

文章编号: 1006-9941(2003)00-0040-03

电火工品小电流无损检测的可行性

胡学先

(安徽理工大学,安徽淮南 232001)

摘要: 介绍电火工品无损检测的一次试验结果,发现电火工品在大电流作用下的发火时间与其小电流无损检测的输出有关。因此,认为有实现电火工品单发发火性能预报的可能性,并对发火性能预报的两种无损检测方法进行了讨论。

关键词: 电火工品; 无损检测; 发火性能

中图分类号: TQ565+.3; TJ45

文献标识码: A

1 引言

最近几年很难查到电火工品无损检测的国外文献,国内对此技术的意义,也有不同的看法。有人认为,这种方法效益不大,使用后反而会降低火工品生产的效率。也有人认为,这种技术“可以对长期储存电火工品进行性能检测,同时也可为宇航工业选择性能最均一、最完善的电火工品”^[1]。也有人做了一些验证,证明“在瞬态脉冲无损检测试验中可以用温升或升温常数作为对电火工品的感度性能进行判断的依据”^[2]。但这些验证还是在批量统计的范围内。要改变这种处境,必须提高水平,以实现单发电火工品的性能预测。本文对此进行一些探讨,供参考。

2 无损检测结果与发火时间关系

电火工品的发火过程是电能变热能、热能向药剂传递、药剂化学反应放热、反应热使药剂加速反应、一直到自动发火的过程,可用下式表示^[3]:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = -\lambda \nabla^2 T + 0.24 I^2 R_0 (1 + \alpha T) + \omega Z \rho' q \cdot e^{-E/RT} \quad (1)$$

式中, C 为桥丝材料热容, ρ 为桥丝材料密度, T 为桥丝温度, t 为时间, λ 为桥丝材料导热系数, ∇ 为拉普拉斯算子, I 为输入电火工品的电流, R_0 为桥丝初始电阻, $(\alpha$ 为桥丝温度系数, ω 为药剂反应分数, Z 为化学反应频率因子, ρ' 为药剂密度, q 为单位质量药剂的反应

热, E 为活化能, R 为气体常数。该式表示发火过程桥丝温度变化的规律,它受很多因素的影响,很难定量计算求解。电火工品无损检测就是利用桥丝电阻随温度变化的规律,恒流时,桥丝两端电压增量(ΔV)反映了桥丝当时的温度,即:

$$\Delta V = \alpha I R_0 T \quad (2)$$

无损检测时输出的 ΔV 反映了电火工品在各种影响因素的作用下,温度变化的实际情况。同批产品中每发产品的影响因素不尽相同,但不论是输入小电流(安全电流)或输入大电流(发火电流),每发产品影响桥丝升温的因素是一样的。所以用小电流无损检测的结果,可以预估大电流时的发火性能。

对电火工品的单发性能预估,笔者已作了一组试验。恒流脉冲宽度为30 ms,无损检测时电流分别为50 mA、100 mA和150 mA,发火时测试电流为390 mA。部分数据见表1。

表中数据显示:(1)输入电流大,对应的 ΔV 值也较大,并且50 mA时 ΔV 值较大的电火工品,在100 mA和150 mA时也相应较大。这说明虽然每发电火工品的桥丝和药剂的状态有各自的特征,但输入大电流或输入小电流时影响桥丝升温的因素是相同的。

(2) ΔV 值较大的电火工品,发火时间较短。故有可能利用小电流无损检测的结果来预测该发电火工品的性能(包括安全电流、发火电流及发火时间等)。

3 实现电火工品单发性能预报的途径

要实现对电火工品单发性能预报,必须建立小电流无损检测结果和大电流发火性能之间的定量数学关系,一般有两种方法。

收稿日期: 2002-05-21; 修回日期: 2002-08-25

作者简介: 胡学先(1935-),男,教授,一直从事火工品技术的研究和教学工作。

表 1 无损检测输出 ΔV 及输入电流为 390 mA 时的发火时间

Table 1 Output of the nondestructive inspecting (ΔV) and the firing time at 390 mA

产品编号	12	13	14	15	16	17	18	20	
R_0/Ω	1.281	1.318	1.258	1.381	1.244	1.373	1.453	1.137	
50 mA 时 第 n 点的 $\Delta V/mV$	1	0.0250	0.0167	0.0083	1.0333	0.0083	0.0083	0.0000	0.0167
	2	0.2667	0.2833	0.2667	0.2583	0.2583	0.2583	0.2583	0.1917
	3	0.5583	0.5583	0.5083	0.5750	0.5167	0.5583	0.5833	0.3750
	4	0.6750	0.6583	0.6167	0.7000	0.6083	0.6750	0.7167	0.4500
	5	0.7583	0.7250	0.6750	0.7750	0.6750	0.7500	0.8083	0.4917
	30	1.0500	0.9833	0.9417	1.0750	0.9250	1.0500	1.1750	0.7083
154	1.1833	1.1333	1.0583	1.2750	1.0583	1.2167	1.3833	0.8417	
100 mA 时 第 n 点的 $\Delta V/mV$	1	0.0000	0.0250	0.0250	0.0500	0.0000	0.0500	0.0500	0.0750
	2	2.4500	2.3750	2.1750	2.5000	2.1000	2.4000	2.5750	1.7000
	3	4.5500	4.1750	3.9250	4.4750	3.8250	4.3250	4.7000	2.9250
	4	5.5750	5.1250	4.8250	5.4750	4.7750	5.3250	5.8750	3.6000
	5	6.2250	5.6750	5.4250	6.1250	5.3500	5.9750	6.6250	4.0250
	30	8.9250	8.1500	7.8750	8.9750	7.7250	8.7000	10.000	6.1000
154	10.375	9.5250	9.1500	10.850	8.8250	10.100	11.925	7.0750	
150 mA 时 第 n 点的 $\Delta V/mV$	1	0.1684	0.0842	0.0000	0.0000	0.1684	0.0842	0.1684	0.0842
	2	10.943	10.269	9.3434	10.690	9.5118	10.269	11.027	7.5758
	3	17.172	15.404	14.478	16.498	14.731	15.825	17.424	11.027
	4	21.128	18.939	17.845	20.118	18.098	19.444	21.633	13.468
	5	23.727	21.128	20.202	22.559	20.286	21.886	24.495	15.067
	30	35.017	31.397	30.303	34.428	29.798	33.333	38.636	23.485
154	41.751	37.710	36.279	43.182	34.764	39.815	47.475	27.946	
390 mA 时发火时间/ μs	850	1700	1450	900	1850	1250	1000	2150	

注: 1) 1,2,3,4,5,30,154 为采样时间点,每采样点间隔时间为 200 μs 。

3.1 多参数方程组解法

将影响电火工品桥丝升温的各种因素归纳为几个参数,以这些参数为基础,建立方程组,计算输入电流后桥丝温度的变化,如下所示:

$$\left. \begin{aligned} T_{i+1} &= T_i + \frac{(I^2 R_i - r_i T_i)(t_{i+1} - t_i)}{C_i} \\ R_{i+1} &= R_0(1 + \alpha T_{i+1}) \\ C_{i+1} &= C_0(1 + CT_{i+1}) \\ r_{i+1} &= r_0(1 + rT_{i+1}) \\ \Delta V_{i+1} &= IR_0 \alpha T_{i+1} = I(R_{i+1} - R_0) \end{aligned} \right\} (3)$$

式中: R_0, C_0, r_0 分别为初始态瞬间桥丝电阻、集总热容、集总热损失系数; $R_{i+1}, C_{i+1}, r_{i+1}$ 分别为在 t_{i+1} 瞬间桥丝的电阻、集总热容、集总热损失系数; T_{i+1} 和 T_i 为在 t_{i+1} 和 t_i 瞬间桥丝的温度; α, C, r 分别为桥丝电阻温度系数、集总热容温度系数、集总热损失温度系数; I 为输入电火工品的恒定电流。

无损检测性能预报可按下列步骤进行:

(1) 在小电流(50 mA、100 mA 或 150 mA)下无损检测得 $\Delta V-t$ 曲线的数据组。

(2) 利用数学方法(如偏最小 = 乘回归法),将无

损检测的数据输入方程组,求得该发电火工品的参数。

(3) 利用该发电火工品的参数,按方程组计算大电流(发火电流)时桥丝的升温情况,对其进行性能预估(计算最大安全电流、最小发火电流和发火时间等)。

3.2 神经网络模拟解法

神经网络模型已在电火工品无损检测中得到应用,可进行感度分级、检筛不合格品等,如图 1 的二层感知器模型^[4]。

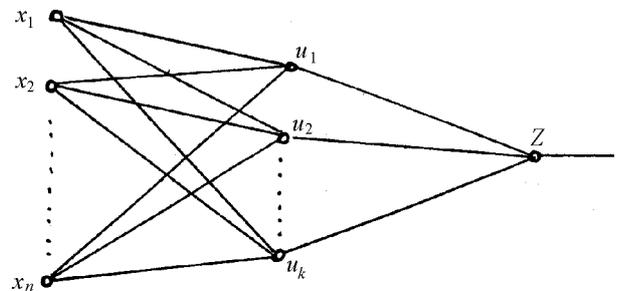


图 1 二层感知器示意图

Fig. 1 Scheme of the two-level sensor

输入状态向量为:

$$x^n = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad x_i \in R^n$$

第一层的输出状态为:

$$u_i = f\left[\sum_{j=1}^n W_{i,j}x_j - h_i\right], i = 1, 2, \dots, k$$

第二层(终端)的输出状态为:

$$Z = f\left[\sum_{i=1}^k W_i u_i - h\right]$$

以上计算公式可综合为:

$$Z = T(W^{kn}, W^k, h^k, h; x^n)$$

相应的学习方程为:

$$Z_s = T(W^{kn}, W^k, h^k, h; x_s^n), s = 1, 2, \dots, m$$

其中 W^{kn} 、 W^k 、 h^k 、 h 为参数, x^n 为输入状态向量, Z 为输出状态量, (x_s^n, Z_s) 是学习目标。

二层感知器模型作为电火工品无损检测的判断工具, x^n 就是无损检测结果升温曲线的采样点值, Z 就是判断的结果。“学习”就是用合格电火工品的 x_s^n 和输出目标 Z_s 来调选参数。使用“学习”后的网络模型, 就能用 Z 值来区别电火工品是否合格。但用此方法来预报电火工品的发火性能, 还有一定难度, 因为要预估大电流作用时的升温曲线, 即输出不是 Z 而是 Z^n 升温曲线的数组。随着计算机新型控制技术的发展, 运用 BP(Back Propagation) 神经网络及其学习算法程序设计, 一定能实现电火工品无损检测单发性能的预报。

4 结束语

(1) 从电火工品单发无损检测结果与其发火时间的对比看, 用无损检测方法实现单发性能预报还是可能的。

(2) 多参数方程组解法和计算机神经网络模拟解法虽然有实现的可能性, 但在具体研究实现时还是很复杂的, 必将有许多具体问题需要思考与解决。

(3) 应当在研究无损检测单发性能预报方法的基础上, 开发新的以单片机为核心的单功能电火工品无损检测仪和相应的操作软件。如能实现, 则电火工品的最大安全电流、最小发火电流及不同发火电流下的发火时间检测, 就像测电阻一样方便。

参考文献:

- [1] 王长龙, 马爱文, 王民全, 等. 电火工品无损检测仪设计[J]. 数据采集与处理, 2001, 16(增刊): 47-49.
- [2] 周彬, 徐振相, 秦志春, 等. 瞬态脉冲试验中热参数与电火工品发火性能的关系[J]. 火工品, 2001(4): 12-15.
- [3] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999. 219.
- [4] 沈世镒. 神经网络系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 32-37.

Possibility of Little Electric Current Nondestructive Inspect for EED

HU Xue-xian

(Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: The once test of nondestructive inspecting of Electro Explosive Device(EED) is introduced. The firing time for large electric current of EED is correlated with its output of the nondestructive inspecting for little electric current. For this reason, to prophesy of the firing character for one EED individually is possibility, and two methods that prophesy of the firing charater of EED are discussed.

Key words: electro explosive device(EED); nondestructive inspect; firing character