

第6章 单双基火药生产技术

6.1 单基火药

6.1.1 单基发射药概述

单基发射药是以硝化棉单独作为供给发射弹丸所需要能量的一种发射药。在单基发射药中,硝化棉占95%~97%,其他附加成分都不起供给能量的作用,因此也称为惰性物质成分。单基发射药使用的硝化棉是由两种不同规格的硝化棉混合而成的,通常称为混合硝化棉(简称混合棉)。混合使用的目的,主要是满足发射药工艺过程和成品能量两方面的要求。在单基发射药生产过程中提到硝化棉时,一般都是指混合硝化棉。

一、单基发射药原料的“爆发分解”性质

混合棉在制成发射药之前是一种松散状态的物质,当它干燥时具有易燃和易爆的性质,爆速达6 300 m/s,是烈性炸药的一种。硝化棉在贮存时,必须保持25%以上的水分,才能防止燃烧和爆炸。在生产中应严格防止硝化棉变干,以免造成燃烧、爆炸事故。但混合棉经过溶剂处理和机械力的作用后,就逐步成为一种可塑性物质。驱除溶剂后,制成一种类似“角质”的坚实物质,改变了混合棉原来的松散状态,从而基本改变了它烈性炸药的性质。当用于发射弹丸时,表现为“燃烧”性质。

在单基发射药制造过程中出现过这种情况,当数量较少、含溶剂较多并不在密闭状态时,不论因猛烈撞碰或静电火花或其他原因引起着火,在一般情况下,起初表现仍为燃烧,如处理得当,不会立即转为爆炸。如果单基发射药比较干燥,又是大量聚集在一起或数量不多,但是在密闭状态时,因燃烧时放出的热量和产生的大量气体不能及时扩散开,加速其余发射药的爆发分解,就会迅速转变为爆炸。由于硝化棉和单基发射药具有这些特殊性质,在它们的生产和贮存过程中必须严格遵守工艺操作规程和技术安全规定,不可疏忽大意。

二、单基发射药在压力下燃烧的特点

单基发射药在大气中自由燃烧的速率相当缓慢,与在枪、炮膛内高压下的燃烧速率相比,差别很大,这表明单基发射药燃烧速率与压力有关。压力越大,发射药燃烧时火焰的传播越快。发射药在枪、炮膛内燃烧时,压力一般可达2 000~4 000 kg/cm²,低的也有数百千克每

平方厘米的压力,燃烧时间一般在 $0.01\sim 0.001\text{ s}$ 。

在高压下单基发射药燃烧还具有另一个特点,即从表面一层一层的燃烧。当表面燃烧时,对下面一层起预热作用,第二层燃烧时又对再下一层进行预热,直到最后一层被预热引燃。压力增大时,预热下一层的效果越显著。这种燃烧形式称为“平行层燃烧”。发射药在枪、炮膛内燃烧时间虽短,但始终遵守这种燃烧规律。

单基发射药在高压下燃烧速率增快,并遵守平行层燃烧规律,是单基发射药燃烧的两个最基本的特点。

三、影响单基发射药燃烧规律的主要因素

单基发射药在枪、炮膛内燃烧具有燃速增快和平行层燃烧的规律,这和发射药的组织结构是否致密、均匀有密切的关系。若药的组织结构不均匀,则在高压下燃速不稳定,甚至不能遵守平行层燃烧的规律。疏松部分燃速增快,但燃烧不稳定;致密部分燃速相对减慢,但燃烧稳定。单基发射药在膛内燃烧的燃速是否稳定和是否按平行层燃烧,是决定弹丸弹道稳定性的主要因素。没有发射药的燃速稳定和有规律的燃烧,不可能得到稳定的弹道性能。

发射药组织结构是否致密、均匀,不但与硝化棉原料的性质和质量有关,而且与发射药生产过程中的工艺和操作条件有更密切的关系。发射药全部生产过程,就是要达到制成的发射药具有组织结构致密、均匀的目的,因此在生产过程中保持工艺、操作稳定性是很重要的问题。

四、单基发射药燃烧热量的来源

单基发射药燃烧时产生的热量与生成的气体来自硝化棉的化学分解。产生的热量与生成的气体多少和硝化棉的氮质量分数有关。硝化棉氮质量分数高,燃烧时产生的热量与生成的气体较多;氮质量分数低,热量与生成的气体较少。发射弹丸能量的大小,主要由硝化棉氮质量分数决定。为了使弹丸获得较高的能量,必须提高硝化棉氮质量分数。但氮质量分数高的硝化棉在制造时有一定困难,同时燃烧时产生的高温会增大武器的烧蚀,因此在选定硝化棉氮质量分数时,需同时考虑能量和武器结构与寿命等几方面的要求。

发射药中除硝化棉外的各种附加物和机械杂质都是非能量物质,它们会吸收硝化棉燃烧时的较少一部分热量,从而降低了发射药做功的能力。各种附加物必须按成品技术性能的要求适当加入,任何一种附加物加入不足,会影响成品的性能,但加入过多或机械杂质质量分数过多,又会影响发射药的能量。

五、单基发射药中残留溶剂和水分对燃烧的影响

单基发射药生产过程中必须用溶剂处理以改变硝化棉的物理状态和获得可塑性。在制出发射药成品后,大部分溶剂已被驱除出来,但还有少量残留在发射药中。同时硝化棉易于吸水,制成发射药后仍然具有吸水的性质。溶剂与水分均属于非能量物质,它们的存在同样会降

低发射药的能量。但是残留的溶剂和保持少量的水分对发射药还有另外一些作用,以后还要提到。

在单基发射药成品中,残留的溶剂主要表现为内挥,保持少量的水分主要表现为外挥。内挥与外挥的总和称作总挥或全挥。

测定成品或生产过程中半成品外挥的方法是—致的,即用定量的发射药在 95℃ 经过 6 h 烘干,测定烘出物质质量所占百分数,外挥的多少是当时发射药中可挥发物质的总和。在发射药生产过程中各阶段的半成品,其外挥成分是不相同的,在含溶剂多的阶段,外挥主要成分是溶剂,还可能有微量的可挥发的二苯胺和樟脑等,所以不指明发射药在生产过程中的什么阶段,就不容易确切说明外挥的成分,但经过烘干的成品中,外挥的主要成分是水分。

内挥是指在 95℃ 烘干 6 h 没有烘出的挥发性物质,不论成品或半成品其主要成分是溶剂。

六、单基发射药燃烧气体生成速率与几何形状的关系

单基发射药燃烧时,在单位时间内生成气体的多少称为气体生成速率。发射药的气体生成速率是影响枪弹、炮弹弹道性能的主要因素。

发射药在药筒里开始燃烧的瞬间,弹丸没有被推动前,是在固定的容积里燃烧。随着发射药燃烧生成气体数量和压力的增加,弹丸被推动直到它脱离枪口、炮口以前,发射药燃烧的空间不断增大。如果发射药燃烧速率不能随燃烧空间的增大而增大,膛内气体压力将迅速降低不能继续对弹丸做“推动功”,因而弹丸得不到较大的速度。尽管发射药在枪、炮膛内燃烧的时间很短暂,但也需要控制发射药的燃烧气体生成速率,以使它适应膛内空间的变化,有效利用发射药燃烧时做功的能力。

发射药在膛内燃烧时,是从药的各个表面同时以比较接近的速率往内部燃烧。有孔的药型,则是从外表面向内,同时又由孔内壁向外燃烧。各种药型也同时从长度方向的两端向中间燃烧。由于发射药的长度比厚度或直径要大得多,因此它的燃烧结束时间主要由最薄的部分决定。发射药药型的最薄部分称为燃烧层厚度,也称为“弧厚”。单孔粒状药的燃烧层厚度是指内孔与外圆间的距离,多孔药指孔与孔和孔与外圆间的最小距离,片状药指厚度的最小距离。根据枪、炮对弹丸的技术要求,可以从理论计算和实际测定出发射药的燃烧层厚度,使发射药在膛内燃烧时能发挥最好的做功能力。

不同几何形状的药型,燃烧前表面积与燃烧过程中表面积变化的关系可分三种类型,一是燃烧时面积越来越小,称为减面燃烧,如片状药、无孔粒状药。二是燃烧过程中面积基本与燃烧前面积相同,称为恒面燃烧,单孔粒状药和管状药由外圆向内燃烧缩小的面积与由内孔向外燃烧所增加的面积大体相等,为恒面燃烧。三是燃烧过程中面积不断增大,称为增面燃烧。多孔圆柱形或带有不同圆弧的多孔粒状药,在燃烧时,有若干个内孔同时向外燃烧,所增加的面积比由外圆燃烧缩小的面积要大,就是说燃烧面积随时间的增加而增大。这种药型属于增面

燃烧。增面燃烧是发射药燃烧的最好形式。

从上述燃烧过程可知发射药的几何形状与发射药燃烧的关系,特别是燃烧层厚度对于气体生成速率的关系是非常重要的问题。当确定某一种药型和它的燃烧层厚度时,必须在生产过程中保证药型与燃烧层厚度的准确性,才能得到良好的弹道性能。

6.1.2 单基发射药的物理、化学性能

一、单基发射药的物理、化学性能

1. 外观

单基发射药有单孔、多孔粒状、片状、带状和管状等药型。未经钝感和光泽的药其外观呈淡黄色或深黄色。质量正常的发射药表面比较光滑。若发射药在贮存中颜色由淡黄逐渐变化至深黄色最后变成绿色或黑色,则表明是发射药中的安定剂二苯胺与硝化棉分解出来的氧化氮逐步反应的结果。绿色或黑色的发射药其化学安定性已破坏,药的结构脆弱,机械强度大为下降,应及时做化学安定性检查,以免因自然分解造成严重事故。

2. 结构

发射药的结构与成品的物理、化学性质有密切关系,也直接影响发射药本身的机械强度和燃烧速度。单基发射药的结构由硝化棉的链状大分子经过塑化成型后的状态决定,自由状态的链状大分子是弯曲的,要制成结构致密的发射药,应当在不破坏链状大分子结构的情况下,减弱大分子间的结合力,使硝化棉得到良好的可塑性。硝化棉经过醇醚溶剂处理后,溶剂进入硝化棉大分子间,使大分子彼此疏散开,削弱了它们之间的结合力,再经过压伸,使弯曲紊乱的硝化棉链状大分子沿受力方向的距离缩小,分子间作用力增大,使发射药得到一定的机械强度。硝化棉的“定向排列”越均匀,驱除溶剂后收缩越紧密,发射药的结构越好。

3. 机械强度

前已述及发射药须具有一定的机械强度以抵抗各种能引起结构破坏的外力,如药在膛内燃烧时受到压力、冲击力以及药粒孔内的气体压力等,发射药的机械强度除与结构有直接关系外,硝化棉的黏度也有一定影响,黏度过低,将降低发射药的机械强度。

4. 密度

一般单基发射药密度在 $1.58 \sim 1.64 \text{ g/cm}^3$ 。结构密实、均匀、含挥发分少的药其密度大;结构松散、含挥发分多的药其密度小。在制造过程中,塑化质量良好,压伸压力适合,驱除溶剂均匀的密度较好。要使发射药按平行稳定燃烧,并在高压下不被破坏,须具有一定的密度。密度过小说明发射药内气孔多,容易吸湿,燃烧也不稳定。与密度有关的是发射药的“假密度”,假密度是发射药自由流满一升容积时的质量,用 kg/L 或 g/cm^3 表示。随着药型不同其假密度也不同。经钝感或光泽的药,因表面光滑,磨掉了毛刺、棱角,假密度升高。假密度是影响弹

丸装配的一个因素,假密度越大则一定药室容积的装量越多。提高假密度对枪药的更大意义是有利于调整装药量。枪药的假密度一般在 $0.80 \sim 0.95 \text{ kg/L}$, 粒状炮药一般在 $0.65 \sim 0.75 \text{ kg/L}$ 。有时用相对密度表示药的密度。相对密度是指发射药自由充满一定容积的重量与同容积水重的比值。假密度与相对密度的数值相同,但意义是不相同的。

5. 均匀性

发射药的均匀性是它的结构和成分均匀程度的综合表现。均匀性良好的发射药,才能得到规律性的燃烧。前已提及,发射药加工过程的一个重要目的,是使制造的发射药具有良好的均匀性。某些炮药是多种药型的组合装药,要求各药型都具有良好的均匀性,才能得到稳定的弹道性能。制成发射药后需要“混同”,这道工序是最后调整均匀性的措施。

6. 带电性

单基发射药是电的不良导体。当药粒与空气或其他绝缘体相摩擦,都能产生静电。特别当空气的相对湿度小、发射药比较干燥时,静电效应越显著。药粒越小,比表面越大,越容易积聚静电,如不及时消除,将越积越多,有时可达万伏以上,放电时产生的火花容易引起发射药燃烧甚至爆炸。

7. 物理安定性

发射药在贮存过程中,保持物理性质不变的能力,称为物理安定性。发射药的内、外挥和钝感药中的钝感剂都可能挥发或向药的内部扩散而引起物理性质的变化,这些变化又会影响发射药燃烧性能、机械强度和感度等方面的变化。

8. 发射药的热分解

发射药受热分解为其他产物的反应过程称为热分解。在一定温度下总有一些微小的分子在发生热分解,人们不易观察到。当有热分解的催化剂如金属氧化物存在,或热分解后的产物没有及时排除,都会加速热分解的进行。发射药的热分解温度系数为4,就是说温度每升高 10°C ,热分解反应速度增加4倍。当温度升高 100°C 时,热分解反应速度增加 4^{10} 倍,相当于原来温度时分解速度的一百万倍。由于热反应速度急剧增长,放出的热量不易扩散,又促使发射药的温度升高,如果发射药数量较大,因热分解作用的循环进行可能导致燃烧爆炸的严重后果。贮存发射药之所以要保持较低的温度和良好的通风,就是防止热分解作用的恶性发展。

9. 发射药的化学安定性

单基发射药中的硝化棉本身具有不稳定的分子结构。硝化棉分子含有多种原子团,如 $-\text{ONO}_2$ 、 $-\text{NO}_2$ 和微量的一 $-\text{OSO}_3\text{H}$ 等,这些原子团都具有电负性,在硝化棉分子含有的各种原子团中,以一 $-\text{OSO}_3\text{H}$ 的电负性最强,硝化棉安定处理主要是除去一 $-\text{OSO}_3\text{H}$,但还可能保留微量的这种原子团。至于 $-\text{NO}_2$ 、 $-\text{ONO}_2$,仍然留存下来,成为硝化棉分子的主要结构。当硝化棉分解放出 NO ,如不及时除去,又会促使硝化棉分子中其余 $-\text{NO}_2$ 、 $-\text{ONO}_2$ 的分解,降低硝化棉的化学安定性。发射药中加入安定剂的目的,是利用安定剂不断与从硝化棉分解的氧化氮作用,以保持硝化棉的化学安定性。

二、影响单基发射药物理、化学性能的因素

在明确单基发射药的物理、化学性质以后,外来因素对发射药质量的影响,就比较容易理解了。

1. 阳光的影响

阳光中的紫外线,能使硝化棉的分解加速,因此无论是发射药还是硝化棉在生产或贮存过程中均应避免日光的直接照射。发射药生产工房窗上的玻璃必须涂上乳白色油漆,就是为了防止阳光的直射。在发射药生产过程中,偶尔可发现撒落在室外的药粒,被阳光照射部分的颜色与其他部分不同,转变为深黄色,这是由于被阳光照射部分的药先分解出来的氧化氮与二苯胺相作用的结果。容易被人忽视的一个问题,就是白天天空有云层,没有阳光直接照射的时候,就认为没有紫外线照射了,在转运发射药时,往往没有用帆布或胶布遮盖,其实有云层的白天,紫外线仍可透过云层到达地面,所以在有云的白天,仍然要防止紫外线的影响。

2. 温度的影响

前已述及单基发射药具有“自发”的热分解作用,成品在贮存中须保持低温和通风。在发射药生产工艺过程中,一般常采用低温和较长时间的烘干办法以除去溶剂和水分,后来采用提高烘干温度的办法。但是要尽可能缩短烘干时间,不论是低温较长时间还是高温尽可能短的时间的烘干工艺,都是为了使制成的发射药不因发生激烈的热分解作用而降低化学安定性。

3. 湿度的影响

在密封包装中的发射药不因外界温度的变化而发生变化。但湿度过高对包装箱的使用寿命是有影响的。发射药在包装时的外挥质量分数基本上与生产过程中的大气相对湿度平衡,在以后开箱使用发射药时,如大气的相对湿度与生产过程中的相对湿度相差过大,将影响发射药外挥的增减。如相对湿度过高,发射药将从空气中吸进水分使外挥升高;反之,外挥又会下降。最好预先了解发射药将在什么相对湿度的地区装用,对成品外挥确定相应的控制范围。

4. 碱类物质的影响

硝化棉是棉纤维的硝酸酯。凡属酯类化合物与碱相遇,可发生“皂化”作用,生成对应的酸和醇,硝化棉与碱发生“皂化”作用可生成硝酸,促使其余硝化棉的分解。作为发射药安定剂的二苯胺,是一种弱碱性物质,如加入量过多,也会引起硝化棉发生“皂化”作用,破坏硝化棉化学安定性。

5. 酸类物质的影响

前已述及,单基发射药化学安定性的降低,主要是由于硝化棉分解出来的氧化氮与发射药中水分反应生成的酸类物质所引起。同理,来自外界的酸类物质,如酸的蒸气或酸烟与发射药接触,同样会加速发射药的分解,降低它的化学安定性。发射药须包装在密封的金属箱中,防止有害于化学安定性的气体与其接触,也是一个重要目的。

6. 人汗的影响

人体排出的汗,大部分是可溶性盐类,由于人的体质不同,汗内含有或多或少的有机酸,因此人汗接触发射药对其化学安定性是有影响的。在制造发射药过程中,规定穿戴工作衣帽和工作手套,除了保护操作者健康外,另一个目的是保证产品质量。

6.1.3 单基发射药组成和对原材料的质量要求

单基发射药的组成见表6-1。

表6-1 单基发射药的一般组成

成分名称	枪药/%	炮药/%
混合硝化棉(醇醚溶解度约为20%)	94~96	
混合硝化棉(醇醚溶解度约为40%)		94~96
内挥	0.7~1.6	0.8~2.0
二苯胺	1.0~2.0	1.0~2.0
樟脑	0.9~1.8	
石墨	0.2~0.4	
外挥	1.0~1.8	1.0~1.8

一、硝化棉

硝化棉是单基发射药唯一的能量成分。制造单基发射药的混合硝化棉应具备以下条件。

(1) 具有一定的氮质量分数以满足发射药能量的要求。

(2) 具有适当的醇醚溶解度、细段度和2号硝化棉质量分数,便于塑化和获得成型质量良好的药条,同时能节约溶剂用量。

(3) 具有适当的黏度和较小的黏度差,以保证制成的发射药具有一定的机械强度。

(4) 化学安定性良好,使制成的发射药能够保证长期贮存。

单基发射药使用的混合硝化棉由两种氮质量分数不同的硝化棉配合而成。一般称为1号硝化棉和2号硝化棉。用于枪药和炮药混合棉的1、2号硝化棉质量见表6-2。

表6-2 混合棉和1、2号硝化棉质量要求

项 目	枪药混合棉	炮药混合棉	1号硝化棉	2号硝化棉
硝化度(氧化氮)/(mL·g ⁻¹)	208 以上	204~207.5	210 以上	190~198
醇醚溶解度/%	22~34	34~45	15 以下	97 以上
酒精溶解度/%	5 以下	5 以下	4 以下	7 以下

续表

项 目	枪药混合棉	炮药混合棉	1号硝化棉	2号硝化棉
细粒度/mL	85 以下	85 以下	90 以下	80 以下
灰分/%	0.5 以下	0.5 以下	0.5 以下	0.5 以下
黏度/ $^{\circ}$ E(恩氏度)	3~20	3~20	3~15	3~20
安定度(132 $^{\circ}$ C)/mL	3.0 以下	3.0 以下	3.5 以下	2.5 以下
碱度(碳酸钙)/%	0.25 以下	0.25 以下	0.25 以下	0.25 以下
2号硝化棉质量分数/%	20 以上	27~37		

根据不同类型的发射药要求不同的能量,采用不同比例的1、2号硝化棉配成混合棉。一般枪药因药筒的容积较小,要求发射药单位容积产生的能量要大,故选用氮质量分数高的混合棉。炮药药型较大,为便于成型和降低发射药对火炮膛内烧蚀,采用氮质量分数较低、醇醚溶解度较高的混合棉。为了能配制符合枪药、炮药需要的混合棉,相应要求1、2号硝化棉具有适当的各项理化性质。

混合棉脱水后的水分质量分数不得低于25%,因为水分过低在贮存中不安全。贮存混合棉的库房内外要经常打扫清洁,以免撒落的硝化棉水分蒸发变干,而易发生燃烧或爆炸事故。

二、溶剂

溶剂的作用是将混合棉的松散状态改变为可塑物,它不是能量物质。制造单基发射药最常用的溶剂是酒精和乙醚的混合液,又称醇醚混合溶剂,它具有以下一些特点。

(1) 适当比例的醇、醚混合溶剂对硝化棉的溶解能力较强,同时溶剂中的酒精在成型时还可用以驱除硝化棉中的水分。

(2) 醇、醚均不呈酸碱性,性能比较稳定,少量残留在发射药中不影响它的化学安定性。

(3) 醇醚容易挥发,便于回收。

(4) 随着我国工农业生产的持续发展,制造醇醚的原料来源丰富。

但酒精、乙醚的蒸气对人有一定的刺激性和毒性。因此在发射药制造过程中,必须有良好的抽风,以降低空气中溶剂的浓度,保障工人的健康,同时回收溶剂可以降低成本。

1. 酒精

酒精分子式为 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$,化学名称为乙醇。是无色透明易挥发和易燃烧的液体,溶于水和乙醚,有吸湿性,与水能成共沸混合物,酒精蒸气与空气混合能形成爆炸混合物,爆炸极限3.5%~18.0%(体积)。酒精可从糖类原料(糖蜜)和淀粉(如玉米、高粱、红薯等)发酵制成,也可用乙烯为原料在催化作用下,与水化合制得。酒精的沸点78.3 $^{\circ}\text{C}$,冰点-175 $^{\circ}\text{C}$,在4 $^{\circ}\text{C}$ 时相对密度为0.793 2。

单基发射药生产中使用的酒精质量要求如下。

无色透明液体、无杂质和特殊臭味；浓度不低于95.0%（20℃体积计）；不含酸值；醛质量分数不大于0.02%；氧化性试验不少于10 min；不挥发物质量分数不大于0.01%。

酒精中的醛类物质是酒精氧化后的产物，醛继续氧化称为酸类物质，会影响硝化棉的分解，降低发射药的化学安定性。酒精中不挥发物带入发射药中，将增加灰分质量分数，降低发射药的能量。因此对醛类物质和不挥发物质量分数有限制。

2. 乙醚

乙醚分子式为 $C_2H_5OC_2H_5$ ，沸点34.5℃，凝固点129℃，自燃点188℃。在常温下是易流动的无色透明液体，难溶于水，易溶于酒精，极易挥发和着火。浓厚的蒸气能使人失去知觉。乙醚蒸气与空气混合的爆炸极限1.85%~36.5%（体积）。

单基发射药生产中使用的乙醚质量要求如下。

无色透明液体，无悬浮的物质；无外来气味；相对密度不大于0.719（20/20℃）；醛质量分数不大于0.05 g/100 mL；酸值不大于0.000 3 g/100 mL（以醋酸计）；固体残渣不大于0.001 g/100 mL。

乙醚的醛质量分数和酸值过高时，会影响硝化棉的化学安定性。固体残渣会附在硝化棉上，影响胶化药的质量和增加发射药的灰分。

3. 安定剂

安定剂的作用是吸收硝化棉分解出来的氧化氮，减缓硝化棉分解速度，达到提高发射药安定性的目的。选用的安定剂应具备以下条件。

- （1）能迅速吸收发射药分解出来的氧化氮，生成的产物对发射药的其他性质应无影响。
- （2）本身不应带强碱性，对发射药各成分不起化学作用，在加工过程中不易挥发。
- （3）能溶于醇醚溶剂中，以便在发射药中分布均匀。
- （4）对发射药的弹道性能没有显著影响。

在单基发射药中，最常用的安定剂是二苯胺 $[(C_6H_5)_2NH]$ ，外观是白色晶体，遇光变成灰色或黄色。相对密度1.160（20/20℃），熔点52.9℃，沸点302℃，能很好地溶于醇、醚和苯等溶剂中，但难溶于水。由盐酸苯胺与苯胺在高温高压下缩合而成。二苯胺略呈碱性，能中和和发射药中分解出来的氧化氮，制止氧化氮对发射药分解的催化作用。适当地加入二苯胺，可以延长发射药的贮存时间，但不应超过2%，二苯胺加入量过高将引起硝化棉发生皂化作用，反而削弱了硝化棉的安定性。用于单基发射药的二苯胺应符合表6-3所列指标。

表6-3 用于单基发射药中的二苯胺应符合的指标

项 目	一 类	二 类
外观	颜色介于浅黄和浅灰色之间的小粒结晶	颜色介于浅灰和黄色之间的鳞状物或结晶体
凝固点/℃	不低于52.6	不低于52
醇不溶物/%	不大于0.05	不大于0.05

续表

项 目	一 类	二 类
二苯胺质量分数/%	不少于 99	不少于 98
水提取物酸碱性	中性	中性

4. 钝感剂(或缓燃剂)

钝感剂的作用是减缓火药的燃烧速度,所加入的缓燃物质称为钝感剂。

最常用的钝感剂是樟脑,分子式为 $C_{10}H_{16}O$,它是由樟树提取也可由松节油人工合成。纯品是无色或白色晶体的颗粒,相对密度 0.990(25/4℃),熔点 178~179℃,沸点 209℃,在常温时升华为气体,微溶于水,易溶于酒精、乙醚等。樟脑是缺氧的高级碳氢化合物,故燃烧速度缓慢,其缺点是比较易于挥发。制造发射药用的樟脑,应符合表 6-4 的质量要求。

表 6-4 发射药用的樟脑的质量标准

项 目	一 级	二 级	三 级
外观	白色粉状结晶	白色或浅黄色粉状结晶	白色或浅黄色粉状结晶
可酯化物/%	1		
水分/%	≤0.5	≤2	≤3
不挥发物/%	≤0.07	≤1.0	≤2.0
灰分/%	≤0.01	≤0.1	≤0.1
酸值(mgKOH/g)	无	0.02	0.02
氯质量分数/%	无	无	无
醇不溶物/%	≤0.05	无	无
凝固点/℃	172	170	167

5. 光泽剂

光泽剂的作用是增加发射药的流散性和假密度,增加导电性能,在使用钝感剂的同时,加入具有光滑和导电性的物质,称为光泽剂。随着发射药工艺连续化的实现,为了增加气流输送、流动烘干或沸腾烘干和机械混同过程中的导电性,也采用光泽办法(称为“预光”),这是对光泽剂的推广应用。单基发射药中常用的光泽剂是石墨(见表 6-5),它是碳的同素异形体,相对密度为 2.25,熔点为 3 500℃。石墨是导电体,用于研磨时有滑腻的感觉。

表 6-5 发射药用石墨的质量要求

项 目	规 格
外观	带银色泽的细鳞片粉末

续表

项 目	规 格
颗粒度	应完全通过 0.2 mm 的筛孔, 不通过 0.15 mm 筛孔的应不超过 1.5%
石墨质量分数/%	不少于 90
灰分/%	不大于 9
水抽取液酸碱性	中性
游离硫/%	不大于 0.2
水分质量分数/%	小于 1
40℃时挥发分质量分数/%	小于 1
砂粒	无

某些枪、炮药需要加入某些特殊要求的材料, 以改善燃烧性能和弹道性能, 包括:

(1) 增孔剂。为了使发射药增快燃烧, 在胶化时加入一定细度的易溶盐类如硝酸钾, 然后在浸水时, 将盐类浸出, 使药粒形成多气孔结构。

硝酸钾(KNO_3) (见表 6-6) 是无色透明棱柱体晶体或粉末, 相对密度 2.019 (16℃), 在 400℃ 分解放出氧气。溶于水和稀酒精, 但不溶于无水酒精和乙醚。由硝酸钠溶液与氯化钾作用而制得。

表 6-6 用于制造多气孔发射药的硝酸钾质量要求

项 目	规 格	项 目	规 格
外观	白色晶体	纯度/%	>99.8
水分/%	<0.1	水不溶物/%	<0.04
氯化物/%	<0.03	盐酸不溶物/%	<0.005
碳酸盐/%	<0.03	钙、镁、盐/%	无

(2) 炮用消焰剂。为减少火炮射击时的炮口焰, 常在炮药中加入消焰物质, 最常用的消焰剂是硫酸钾和松香, 硫酸钾需先磨成粉末, 松香可溶于乙醚中, 一并在胶化机中加入。

① 硫酸钾(K_2SO_4)。无色或白色晶体粉末, 相对密度 2.66, 熔点 1 069℃。溶于水, 不溶于酒精和丙酮, 可由氯化钾与硫酸作用, 其质量要求见表 6-7。

表 6-7 硫酸钾质量标准

项 目	规 格	项 目	规 格
外观	无色透明的晶体	钙镁和氢氧化物/%	<0.05
水溶液反应	甲基橙溶液试验不变色	硫化氢组重金属铅/%	<0.002
水不溶物/%	<0.02	铁/%	<0.001
钡盐/%	<0.004	砷/%	<0.000 4
硝酸盐/%	<0.004	钠/%	火焰试验决定
氯化物/%	<0.002		

② 松香。透明的玻璃胶状物质,浅黄色至黑色。不溶于酒精、乙醚和油类。主要成分是松香酸和松脂酸酐,是一种不饱和碳氢化合物,由松脂蒸馏松节油后而得。松香质量要求见表 6-8。

表 6-8 松香质量标准

项 目	规 格		
外 观	透明玻璃状物质		
	上等	一等	二等
颜色	明亮	黄色或橙色	暗色
水质量分数/%	<0.3	<0.4	0.5
灰分/%	<0.05	<0.05	<0.07
杂质/%	<0.05	<0.10	<0.10
软化温度/℃	>68	>65	>52
酸值(mgKOH/g)	>168	>160	>150
非皂化物质量分数/%	<6	<8	<10

(3) 炮药用降温剂。某些炮药为降低膛内燃烧温度,需使用降温剂。降温剂在混合棉胶化时一并加入,使其均匀分布在胶化药中。地蜡是常用的降温剂,质量要求见表 6-9。

表 6-9 单基发射药用地蜡质量标准

理 化 性 质	品号等级指标		
滴点/℃ ≥	80	75	67
针入度(25℃,负重 100 g)/10 ⁻¹ mm ≤	16	18	30
机械杂质/%	0.1	0.1	0.1
灰分质量分数/% ≤	0.03	0.03	0.03
酸质量分数(1 g 地蜡内用 KOH 中和消耗量)/% ≤	0.28	0.28	0.28
水溶性酸碱质量分数/%	无	无	无

6.1.4 单基发射药制造工艺

单基发射药全部工艺过程分为成型与驱除溶剂和控制挥发分两个阶段。为了回收工艺过程中的溶剂,改善劳动条件,同时设置一个溶剂回收系统。

成型阶段包括硝化棉的驱水、胶化、压伸、晾药、切断等工序。为了调整药型尺寸的均匀性,粒状药在切断后应进行筛选,管状药可在浸水前捆把时和混同前进行选药。

驱除溶剂和控制挥发分阶段包括预烘、浸水、烘干等工序。需要钝感的枪药,在烘干后进行钝感和筛除石墨后,再进行二次烘干。多气孔发射药在浸水工序降低内挥的同时,浸出其中可溶性盐。

经过上述工艺过程加工的产品,须要经混同,以进一步调整理化性能和弹道性能的均匀性,包装后进行成品的检验和验收工作。工艺流程如图 6-1 所示。

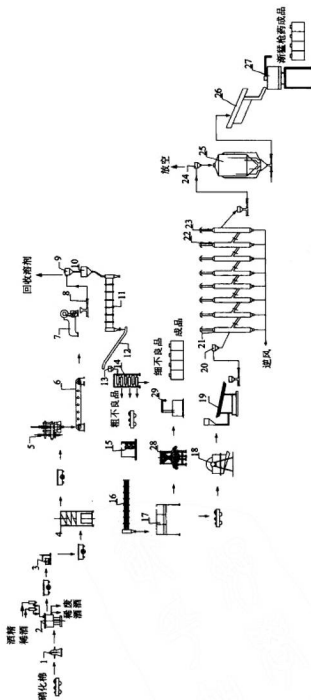


图 6-1 单基药生产流程图

1—辊压机；2—碾水池；3—缸式胶化机；4—提升机；5—柱式压机；6—传送带；7—双槽式切药机；8—风力传送喷射器；9—旋风分离器；10—贮斗；11—转筒预选机；12—斗式输送机；13—贮存斗；14—转筒预选机；15—碾水池；16—转筒预选机；17—盆式烘干机；18—称量斗；19—斜面筛选机；20—旋风分离器；21—烘干塔；22—吸湿塔；23—冷却塔；24—放空；25—重力式混同器；26—筛分机；27—称量斗；28—圆斗式混同器；29—筛分机。

一、驱水

根据单基发射药性能要求配制的混合硝化棉,大约含有 25% 的水分。含水量高的混合棉不能直接用混合溶剂处理,因为过量的水分子破坏了醇醚的比例,大大降低了混合溶剂对混合棉的溶解、溶胀作用。实践证明,当混合棉水分降到 4% 左右时,不影响混合溶剂对混合棉的作用。但完全除去水分的混合棉在混合溶剂中没有特殊的溶解效应,因为适量水分可以调整混合溶剂的极性,能更有效地发挥对混合棉的溶解作用。

降低混合棉中的水分,不能采用直接烘干的方法,因为干燥的混合棉,容易飞扬,对生产安全威胁很大。采用的驱水工艺是利用酒精与水互溶的性质,用酒精逐步把混合棉中绝大部分水分“置换”出来,留在混合棉中的酒精,同适量的乙醚组成混合溶剂,使混合棉进行塑化。从这个意义上说,驱水是为“胶化”工序做好准备。驱水方法一般采用离心法,即在离心机中不断加入酒精,通过离心力的作用,使酒精穿过混合棉,逐步把混合棉中的水分“置换”出来。

驱水开始使用稀酒精,可以避免混合棉中低级硝化物的大量溶解。一般低级硝化物在浓酒精中溶解度较小,溶解在酒精中的低级硝化物呈一种“胶液”状附着在混合棉上,降低驱水效果。驱水时先使用稀酒精,可以避免这种现象,因为这个缘故,在没有足量的稀酒精时,还需要用浓酒精稀释成稀酒精。驱水后混合棉(简称驱水棉)的质量要求如下。

- (1) 平均水分质量分数不超过 4%。
- (2) 水酒质量分数符合“胶化”工序的要求。
- (3) 加入浓酒精后 3 min 从驱水机流出的废酒精质量分数合乎要求。

二、胶化

混合硝化棉经过驱水后,含有一定数量的酒精,再加入适量乙醚即可组成一定比例的混合溶剂。混合棉在混合溶剂中经过溶胀、溶解后,还不具备良好的塑性,需要一定的机械力对它施加挤压、混合、伸长、折叠等复杂作用,才能提高它的塑性。胶化是完成混合棉塑化过程的主要工序。经过胶化后的混合棉完全改变了原来的松散状态,为下一步压伸时准备好物料。

胶化过程有充分的混合作用,故发射药中的各种附加物,均在胶化时加入。安定剂是先溶于乙醚后再加入,因此,胶化有使附加物与混合物充分混匀的作用。经过胶化后获得一定塑性的混合棉,习惯称为“胶化药”。

胶化过程中,机械力的作用十分重要。胶化从间断工艺发展到连续工艺,首先是增加了混合棉与各种附加物和安定剂的混合作用,保证混合均匀;其次是提高了机械力对混合棉的各种捏合作用,缩短了塑化需要的时间,实现了连续胶化工艺。

1. 胶化设备和工艺条件

(1) 胶化设备(缸式胶化机或称德式胶化机)。

缸式胶化机是常用的一种胶化机,如图 6-2 所示。除制造胶化药外,也可制备胶化药团

(或称标准药团)。净容积 400~720 L, 每升容积可制造胶化药 0.25 kg(按驱水棉质量计)。这种胶化机的捏合作用比较强烈, 具有多方面的捏合效果, 出料方便, 设备维护比较简单。机底夹套可通冷却水, 底部是两个相连的半圆槽, 前后各装一个铸铜的羊角形搅拌器, 前后轴的转速比约为 2:3, 并可变更转动方向, 由于两个搅拌器不等速运转, 可对胶化药施加挤压、撕裂作用和伸长、疏松作用。这种设备的优点是搅拌器与半圆槽底之间的缝隙较小, 胶化药在狭小的缝隙中所受到的各种机械力的作用比较激烈。

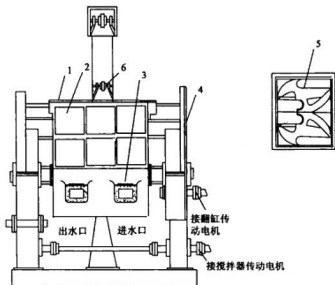


图 6-2 缸式胶化机及其搅拌器

1—机盖; 2—机体; 3—夹层机底; 4—齿轮变速器; 5—羊角式搅拌器; 6—升降机盖装置

(2) 工艺条件。

缸式胶化机胶化的工艺条件见表 6-10。

表 6-10 缸式胶化机胶化工艺条件(以容积为 720 L 的设备为例)

名 称	枪 药	炮 药	备 注
驱水棉用量/kg	120~180	120~180	装料密度约为 0.25 kg/L
胶化药团用量(占驱水棉的)/%	5~8	5~8	
溶剂用量(与驱水棉质量之比)/%	60~75	60~75	
二苯胺加入量(占驱水棉质量的)/%	1.2~1.4	1.4~1.6	
胶化时间/min	不少于 50	不少于 50	
胶化温度/℃	小于 25	小于 50	
出料时间/min	1~2	1~2	

2. 胶化操作程序

(1) 加料。先放入胶化药团,再加驱水棉。加料时要注意防止杂物混入,附加物在驱水棉加入一半数量时放入,盖好机盖,接上二苯胺乙醚溶液放料管。

(2) 开车。开始加溶液时开反车 2~4 min,使溶液与驱水棉能充分混合。随后是正车 4~5 min,反车 1 min,循环进行。如装料不满时,开始时也可先开正车,减少胶化药黏附机盖。开车后 15 min 停止,开机盖进行“刮缸”,将附着在机口的胶化药刮下,放入机内。

(3) 出料。胶化结束前 10~15 min,取样试验溶棉比是否符合压伸压力范围,同时观察胶化药的塑化程度是否良好,合格后侧转机身,开正车出料。出料前将出料的一方缸壁上黏附的过软或过干的胶化药刮出。出料操作要快,以免造成胶化药的干潮不匀。

三、压伸

经过胶化具有一定可塑性的胶化药,并没有完全改变硝化棉的疏松状态,还必须经过压伸工序在一定压力下过滤及压伸成型,使溶剂和硝化棉进一步作用和塑化,提高硝化棉大分子定向排列的程度,压成所需要的形状及尺寸,并具有一定的密度和足够的机械强度,才能在膛内形成有规律性的燃烧。发射药具有的密度越高,单位体积的能量越大,因此压伸成型是单基发射药生产中的关键工序之一。

1. 压伸成型设备

目前单基发射药生产使用的压伸成型设备有间断液压机和螺旋挤压机两种。部分炮药和小粒枪药生产主要采用前一种设备。

间断液压机设备结构如图 6-3 所示,2 是压伸机的两根钢立柱,在立柱上装有两个钢制夹层装药筒及压伸用工作主缸 5,装药筒可以在立柱上旋转,使两个装药筒互换位置。两个装药筒分别装有过滤装置及压伸成型装置。如胶化药不需要压伸机过滤时,则两个装药筒均可装压伸成型装置。带有冲头 4 的主缸活塞 6 是压药用的,在压药时先将压药冲头上下阀门 14 推向“压”的方向,再关上高压阀门 19,关上回水阀门,使绝大部分高压水沿管路进入工作主缸 5,使主缸活塞均匀下压。为了控制压力在一定范围,可调节高压阀门 19,使部分高压水流入回水槽中。当压药冲头 4 行程到预定距离时,打开高压阀门,同时将压药冲头阀门拉向“起”的方向,使工作主缸中高压水沿管路流向回水槽,并调节高压水阀门,使部分高压水通过回缩阀门 15 进入副水缸 9 中推动活塞 10,将压药冲头提到规定位置,并准备下一次压伸。带有预压活塞的水缸 8 是供预压装药时用的;11 是顶压伸装置用的;12 是将装药筒顶起以便旋转药筒。

在压伸机高压水路系统中,除供应压伸机的高压水泵 4 外,尚有供蓄力器使用的高压水泵。蓄力器用于预压、启动压伸装置和装药筒等操作。在压伸机与泵的水路系统中间装有蓄力器,其作用是当水泵所供的水量超过压伸机需要时,容纳多余的高压水;当泵的供水量不能满足压伸机需要时,补充高压水。蓄力器的作用是调节压伸过程中的耗水量,使高压系统中压力保持稳定。

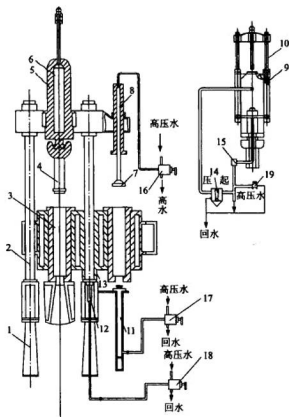


图 6-3 柱塞式压伸机

- 1—支座；2—立柱；3—装药筒；4—压药冲头；5—工作主水缸；6—主缸活塞；7—预压盘；8—预压水缸；9—副水缸；
10—副缸活塞；11—顶模装置；12—药筒启动装置；13—止退轴承；14—压伸冲头上下阀门；15—回缩阀门；
16—预压冲头上下阀门；17—顶模活塞上下阀门；18—药筒启动阀门；19—高压阀门

2. 压伸操作过程及工艺条件

压伸机操作过程为：胶化药预压→过滤→过滤药预压→成型→接药→晾药，常将这种过滤后再成型的方法称为二次成型，间断生产就用此法成型。

(1) 预压。主要是提高药筒的装药量，同时排除胶化药中的空气，否则药筒里的大量溶剂与空气混合，在压伸时因摩擦发热产生“白烟”或“气爆”。一般装药分 4~5 次，每装一次预压一次，预压时预压盘接触药料以后，要缓慢下压，压紧胶化药，避免排除空气时赶出大量溶剂。但实际上还有少量溶剂随空气带出。预压盘升起时要注意不能将药模同时带起，以免带起模针或发生碰撞而起火，或使成型装置位置变动，引起其他事故的发生。

(2) 过滤。主要是过滤杂质，同时也使胶化药进一步塑化，提高定向排列程度。预压装料

完毕,在压过滤和压成型时,在药筒上部放入上一次压伸所留下来的药饼。饼上沿半径切一个三角口,以排除胶化药中残留的空气和溶剂气体。放上胀圈压紧,将药筒转到主缸冲头下,进行过滤或成型。

过滤或成型时,模上放一张网孔为 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 的金属网,以除去胶化药中的杂质。每次压伸完后,必须将成型装置顶起,取下药饼,清理成型装置面上的干药,用酒精与乙醚的混合溶剂浸湿成型装置表面,放上金属网,放下成型装置,进行装料。药饼上的金属网要尽早撕下来,经过处理后循环使用。

(3) 成型工艺条件。以装药量 $30 \sim 40\text{ kg}$ 的设备为例:预压压力 $10 \sim 15\text{ kg/cm}^2$;预压次数 $1 \sim 2$ 次;压过滤压力 $200 \sim 300\text{ kg/cm}^2$;成型压力 $320 \sim 400\text{ kg/cm}^2$;成型时间根据药筒直径、装药量、孔数来决定。

压伸压力和出药时间是成型过程中控制的主要指标。压伸压力稳定、出药速度均匀一致,且能保持要求的压力药时间范围,药的密度和均匀性就能达到预计的要求。在生产过程中压力差越小,出药速度越均匀越好。除压力差外,压力的高低也很重要,这是控制发射药密度的关键。从成型质量的观点出发,出药速度在一定范围内时,压力高一点好,因压出的药结构致密,燃烧稳定,溶剂用量可以适当降低。但压力过高时,由于溶剂量的减少,影响了塑化质量,不仅对小型枪药出药不整齐,而且增加了不安全因素,所以一般控制压力不超过 400 kg/cm^2 。

压伸过程中,压力是不断变化的。压药时压力的变化基本上可分为三个阶段:第一阶段为上升阶段,这是增大挤出药的能力,克服成型装置阻力的过程,只有使压力升至足够值时,才能保证成型的质量;第二阶段是正常出药阶段,在这一阶段中,压力基本上是稳定的,并有一定的出药时间,以保证出药线速度在要求的范围内;第三阶段是最后出药阶段,此时压力有上升之势,原因是药饼与杂质的影响,此时应停止压伸。

(4) 接药。对“3/1 棒”以下的小型枪药,是采取扯药的方法。当药流出接药漏斗,将接触地面时,扯药工人将药垂直下扯,均匀抛在传送皮带上,传送到切断,在传送带送往切断过程中同时“晾药”。传送带的速度根据压伸机的装量、出药速度决定。

对“4/7”以上的七孔粒状药,用刀切或用剪刀剪成 1.5 m 左右长的药段,平铺在通风的传送带上,传送到切断工序。也可以将 1.5 m 左右的药条放在带有金属网的盘上,装车托送往切断工序。

对“7/7”以上的大型炮药,可以沿溜槽流在地上,自然圈成一圈,送往切断。也可用漏斗接下切成长段的药条平铺于带有金属网的长盘上,推往切药机直接进行切药。

对长管状药,切成的长度要为成品长度的一定倍数。切后平铺于带有金属网的盘上。

(5) 晾药。压伸出来的药条,含有 $50\% \sim 60\%$ 的溶剂。此时药条可塑性大、强度小、容易变形。若直接送去切断,易被压扁堵塞药粒的眼孔,破坏了药粒的几何形状。这样的药粒是不能满足武器的弹道性能要求的,所以在切断以前必须进行晾药。药条中一部分溶剂挥发,使药条具有一定的强度,从而切出药粒端面平整光滑。如晾药时间过长,使药条溶剂挥发过多,切

出药粒端面带有毛刺,不但影响药粒的假密度,而且安全上也不许可,所以过干的药条应禁止切断。

随药的品号不同,晾药方法也有不同。小粒药燃烧层较薄,溶剂挥发较快,无须在晾药室内晾药,只须在压伸工序的晾药架或传送带上晾几分钟即可。燃烧层较厚的炮药,需要在晾药室内进行晾药。一般晾药室内温度控制在 $25\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度在 65% 以上,让溶剂自然挥发,当溶剂质量分数达到 30%~40% 时,即可送去切断。晾药时间是根据燃烧层厚度决定的,薄者时间短,厚者时间长。七孔炮药晾药时间为 90~120 min。

燃烧层厚度大的药条并非都需要晾药后再切断。如果用旋刀式切药机,可将压出的药条在接药过程晾一下即可进行切断。

四、切断

切断是把压伸所得的药条或药带切成一定的长度。因发射药品号不同,武器所要求的性能不同,所以切药长度也各有不同。管状药的长度决定于炮弹药筒室的长度,若药筒较长,管状药可切成药筒长度的 $1/2$ 或 $1/4$ 。七孔粒状药的长度为燃烧层厚度的 10~12 倍。单孔药和 5/7 品号以下的长度为燃烧层厚度的 4~6 倍。多气孔发射药长度为 1~2 倍直径。确定药粒切时的长度要考虑到药条的收缩率。压伸成型条经一定时间晾药后,方能进行切断。根据采用的设备炮用发射药也有不经或稍经晾药即进行切断的。在切药中要避免产生压扁变形、毛边、缺口等药粒。此种不规则药粒的存在,破坏了药粒燃烧的规律性,影响弹道性能。因此,在切断过程中要保证所切出的药粒端面平整光滑。为了保证切断的安全和质量,药条的溶剂质量分数一般在 30%~40%。溶剂质量分数低于 20% 的药条严禁切断,因为会产生火花发生事故,这种药条可做返工品处理。

目前比较广泛使用的有双槽式切断机、单槽式切断机、旋刀式切断机、上下式切断机。因单槽式和双槽式结构与操作基本相同,所以本书仅介绍双槽式和旋刀式切断机。

1. 双槽式切断机

双槽式切断机的构造如图 6-4 所示,其主要部件是一对送药辊和切药刀。送药辊又称压辊,两辊反向转动,切药时药条在两辊中间被压

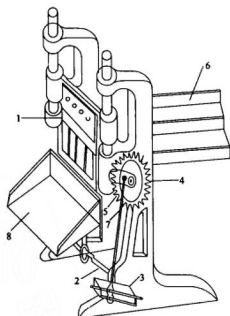


图 6-4 双槽式切药机

1—切药刀;2—曲轴;3—偏心轮;4—计算轮;
5—滑钩;6—放药槽;7—拉杆;8—接药斗

紧,靠两辊反向旋转使药条向前蠕动,同时被上下运动的切刀切断。切药机转速为 $210 \sim 280 \text{ r/min}$,切刀刃口角度为 $12^\circ \sim 15^\circ$ 。设备的调整机构调节送药辊每次转过的角度,从而切出不同长度的药粒。切药时,先将晾药后适合切断的药条整齐伸直平放于药槽内,并将药条用手梳伸压紧,以保证切药后药粒长度均匀。在放置药条过程中应将粗药、细药和带有白点、斑点的药条挑出作返工品处理。药条摆好后,推往送药辊中间压紧,然后开动机器切药。药层压紧后的高度不能超过机口高度,否则会因太紧而将药卡住,药条停止前进,切断面与高速的切刀摩擦而引起火灾。开始切出的和最后剩余的长短不一的药条做返工品处理。为了保证切断质量,工作 $1.5 \sim 2 \text{ h}$ 后即应换刀,以保证刀刃锋利。装切药刀时,刀的平面与机口平面要密合。双槽式切断机的优点是适用范围广,能切大、中、小形药,长度适应范围大。其缺点是必须经过晾药,否则压辊会将药条压扁。

2. 旋刀式切断机

旋刀式切断机的结构如图 6-5 所示。其操作原理和过程是将压伸所得的药条稍经晾药,直接喂入两个送药槽辊送入切断机,每次喂 $8 \sim 10$ 根。切药刀是固定在旋转的刀盘上,送药辊与切药刀通过一系列车轮传动使之协调动作,切不同品号时可将切刀与送药辊的相对运动速度进行调整。

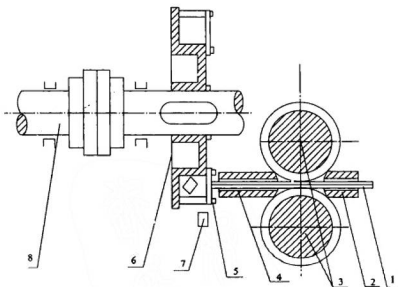


图 6-5 旋刀式切断机示意图

1—药条;2—前铜花板;3—上下送药槽辊;4—后铜板;5—刀片;6—旋转刀;7—药粒;8—传动轴

旋刀式切断机的转速为 $700 \sim 10\,000 \text{ r/min}$,所以在切断过程中经过送药辊的剩余药头停留在送药辊与切药刀之间时,必须及时顶出,以防高速摩擦发生火灾。如用金属条顶药时,注

意不要将金属条伸至刀口位置,以防打坏切断刀。经常要用压缩空气将刀刃上的药粉吹走或定时用水雾淋湿切刀,以保证切药过程的安全。

五、预烘

预烘是利用一定温度、一定湿度的空气,在回收溶剂的同时,均匀地把发射药中的大部分溶剂驱除出去,并保持药的正常收缩、组织致密和表层不过早结成硬壳,为浸水继续驱除溶剂准备条件。预烘后发射药的外挥一般应在12%以下,外挥应均匀,最大最小相差不应超过3%。预烘设备及工艺如下。

1. 柜式预烘

(1) 设备。预烘柜由木材或金属板做成,分为若干格,每格放4~10层烘盘,热风从每格顶部经两侧送入,由柜底抽风。每格有开关调节热风量 and 抽风量,保持预烘条件基本一致。烘药盘底不能使用铁钉,避免摩擦发生火花。如果预烘柜各层均能送风和抽风,虽然在预烘过程中不需要更换烘盘位置,减轻了劳动,但有效空间减少,生产能力有所降低。

(2) 操作。预烘粒状药按一定量装在有孔的布袋内,每盘放2~4袋,管状药先扎成把平放在盘内。可将每格预烘药作为一组,在预烘过程中,定期上下调换烘盘位置,并进行翻药,预烘后同时出药。也可以同时从若干格的底层放进新药,每翻药一次,将烘盘上升一层,升到顶部后出料,作为一组。粒状药翻药时,将药袋口的方向调换,并要使袋内的药能充分混合。管状药翻药时,将药把搓动一下。药袋在烘盘上要铺平,管状药要紧贴排齐,不要留出漏风的地方,使热风都能穿过各层,然后同溶剂一起被抽走。调换烘盘和翻药时,动作要轻,防止因摩擦引起火花,造成着火事故。

(3) 工艺条件。柜式预烘采用温度28~32℃,湿度70%以上的热风,预烘时间因设备、地区、季节和药型的不同需要20~40 h。预烘后炮药外挥为8%~12%,枪药外挥为7%~10%。柜内抽风量应不小于1000 m³/(t·h),抽风量约大于送风量的15%,使柜内稍呈负压。柜式预烘设备适合于烘粒状药和管状炮药。

2. 转筒预烘

(1) 设备。如图6-6所示,转筒用钢板制成,倾斜度为0.3°~2°,转速2~6 r/min。一般以2~4个转筒串联,组成预烘生产线,利用位差或气流输送药粒。筒内有若干抄药板,焊接在筒体上,以免卡塞药粒。抄药板将药粒带到一定高度,然后撒落下来,与热风充分接触,提高预烘效果。热风量按1000~1200 m³/(t·h),抽风量按1400 m³/(t·h)配置。预烘后的药粒经气流送入贮药斗,转去浸水。转筒和气流管道均须接地,以便导除静电。

(2) 操作。预烘药由气流送到贮药斗,再放入第一段转筒。从第一段流出的药利用位差或气流送到第二段转筒,以后依此送入第三、第四各段。各段转筒的热风温度和湿度由加热器与增湿桶调节,根据工艺要求,调节各段的风温和湿度。开车时,先开动第一段,同时送入热风,开动抽风。当药粒将进入第二段时,再开动第二段,以后依此再开动其余各段。停车时,当

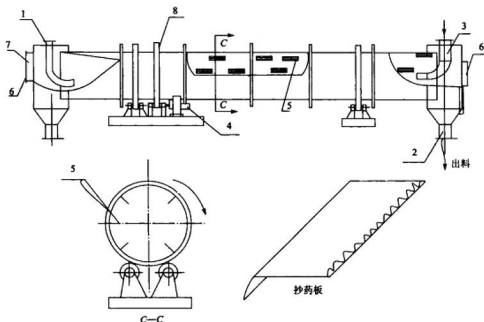


图 6-6 转筒预烘机

1—进料口；2—出料口；3—热风进口；4—电动机；5—抄药板；6—观察孔；7—度风出口；8—传动齿轮

第一段预烘药全部流出后，停止第一段的运转和热风、抽风。依次停以下各段。在生产中需要短时停车，须将全部转筒停止运转，并停止抽、送风。开车时，照上述次序开动。更换品号后或大扫除时，要用自来水喷射转筒内部，把残余药粒清理干净，用热风烘干后再准备开工。

(3) 工艺条件。转筒预烘的工艺条件应确定各段转筒热风的温度、湿度和加药量。当加药量不变，控制预烘药外挥，主要是调整各段的热风温度和湿度。见表 6-11。

表 6-11 转筒烘干各段的温度、湿度

转 筒	第一段	第二段	第三段	第四段
温度/℃	32~35	36~40	44~46	50~51
湿度/%	80~90	85~90	80~90	70~80

在转筒中，预烘药处于流动状态，与热风接触良好，预烘效率较高。全部预烘过程为 2~6 h，比柜式预烘和移动式预烘效率提高 8~15 倍。转筒预烘不适合于管状炮药。

六、筛选

运用筛选的方法，将尺寸不合格的药粒筛去，以保证发射药药型尺寸正规均匀。筛选后发

射药尺寸的均匀性特别重要。一般规定过长和过短药粒质量分数不应超过1%(不规则药粒不超过4%)。过长药粒是指超过规定长度上限的1.5倍的药粒,过短药粒是指短于规定长度下限一半的药粒。管状药不能使用一般的筛选方法,而是用人工挑选,挑出过长过短及含有白花(白斑)、毛刺、偏孔、堵孔的药条。筛选设备与操作技术如下。

筛选设备按其操作方法分为固定筛和运动筛。固定筛生产能力很小,只限于清除药粒中外来杂质时用。按筛网的形状分为转筒式与平板式两类,当前发射药筛选多采用平板式往复斜面筛与转筒筛(或称辊筒筛)。

1. 往复斜面筛

往复斜面筛是一种古老的筛选设备,当前多用于4/1和4/7以上的品号,其构造如图6-7所示。

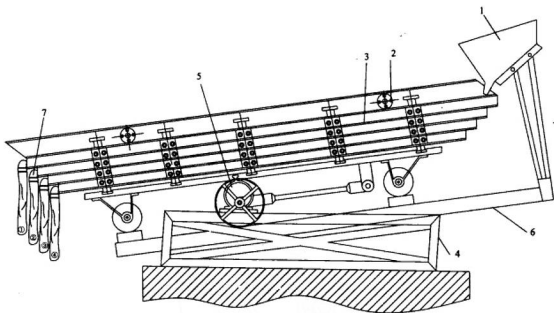


图6-7 往复式斜面筛药机

1—加料漏斗;2—筛罩;3—四层组合筛板;4—支架;5—传动装置;6—滑行道;7—出料斗;

① 粗不良品;② 返筛药;③ 良品;④ 细不良品

它由三层、四层或多层带圆孔的铜筛板构成,筛板固定并装在小车上,小车又借助于连杆和偏心轮在斜面上前后运动。筛药时将发射药装进漏斗,发射药通过漏斗流至筛板上,下料速度可以通过漏斗缝的大小来调节。发射药在筛板上借往复振动力的作用而逐层通过筛板。

第一层筛板上为长药粒,第二层筛板上为标准长度的药粒,第三层筛板上为短药,第四层

筛板上为过短药及药粉。筛孔尺寸与中心距多由实验选定,一般参照药粒长度的规定,一层大多为药粒长度的1.5倍,二层为标准长度下限,三层适合于漏碎药,四层为平板。

筛板前段为无孔板,使竖立的药粒通过振动平卧下来,避免立着进入筛孔落入下一层筛板,影响筛选效率。有时由于切断质量差,筛后不合格的药必须进行返筛。为了提高筛选效率,可先将不良品用手筛筛出其中过长或过短药粒后,掺入待筛选的半成品中筛选。斜面筛的振动次数大约为150次/min。

2. 转筒筛

转筒筛是一种高效连续筛选设备。转筒筛的构造常用转筒形或多层转筒形。过筛物靠螺旋或锥形罩旋转来移动,后者效果较好,其结构如图6-8所示。

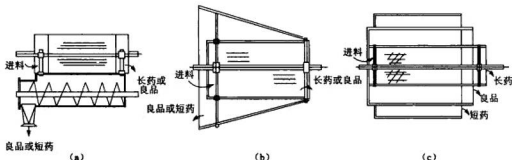


图 6-8 几种转筒筛的结构

(a) 带螺旋推料器的转筒筛; (b) 带锥形罩的转筒筛; (c) 多层转筒筛

转筒筛的传动装置,大多采用链条传动,圆筒的倾斜角为 2.5° 左右,转筒的转速和半径多由试验决定,其转速 $u(\text{r/min})$ 与转筒半径 $R(\text{m})$ 有如下的关系:

$$u = \sqrt{\frac{8}{R}} \sim \sqrt{\frac{14}{R}}$$

选择筛筒半径与转速时可参照上式的计算值。半径多为 $0.4 \sim 0.5 \text{ m}$,转速在 $19 \sim 26 \text{ r/min}$ 。筛孔的选定同往复斜面筛一样,由参照药粒长度并通过试验加以确定。筛孔的形状有圆孔与方孔两种,筛掉片状药及短药多采用方孔,筛掉长药多用圆孔。

七、浸水

发射药在预烘时不能驱除残留的全部溶剂,需要利用水作为介质,使水分子深入发射药内部与溶剂进行扩散,才能把剩余溶剂的大部分驱除。从驱除溶剂的过程来看,预烘是在驱除发射药中大部分溶剂的同时,使发射药的组织结构逐步收缩,变得致密,并为浸水驱除残留溶剂做好准备。

发射药在预烘时的工艺条件和预烘后外弹质量分数的高低,直接影响浸水驱出残留溶剂

的效果。如果预烘工艺条件差别较大,预烘后发射药的外挥质量分数不均匀时,在同一浸水工艺条件下,不可能使发射药最后含有的内挥均匀一致。因此在发射药预烘以后,应当根据这些影响因素,通过“小批组成”方法,解决浸水后内挥均匀性的问题。

“小批组成”主要是选择成型阶段和预烘工序的工艺条件相近和预烘后外挥质量分数在一定范围的各组发射药,组成一个小批,以便在同一浸水条件下进行浸水,得到均匀的、理化性能稳定的弹道性能的成品。如果预烘生产批量与浸水工序生产的批量不相适应,可在小批组成时调整,以满足浸水设备能力的要求。

管状炮药在浸水前组批时,应进行挑药和捆药,将有“白花”、“硬豆”、毛刺、弯曲、堵孔和过长、过短的药条挑出,然后将合格的药条捆成六角形的药把,这样才能防止浸水过程中药条收缩变形。

浸水主要采用浸水池水浸。浸水池一般都低于地面。为了装出药方便,也可以高出地面。池底有10~20 cm高的支架,支架下可装保温管以调节水温。池壁上有移液管,可以从不同高度放出上层浸药水。浸水前粒状药按规定质量装入布袋,然后在池内排好,管状药把倾斜排在池中。浸水时水高出药面10~15 cm。加水时要排除药袋内的空气,以免阻碍水与药接触,延长浸水时间和影响内挥的均匀。浸水池适合于各种药型,但它是间断操作,劳动强度大,劳动条件差,浸水质量也不够均匀。

(1) 浸水温度应逐步升高。因开始浸水时,药中溶剂质量分数较高,水和药的含溶剂浓度差大,酒精从药中向外扩散快,水温高容易使药的表层结构疏松。随着药内酒精质量分数减少,向外扩散速率渐慢,温度可逐步升高,以加快酒精向外扩散速率,但温度不能超过45℃。因水温过高,可能使药的表层变软,使组织结构变坏;同时,温度增高,二苯胺溶于酒精水溶液中的数量增多,降低了药的化学安定性。

(2) 开始水浸时,可用含酒精较低的水,因为预烘后,药的表层收缩变硬,含酒精的水溶液可使药粒表面变软,使药内部酒精分子向外扩散比较容易。此外,由于开始浸水时,药内酒精质量分数大,形成的浓度差大。随着药中酒精质量分数的减少,再用清水,维持一定的浓度差,使药中酒精陆续向外扩散。

(3) 含酒精的水溶液可以循环使用,以提高酒精质量分数,当浓度超过4%时,送去蒸馏。但酒精质量分数不能大于12%,避免二苯胺析出而影响发射药的化学安定性。

(4) 最后一次浸水使用清水,洗去药表面的酒精,以防止浸水完毕的药与空气接触时,酒精被氧化成醛,影响发射药的化学安定性。

八、烘干

用于单基发射药的烘干设备有真空干燥机、盆式干燥机和转筒烘干机等。真空干燥机因设备结构复杂、生产能力小,故没有普遍采用。目前广泛采用盆式烘干,并逐渐向连续操作的转筒烘干发展。在此仅介绍盆式烘干机。

盆式烘干机如图 6-9 所示。多用角钢焊成支架,盆内衬铝板,盆底有木架,其上面铺有金属多孔板。烘盆底部分布着风管,热风经过风管均匀分散至整个烘盆。

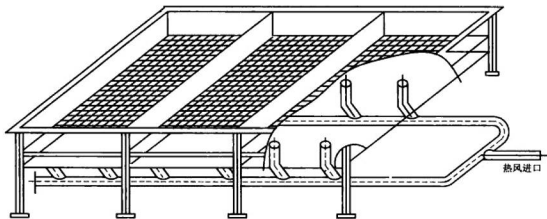


图 6-9 盆式烘干机示意图

烘药时将白布包铺在多孔板上,布包四周搭在盆口,布包四角要对好拉平,贴紧盆底四周,防止烘干时药粒跳动。粒状药在盆内可散装或袋装。散装时,要用耙子将药面耙平。袋装烘干时,要使药袋交叉堆放,并堵塞漏风地方。管状药捆成把立放在烘盆中,药把不能捆得太紧,把与把之间要靠紧,防止热风走短路。热风从烘盆底部穿过多孔板和药层,将药中水分带走,药粒被烘干。烘干过程中,温度由仪表自动控制。操作人员按时检查仪表工作情况,烘干完毕,停止送风。进入工房内检查,根据药温、药的颜色、硬度等,判断是否烘干。如果烘干,则可送入潮湿空气进行吸湿。盆式烘干设备构造简单,操作比较安全,清扫方便,能适应各种品号药粒和管状药的烘干。但进出料时劳动强度大、周期长,烘干外挥不够均匀。盆式烘干的一般工艺条件见表 6-12。

表 6-12 盆式烘干工艺条件

项 目 \ 药 别	枪 药	炮 药
药层厚度/mm	300~400	200~300
风温/℃	50~65	50~55
风量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	1 500~18 000	1 000~1 500
时间/h	18~25	25~100
烘干外挥/%	<1.0	<1.2

九、混同、包装

混同是进一步调整发射药质量的均匀性,使制造的每个总批发射药的理化性能均匀一致和弹道性能稳定,符合技术条件的要求。

发射药在成型、驱除溶剂和挥发分控制各阶段,采用的工艺设备及工艺条件都力求使产品质量均匀,但由于工艺设备及工艺条件的某些限制,产品质量还有一定程度的不均匀。间断生产的工艺和设备比连续生产的工艺和设备带来的不均匀程度更为明显。如柜式预烘和盆式烘干加工的发射药在上、下层之间的内外挥还有一定差别。发射药在制造过程中出现的这种不均匀,特别是挥发分的不均匀,必须通过混同,才能得到稳定的弹道性能和均匀的理化性能。发射药的总批一般由两个或两个以上的小批组成,有时也将一些试验样品或其他原因留下来的发射药加入混同。这些发射药的质量,均应符合技术条件的要求。混同有改善小批发射药某些缺点的作用。如小批理化性能中的弧厚过厚或过薄,挥发分过高或过低(但还在技术条件允许的特殊范围内)和小批的弹道性能上装药量过高或过低,以及初速膛压不合要求等,根据经验是可以通过和其他小批混同得到改善的。选用其他适合的小批参加混同,可以改善理化或弹道性能上的缺点。在实际工作中,有时先将准备混同的各小批按重量比例取出少许组成混同试验样,得到可靠的试验数据后,再进行总批的混同。化学安定性不合格的任何小批或试验样品,不允许加入总批混同。混同是发射药制造过程中的最后一道工序。工厂和检验部门,都是在发射药总批混同时,根据有关技术资料进行检验和验收的。生产部门对于准备组成总批混同的各小批,包括试验样品和其他原因留下来的发射药均须有完整的理化性能和制造过程的详细技术记录,由生产部门、检验部门共同研究后,才能正式进行混同。

1. 间歇式混同

间歇式混同典型设备为圆斗式混同器(旧称塔拉索夫混同器)如图6-10所示。

参加混同的药分别倒入混同漏斗内,经过锥形分散器,大体平均分配为14份,沿四周的溜槽流入14个袋内。分散器的流量由调节环调节。这种混同设备占地面积小,操作比较方便,但劳动强度仍较大。

(1) 粒状药的混同操作法。先把参加混同的一批或两批药分装为质量相同的若干袋,分成两组,每组袋数相等。如由两批混成总批,每批作一组,并调整为相等的袋数。混同时每次从每组各取7袋,交叉倒入混同器内,倒药时要使每袋药均

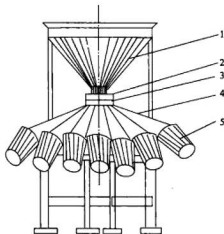


图6-10 圆斗式混同器

1—混同漏斗;2—调节环;3—锥形分散器;

4—溜槽;5—接药斗

匀分配到 14 个溜药槽内。分配成为新的 14 袋,再分成新的两组,按一定次序排列好。当第一轮的两组分配完后,完成第一次混同,新的两组按同样方法混同第二遍后,完成第二次混同。一般混同三次后的总批发射药,质量均匀可符合要求。根据计算,第一次混同倒入 14 袋,组成新的 14 袋,每一新袋中含有原来每袋的 $1/14$ 数量。第二次混同后,新袋内含有最初每袋的 $1/196$ 的数量。第三次混同后的新袋内含有最初每袋的 $(1/14)^3$ 即 $1/2744$ 数量。如果袋子的排列组合合理,混同时药粒分配均匀,经过三次混同,可以达到混同均匀的目的。

(2) 管状炮约混同操作法。管状药烘干后,按一批的数量平均分为 16 份,每份装在一个槽内。把一个槽内药条再平均分为 16 份,放在另一组 16 个槽内,依此把 16 个槽的药分完,组成第一组 16 个槽,混同第一次完毕。再从新的 16 个槽中,一个一个地全部分散为 16 份,再组成另一新的 16 槽,完成第二次混同。混同三次后,从每槽中平均取出一定数量装箱。混同时,将弯曲超过规定的和塑化质量不良的药条选出,送往胶化处理。

2. 连续式混同

典型的连续式混同设备为重力式混同机。

(1) 重力式混同机结构。重力式混同机由混同机、旋风分离器、喷射器和气流输送管组成,如图 6-11 所示。混同机内部有许多高低不同,分散在不同位置的下降管,下降管接在混同机锥形底部的混同锥上。药粒在混同机内靠自身的重力从不同高度、不同位置同时流下,到底部的混合锥上混合。

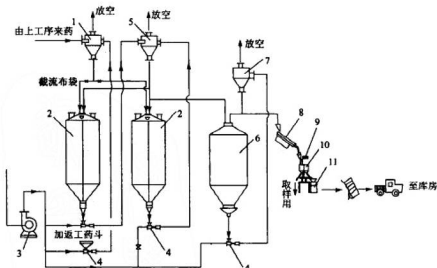


图 6-11 粒状药连续混同流程图

- 1—旋风分离器;2—贮药槽;3—离心高压鼓风机;4—送药喷射器;5—循环用旋风分离器;6—重力式混同机;
7—混同循环用旋风分离器;8—斜向管;9—磅秤;10—称药漏斗;11—药箱

如混同机的容量不大,可另设1~2个贮槽配合使用。槽内分四格,每格内有许多下降管汇集在贮药槽锥形底上,经喷射器送去混同机,起到初步混同作用。如果混同机的容量大到足够一批数量的成品时,可以不设置贮药槽,直接在混同机循环混同后送去包装。

如果连续生产工艺的发射药质量比较均匀,也可以一边向混同机供给发射药,在混同机内循环混同,一边装箱,把混同与二次烘干或连续光泽衔接起来,形成流水作业。

(2) 操作方法。由二次烘干或连续光泽送来的发射药由贮槽2接收,当足够一批成品数量时,由贮药槽底部的喷射器4将药输送到混同机上端的分离器5流入混同机6,当积存一定数量后,停止加药,由混同机自行循环2~4 h,然后放出一部分混同好的药供装箱用,并同时接收由贮药槽补充的药,保持机内一定的循环量。当贮药槽和混同机内的药先后流完,混同和包装工作即告结束。

重力式自动循环连续混同把混同和包装联系起来,与间歇混同方法比较,大大减轻了劳动强度,省掉人工运输和口袋捆扎一系列烦琐操作。但未经光泽的粒状药在气流输送过程中会大量聚集静电,不能使用重力式混同机混同。

单基发射药的原料硝化棉具有吸湿性,做成发射药后,表面有很多毛细孔,容易从大气中吸收水分,同时发射药的内挥还可能随外挥从表面挥发,因此发射药必须用密封性良好的包装箱盛装,才能在贮存期内保持稳定的弹道性能。

6.1.5 单基发射药制造生产安全技术

一、单基发射药生产中影响安全的主要因素

(1) 主要原材料(硝化棉)和处理硝化棉的溶剂(酒精、乙醚等)具有易燃烧的性质,在一定条件下还会发生爆炸。

(2) 发射药是介电物质,容易因摩擦产生静电。大量静电积累,可能发生火花,引起燃烧和爆炸。

(3) 在生产过程中回收溶剂的管道把许多工序联系在一起,如一处发生火灾,可能危及整个系统和相邻工房的安全。

(4) 烘干、混同、包装等工序,多数是成批进行加工,大批干燥的发射药聚集在一起,发生任何安全事故,都可能造成十分严重的后果。

(5) 连续工艺应用以后,等于几个工房集中在一起,人员增多,转手量加大,发生事故时,波及范围也要扩大。

(6) 硝化棉粉尘和发射药药粉撒落在隐蔽角落里,没有及时处理,日久会因自然分解引起燃烧,造成严重后果。

但是上述不安全因素要形成事故,需要外界的一定条件,这些条件主要表现为以下几方面。

(1) 生产过程中有火花产生。如金属物件的撞击, 电器设备和静电放电发生的火花。

(2) 生产过程中有局部发生高温。机械的摩擦、工具的敲打、过重物的撞碰和猛烈拖拉工具设备发生的局部高温, 引起发射药燃烧。

(3) 执行制度不严。工房和设备的某些死角或隐蔽部位长久未清理干净, 造成硝化棉、发射药分解引起燃烧。

(4) 工艺或操作疏忽。工艺或操作上的疏忽, 造成温度、压力超过规定, 湿度不够或物料加入过量等引起着火。

二、单基发射药生产中静电的产生和消除

单基发射药是电的不良导体(或称电介质)。当发射药与空气或不良导体相摩擦会产生电荷, 电荷在不良导体表面上保持的时间很长, 因此称为静电荷。单基发射药使用的溶剂也是电介质, 当它们在管道内流动, 同管壁发生摩擦, 或冲击金属容器壁时, 都会产生静电。电介质能在很长时间内保持带电状态, 当电位升高时, 可达万伏以上, 潜伏着引起放电产生火花, 导致燃烧或爆炸的危险。

静电对单基发射药的生产安全有严重威胁, 在生产中必须采取有效措施防止静电产生和及时导除静电, 杜绝因静电积累放电而引起燃烧和爆炸的后果。

1. 影响单基发射药产生电荷的因素

(1) 含挥发成分高的发射药, 电阻降低, 带电量减少。

(2) 空气中湿度增加, 发射药表面凝有微薄的水层, 使表面电阻降低, 减少带电量。

(3) 药温增加, 容易带电。

(4) 随药的摩擦距离增加, 带电量增高。

(5) 发射药粒度减小, 表面积相对增加, 带电量增加。

2. 防止发射药产生电荷和减少电荷积累的主要措施

(1) 接触发射药的设备、工具有切实可靠的接地装置。

(2) 通过提高空气的相对湿度, 降低发射药的电阻。

(3) 直接在发射药表面涂上导电物质, 如石墨, 使发射药成为导体。

3. 发射药静电的导除

发射药的静电电荷, 只能用接地导体直接与之接触才能导除。外挥 10% 以上的发射药, 在接地导体周围的可以消除部分静电荷, 但距离导体远的, 不能导除, 故接地导体接触药的面积越大越好。溶剂在管道中因摩擦产生的电荷, 可靠管道的接地装置导除。

三、单基发射药生产设备检修和废品的管理与销毁

1. 设备检修

设备的检修和焊接是为了保证生产顺利进行, 同时也为了消除事故的隐患。但是如果对

单基发射药的性质不了解,对检修或焊接的设备事前检查不周密,不能严格遵守管理制度,也可能在检修工作中引起重大事故。因为焊接时会产生明火,检修时难免敲打,这些因素都可能引起发射药和溶剂气体燃烧或爆炸。

为了消除检修和焊接过程中发生意外事故,必须做到以下几项要求。

(1) 参加设备检修、焊接的人员,必须对产品和原料的性质基本了解,不了解这些基本性质的人员不能独立进行工作。

(2) 工作前须彻底检查要检修的设备中是否残留易燃、易爆物质。

(3) 有溶剂气体的工房,在检修前先进行抽风,彻底排除溶剂,并在通风管上适当位置进行隔断后,再开始检修或焊接。

(4) 对难于清理干净的设备,要用木柴或木炭“预烧”,以彻底烧掉残留的药粉。“预烧”也可能发生危险,因此在“预烧”前要做好安全防范措施。

(5) 如焊接可能残留有药粉和溶剂的设备,应先用焊嘴的火焰在焊接部位试验有无“回火”,无“回火”反应后,再行焊接。

(6) 在室内焊接时,应使用气焊。如必须使用电焊时,须将焊接设备与其他设备切断,以免通电时使用相连设备导电引起火花。

(7) 根据焊接设备具有的危险程度和焊接场所的不同,应事先经过有关部门检查和许可,才能进行,必要时需有消防人员在场。

(8) 检修电器设备,包括更换照明设备均需在切断电源后进行。生产进行时,不能带电检修。

2. 废品的管理和销毁

单基发射药生产过程中产生的废品,如果没有统一的管理制度,散放在各处,会给安全生产带来隐患。因此,对于废品的管理,必须做到及时清理,统一保管,专人烧毁。如废药需要利用时,也应及时运出生产区域,以确保生产安全。

(1) 各工序产生的废品,每班(勤)必须清理一次,送到离工房一定距离的专门地点存放,不得保留在工房內。

(2) 废品应装在带盖的箱內,以免撒落和飞扬。

(3) 定期进行销毁,记录每次销毁的数量。销毁按下列方法进行。

① 销毁地点应选在工厂区以外远离铁路、公路、森林及高压线的空旷地方,四周杂草应铲除,以防废药燃烧蔓延。

② 遇大风、大雨、大雪和大雾天气不要进行销毁工作。

③ 销毁时废药沿顺风方向铺成长条,厚度不超过 3 cm,宽度不超过 10 cm,长度以废药总量不超过 50 kg 为宜,排成长条。如一次销毁数量较多,可排成数条,每条相距 20 m,每次销毁一条。

④ 在逆风方向用引火物点燃,人距引火物应有 1~2 m 距离。

⑤ 销毁时应有两人参加,必须等所有废药烧毁完毕后,才能离开。

⑥ 运往销毁的废药要包装好,不能沿途撒落。

6.2 双基发射药

6.2.1 双基发射药概述

双基发射药就是以硝化纤维素(硝化棉)和硝化甘油为主要能量成分的一类火药,有时可以用硝化乙二醇、硝化二乙二醇及硝化三乙二醇等代替硝化甘油。

一、双基发射药的特性

1. 能量可调范围大

双基发射药的能量来源于硝化纤维素和硝化甘油,与其他火药相比,可以通过调节两种成分的比例在较宽范围内调节火药的能量,从而使双基发射药可满足各种武器对不同能量火药的需求。

2. 燃速范围广

火药的燃速取决于火药的爆热。双基火药中含有较大比例的硝化甘油,硝化甘油具有较高的爆热,其质量分数不同,火药的爆热不同,可以通过调节硝化甘油的质量分数来调节火药的爆热,从而较广范围内调节火药的燃速。

3. 可制成较大尺寸的药柱和发动机装药

双基发射药的制造工艺可以分为溶剂双基火药和无溶剂双基火药两类。溶剂双基火药采用丙酮为溶剂,制成后要将溶剂从药中驱除掉,所以药柱的尺寸不宜过大,否则溶剂驱除困难。一般溶剂双基火药的直径不超过 300 mm,燃烧层厚度不超过 12 mm。与溶剂双基火药相比,无溶剂双基火药不需进行溶剂驱除,所以药柱尺寸不受限制,可以制成各种大直径的药柱,满足高能量发动机的要求。如“诚实约翰”、“黄铜骑士”等药柱达到 762 mm,“北极星 A₂”、“北极星 A₃”的第二级发动机药柱达到 1 370 mm,用于“民兵 II”第三级发动机装药的药柱直径甚至达到 2 340 mm。

4. 工艺灵活,生产周期短

由于双基发射药的配方差别较大,所以生产工艺差别也较大,但都必须以安全和生产成本为前提。与单基发射药生产相比,双基发射药的生产周期较短,有利于战争时期紧急装备部队。

双基发射药主要用于野战榴弹炮、加榴炮、加农炮、迫击炮、无后坐炮及各种反坦克高速穿甲弹火炮,也用于机枪、步枪等轻武器。双基推进剂主要用于各种野战火箭、战术导弹及战略

导弹。它还可用于工程兵火箭、火箭式深水炸弹、弹射火箭推进剂和空投鱼雷发射器等的装药,所以双基火药的应用十分广泛。

二、双基发射药发展趋势

随着现代战争对各种武器的要求越来越高,双基火药的性能也需要不断提高,才能满足现代战争的需要。今后和未来一段时间,双基火药应该从以下几个方面向前发展。

1. 双基火药的品种

今后和未来一段时间,双基发射药应重点发展表面涂覆双基发射药,双基推进剂应以发展低特征信号推进剂为发展方向。表面涂覆双基发射药是用高分子聚合物对双基发射药进行表面处理,该发射药又称零梯度发射药。所谓零梯度就是指发射药的压力温度系数很小,也就是指压力几乎不随温度发生变化,发射药的高温、低温和常温的弹道性能几乎完全一致。高分子涂覆剂主要有聚氨酯、聚酯、聚丁二烯、聚乙酸乙烯和含硅树脂等。推进剂在发射过程中如果产生可见烟雾、红外线、紫外线、可见光和电磁波等,则会降低火箭和反坦克导弹的发射阵地,缩短发射架的使用寿命,危害射手的生命安全,对制导信号产生衰减和干扰,导致制导信号失真或中断,严重影响导弹的命中率和战斗力,因此应该发展低特征信号推进剂。目前使用比较普遍的是在推进剂中加入新型含能黏结剂,如聚叠氮缩水甘油醚(简称GAP)等。

2. 双基火药制造工艺

传统双基火药吸收药的制造采用搅拌吸收,后来发展到喷射吸收,后者与前者相比安全性有明显提高,但需要经过较长时间的混同和熟化,生产周期较长,在制品量较大,目前正在研究的自动熟化可以解决上述问题。另外采用双螺杆挤压工艺代替传统的双基火药挤压工艺也是目前火药制造工艺发展的一个方向。双螺杆挤压工艺的突出特点是混炼效果好,质量均匀,适用范围广,对于药料黏度大小均可适用。

3. 双基火药用原材料发展趋势

双基火药的发展与新材料的研制成就密切相关,将来的发展趋势是高能量密度物质材料在双基火药中的应用。目前比较有代表性的物质如六硝基六氮杂异伍兹烷(简称CL-20)、二硝酰胺铵(AND)、1,3,3-三硝基氮杂环丁烷(TNAZ)、六硝基六氮杂金刚烷(HNHAA)、聚叠氮缩水甘油醚(GAP)等,这些物质各有优点,目前正处在研制阶段,要成熟用于双基火药中,还需一段时间。

6.2.2 双基发射药组成及性能

一、双基发射药的类型及组成

双基发射药是枪炮弹丸发射的能源之一,在枪炮武器上发挥着一定的作用。

1. 双基发射药的类型

根据不同枪炮武器的要求,双基发射药的类型一般有以下几种。

(1) 按武器使用分为枪用双基发射药、后膛炮用双基发射药、迫击炮和无坐力炮用双基发射药。

(2) 按组成为双芳型双基药、双乙型双基药、双乙芳型双基药。双芳型双基药是由硝化纤维素、硝化甘油、芳香族的硝基衍生物如二硝基甲苯和化学安定剂等组成。双乙型双基药是由硝化纤维素、硝化乙二醇或硝化二乙二醇和化学安定剂等组成。双乙芳型双基药除了双乙型双基药的组成外,还加入了二硝基甲苯和三硝基甲苯等。一般地说,在液体硝酸酯质量分数相同的条件下,双芳型双基药的能量比双乙型或双乙芳型双基药的能量高。

(3) 按双基火药中硝化甘油质量分数的多少分为高 NG 双基药(含 NG 40%~60%)、中 NG 双基药(含 NG 22%~30%)和低 NG 双基药(含 NG 10%左右)。硝化甘油质量分数高,双基药的爆热高。显然,提高硝化甘油用量可提高火药的能量,但硝化甘油质量分数过高可导致加工成型危险性的增加,且在贮存期间可能产生“汗析”,增加了使用过程的危险性。实践证明,中 NG 双基药既有较高的能量,又具有一定的物理机械性能,往往用挤压压伸的工艺制造,通常称为压伸双基药,多种炮用双基发射药和双基推进剂硝化甘油质量分数都在这一范围内。低 NG 双基药往往制造成球(扁)形药,一般作为枪弹的发射药,也可作为球形药用在迫击炮尾管装药(或基本装药)。

(4) 依据成分和制造方法,双基发射药分为柯达型和巴利斯太型。柯达(cord)是绳状的译音。柯达型双基发射药是由 1 号硝化纤维素、硝化甘油、安定性的挥发性残余溶剂等组成,显然是借助于挥发性溶剂来塑溶高氮量的硝化纤维素的。塑化均匀的药料经过一系列的加工,最后在挤压机内成型,得到药柱。当药料成型以后,挥发性溶剂要从药柱或药粒中驱除。因此,柯达型发射药工艺较为复杂,只有少数国家(例如英国)在生产使用。由于柯达型双基发射药含有残余溶剂,也称溶剂压伸双基发射药。由硝化纤维素、硝化甘油、二硝基甲苯、或邻苯二甲酸二乙酯(或二丁酯)、安定剂等组成的称为无溶剂压伸双基发射药。一般所说的双基发射药是指后者。

(5) 依据发射药的药形和用途,将迫击炮用药称为片状药(包括环状药),后膛炮用药称为管状药或粒状药,枪用药称为球(扁)形药。

2. 双基发射药的组成

双基发射药由硝化纤维素、硝化甘油、安定剂、溶剂和附加物等组成,其品种和用量不同,赋予性能有很大差异。根据双基发射药的要求,这些组分所起的作用不同。

(1) 黏结剂。黏结剂是一种将其他组分黏结在一起的物质。硝化纤维素在双基发射药中起着黏结剂的作用,它在双基发射药中一般占 50%以上,能使双基发射药保持一定的几何形状和良好的力学性能,同时它也是一种基本的能量物质。由于 3 号硝化纤维素与硝化甘油及其他溶剂有良好的溶塑性能,所以通常被用于双基发射药,其硝化度为 188~

193.5 mL/g,即氮质量分数为11.8%~12.1%。高氮量硝化纤维素如1号硝化纤维素(也称1号强棉)和2号硝化纤维素(也称2号强棉),作双基发射药时要加入挥发性溶剂或吉纳。

(2) 增塑剂。增塑剂是降低黏结剂的玻璃化温度,增加其塑性,改善其加工和力学性能的物质。硝化甘油、二硝基甲苯是爆炸性增塑剂,邻苯二甲酯二丁酯为惰性增塑剂。硝化甘油是硝化纤维素的良好溶剂,对于氮质量分数为12.6%的皮罗棉,可以任意比例混溶;对于高氮量硝化纤维素,其溶解度也达60%以上。二硝基甲苯是一种低热量的炸药,它的加入有利于改善双基火药的可塑性和防潮性,改善硝化甘油的混溶性。邻苯二甲酯二丁酯的加入改善硝化甘油与硝化纤维素的溶解性能,它能与硝化甘油任意比例互溶,又是负热值液体,可降低火药的爆温,有利于改善发射药对武器的烧蚀性。

(3) 安定剂。硝化甘油和硝化纤维素含有硝酸酯基,能自行缓慢分解。安定剂是吸收火药分解出的具有催化作用的产物NO等,减少火药自动催化作用的物质。双基发射药通常用1号和2号中定剂,1号中定剂也称乙基中定剂,2号中定剂也称甲基中定剂,其学名分别为N,N'-二乙基二苯脲和N,N'-二甲基二苯脲。中定剂的质量指标见表6-13。

表6-13 中定剂的质量指标

名 称	1号中定剂指标	2号中定剂指标
外观	白色结晶	鳞片状或粉末状结晶
水分/%	≤0.1	0.5
灰分/%	≤0.05	0.08
氯离子/%	≤0.000 5	—
醇不溶物/%	≤0.05	0.09
硫酸根离子/%	≤0.000 5	—
凝固点/℃	≥71.1	119
游离胺质量分数/%	—	0.05
反应	中性	中性

二苯胺和2-硝基二苯胺在双基球形药中也用作安定剂。

(4) 附加物。用以改善双基发射药加工性能的物质为工艺附加物,通常用凡士林。减少火炮炮口焰的物质为消焰剂,通常用硫酸钾、冰晶石等。双基球形药钝感处理用缓燃剂,例如用二硝基甲苯和邻苯二甲酸二丁酯等进行表面处理,作为缓燃剂。对于小口径枪炮用双基发射药,为了减少烧蚀,还加入无机防烧蚀剂,例如碳酸钙、滑石粉等。这些物质的加入因双基发射药配方不同而定,加入量虽然很少,但起到了特殊的作用。

二、枪炮武器对双基发射药性能的要求

1. 能量性能

枪炮武器用双基发射药,其能量性能通常是指双基发射药的爆热、比容和火药力。为了提高武器的射程,要求有高的初速,高初速又要求有尽可能高的爆热、比容和火药力。但要注意的是,在提高能量的同时,身管武器的烧蚀应尽可能小。对于迫击炮,烧蚀要求不严格,可通过提高硝化甘油的含量来提高双基发射药的能量。

2. 燃烧性能

双基火药的燃烧性能同单、三基发射药一样是指其燃烧速度的规律性。对于枪械武器,要求火药渐增性燃烧,即气体生产率逐渐增加的燃烧。通常在药粒表面加入阻燃剂并经过表面处理,具有渐增性燃烧。

3. 力学性能

力学性能是指双基发射药在制造、贮存、运输和发射过程中,受到各种载荷作用时产生形变及破坏的性质。抗压强度与压缩率是根据发射时所受气动力作用所表现的力学性能,火药要求有一定的抗压强度和压缩率。火药的力学性能受温度的影响,在低温(通常为 -40°C)、高温(通常为 40°C 或 50°C)与常温的条件下力学行为不同,要防止低温变脆或高温发黏,即低温韧性不强和高温强度不足的现象。

4. 安定性能

双基火药的安定性能主要是化学安定性,是指在贮存期内延缓分解,防止自动发生化学变化的能力。双基发射药的硝化纤维素和硝化甘油,是含有硝酸酯基的物质,硝酸酯基的存在,容易分解出产生自动催化的氮氧化物,往往需加入安定剂,如中定剂以吸收产生的氧化氮。

5. 安全性能

安全性能是指双基发射药对外界各种激发能源(如撞击、摩擦、静电火花、热、冲击波等)作用发生燃烧或爆炸的敏感程度。安全性能决定了其使用性能,使用中(包括运输、贮存)要求双基火药对这些激发能源的作用越钝感越好,但要保证点火可靠与有效。

6. 其他性能

除了上述五个方面的性能要求外,对双基发射药还有一些其他方面的要求。主要有工艺性能、经济性和毒性等。工艺性能是指易于制造,原料来源广泛,价格低廉,产品质量均匀;毒性主要是指燃气对射手无毒害。

三、典型双基发射药

1. 枪用双基球(扁)形药

(1) 概述。在轻武器中目前广泛应用双基球(扁)形药,提高了步枪的性能,减轻了全弹质量,有利于士兵携弹量增加,增加了作战能力。双基球(扁)形药的主要特点如下。

① 能量较高。由于在配方中采用硝化甘油,使爆热比单基压伸药高,加之采用湿法深度钝感,使发射药有较好的渐增性燃烧,提高了做功能力。

② 装填密度大。由于双球(扁)形药堆集密度大,在有效的药室容积内装填密度较大,有利于起始总能量的提高。能量较高和装填密度较大的综合作用使初速有所提高。例如,7.62 mm 枪弹弹丸初速为 735 m/s(用压伸单基药),用双球(扁)形药在小口径枪上使弹丸初速高达 950 m/s。

③ 温度系数较小。双基球(扁)形药的温度系数小于 $0.09\%/^{\circ}\text{C}$,高温压力增加量为 $7\%\sim 12\%$,而且温度系数在 $0.09\%/^{\circ}\text{C}$ 以下的范围内可以调节,即适应温度范围较广。

④ 吸湿性小。与单基压伸的“2/1 棒”相比较,双基球(扁)形药吸湿性较小,对环境湿度变化不敏感。研究表明,在温度为 30°C 、相对湿度为 85% 的条件下,吸湿 8 h 后,“2/1 棒”增加的水分质量分数为 0.71% ,而双基球(扁)形药仅为 0.19% 。

(2) 配方及性能。美国、法国、比利时、前苏联等国家都在所用的轻武器上选用双基球(扁)形药为其主要装药。美国 20 mm 口径以下的各种枪弹都选用球(扁)形药,如 WC846、WC870N、WC860、M165 等。美国轻武器用球形药典型配方为:

硝化甘油 $8.0\%\sim 12.0\%$;硝化纤维素 ($13.0\%\sim 13.2\%$) N 余数;二苯胺 $0.75\%\sim 1.50\%$;苯二甲酸二丁酯 $3.5\%\sim 7.5\%$;硝酸钾 $1.0\%\sim 1.5\%$;硫酸钠 $\leq 0.5\%$;碳酸钙 $\leq 0.1\%$;其他 $1.0\%\sim 2.0\%$ 。

某些轻武器用球形药的热化学及物理性能见表 6-14。

表 6-14 某些轻武器用球形药热化学及物理性能

	M18	WC846	双球(扁)药
火药力/($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1 001	1 010.45	1 072
等容火焰温度/K	2 700~3 000	2 855	2 966
比容/($\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$)	896.4	954.7	952.5
燃气物质的量/($\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	—	42.6	42.5
爆热 Q_v /($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3 230.0	—	3 306.4
堆集密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.95~1.00	0.980	0.95~1.00
燃气平均比热比	1.252	1.246 1	1.243 5

双基球(扁)药的化学安定性与普通单、双基发射药有所不同。由于成分特别,在制造过程中使用了动物胶、硫酸钠及乙酸乙酯。尽管这样,并不影响其安定性,有关的试验表明双基球(扁)药的化学安定性良好。

吸湿性小是双球(扁)形药的优点之一。由于采用了硝化甘油,具有普通双基火药的特点,即水分质量分数低,溶塑良好,加之深度钝感和光泽处理,使吸收水分的速度降低。双球扁形

药与“2/1 棒”吸湿性对比见表 6-15。由表可看出,压伸单基“2/1 棒”的吸湿性增加量为 0.6%~0.8%,而双球(扁)形药则在 0.2%左右。

表 6-15 双球(扁)形药与 2/1 棒吸湿性对比

%

试 样	原试样水分质量分数	吸湿后增加的水分质量分数		
		吸湿 5 h	吸湿 8 h	吸湿 12 h
2/1 棒	1.40	0.63	0.71	0.81
双球(扁)形药	0.55	0.21	0.19	0.20

优良的弹道性能表现在初速跳动较小,高温时最大压力增加量较小,低温时初速降低较小。研究表明,常温(20℃)初速跳动在 16~30 m/s,高温(50℃)在 18~25 m/s,低温(-45℃)在 30~55 m/s。高温最大压力增加量(比较 20℃)一般为 7%~14%,只有少数接近上限,多数在 7%~10%,低温(-45℃)初速降为 6~21 m/s(比较 20℃时初速),或然误差在 0.009 7~0.034 内变动。

2. 双基管状和粒状炮用发射药

(1) 概述。双基管状或粒状发射药和单基药、三基药一样是一般加农炮和榴弹炮的主发射装药的品种之一,也是部分高初速火炮采用的发射药。特别是德国、法国、瑞典、比利时等国在高性能火炮中都采用了双基发射药。目前采用制式双基发射药用于高初速火炮主要有两种类型。

① 硝化纤维素-硝化甘油发射药。英国在坦克炮上采用 F527/428 型硝化纤维素和硝化甘油组成的发射药,该类发射药是目前制式药中火药力最高、火焰温度也最高的发射药。它比美国 M30 三基药的能量高 10%以上,烧蚀性大,制造费用也高,但能较好地满足击毁坦克的目的,综合考虑各种因素,利大于弊。美国 M30 与英国坦克用 F527/428 高能发射药热化学数据见表 6-16。

表 6-16 F527/42 型与 M30 型发射药热化学数据对比

发射药型号	火药力/(kJ·kg ⁻¹)	火焰温度/K	燃气平均比热比
M30	1 078.7	3 040	1.24
F527/428	1 228.0	3 770	1.22

由表 6-16 看出,F527/428 的火药力比 M30 高出达 13.8%,火焰温度也提高了 730 K,是目前装配使用的能量最高的一种双基发射药。

② 硝化纤维素-硝化二乙二醇或硝化三乙二醇发射药。德国有用硝化二乙二醇和硝化三乙二醇制造双基发射药的传统。这类发射药能量较高,但烧蚀性却低于 F527/428 型双基发射药。常采用 JA₂型和 DIGL-RP 型发射药应用在 120 mm 坦克炮发射药中,这两种发射药

的热化学数据见表 6-17。

表 6-17 JA₂型与 DIGL-RP 型发射药热化学数据

发射药型号	火药力/(kJ·kg ⁻¹)	火焰温度/K	燃气平均比热比
JA ₂	1 141.0	3 412	1.225
DIGL-RP	1 141.0	3 410	1.224

前苏联 T-62 型坦克炮 115 mm 滑膛炮的破甲弹和榴弹装药上采用了含硝化二乙二醇的双基发射药,硝化二乙二醇的质量分数为 31%,火炮弹丸的初速达到 885~900 m/s。

(2) 配方及性能。德国的双基发射药品种较多,不但有硝化甘油双基发射药,而且还有硝化乙二醇(包括硝化二乙二醇和硝化三乙二醇)双基发射药。另一个显著的特点是后膛炮用药其硝化甘油质量分数较高,其他国家的管状和粒状双基发射药硝化甘油则为中等质量分数偏下限值。

美国双基发射药主要用于无后坐炮和迫击炮,榴弹炮用三基发射药,不再使用双基发射药。其典型配方 M₂ 和 M₂₆ 粒状药见表 6-18。

表 6-18 美国陆军用 M₂ 和 M₂₆ 粒状双基发射药配方

%

组 分	M ₂	M ₂₆
硝化纤维素	77.45	67.25
w(N)	13.15	13.15
硝化甘油	19.50	25.00
乙基中定剂	0.60	6.00
硝酸钡	1.40	0.75
硝酸钾	0.75	0.70
石墨	0.30	0.30
水分 ≤	0.70	0.70
石墨(光泽) ≤	0.15	0.15
总挥	随壁厚增加而增加	2.00(多孔药粒), 1.50(单孔药粒)

双芳-3 是某些国家使用大口径后膛炮的主装药。做成不同弧厚的单孔管状药,用于不同口径火炮的装药,其配方见表 6-19。

表 6-19 双芳-3 双基发射药配方

%

硝化纤维素	硝化甘油	中定剂	二硝基甲苯	苯二甲酸二丁酯	凡士林
56.0	26.5	3.0	9.0	4.5	1.0

双芳-3 双基发射药的能量性能:火药力为 960 kJ/kg, 比容为 1 000 L/kg, 爆热为 3 198 kJ/kg, 定容火焰温度为 2 600 K。化学安定性、力学性能等均能满足常规火炮的使用要求。该双基发射药最重要的特点是工艺易于控制, 质量均匀, 性能再现性好, 特别是装药的点火、传火性能优越, 获得稳定的弹道性能。

3. 双基片状迫击炮用发射药

(1) 概述。迫击炮的特点是滑膛、炮管较短, 由于燃气的流出, 压力较低, 这就要求双基发射药在低压下燃烧速度要快, 作用时间要短, 装药起始表面积要大, 弧厚要薄, 而且药本身的燃速要快。目前 60 mm、82 mm、100 mm、120 mm、160 mm 等口径的迫击炮, 从基本药管到附加药包装药基本采用带状药、片状药、换装药(有的基本药管采用双基小粒药或球形药)。另外, 由于迫击炮的作战形式多变, 有多种装药号, 而不同的装药号又有不同的初速和膛压要求。这些装药号往往是按同一配方生产的形状或尺寸不同的发射药所组成, 即基本装药(或称零号装药)和附加装药形状或尺寸不同。此外, 对于单兵小型火箭, 如 40 mm 火箭也用带状药作为发射药装药。我们将弧厚很薄的不同形状双基发射药都简称为片状药。

为了提高能量和燃速, 硝化甘油质量分数需达到 40% 以上。这样大的硝化甘油质量分数, 给工艺生产带来不安全性, 着火率较高。在配方中加入凡士林对工艺极为有利, 以损失一些能量来降低着火率。

(2) 配方及性能。片状双基发射药的配方各个国家有所不同, 世界主要国家片状双基发射药的配方见表 6-20。

表 6-20 世界主要国家片状双基发射药的典型配方

%

组 分	美国 M ₈	德国迫击炮	前苏联 HB	法国巴利斯塔
硝化纤维素	52.15	57.4	58.7	58.0
u(N)	13.25	13.3	12.0	12.5
硝化甘油	43.00	41.6	40.0	42.0
乙基中定剂	0.60			
苯二甲酸二丁酯	3.00			
硝酸钾	1.25			
水分 ≤	0.40			
石墨			0.2	
偏二苯胺			0.8	
甲基中定剂				
凡士林				
二硝基甲苯				1.0(外加)

片状药的能量较高, 热化学性能以 M₈ 为例, 火药力达 118 kJ/kg, 爆热为 5 204.9 kJ/kg, 比容为 831.6 L/kg, 等容火焰温度 3 760 K。需要指出的是火焰温度过高, 将严重地影响迫击炮射速的提高。

6.2.3 双基火药制造工艺

一、吸收药制造工艺

吸收工艺有间断搅拌吸收工艺和喷射吸收工艺,目前大多采用喷射吸收工艺。因此,这里重点介绍喷射吸收的工艺过程及工艺条件。

1. 间断搅拌吸收工艺

搅拌吸收原理是将硝化纤维素悬浮于水介质中,不断地加入硝化甘油和其他组分,通过搅拌使硝化甘油等组分与硝化纤维素混合、润湿并进到硝化纤维素毛细管内而制成吸收药。对于小批量生产,一般采用搅拌吸收工艺,其工艺流程如图6-12所示。

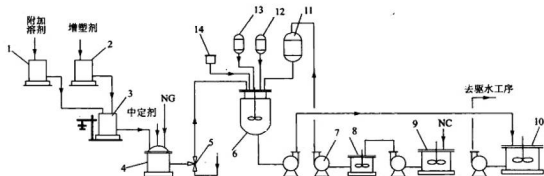


图6-12 间断搅拌吸收工艺流程图

1—附加溶剂槽；2—增塑剂槽；3—称量槽；4—混合槽；5—输送喷射器；6—吸收器；7—泵；8—硝化纤维素浆液调配槽；9—硝化纤维素浆液浓槽；10—吸收药混同槽；11—吸收纤维素计量槽；12—水槽；13—乳化器；14—凡士林乳化器

搅拌吸收是在吸收器里进行的。硝化纤维素浆液经计量后加入吸收器中,在搅拌状态下升温,当温度升至要求的温度时,将溶剂由乳化喷射器喷送至带有小孔的喷头里,喷洒在硝化纤维素浆液表面上,通过搅拌的作用使之混合、黏附、扩散和渗透。吸收是一锅一锅地进行的。

在混合液配制槽中一锅一锅地将二硝基甲苯、邻苯二甲酸二丁酯、中定剂先配成三成分混合液,然后将硝化甘油经称量后加入成分中,配制成四成分混合液。其他组分也在吸收器中加入。然后升温至45~50℃,搅拌1.5h后冷却,温度降至25℃以下时出料,进行离心脱水。几锅组成一个批,或几个小批在混同槽中进行混同熟化使其成分均匀。

2. 喷射吸收工艺

喷射吸收原理是将硝化纤维素悬浮于水介质中,通过喷射器将硝化甘油和其他组分吸入,在喷射器内降低质点半径,增大扩散总面积,加快扩散速度,使高度分散的组分在喷射器中完

成吸收,经强烈的搅拌混合成为吸收药。喷射吸收工艺是普遍采用的吸收工艺,其工艺流程如图 6-13 所示。

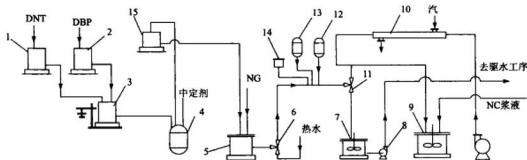


图 6-13 喷射吸收工艺流程图

- 1—DNT 高位槽;2—DBP 高位槽;3—称量槽;4—三成分配置槽;5—混合槽;6—喷射器;7—混同槽;
8—泵;9—硝化纤维素浆液精调槽;10—套管加热器;11—喷射吸收器;12—凡士林乳化器;
13—憎水槽;14—乳化器;15—三成分分离槽

首先将混合液、凡士林、憎水液和浮化液准备好,同时开动硝化纤维素浆液精调槽中搅拌器,调好后进行计量,并用泵连续地将其打入套管加热器加热,待其从加热器末端出来时,正好达到所需要的温度(一般为 $45\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$)。加热好的硝化纤维素浆液以 $0.3\sim 0.3.4\text{ MPa}$ 的压力连续通过喷射吸收器,并控制一定量使与混合液成一定的比例,此时混合液被硝化纤维素浆液带入喷射吸收器。在喷射吸收器中,硝化纤维素与硝化甘油混合液进行强烈的混合,然后流入混同槽。乳化液、憎水液等在每批吸收药制造中间加入到混同槽中。在强烈的搅拌下混合液与硝化纤维素在混同槽中进一步作用。当一大批吸收完后,继续在混同槽内搅拌一定的时间,得到吸收药料。

无论是间断搅拌吸收工艺,还是喷射吸收工艺,其吸收过程主要包括四部分:原材料的准备、四成分混合液的配制、吸收、混同与熟化。

(1) 原材料的准备。

① 硝化纤维素浆液的准备。硝化纤维素生产车间把质量分数为 $9\%\sim 13\%$ 的硝化纤维素用泵送入吸收药制造车间的硝化纤维素接收槽。进接收槽之前,先经过除渣除铁。接入槽内后,沉淀 2.5 h 以上,进行排水与加水,约调至质量分数为 12% 时进行精调。精调有常温调浓和 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的调浓, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 调浓是在带热水夹套升温的调浓机中,将硝化纤维素浆液温度升至 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$,在此温度下调整浓度;常温调浓是在精调机中常温搅拌 40 min ,调到所需的浓度。硝化纤维素浆的浓度测定通常是经采样漏斗循环均匀后,用一定体积一定质量的采样瓶采样,然后在天平上称量,换算成浓度,再计算出每批吸收药所需的体积。

② 硝化甘油的准备。合格的硝化甘油经过滤、称量后,用水喷射器以乳化状态输送至混

合液配制工序。

③ 二硝基甲苯的准备。二硝基甲苯用不高于 110°C 的蒸汽熔化,经过滤后,用于配制三成分混合液。熔化温度一般不超过 85°C ,总受热时间不超过 12 h。

④ 邻苯二甲酸二丁酯的准备。经过滤、称量,用来配制三成分混合液。

⑤ 凡士林准备。用蒸汽熔化后,送往吸收工序计量,用压缩空气喷雾器加入吸收槽中。凡士林熔化温度一般为 50°C 左右。

⑥ 三成分混合液的配制。将称量好的二硝基甲苯、邻苯二甲酸二丁酯、中定剂分别加入三成分配制槽。在夹套加热,通入压缩空气进行搅拌,于 $(75\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 配制成三成分混合液。

(2) 四成分混合液的配制。首先将配制好的三成分混合液输入带有夹套加热和压缩空气搅拌的配制槽内,加入准备好的硝化甘油,控制配制温度 $45\sim 60^{\circ}\text{C}$,经充分混合为均匀的四成分混合液。配制好的四成分混合液配以 $55\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的热水经乳化喷射器按比例输送至吸收喷射器,喷射压力一般 $0.19\sim 0.34\text{ MPa}$ 。

(3) 吸收。吸收是各种物料通过吸收喷射器并经强烈搅拌达到混合均匀。当硝化纤维素浆在高压下经过喷嘴时,高速射出,产生卷吸作用,形成负压,抽吸混合液,并将流体的能量传给混合物。由于硝化纤维素浆和混合液速度不一样,呈湍流状态。当二者通过喉部时,在高速湍流下迅速混合,然后进入扩散管。由于扩散管径逐渐增大,所以速度逐渐变小,动能变为静压能,并将物料排入混同槽中。由于硝化纤维素结构的不均匀性以及混合液在喷射器中停留时间很短,部分溶剂还只是附着在硝化纤维素表面上,所以必须在混同槽中继续进行搅拌,使之继续扩散,达到平衡。憎水乳化液、悬浮液可与四成分混合液一起同时被硝化纤维素浆吸入喷射器内,然后随同其他物料进入混同槽中,也可以用喷雾器直接喷入混同槽。凡士林也用喷雾器喷入混同槽。

(4) 混同与熟化。混同与熟化是为了获得大批量成分均匀的物料。混同与熟化是将几个小批吸收药在混同槽中进行一定时间的搅拌,以达到混合均匀,同时可使药料在硝化甘油中重新分配,从而提高了药料的均匀性。

二、螺旋压伸成型工艺

双基火药的各组分制成组分均匀的吸收药料后,需通过成型工艺制成具有一定几何形状、一定尺寸、塑化良好的药柱。因此成型工艺的任务是:驱除药料中的水分,药料在较高的压力和温度下塑化,制成具有一定几何形状、一定尺寸和结构致密的药柱。该工艺是半连续的工艺过程,它有如下优点:质量均匀,重现性良好,可靠性高;生产周期短,在制量小;推进剂中的弹道改良剂易于分散,燃烧性能好;可压制较大尺寸的药柱,满足战术火箭导弹等武器的需要。该工艺各工序的物理化学过程如下所述。

1. 药料的驱水

吸收好的药浆中含 90% 左右的水分,在成型过程中要将水分除掉。药浆中的水分可分为

游离水、物理结合水和物化结合水。游离水是指水与药料之间没有结合,药料沉降后悬浮在表层,用简单的方法可以滤掉。物理结合水是指药浆孔穴或毛细管中浸润的水分,这部分水在一定的挤压下才可大部分挤出。物化结合水是指靠氢键或其他分子间力结合起来的吸附水。驱水工序将使游离水、物理结合水的大部分水驱除掉。

药料的驱水由一次驱水机和二次驱水机完成。一次驱水机将药浆中的水分驱除到 70% 以下(一般水质量分数为 25%~40%)。一次驱水机是由螺旋和筛网等组成,如图 6-14 所示。

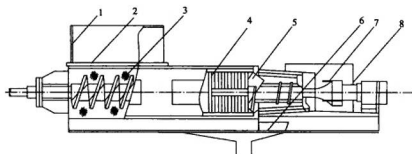


图 6-14 一次螺旋驱水机示意图

1—加料斗;2—螺旋杆;3—过滤筛网;4—过滤环;5—锥体;6—废水盘;7—刀;8—机座

筛网孔径为 $\phi 18$ mm。滤过水的物料被螺旋推向前进,经过滤环处,部分水由过滤环的间隙中挤出,药料经机头处的刀破碎后转入二次驱水机。由于一次驱水主要驱除游离水,不需较高的压力,也无须加热装置,只需将药浆控制在 35~50℃ 即可。

二次驱水机将药料中的水分进一步驱除至 5%~10%。二次驱水机是由螺杆、壳体、花盘和盘刀等构成,如图 6-15 所示。

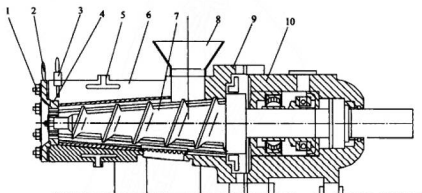


图 6-15 二次螺旋驱水机示意图

1—盘刀;2—压盘;3—温度计;4—花盘;5—加热嘴;6—机体;7—螺杆;8—加料斗;9—排水格板;10—轴承座

螺杆为单头螺纹的锥形螺杆,在壳体的下部有排水格板,排出的水由排水格板排掉。为达到一定的压力,在机头处装有花盘,花盘上有多个孔,药料从孔中挤出,利用花盘与刀的间隙,刀进行转动,将药料切成一定尺寸的柱状药粒。二次驱水提高驱水机的出口温度,一般为 $45\sim 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2. 压延

压延是经过驱水的吸收药在沟槽式压延机上经高温高压碾延,使药料进一步驱水并塑化。沟槽式压延机也称为连续压延机,其结构如图6-16所示。

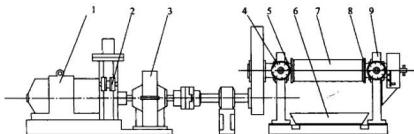


图6-16 连续压延机设备装置图

- 1—电机;2—电磁安全刹车装置;3—减速器;4—调距机构;5—圆盘刀;
6—盛料盘;7—碾筒;8—成型环;9—机架

药料受到压延机两辊的挤压,由于两辊表面沟槽形式不同,药料只黏附在工作辊上。新的药料不断从中心部位加入,碾筒上的药料不断向两端移动,并发生物理化学变化,药料水分逐渐减小,硝化纤维素与硝化甘油和其他溶剂发生深入作用,逐渐塑化。塑化好的药料从工作辊两端的成型环孔中挤出,由旋转的圆盘刀切割成柱状药粒,然后送至切割机内切碎,最后将碎粒由螺旋输送机送往烘干工序。

由于压延机压力较高,药料温度在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右(即工作辊出水温度),空转筒温度比工作辊低 $5\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。压延时着火率较高,为降低着火率要适当地调节辊距、加料速度和碾筒转速。压延后的药柱水分控制在 2.3% 以下。

3. 烘干

烘干是将压延后药料的水分由 2.3% 降至 1% 以下(一般为 0.7% 以下)。烘干的另一个目的是调节药料温度,使之适合于压伸工序的需要。烘干一般采用热风烘干,热风烘干采用辊筒式烘干机,其结构原理与转筒预烘机相似(图6-6)。

辊筒倾斜一定角度,筒内设有纵向叶片,当辊筒转动时药料被叶片抄起,至辊筒上部落下,与风速约 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、风量在 $1\,000\sim 4\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的对流热风接触。由于辊筒倾斜一定角度,药料落下后向前运动一段距离,药粒中的水分被反方向带走,经一定的时间,达到烘干的质量要求,最后用斗式提升机送往压伸工序。若要调节药料的烘干时间,可调节辊筒的倾斜角度;若要调

节药料温度和水分,可调节热风的风温和风量。对于相对湿度大的空气,可适当提高风温,这样可提高烘干效果。

4. 螺旋挤压成型

在压伸前将烘干的药粒用电磁铁去除金属杂质并用辊筒筛筛去碎药料和药粉,保证药料直径在一定范围且较均匀,同时存放药粒要保温,以便连续均匀地顺着导管加入到螺压机中。双基火药螺压机由螺杆、机体和传动装置组成,其结构如图 6-17 所示。

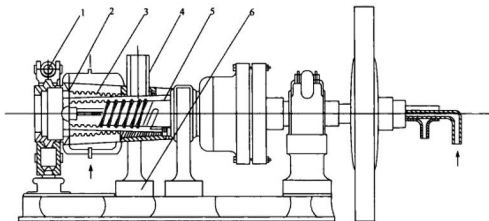


图 6-17 螺压机结构示意图

1—夹头;2—机体;3—钢套;4—加料斗;5—螺杆;6—机座

表征螺压机性能的主要参数有螺杆直径、长径比(螺杆工作部分的长度与螺杆直径之比)、螺杆转速范围、压缩比(第一个螺槽容积与最后一个螺槽容积之比)、螺杆与机筒之间的间隙、螺旋升角等。用于双基火药的螺压机与塑料用螺压机其结构特点不完全一样,见表 6-21。由表看出,双基火药用螺压机比塑料用螺压机螺杆直径大、长径比小、压缩比小、转速范围小和间隙大。这些结构特点是由双基火药药料的性质所决定的。

表 6-21 双基火药与塑料用螺压机的简要比较

名 称	长径比	压缩比	螺杆转速/($r \cdot \min^{-1}$)	间隙/mm
双基药螺压机	3.9~5	2.1 左右	2~5	0.3~1.0
塑料螺压机	15~25	3 左右	100 左右	0.1~0.3

双基火药药料是硝化纤维素-硝化甘油体系的高聚物溶液。在螺压成型前已经压延成为基本塑化的药料,且具有一定的温度。在螺杆长径比较小的情况下,双基药料在螺压机中能够完成物理状态的变化和流变特性变化的要求。另外,双基药料具有燃烧爆炸的性质,所以应防止局部温度过高引起药料分解,防止撞击、摩擦以避免引起火花而发生燃烧爆炸事故。为此,

采用低转速、较大间隙、机筒内衬套有软金属、机筒和机头上分别设置有防爆口和剪力环等措施,采用锥形螺杆有利于间隙的调整和在长径比较小的情况下压缩比的实现。表 6-22 列出了几种常用的双基药螺压机的性能参数。

表 6-22 几种常用双基药螺压机性能参数

结构参数	规格	φ80	φ95	φ180
螺压直径/mm		80	95	180
螺杆长径比		5/1	4.7/1	3.91/1
间隙/mm		0.2~0.5	0.2~0.5	0.3~0.8
最大与最小间隙/mm		≥0.1	≥0.1	≥0.3
螺杆转速/(r·min ⁻¹)		2~5	1~5	2~5
螺压机产量/(kg·h ⁻¹)		39	98	370
功率/kW		4.5	3.7	17

机筒是螺压机的重要部件,药料在螺杆与机筒的螺压作用下,才可发生物理状态的变化便于成型。机筒由两层组成,外层由耐温耐压强度较高的钢制成,内层由铜制成铜套。外层上设有防爆口,以利于安全生产。内层机筒内表面开有一定数量和深度的纵向沟槽,增加切向摩擦力,使药料有较大的轴向移动。

螺杆是螺压机的核心部件,它关系到药料在螺杆中的运动情况和物理状态的变化程度,决定着螺压机的生产率。螺杆的结构参数如图 6-18 所示。

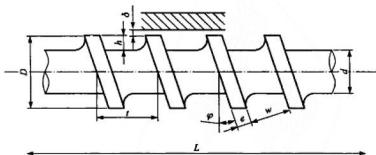


图 6-18 螺杆结构参数图

D —螺杆外径; d —螺杆根径; t —螺距; w —螺槽宽度; e —螺纹宽度;
 h —螺槽深度; φ —螺角; L —螺杆长度; δ —间隙

双基药料沿螺杆前移时,经历着温度、压力、黏度等的变化。这种变化在螺杆全长范围内是不相同的,根据药料的变化特征可将螺杆分为喂料段、过渡段和均化段,如图 6-19 所示。

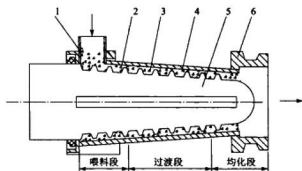


图 6-19 药料在螺杆上分段示意图

1—加料口；2—机筒；3—药料颗粒；
4—塑化药料；5—螺杆；6—机头

喂料段是将颗粒状的药料从加料口加入，由于螺杆有一定的压缩比，药料每前进一个螺槽，均被压缩，这样药粒与药粒之间的间隙逐渐减小，以至消失。在此过程中，药料被压实，药粒间的空气返回料斗被排走。药料压实的过程，也就是压力逐渐升高的过程。喂料段越长，产生向前推进的压力就越大。喂料段的另一个作用是将药料按供料要求的速率沿螺杆向前输送。

过渡段是药料在热和剪切应力的作用下，药粒开始塑化，塑化药料在螺槽中流动并将未塑化的药粒黏结在一起，形成固体床。固体床在前进时，继续在温度和压力的作用下，发生物理状态的转变，塑化药料逐渐增多，未塑化药料逐渐减少，最后药粒间的界面完全消失，固体床消失。塑化药料按一定的速率向均化段输送。

均化段是完全塑化的药料，在均化段流动，进一步混合，成为塑化均匀的具有一定流变特性的熔体，在压力的作用下，定量向模具输送药料。对于不同品号的双基火药，其各段是不相同的，有的较长，有的较短，可通过调节工艺参数使药料性质适应螺杆的挤压力作用。

5. 螺压成型工艺的控制与调节

对于不同配方的双基火药螺压成型，其工艺条件是不同的，控制的工艺参数有转速、电流、电压、药料的温度和螺压机与模具各部位的温度。简言之，工艺条件主要是指螺压机的压力和温度。通过控制、调节压力和各处的温度，不但能达到安全压伸的目的，而且为一机生产多品号双基火药创造了条件，即不用频繁更换（有时更换螺杆是必要的）螺杆，用同一结构参数的螺杆生产多种品号火药。

(1) 压力对压伸的影响。螺压机的压力通常是指机头压力，在螺压中往往需要控制机头压力来保证压伸质量和产量。影响机头压力的因素很多，主要有药料的性质、工艺温度、螺杆转速、设备情况等。双基火药螺压成型所需控制的工艺温度有药料温度（入药料）、机体温度、螺杆温度、前锥温度、后锥温度、成型体温度、针及针架温度等。药料的性质对机头压力有较大影响。表观黏度小的药料其机头压力小，反之则机头压力大。

机头压力与工艺温度密切相关，实际上是与表观黏度有关，黏度与温度的关系符合阿累尼乌斯方程。药料机头压力与工艺温度的关系见表 6-23。

表 6-23 工艺温度对机头压力的影响

序号	螺杆温度 /℃	机体温度 /℃	前锥温度 /℃	后锥温度 /℃	成型体温度 /℃	机头压力 /MPa
1	85	75	85	85	85	12.1
2	78	73	78	78	78	16.2
3	70	66	71	70	71	18.9

螺杆转速是通过调节直流电机的电压和电流而实现的。对于某种双基推进剂的压伸,当螺杆的转速调整至 4 r/min 时,机头压力为 18 MPa;当转速为 2 r/min 时,机头压力下降至 15 MPa。显然,螺杆转速增加,实际上是增加了剪切应力或剪切速率,使机头压力升高。值得注意的是,对于热敏感药料,提高转速会造成强烈的混合、剪切和摩擦,致使物料有较高的温升,有可能造成螺杆旋转而物料不动的所谓“打滑”现象,这是十分危险的。螺杆的结构对机头压力也是有影响的,主要是螺槽深度不同,影响其压缩比。压缩比大,机头压力大,反之亦然。

(2) 温度对压伸的影响。控制与调节工艺温度的目的是提高螺旋机的产量,对药温、螺杆温度、机体温度、前锥温度、后锥温度、成型体温度、针及针架温度要控制得当。在正常情况下,机体温度为 60~80℃,螺杆温度为 65~85℃,前锥、后锥温度为 65~85℃,成型体温度为 65~85℃,针及针架温度为 60~80℃。试验研究表明,螺杆温度主要影响药料温度,即螺杆温度高,药温就高,而药温又对机头压力产生较大影响。由表 6-24 看出,当药温降低 10℃ 时,机头压力增加了 35%,其效果十分明显。

表 6-24 药温对机头压力的影响

药温/℃	70	60
机头压力/MPa	16.7	22.6

研究表明,在诸多的工艺温度中,影响螺旋机产量的主要因素是机体温度。机体温度的降低,实际上增加了药料与机体的摩擦系数,有利于提高产量。在保证顺利压伸的情况下,总是希望提高螺旋机的产量,其工艺措施主要是降低机体的温度,降低加料的温度,增大机头压力,提高螺杆的温度。这些措施根据不同的双基火药,其程度有所不同,不能死搬硬套。

6. 成型药柱的处理

成型药柱的处理是对药柱尺寸、外观、质量等进一步处理,以满足火药的弹道性能要求。不同的双基火药,其处理的工序或方法不同。由于双基管状、粒状发射药尺寸较小,成型后需经搓药、切药、晾药、挑选、混同和包装。对于尺寸较大的推进剂,切药后还需晾药、选药、探伤、包覆、组批或装配、装箱等工序。

(1) 切药。切药是将成型的药柱(条)切成一定长度的药条(粒)或药柱。切药工序是在与压伸相邻的工房内进行的,并有防爆墙隔开。切药由切药机来进行,连续生产中采用气动的药

柱切药机,在很短的时间迅速地将药柱切断。

(2) 晾药。切断后的药柱温度仍较高,要使药温降到常温,需要放置一段时间称为晾药。在晾药过程中,对加工的药柱尺寸进行检查,将超差的药柱或外观有严重缺陷的药柱挑选出来。

(3) 探伤。对大型药柱或要求严格的药柱要进行探伤。用超声波法、X射线法或CT等对药柱质量或包覆层质量进行探伤,查明缺陷及其范围,使之符合产品要求。

(4) 选药。对于有包覆层的双基推进剂产品,将挑选合格的药料在将包覆的有关部位(如有的为端面包覆层,有的为圆顶包覆)在圆车上药,车成一定形状的尺寸,或者根据产品形状尺寸要求车成合格的推进剂药柱。

(5) 包覆。对于有包覆层的推进剂,根据包覆层要求,采用不同的包覆材料和包覆工艺进行包覆。有的还要求对包覆质量进行探伤检查。

(6) 混同。对于双基发射药,为使总批的物理性质均匀一致,须将若干小批进行混同。对于不同尺寸的药柱,且又装在同一机内的两根或两根以上的药柱,要进行装配,并按有关的产品标准及要求装在一定的箱子内。

三、浇铸工艺

双基火药除了压伸成型工艺外,还有浇铸工艺,特别是对双基推进剂和改性双基推进剂,主要应用浇铸工艺。

1. 浇铸工艺流程

双基推进剂及改性双基推进剂浇铸工艺分为充隙浇铸工艺和配浆浇铸工艺。这两种工艺差别很大,但从工艺过程来看,都包括造粒、混合、浇铸及固化等几个过程。

(1) 造粒。疏松状的硝化纤维素与硝化甘油或其他混合溶剂直接混合时,由于溶解速度很快,接触部分立即形成黏度很大的溶胶,该层溶胶的存在阻止溶剂对内部硝化纤维素的溶解,形成不均匀溶解,物料无法加工。为使硝化纤维素与溶剂均匀混合,要控制其溶解速度。采取的办法是将硝化纤维素制成致密的颗粒,与溶剂缓慢溶解,得到合适的黏度,成为均匀塑化的推进剂。

造粒有两种方法,其一是机械造粒工艺,将硝化纤维素用类似生产单基火药的方法制备成浇铸药粒,该药粒是长度与直径各约为1 mm的小圆柱。其二是球形药工艺,根据用途制成从几微米到几百微米的球形药。这两种药粒都是预塑化好了的,含有一定量的溶剂。有的还将多组分固体高能炸药添加到药粒内,用于充隙浇铸工艺。对于配浆浇铸工艺,为提高浇铸过程的流变性,也常常将若干组分加到球形药中。

(2) 混合和浇铸。两种工艺都是将推进剂各组分均匀混合及浇铸于模具和发动机中。对于充隙浇铸工艺,混合与浇铸是同时进行的,即是将液相组分及溶于液相组分的混合溶剂充满于模具内的药粒空隙之中。对于配浆浇铸工艺,混合与浇铸是两个过程,混合是由配浆过程完