

# 微光夜视仪在不同大气环境下的 最大作用距离的估算

韩彦中\* 王 斧 赵熙林

(军械工程学院光学教研究室, 石家庄, 050003)

**摘 要** 通过建立微光夜视仪最大作用距离  $S$  的计算模型, 以及大气衰减系数  $K$  的数据拟合, 提出了计算  $S$  的实用公式。利用计算或实验室测量的夜视仪分辨率  $\alpha$ , 即可模拟出用于描述微光夜视仪在不同大气环境下的最大作用距离的三维图形。

**关键词** 微光夜视 作用距离 分辨率 大气

## Estimation of the Maximal Operating Distance of Low-light Level Night Vision Instruments in Different Atmospheric Environments

Han Yanzhong Wang Fu Zhao Xilin

(Teaching and Research Section of Optics, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang, 050003)

**Abstract:** By building a calculation model for the maximal operating distance of low-light level night vision instruments, and data fitting of atmospheric attenuation coefficient, a practical equation for calculating the maximal operating distance is presented. By using the definition solution of low-light level night vision instruments which was measured in the lab or calculated, the maximal operating distance in different atmospheric environments can be simulated with a three dimensional description.

**Key words:** low-light level night vision instruments, operating distance, definition solution, atmosphere

### 1 引言

微光夜视仪器是黑夜条件下眼睛的助视器, 具有重要的军用价值和广阔的民用市场。微光夜视仪的最大作用距离是主要的技术指标和进行系统设计的主要依据。夜视系统在大气中应用, 不可避免地会受到大气的种种影响, 其中大气衰减是影响系统作用距离的因素之一。如何估算微光夜视仪在不同大气环境下的最大

作用距离, 就是本文所要论述的内容。

### 2 建立最大作用距离的计算模型

#### 2.1 微光夜视仪分辨率的测量与计算

微光夜视仪的分辨率可以通过实验室测量或计算获得。分辨率用标准光源、分辨率测试靶板、照度计和准直透镜测量。通过被试品观察靶板上的图案, 根据能被分辨的最小分辨率单元查表确定分辨率值。

\* 硕士, 主要从事光电系统测试开发研究

微光夜视仪的分辨率  $\alpha$  由两部分决定:

$$\alpha = \sqrt{\alpha_K^2 + \alpha_T^2} \quad (1)$$

一部分是由光量子噪声决定的  $\alpha_K$ , 另一部分是由整个系统性能参数决定的  $\alpha_T$ , 可用光学传递函数计算。计算方法可参照参考文献 [1]。

## 2.2 最大作用距离的计算模型

根据科尔特曼公式, 目标亮度  $B$ 、对比度  $C$  和视角  $\beta$  三者之间存在着下述关系, 即

$$B\beta^2 C^2 = K \quad (const)$$

$$C = (L_T - L_B)/(L_T + L_B), L = (L_T + L_B)/2 \quad (2)$$

式中  $L_T$  为目标亮度;  $L_B$  为背景亮度。

又根据布格尔-罗伯特指数衰减定律: 对于均匀大气层, 辐射能的衰减符合指数衰减

$$\Phi = \Phi_i e^{-KS} \quad (3)$$

式中,  $\Phi_i$  为入射的辐射通量;  $\Phi$  为通过  $S$  厚大气层后的辐射通量;  $K$  为衰减系数。大气的衰减与波长有关, 衰减系数是波长的函数, 这里考虑的是夜视仪工作波段 ( $0.3\mu\text{m} \sim 1.3\mu\text{m}$ ) 的平均衰减系数。相应目标亮度和对比度经过距离  $S$  后, 表现亮度和对比度也呈指数衰减, 即:

$$B = B_i e^{-KS}, \quad C = C_i e^{-KS} \quad (4)$$

代入 (2) 式中得

$$\beta = \beta_i e^{\frac{3}{2}KS} \quad (5)$$

利用微光夜视仪观察目标时, 描述对目标观测清晰的程度可分为发现、识别和看清状态, 所对应的距离分别为微光夜视仪发现、识别和看清目标的最大作用距离。设目标的临界尺寸为  $H$ , 目标至观察系统的距离为  $S$ , 加上大气衰减的影响, 则目标对系统的张角  $\beta$  为:

$$\beta = \frac{H}{S} e^{-\frac{3}{2}KS} \quad (6)$$

根据“等效条带准则”, 发现、识别和看清目标的空间频率分别为 1、4 和 8 对线, 每一目标临界尺寸, 相应的分辨角应为:

$$\beta = \frac{H}{nS} e^{\frac{3}{2}KS} \quad (7)$$

式中  $n$  为发现、识别和看清目标所需的空间频率。用系统分辨率角  $\alpha$  代替式 (7) 中的  $\beta$ , 求出大气衰减系数  $K$ , 即可算出仪器对该目标的最大作用距离 (包括发现、识别和认清三种距离)。

## 3 建立大气衰减系数的计算模型

地球表面环绕着大气, 辐射能通过大气发生衰减现象主要是由以下三种作用引起的: 大气分子吸收和散射的作用, 固态和液态悬浮物质引起的散射。

### 3.1 大气分子的吸收特性

大气中成分众多, 所以总透射比等于各单项透射比之积。大气的吸收主要与  $\text{H}_2\text{O}$  的吸收和  $\text{CO}_2$  的吸收有关, 其他对微光成像系统的影响可以忽略不计。而  $\text{CO}_2$  在大气中的浓度随时间和地点变化很小, 所以其吸收造成的辐射衰减可以认为与气象条件无关, 查参考文献 [2] 附录 8 可知, 在夜视仪工作波段 ( $0.3\mu\text{m} \sim 1.3\mu\text{m}$ )  $\tau_{\text{CO}_2} = 1$ 。  $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$  由  $\omega$  (可降水分) 决定, 而  $\omega$  又由温度  $T$ 、相对湿度  $fb$  和距离  $D$  决定, 所以  $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$  是温度  $T$ 、相对湿度  $fb$  和距离  $D$  的函数。根据参考资料 [3] 的实验数据进行多项式拟合, 可得到每公里可降水分  $\omega_0$ :

$$\omega_0(T) = 0.0003T^3 + 0.0114T^2 + 0.3037T + 5.0801 \quad (8)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot fb \cdot D \quad (9)$$

取  $D=1\text{km}$ , 根据式 (9) 得可降水分  $\omega$ , 便可由参考资料 [2] 附录 7 直接查出所需的值。如需要某一波段 (如夜视仪工作波段) 的平均透射比, 即可分别查出各波长的透射比  $\tau_{\text{CO}_2}$ , 再取平均值  $\overline{\tau_{\text{H}_2\text{O}}}$  即可。

### 3.2 利用气象条件处理散射问题

计算散射引起的大气衰减时, 均需知道大气中悬浮粒子的材料、大小以及密度等详细资

料，而这些资料又是很不容易确定和测量的。下面我们利用气象条件来处理散射问题，这种方法在应用时既方便又可靠。气象上的能见距离代表了大气的透射性能在可见区的指定波长处目标和背景之间的衰减程度。能见距离  $V$  与大气透射比  $\tau_S$  的关系为：

$$V = -\frac{3.912S}{\ln \tau_S(\lambda_0, S)} \quad (10)$$

在  $\lambda_0 = 0.555\mu\text{m}$  或  $\lambda_0 = 0.61\mu\text{m}$  处，大气的吸收为零，因此衰减完全由散射造成。如果测得在  $S = 1\text{km}$  距离上的  $\lambda_0$  处的大气透射比  $\tau_S$ ，利用式 (10) 就可算出能见距离  $V$ 。已知能见距离  $V$ ，那么就可利用经验公式来计算散射系数：

$$\tau_S(\lambda) = \exp\left[-\frac{3.912}{V}\left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right)^q S\right] \quad (11)$$

式中， $\tau_S$  为散射系数； $V$  为气象能见度； $\lambda$  为波长； $S$  为光程长度； $q$  为波长修正因子 (当  $V < 6\text{km}$  能见度差时， $q = 0.585V^{1/3}$ ；当  $V \approx 10\text{km}$  中等能见度时， $q = 1.3$ ；当  $V > 50\text{km}$  能见度好时， $q = 1.6$ )。同理可以算出各波长的透射比，再取平均值即可。总的大气透射比：

$$\tau = \tau_{H_2O} \cdot \tau_{CO_2} \cdot \tau_S \quad (12)$$

由于距离取  $1\text{km}$ ，所以有大气衰减系数：

$$K = -\ln \tau \quad (13)$$

#### 4 最大作用距离的计算

利用夜视仪分辨率  $\alpha$  和确定气象条件后算

出的大气衰减系数  $K$ ，通过式 (7) 得方程：

$$\alpha = \frac{H}{nS} e^{-\frac{3}{2}Ks}$$

解方程可算出夜视仪在不同大气环境下的最大作用距离  $S$ 。假如被观测的目标为人，观测清晰度标准为识别，目标临界尺寸以人体宽度计算，取  $H = 0.5\text{m}$ ，用 MATLAB 即可模拟出用于描述夜视仪在不同大气环境下的最大作用距离的三维图形 (如图 1 所示)。通过图 1 可以直观地反映出分辨率、大气衰减系数和最大作用距离的关系。

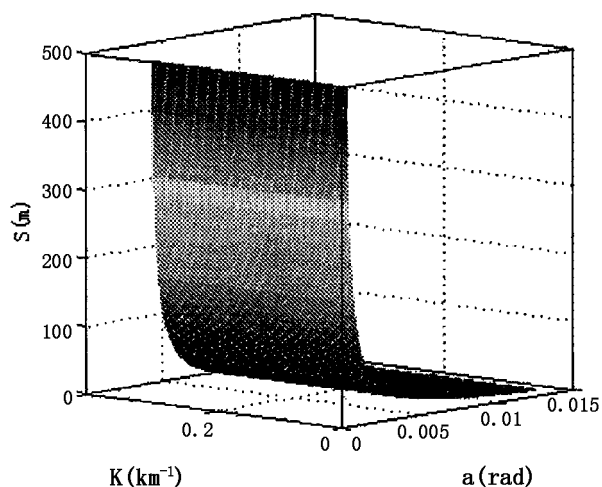


图 1 最大识别距离的三维图形

#### 参考文献

- [1] 吴宗凡, 柳美琳等, 红外与微光技术, 北京, 国防工业出版社, 1998.
- [2] 张鸣平, 张敬贤等, 夜视系统, 北京, 北京理工大学出版社, 1993.
- [3] Fischer R F. SPIE, 1985. 531:82-120.

### 简 讯

#### AAQ-13/AAQ-14 LANTIRN 红外导航与瞄准系统

在过去的 20 年中, 美国洛克希德马丁公司的 LANTIRN 双吊舱低高度红外导航与瞄准系统在瞄准舱市场上获得了很大的份额。这种双吊舱系统是为提高 F-15、

F-16 和 F-14 等战斗机的战斗力而设计的, 它能为这些战斗机在夜间或者不利天气条件下作低空飞行时提供攻击地面目标的能力。这些年来, LANTIRN 系统已向包括美国、以色列和沙特阿拉伯在内的十几个国家出售。然而, 狙击手 XR/PANTERA 以及 ATFLIR 和 LITENING II 等新的吊舱式瞄准系统的出现将使 LANTIRN 失去部分市场份额。

□ 顾聚兴