

文章编号:1001-5078(2023)01-0070-05

· 红外技术及应用 ·

气象条件对红外热像仪作用距离影响分析

王 东, 刘小虎, 路亚旭
(63891 部队, 河南 洛阳 471003)

摘 要:利用 Lowtran 计算了温度、湿度、大气压、能见度、大气路径等气象条件对大气透过率的影响。经分析,给定条件下,温度由 10 ℃ 上升到 20 ℃,中波、长波波段大气透过率分别下降了 20.6 % 和 61.5 %;湿度由 30 % 上升到 50 %,中波、长波波段大气透过率分别下降了 26.6 % 和 75.3 %;能见度从 14 km 下降到 8 km,中波、长波波段大气透过率分别下降了 65.2 %、66.7 %;能见度 8 km 条件下,大气路径由 50 km 增加到 60 km,中波、长波波段大气透过率分别下降了 47.7 %、60.0 %,表明气象条件会显著影响大气透过率,进而影响红外热像仪作用距离,中波红外热像仪适应复杂气象条件的能力优于长波红外热像仪。

关键词:气象条件;红外热像仪;大气透过率;作用距离

中图分类号:TN219 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2023.01.010

Analysis of influence of meteorological conditions on operating range of infrared thermal imager

WANG Dong, LIU Xiao-hu, LU Ya-xu
(63891 Unit of PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: The influence of temperature, humidity, atmospheric pressure, visibility, atmospheric path and other meteorological conditions on atmospheric transmittance is calculated by Lowtran. According to the analysis, when the temperature rises from 10 ℃ to 20 ℃, the atmospheric transmittance of medium-wave bands and long-wave bands decreases by 20.6 % and 61.5 % respectively; the humidity increases from 30 % to 50 %, atmospheric transmittance of medium-wave bands and long-wave bands decreases 26.6 % and 75.3 % respectively; the visibility decreases from 14 km to 8 km, atmospheric transmittance in medium-wave and long-wave bands decreases 65.2 % and 66.7 %, respectively. When the visibility is 8 km, the atmospheric path increases from 50 km to 60 km, and the atmospheric transmittance of medium-wave bands and long-wave bands decreases by 47.7 % and 60.0 % respectively, indicating that atmospheric conditions significantly affect the atmospheric transmittance, and thus the action range of infrared thermal imager. The ability of medium-wave infrared thermal imager to adapt to complex meteorological conditions is better than that of long-wave infrared thermal imager.

Keywords: meteorological conditions; infrared thermal imager; atmospheric transmittance; operating range

1 引 言

以被动方式工作的红外热像仪,可全天时开机工作,具有隐蔽性好、图像直观、易于观察等特点,目前已被广泛应用于侦察预警、精确制导、火力控制等

诸多领域。红外热像仪作用距离是指在一定的大气条件下,其对特定目标探测、识别和辨认的最远距离,是评价红外热像仪性能的关键指标^[1-2]。影响红外热像仪作用距离的因素包括其自身性能参数及

诸多外在因素,如光学系统、探测器参数等内因,测试时目标背景的红外辐射特性、气象条件等外因。不同的气象条件会造成大气透过率的变化,最终导致红外热像仪对同一目标作用距离显著变化。近年来,有关大气透过率对红外系统作用距离影响的研究已有不少报道^[3-8]。本文利用 Lowtran 大气辐射传输软件计算了不同气象条件下的 3~5 μm 中波、8~12 μm 长波波段大气透过率,分析了不同气象条件对大气透过率影响情况程度,比较了中波、长波波段大气传输的优劣,研究结果可用于红外热像仪作用距离测试及计算。

2 红外热像仪作用距离方程及分析

红外热像仪的作用距离方程为^[9]:

$$R = \left[\frac{\pi \cdot D_0^2 \cdot D^* \cdot J_{\lambda_1 \sim \lambda_2} \cdot \tau_a \cdot \tau_o}{4 \cdot (A_d \cdot \Delta f)^{1/2} \cdot (V_s/V_n)} \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中, R 为红外热像仪作用距离; D_0 为红外热像仪光学系统口径; D^* 为波段探测率; $J_{\lambda_1 \sim \lambda_2}$ 为目标波段辐射强度; τ_a 为波段内路径大气透过率; τ_o 为红外热像仪光学透过率; A_d 为红外热像仪探测器光敏元面积; Δf 为红外热像仪信号带宽; V_s/V_n 为红外热像仪正常工作所需的最小信噪比。

对同一套红外热像仪, D_0 、 D^* 、 τ_o 、 A_d 、 Δf 均为常数,式(1)可表示为:

$$\begin{aligned} R &= \left[\frac{\pi \cdot D_0^2 \cdot D^* \cdot \tau_o}{4 \cdot (A_d \cdot \Delta f)^{1/2}} \right]^{1/2} \cdot \left[\frac{J_{\lambda_1 \sim \lambda_2} \cdot \tau_a}{V_s/V_n} \right]^{1/2} \\ &= c \cdot \left[\frac{J_{\lambda_1 \sim \lambda_2} \cdot \tau_a}{V_s/V_n} \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (2)$$

因此, c 为常数。当红外热像仪工作状态不变时,正常工作所需的最小信噪比 V_s/V_n 可视为固定值。可见在红外热像仪参数及工作状态固定的条件下,影响其作用距离的因素包括目标波段辐射强度 $J_{\lambda_1 \sim \lambda_2}$ 、路径大气透过率 τ_a 。目标波段辐射强度与目标类型、状态、所处环境等相关,其对红外热像仪作用距离的影响本文暂不作研究。下面仅在假定目标波段辐射强度固定的条件下,探讨大气透过率对作用距离的影响。

3 大气透过率计算及分析

大气透过率与大气特性和大气路径有关。大气特性包括大气温度、湿度、大气压、能见度等,大气路径与红外热像仪、目标的相对位置相关,下面分别对上述影响因素进行分析。

3.1 温度、湿度、大气压对大气透过率的影响

下面首先分析温度、湿度、大气压等大气参数对中波(3~5 μm)、长波(8~12 μm)红外波段大气透过率的影响。图1~图3分别给出了高度2 km、斜距60 km大气路径条件下,利用 Lowtran 计算得到的大气透过率随温度、湿度、大气压变化情况。其中,图1、图2、图3的计算条件分别为:湿度45%、气压980 hPa、能见度8 km;温度25℃、气压980 hPa、能见度8 km;温度25℃、湿度45%、能见度8 km。

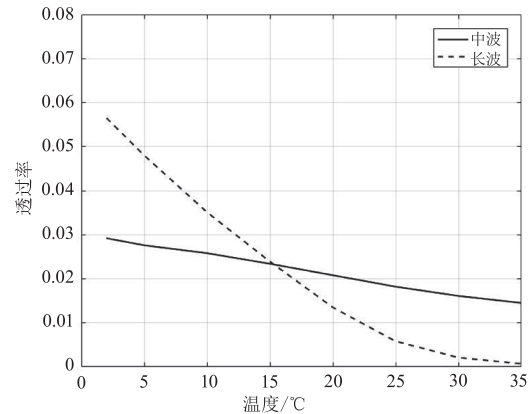


图1 大气透过率随温度变化关系

Fig. 1 Relationship between atmospheric transmittance and temperature

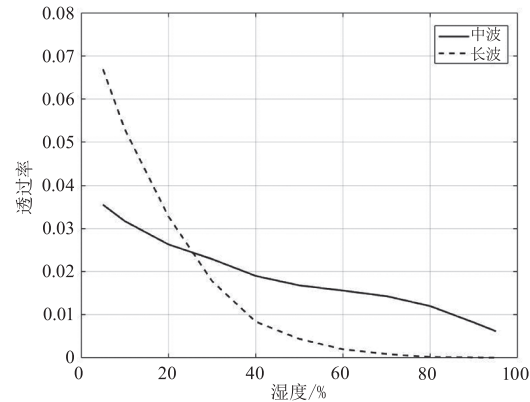


图2 大气透过率随湿度变化关系

Fig. 2 Relationship between atmospheric transmittance and humidity

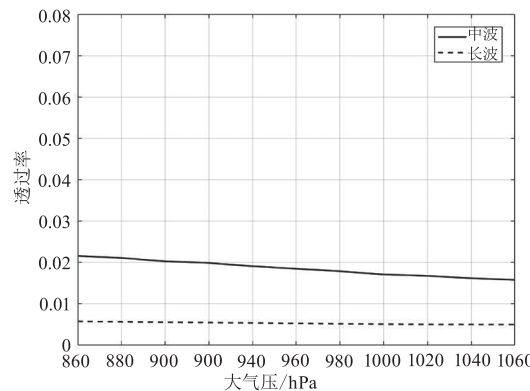


图3 大气透过率随大气压变化关系

Fig. 3 Relationship between atmospheric transmittance and atmospheric pressure

从图3中可以看出:

(1)温度对大气透过率的影响较大,大气透过率随温度升高呈下降趋势,并且长波在低温条件下变化趋势更为显著。温度从10℃上升到20℃,中波、长波波段大气透过率分别下降了20.6%和61.5%,长波波段大气透过率受温度影响更为显著,二者相差3倍。

(2)湿度对大气透过率的影响较大,大气透过率随湿度增加呈下降趋势,并且在低湿度条件下变化趋势更为显著。比较30%和50%两个湿度点,中波、长波波段大气透过率分别下降了26.6%和75.3%,长波波段大气透过率受湿度影响更为显著,二者相差2.8倍。

(3)大气压对大气透过率的影响较小,随着大气压逐渐升高,中波、长波波段大气透过率均缓慢下降。这与分子运动论中气压越高分子密度越大,对光子的衰减越显著的结论是一致的。

3.2 能见度对大气透过率的影响

大气能见度是评价红外热像仪作用距离时关注度较高的气象参数,下面重点分析能见度对大气透过率的影响。气象学上所说的能见度,实际上是反映大气透明度的一个指标,其定义为具有正常视力的人在当时天气条件下,能够从背景(天空或地面)中识别出目标物的最远距离。

由于能见度是针对人眼(可见光波段)定义的,而红外热像仪工作波段为中波或长波红外,实际测试红外热像仪作用距离时,用于监测能见度的能见度仪LED峰值波长一般为0.808 μm、0.850 μm、0.875 μm等,不同波段大气透过率与能见度的对应关系需要进一步分析。图4给出了目标高度2 km、斜距60 km,温度25℃、湿度45%、气压980 hPa条件下,可见光、0.850 μm、红外波段大气透过率的计算结果。

从图4可以看出:

(1)能见度是影响大气透过率的重要因素,随着能见度降低,各个波段的大气透过率均呈现下降趋势。以20 km、14 km、14 km、8 km两组能见度点为例进行比较,能见度从20 km下降到14 km,中波、长波、0.850 μm、可见光波段大气透过率分别下降了36.7%、39.0%、95.5%、90.9%;能见度从14 km下降到8 km,中波、长波、0.850 μm、可见光波段大气透

率分别下降了65.2%、66.7%、99.9%、99.8%。

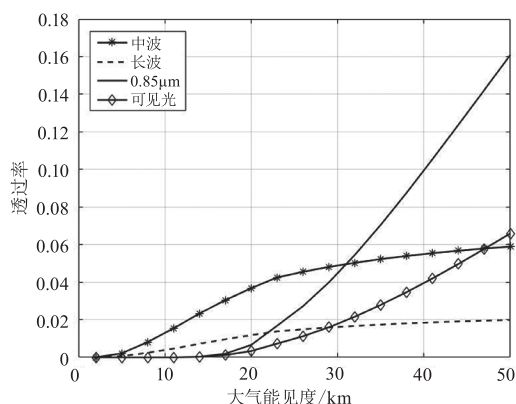


图4 不同大气能见度条件下透过率对比

Fig. 4 Transmittance comparison under different atmospheric visibility conditions

(2)能见度低于22 km时,0.850 μm大气透过率低于中波、长波红外波段大气透过率;能见度超过22 km后,0.850 μm大气透过率开始迅速上升,能见度22 km~31 km时,0.850 μm大气透过率高于长波红外大气透过率,低于中波红外大气透过率;能见度高于31 km时,0.850 μm大气透过率开始超过中波红外大气透过率并迅速上升。表明能见度对0.850 μm大气透过率影响显著,但并未显著影响中波、长波红外波段大气透过率。

(3)能见度低于28 km时,可见光波段大气透过率低于中波、长波红外波段大气透过率;能见度超过28 km后,可见光波段大气透过率开始迅速上升,能见度28 km~47 km时,可见光波段大气透过率高于长波红外大气透过率,低于中波红外大气透过率;能见度高于47 km时,可见光波段大气透过率开始超过中波红外大气透过率。表明能见度与可见光波段大气透过率强相关。

(4)可见光波段大气透过率始终低于0.850 μm大气透过率,原因为可见光波段内部分波长透过率较低,造成积分后的波段大气透过率低于0.850 μm大气透过率。

(5)当能见度很高时(超过30 km),中波、长波波段大气透过率趋于稳定;以50 km、32 km两个能见度点为例进行比较,中波红外、长波波段大气透过率分别下降了14.6%、16.1%,能见度的显著变化并未造成大气透过率的显著变化,可见此时能见度对大气透过率已经基本不构成影响。

3.3 路径对大气透过率的影响

图5、图6给出了目标高度2 km,温度25℃、湿度45%、气压980 hPa,能见度分别在8 km、20 km条件下,不同大气路径条件下可见光、红外波段的大气透过率。

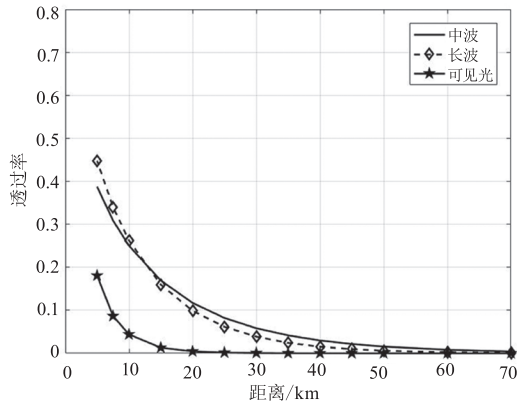


图5 能见度8 km条件下不同大气路径透过率对比

Fig. 5 Comparison of transmittance of different atmospheric paths under visibility of 8 km

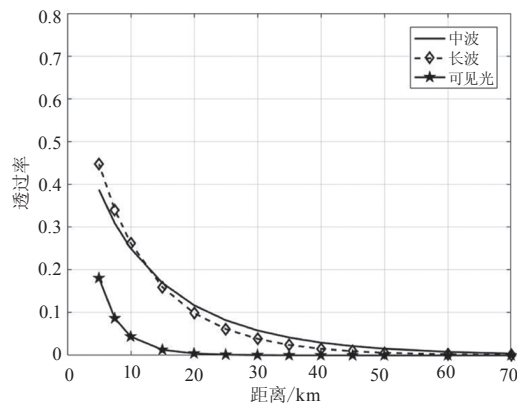


图6 能见度20 km条件下不同大气路径透过率对比

Fig. 6 Comparison of transmittance of different atmospheric paths under visibility of 20 km

从图中可以看出,能见度不变,随着路径长度的增加,中波、长波、可见光波段大气透过率均呈下降趋势。大气路径由50 km增加到60 km,能见度8 km条件下,中波、长波、可见光波段大气透过率分别下降了47.7%、60.0%、66.7%;能见度20 km条件下,中波、长波、可见光波段大气透过率分别下降了32.0%、48.2%、53.5%,说明大气路径对各波段大气透过率的影响均很显著,并且大气路径对可见光大气透过率的影响大于对中波、长波红外大气透过率的影响,这与图4的分析结果一致。

4 气象条件对红外热像仪作用距离影响

通过对大气透过率的计算及分析可以看出,不

同气象条件对红外热像仪作用距离影响存在较大差异:

(1)温度对大气透过率的影响较大,是影响红外热像仪作用距离的重要因素。在长波波段,温度的变化会造成红外热像仪作用距离显著变化,而在中波波段,温度对红外热像仪作用距离影响较小,说明中波红外热像仪温度适应性较好。

(2)湿度也是影响红外热像仪作用距离重要因素。和温度类似,在长波波段,湿度的变化会造成红外热像仪作用距离显著变化,而在中波波段,湿度对红外热像仪作用距离影响较小,说明中波红外热像仪湿度适应性也较好。

(3)大气压对大气透过率的影响较小,说明常規大气条件下,大气压不是影响红外热像仪作用距离的主要因素。

(4)能见度是影响红外热像仪作用距离的重要因素,比较中波、长波、可见光波段大气透过率变化情况可以看出,能见度显著降低,会造成人对目标识别距离的显著下降,但并不会造成红外热像仪作用距离显著下降。尤其是能见度很高时,中波、长波波段大气透过率变化趋于稳定,此时能见度已不再是制约红外热像仪作用距离的主要因素。

(5)相同能见度条件下,大气路径对长波红外热像仪作用距离影响更显著;不同能见度条件下,能见度越低,大气路径红外热像仪作用距离影响越显著。

5 结 语

利用Lowtran大气辐射传输软件计算了温度、湿度、大气压、能见度、大气路径等气象条件对大气透过率的影响,经分析,温度、湿度是影响红外热像仪作用距离的重要因素,相较于长波,中波红外热像仪适应性更强,更适合在温度、湿度变化大的气象条件下工作;能见度对红外热像仪作用距离的影响显而易见,但能见度显著降低并不会造成红外热像仪作用距离显著下降;大气路径也是影响红外热像仪作用距离的重要因素,大气路径变化对中波红外热像仪影响更小,说明中波红外热像仪适应复杂气象条件的能力优于长波红外热像仪。本文仅在剥离红外热像仪状态及参数、目标背景红外辐射特性等条件下,通过大气透过率探讨了气象条件对红外热像仪作用距离的影响,实际应用中,红外热像仪状态、目标背景红外辐射

特性也与气象条件相关,这些条件对红外热像仪作用距离的影响还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Zhang Le, Liang Dongming, Yao Mei, et al. Equivalent calculation of operating range ofIRST[J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(1): 26-30. (in Chinese)
张乐, 梁冬明, 姚梅, 等. 红外搜索跟踪系统作用距离等效折算[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(1): 26-30.
- [2] Chong Yuan, Ai Wei, Wang Yuku. Operating distance estimation model of infrared point target[J]. Command Control & Simulation, 2020, 42(6): 59-62. (in Chinese)
崇元, 艾葳, 王玉坤. 红外点目标探测距离估算模型[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(6): 59-62.
- [3] Sun Mingzhao, Tian Chao, Wang Jiaxiao. Evaluation on operating range of imaging system under different atmospheric conditions[J]. Laser & Infrared, 2017, 47(3): 304-307. (in Chinese)
孙明昭, 田超, 王佳笑. 不同大气条件下红外成像系统作用距离评估[J]. 激光与红外, 2017, 47(3): 304-307.
- [4] Mao Yuxin, Sun Mingjiao, Jiang Kai, et al. Modeling and calculation of action distance based on atmospheric infrared transmittance[J]. Journal of Gun Launch & Control-laser, 2021, 42(3): 82-86. (in Chinese)
毛羽忻, 孙铭礁, 江凯, 等. 基于大气红外特征的作用距离建模与计算[J]. 火炮发射与控制学报, 2021, 42(3): 82-86.
- [5] Zhang Fang, Qi Linlin, Ge Jie, et al. Effect of typical-aerosol and visibility on the mid- and far-infrared light-wave transmission in the standard atmosphere[J]. Infrared Technology, 2016, 38(12): 1047-1052. (in Chinese)
张芳, 齐琳琳, 葛杰, 等. 气溶胶及能见度变化对标准大气中远红外传输的影响分析[J]. 红外技术, 2016, 38(12): 1047-1052.
- [6] Li Fei. Analysis of atmospheric transmission impact on Mid-wave and Long-wave infrared radiation[J]. Infrared Technology, 2019, 41(4): 311-316. (in Chinese)
李飞. 大气传输对中长波红外辐射衰减分析[J]. 红外技术, 2019, 41(4): 311-316.
- [7] Gao Wenjing, Wang Yali, Yin Zhiyong, et al. Influence analysis of atmospheric transmittance on operating range of infrared system[J]. Laser & Infrared, 2016, 46(7): 832-837. (in Chinese)
高文静, 王亚莉, 殷智勇, 等. 大气透过率对红外系统作用距离的影响分析[J]. 激光与红外, 2016, 46(7): 832-837.
- [8] Qi Linlin, Ji Wei, YAO Haijun, et al. Numerical analysis on the detection range of laser due to atmospheric aerosol[J]. Command Control & Simulation, 2012, 34(6): 60-63. (in Chinese)
齐琳琳, 吉微, 姚海军, 等. 大气气溶胶对激光制导探测作用距离影响的数值分析[J]. 指挥控制与仿真, 2012, 34(6): 60-63.
- [9] Richard D Hudson. Principle of infrared system[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1975. (in Chinese)
R. D 小哈得逊. 红外系统原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1975.