

· 红外技术 ·

## 红外目标模拟技术

周炳玉, 任 滢, 汪晓洁

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

**摘要:** 分析了目标红外辐射特征, 进行了外场等效红外信号源参数计算, 阐述了外场红外目标模拟系统的构建, 依据外场等效红外信号源参数的分析计算, 确定了红外外场目标模拟系统的主要参数, 介绍了红外目标模拟系统组成及工作原理。研究表明, 该系统能够充分体现红外系统在外场测试的目标特征, 可作为红外系统外场性能检测的重要手段。

**关键词:** 红外信号源; 红外目标模拟; 红外系统性能检测

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-02-0001-03

## Infrared Target Simulation Technology

ZHOU Bing-yu, REN Ying, WANG Xiao-jie

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

**Abstract:** The target infrared radiation characteristics are analyzed. Parameters of equivalent infrared signal source in the field are calculated, and construction of infrared target simulation system in the field is described. The main parameters of the system are confirmed according to the analysis and calculation of equivalent infrared signal source parameters in the field. The composition and operation principle of the system are introduced. The research results show that the target characteristics of the system in the field are fully showed, which can be an important method for performance test of infrared system in the field.

**Key words:** infrared signal source; infrared target simulation; performance test of infrared system

近年来, 随着光电技术的大力发展, 红外系统的外场性能检测受到了越来越多的重视。红外系统在平时设备测试、维修和使用中, 在缺乏目标的情况下, 设备的性能和效能将无法检验。构造和再现等效于远场测试的模拟目标, 对于提升红外系统性能快速测试能力, 具有重要的现实意义。

为了实现对红外系统的外场相关性能测试, 需要研究红外外场目标模拟技术, 充分考虑在野外环境下, 测试的实际气象条件等因素对目标红外辐射传输的影响, 同时对目标红外辐射特征进行充分研究, 进而确立目标模拟系统主要参数及组成, 构建近似实际条件下的模拟目标, 快速检测红外系统的

整体性能。

### 1 目标红外辐射特征

系统模拟目标的红外辐射特性的估算<sup>[1-2]</sup>。

一般情况下, 目标在  $L_1 \sim L_2$  km 处, 有如下估算结果:  $w_1 \sim w_2$   $\mu\text{m}$  波段的辐射强度最大不超过  $m_1$  W/Sr;  $w_3 \sim w_4$   $\mu\text{m}$  波段的辐射强度最大不超过  $m_2$  W/Sr。

因此目标红外辐射特性范围约为:  $w_1 \sim w_2$   $\mu\text{m}$  波段的辐射强度范围:  $m_3 \sim m_1$  W/Sr;  $w_3 \sim w_4$   $\mu\text{m}$  波段的辐射强度范围:  $m_4 \sim m_2$  W/Sr。

## 2 外场等效红外信号源参数计算

对于红外系统,当目标成像不能充满系统的瞬时视场时,目标可看作红外点源,此时,系统的信噪比可以根据以下公式计算

$$SNR = \frac{\pi \cdot \delta \cdot \tau_a \cdot \tau_o \cdot J \cdot D^* \cdot D_o^2}{4 \cdot \sqrt{A_d \cdot \Delta f} \cdot L \cdot L} \quad (1)$$

式中, $\delta$ 为信号峰值因子; $\tau_a$ 为大气透过率; $\tau_o$ 为系统光学效率; $D^*$ 为波段探测率; $D_o$ 为系统光学口径; $A_d$ 为探测器光敏元面积; $\Delta f$ 为信号带宽; $SNR$ 为探测所需信噪比; $J$ 为目标波段辐射强度; $L$ 为传输路径。

大气透过率是进行试验测试的基础数据,是确定红外系统对各类目标作用距离的必要数据。大气对不同工作波段的透过特性对于光电设备的效能有着重要的影响,需要得到准确的温度、湿度、气压、可见光能见度等气象数据,利用这些数据与实测的数据进行研究分析,以得到大气在不同气象条件下、不同波段内的透过率曲线。

若在室外模拟系统室内测试情况,就要保证两种情况下系统的信噪比相等。对于同一套系统而言,系统参数一致,故根据式(1)得到以下公式

$$\frac{J_{\text{内场}} \cdot \tau_{a\text{内场}}}{L_{\text{内场}} \cdot L_{\text{内场}}} = \frac{J_{\text{外场}} \tau_{a\text{外场}}}{L_{\text{外场}} \cdot L_{\text{外场}}} \quad (2)$$

式中, $\tau_{a\text{内场}}$ 为室内测试时系统视线路径上的大气透过率,鉴于内场测试平台平行光管焦距为 $l_1$  m,该段路径 $L_{\text{内场}}$ 上的大气衰减可以忽略,大气透过率取 $\tau_1$ ; $\tau_{a\text{外场}}$ 为外场测试时系统视线路径上的大气透过率, $w_1 \sim w_2$   $\mu\text{m}$ 波段,中等气象条件下,平视观察距离 $L_{\text{外场}} = l_2$  km时,地面环境温度为 $T_1$   $^{\circ}\text{C}$ ,考虑到外场湿度变化等影响因素,故综合效果取观察路径上的大气透过率为 $\tau_2$ ; $J_{\text{内场}}$ 为室内测试目标波段辐射强度,取实验室内的环境温度为 $T_1$   $^{\circ}\text{C}$ ,黑体与背景的温差为 $\Delta T_1$   $^{\circ}\text{C}$ ,为了消除光学弥散效应带来的影响,测试时黑体靶成像充满 $m \times m$ 个瞬时视场<sup>[4]</sup>; $J_{\text{外场}}$ 为外场测试目标波段辐射强度。

室内测试时,目标与背景的温差为 $\Delta T_1$   $^{\circ}\text{C}$ ,且内场目标为黑体辐射源,目标比辐射率 $\varepsilon$ 取 $\mu_1$ ;外场目标比辐射率 $\varepsilon_{\text{外场}}$ 取 $\mu_2$ 。

灰体的光谱辐射发射量为

$$W_\lambda(T) = \varepsilon c_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} \quad (3)$$

根据灰体的光谱辐射发射量计算式(3),可计

算出室内测试目标波段辐射强度 $J_{\text{内场}} = E - F$  W/Sr。

把前面的参数和计算结果代入式(2),可计算得到外场目标的波段辐射强度 $J_{\text{外场}} = M_1$  W/Sr,外场目标的尺寸最好充满 $m \times m$ 个瞬时视场,即有效面积要达到 $A$   $\text{m}^2$ 。此时目标与背景温差为 $\Delta T_2$   $^{\circ}\text{C}$ 。

综合考虑目标红外辐射特征、试验效果和信号源模拟的技术现状,外场目标模拟系统的性能指标如表1所示。

表1 外场目标模拟系统性能指标

参数	可控温差范围/ $^{\circ}\text{C}$	控温精度/ $^{\circ}\text{C}$	有效面积/ $\text{m}^2$	辐射率/(%)
数值	$l_1 \sim l_2$	$\omega$	$A$	$\eta$

## 3 外场红外目标模拟系统的构建

### 3.1 外场红外目标模拟技术参数

红外系统具有不同的类型和参数,主要类型包括:红外系统={红外系统1,红外系统2, ..., 红外系统 $n$ },外场红外目标模拟至少应满足不同类型红外系统的测试需求<sup>[3-6]</sup>。

综上所述,估算目标在 $L_1 \sim L_2$  km处,有如下估算结果: $w_1 \sim w_2$   $\mu\text{m}$ 波段的辐射强度最大不超过 $m_1$  W/Sr, $w_3 \sim w_4$   $\mu\text{m}$ 波段的辐射强度最大不超过 $m_2$  W/Sr。

红外系统1距目标 $l_1$  km处,需要目标提供 $w_1 \sim w_2$   $\mu\text{m}$ 波段最小辐射强度约为 $M_1$  W/Sr,有效辐射面积为 $A_1$   $\text{m}^2$  ( $\Phi_1 = \varphi_1$  mm);

⋮

红外系统 $n$ 距目标 $l_2$  km时,需要目标提供的 $w_3 \sim w_4$   $\mu\text{m}$ 波段最小辐射强度为不小于 $M_n$  W/Sr,有效辐射面积为不大于 $A_n$   $\text{m}^2$  ( $\Phi_n = \varphi_n$  mm)。

综合以上分析,外场红外目标模拟技术参数可设计为有效辐射强度范围为 $a \sim b$  W/Sr( $w_1 \sim w_2$   $\mu\text{m}$ )、 $c \sim d$  W/Sr( $w_3 \sim w_4$   $\mu\text{m}$ 波段),有效辐射面积折中为 $A$   $\text{m}^2$  ( $\Phi = \varphi$  mm)能够满足近、中场模拟目标的需求。

### 3.2 系统组成

综合以上目标红外辐射特征、外场等效红外信号源计算的分析研究,按照外场红外目标模拟系统参数要求,构建外场红外目标模拟系统<sup>[5-7]</sup>。

外场红外目标模拟系统主要由红外辐射器、辐射强度控制器等组成,组成框图如图1所示。

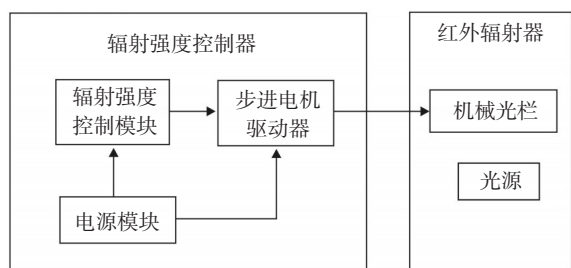


图1 红外目标模拟系统组成示意图

红外辐射器由辐射光源、光学系统、驱动电机、光栏叶片等组成,用来完成向指定区域内发射高强度的能量可变的红外辐射光。

光源的选取是该模拟器最难解决的问题,发光材料备选的有以下几种:放电光源、碳纤维、硅碳棒、电热光源。

放电光源的特点是汇聚效果好,但光谱主要分布在可见光与近红外部分,而且点燃驱动较复杂。碳纤维是一种新型的发热材料,与金属加热比较,具有节电、升温快、发热均匀等优点,但外形加工比较难,而且不能超功率工作。硅碳棒具有耐高温、抗氧化、升温快和寿命长等特点,主要应用于高温电炉及电加热设备上,但不能超功率工作,要注意防潮,而且硅碳棒比较硬而脆。所以以上三种材料不适合做为模拟器的光源。

电热光源与以上发热材料相比,具有光谱分布连续、工作色温低、驱动简单、在中长波红外波段具有较高效率等优点。通过采用镍铬合金材料作为发热体。

辐射强度控制器由控制板、显示模块、AC-AC电源模块、AC-DC电源模块、步进电机驱动器等组成,用来完成工作状态的选择、曲线设定、自检、电压调整、机械扇叶控制、整机状态控制。辐射强度控制器控制辐射源的输出强度变化,模拟不同距离、不同目标的辐射特征。

### 3.3 工作原理

通过辐射强度控制器面板的控制完成工作状态的选择,或者接收系统的命令、或者接收面板的

手动开关的命令,产生步进电机工作所需的脉冲信号,控制红外辐射器的工作状态。红外辐射器向被检测红外系统方向定向发射红外辐射,通过在红外辐射器的辐射窗口加机械光栏,并且用步进电机控制辐射窗口的大小,以达到对红外辐射器辐射强度的控制。模拟过程中,触发被检红外系统,从而达到检测红外系统技术性能的目的。

## 4 结束语

外场红外目标模拟系统,建立在充分考虑温度、湿度、气压、可见光能见度等实际大气气象条件等因素影响基础上,产生测试试验过程中所需要的一定辐射范围的红外辐射,为系统功能检验提供红外目标环境,全面完成红外系统的外场技术性能检验。在一定范围内通过改变红外系统技术参数<sup>[8]</sup>,以及模拟各种合作目标环境,开展对不同背景条件下的目标模拟与效果分析,可为红外系统设计提供参考依据。

## 参考文献

- [1] 张雷,高华,杨风暴.双波段红外图像辐射特性分析及在图像融合中的应用[J].光电技术应用,2006,21(5):54-57.
- [2] 杨俊彦,沈飞.凝视红外成像系统温度变化对其性能的影响[J].红外与激光工程,2008,37:487-489.
- [3] 侯德鹏,冯云松,路远,等.动态红外景像仿真技术综述及帕尔贴效应的应用[J].光电技术应用,2007,22(5):75-80.
- [4] 李春来,吴刚,刘银年,等.低温光学系统辐射特性研究[J].激光与红外,2006(12):1146-1148.
- [5] 马世宁.装备战场应急维修技术[M].北京:国防工业出版社,2009.
- [6] 刘吉,赵辉,王小燕,等.光电探测技术与应用[M].北京:国防工业出版社,2009.
- [7] 林涛,李阔.分布式面源型红外诱饵建模研究[J].光电技术应用,2007,22(1):72-74.
- [8] 崔春生.新型石油井下动态参数测试技术研究[D].太原:中北大学,2007.