

# T/CSOE

中国光学工程学会团体标准

T/CSOE 0004—2025

## 红外热成像系统动态范围测试方法

Measuring method for dynamic range of infrared thermal system

(报批稿)

(本草案完成时间：2025年4月3日)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

光学工程学会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 原理 .....	1
5 测试条件 .....	2
6 测试设备 .....	2
7 样品 .....	2
8 测试步骤 .....	3
9 数据处理 .....	3
10 测试报告 .....	4
附录 A（资料性） 红外热成像系统动态范围测试报告记录表 .....	6

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国光学工程学会提出、归口。

本文件起草单位：南京理工大学、天津航技术物理研究所、西安应用光学研究所、中国科学院上海技术物理研究所、中国电子科技集团公司第十一研究所、烟台艾睿光电科技有限公司、西安中科立德红外科技有限公司和中国电信股份有限公司人工智能研究院（上海）。

本文件主要起草人：隋修宝、郭伟兰、陈钱、李科、俞兵、周易、喻松林、董珊、闵雪豹、王小力、李玉杰、王学新、刘伟、丁瑞军、徐莹、陈天标、陈继铭、李学龙。

# 红外热成像系统动态范围测试方法

## 1 范围

本文件规定了红外热成像系统动态范围测试的原理、测试条件、测试设备、样品、测试步骤、数据处理和测试报告等。

本文件适用于单谱段及多谱段复合红外热成像系统的动态范围测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17444 红外焦平面阵列参数测试方法

## 3 术语和定义

GB/T 17444界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**红外热成像系统 infrared thermal imaging system**

将场景红外辐射的空间分布转换为与空间分布和辐射能量相对应的二维图像（模拟信号或数字信号）的系统。

### 3.2

**系统动态范围 system dynamic range**

系统能够分辨的最大辐射亮度和最小辐射亮度的比值。

### 3.3

**灰度值 gray-scale value**

系统在一定辐射功率照射条件下，经数字转换后表征辐射强弱的量化数值。

### 3.4

**像元噪声灰度值 pixel noise gray value**

在一定帧频周期内，系统在恒定辐照条件下像元输出信号灰度变化的均方根值。

### 3.5

**截止灰度值 cutoff grayscale value**

系统经一定辐射功率照射后，输出信号不再随红外辐射亮度减弱而变化时对应的灰度值。

### 3.6

**饱和灰度值 saturation grayscale value**

系统经一定辐射功率照射后，输出信号不再随红外辐射亮度增强而变化时对应的灰度值。

## 4 原理

在典型环境温度 $T_b$ 下，以黑体辐射源作为参考源，此时对黑体辐射源背景噪声进行多次采集，计算得到像元噪声灰度值 $\overline{G_{nRMS}}$ 来表征红外热成像系统可分辨的最小辐射亮度。通过调节黑体辐射源温度测试得到红外热成像系统成像状态的“温度-灰度”响应曲线及对应的饱和灰度值点 $G_{over}$ 和截止灰度值点 $G_0$ ，两点之间的灰度差值表征为红外热成像系统可分辨的最大辐射亮度，经动态范围公式（1）计算得到被测红外热成像系统动态范围值。

$$DR = 20 \times \log \frac{|G_{over} - G_0|}{\overline{G_{nRMS}}} \quad (1)$$

式中：

$DR$ ——系统动态范围，单位：dB

$G_{over}$ ——系统饱和灰度值，单位：无

$G_0$ ——系统截止灰度值，单位：无

$\overline{G_{nRMS}}$ ——在黑体温度 $T_b$ 条件下，选取的 $M \times N$ 的区域的像元噪声灰度值，单位：无

## 5 测试条件

测试应在下列条件下进行：

- 环境温度：15℃~30℃；
- 相对湿度：不大于70%RH；
- 大气压力：海拔不大于1000米，大气压强范围为90.0~105.0kPa，允许短期波动±3%；
- 测试期间应避光处理，避免杂散光干扰，有照明要求时，不应使用卤素灯等热辐射光源；
- 在测试过程中，应避免机械冲击和振动。

## 6 测试设备

### 6.1 黑体辐射源

- 发射率：有效发射率不应小于0.95；
- 温度范围：应覆盖测试红外热成像系统的截止温度和饱和温度，通常温度范围在-30℃~1000℃即满足要求，用户可根据实际测试要求自行扩展；
- 辐射源数量：用户按照需配置；
- 辐射源扩展不确定度：温度-30℃~+400℃时，不应大于1℃（ $k=2$ ），温度400℃~1000℃时，不应大于2℃（ $k=2$ ）；
- 温度均匀性：不大于±0.15℃与0.15%T（T为辐射源温度）的大者；
- 测试时，黑体辐射源设定温度不应超过说明书中标注的正常工作温度范围；
- 低温黑体辐射源应持续充入氮气或者其它对人体无害的保护气体，气体流量应保证低温黑体辐射源不凝结水汽；
- 黑体辐射源应经过计量检定机构的检定合格，并在有效期内。

### 6.2 准直系统

- 工作波长：满足被测样品响应波段；
- 准直系统的焦距应大于被测热成像系统焦距的3倍；
- 准直系统通光口径应大于被测热成像系统接收口径。

## 7 样品

### 7.1 单谱段红外热成像系统

单谱段红外热成像系统应为仅在特定或单一红外波段内工作的短波红外、中波红外、长波红外等热成像系统。

### 7.2 多谱段复合红外热成像系统

多波段复合红外热成像系统应为采用多个波段的红外探测器,获取不同波段的红外辐射信息的中短波红外、中长波红外、全谱段红外等成像系统。

### 7.3 样品接口

样品接口应根据用户要求选择模拟接口或数字接口,宜使用数字接口。

## 8 测试步骤

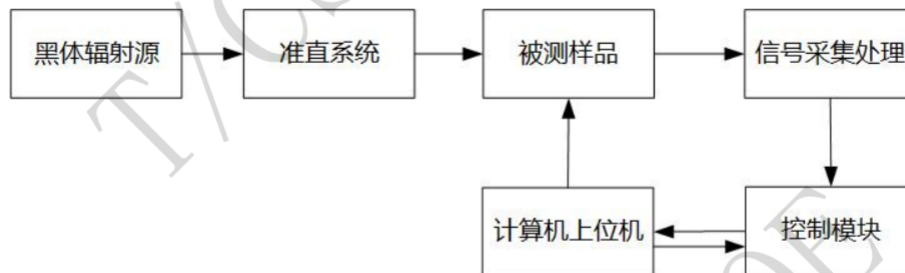


图2 测试系统组成框图

搭建测试系统如图2所示,测试应按下列步骤执行:

- 将被测样品的成像光轴与黑体辐射源光轴中心处于同一水平方向,测试光轴对准误差不应大于 $5^\circ$ ;
- 调整黑体辐射源从最低温度 $T_{min}$ 逐渐升到最高温度 $T_{max}$ ,设定温度间隔不应大于 $50^\circ\text{C}$ ,在黑体辐射源图像内框选 $M\times N$ 均匀区域作为计算区域,采集框选区域内像元的灰度值信号, $M\times N$ 区域面积应大于图像面积的30%;
- 记录被测样品在黑体辐射源设定温度点的响应灰度值,测试过程中,黑体辐射源温度范围应覆盖被测样品截止温度 $T_0$ 和饱和温度 $T_{over}$ 范围区间,红外热成像系统积分时间等成像参数不得进行手动调整;
- 调整黑体辐射源温度达到 $T_b$ 时,在该温度上进行100次采样,得到采样输出灰度信号组 $G[(i,j),T_b,1], G[(i,j),T_b,2], \dots, G[(i,j),T_b,f]$ , $T_b$ 选取:中、长波条件下通常推荐选取293K,短波条件下采用规定温度。

## 9 数据处理

### 9.1 响应灰度值拟合

被测样品响应灰度值拟合应按下列步骤执行:

- 曲线拟合:根据记录的辐射温度和灰度数据,拟合辐射亮度和灰度值的关系曲线如图3所示,曲线在线性区单调递增,在非线性区趋近极值,得到线性区、截止区和饱和区;
- 拐点选取:在三个区域相连位置,得到两个拐点A和B,A对应的横坐标 $T_0$ 为截止温度,A对应的纵坐标 $G_0$ 为截止灰度值;B对应的横坐标 $T_{over}$ 为饱和温度,B对应的纵坐标 $G_{over}$ 为饱和灰度值。



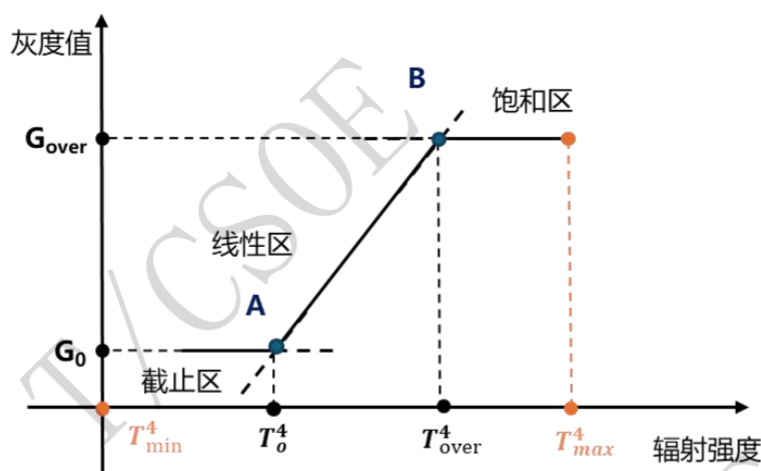


图3 测试区域响应输出灰度值拟合曲线图

## 9.2 像元噪声灰度值计算

在温度 $T_b$ 条件下记录采样输出灰度信号组，应按公式（2）和（3）计算系统选取区域像元噪声灰度值 $G_{nRMS}$ ：

$$G_{nRMS}[(i,j),T_b] = \sqrt{\frac{(G[(i,j),T_b,1] - \bar{G}[(i,j),T_b])^2 + \dots + (G[(i,j),T_b,f] - \bar{G}[(i,j),T_b])^2}{f}} \quad (2)$$

$$\bar{G}_{nRMS} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N G_{nRMS}[(i,j),T_b] \quad (3)$$

式中：

$G[(i,j),T_b,f]$ ——第 $i$ 行第 $j$ 列像元输出信号第 $f$ 次测量的灰度值，单位：无；

$G_{nRMS}[(i,j),T_b]$ ——第 $i$ 行第 $j$ 列像元输出信号噪声均方根灰度值，单位：无；

$\bar{G}[(i,j),T_b]$ ——第 $i$ 行第 $j$ 列像元输出信号灰度值， $f$ 次测量的平均值，单位：无；

$\bar{G}_{nRMS}$ ——在黑体温度 $T_b$ 条件下，选取的 $M \times N$ 的区域的像元噪声灰度值，单位：无；

$f$ ——采样次数， $f \geq 100$ 。

## 9.3 系统动态范围计算

红外热成像系统动态范围结果，应按照公式（1）进行计算。

## 10 测试报告

测试报告应包括下列内容：

a) 测试基本信息，包括但不限于：

- 1) 测试时间；
- 2) 测试地点；
- 3) 环境温度；
- 4) 相对湿度。

a) 样品信息，包括：

- 1) 样品名称；
- 2) 样品类型；
- 3) 样品规格、参数。

a) 测试结果, 包括:

1) 动态范围;

2) 截止灰度值、饱和灰度值、像元噪声灰度值。

红外热成像系统动态范围测试报告记录表格式见附录 A。



## 附录 A

(资料性)

## 红外热成像系统动态范围测试报告记录表

红外热成像系统动态范围测试报告记录表格式详见表A.1

表A.1 红外热成像系统动态范围测试报告

测试项目：		第 页 共 页	
一、基本信息			
时间		地点	
环境温度		相对温度	
二、样品信息			
样品名称			
样品类型、厂家			
样品规格、参数			
三、测试结果			
动态范围值 (DR)		截止灰度值 $G_0$	
		饱和灰度值 $G_{over}$	
		像元噪声灰度值 $\overline{G_{nRMS}}$	

测试人员：

审核人员：