

文章编号: 1006-9941(1999)04-0183-02

# 火箭弹发动机电点火具无损检测原理与失效判据分析

高俊国, 邓辉, 杜仕国

(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 简要介绍了电点火具无损检测方法的原理, 针对火箭弹发动机中电点火具的特点, 利用电点火具的温升曲线, 采用神经网络识别技术, 对电点火具的质量进行判别, 无损检测判别结果与实际发火试验结果基本一致。

**关键词:** 电点火具; 无损检测; 瞬态脉冲实验; 神经网络; 失效判据

**中图分类号:** TJ714

**文献标识码:** A

## 1 概述

火箭弹的推进剂是靠发动机中的电点火具点燃的, 在长期储存过程中, 电点火具是整个火箭弹系统中最薄弱的环节, 其质量决定了火箭弹的发射可靠性。

火箭弹的电点火具一般采用桥丝式结构, 点火药成分一般由氯酸钾、硫化铅和铬酸铅组成, 其表面涂以硝基漆, 如图1所示。目前, 电点火具的性能试验有桥路电阻检查、安全电流试验、发火电流试验以及点火能力试验等, 这些常规的试验方法都是破坏性的, 对于库存火箭弹的检测来讲, 这不仅要消耗大量的火箭弹, 而且不可能进行100%的检测。本文介绍了一种基于电火工品瞬态脉冲试验技术的无损检测方法, 并结合必要的数据处理技术, 实现了火箭弹电点火具性能的无损检测。

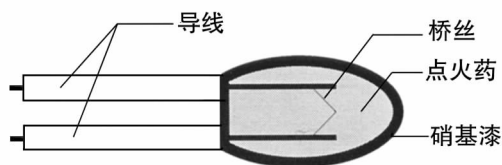


图1 电点火具结构示意图  
Fig. 1 Sketch of electric igniter

## 2 瞬态脉冲试验原理

瞬态脉冲试验是进行电火工品无损检测的一种非常有效的方法。它的原理是: 利用电火工品桥丝电阻

随温度升高而增大的特性, 在无损条件下, 向电火工品输入单次恒流脉冲, 测出桥丝两端电压增量随时间变化的曲线——温升曲线。该曲线反映了输入到桥丝的电能转变为热能并向药剂扩散而使桥丝药剂界面温度升高的过程, 此过程与电火工品的发火过程具有相似的电热反应过程, 因此可以反映电火工品的感度信息。国内外大量研究表明, 只要最大温升不大于75℃, 试验过程不会引起电火工品性能发生永久性变化, 可以保证试验的无损性<sup>[1]</sup>。

瞬态脉冲试验可以依据 Rosenthal 集总参数方程进行电热反应分析和电热参数计算<sup>[2]</sup>。考虑到火箭弹电点火具自身结构所存在的疵病及电热参数计算存在较大的误差, 我们选用温升曲线作判据研究的依据。

## 3 试验判据研究

利用瞬态脉冲试验法测得的温升曲线判断被测对象好坏的关键就是找到一个能识别电点火具质量的判别标准。目前可参考的方法有 $(\pm 3\sigma)$ 法<sup>[1]</sup>、回归曲线法<sup>[1]</sup>和神经网络法等。由于 $(\pm 3\sigma)$ 法、回归曲线法难于实现自动识别判断, 笔者选用神经网络识别技术。

首先建立一个多层感知器模型。用其对已知结果的样品反复进行BP计算训练, 直到能够正确判断这些样品, 此时的权值矩阵就可以作为实际判据的多层感知器权值矩阵。这种方法能够充分利用合格与不合格样品曲线的各种质量信息, 而不需对样本曲线的分布提出要求, 而且很容易实现计算机自动识别。

### 3.1 多层感知器结构

多层感知器结构如图2所示, 作用函数选取

收稿日期: 1997-11-03 修回日期: 1999-04-18

作者简介: 高俊国(1966-), 男, 硕士, 发表论文25篇。

Sigmoid 函数。

### 3.1.1 输入节点

选取的输入节点不仅能够全面反映温升曲线的信息,还要保证训练时具有良好的收敛速度和识别精度。对于电点火具,经反复研究和实验,决定以  $100\mu\text{s}/\text{点}$  的采样速度采集  $60\text{ms}$  内的温升曲线为基础,经过两次平滑处理,然后从曲线上 600 个数据中按一定规律选取 120 个点,作为输入节点。具体做法是在温升曲线变化比较快的前  $10\text{ms}$  内以  $0.2\text{ms}/\text{点}$  的采样速度取 50 个点,在  $10\sim 30\text{ms}$  内以  $0.5\text{ms}/\text{点}$  的采样速度取 40 个点,在  $30\sim 60\text{ms}$  内以  $1\text{ms}/\text{点}$  的采样速度取 30 个点。

### 3.1.2 隐层节点及输出节点

根据需要,输出节点为 2 个,分别表示两种状态,即电点火具的合格与不合格。隐含层层数及节点数主要由训练时的收敛速度和判断精度决定,经过大量训练研究决定,取节点为 2 的一层作为隐含层,如图 2。

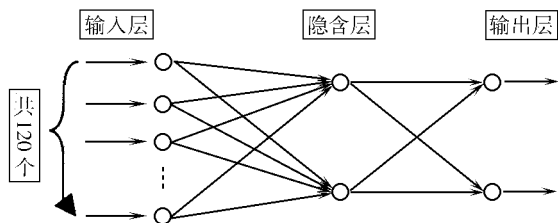


图 2 多层感知器结构

Fig. 2 Structure of multiple-story perceiving-organ

### 3.1.3 训练结果

选取处于正常发火、不正常发火以及接触不良三种状态的点火具样本,用上述多层感知器进行多次训练,得到一个  $120 \times 2$  的权值矩阵。

### 3.2 识别验证

利用神经网络法得到的判据对不同状态的电点火

具进行识别,其结果与发火试验的比较如表 1 所示。由表 1 可以看出,在高温、高湿条件下,60 发样品判断为不合格的 32 发样品中只有 3 发能够满足发火性能要求,但据经验和对比试验推断,这 3 发如再进行很短的高温、高湿试验也将很快失效。

表 1 无损检测结果与发火试验结果的比较

Table 1 Comparison between nondestructive inspection and firing test

	正常样品	高温老化 60 天	高温、高湿老化中
数量(发)	10	10	60
无损检测结果 (不合格/合格)	0/10	0/10	32/28
发火试验结果 (不合格/合格)	0/10	0/10	29/31

## 4 结论

利用瞬态脉冲试验技术测试电点火具发火作用时桥丝与药剂界面温度变化过程的温升曲线,并对其进行分析处理,来检测电点火具的感度。在对大量试验及数据分析的基础上,利用神经网络识别技术可以建立判断电点火具质量的判据。

将瞬态脉冲试验用于火箭弹电点火系统无损检测,不仅可以测定火箭弹电点火具的质量,而且可以准确地测得整个电点火系统的质量,能够判断接触性连接是否可靠、接触体是否锈蚀等等疵病,从而实现贮存火箭弹电点火系统的无损检测。

### 参考文献:

- [1] 艾鲁群. 国外火工品手册[M]. 兵器标准化研究所, 1988.
- [2] Rosenthal L A. Electrothermal equations for electroexplosive devices[R]. NAVORD Report 6684, August 1969.

## Nondestructive Inspection Principle and Failure Criteria of the Electric Igniter in Rocket

GAO Jun-guo, DENG Hui, DU Shi-guo

(Shi Jiazhuang Mechanical Engineering College, Shi Jiazhuang 050003, China)

**Abstract:** Transient pulse test (TPT) is an efficient nondestructive method of testing electric igniter, and its principle is introduced briefly. According to the characteristics of the electric igniter in rocket engines, the quality of igniter is evaluated by analyzing the temperature rise curves by means of neural network. It's shown that the result of nondestructive inspection is in correspondence with that of firing test.

**Key words:** electric igniter; nondestructive inspection; transient pulse test; neural network; failure criteria