

杨 卓 主编

高能材料 与高效毁伤技术



化学工业出版社

杨 卓 主编

高能材料 与高效毁伤技术



化学工业出版社

· 北京 ·

本书重点介绍了现用炸药、新型高能量密度材料（HNIW、DNTF、TNAZ、FOX-7、多硝基立方烷和HAN等）、新型高能氧化剂（ADN、HNF、TATP等）、新型高能黏合剂——聚叠氮聚醚黏合剂、超高能量密度材料——氮原子簇化合物的制备技术、性能与应用。与此同时，还重点介绍了毁伤理论基础和战斗部、装药技术以及高效毁伤的研究等内容，是从事火炸药行业研究、产品设计、生产、管理和教学人员必读必备之书，也可作为教材使用。

图书在版编目（CIP）数据

高能材料与高效毁伤技术/杨卓主编. —北京：化学工业出版社，2012.12
ISBN 978-7-122-15479-8

I. 高… II. 杨… III. ①高能-功能材料-研究②弹药材料-研究 IV. ①TB34②TJ410.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 234531 号

责任编辑：白艳云
责任校对：顾淑云

装帧设计：张 辉 祝 翠

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 39¼ 字数 1014 千字 2012 年 12 月北京第 1 版第 1 次印刷

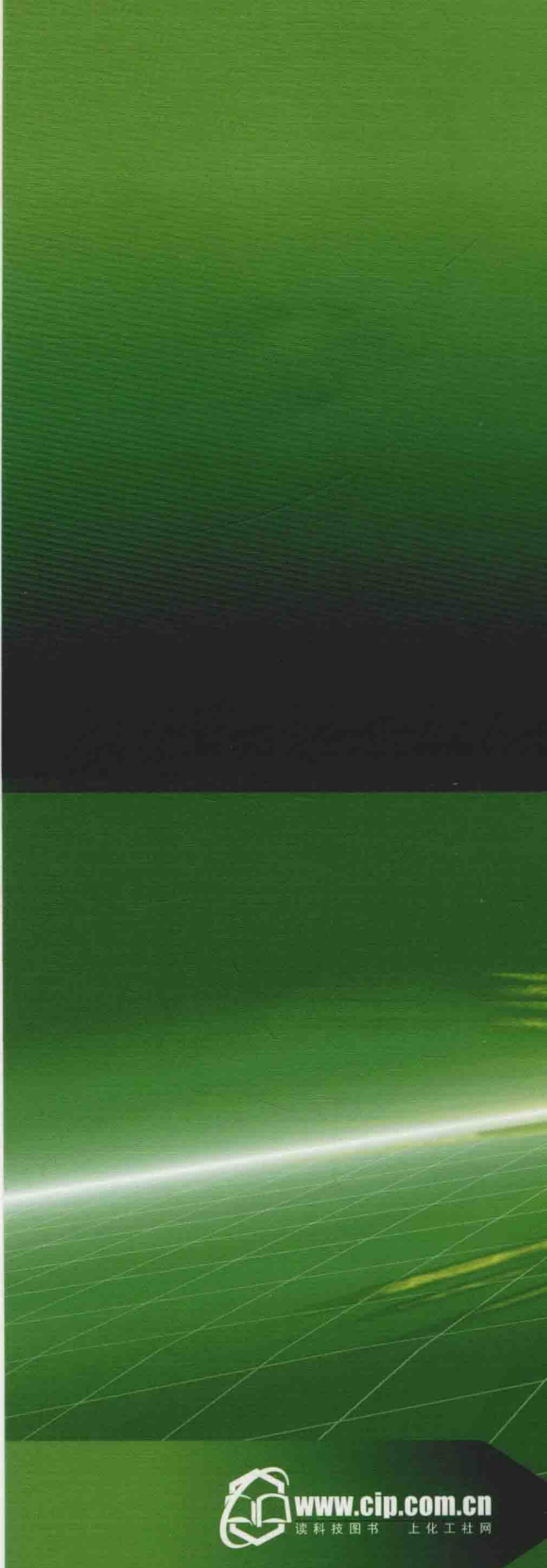
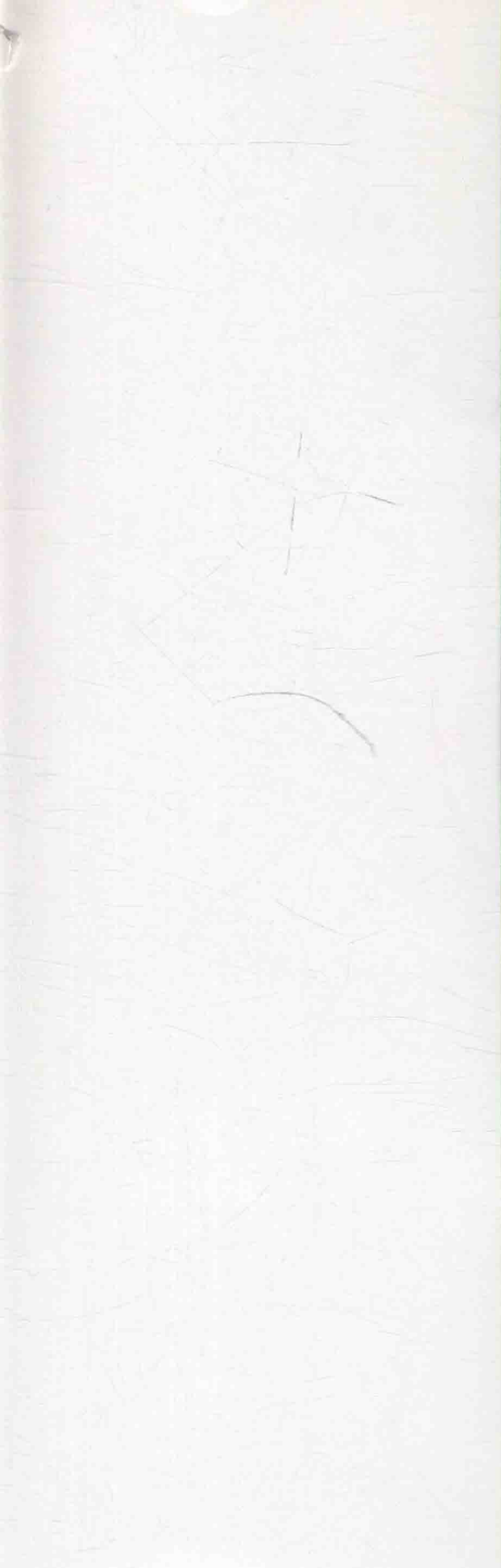
购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：200.00 元

版权所有 违者必究



杨卓，1954年11月生，山东博平人。北京工业学院引信设计与制造专业，北京理工大学兵器工程专业工程硕士，研究员级高级工程师，中国兵工学会副理事长，总装科技委兼职委员。历任兵器工业部三局科研处科员；国家机械工业委员会兵器发展司综合技术处科员；中国兵器工业总公司军品局科研计划处副处长、生产技术处处长；中国兵器工业总公司军品局（中国兵器科学研究院）副局长（副院长）、中国兵器工业集团公司科技部副主任、主任；中国兵器科学研究院常务副院长、党委副书记、院长；中国兵器工业系统总体部主任；中国兵器工业集团公司总经理助理等职，现任中国兵器工业集团公司副总经理、党组成员。该同志曾担任多个重大项目行政总指挥，获得国家科技进步一等奖、二等奖，国防科技进步一等奖等多个奖项。



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

编委名单

总 顾 问 张维民
主 编 杨 卓
副 主 编 邓少生 邱晓华 杜仕国
执行主编 张玉龙 邵颖惠

编 委 (按姓氏笔画为序)

王 宇	王伯周	王振宇	王敏芳	王喜梅	邓少生
孔祥海	石 磊	田季红	吕胜茹	朱玉珍	朱英斌
朱洪立	朱森元	刘 川	刘 云	刘 炜	刘 鹏
刘玉英	刘宝玉	刘飘楚	闫 军	关 凡	安玉德
许劲松	许毅达	孙德强	杜仕国	杨守平	杨 卓
杨振强	杨晓冬	李 萍	李 鹏	李世刚	李旭东
李学林	李树虎	李桂变	李桂群	吴建全	何 清
邱晓华	邹汝平	张 锋	张玉龙	张振文	张维民
张然治	邵颖惠	范开军	拓 锐	周敏华	官周国
赵 鹏	赵银虎	赵媛媛	郝英华	胡 瑜	段建萍
姚春臣	徐 虹	徐亚洲	唐伟峰	黄 晖	黄晓霞
曹根顺	康 敏	盖敏慧	梁争锋	普朝光	曾 毅
戴均平					

前 言

高能量密度材料 (HEDM) 是指其密度大于 $1.9\text{g}/\text{cm}^3$, 爆压大于 40GPa , 标准生热焓大于 $250\text{kJ}/\text{kg}$ 的化合物, 用于炸药、火药和火工器的制备。HEDM 优越的性能和应用可显著地提高弹药的能量指标, 降低弹药的使用危险性与易损性, 增大了弹药的可靠性, 延长了其使用寿命, 减弱了目标特征, 是实现战斗部高效毁伤的基础性物质, 为未来战斗部毁伤能力的提高提供了极为有利的条件。

为普及高能量密度材料与高效毁伤技术的基础知识, 宣传并推广近年来国内外研究与应用成果, 中国兵工学会组织编写了《高能材料与高效毁伤技术》一书, 全书共九章, 约计 100 多万字, 主要介绍了现用炸药、新型高能量密度材料 (如 HNIW、DNTF、TNAZ、FOX-7、多硝基立方烷和 HAN 等)、新型高能氧化剂 (如 ADN、HNF、TATP 等)、新型高能黏合剂——聚叠氮聚醚、超高能量密度材料——氮原子簇化合物的制备技术、性能与应用。在介绍高能量密度材料的基础上, 又重点介绍了毁伤理论基础和战斗部、装药技术以及高效毁伤的研究情况。此外, 还介绍了炸药的基础知识, 是火炸药领域从事研究、产品设计、生产、管理和教学人员必读必备之书, 也可作为教材使用。

本书突出实用性、先进性、前瞻性和可操作性, 理论论述从简, 侧重于用实用数据和实例说明问题, 全书结构清晰严谨, 信息量大, 数据翔实可靠, 图文并茂, 若本书的出版发行能对我国含能材料与高效毁伤研究有一定的指导和推动作用, 作者将感到无比欣慰。

由于水平有限, 文中不妥之处在所难免, 敬请批评指教。

作者

2012 年 8 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 简介	1
一、概念与特征	1
二、炸药的主要品种与分类	3
三、对炸药的基本要求	5
第二节 炸药理论基础	6
一、炸药的爆炸	6
二、炸药的热分解	7
三、爆炸变化方程	11
四、炸药的爆轰	12
五、燃烧向爆轰的转变 (DDT)	16
六、炸药的热爆炸	18
七、炸药及其装药的安全性试验	20
第三节 炸药的主要性能与表征	24
一、密度	24
二、标准生成焓	29
三、安定性	31
四、相容性	35
五、感度	35
六、爆炸特性	42
七、爆炸作用	43
第二章 普通炸药	45
第一节 单质炸药	45
一、主要品种与性能	45
二、单质炸药制造技术	107
第二节 混合炸药	146
一、混合炸药的主要品种与性能	146
二、混合炸药制造技术	177
第三节 高能炸药研究与发展方向	209
一、单质炸药	209

二、燃料空气炸药	210
三、不敏感炸药	210
四、高能量密度材料	210
五、其他新型含能化合物	211
六、炸药生产工艺	212
第三章 新型高能量密度材料 (HEDM)	214
第一节 六硝基六氮异伍兹烷 (HNIW)	214
一、简介	214
二、HNIW 的制备技术	216
三、HNIW 的性能	250
四、HNIW 晶型与性能关系	258
五、HNIW 的感度	260
六、HNIW 的应用	262
第二节 3,4-二硝基呋咱基氧化呋咱 (DNTF)	272
一、简介	272
二、DNTF 的制备技术	273
三、DNTF 的性能	275
四、DNTF 的应用	282
第三节 1,1-二氨基-2,2-二硝基乙烯 (FOX-7)	288
一、简介	288
二、制备技术	289
三、FOX-7 的结构与性能	296
四、FOX-7 的应用	299
第四节 1,3,3-三硝基氮杂环丁烷 (TNAZ)	300
一、简介	300
二、TNAZ 的制备技术	302
三、TNAZ 的性能	311
四、TNAZ 的应用	316
第五节 硝基立方烷	318
一、简介	318
二、制备技术	318
三、多硝基立方烷的性能	323
四、多硝基立方烷的应用	327
第六节 高效液体推进剂——硝酸羟胺 (HAN)	327
一、简介	327
二、制备技术	328
三、HAN 的性能	334
四、HAN 的应用	335
第四章 新型高能氧化剂	336
第一节 二硝酰胺铵 (ADN)	336
一、简介	336

二、制备技术	337
三、ADN 的性能	344
四、ADN 的应用	349
五、N-脒基脲二硝酰胺盐 (FOX-12)	353
第二节 硝仿肼 (HNF)	357
一、简介	357
二、制备技术	358
三、HNF 的性能	362
四、HNF 的应用	364
第三节 三丙酮三过氧化物 (TATP)	364
一、简介	364
二、TATP 的制备技术	365
三、TATP 的性能	366
第五章 新型高能黏合剂——叠氮聚醚	368
第一节 简介	368
一、叠氮基聚醚黏合剂	368
二、聚叠氮缩水甘油醚 (GAP)	369
三、研发状况与发展趋势	380
第二节 GAP 制备与改性技术	382
一、原材料	382
二、制备工艺	400
第三节 GAP 的性能	401
一、GAP 胶黏剂预聚物的物理性能	401
二、GAP 胶黏剂预聚物的危险性评估	401
三、GAP 胶黏剂预聚物的热性能	402
四、GAP 胶黏剂预聚物与推进剂组分的相容性	402
第四节 GAP 的应用	403
一、GAP/AN 燃气发生剂	403
二、LOVA 发射药用 GAP 黏合剂	405
三、GAP 包覆高能炸药	407
第六章 超高能量密度材料——氮原子簇化合物	409
第一节 简介	409
第二节 氮原子簇化合物的品种与性能	410
一、N ₃ 结构的全氮衍生物	410
二、N ₄ 结构	411
三、N ₅ 结构及其衍生物	413
四、N ₆ 结构	421
五、N ₈ 结构	422
六、N ₁₀ 结构 (氮笼)	424
七、N ₁₂ 结构及其衍生物	426
八、N ₁₄ 结构	429

九、 N_{16} 结构	431
十、 N_{18} 结构	431
十一、 N_{20} 结构	434
十二、 N_{24} 结构	434
十三、 N_{30} 结构	435
十四、 N_{36}	435
十五、氮富勒烯 N_{60} 结构	436
十六、螺旋形氮原子簇	436
第三节 N 原子簇研究进展	437
一、研究状况	437
二、研究方向	439
第七章 毁伤理论基础	440
第一节 爆炸与毁伤理论	440
一、爆炸的主要类型与毁伤作用	440
二、破片的毁伤作用	446
三、动能的毁伤作用	449
四、聚能的毁伤作用	451
五、碎甲毁伤作用	459
六、燃烧毁伤作用	461
七、综合毁伤作用	462
第二节 爆炸载荷对目标构件的毁伤作用	463
一、简介	463
二、空气爆炸载荷对目标构件的毁伤	465
三、水下爆炸载荷对目标构件的毁伤	467
四、炸药接触爆炸对目标构件的毁伤	468
五、高速撞击载荷	470
第三节 弹药对目标的毁伤能力分析	470
一、长杆形动能弹	470
二、定向能毁伤技术	478
第四节 受攻击目标的毁伤性分析	479
一、人员目标	479
二、地面车辆	484
三、地面和地下建筑物	488
四、空中目标	492
五、水下目标	497
第五节 毁伤评价理论	500
一、毁伤作用场	500
二、毁伤分布	502
三、目标毁伤(易损)性评价方法	504
四、弹药威力及其度量指标	511
五、特种战斗部毁伤作用评价	520

六、破片的均匀性与随机分布·····	532
七、MD 偏差·····	534
八、直接命中概率的计算·····	535
第八章 战斗部技术与高效毁伤·····	538
第一节 战斗部·····	538
一、简介·····	538
二、破片杀伤战斗部·····	539
三、杆条杀伤战斗部·····	542
四、爆破式战斗部·····	545
五、聚能装药战斗部·····	547
六、侵彻战斗部·····	550
七、串联战斗部·····	551
八、定向杀伤战斗部·····	552
九、子母式战斗部·····	555
第二节 战斗部装药基础理论·····	558
一、聚能装药理论·····	558
二、爆炸成型弹丸(EFP)·····	568
第三节 战斗部装药技术·····	572
一、高能炸药的装药技术是实现高效毁伤的关键技术·····	572
二、高能炸药装药技术·····	573
第四节 高效毁伤战斗部的研究·····	601
一、高效毁伤战斗部技术·····	601
二、高效毁伤战斗部研究实例·····	606
第九章 高效毁伤与推进效能的新技术——纳米技术·····	609
一、纳米含能材料的品种与特性·····	609
二、纳米材料在火炸药中的应用研究·····	615
参考文献·····	617

第一章 概 述

第一节 简 介

一、概念与特征

(一) 含能材料

含能材料是指那些含有爆炸性基团或含有氧化物或可燃物的,能够独立地进行化学反应,并能输送能量的一类化合物。含能材料主要用于制造炸药、发射药、推进剂和烟火药等。从物质结构上看,含能物质一般均处于亚稳定状态,其主要的化学反应是燃烧和爆炸,其化学基本特征如下:含能材料为分子中含有含能基团、氧化基团与可燃基团,其基团为: $\equiv\text{C}-\text{NO}_2$ 、 $=\text{N}-\text{NO}_2$ 、 $-\text{O}-\text{NO}_2$ 、 $-\text{ClO}_4$ 、 $-\text{NF}_2$ 、 $-\text{N}_3$ 、 $-\text{N}=\text{N}-$ 等;其化学反应可在隔绝大气的条件下进行,并可在瞬间输出巨大能量。

(二) 高能材料

高能材料是高能量密度材料(HEDM)的简称,这类材料可在短时间内通过化学反应释放出大量的能量,这类材料是20世纪80~90年代出现,而后逐步发展起来,形成的一类含能材料。它不仅能量密度高,而且具有可满足使用要求的其他性能。其明显特点是能量密度至少高于最佳常规含能材料的15%~20%,且具有可满足使用要求的其他性能,如安全性、低易损性、低特征信号等。HEDM一般是由高能量密度化合物(HEDC)、氧化剂、可燃剂、黏结剂及其他添加剂构成的高能组合物,可用做各类武器的推进剂、发射药、炸药及火工品药剂。它的应用可显著提高弹药的能量指标,降低弹药的使用危险性和易损性,增强使用可靠性,延长使用寿命,并减弱目标特征,可对提高武器系统的威力做出重大贡献,这对保持一个国家的国防优势是十分重要的。

HEDM基本组分是高能量密度化合物(HEDC),HEDC的分子设计、合成、生产工艺及性能评估是发展HEDM的关键技术和瓶颈工程。没有性能优异的HEDC(及与之适用的各类添加剂)和氧化剂,HEDM就是无米之炊。目前人们所谓的HEDC,一般是指能量和密度可比奥克托今(HMX)高5%以上的含能化合物,即密度达 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、爆速达 $9.5\text{km}/\text{s}$ 、爆压达 $42\sim 43\text{GPa}$ 的含能化合物。当然,能付诸实用的HEDC,除了能量水平外,安全性和安定性也是绝对不可忽视的。而且,尽管能量和安全两者都是含能化合物永恒的主题,但当能量与安全矛盾时,人们往往只能选择后者。

就HEDC的能量水平而言,主要取决于三个因素:一是晶体密度;二是标准生成焓 ΔH_f^0 ;三是氧平衡。在设计新的HEDC时,应采用有利于提高上述三个因素的分子组成和分

子结构（构型和构象）。基于此点，有望成功地合成且具应用前景的 HEDC 可归纳为下述三类：分子组成与 HMX 或黑索今（RDX）相近的多环笼形多硝胺；笼形多硝基化合物；高氮杂环化合物（包括四氮杂并环戊二烯衍生物、四嗪衍生物和呋咱及氧化呋咱系化合物等）。

(三) 炸药的概念与特点

炸药是指在适当外部激发能量作用下，能发生爆炸并对周围介质做功的化合物（单组分炸药）或混合物（混合炸药），炸药的爆炸是一种速度极快且大多是放出大量热和气体的化学反应，其中绝大多数是氧化—还原反应。由于炸药爆炸时的放热化学反应进行得极快（从引发中心向外传播的线速度介于亚音速至超音速之间），可以近似地看成为定容绝热过程，因而爆炸气态产物的温度和压力都很高（温度达 2000~5000K，压力达 10~40GPa）。当这种高温高压气体骤然膨胀时，使爆炸点周围介质中发生急剧的压力突跃，形成冲击波，对外界产生巨大的机械破坏作用。

反应的放热性、快速性和生成气态产物是炸药爆炸的三个重要因素。放热性提供热源；快速性使有限的能量迅速放出；而气体则是能量转换的工质。以满足炸药爆炸的因素炸药分子结构应该具有四个特点。

1. 高体积能量密度

尽管以单位质量计，炸药爆炸所放出的能量仍然比普通燃料燃烧时放出的能量低得多，例如，1kg 汽油或无烟煤在空气中完全燃烧时的放热量，分别为 1kg 梯恩梯（2,4,6-三硝基甲苯）爆炸时放热量的 10 倍或 8 倍。即使以 1kg 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梯恩梯爆热 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，1L 硝化甘油（丙三醇三硝酸酯）或 1L 梯恩梯的爆热分别相当于 1L 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（ ρ ）与其定容爆热（ Q_V ）的乘积 ρQ_V 来表示炸药的体积能量密度。军用炸药的 ρQ_V 值见表 1-1。

表 1-1 军用炸药的 ρQ_V 值

炸 药	$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	$Q_V/(\text{MJ}/\text{kg})$	$\rho Q_V/(\text{MJ}/\text{m}^3)$
梯恩梯	1.65	4.18	6.9×10^3
太安 ^①	1.78	6.25	11.1×10^3
黑索今 ^②	1.79	6.32	11.3×10^3
奥克托今 ^③ （ β -型）	1.91	6.19	11.8×10^3
六硝基六氮杂异伍兹烷（ ϵ -型）	2.04	6.30	12.9×10^3

① 太安的学名是季戊四醇四硝酸酯。
 ② 黑索今是 1,3,5-三硝基-1,3,5-三氮杂环己烷。
 ③ 奥克托今是 1,3,5,7-四硝基-1,3,5,7-四氮杂环辛烷。

2. 自行活化

炸药在外部激化能作用下发生爆炸后，在无外界提供任何条件和没有外来物质参与下，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比进行爆炸反应所需活化能高得多之故。

3. 亚稳态

炸药在热力学上是相对稳定（亚稳态）的物质，它们不是一触即爆的化学品，而只有在适当外部作用激发下，才能爆炸且释放其内部潜能。对某些工业炸药，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，一些很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-还原反应来燃烧或爆炸。

(四) 具有爆炸性能的基团

实际上可能具有爆炸性的键组成的基团和相应的化合物如表 1-2。但是在猛炸药的范畴中，具有爆炸性的最主要基团为 —C—NO_2 ， —N—NO_2 ， —C—NO_2 。

表 1-2 具有爆炸性的基团和化合物

基 团	化 合 物	例
1. —C—NO_2 —O—NO_2 —N—NO_2	亚硝酸盐，硝酸盐，硝基化合物，有机硝酸酯，硝基胺类	硝酸铵 NH_4NO_3 ，硝酸甲胺 $\text{CH}_3\text{NH}_2\text{NO}_2$ ，TNT $\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$ ，硝化甘油 $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$ ，环四亚甲基四硝胺 $\text{—(N—CH}_2)_4\text{—}$ NO_2
2. —ClO_4 —ClO_2	无机卤酸盐，高卤酸盐，有机卤酸酯和高卤酸酯	高氯酸铵 NH_4ClO_4
3. ONC	雷酸盐	雷汞 $\text{Hg}(\text{ONC})_2$
4. —O—O— —O—O—O—	过氧或臭氧化合物	
5. —N=N— $\text{—N=N}\equiv\text{N}$	偶氮，重氮，叠氮化合物	叠氮化铅 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$
6. $\text{—C}\equiv\text{C—}$	乙炔及其金属化合物	乙炔银 $\text{Ag—C}\equiv\text{C—Ag}$
7. —M—C—	有机金属中金属与 C 成键，如草酸重金属盐	草酸银 $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$

上面所列的基团可能使化合物具有爆炸性，但并非所有含上述基团的化合物都有爆炸性。一种化合物是否具有爆炸性质是由整个分子的结构状况决定的，而不是由某个基团决定的。例如，一硝基芳烃就没有爆炸性，多碳烃的一硝基衍生物、碱金属的草酸盐也没有爆炸性。

二、炸药的主要品种与分类

很多能够发生爆炸的化合物由于各种不同的原因而不能实际应用，所以能称为炸药的单一化合物（单质炸药）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，按照化学组分可分为单组分炸药和混合炸药，单质炸药多为含有碳、氢、氧、氮的单一有机化合物，混合炸药则有多种组分，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；按照应用领域可分为军用炸药和工业炸药；按照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，但通常所谓的炸药有时仅指猛炸药。猛炸药也称高级炸药、次发炸药或第二炸药，用于产生爆轰，且只有

冲击波或起爆药产生的爆轰波才能将其引爆。

(一) 单质炸药

单质炸药分子含有爆炸性基团，其中最重要的有三种： —C—NO_2 、 —N—NO_2 及 —O—NO_2 。它们分别构成三类最主要的单组分炸药：硝基化合物、硝胺及硝酸酯。

1. 硝基化合物炸药

目前用作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，其典型代表是梯恩梯。硝基化合物炸药的能量和感度大多低于硝酸酯类和硝胺类炸药，安全性甚优，制造工艺成熟，大多原料来源广泛和价格较低，故应用广泛。它们通常以硝硫混酸（或其他硝化剂）硝化芳烃制得，也可用取代反应、氧化反应、硝胺基重排等方法制备。可用作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。多硝基烷烃大多用作混合物炸药组分或制造炸药的原料。硝仿系炸药大多以曼尼希（Mannich）反应合成，硝基烷烃则以气相硝化或液相硝化制造。

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，且原料来源广泛，制造工艺日趋成熟，所以在军事上的应用与日倍增，不仅越来越多地代替梯恩梯用于装弹以提高装药的威力和破甲作用，而且用于发射药和固体推进剂中以提高火药力和比冲。当前各国竞相研究的高能量密度化合物，也是硝胺炸药，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黑索今和奥克托今等。可采用胺的直接硝化、伯胺酰化后硝化、胺的硝酸盐脱水、亚硝胺氧化、重氮盐氧化等方法制备硝胺。

3. 硝酸酯炸药

硝酸酯炸药氧平衡较高，做功能力较大，但安全性较差，感度较高。重要的品种有太安、硝化甘油、乙二醇二硝酸酯、二乙二醇二硝酸酯、1,2,4-丁三醇三硝酸酯、纤维素硝酸酯（硝化棉）等。除太安用作猛炸药外，其余多用作枪炮发射药和固体推进剂组分（硝化甘油也用作工业炸药组分）。常采用硝酸或硝硫混酸直接酯化制备硝酸盐酯。

4. 其他

除了硝基化合物、硝胺、硝酸酯炸药以外，其他具有爆炸性的物质很多，其中的某些化合物可以作为民用炸药或高能炸药组分。许多无机硝酸盐及有机碱硝酸盐都具有爆炸性，混合炸药中广泛使用的硝酸铵就属于无机硝酸盐，铀、钾、钙、钡等硝酸盐也可用于作混合炸药的组分。有机碱与氧化性酸组成的盐，只要具有适宜的氧平衡就有爆炸性。具体有甲基硝酸铵、硝酸胍、硝酸胍、硝酸脲、乙二胺二硝酸盐。高氯酸铵，高氯酸胍和高氯酸脲等。此外，20 世纪 50 年代末期开始，国外对含氟炸药进行广泛的研究，如含 —CF_3 ， $\text{—CF}_2\text{—CF}_3$ 等基团；含氟烷基化合物，含 $\text{F—C(NO}_2)_2\text{—}$ 基团的氟二硝基化合物和含 —C—NF_2 基团的二氟氮基化合物。

(二) 混合炸药

混合炸药是由两种以上物质组成的能发生爆炸的混合物，也称爆炸混合物。由单组分炸药和添加剂或氧化剂、可燃剂和添加剂按适当比例混制而成。常用的单组分炸药是硝基化合

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、烃类化合物等，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、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，少量用于核弹药。其特点是能量水平高，安定性和相容性好，感度适中，生产、运输、储存、使用安全，且炸药性能和其他力学性能良好。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。按组成可分为胶质炸药、铵梯炸药、铵油炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药、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、地震勘探炸药、地下爆破性炸药等类。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、对炸药的基本要求

(一) 能量水平

通常要求炸药具有满意的能量水平，即具有尽可能高的做功能力和猛度，然而，对于这种爆炸性质的要求也是随用途而异的。一般说来，用于破甲或碎甲弹的炸药要求有很高的爆速；对空武器的弹药要求有较高的威力；矿井用的炸药，特别是安全炸药，对其爆速和爆热要加以适当限制；机械加工业使用的炸药往往要求是低密度、低爆速的，以免破坏工件。

(二) 安全性能

从安全角度考虑要求炸药对机械、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。但是，从使用可靠性考虑，则要求炸药具有足够的对冲击波和爆轰波的感度，以保证可靠而准确地被起爆。另外，对于各种炸药，其使用条件不同，还要求有各种安全性能。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理化稳定性（如不发生相变等）；在高真空条件下使用的炸药应当是挥发性很低的；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) 物理-化学性能和力学性能

通常要求炸药具有良好的物理、化学安定性和相容性，以保证长期储存安全。由于用途不同，对炸药在理化稳定性和爆炸性质方面的要求是不同的。为了战备上的需要，军用炸药的储存期较长，民用炸药的储存期可以较短。

炸药在使用时要与包装材料（如弹体或其他防护物）相接触，制造混合炸药还要与其它