

编辑导语：在电子硬件产品的开发过程中，更需要注意很多细节，硬件产品不像软件产品，后续可改动的地方没有那么灵活，所以在生产流程中需要经过很多测试；本文作者分享了关于硬件产品生产线测试方案设计，我们一起来了解一下。



电子硬件产品的生产工艺流程复杂，尤其是 PCBA 生产流程很容易出现问题，因此需要做充分的测试，以确保组装过程顺利进行。

工厂测试和研发测试有很大区别，研发测试用来检查设计是否正确，因而也被称为「设计确认测试」。

在不同的情况下，进行工厂测试所投入的精力会有很大差异。

有时测试很简单，只需要技术人员在产品组装完成后开启它，检查能否正常工作即可；而有些工厂测试需要付出巨大精力，认真检查产品的每个细节，确保产品在出厂前一切正常。

在很大程度上，测试中投入精力的多少取决于：

制造过程中出现问题的可能性；产品出厂后出现问题时所要付出的代价。

比如，一个便宜的玩具偶尔出现故障可能不是什么大事，只要没有安全问题就行，因此可能不会投入太多精力测试这类产品。

但是对于一个控制汽车刹车的计算机模块而言，需要做最严格的工厂测试，因为这个模块一旦出现问题，后果将非常严重，必须投入大量精力做检查，以避免出现任何问题。

在一些大型工厂里，在测试中投入的精力有时与设计、开发产品所付出的精力相当。

针对 PCBA，有三种基本测试可以做，分别是在线测试「ICT」、功能测试「FCT」和老化测试，它们与所开发的产品密切相关。

接下来分别介绍这三种测试。

一、在线测试 ICT

在线测试「ICT」（in-circuit test）通过分析元件的电气特征来检查 PCBA 过程是否正确，比如，每个焊点的电阻。

大规模在线测试通常使用针床式测试仪，这种仪器同时把大量探针放置到 PCBA，有些测试中动用的探针多达几千个。

各种测试信号注入一些探针，然后另外一些探针测量响应。

这些探针一般装有弹簧，安装在一个称为测试夹具的特制板子上，这种板子通常是为特定 PCBA 专门定制的。

每个探针通过电路板上的导电片连接到待测电路上，这些导电片一般符合以下情况：

电路板上专门用来做测试的焊点；电路板设计师用来把信号从一个 PCB 层传到另一个 PCB 层的通路，这个通路也可以用作测试点。

针床式测试仪。

用来做测试的焊点和通路，探针通过它们连接到 PCB 上。

测试时，电路板和测试夹具准确地连接在一起，然后启动测试软件，运行预先编制好的程序。

检查电路板是否存在问题，包括：

电路；开路，比如，针脚从焊点脱离；元件朝向（有时 AOI 检查不出这种错误）；元件值；元件缺陷；信号完整性问题，比如，信号传送到电路板上的目的点时是否过分弱化了。

有经验的设计师和开发者在设计产品电路板时会尽量让电路板上的每个电气触点都能被探针访问到。

但是由于各种限制，这个想法往往无法实现，比如受到电路板尺寸的限制。

由于在线测试可以从电气上访问每个元件的所有或绝大多数针脚，因此它也可以为闪存 Flash 等设备编制程序，进行校准和调整以及执行功能测试等。

二、功能测试 FCT

相比于检查各个元件是否被正确地焊接到指定位置上，功能测试主要关注电路板的高级功能。

比如，做功能测试时，可能需要把测试固件装载到待测 PCBA 的处理器中，让处理器在内存和周边器件上运行诊断程序，然后经由串口把测试结果输出到个人计算机上。

个人计算机将根据诊断结果在屏幕上显示为“通过”（绿色）或“失败”（红色）字样，并把详细的测试结果记录到数据库中，留待进一步分析。

功能测试的目标是检查电路板上的各种元件能否作为一个整体协同工作，它也可以测试那些在线测试期间因探针接触不到而未能检测到的电路。

比如，当一个测试点无法访问某个芯片的引脚时，你可以对该引脚进行功能测试，方法是在引脚上执行一个操作，只有引脚被正确焊接到电路板上并且功能正常时，操作才能成功。

功能测试的缺点是它往往不像在线测试那样可以彻底地检查电路板的连接，最保险的做法是在线测试和功能测试都做。

功能测试既可以作为在线测试的一部分，也可以作为一个单独的步骤，它通过串口、USB、以太网或其他接口与 PCBA 通信。

对大部分产品来说，最后的功能测试要等到设备完全组装好才会进行。

多数情况下，在产品制造过程中的某个时间点上也会做功能测试。

比如，在多板系统中，每个 PCBA 可能都需要做功能测试，以保证其组装正确，最后组装完成后，再把系统作为一个整体进行测试，确保全部电路板被正确地组装在一起。

三、老化测试

在某些情况下，要求电路板在接受功能测试时能够运行几个小时、几天甚至更长时间，有时是在比较极端的条件下进行，比如高温环境。

1. 老化测试的意义和目的

随着电子技术的发展，电子器件的集成化程度越来越高、结构越来越细微、工序越来越多、制造工艺越来越复杂，这样在制造过程中会产生潜伏缺陷。

对于一个性能良好的电子产品，不但要求具备较高的性能指标，而且还要有较高的稳定性，通过老化可以筛选出电子元器件故障。

在电子产品加工过程中，由于经历了复杂的加工工序，同时使用了大量的元器件物料，即便你的设计再好，也将引入各种缺陷。

无论是加工缺陷还是元器件缺陷，都可分为明显缺陷和潜在缺陷：

明显缺陷指那些导致产品不能正常工作的缺陷，例如，短路、断路。潜在缺陷导致产品暂时可以使用，但在使用中缺陷会很快暴露出来，产品不能正常工作，例如，焊锡不足，产品虽然可以用，但轻微振动可能就会使焊点断路。

明显缺陷可通过常规检验手段（在线检测 ICT、功能测试 FT 等）加以发现，潜在缺陷则无法用常规检验手段发现，而是运用老化的方法来剔除。

如果老化方法效果不好，则未被剔除的潜在缺陷将最终在产品运行期间以失效（或故障）的形式表现出来，从而导致产品返修率上升，维修成本增加。

通过高温老化可以使元器件的缺陷、焊接和装配等生产过程中存在的隐患提前暴露，提前鉴别和剔除产品工艺引起的早期故障。

老化还有一个更重要的目的（和测试一样）：

通过老化使产品加工工艺不断改进，使产品品质不断改进，改进到不需要老化为止。

老化结合可靠性测试，并与失效分析相结合，即对老化过程中失效的器件进行根本原因（ROOT CAUSE）分析：

确定器件的失效是物料选择的问题；还是设计应用不当；还是生产加工过程造成的损伤，并进一步改进；经过 2-3 个循环，产品稳定下来，就可以逐步减少老化时间直至取消。

2. 老化的定义

严格意义上来讲，老化是指采用高温方法对产品施加环境应力。

而环境应力筛选（ESS：Environment Stress Screen）则不仅包括高温应力，还包括其他很多应力，例如，温度循环、随机振动、恒定高温等。

所以，老化是属于环境应力筛选的一种。

但现在很多公司已经把“老化”这个词的意义扩展了，老化就等同环境应力筛选，环境应力筛选俗称为老化。

老化是通过对电子产品施加加速环境应力，如，温度应力、电应力、潮热应力、机械应力等，促使潜在缺陷加速暴露成故障，达到发现和剔除潜在缺陷的目的。

老化不能损坏好的部件或引入新的缺陷，老化应力不能超出设计极限。

3. 老化的原理

老化的理论基础是电子产品的故障率曲线，简称浴盆曲线。

1) 早期失效期

元件在开始使用时，它的故障率很高，但随着元件工作时间的增加，故障率迅速降低。

故障率曲线属于递减型，这个阶段产品故障的原因大多由于设计、材料、制造、安装过程中的缺陷造成的。

为了缩短这一阶段的时间，产品在投入运行之前进行试运行，以便于及早发现、修正和排除缺陷。

2) 偶然失效期

这一阶段的特点是故障率较低，而且比较稳定，故障率曲线属于恒定型，这段时间是产品的有效寿命期，人们总希望延长这一时期，即在容许的费用内延长使用寿命。

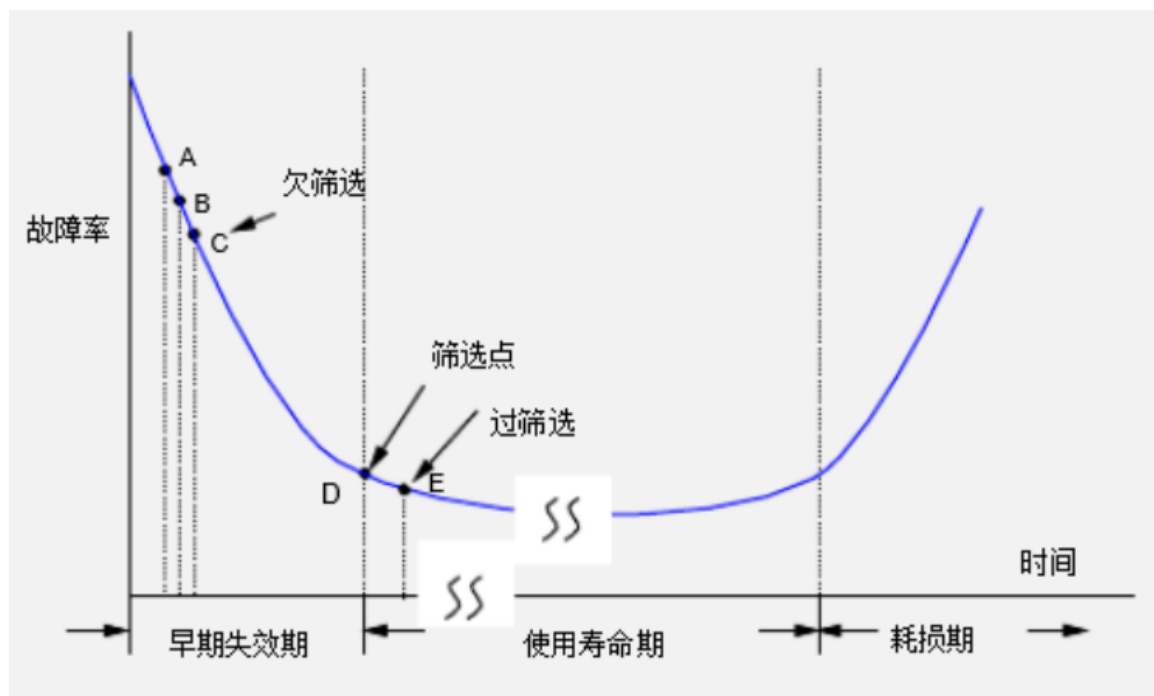
3) 耗损失效期

这一阶段的故障率随时间的延长而急速增加，故障率曲线属于递增型。

到这一阶段，大部分元件开始失效，说明元件的耗损已经严重，寿命即将终止，若能够在这个时期到来之前维修设备，替换或维修某些耗损的部件，就能将故障率降下来延长使用寿命，推迟耗损失效期的到来。

老化是以剔除早期故障为目标，其理想的老化点为图中的 D 点，D 点的选择主要靠经验数据。

图中的 A、B、C 表示老化程度的不同，A 点表示老化不足，老化后仍有较大比率的缺陷流入市场，而 E 点则是过老化，这样增加了老化成本，缩短了产品使用寿命。



4. 产品老化方案

1) 常温通电老化

常温 25℃ 下，产品通电并加负载进行老化，根据产品特点确定老化时间，一般选择 48-72 小时，此方案对功耗较大的产品经常采用。

2) 加热通电老化

将产品在一定的环境温度下，通电老化，根据产品特点确定老化时间，一般选择 24-36 小时，温度通常选用 40℃-45℃。

此方案对产品中，部分器件耐温较低（低于 50℃）经常采用。

3) 加热通电老化（高温）

将产品在一定的环境温度下，通电老化，根据产品特点确定老化时间，一般选择 12 小时，温度通常选用 60℃-65℃。此方案在产品老化中采用较多。

主要有以下优点：

老化时间短，节约时间；老化工作温度较高，能充分暴露出产品中的一些不足，包括器件质量、焊接质量等；配合一些通电动态试验，能监控整个老化过程中的工作状态是否正常。

5. 产品老化示例

你根据产品实际要求，决定采用加热通电（高温）老化的方式，并针对老化过程中的失效器件进行失效分析及可靠性分析，有两点好处：

一方面，可以改进以及提升产品可靠性；另一方面可以为生产时所需要的老化方案积累数据。

老化流程如下：

1) 试验箱条件

高温试验是为了验证产品在高温情况下其使用、运输及贮存的能力。

所以在实际测试的过程中需要模拟高温条件进行试验，你要确保满足外部温度环境可调的要求。

对试验箱需有如下要求：

需要明确试验箱温度测量范围，温度波动度，空间温度差等主要指标；试验样品的尺寸和数量相比，试验箱应该足够大，试验样品能够完全纳入试验箱的工作空间

2) 老化等级

GB/T 2424.2-2008 提供了如下所示的时间严酷等级标准：

2h; 16h; 72h; 96h; 168h; 240h; 336h; 1000h;

若试验的时间过短，试验效果会打折扣。若试验的时间过长，则会消耗更多的人力成本和时间成本。

基于目前试验效果和试验成本的考虑，测试时间选择 72 小时。

3) 测试方案

①初始检验

初始检验分为两部分：

产品生产的常规测试以及上机测试，所有进行高温试验的产品均需要通过以上两种测试方可开始高温试验。

初始检验的必要性：

初始检验的目的是为保证进行高温测试的产品本身是合格的，不会因为存在不合格产品而影响高温试验的结果。

生产的常规测试，主要是对产品的基本功能进行了验证，上机测试则模拟了产品出厂前进行的相关测试。

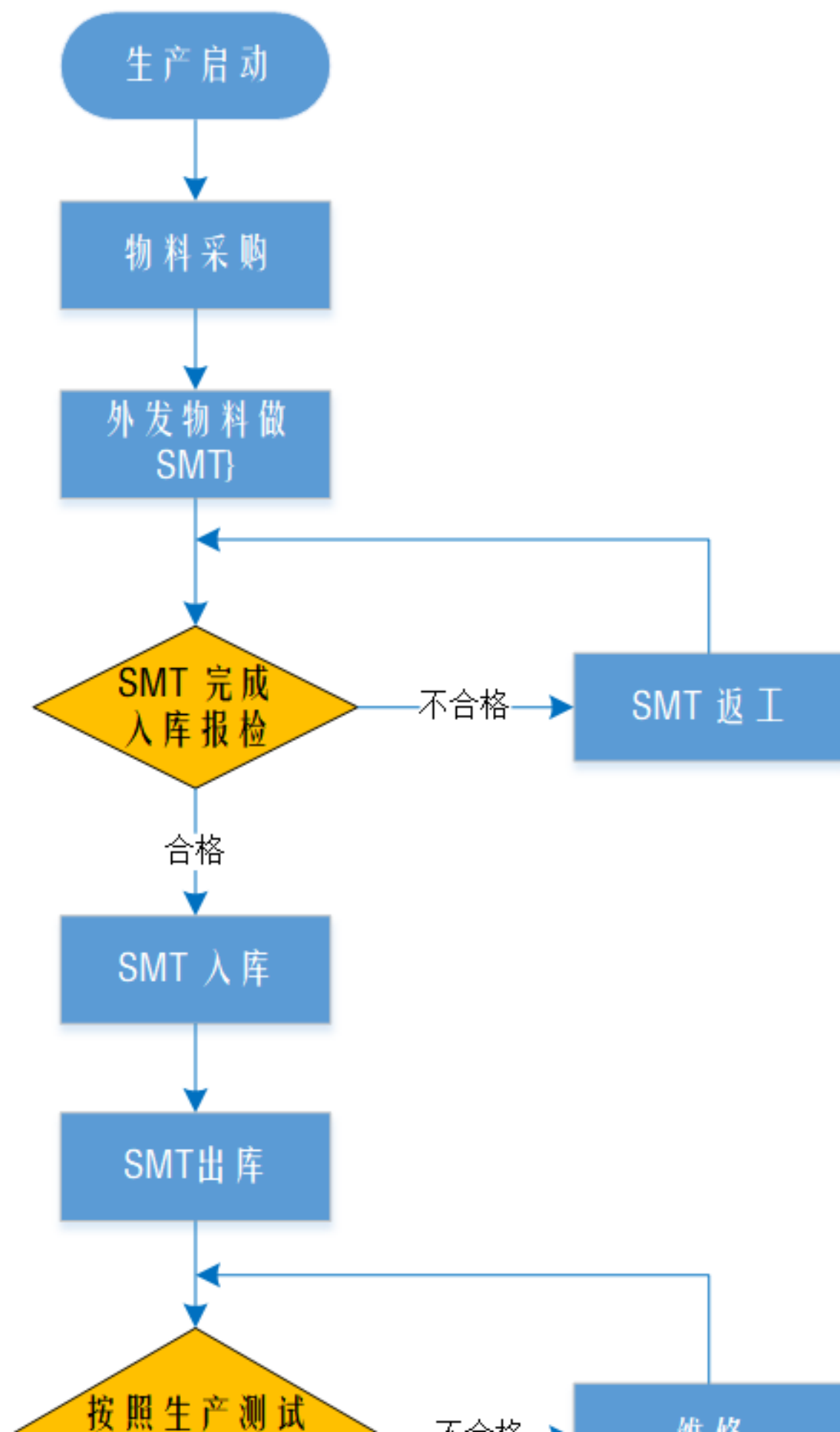
生产常规测试：

高温试验所使用产品需要按照实际生产流程进行，所有产品均需要具有唯一序列号。

序列号共包括三个部分：

物料编码； 生产批次号； 序号。

生产的常规测试按照“生产测试方案”进行初始测试，并出具测试报告，保证整个测试过程具有可追溯性。



②老化测试方案

烧入测试程序，并搭建好测试平台。为了保障所得试验数据具有统计学意义，需准备至少 10 套进行抽测。

将产品放入高温试验箱，上电开始运行，记录放入时间。

关闭试验箱并开始升温，设定目标温度，记录开始升温时间以及温度达到目标温度的时间。

目标温度达到后开始进行试验，试验持续时间为 72 小时，白天工作时间需要两小时检查一次并记录温度及产品运行状态。

夜间运行时实验室应有人值班，4 小时检查一次并记录温度及产品运行状态。

试验持续时间满足 72 小时后，试验箱开始复温，复温方式采取自然冷却方式，复温至常温后产品停止供电，时间应至少持续一个小时，结束测试。

试验完成后需要对产品进行性能检测，冷却 2 小时后进行生产的常规测试。

生产的常规测试按照“生产测试方案”进行，并出具测试报告，以及与初始检验的测试结果进行对比，判断高温试验前后是否产生变化。

作者：卫 Sir，公众号：简一商业

题图来自 Unsplash，基于 CC0 协议