

·测试、试验与仿真·

烟幕干扰性能测试技术分析

杨甲胜¹, 王喆¹, 刘承禹²

(1. 东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000; 2. 第二炮兵研究院, 北京 100085)

摘要:介绍了烟幕的物理特性参数;对质量通量法测试烟幕有效利用率进行了详细阐述,测试过程中考虑了风向因素对干扰弹投放参数的影响;分析了烟幕消光原理,详细描述了烟幕光学性能野外测试方法。

关键词:烟幕干扰;有效利用率;消光系数;透过率

中图分类号:TN972⁺.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2012)05-0077-04

Analysis on Capability Testing Technology of Smoke Screen Jamming

YANG Jia-sheng¹, WANG Zhe¹, LIU Cheng-yu²

(1. Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China;

2. The Second Artillery Equipment Research Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: The physical characteristics of smoke screen are introduced. The method of mass flux used to test the efficient utilization of smoke screen is described in detail. Wind direction factor influencing on dispensing parameters of smoke grenades is considered during the tests. And smoke screen extinction principle is analyzed. The field test method of smoke screen optic performance is described in detail.

Key words: smoke screen jamming; efficient utilization; extinction ratio; permeability

烟幕干扰技术就是通过在空气中施放大量气溶胶微粒,改变电磁波介质传输特性来实施对光电探测、观瞄、制导武器系统干扰的一种技术手段^[1]。

对烟幕干扰物理性能和光学性能的测试和研究是评估烟幕干扰效能的基础,因此对烟幕干扰性能测试技术的研究受到各国军方的重视。

1 烟幕物理性能测定评价

1.1 烟幕物理特性参数

烟幕的物理特性包括烟幕的源特性和烟幕分散特性。烟幕的源特性包括烟剂释放量 Q_0 (kg, g或kg/h, g/s)、有效烟幕量 Q_a 、有效利用率 $\lambda(Q_a/Q)$ 、烟幕产率 Ω 、烟幕出口温度($^{\circ}\text{C}$)、出口喷流速度 V_s (m/s)、释放

点位置、高度(m)、出口尺寸(m)、烟幕云团的初始尺寸(m)及烟流的抬升高度(m)。

烟幕分散特性指烟幕粒子尺度按质量或数量的分布及其特征参数值。测定方法分为计重法和计数法。

1.2 质量通量法测试烟幕有效利用率

通量测定方法基于质量守恒定律,烟幕沿着平均风向流过各个采样网,垂直采样网如图1所示。有效烟幕量 Q_a 符合下面的质量守恒公式^[2]

$$Q_a = \int_0^{z_m} \int_{-y_m}^{+y_m} C(x, y, z, t) \cdot \Delta t \cdot u \cdot dy \cdot dz = \int_0^{z_m} \int_{-y_m}^{+y_m} D(x, y, z) \cdot u \cdot dy \cdot dz \quad (1)$$

收稿日期:2012-07-21

基金项目:光电信息控制和安全技术重点实验室基金(9140C150201090C1503)

作者简介:杨甲胜(1979-),男,山东临沂人,学士,工程师,研究方向为光电工程。

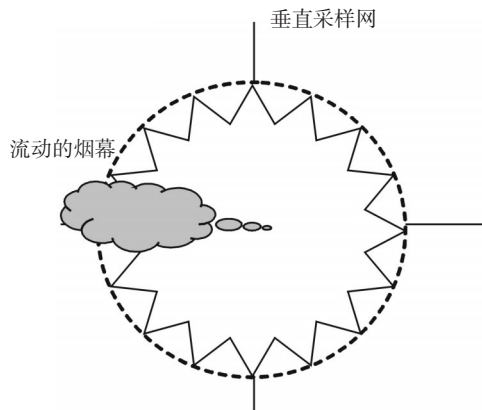


图1 垂直采样网示意图

$$\text{或 } Q_a = \sum_{h=1}^m K \cdot u_h A_h \cdot \sum_{i=1}^N D_{hi} \quad (2)$$

式中, u_h 为 h 高度处的风速(m/s); A_h 为 h 高度处采样点的代表面积(m^2); D_{hi} 为 h 高度处第 i 个采样点

表1 垂直采样杆的流量特性表

透孔点	1	2	3	4	5	6	7	均值	变异系数/(%)
距离/m	0.25	0.75	1.75	2.75	3.75	5.75	7.75		
气流量/L	6.17	6.00	5.50	6.50	6.00	6.50	6.58	6.18	6
	6.58	6.58	6.17	6.17	6.50	6.00	6.50	6.36	4

采样杆各点的变异系数为5%左右,垂直采样杆特性好,使用时可以在任意一个便于操作的点位测定、调节系统流量,并以所得值作为各点的代表值。

采样及剂量测定的误差直接影响有效利用率的测定误差,应尽量满足以下要求:(1)采样效率 $\geq 90\%$,样品的捕获量要满足定量分析的最低要求;(2)流量计在使用前进行校准;(3)烟幕粒径大于 $4 \mu\text{m}$ 时,采用等速采样法采集烟幕样品;(4)样品定量分析的均方根误差不大于5%;(5)烟幕剂量测定的均方根误差不大于10%。

烟幕释放的方式分为瞬时释放(如烟幕弹爆炸)和连续释放(如发烟罐燃烧、发烟车喷射)。在瞬时释放方式下,投放烟幕弹时,烟幕弹发射方向应尽量与平均风流方向(采样杆布置方向)一致。为了提高有效烟幕量 Q_a 的测量精度,应对投放参数进行必要的修正。

假设风速为 u (m/s),则

$$u = \frac{\sum_{h=1}^m \cdot \sum_{i=1}^N u_{hi}}{m \times N} \quad (3)$$

设平均风向为 δ ,则有

的剂量($\text{mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$); K 为换算常数; N 为 h 高度处非零剂量点的个数; m 为采样层次数。

应按照风向机动布置采样器,采样网通常设计成圆桶状,其结构参数随发烟装置的释放量、对测定的精度要求、气象条件等变化。为了使风参数的测量更具代表性,风速、风向测量杆应设置在不同方位的采样网面上或靠近的位置。

采样系统由多分枝垂直采样杆、采样器、流量计、抽气泵及电源组成。多分枝垂直采样杆根据经验及实验要求设计并使用轻质金属材料。多分枝垂直采样杆的杆体由 $\varphi 32 \text{ mm}$ 、 $\varphi 26 \text{ mm}$ 、 $\varphi 20 \text{ mm}$ 的3段金属管螺纹连接而成。在距离杆端的不同距离处开多个 $\varphi 6 \text{ mm}$ 的透孔,套扣连接25 mm长的抽气嘴,以短橡皮管串接临界孔管、吸附管,在下管的底端焊接带抽气嘴的堵头,用橡皮管与抽气泵、流量计系统连接^[3]。实验获得的流体力学特性数据见表1。

$$\delta = \frac{\sum_{h=1}^m \cdot \sum_{i=1}^N \delta_{hi}}{m \times N} \quad (4)$$

式中, u_{hi} 为 h 高度处第 i 个采样点的风速; N 为 h 高度处非零剂量采样点的个数; m 为采样层次数; δ_{hi} 为 h 高度处第 i 个采样点的风向。

风速、风向测定的基本要求是:(1)风速的测定层次不少于5层,风向测定层次为1层或2层;(2)风速计的启动速度 $\leq 0.5 \text{ m/s}$;(3)风速测量范围 $0.8 \sim 5 \text{ m/s}$,误差 $\pm 5\%$;(4)风向测定范围 $0^\circ \sim 360^\circ$,误差 $\pm 4^\circ$ 。

风对发射干扰弹方位的影响为:修正前干扰弹发射方位(θ)垂直方向的投影风速,即 $u \cdot \sin(\theta - \delta)$,爆点偏移量 $B = T \cdot u \cdot \sin(\theta - \delta)$,偏移角度 $A = a \tan(B/P) \cdot 180/PI$,经过风速、风向修正后的方位角 $\alpha = \theta + A$ 。式中, P 为干扰弹爆距; T 为干扰弹爆炸延期时间; PI 为圆周率。干扰弹投放装置的载体、风、修正前发射方向关系如图2所示;载体、风、修正后发射方向关系如图3所示。

假设,风速 $u = 5.0 \text{ m/s}$,风向为 $\delta = 300^\circ$,采样杆布置方向 $\theta = 60^\circ$, $P = 100 \text{ m}$, $T = 2.0 \text{ s}$ 。经计算得出:偏移

角度 $A = 5^\circ$,修正后的发射方位角 $\alpha = 60^\circ + 5^\circ = 65^\circ$ 。

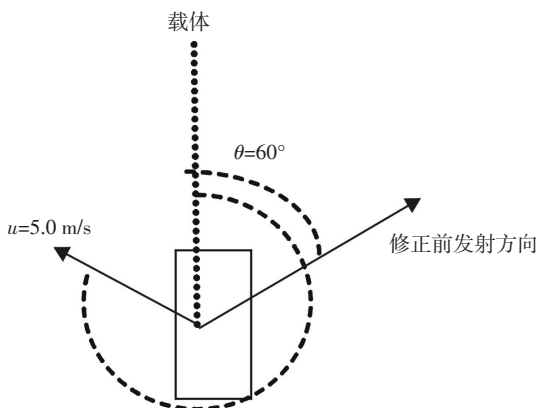


图2 载体、风、修正前发射方向关系(风向为 $\delta = 300^\circ$)

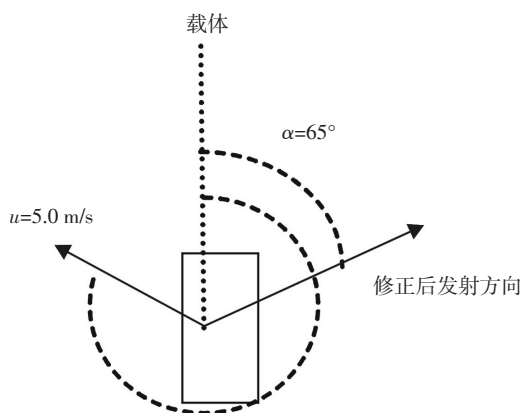


图3 载体、风、修正后发射方向关系(风向为 $\delta = 300^\circ$)

2 烟幕光学性能测试分析

烟幕光学性能主要由吸收系数、散射系数、复反射指数以及它们决定的线性消光系数、质量消光系数、遮蔽面密度、总遮蔽能力等加以确定。

2.1 烟幕消光原理

烟幕是由许多固体或液体微粒悬浮于大气中形成的气溶胶体系。当目标发出的辐射入射到烟幕中时,辐射能量被气溶胶微粒吸收或散射而衰减。这种作用称为消光作用,其原理如图4所示。当光辐射通过烟幕时,烟幕微粒将对光线产生散射和吸收,使得探测器测到的光辐射强度比进入的要低。根据烟幕对能量衰减的机理不同,可将烟幕分为吸收型和散射型两种^[4-7]。

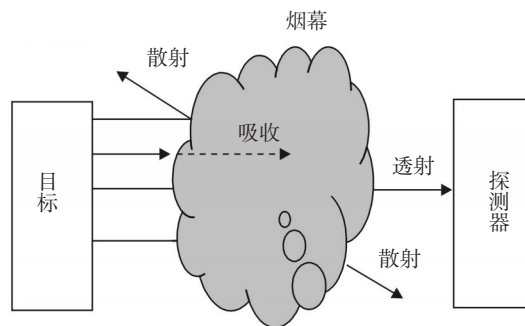


图4 烟幕的消光原理

吸收型烟幕对入射光有强烈的吸收衰减作用,一部分是分散介质(空气)的衰减作用,另一部分是分散相(烟幕)的吸收作用。按照量子理论,光辐射是由组成物质的电子、原子或分子的热运动产生的一种电磁辐射,每个都可看作在其平衡位置附近振动的振子。当振子发生共振时,即入射辐射的频率等于振子的固有频率时,就吸收入射能量,从而增加了振子的振动能量,宏观上表现为烟幕吸收了光辐射能量。

散射型烟幕颗粒使光线在各个方向发生偏折。光在气溶胶中传输散射的过程,是气溶胶微粒截获入射辐射能量形成次生波,再向四周辐射,从而使入射光在原传播方向上能量减少的一个过程。当光辐射入射到烟幕时,烟幕中带电质子、电子或离子随着红外辐射矢量的振动而谐振起来,这种受迫的谐振产生了次生波,成为二次波源向各方向辐射出电磁波,从而使入射辐射在原传播方向上能量减少,而在其他方向上的能量分布又不相同,这就形成了烟幕对光辐射的散射衰减作用。

2.2 评价烟幕光学性能的重要指标

(1)透过率和消光系数

测定烟幕透过率 τ 和(线性)消光系数 σ_e 前先确定主要工作波段和选用的烟幕材料,透过率和消光系数的测定方法很多,透过率越大说明消光效果越好^[8]。

$$\tau = \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} = \exp[-\sigma_e(\lambda)L] = \exp[-\alpha_e(\lambda)CL] \quad (5)$$

式中, $I(\lambda)$ 为某一浓度遮蔽下的透过光强; $I_0(\lambda)$ 为背景光强; α_e 为质量消光系数; L 为光线在介质(烟幕)中传送的光程; C 为烟幕浓度。

(2)遮蔽面密度和总遮蔽能力

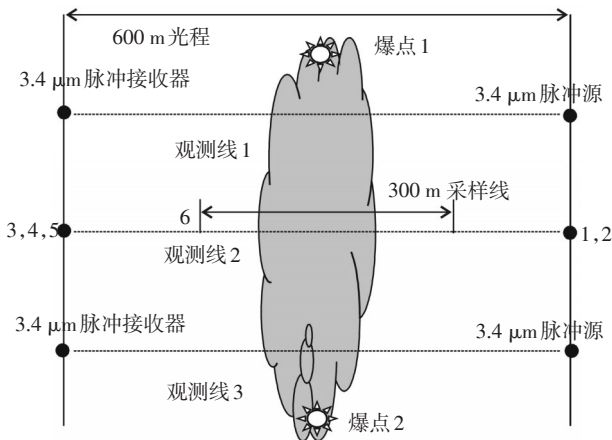
测定遮蔽面密度 Mb (g/m^2)和总遮蔽能力 TOP (m^2/g)的方法也很多,测定前也要确定工作波段,遮蔽面密度 Mb 越小(即总遮蔽能力 TOP 越大)说明烟幕在该波段的遮蔽效果越好。

2.3 烟幕光学性能野外测试方法分析

(1) 野外测试现场设置

实战中的烟幕干扰是在复杂环境下对光电探测、观瞄、制导武器系统的干扰,因此野外测定烟幕光学性能,是对烟幕干扰效果较为客观的测评。野外测定受气象环境的影响较大,对测试仪器布置的合理性、辐射源强度、烟幕释放剂量要求较高^[9-11]。

烟幕光学性能野外测试现场布置如图5。



1—0.4~0.7 μm 脉冲源,黑白靶,3.4 μm 、8~12 μm 辐射源;2—1.06 μm 激光器;3—2个0.4~0.7 μm 接收器,2个1.06 μm 接收器;4—3.4 μm 、8~12 μm 接收器;5—黑白靶;6—多台化学撞击器,多台烟幕光度计,多台粒子尺度分析仪,多台总量粉尘采样器的300 m 采样线

图5 烟幕光学性能野外测试现场布置

(2) 实验数据处理

当烟幕穿过观测线时,给定波长的光线经过烟幕的透过率 τ_λ 为

$$\tau_\lambda = \frac{(D_n - D_f)}{(\bar{D}_n - \bar{D}_f)} \quad (6)$$

式中, D_n 为光源点亮或白色靶时接收器观测的某选定频道光源的读数; D_f 为光源关闭或黑色靶时接收器观测的某选定频道光源的读数; \bar{D}_n 为烟幕到达前 D_n 的平均值; \bar{D}_f 为烟幕到达前 D_f 的平均值。

特定波长的质量消光系数能够用透过率和烟幕

的作用剂量(浓度对时间的积分)表示,透过率由实验数据根据式(6)得出,作用剂量由化学撞击器测试数据根据下式得出

$$G = \int_0^t C dt \quad (7)$$

式中, C 为烟幕浓度。

质量消光系数的物理意义是光强衰减到原来的0.36时每克烟幕的截面积,由以下公式计算得出

$$\alpha_e = - \frac{\int_0^t \ln \tau_\lambda dt}{\int_{x_0}^x G dx} \quad (8)$$

3 结束语

对典型烟幕干扰的物理性能和光学性能进行了分析,以性能分析和烟幕干扰效能评估为基础建立典型烟幕干扰的数学模型和仿真模型,是研究烟幕干扰性能的发展趋势;通过模型和实验测试比较,可进一步完善烟幕干扰性能测试与分析方法,为评估烟幕干扰效果奠定基础。

参考文献

- [1] 熊群力,陈润生,杨小牛,等.综合电子战[M].北京:国防工业出版社,2008:54-65.
- [2] 姚禄玖,高钧麟,肖凯涛,等.烟幕理论与测试技术[M].北京:国防工业出版社,2004:37-146.
- [3] 谭伟,何友金,毛剑英.烟幕干扰效能评估系统设计[J].光电技术应用,2010,(5):66-68.
- [4] 刘立群,孙晓泉,童忠诚.烟幕干扰激光制导导弹的有效性研究[J].红外技术,2009(1):8-10.
- [5] 刘安昌.红外烟幕干扰效果仿真及评价方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2007.
- [6] 杨彦杰,陈国冲,郭得峰.烟幕干扰的建模与仿真[J].光学与光电技术,2007,5(3):82-84.
- [7] 刘振光,周常尧,姜宁.基于目力观测的红外烟幕干扰效能分析[J].舰船科学技术,2007,29(1):63-66.
- [8] 孙少军,张继勇,李金亮.光电对抗仿真试验系统综述[J].红外与激光工程,2003,32(6):551-555.
- [9] 王继光,高文静,杨彦杰.烟幕弹遮蔽性能测量与评价[J].光电与控制,2006,13(4):81-84.
- [10] 王炜华,沈振康.基于红外图像统计模型的分割方法[J].红外与激光工程,2003,32(6):620-623.
- [11] 陆斌,吕俊伟,孙晓颖.烟幕消光效能试验测量方法研究[J].光电技术应用,2012,27(2):70-73.