

环境试验与评价

基于灰色关联理论分析水面舰船环境对数字多用表贮存性能的影响

谭勇^{1,3}, 张紫娟¹, 周彩元^{1,3}, 刘振风², 周堃^{1,3}

(1.西南技术工程研究所, 重庆, 400039; 2.北京东方计量测试研究所, 北京, 100086;
3.国防科技工业自然环境试验研究中心, 重庆, 400039)

摘要: **目的** 评价水面舰船环境中温度、湿度和盐雾环境因素对数字多用表贮存性能影响的敏感性。**方法** 模拟水面舰船舱室环境, 开展贮存环境试验, 测量数字多用表的性能数据和贮存环境数据。通过灰色关联分析, 评估不同环境因素对数字多用表贮存性能影响的敏感性。**结果** 分析了四种模拟舱室环境、两种型号数字多用表的贮存性能受温度、湿度和盐雾环境影响的关联度。**结论** 采用灰色关联理论研究环境因素对数字多用表贮存性能的影响, 并对比关联度计算结果发现: 温度影响最大, 湿度其次, 盐雾影响最小。

关键词: 数字多用表; 舰船环境; 灰色关联

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.03.009

中图分类号: TJ83 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2018)03-0045-04

Influences of Surface Ship Environment on Storage Performance of Digital Multimeter Analyzed Based on Grey Relation Theory

TAN Yong^{1,3}, ZHANG Zi-juan¹, ZHOU Cai-yuan^{1,3}, LIU Zhen-feng², ZHOU Kun^{1,3}

(1.Southwest Research Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China; 2.Beijing East Measuring and Testing Institute, Beijing 100086, China; 3.Natural Environmental Test and Research Center of Science, Technology and Industry for National Defense, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the sensitivity of temperature, humidity and salt mist environment to the storage performance of digital multimeter in ship environment. **Methods** Surface vessel cabin environment was simulated to carry out storage environment test and measure performance data and storage environment data of the digital multimeter. Through grey relation analysis, the sensitivity of different environmental factors to the storage performance of digital multimeter was assessed. **Results** The storage performance of four simulated cabin environments and two types of digital multimeter were obtained by the correlation degree of temperature, humidity and salt mist. **Conclusion** Influences of the grey relational theory research environment on the storage performance of digital multimeter is researched. After comparing with the calculation on degree of association, the results show that the temperature has the greatest influence, the humidity is the second, and the salt mist was the smallest.

KEY WORDS: digital multimeter; ship environment; grey relation

数字多用表是一种多用途的现代化测量仪表, 在电气测量领域应用十分广泛, 主要功能是对电阻、电

压、电流等电气参数进行测量^[1], 评价被测产品的工作状态是否正常。因此, 测量精度作为数字多用表主

要的性能指标, 显得十分重要。

数字多用表的测量精度在使用、贮存时会受到外界环境的影响, 其作用方式有两种: 一种是测量精度随使用现场环境的变化而改变, 这种影响是暂时的, 当数字多用表重新处于初始环境时, 其测量精度会恢复到原有水平, 称为现场测量影响。另一种是数字多用表的测量精度在贮存环境的影响下发生了永久性的退化, 不会恢复到原有水平, 称为贮存性能退化。数字多用表贮存性能退化具有缓慢性 and 隐蔽性的特点, 退化严重时对被测产品的性能评价会造成影响。

数字多用表在水面舰船装备上的应用也很广泛, 其贮存环境具有高温、高湿、高盐雾的特点^[2-3], 一定程度上会加速数字多用表的性能退化。分析、掌握不同环境因素造成数字多用表贮存性能退化的敏感性, 有利于针对性地选择贮存环境, 减缓退化趋势。

文中引入灰色关联理论模型^[4], 通过开展贮存环境试验的方法, 首先, 获取表征数字多用表测量精度的性能参数; 其次, 收集贮存环境试验中的环境数据; 最后通过灰色关联分析评估不同环境因素造成数字多用表贮存性能退化的敏感性。

1 灰色关联分析方法及其应用

1.1 灰色关联分析的基本原理

灰色关联是指事物之间的不确定性关联, 或系统因子与主行为因子之间的不确定性关联。灰色关联分析是从不完全的信息中, 对所要分析研究的各因素, 通过一定的数据处理, 在随机的因素序列间, 找出它们的关联性, 发现关键问题点, 找出主要特性和得到主要因素。它根据因素之间发展态势的相似或相异程度来衡量因素接近的程度。该方法的优点是对样本量要求不高, 分析时也不需要确定典型的分布规律, 而且结果与实际情况相吻合。

数字多用表在水面舰船环境条件中贮存时, 受温度、湿度、盐雾等环境因素的影响, 其测量精度会逐渐退化, 环境因素与数字多用表的性能参数构成了一个典型的灰色系统, 可以采用灰色系统理论进行分析。在分析时, 将贮存环境试验中获取的数字多用表性能参数作为系统因子, 环境数据作为主行为因子。将各系列数据规格化处理求关联系数, 根据关联系数和样本总数计算关联度。比较关联度大小, 分析各环境因素造成数字多用表贮存性能退化的敏感性。

1.2 数字多用表性能表征参数选取

虽然测量精度是数字多用表的主要性能指标, 但是数字多用表可检测的电气参数多、范围广, 这就需要有一个总体表征参数来综合评价数字多用表的测量精度。一般常用的表征参数有不确定度和平均相对误

差。文中采用平均相对误差作为数字多用表测量精度的表征参数, 既统一了不同量程间的误差量级, 又避免了个别随机误差数据的干扰, 同时减小了数据样本量, 利于计算分析。

1.3 灰色关联分析方法的应用

利用灰色关联分析方法, 研究环境因素对数字多用表贮存性能影响的详细步骤如下。

第1步, 模拟水面舰船舱室环境条件, 开展数字多用表贮存环境试验。在相同的检测环境(避免了现场测量环境引入的误差, 获得的只是数字多用表性能退化数据)中定期测量数字多用表的平均相对误差, 同步测量、记录每个检测周期内环境因素的平均值。

第2步, 形成状态向量。将数字多用表平均相对误差确定为母系列向量 X_0 , 将温度、湿度、盐雾环境数据确定为子系列向量 X_1 , X_2 , X_3 。

第3步, 状态向量规格化。灰色关联分析模型在建模前, 为提高建模精度, 需对原始数据进行规格化, 即无量纲化。常用的算子有均值化算子 d_1 、初始化解子 d_2 和区间化算子 d_3 ^[5], 其定义分别见式(1)~(3):

$$X(k)d_1 = \frac{X(k)}{\bar{X}}, \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X(k), \quad k=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$X(k)d_2 = \frac{X(k)}{X(1)}, \quad X(1) \neq 0, \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$X(k)d_3 = \frac{X(k) - \min_k X(k)}{\max_k X(k) - \min_k X(k)}, \quad k=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

文中采用初始化解子 d_2 对各状态向量 X_0 , X_1 , X_2 , X_3 进行规格化, 得到 X'_0 , X'_1 , X'_2 , X'_3 。

第4步, 计算灰色关联系数和关联度。首先进行向量差系列的计算, 见式(4)~(6):

$$\Delta c_{10} = |X'_0 - X'_1| \quad (4)$$

$$\Delta c_{20} = |X'_0 - X'_2| \quad (5)$$

$$\Delta c_{30} = |X'_0 - X'_3| \quad (6)$$

计算子系列与母系列之间的差序列矩阵中矢量的最小值和最大值, 见式(7)~(8):

$$\min \min \Delta c_{\min} = \min(\Delta c_{10}, \Delta c_{20}, \Delta c_{30}) \quad (7)$$

$$\max \max \Delta c_{\max} = \max(\Delta c_{10}, \Delta c_{20}, \Delta c_{30}) \quad (8)$$

然后按式(9)计算关联系数:

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\min \min \Delta c_{\min} + \rho \max \max \Delta c_{\max}}{\Delta c_{ij}(k) + \rho \max \max \Delta c_{\max}} \quad (9)$$

式中: i 代表序列在子系列中的编号 ($i=1, 2, 3$); j 代表序列在母系列中的编号, 这里因为母系列只有 X_0 , 所以 j 取值为 0; k 代表每组序列内数值的序号; ρ 为分辨系数, 值越小, 分辨率越大, 一般在 $[0, 1]$ 区间内取值, 通常取 0.5。

最后按式 (10) 计算关联度：

$$R_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{ij}(k) \quad (10)$$

式中： R_{ij} 指 i 序列与 j 序列的关联度； n 为序列内的数据个数； $\xi_{ij}(k)$ 为 i 序列对 j 序列编号为 k 的分量的关联系数。

对计算的关联度进行排序，数值越大说明对应的环境因素对数字多用表贮存性能退化的影响更大；反之，对应的环境因素对数字多用表贮存性能退化的影响越小。

2 水面舰船环境因素对贮存性能退化的影响分析

文中针对两种常用型号(简称为型号 1 和型号 2) 的数字多用表，模拟水面舰船的四种舱室环境条件，开展了为期 8 个月的贮存环境试验。以每月为一个检测周期，在同一温湿度环境中开展数字多用表的测量精度检测，获取其平均相对误差数据。同时，测量四种舱室环境中的温度、湿度和盐雾环境数据，并按月平均值方法统计数据，统计结果如图 1—图 3 所示。

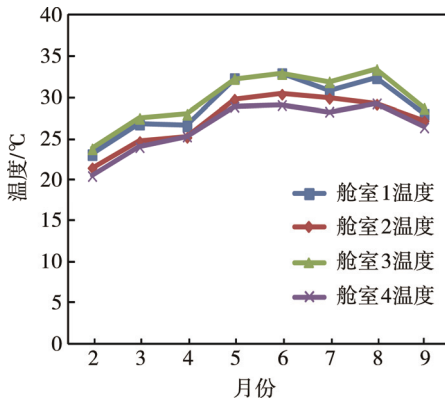


图 1 四种舱室环境的温度月平均数据

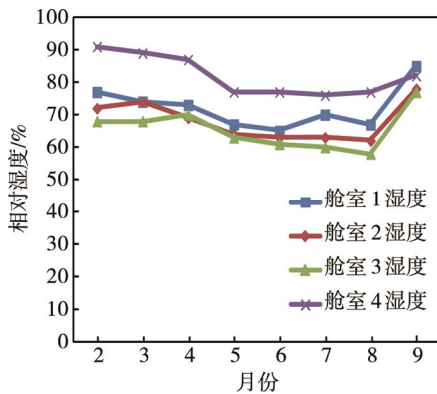


图 2 四种舱室环境的湿度月平均数据

在四种模拟舱室环境中，两种型号共 8 台数字多用表的平均相对误差变化情况见图 4 所示。其性能均出现了缓慢的退化趋势，但测量误差仍在各自型号数

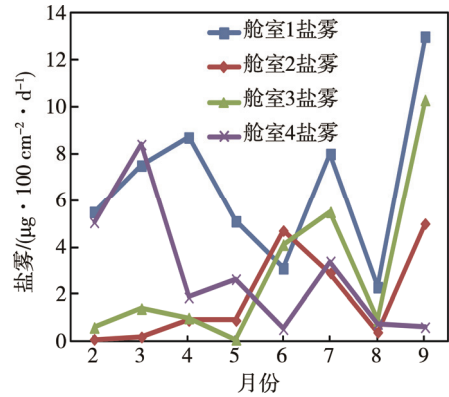


图 3 四种舱室环境的盐雾月平均数据

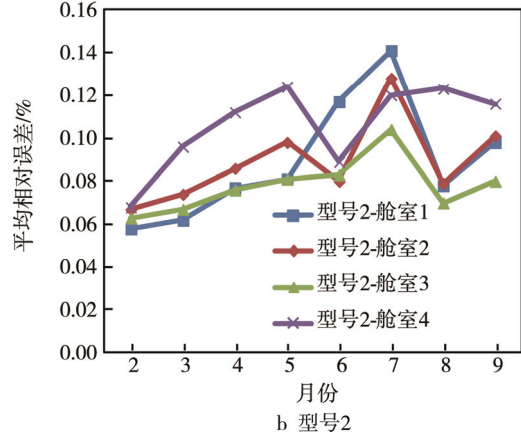
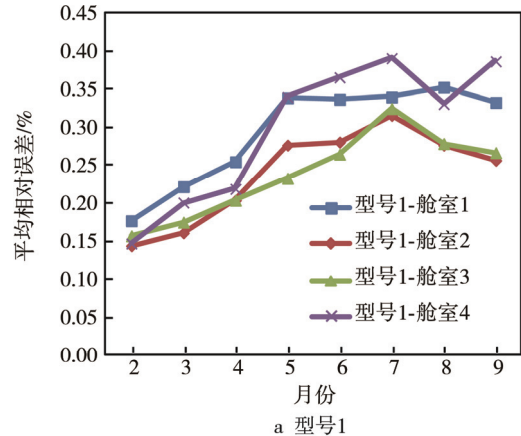


图 4 数字多用表在四种舱室环境中平均相对误差变化情况
字多用表的设计范围之内，还未退化至失效临界点。

按上述步骤，利用式 (4) — (10) 分别计算温度、湿度和盐雾数据与数字多用表平均相对误差的灰色关联度 R_{10} , R_{20} , R_{30} ，计算结果见表 1。不同舱室的温度、湿度和盐雾三种环境因素对不同型号数字多用表平均相对误差影响的灰色关联度对比如图 5 所示。

由上述计算结果可知，8 组灰色关联度结果数据中，有 7 组关联度数据的排序顺序一致，按降序排列依次为温度、湿度和盐雾，且温度和湿度关联度比较接近，盐雾关联度较小。另一组数据按降序排列依次为温度、盐雾和湿度，温度关联度较大，盐雾和湿度关联度比较接近。综合 8 组关联度数据可以判断，在

表 1 8 台数字多用表的灰色关联度

序号	贮存环境	样品型号	灰色关联度		
			温度 R_{10}	湿度 R_{20}	盐雾 R_{30}
1	舱室1	型号1	0.781	0.642	0.658
2	舱室1	型号2	0.813	0.678	0.614
3	舱室2	型号1	0.979	0.963	0.662
4	舱室2	型号2	0.993	0.981	0.655
5	舱室3	型号1	0.966	0.931	0.732
6	舱室3	型号2	0.988	0.966	0.730
7	舱室4	型号1	0.726	0.604	0.527
8	舱室4	型号2	0.806	0.601	0.495

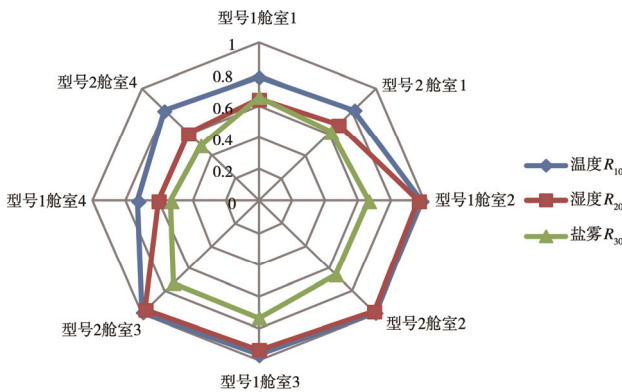


图 5 灰色关联度对比

水面舰船环境中,影响数字多用表贮存性能退化的主要环境因素是温度,其次是湿度,盐雾因素影响最小。在开展贮存环境试验的过程中,每种舱室环境实际投试了多台数字多用表作为备份样品,其中的2台数字多用表分别出现了无法开机和开机后无数据输出现象,经拆解分析发现开机及数据输出相关电路出现腐蚀,说明海洋环境容易导致数字多用表产生功能失效型故障。

3 结论

文中通过开展贮存环境试验进行数字多用表贮存性能退化研究,并将灰色关联分析理论运用到具体的分析中,为数字多用表的试验结果分析提出了新方法,通过研究形成的主要结论如下。

1) 环境因素对数字多用表的贮存性能影响是一个典型的灰色系统,而灰色关联理论主要用于研究部

分信息已知、部分信息未知的小样本、贫信息的不确定性问题。因此,可以利用灰色关联理论研究环境因素对数字多用表贮存性能的影响。

2) 通过开展数字多用表的贮存环境试验,测量其平均相对误差和试验环境数据,建立状态向量,通过灰色关联分析发现,温度造成数字多用表性能退化的影响最大,湿度其次,盐雾影响最小。对贮存环境试验过程中数字多用表产生的故障现象判断,海洋环境更容易导致数字多用表产生功能失效型故障。

参考文献:

- [1] 郭晋. 数字多用表实际误差的分析[J]. 计量测试, 2014(9): 12-13.
- [2] 於仲义. 我国舰船无限航区环境条件的实测、研究及其标准化[J]. 船舶标准化工程师, 1999(1): 20-23.
- [3] 林武强, 徐定海. 舰艇装备环境及其影响和存在的问题分析[J]. 装备环境工程, 2005, 2(2): 48-52.
- [4] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 22-65.
- [5] 孙鹏霄. 灰色关联方法的分析与应用[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(1): 97-101.
- [6] GB/T 13978—2008, 数字多用表[S].
- [7] 王轶巍, 张立谦. 浅析数字多用表在热量表检测中环境温度的影响程度[J]. 中国计量, 2015(8): 3-5.
- [8] 宣卫芳. 装备与自然环境试验[M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.
- [9] 沙占友, 王彦朋, 杜之涛. 便携式数字万用表原理与维修[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [10] 杨翠云. 数字万用表的常见故障分析与维修[J]. 中国计量, 2002(10): 21
- [11] 沙占友, 沙莎. 数字万用表功能扩展与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [12] 柯宏发, 陈永光, 刘思峰. 电子装备试验数据的不确定性分析方法[J]. 应用基础与工程科学学报, 2011, 19(4): 132-142.
- [13] 贾靖. 直流电压下对高精度数字多用表的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2016(2): 81-82.
- [14] 汤宫民, 梁清果, 汤潇奕. 数字多用表检定基本量程的选取方法[J]. 计量与测试技术, 2015(12): 27-28.
- [15] 刘本成, 陈松. 数字多用表检定规程中检定温度的探讨[J]. 计测技术, 2012(1): 54-56.
- [16] 李东炜. 万用表使用维修手册[M]. 北京: 中国计量出版社, 1995.