

JJG

中华人民共和国国家计量技术规范

JJG 1024—91

计量器具的可靠性分析原则

1991年3月4日批准

1991年12月1日实施

国家技术监督局

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

JJG 1024—91

〔国家技术监督局颁布〕

—18—

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—18—

开本 850×1168/32 印张 0.375 字数 6 千字
1991 年 6 月第 1 版 1991 年 6 月第 1 次印刷
印数 1—9 000

统一书号 155226-500 定价 1.00 元

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

JJG 1024—91

本技术规范经国家技术监督局于1991年3月4日批准，并自1991年12月1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

本规程技术条文由起草单位负责解释。

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	(6)

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: 1000 台仪器,开始工作至 500 h (小时) 有 1 台失效,工作至 1000 h,共有 10 台失效,则可靠度函数的估计值。

$$\hat{R}(500 \text{ h}) = \frac{1000 - 1}{1000} = 0.999$$

$$\hat{R}(1000 \text{ h}) = \frac{1000 - 10}{1000} = 0.99$$

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 $t_{0.5}$ 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

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}{n} \right)}$$

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

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

 k_R 如表:

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 $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r$ 。

定数截尾: 做到 r 个失效停止, 则平均寿命估计值

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

定时截尾: 实验到时间 t 结束, 则平均寿命估计值

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

例: 某器具在无替换定时 $t = 20$ 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

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

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 $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_r$ 。

定数截尾: 做到 r 个失效停止, 则平均寿命估计值

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

定时截尾：实验到时间 t 结束，则平均寿命估计值

$$\hat{\theta} = \frac{1}{r} nr$$

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：

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

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 t 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. 与其它基准比对频率;
- 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 $\theta = 5000$ h, 取 $R(t) = 0.95$, 得 $t = 256$ 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 $1/20$, 故周期为一年。

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

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