



# 炸摇☐药摇☐学

欧育湘摇主编

**北京理工大学出版社**

北京航空航天大学出版社摇西北工业大学出版社  
哈尔滨工业大学出版社摇哈尔滨工程大学出版社

## 内容简介

本书简要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,详细阐述了三类最常用单质炸药(硝基化合物炸药、硝胺炸药和硝酸酯炸药)的特性、制造原理、生产工艺及它们的最新进展,对新型含能叠氮化合物,特别是高能量密度化合物,进行了较全面和系统的论述。此外,对军用混合炸药、民用混合炸药及起爆药,给予了重点介绍。

本书注重化学理论与工艺技术相结合,尽量反映含能材料领域内的新材料、新理论、新技术和新进展,有很多内容都是以前同类教材中所没有的。本书可作为高等学校含能材料专业的本科生教材,也可供研究生及技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

爆炸药理学 教育湘主编写 北京 北京理工大学出版社 2000.12

国防科工委“十五”规划教材 化学工程与技术

爆炸药理学 缘源 缘缘 缘

爆炸 I 爆炸...爆炸 II 爆炸...爆炸 III 爆炸药-高等学校-教材 IV 爆炸缘源

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 222222 号

## 爆炸药理学

教育湘主编写

责任编辑 董双洪

责任校对 郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 22 号(200000)

电话 010-62770175 办公室 010-62770176 批销中心 010-62770177 读者服务部

网址: <http://www.bjlu.com.cn>

标 准 号 010-62770175 010-62770176 010-62770177

北京圣瑞伦印刷厂印制 各地新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/32

印张: 10 印字: 200 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1000 册

定价: 15.00 元

# 国防科工委“十五”规划教材编委会

---

(按姓氏笔画排序)

主 任：张华祝

副主任：王泽山 摇 陈懋章 摇 屠森林

编 委：王 摇 祁 摇 王文生 摇 王泽山 摇 田 摇 蔚 摇 史仪凯  
乔少杰 摇 仲顺安 摇 张华祝 摇 张近乐 摇 张耀春  
杨志宏 摇 肖锦清 摇 苏秀华 摇 辛玖林 摇 陈光 埭  
陈国平 摇 陈懋章 摇 庞思勤 摇 武博岷 摇 金鸿章  
贺安之 摇 夏人伟 摇 徐德民 摇 聂 摇 宏 摇 贾宝山  
郭黎利 摇 屠森林 摇 崔锐捷 摇 黄文良 摇 葛小春



## 总摇序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础,掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。缘多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当



今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 100 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 100 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 100 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入 21 世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



## 前 摇 摇 言

摇摇本书与以往的同类教材相比,在内容上有较大更新,对新型含能叠氮化合物,特别是高能量密度化合物进行了较系统而全面的论述,介绍了笼形硝胺六硝基六氮杂异伍兹烷(𠙴𠙵𠙶)、多硝基烷烃、小环硝胺、二硝酰胺铵等研究得较成熟和已应用或应用前景极佳的高能量密度化合物,反映了当代含能材料领域的科学技术先进水平。

本书的特点是理论与实际相结合,制式军用炸药与新型高能量密度化合物相结合,生产工艺与实验室合成方法相结合,同时特别注重炸药领域内近 𠙷 年来的新研究成果及发展动态,其内容涵盖炸药理论、单质炸药、军用和民用混合炸药以及起爆药。教材编写的指导思想是要使初学者通过本书的学习,可以较系统地获得炸药学基本理论知识,较全面地了解各类炸药的性能、制造原理、生产工艺、应用领域及新进展,并能初步掌握新一代含能材料——高能量密度化合物的特征、合成反应及发展前景。另外,作者还希望炸药行业内的技术人员和管理人员在阅读本教材后,也能获得一些新的知识,受到一些新的启迪,有耳目一新之感。

本书由欧育湘主编,第 𠙷 章及第 𠙸 章由李加荣撰写,其余各章均由欧育湘撰写,全书由欧育湘统一定稿。

本书的审稿者对本书进行了精心的审定、中肯的指导和认真的修改,作者在此表示衷心的感谢。

成书过程中,博士生刘进全在整理和完善教材文稿及图稿上付出了巨大的劳动,他的努力为本书增色不少,博士生王艳飞、孟征、赵毅和硕士生许冬梅、吴相国参与了本书文稿和图稿的校阅,提高了教材的质量,也有助于本书如期付梓,作者对他们满怀感激之情。

由于作者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评、指正。

作者

𠙷 𠙷 年 𠙷 月

# 目 录

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 第 1 章 炸药基本理论               | 1 |
| 1.1 炸药和爆炸                  | 1 |
| 1.2 炸药热分解通性                | 1 |
| 1.3 研究炸药热分解的方法             | 1 |
| 1.4 单质军用炸药热分解的特征及规律        | 1 |
| 1.5 炸药的爆炸变化                | 1 |
| 第 2 章 炸药主要性能               | 2 |
| 2.1 密度                     | 2 |
| 2.2 标准生成焓                  | 2 |
| 2.3 安定性                    | 2 |
| 2.4 相容性                    | 2 |
| 2.5 感度                     | 2 |
| 2.6 爆炸特性                   | 2 |
| 2.7 爆炸作用                   | 2 |
| 第 3 章 合成单质炸药的主要有机反应        | 3 |
| 3.1 硝化反应                   | 3 |
| 3.2 醛胺缩合反应                 | 3 |
| 3.3 曼尼希(配位)反应              | 3 |
| 3.4 叠氮化反应                  | 3 |
| 3.5 间接硝化反应                 | 3 |
| 3.6 合成硝胺的其他反应              | 3 |
| 3.7 合成硝酸酯的其他反应             | 3 |
| 第 4 章 硝化过程及硝化操作            | 4 |
| 4.1 硝化剂                    | 4 |
| 4.2 芳香族化合物硝化反应动力学          | 4 |
| 4.3 芳香环上取代基的定位效应对底物硝化反应的影响 | 4 |
| 4.4 硝化过程中的副反应              | 4 |
| 4.5 硝化工艺                   | 4 |
| 4.6 影响芳烃液相硝化反应的主要因素        | 4 |



|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 摇摇源章摇硝化器 .....                 | 页源 |
| 第 缘章摇硝基化合物炸药 .....             | 页源 |
| 摇摇缘章摇芳香族硝基化合物通性 .....          | 页源 |
| 摇摇缘章摇梯恩梯 .....                 | 页源 |
| 摇摇缘章摇耐热低感硝基化合物 .....           | 页源 |
| 摇摇缘章摇其他芳香族硝基化合物 .....          | 页源 |
| 摇摇缘章摇脂肪族硝基化合物 .....            | 页源 |
| 第 远章摇硝胺炸药 .....                | 页源 |
| 摇摇远章摇硝胺炸药的通性 .....             | 页源 |
| 摇摇远章摇黑索今 .....                 | 页源 |
| 摇摇远章摇奥克托今 .....                | 页源 |
| 摇摇远章摇其他硝胺炸药 .....              | 页源 |
| 第 苑章摇硝酸酯炸药 .....               | 页源 |
| 摇摇苑章摇太安 .....                  | 页源 |
| 摇摇苑章摇硝化甘油 .....                | 页源 |
| 摇摇苑章摇其他硝酸酯炸药 .....             | 页源 |
| 第 愿章摇高能密度化合物 .....             | 页源 |
| 摇摇愿章摇高能密度化合物研究进展 .....         | 页源 |
| 摇摇愿章摇六硝基六氮杂异伍兹烷 .....          | 页源 |
| 摇摇愿章摇笼形多硝基烷烃 .....             | 页源 |
| 摇摇愿章摇其他高能密度化合物 .....           | 页源 |
| 摇摇愿章摇低感高能密度化合物 .....           | 页源 |
| 第 怨章摇有机叠氮化合物 .....             | 页源 |
| 摇摇怨章摇叠氮聚醚 .....                | 页源 |
| 摇摇怨章摇叠氮硝胺 .....                | 页源 |
| 摇摇怨章摇叠氮硝酸酯——二叠氮基新戊二醇二硝酸酯 ..... | 页源 |
| 摇摇怨章摇脂肪族叠氮化合物 .....            | 页源 |
| 第 员章摇废酸处理 .....                | 页源 |
| 摇摇员章摇梯恩梯废酸脱硝 .....             | 页源 |
| 摇摇员章摇硫酸法浓缩硝酸 .....             | 页源 |
| 摇摇员章摇硝酸镁法浓缩硝酸 .....            | 页源 |
| 摇摇员章摇硝烟吸收 .....                | 页源 |
| 摇摇员章摇鼓式硫酸浓缩 .....              | 页源 |
| 摇摇员章摇醋酐法制黑索今的废酸处理 .....        | 页源 |



|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第 4 章 军用混合炸药 .....        | 猿怨 |
| 4.1 军用混合炸药的分类 .....       | 猿怨 |
| 4.2 对军用混合炸药的要求 .....      | 猿园 |
| 4.3 混合炸药爆炸反应特点 .....      | 猿员 |
| 4.4 军用混合炸药重要性能参数的计算 ..... | 猿圆 |
| 4.5 熔铸炸药 .....            | 猿远 |
| 4.6 高聚物黏结炸药 .....         | 猿园 |
| 4.7 含铝炸药(高威力混合炸药) .....   | 猿缘 |
| 4.8 钝化炸药 .....            | 猿苑 |
| 4.9 燃料原空气炸药 .....         | 猿苑 |
| 4.10 低易损性炸药 .....         | 猿愿 |
| 4.11 分子间炸药 .....          | 猿园 |
| 4.12 液体炸药 .....           | 猿圆 |
| 4.13 军用混合炸药的发展趋势 .....    | 猿圆 |
| 第 5 章 民用混合炸药 .....        | 猿源 |
| 5.1 粉状铵梯炸药 .....          | 猿源 |
| 5.2 膨化硝铵炸药 .....          | 猿愿 |
| 5.3 铵梯油炸药 .....           | 猿员 |
| 5.4 铵油炸药 .....            | 猿圆 |
| 5.5 浆状炸药 .....            | 猿源 |
| 5.6 水胶炸药 .....            | 猿远 |
| 5.7 乳化炸药 .....            | 猿苑 |
| 5.8 粉状乳化炸药 .....          | 猿愿 |
| 5.9 被筒炸药及离子交换炸药 .....     | 猿园 |
| 5.10 氯酸盐及高氯酸盐炸药 .....     | 猿圆 |
| 5.11 其他工业混合炸药 .....       | 猿圆 |
| 第 6 章 起爆药 .....           | 猿源 |
| 6.1 起爆药的特性 .....          | 猿源 |
| 6.2 对起爆药的基本要求 .....       | 猿愿 |
| 6.3 起爆药的分类 .....          | 猿愿 |
| 6.4 叠氮化铅 .....            | 猿园 |
| 6.5 三硝基间苯二酚 .....         | 猿缘 |
| 6.6 二硝基重氮酚 .....          | 猿愿 |
| 6.7 雷汞 .....              | 猿怨 |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 摇摇员摇摇四氮烯·····              | 摇摇园 |
| 摇摇员摇摇四唑类起爆药·····           | 摇摇园 |
| 摇摇员摇摇共沉淀起爆药·····           | 摇摇源 |
| 摇摇员摇摇配位化合物起爆药·····         | 摇摇范 |
| 摇摇员摇摇混合起爆药·····            | 摇摇怨 |
| 附录·····                    | 摇摇园 |
| 摇摇一、附表·····                | 摇摇园 |
| 摇摇二、常见单质炸药及混合炸药组分的缩略语····· | 摇摇源 |
| 参考文献·····                  | 摇摇源 |

# 第 1 章 炸药基本理论

## 1.1 炸药和爆炸

### 一、爆炸和化学爆炸特征

爆炸是物质迅速的物理变化或化学变化。在此变化过程中,于有限体积内发生物质能量形式的快速转变和物质体积的急剧膨胀,并伴随有强烈的机械、热、声、光、辐射等效应。

广义的爆炸过程包括爆轰及爆燃。爆轰时,物质的势能或内能在极短的时间内转变成冲击波能、热辐射能、光能和声能,并在爆炸中心形成高温、高压、高能量密度气体产物区,且气体产物迅速膨胀,能对周围介质和物体产生剧烈的破坏作用。爆轰速度通常高于  $2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ,以激波形式传播。爆燃是燃速很高(可达  $1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ )的燃烧,能产生火焰和火花,有时还伴随有燃烧粒子的四面飞散,且不需外界供氧。爆燃以热波形式传播,反应区以低于声速进入未燃物质。例如,爆破弹不能完全爆炸的现象就是一种爆燃。

爆炸一般分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。例如,高速运行的物体强烈撞击高强度的障碍引起的爆炸,高压气瓶和蒸气锅炉引起的爆炸均属于物理爆炸,此时一种形式的机械能转变为另一种形式的机械能和热能。原子弹和氢弹的爆炸则属于核爆炸,此时核的分解转变为机械能、热能、光能、声能及辐射能。炸药的爆炸则属于化学爆炸,此时化学反应能转变为机械能、热能、光能、声能。炸药的化学爆炸有三个特征:

(1) 反应的放热性 放热化学反应是产生化学爆炸的必要条件。实用的猛炸药分子中多含有  $\text{NO}_2$ ,因而,爆炸反应时其中的氧可将分子中的碳和氢分别氧化为  $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$  而放出大量的热。衡量炸药爆炸作功能力的一个重要参数是爆热,军用炸药的爆热一般为  $3 \sim 6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(2) 反应的高速性 爆炸反应是在微秒级( $10^{-6} \text{ s}$ )的时间内完成的(军用炸药的爆速一般为  $5 \sim 9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ),这是爆炸具有巨大功率和爆破作用的前提条件。

(3) 生成大量气体产物 这些气体产物是爆炸作工的工质,是爆炸过程中实现炸药势能转变为机械能的物理因素。军用炸药爆炸时生成的气体产物量一般为  $600 \sim 1\,000 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

### 二、炸药基本特征

炸药是在外部激发能作用下,能发生爆炸并对周围介质作功的化合物(单质炸药)或混合物(混合炸药)。炸药的爆炸绝大多数系氧化-还原反应,且可视为定容绝热过程,高温、高压



的爆炸气态产物骤然膨胀时,在爆炸点周围介质中发生压力突跃,形成冲击波,可对外界产生相当大的破坏作用。

### (一) 炸药基本特征

炸药具有四个特点:高体积能量密度,自行活化,亚稳态,自供氧。

#### 1. 高体积能量密度

如以单位质量计,炸药爆炸所放出的能量远低于普通燃料燃烧时放出的能量。例如,1 kg 汽油或无烟煤在空气中完全燃烧时的放热量,分别为 1 kg 梯恩梯(TNT,2,4,6-三硝基甲苯)爆炸时放热量的 10 倍或 8 倍。即使以 1 kg 汽油或煤与氧的化学当量比混合物计,它们燃烧时的放热量也可达 TNT 爆热的 2.4 倍或 2.2 倍。但如以单位体积物质所放出的能量计,情况就大不相同了。例如,1 L 硝化甘油(NG,丙三醇三硝酸酯)或 1 L TNT 的爆热分别相当于 1 L 汽油-氧混合物燃烧时放热量的 570 倍或 370 倍。大多数炸药的体积能量密度为汽油-氧混合物的 130~600 倍。常用炸药的密度( $\rho$ )与其定容爆热( $Q_V$ )的乘积  $\rho Q_V$  来表示炸药的体积能量密度。几种军用炸药的  $\rho Q_V$  值见表 1-1。

表 1-1 几种军用炸药的  $\rho Q_V$  值

| 炸药                             | $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ | $Q_V/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$ | $\rho Q_V/(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3})$ |
|--------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 梯恩梯                            | 1.65                                   | 4.18                                   | $6.9 \times 10^3$                          |
| 太安 <sup>①</sup>                | 1.78                                   | 6.25                                   | $11.1 \times 10^3$                         |
| 黑索今 <sup>②</sup>               | 1.79                                   | 6.32                                   | $11.3 \times 10^3$                         |
| 奥克托今 <sup>③</sup> ( $\beta$ 型) | 1.91                                   | 6.19                                   | $11.8 \times 10^3$                         |
| 六硝基六氮杂异伍兹烷(HNIW, $\epsilon$ 型) | 2.04                                   | 6.30                                   | $12.9 \times 10^3$                         |

① 太安是季戊四醇四硝酸酯(PETN)。

② 黑索今是 1,3,5-三硝基-1,3,5-三氮杂环己烷(RDX)。

③ 奥克托今是 1,3,5,7-四硝基-1,3,5,7-四氮杂环辛烷(HMX)。

#### 2. 自行活化

炸药在外部激发能作用下发生爆炸后,在不需外界补充任何条件和没有外来物质参与下,爆炸反应即能以极快速度进行,并直至反应完全。这是因为炸药本身含有爆炸变化所需的氧化组分和可燃组分,且爆炸时放出的爆热足以提供爆炸反应所需活化能。

#### 3. 亚稳态

炸药在热力学上是相对稳定(亚稳态)的物质,只有在足够外部能激发下,才能引发爆炸。对某些工业炸药,可以说是相当稳定的,有时即使雷管也不能将其引爆。另外,大部分炸药的热分解速率甚低,甚至低于某些化肥和农药。近代战争要求炸药具有低易损性和高安全性,一些不稳定的爆炸物是不能作为炸药使用的,它们只能称为爆炸物质,而不能归入炸药的行列。



#### 4. 自供氧

常用单质炸药的分子内或混合炸药的组分内,不仅含有可燃组分,而且含有氧化组分,它们不需外界供氧,在分子内或组分间即可进行化学反应。所以,即使与外界隔绝,炸药自身仍可发生氧化-还原反应甚至燃烧或爆炸。

#### (二) 爆炸性的基团

在目前实际应用的猛炸药中,最主要的爆炸性基团为  $\text{C}-\text{NO}_2$ ,  $\text{N}-\text{NO}_2$  及  $\text{O}-\text{NO}_2$ ,但并非所有含上述基团的化合物都具有爆炸性,一种化合物是否具有爆炸性取决于其整个分子结构,而不是某个基团。例如,一硝基芳烃就没有爆炸性,而只有多硝基芳烃才具有爆炸性。表 1-2 中列举了一些常见的具有爆炸性的基团和化合物。

表 1-2 具有爆炸性的基团和化合物

| 基 团                                                                      | 化 合 物        | 例              |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|
| $\text{C}-\text{NO}_2$ , $\text{N}-\text{NO}_2$ , $\text{O}-\text{NO}_2$ | 硝基化合物,硝胺,硝酸酯 | TNT, PETN, HMX |
| $\text{ClO}_3$ , $\text{ClO}_4$ , $\text{NO}_3$                          | 卤酸盐,高卤酸盐,硝酸盐 | 高氯酸铵,硝酸铵       |
| ONC                                                                      | 雷酸盐          | 雷汞             |
| $\text{N}=\text{N}$ , $\text{N}=\text{N}=\text{N}$                       | 偶氮,重氮,叠氮化合物  | 叠氮化铅,重氮二硝基酚    |

### 三、对炸药的基本要求

#### (一) 能量水平

炸药应具有满意的能量水平,即应具有尽可能高的作功能力和猛度,且对不同能量指标的要求常随炸药用途而异。用于破甲或碎甲弹的炸药应具有高的爆速;用于对空武器的弹药应具有较高的威力;用于矿井爆破的炸药,特别是安全炸药,应具有适当的爆速和爆热;机械加工业的炸药则往往要求低密度和低爆速,以免破坏工件。

#### (二) 安全性能

炸药应对机械、热、火焰、光、静电放电及各种辐射等的感度足够低,以保证生产、加工、运输及使用中的安全。但炸药又应对冲击波和爆轰波具有适当的感度,以保证能可靠而准确地被起爆。另外,随炸药使用条件不同,还要求它们具有相应的安全性能。例如,在深水中使用的炸药应当有良好的抗水性;在高温下使用的炸药应当有良好的耐热性和理化稳定性(如不发生相变等);在高温及真空条件下使用的炸药应当具有低挥发性;在低温下使用的炸药应当具有良好的低温稳定性(不发生相变,不脆裂等),并在低温下具有良好的爆轰敏感性和传爆稳定性。



### （三）安定性和相容性

炸药应具有良好的物理-化学安定性,以保证长储安全。军用炸药的储存期较长,民用炸药的储存期可以较短。炸药要与包装材料、弹体或其他防护物相接触,在混合炸药中还要与其他组分相接触,所以炸药的相容性也是十分重要的。

### （四）装药工艺

炸药应具有良好的加工和装药性能,能采取压装、铸装和螺旋装等方法装入弹体,且成型后的药柱应具有优良的力学性能。

### （五）原材料及生产工艺

炸药应原材料来源丰富,价格可以承受。生产工艺成熟、可靠,安全程度高。产品质量和得率再现性好。

### （六）生态和环境保护

生产过程不产生或仅产生少量三废,且可以处理,易于实现达标排放,不增加对环境的污染,不影响生态平衡。

## 四、炸药分类

很多能发生爆炸的化合物由于各种原因而不能实际应用,所以能作为炸药的单一化合物是不多的,但混合炸药的品种则极其繁多。可以采用各种平行的方法对炸药分类。例如,按化学组分可分为单质炸药(单组分炸药)和混合炸药,前者为单一化合物,后者则由多种组分构成。但无论是单质炸药或混合炸药,大多由氧化剂(氧元素)及可燃剂(可燃元素)组成。按应用领域可分为军用炸药和工业炸药。按作用方式可将广义的炸药分为猛炸药、起爆药、火药及烟火剂四类,但通常称谓的炸药有时仅指猛炸药(也称高级炸药、次发炸药或第二炸药)。本书限于论述猛炸药及起爆药(且以单质炸药为主),故下文只讲述它们的分类。

### （一）单质炸药

单质炸药分子含有爆炸性基团,其中最重要的有  $\text{C}-\text{NO}_2$ ,  $\text{N}-\text{NO}_2$  及  $\text{O}-\text{NO}_2$  三种,它们分别构成三类最主要的单质炸药:硝基化合物、硝胺及硝酸酯。

#### 1. 硝基化合物炸药

目前用做炸药的硝基化合物主要是芳香族多硝基化合物,它又可分为碳环(单环、多环及稠环)及杂环两大类,但最常用的是单碳环多硝基化合物,其典型代表是 TNT。此类炸药的能量和感度大多低于硝酸酯类和硝胺类炸药,但安全性甚优,制造工艺成熟,大部分原料来源广泛、价格较低,故应用广泛。可用做炸药的脂肪族多硝基化合物主要有硝仿系化合物,它们的氧平衡较佳,密度和爆速均较高,但机械感度也较高,有的已获实际应用。



## 2. 硝胺炸药

硝胺类炸药的感度和安全性介于硝基化合物炸药与硝酸酯炸药之间,但能量较高,综合性能较好,且原料来源丰富,制造工艺日趋成熟,所以在军事上的应用与日俱增,它们不仅越来越多地用于装弹,且已广泛用于发射药和固体推进剂中。当前各国竞相研究的高能量密度化合物,也多是硝胺炸药,特别是多环笼形硝胺。硝胺炸药可分为氮杂环硝胺、脂肪族硝胺及芳香族硝胺三类,最重要的是氮杂环硝胺中的 RDX 和 HMX 等。

## 3. 硝酸酯炸药

硝酸酯炸药氧平衡较高,作功能力较高,但安全性较差,感度较高。重要的品种有 PETN、NG、乙二醇二硝酸酯(GDN)、二乙二醇二硝酸酯(DEGDN)、1,2,4-丁三醇三硝酸酯(BTTN)、纤维素硝酸酯(硝化棉,NC)等。除 PETN 用做猛炸药外,其余多用做枪炮发射药和固体推进剂组分(NG 也用做工业炸药部分)。

## 4. 其他

除了硝基化合物、硝胺、硝酸酯炸药以外,还有一些作为民用炸药或高能炸药组分的无机酸盐及有机碱硝酸盐。混合炸药及火药中广泛使用的硝酸铵及高氯酸铵属于无机酸盐,甲胺硝酸盐、硝酸胍、硝酸脲、乙二胺二硝酸盐等属于有机碱硝酸盐。

## (二) 混合炸药

混合炸药常由单质炸药和添加剂或由氧化剂、可燃剂和添加剂按适当比例混制而成。常用的单质炸药是硝基化合物、硝胺及硝酸酯三类,氧化剂是硝酸盐、氯酸盐、高氯酸盐、单质氧、富氧硝基化合物等,可燃剂是木粉、金属粉、碳、碳氢化合物等,添加剂有黏结剂、增塑剂、敏化剂、钝感剂、防潮剂、交联剂、乳化剂、发泡剂、表面活性剂和抗静电剂等。研制混合炸药可以增加炸药品种,扩大炸药原料来源及应用范围,且通过配方设计可实现炸药各项性能的合理平衡,制得具有最佳综合性能且能适应各种使用要求和成型工艺的炸药。绝大多数实际应用的炸药都是混合炸药,品种极多。

### 1. 军用混合炸药

系指用于军事目的的混合炸药,主要用于装填各种武器弹药和军事爆破器材。其特点是能量水平高,安定性和相容性好,感度适中。理化和力学性能良好。此外,低易损性也是 20 世纪 70 年代以来对军用炸药提出的普遍要求。军用混合炸药按其组分特点常分为铵梯炸药、熔铸炸药、高聚物黏结炸药、含金属粉炸药、燃料-空气炸药、低易损性炸药、分子间炸药等几大类。

### 2. 民用混合炸药

系指用于工农业目的的混合炸药,也称工业炸药,广泛用于矿山开采、土建工程、农田基本建设、地质勘探、油田钻探、爆炸加工等众多领域,是国民经济中不可缺少的能源。按组分可分为胶质炸药、铵梯炸药、铵油炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药(包括粉状的)和液氧炸药等类。按用途可分为胶质岩石炸药、煤矿安全炸药、露天炸药、地质勘探炸药和地下爆破炸药等



类。民用混合炸药应具有足够的能量水平,令人满意的安全性、实用性和经济性。

### (三) 起爆药

在较弱外部激发能作用下,即可发生燃烧,并能迅速转变成爆轰的炸药称为起爆药。这类炸药感度高,爆轰成长期短,爆轰所产生的爆轰波,用以引爆猛炸药,所以也称初发炸药。这类炸药按照组成,可分为单质起爆药、复盐起爆药(与复盐起爆药性能类似的尚有配位化合物起爆药)及混合起爆药三类;按激发方式可分为针刺药、击发药、摩擦药及导电药等。

#### 1. 单质起爆药

单质起爆药系分子中含有特征爆炸性基团的单一化合物,重要的有叠氮化合物(如叠氮化铅)、重氮化合物(如二硝基重氮酚)、四氮化物(如四氮烯和四唑)、重金属的硝基酚盐(如三硝基间苯二酚铅)及重金属的雷酸盐(如雷汞)等。

#### 2. 混合起爆药

混合起爆药是由两种以上单质起爆药或由起爆药、可燃剂等组成的混合物,其中还可加入钝感剂、敏化剂、黏合剂和安定剂等添加剂。混合起爆药常能满足某些单质起爆药不能满足的使用要求,如叠氮化铅与四氮烯可混合成对针刺敏感的混合物,叠氮化铅与三硝基间苯二酚铅可混合成对火焰敏感的混合物。

#### 3. 复盐起爆药

复盐起爆药是将两种或两种以上起爆药中的阴离子与共同金属离子共沉淀制得的,具有比原单质起爆药更优异的综合性能,有的还兼具有起爆药及猛炸药的特点,可作雷管装药,且使用安全、性能均一、设计简便,是起爆药家族中的新秀。

#### 4. 配位化合物起爆药

配位化合物起爆药是含配位离子的化合物,例如高能钴配位化合物。其明显特点是比常规起爆药钝感,也称为“钝感起爆药”。对未加约束的此类化合物的粉末,明火、火花不能将其点燃,当压入管壳后,能用桥丝、火焰起爆。

## 五、炸药发展简史

从中国有正式可考的黑火药文字记载算起,炸药已有一千多年的历史,它的发展可分为四个时期:①黑火药时期;②近代炸药的兴起和发展时期;③炸药品种增加和综合性能不断提高时期;④炸药发展的新时期。

### (一) 黑火药时期

黑火药是中国古代四大发明之一,是现代火药的始祖。迟于公元 808 年(唐宪宗元和三年),中国即有了黑火药配方的记载,指明黑火药是硝石(硝酸钾)、硫磺和木炭组成的一种混合物。

约在 10 世纪初(五代末或北宋初),黑火药开始步入军事应用,使武器由冷兵器逐渐转变



为热兵器,这是兵器史上一个重要的里程碑,为近代枪炮的发展奠定了初步基础,具有划时代的意义。

黑火药传入欧洲后,于16世纪开始用于工程爆破。黑火药作为独一无二的火炸药,一直使用到19世纪70年代中期,延续数百年之久。

19世纪中叶后,开创了工业炸药的一个新纪元——代那买特时代。但由于黑火药具有易于点燃、燃速可控制的特点,目前在军用及民用两方面仍有许多难以替代的用途。

## (二) 近代炸药的兴起和发展时期

在单质炸药方面,该时期始于19世纪中叶,至20世纪40年代。1833年制得的硝化淀粉和1834年合成的硝基苯和硝基甲苯,开创了合成炸药的先例。1846年制得了硝化甘油,为各类火药和代那买特炸药提供了主要原材料。1863年合成了梯恩梯,1891年实现了它的工业化生产,1902年用它装填炮弹以代替苦味酸,并成为第一次及第二次世界大战中的主要军用炸药。加上1877年合成的特屈儿,1894年合成的太安,1899年合成的黑索今以及1941年发现的奥克托今,使这一时期已经形成了现在使用的三大系列(硝基化合物、硝胺及硝酸酯)单质炸药。

就军用混合炸药而言,第一次世界大战前主要使用以苦味酸为基的易熔混合炸药,从20世纪初叶即开始被以梯恩梯为基的混合炸药(熔铸炸药)取代。在第一次世界大战中,含梯恩梯的多种混合炸药(包括含铝粉的炸药)是装填各类弹药的主角。在第二次世界大战期间,各国相继使用了特屈儿、太安、黑索今为混合炸药的原料,发展了熔铸混合炸药特屈托儿、膨托利特、赛克洛托儿和B炸药等几个系列。同时,以上述几种猛炸药为基的含铝炸药也在二战中得到应用。另外,以黑索今为主要成分的塑性炸药(C炸药)及钝感黑索今(A炸药)在此期间均为美国制式化。加上上述的B炸药,A、B、C三大系列军用混合炸药都在这一时期形成,并一直沿用至今。

对工业炸药,1866年,A·B·诺贝尔(Nobel)以硅藻土吸收硝化甘油制得了代那买特。1875年,他又发明了爆胶,将工业炸药带入了一个新时代。19世纪下半叶粉状和粒状硝铵炸药的发展,是工业炸药的一个极其重要的革新。硝铵炸药很快得到普及应用,且久盛不衰。从19世纪80年代,研制了煤矿用安全硝铵炸药。进入20世纪后,硝铵炸药得到迅速发展,尤以铵梯型硝铵炸药的应用最为广泛。

## (三) 炸药品种增加和综合性能不断提高时期

该期始于20世纪50年代,至20世纪80年代中期。

在单质炸药方面,奥克托今进入实用阶段。在20世纪60—70年代,国外先后合成了耐热钝感炸药六硝基芪和耐热炸药塔柯特。国内外还合成了一系列高能炸药,它们的爆速均超过 $9.0 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ,密度达 $1.95 \sim 2.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。同时,国外还对三氨基三硝基苯重新进行了研究,中国也于20世纪70—80年代合成和应用了三氨基三硝基苯。