

工业炸药技术

GONGYEZHAYAOJISHU

朱啸宇 编著

兵器工业出版社

介 简 容 内

工业炸药技术

朱啸宇 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书较为系统地介绍了各类工业炸药产品的基础知识,内容包括化学原材料的性能和质量要求、工业炸药配方计算原理、制造工艺技术及产品性能要求,还介绍了工业炸药技术的新进展和新成果。

本书可供矿业、铁道、水利、农田基建和建筑工程等领域从事民用爆破器材行业的工程技术人员参考,也可作为高级培训班用的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

工业炸药技术/朱啸宇编著. —北京:兵器工业出版社,
2008. 1

ISBN 978 - 7 - 80172 - 999 - 6

I. 工… II. 朱… III. 工业炸药 IV. TQ564

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 179054 号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟 10 号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京银祥福利印刷厂

版 次:2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1—2000

责任编辑:李翠兰

封面设计:李 晖

责任校对:郭 芳

责任印制:赵春云

开 本:850×1168 1/32

印 张:5.625

字 数:147 千字

定 价:18.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

炸药曾冠之为“能源工业的能源”。当今世界的能源主要依靠煤及石油资源，而开采煤矿及石油资源均离不开工业炸药。因此人们也把炸药称为“工业发展的火车头”。有关工业炸药的专著及文献不计其数，本书是笔者在多年讲授工业炸药学课程使用的讲义的基础上，经反复修改而成（全国民用爆破器材高级研修班的教材）。如何在72学时课程内，使学员对涉及较广的工业炸药有一个基本正确的了解，这是笔者在教学实践中不断努力的目标。

笔者还不揣浅陋地翻阅了一些工业炸药的有关专著。结合国内生产企业面临的实际问题，如炸药的装药与包装技术，在利用假期去外地调查之际，访友问学，参观了许多生产企业，受益匪浅，收获甚丰。笔者一生讲学授课，桃李达千余名，然著作论学甚少，在本书中笔者对若干学术问题阐述了自己点滴的浅思维，抛砖引玉，以供有识人士参考和共同讨论。

笔者学识有限，善本秘笈，未能尽窥；真迹原著，无从亲睹。虽井蛙之见，意以伪当真，在所难免，尚请同行同仁，纠其讹谬，补其遗阙，他日重铤，得成完璧，是所愿焉。

在编著本书的过程中，得到俞明熊教授的热情帮助，提出了一些宝贵的意见。还得到了山西省国防科工办民爆中心、贵州久联集团有限责任公司、新疆雪峰民用爆破器材有限责任公司、内蒙古包头矿务局化工厂等单位的热心支持。在此，一并致以衷心地感谢！

作者

2007年10月

目 录

第1章 概论	1
1.1 工业炸药的技术发展史	1
1.2 工业炸药的应用	4
第2章 炸药与爆炸	6
2.1 爆炸现象及其特征	6
2.2 炸药的爆炸及其特征	7
2.3 炸药化学变化的形式	8
2.4 工业炸药的爆轰特征	10
第3章 工业炸药原材料的基本知识	18
3.1 氧化剂	18
3.2 可燃物(还原剂)	26
第4章 铵梯炸药	33
4.1 岩石铵梯炸药	34
4.2 煤矿许用硝酸铵炸药	43
5.1 表面活性剂	63
5.2 乳化液	67
5.3 乳化技术	71
5.4 乳化炸药的组分及其作用	74
5.5 乳化炸药的配方设计要点	79
5.6 乳化炸药的制备工艺	80
5.7 乳化炸药连续乳化生产工艺举例	81
5.8 乳胶基质与铵油炸药掺合的产品	83

5.9 粉状乳化炸药	86
第6章 铵油炸药	94
6.1 概述	94
6.2 多孔粒状硝酸铵	94
6.3 燃油	97
6.4 铵油炸药的爆炸性能及其影响因素	97
6.5 铵油炸药的机械化混合装药	103
6.6 铵油炸药的其他类型品种	104
第7章 膨化硝铵炸药	108
7.1 概述	108
7.2 膨化硝铵炸药的制造工艺	108
7.3 膨化硝铵炸药的改进	113
第8章 工业耐热炸药	114
8.1 概述	114
8.2 工业耐热主体炸药的特征	114
8.3 水悬浮法工艺原理	116
8.4 工业耐热炸药生产工艺	117
第9章 液体炸药	120
9.1 概述	120
9.2 硝基甲烷和硝酸酯混合液	121
9.3 四硝基甲烷和甲苯的混合液	122
9.4 硝酸胍、水合肼混合液体炸药	122
9.5 高氯酸脲类液体炸药	126
9.6 开拓发展液体炸药的应用前景	127
第10章 浆状炸药与水胶炸药	129
10.1 概述	129
10.2 凝胶态与化学交联	129
10.3 浆状炸药的制造工艺举例	132
10.4 托威克斯新型浆状炸药举例	133

10.5 浆状炸药的性能	136
第 11 章 工业炸药的装药及包装	139
11.1 概述	139
11.2 目的与意义	139
11.3 装药及包装设备的简介	140
11.4 包装设备基本知识	144
第 12 章 低爆速炸药	147
12.1 概述	147
12.2 低爆速炸药制造工艺	147
12.3 低爆速炸药的应用	151
第 13 章 工业含铝炸药	154
13.1 概述	154
13.2 含铝炸药的品种	154
13.3 提高工业炸药爆热的措施	159
13.4 含铝工业炸药的配方	160
13.5 压装工艺制备含铝炸药	162
13.6 注装工艺制备含铝炸药	163
第 14 章 工业震源药柱	166
14.1 概述	166
14.2 对震源炸药的要求	166
14.3 铵梯震源药柱的制作工艺	168

第1章 概 论

1.1 工业炸药的技术发展史

炸药是一种含有巨大能量的物质，人们利用它作为一种特殊的能源，广泛地运用于国民经济各个领域，特别是在军事上的运用与发展。人们习惯地把用于非军事目的的炸药称为工业炸药。

黑火药是我国劳动人民在1000多年前发明的，它的发明早已闻名于世。黑火药与指南针、造纸、印刷活字术被称为我国古代科技的四大发明，黑火药是现代火炸药的始祖。黑火药从中国经过印度传给阿拉伯人，后又从西班牙进入欧洲。约在1627年黑火药首次亮相在欧洲，在矿业开采上获得应用，它是工业革命开始的标志，被誉为“工业革命的火车头”。

1803年英国的霍华德（Howard）合成了雷酸汞，这个重要的发明为雷管的出现奠定了基础。1845年意大利的索布列罗（Sobriro）发现了硝化甘油。翌年，瑞士的舍恩比（Schoenbein）又发现了硝化棉。他们的发明为现代工业炸药的发展和实际应用开创了新的天地。1863年威尔布拉兰德（Wilbrand）发现了梯恩梯，它是一个“三高一低”的炸药，即威力、猛度、爆速均高，而感度低。后人将硝酸铵（79%）和梯恩梯（21%）组成军用“阿马托”炸药，曾用于第二次世界大战中，并取代了苦味酸，由此逐渐形成了铵梯炸药系列的工业炸药。1867年瑞典工程师阿尔弗雷德·诺贝尔（Nobel）发明了代那迈特（其组分

为：75% 硝化甘油和 25% 硅藻土）。10 年后，他又发明了以硝化甘油和硝化棉制成的胶质代那迈特。它具有优良的爆炸性能，因而取代了黑火药，开创了工业炸药的一个新纪元。诺贝尔为现代炸药的发展建立了不朽的功勋。

与诺贝尔同时代的奥尔森（Olsson）和诺宾（Norrbein）于 1867 年发明了硝酸铵和燃油混合组成的新炸药。它的出现形成了与代那迈特并驾齐驱的竞争局面。它的安全性比代那迈特性能要好，贮存与应用均安全可靠，加工简单，成本低廉，但爆炸威力不如代那迈特。

1943 年加拿大的康索利德台公司研究生产了多孔粒状硝酸铵。它对燃油的吸油率强，基本解决了结块问题。它具有良好的松散性，减少了粉尘，并且保证了贮存、应用、生产、运输各个环节的安全性。1958 年加拿大实现了多孔粒状铵油炸药的现场装药机械化。1960 年美国发展成混装车。1967 年世界各国均采用了 94% 硝酸铵、6% 燃油的统一配方制造的铵油炸药，从此取代了长期沿用的硝化甘油类炸药，掀开了工业炸药发展史的新篇章。

浆状炸药的发明，打破了炸药爆炸基本理论中“水火不相容”的传统观念。1956 年美国的库克（Cook）和加拿大的法南姆（Farnam）提出了新理念，即将水添加到铵油炸药中，发明了浆状炸药。它是利用胶凝剂将混合体系胶凝起来，使它有极好的抗水性，阻止了水的侵入，形成水相包覆油相从而形成爆炸混合物。这种以水抗水的新思维使人们对炸药的认识有了一个新的飞跃，这是工业炸药技术发展的又一次革命。为此，库克荣获 1968 年诺贝尔化学奖。

1969 年美国的勃罗姆（Bluhm）发明了乳化炸药，它是浆状炸药逆向思维的新发展。它利用表面活性剂的作用形成油相包覆水相的乳状液，再经敏化形成爆炸混合物。从结构上观察，乳化炸药与浆状炸药完全相反，浆状炸药是水包油，乳化炸药是油包

水。乳化炸药具有良好的抗水性，尤其油包水的液滴很微小，从十分之几微米至数十微米，分散性好，氧化剂与可燃物的接触表面大，从而有利于提高爆轰反应及起爆敏感性。乳化炸药的良好性能使它崭露头角并展示出广阔的前景。

水胶炸药是浆状炸药的一支新秀。它采用甲胺硝酸盐作敏化剂。当硝酸铵、硝酸钠和甲胺硝酸盐混合后，其析晶点大大降低，并形成微细液滴，组成了分散性良好的胶凝体，其稳定性显著提高，可贮存长达一年之久。这种胶凝体炸药可直接用8号雷管起爆。它对冲击波的起爆感度提高了，且临界直径小于20mm。由于性能的改善，它比浆状炸药要好。

液体炸药早在20世纪50年代就已出现，1982年我国也成功地研制成液体炸药，其配方为72%硝酸、28%硝基苯，其爆速为 $7300\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。1984年我国制成了硝酸胍-水合肼系列的液体新炸药，其爆速为 $8300\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。它制作简便，应用前景宽广。

工业耐热炸药随着地下资源的开采及宇航事业的发展应运而生，其中获得实际应用的是石油射孔弹装药。它能满足耐高温、耐高压的特殊要求。

膨化硝酸铵炸药是一种新型的铵木油混合炸药。其中膨化硝酸铵不同于多孔粉状硝酸铵，其多微孔，敏化性改善，是一种改性的硝酸铵。

粉状乳化炸药的出现是胶质乳化炸药与粉状炸药有机结合的结果。

工业震源药柱的出现，是为了满足地震勘探的需要，以井下放炮为主。

此外，塑性炸药、挠性炸药、低爆速炸药等，都是根据不同特殊要求场合使用的新品种，在工业炸药领域中异彩纷呈、各显神通。

1.2 工业炸药的应用

由于炸药爆轰产生的巨大威力，无论在军事上还是在国民经济建设的许多领域中均得到了广泛的应用，它不仅减轻了人的劳动强度，而且还给人类创造了巨大的财富。

如在采矿业，煤及各种矿石的开采需要大量的工业炸药；在石油开采中及地质勘探方面也要使用数量巨大的炸药。

在农业方面，开垦基地、兴修水利、松动土壤方面，炸药都作出了特殊的贡献。炸药的爆炸技术，还可应用于人工降雨、驱散冰雹、击碎河床冰凌的作业中。

炸药的爆炸技术在工业方面的应用与时俱进、日益广泛，例如爆炸成型、爆炸切割、爆炸焊接、爆炸复合材料等；在汽车、飞机、轮船与化工设备的制造业中也都取得了丰硕的科技成果。

在交通运输方面，劈山开路、凿通隧道、疏通河道、消除暗礁等工程中，炸药爆炸技术总是一马当先，争得头功。众所周知的“引滦入津”引水工程就是其中卓显的范例。利用定向爆破技术，进行远距离抛射堆积，来构筑拦水大坝，可谓移山填海，神力无穷；建造海港，使江河改道更是令人折服。其中广东省虎头山万吨炸药的定向爆破，被美誉为新世纪之爆。在拆除长江三峡水库的围堰施工中，炸药爆炸技术更是大显身手，被誉为世界第一爆。

在城市建设中，各种旧建筑物的拆除工程和开挖工程接踵而来。如果采用人力与机械来拆除，难以满足缩短工期的要求，同时不能确保安全。控制爆破技术的应用，得天独厚，突破了城市爆破的禁区，开辟了爆破技术的新天地。

在现代高科技的研究开发中，炸药爆破技术是获得耐高温、高压特殊材料的特别手段，能生产出性能优越的新材料。其在激

光、宇航、海洋工程方面的应用范例数不胜数。其中用带有金属罩的线型聚能切割器在打捞“渤海2号”的工作中，取得了可喜可贺的成果。

第2章 炸药与爆炸

2.1 爆炸现象及其特征

爆炸是由不同的激发能而引起的大量能量在极短的时间内，骤然释放或转化的现象。爆炸可以分为三类，即物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。

2.1.1 物理爆炸

物理爆炸是由系统释放物理能而引起的爆炸。例如，高压蒸汽锅破裂蒸汽骤然释放出来而形成的爆炸。陨石落地、高速弹丸对目标的撞击、地震和火山爆发等。

2.1.2 化学爆炸

化学爆炸是由于物质的化学变化引起的爆炸。例如，可燃的瓦斯气体或悬浮于空气中的煤粉以一定的比例与空气混合时，经一定的外界作用激发后所产生的爆炸属于化学爆炸。在化学爆炸时，参与爆炸的物质在瞬间发生分解或化合，变成新的爆炸产物。

2.1.3 核爆炸

核爆炸是核裂变反应、核聚变反应所释放的巨大核能而引起的爆炸。例如原子弹是用铀²³⁵、钚²³⁹的裂变反应，而氢弹是用

氘、氚或锂核的聚变反应。其产生的能量比炸药爆炸时放出的化学能大得多，其破坏力更大。

综上所述，爆炸过程分为两个阶段，第一阶段中，在外界激发的作用下，潜能变成压缩能；第二阶段是压缩能变为膨胀做功，从而使其周围介质变形、移动和破坏。无论是何种能源造成的爆炸，它们都具备两个特征，那就是它必须具有极大的能量密度，具有极大的能量释放速度。换言之，爆炸是功率极大的能量释放的现象。

2.2 炸药的爆炸及其特征

从热力学上分析，炸药是一种相对不稳定的物体，在外界激发的作用下，它能自行发生高速的化学反应，并伴生出大量的热，还生成了大量的气体产物。即，高速的化学反应、放出大量的热、生成大量的气体产物，就是炸药爆炸的三大特征，它们是化学反应产生爆炸的三个必备条件，三者互相关联，缺一不可，也称为爆炸三要素。

2.2.1 反应过程的放热性

一般，化学反应的热量有三种可能性：吸热、放热较小、放热较大。

吸热反应的例如： ZnC_2O_4 、 PbC_2O_4 等分解时要吸收热量，此类物质不发生爆炸。

放热较小的例如： CuC_2O_4 分解时放出热量较少，此类物质基本不发生爆炸。

放热较大的例如：煤、苯燃烧时分别放出 8925kJ/kg 和 9763kJ/kg 热量，此类物质具备爆炸所需的热量。

2.2.2 反应过程的高速度

通常燃烧放热的反应速度较慢，而炸药的反应速度极快。由于极高的能量释放速度，因此造成反应产物极高的能量密度。例如：煤和黑索今相比，煤的燃烧热为 32660kJ/kg ；黑索今的爆热为 5860kJ/kg 。但是煤要释放完能量所需要的时间为数十分钟；而黑索今则只需数微秒。两者比较结果，黑索今的爆炸反应速度是煤燃烧速度的数千万倍。可见，黑索今爆炸所达到的能量密度要比煤的燃烧所达到的能量密度大数千倍。由于这个原因，炸药爆炸具有巨大的做功功率，它能产生强烈的破坏作用。

2.2.3 生成大量的气体

由于爆炸反应的放热性和高速度的缘故，使爆炸的一瞬间产生的气体产物处于 10^{16}Pa 以上的高压状态，气体猛烈膨胀，迫使四周介质变形、迁移与破坏。

在上述做功的过程中，气体产物既是高压源，也是膨胀做功的介质。显然，如没有气体产物的存在，就不会产生高压的状态，也不会产生破坏作用。因此，大量的气体产物是炸药爆炸的又一个重要特征。

综上所述，只要上述三个要素同时存在，就会发生爆炸，它们互相关联，缺一不可。这就是炸药爆炸的三大特征。

爆炸过程分为三个阶段：起爆；传爆；稳定爆轰。

2.3 炸药化学变化的形式

在不同的环境条件下，炸药的化学变化可以千变万化。一般，根据反应的速度及其传播的速度不同而分为两种形式，即燃烧和爆轰。

通常，在常温、常压下，即使没有外界的任何作用，炸药自

身也存在难以察觉的缓慢的热分解作用。这种热分解作用的反应速度，取决于环境温度，服从阿伦尼乌斯定律。当环境温度升高时，其热分解的反应速度也相应加快。如果环境温度升高至一定高温时，炸药的热分解作用可在一瞬间完成。

燃烧与爆轰都是剧烈的化学反应，其反应速度极快。由于炸药分子内部含有氧化剂与可燃物，它不需要外界环境的（空气）氧气支持，自身就能燃烧。燃烧释放出来的热量，经过热传导、热辐射、气体产物的扩散，结果连续不断地向四周未反应的区域传播。若在相对密闭的条件下，燃烧的传播速度受环境压力的影响，随着压力的升高而使燃烧的传播速度急剧加快，进而压力急剧升高。如此循环作用，使压力达到一定的巨大值，导致爆炸的生成。这种现象称为燃烧转爆炸。

炸药的爆炸会产生冲击波。带有化学放热反应的冲击波，定义为“爆轰波”；带有化学放热反应的爆炸现象，定义为“爆轰现象”。因此，严格地说，炸药的爆炸实质上是爆轰。

炸药的爆轰是以爆轰波形式沿炸药自行传播的化学反应。爆轰波的传播速度简称为爆速，其值远大于声速，每秒可达数千米。爆速不受外界条件的影响，只与炸药的组成有关。

燃烧与爆轰都是以化学反应波的形式沿炸药传播的，但却是性质不同的两类化学变化过程。燃烧时，能量是通过热传导、热辐射和产物的热扩散作用传给未发生反应的炸药。而爆轰的传播是借助于冲击波的强烈冲击压缩作用进行的。燃烧时，气体产物的运动方向与燃烧波的波阵面运动方向相反。而爆轰时，反应产物质点运动方向则与爆轰波传播方向相一致。燃烧时主要化学反应在气相可进行，而爆轰时化学反应区则在液相或固相可进行。

炸药的化学变化虽然各不相同，但它们之间都有着十分紧密的内在联系。炸药的缓慢分解在一定的条件下可转变为燃烧，而燃烧在一定的条件下（例如环境压力增大时）也可转变为爆轰。

2.4 工业炸药的爆轰特征

2.4.1 工业炸药的非理想爆轰性

工业炸药是一个多相的混合体系，其组成为：氧化剂、还原剂、助剂添加物等。这些组分在外界作用下（物理、化学及机械力作用）互相混合为混合物。从实质上分析，混合过程是一种组分向其他组分的分散过程，是一种相传递到另一种相的扩散过程。混合过程是质量传播过程，即传质过程。因此，工业炸药不是单一、均相的体系，它是一个非理想性的体系。

工业炸药爆轰时，其化学反应分几个阶段进行。首先，在外界的激发能（热、电、机械撞击、机械摩擦作用、化学能作用）的作用下，活性的原组分开始分解或气化，这是第一次反应，即是起爆初始的阶段。随后，分解的产物之间，产物与原组分之间的相互作用结果，形成第二次反应，即是传爆阶段。最后达到稳定爆轰。

由于工业炸药存在二次反应的机理，它的爆轰的多阶段性，使工业炸药的爆轰性能和组分的粒度、混合均匀性、装药的密度、装药的直径大小、组分的种类有着十分密切的联系。因为反应的作用时间及反应的进行程度不仅取决于单组分粒子的分解速度（一次反应），而且还取决于其分解产物的扩散及混合程度（二次反应）。工业炸药比均相单体炸药要复杂得多，其异相粒子越细，混合越均匀，那么质量传递越好，越有利于传爆，相互间作用完成也越快。

对于理想状态下的爆轰而言，其装药直径足够大，比极限直径（爆速达到极大值时的最小直径）还大时，其爆速值只取决于爆热与装药密度。即理想的爆速大约与爆热的平方根成正比，而随装药密度的增加其正比例地增大。然而，非理想爆轰的爆速