

不同大气条件下红外成像系统作用距离评估

孙明昭,田超,王佳笑

(中国华阴兵器试验中心,陕西 华阴 714200)

摘要:通常红外系统的作用距离考核必须在特定的大气条件下进行,这对试验时机的选择带来不便,本文在分析大气各成分对目标红外辐射能量的衰减机理的基础上,分析出影响红外成像系统作用距离的主要因素,探索不同大气条件下红外系统作用距离的评估方法,为在任意大气条件下该项指标的测试结果评判提供参考,具有较大的借鉴意义。

关键词:红外成像系统;作用距离;大气条件

中图分类号:TN219 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.03.009

Evaluation on operating range of infrared imaging system under different atmospheric conditions

SUN Ming-zhao, TIAN Chao, WANG Jia-xiao

(Huayin Ordnance Test Center of China, Huayin 714200, China)

Abstract: Usually operation range test of infrared imaging system needs to be carried out under specific atmospheric conditions, which will cause difficulties to the test. By analyzing attenuation mechanism of various elements in atmosphere on infrared radiation of the target, the main influence factors of operating range were analyzed, and evaluation methods of operating range under different atmospheric conditions were discussed, which provide a reference for testing evaluation of operating range under the random atmospheric conditions.

Key words: infrared imaging system; operating range; atmospheric condition

1 引言

红外热成像系统的作用距离是指在一定的大气条件下,系统对某一特定目标可能发现、识别和辨认的最远距离,是评价红外热成像系统性能的重要指标。除了系统本身的性能之外,其外在影响因素较多,如目标和背景的辐射特性、目标尺寸、大气条件以及观察人员的个体差异等。

在对红外系统性能进行外场试验测试时,因为性能与外部环境有关,经常出现试验效率非常低下的问题。本文主要讨论大气条件对红外作用距离的影响,即在目标和背景的辐射特性、目标尺寸以及观

察人员都不变的情况下,同一红外成像系统的作用距离随能见度、湿度、温度的变化情况。旨在分析该项指标测试受制于气象条件的问题,提出指标折算的方法,提高外场试验效率。

2 红外波段大气透过率影响因素分析

受到大气介质的吸收、散射或反射的影响,红外辐射在大气中传输时,在观察效果上主要表现为三种现象:(1)到达传感器的辐射强度降低了;(2)外接辐射经散射进入视场,降低了目标对比度;(3)图像的重现精度由于紊流和微粒杂质的散射而降低。

作者简介:孙明昭(1985-),硕士研究生,工程师,主要从事光电侦察装备鉴定技术相关研究工作。E-mail:5714478@qq.com

通讯作者:田超(1984-),男,本科,工程师,主要从事光电侦察系统的试验鉴定工作。

收稿日期:2016-06-13

2.1 大气分子的吸收和散射对透过率的影响

大气中对红外辐射能量吸收起主要作用的成分包括水汽、二氧化碳和臭氧。臭氧虽有强烈的吸收作用,但因它通常分布于较高的大气层,只有当辐射在竖直方向穿过较厚大气层时才需考虑^[1],因此地面试验时可以不考虑;二氧化碳在大气中的含量相对稳定,对红外辐射的吸收率较为稳定;而水汽的含量随海拔高度和气象条件的变化比较明显,而且不同气象条件下,大气中的水汽含量不同,是导致不同气象条件大气透过率不同的主要原因。

2.2 大气分子与气溶胶对红外辐射的散射作用

大气分子的散射属于瑞利散射,反射率跟波长的四次方成反比,在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波长范围内,大气分子的散射对透过率的影响可以不予考虑。

气溶胶是悬浮在气体中的小粒子,尺寸范围是 $0.03 \sim 2000 \mu\text{m}$,一般包括云、雾、雨、冰晶、尘埃、碳粒子、烟、盐晶粒以及微小的有机生命体。由于这些微粒在大气中悬浮呈胶溶状态,所以称为大气气溶胶。气溶胶对红外辐射的衰减主要因为散射。

3 不同气象因素对红外辐射透过率的影响分析

一般情况下,外场试验可以获得当时场地大气能见度和温度、湿度信息。为便于试验计算,主要从能见度、温度、湿度信息方面入手分析红外透过率的变化。本文采用 LOWTRAN 软件计算红外辐射在大气传输中的透过率。LOWTRAN 软件包含的因素相当全面,它不仅考虑了气体和气溶胶对红外辐射的吸收和散射作用,而且也考虑大气背景辐射、日光或月光的单次散射和多次散射,地表反射等。只要输入大气参数,路径长度和方向,波长范围,就能得到光谱透过率图谱和平均透过率。

3.1 能见度对红外辐射透过率的影响

在水平路径上,假设红外辐射经过的路径是均匀气体路程,则红外辐射在同一个地区经过相同距离的透过率相等,利用 LOWTRAN 软件,可以计算任意气象条件下的大气透过率,本文以中纬度夏季乡村(试验场典型条件)的气象条件为例,水平等压路径,传输距离为 5 km ,海拔 0.4 km ,计算在不同能见度下 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段红外辐射透过率。计算结果如图1所示。

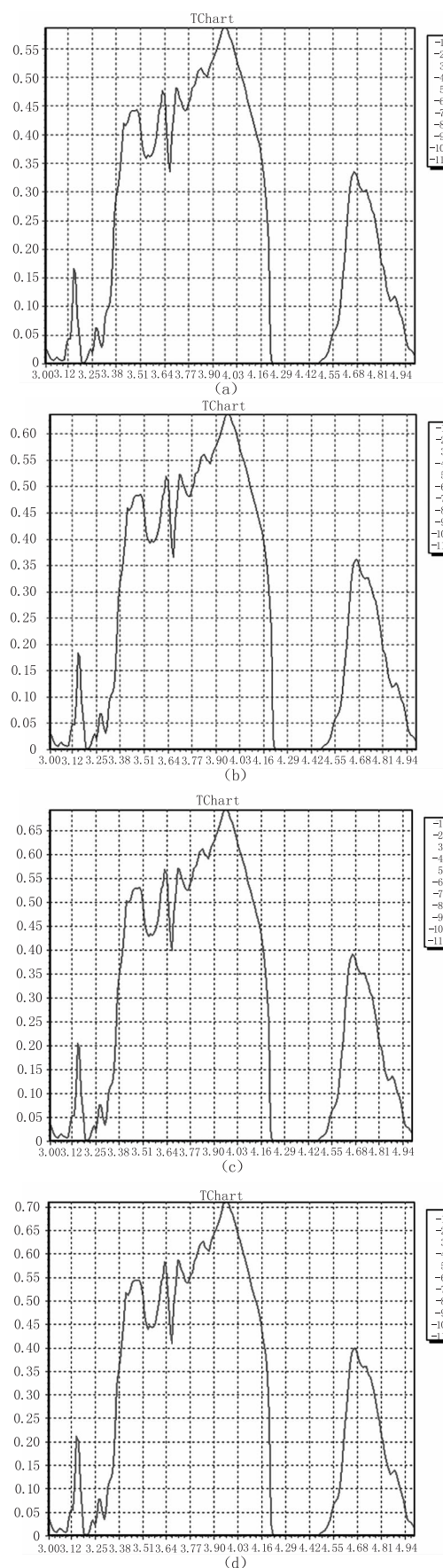


图1 不同能见度条件下大气对红外辐射的透过率曲线

Fig. 1 Infrared transmittance curves under different visibility conditions

图 1 中(a)~(d)图分别对应能见度为 6 km、8 km、10 km 和 12 km 时的透过率曲线,横轴表示波长(μm),纵轴表示透过率。可以很直观地看出能见度对透过率的影响较大,能见度在 6~12 km 之间变化时,透过率的变化达到 25%。从数据分析看,能见度对中波红外透过率影响成线性关系,可简单描述为:

$$\tau = \tau_0 + \frac{k - k_0}{2} \times 0.05 \quad (1)$$

其中, τ_0 是能见度为 k_0 时的透过率,当能见度为 v 时,透过率达到 τ 。当能见度提高时,透过率增加,当能见度降低时,透过率降低。该公式仅适用于本应用数据,其他应用需根据本算法重新分析。

3.2 气温和相对湿度对红外辐射透过率的影响

水蒸气在大气中的含量,分别采用了可降水含量 ω 和等效路程来表示^[4]。

$$\omega = \omega_0 \cdot R \quad (2)$$

其中, R 为传输距离(km); ω_0 表示 1 km 辐射路程中(水平路径)的空气柱中所含的水蒸气凝结成液态水后的水柱长度(mm/km)。

$$\omega_0 = H_r H_a \quad (3)$$

其中, H_a 为饱和水蒸气含量,表示在一定温度下,空气相对湿度为 100% 时,每公里大气路径中的水分含量, H_r 为相对湿度。

因此在海平面上传输一定距离,大气中水蒸气的含量为:

$$\omega_0 = H_r H_a R \quad (4)$$

空气中饱和水汽含量随气温变化可以通过查表获得,其趋势如图 2 所示。

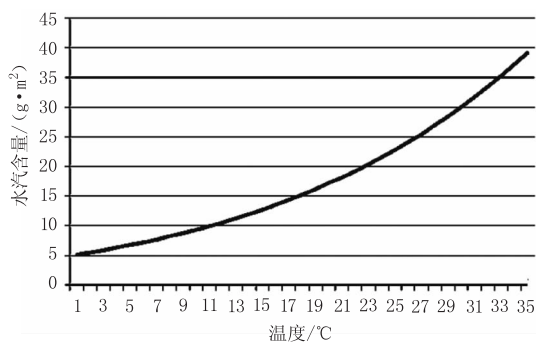


图 2 大气温度和饱和水汽含量的关系

Fig. 2 The relationship between atmospheric temperature and moisture content

由上图可见,随着温度的升高,每立方米大气中饱和水汽含量呈非线性上升趋势,在 20~30 °C 之间变化尤为明显。所以在不同温度条件下,相同相对湿度所对应的水汽含量有很大差别。

在温度一定时,研究红外辐射透过率随相对湿度的变化关系,将文献[3]中的数据进行处理,得到能见度 8 km,气温 20 °C,传输距离 5 km 时大气透过率与相对湿度的关系曲线,如图 3 所示。

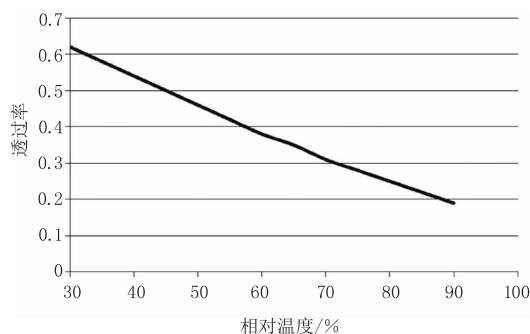


图 3 红外辐射透过率随相对湿度的变化趋势

Fig. 3 Infrared transmittance trend with the change of relative humidity

由上图可以看出,红外辐射透过率和相对湿度可简单处理为线性关系,从数据分析可得出相对湿度每增加 20%,透过率相对下降约 14%。可见在温度一定的情况下,相对湿度对红外辐射的透过率具有较大的影响,是影响中波红外系统作用距离的主要气象因素。

4 不同大气条件下红外系统作用距离评估

表征红外热成像系统静态性能的 MRTD 不仅包含了目标的辐射特性和热成像系统的性能,而且也涵盖了观察者的主观因素,是一个可以综合评价热成像系统性能的重要参量,而且也是目前比较公认的方法。

利用 MRTD 预测红外热成像系统视距的基本原理为:若目标的空间频率为 f ,它与背景的实际等效温差 ΔT ,经过大气衰减后,到达红外热成像系统的温差应该大于或等于热成像系统对应频率的 MRTD;同时辐射源对热成像系统的张角应该大于或等于观察等级所要求的最小视角。

对面目标的作用距离可表示为^[2]:

$$\Delta T \tau_a = \text{MRTD}'(f) \quad (5)$$

$$\text{MRTD}'(f) = \text{MRTD} \sqrt{\frac{7}{n_0 \gamma}} \quad (6)$$

$$R = \frac{H}{n_0 f} \quad (7)$$

式中, ΔT 为目标和背景温差; τ_a 为目标与热像仪之间的大气透过率; f 为空间频率; n_0 为 Johnson 准则要求的等效线对数; H 为目标高度; γ 为目标的高宽比; R 为满足以上条件的最大作用距离。

将大气透过率经过能见度、温度-湿度折算后,带入上式计算得到的就是折算后的系统性能。由上可知,实测系统距离受大气影响很大,等待与理论标准一致的气象条件,难度很大。因此,在其他条件一致的情况下,通过大气温度、相对湿度可以得出不同大气条件下的红外辐射透过率,可以对不同气象条件下的作用距离进行有效评估,从而可以提高系统试验的效率。

5 结 论

本文通过大气各成分对红外辐射的吸收和散射基本理论,分析出影响红外辐射大气透过率的主要影响因素,计算了透过率随能见度、温度和湿度的变化情况,得出以下结论:

(1)影响红外辐射透过率的主要因素为大气中的水汽含量,温度和相对湿度共同决定了大气中水汽含量的多少。

(2)温度一定的情况下,相对湿度每增加20%,透过率相对下降约14%,低湿度时下降快,在高湿度时下降慢。温度和湿度是红外系统作用距离的重要影响因素。

(3)能见度对红外辐射透过率的影响不明显,能见度每降低2 km,透过率下降5%左右,所以能见度变化范围在2 km范围内时可以不考虑其对红外系统作用距离的影响。

上述结论为不同大气条件下红外系统的作用距

离评估提供了参考,对提高试验效率具有较大的借鉴意义。

参考文献:

- [1] GAO Sifeng, WU Ping. Estimation on the operating range of infrared system under complex atmosphere condition [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(6): 941 - 944. (in Chinese)
高思峰, 吴平. 复杂大气条件下红外系统作用距离的估算[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(6): 941 - 944.
- [2] LI Runshun, YUANG Xiangyan. Operating range prediction of infrared imaging system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(1): 1 - 4. (in Chinese)
李润顺, 袁祥岩. 红外成像系统作用距离的估算[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(1): 1 - 4.
- [3] WANG Jian. Infrared thermal imaging system view the distance under the different atmospheric environment the research [D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2008. (in Chinese)
王坚. 红外热像仪在不同大气环境下作用距离的研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2008.
- [4] LI Ying. The research on atmosphere influence to the function range of IR [J]. Electronic Instrumentation Customer, 2011, 18(3): 16 - 19. (in Chinese)
李莹. 大气对红外系统作用距离影响的研究[J]. 仪器仪表用户, 2011, 18(3): 16 - 19.