



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

# 炸药学

*Explosives*

欧育湘 编著

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

# 炸 药 学

欧育湘 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书论述了炸药的基本理论、主要性能及合成单质炸药的重要有机反应；详细阐述了几类最常用单质炸药的特性、制造原理及生产工艺；对耐热炸药、高能量密度炸药、低感炸药、高氮高能炸药以及以它们为基的新型军用混合炸药、含能黏结剂及增塑剂都进行了重点、系统而全面的论述。

本书注重化学理论与工艺技术相结合，反映了炸药领域的新理论、新材料、新工艺，很多内容都是以前同类教材及专著中缺乏或不够系统的。

本书可作为高等院校含能材料专业本科生及研究生教材，也可供专业生产人员、研究人员、管理干部、物流及其他有关人员使用。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

炸药学 / 欧育湘编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 2

(现代兵器火力系统丛书)

国家出版基金项目及“十二五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8621 - 3

I. ①炸… II. ①欧… III. ①炸药 - 理论 IV. ①TQ560.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 020652 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地大天成印务有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 33.25

字 数 / 624 千字

版 次 / 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 64.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 现代兵器火力系统丛书

## 编 委 会

---

主 任 王兴治

副主任 王泽山 朵英贤

编 委 (按姓氏笔画排序)

王亚平 王志军 王保国 尹建平 冯顺山

吕春绪 刘吉平 肖忠良 张 合 张小兵

张相炎 陈国光 林 杰 欧育湘 金志明

周长省 胡双启 姜春兰 徐 诚 谈乐斌

董素荣 韩子鹏 韩 峰 蔡婷婷 樊红亮

# 总 序

---

国防科技工业是国家战略性产业，是先进制造业的重要组成部分，是国家创新体系的一支重要力量。为适应不同历史时期的国际形势对我国国防力量提出的要求，国防科技工业秉承自主创新、与时俱进的发展理念，建立了多学科交叉，多技术融合，科研、实验、生产等多部门协作的现代化国防科研生产体系。兵器科学与技术作为国防科学与技术的一个重要分支，直接关系到我国国防科技总体发展水平，并在很大程度上决定着国防科技诸多领域的成果向国防军事硬实力的转化。

进入 21 世纪以来，随着兵器发射技术、推进增程技术、精确制导技术、高效毁伤技术的不断发展，以及新概念、新原理兵器的出现，火力系统的射程、威力和命中精度均大幅提升。火力系统的技术进步将推动兵器系统的其他分支发生相应的革新，乃至促使军队的作战方式发生变化。然而，我国现有的国防科技类图书落后于相关领域的发展水平，难以适应信息时代科技人才的培养需求，更无法满足国防科技高层次人才的培养要求。因此，构建系统性、完整性和实用性兼备的国防科技类专业图书体系十分必要。

为了解决新形势下兵器科学所面临的理论、技术和工程应用等问题，王兴治院士、王泽山院士、朵英贤院士带领北京理工大学、南京理工大学、中北大学的学者编写了《现代兵器火力系统》丛书。本丛书以兵器火力系统相关学科为主线，运用系统工程的理论和方法，结合现代化战争对兵器科学技术的发展需求和科学技术进步对其发展的推动，在总结兵器火力系统相关学科专家学者取得主要成果的基础上，较全面地论述了现代兵器火力系统的学科内涵、技术领域、研制程序和运用工程，并按照兵器发射理论与技术的研究方法，分述了枪炮发射技术、火炮设计技术、弹药制造技术、引信技术、火炸药安全技术、火力控制技术等内容。

本丛书围绕“高初速、高射频、远程化、精确化和高效毁伤”的主题，梳理了近年来我国在兵器火力系统相关学科取得的重要学术理论、技术创新和工程转化等方面的

成果。这些成果优化了弹药工程与爆炸技术、特种能源工程与烟火技术、武器系统与发射技术等专业体系，缩短了我国兵器火力系统与国外的差距，提升了我国在常规兵器装备研制领域的理论水平和技术水平，为我国兵器火力系统的研发提供了技术保障和智力支持。本丛书旨在总结该领域的先进成果和发展经验，适应现代化高层次国防科技人才的培养需求，助力国防科学技术研发，形成具有我国特色的“兵器火力系统”理论与实践相结合的知识体系。

本丛书入选“十二五”国家重点出版物出版规划项目，并得到国家出版基金资助，体现了国家对兵器科学与技术，以及对《现代兵器火力系统》出版项目的高度重视。本丛书凝结了兵器领域诸多专家、学者的智慧，承载了弘扬兵器科学技术领域技术成就、创新和发展兵工科技的历史使命，对于推进我国国防科技工业的发展具有举足轻重的作用。期望这套丛书能有益于兵器科学技术领域的人才培养，有益于国防科技工业的发展。同时，希望本丛书能吸引更多的读者关心兵器科学技术发展，并积极投身于中国国防建设。

丛书编委会

# 前 言

---

本书与以往的同类专著及教材相比，在内容上有较大更新。书中除了对制式军用炸药的论述更为全面和补充了一些新的研究成果外，特别是对一些近年研究得比较成熟和已应用或应用前景较好的新一代高能量密度炸药（笼形硝胺、单环及多环硝胺、呋咱及氧化呋咱、三唑、多氮化合物、硝酰胺盐、多硝基烃等）、耐热炸药、钝感炸药、多种含能黏结剂和增塑剂等做了较系统的阐述，故本书在很大程度上反映了炸药领域当代的先进科学技术水平。

本书理论与实际相结合，制式军用炸药与新一代高能量密度炸药及钝感、耐热炸药相结合，炸药生产工艺与实验室合成方法相结合，同时特别注重近年炸药领域内的研究成果及发展动态。全书内容涵盖炸药基本理论、炸药性能及其测试方法、合成炸药的常用有机反应、炸药制造工艺、单质炸药、军用及民用混合炸药、起爆药。此外，书中还汇集了很多近年研制的新单质炸药，以及以高能炸药（如 CL-20）和钝感炸药（如 NTO、TATB）为基的新型军用混合炸药。故本书是一本内容新颖而丰富的炸药学专著。

本书的编著者希望，对炸药感兴趣的初学者及有关大专院校的学生，通过对本书的学习，可较系统地获得炸药学的基本理论知识，了解各类炸药的性能、制造原理及应用领域，并初步认识新一代炸药的特点及前景。对于炸药行业的研究人员、教学人员、管理人员及有关的技术人员，则希望本书会有助于他们对新一代炸药的性能要求及发展前景有更多和更全面的了解，对他们更深入探索炸药领域带来新的启迪。

编著者首先要衷心感谢书末参考文献的所有作者、编者及出版者，是这些文献为本书提供了丰富的信息；其次要感谢审稿人对本书提出的宝贵和中肯的修改意见；最后要感谢在本书写作和出版过程中为编著者提供帮助的所有人员，编著者在此致以深深的谢意。

由于编著者水平有限，书中定有不妥甚至错误之处，恳请读者批评、指正。

编著者  
2013年11月

# 目 录

---

第 1 章 炸药基本理论	1
1.1 炸药和爆炸	1
1.1.1 爆炸和化学爆炸特征	1
1.1.2 炸药基本特征	1
1.1.3 对炸药的基本要求	3
1.1.4 炸药分类	5
1.1.5 炸药的应用	8
1.1.6 炸药发展简史	11
1.2 炸药热分解通性	13
1.2.1 炸药热分解的一般规律	13
1.2.2 炸药热分解的初始反应	14
1.2.3 炸药热分解的二次反应	15
1.2.4 炸药热分解的加速历程	16
1.3 单质军用炸药热分解的特征及规律	17
1.3.1 硝酸酯类炸药(太安)的热分解	17
1.3.2 硝基胺类炸药的热分解	18
1.3.3 硝基化合物类炸药的热分解	19
1.4 炸药的爆炸变化	20
1.4.1 引燃	21
1.4.2 燃烧	22
1.4.3 爆轰	23
第 2 章 炸药主要性能	31
2.1 氧平衡	31
2.1.1 氧平衡	31



## 2 炸药学 ■

2.1.2 氧系数	31
2.2 密度	33
2.2.1 晶体密度的计算方法	34
2.2.2 密度测定方法	37
2.2.3 密度与爆轰性能的关系	39
2.3 标准生成焓	41
2.3.1 计算方法	42
2.3.2 测定方法	43
2.4 安定性	44
2.4.1 热安定性评估	45
2.4.2 热安定性与分子结构的关系	46
2.4.3 热安定性测定方法	50
2.5 相容性	58
2.5.1 概论	58
2.5.2 相容性测定方法	59
2.6 感度	60
2.6.1 感度与分子结构的关系	61
2.6.2 感度测定方法	68
2.7 爆炸特性	77
2.7.1 爆热	77
2.7.2 爆温	81
2.7.3 爆速	83
2.7.4 爆压	88
2.7.5 爆容	91
2.8 爆炸作用	92
2.8.1 做功能力	92
2.8.2 猛度	97
2.8.3 聚能效应	99
2.8.4 殉爆	99
第3章 合成单质炸药的主要有机反应	101
3.1 硝化反应	101
3.1.1 C—硝化	101
3.1.2 N—硝化	108
3.1.3 O—硝化	109

3.2 醛胺缩合反应 .....	110
3.2.1 反应历程 .....	110
3.2.2 应用实例 .....	111
3.3 曼尼希 (Mannich) 反应 .....	113
3.3.1 反应历程 .....	114
3.3.2 应用实例 .....	114
3.4 叠氮化反应 .....	115
3.4.1 反应历程 .....	115
3.4.2 应用实例 .....	115
3.5 间接硝化反应 .....	116
3.5.1 氧化反应 .....	116
3.5.2 维克多-迈尔 (Victor-Meyer) 反应 .....	117
3.5.3 特米尔 (Ter-Meer) 反应 .....	118
3.5.4 卡普龙-谢切特 (Kaplan-Shechter) 反应 .....	118
3.5.5 桑德迈尔 (Sandmeyer) 反应 .....	118
3.5.6 亨利 (Henry) 反应 .....	119
3.5.7 迈克尔 (Michael) 反应 .....	119
3.6 合成硝胺的其他反应 .....	120
3.6.1 氨基保护硝化法合成硝胺 .....	120
3.6.2 通过氯胺合成硝胺 .....	121
3.6.3 通过硝基胍合成硝胺 .....	121
3.6.4 碱性硝化法合成硝胺 .....	122
3.6.5 胺硝酸盐“脱水”合成硝胺 .....	123
3.6.6 氧化亚硝胺合成硝胺 .....	123
3.6.7 氧化重氮酸盐合成伯硝胺 .....	124
3.7 合成硝酸酯的其他反应 .....	124
3.7.1 硝酸银与卤代烷反应 .....	125
3.7.2 环氧乙烷衍生物与硝酸加成 .....	125
3.7.3 亚硝酸乙酯与烷基过氧化氢反应 .....	125
3.7.4 亚硝酸酯的氧化 .....	125
3.7.5 转移硝化 .....	125
第4章 硝化过程及硝化操作 .....	126
4.1 硝化剂 .....	126
4.1.1 硝酸 .....	126

## 4 炸药学 ■

4.1.2	硝酸与硫酸的混合物 (硝硫混酸)	127
4.1.3	硝酸与乙酸或乙酸酐的混合物	131
4.1.4	硝磺盐	132
4.1.5	五氧化二氮硝化剂	133
4.1.6	其他硝化剂	134
4.2	芳香族化合物硝化反应动力学	135
4.2.1	硝酸或硝硫混酸的硝化反应动力学	135
4.2.2	硝酸-醋酸酐的硝化反应动力学	136
4.3	芳香环上取代基的定位效应和对底物硝化反应的影响	136
4.3.1	定位效应和致活(钝)作用的定性解释	137
4.3.2	定位效应和致活(钝)作用的定量分析	137
4.3.3	芳烃硝化的区域选择性	138
4.4	硝化过程中的副反应	139
4.4.1	氧化反应	139
4.4.2	聚合反应	140
4.5	硝化工艺	140
4.5.1	液相硝化工艺	140
4.5.2	气相硝化工艺	142
4.5.3	绿色硝化工艺	143
4.6	影响芳烃液相硝化反应的主要因素	144
4.6.1	温度	144
4.6.2	搅拌速度	144
4.6.3	硝化酸组成及相比	145
4.7	硝化器	145
4.7.1	立罐式硝化器	145
4.7.2	管式硝化器	146
第5章	硝基化合物炸药	147
5.1	芳香族硝基化合物通性	147
5.1.1	化学性质	147
5.1.2	热安定性	151
5.1.3	爆炸性质	152
5.1.4	毒性和生理作用	153
5.2	梯恩梯	154
5.2.1	梯恩梯性质	154

5.2.2	梯恩梯的用途 .....	160
5.2.3	梯恩梯的制造工艺 .....	160
5.3	耐热硝基化合物炸药 .....	172
5.3.1	提高硝基化合物炸药耐热性的途径 .....	173
5.3.2	六硝基芪 .....	178
5.3.3	三氨基三硝基苯 .....	181
5.3.4	二氨基三硝基苯 .....	185
5.3.5	塔柯特 .....	186
5.3.6	2, 6-二苦胺基-3, 5-二硝基吡啶 .....	188
5.3.7	<i>N, N', N''</i> -三苦基三聚氰胺 .....	189
5.3.8	TPM 的衍生物 .....	191
5.3.9	2, 5-二苦基-1, 3, 4- $\epsilon$ 二唑 .....	192
5.3.10	2, 2', 2'', 4, 4', 4'', 6, 6', 6''-九硝基三联苯 .....	192
5.3.11	3, 5-二氨基-2, 6-二硝基吡啶- <i>N</i> -氧化物 .....	192
5.3.12	<i>N, N'</i> -双(1, 2, 4-三唑-3-基)-4, 4'- 二氨基-2, 2', 3, 3', 5, 5', 6, 6'-八硝基偶氮苯 .....	193
5.3.13	聚硝基亚苯 .....	193
5.3.14	其他 .....	193
5.3.15	有应用前景的耐热炸药 .....	194
5.3.16	传统的耐热硝基化合物 .....	195
5.4	其他芳香族硝基化合物 .....	198
5.4.1	苯和二甲苯的硝基衍生物 .....	198
5.4.2	酚、酚盐和酚醚的硝基衍生物 .....	200
5.4.3	2, 4, 6-三硝基氯苯 .....	201
5.4.4	芳胺及酰胺的硝基衍生物 .....	202
5.5	脂肪族硝基化合物 .....	203
5.5.1	硝基烷烃 .....	203
5.5.2	硝仿系炸药 .....	210
5.5.3	硝仿肼 .....	215
第 6 章	硝胺炸药 .....	219
6.1	硝胺炸药通性 .....	219
6.1.1	光谱性质 .....	219
6.1.2	酸碱性 .....	220
6.1.3	与羰基化合物的加成反应 .....	220

6.1.4	Mannich 反应	221
6.1.5	还原反应	221
6.1.6	对酸碱的稳定性	222
6.2	黑索今	222
6.2.1	黑索今的性质	223
6.2.2	黑索今的用途	227
6.2.3	黑索今制造工艺	227
6.3	奥克托今	237
6.3.1	奥克托今性质	237
6.3.2	奥克托今的用途	243
6.3.3	奥克托今制造工艺	243
6.4	其他硝胺炸药	254
6.4.1	硝基胍	254
6.4.2	乙二硝胺	256
6.4.3	二乙醇硝胺二硝酸酯	258
6.4.4	特屈儿	259
6.4.5	1, 3, 3, 5, 7, 7-六硝基-1, 5-二氮杂环辛烷	260
6.4.6	1, 3, 5, 5-四硝基六氢嘧啶	261
6.4.7	含偕二硝基的叠氮硝胺	261
第7章 硝酸酯炸药		265
7.1	太安	265
7.1.1	太安的性质	265
7.1.2	太安的用途	270
7.1.3	太安的制造工艺	270
7.2	硝化甘油	274
7.2.1	硝化甘油的性质	274
7.2.2	硝化甘油的用途	280
7.2.3	硝化甘油的制造工艺	280
7.3	其他硝酸酯炸药	282
7.3.1	硝化乙二醇	282
7.3.2	硝化二乙二醇	282
7.3.3	硝化三乙二醇	283
7.3.4	1, 2, 4-丁三醇三硝酸酯	283
7.3.5	三羟甲基乙烷三硝酸酯	284

7.3.6	硝基异丁基甘油三硝酸酯 .....	284
7.3.7	硝化棉 .....	284
7.3.8	硝化淀粉 .....	285
7.3.9	失水木糖醇三硝酸酯 .....	286
7.3.10	硝化甘露糖醇 .....	286
7.3.11	硝化聚乙烯醇 .....	287
7.3.12	环糊精硝酸酯 .....	287
第8章	高能量密度化合物 .....	288
8.1	高能量密度化合物研究进展 .....	288
8.2	六硝基六氮杂异伍兹烷 .....	290
8.2.1	六硝基六氮杂异伍兹烷的性能 .....	290
8.2.2	六硝基六氮杂异伍兹烷的合成 .....	292
8.2.3	六硝基六氮杂异伍兹烷的应用 .....	310
8.3	笼形多硝基烷烃 .....	312
8.3.1	多硝基立方烷 .....	312
8.3.2	多硝基金刚烷 .....	315
8.4	1, 3, 3-三硝基氮杂环丁烷 .....	316
8.4.1	性能 .....	317
8.4.2	合成 .....	317
8.4.3	用途 .....	319
8.5	二硝酰胺铵 .....	320
8.5.1	性能 .....	320
8.5.2	合成 .....	322
8.5.3	应用 .....	323
8.6	多环及单环硝胺 .....	323
8.6.1	2, 5, 7, 9-四硝基-2, 5, 7, 9-四氮杂双环 [4. 3. 0] 壬酮-8 .....	323
8.6.2	2, 4, 6, 8, 10, 12-六硝基-2, 4, 6, 8, 10, 12- 六氮杂三环 [7. 3. 0. 0 <sup>3,7</sup> ] 十二烷二酮-3, 9 .....	325
8.6.3	2, 4, 7, 9, 11, 14-六硝基-2, 4, 7, 9, 11, 14- 六氮杂三环 [8. 4. 0. 0 <sup>3,8</sup> ] 十四烷-5, 6, 12, 13- 并双氧化呋喃 .....	326
8.6.4	2, 4, 6, 8-四硝基-2, 4, 6, 8-四氮杂双环 [3. 3. 0] 辛二酮-3, 7 .....	327

8.6.5	2, 4, 6, 8-四硝基-2, 4, 6, 8-四氮杂双环 [3. 3. 1] 壬二酮-3, 7 .....	327
8.6.6	1, 3, 5-三硝基-1, 3, 5-三氮杂环己酮-2 .....	328
8.7	呋咱及氧化呋咱系化合物 .....	329
8.7.1	<i>N, N', N''</i> -三(2-硝基苯并二氧化呋咱)三聚氰胺 .....	329
8.7.2	<i>N, N'</i> -双(2, 4-二硝基苯并氧化呋咱)-1, 3, 5- 三硝基-2, 6-二氨基苯 .....	331
8.7.3	<i>N, N'</i> -双(2-硝基苯并二氧化呋咱)-3, 5-二硝基-2, 6- 二氨基吡啶 .....	332
8.7.4	3, 3'-二硝基-4, 4'-氧化偶氮呋咱 .....	333
8.7.5	双(硝基呋咱基)氧化呋咱 .....	333
8.7.6	1, 4-二硝基呋咱 [3, 4b] 哌嗪 .....	334
8.7.7	4, 4'-二硝基-3, 3'-偶氮氧化呋咱 .....	334
8.7.8	4, 4'-二硝基-3, 3'-二呋咱 .....	335
8.8	低感高能量密度化合物 .....	335
8.8.1	1, 1-二氨基-2, 2-二硝基乙烯 .....	335
8.8.2	2, 6-二氨基-3, 5-二硝基吡嗪-1-氧化物 .....	338
8.8.3	<i>N</i> -脒基脒二硝酰胺盐 .....	338
8.8.4	3-硝基-1, 2, 4-三唑-5-酮 .....	340
8.8.5	四硝基四氮杂十氢化萘 .....	341
8.8.6	3-苦胺基-1, 2, 4-三唑 .....	342
8.8.7	氨基硝基三唑 .....	343
8.8.8	5-硝基-4, 6-双(5-氨基-3-硝基-三唑)嘧啶 .....	344
8.8.9	7-氨基-4, 6-二硝基苯并氧化呋咱 .....	344
8.8.10	二硝基甘脒 .....	344
8.9	高氮高能材料 .....	345
第9章	含能黏结剂及含能增塑剂 .....	348
9.1	黏结剂 .....	348
9.2	含能黏结剂 .....	349
9.3	聚叠氮缩水甘油醚 .....	351
9.3.1	性能 .....	351
9.3.2	合成 .....	352
9.3.3	应用 .....	353
9.4	聚(3, 3-双(叠氮甲基)氧丁环) .....	354

9.5 聚(3-甲基-3-叠氮甲基氧丁环) .....	355
9.6 BAMO 的共聚物 .....	356
9.6.1 概论 .....	356
9.6.2 合成 .....	356
9.6.3 应用 .....	357
9.7 聚(3-硝酰氧甲基-3-甲基氧丁环) .....	357
9.8 聚(缩水甘油醚硝酸酯) .....	358
9.9 硝化端羟聚丁二烯 .....	359
9.10 硝化环糊精 .....	360
9.11 含氟黏结剂 .....	361
9.12 增塑剂概论 .....	361
9.12.1 增塑剂分类 .....	361
9.12.2 对增塑剂的要求 .....	362
9.12.3 增塑剂的功能 .....	362
9.12.4 增塑剂品种 .....	362
9.13 叠氮化合物 .....	364
9.13.1 叠氮硝胺——1,5-二叠氮基-3-硝基-3-氮杂戊烷 .....	365
9.13.2 叠氮硝酸酯——二叠氮基新戊二醇二硝酸酯 .....	367
9.14 硝酰氧乙基硝胺 .....	368
9.15 多硝基脂肪族化合物 .....	369
9.16 硝酸酯 .....	370
9.17 低聚物增塑剂 .....	370
<b>第 10 章 军用混合炸药 .....</b>	<b>371</b>
10.1 军用混合炸药的分类 .....	371
10.2 对军用混合炸药的要求 .....	372
10.3 混合炸药爆炸反应特点 .....	373
10.4 军用混合炸药重要性能参数的计算 .....	374
10.4.1 原子组成 .....	374
10.4.2 密度 .....	375
10.4.3 压药比压与装药密度 .....	376
10.4.4 氧平衡 .....	377
10.4.5 标准生成焓 .....	378
10.4.6 比热容及导热系数 .....	379
10.4.7 爆轰参数 .....	379



10.5 熔铸炸药·····	387
10.5.1 黑梯炸药·····	388
10.5.2 阿马托·····	388
10.5.3 奥梯炸药·····	389
10.5.4 太梯炸药·····	389
10.5.5 特梯炸药·····	389
10.5.6 1, 3, 3-三硝基氮杂环丁烷熔铸炸药·····	390
10.5.7 钝感熔铸炸药·····	391
10.6 高聚物黏结炸药·····	391
10.6.1 造型粉压装炸药·····	392
10.6.2 以 TATB、NTO 及 CL-20 (HNIW) 为基的高聚物黏结炸药·····	393
10.6.3 其他钝感高聚物黏结炸药·····	397
10.6.4 塑性炸药·····	399
10.6.5 浇铸高聚物黏结炸药·····	401
10.6.6 挠性炸药·····	403
10.7 含铝炸药 (高威力混合炸药)·····	403
10.8 钝化炸药·····	405
10.9 燃料-空气炸药·····	405
10.10 低易损性炸药·····	407
10.10.1 浇注-固化成型的低易损性塑料黏结炸药·····	408
10.10.2 以低易损性单质炸药为基的混合炸药·····	408
10.10.3 阻燃炸药·····	408
10.10.4 其他类型低易损性炸药·····	409
10.11 分子间炸药·····	409
10.12 液体炸药·····	410
10.13 军用混合炸药的发展趋势·····	411
10.13.1 大力发展硝酸混合炸药·····	411
10.13.2 积极研制不敏感炸药·····	411
10.13.3 加速非理想炸药应用研究·····	411
10.13.4 加强装药技术研究, 不断改进装药结构·····	411
第 11 章 民用混合炸药·····	413
11.1 粉状铵梯炸药·····	413
11.1.1 岩石粉状铵梯炸药·····	414
11.1.2 露天粉状铵梯炸药·····	415