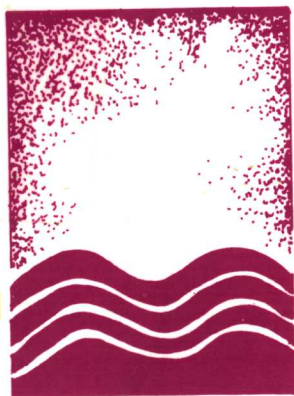


普通高等教育  
兵工类规划教材

# 烟火学

潘功配 杨 硕 编著



北京理工大学出版社

# 烟火学

潘功配 杨 硕 编著

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本教材共 14 章。第 1 章绪论,第 2~7 章介绍了烟火药的组成与配方设计、烟火药的燃烧理论基础、烟火效应理论基础(包括光与色的理论和气溶胶物理)、烟火药的固相反应、烟火药的一般性质。第 8~14 章分别介绍了产生光(包括红外)、烟、热及其它特种效应的烟火药和烟火药及其制品的制备工艺、特种效应性能测试以及烟火技术在国民经济中的应用等。

本教材可作高等院校火工、烟火专业学生的教科书,也可供从事火工、烟火品生产和科研的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

烟火学/潘功配,杨硕编著. —北京:北京理工大学出版社,  
1997.1 (2004.9 重印)

ISBN 7-81045-216-9

I. 烟… II. ①潘… ②杨… III. 烟火剂-教材 IV. TQ567

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 23993 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区中关村南大街 5 号)

邮政编码 100081 电话:(010)68422683

各地新华书店经售

北京国马印刷厂印刷

\*

850×1168 毫米 32 开本 16.5 印张 417 千字

1997 年 1 月第 1 版 2004 年 9 月第 2 次印刷

印数:1201—2200 册 定价:25.00 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。

本教材由许又文教授主审,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编审审定。

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**

1996年1月

火工与烟火技术系列教材

# 烟火学

火工与烟火技术系列教材编审委员会

主任委员：劳允亮

副主任委员：孙业斌 蔡瑞娇 徐振相

委员：（按姓氏笔划）

冯长根	许又文	孙业斌	刘伟钦
劳允亮	李桂茗	吴幼成	吴学易
张景林	陈福梅	徐云庚	徐振相
谢高第	蔡瑞娇	戴实之	

## 火工与烟火技术系列教材目录

序 号	教 材 名 称	主 编 人
1	火工品设计	蔡瑞娇
2	起爆药化学与工艺学	劳允亮
3	火工品工艺学	刘伟钦
4	烟火学	潘功配
5	火工与烟火安全技术	汪佩兰
6	火工品实验与测试技术	程国元
7	起爆药实验	刘自汤

## “火工烟火技术系列教材”序言

我们谨以这套“火工烟火技术系列教材”奉献给我国火工烟火技术行业的全体同仁,希望它为发展我国火工烟火技术学科、为培养火工烟火技术专业后继人才做出贡献。

火工烟火技术在武器弹药、航空航天和核武器中起点火、传火、引爆、传爆、延期、精确做功以及烟火效应等作用。它是武器系统始发能源的关键器件和装置,也是武器系统中最重要的子系统。它的基本功能是:高精度、高可靠性点火与传火组成传火系列;高可靠性、高瞬发度安全起爆和传爆组成爆炸序列;高精度可靠动作的动力源;精确的延期效应;利用烟火剂的燃烧反应产生强光(红外诱饵、照明)、烟雾(人工气溶胶)干扰、信号、声响等物理效应。火工品和烟火制品的种类繁多,随着武器需求和技术水平的发展,它的功能不断开发和更新,并成为机、电、化、光技术密集发展相当活跃的领域。

我们祖国是黑火药的故乡,而黑火药是现代火工品和烟火剂的始祖,也是当时世界上唯一使用的火工品和烟火药剂,至今仍然是重要的火工药剂。现代火工烟火技术始于17世纪,J. 孔克尔发现了雷汞,1817年英国人制成了最早的装有击发药的铜盂火帽,1831年,W. 毕克福德发明了导火索,1865年A. B. 诺贝尔发明了雷汞雷管并成功地起爆了硝化甘油与硅藻土混合的代拿买特安全炸药,开创了用起爆药起爆猛炸药的新纪元。可以认为装有击发药的火帽和雷汞雷管的成功应用,标志着第一代火工品的诞生。第一次世界大战前后以叠氮化铅起爆药装填雷管的火工品和起爆药的出现,提高了火工品作用的可靠性,保证了武器弹药发展的需要。第二次世界大战时,火箭弹、反坦克破甲弹、原子弹等新型弹药的发展,促进了电火工品的发展。进入20世纪随着导弹及航天技



术的发展需要,出现了动力源火工品和防辐射、防静电、防雷击的电或非电火工品,使火工品的性能和应用范围进一步扩大。80年代以来,新型火工品研制的特点是逐步与电子发火线路相结合微电子火工品,如半导体桥雷管和冲击片雷管以及具有爆炸逻辑网络的多点引燃、引爆和多点输出,使炮弹、火箭和导弹系统具有爆炸逻辑功能。

火工烟火技术随着科学技术和军事技术的发展而迅速发展,它在国民经济中诸如矿山、石油、煤矿的开采,爆炸成型、爆炸焊接及工程爆破等多方面得到广泛的应用。

建国以来,我国火工烟火技术经历了从无到有、从仿制到自行设计,有了长足的发展。60年代以后,研制和设计了航空航天、舰艇、导弹、核武器上使用的各种用途的火工品和烟火制品。因此也丰富了我国火工烟火技术领域的基础理论和实际经验,但是应该看到,尽快缩小与先进国家的差距,达到国际先进水平,我们非常需要培养一支掌握现代火工烟火技术知识且结构合理的技术队伍,这是振兴火工烟火技术行业的百年大计。这套“火工烟火技术系列教材”就是为实现这一目的而编写的。另外,我国有一大批在火工烟火技术领域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,积累了极其丰富的经验,他们是我国火工烟火技术行业宝贵的财富。现在这些专家年事已高,非常希望把他们多年获得的成就传给后人,这套“火工烟火技术系列教材”也是为了实现专家们这一心愿而编写的。

“火工烟火技术系列教材”共七本,涉及火工品、起爆药和烟火药剂的设计、合成原理、生产工艺、应用研究、性能测试、分析及技术安全等各个方面,取材得体、新颖,既反映现代火工烟火技术的科学水平,又结合了我国火工烟火技术科研生产现实及编著者本人多年积累的教学实践经验,与国内已出版的同类专著和教材相比,内容具有较大幅度的翻新,有一部分教材则属国内首次出版。

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,编写大纲曾于1991年5月经专家审定,教材的初稿又通过火工烟火技术系列教材编审委员会初审和专家主审,最后由兵工教材编审室审定定稿。

“火工烟火技术系列教材”的出版,归功于各位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和卓有成效的努力工作,归功于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相助,我们在此表示衷心的感谢!

我们编写“火工烟火技术系列教材”尚属首次,限于水平,教材中的缺点错误和不尽人意之处在所难免,我们热切期待来自读者的建议、批评和指正。

**“火工烟火技术系列教材”编审委员会**

劳允亮 孙业斌 执笔

1993年

# 前 言

烟火学是介于化学和物理学之间的与众多学科知识交叉的一门科学。烟火学研究的主题内容是烟火药及其在燃烧或爆炸化学反应中的光、色、声、烟、热等烟火特种效应与应用。

近几十年来,烟火学的研究与应用甚为活跃,军需民用,一派生机盎然。在军事上,传统的烟火器材(燃烧弹、照明弹、曳光弹、信号弹、烟幕弹等)不断推陈出新,新概念烟火药(红外照明剂、脉冲信号剂、红外诱饵剂、干扰烟幕剂、准合金燃烧剂、弹丸增程底部排气剂、软杀伤烟火剂等)层出不穷。特别是高科技电子战光电对抗,将烟火技术应用推向了光电对抗高科技技术行列,对现代高科技的光电制导武器和探测观瞄器材实施光电对抗无源干扰。在民用上,烟火技术应用日趋广泛,除用于工农业生产、交通运输、矿山爆破、电影摄制、体育卫生和娱乐烟花爆竹外,还越来越广泛的用于宇宙空间探索。如阿波罗飞船所使用的烟火元件达 218 件,航天飞机已增至 500 余件。

尽管烟火技术的应用如此广泛,但其理论研究还相当落后,远适应不了技术发展需求。理论落后的原因是多方面的,其中之一是文献资料的匮乏。美国烟火学家麦克莱恩(Mclain J H.)曾说过:“已出版的烟火资料是稀少的,在极大程度上是公式和配方的汇编,但这比没有要好一些,可以作为起点”。本教材正是本着解决化工烟火专业《烟火学》教材的有和无的问题而编著,其目的在于抛砖引玉,推进烟火学的发展。

本教材的早期主编是南京理工大学徐云庚老先生,他为培养后人推荐由南京理工大学潘功配教授任主编,并贡献出了他撰写的有关手稿,教材得以出版无不凝聚着他的心血。

本教材第1~5章由北京理工大学杨硕副教授编著,南京理工大学潘功配统稿时对第1、5两章作了补充。本教材其余章节由潘功配编著。

本教材由北京理工大学许又文教授主审,他与徐云庚教授同属我国烟火界老前辈。他对本教材审查极为仔细、认真,提出了宝贵的修改意见,并纠正了不少差错。特表衷心感谢!

本教材编写自始至终,一直得到孙业斌、劳允亮、蔡瑞娇、徐振相教授的直接指导。他们为本教材书稿开过多次会审会,并审阅了每一章节内容,提出了许多具体指导意见。在此对他们表示崇高的敬意和谢意!

限于水平,教材中的缺点、错误乃至不尽人意之处在所难免,恳请学术界前辈、同行和广大读者赐教指正。

**编著者**

1996年1月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	( 1 )
<b>1.1 烟火学的术语及定义</b> .....	( 1 )
1.1.1 有关烟火学的术语 .....	( 1 )
1.1.2 烟火学的定义 .....	( 1 )
<b>1.2 烟火学发展简史</b> .....	( 2 )
1.2.1 中国古代烟火技术 .....	( 2 )
1.2.2 最初的烟火药及其在军事上的发展 .....	( 3 )
1.2.3 民间娱乐烟火技术的发展 .....	( 5 )
1.2.4 近代烟火技术的发展 .....	( 5 )
<b>1.3 烟火药的分类与用途</b> .....	( 6 )
1.3.1 烟火药的分类 .....	( 6 )
1.3.2 烟火药的用途 .....	( 7 )
<b>1.4 烟火药与火炸药的比较</b> .....	( 10 )
1.4.1 烟火药与火炸药的共同点 .....	( 10 )
1.4.2 烟火药与火炸药的的不同点 .....	( 11 )
<b>1.5 对烟火药及其制品、器材的要求</b> .....	( 12 )
1.5.1 对烟火药的一般要求 .....	( 12 )
1.5.2 对烟火制品、器材的要求 .....	( 12 )
<b>第 2 章 烟火药的组成与配方设计</b> .....	( 14 )
<b>2.1 烟火药的组成</b> .....	( 14 )
2.1.1 氧化剂 .....	( 14 )
2.1.2 可燃剂 .....	( 21 )
2.1.3 粘合剂 .....	( 27 )
2.1.4 其它成分 .....	( 29 )
<b>2.2 烟火药的配方计算</b> .....	( 31 )
2.2.1 二元混合物组成计算 .....	( 31 )
2.2.2 三元、多元及含卤素化合物的组成计算 .....	( 33 )

2.2.3	负氧平衡药剂组成的计算 .....	( 36 )
2.3	图算法 .....	( 38 )
2.3.1	二元组分的图算法 .....	( 38 )
2.3.2	三元组分的图算法 .....	( 40 )
<b>第3章</b>	<b>烟火药燃烧的理论基础 .....</b>	<b>( 42 )</b>
3.1	烟火药燃烧的基本特征 .....	( 42 )
3.1.1	燃烧反应与爆炸反应的区别 .....	( 42 )
3.1.2	烟火药燃烧的特征 .....	( 43 )
3.1.3	烟火药燃烧过程 .....	( 43 )
3.2	烟火药燃烧反应平衡组成 .....	( 44 )
3.2.1	平衡产物计算的基本原理 .....	( 44 )
3.2.2	不含凝聚相产物系统的平衡组成 .....	( 46 )
3.2.3	含凝聚相产物系统的平衡组成 .....	( 51 )
3.2.4	迭代计算步骤 .....	( 52 )
3.3	热力学函数及能量特性计算公式 .....	( 55 )
3.3.1	热力学函数计算式 .....	( 55 )
3.3.2	能量特性计算式 .....	( 56 )
3.3.3	程序框图 .....	( 64 )
3.3.4	应用举例 .....	( 64 )
3.4	烟火药的燃烧模型 .....	( 69 )
<b>第4章</b>	<b>烟火效应的理论基础(一)——光与色的理论 .....</b>	<b>( 73 )</b>
4.1	概述 .....	( 73 )
4.2	光谱分布 .....	( 75 )
4.2.1	不连续光谱 .....	( 76 )
4.2.2	连续光谱 .....	( 78 )
4.3	辐射源 .....	( 78 )
4.3.1	热辐射源 .....	( 78 )
4.3.2	发光 .....	( 83 )
4.4	辐射度学和光度学基础知识 .....	( 86 )
4.4.1	立体角 .....	( 87 )
4.4.2	辐射度量和光度量的名称、定义、符号及单位 .....	( 87 )
4.4.3	辐射度学和光度学中的两个基本定律 .....	( 91 )

4.4.4	光辐射测量的常用设备 .....	( 92 )
<b>4.5</b>	<b>色度学</b> .....	( 92 )
4.5.1	人眼的颜色视觉 .....	( 92 )
4.5.2	颜色的表示方法 .....	( 95 )
4.5.3	色度图的应用 .....	( 99 )
4.5.4	色光的测定 .....	( 100 )
<b>4.6</b>	<b>大气效应和能见度</b> .....	( 101 )
4.6.1	视觉与对比度 .....	( 101 )
4.6.2	大气作用的影响 .....	( 103 )
4.6.3	人工照明下目标的能见度 .....	( 105 )
<b>第 5 章</b>	<b>烟火效应的理论基础(二)——气溶胶物理</b> .....	( 108 )
<b>5.1</b>	<b>气溶胶的基本知识</b> .....	( 108 )
5.1.1	气溶胶概念 .....	( 108 )
5.1.2	气溶胶粒子大小的分布 .....	( 110 )
5.1.3	气溶胶粒子的形状与结构 .....	( 112 )
<b>5.2</b>	<b>气溶胶的动力学性质</b> .....	( 114 )
5.2.1	气溶胶粒子的力学问题 .....	( 114 )
5.2.2	气溶胶动力学 .....	( 116 )
5.2.3	气溶胶粒子的界面现象 .....	( 123 )
<b>5.3</b>	<b>气溶胶的光学性质</b> .....	( 125 )
5.3.1	气溶胶对光的吸收和散射衰减 .....	( 125 )
5.3.2	瑞利散射和米氏散射 .....	( 129 )
5.3.3	气溶胶消光计算理论模型 .....	( 133 )
<b>第 6 章</b>	<b>烟火药的固相化学反应</b> .....	( 140 )
<b>6.1</b>	<b>固体化学的相关知识</b> .....	( 140 )
6.1.1	固体化学 .....	( 140 )
6.1.2	晶体 .....	( 141 )
6.1.3	晶体的缺陷 .....	( 142 )
<b>6.2</b>	<b>固相反应</b> .....	( 145 )
6.2.1	固相反应的特征 .....	( 146 )
6.2.2	分解反应 .....	( 147 )
6.2.3	固-固反应 .....	( 148 )

6.2.4	固-气反应 .....	(149)
6.2.5	固-液反应 .....	(150)
<b>6.3</b>	<b>烟火药的固相反应 .....</b>	<b>(151)</b>
6.3.1	预点火反应 .....	(152)
6.3.2	点火燃烧反应 .....	(154)
6.3.3	S-KClO <sub>3</sub> 的反应 .....	(157)
<b>第7章</b>	<b>烟火药的一般性质及试验 .....</b>	<b>(159)</b>
<b>7.1</b>	<b>烟火药的物理性质 .....</b>	<b>(159)</b>
7.1.1	烟火药的外观 .....	(159)
7.1.2	烟火药的制品密度 .....	(159)
7.1.3	烟火药制品的机械强度 .....	(160)
7.1.4	烟火药的吸湿性 .....	(161)
<b>7.2</b>	<b>烟火药的化学性质 .....</b>	<b>(163)</b>
7.2.1	吸湿引起的烟火药化学性质变化 .....	(163)
7.2.2	某些成分影响烟火药的化学安定性 .....	(167)
7.2.3	烟火药化学安定性的评估 .....	(168)
<b>7.3</b>	<b>烟火药的燃烧性质 .....</b>	<b>(173)</b>
7.3.1	燃烧速度 .....	(173)
7.3.2	影响燃烧速度的因素 .....	(174)
7.3.4	温度系数 .....	(176)
<b>7.4</b>	<b>烟火药的爆炸性质 .....</b>	<b>(176)</b>
7.4.1	烟火药爆炸的必要条件 .....	(176)
7.4.2	氯酸盐、高氯酸盐和硝酸盐烟火药的爆炸性质 .....	(177)
7.4.3	烟火药爆炸性能测定 .....	(178)
<b>7.5</b>	<b>烟火药的感觉度试验 .....</b>	<b>(179)</b>
7.5.1	机械感觉度试验测定 .....	(179)
7.5.2	热感觉度试验测定 .....	(181)
7.5.3	静电感觉度试验测定 .....	(183)
<b>第8章</b>	<b>产生光辐射效应的烟火药 .....</b>	<b>(185)</b>
<b>8.1</b>	<b>照明剂 .....</b>	<b>(185)</b>
8.1.1	对照明剂的特殊技术要求 .....	(186)
8.1.2	照明剂的发光性质 .....	(188)



8.1.3	照明剂的配制原理 .....	(193)
8.1.4	照明剂的照明效应计算 .....	(200)
8.1.5	照明剂燃烧和火焰辐射机理 .....	(205)
8.1.6	照明弹药和照明器材 .....	(209)
<b>8.2</b>	<b>发光信号剂</b> .....	(217)
8.2.1	对发光信号剂的特殊技术要求 .....	(218)
8.2.2	发光信号剂的光学性质 .....	(219)
8.2.3	发光信号剂的配制原理 .....	(223)
8.2.4	发光信号器材 .....	(229)
<b>8.3</b>	<b>曳光剂</b> .....	(232)
8.3.1	对曳光剂的特殊技术要求 .....	(232)
8.3.2	曳光剂的配制原理 .....	(233)
8.3.3	曳光剂反应机理研究 .....	(234)
8.3.4	曳光剂的曳光性能 .....	(238)
8.3.5	曳光弹药 .....	(241)
<b>8.4</b>	<b>红外诱饵剂</b> .....	(243)
8.4.1	对红外诱饵剂的特殊技术要求 .....	(243)
8.4.2	红外诱饵剂的光学性质 .....	(244)
8.4.3	红外诱饵剂的类型及其发展趋势 .....	(248)
8.4.4	红外诱饵反导干扰原理 .....	(250)
8.4.5	红外诱饵弹药 .....	(251)
<b>8.5</b>	<b>红外照明剂</b> .....	(254)
8.5.1	对红外照明剂的特殊技术要求 .....	(256)
8.5.2	红外照明剂的配制 .....	(256)
8.5.3	红外隐身照明弹 .....	(258)
<b>第9章</b>	<b>产生气溶胶效应的烟火药</b> .....	(261)
<b>9.1</b>	<b>发烟剂</b> .....	(261)
9.1.1	对发烟剂的特殊技术要求 .....	(261)
9.1.2	烟幕概述 .....	(262)
9.1.3	烟幕的光学特性 .....	(267)
9.1.4	烟幕的动力学特性(稳定性) .....	(272)
9.1.5	常规发烟剂 .....	(276)