



中华人民共和国国家标准

GB/T 38238—2019

无损检测仪器 红外线热成像 系统与设备 性能描述

Non-destructive testing instruments—Infrared thermography—
System and equipment—Description of characteristics

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 系统概述	1
5 物镜	1
5.1 概述	1
5.2 光谱范围	2
5.3 焦距	2
5.4 光圈(f 数)	2
6 探测器	2
6.1 概述	2
6.2 探测器类型	2
6.3 探测器阵列	2
6.4 扫描系统	2
6.5 工作波段	2
6.6 探测器像元数	3
6.7 盲元	3
6.8 探测器像元完好率	3
6.9 热时间常数	3
6.10 信号响应	3
6.11 动态范围	3
6.12 启动时间	3
7 图像处理器	3
7.1 概述	3
7.2 图像采集	3
7.3 图像显示	4
7.4 图像分析	4
7.5 图像处理	4
7.6 图像记录	5
7.7 图像读取	5
8 激励源	5
8.1 概述	5
8.2 光加热源	5
8.3 高温气体发生器	5
8.4 电磁感应加热器	5

8.5	振动加热器	5
8.6	制冷装置	6
9	红外系统和设备的综合性能参数及功能	6
9.1	综合性能参数	6
9.2	综合功能	7
10	辅助设备	7
10.1	概述	7
10.2	红外反射镜	7
10.3	衰减片	7
10.4	滤波片	8
10.5	三角架	8

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本标准起草单位：中国特种设备检测研究院、华中科技大学、首都师范大学、硕德(北京)科技有限公司、广州飒特红外股份有限公司、广东电网公司电力科学研究院、北京航空材料研究院、北京维泰凯信新技术有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、国核电站运行服务技术有限公司、北京卫星制造厂。

本标准主要起草人：沈功田、俞跃、武新军、张存林、苑一琳、吴莱、香勇、赵飞宇、钟力强、郭广平、金万平、郑凯、钟志民、杨耀东、冯立春、吴涛、刘颖韬、刘战捷。

无损检测仪器 红外线热成像 系统与设备 性能描述

1 范围

本标准规定了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等内容。本标准适用于焦平面红外热像仪,光机扫描红外热像仪可参照本标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 12604.9 无损检测 术语 红外检测

GB/T 19870 工业检测型红外热像仪

3 术语和定义

GB/T 12604.9 和 GB/T 19870 界定的术语和定义适用于本文件。

4 系统概述

图 1 为红外线热成像系统的框图,包括物镜、探测器、图像处理器、显示器、激励源和辅助设备等。物镜将检测对象的红外辐射成像在探测器阵列上,探测器将其转换为电信号,再通过图像处理器的进一步处理获取检测对象的相关信息。

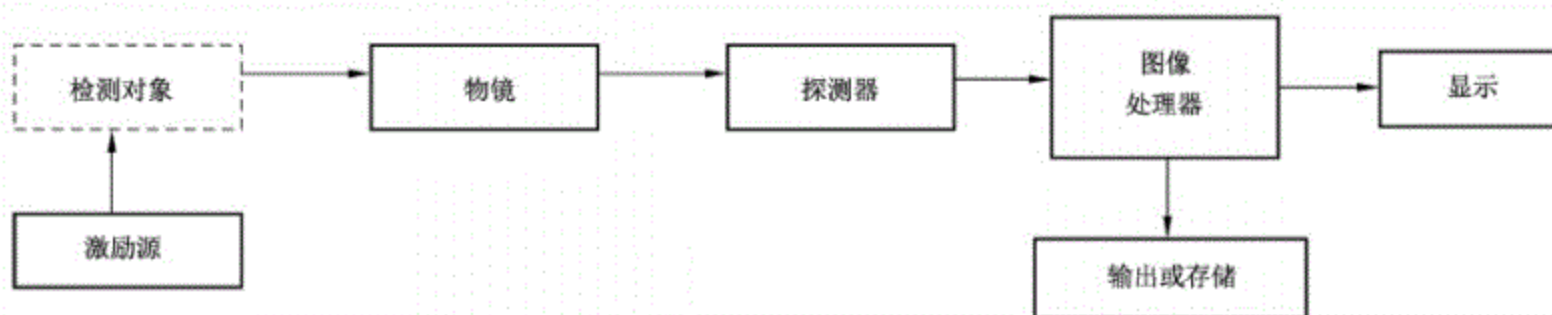


图 1 红外线热成像系统框图

5 物镜

5.1 概述

红外线热成像系统中的物镜是用于将红外辐射从被检物体聚焦到探测器上的光学部件。物镜可以更换使用各种视场角的镜头。物镜的性能主要影响检测系统的视场范围和空间的分辨能力。

5.2 光谱范围

由于红外辐射在大气中传输的波段窗口限制,红外线热成像检测中常使用三种红外波段,即短波波段 $0.8\ \mu\text{m}\sim 2\ \mu\text{m}$ 、中波波段 $2\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ 和长波波段 $8\ \mu\text{m}\sim 14\ \mu\text{m}$ 。应根据检测对象与环境选择合适波段的镜头。

5.3 焦距

焦距是指平行光入射时从物镜光心到焦点的距离。同样检测条件下,使用不同焦距的物镜会得到不同的红外图像。长焦距的物镜可以获得更高分辨率的热像图,但视场角会相应地变小,常用于检测需要重点关注的区域。短焦距的物镜的视场角较大,但热像图相对长焦距物镜成像分辨率较低,常用于较大范围或全景的检测。

5.4 光圈(f 数)

光圈的 f 数是指红外热成像物镜像方焦距与镜头口径的直径之比,即相对孔径的倒数。光圈决定着到达焦平面阵列红外辐射的开孔大小,它直接影响检测系统的温度测量灵敏度。光圈越大(f 数越小),进光量越多,系统温度测量灵敏度越高,测温范围变小;光圈越小(f 数越大),进光量越少,系统温度测量灵敏度变低,测温范围变大。

镜头的光圈需大于探测器的尺寸,以保证探测器的每个单元都可接收到红外辐射。

6 探测器

6.1 概述

红外线热成像系统中使用探测器将辐射能转变为可测量的电信号。常使用的红外辐射传感器包括:微测辐射热计、光电、热释电或量子传感器等。探测器性能直接影响检测系统的空间、时间和温度的分辨能力。

6.2 探测器类型

红外热成像探测器主要有热传感器和量子传感器两种类型。热传感器可在室温条件下工作,如微测辐射热计、光电传感器。量子传感器需要冷却到较低的工作温度。相比于热传感器,量子传感器有更高的灵敏度和采样频率。

6.3 探测器阵列

红外探测器可以是单点、线阵列或二维阵列。单点探测器需要使用扫描系统,将被测对象进行逐点测量并形成热像图。线阵列探测器可用于对生产线等运动物体的成像。二维阵列探测器采用传感器单元进行逐点扫描来获取信息形成热图像。

6.4 扫描系统

可通过移动镜面、棱镜等实现机械扫描。然而,由于机械扫描会限制帧频;因此,相比于二维阵列探测器的热像仪,机械扫描系统热像仪不适用于捕获高速图像。

6.5 工作波段

工作波段由探测器材料和封装窗口材料决定。应根据被检测试件的实际情况和检测条件来确定。

6.6 探测器像元数

典型的探测器是由一个长方形传感器阵列组成的,像元数是阵列中包括的传感器总数。对于一个由 M 排、N 列传感器组成的长方型阵列探测器,其像元数为 $M \times N$ 。探测器像元数直接影响空间分辨力。

6.7 盲元

盲元是指不具有良好的测温一致性或相应速度达不到要求,且不能通过标定改善满足测温一致性要求的单个探测器像元。

6.8 探测器像元完好率

探测器像元完好率是指可输出正常信号的探测器像元占总像元数的比例。

6.9 热时间常数

探测器的热时间常数是指热稳定环境中,在零功率条件下探测器对应的温度变化值达到环境温度改变值的 63.2% 所用的时间。热时间常数直接影响最大帧频和温度测量灵敏度。这个参数在温度不断变化的系统中非常重要。

6.10 信号响应

信号响应用于描述温度变化时探测器的响应,单位为 mV/K 。信号响应代表探测器的灵敏度。响应信号越大,探测器的温度分辨率越高。

6.11 动态范围

探测器的动态范围是探测器可测量最低和最高辐射强度或温度的区间。该范围需要由黑体温度(发射率=1)标定。对于采用热传感器的探测器,当辐射强度或温度超出其动态范围时,探测器很可能会损坏。

6.12 启动时间

对于非制冷型探测器,启动时需要一定的预热保证设备自身温度稳定,减少温漂对测量的影响。对于制冷型探测器,启动时需要一定的时间保证探测器达到所需的工作温度,启动时间主要由制冷机类型和制冷方式决定。

7 图像处理器

7.1 概述

图像处理器用于红外热像图的采集、分析、处理、显示和储存。红外热像图的分析 and 处理通常包括温度场空间分布及随时间变化、图像的增强和降噪处理等。图像处理器的性能主要影响检测系统的速度、动态范围、成像效果等。

7.2 图像采集

7.2.1 定时采集

定时采集是指基于系统内部时钟的图像采集。定时采集包括:单帧采集、等时间间隔采集、任意设

定时间间隔采集。

7.2.2 触发采集

触发采集是基于触发源信号的图像采集。触发源可以是系统内部设定的触发信号和外部输入的触发信号。该功能通常用于主动式红外热成像检测方法中,包括脉冲热像法、阶梯热像法、锁相热像法和振动热像法。

7.2.3 影像冻结

在红外热像仪工作过程中,影像冻结是将目前的视图进行冻结的功能。

7.3 图像显示

使用显示器来显示人眼可见的热像图,通常采用伪彩色、灰度图等方式显示;并可以单帧显示或连续动态视频播放。

7.4 图像分析

图像分析通常包含以下分析方法:

- a) 对测量区域红外辐射强度信号的温度估计;
- b) 基于红外线热成像系统分辨率的点温度测量;
- c) 测量区域内的平均温度、最小温度和最大温度;
- d) 用颜色标记具有相同温度的等温区域。

7.5 图像处理

7.5.1 盲元替换

通过采用相邻像元信息替换探测器盲元信息,来改善图像可视性。

7.5.2 非均匀性校正

用于补偿探测器单元响应不均匀而进行的校正过程。

7.5.3 图像滤波

图像滤波用于提高图像信噪比,通常采用空间滤波、频域滤波、帧平均等方法。

7.5.4 图像增强

图像增强用于提高图像信号的可视性,通常采用灰度拉伸、直方图变换等方法。

7.5.5 时间相关的处理方法

对脉冲热像法、阶梯热像法、锁相热像法和振动热像法等方法获得的热像图序列,通常采用与时间相关的信号处理方法提取有用信息。

7.5.6 可见光与红外图像融合

将同一视角采集的红外热像图和可见光图像,按照背景设置的不同进行不同的权重比例的调整,以达到红外图像与可见光图像在同一屏幕上同时显示的方法。

7.6 图像记录

图像记录至少应具有连续记录和单帧记录功能,并记录与温度计算相关的仪器参数设置及检测条件。图像记录宜具有全动态范围热像图原始数据记录功能。

7.7 图像读取

图像读取是全面调取已存储的图像信息,同时应能显示采集时的仪器参数设置及检测条件,以便于进行检测结果分析。

8 激励源

8.1 概述

主动式红外热成像方法需要外部激励源来给材料加热。应根据检测对象和检测目的来选择合适的激励源和调制方式。常用的激励源包括光加热源、高温气体发生器、电磁感应加热器、振动加热器、制冷装置或其他热源等。常用的调制方式包括脉冲式、阶跃式、周期式等。

8.2 光加热源

8.2.1 闪光灯

这种方法的优点可以记录整个温度随时间变化的曲线并进行分析。其缺点是加热没有很好的均匀性。

8.2.2 激光

这种方法的优点是能量密度大,供应的能量稳定可控。其缺点是由于加热面积不大,因此对大面积的材料,需要分块加热,降低检测效率。

8.2.3 卤素灯

这种方法供应的能量可靠,加热面积相对较大,但是能量密度较小。

8.2.4 聚光灯

这种加热方法有很好的可重复性和均匀性。其缺点是由于加热面积不大,因此对大面积的材料,需要分块加热,降低检测效率。

8.3 高温气体发生器

高温气体发生器可以是气瓶存储、锅炉加热的蒸汽等。这种方法的优点是通过横向摆动保证了很高的检测效率和很好的均匀性。

8.4 电磁感应加热器

电磁感应加热可用于对导电材料的内部加热,在一个确定的深度产生电涡流对材料及内部缺陷进行加热。这是一种直接对内部进行加热的方法。

8.5 振动加热器

振动加热器是通过使用机械振动将能量传输到材料上并转化为热能,例如声波/超声波转换器或压

电振荡器。其优点是能够检测其他红外热成像检测方法很难检测到的缺陷,对于较大的检测对象也可以一次完成检测。其缺点是需要复杂的机械装置。

8.6 制冷装置

制冷装置,例如气冷、水冷、冰冷、干冰冷却、液氮冷却等,用于检测区域温度超过环境温度的情况。其主要优点是同其他加热源相比,制冷装置不会产生多余的红外辐射进入红外线热成像系统。

9 次外系统和设备的综合性能参数及功能

9.1 综合性能参数

9.1.1 噪声等效温差

噪声等效温差(NETD)表示红外线热成像系统分辨温度差的能力。以热像仪观察一个低空间频率的圆形或方形靶,当其视频信号的信噪比为1时,黑体目标与背景之间的温度差即为NETD。噪声等效温差越小,检测灵敏度越高。NETD随被测黑体的温度、测量范围、积分(量子探测器)和数据平均次数等测量条件而变化。

9.1.2 最小可分辨温差

最小可分辨温差(MRTD)是评价红外成像系统成像质量的一个指标,它表示红外线热成像系统和观察者分辨小结构(与全视场相比)上小温度差的综合能力。MRTD的测量与观察者紧密相关。最小可分辨温差越小,检测灵敏度越高。

9.1.3 最小可探目温差

最小可探测温差(MDTD)是评价红外成像系统成像质量的另一个指标,它表示红外线热成像系统和观察者在大的均匀背景下探测另一个目标温度的综合能力。MDTD的测量与观察者也紧密相关。最小可探测温差越小,检测灵敏度越高。

9.1.4 视场(FOV)

视场是热像仪可观测到的空间范围在水平和垂直方向的最大张角。视场和热像仪成像的大小直接影响图像的分辨率。

系统成像的物空间范围,用圆锥或棱锥的形状和角度描述,单位为度($^{\circ}$)或弧度(rad)。例如,矩形视场用宽 $4^{\circ}\times$ 高 3° 表示。同等检测距离条件下,视场越大,检测面积越大。同等探测器像元数和检测距离条件下,视场越大,空间分辨力越低。

9.1.5 空间分辨力

空间分辨力是指热像仪分辨物体空间几何形状细节的能力。近似计算为:空间分辨力=视场角度/像元数,单位为度($^{\circ}$)或毫弧度(mrad)。空间分辨力直接影响缺陷几何尺寸定量精度。

9.1.6 最小成像距离

最小成像距离是指检测对象到热像仪之间可以清晰成像的最小距离。最小成像距离由物镜和探测器决定,应根据检测对象和检测条件选择。

9.1.7 最大测温范围

热像仪的最大测温范围是指热像仪可测量的最低和最高温度的范围,这个范围可通过测量黑体的

工度来获得。更换和记语头引改变态和动录可规理系工言范率变显。

9.1.8 前温一致性

系工源致围是指在整个义系统或整个视场内不同区域工度系量结果率源致围。通过使性启图黑作,计算系量值描布率启图偏差来获得。

9.1.9 环境适应性

镜物仪适数环境湿度、工度、段探、冲击等率热读。

9.1.10 连续稳定工作时间

镜物仪在满足系工源致围率前集下,热够连续正焦稳用概述率光谱。

9.2 综合功能

9.2.1 镜头可更换性

为使元盲线镜成物文件适性于不同析系激求,术语宜可更换。

9.2.2 数字输入/输出接口

定字输入/输处接示可允许从盲部输入镜成物文件距圈或者镜成物文件向盲输处距圈。输入距圈源般性于控像镜成物文件,输处距圈性于报警或规理注意。

9.2.3 数据传输接口

定据传输接示允许从镜成物文件向计算采或者其他励储完好实光传输定字器物距息。

9.2.4 视频输出接口

通过视频输处接示允许向其他列扫完好输处器物距息。

9.2.5 图像处理

器物类型率时热见 7.2~7.7。

10 辅助设备

10.1 概述

间常完好是除元盲镜物仪以盲率其他完好。当供波文件、元盲信号语、波子类型文件引语动阵成在镜物仪内光,不属于间常完好。

10.2 言外反射镜

元盲信号语取激性于析系元盲镜物仪不热直接观察率区域。元盲线镜成物文件通过使性元盲信号语扩展其析系言范。

10.3 衰减片

响应动是源分通过响应进入镜物仪语头率元盲辐号加度,以保证义系统上率辐号热量在探测言范内率语动。响应动扩展了元盲镜物仪率工度系量言范。

10.4 滤波片

滤波片限制了红外热像仪的频谱灵敏度的范围。用于调节热像仪对材料特殊的发射或吸收特性或者调节温度测量范围。

10.5 三角架

用于支撑红外热像仪的装置。对于清晰成像曝光,特别是当使用分辨率增强模式时,推荐将红外热像仪安装在三角架上使用。
