



国家科学技术学术著作出版基金

工业炸药理论

吕春绪 等著

兵器工业出版社

国家科学技术学术著作出版基金

工业炸药理论

吕春绪 等著

江苏工业学院图书馆
藏书章

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书包括了工业炸药理论的基本内容：诸如爆轰理论、配方设计理论、混合理论、乳化理论、安全设计与安全技术理论、含铝炸药理论以及低速爆轰理论，着重介绍了膨化硝酸铵炸药自敏化理论与膨化理论、液体炸药溶液理论、耐热炸药及其粘结理论、震源药柱理论等。

本书在编写过程中注重了理论性、新颖性、系统性及实用性。特别是从工厂及使用部门的实际需要出发，还兼顾了他们非常关心的配文、工艺及设计中的某些问题以及分析检测中的某些新技术。

本书可作为高等院校有关专业的教材，适合大学生、研究生及教师阅读。也可供从事工业炸药研究、设计、生产、使用和管理的有关科研、设计、工程技术人员以及相关人士参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工业炸药理论 / 吕春绪等著. —北京：兵器工业出版社，2003.3

ISBN 7-80172-116-0

I.工... II.吕... III.工业炸药—理论 IV.TQ564.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 009806 号

出版发行：兵器工业出版社

责任编辑：李翠兰

责任技编：魏丽华

社 址：100089 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销：各地新华书店

印 刷：首钢总公司印刷厂

版 次：2003 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

印 数：1-5350

封面设计：同力永正

责任校对：王 锋 李 兰

责任印制：莫丽珠

开 本：787×1092 1/16

印 张：37.5

字 数：929.76 千字

定 价：56.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

本书是工业炸药的一部理论专著。工业炸药被誉为“能源工业的能源”、“基础工业的基础”，在国民经济建设中有着重要的作用及地位。八年前，我们撰写了《工业炸药》一书，由兵器工业出版社出版，深受读者欢迎。《工业炸药》一书较系统地阐述了工业炸药基本内容，并着重讨论了工业炸药配方设计、性能及制造工艺等。但业内人士仍非常渴望能有一本书就工业炸药理论进行详细论述，对各种工业炸药，特别是我们研究比较深透的几种工业炸药，在理论上进行了系统而全面地总结，对某些实验事实，能从理论上给予解释，对某些见解、观点及理论能上升到一定高度给予认识、充实、完善及提高，对工业炸药总体研究、制造、应用及发展，有一定的指导及推动作用的论述著作，这也就是我们撰写《工业炸药理论》一书的意图及目的。

本书论述了工业炸药的爆轰理论、配方设计理论、混合理论、膨化硝酸铵炸药理论、乳化理论、胶化理论、许用炸药安全理论、粘结炸药成球机理、液体炸药溶液理论、震源药柱理论等。特别着重介绍了膨化硝酸铵自敏化理论及硝酸铵膨化理论，这是我们具有自主知识产权的发明，在此理论指导下发明的膨化硝酸铵炸药分别获兵总科技进步特等奖、国家科技进步二等奖、国家知识产权局和联合国世界知识产权组织联合授予的“中国十大发明专利金奖”等。并至 2002 年底在我国已推广应用该技术达 80 多个工厂。该理论的形成及发展为我国工业炸药赶超世界先进水平起到较大的推动作用。本书同时详细介绍了我们研究的液体炸药溶液理论、耐热炸药及其粘结理论。在这些理论指导下研究出的 SJY 高爆速液体炸药、六硝基萘以及 3021 粘结炸药也分别获国家科技进步三等奖、国家发明三等奖以及江苏省科技进步三等奖。

本书撰写注意了其系统性，即以工业炸药理论为主线，重点介绍爆轰理论、自敏化理论、膨化理论、溶液理论、粘结理论、震源药柱理论等。同时按粉状炸药（铵梯炸药、铵油炸药、膨化硝酸铵炸药）、乳化炸药、粉状乳化炸药、液体炸药、耐热炸药及其它工业炸药等进行详细论述，系统完整，种类齐全。本书其新颖性在于，膨化硝酸铵炸药、液体炸药、耐热炸药、粘结炸药以及震源药柱等分别获国家及部级奖励，基本形成各自的理论。而且是有我们自己的自主知识产权，同时拥有 12 项发明专利，以这些成果为基础，并查阅国内外参考资料，基本反映了该领域当前的新成就和新发展。

该书具有较大实用性，尽管是一本理论专著，但其结合工业炸药技术，特别是根据我们 10 年科学研究及工厂技术转让实践，详细介绍了工厂非常关心的某些设计、工艺以及设备中的技术问题，将为工厂建线及工厂实践提供指导及重要参考。

本书可作为高等院校有关学科及专业的教材，也可供从事炸药研究、设计、生产及使用部门的管理、工程技术与生产人员参考。

本书由吕春绪教授等撰著，叶毓鹏教授主审。汪旭光院士、徐更光院士、迟书义教授、

刘荣海教授、颜事龙教授、吴腾芳教授、张嘉浩高级工程师、于立志高级工程师、赵国强高级工程师等对本书大纲作了审定，并为本书结构及内容指出了宝贵意见，在此深表感谢！

本书第 1、2、10 章由吕春绪教授撰写，第 4、5、6 章由刘祖亮教授撰写，第 3、7、8、12 章由陆明教授撰写，第 9、11、13 章由陈天云副教授撰写，第 14、15 章由叶志文副教授撰写，第 16 章由刘大斌副教授撰写。

撰写此书奉献给读者，同时也非常想用这个机会向在膨化硝酸炸药、液体炸药、耐热炸药、粘结炸药以及震源药柱研究、生产、使用过程中指导、资助、帮助、支持过我们的领导、同行、朋友们表示最衷心的感谢及诚挚的敬意。

工业炸药课题组人员及相关人员为膨化硝酸炸药、液体炸药、耐热炸药、粘结炸药、震源药柱等研制成功及本书的撰写作了大量实验及资料工作。特别是孙荣康教授、惠君明教授、王依林高级技师、房秀霞高级工程师、秦为国高级工程师、丁芸硕士、胡炳成博士、周新利博士、高大元博士、杜阳博士、罗军博士、迟波硕士等，他们大量的科学实验研究和资料工作及他们的学位论文为上述成果的诞生、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。

著者

2002 年 3 月

目 录

1 工业炸药通论	1
1.1 工业炸药及其作用	1
1.2 工业炸药组成结构特征	1
1.3 国外工业炸药的研究与发展	3
1.3.1 挪威 DYN0 公司工业炸药的研究与发展	3
1.3.2 日本工业炸药的研究与发展	14
1.3.3 美国奥斯汀(Austin)炸药公司工业炸药的研究与发展	18
1.3.4 法国诺贝尔(Nobel)公司工业炸药的研究与发展	20
1.4 我国工业炸药研究与发展	23
1.4.1 我国工业炸药概况	23
1.4.2 我国粉状工业炸药研究与发展	24
1.4.3 我国乳化炸药的研究与发展	25
1.4.4 我国铵油炸药现状	26
1.4.5 我国其它工业炸药现状	26
1.5 工业炸药的应用	27
参考文献	30
2 工业炸药爆轰理论	32
2.1 工业炸药爆轰特性	32
2.1.1 工业炸药爆轰的非理想性	32
2.1.2 工业炸药爆轰波结构特征	33
2.1.3 工业炸药爆轰反应机理	35
2.2 工业炸药的起爆与传爆	38
2.2.1 工业炸药的起爆特征	38
2.2.2 热点理论	39
2.2.3 工业炸药感度特征及其敏化	41
2.2.4 乳化炸药枪击感度研究	47
2.2.5 乳化炸药撞击感度研究	56
2.2.6 工业炸药的传爆	67
2.2.7 工业炸药的爆燃	69
2.3 工业炸药低速爆轰	70
2.3.1 工业炸药低速爆轰现象	70
2.3.2 工业炸药低速爆轰机理	74

2.3.3	工业炸药低速爆轰传播	74
2.3.4	工业炸药低速爆轰向高速爆轰的转化	78
2.4	工业炸药爆轰参数设计计算	79
2.4.1	工业炸药爆轰产物状态方程	79
2.4.2	用 VLW 方程计算工业炸药爆轰参数	80
2.4.3	用 BKW 方程计算乳化炸药爆轰参数	81
2.4.4	用 JCZ ₃ 方程计算铵油炸药爆轰参数	86
2.4.5	组分对铵油炸药(ANFO)爆轰性能影响的研究	90
2.4.6	组分加和法计算工业炸药的爆热和爆容	92
2.4.7	工业炸药猛度及作功能力的计算	95
2.4.8	液体炸药爆轰冲击波超压计算	96
2.4.9	膨化硝铵炸药爆轰特性研究	97
2.4.10	膨化硝铵炸药爆轰底面输出波形研究	101
2.5	工业含铝炸药的爆轰	104
2.5.1	工业含铝炸药爆轰特性	104
2.5.2	工业含铝炸药爆轰机理	104
2.5.3	工业含铝炸药爆轰参数设计计算	108
2.5.4	工业含铝炸药中铝粉对爆轰的作用	110
2.6	评价工业炸药威力的新指标——体积理想传递能量(BIDE)	122
2.6.1	内能与有效能量的关系	123
2.6.2	改进动能方法研究	124
2.6.3	体积理想爆炸能量	126
	参考文献	128
3	工业炸药配方设计理论	131
3.1	工业炸药的氧平衡	131
3.1.1	氧平衡的概念	131
3.1.2	氧平衡的计算	131
3.1.3	工业炸药的氧平衡计算	134
3.2	工业炸药的配方设计原则	135
3.2.1	工业炸药的氧平衡应为或接近零氧平衡	135
3.2.2	性能、成本和爆破使用的平衡统一	135
3.2.3	减少环境污染和提高生产安全性	136
3.2.4	配方设计与生产工艺的综合考虑	136
3.2.5	工业炸药的配方设计要点	136
3.3	工业炸药配方设计的氧平衡法	136
3.3.1	解析法进行配方设计计算	137
3.3.2	图解法进行配方设计	137
3.3.3	图解法用于岩石膨化硝铵炸药配方设计	138
	参考文献	140

4 工业炸药混合理论	141
4.1 概述	141
4.1.1 工业炸药的混合和混合类型	141
4.1.2 混合过程的传质和传热	142
4.2 工业炸药的混合原理与机制	148
4.2.1 液体物料的混合原理与制备	148
4.2.2 固体物料的混合原理与设备	158
4.3 乳化炸药的乳化动力学	166
4.3.1 乳化炸药的流变行为和稳定性	166
4.3.2 乳状液液滴的形成	168
4.3.3 乳化过程和装置的讨论	171
参考文献	172
5 粉状硝铵炸药理论	174
5.1 概述	174
5.1.1 粉状硝铵炸药的现状与发展	174
5.1.2 粉状硝铵炸药的品种、分类和性能	175
5.1.3 粉状硝铵炸药的原料和配方	178
5.1.4 粉状硝铵炸药制造	193
5.1.5 粉状硝铵炸药的发展方向	202
5.2 粉状硝铵炸药的物理性能及其改善	203
5.2.1 粉状硝铵炸药的物理性能	203
5.2.2 粉状硝铵炸药物理性能的改善	204
5.3 粉状硝铵炸药的爆炸性能及其改进	212
5.3.1 铵梯炸药的爆炸性能及其影响因素	212
5.3.2 铵梯炸药的感度及其影响因素	215
5.3.3 铵油炸药的爆炸性能及其影响因素	218
5.3.4 粉状硝铵炸药爆炸性能的调节和改善	223
5.4 硝酸铵及其混合物的热分解	224
5.4.1 硝酸铵的热分解	224
5.4.2 硝酸铵混合物的热分解	225
5.4.3 硝酸铵热分解的临界质量和诱导期	225
参考文献	226
6 膨化硝铵炸药理论	227
6.1 膨化硝铵炸药的现状与发展	227
6.1.1 概述	227
6.1.2 膨化硝酸铵及其炸药的结构特征和物理特性	230
6.1.3 膨化硝酸铵及其炸药的分解和爆炸特性	240
6.1.4 膨化硝铵炸药的产品与工艺	245
6.1.5 膨化硝铵炸药的发展	254

6.2	硝酸铵的自敏化和自敏化理论	256
6.2.1	硝酸铵的自敏化	256
6.2.2	硝酸铵的自敏化理论	258
6.2.3	硝酸铵的综合自敏化——膨化	262
6.3	硝酸铵的膨化和膨化原理	262
6.3.1	硝酸铵的膨化与膨化过程	262
6.3.2	膨化剂对硝酸铵溶液的物理化学作用	264
6.4	膨化硝酸铵炸药的混合过程和原理	277
6.4.1	膨化硝酸铵炸药的混合过程	277
6.4.2	膨化硝酸铵炸药的混合原理和混合特点	277
	参考文献	278
7	乳化炸药理论	280
7.1	乳化炸药的发展历程和现状分析	280
7.1.1	乳化炸药的概念	280
7.1.2	乳化炸药的发展历程	280
7.1.3	我国乳化炸药的现状分析和发展趋势	282
7.2	乳状液理论	284
7.2.1	乳状液及其质点分布	284
7.2.2	浓分散体流变学	286
7.2.3	乳状液稳定理论	287
7.2.4	乳状液的分层、变型及破乳	292
7.3	乳化剂及其使用	294
7.3.1	乳化剂作用的物理化学原理	294
7.3.2	乳化剂的 HLB 值	295
7.3.3	乳化剂	296
7.3.4	乳化剂使用及选择的原则	300
7.3.5	乳化剂的加入方式	301
7.4	乳化技术	301
7.4.1	常用乳化技术	302
7.4.2	罕用的乳化技术	302
7.5	乳化炸药生产工艺	303
7.5.1	间断式生产工艺	303
7.5.2	连续式生产工艺	303
7.5.3	现场混制与装药	304
7.6	粉状乳化炸药	305
7.6.1	粉状乳化炸药的概述	305
7.6.2	粉状乳化炸药的生产工艺	305
7.6.3	粉状乳化炸药的性能	306
7.6.4	粉状乳化炸药的微观结构	306

7.6.5 粉状乳化炸药的安全性研究	307
7.6.6 粉状乳化炸药的提高与发展	310
参考文献	310
8 浆状炸药和胶质炸药	312
8.1 概述	312
8.1.1 浆状炸药的定义	312
8.1.2 浆状炸药的产生和发展	312
8.1.3 浆状炸药的分类与主要品种	313
8.1.4 浆状炸药的基本特点	315
8.2 浆状炸药基本原理	315
8.2.1 浆状炸药的组分及作用	315
8.2.2 浆状炸药的结构特点及稳定性	328
8.2.3 浆状炸药的爆轰反应机理	329
8.3 浆状炸药的性能特征	330
8.3.1 抗水性	330
8.3.2 安定性	330
8.3.3 爆炸性能	331
8.3.4 爆炸气体产物	338
8.4 浆状炸药的制造工艺	339
8.4.1 配方的选择	339
8.4.2 工艺举例	339
8.5 胶质炸药	343
8.5.1 胶质炸药的概况	343
8.5.2 胶质炸药的胶化原理及影响因素	343
8.5.3 胶质炸药的配方及工艺	345
参考文献	346
9 煤矿许用炸药安全设计理论	347
9.1 概述	347
9.2 煤矿井下可燃气的爆轰	348
9.2.1 可燃气	348
9.2.2 可燃气的燃烧与爆炸	349
9.2.3 可燃煤尘的燃烧与爆炸	356
9.2.4 可燃气的爆炸	357
9.3 煤矿许用炸药爆炸性能与引燃能力	360
9.3.1 炸药的爆炸能量与引燃能力	360
9.3.2 炸药的爆炸强度与引燃能力	361
9.3.3 炸药爆炸产物与引燃能力	361
9.3.4 炸药的可燃性与引燃能力	362
9.4 煤矿许用炸药安全理论	362

9.4.1	可燃气体爆炸反应的抑制	363
9.4.2	炸药燃烧或爆燃的催化和抑制	365
9.5	煤矿炸药的安全设计理论	366
9.5.1	煤矿许用炸药的基本要求	367
9.5.2	煤矿炸药设计的基本原则	367
9.5.3	提高煤矿炸药安全性的途径	370
9.6	煤矿炸药的安全性评价	373
9.7	煤矿炸药的品种和性能	374
9.7.1	煤矿炸药的品种和分类	374
9.7.2	粉状煤矿硝铵炸药	375
9.7.3	煤矿硝化甘油炸药	377
9.7.4	安全被筒炸药	377
9.7.5	离子交换型安全炸药	378
9.7.6	其它矿用炸药	379
9.8	煤矿炸药的制造	380
9.8.1	煤矿炸药的制造工艺	380
9.8.2	食盐的焙烧	381
9.8.3	影响煤矿炸药质量的工艺因素	382
	参考文献	383
10	工业耐热炸药及其粘结理论	385
10.1	概述	385
10.2	工业耐热炸药现状与发展	385
10.3	工业耐热主体炸药特征	387
10.3.1	工业耐热主体炸药分子结构分析	387
10.3.2	典型工业耐热主体炸药及性能	391
10.3.3	典型工业耐热炸药工艺研究	396
10.4	工业耐热炸药造型粉配方设计与制造工艺流程	400
10.4.1	工业耐热炸药造型粉配方设计	400
10.4.2	工业耐热炸药造型粉制造工艺及流程	402
10.5	工业耐热炸药粘结理论	403
10.5.1	工业耐热炸药粘结剂力学状态与特征	403
10.5.2	工业耐热炸药粘结剂粘结机理及影响因素	405
10.5.3	工业耐热炸药增塑剂增塑机理及影响因素	408
10.5.4	工业耐热炸药造型粉水悬浮工艺成球机理	411
10.5.5	工业耐热炸药造型粉悬浮工艺最佳条件确定	414
	参考文献	418
11	液体混合炸药理论	420
11.1	概述	420
11.2	液体混合炸药的研究与应用	421

11.2.1	液体混合炸药的分类	421
11.2.2	液体混合炸药的研究现状	422
11.2.3	液体混合炸药的发展与应用	423
11.3	液体混合炸药的配方设计	427
11.3.1	液体混合炸药的配方设计原则	427
11.3.2	氧平衡对液体混合炸药爆炸性能的影响及配方设计	427
11.3.3	液体混合炸药的均匀性和稳定性设计	428
11.3.4	液体混合炸药的安定性和安全性设计	429
11.4	液体混合炸药原材料	430
11.4.1	氧化剂	430
11.4.2	可燃剂	432
11.4.3	添加剂	433
11.5	硝酸胍类液体混合炸药	433
11.5.1	Astrolite G 液体混合炸药	433
11.5.2	含有水合胍或脂肪胺的硝酸胍液体混合炸药	434
11.5.3	SJY 液体混合炸药	435
11.5.4	硝酸胍—水合胍液体混合炸药溶液理论	437
11.6	其它类型典型液体混合炸药	440
11.6.1	以硝酸或氮氧化物为基的液体混合炸药	440
11.6.2	硝基烷类液体混合炸药	441
11.6.3	高氯酸脲类液体混合炸药	444
	参考文献	446
12	工业震源药柱理论	448
12.1	地震勘探中的炸药震源	448
12.1.1	地震勘探与震源	448
12.1.2	激发地震波的过程	448
12.1.3	地震波的传播与接收记录	449
12.1.4	地震勘探对炸药震源的要求	449
12.2	普通硝铵梯恩梯震源药柱	450
12.2.1	普通铵梯震源药柱的配方	450
12.2.2	普通铵梯震源药柱的爆炸性能	451
12.2.3	普通铵梯震源药柱的生产工艺	451
12.3	膨化硝铵震源药柱	453
12.3.1	膨化硝铵震源药柱简介	453
12.3.2	膨化硝铵震源药柱的配方研究	454
12.3.3	膨化硝铵震源药柱的性能	455
12.3.4	膨化硝铵炸药的生产工艺	457
12.4	胶质炸药震源药柱	458
12.4.1	胶质炸药震源药柱概述	458

12.4.2	胶质炸药震源药柱的配方	458
12.4.3	胶质炸药震源药柱的性能和制造	459
12.5	乳化炸药震源药柱	459
12.5.1	普通乳化炸药震源药柱	460
12.5.2	高能乳化炸药震源药柱	462
12.6	震源药柱的试验方法	465
12.6.1	爆速的测定	465
12.6.2	主装药密度测定	465
12.6.3	爆炸完全性试验	466
12.6.4	爆轰连续性试验	466
12.6.5	抗水压试验	466
12.6.6	高低温爆炸完全试验	466
12.6.7	跌落试验	466
12.6.8	连接力试验	466
12.6.9	装药量检验	466
12.7	震源药柱的发展展望	467
12.7.1	高威力震源药柱	467
12.7.2	低爆速震源药柱	467
	参考文献	468
13	工业炸药制造安全技术	469
13.1	概述	469
13.2	工业炸药建厂安全技术	469
13.2.1	厂房设计的安全距离	470
13.2.2	电气设备与预防电危害的安全技术	473
13.3	工业炸药原材料加工安全技术	475
13.3.1	硝酸铵加工过程的安全技术	475
13.3.2	木粉加工过程安全技术	476
13.3.3	TNT 的加工过程与安全技术	477
13.3.4	复合油相制备安全技术	479
13.4	工业炸药中间原料加工安全技术	479
13.4.1	膨化硝酸铵生产的安全技术	479
13.4.2	乳化基质生产的安全技术	480
13.5	工业炸药混药安全技术	482
13.5.1	轮碾混药	482
13.5.2	螺旋混药	482
13.5.3	气流混药	482
13.5.4	混药过程的安全技术	483
13.5.5	凉药与装药过程的安全技术	483
13.6	粉状硝铵炸药生产过程中的中毒防护	484

13.6.1 TNT 的毒性	484
13.6.2 TNT 中毒的防护	485
13.6.3 粉状铵梯炸药生产过程中的环境保护	485
参考文献	486
14 低爆速炸药	487
14.1 概述	487
14.2 低爆速炸药现状与发展	487
14.3 低爆速炸药配方理论基础	489
14.3.1 影响爆速的因素	489
14.3.2 爆速经验公式的建立	491
14.3.3 爆压的测试和经验公式的建立	494
14.4 低爆速炸药的配方与制备	496
14.4.1 某些低爆速炸药的配方	496
14.4.2 低爆速炸药的制备	496
14.5 低爆速炸药的应用	500
14.5.1 在光面爆破中的应用	500
14.5.2 低爆速炸药在爆炸焊接（复合）中的应用	503
14.5.3 低爆速炸药在其它领域中的应用	505
参考文献	507
15 工业含铝炸药	509
15.1 概述	509
15.2 工业含铝炸药现状与发展	509
15.2.1 工业含铝炸药的现状	509
15.2.2 目前大规模使用的工业含铝炸药品种	511
15.2.3 工业含铝炸药的发展	511
15.3 提高工业炸药作功能力理论分析	512
15.3.1 提高工业炸药作功能力的途径	512
15.3.2 提高工业炸药爆热的途径	514
15.3.3 高能添加剂	515
15.4 工业含铝炸药的配方设计	521
15.4.1 主要原料的选择	521
15.4.2 铝粉用量的确定	525
15.5 工业含铝炸药制备工艺	526
15.5.1 压装含铝炸药制备工艺	527
15.5.2 注装含铝炸药制备工艺	529
15.5.3 含铝高威力膨化硝铵炸药的制备	530
参考文献	531
16 工业炸药测试理论与技术	532
16.1 概述	532

16.2 工业炸药的理化分析测试	532
16.2.1 概述	532
16.2.2 工业炸药密度的测定	533
16.2.3 工业炸药水分的测定	536
16.2.4 工业炸药组分测定	537
16.3 工业炸药感度的测试	550
16.3.1 概述	550
16.3.2 工业炸药热感度的测试	550
16.3.3 工业炸药机械感度的测试	556
16.3.4 工业炸药冲击波感度——殉爆距离测试	563
16.4 工业炸药爆炸性能测试	564
16.4.1 工业炸药作功能力测试	564
16.4.2 工业炸药猛度的测试	574
16.5 工业炸药爆轰性能测试	576
16.5.1 工业炸药爆速的测定	576
16.5.2 工业炸药爆热的测试	579
16.6 工业炸药安全性能测试	581
16.6.1 工业炸药爆炸后有毒气体含量的测定	581
16.6.2 煤矿许用炸药可燃气安全度试验	582
16.6.3 煤矿许用炸药抗爆燃性测定	584
16.6.4 工业炸药与原材料的相容性测试	585
参考文献	586

1 工业炸药通论

1.1 工业炸药及其作用

工业炸药又称“民用炸药”，是以氧化剂、可燃剂以及添加剂等按照氧平衡原理构成的爆炸混合物，属非理想炸药。被广泛应用于石油、煤炭、交通、采矿、冶金、建材、化工、水利、电力、林业、机械加工、城市建筑、救灾和农业等多个领域，在工业产品中像工业炸药如此广泛地为国民经济建设服务的产品是不多见的。因此它被视为“能源工业的能源”，“基础工业的基础”。

随着我国国民经济的迅速发展，大量基础建设的展开，对工业炸药的需求量不断增加。根据国内外权威机构的分析和预测，未来的 10 年到 20 年仍然是我国经济高速增长期，这期间基础建设将是拉动我国经济发展的重要动力。随着这期间更多的高技术和新技术进入基础建设领域，将对工业炸药提出更新、更高的要求，大力发展新型工业炸药是国民经济发展的迫切需要，工业炸药正面临良好的发展环境和不可多得的历史机遇。因此，工业炸药在实现我国跨世纪发展的宏伟目标中有着广阔的应用和发展前景，在扩大新品种及高技术出口创汇和社会主义现代化建设中有着重要的地位和不可替代的作用。

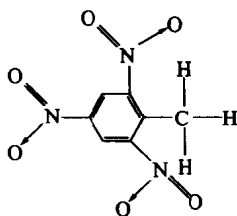
1.2 工业炸药组成结构特征

工业炸药是一种混合炸药，从组成结构特征的观点来看，它首先应具有炸药的结构特征^[1-2]。

炸药是指在一定的外界能量作用下能发生极迅速的化学反应，放出足够热量及气体对外作功的物质。

单体炸药是具有爆炸性能的单一成分的化合物。这类物质的分子在化学结构上的特点拟以梯恩梯为例来进行说明。

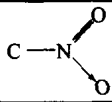
梯恩梯的结构式如下：



它的近似爆炸反应方程式如下：
$$\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_3 \longrightarrow \frac{5}{2}\text{H}_2\text{O} + \frac{7}{2}\text{CO} + \frac{3}{2}\text{N}_2 + \frac{7}{2}\text{C} + Q_v$$
。这里的反

应热 Q_V 也就是梯恩梯的爆热, 约等于 $884.0\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 如果忽略凝聚热的影响, 我们可以认为这个爆热就是爆炸产物中各化学键键能的总和与梯恩梯分子中化学键键能总和之差。通过简单的计算和比较, 我们会发现这个爆炸反应之所以能够放出这样大的热量, 是因为在爆炸产物中, 氧这个电负性较大的元素 (常称为氧化元素) 与碳、氢这些电负性较小的元素 (常称为可燃元素) 是直接相连的。这样两个电负性相差较大的原子之间组成的化学键比较起来具有较大的键能 (有关键能值见表 1-1)。

表 1-1 构成炸药分子常用化学键键能表

化学键	C—H	C—C	C=C	C—N 	O—H	C=O(CO)	N≡N
键能/ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	405.4	262.9	423.7	1004.8	480.5	880.9	712.6

但是, 在梯恩梯分子中, 氧化元素氧与可燃元素碳、氢之间不是直接相连, 而是通过一个氮 (以 —NO_2 的形式) 相连接的, 而氮的电负性介于氧和碳、氢之间, 它与碳、氢、氧之间组成的化学键能相对较小, 因而梯恩梯分子中化学键键能的总和较小。这样, 爆炸产物中各化学键键能的总和就远大于梯恩梯分子中化学键键能的总和, 而使上述爆炸反应能够放出大量热量。这样看来, 在梯恩梯分子中氮似乎起着隔离氧化元素与可燃元素的作用, 故通常称为隔离元素。

所有的单体炸药都具有与上类似的情况。因而可以说单体炸药的分子是由氧化元素与可燃元素通过隔离元素连接起来并处于相对平衡状态的统一体, 在外界能量作用下, 分子迅速解体, 氧化元素与可燃元素直接化合而放出大量的热和气态产物, 这就是爆炸 (也就是它具有一定的猛度和威力)。

由此可见, 一个碳、氢、氧、氮系的硝基衍生物, 其分子中含有适当数量的硝基都具有爆炸性能, 如果它又能最低限度地满足对猛炸药提出的基本要求, 那么它就可能作为单体炸药的一个品种, 在实际中得到应用。

对于隔离元素氮, 除具有适宜的电负性而起到隔离作用外, 还有不少优点, 如分解后得到比容较大的气体 N_2 , 同时放出大量的能量 ($\text{N} \equiv \text{N}$ 叁键的键能为 $712.6\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 是 N—N 单键的键能 $113.0\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的 6 倍多), 确实是比较理想的。

综上所述, 我们看出, 目前常见单体炸药都是碳、氢、氧、氮系的硝基化合物。也就是说炸药的结构特征为它们通常由氧化元素、可燃元素及隔离元素组成, 其中隔离元素氮存在于硝基之中。

工业炸药作为一种混合炸药, 它同样是由氧化剂 (氧化元素) 和可燃剂 (可燃元素) 组成, 只不过它们一般都分别存在于不同物质中, 例如:

液体炸药:

硝酸肼 ($\text{N}_2\text{H}_5\text{NO}_3$)

↓ 氧化剂

O (提供氧化元素)

铵油炸药 ANFO:

硝酸铵 (NH_4NO_3)

↓ 氧化剂

水合肼 ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

↓ 可燃剂

H (提供可燃元素)

柴油 ($\text{C}_{13}\text{H}_{20}$)

↓ 可燃剂