

普通高等教育  
兵工类规划教材

# 火药用原材料 性能与制备

张端庆 编著



北京理工大学出版社

TJ460A

2-218

# 火药用原材料性能与制备

张 端 庆 编 著

北京理工大学出版社

799881

(京)新登字149号

### 内 容 简 介

本书按火药用原材料的功能进行分类,比较系统全面地阐述了火药用原材料的品种、物理化学性质、制造工艺原理及其对火药性能的影响。

本书可作为高等院校火药专业的教材,也可供从事此专业的工程技术人员参考。

### 火药用原材料性能与制备

张端庆 编著

北京理工大学出版社出版发行  
(北京市海淀区白石桥路7号 邮政编码100081)

各地新华书店经售  
北京地质印刷厂印装

开本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 365 千字

1995年1月第一版 1995年1月第一次印刷

书号: ISBN7-81013-931-2/TJ·14

印数: 1~600册 定价: 8.85元

## 出版说明

遵照国务院国发〔1978〕23号文件精神，中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵总教材编审室成立以来，在广大教师的积极支持和努力下，在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下，已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务，共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革及提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要，特别是国防现代化培养人才的需要，反映国防科技的先进水平，达到打好基础、精选内容、逐步更新及利于提高教学质量的要求，我们以提高教材质量为主线，完善编审制度、建立质量标准和明确岗位职责，建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点，成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材，全面提高质量，适当发展品种，力争系统配套，完善管理制度，加强组织领导”的“八五”教材建设方针，兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划，共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的。专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查，认为符合兵工专业培养人才要求，符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套，为教学质量的提高和培养国防现代化人才，为促进兵工类专业科学技术的发展，都将起到积极的作用。

本教材由刘继华副教授主审，经中国兵器工业总公司火炸药专业教学指导委员会复查，兵总教材编审室孙业斌副教授审定。

限于水平和经验，这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处，希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1993年11月

## 火药系列教材

### 火药用原材料性能与制备

火药系列教材编审委员会：

主任委员：王泽山

常务副主任委员：孙业斌

副主任委员：戴健吾 张端庆 刘继华

委员：（按姓氏笔划）

王泽山 牛秉彝 白木兰 刘继华 孙业斌

肖学忠 罗秉和 陆安舫 赵子立 张端庆

徐复铭 徐德平 谭惠民 戴健吾

## 火药系列教材目录

序 号	教 材 名 称	主 编 人
1	火炮与火箭装药内弹道原理	张柏生
2	火药应用技术及装药设计	王泽山
3	火药用原材料性能与制备	张端庆
4	火药实验方法	谢文心
5	火药设计	黄人骏
6	火药物理化学性能	刘继华
7	火药工艺原理	陈少镇
8	单基与三基火药	牛秉彝
9	双基火药	张续柱
10	复合火药	马庆云
11	火药燃烧理论	王伯羲



## 火药系列教材总序

“火药系列教材”就要问世了，我们谨以这套教材献给我国火药行业的全体同仁，希望它为发展我国火药科学技术、为培养火药专业后继人才做出贡献。

常期以来，火药不仅在军事上用于枪炮弹丸的发射和火箭导弹的推进，而且在民用方面也有着广泛的用途。火药（后来叫黑火药）是我国古代四大发明之一，公元3世纪我国古代劳动人民就发现了火药的燃烧性质，公元10世纪火药用于军事，此后中国出现了多种火药兵器。公元13世纪，火药才传入阿拉伯国家，进而传入欧洲，得到了广泛的应用。恩格斯曾提到中国的黑火药打破了欧洲16世纪的城堡。直到19世纪末，黑火药一直是各种枪炮和火箭的唯一发射能源，它对军事技术、人类文明及社会进步都产生了深远的影响。近代火药的制造始于19世纪初，1833年法国人布拉科诺（Braconnot）首先制出了硝化纤维素，为火药的革新打开了大门。1865年英国化学家阿贝尔F. A. (Abel F. A.) 用细断法制得了安定的硝化纤维素，直到1884年法国化学家维也里P. (Vieille P.) 用醇醚混合溶剂处理硝化纤维素，解决了它的密实成型问题，发明了单基火药。由于它燃烧时无烟且威力比黑火药大，从而取代了黑火药作为发射药的地位。1847年意大利人索布雷罗(Sobrero) 制造出硝化甘油。1862年瑞典化学家诺贝尔A. B. (Nobel A. B.) 开设了第一个硝化甘油工厂，1888年他用低氮量硝化纤维素和硝化甘油发明了巴力斯太型双基火药，为近代火药增加了新品种。第二次世界大战期间，为了满足大口径炮弹、大型火箭及形状复杂的发射装药要求，1937年在德国出现了三基药。1942年美国又研制出了一系列的复合火药。本世纪60年代又出现了高能量、高燃速以及力学性能和工艺性能良好的火药，明显地提高了推进火箭用的火药性能，与此同时，又加强了用于推进弹丸的装药研究。近年来，世界各国继续进行新火药和火药装药研究，也开展了改善单项性能指标的研究，研制适应不同武器要求的特种性能火药。例如研制高能低烧蚀发射药、高能高强度发射药、高能无烟推进剂、高能平台推进剂、高燃速推进剂及低燃速推进剂等，并以提高火药生存能力为重点，发展低易损性火药。

解放前，我国的火药工业发展缓慢，自1895年上海建立第一所单基无烟药厂后，到1945年才建立第一所双基火药厂。

建国以来，我国的火药工业与火药科学技术随着国民经济的迅猛发展，从仿制到自行设计，有了长足发展。我国研制的火药已有很多品种接近或赶上世界先进水平。但就火药学科总体而言，我国还落后于经济发达国家。为了使我国火药科学技术进一步发展，尽快缩小与先进国家的差距，达到国际水平，我们非常需要培养一支掌握现代火药知识且结构合理的技术队伍，这是振兴我国火炸药行业的百年大计。这套火药系列教材就是为了实现这一目的而编写的。另外，我国有一大批在火药园地上辛勤耕耘了几十年的专家，他们在长期的教学、科研和生产中，取得了丰硕的成果并积累了极其丰富的经验，这是我国火药行业非常宝贵的财富。现在这些专家大多年事已高，非常希望把他们多年积累的知识传给后人，进而发扬光大。这套“火药系列教材”就是为了实现专家们的这一心愿及为祖国留

下这一宝贵财富而编写的。

“火药系列教材”共11本（见Ⅲ页），包括火药原材料、设计理论、燃烧理论、生产工艺、应用技术、实验与性能以及安全技术等各个方面内容，取材适当、重点突出、符合专业教学大纲要求。既反映现代火药科学技术水平及最新成果，又结合我国火药科研、生产现状及编著者本人多年积累的教学、科研经验。与国内已出版的同类专著和教材相比，内容有较大幅度的翻新，有一部分教材则系国内首次公开出版。本系列教材全面采用国家法定计量单位，贯彻执行国家现行标准，读后将令人有耳目一新之感。

本系列各门教材均聘请实际经验丰富、学术造诣较深的教授和副教授担任主编，编写大纲于1988年5月经专家审定后，教材的初稿又通过火药系列教材编审委员会初审和专家主审，最后由“兵总”教材编审室审定定稿。

“火药系列教材”的出版，归功于各编者数年来锲而不舍的辛勤劳动，归功于编审委员会各位专家的热情指导，归功于“兵总”教材编审室的积极倡导与卓有成效的努力工作，归功于中国兵器工业总公司教育局及有关领导的关心和支持，还归功于北京理工大学出版社和有关院校印刷厂的鼎力协助，我们对此深表感谢！

为了国防科学技术的现代化，我们期待所有的火药工作者，努力贡献自己的劳动和智慧，攀登火药科学的新高峰！

在我国编写“火药系列教材”尚属首次，限于水平，教材中的缺点、错误或不尽人意之处在所难免，我们热切希望读者不吝赐教。

“火药系列教材”编审委员会

王泽山 孙业斌

1993.2



## 前 言

本书是高等院校火药专业的教材之一，是学习火药制造工艺、火药物理化学性能与火药设计等课程的基础。过去本课程内容分散，门数多，学时多，有硝化纤维素工艺学、硝化甘油工艺学及火药用爆炸物等课程。另外在火药工艺学与火药性能课中也略加讲述，内容比较杂乱，缺乏系统性。为适应教学改革的需要，特将以上各门课程有关的内容合并为“火药用原材料性能与制备”。按火药用原材料的功能，分门别类系统地论述火药用原材料的品种、物理化学性质、制造工艺原理及其对火药性能的影响。

从第二次世界大战结束以来，世界各大国军备竞赛从未停止，作为武器能源的火药也得到飞速地发展。火药用原材料的品种不断更新。各种新型材料不断研究和应用，原有品种的性能和制造工艺也不断改进。因此，本书在内容上注意反映火药用原材料上的最新科学技术成就，同时结合教材的特点，做到了理论结合实际，精简扼要。

本书共分七章。第一章绪论，概略叙述火药用原材料的分类，对火药性能的影响及发展趋势。第二、三章讲粘结剂。第四、五章讲增塑剂和溶剂。第六章讲氧化剂、燃烧剂和火药用炸药。第七章讲火药的其它组分，包括安定剂、防老剂、燃速调节剂、燃烧稳定剂、消焰剂、净化剂、缓燃剂、包覆剂、缓蚀剂、偶联剂、固化剂、交联剂、工艺添加剂及其它添加剂等。对每一种原材料着重叙述其物理化学性质和对火药性能的影响。至于制造工艺一般只概略叙述其制造原理和工艺路线；对于火药厂大量生产的原材料，如硝化纤维素和硝化甘油，则比较详细地叙述其制造工艺原理、影响质量安全的因素。至于生产设备的结构和工艺操作方法，以用录像片和投影片向学生介绍。通过生产实习，现场讲解，效果更好。本书对这方面的内容一概从略。

本书由北京理工大学刘继华副教授主审。并经过戴健吾、王泽山、孙业斌、韩光烈等专家会审，提出了许多宝贵的意见，特此表示衷心地感谢。

限于编者水平，书中不足和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1992年12月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
§ 1.1 火药用原材料的分类及其作用 .....	1
§ 1.2 原材料对火药性能的影响 .....	4
§ 1.3 火药用原材料的发展趋势 .....	4
第二章 火药用主要含能粘结剂—硝化纤维素 .....	6
§ 2.1 纤维素的来源与质量要求 .....	6
§ 2.2 硝化纤维素的性质 .....	8
2.2.1 硝化纤维素的结构 .....	8
2.2.2 硝化纤维素的物理性质 .....	10
2.2.3 硝化纤维素的化学性质 .....	27
2.2.4 硝化纤维素的爆炸性质 .....	32
§ 2.3 硝化纤维素的分类及应用 .....	33
2.3.1 硝化纤维素的分类和用途 .....	33
2.3.2 硝化纤维素的质量要求 .....	34
§ 2.4 硝化纤维素的制造工艺 .....	36
2.4.1 硝化纤维素的制造工艺过程 .....	36
2.4.2 纤维素的酯化 .....	37
2.4.3 硝化纤维素的安定处理和后处理 .....	50
2.4.4 硝化纤维素制造工艺的发展 .....	54
第三章 其它粘结剂 .....	56
§ 3.1 复合火药对粘结剂的基本要求 .....	56
§ 3.2 聚硫橡胶 .....	56
3.2.1 聚硫橡胶的性质 .....	57
3.2.2 聚硫橡胶的制造工艺 .....	59
§ 3.3 聚氯乙烯 .....	59
3.3.1 聚氯乙烯的性质 .....	59
3.3.2 聚氯乙烯的制造工艺 .....	60
§ 3.4 聚氨酯 .....	60
3.4.1 聚氨酯的性质 .....	61
3.4.2 原料及中间体 .....	61
3.4.3 聚氨酯的合成 .....	66
§ 3.5 聚丁二烯 .....	67
3.5.1 聚丁二烯—丙烯酸 .....	67
3.5.2 聚丁二烯—丙烯酸—丙烯腈 .....	68
3.5.3 端羧基聚丁二烯 .....	69
3.5.4 端羟基聚丁二烯 .....	71
§ 3.6 粘结剂的发展 .....	73
第四章 火药用主要含能增塑剂——硝化甘油 .....	78

§ 4.1 硝化甘油的性质 .....	78
4.1.1 硝化甘油的物理性质 .....	78
4.1.2 硝化甘油的化学性质 .....	83
4.1.3 硝化甘油的爆炸性质 .....	89
4.1.4 硝化甘油的生理性质 .....	94
§ 4.2 硝化甘油制造过程中的物理化学变化 .....	94
4.2.1 酯化过程中的物理化学变化 .....	95
4.2.2 硝化甘油与废酸的分离 .....	109
4.2.3 硝化甘油的安定处理 .....	111
§ 4.3 硝化甘油的制造工艺 .....	114
4.3.1 硝化甘油的质量标准 .....	114
4.3.2 硝化甘油的制造工艺过程 .....	115
4.3.3 原材料准备 .....	115
4.3.4 酯化工艺和设备 .....	118
4.3.5 分离工艺和设备 .....	122
4.3.6 安定处理工艺和设备 .....	123
4.3.7 硝化甘油废酸、废水及废品的处理 .....	123
4.3.8 硝化甘油制造工艺的发展 .....	125
<b>第五章 其它增塑剂和溶剂 .....</b>	<b>126</b>
§ 5.1 含能增塑剂 .....	126
5.1.1 硝化二乙二醇 .....	126
5.1.2 硝化三乙二醇 .....	128
5.1.3 季戊三醇三硝酸酯 .....	130
5.1.4 1, 2, 4-丁三醇三硝酸酯 .....	131
5.1.5 硝基异丁基甘油三硝酸酯 .....	132
5.1.6 硝化二乙醇胺 .....	134
5.1.7 二硝基甲苯 .....	138
5.1.8 双(2-氟-2, 2-二硝基乙醇)缩甲醛 .....	140
§ 5.2 惰性增塑剂 .....	140
5.2.1 邻苯二甲酸二乙酯 .....	141
5.2.2 邻苯二甲酸二丁酯 .....	142
5.2.3 邻苯二甲酸二辛酯 .....	143
5.2.4 甘油三醋酸酯 .....	144
5.2.5 己二酸二辛酯 .....	144
5.2.6 癸二酸二丁酯 .....	145
5.2.7 癸二酸二辛酯 .....	146
§ 5.3 挥发性溶剂 .....	146
5.3.1 乙醇 .....	147
5.3.2 乙醚 .....	148
5.3.3 丙酮 .....	149
5.3.4 醋酸乙酯 .....	151
§ 5.4 增塑剂的发展 .....	152
5.4.1 新发展的含能增塑剂 .....	152

5.4.2	新发展的惰性增塑剂 .....	153
<b>第六章</b>	<b>氧化剂、燃烧剂和火药用炸药 .....</b>	<b>157</b>
§ 6.1	氧化剂 .....	157
6.1.1	高氯酸铵 .....	157
6.1.2	高氯酸钾 .....	159
6.1.3	硝酸铵 .....	160
6.1.4	氧化剂的发展 .....	161
§ 6.2	燃烧剂 .....	167
6.2.1	轻金属 .....	167
6.2.2	轻金属的氢化物 .....	170
§ 6.3	火药用炸药 .....	171
6.3.1	硝基胍 .....	171
6.3.2	黑索今 .....	176
6.3.3	奥克托今 .....	179
6.3.4	二甲基乙撑二硝酸胺 .....	181
<b>第七章</b>	<b>火药的其它组分 .....</b>	<b>183</b>
§ 7.1	概述 .....	183
§ 7.2	安定剂 .....	183
7.2.1	安定剂的作用 .....	183
7.2.2	常用的安定剂 .....	185
§ 7.3	防老剂 .....	188
7.3.1	防老剂的作用 .....	188
7.3.2	常用的防老剂 .....	189
§ 7.4	燃速调节剂 .....	190
7.4.1	燃速催化剂的作用 .....	190
7.4.2	燃速催化剂的种类 .....	191
7.4.3	平台燃烧催化剂 .....	196
7.4.4	燃速抑制剂 .....	197
§ 7.5	燃烧稳定剂 .....	198
§ 7.6	消焰剂 .....	198
§ 7.7	净化剂 .....	200
§ 7.8	缓燃剂 .....	201
7.8.1	钝感剂 .....	201
7.8.2	其它缓燃剂 .....	201
§ 7.9	包覆剂 .....	203
7.9.1	包覆剂的种类 .....	203
7.9.2	包覆剂的制造工艺 .....	205
§ 7.10	缓蚀剂 .....	207
§ 7.11	偶联剂 .....	209
7.11.1	偶联剂的作用 .....	209
7.11.2	偶联剂的种类 .....	210
7.11.3	硝酸火药用偶联剂 .....	212
§ 7.12	固化剂和交联剂 .....	213

§ 7.13 工艺添加剂 .....	218
7.13.1 增孔剂 .....	218
7.13.2 球形药用保护剂和脱水剂 .....	218
7.13.3 复合火药用稀释剂 .....	219
7.13.4 工艺附加剂 .....	219
§ 7.14 其它添加剂 .....	221
参考文献 .....	222

# 第一章 绪 论

## § 1.1 火药用原材料的分类及其作用

火药是一种含能的高分子复合材料，具有一定的化学组成和形状尺寸。当给予适当的激发能量（点火）时，能在没有外界助燃剂如氧的参加下，迅速而有规律地呈平行层燃烧，生成大量高温气体，用来抛射弹丸，推进火箭导弹系统。火药的构成就是按规定的化学组成，将所需的原材料进行物理混合或化学交联，再通过加工制成规定的几何形状和尺寸。

火药用原材料的品种和配比，取决于火药的品号和组成。火药品种很多，根据用途区分为枪炮发射药和固体推进剂（火箭火药）两大类。根据组分区分为单基火药、双基火药、三基和多基火药、高分子复合火药（复合推进剂）与改性双基火药（改性双基推进剂）等五种。一般来说，发射药所用原材料品种简单，而固体推进剂所用原材料品种较为复杂。

火药用原材料的品种虽然很多，但可以根据它们在火药中所起的作用，分为以下17种。

### 1. 粘结剂

粘结剂又名粘合剂，是火药的基体。它将其它组分粘结在一起，使火药保持一定的几何形状和良好的力学性能；它又是燃料的主要源泉，能提供碳、氢等可燃元素，保持火药的正常燃烧。粘结剂是高分子聚合物，一般分为两种：一是含能粘结剂又称爆炸性粘结剂，其代表是硝化纤维素。这种粘结剂既是燃料，又能在燃烧时提供一定量的氧，因而含有这种粘结剂的火药如单基火药和双基火药，可以不另加氧化剂。二是惰性粘结剂又称非爆炸性粘结剂，大多为橡胶弹性体如聚硫橡胶、聚氨酯和聚丁二烯等，是复合火药的基体。由于它们缺乏氧，因而必须加入氧化剂，才能正常燃烧。

### 2. 氧化剂

在复合火药中，氧化剂的含量是最大的。在改性双基火药中，为了提高火药的能量，也加入一定比例的氧化剂。氧化剂所起的作用是：1）靠其分解提供火药燃烧所需要的氧；2）在粘结剂基体中起固体填料的作用；3）在燃烧过程中，靠其本身的分解产物与粘结剂分解产物的反应，产生气态燃烧产物和放出大量的热能。一般使用的氧化剂是高氯酸铵。

### 3. 增塑剂

增塑剂包括溶剂。它的作用在于降低聚合物粘结剂的玻璃化温度，增加其塑性，以利于加工和改善力学性能。由于硝化纤维素是一种刚性高分子化合物，玻璃化温度较高，必须加入一定量的溶剂和增塑剂，使其溶解塑化才能加工。复合火药中也要加入增塑剂以增加未固化药浆的流动性而利于成型。增塑剂一般分为两类：一类是含能增塑剂又名爆炸性增塑剂如硝化甘油；一类是惰性增塑剂又名非爆炸性增塑剂，如邻苯二甲酸二丁酯。单基

火药在生产过程中使用挥发性溶剂如乙醇、乙醚等。

#### 4. 安定剂

含硝酸酯的火药如单基火药和双基火药，其主要组分是硝化纤维素和硝化甘油等硝酸酯，它们在化学结构上是不稳定的，能自行缓慢分解，而分解产物又有加速催化分解的作用。为了抑制这种催化分解作用，延长火药的贮存寿命，在火药中加入安定剂如二苯胺、中定剂等。

#### 5. 防老剂

复合火药的粘结剂主要是橡胶弹性体，在存放过程中能产生老化作用。为延缓粘结剂的老化，延长火药的贮存寿命，在复合火药中加入防老剂如防老剂 H、防老剂 DNP 等。

#### 6. 能量添加剂

为了提高火药的能量，在火药中加入高能炸药如奥克托今、黑索今、硝基胍等。加入炸药的目的不仅可以提高能量，而且还可以改善火药的综合性能。例如以奥克托今代替高氯酸铵，可以减少火箭发动机排出燃气的烟雾。加入硝基胍可以降低火药的烧蚀性。

火药中加入燃烧剂是提高能量的有效办法。燃烧剂主要是轻金属如铝粉和轻金属的氢化物。

#### 7. 燃速调节剂

为了控制火药的燃烧过程，调节燃烧速度，降低燃速的压力指数，在火药中加入燃速调节剂。燃速调节剂有两种：凡能加速火药燃烧过程，提高火药燃速的称燃速催化剂，如氧化镁、氧化铅、苯二甲酸铅等；凡能延缓火药燃烧过程，降低火药燃烧速度的称燃速抑制剂，如聚甲醛、草酸盐等。

#### 8. 燃烧稳定剂

为了抑制火药的不稳定燃烧现象，在火药中常加入燃烧稳定剂如铝粉、碳酸钙等。

#### 9. 消焰剂

在火炮发射药中，为减少火炮射击时产生的炮口焰和炮尾焰，以防暴露目标和保护射手的安全，在火药中加入消焰剂。常用的消焰剂有硫酸钾、冰晶石等。

#### 10. 净化剂

在火箭火药中，为减少火药燃烧时从火箭发动机排出燃气中的烟雾，减少无线电波的衰减，以防暴露发射阵地和飞行轨迹，防止对制导的干扰，常加入净化剂如氟化铁、铬酸铅等。

#### 11. 缓燃剂

在枪炮发射药中，常将药粒的表面进行缓燃处理，以提高火药的初速，降低膛压，达到渐猛性燃烧。用于缓燃处理的物质称为缓燃剂，用于小粒单基枪药的缓燃剂，通常称为钝感剂如樟脑；用于火炮发射药的缓燃剂如二硝基甲苯、邻苯二甲酸二丁酯等。

#### 12. 包覆剂

在火箭火药中，为了获得特定的压力—时间及推力—时间曲线，在药柱的侧表面或（和）端面进行包覆，以形成内孔燃烧或端面燃烧，这种包覆材料称为包覆剂。包覆剂多为高分子材料如乙基纤维素、醋酸纤维素和橡胶类材料。

#### 13. 缓蚀剂

在枪炮发射药中，为了减少火药燃气对枪炮身管的烧蚀，需要在火药组分或装药结构



中，加入缓蚀剂如二氧化钛、聚氨酯、地蜡等。

#### 14. 偶联剂

为了改善火药的力学性能，提高其机械强度，在火药中加入偶联剂。偶联剂的种类很多，常用的主要有氮丙啶及其衍生物如三(2-甲基氮丙啶基-1)氧化磷(MAPO)、有机硅氧烷类、铬的络合物和酰胺类等。

#### 15. 固化剂和交联剂

在复合火药中，为了使火药固化成型和改善高温力学性能，需要加入固化剂和交联剂。常用的固化剂如2,4-甲苯二异氰酸酯、异佛尔酮二异氰酸酯、MAPO等。常用的交联剂如三乙醇胺。

#### 16. 工艺添加剂

凡是为了火药加工需要而加入的物质统称为工艺添加剂。例如有为了制造多孔火药而加入的增孔剂如硝酸钾；球形火药在成球脱水过程中加入的保护剂如白明胶和脱水剂如硫酸钠；复合火药为降低药浆粘度而加入稀释剂如苯乙烯；双基火药中加入凡士林、硬脂酸锌；复合火药中加入卵磷脂，都是为了改善药料的加工工艺性能。

#### 17. 其它添加剂

在火药中为了特定目的而加入的添加剂还很多。例如在火药中加入光泽剂石墨，可以提高火药在弹壳中的装填密度，增加火药的导电性，防止摩擦聚集静电。双基火药为减少辐射热的影响，有时加入炭黑或苯胺黑，防止火药局部过热而影响燃烧性能。

综合以上所述，对于火药的组分，按其功能可以归纳为以下六类。

(1) 粘结剂 为火药的基体。

(2) 能量添加剂 根据火药能量的要求而进行调配，包括氧化剂、高能炸药和金属燃料。

(3) 弹道性能改良剂 根据火药弹道性能的要求而加入的助剂，品种繁多，一般加入量都比较少。包括燃速调节剂、燃烧稳定剂、消焰剂、净化剂、缓燃剂、包覆剂、缓蚀剂等。

(4) 力学性能改良剂 火药在常温、低温和高温下都必须具有一定的强度。特别是大型固体推进剂和高膛压火炮发射药，对火药的力学性能要求更高。为了改善火药的力学性能，在火药中加入偶联剂、固化剂和交联剂。

(5) 贮存性能改良剂 任何一种火药，都必须具有一定的贮存寿命。加入安定剂或防老剂的目的就是为了延缓火药的催化分解或老化，保持火药一定的贮存期。

(6) 工艺添加剂和其它添加剂 凡是为了火药加工需要而加入的组分统称为工艺添加剂，包括增塑剂、溶剂、增孔剂、稀释剂等。为改善火药某种特定性能而加入的组分称为其它添加剂如光泽剂。

以上各种火药的组分，其功能并非截然分开。有的组分具有多种功能。例如中定剂既是安定剂，又具有增塑作用；氧化镁既是燃速催化剂，又是安定剂，还具有燃烧稳定剂的作用；铝粉既是能量添加剂，又是燃烧稳定剂。

## § 1.2 原材料对火药性能的影响

原材料对火药性能起决定性影响，主要表现在以下四个方面。

第一，火药所用原材料的品种和配比不同，火药性能会表现很大的差异。例如单基火药和双基火药由于所用原材料不同，火药的能量和其它性能差别很大。同是双基火药使用不同的增塑剂如硝化甘油或硝化二乙二醇，火药在能量、烧蚀与工艺性能上也有很大的区别。同是硝化甘油火药，因为硝化甘油的配比不同，火药具有不同的能量等级。

第二，原材料本身质量对火药性能有很大影响。例如硝化纤维素的含氮量影响火药的能量，粘度影响火药的力学性能。硝化纤维素和硝化甘油的安定度影响火药的安定性能。高氯酸铵的粒度和粒度分布影响火药的燃烧速度。

第三，有些原材料不仅本身质量必须符合技术标准的要求，而且原材料的生产工艺对火药的性能也有很大影响。例如用作燃速催化剂的氧化镁，必须由菱镁矿在一定的温度和时间煅烧而成，才具有催化活性。而采用氢氧化镁或碳酸镁煅烧或未经煅烧的纯氧化镁均不具备催化活性；虽然采用菱镁矿煅烧，但煅烧温度和时间不符合规定，也达不到要求的催化活性。

第四，原材料的贮存与运输条件也影响火药质量。火药用原材料虽然在生产厂出厂时符合质量要求，但由于运输贮存保管不当，这种原材料也影响火药性能。例如氧化剂高氯酸铵和硝酸铵易吸潮，因此在运输贮存过程中必须保持干燥。至于在运输或贮存过程中，原材料混入砂粒或其它杂质则更不允许。

由此可见，为了保证火药的质量，不但要按火药配方的规定，严格选用原材料，而且所用原材料的质量必须符合规定的技术标准。原料生产厂必须固定。原材料的运输保管必须遵照规定的制度。

## § 1.3 火药用原材料发展的趋势

火药的发展与所用原材料的发展是分不开的。不同品号和性能的火药需要不同的原材料。原材料品种的更新和性能提高，会促使新品种火药的出现。当前火药用原材料发展的趋势主要表现为以下三个方面。

### 1. 研究与开发高能量高密度高效率的火药组分

火药是武器的能源，提高能量是火药发展的根本目的。因此多年以来，世界各国都致力于高能粘结剂、高能氧化剂的研究和高能炸药的应用。同时为了提高火药在弹壳或火箭发动机内的装填量，进而提高整个装药的能量，也致力于高密度粘结剂、高密度氧化剂的研究。但作为火药整体，不仅要提高能量，还应兼顾其它综合性能。如弹道性能、力学性能、贮存性能和工艺性能。因此在研究和应用高能高密度材料的同时，还必须开发各种高效率的功能助剂。例如安定剂、偶联剂和燃速调节剂等。这些功能助剂要求加入量少而效率高。

### 2. 含能材料和爆炸物的应用日趋普遍

近代火药的发展是从硝化纤维素和硝化甘油的发明和应用开始的。这两种材料都是含