

复合材料散斑干涉检测中的音频激振加载系统研究

崔永忠¹, 张 坚²

(1. 清华大学精密仪器与机械学系, 北京 100084; 2. 中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 安徽合肥 230026)

摘要: 论述了自行研制的宽音频扫描激振加载系统。利用该加载系统的数字错位散斑干涉检测技术对复合材料人工缺陷样件进行了检测验证。实验结果表明该加载系统激振效果明显, 具有快速、连续、非接触等优点, 适合于飞机复合材料外场原位加载检测。

关键词: 宽音频激振加载; 数字错位散斑干涉; 无损检测; 复合材料; 缺陷

中图分类号: V254 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2006)03-0020-02

现代飞机结构件大量使用复合材料,但在使用过程中材料易老化、失效和粘结强度下降,不可避免地出现纤维断裂、基体开裂、界面脱粘及分层等缺陷,给飞机的飞行安全带来很大隐患。因此,飞机复合材料的在役检测显得至关重要。目前可用在飞机复合材料外场原位检测的方法只有超声法、敲击法、声阻法、板波法和谐振法等,但这些方法各有局限性,检测速度慢。数字错位散斑干涉术(DSSPI)^[1-3]是上世纪末兴起的一种新型光测技术,检测原理是对被测物进行加载,由激光照明、剪切干涉后获得缺陷处异常形变信息的散斑条纹图,如果被测物有内部缺陷,表现为牛眼状的条纹图案。该检测技术与上述常规方法相比,其优点在于光学干涉装置简单,对系统的隔震要求不高,具有非接触、快速检测、灵敏度高等特点,很适合外场原位无损检测。但该检测技术需要对被测物进行加载,现行加载方式一般有真空加载、热加载、电磁激振加载等^[4]。

真空加载技术条件较为成熟,但检测时需拆卸结构件并只限于小型件,不能满足外场原位快速检测;热加载方式设备简单,但受到材料温度敏感性和缺陷深度影响,检测效果并不理想;电磁激振加载一般是将作为激振器的压电陶瓷粘贴在被检测物体上,为接触性加载,直接影响测试效果。

1 音频激振原理

本文研制的宽音频扫描激振加载系统,以模型内部的圆形缺陷为例来讨论。当圆形缺陷受到音频激振时,我们可以将其简化为周边固支的圆板受简谐外力的作用。根据弹性理论中变形与载荷的关系,通过理论推导, $f_n = \mu_n^2 h \sqrt{E/3\rho(1-\nu^2)}/4\pi a^2$ 。式中参数含义见文献[5]。当 $n > 3$ 时可用近似式 $\mu_n = n\pi$ 。由此可得

$$f_n = (3.20)^2 h \sqrt{E/3\rho(1-\nu^2)}/4\pi a^2 \quad (1)$$

由于圆板的简正频率和其共振频率相等,由式(1)可以看出,圆板的共振频率与缺陷半径 a 成反比,而与板的厚度成正比。因此,在缺陷处其它条件相同的情况下,缺陷的半径越大,相应的基频就越低。所以用于加载的声辐射源必须有足够的频率变化范围,以使加载声源的频率能够调整到缺陷的固有的谐振频率上,产生共振。这样,散斑图就可明显地记录缺陷处形变信息。

2 音频激振加载系统的设计

宽带音频扫描激振加载系统由主振器、功率放大器、频率计、扬声器和电源组成,见图1。主振器具有连

收稿日期:2006-01-21

基金项目:国防预研基金资助项目(413270301)

作者简介:崔永忠(1969-),男,浙江衢州人,工程师,硕士,主要从事飞机复合材料检测研究。

续扫频输出功能,扫频信号经功率放大后,由扬声器发出频带较宽的激振声波,对材料缺陷处进行激振。

由式(1)可知, f_n 与 a 的平方成反比,在缺陷处其它条件相同情况下,较大尺寸的缺陷对应于较低的谐振频率。因此,主振器应采用频带较宽的多谐振荡器。根据实验估算,扫频范围可定为 50 - 5 000 Hz,连续可调,即可满足飞机复合材料数字错位散斑检测的安全评价要求。由于材料缺陷激振所需能量的要求,鉴于方波携带能量大,激振效果好;能够使功放电路工作在开关状态,无效功耗低,工作效率高,有效缩小功放电路体积和重量。所以本系统采用方波作为激振波形其主振器频率与手调电位器阻值呈线性关系。

功率放大器采用电流型同相放大器,频响范围在 20 Hz - 20 kHz 频带内,失真率低,输出功率高,完全能满足音频激振系统对声强的要求。声辐射单元采用指向性优良的大功率号筒式扬声器。为了获得较小的号筒楔角而又不使号筒尺寸过长,声道设计成折返式,既获得了较好的指向性,又减轻了扬声器的重量。

3 实验结果及分析

实验装置包括宽音频扫描激振加载系统和 DSSPI 检测系统两大部分,参见图 1。并用碳纤维复合材料制作了不同尺寸缺陷模型: $\Phi = 20$ 、 $\Phi = 25$ 、 $\Phi = 30$ 、 $\Phi = 40$ 、 $\Phi = 60$ 。实验中,音频加载频率要从低到高逐步调频,并戴上耳罩操作。实验检测后,又用真空加载、热加载方式对相同的材料进行了检测对比,发现音频扫描激振加载在碳纤维复合材料检测上的效果和真空加载相似,比热加载效果要好,但在快速检测上,音频扫描激振加载有明显的优势。图 2 为同一缺陷不同频率条纹图;图 3 为不同缺陷不同频率条纹图。

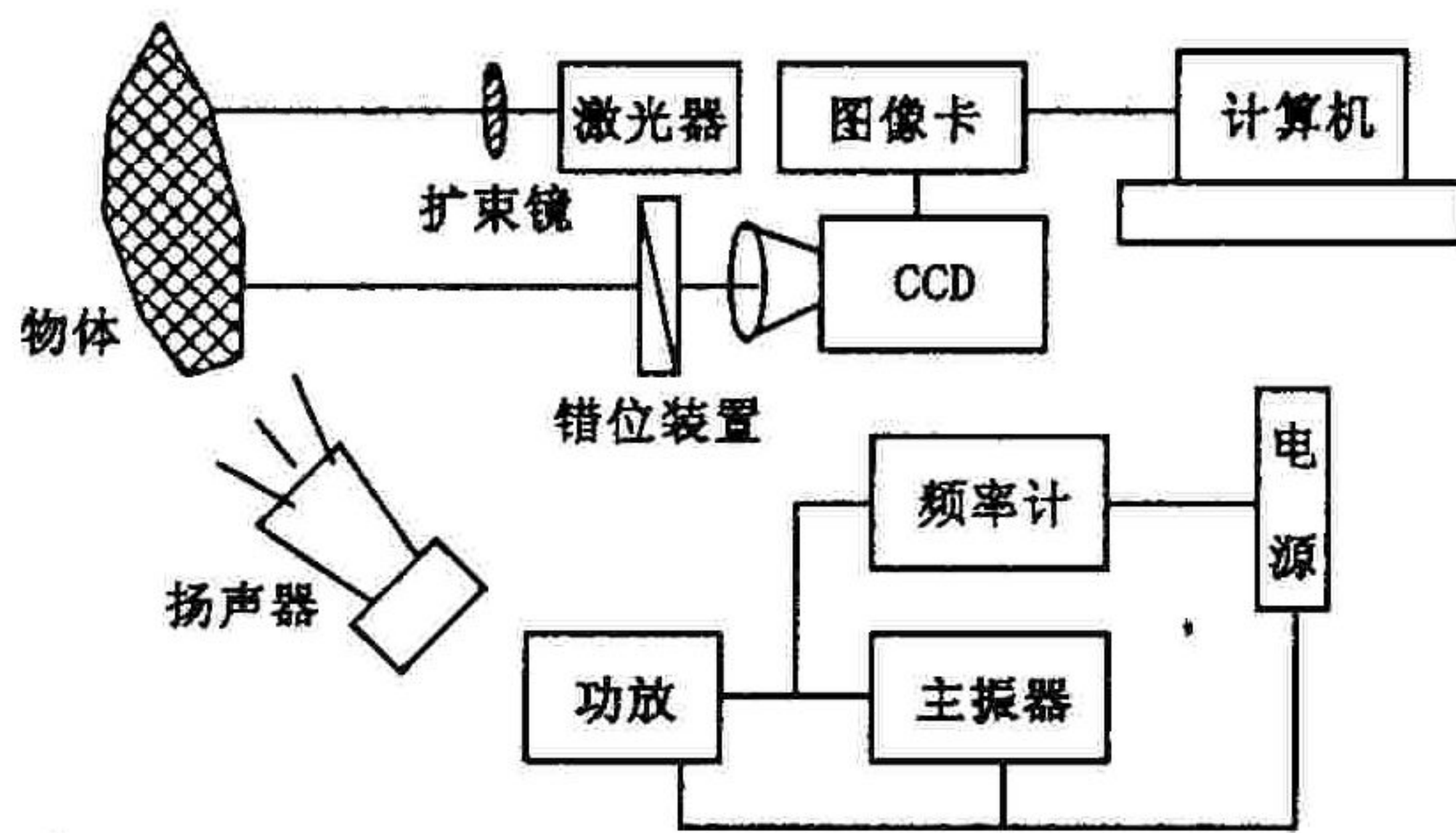
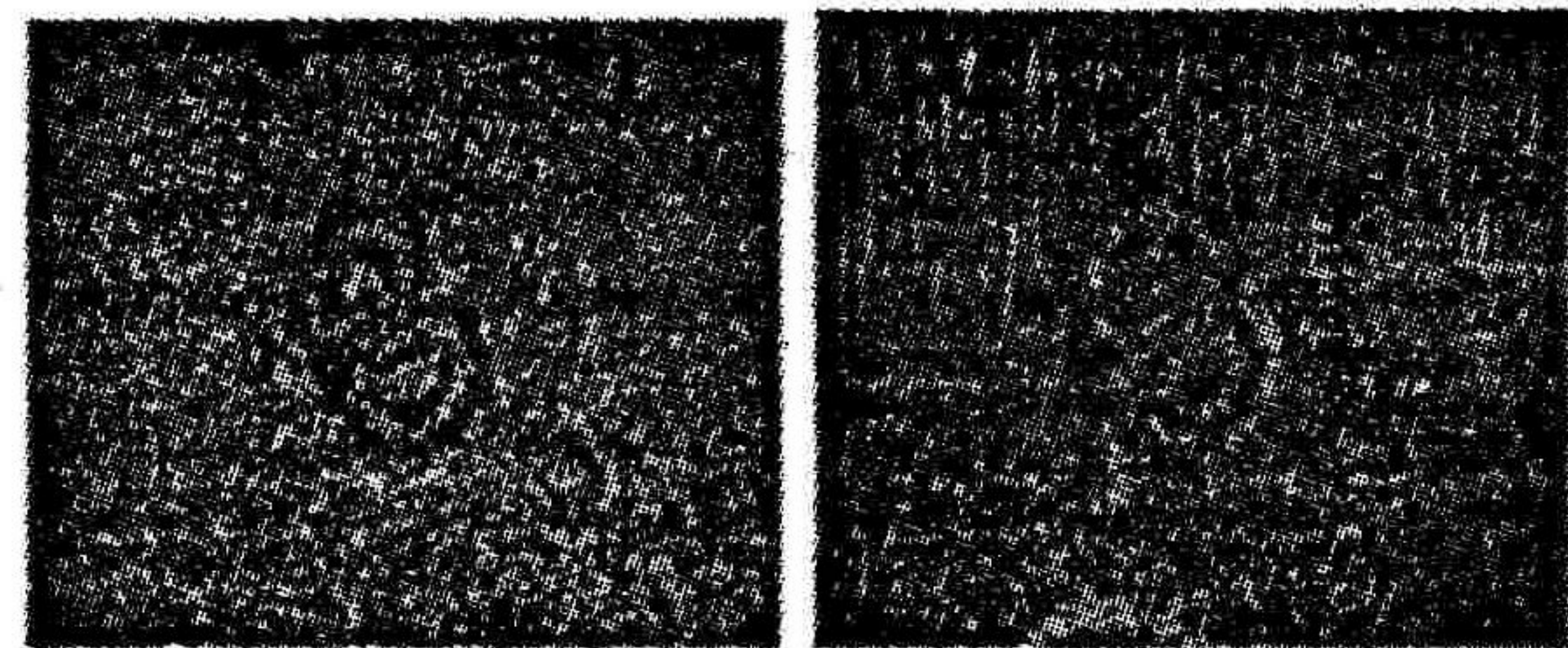
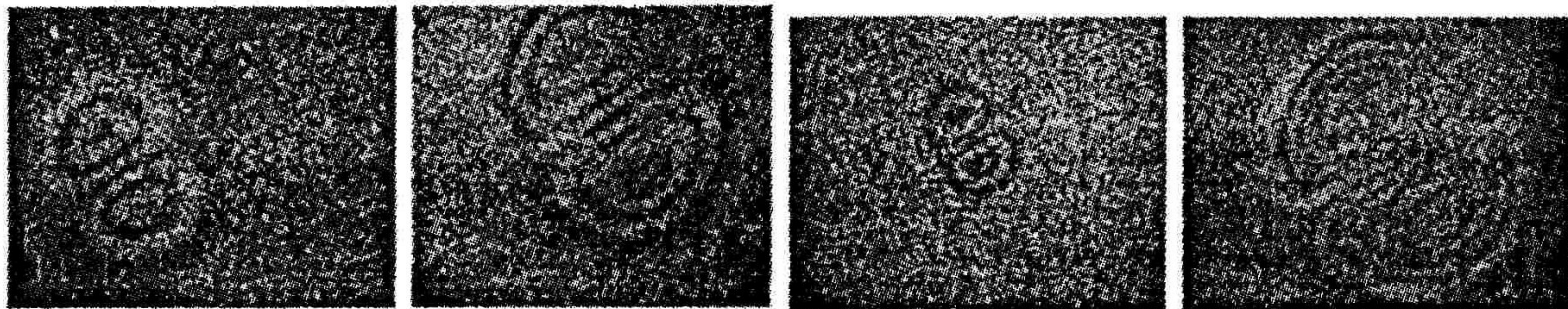


图1 宽音频扫描激振散斑干涉检测装置



(a) $\Phi = 25$ mm, $f_1 = 1\ 513$ Hz (b) $\Phi = 25$ mm, $f_2 = 2\ 924$ Hz

图2 同一缺陷不同频率条纹图



(a) $\Phi = 30$ mm, $f = 926$ Hz (b) $\Phi = 40$ mm, $f = 725$ Hz (c) $\Phi = 20$ mm, $f = 1\ 830$ Hz (d) $\Phi = 60$ mm, $f = 5\ 646$ Hz

图3 不同缺陷不同频率条纹图

4 结论

通过实验,我们可以得出如下结论:①碳纤维复合材料缺陷的谐振频率大多集中在 300 - 3 000 Hz 范围内,基本符合我们估算的 50 Hz - 5 000 Hz 的扫频频率;②同一个缺陷会在多个扫描频率下发生振动,其中有一个是基频谐振频率,其散斑条纹图较为清楚;③该宽音频扫描激振加载系统加载效果明显,具有快速、连续、非接触等特点,完全符合飞机复合材料外场原位检测加载的要求。

实验表明,自行研制的宽音频扫描激振加载系统适合飞机复合材料 DSSPI 检测加载,拓宽了 DSSPI 检测技术在飞机复合材料外场原位检测中的应用范围,具有重要的军事和民用价值。

(下转第 36 页)