

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

火 工 品 技 术

叶迎华 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

第 1 章

绪 论

火工品是一类小型、较敏感、装有火炸药的爆炸元件。它能在外界不大的某种形式能量（机械、热或电能）的激发下，发生燃烧、爆炸等化学反应，并用其所释放的能量以获得某种化学物理效应或机械效应，如点燃火药、起爆炸药或作为某种特定的动力能源等^[1]。

1.1 火工品的发展史

使用武器弹药必须解决点火与起爆的问题。古代的武器是以黑火药作装药的，并用火绳和燧石来引火^[2]。18 世纪末加瓦特研制成功雷汞，有了雷汞才有了真正意义上的火工品。1807 年苏格兰人福沙依特用氯酸钾、硫和碳制成混合击发药，随后又出现了雷汞、氯酸钾、硫化锑等混合击发药。1817 年英国人采用铜孟装击发药，这就是最初的火帽。火帽的应用使武器得到了极大的改善，从此出现了用撞针击发火帽而发火射击的武器。同年，美国制成第一个火帽式枪械，1932 年成为美国军队的装备^[3]。这不仅使用方便，而且显著地提高了射击速度，因而促进了武器的发展。19 世纪末将火帽和点火药（黑火药）组成一个元件，用作火炮中发射药的点火，这一组件即为撞击底火，更换了 19 世纪前半期火炮发射药点火的摩擦式传火管，提高了火炮的发射速度。

19 世纪 60 年代发现在雷汞的作用下，代拿买特（Dynamite）炸药能非常猛烈地爆炸，产生所谓的爆轰现象，因而出现了用雷汞装填的雷管。19 世纪末、20 世纪初又相继研制成功氮化铅、四氮烯、三硝基间苯二酚铅等起爆药。1907 年德国人 L. 维列里发明了装氮化铅的雷管，代替了雷汞雷管。雷管的发明和爆轰现象的发现是炸药应用史上的一个转折点。在雷管的作用下，发现许多猛炸药能引起正常的爆轰，这就开拓了猛炸药在工程技术中，特别是在弹药中广泛应用的可能性，因而提高了武器的威力。

19 世纪初法国人徐洛首先发明了用电流使火药发火，制成了电火工品。1830 年美国人取得了火花式电火工品的专利，在纽约港的爆破工程中首次使用了电火工品，20 世纪初开始应用于美海军炮。电火工品的出现大大提高了武器射击速度和引信的瞬发度，促进了武器系统和爆破技术的不断更新和发展。

1831 年英国人 W. 毕克福发明了导火索^[4]，是我国古代信管的进一步发展。1908 年法国最先研制出金属导爆索，当时药芯为梯恩梯。发展到 20 世纪 60 年代药芯装药已经有泰安、黑索今、奥克托今、特曲儿、六硝基芪等，外壳材料有棉线、纸条、塑料、化纤、合成橡胶、铅锑合金和银等。20 世纪 70 年代瑞典发明了塑料导爆管。

第二次世界大战期间，由于火箭弹、反坦克破甲弹、原子弹等新型弹药的出现和发展，促进了火工品的发展。在此期间，美、英等国研制出了硅-铅丹延期药，后又相继研制出多

种微气体延期药。第二次世界大战后,随着科学技术的发展出现了导弹及其他空间飞行器。导弹的出现使武器的打击力量产生了一个飞跃。它在现代战争中表现出极重要的作用。因为火工品具有许多独特的优点(如具有高能量密度、高可靠性、尺寸小和瞬时释放能量大等),故在导弹武器及其他空间飞行器中得到了广泛的应用。它不仅用于点火和起爆元件,还广泛作为完成特殊作用的动力元件。这就使得火工品的应用领域更为扩大。这里的火工品包括点火器、起爆器、解除保险装置、分离装置、释放装置、弹射装置、切割装置、延期装置、爆炸开关、驱动器、燃气发生器等。美国在1969年发射的阿波罗宇宙飞船上有218个火工品,航天飞机上火工品多达500多个。

20世纪以来,科学技术的发展推动了火工品的发展,60年代出现了用激光作为能源的激光起爆器,70年代出现了半导体桥雷管、微电子雷管、动力源火工品等。70年代后期美、法、前苏联等国家相继研究了爆炸逻辑网络和直列式起爆技术等。

火工品伴随着兵器的出现而出现,也随着火炸药、武器弹药及民用烟火技术的发展而发展。

1.2 火工品的用途

火工品首先在弹药中得到应用,弹丸的发射和爆炸要以火工品为先导。随着科学技术的进步,拓宽了火工品的应用领域。可以说,凡是以含能材料为能源的武器系统,均离不开火工品。越是高新技术武器,其中火工品的种类和数量越多。火工品不仅广泛应用于军事武器系统中,而且在民用方面的应用也越来越广,以下分别从军、民两方面来叙述火工品的用途。

1.2.1 军用火工品

火工品在军用上主要组成武器弹药的点火传火序列和引爆传爆序列。所谓序列一般是通过一系列感度由高到低、威力由小到大的火工品组成的激发系统。它能将较小的初始冲能加以转换、放大或减弱,并控制一定的时间,最后形成一个合适的输出,适时可靠地引发弹丸装药。现以一枚57 mm榴弹的发射过程为例来说明。

炮弹上膛发射时,首先是击针撞击底火,底火发火点燃发射药,发射药燃烧产生高温气体,具有很高的压力,把弹丸推出炮膛。当弹丸到达目标(飞机)时,引信中的火工品组成的引爆系统起作用,达到适时可靠地引爆弹丸中的猛炸药,其中引信的延期机构保证弹丸进入飞机内部一定距离爆炸。如果弹丸没有碰上目标,则要自动销毁。

由这发弹的作用过程来看,弹丸的发射要底火先起作用,弹丸中的炸药的爆炸要引信先起作用,底火是火工品,引信中装有火工品,这样火工品就是最先作用的元件。现在来看看底火和引信中的火工品是怎样作用的。

1. 从弹丸的发射过程看底火的作用

底火是由撞击火帽和点火药构成的组合体。该组合体构成了一个点火序列,它的作用是将能量转换和放大。当撞针撞击底火底部时,底火底部变形,火帽发火,机械能经火帽转换成火焰形式的能量,并经底火中的点火药加强放大,然后点燃发射药,推出弹丸。

2. 从弹丸的爆炸看引信中火工品的作用

火工品在引信中组成传爆序列,根据弹的要求不同,传爆序列的长短和内容也不同。

“榴-2”引信用于57 mm的榴弹中。这是一种全保险型的引信,针刺雷管装在转动盘座内,平时击针和雷管不对准,只有解除保险后击针和雷管对准。在保险解除后弹丸碰击目标,击针刺入雷管,雷管引爆传爆药,传爆药引爆主装药,这是主传爆序列。如果要求弹丸进入目标内部一定距离再爆炸,则在主传爆序列中还有延期元件。另有一辅传爆序列,构成自炸机构,供弹丸没有碰上目标时自动销毁用。即在发射时,由于惯性侧向击针引燃小火帽,火帽点燃延期药,延期药引燃药盘雷管,再引爆传爆药和主装药。

由上述例子可以看出,火工品在弹药中主要是组成弹丸的点火、延期、传火序列和引爆、传爆序列。除此之外,在其他军事技术中,还可用于切割、分离、气体发生、瞬时热量供给、遥测和遥控开关闭合、座舱弹射等多种作功装置中。

总之,火工品在武器系统中的主要功能包括:

- (1) 组成点火、延期、传火序列,保证武器的发射、运载等系统安全可靠运行。
- (2) 组成引爆、传爆序列,保证战斗部安全可靠作用,实现对敌目标的毁伤。
- (3) 作为动力源,完成武器系统的推、拉、切割、分离、抛撒和姿态控制。

1.2.2 民用火工品

火工品在民用工业上,也得到了广泛的应用。首先是用于工程爆破作业中,如开山采石、水利施工、修路筑坝及建筑物拆除等,凡是用到引爆炸药的地方都离不开雷管。其次,火工品也广泛用作动力源器件,如射钉弹用于安装工程,射孔弹用于冶金炼钢,导爆索用于截断大型钢管,爆炸焊接用于修补高压电线,麻醉枪弹用于狩猎等。另外,在爆炸合成金刚石、沙漠沉杆、航空救生、汽车安全气囊等方面,火工品也起到了越来越重要的作用。总之,凡是要求一次、快速、大威力的作功动作,采用火工品是非常简便的,其应用还将不断得到开发。

1.3 火工品中药剂的化学反应形式

火工品在引信、弹药中广泛作为传火序列与传爆序列的点火传火元件、引爆传爆元件和延期元件。毫无疑问,火工品完成各种作用的能源,来自其所装填药剂在爆炸变化时所释放出的能量。此外,火工品作用的可靠性、使用的安全性等和其中药剂所发生的爆炸变化的特性有着密切的关系。因此,要了解火工品就必须对炸药爆炸变化的化学物理过程以及各类炸药的特性有一个基本的认识。

药剂的爆炸变化按其传播速度和特性的不同分为:热分解、燃烧和爆轰。各类火工器件利用了炸药的燃烧和爆轰这两种形式的爆炸变化来完成特定任务的。

我们把火工品中所装填的药剂统称为炸药。炸药的燃烧(有时亦称爆燃)不同于一般燃料的燃烧,炸药本身含有氧与可燃成分,因此,其燃烧不需借助空气中的氧气便可进行^[5]。炸药的燃烧是一种激烈的物理化学变化过程,这种变化沿炸药表面法线方向上传播的速度通称为燃烧速度或燃速。通常燃速为 $1 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大能达 $9 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这种燃速受外界的影响,特别是压力的影响很大,随外界压力的升高而显著地增加。燃烧反应在

大气中进行得比较缓慢,没有声响效应,而在有限制的容器中进行就快得多,压力上升迅速,并且伴随有声响效应,通常利用这种反应来作抛射功。

爆轰是一种比燃烧更为剧烈的物理化学变化,它是一种以爆轰波的形式沿炸药装药高速自行传播的现象^[5]。所谓爆轰波简单地讲就是炸药进行爆炸变化时的带有高速化学反应区的冲击波。爆轰过程的传播速度(即爆速)通常从数千米每秒至 $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$,其传播速度受外界的影响极小。爆轰还有稳定爆轰和非稳定爆轰之分。一般情况下所指的爆轰多为稳定爆轰,炸药达到稳定爆轰时,其传播速度是不变的,而非稳定爆轰的传播速度是变化的,有时把非稳定爆轰称为爆炸。炸药的非稳定爆轰在传播过程中可能增强转为稳定爆轰,也可能被减弱转为燃烧甚至熄灭。

燃烧和爆轰是两种性质不同的爆炸变化过程,归纳起来它们之间的主要区别在于:

(1) 过程传播的机理不同。燃烧时传递能量的形式是通过热的传导、辐射及燃烧产物扩散作用来进行的,而爆轰则是通过爆轰波来传递的。

(2) 过程传播的速度不同。燃烧速度一般为 $10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下;而爆轰过程的速度一般为 $2 \sim 8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3) 受外界的影响程度不同。燃烧过程受外界特别是压力的影响较大,而爆轰过程不受外界的影响。

(4) 产物质点运动的方向不同。燃烧时其产物质点运动的方向是和燃烧面运动的方向相反的,因此燃烧面内的压力较低;而爆轰时其产物质点运动的方向与爆轰波传播的方向相同,爆轰波内反应区的压力可达 10 GPa 。

然而炸药这两种形式不同的爆炸变化在一定条件之下,又是可以转化的。在火工器件中广泛应用了这种性质来完成预定的功能^[1]。

1.4 常用的火工药剂

火工药剂的品种很多,根据其组成、物理化学性质和爆炸性质的不同,可以有不同的分类方法,但人们最关心的是按用途来分类。按用途的不同,可以分为起爆药、猛炸药、火药、点火药、针刺药、击发药、延期药等。

1. 起爆药

起爆药是火工药剂中最敏感的一种,受外界较小能量的作用就能发生爆炸变化,而且在很短的时间内其变化速度可增至最大(即所谓爆轰成长期短)^[6],但是它的威力较小,在许多情况下不能单独使用,只是用来作为火帽、雷管装药的一个组分,以引燃火药或引爆猛炸药。

常用的起爆药有雷汞($\text{Hg}(\text{ONC})_2$),叠氮化铅($\text{Pb}(\text{N}_3)_2$)、三硝基间苯二酚铅($\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}$)、四氮烯($\text{C}_2\text{H}_8\text{ON}_{10}$)(又称特屈拉辛)、二硝基重氮酚($\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{N}_2\text{O}$)以及以这些药为主所组成的共沉淀药剂、硝酸胥镍、GTG等。其中,雷汞已被淘汰,三硝基间苯二酚铅的火焰感度最好,四氮烯的摩擦感度较高,但是这两种起爆药的起爆力不大,不能单独使用。硝酸胥镍和GTG起爆药的显著优点是环保。

2. 猛炸药

猛炸药典型的爆炸变化形式是爆轰,常用作各种弹药的主装药、传爆药及雷管和导爆索

的装药。猛炸药感度较低,它需要较大的外界能量作用才能激起爆炸变化,一般用起爆药来起爆。

常用的猛炸药有梯恩梯($\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$)、特屈儿($\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_4\text{NCH}_3$)、黑索今($\text{CH}_2\text{N}-\text{NO}_2$)、泰安($\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$)、奥克托今($\text{CH}_2\text{N}-\text{NO}_2$)等单质炸药及以黑索今和奥克托今为主体的混合炸药。

其中,特屈儿毒性大,价格较高,基本不再使用。黑索今、泰安和奥克托今可作为雷管的输出装药,改性后也可作为传爆药使用;梯恩梯主要作为战斗部的主装药使用。

3. 火药

火药典型的爆炸变化形式是燃烧。火药可以在没有外界助燃剂(如氧)的参与下,在相当宽的压力范围内保持有规律的燃烧,放出大量的气体和热能,对外做抛射功和推送功,因此,火药常用作发射武器的能源,如常用作枪、炮弹的发射药、火箭发动机的推进剂,亦广泛应用于火工品中。常用的火药有黑火药,单基药(以硝化棉为主体的火药)以及双基药(以硝化甘油和硝化棉为主体的火药)。

4. 点火药、延期药

点火药、延期药通常是以氧化剂和可燃物为主体的混合药剂。点火药的特点是,热感度较高,点火能力较强。主要用作点火、传火类火工品的装药。常用的点火药有CP、BNCP、锆/过氯酸钾、硼/硝酸钾等。延期药一般由火焰点燃后,经过稳定的燃烧来控制作用的时间,以引燃或引爆序列中的下一个火工元件。用于各种延期体包括延期雷管中。为了易于压制成型,常加入少量的黏合剂,有时调整燃速还加入其他附加物。延期药分为有气体延期药(黑火药)和微气体延期药,常用的微气体延期药有钨系、硼系、锆系等。

5. 击发药、针刺药

主要由起爆药、氧化剂和可燃剂等混合而成。起爆药作为感度调节剂。用于针刺火帽和针刺雷管中。

1.5 火工品的特点、分类和技术要求

1.5.1 火工品的特点

武器系统从发射到毁伤整个作用过程均是从火工品首发作用开始,几乎所有的弹药都要配备一种或多种火工品。作为决定武器系统最终效能的火工品,具有以下特点^[7]。

1. 功能首发性

以典型的点火序列为例:底火→发射药或火帽→点火具(或传火管)→增程火药,序列的第一个元件是火工品;以典型的爆炸序列为例:火帽(电点火管)→火焰雷管→导爆管→传爆管和主装药或针刺雷管(或电雷管)→导爆管→传爆管和主装药,序列的第一个元件也是火工品。因此,武器系统中的燃烧和爆轰以点火器(点火具等)的点火和起爆器(雷管等)的爆炸为始发能源。

2. 作用敏感性

火工品在武器系统的点火序列和爆炸序列中处于首发地位,也是最敏感的元件。其中所装填的火工药剂是武器系统所用药剂中感度最高的,如在点火序列中药剂感度从高到低的顺

序为点火药→延期药→发射药或推进剂；在爆炸序列中药剂的感度从高到低的顺序为起爆药→传爆药→主装药。

3. 使用广泛性

火工品的功能首发性和作用敏感性决定了它在武器系统中的地位和作用。它广泛应用于常规武器弹药系统、航空航天系统及各种特种用途系统。

为有效打击各种目标，适应未来战争和作战环境，火工品从点火、起爆、做特种功等基本作用拓展到能实现定向起爆和可控起爆等更高层次的用途。火工品的作用不仅仅体现在初始点火起爆这一环节，更全面地体现在武器系统的战场生存、运载过程修正、毁伤等多个环节。火工品不仅广泛应用于武器系统中，而且在民用方面也得到了越来越广泛的应用。

4. 作用一次性

火工品是一次性作用的元件，同一发产品其功能无法重现。

1.5.2 火工品的分类

由于使用条件的不同，火工品要求输入能量的形式和大小可能有较大的差别，在结构和体积上也有差别，相应的在输出能量上也有较大的差别。

GJB 347—1987《火工品分类和命名原则》规定了火工品的分类和命名。该标准将火工品分为14类^[8]：火帽、点火头、点火管、底火、点火具、传火具、索类、延期件、雷管、传爆管、曳光管、作动器、压力药筒、爆炸螺栓。

如果按输入能量形式可以分为如下种类。

机械能的：针刺、撞击、摩擦；

热能的：火焰、热气体、绝热压缩；

电能的：灼热桥丝、薄膜桥式、导电药式、火花式、爆炸桥丝、飞片式；

光能的：可见光、激光；

化学能的：浓硫酸点火弹药雷管；

爆炸能的：炸药引爆。

如果按其输出特性来分可以分为如下种类。

点火器材：多用于引燃各种火药装药；

起爆器材：多用于引爆各种爆炸装药；

动力源火工品：利用火工品燃烧或爆炸释放出来的化学能，作为完成各种特殊作用的能源。

1.5.3 对火工品的技术要求

虽然火工品的种类繁多，但是，为了满足使用要求，且能适应广泛的应用范围，火工品必须具有以下一般技术要求：

1. 合适的感度

火工品作用时所需能量的多少叫感度，感度高输入的能量小，反之则大。要求感度的目的是保证作用的确实性（或叫可靠性）。感度过小，常要求大的输入能量，如果保证不了，则不能作用；感度过高则又会使得产品在不应发火的时候就发火，不容易保证安全。例如电雷管规定有最小发火电流，还要规定有最大的安全电流。

2. 适当的威力

火工品输出能量的大小称为火工品的威力。火工品的威力是根据使用要求提出的,过大、过小都不利于使用。例如用于引信传爆序列中的雷管,威力过小就不能引爆导引传爆药和传爆药,降低了引信的可靠性;而威力过大,又会使引信的保险机构失去作用,降低了引信的安全性,或要求大尺寸的保险机构,给引信设计增加困难。所以火工品的威力应适当。

3. 使用的安全性

火工品是敏感的元件,必须保证它在生产、运输、装配、发射和飞行中的安全。安全和感度有时会发生矛盾,因此要辨证地解决这一矛盾,这是十分重要的。

4. 长期贮存的安定性

火工品在一定条件下贮存,不发生变化与失效的特性称为长期贮存的安定性。贮存中外界条件(主要是温湿度)经常会发生变化,如果产品的安定性不好就会变质或失效。一般军用火工品规定贮存期为15年以上。而民用火工品则根据具体情况而定,例如工程爆破雷管只要求2年。

温湿度引起产品变化的原因,主要是火工品中药剂各成分之间,以及药剂与其他金属和非金属之间,由于温度或水分促成的化学反应以及温度所引起的热胀冷缩的物理效应,这不仅要选用材料时充分考虑成分的相容性问题,还必须注意它们的结构形式。

5. 适应环境的能力

火工品在制造使用过程中将遇到各种环境力的作用。首先,中国幅员辽阔,火工品又广泛地应用于海陆空诸军种,各军种兵器又会在不同气候条件下使用,因此应用条件比较复杂。其次,火工品的应用环境除了人们可以直接感觉的条件外,还存在许多不能直接感觉的客观因素,如环境充满了电磁波的空间,就要求火工品具有防射频的能力。在应用绝缘材料时会遇到摩擦带电,要求火工品能防静电。在高空及高原应用的火工品则遇到高能粒子的辐射问题,以及防霉菌问题。

在火工品应用中,还应具体分析使用条件,如在速射武器中,可能会发生射击故障,会造成弹丸长时间留膛,这样给火工品带来了耐高温问题。在石油射孔弹中,火工品不仅要耐高温,而且还要耐高压。

6. 其他特殊要求

由于使用条件的不同,可以提出一些特殊的要求,例如作用时间、时间精度、体积大小等。此外,制造火工品的原材料应立足国内,且应结构简单、制造容易、成本低易于大量生产。

思 考 题

- (1) 试说明火工品的发展历程。
- (2) 火工品的特点有哪些?
- (3) 举例说明火工品的重要性。

参考文献

- [1] 戴实之. 火工技术 [M]. 北京: 兵器工业部教材编审室出版, 1987.
- [2] 钟少异. 中国古代火药火器史研究 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [3] 蔡瑞娇. 火工品设计原理 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999.
- [4] 国防科学技术工业委员会科学技术部主编. 中国军事百科全书 (火炸药、弹药分册) [M]. 北京: 军事科学出版社, 1991.
- [5] 松全才, 杨崇惠, 金韶华. 炸药理论 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.
- [6] 劳允亮. 起爆药化学与工艺学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [7] 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.
- [8] GJB 347—1987. 火工品分类及命名原则 [S]. 1987.

第2章

火 帽

2.1 概 述

火帽通常是点火或起爆序列中的首发元件。在点火序列中，火帽由枪机（或炮闩）上的撞针撞击而发火，产生的火焰点燃发射药或经点火药放大后点燃发射药。在起爆序列中，火帽由击针刺入而发火，产生的火焰点燃雷管或延期药。因此，火帽是受机械能作用而发出火焰，也就是说火帽的作用是把机械能转换为热能——火焰，发出火焰是火帽的共性。

火帽按用途分类，可分为药筒火帽（底火火帽）、引信火帽和用于切断销子、启动开关和激发热电池等动作所用的火帽。按激发方式分类，可分为针刺火帽、撞击火帽、摩擦火帽、碰炸火帽、电火帽、绝热压缩空气火帽等。本章主要介绍针刺火帽和撞击火帽。

2.2 针刺火帽

以击针刺击发火的火帽称为针刺火帽。针刺火帽主要用于引信的传火序列和传爆序列中，因此，有时也将针刺火帽称为引信火帽。

引信中通常根据不同的需要，将多种不同作用的火工品，按其感度递减能量递增的次序组合成一定序列。序列可以分为两大类：序列最后元件完成起爆作用的称为传爆序列；完成点火作用的称为传火序列^[1]。

引信中典型的序列有四种：

- (1) 击针→火帽→延期药→扩焰药→火焰雷管→导引传爆药→传爆药→爆炸装药。
- (2) 击针→火帽→时间药盘→扩焰药→传火药→抛射装药。
- (3) 击针→火帽→保险药。
- (4) 击针→火帽→延期药→自炸药盘→爆炸装药。

由此可见，火帽可用于引信中的点火序列、起爆序列以及保险机构和自炸机构中。其用途有如下几个方面：

(1) 作为引信主要传爆序列中的元件，完成引爆弹丸的作用。它在引信中的位置、作用和特性随引信的不同而不同。

炮弹中的引信按其作用方式可分为两大类：着发引信和空炸引信。着发引信在弹丸碰击目标时才起作用，而空炸引信则在弹丸尚未触及目标前的某弹道点上爆炸。相应的用于此类引信中的火帽分为着发引信火帽和空炸引信火帽。着发引信火帽只在弹丸碰击目标后才因击针的刺击而起作用。空炸引信火帽在弹丸触及目标前就起作用。应用于不同引信中的火帽应

具有不同的特性。

(2) 用于引信的某些侧火道的保险机构中,完成引信的炮口保险或隔离保险的作用。这类火帽在弹丸发射时,在膛内受惯性力的作用而发火。

(3) 用于引信的自炸或空炸机构中,使未击中目标的弹丸自行销毁。这类火帽也是在膛内受惯性力的作用而发火的。

2.2.1 针刺火帽应满足的战术技术要求

对针刺火帽的要求主要是根据其用途和使用条件而提出的。火帽在引信中以其火焰来完成点火作用,去点燃时间药剂、延期药及火焰雷管。火帽多数是受击针刺击而发火,同时因为是和炮弹连在一起的,因此要求能承受发射时膛内的冲击震动,保证射击过程中的膛内安全。具体要求有以下几个方面:

1. 有足够的点火能力

针刺火帽主要解决引信中延期药、时间药剂、火焰雷管等的点火问题,因此对针刺火帽的第一个要求是有足够的点火能力。所谓点火能力是指火帽在受到击发后,其输出的火焰能可靠地引燃爆炸序列中下段的延期药或时间药剂,或可靠地引爆下段的火焰雷管的能力。这是对引信火帽共同性的要求。但是它的内容却根据不同引信中用的火帽而不同。若不与具体的弹丸引信相适应,就不能保证弹丸作用的可靠性,因为火帽点火能力的改变将会影响到药剂的燃烧速度和雷管作用的有效性。

例如小口径高射炮弹,一般配着发引信,但因为弹小杀伤范围小,所以要求穿入飞机内部再爆炸,这就要求有一定的作用时间,即有一定的延期时间。一般依机型和部位的不同以进入飞机 30 ~ 50 cm 后发生爆炸效果最好,这种引信总作用时间为 0.000 4 s。若弹丸末速为 $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,则在引信作用时间内弹丸只能穿入飞机内 20 cm,要钻入 30 ~ 50 cm,则需要 0.000 6 ~ 0.001 s。要保证这个时间就需要延期,这种延期对火帽点火能力有新的要求,要求火帽应确实点燃延期药但不应过猛,因为过猛会把延期药冲碎,从而影响延期时间。

2. 合适的感度

火帽虽然应具有足够的点火能力,但是首先要解决在使用条件下如何体现点火能力的问题,因此对火帽来说还要有个合适的感度。

这里指的是针刺感度。火帽的针刺感度在落锤仪上测定,以一定质量的落锤从一定高度落下打击在击针上,击针刺入火帽,观察火帽的发火情况。火帽感度用一定落高下的发火百分数或感度曲线表示。针刺火帽所需发火能量一般为 $800 \sim 1\,200 \text{ g} \cdot \text{cm}$,即 $8 \times 10^{-3} \sim 12 \times 10^{-3} \text{ J}$ 。针刺火帽的感度应适当,太小不能保证作用确实,太大又不能保证安全。

3. 对发射震动的安全性

着发引信中的火帽要在碰击目标后才受击针的刺击而发生作用,这就要求针刺火帽具有对发射时震动的安全性。

发射时膛内压力很高,尤其是小口径火炮,它的直线过载系数达 70 000 g,因此引信内各零件均受到很大的应力。如果火帽不能满足耐震动的要求,将可能引起引信早炸;如果是延期引信,则会在距炮口不远处爆炸(炮口炸);如果是瞬发引信,则可能会在膛内发生爆炸(膛炸),即使是保险型引信避免了膛炸,这发炮弹也报废了,打出去也不起作用,影响实战的火力。

4. 具有一些对火工品共同的要求

它应经得起运输、勤务处理时的震动,在运输过程中,弹药常要经受汽车、火车等的颠簸,这时火帽的性能不应变化,更不允许发火。

此外,火帽还应长期贮存性能安定,相容性好,不允许药剂各成分发生物理、化学变化或与火帽壳起变化,也不允许火帽壳有破裂、生锈等变化。一般要求15年性能不变。同时还应考虑成本低,原料来源广泛,无毒。

2.2.2 针刺火帽结构

针刺火帽主要由管壳、药剂和盖片(或加强帽)组成。几种典型针刺火帽见图2-1所示^[2]。

火帽的尺寸与结构决定于引信中火帽的用途和位置。火帽的直径一般为3~6 mm,高度约为2~5 mm。

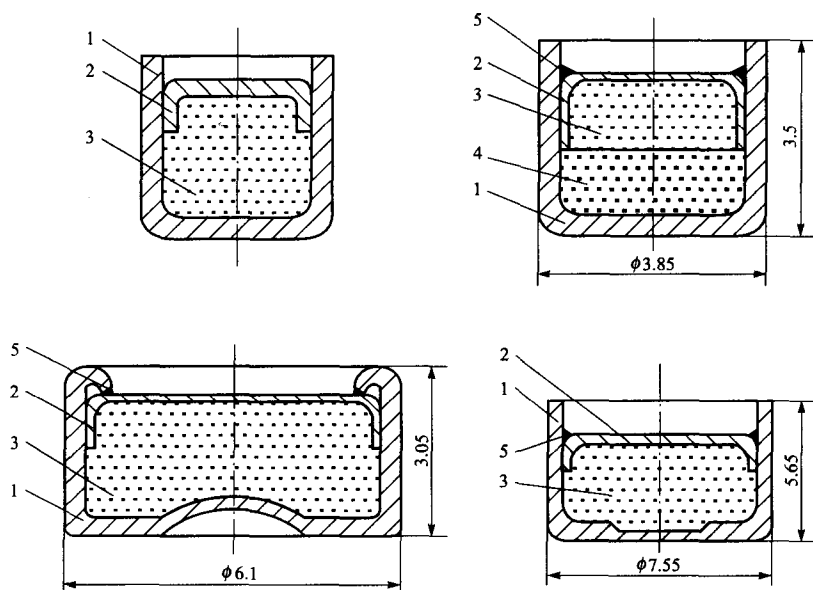


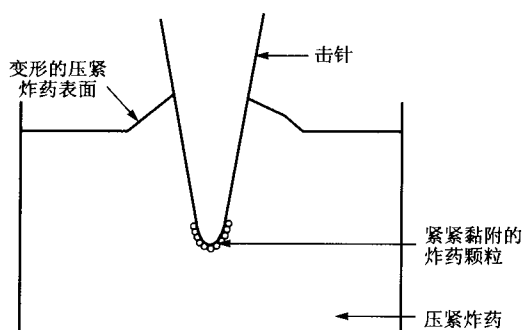
图2-1 典型针刺火帽结构示意图

1—火帽壳; 2—加强帽; 3—击发药; 4—加强药; 5—虫胶漆

火帽的外壳为盂形,多数是平底,也有的是凹底的,火帽壳使火帽具有一定的形状。外壳材料一般是用紫铜片冲压成壳体后,表面电镀而制成。火帽的盖片多数也是盂形的,有的为小圆片,也是用紫铜片冲成的,材料较薄。针刺火帽中的药剂常称为击发药(剂),它用来产生一定强度的火焰,以有效地点燃被点火对象。它是针刺火帽的核心,火帽的性能主要由它决定。击发剂一般由氧化剂、可燃物及起爆药组成。针刺火帽一般只装一种击发药,有时为了提高输出威力而装两种药剂,即击发药和点火药。

2.2.3 针刺火帽的发火机理

引信中的火帽绝大部分是针刺火帽,即当击针刺入火帽时,先通过盖片,再进入压紧的药

图 2-2 击针刺入过程中与药剂的摩擦过程^[4]

剂。针刺起爆是由针尖端刺入压紧的药剂中引起的，这一过程可以看成是冲击与摩擦的联合作用过程。经典针刺起爆模型包括摩擦和撞击两种作用方式，1982 年 Robert、Spear 和 Elischer 通过对 17 种含能材料针刺起爆过程的研究^[3]，认为针刺起爆是由摩擦使机械能转变成热能的，而后来的研究就越来越倾向于摩擦起爆。

在击针刺入药剂时，一方面药剂为腾出击针刺入的空间而受挤压，使药粒之间发生摩擦；另一方面击针和药剂的接触面上也有摩擦，见图 2-2 所示；如果击针端部有个平面，

则此平面对药剂有撞击作用^[4]。在击针的表面及药剂中有棱角的地方，便形成应力集中现象并产生“热点”。“热点”很小（直径为 $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ cm}$ ^[5]），但是温度很高，当“热点”温度足够高，并维持一定时间（ $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ s}$ ）时，火帽就被起爆。Chaudhri 摩擦模型计算结果表明，当刺入深度达到 0.4 mm 左右时，即达到稳态温升^[4]。实验证明，击针进入药剂约深 1 ~ 1.5 mm^[1]，火帽就发火。在爆炸变化时首先是感度大的起爆药被击发分解，然后是氧化剂与可燃物的反应。

因此，针刺火帽的发火机理可归纳为：击针刺击→帽壳变形→应力集中→产生“热点”→击针刺入药剂一定深度，“热点”达到一定温度，并维持一定时间→感度较大的药剂分解→整个药剂激起爆炸变化。

从上述机理来看，要使针刺火帽发生爆炸变化必须有外界和内在的因素。外界因素是击针刺入的条件：击针的硬度、刺入药剂的速度和深度；内在因素是药剂的性质：药剂的感度。外界因素为药剂的爆炸变化提供了条件。击针硬度大，刺入速度快，产生“热点”的可能性就大，有利于起爆。而内因是变化的依据，使针刺火帽具有爆炸变化的可能性。

2.2.4 影响火帽感度的因素

影响火帽感度的因素有药剂、加强帽或盖片及发火条件等，下面分别叙述。

1. 药剂方面

火帽中所用药剂通常是由氧化剂、可燃物和起爆药组成的混合药剂。因此，药剂的影响主要有以下几个方面：

(1) 起爆药的感度。起爆药是击发药中保证感度的主要成分，击发药应选用机械感度适当高的起爆药。常用的几种起爆药的感度列于表 2-1 中。

表 2-1 常用起爆药的感度

感度 \ 药剂		雷汞	糊精氮化铅	三硝基间苯二酚铅		四氮烯	DDNP
				结晶	沥青		
爆发点/℃		170 ~ 180	320 ~ 330	265	265	134 ~ 154	170 ~ 173
冲击感度/cm	上限	9.5	24	36	37	6.0	>40
	下限	3.5	10.5	11.5	26.5	3.0	17.5

续表

药剂 感度	雷汞	糊精氮化铅	三硝基间苯二酚铅		四氮烯	DDNP
			结晶	沥青		
摩擦感度或发火/%	100	76	70	40	70	25
火焰感度/cm	20	<8	54	49	15	17

(2) 击发药的成分配比。起爆药是保证击发药感度的主要成分,因此起爆药的含量不能过少,过少平均感度较低而且精度不好。因为击发药的起爆主要靠起爆药,所以当起爆药含量过少时,所产生的热点过少,爆炸不容易扩张,起爆概率也较小。

药剂中其他成分对感度的影响可以看成杂质对起爆药感度的影响,杂质的硬度大,起爆药的感度大。例如硫化锑(Sb_2S_3),由于它的熔点高($560\text{ }^\circ\text{C}$)硬度大,有提高感度的作用。而氯酸钾则相反,它的熔点低($360\text{ }^\circ\text{C}$)硬度低,使感度有所下降。另外,有些药剂中为了提高感度而加入少量的玻璃粉或金刚砂。为了造粒而加入的虫胶漆、糊精、沥青等都使药剂的感度降低。

(3) 药剂中各成分的粒度。粒度大有利于能量在较少的热点上集中,热点温度将比较高,起爆感度大。但是在使用中不采取增加粒度的办法来提高感度,因为粒度大感度精度不好。击发药是混合药剂,其均匀性与药粒大小有关,粒度相差很大时混合不容易均匀,为了保证性能的均一,火帽药剂都采用很细的粒径。

硫化锑是较硬的物质,适当地加大硫化锑的粒度,可以提高感度。起爆药晶体粒径大,感度大。因为大晶体在晶面及内部有许多缺陷,受外力作用时,这些有缺陷的地方就折裂,晶面之间就发生摩擦而产生“热点”。另外,晶形最好是接近球形的,比较容易混合均匀。

(4) 装药密度。针刺感度开始随装药密度增加而增大,在一定密度后基本不变。这是因为密度小,当击针刺入后,药剂会产生运动而消耗部分能量,导致感度降低。装药密度增加,药粒之间的紧密程度增加,药粒之间活动性受到限制,热点比较容易生成,所以增加密度可以增加感度。但是随着密度进一步增大时,爆炸变化扩张困难,不利于起爆,感度反而下降。

(5) 装药量。一般药量对感度无影响,但是药量过少,以至小于 0.5 mm 药厚时,则感度下降。在针刺火帽中要求药层的厚度达到 $1\sim 1.5\text{ mm}$ 以上。

2. 加强帽或盖片

针刺火帽由击针刺入发火,有一部分能量消耗在盖片(或加强帽)上。因此盖片厚度越大,硬度越大,在盖片上消耗的能量越多,火帽的感度随之下降。

3. 使用条件

火帽使用的条件对火帽发火的概率有很大的影响,包括装配条件、击针性质、机械能输入的方式等。

(1) 装配条件。火帽在火帽座中装配的紧密性不仅对感度有影响,还关系到安全性。松动装配的火帽感度低而且安全性差。因为火帽松动,在击针(或撞针)刺入时会产生位移消耗一部分能量,所以在引信中火帽和火帽装配室要配合得紧密。同时松动的火帽在勤务处理时容易撒药,撒出浮药是很不安全的。

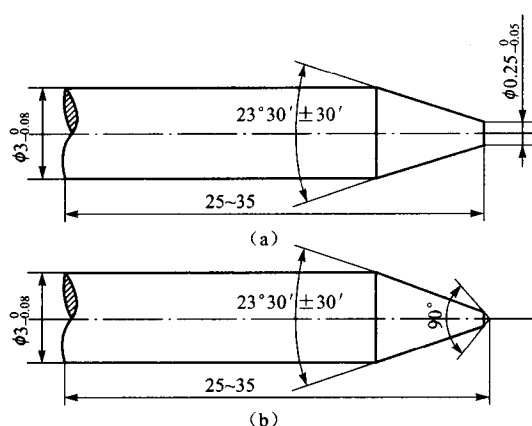


图 2-3 引信火帽击针形状
(a) 平头击针; (b) 90° 击针

(2) 击针性质。击针的硬度和针尖的角度对发火有影响。击针的硬度大感度大, 例如钢击针比硬铝的击针感度大, 试验用的击针一般还要淬火保证 RC58 的硬度。击针的角度在使用中是 $25^\circ \sim 30^\circ$, 因为角度大会使感度下降, 而过尖的击针又保证不了针尖的强度。标准试验击针的端面过去用过 90° , 如图 2-3 (b) 所示。现在均采用平头, 如图 2-3 (a) 所示。美国规定平头的直径为 0.375 mm, 我国规定为 0.25 mm。平头面积和炸药的机械感度有关, 各种炸药都有所需发火能量最小的直径 $\phi_{\min}$ 。炸药感度越低, $\phi_{\min}$ 之值越大。表 2-2 是击针头部形状对火帽感度的影响。

表 2-2 击针头部形状对火帽感度的影响

落高/cm	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
90° 击针发火率/%	0	11.3	48.6	75.3	86.6	98.0	98.0	98.6	99.3
ϕ 0.25 mm 平头击针发火率/%	0	9.3	48.0	82.6	98.6	99.3	99.3	100	100

(3) 输入能量。火帽发火所需能量的大小表示感度, 所需能量小感度大。输入能量中总有一部分被损失掉而没有作用到产品上, 因此损失的部分越多, 则输入能量作用到产品上就少, 产品表现为钝感。因为能量损失随时间的增加而增加, 所以, 输入能量的速度慢损失大, 输入速度快损失小, 在输入功率很大时, 损失的部分甚至可以忽略掉。例如, 在落锤仪上测感度时, 如果同样的冲击能量 (即落锤重和落高的乘积相同), 则小落锤大落高将比大落锤小落高的发火率高些, 这是因为前者的末速高, 能量输入速度快。

2.2.5 影响火帽点火能力的因素

点火能力是个比较含糊的词, 点火能力的强弱体现在以下几个方面: 火焰的成分 (火焰中固体、液体及气体生成物成分)、火焰温度、火焰强度 (包括火焰的长度及燃烧生成物的压力) 和火焰持续的时间。

良好的点火能力, 希望生成物中有固体成分和气体成分。因为固体有较大的密度和热容, 起到储热体的作用, 固体质点能增大点火能力; 而气体生成物能任意包围药粒, 扩大点火面积。反应温度高, 火焰长度长, 意味着点火能力强。

击发药是火帽的能源, 点火能力归根结底是药剂燃烧反应所产生的能量的体现, 所以分析点火能力应从燃烧反应的能量关系上去找。影响点火能力的因素有:

1. 击发药的组成

击发药中有氧化剂、可燃物及起爆药。点火能力既然主要靠氧化剂和可燃物间的反应, 那么要使它们点火能力强, 就得使它们在反应时放出最大能量。要使它们放出能量最大, 首先要选择含氧量多的氧化剂及燃烧热大的可燃物来组成击发药。其次, 击发药中应有足够的

氧化剂，使氧化剂和可燃物进行完全反应，这就是说它们在药剂中的比例要大，而且配比要恰当。含有氯酸钾与硫化锑成分的零氧平衡药剂的计算为



因此零氧平衡中，氯酸钾与硫化锑组分的质量比应为

$$w(\text{KClO}_3):w(\text{Sb}_2\text{S}_3) = 52:48 = 1:0.9 \approx 1:1$$

当然这样的计算并不能反映真实情况，因为实际的反应远较此复杂，而且可能随击发条件而不同。

良好的点火能力要求有一定的固体、液体生成物，为此应考虑生成物的熔点及沸点。氯酸钾与硫化锑反应时生成氧化锑及氯化钾，可以保证火帽爆炸生成物中含有固体成分。

点火能力强还要有一定的持续时间，而起爆药的爆炸反应太快，因此，单一的起爆药不能作为火帽的击发药。在药剂中加入起爆药是为了保证感度的要求，而不是点火能力的需要，在保证感度的前提下应尽量少加起爆药。

早期击发药用得较多的是由氯酸钾、 Sb_2S_3 和雷汞组成的混合物，称为含汞击发药。

雷汞击发药沿用多年，但是因为它的腐蚀性、毒性与污染以及安定性差、低温容易半爆等缺点，已经被淘汰。目前，用四氮烯和三硝基间苯二酚铅的正盐（或碱性盐）两种起爆药代替雷汞。其中，四氮烯保证击发药的感度，但是四氮烯发热量小，不足以分解氧化剂，故添加三硝基间苯二酚铅来提高能量。

氯酸钾燃烧反应后生成 KCl 。在高温条件下， KCl 是液体，冷却后易于附在金属表面上，在空气中有吸潮而水解现象，生成氯离子，对枪膛有强烈的腐蚀作用。现在大多数击发药中用硝酸钡来代替氯酸钾。硝酸钡的分解温度比较高（ 560°C ），放氧速度比较慢，故击发药中三硝基间苯二酚铅的含量比较高，有时还用 PbO_2 来加强硝酸钡的作用。作为氧化剂，它的加入可以提高火帽感度。

Sb_2S_3 的优点较多，所以至今还没有完全被取代的趋势，但是由于各种火帽的技术要求不同，也可以用其他可燃剂取代部分或全部。这些可燃剂有： Zr ， Al ，硫氰酸铅等，也可以附加少量的猛炸药，如 TNT 、 PETN 等。

总之，火帽击发药的选择必须首先确定其中的氧化剂及可燃物，并采取合适的比例。加入起爆药保证击发药的感度。表 2-3 和表 2-4 是分别以氯酸钾和硝酸钡为氧化剂的击发药的组成。

表 2-3 以氯酸钾为氧化剂的击发药组分质量分数

%

序号	四氮烯	三硝基间 苯二酚铅	KClO_3	Sb_2S_3	PbO_2	Al	木炭	$\text{Pb}(\text{CNS})_2$	TNT
1	5		38	45	10	2			
2			50	25	20				
3			40	25			20	15	
4			53	17				25	5
5	5	20	37.5	37.5					
6	5	22	33	40					

表 2-4 以硝酸钡为氧化剂的击发药组分质量分数

%

序号	四氮烯	三硝基间 苯二酚铅	Ba(NO ₃) ₂	Sb ₂ S ₃	PbO ₂	PbN ₆	Zr	PETN	Al	代号
1	5	27	18	41	9					
2	5	40	20	15		20				NoL13
3	3	38	49	5	5			5		0
4	12	36	22	7	9		9	5		FA989
5	5	53	22	10				10		PA101

2. 击发药的物理状态

点火能力主要决定于氧化剂与可燃物间的反应。击发药是非均相反应，因此反应与药粒大小有关。反应速度主要决定于击发药中不活泼成分，而氯酸钾属于活泼的氧化剂，因此主要决定于硫化锑的粒度。粒度大反应持续时间长，一般来说点火能力大；另一方面，粒度大后感度均一性就差。为了解决这一矛盾可用细粒的硫化锑，经过造粒来增大粒度，从而既保证了点火能力又不影响感度。

3. 药剂的密度和量

药量增大使火焰持续时间增长，点火能力增强。引信火帽击发药的量一般为 0.13 ~ 0.22 g，也有少到 0.032 g 的。密度大，一般来说点火能力就大。因为密度大，燃速小，燃烧持续时间就长，同时燃烧时药粒不易喷射。但是密度增大到一定程度后它的影响就不大了。

4. 环境条件

被点燃对象放置的距离（如果是通道的话，则通道的长度、宽度、曲折表面光洁度等情况，以及通道中有无小孔等）和环境的温度、气体压力等都对点燃的难易程度有影响。其原因是显而易见的，例如通道长、曲折多、通道截面半径小、内壁不光滑等都对火帽点火能力提出更高的要求。

环境主要指温度和气压。总的来说，气压低不容易点燃（密封的无影响），温度低点燃也较难。

2.3 撞击火帽

以撞击激发的火帽称为撞击火帽。撞击火帽主要用于枪弹药筒和各种炮弹的撞击底火、迫击炮的尾管及特种弹的药筒中，用来引燃底火与传火管中的传火药，因此也称为底火火帽。

在枪弹和小口径炮弹中，常见的传火序列为：

击针撞击药筒中的火帽→火帽发出火焰→点燃发射用火药装药。

在大中口径弹药中，通常组成包括撞击火帽与底火的传火序列，即：

击针撞击底火→底火变形→使药筒火帽变形→火台阻止击发药前冲→击发药发火→点燃底火中的点火药→点燃火药装药。

在上述传火序列中，撞击火帽和底火是基本的火工元件。一般情况下，它们是受击针撞击而发火的，它们产生火焰形式能量以点燃火药。火药产生一定膛压，因而赋予弹丸一定的