统 MTA-92 是作者新近开发的, 独立于试验机的微机控制和数采集系统, 其目的用于实现已有的无计算机控制的试验机的自动化控制。

### 二、系统硬件结构及原理

MTA-92 系统由一台微机 (IBM PC/XT286 或功能水平相同的兼容机), 专门设计和数字式函数发生器和数据采样板组成, 外观与一台 PC 机相同, 通过信号电缆与材料工程

试验机相连。

该系统在硬件上采用了“个人仪器”的设计方案, 这是与其它控制系统的明显不同之处。“个人仪器”是个人电脑在科学研究领域广泛应用的结果, 与以往的计算机控制系统不同, 个人仪器是将功能板直接插在 PC 总线上, 通过 PC 总线与主机交互信息。采用这种结构使得该系统具有实时性好, 抗干扰性好, 开发周期短, 费用最低而获得的功能很高, 并可充分利用 PC 机软硬件资源等优点。各功能板通过中断系统调用方式与主机交互信息。

数字式函数发生器在硬件上采用了与 MTS 试验机计算机控制系统类似的段函数原理, 以半个波段为单位发出信号波形, 并且由于其功能板上带有一片 8031 微处理器和相应 16 位寄存器组, 可以脱离主机单独工作, 大大地节省了微机处理器的开销, 使得程序控制功能进一步提高, 保证了试验过程和各项要求。硬件参数见表 1。

### 三、软件结构设计和功能

美国 MTS 公司 70 年代出厂的带有计算机控制的 MTS810 计算机为便于控制, 编写了一系列专用函数, 这些函数在实际应用中证明是合理的, 所以 MTA-92 系统也沿用了这一格式, 并对其中不甚合理之处作了改编, 增加了几个新的函数, 压缩了几个不需要的函数, 这样, 外部函数的数量精简了, 节省了熟悉、学习的时间, 而

表1 MTA-92 系统硬件参数

输出信号		输入信号	
功能	参数	功能	参数
电压	$\pm 10V$	电压	$\pm 10V$
分辨率	5mV	分辨率	5mV
D/A 时间	1 $\mu$ s	D/A 时间	25 $\mu$ s
精度	12bit	通道	16
波形	三角波, 正弦波	精度	12bit

功能仍得到保证。常用外部函数见表2。该系统软件的主要特点是采用了常驻内存程序 TSR, 采用这一技术, 把单用户的 PC DOS 操作系统变成了可以同时处理多道任务的伪多用户操作系统, 改善了软件结构, 消除了以往程序调试中经常出现的死锁, 在这一基础软件上编写的控制程序可以实现热键响应, 控制、采样同时工作, 时间实时显示, 蜂鸣报警等多项控制功能。

表2 MTA-92 系统控制函数

函数	功能
FG	信号波形产生函数
DACQ	采样函数
CTIME	定义采样时间间隔常数
IFGED	查询 FG 的命令是否执行完
LEFT	查询 FG 函数执行的重复次数
FHOLD	暂停 FG 波形
RESUMEP	从被 FHOLD 暂停处恢复波形
DUMP	卸荷命令, 信号缓慢回零
BUFF	查询 FG 当前工作状态
DFG	送直流电平 (恒电压)
IFSTOP	查询试验停机信号
SLP	延时子程序
RFQY	频率转换函数

#### 四、MTA-92 在谱载疲劳裂纹扩展试验中的应用

谱载裂纹扩展的试验谱是随机载荷谱, 一种为 2 万多个峰谷值, 一种为 4 万多个峰谷值, 存放在 PC 机软盘中。材料为飞机结构高强铝合金 2124-T7351, 采用标准中心裂纹试样 CCT。试验在英国进口的 Instron 1343 液压伺服疲劳试验机上进行, MTA-92 系统的输出信号通过屏蔽电缆与试验机的外接模拟信号接口相连。对这类试验机, 无需对试验机做硬件上的改动, 即可应用 MTA-92 辅助试验系统。

为了保证载荷的准确性, 在试验之前对 MTA-92 系统的输出载荷和试验机的反馈载荷进行了标定, 标定结果如图1所示。从标定数据来看, 输入和反馈信号线性很好, 与要求的电压相比, 静载荷不超过 $\pm 1\%$ , 动载荷不超过 $\pm 3\%$ , 达到了试验标准的要求。

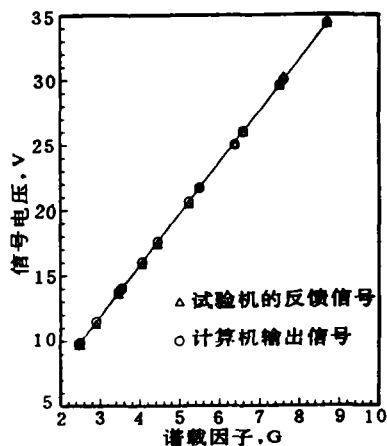
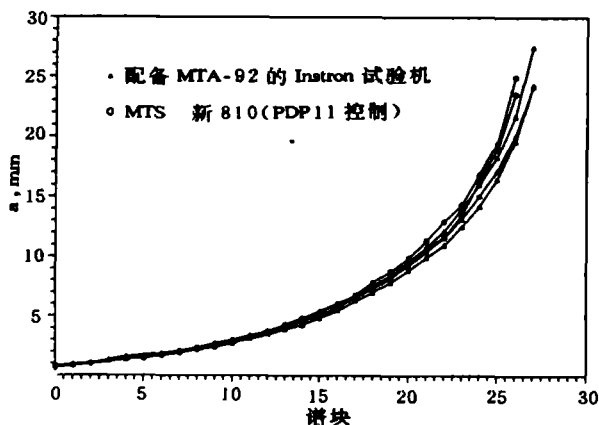


图1 MTA-92 系统静标定曲线

谱载裂扩展试验程序采用 Quick BASIC 语言, 它与 BASICA 兼容, 既可以解释执行, 也可以编译执行, 编译生成的 EXE 文件运行起来速度很快。执行程序磁盘文件中读入谱载峰谷值数据, 转换成相应的控制信号发出, 对于峰值大于 5G 的载荷, 加载频率降低 2Hz, 目的在于保证试验机系统的频率响应。每执行完一谱, 发出蜂鸣报警, 等待测裂纹。在试验进行当中, 可以随时按下一个键使波形停止, 随时测裂纹, 测出的裂纹长度可以在屏幕上开一窗口显示。如试样断了, 立即中止试验, 试验数据在程序结束时自动存盘。另外, 还可以在屏幕上显示日期、时间、循环数等。

图2是用 2 万多个峰谷值的载荷谱试验得到的裂纹扩展  $a-N$  曲线, 其中 3 条是 MTA-92 辅助试验系统在 Instron 1343 试验机上得到的, 2 条是在 PDP11 计算机控制的 MTS810 试验机上得到的, 两套系统的  $a-N$  曲线重合情况非常好。4 万峰谷值的谱载试验结果也令人满意。

图2 2124 铝合金在不同试验系统下的谱载裂纹扩展  $a-N$  曲线

(下转第 10 页)

(2) 式可得:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{m}}$$

对相同直径纤维来讲,  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{L_2}{L_1}$ , 所以,  $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{\frac{1}{m}}$

变形得:  $\sigma_2 = \sigma_1 \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{-\frac{1}{m}}$ , 很显然 Weibull 统计理论本身就反映了强度随标距长度增加呈指数为负值的幂函数下降

的关系。事实上, 碳纤维制造时, 由于各种各样的因素, 总会给其带来表面的和内部的各种缺陷。所以, 当试样标距长度不同时, 意味着缺陷在试样中出现的几率不同, 从而反映出强度的差异。

上述所有 Weibull 概率曲线和 Weibull 概率密度曲线图中, 总有一些较低应力破断强度值与 Weibull 统计理论计算偏差较大。这是由于局部缺陷引起纤维不同的破

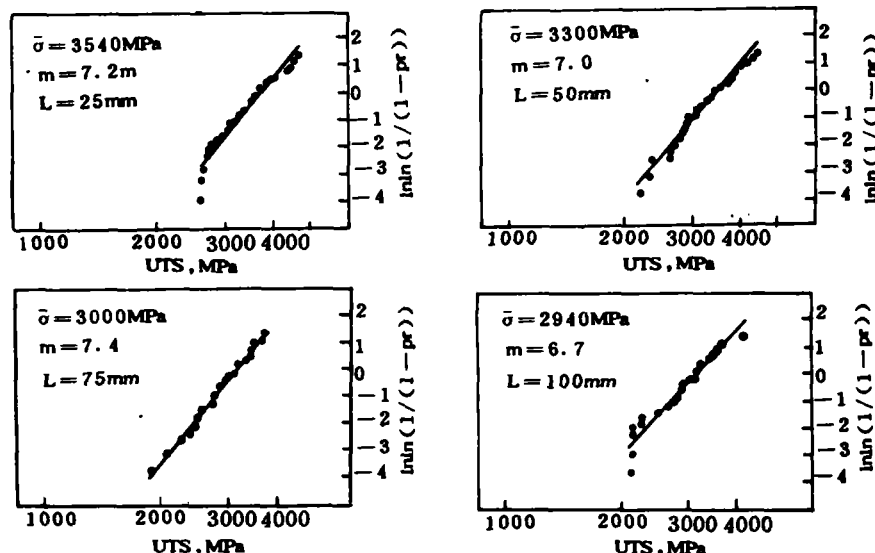


图4 不同标距长度碳纤维强度 Weibull 概率曲线

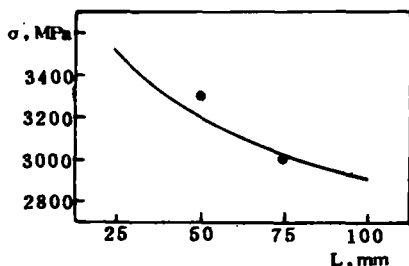


图5 标距对碳纤维强度的影响

断状态造成的。

#### 四、结 论

1. Weibull 统计理论能够正确表征碳纤维强度特性。为工程技术应用而评定碳纤维强度时, 测试 40 至 50 根试样, 其结果就具有足够高的精确度。
2. 湿度对碳纤维强度分散性有明显影响。相对湿度增高, 碳纤维强度测量值分散性增大。
3. 试样标距长度对强度测量值影响较大。强度随试

样标距长度增加呈指数为负值、绝对值 < 1 的幂函数下降关系。

#### 参考资料

1. Y. Le Petitcorps, Menden Boron and SiC CVD Filaments, A comparative study composites science and technology, 32 (1988)
2. Weibull. W. J., A statistical distribution function of wide applicability, Appl. Mech., 18 (1951)
3. Fred. R., Environmental effects related to strength and fatigue properties of Boron Aluminum composites, AD 749971, 1972

\*\*\*\*\*  
(上接第 20 页)

#### 五、结论

MTA-92 计算机辅助试验系统在飞机结构高强铝合金谱载裂纹扩展中的应用取得了令人满意的结果, 该系统历经几百小时运行时间的考验, 工作稳定可靠, 控制精度达到标准要求, 价格低廉, 是目前试验室材料试验自动化控制的理想系统。