

试
验
检
测

加速可靠性试验技术研究

王益民, 颜小鹏

(株洲南车时代电气股份有限公司 检测试验中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 王益民 (1963-), 男, 高级工程师, 主要从事电磁兼容、测控技术的研究。

摘 要: 加速可靠性试验技术是一项新兴的试验技术, 通过引入加速试验条件, 可以提高可靠性试验的费效比。主要介绍加速可靠性试验的评估换算方法, 该方法已用于铁路产品的可靠性试验中。

关键词: 可靠性; 加速可靠性试验; 加速应力; 加速系数

中图分类号: TB114.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)04-0052-03

Research of Accelerated Reliability Test Technology

WANG Yi-min, YAN Xiao-peng

(Inspection and Test Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Accelerated reliability test is a novel test technology, improving cost-effect ratio of reliability test with leading in accelerated test conditions. Estimate and conversion methods of accelerated reliability test were introduced, which had been applied in railway products test.

Key words: reliability; accelerated reliability test; accelerated stress; accelerated coefficient

0 引言

随着对电子产品可靠性研究工作的深入开展, 可靠性试验作为提高、验证产品可靠性水平的有效手段, 已经越来越得到人们的广泛认同。由于传统的可靠性增长及鉴定试验所需时间较长, 费用较大, 如可靠性增长试验时间为产品要求的MTBF值的5~25倍。为此, 需寻找一种试验时间短而效率高的试验方法, 以提高产品可靠性水平或对产品的可靠性水平作出评估, 加速可靠性试验应运而生。加速可靠性试验不以模拟环境的真实性为目的, 而是以超出典型服役环境的加速试验条件来进行试验, 以缩短试验时间, 提高可靠性试验的费效比。

1 典型加速可靠性试验技术

1.1 加速寿命试验

随着可靠性水平的不断提高, 寿命评估面临一个长寿命评估难题, 如果按照传统的技术来进行评估, 则很难在可行的时间内完成。另一方面, 由于技术的

进步, 铁路产品更新换代的速度愈来愈快, 人们迫切期待在比较短的时间内能获得有关产品的寿命信息。加速寿命试验是在进行合理工程及统计假设的基础上, 利用与物理失效规律相关的统计模型对在超出正常应力水平的加速环境下获得的可靠性信息进行转换, 得到被试品在额定应力水平下的可靠性特征的可复现的数值估计的一种试验方法。图1为常规可靠性试验与加速可靠性试验框图。

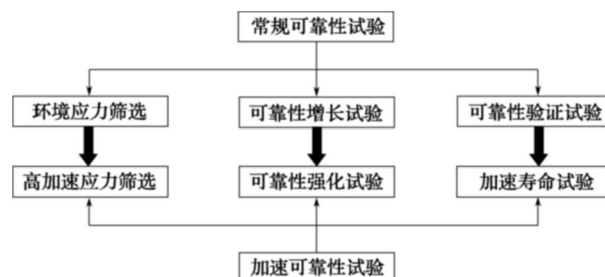


图1 常规可靠性试验与加速可靠性试验框图

1.2 试验环境条件的确定

试验应力采用了强化应力环境进行试验, 以快速激发产品潜在缺陷, 并使其以故障形式表现出来, 通过故障原因分析、失效模式分析和采取改进措施来消除缺陷, 提高产品可靠性, 并大幅度地提高试验效率,

降低试验成本。通常考虑如下环境条件: 温度加速应力, 振动加速应力, 多应力加速应力。

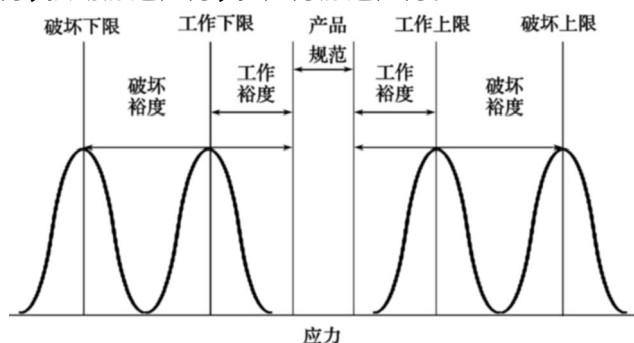


图2 应力裕度及分布区间

2 加速系数的分析

2.1 温度加速应力分析

在加速可靠性试验中, 温度是最常见的加速应力之一, Arrhenius提出了以温度为加速应力的模型:

$$L = Ae^{E/KT} \quad (1)$$

式中: L 为某寿命特征; A 为大于0的常数; E 为激活能; T 为绝对温度; K 为波尔兹曼常数。

根据定义, 可以推导出Arrhenius的加速系数为:

$$K_i = \frac{L_j}{L_i} = \frac{Ae^{E/KT_j}}{Ae^{E/KT_i}} = e^{E/K(\frac{1}{T_j} - \frac{1}{T_i})}, 0 \leq j < i \quad (2)$$

式中: L_j 为 j 温度的寿命特征; L_i 为 i 温度的寿命特征; T_j 为 j 时绝对温度; T_i 为 i 时绝对温度。

通过对Arrhenius模型研究发现, 此模型对于温度应力是非线性关系, 随着温度上升而按指数下降, 对式(1)两边取对数, 得到:

$$\ln L = a + b/T \quad (3)$$

式中: $a = \ln A$, $b = E/K$, 都是待定参数。

a 和 b 可以在大量数据的基础上通过数据拟合得到, 此模型表明了产品寿命特征的对数是温度倒数的线性函数。

2.2 振动加速应力分析

为缩短试验时间, 通常采用增加振幅的方法, 为进行模拟长寿命随机振动试验, 特作如下假设: ①所给加速度与所产生的应力之间存在比例关系; ②损坏正比于应力的某个指数乘以循环次数。

根据以上假设, 可得到如下表达式:

$$\text{损坏} = \alpha \Delta \sigma^m N_f \quad (4)$$

式中: N_f ——循环次数; $\Delta \sigma$ ——应力量级; m ——指数 (典型值为3~9); α ——常数。

图3为典型疲劳强度曲线。由图3可知, 疲劳强度公式可用下列形式表示:

$$N \leq 5 \times 10^6: \alpha_1 \Delta \sigma^{m_1} N = 1 \quad (5)$$

$$5 \times 10^6 \leq N \leq 100 \times 10^6: \alpha_2 \Delta \sigma^{m_2} N = 1 \quad (6)$$

$$m_2 = m_1 + 2$$

通常机车车辆以每年300天, 每天10 h, 使用寿命为

25年考虑, 共计 $300 \times 10 \times 25 = 75 \times 10^3$ h。使用寿命考虑的应力量级为 $\Delta \sigma_s = \Delta \sigma_1$; 则使用寿命考虑的循环数为 $N_s = 100 \times 10^6$ 。

试验持续时间为 $T = 5$ h, 与试验持续时间相对应的最小循环数 N_t :

1~2类 (车体安装和转向架安装) 为:

$$N_t = 0.036 \times 10^6$$

3类 (车轴安装) 为:

$$N_t = 0.18 \times 10^6$$

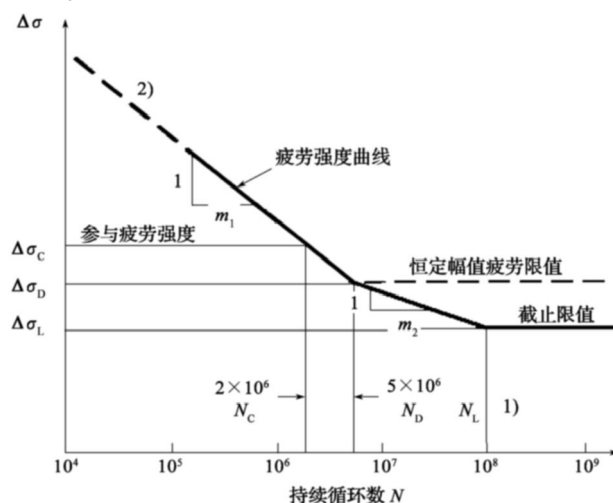


图3 典型疲劳强度曲线

试验应力量级 $\Delta \sigma_t$ 应在疲劳曲线的第一部分上。根据以上公式, 得到加速度系数为:

$$A_r = \Delta \sigma_t / \Delta \sigma_s = (\alpha_2 N_s)^{1/m_2} / (\alpha_1 N_t)^{1/m_1} \quad (7)$$

考虑到在 5×10^6 循环数时, $\Delta \sigma_D$ 为恒定幅值的疲劳限值, 则 α_1 和 α_2 可表示为:

$$\alpha_1 = 1 / (5 \times 10^6 \Delta \sigma_D^{m_1}) \quad \alpha_2 = 1 / (5 \times 10^6 \Delta \sigma_D^{m_2})$$

$$A_r = \Delta \sigma_t / \Delta \sigma_s = (\alpha_2 N_s)^{1/m_2} / (\alpha_1 N_t)^{1/m_1} = \{ (5 \times 10^6)^{1/m_1} N_s^{1/m_2} \} / \{ (5 \times 10^6)^{1/m_2} N_t^{1/m_1} \}$$

对于典型金属材料, $m_1 = 4$; $m_2 = m_1 + 2$; $N_s = 100 \times 10^6$; 对于1~2类: $N_t = 0.036 \times 10^6$; 对于3类: $N_t = 0.18 \times 10^6$; 则可得到: $A_{r1} = 5.66$; $A_{r3} = 3.78$ 。

根据此加速度系数, 可得到模拟长寿命随机试验量级如下:

$$SLLRTL = FRTL \times A_r$$

式中: $FRTL$ ——功能性随机试验量级; $SLLRTL$ ——模拟长寿命随机试验量级; A_r ——加速度系数。

2.3 多应力加速系数

铁路产品在使用过程中受到的环境应力是极其复杂的, 通常会同时受到温度、湿度、振动、电应力和电磁干扰的影响, 这些应力的综合效果就影响了产品的使用寿命, 因此在加速可靠性试验中, 多应力加速模型的建立是有很高的研究和应用价值的。但多应力环境是极其复杂的, 不可能将它们同时都和产品的寿命

联系起来,不同应力之间的耦合作用及相互影响十分复杂。为简化问题,常只考虑对其影响最大的几种情况。

目前,铁路电子产品常利用三综合(温度、湿度和振动)试验箱开展加速可靠性试验研究。下面就温度与湿度、温度和振动展开讨论。

2.3.1 温度和湿度应力寿命模型及加速系数

Peck提出了描述温湿度的加速模型:

$$L = A(H)^{-m} \cdot e^{\frac{E}{KT}} \quad (7)$$

式中: H ——相对湿度; T ——绝对温度; K ——波尔兹曼常数; E ——激活能; m 、 A ——常数。

对式(7)两边取对数得:

$$\ln L = a + b/T + \ln(H)^{-m}$$

$$K_{th} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{A(H_2)^{-m} e^{\frac{E}{KT_2}}}{A(H_1)^{-m} e^{\frac{E}{KT_1}}} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{-m} \cdot e^{\frac{E}{T_2} - \frac{E}{T_1}}$$

式中: K_{th} ——温湿度加速系数。

2.3.2 温度和振动应力加速模型和加速系数

温度和振动应力的加速模型:

$$L = Ae^{\frac{E}{KT}} \cdot K_a^m \cdot T_1$$

温度寿命关系为: $L = Ae^{\frac{E}{KT}}$

振动寿命关系为: $L = K_a^m \cdot T_1$

则温度和振动多应力加速系数为:

$$K_{tv} = e^{\frac{E}{T_2} - \frac{E}{T_1}} \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^m$$

利用三综合(温度、湿度和振动)试验箱开展多应力加速系数的分析还存在一些不完善的地方,首先是模型的确定方法;另外,忽略了各种应力之间的相关性,而只是简单地认为各个应力之间是相互独立的。因此其正确性及广泛应用性都值得进一步研究,评估方法也有待不断完善。

3 结语

加速可靠性试验技术突破了环境模拟试验技术的思路,首次应用于铁路电子产品的可靠性试验中,它的应用大大缩短了铁路电子产品的研制费用,提高电子产品的可靠性,必将为铁路运输的安全可靠运行起到十分重要的作用。

参考文献:

- [1] IEC61373—2010, Railway applications-Rolling stock equipment-shock and vibration tests[S].
- [2] 李晓阳,姜同敏. 加速寿命试验中多应力加速模型综述[J]. 系统工程与电子技术, 2007(5).
- [3] GJB 899, 可靠性检定和验收试验[S].
- [4] GJB 1407, 可靠性增长试验[S].
- [5] 康劲松,景诗毅. 多应力加速模型及加速系数研究[J]. 机电一体化, 2009(6).

(上接第47页)

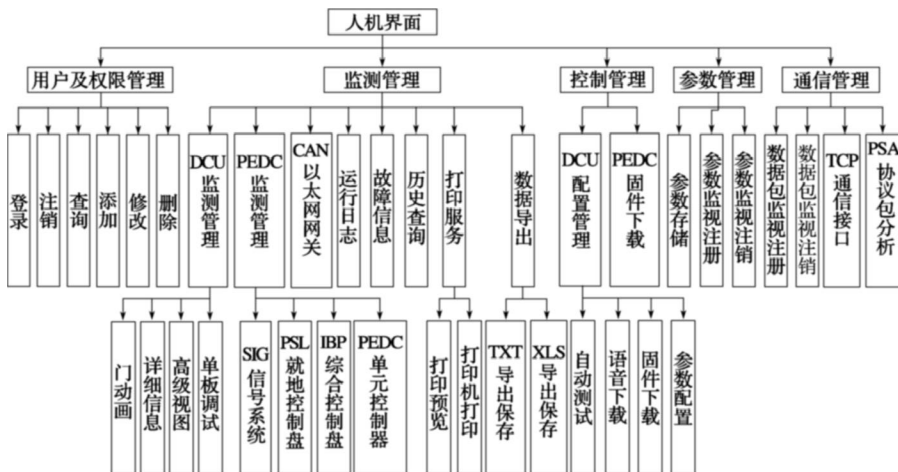


图11 软件功能结构

连接,支持多机和远程监控模式。服务端与被监控硬件设备的通信链路同时兼容以太网、串口及USB通信方式,使用统一的应用层协议来屏蔽不同的链路产生的差异。数据的存储采用SQLite进行开发。

软件框架采用面向接口的设计,总体上自上而下分成界面显示层、逻辑处理层、通信层3个层次,层与层之间严格遵守上层调用下层,下层不允许操作上层,并且上下层的关系使用面向接口的技术,而不允许面向实现,以达到层间极低的耦合度和良好的扩展特性。同时为解决层次结构中性能问题,抛弃查询方式来管

理下层状态,利用Windows的消息机制和接口机制,使上层能及时地去处理下层信息。另外,为达到并行对多个硬件设备同时操作,使用多线程处理和线程同步保证其可行性和安全性。

通过应用严格的框架模式,使上位机支持多机监控界面、多被控设备、并行通信处理等功能。

5 结语

本文设计了一种基于插件箱结构的站台屏蔽门的中央控制盘,目前已完成了各项功能及电磁兼容实验并正在配合系统做100万次开关门加速寿命试验。结果表明该系统具有可靠性高、可维护性强等优点,完全能满足城市轨道交通站台屏蔽门规范的要求。

参考文献:

- [1] CJ/T 236—2006, 城市轨道交通站台屏蔽门[S].
- [2] 何泳斌,周剑斌,张大华. 信号系统与屏蔽门系统接口控制的设计分析[J]. 城市轨道交通研究, 2005(2): 46-49.
- [3] GB/T 16855.1—2005, 机械安全 控制系统有关安全部件第1部分:设计通则[S].