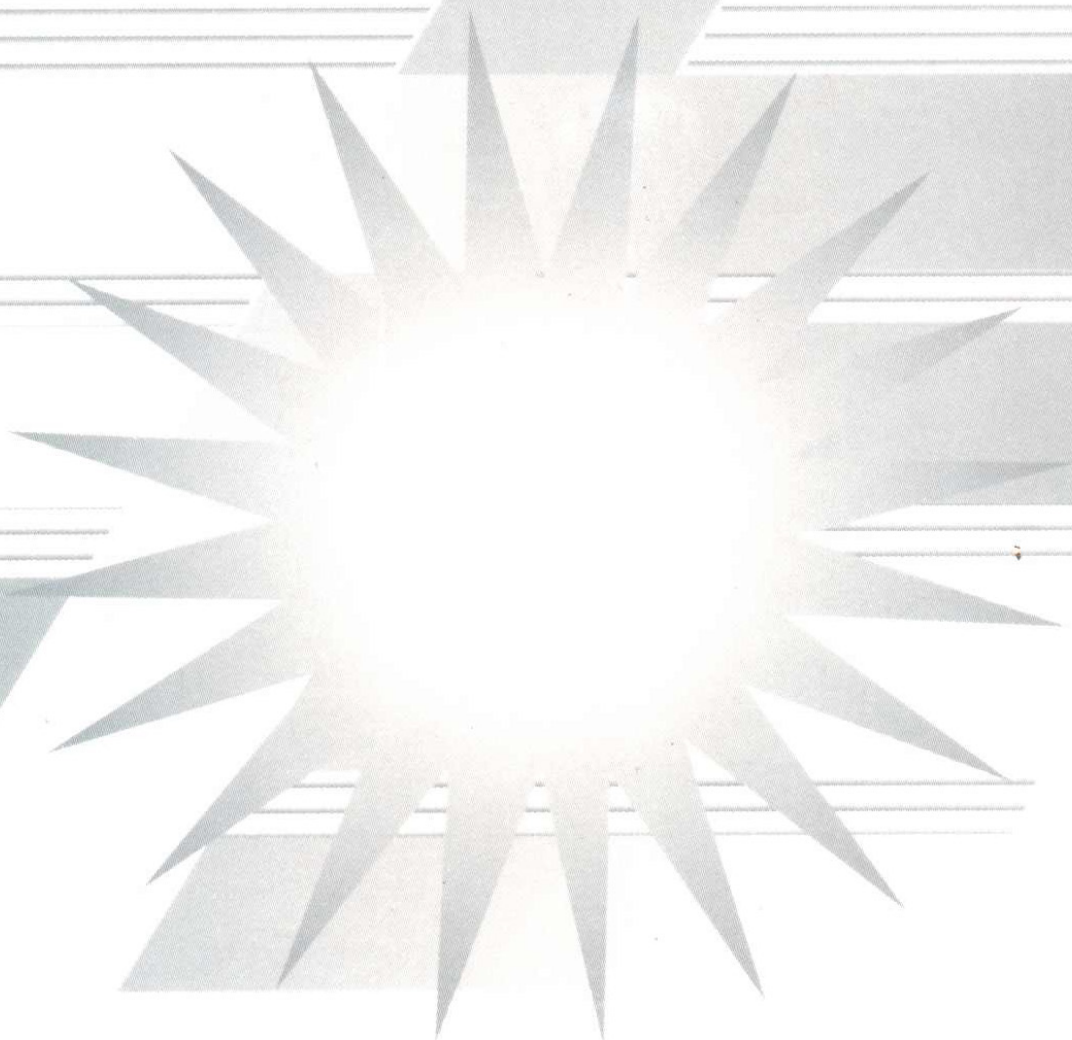


工业炸药配方设计

陆 明 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

938

70.50 ✓
1.88 ✓

工业炸药配方设计

陆 明 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工业炸药配方设计/陆明著. —北京:北京理工大学出版社,
2002.10

ISBN 7-5640-0002-3

I. 工… II. 陆… III. 工业炸药-配方-设计 IV. TQ564

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 059615 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱/chiefedit@bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京房山先锋印刷厂

装 订/天津武清区高村印装厂

开 本/880毫米×1230毫米 1/32

印 张/9.875

字 数/220千字

版 次/2002年10月第1版 2002年10月第1次印刷

印 数/1~3000册

定 价/24.00元

责任校对/郑兴玉

责任印制/李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

工业炸药在国民经济建设中是基础工业的基础，能源工业的能源，具有非常重要的作用。工业炸药是多组分混合物，各组分质量分数多少的确定，即工业炸药的配方设计，直接影响工业炸药的爆炸性能、能量发挥、使用效果，以及生产工艺和安全性。因此，配方设计是新型工业炸药研究开发的关键内容之一。

以往工业炸药的配方设计，是将氧平衡作为惟一原则和要求，配方设计过程是一个反复试验过程，基于人力、财力和时间的限制，要得到最佳配方是非常困难的。工业炸药配方设计的现状，与当今科学技术的发展极不适应，亟待从理论上加以研究，需要建立既有科学依据，又兼顾实践经验证明为正确的理论模型，从而解决工业炸药的配方设计问题。

自1995年以来，作者结合博士论文和膨化硝铵炸药课题的研究工作，开展了用数学模型进行工业炸药配方设计的研究，在恩师吕春绪教授的精心指导和支持帮助下，该研究工作取得了一些令人鼓舞的进展，其研究成果先后在《兵工学报》、《爆炸与冲击》、《爆破器材》、《南京理工大学学报》、《火炸药学报》、《化学世界》、《含能材料》等核心期刊上发表论文20余篇。本书是在作者的博士学位论文“膨化硝铵炸药研究”和发表的有关论文的基础上整理而成的。

本书在成稿过程中由南京理工大学李伟民教授、刘光烈教授审稿，吕春绪教授、刘祖亮教授等对本书的结构与内容提出了宝贵建议，在此深表谢意。对在工作中给予支持和帮助

的陈天云副教授、叶志文工程师、胡炳成工程师、王依林高级技师等也一并表示感谢。

由于水平有限，书中疏漏和错误难免，敬请读者批评指正。

陆 明

2001 年 10 月

目 录

第一章 工业炸药概述	(1)
第一节 工业炸药的发展历史	(1)
第二节 工业炸药的主要特点和使用现状	(3)
一、铵梯炸药	(3)
二、铵油炸药	(6)
三、乳化炸药	(6)
第三节 工业炸药的发展趋势	(7)
参考文献	(9)
第二章 工业炸药的原材料	(11)
第一节 氧化剂	(11)
一、概述	(11)
二、硝酸铵	(13)
三、硝酸钠	(36)
第二节 可燃剂	(38)
一、概述	(38)
二、碳氢化合物	(39)
三、其他可燃剂	(46)
第三节 敏化剂	(50)
一、概述	(50)
二、单质炸药敏化剂	(51)
三、非爆炸性敏化剂	(60)

第四节 表面活性剂	(64)
一、乳化剂	(64)
二、用于硝酸铵改性的表面活性剂	(71)
参考文献	(73)
第三章 工业炸药的热化学	(76)
第一节 工业炸药的氧平衡	(77)
一、氧平衡的概念	(77)
二、氧平衡的计算	(77)
三、工业炸药的氧平衡计算	(82)
第二节 工业炸药的爆炸反应方程式	(83)
一、对于只含碳、氢、氧、氮元素的工业炸药	(84)
二、含钾、钠、钙等金属化合物的工业炸药	(87)
三、含硫的工业炸药	(89)
四、含铝的工业炸药	(89)
第三节 工业炸药的爆热	(90)
一、工业炸药爆热的计算	(92)
二、提高工业炸药爆热的途径	(96)
第四节 工业炸药的比容	(97)
第五节 工业炸药的爆温	(98)
第六节 常用粉状工业炸药的爆热、比容和爆温 计算	(102)
参考文献	(103)
第四章 工业炸药的爆轰性能	(105)
第一节 工业炸药的爆轰特征	(105)
一、工业炸药的 非理想性 及 非理想爆轰	(105)

二、工业炸药爆轰反应机理及反应区结构	(107)
三、工业炸药爆轰波的等离子体特性	(112)
第二节 工业炸药的爆速	(115)
一、爆速的概念	(115)
二、爆速的测定方法	(116)
三、影响工业炸药爆速的因素	(117)
第三节 工业炸药的作功能力	(130)
一、作功能力的概念	(130)
二、作功能力的理论表达式	(131)
三、作功能力的实验测定方法	(136)
四、提高炸药作功能力的途径	(138)
五、炸药作功能力的影响因素	(139)
第四节 工业炸药的猛度	(141)
一、猛度的概念	(141)
二、猛度的理论表示法	(142)
三、工业炸药猛度的测定方法	(145)
四、猛度与作功能力的关系	(146)
五、影响工业炸药猛度的因素	(147)
第五节 工业炸药的殉爆距离	(150)
一、炸药感度的一般概念	(150)
二、工业炸药的殉爆现象	(151)
三、影响殉爆距离的因素	(153)
第六节 工业炸药爆轰后有毒气体产物	(158)
一、有毒气体的产生及危害	(158)
二、影响有毒气体排放量的因素	(160)
参考文献	(165)

第五章 工业炸药的绿色化学	(166)
第一节 绿色化学和原子经济的概述	(166)
一、绿色化学	(166)
二、原子经济	(167)
第二节 绿色化学对工业炸药的要求	(169)
一、绿色化学对工业炸药原材料的要求	(169)
二、绿色化学对工业炸药配方和爆炸产物的要求	(170)
第三节 原子经济性和能量对工业炸药组分 选择的要求	(170)
一、氧化剂的选择	(171)
二、可燃剂的选择	(172)
第四节 原子经济性对工业炸药爆轰产物的要求	(174)
参考文献	(176)
 第六章 工业炸药的配方设计	(177)
第一节 工业炸药的配方设计原则	(177)
一、工业炸药的氧平衡设计原则	(177)
二、性能、成本和爆破使用的平衡统一	(178)
三、减少环境污染和提高生产安全性	(179)
四、配方设计与生产工艺的综合考虑	(179)
五、工业炸药的配方设计要点	(180)
第二节 工业炸药配方设计的氧平衡法	(180)
一、解析法进行配方设计计算	(181)
二、图解法进行配方设计	(181)
三、图解法用于岩石膨化硝铵炸药配方设计	(184)
第三节 工业炸药配方设计的数学模型法	(187)
一、工业炸药配方设计的现状	(187)

二、工业混合炸药配方设计数学模型的建立	(189)
参考文献	(198)
第七章 数学模型法设计工业炸药的配方	(199)
第一节 岩石膨化硝铵炸药配方设计的数学模型	(199)
一、岩石膨化硝铵炸药的特点及生产工艺	(199)
二、岩石膨化硝铵炸药的配方设计数学模型	(202)
第二节 膨化铵油炸药配方设计的数学模型	(208)
一、大包膨化铵油炸药的配方设计的数学模型及求解	(209)
二、大包膨化铵油炸药配方的爆炸性能	(211)
第三节 膨化硝铵震源药柱的配方设计数学模型	(211)
一、膨化硝铵震源药柱概述	(211)
二、膨化硝铵震源药柱的配方设计数学模型	(214)
三、膨化硝铵震源药柱配方设计的实验研究	(217)
第四节 粉状铵梯油炸药配方设计的数学模型	(219)
一、粉状铵梯油工业炸药配方设计及最优化的数学 模型和求解	(219)
二、数学模型计算结果的分析	(221)
第五节 含铝膨化硝铵炸药配方设计的数学模型	(222)
一、含铝硝铵炸药配方设计的数学模型	(223)
二、含铝硝铵炸药配方设计数学模型的求解	(224)
三、含铝膨化硝铵炸药的爆炸性能研究	(225)
四、铝粉质量分数与炸药作功能力的关系	(226)
第六节 含硫膨化硝铵炸药的配方设计数学模型	(227)
一、硝铵硫磺工业炸药配方设计的数学模型	(228)
二、数学模型的计算结果	(229)
三、新型膨化硝铵硫磺炸药与现有工业炸药理论参数	

和爆炸性能的比较	(230)
第七节 乳化炸药配方设计的数学模型	(231)
一、乳化炸药配方设计数学模型具体数学表达 式和求解	(231)
二、配方设计对乳化炸药爆热和比容的影响	(233)
三、乳化炸药配方设计的实验研究	(238)
参考文献	(239)
第八章 工业炸药配方设计数学模型的其他应用	(241)
第一节 用工业炸药配方设计数学模型评价分析现 有铵梯油炸药的配方	(241)
一、粉状铵梯油炸药的基本参数	(241)
二、粉状铵梯油炸药配方设计的数学模型及计算结果	(242)
三、粉状铵梯油炸药理论配方的分析与评价	(245)
四、结论	(246)
第二节 氧平衡对粉状工业炸药爆炸性能影响的 数学计算	(247)
一、含 C、H、O、N、Al 元素粉状工业炸药配方 设计的数学模型	(247)
二、氧平衡对粉状工业炸药爆炸性能影响的计算依据	(249)
三、氧平衡对岩石膨化硝铵炸药爆炸性能影响的 数学计算	(250)
四、氧平衡对铵梯油炸药爆炸性能影响的数学计算	(253)
五、氧平衡对含铝铵梯油炸药爆炸性能影响的 数学计算	(257)
六、结论	(258)
参考文献	(260)

第九章 工业低爆速炸药的配方设计	(261)
第一节 低爆速炸药的概述.....	(261)
第二节 低爆速炸药配方设计理论基础	(262)
第三节 低爆速炸药的配方及生产工艺	(265)
第四节 低爆速膨化硝酸铵炸药配方设计	(268)
一、低爆速膨化硝酸铵炸药的组成	(268)
二、低爆速膨化硝酸铵炸药的配方设计	(268)
三、低爆速膨化硝酸铵炸药的制备	(270)
四、低爆速膨化硝酸铵炸药的原材料成本分析	(271)
参考文献	(272)
 第十章 工业炸药配方组分分析方法	 (274)
第一节 岩石粉状铵梯油炸药组分分析方法.....	(274)
一、水分测定	(274)
二、梯恩梯质量分数的测定	(275)
三、复合油相质量分数的确定	(278)
四、硝酸铵质量分数的测定	(280)
五、木粉质量分数的测定	(281)
第二节 岩石膨化硝酸铵炸药组分及水分分析方法	(281)
一、试样的制备	(281)
二、水分质量分数的测定	(282)
三、复合油相质量分数的测定	(283)
四、膨化硝酸铵质量分数的测定	(286)
五、木粉质量分数的测定	(287)
第三节 岩石粉状乳化炸药组分分析方法	(287)
一、试样的制备	(287)
二、水分质量分数的测定	(288)

三、硝酸铵质量分数的测定	(289)
四、复合油相质量分数的计算	(291)
第四节 乳化炸药配方组分的测定方法	(291)
一、概述	(291)
二、水溶性物质的测定方法	(293)
三、油溶性物质的测定方法	(299)
四、水分质量分数的测定	(301)
参考文献	(302)

第一章 工业炸药概述

工业炸药又称民用炸药，是以氧化剂和可燃剂为主体，按照氧平衡原理构成的爆炸性混合物，属于非理想炸药。工业炸药具有成本低廉、制造简单、应用可靠等特点，因而广泛应用于煤矿冶金、石油地质、交通水电、林业建筑、金属加工和控制爆破等领域。随着各国经济建设的不断发展，工业炸药品种和产量的需求不断增大，因此得到迅速发展。

第一节 工业炸药的发展历史

黑火药是最早的工业炸药⁽¹⁾，是我国劳动人民的四大发明之一。早在汉代（距今约 2000 多年）就开始使用硝石、硫磺和木炭的混合物作为火工武器。到了宋代，黑火药技术才逐渐经阿拉伯国家传到欧洲。后来黑火药在矿业开采中获得应用，大大提高了矿岩开采的效率。因此，黑火药在采矿工业中的应用被认为标志着中世纪的结束和工业革命的开始。黑火药作为世界上第一代工业炸药使用到 19 世纪中叶，延续达数百年之久。

硝化甘油发明以后，诺贝尔（Nobel）在一个偶然的机会把硝化甘油溅到包装用的硅藻土里，发现硅藻土能吸收大约三倍于自身质量的硝化甘油。于是他将 75% 硝化甘油和 25% 硅藻土混合物作为爆炸剂投放市场，这就是第一代代拿买特⁽²⁾。后来用活性吸附剂硝化棉取代硅藻土制得爆胶⁽³⁾，并掺入硝

酸铵等氧化剂及其他添加剂，发展成一直沿用至今的胶质炸药。由于胶质代拿买特容易起爆、传爆稳定和爆炸威力高等特点，它迅速取代了黑火药而获得广泛应用。

1867 年瑞典工程师 Ohlsson 和 Norrbein 获得了硝酸铵和各种燃料制成的混合炸药专利⁽⁴⁾，从而出现了硝铵炸药和代拿买特炸药相互竞争发展的局面。至 20 世纪 30 年代硝铵炸药就在欧洲、北美洲和亚洲的许多国家大量生产和使用，成为最主要的工业炸药和军用炸药之一。

我国也比较早地研制和生产硝甘炸药（代拿买特）和铵梯炸药（硝铵炸药），拥有性能优良的配方和生产工艺。尤其是铵梯炸药，广泛应用于露天、井下、矿岩、能源、水利、建筑及爆炸加工等各行各业。

铵油炸药（ANFO）是一种由硝酸铵和燃料油组成的爆炸性机械混合物。20 世纪中叶，由加拿大联合矿冶公司（Consolidated Mining and Smelting Co.）研究生产了 Prill 多孔粒状硝酸铵以后，铵油炸药得到了极大的发展，尤其在欧美国家，很快取代了长期沿用的硝化甘油类炸药和粉状硝铵炸药而居首要地位，使用量达 70%~80%^(5,6)。

浆状炸药是 1956 年由 Cook 和 Farnam 发明和使用的^(7~14)。它是一种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，通过交联剂形成网状结构的凝胶炸药。这种炸药打破了工业炸药不能含水的传统观点，将水引入体系中，以水抗水，不但增强了抗水性能，而且提高了炸药密度和体积威力。

在浆状炸药的基础上，各国也在发展水胶炸药。实际上，这是一种采用有机胺硝酸盐等为敏化剂的浆状炸药，同时含有硝酸铵、硝酸钠等多种氧化剂，降低了析晶点，所以物理稳定

性和爆炸能力明显提高。

20世纪50年代以来,液体炸药以其良好的特性,在许多特殊爆破场合显示出独到之处。例如,我国研制成功的硝酸胍类液体炸药,以高爆速、高猛度和制作简便的特点,良好地应用在特种爆破工程上^(15,16)。

1969年6月美国阿特拉斯(Atlas)化学工业有限公司发明了乳化炸药⁽¹⁷⁾,它是含水炸药的新发展。它借助于乳化剂的作用形成油包水型乳状液,是一种反相的水胶炸药。这一结构特点进一步增强了含水炸药的抗水性和爆轰感度。很快,乳化炸药成为工业炸药的一支新秀,受到各国的普遍重视和大量使用。

此外,塑性炸药、挠性炸药、耐热炸药和低爆速炸药等特殊炸药作为工业炸药不可缺少的品种而在不同的特殊场合获得应用⁽¹⁸⁾。

第二节 工业炸药的主要特点和使用现状

工业炸药以成本低廉、制作简单、使用方便和能量较高为特点,作为一个特殊能源,广泛应用于矿岩爆破、爆炸加工、推进驱动、高压相变、起爆传爆等各个方面。

现在主要使用的工业炸药品种有三类:硝酸铵炸药、铵油炸药和乳化炸药,其中包括安全许用炸药等系列产品。它们各自的显著特点和应用情况如下:

一、铵梯炸药

铵梯炸药是以硝酸铵为主要成分的粉状爆炸性机械混合物,是应用最广泛的工业炸药品种之一。

硝酸铵早在 1658 年就被发现，但是它的爆炸性质却在 1843 年才被揭示。当时证实了将硝酸铵和煤的混合物加热至 170 °C 时就可以发生强烈爆炸。在此基础上，为了充分利用硝酸铵爆炸时释放的有效氧，1867 年瑞典工程师 C.J.Ohlsson 和 J.H.Norrbein 用固体可燃物、液体碳氢化合物和硝酸铵混合制得了最初的硝铵炸药。

为了提高使用可靠性和爆破效果，增加硝酸铵混合物的感度和作功能力，加入了多种不同的敏化剂。例如：梯恩梯、黑索今、硝化甘油、硝酸脲、硝酸胺盐等单质炸药；氯酸盐、高氯酸盐等烈性氧化剂；铝粉、镁粉等高热值金属可燃剂等。其中，梯恩梯敏化的硝铵炸药（俗称铵梯炸药）得到普遍使用。尤其在中国，20 世纪 80 年代粉状铵梯炸药的使用量一直在 70% 以上，甚至达到 90%。

根据不同的使用场合和性能特点，铵梯炸药有许多品种。通常分为：岩石硝铵炸药、煤矿许用硝铵炸药和露天硝铵炸药。

岩石硝铵炸药的显著特点是威力较高，通常梯恩梯质量分数为 10%~20%。主要用于露天或井下中硬岩石的小直径药卷爆破和岩石的二次爆破。

煤矿许用硝铵炸药的显著特点是爆温低和爆压低，因而可以有效地防止炸药爆轰引燃煤矿中可燃性气体——甲烷与空气混合物，保证煤矿井下爆破作业的安全性。产生这一效果的独特组分是消焰剂——氯化钠，其质量分数为 10%~30%。它不但降低爆温和爆压，而且是甲烷氧化链反应的有效抑制剂。

相比之下，露天硝铵炸药具有成本低、中威力的特点，梯恩梯质量分数仅为 5%~10%。它主要应用于露天松软岩层的爆破，有时用于大孔径爆破中。

铵梯炸药不仅大量使用于土岩爆破、矿产开采、控制爆破