

本规范主要起草人：

刘智敏 （中国计量科学研究院）

目 录

1	范围目的·····	(1)
2	名词·····	(1)
3	可靠性表示·····	(1)
4	可靠性评定·····	(5)

计量器具的可靠性分析原则技术规范

1 范围目的

本规范提出计量器具可靠性的基本概念、特征和分析法，以保证量值的准确可靠。

2 名词

2.1 可靠性 (reliability or reliability performance)

计量器具在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力。

2.2 可靠度 (reliability)

计量器具在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的概率。

2.3 失效 (failure)

计量器具丧失规定的功能，表现为其不确定度超过允许值或功能失常（对可修复器具，也称故障）。

2.4 早期失效 (early failure)

计量器具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。

2.5 偶然失效 (random failure)

计量器具由于偶然因素发生的失效。

2.6 耗损失效 (wear-out failure)

计量器具由于老化、磨损、损耗、疲劳等因素引起的失效。

3 可靠性表示

3.1 可靠度函数 $R(t)$

在规定条件下，于规定时间 t 内，完成规定功能的概率 $R(t)$

$$0 \leq R(t) \leq 1$$

例：1 000 台仪器，开始工作至 500 h（小时）有 1 台失效，工作至 1 000 h，共有 10 台失效，则可靠度函数的估计值：

$$\hat{R}(500 \text{ h}) = \frac{1\,000 - 1}{1\,000} = 0.999$$

$$\hat{R}(1\,000 \text{ h}) = \frac{1\,000 - 10}{1\,000} = 0.99$$

3.2 失效分布函数 $F(t)$ 及失效分布密度 $f(t)$

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$f(t) = \frac{d}{dt}F(t)$$

失效时间 t 为一个随机变量, $f(t)$ 为 t 的失效 (概率) 分布密度。

3.3 失效率函数 $\lambda(t)$

工作到某时刻 t 尚未失效的计量器具, 在该时刻后单位时间内发生失效的概率

$$\lambda(t) = \frac{-1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

它的估计值为: $[t, t + \Delta t]$ 内发生失效的器具数, 除以 Δt 及在 t 时刻为止尚未出现失效的器具数之积。

3.4 平均寿命 θ

对可修复器具为平均无故障工作时间 $MTBF$, 对不可修复器具为平均失效前工作时间 $MTTF$ 。

$$\theta = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

θ 为失效时间 t 的数学期望 $\theta = Et$ 。

当实验得到计量器具 n 个样品的寿命为 $t_1, t_2, \dots, t_n$, 则 θ 的估计值

$$\hat{\theta} = \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

3.5 可靠寿命 t_R

给定可靠度 R , 满足 $R(t_R) = R$ 的 t_R 称可靠度 R 的可靠寿命。 $R=0.5$ 的可靠寿命 t_0 又称为中位寿命。

3.6 寿命标准差 σ

失效时间 t 的标准差

$$\sigma = \sqrt{\int_0^{\infty} (t - \theta)^2 f(t) dt}$$

当实验得到计量器具 n 个样品的寿命为 $t_1, t_2, \dots, t_n$, 则 σ 的估计值用贝塞尔法时为

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}{n} \right)} \end{aligned}$$

3.7 失效分布

常用的为指数分布, 其

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

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

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

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

$\theta = \frac{1}{\lambda}$

可靠度 R 下的可靠寿命

$t_R = \frac{-\ln R}{\lambda} = k_R \frac{1}{\lambda} = k_R \theta$

k_R 如表 1:

表 1

R	0.999	0.99	0.95	0.90	0.50	e^{-1}
k_R	0.001 0	0.010 1	0.051 3	0.105 4	0.693 1	1

由表可见，中位寿命 $t_{0.50} = 0.693\ 1\theta$ ，平均寿命 θ 为可靠度 $R = e^{-1} \approx 0.368$ 的可靠寿命。

计量器具常在偶然失效期使用，此时失效率近于常数，故本规范用指数分布。可靠性中还用威布尔分布等。

3.8 截尾实验寿命计算

3.8.1 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 $t_1 \leq t_2 \leq \cdots \leq t_r$ 。

定数截尾：做到 r 个失效停止，则平均寿命估计值

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

定时截尾：实验到时间 t 结束，则平均寿命估计值

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

例：某器具在无替换定时 $t = 20\ \text{h}$ 截尾下，实验 $n = 88$ 台，得表 2 数值。

表 2

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

于是

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

3.8.2 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 $t_1 \leq t_2 \leq \cdots \leq t_r$ 。

定数截尾：做到 r 个失效停止，则平均寿命估计值

$$\hat{\theta} = \frac{1}{r} n t_r$$

定时截尾：实验到时间 t 结束，则平均寿命估计值

$$\hat{\theta} = \frac{1}{r} n t$$

例：某器具在有替换定时 $t = 70$ 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

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

3.9 加速实验寿命计算

为减少实验时间，可作加速实验。

对阿伦尼斯法，可靠寿命为

$$t = 10^{a+b/T}$$

式中： a ， b ——常数；

T ——应力。

则

$$\lg t = a + b/T$$

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：测得某计量器具在温度 T_i 下平均寿命 t_i 如下：

$T_1 = 463$ K,	$t_1 = 5\,900$ h
$T_2 = 493$ K,	$t_2 = 2\,600$ h
$T_3 = 513$ K,	$t_3 = 1\,600$ h
$T_4 = 533$ K,	$t_4 = 1\,040$ h

则温度 T 与平均寿命 t 的关系式

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

中的常数由最小二乘法算得为 (n 为 i 的个数)

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

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

4 可靠性评定

4.1 检定周期

4.1.1 依据原则

在可靠性达到要求的前提下, 年检定耗费最少。

4.1.2 考虑因素

- a. 要求的不确定度;
- b. 由于计量器具失效引起的后果;
- c. 使用程度与严酷性;
- d. 磨损与漂移趋势;
- e. 环境条件;
- f. 制造厂建议;
- g. 内部检查校准频率与方式;
- h. 与其他基准比对频率;
- i. 已有检定数据趋势;
- j. 维护使用记录史。

4.1.3 首次检定

首次检定周期由有经验专业人员根据国内外同类器具资料确定, 以后再调节。

4.1.4 可靠度函数法

确定可靠度函数 $R(t)$ 及平均寿命 θ , 由

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

决定工作时间 t , 再根据平均工作时间, 决定检定周期。

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 , 故取检定周期为 5 个月。

4.1.5 统计计算法

对某类型器具可统计下列之一:

- a. 任一支的 T_0 年变化;
- b. 若干支的 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：某器具每年变化如下（ $T_0=1$ ，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 1.0，则一年超过概率为 1/20，故周期为 1 年。

4.2 联合设备可靠性

4.2.1 串联： n 个设备独立一起工作

$$\text{可靠度 } R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

若各 λ_i 相同，则 $MTBF = MTBF_1/n$

4.2.2 并联： n 个设备独立一起工作

$$\text{可靠度 } R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

若各 λ_i 相同，则

$$MTBF = MTBF_1 \left(1 + \frac{1}{2} + \cdots + \frac{1}{n} \right)$$

中华人民共和国
国家计量技术规范
计量器具的可靠性分析原则
JJF 1024—1991
国家技术监督局发布

*

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
邮政编码 100013
电话 (010)64275360
E-mail jifxb@263.net.cn
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张 0.75 字数 9千字
1991年6月第1版 2002年7月第2次印刷
印数 9 001—10 500
统一书号 155026-1611 定价: 12.00 元



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1024—1991

计量器具的可靠性分析原则

Reliability Analysis Principle
for Measuring Instruments

1991—03—04 发布

1991—12—01 实施

国家技术监督局 发布

计量器具的可靠性分析原则

技 术 规 范

Technical Norm of Reliability Analysis

Principle for Measuring Instruments

JJF 1024—1991

本技术规范经国家技术监督局于 1991 年 03 月 04 日批准，并自 1991 年 12 月 01 日起施行。

归口单位： 中国计量科学研究院

起草单位： 中国计量科学研究院