

doi: 10.7690/bgzd.2014.06.003

基于相似产品信息的某系统任务可靠性预计方法

卓红艳

(中国工程物理研究院应用电子学研究所工程技术部, 四川 绵阳 621900)

摘要: 任务可靠性预计一般采用综合各组成组件的任务可靠性来预计, 但目前正在研的某系统各组件不可分, 故各组件的任务可靠度无法单独评价和预计, 为解决此问题, 提出一种新的基于相似产品信息的任务可靠性预计方法。通过对该系统正样机和初样机相似性比较, 将两个产品之间的继承因子量化, 在初样机任务可靠性评估的基础上实现对某系统正样机任务可靠性的预计。实际应用结果表明: 实际的任务可靠度与预计值基本一致, 证明该预计方法是可行的, 满足系统的可靠性指标要求。

关键词: 任务可靠性; 相似产品; 可靠性预计

中图分类号: TP206 **文献标志码:** A

Method of Mission Reliability Prediction Based on Similar Product Information

Zhuo Hongyan

(Department of Engineering Technology, Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: Mission reliability prediction is made generally by applying mission reliability of components of system. And if components of system could not be divided, the mission reliability of components could not be estimated. To solve the problems, a new method of mission reliability prediction with similarity of products is put forward. By comparing similarity of formal prototype and primary prototype of system, inherited factors of both products can be quantized. Then mission reliability of formal prototype can be estimated based on that of primary prototype. By applying the method into real system, it is shown that the method is feasible and satisfied with requirements of system reliability index.

Keywords: mission reliability; similar product; reliability prediction

0 引言

可靠性预计是为了估计产品在给定工作条件下的可靠性而进行的工作, 是可靠性分析的一种技术手段, 也是装备研制可靠性大纲中要求的“六性”工作项目之一^[1]。在装备(系统)研制的不同阶段, 根据系统的不同特点, 寻求一种适合系统特点的可靠性预计方法, 达到以下 2 个目的^[2]: 第一, 将可靠性预计的结果与任务结果比较, 审查任务书中的可靠性指标能否达到; 第二, 通过预计结果优选设计方案, 发现设计中的薄弱环节, 加以改进, 并为以后的可靠性指标分配和设计奠定基础, 提供依据。

根据研制合同中可靠性的定量要求, 可靠性预计分为基本可靠性预计和任务可靠性预计, 基本可靠性用 MTBF 表征, 任务可靠性用可靠度表征。任务可靠性直接决定系统完成作战任务的可靠性^[3]。资料调研表明: 对 MTBF 的预计方法比较成熟, 而对任务可靠度较为准确的预计方法较少。通常, 可靠性预计的一般程序是: 首先建立可靠性模型, 根据模型对部组件的可靠性来预估分系统的可靠性, 再由各分系统的可靠性推算出整个系统的可靠性。这是一个由局部到整体、由小到大、由下到上的综

合过程^[1]。但目前实际研制的许多系统从功能上为不可分的整体, 各组成的部组件不能独立工作, 部组件的可靠性量值无法单独获得或者评价; 因此, 由个体到整体的可靠性预计过程并不适用, 系统的可靠性只能整体地进行预计。基于此, 笔者提出一种新的基于相似产品信息的任务可靠性预计方法, 并在实际系统中进行了使用和验证。

1 基于相似产品信息的方法

1.1 可靠性预计方法的比较

根据不同的预计模型, 可靠性预计包括以下多种方法: 相似产品法、应力分析法、评分预计法、元件计数法、可靠性框图法。在可靠性预计的不同阶段, 选取的预计方法不相同, 见表 1^[2]。

目前国内对电子产品的可靠性预计已有成熟的预计标准和手册, 国产的电子元器件主要参照 GJB/Z 299A—91《电子设备可靠性预计手册》进行预计; 而对于进口电子元器件, 则可采用美国军标 MIL-HDBK-217E《电子设备可靠性预计》进行预计。我们在研制某型号的指挥控制系统的可靠性预计就使用了由部分到整体的预计方法, 即通过查手册或相似元器件的使用经验得到各组件中各元器件

收稿日期: 2014-02-05; 修回日期: 2014-03-21

作者简介: 卓红艳(1972—), 女, 云南人, 硕士, 研究员, 从事高速数据采集及处理技术、分布式实时测控技术研究。

的失效率，计算组件的失效率，从而得到分系统、系统的失效率和 MTBF。这种在方法上使用元器件

计数法和相似产品法结合，从部分到整体预计指控系统的 MTBF，经过实际使用验证是可行的。

表 1 不同研制阶段可靠性预计方法

预计方法	适用阶段			适用范围		适用产品
	方案阶段	初样设计	试样设计	基本可靠性	任务可靠性	
相似产品法	√	√	√	√	√	所有产品
评分预计法		√	√	√	√	所有产品
元器件计数法		√		√		电子产品
应力分析法			√	√	√	电子产品
可靠性框图	√	√	√	√	√	所有产品

从表 1 中可知，对非电子产品的任务可靠性的预计主要采用相似产品法、评分预计法和可靠性框图法。其中，评分预计法是专家通过综合评分获得各组成单元之间的可靠性相对比值，再以某一个已知可靠性的单元为基准，获得所有其他单元的可靠性；可靠性框图法是在产品各单元的可靠性预计值已知的情况下，利用产品的可靠性框图，对产品的可靠性预计。上述这 2 种方法，都需要确切知道各单元(或部组件)的可靠性(或比值)值。而相似产品法则是在利用与该产品相似的已有产品的可靠性数据来估计该产品的可靠性。因为新产品是在老产品的基础上继承发展的，要求将新老产品间的相似性正确地评价出来，需要基于产品的相似信息，获得一种新的任务可靠性的预计方法。

1.2 某系统的可靠性特点

目前研制的某系统属于成败型产品，其研制阶段见图 1。

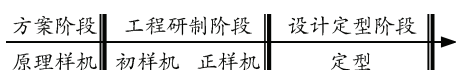


图 1 某系统的研制阶段

可靠性预计要求：系统正样机的任务可靠性(任务可靠度 R)。

某系统的特点如下：

1) 属于一次成败型产品，非电子产品，主体机械结构，其失效率既有偶发故障，也有机械疲劳的损耗故障，无法确定每一部分的失效率的量值；

2) 系统由 A、B、C 3 个组件组成，A 组件和 B 组件需要结合使用，C 组件提供 A、B 工作的环境。任务可靠性模型如图 2。

但上述 3 个组件无法拆分，不能独立工作，无法单独考核获得 3 个组件的任务可靠度。作为一个不可分的产品，其可靠性考核是作为一个整体考核。因此，由各组件的任务可靠度综合得到系统任务可靠度的预计过程并不适用。

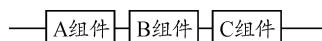


图 2 某系统的任务可靠性模型

1.3 总体研究思路

针对上述问题，本项目结合某系统的可靠性预计要求提出了一种基于相似产品信息任务可靠度的预计方法。该方法总的研究思想是：装备产品的研制、设计是一个逐步完善的过程，以本系统为例，正样机是以初样机为基础，继承了初样机的许多特征；同时，正样机也有不同于初样机的改进之处。因此在解决正样机的可靠性预计问题时，既要充分利用继承性相似产品信息，也要正确预计由于系统改进、发展而引入了可靠性预计中的不确定性。基于上述的研究思想，基于相似产品法的任务可靠性预计的过程如下：

1) 确定正样机和初样机之间的相似度，即引入表征系统之间继承性的继承因子 ρ ，确定 ρ 量值；

2) 正样机的可靠度 $R_L = \rho R_{CL}$ 。其中： R_L 为正样机的任务可靠度， R_{CL} 为初样机的任务可靠度。

这里的关键就是如何确定继承因子 ρ ，即如何将初样机和正样机之间定性的相似性转化为一个确定的量值。

2 继承因子 ρ 的确定

继承因子 ρ 反映了正样机(新产品)对初样机(老产品)的继承程度，如果正样机在初样机的基础上进行了较大的改进，则 ρ 的取值较小，反之则 ρ 的取值较大。 ρ 的确定应结合专家经验和相关知识信息给出，值域为 $\rho \geq 0$ 。根据相似科学理论，研究 2 个系统的相似程度，需要在充分考虑相似系统的相似要素数量相似度的基础上，同时考虑它们共有的相似要素的相似度。设系统间相似要素数量确定的相似度为 ρ_n ，而由每一相似要素确定的相似度为 ρ_u ，则继承因子 $\rho^{[4]}$ ：

$$\rho_n = \frac{N}{L + M - N} \tag{1}$$

$$\rho_u = \beta_1 q(u_1) + \beta_2 q(u_2) + \dots + \beta_n q(u_n) = \sum_{i=1}^N \beta_i q(u_i) \tag{2}$$

$$\rho = \rho_n + \rho_u = \frac{N}{L + M - N} + \sum_{i=1}^N \beta_i q(u_i) \tag{3}$$

式中： L 、 M 、 N 分别表示某一层面上的系统的各自

组成要素的数量和它们共有的相似要素的数量； $q(u_i)$ 为相似系统中共有的由第 i 个相似特征建立的相似元的数值； β_i 是 $q(u_i)$ 相似元的权重系数，这一公式较为准确地表达了 2 个系统间的相似程度。在可靠性工程中考察产品相似主要从 6 个因素考虑：结构、功能、设计原理、工作原理、材料组成和工作环境等方面的异同。因此， $K=M=N=6$ ，即 $\rho_n=1$ ，上式转换为：

$$\rho = \rho_u = \sum_{i=1}^N \beta_i q(u_i) \quad (4)$$

表 2 正样机与初样机相似性比较

比较因素	结构	功能	设计原理	工作原理	材料组成	工作环境
继承性/%	90	100	100	100	90	100
异同	1) 在 × × 部件的结构设计上改进； 2) 优化 × × 表面处理设计和工艺。	相同	相同	相同	某器件材料由丁晴橡胶更换为硅橡胶，并经过性能试验、环境试验验证，对应温度、密封性等比较	在相同的应力环境下工作

权重系数取平权，由式 (4) 得：

$$\rho = \rho_u = \sum_{i=1}^N \beta_i q(u_i) = \frac{1}{6}(0.9+1.0+1.0+1.0+0.9+1.0) = 0.97$$

可以看出，在同一个型号中的不同研制阶段，系统之间的继承性较好。

第 2 步：在初样机任务可靠度的基础上，预计正样机的任务可靠性。

由于该系统属于成败型产品，即试验结果仅分为成功、失败，或产品仅分为合格与不合格 2 种状态，在评估任务可靠度时，失败次数只计导致任务失败的次数^[5]。对于初样机的任务可靠性的评估采用的是二项分布的统计试验方案。可靠性试验的任务可靠度置信下限评估模型：

$$\sum_{X=0}^F \binom{N}{X} R_L^{N-X} (1-R_{CL})^X = 1-\gamma \quad (5)$$

式中： N 为试验总次数； F 为致命故障总数； R_L 为初样机任务可靠度的置信下限； γ 为置信度。

初样机可靠性试验总共进行了 10 次，有 1 次未达标，未出现致命故障，置信度为 0.7 时， $R_{CL}=0.77$ 。因此，系统正样机的任务可靠度： $R_L=\rho R_{CL}=0.75$ 。与系统任务可靠度的要求 0.7(置信度为 0.7) 相比，正样机的任务可靠性预计结果表明，系统的任务可靠度达到了设计要求。

在正样机完成研制后开展的性能试验、可靠性试验的实际试验结果如下：系统正样机总共开展了 25 发次试验，其中因为关联故障未达标 3 次，因此该系统正样机的任务可靠度 $R_L=0.82$ ，满足了设计

权重系数 β_i 与相似元数值 $q(u_i)$ 的取值，由工程研制信息和专家经验来确定。这样就比较准确地将定性的相似性转化为定量值。

3 某系统正样机可靠性预计的实际应用

研制合同要求对某系统正样机开展任务可靠性的预计，可靠性预计工作作为该系统可靠性工作项目中的一项重要内容之一。具体预计过程如下：

第 1 步：根据工程信息，结合专家经验评分得出某系统正样机与初样机继承性的百分比，见表 2。

要求。与预计值 0.75 相比，可以认为实际值与预计值具有一致性，并有所提高。主要原因在于正样机在初样机基础上，结构和材料的改进优化，反映在正样机性能上是提高了输出的指标，使得系统的战技术指标更能稳定达标，但在相似性比较上主要以继承因子作为量化比较；因此，会出现预估略小于实际值的情况，但也进一步证明了预计值是能够满足系统的设计要求的。

4 结束语

实际应用表明，基于相似产品信息的某系统任务可靠性预计的方法是可行的，并得到如下结论：

1) 该预计方法用于同一型号不同研制阶段的产品，同时也适用于新旧不同型号，具有一定继承性的产品。

2) 在本项目研究中，由于系统的 3 个组件是单独进行任务可靠度指标评估的，只能作为一个整体来考察。对于其他系统，如果每个组件都具有单独的任务可靠度 R_{Li} ，可以分别计算出每个组件的继承因子 ρ_i ，然后在通过 $R_L = \sum_{i=1}^n \rho_i R_{Li}$ 计算出新产品的任务可靠度。

3) 该方法对于小子样条件下成败型产品的可靠性的评价提供了一种新的思路。因为成败型产品需要通过破坏性试验获得产品的可靠性数据，某些新技术的产品造价昂贵，无法使用较多的样本开展破坏性试验。同时，目前使用方对产品研制周期要求很短，开展较多样本的任务可靠性试验需要大量的人力、物力、时间，无法满足产品研制进度。