

国家“十一五”重点规划图书

国家“十一五”民爆器材专项技术基础科研计划

膨化硝铵炸药自敏化理论

吕春绪 著

兵器工业出版社

国家“十一五”重点规划图书
国家“十一五”民爆器材专项技术基础科研计划

膨化硝酸铵炸药自敏化理论

吕春绪 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书是膨化硝酸铵炸药自敏化理论的一部专著。它介绍了工业炸药的国内外现状与发展,研究了敏化理论与途径、爆轰反应机理及爆轰参数计算、硝酸铵晶相与晶变及其应用和绝热分解机理及安全性评估;书中在总结膨化硝酸铵炸药的研究与发展基础上,着重论述了膨化硝酸铵炸药自敏化理论的基础、设计、实验、特征及实施等。

本书适于从事工业炸药特别是粉状炸药及膨化硝酸铵炸药研究、设计、生产、使用和管理有关人员使用,可供含能材料学科的大学生、研究生、教师阅读与参考,也可作为高等院校相关专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

膨化硝酸铵炸药自敏化理论/吕春绪著. —北京:兵器工业出版社, 2008. 4

ISBN 978 - 7 - 80248 - 032 - 2

I. 膨… II. 吕… III. 硝酸类炸药 IV. TQ564. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 046961 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: 北京市登峰印刷厂

版 次: 2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—1000

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: 787 × 1092 1/16

印 张: 24.5

字 数: 624 千字

定 价: 68.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前言

本书是膨化硝酸铵炸药自敏化理论的一本专著，是《膨化硝酸铵炸药》和《工业炸药理论》两书的深化与发展。

膨化硝酸铵炸药是由我们发明并拥有自主知识产权的一种新型粉状工业炸药，被列为国家科技重点推广项目和国家级火炬计划项目。相关成果曾获得国家科技进步二等奖、原兵器工业总公司科技进步特等奖、中国民爆行业协会科技进步技术推广一等奖等多项奖励，1999年被国家知识产权局和联合国世界知识产权组织联合授予“中国十大发明专利金奖”。

膨化硝酸铵炸药自敏化理论是该成果主要发明点的核心。硝酸铵的自敏化设计是对国外传统方法的突破，是国内外炸药工作者从未想到的创新思路，对膨化硝酸铵炸药的诞生起到了关键作用。

敏化是工业炸药保证作用可靠性的关键，因此，人们对其效果十分关心与重视。但有关敏化理论的研究却较少，自敏化理论研究则更少。从事工业炸药研究、生产及应用的单位和人员迫切希望我们能对敏化和自敏化进行一次系统、全面的归纳和总结，对某些实验事实从理论上给予解释，对某些见解及观点加以进一步完善和提高。这也就是撰写本书的意图所在。

本书具有以下特点：

① 膨化硝酸铵炸药是工业炸药的重要组成部分。本书在叙述膨化硝酸铵炸药的同时，也重点论述了工业炸药的国内外现状与发展，这对了解工业炸药总体状况具有重要意义。自敏化是工业炸药敏化的重要途径。在研究自敏化的同时，我们也介绍了工业炸药的其他敏化方法，以使读者对工业炸药敏化能有全面了解。

我们以膨化硝酸铵炸药为主线，对其感度特征、自敏化总体设计、自敏化实施、实验研究和实验验证等进行了详细论述；对其他工业炸药的自敏化问题也提出了我们的观点，使该书具有较好的完整性及系统性。

② 书中从自敏化理论的提出、设计、形成到验证部分是由硕士生及博士生们的学位论文及研究论文的内容组成的，均以大量实验及测试为依据。这些研究成果在国内外重要会议上适时公布后，获得了工业炸药工作者的赞同。硝酸铵的晶型与晶变特征以及相稳定硝酸铵技术等则是我们的最新科研成果。本书的撰写与出版是“十一五”国家民爆器材专项技术基础科研项目（2005~2007）最终成果形式的重要组成部分。用这些理论研究及科研成果已申报专利并将其撰入书中，使本书具有新颖性及先进性。

③ 自敏化理论的实施是紧扣工厂生产实际并与工艺优化相结合的，对工艺条件的改进有重要指导意义，也为某些敏化方法的具体实施提供了基础及依据。工业炸药的绝热分解机理与安全性评估及安全技术研究对在膨化硝酸铵炸药及乳化炸药生产中提高本质安全度有着重要参考价值。这使该书具有较强的实用性。

书中每章之后均列出了参考文献，需要深入了解该领域的读者，可自行参考阅读。

本书可供从事工业炸药特别是粉状炸药及膨化硝酸铵炸药研究、设计、生产、使用和管理
的有关科研技术人员参考，也可作为高等院校相关专业的教材。

本书由南京理工大学吕春绪教授撰著，中北大学叶毓鹏教授主审。张维民副主任、汪旭
光院士、迟书义教授、颜事龙教授、吴腾芳教授、林菊生高级工程师、张利洪高级工程师、
赵国强高级工程师和秦卫国高级工程师等对本书大纲作了审定，并对本书结构及内容提出了
宝贵意见，在此深表感谢！

撰写此书奉献于读者，同时也非常想利用这个机会向在膨化硝酸铵炸药自敏化研究过程中
指导、帮助、支持和资助过我们的领导、同行及朋友表示最衷心的感谢及诚挚的敬意。

膨化硝酸铵炸药课题组及相关人员为膨化硝酸铵炸药自敏化理论的提出与获得成功及本书的
撰写作了大量实验及资料整理工作，特别是刘祖亮教授、陆明教授、胡炳成副教授、叶志文
副教授、周新利副研究员、高大元博士、曾贵玉博士、叶方青博士、梅震华博士、谯娟硕
士、王依林高级技师等人的大量科学实验研究工作及其学位论文，为膨化硝酸铵炸药自敏化理
论的形成与发展作出了重大贡献，在此一并表示感谢。

因水平有限，书中疏漏和错误在所难免，敬请读者批评指正。

吕春绪

2008年2月于南京

目 录

1 工业炸药的国内外现状与发展	(1)
1.1 工业炸药的意义与作用	(1)
1.2 国外工业炸药的现状与发展	(2)
1.2.1 哈萨克斯坦 (Kazakstan) 工业炸药的现状与发展	(2)
1.2.2 俄罗斯科学院西伯利亚分院煤灰微球对乳化炸药性能影响的研究	(8)
1.2.3 AKZO NOBEL 公司 Expancel 塑料微球的研究对乳化炸药性能的影响	(10)
1.2.4 波兰 (Poland) 工业炸药的研究与发展	(15)
1.2.5 捷克 Pardubice 大学硝铵炸药的研究	(29)
1.2.6 澳大利亚澳瑞凯 (Orica) 公司工业炸药的研究	(34)
1.2.7 日本大赛璐 (Daicel) 公司对安全气囊的研究与发展	(39)
1.2.8 韩国 Yulim 材料有限公司 C. S. Kim 放热材料的研究	(44)
1.3 国内工业炸药的现状与发展	(46)
1.3.1 国内工业炸药的现状	(46)
1.3.2 国内工业炸药技术的发展方向	(46)
1.3.3 工业炸药技术的创新发展	(47)
1.3.4 工业炸药企业的集团化发展体制	(49)
1.4 国内外工业炸药技术的比较	(51)
1.4.1 基本发展模式 and 格局	(51)
1.4.2 炸药品种及产品结构	(51)
1.4.3 生产工艺与设备水平落后于西方	(53)
1.4.4 生产的规模化、集团化比国外薄弱	(54)
参考文献	(55)
2 工业炸药敏化理论与途径	(57)
2.1 概述	(57)
2.2 粉状工业炸药的敏化	(57)
2.2.1 粉状工业炸药的敏化方法	(57)
2.2.2 粉状炸药新型敏化剂的研究	(59)
2.2.3 以乳化基质敏化的粉状工业炸药	(61)
2.2.4 纳米技术对工业炸药敏化的研究	(63)
2.3 乳化炸药的敏化	(67)
2.3.1 乳化炸药的敏化方法	(67)
2.3.2 乳化炸药的化学敏化	(67)

2.3.3	乳化炸药的物理敏化	(70)
2.3.4	乳化炸药的复合敏化	(73)
2.3.5	乳化炸药在连续工艺中的敏化	(76)
2.3.6	敏化方式对乳化炸药爆速的影响	(78)
2.3.7	敏化方式对乳化炸药撞击感度的影响	(82)
2.3.8	微乳炸药及其感度特征	(83)
	参考文献	(85)
3	工业炸药爆轰反应机理及爆轰参数计算与测定	(86)
3.1	工业炸药爆轰反应机理	(86)
3.1.1	工业炸药爆轰反应机理的早期观点	(86)
3.1.2	工业炸药爆轰反应机理的近期研究	(89)
3.2	工业炸药爆轰参数的设计计算	(91)
3.3	工业炸药瞬间爆温的计算与测定	(92)
3.4	工业炸药爆热的绝热法测定	(96)
3.5	工业炸药作功能力的计算与测定	(98)
3.6	膨化硝酸铵及其炸药的感度特征	(102)
3.6.1	膨化硝酸铵的感度特征	(102)
3.6.2	膨化硝酸铵炸药冲击波感度实验研究	(104)
3.7	铝粉对乳化炸药爆轰参数的影响	(107)
3.8	铝粉对粉状硝酸铵炸药爆轰参数的影响	(111)
	参考文献	(114)
4	硝酸铵晶相与晶变及其在工业炸药中的应用	(115)
4.1	概述	(115)
4.2	硝酸铵晶体的晶型与晶变特征	(115)
4.2.1	硝酸铵晶体特征	(115)
4.2.2	硝酸铵晶体的晶貌特征	(117)
4.2.3	硝酸铵晶体的晶变特征	(118)
4.2.4	超声波对硝酸铵晶相及晶变的影响	(120)
4.3	相稳定硝酸铵的研究	(121)
4.3.1	相稳定硝酸铵的内涵及意义	(121)
4.3.2	差热分析 (DTA) 与热机分析 (TMA) 研究硝酸铵相稳定性	(122)
4.3.3	热差分析 (DSC) 研究含能相稳定剂对硝酸铵相变的影响	(126)
4.3.4	早期相稳定硝酸铵的研究	(129)
4.3.5	近期相稳定硝酸铵的研究	(133)
4.4	粉状工业炸药的防吸湿、结块研究	(140)
4.4.1	相稳定硝酸铵对吸湿结块的影响	(140)
4.4.2	添加剂对硝酸铵吸湿结块的作用及影响	(140)
	参考文献	(144)
5	工业炸药绝热分解机理及安全性评估	(146)

(5.1) 概述	(146)
(5.2) 硝酸铵绝热分解的加速量热法研究	(147)
(5.3) 膨化硝酸铵绝热分解的加速量热法研究及热力学参数等的计算	(149)
(5.3.1) 膨化硝酸铵绝热分解加速量热法研究	(149)
(5.3.2) 膨化硝酸铵绝热分解热力学参数等的计算	(151)
(5.4) 膨化硝酸铵炸药绝热分解的加速量热法及分解反应动力学研究	(152)
(5.4.1) 膨化硝酸铵炸药绝热分解加速量热法研究	(152)
(5.4.2) 膨化硝酸铵炸药的分解反应	(156)
(5.4.3) 膨化硝酸铵炸药分解反应机理推断	(158)
(5.5) 乳化炸药绝热分解加速量热法及反应动力学研究	(159)
(5.5.1) 乳化炸药绝热分解加速量热法研究	(159)
(5.5.2) 乳化炸药绝热分解动力学和热力学参数的计算	(162)
(5.5.3) 乳化炸药绝热分解反应机理的推断	(163)
(5.6) 膨化硝酸铵及膨化硝酸铵炸药的安全性研究与评估	(164)
(5.6.1) 膨化硝酸铵的热特性	(164)
(5.6.2) 膨化硝酸铵炸药安全性及生产安全技术性研究	(166)
(5.6.3) 膨化硝酸铵安全性评价	(167)
(5.6.4) 膨化硝酸铵炸药安全性评价	(169)
(参考文献)	(171)
6 膨化硝酸铵炸药的研究与发展	(173)
(6.1) 膨化硝酸铵炸药的创新设计	(173)
(6.2) 膨化硝酸铵炸药技术具有国际先进水平	(173)
(6.3) 膨化硝酸铵炸药技术的推广应用及效益	(174)
(6.4) 膨化硝酸铵炸药配方及系列化产品研究	(179)
(6.5) 膨化硝酸铵炸药的性能及影响因素研究	(187)
(6.5.1) 膨化硝酸铵炸药性能的影响因素分析	(187)
(6.5.2) 膨化硝酸铵吸油率及渗油率的影响因素	(190)
(6.5.3) 膨化硝酸铵炸药流散性的影响因素	(192)
(6.5.4) 膨化硝酸铵炸药抗爆燃性的影响因素	(194)
(6.5.5) 氧平衡对膨化硝酸铵炸药爆燃性的影响	(198)
(6.5.6) 木粉对膨化硝酸铵炸药爆炸性能的影响	(199)
(6.5.7) 松香对膨化硝酸铵炸药爆炸性能的影响	(200)
(6.5.8) 添加剂对膨化硝酸铵炸药爆炸性能的影响	(202)
(6.6) 膨化硝酸铵炸药制造工艺条件研究	(203)
(6.6.1) 硝酸铵工业膨化处理过程解析	(203)
(6.6.2) 硝酸铵膨化工艺条件研究	(204)
(6.6.3) 膨化硝酸铵炸药工业化生产工艺条件研究	(206)
(6.6.4) 膨化硝酸铵炸药连续混药工艺研究	(209)
(6.6.5) 膨化硝酸铵炸药生产过程中的质量控制	(212)

6.7 膨化硝酸铵炸药的新配方及新技术研究	(213)
6.7.1 II型膨化硝酸铵炸药配方的研究	(213)
6.7.2 万吨膨化硝酸铵炸药膨混联建(连续膨化—连续混合)新工艺研究	(216)
6.7.3 2万吨膨化硝酸铵炸药膨混联建(立式膨化—连续混合)新工艺研究	(218)
6.7.4 膨化硝酸铵炸药膨化—混合—装药连续工艺研究	(220)
6.8 膨化硝酸铵炸药的发展	(222)
6.8.1 第二代膨化硝酸铵炸药(膨乳炸药)研究	(222)
6.8.2 膨化硝酸铵炸药新一代混合器——碾混机的研究及应用	(225)
6.8.3 膨化硝酸铵炸药制药系统自控——随动化工工艺研究及应用	(226)
6.8.4 膨化硝酸铵炸药全连续新工艺研究	(227)
参考文献	(229)
7 膨化硝酸铵炸药自敏化理论基础	(231)
7.1 机械起爆与冲击波起爆	(231)
7.2 热点理论	(233)
7.2.1 热点的形成	(233)
7.2.2 热点形成途径作用机理	(236)
7.2.3 热点成为爆炸的条件	(237)
7.2.4 热点成长过程	(239)
7.2.5 热点理论在工业炸药中的应用	(240)
7.3 表面活性剂理论	(240)
7.3.1 表面活性剂是表面活性理论的核心	(240)
7.3.2 表面活性剂是精细化工的重要组成部分	(241)
7.3.3 表面活性剂发展的新疆域	(244)
7.3.4 表面活性剂的物理化学行为	(244)
7.3.5 表面活性剂技术在含能材料设计与制造中的应用	(248)
7.3.6 表面活性剂合成的研究	(253)
7.3.7 表面活性剂在硝酸铵水溶液中的表面行为	(254)
7.3.8 混合表面活性剂在硝酸铵水溶液中的物理化学特性	(256)
参考文献	(259)
8 膨化硝酸铵自敏化理论设计	(261)
8.1 硝酸铵超溶解度曲线	(261)
8.2 膨化硝酸铵自敏化理论的提出与形成	(262)
8.3 膨化硝酸铵自敏化理论设计	(263)
8.4 膨化硝酸铵自敏化临界热点温度的热力学计算	(263)
8.5 微气泡(微孔)在膨化硝酸铵中的分布状态及规律	(264)
8.6 膨化硝酸铵晶体、晶格及晶型特征	(269)
参考文献	(271)
9 膨化硝酸铵自敏化理论实验研究	(272)
9.1 概述	(272)

9.2 膨化硝酸铵自敏化孔隙结构与分布研究	(272)
9.2.1 膨化硝酸铵的密度研究	(272)
9.2.2 膨化硝酸铵比表面积研究	(276)
9.2.3 膨化硝酸铵孔隙结构研究	(277)
9.2.4 膨化硝酸铵孔径分布研究	(282)
9.3 膨化硝酸铵表面自敏化歧形化研究	(291)
9.4 粉碎后的膨化硝酸铵自敏化表面歧形化研究	(297)
9.5 木粉对膨化硝酸铵炸药自敏化的贡献	(301)
9.5.1 概述	(301)
9.5.2 普通木粉的表面物理特性研究	(302)
9.5.3 不同粒径的普通木粉的表面特性特征	(304)
9.5.4 木粉的改性研究	(317)
9.5.5 改性木粉的表面特性表征	(317)
9.5.6 改性木粉与普通木粉表面特性及爆炸性能的比较	(319)
9.6 膨化铵油炸药自敏化结构特征的研究	(321)
9.6.1 膨化铵油炸药中膨化硝酸铵密度的研究	(321)
9.6.2 膨化铵油自敏化表面歧形化的研究	(322)
参考文献	(327)
10 膨化硝酸铵炸药的自敏化特征及其实验验证	(329)
10.1 概述	(329)
10.2 膨化硝酸铵的热安定性	(329)
10.3 膨化硝酸铵的爆点与雷管感度	(334)
10.3.1 膨化硝酸铵的爆点	(334)
10.3.2 膨化硝酸铵的雷管感度	(335)
10.4 膨化铵油炸药的爆轰特性研究	(335)
10.4.1 膨化铵油炸药的热安定性	(335)
10.4.2 膨化铵油炸药的爆轰临界直径	(339)
10.4.3 膨化铵油炸药雷管起爆感度的影响因素研究	(340)
10.4.4 影响膨化铵油炸药装药爆轰能力的因素	(346)
10.5 膨化硝酸铵炸药的爆轰特性研究	(350)
10.5.1 有机玻璃法测试爆速及爆压的原理及装置	(350)
10.5.2 有机玻璃法测试爆速及爆压的结果及讨论	(351)
10.5.3 几点结论	(354)
参考文献	(355)
11 膨化硝酸铵炸药自敏化理论的实施	(356)
11.1 概述	(356)
11.2 膨化硝酸铵炸药的膨化理论	(356)
11.2.1 硝酸铵膨化过程的描述	(356)
11.2.2 硝酸铵膨化过程中的物理化学参数研究	(357)

(55)	11.2.3 硝酸铵膨化机理及影响因素	(359)
(56)	11.3 膨化硝酸铵炸药的膨化技术	(361)
(57)	11.3.1 硝酸铵膨化技术概述	(361)
(58)	11.3.2 膨化技术的主要影响因素	(362)
(59)	参考文献	(365)
12	其他工业炸药的自敏化观点	(367)
(60)	12.1 概述	(367)
(61)	12.2 乳化炸药的自敏化观点	(367)
(62)	12.2.1 化学敏化具有自敏化特征	(367)
(63)	12.2.2 乳化炸药微结构的研究	(368)
(64)	12.2.3 乳化基质粒子的大小及分布	(369)
(65)	12.2.4 乳化炸药的物理化学性能	(369)
(66)	12.3 粉状乳化炸药的自敏化观点	(370)
(67)	12.3.1 粉状乳化炸药的微观结构研究	(371)
(68)	12.3.2 粉状乳化炸药的形成机理	(372)
(69)	12.3.3 粉状乳化炸药的性能与微观结构的关系	(372)
(70)	12.4 改性铵油炸药的自敏化观点	(374)
(71)	12.4.1 细晶铵油炸药	(374)
(72)	12.4.2 细粉铵油炸药	(375)
(73)	参考文献	(380)
(74)		1.0.1
(75)		1.0.2
(76)		1.0.3
(77)		1.0.4
(78)		1.0.5
(79)		1.0.6
(80)		1.0.7
(81)		1.0.8
(82)		1.0.9
(83)		1.0.10
(84)		1.0.11
(85)		1.0.12
(86)		1.0.13
(87)		1.0.14
(88)		1.0.15
(89)		1.0.16
(90)		1.0.17
(91)		1.0.18
(92)		1.0.19
(93)		1.0.20
(94)		1.0.21
(95)		1.0.22
(96)		1.0.23
(97)		1.0.24
(98)		1.0.25
(99)		1.0.26
(100)		1.0.27
(101)		1.0.28
(102)		1.0.29
(103)		1.0.30
(104)		1.0.31
(105)		1.0.32
(106)		1.0.33
(107)		1.0.34
(108)		1.0.35
(109)		1.0.36
(110)		1.0.37
(111)		1.0.38
(112)		1.0.39
(113)		1.0.40
(114)		1.0.41
(115)		1.0.42
(116)		1.0.43
(117)		1.0.44
(118)		1.0.45
(119)		1.0.46
(120)		1.0.47
(121)		1.0.48
(122)		1.0.49
(123)		1.0.50
(124)		1.0.51
(125)		1.0.52
(126)		1.0.53
(127)		1.0.54
(128)		1.0.55
(129)		1.0.56
(130)		1.0.57
(131)		1.0.58
(132)		1.0.59
(133)		1.0.60
(134)		1.0.61
(135)		1.0.62
(136)		1.0.63
(137)		1.0.64
(138)		1.0.65
(139)		1.0.66
(140)		1.0.67
(141)		1.0.68
(142)		1.0.69
(143)		1.0.70
(144)		1.0.71
(145)		1.0.72
(146)		1.0.73
(147)		1.0.74
(148)		1.0.75
(149)		1.0.76
(150)		1.0.77
(151)		1.0.78
(152)		1.0.79
(153)		1.0.80
(154)		1.0.81
(155)		1.0.82
(156)		1.0.83
(157)		1.0.84
(158)		1.0.85
(159)		1.0.86
(160)		1.0.87
(161)		1.0.88
(162)		1.0.89
(163)		1.0.90
(164)		1.0.91
(165)		1.0.92
(166)		1.0.93
(167)		1.0.94
(168)		1.0.95
(169)		1.0.96
(170)		1.0.97
(171)		1.0.98
(172)		1.0.99
(173)		1.0.100

1 工业炸药的国内外现状与发展

1.1 工业炸药的意义与作用

工业炸药是我国的主要民爆器材之一。2004 年,我国有工业炸药生产企业 200 多家,生产炸药品种十多个;据 2005 年底统计,年产量为 240.75 万吨,是世界上工业炸药产量最大的国家。

2005 年及 2004 年工业炸药产量及相互比较如图 1-1 所示。

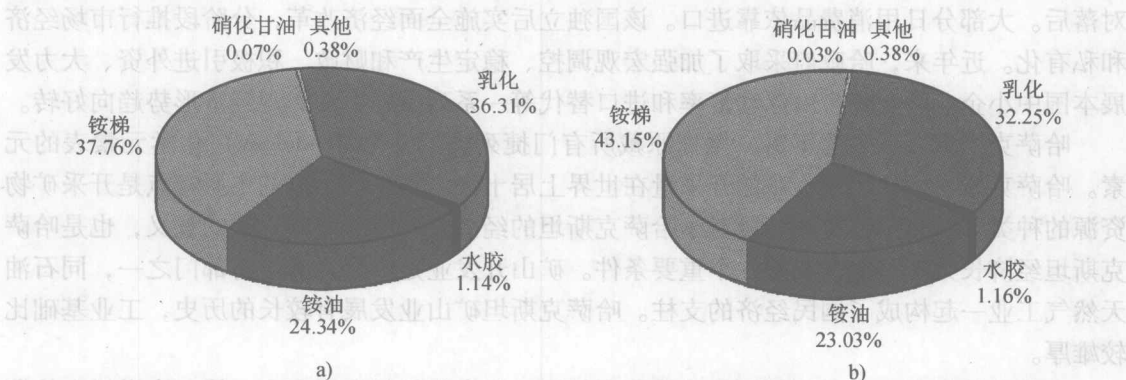


图 1-1 工业炸药品种产量变化比较
a) 2005 年工业炸药产量比重; b) 2004 年工业炸药产量比重 (同期比较)

工业炸药与整个民爆器材行业一样,发展十分迅速,无论是新品种、新工艺、新设备,还是新理论、新技术、各领域的研究工作都引起了人们的广泛注意。我国也把新型民用爆破器材及其应用技术项目列为创新工程的重要内容,同时成立了民爆器材标准化技术委员会,对民爆标准化发展规划、标准体系、标准制订等工作给予指导与组织。这标志着我国民爆器材行业标准化工作进入了一个新时期。

多少年来,许多学者围绕工业炸药上述问题从不同角度、不同领域进行了比较系统和完整的总结和论述,并撰写了很多专著与论著^[1~15]。其中炸药的敏化问题引起了人们的广泛关注。因为它是与可靠性及安全性紧密联系在一起,它对工业炸药的研究与发展具有重要指导意义,对我国工业炸药赶超世界先进水平有着重大的推动作用。对膨化硝铵炸药自敏化理论以及其他工业炸药自敏化观点的研究一直是工业炸药学者专家十分关心的问题,在这个领域取得的任何新成果、新成绩、新发展,都将为工业炸药增添新篇章,促成工业炸药技术水平登上一个新台阶。

1.2 国外工业炸药的状况与发展

世界上从事工业炸药研究与生产规模较大、实力较强、技术水平较高的跨国公司主要是挪威太诺 (DYNO) 公司、美国奥斯汀 (Austin) 公司、法国诺贝尔 (Nobel) 公司、日本化药及日本住友化学等公司^[16-21], 它们的具体情况在《工业炸药理论》一书中已有叙述, 不再重复, 在此仅就其他国家或公司的工业炸药现状与发展做如下介绍。

1.2.1 哈萨克斯坦 (Kazakstan) 工业炸药的状况与发展^[22]

1.2.1.1 哈萨克斯坦的工业现状

哈萨克斯坦共和国位于亚洲中部, 北邻俄罗斯, 南与乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、吉尔吉斯斯坦接壤, 西濒里海, 东接中国。国土面积 272 万平方公里 (相当于中国大陆的 1/4)。哈萨克斯坦属于大陆性气候, 1 月份平均气温 $-19 \sim -4^{\circ}\text{C}$, 7 月份平均气温 $19 \sim 26^{\circ}\text{C}$ 。

哈萨克斯坦经济以石油、采矿、煤炭和农牧业为主, 加工工业、机器制造业和轻工业相对落后。大部分日用消费品依靠进口。该国独立后实施全面经济改革, 分阶段推行市场经济和私有化。近年来, 哈政府采取了加强宏观调控、稳定生产和财政、积极引进外资、大力发展本国中小企业、实行自由浮动汇率和进口替代等一系列措施, 使宏观经济形势趋向好转。

哈萨克斯坦自然资源丰富, 据称原藏所有门捷列夫 (D. I. Mendeleev) 化学元素表的元素。哈萨克斯坦主要矿产资源的开采量在世界上居十强之列, 矿业的主要特点是开采矿产资源的种类多种多样。矿产资源对于哈萨克斯坦的经济发展有着举足轻重的意义, 也是哈萨克斯坦经济长久、稳定发展的一个重要条件。矿山开发业是哈重要的经济部门之一, 同石油天然气工业一起构成了国民经济的支柱。哈萨克斯坦矿业发展有较长的历史, 工业基础比较雄厚。

哈萨克斯坦矿业包括采掘和冶炼两个部门, 具有很长的发展历史。第二次世界大战期间, 哈萨克斯坦是苏联国防工业所需铅、铜、锌、铬、锰的主要供应地。20 世纪 50 年代初, 该国已有巨型铜矿开采企业“杰兹卡兹干冶金联合厂”。60 年代, 卡拉扎尔和科斯塔奈两个州的富矿区黑色金属冶炼企业取得了迅速发展, 并建成了当时世界第一的铁矿开采企业索科罗夫—萨尔拜采矿选矿联合厂。1980 年, 鲍佳德里露天煤矿被收入吉尼斯世界纪录。目前, 哈萨克斯坦的钨、硫酸钡储量居世界首位, 铬、磷、铀储量居世界第二位 (其中铀储量占全球的 25%~30%), 银、铜、铅、锌储量居世界第三位, 钼储量居世界第四位, 黄金储量居世界第六位, 铁矿储量居世界第八位。哈萨克斯坦独立初期, 国家推行工业项目私有化、建立国民经济市场管理机制的方针, 大部分大型矿山开采企业在 1997 年之前完成了所有制改革。目前, 全部开采业实际上均转为私人经营。

1.2.1.2 哈萨克斯坦工业炸药的生产和技术情况

哈萨克斯坦矿山使用的工业炸药过去主要由俄罗斯供应。哈萨克斯坦独立后大中型矿山建立了许多简易的工业炸药生产点。哈萨克斯坦和俄罗斯接壤, 从俄罗斯进口较方便, 有两家民爆公司在经营, 而大中型矿山都有自己的进口民爆器材的许可, 可以自己进口。2002 年哈萨克斯坦的第一条 (也是唯一一条) 组装非电雷管的生产线在“澳瑞凯—哈萨克斯坦”有限责任公司投产; 2003 年澳瑞凯 (Orica) 公司、西班牙优易公司为哈萨克斯坦的采矿企

业生产包装及非包装炸药和爆炸装置的万吨级乳化炸药生产线投入使用。俄罗斯企业同哈萨克斯坦民爆器材生产企业合作建设了生产铵梯炸药的生产线。哈萨克斯坦的民用爆破器材的市场容量较大,2005年工业炸药使用量约15万吨。其中从俄罗斯进口的占20%左右,澳瑞凯公司和西班牙优易公司等生产的小包装炸药约占10%左右。哈萨克斯坦现有民爆器材生产经营企业在矿山现场生产占70%左右。

英特林公司(Interrin)是哈萨克斯坦现有的具备民爆器材生产许可的几家公司之一,是科学生产型企业。该公司在研究炸药组分、工艺、炸药生产设备和使用方面有着丰富的经验。

哈萨克斯坦政府为了促进小型矿山企业和偏远的矿石含量较低的矿山企业的发展,扩大哈萨克斯坦的矿业原材料基地的规模,加速矿山的勘探开发,在矿业经济方面国家战略政策上提出了建立自己的炸药专业基地的任务,即在矿产资源产地用当地的原材料生产价格相对便宜、爆炸安全性能好的炸药,确保采矿业的炸药需求。随着矿山开采企业现代化水平的提高,组织生产价格低廉、产量较大和抗水性好的工业炸药是降低矿物开采成本的一种途径。英特林公司根据哈萨克斯坦国家发展规划,提出了在最靠近炸药使用地的矿山建设微型工厂的思路。建立靠近炸药使用地的炸药生产专业基地,可以减少费用,提高采矿企业的利润。

英特林公司微型工厂是炸药生产的固定站,它是依据设计方案建在地面或地下坑道,并且装备有炸药生产所需的必备设备。它可以缩短研制生产炸药的周期,降低炸药的生产和运输费用。

英特林公司在研究实践成果的基础上,研制出两种颗粒状炸药,即:A型格拉努里特炸药(Гранулит А)和A6型格拉努里特炸药(Гранулит А6)。A型格拉努里特炸药(Гранулит А),是一种粉状、非抗水炸药,由非爆炸性可燃物(包括铝粉)和粒状硝酸铵混合而成,一般用于露天及无瓦斯和矿尘爆炸危险的地下矿井爆破,适于在干工作面爆破中等硬度以上的岩石。它们是在粒状硝酸铵、柴油、铝粉(作为细小的能量添加剂)的基础上研制出来的。这两种炸药的组分都有非常好的松散性、稳定性,生产完成之后便于储存,进行地下开采工作时可以向炮眼和地下矿井气动装填炸药,或者进行露天开采工作时利用重力作用向炮眼中装填炸药。

但A型、A6型格拉努里特粒状炸药的成本是主要问题,因这两种炸药的价格很大程度上取决于非常昂贵的铝粉。英特林公司还研制出了两种ЭТ型格拉努里特炸药,即:ЭТ-A型、ЭТ-Y型格拉努里特炸药。它们的组分中除了硝酸铵、柴油之外,还加入了铝粉,不超过3%的煤粉,不超过6%的水油相乳胶体。ЭТ型格拉努里特炸药具有良好的松散性,利用重力作用调整炸药配方的高准确性,借助于压缩空气,在进行地下开采工作时,可以向炮眼和地下矿井气动装填炸药。

生产A型、A6型和ЭТ型格拉努里特炸药,是在地面或地下的炸药生产固定站进行的,并借助于英特林公司研制的УИ-2型或СДГ型混合器。УИ-2型混合器配备了组分计量仪,料斗升降机,用来破碎硝酸铵结块的锥形破碎机,粒状组分的分选机和两台输送机。输送机可以确保在规定的程序下快速搅拌各类炸药组分并且完成对这些组分的输送。СДГ型混合器比УИ-2型混合器的外观尺寸稍小一些,СДГ型混合器是用来将散状的组分输送(无料斗)到搅拌室中。

在工作区域内,УИ-2型和СДГ型混合器带有空气吸尘系统,并且和混合器连在一起。

空气吸尘系统中包括进气道、导气管和通风机。进气道用于抽出工作区域内空气中的粉尘,导气管用于输送空气以清洁粒状的过滤器,通风机用于在进气道中形成负压,将过滤器中已过滤的空气排到大气中。

在炸药生产过程中,为了预防紧急情况发生,成品的储料斗和混合器的卸载输送通道上配备了防止工作过程中装载过量的装置。为了限制成品的机械装载量,卸载螺旋的传动装置上安装了安全部件。混合器操作台上安装了断开电流的警报按钮,并且在有人员的各个空间内安装了声音警报系统。声音警报系统和警报按钮是连锁在一起的。警报按钮可以和快速向混合器内部输水的消防装置连在一起,消防水来自建在工艺线内部的消防水罐。

生产出的炸药被装运到储料斗中或称重装入袋中,缝好袋子和做好唛头后,将袋子在托盘上码成垛,用叉车运送到供应仓库或爆破器材消耗库中。

УИ-2 型和 СДГ 型混合器的技术性能见表 1-1。

表 1-1 混合器技术性能

序号	组成	混合器的各项参数	
		УИ-2 型	СДГ 型
1	产能/ $T \cdot h^{-1}$	2	2
2	料斗容积/ m^3	0.2	
3	螺旋转速		
	混合时的转速/ $r \cdot min^{-1}$	90	90
4	混合器电动传动机的功率/ kW		
	输送时的转速/ $r \cdot min^{-1}$	92	90
5	混合器电动传动机转动频率/ $r \cdot min^{-1}$	11	10
6	料斗提升传动机的功率/ kW	1 500	1 460
7	料斗提升传动机的转动频率/ $r \cdot min^{-1}$	4	
8	混合器的质量/ kg	1 500	
9	外形尺寸/ mm		
	长	1 600	600
	宽	3 560	2 765
	高	2 310	1 133
		3 240	1 175

A 型、A6 型和 ЭТ 型格拉努里特炸药可以手工和机械装填。在露天开采作业时,装填矿井的炸药密度是: $0.90 \sim 0.95 g \cdot cm^{-3}$; 进行地下开采作业时,用定量气动装药机装填炮眼和矿井的炸药密度是: 不超过 $1.1 \sim 1.2 g \cdot cm^{-3}$ 。

考虑到用户使用散装的格拉努里特炸药的特点,英特林公司找到了测量方法,研制出了一系列定量气动装药机,每份炸药的量确定为 1、2、5、12 和 25 kg,因此在开采不同条件下的矿区时,也就允许在地下开采时采用定量法向炮眼和矿井中气动装填炸药。从经济角度来讲,采矿企业用英特林公司的定量装药机替代原先工厂生产的格拉努里特炸药筒装药卷,更经济、效率更高,也有助于在哈萨克斯坦和俄罗斯的开采企业中推广这种工艺。

在最近 10 年,由于英特林公司的推动,在哈萨克斯坦和俄罗斯已经建立了 30 多个地面和地下的固定炸药生产站,这些生产站每年生产的格拉努里特炸药超过 5 万吨。

表 1-2 所列为格拉努里特炸药在向炮眼和矿井气动装填炸药时的技术性能, 而表 1-3 列出了英特林公司研制的各种开采条件下所用的定量装填机。

表 1-2 哈萨克斯坦典型粉状炸药性能

组成		各类型号格拉努里特炸药的计算和试验技术性能		
		A 型	A6 型	ЭТ 型
爆热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$		3 546	4 400	4 200
理想爆破性能/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$		3 746	3 520	3 600
爆炸气体体积/ $\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$		880	880	780 ~ 910
氧气平衡度 (%)		-0.9	-1.2	-0.45 ~ 14.2
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	散装时	0.9 ~ 0.95	0.9 ~ 0.95	0.85 ~ 1.05
	气动装药时	1.1 ~ 1.2	1.1 ~ 1.2	1.1 ~ 1.2
临界/mm	露天装药时	120 ~ 60	100 ~ 120	100 ~ 120
直径/mm	在金属外壳 (炮眼) 中	32 ~ 36	32 ~ 36	34 ~ 38
爆速/ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	散装时	3.0 ~ 3.6	3.0 ~ 3.6	2.6 ~ 3.2
	气动装药时	3.2 ~ 3.8	3.2 ~ 3.8	3.0 ~ 3.4
撞击感度 (%)		0 ~ 0	8 ~ 12	0 ~ 0

表 1-3 哈萨克斯坦粉状炸药矿用定量装药机

组成	各类型号的定量气动装药机的指标					
	ППЭ-06 (I)	ППЭ-06 (II)	ППЭ-06 (III)	ЭП-2	ЭП-12	ЭП-25
控制方式	遥控	遥控	遥控	遥控	手动/遥控	手动/遥控
产能/ $\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$	10	15	< 10	15	120	200
计量器装载量/kg	1	2	0.5 ~ 1	1 ~ 2	12	20
工作压力/MPa	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7
装填密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	< 1.25	< 1.25	< 1.25	< 1.25	< 1.23	< 1.23
气动软管的直径/mm	20	20	20	20	40	40
装填软管的直径/mm	25	25	25	25	40	40
遥控软管的长度/m	< 8	< 8	< 8	< 8	< 5	< 5
装药量/kg	12	13	12	14	40	42
装药高度/mm	< 750	< 750	< 750	< 750	1 030	1 110
漏斗直径/mm	430	430	430	430	500	500

随着乳化炸药在世界范围内的出现和广泛推广, 英特林公司开始着手研究水油相的乳化基质的组分, 并在乳化基质的基础上研究乳化炸药的组分。由于英特林公司已研制出自己的价格非常便宜的乳化器, 这就使其可以获取抗水性能稳定、价格不贵的乳化基质, 这样的乳化基质有着一定的负氧平衡, 生产出的混合乳化炸药中乳化基质的含量分别为 30%、40% 和 50%。

英特林公司研制的乳化炸药, 炸药中含各种不同组分的乳化基质, 可以满足开采企业在不同条件下使用各种炸药的需求。英特林公司研制的乳化炸药的生产和使用工艺, 与哈

萨克斯坦其他公司的工艺相比,效率更高,更能满足要求。这样的乳化炸药可以减少崩落矿物的标准费用,高质量的崩落和破碎各种硬度的岩石,可以向干燥和灌水的矿井中装填乳化炸药,其中包括:采用流动的水,用机械装填的方式,形成一个“水柱”将乳化炸药装到灌水的矿井中。

乳化炸药的工艺原则,就是坚持使用价格便宜、易获取的原材料这样的理念,使大部分生产工艺国产化,工艺保障简单,生产和使用安全。与用国外工艺生产的乳化炸药相比,英特林公司的乳化炸药具有炸药配方组分少,制造简单和生产过程中不需要复杂技术保障的特点。英特林公司的乳化炸药,其命名来源于格拉努里特炸药,代号 TB。因乳化基质不同,分别称为 ЭTB-30 型、ЭTB-40 型和 ЭTB-Π 型格拉努里特乳化炸药。

ЭTB 型格拉努里特乳化炸药组分见表 1-4。

表 1-4 格拉努里特乳化炸药组分

组成	各种 ЭTB 型格拉努里特乳化炸药的组分质量比 (%)		
	ЭTB-30	ЭTB-40	ЭTB-Π
- A 型和 B 型硝酸铵:			
- 水油相乳化基质:		40 + 5	50 + 2
- A 型格拉努洛托儿炸药:	70 + 5	40 + 3	47 + 1.8
- 发泡的聚苯乙烯(颗粒及其残渣):	30 + 5	20 + 2	3 + 2

生产 ЭTB 型格拉努里特乳化炸药分成两个阶段进行。第一阶段生产乳化基质,生产的乳化基质按配方比重要求,充填到第二阶段中,这样生产出的产品物理、化学性能好,爆炸性能高。基于生产乳化基质和乳化炸药所使用的原材料、工艺和设备所确定的最终的炸药性价比,在提供专业服务的市场上是判定企业竞争力的一个基本尺度。

在乳化过程中,采用机械液压乳化器进行高负荷的切割,形成能稳定回流的乳化基质。乳化基质的尺寸是分散的 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 的乳胶颗粒。从 2002 年起,英特林公司采用了自行研制的“C”型乳化剂。这种乳化剂同时具有表面活性和增加稳定性的成分。英特林公司的“C”型乳化剂的耗用量占到了 1.5%。起乳化作用的设备通常安装在有一定高度落差的地方,确保氧化剂溶液、可燃性混合物溶液能输送到大容量的定量给料器并自流到乳化器中,这一过程不需要泵输送。乳化基质从乳化器中输出时,通常需要泵来完成,这样可以确保乳化过程中各种溶液的循环。控制和调整主要工艺参数的仪表系统,可更加有效地控制乳化基质的生产过程。

在乳化基质的基础上生产乳化炸药,有两种生产工艺:在固定炸药生产站在和在 УПЧ-100 型移动混合器上生产。乳化炸药的组分经计量后,送入 СДГ 型卧式混合器的漏斗中(该混合器带有两个螺旋推进器),进行搅拌后,推进器反向旋转将组分输出。在固定炸药生产站生产乳化炸药的产能为:每班 12 t;在 УПЧ-100 型移动混合器上生产的产能为:每班 10 t。ЭTB 型格拉努里特乳化炸药从爆热上看,比不上格拉努洛托儿炸药,但是前者提高了装药密度 ($1.25 \sim 1.38 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$) 后,爆炸功率接近格拉努洛托儿炸药。用于露天开采爆破时,ЭTB 型格拉努里特乳化炸药的计算和试验性能见表 1-5。