

ICS 17.220
N 22
备案号: 56231-2016

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1593 — 2016

电能信息采集终端可靠性验证方法

Reliability demonstration testing method for electro energy
data acquire terminal

2016-08-16 发布

2016-12-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 可靠性要求 2

5 试验方案 2

 5.1 总体方案 2

 5.2 加速系数 2

 5.3 应力条件 3

 5.4 试验样品 3

 5.5 最小试验时间和试验终止时间 3

6 试验方法 4

 6.1 样品工作状态 4

 6.2 试验周期及各应力水平的试验时间 4

 6.3 失效分类（测试项目）及失效判据 5

 6.4 测试数据记录 6

 6.5 数据处理 6

7 检验结果 10

8 检验报告 10

附录 A（规范性附录） 中位秩表 11

附录 B（资料性附录） 数据处理示例 16

前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业供用电标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：中国电力科学研究院、国网冀北电力有限公司、国网重庆电力公司、国网福建电力有限公司、国网江苏省电力公司电力科学研究院、北京南瑞智芯微电子科技有限公司、南京新联电子有限公司、深圳科陆电子科技股份有限公司、威胜集团有限公司、浙江万胜电力仪表有限公司。

本标准主要起草人：刘岩、申丽娟、邵源、唐悦、巨汉基、孙洪亮、蒙鑫、郭大铭、胡哲、刘喆、章宏伟、刘宣、袁瑞铭、李建新、徐晴、纪峰、路国军、朱伟杰、张望、陈连平。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

电能信息采集终端可靠性验证方法

1 范围

本标准规定了电能信息采集终端的可靠性验证试验方案和试验方法。

本标准适用于实验室评价电能信息采集终端是否符合规定的可靠性指标时进行的可靠性验证试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2689.1—1981 恒定应力寿命试验和加速寿命试验方法总则

GB/T 3187 可靠性、维修性术语

DL/T 698.31—2010 电能信息采集与管理系统 第 3-1 部分：电能信息采集终端技术规范-通用要求

IEC 61649: 2008, Ed 2.0 威布尔分析 (Weibull analysis)

IEC 62059-31-1: 2008, Ed 1.0 电能表 可靠性 第 31-1 部分：温度、湿度加速可靠性试验 (Electricity metering equipment-Dependability-Part 31-1: Accelerated reliability testing-Elevated temperature and humidity)

3 术语和定义

GB/T 3187 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 3187 中的某些术语和定义。

3.1

可靠度 reliability

产品在规定条件下和规定时间区间内，完成规定功能的概率。

3.2

可靠寿命 reliable life

产品可靠度下降到给定可靠度 R 的工作时间。

3.3

加速系数 acceleration factor

某种应力条件下的加速试验与基准应力条件的试验达到相等的累积失效概率所需时间之比。

3.4

失效 failure

产品终止完成规定功能的能力的事件。对可修复产品的失效也称为故障。

3.5

关联失效 relevant failure

在解释试验结果或计算可靠性特征量的数值时必须计入的失效。

3.6

置信度 confidence level

总体参数值落在样本统计值某一区间内的概率。

3.7

置信区间 **confidence intervals**

在某一置信度下，样本统计值与总体参数值间的误差范围。

3.8

中位秩 **midian rank**

在 N 个单元样本第 j 次失效时，真实失效概率在 50% 的置信度上应具有的值或不可靠性的最佳估计值。

3.9

悬置项 **suspended item**

可靠性测试截止时没有发生关联失效的项。该项可没有发生任何失效或可在其他项测试时发生失效，也称审查项。

3.10

应力条件 **stress condition**

在加速寿命试验中对电能信息采集终端设定的试验条件。

3.11

电能信息采集终端 **electro energy data acquire terminal**

电能信息采集终端是负责各信息采集点的电能信息的采集、数据管理、数据传输以及执行或转发主站下发的控制命令的设备。电能信息采集终端按应用场所可分为厂站采集终端、专变采集终端、公变采集终端和低压集中抄表终端（包括低压集中器、低压采集器）等类型。

4 可靠性要求

本标准验证的可靠性要求为终端 Y 年时失效率 $\leq F\%$ ，示例为验证低压集中抄表终端 8 年或其他终端（厂站采集终端、专变采集终端、公变采集终端等类型）5 年时，失效概率 $\leq 10\%$ ，置信度 50%。

5 试验方案

5.1 总体方案

总体方案如下：

- 采集终端的可靠性模型应为串联模型，即采集终端任一功能模块失效，则采集终端就失效。
- 采集终端的寿命基本服从威布尔分布，在此前提下，本标准对试验数据进行统计分析，估算失效前工作时间的失效概率密度函数。
- 试验室试验参考 IEC 62059-31-1：2008，采用基于 peck 模型的温、湿度组合恒定应力加速寿命试验，选择 4 种温、湿度组合应力水平。每组恒定应力加速寿命试验采用定时截尾试验，最小试验时间根据每组加速应力水平的加速系数和终端可靠性要求确定，在最小试验时间结束时失效样品数 $r \geq 5$ ，试验即可终止，否则应延长试验时间。最后用数值分析的方法，根据加速条件下收集到的数据推导出正常使用条件下可靠性特征量的估计值。
- 试验中发生失效的样品不应修复。

5.2 加速系数

Peck 加速系数的计算见式（1）。

$$AF = \left(\frac{RH_u}{RH_s} \right)^{-n} e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s} \right)} \quad (1)$$

式中：

- RH_u ——使用条件下的百分比相对湿度;
- RH_s ——应力条件下的百分比相对湿度;
- T_u ——使用条件下以 K 表示的温度;
- T_s ——应力条件下以 K 表示的温度;
- k ——玻尔兹曼常数 ($8.617 \times 10^{-5} \text{eV/K}$);
- E_a ——以电子伏表示的活化能 (E_a 为 $0.3 \sim 1.5$, 典型值 0.9);
- n ——常数 ($1 \sim 12$, 典型值 3)。

5.3 应力条件

- 按 GB 2689.1—1981 的规定, 加速寿命试验的应力水平应不少于四个, 选择下列四种组合应力水平:
- a) 应力水平 1: 温度 75°C , 湿度 95% 。
 - b) 应力水平 2: 温度 75°C , 湿度 85% 。
 - c) 应力水平 3: 温度 75°C , 湿度 75% 。
 - d) 应力水平 4: 温度 65°C , 湿度 95% 。

5.4 试验样品

受试样品从批量生产的经过出厂检验合格的同一批次终端中随机抽取。按 GB 2689.1—1981 的规定, 每个组合应力试验的样品数宜不少于 10 个, 以低压集中抄终端的最小样品总数 60 个, 其他终端的最小样品总数 48 个为例, 各应力水平的最小样品数见表 1。

5.5 最小试验时间和试验终止时间

5.5.1 最小试验时间

计算方法参考 IEC 62059-31-1: 2008 附录 F。先由式 (1) 计算出每组应力条件下对应正常工作条件 (温度 20°C , 湿度 70%) 的加速系数, 再根据样本数 n 、终端可靠性要求 Y 年失效率 $\leq F\%$ 、置信度 50% 、附加失效因子 c 等, 由式 (2) 计算出每组最小试验时间 (即可能出现第 1 次失效的时间)。各应力水平下集抄终端和其他终端的样品数以及最小试验时间见表 1。

$$D_{\min}=\text{MAX}\left\{\frac{Y}{AF}\left[\frac{\ln(1-UCL_1)}{\ln\left(1-\frac{cF}{10000}\right)}\right]^2,\frac{Y}{AF}\left[\frac{\ln(1-UCL_1)}{\ln\left(1-\frac{cF}{10000}\right)}\right]^{\frac{1}{5}}\right\}$$

(2)

式中:

- Y ——终端寿命, 低压集中抄表终端 $Y=8 \times 365 \times 24$ (h), 其他终端 $Y=5 \times 365 \times 24$ (h);
- AF ——加速系数;
- UCL_1 —— 50% 置信度下的出现第 1 次失效的失效概率 (不可靠度) 估计值 (从附录 A 查到);
- F —— Y 年失效率, $F=10$;
- c ——附加失效因子 (15)。

表 1 各应力水平的最小样品数及相应的最小试验时间

序号	应力水平	加速系数	低压集中抄表终端		其他终端	
			样品数	最小试验时间/h	样品数	最小试验时间/h
1	温度 75°C , 湿度 95%	699.2	12	1463 (61d)	11	1090 (46d)

表 1（续）

序号	应力水平	加速系数	低压集中抄表终端		其他终端	
			样品数	最小试验时间/h	样品数	最小试验时间/h
2	温度 75℃，湿度 85%	500.8	13	1740（73d）	12	1276（54d）
3	温度 75℃，湿度 75%	344.1	16	1674（70d）	12	1858（78d）
4	温度 65℃，湿度 95%	287.7	19	1417（60d）	13	1893（79d）

5.5.2 试验终止时间

对于每组应力水平下的寿命试验，采用定时截尾寿命试验。试验在下列情况下可以终止：

- a) 虽然未达到最小试验时间，但是已经出现全部样品失效。
- b) 已达到最小试验时间，并且已经出现至少 5 个失效。
- c) 若达到最小试验时间，失效数小于 5，则继续试验直至出现至少 5 个失效或试验时间已经达到 2 倍最小试验时间。

6 试验方法

6.1 样品工作状态

在每组应力水平试验过程中，样品始终处于工作状态。对样品施加温度、湿度组合应力的同时，交流模拟量输入端施加额定电压 U_n 、 $0.1I_{\max}$ 、功率因数为 1.0；状态量输入端和控制输出端连接外部模拟器；测试主机通过通信线与样品连接，但不进行通信。样品在加速试验开始前，在正常试验室环境下按表 3 的测试项目进行测试，其功能和基本性能应符合要求。若样品不符合要求应给予替换，保证试验前所有样品都是合格品。

6.2 试验周期及各应力水平的试验时间

试验周期间隔见表 2。加速寿命试验开始，当温湿度试验箱内的温、湿度稳定在设置的应力水平时开始计时，第 1 个试验周期（24h）结束后中断温、湿度加速，并停止计时。样品在正常大气条件下（温度：15℃~35℃，相对湿度：25%~75%）恢复 4h~6h 后，按 6.3 的测试项目进行第一次测试。测试结束，进入下一个试验周期。表 2 中的累积试验时间是应力条件下的试验时间（单位为 h），不包括试验恢复时间和测试时间。按 GB/T 2689.1 规定一个试验周期结束，样品开始在正常大气条件下恢复和进行测试到再次进行试验的时间宜不超过 24h。

表 2 试验周期间隔

周期号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
试验间隔 ΔT_i	24	24	36	36	36	48	48	48	48	72
累积试验时间 t_i	24	48	84	120	156	204	252	300	348	420
$\ln(t_i)$	3.1781	3.8712	4.4308	4.7875	5.0499	5.3181	5.5294	5.7038	5.8522	6.0403
周期号 i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
试验间隔 ΔT_i	72	72	72	72	72	96	96	96	96	96

表 2（续）

周期号 i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
累积试验时间 t_i	492	564	636	708	780	876	972	1068	1164	1260
$\ln(t_i)$	6.1985	6.3351	6.4552	6.5624	6.6593	6.7754	6.8794	6.9735	7.0596	7.1389
周期号 i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
试验间隔 ΔT_i	96	96	96	120	120	120	120	120	120	120
累积试验时间 t_i	1356	1452	1548	1668	1788	1908	2028	2148	2268	2388
$\ln(t_i)$	7.2123	7.2807	7.3447	7.4194	7.4889	7.5538	7.6148	7.6723	7.7267	7.7782

6.3 失效分类（测试项目）及失效判据

6.3.1 失效分类

在整个试验过程中判断终端是否失效的判据是检查终端的基本功能和测量相应的性能指标。失效分类（测试项目）及失效判据见表 3，具有模拟量测量功能的低压集中抄表终端的测试项目与公变采集终端相同。通信单元测试项目为测试主机通信及主要收、发信电性能（发射频率偏差、发射信号电平、接收灵敏度等），具体试验方法见 DL/T 698 第三部分。

表 3 测试项目及失效判据

序号	失效分类 (测试项目)	失 效 判 据	终 端 类 型			
			专变采集 终端	公变采集 终端	低压集中 抄表终端	厂站采集 终端
1	状态量 采集、控制	改变所有输入状态，测试 5 次。测试主机显示的状态量与输入状态有不符，判为失效；电能量控制、远方控制失效或控制输出错误判为失效（不包括与测试主机通信失败，与主机通信失败计入通信失效）	√	√	√ ^a	—
2	电能表数据 采集	抄收失败或测试主机显示的电能表数据与电能表显示数据不一致判为失效（不包括与测试主机通信失败，与主机通信失败计入通信失效）	√	√	√	√
3	通信	终端 1~3 功能测试中出现与测试主机通信失败，判为失效（通信次数应大于 10 次）	√	√	√	√
4	电源电压变化	电源电压 $U_n+20\%$ 及 $U_n-20\%$ 时，电能表数据采集、控制、LED 显示、通信等功能有不符合要求的判为失效	√	√	√	√
5	模拟量测量 误差	测量电压、电流、功率基本误差超标准规定的最大误差值，判为失效 [测试点 U_n 、 $0.1I_n$ (1.0)、 I_n (0.5L, 1.0)、 I_{max} (1.0)，测试 5 次取平均值]	√ ^b	√	√ ^b	—
^a 对于没有状态量采集功能的终端，可不满足。						
^b 对于没有模拟量测量功能的终端，可不满足。						

6.3.2 失效判据原则

失效判据的原则如下：

- a) 因外部试验设备影响或人为因素引起的失效，不计入失效。
- b) 一个样品在同一个测试周期中出现多次相同项目的失效，只记录第一次失效，并在以后的测试周期不再对此样品进行该项目测试。
- c) 样品如在一个测试周期中出现不能自启动（自恢复），应分析原因，样品重新人工启动后进行测试。如该项目测试没有失效，相应的失效分类记录为悬置项，该项目测试发生失效，则该项记为失效项。
- d) 样品如在一个测试周期中该项目测试没有失效，但出现测试项目外的失效，应分析原因。如应力试验结束时该样品的该项目仍没有失效，则相应的失效分类记录为悬置项。

6.3.3 失效判据

对应失效分类的失效判据见表 3。

6.4 测试数据记录

每组应力水平试验时，每个测试周期应详细记录测试应力条件、试验室环境条件、测试周期数、测试间隔（ $\Delta T_i = t_k - t_{k-1}$ ）、测试原始数据以及测试人员和测试日期等。每个测试周期测试结束后，将失效项（ F ）和悬置项（ C ）的相关数据记录在失效数据表中。测试数据列表应包括失效样品号、测试时间及测试周期、累积失效时间（施加应力条件的累积试验时间，不包括测试时间）、失效分类（测试项目）、失效现象和原因等项目，见表 4。每组应力水平一张表。

如某个测试周期内某个样品测试项没有发生失效，但出现测试项目外的失效，该没有发生失效的测试项也要记录在失效数据表中，累积失效时间标记为 C ，称为悬置项或审查项。应力试验截止时进行数据分析和审查，如该测试项仍没有失效，作为悬置项处理；如该测试项已经发生失效，则作为失效项处理。某个测试周期出现样品不能自启动（自恢复），人工启动后没有发生失效时，该周期的所有测试项都作为悬置项处理。测试结束仍没有发生失效的所有样品都作为终止审查项。

累积失效时间的计算见式（3），式中 t_{k-1} 为表 3 中查到的前一测试周期的累积试验时间。即累积失效时间等于前一测试周期的累积试验时间加上本次测试周期的平均失效时间。如第 k 个测试间隔（ t_{k-1}, t_k ）中测得的失效数为 r_k ，则第 k 个测试周期间隔内的第 j （ $j=1 \cdots r_k$ ）个样品的累积失效时间 t_j 为：

$$t_j = t_{k-1} + \frac{t_k - t_{k-1}}{r_k + 1} \times j \quad (3)$$

表 4 失效数据表头格式

应力水平	温度：℃		湿度：%RH	
样品编号	测试周期	失效累积时间	失效类别（测试项目）	失效现象、原因

6.5 数据处理

6.5.1 建议根据试验数据采用数值分析方式进行数据处理，估算寿命特征（其过程见 6.5.2~6.5.8）

6.5.2 数据排序

试验结束后，根据失效数据表，按失效分类整理出各组应力条件下各个失效类的可靠性测试数据表，每组应力水平的每类失效（每个测试项目）一张表格，表格式举例见表 5。表按失效累积时间从小到大排序，如一个测试周期内该失效类出现两个或以上样品失效，则分配连续的失效序号。失效概率估计值可从附录 A 中表（参考 IEC 61649：2008 附录 C）的相应排序号行和样品数列查到。

由于样品数较少，为提高估计值的准确性，应将没有发生失效的项（包括悬置项）与发生失效的失效项一起排序（即包含所有样品信息）。参考 IEC 61649：2008 的 7.2，此时发生失效的失效序号 r_j 应使用式（4）进行调整，同时中位秩失效概率估计值 F_i 可由式（5）计算出，见示例。

$$r_j = \frac{r_r \times r_{j-1} + (N + 1)}{r_r + 1} \tag{4}$$

式中：
 r_r ——倒序排序号；
 r_{j-1} ——上一个已经调整的排序号；
 N ——该失效分类的失效项和悬置项总数，即样品总数。

$$F_i = \frac{(i - 0.3)}{(N + 0.4)} \% \tag{5}$$

式中：
 i ——调整后的排序号；
 N ——该失效分类的失效项和悬置项总数。
示例：

表× 排序调整

排序号	失效累积时间	倒序号	调整后排序号	F_i
1	500F	7	1	0.0946
2	700C	6		
3	1200F	5	$[(5 \times 1) + (7 + 1)] / (5 + 1) = 2.167$	0.2523
4	1500F	4	$[(4 \times 2.167) + (7 + 1)] / (4 + 1) = 3.334$	0.41
5	2300F	3	$[(3 \times 3.334) + (7 + 1)] / (3 + 1) = 4.501$	0.5677
6	4200C	2		
7	4500F	1	$[(1 \times 4.501) + (7 + 1)] / (1 + 1) = 6.251$	0.8042

表 5 可靠性测试数据表头格式（应力水平 i ：℃，%RH）

失效序号	样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别 (测试项目)	失效现象、原因	失效概率估计值 $F(t_i)$
------	------	------	---------------------------	----------------	---------	---------------------

6.5.3 计算各类失效在各组应力水平下的威布尔分布参数 β 和 η 的估计值

威布尔累积失效概率，即终端寿命的分布函数 $F(t)$ 的计算见式（6）：

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta} \tag{6}$$

由式（6）看出，要得到规定时间（寿命）的失效概率，必须得到威布尔分布参数 β 和 η 的估计值。
将式（6）两边取自然对数：

$$-\ln[1 - F(t)] = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \tag{7}$$

再取一次自然对数，得到式（8）：

$$\ln\{-\ln[1 - F(t)]\} = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) = -\beta \ln(\eta) + \beta \ln(t) \tag{8}$$

设：

$$y = \ln\{-\ln[1-F(t)]\}; \quad A = -\beta \ln(\eta); \quad B = \beta; \quad x = \ln(t)$$

则得到：

$$y = A + Bx \quad (9)$$

式 (9) 说明威布尔分布在威布尔概率 x - y 坐标系上是一条纵截距为 A ，斜率为 B 的直线。由各类失效在不同应力水平下的可靠性测试数据表中的失效累积时间 x_i 和失效概率估计值 y_i ，可估计各类失效在不同应力水平下的 A 值和 B 值。

由于试验过程中的一些随机因素，试验得到的 y_i 值与实际的 $A+Bx_i$ 值有差异，采用最小二乘法估计 A 值和 B 值，可使偏差平方和达到最小。根据最小二乘法原理，参考 IEC 62059-31-1:2008 6.3.4 推导出的公式 [见式 (10)、式 (11)] 分别估算出参数 B 和 A 。由 A 和 B 可得到威布尔分布参数 β 和 η 。 β 是形状参数， $\beta < 1$ 表示寿命分布在浴盆曲线的早期失效阶段； $\beta = 1$ 表示寿命分布在浴盆曲线的偶然失效阶段； $\beta > 1$ 表示寿命分布在浴盆曲线的损耗老化阶段。 η 是尺度参数或称为特征寿命 η ，即失效率为 63.2% 时的寿命。

$$B = \frac{\sum_{i=1}^p x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^p x_i \sum_{i=1}^p y_i}{p}}{\sum_{i=1}^p x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^p x_i\right)^2}{p}} \quad (10)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^p y_i}{p} - B \frac{\sum_{i=1}^p x_i}{p} \quad (11)$$

式 (10)、式 (11) 中：

$x_i = \ln(TTF_i)$ ， TTF_i 是发生第 i 个失效的累积失效时间；

$y_i = \ln\{-\ln[1-F(TTF_i)]\}$ ，其中 $F(TTF_i)$ 是对应于第 i 个失效的失效概率估计值；

p ——观察到的失效数。

由 A 和 B 可得到威布尔分布参数 β 和 η ：

$$\beta = B \quad (12)$$

$$\eta = e^{-\frac{A}{B}} \quad (13)$$

6.5.4 计算各类失效的加速系数参数 E_a 和 n

参考 IEC 62059-31-1: 2008 的 7.3，用下列公式计算各个失效分类的加速系数参数 E_a 和 n ：

$$E_a = -\frac{\sum_{i=1}^3 Y_i Z_i \sum_{i=1}^3 X_i^2 - \sum_{i=1}^3 X_i Z_i \sum_{i=1}^3 X_i Y_i}{\left(\sum_{i=1}^3 X_i Y_i\right)^2 - \sum_{i=1}^3 X_i^2 \sum_{i=1}^3 Y_i^2} \quad (14)$$

$$n = \frac{\sum_{i=1}^3 X_i Z_i - E_a \sum_{i=1}^3 X_i Y_i}{\sum_{i=1}^3 X_i^2} \quad (15)$$

式中， X_i 、 Y_i 、 Z_i 的计算公式见表 6。表中 η_1 、 η_2 、 η_3 、 η_4 分别表示按 6.5.2 计算出的应力水平 1～

应力水平 4 的 η 值。

表 6 X_i 、 Y_i 、 Z_i 的计算公式

应力水平	Z_i	X_i	Y_i
2 (75℃, 85%)	$\ln\left(\frac{\eta_2}{\eta_1}\right)$	$-\ln\left(\frac{85}{RH_1}\right)$	0
3 (75℃, 75%)	$\ln\left(\frac{\eta_3}{\eta_1}\right)$	$-\ln\left(\frac{75}{RH_1}\right)$	0
4 (65℃, 95%)	$\ln\left(\frac{\eta_4}{\eta_1}\right)$	0	$\frac{1}{k}\left(\frac{1}{273+65} - \frac{1}{273+T_1}\right)$

注： η_1 为应力水平 1（加速系数最高的应力水平）的 η ， RH_1 为应力水平的最高湿度， T_1 为应力水平的最高温度。

6.5.5 确定各类失效的正常使用条件的年平均温、湿度，并修正加速系数

对于户外安装设备的计算步骤如下：

a) 根据月最大、最小温度 T_i ，计算各个温度相对 20℃ 的加速系数 AT_i ：

$$AT_i = e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{T_i} \right)} \quad (16)$$

b) 计算 AT_i 的平均值 AT_j ；

c) 计算正常使用条件的年平均温度 T_u ：

$$T_u = \frac{1}{\frac{1}{293} - \frac{k \ln(AT_j)}{E_a}} \quad (17)$$

d) 根据月平均湿度 RH_i ，计算各个湿度相对 50%RH 的加速系数 AH_i ：

$$AH_i = \left(\frac{0.5}{RH_i} \right)^{-n} \quad (18)$$

e) 计算 RH_i 的年平均值 RH_j ；

f) 计算正常使用条件的年平均湿度 RH_u ：

$$RH_u = \frac{0.5}{AH_j^{\frac{1}{n}}} \quad (19)$$

g) 根据正常使用条件的年平均温度 T_u 和年平均湿度 RH_u ，以及 6.5.3 计算出的 E_a 和 n ，用公式 (1) 计算各类失效的各组应力水平相对正常使用条件下的平均加速系数 AF_j 。

对于遮蔽场所安装设备，可根据各地区的气候条件确定正常使用条件的年平均温度 T_u 和年平均湿度 RH_u ，并采用 6.5.3 计算出的 E_a 和 n ，由公式 (1) 计算各类失效的各组应力水平相对正常使用条件下的平均加速系数 AF_j 。

6.5.6 推算各类失效的正常使用条件下的威布尔分布参数 β 和 η 估计值

先求出正常使用条件下的累积失效时间（等于测试数据中累积失效时间 $\times$ 各应力条件下的平均加速系数 AF_j ），然后用 6.5.2 的计算方法推算出正常使用条件下的 β 和 η 的估计值。

6.5.7 计算正常使用条件的累积失效概率函数和可靠度函数

将 6.5.5 得到的各类失效的 β 和 η 值代入式 (6)，分别得到各类失效的失效概率函数： $F_1(t)$ 、 $F_2(t)$ 、 $F_3(t)$ 、 $F_4(t)$ 、 $F_5(t)$ ，则累积可靠度函数为：

$$R(t) = [1 - F_1(t)][1 - F_2(t)][1 - F_3(t)][1 - F_4(t)][1 - F_5(t)] \quad (20)$$

用式 (20) 直接计算出规定时间点的可靠度。

6.5.8 推算各类失效的 90%置信区间不可靠度的估计值

用式 (21)、式 (22) 分别计算各类失效对应 $U50_i$ (50%置信度) 的 5%置信度和 95%置信度的累积失效时间 $TTF5_i$ 和 $TTF95_i$ ，公式中的 β 和 η 值由 6.5.5 推算出， $U5_i$ 和 $U95_i$ 从附录 A 表中得到。形成各类失效的 90%置信区间表，格式见表 7。

$$TTF5_i = \eta[-\ln(1 - U5_i)]^{\frac{1}{\beta}} \quad (21)$$

$$TTF95_i = \eta[-\ln(1 - U95_i)]^{\frac{1}{\beta}} \quad (22)$$

表 7 失效分类 90%置信区间表头格式

序号	$U5_i$	$TTF5_i$	$U95_i$	$TTF95_i$	$U50_i$
----	--------	----------	---------	-----------	---------

根据得到的 ($TTF95_i$, $U50_i$) 及 ($TTF5_i$, $U50_i$) 各点，可画出各失效分类的 90%置信区间。

7 检验结果

由式 (20) 计算出终端 Y 年时在 50%置信度下的可靠度。若可靠度 $\geq 1-F\%$ ，则终端可靠性符合要求；若可靠度 $< 1-F\%$ ，则终端可靠性不符合要求。

8 检验报告

检验报告应包括以下内容：

a) 试验样品情况：

- 1) 终端名称、型号规格、生产企业；
- 2) 试验样品总数、制造年月、抽样时母体数量；
- 3) 各应力条件下的样品数量、样品编号、出厂编号。

b) 可靠性指标要求。

c) 试验时间、地点以及试验人员。

d) 测试项目和主要要求，测试设备。

e) 试验结果：

- 1) 失效综合统计表，包括应力水平、失效序号、样品编号、失效前累积工作时间、失效类型、失效现象和原因等；
- 2) 各应力条件下的各类失效总次数；
- 3) 如测试过程中发生死机现象，应在试验结果中说明发生死机的累积工作时间、应力水平和原因分析。

f) 检验结论：

- 1) 样品的可靠寿命验证值，评定是否符合可靠性指标要求；
- 2) 样品的可靠寿命验证值的区间估计。

附 录 A
(规范性附录)
中 位 秩 表

A.1 中位秩（50%置信度，见表 A.1）。

表 A.1 中位秩（50%置信度）

排序号	不可靠性最佳估计值（50%置信度） 样本数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	50	29.29	20.63	15.91	12.94	10.91	9.43	8.30	7.41	6.70
2	—	10.71	50.00	38.57	31.38	26.44	22.85	20.11	17.96	16.23
3	—	—	79.37	61.43	50.00	42.14	36.41	32.05	28.62	25.86
4	—	—	—	84.09	68.62	57.86	50.00	44.02	39.31	35.51
5	—	—	—	—	87.06	73.56	63.59	55.98	50.00	45.17
6	—	—	—	—	—	89.09	77.15	67.95	60.69	54.83
7	—	—	—	—	—	—	90.57	79.89	71.38	64.49
8	—	—	—	—	—	—	—	91.70	82.04	74.14
9	—	—	—	—	—	—	—	—	92.59	83.77
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	93.30
排序号	不可靠性最佳估计值（50%置信度） 样本数									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	6.11	5.61	5.19	4.83	4.52	4.24	4.00	3.78	3.58	3.41
2	14.80	13.60	12.58	11.70	10.94	10.27	9.68	9.15	8.68	8.25
3	23.58	21.67	20.04	18.65	17.43	16.37	15.42	14.58	13.83	13.15
4	32.38	29.76	27.53	25.61	23.94	22.47	21.18	20.02	18.99	18.05
5	41.19	37.85	35.02	32.58	30.45	28.59	26.94	25.47	24.15	22.97
6	50.00	45.95	42.51	39.54	36.97	34.71	32.70	30.92	29.32	27.88
7	58.81	54.05	50.00	46.51	43.48	40.82	38.47	36.37	34.49	32.80
8	67.62	62.15	57.49	53.49	50.00	46.94	44.23	41.82	39.66	37.71
9	76.42	70.24	64.98	60.46	56.52	53.06	50.00	47.27	44.83	42.63

表 A.1 (续)

排序号	不可靠性最佳估计值 (50%置信度) 样本数									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	85.20	78.33	72.47	67.42	63.03	59.18	55.77	52.73	50.00	47.54
11	93.89	86.40	79.96	74.39	69.55	65.29	61.53	58.18	55.17	52.46
12	—	94.39	87.42	81.35	76.06	71.41	67.30	63.63	60.34	57.37
13	—	—	94.81	88.30	82.57	77.53	73.06	69.08	65.51	62.29
14	—	—	—	95.17	89.06	83.63	78.82	74.53	70.68	67.20
15	—	—	—	—	95.48	89.73	84.58	79.98	75.85	72.12
16	—	—	—	—	—	95.76	90.32	85.42	81.01	77.03
17	—	—	—	—	—	—	96.00	90.85	86.17	81.95
18	—	—	—	—	—	—	—	96.22	91.32	86.85
19	—	—	—	—	—	—	—	—	96.42	91.75
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	96.59

A.2 中位秩 (5%置信度, 见表 A.2)。

表 A.2 中位秩 (5%置信度)

排序号	不可靠性最佳估计值 (5%置信度) 样本数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5.0	2.53	1.70	1.27	1.02	0.85	0.73	0.64	0.57	0.51
2	—	22.36	13.54	9.76	7.64	6.28	5.34	4.64	4.10	3.68
3	—	—	36.84	24.86	18.93	15.32	12.88	11.11	9.77	8.73
4	—	—	—	47.29	34.26	27.13	22.53	19.29	16.88	15.00
5	—	—	—	—	54.93	41.82	34.13	28.92	25.14	22.24
6	—	—	—	—	—	60.70	47.93	40.03	34.49	30.35
7	—	—	—	—	—	—	65.18	52.93	45.04	39.34
8	—	—	—	—	—	—	—	68.77	57.09	49.31
9	—	—	—	—	—	—	—	—	71.69	60.58
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	74.11

表 A.2 (续)

排序号	不可靠性最佳估计值 (5%置信度) 样本数									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.47	0.43	0.39	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26
2	3.33	3.05	2.81	2.60	2.42	2.27	2.13	2.01	1.90	1.81
3	7.88	7.19	6.60	6.11	5.68	5.31	4.99	4.70	4.45	4.22
4	13.51	12.29	11.27	10.40	9.67	9.03	8.46	7.97	7.53	7.14
5	19.96	18.10	16.57	15.27	14.17	13.21	12.38	11.64	10.99	10.41
6	27.12	24.53	22.40	20.61	19.09	17.78	16.64	15.63	14.75	13.96
7	34.98	31.52	28.70	26.36	24.37	22.67	21.19	19.90	18.75	17.73
8	43.56	39.09	35.48	32.50	30.00	27.86	26.01	24.40	22.97	21.71
9	52.99	47.27	42.74	39.04	35.96	33.34	31.08	29.12	27.39	25.87
10	63.56	56.19	50.54	46.00	42.26	39.10	36.40	34.06	32.01	30.20
11	76.16	66.13	58.99	53.43	48.92	45.17	41.97	39.22	36.81	34.69
12	—	77.91	68.37	61.46	56.02	51.56	47.81	44.60	41.81	39.36
13	—	—	79.42	70.33	63.66	58.34	53.95	50.22	47.00	44.20
14	—	—	—	80.47	72.06	65.62	60.44	56.11	52.42	49.22
15	—	—	—	—	81.90	73.60	67.38	62.33	58.09	54.44
16	—	—	—	—	—	82.93	74.99	68.97	64.06	59.90
17	—	—	—	—	—	—	83.84	76.23	70.42	65.63
18	—	—	—	—	—	—	—	84.67	77.36	71.74
19	—	—	—	—	—	—	—	—	85.41	78.39
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	86.09

A.3 中位秩 (95%置信度, 见表 A.3)。

表 A.3 中位秩 (95%置信度)

排序号	不可靠性最佳估计值 (95%置信度) 样本数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	95.00	77.64	63.16	52.71	45.07	39.30	34.82	31.23	28.31	25.89
2	—	97.47	86.46	75.14	65.74	58.18	52.07	47.07	42.91	39.42

表 A.3 (续)

排序号	不可靠性最佳估计值 (95%置信度) 样本数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	—	—	98.30	90.24	81.07	72.87	65.87	59.97	54.96	50.69
4	—	—	—	98.73	92.36	84.68	77.47	71.08	65.51	60.66
5	—	—	—	—	98.98	93.72	87.12	80.71	74.86	69.65
6	—	—	—	—	—	99.15	94.66	88.89	83.12	77.76
7	—	—	—	—	—	—	99.27	95.36	90.23	85.00
8	—	—	—	—	—	—	—	99.36	95.90	91.27
9	—	—	—	—	—	—	—	—	99.43	96.32
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.49
排序号	不可靠性最佳估计值 (95%置信度) 样本数									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	23.84	22.09	20.58	19.26	18.10	17.07	16.16	15.33	14.59	13.91
2	36.44	33.87	31.63	29.67	27.94	26.40	25.01	23.77	22.64	21.61
3	47.01	43.81	41.01	38.54	36.34	34.38	32.62	31.03	29.58	28.26
4	56.44	52.73	49.46	46.57	43.98	41.66	39.56	37.67	35.94	34.37
5	65.02	60.91	57.26	54.00	51.08	48.44	46.05	43.89	41.91	40.10
6	72.88	68.48	64.52	60.96	57.74	54.83	52.19	49.78	47.58	45.56
7	80.04	75.47	71.30	67.50	64.04	60.90	58.03	55.40	53.00	50.78
8	86.49	81.90	77.60	73.64	70.00	66.66	63.60	60.78	58.19	55.80
9	92.12	87.71	83.43	79.39	75.63	72.14	68.92	65.94	63.19	60.64
10	96.67	92.81	88.73	84.73	80.91	77.33	73.99	70.88	67.99	65.31
11	99.53	96.95	93.40	89.60	85.83	82.22	78.81	75.60	72.61	69.80
12	—	99.57	97.19	93.89	90.33	86.79	83.36	80.10	77.03	74.13
13	—	—	99.61	97.40	94.32	90.97	87.62	84.37	81.25	78.29
14	—	—	—	99.63	97.58	94.69	91.54	88.36	85.25	82.27

表 A.3（续）

排序号	不可靠性最佳估计值（95%置信度） 样本数									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
15	—	—	—	—	99.66	97.73	95.01	92.03	89.01	86.04
16	—	—	—	—	—	99.68	97.87	95.30	92.47	89.59
17	—	—	—	—	—	—	99.70	97.99	95.55	92.86
18	—	—	—	—	—	—	—	99.72	98.10	95.78
19	—	—	—	—	—	—	—	—	99.73	98.19
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.74

附 录 B
(资料性附录)
数据处理示例

下面举例说明根据测试数据推算正常使用条件下的终端可靠度的过程。

B.1 测试数据（失效数据表）

设 60 台集中器的四个应力水平的测试数据如表 B.1～表 B.4 所示。

表 B.1 失效数据表（应力水平 1）

应力水平	温度：75 ℃ 湿度：95 %RH			
样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别（测试项目）	失效现象、原因
9	10	384F	通信失效	与测试主机通信失败
8	12	528F	通信失效	与测试主机通信失败
11	13	600F	通信失效	与测试主机通信失败
14	13	600F	通信失效	与测试主机通信失败
15	13	600F	通信失效	与测试主机通信失败
10	14	672F	通信失效	与测试主机通信失败
13	14	672F	通信失效	与测试主机通信失败
7	16	828F	通信失效	与测试主机通信失败
4	17	924F	通信失效	与测试主机通信失败
1	18	1020F	通信失效	与测试主机通信失败
5	18	1020F	通信失效	与测试主机通信失败
6	18	1020F	通信失效	与测试主机通信失败

表 B.2 失效数据表（应力水平 2）

应力水平	温度：75 ℃ 湿度：85 %RH			
样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别（测试项目）	失效现象、原因
18	19	1116F	通信失效	与测试主机通信失败
16	25	1728F	通信失效	与测试主机通信失败
24	25	1728F	通信失效	与测试主机通信失败

表 B.3 失效数据表（应力水平 3）

应力水平	温度：75 ℃ 湿度：75 %RH			
样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别（测试项目）	失效现象、原因
39	24	1608F	通信失效	与测试主机通信失败
34	39	3408F	通信失效	与测试主机通信失败
37	42	3768F	通信失效	与测试主机通信失败
38	42	3768F	通信失效	与测试主机通信失败

表 B.4 失效数据表（应力水平 4）

应力水平	温度：65℃ 湿度：95 %RH			
样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别（测试项目）	失效现象、原因
53	19	1116F	通信失效	与测试主机通信失败
47	30	2328F	通信失效	与测试主机通信失败
48	31	2448F	通信失效	与测试主机通信失败
59	31	2448F	通信失效	与测试主机通信失败
50	32	2568F	通信失效	与测试主机通信失败
52	32	2568F	通信失效	与测试主机通信失败

B.2 数据排序

根据表 B.1～B.4 按失效类别分别排序，如表 B.5～表 B.8 所示。

表 B.5 可靠性测试数据表（应力水平 1：75℃，95%RH）

失效序号	样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别（测试项目）	失效现象、原因	失效概率估计值 $F(t_i)$
1	9	10	384F	通信失效	与测试主机通信失败	0.0452
2	8	12	528F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1094
3	11	13	600F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1743
4	14	13	600F	通信失效	与测试主机通信失败	0.2394
5	15	13	600F	通信失效	与测试主机通信失败	0.3045
6	10	14	672F	通信失效	与测试主机通信失败	0.3697
7	13	14	672F	通信失效	与测试主机通信失败	0.4348
8	7	16	828F	通信失效	与测试主机通信失败	0.5000

表 B.5 (续)

失效序号	样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别 (测试项目)	失效现象、原因	失效概率估计值 $F(t_i)$
9	4	17	924F	通信失效	与测试主机通信失败	0.5652
10	1	18	1020F	通信失效	与测试主机通信失败	0.6303
11	5	18	1020F	通信失效	与测试主机通信失败	0.6955
12	6	18	1020F	通信失效	与测试主机通信失败	0.7606

表 B.6 可靠性测试数据表 (应力水平 2: 75℃, 85%RH)

失效序号	样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别 (测试项目)	失效现象、原因	失效概率估计值 $F(t_i)$
1	18	19	1116F	通信失效	与测试主机通信失败	0.0452
2	16	25	1728F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1094
3	24	25	1728F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1743

表 B.7 可靠性测试数据表 (应力水平 3: 75℃, 75%RH)

失效序号	样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别 (测试项目)	失效现象、原因	失效概率估计值 $F(t_i)$
1	39	24	1608F	通信失效	与测试主机通信失败	0.0452
2	34	39	3408F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1094
3	37	42	3768F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1743
4	38	42	3768F	通信失效	与测试主机通信失败	0.2394

表 B.8 可靠性测试数据表 (应力水平 4: 65℃, 95%RH)

失效序号	样品编号	测试周期	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	失效类别 (测试项目)	失效现象、原因	失效概率估计值 $F(t_i)$
1	53	19	1116F	通信失效	与测试主机通信失败	0.0452
2	47	30	2328F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1094
3	48	31	2448F	通信失效	与测试主机通信失败	0.1743
4	59	31	2448F	通信失效	与测试主机通信失败	0.2394
5	50	32	2568F	通信失效	与测试主机通信失败	0.3045
6	52	32	2568F	通信失效	与测试主机通信失败	0.3697

由于样品数量小, 失效数据较少, 为数据完整性和结果的准确性插入审查项, 按失效分类和应力水平重新排序, 并计算, 见表 B.9~表 B.12 (可使用 Excel 表计算调整后排序、调整后失效概率估计值、 x_i 、 y_i 等)。

表 B.9 调整后通信失效排序 1 (应力水平 1: 75℃, 95%RH)

失效 序号	倒 序号	样品 编号	调整后 排序	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	调整后失效概率 估计值 $F(t_i)$	$x_i=\ln(TTF_i)$	$y_i=\ln\{-\ln[1-F(TTF_i)]\}$
1	15	9	1	384F	0.0455	5.9606	-3.0668
2	14	8	2	528F	0.1104	6.2691	-2.1457
3	13	11	3	600F	0.1753	6.3969	-1.6464
4	12	14	4	600F	0.2403	6.3969	-1.2915
5	11	15	5	600F	0.3052	6.3969	-1.0102
6	10	10	6	660F	0.3701	6.4922	-0.7718
7	9	13	7	684F	0.4351	6.5280	-0.5602
8	8	7	8	828F	0.5000	6.7190	-0.3665
9	7	4	9	924F	0.5649	6.8287	-0.1837
10	6	1	10	996F	0.6299	6.9037	-0.0060
11	5	5	11	1020F	0.6948	6.9276	0.1713
12	4	6	12	1020F	0.7597	6.9276	0.3548
13	3	2		1020C			
14	2	3		1020C			
15	1	12		1020C			

表 B.10 调整后通信失效排序 2 (应力水平 2: 75℃, 85%RH)

失效 序号	倒 序号	样品 编号	调整后 排序	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	调整后失效概率 估计值 $F(t_i)$	$x_i=\ln(TTF_i)$	$y_i=\ln\{-\ln[1-F(TTF_i)]\}$
1	15	18	1	1116F	0.0455	7.0175	-3.0668
2	14	16	2	1728F	0.1104	7.4548	-2.1457
3	13	24	3	1728F	0.1753	7.4547	-1.6464
4	12	17		1728C			
5	11	19		1728C			
6	10	20		1728C			
7	9	21		1728C			
8	8	22		1728C			
9	7	23		1728C			
10	6	25		1728C			
11	5	26		1728C			
12	4	27		1728C			

表 B.10 (续)

失效 序号	倒 序号	样品 编号	调整后 排序	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	调整后失效概率 估计值 $F(t_i)$	$x_i=\ln(TTF_i)$	$y_i=\ln\{-\ln[1-F(TTF_i)]\}$
13	3	28		1728C			
14	2	29		1728C			
15	1	30		1728C			

表 B.11 调整后通信失效排序 3 (应力水平 3: 75℃, 75%RH)

失效 序号	倒 序号	样品 编号	调整后 排序	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	调整后失效概率 估计值 $F(t_i)$	$x_i=\ln(TTF_i)$	$y_i=\ln\{-\ln[1-F(TTF_i)]\}$
1	15	39	1	1608F	0.0455	7.3827	-3.0668
2	14	34	2	3408F	0.1104	8.1339	-2.1457
3	13	37	3	3768F	0.1753	8.2343	-1.6464
4	12	38	4	3768F	0.2403	8.2343	-1.2915
5	11	31					
6	10	32					
7	9	33					
8	8	35					
9	7	36					
10	6	40					
11	5	41					
12	4	42					
13	3	43					
14	2	44					
15	1	45					

表 B.12 调整后通信失效排序 4 (应力水平 4: 65℃, 95%RH)

失效 序号	倒 序号	样品 编号	调整后 排序	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	调整后失效概率 估计值 $F(t_i)$	$x_i=\ln(TTF_i)$	$y_i=\ln\{-\ln[1-F(TTF_i)]\}$
1	15	53	1	1116F	0.0455	7.0175	-3.0668
2	14	47	2	2328F	0.1104	7.7528	-2.1457
3	13	48	3	2448F	0.1753	7.8030	-1.6464
4	12	59	4	2448F	0.2403	7.8030	-1.2915
5	11	50	5	2568F	0.3052	7.8509	-1.0102
6	10	52	6	2568F	0.3701	7.8509	-0.7718

表 B.12 (续)

失效 序号	倒 序号	样品 编号	调整后 排序	失效累积时间 TTF_i (h) F/C	调整后失效概率 估计值 $F(t_i)$	$x_i=\ln(TTF_i)$	$y_i=\ln\{-\ln[1-F(TTF_i)]\}$
7	9	46		2568C			
8	8	49		2568C			
9	7	51		2568C			
10	6	54		2568C			
11	5	55		2568C			
12	4	56		2568C			
13	3	57		2568C			
14	2	58		2568C			
15	1	60		2568C			

由于样品数量小，失效数据较少，为提高数据完整性和结果的准确性插入审查项，按失效分类和应力水平重新排序，并根据式（4）和式（5）计算调整后排序、调整后失效概率估计值、 x_i 和 y_i 。

B.3 计算各类失效的威布尔分布参数 β 、 η

根据 x_i 和 y_i 值按 6.5.2 公式计算各类失效的威布尔分布参数 β 和 η ，计算结果见表 B.13。

表 B.13 通信失效的各应力水平最佳配置参数

温度（℃）	湿度（%）	β	η
75	95	3.2351	928.2624
75	75	2.6773	3508.5092
75	85	1.7442	9552.0991
65	95	2.2641	4495.4839

B.4 计算各类失效的加速系数参数 E_a 、 n

先计算等式 $Z=nX+E_aZY$ 的 Z 、 X 、 Y ，计算方法见 6.5.3，计算结果见表 B.14。然后根据式（14）、式（15）计算 E_a 、 n 。

表 B.14 通信失效的 X 、 Y 、 Z 值

温度（℃）	湿度（%）	Z	X	Y
75	85	1.3296	0.111	0
75	75	2.3312	0.236	0
65	95	1.5775	0	0.987

- $E_a=1.5983$;
- $n=10.2584$ 。

B.5 确定各类失效正常使用条件的年平均温度、湿度，并修正加速系数

按遮蔽场所使用的终端，设正常使用条件的年平均温度为 20℃、年平均湿度为 70%，将 B.4 得到的各类失效的 E_a 、 n 值代入式 (1)，计算出各类失效各应力水平的加速系数见表 B.15。

表 B.15 各类失效各应力水平的加速系数

应力序号	温度 (℃)	湿度 (%)	通信失效 AF
1	75	95	507752.1631
2	75	85	162226.9702
3	75	75	44926.2753
4	65	95	104908.2126

B.6 推算各类失效的正常使用条件下的威布尔分布参数 β 、 η

按失效分类整理表 B.1~表 B.4 的失效数据项，并将表中的失效累积时间乘以表 B.11 各应力条件的加速系数 AF ，得到正常使用条件下的失效累积时间，并推算出正常使用条件下的威布尔分布参数 β 、 η ，结果见表 B.16。

表 B.16 正常使用条件的威布尔分布最佳配置参数

失效类型	β	η
通信	1.8438	565289398.6

B.7 计算正常使用条件下的累积失效概率和可靠度

用公式 $F(t)=1-e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$ 计算出通信失效在规定寿命下 50%置信度的失效概率，试验样品 8 年置信度 50%的可靠度为 0.9999，验证结果满足要求。