

高速撞击的声发射源定位

刘武刚^{1,2}, 庞宝君¹, 孙 飞^{1,2}, 张 伟¹

(1. 哈尔滨工业大学 空间碎片高速撞击研究中心, 哈尔滨 150080; 2. 北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘 要:当高速运行的空间碎片撞击到在轨运行的航天器时,会对结构产生损伤,如果能够判断撞击的位置及产生损伤的严重程度,就可以及时采取相应的措施保证航天器和航天员的安全。通过利用高速弹丸撞击铝板产生的损伤模拟上述撞击,采用声发射检测技术,对撞击事件的定位进行了探索。在试验过程中,采集弹丸高速撞击铝板产生的撞击信号,并对应力波到达各个声发射传感器的时差进行分析,通过二维矩形平面定位算法,对损伤部位进行了初步定位。试验结果表明,声发射在撞击源定位方面具有适用性。

关键词:声发射检测;空间碎片;高速撞击;源定位

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)03-0168-03

Acoustic Emission Detection and Location for Hypervelocity Impacts

LIU Wu-Gang^{1,2}, PANG Bao-Jun¹, SUN Fei^{1,2}, ZHANG Wei¹

(1. Hypervelocity Impact Research Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China;

2. Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: There is already so much space debris in low orbits that it poses a significant threat to satellites and other spacecrafts in orbit. The satellites and the spacecrafts will lose their functions when space debris impacts on the key parts of them. Hypervelocity impacts on aluminum plates are utilized to simulate the impacts resulted from space debris. Acoustic emission (AE) analysis is used for characterization and location for hypervelocity Impacts. Two different Acoustic Emission (AE) sensors are used to detect the arrival time and signals of the hits. Hypervelocity Impacts are generated with a two-stage light-gas gun firing small aluminum ball projectiles (3.97 mm, 6.35 mm). In the impact studies, the results make clear that the location obtained by the resonant R15 sensors are as excellently accurate to those obtained by wideband sensors. The multi-source impact simultaneously is observed during the impacts in that it is difficult for the current conventional localized-algorithm to locate the sources.

Keywords: Acoustic emission testing; Space debris; Hypervelocity impact; Localization

在过去的几十年中,人类探索太空取得了令人瞩目的成就。但当空间探测器和运载器的寿命结束或爆炸时,就成为太空垃圾,即空间碎片。空间碎片的存在已经成为威胁在轨运行航天器的一个潜在杀手。我国在“十五”期间已开展了空间碎片的研究工作,掌握了一些空间碎片的环境参数,但目前国内外对于 1cm~10cm 之间的碎片还没有观测数据,这直

接影响撞击风险度的评估。

国外已经对此进行了相当长的研究^[1-3],已经开始尝试在未来的航天器上应用声学技术对空间碎片和微流星体的高速撞击进行检测。而国内研究起步较晚,目前主要集中在航天器的防护以及损伤机理的研究^[4,5]。对高速撞击的检测研究方面还没有开展工作。国内在声发射设备和检测技术方面已取得了一些显著的成绩^[6-9],这些工作给声发射在空间碎片撞击航天器在轨感系统的应用积累了宝贵的经验。

收稿日期: 2007-03-01

作者简介: 刘武刚(1975—),男,工程师,主要研究方向为结构强度、环境及空间碎片检测。

基于这种背景,利用数字声发射系统对作为航天器主结构和防护屏结构的铝板进行了高速撞击定位研究,采用到达时间和二维平面定位优化方法对撞击位置进行了计算,结果表明,声发射定位具有很高的精确度,说明了声发射应用于高速撞击定位的可行性。

1 声发射技术

1.1 声发射概念和特点

材料中局域源快速释放能量产生瞬态弹性波的现象称为声发射(AE)^[10],用仪器探测、记录、分析声发射信号和利用其推断声发射源的技术称为声发射技术。声发射是一种动态无损检测方法,它探测到的能量来自被检测物体的本身,对活性缺陷较为敏感,而对稳定的缺陷不产生声发射信号,可以进行结构或系统的在线检测。

1.2 系统的检测能力

声发射的检测频率范围很宽,从次声频、声频直到超声频,可包括数 Hz 到数 MHz;检测幅度从微观的位错运动到大规模的宏观断裂,用最灵敏的传感器,甚至可以探测到约 10^{-11} mm 的表面运动^[10,11]。从实际应用来讲,超过检测阈值能量的撞击信号都可以被采集。

1.3 声发射时差定位原理

在声发射源定位方法中,最先研究应用的是时差定位方法。它是经对各个声发射通道信号到达时间差、波速和探头间距等参数的测量,然后经过一定的运算,来确定声源的坐标或位置,该法广泛用于试样和构件的检测。但它易丢失大量的低幅度信号,其定位精度受波速、衰减、波形和构件形状等许多变量的影响。在简单结构源定位中,能够获得较好的定位精度。

1.4 平面矩形定位方法

四个声发射传感器 S0, S1, S2 和 S3 在平板上的布置如图 1,其坐标分别为 $(0,0)$, (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 和 (x_3, y_3) ,源的位置为 (x, y) 。声发射源以声速 V 图 1 平面矩形定位方法传播,到达传感器 S0, S1, S2 和 S3 的时间分别为 t , $t+t_1$, $t+t_2$ 和 $t+t_3$ ^[12]。

由此可以求出源的位置坐标 (x, y) 。求出的解 x, y, R 必须满足关系式 $x^2 + y^2 = R^2$ 。此时的解才

是真正的源的位置。

2 高速撞击试验

2.1 高速撞击试验

高速撞击试验用二级轻气炮来实现(图 2)。弹丸的速度受弹丸质量的大小和气压等主要因素的影响。该撞击声发射定位检测试验在哈尔滨工业大学空间碎片高速撞击研究中心进行。试验时,分别把直径为 6.35 mm 和 3.97 mm 的铝合金球形弹丸用二级轻气炮发射至一定的速度(试验测得的弹丸速度为 2~6 km/s),然后在靶舱内撞击铝板。试验用铝板的尺寸为 200 mm×200 mm,厚度为 1 mm。

2.2 声发射撞击源定位

数字声发射系统采用美国物理声学公司的 Disp 系统。该系统具有实时采集声发射参数和波形功能。试验采用两种类型的声发射传感器,共振型 R15 型和宽频带型 WD 型。R15 具有很高的动态灵敏度,但它的频带范围较窄,目前应用较多的共振频率为 150 kHz,频宽为 300~500 kHz。WD 具有很宽的频带相应(100 kHz~1.2 MHz),但灵敏度较 R15 低,多用于波形采集与分析。试验时分别用 4 个 R15 型和 WD 型声发射传感器对高速撞击试验进行了检测。声发射传感器与铝合金试样之间通过凡士林进行声耦合。把传感器与铝合金试样固定,传感器放置在距离试样边缘 3cm 的正方形的角点。铝板受高速弹丸撞击结果见图 3。

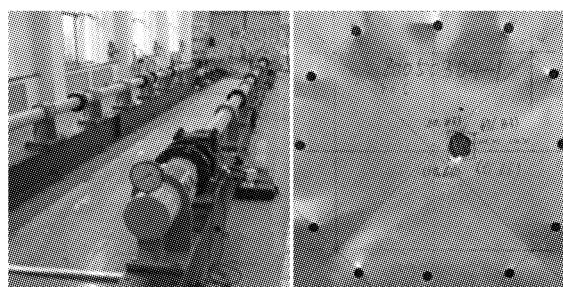


图 2 二级轻气炮 图 3 铝板受高速弹丸撞击结果

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

由声发射系统可以得到撞击产生的应力波到达各个传感器的绝对时间,这样可以计算出各个传感器之间的时间差,利用前述的四个传感器的矩形二维平面定位方法可以得到撞击损伤在铝板试样上的位置。表 1 为 10 次试验后测得的弹丸穿孔的中心

表 1 声发射撞击定位结果

mm

传感器	计算结果		试验结果		误差	
	x_0	y_0	x	y	$ x_0 - x $	$ y_0 - y $
R15	88.0	30.5	80	46	8.0	15.5
	34.5	74.0	47	87	12.5	13.0
	93.0	70.5	92	70	1.0	0.5
	69.0	90.0	73	94	4.0	4.0
	79.9	39.3	78	42	1.9	2.7
	48.0	75.0	52	73	4.0	2.0
WD	33.5	91.5	25	80	8.5	11.5
	56.5	48.0	61	50	4.5	2.0
	88.0	30.5	76	41	12.0	10.5
	40.0	135.0	60	108	20.0	27.0

位置坐标。

3.2 数据分析

由表 1 的计算结果和试验结果可以看出,用 R15 和 WD 型传感器对弹丸高速撞击铝板均具有很好的定位结果。在相同的弹丸状态下,R15 型传感器定位的结果,只有两次试验的计算结果和试验结果差值大于 10 mm;而对于 WD 型传感器的定位结果,计算结果和试验结果坐标之间的差值比 R15 型传感器大。在这几次撞击过程中,弹丸和弹托在撞击到铝板之前发生分离,两者呈颗粒撞击铝板,导致同时多点撞击的发生。根据声发射的定位原理,当多源撞击发生时就会有多源产生的应力波到达传感器,导致较大的定位误差。

4 结论

(1) 通过铝板受高速弹丸撞击的声发射检测,采集弹性波到达各个传感器之间的时差,获得了较为精确的定位结果,说明用声发射来检测高速撞击的损伤部位是可行的。

(2) 试验过程中,当弹丸呈破碎状态撞击铝板时,因发生多源撞击的现象,此时从各个撞击源发出多个弹性波到达各个传感器,系统无法辨别正确的时差,出现定位误差偏大的结果。

(3) 定位精度受铝板试样尺寸大小的影响,主要表现为当试样尺寸偏小,撞击源的弹性波将在板边缘发生反射,导致采集时差的不准确性,定位误差

较大。

(4) 对高速运行的空间碎片撞击航天器的检测定位是航天器健康检测的一个重要部分。它需要多项关键技术的结合,才能准确、有效、及时地对航天器的健康作出评价,如复杂航天器结构波动传递函数的确定、撞击损伤定位技术、撞击模式识别、损伤程度评估、系统功能完整性评估、寿命的预测技术和数据的智能化处理关键技术,都是需要急待研究的课题。

参考文献:

- [1] Frank Schafer, Rolf Janovsky. Impact sensor network for detecting of hypervelocity impacts on spacecraft [C]. 55th International Astronautical Congress. Vancouver, Canada: 2004.
- [2] William H Prosser, Michael R Gorman, Donald H Humes. Acoustic emission signals in thin plates produced by Impact Damage[J]. Journal of Acoustic Emission, 1999, 17(1): 29—36.
- [3] Graziani F, Porfilio M, Santoni F. An in situ impact sensor on board a UNISAT microsatellite for monitoring the microparticles environment[EB/OL]. [2005—06—27]http://techrepots.larc.nasa.gov.
- [4] 张伟,庞宝君,贾斌,等.弹丸超高速撞击防护屏碎片云数值模拟[J].高压物理学报,2004,18(1):47—52.
- [5] 张伟,庞宝君,张泽华,等.航天器波纹防护屏高速撞击实验研究[J].宇航学报,2000,21(1):79—84.
- [6] 袁振明,任荣镇.飞机机翼疲劳试验的声发射检测[C].全国第二届声发射会议.桂林:1983.
- [7] 魏文慧.声发射技术在飞机部件疲劳试验中裂纹监测的应用[C].全国第二届声发射会议.桂林:1983.
- [8] 耿荣生,景鹏,雷洪,等.飞机主梁疲劳裂纹萌生声发射信号的识别方法[J].航空学报,1996,17(3):368—372.
- [9] 耿荣生,景鹏,雷洪,等. Prediction of Fatigue Crack Initiation of Aircraft Using AE[C].国际失效分析和预防会议论文集.北京:1995.
- [10] 杨明伟,耿荣生.国防科工委声发射无损检测培训教材[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [11] 李家伟,陈积懋.无损检测手册[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [12] Yajai Promboo. Acoustic Emission Source Location [D]. US: The University of Texas at Austin, 2000.

欢迎网上投稿

网址: www.mat-test.com