

【兵器与装备】

桥丝式电火工品安全电流的数学模型*

张玉令,高俊国,穆丽军

(军械工程学院 弹药工程系,石家庄 050003)

摘要:从桥丝式电火工品的传热模型入手,结合瞬态脉冲试验的原理,对桥丝式电火工品的安全电流进行了研究,得出了计算安全电流的数学模型和安全电流的数学表达式,证明利用无损检测和数学模型对单发电火工品进行性能预测是可行的,为进一步研究电火工品的单发性能预报提供了参考。

关键词:电火工品(EED);安全电流;数学模型;瞬态脉冲试验(TPT)

中图分类号:TQ560.72

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2008)03-0068-02

随着弹药技术的发展,桥丝式电火工品在武器、航空航天等领域应用越来越广泛,对其可靠性的要求也越来越高,使其价格也越来越昂贵。该产品可靠性的高低决定了武器系统战斗力的正常发挥和最终任务的完成,因此如何获取单发电火工品的性能参数显得十分重要。传统的火工品试验方法是在抽样理论的基础上,采用破坏性的试验方法,这种破坏性的操作具有较大的缺点^[1],并且由于抽样理论是建立在统计学的基础上,并不能保证所有电火工品100%可靠。本研究中介绍了一种利用无损检测技术和数学模型计算桥丝式电火工品安全电流的方法。

1 可行性分析

本研究所依据的无损检测技术为瞬态脉冲试验。瞬态脉冲试验是利用小电流检测火工品的性能,之所以可以用小电流的检测探寻发火时的性能,是因为对于同一发电火工品来说,无论通入大电流还是小电流,热能都通过同一桥丝和药剂的界面,影响电热过程的因素是一样的,因此,利用通入小电流所得的温升曲线,可以预估通入大电流时这些因素的作用^[2]。通过研究桥丝向药剂传热的数学模型,结合瞬态脉冲试验结果和对影响电热过程因素的分析,完全可以对桥丝式电火工品发火时的有关性能参数进行数学表达,从而实现性能参数的数学模型预测,这也是对安全电流进行数学模型分析的依据。

2 建立桥丝传热模型

在研究桥丝式电火工品发火问题时,必须建立桥丝的

传热方程,传热方程中几乎包括所有表征桥丝式电火工品发火性能的参数,通过对传热方程分析求解,可以进行对发火性能参数的分析。桥丝式电火工品的发火过程升温图线如图1所示,瞬态脉冲试验中的电热响应曲线如图2所示。图2中的AB段相当于图1中的OA段,BC段相当于图1中的AB段,由于瞬态脉冲试验中输入的电流较小,不足以使桥丝升温到药剂形成自行化学反应,因此在曲线中没有像图1中BC段的曲线。

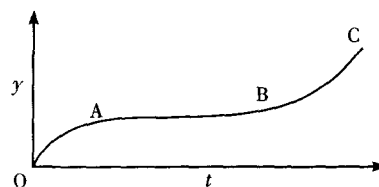


图1 发火过程桥升温曲线

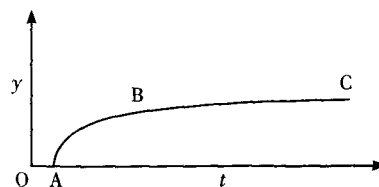


图2 电热响应曲线

在图1中AB段是药剂形成自持化学反应,并最终使药剂温度骤增形成爆炸(BC段)的关键阶段,B点之后主要是药剂的反应热影响自身温度,桥丝对药剂的加热开始可以忽略。因此,可以通过AB段对桥丝发火时的状态进行研究。由于图2中的BC段对应于图1中的AB段,在这2个过

* 收稿日期:2008-03-19

作者简介:张玉令(1983—),男,山东聊城人,硕士研究生,主要从事军事化学与烟火技术研究。

程中桥丝和药剂的所有性能参数相同,可以通过电热响应曲线和有关方程式得出这些性能参数,因此,在实际的过程中可以以图2为依据进行研究。

文献[3]中结合桥丝式电火工品的理论结构模型,根据传热学和电器学的有关原理,对桥丝的传热特点和传热条件进行假设,得出桥丝部分的传热方程为:

$$\lambda S \frac{d^2 T}{dz^2} - KLT + \frac{I^2 \rho}{S} = 0 \quad (1)$$

其中: λ 为桥丝的导热系数; S 为桥丝的截面积; T 为桥丝温度; K 为药剂的散热系数; L 为桥丝的周长; I 为电流; ρ 为桥丝的电阻系数; t 为时间。其中, λ , S , T , L , I , ρ , t 都可以直接测得, K 的值可以结合电热响应曲线的曲线斜率、电压最大变化量等参数计算获得。

3 安全电流计算

根据 GJB102A - 1998,安全电流是指在一定安全裕度下,保证火工品在规定施加电流时间内,不发火的恒定直流电流最大值。通常安全电流是指 1 min 不发火的电流。

对式(1)求解得:

$$T = \frac{I^2 \rho}{KLS} + c_1 e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z} + c_2 e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z} \quad (2)$$

在整个火工品的结构中,桥丝的端面主要是和脚线相连,脚线相对于药剂导热系数比较高,桥丝端面的热量会随脚线迅速散失,因此,把桥丝端面的温度看为常温 T_0 ,则设桥丝的长度为 $2a$,桥丝传热模型的边界条件为:

$$z = a, T = T_0$$

$$z = -a, T = T_0$$

把边界条件代入式(2)得:

$$c_1 = c_2 = \frac{T_0 - \frac{I^2 \rho}{KLS}}{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a}}$$

将 c_1, c_2 代入式(2)得 I^2 的表达式为:

$$I^2 = \frac{KLS}{\rho} \cdot \frac{T - T_0 \frac{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z}}{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a}}}{1 - \frac{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z}}{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a}}} \quad (3)$$

设 $B = \frac{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} z}}{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a}}$, 把 B 代入式(3)式并变形得:

$$I^2 = \frac{KLS}{\rho} \cdot \left(T_0 + \frac{T - T_0}{1 - B} \right) \quad (4)$$

把药剂发火时的电流作为安全电流,通过试验可以得出发火延滞期为 1 min 时的发火点,即相当于温度 T 已知,由其他参数知,则式(2)就变为电流 I 与轴向坐标 z 的关系式。

对式(4)研究可知, B 越小 I 越小。取最小的电流为最安全电流,此时 B 应最小。结合数学关系,由 B 的表达式可知,当轴向坐标绝对值最小时, B 最小,即 $z=0$ 时 B 最小:

$$B_{\min} = \frac{2}{e^{\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a} + e^{-\sqrt{\frac{KL}{\lambda S}} a}}$$

因此,桥丝式电火工品的安全电流表达式为:

$$I = \sqrt{\frac{KLS}{\rho} \cdot \left(T_0 + \frac{T - T_0}{1 - B_{\min}} \right)}$$

4 结束语

本研究通过理论分析,获得了预测桥丝式电火工品安全电流的数学模型,提供了利用数学模型对单发桥丝式电火工品性能进行预测的思路,为对电火工品的进一步研究提供了参考。此模型是建立在一定假设的基础上,如果通过标准试验对结果进行分析和判断,做进一步的深入研究,将会使结果更加接近实际情况。

参考文献:

- [1] 周彬.桥丝式电火工品瞬态脉冲无损检测技术研究[D].南京:南京理工大学,2003.
- [2] 胡学先,蒋罗珍.电火工品发火感度无损检测的展望[J].含能材料,1999,7(2):93-96.
- [3] 张玉令,高俊国.桥丝式电火工品瞬态脉冲试验中桥丝轴向温度分布[J].四川兵工学报,2008,29(1):125-127.
- [4] 强涛,周彬,秦志春,等.桥丝式电火工品安全电流的预测[J].南京理工大学学报:自然科学版,2006,30(1):110-112.

(上接第16页)

参考文献:

- [1] 张贤达.非平稳信号分析与处理[M].北京:国防工业出版社,1999.
- [2] 张贤达.现代信号处理[M].北京:清华大学出版社,

- 1999.
- [3] 赵淑清.随机信号分析[M].哈尔滨:哈尔滨工业出版社,1999.
- [4] 王宏禹.非平稳随机信号分析与处理[M].北京:国防工业出版社,1999.
- [5] 白居宪.时-频分析:理论与应用[M].西安:西安交通大学出版社,2000.