

# 军用电子产品生产过程中的可靠性风险及控制\*

柳超, 刘晓琴

(驻重庆气体压缩机厂军事代表室, 重庆 400060)

**摘要:**结合工作实践,对军用电子产品生产过程中元器件管理,单元板组装,调线和筛选,整机装配调线筛选,软件管理等,影响可靠性的风险因素进行了识别,提出了预防和减小可靠性风险的控制措施。

**关键词:**生产过程;可靠性;风险控制

**中图分类号:**TB114

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2009)03-0094-03

产品的可靠性是设计和生产出来的,产品的生产过程就是一个可靠性逐渐形成和增长(纠正残余的设计缺陷)的过程。产品经过设计定型、生产定型和必要的可靠性增长试验,绝大部分的设计缺陷都得到了充分暴露和解决,此时产品的固有可靠性就基本固定下来。转入批生产阶段后,交付产品可靠性的 高低主要由生产过程中的元器件质量、制造质量和可靠性控制、管理水平决定。有关故障统计资料表明,产品故障中有 10%~20% 是由生产的原因造成的。因此,在生产过程的,为进一步确保产品的可靠性,对生产过程中会导致可靠性降低的各风险事件进行分析,对风险进行控制,确保产品可靠性目标的实现就显得尤为必要。

## 1 军用电子产品生产流程

典型军用电子产品生产过程流程如图 1 所示。

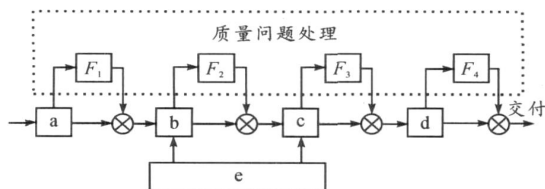


图 1 军用电子产品生产流程

其中:a表示元器件入厂复验、筛选;b表示单元板组装、调试、筛选;c表示整机装配、调试、筛选;d表示整机试验、检验验收;e表示软件加载; $F_i$ 表示质量问题处理( $i$ 在1~4之间取值)。

## 2 生产过程可靠性风险

批产品的可靠性是由产品的设计、元器件和制造工艺等因素决定的<sup>[1]</sup>。因此,可靠性风险是指军用电子产品在

生产过程中,由于承制单位对产品生产阶段的可靠性工作管理、控制不到位以及残余设计缺陷、元器件缺陷、工艺缺陷影响导致产品可靠性低而未被试验检验发现予以纠正,使得有可靠性缺陷的产品交付用户使用。

### 2.1 元器件管理

作为电子产品生产过程的“源头”,元器件入厂复验及筛选质量控制的好坏直接影响到产品的可靠性。该环节存在的风险有:元器件采购质量控制不严,元器件质量等级达不到要求;元器件未按规定程序进行入厂复验、筛选;元器件“筛选”不当,造成器件潜在损伤;元器件储存环境不满足要求,导致器件性能劣化或静电损伤;元器件不恰当的代用或超期使用。

### 2.2 单元板组装、调试和筛选

该环节主要面向元器件操作,可能会对元器件造成应力损伤或产生焊接缺陷,对元器件的使用可靠性影响较大。存在的风险有:单元板手工焊接元器件过程中,因对元器件操作、防护不当造成元器件过应力损伤;波峰焊、回流焊等焊接设备工艺参数控制不当,导致焊接质量差,如起尖、虚焊等;单元板调试、筛选流转过程中,未采取保护措施,造成元器件过应力损伤;工序检验把关不严。

### 2.3 整机装配调试、筛选

通过整机调试、筛选逐步暴露产品设计、单元板组装、整机装配过程缺陷,发现问题,及时采取有效纠正措施,实现可靠性设计目标。作为产品可靠性质量形成的重要环节,影响可靠性的风险有:装调人员技能不高,责任心不强;调试用仪器、设备未按要求进行周期检定或超出了检定周期,测试精度不满足要求;装调人员未严格执行调试工艺,随意更换元器件,未做到文实一致;整机筛选检测项目设置不合理或未按要求进行检测;工序检验把关不严。

### 2.4 软件管理

在电子产品生产过程中,嵌入式软件的加载或固化作为产品生产工序的一部分,所加载软件的有效性和可靠性

\* 收稿日期:2008-11-25

作者简介:柳超(1970—),男,重庆人,硕士,高级工程师,主要从事装备质量管理研究。

也会对产品的可靠性产生影响。影响产品可靠性的风险有: 软件技术状态更改未履行审批手续; 加载的软件与现行有效版本不一致; 查找软件故障原因不彻底, 未进行评审和完成软件回归测试, 更改效果验证不充分。

### 2.5 检验过程

检验指电子产品的质量一致性检验, 包括环境试验和可靠性验收试验。该环节影响可靠性的风险有: 检验队伍管理不善, 检验人员素质参差不齐; 检验用仪器、设备未按要求进行周期检定或超出了检定周期, 精度不满足要求; 未严格执行检验规程或试验大纲, 未能发现潜在隐患; 试验中对故障类别的判别、统计不严肃, 随意性大; 检验或试验过程中抽样方案参数设置不合理, 增大了使用方风险。

### 2.6 质量问题的处理

产品生产过程中, 由于设计缺陷、元材料元器件以及生产工艺缺陷会导致产品发生各种质量问题, 对质量问题的处理过程是一个决策的过程, 由于问题的复杂性以及测试手段、人的可靠性等因素影响, 会导致一定的决策风险, 影响决策的科学性和正确性, 使得质量问题得不到彻底纠正或使产品可靠性受到其它不利影响。存在的风险有: 对调试或筛选过程中出现的质量问题原因分析不透, 纠正措施落实不彻底, 未按照“归零”要求进行; 整机筛选过程中, 在一定环境应力条件下寻找间歇故障方法不科学, 造成产品受到过应力, 缩短使用寿命; 未对生产过程中失效的元器件进行失效分析, 使得失效原因不明, 失效模式不清楚, 把设计缺陷导致的产品故障当作偶然故障; 修复工艺不合理, 修复措施采取不当, 修复可靠性不高。

## 3 生产过程可靠性风险控制

电子产品生产过程中要有重点、有针对性地对上述影响可靠性的风险事件进行控制, 降低生产过程中的可靠性风险。

### 3.1 加强元器件质量控制, 提高元器件的使用可靠性

1) 严格按照采购文件要求采购元器件, 并按规定程序对元器件进行入厂复验和超期复验, 确保元器件质量。

2) 按要求对元器件进行补充筛选, 剔除元器件由于设计、工艺和制造缺陷导致的早期失效, 提高装机批元器件的可靠性水平。同时, 要防止“二次筛选”应力过高或选择不当以及操作失误、设备故障损伤元器件, 降低筛选后的元器件可靠性。

3) 元器件贮存环境满足要求, 防止元器件引脚氧化、塑封器件封装材料受潮以及静电敏感器件的静电损伤。

4) 加强元器件的失效分析。当元器件出现致命失效、参数严重退化时, 要进行失效分析, 查清导致元器件失效的真正原因, 明确是元器件本身质量问题, 还是生产环节操作不当引入的失效, 以便有针对性地采取纠正措施。

5) 慎重对待元器件代用、超期使用。严格履行元器件代用、超期使用审批手续, 防止代用、超期使用失控。对于超过有限贮存期或划线文件规定的贮存年限的元器件, 在装机使用前要进行超期复验, 以确认元器件的质量水平可

以满足使用要求。

### 3.2 严格执行工艺规程, 提高工艺系统可靠性

1) 严格按照单元板组装工艺操作, 严格执行手工焊接工艺、贴片和波峰焊机操作规程以及防静电措施, 防止组装过程中因操作不当和静电损伤(ESD)导致元器件可靠性降低。

2) 严格执行首件自检、专检制度, 并按 GB/908 的规定实施首件鉴定, 防止有缺陷的产品、半成品流转下道工序, 把可靠性风险都积累到整机检验阶段。

3) 定期对生产设备、工艺装备、监视和测量装置进行检查, 确保工艺参数满足规定要求。

4) 严格执行工艺规程, 做到文文一致, 文实相符; 产品筛选过程中该通电测试的要通电测试, 以提高对间歇故障的筛选效率。

5) 环境条件符合工艺技术文件要求, 防静电措施一定要落实到位。

6) 操作、维护、维修、检验人员经培训后持证上岗。

### 3.3 加强软件管理, 确保加载软件的可靠性

1) 按照有关标准制订完善软件管理制度, 加强对软件配置的管理和软件技术状态更改控制, 杜绝单方面使用或更改软件。

2) 对更改的软件, 要完成软件回归测试, 并将完成更改、通过回归测试的软件纳入软件产品库管理。

3) 严格检查加载的软件是否为现行有效的版本。

### 3.4 加强对试验、检验过程的控制, 降低使用方风险

试验、检验是对批产品质量做出评价的关键环节, 同时也是防止有缺陷的产品交付用户的“把关”环节。通常电子产品批生产的检验采用 GB/179A 中的抽样方案和 GB/899 中的可靠性验收试验方案, 由于抽样的随机性, 不可避免地会产生“第一类错误”和“第二类错误”, 对使用方而言, 就存在接受“第二类错误”产品的风险。因此, 必须对检验过程进行严格控制, 减小使用方风险或把使用方风险控制在合理范围内。

1) 试验、检验人员应经过资格培训, 持证上岗。

2) 试验、检验用仪器、设备按要求进行周期检定, 精度满足要求。

3) 试验、检验过程中严格执行检验规程或试验大纲, 检验试验项目不得增减, 试验应力不得变更或变相变更, 试验顺序不得颠倒。

4) 合理设置检验抽样方案参数<sup>[3]</sup>。根据产品质量稳定性状况, 合理设置 AQL 值和使用方风险, 使得既能控制使用方风险又能缩短试验时间、减少检验费用。严格执行 GB/179A 中的检查严格度的调整转移规则, 特别是由加严向正常抽样的转移更要严格控制。

5) 检验中对产品不合格的分类或故障类别的判别要准确合理, 不能为了检验或试验通过而混淆 A、B、C 类不合格分类, 把关联故障定为非关联故障或把关联故障中的责任故障判为非责任故障<sup>[4]</sup>。

### 3.5 正确处理质量问题, 降低决策风险

#### 3.5.1 处理质量问题的基本要求

产品生产过程中发生的任何质量问题的处理要做到

以下几点:

1) 符合 GB/5711—2006《装备质量问题处理通用要求》的有关要求<sup>[5]</sup>。

2) 产品在哪个环节出现的质量问题,其修复验证就需要采用故障发生时一致的试验或测试条件。

3) 建立并运行故障报告、分析和纠正系统(FRACAS)<sup>[6]</sup>,有效地收集、记录、分析、处理和反馈可靠性信息,确保质量问题“归零”。

### 3.5.2 产品装调过程中技术质量问题的处理

对于单元板或整机工艺缺陷,按照现行的有效工艺进行修复。若为元器件失效,用经过筛选的元器件进行更换,修复后的单元板或整机产品可以不要再做筛选试验。

### 3.5.3 筛选过程中技术质量问题的处理

1) 元器件筛选。由于缺陷率高的元器件批经筛选后的合格品可靠性仍然较差<sup>[7]</sup>,因此,在筛选过程中要运用 PDA 控制技术,根据筛选淘汰率对元器件批质量做出评价。当元器件筛选淘汰率超出相关标准要求时,该批器件不得装机使用;当筛选过程中出现致命失效、参数严重退化时,要进行元器件失效分析,以确定器件的批次质量。

2) 单元板筛选。通常,对单元板采用温度冲击或温度循环试验进行筛选,试验时不加电,筛选后采取静态测试或装入整机进行调试的方式对早期失效进行剔除。虽然,这种处理方式对于激发性故障,不能够立即发现并排除,但由于有后续的整机装调、筛选环节的控制,单元板筛选所析出的绝大部分缺陷是可以排除的。因此,对筛选后发现存在缺陷的单元板进行修复,调试合格,然后直接转入整机装调。若是元器件失效导致的缺陷,用经过筛选的合格器件进行更换,调试合格后转入整机装调。

3) 整机筛选。通常,整机产品采用温度循环、随机振动和电应力老炼进行筛选。对筛选过程中出现的质量问题,如元器件失效、工艺缺陷等,当故障能够做到复现、机理清楚、定位准确时,通过更换经过筛选的元器件或完善加工工艺进行修复,同时,修复中换上的元器件、组件也应保证受到规定的无故障筛选,以证明修理的有效性<sup>[8]</sup>。

当故障不能复现、无法准确定位,需要借助环境应力条件的激发来进行确认时,可按照 GB/1032 附录 A《环境应力筛选故障寻找方案要求》进行<sup>[9]</sup>。实施要点为:确保所施加的环境应力既能尽快查出故障所在而又不能影响产品寿命。即增加的温度循环时间最长不应不超过 120 h;对随机振动规定筛选及故障寻找施振总时间,在 0.01 g<sup>2</sup>/Hz 功率谱密度作用下,不得超过 20 min,其中故障寻找试验应在尽可能低的振动量级上进行以使等效时间减致最小。振动量级与时间的等效关系如下式所示:

$$T_D = 20 \left( \frac{0.04}{W} \right)^3$$

其中:  $T_D$  为等效时间, min;  $W$  为故障寻找振动功率谱密度。

### 3.5.4 检验过程中质量问题的处理

当检验中产品发生故障时,应立即中止检验,分析原因,做出结论。经分析或验证试验确认故障原因与产品本

身无关时,经处理可恢复检验。若确认属于产品本身故障,则应判断缺陷或故障类别与性质。当产品缺陷导致提交批检验或试验不合格时,承制方应按照“归零”要求对不合格批的质量问题查明原因,采取纠正措施,对产品进行修复,并验证措施的有效性。

修复好的产品要进行修复效果验证,如果修复验证操作不当,将带来一定的修复风险。一般情况下,电子产品的修复主要涉及到失效元器件的更换和工艺性修复,修复用的元器件是经过筛选检验合格的元器件,因此修复风险主要来源于修复过程中的工艺可靠性,所以,重点要加强对修复过程中焊接操作的工艺控制,防止出现虚焊。通常情况下,对焊接可靠性可利用放大镜进行目检,必要时采用随机振动的方式进行验证,对电性能则在出现问题的环境条件下进行验证。

当产品问题得以解决后允许进行第二次提交,第二次提交时应按规定采取加严、加倍抽样方案(可靠性验收试验例外)。当第二次提交检验失败时,同期或同批产品应判为不合格,不予出厂。承制单位进一步分析原因,制订纠正措施,对不合格产品的最终处理按有关标准、规定或合同条款执行。

## 4 结束语

可靠性指标是产品质量指标的一个重要特性。在电子产品生产过程中,由于客观存在着的残余设计缺陷、制造工艺缺陷和元材料、元器件缺陷,从而导致生产的产品可靠性降低,难以达到可靠性目标值。据统计,电子产品生产过程中出现的大部分质量问题都可归结于产品的可靠性问题,由此可见,可靠性风险是客观存在着的。而且,产品生产可靠性的高低直接影响到使用可靠性,影响到装备战备完好性和任务成功性,因此,加强对电子产品生产过程中的可靠性风险的研究,动态跟踪监测风险,对风险进行控制,预防及减少风险,对确保产品生产过程中的可靠性具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 张志华. 可靠性保证试验的风险分析[J]. 兵工学报, 2006, 27(6): 1060 - 1063.
- [2] GB/4072A—2006, 军用软件质量监督要求[S].
- [3] GB/179A—96, 计数抽样检验程序及表[S].
- [4] GB/899—90, 可靠性鉴定和验收试验[S].
- [5] GB/5711—2006, 装备质量问题处理通用要求[S].
- [6] GB/450A—2004, 装备可靠性工作通用要求[S].
- [7] 陆廷孝. 可靠性设计与分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [8] 何国伟. 可靠性试验技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [9] GB/1032—90, 电子产品环境应力筛选方法[S].