

烟幕理论与测试技术

Theory and Testing Technigue of Smoke

姚禄玖 高钧麟 肖凯涛 龚有国 编著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

烟幕理论与测试技术

Theory and Testing Technique of Smoke

姚禄玖 高钧麟 肖凯涛 龚有国 编著

计发

国防工业出版社

·北京·

(对国外发行, 另加运费)

图书在版编目(CIP)数据

烟幕理论与测试技术/姚禄玖等编著. —北京:国防工业出版社, 2004. 8

ISBN 7-118-03525-4

I. 烟… II. 姚… III. ①烟幕—理论②烟幕—测试技术 IV. E951.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 071713 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 8½ 209 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1—2500 册 定价:29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植				
顾问	黄宁				
主任委员	刘成海				
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋		
秘书长	张又栋				
副秘书长	彭华良	蔡镛			
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成	
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生	
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同	
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇	
	崔尔杰	韩祖南	舒长胜		

序

现代高技术武器装备的出现,对战斗进程产生了深刻影响。光电侦察手段使战场变得透明,精确制导武器以很高的命中率打击选定的目标,伊拉克战争中美军使用的精确制导武器约占80%,对预定目标的袭击几乎百发百中。烟幕作为一种具有较高效费比的无源干扰手段在国外已有很大发展,在局部战争中发挥了重要作用。采用各种新材料、新技术的发烟剂及施放装置所产生的烟幕不但可以有效地遮蔽、干扰可见光观瞄器材和制导武器,而且可以有效干扰激光、中远红外,甚至毫米波电子侦察器材和精确制导武器,衰减核爆炸的光辐射能。国内许多科研单位、高等院校和军工部门,多年来开展了具有对抗红外、激光、毫米波等多波段干扰效能的发烟器材的研制,取得了很大的进展。

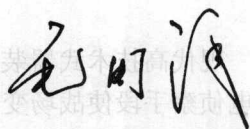
发烟装备的发展离不开理论的指导和科学试验。装备性能的测试和评价是装备研制中极其重要的一环,而装备使用技术研究是充分发挥装备潜能的必由途径。过去发烟装备性能测试评价技术比较简单、零乱,很多在工程中已成功经验没有总结和升华,从而影响到发烟装备的水平提高和发展。

本书作者是在发烟装备技术领域从事测试、评价及使用技术研究的高级科研人员,在长期的工作中积累了较丰富的经验,对相关的理论也有较深刻认识和体会。此书是几代人心血的结晶,它系统地阐述了烟幕气溶胶物理、烟幕消光理论、烟幕大气扩散和气象学等相关理论,提出了一系列烟幕性能测试评价的原理、内容,室内外测试程序、方法和技术。本书不但适用于发烟装备研制的各个环节,而且对任何以蒸气、气溶胶为使用状态的装备研制都有

重要的参考价值。

本书具有理论阐述严密正确、测试内容全面、测试技术先进、测试方法可操作性强、图文并茂等特点。此书的出版将给发烟装备等的研制提供理论依据和实践的指导,并对发烟装备研制的现代化进程起到积极的推动作用。

中国工程院院士



2004年6月10日

前 言

烟幕性能测试是研制发烟剂及发烟装备不可缺少的环节,而烟幕性能与发烟剂的成分、理化性能、粒子尺寸分布、烟幕浓度及厚度、光辐射的波长、环境的地面及大气状态诸多因素有关。为了更好地使用和发展烟幕测试技术必须了解和掌握相关的理论知识和技术。

烟幕在 20 世纪 70 年代第四次中东战争中发挥了重大作用,以此为转机,发烟器材日益受到世界各国重视,特别是近现代,烟幕作为对抗精确制导武器和观瞄器材的无源干扰手段在国外已有了很大的发展。为了适应现代高技术局部战争保护重点目标及掩护作战行动的需要,国内外许多科研单位、大专院校都在积极研发具有对抗可见光、红外、激光、毫米波等多波段干扰效能的发烟器材。在研制过程中引用并发展了相关物理量的多种测试方法和技术,但是,至今尚没有一部系统完整的集理论与应用技术于一身的书籍,此种情况一定程度上影响了发烟器材的研发进程与水平。本书正是为了改变这一状况而编写的。

本书融入了烟幕消光机理、烟幕物理学、烟幕大气扩散等相关理论的主要部分以及大气边界层的概念、烟幕浓度分布的实用模式等理论内容;也以相当篇幅介绍了作者研究、引进的测试方法和手段以及国外流行的先进技术。

本书由中国人民解放军防化指挥工程学院陈海平教授和南京

理工大学潘功配教授主审。他们都是我国烟火学专业的权威,他们对本书进行了认真细致的审查,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

由于水平及经验有限,本书的缺点、错误以及不尽人意之处在所难免,敬请学术界前辈、同行和广大读者批评指正。

编著者

2004年4月20日

北京理工大学潘功配教授主审。他们都是我国烟火学专业的权威,他们对本书进行了认真细致的审查,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

目 录

第一章 绪论	1
1.1 发烟装备(器材)的基本知识	1
1.1.1 发烟装备(器材)的种类	1
1.1.2 军用发烟剂的分类及主要品种	3
1.1.3 对发烟器材的技术要求及考核指标	4
1.2 发烟装备(器材)的测试评价与使用研究	7
1.2.1 烟幕效能测试评价与使用研究的任务	8
1.2.2 国外烟幕测试评价与使用研究状况	9
1.2.3 国内烟幕测试评价与使用研究概况及发展	12
第二章 烟幕物理学	16
2.1 烟幕的基本知识	16
2.1.1 烟幕的概念和类别	16
2.1.2 烟幕粒子的形状	17
2.1.3 烟幕粒子的特征尺寸	17
2.1.4 烟幕粒子尺寸分布函数的数学表达式	20
2.2 烟幕的动力学特性	28
2.2.1 烟幕粒子的蒸发与凝并	28
2.2.2 烟幕粒子的沉降与沉积	31
第三章 烟幕消光理论	37
3.1 烟幕消光的“朗伯-比尔”定律	37
3.2 消光系数的物理意义及理论计算	39
3.3 烟幕遮蔽原理	41
3.3.1 烟幕遮蔽可见光辐射原理	41
3.3.2 烟幕遮蔽红外辐射原理	43

3.4	烟幕对激光的衰减规律	50
3.4.1	烟幕散射机理	51
3.4.2	激光束经烟幕的透过率	52
3.4.3	激光通过战场烟幕时的双程透过率	54
第四章	烟幕的大气扩散	56
4.1	大气概述	56
4.1.1	大气边界层	56
4.1.2	气象要素	57
4.2	大气稳定度	65
4.2.1	大气稳定度的概念	65
4.2.2	大气稳定度判据及分类标准	66
4.3	烟幕大气扩散估算的理论及方法	70
4.3.1	大气扩散估算的基本概念	71
4.3.2	连续点源烟幕浓度及面密度的时空分布	75
4.3.3	瞬时体源烟幕浓度及面密度的时空分布	82
4.3.4	连续点源烟幕作用剂量(暴污量)的时空分布	85
4.3.5	瞬时体源烟幕剂量(暴污量)的时空分布	86
4.3.6	烟幕遮蔽长度、高度、宽度及面积的计算	87
第五章	烟幕物理性能测定评价方法与技术	89
5.1	源特性参数测定方法和技术	89
5.1.1	烟剂释放量 Q_0	89
5.1.2	烟流出口速度	89
5.1.3	质量释放速率 Q_0 的测定方法	90
5.1.4	源强 Q_0 及有效利用率(装置或器材效率) λ 的测定方法	90
5.1.5	源出口温度测定	97
5.1.6	初始烟团大小及烟流抬升高度测定方法	97
5.2	烟幕分散特性的测定方法和技术	105
5.2.1	计重法测定空气动力学粒径分布的仪器及操作	106
5.2.2	光散射/衍射式粒径分布测试法	112
5.2.3	显微颗粒图像分析法	114

5.2.4	样本的采集和制备方法	117
第六章	烟幕光学性能测定评价方法与技术	124
6.1	概述	124
6.2	烟幕光学性能参数的测定方法	127
6.2.1	光谱透过率及消光系数的室内测定方法	127
6.2.2	遮蔽面密度及总遮蔽能力的室内测定	135
6.2.3	烟幕光学性能野外测定方法	138
6.2.4	烟幕遮蔽/干扰效能的野外测定	146
第七章	烟幕扩散试验方法与技术	163
7.1	概述	163
7.2	扩散试验场地的设计	164
7.2.1	试验场地的选择	164
7.2.2	试验场地的设计	165
7.3	烟幕浓度的测定	172
7.3.1	溶液吸收—化学分析法	173
7.3.2	滤膜过滤法、固体吸附法	173
7.3.3	激光雷达法	175
7.4	扩散方差的测定	180
7.4.1	光学轮廓法	181
7.4.2	示踪剂扩散法	186
7.5	气象参数的测定	190
7.5.1	概述	190
7.5.2	扩散气象要素的测定方法	197
7.5.3	扩散气象要素观测实例	205
第八章	数值计算在烟幕特性及效能模拟中的应用	213
8.1	预测模式的分类、选择与验证	213
8.1.1	预测模式的分类	213
8.1.2	预测模式的选择	214
8.2	烟幕特性及效能模拟计算实例	215
8.2.1	烟幕源特性的回归及推算	215

8.2.2	由烟流廓线数据计算扩散方差值	220
8.2.3	使用高斯连续点源模式计算烟流的遮蔽/干扰尺寸	224
8.2.4	使用随机游走方法模拟烟幕的传播与扩散	224
8.2.5	使用高斯瞬时体源模式计算瞬时云团的遮蔽/干扰尺寸	227
附录		238
附录 1	埃特波里—87 数据	238
附录 2	几种常规发烟剂的性能参数	240
附录 3	美国 Calspan 公司研发的抗红外烟剂性能与其他烟剂的比较	240
附录 4	石墨、炭黑遮蔽材料的性能参数和品质因数	241
附录 5	百分数及概率单位对照表	244
附录 6	烟流扩散方差幂函数表达式的系数值	245
参考文献		246
173	.....	1.3.1
173	.....	1.3.2
173	.....	1.3.3
180	.....	1.4
181	.....	1.4.1
181	.....	1.4.2
186	.....	2.1
190	.....	1.2.1
191	.....	1.2.2
202	.....	1.2.3
213	.....	1.8
213	.....	1.1.8
213	.....	1.1.8
213	.....	1.1.8
213	.....	1.2.8
213	.....	1.2.8

CONTENTS

1	Introduction	1
1.1	Basic knowledge of smoke equipment	1
1.1.1	Categories of smoke equipment	1
1.1.2	Classification and category of military smoke material	3
1.1.3	The main technical requirements and evaluation parameters of smoke equipments	4
1.2	Evaluation test and application research of smoke equipment	7
1.2.1	Task of performance test and application research for smoke equipment	8
1.2.2	Current research and evaluation test in other countries	9
1.2.3	Overview of civil smoke research and evaluation test	12
2	Physics of smoke	16
2.1	Basic knowledge of smoke	16
2.1.1	Definition and categories of smoke	16
2.1.2	Form of smoke particulate	17
2.1.3	Characteristic size of smoke particle	17
2.1.4	Formulation of the distribution of smoke particles	20
2.2	Dynamics character of smoke	28
2.2.1	Evaporation and coagulation of smoke particulate	28
2.2.2	Subsidence of smoke particle	31
3	Optics theory of smoke	37
3.1	Lamb-Beer theory	37
3.2	Definition and calculation of extinction coefficient	39
3.3	Obscuring theory of smoke	41

3. 3. 1	Theory of smoke obscuring visible light	41
3. 3. 2	Theory of smoke obscuring infrared light	43
3. 4	Extinction theory of smoke to laser	50
3. 4. 1	Scattering theory of smoke	51
3. 4. 2	Permeating rate of laser in smoke	52
3. 4. 3	Double-distance permeating rate of laser in the field smoke	54
4	Dispersion of smoke in the atmosphere	56
4. 1	Summary of the atmosphere	56
4. 1. 1	Atmospheric boundary layer	56
4. 1. 2	Element of meteorology	57
4. 2	Stable states of the atmosphere	65
4. 2. 1	Definition of atmospheric stable state	65
4. 2. 2	Determinant and classification criterion of atmospheric stable state	66
4. 3	Theory and methodology of smoke dispersion in the atmosphere	70
4. 3. 1	Foundation of atmospheric dispersion evaluation	71
4. 3. 2	Temporal and spatial concentration distribution of continuity point source release of smoke	75
4. 3. 3	Temporal and spatial concentration distribution of instantaneous volume source release of smoke	82
4. 3. 4	Temporal and spatial dose distribution of continuity point sourcerelease of smoke	85
4. 3. 5	Temporal and spatial dose distribution of instantaneous volume source release of smoke	86
4. 3. 6	Calculation of obscuring length, height, width and area of smoke	87
5	Method and technique of measure and evaluation on physical performance of smoke	89
5. 1	Method and technique of measuring characteristic parameters of sources	89

5.1.1	Release quantity of smoke Q_0	89
5.1.2	Velocity of stream of smoke at the outlet	89
5.1.3	Measurement of mass release rate Q_0	90
5.1.4	Measurement of source intensity Q_0 and efficiency λ	90
5.1.5	Source temperature at the exit	97
5.1.6	Initial smoke plume size and measurement of elevated level of stream of smoke	97
5.2	Method and technique of measuring distribution character of smoke	105
5.2.1	Instrument and operation of measuring aerodynamic size distribution	106
5.2.2	Measurement of size distribution by scatter/diffract theory	112
5.2.3	Analysis of micrograph	114
5.2.4	Collection and preparation of specimens	117
6	Method and technique of measuring and evaluating optic performance of smoke	124
6.1	Summary	124
6.2	Method of measuring optic parameters on performance of smoke	127
6.2.1	Measurement of the optics penetration rate and extinction coefficient of smoke in the chamber	127
6.2.2	Measurement of obscuring mass and total obscuring capability in the chamber	135
6.2.3	Measurement of optic performance of smoke in the field	138
6.2.4	Measurement of obscuring and disturbing performance of smoke in the field	146
7	Method and technique of smoke dispersion experiment	163
7.1	Summary	163
7.2	Design of the fields for dispersion experiment	164
7.2.1	Selection of the fields	164