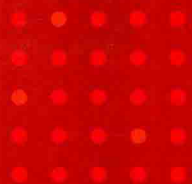


烟火技术基础

王玄玉◎编著



清华大学出版社

烟火技术基础

王玄玉·编著



常州大学图书馆
藏书章

大学出版社
北京

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

烟火技术基础/王玄玉编著. —北京：清华大学出版社，2017

ISBN 978-7-302-47848-5

I. ①烟… II. ①王… III. ①军用器材—烟火器材教材 IV. ①TJ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 175436 号

责任编辑：张莹

封面设计：傅瑞学

责任校对：王凤芝

责任印制：杨艳

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：三河市金元印装有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：170mm×240mm 印 张：20 字 数：338 千字

版 次：2017 年 9 月第 1 版 印 次：2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价：68.00 元。

产品编号：070071-01

前 言

烟火技术源自烟火学,是烟火学理论在科学实践中的具体体现和应用拓展。烟火技术具有显著的多学科交叉特性,主要任务是运用烟火学原理创新设计烟火药,设计、制造、评价相关的烟火制品或烟火装备,并采用科学手段使预期的烟火效应最大化。烟火技术基础的主要内容包括火炸药、火工品、引信、烟火药、烟火弹药与装备、气溶胶理论、大气扩散理论、烟幕作战使用计算方法和各种烟火效应试验技术,是进一步学习和掌握烟火武器装备及其作战运用的技术基础。

本书阐述烟火学与烟火技术的发展历程,论述烟火技术与烟火战术、烟火装备之间的关系。针对烟火武器装备作战运用需要,介绍火炸药、火工品、引信等基础知识,普通发烟剂、抗红外发烟剂、干扰毫米波发烟剂、多频谱发烟剂和各种燃烧剂的分类、特性、化学组成和作用原理,国内外典型烟火弹药及装备的基本结构和技战术特点。烟幕通常用于战场大规模防护,烟幕使用效果除了与自身特性相关之外,还与大气环境的气象、地形地貌以及光电武器的种类等外界因素有关。为此,本书还阐述了大气气溶胶的基本性质与运动规律、湍流扩散的主要影响因素和基本理论,烟幕作战使用计算的基本原理、参数体系和基本方法,并针对烟火装备运用介绍了烟幕性能测试、烟火效应测试、烟幕扩散特性研究等试验技术,有利于从根本上掌握烟火武器装备安全使用和科学运用的规律,对于最大限度地发挥烟火武器装备效能、提高烟火武器装备形成烟火支援与烟幕保障能力具有指导作用。

本书是作者在从事本学科专业多年教学研究的基础上,参阅多部专著和多种文献资料,吸收了近年来部分新型烟火药剂、烟火装备涉及的新材料、新技术,丰富和优化了烟幕效能测试等内容编

著而成,主要适用于军用烟火及相关专业教学使用,也可供相关专业教学、科研和工程技术人员参考。

本书由陈海平教授、徐敏教授、张良高工和乔小晶教授审阅。肖凯涛高工、张良高工为本书提供了部分资料。向所有为本书出版做出贡献和提供支持的人员表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,热诚欢迎相关领域的专家、学术界同行及广大读者批评指正,共同促进烟火技术学科的发展和完善。



2017年4月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 烟火学与烟火效应	1
一、烟火学的建立	1
二、烟火效应及应用	2
第二节 烟火技术与烟火装备	3
一、烟火技术的发展历程	3
二、现代烟火技术发展特征	6
三、烟火装备及其发展	7
第三节 烟火技术的主要内容与作用地位	8
一、烟火技术的主要内容	8
二、烟火技术在烟火学科领域中的作用地位	8
第二章 火炸药基础	10
第一节 火炸药的性质与化学变化形式	10
一、火炸药的基本性质	10
二、火炸药的氧平衡	15
三、火炸药的燃烧与爆轰	17
第二节 火药的分类与特点	19
一、火药的分类	20
二、有烟火药	20
三、无烟火药	21
四、火药燃烧反应特点	23
第三节 炸药的分类与特性	25
一、炸药及其分类	25

二、起爆药及其特性	25
三、猛炸药及其特性	29
第三章 火工品	35
第一节 火工品的基本特性与分类	35
一、火工品的基本特性	35
二、火工品类别	36
三、火工品装药	36
第二节 引燃用火工品	41
一、火帽	41
二、底火	42
三、电点火头	43
四、点火管	44
五、导火索	44
第三节 起爆用火工品	46
一、雷管	46
二、导爆索	47
三、导爆管	48
四、导爆管雷管	49
第四节 轻装药组件	50
一、组成	50
二、基本结构	50
三、作用原理	50
第五节 电火工品安全	51
一、电火工品的静电安全	51
二、电火工品的射频安全	55
三、感应电流作用时的安全问题	56
四、杂散电流作用时的安全问题	57
第四章 引信	58
第一节 引信的结构与分类	59
一、基本结构	59



二、基本作用原理	60
三、引信分类	61
第二节 触发引信	64
一、结构特点	65
二、触发引信分类	65
三、典型触发引信	68
第三节 时间引信	71
一、结构特点	71
二、时间引信的分类	72
三、典型时间引信	76
第四节 近炸引信	78
一、结构特点	79
二、近炸引信分类	80
三、典型近炸引信	81
第五节 复合引信	84
一、多选择引信	84
二、声/红外复合引信	86
三、GPS 修正引信	86
第五章 烟火药剂	89
第一节 发烟剂和燃烧剂定义与分类	89
一、发烟剂定义	89
二、发烟剂分类	89
三、燃烧剂定义	91
四、燃烧剂分类	91
第二节 普通发烟剂	92
一、磷发烟剂	92
二、萘发烟剂	94
三、金属氯化物发烟剂	96
四、雾油发烟剂	98
第三节 抗红外发烟剂	101
一、红磷基抗红外发烟剂	101

二、改进 HC 发烟剂	102
三、NT 发烟剂	102
四、改进雾油发烟剂	103
五、冷烟幕抗红外发烟剂	104
六、其他类型抗红外发烟剂	107
第四节 干扰毫米波发烟剂	107
一、毫米波简介	107
二、箔条	108
三、复合铝箔	108
四、可膨胀石墨	109
五、短切碳纤维	110
第五节 燃烧剂	111
一、金属高热剂	112
二、自燃燃烧剂	113
三、油基燃烧剂	115
四、新型高能燃烧剂	117
第六节 凝油粉	118
一、作用特点	118
二、含铅汽油用凝油粉	118
三、通用凝油粉	120
 第六章 烟火弹药与装备	122
第一节 燃烧弹	122
一、燃烧炮弹	122
二、燃烧火箭弹	125
三、燃烧炸弹	126
第二节 喷火武器	129
一、分类	129
二、便携式火焰喷射器	130
三、车载式火焰喷射系统	132
四、火箭喷火系统	135
第三节 发烟弹	136



一、发烟迫击炮弹	136
二、发烟炮弹	138
三、发烟火箭弹	141
四、发烟航弹	145
第四节 发烟手榴弹和发烟罐	145
一、发烟手榴弹	146
二、发烟罐	147
三、漂浮发烟桶	150
第五节 发烟机和发烟车	151
一、发烟机	151
二、发烟车	152
三、海上烟幕施放器	156
 第七章 气溶胶的性质与运动规律	158
第一节 气溶胶粒子的物理性质	158
一、气溶胶粒子的形态特征	158
二、气溶胶粒子的密度和表面积	165
三、气溶胶粒子的光学性质	166
四、气溶胶粒子的电学性质	167
第二节 气溶胶粒子的等速直线运动	168
一、球体的缓慢运动——斯托克斯定律	168
二、球体的阻力系数	170
三、肯宁汉修正	171
四、非球形粒子的阻力特征	173
第三节 气溶胶粒子的布朗运动和重力沉降	173
一、气溶胶粒子的布朗运动	174
二、气溶胶粒子的凝并	175
三、气溶胶粒子的最终沉降速度	177
 第八章 湍流扩散理论	180
第一节 湍流扩散基础	180
一、湍流扩散	180



二、影响湍流扩散的主要因素	181
三、湍流扩散速率	190
四、湍流扩散模式	191
第二节 梯度输送理论	192
一、扩散系数	192
二、湍流扩散基本微分方程	195
三、瞬时点源浓度方程	197
四、连续点源	198
五、瞬时体源浓度方程	199
六、梯度输送理论的数值求解	202
第三节 统计理论	204
一、扩散系数	205
二、无界情形连续点源高斯扩散模式	208
三、有界情形连续点源高斯扩散模式	211
第四节 相似理论	212
一、相似理论概述	212
二、量纲分析与 π 定理应用	213
三、湍流扩散相似理论的处理方法	216
第五节 复杂地形烟幕扩散传播	217
一、山谷	217
二、高地和凹地	218
三、城市中的扩散	221
四、气溶胶云团的脱离和受热上升	221
 第九章 烟幕使用估算基本原理	223
第一节 烟幕及其作用	223
一、定义	223
二、分类	223
三、烟幕在现代战争中的作用及地位	230
四、烟幕使用特点	232
第二节 烟幕气溶胶的作用机制	235
一、烟幕气溶胶的形成	235



二、烟幕气溶胶的作用机理	236
三、烟幕有效作用的判据	237
第三节 烟幕估算的基本参数	239
一、烟幕遮蔽质量	239
二、气象条件	243
三、发烟源强	245
第四节 烟幕估算基本方程及应用	249
一、基本方程	249
二、烟幕遮蔽长度及其估算原理	250
三、基于梯度理论估算单点施放烟幕效果	251
四、基于统计理论估算单点施放烟幕效果	259
第五节 空中烟幕应用估算	262
一、已知烟幕厚度估算有效衰减率	262
二、已知有效衰减率估算空中烟幕厚度和发烟弹消耗量	263
 第十章 烟火效应试验技术	 269
第一节 烟幕试验箱测试技术	269
一、烟幕试验箱的基本结构	269
二、烟幕气溶胶物理性能测试	270
三、烟幕气溶胶红外性能测试	271
四、烟幕光学性能测试	272
五、基本试验步骤	274
第二节 外场条件下烟幕试验技术	276
一、试验场地设计	276
二、烟幕气溶胶云团尺寸测定	278
三、烟幕气溶胶消光试验	278
第三节 风洞模拟试验技术	280
一、风洞概念与分类	281
二、组成和功能	282
三、环境风洞	284
四、风洞试验观察方法	285
五、风洞试验的主要优缺点	287



第四节 温度测量技术原理与应用	288
一、温度测量方式的分类与特点	288
二、常用温度计分类	289
三、热电偶	291
四、红外测温仪	293
五、红外热像仪	296
第五节 热测量技术	297
一、量热计的基本结构	298
二、氧弹式热量计	298
三、辐射热计	300
参考文献	302

绪 论

第一节 烟火学与烟火效应

一、烟火学的建立

传统意义上的烟火学主要以各种烟火药为研究对象,是在实践的基础上,通过从理论层面对烟火药剂、烟火制品及其产生各种效应的机制进行系统、规范化的科学探索和描述,并结合试验对有关规律或现象进行总结或理论阐释而逐步建立起来的一门综合性科学。

世界上最古老的烟火药是黑火药。作为中国古代四大发明之一,黑火药源于隋唐时期的炼丹术,13 世纪时沿丝绸之路经过印度传到阿拉伯世界,又由阿拉伯人随同火药武器经过西班牙传至欧洲,公元 1543 年又经由海上传到了日本。黑火药的发明不仅为人类社会带来了绚丽多彩的烟火文明,提供了史无前例的改造世界的能量方式,同时奠定了传统烟火学研究的科学基础。例如,黑火药燃烧的本质是自供氧的氧化还原反应,其做功的介质是气体产物,做功的能量是燃烧施放的热量,而做功的条件是反应能够在有限的空间内以极快的速度完成从而形成很高的能量密度。围绕这一目标,就需要合理选择相应的组分,既要有氧化剂、可燃剂两种关键组分,组分之间还需根据化学反应原理确定合适的配比,为了生产、储存、运输、使用安全,又要保证组分之间的相容性并使药剂具有适当的感度。

现代烟火学仍然以烟火药或烟火材料为主要研究对象,但已经拓展到烟火制品或相关装备的结构设计、装药工艺优化、产品性能测试与评价等众多问题,不仅延续了对氧化剂、还原剂、黏合剂及各种功能添加剂的研究,还上升到依据电磁理论选择烟火材料、依据化学镀理论对烟火材料进行表面改性处理、利用纳米技术对烟火材料进行空心球或复合结构设计等。此外还根据使用性能要求

和烟、热、光等各种效应的相互关系优化生产工艺流程,从而形成围绕声、光、色、热、烟以及各种气动效应的发生机制、科学运用等理论与技术。

烟火学中研究的烟火药或烟火原材料大多为固体,固体材料或组分之间的相容性或反应机制除了与无机化学、有机化学、物理化学中常见的反应原理有关外,通常还与固体化学中的晶体结构、晶体缺陷、固相反应和固体表面化学等理论具有密切关系,而对烟火组分的分析和对燃烧产物的研究往往离不开分析化学。当然,声、光、色、热等效应通常与辐射和燃烧有关,而烟幕在大气环境中的扩散运动又涉及气溶胶特性和大气扩散理论,因此,烟火学是一门综合性理论科学。

二、烟火效应及应用

烟火学研究的目的是利用烟火药安全、高效地产生各种烟火效应,并通过适当的技术原理使烟火效应最大化。随着现代科学技术的发展,烟火效应及其应用越来越广泛(如图 1-1 所示),常见的声、光、烟、热和气动等烟火效应,已经在武器弹药设计、烟幕光电对抗、航空航天等领域形成广泛应用。

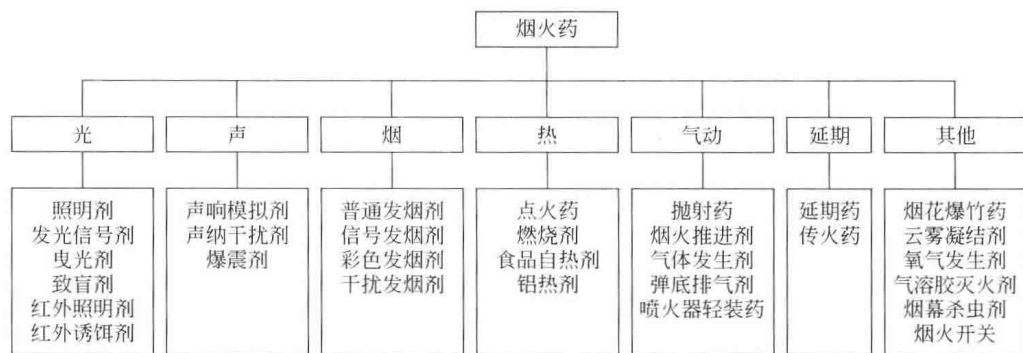


图 1-1 常见烟火效应

在军事上,传统的燃烧弹、照明弹、曳光弹、信号弹、烟幕弹等烟火弹药广泛应用了烟火药的光、声、热、烟等效应,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、软杀伤烟火剂等新概念烟火药层出不穷,但同样是对上述烟火效应的拓展应用。

在民用上,烟火技术应用日趋广泛,如工业上的超纯金属冶炼、焊接与切割,农业上的杀虫、灭鼠、植物催长与人工降雨,交通运输业的航海求救信号和铁路、高速公路烟火信号,建筑业的无声近人爆破,体育卫生业的发令纸、氧气烛、自热食品罐头,以及烟火发电、烟火气溶胶灭火、电影摄制和娱乐烟花爆竹等,都是烟火药及其效应应用的具体体现。



随着烟火效应的拓展应用,烟火制品还越来越广泛地用于宇宙空间探索,如“阿波罗”飞船所用烟火元件为 218 件,航天飞机升至 500 余件,而近年来空间探索飞行器的火箭发射、级间分离、姿态调整、返回地球等方面,已经超过 600 余件,这些器件也都充分利用了烟火药产生的各种效应。

在军事上,各种燃烧武器弹药和发烟装备器材在设计、制造和使用方面也都紧密围绕提高热毁伤、烟幕无源干扰等特定烟火效应开展研究。

第二节 烟火技术与烟火装备

烟火技术是烟火学理论在现实应用中的具体表现,是长期以来关于烟火效应产生方法、烟火药剂配制、烟火效应应用、烟火器材加工、烟火装备设计、烟火效能评价等技术的统称。烟火技术由来已久,应用广泛,其中关于发烟剂、燃烧剂等烟火药或者烟火材料的各种研究是所有烟火制品或者烟火装备研发及其作战运用的根本基础。

一、烟火技术的发展历程

中国古代黑火药的发明开启了人类烟火技术及其应用的历史纪元。中国古代发明的火药捻子就是现代引信技术发展的雏形,而利用火药实施爆破或发射武器的技术则突破了人类做功的极限,改变了兵器史上自古以来冷兵器的统治地位。

黑火药发明后,很快于九世纪起用于战争。最初的目的是用来纵火、灼伤和发生毒烟,其后发展用于爆炸,进而用作发射。宋、元、明、清时期用黑火药制造的各种火药兵器在战场上应用已相当广泛。有史记载的黑火药用于战争的是唐昭宗天佑元年(公元 904 年)杨行密的军队围攻豫章(江西南昌),部将郑璠“以所部发机飞火,烧龙沙门,带领壮士突火先登入城,焦灼被体”。郑璠使用的“发机飞火”即是一种用黑火药作燃烧剂的火药兵器。

两宋时期火药武器得到更快发展。据《宋史·兵记》记载,公元 970 年兵部令史冯继升进火箭法,是在箭杆的前端缚火药筒,点燃后利用火药燃烧向后喷出的气体的反作用力把箭簇射出,这是世界上最早的喷射火器。公元 1000 年,士兵出身的神卫队长唐福向宋朝廷献出了他制作的火箭、火球、火蒺藜等火器。1002 年,冀州团练使石普也制成了火箭、火球等火器,并做了表演。

明代中国火箭发展进入了一个比较重要的时期,其中在作战火器方面,发明了多种“多发火箭”,如同时发射 10 支箭的“火弩流星箭”、发射 32 支箭的“一

窝蜂”、最多可发射 100 支箭的“百虎齐奔箭”等。明燕王朱棣(即后来的明成祖)与建文帝战于白沟河,就曾使用了“一窝蜂”。这是世界上最早的多发齐射火箭,堪称是现代多管火箭炮的鼻祖。尤其值得提出的是,当时水战中使用的一种叫“火龙出水”的火器。据《武备志》记载,这种火器可以在距离水面三四尺高处飞行,远达两三里。这种火箭用竹木制成,在龙形的外壳上缚四支大“起火”,腹内藏数支小火箭,大“起火”点燃后推动箭体飞行,“如火龙出于水面”,火药燃尽后点燃腹内小火箭,从龙口射出,击中目标将使敌方“人船俱焚”。该火箭被认为是世界上最早的二级火箭。

利用火药的气动效应可以推动火箭飞行,进一步使人们产生了利用火箭的推力飞上天空的愿望。根据史书的记载,14 世纪末,明朝的一位士大夫万户和其他工匠吸取了军用火箭的技巧,设计了会飞的“飞龙”火箭。这种木质雕刻的火箭筒可以飞行 1 000m。有一天他坐在一把安放在木制构架的椅子上,两手各握一只大风筝。当工匠们点燃构架四周绑着的 47 支火箭后,“飞龙”拔地而起,但最终箭毁人亡。为了纪念万户,1959 年,国际天文学联合会以他的名字命名了月球背面的一座环形山,美国的火箭专家赫伯特·基姆也撰文记载他的事迹,在美国的航空和航天博物馆中也标示着——最早的飞行器是中国的风筝和火箭。

1876 年,法国化学家贝塞利特(Berthollet)发现了氯酸钾,烟火发展进入一个崭新的阶段。氯酸钾一经发现,就逐步取代硝酸钾,成为现代火药及烟火药的主要成分。由于其氧化性强、作用快,而且氯酸盐系的化学物品不易潮解,这个功用到现在都未完全被高氯酸钾取代,一直受到火药及烟火药制造者的欢迎。氯酸钾与铝粉的混合物在密闭体系中爆燃可以产生特别的音效,因此被用作爆竹中的爆鸣剂。作为一种强氧化剂,氯酸钾可以与许多还原剂形成爆炸性混合物,也被用于调节某些炸药的氧平衡,借以改善其性能。但氯酸钾属于强氧化剂,受热极易分解并因此引发多起爆炸事故,目前中国已经禁止在烟花爆竹等民用烟花产品中应用。

19 世纪后期,电力工业用电解法制造出了金属镁、铝,此后,锶、钡等金属及其化合物出现,烟火迈入了一个五彩缤纷的时代。作为性能优良的金属可燃剂,金属镁粉、金属铝粉至今仍然是多种燃烧剂、发烟剂、照明剂、信号剂、红外干扰剂等常用烟火药的主要组分,在多种烟火弹药中发挥着重要作用。

20 世纪初,曳光弹的出现进一步拓展了烟火技术的应用,利用该项技术能够指示小型自动武器对快速移动目标进行有效射击。使用曳光弹的好处不仅