

GJB 299

# 《电子设备可靠性预计手册》

应用指南



机械电子工业部第五研究所数据中心

一九九一年七月

0213/20

GJB299

《电子设备可靠性预计手册》  
应用指南

杨家铨 徐赛英 编 著  
莫郁薇 潘 勇

机械电子工业部第五研究所数据中心

**GJB 299 《电子设备可靠性预计手册》**

**应 用 指 南**

---

**编辑出版：**机械电子工业部第五研究所数据中心

**印 刷：**广州华飞印刷厂

**出版日期：**1991年8月

**发 行：**中国军用电子产品可靠性信息交换网秘书处

---

广东省非营利性出版物准印证：91粤印准字第483号

---

工本费 **5.00**

# 前 言

中国军用电子产品可靠性信息交换网、机电部第五研究所数据中心，分别于1986年、1990年研究、编制了我国《电子设备可靠性预计手册》第一版本和它的修订版。第一版本已于1987年作为国家军用标准（标准号是GJB299—87）发布实施；修订版亦在1990年通过了审定，并经过试用验证。验证表明，预计效果良好。为了进一步宣传贯彻这一国家军用标准，特编写GJB299《电子设备可靠性预计手册》应用指南。

《应用指南》包括4个章节和5个附录，其主要内容有：

1. 可靠性预计的意义与《电子设备可靠性预计手册》的作用；
2. GJB299《电子设备可靠性预计手册》内容详解；
3. GJB299《手册》的应用方法与应用实例；
4. 可靠性预计与可靠性分配的计算机软件系统；
5. 应用参考数据——元器件种类与型号对照表等。

本《应用指南》通过详解GJB299《手册》中的失效率预计模型、总结应用经验与列举电子装备可靠性预计实例等，来辅导工程技术人员如何正确使用GJB299《电子设备可靠性预计手册》，以实现电子设备与系统的可靠性预计。同时，《应用指南》所阐明的“意义与作用”，对可靠性工程管理人员和技术人员将有所启迪，将有助于电子设备与系统可靠性工作的深入发展。

在《应用指南》的编写与审阅过程中，得到了董连阿、陈寿义和崔炳球等同志的热情帮助，在此深表谢意。

编者

1991年7月

# 目 录

第一章	我国《电子设备可靠性预计手册》的产生及其意义与作用	(1)
§ 1.1	可靠性预计的意义	(1)
§ 1.2	编制、贯彻我国《电子设备可靠性预计手册》的迫切性	(1)
§ 1.3	GJB299《电子设备可靠性预计手册》的诞生与再版	(2)
§ 1.4	GJB299《手册》的主要用途	(3)
第二章	GJB299《电子设备可靠性预计手册》的基本内容	(3)
§ 2.1	《手册》内容概述与常用术语、符号	(3)
§ 2.2	元器件应力分析可靠性预计法	(5)
2.2.1	元器件失效率模型	(5)
2.2.2	应用环境类别与环境系数	(7)
2.2.3	元器件质量等级与质量系数	(8)
2.2.4	半导体集成电路	(10)
2.2.5	混合集成电路	(15)
2.2.6	半导体分立器件	(16)
2.2.7	电子管	(23)
2.2.8	电阻器与电位器	(24)
2.2.9	电容器	(26)
2.2.10	感性元件	(28)
2.2.11	继电器	(30)
2.2.12	开关	(31)
2.2.13	连接器	(31)
§ 2.3	元器件计数可靠性预计法	(33)
第三章	GJB299《手册》的应用	(36)
§ 3.1	产品研制各阶段的可靠性预计方法及其作用	(36)
§ 3.2	元器件计数可靠性预计法的应用	(37)
3.2.1	应用元器件计数法所需的数据、信息	(37)
3.2.2	元器件计数可靠性预计法的一般程序	(38)
3.2.3	应用实例	(38)
§ 3.3	元器件应力分析可靠性预计法的应用	(42)
3.3.1	应用元器件应力分析法所需的数据、信息	(42)
3.3.2	集成电路可靠性预计参数	(43)
3.3.3	元器件应力分析可靠性预计的一般程序	(43)
3.3.4	应用实例	(44)

§ 3.4 应用注意事项.....	(52)
§ 3.5 可靠性预计与可靠性分配计算机软件.....	(53)
第四章 GJB299《手册》预计效果的实践验证.....	(65)
参考文献.....	(67)
附录A 国外同类手册研究概况.....	(68)
附录B 《电子设备可靠性预计手册》修订版预审结论.....	(70)
附录C 不维修系统可靠性模型的建立.....	(71)
附录D 元器件型号标志.....	(77)
附录E 元器件种类与型号对照表.....	(119)

# 第一章 我国《电子设备可靠性预计手册》的产生 及其意义与作用

## §1.1 可靠性预计的意义

所谓电子设备可靠性预计，一般是根据电子元器件可靠性经验数据的规律性，对电子设备、系统未来的可靠性水平进行估计。

其实，我们的日常生活都离不开预计。比如天气预报，我们需要知道明天将是什么天气。明天是晴还是阴，是风还是雨？下大雨呢还是小雨？等等。这比雨后再精确地测量降雨量多少更为重要。

对电子设备也一样，及时地预计其可靠性往往比事后精确地统计其可靠性的作用来得大。

比如我们要准确地了解一台电子设备的可靠性，了解它在某场合下经久耐用的程度，就得对其使用的全过程进行准确的记录，直至这台设备用坏为止。这种事后了解，虽然对总结经验教训，为下一代新品设计提供信息来说是必要的，但是，若要改进设计、预防故障以提高该设备可靠性的话，则为时太晚。

在确定性能、重量和费用等方面之后，若要使设备、系统具备最佳的实际可靠性，就得从研制伊始进行可靠性预计和可靠性设计。即应通过可靠性预计来确定设计的可靠性指标，并对产品所包含的分系统、组件乃至元器件进行可靠性指标分配，以及如何改进设计使之达到指标要求的可靠性水平。

由此可见，可靠性预计是电子设备可靠性从定性考虑转入定量分析的关键，是“设计未来”的先导，是决策设计、改进设计，确保产品满足可靠性指标要求的不可缺少的技术手段。

## §1.2 编制、贯彻我国《电子设备可靠性预计手册》的迫切性

早在五十年代末期，美国就开展了可靠性预计技术的研究，并于1962年出版了MIL-HDBK-217《电子设备可靠性应力与失效率数据》，此后经历了5次修订再版（见附录A：国外同类手册研究概况），从而促进了美军各种军事装备和宇航设备可靠性的提高。近十余年来，我国从电子设备可靠性差所造成的危害中逐步认识到提高电子产品可靠性的必要性与迫切性。使用部门强烈要求把可靠性指标列入产品技术规范进行考核，整机研制、生产部门也在努力寻求提高产品可靠性的途经。于是，开展整机可靠性预计与可靠性设计的任务迫在眉睫。然而，怎么得到整机可靠性预计所需的元器件失效率和失效率随应力变化的数据呢？多年来我们为此甚感困惑。不少整机承制单位需要可靠性达八级甚至八级以上的元器件及其失效率数据，而元器件生产厂即使有相当可靠性水平的产品也拿不出此类数据。“官司”年年有，年年得不到解决。因此，许多设备承制单位只好套用美、英或法国的手册来进行可靠

性预计，但由于国内外电子元器件质量水平及应力条件的差异，从而，即使得出预计结果也缺乏科学的依据。而且，由于预计所依照的版本五花八门，其结果往往则莫衷一是。这种情况表明，编制与贯彻我国自己的可靠性预计手册，成为关系国家科技进步的一件大事。

## §1.3 GJB299—87《电子设备可靠性预计手册》的诞生与再版

### 1.3.1 GJB299—87的诞生过程

编制一本电子设备通用的可靠性预计手册决非易事，这从美国为编制 MIL—HDBK—217所花费的时间、财力及动用众多单位中可见一斑。况且，我国电子元器件的质量波动幅度大，产品标准不配套且实施情况参差不齐，以及可靠性试验与数据积累工作的基础较薄弱，等等。这些因素给编制我国的可靠性预计手册增加了许多困难。面临种种困难，国防科工委和电子工业部对“手册”的研究给予极大的关注，不仅适时地下达了卓有远见的研究任务，而且在工作渠道方面给予具体的支持和指导。于是，自1983年起，中国电子产品可靠性数据交换网、电子工业部第五研究所数据中心便着手研究编制技术；开展各类元器件代表品种的不同应力等级与失效率间关系的矩阵试验；广泛组织现场可靠性数据和试验数据的收集与分析；并就编制方法、途径及其具体内容开展专题研究；组织多次技术审查与专家咨询；以及就所编“手册”的预计效果组织验证。经过三年多的努力，于1986年初编成了《电子设备可靠性预计手册》（以下简称《手册》）。

“手册”在试用、验证的基础上，通过了由国防科工委科技部主持的、有40多位可靠性专家、教授和工程技术人员参加的技术鉴定。鉴定结论提到：

“会议一致认为，《手册》的编制出版是我国电子设备可靠性工作由定性研究转入定量研究阶段的一个标志，是我国可靠性工程中的一项重要科技成果，它对促进我国电子产品可靠性水平的提高及可靠性工作的深入发展具有重要意义。”

“手册”于1986年7月出版6000册，出版后不到一年时间就为航天部、电子部、航空部、邮电部以及陆、海、空各兵种的420多个研究、生产、使用部门全部购去。使用结果，大部分单位反映是比较好的。而且，一些单位对手册的不足部分提供了修改意见。

此后，经国防科学技术工业委员会批准，于1987年作为国家军用标准发布实施。

### 1.3.2 GJB299—87的修订再版

GJB299—87《电子设备可靠性预计手册》发布三年以来已为电子设备的研制、生产和使用部门所普遍采用。然而，由于其编制依据是84年以前国内电子产品当时的可靠性水平，随着电子工业的发展与电子产品可靠性水平的提高，第一版本“手册”所提供的数据已逐渐过时。而且，可靠性预计手册必须及时地吸收电子技术发展的新成果，增加新型元器件种类等方面的内容。因此，“手册”必须适时地修订再版才能适应新时代电子设备和系统可靠性预计的需要。

为了尽量克服可靠性数据滞后所带来的不良后果，机电部五所数据中心把“手册”第一版本问世之日当作修订再版的开始之时。这样，到着手编制修订版时已积累各种类元器件可靠性数据达 $1.17 \times 10^{11}$ 元件小时。在这个基础上开展分析研究，经过了征求意见、修订后预计效果验证与改进编制的多次循环，于1990年11月份，“手册”修订版通过了由机电部军工司主持的技术审查。审查结论（详见附录B）认为：



“参加预审会的代表对《手册》修订版(送审稿)作了认真的审查与讨论,认为《手册》修订的原则、所用的技术途径和方法是正确的,送审稿提供的数据比原GJB299—87更为符合我国当前电子元器件的实际可靠性水平和各种因素对可靠性的影响,在《手册》的先进性、科学性和预计的准确性方面有了显著的提高。

代表们认为《电子设备可靠性预计手册》的成功修订是我国可靠性工程中的一件大事,标志着我国电子工业可靠性技术又向前迈进了一大步,使我国电子设备的可靠性预计技术步入了国标先进行列。代表们对此感到满意”。

可靠性预计是建立在统计学基础上的,只有大量的数据才能体现出统计的规律性;由此才能确定可靠性预计的基本数据和预计模型。本“手册”中的基本失效率、质量系数、环境系数及一系列 $\pi$ 系数是以国产元器件的现场、试验可靠性数据为基础、经综合分析、处理而确定的。在研究、编制GJB299—87及其修订版的过程中,共采用数据量达 $5.97 \times 10^{11}$ 元件小时以上。

在“手册”编制与修订过程中得到了许多专家的热情指导,并吸取了兄弟单位的经验。协作单位分布25个省、市和地区。单单空军工程部外场电子处就涉及到37个师、千余架飞机、两百多名技术人员。由此可见,GJB299的产生与改进是军内外众多单位大协作的成果。

## §1.4 GJB299《手册》的主要用途

GJB299《电子设备可靠性预计手册》提供了电子设备、系统开展可靠性预计所需的基本数据和预计模型,通过查阅“手册”中的有关数据,按预计模型进行计算,便能预估出电子设备、系统固有的可靠性水平。因此,GJB299“手册”是贯彻GJB450—88《装备研制与生产的可靠性通用大纲》,开展可靠性设计及设计评审的支撑标准与得力的工具。

概括地说,《手册》有如下用途:

(1) 在设备、系统的设计阶段,定量地预测其可靠性水平,以判断设计方案能否满足可靠性指标的要求;

(2) 对几种相似的设计方案进行比较,以便选择在可靠性、性能、重量、费用等方面综合结果最佳的设计方案,以及实施可靠性分配与元器件的合理选用;

(3) 通过应力分析法可靠性预计,可鉴别设计上潜在的可靠性问题,以便于及时地采取措施来改进设计;

(4) 为产品的可靠性增长计划提供信息;

(5) 对已投入现场使用的设备、系统进行可靠性预计,以利于制订合理的储备与更新计划;

(6) 通过可靠性预计与失效模式及其效应分析,鉴别可靠性薄弱环节,以便于制定设备、系统的预防性维护修理方案。

## 第二章 GJB299《电子设备可靠性预计手册》的基本内容

### §2.1 GJB299《手册》内容概述与常用术语、符号

本“手册”为电子设备和系统的可靠性预计提供了两种可靠性预计的方法及其所需的基

础数据。一是元器件应力分析可靠性预计法；二是元器件计数可靠性预计法。基础数据包括集成电路、声表面波、半导体分立器件、电子管、电阻器、电位器、电容器、感性元件、继电器、开关、连接器、旋转电机、印制电路板、焊接点、磁性器件、石英谐振器及其它元器件等十五类电子元器件的工作失效率预计模型、基本失效率模型及模型中各参数值，十五类应用环境的环境系数，各种类元器件质量等级的质量系数及与设计、工艺、结构等因素有关的其它系数，以及各种类元器件的通用失效率和工作失效形式分布等。

下文阐述其基本内容，同时常用如下的术语、符号：

(1) 基本失效率 $\lambda_b$

电子元器件基本失效率是电子元器件在电应力和温度应力作用下的失效率，是电子元器件未计其质量控制等级、环境应力、应用状态、功能额定值和种类、结构等影响因素，仅计温度和电应力比（工作电应力/额定电应力）影响时的失效率。

基本失效率通常用温度（T）和电应力比（S）对电子元器件失效率影响的关系模型来表示。

(2) 工作失效率 $\lambda_p$

元器件工作失效率是元器件在应用环境下的失效率。除个别元器件类别外，工作失效率都包含基本失效率和温度、电应力之外的元器件质量控制等级、环境应力、应用状态、功能额定值和种类、结构等失效率影响因素。即，通常由基本失效率乘以上述各因素的调整系数来表示。

(3) 环境类别与环境系数 $\pi_E$

环境类别是电子设备正常工作的环境类型。环境系数 $\pi_E$ 是指不同环境类别的环境应力（除温度应力之外）对元器件工作失效率影响的调整系数。

(4) 质量等级与质量系数 $\pi_q$

元器件质量等级是指元器件装机使用之前，在制造、试验及筛选过程中其质量的控制等级。质量系数是指不同质量等级对元器件工作失效率影响的调整系数。

(5) 通用工作环境温度

通用工作环境温度是指各类元器件在某一环境类别下工作时其周围环境温度的通用值。在元器件计数可靠性预计时采用此通用值。

(6) 通用失效率 $\lambda_G$

元器件通用失效率是指元器件在某一环境类别中，在通用工作环境温度和常用工作应力下的失效率。在元器件计数可靠性预计时使用此通用失效率。

(7) 缩写词

CCD——电荷耦合器件

CMOS——互补金属氧化物半导体器件

CMOS/SOS——在蓝宝石硅片上制作的CMOS器件

DIP——双列直插封装

ECL——发射极耦合逻辑电路

HTL——高抗干扰逻辑电路

HTTL——高速晶体管晶体管逻辑电路

LSTTL——低功耗肖特基晶体管晶体管逻辑电路  
 MOS——金属氧化物半导体器件  
 NMOS——N沟道金属氧化物半导体器件  
 PIN——移相开关  
 PMOS——P沟道金属氧化物半导体器件  
 PROM——可编程序只读存储器  
 RAM——随机存取存储器  
 ROM——只读存储器  
 SAW——声表面波器件  
 STTL——肖特基晶体管晶体管逻辑电路  
 TTL——晶体管晶体管逻辑电路

## §2.2 元器件应力分析可靠性预计法

元器件应力分析可靠性预计法是通过分析元器件所承受的应力、计算元器件在该应力条件下的工作失效率来预计设备的可靠性。

电子设备可靠性预计的基础是电子元器件可靠性的预计。对于一种串联结构的设备来说，设备上所有元器件失效率之和即为设备的总失效率。

不言而喻，元器件在不同应力条件下其失效率不同。在普通场合，这些应力主要的是电应力和环境应力。元器件应力分析可靠性预计法较全面地考虑了电、热和其它气候、机械环境应力等因素对元器件失效率的影响。它通过分析设备上各元器件工作时所承受的电、热应力及了解元器件的质量等级，承受电、热应力的额定值，工艺结构参数和应用环境类别等，利用手册所给出的数值、图表和失效率模型，来计算各元器件的工作失效率，并由此预计电子设备的可靠性水平。

应力分析预计法这部分提供了应用该方法所需的基础数据，并以“T—S”表与图的形式给出 $\lambda_b$ 与S、T之间的关系。同时还提供了各 $\pi$ 系数值和失效率计算示例及有关说明。

### 2.2.1 元器件失效率模型

元器件失效率模型是元器件失效率与影响失效率因素之间的关系模型。大多数元器件种类分别有基本失效率模型和工作失效率模型。基本失效率模型一般仅计温度和电应力对元器件失效率的影响；而工作失效率模型则除反映热、电等基本因素外，还包含其它多种的失效率影响因素。一般（除集成电路外）表示为：反映电应力（S）、温度应力（T）影响的基本失效率（ $\lambda_b$ ）与其余影响失效率的质量因子、环境因子、设计、工艺、结构因子以及应用因子等一系列修正因子（ $\pi$ 系数）的乘积。即：

$$\lambda_P = \lambda_b \prod_{i=1}^n \pi_i$$

但是，集成电路的工作失效率模型却有所不同，它是由温度、电应力引起的失效率与环境（机械）应力引起的失效率之和来表示。因而，集成电路没有单独的基本失效率模型。

各种类元器件的失效率模型如表1所示。

表 1 电子元器件基本失效率与工作失效率模型

元器件种类	基本失效率模型	工作失效率模型	注
半导体集成电路	$\lambda_b = A_s \lambda_c + \lambda_{RT} N_{RT} + \sum \lambda_{DC} N_{DC} + \lambda_{SP}$	$\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_I$	$C_1, C_2$ : 电路复杂度失效率 $C_3$ : 封装复杂度失效率
声表面波	$\lambda_b = 1.3(10^{-9}/h)$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q$	$\pi_T$ : 电路功能系数 $A_S$ : 衬底面积
半导体二、三极管	$\lambda_b = A_e \frac{N_T}{T+273+\Delta T \cdot S} e^{-\left(\frac{T+273+\Delta T \cdot S}{T_M}\right)^P}$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \pi_S \pi_R \pi_C$	$\lambda_C$ : 网络复杂度失效率 $\lambda_{RT} N_{RT}$ : 膜电阻失效率 $\sum \lambda_{DC} N_{DC}$ : 外接元器件失效率
光电子器件	$\lambda_b = 0.0023 (10^{-9}/h)$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_C$	$\lambda_{SP}$ : 工艺封装失效率
电阻器	$\lambda_b = A_e \frac{B \left(\frac{T+273}{N_T}\right)^G \left[\frac{S}{N_S} \left(\frac{T+273}{273}\right)^J\right]^H}{e}$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R$	$A$ : 失效率水平调整参数 $T + 273 + \Delta T \cdot S$ : 半导体PN结温度
电位器	$\lambda_b = A_e \left[ \left(\frac{S}{N_S}\right)^H + 1 \right] e^{-B \left(\frac{T+273}{N_T}\right)^G}$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_K \pi_C \pi_T \pi_A \pi_P S$	$N_T$ : 温度常数, $B$ : 形状参数 $G, J, H$ : 加速常数
电容器	$\lambda_b = A_e \left(\frac{T_{HS}+273}{N_T}\right)^G$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_C \pi_K$	$N_S$ : 应力常数 $T_{HS}$ : 热点温度
感性元件	$\lambda_b = A_e \left(\frac{T+273}{N_T}\right)^G e^{-\left(\frac{S}{N_S}\right)^H}$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_C \pi_K$	$\pi_C$ : 触点型式系数 $\pi_P$ : 应用、结构系数
继电器	$\lambda_b = A_e \left(\frac{T+273}{N_T}\right)^G e^{-\left(\frac{S}{N_S}\right)^H}$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_C \pi_K \pi_C \pi_F$	$\pi_L$ : 触点负载系数
开关	$\lambda_b$ 按分类给出数值; $\lambda_{b2}$ 按有源触点数给出	$\lambda_p = (\lambda_{b1} + \lambda_{b2}) \pi_E \pi_Q \pi_L \pi_C \pi_Y C$	$N_T$ : 形状参数; $T_0$ : 温度常数; $P$ : 加速常数
连接器	$\lambda_b = A_e \left[ \frac{N_T}{T+273} + \left(\frac{T+273}{T_0}\right)^P \right]$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_P \pi_K$	
普通电子管	按管子类型给出数值	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_L$	
印制电路板	按单面、双面、多面板给出数值	$\lambda_p = \lambda_b N \pi_E \pi_Q$	$N$ : 金属化孔数
石英谐振器	$\lambda_b = 0.16(10^{-9}/h)$	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q$	
磁性器件	按高、低功率给出数值	$\lambda_p = \lambda_b \pi_E$	

### 2.2.2 应用环境类别与环境系数

众所周知，电子设备应用在多种多样的环境中，如处于装有空调装置的实验室内和暴露于风雨下的舰船甲板上等，它们所经受的冲击、振动等机械环境应力和气候环境应力是很不相同的。根据电子设备的应用场合，环境应力的类型，及其对电子产品可靠性的影响程度，手册中规定了十五类应用环境。各类环境的详细说明见表2。

表2 环境分类

环境类别	代号	说 明
地面良好	G <sub>B</sub>	能保持正常气候条件，机械应力接近于零的实验室环境，维护条件良好。如实验室内的测试与计量仪器、设备，计算机和大型地面站的通讯设备等。
导弹发射井	G <sub>MS</sub>	处于发射井中的导弹及其辅助设备。
一般地面固定	G <sub>F1</sub>	安装在不受热的建筑物内或通风较好的固定机架上，受振动、冲击影响不大的设备。如雷达、通信设备和电视机、收录机等家用电器。
恶劣地面固定	G <sub>F2</sub>	只有简陋气候防护设施的地面环境或地下坑道，其环境条件较恶劣，如高温、高湿、毒菌、盐雾和化学气体等。
平稳地面移动	G <sub>M1</sub>	在比较平稳的移动状态下工作，有所振动与冲击。如专用车辆及火车内使用的电子设备和战术导弹的地面辅助设备。
剧烈地面移动	G <sub>M2</sub>	安装在履带车辆上，在较剧烈的移动状态下工作，受振动、冲击影响较大，通风及温湿度控制条件受限制，使用中维修条件差。如装甲车内的电子设备。
背 负	M <sub>P</sub>	由人携带工作的便携式电子设备，维护条件差。如便携式实战通信设备、目标测距仪等。
潜 艇	N <sub>SB</sub>	安装在潜艇内的电子设备，包括导航与发射控制系统。
舰船良好舱内	N <sub>S1</sub>	行驶时较为平稳，且受盐雾、水汽影响较小的舰船舱内。如近海大型运输船和内河船只的空调舱。
舰船普通舱内	N <sub>S2</sub>	能防风雨的普通舰船舱内，常有较强烈的振动和冲击。如水面战船舱内或甲板以下的通讯、计算机及声纳设备。
舰船舱外	N <sub>U</sub>	舰船甲板上的典型环境，经常有强烈的冲击和振动，包括无防护、暴露于风雨下的水面舰船设备。
飞机座舱	A <sub>1</sub>	典型的飞行员座舱环境，无太高的温度、压力和过于强烈的冲击振动。
飞 机 无人舱	A <sub>U</sub>	安装在设备舱、炸弹舱、机尾、机翼等部位的设备，处在高温、高压、强烈的冲击与振动等恶劣条件之下。

(续下表)

(接上表)

环境类别	代号	说 明
宇宙飞行	$S_r$	在地球轨道上, 接近于良好地面环境, 但不能维修。不包括动力飞行和重返大气层。如卫星中的电子设备。
导弹发射	$M_L$	由于导弹发射、火箭推进动力飞行、进入轨道及重返大气层或降落伞着陆等引起的噪声、振动及其他恶劣的环境条件。

电子设备及元器件处于不同类别的环境中其可靠性则不相同。在恶劣的环境条件下电子元器件失效频繁, 导致设备屡屡发生故障。手册中以环境系数 $\pi_E$ 表示不同环境类别的环境应力(除温度应力外)对元器件失效率的影响程度。亦即, $\pi_E$ 值表示该环境相对于基准环境(一般为地面良好环境, 即, 保持正常气候条件几乎无机械应力的实验室环境)的严酷倍数。例如, 硅NPN晶体管在舰船舱外环境下的 $\pi_E$ 值为14, 即表示该类器件在此类别环境下的失效率为在地面良好环境(基准环境)下失效率的14倍。亦即舰船舱外环境比地面良好环境严酷14倍。

显然, 不同种类元器件的环境适应能力是不一样的, 因此, 手册分别列有环境系数表, 提供了各种类元器件的环境系数值。

### 2.2.3 元器件质量等级与质量系数

元器件质量直接影响其失效率, 不同质量等级对元器件失效率的影响程度以质量系数 $\pi_Q$ 来表示。所谓质量等级是指元器件装机使用之前, 在制造、检验及筛选过程中其质量的控制等级。质量系数则反映了不同质量等级的元器件其失效率的差异程度。

在元器件的标准中一般都规定了元器件在制造、检验及筛选过程中的质量控制水准, 因而, 按此不同控制水准组织生产和试验的产品, 体现了不同的质量层次。于是, 产品标准是划分其质量等级的主要依据。

根据我国电子元器件标准的制订、实施情况, 以及按不同标准或技术文件组织生产和试验的产品的实际可靠性水平, 手册中将各类元器件划分为A、B、C三个质量层次。每个层次包含若干个质量等级, 每个质量等级分别给出与其对应的质量系数值。

鉴于近几年来陆续发布电子元器件国家军用标准并开展军用电子元器件质量认证的情况, 将执行国军标, 且经军用电子元器件质量认证合格的产品, 作为最高质量层次的产品。并且按照军标中所规定的可靠性等级或质量等级, 分别划分其质量等级。同时, 在A层次中国军标品的质量等级之下, 列出按国家标准等质量认证用标准, 经中国电子元器件质量认证委员会认证合格的产品所对应的质量等级。此外, 按QZJ8406、QZJ840611A“七专”技术条件组织生产的产品亦列入A层次的补充栏内。

B层次分成 $B_1$ 、 $B_2$ 两个质量等级。 $B_2$ 对应于执行工业部标准或国家标准的产品;  $B_1$ 对应于按军用标准筛选要求等进行筛选, 或有附加质量要求的 $B_2$ 质量等级的产品。按“七九〇五”七专质量控制技术协议组织生产的产品, 亦纳入 $B_1$ 质量等级中。

C层次对应于某些没有执行确定标准的低档产品, 或对应于执行某些较旧部标的低类别产品, 以及用有机材料封装的产品。

手册中一般都取 $B_2$ 质量等级的 $\pi_Q$ 值为1, 从而, 其它质量等级的 $\pi_Q$ 值一般为该质量等

级产品失效率相对于B<sub>2</sub>质量等级产品失效率的比值。

当然，不同种类的元器件其质量等级的划分标准及其 $\pi_Q$ 值是不相同的。因而，在各种类元器件小节中分别列出其质量等级与质量系数表，列出各质量等级所对应的产品总规范（或分规范、详细规范）及其 $\pi_Q$ 值。不过，少数种类由于标准或数据基础的因素，在失效率模型中尚无质量系数，从而亦没有编制其相应的质量等级表。

例如，半导体分立器件的质量等级表与质量系数表如表3、表4所示。

表3 半导体分立器件质量等级

质量等级	质量要求说明	质量要求补充说明
A	A <sub>1</sub> 执行GJB33-85《半导体分立器件总规范》，且经军用电子元器件质量认证合格的GCT级产品	
	A <sub>2</sub> 执行GJB33-85，且经军用电子元器件质量认证合格的GT级产品	
	A <sub>3</sub> 执行GJB33-85，且经军用电子元器件质量认证合格的GP级产品	按QZJ840611A“七专”技术条件组织生产的产品
	A <sub>4</sub> 执行GB4936.1-85《半导体分立器件总规范》，且经中国电子元器件质量认证委员会认证合格的II类产品	按QZJ840611~840613“七专”技术条件组织生产的产品
B	B <sub>1</sub> 执行GB4936.1-85的II类产品， 执行GB9492-88、GB9493-88的半导体发光二极管， 按军用标准筛选要求进行筛选的B <sub>2</sub> 质量等级的产品	按“七九〇五”七专质量控制技术协议组织生产的产品
	B <sub>2</sub> 执行GB4936.1-85的I类产品 执行SJ2248-82《半导体发光器件二、三类总技术条件》的产品 执行SJ2213-82《半导体光敏管、光耦合器（可控整流器）二类总技术条件》的产品	执行SJ614-73《半导体三极管总技术条件》的产品 执行SJ1101-76《半导体闸流管（可控整流器）二类总技术条件》的产品
C	低档产品	

表4 分类I半导体分立器件的质量系数  $\pi_Q$

质量等级	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C
$\pi_Q$	0.08	0.2	0.4	1	6

下文就质量等级表中的有关问题加以说明。

#### (1) 关于军用电子元器件质量认证

质量认证是实施质量监督的一种有效的质量管理制度，是促进产品质量与可靠性稳定、提高的重要手段。

军用电子元器件质量认证是以国家军用标准为依据，对电子元器件制造厂生产线进行审查和评定，并对产品进行鉴定的全过程。也就是说，它对制造厂的生产技术和管理水平进行全面的审查认可，同时对产品的质量与可靠性按产品标准进行试验鉴定、维持，以此确保国军标产品的质量与可靠性水平。

#### (2) 关于有附加质量要求的产品

所谓附加质量要求是指用户与生产厂签订购销合同时，要求生产厂除按规范生产和检验外，还附加某些检验或筛选的项目。比如提供航天用的固体钽电解电容器，用户要求附加百分之百 $\times$ 射线检验就是一个例子。

#### (3) 所谓针对性筛选与精密筛选

针对性筛选是指针对产品的工艺缺陷、失效机理和用户提出的使用要求而进行的筛选，或由用户自己进行的筛选。

精密筛选或精密老练筛选是一种精密的产品寿命筛选试验。它是在一般可靠性筛选的基础上，通过较长时间的老练等试验，把性能虽然满足规范，但性能参数漂移与偏离均值较大的产品剔除掉，以挑选性能更稳定、参数一致性尤好的产品。

#### (4) 关于保留部分已宣布作废的标准

部分已宣布作废的旧标准之所以仍保留在质量等级表中，是因为一些“现役”装备和机型仍然配套这些按旧标准生产的元器件。

#### (5) 关于一些质量系数值空缺的问题

由于一些元器件最高层质量等级所对应的产品标准尚没有相应的产品，故暂缺该质量等级的 $\pi_q$ 值。

### 2.2.4 半导体集成电路

#### 2.2.4.1 分类

单片半导体集成电路分如下12个小类：

##### 1. 双极及MOS型数字电路

(1) TTL、HTTL、HTL、ECL

(2) STTL

(3) LSTTL、PMOS、NMOS

(4) CMOS、CMOS/SOS

##### 2. 双极与MOS型模拟电路

(1) CMOS

(2) 双极与其它MOS型

##### 3. 双极、MOS及电荷耦合存储器

(1) 双极型RAM

(2) MOS、CCD型RAM



- (3) 双极型ROM
- (4) 双极型PROM
- (5) MOS型ROM
- (6) MOS型PROM

上述各小类半导体集成电路还分密封封装和非密封封装。不同小类对应《手册》中不同的预计数据表格；密封与非密封的亦分列数据表。

#### 2.2.4.2 工作失效率预计模型

可编程只读存储器 (PROM) 的工作失效率 ( $\lambda_P$ ) 模型为:

$$\lambda_P = \pi_Q [ C_1 \pi_T \pi_V \pi_{PT} + (C_2 + C_3) \pi_E ] \pi_L \dots \dots \dots (1)$$

其余半导体集成电路的 $\lambda_P$ 模型为:

$$\lambda_P = \pi_Q [ C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E ] \pi_L \dots \dots \dots (2)$$

- 式中:  $\pi_Q$ ——质量系数  
 $\pi_E$ ——环境系数  
 $\pi_L$ ——成熟系数  
 $\pi_{PT}$ ——PROM可编程工艺系数  
 $\pi_T$ ——温度应力系数  
 $\pi_V$ ——电压应力系数  
 $C_1$ 、 $C_2$ ——电路复杂度失效率  
 $C_3$ ——封装复杂度失效率

由上式可见, 半导体集成电路的工作失效率是由温度、电应力引起的失效部分和由环境应力引起的失效部分所组成。下面分别解释影响其 $\lambda_P$ 的各个因素。

#### 2.2.4.3 温度应力系数 $\pi_T$

$$\pi_T = A e^{-\frac{B}{T_1 + 273}}$$

式中: A及B的值取决于电路的工艺, 如表5所示。

$T_1$ 为电路处于最恶劣状态时的PN结温度。它为管壳温度 $T_c$ 与电功率P所引起温升(等于P与热阻 $Q_{JC}$ 之积)的和。即:

$$T_1 = T_c + Q_{JC}P$$

可见, 对于一定工艺与封装型式的电路, 一旦具备 $T_1$ 值。便可以从GJB299《手册》中的相应表格查得 $\pi_T$ 值。GJB299《手册》(修订版)中的表5.1.1.1-5a\* 汇总了不同电路工艺、封装型式所适用的 $\pi_T$ 表号。

但是,  $T_1$ 或 $T_c$ 、 $Q_{JC}$ 和P往往没有实测值, 如果没有实测值, 可采用如下近似:

$T_c$  参照表5.1.1.1-5b

$Q_{JC}$ 参照表5.1.1.1-5c

P采用相应电路规范的最大功耗

如果 $T_1$ 仍不能确定, 另采用表5.1.1.1-5d的近似值。

\* 只有表1至表24是本《指南》中的表号, 除此以外的表号, 都是引自GJB299《电子设备可靠性预计手册》(修订版)的。