

印制电路板在板级跌落冲击的易损度探究

刘宏

(上海烟草包装印刷有限公司, 上海 200137)

摘要: **目的** 研究标准冲击载荷下印制电路板的挠度响应以及各参数对电路板脆值的影响。**方法** 考虑印制电路板在三角脉冲下的跌落冲击, 将四边点支的电路板简化成梁的模型。将脉冲激励考虑为内在的位移, 建立模型求解电路板的挠度和加速度响应, 进而与电路板的本身特性比较, 来考虑电路板的可靠性。**结果** 当受到三角脉冲跌落冲击时, 板的最大挠度变形和最大加速度都发生在板的中间位置附近, 并且发生在中间时刻。**结论** 为电路板在三角形脉冲下跌落冲击提供其可靠性的理论依据。

关键词: 电路板; 跌落冲击; 三角形脉冲; 可靠性

中图分类号: TB485.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)17-0084-03

Vulnerability of Printed Circuit Board in Level Drop Impact

LIU Hong

(Shanghai Tobacco Package Printing Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study the deflection response of printed circuit board under the standard impact load and the influence of different parameters on the brittle value of the circuit board. Considering the drop impact of the printed circuit board under the triangular pulse, the circuit board with four edges was simplified into a beam model. The impulse excitation was considered as the intrinsic displacement, and a model was built to solve the deflection and acceleration response of the circuit board, which were then compared with the features of the circuit board to evaluate the reliability of the circuit board. The maximum deflection and maximum acceleration of the plate both occurred near the middle of the plate, and in the middle of the moment when the plate was impacted by the triangular pulse. In conclusion, the theoretical basis for the reliability of the circuit board under the triangular pulse was provided.

KEY WORDS: printed circuit board; drop impact; triangular pulse; reliability

随着科技的进步, 电子产品快速发展, 电脑在全社会范围内普及, 而在运输过程中不免会产生冲击和振动对产品造成损害, 其破坏效果往往是使印制电路板(PCB)发生往复变形, 由于电子元器件相对于PCB可以看作是刚体, 在冲击或振动的条件下, 二者变形不一致, 导致焊点断裂是其主要失效形式, 此外, PCB的脆性断裂也是一种不可忽视的形式。

许多学者研究PCB在标准冲击载荷(1500 g的峰值加速度, 0.5 ms的半正弦脉冲)下的响应。Wong^[1-2]先后把PCB跌落系统简化为弹簧-质量模型、简支梁

模型和板模型, 研究了梁和板的弯曲和加速度随基本模式($R_{\omega_1} = \frac{\omega_1}{\Omega}$)变换下的变化趋势, 并分析了不同参数下加速度和板的弯曲对互连应力的影响。Suhir^[3]从理论上探讨了冲击测试能否代替跌落测试的情况, Tsai^[4]将PCB简化为单自由度系统, 运用模态叠加的方法研究印制电路板在自由振动和强迫振动下的响应。张波^[5]将板级封装简化为二维无阻尼多自由系统, 用量函数组合的方法得到PCB在两边自由、两边固定的边界条件下的前九阶模态以及半正弦脉冲下

收稿日期: 2015-08-14

作者简介: 刘宏(1973—), 男, 浙江吴兴市人, 同济大学工程硕士(在读), 上海烟草包装印刷有限公司工程师, 主要研究方向为机械制造、工业工程。

的响应。刘芳^[6]在Wong的基础上,考虑了基本材料的粘弹性对PCB的动力学行为响应。杨雪霞等人^[7]用仿真方法研究跌落冲击过程中对焊点的影响。

然而,上述研究都是以考虑焊点的互连应力为出发点,到目前为止,很少有人研究板的弯曲对电子元器件的影响以及在冲击响应中PCB板的易损度。文中将在PCB的梁模型基础上研究标准冲击载荷下板的挠度响应,以及各参数对板的脆值影响。

1 板级跌落冲击动力学分析及建模

典型的板级跌落冲击测试装置见图1,它包含了一个带包装的电路板及组件,电路板通过接头安装在一个金属底座上,从而可以使PCB弯曲。整个装置可以从规定的高度沿着导杆自由落下,直到金属底座通过缓冲衬垫最后冲击到固体基底上^[8]。

假设测试装置是刚体,则板级跌落的冲击动力学

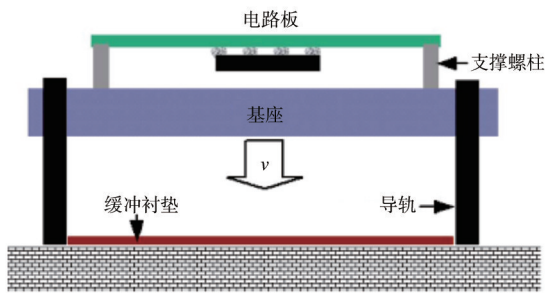


图1 电路板跌落冲击系统

Fig.1 Drop impact system of PCB

行为可被简化为印制电路板在边界支撑下承受一个加速度脉冲作用的动力学模型。对于一对边固定、一对边自由的印制电路板可将其简化为梁模型。其受力及变形模型见图2。

从图2可以看出,梁上任一点在竖直方向上的位移 $y(x,t)$ 与脉冲 $Y(t)$ 和梁自身的挠度 $w(x,t)$ 满足:

$$y(t) = Y(t) + w(t) \quad (1)$$

$$q_n(t) = \begin{cases} \frac{4k}{n\pi} \frac{1}{\omega_n^2} (t - \frac{1}{\omega_n} \sin(\omega_n t)) & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ \frac{4k}{n\pi} \frac{1}{\omega_n^2} (\frac{3T}{2} - t - 0.3 \cos[\omega_n (\frac{T}{2} - t)] - \frac{\sin(\omega_n \frac{T}{2}) + \sin[\omega_n (\frac{T}{2} - t)]}{\omega_n}) & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{所以, } w(x,t) = \sum_{i=1,3,5}^{\infty} W_n(x) q_n(t) =$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{4k}{n\pi} \frac{1}{\omega_n^2} (t - \frac{1}{\omega_n} \sin(\omega_n t)) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{4k}{n\pi} \frac{1}{\omega_n^2} (\frac{3T}{2} - t - 0.3 \cos[\omega_n (\frac{T}{2} - t)] - \frac{\sin(\omega_n \frac{T}{2}) + \sin[\omega_n (\frac{T}{2} - t)]}{\omega_n}) \sin \frac{n\pi x}{l} & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (8)$$

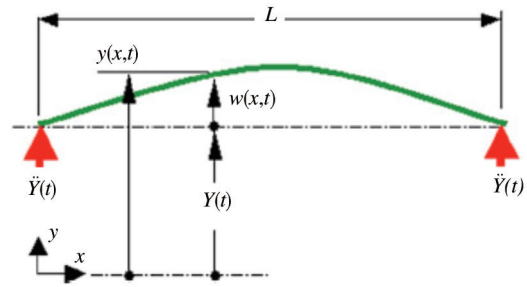


图2 电路板简化的梁模型

Fig.2 Simplified beam model of PCB

参照文献[9]知梁作自由振动时方程为:

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

将(1)式代入(2)得:

$$\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} + \lambda^2 \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} = -\ddot{Y}(t) \quad (3)$$

$$\text{其中 } \lambda^2 = \frac{EI}{\rho A}。$$

设三角脉冲的函数表达式为:

$$\ddot{Y}(t) = \begin{cases} kt & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ kT - kt & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (4)$$

板的边界条件为: $w(0) = \dot{w}(0) = 0$

2 动力学方程求解

由上可知方程转化为求解挠度 $w(x,t)$ 在 $Y(t)$ 作用下的强迫振动。运用振型叠加法,假设梁的挠度为:

$$w(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} W_n(x) q_n(t) \quad (5)$$

简支梁的振型为:

$$W_n(x) = \sin \frac{n\pi x}{l} \quad (6)$$

连立方程(1)——(6)可得:

参考文献[9]可知:

$$\ddot{y}(x,t) = (w(x,t) + Y(t))'' = \ddot{w}(x,t) + \ddot{Y} =$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{4k}{n\pi} \frac{1}{\omega_n} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \sin(\omega_n t) + kt & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{4k}{n\pi} \frac{1}{\omega_n} [\omega_n \cos(\omega_n(\frac{T}{2} - t)) + \sin(\omega_n(\frac{T}{2} - t))] \sin \frac{n\pi x}{l} + kT - kt & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (10)$$

3 算例求解

便携式电子产品元器件板级跌落测试方法要求跌落测试时调节跌落高度、跌落台和冲击表面等参数,使跌落产生特定的加速度脉冲。以峰值为1500 g、周期为0.6 ms的三角脉冲加速度为基础,讨论验证不同周期 T 对板的加速度和挠度的影响。板的材料参数:长宽高分别为0.2,0.2,0.001 m,弹性模量 G 为24 GPa,密度为2000 kg/m³。

板的挠度响应随时间和位置变化见图3。板的加速度响应随时间和位置变化见图4。

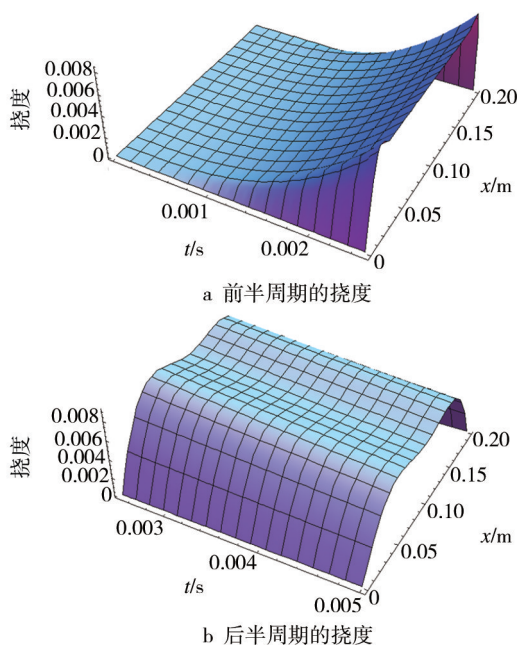


图3 电路板的挠度

Fig.3 Deflection of PCB

从图3可知,电路板的挠度在 $t=0.0025$ s时取得最大值,而在 x 方向,当 t 较小时,中间会出现最大值的一个平台,当 t 较大时,基本按正弦规律变化,且挠度最大值在0.008 m以下。同样,加速度的规律在半周期前后也呈现不同的规律。前半周期加速度随时间增大,在后半周期呈下降趋势。在 x 方向前半周期呈现一个最大值平台,在后半周期严格按照正弦规律变化。

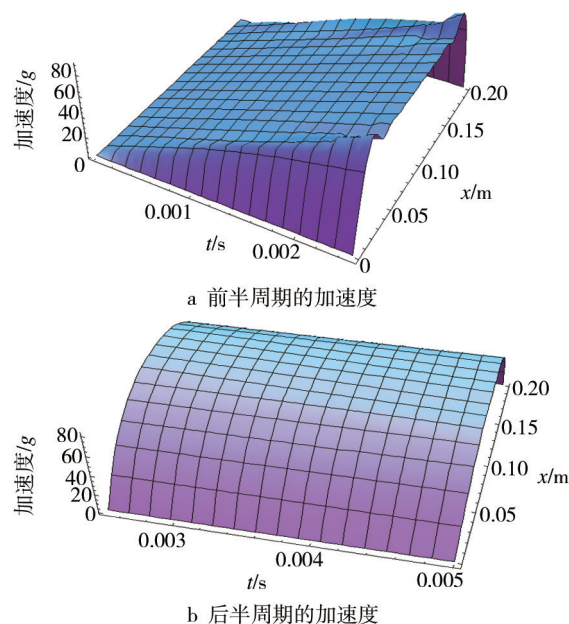


图4 电路板的加速度

Fig.4 Acceleration of PCB

从图4可以看出,电路板的加速度最大值在80 g左右。查看文献[10]知,这个值符合普通电器的脆值范围,但是对于高精密仪器显然是已经超出其所能承受的范围。

4 结语

当受到三角脉冲跌落冲击时,板的最大挠度变形和最大加速度都发生在板的中间位置附近,并且发生在中间时刻。

与电子产品的脆值相比,上述实验的加速度峰值已经超出部分产品的脆值要求范围,应尽量防止这种冲击。

参考文献:

- [1] WONG E H. Dynamic of Board-level Drop Impact. Transactions of the ASME[J]. Journal of Electronic Packaging, 2005, 127: 496—502.

(下转第99页)

- LI Rui-juan. Study on Color Space Conversion Model from RGB to CIE XYZ[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 79—81.
- [8] 刘浩学,崔桂华,黄敏,等. 按波长分区的LCD颜色特征化模型[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 10(33): 2751—2757.
- LIU Hao-xue, CUI Gui-hua, HUANG Min, et al. Colorimetric Characterization of LCD Based on Wavelength Partition Spectral Model[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 10(33): 2751—2757.
- [9] 刘浩学,郑岚,代黎,等. 基于光谱叠加特性的液晶显示器颜色特征化方法研究[J]. 光学学报, 2007, 27(5): 1233002-1.
- LIU Hao-xue, ZHENG Lan, DAI Li, et al. Color Characterization of LCD Based on Spectral Additive Properties[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(5): 1233002-1.
- [10] 李金城. 色彩高保真复制的理论与实践[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- LI Jin-cheng. Theory and Practice of High-fidelity Color Reproduction[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [11] 邹文海,徐海松,王勇. 基于彩色扫描仪的图像光谱重构[J]. 光学学报, 2007, 27(5): 859—863.
- ZOU Wen-hai, XU Hai-song, WANG Yong. Spectral Reconstruction of Images Based on Color Scanner[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(5): 859—863.
- [12] WANG Yong, XU Hai-song. Spectral Characterization of Scanner Based on PCA and BP ANN[J]. Chinese Optics Letters, 2005, 3(12): 725—728.
- [13] 何颂华,张刚,陈桥,等. 基于BP神经网络的多基色打印机光谱特性化[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 110—115.
- HE Song-hua, ZHANG Gang, CHEN Qiao, et al. Spectral Characterization of Multicolor Printer Based on BP Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 110—115.
- [14] TZENG D Y, BERNIS R S. A Review of Principal Component Analysis and Its Applications to Color Technology[J]. Color Research & Application, 2004, 29(2): 104—110.
- [15] FAIRMAN H S, BRILL M H. The Principal Components of Reflectances[J]. Color Research & Application, 2005, 30(2): 84—98.

(上接第86页)

- [2] WONG E H, MAI Y W, SEAH S K W. Board Level Drop Impact—fundamental and Parametric Analysis. Transactions of the ASME[J]. Journal of Electronic Packaging, 2005, 127: 496—502.
- [3] SUHIR E. Could Shock Tests Adequately Mimic Drop Test Conditions Transactions of the ASME[J]. Journal of Electronic Packaging, 2002, 124: 170—177.
- [4] TSAI T Y, YEH C L, LAI Y S. Response Spectra Analysis for Undamped Structural Systems Subjected to Half-sine Impact Acceleration Pulses[J]. Microelectronics Reliability, 2006.
- [5] 张波,丁汉,盛鑫军. 板级电子封装在跌落冲击载荷下的动态响应分析[J]. 振动与冲击, 2008, 27(6): 108—113.
- ZHANG Bo, DING Han, SHENG Xin-jun. Dynamic Response of a Board 2 Level Electronic Package Under Drop Impact Load[J]. Journal of Vibration and Shock, 2008, 27(6): 108—113.
- [6] 刘芳,孟光. 电路板组件板级跌落冲击动力学分析[J]. 机械强度, 2007, 29(5): 713—716.
- LIU Fang, MENG Guang. Dynamic Analysis of Printed Circuit Board Assembly Subjected to Drop Impact[J]. Journal of Mechanical Strength, 2007, 29(5): 713—716.
- [7] 杨雪霞,肖革胜,树学峰. 板级跌落冲击载荷下无铅焊点形状对BAG封装可靠性的影响[J]. 振动与冲击, 2013, 32(1): 104—107.
- YANG Xue-xia, XIAO Ge-sheng, SHU Xue-feng. Effect of Solder Joint Shape on Reliability of BGA Packages Under-board Level Drop Test[J]. Journal of Vibration and Shock, 2013, 32(1): 104—107.
- [8] SINGIRESU S R. 机械振动[M]. 第4版. 清华大学出版社, 2009.
- SINGIRESU S R. Mechanical Vibration[M]. 4th Edition. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [9] 李惠彬. 振动理论与工程应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- LI Hui-bin. Vibration Theory and Engineering Application [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2006.
- [10] 彭国勋. 物流包装运输设计[M]. 第2版. 北京: 印刷工业出版社, 2006.
- PENG Guo-xun. Design of Logistics Packaging and Transportation[M]. 2nd Edition. Beijing: Printing Industry, 2006.