



产品设计可制造性技术丛书

电子元器件应用技术

DIANZI YUANQIJIAN YINGYONG JISHU

李松法 主编

航空工业出版社

产品设计可制造性技术丛书

电子元器件应用技术

李松法 主编

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书由工作在电子元器件第一线的各方面专家编写,内容涉及各类电子元器件,包括真空电子器件、微电子器件、光电子器件、微特电机和特种元器件等。书中概要介绍了各类电子元器件的基本特性、当前的产品情况以及所采用的国家标准,讨论了如何正确管理、选择、使用元器件以及在使用过程中可能出现的问题及解决方法。

本书对从事电子设备、系统研制、生产的单位和技术人员在了解电子元器件的基本情况,提高电子设备、系统设计的可制造性方面具有较高的使用价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件应用技术/李松法主编. —北京:航空工业出版社, 2009. 6

(产品设计可制造性技术丛书)

ISBN 978-7-80243-076-1

I. 电… II. 李… III. 电子元件—基本知识 IV. TN6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 196996 号

电子元器件应用技术 Dianzi Yuanqijian Yingyong Jishu

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2009 年 6 月第 1 版

2009 年 6 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 14.75

字数: 366 千字

印数: 1—4000

定价: 48.00 元

序

缩短生产周期、提高产品质量、降低制造成本是企业赢得竞争的主要途径。

产品设计可制造性是指所设计的产品的可加工性（我国工业部门一般称为工艺性），在产品设计或论证阶段，如果不认真考虑可制造性，则会在组织生产时出现制造周期延长、成本提高或材料供应困难等问题。

产品在进入生产制造环节前需要对可制造性进行衡量，产品设计是否考虑了制造加工的工艺可行性尤为重要，系统设计能力和水平是装备制造技术水平最直观、最集中的表现。在我国军工行业的发展过程中，通过引进技术、合作设计、合作生产、自主开发等多种途径，已能生产大批高水平、高质量的产品。

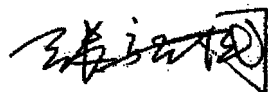
一直以来，尤其是“十一五”期间，我国军工系统各行业科研、生产任务繁重，新材料、新技术、新设备不断出现，新产品、新型号的设计、生产始终是一个制约军品发展的瓶颈问题，实践经验丰富、熟知生产工艺过程的工程技术人员严重匮乏，经验丰富的设计、工艺、生产人员相对较少，而且随着产品生命周期的不断缩短，越来越需要快速开发生产新的、工艺成熟的产品，以增加企业的竞争力，这就需要通过提高产品设计工程师及制造工程师的综合能力，使其工作更易于衔接，既可帮助产品设计人员提高对工艺知识的了解，又能帮助制造人员组织产品可制造性评审及生产组织工作。

军工制造业发展的一个方面就是需要加速行业人才的培养，而制造业需要的人才是多层次、全方位的，尤其是复合型人才。多层次、复合型人才体现在其知识架构的完善，了解基本的研发设计、生产工艺。加强制造业人才队伍建设，需要大批熟悉产品设计制造特点的、能快速熟练掌握先进技术、工艺和技能的高级技能人才。

虽然军工行业已拥有大量先进的加工技术及设备，但必须从总体上掌握产品设计可制造性技术的相关基本概念和内涵，能在产品设计时考虑可制造性及制造时的组织实施，考虑与其他生产技术专业的关系和可制造性所必需的基础知识，以及对各种零件的通用的可制造性考虑等基本知识和实用案例；考虑产品的一般可制造性问题、机械加工工艺方法、重型结构件以及金属零件的选材考虑、加工方法以及易出现的问题；考虑常用设备、元器件等的选择与管理、设计与制造方法、可靠性保障的概念与措施、系统的装配和封装、生产和使用期间的可靠性；考虑新材料的选择、制造技术、试验、检验和质量控制以及可制造性设计，为产品的成形、制造打好基础，保证产品的可制造性。

因此，这套丛书针对航空、航天、船舶、电子、兵器等国防行业产品的设计、制造特点，及现存的主要问题，有的放矢，具有较高的学术价值和学术水平，具有较强的实用价值及创新性，能够满足航空工业及国防工业的急需。可作为国防工业系统及其他工业系统的产品设计人员、工艺技术人员、产品生产与管理人员，以及相关专业师生等非常实用的参考书籍。

中国航空工业集团公司副总经理



2009年5月

前 言

产品设计可制造性是指所设计的产品的可加工性,用于解决在组织生产时可能出现的制造周期延长、成本提高或材料供应困难等问题。为全面提高产品设计工程师及制造工程师的综合能力,使其工作更易于衔接,帮助产品设计人员提高对工艺知识的了解,帮助制造人员组织产品可制造性评审等工作,特别组织出版了产品设计可制造性技术丛书(共5册),各册及其主要内容如下:

《产品设计可制造性与生产系统》

全面介绍了产品设计可制造性的基本概念和内涵,对军工产品设计时如何考虑可制造性,制造时如何组织实施,与其他生产技术的关系,可制造性工程师所必需的基础知识和最新实用技术,以及对各种零件的通用可制造性考虑等基本知识和实用案例等。

《金属零件可加工性技术》

介绍了金属零件可加工性技术的基本概念,并分类介绍了各种典型金属零件的制造方法和检验方面的数据。通过对各种加工方法的介绍和分析,揭示了金属零件生产性问题产生的普遍原因及解决措施。

《产品设计可装配性技术》

从产品设计总体出发,针对产品装配中的工艺规划、手工装配、自动装配以及装配中的连接方法等进行了详细的分析;对产品设计中应当考虑的与装配工艺过程密切相关的设计要素、设计原则进行了分析和总结。书中的内容既参考了当前装配工艺理论研究的最新成果,也对我国制造业中的实际经验进行了总结。

《复合材料件可制造性技术》

以复合材料结构件的制造性为中心,系统地介绍了复合材料的特点和应用,

材料及其工艺性, 成形工艺技术, 复合材料的试验和质量控制, 复合材料结构的可制造性设计等方面的知识。对设计选材、工艺选择、可修理性设计、提高结构工艺性的设计措施等方面提出了一些基本原则。

《电子元器件应用技术》

内容涉及各类电子元器件, 包括真空电子器件、微电子器件、光电子器件、微特电机和特种元器件等。书中概要介绍了各类电子元器件的基本特性、当前的产品情况以及所采用的国家标准, 讨论了如何正确管理、选择、使用元器件以及在使用过程中可能出现的问题。

本套丛书的作者及审稿专家均来自国防行业各领域, 具有一流的学术水平和丰富的实践经验, 保证了本套丛书在航空、航天、船舶、电子、兵器等国防行业的适用性。

书 名	作 者	审稿专家
《产品设计可制造性与生产系统》	杨建军	苗 冰
《金属零件可加工性技术》	王西彬, 龙振海, 刘志兵	刘善国
《产品设计可装配性技术》	张 旭, 王爱民, 刘检华	宁汝新
《复合材料件可制造性技术》	郭金树	冯子明
《电子元器件应用技术》	李松法	周寿桓

本套丛书的顺利出版与各册作者和审稿专家百忙之中的辛勤工作密不可分, 在此对他们以及为本套丛书的出版提供帮助的有关单位、专家表示诚挚的感谢! 殷切期望广大读者能将在使用这套丛书时发现的问题以及改进意见和建议及时反馈给我们, 以便修订, 更好地服务读者。

丛书编委会

2009 年 5 月

编审委员会

主 任 吕新奎

副主任 毕克允 周寿桓 朱利宏

委 员 (按姓氏笔划排序)

王 红 王绛梅 汤兴华 李 晨 李浪平 杨乃彬

杨克武 张树丹 武 祥 周春林 施进浩 夏陈新

唐正国 阎铁昌 韩建忠

编写委员会

主 编 李松法

副主编 朱 敏 王 斌 何松波

委 员 (按姓氏笔划排序)

于宗光 孙殿中 李炳忠 李栓庆 张 坤 莫火石

钱祖清 殷 毅 黄才勇

前 言

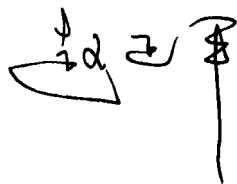
电子元器件是构成电子设备、系统的基本元素。为了保证电子设备、系统的设计能顺利地以可接受的经济成本和生产周期投入生产,质量和可靠性满足工程任务和市场需求,在设计和制造中,必须充分考虑电子元器件的正确选择和合理使用。这是考虑电子设备、系统设计的可制造性时首先需要解决的问题。不然,“基础不牢,地动山摇”,电子设备、系统设计的可制造性会遇到问题,在组织生产时会出现元器件供应困难、制造周期延长、生产成本难以控制等问题,甚至影响到设备、系统的技术性能和可靠性质量,贻误工程、系统的全局。

本书面向电子设备、系统的研制、生产部门的单位和相关专业技术人员,较系统地阐述了在研制和生产电子设备、系统时应考虑的有关电子元器件的各种因素和它们相互之间的关系,帮助整机系统单位的专业技术人员提高电子设备、产品设计的可制造性,在可靠性和寿命周期成本之间求得最佳的权衡,并能达到规定的性能和质量要求。本书适用于航天、航空、兵器、船舶、电子部门及其他各类军民两用电子产品的设计。

本书主要从实际应用的角度对各类电子元器件的特性和特点作了简明的介绍,其中包括真空电子器件、微电子器件、光电子器件、MEMS 器件、微特电机和特种元器件(化学物理电源、声表面波/声体波器件、磁性元器件、敏感元件和传感器、电缆光缆、微波元件、电连接器、继电器和开关等)以及电阻电容等,内容几乎涵盖了当前电子设备所使用的全部电子元器件。本书反映了当前各类元器件国内外先进产品的水平,概要讨论了如何正确管理、选择、使用元器件,以及在使用过程中可能出现的问题。

本书在中国电子科技集团公司科技委的指导下,由中国电子科技集团公司基础部组织集团内外有关研究所、工厂和公司的四十余位领导、专家、工程技术人员共同完成编写工作;并在本书编写过程中,得到航空工业出版社有关专家的指导和帮助。

谨借本书出版之际,祝愿国产电子元器件在各类整机、系统的建设发展中发挥越来越重要的作用,取得越来越好的应用效果;并向所有关心、支持我国电子元器件发展的领导、专家和管理人员致以衷心的感谢。



2009 年 3 月

目 录

第1章 引言	(1)
第2章 电子元器件的选择与管理	(3)
2.1 电子元器件管理	(4)
2.1.1 元器件选择	(4)
2.1.2 技术规范的规定	(5)
2.2 元器件选择指南	(6)
2.2.1 集成电路	(6)
2.2.1.1 数字集成电路	(7)
2.2.1.2 模拟集成电路	(16)
2.2.1.3 混合集成电路	(19)
2.2.2 微波毫米波器件和集成电路	(20)
2.2.2.1 真空微波功率器件	(20)
2.2.2.2 固态微波器件	(28)
2.2.2.3 微波单片集成电路	(34)
2.2.3 固态激光器	(37)
2.2.3.1 固体激光器	(38)
2.2.3.2 半导体激光器	(42)
2.2.4 光电探测器	(47)
2.2.4.1 可见光 CCD	(47)
2.2.4.2 红外焦平面探测器	(53)
2.2.5 MEMS	(58)
2.2.5.1 惯性 MEMS	(59)
2.2.5.2 射频 (RF) MEMS	(60)
2.2.5.3 光 MEMS	(61)
2.2.5.4 MEMS 传感器	(62)
2.2.6 化学、物理电源	(66)
2.2.6.1 化学电源	(66)
2.2.6.2 物理电源	(75)
2.2.7 电缆与光缆	(77)

2.2.7.1	电缆	(77)
2.2.7.2	光纤与光缆	(80)
2.2.8	微特电机	(82)
2.2.8.1	信号电机	(82)
2.2.8.2	执行电机	(87)
2.2.8.3	电源电机	(91)
2.2.9	敏感元件与传感器	(92)
2.2.9.1	热敏元件、温度传感器	(92)
2.2.9.2	力学量传感器	(93)
2.2.9.3	压敏元件(压敏电阻器)	(94)
2.2.9.4	湿敏元件及湿度传感器	(96)
2.2.9.5	振动惯性器件	(96)
2.2.10	声表面波/声体波器件	(98)
2.2.11	微波元件	(102)
2.2.11.1	环行器和隔离器	(102)
2.2.11.2	波导和波导元件	(104)
2.2.12	电阻器	(105)
2.2.12.1	固定电阻器	(105)
2.2.12.2	电阻网络和阻容网络	(108)
2.2.12.3	电位器	(109)
2.2.13	电容器	(113)
2.2.13.1	有机电容器	(113)
2.2.13.2	无机电容器	(115)
2.2.13.3	电解电容器	(117)
2.2.13.4	空气介质微调电容器	(122)
2.2.14	继电器	(123)
2.2.14.1	电磁继电器	(123)
2.2.14.2	固体继电器(SSR)	(125)
2.2.14.3	延时继电器(时间继电器)	(127)
2.2.14.4	恒温继电器(温度继电器)	(128)
2.2.15	电连接器	(129)
2.2.15.1	低频连接器	(129)
2.2.15.2	射频连接器、转接器及射频连接器电缆组件	(132)
2.2.15.3	插座和端接件	(133)
2.2.16	磁性元器件	(134)
2.2.16.1	软磁铁氧体	(134)
2.2.16.2	金属磁粉心	(134)
2.2.16.3	感性器件	(135)

2.2.17 开关	(137)
2.2.17.1 旋转开关	(138)
2.2.17.2 微动开关	(138)
2.2.17.3 钮子开关	(139)
2.2.17.4 编码开关	(139)
2.2.17.5 按钮开关	(140)
2.2.17.6 行程开关	(140)
2.2.17.7 薄膜键盘开关	(140)
2.3 元器件的筛选	(141)
2.3.1 筛选的概念与原理	(141)
2.3.2 器件失效模式分析与筛选方法的选择	(142)
2.3.3 筛选方法及其条件的确定	(148)
2.3.4 5004A 筛选试验方法	(150)
2.4 寿命周期成本 (LCC)	(153)
2.4.1 寿命周期成本的组成	(153)
2.4.1.1 寿命周期成本模型	(153)
2.4.1.2 寿命周期各阶段费用	(154)
2.4.2 寿命周期成本控制	(154)
2.4.2.1 寿命周期成本参数设计	(155)
2.4.2.2 设计阶段的成本控制	(155)
2.4.2.3 关键部件的成本控制	(157)
第3章 典型元器件的设计与制造方法	(158)
3.1 硅单片集成电路设计与制造的新技术、新工艺	(158)
3.1.1 设计技术	(158)
3.1.2 集成电路芯片工艺技术	(160)
3.2 硅单片集成电路芯片制造的关键技术	(162)
3.2.1 工艺流程	(162)
3.2.2 典型工艺介绍	(164)
3.2.2.1 光刻	(164)
3.2.2.2 扩散与离子注入	(165)
3.3 集成电路生产线的设备与材料	(166)
3.3.1 集成电路设备	(167)
3.3.2 集成电路工艺用材料	(167)
第4章 环境防护与可靠性保障措施	(169)
4.1 概述	(169)
4.2 环境因素分析	(169)

4.3 可靠性保障措施	(172)
4.3.1 热防护	(173)
4.3.2 机械防护	(175)
4.3.3 冲击和振动防护	(175)
4.3.4 潮湿、盐雾、沙尘的防护	(175)
4.3.5 辐射防护	(175)
4.4 电子设备封装的一般考虑	(176)
第5章 电子设备的装配和封装	(177)
5.1 电路基板的发展趋势	(177)
5.1.1 印刷电路板 (PCB)	(177)
5.1.2 陶瓷基板	(179)
5.2 电缆与光缆	(180)
5.2.1 电缆	(180)
5.2.2 光缆	(181)
5.3 锡焊	(182)
5.3.1 手工焊	(182)
5.3.2 波峰焊	(182)
5.3.3 串联焊	(183)
5.3.4 再流焊	(183)
5.3.5 焊剂和焊剂用法	(184)
5.4 不用焊剂的缠绕电路接点	(185)
5.5 表面安装技术 (SMT)	(185)
5.5.1 表面安装元器件 (SMC/SMD)	(187)
5.5.2 表面安装设备	(187)
5.5.2.1 焊膏和贴装胶涂敷设备	(187)
5.5.2.2 贴装设备	(188)
5.5.2.3 焊接设备	(189)
5.5.2.4 其他设备	(189)
5.6 针脚式布线	(189)
5.7 挠性蚀刻电路	(191)
5.8 插件设备	(191)
5.8.1 手工插件和半自动插件系统	(192)
5.8.2 全自动插件系统	(193)
第6章 生产和使用期间可靠性降低最小化的设计	(194)
6.1 造成可靠性降低的因素	(194)
6.2 易于检测和维修的设计	(197)

6.2.1 硬件分块的设计	(198)
6.2.2 故障的诊断和分离	(199)
第7章 用在生产线上的测试技术和检测设备	(203)
7.1 元器件测试	(203)
7.1.1 半导体器件生产过程中的在线检测	(203)
7.1.1.1 半导体集成电路测试技术	(203)
7.1.1.2 集成电路在线检测	(205)
7.1.2 集成电路高温贮存和可靠性老炼	(205)
7.1.2.1 可靠性筛选	(206)
7.1.2.2 高温贮存	(206)
7.1.2.3 老炼筛选	(206)
7.1.3 元器件产品出、入厂质量检测与试验	(207)
7.2 印刷电路板 (PCB) 检测	(207)
7.2.1 基本测试技术	(208)
7.2.1.1 自动光学检测 (AOI)	(208)
7.2.1.2 自动 X 射线检测 (AXI)	(209)
7.2.1.3 在线测试 (ICT)	(209)
7.2.1.4 功能测试 (FT)	(210)
7.2.2 组合测试技术	(210)
7.3 部分自动化和自动化测试	(211)
7.3.1 自动测试系统基本结构	(211)
7.3.2 集成电路自动测试设备	(212)
参考文献	(213)
后记	(216)

第1章 引言

电子元器件是构成电子设备、系统的基本元素。电子设备、系统的功能和性能是由大量的电子元器件的有机集成来实现的，电子设备、系统的可靠性和可维修性与电子元器件的性能和质量的好坏是密不可分的。同时，电子设备、系统还必须满足用户的另一个要求，要尽可能地降低从研制、生产、使用、维修直到寿命终了的寿命周期成本，必须在经济上是可承受的。

这里，先简要地介绍一下寿命周期成本（LCC）的概念。图1-1表示了可靠性和成本之间的关系。让我们来看一下图中的曲线。可靠性用平均故障间隔时间（MTBF）表示。随着系统可靠性的提高（所有其他因素均保持不变），由于故障率的降低，其运行维护成本将降低。但另一方面，为了获得较高的可靠性，采购成本（包括了研制和生产成本）也一定会提高。

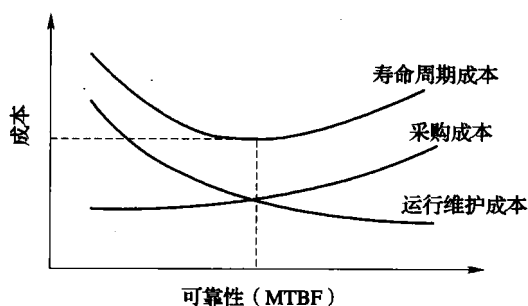


图1-1 可靠性与成本的关系

在曲线的某一点，用于提高可靠性所花费的费用恰好与由此而节省的运行维护费用相等。这一点代表了最低总成本及其相应的可靠性。可靠性和成本之间的权衡十分重要，维修性和成本之间的权衡同样也是十分重要的。

对设计师而言，在设计电子设备时如何满足功能、性能、可靠性、安全性和可维修性等设计参数的要求无疑是十分重要的，但是产品的可制造性或可生产性问题也是十分重要的，这个问题必须像对待设计参数那样给予同样的关注，投入同样的精力。一个电子设备（或系统），无论它多么先进，只有当它能够以一种经济的方式容易地制造或生产出来时，才有实用价值，才能满足降低寿命周期成本的要求。为此，设计师应该尽可能地采用成熟技术，而不要轻易采用那些虽然先进但尚未成熟的技术。

从事可制造性设计的工程师的职责是：必须力求找到产品的可靠性超过其最低要求的那一点，在这一点上寿命周期成本（LCC）达到最低，对不同可靠性级别的电子设备，都要这么做。可制造性需要做的工作应当在研制过程中完成，但是所做的可制造性工作是否成功只有通过元器件、模块、功能成效等一系列的质量保证试验以及随后的系统评估才能得到结论。这是一个逐步的评价过程。可能会发现某一点在性能上受到限制，这种情况下必然要反复，需要补充设计或者重新设计，然后重新对成本、维修和可靠性进行试验和评价。

电子设备可制造性工程师的工作目标是：和设计师一起在不影响产品性能、可靠性及维修性的前提下为设计产品的生产确定最实用、最经济的原材料和制造方法。在电子元器件方面，不应一味地追求采用最高等级性能和质量的电子元器件。可制造性工程师必须了解各种元器件的技术特点，知道如何正确选择元器件；必须了解元器件的制造工艺，知道哪些元器件制造工艺是先进的，能够使设计产品具有更好的成本—效率；也必须了解元器件的使用方法，知道如何正确使用元器件。《电子元器件应用技术》作为《产品设计可制造性技术》丛书的一个分册，目的就是为电子设备、系统的设计师和可制造性工程师提供这方面的知识，使他们能在满足整个系统和寿命周期要求的基础上，设计并制造出最佳的电子设备。

本分册主要讲述在电子设备、系统的设计中涉及到电子元器件时需要考虑的方方面面。第2章“电子元器件的选择与管理”对电子元器件的特性作了介绍，其中包括微电子器件、光电子器件、真空电子器件、微特电机和特种元器件（化学物理电源、声表面波器件、磁性元器件、敏感元件与传感器、线缆和电连接器、继电器和开关等），内容几乎涵盖了当前电子设备所使用的全部电子元器件种类。同时也讨论了如何正确管理、选择、使用元器件以及在使用过程中可能出现的问题。第3章“典型元器件的设计与制造方法”重点介绍了集成电路的设计和制造方法，因为集成电路是电子设备、系统中用量最大，规格品种最多的元器件，也是技术发展最快的元器件。编者试图以集成电路为例，为从事整机和系统研究、生产的专家、工程师提供一些元器件设计、制造方面的基本知识。第4章“环境防护与可靠性保障措施”讨论了电子设备、系统工作环境和可靠性防护问题，目的是为电子元器件的正常工作提供良好的环境保障。第5章“电子设备的装配和封装”，强调电子设备的装配和封装技术要适应电子元器件的要求。第6章讨论了如何使电子设备在生产和使用期间可靠性的降低达到最小化，给出了通用的设计准则。第7章对元器件，特别是半导体器件和集成电路的测试方法和仪器的规范使用进行了讨论。书中介绍了各类电子元器件设计、测试和试验所采用的国家标准编号，供电子设备、系统设计师查询时参考。电子设备、系统设计师对这些标准的了解将有助于更好地选择和使用电子元器件。

第2章 电子元器件的选择与管理

可以利用各种配套的电子元器件来构建现代军用电子设备与系统。电子元器件组成积木式的部件,进而组成电子设备和系统。因此,这些元器件对电子系统硬件的性能和可靠性有很大影响。由于最终产品的可靠性取决于这些积木式的部件,因此不能过分强调选择使用最有效的元器件的重要性。

为了确保复杂电子设备、系统设计方案的成功实现,一般来说,电子元器件的选择、确定和管理是一项非常重要的工程任务。电子元器件的选择和管理是综合性很强的工作,需要元器件工程师、故障分析员、可靠性工程师以及设计工程师的共同努力。在研制过程中必须编制、审核并执行大量的管理规定、工作指南和技术要求。为了保证这项工作任务得到充分的考虑,需要制定相关的基本规则和工作程序。表2-1是一份简化的清单,列出了一些基本规则和工作程序。下面各章节对表2-1所列的一般规则提供了详细的介绍、数据以及明确的指南,也包括了各类电子元器件选择的数据、指南、管理和筛选。

表2-1 电子元器件管理和选择的基本规则

- (1) 为实现所要求的功能和满足所期望的工作环境条件,确定需要的元器件种类。
- (2) 确定元器件的关键程度:
 - a. 元器件是否执行关键功能(即安全性或关键任务)?
 - b. 元器件是否具有有限的寿命?
 - c. 元器件的采购交货期是否长?
 - d. 元器件对可靠性的影响是否敏感?
 - e. 元器件的成本是否高?
 - f. 元器件参数的容差是否临界?
 - g. 供应商提供的元器件是否能修理,是否得到军队维修部门的支持?
- (3) 确定元器件的实用性:
 - a. 元器件是否在推荐元器件清单内?
 - b. 元器件是否属于标准的军用产品?
 - c. 元器件是否可以从合格供应商那里获得?
 - d. 元器件是否要求正规的鉴定试验?
 - e. 正常的交货周期多长?
 - f. 元器件是否在整个设备寿命周期内一直可以获得?
 - g. 元器件是否具有验收用的内部采购文件?
 - h. 是否有多种进货渠道?
- (4) 确定元器件在应用中所要求的可靠性水平。
- (5) 确定在按要求改进元器件故障率过程中所采用的老化或其他筛选方法的效率。
- (6) 如果不是标准件,编制一份准确完整的元器件采购规范,应包括特定的筛选规定以确保足够的可靠性。
- (7) 确定元器件在其电子设备、系统中应用的实际应力水平,包括进行故障率的计算。
- (8) 使用适当的降级使用因子,要与可靠性预测结果一致。
- (9) 确定对非标准元器件的需求,并且按规定经过批准