

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.01.07

基于 ADT 的电阻型湿度传感器可靠性评估

周真, 李翰斌, 齐佳, 马德仲

(哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 传统的寿命试验对电子元件可靠性进行评估需较长时间。如何快速、准确获取电子元件的性能指标是工程实践和试验研究迫切需要解决的问题。本文以电阻型湿度传感器为研究对象, 基于加速退化试验(ADT)的可靠性评估方法, 建立加速模型和退化轨迹, 结合最大似然估计和最小二乘法求解加速应力下伪失效寿命分布参数, 从而得出正常应力水平下可靠度函数。结果表明, 采用 ADT 能够准确获取湿度传感器的可靠性信息, 缩短试验周期, 此评估方法同样适用于其它电子元件的可靠性研究, 存在广泛的应用价值。

关键词: 可靠性评估; 可靠度函数; 加速退化试验; 电阻型湿度传感器

中图分类号: TP212; TB94

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)01-0026-04

Reliability of Resistance-type Humidity Sensors Based on ADT

ZHOU Zhen, LI Hanbin, QI Jia, MA Dezhong

(School of Measurement-Control Technology & Communication Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: The traditional life test to assess the reliability of electronic components would take longer time. How to quickly and accurately obtain the performance practice of electronic components is an urgent problem in engineering tests and test research. This paper uses resistance-type humidity sensors as the research object, is based on accelerated degradation test (ADT) reliability evaluation method to build up accelerated model and degradation path, combines maximum likelihood estimation and least squares method to solve the pseudo-failure life under accelerated stress distribution parameters, and draw the reliability function under normal stress level. The results show that ADT can get accurate information about the reliability of the humidity sensor and shorten the test period. This evaluation method is also applicable to other electronic components reliability study, and there is a wide range of application.

Key words: reliability assessment; reliability function; accelerated degradation test; resistance-type humidity sensor

0 引言

湿度传感器在日常生活、工业、农业、国防、军事等领域应用极为广泛, 其性能可靠, 已经成为当前各应用系统关注的热点^[1]。崔学林等对湿度传感器测量不确定度进行了评定^[2]。陈振林等研究了温度与风速对湿度传感器测量准确度影响^[3]。王传博等对湿度传感器能力验证活动误差来源进行了分析^[4]。除以上对湿度传感器准确度及误差来源的研究外, 仍然有许多问题急需解决, 如制定出明确的可靠性指标和失效判据、建立精确退化模型等。

军工和航空航天等领域的发展与电子元件可靠性

水平密切相关。为评估电子元件的可靠性指标, 可对其开展加速退化试验。ADT(加速退化试验)最早由美国罗姆航空研发中心提出, 广泛用于产品的可靠性评估。产品薄弱部分通过 ADT 可以最快地找到, 从而对设计改进、质量提高给予重要的参考价值。EckerM 等基于加速退化试验数据建立了锂电池的寿命预测模型^[5]。徐廷学等对恒定应力 ADT 经常出现的伪寿命分布类型误指定问题进行了研究^[6]。肖坤等基于恒定应力加速退化试验对某引信 O 型橡胶密封进行可靠性评估^[7]。Jiang N 等以试验费用和预测精度为依据, 提出了一种算法用于选择最佳的加速退化试验方案^[8]。上述研究加速退化试验集中于单应力水平, 本文加速退化试验是在恒定组合应力水平下进行研究, 针对湿度传感器进行可靠性评估, 能得到较高的效率, 又能保证退化机理的不变, 在电子元件寿命评估中具有明显优势。

收稿日期: 2016-09-19

作者简介: 周真(1961-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士生导师, 主要从事可靠性工程、生物信息检测等方面的研究。

1 加速退化试验

1.1 加速模型

在加速退化试验中，要在产品进行可靠性评估之前建立产品的寿命与应力间的数学关系，即加速模型。

复合电应力温度应力寿命模型：电应力和温度应力的累积加速损伤，同时将温度和电压作为加速应力试验。产品的性能在温度条件下的退化往往满足阿伦尼斯模型，电应力条件下退化通常满足逆幂律模型。该加速模型选用阿伦尼斯模型和逆幂律模型复合^[9,10]。

$$\xi = \frac{A}{V^B} \exp\left[\frac{E}{KT}\right] \exp\left[\frac{C \ln(V)}{KT}\right] \tag{1}$$

式中：ξ 为寿命特征；V 为压力；A、B、C 为常数；E 为激活能；K 为波尔兹曼常数；T 为绝对温度。

实际工作中，可假设最后一项不存在。对该模型两边取对数，可得

$$\ln \xi = a + b \ln V + \frac{c}{T} + d \frac{\ln V}{T} \tag{2}$$

式中：a = lnA；b = -B；c = Ea/K；d = C/K。其中，Ea 为激活能^[11]。

1.2 退化轨迹模型

常见的退化轨迹通常可以简写成线性形式^[13]

$$D_i(t) = \beta_{li} + \beta_{2i}t \tag{3}$$

2 加速退化试验设计

2.1 试验前的准备工作

本试验以 HR202 高分子电阻型湿度传感器为研究对象，其主要技术参数如下：额定电压 1.5 V（AC 正弦波），频率为 1 kHz，测量范围为 20%~95%RH，中心值（at25℃ 1 kHz 1V AC 60% RH 正弦波）31.0 kΩ，误差不大于±5%RH。

2.1.1 电阻型湿度传感器失效判据

依据 SJ 20760 高分子湿度传感器总规范及相关文献^[8]，结合对湿度传感器的摸底试验结果，确定试验中采用的失效判据如表 1 所示。传感器性能的参数有

表 1 电阻型湿度传感器的失效判据

名称	失效现象	失效判据标准
电阻变化	中心值 R_0 漂移	$>\pm 60\%$
灵敏度	敏感度降低	$>\pm 3\%RH$
精度	对湿度不敏感	$>\pm 5\%RH$
湿滞	湿滞慢	$>2\%RH$
响应时间	响应慢	$>20s$
脱湿时间	脱湿慢	$>40s$

多个，任何一个参数超过失效判定标准，就可以认为传感器已经失效了。中心值 R_0 相对于其他参数更为敏感，测量方法简单，故定义湿度传感器失效阈值为 R_0 漂移 60%。

2.1.2 试验应力的选取

可靠性试验中，应以湿度传感器的实际工作环境为基础，由于温度及电压对性能影响较大，故确定温度、电应为可靠性强化试验的加速应力。

2.1.3 试验设备

ESPEC GL(GU)-02K 恒温箱，Aglient E3634A 高精度直流电源，DX200H 电阻测量仪器和湿敏测试板。

2.2 试验所施加的应力极限的确定

加速退化试验要求试验中湿度传感器在加速条件下的失效机理与正常条件下的保持不变。为满足上述条件，要求试验中施加的应力不能超过工作应力极限。因此，试验前需确定湿度传感器的极限应力^[12]。

2.2.1 温度应力极限的确定

进行步进温度极限应力确认试验，温度从 20℃ 开始，以步长为 10℃ 逐渐增大到 100℃，每个温度水平下持续 10 min。重复功能和性能测试，直至找到湿度传感器的工作极限或者温度超过 100℃ 时停止本次试验。试验结果如图 1 所示。当温度超过 80℃ 后，中心值电阻下降幅度超过 60%，可认为温度应力极限为 80℃。

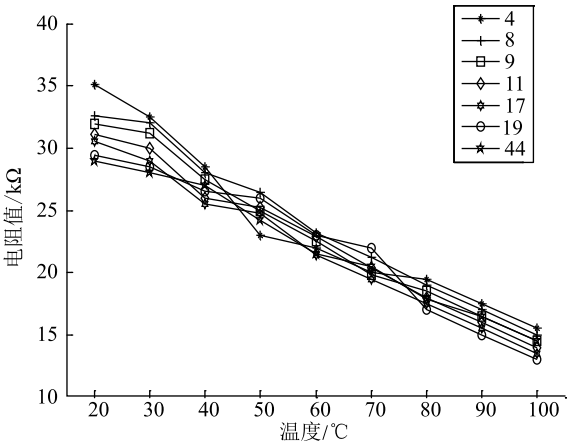


图 1 温度步进应力试验结果

2.2.2 电压应力极限的确定

进行步进电压极限应力确认试验，电压从 1.0 V 开始，以步长为 0.2 V 逐渐增大到 2.0 V，每个电压水平下持续 10 min。重复功能和性能测试，直至找到湿度传感器的工作极限或者温度超过 2.0 V 时停止本次试验。试验结果如图 2 所示。当电压到达 1.6 V 后，

中心值电阻下降幅度超过 60%，可认为电压应力极限为 1.6 V。

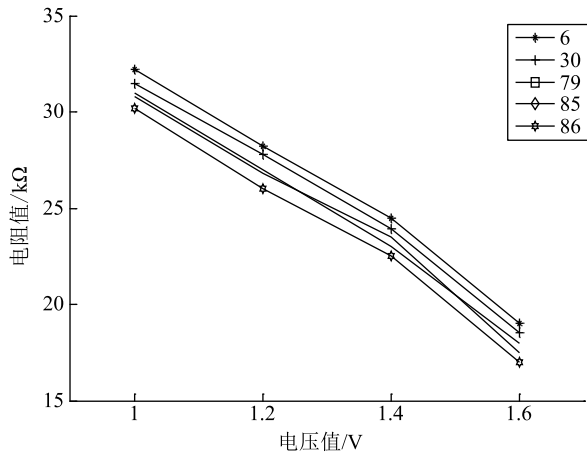


图 2 电压步进应力试验结果

2.3 温度和电压双应力试验

2.3.1 试验应力类型及施加方式

在实际使用过程中，温度与电压往往同时对湿度传感器的性能产生影响，为了更加接近湿度传感器的实际使用情况，故选择同时施加温度与电压组合应力作为本次试验的加速应力。考虑到恒定应力加速退化试验(CSADT)的数据处理方法简便，本次试验采取的应力施加方式为恒定应力^[13]。

2.3.2 试验步骤

本次试验选取 3 种组合应力作为试验应力：电压 1.15 V-温度 80℃、电压 1.45 V-温度 62℃ 和电压 1.30 V-温度 50℃。中心值 R_0 为试验过程中待测的性能参数。每个试验应力下投入 8 个样品，共 24 个。每隔 24 h 后取出传感器放置在 60%RH、25℃ 大气环境中恢复 90 min 后测量中心值电阻 R_0 ，共测试 8 次，重复以上步骤直至所有样品完成试验。

3 温度-电压双应力下恒定加速退化数据分析

各温度-电压组合下湿度传感器的退化轨迹如图 3、图 4 和图 5 所示(每组选取 4 个湿度传感器的电阻变化率)。根据曲线变化规律，选取合适的退化轨迹方程，在求得每个样品的退化轨迹方程后，根据失效阈值计算可得到 3 组组合应力下传感器的伪失效寿命时间，并假定传感器的伪失效数据服从对数正态分布，根据失效数据服从对数正态分布的参数估计值如表 2 所示。

分析表 2 所示的参数估计值可以得出以下结论：3 组温度电压应力下传感器伪寿命的对数正态分布的形状参数 σ 近似保持不变，即在加速过程中产品的退化

机理基本保持不变，采用加速模型进行分析^[11]。

利用表 2 的数据计算得到加速方程为

$$\ln \xi = a + b \ln V + c/T + d(\ln V/T)$$

参数估计值为

$$a = -32.699, b = 21.544, c = 10.448, d = -6570.795.$$

令 $\mu_0 = \exp(\ln \xi)$ ，则湿度传感器在正常使用温度 25℃，电压 1 V 综合作用下的失效寿命分布参数为

$$\sigma_0 = 0.112, \mu_0 = 4.702$$

在正常使用温度 25℃、正常电压 1 V 综合作用下，传感器的给定时间 t 下的可靠度为

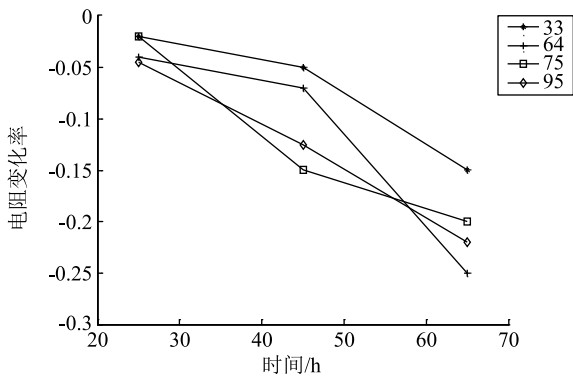


图 3 温度 50℃ 电压 1.30 V 下传感器性能退化曲线

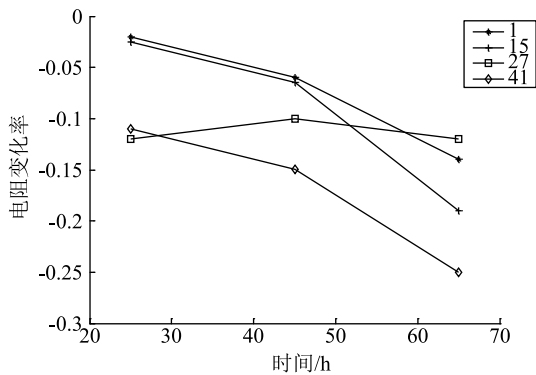


图 4 温度 62℃ 电压 1.45 V 下传感器性能退化曲线

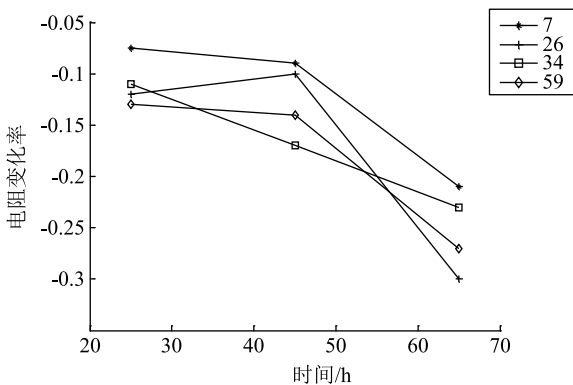


图 5 温度 80℃ 电压 1.15 V 下传感器性能退化曲线

表2 各温度-电压力水平下的对数正态分布参数的估计值

温度-电压	σ	μ
50℃-1.30 V	0.105	5.20
60℃-1.45 V	0.112	5.82
80℃-1.15 V	0.120	5.31

4 结论

本文以电阻型湿度传感器为试验对象，研究了温度电压组合加速应力下的 ADT 及性能参数的退化规律，基于统计分析的方法处理试验数据，并根据湿度传感器主要性能参数的退化趋势及失效判据，建立了加速模型，获得了正常工作条件下湿度传感器的寿命分布与可靠性。

1)通过对试验数据的统计分析，验证了试验样品伪失效寿命服从对数正态分布及其老化加速过程的规律性，表明湿度传感器的老化过程具有加速性。因此，对湿度传感器开展加速退化试验是可行的，数据是有效的。

2)组合应力速退化试验与单应力加速退化试验相比，未增加可靠性建模与评估难度的前提下，即确保了可操作性，又提高了试验的效率。

3)与正常寿命试验相比，试验时间大为缩短。基于 ADT 的可靠性评估方法为电阻型湿度传感器可靠性的快速评定提供了一条有效途径。

参 考 文 献

[1] Li Y, Yang M J, She Yutong. Humidity sensitive properties of crosslinked and quaternized poly[J]. Sensors and Actuators B Chemical, 2005, 107(1): 252-257.

[2] 崔学林, 梁宝龙, 黄斌, 等. 湿度传感器测量不确定度评定[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(10): 1544-1549.

[3] 陈振林, 崔欣辰. 温度与风速对湿度传感器测量准确度影响的研究[J]. 计测技术, 2013, 33(4): 62-64.

[4] 王传博, 贺胜. 湿度传感器能力验证活动误差来源分析[J]. 计测技术, 2015, 35(2): 70-71.

[5] Ecker M, Gerschler J B, Vogel J, et al. Development of a life-time prediction model for lithium - ion batteries based on extended accelerated aging test data [J]. Journal of Power Sources, 2012, 215(5): 248-257.

[6] 徐廷学, 王浩伟, 张磊. 恒定应力加速退化试验中避免伪寿命分布误指定的一种建模方法[J]. 兵工学报, 2014, 35(12): 2098-2103.

[7] 肖坤, 顾晓辉, 彭琛. 基于恒定应力加速退化试验的某引信用 O 型橡胶密封圈可靠性评估[J]. 机械工程学报, 2014, 50(16): 62-69.

[8] Tsai T R, Lio Y L, Jiang N. Optimal decisions on the accelerated degradation test plan under the Wiener process[J]. Quality Technolog & Quantitative Mana gement, 2014, 11(4): 461-470.

[9] Tsai C C, Tseng S T, Balakrishnan N. Optimal design for degradation tests based on gamma processes with random effects [J]. Reliability IEEE Transactions on, 2012, 61(2): 604-613.

[10] Grace A W, Wood I A. Approximating the tail of the Anderson -Darling distribution[J]. Computational Statistics & Data Analysis, 2012, 56(12): 4301-4311.

[11] 张春华, 温熙森, 陈循. 加速寿命试验技术综述[J]. 兵工学报, 2004, 25(4): 485-490.

[12] Lee C Y, Lee G B. Hummidity sensors: A review[J]. Sensor Letters, 2005, 3: 1-15.

[13] 陈循, 张春华. 加速试验技术的研究、应用与发展[J]. 机械工程学报, 2009, 45(8): 130-136.

福禄克公司产品荣获美国 2017 年工程师选择奖

据美国 2 月 9 日消息，福禄克公司 279 FC 热成像万用表荣膺《CONTROL ENGINEERING》2017 年度手持式测试、测量、校准类工程师选择奖，以表彰其在提高工作效率方面所做的创新。

这已是该产品第三次获得此项大奖。Fluke 279 FC 热成像万用表是一款集全功能数字万用表与热像仪于一身的测试工具，可大大加快故障诊断与排除过程，使技术人员能够利用热像仪快速、安全地检查保险丝、配线、绝缘子、连接器、接头以及开关等位置的高温点，然后利用数字万用表诊断和分析故障。除测量电学和温度特性外，Fluke 279 FC 还可通过 Fluke Connect 发送测试结果。无论是电学测量数字数据还是相关温度测量的图形文件，均可储存在云端、与同事分享以及插入到报告之中。

《CONTROL ENGINEERING》的工程师评选奖由用户评选得出，旨在表彰优秀的新型控制、测量测试和自动化产品。
(刘倩倩)