

火药物理化学性能

周起槐 任务正 编著

国防工业出版社

火药物理化学性能

周起槐 编著
任务正

国防工业出版社

内 容 简 介

本书较系统地叙述了枪炮发射药和火箭固体推进剂两类火药的能量性能、热分解性能、燃烧性能、安定性和危险性能、物理力学性能及其主要测定方法；讨论了火药配方对这些性能的影响以及武器对火药性能的要求。为火药的生产、使用以及新火药的研制等提供了必要的理论基础。

本书为高等院校火药及其相关专业“火药物理化学性能”课程的教材，也可供从事这方面工作的工程技术人员参考。

火药物理化学性能

周起槐 任务正 编著

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 18 407千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷 印数：0,001—2,200册

统一书号：15034·2571 定价：1.85元

前 言

火药是武器发射弹丸和推进火箭导弹的特种能源，其特点是在没有外界氧的条件下，能以一定速度在广泛的压力范围内（ $1 \sim 10000$ 公斤/厘米²）稳定地燃烧，生成大量高温气体。在组成上，火药又类似于塑料或高度填充的高聚物复合材料。在壳体粘结的火箭发动机中，火药药柱又是火箭发动机整体结构的一个组成部分。

无论是枪炮还是火箭导弹武器都要求射程远、威力大、精度高，由此对火药性能也提出了一系列极为严格的要求。近年来在分子技术及其材料迅速发展的基础上，出现了一系列新型火药，由于配方的多样化，使得火药组成对其性能的影响也更为复杂，因此掌握火药性能及其内在联系，从而通过改变配方来调节火药的性能以满足各种武器的需要，就成为火药研究的主要课题，也是火药工作者的重要任务。

由于火药性能所研究的许多现象包含着高压、高温和高速的过程或者是极为缓慢的长期过程，涉及化学热力学和动力学、聚合物物理和化学以及武器内弹道学等多种学科，因此火药物理化学性能又是一门兼有理论性和实用性很强的学科。本世纪四十年代以来，在物理化学和聚合物物理化学发展的基础上以及新工艺、新技术、新仪器和电子计算机应用的基础上，火药物理化学性能的研究和实验技术都得到了发展，使它成为一门独立的学科。

本书共分六章。第一章概略地介绍了火药的基本概念和发展概况，为以后各章的学习作准备。其它几章依次叙述了火药的能量性能、热分解性能、燃烧性能、安定性能和危险性能、物理力学性能及其测定方法，并讨论了武器对这些性能的要求。编写时，对基本原理和概念作了较详细的讲述，且注意了将基本理论、专业内容及实验三者相结合，枪炮发射药与火箭固体推进剂兼顾以及单双基火药与复合火药并重。力求使读者对火药性质及其内在联系和火药化学变化的本质有一个全面的认识，从而获得关于火药生产、使用以及新火药研制的必要的理论基础。

本书是在北京工业学院、华东工程学院火药专业有关教材的基础上，参考了近年来国内外有关专著和文献资料，根据火药专业教学大纲编写而成，可作为高等院校火药及其有关专业“火药物理化学性能”课程的教材，也可供从事这方面工作的工程技术人员参考。

本书第一、二章由周起槐编写，第三、四、五章由任务正编写，第六章由周起槐、任务正共同编写。全书由周起槐主编，罗秉和同志审定，刘继华同志对全稿作了校阅。不少同志对本书的编写提供了参考资料和宝贵意见，在此表示衷心感谢。

限于编者水平和经验，书中缺点错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

一九八二年八月

代号和主要符号

代 号

NC——硝化纤维素	NF——氟氮粘合剂
NG——硝化甘油	PS——聚硫橡胶
TA——三醋酸甘油酯	PVC——聚氯乙烯
AP——高氯酸铵	PU——聚氨酯
HMX——奥托金	PBAA——聚丁二烯/丙烯酸
RDX——黑索金	PBAN——聚丁二烯/丙烯酸-丙烯腈
DNT——二硝基甲苯	CTPB——端羧聚丁二烯
DB——双基火药	HTPB——端羟聚丁二烯
CMDB——复合改性双基火药	

主 要 符 号

C^* 特征速度	L^* 特征长度
C_D 流量系数	\dot{m} 质量流率
C_F 推力系数	M 分子量; 原子量
e 燃烧层厚度	N 硝化纤维素含氮量
E 活化能; 模量	\mathcal{N}_j 一公斤火药中含 j 元素的摩尔数
f 组分自由能函数; 火药力	P 压力
F 自由能; 推力	$Q_{v(t)}$ 爆热
h 比热焓	R 一公斤火药燃气的气体常数
H 热焓	R° 通用气体常数
i 分子运动自由度	s 比熵
I 推力总冲量	S 熵
$I_{s,p}$ 比冲	T 温度
$I_{s,pd}$ 实测比冲	T_f 火焰温度; 软化点
I_p 密度比冲	T_g 玻璃化温度
J 热功当量	u 火药法向燃烧速度
k 比热比	u_1 燃速系数
K_p 压力平衡常数	u_m 火药的质量燃烧速度
K_c 浓度平衡常数	U 内能
K_v 侵蚀常数	v 火药气体的比容
K_N 面喉比	v_i 物质的比容系数

V_0	初速		感系数
α	火药气体的余容	ρ	密度
β_i	物质的爆热系数	σ	应力
Δ	装填密度	σ_K	K_N 值一定时燃速的温度敏感系数
ε	侵蚀比; 应变	σ_P	压力一定时燃速的温度敏感系数
η	粘度; 效率	τ	时间; 半衰期
λ	导热系数	ϕ	次要功系数; 填料体积分数
μ	泊桑比	ω	角速度
π_K	K_N 值一定时燃烧室压力的温度敏		

上 标

\circ	标准	g	气相
c	凝聚相	(1)...	近似计算次数

下 标

a	环境条件	d	推进剂参数
c	燃烧室参数	P	定压条件
e	喷管出口处	t	喷喉参数
0	初始条件	V	定容条件

目 录

代号和主要符号	VIII
第一章 绪论	1
§ 1 定义及基本概念	1
§ 2 火药的发展简史	3
§ 3 火药的分类与组成	4
3-1 单基发射药	5
3-2 双基发射药	6
3-3 三基发射药	7
3-4 双基推进剂	7
3-5 复合推进剂	8
3-6 复合改性双基推进剂(CMDB)	15
§ 4 火药的药型	16
§ 5 火药性能及武器对火药性能的要求	17
第二章 火药的能量性能	19
§ 1 概述	19
1-1 火药的假定化学式	19
1-2 氧系数和氧平衡	22
1-3 火药的生成热、热焓和内能	24
§ 2 火药燃烧产物的组成	26
2-1 决定火药燃烧产物组成的因素	26
2-2 只有气态燃烧产物时的平衡组成的计算	28
2-3 含有一种凝聚态组分的平衡组成的计算	35
2-4 复杂系统平衡组成的通用计算方法	38
2-5 燃烧产物的热力学函数	47
§ 3 火药的爆热	49
3-1 火药爆热的意义	49
3-2 火药爆热的测定	50
3-3 火药爆热的理论计算	51
3-4 火药爆热的简化计算	52
§ 4 火药的爆温	54
4-1 火药爆温的意义	54
4-2 爆温比	55
4-3 火药爆温的计算	56
4-4 炮膛和喷管的烧蚀	58
§ 5 火药的比容	58
§ 6 火药力和余容	59
6-1 火药力和余容的物理意义	59
6-2 火药力和余容的实验测定	61
6-3 火药力的理论计算	62
6-4 余容的理论计算	64
§ 7 发射药能量特性参数的计算及例题	64

§ 8 火箭固体推进剂的能量性能	70
8-1 推进剂的比冲	70
8-2 密度比冲	78
8-3 推进剂的密度	81
8-4 特征速度	81
§ 9 推进剂理论比冲和理论特征速度的计算	84
9-1 理论比冲的计算	84
9-2 比冲的电子计算机计算	93
9-3 比冲的快速计算	97
9-4 理论特征速度的计算	100
9-5 推进剂能量特性与配方的关系	103
§ 10 推进剂能量特性参数的测定	111
10-1 静止试验台法	111
10-2 弹道摆法	111
§ 11 比冲效率	112
11-1 燃烧效率	113
11-2 特征速度效率	116
11-3 喷管效率	117
11-4 比冲效率的确定	120
§ 12 提高火药能量性能的途径	120
12-1 武器对火药能量性能的要求	120
12-2 提高火药能量的主要途径	123
12-3 高能配方设计问题	127
第三章 火药的热分解	128
§ 1 化学动力学的基本概念	128
1-1 反应速度与浓度的关系	128
1-2 反应速度与温度的关系	130
§ 2 火药主要组元的热分解	132
2-1 硝化纤维素的热分解	132
2-2 硝化甘油的热分解	133
2-3 硝酸类炸药的热分解	134
2-4 无机氧化剂的热分解	135
2-5 高分子粘合剂的热裂解	140
§ 3 火药热分解的一般规律	141
第四章 火药的燃烧	143
§ 1 燃烧的基本概念	143
1-1 燃烧的基本特征	143
1-2 火焰	144
1-3 火药的燃烧过程	145
§ 2 火药燃烧性能参数	145
2-1 火药的燃烧速度	145
2-2 火药的燃速压力指数	147
2-3 火药的温度系数	151
2-4 侵蚀比	154
§ 3 火药的点火	156
3-1 点火的本质	156
3-2 点火延迟期	156
3-3 点火药	158
§ 4 火药稳态燃烧机理	160

4-1 双基火药稳态燃烧机理	161
4-2 双基平台火药燃烧机理	165
4-3 双基火药燃速的理论表达式	169
4-4 双基火药亚表面反应区的温度分布和表面温度	171
4-5 高氯酸铵复合火药的燃烧	173
4-6 复合改性双基火药的燃烧	179
§ 5 火药燃速的调节	181
5-1 物理方法	183
5-2 化学方法	186
§ 6 火药的不正常燃烧	188
6-1 不完全燃烧	189
6-2 振荡燃烧	190
6-3 燃烧转爆表	192
第五章 火药的安定性和危险性	195
§ 1 火药的安定性	195
1-1 单双基火药的安定性	195
1-2 复合火药的老化	202
§ 2 火药储存性能的测试	204
2-1 单双基火药储存试验	204
2-2 复合火药储存试验	207
2-3 火药保管期的确定	208
§ 3 火药的危险性	209
3-1 自动着火危险性	209
3-2 撞击危险性	213
3-3 摩擦危险性	215
3-4 热点学说	216
3-5 静电火花危险性	217
3-6 消除静电危害的措施	218
3-7 爆轰危险性	219
第六章 火药的物理力学性能	221
§ 1 火药装药受力初步分析	221
1-1 火炮装药	221
1-2 自由装填的火箭发动机装药	221
1-3 壳体粘结的火箭发动机装药	222
1-4 对火药力学性能的要求	225
§ 2 火药的力学性能	225
2-1 基本概念	225
2-2 火药的应力-应变关系式	234
2-3 火药的破坏性质	235
2-4 时间-温度等效原理	237
§ 3 火药力学性能的测试	238
3-1 单轴拉伸试验	239
3-2 单轴拉伸试验数据处理——主曲线的绘制	240
§ 4 影响火药力学性能的因素	246
4-1 影响双基火药力学性能的因素	246
4-2 影响复合火药力学性能的因素	250
§ 5 火药的热性质	255
5-1 火药的线膨胀系数	255

5-2 火药的热容量	256
5-3 火药的导热系数和热扩散系数	257
附录	258
附录一 典型火药配方与性能	258
附录二 不同含氮量硝化纤维素的生成热、爆热系数和比容系数	263
附录三 某些火药组分的生成热、爆热系数(B_f)和比容系数(v_f)	264
附录四 常用燃烧产物的热力学函数	266
附录五 常用化学反应的平衡常数	269
附录六 最小自由能法计算推进剂能量特性的计算机程序	271
附录七 单位换算表	274
参考书目	274

第一章 绪 论

§ 1 定义及基本概念

1. 什么是火药

大家都知道，枪、炮和火箭导弹是现代战争中的重要武器，而火药则是武器发射弹丸或推动火箭运动的特种能源。通常，把用于枪、炮等身管武器的火药称为发射药，而把用于火箭发动机的火药称为固体推进剂。

在枪炮武器中，火药是装在药室或弹壳内的。发射时，火药经底火点燃而进行燃烧，迅速地将火药的化学能转变成热能，同时产生大量的气体。火药在武器膛内的燃烧时间是很短的，约在万分之一秒到千分之一秒之间，产生的高温可达 $2500\sim 3500\text{K}$ 。这就在膛内有限的空间里形成巨大的压力，此压力可达 $2000\sim 4000$ 公斤/厘米² 或更高。这种高温高压燃气，在密闭的膛内进行膨胀做功，推动弹丸以高速射出，达到发射弹丸的目的。火药在枪炮膛内燃烧时所达到的最大压力称为最大膛压（有时简称膛压）。弹丸离开枪炮出口处的速度称为初速。显然，希望火药燃烧时产生的膛压要低，而弹丸所获得的初速又要高，所以膛压和初速是武器设计的重要技术指标，也是衡量枪炮发射药内弹道性能的两个重要参数。

在火箭武器中，火药是装在火箭发动机燃烧室内。发射时，火药经点火装置点燃而燃烧，同时释放出大量的热和气体，这种高温高压气体经由发动机尾部的喷管以高速喷出，从而产生一反作用推力作用于发动机上，使火箭获得一定的速度向前飞行。火药气体喷出的速度愈大，质量愈多，发动机获得的推力也愈大。因而衡量火箭推进剂性能的一个重要指标是它在火箭发动机中所产生推力的大小。

由以上分析可以看出，作为武器发射能源的火药，必须具备一定的条件。首先，火药能可靠而快速地点燃，并且在点燃后不需要外界氧的条件下迅速发生化学变化（即燃烧），放出大量的热。我们把单位质量火药放出的热量称为爆热。

其次，火药在燃烧放热的同时还必须生成大量的气体作为工质，将火药的热能转变为弹丸或火箭发动机的动能。我们把单位质量火药放出的气体称为比容。

显然，火药燃烧时，放出的热量和生成的气体越多，做功的能力也越大。也就是说，爆热和比容越大，火药的能量越高，给予武器的发射功和推进功也就越大。通常发射药和固体推进剂能量的大小分别用火药力和比冲来表示。

第三，火药还要能有规律而稳定地燃烧。也就是说，火药要有一定的形状、尺寸及密实性，且呈平行层燃烧，从而可以通过控制燃烧表面积来控制火药气体的生成速率。

此外，火药还能够长期贮存，处理和使用简单、方便。

综上所述，可以给火药下一个定义：火药是具有规定形状、尺寸的固体含能材料，当给予适当的激发能量时，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，或完成其它特殊任务。

火药不是天然物质，通常也不是单一化合物，而是由多种成分经过一定的加工而成的复杂物系，能在武器发射的条件下，以预定速度有规律地生成工质和热能，以完成发射功。

2. 火药的用途

火药的用途相当广泛，无论是在军事、宇航以及一些其它民用部门，都被作为重要的特种能源。在军事上火药作为枪炮的发射药及火箭、导弹的固体推进剂。

固体推进剂具有结构简单、可靠性高、能瞬时发射、成本较低等优点，使它在军事领域中占支配地位。据估计，西方正在使用或研究的大约一百种火箭导弹系统中，约有85%使用的是固体推进剂。如国外现装备的战略导弹、地空导弹、炮兵战术导弹中大多数用的是固体推进剂，而火箭炮、反坦克导弹以及火箭增程弹用的则全部是固体推进剂。随着大型火箭工艺的发展，固体推进剂在宇航领域内也得到了广泛的应用。如美国一些空间运载火箭中，用的就是固体推进剂，航天飞机上也有应用。

火药还广泛用于其它部门，如用作猎枪发射药；驱冰雹火箭、气象探空火箭、飞机起飞火箭的推进剂；燃气发生器中，作为各种推进驱动装置的能源；驱动涡轮，推动活塞，剪切螺栓和金属线，推动火箭叶轮，开动导弹中的燃料泵，从飞机上投掷货物和弹射座椅等；以及在比较短的时间内需要完全控制的高能动力系统中充作特殊工作的热源；火药还广泛用于石油开采中作为射孔弹的装药等等。

3. 火药化学变化的基本形式

通常发射过程中火药所进行的是爆发燃烧反应。但是，由于激发反应方式的差别和反应进行的环境条件不同，火药还可以发生缓慢的分解反应和激烈的爆轰反应。这三种化学变化的本质都是火药本身中原子进行重排，变成热力学上更为稳定的化合物的过程，但是这三种形式的变化在反应速度和传播性质上却有重大的差别。

在常温常压或在生产加工条件下，火药及其组分常以缓慢速度进行分解反应。这种反应是在整个火药内部展开的，反应的速度主要取决于环境的温度、湿度及杂质等。常温下，反应速度有时慢到短时间内难以觉察，但当温度升高时，反应速度则加快，其加快的程度服从化学动力学规律。

有规律的燃烧和激烈的爆轰与上述缓慢化学变化的主要区别在于：一是燃烧和爆轰都是激烈的化学反应，反应速度很快，放出的热量足以维持反应持续不断地进行。二是燃烧和爆轰不是在火药全部物质内发生，而是在某一局部内进行，且两者都是以反应波的形式以一定的速度一层一层地自动传播的。

然而燃烧和爆轰又是性质不同的两种变化过程。一般来说，爆轰反应比燃烧更为激烈。实验与理论研究表明，它们在基本特性上有如下区别：

首先，从激发反应的机理来看，燃烧时反应区的能量是通过热传导和辐射的方式传入相邻未反应区而引起下一层反应的。而爆轰的传播则是以冲击波的强烈的高温高压冲击作用而进行的。

其次，从传播速度上看，燃烧传播速度通常约为每秒几毫米到几厘米，而爆轰的传播速度（爆速）一般高达每秒数千米。

第三，燃烧过程的传播容易受外界条件特别是受环境压力的影响。如火药在大气中燃

烧进行得很慢，而在密闭容器内，于高压下燃烧时，则燃烧进行的速度急剧增大。而爆轰过程由于其传播速度极快，几乎不受外界条件的影响，对一定的爆炸物质，在固定装药密度下爆轰速度是一个常数。

第四，燃烧过程中反应区内燃烧产物运动方向与燃烧波移动方向相反，因而波阵面内压力较低。而爆轰时，反应区内爆轰产物运动方向与爆轰波传播方向相同，爆轰波阵面内的压力可高达数十万个大气压。

火药化学变化的三种形式（缓慢分解、燃烧和爆轰）在性质上虽然不同，但是它们之间却有着紧密的联系。火药缓慢的分解反应在一定条件下，可以转变为燃烧；而燃烧在一定的条件下又可以转变为爆轰。这种互相区别又互相转化的关系，具有十分重要的意义。因为，在生产和贮存火药时，为了安全和保持火药性能不变的目的，要抑制火药的缓慢分解，不使其发展为燃烧，更不能发生爆轰。而在使用时，则要求保证火药能可靠地点燃和燃烧，而不发生瞎火和爆轰。

§ 2 火药的发展简史

火药是我国古代四大发明之一。最初的火药是由硝石、硫黄和炭粉混合而成的，现今将这类火药称为黑火药（简称黑药）。现代火药无论在品种方面，还是在性能方面，都有了很大的发展。

早在公元 682 年左右，在我国炼丹家孙思邈所著《丹经》一书中就有初期黑火药的组成及配方的记载。在公元 1000 年左右，我国就开始将黑火药用于战争中。十三世纪左右黑火药才由我国传入阿拉伯国家，并传至欧洲，直至十四世纪欧洲才开始应用黑火药。一直到十九世纪后半期，近一千多年时间里黑火药是唯一的一种火药，也是唯一的一种炸药。

典型的黑火药由 15 份木炭、10 份硫磺及 75 份硝石（硝酸钾）组成。由于其性能差，爆热仅 720 千卡/公斤，比容仅 280 升/公斤，火药力为 280000~300000 公斤·分米/公斤，以及燃烧后生成大量烟和固体残渣，使黑火药作为军用火药的地位几乎完全被其它火药所淘汰。目前，黑火药在军事上仅用于火炮和火箭发动机作为点火药和传火药。

十八世纪末和十九世纪初是资本主义发展时期，由于工业和武器的发展，迫切要比黑火药性能更好的火药。而当时科学技术有了较快的发展，特别是有机化学的发展，使火药的革新有了技术上的可能。1832 年法国人布拉科诺发明了硝化纤维素，1846 年意大利人索布雷诺发明了硝化甘油，这就成为火药进一步发展的基础。

在经过长期试验之后，1884 年法国化学家维也里第一个用醇醚溶剂来胶化硝化纤维素，经压制成型，然后再将溶剂驱除，而得到有规律燃烧的火药，即现今的单基火药。这种火药由于具有致密的结构，呈平行层燃烧，因而可以通过变化药粒的形状、尺寸来控制其燃烧。

1888 年瑞典工程师诺贝尔又以硝化甘油胶化硝化纤维素而制得双基火药（又称巴利斯太型双基药）。接着 1889 年英国化学家阿贝尔又用丙酮、硝化甘油和高氮量硝化纤维素制得所谓柯达型双基火药。

由于上述两种以硝化纤维素为基的火药的出现，大大改善和提高了火药的性能，同时也促进了武器的进一步发展。

第二次世界大战及战后年代武器的发展，特别是火箭导弹武器的出现和宇航事业的发展，尤其是近三十年来科学技术的飞跃发展，更促进了火药的发展。

早在第二次世界大战期间，双基火药就被首先用于各种小型火箭之中，发挥了较大的威力。战后，大型火箭需要形状复杂的大型药柱，原有火药的挤压工艺就不能满足要求了，因而浇铸固体推进剂得到发展。浇铸时，组分混合之后，直接浇铸到药模或发动机内，经固化即得坚硬的药柱。现今浇铸推进剂直径可达5~6米，长度可达35~40米，重量超过1000吨，性能稳定可长期贮存、适于军用、民用和某些研究的要求。

浇铸复合推进剂1942年开始于美国，所用配方为25%沥青和75%高氯酸钾。但很快就为各种交联弹性体为基的复合推进剂所代替。四十年代末到五十年代初，出现了以聚硫橡胶为基的第一个现代复合推进剂，使火箭性能有了比较大的提高，由此复合推进剂得到了迅速的发展。以后又发展了性能优于聚硫橡胶的聚氨酯复合推进剂，接着，聚氯乙烯推进剂、聚丁二烯推进剂、复合改性双基推进剂等品种繁多的新火药相继出现。复合火药的发展，使火药在品种、性能、工艺及应用上都获得了较大的发展。由此复合火药在大中型火箭导弹中获得了广泛的应用。

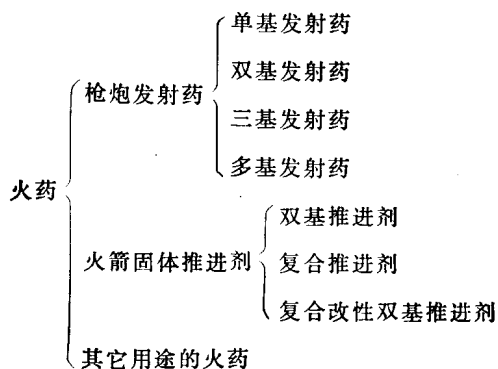
与复合火药发展的同时，以硝化纤维素为基的火药也有很大的发展，如工艺上发展了浇铸工艺；压伸工艺可压制直径达1米的巨型药柱。直至今日，这类火药仍是枪炮武器唯一的发射药，在各种小型战术火箭导弹中的应用也占主要地位，甚至在某些中型火箭导弹上也得到了应用。

§3 火药的分类与组成

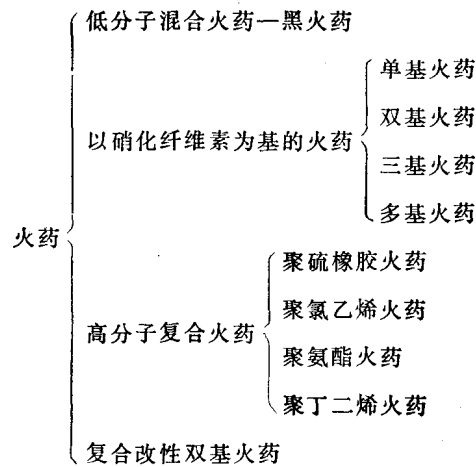
现代火药的品种日趋增多。为了使用、学习和研究的方便，需将火药进行分类。火药的分类方法很多，国内外不尽相同。按照用途，火药可分为枪炮发射药、火箭固体推进剂及其它用途的火药。按照组成的特点，火药又可分为低分子混合火药、以硝化纤维素为基的火药、高分子复合火药和复合改性双基火药。每一类火药按照其主要成分又可分为若干品种，详见表1-1。

表1-1 火药的分类

按用途分：



按组成成分：



下面概略介绍各种火药的组成及其特点。

3-1 单基发射药

以胶化的硝化纤维素为唯一含能组分的发射药称为单基火药。单基火药的主要成分如下：

1. 硝化纤维素 硝化纤维素是这类火药的主要成分（一般占90%以上），也是唯一的能量来源。

2. 化学安定剂 火药贮存过程中，硝化纤维素会发生自动分解反应，加入安定剂可以减缓或抑制这种分解反应的进行，进而提高火药的化学安定性。单基火药中常用的安定剂是二苯胺。

3. 钝感剂 钝感剂可使火药的燃烧速度由表及里逐渐增加，得到所谓“渐猛”的燃烧特性，从而可以改善火药的内弹道性能（降低膛压或增加初速）。单基火药中常用的钝感剂为樟脑。

4. 光泽剂 光泽剂可以增加火药在药筒内的装填密度和导电性。常用的光泽剂为石墨。

5. 消焰剂 消焰剂的加入，可以减少发射时二次火焰的生成。常用的消焰剂有硝酸钾、碳酸钾、硫酸钾、草酸钾及树脂等。

6. 降温剂 降温剂用以降低火药的燃烧温度，以减少高温对炮膛的烧蚀作用。常用的降温剂有二硝基甲苯、樟脑和地蜡等。

除了上述几种成分以外，有时还加有防湿剂、护膛剂等。这类火药在生产过程中通常要应用挥发性溶剂乙醇和乙醚，使硝化纤维素胶化具有塑性，以便于药料密实成型，在药料成型以后，又将挥发性溶剂驱除，但是在火药中总要残留少量剩余溶剂，成为火药的组分之一。因此，单基火药也称为挥发性溶剂火药。表 1-2 为典型的单基火药组成。

单基火药在制造过程中，为了使溶剂易于排除，火药的厚度就要受到一定的限制，而且生产周期长。由于这类火药含有挥发分和具有一定的吸湿性，因而在贮存期间，随着溶剂的挥发和水分的变化，火药的内弹道性能也将发生一些变化。单基火药常用作各种步

表1-2 典型单基火药的组成 (%重量)

成 分	枪 药	炮 药
硝化纤维素 (N% > 13.0)	94~96	
硝化纤维素 (N% = 12.8~13.0)		94~96
二苯胺	1.2~2.0	1.2~2.0
樟脑	0.9~1.8	—
石墨	0.2~0.4	—
残余挥发分	1.7~3.4	1.8~3.8

枪、机枪、手枪、冲锋枪以及火炮的发射药。

硝化粘胶丝火药也属单基火药的一种，它是用混酸（硝酸+硫酸）处理粘胶丝而得的一种特殊火药，生产方法简单，因此在战时一些民用厂也可投入生产。平时一般不生产，也不贮存这种火药。

3-2 双基发射药

以硝化纤维素和硝化甘油（或其它含能增塑剂）为主要组分的火药，称为双基火药。其主要成分有：

1. 硝化纤维素 这是双基火药的主要能量组分之一。
2. 主溶剂（增塑剂） 它起溶解（增塑）硝化纤维素的作用，同时也是双基火药的另一主要能量组分。常用的含能增塑剂有硝化甘油、硝化二缩乙二醇等。
3. 助溶剂（辅助增塑剂） 增加硝化纤维素在主溶剂中的溶解度，常用的助溶剂有二硝基甲苯、苯二甲酸酯类、硝化二乙醇胺（吉纳）等。
4. 化学安定剂 起减缓和抑制硝化纤维素及硝化甘油缓慢热分解的作用。双基火药中一般用中定剂，而不用二苯胺，这是因为二苯胺碱性较强，能够皂化硝化甘油的缘故。
5. 其它附加物 有改进工艺性能的工艺附加物，有改进内弹道性能的消焰剂以及光泽剂等，视需要而定。

双基发射药可用不同的工艺方法制造。用无溶剂工艺方法制造的称为巴利斯太型双基火药，用挥发性溶剂（如丙酮）工艺方法制造的称为柯达型双基火药。典型的双基发射药

表1-3 典型的双基发射药配方 (%重量)

成 分	迫 击 炮 药		线 膛 炮 药		典型变化范围
	巴利斯太型	柯 达 型	巴利斯太型	柯 达 型	
硝化纤维素	57.7	64.5	58.5	65	30~60
硝化甘油	40	34	30	29.5	25~40
二硝基甲苯	—	—	7.5	—	} 1~5
中定剂	2	1	3	2	
二苯胺	—	0.2	—	—	
凡士林	0.3	0.3	1	3.5	} 1~5
石墨 (100%以外附加物)	0.2	—	—	—	
氧化镁 (100%以外附加物)	—	0.2	—	—	
丙酮 (100%以外附加物)	—	0.5	—	1.5	} 0.5~0.7
水分 (100%以外)	0.6	0.4	0.5	0.5	

配方如表 1-3 所示。

与单基火药相比，这类火药（巴型药）由于在制造过程中一般没有挥发性溶剂的驱除问题，因而生产周期较短，并适于制造厚度较大的火药。双基火药吸湿性小，物理安定性和内弹道性能稳定。又因为硝化纤维素和硝化甘油的比例可以在一定范围内变化，所以这类火药的能量能满足多种武器的要求。但是，这类火药的燃温较高，对膛膛烧蚀较重，且生产也较危险。双基火药主要用于迫击炮及较大口径火炮的装药。

3-3 三基发射药

三基发射药是在双基发射药基础上加入一定数量含能（爆炸性）有机结晶化合物（如硝基胍）而制得。因为有三种主要含能组分，所以称为三基药。这类火药多用挥发性溶剂火药工艺制造。加入硝基胍可以降低火药的燃烧温度，以减少对膛膛的烧蚀，所以常称硝基胍火药为“冷火药”。三基发射药典型配方范围如表 1-4 所示。

表1-4 三基发射药典型配方范围

成 分	含量 (%重量)	成 分	含量 (%重量)
硝化纤维素 (N% = 12.6~13.15)	20~28	2-硝基二苯胺	0~1.5
硝化甘油	19~22.5	乙基中定剂	0~6.0
硝基胍	47~55	石墨	0~0.1
苯二甲酸二丁酯	0~4.5	冰晶石	0~0.3
二苯胺	0~1.5		

三基发射药多用于各种加农炮、榴弹炮以及无后座力炮、滑膛炮的装药。除上述的三基发射药外，还有加入其它含能组分（如黑索金）的三基药及多基药等。

3-4 双基推进剂

双基推进剂与双基发射药在组成上类似，也是以硝化纤维素和硝化甘油或其它含能增塑剂，如硝化二缩乙二醇、硝化三缩乙二醇等为基本组分，同时为适应火箭发动机弹道性能的多种要求，还加有各种弹道改性剂，所以其配方比双基发射药要复杂得多。表 1-5 中列出了双基推进剂典型配方范围。双基推进剂可用压伸法或浇铸法生产。用压伸法生产的

表1-5 双基推进剂配方范围

组 分 名 称	含量变化范围 (%重量)
硝化纤维素	50~66
主溶剂 (硝化甘油、硝化二缩乙二醇及硝化三缩乙二醇等)	25~47
助溶剂 (二硝基甲苯、苯二甲酸酯、甘油三酯酸酯及吉纳等)	0~11
安定剂 (中定剂、硝基二苯胺及二苯胺等)	1~9
弹道改性剂 (炭黑或各种金属氧化物及有机酸盐和无机盐类)	0~3
其它附加物 (蜡、凡士林及金属皂等)	1~2

称压伸双基推进剂，用浇铸法生产的称浇铸双基推进剂。前者适用于生产小型及形状较简单的药柱，后者生产的药柱尺寸及形状不受限制。双基推进剂生产周期短，工艺比较成