

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.01.009

药头质量分布对电引火药头发火时间精度的影响*

韩体飞^① 钟 帅^② 张 涵^① 颜事龙^①

①安徽理工大学化学工程学院(安徽淮南,232001)

②淮南舜泰化工有限责任公司(安徽淮南,232001)

[摘 要] 电引火药头发火时间是影响火工品延期精度的重要因素。制备药头药剂质量固定的电引火药头,统计质量分布;模拟药头发火环境,制备样品,测试不同质量水平药头的发火时间。结果表明:在现有生产工艺条件下,药头质量成正态分布,整体质量比工厂控制水平偏大,发火时间随质量变化在 6.1 ms 左右波动,在质量分布较为集中的 15.74 mg 区域附近,药头发火时间波动小,精度高。

[关键词] 电引火药头;发火时间;药头质量分布;传热学;精度

[分类号] TQ560.7

引言

毫秒延期电雷管引火元件的生产中,电引火药头药剂的质量控制是生产中的一个重要环节。电引火药头药剂质量的大小不仅影响药头发火时间和精度,也会影响毫秒延期电雷管延期体延期时间和精度,进而影响雷管延期时间和精度。众多研究的关注焦点主要集中在药头点火能量匹配方面^[1],当药头质量^[2]不均匀时,所产生的点火能量和气室压力会使延期药点火时间、燃烧的压力环境和燃烧速度不同,从而影响雷管延期时间及精度。也有学者对点火药头发火时间进行过研究,但多集中在药剂^[3-4]或发火历程的研究上^[5]。

本研究在现有生产工艺条件下,制备固定药剂质量的电引火药头,模拟药头发火环境,测试药头发火时间,统计分析现有生产工艺条件下药头质量的控制以及质量控制对发火时间及精度的影响,进而得出最佳药头质量控制参数。

1 理论基础

1.1 工程数据统计理论

在工程数据统计分析中^[6],当一组数据均值 \bar{x} 不同时,不能直接用不同均值系列的标准差 S 相比较来说明不同系列的离散程度。为此,用标准差的一个绝对量来比较不同均值对随机变数系列的离散程度,需消除均值的影响,用标准差与均值的比值来作比较,即离差系数,以符号 C_V 表示,样本离差系数

通过式(1)得到:

$$C_V = S/\bar{x} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

式中: x_i 为随机变数的取值, n 为样本数。

1.2 药头发火的传热学理论

桥丝加热电引火药头时,药头向环境散失热量。假设散热主要是以热传导方式进行,根据热传导定律,热流量与温度梯度成正比。对于电引火药头,近似球形,由热传导而散失的热量可表示为:

$$q_2 = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2)$$

式中: q_2 为药剂热传导所散失的热量, λ 为药剂导热系数, T 为药剂温度, r 为球形半径。

由式(2)可知,药头的形状影响热传导而散失热量。现作如下假设:桥丝电阻均匀,各向同性;桥丝通电电流固定;点火药剂为同批次生产,各向同性;药剂的导热系数不随温度变化。热传导方程为:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = q_1 + \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (3)$$

式中: ρ 为药剂密度; c 为药剂比热容; q_1 为药剂化学反应释放的热量。

此时,影响热积累使点火药引燃的主要是热传导所损失的热量,与药头的半径 r 有关^[7]。式(2)

* 收稿日期:2014-04-10

基金项目:国家自然科学基金-联合基金项目(51134012)

作者简介:韩体飞(1983~),男,博士研究生,实验师,主要从事民用爆破器材的研究及应用。E-mail:tfhan@aust.edu.cn

中, q_2 和 r 之间呈双曲线分布^[8], 即在双曲线上存在一特征点, 使 r 值为药头半径的最佳值。可以推断, 该值的存在使药头发火可靠, 发火时间偏差小, 精度高。在实际生产中, 为保证此值的存在, 通过均匀的沾药工艺, 控制药头质量精度。

2 实验部分

2.1 电引火药头的质量及桥丝电阻测试

为获取每个药头的质量数据, 药头的制备工艺如下: 从淮南舜泰化工有限公司引火药头生产线上取下经检验合格未沾点火药的半成品引火元件, 截取脚线长度约为 40 cm, 共计 600 个, 并编号。用万分之一天平称取每个半成品引火元件的质量, 记为 m_i' , 然后分别沾点火药, 干燥, 沾防潮漆, 获得自制电引火药头样品; 分别称量自制电引火药头的质量, 记为 m_i'' , 对应每个编号的药头药剂质量 $m_i = m_i'' - m_i'$ 。统计样本总量为 600 个的药头质量分布规律。

用 IT-5 型电雷管参数测试仪测试每个电引火药头的桥丝电阻。测试方法: 将电引火药头脚线接入仪器的接线柱, 在工作状态下测试全电阻 $R_{\text{总}}$, 用刀片在靠近药头处接通, 使桥丝短路, 测试脚线的电阻 $R_{\text{脚}}$, 则桥丝电阻 $R_{\text{桥}} = R_{\text{总}} - R_{\text{脚}}$ 。统计样本总量为 600 个桥丝的电阻分布。

2.2 测试样品的制备

从 600 个自制电引火药头中分别取 A (m_i 为 12.9 ~ 13.9 mg)、B (m_i 为 14.0 ~ 14.9 mg)、C (m_i 为 15.0 ~ 15.9 mg)、D (m_i 为 16.0 ~ 16.9 mg)、E (m_i 为 17.0 ~ 17.9 mg)、F (m_i 为 18.0 ~ 18.9 mg) 6 个质量系列, 每个质量系列取样本数为 60 个的电引火药头制备测试样品。测试样品(图 1)由 3 部分组成: 固定电引火药头质量的引火元件、气室部位开有光信号输出孔的雷管管壳、塑料密封塞。固定气室长度为 (10.00 ± 0.50) mm, 用气动卡口机在引火元件部位和密封塑料塞处卡印封口制成测试样品。

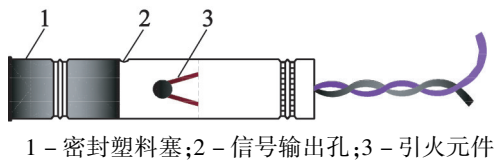


图 1 测试样品

Fig. 1 Test samples

2.3 电引火药头发火时间的测试

药头发火时间通常是指启动点火源到药头表面出现首次火焰或火光的时间间隔。采用工业电雷管延期时间分段测试系统^[9]测试药头发火时间(图 2)。测试原理为: 被测样品安装在专用密封器中, 专用密封器为雷管或半成品雷管提供真实的爆炸或

燃烧环境, 通过密封透明的信号输出孔输出雷管内部燃烧或爆炸的光信号。恒流源通电电流为 1.2 A, 通电开始的电信号与探测孔内接受的光信号之间的时间间隔即为所测药头发火时间。

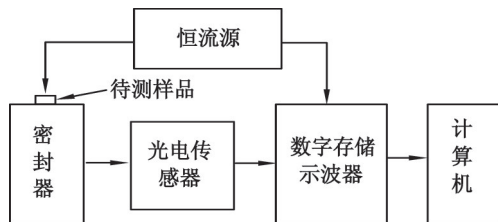


图 2 测时系统示意图

Fig. 2 Sketch map of the time test system

3 实验结果与分析

3.1 电引火药头质量及桥丝电阻分布规律

图 3 显示, 随着药头质量的增加, 桥丝电阻在 2.5Ω 左右微小波动, 电阻分布比较均匀。因此, 实验中可以忽略电阻大小的变化对药头发火时间的影响。

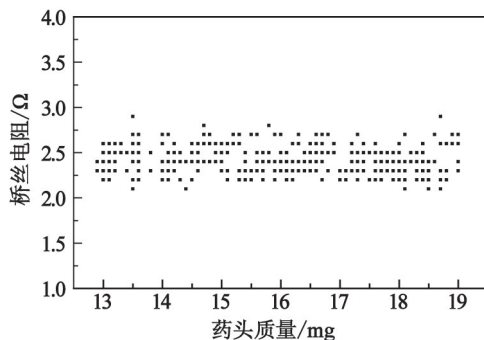


图 3 桥丝电阻分布

Fig. 3 Resistance distribution diagram of igniter wire

对 600 个自制电引火药头质量数据进行统计, 药头质量下限为 9 mg, 上限为 26 mg, 极差为 17 mg, 以 0.5 mg 为组距, 将样本分为 34 组绘制直方图(图 4), 并对直方图进行正态分布曲线拟合, 得曲线:

$$y = 1.134 + 70.533e^{-0.199(x-15.74)^2}.$$

其特征参数均值 $\bar{x} = 15.74$ mg, 方差 $S = 3.169$, 直方图基本服从正态分布, 相关系数 $R^2 = 0.986$ 。工厂质量标准要求质量控制在 (15 ± 3) mg 内, 中心值为 15 mg, 在实际操作中有所偏大。600 个实验药头质量样本中, 质量分布集中在 15.74 mg, 大于 18 mg 的药头质量分布稍有超出正态分布曲线范围, 而整体符合正态分布。为了获得理想的正态分布曲线, 在实际操作中仍需加强沾药质量水平的控制。对于实际生产中, 除了要求沾药质量分布集中, 提高药头发火时间精度, 还需加强药头点火可靠性的控制, 允许沾药质量向稍偏大区域靠近。小于 12 mg 的药头质量分布概率小于 1%, 属于小概率事件, 在

一次沾药过程中,这种事件几乎不可能发生,视为操作中的偶然因素,可忽略对产品质量影响。

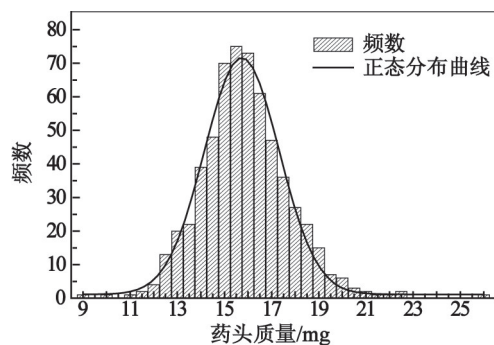


图 4 药头质量分布

Fig. 4 Mass distribution diagram of fusehead

3.2 电引火药头发火时间测试曲线

图 5 为药头发火时间测试典型曲线,1.2 A 恒定电流通入桥丝后,由恒流源输出电压信号,显示在示波器上,即曲线 1,表示桥丝通、断信号;桥丝升温并将热量传给引火药剂,使药剂发生化学反应,释放的热量使药剂继续升温,至自动发火,在信号输出孔处探测到发火的光信号,即曲线 2,此曲线为电引火药头发火信号。桥丝通电的开始信号与电引火药头发火的开始信号之间的时间间隔 T 为所测电引火药头发火时间,图中 $T = 5.83$ ms。

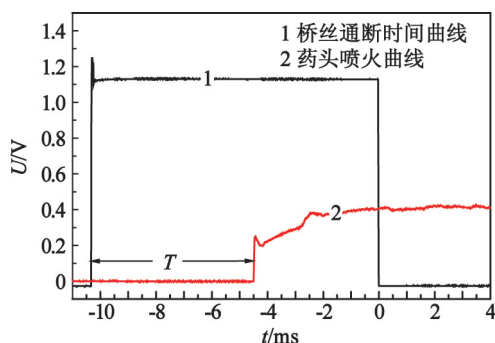


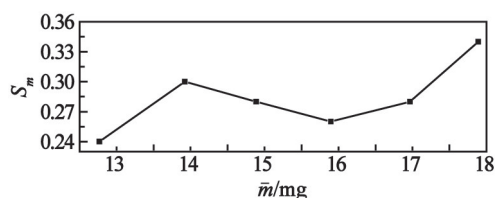
图 5 药头发火时间测试曲线

Fig. 5 Test curves of fusehead ignition delay time

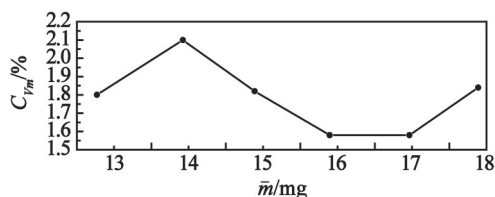
3.3 电引火药头发火时间测试结果

图 6 为电引火药头质量均值 \bar{m} 与标准偏差 S_m 和离差系数 C_{vm} 关系图。图 7 为电引火药头质量均值 \bar{m} 与每个系列药头发火时间均值 \bar{x}_t 、标准偏差 S_t 和离差系数 C_{vt} 关系图。

由图 6 可见,A、B、C、D、E、F 6 个系列的质量均值间隔在 1 mg 左右,随着质量均值的增加,各质量系列的标准偏差虽然在 0.239 ~ 0.338 范围内波动,但不能表征均值不同时各水平的离散程度。利用离差系数表征各水平系列的离散程度,其质量离差系数在 1.58% ~ 2.10% 范围内波动,离散程度小,因此,可以忽略各水平药头质量的离散程度对同一质



(a) 质量均值与标准偏差关系



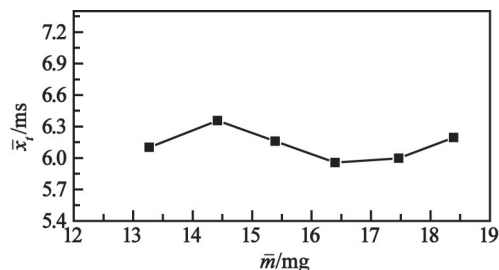
(b) 质量均值与离差系数关系

图 6 药头质量统计曲线

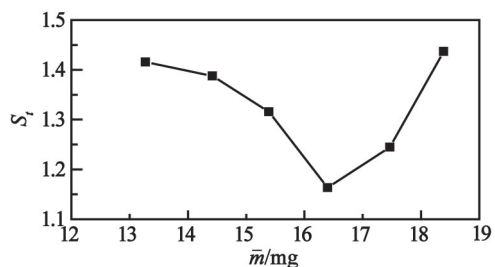
Fig. 6 Statistical curves of fusehead mass

量水平药头发火时间及精度的影响。

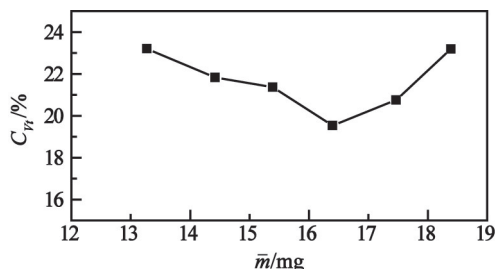
电引火药头发火时间统计(图 7)显示,随着质量均值水平的增加,发火时间均值在 6.1 ms 左右波动,均值变化幅度小,见图 7(a),即药头质量对发火时间的长短影响小。从标准偏差和离差系数曲线可以看出,药头质量约为 16.4 mg 时,标准偏差和离差



(a) 质量均值与时间均值关系



(b) 质量均值与标准偏差关系



(c) 质量均值与离差系数关系

图 7 发火时间统计曲线

Fig. 7 Statistical curves of ignition delay time

系数均出现最小值,此质量水平下的发火时间离散程度最小,即精度最高。

3.4 结果分析

1)在工厂生产条件下,通过精选,可以控制桥丝电阻的均匀性,使电阻成为实验的忽略因素;沾药质量基本服从正态分布,集中在 15.74 mg,此值最接近药头发火时间精度最佳值;在生产中,有必要对沾药工艺加强控制,控制质量分布的离散程度,使正态分布曲线向中心值偏大附近集中。

2)药头质量为 16.4 mg 时,药头发火时间精度最高。其半径为药头半径最佳值,与式(2)中球形半径 r 相对应。

4 结论

1)工厂实际生产中沾药质量水平受控,基本服从正态分布,在工艺要求的质量范围内,质量分布集中在 15.74 mg。

2)抽取的所有药头电阻分布均匀,各水平药头质量波动以及质量精度变化不明显,可消除质量水平引起的误差。

3)发火时间精度极大值出现在药头质量为 16.4 mg 时,稍大于药头质量分布集中的 15.74 mg,这是由于近似球形的药头在此质量范围内半径达到最佳值,有利于桥丝加热药剂过程中的热传导、热量的散失,使温度到达药头药剂的爆点。

4)在工业生产中,需要加强药头质量的控制,控制球形药头的半径尺寸,使药头尺寸达到热传导和热散失的最佳值,提高药头发火时间精度,进而提高电雷管延期时间精度。

参 考 文 献

- [1] 李俊安,劳允亮. 点火-延期药界面能量匹配与延期精度[J]. 火工品, 1995(1):15-18.
Ling Jun'an, Lao Yunliang. The energy match and delay

precision of ignition-delay composition interface [J]. Initiators & Pyrotechnics, 1995(1):15-18.

- [2] 黄寅生,张金城. 电雷管气室压力与秒量精度[J]. 爆破器材,1990,19(6):16-20.
Huang Yinsheng, Zhang Jincheng. The relation between chamber pressure and delay time precision of MS delay detonator[J]. Explosive Materials, 1990,19(6):16-20.
- [3] 杨庆玲,魏增强,李玉田. 点火药粒度变化对产品性能的影响研究[J]. 火工品,2005(4):26-29.
Yang Qingling, Wei Zengqiang, Li Yutian. Study on the granularity of ignition powder influencing on the property of product[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2005(4):26-29.
- [4] 谢斌. 铅丹-硅系电引火药头的研究[J]. 爆破器材, 2009,38(4):21-24.
Xie Bin. Study on the fusehead of red lead-silicon type [J]. Explosive Materials, 2009,38(4):21-24.
- [5] 成一,陈守文. 电点头发火过程的时间结构的研究[J]. 爆破器材, 2001,30(5):22-23.
Cheng Yi, Chen Shouwen. Study on the time structure of electric ignition process in fuse head [J]. Explosive Materials, 2001, 30(5):22-23.
- [6] 金光炎,王发信,王式成. 工程数据统计分析[M]. 南京:东南大学出版社,2002:16-24.
- [7] 任世铮. 传热学[M]. 北京:冶金工业出版社,2007:12-21.
- [8] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京:北京理工大学出版社,1999:14-30.
- [9] 周富强,韩体飞,侯寒冬,等. 工业电雷管延期时间分段测试系统的研究[J]. 火工品,2012(3):17-20.
Zhou Fuqiang, Han Tifei, Hou Handong, et al. Research on sectionalized time test system for the delay time of commercial electric detonator[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2012(3):17-20.

Effect of the Fusehead Mass Distribution on Ignition Delay Precision of the Electric Fusehead

HAN Tifei^①, ZHONG Shuai^②, ZHANG Han^①, YAN Shilong^①

①School of Chemical Engineering, Anhui University of Science and Technology (Anhui Huainan, 232001)

②Huainan Shuntai Chemical Industry Co., Ltd. (Anhui Huainan, 232001)

[ABSTRACT] The ignition delay time of the electric fusehead is the key factor on the delay precision of the initiating explosive device. The electric fuseheads of fixed agent mass were prepared and their mass distribution was counted. Test samples which simulate the ignition environment of fusehead for ignition delay time were prepared, and then the delay time of different mass level of the fusehead was tested. The results indicate that in existing production technology the mass of fusehead which is higher than the factory overall control level is a normal distribution, and the ignition delay time fluctuates around 6.1ms varying with the mass for which in the concentrated mass distribution area of nearby 15.74 mg, the fluctuation of the ignition delay time of the fusehead is smaller and its precision is higher.

[KEY WORDS] electric fusehead; ignition delay time; fusehead mass distribution; heat transfer theory; precision