

测量仪器可靠性分析技术规范

1 范围

本规范规定了测量仪器可靠性分析的基本原则和方法，为测量仪器承制方和订购方及型式评价方进行可靠性分析提供指导和依据。

本规范为测量仪器的设计、研制、试验、生产、验收、使用等提供基本可信的可靠性传递基础及技术要求；为测量仪器的质量控制、可靠性增长提供标准技术依据；为测量仪器的可靠性描述、建模、预计、指标分配及指标系列划分、故障模式效应及危害性分析（FMEA）、故障树分析（FTA）、试验验证、故障判定等提供科学的可供选择的指导性技术文件。型式评价方在进行可靠性评价时亦可参照本规范的内容。

2 引用文献

GB/T 7826-1987 系统可靠性分析技术 失效模式和效应分析（FMEA）程序

GB/T 7829-1987 故障树分析程序

GB/T 7289-1987 可靠性、维修性与有效性预计报告编写指南

GB/T 2423-1986 电工电子产品基本环境试验规程

GJB/Z 299B-98 电子设备可靠性预计手册

GJB/Z 108-98 电子设备非工作状态可靠性预计手册

JJF 1015-2002 计量器具型式评价和型式批准通用规范

GB/T 5080.4-1986 设备可靠性试验 可靠性测定试验的点估计和区间估计方法（指数分布）

GB/T 5080.6-1986 设备可靠性试验 恒定失效率假设的有效性检验

GB/T 5080.7-1986 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 名词术语

3.1 可靠性 (reliability or reliability performance)

测量仪器在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力。

3.2 可靠度 (reliability)

测量仪器在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的概率。

3.3 失效 (failure)

测量仪器丧失规定的功能，表现为其不确定度超过允许值或功能失常 (对可修复测量仪器，也称故障)。

3.4 早期失效 (early failure)

测量仪器由于设计制造上的不应有的缺陷等因素而发生的失效。老化筛选可剔除早期失效。

3.5 偶然失效 (random failure)

测量仪器由于偶然因素发生的失效。

3.6 耗损失效 (wear-out failure)

测量仪器由于老化、磨损、损耗、疲劳等因素引起的失效。

3.7 可靠度函数 $R(t)$

测量仪器在规定的条件下，在规定的时间内完成规定功能的概率。它是时间的函数，记作 $R(t)$ 。

$$R(t) = p(T > t) \quad (1)$$

式中： T 为测量仪器寿命， t 为规定时间，当 $t = 0$ 时， $R(0) = 1$ ；当 $t = \infty$ 时， $R(\infty) = 0$ 。

3.8 失效分布函数 $F(t)$

测量仪器在规定的条件下和规定的时间内失效的概率，它是时间的函数，记作 $F(t)$

$$F(t) = p(T \leq t) \quad (2)$$

式中： T 为测量仪器寿命， t 为规定时间，当 $t = 0$ 时， $F(0) = 0$ ；当 $t = \infty$ 时， $F(\infty) = 1$ 。

3.9 瞬时失效率函数（简称失效率） $\lambda(t)$

工作到某时刻 t 尚未失效的测量仪器，在该时刻后单位时间内发生失效的概率。

$$I(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)\Delta t} = \frac{dF(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} \quad (3)$$

3.10 寿命 T

测量仪器的持续使用期，测量仪器的寿命是一个随机变量。

3.11 平均寿命 θ

不可维修的测量仪器的平均寿命，是指从开始投入工作至产品失效的时间平均值。也称平均失效时间，记为 **MTTF**，它是英文（**Mean Time To Failure**）的缩写。

可维修的测量仪器的平均寿命，是指两次故障间的时间平均值，也称平均故障间隔时间，习惯称平均无故障工作时间，记为 **MTBF**，它是英文（**Mean Time Between Failures**）的缩写。

在通常的可靠性分析评估与可靠性试验中，常用 θ 来表示平均寿命，此时视测量仪器特点不同可代表 **MTTF** 或 **MTBF**。

3.12 寿命分布

表示测量仪器的寿命分布规律，常用有指数分布和威布尔分布。当测量仪器寿命分布服从指数分布时，在偶然失效期内使用，其失效率近于常数，有：

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

$$\lambda(t) \equiv \lambda \text{ (常数)} \quad (7)$$

$$\theta = 1/\lambda \quad (8)$$

3.13 定时截尾试验

按规定的抽样方案抽取一定数量的试验样品进行可靠性试验，当累积试验时间（或次数）达到预定的试验时间（或次数）时截止试验，统计样品的累计失效数（或故障数），根据截止试验时间（或次数）和累计失效数（或故障数）

来评估产品的可靠性特征量。

3.14 定数截尾试验

按规定的抽样方案抽取一定数量的试验样品进行可靠性试验，当累积失效数（或故障数）达到预定的数量时截止试验，统计样品的累计时间（或次数），根据失效数（或故障数）和总试验时间（或次数）来评估产品的可靠性特征量。

3.15 基本可靠性

产品在规定条件下无故障的持续时间或概率。

3.16 任务可靠性

产品在规定的任务剖面内完成规定功能的能力。

4 可靠性分析程序和方法

4.1 可靠性指标的分析和确定

根据工作方式的不同，测量仪器可分为连续性工作的测量仪器和间歇性工作的测量仪器两大类，其可靠性指标规定为平均无故障工作时间 $MTBF$ 和可靠度 $R(t)$ ，根据具体测量仪器可选择其一或两者作为可靠性要求指标。在测量仪器方案阶段就应根据用户要求和测量仪器的特点确定这些指标的高低。

4.2 建立可靠性模型

为了对测量仪器的可靠性做出定量的分配、预计、评价，以及对可靠性设计进行分析，应建立可靠性模型。

可靠性模型的建立应在测量仪器设计阶段进行，并在测量仪器设计、技术指标、环境要求、实验数据、工作模式发生变更时，随时修改可靠性模型。

4.2.1 一般描述

测量仪器的可靠性模型，包括可靠性框图和与之对应的数学模型。

可靠性框图是仪器组成各单元从任务可靠性角度出发，表现其逻辑关系的方框图，即表示仪器在成功完成任务时，所有单元之间的相互依赖关系，可靠性框图可用对应的数学模型加以描述。

4.2.2 建立可靠性框图的原则

建立测量仪器可靠性框图应满足以下要求：

——可靠性框图中的每个方框都是能完成某一功能的功能模块，根据仪器本

身的复杂情况，功能模块可以是一台仪器、一个单元电路、一个部件、一个元器件或一个零件；

——可靠性框图除特殊情况外，每一个方框发生的故障都是独立的，即任一个方框发生的故障与其它方框是否出现故障无关；

——可靠性框图描述的是各单元之间的逻辑关系，不是工作原理图或测量流程图，在图中应表明工作环境的严酷度，以及各单元工作时间（任务时间）。

4.2.3 测量仪器的可靠性数学模型

常见测量仪器的可靠性模型主要有串联模型，并联模型及混联模型。

a) 串联模型是指组成仪器的所有单元中任一单元发生故障都会导致整个仪器故障的模型，串联系统的可靠性框图就是下属几个单元的串联图(如图 1)。设测量仪器下属单元的可靠度分别为 r_1, r_2, \dots, r_n ，串联系统的可靠度为 R_s 。

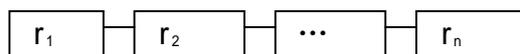


图 1 串联模型的可靠性框图

则测量仪器的可靠度等于各单元的可靠度的乘积，即：

$$R_s = r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot r_n = \prod_{i=1}^n r_i \quad (9)$$

若各单元失效服从指数分布，则无冗余或替代工作模式的测量仪器失效也服从指数分布。此时，测量仪器的失效率等于各单元的失效率的和，即：

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (10)$$

从上述公式说明，要提高测量仪器的可靠度，可通过减少单元数目、降低单元失效率，缩短工作时间等得以实现。

b) 并联模型是指组成测量仪器的所有单元同时工作，只要有一个单元不出现故障，仪器就不出现故障，并联系统的可靠性框图为 n 个组件的并联图(如图 2)，设测量仪器下属组件的可靠度分别为 r_1, r_2, \dots, r_n ，并联系统的可靠度为 R_s 。

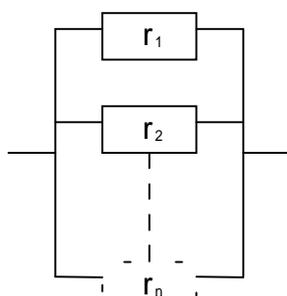


图2 并联模型的可靠性框图

则并联模型的可靠度

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (11)$$

对于指数分布，若各并联单元相同即 λ_i 相同，则：

$$MTBF = MTBF_1 \left(1 + \frac{1}{2} + \mathbf{L} + \frac{1}{n} \right) \quad (12)$$

c) 混联系统是把若干个串联系统和并联结构组合在一起，测量仪器最简单的混联系统如图3所示，设下属单元的可靠度分别为 r_1, r_2, \dots, r_n ，混联系统的可靠度为 R_s 。

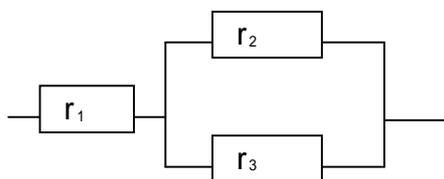


图3 混联系统的可靠性框图

则测量仪器的可靠度

$$R_s = r_1 [1 - (1 - r_2) (1 - r_3)] \quad (13)$$

4.2.4 可靠性建模要求

应及早建立可靠性模型，以便进行可靠性分配与预计。在方案阶段，建立测量仪器较粗略的可靠性模型，以便预计的设计方案是否能满足规定的可靠性要求。随着研制工作的进展，应不断修改、完善、细化可靠性模型，以便更准确地分配、预计和评价其的可靠性。

正确区分可靠性框图和工作原理图。前者是表示仪器中各组成单元之间的故障逻辑关系，而后者是表示各单元之间的物理关系。

应按研制总要求或合同中规定的基本和任务可靠性要求，分别建立基本可靠性模型和任务可靠性模型。前者是用以预计和分配基本可靠性要求(即估计仪器组成单元故障引起的维修人力与保障费用)，而后者是用以预计和分配任务可靠性要求(即估计产品在执行任务过程中完成规定功能的能力)。

4.3 可靠性指标的分配

可靠性指标的分配是指将可靠性指标或预计所能达到的指标值加以分解，科学合理地分配到规定的仪器单元。可靠性指标的分配应根据仪器可靠性框图进行分配，即每一个方框均应有相应的可靠性指标，使仪器的可靠性指标得以保证。

4.3.1 比例分配法

符合下列条件之一者，可应用比例分配法来进行可靠性指标分配：

—— 仪器结构比较简单，成熟，各功能块已作过可靠性预测，或有这方面的经验数据；

—— 有相似老仪器，并具有一定的历史现场失效率记录，或有这方面的实例；

—— 设备主要部分由外购件构成，且有这些外购件有较完整的可靠性资料。

在老产品的系统可靠性指标已知，且各分系统的故障率亦已知时，其分配公式为：

$$\lambda_{i\text{新}} = \lambda_{S\text{新}} \times K_i \quad (14)$$

式中： $\lambda_{i\text{新}}$ —— 分配给第*i*个新的分系统的失效率；

$\lambda_{S\text{新}}$ —— 规定的新系统的失效率；

K_i —— 原系统中第*i*个分系统失效率与原系统的失效率之比。

例：某新研制的测量仪器，是在原仪器的基础上进行小型化设计，其体积重量都比原仪器小，且可靠性指标比原仪器高，原仪器的可靠性指标为： $MTBF=40h$ ，新研制测量仪器的可靠性指标要求为： $MTBF=100h$ ，已知原测量仪器的6个分系统的失效率指标如表1所示，则新研制仪器的可靠性指标分配如

下：

$$\lambda_{i原}=1/40=25\times 10^{-3}/h$$

$$\lambda_{i新}=1/100=1\times 10^{-2}/h$$

以分系统 1 为例： $K_1=2\times 10^{-3}/25\times 10^{-3}=0.08$ ，则分配给分系统 1 的失效率为
 $\lambda_{1新}=\lambda_{s新}\cdot K_1=8\times 10^{-4}/h$ ，分配给分系统 1 的可靠性指标 $MTBF=1/8\times 10^{-4}=1250h$ 。

其它分系统以此类推，详见表 1。

表 1 某测量仪器的可靠性指标分配表

分系统序号	原失效率 $10^{-3}/h$	K_i	新分配的失效 $10^{-3}/h$	新分配 MTBF h
1	2.0	0.08	0.8	1250
2	2.5	0.10	1.0	1000
3	10.5	0.42	4.2	238
4	7.9	0.32	3.2	313
5	0.3	0.01	0.1	10000
6	1.6	0.06	0.6	1667
总计	24.8	—	9.9	—

4.3.2 综合因子评定法

符合下列条件之一者，可应用综合因子评定法，进行可靠性指标分配：

- 有多台仪器组成系统，对系统进行可靠性指标分配时；
- 技术比较复杂，工作条件比较恶劣或采用新技术时；
- 无相似产品时。

综合因子评定法考虑了各功能块的复杂性、重要性、环境条件、维修性、技术成熟程度，可靠性改进潜力等因素。

每一个因素给出一个定量的评价系数 K ，第 i 个单元的第 j 个评价系数记作 K_{ij} 。对于指数分布串联结构的模型，其分配公式为：

$$MTBF_j = \frac{\sum_{j=1}^N \prod_{i=1}^n K_{ij}}{\prod_{i=1}^n} MTBF_s \quad (15)$$

式中： $MTBF_j$ ——第 j 个分系统的平均无故障间隔时间；

$MTBF_s$ ——整机（或系统）的平均无故障间隔时间；

K_{ij} ——第 j 个分系统的第 i 个分配因子。

例：某测量仪器的可靠性指标为： $MTBF=40h$ ，已知该测量仪器由 6 个分系统构成，以第 1 个分系统的各项分配加权因子为 1，其它各分系统与其相比较的取值如表 2 所示，则按可靠性指标分配，按公式该测量仪器的可靠性指标分配如下：

分系统 1： $MTBF=11.435 \div 1 \times 40 \approx 457h$

分系统 2： $MTBF=11.435 \div 1.125 \times 40 \approx 407h$

分系统 3： $MTBF=11.435 \div 4.8 \times 40 \approx 95h$

分系统 4： $MTBF=11.435 \div 3.6 \times 40 \approx 127h$

分系统 5： $MTBF=11.435 \div 0.16 \times 40 \approx 2859h$

分系统 6： $MTBF=11.435 \div 0.75 \times 40 \approx 610h$

表 2 某测量仪器的可靠性指标分配表

项目	分系统 1	分系统 2	分系统 3	分系统 4	分系统 5	分系统 6
复杂因子	1	0.5	2	3	0.2	0.5
重要因子	1	1	1	1	1	1
环境因子	1	1	2	1	2	1.5
标准因子	1	3	2	2	2	1
维修因子	1	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5
元器件质量因子	1	1.5	1	1.	0.5	2
$\prod_{i=1}^6$	1	1.125	4.8	3.6	0.16	0.75
$\sum_{j=1}^6$	11.435					

4.4 可靠性预计

根据仪器的零件、性能、工作环境及其相互关系的知识，推测其将来的可靠性表现，这种技术称之为可靠性预计。可靠性预计是预测仪器可能达到的可靠性水平，是测量仪器可靠性从定性考虑转入定量分析的关键。

4.4.1 可靠性预计的分类

a) 相似法：相似法适用于在初始构思、规划新品方案的总体论证阶段，只能作大体的估计，相似设备法的预计准确程度取决于现有设备可靠性数据的可信程度及现有设备和新设备的相似程度。

b) 元器件计数法：适用于研制阶段的早期，此时已进行初步的设计，形成了功能原理框图和电路草图，每种元器件的数量已基本确定，但尚缺元器件的应力数据。计数法比较简单，可以判断方案是否满足可靠性指标，并比较优选设计方案和开展可靠性分配。

c) 元器件应力分析法：该方法使用在研制阶段的中后期，即在全面开展电路试验之后的样机研制期间，此时已具备详细的电路图、元器件清单及每个元器件所承受的应力数据。其作用是通过应力分析发现样机的可靠性薄弱环节，以便采取相应的措施来改进设计。

其中测量仪器方案论证阶段可使用相似产品法，相似电路法等，在产品设计阶段则可使用计数可靠性预计法及元器件应力分析法。

4.4.2 可靠性预计流程

表 3 中给出了测量仪器可靠性预计的一般流程：

表 3 测量仪器可靠性预计流程

流程号	流程	测量仪器方案论证阶段	测量仪器设计阶段
1	定义测量仪器	规定其工作方式, 特征, 性能要求	规定其工作方式, 特征, 性能要求, 指标更具体, 理由更充足
2	测量仪器组成部分	进行功能块大致划分	了解结构, 划分确定的功能块
3	可靠性框图	简单的串联系统	并联部分进行简化
4	环境信息	规定对组成部分有影响的环境信息	规定对组成部分有影响的环境信息
5	应力信息	不进行	测量仪器工作时所经受的恶劣条件下, 电应力、热应力和承受的工作方式
6	概率分布	指数分布	指数分布
7	失效率	利用预计手册或相似仪器现场失效率求得	利用预计手册或相似仪器现场失效率求得

表 3 (续)

流程号	流程	测量仪器方案论证阶段	测量仪器设计阶段
8	建立可靠性模型	建立基本可靠性模型	建立基本可靠性模型，必要时，还可建立任务可靠性模型
9	预计仪器的可靠性	采用相似设备法，相似电路法等	采用计数可靠性预计法，元器件应力分析法
10	编定预计报告	按 GB/T7289 规定执行	按 GB/T7289 规定执行

4.4.3 可靠性预计要求

可靠性预计应按 GJB/Z 299B-98《电子设备可靠性预计手册》、GJB/Z 108-98《电子设备非工作状态可靠性预计手册》的规定进行。

可靠性预计与分配工作应与产品研制工作同步进行，以便确定该产品的设计方案是否能满足规定的可靠性要求。在低层次产品研制合同签订后，一般不再进行可靠性分配，但可靠性预计工作仍要随工程研制的进展，迭代地进行，以便反映仪器当前的技术状态、更准确地预计可靠性水平，及时发现设计的缺陷，采取改进措施。

4.4.4 可靠性预计举例

某新研测量仪器在产品论证阶段需对其可靠性指标进行验证，现采取元器件计数法对其进行预计，其一般程序为：

a) 建立可靠性模型，按仪器特点和结构分成三部分，即电源部分、测量部分、显示部分，其可靠性框图见图 4。



图 4 某测量仪器的可靠性框图

b) 列出仪器各部分的元器件种类及数量，质量等级和设备的应用环境类别。

c) 从 GJB299《电子设备可靠性预计手册》的 5.2 节，查各种元器件在该环境类别下的通用失效率 λ_G ，以及通用质量系数 π_Q 。

d) 将(1)、(2)步骤得到的数据填入规范化的预计表 4a、4b、4c 内。

e) 按 GJB299 的公式 ($\lambda_{GS} = \sum_{i=1}^n N_i (I_G p_Q)_i$) 计算其各部分通用失效率。

表 4a 某测量仪器电源模块的可靠性预计表

元器件种类及参数	数量 N	π_Q	$\lambda_G 10^{-6}/h$	$\lambda_G \pi_Q 10^{-6}/h$	$N (\lambda_G \pi_Q) 10^{-6}/h$
CMOS 数字电路, 10 门	1	0.25	1.30	0.325	0.325
电源变压器	1	0.7	2.28	1.6	1.6
半导体稳压器	2	0.2	0.65	0.13	0.26
金属膜电阻	4	0.3	0.073	0.022	0.088
铝电解电容	6	0.3	0.62	0.186	1.116
云母电容	4	0.3	0.16	0.048	0.192
圆形连接器	1	0.4	0.44	0.176	0.176
无绕接烙铁焊点	38	1	0.0045	0.0045	0.171
双面印制板, 40 个金属化孔	10	1	0.00036	0.00036	0.0036
$\lambda_{\text{电源}} = \sum N (\lambda_G \pi_Q) = 3.391$					

表 4b 某测量仪器测量模块的可靠性预计表

元器件种类及参数	数量 N	π_Q	$\lambda_G 10^{-6}/h$	$\lambda_G \pi_Q 10^{-6}/h$	$N (\lambda_G \pi_Q) 10^{-6}/h$
CMOS 数字电路, 10 门	10	0.25	1.3	0.325	3.25
圆形连接器	1	0.4	0.44	0.176	0.176
无绕接烙铁焊点	60	1	0.0045	0.0045	0.27
双面印制板, 40 个金属化孔	10	1	0.00036	0.00036	0.0036
$\lambda_{\text{测量}} = \sum N (\lambda_G \pi_Q) = 3.6996$					

表 4c 某测量仪器显示模块的可靠性预计表

元器件种类及参数	数量 N	π_Q	$\lambda_G 10^{-6}/h$	$\lambda_G \pi_Q 10^{-6}/h$	$N (\lambda_G \pi_Q) 10^{-6}/h$
CMOS 数字电路, 10 门	1	0.25	1.3	0.325	0.325
2 位数码管	1	0.6	0.24	0.144	0.144
圆形连接器	1	0.4	0.44	0.176	0.176
无绕接烙铁焊点	20	1	0.0045	0.0045	0.09
双面印制板, 40 个金属化孔	1	1	0.00036	0.00036	0.00036
$\lambda_{\text{显示}} = \sum N (\lambda_G \pi_Q) = 0.73536$					

f) 按可靠性模型计算仪器的故障率。

$$\lambda_S = \lambda_{\text{电源}} + \lambda_{\text{测量}} + \lambda_{\text{显示}} = 3.391 + 3.6996 + 0.73536 = 7.82596 \times 10^{-6} / \text{h}$$

故该测量仪器的总故障率为 $7.82596 \times 10^{-6} / \text{h}$ ，其 MTBF 预计值为 127779.8h。

4.5 故障模式、效应及危害性分析(FMEA)

故障模式、效应及危害性分析通过对产品的各组成单元潜在的各种失效模式及其对产品功能的影响，产生后果的危害程度进行分析，改进产品设计提出可能采取的预防措施。

测量仪器的 FMEA 分析一般采取如下步骤：

a) 绘制仪器的功能逻辑框图，功能逻辑框图说明构成仪器或系统的各个单元或功能模块之间在功能上的依从关系；

b) 掌握元器件或功能模块的失效模式；

c) 按照失效模式对仪器造成的严重程度，划分严酷度等级；

d) 采用网络图分析法来确定失效模式危害度大小；

e) 提出预防措施。

通过测量仪器的 FMEA 分析，应做到：

—— 鉴别出被分析单元会导致的不可接受或非常严重的故障，确定可能会对预期或所需运行情况造成致命影响的故障模式，并列由此而引起的从属故障；

—— 决定需另选的元器件、零部件和整件；

—— 保证能识别各种检测手段引起的故障模式；

—— 选择预防或正确维护要点，制定故障检修指南。

FMEA 工作应与性能设计同步进行，而不能在设计完成后再补做。从方案阶段开始就应进行 FMEA，随着设计工作的逐步深入，FMEA 工作还须不断修改、补充、完善。具体 FMEA 工作方法和程序可参见 GB/T 7826-1987。

4.6 故障树分析(FTA)

故障树分析法 (Fault Tree Analysis) 简称 FTA，是把系统不希望发生的故障状态作为故障分析的目标，这一目标在故障树分析中定义为“顶事件”。在分析中要求寻找出导致这一故障发生的所有可能的直接原因，这些原因在故障

树分析中称之为“中间事件”。再跟踪追迹找出导致每一个中间事件发生的所有可能的原因，顺序渐进，直至追踪到对被分析对象来说是一种基本原因为止，这种基本原因，故障树分析中定义为“底事件”。

故障树分析法是从所研究的故障现象（顶事件）出发寻找产生这一现象的根源。因而是从果到因地研究，或是从上到下地研究系统或部件故障的方法。

图 4 给出了某电能表电机过热的故障树分析图。

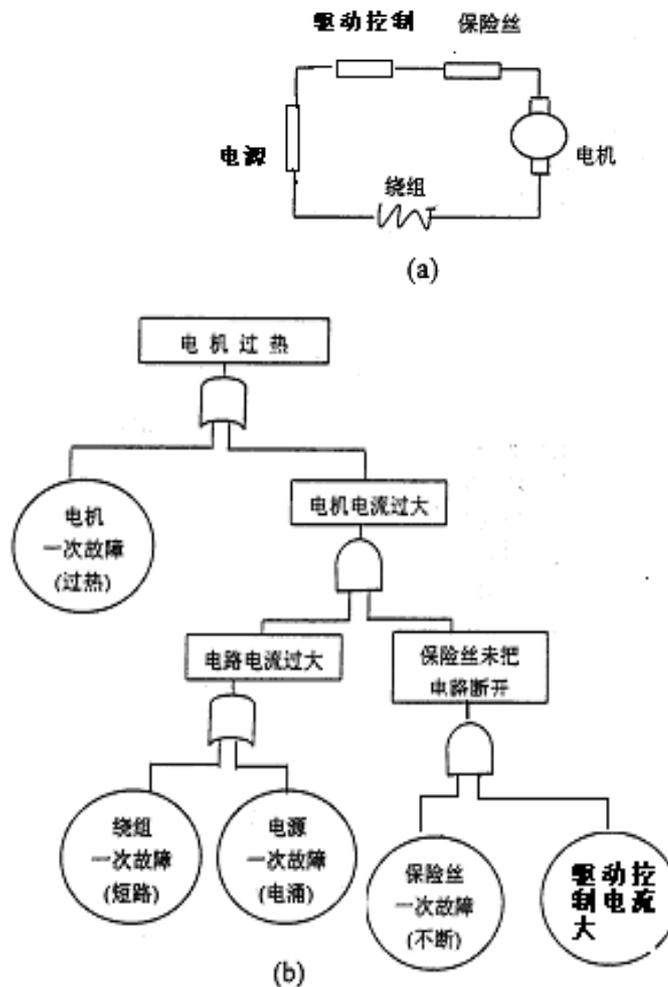


图 4 故障树示例

(a) 电能表电机部分工作原理图形 (b) “电能表电机过热”故障树

故障树分析一般按下列步骤进行：

a) 故障树的建造；

- b) 故障树的化简；
- c) 定性分析：找出最小割集，进行定性比较，确定改进方向；
- d) 定量计算：根据最小割集、底事件概率及数学模型，计算顶事件概率。

进行重要度分析，确定采取纠正措施的优先顺序；

- e) 改进措施。

FTA 工作应与 FMEA 紧密结合。应通过 FMEA 找出影响安全及任务成功的关键故障模式，以此为顶事件，建立故障树进行多因素分析，找出各种故障模式的组合，为改进设计提供依据。

故障树应由设计人员在 FMEA 的基础上建立，并由有关的技术人员审查，以保证故障树的逻辑关系正确。

在研制阶段的早期就应进行 FTA，以便及早发现问题，及时进行改进。随着设计工作的进展，FTA 必须不断的补充、修改、完善。FTA 的具体分析方法和程序可参见 GB/T 7829-1987。

4.7 容差和漂移分析

设计的容差和允许漂移的能力是与产品的性能、可靠性、工艺、成本和经济效益等密切相关的。若设计的容差及允许参数漂移的范围很窄，将导致选用元器件的严格程度提高，甚至要挑选元器件参数，增加材料成本或延长制造工时、生产周期调试困难，且仪器性能不稳定、成品率低、返修率高、有效性低，因而经济效益差。所以对仪器和设计方案进行容差及允许漂移的设计和是非常必要的。

容差和漂移分析方法主要有：

- 最坏值设计法；
- 均方根偏差设计方法；
- 概率设计法；
- 蒙特卡洛统计方法。

可以根据具体的情况采用不同的容差和漂移分析方法。对于可靠性要求很高的测量仪器，应该采用“最坏值设计法”；对于一般的测量仪器，可靠性要求不十分高，可以采用“均方根偏差设计方法”和“概率设计法”；在要求精

度较高，又有计算机的条件下，可以采用“蒙特卡洛统计方法”。

5 可靠性评估

在设计方案通过设计评审后，方可试制样机，并进行样机阶段的性能试验和可靠性试验。可靠性试验通常有环境试验、寿命试验、筛选试验、现场使用试验和鉴定试验。其中，样机试制一般必须经历环境试验与现场使用试验，进行环境试验的方法应符合有关产品标准的规定，对于批量生产的测量仪器应增加鉴定试验。

5.1 寿命试验

对于有特殊要求（如合同、协议等）的测量仪器，应根据其具体要求进行寿命试验（测定试验/验证试验），有关试验要求及方法应符合 GB/T 5080.4、GB/T 5080.6 和 GB/T 5080.7 的规定。

5.1.1 可靠性截尾寿命试验类型

截尾寿命试验又可分为定时截尾寿命试验和定数截尾寿命试验。前者是指试验进行到事先规定的时间 t 为止；后者是指当失效数达到事先规定的失效数 r 时就停止试验。假如考虑试验中失效的仪器是否允许替换，那么寿命试验又可分为两类：一类是无替换试验，试验中失效仪器不用相同的仪器替换；另一类是有替换试验，试验中失效仪器要用相同的仪器替换或对失效仪器立即修复，然后继续试验。假定受试验测量仪器数为 n ，按上述分类，可以组成四种类型。

取 n 个测量仪器进行无替换定时截尾寿命试验，记为 $(n, \text{无}, t)$ 。

取 n 个测量仪器进行无替换定数截尾寿命试验，记为 $(n, \text{无}, r)$ 。

取 n 个测量仪器进行有替换定时截尾寿命试验，记为 $(n, \text{有}, t)$ 。

取 n 个测量仪器进行有替换定数截尾寿命试验，记为 $(n, \text{有}, r)$ 。

5.1.2 可靠性寿命试验大纲包括：

- a) 试验目的与要求；
- b) 试验条件与方法；
- c) 试样状态与来源；
- d) 试验组织与管理；
- e) 试验进度与地点；

- f) 试验评审与报告；
g) 试验结束后故障与样品的处理意见。

5.1.3 寿命实验评估计算

a) 无替换：样品个数 n ，失效后无替换，实验结束前测到 r 次失效，得失效时间 $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r$ 。

定数截尾：做到 r 个失效停止，则平均寿命估计值

$$\hat{\theta} = \frac{1}{r} \left\{ \sum_{i=1}^r t_i + (n-r)t_r \right\} \quad (16)$$

定时截尾：实验到时间 t 结束，则平均寿命估计值

$$\hat{q} = \frac{1}{r} \left\{ \sum_{i=1}^r t_i + (n-r)t \right\} \quad (17)$$

例：某测量仪器在无替换定时 $t=20$ h 截尾下，实验 $n=88$ 台，得

失效时间 h	失效数
0.32	2
0.76	2
1.44	1
2.36	2
4.52	14
9.73	9
19.60	18

于是

$$\begin{aligned} \hat{\theta} &= \{0.32 \times 2 + 0.76 \times 2 + \dots + 19.60 \times 18 + (88 - 48) \times 20\} / 48 \\ &= 27.33 \text{ h} \end{aligned}$$

b) 有替换：样品个数 n ，一旦某个样品发生失效，有好样品替补，实验结束前测到 r 次失效，得失效时间 $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r$ 。

定数截尾：做到 r 个失效停止，则平均寿命估计值

$$\hat{\theta} = \pi t_r / r \quad (18)$$

定时截尾：实验到时间 t 结束，则平均寿命估计值

$$\hat{\theta} = nt_r \quad (19)$$

例：某测量仪器在有替换定时 $t=70$ h 截尾下实验 7 台，实验结束前测得 8 次失效，则平均寿命估计值

$$\hat{\theta} = \frac{1}{8} \times 7 \times 70 = 61.25 \text{ h}$$

c) 加速实验寿命计算

为减少实验时间，可作加速实验。加速应力依测量仪器的不同，可选择热应力（温度）或电应力（电流、电压、功率）。对于测量仪器，多选用温度应力。此时可用阿仑尼斯方程描述寿命与温度的关系：

$$t = 10^{a+b/T} \quad (20)$$

式中：a、b——常数；

T——绝对温度，K。

则

$$\lg t = a + b/T \quad (21)$$

按已有 (t_i, T_i) 用代数法或最小二乘法求出 a、b，据此得出正常应力 T_0 下的寿命 t 。

例：测得某测量仪器在温度 T_i 下平均寿命 t_i 如下：

$$T_1 = 463 \text{ K}, \quad t_1 = 5\,900 \text{ h}$$

$$T_2 = 493 \text{ K}, \quad t_2 = 2\,600 \text{ h}$$

$$T_3 = 513 \text{ K}, \quad t_3 = 1\,600 \text{ h}$$

$$T_4 = 533 \text{ K}, \quad t_4 = 1\,040 \text{ h}$$

则温度 T 与平均寿命 t 的关系式为

$$\lg t = a + b \frac{1}{T}$$

上式中的常数由最小二乘法计算得到 (n 为 i 的个数)

$$b = \frac{\sum \frac{\lg t_i}{T_i} - \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{T_i} \right) \left(\sum \lg t_i \right)}{\sum \frac{1}{T_i^2} - \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{T_i} \right)^2} = 2\,663$$

$$a = \frac{1}{n} \left(\sum \lg t_i - b \sum \frac{1}{T_i} \right) - 1.98$$

5.1.4 试验记录与报告

可靠性寿命试验结束后，生产方和样机试验单位应及时向测量仪器使用方提供可靠性试验报告，其可靠性报告内容一般除常规试验检测报告外，还应包括：

- a) 试验计划摘要及目的；
- b) 失效判定标准；
- c) 试验样品及应力的选择和试验说明；
- d) 试验设备的型号和准确度等级；
- e) 试验数据处理过程及可靠性指标计算；
- f) 试验结论。

5.2 可靠性环境试验

考核测量仪器的环境适应性的试验为环境试验，是指把测量仪器暴露于自然和人工模拟环境中，对其在实际中遇到的使用、运输和贮存环境条件下的性能出评价。本规范不涉及测量仪器的性能要求，环境试验期间和试验以后，测量仪器的容许性能限值由相关的规范规定。

按照 JJF1015 对测量仪器型式评价和型式批准时有关环境试验方面的技术要求，测量仪器的环境条件试验包括以下四个方面：

a) 气候环境试验

测量仪器在不同气候环境条件下的适应性。气候环境条件包括：温度、湿度、气压、盐雾、霉菌、空气腐蚀、生物损害、沙尘、淋雨、太阳辐射等。

b) 机械环境要求

测量仪器在不同机械环境条件下的适应性。机械环境条件包括：振动、冲击、碰撞、跌落等。

c) 安全环境要求

测量仪器在防爆、绝缘等方面的安全性能要求。测量仪器因结构类型、使

用条件、准确度等的差异，其安全环境要求有所不同。

d) 电磁兼容要求

测量仪器在电磁干扰、电源突变等方面的性能要求。

测量仪器的各类环境试验方法和要求可参照 GB/T 2423 的有关规定。

5.3 检修期分析

5.3.1 可靠度函数法

确定可靠度函数 $R(t)$ 及平均寿命 θ ，按下式决定工作时间 t ，再根据平均工作时间，决定检定周期。

$$t = \theta \{-\ln R(t)\} \quad (22)$$

例：某示波器 $\theta = 5\,000\text{ h}$ ，取 $R(t) = 0.95$ ，得 $t = 256\text{ h}$ ，此示波器平均工作时间 50 h/月 ，则 $256 \div 50 \approx 5$ （个月），故取检定周期为 5 个月。

5.3.2 统计计算法

对某类型测量仪器可统计下列之一：

- a) 统计同类型号任一台仪器的 T_0 年变化；
- b) 若干台仪器的 T_0 年变化。

若超差的概率等于 0.05（取可靠度 0.95），则 T_0 年为检定周期。

例：某测量仪器的某性能指标的每年变化量（相对变化量，单位%）如下 ($T_0 = 1$ ，共 20 个)：

0.0, 0.8, 0.0, -0.2, 0.9, 0.0, 0.2, 0.9,
0.0, 0.1, 0.1, 0.5, 0.4, 0.1, 0.1, 0.3,
0.2, 0.1, 0.1, 1.1

要求允差 $\pm 1.0\%$ ，则一年超过的概率为 $1/20$ ，故检定周期为一年。

6 可靠性工作项目应用时机

表 5 给出了可靠性工作项目在测量仪器研制生产中的各个适用阶段，为各相关工作部门初步选择工作项目提供了一般性的指导。

表5 可靠性工作项目在各个阶段的应用矩阵表

序号	工作项目	论证	设计	生产	型式评价	交付
1	可靠性指标的分析 and 确定	√	▲	△	×	资料确认
2	建立可靠性模型	√	√	△	×	资料确认
3	可靠性分配	√	√	×	×	资料确认
4	可靠性预计	▲	√	△	×	资料确认
5	故障模式、影响与危害性分析(FMEA)	×	√	▲	×	资料确认
6	故障树分析(FTA)	×	√	▲	×	资料确认
7	容差与漂移分析	×	√	▲	×	资料确认
8	可靠性试验评估	×	×	▲	√	——
9	检修期分析	△	√	▲	√	▲
注：√：必须开展；▲：适用；△有修改时开展；×：不适用						

附录 A

可靠性寿命评价试验的举例

A.1 某新研制测量仪器，要求按规定的可靠性指标值 $m_1=5000h$ 进行可靠性鉴定。已知在设计阶段计算可靠性预计值 m_p 为 15000h.试验步骤如下：

A.1.1 确定试验类型

本例属于可靠性验证试验。

A.1.2 选取试验方案

按 JB/T6214-1992 中第 6.3.2 条选择定时截尾试验方案，查 JB/T6214-1992 附录 A 表 A13 取方案 5：7，此时， $\alpha=\beta=0.20$ ， $D_m=3.0$

A.1.3 计算累积试验时间

由方案 5：7 得到总试验时间（即截尾试验）为：

$$T=1.46m_0=21900h$$

A.1.4 计算每台产品的试验时间和受试产品总台数

如果试验是有替换的，新产品投入批试后的批量在 200 台以上，则由附录 A 表 A1 可取总样品数 $n=20$ 台，每台试验时间为：

$$t=\frac{T}{n}=\frac{21900}{20}=1095h$$

A.1.5 确定判定原则

查 JB/T6214-1992 附录 A 表 A13 得到：

当 $r < 3$ 时接收批产品

当 $r \geq 3$ 时拒收批产品

A.1.6 相关试验时间和相关失效数

若试验过程中记录到的相关失效数和相关试验时间：

当 $r = 1$ 时， $T = 2500h$ ；

当 $r = 2$ 时， $T = 21000h$ ；

以后到试验结束不再发生其它失效。

A.1.7 判定

因为在累积试验时间内仅发生 2 次失效，根据判定原则该产品验证试验结果已达到产品可靠性指标要求，可以接收批产品。

A.2 若上述例子中的新研制产品已转入正常的批量生产，在正常生产过程中，按规定的时间要对产品可靠性指标进行验证，此时，试验步骤如下：

A.2.1 确定试验类型

显然本例属于生产过程中的可靠性验证试验。

A.2.2 选取试验方案

因为该产品的可靠性已有基础（如产品性能很好），在生产过程中进行验证试验，希望尽快作出判定，按 JB/T6214-1992 中第 6.3.2 条原则可选择截尾序贯试验方案。查 JB/T6214-1992 附 A 表 A2 取方案 4：7， $\alpha=\beta=0.20$ ， $Dm=3.0$

A.2.3 计算累积试验时间

由表 A2 方案 4：7 得到 $m=m_0$ 时作出判定的期望时间为：

$$T=1.14 m_0=16500h$$

由表 A9 方案 4：7 合格判定表得最小累积试验时间为

$$T_{\min}=0.89m_0=13350h$$

最长累积试验时间为

$$T_{\max}=1.5m_0=22500h$$

A.2.4 相关累积试验时间和相关失效数

若试验过程中记录到的相关失效数和相关试验时间：

$$\text{当 } r=1 \text{ 时, } T=2500h=0.167m_0$$

$$\text{当 } r=2 \text{ 时, } T=21000h=1.4m_0$$

A.2.5 判定

根据 JB/T6214-1992 表 A9 或图 A22，由上述试验数据分析得

当 $r=1$ 时， $T=2500h=0.167m_0$ ，小于接收要求，处于继续试验区，不能判定要继续进行试验。

当 $r=2$ 时， $T=1.4m_0$ ，仍小于接收要求，还需继续进行试验。

如果试验持续到 $T=1.5m_0$ 时， $r=2$ ，则可以判定该产品验证试验结果已达到产品可靠性指标要求，接收批产品。

如果新研制产品很好，在工作到 $T \geq 0.89m_0$ 时，失效数为零，则试验可以提早（比定时截尾试验时间短）结束，立即作出接收批产品的判定。

如果新研产品很差，在工作到 $T = 0.12m_0$ 时已有 2 个失效，则试验也可以立即停止，作出拒收批产品的判定。

A.3 若在上述 C1 的例子的可靠性验证试验合格后，有关部门还需提供该产品可靠性特征量的点估计和区间估计，此时的估计步骤如下：

A.3.1 确定试验类型

此时可以将上述定时截尾试验看作是一个测定试验。

A.3.2 确定置信水平和置信区间

根据仪器的研制阶段、成熟程度、生产工艺水平以及使用方的要求选择合适的置信水平。本例考虑产品是新研制的情况，所以取 $\beta=0.20$ ，则置信区间为 60%，单侧置信区间水平为 80%。

A.3.3 累积试验时间和累积失效数

由 A1 例子试验数据得到，试验结束时的累积试验时间为 21900h，累积失效数为 2。

A.3.4 计算 MTBF 的观测值 \hat{m}

$$\hat{m} = \frac{T}{r} = \frac{21900}{2} = 10950\text{h}$$

A.3.5 MTBF 的区间估计

由累积失效数 2 及置信区间 60% 查 JB/T6214-1992 表 3 得置信限系数：

$$C_L=0.467, C_U=2.462$$

区间估计为：

$$m_L = \hat{m} C_L = 10950 \times 0.467 = 5113.7\text{h}$$

$$m_U = \hat{m} C_U = 10950 \times 2.462 = 26564.7\text{h}$$

双侧区间表示为

$$\bar{m} = 60\% (5113.7/26564.7\text{h})$$

单侧区间表示为

$$\bar{m} = 80\%(5113.7/\infty\text{h})$$

A.3.6 结论

根据得到的平均寿命观测值的区间估计表明该产品 MTBF 真值落在 (5113.7~26564.7h) 区间的概率为 60%，同时也表明是 80%的概率使该产品 MTBF 真值大于或等于 5113.7h，但也可能有 20%的产品 MTBF 真值小于 5113.7h，需要引起注意。

附录 B

加油机定型鉴定寿命试验方法

B.1 完成准确度试验

B.1.1 试验目的

确定加油机的流量性能曲线，验证加油机在最大流量和最小流量限定的范围内，不会超出最大允许误差。

B.1.2 标准设备

符合第 JJG 443-98 《燃油加油机检定规程》20.3 款的要求。

B.1.3 试验流量

在确定的 6 个流量下，每个流量点各试 3 次。

流量试验点的确定：包括最大流量 Q_{\max} 和最小流量 Q_{\min} 在内 6 个流量点的计算公式如下：

$$Q = K^{i-1} \cdot Q_{\max}$$

$$K = \left[\frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} \right]^{\frac{1}{n-1}}$$

式中：i —— 流量试验序号；

n —— 流量试验数。

对于 $Q_{\max} : Q_{\min} = 10 : 1$ 的情况，根据公式有：

$Q(1) = 1.00 \times Q_{\max}$	$0.9Q_{\max} \leq Q(1) \leq 1.0Q_{\max}$
$Q(2) = 0.63 \times Q_{\max}$	$0.56Q_{\max} \leq Q(2) \leq 0.70Q_{\max}$
$Q(3) = 0.40 \times Q_{\max}$	$0.36Q_{\max} \leq Q(3) \leq 0.44Q_{\max}$
$Q(4) = 0.25 \times Q_{\max}$	$0.22Q_{\max} \leq Q(4) \leq 0.28Q_{\max}$
$Q(5) = 0.16 \times Q_{\max}$	$0.14Q_{\max} \leq Q(5) \leq 0.18Q_{\max}$
$Q(6) = 0.10 \times Q_{\max}$	$0.10Q_{\max} \leq Q(6) \leq 0.11Q_{\max}$

B.1.4 付费指示装置影响试验

B.1.4.1 对机械计数器，试验应在不少于相当于最大和最小扭矩下的两个单价

进行。

B.1.4.2 对电子计数器，试验应在包括最大单价的不少于 2 个单价下进行。

B.1.4.3 对同时备有机械和电子两种计数器的加油机，则准确度试验应在最大流量和最大单价下进行。

B.1.5 试验时确定示值误差的最大不确定度，应不超过最大允许误差的 1/5，试验体积应至少是 600 个刻度间隔，试验时间应不少于 1min。

B.1.6 试验程序（以标准金属量器法为例说明）：

设定最大单价；

将流量调至 1.3 款确定的 1 个流量；

湿润量器，并按规定排空量器；

使加油机示值回零；

在规定的流量下充满量器；

读取 P_U ， V_1 ， P_J ， V_B ， t_J ， y_B ；

计算 V_{Bt} ， P_C ， E_V ， E_P ；

按规定充满量器；

重复步骤（4）~（8）至少 2 次，并计算出 E_V 的变化范围；

如可能，改变单价 P_U ；

在其他 5 个流量下重复步骤（2）~（10）；

按不同单价，作出 E_V - Q 的性能曲线。

B.2 将流量调至 $0.8Q_{\max}$ 和 Q_{\max} 之间，运行 100h，也可以按每分钟发货量折算到相应的体积量，进行试验；

B.3 完成第 B.2 条所述的寿命试验后，再在 $Q(1)$ 、 $Q(4)$ 和 $Q(6)$ 3 个流量下进行准确度试验；

B.4 结果应符合 A.1 准确度试验的要求。

附录 C

新制造水表加速磨损试验

C.1 加速磨损实验包括连续流量试验和断续流量试验。

表 1 加速磨损实验内容

试验型式	试验流量	中断次数	停止工作 时间	试验流量下 的工作时间	起动和止动 的持续时间
连续	$2Q_n$	—	—	100h	—
断续	Q_n	100000	15s	15s	$0.15 Q_n$ 且最小为 1s

注：0.15 Q_n 为公称流量按 m³/h 的 0.15 倍数 (s)。

试验后示值误差的偏移规定为：

- 从最小流量（包括 Q_{\min} ）到分界流量（不包括 Q_t ）的低区 $\leq 3\%$ 。
- 从分界流量（包括 Q_t ）到最大流量（包括 Q_{\max} ）的高区 $\leq 1.5\%$ 。

C.1.1 连续性试验，水表应经受 $2Q_n$ 恒定流量历时 100h 的连续通水试验，试验可分段进行，每段时间至少 6h。

C.1.2 试验条件应符合水表安装使用的要求。试验时应配有检查流量指示计和试验持续时间的设备，试验前应排尽空气，并保证不引起气穴。

C.1.3 每次试验时流量值的相对变化不能超过 10%（启动和停止时除外），试验结果时指示的体积，应不少于根据理论试验流量和理论持续时间的乘积确定的容积。

C.2 断续性试验，水表应经受 Q_n 流量下，100000 次断续通水试验，试验可分段进行，每段时间至少 6h，断续试验可在串联、并联或两种方法混合连接的情况下进行，并能保证水表及管内满流。

C.2.1 重复开启和关闭时，应使流量逐渐变化，防止水锤发生。

C.2.2 开启、关闭和停止期以外的流量值的相对变化不应超过 $\pm 10\%$ ，各阶段规定的持续时间（15s）的允许误差不应超过 $\pm 10\%$ ，总的持续时间的允许误差不应超过 $\pm 5\%$ 。

C.2.3 断续试验的开启、关闭周期数不得少于 10 万次，但不应大于规定数的 1%。

C.2.4 试验期间流过的 等于理论试验流量与总的理论试验时间的乘积的 1/2，允许误差为±5%。

C.2.5 起动、停止(指流量从 0 上升到 Q_n ，从 Q_n 下降到 0)持续时间各为 $0.15Q_n$ ，但不少于 1s。

C.2.6 试验时，停止持续时间及试验流量下的运行持续时间均为 15s。

附录 D

全电子式电能表定型鉴定可靠性试验

全电子式电能表可靠性试验采用在试验室条件下的可靠性验证试验。

D.1 试验方案选择

电能表产品可靠性验证试验类型按 JB/T6214-1992 中第 6.3.2 条原则, 选择定时定数截尾试验类型。验证试验方案选用 JB/T6214-1992 附录 A 表 13 方案 5:7, 即: $\alpha = \beta = 0.2$, $D_m = 3$, 截尾时间 = $1.46m_0$ 。截尾失效数 $r = 3$ (合格判定数为 $r - 1 = 2$)

注:

m_1 : 试验的 MTTF [平均寿命 (平均无故障工作时间)] 下限。不合格的 MTTF 值。标准的试验方案只以高概率拒收其真实 MTTF 接近 (m_1) 的产品。

m_0 : 试验的 MTTF 上限。合格的 MTTF 值。等于鉴别比乘以试验的 MTTF 下限 (m_1)。标准的试验方案以高概率接受其真实 MTTF 接近 (m_0) 的产品, 该值 (m_0) 实际上可以根据以往的经验 and 掌握的信息来得到。

α : 生产方风险。产品 MTTF 的真值等于 MTTF 试验值的上限值时, 产品被拒收的概率 (合格产品被误判为不合格的概率)。当产品实际的 MTTF 值大于试验值的上限值时, 产品被拒收的概率将低于生产方风险。

β : 使用方风险。产品 MTTF 的真值等于 MTTF 试验值的下限值时, 产品被拒收的概率 (不合格产品被误判为合格的概率)。

D_m : 鉴别比。试验 MTTF 上限 (m_0) 与试验的 MTTF 下限 (m_1) 之比, 即 $D_m = m_0 / m_1$ 。

D.2 一般试验程序

从给定的总体中随机地抽取一定数量的产品, 在第 4 条规定的条件下进行试验。在试验过程中记录逐次累计关联试验时间和失效数。试验时间及失效数应累计到按定时定数截尾试验方案得到截尾条件为止。

D.3 试验样本的确定和累计试验时间的计算

D.3.1 试验样本

试验样本应为出厂检验合格的产品。试验样本在总数为三相电能表 200 台、单相电能表 1000 台以上的总体中随机抽取。样本大小可为: 22、27、32、37、

42 台（实际抽取的为 25、30、35、40、45 台，多抽的三台作为投入试验前样本测试的更换样品）。

D.3.2 累计试验时间的计算

第 K 次失效的累计试验时间为：

$$T_k = \sum_{m=1}^n t_{k,m}$$

式中： T_k ——第 K 次失效的累计试验时间，h；

$t_{k,m}$ ——第 K 次失效时，第 m 号受试产品的试验时间，h；

n ——受试产品总数，台。

在判定点上未出现失效时的累计试验时间：

$$T = \sum_{m=1}^n t_m$$

式中： T ——累计试验时间，h；

t_m ——到判定点时第 m 号表的试验时间，h。

D.3.3 单台等效试验时间

试验样本大小与单台等效试验时间见下表。

试验样本大小与单台等效试验时间

M_1	10 950h(5 年)	21 900h (10 年)
样本大小	等效试验时间 (h)	
22	2 398	4 796
27	1 918	3 837
32	1 599	3 197
37	1 370	2 741
42	1 199	2 398

注：10 950、21 900h 分别等效 5 年、10 年。

规定的等效试验时间是在额定负载（基本电流额定电压 $\cos \phi = 1.0$ ）下连续运行到规定的试验截止时间，或在允许最大负载连续运行到换算为上述电能表转盘转速相等的时间。

D.4 试验工作条件

试验工作条件如下表所示。

试验工作条件

温 度	-20~65℃
湿 度	25%~80%
工作位置	垂直工作位置
电 压	电网电压±20%
电 流	标定电流
频 率	电网频率±5%
波 形	正弦电压和电流，畸变因数小于 5%
磁 场	地磁场

D.4.1 温度条件

试验的环境温度在试验期间的变化按照下表的规定。

试验环境温度

温度范围	代表值	符号	相对持续时间	总和
-15~-25℃	-20℃	A	0.5	1.0
+60~+70℃	+65℃	B	0.5	

D.4.2 电压和频率

电压和频率的变化为基本同步以额定值为基点上下浮动（在 $\pm 20\% U_n$ 和 f_n 范围内）。

D.5 试验样本的性能测试

D.5.1 测试项目

测试项目包括基本误差、启动试验、潜动、功率消耗、交流电压试验、电能表常数检验试验和计度示值误差试验七项。

D.5.2 测试条件

除试验项目中有规定的试验条件外，其他试验条件均应符合下述要求。

- a) 检验装置应符合 JJG597-1989《交流电能表检定装置检定规程》的要求；
- b) 表壳不开封；

- c) 在进行任一试验之前，电压线路应至少通电 1h；
d) 参比条件见下表。

参比条件

影 响 量	参比值	允许偏差
环境温度	参比温度	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
工作位置	垂直工作位置	$\pm 0.5^{\circ}$
电 压	参比电压	电网电压 $\pm 1.0\%$
频 率	参比频率	电网频率 $\pm 0.3\%$
波 形	正弦电压和电流	畸变因数小于 2%
工频外磁场强度	磁感强度等于零	0.05mT

D.5.3 测试时间

可靠寿命选为 10 年，除作投入可靠性试验前测试和运行结束测试外，还应在 5 年进行运行试验中测试。

D.6 可靠性判定原则

D.6.1 失效判定

在 5.1 条中规定的测试项目，每一项失效都计为 1。

D.6.2 投入可靠性试验前样本测试结果判定

投入可靠性试验前样本进行 5.1 条中规定的 7 个项目的测试，并作失效判定（样本中出现不合格样品不多于 2 台的允许用合格样品更换，更换只允许一次）。

D.6.3 可靠性试验运行中结果判定

D.6.3.1 样本在投入可靠性连续运行试验中，如样品出现影响安全性能的故障，则判该样品失效。

D.6.3.2 可靠性运行试验进行 5.1 条中规定的 7 个项目的测试，并作失效判定。

D.6.4 可靠性运行试验结束时测试结果判定

可靠性运行试验结束时进行 5.1 条中规定的 7 个项目的测试，并作失效判定。

D.6.5 试验结果判定

失效数 r 以样品为单位计, 对同一样品发生一个或一个以上的项目失效时, 均以一个失效样品计。

试验截止时, 当 $r \leq 2$ 时, 判定产品可靠性验证试验为合格; 当 $r > 2$ 时, 判定产品可靠性验证试验为不合格。

附录 E

参考文献

- [1] GB/T 7826-1987 系统可靠性分析技术 失效模式和效应分析 (FMEA) 程序
 - [2] GB/T 7827-1987 可靠性预计程序
 - [3] GB/T 7828-1987 可靠性设计评审
 - [4] GB/T 7829-1987 故障树分析程序
 - [5] GB/T 4888-1985 故障树名词术语和符号
 - [6] GB/T 2689.1-1981 恒定应力寿命试验和加速寿命试验方法总则
 - [7] GB/T 3187-1994 可靠性、维修性术语
 - [8] JB/T 6214-1992 仪器仪表可靠性验证试验及测定试验 (指数分布) 导则
 - [9] 王锡吉编著《可靠性工程基础》电子工业出版社 1982
 - [10] 王锡吉编著《可靠性工程技术》电子工业出版社 1982
 - [11] 曾天翔、丁连芬等译《可靠性设计手册》航空工业出版社 1987
 - [12] 杨为民、阮镰、俞沼等《可靠性维修性保障性丛书》国防工业出版社
-