

中华人民共和国国家军用标准

FL

GJB 813—90

可靠性模型的建立和可靠性预计

Reliability Modeling and Prediction

1990—01—10 发布

1990—06—01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

目 次

1 主题内容与适用范围.....	(1)
1.1 主题内容.....	(1)
1.2 适用范围.....	(1)
2 引用标准.....	(1)
3 一般要求和程序.....	(1)
3.1 概述.....	(1)
3.2 基本规则和分析的假设.....	(1)
3.3 工作的协调.....	(2)
3.4 建立可靠性模型的要求.....	(2)
3.5 可靠性预计的要求.....	(2)
3.6 编制可靠性预计报告.....	(3)
4 详细要求.....	(3)
附录 A 建立可靠性模型的方法和步骤.....	(4)
附录 B 预计方法和步骤.....	(14)

可靠性模型的建立和可靠性预计

GJB 813—90

Reliability Modeling and Prediction

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准建立军用电子、电气、机电设备和系统(以下简称产品)的任务可靠性模型和基本可靠性模型,以及进行可靠性预计规定了统一的程序和方法。

1.2 适用范围

本标准规定的程序和要求适用于产品的研制和生产。订货单位可以根据对产品的要求选择建模方法,在不同的研制阶段选择适当的预计方法。预计作为一种分析手段提供产品可靠性的相对度量,为设计决策提供依据。若将产品可靠性预计值用于或转换为现场可靠性的度量时,必须非常慎重。

2 引用标准

GJB450 《装备研制与生产的可靠性通用大纲》

GJB451 《可靠性、维修性术语》

GJB 299 《电子设备可靠性预计手册》

3 一般要求和程序

3.1 概述

建模与预计是用于估计所设计产品是否符合规定可靠性要求的一种方法。建模的目的是为了对产品进行可靠性分析,特别是为了进行可靠性预计。任务可靠性预计是估计产品在执行任务过程中完成其规定功能的概率。基本可靠性预计是为了估计由于产品不可靠导致的对维修与后勤保障的要求。当同时进行这两种预计时,它们可为判明特别需要强调和关注的方面提供依据,并为用户权衡不同设计方案的费用效益提供依据。

建模和预计应该在研制阶段的早期进行,以便于设计评审,并为产品可靠性分配及拟定改正措施的优先顺序提供依据。当产品设计条件、环境要求、应力数据、失效率数据、工作模式发生重要变更时,应当及时修正可靠性模型和重做可靠性预计。

3.2 基本规则和分析的假设

应该拟定基本规则和分析的假设,它规定建模和预计的方法、产品完成任务的定义,以及可靠性分析的最低单元层次。

3.2.1 完成任务的定义

以每个特定性能的要求为判据,对产品完成任务给以总的规定。

3.2.2 规定分析层次

- a. 规定进行失效模式及影响分析的最低单元层次,以保证一致性和便于相互引用;
- b. 规定单元的预定维修层次。

3.3 工作的协调

可靠性工作机构和其它有关部门在建立和应用可靠性模型,进行可靠性预计方面应该协调一致,以便在产品可靠性大纲所列的各项可靠性保证活动中互相配合。

3.4 建立可靠性模型的要求

3.4.1 基本可靠性模型

基本可靠性模型包括一个可靠性框图和一个相应的可靠性数学模型。基本可靠性模型是一个串联模型,包括那些冗余或代替工作模式的单元都按串联处理,用以估计产品及其组成单元引起的维修及后勤保障要求。基本可靠性模型的详细程序应该达到产品规定的分析层次,以获得可以利用的信息,而且失效率数据对该层次产品设计来说能够作为考虑维修和后勤保障要求的依据。

3.4.2 任务可靠性模型

任务可靠性模型包括一个可靠性框图和一个相应的数学模型。任务可靠性模型应该能描述在完成任务过程中产品各单元的预定用途。预定用于冗余或代替工作模式的单元应该在模型中反映为并联结构,或适用于特定任务阶段及任务范围的类似结构。任务可靠性模型的结构比较复杂,用以估计产品在执行任务过程中完成规定功能的概率。任务可靠性模型中所用产品单元的名称和标志应该与基本可靠性模型中所用的一致。

只有在产品既没有冗余又没有代替工作模式情况下,基本可靠性模型才能用来估计产品的任务可靠性。然而,基本可靠性模型和任务可靠性模型应当用来权衡不同设计方案的效费比,并做为分摊效费比的依据。

3.4.3 建立可靠性模型的步骤

3.4.3.1 定义产品

3.4.3.2 确定产品可靠性框图

3.4.3.3 确定计算产品可靠性的概率表达式(数学模型)。

3.4.4 建立可靠性数学模型的方法

建立可靠性数学模型常用的方法有普通概率法、布尔真值表法、蒙特卡罗模拟法等。

3.5 可靠性预计的要求

3.5.1 分类

可靠性预计分类如下:

I类,可行性预计

II类,初步预计

III类,详细预计

3.5.1.1 可行性预计

可行性预计规定用于产品的方案论证阶段。在这个阶段,信息的详细程序一般只限于描述产品的总体情况。结构信息一般还限于从具有类似于所研制产品的功能和工作要求的现成产品类推出来的信息。

3.5.1.2 初步预计

初步预计规定用于产品工程研制阶段的早期。在这个阶段中,书面形式的设计结构信息是工程图和初步草图。可利用的信息详细程序可以达到产品的组成单元,但没有可利用的应力分析信息。

3.5.1.3 详细预计

详细预计规定用于产品工程研制阶段中期和后期。这个阶段的特点是产品的各个组成单元都具有工作环境信息和应力信息。

3.5.2 可靠性预计方法

可靠性预计方法有相似产品法、相似电路法、元件计数法和元件应力分析法等。前二种方法常用于 I 类预计,第三种方法用于 II 类预计,最后一种方法用于 III 类预计。

3.6 编制可靠性预计报告

应将产品可靠性模型及可靠性预计结果写成报告。报告应当说明信息的来源、分析的深度、所用的方法,和结果的综述。中间报告应该能用于设计评审,以便为可供选择的设计方案进行比较,并突出产品设计中的高失效率单元、潜在的任务可靠性单点失效,及建议的设计修改。最后报告应该反映最终的设计,并确定设计中不能消除的高失效率单元、过应力零部件及任务可靠性的单点失效。报告中应当包含某些单元或功能没有纳入可靠性模型的理由。对于探索性的或高度复杂的研制模型,必要时得附有简化的可靠性模型和预计结果在内。

应该按照有关国军标规定的格式编制预计报告。

4 详细要求

建立可靠性模型的详细要求及方法说明见附录 A,预计的详细要求及方法说明见附录 B。

附 录 A
建立可靠性模型的方法和步骤
(补充件)

A1 定义产品**A1.1 概述**

在拟定可靠性模型时应该按照对产品了解的程度尽可能全面表述产品性能要求。随着产品设计阶段向前推移,诸如环境条件、结构设计、应力水平等方面的信息越来越多,产品定义也应该不断修改和充实,从而保证可靠性模型的精确程序不断提高。

就建立基本可靠性模型来说,产品的定义是简单的,即构成产品的所有单元(包括冗余或代替工作的单元)建立串联模型。然而就建立任务可靠性模型来说,情况比较复杂,对于有冗余或代替工作模式的复杂多功能系统更是如此。

根据可靠性定义,产品完成任务的可靠性要求必须包括:

a. 规定产品性能

应该规定每种状态下的失效判据

b. 规定条件

规定在执行任务过程中产品各单元所遇到的环境和工作应力。还应规定各单元的占空因数或工作周期及后勤周期。占空因数是单元工作时间与总任务时间之比。工作周期应当描述预期的持续时间,以及从产品分配给操作者直至损坏或返回后勤的某一时间周期及在这个期间内的一系列事件。后勤周期应当描述维修、运输、贮存等事件的预期持续时间及顺序。

c. 规定任务时间

必须对产品工作的时间做出明确的定量规定,这是有重要意义的。对于在任务的不同阶段,以不同的工作模式进行工作,或者只有在必要条件下才使用某些分系统的复杂产品来说,要给每一下级单元规定工作时间要求。如果不能确切地规定工作时间,则需要规定在任务期限内成功地工作的概率。

d. 定义产品单元的可靠性变量

可靠性变量是用来描述任务可靠性框图中的每个单元完成其功能所需要的时间、周期或事件。

A1.2 步骤**A1.2.1 确定产品的任务或工作模式****a. 确定任务**

有的产品可以用于完成多项任务。例如:一架军用飞机可以用于侦察、轰炸、扫射或者截击任务。如果用不同飞机分别完成这些任务,就可以用每一任务或飞机的单独任务可靠性模型来分别处理。如果用同一架飞机完成所有这些任务,就可以按功能处理这些任务,或者拟定一个能够包括所有功能的产品可靠性模型。对每一项任务也可能有不同的可靠性要求和模型。

b. 确定工作模式

为清楚起见,对功能工作模式及代替工作模式做如下规定:

功能工作模式:一种功能工作模式执行一种特定的功能。例如,在雷达系统中,搜索和跟踪必定是两种功能工作模式。

代替工作模式:当产品有不只一种方法完成某一特定功能时,它就是具有代替工作模式。例如通常用甚高频发射机发射的信息,可以用超高频发射机发射,作为一种代替工作模式。

把确定任务功能和确定工作模式联系起来,例如产品任务是同时传输实时数据和贮存数据,它必须有二台发射机,并且不存在冗余或代替工作模式。而对于有二台发射机但不要求同时传输实时数据和贮存数据的系统来说,则存在冗余或代替工作模式。

在拟定数学模型之前,必须先规定要求。必须编写出一个文字说明,说明完成任务需要的条件。任务可靠性框图则是说明完成任务需要什么的一种图形。当要求不是单一的,可能需要拟定几个任务可靠性模型,以适应不同的要求。

A1.2.2 规定产品及其分系统的性能参数及容许界限。

应该编制一个清单或图表。参数清单应该是全面的,即对所考虑的整个产品做全面规定。应该规定这些参数的允许上、下限。表 A.1 中第 I、II、III 栏举例说明了性能参数清单及允许界限。

A1.2.3 确定产品的物理限和功能接口。

物理限应包括:

- a. 最大尺寸;
- b. 最大重量;
- c. 安全规定;
- d. 人的因素限制;
- e. 材料性能极限;
- f. 其它

功能接口是指被考虑的产品只要包括或依赖于另一产品,产品的相互关系在兼容性方面就必须协调一致。这些关系例如:人一机关系,与控制中心、功率源、数据要求的关系。

表 A1 性能参数及允许限举例

性能参数	测量单位	规定的要求 及允许限	以性能超限为标准的 失效分类
I	II	III	IV
1 功率输出 (P_o)	千瓦	$P_o = 500 \pm 20\%$	大偏差: $200 < P_o < 400$ 极大偏差: $P_o < 200$
2 信道容量 (n)	信道数目	$n = 48 + 0$	大偏差: $24 < n < 48$ 极大偏差: $n < 24$
3 电压增益 (A)	分贝	$A = 40 \pm 3$	大偏差: $30 < A < 37$ 极大偏差: $A < 30$
4 侦察范围 (H)	海里	$H = 300 + 0$ -50	大偏差: $150 < H < 250$ 极大偏差: $H < 150$
5 误差范围	米	$dm = 0 + 10$	大偏差: $10 < d_m < 20$ 极大偏差: $d_m > 20$

A1.2.4 确定构成任务失败的条件。

应该确定和列出构成任务失败的条件。例如,完成任务的一个条件是发射机输出功率至少为 200 千瓦,因此,导致发射机输出功率低于 200 千瓦的单一的或综合的硬件和软件失效必定构成任务失败。上表第 IV 栏举例说明了规定的失效判据。

在某些情况下,虽然出现失效,但是仍然可以在某种程度上完成任务。在这种情况下,确定仍然可以完成任务的项目是有意义的。

A1.2.5 确定产品的寿命剖面

产品的寿命剖面应全面描述从产品接收至它退出使用期的所有事件和环境。这个剖面描述每一事件预期的时间间隔、环境、工作模式(包括备用模式)。虽然任务可靠性模型应当考虑与寿命周期有关的整个后勤与工作周期,但最重要的是任务剖面和环境剖面。

A1.2.5.1 任务剖面说明与产品特定的使用过程有关的事件和条件。为了恰当地描述产品的多重或多阶段任务能力,需要有多重多阶段任务剖面。任务剖面需要说明产品的占空因数或工作时间长度。考虑到有占空因数的可靠度计算方法如下:

如果认为单元不工作时的失效率可忽略,则可用占空因数修正失效率。例如公式 $P_s = e^{-\lambda T^d}$ 能用于恒定失效率的单元,式中占空因数 d 是工作时间对总任务时间 T 的比。

如果单元不工作时的失效率与工作时不同,可使用下列公式:

$$P_s = P_{s1} \cdot P_{s2} \dots \dots \dots (A1)$$

式中: P_{s1} ——工作时的可靠度

P_{s2} ——不工作时的可靠度

对恒定失效率单元有

$$P_s = e^{-(\lambda_1 T_d + \lambda_2 T(1-d))} \dots \dots \dots (A2)$$

式中： λ_1 ——工作期间的失效率

λ_2 ——不工作期间的失效率

A1.2.5.2 环境剖面描述与操作、事件或功能有关的特定的固有和诱导环境（标称的和最坏的情况）。

产品可能不止用于一种环境，例如，某一特定产品可能用于地面站、船舶和飞机环境中。某一特定任务可能由几个工作阶段组成，在某一工作阶段内某一特定环境占优势，例如，卫星在发射、轨道飞行、返回大气层、回收及其相应的特定环境构成各工作阶段。

在任务可靠性模型中对环境条件的处理：

a. 当产品用于不同的环境条件其任务可靠性模型都相同，但在不同的环境条件下产品各个单元的失效率不同。

b. 当产品有几个工作阶段时，可拟定单独任务可靠性模型，包括对于不同环境条件的考虑，然后将结果综合到一个总的可靠性模型中。

A2 确定产品可靠性框图

可靠性框图应通过简明扼要的直观方法，表现出产品在每次使用能完成任务的条件下，所有单元之间的相互依赖关系。为了编制可靠性框图，需要深入地了解产品任务及使用过程中的要求。

A2.1 框图的标题和任务

每个可靠性框图应该有一个标题，该标题包括产品的标志、任务说明或使用过程要求的有关部分。完成任务的规定应确切地说明：在规定条件下，计算出来的可靠性特征量对框图所示的产品及其性能的意义和作用。

A2.2 限制条件

每个可靠性框图应该包括所有规定的限制条件。这些限制条件影响框图表达形式的选择、用于分析的可靠性参数或可靠性变量，以及拟定框图时所用的假设或简化形式。这些条件一旦被确定下来，就应该在整个分析过程中遵守。

A2.3 方框的顺序和标志

框图中的方框按一个逻辑顺序排列，这个顺序表示产品操作过程中事件发生的次序。每个方框都应该加以标志。对只包含少数几个方框的框图可以在每个方框内填写全标志。对含有许多方框的框图应该将统一的编码标志填入每个方框。统一标志系统应能保证将可靠性框图中的方框追溯到可靠性文件中规定的相应硬件（或功能）而不致发生混淆。编码应以单独一张清单加以规定。

A2.4 方框代表性和可靠性变量

可靠性框图的绘制应该使产品中每一个单元或功能都得到表现。每一个方框应该只代表一个功能单元。所有方框应该按需要以串联、并联、贮备或其它组合方式进行连接。

应给每个方框确定可靠性变量。

A2.5 未列入模型单元

产品中没有包括在可靠性模型里的硬件或功能单元必须以单独的一张清单加以规定，对

没有列入可靠性模型的每项工作单元应该说明理由。

A2.6 方框图中的假设

在绘制可靠性框图时,应采用:

- a. 技术的假设
- b. 一般的假设

技术假设对每一个产品或每一种工作模式来说,可能是不同的。技术假设应按规定的条件加以确定。一般假设适合于所有可靠性框图。若本条下列一般假设已经得到引证,就不需要再列出对可靠性框图规定的一般假设。

可靠性框图采用的一般假设如下:

- a. 在分析产品可靠性时必须考虑方框所代表的单元或功能的可靠性特征值;
- b. 所有连接方框的线没有可靠性值,不代表与产品有关的导线和连接器。导线和连接器单独放入一个方框或作为另一个单元或功能的一部分;
- c. 产品的所有输入在规范极限之内;
- d. 用框图中一个方框表示的单元或功能失效就会造成整个产品的失效,有代替工作模式的除外;
- e. 就失效概率来说,用一个方框表示的每一单元或功能的失效概率是相互独立的;
- f. 当软件可靠性没有纳入产品可靠性模型时,应假设整个软件是完全可靠的;
- g. 当人员可靠性没有纳入产品可靠性模型时,应假设人员完全可靠,而且人员与产品之间没有相互作用问题。

A3 拟定产品可靠性数学模型的方法

A3.1 普通概率法

普通概率法根据可靠性框图,用普通的概率关系式(包括全概率公式),来拟定可靠性数学模型。普通概率法可用于单功能或多功能系统。

A3.1.1 单功能系统

单功能系统基本可靠性框图只能是串联结构;单功能系统任务可靠性框图有串联、并联、或者更复杂的结构形式。串——并联典型结构和更为复杂结构的可靠性数学模型都可用下面的全概率公式导出(但前者通常可以直接给出成功概率式)。

$$P_s = R_x P_s(\text{若 } x \text{ 好}) + (1 - R_x) P_s(\text{若 } x \text{ 坏}) \dots\dots\dots (3)$$

式中: P_s 任务可靠性

$P_s(\text{若 } x \text{ 好})$ ——在 x 好的条件下的任务可靠性

$P_s(\text{若 } x \text{ 坏})$ ——在 x 坏的条件下的任务可靠性

R_x —— x 的可靠性

x 是此复杂结构中某一单元

A3.1.1.1 串联模型

m 台设备(其工作互相独立)串联系统的基本可靠性和任务可靠性数学模型同为

$$P_s = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_m \dots\dots\dots (A4)$$

A3.1.1.2 并联模型

m 台设备(其工作互相独立)并联系统的任务可靠性数学模型为

$$P_s = R_1 + (1 - R_1)R_2 + \cdots + (1 - R_1) \cdots (1 - R_{m-1})R_m \cdots \cdots \quad (\text{A5})$$

或者 $1 - P_s = (1 - R_1)(1 - R_2) \cdots (1 - R_m)$

A3.1.1.3 冗余(贮备)系统模型

一台设备处于工作状态,同时有 $n-1$ 台设备处于贮备状态,用转换开关检测工作设备的失效、并能在工作设备发生失效的瞬间,自动转向备用设备的系统为冗余(贮备)系统。

贮备设备失效率 λ 和工作设备失效率 λ 相同时为热贮备,贮备失效率等于零时为冷贮备。

在转换开关完全可靠的条件下:

热贮备系统可靠性数学模型与并联系统相同。

冷贮备系统可靠性数学模型:

若各单元失效率同为常数 λ

$$P_s(t) = e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} \cdots \cdots \cdots (\text{A6})$$

若各单元故障率 λ_i 互不相同

$$P_s(t) = \sum_{k=1}^n \left[\prod_{i \neq k} \frac{\lambda_i}{\lambda_i - \lambda_k} \right] e^{-\lambda_k t} \cdots \cdots \cdots (\text{A7})$$

A3.1.1.4 表决系统模型

三设备按多数表决冗余系统任务可靠性数学模型是

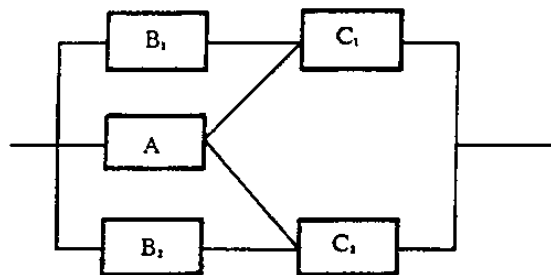
$$R_s = R_v(R_A R_B + R_A R_C + R_B R_C - 2R_A R_B R_C) \cdots \cdots \cdots (\text{A8})$$

式中 R_v 为表决比较器的可靠性。

一般 n 中取 k 表决系统,在各单元可靠性 R 相同、表决器完全可靠条件下,数学模型是

$$P_s = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i (1 - R)^{n-i} \cdots \cdots \cdots (\text{A9})$$

A3.1.1.5 复杂网络模型(串——并联模型)



系统完成任务必须是当设备 A 及设备 C_1 或 C_2 工作,或设备 B_1 及 C_1 工作,或设备 B_2 及 C_2 工作。相同字母表示同型设备,即

$B_1 = B_2, C_1 = C_2$ 。

用全概率公式:

$$P_s = P_A P(A \text{ 工作时系统完成任务}) + (1 - P_A) P(A \text{ 失效时系统完成任务})$$

$$P_S = P_A(2P_C - P_C^2) + (1 - P_A)[2P_BP_C - (P_BP_C)^2] \dots\dots\dots (A10)$$

设: $P_A = 0.3$ $P_B = 0.1$ $P_C = 0.2$

则可算出: $P_S = 0.13572$

任何复杂的任务可靠性框图都可采用与此相同的程序,反复应用全概率公式来化简和求解。

如果网络中含有重复单元,即同一设备在框图中不止出现一次时。应将公式展开,并用布尔公式化简例如 $P_A^2 = P_A$,这里假设 A 是重复单元。

A3.1.2 多功能系统

多功能系统中如果每个功能在时间上是独立的,即它们或是按时间顺序执行,或是从来不同时使用,那么就按上述单功能系统分别处理每一功能。就系统来说,可能要求的串联或并联方式结合起来,所得到的框图按单功能系统处理。

当一台设备有数个功能时,不按单独处理一个功能。举例说明如下:

设一系统具有两个功能。为完成任务,两个功能都需要。第一个功能需设备 A 或 B 工作,第二个功能需要 B 或 C 工作。

设: $P_A = 0.9$ $P_B = 0.8$ $P_C = 0.7$

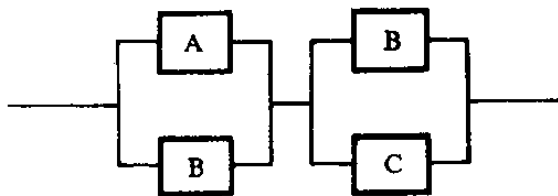
则完成功能可靠度是:

$$\text{功能 1} = 0.9 + 0.8 - 0.9 \times 0.8 = 0.98$$

$$\text{功能 2} = 0.8 + 0.7 - 0.8 \times 0.7 = 0.94$$

但任务可靠度 $\neq 0.98 \times 0.94 = 0.9212$

因为系统任务可靠性框图是



用全概率公式,注意到重复单元 B 有 $P_B^2 = P_B$,则得

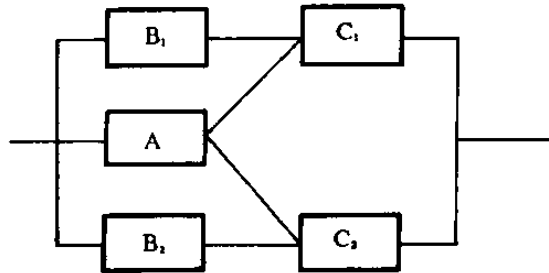
$$\begin{aligned} P_S &= P_B + (1 - P_B)P_AP_C \\ &= P_B + P_AP_C - P_AP_BP_C \end{aligned}$$

所以任务可靠度 $= P_B + P_AP_C - P_AP_BP_C = 0.926$

A3.2 布尔真值表法

用布尔代数法,只考虑系统及其设备的失效和成功两个状态。设系统共有 n 台设备,则共有 2^n 种设备状态组合,它们或者对应着系统成功状态,或者对应着系统失败状态,可用真值表形式列出。对应于系统完成任务的每个项,根据独立事件概率乘法定理,将项中与每台设备状况相应的概率相乘,即得出这个完成任务项的 P_{Si} 值。再考虑到 2^n 种设备状态组合是两两互斥的,根据互斥事件概率加法定理,将系统所有的完成任务项的 P_{Si} 相加,就得到整个系统可靠性(完成任务的概率) P_S 。

a. 对于单功能系统,现用下列说明布尔真值表法的程序。



设 $P_A = 0.3$

$P_{B1} = P_{B2} = 0.1$

$P_{C1} = P_{C2} = 0.2$

因此

$$1 - P_A = 0.7$$

$$1 - P_B = 0.9$$

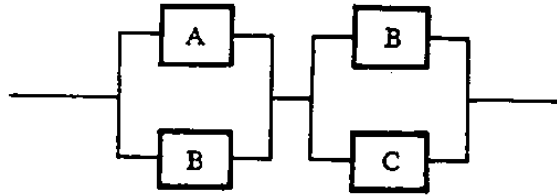
$$1 - P_C = 0.8$$

此系统的布尔真值表如下(S 代表系统状态)

序 号	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	A	S	P _{Si}
1	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	1	0	
3	0	0	0	1	0	0	
4	0	0	0	1	1	1	0.03888
5	0	0	1	0	0	0	
6	0	0	1	0	1	1	0.03888
7	0	0	1	1	0	0	
8	0	0	1	1	1	1	0.00972
9	0	1	0	0	0	0	
10	0	1	0	0	1	0	
11	0	1	0	1	0	1	0.01008
12	0	1	0	1	1	1	0.00432
13	0	1	1	0	0	0	
14	0	1	1	0	1	1	0.00432
15	0	1	1	1	0	1	0.00252
16	0	1	1	1	1	1	0.00108
17	1	0	0	0	0	0	
18	1	0	0	0	1	0	
19	1	0	0	1	0	0	
20	1	0	0	1	1	1	0.00432
21	1	0	1	0	0	1	0.01008
22	1	0	1	0	1	1	0.00432
23	1	0	1	1	0	1	0.00252
24	1	0	1	1	1	1	0.00108
25	1	1	0	0	0	0	
26	1	1	0	0	1	0	
27	1	1	0	1	0	1	0.00112
28	1	1	0	1	1	1	0.00048
29	1	1	1	0	0	1	0.00112
30	1	1	1	0	1	1	0.00048
31	1	1	1	1	0	1	0.00028
32	1	1	1	1	1	1	0.00012

所有完成任务项概率之和 $P_s = 0.13572$

b. 对于多功能系统,用下列说明布尔真值表法的程序。



设: $P_A = 0.9$

$P_B = 0.8$

$P_C = 0.7$

此系统的布尔真值表为

序 号	A	B	C	S	P_{Si}
1	0	0	0	0	
2	0	0	1	0	
3	0	1	0	1	0.024
4	0	1	1	1	0.056
5	1	0	0	0	
6	1	0	1	1	0.126
7	1	1	0	1	0.216
8	1	1	1	1	0.504

$$P_s = \sum P_{Si} = 0.926$$

附 录 B
预计方法和步骤
(补充件)

B1 概述

- a. 由于建立可靠性模型对可靠性预计是必须的,所以应采用附录 A 中的步骤和方法。
- b. 失效率信息来源应该在使用之前得到定货单位的认可。电子元器件失效率数据可参照 GJB299 或其他来源。
- c. 为确定每个零部件所经受的工作应力,应根据预计种类和已有的详细设计资料进行应力分析。进行这些分析时,应该采用定货单位可以接受的分析技术。为计算施加应力所产生的影响,应该用适当的因子修正失效率。
- d. 若无其它规定,应按最坏的工作情况和环境条件进行预计。
- e. 对于非指数分布的零部件,预计报告中应当列出其失效分布。所有失效分布的假设都应当有必要的依据。
- f. 预计方法可以选择。不同的预计方法可适用于系统的不同组成单元。
- g. 可靠性模型和预计工作的详细程度需要与失效率信息相适应。有时,不太详细的模型和预计工作比更详细的预计有意义,因为前者可以及时用于设计更改,有助于可靠性增长;而后者往往不够及时,会使设计更改成为不经济的或不可行的。
- h. 应当强调建模和预计工作的及时性。建模和预计工作的时间阶段划分具有极重要意义。尽早利用建模和预计结果可以使对费用和进度的影响最小。假如模型和预计工作不能在计划决策时或在此之前提供有用信息,则这些工作就会因不及时而没有起作用。

总之,可靠性模型和预计是组织良好的可靠性计划中有意义的和有成效的工作。建模和预计有助于证实设计的整体性,判明出现不希望的失效频度的环节及其数量,计算可靠性风险。建模和预计结果能够为设计更改提供依据,以便使更改或是有助于提高可靠性,或是降低费用而很少影响可靠性。建模和预计结果不仅可以用做设计指南,而且可用于以下方面即:维修分析、后勤保障分析、耐久性或易损性评估、安全性或风险分析,失效的检测和隔离设计。

B2 基本可靠性预计

B2.1 基本可靠性预计是用串联模型估计产品所有部件对维修和后勤保障的要求。它考虑产品所有单元(包括备件)在执行任务和准备执行任务过程中发生的所有要求维修或更换的失效,这些零部件故障提出了维修和后勤保障要求。

B2.2 基本可靠性预计与任务可靠性预计结合使用。任务可靠性预计表明产品成功地实现任务目标的设计能力,而基本可靠性预计表明,由于产品不可靠给预期的维修和后勤保障增加的负担。冗余设计可以提高任务可靠性,但会降低基本可靠性并增加维修和后勤保障的负担,也会提高产品的造价。对于具有等效的任务可靠性和技术开发风险的可供选择的产品设计方案而言,基本可靠性高的好,因为它提高了作战准备度而降低了维修和后勤保障费用。在某些情况下,如果一个设计的基本可靠性比另外的设计高得多,即使其任务可靠性稍低,也可能更为可取。

B2.3 应该尽快地进行基本可靠性预计,并在设计和信息发生变化时及时修改。由于缺乏详细的设计资料,早期预计难免粗糙,但是,在可靠性指标分配方面,或在确定满足可靠性指标要求的可行性方面,可对设计师和管理人员提供有用的反馈。

B2.4 随着产品从设计图纸进入硬件生产以至有实际试验信息可资利用、基本可靠性预计值也可发展为可靠性评估值,预计和评估值的准确性都决定于模型的假设和信息的质量。及时反映或证实没有达到规定的可靠性指标的确切分析可以为改正措施提供依据。改正措施确定的愈快,它的实现受计划限制的影响也就愈小,而对产品可靠性所产生的效果也就更大。

B2.5 为在早期阶段确定可靠性要求的可行性和在研制生产阶段确定可靠性的可接收性,订货单位应当规定可靠性预计和评估方法。这些步骤与可靠性指标论证、分配及产品方案分析等活动有密切联系。而且有时需要交错或反复进行。

B3 任务可靠性预计

B3.1 任务可靠性预计一般是利用复杂的串——并联模型估计产品成功地完成规定任务的概率。它考虑产品各单元件在执行任务过程中发生的足以影响任务成功的各种故障。

B3.2 任务可靠性预计与基本可靠性预计结合使用。两者的关系与 B2.2 节的规定相同。

B3.3 应该尽快地进行任务可靠性预计,并在设计和信息发生变化时及时修改。由于缺乏详细的设计资料,早期预计不免粗糙,但是,在可靠性指标分配方面,或在确定满足可靠性指标要求的可行性方面,可对设计师和管理人员提供有用的反馈。

B3.4 随着产品从设计图纸进入硬件生产以至有实际试验信息可资利用、任务可靠性预计值也可发展为可靠性评估值。预计和评估值两者的确切性都决定于模型的假设和信息的质量。及时反映或证实没有达到规定的可靠性指标的确切分析可以为改进措施提供依据。改进措施制定得越早,对实现改进措施计划的限制也就越小。而对产品可靠性所产生的效果也就更大。

B3.5 订货单位应当规定可靠性预计和评估的方法,以便在早期阶段确定可靠性要求的可行性和在研制生产阶段确定可靠性的可接收性。这些步骤与可靠性指标的论证,分配及产品设计方案的分析等活动有密切的联系,有时需要交错或反复进行。

B3.6 任务可靠性预计应该考虑产品规范中规定的每一种工作模式,并对它们加以区分。预计工作应该表明产品是否满足了订货单位规定的所有可靠性要求。

B4 可靠性预计方法

B4.1 相似产品法

B4.1.1 目的

这是利用有关相似产品所得到的特定经验的预计方法。估计可靠性的最快方法是将正在研制的产品与一个相似产品进行比较,后者的可靠性以前曾用某种手段确定过,并经过了现场评定。对正在按系列开发的产品,这种方法可以不断地应用。预期的新设计不只是与老设计相似,而且细微的差别也要能够易于确定和评定。

B4.1.2 程序

B4.1.2.1 相似产品进行比较时应该考虑的要点有:

- a. 产品的结构和性能比较;
- b. 设计的相似性;

- c. 制造的相似性;
- d. 产品寿命剖面的相似性(后勤、工作和环境的);
- e. 程序与计划的相似性;
- f. 已达到的可靠性的证实。

B4.1.2.2 相似产品法的确切性决定于产品间的等效程序,而不仅仅决定于用来描述产品的一般性术语。例如:虽然两个都是通用性电源,但是,一个10瓦电源所达到的可靠性一般不能用做研制一个1000瓦电源的预计,因为新研制电源的功率水平高很多。会由于设计的差别和应力的关系使可能达到的可靠性低得多。如果有尺度因子能把可靠性与产品参数(例如功率水平)实际地联系起来,则可以进行比较。

B4.2 相似电路法

B4.2.1 目的

这是利用从相似电路(如振荡器、鉴别放大器、调制器、脉冲传输网络等)所获得的特定经验的预计方法。这种方法用于被考虑的对象只有一个电路,或者是相似产品法不能使用的情况。估计可靠性的最快方法是将正在研制的电路与一个相似电路进行比较,后者的可靠性以前曾用某种手段确定过,并经过了现场评定。各个单个电路可靠性可以综合成为整个产品可靠性预计。对按系列开发的电路,这种方法可不断地应用。预期的新设计不仅要与老设计相似,而且还要易于确定和评定细致的差别。

B4.2.2 程序

B4.2.2.1 相似电路直接比较的要点有:

- a. 电路的结构和性能比较;
- b. 设计的相似性;
- c. 制造的相似性;
- d. 电路寿命剖面的相似性(后勤的、工作的和环境的);
- e. 程序与计划的相似性;
- f. 证实已达到的可靠性。

B4.2.2.2 单个电路的可靠性可以综合为产品可靠性预计。为了确定一个现实的产品可靠性预计,在将单个电路可靠性综合到一起时,应该考虑电路互连可靠性因素。

B4.2.2.3 相似电路法的确切性取决于电路之间的等效程度,而不仅仅是决定于用来描述电路的一般性术语。例如:虽然两者都是通用性音频放大器,但是,一个100毫瓦放大器电路可靠性一般不能用做研制10瓦放大器电路的预计,因为研制的放大器的功率水平高得多,会由于设计结构的差别和应力的关系致使所达到的可靠性低得多。如果有尺度因子能把可靠性与产品参数(例如功率水平)实际地联系起来,则可以进行比较。

B4.2.2.4 各个承制单位和订货单位推荐采用的并附有有关失效率的电路手册或文件,可用于相似电路法预计。

B4.3 元件计数法

B4.3.1 目的

元件计数法是在初步设计阶段使用的预计方法。在这个阶段中,每种通用元件(例如电阻器、电容器)的数量已经基本上确定,在以后的研制和生产阶段,整个设计的复杂度预期不会有明显的变化。元件计数法假设元件的寿命是指数分布的(即元件失效率恒定)。

B4.3.2 程序

B4.3.2.1 如果产品可靠性模型是串联的,或者为取得近似值可以假设它们是串联的,则可以把元件失效率相加直接求得产品失效率。如果产品可靠性模型中有非串联成分(例如:冗余、代替的工作模式),则产品可靠性可用下述方法求得,即:先计算模型的非串联成分的等效串联失效率,再与其它成分的元件失效率相加。

B4.3.2.2 元件计数法所需要的辅助信息有:

- a. 通用的元件种类(包括微电子器件的复杂度);
- b. 元件数量;
- c. 元件质量等级;
- d. 产品工作环境。

B4.3.2.3 元件计数法中产品失效率的一般表达式是:

$$\lambda_{\text{产品}} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_0 \pi_{Qi}), \quad (\text{B1})$$

对一定的环境来说,式中:

$\lambda_{\text{产品}}$ = 产品总失效率

λ_{0i} = 第 i 类元件的通用失效率

π_{Qi} = 第 i 类元件的质量系数

N_i = 第 i 类元件数量

n = 不同的元件种类数

公式(B1)适用于在一种环境中工作的整个产品。如果产品包括几个单元,而且它们在不同环境中工作(例如:用于飞机座舱(A_1)和飞机无人舱(A_0)环境中的由几个单元组成的航空电子设备),则应将公式(B1)用于每一种环境的产品组成单元。应将这些“环境产品失效率”相加,得出产品总失效率。

B4.3.2.4 当具有质量等级信息,或者这种信息可以合理地假设,就可以将质量因子用于每一种元件。微电子器件、分立半导体器件、有可靠性要求的电阻器和电容器是有多种质量等级的元件。对于其他元件(例如非电零件)来说,如果它们是按相应的零件规范生产的,则取 $\pi_0 = 1$ 。

B4.3.2.5 元件计数法所用失效率信息来源可以选用 GJB299 或其他有依据的数据,但应经过产品订货单位认可。

B4.4 元件应力分析法

B4.4.1 目的

元件应力分析法是用于详细设计阶段的一种预计方法。在这个阶段,所使用的元件规格、数量、工作应力和环境、质量系数等应该是已知的,或者根据硬件定义可以确定的,当使用相同元件时,对它们的失效率因子所做的假设应该是相同的和正确的。在实际或模拟使用条件下

进行可靠性测量之前,元件应力分析法是最精确的可靠性预计方法。元件应力分析法假设元件寿命服从指数分布(即具有恒定失效率)。

B4.4.2 程序

B4.4.2.1 如果产品可靠性模型的所有组成部分是串联的,或者为取得近似值可以假设它们是串联的,则可以把元件失效率相加直接得到产品失效率。如果产品可靠性模型中有非串联组成部分(例如:冗余、代替的工作模式),则产品可靠性可用下述方法求得,即:先计算模型的非串联部分的等效串联失效率,再与其它成分的元件失效率相加。

B4.4.2.2 元件应力分析法所需要的辅助信息有:

- a. 特定的元件种类(包括微电子器件的复杂度);
- b. 元件数量;
- c. 元件质量水平;
- d. 产品工作环境;

B4.4.2.3 当具有质量等级信息,或者这种信息可以合理地假设、就可以将质量因子用于每一种元件。微电子器件、分立半导体器件、有可靠性要求的电阻器和电容器是具有多种质量等级的元件。对于其他元件(例如非电零件)来说,如果它们是按相应的零件规范生产的,则取 $\pi_Q = 1$ 。

B4.4.2.4 元件应力分析法所用失效率信息来源可以选用 GJB299 或其他有依据的数据,但应经过产品订货单位的认可。

附加说明:

本标准由国防科工委军事技术装备可靠性标准化技术委员会提出。

本标准由中国电子技术标准化研究所负责起草。

主要起草人:苏德清、廖炯生、何国伟、朱明让。