

LUTIANKUANG  
GONGCHENG BAOPU  
JISHU YU SHIJIAN

# 露天矿工程爆破

## 技术与实践

张耿城 编著 ■



冶金工业出版社  
www.cnmp.com.cn

# 露天矿工程爆破 技术与实践

张耿城 编著



北京  
冶金工业出版社  
2019

## 内 容 提 要

本书共5章, 主要内容包括现场混装炸药制备与远程配送; 以数字爆破和精准爆破为核心, 将大型铁矿山数字和精准爆破技术系统化, 提供了具有普遍适用性的大型铁矿山现代爆破技术体系和工程示范; 讨论了爆破作用下原岩的损伤破裂机理, 分析了影响爆破块度及块内损伤程度的主控因素, 给出基于采选总成本的联合优化方法; 在工程实践方面, 详细介绍了基于精准探测的采空区处理技术。

本书可供从事爆破工程的科研人员、工程技术人员和管理人员阅读, 也可作为采矿工程专业的高等院校师生的参考或教学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

露天矿工程爆破技术与实践/张耿城编著. —北京:  
冶金工业出版社, 2019. 1  
ISBN 978-7-5024-7989-3

I. ①露… II. ①张… III. ①露天矿—矿山爆破  
IV. ①TD235

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 002987 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 徐银河 王梦梦 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7989-3

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京博海升彩色印刷有限公司印刷

2019 年 1 月第 1 版, 2019 年 1 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 27 印张; 527 千字; 420 页

168.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

# 序

矿产资源是我国经济社会发展的重要物质基础，矿业是我国重要的基础产业，矿产资源保护与合理开发利用事关国家现代化建设全局。

工程爆破在国民经济建设中发挥着重要且不可替代的作用，是矿产资源开发利用的重要技术手段。矿山爆破的质量不仅关系到爆破技术经济指标的优劣，也对采矿的铲、装、运，选矿的破碎、磨矿等后续工序有着至关重要的影响。

鞍钢矿业爆破有限公司是目前国内冶金行业最大的“一体化”专业爆破公司之一。鞍钢集团和广东宏大强强联合，使鞍钢爆破具备了矿山爆破技术研发与科技创新的条件和优势。该公司自成立以来，自主开发了多项爆破新技术，取得了丰硕的成果。中国爆破行业协会分别于2016年和2018年委托我主持了该公司多项科研成果评价会，与会专家对这些科研成果给予了很高的评价。

随着新一代信息技术和计算机技术的迅猛发展，古老的爆破行业迎来了勃勃生机。长期以来，矿山的爆破设计、施工及管理主要依靠技术人员和工人的现场经验，生产方式比较粗放。鞍钢矿业爆破有限公司顺应时代的发展潮流，在高性能乳胶基质制备与远程配送、“数字爆破”、“精准爆破”和特殊工程爆破等方面取得了骄人的成绩，尤其是丰富了“以爆代破”内涵，在国内首次系统地开展了采、选、破、磨成本的优化工作，实现了广义上的爆破优化，推动了爆破技术研究步入更高的层次，为大型露天矿山工程爆破做出了突出贡献。



本书总结了鞍钢矿业爆破有限公司多年来在矿山工程爆破领域的研究成果，主要论述了现场混装炸药制备与远程配送、以爆代破、精准爆破、数字爆破、控制爆破、采空区爆破等技术在矿山的应用。

本书作者张耿城同志有着多年爆破工程施工与管理经验。作为爆破企业的管理者，他能够将创新发展和技术进步作为企业生存发展、增强核心竞争力的不竭动力，不惜投入大量的人力、物力开展技术研发工作，难能可贵。

希望本书的出版能够对提高矿产资源开发利用水平，助推矿山爆破技术、工艺和管理能力的提升发挥重要作用。亦希望广大读者能够从本书中受到启迪，共同推进爆破行业的快速发展。

中国工程院院士

# 前 言

鞍钢矿业爆破有限公司成立于2013年，是由广东宏大爆破有限公司和鞍钢矿业有限公司共同出资组建的股份制企业，也是国内冶金行业最大的“爆破一体化”专业公司。鞍钢矿业爆破有限公司（以下简称“鞍钢爆破”）的成立，实现了两大股东优势资源的重新组合，开创了矿山服务新模式。鞍钢爆破的组建旨在通过强强联合，应用先进技术和管理经验，实现各项资源的最优组合，提高安全生产能力和市场竞争力，努力打造国内最大的专业化采矿公司和综合实力国际领先的民爆企业集团。鞍钢爆破为国家级高新技术企业，公司具有一级爆破作业单位等资质，拥有国内先进的炸药地面生产线，是我国“民爆一体化服务”模式和“合同采矿一体化服务”模式的积极引领者和实践者。

鞍钢爆破成立以来，秉承“科技是第一生产力”的理念，落实创新驱动战略和科学发展观，坚持“科技强企”发展战略，强化科技人才建设，积极搭建技术创新与开发平台，充分发挥产、学、研优势，实现了技术工艺创新、产品结构优化、服务质量升级和完全成本控制。截至2017年年末，鞍钢爆破完成爆破量近8亿吨，实现产值30亿元，获得利润2亿元。

鞍钢爆破技术创新和研发从借助股东的研发平台主动参与开始，迅速发展成为自建平台、自主立项、自建队伍等具有自主创新能力的技术创新型现代企业。经过爆破公司同仁的不懈努力、国内知名单位的大力支持，鞍钢爆破在现场混装炸药生产与配送、岩土数字和精准爆破技术及特殊工程控制爆破等得到了长足的发展，研究成果与研发的产品位居国际先进，填补了国内空白。



本书主要回顾了自鞍钢爆破成立以来的矿山爆破技术开发与创新历程，对已经取得的成果以及完成的工程爆破典型案例进行了翔实的总结，其出发点和归宿主要是总结经验教训，再接再厉，争取更大进步；另一方面通过提供案例，供业界同仁和关心工程爆破行业发展人士给予斧正、参考、借鉴。

本书参加编著的主要人员包括：第1章，张耿城、崔雪峰、刘万义；第2章，冯春、李超亮、李世海、乔继延、王锐；第3章，郭连军、蔡建德、徐振洋、张大宁；第4章，贾建军、张长奎、杜威、闫大洋、张日强、解治宇；第5章，付建飞、陈庆凯、柳小波；统稿：张耿城；顾问：马旭峰、姜科。

作者从事爆破工程管理工作多年，深感科技创新对爆破工程技术进步的重要，也深刻地体会到，面对市场竞争空前激烈的局面，作为以爆破作业为龙头的专业化公司，科技创新和技术进步是企业增强核心竞争力及解决生存和发展问题的关键所在，故萌生编著一部矿山爆破技术图书的想法已有一段时间了。本书能够付梓，是鞍钢爆破同仁和业界专家学者辛勤汗水的结晶，在这里一并表示感谢。借此机会特别感谢邵安林院士、郑炳旭董事长、邓鹏宏总经理长期以来对鞍钢爆破的支持和对我本人的关爱，以及对本书的指导意见；感谢矿业公司科技部等部门给予鞍钢爆破科研工作热情帮助，感谢辽宁科技大学、中国科学院力学研究所、东北大学、鞍钢矿业设计研究院、鞍钢矿业大孤山铁矿及鞍钢集团鞍千矿业有限责任公司等给予我们研发工作大力支持和积极配合。

本人学识有限，虽已做出很大的努力，自感仍有一些不尽如人意的地方，敬请读者批评指正。

张耿城

2018年9月6日于辽宁鞍山

# 目 录

<b>1 现场混装炸药制备与远程配送</b> .....	1
1.1 现场混装炸药现状 .....	1
1.1.1 现场混装炸药技术发展及现状 .....	1
1.1.2 鞍钢矿业爆破有限公司现场混装炸药工艺技术现状 .....	2
1.2 现场混装炸药地面制乳技术 .....	3
1.2.1 工艺技术 .....	3
1.2.2 复合油相材料 .....	5
1.2.3 自动控制系统 .....	6
1.3 现场混装及乳化基质远程配送 .....	9
1.3.1 现场混装炸药车 .....	9
1.3.2 乳化基质远程配送 .....	11
1.3.3 现场混装炸药工程应用 .....	12
1.4 乳化粒状铵油炸药性能影响因素的理论分析 .....	17
1.4.1 乳化粒状铵油炸药结构 .....	17
1.4.2 乳化粒状铵油炸药敏化机理 .....	18
1.4.3 影响乳化粒状铵油炸药性能因素 .....	19
1.5 乳化粒状铵油炸药核心材料与技术 .....	22
1.5.1 复合油相材料技术 .....	22
1.5.2 乳化粒状铵油炸药低温敏化速度优化 .....	46
参考文献 .....	58
<b>2 基于采选总成本的爆破技术优化</b> .....	59
2.1 国内外研究现状 .....	59
2.1.1 采选联合优化的国内外研究进展 .....	59
2.1.2 爆炸载荷下岩石损伤破碎机理及影响因素的研究进展 .....	71
2.2 爆破效果的影响因素数值模拟 .....	74
2.2.1 模型简化及评价指标 .....	75
2.2.2 炸药单耗的影响 .....	76
2.2.3 起爆顺序的影响 .....	83



2.2.4	炮孔密集系数的影响	90
2.2.5	岩体节理性质的影响	96
2.2.6	顶部半截辅助孔的影响	107
2.2.7	装药结构的影响	112
2.3	爆破参数对机械破磨效率影响规律的小型实验	116
2.3.1	爆破漏斗实验	116
2.3.2	小型台阶爆破实验	123
2.4	基于断裂能耗的矿石破磨成本估算	138
2.4.1	影响采选总成本的主控因素及计算框架	138
2.4.2	破碎尺度与破碎能耗的对应关系	140
2.4.3	矿石爆破-破磨成本估算	142
2.5	采选联合优化的工业实验	145
2.5.1	爆破块度及铲装效率的对比	145
2.5.2	机械破磨效率及能耗对比	149
2.5.3	经济效益对比	154
	参考文献	155
3	精准数字爆破优化技术	160
3.1	数字化爆破	160
3.1.1	数字化爆破理念	160
3.1.2	数字化爆破现实的技术条件	162
3.2	矿山精细化爆破	168
3.2.1	精细化爆破简述	168
3.2.2	精细化爆破流程体系分析	170
3.3	岩石动态破碎机理研究	175
3.3.1	霍普金森压杆试验	175
3.3.2	动态荷载作用下岩石劈裂试验	186
3.3.3	岩石破碎能耗分析	196
3.4	矿山数字化、精细化爆破工业设计及实现	200
3.4.1	岩石与炸药合理匹配分析	200
3.4.2	爆破优化设计	205
3.4.3	精细爆破数字化施工管理	212
3.5	爆破监测分析体系	227
3.5.1	爆破振动监测与特征分析	227
3.5.2	矿石爆破破碎块度分析	241



3.5.3 微结构分析方法 .....	247
参考文献 .....	253
<b>4 控制爆破技术 .....</b>	<b>255</b>
4.1 高效预裂爆破 .....	255
4.1.1 鞍钢矿业集团所属露天矿山预裂爆破概况 .....	255
4.1.2 露天边坡主要矿岩品种静态物理力学性质的测定 .....	256
4.1.3 不耦合装药爆破数值模拟 .....	270
4.1.4 大孔径预裂爆破理论与爆破参数设计 .....	303
4.1.5 高效靠帮预裂爆破设计与施工技术 .....	311
4.1.6 几种预裂爆破技术实施效果评价 .....	313
4.2 基坑开挖控制爆破技术 .....	314
4.2.1 鞍钢大型露天矿山矿岩破碎站建设与运行简介 .....	314
4.2.2 破碎站基坑开挖设计参数和技术要求 .....	315
4.2.3 穿孔方案选择与对比分析 .....	316
4.2.4 基坑轮廓精准爆破控制技术 .....	320
4.2.5 基坑开挖爆破工程案例 .....	321
4.2.6 效果评价 .....	323
4.3 高效降振爆破技术 .....	325
4.3.1 工程概况 .....	325
4.3.2 巷道及周边现状 .....	327
4.3.3 穿孔爆破方案选择和论证分析 .....	328
4.3.4 爆破设计参数确定 .....	330
4.3.5 露天深孔爆破对临近地下井巷的降振技术 .....	333
4.3.6 爆破振动效应监测与数据分析 .....	335
4.3.7 临近巷道爆破高效降振的推广效果评价 .....	340
4.4 露天矿爆破扬尘抑制技术初探 .....	340
4.4.1 露天矿爆破粉尘产生机理 .....	340
4.4.2 爆破粉尘的粒径分布 .....	341
4.4.3 爆破粉尘的逸散规律 .....	342
4.4.4 爆破粉尘减排与抑制技术简介 .....	347
4.4.5 爆破抑尘实践 .....	347
参考文献 .....	363



5 采空区爆破处理技术 .....	364
5.1 采空区的特征 .....	364
5.1.1 采空区的危害 .....	364
5.1.2 采空区的类型与特征 .....	364
5.2 地下复杂采空区爆破治理技术 .....	370
5.2.1 露天开采与采空区处理方法选择 .....	370
5.2.2 崩落法空区处理技术 .....	370
5.2.3 崩落法空区处理方案 .....	373
5.3 采空区爆破崩落法治理的数值模拟 .....	374
5.3.1 连续-非连续数值模拟方法简介 .....	374
5.3.2 岩体模型 .....	382
5.3.3 炮孔模型 .....	382
5.3.4 计算模型及参数 .....	383
5.3.5 计算步骤 .....	385
5.3.6 计算结果分析 .....	385
5.4 大宝山矿复杂采空区安全开采爆破设计与实践 .....	387
5.4.1 工程概况 .....	387
5.4.2 设计依据和原则 .....	389
5.4.3 总体方案 .....	389
5.4.4 爆破设计方案 .....	389
5.4.5 爆破安全设计 .....	401
5.4.6 爆后评价 .....	402
5.5 弓长岭铁矿超大型隐伏采空区爆破处理实例 .....	404
5.5.1 工程概况 .....	404
5.5.2 设计依据和原则 .....	410
5.5.3 总体方案 .....	411
5.5.4 爆破设计方案 .....	411
5.5.5 爆破安全设计 .....	415
5.5.6 爆后评价 .....	415
参考文献 .....	416

# 1 现场混装炸药制备与远程配送

## 1.1 现场混装炸药现状

### 1.1.1 现场混装炸药技术发展及现状

民用炸药现场混装技术的发展约始于 20 世纪 70 年代中期，现场混装铵油炸药及其装药车首先出现在一些工业与矿业技术发达国家的大型露天矿山。1980 年前后，现场混装浆状炸药的装药车投入工业应用，现场混装浆状炸药技术很快并彻底被现场混装乳化粒状铵油炸药技术取代。现场混装炸药车已成为矿山大型设备之一。现场混装炸药生产系统主要是由现场混装炸药车和配套的地面站两部分组成，它集原材料运输、炸药现场混制及机械化装药于一体，与常规包装炸药比较，具有效率高、质量好、工艺先进及安全可靠等优势。该系统从原材料地面站储备、半成品生产到现场混制的整个加工运输过程中都不产生成品炸药，难以发生爆炸，直至最后装入炮孔才成为无雷管感度的钝感炸药，因此消除了包装炸药生产、运输、储存及装药过程中的不安定因素，真正实现了炸药生产与爆破施工的本质化安全。现场混装炸药车工艺技术代表了当今世界爆破技术的发展方向，显现出快捷、安全、高效的特点。

从世界范围来看，现场混装炸药及混装车，已经得到了广泛应用。目前在欧美国的年消耗炸药总量中，现场混装炸药达到了市场份额的 80% 以上，我国现场混装炸药仅占到市场份额的 20% 左右。现场混装炸药的使用量正在持续增长，特别是小型移动式地面站及乳化粒状铵油炸药混装车，更适用于中小型露天爆破工程装药作业，使现场混装炸药获得了更加广泛的应用。高爆炸性能、高安全程度、高精度是未来现场混装炸药的发展方向。自从乳化粒状铵油炸药（或重铵油炸药，以下以乳化粒状铵油炸药为例）问世以来，由于它具有良好的抗水性和爆轰性能而被广泛使用。随着其使用范围的进一步扩大，对其各种性能提出了新的更高要求。如何满足这些要求，将是复合油相材料和乳化粒状铵油炸药下一步的研究方向。国内外主要发展趋势可概括为：

- (1) 在乳化基质的连续相中添加聚合物单体，并在形成乳化液以后使之聚合提高乳化基质的稳定性。
- (2) 具有耐低温性能的乳化粒状铵油炸药。



(3) 在保证爆轰性能的前提下, 尽量减少高级燃料的使用量, 即尽量多采用一些普通的燃料, 以降低乳化粒状铵油炸药油相材料成本。

(4) 从技术角度看, 应提倡有能力的大型矿山采用一机多能的机械化装药设备, 以获得良好的经济效益和社会效益。

(5) 研制更多的防水、安全、高威力型乳化粒状铵油炸药的新系列, 并朝着多品种、系列化和规范化的方向发展, 以供露天、井下复杂多变的爆破工程选择使用。

### 1.1.2 鞍钢矿业爆破有限公司现场混装炸药工艺技术现状

辽宁省的中南部是我国的东北老工业基地, 该地区有丰富的煤、钢铁、石油等资源, 工业基础雄厚, 交通运输条件便利。鞍本地区是我国重要的铁矿资源分布区, 目前已勘查铁矿区 310 处, 是我国储量、开采量最大的铁矿区之一, 大型铁矿主要分布在鞍山 (包括齐大山矿、鞍千矿业、大孤山矿、东鞍山矿、眼前山矿等)、辽阳 (弓长岭露天矿、弓长岭井下矿等)、本溪 (南芬露天矿、歪头山矿、北台矿等)。鞍本地区的铁矿每年消耗现场混装炸药 12.5 万吨左右, 现有 10 个现场混装炸药生产点, 分属 5 家民爆生产企业。鞍钢矿业爆破有限公司是目前东北地区产量规模最大的现场混装炸药生产企业, 公司自 2011 年开始采用乳化基质远程配送的工艺技术, 其现场混装炸药生产许可能力为 80000t/a。品种包括乳化粒状铵油炸药 (50000t/a) 和多孔粒状铵油炸药 (30000t/a)。乳化粒状铵油炸药采用澳瑞凯地面制乳技术, 生产线技术具备国际先进水平。目前共有多功能现场混装炸药车 14 台、重铵油现场混装炸药车 1 台、多孔粒状铵油现场混装炸药车 10 台, 乳化基质运输车 6 台。公司现有三座地面站: 鞍山的大孤山地面站、辽阳的弓长岭地面站及大连地面站。

鞍钢矿业爆破有限公司所采用的现场混装炸药地面制乳技术的优势主要包括:

(1) 地面站单套制乳系统产能 (15t/h), 采用低转速 (转速低于 650r/min)、敞开式搅拌器, 尤其是二级乳化的静态混合器采用无动力剪切结构, 属于低强度搅拌, 提高了生产线的安全程度。

(2) 多功能现场混装车先进的减阻输送技术, 采用结构新颖的减阻输送装置, 通过高压柱塞泵泵送水, 在乳化粒状铵油炸药及输送管壁之间形成水环, 使炸药与输送管壁的摩擦阻力大大减小, 实现了长距离、系统低压力的泵送装填。

(3) 乳化粒状铵油炸药所使用的乳化基质中油、水相组分简单, 不含硝酸钠等其他辅助氧化剂。乳化工艺温度低 (75℃), 乳化基质储存期长, 乳化基质可进行远距离输送及常温敏化, 基质感度低、无雷管感度。乳化基质和多孔粒状硝酸铵、发泡剂的混合物进入炮孔后形成炸药, 安全性高。



(4) 炸药配方科学, 炸药中有效含量硝酸铵含量超过 80%, 相对纯乳化炸药提高近 9% 左右, 炸药体积威力明显提高。乳化基质稳定性好, 抗水性强。敏化方式同时采用物理敏化和化学敏化, 提高了炸药传爆的稳定性及可靠性, 为预装药及爆破优化打下基础。

(5) 可实施远距离配送。乳化基质可以使用运输车实现一点生产, 多点配送, 从而减少制乳工艺过程中乳化工序危险点的数量。

## 1.2 现场混装炸药地面制乳技术

### 1.2.1 工艺技术

#### 1.2.1.1 现场混装炸药工艺流程

现场混装炸药工艺流程如图 1-1 所示。

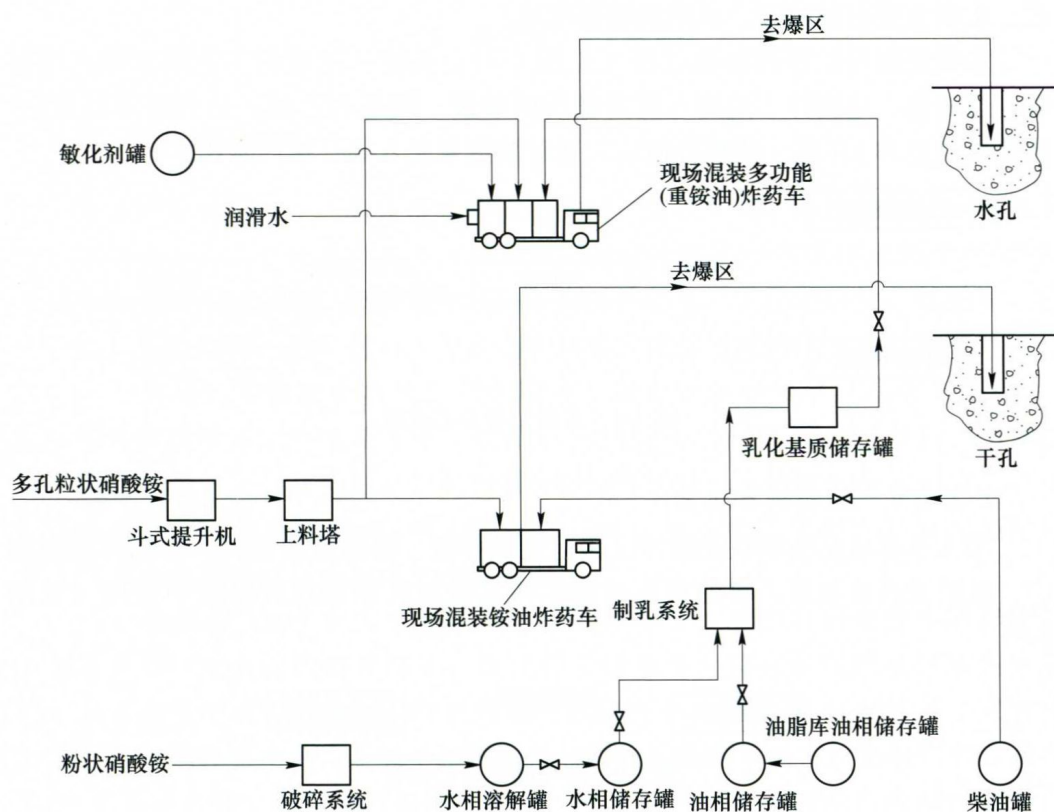


图 1-1 现场混装炸药工艺流程

#### 1.2.1.2 现场混装炸药配方

乳化粒状铵油炸药配方见表 1-1。



表 1-1 乳化粒状铵油炸药配方

总共 /%	粉状硝酸铵 /%	油相材料 /%	多孔粒状硝 酸铵/%	水 /%	醋酸 /%	碳酸钠 /%	亚硝酸钠 /%	硫脲 /%
100.00	50~53	5~7	20~38	12~14	0.05	0.01	0.02	0.02

多孔粒状铵油炸药配方见表 1-2。

表 1-2 多孔粒状铵油炸药配方

总共/%	多孔粒状硝酸铵/%	柴油/%
100.00	94~96	4~6

### 1.2.1.3 水相制备工艺

乳化基质制备生产线是一条连续化微机自动控制生产线，乳化基质制备在制备工房内完成，主要包括原料准备、硝酸铵破碎、水相和油相配制、乳化等工艺。水相主要由硝酸铵、水两种原料组成。

水相配制与贮存的制备过程（见图 1-2）：先将一定量的工艺热水加入溶解罐，边加热、边搅拌、边加入所需量的硝酸铵、硫脲和乙酸，达到要求温度后，调整析晶点和 pH 值，调整合格后，通过溶液泵泵入储存罐内备用。

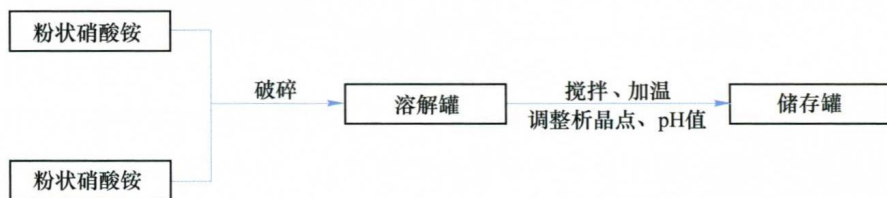


图 1-2 水相制备工艺流程

### 1.2.1.4 油相制备工艺

用叉车将成品油相从油脂库区搬运到油相罐，将成品油相倒入油脂库油相罐中，然后开启油相泵，将油相从油脂库转移至制乳间油相储存罐中备用（见图 1-3）。

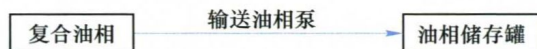


图 1-3 油相制备工艺流程

### 1.2.1.5 乳化基质制备

将合格的油相、水相溶液分别经流速比例控制阀，由输送泵泵送至搅拌器进行粗乳制备，经基质输送泵泵送至静态混合器进行精乳后，送至乳化基质储存罐内待用或直接泵送至现场装药车基质箱内。乳化基质制备工艺流程如图 1-4 所示。

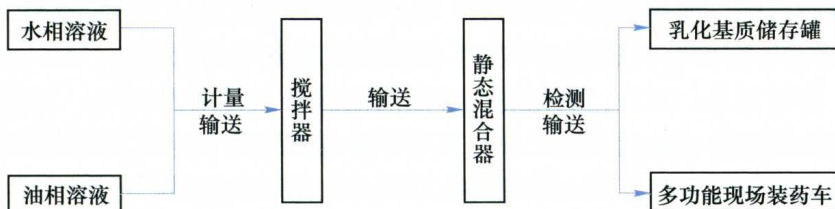


图 1-4 乳化基质制备工艺流程

### 1.2.1.6 敏化剂制备工艺

敏化剂主要由亚硝酸钠和水按一定的比例在敏化液制备罐配制而成，冬季主要由亚硝酸钠、水和乙二醇按一定的比例配制而成，配制好后备用。敏化剂制备工艺流程如图 1-5 所示。



图 1-5 敏化剂制备工艺流程

## 1.2.2 复合油相材料

复合油相材料是生产乳化基质的核心材料，由乳化剂、还原剂和其他助剂组成，尽管含量仅占乳化基质的 5.5%~9%，但对乳化基质形成稳定的 W/O 型乳化体系却起到关键作用。复合油相材料是实现乳化基质乳化速度快、低黏度、稳定性高、安全性好的核心材料。复合油相材料关键作用包括以下六个方面。

(1) 乳化。乳化基质由氧化剂水溶液、复合油相材料及其他添加剂组成，是一种膏状塑性体，它是经乳化工艺制得。乳化基质制备的核心技术在于制备稳定的乳化基质。复合油相材料中乳化剂所起的作用是：由硝酸铵和水组成的氧化剂盐水溶液，以极细微液滴（0.002~0.02mm）形式被乳化剂所形成的油膜包裹，分散在由油相材料所形成的连续相中。

(2) 构成连续相。在乳化粒状铵油炸药体系中，油相材料最根本的作用是构成乳化粒状铵油炸药的连续相。乳化粒状铵油炸药是以氧化剂水溶液为分散相，非水溶性的油相材料为连续相构成的乳化体系，属于 W/O 型体系。在乳化粒状铵油炸药体系中，由于氧平衡的限制和爆炸性能的要求，油相材料的含量占 5.6% 左右，这样油相材料的黏度、链长、分子结构和乳化剂的匹配耦合就显得非常重要，通过保证连续相的油膜有足够的强度，从而防止硝酸铵等无机氧化剂盐析晶时油膜变形或破裂。

(3) 燃烧剂和敏化剂。乳化粒状铵油炸药是一种典型的多组分混合物，为了获得体系所必需的氧平衡和提高其爆炸性能，添加一种或数种燃烧剂或者敏化



剂是非常必要的。油相材料一般选油、蜡和聚合物等碳氢化合物，这些物质就是体系中良好的燃烧剂。在爆炸反应中，燃烧剂能迅速参与反应，产生大量的气体和热量，膨胀做功。另外，氧化剂水溶液的液滴分散得细而均匀，与连续相-油相材料的油膜彼此接触紧密而充分，有利于爆轰的激发和传递。虽然油相材料一般是普通的碳氢化合物，但在特定的条件下起敏化剂的作用。

(4) 抗水性能。乳化粒状铵油炸药的优良抗水性能是与油相材料密切相关的。因为在 W/O 型乳化粒状铵油炸药中，连续相-油相材料将氧化剂水溶液包于其中，这样既防止液体分层，又阻止了外部水的侵蚀和沥滤作用，因而具有良好的抗水性能。

(5) 外观状态。通常乳化粒状铵油炸药的黏稠度取决于油相材料的黏度。随着研究工作的不断深入，各种高分子聚合物相继引入油相材料中，通过连续相的不断稠化和高分子物质的吸附交联作用，一方面使乳化粒状铵油炸药的稳定性获得显著提高，另一方面炸药的外观状态很容易按照需要获得变化。另外，在乳化粒状铵油炸药的生产和贮存过程中，适宜的黏稠度对于固定敏化气泡（或夹带气体的固体微粒），使炸药保持适当的爆轰敏感度也是非常重要的。

(6) 安全性能。实践表明乳化粒状铵油炸药的摩擦、撞击和枪击感度是相当低的，这与油包水型乳化液体系中粒子间的滑动接触韧性增大、阻力减少有关。

综上所述，复合油相材料的结构、组成决定了乳化基质的性能。对于乳化粒状铵油炸药而言，乳化基质的性质和含量决定了其使用性能，为使乳化粒状铵油炸药具有优良的使用性能，一般要求乳化基质稳定性好，同时具有较好的流动性。

### 1.2.3 自动控制系统

#### 1.2.3.1 监控系统概述

在科学技术发展迅猛的今天，工业生产也日益趋向自动化和智能化。在中央控制室对现场设备进行集中数据采集、显示、检测和进行远程生产、调度、控制也越来越多地被运用到实际生产的各个领域，包括食品、化工、电力等各个行业。

常见的监控系统主要有早期的集散监控系统（DCS）和现在广泛使用的监测控制与数据采集（SCADA）。

#### 1.2.3.2 生产线自动控制系统

鞍钢矿业爆破有限公司化工原料制备厂大孤山地面站（以下简称“大孤山地面站”）自动控制系统由澳瑞凯公司提供技术支持，系统由一套 S7-300PLC 系统、WinCC 上位监控画面以及两台西门子 MP377 触摸屏组成。由 S7-300PLC