

# 炸药化学与制造

Explosives Chemistry And Production

黄文尧 颜事龙 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmip.com.cn>

# 炸药化学与制造

黄文尧 颜事龙 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2009

## 内 容 提 要

本书全面系统地介绍了炸药的基本知识,包括常用单质炸药的主要合成化学反应、爆炸性能特征,以及军用混合炸药和民用混合炸药的基本概念、基本组分、配方设计、工艺设计、产品性能分析等内容,反映了当代炸药发展的技术水平。书中内容较系统地展示了炸药广阔的发展与应用前景,全书概念清晰、针对性和适用性较强。

本书可作为工科院校相关专业的教材或教学参考书,也可供采矿工程、应用化学等相关领域的工程技术人员和科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

炸药化学与制造/黄文尧,颜事龙编著. —北京:冶金工业出版社, 2009. 3

ISBN 978-7-5024-4805-9

I. 炸… II. ①黄… ②颜… III. ①炸药—合成化学  
②炸药—制造 IV. TQ560

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 019864 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 张媛媛 版式设计 葛新霞

责任校对 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4805-9

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 3 月第 1 版, 2009 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 21.75 印张; 528 千字; 335 页; 1-4000 册

**59.00 元**

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

炸药的发明起源于我国古代劳动人民四大发明之一的火药。经过 2000 多年的发展，尤其是近百年来，人们认识到炸药蕴藏着巨大的势能。当受到一定的外界能量作用时，炸药会发生剧烈的化学反应，并释放出大量的气体和能量，对周围的介质及物体产生强烈的破坏作用与效应。炸药已经成为现代工程爆破技术中广泛使用的特种能源，因此常被誉为“能源工业的能源、基础工业的基础”。随着军事、工程技术、采矿工业和化学工业等科学技术领域的发展，炸药的品种逐渐增加，各种物理和化学性能不断改善，业已形成军用炸药和民用炸药两大发展方向。

为了使从事弹药工程与爆炸技术专业人员更加全面系统地掌握炸药的组成、结构、性能、化学反应原理、配方设计、生产工艺和产品性能特征，本书介绍了国内外炸药新理论、新技术，涵盖了军用炸药和民用炸药的化学与制造的最新进展，对从事炸药和爆破工程研究、教学、设计和生产的技术人员而言是一本有价值的参考书，也可作为工科院校相关专业的教材或教学参考书。

全书共分 12 章。第 1 章全面介绍了军用炸药和民用炸药的历史和现状，并提出了我国工业炸药的发展方向；第 2~3 章简要讨论了常用单质炸药的合成化学反应过程与制造原理；第 4 章阐述了主要军用混合炸药的组分及其特性；第 5 章介绍了工业混合炸药爆炸参数的经验计算与配方设计方法；第 6 章分析了煤矿许用炸药设计的基本原理；第 7~9 章分别讨论了铵油炸药、乳化炸药、水胶炸药的组分、配方与工艺、性能及其影响因素等内容；第 10 章为炸药的生产 and 爆破“一条龙服务”提供炸药现场混装技术；第 11 章简要介绍了低爆速炸药的配方设计与工艺；第 12 章介绍了工业炸药组分及其半成品的分析检测方法，为炸药产品质量监控提供技术保障。

本书第 1、5、6、9 章由颜事龙编写，第 2、3、4、7、8、11、12 章由黄文尧编写，第 10 章由王尹军编写。

编写本书时曾参考有关专著和资料，编者特别感谢这些被引用文献的作者们。编者还要衷心地感谢杨祖一教授级高级工程师对本书提出的宝贵意见和建议，感谢硕士研究生王晓光协助收录、整理了大量文献资料。

由于编者水平所限，书中有不妥之处，恳请专家和读者指正。

编 者  
2009年2月

# 目 录

|  |    |
|--|----|
| 1 概论 .....                               | 1  |
| 1.1 炸药的分类与要求 .....                       | 1  |
| 1.1.1 炸药的分类 .....                        | 1  |
| 1.1.2 对炸药的要求 .....                       | 3  |
| 1.2 炸药的发展历程 .....                        | 4  |
| 1.2.1 单质炸药的发展历程 .....                    | 4  |
| 1.2.2 工业炸药的发展历程 .....                    | 5  |
| 1.3 国外工业炸药公司简介 .....                     | 8  |
| 1.3.1 挪威太诺·诺贝尔 (Dyno Nobel) 炸药集团公司 ..... | 8  |
| 1.3.2 美国奥斯汀 (Austin) 国际公司 .....          | 9  |
| 1.3.3 美国浆状炸药公司 (SEC) .....               | 10 |
| 1.3.4 杜邦 (Du Pont) 公司 .....              | 10 |
| 1.3.5 美国阿特拉斯 (Atlas) 火药公司 .....          | 11 |
| 1.3.6 英国 ICI 炸药集团公司 .....                | 11 |
| 1.3.7 俄罗斯克里斯塔尔国家研究所 .....                | 12 |
| 1.4 国内工业炸药品种与发展趋势 .....                  | 13 |
| 1.4.1 国内工业炸药的品种 .....                    | 13 |
| 1.4.2 国内工业炸药的发展趋势 .....                  | 13 |
| 2 合成单质炸药的主要反应与硝化工艺 .....                 | 15 |
| 2.1 硝化反应 .....                           | 15 |
| 2.1.1 C—硝化 .....                         | 15 |
| 2.1.2 N—硝化 .....                         | 16 |
| 2.1.3 O—硝化 .....                         | 17 |
| 2.2 醛胺缩合反应 .....                         | 17 |
| 2.3 间接硝化反应 .....                         | 18 |
| 2.3.1 氧化反应 .....                         | 18 |
| 2.3.2 维克多-迈尔 (Victor-Meyer) 反应 .....     | 19 |
| 2.3.3 特米尔 (Ter-Meer) 反应 .....            | 20 |
| 2.3.4 卡普龙-谢切特 (Kaplan-Shechter) 反应 ..... | 20 |
| 2.3.5 桑德迈尔 (Sandmeyer) 反应 .....          | 20 |
| 2.3.6 亨利 (Henry) 反应 .....                | 21 |

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| 2.3.7 迈克尔 (Michael) 反应 .....     | 21        |
| <b>2.4 硝化剂 .....</b>             | <b>22</b> |
| 2.4.1 硝酸 .....                   | 22        |
| 2.4.2 硝酸与硫酸的混合物 .....            | 23        |
| 2.4.3 硝酸与乙酸或乙酸酐的混合物 .....        | 24        |
| 2.4.4 硝鎓盐 .....                  | 24        |
| 2.4.5 其他硝化剂 .....                | 26        |
| <b>2.5 硝化工艺 .....</b>            | <b>26</b> |
| 2.5.1 液相硝化工艺 .....               | 26        |
| 2.5.2 气相硝化工艺 .....               | 28        |
| 2.5.3 绿色硝化工艺 .....               | 28        |
| <b>2.6 影响芳烃液相硝化反应的主要因素 .....</b> | <b>29</b> |
| 2.6.1 温度 .....                   | 29        |
| 2.6.2 搅拌速度 .....                 | 30        |
| 2.6.3 硝化酸组成及相比 .....             | 30        |
| <b>2.7 硝化器 .....</b>             | <b>31</b> |
| 2.7.1 立罐式硝化器 .....               | 31        |
| 2.7.2 管式硝化器 .....                | 32        |
| <b>3 常用单质炸药 .....</b>            | <b>33</b> |
| 3.1 梯恩梯 .....                    | 34        |
| 3.1.1 梯恩梯的性质 .....               | 34        |
| 3.1.2 梯恩梯的用途 .....               | 37        |
| 3.1.3 梯恩梯制造工艺 .....              | 37        |
| 3.2 黑索今和奥克托今 .....               | 40        |
| 3.2.1 黑索今 .....                  | 41        |
| 3.2.2 奥克托今 .....                 | 47        |
| 3.3 太安和硝化甘油 .....                | 53        |
| 3.3.1 太安 .....                   | 53        |
| 3.3.2 硝化甘油 .....                 | 60        |
| 3.4 硝酸甲胺 .....                   | 65        |
| 3.4.1 概述 .....                   | 65        |
| 3.4.2 硝酸甲胺制造工艺 .....             | 66        |
| 3.4.3 硝酸甲胺中和工序安全性分析 .....        | 68        |
| <b>4 主要军用混合炸药 .....</b>          | <b>71</b> |
| 4.1 概述 .....                     | 71        |
| 4.1.1 军用混合炸药的发展 .....            | 71        |
| 4.1.2 军用混合炸药的分类 .....            | 72        |

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 4.1.3 | 军用混合炸药的要求            | 72 |
| 4.1.4 | 军用混合炸药的爆轰反应          | 73 |
| 4.2   | 熔铸炸药                 | 74 |
| 4.2.1 | 黑梯炸药                 | 75 |
| 4.2.2 | 阿马托炸药                | 76 |
| 4.2.3 | 奥梯炸药                 | 76 |
| 4.2.4 | 太梯炸药                 | 76 |
| 4.2.5 | 特梯炸药                 | 77 |
| 4.2.6 | 1, 3, 3-三硝基氮杂环丁烷熔铸炸药 | 77 |
| 4.3   | 高聚物黏结炸药              | 77 |
| 4.3.1 | 造型粉压装炸药              | 77 |
| 4.3.2 | 塑性炸药                 | 78 |
| 4.3.3 | 浇铸高聚物黏结炸药            | 81 |
| 4.3.4 | 挠性炸药                 | 82 |
| 4.4   | 含铝炸药                 | 82 |
| 4.5   | 钝化炸药                 | 84 |
| 4.6   | 低易损性炸药               | 84 |
| 4.6.1 | 浇注-固化成型的低易损性塑料黏结炸药   | 85 |
| 4.6.2 | 以低易损性单质炸药为基础的混合炸药    | 85 |
| 4.6.3 | 阻燃炸药                 | 86 |
| 4.6.4 | 其他类型低易损性炸药           | 86 |
| 4.7   | 分子间炸药                | 86 |
| 4.7.1 | 概述                   | 86 |
| 4.7.2 | 液体炸药                 | 87 |
| 4.7.3 | 燃料-空气炸药              | 87 |
| 5     | 工业炸药爆炸参数计算与配方设计      | 89 |
| 5.1   | 工业炸药氧平衡的计算           | 89 |
| 5.2   | 工业炸药爆炸反应方程式的建立       | 91 |
| 5.2.1 | 只含碳、氢、氧、氮元素的工业炸药     | 91 |
| 5.2.2 | 含钾、钠、钙等金属化合物的工业炸药    | 93 |
| 5.2.3 | 含硫的工业炸药              | 94 |
| 5.2.4 | 含铝的工业炸药              | 94 |
| 5.3   | 工业炸药爆炸参数的理论计算        | 95 |
| 5.3.1 | 爆炸反应方程式的确定           | 95 |
| 5.3.2 | 爆炸参数的理论计算            | 96 |
| 5.3.3 | 理论计算值与实验值比较          | 97 |
| 5.4   | 工业炸药的配方设计            | 98 |
| 5.4.1 | 工业炸药配方设计的基本原则        | 98 |



|          |                     |            |
|----------|---------------------|------------|
| 5.4.2    | 工业炸药配方设计的步骤         | 99         |
| 5.4.3    | 工业炸药配方设计的解析法        | 99         |
| 5.4.4    | 工业炸药配方设计的数学模型法      | 100        |
| <b>6</b> | <b>煤矿许用炸药安全设计理论</b> | <b>106</b> |
| 6.1      | 概述                  | 106        |
| 6.2      | 煤矿可燃气体和粉尘的燃烧与爆轰     | 106        |
| 6.2.1    | 瓦斯燃烧的化学反应方程式        | 107        |
| 6.2.2    | 瓦斯燃烧链反应机理           | 107        |
| 6.2.3    | 煤矿瓦斯燃烧或爆炸参数         | 107        |
| 6.3      | 煤矿可燃气体和粉尘爆炸反应的催化和抑制 | 108        |
| 6.3.1    | 催化和抑制               | 108        |
| 6.3.2    | 可燃气体和粉尘抑制剂的抑制作用     | 109        |
| 6.4      | 炸药对可燃气体和粉尘引燃能力的分析   | 110        |
| 6.4.1    | 炸药的爆炸能量             | 110        |
| 6.4.2    | 炸药的爆炸强度             | 111        |
| 6.4.3    | 炸药爆炸产物的作用           | 112        |
| 6.4.4    | 炸药本身的可燃性            | 112        |
| 6.5      | 煤矿许用炸药设计的要求和技术      | 113        |
| 6.5.1    | 煤矿许用炸药的基本要求         | 113        |
| 6.5.2    | 煤矿许用炸药设计的基本原则       | 114        |
| 6.5.3    | 提高煤矿炸药安全性的技术途径      | 116        |
| <b>7</b> | <b>硝酸炸药</b>         | <b>119</b> |
| 7.1      | 硝酸炸药的主要原料           | 119        |
| 7.1.1    | 硝酸铵                 | 120        |
| 7.1.2    | 木粉                  | 130        |
| 7.1.3    | 燃料油                 | 131        |
| 7.2      | 硝酸炸药混合原理与技术         | 134        |
| 7.2.1    | 混合的基本原理             | 135        |
| 7.2.2    | 混合的方法与设备            | 136        |
| 7.3      | 硝酸炸药混合过程的传质和传热      | 138        |
| 7.3.1    | 混合过程的传质             | 138        |
| 7.3.2    | 混合过程的传热             | 141        |
| 7.4      | 粉状铵梯炸药              | 142        |
| 7.4.1    | 粉状铵梯炸药的品种、配方和性能     | 142        |
| 7.4.2    | 铵梯炸药制造              | 145        |
| 7.5      | 铵油炸药                | 145        |
| 7.5.1    | 铵油炸药的品种、分类和性能       | 145        |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 7.5.2 | 铵油炸药的制造 .....           | 147 |
| 7.6   | 改性铵油炸药 .....            | 148 |
| 7.6.1 | 木粉改性 .....              | 148 |
| 7.6.2 | 硝酸铵表面有机改性的基本原理 .....    | 150 |
| 7.6.3 | 球磨机连续混药工艺 .....         | 150 |
| 7.6.4 | 碾混机连续混药工艺 .....         | 152 |
| 7.7   | 膨化硝酸铵炸药 .....           | 156 |
| 7.7.1 | 概述 .....                | 156 |
| 7.7.2 | 膨化硝酸铵炸药的品种与性能 .....     | 156 |
| 7.7.3 | 膨化硝酸铵的结构及其自敏化机理 .....   | 157 |
| 7.7.4 | 膨化硝酸铵的生产工艺流程与技术条件 ..... | 158 |
| 7.7.5 | 影响硝酸铵膨化的因素 .....        | 162 |
| 7.7.6 | 膨化硝酸铵炸药的物理特性 .....      | 163 |
| 7.7.7 | 膨化硝酸铵及其炸药的爆炸特性 .....    | 164 |
| 7.7.8 | 膨化硝酸铵炸药技术的发展 .....      | 165 |
| 8     | 乳化炸药 .....              | 169 |
| 8.1   | 概述 .....                | 169 |
| 8.1.1 | 乳化炸药的品种 .....           | 169 |
| 8.1.2 | 我国乳化炸药取得的主要成就 .....     | 170 |
| 8.1.3 | 我国乳化炸药今后的发展方向 .....     | 171 |
| 8.2   | 乳化液理论 .....             | 172 |
| 8.2.1 | 乳化液的制备 .....            | 172 |
| 8.2.2 | 乳化液的物理性质 .....          | 174 |
| 8.2.3 | 浓分散体流变学 .....           | 175 |
| 8.2.4 | 乳化液稳定理论 .....           | 177 |
| 8.2.5 | 乳化液的分层、变型及破乳 .....      | 182 |
| 8.3   | 乳化液的乳化动力学 .....         | 183 |
| 8.3.1 | 乳化液的流变行为 .....          | 183 |
| 8.3.2 | 乳化液液滴的形成 .....          | 185 |
| 8.3.3 | 乳化混合技术 .....            | 188 |
| 8.3.4 | 乳化过程和装置的讨论 .....        | 189 |
| 8.4   | 乳化炸药的组分及其作用 .....       | 190 |
| 8.4.1 | 水相 .....                | 191 |
| 8.4.2 | 油相 .....                | 194 |
| 8.4.3 | W/O型乳化剂 .....           | 196 |
| 8.4.4 | 气泡敏化剂 .....             | 201 |
| 8.5   | 乳化炸药的配方、工艺和性能 .....     | 209 |
| 8.5.1 | 乳化炸药的配方 .....           | 209 |

|           |                             |            |
|-----------|-----------------------------|------------|
| 8.5.2     | 乳化炸药的生产工艺 .....             | 210        |
| 8.5.3     | 乳化炸药的性能 .....               | 211        |
| 8.6       | 提高乳化炸药稳定性的技术途径 .....        | 211        |
| 8.6.1     | 影响乳化炸药稳定性的因素 .....          | 211        |
| 8.6.2     | 提高乳化炸药稳定性的技术途径 .....        | 214        |
| 8.7       | 粉状乳化炸药 .....                | 218        |
| 8.7.1     | 概述 .....                    | 218        |
| 8.7.2     | 粉状乳化炸药的配方与性能 .....          | 218        |
| 8.7.3     | 粉状乳化炸药的生产工艺 .....           | 219        |
| 8.7.4     | 粉状乳化炸药制粉的影响因素 .....         | 225        |
| 8.7.5     | 粉状乳化炸药生产工艺与设备的安全性分析 .....   | 226        |
| 8.7.6     | 粉状乳化炸药安全技术与生产线建设的指导意见 ..... | 232        |
| 8.8       | 乳化炸药生产安全性的技术发展方向 .....      | 233        |
| <b>9</b>  | <b>浆状炸药和水胶炸药 .....</b>      | <b>235</b> |
| 9.1       | 概述 .....                    | 235        |
| 9.1.1     | 浆状炸药的主要品种 .....             | 236        |
| 9.1.2     | 浆状炸药的基本特点 .....             | 237        |
| 9.1.3     | 浆状炸药与乳化炸药组成的区别 .....        | 237        |
| 9.2       | 浆状炸药的混合原理 .....             | 238        |
| 9.2.1     | 主体流动和湍流 .....               | 238        |
| 9.2.2     | 液体物料的混合过程 .....             | 239        |
| 9.2.3     | 搅拌液体的复合涡流运动 .....           | 240        |
| 9.2.4     | 搅拌液体流型 .....                | 240        |
| 9.3       | 浆状炸药和水胶炸药的组分及其作用 .....      | 242        |
| 9.3.1     | 氧化剂 .....                   | 242        |
| 9.3.2     | 可燃剂 .....                   | 245        |
| 9.3.3     | 水 .....                     | 247        |
| 9.3.4     | 胶凝剂 .....                   | 247        |
| 9.3.5     | 交联剂 .....                   | 251        |
| 9.3.6     | 密度调节剂 .....                 | 253        |
| 9.3.7     | 其他添加剂 .....                 | 253        |
| 9.4       | 浆状炸药和水胶炸药的组成、结构和性能 .....    | 254        |
| 9.5       | 浆状炸药和水胶炸药的制造 .....          | 255        |
| 9.5.1     | 槐1号无梯浆状炸药的制造 .....          | 255        |
| 9.5.2     | 二级煤矿许用水胶炸药的制造 .....         | 257        |
| <b>10</b> | <b>现场混装炸药与技术 .....</b>      | <b>259</b> |
| 10.1      | 现场混装铵油炸药与技术 .....           | 259        |

|         |                     |     |
|---------|---------------------|-----|
| 10.1.1  | 概述                  | 259 |
| 10.1.2  | BC 系列粒状铵油炸药混装车      | 261 |
| 10.2    | 现场混装浆状炸药与技术         | 269 |
| 10.2.1  | 概述                  | 269 |
| 10.2.2  | 浆状炸药装药车             | 269 |
| 10.3    | 现场混装乳化炸药与技术         | 271 |
| 10.3.1  | 概述                  | 271 |
| 10.3.2  | BCRH-15 型乳化炸药现场混装车  | 274 |
| 10.3.3  | BCJ 系列中小直径乳化炸药混装车   | 280 |
| 10.3.4  | 高威力抗水现场混装乳化炸药及应用    | 281 |
| 10.4    | 重铵油炸药现场混装车          | 285 |
| 10.4.1  | 概述                  | 285 |
| 10.4.2  | 重铵油炸药混装生产工艺         | 285 |
| 10.4.3  | BCZH-15 型重铵油炸药现场混装车 | 286 |
| 11      | 低爆速炸药               | 289 |
| 11.1    | 概述                  | 289 |
| 11.2    | 低爆速炸药的关键技术          | 291 |
| 11.2.1  | 炸药的品种               | 291 |
| 11.2.2  | 炸药的颗粒度              | 292 |
| 11.2.3  | 炸药的装药密度             | 292 |
| 11.2.4  | 稀释剂的种类              | 292 |
| 11.3    | 低爆速炸药的配方与工艺         | 292 |
| 11.3.1  | 低爆速炸药的配方            | 292 |
| 11.3.2  | 低爆速炸药的制备            | 292 |
| 12      | 工业炸药检测方法            | 300 |
| 12.1    | 工业炸药原材料控制指标与检测方法    | 300 |
| 12.1.1  | 硝酸铵                 | 300 |
| 12.1.2  | 梯恩梯                 | 301 |
| 12.1.3  | 木粉                  | 303 |
| 12.1.4  | 硝酸钠                 | 303 |
| 12.1.5  | 石蜡                  | 304 |
| 12.1.6  | 粉状专用脂(复合油、A 型蜡)     | 305 |
| 12.1.7  | 微晶蜡                 | 306 |
| 12.1.8  | 松香                  | 306 |
| 12.1.9  | 乳化剂                 | 307 |
| 12.1.10 | 炸药卷纸                | 308 |
| 12.1.11 | 牛皮纸                 | 310 |

|         |                            |     |
|---------|----------------------------|-----|
| 12.1.12 | 包装箱                        | 311 |
| 12.1.13 | 中包塑料袋                      | 312 |
| 12.1.14 | 中包印字袋                      | 313 |
| 12.1.15 | 大包内袋                       | 313 |
| 12.1.16 | 编织袋                        | 314 |
| 12.1.17 | 塑料打包带                      | 314 |
| 12.1.18 | 浓硝酸                        | 315 |
| 12.1.19 | 亚硝酸钠                       | 315 |
| 12.1.20 | 滑石粉                        | 316 |
| 12.2    | 乳化炸药生产过程中半成品的控制指标及检测方法     | 317 |
| 12.2.1  | 检测项目                       | 317 |
| 12.2.2  | 控制指标及检测方法                  | 317 |
| 12.2.3  | 乳化炸药半成品检验方法                | 317 |
| 12.3    | 2号岩石乳化炸药成品控制指标及检测方法        | 318 |
| 12.3.1  | 2号岩石乳化炸药控制指标               | 318 |
| 12.3.2  | 检测方法                       | 319 |
| 12.4    | 岩石粉状乳化炸药生产过程中半成品的控制指标与检测方法 | 321 |
| 12.4.1  | 岩石粉状乳化炸药半成品控制指标和检验频率       | 321 |
| 12.4.2  | 检验方法和检验规则                  | 321 |
| 12.5    | 铵梯油炸药和改性铵油炸药组成成分的测定        | 322 |
| 12.5.1  | 梯恩梯含量的测定                   | 322 |
| 12.5.2  | 复合油相含量的测定                  | 323 |
| 12.5.3  | 丙酮相中微量硝酸铵含量测定              | 324 |
| 12.5.4  | 硝酸铵含量的测定                   | 325 |
| 12.5.5  | 木粉含量的测定                    | 325 |
| 12.5.6  | 食盐含量的测定                    | 326 |
| 附录      |                            | 327 |
| 参考文献    |                            | 333 |

# 1 概 论

炸药蕴藏着巨大的势能，当受到一定的外界能量作用时，会发生剧烈的化学反应，并释放出大量的能量，对周围的介质及物体产生强烈的破坏作用与效应，是现代工程爆破技术中广泛使用的特种能源。炸药的发明起源于我国古代劳动人民四大发明之一的火药，并随着军事、工程技术、采矿和化学工业等领域的科学技术发展，炸药的品种逐渐增加，各种物理和化学性能不断改善，形成了军用炸药和民用炸药两大发展方向。

炸药发生化学爆炸时极为迅速，并放出大量的热量和气体，由于爆炸时的化学反应进行得极快，可近似为定容绝热过程，所以爆炸产物的温度和压力都很高。当高温高压爆炸气体产物急剧膨胀时，就对周围介质做功。在爆炸的化学反应中，无论是单质炸药还是工业混合炸药，炸药反应的最佳结果都是原来的分子被破坏了，生成了新的分子，其本质是还原剂与氧化剂之间的氧化-还原反应。

炸药的用途广泛，在军事上，用来装填炮弹或直接用于摧毁各种军事目标。在生产建设方面，它广泛应用于农业、水利、交通、采矿等多种基础建设领域，对经济建设和社会进步起到了非常重要的推动作用，被誉为“能源工业的能源、基础工业的基础”。

## 1.1 炸药的分类与要求

### 1.1.1 炸药的分类

炸药的品种很多，根据其组成、物理化学性质和爆炸性质的不同，有不同的分类方法。但人们最关心的是按用途来分类。

炸药按用途的不同，可以分为初级炸药或起爆药（primary explosives）、猛炸药（high explosives 或 secondary explosives）、火药（powder）或发射药（propellant）、烟火剂（pyrotechnic composition）四大类。

#### 1.1.1.1 起爆药

起爆药是在较弱外部激发能（如机械、热、电、光）的作用下，即可发生燃烧，并能迅速转变成爆轰的敏感炸药。起爆药感度高，爆轰成长期短，一般不单独使用。爆轰所产生的爆轰波，用以引爆猛炸药，所以也称初发炸药。按照组成，可分为单质起爆药、混合起爆药及复盐起爆药三类；按激发方式可分为针刺药、击发药、摩擦药及导电药等。用于装填各种起爆装置和作为爆炸装置的始发装药。

军品上常用的起爆药有雷汞、叠氮化铅、史蒂酚酸铅、特屈拉辛，以及这些药为主所组成的共沉淀药剂。民品上常用作雷管的起爆药是二硝基重氮酚。

#### 1.1.1.2 猛炸药

猛炸药是以爆轰的形式对外界做功的一类炸药，属高能炸药。通常需要借助较强的外界作用或起爆药的作用，才能引起爆炸，故又称为次发炸药。根据其组分可分为单质炸药

和混合炸药两类。猛炸药的感度较低，爆轰成长期较长，实用时要以起爆器材引爆。但猛炸药的爆炸能量大、爆速高、爆破效应好。因此，它是爆破的主要能源。在军事上用来装填各种弹药，摧毁敌方的坚固工事和杀伤敌方的有生力量，也可用于军事工程爆破。在作民用爆破时，通常称为工业炸药（或民用炸药）。在冶金、采矿、采油、地质、土木建筑、水利、电力、交通、农林等部门都大量地使用。它是发展国民经济的重要物质之一。

对猛炸药的要求是：（1）对撞击、热、摩擦、火焰、静电放电以及各种辐射等的感度低，以利于生产、加工、运输和使用中的安全。（2）对冲击波和爆轰波作用的感度要求高，以保证易于起爆。（3）发生稳定爆轰的最小装药直径（即临界直径）要小，传爆性能要好，以保证爆轰完全、爆破效应强烈。（4）装药加工性能好，适于用压装、铸装等方法装入弹体。成形后的药柱应有足够的机械强度，能承受发射时的应力，不至于产生早爆或膛炸。工业炸药中的粉状炸药，则要求流散性好，便于装入药卷中或进行机械化装药。含水炸药则要求有一定的流动性，有的要求能以泵送的形式直接装入炮孔中。（5）具有良好的爆炸做功性能，通常以威力和猛度衡量。威力是指炸药的做功能力，决定于炸药的爆热、爆容、爆速和密度等参数。猛度是指粉碎与炸药相接触介质的能力，决定于炸药的爆速、爆轰压以及装药密度等参数。（6）具有良好的物理、化学安定性和与其他物质的相容性，以保证炸药储存的稳定性与安全性。（7）原料来源广泛、制造工艺简单、价格低廉、“三废”少。

实际使用中，能满足上述要求的单质猛炸药的品种并不多，通常要与其他物质混合后才能较好地满足上述要求。所以混合炸药在实用中占有重要地位。今后，猛炸药的发展除继续探索新型单质猛炸药的合成外，还要探索适应各种新的需求发展的混合炸药。

### 1.1.1.3 火药

火药的主要作用是利用其燃烧时产生的气体作抛掷功，将战斗部输送到目的地。火药典型的爆炸变化形式是燃烧，常用作枪或炮弹的发射药，亦广泛应用于火工品中。常用的火药有黑火药（一般是硝酸钾 75%、木炭 15% 和硫黄 10% 的粉状混合物）、单基药（以硝化棉为主体的火药）以及双基药（以硝化甘油和硝化棉为主体的火药）。

### 1.1.1.4 烟火剂

烟火剂是燃烧时产生光、声、烟、色、热和气体等烟火效应的混合物，也称为烟火药。常由氧化剂、可燃剂、黏合剂及其他附加剂组成。多属于爆炸能力很低的炸药，但在实际使用时是利用其燃烧效应，种类繁多，按产生的能量分为动能、光能、热能、声能等类型。属于动能的有燃气发生剂、烟火推进剂；属于热能的有点火药、燃烧剂；属于光能的有摄影闪光剂、照明剂、曳光剂、发光信号剂、红外诱饵剂；属于声能的有模拟剂、哨音剂。还有利用燃烧产物效应的发烟剂，利用燃烧速度效应的延期药。烟火药最重要的示性数是燃速，它与装药密度及很多其他因素有关。军事上用于装填特种弹药和器材，利用不同的烟火效应以实现不同的目的。

本书重点研究猛炸药。从化学观点出发，猛炸药可以分为单质炸药和混合炸药。单质炸药是单一的爆炸化合物；而混合炸药是由两种或两种以上物质构成的爆炸混合物。猛炸药分别用于军事和生产建设之中，用于军事方面的猛炸药称为军用炸药，用于生产建设方面的猛炸药称为工业炸药。军用炸药主要包括单质炸药（如梯恩梯、奥克托今、黑索今等）及其混合物（如 A 炸药、B 炸药、C 炸药等）。工业炸药分类方法很多，如按用途分

为岩石炸药、煤矿许用炸药、露天炸药；按炸药的状态分为粉状炸药、胶状炸药、乳状炸药、塑性炸药等。以后各章节将针对具体的炸药作专门的分类介绍。

### 1.1.2 对炸药的要求

作为一种具有推广应用价值的炸药，一般应满足以下基本要求：（1）高能量密度物质；（2）亚稳定物质；（3）自身活化物质；（4）自供氧物质；（5）具有一定的物理和化学相容性。

#### 1.1.2.1 对军用炸药的要求

对军用炸药来说，要求具有高密度、高能量、高稳定性。为了战备上的需要，军用炸药的储存期要求较长，一般为 20 年。军用炸药的特殊要求如下。

##### A 保持炸药具有良好的化学安定性

但对其化学安定性的要求各国无统一标准。例如，对于普通军用炸药，英国规定在真空安定度实验中，120℃加热 40h，每克试样放出的气体量（折合为标准状态，下同）应不超过 1mL，但规定黑索今的试验温度为 150℃，太安的试验时间为 25h。美国规定在 100℃加热 48h（从开始加热后 2h 至第 49h）每克试样放出的气体量应不超过 2mL；战斗机上空对空导弹使用的炸药在 150℃试验；耐热炸药在 260℃进行试验，放出的气体量从加热后第 20min 算起，至第 140min 为止的 120min 内，应不超过 2mL/(g·h)。所以，根据不同的用途，对炸药的安定性的要求是不同的。

##### B 具有良好的相容性

炸药在使用时要与包装材料接触，制造混合炸药还要与其他组分相接触，所以应对炸药的相容性进行研究。例如，三硝基甲苯（TNT）具有良好的热安定性和化学安定性，也不与重金属及其氧化物反应，但与某些高分子材料，特别是与含有甲醛的树脂和橡胶不相容，与这些高分子物质长期接触，TNT 会变质，同时使橡胶失去弹性。

##### C 利于装药

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，且成形后的药柱应具有优良的力学性能。

##### D 满足不同使用条件的要求

- （1）在深水中使用的炸药应具有良好的抗水性。
- （2）在高温下使用的炸药应当具有良好的理化稳定性（如不发生相变等）。
- （3）在高真空条件下使用的炸药应当是挥发性很低的。
- （4）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、脆裂等）及良好的爆轰敏感性和传爆稳定性。

#### 1.1.2.2 对工业炸药的要求

对工业炸药来说，由于大量用于采矿和工程爆破，应满足钝感性、可加工性、现场混装性以及经济性。随着使用目的和工作场所的不同，对炸药提出了各种要求。例如：用于坚硬岩破碎的炸药要求有很高的爆速；矿井用的炸药，特别是煤矿许用炸药，对其瓦斯安全性以及有毒气体含量要加以适当的限制；爆炸加工、焊接以及光面爆破等特殊场合使用的炸药要求低密度、低爆速，以免破坏接触面。

当军用炸药用于民用场合时，也应满足它的特殊要求，如工业雷管用黑索今、油气



井用作爆破器材的炸药等。

显然，对于工程爆破中所使用的炸药，单质炸药难以满足可加工性、钝感性和经济性的要求，但是，由于单质炸药具有较好的起爆感度，可作为工业炸药的敏化剂，用来调节和提高炸药的爆轰感度和爆炸性能。

总的来说，对炸药的要求是原料来源广泛，生产工艺成熟、可靠、本质安全程度高，生产过程中不产生或仅产生少量“三废”，且易于实现达标排放，不增加对环境的污染，有利于生态和环境的保护，具有良好的物化稳定性，在爆炸性能方面能符合使用要求。

## 1.2 炸药的发展历程

### 1.2.1 单质炸药的发展历程

单质炸药的发展距今已有 300 多年的历史，其共同特点是在有机化合物中引入具有活性的基团，增加了化合物的活性，从而具有爆炸性。按时间顺序，单质炸药的重要发现和发明如下。

1771 年，英国 P. 沃尔夫用浓硫酸、浓硝酸处理苯酚，制得三硝基苯酚，由于其状态呈黏稠的黄色液体，酸性很强，又有浓烈的苦味，所以被命名为苦味酸。

1779 年，英国化学家霍华德（Howard）合成了雷酸汞。雷酸汞是一种起爆药，主要用于配制火帽击发药和针刺药，最早用于装填起爆管，雷管因此而得名。

1838 年，T. J. 佩卢兹首先发现棉花浸于硝酸后可爆炸，发明硝化棉炸药。

1846 年，瑞士化学家 C. F. 舍恩拜因（Schoenbein）将棉花浸于硝酸和硫酸混合液中，洗掉多余的酸液，发明出硝化纤维（nitrocellulose），代号为 NC。硝化纤维很不安定，曾多次发生火药库爆炸事故。

1846 年，意大利化学家索贝雷罗（Sobrlro）把半份甘油滴入一份硝酸和两份浓硫酸混合液中，首次制得硝化甘油（nitroglycerin），代号为 NG。

1859 ~ 1862 年，瑞典的 A. B. 诺贝尔（Nobel）和他的父亲及弟弟用“温热法”制造硝化甘油，克服了以往经常发生燃烧和爆炸事故的现象，使之能够比较安全地成批生产。

1863 年，德国化学家威尔布拉德（Wilbrand）用甲苯、硫酸、硝酸首先制得了黄色的针状固体，命名为梯恩梯（trinitrotoluene），代号为 TNT，化学名称为三硝基甲苯。梯恩梯化学稳定性很好，感度比较低，用木槌敲击，不发生爆炸，但是，如果用雷汞来引爆，梯恩梯发生爆炸放出巨大的能量，其威力逊于苦味酸，军事上广泛用于战斗部装药。

1877 年，K. H. 默滕斯首先合成了特屈儿，1906 年用作炸药。第一次世界大战期间即用来装填雷管和用作炮弹的传爆药柱。第二次世界大战中，干燥的粗制特屈儿用丙酮、苯或二氯乙烷等溶剂进行重结晶后，还作为军用混合炸药的组分。由于特屈儿的毒性较大，现已逐渐为太安、黑索今等炸药所取代。

1891 年梯恩梯实现了它的工业化生产。1902 年用它代替苦味酸装填炮弹，并成为第一次及第二次世界大战中的主要军用炸药。第一次世界大战前主要使用以苦味酸为主的易熔混合炸药，20 世纪初，苦味酸被以梯恩梯为主的混合炸药取代。在第二次世界大战中，含梯恩梯的多种混合炸药是装填各类弹药的主要炸药。与此同时，各国相继使用了特屈儿、太安、黑索今为原料的混合炸药，发展了特屈托儿、喷托莱特等熔铸混合炸药几个系