

可靠性验证试验方法研究——利用调试数据进行综合分析与评价

孙怀义

本文作者孙怀义先生，重庆工业自动化仪表研究所高级工程师。

关键词：调试数据 分析与综合 可靠性 验证试验

引言

可靠性试验指为分析评价产品的可靠性而进行的所有试验。广义地讲，任何与产品故障或故障效应有关的试验都可以被认为是可靠性试验。在新产品的开发过程中，调试、发现问题、改进、再调试，如此反复，直至该产品能够满足设计要求。这个过程实际上也是一种可靠性试验过程。因此，在整个产品调试过程中的数据就显得非常重要了。事实上，对这些数据进行详细地分析与综合，可对该产品在该阶段的可靠性水平作出定量评价，从而判断该产品是否达到或满足设计要求的可靠性水平。

利用本方法，可以节约大量的人力、物力和财力，同时，还将节约试验时间，从而缩短新产品开发周期，其经济效益十分显著。

本文是承担国家“九五”攻关项目“FF 协议智能变送器可靠性预计、设计与评估方法研究”的部分成果，在此提出希望能得到各位可靠性专家的斧正，并达到抛砖引玉的目的。

一 基本思路

当新产品研制完成时，首先需进行可靠性预计，预计结果必须大于目标值的两倍以上，以确保其固有可靠性(理论值)能达到设计目标，否则认为设计不合格；然后利用 FMECA 分析法或 FTA 分析法进行详细的故障分析，并制定相应的改进措施，以及详细的可靠性增长试验计划，以保证其固有可靠性能够实现。

对产品进行调试，可先进行单元调试(模板或组件)，然后进行整机调试，将所有相关信息详细记录下来。假定产品寿命服从指数分布规律，利用可靠性结构模型(指数串联模型)，对各单元及整机的试验数据采用概率统计方法，进行分析

与综合，计算出产品的可靠性特征量的估计值，与设计目标值进行比较，作出是否达到设计目标的判定。

二 相关规定

1. 可靠性指标的规定

(1)可靠性下限值

可靠性下限值是产品满足使用要求时所必须具有的可靠性最低水平。

(2)可靠性目标值

可靠性目标值是产品达到成熟状态的可靠性水平，仪表的可靠性指标体系如表 1 所示。

(3)可靠性指标应分阶段规定和验收

根据可靠性增长理论和实际应用结果，仪表在开发研制过程中，在不同阶段，所能达到的可靠性水平不同。

为了使最终仪表能达到规定的目标，在设计开发阶段要制定可靠性增长计划，监督各个阶段可靠性目标的增长情况。仪表的研制可分为 4 个阶段，在不同阶段仪表所能达到的可靠性目标值如表 2 所示。

(4)可靠性指标的规定不是一成不变的，是将理论分析结果和实际应用情况进行分析综合所得，因而在仪表开发研制逐步成熟的过程中，可不断地补充和完善。

2. 可靠性特征量

(1)平均故障间隔时间 MTBF

$$MTBF = \sum_{i=1}^n t_i / r \quad (1)$$

式中 t_i ——第 i 台仪表的累积工作时间

r ——被试仪表出现的累积故障次数

n ——被试仪表台数

(2)可靠度 $R(t)$

$$R(t)=e^{-lt} = e^{-t/MTBF} \quad (2)$$

式中 t ——规定的任务时间

三 故障判据

(1)相关故障

产品硬件在规定的条件下运行，任何机械部件、电子元件的破裂、损坏以及使仪表丧失规定功能或性能参数超出所要求的指标范围的现象，均作为硬件相关故障计算。

产品软件中的任何缺陷或错误导致仪表软件不能完成规定功能或输出参数超出所要求的性能指标范围的现象，均作为软件相关故障计算。

具体仪表由供需双方协商制定相应的包括软、硬件在内的故障判据。

(2)非相关故障

由于试验设备、测试条件或其他人为因素引起的故障，作为非相关故障，不计入故障数内。

四 试验方法

1. 可靠性试验前的处理

(1)采用应力分析法或计数法进行可靠性预计。预计结果应不小于目标值的两倍，否则须改进设计，提高其固有可靠性。

(2)采用 FMECA 或 FTA 分析法进行故障分析，应对仪表可能发生的故障模式、故障机理及相互关系分析透彻，并制订相应的改进设计和纠正措施，以防止同类故障再度发生。

(3)进行功能和性能试验，以确定产品已经具备了规定的功能和性能要求。

(4)调试过程的监督管理包括：

- (a)调试应按相关产品技术条件的规定执行；
- (b)确定仪表的具体调试参数和故障判据；
- (c)确定调试开始时间与截止时间；
- (d)详细记录调试过程中的所有相关信息，对发现的故障进行详尽分析，并立即采取改进措施。

2. 根据调试数据进行分析评定的试验方法

可靠性特征量选用平均故障间隔时间 MTBF，设计目标值在表 1 中选取。

本方法适用于比较复杂或分散研制产品且已收集了各功能单元的试验数据(如本机、智能卡、通信卡等部分)及整机联调的试验数据的情况，利用有关可靠性数学模型进行综合评定。

a. 数据的收集

仪表功能单元和整机在研制调试过程中的所有信息按表 3 进行记录。

b. 数据的处理计算

将各部分数据按式(3)进行折合：

$$T'' = \sum_{i=1}^m (r_i' / T_i') / \sum_{i=1}^m (r_i' / T_i'^2) \quad (3)$$

$$r'' = T'' \sum_{i=1}^m (r_i' / T_i')$$

式中 m ——产品划分单元数

(r_i', T_i') ——第 i 个单元的故障次数及试验时间

(r''/T'') ——产品折合故障次数及试验时间

(1)若 $r_i'=0$, $i=1, 2, \dots, m$, $r''=0$,

$$T'' = \min_{1 \leq i \leq m} T_i'$$

(2)若 $r_i' \neq 0$, $i=1, 2, \dots, m$, 则 (r'', T'') 用(3)式计算。

(3)若 $r_i'=0, i=1, 2, \dots, m', r_i' \neq 0, i=m'+1, \dots, m$, 则当 $T(1)' = \min_{1 \leq i \leq m} T_i' \geq$

$T(2)' = \min_{m'+1 \leq i \leq m} T_i'$ 时按式(3)计算(r'', T''), 且 $i=m'+1, m'+2, \dots, m$;

当 $T(1)' = \min_{1 \leq i \leq m} T_i' < T(2)' = \min_{m'+1 \leq i \leq m} T_i'$ 时:

$$\begin{cases} r(2)' = [T(1)' / T(2)'] * r(2) \\ T(2)' = T(1)' \end{cases}$$

连同其他信息一起代入式(2)计算。

设产品整机调试试验数据为(r', T'), 则得产品总的试验结果

$$r=r'+r'' \quad (4)$$

$$\begin{cases} T = T' + T'' \\ \text{式中, } (r, T) \text{ —— 产品整机总的故障数和总试验时间} \end{cases}$$

计算仪表的 MTBF 置信下限:

$$m_L = 2T/x_{1-\alpha}^2(2r) \quad (5)$$

(当自由度 $2r < 1$ 时按 1 计算)

根据置信度 α , 查表可得其置信下限系数 p_1 , 则 MTBF 的点估计值为:

$$m = m_L / p_1$$

c. 试验结论

如设计目标值 $MTBF \geq 2.5$ 万小时, 根据可靠性增长计划, 在样机鉴定阶段应有 $MTBF_{YJ} \geq 1.5$ 万小时, 则有如下判定:

$m \geq 1.5$ 万小时, 则该样机已达到阶段目标值要求, 合格接收。

$m < 1.5$ 万小时, 则该样机未达到阶段目标值要求, 需继续改进设计。

五 实例分析

某现场总线智能变送器可靠性设计目标是达到行业优等品水平, 即平均无故

障工作时间达到 2.5 万小时。该产品由传感器、放大板、转换板、通信卡和液晶显示器组成，设计完成后从 2000 年 3 月 1 日开始对 3 台样机各单元分别进行了 2 个月(60 天，每天 8h)调试，然后对整机进行了 1 个月(30 天)的调试，将发现的故障记录在表 4 中，立即采取相关措施，进行改进设计。

根据表 4：

$$r_1'=0, r_2'=0, r_3'=0, r_4'=0, r_5'=2, T_i'=480h, r'=1, T'=240h$$

利用数学模型(3),得到:

$$T''=480h$$

$$r''=2$$

根据数学模型(4)得到:

$$r=3$$

$$T=720h$$

再根据数学模型(5)，取 $a=0.1$ ，查表得到 $x_{1-a}^2(6)=2.204$ ，

于是有： $m_L=1440/2.204=653.36h$ 。

查有关数据，当 $a=0.1$ 时，区间估计下限系数 p_L 为 0.263，可得：

$$MTBF(\text{点估计值})=653.36/0.263=2484.26(h)<1.5 \text{ 万小时}$$

所以，该样机未达到样机鉴定阶段设计目标要求，还需要进一步改进提高。

六 结束语

本方法所得出的结论，在很大程度上依赖于所收集数据的准确与完整，因此，本方法的实用性还有待进一步研究，特别是对于数据不完全或不确定的产品，不宜采用本方法，否则得出的结论可能与事实差距非常大。

本方法是“FF 协议智能变送器可靠性预计、设计与评估方法研究”课题组研究成果的部分内容，课题组的同志付出了艰辛的劳动。尽管如此，本方法仍有非常明显的缺陷，在此提出，希望得到可靠性专家的指正。

(全文完)