

# Research on Detection Technologies in Failure Risk Identification of Electronic Components

Xingru Li Kexin Guo

Shaanxi Hengtai Electronic Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710021, China

## Abstract

Risk identification of electronic component failure is the key to ensuring the reliability of electronic systems. This article constructs a multidimensional detection technology system based on the principles of material properties and energy interaction, involving five major technical directions: appearance inspection, electrical performance testing, non-destructive testing, environmental stress screening, and material analysis. By integrating interdisciplinary theories, analyze the operational mechanism of detection technology in identifying explicit defects and implicit risks, and reveal the transmission path from microstructural changes to macroscopic performance anomalies. The research results obtained provide theoretical support for the full life cycle management of electronic components, promoting the transformation of detection technology from passive diagnosis to active prevention, and have significant reference significance for improving the quality control level of the industry.

## Keywords

electronic components; Failure risk identification; detection technology

## 电子元器件失效风险识别中的检测技术研究

李星儒 郭可欣

陕西恒太电子科技有限公司, 中国·陕西 西安 710021

## 摘要

电子元器件失效风险识别乃是保障电子系统可靠性的关键所在。本文依据物质特性与能量交互原理, 构建起多维度检测技术体系, 涉及外观检查、电性能测试、无损检测、环境应力筛选以及材料分析这五大技术方向。借助跨学科理论的融合, 解析检测技术在显性缺陷与隐性风险识别中的运作机制, 揭示微观结构变化向宏观性能异常的传导路径。所获研究成果为电子元器件全生命周期管理赋予了理论支持, 促使检测技术从被动诊断朝主动预防转变, 对提高产业质量控制水准有重大参考意义。

## 关键词

电子元器件; 失效风险识别; 检测技术

## 1 引言

随着电子设备朝着微型化以及高集成化方向发展, 由元器件失效带来的系统风险正变得越发突出。电子元器件属于系统的基础单元, 其可靠性对终端产品的性能稳定性以及使用安全性起着直接的决定作用。失效模式包括材料劣化、工艺缺陷以及环境应力等, 呈现出多样化的特性。传统的检测方法在面对纳米级缺陷和复杂的失效机理时, 局限性渐渐显露出来, 迫切需要构建科学合理的检测技术体系, 实现从单一参数测量到多维度综合评估的这一转变。本文基于失效风险识别方面的技术需求, 运用原理阐释以及实践应用这两

个视角, 对现代检测技术的应用路径展开系统的分析, 以便为提升电子元器件的可靠性给出系统性的解决方案。

## 2 检测技术的基本原理

电子元器件失效检测技术原理构建于物质特性与能量交互这一科学根基之上。物理作用原理依据能量传递跟信号反馈机制, 借助施加特定形式能量来激发元器件产生能被观测到的信号<sup>[1]</sup>。光学检测运用电磁波与物质的相互作用来判别表面缺陷; 声学检测按照机械波传播特性去识别内部结构的不连续性; 热学检测依靠温度场分布异常来确定潜在故障点。这些物理过程遵循着能量守恒以及波动传播规律, 为缺陷定位给予了定量依据。化学分析原理着重于物质成分跟结构的变化, 当元器件出现失效情况时, 材料化学组成的改变会引起特征性的变化。金属镀层氧化致使的元素比例失衡, 以及电解质分解导致的成分比例失调, 都可以借助成分分析技术去追溯失效的初始原因。

**【作者简介】**李星儒(1999-), 男, 土家族, 中国陕西西安人, 本科, 助理工程师, 从事电子元器件检测、可靠性试验、破坏性物理分析研究。

成分分析技术借助原子能级跃迁所产生的特征光谱,进行对微区元素组成的精准测定工作,为失效机理研究提供物质基础方面的数据。在系统工程的视角之下,检测技术体现出多学科交叉的特性:材料科学为理解失效机理提供理论层面的基础;物理学运用能量作用模型来提供检测方法;电子工程实现检测信号的采集以及处理;信息科学依靠海量检测数据来进行分析与解读。

这种跨学科的原理整合运用,让检测技术可处理日益复杂的失效模式,实现从单一参数测量往多维度综合评估的转变。微观结构与宏观性能之间的关联机制成为检测技术的核心理论支撑,晶体缺陷、界面状态、应力分布等微观因素发生变化,借助材料学原理转变为宏观性能的异常表现,形成了可予检测的物理或者化学信号,也就是把微观因素的变化依靠材料学原理转变为宏观性能的异常表现,然后形成可检测的物理或化学信号。

### 3 检测技术的实践意义

检测技术的实践意义于多维度均有体现。于保障系统可靠性而言,运用科学检测在产品生命周期各个阶段给予实施,可有力识别潜在的失效风险,避免单个元器件故障引发的系统级失效问题出现。像在航空航天电子系统这类关键领域当中,检测技术的运用可大幅降低故障发生率,保证设备在极端环境之下可以稳定地运行。如此的预防性维护模式,改变了传统事后维修那种被动的境遇,构建起了主动防控的可靠性保障系统<sup>[2]</sup>。在产业经济方面,早期对不合格元器件识别,可避免失效风险向产业链下游传播,以此减少批量质量问题所导致的经济损失。检测技术的运用可对生产流程进行优化,提高产品的合格比例,降低返工所需要的成本。同时依靠检测数据来对失效模式开展分析,可为设计改进运用提供直接的依据,推动产品的迭代升级,提高市场竞争力。

在技术创新推动这一领域,元器件微型化的发展态势促使检测技术朝着更高分辨率以及更高灵敏度的方向去不断发展,而检测技术的进步又为新型元器件的研发有着可行性验证手段的提供。这种相互促进的机制,对于电子技术的创新进程起到了加速的作用。检测技术的标准化推进,对行业质量体系的完善进行了推动,为产业规范化发展有着技术支撑的给予。安全保障意义于特殊应用领域特别较大,医疗电子设备一旦失效,有可能会对患者生命安全造成危及;交通控制系统出现故障,可能导致重大事故的引发。检测技术借由严格的质量把控,为这些安全关键系统有着可靠保障的给予。在环境保护这个方面,依靠检测对潜在的有害物质释放风险进行识别,对于电子产品的绿色设计与制造有着推动作用,可让电子废弃物给环境带来的负面影响得到减少。从全生命周期管理这个角度出发,检测技术是贯穿于元器件的整个过程的,从设计验证开始,到生产制造,再到服役监控,最终形成闭环管理体系,为产品可靠性的提升提供全链条的技术支持。

## 4 具体技术

### 4.1 外观检查技术

外观检查作为失效检测的基础性手段,经由对元器件表面特征的系统性观察,达成显性缺陷的初步辨识。一方面,宏观外观检查着重于元器件的整体形状以及结构的完整性,运用目视或者低倍放大的方式,来识别封装出现破裂、引脚产生变形、表面存在烧灼痕迹等较为较大的物理损伤。这类缺陷往往和机械应力或热应力的作用有着直接关联,可迅速判定失效的大致类型。另一方面,微观表面分析借助高倍光学显微镜来达成精细观察,辨别微小裂纹、墙裂、氧化腐蚀等细节特性。就像在焊点检查中,依靠观察焊点的形态以及焊料的分布状况来判断焊接的质量,其适宜用于检测因振动、温度变化所引发的微裂纹或者脱焊现象。再一方面,特殊检测技术囊括了荧光渗透检测以及磁粉检测,前者凭借荧光物质渗透到表面微小裂纹之中,在紫外线下呈现出差陷;后者凭借磁场在铁磁性材料缺陷处形成漏磁场吸附磁粉构成裂纹图像<sup>[3]</sup>。这两种方法分别适用于非金属以及金属材料的表面及近表面缺陷的检测工作。

### 4.2 电性能测试技术

电性能测试会运用施加电激励以及测量响应参数等方式,来评估元器件的电气特性是不是契合设计规范。静态参数测试是于直流条件之中对电阻、电容、电感等基础参数给予测量,并且借助跟标准值的对比来识别参数漂移。好比电阻值出现异常有可能指示着内部导体产生劣化或者接触不良。动态特性测试所关注的是元器件在交流信号作用之下的响应情况,像晶体管的开关速度、集成电路的时序特性等。这类测试可以呈现器件在实际工作条件之下的性能改变,揭示内部载流子迁移或者界面状态的异常状况。极限参数测试是依靠施加超出正常工作范围的电压、电流或者功率,去验证元器件的过载能力以及安全裕度,识别潜在的设计缺陷或者工艺方面的瑕疵,给可靠性评估提供在极限条件之下的性能数据。电性能测试技术体系囊括着测试系统架构、标准规范以及数据解析这三大关键要素。测试系统一般包括信号发生模块、参数测量单元、数据采集卡以及控制软件,能以实现从微伏级别信号至千伏级高压的大范围激励与测量,适配于各类元器件的测试要求<sup>[4]</sup>。展开来说,高精度源表可以进行稳定直流激励的提供以及电流电压的同步测量;矢量网络分析仪可在射频频段范围内对器件的S参数给予表征;并且混合信号示波器可捕捉纳秒级的动态响应波形,构建起多维度测试数据矩阵。

### 4.3 无损检测技术

无损检测技术在保障元器件结构完整性不受损伤的情况下,可实现对其内部缺陷进行识别。超声波检测是借助机械波在不同介质当中的传播特性,凭借接收反射波来判断材料内部是否存在缺陷。它适用于对金属以及非金属材料内部的裂纹、分层等不连续情况进行检测,有较高的灵敏度以及

深度分辨能力。X射线检测依据射线穿透物体时的衰减不同来形成图像,可将元器件内部结构直观地呈现出来,可运用于检测复杂封装之中的焊球空洞、引线键合缺陷等微观结构方面的问题。红外热成像技术是凭借对物体表面温度分布的差异进行检测来识别内部缺陷,当材料有空洞或者脱粘现象时,热量传递的路径会发生改变,致使局部温度出现异常。该项技术有着非接触以及快速检测的特性,适合用于复合材料与电子组件的缺陷定位工作当中。无损检测技术体系存有多种方法协同发展的特征,不同技术借助着能量交互的原理形成互补机制。声波检测凭借纵波和横波的传播特性差异,可以实现对缺陷方位和尺寸进行立体定位;而光学检测则运用反射、折射以及散射现象,建立起表面和近表面缺陷的可视化识别方法。此多技术融合的模式,可契合从宏观结构至微观界面的全尺度缺陷检测需求,特别适宜用于复杂封装元器件的综合评定<sup>[9]</sup>。于应用实践之中,无损检测技术需要结合元器件类型以及检测目标来选用方法。针对于高密度集成电路封装,经常会采用超声扫描以及X射线断层成像相互结合的途径,不光能保障内部结构的完整性检测,同时还可以避免单一技术的盲区局限。

#### 4.4 环境应力筛选技术

环境应力筛选运用模拟元器件在生命周期内可能面临的极端环境状况的方式,来加快潜在缺陷的呈现。一方面,温度循环试验借助反复升降温使得元器件承受热应力,推动材料界面产生疲劳裂纹或者焊点掉落,识别出因热膨胀系数不契合而引发的潜在失效状况。另一方面,振动与冲击试验模拟运输或者使用过程里的机械应力,依靠正弦振动、随机振动或者冲击脉冲加载,将结构松动、引线断裂等机械缺陷暴露出来,对元器件的机械可靠性验证。再一方面,湿度与盐雾试验用于评估元器件的耐环境腐蚀能力,依靠分析高湿度环境下的电性能改变或者盐雾腐蚀后的表面状态,来判断封装密封性和材料抗腐蚀性能,适宜用于户外电子设备的可靠性验证。

#### 4.5 材料分析技术

材料分析技术于微观层面将元器件失效的物质基础给揭示出来。成分分析乃是运用光谱技术测定材料的元素组成和含量,像X射线光电子能谱能分析出表面元素价态,能

量色散X射线光谱可对微区成分给予定量,识别出因杂质超标或者元素迁移致使的材料性能劣化情况。结构分析借助电子显微镜去观察材料的微观形貌,透射电子显微镜可观察到纳米级晶体结构,扫描电子显微镜可以分析表面形貌以及断口特征,这样就把裂纹扩展路径以及失效机制给揭示出来了。热分析技术凭借测量材料在温度变化过程中的物理性质改变,比方说差示扫描量热法能分析出相变温度和热稳定性,热重分析可对材料的热分解行为进行评估,为判断材料的劣化程度提供热物理方面的依据。

## 5 结语

电子系统可靠性的保障离不开电子元器件失效风险识别检测技术的发展。一方面,本文所构建的多维度检测技术体系,运用外观检查、电性能测试、无损检测、环境应力筛选以及材料分析等方法,进行协同应用,从显性缺陷到隐性风险,实现了整个周期的识别,为失效机理研究提供系统方法。另一方面,跨学科理论的融合,让检测技术从测量单一参数不断向多维度综合评估转变,物理作用跟化学分析原理相结合,为复杂失效模式诊断提供科学依据。技术创新与产业需求之间良好的互动关系,也使得检测方法更新换代的速度加快。此研究成果,为电子元器件全生命周期管理提供理论方面的支持,而且为产业质量控制体系的优化以及标准化建设打下基础。未来有必要加强针对微型化元器件检测技术的研究,提高检测的灵敏度和效率,以此来应对电子产业不断发展所带来的技术挑战。

## 参考文献

- [1] 赵福阳.基于自动化技术的新型电子元器件检修方法研究[J].家电维修, 2025, (12): 183-189
- [2] 刘江,王宇峰.机载电子元器件国产化替代应用验证技术研究[J].计算机测量与控制, 2025, (12): 107-113
- [3] 陶园华,程立江,袁明涛,廖民书.电子元器件中零件毛刺控制技术的研究及发展[J].机电元件, 2025, (04): 26-28
- [4] 张小刚.数据分析在电子元器件表面组装工艺质量改进中的应用[J].电子技术, 2025, (08): 134-142
- [5] 窦超,蔡亚辉,杨忠良.基于质量管控电子元器件优选管理系统建设研究[J].航空标准化与质量, 2025, (04): 56-65