



现代工业炸药发展概况

洪有秋

(1982年7月15日收到)

工业炸药的基本特点在于：它是以氧化剂与可燃物为主体，按氧平衡原理构成的爆炸混合物，属于非理想炸药。矿用炸药在现代工业炸药中占主导地位，它应用于矿山采掘，铁路与公路修筑，水利工程，地下开挖等岩土工程中。随着爆破工艺日益广泛地得到应用，现代工业炸药也迅速地得以发展。

六十年代前，主要为三大类炸药，即硝化甘油类炸药，铵梯类炸药及安全炸药。六十年代以后，铵油炸药与各种类型含水炸药迅速的发展起来。

在岩土工程中，凿岩爆破作业是基本的手段，它的费用占总成本的15%左右。而炸药费用则要占其中的60~85%，居于主要地位，降低工业炸药成本在很大程度上决定着岩土工程及采掘工业的经济效益。

现代爆破理论及测试的研究，已使岩石爆破破碎机理取得了比较一致的结论，它已为爆破工程的生产实践所证明。这一科学的结论认为：炸药在岩石中爆炸（包括在峒室及炮孔中爆炸）对岩石形成的破坏作用系爆炸冲击波及准静态气体楔入综合作用的结果。炸药在炮孔（或峒室）中爆炸后产生冲击波，它首先使装药周围的岩石产生塑性变形造成粉碎，并向外作用形成径向裂隙。冲击波到达自由面（包括天然裂隙面）以后，反射形成拉伸应力波，它使岩石中产生拉应力，而形成大量裂隙。随之准静态爆炸气体进入微裂隙中（包括原生的裂隙）产生楔入作用，使裂隙扩大而完成对岩石的破碎作用，并伴以抛掷及地震效应。从文献可知：冲击波所消耗的能量只占炸药有用机械功总能量的5~15%，它为爆炸气体楔入作用创造了重要的先决条件，而后者最终完成岩石破碎作用它所消耗的能量占有十分重要的比重。鉴于岩石都具有天然裂隙（包括微裂隙），炸药爆炸气体的楔入作用就显得更为重要。根据这一破碎作用的机理可以认为：对于工业炸药，其威力的大小主要在于它的冲量的大小，而不在于其脉冲压力的大小。前者主要取决于炸药爆炸的能量大小和作用时间的长短，后者主要取决于爆轰速度。工业炸药的有用机械功的能量主要决定于它的爆炸热及比容。因此，维持适当的爆速和爆压、提高爆炸热值、增加爆炸气体比容、延长爆炸作用是提高工业炸药爆炸能量利用率的主要途径，而不是片面追求高爆速及猛度。

决定现代工业炸药发展的极为重要的因素之一：在于它的工艺性，即生产、运输和使用安全；贮存性能稳定；抗水防潮性能好；便于实现机械化装药。特别是后者在强化矿山生产和岩石工程快速掘进中极为重要。

总之，保持中低爆速、提高有用机械功能和威力、降低成本、改善工艺性是现代工业炸药发展的基本动向。六十年代以来，铵油炸药与含水炸药其所以获得迅速的发展，并逐步取代了沿用已久的硝化甘油类炸药的根本原因也在于此。

一、铵油炸药。它在世界各国占绝对优势。其主要成份为硝酸铵与矿物油。并具有原料丰富、加工简单、成本低廉、生产和使用安全等优点。特别是采用了多孔粒状硝酸铵以后，它的发展更快，得到了世界各国的推广，取代了长期沿用的硝化甘油类炸药及铵梯类炸药而居首要地位。目前铵油

炸药在各国的使用量都占本国工业炸药总量的 50% 以上, 如加拿大, 美国达 70~80%。

粉状铵油炸药所采用的硝酸铵为结晶状和粉末状的。燃烧剂用柴油及其它矿物油如石蜡、沥青、重油等, 以及其它可燃物如松香、木粉等。后者在炸药中还起着疏松作用以保证炸药具有雷管感度。加入松香、石蜡、沥青等低熔点可燃物, 在硝酸铵粒子表面形成保护膜, 能使此类炸药有一定的防潮能力。添加少量表面活性剂有助于矿物油分散均匀, 从而增加了铵油炸药防结块的能力, 避免渗油, 因此在一定程度上提高了炸药的爆炸性能。但是粉状铵油炸药仍然存在易吸湿结块、不抗水、威力低等缺点。

粒状铵油炸药与粉状的不同, 硝酸铵从结晶状和粉末状发展到多孔粒状, 这是铵油炸药的重大突破。它的特点是硝酸铵呈颗粒状, 并具有孔隙率高、比表面大、对燃油吸附能力强, 其吸附能力一般控制在 10~15 克/100 克的范围。粒状炸药从根本上解决了结块的问题。它具有较好的松散性, 并避免了粉尘, 而其机械感度低, 便于实现安全的炮孔装药的机械化和就地制备, 后者可以使硝酸铵和可燃物分别运输和贮存, 从而杜绝了在运输与贮存过程中发生安全事故的可能性。也有的在粒状硝酸铵表面喷涂防水物质的薄层如硅藻土等以形成抗水硝酸铵。

粒状铵油炸药爆轰波冲击起爆感度很低, 8 号雷管不能直接引爆, 必须采用传爆药或加强雷管起爆。为了提高它的冲击起爆感度, 并增加其威力, 一般采取了许多措施。

加入高发热可燃物如铝粉、镁粉, 其量通常为 5~10%, 而威力要比原铵油炸药提高 18~38%。加入硝基丙烷等有机燃料, 可使铵油炸药能被 6 号雷管所引爆, 其密度可增加到 1.25 克/毫升, 则显著地增加了威力。加入一些可燃物如石蜡、沥青、松香、木粉等, 以增加硝酸铵对油的吸附能力, 提高起爆感度和威力, 并能增加防潮效果。加入表面活性剂如十八烷胺、烷基苯磺酸钠等, 增加硝酸铵对燃油的吸附能力, 有利于克服结块现象, 并增加其起爆感度。控制粒状硝酸铵的粒度 (以 0.2~1 毫米为最适宜) 既可提高爆轰感度及爆速, 又能避免在机械化装药过程中引起的返药。适当提高装药密度以提高铵油炸药的威力, 密度由 0.85 增至 0.95 克/毫升, 就等于添加了 2% 的铝粉, 若增至 1.04 克/毫升, 则相当于加入了 6% 的铝粉, 但密度过大会出现“压死”的现象, 造成拒爆。因之密度最高不宜超过 1.25~1.3 克/毫升, 提高密度的途径是采用机械化装药, 炮孔装药密度可达 1~1.2 克/毫升, 也可加入 5~8% 的水溶胶或硝基丙烷等液体燃料, 以使炸药呈塑性而使其密度增加到 1.25 克/毫升, 后者对于井下及矿山向炮孔装药解决返药问题也是有效的途径。粒状铵油炸药目前主要应用于露天矿山及井下较大孔径 (直径在 50~60 毫米以上) 的深孔爆破。表 1 列举了铵油炸药的组成与主要性能。

二、铵梯类炸药。鉴于 TNT 是最廉价且安定性与安全性高的猛炸药, 有些国家仍然采用它为敏化剂, 并大量使用以硝酸铵与 TNT 为主要成份的混合炸药。它的特点是威力大, 而且可以较大范围地调整其能量和威力。按采用硝酸铵类型不同, 可分成粉状和粒状两类。

粉状铵梯炸药。其成份以粉状硝酸铵、TNT 和木粉为主。其特点是临界直径小, 通常为 20 毫米, 而一些常用炸药的药卷直径多在 32 毫米以上。所以它主要适用于小直径浅孔爆破。添加 5~8% 的铝粉或 15~24% 的黑索今, 爆炸性能更会提高, 其临界直径可降至 8~10 毫米, 多适用于难爆岩矿爆破及光面爆破中。粉状铵梯药卷也作为粒状铵油炸药及浆状炸药的中继起爆药卷被大量使用。

粒状铵梯炸药。采用粒状硝酸铵代替粉状硝酸铵。TNT 为鳞片状, 颗粒状, 或在硝酸铵表面形成包覆膜。后者是在硝酸造粒过程中加热至 180°C, 将 TNT 熔融喷镀在硝酸铵粒子表面形成的, 使粒状铵梯炸药具有较好的抗水性。随着 TNT 含量的增加 (最高达 70%), 铵梯炸药的抗水性也将

表1 铵油炸药的组成与主要性能

主要成份 (%)	粉 状		粒 状		含 铝 型
	筒 单 型	含 铝 型	筒 单 型	含 铝 型	
硝 铵	90~95	87~90	94~95	89~92	/
柴 油		2~3	5~6		
木 粉	0~4	/	/	3~4.2	
铝 粉	/	8~10	/	4~8	
爆 速 (米/秒)					
纸壳 ϕ 32 毫米	/	3200~3400	/	/	
钢 管 ϕ 40 毫米	2700~3000	4000~4800	2200~3600*	2600~3600*	
猛 度 (毫米)					
纸 壳	7~10	14~17	/	/	
钢 环	/	/	15~20	22~28	
爆 力 (毫米)	260~280	400~460	300~330	390~430	
临 界 直 径 (毫米)					
纸 壳	25~28	15~18至20~22	70~100至122~150	80~120	
钢 管	/	/	20~30	18~28	
殉 爆 (厘米)	2~3	0~1至2~3	/	/	
爆 热 (大卡/公斤)	800~900	1180~1300	/	1080~1240	
比 容 (立升/公斤)	/	800~830	980~990	847~907	
密 度 (克/毫升)	0.8~1.0	0.8~1.0	1~1.25	1.05~1.25	

* 钢管直径38~42毫米,药量500克,加强雷管起爆。

提高,合适的范围是50%,增加太多,则硝酸铵比重愈来愈小,混合炸药的威力值反而变小,并趋近于TNT的威力值。有时为了增加炸药威力,添加8~15%的铝粉。粒状铵梯炸药也与粒状铵油炸药一样,起爆感度低,临界直径也较大,需要传爆药或加强雷管起爆。鉴于这类炸药能量大,威力高,安全性好,便于实现装药机械化,所以在一些国家内,它与粒状铵油一样得到了广泛的应用。表2列举了铵梯类炸药的组成及主要性能。

三、浆状炸药与水胶炸药。此类炸药的基本特点是:以胶凝剂稠化的无机氧化性盐类水溶液为连续相,燃料及敏化剂为分散相,通过交联剂形成具有网状结构的凝胶炸药。依靠这种结构的特性,显著降低了无机盐在水中的溶解速率,从而使它具有较好的抗水性,可在水孔中爆破。它具有可塑性,装药密度大,可以提高炸药的体积威力。由于含有10~20%的水,炸药对火焰、冲击、摩擦、振动均不敏感,安全性能很好。浆状炸药起爆感度很低,需要占药量的2~4%以上的传爆药起爆。它主要应用于露天矿深孔爆破中,特别是水孔爆破。

无机氧化性盐类主要采用硝酸铵与硝酸钠,加入硝酸钠是为了降低其析晶点。敏化剂主要采用三种类型:一为猛炸药,以TNT为主,为了增加浆状炸药的威力,也有添加黑索今,泰安等炸药的。其含量一般为10~50%。二为高发热物质铝、镁粉,含量一般为5~15%。三为矿物油及硫磺粉等。国外曾经按此三类敏化剂将浆状炸药分为三种类型炸药。第三类型炸药采用气泡敏化,以提高其爆轰感度和传爆性能,气泡敏化的途径包括用亚硝酸钠等发泡剂和膨胀珍珠岩粉,塑料与玻璃微球等载气物质。此类型炸药成本最低,爆破经济效益大。胶凝剂目前在国外广泛采用甘露半乳聚醚类的古尔胶,也有采用人工聚合物如聚丙烯酰胺的。后者使浆状炸药具有更好的抗水性。在交联剂方面,大多使用硼砂、重铬酸盐或其混合物,尚有采用高价氯化铁,焦性铋酸盐的。控制PH值对于交联作用有很大影响。采用甘露半乳聚醚类型胶凝剂时应是碱性,PH值为7~8,用聚丙烯酰胺时应是偏酸性,PH值为3~5。

近些年来,各国竞相发展水胶炸药,这类炸药实质上属于浆状炸药。与常用的浆状炸药不同之处在于它采用了甲胺硝酸盐为敏化剂。甲胺硝酸盐与硝酸铵,硝酸钠混合,析晶点显著降低,形成微粒晶滴构成的分散性好的凝胶,胶体的稳定性大大提高,贮存期可达一年。而且水胶炸药的爆轰波冲击起爆感度也明显提高,可直接用8号雷管起爆,临界直径可小于20毫米,这是浆状炸药的重大突破。其冲击起爆感度和威力可依靠调整甲胺硝酸盐的含量或添加以少量铝粉来调节。因之,它的用途甚为广泛。加入消焰剂可以充作为安全炸药,可用于有煤气和瓦斯爆炸危险性的矿井。由于它生产、运输和使用安全,抗水性强,逐步取代了昂贵且安全性差的胶质炸药。

浆状炸药另一重要的成就是进行工作面爆破现场混制和用泵输送的技术。这对于露天矿实现浆状炸药机械化装药,改善爆破质量和降低爆破成本是有效的途径。除了设计性能好的现场混合泵送装置之外,选择合适的交联剂及交联工艺,有效地实现孔内滞后交联是这项技术的关键。

表3列举了浆状炸药与水胶炸药的典型配方及主要性能

四、乳化炸药。近些年来,国外出现了乳化炸药,引起了各国的注意和兴趣。它是含水炸药的新发展。乳化炸药系借乳化剂的作用形成油包水型乳状液并加以敏化的爆炸混合物。油为连续相,过饱和氧化盐水溶液微滴为分散相,在结构上这是和浆状炸药或水胶炸药完全相反的。这一特点使乳化炸药具有更好的抗水性。油包水液滴粒子通常为0.1至数十微米,晶粒细,分散性好,氧化剂与可燃物接触紧密且比表面积大,大大改善了爆轰反应条件,使炸药具有优越的爆轰特性和雷管起爆感度。乳化炸药的基本成份为:过饱和氧化盐水溶液、燃料、乳化剂和敏化剂。氧化盐一般采用

表 2 铵梯类炸药

成份 (%)	粉		状		粒		含铝型
	普通型	普通型	含铝型	含黑索今	普通型	普通型	
硝酸铵	79~87	79~87	80.5	66~72	79~30	79~30	80~40
T.N.T	5~11	5~11	15	5	21~70	21~70	12~45
木粉	0~8	0~8	/	/	/	/	/
铝粉	/	/	4.5	8~5	/	/	8~15
黑索今	/	/	/	24~15	/	/	/
爆热 (大卡/公斤)	857~1030	857~1030	1180	1292~1360	967~990	967~990	1264~1320
比容 (毫升/公斤)	895~933	895~933	845	830~810	800~895	800~895	860~752
爆力 (毫升)	300~320至350~380	300~320至350~380	410~430	450~480	360~370至330~340	360~370至330~340	420~440至440~460
猛度 (毫米)							
纸壳	10~12.5至15~18	10~12.5至15~18	18~20	1.85~22	/	/	/
钢环	/	/	/	/	20~25至24~27	20~25至24~27	30~32
爆速 (米/秒)							
纸壳	3000~3200至3600~4800	3000~3200至3600~4800	4000~4500	/	/	/	/
钢管	/	/	/	4800~5300至4000~4500	3000~3600至3800~4500	3000~3600至3800~4500	3800~4000至5800~6300
药界直径 (毫米)	20~25至10~13	20~25至10~13	12~14	5~6至8~10	50~60至40至60	50~60至40至60	30~40至60~80
药爆 (厘米)	2~3至3~6	2~3至3~6	5~8	10~14至8~12	/	/	/
密度 (克/毫升)	0.95~1.1至1.0~1.2	0.95~1.1至1.0~1.2	0.95~1.1	1.0~1.15	0.8~0.9	0.8~0.9	0.85~0.95

表3 浆状炸药及水胶炸药典型配方与性能

	浆 状 炸 药		水 胶 炸 药
	含梯恩梯	含 铝 粉	
主要成份(%)			
硝酸铵	50~60	50~60	22~50
硝酸钠	15~20	15~20	15~19
硝酸甲铵	/	/	15~45
水	10~20	10~20	8.8~15
梯恩梯	10~50	0~25	/
铝 粉	/	5~15	0~5
柴 油	/	/	1~2
硫黄粉	/	/	2~2.6
磷 铁	/	/	0~19.3
珍珠岩粉	/	/	0~5
胶凝剂	0.5~1	0.5~1	0.5~1
交联剂	0.02~0.03	0.02~0.03	0.02~0.03
主要性能			
爆速(米/秒)			
纸 壳	3500~6600	3300~4500	3400~3850(ϕ 32毫米)
钢 管	/		3200~3800(ϕ 25毫米)
殉爆(厘米)	/	/	7
临界直径(毫米)	100~120	100~120	可至15~20
贮存期			一 年
密度(克/毫升)	1.05~1.35	1.1~1.40	1.02~1.38

硝酸铵和硝酸钠的混合物,含量一般为45~75%,其中硝酸钠为15~20%,也有加过氯酸铵、硝酸甲铵以提高其能量。蜡类、矿物油及凡士林等是常用的燃料。敏化剂常采用亚硝酸钠等化学发泡剂及微气泡载体如膨胀珍珠岩粉及其它人工微球等,为了增加炸药的能量,有的也添加铝镁粉。除了选择合适的乳化剂之外,乳化技术其中包括乳化工艺设备及参数,工艺流程等对乳化液的质量和炸药的稳定性有十分重要的影响。

与水胶炸药比较,乳化炸药的爆速和猛度要高,其抗水性能更好,是一种有前途的抗水炸药。然而,到目前为止,乳化炸药稳定性较差,贮存期较短,由于药体软和粘壁的缘故,装药机械化及爆破作业的工艺问题尚待解决。正因为如此,此类炸药仍处于研究完善阶段,目前只有少量试销产品。

表4列举了乳化炸药的典型配方及主要性能。

表4 乳化炸药典型配方及主要性能

炸药编号	1	2	3	4	5
组成(份数)					
硝酸铵	100	61	66.6	51.4	57.95
硝酸钠	15	2.0	13.32	15	9.5
过氯酸铵	/	10	/	/	9.5
水	28	20	11.27	18	11.4
硝酸甲胺	/	/	/	8.6	/
乳化油	5.0	1.0	1.02	2.0	0.95
油	5.4	0.5		2.0	0.95
蜡	2.3	2.5	4.7	3.0	2.85
铝粉	/	/	/	/	5.0
硫磺粉	/	3.0	/	/	/
人工微球	/	/	/	3.0	1.9
珍珠岩粉	/	/	47.6	/	/
发泡剂	少量	少量	/	/	/
主要性能					
密度(克/毫升)	1.18	1.13	1.19	1.29	1.17
爆速(米/秒)	4480/3吋		3500/φ32	4918/2吋	
爆轰感度	中继药包 起爆	6号雷管 起爆	8号雷管 起爆	中继药包 起爆	6号雷管 起爆

应该指出的是：含水炸药，不管是水胶炸药或乳化炸药，尽管爆轰特性指标较高，即爆速可达4000~4500米/秒（φ32毫米纸壳药卷），猛度可达16~18毫米（铅柱压缩值），但其威力较低，爆力值（铅铸值）一般为270~300毫升，只相当于一般铵油炸药的水平。为了增加其威力，往往加入铝粉或其它敏化剂，这又导致了炸药成本的提高。威力低的原因主要是含10~15%的水份。这是所有含水炸药的共同缺陷。

60年代以来，我国的工业炸药有较大的发展，各部门对爆破器材都加强了研究，增加了不少新品种。按1981年不完全统计：铵梯类炸药（其中包括岩石硝铵炸药及煤矿安全炸药）占工业炸药总量的65.78%；铵油类炸药（其中以粉状铵油为主，其它包括其变种如铵沥青，铵松蜡炸药及少量粒状铵油炸药）占32.16%；硝化甘油类炸药占0.15%；浆状炸药占1.46%；水胶炸药占0.29%，其它炸药包括乳化炸药在内为0.16%。

依据现代工业炸药发展的趋向，结合我国工业炸药生产的基础和条件，我们认为需要从下述几

方面发展我国的工业炸药。

1. 大力推广粒状炸药，特别是多孔粒状铵油炸药。要组织和扩大多孔粒状硝酸铵的生产和供销，完善炮孔机械化装药设备。

2. 鉴于我国具有铵锑炸药生产的雄厚基础，而且它又具有调整威力的潜力，需要不断完善其工艺，降低成本和售价，提供适合各种爆破条件的多品种，并研究和推广粒状铵锑炸药。

3. 对于水胶炸药，要从硝酸甲胺的生产着手，降低它的成本，这是降低水胶炸药成本和售价的关键，在此基础上推广适用于各种条件的水胶炸药品种。解决孔内滞后交联技术，实现水胶炸药装药机械化。水胶炸药是目前适用于水孔的有效炸药，应该摆在重要的位置上。

4. 对于乳化炸药，当前的主要问题是加强研究，提高乳化质量，以提高其稳定性，并探讨其炮孔装药机械化的途径。

A BRIEF INTRODUCTION ON THE MODERN INDUSTRIAL EXPLOSIVE

Hong Youqiu