

文章编号:1006-9941(2005)04-0255-02

用方差分析法检验甲基紫试验安全性指标的可靠性

路桂娥, 江劲勇, 李孝玉, 许爱国

(总装军械技术研究所, 河北 石家庄 050000)

摘要:用方差分析法检验了双基推进剂改铵铜-3在75℃的老化时间(t_{age})与由120℃加热试验所得的未老化和老化试样的标准甲基紫变色时间(t_{cch})和甲基紫的至爆时间(t_{exp})之间的相关性。结果表明,对 t_{cch} ,统计量 $F < F_{0.99}$,表明 t_{cch} 与 t_{age} 的相关性不显著, t_{cch} 不能用作评价推进剂安全储存寿命的判据。对 t_{exp} , $F > F_{0.99}$,表明 t_{exp} 与 t_{age} 的相关性显著, t_{exp} 可作为评价推进剂贮存寿命的判据。

关键词:数理统计学; 推进剂; 方差检验; 甲基紫变色时间; 甲基紫试验至爆时间

中图分类号: TJ55; O212.1

文献标识码: A

1 引言

甲基紫变色时间是发射药安全性检测常用的测试方法,广泛用于产品验收和新产品研制。但是在贮存过程中,其变色时间是否随贮存时间变化,能否用其作安全性评价指标是值得关注的问题。本文通过对双基推进剂改铵铜-3在120℃所得实验数据的方差分析,得出了有意义的结论。

2 原始数据

双基推进剂改铵铜-3甲基紫实验原始数据见表1^[1]。

表1 75℃老化双基推进剂改铵铜-3试验数据

Table 1 Data of aged DB propellant GATO-3 at 75℃

$t_{age}^{1)}/d$	0	3	12	15	26	34	41	51	61	66
	90	90	/	76	78	77	74	73	73	75
$t_{cch}^{2)}/min$	90	90	84	76	78	77	74	75	73	75
	90	90	84	76	78	80	74	75	73	75
	90	90	80	76	78	77	74	75	73	75
	90	90	80	76	78	80	74	73	73	75
$t_{exp}^{3)}/min$	469	490	451	442	368	324	262	221	173	183
	469	492	392	443	371	327	190	151	173	183
	472	491	465	444	371	330	262	222	174	184
	474	491	458	447	372	327	262	222	175	184
	476	492	464	447	373	331	267	225	180	185

Note: 1) t_{age} , aging time, 2) t_{cch} , standard methyl violet test paper, 3) t_{exp} , time-to-explosion of standard methyl violet test.

3 实验数据的统计检验

设因素A有p个不同水平 A_1, A_2, \dots, A_p ,假定在每个水平 A_j 下,总体为方差相同的正态分布 $N(\mu_j, \sigma^2)$,j

$= 1, 2, \dots, p$,其中 μ_j, σ^2 均为未知参数。我们要检验这p个总体的均值 μ_j 之间是否有显著差异。为此,在每个水平 A_j 下都取容量为r的一个样本 $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{rj}$ (称为等重复试验),并设所取的p个样本相互独立。

这时,所论数学模型可表示为

$$\left. \begin{aligned} x_{ij} &= \mu_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, r \\ \varepsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2) \quad i = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中,各 ε_{ij} 相互独立。要求检验假设

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p \quad (2)$$

方差分析是选择适当的统计量(F),并给出拒绝域的形式。当拒绝 H_0 时,说明各水平间有显著的差异,即因素的影响显著。否则认为因素影响不显著。

$$\bar{x}_j = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \bar{x}_j = \frac{1}{pr} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^r x_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^r x_{ij} \quad (4)$$

其中, $n = pr$ 为全部数据个数。 \bar{x}_j 是第j个总体所取样本的样本平均值,称为组平均值, \bar{x} 称为总平均值。

$$S_T = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^r (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (5)$$

$$S_E = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^r (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (6)$$

$$S_A = r \sum_{j=1}^p (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \quad (7)$$

容易验证

$$S_T = S_E + S_A \quad (8)$$

即总变差平方和 S_T 可分解成由随机误差引起的组内平方和 S_E 和由因素各水平的效应引起的组间平方和 S_A 两个部分。因为

$$S_E/\sigma^2 \sim \chi^2(n-p) \quad (9)$$

收稿日期:2005-01-18;修回日期:2005-03-21

作者简介:路桂娥(1962-),女,高级工程师,从事库存发射药安全研究。e-mail: jxslge@china.com

当 H_0 成立时

$$S_A/\sigma^2 \sim \chi^2(p-1) \quad (10)$$

且 S_E 与 S_A 相互独立^[2]。因此当 H_0 成立时, 比值

$$F = \frac{S_A/(p-1)}{S_E/(n-p)} \sim F(p-1, n-p) \quad (11)$$

故在检验水平 α 下, 当 $F > F_{1-\alpha}(p-1, n-p)$ 时, 拒绝 H_0 , 认为两变量间相关关系明显, 因素 A 有显著影响; 否则接受 H_0 , 认为两变量间相关关系不明显, 因素 A 无显著影响。表 2 列出了双基推进剂的统计检验结果, 表明 t_{cch} 与 t_{age} 的相关性不显著, 而 t_{exp} 与 t_{age} 的相关性则很显著。

4 结论

对双基推进剂改铵铜-3, 甲基紫变色时间随贮存时间的变化很小, 因此不能用这个指标来反映贮存过程中的安全性变化, 而甲基紫爆炸时间随贮存时间显

著变化, 可用做贮存安全性的评价指标。

表 2 双基推进剂改铵铜-3 甲基紫试验数据的统计检验结果
Table 2 Statistical results for experimental data of DB propellant GATO-3 by the methyl violet test

characteristic index	F	$F_{0.99}(p-1, n-p)$	$p-1, n-p$	test result
t_{cch}	2.08078	2.89	9, 40	change inobviously
t_{exp}	253.93	2.89	9, 40	change remarkably

Note: $\alpha = 0.01$.

参考文献:

- [1] 江劲勇, 路桂娥, 苏振中, 等. 新型固体推进剂改铵铜-3 安全贮存寿命研究[J]. 含能材料, 2004(增刊): 296-298.
JIANG Jin-yong, LU Gui-e, SU Zhen-zhong, et al. Research on safe storage life of new solid propellant GATO-3 [J]. *Hanneng Cailiao*, 2004(Supplement I): 296-298.
- [2] 上海师范大学数学系概率统计教研组. 回归分析及其试验设计[M]. 上海: 上海教育出版社, 1978.

Reliability of Safety Index for Methyl Violet Test Examined by Variance Analysis

LU Gui-e, JIANG Jin-yong, LI Xiao-yu, XU Ai-guo

(Ordnance Technology Institute, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: The correlation of the ageing time of double-base propellant GATO-3 at 75 °C (t_{age}) between the times needed for color change of standard methyl violet test (t_{cch}) and between the time-to-explosion of standard methyl violet tests at 120 °C (t_{exp}) for aged and unaged samples is verified by variance analysis. Results show that (1) because statistic $F < F_{0.99}$ for t_{cch} , the relativity between variables, t_{age} and t_{cch} is not obvious and t_{cch} can not be used as a criterion for evaluating the safety storage life of the propellant, (2) because $F > F_{0.99}$ for t_{exp} , the relativity between t_{age} and t_{exp} is obvious and t_{exp} can be used as a criterion of evaluating the safety storage life of the propellant.

Key words: mathematical statistics; propellant; variance analysis; time needed for color change of methyl violet test; time-to-explosion of methyl violet test

读者·作者·编者

会 讯

"第36届 ICT 国际年会暨第32届国际烟火剂讨论会"于2005年6月28日至7月1日在德国南部城市卡尔斯鲁厄举行, 来自全球30多个国家的350多名专家学者参加了会议。大会的主题是"含能材料:性能与安全", 来自瑞士的 B. Vogelsanger 博士做了大会主题报告。常规钝感弹药的安全性是大会讨论的重点, 多篇报告介绍了钝感弹药烤燃、摩擦和火烧条件下的安全性能研究, P. Wanninger, R Wild 等也在各自的报告中介绍了钝感装药及其烤燃性能。对于热点问题——即如何在含能材料的性能与安全的矛盾中寻找解决途径, 与会专家进行了热烈讨论, Vogelsanger 在报告中认为纳米技术可能是途径之一, 瑞士的 Berger 在报告中介绍了利用纳米硅提高烟火剂的反应速率和生成热。值得一提的是, 与会专家认为对于含能材料在生产、处置中的安全性问题, 制定合适的安全标准是重要的保障, 比利时的 D. Watt 介绍了"北约弹药安全信息分析中心"在弹药安全研究中的研究能力和研究计划, 美国海军水面武器中心的 R. Doherty 介绍了北约在降感 RDX 的联合研究项目 R⁴, 这个项目也是基于在各个实验室之间没有一个鉴别 RDX 感度等级的理论方法而决心在美国与北约成员之间建立一套标准鉴定方法。在大会报告中, 美国仍然保持了其在数值模拟能力的领先地位, LLNL 的 A. Nichols 等人介绍了 AL3D 在针对"热-力-化学"多因素耦合条件下的最新模拟能力, 犹他州大学的 C. A. Wight 介绍了 C-SAFE 开发的基于 WSB 模型的计算非稳态燃烧行为的软件。值得注意的是, 此次大会有关新含能材料性能的研究也是热点, 各国的同行针对近十几年新合成的诸如 TNAZ, CL-20, FOX-7 等含能分子的性能等进行了广泛研究, 尽管还未出现令人惊奇的结果, 但是仍显现出寻找能够替代传统含能材料的热情方兴未艾。据悉, 下届会议将于2006年同期举行, 会议主题将是有关含能材料的老化与监测。

(中国工程物理研究院化工材料研究所 李明供稿)