



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

无损检测仪器 红外热成像 第2部分：系统 与设备综合性能测试方法

Non-destructive testing instruments—Infrared thermography—Part 2: Test method
for integrated performance of system and equipment

((ISO 18251-2:2023, IDT))

(征求意见稿)

(本草案完成时间：)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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 一般要求	1
4.1 环境要求	1
4.2 测试仪器和设备方法要求	1
4.3 文件要求	3
5 测试方法	4
5.1 噪声等效温差 (NETD)	4
5.2 最小可分辨温差 (MRTD)	5
5.3 最小可探测温差	6
5.4 视场 (FOV)、瞬时视场 (IFOV) 和空间分辨率	7
5.5 最小工作距离	7
5.6 最小测温范围	7
5.7 测温一致性	8
5.8 操作温度范围	8
参考文献	9

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。

本文件是GB/T XXXXX《无损检测仪器 红外热成像》的第2部分。GB/T XXXXX已经发布了以下部分：
——第2部分：系统与设备综合性能测试方法。

本文件等同采用 ISO 18251-2:2023《无损检测 红外热成像 第2部分：系统与设备综合性能测试方法》（英文版）。

本文件做了下列最小限度的编辑性修改：

——为与现有标准系列一致，将标准名称改为《无损检测仪器 红外热成像 第2部分：系统与设备综合性能测试方法》。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会（SAC/TC122）归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院。

本文件主要起草人：

引 言

随着热像技术的不断进步，红外热像测试的工业应用越来越广泛。在无损检测领域，主动和被动式红外热成像逐步也得到了较好的应用。红外热像测试的有效性取决于系统和设备的正确使用。但是不同于传统红外热成像更多地考虑温度测量的准确性，由于在无损检测中，对于热成像设备的一致性、损伤对比度等要求更高，需要提出针对无损检测应用的热成像设备和系统的测试标准。

GB/T XXXXX旨在确立普遍适用于红外热成像设备研发、制造和检验过程中的验收准则，拟由以下几个部分组成：

——第1部分：系统与设备性能描述。目的在于规定用于无损检测的红外线热成像系统、设备及配件的功能与性能参数。

——第2部分：系统与设备综合性能测试方法。目的在于规定用于无损检测的红外成像系统和相关设备的综合性能参数的测试方法。

无损检测仪器 红外热成像 第2部分：系统与设备综合性能测试方法

1 范围

本文件规定了用于无损检测（NDT）的红外（IR）成像系统和 ISO 18251-1 中规定的相关设备的综合性能参数的测试方法。本文件旨在帮助用户为特定的测试任务选择合适的系统。

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。

ISO 10878 无损检测 红外热成像 术语（Non-destructive testing — Infrared thermography — Vocabulary）

注：GB/T 12604.9—2021 无损检测 术语 红外热成像

ISO 10880 无损检测 红外热成像检测 总则（Non-destructive testing — Infrared thermographic testing — General principles）

注：GB/T 45166-2024 无损检测 红外热成像检测 总则

ISO 18251-1 无损检测 红外热成像 第1部分 系统和设备的特性（Non-destructive testing — Infrared thermography — Part 1: Characteristics of system and equipment）

3 术语和定义

ISO 10878和ISO 18251-1界定的术语和定义适用于本文件。

4 一般要求

4.1 环境要求

一般环境要求应符合 ISO 10880 和以下要求。

综合性能测试应在温度为 20℃～25℃、相对湿度为 40%～80%的稳定室内环境中进行。红外成像系统及相关设备不得受到冲击、振动、外部电磁场或影响测量仪器读数的外部辐射源的影响。

4.2 测试仪器和设备方法要求

4.2.1 概述

测试设备至少应包括面源黑体、靶、光学台、定位台、计算机系统、恒温恒湿室、红外辐射计。有时需要准直器。基本要求见 4.2.2 至 4.2.9。

在 ISO 10880 中描述了成像方法的要求和信息。

4.2.2 面源黑体

- a) 在进行参数测试时，通常使用面源黑体来提供均匀的温度；
- b) 面源黑体应为矩形或圆形平面腔体，带有小孔以保证高发射率；
- c) 温度范围应覆盖 IR 成像系统的温度测量范围；
- d) 温度稳定性: 黑体温度小于等于 100℃时 $<\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，大于 100℃时 $<\pm 0.1\%$ ；
- e) 温度均匀性: 黑体温度小于等于 100℃时 $<\pm 0.15^\circ\text{C}$ ，大于 100℃时 $<\pm 0.15\%$ ；
- f) 发射率: ≥ 0.95 。

4.2.3 平行光管

- a) 除最小可分辨温差(MRTD)和最小可探测温差(MDT)外，常用目标用于测试其他参数。
- b) 边缘应为清晰的矩形。
- c) 发射率 ≥ 0.95 。
- d) 长度 $> 100\text{mm}$ 。
- e) 宽度 $< 20\text{mm}$ 。

4.2.4 MRTD 四杆靶标

- a) 四杆靶标是专门用来测试 MRTD 的。
- b) 它由四个长径比(宽:高)为 7:1 的周期性矩形槽组成，如图 1 所示: $L = 7 \times D$ 。
- c) 矩形槽之间的距离等于槽的宽度，与待测 MRTD 的精度一致; $D = W$; $G = (1 \sim 2)W$ 。 W 一般在 5mm ~ 15mm 范围内。
- d) 靶材应由铜或不锈钢等金属制成，厚度在 0.5 毫米以上，并涂上黑色哑光漆。
- e) 发射率: ≥ 0.95 。

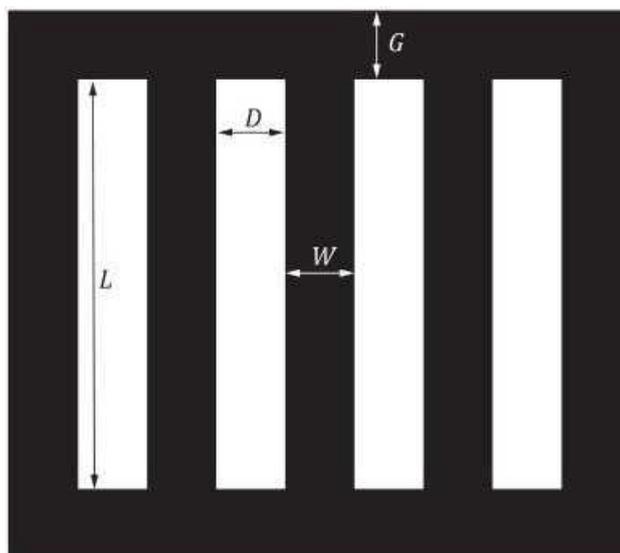


图 1 四杆靶标示意图

4.2.5 MDTD 靶标

- a) 靶标是专门用于测试 MDTD。
- b) 图 2 显示了 MDTD 靶标的布局。MDTD 靶标一般为圆形，直径 D 一般在 100mm ~ 300mm 之间，可以覆盖热像仪的整个视场。有一个圆形的目标孔，直径 d 一般在 20mm 到 40mm 的范围内。目标孔中心到 MDTD 目标中心的距离 L 一般在 25mm ~ 60mm 范围内。

- c) 靶材应为厚度在 0.5mm 以上的金属(如铜)，涂有黑色哑光漆。
- d) 发射率： ≥ 0.95 。

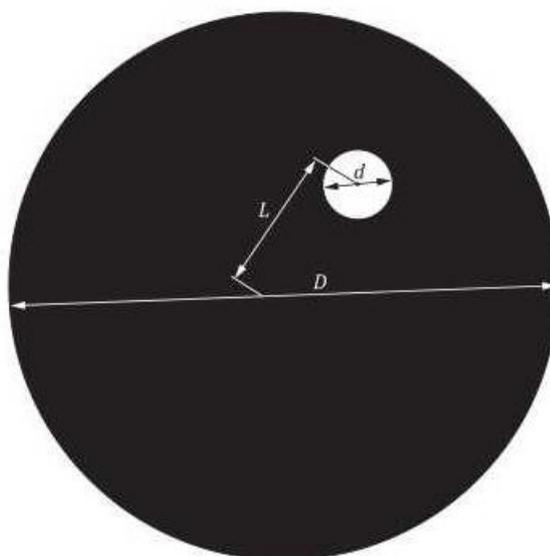


图 2 MDTD 标靶、视场和靶上目标示意图

4.2.6 光学台

光学台用于测试红外系统和设备参数。其平整度应小于 0.05 mm/m^2 。

4.2.7 定位台

- a) 定位台用于移动和旋转热像仪。
- b) 定位台应能够以稳定的速度和可管理的方式携带热像仪。
- c) 热像仪应能在 z 方向上下移动，在水平面上移动或旋转。其范围和精度应满足红外成像系统的测试要求。

4.2.8 红外辐射计

- a) 红外辐射计用于标定目标温度。
- b) 量程： $-20^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 测量精度： $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 1\%$ （使用更高的）。

4.2.9 准直器

- a) 准直器用于将目标的红外光束转换成平行光。它的使用是可选的。
- b) 焦距至少为被测热像仪焦距的 3 倍。
- c) 光学孔径应大于被测热像仪的接收孔径。

4.3 文件要求

4.3.1 测试规范

需要制定明确的测试规程，并提供详细的测试记录，记录中至少包含如下内容：

- a) 版本号；

- b) 适用范围；
- c) 依据的标准、法规或其他技术文件；
- d) 引用本文档，即 ISO 18251-2:2023；
- e) 环境要求；
- f) 人员要求；
- g) 测试设备要求；
- h) 测试设备信息和测试前准备要求；
- i) 试验方法和试验程序；
- j) 测试记录要求；
- k) 测试结果和报告要求；
- l) 签字和日期。

4.3.2 测试报告

测试报告中至少应包括以下内容：

- a) 报告编号；
- b) 分包商；
- c) 检测公司；
- d) 执行标准；
- e) 位置和环境；
- f) 测试仪器；
- g) 被测试设备的信息；
- h) 测试数据和结果；
- i) 检查员和审稿人的签名和日期。

4.3.3 测试记录

检测记录至少应包含检测程序和报告中规定的内容。

5 测试方法

5.1 噪声等效温差 (NETD)

5.1.1 将热像仪放置在操作平台上，将黑体放置在距离热像仪大于 300mm 的位置，保证黑体覆盖热像仪的整个视场。

5.1.2 将黑体温度设为热像仪测量范围的中间温度点，获取一段时间内（一般为 1s）的热像图，热像图的大小为 $K \times L$ ，帧平均值根据公式(1)计算：

$$P^i = \frac{\sum_{x=1}^K \sum_{y=1}^L P_{x,y}^i}{K \times L} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P^i ——坐标系 i 的平均值；

$P_{x,y}^i$ ——坐标系 i 中像素(x,y)的灰度。

噪声灰度的均方根如公式(2)所示：

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^K \sum_{y=1}^L (P_{x,y}^i - \bar{P})^2}{K \times L}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

n ——在一段时间内获得的热像图的数量。

5.1.3 调节标准温差黑体的温差设置（通常为 2℃），目标图像占全视场 1/10 以上，分别测量信号及噪声电压。

5.1.4 根据公式（3）计算 NETD：

$$\Delta T_{NE} = \frac{\Delta T}{S/N} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔT ——设定温差，通常为 2℃，如热像仪输出信号处于饱和状态，可降低 ΔT 设定值；

S ——信号电平；

N ——均方根噪声电平。

5.2 最小可分辨温差（MRTD）

5.2.1 将被测热像仪平稳放置于平台上（见图 3），使其视轴与测试设备的主光轴同轴。建议将热像仪放置于二维转台上，便于调节保证同轴。

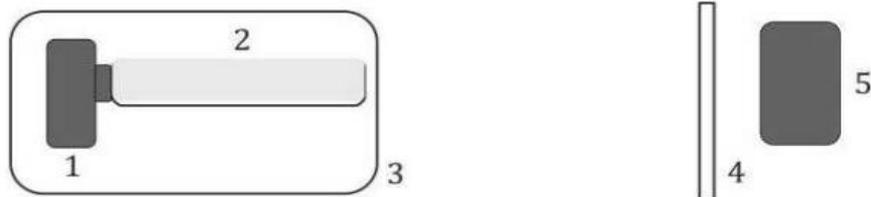
5.2.2 调整被测热像仪增益和显示设备亮度和对比度至最佳观测状态。

5.2.3 调整黑体温差，使黑体温度高于靶标温度，使四杆靶图像能清晰分辨，从该温度点开始降温，直到恰好能分辨四杆靶图像（该试验需要 3 位观察者，至少 2 位观测者认为恰好能分辨四杆靶图），此时的温差值为所测正温差 ΔT_1 。

5.2.4 调整黑体温差，使黑体温度低于靶标温度，使四杆靶图像能清晰分辨，从该温度点开始升温，直到恰好能分辨四杆靶图像（该试验需要 3 位观察者，至少 2 位观测者认为恰好能分辨四杆靶图），此时的温差值为所测负温差 ΔT_2 。

5.2.5 公式（4）中给出了在这个空间频率中的 MRTD、 ΔT_{MR} ：

$$\Delta T_{MR} = \frac{|\Delta T_1| + |\Delta T_2|}{2} \dots\dots\dots (1)$$



标引序号说明：

1——IR 成像系统；

2——准直器（可选）；

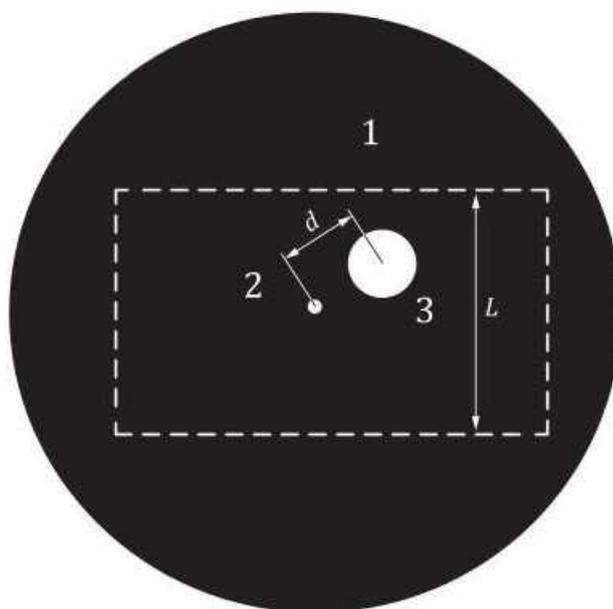
- 3——平台；
4——靶标；
5——黑体模拟器。

图3 MRTD 和 MDTD 测试配置原理图

5.3 最小可探测温差

5.3.1 如图3所示，将被测热像仪平稳放置于平台上。

5.3.2 调整热像仪的视场，如图4所示；圆盘应覆盖热像仪的整个视场；使圆形目标覆盖视场面积的5%至10%；目标孔中心与MDTD目标中心之间的距离约等于视场高度的1/3。



标引序号说明：

- 1——MDTD 标靶；
2——热像仪的视场；
3——MDTD 靶板上的圆靶孔；
 d ——标靶孔中心到 MDTD 靶中心之间的距离；
 L ——视场的高度

图4 MDTD 测试中视场示意图

5.3.3 调整被测热像仪增益和显示设备亮度和对比度至最佳观测状态；使其视轴与测试设备的主光轴同轴；将热像仪放置于二维转台上，便于调节保证同轴。

5.3.4 设置标称 ΔT (目标的标称温度减去背景的标称温度) 等于零。

5.3.5 调整黑体温差，使目标温度高于背景温度，温度调整步进速度不高于 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，直至能够分辨目标准确位置为止，记录目标大小、视场大小、观测者到靶标的距离。

5.3.6 使用红外辐射计测量靶标和靶标中目标的温度，其中目标应测量均匀分布的3处温度 ($T_{\text{tar1}}, T_{\text{tar2}}, T_{\text{tar3}}$)，靶标应分别测量靠近目标区域和远离目标区域的温度，靠近目标区域应测量均匀分布的3处温度 ($T_{\text{back1-1}}, T_{\text{back1-2}}, T_{\text{back1-3}}$)，远离目标区域应测量均匀分布的6处温度 ($T_{\text{back2-1}}, T_{\text{back2-2}}, T_{\text{back2-3}}, T_{\text{back2-4}}, T_{\text{back2-5}}, T_{\text{back2-6}}$)。

5.3.7 根据公式 (5) 计算目标的平均温度 T_{tar} ；根据公式 (6) 加权平均计算靶标的评价温度 T_{back} ；根据公式 (7) 计算该观测者观测到的温差。

$$T_{\text{tar}} = \frac{T_{\text{tar},1} + T_{\text{tar},2} + T_{\text{tar},3}}{3} \dots\dots\dots (1)$$

$$T_{\text{back}} = \frac{6 \times (T_{\text{back}1-1} + T_{\text{back}1-2} + T_{\text{back}1-3}) + (T_{\text{back}2-1} + T_{\text{back}2-2} + T_{\text{back}2-3} + T_{\text{back}2-4} + T_{\text{back}2-5} + T_{\text{back}2-6})}{24} \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta T_{\text{N}} = T_{\text{tar}} - T_{\text{back}} \dots\dots\dots (3)$$

5.3.8 重复整个测试 (步骤 5.3 至 5.3.7) 与另外两名观察员；将观测到的温差记录为 ΔT_2 、 ΔT_3 。

5.3.9 MDTD、 ΔT_{MD} 是 ΔT_1 、 ΔT_2 和 ΔT_3 的中间值，计算公式 (8)。

$$\Delta T_{\text{MD}} = \text{Me}(\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3) \dots\dots\dots (1)$$

5.4 视场 (FOV)、瞬时视场 (IFOV) 和空间分辨率

5.4.1 将热像仪固定放置在转动台面上，将标杆放置在距离热像仪大于其最小成像距离的位置；并保证不在热像仪视场范围内。

5.4.2 顺时针转动热像仪，直到标杆刚刚进入热像仪视场，记录此时转动台转动角度 ϕ_1 。

5.4.3 继续顺时针转动热像仪，直到标杆刚刚开始离开热像仪视场，记录此时转动台转动角度 ϕ_2 。

5.4.4 将热像仪视场旋转 90° ，重新固定在转动台面上，重复 5.4.2 和 5.4.3 的操作，分别记录标杆进入的角度 ϕ_3 和 ϕ_4 。

5.4.5 热像仪的视场为 $[(\phi_1 - \phi_2), (\phi_3 - \phi_4)]$ 。

5.4.6 瞬时视场为 $[(\phi_1 - \phi_2) / n_{\text{hp}}, (\phi_3 - \phi_4) / n_{\text{vp}}]$ ，其中 n_{hp} 为水平向元素， n_{vp} 为垂直向元素。

5.4.7 水平空间分辨率为 $[2\pi \times (\phi_1 - \phi_2)] / (360^\circ \times n_{\text{hp}})$ 。

5.4.8 垂直空间分辨率为 $[2\pi \times (\phi_3 - \phi_4)] / (360^\circ \times n_{\text{vp}})$ 。

5.5 最小工作距离

5.5.1 将热像仪固定在平移台上，将热像仪和标杆保持在一定距离。

5.5.2 调节镜头，保证能够清晰观测到标杆。

5.5.3 在达到 5.5.2 所要求的图像质量后，通过平移台缩短镜头和标杆之间的距离，同时监控显示器，通过将定位台移动到更靠近标杆的位置，确保标杆在仪器、系统或设备显示器上保持聚焦并清晰可见。

5.5.4 重复 5.5.2、5.5.3 工作，直到不能够清晰将标杆成像为止，此时热像仪镜头和标杆之间的距离为 ΔL 。

5.6 最小测温范围

5.6.1 设定两台黑体温度分别为热像仪标定的最高温度和最低温度，将待检测热像仪放置与距离黑体 2m 位置，保证两台热像仪均处于同一视场，并分别占据热像仪视场不少于 20%。

5.6.2 设置 2 个黑体的温度 (编号:1、2) 在室内温度下。1 号黑体为高温黑体，2 号黑体为低温黑体。

5.6.3 在热像仪自动调整温度动态范围模式下，待测量稳定时，观察热像仪成像效果及测量结果是否满足要求。

5.6.4 调高 1 号黑体炉内温度直到成像效果达到饱和，直到黑体炉的实际测量温度 T_h 低于显示温度 0.15°C 或 0.15% 的 T_h 时（选择较大的）。调低 2 号黑体炉内温度直到成像效果达到饱和，直到黑体炉的实际测量温度 T_h 高于显示温度 0.15°C 或 0.15% 的 T_h 时（选择较大的）。

5.6.5 最大温度测量范围为 1 号黑体温度到 2 号黑体的温度。

5.7 测温一致性

5.7.1 将热像仪固定在操作台上，将黑体与热像仪保持大于 300mm 的距离；确保热像仪的整个视场为黑体测试面视场的 $10\% \sim 20\%$ 。

5.7.2 如图 5 所示，将热像仪的整个视场划分为几个区域（通常为 9 个区域，不超过 25 个区域），用热像仪的不同视场区域检测黑体的同一区域（通常为中心区域）。

5.7.3 记录热像仪不同区域的测试结果，记录热像仪每个区域检测结果的最高温度 t_{\max} 和最低温度 t_{\min} 。

5.7.4 根据公式（9）计算测温一致性。

$$\varphi = \frac{m}{\max}(T_{\max}(i) - T_{\min}(i)) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$t_{\max}(i)$ ——热像仪第 i 个视场区域测量的最高温度；

$t_{\min}(i)$ 为热像仪第 i 个视场区域测量的最低温度；

m ——热像仪整个分割面积的数量。

1	2	3
4	5	6
7	8	9

图 5 整个视场的划分示意图

5.8 操作温度范围

5.8.1 低温试验按照 IEC 60068-2-1 进行，温度为 t_{cold} ，无特殊要求时一般建议为 -20°C ，试验时间 2h，在 2h 时确定能够开机并确定是否具备热像图采集功能。

5.8.2 高温试验按照 IEC 60068-2-2 进行，温度为 t_{hot} ，无特殊要求时一般建议为 50°C ，试验时间 2h，在 2h 时确定能够开机并确定是否具备热像图采集功能。

参 考 文 献

- [1] IEC 60068-2-1 环境试验 第2-1部分：试验 试验A:低温
- [2] IEC 60068-2-2 环境试验 第2-2部分：试验 试验B:干热
- [3] ASTM E1213 热成像系统最小可分辨温差的标准实施规程
- [4] ASTM E1311 热成像系统最小可探测温差的标准实施规程
- [5] ASTM E1543 热成像系统噪声等效温差的标准试验方法
- [6] ASTM E1934 用红外热成像检查电气和机械设备的标准指南
- [7] GB/T 19870 工业检测热成像仪
- [8] DIN EN 16714-1:2016 无损检验 热成像试验 第1部分:一般原则
- [9] **DIN EN 16714-2:2016** 无损检验 热成像试验 第2部分:仪器
- [10] **DIN EN 16714-3:2016** 无损检验 热成像试验 第3部分:术语和定义
- [11] 报告：《无损检测红外热像仪系统及设备》国际标准的研究与开发(中国质检公益研究项目:201010069)
- [12] 报告：无损检测红外热成像设备检测方法研究(国家重点研发项目:2017YFF0209704-03)