

单因素方差分析方法在环境试验中的应用

黄创绵, 蔡汝山

(工业和信息化部电子第五研究所, 广东 广州 510610)

摘要: 针对某型号汽车电缆的稳态湿热试验、温湿度循环试验、结露试验等3个环境试验前后电缆电阻的变化结果, 利用单因素方差分析方法对不同环境试验项目的结果进行分析, 得出不同的环境试验方法对电缆性能影响有显著差异的结论。提出利用单因素方差分析方法对环境试验结果进行分析比较, 能帮助我们更好地了解各种环境对产品的影响, 并得到一个量化的统计结果, 对产品的设计改进提供数据支持。

关键词: 环境试验; 单因素方差分析; 社会科学统计软件包; 电阻

中图分类号: O213.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5468 (2010) 06-0021-06

Application of One-way ANOVA in Environmental Tests

HUANG Chuang-mian, CAI Ru-shan

(CEPREI, Guangzhou 510610, China)

Abstract: Based on the resistance changes before and after the steady-state damp heat test, temperature and humidity cycling test and dewing test for the automobile cables, **the results of different environmental tests are analyzed with the one-way ANOVA method. It is concluded that different environmental tests have significantly different effects on the cable performances. It is shown that the impact of the environmental factors on the products can be better understood by analyzing the environmental test results with the one-way ANOVA method**, and with this proposed method, we can come up with quantitative statistics to support the improvement of the product design.

Key words: environmental test; one-way ANOVA; SPSS; wire resistance

1 引言

环境试验是验证和评价产品质量特性的重要方法之一, 在产品的研制和生产过程中, 环境试验都发挥着重要的作用。环境试验是其它各种试验的基础, 如果产品在运输、贮存和使用过程中不能满足环境的要求, 那么可靠性和其它各项性能指标就都

成为空谈。当前, 国内外对环境试验方法已经有了很深入的研究, 但是对如何分析环境试验结果的研究还相对比较少, 对试验结果很难有一个量化的评价。用单因素方差分析方法对环境试验结果进行分析, 能帮助我们更好地了解各个环境因素对产品的影响效果是否显著, 得到一个量化的统计结果, 为产品的设计改进提供数据支持。

收稿日期: 2010-08-11

作者简介: 黄创绵 (1982-), 男, 广东汕头人, 工业和信息化部电子第五研究所可靠性与环境工程研究中心助理工程师, 主要从事可靠性与环境试验研究与评估工作。

2 方差分析简介

方差分析 (ANOVA: Analysis of Variance), 又称“变异数分析”或“F 检验”, 是 R.A.Fisher 发明的, 用于两个及两个以上样本均数差别的显著性检验^[6]。受不同因素的影响, 研究所得的结果会不同。造成结果差异的原因可分成两类: 一类是不可控的随机因素的影响, 这是人为很难控制的一类影响因素, 称为随机变量; 另一类是研究中人为施加的可控因素对结果的影响, 称为控制变量。

一个复杂的事物, 其中往往有许多因素互相制约又互相依存。方差分析的基本思想是: 通过分析研究不同变量的变异对总变异的贡献大小, 确定控制变量对研究结果影响力的大小。通过方差分析, 分析不同水平的控制变量是否对结果产生了显著的影响。如果控制变量的不同水平对结果产生了显著的影响, 那么它和随机变量共同作用, 必然会使结果有显著的变化; 如果控制变量的不同水平对结果没有显著的影响, 那么结果的变化主要由随机变量起作用, 和控制变量关系不大。

方差分析是一种统计假设检验方法, 与 t 检验相比, 方差分析的应用更加广泛, 对问题分析得更加深入, 是分析试验数据的重要方法之一。

2.1 方差分析的基本要求

对一个具体问题进行方差分析, 必须要求这个问题满足方差分析模型的 3 个条件^[2]:

- 1) 被检验的各个总体都服从正态分布;
- 2) 各个总体的方差相等 (方差齐性);
- 3) 各次试验是独立的。

在上述 3 个条件成立的前提下, 要分析自变量对因变量是否有显著的影响, 在形式上就转化为检验自变量的各个水平 (总体) 的均值是否相等的问题。

2.2 方差分析的作用

方差分析是将 n 个试验结果作为一个整体看待, 把表示试验结果总变异的平方和及其自由度分解为相应于不同自变量的平方和及自由度, 进而获得相同自变量的总体方差估计值, 通过计算这些估计值的适当比值就能检验各样本所属的总体均值是否相等。概括来讲, 方差分析的最大功用在于:

- 1) 它能将引起变异的多种因素的各自作用一一剖析出来, 做出量的估计, 进而明辨哪些因素起主要作用, 哪些因素起次要作用;

- 2) 它能充分利用资料提供的信息将试验中由于偶然因素造成的随机误差无偏地估计出来, 从而大大提高了对试验结果分析的精确性, 为统计假设检验的可靠性提供了科学的理论依据。

因此, 方差分析的实质是关于试验结果变异原因的数量分析, 是科学研究的重要根据。

2.3 单因素方差分析

单因素方差分析研究的是一个分类型自变量对一个数值型自变量的影响。单因素方差分析实质上采用了统计推断的方法, 由于方差分析有一个比较严格的前提条件, 即在不同的水平下, 各总体均值服从方差相同的正态分布, 因此方差分析问题就可以转换成研究不同的水平下各个总体的均值是否有显著差异的问题。

单因素方差分析采用的统计推断方法是计算 F 统计量, 进行 F 检验。总的变异平方和记为 SST , 分解为两个部分: 一部分是由控制变量引起的离差, 记为 SSA (组间离差平方和); 另一部分随机变量引起的 SSE (组内离差平方和)。于是有

$$SST=SSA+SSE$$

其中,

$$SSA = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

其中, k 为水平数; n_i 为第 i 个水平下的样本容量。可见, 组间样本离差平方和是各组均值和总体均值离差的平方和, 反映了控制变量的影响。

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

组内离差平方和是每个试验结果与本组平均值离差的平方和, 反映了数据抽样误差的大小程度。

F 统计量是平均组间平方和与平均组内平方和的比, 计算公式为:

$$F = \frac{SSA/(k-1)}{SSE/(n-k)}$$

从 F 值计算公式可以看出, 如果控制变量的不同水平对试验结果有显著的影响, 那么试验结果的组间离差平方和必然大, F 值也就比较大; 相反, 如果控制变量的不同水平没有对试验结果造成显著的影响, 那么, 组内离差平方和影响就会比较大, F 值就比较小。

2.4 利用 SPSS 进行方差分析

社会科学统计软件包 (SPSS: Statistical Package for the Social Science) 是世界著名的统计分析软件之一。经过近 40 年的发展, 在全球已拥有大量的用户。目前, SPSS 使用 Windows 的窗口方式展示各种管理和分析数据的方法, 可方便地用于特定的科研统计^[6]。

使用 SPSS 软件, 可以自动地计算出 F 统计值, F 服从自由度为 $(k-1, n-k)$ 的 F 分布 (k 是水平数, n 是样本数)。依据 F 分布表给出相应的伴随概率值, 如果 $F < \alpha$, 则拒绝零假设, 认为控制变量在不同水平下各总体均值有显著的差异; 反之, 则认为控制变量在不同水平下各总体均值没有显著性的差异。

3 用 SPSS 单因素方差分析方法分析环境试验结果

3.1 试验实例

本次分析所使用的例子为某公司生产的电缆, 按产品规范中的试验方法分别经历了稳态湿热试验 (Humidity Heat Constant)、温湿度组合循环试验 (Humidity Heat Cyclic)、结露试验 (Dew Test) 等 3 个环境试验, 在试验前后测试比较电缆电阻的变化量, 从而确定不同的试验方法对电缆电阻的变化量的影响是否显著。

3.1.1 稳态湿热试验

稳态湿热试验考核评估试验样品在极限高温高湿条件下能否保持其所要求的电性能和机械性能, 或密封绝缘材料等能否起到足够的防护作用。稳态湿热试验主要研究试验样品吸收水汽及水汽扩散的机理, 在高温高湿环境条件下的水蒸气加速渗入试验样品内部会加速试验样品的腐蚀劣化。

试验条件如下:

温度: $+65 \pm 3$ °C;

相对湿度: 95%~100%;

持续时间: 7 天。

试验过程中对试验样品通极限电流 100 A。

3.1.2 温湿度循环试验

温度/湿度循环试验测试的目的是暴露由于潮湿空气所引起的电气缺陷造成试验样品的故障。在试验中由于温度的循环变化引起表面凝露, 而呼吸作用又加速了水汽的扩散作用。

温度湿度循环试验与其它循环湿热试验不同, 循环中包括了低温暴露过程以产生周期性结冰, 而且在给定的一个循环内有比较多的温变次数, 即“呼吸作用”次数较多, 且温度范围大。温湿度循环试验主要研究试验样品裂口和缝隙中所积聚的水的加速“呼吸”和冻结效应。

试验条件如下 (参照 IEC 60068-2-38-Z/AD):

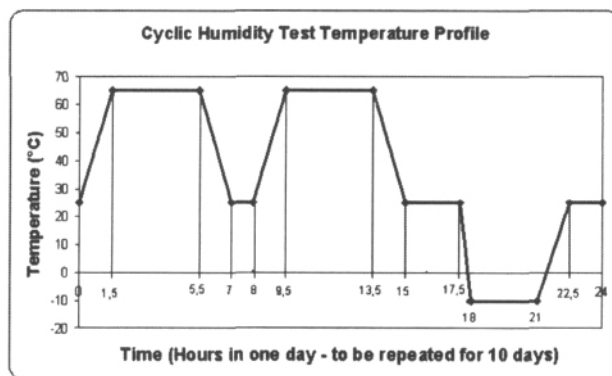
高温: $+65$ °C;

低温: -10 °C;

试验时间: 10 天。

试验过程中对试验样品通极限电流 100 A。

试验剖面如下 (其中前 9 个循环中的任意 5 个循环包括低温循环):



3.1.3 结露试验

试验目的: 汽车在使用过程中要适应各种气候条件, 对于汽车上的各个安装位置, 其每个设备上的露点无法统一, 这便使得设备中的线路板会不可避免地出现露点, 可能会在使用过程中导致功能性故障。结露试验用于发现在研发过程中帮助发现可能存在的功能性缺陷, 从而改进设计以满足使用要求。

试验条件如下:

1) 试验样品在温度 (0 ± 2) °C 下保持 2 h, 不控湿度;

2) 3 min 内将样品转换到温度为 (40 ± 3) °C, 相对湿度为 (98 ± 2) % 的高温高湿箱;

3) 在温度为 (40 ± 3) °C, 相对湿度为 (98 ± 2) % 的高温高湿箱内保持 22 h;

循环次数: 10 次。

试验过程中对试验样品通极限电流 100 A。

以上 3 个试验项目的环境因素均为温度和湿

度，通过不同的组合产生不同的试验应力，因而对试验样品的劣化机理也不同。

试验前后对电缆的电阻进行测试，测试结果如表 1 所示：

表 1 试验前后测试结果

试验项目		测试结果 (R/mΩ)							
稳态湿热	试验前	0.58	0.48	0.47	0.61	0.58	0.65	0.49	
	试验后	0.69	0.7	0.56	0.85	0.64	0.89	0.76	
温湿度循环	试验前	0.51	0.48	0.6	0.64	0.5	0.45	0.45	
	试验后	1.16	0.99	1.21	1.28	0.91	0.95	1.13	
结露试验	试验前	0.57	0.53	0.46	0.6	0.44	0.58	0.62	
	试验后	0.97	0.96	0.87	1.01	0.67	0.91	1.05	

从表 1 可以计算得出，各个试验项目前后电缆电阻变化如表 2 所示：

表 2 试验前后变化结果

试验项目	试验前后变化 (R/mΩ)							
稳态湿热	0.11	0.25	0.09	0.24	0.06	0.24	0.26	
温湿度循环	0.65	0.51	0.61	0.64	0.41	0.5	0.68	
结露试验	0.4	0.43	0.41	0.41	0.22	0.33	0.43	

表 3 描述统计表

试验项目	样本含量/N	均值	标准差	标准误差	均值的 95 % 置信区间		极小值	极大值	分量间方差
					下限	上限			
稳态湿热	7	0.178 6	0.087 45	0.033 05	0.097 7	0.259 4	0.06	0.26	
温湿度循环	7	0.571 4	0.099 24	0.037 51	0.479 7	0.663 2	0.41	0.68	
结露	7	0.375 7	0.076 56	0.028 94	0.304 9	0.446 5	0.22	0.43	
总数	21	0.375 2	0.184 43	0.040 25	0.291 3	0.459 2	0.06	0.68	
模型	固定效应		0.088 24	0.019 25	0.334 8	0.415 7			
	随机效应			0.113 41	-0.112 7	0.863 2			0.037 47

3.2 数学模型

要比较 3 个试验后电缆电阻的变化是否有显著性差异，从上面的数据来看，问题可转化为解决比较 3 个试验后测试结果的平均值是否有显著的问题。从所要分析的数据来看，不同试验项目后电缆电阻的变化结果可看作相互独立，每根电缆的电阻之间可以看作相互独立，电缆的电阻可以假设从总体上服从正态分布，在各项试验后测试结果满足方差齐性的条件下，可以用单因素方差分析来解决这一问题。环境试验是因素，3 个不同试验项目（即不同的试验条件）就是这个因素的 3 个水平，试验后电阻变化量就是因变量，试验目的就是为了考察 3 个试验项目对电缆性能的影响有无显著的差异。

3.3 用 SPSS 单因素分析方法进行分析

使用 SPSS 单因素分析方法进行数据处理和分析，其中因变量为电缆电阻变化量，因素变量为 3 个试验项目。得到如表 3 所示的统计量表。

表 3 是 3 个试验后样品电阻变化量统计表，包括测量个数、平均数、标准差和平均数的标准误差、平均值的 95 % 置信区间、最小值和最大值。

检验样本方差齐性，得到如表 4 所示的表格。

表 4 方差齐性检验

Levene 统计量	df ₁	df ₂	显著性
1.033	2	18	0.376

表 4 为方差齐性的检验结果，从显著性概率看， $P > 0.05$ ，说明各组的方差在 $\alpha = 0.05$ 水平上没有显著性差异，即方差具有齐次性。这个结论可以在选择多重比较方法时作为一个条件。

方差分析表如表 5 所示：

表 5 方差分析表 ANOVA

来源	平方和	Df	均方	F	显著性
组间	0.540	2	0.270	34.691	0.000
组内	0.140	18	0.008		
总数	0.680	20			

从表 5 方差分析表的结果可以看出，方差来源包括组间离差、组内理差和总理差；组间离差平方和为 0.540，组内离差平方和为 0.140，总离差平方和为 0.680，是组间离差平方和与组内离差平方和之和。Df 为自由度，组间自由度为 2，组内自由度为 18；总自由度为 20。均方是平方和与自由度之比，组间均方为 0.270，组内均方为 0.008。从以上数据计算得到 F 值等于 34.691（组间均方与组内均方之比）。针对假设 H_0 ：组间均值无显著性差异（即 3 个试验项目后线缆电阻变化的平均值无显著性差异）。计算的 F 值 34.691，对应的概率值为 0.000，小于 0.05，表明 3 个试验后电缆电阻变化量有显著的差异。

以上分析结果可以表明 3 个试验后电缆电阻变化量有显著的差异，但是并不意味着每两个试验之间的差异都显著，也不能具体地说明哪些试验结果平均数之间有显著的差异，哪些差异不显著。所以有必要进行两两试验项目测试结果平均数间的比较，以判断两两试验项目测试结果平均数之间的显著性。统计学上把多个平均数两两间的相互比较成为多重比较，多重比较的方法很多，其中最常用的有最小显著差数法 (LSD) 和 Duncan 法。

LSD 多重比较结果如下：

表 6 为用 LSD 法进行多重比较的检验结果，从表 4 结论已知该试验结果的方差具有齐次性，因此 LSD 方法适用。第 1 栏的第 1 列 “[I] 试验项目” 为比较基准试验项目，第 2 列 “[J] 试验项目” 是比较试验项目。第 2 栏是比较基准试验项目平均数减去比较试验项目平均数的差值 (Mean Difference)，在平均数差值上用 “*” 号表明均值之间具有 0.05 水平上有显著性差异。由此可知，在显著性水平 0.05 时，3 个试验项目前后的电缆电阻变化量两两之间都有显著性差异。

DUNCAN 法多重比较结果如表 7 所示。

表 7 DUNCAN 法多重比较表

试验项目	N	alpha = 0.05 的子集		
		稳态湿热	温湿度循环	结露
稳态湿热	7	0.178 6		
结露	7		0.375 7	
温湿度循环	7			0.571 4
显著性		1.000	1.000	1.000

(将显示同类子集中的组均值。

a. 将使用调和均值样本大小 = 7.000。)

表 6 LDS 多重比较表

因变量：电阻变化

(I) 试验项目	(J) 试验项目	均值差 (I-J)	标准误差	显著性	95 % 置信区间	
					下限	上限
稳态湿热	温湿度循环	-0.392 86*	0.047 16	0.000	-0.491 9	-0.293 8
	结露	-0.197 14*	0.047 16	0.001	-0.296 2	-0.098 1
LSD 温湿度循环	稳态湿热	0.392 86*	0.047 16	0.000	0.293 8	0.491 9
	结露	0.195 71*	0.047 16	0.001	0.096 6	0.294 8
结露	稳态湿热	0.197 14*	0.047 16	0.001	0.098 1	0.296 2
	温湿度循环	-0.195 71*	0.047 16	0.001	-0.294 8	-0.096 6

(*：均值差的显著性水平为 0.05。)

表 7 为“Duncan”平均数多重比较检验表,只要平均数不在一列的差异就显著。由此可知,在显著性水平 0.05 时,3 个试验项目前后的电缆电阻变化量两两之间都有显著性差异。

4 结束语

本文通过详细介绍单因素方差分析方法在环境试验结果分析中的应用并用实例进行了统计计算,确定了单因素方差分析的方法和结果分析手段。通过用 SPSS 单因素方差分析方法对环境试验结果的分析,用 LDS 多重比较法和 Duncan 多重比较法进行比较,两种多重比较方法都得出 3 个试验项目前后的电缆电阻变化量两两之间有显著性差异的结论。利用 SPSS 单因素方差分析方法,可以帮助我们在环境试验中对试验结果进行分析比较,确定不同的试验方法对产品性能的影响,评价产品在各种环境条件下的适应性,从而为产品的设计改进提供

数据支持。

参考文献:

- [1] 王树荣,李志清. 环境试验 [M]. 广州: 中国电子产品可靠性与环境试验研究所, 1987: 1-11.
- [2] 庄楚强,何春雄. 应用数理统计基础 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006: 222-235.
- [3] GMW 3172-2006, General specification for electrical/electronic component analytical/development/validation (A/D/V) procedures for conformance to vehicle environment, reliability, and performance requirements [S].
- [4] IEC 60068-2-38: 2009, Environmental testing - Part 2-38: Tests - Test Z/AD: Composite temperature/humidity cyclic test [S].
- [5] IEC 60068-2-78: 2001 Environmental testing - Part 2-78 Tests - Test Cab: Damp heat, steady state [S].
- [6] 宋志刚,谢蕾蕾,何旭洪. SPSS 16 实用教程 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

信息与动态

美国 Fiberguide 公司参展北京国际光电产业博览会

作为光纤及光纤应用领域的领军企业——英国豪迈集团公司 (HALMA) 旗下的子公司美国 Fiberguide 公司参加了 2010 年 10 月 27 日至 29 日举办的“北京国际光电产业博览会 (ILOPE 2010)”,并在展会上展示了其众多的重量级产品。

在此次展会中, Fiberguide 展示了其独具特色的金属涂层光纤 (镀金、镀铝光纤)、具有 Fiberguide 专有一体化工艺制成的锥形光纤 (Taper)、精度可达微米级的平面光纤阵列、应用于深紫外波段长寿命低衰减的抗负感光纤,以及精密加工的光纤跳线等样品。其中不少都是 Fiberguide 公司的拳头产品。

镀金光纤由于其耐温范围广 (-269~+700 °C)、机械性能好、抗强化学腐蚀、可选芯径多,可应用于喷气机引擎温度检测、LED 工艺控制、应用环

境极为恶劣的油气井、航空航天等多种领域。具有改变输入输出 NA 能力的锥形光纤在高能激光应用、均匀化光斑及模间色散等领域也有独特的应用。而仪器分析中深紫外应用的负感效应一直都是困扰业界用户的难题,如何延长光纤在 200 nm 波段的使用寿命成为具有挑战性的课题。此次 Fiberguide 带来的抗负感光纤,在保证透过率的前提下,成功地延长了光纤在深紫外线的使用寿命,可应用于紫外照明、紫外拉曼分析、紫外固化及准分子激光等领域。而 Fiberguide 的平面光纤阵列完全不同于市场上常见的所谓平面阵列,是真正具有二维微米级精度的阵列,在光通信领域、3D MEMS、光闸开关、海量数据传输等领域有不可替代的作用。这些都是首次登陆中国,代表世界顶尖工艺,国内目前尚无参照物的产品。(本刊讯)