

文章编号:1006-9941(2019)09-0779-07

一种无起爆药撞击火帽的输出特性

彭加斌,魏 领,王雪艳,刘 帅,常 昕,张 虎

(西安物华巨能爆破器材有限责任公司, 陕西 西安 710061)

摘要: 用50%50 nm Ti和50% 5 μm KClO_4 组成的非起爆药装药设计了一种无起爆药撞击火帽。采用模拟实验和高速摄影技术对该种无起爆药撞击火帽的输出特性进行了研究。实验结果显示,当 $\Phi 1.0$ mm的击针撞击火帽时,其火帽中药剂的反应形式为缓慢燃烧;当 $\Phi 1.7$ mm的击针撞击火帽时,火帽中药剂的反应形式为爆燃;当 $\Phi 3.0$ mm的击针撞击火帽时,火帽中药剂的反应形式为爆炸。当以缓慢燃烧形式反应时,火帽输出的火焰强度很弱,炽热残渣为0,50%,特性点火距离为0。当以爆燃形式反应时,火帽输出的火焰持续时间约为250 μs ,炽热残渣为12.9 mg,50%特性点火距离为94 mm。当以爆炸形式反应时,火帽输出的火焰持续时间约为50 μs ,炽热残渣为7.7 mg,50%特性点火距离为52 mm。而同配方系列中的含叠氮化铅、50 nm Ti和5 μm KClO_4 组成的起爆药装药撞击火帽,只有一种反应形式——爆炸,其火帽输出的火焰持续时间约为50 μs ,炽热残渣为6.5 mg,50%特性点火距离为32 mm。无起爆药撞击火帽以爆燃形式发火时,其点火性能优于其同配方系列中的含起爆药撞击火帽。

关键词: 起爆药;撞击火帽;击针直径;火焰;残渣;50%特性点火距离

中图分类号:TJ45⁺1.5

文献标志码:A

DOI:10.11943/CJEM2018333

1 引言

火帽是一种装有击发药的火工品,是燃烧或爆炸作用序列中的首发元件,其作用是接受初始机械冲能激发后输出火焰能,引燃弹药的发火序列^[1]。火帽的核心技术之一是击发药。击发药的经典配方是由起爆药、可燃剂和氧化剂等组成的混合物。击发药中的起爆药主要是提高击发药感度和满足对适当猛度的要求,在击发药中真正起点火作用的是其组分中的氧化剂和可燃剂,它们在起爆药发火的刺激下快速发生反应,发出大量热、炽热固体或液体、一定压力气体和火焰等,以实现可靠点火的功能^[2]。由于起爆药的安全性和环保等方面问题较为突出,因此不含起爆药的击发药得到了发展和应用(尤其是在对耐温性能、安全和环保等要求较高的使用环境下,如油气井射孔作

业^[3])。不含起爆药的击发药装填于撞击火帽中,便成为无起爆药撞击火帽。关于火帽的研究比较多,主要集中在产品的可靠性设计^[4-5],撞击火帽的撞击力学过程机理研究^[6],火帽实验方法研究^[7]和故障原因分析方面^[8-10],但这些研究大都针对含起爆药型火帽。

无起爆药的撞击火帽感度低、可靠度差,一直没有得到广泛使用。但随着纳米技术的发展,尤其是纳米金属粉在击发药配方中的应用,极大地提高了无起爆药撞击火帽的发火感度^[11],为其广泛应用做好了技术准备。为了提高撞击火帽的使用安全性和耐高温性能(如,在太空中或高温油气井下),研究了无起爆药撞击火帽,其装药就是一种含纳米钛粉且无起爆药的击发药。采用实验方法对火帽的输出特性进行了初步研究并取得了一些成果,可为其进一步推广应用提供依据。

2 实验部分

2.1 实验准备

无起爆药击发药的配制:击发药不含任何起爆药,由钛粉和高氯酸钾组成。钛粉粒度为50 nm左右,纯度不低于99%,高氯酸钾粒度为5 μm 左右,纯度不低于99%。将钛粉和高氯酸钾粉(按质量比1:1)用干混

收稿日期:2018-12-01;修回日期:2019-01-19

网络出版日期:2019-02-22

作者简介:彭加斌(1968-),男,高级工程师,主要从事油气井用爆破器材研究。e-mail:jbpeng68@163.com

通信联系人:彭加斌(1968-),男,高级工程师,主要从事油气井用爆破器材研究。e-mail:jbpeng68@163.com

引用本文:彭加斌,魏 领,王雪艳,等.一种无起爆药撞击火帽的输出特性[J].含能材料,2019,27(9):779-785.

PENG Jia-bin, WEI Ling, WANG Xue-yan, et al. Output Characteristics of a Non-primary Explosive Percussion Primer[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2019, 27(9):779-785.

法进行机械混合,均匀后待用。

火帽制作:将上述配制好的击发药称量(40 ± 5) mg,倒入已装有火帽壳的模具中,以 100 MPa 左右的压药压力将击发药压入火帽壳中,然后将盖片和火台依次放入模具中,再用冲头压一次。火帽压制方法见图 1。从模具中取出火帽,擦净火帽表面的浮药,待实验。火帽结构见图 2。火帽壳、盖片和火台的材料均为不锈钢材料。

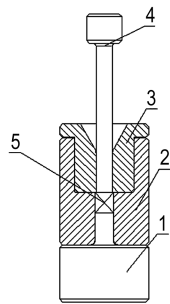


图 1 火帽压制方法示意图

1—底座, 2—中模, 3—上模, 4—冲头, 5—火帽

Fig.1 Schematic diagram of the pressing manufacture method for primer

1—base, 2—medium holder, 3—upper holder, 4—pressing bar, 5—primer

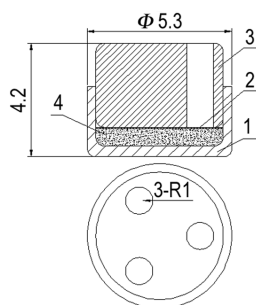


图 2 火帽结构示意图

1—火帽壳, 2—盖片, 3—火台, 4—击发药

Fig.2 Schematic diagram of the structure of primer

1—primer shell, 2—cover, 3—anvil, 4—primer mixture

2.2 实验过程

2.2.1 火帽力学输出特性

试验装置见图 3。按图 3 所示,将火帽和验证铅柱 ($\Phi 6.4$ mm \times 7 mm) 放入到装置中,然后调整好落锤高度,最后放好某种直径的击针(见图 4)。当接通电源时,落锤沿着导轨自由下落,撞击击针,击针再撞击火帽,火帽发火,发火的火帽对其下方的验证铅柱进行冲击。实验后观察火帽对验证铅柱的冲击情况和火帽壳的破坏情况。

本实验所用击针的材料为普通 45# 钢,不同直径

的击针都进行了热处理,使其硬度在 (55 ± 10) HRC 范围内,以确保击针在撞击时不发生弯曲。

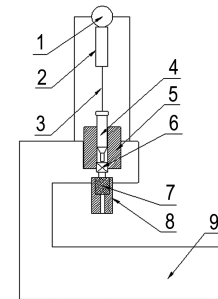


图 3 火帽力学输出特性测试示意图

1—电磁阀, 2—落锤, 3—导轨, 4—击针, 5—固定座, 6—火帽, 7—验证铅柱, 8—铅柱座, 9—实验座

Fig.3 Schematic diagram of testing mechanical output characteristics of primer

1—magnetic valve, 2—dropping hammer, 3—guiding rail, 4—firing pin, 5—fixed holder, 6—primer, 7—verification lead pillar, 8—lead pillar housing, 9—experimental base.

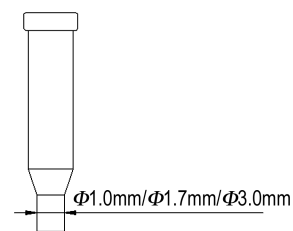


图 4 击针外形图

Fig.4 Firing pin configuration

2.2.2 火帽火焰输出特性

按图 5 所示,将火帽和有机玻璃管安装到装置中,然后调整好落锤高度,最后放好某种直径的击针。在接通电磁阀的同时,启动德国 PCD.dimax HD 高速摄

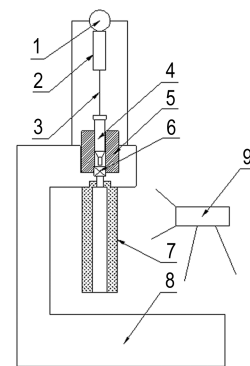


图 5 火帽火焰输出特性测试示意图

1—电磁阀, 2—落锤, 3—导轨, 4—击针, 5—固定座, 6—火帽, 7—有机玻璃管, 8—实验座, 9—高速摄影机

Fig.5 Schematic diagram of testing flame output characteristics of primer

1—magnetic valve, 2—dropping hammer, 3—guiding rail, 4—firing pin, 5—fixed holder, 6—primer, 7—plexiglass tube, 8—experimental base, 9—high-speed camera

影机(最高 130641 fps),拍摄火帽的火焰输出情况。

2.2.3 火帽残渣输出特性

按图 6 所示,将火帽和残渣收集器(安装前精确称量其质量)安装到装置中,然后调整好落锤高度,最后放好某种直径的击针。当接通电源时,落锤沿着导轨自由下落,撞击击针,火帽发火,用残渣收集器对火帽点火方向上所输出的炽热残渣进行收集,每组 50 发实验后进行称重,得出某组火帽的残渣质量。

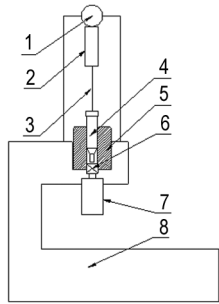


图 6 火帽残渣输出特性测试示意图
1—电磁阀, 2—落锤, 3—导轨, 4—击针, 5—固定座, 6—火帽, 7—残渣收集器, 8—实验座

Fig. 6 Schematic diagram of testing ash output characteristics of primer

1—magnetic valve, 2—dropping hammer, 3—guiding rail, 4—firing pin, 5—fixed holder, 6—primer, 7—ash collector, 8—experimental base

2.2.4 火帽综合输出特性

按图 7 所示,将火帽和某种被点火火工品(其外形尺寸为 $\Phi 6.4 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$,主要装药为某型号的硅系点火药,其接受点火的药剂呈裸露且已被压缩的状态)安

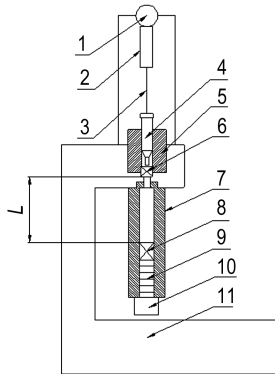


图 7 火帽综合输出特性测试示意图
1—电磁阀, 2—落锤, 3—导轨, 4—击针, 5—固定座, 6—火帽, 7—钢管, 8—被点火工品, 9—钢块, 10—堵头, 11—实验座

Fig. 7 Schematic diagram of testing comprehensive output characteristics of primer

1—magnetic valve, 2—dropping hammer, 3—guiding rail, 4—firing pin, 5—fixed holder, 6—primer, 7—steel tube, 8—acceptor, 9—steel cake, 10—fixing, 11—experiment base

装到装置中,火帽输出端到被点火火工品输入端面之间的距离 $L(\text{mm})$ 根据上一次实验结果用该装置中的钢块数量(每块厚 2 mm)进行调整,然后调整好落锤高度,最后放好某种直径的击针。当接通电源时,落锤沿着导轨自由下落,撞击击针,火帽发火,观察被点火工品是否发生反应。

3 结果与讨论

3.1 火帽力学输出特性

经大量实验测定,该无起爆药火帽对于不同直径的击针,其全发火的最小落锤高度(落锤质量为 2 kg): $\Phi 1.0 \text{ mm}$ 击针时为 8 cm; $\Phi 1.7 \text{ mm}$ 击针时为 19 cm; $\Phi 3.0 \text{ mm}$ 击针时为 40 cm。因此,为了方便比较,将该实验中的击针对火帽的撞击能量($E=mgh$)进行了统一,即:落锤质量(m)为 2 kg,落锤高度(h)为 40 cm。按图 3 所示方法用不同直径击针对无起爆药火帽进行实验,结果见表 1 和图 8。



图 8 不同直径击针撞击后火帽破坏和铅柱受冲击情况
Fig. 8 The damage of primers and impact situation of lead pillars after the impact by firing pins with different diameters

表1 不同直径击针撞击无起爆药火帽的情况

Table 1 The residue of primers hit by different diameter pins and witness

diameter of pin / mm	residues after the primers fired (seen in Fig.8)	the witness lead pillars shocked by the primers fired(seen in Fig.8)	sound when the primers fired
1.0	unbroken.	unchanged	too weak to hear
1.7	broken regularly	a regular and shallow cavity.	low
3.0	broken irregularly	a sharp and deep hole	high

从图8可以看出:

(1) $\Phi 1.0$ mm的击针撞击火帽后,火帽壳和火台仍然完整地结合在一起,且与其相邻的铅柱端面没有任何形变或受冲击的痕迹,同时,火帽发火时听不到爆炸响声。这些现象表明:用 $\Phi 1.0$ mm的击针撞击火帽时,火帽发火时的力学输出特性为反应产生的气体压力很小,气体冲击力几乎没有。

(2) $\Phi 1.7$ mm的击针撞击火帽后,火帽壳和火台发生了分离,火帽壳被剪切成两块(火帽壳底与火帽壳侧面发生了分离,且形状较为规整),同时与其相邻的铅柱端面有较大近似半球形的凹面(约5 mm直径,深约0.5 mm)。另外,火帽发火时能听到较小的爆炸响声。这些现象表明:用 $\Phi 1.7$ mm的击针撞击火帽时,火帽发火时的力学输出特性表现为类似于火药快速燃烧时对外做功的力学特性。

(3) $\Phi 3.0$ mm的击针撞击火帽后,火帽壳变成了碎块(三片以上),且形状不规整。同时与其相邻的铅柱端面出现不规则的且开口较小的深坑(约2 mm直径,深约1 mm),这符合爆炸的近距离作用特性(即猛度特性),且火帽发火时听到的爆炸声较大。这些现象表明:用 $\Phi 3.0$ mm的击针撞击火帽时,火帽发火时的力学输出特性表现为类似于炸药爆炸的猛度力学特性。

为了进一步验证上述实验结果,用一种含起爆药(该火帽的击发药配方:在上述的无起爆药火帽的击发药配方基础上外加20%的起爆药叠氮化铅,其它技术参数不变)撞击火帽进行对比实验。

实验结果显示,不论使用哪种直径的击针,只要发火,其结果几乎都是一样的,即火帽发火后,火帽壳变为多个碎片,验证铅柱端面的炸痕明显,爆炸声很大,与表1中 $\Phi 3.0$ mm的击针情况类似。这说明含有起爆药的火帽,其力学输出特性只有一种形式,即类似于炸药爆炸的猛度力学特性,同时也表明无起爆药型火帽具有与含起爆药型传统火帽不同的独特输出形式。

这种无起爆药撞击火帽有至少三种不同的反应形式(缓慢燃烧、爆燃或爆炸),且其不同的输出形式是与

撞击击针的直径相关联的。这一现象可以从以下几个角度进行解释。

其一、在相同的总撞击能量($E=mgh$)下,撞击击针的直径大小直接影响其将撞击能量转化为火帽发火所需要的发火能量的效率。

击针直径小(如 $\Phi 1.0$ mm),总撞击能量加载到火帽中药剂上的有效撞击能较少,因此产生的热点较少,但热点强度较大,因为击针直径小,穿破火帽壳所消耗的能量相对较少,导致击针撞击到药剂时的初速度较高。由于无起爆药火帽中的击发药为钝感的烟火剂,它发生爆燃或爆炸所需要的热点数量和强度要远高于含起爆药型火帽,因此,如此少量的热点要形成爆燃或爆炸的概率当然很小,但其热点的强度较高,因此可以引起火帽的低速燃烧反应。随着击针直径的增大,其与火帽壳撞击的面积变大,于是传递给击发药的有效撞击能就增多,使药剂内部产生热点变多,多个热点汇聚,能快速提升药剂的质量燃耗率,从而导致燃烧加速,以至于由慢速燃烧发展为爆燃或爆炸^[12-14]。

其二、无起爆药型击发药,其燃烧转爆炸的临界直径较大。

本火帽中的击发药为可燃剂钛粉和氧化剂高氯酸钾,其爆炸的临界直径肯定远大于起爆药型击发药。前者的临界直径一般最小为几毫米,甚至几十毫米(当然,这还与药剂的粒度等多种因素相关联),而后者的临界直径一般为1 mm以下^[15]。随着击针直径增大,实际上在变相地增大其无起爆药型击发药的有效装药直径,从而造成火帽输出形式与其击针直径大小相关的现象。

其三、火帽中的击发药在受撞击时产生的剪切和流变强度影响火帽反应形式^[16]。

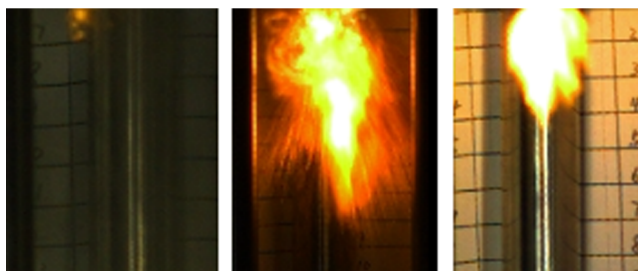
由于火帽是采用压制的方法进行装药的,因此火帽径向上必然存在药剂密度的差异:一般情况下,中心部分的密度大且相对均匀,药剂密度自中心向周围逐渐变小。击针直径较小时,主要撞击火帽中心位置药剂,由于该处药剂密度均匀,因此产生的剪切和流变强度较小,因此热点强度就较弱(即热点温度低、热点体

积小、热点持续时间短);随着击针直径增大,击针不仅能撞击中心药剂,还能撞击到与中心部分存在密度差的周围药剂,这时会产生较强的剪切和流变,因此就产生了较多、较强的热点,从而加速了燃烧反应,甚至出现爆炸的反应形式。

含起爆药撞击火帽只发生爆炸反应,这可能与起爆药一旦发火,其燃烧转爆轰的长时期特别短有关,从而导致火帽中的击发药整体只能以爆炸反应形式进行。

3.2 火帽火焰输出特性

按图5所示方法,用不同直径击针对无起爆药火帽进行实验,结果如图9所示。



a. $\Phi 1.0$ mm b. $\Phi 1.7$ mm c. $\Phi 3.0$ mm

图9 不同直径击针撞击火帽后,火焰输出情况

Fig.9 The flame output situation from the primers hit by firing pins with different diameters

从图9可以看出:(1) $\Phi 1.0$ mm的击针撞击无起爆药火帽时,从火帽火台输出孔中输出的仅仅是一点微弱的火光。这表明:用 $\Phi 1.0$ mm的击针撞击火帽时,火帽发火时的火焰输出特性表现为火焰很弱且长度很短。(2) $\Phi 1.7$ mm的击针撞击无起爆药火帽时,从火帽火台输出孔中喷出大量的炽热燃烧物且发出较为明亮的火焰,且火焰的持续时间长达 $250 \mu\text{s}$ 。从其火焰持续时间长达 $250 \mu\text{s}$ 角度看,可以判断出火帽中的击发药是应该以快速燃烧形式进行反应的。明亮的火焰也说明其燃烧较为充分,燃烧物温度较高。这表明:用 $\Phi 1.7$ mm击针撞击火帽时,火帽发火时的火焰输出特性表现为火焰明亮且持续时间长。(3) $\Phi 3.0$ mm的击针撞击无起爆药火帽时,从火帽输出孔中喷出非常明亮的火焰,其火焰的持续时间大约 $50 \mu\text{s}$ 。这表明:用 $\Phi 3.0$ mm的击针撞击火帽时,火帽发火时的火焰输出特性表现为火焰明亮但持续时间较短。

用 $\Phi 1.7$ mm的击针撞击火帽时,输出的火焰虽然不如 $\Phi 3.0$ mm的击针那么明亮,但其持续时间最长,约为后者的5倍。这是因为前者发生的是爆燃反应,爆燃反应对火帽的壳体等周围破坏性小,相对完整的

火帽壳体迫使大多数燃烧产物或中间产物从火台孔中定向排出,因此前者的火焰持续时间相对较长。

3.3 火帽残渣输出特性

为了更好地说明无起爆药火帽($\text{Ti}+\text{KClO}_4$)的残渣输出特性,按如图6所示方法用不同直径击针对无起爆药火帽($\text{Ti}+\text{KClO}_4$)和含叠氮化铅起爆药(LA)的火帽($\text{LA}+\text{Ti}+\text{KClO}_4$)进行对比实验,每组50发。实验结果见表2。

表2 火帽发火时输出的残渣

Table 2 The ash exported by primers during ignition

diameter of pin / mm	ash mass / mg	
	Ti+KClO ₄	LA+Ti+KClO ₄
1.0	0	320
1.7	645	330
3.0	385	325

从表2可以看出:(1) $\Phi 1.0$ mm的击针撞击无起爆药火帽时,从火帽火台输出孔中输出的炽热残渣几乎为零。直径 1.7 mm的击针撞击无起爆药火帽时,从火帽火台输出孔中喷出炽热残渣约为 645 mg(50发),平均每发 12.9 mg。直径 3.0 mm的击针撞击无起爆药火帽时,从火帽火台输出孔中喷出炽热残渣约为 385 mg(50发),平均每发 7.7 mg。这表明:用 $\Phi 1.0$ mm击针撞击火帽时,火帽发火时的残渣输出特性表现为很弱,用 $\Phi 3.0$ mm的击针次之,而用 $\Phi 1.7$ mm的击针产生的残渣最多。(2)对于含起爆药的火帽,不论用哪种直径的击针,其输出的残渣质量几乎相同,约 325 mg(50发)左右,平均每发为 6.5 mg。

用 $\Phi 1.7$ mm的击针撞击火帽时,输出的残渣比 $\Phi 3.0$ mm的击针多,约为后者的1.7倍。这是因为前者发生的是爆燃反应,其对火帽的壳体等周围破坏性小,相对完整的火帽壳体迫使燃烧产物或中间产物(包括炽热固体残渣)从火台孔中定向排出。因此前者的残渣量要多于后者。而含起爆药撞击火帽,用不同直径的击针撞击火帽,其残渣输出质量几乎相同(平均每发 6.5 mg),且比用 $\Phi 3.0$ mm击针撞击的无起爆药撞击火帽的残渣输出质量(平均每发 7.7 mg)略小,这是因为含起爆药火帽除了含有钛粉和高氯酸钾外,还含有一定量的起爆药LA,LA发火产生的残渣相对较少。

3.4 火帽综合输出特性

为了更好地说明无起爆药火帽($\text{Ti}+\text{KClO}_4$)的综合输出特性(用50%特性点火距离 L 表示),按如图7所示方法用质量 2 kg的落锤、不同直径击针对无起爆

药火帽(Ti+KClO₄)和含叠氮化铅起爆药(LA)的火帽(LA+Ti+KClO₄)进行对比实验,采用升降法找出它对被点火火工品50%发火的点火距离。实验结果见表3。

表3 火帽发火时综合输出特性

Table 3 The comprehensive output characteristics of primer during ignition

diameter of pin / mm	percussion primer (Ti+KClO ₄)		percussion primer (LA+Ti+KClO ₄)	
	L / mm	σ / mm	L / mm	σ / mm
1.0	0	0	34	2.5
1.7	94	2.3	32	1.8
3.0	52	2.7	28	3.2

Note: σ is the standard deviation. L is the 50% characteristic ignition distance.

从表3可以看出:(1) Φ 1.0 mm的击针撞击无起爆药火帽时,其综合输出特性为零,即它几乎点不着被点火的火工品。 Φ 1.7 mm的击针撞击无起爆药火帽时,其综合输出特性为94 mm。 Φ 3.0 mm的击针撞击无起爆药火帽时,其综合输出特性为52 mm。这表明:用 Φ 1.0 mm的击针撞击火帽时,火帽其综合输出特性表现为很差,用 Φ 3.0 mm的击针次之,而用 Φ 1.7 mm的击针点火能力最强。

从表3中,还可以看出,对于含起爆药的火帽,不论用哪种直径的击针,其综合输出特性几乎相同,约32 mm。

火帽的点火能力与火帽的输出火焰持续时间和炽热固体残渣量成正相关性。由于 Φ 1.7 mm的击针撞击无起爆药火帽时输出的火焰持续时间和炽热固体残渣量都远大于其它直径的击针和含起爆药火帽,因此其综合输出特性最强。

4 结论

(1)当用 Φ 1.0 mm的击针撞击该无起爆药火帽时,它只发生缓慢燃烧反应。当用 Φ 1.7 mm的击针撞击无起爆药火帽时,火帽发生爆燃反应。当用 Φ 3.0 mm的击针撞击无起爆药火帽时,火帽发生爆炸反应。而含起爆药撞击火帽只发生爆炸反应。

(2)无起爆药撞击火帽以爆燃反应形式发火时,其输出火焰的持续时间、残渣质量和50%特性点火距离等都明显高于其以其它反应形式,也明显高于该火帽的同配方系列中的含起爆药撞击火帽。

(3)无起爆药火帽不仅提高了火帽的制造和使用安全性,其独特的输出特性在火工品序列设计中还具有一定的实际应用价值,比如,若火帽作为引燃类火工品使用时,选择合适的撞击能量,让它发生爆燃反应,能提高火帽点火能力;若火帽作为起爆类火工品使用时,选择较大的撞击能量,让它发生爆炸反应,取代制式含起爆药撞击火帽起爆下一级火工品。

参考文献:

- [1] 王凯民 温玉全. 军用火工品设计技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2006: 61-66.
WANG Kai-min, WEN Yu-quan. Military firework design technology[M]. Beijing: National Defense Press, 2006: 61-66.
- [2] 劳允亮 盛涤纶编著. 火药剂学[M]. 第一版. 北京:北京理工大学出版社, 2011: 287-288.
LAO Yun-liang, SHENG Di-lun. The science of initiating explosives and relative composition[M]. Beijing: Beijing Technology College Press, 2011: 287-288.
- [3] GEO Vann, Inc., Houston, Tex. Primer mix, percussion primer and method for initiating combustion: USA, 4522665[P]. Jun. 11, 1985.
- [4] 王月兰,崔卫东,程涛,等. 针刺延期火帽的设计技术[J]. 火工品, 2006(5): 15-17.
WANG Yue-lan, CUI Wei-dong, CHENG Tao, et al. The key technology in the design of stab initiated delay primer[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2006(5): 15-17.
- [5] 李发安,刘永德. 提高撞击火帽发火感和可靠性的有效途径[J]. 火工品, 2002(3): 36-38.
LI Fa-an, LIU Yong-de. Effective way to improve the ignition sensitivity and reliability of percussion primer[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2002(3): 36-38.
- [6] 史瑞明. 武器击发底火(火帽)的力学过程机理[J]. 兵工学报, 1992(1): 1-7.
SHI Rui-ming. A theory on mechanisms of mechanical processes for a percussion primer[J]. *Acta Armamentarii*, 1992(1): 1-7.
- [7] 单利亚,蔡瑞娇,华光. 针刺火工品动静态逼近试验研究[J]. 火工品, 1998(2): 20-23.
SHAN Li-ya, CAI Rui-jiao, HUA Guang. Study on the static and dynamic approximation test for the stab-initiated pyrotechnics[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 1998(2): 20-23.
- [8] 饶中阳,杨国仁,余桂勇. 某型高炮用底火早发火的成因与对策[J]. 技术制造与实践, 2004(4): 39-40.
RAO Zhong-yang, YANG Guo-ren, SHE Gui-yong. Cause and measure on premature fire of primer for some gun[J]. *Manufacturing Technology and Practices*, 2004(4): 39-40.
- [9] 裴军红,李使花,潘会平,等. 某型火帽失效故障研究[J]. 国防技术基础, 2015(1): 39-42.
CHANG Jun-hong, LI Shi-hua, PAN Hui-ping, et al. Study on failure of a primer[J]. *Technology Foundation of National Defense*, 2015(1): 39-42.
- [10] 陈永刚,程广伟,张国平. 某型药筒底火穿孔故障分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2010(4): 103-105.
CHEN Yong-gang, CHENG Guang-wei, ZHANG Guo-ping. Analysis on perforated primer failure in a type of cartridge[J]. *Journal of Gun Launch & Control*, 2010(4): 103-105.

- [11] 郑保辉,王平胜,罗观,等. 超级铝热剂反应特性研究[J]. 含能材料, 2015, 23(10): 1004-1009.
ZHENG Bao-hui, WANG Ping-sheng, LUO Guan, et al. Reaction properties of super thermites [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2015, 23(10): 1004-1009.
- [12] 袁俊明, 刘玉存, 曹文军. B炸药落锤撞击点火的数值模拟[J]. 含能材料, 2013, 21(1): 30-34.
YUAN Jun-ming, LIU Yu-cun, CAO Wen-jun. Numerical simulation of drop weight impact ignition on composite explosive [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2013, 21(1): 30-34.
- [13] 殷璐, 刘志跃, 王丽琼. 落锤撞击粒状HMX炸药变形及点火过程数值研究[J]. 含能材料, 2016, 24(9): 898-904.
YIN Lu, LIU Zhi-yue, WANG Li-qiong. Numerical study on deformation and ignition process of impacting granular HMX explosive in drop hammer test [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2016, 24(9): 898-904.
- [14] 郝新红, 汪佩兰. 烟火药燃烧转爆轰研究[J]. 火工品, 1999(3): 16-21.
HAO Xin-hao, WANG Pei-lan. Study of the DDT process of pyrotechnic compositions [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 1999(3): 16-21.
- [15] 惠君明, 陈天云. 炸药爆炸理论[M]. 南京: 江苏科技出版社, 1995: 184-190.
HUI Jun-ming, CHEN Tian-yun. Theory of Explosive Explosion [M]. Nanjing: Jiangsu science and technology Press, 1995: 184-190.
- [16] 屈可朋, 王晓峰, 何超, 等. 撞击条件下分步压装装药的点火机理[J]. 爆破器材, 2016, 45(3): 22-25.
QU Ke-peng, WANG Xiao-feng, HE Chao, et al. Ignition mechanism of step press loading charge under impact loading [J]. *Explosive Materials*, 2016, 45(3): 22-25.

Output Characteristics of a Non-primary Explosive Percussion Primer

PENG Jia-bin, WEI Ling, WANG Xue-yan, LIU Shuai, CHANG Xin, ZHANG Hu

(Xi'an Wuhua juneng Blasting Materials Company, Xi'an 710061, China)

Abstract: A kind of non-primary explosive percussion primers were made with the non-primary explosive charge composed of 50% (mass fraction) of 50 nm-sized Ti and 50% (mass fraction) of 5 μm -sized KClO_4 . The output characteristics of the non-primary explosive percussion primer were studied by means of simulation experiment and high-speed photography. The experimental results show that when a firing pin with diameter of 1.0 mm hits the primer, the reaction form of drug in the primer is slow combustion. When a firing pin with diameter of 1.7 mm hits the primer, the reaction form of drug in the primer is deflagration. When a firing pin with diameter of 3.0 mm hits the primer, the reaction form of drug in the primer is explosion. When reacting in the form of slow combustion, the output flame intensity of the primer is very weak, the hot ash is 0, and the 50% characteristic ignition distance is 0. When reacting in the form of deflagration, the flame duration of the primer output is about 250 μs , the hot ash is 12.9 mg, and the 50% characteristic ignition distance is 94 mm. When reacting in the form of explosion, the flame duration of the primer output is about 50 μs , the hot ash is 7.7 mg, and the 50% characteristic ignition distance is 52 mm, whereas for the primary explosive charge composed of lead azide, 50 nm Ti and 5 μm KClO_4 in the same formula series, there is only one type of reaction form-explosion, the flame duration of the primer output is about 50 μs , the hot ash is 6.5 mg, and the 50% characteristic ignition distance is 32 mm. When the percussion primers without primary explosive is ignited in the form of deflagration, its ignition performance is better than that of the percussion primers with primary explosive in the same formula series.

Key words: primary explosive; percussion primer; diameter of firing pin; flame; ash; 50% characteristic ignition distance

CLC number: TJ45*1.5

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2018333

(责编:王艳秀)