

文章编号: 1674-9057(2010)02-0305-03

一种高可靠性可控硅的验证方法

刘杰, 王普

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

摘要: 利用信息熵法, 针对高可靠性可控硅产品设计了试验验证方法。通过试验, 用较小的样本量验证了产品的可靠性, 找到了目前导致洗衣机电脑面板故障、返修率升高的主要原因是可控硅的可靠性达不到指标要求。

关键词: 可控硅; 小样本; 可靠性; 熵

中图分类号: TP202.1

文献标志码: A

可控硅有导通和关断两种工作状态, 具有开关特性, 已被广泛应用在各种开关控制电路中。以洗衣机的进水和排水为例, 都是由洗衣机电脑板主芯片通过进、排水可控硅的通、断来实现自动控制的。而在这个应用中可控硅的负载是进水电磁阀和排水电机, 都是电感性负载且电感量比较大。众所周知, 感性负载在通断瞬间要产生反向电动势, 如果与之相连的可控硅的反向耐压能力不足, 则可控硅很容易被反压所击穿, 从而造成洗衣机的进排水失控。据调查, 长期以来, 很多品牌的洗衣机进排水可控硅的失效率很高, 造成产品返修率持续攀高。究其原因, 正是缺乏对这些可控硅质量的监控, 为此当前很多生产企业都对可控硅提出了较高的可靠性要求。如提出进排水可控硅应满足可靠度置信下限 $R_L = 0.999\ 99$ 、置信度 $\gamma = 0.9$ 的指标要求。按照经典方法, 要验证这么高的可靠性, 需要的样本量太大, 所需的试验经费非常高, 以至于企业根本无法承受。因此, 我们需要解决这样一个问题, 即如何以尽可能小的样本量验证如此高的产品可靠性。

1 信息熵法

对于小样本可靠性的评估问题, 可以通过利

用可靠性试验的信息量^[1] (熵) 与样本可靠性之间的内在联系加以解决^[2]。

信源一般分为离散信源和连续信源两大类。像数据、电报一类传输属于离散信源, 熵的定义为

$$H(x) = - \sum_{i=1}^N P_i(x) \log_a P_i(x). \quad (1)$$

式中: N —离散信源发送消息的个数; $P_i(x)$ —离散信源发送第 i 个消息的概率。像发送语音、图形、照片等的信源属于连续信源, 熵的定义为

$$H = - \int_0^{+\infty} P(x) \ln P(x) dx. \quad (2)$$

从上述熵的表达式(1)、(2)中, 不难看出熵与信源发出消息的概率有着十分密切的关系。下面再来看可靠性。

可靠性的定义是: 产品或者系统在给定的时间、规定的条件下, 完成规定功能的概率, 即

$$R = Prob\{g(x) > 0\}. \quad (3)$$

式中: $g(x)$ —系统要求的功能函数; x —给定时间的系统状态变量; R —系统可靠度。

显然, 可靠性也与概率密切相关。所以完全有理由进一步推断, 可靠性与熵之间一定存在着某种必然的联系。不难证明在某个系统里熵大的工况点 A 的可靠性, 一定比熵小的工况点 B 的可靠性低^[3]。这充分说明可靠性可以用熵来度量, 反过来说, 熵

收稿日期: 2009-04-01

作者简介: 刘杰(1975—), 男, 博士研究生, 控制理论与控制工程专业, oceo@163.com。

通讯作者: 王普, 教授, 博士生导师, wangpu@bjut.edu.cn。

引文格式: 刘杰, 王普. 一种高可靠性可控硅的验证方法 [J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30(2): 305-307.

也可以用可靠性来度量。

成败型产品试验信息熵可定义为

$$TH = -\ln R. \quad (4)$$

式中, R 为产品的可靠度值。

试验信息熵 TH 的值表示单个产品试验成功所获得的可靠性信息量的大小; TH 值大, 表示获得的可靠性信息量大; TH 值小, 获得的可靠性信息量小^[4]。

在失效数为零成败型可靠性试验中, 当可靠性指标和置信度要求给定之后, 实际上就是限定了整个试验过程所获取的信息量大小。这个信息量的大小不难理解就是试验样本的个数与单个试验样本的信息量的乘积。而信息熵法解决小样本问题的核心思想就是通过提高单个试验样本的试验信息量而降低试验样本的数量。通常, 增加试验样本的信息量有两种途径: 第 1 种是加大载荷; 第 2 种是减少样本承载能力。针对洗衣机的进排水可控硅的可靠性验证, 笔者采用了如下试验方法。

2 试验

2.1 试验条件和设备的确定

首先按照一般家庭使用洗衣机的平均频度来计算试验持续的时间。洗衣机的工作寿命为 10 a, 洗衣的平均频度为 250 次/a, 每次洗衣可控硅的通断次数 3 到 4 次, 这样可控硅总的通断次数为 $10 \times 250 \times 4 = 10\ 000$ 次。可以设定每次导通 45 s, 断开 15 s。所以整个试验持续时间为 167 h (约 7 d)。

洗衣机正常工作时, 电脑板上可控硅的环境温度大约为 40 °C 左右, 以某品牌可控硅为例, 可以通过减少可控硅的承载能力, 即把可控硅放到温度 125 °C 的高温炉内工作。这样可控硅承受反压的能力会大大下降。

为此搭设试验环境如下:

- (1) 试验的样本量, 24 个 (在一批可控硅中随机抽取);
- (2) 试验设备, 试验工装、恒温箱;
- (3) 试验条件, 温度 125 °C, 相对湿度 45%, 电压 220 V, 负载为排水电机。

2.2 样本量计算

一般电子手册都有可控硅反向耐压与工作温度之间的关系曲线, 如图 1 所示。

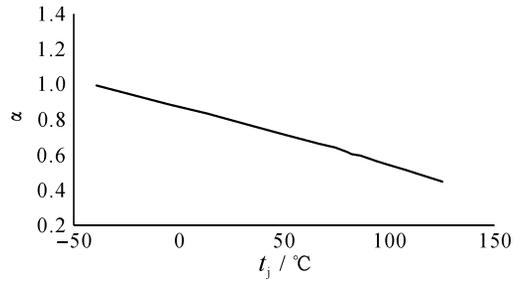


图 1 反向耐压比与工作温度曲线

Fig. 1 Curve of reverse voltage ratio and operating temperature

图 1 中纵轴变量 α 表示不同温度下反向耐压数值之比, 通常与常温 25° 作比较 (字母 GT 表示工作温度):

$$\alpha = V_{\text{GT}}(t_j) / V_{\text{GT}}(25),$$

$$\alpha_1 = V_{\text{GT}}(40) / V_{\text{GT}}(25) = 0.95 / 1.0 = 0.95,$$

$$\alpha_2 = V_{\text{GT}}(125) / V_{\text{GT}}(25) = 0.73 / 1.0 = 0.73.$$

为了确定合适的载荷强化系数, 查到了有关该型号可控硅所容许的最高工作温度不能超过 130 °C。所以,

$$K = \alpha_1 / \alpha_2 = V_{\text{GT}}(40) / V_{\text{GT}}(125) = 0.95 / 0.73 = 1.33.$$

为了保证试验的顺利进行, 这里取保守值 $K = 1.3$ 。

关于该品牌的可控硅, 其反向耐压的散差厂家已提供, 即 $\hat{S} = 0.06$, 利用散差的最大包罗原理, 得到

$$S = \sigma / \mu = \hat{S} / 0.88 = 0.06 / 0.88 \approx 7\%.$$

下面计算所需的样本量, 根据最大熵公式^[5]:

$$\begin{aligned} N &= \frac{\ln(1 - \gamma)}{\ln\{1 - \Phi[(K - 1) \frac{\mu}{\sigma} - K\Phi^{-1}(R_L)]\}} \\ &= \frac{\ln(1 - 0.9)}{\ln\{1 - \Phi[(1.30 - 1) \frac{100}{7} - 1.30\Phi^{-1}(0.999\ 99)]\}} \\ &= 24. \end{aligned}$$

其中: R_L 为产品的可靠度置信下限; γ 为所要求的置信度; μ 为产品载荷或承载能力的均值; σ 为产品载荷或承载能力的均方差; K 为载荷强化系数, $1 \leq K < M$ (通常情况下 K 的取值范围为 $0.90M \sim 0.95M$), M 为产品的可靠性设计裕度; N 为最大熵试验所需要的样本量; Φ 为正态分布分位数符号。

2.3 试验内容

将样本装在工装上, 检查无误后, 把 24 个样本放在 125 °C 的恒温箱内, 运行 10 000 次, 每次可控

硅导通 45 s, 断 15 s。在试验过程中, 24 个可控硅全部工作正常, 则说明该可控硅满足置信度 $\gamma = 0.90$ 、可靠性 $R \geq 0.999\ 99$ 的技术指标的要求; 否则, 只要有一个可控硅工作不正常, 则判定为不合格。

3 结果与分析

把准备好的 24 个某品牌可控硅接好线, 放在 125 °C 的恒温箱内, 将可控硅的感性负载排水电机放在箱外, 并用放在箱外的电脑板控制 24 个可控硅的通断。结果, 到 27 h (1 620 次) 时, 就有 2 个可控硅被击穿。到了 50 多 h (3 029 次) 时, 又有 2 个可控硅失效。于是, 停止上述试验。根据最大熵试验法的评定规则, 可以断定, 当前试验的该品牌可控硅达不到可靠性 $R_L = 0.999\ 99$ 、置信度 $\gamma = 0.90$ 的指标要求。

利用信息熵试验方法只用 7 d 的试验, 就可对电脑板上的可控硅在未来 10 年工作中的表现提前预知与再现。该试验方法可为广大洗衣机生产企业完全避免当前因可控硅返修率居高不下而造就的尴尬局面。

为了确定用信息熵试验法解决实际问题的有效性, 笔者对某品牌洗衣机的市场返修率进行了跟踪, 根据市场实际统计的数据, 可控硅切换前电脑板返修率为 18×10^{-3} , 切换新的可控硅 (按照试验方法

达到要求的) 一年后, 电脑板返修率降为 5×10^{-3} , 为企业节省了几千万元的维修费用。

4 结论

国内大部分生产企业对洗衣机电脑板的现行双 85 试验, 无法全面考核可控硅的可靠性, 也就很难保障电脑板的质量。本文中可控硅可靠性的验证试验, 可以作为双 85 试验标准的技术补充; 同时本试验方法可对不同厂家提供的可控硅的质量进行准入检验, 客观评价不同型号可控硅质量的优劣, 将不合格品提前拒之门外。

参考文献:

- [1] 黄天常. 信息熵的内涵与外延 [J]. 陇东学院学报, 2006, 16 (1): 15 - 16.
- [2] Saridis G N. Entropy in Control Engineering [M]. Hackensack: World Scientific Publishing Company, 2001: 70.
- [3] 刘杰. 小子样可靠性试验方法研究——最大熵试验法 [D]. 北京: 北京工业大学, 2009.
- [4] 蔡瑞娇, 翟志强, 董海平, 等. 火工品可靠性评估试验信息熵等值方法 [J]. 含能材料, 2007, 15 (1): 79 - 82.
- [5] 刘杰, 王普, 刘炳章. 最大熵试验法及其应用 [J]. 自动化学报, 2007, 33 (11): 1226 - 1228.

SCR Test Method with High Reliability

LIU Jie, WANG Pu

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: Verifying the reliability of high-reliability products is difficult in this field. The high-reliability SCR test methods are studied by the information entropy method. In the test, small samples are applied to finish the verifying. The main cause of panel computer in washing-machine failure and the increase of repair rate are found.

Key words: SCR; small-sample; reliability; entropy