

高等学校用书

矿用炸药原理

林德余 编著

东北工学院出版社

17
高等学校用书

矿用炸药原理

林德余 编著

东北工学院出版社

内 容 简 介

本书从充分释出炸药能量出发,在阐述炸药爆轰基本理论和爆炸化学反应规律,分析现代矿用炸药成分特征的基础上,论述了矿用炸药分类准则,并提出新的矿用炸药分类系统,深入阐明矿用炸药爆轰波结构特点,爆轰波传播过程和影响该过程的因素,说明矿用炸药的起爆原理,起爆能对传爆过程影响的规律,指出改进起爆技术的措施。本书的突出特点在于把矿用炸药作为一个独立的炸药体系,与炸药基本理论结合起来进行论述,形成新的理论系统。

本书适用作高等院校采矿专业本科生选修课教材,或用作研究生的参考书,也可供冶金、煤炭、水利、铁道、化工等部门从事炸药加工和岩土爆破的科研、设计及生产专业人员参考。

高等学校用书

矿 用 炸 药 原 理

林德余 编著

东北工学院出版社出版 辽宁省新华书店发行
(沈阳·南湖) 东北工学院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 9 字数: 219 千字
1988 年 4 月第 1 版 1988 年 4 月第 1 次印刷
印数 1~2200 册

责任编辑: 车荫昌 责任校对: 张德喜

ISBN 7-81006-119-4/TD·4 定价: 2.21 元

前 言

爆破是矿山生产过程的一个重要环节。爆破岩石(矿石)数量多少和质量好坏,对矿山装载、运输、破碎等生产环节的效率,以及矿山的回采强度和生产成本,都影响很大。

30 多年来,特别是近年来,我国矿山爆破,无论在新型矿用炸药和爆破材料的应用,或新爆破技术的推广上,都有显著进展,促进了矿山生产发展,产生良好的经济效益。

虽然如此,但是还必须看到,至今矿山爆破的炸药能量利用率仍然十分低。除了爆破技术还不够完善,目前还不能对爆破作用进行有效控制,从而造成部分炸药能量以无用功形式损失之外,炸药爆炸反应不完全,则是能量损失的基本原因。尤其是目前矿山广泛使用的低感度硝铵类混合炸药,更容易受药包直径、装药密度、起爆能量、起爆技术以及爆破条件等的影响,使爆炸反应不完全,炸药能量没有充分释放出来,不能取得预期的爆破效果。

矿用炸药在其长期发展中不断得到改进和完善,在炸药理论、成分配比、加工工艺以及使用条件等方面,都具有其特点,已经形成一个独立的炸药体系。因此,对它的研究和进一步的发展,越来越引起广泛的重视。

编写本书的目的,是从充分释出炸药能量,提高炸药能量利用率这一基本点出发,根据炸药基本理论,在综合有关文献资料基础上,系统地分析现代矿用炸药的成分特征及炸药分类准则,论述矿用炸药的爆轰、爆炸反应、起爆原理,为合理选用炸药和起爆材料,确定爆破参数和起爆系统,改进爆破技术,最大限度地提高炸药能量利用率,提供必要的基本理论知识。至于有关炸药的一些基本概念,炸药及起爆材料的性能、用途、使用条件,炸药成分配比方法及加工工艺流程方面的内容,在“凿岩爆破”等有关岩石爆破教材中已有所论述,本书就不予重复。

《矿用炸药原理》一书把矿用炸药作为一个独立的炸药体系,结合炸药基本理论进行论述,形成了新的教材系统。这是一种探索。热诚欢迎并感谢对本书提出批评和建议。

编者

1987 年 5 月

目 录

前 言

第一章 矿用炸药

- 1.1 炸药爆炸 (1)
- 1.2 矿用炸药的演变 (2)
- 1.3 现代矿用炸药成分特征 (11)
- 1.4 矿用炸药分类准则 (14)
- 1.5 矿用炸药分类系统 (16)

第二章 冲击波

- 2.1 基本概念 (18)
- 2.2 冲击波形成过程 (20)
- 2.3 冲击波基本方程 (23)
- 2.4 冲击波性质 (29)
- 2.5 冲击波的自由传播 (34)

第三章 爆轰过程

- 3.1 概 述 (38)
- 3.2 爆轰波基本方程 (39)
- 3.3 爆轰波稳定传播条件 (44)
- 3.4 爆轰波参数 (48)

第四章 爆炸化学反应与爆炸功

- 4.1 爆炸化学反应 (57)
- 4.2 爆轰产物 (59)
- 4.3 有毒气体 (61)
- 4.4 爆 热 (67)
- 4.5 爆轰气态产物体积 (71)
- 4.6 爆炸功 (72)

第五章 矿用炸药爆轰

- 5.1 矿用炸药爆轰波结构特征 (77)
- 5.2 矿用炸药爆轰波参数 (81)
- 5.3 侧向扩散 (83)
- 5.4 矿用炸药爆轰特性 (87)

第六章 矿用炸药起爆

6.1 起爆过程	(113)
6.2 起爆能作用	(114)
6.3 导爆索起爆作用	(120)
6.4 能量分布特征与起爆药包位置的关系	(126)
6.5 药柱传爆方向对岩体应力分布的影响	(131)

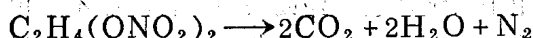
参考文献

第一章 矿用炸药

1.1 炸药爆炸

爆炸是物质能量转化的一种特殊形式。其主要特点是能量的转化高速进行；与此同时，爆炸物周围的介质受到瞬间形成的极高压力的作用，强烈压缩，产生变形以至破坏。自然界中发生的各种爆炸现象，按其性质不同，可分为物理爆炸、化学爆炸和原子爆炸。炸药爆炸实质上就是一种放热化学反应过程。但是与一般的放热反应过程不同，它是一个高速的、自动进行的过程，瞬间产生的大量气体在高温高压的条件下迅速膨胀，把化学反应释出的热能转化为作用于周围介质的机械功，产生爆炸效应。所以，炸药爆炸属于化学爆炸。

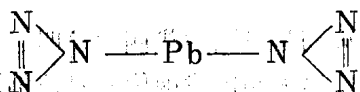
炸药是一种化合物或混合物，一般均含有氮、氧、碳、氢等元素。炸药爆炸也就是炸药中的氧对其它元素，主要是碳、氢的氧化过程。不过，它不象煤燃烧等一般燃烧过程，需要从外界供给足够氧气才能进行，炸药爆炸时生成氧化物所需的氧存在于炸药分子（或混合物）中，这就保证了爆炸过程不受外界是否存在氧或氧量多少的影响而能独立进行。例如，乙二醇二硝酸酯的分解反应为：



炸药分子中的碳、氢元素被完全氧化成为二氧化碳和水所需的氧均来自炸药本身。

矿用炸药主要是以硝酸铵为基本成分的混合炸药，或者是硝酸铵与单体猛炸药和可燃成分混合，或者仅与可燃成分混合。在这种多成分混合炸药中，必定要有一种成分能够分解出多余的氧，以氧化其它成分中的碳、氢。在有的混合炸药中，即使其中的一种成分本来就是负氧的，但是在其化学反应中分解出来的氧也被用来氧化其它元素。例如，在梯恩梯与铝混合炸药中，前者分子中虽然有氧原子，但它是一种严重负氧炸药（见 4.2）。虽然如此，爆炸时，铝与梯恩梯分解出来的氧化合成为铝的氧化物，产生更大的热量。这时，梯恩梯相对铝来说却成了提供氧的成分了。

当然，并不是所有的炸药都含有氧。例如，起爆药叠氮化铅 $[\text{Pb}(\text{N}_3)_2]$ ，它是无机物类型敏感度很高的炸药。其化学结构式为：



可以看出，氮原子相互结合并与不活泼的金属 Pb 相联。一旦受外能作用即分解为氮与铅，并放出热量：



炸药作为一种应用广泛的能源，与常用的能源，如石油、煤等比较，它在时间上、空间上的能量密度大。1 kg 集中装药炸药包大约在 10 至几十 μs 时间内完成爆炸，1 kg 汽油完全燃烧则需要几分钟。从另一方面比较，1 kg 汽油燃烧时，若把从空气吸收的氧量考虑在内，则其总的体积要比 1 kg 炸药的体积大得多。综合比较的结果，单位体积炸药爆炸所放出的热量，即体积能量密度，相当于单位体积汽油-氧气混合物燃烧释放出热量的几百

倍。因此，尽管与一般能源比较，炸药爆炸所释出的能量绝对值并不高，然而，由于它在时间和空间上能量高度集中，炸药作为一种能源特别适用于容积小而又需要在瞬时内做大量功的地方。把炸药装入容积很小的炮孔内以爆破并抛射出大量的岩石就是这个道理。

1.2 矿用炸药的演变

除了军事上应用之外，炸药作为发展经济的一种特殊能源，广泛用于采矿、建筑、交通运输业及农业等国民经济许多部门。炸药用量不断增长，其中以矿山生产消耗的炸药量最大。以我国冶金矿山为例，仅 1965 年到 1979 年，炸药消耗量增加将近三倍。在美国 1970 年到 1980 年用于采矿工业的炸药量增加 137%。

尽管近年来新的破碎岩石技术，如机械破岩、高压水射流破岩的应用取得进展。但是，矿山的建设和生产仍然离不开炸药，无论露天矿剥离，巷道的开掘和矿石的回采，都主要靠炸药爆破才能进行。因此，随着矿业的不断发展、矿山生产所需要的炸药也不断得到改进，形成了各种不同类型、不同品种的炸药。到今天，这类炸药无论在基本理论，或者在成分配比、加工工艺、炸药性能、使用条件等方面，都形成了明显区别于起爆药（如雷汞等）或单体猛炸药（如黑索金等）的许多特点，发展成为一个独立的、比较完整的炸药体系。

“矿用炸药”就是指大量直接用于采矿工业中开掘巷道、回采矿石等生产过程的炸药。它不同于起爆药，后者只用于引爆其它炸药或爆破器材，而不是用于直接爆破岩石，并且在爆破作业中其消耗量是很小的。一些单体猛炸药，如黑索金、梯恩梯、太安等，尽管往往是矿山爆破作业中所不可缺少的炸药，但也不属于矿用炸药。这是因为其中一些单体猛炸药只用做起爆材料的装药，如黑索金用于导爆索药芯或雷管中的副起爆药。很明显，其作用不在于直接爆破岩石，同时在爆破作业中其用量也很小。有的单体猛炸药，如梯恩梯成为一些矿用炸药中的一种成分，如含梯浆状炸药或二号岩石炸药中均含一定比例的梯恩梯。在这种情况下，梯恩梯是被用来直接爆破岩石的。但是，与混合炸药中硝酸铵等其它成分比较，梯恩梯含量比较小，如果考虑到大量不含梯恩梯的其它矿用炸药，则梯恩梯在总的炸药消耗量中的比重就更小得多了。当然，在国外，有的矿山利用梯恩梯在水中仍能保持爆炸性能的特点，将它用于露天矿水孔爆破。但这只是个别的情况。所以，梯恩梯也不属于矿用炸药。

从黑火药作为最早的一种矿用炸药开始，一直到今天，矿用炸药的发展大致可分为三个阶段。

第一阶段是黑火药时代。黑火药是我国古代四大发明之一。唐代初期已经有了关于黑火药配方的记载。到了 13 世纪初，黑火药由我国传入阿拉伯国家，以后又传入欧洲。开始，黑火药只用于制造烟花和军事目的。到了 17 世纪，黑火药首次应用于矿山爆破，开辟了矿用炸药历史的第一页，给采矿工艺带来了根本性的变革。

但是，严格来说，黑火药不是炸药，它所发生的高速化学反应是爆燃而不是爆轰。它的爆炸威力比较低，安全性差，容易造成火灾和其它爆炸事故。

第二阶段是胶质硝化甘油炸药时代。1864 年诺贝尔发明用硅藻土吸收硝化甘油制成“代拿买特”。由于它比黑火药爆炸威力高，适用于坚硬岩石的爆破，很快得到了推广应用。经过以后的进一步改进和完善，胶质硝化甘油炸药取代了黑火药。从此，炸药才真正用于矿业工程。

第三阶段是硝铵类混合炸药时代。随着采矿工业的发展，矿山爆破规模不断扩大，炸药用量愈来愈大。虽然硝化甘油炸药威力大，但制造和使用安全性比较差，成本也高，不适应于生产大发展的要求，需要进一步寻求安全性好、材料来源广、成本低的新型矿用炸药。

硝铵类混合炸药是以硝酸铵为基本成分，加入适当比例的可燃成分、敏化成分等组成的矿用炸药。与硝化甘油炸药比较，硝铵类炸药的突出优点是生产和使用安全，加工工艺简便，原料来源广、成本低。特别是近 30 年来，这类炸药的发展突飞猛进，炸药新品种、新类型不断涌现，更能适合于当代采矿工业发展的需要，取代了硝化甘油炸药，成为现代矿用炸药的主体。例如，在美国 1960 年以前，矿用炸药以硝化甘油炸药为主，在炸药总消耗量中的比重平均达到 89.6%，到了 1978 年仅为 2.0%。在我国硝化甘油炸药产量在 1962 年以前逐年上升，近几年则保持在很低的水平，这从图 1-1 可以清楚看到。若以 1982 年产量做对比，硝化甘油炸药仅为铵梯炸药的 4%。如果加上其它硝铵类炸药品种，如粉状铵油炸

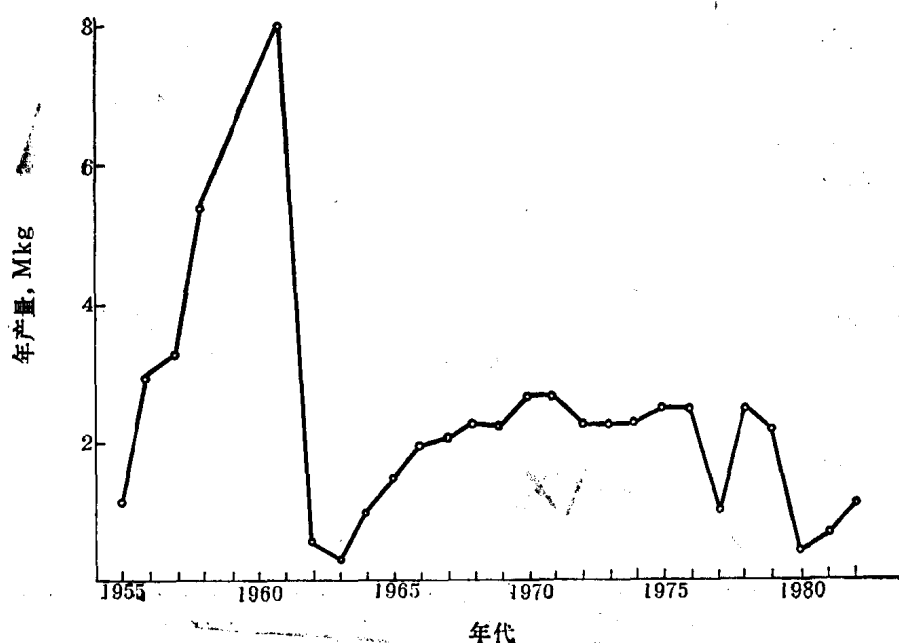


图 1-1 硝化甘油炸药年产量的变化

药等的产量，那么，硝化甘油炸药在炸药总产量中的比重就更小了。

表 1-1 列出国产硝化甘油炸药的成分配比及主要性能。

硝铵类矿用炸药本身同样经历了不同的发展阶段。

远在 19 世纪 70 年代就已开始采用粉状硝铵类炸药。20 世纪初出现了以食盐为消焰剂的煤矿安全炸药。后来，铵梯型硝铵炸药得到了广泛的应用。1953 年我国开始生产以硝酸铵为主要成分，含有梯恩梯、木粉等成分的粉状硝铵类炸药（简称粉状铵梯炸药），年产量约 20Mkg，以后产量逐年上升，成为我国产量最大的一种矿用炸药。图 1-2 表示我国粉状铵梯炸药产量的变化。它说明，在很长时间里，粉状铵梯炸药年产量维持在 200Mkg 以上。几种主要粉状铵梯炸药的成分及性能汇于表 1-2。

表 1-1

国产硝化甘油炸药成分与性能

炸药名称	1 号 胶质炸药	1号难炼 胶质炸药	2 号 胶质炸药	2号难炼 胶质炸药
成分与性能				
硝化甘油, %	40 ± 1.0	—	62 ± 1.0	—
混合硝酸酯, %	—	40 ± 1.0	—	62 ± 1.0
硝化棉, %	1.7 ± 0.3	1.7 ± 0.3	3.0 ± 0.3	3.5 ± 0.3
硝酸铵, %	52.3 ± 1.5	52.3 ± 1.5	—	—
木 粉, %	3.0 ± 0.5	3.0 ± 0.5	8.0 ± 0.5	8.5 ± 0.5
硝酸钾 (或硝酸钠), %	—	—	27 ± 1.0	26 ± 1.0
淀 粉, %	3.0 ± 0.5	3.0 ± 0.5	—	—
水分不大于, %	1.0	1.0	0.75	0.75
爆力不小于, cm^3	360	360	360	360
猛度不小于, mm	15	15	15	15
殉爆不小于, cm	5	5	5	5

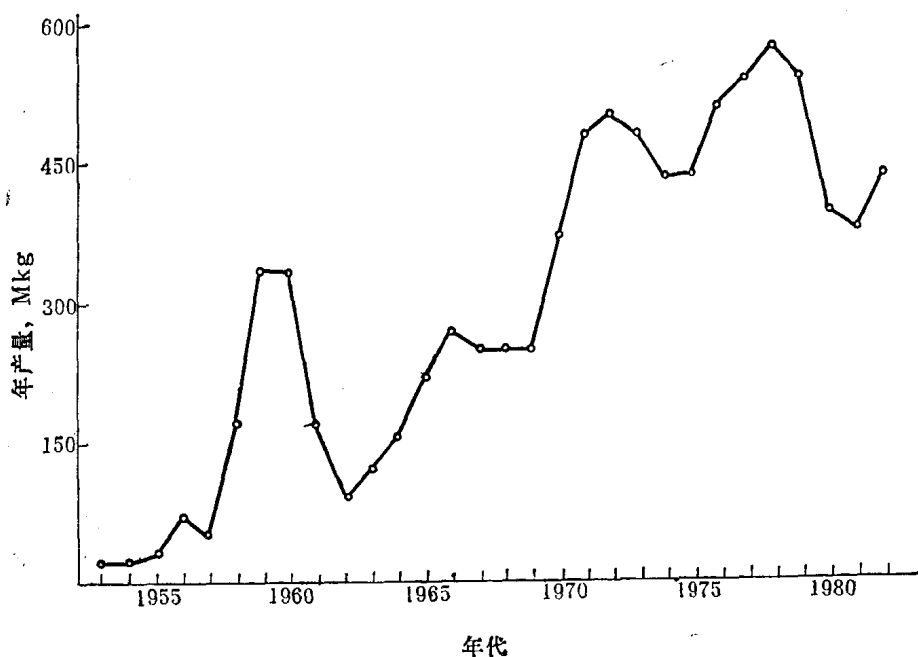


图 1-2 粉状铵梯炸药年产量的变化

本世纪 50 年代后期, 兴起了硝酸铵类新型炸药——粒状铵油炸药。它是由粒状硝酸铵与柴油混合而成的仅两种成分的炸药, 故有时也称为简单成分矿用炸药。起初采用致密状粒状硝酸铵作为炸药原料, 但实践证明, 由此而制成的混合炸药, 敏感度很低, 同时也容易出现渗油现象, 影响炸药的推广应用。直到孔隙粒状硝酸铵出现才使得硝酸铵颗粒与柴油混合之后, 能够吸入并保持适当比例的柴油 (6 % 左右), 提高了硝酸铵颗粒的吸油率, 增加硝酸铵与柴油的接触面积, 从而增强炸药爆炸瞬间的化学反应作用。当硝酸铵与柴油的重量比为 94:6 时, 炸药达到零氧平衡。这时, 炸药爆炸产生的能量可以由硝酸铵单独爆炸时的 1464.4kJ/kg (爆热), 提高到铵油炸药(94:6)爆炸时的 3723.8kJ/kg, 并且提高了炸药的敏感度, 增强炸药性能的稳定性。

由于粒状铵油炸药具有混制使用安全、成本低、便于机械化装药等优点, 很快得到推广

表 1-2

一些国产含梯恩梯粉状硝酸铵类炸药成分与性能

成分与性能	炸药名称	1号露天铵梯炸药	2号露天铵梯炸药	1号岩石炸药	2号岩石炸药	2号岩石抗水炸药	1号煤矿硝酸铵炸药	2号煤矿硝酸铵炸药
硝酸铵, %		82±1.5	86±1.5	82±1.5	85±1.5	85	68±1.5	71±1.5
梯恩梯, %		10±1.0	5±0.5	14±1.0	11±1.0	11	15±0.5	10±0.5
木粉, %		8±1.0	9±1	4±0.5	4±0.5	3.2	2±0.5	4±0.5
食盐, %		—	—	—	—	—	15±1.0	15±1.0
水分, %		0.5 以下	0.5 以下	0.3 以下	0.3 以下	—	0.3 以下	0.3 以下
石蜡				—	—	0.4	—	—
沥青				—	—	0.4	—	—
密度, g/cm ³		0.85~1.1	0.85~1.1	0.95~1.10	0.95~1.10	0.95~1.10	0.95~1.10	0.95~1.10
猛度, mm		11	8	13	12	12	12	10
爆力, cm ³		300	250	350	320	320	290	250
殉爆, cm		4	3	6 以上	5 以上	5 以上	6	5

应用,特别是露天矿无水深孔爆孔应用更广。消耗量比重迅速增长,成为当今矿用炸药主要品种之一。

我国于 1963 年开始采用粉状铵油炸药。铵油炸药的成分及性能如表 1-3 所示。

表 1-3

一些国产硝酸铵与燃料混合的粉状炸药成分与性能

成分及性能	炸药名称	1 号 铵油 炸 药	2 号 铵油 炸 药	1 号 铵松蜡炸药	2 号 铵松蜡炸药	铵 沥 青 炸 药
硝酸铵 %		92±1.5	92±1.5	91±1.5	91±1.5	90
柴 油 %		4±1.0	1.8±0.5		1.5±0.5	
木 粉 %		4±0.5	6.2±1.0	6.5±1.0	5±0.5	8
松 香 %				1.7±0.3	1.7±0.3	
石 蜡 %				0.8±0.2	0.8±0.2	1
沥 青 %						1
密度 g/cm ³		0.9~1.0	0.8~0.9	0.9~1.0	0.9~1.0	0.85~0.9
水分(%) 不大于		0.25	0.3	0.25	0.25	0.3
猛度(mm) 不小于		12	18(钢管)	12	12	9
爆力(cm ³) 不小于		300	250	300	310	270
殉爆(cm) 不小于						
浸水前		5	—	5	5	4
浸水后		—	—	4	2	—

图 1-3 是 1966~1979 年期间粉状铵油炸药产量变化的情况。平均产量仅次于粉状铵梯炸药而居第二位。但是,我国铵油炸药的发展长期停留在粉状炸药上,而粒状铵油炸药始终没有得到应有的发展,产量一直很低,化工厂生产的多孔粒状硝酸铵年产量远不能满足矿山大规模爆破的需要,尚未跟上世界矿用炸药发展的潮流。

世界上许多矿业发达的国家,粒状铵油炸药是矿用炸药的主体,用量最大。但是,它与其它干式硝酸铵类炸药一样,由于硝酸铵容易吸湿,使炸药爆轰感度和爆破威力下降,所以只适于干孔装药。为了在水孔而且岩石坚硬条件下有效爆破,需要进一步研制新的炸药。

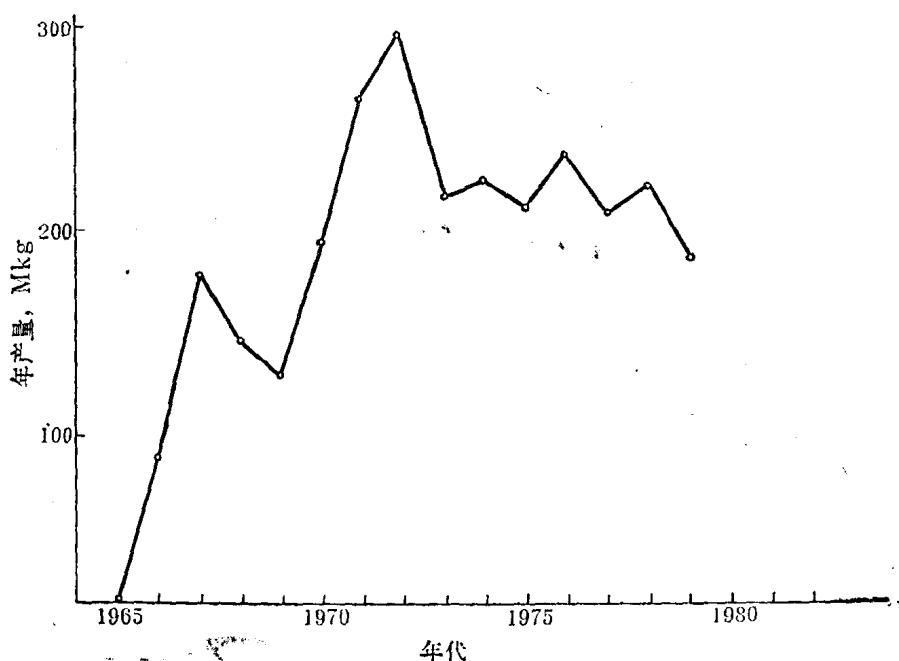


图 1-3 粉状铵油炸药年产量的变化

1956 年浆状炸药的试验成功，为硝酸铵类炸药的应用开辟了新的领域，解决了粒状铵油炸药不适用于水孔爆破的难题。同时由于浆状炸药密度大，因而提高了炸药容积爆炸威力。浆状炸药是一种含水炸药（含水量可达 10~20%），这就完全消除了长期存在的硝酸铵类炸药只能是干式而不能含水的传统观念，使硝酸铵类炸药的发展上升到一个新的阶段。浆状炸药不同于一般干式硝酸铵类炸药（如铵油炸药、岩石炸药）的特点，在于炸药中的氧化成分（硝酸铵）饱和溶液作为悬浮液，使超量的固体氧化成分和敏化可燃成分分散于浆状液之中。后者可包括负氧炸药如梯恩梯，或非炸药的含碳物质或碳氧化合物，可氧化的高热量金属如铝。随着浆状炸药的发展和应用条件的变化（如环境温度和压力的变化等），浆状炸药的敏化-可燃成分也有所不同，常用的有：梯恩梯、铝粉、柴油、乙二醇、硝酸钾铵。此外，还有以微气泡起敏化作用的。因此，按敏化成分性质和敏化作用的不同，浆状炸药大致可分为梯恩梯敏化、金属铝敏化、微气泡敏化三种类型。在我国以后一种类型为主。

由于含有一定量的水，浆状炸药成为最安全炸药的一种。这是因为它不易被引爆，对撞击、摩擦均不敏感。此外，由于有胶结剂，使炸药具有抗水性。胶结剂可增加粘度，阻止水自炸药向外渗出和水自外向内浸入。

用铝敏化的浆状炸药与含梯恩梯浆状炸药比较，突出的优点是不用猛炸药成分。此外，炸药中铝含量增加 1%，可使炸药的重量威力增大 2.5%至 3.5%。甚至在负氧平衡炸药中加入铝也同样可以大幅度增大炸药威力。这就是为什么在梯恩梯含量相同的情况下，含有硝酸铵、梯恩梯、铝、水的浆状炸药比只含有硝酸铵、梯恩梯、水的浆状炸药的威力大的原因。

浆状炸药的突出优点是抗水性好，适用于水孔爆破。另外，装药密度大、体积威力高，适合于坚硬岩石爆破，加工和使用安全，有一定流动性，可就地混制和便于机械化装药。所以，浆状炸药成为矿用炸药主要品种之一。在美国，1978 年冶金矿山浆状炸药用量占总炸药消耗量的比重达 35%；在苏联金属矿山 1977 年硝酸铵类粒状炸药和含水炸药用量占总炸

药量 50%。并且从发展看,要求含水炸药密度增大到 $1.4\sim 1.6\text{g}/\text{cm}^3$, 体积能量密度达到 $6694.6\text{kJ}/\text{L}$ 。

我国在本世纪 50 年代后期即开始了浆状炸药的研制工作。经过一些矿山的试用之后,逐渐得到推广。从 1976~1982 年的统计资料分析,浆状炸药用量逐年增加,这从图 1-4 可以清楚看到。

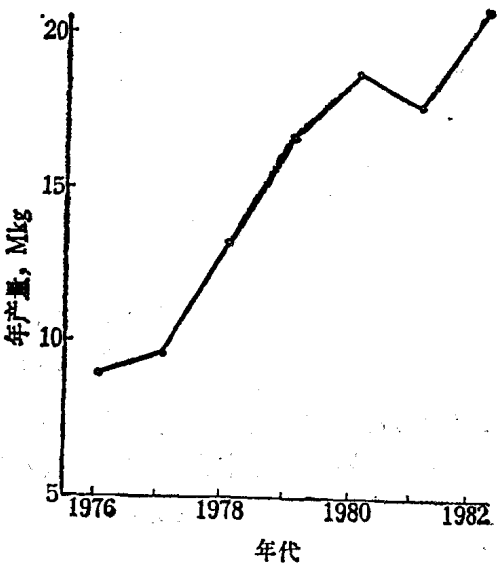


图 1-4 浆状炸药年产量的变化

表 1-4 汇总了国产一些浆状炸药的成分及主要性能。

表 1-4 一些浆状炸药成分及性能

成分与性能	炸 药 名 称 或 代 号	5 号	6 号	白云 2号	槐 1 号	槐 2 号	Al10 号	白云聚 1号	白云聚 2号	可 泵 送 浆 状 炸 药	
										1 号	2 号
硝酸铵, %		70.2~71.5	73~75	52	67.9	58.5	57	61.2	60	50~65	55~65
硝酸钠, %				12	10	10	10	10	10	8~15	5~10
水, %		15 ⁺² ₋₄	15 ⁺² ₋₄	13.5 ⁺³	9.0	9.5	13	4.99	7.25	15~20	15~20
梯恩梯, %		5.0		10		10		10	10		
白芨, %		2.4~2.6	2.4~2.6								
田菁胶, %							0.8			0~0.2	0.7~1.2
槐豆胶, %				0.7	0.6	0.5					
聚丙烯酰胺, %								3.5	4	0.4~ 0.64	
亚硝酸钠, %		0.5~1	0.5~1		0.5	0.5	0.1				

续表 1-4

成分与性能	炸药名称 或代号	5	6	白云	槐	槐	Al10	白云	白云	可泵送 浆状炸药	
		号	号	2号	1号	2号	号	1号	2号	1号	2号
尿 素, %		3.0					3.0	5	3		
硫磺粉, %				3.0	4.0	4.0	2	5	5		
柴 油, %		3~4	4.55	2.0	3.5	2.5				2.5~3.0	2.5~3.0
表面活性剂, %		1	1	1	2.5	2.5	3				1.0~1.2
乙二醇, %									3		
硼 砂, %		1.4	1.4								
交联剂, %				2	2	2	2			0.01~ 0.03	0.06~ 0.15
铝 粉, %							10			发泡剂0.01~0.20	0.08~ 0.10
密 度, g/cm ³		1.15~1.24	1.15~ 1.24		1.05~ 1.2	1.1~ 1.2	1.2~ 1.3	1.1~ 1.3	1.1~ 1.3		
爆 速, m/s		4400~5600	5250		3440~ 4100	3500~ 4150	4462	4861~ 4953	5147~ 5176	3771 (φ 85mm)	4440

水胶炸药可以认为与浆状炸药同属一种类型。其主要特点是悬浮体是一种颗粒很小的（即普通显微镜难以分辨的）可流动胶体。它是本世纪 70 年代初发展起来的含水炸药新品种。我国于 70 年代中期开始研制并取得结果，已有批量生产，使用效果良好。表 1-5 列出国产一些水胶炸药成分及性能。

表 1-5 一 些 水 胶 炸 药 性 能

性 品 种 能	SHJ-K	101 型	OS-30 型
密度, g/cm ³	1.0~1.3	1.05~1.25	1.1~1.25
爆速, m/s	φ 32~35 3500~4000	φ 35 3500以上	φ 32 3500~4000
猛度, mm	15	16	14.1~15.2
殉爆, mm	80	100	80
临界直径, mm	—	—	12
爆力, cm ³	350	300	—
爆热 J/g	4210	—	4690
贮存期, d	120	120	360

乳化炸药是本世纪 70 年代研制成功的新型硝酸铵类抗水炸药。它的出现标志着现代矿用炸药的发展又迈进一个新的阶段。乳化炸药区别于浆状炸药的主要特点是不采用胶结剂、交联剂等粘性增稠方法把硝酸铵、可燃成分、敏化成分等粘合起来，形成糊状胶体，而是用乳化剂将硝酸铵水溶液分散在燃料油中，并以气泡敏化，形成油包水型乳化炸药。这从下面一种乳化炸药成分配比中可以看出其区别于上述含水炸药的特点：

硝酸铵	58%	乳化剂	2%
硝酸钠	15%	水	17%
石 腊	6%	微玻璃气泡	2%

乳化炸药具有高抗水性能, 虽不含敏化剂, 但爆轰感度比较高, 密度大, 体积威力高, 加工和使用安全。因此, 作为一种新型抗水炸药, 它的研究成功和实际应用的良好效果, 引起广泛重视, 许多国家相继组织研制和生产乳化炸药。

1979 年我国开始研制乳化炸药, 经过较短时间的努力, 终于创造了适合我国实际情况的不同配方乳化炸药, 在矿山爆破实践中, 取得了显著的经济效果, 显示了这一新型抗水炸药的优越性。一些乳化炸药的成分配比及性能列于表 1-6 中。

近年来还出现一种新的混合炸药品种, 称之为重铵油炸药。它是由铵油炸药与乳化炸药按一定配比混合而成的复合型炸药。其特点是把乳化炸药的良好爆轰性能和抗水性能, 与铵油炸药低成本的优点结合起来, 构成了一种适应性更好, 高威力和经济的矿用炸药, 预计将有更广泛的应用前景。

表 1-6 一些 乳 化 炸 药 的 性 能

品 种 系 列	密 度 g/cm ³	爆 速 m/s	猛 度 mm	殉爆距离 cm	抗 水 性 能	储存期 月	临界直径 mm	威 力
EL 系列, 7 个 品种(101~107)	1.05~1.31 (1.40~1.55)	4000~5600	16~19	≥10.0	良 好	6	12~16	101~106 的重量* 威力为 88~108, 体 积威力为 105~143
RJ 系列, 2 个 品种(RJ-1, RJ-2)	1.05~1.25	4000~5200	15~19	≥7.0	良 好	2~5	13 (RJ-1)	爆力为 283 ~301cm ³
WR-5 型	1.0~1.25	4700~5200	18~20	6.0~9.0	良 好	4	12~16	—
露天-111 型 露天-112 型	1.10~1.18	3200~4200	13~20	≥3.0	良 好	4	20~25	爆力为 275 ~304cm ³
岩石型或煤矿安全型	0.95~1.25	3700~4600	14~17	8.0~12.0	良 好	—	15	爆力 307cm ³

* 以 2 号岩石炸药为 100%

30 多年来, 在我国随着采矿工业的发展, 矿用炸药生产量增加 30 多倍, 炸药的类型、品种也发生了根本性变化, 安全性能良好、成本低的新类型矿用炸药的比重逐年增大, 基本改变了过去存在的炸药品种单一、可选性小的局面, 为我国矿用炸药的新发展奠定了基础。

表 1-7 至 1-12 列出一些外国新炸药类型的成分及主要性能。

表 1-7 苏联一些粒状铵油炸药的成分及性能

成分配比及性能	Гранулит				Иглалит
	AC-8	AC-4	C-2	M	
粒状硝酸铵, %	89	91.8	92.8	94.5	94.5
柴 油, %	3	4.2	4.2	5.5	5.5
铝 粉, %	8	4	—	—	—
木 粉, %	—	—	3	—	—

续表 1-7

成分配比及性能	Гранулт				Игланит
	AC-8	AC-4	C-2	M	
氧平衡, %	0.34	0.41	0.06	0.14	0.14
爆 热, kJ/kg	5199	4525	3839	3851	3851
爆炸气体体积 L/kg	847	907	985	980	980~990
爆 力, cm ³	410~430	390~410	320~330	320~330	320~330
临界直径, mm	80~100	100~120	120~130	70~100	120~150
爆速, km/s*	3.0~3.6	2.6~3.2	2.4~3.2	2.5~3.6	2.2~2.8

• 爆速在直径 38~42mm 钢管的外壳条件下测定

表 1-8 苏联一些粒状铵梯炸药的成分及性能

成分配比及性能	粒 状 铵 梯 炸 药				含铝铵梯炸药	
	79/21	30/70	50/50-B	30/70-B	A-8	A-45
梯恩梯, %	21	70	50	70	12	45
硝酸铵, %	79	30	50	30	80	40
铝 粉, %	—	—	—	—	8	15
氧平衡, %	+0.02	-45.9	-27.15	-45.9	-0.24	-38.65
爆热, kJ/kg	4312	3977	4123	3977	5379	6237
爆炸气体体积 L/kg	859	800	910	800	860	752
爆 力, cm ³	360~370	330~340	340~350	330~340	420~440	440~460
猛 度, mm*	20~25	24~27	23~25	24~27	—	30~32
临界直径, mm	50~60	40~60	40~50	40~60	30~40	
爆 速, km/s	3~3.6	—	3.6~4.2	3.8~4.5	3.8~4.0	5.8~6.3

• 药包用钢外壳

表 1-9 苏联一些浆状炸药成分及性能

成分配比及性能	65/35	AB	ABM
粒状硝酸铵, %	53.5~63.5	55~55	48~54
梯恩梯, %	29.0~22.0	26~30	17~23
铝 粉, %	—	—	9~11
羧甲基纤维素, %	2.5~2.0	1.5~2.5 (聚丙烯酰胺)	1.5~2.5 (胶结剂)
水, %	15~12.3	12~16	12~16
交联剂, %	0.07~0.10	0.05~0.1	0.05~0.1
爆 热, kJ/kg	2960	3055	4634
爆 力, cm ³	330~360	330~350	465~480
爆 速, km/s	4.8~5.5	4.8~5.0	4.8~5.8
密 度, g/cm ³	1.45~1.55	1.45~1.55	1.45~1.50

表 1-10

美国杜邦公司 Tovex 水胶炸药性能

炸 药 品 种	炸药密度 g/cm ³	爆速, m/s		爆 热 kJ/kg	殉 爆 mm	铝 粉	貯 存 期	用 途
		φ25	φ23					
Tovex-200	1.10	3990(钢管中)	—	3851	—	有	一年	坚硬岩石中使用
Tovex-100	1.10	3880(钢管中)	—	3349	—	无	一年	中、坚硬岩石中使用
Tovex-320	1.13	3750	3850	—	>7.6	无	一年	岩石、硬煤中使用
Tovex-300	1.02	3200	3400	—	>7.6	无	一年	中、硬硬煤中使用

表 1-11

瑞典诺贝尔公司乳化炸药品种与性能

炸 药 品 种	类 别	密 度 g/cm ³	爆 速 m/s	相对威力 (ANFO=1)	
				体积	重量
Emulite A	地下用的雷管敏感品(不含铝粉)	1.16	4600 (φ32mm)	1.06	0.82
Emulite B	雷管敏感品(含铝粉)	1.17	5300 (φ65mm)	1.37	1.05
Emulite K	非雷管敏感品(含铝粉)	1.23	5000 (φ65mm)	1.07	0.78
Emulite M	非雷管敏感品(含铝粉)	1.24	5000 (φ65mm)	1.30	0.95
Emulite W	可泵送产品(不含铝粉)	1.30	5000 (φ160mm)	1.15	—
Emulite X	可泵送产品(含铝粉)	1.30	5000 (φ160mm)	1.26	—

表 1-12

加 拿 大 一 些 浆 状 炸 药 的 成 分

炸 药 品 种	含 梯 浆 状	含 铝 浆 状	含 油 浆 状
成 分	炸 药	炸 药	炸 药
硝酸铵, %	64	77.8	72.9
梯恩梯, %	20	—	—
水, %	15	15	20.5
胶结剂及交联剂, %	1	2.0	2.0
燃 料, %	—	4.0	—
铝, %	—	1	—
起泡剂, %	—	0.2	0.2
柴 油, %	—	—	4.4

1.3 现代矿用炸药成分特征

从上述关于矿用炸药演变的简要叙述中, 可以看到, 无论在我国或世界其它许多国家, 现代矿用炸药主要是以硝酸铵为基本成分的确铵类混合炸药。胶质硝化甘油炸药用量已大大