

晶变点,而且还改善了硝酸铵晶体之间的连接方式。此外,表面活性剂和复合燃料油可以在硝酸铵表面形成一层憎水薄层,有效地阻止了外界水分子与硝酸铵的接触。

⑤ 具有优良的爆炸性能,膨化硝酸铵炸药的爆速、猛度和做功能力等主要性能指标均相当于相应的铵梯炸药,而且产品质量稳定、贮存性能好。

⑥ 生产过程简化,生产效率高。

5.5.1 膨化硝酸铵及膨化硝酸铵炸药的主要性能

一、膨化硝酸铵的性能

膨化硝酸铵是一种具有白色、含有大量微气孔的膨松片状晶体结构的物质。由于膨化硝酸铵的晶体结构中包含了大量的微气泡,微孔体积和微气泡数量大约是普通硝酸铵的两倍,有效微气泡的数量为 $10^{16} \sim 10^{17} \text{个} \cdot \text{g}^{-1}$,直径在 $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{cm}$ 之间,极易形成“热点”,使硝酸铵获得良好的起爆感度。由于表面活性剂均匀分散在硝酸铵颗粒的内外表面,有效地阻止了外界水分子与硝酸铵的接触,同时也改善了硝酸铵晶体之间的连接方式,使膨化硝酸铵的物理性能显著改善,晶变点变为 $42 \sim 45^\circ\text{C}$,吸湿速度减慢,结块强度降低。膨化硝酸铵与工业硝酸铵的爆炸性能对比见表 5-15。

表 5-15 膨化硝酸铵与工业硝酸铵的爆炸性能对比

爆炸性能	膨化硝酸铵	普通硝酸铵
火焰感度/%	0	0
爆发点(5 s)/ $^\circ\text{C}$	458	465
撞击感度/%	0	0
摩擦感度/%	0	0
8# 雷管起爆	膨化剂质量分数 $< 0.12\%$ 时起爆率 17%	有时可被起爆
爆速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 780	1 100~2 700
猛度/mm	1.0	1.2~2.0
铅块扩孔值/mL	189	180
TNT 当量	0.66	0.63

由表可见,由于膨化硝酸铵比表面积大,有助于油相的吸附和稳定,因此特别有利于爆炸反应的加速;其次,膨化硝酸铵的危险感度(热感度、火焰感度、撞击感度、摩擦感度等)与普通硝酸铵相比,具有相同量级或稍有增高的趋势,但变化幅度不大,可以认为两者仍属于相同级别。

二、膨化硝酸铵炸药的性能

1. 膨化硝酸铵炸药的物理性能

膨化硝酸铵炸药的物理特性与普通硝酸铵炸药相比有较大区别,主要表现在吸湿性、结块性和稳定性等方面。由于膨化硝酸铵晶粒的外表面和内表面都均匀分散了一层极薄的表面活性剂分子层,使得硝酸铵的强极性表面的活性降低。也就是说,有效地降低了硝酸铵分子对外界极性水分子和硝酸铵分子间的吸引力。同时,由于表面活性剂分子的“掺杂”作用,内部的分子间结合和排列也有所改变,结合作用的结果是使硝酸铵的晶变特性、吸湿性和结块性发生了明显的改善和降低;另一方面,由于膨化硝酸铵炸药组成中含有非极性的有机燃料油分子和膨松、枝状的木质纤维分子,使体系的吸湿性和结块性得到进一步改善。研究表明膨化硝酸铵的吸湿速度比普通硝酸铵的慢 50% 以上,而膨化硝酸铵炸药的吸湿速度比膨化硝酸铵的降低 20%~40%,比粉状铵梯减低 60% 以上;膨化硝酸铵的结块强度只有普通硝酸铵的 10% 左右;膨化硝酸铵炸药的结块强度比膨化硝酸铵的明显降低,只有铵梯炸药结块强度的 11%~14%。

由于自敏化膨化硝酸铵具有较低的吸湿性和良好的抗结块性,因此膨化硝酸铵炸药必然会具有良好的贮存性能。样品经长期贮存,基本不结块、不变形,松散如初,爆炸性能也基本不变。

不过,值得注意的是从膨化硝酸铵的表面特性来看,由于膨化硝酸铵具有多气隙、多微孔、“断裂面”、大比表面积等特点,使膨化硝酸铵的抗水性低于普通硝酸铵。但是,对于膨化硝酸铵炸药来说,由于体系中含有一定量的憎水性燃料油,这就使得抗水性能大大提高,可以达到或接近含有 10% 梯恩梯的粉状铵梯炸药的水平。

2. 膨化硝酸铵炸药的结构特点

在膨化硝酸铵炸药中,膨化硝酸铵具有比表面积大、微气泡多、裂隙多和表面活性剂层等特点。

复合燃料油以柴油和石蜡为主要成分,根据不同季节和使用场合调制而成,其熔点一般在 30~50℃。因此,即使在较低的混合温度下,燃料油也可以呈液态而分散和渗透于膨化硝酸铵的内、外表面。从分子间的角度考虑,这一过程是自发的,提供适当的外界热量可促使这一过程的加速。分散和渗透于膨化硝酸铵晶体内外的燃料油分子,借助于表面活性剂分子的作用可以稳定地存在于硝酸铵晶体表面。所以,膨化硝酸铵与复合燃料油的分散和结合的程度接近于分子间的分散和结合。其次,复合燃料油渗透到膨化硝酸铵晶粒的“气隙”和“裂隙”内部还有一个至关重要的作用,它可以堵塞或包围这些“气道”,形成新的“热点”。毛细现象使燃料油沿“气隙”和“裂隙”的内壁上升,到一定高度时相对稳定,留下一个相对密闭的“气室”。只要大小合适,在受到外界能量作用时这些“气室”就会受到压缩而起到敏化气泡的作用,这就是为什么膨化硝酸铵与燃料油混合后就具有雷管感度和良好爆炸性能的原因。

木粉是一种多孔性、纤维状、疏松的固体可燃剂,它的孔径多分布在 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ cm,这一规格的微孔恰好可以容纳硝酸铵的微细粒子,使它停留和稳定在木粉的“孔道”中。这种状况

不但使混合均匀性提高,有利于氧化剂与可燃剂的分子间结合和作用,而且实际上也形成了新的“热点”。再加上燃料油作用的介入,就形成了高度分散、有效结合、适当敏化的爆炸性混合体系。所以,对于膨化硝酸铵炸药来说,“微粉”的存在是至关重要的。曾经用气流方法冷却和输送膨化硝酸铵,由于部分“微粉”的损失,使产品的爆炸性能大大降低。

膨化硝酸铵炸药“均匀分散、稳定结合”的结构特点,决定了膨化硝酸铵炸药具有高度的混合均匀性和物理稳定性。

3. 膨化硝酸铵炸药的爆炸性能

岩石膨化硝酸铵炸药与常用工业炸药的主要爆炸性能对比见表5-16。

表5-16 岩石膨化硝酸铵炸药与其他常用工业炸药主要性能对比

项 目	岩石膨化硝酸铵炸药	粉状铵梯炸药	乳化炸药	多粒粒状铵油炸药
爆速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	3 400~3 800	3 000~3 400	3 300~4 900	3 000~3 200
做功能力/mL	330~380	320~350	270~300	290~310
猛度/mm	14~17	12~15	12~17	4~5
殉爆距离/cm	4~9	6~12	5~9	0
临界直径/mm	12~15	20~22	15~20	50~70
冲击敏感度/cm	21.0	24.3	21.0	0
雷管起爆感度/发	1	1	1	3~7
撞击感度/%	0~4	20	8~12	0
摩擦感度/%	0~4	20~24	8~20	0
装药密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0.85~1.00	0.95~1.00	0.90~1.20	0.78~0.88

从表5-16我们可以看到,尽管膨化硝酸铵炸药的组成中未含有炸药类敏化剂,但它却具有优良的爆炸性能,其爆速、猛度和做功能力等主要性能指标均相当于相应的铵梯炸药,机械感度也低于铵梯炸药,而且由于膨化硝酸铵的雷管感度是可调节的,进而可以根据需要调节膨化硝酸铵炸药的爆炸性能。

5.5.2 膨化硝酸铵炸药的生产工艺

膨化硝酸铵炸药的制造与普通工业粉状铵梯炸药的制造基本相同,主要包括原材料的加工和制备、各组分的混合以及装药和包装等过程,区别主要是膨化硝酸铵的制备和复合油相的配制。

一、原材料的加工和制备

膨化硝酸铵炸药原材料的加工和制备包括膨化硝酸铵的制备、木粉的干燥粉碎以及复合油相的制备等。其中木粉的干燥粉碎过程在铵梯炸药部分已有介绍,故此不再赘述,本小节主要介绍膨化硝酸铵的制备和复合油相的配制。

1. 膨化硝酸铵的制备

膨化硝酸铵是制造膨化硝酸铵炸药的主要原材料,所以膨化硝酸铵的制备是膨化硝酸铵炸药生产的技术核心,也是最关键和最重要的工艺过程。大量实验研究表明,借助复合表面活性剂的作用,在接近真空的环境和适当的温度下,使硝酸铵“沸腾”,水分快速逸出,晶体快速结晶,结果在硝酸铵晶粒内部形成大量的“微气泡”,在外部形成极不规则的“活性表面”,即膨化硝酸铵,这就是硝酸铵膨化的基本原理。

实际生产中,硝酸铵的膨化是指硝酸铵溶液在表面活性剂控制和减压强制共同作用下的快速结晶过程,因此,膨化的本质是一个物理化学过程。但是,从总工艺过程来说它是物理操作工序的组合即破碎、溶解和析晶。膨化硝酸铵的制造工艺流程如图 5-16 所示。

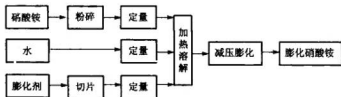


图 5-16 膨化硝酸铵制造工艺流程示意图

由此可见,膨化硝酸铵的制备工艺主要包括硝酸铵的破碎、溶解和膨化等过程。

(1) 硝酸铵的破碎。硝酸铵的破碎方法及设备前面已介绍,在此不赘述。

(2) 硝酸铵的溶解。硝酸铵的溶解是在带锚式搅拌桨的溶解机中进行的。其溶解工艺主要是在搅拌条件下将已破碎并计量的硝酸铵分次加入溶解机中,同时加入一定质量的水和膨化剂(质量分数为 0.12%~0.15%),用蒸汽加热。当溶液的温度为 110~140℃,硝酸铵的溶解过程结束。

(3) 硝酸铵的膨化。硝酸铵的膨化是指硝酸铵溶液借助表面活性剂的作用,在减压条件下的快速结晶过程。硝酸铵的膨化过程是在专用的膨化结晶机中完成的。根据膨化工艺过程的特性和膨化设备的不同,硝酸铵的膨化工艺可以分为间断膨化工艺和连续膨化工艺。

① 间断膨化工艺。硝酸铵的间断膨化工艺分为立式膨化工艺和卧式膨化工艺。两者的膨化工艺参数是相同的,所不同的是硝酸铵膨化结晶机的结构和膨化结晶机每次处理膨化硝酸铵的质量。其中立式膨化结晶机(图 5-17)每次处理膨化硝酸铵的质量为 400~450 kg,卧式膨化结晶机(图 5-18)每次处理硝酸铵的质量为 300~350 kg。

相同的膨化工艺参数为:吸料时的压力为 -0.085~-0.095 MPa,硝酸铵溶液的温度为 110~140℃,从吸料结束至膨化结束的膨化时间为 10~12 min,膨化结束时的压力应小于 -0.090 MPa。

② 连续膨化工艺。连续膨化工艺所用的膨化设备为连续膨化结晶机,图 5-19 为连续膨化结晶机结构示意图。该工艺的特点是连续将 110~140℃的硝酸铵溶液吸入连续膨化结晶机内的专用膨化盘上,专用膨化盘可转动,在转动的同时将专用膨化盘上已膨化好的硝酸铵铲

入料仓中,进入料仓的膨化硝酸铵将进一步干燥。当贮存膨化硝酸铵的料仓填满后,膨化硝酸铵出料,此时专用膨化盘上的膨化硝酸铵被铲入另一贮料仓,两贮料仓交替出料。在这些过程中,连续膨化设备应始终保持较高的真空度,设备内的压力始终小于 -0.090 MPa 。

2. 复合油相的制备

以岩石膨化硝酸铵炸药为例,其复合油相主要是由柴油、石蜡、复合蜡和(或)表面活性剂等原料组成。在进行复合油相配制时应符合以下工艺条件。

① 组成:柴油:50%~70%,石蜡或复合蜡:30%~50%,表面活性剂 0%~5%;

② 复合油相配制温度:60~80℃;

③ 复合油相保温温度:50~60℃

复合油相的配制应在带有夹套搅

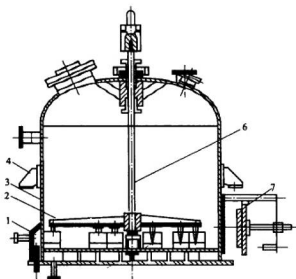


图 5-17 立式膨化结晶机结构

1—保温夹套;2—出料搅拌装置;3—罐体;4—支座;

5—人孔;6—主轴;7—出料门

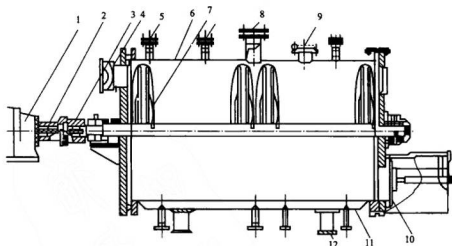


图 5-18 卧式膨化结晶机结构

1—电机;2—联轴器;3—主轴;4—防爆片;5—进口口;6—罐体;

7—出料螺旋片;8—真空管口;9—视孔;10—出料门;11—保温夹套;12—支座

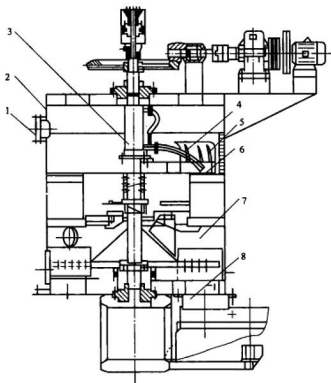


图 5-19 连续膨化结晶机结构

- 1—真空管；2—壳体；3—主轴；4—进料口；5—出料刮板；
6—膨化底板；7—底部料斗；8—出料口

拌装置的专用熔化罐中进行。熔解的顺序是先加入较难熔的石蜡或复合蜡、表面活性剂，待它们完全熔化后再加入柴油搅拌均匀。

二、各组分的混合

膨化硝铵炸药各组分的混合包含了固-固混合和固-液混合。为保证各组分混合均匀，必须采用混合效率良好的设备。目前，膨化硝铵炸药的混合工序常选用的设备有轮碾机、锥形螺旋混药机和螺旋片式连续混合设备等。这几种混合设备各有优缺点：轮碾机混合设备简单，兼有碾压、摩擦、搅拌等多种功能，产品质量优良，但生产效率低，劳动条件差；锥形混合螺旋机的优点是生产效率高，但其生产过程仍是间断的，而且没有碾压等作用，混合效果低于轮碾机，其结构示意图如图 5-20 所示；螺旋片式混合器的最大优点是混合过程连续，生产效率高，操作简单，过程稳定，生产成本低，质量稳定，其主要缺点仍是缺少碾压作用，产品质量略低于轮碾

机。图 5-21 为连续混药工艺流程示意图。

无论何种混合设备,混合工艺的工艺条件都是相似的。其中,投料顺序为先将膨化硝酸铵与木粉混合,然后再加入油相材料,最后加入其他配料;混合温度一般为 $50\sim 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ (料温);混合时间为 $15\sim 25\text{ min}$ 。

三、装药和包装

膨化硝酸炸药的装药设备与铵梯炸药的装药设备基本相同,产品包装规格也相同。图 5-22、图 5-23 为某公司的中包自动化生产线方案,可完成药卷对齐、喷蜡定型、中包装袋、热合封口、空箱成型、叠层装箱、封箱捆扎等连续过程。

图 5-24 为我国某化工厂的 AHPACK 自动中包装线,它包括药筒自动蘸蜡、预成型、开袋、装袋、抽真空热合等工作,具有连续化、自动化的特点。

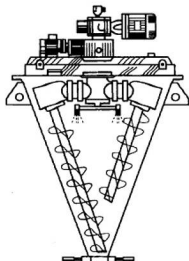


图 5-20 间断锥形螺旋混药机结构

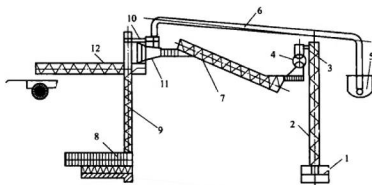


图 5-21 连续混药工艺流程

- 1—膨化硝酸铵进口口;2—膨化硝酸铵输送螺旋;3—膨化硝酸铵定量螺旋;4—粉碎机;
5—油相保温罐;6—输油管;7—粉碎膨化硝酸铵输送螺旋;8—木粉干燥螺旋
9—木粉输送螺旋;10—木粉定量螺旋;11—预混器;12—混药螺旋

5.5.3 膨化硝酸炸药的提高和发展

尽管膨化硝酸炸药具有上述优点,但仍需在以下几方面进一步改进和提高。

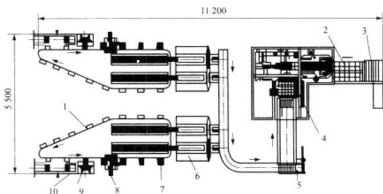


图 5-22 RT 型炸药中包自动化生产线方案 1

- 1—环形送药输送装置;2—翻箱装置;3—捆扎机;
4—装箱机(取箱、开箱、装箱、放说明书、封箱);5—中包输送机;6—中包机(制袋、装袋、抽真空、封口);
7—收箱装置;8—捆扎装置;9—灌蜡装置;10—辅助输送机

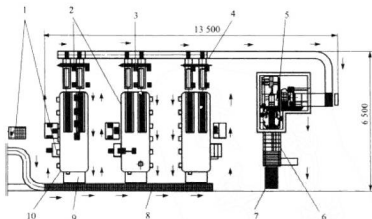
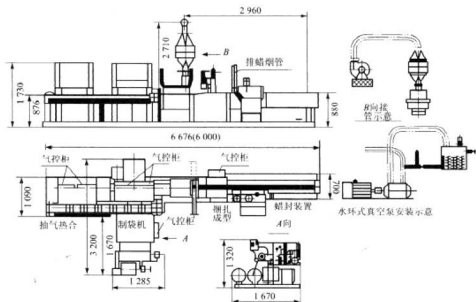


图 5-23 RT 型炸药自动化中包生产箱生产线方案 2

- 1—灌蜡装置;2—收箱捆扎装置;3—中包机(制袋、装袋、抽真空、封口);4—中包输送机;
5—装箱机(取箱、开箱、装箱、放说明书、封箱);6—翻箱装置;7—捆扎机;8—输送机;9—上卡装置;10—环形药卷输送机



- 说明: 1. 设备总长 $A=6676$ mm 为粉状炸药中包机;
 2. 设备总长 $A=6000$ mm 为乳化炸药中包机;
 3. 乳化炸药中包机无蜡封装置;
 4. 主体设备不包含送风、抽气设备。

图 3-24 AHPACK 2000 型自动中包生产线

一、提高装药密度

膨化硝酸铵炸药的密度一般为 $0.85 \sim 1.00 \text{ g/cm}^3$, 但高密度产品只达 1.10 g/cm^3 , 还有待提高, 以改善炮孔利用率和爆破效果。改进膨化剂、优化膨化过程、适当增大装药压力以及采用混合硝酸铵(即其中结晶硝酸铵的质量分数占 20%), 均有助于增大装药密度。

二、改善流散性

由于膨化硝酸铵的晶粒缺陷、晶粒表面存在的膨化剂以及油相材料的使用, 增大了膨化硝酸铵炸药颗粒间的黏附性, 使其流散性下降。为了提高装药效率, 有必要改善药粒的流散性。适当提高晶体密度、掺入少量球形粒子、采用高熔点的油相材料使其在室温状态下的“黏性”最小、控制硝酸铵的膨化过程使有效微气泡增多, 都有利于改善膨化硝酸铵的流散性。

三、降低吸湿性和提高抗水性

尽管膨化硝酸铵颗粒的表面包覆层能有效降低硝酸铵的吸湿性, 但由于硝酸铵膨化后比

表面积增大,颗粒中存在断裂面,故其吸湿性仍较明显。同时,膨化硝酸铵颗粒中存在的孔隙和空洞,使膨化硝酸铵炸药的抗水性较差。在降低吸湿性和改善抗水性方面,膨化硝酸铵炸药均有待提高。降低吸湿性的有效途径之一是采用由表面活性剂和扩散剂组成的复合膨化剂,借助扩散剂的作用,使硝酸铵“新生断裂面”上的表面活性剂很快扩散,以提高包覆效果。而在膨化硝酸铵炸药中加入适量乳化炸药或乳胶基质,改善药卷包装材料及其质量,则可望提高炸药的抗水性。

四、产品进一步系列化和生产现代化

如前所述,膨化硝酸铵炸药已形成了多种型号产品,但为了满足不同用途和不同用户的需求,产品系列化仍有很大的发展空间。表5-17为几种主要膨化硝酸铵炸药的组成及性能。

表5-17 几种主要膨化硝酸铵炸药的组成及性能

项目	岩石膨化硝酸铵炸药	煤矿许用膨化硝酸铵炸药		震源药柱膨化硝酸铵炸药		
		2号	3号	高密度	中密度	低度
配方/%						
硝酸铵	92±2.0	86±2.0	0.83±2.0	77.5±2.5	86.0±0.5	87.5±2.5
木粉	4±1.0	3.5±0.5	3.5±0.5	1.5±0.5	2.5±0.5	4.0±0.5
燃料油	4±1.0	3.5±0.5	3.5±0.5	1.5±0.5	1.5±0.5	4.0±0.5
氯化钠		7±1.0	10±1.0			
梯恩梯				20.5±1.5	11.5±1.5	4.5±1.5
物理性能						
装药密度/(g·cm ⁻³)	0.85~1.00	0.88~1.00	0.88~1.00	≥1.10	≥1.0	≥0.85
水质量分数/%	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3
储存期/月	≥6	≥6	≥6	≥24	≥12	≥12
爆炸性能						
爆速/(m·s ⁻¹)	3 300~3 700		≥5 000	≥4 500	≥4 000	
猛度/mm	13~16					
殉爆距离/cm	5~10					
做功能力/mL	330~360					
爆热/(kJ·kg ⁻¹)	3 803	3 062	2 288	4 176	4 132	3 915
爆温/℃	2 757	2 486	2 207			
爆压/GPa	4.954					

5.6 浆状炸药

浆状炸药是由可燃剂和敏化剂分散在氧化剂的饱和水溶液中,经稠化或再经交联后制成的一种水包油型(O/W)悬浮体或凝胶状炸药,是一种含水炸药。浆状炸药主要由氧化剂水溶液、敏化剂、可燃剂、胶凝剂、交联剂以及其他特殊添加剂等组成。

5.6.1 浆状炸药的组成

一、氧化剂

浆状炸药中的氧化剂以硝酸铵为主,质量分数为30%~50%,有的甚至达70%以上,同时还加入硝酸钠、硝酸钙等辅助氧化剂。硝酸铵主要是溶解和悬浮于溶剂中,故对其形状、粒度一般没有特殊要求,可根据实际情况选用结晶状、粉状、粒状、多孔粒状。硝酸钠是在浆状炸药中被广泛采用的一种辅助氧化剂,其用量一般约占炸药总量的10%~20%。

二、水

水是浆状炸药中特有的基本组分,其质量分数一般为炸药总质量的8%~20%。水是影响浆状炸药和水胶炸药爆炸性能的重要因素之一,其质量分数多少不仅影响爆炸性能,而且影响炸药的物理状态、抗水性和耐冻性能等。作为浆状炸药的填充剂,水具有以下优点。

(1) 提高了炸药的密度和爆速。由于炸药的主要组分——硝酸铵、硝酸钠易溶于水,颗粒间的空隙能够充满硝酸盐水溶液,从而使炸药的密度大大提高。在炸药体系中,水与其他组分紧密接触,成为传播爆轰的连续性介质,因而在一定范围内可使炸药的爆速增加。

(2) 使炸药在物理形态上具有流变性,在爆炸性能上具有稳定性。水的存在使这类炸药具有较好的流变性,能密实地填充炮孔空间,提高偶合作用,改善爆破效果。其次,水和胶凝剂、交联剂一起构成具有黏弹性的凝胶体系,使炸药各组分均匀地分散于其中,防止了固液分离,保持炸药性能的相对稳定性。

(3) 使炸药具有抗水性。黏弹性凝胶体具有包覆作用,这种作用既能阻止外部水的渗入,又能防止硝酸铵等可溶性组分向水中扩散或被水过滤。因而,水是使浆状炸药和水胶炸药具有抗水性的重要因素。

(4) 提高了炸药的安全性。水的热容量较大,蒸发时要吸收2557 J/g的蒸发潜热。水使浆状炸药和水胶炸药的敏感度降低,大大提高了炸药的安全性,为这类炸药的现场混制和装药机械化创造了条件。

三、敏化剂

浆状炸药的敏化剂一般可分为以下两类。

1. 炸药型敏化剂

如梯恩梯、黑索金、B炸药、乙二醇、丙二醇和氯丙醇等的硝酸酯等。常用的是梯恩梯。

2. 非炸药型敏化剂

如铝及其合金、镁及其合金等金属粉，常用的是铝粉，有时也可用木质化合物、纤维状浆料。以液态使用的有甲胺、乙二胺、三甲胺、尿素等硝酸盐的水溶液，常用的是甲胺硝酸盐。非金属可燃剂、气泡等作为敏化剂的也称为非炸药敏化剂。非炸药敏化剂的质量分数一般为15%左右。

在浆状炸药以及其他含水炸药中引入敏化气泡的方法有三种：一是加入珍珠岩粉、空心玻璃微球等含有气泡的多孔性物质微粉；二是加入亚硝酸盐等化学发泡剂；三是直接用机械方法将惰性气体如 N_2 、 CO_2 等气体充入并吸留在体系中。引入气泡还可以起到调节含水炸药密度的作用。

一般地，具有水溶性或能与水混合的液体敏化剂比固体敏化剂要好，因为它可以构成混合均匀、便于爆轰波通过的连续的药体结构。其中金属粉尽管是不溶性固体，而且本身黏着性小、密度大，不易分散均匀和保持分散状态，但是极少量的金属粉就可以改善产品性能，所以仍被普遍采用。

四、可燃剂

常用的可燃剂有梯恩梯、铝粉、柴油、煤粉、石蜡和硫磺粉等。随着敏化技术的发展，许多原来只作为可燃剂的物质，在特定的条件下又都可以作为敏化剂。在目前的浆状炸药中，很难将敏化剂与可燃剂严格区别开来，只能相对地区分为敏化性可燃剂与非敏化性可燃剂。

1. 敏化剂型可燃剂

简称敏化剂，如前所述分为炸药类敏化剂和非炸药类敏化剂。

2. 非敏化剂型可燃剂

这一类型的可燃剂来源非常广泛，如煤粉、砂糖、淀粉、木材及纸浆、粉末石蜡、硬沥青、糊精及硫等固体物质；燃料油、苯、甲苯、醇、酮、醛、胺等液体物质。使用液体可燃剂时，应和乳化剂混合，并在加入氧化剂水溶液前增黏成胶状或加入可吸收液体的物质（如木屑）。制成浆状炸药时，敏化气泡可附着于可燃剂（如硝酸铵/硝酸钠/纤维状浆料/水系统中的浆料）上，也可以附着于氧化剂（如硝酸铵/硝酸钠/水系统中的硝酸铵）上。

五、胶凝剂

胶凝剂是指能在氧化剂盐类水溶液中溶胀，使浆状炸药体系形成凝胶的物质，又称稠化剂

或增稠剂。胶凝剂的作用在于使浆状炸药体系胶结或稠化,以获得必要的黏稠性,从而能捕获敏化气泡并使之安定化,同时维持分散了的固体可燃剂及溶解的氧化剂不聚结和沉淀。但胶结必须适当,如果胶结的黏度过低,就不能达到上述目的,且装入炮孔时孔壁的泥砂易混入其中,在有水的地方不能有效地抵抗水的侵蚀;胶结黏度过高,则处理不便,不易泵送,装入炮孔时药包之间会夹入空气或水,影响爆破效果。胶凝剂的胶结稠化能力与胶凝剂的种类、用量及胶结条件有关。

胶凝剂是决定浆状炸药的物理化学性能、流变特性、储存性能、抗水性能乃至爆炸性能的一个重要因素。常用的胶凝剂是一些易在水中或氧化剂饱和水溶液中溶胀水合的天然植物胶(如田菁胶、古尔胶、槐豆胶等),它们的化学组分属于半乳糖甘露聚糖类,一般都不溶于有机溶剂。它们的分子结构中含有较多的羟基,因而对水有很大的亲和作用,在冷水中能吸收数倍于自身体积的水,形成黏度很高的凝胶态溶液。且随着温度的升高黏度显著下降,如果加热时间过长,则会发生降解的断链作用,破坏胶的黏结性。除天然植物胶外,浆状炸药中的胶凝剂还可选用改性纤维素和合成聚合物(如聚丙烯酰胺等)等。

六、交联剂

交联剂是指那些能使胶凝剂分子进一步键合为网状体型结构而形成稳定凝胶的物质。浆状炸药胶凝体系的质量好坏不仅取决于胶凝剂,而且与交联剂的种类、数量和添加时机密切相关。

由于天然植物胶属于半乳糖甘露聚糖类,分子结构中含有许多羟基,它能形成一种较强的氢键的键合活性,能与络合试剂中过渡金属离子发生化学交联作用,形成立体的三维网络体系,呈凝胶结构,这样,使得体系物理安定性大大提高。例如:田菁胶与硼酸钠(俗称硼砂)、重铬酸盐都能发生非常有效的交联反应。因此,浆状炸药常选用硼砂、重铬酸盐等作为交联剂。

七、发泡剂

发泡剂是指本身容易分解或能与其他添加剂发生化学反应而产生气体的物质,常用的有亚硝酸的铵盐、钠盐、钾盐。为了促进胶结以防气泡逸出,有的还需加入极少量的硫脲或三聚氰胺,也可使用过氧化氢加微量碘化钾或过氧化镁,以促进其分解起泡。用醋酸分解碳酸氢钠产生二氧化碳起泡有利于提高浆状炸药的威力。

八、其他添加剂

其他添加剂主要有用来降低炸药冻结温度的抗冻剂(如乙二醇和甲酰胺等),抑制结晶生长或使结晶生长过程发生变化的结晶改性剂(如甲基萘磺酸钠、十二烷基磺酸钠)、控制炸药凝胶体系形成速度的交联抑制剂(如草酸、草酸盐、柠檬酸)、安定剂(如尿素)和增塑剂(如尿素)等。

我国生产的以田菁胶为胶凝剂的浆状炸药通常含硝酸铵 50%~70%、硝酸钠 9%~14%、水 6%~16%、梯恩梯 5%~20%、胶凝剂 0.5%~1.5%、交联剂 0.5%~1.0%、表面活性剂 0.7%~1.0%、尿素 1%~5%、其他 1%~6%，有的品种还加有 2%~4% 的柴油或 1%~5% 的铝粉。

浆状炸药初期产品的特征是以爆炸物作为敏化剂，同时胶凝剂技术也较原始，仅用少量古尔胶胶结。中期产品是以铝粉取代梯恩梯作为可燃剂与敏化剂，同时胶凝技术有了很大发展，即不仅用古尔胶胶结，而且使用硼砂、重铬酸钾使之交联成体型网状结构，增强了体系的稳定性。近期产品是以非金属粉末和脂肪胺的硝酸盐、醇类硝酸脂或乳化油等作为敏化剂，通常还辅以气泡敏化，产品具有较高的起爆感度。与此同时，浆状炸药的生产和使用方式也在不断进步。开始为固定工厂生产的、间断的人工操作，后来改进为机械化、连续化操作，并已发展到某些产品实现了在使用现场混制、立即散装（裸药）装填，且能根据现场地质条件与技术要求随时调整炸药的组成和性能，以充分发挥炸药的作用，提高爆破效率。

5.6.2 浆状炸药的分类与主要品种

一、以安全程度进行分类

以安全程度分类可以分为浆状炸药和浆状爆炸剂两大类。

(1) 浆状炸药就是组成中含有炸药（如梯恩梯、彭托里特、无烟药）作敏化剂的浆状混合物。它应该按照一般炸药的管理法规进行处理。

(2) 浆状爆炸剂即在组成中不以炸药作为敏化剂、用 8 号雷管不能直接起爆的浆状混合物。它不属于一般的炸药之列，在管理法规上要求不是很严，因而便于制造、贮存、运输和使用。另外，它的某些爆炸性能有时与浆状炸药不同。

这种分类法主要在美国使用，其他国家略有不同。例如加拿大把组成中含有炸药敏化剂但对雷管不敏感的混合物也叫做爆炸剂；而欧洲、日本从安全角度出发，仍把爆炸剂当作炸药处理。

本教材中统称为浆状炸药，只是必要时才区分为浆状炸药和浆状爆炸剂。

二、以敏化手段进行分类

1. 炸药敏化浆状炸药

这一类浆状炸药制造技术较简单，产品装药密度可高达 $1.25 \sim 1.55 \text{ g/cm}^3$ ，因此体积威力大，爆速高，适用于深水下和对硬岩进行爆破。它的缺点是一般都需要中继药包起爆，处理猛炸药在安全上要求较严格，所以它在浆状炸药中的地位有日渐削弱的趋势。

2. 铝粉与气泡敏化的浆状炸药

它在爆炸机理上和炸药敏化的浆状炸药不同,需要在体系内稳定存在有一定数量及大小要求的能够形成热点的气泡,因此对制造技术的要求较高。这类产品装药密度不宜太高,体积威力受到一定限制,且铝粉贵,成本较高。但它不含炸药组分,安全性更好,适用于机械化混药和装药,其他性能也可以在较大范围内调整。它是目前应用广泛、颇有前途的一类浆状炸药。

应当指出,现在许多浆状炸药,为了获得更好的爆炸性能,常同时并用几种敏化手段。

三、其他分类方法

根据产品的感度,可分为雷管能直接起爆的与雷管不能直接起爆的两类;根据使用时所允许的药包直径而分为大直径(102 mm 以上)、中直径(44.5~102 mm)和小直径(44.5 mm 以下)三类产品。一种浆状炸药能否被雷管直接起爆,以及是否可以做成小直径装药,是评价其实用特性的重要方面。如果可以,就不仅能用于大直径炮孔的爆破,而且可用于坑道掘进或坑内采矿等井下小孔径爆破,从而就有可能在这些场合取代代那买特。

5.6.3 浆状炸药的性能以及优缺点

浆状炸药的性能取决于配方、制造工艺及爆破时的外界条件(外壳、药卷直径等),一般爆速 4 000~6 000 m/s,爆热 2.5~5.0 MJ/kg,爆压 7.5~12.0 GPa。浆状炸药常用于岩石爆破、涌水炮眼爆破、路障构筑爆破和沟渠开掘等,可在炸药制造厂制造或爆破现场以混装车加工,可采用热法、冷法或半冷法工艺。表 5-18 中列举了我国生产的一些浆状炸药的组成和性能。

表 5-18 几种国产浆状炸药的组成与性能

组成与性质	4 号	5 号	槐 1 号	N10 号	铝 10 号	白云素 1 号
组成/%						
硝酸铵	60	70~71	64~68	56	57	61
硝酸钠			10	10	10	10
水	18	13~17	14~15	12	13	5
梯恩梯	17.5	5.0		10		10
尿素	3.0			3.0	3.0	5
硫黄			4	2.0	2.0	5
亚硝酸钠		0.5~1.0	0.3~0.5	0.2	0.1	0.1
其他	白芨 2.0	白芨 2.4~2.6 表面活性剂 1	槐豆胶 0.6 十二烷基苯磺酸钠 2.5	田氧胶 0.8 表面活性剂 3	田氧胶 0.8 表面活性剂 3	聚丙烯酰胺 3.5 磷酸(85%)0.09

续表

组成与性质	4号	5号	槐1号	N10号	铝10号	白云素1号
		柴油 3~4 硝砂 1.4	柴油 3.5 混合交联剂 0.13~0.22	柴油 2.0 混合交联剂 1	铝粉 10 交联剂 1.1	焦没食子酸 0.02 重铬酸钾 0.1
性能						
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.4~1.55	1.15~1.24	1.05~1.20	1.2~1.3	1.2~1.3	1.1~1.3
爆速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	4 400~5 600	4 500~5 600	3 440~4 100	4 800	4 460	4 800~4 900
氧平衡/%	-5.44	-2.20~5.64	0.121	-4.87	0.37	≈ 0

浆状炸药具有如下优点。

① 感度低,使用安全。浆状炸药对撞击、摩擦、火焰的安全性优于代那买特、铵油炸药,适用于现场机械化混制和装填。对爆轰起爆具有一定的感度,特别是可以制成临界直径 25 mm 以下的对雷管敏感的装药。

② 密度高,体积威力大,可以散装装填,与炮孔壁间隙小,可以大大提高装填密度,所以炮孔压力高,不易引起沟槽效应。

③ 具有良好的抗水性,在有水炮孔中装药后即使存放数周、数月也可以爆炸,并有可能用于有一定水压的海水中。

④ 炮烟少,有利于二次爆破。爆炸气体产物中有毒气体(NO_x , CO)质量分数低,适于井下作业。

⑤ 输送便利,易于机械化操作。

目前尚存在的主要缺点如下。

① 成本较高,这对用量较大的产品来说是很不经济的;

② 制药工艺复杂,技术条件要求较高,产品性能易受多种因素的影响,储存稳定性较差,且不适于低温操作。

由于存在以上缺点,所以浆状炸药的发展受到一定的限制。

5.7 水胶炸药

水胶炸药是以硝酸甲胺为主要敏化剂的含水炸药,亦即由硝酸甲胺、氧化剂、辅助敏化剂、辅助可燃剂、密度调节剂等材料溶解、混合、悬浮于有胶凝剂的水溶液中,再经化学交联而制成的凝胶状含水炸药。水胶炸药是浆状炸药发展和改进的产物,两种炸药的组成(主要敏化剂除外)、成胶机制、形态、性能优缺点及制造工艺都基本相同,差别在于水胶炸药的主要敏化剂不是炸药、金属粉等固态物质,而是水溶性的有机胺盐或有机醇胺盐,所以西方各国的水胶炸药也称为浆状炸药。水胶炸药中常常选用甲胺硝酸盐(也称硝酸甲胺)作敏化剂。硝酸甲胺是水

溶性敏化剂,同时也是可燃剂,由于硝酸甲胺在水胶炸药中呈溶液状态,且能与氧化剂均匀紧密结合,因而有利于爆轰的激发与传播,所以水胶炸药的爆轰感度比一般浆状炸药的高。在水胶炸药生产中,通常使用质量分数为80%左右的硝酸甲胺水溶液,以其制得的水胶炸药的柔性较好,且可以通过改变硝酸甲胺的质量分数和用量来改变炸药的爆速和感度,以适应不同的使用要求。

托威克斯(Tovex 系列)水胶炸药是美国杜邦公司发明的一种新型浆状炸药系列。它的显著特点是采用水溶性的甲胺硝酸盐作敏化剂和可燃剂,同时辅以铝粉、气泡敏化,从而大大改善了产品的性能。Tovex 系列水胶炸药含硝酸铵30%~60%、硝酸钠8%~15%、硝酸甲胺20%~36%、水7%~13%、古尔胶1.0%、其他添加剂2.8%~4.6%,部分品种还含有3%~5%的铝粉。Tovex 系列水胶炸药的密度为1.10~1.25 g/cm³,爆速4 000~5 000 m/s(与炸药组成、药卷直径及外界约束条件有关),爆热3.1~3.5 MJ/kg。中国生产的SHJ 系列水胶炸药的密度0.95~1.25 g/cm³,爆速2 500~3 500 m/s,猛度(铅柱压缩值)10~15 mm,作功能力(铅铸扩孔值)220~340 mL,殉爆距离2~8 cm。

目前水胶炸药有岩石型、露天型和煤矿许用型等品种,主要用于岩石爆破和地质勘探。水胶炸药具有如下优点。

① 撞击、摩擦、火焰感度均较低,因此生产、运输、贮存、使用时安全可靠。

② 具有雷管感度,易于起爆。

③ 长期储存性能好,炸药有效期均在180 d以上。

④ 抗水性强,能量较高,有毒气体质量分数低。水胶炸药的最大缺点是成本较高,我国目前生产使用量较少,年产量2~3万吨,2005年年产量只占工业炸药总产量的1.1%。

表5-19为我国生产的一些水胶炸药的型号和性能。

表5-19 我国某些水胶炸药的型号和性能

型号	SHJ-K1	SHJ-K2	SHJ-L1	SHJ-L2	SHJ-M102	SHJ-M202
密度/(g·cm ⁻³)	1.05~1.25	1.05~1.25	1.05~1.25	1.05~1.25	1.05~1.25	0.95~1.25
殉爆距离/cm	8	8	5	3	5	3
爆速/(m·s ⁻¹)	3 500	3 500	3 200	3 200	3 200	3 000
浸水实验	正常起爆					
猛度/mm	15	14	12	12	12	10
做功能力/mL	340	300	270	270	280	230
有效存储期/月	6~9	6	6	6	6	6
适用范围	坑道中 坚硬岩石爆破	坑道中 硬岩石爆破	中硬岩石 露天爆破	露天松动爆破	低沼气矿井	高沼气矿井

5.8 乳化炸药

乳化炸药泛指一类用乳化技术制备的油包水(W/O)乳胶型抗水工业炸药。它是以氧化剂水溶液的微细液滴为分散相,悬浮在含有分散气泡或空心玻璃微球或其他多孔性材料的似油物质构成的连续介质中,由此形成的一种油包水型的特殊乳状液体系,也属于含水炸药。国内主要乳化炸药配方见表5-20。

表5-20 国内乳化炸药配方

%

乳化炸药 配方	EL102	EL105	RJ-13	RJ-52	岩石型	煤矿型	WR(M)
	北京矿冶院		长沙矿山院		阜新十二厂		武钢所
硝酸铵	56.5~73.5	42.7~58.5	58.0~61.3	64~67.3	55~70	55~65	50~70
硝酸钠	10~15	8~12	10.0	12.0	10~16	10~15	10~15
硝酸甲胺		15~25	12~25				
尿素	1.0~2.5	1.0~2.5	3	3			2~4
水	8~12	8~10	10~13	14	8~13	8~13	10~13
乳化剂	0.5~1.5	0.5~1.5	1.0	1.0~1.5	0.8~1.2	0.8~1.2	0.8~2.0
促进剂或 稳定剂	0.1~0.3	0.1~0.3	0.5~1.0	0.3~0.5	1~3	0.8~1.2	
油	1~2	0.5~1.0	1.0	1.25	4~6	3~5	1~2
蜡	2~3	2.5~3.5	3.0	3.75			2~3
铝粉	1~3	0.5~1.0				1~5	
消焰剂						5~10	

一般认为,乳化炸药集中了铵油炸药、浆状炸药和水胶炸药的优点,在一定程度上克服或消除了它们的不足之处,所以乳化炸药自问世以来,发展很快。我国从20世纪70年代末期开始研制,目前生产厂家已遍布全国各地,且生产技术、工装设备也有很大发展,乳化炸药的品种也日益增多。

乳化炸药具备下列优点:

- ① 生产工艺简单,操作简便。
- ② 炸药组成中不含有毒物质,对环境污染小。
- ③ 生产原料来源广泛,成本低廉。

④ 安全性能较好,炸药配方中不含任何爆炸性敏化物质,成品的机械感度、热感度等危险感度低,在生产、储存、运输及使用过程中比较安全。

⑤ 猛度和威力的变化范围较大,可以按照要求调节炸药的组成和密度,以适应不同爆破目的的要求。

⑥ 具有较强的抗水性能。

5.8.1 乳化炸药的组成

一般地,构成乳化炸药的组分可以概括为三相四种,即形成连续相的可燃剂(油相材料)、形成分散相的氧化剂水溶液、形成第三相的密度调节剂、油包水型乳化剂和一些添加剂。

一、形成分散乳化相的无机盐水溶液

形成乳化炸药分散乳化相(也称分散相、内相或水相)的氧化剂水溶液是制备乳化炸药的基础组分,也是乳化炸药中质量分数最大的组分,约占乳化炸药总量的90%左右,在乳化炸药中起着非常重要的作用。通常使用的氧化剂是硝酸铵,其他氧化剂盐类如硝酸钠、硝酸钙、氯酸盐和高氯酸盐等作为辅助氧化剂,与硝酸铵一起构成混合氧化剂。最常选用的辅助氧化剂为硝酸钠,加入硝酸钠的主要目的是增大溶解度,降低氧化剂水溶液的析晶点。硝酸铵、硝酸钠的加入量与炸药配方有关,硝酸铵一般为45%~70%,硝酸钠为8%~20%。水的质量分数对乳化炸药的密度和炸药性能有显著的影响,一般控制在8%~16%范围内。

形成乳化炸药分散相(水相)的氧化剂水溶液在乳化炸药中主要起到以下三个作用。

(1) 由于氧化剂硝酸铵、硝酸钠、高氯酸钠等在水中的溶解度很大,因此氧化剂水溶液的密度比较大。乳化炸药的密度为 $1.05\sim 1.35\text{ g/cm}^3$,而粉状硝酸铵炸药的密度为 $0.8\sim 1.10\text{ g/cm}^3$,由此可见,乳化炸药的密度大于粉状硝酸铵炸药,即它的能量密度比粉状硝酸铵炸药的大。

(2) 乳化炸药中,分散相粒度很细,它的比表面积大,使氧化剂与可燃物接触面积大,有利于爆轰波传播,提高了它的爆轰感度,同时也提高了它的爆速与猛度,改善了爆轰性能。

(3) 乳化炸药分散相(水相)的氧化剂水溶液中含有水,水是钝感剂,水能降低乳化炸药的机械感度、枪击感度,因此乳化炸药比较安全。不过,值得注意的是水蒸发时要吸收 2557 J/g 的蒸发热,使得炸药爆炸时释放的热量有部分消耗在对水的加热与蒸发上,使爆炸做功的能量受到损失,所以要适当控制水量。

二、形成连续相的可燃剂(油相材料)

形成乳化炸药连续相(也称外相或油相)的燃料可以理解为一类非水溶性物质,一般地,任何黏度合适的石油产品都可作为乳化炸药的碳质燃料组分。因此它可以包括全部的蜡、油和各種聚合物。可用作乳化炸药油相材料的物质有如下几类:石蜡、复合蜡、微晶蜡、凡士林、地蜡、蜂蜡等蜡类物质;柴油、机油、白油等液体油类;天然橡胶、合成橡胶、无规聚丙烯、聚乙烯等聚合物,它们常用来增稠油相材料,改进产品的外观状态;链长大于6个碳原子的高级烃类、高

级醇类、高级饱和脂肪酸以及它们的混合物等。这里值得一提的是复合蜡,复合蜡作为乳化炸药的专用油相材料,对提高乳化炸药的质量和蜡资源利用率,推动乳化炸药的发展有着极其重要的意义。由北京矿冶研究总院研制的复合蜡的组成(质量分数)为:饱和烃为 82.29%、芳香烃为 16.46%、非烃组分为 3.29%。其主要物理性能详见表 5-21。

表 5-21 复合蜡的性能

性能数据	相对分子质量	硫质量分数/%	闪点(开口)/℃	相对密度/(g·cm ⁻³)	熔点/℃	初馏点/℃
	387	0.05~0.11	119	0.8	51~53.8	245~398
测试方法	蒸汽渗透压法	X-荧光定硫仪	GB 267—1977			

油相材料在乳化炸药中主要起到以下几个作用。

(1) 良好的抗水性。在乳化剂的作用下,可燃剂与氧化剂水溶液一起形成油包水型乳液,它将水溶性氧化剂盐包于其中,这样既防止了液-液分层,又阻止了外部水的侵蚀和沥滤作用,从而使炸药具有良好的抗水性。

(2) 适宜的外观状态。油相材料还可以用来调整炸药的黏稠度以获得适宜的外观状态,使乳化炸药形成可泵送的流体、软脂膏体、可塑体、不粘手不粘袋的胶质产品等多种品种。

(3) 良好的安全性。由于油相材料作为连续相,当乳化炸药受到外界机械作用时,使得粒子间的滑动接触韧性增大,阻力减小,因而降低了炸药的机械感度,使乳化炸药具有良好的安全性能。

三、密度调节剂兼敏化剂

一般来讲,该组分是以第三相加入的,密度调整剂是指一类能够向乳化炸药中引入许多均匀分布的微小气泡的物质。它可以调整炸药的密度,从而提高炸药的爆轰感度。从爆轰感度来说,在一定的密度范围内,密度越小,则乳化炸药的爆轰感度越大。因为其中的微小气泡,按照绝热压缩的热点理论,可提高爆轰感度。但是,从爆破能量观点来说,密度降低,则炸药的能量密度也相应下降,爆破做功能力也下降。所以,正确把握密度调节剂的数量、添加的时机以及选择合适的连续相黏度等是提高乳化炸药的爆轰性能、储存稳定性等的关键。

乳化炸药的密度调整剂主要有吸留气体、化学发泡剂和夹带气体的固体微粒等几种。

1. 吸留气体

吸留气体是指在乳化炸药混制过程中,通过机械搅拌方法将空气、氮气、二氧化碳等惰性气体截留于体系中,形成均匀分布的微小气泡,对炸药密度进行调节。该方法的发泡效果不佳,制备的乳化炸药的储存稳定性较低,为物理敏化方式。

2. 化学发泡

化学发泡是指那些在乳化炸药体系中能够发生分解反应,产生许多微小气泡的物质。化

学发泡剂分为无机和有机化学发泡剂,无机化学发泡剂包括亚硝酸盐(如亚硝酸钠)、碳酸盐(如碳酸氢钠)、氯化铵等;有机发泡剂包括偶氮化合物、胍类化合物、亚硝基化合物如发泡剂H、脲基化合物等。化学发泡法调节密度的效果受温度、酸碱度的影响较大,不易控制,制备的乳化炸药的储存稳定性较低。不过由于技术的进步,实际生产中采用化学发泡剂已成为比较普遍的调节乳化炸药密度的方法。

3. 夹带气体的固体微粒

夹带气体的固体微粒是指在混入乳胶基质后,能够保持一定数量且均匀分布的包含气体或空腔的固体颗粒物质,如玻璃微珠、膨胀的珍珠岩微粒等。玻璃微珠是指玻璃或树脂空心微珠,其中夹带空气。这种方法的敏化效果较好。国外的工业炸药产品大都采用玻璃微珠作为敏化剂,它能很好地承受外界压力,耐油、耐热、耐酸碱度,十分稳定,制备的乳化炸药的储存期较长。缺点是成本高。膨胀珍珠岩微粒是一种白色多孔性的松散颗粒状物质。它是酸性火山玻璃质熔岩(珍珠岩矿等),经破碎、预热、焙烧($1\ 250\sim 1\ 300\ ^\circ\text{C}$)体积突然膨胀 $7\sim 30$ 倍而制成的。它的化学组成见表5-22。

表5-22 膨胀的珍珠岩微粒的组成

%

组成	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO ₂	TiO ₂	Na ₂ O+K ₂ O
质量分数	69~75	12~16	1.5~4.0	1.0~2.0	0.1~0.4	<0.1	0.1~0.3	5.0~9.0

膨胀珍珠岩微粒是目前国内乳化炸药中应用较广、价格较低的夹带气体的密度调整剂。不过膨胀珍珠岩微粒也存在如下不足:自身体积大、运输保管费用高;抗压强度低,易吸潮破碎,尤其在搅拌设备等机械作用下更易遭到破损;外观为粉尘,难于实现自动给料;其棱角对界面膜存在一定的破坏作用,容易造成乳化炸药的破乳等。

单一的敏化剂各有优缺点,采用复合敏化剂可以取长补短,使乳化炸药获得更好的储存稳定性、较好的炸药形态、较低的生产成本和更加优良的爆轰性能。例如采用“珍珠岩+化学发泡”或者“玻璃微珠+化学发泡”的方式进行敏化。

四、油包水型乳化剂

乳化剂是制备乳化炸药的关键组分,正是由于乳化剂的作用,才使两种互不相溶的体系在乳化处理后形成稳定乳胶(或乳浊液)体系,从而赋予乳化炸药独特的爆炸能力和优良的抗水性能。乳化炸药的技术关键在于选用油包水型乳化剂。乳化剂的质量通常只占炸药总质量的 $0.8\%\sim 3.0\%$,常用的油包水型乳化剂是Span-80(失水山梨糖醇单油酸酯)、M-201,丁二酰亚胺,聚异丁烯丁二酰亚胺等。

Span-80学名为失水山梨糖醇单油酸酯,HLB=4.3,而一般的油包水型乳化剂的HLB值为 $3\sim 6$,可见,Span-80是适宜的乳化剂。Span-80是以山梨醇、油酸为原料,在一定的温度下,以NaOH为催化剂,这样有利于生成主要以单酯为主的产品;若以 H_2SO_4 为催化剂,则

生成多酯产品(双酯、三酯)。为了保证 Span-80 的质量,要求单酯化合物的质量分数要高。

除 Span-80 外,还有一个常用的乳化剂 M-201,学名为失水木糖醇单油酸酯,是由木糖醇与油酸在催化剂作用下酯化而成。它可以与 Span-80 按一定比例混合使用,即混合型乳化剂。

丁二酰亚胺又名琥珀酰亚胺,也叫琥珀酸二酰亚胺。它是无色针状结晶,具有甜味,熔点 $125\sim 127\text{ }^{\circ}\text{C}$,沸点 $287\sim 289\text{ }^{\circ}\text{C}$ (微分解),相对密度 1.14。它溶于水、醇、氢氧化钠溶液,不溶于醚和氯仿。丁二酰亚胺比 Span-80 的分子结构大,它形成立体的膜层,具有微乳化结构的优点。该产品有良好的浮游分散、溶化及中和作用,可用作乳化剂。

聚异丁烯丁二酰亚胺是一种新型的非离子型乳化剂。它是棕红色黏稠油状液体,难溶于水,易溶于油及有机溶剂,乳化分散性能良好,可以生成稳定的 W/O 型乳化液。它比 Span-80 的分子结构大,形成立体的膜层厚度为 10 nm,有弹性。它具有微乳化性,稳定性好。

实际生产中,常选用复合乳化剂,复合乳化剂是指由两种或两种以上表面活性剂物质按一定比例混合而成。大量实践表明,复合乳化剂的乳化能力强,乳化效果好,乳状液稳定,产品储存期长,安定性良好。

五、其他添加剂

为了改善乳化体系的性质,提高其稳定性,在乳化炸药制造中往往还要添加一些少量组分,这些少量添加剂主要有以下几种。

1. 乳化促进剂

所谓乳化促进剂是一些高氯化的直链烷烃化合物,通常由 $\text{C}_{10}\sim\text{C}_{20}$ 的长链烷烃经过氯化反应制得。试验发现,当加入少量这类物质时,对乳化炸药的乳化有明显的促进作用,可以使配方完全相同的乳化基质的质量更好,提高炸药的爆轰感度,延长贮存期。乳化促进剂是与碳质燃料、乳化剂一起预先混合后使用,其添加量通常为炸药总量的 $0.2\%\sim 0.8\%$ 。

2. 晶形改性剂

晶形改性剂的作用是有效控制硝酸铵等无机氧化剂盐的溶解析晶平衡。一般来说,晶形改性剂是一类水溶性的表面活性剂,具有较好的乳化分解作用。生产操作时,这些表面活性剂应在乳化之前投放到氧化剂溶液中,以便更好地发挥作用,它们在炸药中的量为炸药总量的 $0.1\%\sim 0.3\%$ 。

3. 乳胶稳定剂

为进一步提高乳化炸药的贮存稳定性和爆轰敏感度,可以在乳化炸药中加入少量乳胶稳定剂。这些稳定剂可以是磷脂类化合物,例如大豆卵磷脂。大豆卵磷脂常用作食品工业的表面活性剂,它是一种离子型乳化剂。稳定剂也可以是固体微细粉末,其平均颗粒直径为 $0.005\sim 0.5\text{ }\mu\text{m}$,可提高乳化炸药的贮存稳定性,改善低温性能。例如硬脂酸锌、十四烷酸锌、硬脂酸铝、炭黑、无水二氧化硅、二氧化钛、氧化铁、高岭土等。在乳化炸药的制备中,通常是將乳胶稳定剂与乳化剂一起先溶入油相中,然后进行乳化,其加入量为炸药总量的 $0.5\%\sim 1.0\%$ 。

5.8.2 乳化炸药的品种

乳化炸药的分类方法有多种。一般地说,按爆轰敏感度可分为雷管敏感的乳化炸药和非雷管敏感的乳化炸药;按使用目的可分为岩石型乳化炸药和安全型乳化炸药;按包装形式和产品形态可分为药卷品、袋装品、散装品、乳胶溶液产品、乳胶与铵油炸药的掺和产品五种。

1. 药卷状的乳化炸药

药卷状的乳化炸药均是雷管敏感的,使用时不需要安装起爆药包,这种药卷品通常是在工厂生产的,其成品要求有较长的储存期。

2. 袋装的乳化炸药

袋装的乳化炸药通常是大直径的,其包装材料通常是聚乙烯塑料袋或是涂布塑料薄膜的牛皮纸筒。这种袋装品多半是雷管不敏感的,爆破时需要安装起爆药包。它可以整袋直接装入炮孔中,也可以在现场割开包装袋将其散装于炮口中。

3. 散装的乳化炸药

散装的乳化炸药多数是雷管不敏感的,通常是在爆破现场混合制备,并通过混装车或泵送车直接装入炮口中。由于使用装药车的类型不同,其混合装药方式也有两种:一种是将原料运送到爆破现场附近,从原料开始在同一汽车上进行乳化混合,然后用泵将其直接泵入炮孔中,这种方式叫混装车方式。另一种是将在固定工厂里已经乳化好的乳胶基质运送到现场,然后在卡车上混入敏化材料和其他固体物料,再用泵注入炮孔中,这种方式叫泵送装车方式。

4. 乳胶溶液产品

乳胶溶液实际上是一种半成品,它是一种不含爆炸组分的乳胶基质溶液,乳胶溶液虽然也可以直接使用,但多数情况下是将其运送到现场再进行敏化混合制成成品使用。

5. 乳胶与铵油炸药的掺和产品

这种掺和产品是由高能量的乳胶与多孔粒状铵油炸药混制而成,乳胶的质量分数可以从0%~100%。该掺和物在国外通常称为重铵油炸药、或者特种铵油炸药,在国内一般称为乳化粒状炸药或者乳化铵油炸药。

5.8.3 乳化炸药的性能

一、外观状态

乳化炸药是一种多组分的复杂的乳化体系,视外相物质颜色深浅的不同,乳化基质可以是浅灰白色至浅褐色的半透明体。根据燃料组分的物理稠度不同,乳化炸药的外观状态也可以有一个相当大的变化范围,即从可流动的流体到具有一定弹塑性的固态。乳化炸药外观状态

的这种变化为现场使用提供了方便条件。

二、密度

一般地说,不添加密度调节剂的乳化基质的密度通常约为 1.45 g/cm^3 ,因此爆轰感度比较低。为了提高爆轰感度,通常在乳化炸药制备过程中添加密度调节剂来调节乳化炸药的密度,一般为 $1.0 \sim 1.35 \text{ g/cm}^3$ 。经验表明,密度的降低大大提高了其爆轰感度,尤其是这种密度的降低是通过微小气泡分散在整个乳胶混合物中来实现的,因此爆轰感度的提高就更明显。

三、爆轰感度

在乳化炸药中,由于氧化剂水溶液呈微细液滴存在,颗粒非常细微且分布均匀,使得氧化剂与可燃剂能充分紧密的接触,有利于爆轰的激发与传递。同时在油包水型结构中,碳质燃料成了连续相,与浆状炸药相比,克服了水的制冷作用。特别是乳化炸药中均匀分布了许多微小气泡,在外界能量的绝热压缩下,这些气泡极易成为“热点”。在以上各种因素的综合作用下,使得乳化炸药在不含任何爆炸性组分的情况下,也具有令人意想不到的爆轰感度。例如直径为 $18 \sim 50 \text{ mm}$ 的无约束的乳化炸药药卷,即使在比较宽的温度范围内 ($-40^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$),也可以用 1 只 8[#] 雷管起爆,而且爆轰的传递也很稳定。

四、爆速与猛度

如前所述,在乳化炸药中,由于可燃剂与氧化剂接触面大且紧密,氧化剂与还原剂间的距离与单质炸药分子中的氧化还原基团的距离相接近,使乳化炸药的爆轰激发、传播及其他爆炸性能等方面具有理想的特征,所以乳化炸药的爆速是比较高的(接近于理论值)。对于不含猛炸药敏化剂的乳化炸药,直径为 $25 \sim 40 \text{ mm}$ 的无约束药卷的爆速一般都在 $4\,000 \sim 5\,200 \text{ m/s}$ 。炸药的猛度随着爆速和炸药密度的增加而增大,由于乳化炸药爆速和密度都较一般工业炸药要高,所以其猛度值也较高。

五、殉爆距离

乳化炸药的爆轰感度较高,所以其殉爆距离也高于一般的工业炸药。表 5-23 中列出了部分 EL 系列乳化炸药的殉爆距离。

表 5-23 EL 系列乳化炸药的殉爆距离

牌号		EL-101	EL-102	EL-103	EL-104	EL-105
殉爆距离/cm	φ32 mm	10~11	10~13	10~13	10~14	10~12
	φ40 mm	10~12	11~14	11~15	11~15	10~13

六、乳化炸药的感度及安全性

乳化炸药具有较高的爆轰感度,但其机械感度、热感度、枪击感度等危险感度却相对较低。一般地说,乳化炸药是工业炸药品种中安全性能较好的一种炸药。如我国的 EL 系列乳化炸药的各种感度测试结果如下。

1. 机械感度

机械感度测试结果见表 5-24。

表 5-24 EL 系列乳化炸药的机械感度值

感度名称	爆炸百分数/%	测试条件
撞击感度	≤ 3	锤重 10 kg, 落高 (250 ± 1) mm, 药量 (50 ± 2) mg
摩擦感度	0	锤重 $(1\ 500 \pm 1)$ g, 摆角 96° , 药压 475 MPa, 药量 20 mg

2. 燃烧感度

用气焊火焰直接灼烧薄条形炸药,开始水分激烈蒸发,失去水分后的干渣在气焊火焰支持下燃烧。一旦移去气焊火焰,燃烧立即停止。

3. 延滞期爆发点

EL 系列乳化炸药的 5 s 延滞期爆发点一般不低于 330°C 。

4. 枪击感度

用 63 式自动步枪对 EL 系列乳化炸药进行射击,弹丸入射速度为 820 m/s 时,每个试样击中十发,均不燃不爆。

5. 电火花感度

将两电极插入 EL 系列乳化炸药中,极板间距离为 2~6 mm,然后施以 1 500~2 000 V 的电压使电极放电,试样均不燃不爆。

6. 有毒气体量

EL 系列乳化炸药爆炸后,生成的有毒气体量为 22~29 L/kg,低于国家规定标准,所以在井下使用是安全的。我国生产的部分乳化炸药产品的性能见表 5-25。

表 5-25 我国部分乳化炸药的性能

性能	南岭化工厂	长沙矿山院 (RJ)	阜新十二厂	长沙矿冶院	
				AE-HLC 岩石型	AE-HLC 煤矿型
密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.0~1.3	1.0~1.30	1.0~1.20	0.95~1.35	0.95~1.30
爆速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	4 000~5 300	4 500~5 400	4 700~5 800	4 000~5 600	3 500~5 300
殉爆距离/cm	7~10	7~8	5~10	>5	>4

续表

性能	南岭化工厂	长沙矿山院 (RJ)	阜新十二厂	长沙矿冶院	
				AE-HLC 岩石型	AE-HLC 煤矿型
临界直径/mm	15~20	13	12~16	12~16	15~18
猛度/mm	15~18	6~18	18~20	16~23	12~20
储存期/月	6	3	3	12~24	6~12

5.8.4 乳化设备与技术

一、常用乳化技术

常见的乳化混合技术有三种,即简单的机械搅拌、均化器和胶体磨。

简单混合搅拌器有许多类型,自最初很简单的在桶中使用高速螺旋桨至包括一系列螺旋桨、刮刀、混合叶片、固定子、转子、保温套等设备齐全的单元。混合搅拌器通常可以概括为推进式、涡轮式、桨式以及复合式等,搅拌作用兼有混合和剪切作用。一般地说,搅拌黏度低、乳化性能好的液体时,使用具有短旋转叶片的轴式搅拌机就能满足要求;但是乳化搅拌高黏度液体时,使用这样简单的装置不能达到均匀充分搅拌的效果,此时可采用带有偏心安装的旋转叶片的轴式搅拌机;对于要求更强有力的乳化搅拌来说,宜采用多轴式搅拌机。这种多轴式搅拌机具有中心轴和偏心轴等两个以上的搅拌部分,中心轴旋转地比较缓慢,而偏心轴具有快速旋转的叶片,同时偏心轴本身还绕中心轴旋转。通过这些搅拌的合成,不仅具有分散力,而且有强有力的剪切力,其乳化分散效果很好。

均化器的工作原理是将欲乳化的液体混合物在很高压力下自一小孔挤出,经突然泄压而膨胀和高速下冲击碰撞的双重作用,将混合物料粉碎成微粒,并使其分散乳化和均匀化。欲乳化的液体混合物,需先经一段金属填料管,自管中挤出。物料在金属填料管中流动,而设备处在静止不动状态,故称为静态混合。

胶体磨的主要部分是固定子和转子。转子和固定子间有一可调节的微小狭缝,有时可小至0.02 mm。转子的转速一般在2 000~8 000 r/min。工作时,将待混液体水相及油相强制性地通过转子和固定子间的狭缝,借助高速旋转产生的离心力和剪切力使分散相达到磨碎微粒化,成为均匀的乳化液。它是一种连续乳化的装置,其工作效率通常为500~1 000 kg/h。

上述各种乳化手段,在不同条件下均能达到较好的乳化效果。

二、罕用的乳化技术

自然乳化及超声波乳化是乳化技术中两个极端情况。

自然乳化是指在没有机械功能作用下获得乳状液的过程。自然乳化现象是1878年由Gab首先发现的,此现象Mcbain曾给予了解释,在十分有效的乳化剂存在下,把油和水进行平静的接触而得到乳状液。在这种情况下,乳化剂的作用非常灵敏,也是非常重要的。油酸钠溶于水后再接触油不产生乳状液;但把油酸溶于油中,然后加入NaOH水溶液时,油进入水中就产生乳状液。这是由于此时局部地产生了油酸钠,降低了界面张力以及界面上产生的扰动把部分油包起来,使粒子变得稳定。

超声波乳化是一种相当强化的乳化技术。早在1927年,Wood和Loomis就利用超声波来制备乳状液。他们所用的频率是200 kHz(一般人的听觉极限约为15 kHz)。通常有四种方法可以产生足够能量的超声波:压电效应、电磁效应、磁致伸缩效应以及机械效应。超声波所引起的激烈搅动非常有利于液滴分散。另一方面,激烈搅动又引起分散液滴互相碰撞次数的增加,从而增加聚结的可能性,也就是说,在超声波乳化过程中,分散与聚结是同时发生的,彼此激烈竞争。只有选择合适的操作条件及频率,才能形成以分散作用为主,从而形成乳状液;否则,就会发生破乳。

超声波发生器有3种:①磁致伸缩;②石英压电;③波尔曼液体哨子。在实际中,波尔曼液体哨子得到认可。其工作原理是:当高速液体喷出射在刀刃上,刀刃立即被激发而共振,液体也被振动。若振动频率足够大,则液体会发生激烈的振动,此时乳化立即发生。

5.8.5 乳化炸药的生产工艺

乳化炸药是一种多组分的含水混合炸药,炸药的质量不仅与炸药的组成有关,而且不同的生产工艺设备和乳化技术对炸药各种性能的影响更大。即使炸药的组分配比完全相同,但如果生产工艺不同,炸药的贮存稳定性、爆轰敏感度及其他一些性能都将有显著的差别。因此合理的生产工艺和适当的工艺条件是制备性能优良的乳化炸药的关键。

一、乳化炸药的生产过程

乳化炸药的生产不论采用哪一种生产工艺,其工艺过程一般都包括以下四个步骤。

1. 配制水相和油相溶液

氧化剂无机盐及其他溶于水的组分经过加热搅拌,在95~105℃的温度条件下(高于溶解盐晶析点)全部溶解于水中,并且保持这一温度直至形成乳液基质。

将油、蜡和乳化剂配制成油相混合液。在搅拌加热条件下,使油和蜡液化,温度保持在与氧化剂水溶液大致相同的水平,以利于乳胶的形成。需要指出的是,乳化剂通常是在乳化即将进行之前加入到油相中的,这样可以避免乳化剂在较长时间高温的作用下发生分解。

2. 乳化

乳化是生产乳化炸药的关键步骤。油相混合液和氧化剂水溶液在一定的流速和温度下,

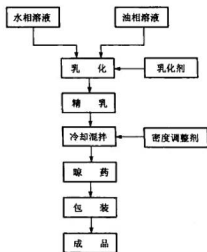


图 5-25 乳化炸药的生产工艺流程

进入混合器,并在其中停留一定的时间。在混合器强烈的搅拌及高速剪切作用下,使得油相与水相充分混合均匀,形成油包水型乳化基质。

3. 混拌

为了提高乳化炸药的爆轰感和爆炸能量,乳化后的乳液基质都要输送到混拌(掺合)机中,然后掺入适量的密度调节剂,必要时还可掺入铝粉等固体燃料,并通过搅拌作用,使之成为均匀的混合物。

4. 包装

乳化炸药产品有药卷产品、袋装产品、散装产品(一般是在机械混装车上进行混制,也可以现场进行生产)。混制好的乳化炸药根据不同的使用要求,将其包装成不同规格的药卷或袋装产品,然后送入成品库贮存待用。

图 5-25 为乳化炸药的生产工艺流程图。

二、乳化炸药的生产工艺

目前国内乳化炸药的生产工艺主要有间断式、连续式和现场混制与装药三大类。

1. 间断式生产工艺

乳化炸药间断式生产工艺是 20 世纪 90 年代以前国内乳化炸药生产的主要形式。工艺流程基本一致,主要差别是产量的大小、乳化器的结构和敏化气泡的加入方式等。若以敏化方式来划分,大体上可分为两种,即以化学发泡进行敏化的生产工艺和以气泡载体材料进行敏化的生产工艺。间断式生产工艺比较简单,采用静态乳化器,在技术上要求不高,流程的参数控制不是十分严格,主要设备相互之间独立性较强,便于改建,可以因陋就简,节省投资。但缺点是乳化设备效率较低,生产能力受到限制;辅助作业量较大,劳动强度较高,生产率较低;能耗大,产品成本增加;产品质量不稳定,局部有乳化不良或分层现象,产品贮存性能不均一。

2. 连续式生产工艺

连续式工艺生产乳化炸药,具有乳化质量较均一,生产效率较高,设备比较紧凑,动力消耗低,厂房面积小,自动控制程度较高等特点。因此,连续式生产工艺比间断式工艺技术先进,经济效果好,是乳化炸药的工艺发展方向。连续乳化工艺采用动态乳化器连续乳化,将水相、油相及乳化剂等连续地泵入乳化器中,在乳化器叶轮高速旋转作用下,上述两相得以充分剪切和混合形成油包水型乳状液。之后由乳状液输送泵连续泵入混合器中,使之与不断输入混合器的适量发泡剂混合均匀,从而制成具有雷管感度的乳化炸药。

3. 现场混制与装药

近年来,由于乳化炸药的优良性能,促使工艺技术迅速发展,国内外都加紧了乳化炸药现场混制设备机械的研究。美国、加拿大、瑞典等国在20世纪70年代末着手研制,1982年以来在这些国家陆续出现了露天和井下使用的乳化炸药现场混制车。

(1) 成品散装药的装药车。由专门的炸药加工厂配制好一定组分的乳化炸药,再由装药车运至爆破现场进行机械化装药。

(2) 泵送车。由专门的炸药加工厂制成乳状液,再用泵送车在送入孔的过程中加入发泡剂和添加剂,制成成品炸药,经输药管装入炮孔。

(3) 混装车。由原料溶化工厂将原料按组分溶化,贮于罐中,然后由混装车将这些原料运至爆炸现场,由混装车完成制药与装药过程。

混装车是炸药制造工艺、机械设计与电控系统三个方面的联合车,体现了现代技术的发展,为扩展乳化炸药应用范围提供了有利条件。

我国于20世纪70年代开始研制浆状炸药和铵油炸药的装药车,80年代初期开始研制乳化炸药的混装车。经过20多年的努力和大量实验研究,我国乳化炸药的现场混制装药技术(包括混制装药车的设计与制造、合适的乳化炸药新品种、使用技术)已经成熟起来,有了专业的混制装药车制造工厂,并已在一批大中型露天矿山爆破作业中得到推广应用。

三、乳化炸药生产工艺举例

1. 实例一

以2号岩石乳化炸药生产为例,其主要工艺过程有硝酸铵破碎、水相溶化、油相溶化、预乳、精乳、晾药、化学敏化、装药、包装及卷纸管。工艺过程简述如下。

将硝酸铵通过破碎机破碎到合格粒度,经硝酸铵输送螺旋及分料螺旋送入水相溶解罐,与按工艺配比计量的水共同加热、搅拌溶解,配制成水相溶液(溶化温度 $(130\pm 2)^{\circ}\text{C}$),溶化完全后经过滤用泵输送至制药工房水相储存罐中保温备用(温度控制在 $(130\pm 2)^{\circ}\text{C}$)。

油相原料(凡士林、石蜡、乳化剂等)按比例加入油相溶解罐,加温混拌混匀(溶化温度 $120\sim 125^{\circ}\text{C}$),溶化完全后经过滤用泵输送至制药工房油相储存罐保温备用(控制温度在 $120\sim 125^{\circ}\text{C}$)。

配制好的油、水相溶液过滤后,分别以水、油相螺杆泵、流量计输送、计量,经乳化器(粗乳器、精乳器)乳化成符合要求的乳化基质(基质温度控制在 $(130\pm 5)^{\circ}\text{C}$),直接落料于设置于精乳器下方的钢带冷却机上,经布料器均匀分布于冷却钢带上冷却至敏化需要的温度($50\sim 55^{\circ}\text{C}$)。然后在加入预先配制合格的敏化剂的同时,自动进入敏化机中,经敏化机的四级搅拌器的连续搅拌,形成均匀的乳化炸药,自动出料至送药小车上,送装药包装工房。

在装药包装工房,以小推车送来的乳化炸药采用某公司制造的RZ12-1型乳化炸药半自动装药机装成 $\phi 32\text{ mm}-200\text{ g}$ 的小药卷或 $\phi 120\text{ mm}-4\text{ kg}$ 、 $\phi 90\text{ mm}-3\text{ kg}$ 、 $\phi 70\text{ mm}-2\text{ kg}$ 的

大直径纸管成品药卷。药卷经皮带输送机送入包装工房,小直径产品经人工装塑料袋后装箱,大直径产品直接装箱,经自动捆扎机捆扎后装车入库。

卷纸管工序采用某机械有限公司制造的 JG32-3 型卷管机卷制 $\phi 32$ mm 小直径药卷用纸管,其他大直径产品用纸管由人工卷制。

2. 实例二

(1) 硝酸铵破碎。硝酸铵由汽车送入制药工房的硝酸铵暂存间,经手工拆装,用木锤粗碎后加入破碎机破碎,破碎后落至螺旋输送上料机,送至水相溶化罐。

(2) 水相溶化配制。生产用水经计量槽加入水相溶化罐中,再将经破碎机破碎的硝酸铵及硝酸钠按配方设计要求的量投入水相溶化罐加热溶化,由电子秤称量。水相溶化罐带有立式搅拌、加热系统,支耳装有测重的电子秤传感器,工业计算机对水相温度进行自动控制。当水相溶化罐中配制的水溶液达到工艺设置温度时,测量水相密度和消焰剂质量分数,并对比例做相应的调节,达到工艺要求的水相溶液,经自动放料阀过滤后放入水相贮存罐内待用。

(3) 油相配制。将油相材料各自称量后,投入带换热装置、搅拌器、温度传感器装置的复合蜡、乳化剂熔化罐中,油相材料熔化后,由双联计量泵送入油相混合罐内,工业控制计算机对油相混合罐内温度进行自动调节控制,待物料温度达到设定温度后,放入油相贮存罐中保温待用。

(4) 乳化、冷却、敏化。当油相和水相物料都达到要求以后,打开两保温贮罐自动放料阀,并启动炸药自动制备程序,即按顺序启动水相配比泵、油相配比泵和静态混合器、预乳机、基质输送泵、精乳机、晾药机、敏化剂计量泵、敏化机等,水相和油相液体物料自动按给定的比例,沿着各自的输送管道经过滤器,计量装置输送至连续乳化机乳化。通过精乳机的强烈搅拌、剪切和混合,形成高质量的乳胶体,完成两相溶液的乳化过程。此时,工业控制计算机不断地对各路物料的流量进行监控和调节,以保证物料的比例准确;同时,监控乳化机冷却水的流动状况,一旦水量不够,立即自动报警或停机。乳化基质从精乳器出口至晾药机进行冷却,冷却后的胶体落入敏化机内进行连续敏化,形成的乳化炸药再通过小车送到乳化装药包装工房。

(5) 装药、包装。乳化炸药由小车送至自动装药机内,将其灌装成 $\phi 32$ mm(或其他规格)的药卷,药卷经自动中包机组包成中包,每个装 15 或 20 个药卷,中包重 3 kg,8 个中包装 1 箱,经自动装箱线装箱、打包后装车送往成品库。

5.8.6 乳化炸药与浆状炸药、水胶炸药的共性与区别

乳化炸药、水胶炸药和浆状炸药统称含水炸药,水的质量分数一般都在 8%~20%。含水炸药具有以下共同的优点。

(1) 抗水性强、密度高、体积威力大。适用于含水爆破环境,易沉入有水炮孔孔底。

(2) 摩擦、撞击、枪击感度和热感度大大低于铵梯炸药,可塑性好;使用安全,适合于现场

混装机械化施工。

(3) 除浆状炸药外,乳化炸药和水胶炸药都具有较好的爆轰感度,可以用1发8号雷管直接起爆。

(4) 除浆状炸药外,乳化炸药和水胶炸药都具有沟槽效应小和传爆距离长的特点,能够很好地满足露天深孔爆破对传爆长度的技术要求。

(5) 炸药成分、炸药密度及炸药的形态可在较大范围内进行调节。可以根据所爆岩体的性质和最小抵抗线,现场机械化混制出具有合适爆炸性能的炸药。

含水炸药的主要缺点是耐冻性差,使用时一般要求炸药温度在 0°C 以上。另外,我国含水炸药的包装水平还有待提高,大多数厂家的乳化炸药采用纸卷包装,容易破包,给装药工作带来很多不便。

乳化炸药与浆状炸药、水胶炸药相比,就其基本组成来说,没有本质的区别,但是各个组分在体系中所起的作用、体系的内部结构、外观形态和制备工艺是迥然不同的。

乳化炸药是以氧化剂水溶液为分散相,非水溶性组分为连续相而构成的乳化体系,属于油包水型(W/O),其抗水性是通过油包水的物理内部结构来获得的。浆状炸药和水胶炸药则是以氧化剂水溶液为连续相,非水溶性的可燃剂、敏化剂(固体或液体)为分散相构成的胶凝体系,属于水包油型(O/W),浆状炸药和水胶炸药的抗水性是通过黏弹性凝胶体对硝酸铵等可溶性组分的包覆作用来实现的。其次,乳化炸药的乳化体系是靠乳化作用形成的,即乳化技术是乳化炸药生产过程中的关键技术。而浆状炸药和水胶炸药凝胶体的形成则是通过胶凝作用和交联作用获得,即胶凝和交联技术是浆状炸药和水胶炸药生产过程中的关键技术。还有,乳化炸药的实用感度是靠使用敏化气泡得到的,而不是靠加入炸药类敏化剂来获得较高的实用感度。

5.9 粉状乳化炸药

粉状乳化炸药是采用乳化混合的方式将氧化剂和可燃物混合成均一的乳胶基质,再采用先进的喷雾制粉技术制成的一种油包水型粉状工业炸药。粉状乳化炸药结合了胶质乳化炸药和粉状炸药的性能优点,通过将氧化剂水相和可燃剂油相充分乳化,制得了准分子状的油包水型乳化基质,再使后者雾化脱水,形成水分质量分数低于3%的粉体。与乳化炸药相比,粉状乳化炸药保持了乳化炸药的高爆速、高猛度。其次,由于干燥过程去掉了炸药中的部分水分,使粉状乳化炸药的做功能力高于乳化炸药,但抗水性低于乳化炸药。最后,由于粉状乳化炸药保持乳化炸药中氧化剂与可燃剂紧密接触的特点,故它无须引入敏化气泡,就具有较高的爆轰感度。粉状乳化炸药的生产工艺需要在乳胶基质后增加气流喷雾干燥、旋风分离、除尘等装置,增加了设备投入以及生产管理任务。

已开发的粉状乳化炸药系列产品有岩石型、抗水型、煤矿型、震源药柱、聚能切割器、光面爆破专用炸药等。

5.9.1 粉状乳化炸药的性能

一、粉状乳化炸药的微观结构

通过用电子显微镜对粉状乳化炸药的乳化基质和成品粉状乳化炸药进行观察,可以看见粉状乳化炸药的乳化基质和一般乳化炸药基质的微观结构是相同的,非连续的氧化剂相的粒径均匀,基本上为 $2\sim 5\ \mu\text{m}$,而粉状乳化炸药颗粒的尺寸为 $5\sim 25\ \mu\text{m}$,比基质中的氧化剂粒子尺寸大 $3\sim 5$ 倍,每个颗粒中仍然均匀地分散着被油膜包覆的氧化剂粒子。所以,从微观结构看,每个颗粒实际上是一小块固态的乳化基质,仍然保持了乳化炸药良好的混合均匀性和抗水性。

二、粉状乳化炸药的贮存性能和抗水性能

粉状乳化炸药的贮存性能和抗水性能分别见表 5-26、表 5-27。

表 5-26 粉状乳化炸药的贮存性

贮存时间/月	2	4	6	8
爆速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	4 430	4 450	4 480	4 450
殉爆距离/cm	10	10	8	7

表 5-27 粉状乳化炸药与其他工业炸药在水中的溶解性

%

时间/h	24	48	72	96	120	144
EL 乳化炸药	0.5	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5
粉状乳化炸药	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	4.0
2 号岩石铵梯炸药	68.0	85.0	90.0			
2 号抗水岩石铵梯炸药	1.5	1.8	2.0	2.8	3.0	3.6

由表 5-27 知,粉状乳化炸药具有良好的抗水性能。表 5-27 的试验条件是称量一定长度的药卷,两端切开,浸入定量水中,定时测量样品中硝酸铵的溶解量。

三、粉状乳化炸药的爆炸性能及安全性

粉状乳化炸药的爆炸性能见表 5-28。

表 5-28 粉状乳化炸药与其他工业炸药的爆炸性能比较

炸药品种	殉爆距离/cm	爆速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	猛度/mm	做功能力/mL
粉状乳化炸药	10~14	3 800~4 500	16~18	320~350
乳化炸药	≥ 5	$\geq 4 000$	≥ 15	≥ 280
2号岩石铵梯炸药	≥ 5	$\geq 3 200$	≥ 13	≥ 320

粉状乳化炸药具有较低的撞击感度、摩擦感度和枪击感度;对热作用不敏感;静电积累和静电火花感度小;粉尘具有较高的最小点火能量和较大的粉尘爆炸下限浓度,因此,粉尘爆炸危险性小。综上所述,粉状乳化炸药具有较好的生产、运输、贮存和使用安全性。

5.9.2 粉状乳化炸药的生产工艺

粉状乳化炸药的生产工艺主要由两部分组成,一是乳胶基质的生产,二是粉体的生产,其生产工艺流程如图 5-26 所示。

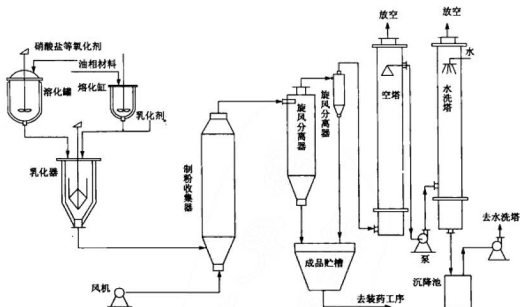


图 5-26 粉状乳化炸药的生产工艺流程

一、乳胶基质的生产

目前国内生产乳化炸药的乳化设备基本上都可以用于生产粉状乳化炸药的乳胶基质,生

产工艺基本相同,只是产品的配方稍有不同,因而工艺参数也有所差异。

制备粉状乳化炸药的乳胶基质的氧化剂主要是硝酸铵,也可以加入少量硝酸钠,其中硝酸铵的质量分数一般为84%~88%;可燃剂主要是复合蜡,为石蜡、地蜡、微晶蜡的混合物;乳化剂一般为高分子乳化剂,以增强高温乳化能力和乳胶油膜强度。乳胶基质中水的质量分数为6%~9%,水分太少不利于乳化形成乳胶基质,同时乳化所需温度也高,增加安全隐患;水分太多,乳胶基质在制粉过程中,不利于成形制粉,最终产品中的水分偏高,影响粉状乳化炸药的爆炸性能和贮存性能。

二、粉体的生产

制备粉体采用雾化冷却工艺,使高温黏稠的乳胶迅速分散、冷却成为固态粉末。雾化可选用气流式喷嘴,乳胶基质经过喷嘴喷出后,在雾化塔内迅速分散和冷却,形成由极薄油膜包裹的无机氧化剂盐细结晶,再经分离得到粉体。制备粉体时应选取多种工艺条件的优化组合。

5.9.3 粉状乳化炸药的提高与发展

对于粉状乳化炸药的发展,应着重解决以下两个问题。

一、进一步降低炸药中水的质量分数,提高药卷密度,增加粉状乳化炸药的体积威力

粉状乳化炸药的制粉过程是乳胶基质的失水干燥过程。要使油包水型乳胶基质脱除水分,唯一的途径是乳胶基质破乳后发生水分逸出,从制备技术来说这一过程是相当困难的。因此从制粉塔出来的粉状乳化炸药中还含有约2%的水分。当水的质量分数为2%的炸药在装药机内装药时,由于螺杆的推挤作用,使药粉中的水分从油包水的颗粒中挤出,导致经装药机装药的粉状乳化炸药易破乳结块而失去爆炸性能。设想如果粉状铵梯炸药中的水分偏高,那么其爆炸性能也会遇到同样的情况。若用手工装药,由于此时不存在螺杆的挤压和摩擦,而是利用重力和外力来墩实药卷,这种装药方式不影响炸药的内在结构,药卷的结块性稍有改善,这是目前工厂普遍采用的装药方法。综上所述,粉状乳化炸药的装药问题不仅是装药机的问题,而且也是药粉本身的状态和结构所决定的。如果粉状乳化炸药中水的质量分数低一些,如水的质量分数 $<0.3\%$,则采用任何装药机均毫无问题。因此,改进制粉工艺和装药方式,提高药卷装药密度,增加粉状乳化炸药的体积威力,是粉状乳化炸药今后发展的主要方向之一。

二、进一步降低生产成本

粉状乳化炸药是从乳胶基质脱水制粉后得到的,其原材料成本高于乳化炸药,也是现有无梯工业炸药中原材料成本较高的炸药之一。另外,粉状乳化炸药的制粉过程动力消耗大,设备投资大,而生产效率一般,因此,必须减少生产过程的能源消耗,提高生产效率,最终达到降低

生产成本的目的。

5.10 其他工业炸药

一、硝化甘油炸药

硝化甘油炸药是指硝化甘油被氧化剂和可燃剂等吸收后组成的炸药,国外称之为代那买特(dynamite)。硝化甘油炸药是由阿尔弗雷德·诺贝尔(Alfred B. Nobel)于1866年发明的,分为粉状硝化甘油炸药和胶质硝化甘油炸药(胶质炸药)两个系列。其中用爆炸油(硝化甘油和硝化乙二醇或硝化二乙二醇的混合物)代替单一硝化甘油制出的品种称为难冻硝化甘油炸药。由92%的硝化甘油和8%的硝化棉(还含有少量抗酸剂)组成的炸药称为爆胶(blastillg gelatin),它是硝化甘油炸药中威力最大的一种炸药。

硝化甘油炸药具有爆炸威力大、起爆感度高、传爆性能好和抗水性能强等优点,因此自其诞生之日起就统治工业炸药长达一个多世纪。但是硝化甘油炸药同时也存在着机械感度高、加工和使用不安全、抗冻性差、易渗油和老化、生产成本高等缺点。随着工业炸药的发展,特别是20世纪60年代含水炸药的出现,硝化甘油炸药正逐渐被取代。

二、煤矿许用炸药

凡是允许在有瓦斯和可燃性煤尘爆炸危险的矿井中使用的炸药统称为煤矿许用炸药。煤矿许用炸药的特点是对爆温、爆热、爆炸产生的火焰长度及持续时间、爆炸产物中的有毒气体及灼热固体颗粒等都有严格的限制。煤矿许用炸药主要有以下几种。

1. 添加惰性消焰剂的炸药

常用的惰性消焰剂是氯化钠(食盐)和氯化铵,作用是吸收热量,降低爆温,并抑制瓦斯的连锁反应。目前,我国使用的煤矿许用炸药主要是添加食盐的硝酸铵系列炸药。不过过多地加入食盐,必然会影响炸药爆轰的稳定性,导致燃烧性,反而使炸药变得不安全。为了解决这一矛盾,既要确保煤矿许用炸药的安全性,又要保证它具有良好的爆炸性能,人们研制出了以下各种煤矿许用炸药。

2. 被筒炸药

被筒炸药是一种采用复合结构进行装药的煤矿许用炸药,分为药芯与被筒两部分,即以煤矿许用铵梯炸药为药芯,外面包有由消焰剂(氯化钠、氯化钾等)压成的被筒而制成的安全性等级比原药芯炸药更高的煤矿许用炸药。被筒炸药在使用时,炸药(芯药)首先爆炸,随之被筒被炸碎,它在高温高压作用下“雾化”,包围着炸药“点”,隔绝其与危险气尘的直接接触,因而达到消焰的目的。

根据被筒有无爆炸性可分为活性被筒和惰性被筒两类。活性被筒由消焰剂和爆炸性物质

混合而成,被筒自身具有爆炸性。惰性被筒由非爆炸性材料制成,有钢性被筒、半钢性被筒、软性被筒和液体被筒等。对于被筒材料,刚性被筒为石膏、黏土、水泥、黏合剂、消焰剂等;半钢性被筒为浸有抑制剂的纤维物质;软性被筒为涂有抑制剂和黏结物的纸卷;液体被筒为消焰剂水溶液或水。

目前我国生产和使用的被筒炸药的组成及规格见表 5-29。

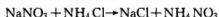
表 5-29 我国生产和使用的安全被筒炸药规格

药芯规格		芯药组成 ^① /%				被筒规格/mm		被筒中消焰剂 质量/g
药径/mm	药量/g	硝酸铵	梯恩梯	木粉	消焰剂	长度	直径	
32	150	71±1.5	10±0.5	4±0.5	15±1.0	164	42±0.5	70±4
38	200					219	42±0.5	94±4

注:① 相当于 2 号煤矿铵梯炸药。在实际使用中,被筒在装药(炮孔中)过程时会破散,所以被筒已逐渐被淘汰。

3. 离子交换型炸药

离子交换炸药是由敏化剂(如硝化甘油)、离子交换盐对(氯化铵与等物质的量的硝酸钠或氯化铵与等物质的量的硝酸钾)组成的煤矿许用炸药,也称它为“选择性”炸药。其设计思想为



即用等物质的量的硝酸钠代替硝酸铵,用等物质的量的氯化铵代替氯化钠。它们在炸药爆炸反应中,发生离子交换作用,生成气态硝酸铵和具有消焰作用的氯化钠或氯化钾微粒。然后,硝酸铵进一步热分解,和可燃剂发生氧化还原反应,并放出热能。上述反应过程决定了离子交换型炸药具有多步反应性、高分散性和反应选择性的特点,使安全性得以提高。

(1) 多步反应性。在离子交换炸药中,最初的反应只能形成硝酸铵,后者再进一步分解,因而整个爆炸反应延缓,爆炸强度降低,引起可燃气、矿尘爆炸或爆燃的可能性减少。

(2) 高分散性。离子交换反应形成的氯化钠(钾)以分子形式均匀分散在爆炸点周围,能有效降温 and 抑制可燃气体燃烧。

(3) 反应选择性。固态的硝酸钠或硝酸钾与氯化铵一般不进行化学反应,只有在爆炸形成的高温高压条件下才能相互作用,其反应程度取决于爆炸强度。

离子交换炸药中,除敏化剂外,各组分都是惰性成分,故敏化剂大多选用感度和威力较高的硝酸脂类炸药,或增加敏化剂的用量。国外一些离子交换炸药的配方和性能见表 5-30。

表 5-30 国外离子交换型煤矿安全炸药

组成和性能	英国		前苏联	前西德	比利时		捷克	日本
	Dynagex	Carifrax	Y3-6	Energit A	Camboxte	Salblite	Galmonat-5	EqS
组成/%								
硝酸脂	11	8.7	14.2	12	12	9.5	10	9.0

续表

组成和性能	英国		前苏联	前西德	比利时		捷克	日本
	Dynagex	Carifrax	Y3-6	Energit A	Camboxte	Salblite	Galmonat-5	EqS
硝酸铵	37	9.9						12.4
硝酸钠	15.1	46.8	46.3		49		52.5	44.4
硝酸钾			55.5			55		
草酸铵	25				6.5	5		
氯化铵	5.6	27.9	29.0	29.0	31	28	34	28
木粉			2.5					
淀粉								5.0
硅藻土	3		7					
其他	1.3	6.7	1.0	3.5	1.5	2.5	3.5	1.2
性能								
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.39	1.10	1.1~1.25	1.20	1.10	1.10	1.25	
爆速/($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)	2.30	1.45~1.5	1.90~2.0	1.50~1.90	1.80	1.50	1.70~1.90	1.80
做功能力/mL	140	140	130~170	110~120	130	93	120~130	
殉爆距离/cm		5~8	5~10	4~6	3~5	2	2~6	

还有一类与离子交换炸药不同的选择性炸药,其组成与一般的安全炸药相同,但采用不同的颗粒匹配。例如,采用不同比例的粗粒硝酸铵和细晶或粉状硝酸铵制成的安全炸药就是一种选择性炸药。对这种炸药,在强约束条件下,所有硝酸铵可全部反应,得到较好的爆炸效果;而不利条件下,粗粒硝酸铵只能部分分解,或缓慢分解,提高了安全性,达到了选择爆轰的目的。

值得注意的是国外的粉状煤矿炸药组成中都含有梯恩梯,质量分数为6%~19%。梯恩梯的机械感度低,起爆传爆性能良好,爆炸能量低于硝酸酯,但比复合油相大得多,比较适中。如果粉状煤矿炸药取消梯恩梯,则会降低炸药的起爆性能、传爆性能和其他爆炸性能,并导致炸药的燃烧性,增加煤矿炸药的不安全性。

三、太乳炸药

太乳炸药又称塑B炸药,是一种以钝化太安为主要成分,加入适量黏结剂(胶乳)等混合制成的挠性炸药。太乳炸药外观呈红紫色,弹性好,可切割,抗水性强,是一种塑性炸药,具体配方为:钝化太安75%±1%,胶乳(干量)20%±0.5%,四氧化三铅5%±0.25%,还可加入少量其他成分,如发泡剂、石墨等。太乳炸药的密度为0.85~0.95 g/cm³,爆速为3 200~4 000 m/s,用8#雷管可100%起爆,浸水量达3.5%后,仍能良好起爆和传爆。除适用于架空

电力线(包括导线和地线)接头的连接外,它还适用于其他多种电线和电缆线、网的连接(即爆炸压接),也是各种金属焊接和金属爆炸加工的优良能源。

四、黏性粒状炸药

黏性粒状炸药是由多孔粒状硝酸铵、柴油和黏稠爆炸剂(一种以水为溶解液的可流动黏稠剂)组成的工业混合炸药,我国于1985年研制成功,以解决用空压装药机向炮孔吹入粒状铵梯炸药时返药量多造成的浪费和环境污染问题。黏性粒状炸药外观为松散的浅黄色黏稠粒状均匀混合物,可用手握成团,有松散性。黏性粒状炸药既有一定的流散性,又具有一定的黏结性,同时爆炸性能良好,成本较低,目前已在我国地下矿山中使用。黏性粒状炸药采用以流化造粒法生产的多孔粒状硝酸铵(孔容值 $0.11\sim 0.13\text{ cm}^3/\text{g}$,堆积密度 $0.85\sim 0.87\text{ g/cm}^3$)为氧化剂,所用黏稠爆炸剂由黏结剂(聚丙烯酰胺)、水、粉状梯恩梯及粉碎硝酸铵四者组成。我国生产的地矿-1黏性粒状炸药的配方为:多孔粒状硝酸铵70%~80%、粉碎硝酸铵15%~20%、粉状梯恩梯5%~8%、黏结剂2%~4%。其主要性能为装药密度 1.0 g/cm^3 ,爆速 $3\,600\sim 3\,800\text{ m/s}$,猛度(铅柱压缩值) $16\sim 18\text{ mm}$,撞击感度4%~8%,爆炸时有毒气体生成量 $23\sim 25\text{ L/kg}$ 。

五、氯酸盐及高氯酸盐炸药

这是指由氯酸盐或高氯酸盐(常用铵盐和钾盐)与可燃剂(木粉、燃油、硅粉及芳香族硝基化合物)组成的混合炸药,有的还含有硝酸盐。氯酸盐炸药的机械感度大,已在很多国家中禁用。高氯酸盐炸药的爆炸危险性虽稍低,但做功能力比氯酸盐炸药高10%~15%,但价格过高,易爆燃。高氯酸盐炸药目前只在少数国家使用,但高氯酸盐与铝粉组成的混合炸药仍用于军用目的。氯酸盐炸药的配方有:79/15/1/5的氯酸钾/二硝基甲苯/硝基萘/蓖麻油混合物,90/10的氯酸钾/煤油混合物等;高氯酸盐炸药的配方有:(81~86)/(6~13)/(2~6)/(1~4)的高氯酸铵/硅粉/木粉/重油混合物,(30~40)/(35~45)/(15~20)/(3~6)的高氯酸钾/硝酸铵/硝基化合物/木粉混合物等。高氯酸盐炸药的爆速 $3\,700\sim 4\,800\text{ m/s}$,爆温 $3\,000\sim 4\,300\text{ }^\circ\text{C}$,爆容 $650\sim 900\text{ L/kg}$ 。这类炸药曾用于手榴弹、炮弹、航空炸弹、地雷、爆破药包及矿山开采,但现已很少采用,基本上被其他混合炸药所取代。

5.11 现场混装炸药

现场混装炸药主要有现场混装乳化炸药、现场混装铵油炸药和现场混装重铵油炸药等,它们均采用现场混装车现场生产。严格来说,现场混装炸药不完全属于一类新型炸药,只是生产方法不同。现场混装炸药车(以下简称混装车)是该技术的关键,它的发展经历了装药车和混装车两个阶段。装药车是指炸药在固定的加工厂内混制完成,混制好的炸药装到车上运到爆

破现场,按一定的量装到炮孔内。因此,装药车是运药和装药两道工序的设备,主要用于露天矿山的炮孔装药。混装车相当于移动的炸药加工厂,借助地面辅助设施将炸药原料装到车上,运到爆破现场,按炸药配方的要求一边混制炸药一边装入孔内,混装车具有运输原料、混制炸药以及向炮孔装填三种功能。

装药车诞生于20世纪50年代中期,当时世界上一些采矿业发达的国家,如美国和加拿大等国家率先研制出铍油炸药装药车。但是,在20世纪六七十年代,美国和加拿大不再使用粉状硝酸铵制作铍油炸药,开始使用多孔粒状硝酸铵混制炸药,即多孔粒状铍油炸药。由于多孔粒状硝酸铵在造粒过程中添加了一定量的干燥剂,结块性大大减低,本身又具有足够的孔隙,吸油率高,只需将多孔粒状硝酸铵和一定比例的柴油进行简单的混制即成为炸药,其制造工艺比利用粉状硝酸铵混制铍油炸药大大简化。相比之下,粉状铍油炸药的制造要求在轮碾机中进行硝酸铵的粉碎、烘干,再与柴油、TNT等进行混合,配制工艺非常复杂,且环境污染严重,必须经过一定规模的专门车间加工,才能完成。多孔粒状铍油炸药除了混制工艺简单,不易吸湿结块外,还具有不含TNT、流动性好、散装方便等优点,因此,为实现机械化装药创造了良好的条件。所以,20世纪六七十年代美国埃列克公司、AM公司、加拿大的ICI公司及前苏联都相继研制了粒状铍油炸药现场混装车,并得到广泛的推广应用,从而使装药机械由装药车阶段进入了混装车阶段。与此同时,随着浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药、重铍油炸药的发展,与之配套的混装车也相继出现。1963年美国埃列克公司研制成功了浆状炸药混装车;瑞典诺贝尔公司也研制了这样的设备。20世纪70年代末,美国、加拿大、瑞典等国家开始研制乳化炸药现场混装车,于1982年研究成功,1983年美国埃列克公司又研制成功了重铍油现场混装车。

混装车实际上是一种微型高效可移动的炸药加工厂,它集原料运送、炸药混制、机械化装药于一体,取代了传统的炸药制备、储存、运输和人工装药过程,具有生产效率高、装填效率高、计量误差小、爆破效果好、使用安全可靠、建设投资小、成本低等优点。由于混装车并不运送成品炸药,料仓内盛装的是制药的原料即一些普通化工原料,这些原料在现场按一定配比进行混制并装入炮孔,需用多少混制多少,消除了炸药的运输危险和储存危险,所以安全性大大提高。此外,由于是现场混制,可以根据现场的条件,定量地调整组分配比,使能量、密度和黏度(例如乳化炸药)达到爆破作业的最佳状态,以保证获得较佳的爆破效果。

与混装车配套的设施是地面站,其主要功能是炸药原料贮存和加工半成品,地面站分为固定地面站和移动地面站两种类型。固定式地面站相当于一个小型加工厂,主要服务于作业时间长的大中型露天矿山,而移动地面站是将固定地面站的设备安装在几辆半挂车上,主要服务于时间相对较短的水利、电力、公路等流动性较大的工程爆破作业。

以乳化炸药现场混装技术为例,一般情况下,移动式地面站由四辆主体车、两辆辅助车组合而成。主体车主要配置:原材料运输车、半成品制备车、动力车、生活车,辅助车主要配置:加油车、工具车,整个生产主体系统和辅助系统分别组装机于卡车的底盘上,每辆车上通常设有控制室、动力输出系统、液压系统、电气控制系统等。其中原材料制备系统中的水相溶液制备系

统主要由破碎机、螺旋输送机、水相制备罐、水相泵送装置等组成。油相溶液制备系统主要由油相制备罐、油相泵送装置等组成。

早期的乳化炸药现场混装技术中,乳化炸药现场混装车的功能是将地面站配置的水相溶液、油相溶液和微量元素(发泡剂)等,输送到设置在混装车底盘上的各个储备仓。然后开到爆破作业现场,在车上完成乳化、掺和、泵送与装填炸药等生产工艺。该技术中,由于在乳化炸药现场混装车上的水相和油相等储存间要经过严格的保温处理,因此受工况和气候条件的影响较大,也不能经受长距离的路途奔波运输,容易出现装填的乳化炸药性能不稳定的现象。20世纪90年代中期以来,西方发达国家已逐渐淘汰车载油水相溶液、车上制备乳胶、现场混制装填的乳化炸药现场混装技术与设备,继而发展了第二代露天乳化炸药现场混装技术,即在地面站集中制备乳胶基质,并将乳胶基质当作一种原料装于车上的储罐内,直接经敏化后装填于炮孔中,并在此基础上发展了远程配送系统,实现了集中制备乳胶分散装药的体系。所谓“乳胶基质远程配送系统”,是指像普通硝酸铵生产一样实现乳胶基质的大规模生产,跨地区、跨国界远程分级配送,然后在最终用户的爆破现场由装药车装填进入炮孔后才能使其敏化成乳化型爆破剂,实现了民用炸药的生产、运输和爆破装药一条龙技术和服务体系。

现场混装技术是炸药生产、使用方式上的一场革命,代表工业炸药今后的发展方向,具有十分广阔的发展前景。

5.12 工业炸药制造安全技术

5.12.1 工业炸药制造安全技术概述

工业炸药是以氧化剂和还原剂为主体,并按氧平衡原理构成的具有爆炸性的混合物,属于非理想爆轰的炸药,与军用单体炸药相比,尽管它的爆轰性能较差,但它终究是一类可爆炸的机械混合物,在一定的条件下,特别是在不安全的情况下均有发生意外事故的可能。

在工业炸药生产过程中发生的意外伤亡事故的种类和原因很多,因而在预防措施上必须全面细致,但重点应该是预防火灾和爆炸等恶性事故的发生。通过对我国工业炸药生产过程中所发生的重大火灾和爆炸事故的统计分析结果表明,粉状硝酸铵炸药发生事故概率较高的工序为混药、装药包装以及TNT的粉碎工序;乳化炸药发生事故概率较高的工序为精乳和装药包装工序。造成工业炸药生产过程中发生事故的原因主要有以下几个方面。

1. 氧化剂和可燃剂长时间处于较高温度状态

工业炸药的生产过程需要一定的温度,但高温既能导致硝酸铵的热分解,又能导致氧化剂与可燃剂混合后硝酸铵的热分解温度降低和分解速度的加剧,最终由于热积累的加速和自催化的加速使混合体系燃烧或爆炸。

造成物料高温的原因既可能是蒸汽和电器等高温热源长时间加热或烘烤,如轮碾机底盘蒸汽的长时间高温加热等;也可能是连续运转设备的摩擦或者接触部件吻合不良,如乳化炸药胶体磨中进入硬度较大的物质或螺杆泵输料时出现少料或无料等。

2. 违章明火作业

违章明火作业是造成工业炸药生产过程中发生事故的另一重要原因,特别是在生产设备或生产场地未经彻底清理干净就用明火作业更容易引起事故。

3. 产生静电并形成静电积累

对于危险等级较高的生产工序,如 TNT 的粉碎等,由于静电的产生和积累也容易引起事故。

因此,为了保证工业炸药生产过程中的安全性,在工业炸药的建厂方面、原材料的加工方面、炸药的制备方面、劳动保护等方面遵守相应的安全技术规定,切实做到安全生产。

5.12.2 工业粉状硝酸炸药生产中的安全技术

工业粉状硝酸炸药原材料的加工包括硝酸铵的粉碎与干燥、TNT 的粉碎、木粉的干燥与粉碎、食盐的焙烧等。

一、硝酸铵加工过程中的安全技术

硝酸铵原料加工主要是指对硝酸铵进行粗碎、细碎和干燥。硝酸铵的粗碎设备主要有狼牙破碎机、锤式粉碎机、颚式破碎机和滚筒式破碎机等。硝酸铵的细碎设备有轮碾机、凸轮粉碎机、鼠笼式粉碎机等。硝酸铵的干燥设备主要是气流干燥和轮碾机。在二段混合法生产中,硝酸铵的粉碎和干燥可以在气流运动过程中进行,一般常采用高效粉碎的凸轮粉碎机和气流干燥设备联合使用。

硝酸铵原料加工过程中发生的事故很多,究其原因大多是在清理设备时引起的,例如轮碾机内有人清理药粉时误开车,事故的结果是压死、压伤操作员;轮碾机未停车工人就去擦机器,齿轮将手、胳膊绞伤;输送螺旋未停车工人就用手扒料,手指被切断。其次,输送螺旋由于轴头摩擦引起炸药燃烧,导致火灾事故烧毁设备及工房;凸轮机工作时,硝酸铵和黄油挤入轴套被摩擦起火导致爆炸等。

为了防止事故和故障,硝酸铵粉碎过程中的安全技术规定有:

- (1) 防止金属部件、砂石、玻璃等硬质物品混入机器内,以免损坏破碎机械薄弱部分。
- (2) 禁止使用钢钎、铁锤等工具操作,大块硝酸铵宜先用木锤打碎后再投入机器。
- (3) 严禁手、脚伸进破碎机中推料或捅料,当硝酸铵堵塞入料口时,应停机,并用木棒撬料或捅料。
- (4) 破碎机入料口四周,应设置牢固的防护栏杆,以免人员误入。

(5) 机电设备要经常检查、清扫、加油,保持良好的工作状态,防止硝酸铵进入轴承座、电气设施和机械活动机构。

(6) 清理、维修破碎机时一定要停机、断电,严防错误开机。各设备轴承处要密封,防止药粉进入。

硝酸铵干燥时的安全技术规定有:硝酸铵的干燥主要与温度有关,温度控制是其安全生产的重要保证。若采用轮碾机干燥硝酸铵,则应控制料温不超过 80°C ,防止金属或其他过硬的物体以及可燃物等进入轮碾机;若采用气流工艺干燥硝酸铵,应保证鼓风机的风速和风量,防止硝酸铵在管道中发生堵塞现象,同时还应控制料温不超过 100°C 。

二、木粉加工过程中的安全技术

木粉的加工主要是指木粉的干燥和粉碎。最初木粉干燥采用的是平底锅烘干,后来采用过轮碾机干燥、螺旋机干燥、转筒干燥和烟道气干燥等。目前木粉的干燥主要采用转筒干燥、烟道气干燥和红外干燥。木粉的粉碎常采用具有撞击和剪切作用的粉碎设备进行,如鼠笼式粉碎机。木粉是易燃物质,加工过程中操作不小心就易引起火灾。木粉加工过程中发生的部分事故为:木粉干燥机由于电流短路着火,导致工房烧毁;木粉烟道干燥中由于隔火器失效,导致事故发生;木粉烘干窑中因温度过高,使木粉着火;木粉干燥机中由于搅拌翅与机壁摩擦,造成起火事故;木粉干燥机烧焊时因机内存有木粉,发生着火事故等。

从以上事故列证发生可以看出,木粉加工过程中的事故大多是由设备摩擦或者设备失效引起的。

木粉加工过程中的安全技术规定为:防止机械杂质混入木粉中,重点是防止木粉干燥过程中的温度过高、防止烟道气干燥中的隔火器失效、防止加工工房的电流短路着火、防止干燥机中的搅拌翅与机壁的摩擦起火等现象出现,以确保木粉干燥与粉碎过程的安全性。

三、梯恩梯加工中的安全技术

作为单质猛炸药的梯恩梯是易燃、易爆有毒物质,加工过程具有一定的危险性。TNT 加工过程主要是指 TNT 的粉碎,可以采用气流粉碎工艺,也可以采用球磨机粉碎。TNT 粉碎所用的球磨机有金属和木制的两种。金属球磨机又分为不锈钢制和铝制两种,铝制球磨机又分为铸铝和铝板焊制两种。TNT 粉碎工序部分事故:某厂的闭路循环式气流粉碎机由于静电和杂质引起爆炸,导致死 27 人,伤 15 人,损坏设备 7 台的严重损失;球磨机设备转动时,工人违章上皮带轮,导致手指被切断;球磨机因轴套摩擦,导致起火或爆炸事故;球磨机出料时有绿色火花(静电)产生并有拍拍声响,导致火灾事故的发生等。

TNT 加工过程的安全技术规定如下。

(1) 对于 TNT 气流粉碎工艺,须有可靠的隔火和防爆装置,TNT 的气流粉碎不能与其他的混药设备联在一起。

(2) 对于 TNT 球磨粉碎工艺,从安全角度考虑,木制球磨机虽然制造方便,造价低廉,但其导电性和导热性不良,使用木制球磨机应特别注意机内的温度不能过高,同时要保证具有良好的接地;而金属球磨机具有良好的导热和导电性能,不会产生高温和静电累积现象,有利于安全生产,而且粉碎效果较好。无论是何种球磨机,转筒内的温度最好不要超过 45°C ,否则 TNT 的粉碎效果就不理想。此外,由于 TNT 的毒性较大,粉碎和出料过程中均有一定的粉尘,因此,TNT 的粉碎设备应安装有密封的外罩和良好的通风。在加工中应加强工房药料的消除,空气中梯恩梯的最高允许浓度为 $1\text{ mg}/\text{m}^3$ 。

四、炸药混合加工过程中的安全技术

在硝铵炸药生产中混药加工过程是容易发生燃烧以及爆炸危险的工序之一,而且混药工序是发生事故最多、危害性最大的工序。因此混药加工过程的安全技术要求特别重要。粉状工业炸药的混药方式主要有轮碾混药、螺旋混药、球磨混药和气流混药等。常见的混药方式是轮碾混药,轮碾混药根据碾砣质量的不同分为重砣法(碾砣的质量为 800 kg)、中砣法(碾砣的质量为 450 kg)和轻砣法(碾砣的质量为 130 kg)。轮碾混药的温度一般有高温法和低温法两种,高温法温度一般为 $65\sim 75^{\circ}\text{C}$,低温法温度一般为 $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ 。混药加工过程的部分事故为:轮碾机中由于加工温度过高,炸药分解着火导致爆炸事故;轮碾机未停机,操作工清理设备导致该工人手被压断;轮碾机停电时,工人进入机内清料,由于误开车压伤工人 1 人;焊抽风筒前未清除筒内药粉,导致起火,引燃全工房等。

1. 轮碾混药过程的安全技术

为了保证安全生产,轮碾混药过程的安全技术应该做到以下几个方面。

(1) 必须经常检查和调整设备关键部件和传动部分、勤加油,以保持运动器件足够的润滑,使设备保持良好的工作状态,经试车运转正常后方可投料;严格防止硝酸铵或硝铵炸药药粉进入轴承等部位。

(2) 轮碾机夹套内宜采用热水加热,底盘温度不宜高于 80°C ,并注意按工艺要求控制好药温。加料时不能先加敏化剂,敏化剂添加的时间最好在不影响产品性能的前提下离出料时间越短越好。

(3) 禁止使用铁锤、铁铲等敲打机器设备;对于轮碾的传动大齿轮,其中一个齿轮应该采用不发火材料(如铜)制作,以避免齿轮在运动中摩擦发火;螺旋叶片与槽体其中之一也应采用不发火材料制成;与物料接触的设备活动件之间不应产生摩擦。

(4) 严防金属、玻璃、砂石等硬性杂质混入混药机内。

(5) 如遇停电等意外故障时应立即切断电源,停止供应蒸汽并设法降低轮碾机或螺旋夹套的温度。若短时间内不能恢复运转时,必须将碾盘内的物料或螺旋内的炸药取出,即使停工停产也要及时清理设备中的物料。

(6) 在正常的混药过程中,要注意使轮碾机的碾砣运转平稳,碾盘内的物料必须充分搅拌

均匀。

(7) 检修设备、处理故障和清理机内杂物时,应切断电源,挂上禁牌,停止供热并设法降温后再实施;工序存药量不应超过有关规定。

(8) 所有设备都要接地良好,转动部位应设置防护和限位装置。

(9) 混药工房内要安装消防栓和雨淋系统。

2. 气流混药过程的安全技术

对于采用气流管道方式进行混药时,其安全技术要做到以下几个方面:

(1) 必须按要求安装灭火、隔爆或卸爆装置。这是由于采用气流工艺混药时,在较高风速下,粉状硝铵炸药在管道内呈悬浮状态并被输送到分离器,此时若在管道内发生燃烧或爆炸事故,必然会迅速波及整个气流管道,造成恶性事故。而在管道和设备内安装灭火、隔爆装置,可防止事故的进一步扩大。

(2) 气流管道系统应尽量减少弯头以减少弯头压力的损失。在必须使用弯头时,应减少弯头的弯度并加大弯头的曲率半径,且弯头的内壁应尽可能光滑。同时应避免在短距离内出现两个以上的弯头,以防止出现堵料现象。

(3) 在气流管道混药系统中应避免过长的水平管道,否则会出现物料在过长的水平管道中逐渐沉积,造成管道的堵塞。若必须有较长的水平管道,在安装时应注意保持水平管道有一定的倾斜度,以便清理和冲洗残药。此外,应严禁用敲打管子的办法来检查气流管道是否出现堵料现象。

(4) 在气流管道系统的适当部分应设置测压孔及采样孔,此外还应设置清理孔,以便于清理螺旋和标定螺旋的输出量。

(5) 通风机的进风口最好安装在室内,若安装在室外则应安装防雨和防沙装置,以免吸入风沙或雨水,导致这些风沙进入炸药中出现意外事故。

五、炸药装药及包装加工过程中的安全技术

为了保证安全生产,晾药以及装药加工过程的安全技术规定如下。

(1) 在晾药、筛药过程中,防止金属和其他杂质混入药粉中,筛出的药渣必须检查无其他杂质后才能再用于生产。

(2) 注意避免装药机螺旋和装药铜管间发生摩擦,注意保持装药机各部件灵活自如;不要将药粉撒落到机器传动部位上,应该及时清理机器和地面上的炸药,保持良好的工作环境。

(3) 药卷浸蜡时,蜡温不要高于 $100\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$,不能将炸药落入蜡锅等温度高的地方。炸药和雷管绝不能同放一处。

5.12.3 膨化硝酸铵炸药生产中的安全技术

膨化硝酸铵炸药是采用膨化硝酸铵替代普通硝酸铵而制造的一类新型硝酸铵炸药。它的安全性较好,综合性能优于普通硝酸铵炸药,但它毕竟是一类具有爆炸性的机械混合物,因此,与传统的硝酸铵炸药一样,在生产、贮存、运输和使用过程中,在一定的条件下也存在发生燃烧和爆炸事故的可能性。

如前所述,硝酸铵炸药生产过程中发生伤亡事故的种类和因素很多,但预防的核心是火灾和爆炸等恶性事故。膨化硝酸铵炸药安全技术重点也是防止火灾和爆炸事故的发生,具体的安全生产技术要求与硝酸铵炸药的安全生产技术要求基本一致。由于膨化硝酸铵炸药的制造与普通工业粉状梯炸药制造基本相同,主要包括原材料的加工和制备、各组分的混合以及装药和包装等过程,区别主要是膨化硝酸铵的制备和复合油相的配制。所以,膨化硝酸铵炸药安全技术重点主要介绍膨化硝酸铵制备和复合油相配制过程的安全技术。

一、膨化硝酸铵生产的安全技术

膨化硝酸铵的生产过程包括硝酸铵的溶解和膨化两个过程。

1. 硝酸铵的溶解

硝酸铵的溶解是指将破碎后的工业硝酸铵加热溶解于水中,制备出含微量复合膨化剂,硝酸铵质量分数为88%~92%的硝酸铵溶液,溶液温度为125~140℃。溶解是在有蒸汽夹套和蛇管加热装置的溶解机内进行的,溶解机是带搅拌装置的不锈钢反应釜。为了保证硝酸铵溶解时的安全性,必须注意以下问题。

(1) 机械故障的预防。

硝酸铵溶解过程中的机械故障主要是指溶解机的搅拌装置运转不灵或被“卡”住。造成机械故障的原因主要是所制备的硝酸铵溶液浓度很高,硝酸铵溶解的温度系数很大。这样,含水量不高的硝酸铵溶解速度很慢,若溶解机的供热或传热面积不足,或者是加料速度过快,都有可能造成固体硝酸铵过多、流散性不好,导致硝酸铵的板结和结块,使溶解机的搅拌装置发生被“卡”现象。预防溶解机搅拌故障的方法如下。

① 溶解机要有足够的传热面积,加热的蒸汽压力应保持在0.30~0.40 MPa范围内。

② 在搅拌的条件下,先向溶解机中加入水和表面活性剂,然后再由送料螺旋送料或分批将计量的硝酸铵加入到溶解机内。

③ 各物料应按规定的配比投料。

(2) 硝酸铵溶解过程的防燃防爆。

由于制备膨化硝酸铵的硝酸铵溶液浓度和温度均很高,该溶液的氧化性较强,若此时溶液中混有可燃性物质,则很可能会发生自然着火,还可能加速硝酸铵的分解,使在半密闭或密闭

条件下的硝酸铵分解产物出现热积累,有可能导致燃烧甚至转为爆轰。防止硝酸铵溶解时发生燃烧和爆炸的安全措施如下。

① 保持溶解机具有良好的搅拌状态和搅拌效果,硝酸铵溶液的温度不超过 140°C ,防止硝酸铵溶液局部温度过高,最好在溶解机上安装高温报警和消防设施。

② 应有防止杂质,特别是有机杂质进入溶解机的措施。膨化剂加入量严格控制在 0.15% 以内。不合格膨化硝酸铵返工时,添加膨化剂的量要经严格计算,膨化剂加入总量不得超过 0.18% 。

2. 硝酸铵的膨化

硝酸铵的膨化是硝酸铵溶液在真空条件下的干燥结晶过程。虽然从本质上看,该过程与工业粉状硝酸铵的真空干燥结晶没有太大的区别,但不同的是硝酸铵的膨化是在微量膨化剂作用下的静态真空蒸发强制结晶,使结晶后硝酸铵成为膨松、多孔隙、易粉碎、自敏化的膨化硝酸铵。由于膨化硝酸铵具有多孔隙、低密度、低强度等特点,因此,通过膨化结晶机的出料装置很容易将膨化硝酸铵排出机内。但是,若在硝酸铵膨化过程中违反了工艺规程,则可能出现硝酸铵没有充分膨化而变得很硬的现象,此时出料就非常困难,甚至出现出料装置被“卡死”的现象,特别是卧式膨化设备可能会出现出料装置被损坏的情况。

为了保证硝酸铵的膨化效果和膨化后的硝酸铵能顺利出料,在硝酸铵膨化过程中应注意以下安全技术要求。

(1) 确保硝酸铵“膨化”良好,这是避免机械故障的保证。放入硝酸铵溶液前,膨化结晶机必须预热,保温时的夹套温度应在 $110\sim 120^{\circ}\text{C}$,防止设备过冷出现硝酸铵未膨化而提前析晶。

(2) 严格按工艺规程操作,特别是硝酸铵溶液的温度、浓度、系统的真空度和抽气速率等参数必须满足工艺要求。

(3) 膨化结晶机夹套的温度 $\leq 130^{\circ}\text{C}$,以防出料时膨化硝酸铵的温度过高,使硝酸铵发“黏”,不利于出料。

(4) 出料时严格将手或其他工具伸入出料口内。

(5) 若设备有问题,需排除故障时,或者停机清理结块余料时,应切断电源,挂禁牌后方可进行。

(6) 要经常检查膨化结晶机及系统的气密性、吸料阀开关的顺利性以及膨化结晶机内出料装置是否与壳体产生摩擦,若不符合要求应立即处理。

二、复合油相配制的安全技术

在膨化硝酸炸药、粉状铵梯油炸药以及乳化炸药中均含有复合油相组分。组成复合油相的材料主要有表面活性剂、蜡类(石蜡、地蜡、复合蜡)、松香、柴油、机油、凡士林等可燃物。复合油相的制备应在带有夹套加热和搅拌装置的专用熔化设备中进行。熔解的顺序是先加入难溶解或较难溶解的固体组分,待它们完全溶解后再加入液态组分。在进行复合油相制备时应

注意以下安全事项。

- ① 熔混的温度 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ 。
- ② 严格禁止水分进入熔化设备内。
- ③ 禁止其他机械杂质进入油相。
- ④ 严禁烟火。
- ⑤ 保持良好的通风。

5.12.4 乳化炸药的安全性

一、对乳化炸药安全性的认识

过去,人们对乳化炸药的优点给予了充分的肯定,普遍认为乳化炸药具有良好的实用感和较低的危险感度,并把它誉为“工业炸药的未來和希望”。这种看法是有一定依据的,从几十年来对相继问世的各类乳化炸药的性能测试结果来看,在安全性能方面,乳化炸药确实比粉状硝酸炸药有很大程度的改善,它的危险感度(包括撞击感度、摩擦感度、射击感度、热感度、火焰感度等)很低,而实用感度(如爆轰波感度和冲击波感度)却仍然保持良好甚至有所提高,加上良好的爆炸性能和优良的抗水性,因此乳化炸药很快得到了迅速的发展。在乳化炸药的发展过程中,人们逐渐形成了一种盲目乐观的看法,普遍认为乳化炸药只对雷管(爆炸作用)敏感,而对其他非爆炸性的外部作用很钝感。因此,通常称乳化炸药为安全炸药,同时也不把乳化基质作为炸药看待,正因为这种“安全”的观念给乳化炸药的生产带来了隐患。自1988年以后,由于国内乳化炸药生产企业相继发生了多起严重的乳化基质爆炸事故,给人们的思想带来震动,敲响了警钟,使人们逐渐认识到乳化炸药安全生产的重要性。表5-31为我国1988—2006年乳化炸药燃烧爆炸事故统计。

表5-31 我国1988—2006年乳化炸药燃烧爆炸事故统计

时间	地点	事故及其发生工序	事故原因	伤亡人数
1988年3月	广东某化工厂	搅拌机内存药燃烧	组分中的硫黄在夜间保温时自燃着火	无
1991年5月	福建永安化工厂	乳化工序发生爆炸	乳化器搅拌桨损坏,造成金属硬物激烈碰撞摩擦导致爆炸	死亡7人,重伤7人,轻伤6人
1992年11月	江西德兴铜矿装药车地面站	硝酸铵储存罐着火		无
1993年11月	湖南南岭化工厂	包装工房发生爆炸	案犯操作工蓄意引爆	死亡61人,重伤19人,轻伤13人

续表

时间	地点	事故及其发生工序	事故原因	伤亡人数
1994年9月	河北石人沟铁矿炸药厂	生产工房发生爆炸	下班后操作工未关闭螺杆泵导致其长时间空装	无
1998年7月	山东某化工厂	粗乳化器发生爆炸	设备选型不当,内摩擦严重导致爆炸	死亡3人,重伤7人,轻伤6人
2002年6月	浙江永进化工厂	卧式胶体磨发生爆炸	间隙调整不合适	无
2004年2月	河北新光化工厂	乳化器发生爆炸,引爆厂房内2t存药	乳化器设计缺陷加上操作不规范,在存有残留乳胶基质的情况下运转,摩擦升温引发爆炸	死亡13人,伤15人
2005年4月	重庆东溪化工厂	整个生产车间爆炸	阴雨天击引爆炸药	失踪19人,伤10人
2006年5月	安徽盾安当涂化工厂	粉状乳化炸药生产工房	一号螺杆泵断料空转12 min以上发生爆炸	死亡16人,重伤3人,轻伤21人

这些事故表明,乳化炸药和其他工业炸药一样,其制备过程同样存在安全隐患。究其原因,既有配方、工艺、设备和设计方面的因素,更有人们思想认识不足和管理松懈的问题。从事故发生的情况来,大多数爆炸事故都是由于乳化基质的生产引起,因此,这里主要讨论乳化基质生产的安全问题。

二、乳化基质生产的安全技术

乳化基质的生产是乳化炸药生产的关键。乳化基质的生产包括硝酸铵等其他无机盐的溶解、乳化油相的制备、油相和水相混合的预乳以及精乳等工序。乳化炸药的生产工艺有连续工艺和间断工艺两种,但根据我国民爆行业对乳化炸药技术发展的要求,今后我国乳化炸药生产主要采取连续乳化生产技术。因此,在讨论乳化炸药生产的安全技术时主要以连续乳化技术为主。

对于乳化基质生产中的硝酸铵等其他无机盐的溶解以及乳化油相的制备工艺和安全技术与前面介绍过的硝酸铵的溶解和复合油相的制备基本相同,只是各自的组成和对应的温度有所不同。因此,本节主要介绍乳化基质的预乳和精乳过程的安全技术。

1. 乳化基质预乳

乳化基质的预乳是在预乳机内进行的。预乳机的作用是将乳化基质中氧化剂水相和乳化剂油相进行预乳,使水相和油相物料适当混合、分散、均化形成暂不分离的粗乳化液。

2. 乳化基质的输送

乳化基质的输送是由输送泵来完成的,输送泵的作用是将粗乳液连续、稳定、安全地送到精乳机内,它是完成精乳过程中不可缺少的装置,它不仅起到输送乳化液的作用,还可以给精乳机内的物料施加一定的压力,使精乳机后的物料迅速排出。由于粗乳后的乳化液的黏度较高,因此这类输送泵常选用螺杆泵、齿轮泵、旋转活塞式黏稠物料泵、隔膜泵等。

3. 乳化基质的精乳

乳化基质的精乳是在精乳机内完成的。精乳机的作用是对粗乳液进一步细乳化,使水相和油相物料进一步分散、均化、破碎和混合,使乳化粒子细化和均匀,以达到乳化炸药对基质的技术要求。

4. 乳化基质生产中的安全技术

目前,在我国使用螺杆泵输送粗乳液进入胶体磨进行精乳的工艺较多,因此,在满足其工艺技术要求 and 保证产品质量的同时,必须充分重视螺杆泵和胶体磨运行的安全性。

1. 螺杆泵的安全防护措施

螺杆泵主要是依靠螺套和螺杆之间相互啮合空间的变化来输送液体,当螺杆转动时,吸入螺杆腔一端的密封线连续地向排出腔一端做轴向运动,这样,被送液体在压差的作用下吸入腔内,并随螺杆的移动被均匀排出。试验结果表明,“干泵”和“死头”泵送过程中极其危险的极端情况。“干泵”也称干式泵送,即进口堵塞,产品流动停止或者生产停止时泵还在运转,“死头”也称死角运转,即出口堵塞,阀门关闭或生产线堵塞。其次,吸空现象的危害也很严重,螺杆泵的吸空现象是指当泵送乳胶基质时,如其转速较高而导致流速与转速失调,泵定子、转子副密闭空腔不能被乳胶基质充满而产生空穴的现象。吸空现象严重时,将会导致乳胶基质在单螺杆泵中断流。

因此,螺杆泵的安全防护措施如下。

(1) 采用螺杆泵输送粗乳液时一定要保证乳化基质始终充满泵腔,以防止螺杆泵在无物料或少物料情况下,由于螺套和螺杆之间摩擦,产生热量而发生事故。

(2) 要严格禁止出现螺杆泵前端进口断流及出口堵塞,螺杆泵输送压力也不应超出额定值。

(3) 螺杆泵操作后,应及时清理或清洗泵内残药,否则空转时定子与转子产生摩擦,使定子橡胶发热,易使残留的乳胶基质受热燃烧而发生爆炸。

(4) 由于螺杆泵定子由橡胶制成,停泵时间长易与转子抱紧,应定期检查并注入机油。

(5) 定期检查胶套是否破损,每半月更换一次。

2. 胶体磨的安全防护措施

胶体磨是提高乳化基质质量以及乳化炸药爆炸性能的关键设备之一。它是依靠静、动磨盘之间的相对运动,使通过两齿面间的油水相介质受到很大的剪切力、摩擦力、交频振动、旋涡等各种复杂力的作用,而被有效地分散、均化和乳化,形成高质量的乳化基质。胶体磨由于磨

盘之间的间隙小,磨盘转速高,因此,胶体磨是乳炸药安全防护重点。胶体磨的安全防护措施如下。

(1) 胶体磨磨片安装时,对动磨片的轴向和径向有严格的要求,以防止径向和轴向有较大的窜动而导致两磨片间的直接摩擦。确保动、静磨片同心度误差 ≤ 0.05 mm,动盘径向窜动不超过 0.04 mm,轴向窜动 ≤ 0.1 mm。

(2) 进入胶体磨的物料必须经过严格过滤,以防止硬质颗粒、金属或其他物质进入胶体磨内。通常情况下,乳化基质的预乳液至少要经过 301 μm 筛网过滤后才能输入胶体磨。

(3) 严格检查并控制胶体磨运行过程中的工作电流,防止工作电流出现过高或过低现象,一般工作电流应控制在 12~15 A,生产过程中设备空转时间不超过 1 min。

(4) 每班工作完毕后,应用温水冲洗胶体磨的机械密封装置和磨片间的残余物料,防止物料结晶,避免胶体磨启动困难。

(5) 定时检修,在胶体磨正常使用期间,每月至少要彻底冲洗一次,包括打开静磨片,冲洗动、静磨片的齿形槽,清除其中的金属、砂石等杂物,并检查各参数有无异常。