

矿用炸药

成新法 编著

煤炭工业出版社



矿用炸药

成新法 编著

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

图书在版编目 (CIP) 数据

矿用炸药/成新法编著。—北京：煤炭工业出版社，
1995.12

ISBN 7-5020-1207-9

I.矿… I.成… III.矿用炸药 IV.TD235.21

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第08452号

矿 用 炸 药

成新法 编著

责任编辑：辛广龙 孙金锋

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京怀柔燕文印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm^{1/32}，印张8^{1/8}，

字数185千字 印数1—1,770

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

书号 3975 G0331 定价 9.80元

前 言

煤炭工业出版社曾于1978年4月出版过《矿用炸药》一书。时至今日，我国无论是矿用炸药生产厂家数量及其所生产炸药的品种规格和产量，还是矿用炸药用户的构成都发生了巨大的变化，特别是近20年来，乳化炸药的基本理论、品种配方、性能及测试技术有了很大的发展和改善，矿用炸药的应用推广和研究的深入，迫切需要一本系统的理论与实践方面的著作。作者根据多年讲授“矿用炸药”的教学经验和矿用炸药研究成果，参阅了国内外有关炸药的文献资料，编著了本书，以期有益于从事炸药研究和工程爆破人员的工作。

本书全面地介绍了矿用炸药的基本理论和性能、配方和工艺、测试方法以及矿用炸药的发展动态。全书共分十章：第一章综合叙述了炸药的主要技术进展和分类方法；第二章介绍了与矿用炸药有关的单体炸药；第三章重点阐述了矿用混合炸药的设计理论；第四章全面介绍了矿用炸药的原材料；第五至第八章分别详细阐述了粉状铵梯炸药、铵油炸药、浆状炸药和乳化炸药；第九章简述了其它矿用炸药；第十章介绍了常用的性能测试方法。

由于作者水平所限，书中错误之处请读者批评指正。作者对关心和支持本书出版的同仁，谨致衷心的感谢。

编 著 者

1995年4月

目 录

1	绪论	1
1.1	概述	1
1.2	炸药发展简史	1
1.3	炸药应用	5
1.4	炸药分类	7
1.5	矿用炸药的分类及命名	13
2	单体炸药	17
2.1	起爆药	17
2.2	猛炸药	29
3	混合炸药设计原理	49
3.1	混合炸药配方设计现状	49
3.2	组成设计	52
3.3	能量设计	54
3.4	安全性设计	59
3.5	配方设计数学模型及最优化	78
4	混合炸药主要原料	81
4.1	氧化剂类	81
4.2	可燃剂类	90
4.3	添加剂类	96
4.4	密度调整剂	98
4.5	表面活性剂	108
4.6	表面活性剂的作用及原理	122
4.7	HLB值的计算及其应用	124
5	粉状铵梯炸药	129

5.1	概述	129
5.2	性能及改善方法	135
5.3	制造方法	145
6	铵油炸药	165
6.1	概述	165
6.2	铵油炸药的原料	166
6.3	铵油炸药的混制	169
6.4	铵油炸药的性能及其影响因素	172
7	浆状炸药	178
7.1	概述	178
7.2	凝胶理论	179
7.3	配方与性能	186
7.4	制备工艺	188
8	乳化炸药	190
8.1	概述	190
8.2	乳状液理论	191
8.3	乳化炸药的基本组成与结构	194
8.4	敏化机理和方式	199
8.5	乳化炸药配方与性能	201
8.6	生产方式及主要设备	203
8.7	乳化炸药研究与发展	210
9	其它混合炸药	212
9.1	硝化甘油炸药	212
9.2	液体炸药	217
9.3	高分子混合炸药	223
9.4	高威力混合炸药	229
10	炸药性能测试	237
10.1	炸药机械感度测定	237
10.2	炸药热感度测定	240

10.3	炸药爆炸性能测定	242
10.4	炸药安定性测定	247
10.5	矿用炸药安全性测定	250
附录 A	一些常用工业乳化剂的HLB值	253
附录 B	混合炸药中一些常用组分的氧平衡	254
附录 C	混合氧化剂水溶液的析晶点	256
参考文献	258

1 绪 论

1.1 概 述

黑火药是我国古代劳动人民四大发明之一。我国是世界上最早发明和使用黑火药的国家，那时的黑火药是硝酸钾、木炭、硫磺的混合物，简称黑药。

当物质受到激发能量作用后，能够发生极为迅速的并放出大量热量和气体的化学反应，这种物质就称为炸药。从本质上来说，炸药是一种化学能源，其特点是能量密度很高即单位体积内所含的能量很多，反应时不依赖外界补充反应物，释放能量时间很短，故能量非常集中，如将质量为1kg炸药，其爆速为 $4000\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，制成密度为 $1000\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的球形药包，按爆热为 $3344\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 计，在中心起爆则其功率为 $10^8\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$ ，这样的功率是非常巨大的。所以，炸药不仅用于军事目的，而且广泛应用于国民经济各个部门，通常将前者称为军用炸药，后者称为工业炸药。本书旨在系统而简明地介绍各种炸药，尤其是矿用炸药的制造方法、组成配方、性能及其检测方法等。

1.2 炸药发展简史

按照年代顺序将炸药发展史上的一些具有里程碑意义的主要发现和发明列述如下。

黑火药^[1] 远在公元前220年，我国劳动人民就初具黑

火药的知识,大约在11~12世纪,黑火药才开始传入阿拉伯国家,后传入欧洲。黑火药在矿业上的应用约为1627年,与原来的火烧法破裂矿岩相比较,黑火药爆破矿岩的效果大为提高。因此,黑火药在采矿工业中的应用被认为是工业革命的开始。黑火药作为独一无二的炸药,一直使用到19世纪70年代中期,延续了数百年之久。

雷汞〔2〕 1803年英国霍华德(Fouard)合成了雷酸汞,为雷管的发明奠定了基础。

硝化甘油和硝化棉〔3〕 1845年意大利的索贝罗(Sobrero)发现了硝化甘油,1846年瑞士舍恩比(Schoenbin)发现了硝化棉。这些发明为现代工业炸药的发展和实际应用提供了物质基础。

梯恩梯(TNT)〔4〕 1863年威尔布拉兰德(Wilbrand)发现了梯恩梯。

代那买特(Dynamite)〔5〕 1865年瑞典艾·尔弗雷德·诺贝尔(Alfred Nobel)发明了代那买特—75%硝化甘油和25%硅藻土组成的硝甘炸药。1875年诺贝尔又以硝化甘油和硝化棉制成了胶质代那买特。由于代那买特具有优良的爆炸性能,因而迅速地取代了黑火药,并无可争辩地应用到20世纪30年代中期。

硝酸铵混合炸药〔6〕 差不多就在诺贝尔发明代那买特的时候,奥尔森和诺宾(Olosson and Norbein)于1867年发明了用硝酸铵和各种燃料制成的混合炸药,奠定了硝酸铵类炸药与硝化甘油类炸药相互竞争发展的基础。

尼特拉蒙(Nitromon)〔6〕 1934年美国杜邦公司1992216和1992217号美国专利中透露了一种非硝化甘油,高含量硝酸铵的尼特拉蒙炸药。

我国早在20世纪30年代的抗日战争时期就发明和使用过由硝酸铵和液体可燃物组成的炸药，是铵油炸药的雏型。

铵油炸药和浆状炸药^[7, 8] 20世纪50年代中期开始,工业炸药又进入一个新的发展时期,其主要标志是铵油炸药和浆状炸药的发明和推广应用。

铵油炸药 1943年底加拿大的康索利德台多矿山冶炼公司 (Consolidated Mining & Smelting Co.) 研究生产了称为普里尔(Prill)的多孔粒状硝酸铵。这种多孔粒状硝酸铵在生产过程中通过添加少量的硅藻土作为包覆层防止硬化结块,为铵油炸药的制造和炮孔装药机械化提供了方便的条件。

铵油炸药是美国的一个矿山于1954年在炮孔中以3.8L柴油和36kg多孔粒状硝酸铵的配比第一次试验成功的,但直到1955年才将它作为一类工业炸药大规模地用于矿山爆破中。1955年克利夫兰-克利夫矿山公司(Clelland-Cilff Mining Co.) 在密萨比和密歇根 (Mesabi and Miahigom) 铁矿区进行了第一批大规模的粒状铵油炸药现场爆破。随着铵油炸药种类的不同,有粒状铵油炸药和粉状铵油炸药之分。前者是由94.5%多孔粒状硝酸铵和5.5%柴油组成的,后者通常是由硝酸铵、柴油和木粉构成的,例如我国一号铵油炸药是由92%硝酸铵、4%木粉和4%柴油组成的。

1958年加拿大铁矿公司 (IOCC) 和加拿大工业有限公司 (CIL) 实现了多孔粒状铵油炸药的现场装药机械化,1960年美国又在这个基础上发展成混装车。由于铵油炸药具有原料来源广泛、成本低廉、容易制备和实现机械化装药、使用方便与安全等一系列优点,受到各国的普遍重视,发展极为迅速,已成为矿山爆破中的主要炸药,其使用比例大致为

70%左右。但是也应指出，缺乏抗水性和低的体积威力则是铵油炸药的主要缺点。

浆状炸药 1956年12月美国犹他大学M.A库克(COOK)教授和加拿大铁矿公司H.E.法南姆(Farmam)发明的浆状炸药克服了铵油炸药的两个缺点。其极好的抗水性是通过下述独特思想所获得的，即将水加到铵油炸药混合物中，然后使体系胶凝，以防止水的浸入或氧化剂盐的沥滤，而且密度高，易沉入有水炮孔的底部。无疑它的出现集中了现代化学和物理学的精华，打破炸药基本理论中“水火不相容”的传统观念，使人们对于炸药的认识有了一个飞跃，是继代那买特之后，工业炸药发展史上又一次重大革命。

50年代库克和法南姆集中研究和发展了梯恩梯和铝粉敏化的浆状炸药。1963年美国埃列克化学公司研制了非金属化的燃料敏化的浆状炸药，并实现了浆状炸药现场混装系统。1969年美国杜邦公司生产了甲胺硝酸盐(MMAN)敏化的浆状炸药。70年代初期，非炸药敏化的小直径雷管敏感的浆状炸药和低成本的含燃油的气泡敏化的浆状炸药在许多国家相继问世，促进了浆状炸药的推广应用。我国从1959年开始研制浆状炸药，60年代中期在矿山爆破作业中获得应用，其代表品种是4号浆状炸药。70年代初期，我国浆状炸药发展十分迅速，首先是胶凝剂(田菁胶、槐豆胶)和交联技术获得重要突破，继而品种不断增加，其典型代表有田菁10号胶状炸药，槐1号无梯浆状炸药、5号浆状炸药和聚1号浆状炸药等。

乳化炸药^[9] 乳化炸药是1969年6月3日由H.F.布卢姆(Blvbm)于3447978号美国专利中首次透露的，是一类新崛起的水基硝酸铵类炸药。乳化炸药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类物质构成的连续介质中，形成一种油包水型特殊乳化体系。目前其发展方兴未艾。

1.3 炸药应用

从炸药的作用功效看，炸药的应用归纳如下。

(1) 作发射动力用。

利用火药燃烧产生的高温高压气体的膨胀而对物体作抛射功。军用的有各种无烟火药和有烟火药；民用的有猎用火药、铆钉枪用空包、捕鲸用火药、鸟兽捕获网等。

(2) 作推进动力用。

推进剂燃烧后生成的大量气体通过喷管喷出而产生的火箭效应，推送物体前进。火箭技术现在不仅用于某些武器，而且在航天和航空技术、海洋、气象、运输、建筑等方面也占有重要地位。例如，为了研究海底地质情况而设计的火箭采泥机，它利用正向火箭推力在水深50~300m的海底采取1~2m深的泥层样品，再借助逆向火箭或气体发生器的浮力送至水面。

(3) 作爆破用。

利用炸药的爆轰对物体作粉碎功和抛掷功。这是工业（乃至军用）炸药的主要应用形式。

(4) 作信号用。

利用炸药爆炸反应产生的高温高压气体的迅速膨胀和伴随的焰光、烟、声波等效应造成信号。这既是最古老的一种应用方式，又有许多新的发展，例如：礼花、焰火、鞭炮、遇难信号发烟筒、安全行车烟火管、地震勘探震源弹等。闪烁显示器是1962年发明的，用作指示高压电线遭到雷击的信

号装置。以前为了判断是否遭到雷击，必须登上铁塔挨个检查，而装上闪落器后，如遭雷击而起弧便有强大电流流过支架，并在其周围产生磁力线，由于磁力线的变化使显示器内线圈感应出电流，从而引起其中的炸药发火，气体压力推开盖子，抛出红色信号布，在远处就可以发现。

（5）作机械加工动力用。

使炸药爆炸释出的能量按照一定的方向使物体变形。例如爆炸成型及机械加工、平炉出钢用爆炸穿孔器、油井射孔弹、钢轨穿孔器、火箭分离装置、水下切割成型装药及软质成型装药线（利用空心效应），这种加工方法动作快、效率高、质量好、经济、简单，而且有些是普通机械难以完成的。

（6）作快速膨胀体用。

利用炸药爆炸或点火产生的气体使袋子快速膨胀而达到漂浮或缓冲等目的。例如撞车时的乘员用安全气囊（全部动作在50ms以内），可用在撞车时速48km的情况；水上遇难时乘员的救生衣、救生袋，把水下重物举出水面的浮力装置等。

（7）作驱动其他物质运动的动力用。

利用炸药爆炸产生的气体压力，驱动其他液体或固体运动，达到抛撒的目的。例如作发烟弹等特种弹的装药，以抛撒、散布发烟剂或其他化学试剂；在燃料-空气炸药炸弹中作中心装药，将燃料抛撒于空气中形成爆炸性云雾；在工农业上作灭火装置、农药布撒器、人工降雨、超高压水力采煤、爆炸涂装等。

（8）作超高压压力机用。

在压力机的气缸内装置炸药，炸药爆炸后产生的高压气体经过液体介质传给活塞而工作。按照巴斯葛原理，可以产生超过火药气体压力数倍的高压。例如，1万t级以上的超

高压压力机、钢轨冲床、小型超高压压力机等。

(9) 在物理和化学科研方面的应用。

利用爆炸反应引起新的物理、化学现象。例如击波管中的合成化学、超高速发电产生的超强磁场、人工合成金刚石和宝石、爆炸激光、在台风眼中爆炸炸药以消减低气压达到防止台风的目的、驱赶雨云、爆缩法产生高强磁场等。

(10) 其它。

如作辅助能源(动力)用。即炸药本身不是作功的主体,而是通过其他的作用(起爆、传爆、扩爆)来启动能源或主动力机械。许多起爆器材、点火装置、导爆(火)索(管)都属于这种应用。又如夜间大面积、短时间照明;瞬间产生数千烛光的高照度氙灯,以供摄影。某些炸药在医学方面亦有应用,如硝化甘油和太安可治心脏病(绞痛);黑火药也有一定的医学价值,因为它在爆炸时产生的硫磺酸性蒸气可以在传染病盛行时矫正空气而有杀菌作用;黑索金灭鼠也有一定的效果等等。

1.4 炸药分类

1.4.1 根据用途分类

根据用途,炸药可以分为初级炸药或起爆药(Primary Explosives)、猛炸药(High explosives或Secondary Explosives)和发射药(Propellant)或火药(Powder)。

起爆药用来引起猛炸药爆轰或燃烧剂燃烧;

猛炸药是爆破作业的主要物质,是弹药战斗部或工业爆破的主要装药;

发射药或火药的作用是利用其燃烧时产生的气体作抛掷功,将战斗部输送到目的地。

1.4.2 按化学观点分类

从化学观点出发,炸药可以为单体炸药和混合炸药。单体炸药是单一的化合物;混合炸药是两种或几种物质的混合物。

1.4.2.1 按化合物的结构对单体炸药进行分类

根据范德荷甫的意见,当分子中含有表1-1中所列的键或基团时就可能具有爆炸性。除了表中所列的以外,实际上另一些基团也可能使化合物具有爆炸性,如 $-NX_3$, $-OX$, $-N_3$, $-O_3$ 等。其中比较常见的为:

表 1-1 具有爆炸性的基团

C—O	C—S	N—S	O—N
H—Sb	N=H	C—H	N—Se
N—Cl	H—Hg	C≡C	C—Ag

(1) 带有一 NO_2 , $-ONO_2$ 无机或有机化合物,如亚硝酸盐、硝酸盐、硝基化合物、有机硝酸酯,以及带有一 NO 的亚硝基化合物。当前使用的猛炸药基本上属于此类。如:

硝酸铵 NH_4NO_3

硝酸甲胺 $CH_3NH_2NO_2$

三硝基甲苯 $C_7H_5(NO_2)_3$

硝化甘油 $C_3H_5(ONO_2)_3$

环二甲撑基四硝胺 $\left[\begin{array}{c} NO_2 \\ | \\ N-CH_2 \end{array} \right]_4$

(2) 无机卤酸盐和高卤酸盐,以及有机卤酸盐和高卤酸盐。其中,主要使用氯酸和高氯酸的衍生物,特别是高氯酸铵。

(3) 含有 $N=C$ 基团的雷酸盐及氟化物,如起爆药中使用的雷汞 $Hg(ONC)_2$ 。

(4) 无机或有机化合物中的一O—O—和一O—O—O—，即过氧化物和臭氧化合物。

(5) 带有一N=N—的偶氮（或重氮）化合物，以及带有一N=N≡N的叠氮化合物，如叠氮化铅 $Pb(N_3)_2$ 是一种常用的起爆药。

(6) 乙炔和乙炔金属化合物中的一C≡C—基团，如乙炔银 $Ag-C\equiv C-Ag$ 。

(7) 某些金属化合物中金属与碳的键—M—C—，如草酸的重金属盐，草酸银 $Ag_2C_2O_4$ 。

(8) 带有一NX₂基团的有机及无机化合物，对于有机化合物，主要是研究带—NF₂（二氟氨基）化合物的爆炸性能。

以上所列的基团可能使化合物具有爆炸性，但并非所有含上述基团的化合物都具有爆炸性。一种化合物是否具有爆炸性质是由整个分子的结构状况决定的，而不是由某个基团决定的。例如，一硝基芳烃就没有爆炸性，多碳烃的一硝基衍生物，以及高级脂肪醇的一硝酸酯都没有爆炸性；重金属的叠氮化合物和草酸盐具有爆炸性，但碱金属草酸盐就没有爆炸性。

单质炸药的命名是按照有机化学的命名法而命名的，但一般都不使用它，而是采用习惯命名法。

1.4.2.2 混合炸药的分类

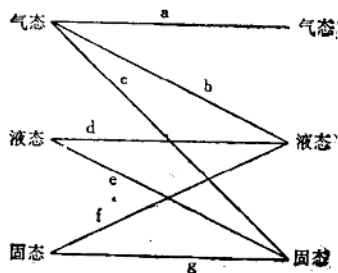
从广义上说，氧化剂和可燃剂以适当的比例混合就可以制成混合炸药，以一种单体炸药为基础，再加入其他成分也是一种混合炸药，因此混合炸药品种繁多，远远超过单体炸药。为了研究方便，常把它们分类。然而到目前为止，炸药界还没有统一的分类标准，以致人们都是根据需要，突出强

调某一方面，采用以下几种主要的分类法。

(1) 按物理状态分类。进行这种分类时，可分别考虑原料与炸药产品两个方面。

① 根据原料状态分：

氧化剂(状态) + 可燃剂(状态)



〔实例〕

- a: 甲烷 + 空气;
- b: 重油雾 + 空气;
- c: 煤粉 + 空气;
- d: 四氧化二氮 + 苯或二硫化碳等;
- e: 液氧炸药;
- f: 铵油炸药;
- g: 大多数混合炸药属这种类型。

② 根据炸药产品的状态分：

有固体炸药、液体炸药、气体炸药、塑性炸药以及其它多相系混合炸药。

(2) 按原料性能特点分类。一般分为炸药与炸药的混合物(俗称猛炸药混合物)、炸药与非炸药的混合物、非炸药与非炸药的混合物三类。当把各组分在混合炸药中是起氧