

北京理工大学“双一流”建设精品出版工程

# 含能材料无机化学基础

(第2版)

INTRODUCTION TO INORGANIC CHEMISTRY OF  
ENERGETIC MATERIALS

(2ND EDITION)

任 慧 刘 洁 马 帅 主编

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

# 第2版前言

本书旨在夯实国防专业非化学化工类学生的基础知识，内容主要分为化学理论和化学实验两大部分，化学理论主要包括原子与元素周期律、化学键与物质结构、酸碱平衡、沉淀平衡、原电池和氧化还原反应、配位平衡及部分金属元素与非金属元素的选述，并在其中贯穿介绍了含能材料的相关知识；化学实验主要包括无机化学实验的基础、基本操作、实验数据处理及与含能材料有关的部分试验细则等。

本书以含能材料研究为导向，从基本的化学理论和实验分析入手，循序渐进，逐步深化，使学生认识到含能材料化学的特殊性，掌握化学基础知识的精髓，熟悉仪器和操作方法，培养专业技能。本书注重传统化学理论与含能材料技术的相互交融，并大量引用国内外公开发表的相关学术成果，有针对性地面向特种能源与工程、弹药与爆破工程、安全工程、航空宇航推进理论与工程等国防专业学生，也可为从事火炸药、武器装备工作的工程技术人员提供帮助和参考。

随着时代的发展，手机等移动智能工具的普及，VR、二维码等的广泛应用，对于知识的学习不再局限于书本，形象立体的教学会增加学生的兴趣和提升学生的效率，故作者修订《含能材料无机化学基础》一书，增加重要概念的英文释义、思考题的答案与解析、实验的演示等，方便学生学习与理解。在本书修订过程中，博士研究生刘洁负责第10章及上一版附录部分的修订，硕士研究生马帅负责习题答案与解析及实验演示相关内容的修订。

编者

# 第1版前言

本书旨在夯实国防专业非化学化工类学生的基础知识，内容主要分化学理论和化学实验两大部分，化学理论主要包括原子与元素周期律、化学键与物质结构、酸和碱、配位平衡、沉淀平衡、原电池和氧化还原反应以及部分金属元素与非金属元素的选述，并在其中贯穿介绍了含能材料的相关知识；化学实验主要包括无机化学实验的基础、基本操作、实验数据处理以及与含能材料有关的部分试验细则等。

本书以含能材料研究为导向，从基本的化学理论和实验分析入手，循序渐进，逐步深化，使学生认识到含能材料化学的特殊性，掌握无机化学基础知识的精髓，熟悉仪器和操作方法，培养专业技能。本书注重传统化学理论与含能材料技术的相互交融，并大量引用国内外公开发表的相关学术成果，有针对性地面向特种能源与工程、弹药与爆破工程、安全工程、航空宇航推进理论与工程等国防专业学生，也可为从事火炸药、武器装备工作的工程技术人员提供帮助和参考。

编者

# 目 录

## CONTENTS

---

---

---

引言 <b>Introductions</b> .....	001
<b>第 1 章 含能材料简述 Introduction of Energetic Materials</b> .....	002
1.1 含能材料的基本特点 <b>Basic Characters of Energetic Materials</b> .....	002
1.2 含能材料的用途 <b>Applications of Energetic Materials</b> .....	003
1.2.1 军事用途 .....	003
1.2.2 在民用领域的应用 .....	004
1.3 含能材料的发展历史 <b>Histories of Energetic Materials</b> .....	005
1.4 含能材料与化学 <b>Energetic Materials and Chemistry</b> .....	007
<b>第 2 章 原子结构和元素周期表 Structure of the Atom and the</b> <b>Periodic Table</b> .....	009
2.1 原子的基本构成 <b>Fundamental Parts of the Atom</b> .....	009
2.2 原子结构 <b>Atom Structure</b> .....	011
2.3 量子力学模型 <b>Quantum Mechanics Model</b> .....	013
2.3.1 波粒二象性 .....	013
2.3.2 薛定谔方程 .....	014
2.3.3 核外电子运动状态的描述 .....	014
2.3.4 轨道形状 .....	017
2.4 多电子原子结构 <b>Atom Structure with Many Electrons</b> .....	018
2.4.1 多电子原子的能级 .....	019
2.4.2 原子核外电子的排布 .....	021
2.5 元素周期表 <b>The Periodic Table</b> .....	022
2.6 元素性质的周期性 <b>Periodic Properties of the Elements</b> .....	025
2.6.1 原子半径 .....	025

2.6.2	电离能 .....	026
2.6.3	电子亲和能 .....	028
2.6.4	电负性 .....	029
2.6.5	元素的氧化数 .....	030
2.6.6	元素的金属性和非金属性 .....	031
<b>第3章 化学键与物质结构 Chemical Bond and Structure of Matter .....</b>		<b>033</b>
3.1	离子键和离子化合物 Ionic Bond and Ionic Compounds .....	035
3.1.1	离子键 .....	036
3.1.2	离子化合物 .....	039
3.1.3	离子极化及其对物质性质的影响 .....	041
3.2	共价键与共价化合物 Covalent Bond and Covalent Compounds .....	044
3.2.1	价键理论——电子配对理论 .....	044
3.2.2	杂化轨道理论 .....	048
3.2.3	价层电子对互斥理论 .....	053
3.2.4	分子轨道理论 .....	056
3.2.5	共价晶体 .....	060
3.3	配位键和配位化合物 Coordination Bond and Coordination Compounds .....	061
3.3.1	配位键 .....	061
3.3.2	配合物 .....	061
3.3.3	配合物的化学键理论 .....	063
3.3.4	配合物的价键理论 .....	064
3.4	金属键与金属晶体 Metallic Bond and Metal Crystal .....	068
3.4.1	金属键的改性共价键理论 .....	068
3.4.2	金属键的能带理论 .....	068
3.4.3	金属晶体的紧密堆积结构 .....	070
3.5	分子间作用力、氢键和分子晶体 Intermolecular Force, Hydrogen Bond and Molecular Crystal .....	071
3.5.1	分子的极性 .....	071
3.5.2	分子间作用力 .....	072
3.5.3	氢键 .....	074
3.5.4	分子晶体 .....	076
3.6	混合型晶体 Mixed Crystal .....	077
3.7	含能材料制造中常用的单质及化合物 Frequently Used Pure Substances and Compounds in Energetic Materials .....	077
3.7.1	含氧酸盐 .....	078
3.7.2	高活性金属 .....	079
3.7.3	叠氮化物 .....	079

<b>第 4 章 酸和碱 Acids and Bases</b> .....	081
4.1 电解质溶液理论简介 Introduction of Electrolyte Solutions .....	081
4.1.1 阿仑尼乌斯的部分电离理论 .....	081
4.1.2 强电解质溶液理论的基本概念 .....	082
4.1.3 离子强度的概念 .....	083
4.2 布朗斯特酸碱理论 Bronsted Acid-base Theory .....	083
4.2.1 质子论酸碱的定义 .....	084
4.2.2 质子论的酸碱反应 .....	085
4.2.3 质子酸碱的强度 .....	088
4.2.4 共轭酸碱对 $K_a$ 和 $K_b$ 的关系 .....	089
4.3 路易斯电子酸碱理论 Lewis Acid-base Theory .....	091
4.4 水溶液中酸碱平衡计算的一般原则 Calculation Principles of Acid-base Equilibrium in Aqueous Solution .....	094
4.4.1 物料平衡式 .....	094
4.4.2 电荷平衡式 .....	094
4.4.3 质子平衡式 .....	095
4.5 酸碱溶液中 $H^+$ 浓度的计算 Calculation on Hydrogen Ion Concentration .....	096
4.5.1 强酸(碱)溶液 .....	096
4.5.2 一元弱酸(碱)溶液 .....	098
4.5.3 两种弱酸(HA+HB)混合溶液 .....	100
4.5.4 多元酸(碱)溶液 .....	101
4.5.5 两性物质溶液 .....	102
4.6 缓冲溶液 Buffer Solutions .....	104
4.6.1 缓冲溶液和缓冲作用 .....	104
4.6.2 缓冲溶液的配制 .....	104
4.6.3 缓冲容量和缓冲范围 .....	107
4.6.4 常用缓冲溶液和标准缓冲溶液 .....	109
<b>第 5 章 配位平衡 Coordination Equilibrium</b> .....	112
5.1 配合物的稳定常数 Stability Constant of Coordination Compound .....	112
5.1.1 逐级稳定常数和累积稳定常数 .....	112
5.1.2 不稳定常数 .....	113
5.1.3 配合物各物种的分布 .....	114
5.2 EDTA 及其配合物 EDTA and Its Coordination Compound .....	115
5.2.1 EDTA 和 EDTA 二钠 .....	115
5.2.2 EDTA 在溶液中的分布 .....	116
5.2.3 EDTA 与金属离子的配合物 .....	117

5.3 配合物的副反应系数和条件稳定常数 Side Reaction Coefficients and Conditional Stability Constants of Coordination Compounds .....	118
5.3.1 稳定常数 .....	118
5.3.2 配位反应的副反应系数——条件稳定常数 .....	119
5.3.3 副反应系数的计算 .....	120
<b>第6章 沉淀平衡 Sedimentation Equilibrium .....</b>	<b>124</b>
6.1 沉淀-溶解平衡的建立 Precipitation and Dissolution Equilibrium .....	124
6.1.1 活度积、溶度积和溶解度 .....	127
6.1.2 副反应和条件溶度积 .....	128
6.2 影响沉淀平衡的因素 Influence Factors of Sedimentation Equilibrium .....	129
6.2.1 同离子效应 .....	129
6.2.2 盐效应 .....	129
6.2.3 酸效应 .....	130
6.2.4 配位效应 .....	131
6.2.5 影响沉淀溶解度的其他因素 .....	132
6.3 分级沉淀法和沉淀的转化 Fractional Precipitation and Transformation of Precipitate .....	134
6.3.1 分级沉淀法 .....	134
6.3.2 沉淀的转化 .....	135
<b>第7章 原电池和氧化还原反应 Primary Battery and Oxidation-Reduction Reaction .....</b>	<b>138</b>
7.1 氧化还原的基本概念 Definition of Oxidation-Reduction .....	138
7.1.1 氧化还原的定义 .....	138
7.1.2 元素的氧化数 .....	140
7.2 氧化还原方程式的配平 Balancing Oxidation Reduction Equations .....	140
7.2.1 氧化数法 .....	141
7.2.2 离子电子法 .....	141
7.3 原电池和电极电势 Primary Battery and Electrode Potential .....	142
7.3.1 原电池 .....	142
7.3.2 电极电势 .....	144
7.3.3 标准电极电势 .....	145
7.3.4 电池的电动势和化学反应吉布斯自由能的关系 .....	148
7.3.5 原电池反应的标准平衡常数 .....	150
7.4 能斯特方程 Nernst Equation .....	150
7.5 电极电势的应用 Applications of Electrode Potential .....	152
7.5.1 判断氧化剂和还原剂的强弱 .....	152

7.5.2	判断氧化还原反应进行的方向	154
7.5.3	判断氧化还原反应进行的程度	154
7.5.4	元素标准电极电势图及其应用	156
7.5.5	其他应用	158
<b>第 8 章</b>	<b>非金属元素选述 Non-Metallic Elements Selected Description</b>	<b>162</b>
8.1	卤素 Halogen Family	162
8.1.1	卤素的性质	162
8.1.2	卤素单质	163
8.1.3	卤化氢和氢卤酸	167
8.1.4	卤化物	169
8.1.5	拟卤素	170
8.1.6	卤素的含氧酸及其盐	172
8.2	氧和硫 Oxygen and Sulfur	175
8.2.1	氧族元素的性质	176
8.2.2	氧及其化合物	177
8.2.3	硫及其化合物	180
8.3	氮和磷 Nitrogen and Phosphorus	191
8.3.1	氮族元素的性质	191
8.3.2	氮及其化合物	193
8.3.3	磷及其化合物	201
8.4	碳、硅、硼 Carbon, Silicon and Boron	206
8.4.1	碳、硅、硼通性	206
8.4.2	碳及其化合物	208
8.4.3	硅及其化合物	214
8.4.4	硼及其化合物	215
<b>第 9 章</b>	<b>主族金属元素选述 Metallic Elements in Main Group Selected Description</b>	<b>222</b>
9.1	碱金属及其化合物 Alkali Metals and Its Compounds	222
9.1.1	碱金属通性	222
9.1.2	碱金属盐类	226
9.2	碱土金属及其化合物 Alkaline Earth Metals and Its Compounds	228
9.2.1	碱土金属通性	228
9.2.2	碱土金属单质	230
9.2.3	碱土金属的氧化物和氢氧化物	231
9.2.4	碱土金属盐类	232
9.3	铝及其化合物 Aluminium and Its Compounds	234

9.3.1	铝单质	234
9.3.2	铝的化合物	234
<b>第10章</b>	<b>化学实验基础 Experimental Chemistry</b>	<b>237</b>
10.1	化学实验的目的和学习方法 Aims and Learning Methods	237
10.1.1	化学实验的目的	237
10.1.2	无机化学实验的要求	237
10.2	学生实验室规则 Lab Rules	239
10.3	实验室安全操作和事故处理 Safe Operations and Accident Treatments	239
10.3.1	实验室安全守则	240
10.3.2	实验室事故的处理	240
10.4	实验室用水的纯度 Purity of Water in Lab	242
10.5	仪器认领与基本操作 Physical Manipulations and Procedures	243
10.5.1	仪器的认领	243
10.5.2	仪器的洗涤	251
10.5.3	仪器的干燥	252
10.5.4	无机化学实验中的加热和冷却	253
10.6	测量与误差分析 Measurements and Error Analysis	255
10.6.1	误差	255
10.6.2	有效数字	257
10.7	物理性质测定 Determination of Physical Properties	257
10.7.1	量的称量	257
10.7.2	液体体积的测量	259
10.7.3	密度和温度的测量	264
实验一	RDX 的红外光谱分析	267
实验二	激光粒度仪法测定铝粉的粒度	268
实验三	炸药酸度分析	270
实验四	RDX 的热重-差热分析	271
实验五	炸药重结晶	274
附录		278
参考文献		303
彩图		305
元素周期表		317

# 引 言

## Introductions

含能材料是武器系统的重要化学能源，是完成推进、发射和毁伤等作战功能的基础。在含能材料设计、制造、生产、评估和应用等诸多环节中，需要运用大量的化学知识和理论，因此，化学基础知识的掌握是必不可少的。含能材料特别是复合型含能材料的种类和数量非常繁杂，大都含有三种以上组分，而且结合方式、分散形式、相分布、理化属性等变化多端。本书剥茧抽丝，从基本的化学知识和实验操作入手，将与含能材料密切相关的化学理论汲取出来进行详细讲述。结合这些理论书中给出一些国内外相关的研究成果。系统地学习和掌握含能材料化学基础对于配方设计、原料遴选、生产工艺以及安全性评估等都起到辅助和参考作用。

虽然国内关于普通化学和大学化学实验的书籍很多，但是内容大都雷同，它们从基础化学角度出发，主要讲述化学中常用的传统理论和基本方法，或者简单描述实验原理和基本操作。再者，目前市面上出版的普通化学教材大都面向化学、化工或材料专业人员的教育培训，不适用于国防特色专业本科生、研究生的知识学习，因此，编者编写了这本《含能材料无机化学基础》，本书既有鲜明的工程背景，又结合当代含能材料发展趋势，有针对性地面向特种能源与工程、弹药与爆破工程、安全工程、航空宇航推进理论与工程等国防专业学生，也可为从事火炸药、武器装备工作的工程技术人员提供帮助和参考。

# 第 1 章

## 含能材料简述

### Introduction of Energetic Materials

含能材料（俗称“火炸药”）是一类化学能源材料，主要用于军事，以完成推进、炸毁、抛射等作战目的。它是陆、海、空军武器的能源，也是某些驱动装置与爆炸装置的能源。组分中含有氧化剂和可燃物，被激发后在没有外界物质参与下能进行剧烈的化学反应，并在短时间内释放出巨大的能量。

#### 1.1 含能材料的基本特点 Basic Characters of Energetic Materials

含能材料是一种亚稳态物质，大多由 C、H、O、N 等元素组成，其主要特征为：

① 含有基团，如  $\equiv\text{C}-\text{NO}_2$ 、 $=\text{N}-\text{NO}_2$ 、 $-\text{N}_3$ 、 $-\text{N}=\text{N}-$  等，或含有氧化剂、可燃物的混合物。

② 主要化学反应是燃烧和爆炸，具有高速、高压、高温反应特征和瞬间一次性效应特点，并释放大量的热和气体。

③ 化学反应不需要外界供氧，可在隔绝大气条件下进行。

能独立进行化学反应并输出能量，是含能材料的重要特征。同时，其能量释放必须是有规律和可控制的。实际应用的含能材料大多数既含有氧化性基团，又含有可燃性基团。两类基团存在于同一化合物的物质也称为爆炸性化合物。大部分爆炸化合物既是氧化剂又是可燃物。

含能材料的组分有单一组分和复合组分两种类型。最基本和最传统的含能材料是发射药（gunpowder）、推进剂（propellants）和炸药（explosive），如图 1-1 所示。

虽然发射药、推进剂和炸药都是含能材料，但是，它们在组成结构、应用场所和反应过程等方面还存在着明显的差别。炸药被激发后发生爆炸反应，反应在数微秒内完成，并以极高的功率对外做功，使周围介质受到强烈的冲击，并发生变形或破碎。发射药主要用于枪炮弹丸的发射，推进剂主要用于火箭和导弹的推进。发射药和推进剂是以燃烧的方式释放能量，燃烧波的传播速度为几毫米每秒至几十毫米每秒。

由于含能材料的化学反应可以在隔绝大气的条件下进行，能在瞬间输出巨大的功率，反应过程可以控制，所以采用该能源的装置，其结构简单、轻便，适合运输和储存。发射药被广泛用于压力推进，如抛射枪炮弹丸、水雷和鱼雷；推进剂主要用于反作用推进，如发射火箭和导弹，或用作某些驱动装置的能源；炸药可以作为炮弹、导弹、地雷等的爆炸装药。含



图 1-1 含能材料及其军事应用

(a) 发射药；(b) 坦克火炮弹药的发射；(c) 推进剂；(d) 火箭的发射；(e) 炸药药柱；(f) 炸药爆轰

能材料还可以用于采矿、工程爆破、金属加工和地质勘探等技术领域。作为能源材料，它服务于我国国防和国民经济事业，尤其在兵器装备中，它是不可缺少的组成部分。含能材料技术是决定武器威力和射程的关键技术。

含能材料技术所涉及的基础理论有无机、有机、分析、物化、高分子等化学，涉及化工领域的合成、工艺、分析检测以及生产过程和设备。

## 1.2 含能材料的用途 Applications of Energetic Materials

### 1.2.1 军事用途

含能材料作为一种特殊的能源，在军事、民用等多个领域有着广阔的应用前景。随着我国国防事业和经济建设的发展，对含能材料领域人才的需求量越来越大。一个国家对含能材料的研究水平将在很大程度上关系到该国的国防力量、军事结构调节，也同时体现出一个国

家的科技水平。

含能材料是武器系统完成发射弹丸、运载火箭导弹、战斗部毁伤目标的能源,是实现远程发射、精确打击、高效毁伤的基础。武器装备离开了含能材料无法形成战斗力。该技术无法从国外引进。

含能材料的发展和武器装备的发展密切相关并相互促进。武器装备的发展对火炸药提出新的要求,促进火炸药技术的发展,新型火炸药的出现又推动着武器装备的发展。例如黑火药的发明,使人类从大刀长矛的冷兵器时代进入用枪、炮对阵的热兵器时代。现代火炸药的发展推动了武器装备向轻型化、自动化、高威力的方向发展。

火炸药作为军用含能材料,在今后相当长的时间内,还无法被其他能源所替代,其他如核能、激光、微波、电热-化学、电磁等能源,可以在部分武器中使用,但它们在武器化方面有困难,如武器的小型化、轻型化和适应性问题,都难以解决。因此,可以说,含能材料学掌握着国家军事工程的命脉。

### 1.2.2 在民用领域的应用

含能材料对常规兵器乃至整个国防工业和国民经济的发展都具有十分重要的地位。它作为民用爆破的主要能源,应用面广、用量大,无论现在和将来都在矿业、冶金、建筑、石油等行业发挥重要作用。

民用爆破简称民爆,指负责民用爆破拆除工作的相关工程单位,其行为大体有城市规划定向定点爆破、矿业工程爆破和烟花爆竹生产等。在该领域,目前较为热门的方向有定点爆破与新能源研发。定点爆破主要为矿业服务,其下还有爆破设计、传爆技术等多个系属学科。

下面列出了含能材料在民用领域的典型应用:

① 利用爆炸作用进行机械加工和工程施工。利用炸药爆炸释放的能量做功已成为一种特殊的工业加工方法。如用于爆炸拆除、爆炸切割、爆炸成型、爆炸硬化、粉末压实、消除应力、爆炸铆接和焊接等,如图1-2所示。

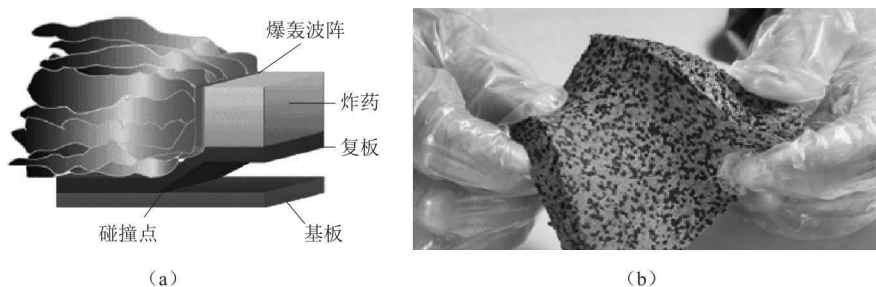


图 1-2 爆炸焊接和挠性炸药

特种炸药如塑形炸药、黏性炸药、橡皮炸药、挠性炸药、低密度泡沫炸药和耐热炸药等,分别使用于外型复杂、运动中、水下和水上、矿井下等多种环境的爆破。工业炸药在地质勘探中也有重要的作用,如用于产生地质震动波的震源弹药。

② 利用化学能做推进功。以火炸药为能源的压力推进器,依靠火炸药燃烧产生的高压气体推动做功。

一种形式是通过驱动器将载荷（活塞）推送到一定的位置，或借助于连杆机构完成一次性的打开、关闭或位移等指定动作。如用来发射人工降雨火箭、打开或关闭宇航装置的舱盖、打开安全通道、将重要的部件或人员推送到安全位置等（如飞机上的弹射座椅），见图1-3。

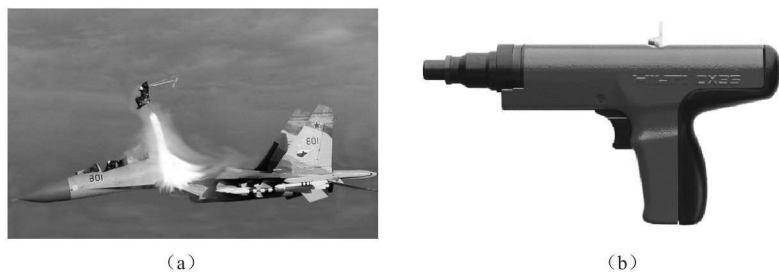


图1-3 飞机解体瞬间座椅的弹射 (a) 和射钉弹 (b)

另一种形式是通过抛射器远距离运送物质，如在人员受阻或机械难以到达之处，进行山地架线、海上抛缆、森林和高层建筑灭火、发射麻醉弹药等。

火炸药产生的高压气体可以直接做功，将推动力作用于载荷的深处和内部，作用范围大，特别适合对大批量物质进行分割和松动。如以火药为能源的油井岩石压裂装置，可明显增加石油产量。

③ 应用于气体发生器。含能材料燃烧时释放出大量的热和气体，它的反应速度非常快，是一般气体发生剂所不能代替的。用它制造的气体发生器，充气时间短，适合在紧急条件下以及人员不易接近的场所使用。如用于汽车安全气囊（图1-4）、海上自动充气救生装置等。

④ 利用热能和声、光、烟效应。火炸药化学反应的热效应高，反应启动快、放热快，方便在特殊场所应用。如作为燃烧剂，纵火烧毁难以燃烧的废弃物料；用于电力装置的自动熔断器；作为发声剂、发光剂、发烟剂应用于运动界和影视界等。



图1-4 安全气囊 (a) 与特种烟火效应 (b)

### 1.3 含能材料的发展历史 Histories of Energetic Materials

含能材料的历史大体可以分为三个阶段。

第一阶段：以黑火药为代表的简单火工药剂时期。据历史记载，最早的火工药剂就是黑

火药 (Black Powder, BP) (图 1-5), 黑火药作为火药最早出现在 10 世纪; 18 世纪被应用于引火索、传火管等火工品中。18 世纪末, 法国化学家伯瑟勒特 (Berthollet) 发现氯酸盐可与可燃物混合, 且易受撞击而发火爆炸, 从而出现了氯酸盐类火工药剂, 象征着非火焰刺激引爆类含能材料的出现。



图 1-5 古代火工品 (a) 与黑火药 (b)

第二阶段: 1630 年, 科学家将硝酸汞和乙醇混合, 得到了白色高爆炸性沉淀雷酸汞 ( $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ )。1864 年, 瑞典著名科学家诺贝尔 (图 1-6 (a)), 将雷酸汞装入铜管, 使其成为激发体系, 可以成功地使代那迈特炸药 (三硝酸丙三酯被硅藻土吸收钝化后的含能混合物) 爆轰, 象征着开创了用起爆药引爆猛炸药的新时代, 此项发明为之后含能材料的研究做出了巨大的贡献。1890 年, T. 库尔齐乌斯将由亚硝酸乙酯分解得到的叠氮化钠与碲酸铅进行简单离子反应, 得到了高爆起爆药叠氮化铅 (LA) (图 1-6 (b))。之后的众多新起爆药发现热潮的兴起与世界大战的历史背景, 都使得含能材料学处于高速发展的状态。

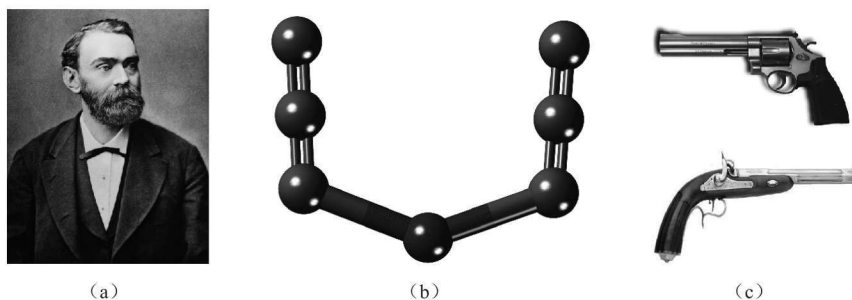


图 1-6 含能材料发展里程碑  
(a) 诺贝尔; (b) 叠氮化铅; (c) 枪械的出现

第三阶段: 20 世纪 80 年代后, 随着高新技术的引入和现代化武器系统的发展, 新型推进、发射平台层出不穷, 多样化的毁伤模式激发了含能材料的飞速发展。基础理论研究方面提出或假设了含能材料的量子化学分子轨道、能带理论、起爆药的结构与性能关系、起爆药爆燃转爆轰 (DDT) 理论、低能量刺激敏感型火工药剂的钝感化理论。在晶体学方面, 形成了含能材料晶形控制技术、晶体形态球形化理论以及混合药剂共沉淀原理和技术等诸多科研成果。混合炸药方面, 追求高爆速、高爆热或高爆压的新配方, 不仅催生了大量新型高能量密度化合物的合成, 也极大地促进了装药新工艺、新技术的发展。推进剂方面, 含能黏合剂、含能增塑剂的应用, 各类高能、高燃速推进剂竞相问世。总之, 随着先进的武器系统的发展, 含能材料学已逐步形成具有理论和实际意义的学科。

## 1.4 含能材料与化学 Energetic Materials and Chemistry

化学是一门以实验为主的自然科学，在分子、原子层次上研究物质性质、组成、结构与变化规律，创造新物质的科学。世界由物质组成，化学则是人类用以认识和改造物质世界的主要方法和手段之一。它是一门历史悠久而又富有活力的学科，它的成就是社会文明的重要标志。

纵观化学发展史，我们发现化学学科的重大进展总是与含能材料休戚相关的，二者相互促进，相辅相成。古时候，原始人类为了他们的生存，在与自然界的种种灾难进行抗争中，发现和利用了火。原始人类从用火之时开始，由野蛮进入文明，同时也就开始了用化学方法认识和改造天然物质。燃烧就是一种化学现象。含能材料最初始的认知就是从燃烧现象开始的。燃烧是含能材料的重要化学反应形式。火的发现和利用，改善了人类生存的条件，并使人类变得聪明而强大。掌握了火以后，人类开始食用熟食；继而人类又陆续发现了一些物质的变化，如发现在翠绿色的孔雀石等铜矿石上面燃烧炭火，会有红色的铜生成。在中国，春秋战国由青铜社会开始转型，铁器牛耕引发的社会变革推动了化学的发展。人类逐步学会了制陶、冶炼，以后又懂得了酿造、染色等。这些由天然物质加工改造而成的制品，成为古代文明的标志。在这些生产实践的基础上，古人对化学有了粗浅的认识。

约从公元前1500年到公元1650年，为求得可以使人长生不老的仙丹或象征富贵的黄金，炼丹家和炼金术士们开始了最早的化学实验，而后记载、总结炼丹术的书籍也相继出现。虽然炼丹家、炼金术士们都以失败而告终，但他们在炼制长生不老药的过程中，在探索“点石成金”的方法过程中，实现了物质间用人工方法进行相互转变，积累了许多物质发生化学变化的条件和现象，为化学的发展积累了丰富的实践经验。炼丹家在实验过程中发明了火药，发现了若干元素，制成了某些合金，还制出和提纯了许多化合物，这些成果我们至今仍在利用。

1650—1775年，是近代化学的孕育时期。这一阶段开始的标志是英国化学家波义耳为化学元素指明科学的概念。在元素的科学概念建立后，通过对燃烧现象的精密实验研究，建立了科学的氧化理论和质量守恒定律，随后又建立了定比定律、倍比定律和化合量定律，为化学进一步科学地发展奠定了基础。

1775—1900年，是近代化学发展的时期。1775年前后，拉瓦锡用定量化学实验阐述了燃烧的氧化学说，开创了定量化学时期，使化学沿着正确的轨道发展。19世纪初，英国化学家道尔顿提出近代原子学说，突出地强调了各种元素的原子的质量为其最基本的特征，其中量的概念的引入，是与古代原子论的一个主要区别。近代原子论使当时的化学知识和理论得到了合理的解释，成为说明化学现象的统一理论。接着意大利科学家阿伏伽德罗提出分子概念。自从用原子-分子论来研究化学，化学才真正被确立为一门学科。这一时期，建立了不少化学基本定律。俄国化学家门捷列夫发现元素周期律，德国化学家李比希和维勒发展了有机结构理论，这些都使化学成为一门系统的学科，也为现代化学的发展奠定了基础。

19世纪下半叶，热力学等物理学理论引入化学之后，不仅澄清了化学平衡和反应速率的概念，而且可以定量地判断化学反应中物质转化的方向和条件，相继建立了溶液理论、电离理论、电化学和化学动力学的理论基础。物理化学的诞生，把化学从理论上提高到一个新

的水平。进入 20 世纪以后, 由于受到自然科学其他学科发展的影响, 并广泛地应用了当代科学的理论、技术和方法, 化学在认识物质的组成、结构、合成和测试等方面都有了长足的进展, 而且在理论方面取得了许多重要成果。

化学在发展过程中, 依照所研究的分子类别和研究手段、目的、任务的不同, 派生出不同层次的许多分支。在 20 世纪 20 年代以前, 化学传统地分为无机化学、有机化学、物理化学和分析化学四个分支。20 年代以后, 由于世界经济的高速发展, 化学键的电子理论和量子力学的诞生、电子技术和计算机技术的兴起, 化学研究在理论上和实验技术上都获得了新的手段, 导致这门学科从 30 年代开始飞跃发展, 出现了崭新的面貌。化学内容一般分为生物化学、有机化学、高分子化学、应用化学、化学工程、物理化学、无机化学等七大类共 80 项, 实际包括了七大分支学科。

本书主要讲授与含能材料学科相关的无机化学部分, 系统阐述基础化学理论和基本实验方法。本书主要是面向国防特色专业的本科生教材, 在进行基础知识灌输的同时, 注重结合含能材料生产实践中的化学问题进行讨论, 同时, 本书对经典化学理论, 如重要定义、定律、知识点等进行英文注释。