

普通高等教育  
兵工类规划教材

# 火药物理化学性能

刘继华 编著



北京理工大学出版社

TQ 56/44

# 火药物理化学性能

刘继华 编著

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

《火药物理化学性能》是高等学校火药专业的教科书。本书是以武器对其能源——火药的基本性能要求为中心,介绍了火药各性能的基本知识、基本理论、基本性能参数及其改进的途径。

全书共分6章。第1章,绪论;第2章,火药的能量性能;第3章,火药的燃烧性能;第4章,火药的贮存性能;第5章,火药的安全性能;第6章,火药的力学性能。

本书还可以作为从事枪炮和火箭发动机设计专业的参考教材,也可供从事相关专业的科学技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

火药物理化学性能/刘继华编著. —北京:北京理工大学出版社,1997.8  
ISBN 7-81045-287-8

I. 火… II. 刘… III. 发射药-物理化学性质-高等学校-教材 IV. TQ562

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 10194 号

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 电话(010)68912824

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

\*

787×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 521 千字

1997 年 8 月第一版 1997 年 8 月第一次印刷

印数:1—800 册 定价:26.50 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 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、制定质量标准及明确岗位职责,制定了由主审人审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。根据兵工类专业的特点,成立了十个专业教学指导委员会,以更好地编制兵工类专业教材建设规划,加强对教材的评审和研究工作。

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,力争系列配套,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对兵工专业教材的系列配套,对提高教学质量和培养国防现代化人才,对促进兵工类专业科学技术的发展,起到积极的作用。

本教材由罗秉和教授主审,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

1994年11月

## 火药系列教材

# 火药物理化学性能

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：牛秉彝 戴健吾 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	火药与火箭装药内弹道原理	张柏生
2	火药装药设计原理	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	王泽山
5	火药设计	黄人骏
6	火药物理化学性能	刘继华
7	单基与多基火药	牛秉彝
8	双基火药	张续柱
9	复合火药	马庆云
10	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，希望它能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。

长期以来，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里斯太型双基火药，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”也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10本(见Ⅱ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年2月



# 前 言

本书是高等学校火药专业的教材之一,是学习者掌握火药专业必须具备的专门知识。在以前的众多同类教材或专著中,常将枪炮用火药(发射药)和火箭用火药(固体推进剂)分别加以论述。这往往使学习者过于强调了它们的个性而忽视了它们的共性,难以掌握火药性能的全面内容。由周起槐、任务正编著的《火药物理化学性能》一书(国防工业出版社1983年出版),首次将两类不同用途的火药结合起来论述,突出共性,照顾个性,使火药性能真正成为一门独立完整的课程,有利于学习者全面掌握火药性能的基本知识,经过多年的教学实践,收到了良好的效果。但该书已出版多年,在火药性能领域中已有了长足的发展,原书中的工程单位已不符合国家规定的要求,及时充实完善本学科领域已发展起来的新知识、新内容和全面贯彻国际单位制很有必要。本书是作者参考了大量的有关图书资料并结合多年的教学实践经验和科研成果的基础上写成的。在保持和发扬原书优点的基础上,补充新近发展的内容,全面贯彻了国际单位制,对所有的公式进行了修正,使内容更加充实、完善、发展和提高。火药实质上是一种含能的高分子材料,在学习该课程前必须具备物理化学和高分子科学的基本知识,因而它的先修课程是物理化学、高分子化学和高分子物理。

本书是以武器对火药的主要性能要求为中心,紧密结合实际来编写的,因而在学习本课程后就可初步掌握火药配方设计和改进火药性能设计的基本方法。全书共分6章:第1章绪论中首先介绍了火药的基本知识,使读者在学习性能知识之前,对各种火药的组分和基本性能要求有一个基本的了解,为后面学习各章打基础;第2章为能量性能,讲述不同武器对火药能量性能的要求、能量性能参数计算的基本方法、配方设计和提高能量性能的途径;第3章为燃烧性能,讲述了火药燃烧性能参数的基本要求及其调节方法;第4章讲述了火药的贮存性能和提高火药贮存寿命的方法;第5章讲述了火药的安全性能,以指导火药生产、运输和使用中对安全注意的程度和制定安全规范的依据;第6章为火药的力学性能,对各类武器装药的受力进行了分析,提出了各类武器对火药力学性能的要求,重点讨论了壳体粘接式火箭发动机装药的力学性能和改进力学性能的途径。

本书在编写过程中得到了许多同行专家的帮助和支持,戴健吾教授、罗秉和教授、谭惠民教授、李一苇研究员、王爱玉研究员和黄延明副研究员为作者提供了大量很有价值的科学参考资料。完稿后,牛秉彝教授、王泽山教授、罗秉和教授、戴健吾教授和孙业斌教授对全书进行了审定,罗秉和教授任主审。他们都对书稿提出宝贵的意见。我的研究生官宁瑞帮助抄写了大部分书稿。在此,对他们的帮助表示衷心的感谢。

书稿完成后,总觉得还有不尽人意之处。由于受到篇幅的限制,还有许多内容没有写进去。加上作者水平有限,不足和错误之处在所难免,在此,恳请专家和读者批评指正。

作 者

1996年3月

# 目 录

## 第 1 章 绪论

1.1 火药性能的基本概念 .....	(1)
1.1.1 火药的定义 .....	(1)
1.1.2 火药的用途 .....	(2)
1.1.3 火药化学变化的基本形式 .....	(4)
1.1.4 火药在武器中的作用 .....	(5)
1.2 火药的组成及主要组分的作用 .....	(5)
1.2.1 单基发射药 .....	(6)
1.2.2 双基发射药 .....	(7)
1.2.3 三基发射药 .....	(8)
1.2.4 双基推进剂 .....	(9)
1.2.5 复合推进剂 .....	(10)
1.2.6 复合改性双基推进剂 .....	(17)
1.2.7 NEPE 推进剂 .....	(18)
1.3 武器的使用及生产对火药性能的要求 .....	(19)
1.3.1 能量性能 .....	(19)
1.3.2 燃烧性能 .....	(22)
1.3.3 力学性能 .....	(23)
1.3.4 贮存性能 .....	(24)
1.3.5 安全性能 .....	(24)
思考题与习题 .....	(26)

## 第 2 章 火药的能量性能

2.1 基本概念 .....	(27)
2.1.1 火药的假定化学式 .....	(27)
2.1.2 氧系数和氧平衡 .....	(31)
2.1.3 火药的生成焓、焓和内能 .....	(34)
2.2 火药燃烧产物的组成及计算 .....	(35)
2.2.1 决定火药燃烧产物组成的因素 .....	(35)
2.2.2 迭代法计算火药燃烧产物的平衡组成 .....	(36)
2.2.3 最小吉布斯自由能法计算燃烧产物平衡组成 .....	(46)
2.2.4 燃烧产物的热力学函数 .....	(54)
2.3 发射药的能量性能 .....	(57)
2.3.1 火药的爆热 .....	(57)
2.3.2 火药的爆温 .....	(61)
2.3.3 火药的比容 .....	(66)
2.3.4 火药力和余容 .....	(68)
2.4 发射药能量特性计算方法 .....	(73)

2.4.1	基本法	(73)
2.4.2	内能法	(73)
2.4.3	简化法	(74)
2.5	火箭固体推进剂的能量性能	(78)
2.5.1	推进剂的比冲	(79)
2.5.2	推进剂的密度	(86)
2.5.3	推进剂的密度比冲	(87)
2.5.4	推进剂的特征速度	(89)
2.6	推进剂理论比冲和理论特征速度的计算	(91)
2.6.1	理论比冲的计算	(91)
2.6.2	理论特征速度的计算	(102)
2.6.3	比冲的经验计算	(106)
2.6.4	固体推进剂能量性能参数的计算机计算	(111)
2.6.5	推进剂的能量与配方的关系	(115)
2.7	固体推进剂能量性能参数的实验测定	(121)
2.7.1	弹道摆法	(122)
2.7.2	静止试验台法	(123)
2.8	比冲效率	(123)
2.8.1	燃烧效率	(124)
2.8.2	特征速度效率	(129)
2.8.3	喷管效率	(130)
2.8.4	比冲效率的确定	(133)
2.9	提高火药能量性能的途径	(133)
2.9.1	武器对火药能量性能的要求	(133)
2.9.2	提高火药能量的途径	(137)
2.9.3	高能配方设计原则	(139)
	思考题与习题	(140)

### 第3章 火药的燃烧性能

3.1	燃烧的基本概念	(141)
3.1.1	燃烧的基本特征	(141)
3.1.2	火焰	(142)
3.1.3	火药的燃烧过程	(143)
3.2	火药主要组分的热分解	(143)
3.2.1	硝化纤维素的热分解	(143)
3.2.2	硝化甘油的热分解	(145)
3.2.3	硝胺类炸药的热分解	(147)
3.2.4	高氯酸铵的热分解	(154)
3.2.5	高分子粘结剂的热裂解	(158)
3.3	火药的燃烧性能参数	(160)
3.3.1	火药的燃烧速度	(160)
3.3.2	火药的燃速压力指数	(163)
3.3.3	火药的燃速温度系数	(169)
3.3.4	侵蚀比	(173)

3.4	火药燃烧性能参数的影响因素及调节方法	(175)
3.4.1	火药燃速的影响因素	(175)
3.4.2	火药燃速的调节方法	(181)
3.4.3	燃速压力指数的调节	(191)
3.5	火药稳态燃烧模型简介	(192)
3.5.1	双基火药稳态燃烧的物理化学模型	(193)
3.5.2	双基平台火药燃烧的“等物质的量规则”机理	(197)
3.5.3	高氯酸铵复合火药燃烧的粒状扩散火焰模型	(198)
3.6	火药的不正常燃烧	(200)
3.6.1	不完全燃烧	(201)
3.6.2	燃烧转爆轰	(202)
3.7	火药的点火	(204)
3.7.1	点火的本质	(204)
3.7.2	点火延迟期	(205)
3.7.3	枪炮发射药装药的点火	(207)
3.7.4	火箭发动机装药的点火	(207)
3.7.5	点火药	(208)
	思考题与习题	(211)

## 第4章 火药的贮存性能

4.1	含硝酸酯火药的安定性	(212)
4.1.1	含硝酸酯火药的物理安定性	(212)
4.1.2	含硝酸酯火药化学不安定的主要原因	(215)
4.1.3	含硝酸酯火药热分解对火药性能的影响	(216)
4.1.4	安定剂的作用机理	(219)
4.1.5	硝酸酯为基的火药的贮存试验	(221)
4.1.6	含硝酸酯火药贮存期的预估	(224)
4.1.7	提高硝酸酯火药安全贮存寿命的途径	(226)
4.2	复合固体推进剂的老化	(227)
4.2.1	复合固体推进剂的老化特征	(227)
4.2.2	影响复合固体推进剂老化的因素	(228)
4.2.3	复合固体推进剂的老化机理	(231)
4.2.4	复合固体推进剂贮存老化试验和使用寿命的预估	(233)
4.2.5	延缓复合固体推进剂老化的措施	(234)
	思考题与习题	(236)

## 第5章 火药的安全性能

5.1	火药的热感度	(238)
5.1.1	火药的爆发点及其实验	(238)
5.1.2	火药在加热作用下的自动着火机理	(240)
5.1.3	火药发火点的测定	(242)
5.2	火药的撞击感度	(242)
5.2.1	火药撞击感度试验方法	(242)
5.2.2	以爆炸百分数表示撞击感度	(242)
5.2.3	以特性落高表示撞击感度	(244)

5.2.4 以撞击能表示撞击感度	(244)
5.3 火药的摩擦感度	(244)
5.4 火药的静电火花感度	(245)
5.4.1 火药产生静电的原因	(245)
5.4.2 静电火花感度的测量	(246)
5.4.3 消除静电的方法	(247)
5.5 火药的爆轰感度	(247)
5.6 火药的毒性	(248)
5.7 火药及其组分的危险等级	(249)
5.7.1 美国的危险品分类标准	(249)
5.7.2 中国的危险品分类标准	(249)
5.8 火药生产使用中的安全问题	(260)
思考题与习题	(261)
<b>第6章 火药的力学性能</b>	
6.1 火药的受力情况分析	(262)
6.1.1 火炮装药	(262)
6.1.2 自由装填式火箭发动机装药	(263)
6.1.3 壳体粘接式火箭发动机装药	(264)
6.1.4 武器对火药力学性能的要求	(271)
6.2 火药的力学性能	(273)
6.2.1 基本概念	(273)
6.2.2 火药的应力-应变关系式	(280)
6.2.3 时间-温度等效原理及WLF方程	(282)
6.2.4 火药的破坏性质	(283)
6.3 火药力学性能测试	(286)
6.3.1 静态力学试验	(287)
6.3.2 动态力学试验	(290)
6.3.3 试验数据处理-主曲线的绘制	(291)
6.4 影响火药力学性能的因素和提高力学性能的途径	(295)
6.4.1 影响双基火药力学性能的因素	(295)
6.4.2 提高双基火药力学性能的途径	(296)
6.4.3 影响复合火药力学性能的因素	(297)
6.4.4 提高复合火药力学性能的途径	(303)
思考题与习题	(304)
附录一 不同含氮量硝化纤维素的生成焓、爆热系数和比容系数	(305)
附录二 某些火药组分的生成焓、爆热系数和比容系数	(306)
附录三 常用燃烧产物的热力学函数	(308)
附录四 常用化学反应的平衡常数	(312)
附录五 典型火药配方与性能	(315)
附录六 最小自由能法计算推进剂能量特性的计算机程序	(320)
参考文献	(325)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 火药性能的基本概念<sup>[1~9]</sup>

### 1.1.1 火药的定义

火药是中国古代四大发明之一。由中国的炼丹家,通过试验将硫黄、硝石和木炭混合在一起,制成一种能发火的新物质,又由于硝石和硫黄是医药中的上行药和中行药,所以称这种新物质为火药。李时珍的《本草纲目》中也将火药收集其中,并指出能“治疮癣,杀虫,辟湿气、瘟疫。”冯家昇指出,利用火药所具有燃烧和爆炸的性质于军事目的是在晚唐,在宋代有很大的发展,可以用火药制出火箭、突火枪、震天雷等火器,后来又出现了铜铁火炮等管形火器。早期火药在使用中既利用它的燃烧性质又利用它的爆炸性质。所以,火药一词的含义,早期在中国和目前的日本,泛指火炸药。20 世纪 50 年代以后,在中国,火药就专指火药而不包括炸药在内。早期的火药就是现代的黑火药雏形,而早期的火器,就是今天的枪炮、火箭导弹等现代化武器的始祖。

火药的发明使人类由冷兵器时代进入到热兵器时代。尽管现代武器已发展到了相当先进完美的地步,但从火药基本组成(燃料、氧化剂和粘结剂)、化学能的利用(由燃烧将化学能转变为热能)和发射(将热能转换为弹丸的动能)等基本原理上,是相同的,只是水平上和威力上已发展到今非昔比的地步。火药作为现代武器发射的能量,在现代战争中有着特殊的地位。火药的发展推动了武器的进步和发展。反过来,武器的发展,又要求提供能量更高、性能更完善的火药。

现代战争中所使用的武器,主要是枪、炮和火箭、导弹。在枪、炮等身管武器中利用火药燃烧的高温高压气体在身管中的膨胀,推动弹丸向前运动,将弹丸从武器身管中发射出去飞向目标,所以称枪、炮用的火药为发射药。火箭导弹武器,是利用将装在火箭发动机中的火药燃烧产生的高温高压气体从喷管喷出,对火箭产生反作用推力,推动火箭向前运动,将战斗部发射到目标地,故称用于火箭发动机中的火药为固体推进剂。所以,作为满足武器使用要求的火药,首先必须在同一固体物系中,同时含有燃烧所必需的可燃元素和氧化元素,在整个燃烧过程中不需外界供氧;第二,藉助于简单的点火装置能迅速而可靠地被点燃;第三,燃烧时按预定设计规律呈平行层的稳定燃烧,同时放出大量的热和生成大量的气体;第四,在较长时间贮存中,保持基本性能不变或在允许的范围内变化。根据这些要求,可以定义火药为:在适当的外界能量作用下,自身能进行迅速而有规律的燃烧,同时生成大量高温气体的物质。

炼丹家炼丹的目的,一是炼制长生不老药;二是制金银,在这过程中意外发明了火药。它和其它科学发展一样,始终是推动社会发展进步的动力。没有火药的发明和发展就很难想象有今天社会的进步和航天技术的发展。所以,火药的发明和发展是人类科学、文明和进步的象征之一,是推动人类社会进步的动力之一。

### 1.1.2 火药的用途

古代的火药在军事上用作火枪、火箭、火炮等兵器外,还用于爆破,是当时唯一的火药,也是唯一的炸药。图 1-1 为几种古代典型的作战火器。图中的突火枪、火筒、火箭、火箭筒,是利用燃烧来发射杀伤利器,震天雷则是利用爆炸来杀伤敌人。

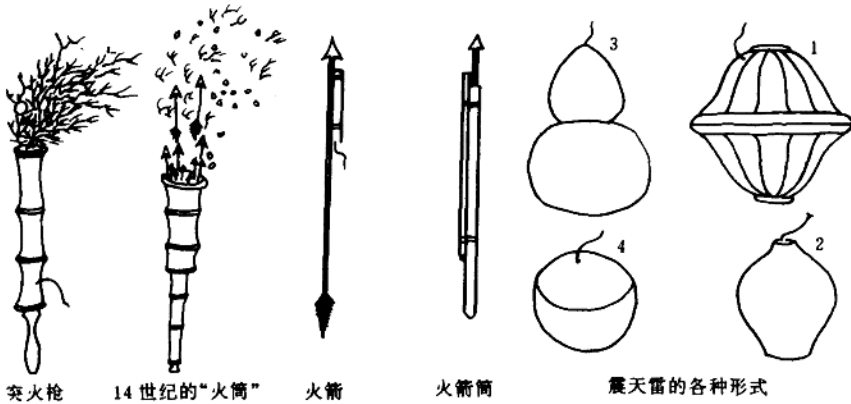


图 1-1 中国古代火器

1—盒碗式;2—罐子式;3—葫芦式;4—圆体式

现代火药具有更为广泛的用途,除在军事上作为武器发射的能源外,在民用上也有广泛的用途。

#### 1. 军用

迄今为止,所有枪炮的发射能源,全部使用火药。液体发射药尚在研究之中,火箭、导弹所使用的发射能源,绝大多数也是采用火药,又称固体推进剂,或称之为火箭火药。这是因为固体火箭发动机具有结构简单,可靠性高,体积能量密度高,机动性好,能瞬时发射,成本较低等优点。所以,今天的火箭武器从小的战术火箭到大的战略导弹,采用固体推进剂作为发射能源的仍占支配地位。图 1-2 为枪、炮和火箭发射的示意图。

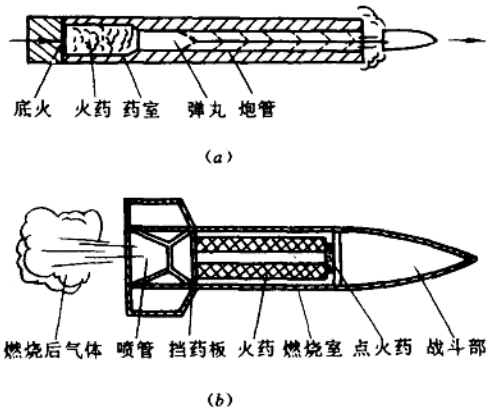


图 1-2 枪炮装药发射和火箭弹发射示意图  
(a)—枪、炮装药发射示意图;(b)—火箭发射示意图

#### 2. 民用

火药在民用上越来越广,如宇航中的各种动力火箭、气象探空火箭、人工影响天气(驱雹和降雨)的火箭等。下面还介绍几个新开发的火药在民用工业上的例子。

固体推进剂磁流体装置是利用火药燃烧时释放出的磁场以一定方式转化为电信号。磁流

体发生器如图 1-3 所示。当从等离子发生器 1 中药柱 2 燃烧产生的等离子燃烧产物进入主通道 3 并切割磁力系统 7 产生的磁场喷向大气,利用地层结构不同所发出的不同磁场来探测石油、天然气、矿藏资源和中期地震预报等。

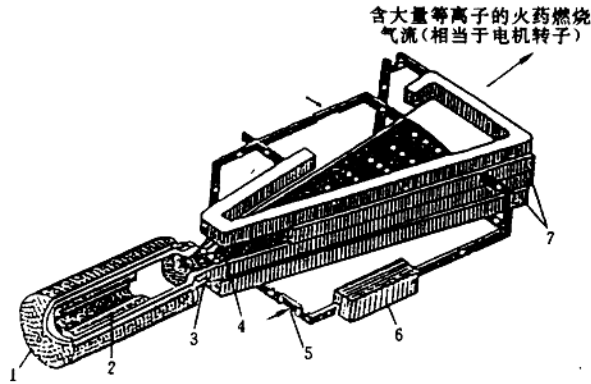


图 1-3 固体推进剂磁流体发生器示意图

1—等离子发生器;2—固体等离子体药柱;3—主通道;4—等离子流;5—交换器;6—负荷;7—磁力系统

无壳压力发生器是产生高压气体作用在钻孔的边界区,使油层碎裂,排除石蜡和其它堵塞物,使油气畅流或再生而提高产量。无壳压力发生器采掘石油如图 1-4 所示

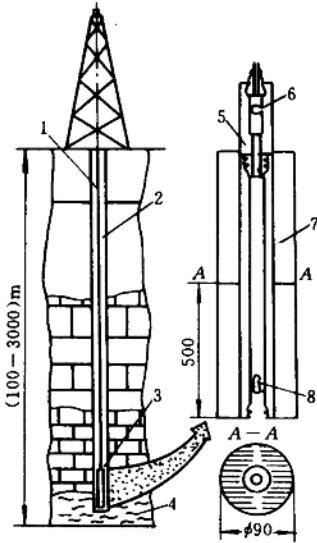


图 1-4 无壳压力发生器采掘石油示意图

1—电测电缆;2—钻孔液体;  
3—无壳气体发生器;4—石油层;  
5—点燃具;6—点火药包;  
7—火药柱;8—点火药柱;  
A—A—发生器截面图

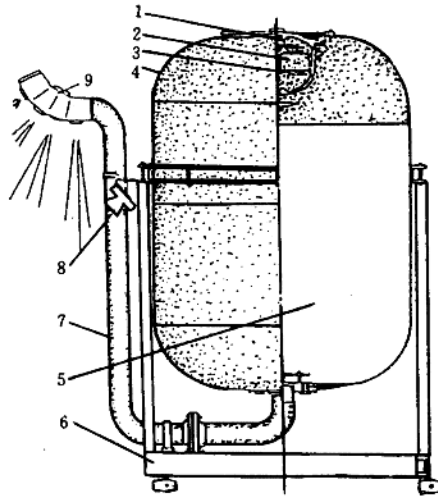


图 1-5 快速、自动灭火系统示意图

1—点火系统;2—固体推进剂;  
3—气体发生器;4—外壳;  
5—灭火剂;6—支架;  
7—导管;8—火源传感器;  
9—喷头



自动灭火装置是火药应用于消防的实例。自动灭火系统如图 1-5 所示。当火灾出现时,火源传感器被感应,点火系统工作即将固体推进剂点燃。产生的高压气体将贮罐中的灭火剂喷出喷向火源而快速灭火。这种装置自动、快速、可反复使用,可用于危险场合的灭火,射流射程可达 100m。

制造人造金刚石是将碳(18%)掺入火药中,起爆药柱使压力达(10~15)GPa,温度达 3000℃,可得粉末金刚石,尺寸可达(10~20) $\mu\text{m}$ ,大部分为(1~2) $\mu\text{m}$ ;若用安瓶法(将火药、铜 92%、石墨 8%装入安瓶)起爆,压力可达(20~40)GPa,温度(2000~3000)℃,制得的金刚石尺寸可达 60 $\mu\text{m}$ 。火药柱可利用待报废的军品用火药。

除此之外,以火药作为动力源和气源还可以用于高山架线、打捞沉船、汽车安全袋、驱动涡轮、飞机弹射椅等装置。

在今天提出国防工业军民结合、保军转民的形势下,火药在民用领域中会开拓出更宽、更加光明的前景。

### 1.1.3 火药化学变化的基本形式

在枪炮和火箭发射过程以及利用火药作为其它能源和气源的过程中,火药所进行的是爆发燃烧反应。通过燃烧,火药有规律地释放出能量和气体。但是,随着激发方式不同,火药除燃烧反应外,还有缓慢的热分解反应和急剧的爆轰反应。这三种变化形式不相同,但它们的本质都是火药自身中原子进行重排,变成热力学上更为稳定的化合物的过程。

在火药生产过程的高温和贮存常温下,火药,尤其是含有硝酸酯基的火药要发生缓慢的热分解反应。这种反应在整个火药内部进行,并随着温度的升高,反应速度加快。其加快的程度符合阿累尼乌斯反应动力学方程。环境温度增大,反应速度加快。热分解过程总的热效应是一个放热过程。即使在贮存的常温下,这种热分解仍在进行,只是缓慢到在短时间内难以用常规的仪器测出。

火药的燃烧,在一定的外界条件下,则是一种有规律、呈平行层进行的化学反应。由于火药自身体系中,含有燃烧反应所需要的氧化元素和可燃元素,所以它要比通常物质的燃烧速度快得多、激烈得多。它依靠自身化学反应放出的热量传给未燃烧层维持反应持续进行,燃烧是在火药表面局部进行的,并以燃烧波传播的方式、以一定的速度一层一层传播下去。燃烧波传播的速度通常约几毫米到几厘米每秒,最高可达数米每秒。燃烧产物运动的方向与燃烧波传播的方向相反。燃烧放出的热,一部分通过热传导传给未反应区维持继续燃烧,大部分则通过热辐射和燃烧产物带到环境中。燃烧过程明显受外界条件影响,如压力和初温改变,燃烧速度亦改变,随着压力的增加或初温的增加,燃烧速度则增大。

爆轰则是火药另一种可能的化学变化形式,是火药化学变化中最激烈的一种。传播的方式是以爆轰波沿火药一层一层迅速传播。传播速度为数千米每秒。在爆轰波面上可形成 GPa 级以上的压强,爆温高达数千摄氏度。爆发产物运动的方向与爆轰波运动的方向相同。爆速只受装药条件(如密度和装药直径)的影响,几乎不受初温和其它外界条件的影响,当装药密度一定、装药直径大于爆轰临界直径时,爆轰速度是一个常数。

表 1-1 列出火药三种化学变化的共同点和不同点。