机车电传动 2017 年第 5 期 (2017-09-10)
ELECTRIC DRIVE FOR LOCOMOTIVES №5, 2017(Sep. 10, 2017)

文章编号：1000–128X(2017)05–0006–03

某型 PCB 的腐蚀故障复现及物料选型试验方案设计

杜绍华，汪　旭

（中车株洲所电气技术与材料工程研究院，湖南 株洲　412001）

摘　要：针对某型 PCB 现场失效问题开展了失效分析，发现继电器引脚与内部结构引线处遭 CL 元素腐蚀而断裂。为了验证失效分析的结论，确定 CL 元素引入路径，并进行物料择优替代，设计了 CL 元素腐蚀加速试验剖面，经过 6 个循环周期，成功复现了现场 PCB 失效问题，为后续产品物料替代、设计改进等提供理论依据。

关键词：腐蚀；故障复现；物料选型；试验设计

中图分类号：TB114.3　　**文献标识码：**A

doi：10.13890/j.issn.1000-128x.2017.05.002

Test Plan Design for Corrosion Failure Recurrence and Material Selection for a Type of PCB

DU Shaohua, WANG Xu

(CRRC ZIC Research Institute of Electrical Technology and Material Engineering, Zhuzhou ,Hunan 412001, China)

Abstract: With analysis of a certain type PCB field failure, it was found that pins of the relay broke because of the CL element corrosion. To verify the above conclusion and choose the better material, the accelerated corrosion test profile was designed. After six cycles, the failure mode was reappeared successfully, which could provide references for the following work such as material selection and design optimization.

Keywords: corrosion; failure recurrence; material selection; test profile design

0　引言

某型 PCB 产品在现场运行一段时间后，出现多例无电压输出故障，经过失效分析发现失效品的继电器引脚和内部结构连接的引线出现 CL 腐蚀现象。针对不同工艺阶段的 PCB 进行失效分析，得到结论为：CL 元素的引入阶段为波峰焊和成品前的工艺过程，在后续储存和使用过程中影响逐渐加剧，最终造成引线断裂，产品失效。

为了验证失效分析的结论，且为该继电器的物料选型提供指导，本论文设计了一种 CL 元素腐蚀加速试验剖面，旨在快速完成该型 PCB 的故障复现，找到 CL 元素的传播路径，并为继电器物料择优替代提供依据。

收稿日期：2017–06–08
基金项目：国家重点研发计划项目（2016YFF0203400）

1　试验方案设计

1.1　试验应力类型

根据失效分析结论，从仓库中随机选取经过所有工艺的 PCB 产品，其继电器引脚和内部结构引线处已有 CL 元素引入。CL 元素对金属的腐蚀，主要是和金属发生电化学反应，盐溶液浸入金属内部，形成“低电位金属 - 电解质溶液 - 高电位杂质”的微电池系统，金属作为阳极出现溶解，随着电子迁移的发生，形成新的化合物即腐蚀物 [1]。

影响上述 CL 元素和金属发生电化学反应的主要因

素有：温度、湿度、CL 元素浓度等。为了保障试验样品同现场失效样品来源的一致性，从仓库中随机挑选样品，CL 元素浓度不进行控制，仅调整试验温度、试验湿度的数值来作为加速腐蚀试验的变量。

1.2　试验样本量及安装方向

根据试验目的，首先需要验证失效分析的结论，即该型 PCB（A 型）继电器引脚连线出现 CL 腐蚀断裂；其次验证改进版 B 型 PCB 和改进版 C 型 PCB 抗腐蚀效果；最后，定量评估 A 型 PCB 现场运行的平均寿命。

因此，在仓库中随机挑选 A 型 PCB 共 10 个，B 型、C 型 PCB 各 4 个。其中各一半数量分别进行正向放置和反向放置，以此验证装车方向是否对产品服役寿命造成影响。

1.3　试验剖面设计

为了提高加速腐蚀试验效率，需要以尽量高的温度、湿度值进行加速，具体原则为：温度、湿度值尽量接近产品的工作极限，但不能超过工作极限，否则会改变产品的失效机理，造成过应力现象。双 85 试验（温度 85℃、湿度 85%RH）作为经典的湿热试验，对于考核板级产品抵抗温度、湿度应力的能力具有重要的参考意义。在双 85 试验的基础上，为了再次提高加速效果，通常固定湿度值，增加温度应力，这也是高加速应力试验（HAST）的思想 [2]。

根据以上分析，首先开展预试验，逐步提高温度数值，验证双 85 试验不会造成板子的过应力失效；在双 85 应力基础上，提升温度值至 90℃，如果板子没有失效，最终确定恒定湿热试验的温度、湿度数值。

根据以上分析，设计预试验剖面如图 1 所示，加速试验剖面如图 2 所示，其中，试验末段将湿度值降为 50% 是为了保证产品表面没有水珠形成，从而不造成短路失效。

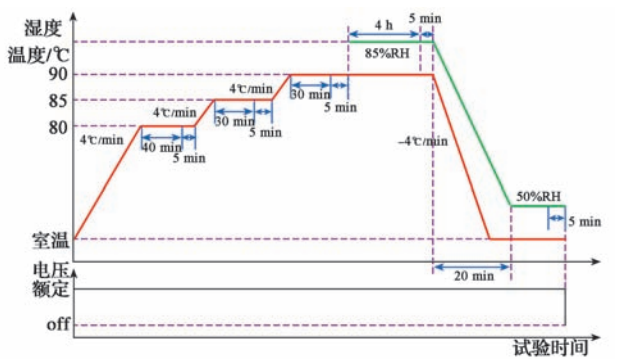


图 1　预试验剖面

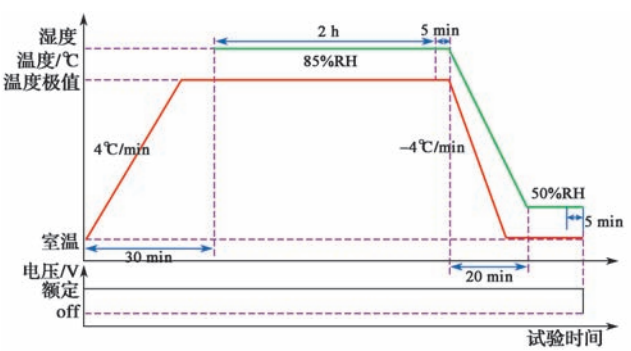


图 2　加速试验剖面

1.4　等效寿命预测

以温度、湿度作为加速应力开展的加速试验，通常以 Peck 模型进行寿命预测。Peck 模型是一种描述温湿度环境应力对产品寿命影响曲线的加速模型，是 Eyring 模型的一种推广形式 [3]。Peck 模型适用于样本失效机理与芯片封装失效相关的加速寿命试验，如集成电路系统的加速寿命试验等 [4]。根据 Peck 模型的定义，加速因子的表达式为

$$AF=(RH_u/RH_s)^{-n}e^{[(E_a)/k](1/T_u-1/T_s)} \quad (1)$$

式中：RH_u 为使用条件下的百分比相对湿度；RH_s 为试验条件下的百分比相对湿度；T_u 为使用条件下的绝对温度；T_s 为试验条件下的绝对温度；E_a 和 n 为与材料有关的参数；k 为玻尔兹曼常数。

根据试验中观测的 PCB 失效时间，再结合试验的温度、湿度条件，可以预测产品的寿命指标，具体公式如下所示：

$$MTTF=\frac{\sum_{i=1}^{n}AF\times t_i}{n} \quad (2)$$

式中：$MTTF$ 为产品平均故障前时间；t_i 为各 PCB 产品的失效前时间；n 为失效样品数量。

2　试验结果及分析

2.1　试验结果

1）预试验结果

预试验进行至 90℃、85%RH 时，A 型 PCB 发生失效，具体原因是某芯片在高温高湿环境下发生短路失效。因此，确定 A 型 PCB 的高温、高湿工作极限为温度 85℃、湿度 85%RH，该条件作为后续加速试验的输入。

2）加速试验结果

加速试验共进行 6 个循环，相关失效情况如表 1 所示。

完成第 6 个试验周期后，进行失效数据统计。B 型板子在第 5 个循环发生一例无电压输出故障，定位为某芯片故障。C 型板子未发生失效。A 型 4 个倒置的 PCB 发生失效（失效比例为 80%），1 例正置 PCB 发生失效（失效比例 20%），失效模式均为无电压输出。对 A 型失效品继电器进行分析，发现继电器引脚和内部结构连接的引线被腐蚀断裂，但具体引脚号各不相同（如图 3），正置的 PCB 继电器引脚外表相对干净（如图 4）。至此，成功复现 A 型 PCB 的现场故障，并验证了改进方案 B 和改进方案 C 均可有效延缓 CL 元素的腐蚀。但从图 5 红圈内可以看出，虽然 B 型 PCB 未发生腐蚀断裂，但是继电器引脚腐蚀现象较为严重；与此对应，C 型 PCB 因为将引线胶封在内部，未受到 CL 腐蚀（如图 6）。

表 1　加速试验产品失效情况

循环	A 型	B 型	C 型
第 1 循环	0	0	0
第 2 循环	1（倒置）	0	0
第 3 循环	0	0	0
第 4 循环	1（倒置）	0	0
第 5 循环	1（倒置）	1（正置）	0
第 6 循环	2（1 倒置，1 正置）	0	0
共计	5	1	0

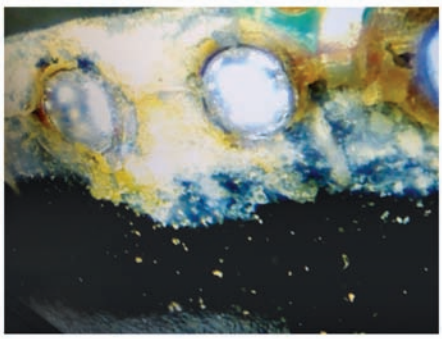


图 3　A 型反向失效品继电器引脚连线腐蚀外貌

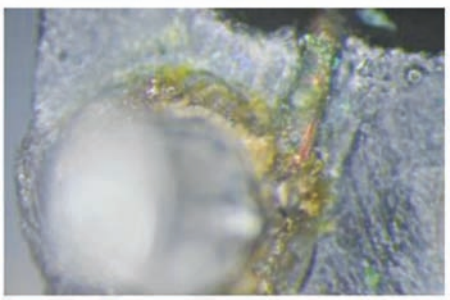


图 4　A 型正向未失效品继电器引脚连线腐蚀外貌

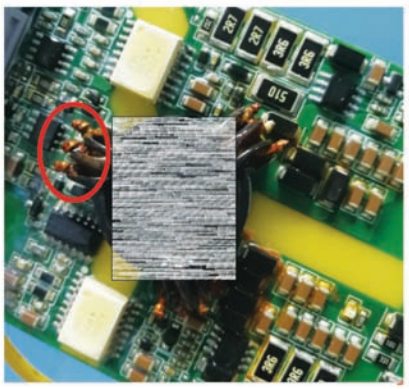


图 5　B 型继电器引脚腐蚀外貌



图 6　C 型继电器引脚连线未被腐蚀

2.2　试验分析

①试验结果验证了 A 型 PCB 失效分析的结论：CL 元素引入后，在温度、湿度环境下，继电器引脚连线被腐蚀断裂，从而导致整板无电压输出。根据失效数据并结合 Peck 模型，可以估算 A 型 PCB 现场使用寿命年限为 6.78。

② A 型 PCB 因为现场倒置安装，致使继电器空腔内可以积聚较多水分，在水分、氧气浓度、CL 元素以及温度等因素达到一个平衡的条件下，快速促进了引脚连线电化学腐蚀的速度。

③ B 型改进版 PCB，引脚进行了更好的涂覆，且增加了引脚的直径，所以可以延缓引脚被腐蚀断裂的速度，但是试验结果表明，该引脚依然存在 CL 元素腐蚀的迹象。

④ C 型改进版 PCB，引脚连线被胶封在继电器内部，从而可以有效隔离 CL 元素和金属引线接触，避免引脚连线被腐蚀。

3　结语

本文根据某型 PCB 的失效分析报告，设计了加速试验方案，验证了失效分析结论的正确性；根据 PCB 的安装方式，验证了 CL 元素的传播路径和腐蚀的根本原因；此外，通过本试验，对 2 种改进版本 PCB 抵抗 CL 元素腐蚀的有效性进行确认，并为最终择优物料替代提供依据。

参考文献：

［1］陈鹏 . 盐雾试验技术综述［J］. 电子产品可靠性与环境试验，2014, 32(6)：62–68.

［2］黄炜，白璐 . HAST 试验对塑封器件分层的影响分析［J］. 环境技术，2014(5)：56–58.

［3］Galloway J E, Miles B M. Moisture absorption and desorption predictions for plastic ball grid array packages[J]. IEEE Components, Packaging and Manufacturing Technology, 1997, 20(3)：274-279.

［4］李亦非，邹战明，祁邦彦，等 . 基于寿命应力模型的电能表加速寿命试验研究［J］. 现代电子技术， 2011，34(20)：167–170.

作者简介：杜绍华（1989–），男，硕士，可靠性工程师，主要从事可靠性设计、可靠性与环境试验方面的研究工作。