

·测试、试验与仿真·

## 烟幕投放控制分析与设计

顾文慧, 高红杰

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

**摘要:** 为了实现以最小烟幕屏障对目标的有效防护, 设计了最小烟幕遮蔽区域算法, 给出了其最小面积和空间坐标; 分析了风在烟幕投放过程中对爆点的影响, 提出了烟幕投放时发射角度修正算法; 研究了烟幕飘移对遮蔽效果的影响, 提出了面积补偿算法; 最终得到当前气象条件下满足要求的烟幕屏障面积和分区域中心点坐标。

**关键词:** 烟幕遮蔽; 风力修正; 烟幕投放

中图分类号: TN972'.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-02-0087-03

## Analysis and Design of Smoke Screen Deployment

GU Wen-hui, GAO Hong-jie

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

**Abstract:** The minimum smoke shielded area algorithm is designed and the minimum area and space coordinates of the shielded area are given for protecting the targets effectively with the minimum smoke shield. The influence of wind on the exploding point during smoke deployment is analyzed. The adjustment algorithm of deployment angle is proposed. The shielded effect influenced by smoke drifting is researched. Area compensation algorithm is described. The smoke shielded areas and central point coordinates at subarea are obtained finally under current weather conditions.

**Key words:** smoke shield; wind direction and speed adjustment; smoke deployment

烟幕是大量固体微粒或液体微滴散布于空气中形成的烟粒网, 按内部成分可分为磷烟、油烟、金属氯化物、箔条和液体烟幕。烟幕内的无数烟粒对可见光、红外光和激光等具有很强的吸收、散射作用, 使其大量衰减, 乃至中断<sup>[1]</sup>, 可用于遮蔽重要目标。烟幕遮蔽具有操作方便、反应速度快、形成时间短、散布面积大、留空时间长、遮蔽波段宽等突出特点<sup>[2]</sup>。

为了节约成本, 达到最佳使用效果, 需要以最小的烟幕面积实现对目标的有效遮蔽, 然而, 烟幕的遮蔽效果受气象特别是风速风向的影响较大, 所以在实际应用中, 不仅要提高烟幕投放精度, 还要修正风速风向对烟幕的影响<sup>[3]</sup>。以烟幕弹为例, 提出了最小遮蔽区域、发射角度修正、烟幕屏障面积补偿算法, 建立了烟幕弹投放控制模型。

### 1 最小遮蔽区域

最小遮蔽区域是指实现对目标完全遮蔽所必需的最小烟幕布设区域, 包括区域面积和空间位置两个要素<sup>[4]</sup>。为了计算最小遮蔽区域, 需要预先测量被保护目标的空间特性(正面、纵深、高度), 防护对象的方位角、俯仰角及距离, 并根据以上参数, 计算出最小烟幕面积及其上沿的中心点坐标。

为使模型接近实际和便于计算, 将被保护目标在 $XOY$ 平面上的投影等效为以发射点为中心, 半径为 $r$ 的圆形, 空间上等效为半径为 $r$ 、高度为 $h_z$ 的圆柱体。将目标需要防护的原始投影等效为边长为 $2r$ 的正方形 $A_1A_2A_3A_4$ , 考虑到目标高度对烟幕屏障的要求, 实际需要防护的等效平面投影应为矩形

收稿日期: 2014-03-10

作者简介: 顾文慧(1980-), 男, 河南周口人, 学士, 工程师, 主要研究方向为光电技术; 高红杰(1986-), 男, 河南商丘人, 助理工程师, 主要研究方向为通信工程。

$A_1A_2A_3'A_4'$ ,如图1所示。

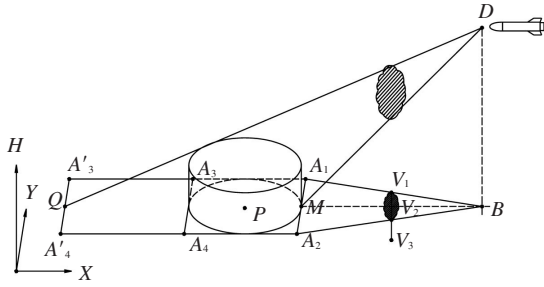


图1 被保护目标幅员等效平面示意图

由于被保护目标的中心点坐标、空间特性、防护方位、防护对象距保护目标的距离已知,可求出矩形 $A_1A_2A_3'A_4'$ 的顶点坐标,设为 $A_1(x_{A1}, y_{A1}, h_p)$ 、 $A_2(x_{A2}, y_{A2}, h_p)$ 、 $A_3'(x_{A3'}, y_{A3'}, h_p)$ 、 $A_4'(x_{A4'}, y_{A4'}, h_p)$ ,进而得到等效平面区域前、后沿中点的坐标分别为 $M(x_M, y_M, h_p)$ 、 $Q(x_Q, y_Q, h_p)$ 。为便于计算,将烟幕等效为竖直烟幕屏障。如图2所示。 $D$ 点为防护对象位置,在保证有效遮蔽的前提下,爆点越高,相同面积的烟幕能防护面积越大。根据烟幕弹自身特性,可以解算任意射角、任意时刻烟幕弹的空间坐标<sup>[5]</sup>。由于 $D$ 点、 $Q$ 点、 $P$ 点(发射点)坐标已知,可以找到满足遮蔽条件的最大爆高点,设为 $K$ 点,其爆高为 $h_{MC}$ ,实现完全遮蔽所需的烟幕为 $KK'$ 段。

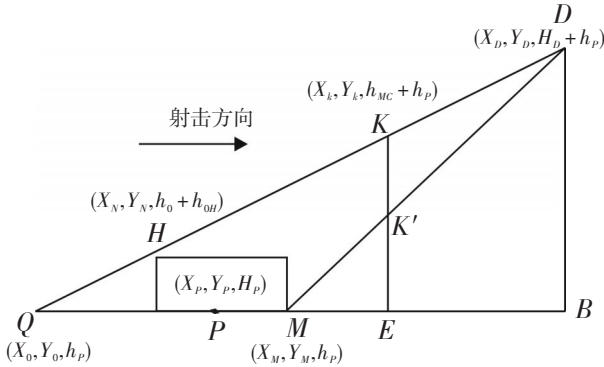


图2 射击方向烟幕等效示意图

根据 $Q$ 点、 $D$ 点坐标及最大爆高 $h_{MC}$ 可求得 $K$ 点(烟幕屏障上沿中心点)坐标为

$$\begin{aligned} [x_k = \frac{h_{MC}(x_D - x_Q)}{h_D} + x_Q, y_k = \frac{h_{MC}(y_D - y_Q)}{h_D} + \\ y_Q, h_k = h_{MC} + h_p] \end{aligned} \quad (1)$$

保护目标原始平面投影前沿 $M$ 到竖直烟幕的水平距离 $ME$ ,记为 $d1$

$$d1 = \sqrt{(x_M - x_k)^2 + (y_M - y_k)^2} \quad (2)$$

保护目标原始平面投影前沿 $M$ 到防护对象的

水平距离 $MB$ ,记为 $d2$

$$d2 = \sqrt{(x_M - x_D)^2 + (y_M - y_D)^2} \quad (3)$$

烟幕下沿距投影平面的距离 $K'E$ ,则 $K'E = \frac{h_D \cdot d1}{d2}$ ,竖直烟幕的高度 $KK' = KE - K'E$ ,记为

$$S_H = h_{MB} - \frac{h_D \cdot d1}{d2} \quad (4)$$

烟幕的长度(垂直于发射方向的水平方向的长度)记为

$$S_L = 2r \times \frac{\sqrt{(x_D - x_k)^2 + (y_D - y_k)^2 + (h_D - \frac{h_D \cdot d1}{d2})^2}}{\sqrt{(x_D - x_M)^2 + (y_D - y_M)^2 + h_D^2}} \quad (5)$$

竖直烟幕也就是需要建立的最小烟幕屏障,其面积计算公式为

$$S = S_H \times S_L \quad (6)$$

## 2 风力修正

烟幕遮蔽防护时通常要求在一定时间内,最小遮蔽区域内一直有烟幕存在,也就是始终遮住被保护的目標,才有可能防护成功<sup>[6]</sup>,而烟幕弹在投放过程中和成烟后均会受到风的影响而改变位置,所以不仅要在发射时对发射角进行修正,还要考虑烟幕在风作用下的飘移,对烟幕面积进行补偿<sup>[7]</sup>。

### 2.1 烟幕弹发射角修正

设 $V_f$ 为风速, $V_d$ 为烟幕弹发射速度, $\alpha$ 为风向, $\beta$ 为烟幕弹发射角度, $\delta$ 为爆点角度,如图3所示。

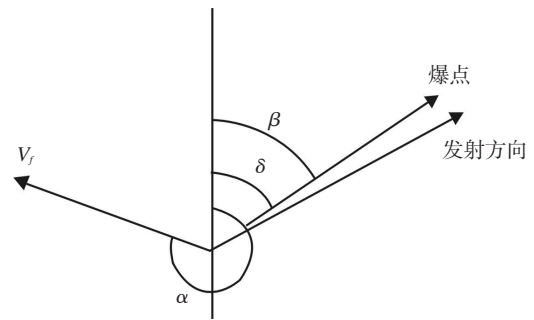


图3 烟幕弹发射角修正示意图

则风速在与发射方位垂直方向的投影为 $V_f \times \sin(\alpha - \beta)$ ,合成后的烟幕弹速度大小为<sup>[8]</sup>

$$V_{\text{合}} = \sqrt{V_d^2 + V_f^2 + 2V_d V_f \cos(\beta - \alpha)} \quad (7)$$

由于爆点坐标已知,可以得到烟幕弹飞行时间 $T_1$ 、爆距 $d_c$ (爆点与发射点之间的距离)。则爆点偏

移角度为  $\arctan(V_f \times \sin(\alpha - \beta) \times T_i / d_c)$ , 实际发射时可根据当时的风速风向及需要的爆点角度对发射角进行修正。

### 2.2 烟幕面积补偿

假设烟幕在空气中的运动速度系数为  $B_{vx}$ , 即烟幕的运动速度与风速的比值。设烟幕的运动速度为  $V_B$ , 则  $B_{vx} = V_B / V_f$ , 由于烟幕具有一定的质量, 其运动速度小于风速, 即  $B_{vx} < 1$ 。

设烟幕在空中保持的时间为  $T_2$ , 在  $T_2$  时间内, 要求最小烟幕屏障内始终有烟幕存在。风速在烟幕长度方向上的投影速度为  $V_s = V_f \times \sin(\alpha - \beta)$ , 则烟幕的补偿长度应为  $L = V_s \times B_{vx} \times T_2$ 。所以实际需要形成的最小烟幕面积为

$$S = S_H \times (S_L + L) \tag{8}$$

原始烟幕在  $XOY$  面上的投影为线段  $V_1V_2$ , 如图 1 所示。  $V_1, V_2$  也是直线  $A_1B, A_2B$  与烟幕在  $XOY$  平面内投影的交点, 应用空间解析几何算法, 得到  $V_1, V_2$  两点的坐标, 设为  $(x_{v1}, y_{v1}, h_p), (x_{v2}, y_{v2}, h_p)$ 。由于补偿长度  $L$  已知, 设补偿后的烟墙在  $XOY$  平面投影为  $V_1V_3$ , 解方程

$$\begin{cases} \frac{x_{v1} - x_{v2}}{y_{v1} - y_{v2}} = \frac{x_{v1} - x_{v3}}{y_{v1} - y_{v3}} \\ L = \sqrt{(x_{v2} - x_{v3})^2 + (y_{v2} - y_{v3})^2} \end{cases} \tag{9}$$

可得到坐标  $V_3(x_{v3}, y_{v3}, h_p)$ 。

### 3 烟幕投放控制

修正后的烟幕屏障面积包括最小遮蔽区域和补偿区域两部分, 如图 4 所示。当烟幕在风的作用下漂移时, 补偿区域内的烟幕能填充到最小遮蔽区域内, 保证了在  $T_2$  时间内, 最小遮蔽区域内始终有烟幕存在。由于每发烟幕弹在空中所能建立的烟

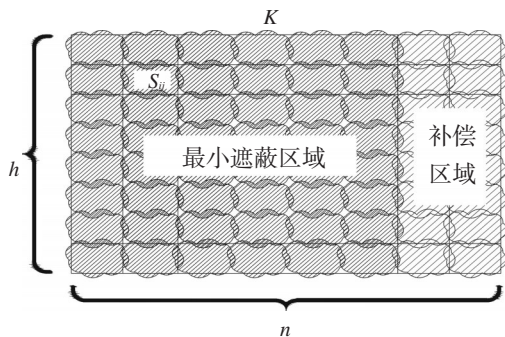


图 4 烟幕屏障示意图

幕面积已知, 因此根据修正后的烟幕屏障面积可计算出所要投放的烟幕弹数量。

设包括补偿面积共需要  $h \times n$  发烟幕弹, 将烟幕屏障划分成  $h$  行  $n$  列, 结合烟幕上沿中心  $K$  点和烟幕在水平面投影  $V_1, V_3$  点坐标和可以得到第  $h$  行  $n$  列的分区域烟幕中心点坐标  $S_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, h_{ij})$  为

$$\begin{cases} x_{ij} = x_{v1} + (j - \frac{1}{2}) \frac{x_{v3} - x_{v1}}{n} \\ y_{ij} = y_{v1} + (j - \frac{1}{2}) \frac{y_{v3} - y_{v1}}{n} \\ h_{ij} = h_{mc} - \frac{S_H}{h} (i - \frac{1}{2}) + h_p \end{cases} \tag{10}$$

$(i = 1, 2, 3, \dots, h; j = 1, 2, 3, \dots, n)$

式中,  $S_{ij}$  即为各烟幕弹的爆点, 结合发射角修正模型即可确定每一发烟幕弹的发射角度和爆距, 生成满足遮蔽条件的烟幕屏障。

### 4 结论

对目标完全遮蔽是实现有效防护的前提, 用最小的烟幕屏障实现对目标快速、有效防护在实际应用中具有重要的意义。通过建立三维坐标系, 根据被保护目标的空间特性和防护对象的方位、距离等信息, 计算出实现对保护目标完全遮蔽所需的最小烟幕遮蔽区域的面积和空间位置; 根据当前气象条件, 对投放烟幕弹的发射角度进行了修正, 对烟幕面积进行了补偿, 提出了布设烟幕屏障时烟幕弹的投放控制算法。

### 参考文献

- [1] 高广东, 李瞰, 魏立英. 军事大观[J], 2005(9): 63-64.
- [2] 闫俊宏, 闵江, 苏世明, 等. 对毫米波制导武器的烟幕干扰技术[J]. 光电技术应用, 2012, 27(5): 17-21.
- [3] 杨甲胜, 耿晓蕾, 顾文慧, 等. 对烟幕遮蔽干扰投放参数的修正分析[J]. 光电技术应用, 2007, 22(1): 27-29.
- [4] 于夫, 宋宁涛, 赵威, 等. 舰载烟幕对抗红外成像制导导弹的布设方法研究[J]. 舰船电子对抗, 2010(5): 28-31.
- [5] 徐明友. 火箭外弹道学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 15-32.
- [6] 姚禄玖, 高均麟, 肖凯涛, 等. 烟幕理论与测试技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 50-55.
- [7] 高学庆. 气象条件对舰船无源干扰反导作战效能的影响[J]. 水雷战与舰船防护, 2007(4): 40-42.
- [8] 王庆华. 防空火箭烟幕弹干扰决策[J]. 光电技术应用, 2008, 23(6): 28-30.