

电子元器件高温老化筛选条件优化研究

孙永朋

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

【摘要】：高温老化筛选属于去除电子元器件早期失效产品的关键工艺，也是保证整机设备可靠性的重要手段。传统的老化筛选条件大多使用固定温度、时间的参数，筛选没有针对性，能耗高，过度老化和筛选不足并存。本文以电子元器件失效机理和加速老化理论为基础，用批量试验分析温度、时长、工作状态对老化筛选效果的影响，得到差异化的高温老化筛选参数体系。试验结果表明，改进后的筛选条件可以有效地排除掉那些潜在的失效元件，缩减筛选时间，削减产品老化损耗和能耗开支，能给电子元器件可靠性筛选工艺升级给予技术参照。

【关键词】：电子元器件；高温老化；筛选条件；失效机理；工艺优化

DOI:10.12417/3041-0630.26.11.017

引言

目前大部分生产企业使用固定的高温老化参数，没有根据不同的元器件失效特性来设置不同的工艺条件，造成无源元器件过度老化、有源元器件筛选不彻底。传统的工艺筛选周期长、能耗大，部分产品的老化之后性能参数就会下降，进而影响到产品的合格率。因此，本文根据加速老化理论，利用批量试验数据来改进高温老化筛选的主要参数，创建一个精确、有效、低损耗的筛选工艺体系，从而提高元器件批量筛选的实用性以及经济性。

1 高温老化筛选原理与传统工艺缺陷

1.1 高温老化筛选核心原理

电子元器件高温老化的主要理论是阿伦尼乌斯加速老化模型，温度升高可以加快元器件内部材料的化学反应速率，使封装层老化、介质漏电、接触电阻劣化等隐性缺陷更加明显地暴露出来。在合理的温度范围内，温度应力不会改变元器件正常失效的机理，只会使缺陷暴露的时间变短，从而达到早期剔除失效产品的目的。常规工况下元器件的缺陷暴露周期可以达到几千个小时，在高温加速老化之后，可以将筛选周期缩短到几十到几百个小时，符合工业化大批量生产的需要。

1.2 传统筛选工艺存在的问题

目前行业通用的传统高温老化工艺大多都设置为温度125℃、时间120h的固定参数，不分有源、无源元器件进行筛选，存在明显的工艺缺陷。一是筛选的准确性不高，阻容类无源元器件结构简单、热稳定性好，固定高温长时间老化容易造成材料性能衰减，造成良品损耗；晶体管、集成电路等有源元器件内部结构精密，固定参数很难充分激发潜在缺陷，筛选合格率虚高，后期使用失效率偏高。二是资源消耗过多，固定长时老化工艺耗能高，批量生产时生产成本上升。

2 高温老化筛选试验设计

为了准确地分析各个参数对于老化筛选效果的影响，选取了工业上常用的三种典型电子元器件进行对照试验，分别是贴片电阻、贴片电容、NPN晶体管，包含无源和有源的主流品类。试验使用可编程高温老化试验箱，严格按照行业可靠性测试标准进行试验，控制试验环境的湿度、气压等干扰因素，用元器件老化前后电参数的变化率、失效数量、性能稳定性作为评价指标。

2.1 试验样品及基础参数

本次试验所用的样品为批量全新的良品元器件，每类样品分成四个组，每组五个，样品参数一致，无外观损伤，初始电参数合格。试验前对所有的样品进行电参数的准确测量，得到初始阻值、初始容值、初始放大倍数等主要数据，保证试验初始状态一致。

2.2 试验变量的设置

根据行业常用工艺范围，选取老化温度、老化时长、工作状态三个变量做对照试验。温度变量设置85℃、105℃、125℃、145℃四个梯度，时长变量设置48h、72h、96h、120h四个梯度，工作状态分为静态无负载老化和动态额定负载老化。试验结束后静置24h，样品恢复到常温后再进行电参数的检测，统计出失效样品的数量和参数的偏离情况。判定标准为电参数偏离行业允许误差范围、器件短路断路、性能无法恢复，即为失效样品。

3 试验结果及参数优化分析

3.1 试验数据的统计分析

通过多组对照试验，统计出在不同的工况下三类元器件的筛选失效数量以及良品参数的稳定性，主要的试验数据见下表。

表 1 试验数据统计

元器件类型	老化温度℃	老化时长h	工作状态	失效数量件	参数稳定率%
贴片电阻	85	48	静态	1	98.0
贴片电阻	105	72	静态	2	97.5
贴片电阻	125	120	静态	3	94.0
贴片电容	85	72	静态	2	97.0
贴片电容	105	96	静态	3	95.5
贴片电容	125	120	静态	5	91.0
NPN 晶体管	105	72	动态	4	92.0
NPN 晶体管	125	96	动态	6	90.0
NPN 晶体管	145	120	动态	7	86.0

3.2 关键参数优化分析

温度参数上，低温区间老化应力不够，不能很好地暴露元器件的隐性缺陷，85℃时有源元器件的失效检出率较低，筛选不彻底。温度超过 125℃之后，无源元器件就会出现不可逆的参数衰减现象，良品损耗会明显增大，属于过度老化。根据试验数据可知，无源元器件的最佳老化温度区间是 85℃到 105℃，有源元器件结构复杂、缺陷隐蔽，最佳老化温度为 125℃，可以在不产生新的失效机理的情况下充分激发出潜在的缺陷。

4 工艺优化验证与效果分析

4.1 验证试验方案

为了检验优化后的工艺是否可行，用三类元器件各 200 件做对照组和优化组对比试验。对照组用传统工艺 125℃、120h 静态老化，优化组用本文的差异化优化参数。试验结束后统计出失效检出的数量以及良品参数的稳定率，再计算单位产品的能耗和筛选周期。

4.2 试验结果对比

验证试验从良品稳定率、失效检出率、筛选周期、能耗水平四个方面对比传统工艺和优化工艺的应用效果，具体的对比数据见下表。

表 2 试验结果对比

工艺组别	元器件类型	良品稳定率(%)	失效检出率(%)	单批次筛选周期(h)	相对能耗占比(%)
传统工艺组	无源元器件	92.3	2.8	120	100
	有源元器件	88.7	3.5	120	100
优化工艺组	无源元器件	97.1	2.6	60	73
	有源元器件	93.2	6.0	84	73

由表可知，传统统一化工艺存在明显的不足，无源元器件由于长时间高温的作用而产生性能衰减，良品稳定率低，有源元器件的缺陷筛选不到位，失效检出率低。经过改进的差异化工艺可以有效地解决以上问题，无源元器件过度老化问题得到改善，良品稳定率明显提高。有源元器件采用动态负载高温老化模式可以明显提高隐性缺陷的剔除效果。改进之后单批次筛选时间平均缩短 30%，综合能耗下降 27%，在保证产品筛选品质的同时大大加快了生产速度并降低了生产成本，工艺改良效果非常明显。

4.3 工程应用价值

经过优化后的差异化的高温老化筛选工艺，适应各种类型的电子元器件失效特性，克服了传统工艺一刀切的缺点。在大批量生产环境里能有效地降低整机设备早期故障率、降低售后服务成本、缩短生产周期、降低能源消耗、提高企业的生产效益。该工艺不需要对现有的老化设备进行改造，只对参数进行调整，落地难度小，适合于民用电子、工业控制、通信设备等各个领域的元器件筛选生产。

5 结论

综上所述，本文利用对照试验研究温度、时长、工作状态对电子元器件高温老化筛选效果的影响，找到了传统固定参数工艺的主要缺点，并创建起分类差异化的高温老化筛选参数体系。无源元器件用中温短时静态老化，有源元器件用高温中时长动态老化，在保证筛选精度的同时，可以降低良品损耗、缩短生产周期、减少能耗成本。经过验证，优化工艺的失效检出率高、产品稳定性好，有较好的工程应用价值。

参考文献：

[1] 孙强,黄贤武,金冉,等.连续热电偶测温系统在高温老化系统中的应用[J].宇航计测技术,2024,44(5):92-96.

[2] 张琦,白升旺.高温老化工艺在电子元器件老化测试工作中的应用[J].电子制作,2024,32(4):109-111.