

如何分析 PCB 板的生产测试流程中的应变问题

1、回顾

压力引起的焊接失败是其中一种常见的导致 PCB 装配不通过的原因。现在，因为无铅焊接材料的引入，在相同的拉伸和压力强度之下，相对于传统锡铅焊接来说，焊接节点加倍脆弱，以致压力引起的焊接失败问题被更深层次地激发了。多种装配和测试流程也会因为形变过大导致 PCBA 的焊接失败，这种情况甚至是在出货之前也有可能发生。这份文档解释了怎样使用 IPC/JEDEC-9704 标准和章和电气的软硬件去测试应变和识别有问题的设计和流程。

2、问题陈述

PCB 板或者基于 PCB 板的产品已经被工程师们用了数十年了，那是为什么压力引起的焊接失败成了日益重要的议题呢？为了回答这个问题，专家们已经调查最近几年间电子工业中最大地影响到 PCB 板安全应力范围主要的趋势。两种主要的趋势是：

- 无铅焊料在更大范围上取代了传统的锡铅焊料
- 紧凑的 BGA（球形矩阵排列）方式更多地被使用。

造成以上趋势和这种趋势的利益相关性是很明显的。2006 年 7 月，欧盟的有害物质限制（RoHS）指引产生了很大的影响。这个指引限制了 6 种包括了制造业中多种类型电子电气设备都会用到的铅在内的有害物质。不利的是，绝大多数无铅焊料更脆弱，在装配或测试过程中受力时，无铅焊料比起传统锡铅焊料会更容易引起开裂。

同时，BGA 元件有很多优胜于 SMP（表面贴装）封装的优势，包括更高密度的引脚，更低热阻所带来的更好的导热与防过热性能，还有封装与 PCB 板间的距离更短——所以阻抗更小——带来的更优越的电气特性。不过，BGA 元件也有一些缺点，包括昂贵的检查费用、对热膨胀反应的降低，还有，相对于使用更长导线的表面贴片元件，BGA 元件会导致更大的弯曲与振动。BGA 元件不能有效地分散压力，而更容易使焊接节点开裂。

上述的两种趋势中无论哪一种都会降低直接作用于 PCB 板的最大机械应力值的阈值。当两种趋势一起起作用的时候，它们会在极大程度上增大焊接节点开裂的可能性，特别是当超过了最大允许应力值，同样，也使得强制标定板子和板子周围的夹具的最大应力水平成为需要。

装配和测试流程，例如 ICT（电路在线测试）、切板、关系到把板子固定在夹具的某个地方并进行某项任务的 FVT（最终校核测试）。如果这些夹具没有设计得很好，就很可能对 PCB 板产生过大的应力。有时，甚至设计的很好的夹具也会因为时间过长在 PCB 板的内部产生很大的应力。

为了提前避免失误和发现问题，你可以对 PCB 板做应变测试，识别某些潜在的易于产生高压力的流程的最大应力，确定应力处于允许范围内。如果测量得到的应力值超过了板子的允许应力水平的最大值，你可以重新制造或者设计夹具，或者按要求改变流程，使得应力值回到允许范围之内。IPC/JEDEC-9704 指引标准识别有缺陷的装配与测试流程，并且提供了系统的执行 PCB 应变测试的步骤。

IPC（最初是美国印刷电路学会 Institute for Printed Circuits 建立的，现在被称作 IPC：美国电子电路与电子互连行业协会 Association Connecting Electronics Industries）是一个全球贸易协会，具有优秀竞争力、成功的金融，拥有 2,600 个成员的公司，代表电子互相连接工业

的各方面,包括设计、PCB 板的制造和电子的装配。IPC 和电子工程设计发展联合会议(Joint Electron Device Engineering Council)在 2004 与 2005 年发布了两项指引文件,这些文件都是关于 PCB 板的机械应力的。IPC/JEDEC-9702 是一个应变识别指引,而 IPC/JEDEC-9704 主要致力于印刷线路板的应变测试。

在此文档以下的部分,是 IPC-9704 标准推荐学习四个 PCB 板应变测试的步骤。

3、PCB 板应变测试

3.1. 典型制造的流程

使用应变测试,你可以定量地评估和识别出潜在大应力引起的、有害的流程,但是你需要在执行这些流程前识别出它是否有害。

根据 IPC/JEDEC-9704 标准文件,典型制造的流程被分为:

3.1.1. SMT(表面贴装技术)装配流程

- 切板(直线切割和弧线切割)流程
- 所有的人工操作流程
- 所有重做与润饰流程
- 连线安装
- 部件安装

3.1.2. 板子测试流程

- 电路板在线测试(ICT)
- 电路板功能测试(BFT)或者其他类似的功能测试

3.1.3. 机械安装

- 散热片装配
- 板子支架装配
- 系统电路板组装或系统装配
- 外围部件互连(PCI)或子卡安装
- 双列直插内存模块(DIMM)安装

3.1.4. 运输环境

3.2. 应变测试步骤

在以上列表中,ICT 和 BFT 都是典型的最大应变/应变率的操作,但是其他流程的应力同样会对 PCB 板有潜在的危害,所以你最好对尽量多的流程进行应变测试。

只要你有需要进行应力识别的流程,你可以按以下的四个步骤执行 PCB 板的应变测试。

- 1、 选取应变片
- 2、 准备要测试的 PCB 板和粘贴应变片
- 3、 测出应变
- 4、 分析记录数据

3.2.1. 步骤一: 选取应变片

应变片是一种可以按应变的大小线性变化电阻值的设备。IPC/JEDEC-9704 标准指引文件推荐为 PCB 板进行应变测试时使用三向扇形摆放的应变片。

一组扇形(rossette)的应变片是由三片独立的应变片互相重叠摆放组成的。不像单向的应变片只能测一个方向的应变,一组扇形应变片可以测量一个表面的所有状态。换句话说,你不

仅测量两边的应变 e_x 和 e_y ，也能在给定的 $x-y$ 坐标系中测量剪应变（或称切应变） g_{xy} 。

假设 x 、 y 轴是给定的，你可以分别把两片应变片固定在 x 、 y 方向，测量这两个方向上的相关的伸缩应变。但是，不能直接测到切应变 g_{xy} ，也不可能直接测到主应变（Principal strain），因为主要方向一般是不知道的。

解决这个问题的关键在于识别出某点的（在表面）应变的二维状态，这种状态被定义为三个独立的你可以得到的量（a） e_x 、 e_y 与 g_{xy} （b） e_1 、 e_2 与 q ，其中（a）指的是与 xy 轴有关的应变部件，（b）指的是主应变和它们的方向。这两种情况都能完整地定义表面二维应变的状态，而且可以用于计算关于任何其他同等系统的应变。这些条件都意味着如果你可以知道表面同一点三个独立的应变值，你应该可以测定这三个独立量。最显然的方法就是扇形放置三片应变片，每片应变片都放在不同的方向，而且它们要尽量紧靠一起来确定它们同时测量一点的值。如果你知道三个应变值和应变片的方向，你就可以得到主应变和它们的方向，或者等价地描述，得到在指定 xy 坐标系中应变的状态。要知道以上两者的关系需要一个应变计算方程，而且摩尔圆图提供了一个很好的流程的可视方式。

根据 IPC/JEDEC-9704 标准，推荐的应变片的详细说明如下：

- 三向直角扇形排列应变片
- 1.0 至 2.0 mm^2 的应变片传感器大小
- 120 或 350 Ω 的应变片
- 应变片连出来的导线在应变片的一边

章和电气提供三向的扇形应变片，例如防水三轴箔型应变片或者通用型直角扇形应变片。

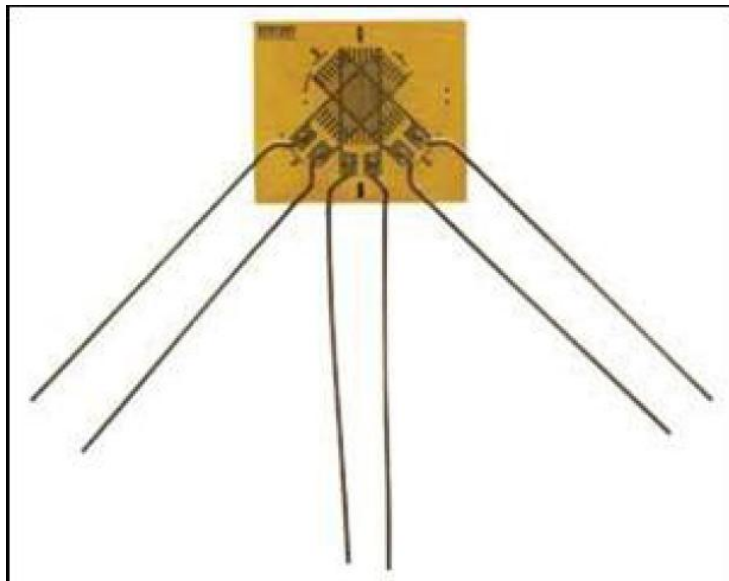


图 1、三向扇形应变片

3.2.2. 步骤二：准备要测试的 PCB 板和粘贴应变片

SMT 的回流焊之前 PCB 板的机械应变很有限，而且更重要的是，因为焊点是在回流焊加工后成形的，所以应变特性在 SMT 回流焊后的装配和测试操作中是很重要的。一般来说，至少两块被测板子要被安装检测。检测的目的不是要知道它电气性能，而是必须知道最新设计的机械性能上的表现。

数据可以表征到与应力有关的、发上在 BGA 部件的失误。IPC/JEDEC-9704 标准推荐你对任何大于等于 27mmx27mm 的封装体进行测量。比如，你应该区分带状 BGA、倒装晶

片 BGA、增强型 BGA、陶制 BGA 与低绝缘 BGA 部件，并迎合标准的推荐。

PCB 板的准备包括选择应变片粘贴的位置。如果在板子上没有足够的空间粘贴应变片，就不得不清除已经在板子上固定好的部件以腾出空间。

准备板子是测量流程中至关重要的一步。恰当地准备好板子有助于恰当地粘贴应变片，改善读数的精确性。也应该按照应变片说明书和粘合剂供应商的指示配置应变片的附件。注意应变片所需的特定的粘合剂，应变片供应商一般会提供这些信息。你也能在 IPC/JEDEC-9704 标准文件中找到更多的关于板子准备、应变附件、导线接法的详细说明。

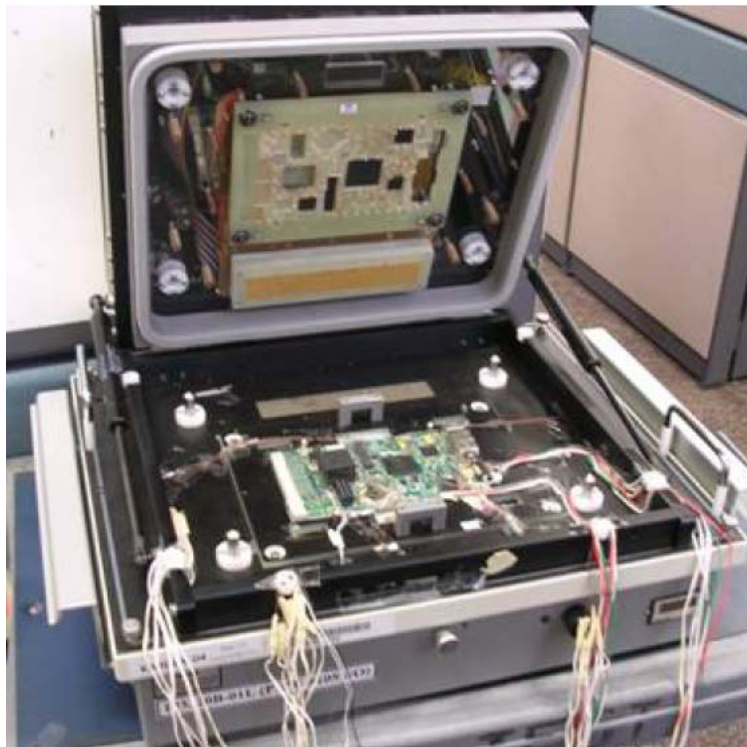


图 2、带有应变片的在 ICT 夹具中的待测板卡

3. 2. 3. 步骤三：测量应变

在准备好板子和粘贴好应变片后，PCB 板应变测试的第三步是把传感器连接到数据采集仪器上，并且运行测试程序。测试时间的长短可变，一般可以运行 5 到 10 秒并记录数据。

IPC/JEDEC-9704 推荐测试在运行时关注以下几个参数：

- 扫描频率（采样率）
- 采样分辨率和增益设置
- 通道数目
- 激励电压

3. 2. 3. 1. 扫描频率

扫描频率，或称采样率，是每秒在样品数目单位下采样得到数据的频率（Hz）。对于 PCB 板应变测试，推荐最低扫描频率为 500Hz，而一般的扫描频率的范围是从 500Hz 到 2kHz。这样的采样率保证能捕捉到任何高频率的动态变化。例如，观察图 3 显示的两种不同频率下的测量效果。当采样频率是另一个的 4 倍的时候，图 3（b）显示出了一个没有被低采样率捕捉到的电压尖峰。

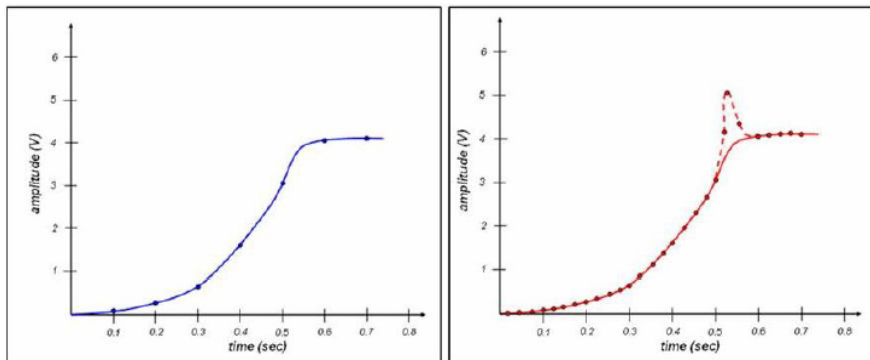


图 3 (a) 与 (b): 两种不同采样率的例子

3.2.3.2. 采样分辨率

采样分辨率指的是在数据采集硬件中模拟-数字转换器（ADC）的转换位数。分辨率越高，输入信号改变得越小，它就能被检测到，而且被更精确地测量。对于 PCB 板应变测试，推荐最低的采样分辨率为 12 到 16 位。ADC 也有增益设置（信号被放大的因素），而且设置适当的增益值保证最大限度地利用数据采集硬件中分辨率的位数。

3.2.3.3. 通道数目

可用的监控通道数目限制了一遍测量的数目。至少 12 个测量通道才可以满足测量一个 BGA 芯片的四个角的扇形应变片组的需要。或者至少三个通道才能测量一块扇形应变片组。而当没有足够的通道时，你可以测量多遍。但是你必须相同的加载过程中监控在任何扇形应变片组中的三片应变片，避免分析时的任何应变计算有误。

3.2.3.4. 桥接完成与激励电压

在一块扇形应变片组中的每一片应变片采用的是四分之一桥接法，需要桥路完成和激励电压——两者都由数据采集仪器提供——功能。

对于四分之一桥接法应变片传感器，桥路完成包括提供惠斯通电桥四臂中的三臂，其中应变片充当第四臂。

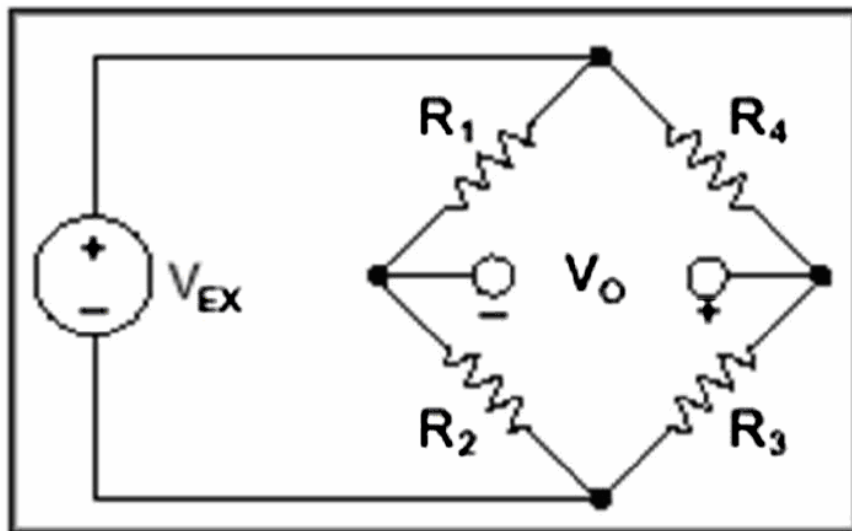


图 4、惠斯通电桥

因为 PCB 材料的导热率低，应变片会因为电流通过而很容易升温。而使用三线的接法与四分之一电桥可以减少这种影响，你应该考虑信噪比（SNR）来平衡激励电压。如果当板子空闲时，应变值也很明显在漂，就要减低电压，直到这种影响不明显或者信噪比变得可接受为止。一般来说，2V 的激励水平应该满足要求了。

3.2.4. 步骤四：分析记录数据

只要你采集了原始的应变数据，你可以开始 PCB 板应变测试的最后一步了——分析这些数据并计算在测试期间板子所受的有关应力（最大应力和最小应力）。你可以在测试期间在线完成这些分析或者在测试完毕后离线分析，并且记录全部数据。

分析的细节可以根据你所使用的特别的限制标准作相应的改动。很多的限制标准会需要获得通过摩尔圆公式计算的应变率和主应变。根据 IPC-9704 标准，对每一步的监控，至少你应该提供主应变和轴向应变的峰值（最大值和最小值）。

一种很普遍的记录数据方法是通过应变-应变率图，其中 y 轴代表最大允许主应变（ u_{strain} ），x 轴代表应变率（ $u_{strain}/second$ ），应变率是前后两次读取的应变值差值的绝对值改变量。图 6 显示应变-应变率图的一个例子（由 IPC/JEDEC-9704 标准提供）。

当你不需要在线分析数据，你可以把数据导出到硬盘，并且把它存为适当的格式，便于离线分析。

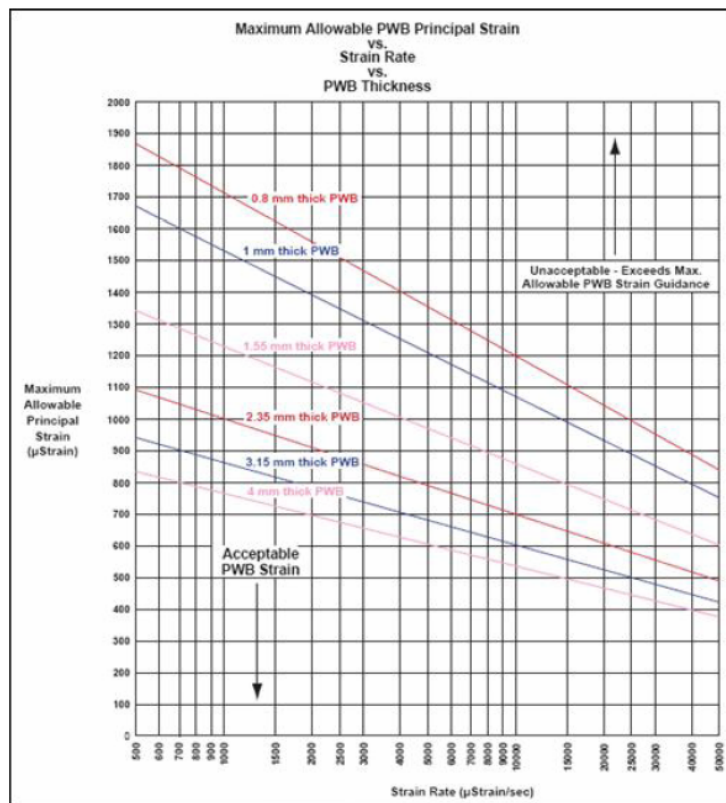


图 5、应变-应变率图的例子

4、章和电气应变测试的解决方案

根据 IPC-9704 标准以及与全球大型代工厂的合作，章和电气开发了基于 IPC-9704 标准的应变测试系统。该系统包含三向应变片，USB 采集硬件和自动测试软件 **StrainMaster**。根据应变片的测试，分析 ICT 设备以及 PCB 板的应力值。

4.1 章和电气采用完全符合 IPC/JEDEC-9704 标准推荐的应变片，粘结剂，能够有效连接应变片与电路板。

4.2 采集硬件采用信号调理设备 SCXI，你可以装载 4 槽或者 12 槽的底盘。采集模块具有四分之一桥，半桥，全桥的信号调理电路，提供 16 位，333kS/s 采样率的性能，每通道可编程激励(0 V 到 10 V)，每条通道可编程增益 (1 到 1000)，每通道 4 极可编程 Butterworth 滤波器(10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz)；被推荐用于 PCB 板应变测试系统。



图 6、4 槽底盘的 SCXI

4.3 章和电气 **StrainMaster**:

应变测试软件最基本的功能是读取和记录测试过程中得到的应变。但是对用户而言，仅仅记录是不足够的，应该还包括硬件的配置、数据的分析、报表的生成和友好的人机界面。

章和电气提供专业的应变测试系统，拥有自行开发多年、现已被很多大型厂商使用的专业应变测试软件——**StrainMaster**。

StrainMaster 的硬件配置能使用户很方便地对修改软件中的包括用户板卡信息、应变片接法、采集硬件系统在内的硬件信息，配合用户更换相应的硬件设备，修改硬件信息。

StrainMaster 中的数据分析，分为在线分析与离线分析。在线分析能在测试过程当中以图表和数字形式在线显示应变与应变率的变化情况；离线分析能对测试数据进行导入/出，构建应变-时间图、应变率-时间图和应变-应变率图；按照 IPC/JEDEC-9704 标准，特别是对 BGA 的 ICT 测试，有成熟的分析方法，因此 **StrainMaster** 把标准中的分析也一同涵盖。

StrainMaster 报表生成则把包括数据的记录、分析的结果、测试的图表在内的测试数据完全记录，并且能保存为最通用的 Excel 格式，便于用户阅读、打印等。

界面友好、方便使用、功能完整，都成为众多世界级厂商选择使用 **StrainMaster** 的理由。更关键的是，数据分析过程完全按照 IPC/JEDEC-9704 标准，确保应变数据分析过程符合国际规范。多种配置选择适应客户不同的需求。同时，强大的报表功能让用户方便地对精确数据、图表等进行存档，便于客户进行系统应变情况的历史分析。

4.4 章和电气还可以提供应变片粘贴，上门实际测试，仪器租赁等服务，方便用户不同阶段的需求。

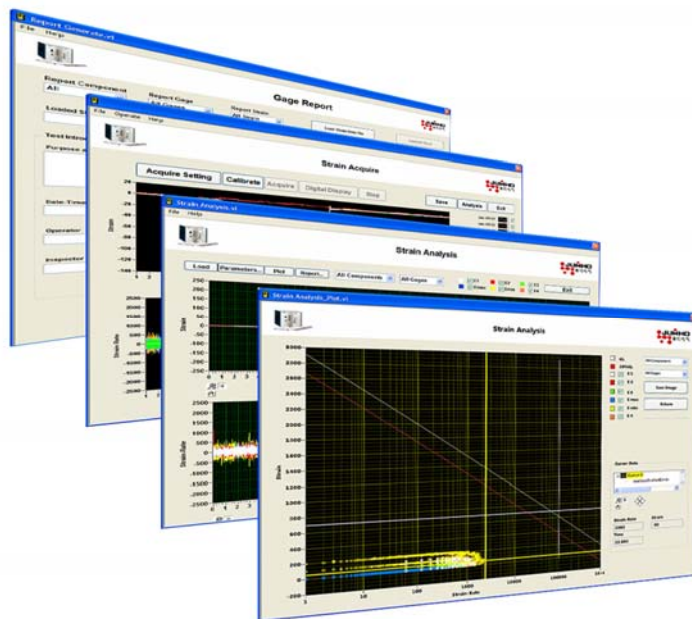


图 7、章和电气 *StrainMaster*

[立即访问章和电气网站www.jumho.cn](http://www.jumho.cn)

5、归纳与对策

虽然现在有用的最新技术，比方说球形网格阵列（BGA）和无铅焊料，可以允许工程师设计小型且环境友好的电子产品，但是工程师们在 PCB 板和基于 PCB 板产品设计和制造方面现在有了新的挑战。PCB 板应变测试主要解决其中一种挑战，它主要识别大应力和潜在危险到基于 PCB 板的生产流程。章和电气为您提供一整套的解决方案。