

团 体 标 准

T/ACEF□□□—2023

挥发性有机物泄漏检测红外成像仪（OGI） 技术要求及监测规范

Technical requirements and monitoring specifications of infrared Optical Gas Imaging(OGI) for volatile organic compound leakage detection

(征求意见稿)

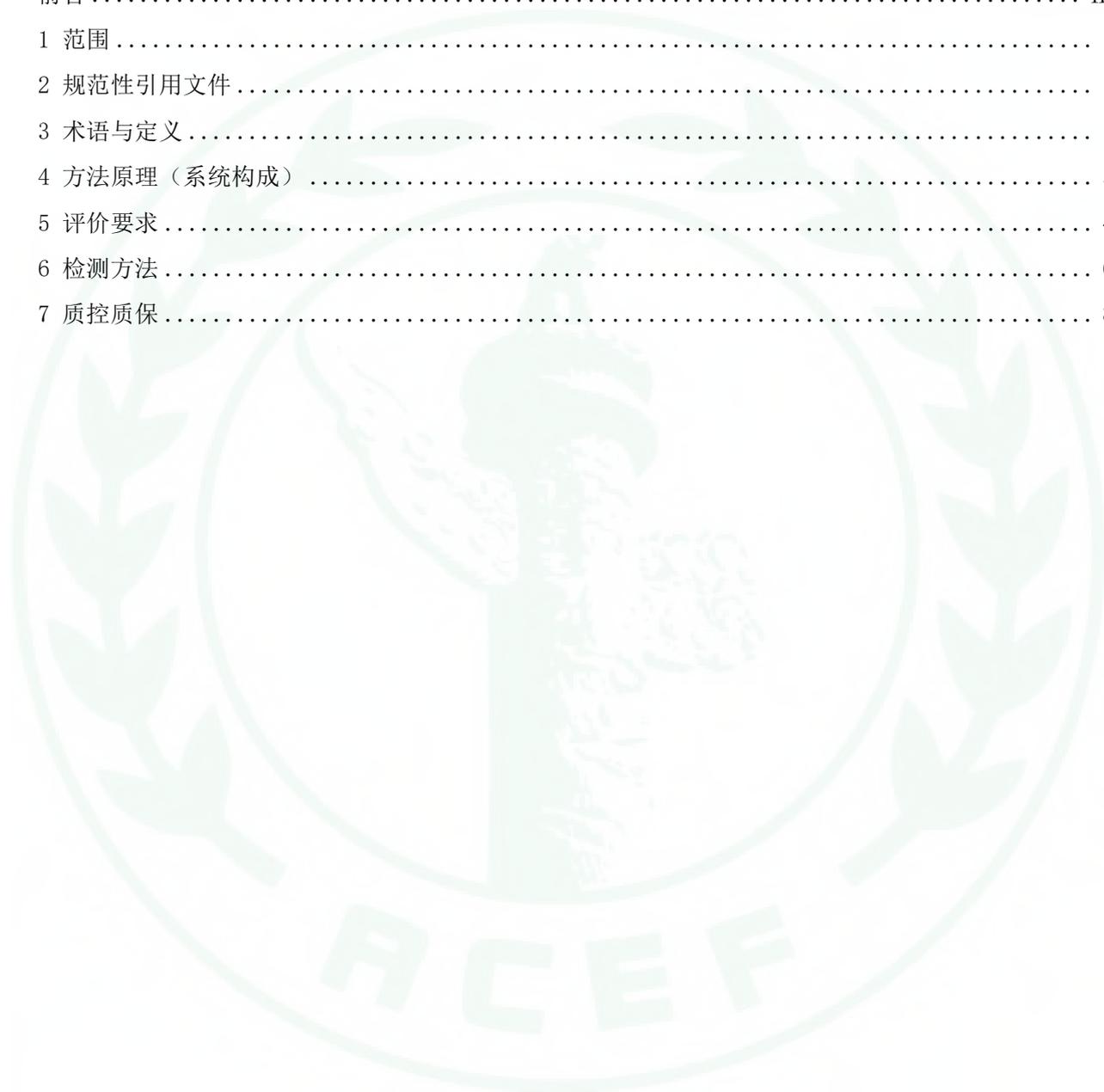
2023-xx-xx 发布

2023-xx-xx 实施

中华环保联合会 发布

目 次

| | |
|--------------------|-----|
| 前言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语与定义 | 1 |
| 4 方法原理（系统构成） | 3 |
| 5 评价要求 | 4 |
| 6 检测方法 | 6 |
| 7 质控质保 | 8 |



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。

本文件由中华环保联合会提出并归口。

本文件主编单位：上海大学、中国环境监测总站、上海市环境监测中心、北京市计量检测科学研究院、中华环保联合会VOCs污染防治专业委员会。

本文件副主编单位：江苏天瑞仪器股份有限公司、昆明物理研究所、烟台艾睿光电科技有限公司。

本文件参编单位：杭州紫来测控技术有限公司、河北优科科技发展有限公司、北京富吉瑞光电科技股份有限公司、北京仕家万联科技有限责任公司、浙江红相科技股份有限公司、青岛明华电子仪器有限公司、江苏复森特种阀门有限公司、南京智谱科技有限公司、浙江红谱科技股份有限公司、浙江航天恒嘉数据科技有限公司、天津智易时代科技发展有限公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司、广州科易光电技术有限公司。

本文件主要起草人：

挥发性有机物泄漏检测红外成像仪（OGI）技术要求及监测规范

1 范围

本文件适用于基于便携式光学气体成像技术开展工业企业设备、管道组件、储罐等挥发性有机物的泄漏检测、现场应急监测、污染筛查等调查与监测工作。

本文件规定了便携式挥发性有机物泄漏检测红外成像仪（以下简称“成像仪”）的检测原理、基本参数、技术要求、试验项目及要求、质控质保规范等。在线式检测设备可参考本小准执行。

本文件适用于石油炼制、石油化学、精细化工、石化和天然气储运以及其他行业挥发性有机物泄漏检测的控制和管理。

2 规范性引用文件

本文件引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 19870—2018 工业检测型红外成像仪

HJ 733—2014 泄漏和敞开页面排放的挥发性有机物检测技术导则

HJ 1230—2021 工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南

QSH 0546—2012 石化装置挥发性有机化合物泄漏检测规范

T/SMA 0011—2020 电力红外成像仪性能评估技术规范

ISO/AWI 5750 无损检测 — 红外热成像 — 电气设备测试

ISO 10878:2013 无损检测 — 红外热成像 — 词汇

ISO 10880:2017 无损检测 — 红外成像仪检测 — 一般原则

SO 18251-1:2017 无损检测 — 红外热成像 — 第 1 部分：系统和设备的特性

ISO/DIS 18251-2 无损检测 — 红外热成像 — 第 2 部分：综合性能、测试方法

ISO 22290:2020 无损检测 — 红外热成像测试 — 热弹性应力测量

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件

3.1

光学气体成像仪 OGI (Optical Gas imaging instrument)

适用于便携式挥发性有机物泄漏监测，通过红外光学系统、红外焦平面探测器、斯特林制冷单元、电子图像处理单元构成，它通过挥发性有机物气体云团的辐射光谱和吸收光谱特性，能够对挥发性有机物气体云团进行直接成像。

3.2

热灵敏度 Noise Equivalent Temperature Difference; NETD

成像仪观察一个低空间频率的标准靶标时，当其视频信号的信噪比（S/N）为1时，目标与背景之间的等效温差，也称噪声等效温差（NETD），它代表成像仪可以分辨的最小温差，是评价成像仪的关键参数，单位：mK。

3.3

标准化等效浓度限值 Normalized Equivalent Concentration Limit; NECL

气体检测和监测的指标，用于评估空气中某种特定气体的浓度水平是否超过安全限值，等效噪声浓度路径长度。NECL 是对气体浓度进行标准化处理后的等效浓度限值，通常以单位体积空气中的部分百万（ppm）或百亿（ppb）表示。

3.4

最小可检出泄漏率 Minimum Detectable Leak Rate; MDLR

气体检测和泄漏监测中能够可靠地检测到的最小泄漏速率，也称最小可探测泄漏速率。它是一个重要的性能指标，用于评估气体检测设备或系统的灵敏度和准确性。通常，MDLR 以标准单位（如 ml/min、m³/h）表示泄漏速率。较低的 MDLR 值表示设备或系统具有更高的灵敏度，能够检测到更小的泄漏。

3.5

图像信号信噪比 S/N (Image Signal to Noise Ratio)

指光学气体成像仪在没有气体（包括水蒸气）光谱吸收影响下，测量靶标时，信号强度峰-峰值和噪声强度均方根之比。

3.6

质量流量检出限 MFDL (Mass Flow Detection Limit)

指光学气体成像仪在某一特定的距离上在与背景特定的温差范围内能够探测到某一种化学物质烟羽的最小质量流量。

3.7

空间分辨力 Spatial Resolution

成像仪分辨物体空间几何形状细节的能力。它与使用的红外探测器像元素面积大小、光学系统焦距和像质、信号处理电路带宽等有关，一般也可用像元张角（DSA）或瞬时视场来表示。

3.8

斯特林制冷单元 Stirling Cooler

指光学气体成像仪中采用斯特林马达原理实现深冷温度制冷，用于增加红外焦平面探测器灵敏度的制冷单元。

3.9

红外焦平面探测器 Infrared FPAs(Infrared Focal Panel Detector)

指光学气体成像仪中由在透镜的焦平面上排列的二维红外光谱光电感应点阵构成的探测器，探测器材料包括锑镉汞、二类超晶格、锑化铟。

4 方法原理（系统构成）

便携式挥发性有机物泄漏检测红外成像仪组成见图 1，主要构成单元为一台制冷式红外探测器、一个信号转换器、一个由内部芯片、嵌入式 FPGA 和高级程序单元组成的内部处理系统。

现场进行挥发性有机物气体泄漏的图像拍摄采集，由斯特林制冷单元对接收红外热辐射的探测器进行制冷，通过光学探测器进行数字化转换，由内部芯片处理后送至高级程序单元处理，最后得到数字图像和监测要求的灰度图像。

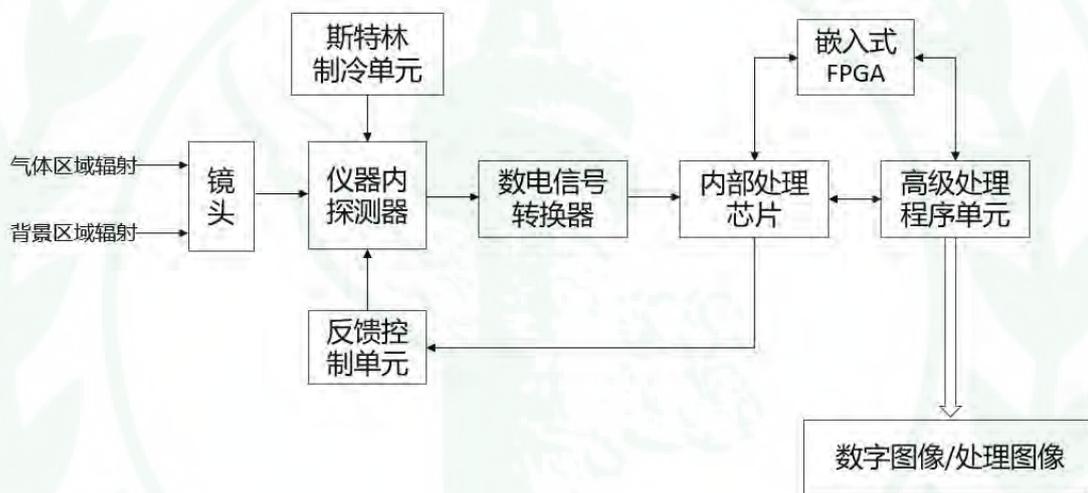


图 1 OGI 系统组成

5 评价要求

5.1 一般规定

5.1.1 采样帧速率宜不低于 25 Hz。

5.1.2 便携式红外成像仪应具备可见光摄像头，其探测器像素宜不低于 500 万，以满足取证需求。

5.1.3 成像仪宜工作在挥发性有机物的吸收波段内，测量波段在中波至少需包含 3.2~3.4 μm ，对于烯烃类的气体可优先选择长波（至少包含 10.3~10.7 μm ）。

5.1.4 便携式红外成像仪为保证用户使用体检，整机重量应不大于 2.5 kg。

5.1.5 便携式红外成像仪显示屏分辨率宜不低于 1024×600。

5.1.6 环境要求

a) 一般工作温度为-20 $^{\circ}\text{C}$ ~+50 $^{\circ}\text{C}$

b) 在小于 95 %的相对湿度条件下，成像仪各项功能应正常。

c) 一般存储温度为-30 $^{\circ}\text{C}$ ~+60 $^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 功能评价要求

成像仪应具备以下内嵌功能：

5.2.1 基本功能：具备 VOCs 气体泄漏点定位功能、图像冻结功能、图像存储功能、单点和多点温度显示功能、能够自动跟踪最高/最低温度点。

5.2.2 显示模式：在红外模式下，具有白热、黑热（多种伪彩色调色板可选）多种显示模式，可以手动/自动调节色标、可切换红外/可见光显示功能；

5.2.3 测温功能：输入目标距离、目标发射率、环境温度、相对湿度后，自动计算修正大气透过率和目标表面发射率对测温结果的影响。

5.2.4 具备实时成像对比度、亮度可调功能、气体增强显示功能、红外/可见光双光融合显示功能、地理定位功能、视频实时输出接外接显示器功能、可选配激光测距功能等。

5.2.5 需要捕获原始图、记录气云范围、得到有效灰度值和检出值等各项数据指标。

5.3 安全评价要求

5.3.1 便携式红外成像仪的外壳防护等不应低于 GB/T 4208—2017 中 IP54 的要求。固定式红外成像仪户外使用时不应低于 IP65 的要求。

5.3.2 成像仪应满足 Ex ic nC op is IIC T4 Gc 防爆标志的防爆要求。

5.4 性能评价要求

5.4.1 视场

可根据用户要求配置不同的镜头以获取不同的视场。小视场宜不大于 $15^{\circ} \times 12^{\circ}$ ，大视场宜不小于 $23^{\circ} \times 18^{\circ}$ 。

5.4.2 空间分辨力

可根据被测目标的尺寸和距离选取，用于大目标或近距离的标准镜头应小于 1.5 mrad ，用于小目标或远距离的长焦镜头应小于 0.9 mrad ，其计算方法为：瞬时视场 (mrad) = 像元间距 (μm) / 镜头焦距 (mm)，其中像元间距可等效为红外探测器的像元尺寸为： 0.9 mrad 和 1.5 mrad 的要求对应 23 mm 标准镜头和 38 mm 长焦镜头。

5.4.3 精度

根据应用场景要求，一般推荐测温范围在 $-40^{\circ}\text{C} \sim +350^{\circ}\text{C}$ ，环境温度在 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时，测温的最大允许误差应不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 或被测温度的 $\pm 2\%$ ($^{\circ}\text{C}$) (取绝对值大者)。

5.4.4 NETD 限值

环境温度在 25°C ，相对孔径为 1 时， $\text{NETD} \leq 30 \text{ mK}$ 。

5.4.5 NECL 检出限

在实验室环境中，向钢管气腔中缓慢匀速通入甲烷气体，要求背景黑体的黑度值尽量低，确保背景黑度值与气体泄漏区域的黑度值有足够的对比度，以便能够清晰地检测到气体泄漏引起的黑度变化，在气腔的另一端，在配有包含锗窗的镜头中观测。 $\text{NECL} \leq 40 \text{ ppm} \cdot \text{m}$ (-5k)。

5.4.6 MDLR 检出限

(1) 在实验室环境温度： $(10 \sim 25)^{\circ}\text{C}$ ；风速： $\leq 0.4 \text{ m/s}$ ；湿度： $(5 \sim 80)\% \text{RH}$ 的测试条件下：

甲烷标准物质， $99.99\% \text{ mol/mol}$ 浓度；正丁烷气体标准物质， $1.51\% \text{ mol/mol}$ 浓度。在环境和背景黑体温差为 $+2 \text{ K}$ ，距离为 2 m 的条件下， 15 ml/min 流速以上，甲烷气体清晰可见； 100 ml/min 流速以上，正丁烷气体清晰可见（气体流出和流向均可见）

(2) 在晴天光照充足、环境温度为 $(10 \sim 25)^{\circ}\text{C}$ 、风速： $\leq 4 \text{ m/s}$ 、湿度： $(5 \sim 80)\% \text{RH}$ 的测试环境条件下：

甲烷气体标准物质： $5\% \text{ mol/mol}$ 浓度， 0.5 L/min 及以上的流速泄漏； $2.5\% \text{ mol/mol}$ 浓度， 1 L/min 及以上的流速泄漏。乙烯气体标准物质： $3.0\% \text{ mol/mol}$ 浓度， 2.5 L/min 及以上的流速泄漏。

5.4.7 连续稳定工作时间

在满足检出限和各项功能正常的前提下，成像仪连续稳定工作时间应满足以下要求：

- a) 便携式红外成像仪：不小于 3 h ；
- b) 固定式红外成像仪：不小于 24 h （也可根据用户要求而定）。

5.4.8 调焦方式

便携式红外成像仪应可以实现手动调焦和自动调焦；
固定式红外成像仪应可以实现远程控制手动调焦和自动调焦。

6 检测方法

6.1 NETD 检测方法和设备

6.1.1 NETD 测试系统

- a) 标准温差黑体：
 - 温度准确度： $\pm 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
 - 发射率： > 0.95 ；
 - 温度均匀性： $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
 - 温差源发射面积：满足检验要求；
 - 最大可用孔径面积：满足检验要求；
- b) 光学平台；
- c) 准直光管：

焦距至少大于被测红外成像仪焦距 3 倍、通光口径大于红外成像仪接收口径的准直镜，产生平行光束来模拟无穷远处的红外辐射。
- d) 靶标切换系统；
- e) 高分辨率监视器；
- f) 计算机及信号采集系统。

6.1.2 辐射源

- a) 辐射源的温度范围应满足被检成像仪的检验要求。
- b) 靶面尺寸应能满足成像仪对靶面大小的要求。
- c) 辐射源的主要技术指标见下表 1。

表 1 辐射源的主要技术指标

| 名称 | 温度范围/ $^{\circ}\text{C}$ | 发射率 | 稳定度 |
|----------|--------------------------|-----------------|----------------------------|
| 腔式精密低温黑体 | -20 ~ 60 | 0.97 \pm 0.02 | $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ |
| 腔式精密中温黑体 | 40 ~ 300 | 0.97 \pm 0.02 | $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ |
| 腔式精密高温黑体 | 300 ~ 990 | 0.99 \pm 0.01 | $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ |

6.1.3 恒温恒湿箱

- a) 温度范围： $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 湿度范围：10%~98%RH($0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)；
- c) 控制精度： $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 2\text{ \%RH}$ 。

6.1.4 冲击振动台

- a) 冲击振动台应满足以下要求:
- b) 正弦振动频率: 5Hz~500Hz;
- c) 振动量级: 1mm, 或 4g;
- d) 冲击量级: 30g, 11ms±2ms 半正弦波。

6.2 MDLR 检测方法和设备

6.2.1 启动并设置气体泄漏报警器的报警浓度在可安全实验范围内, 调整检测系统与出气口之间的距离为 L_0 , 调节背景黑体辐射源温度使之与待测气体间形成一定温差 ΔT_0 , 背景黑体温度为 T_{b0} , 待测气体温度为 T_g , $\Delta T_0 = T_{b0} - T_g$, 调整检测系统的位置使成像图像清晰, 出气口位于视场中心附近。

6.2.2 检测系统稳定工作后, 先输出较大速率的待测气体, 使观察者可以通过显示器观察到气柱, 逐渐减小出气口待测气体的泄漏速率, 当观察者恰可探测到目标气体时对应的泄漏速率值, 即气体泄漏红外成像检测系统的最小可探测泄漏速率 MDLR(ΔT_0)

6.2.3 保持其他测试条件不变, 改变 ΔT_0 , 重复步骤 6.2.2

6.3 NECL 检测方法和设备

6.3.1 先往装有锆窗的气腔内通入干燥的待测气体, 设置 3 个梯度浓度和一个空白。

6.3.2 气腔的两端分别设置观测摄像头和黑体, 对收集到的气体成分进行具体调整和分析。

6.3.3 在通入气体时, 在观测摄像头一端进行观测, 以黑体为背景, 并根据收集到的气体样品的体积和分析结果, 计算泄漏源的泄漏量, 用以测试 OGI 设备的准确性。

6.3.4 在实验过程中保持黑体背景温差为 2 k, 并且在检测泄漏过程中需要能探测到明显的气团逸散。

6.4 可观测的灰度评价要求

6.4.1 图像标准库: 建立用于检验识别检出率和准确率的标准图像库, 对气团进行标识, 要求检出率和准确率均在 90 % 以上, 并且能够输出原始图和自动识别轮廓后标注的图像。

6.4.2 灰度差值标准: 通过 OGI 得到的原始图像灰度差值为: 2 个灰度 16 bit; 通过增强算法等处理后的图像灰度差值要求为: 8 个灰度 8 bit。

6.4.3 灰度测试

- a) 采集室内常温均匀场景下, 酒精/打火机气云成像, 对比常温背景, 其灰度差为: 200~230 个灰度 16 bit, 通用算法转换成 8 bit 后对应 4~5 个灰度 8 bit, 此时, 肉眼清晰可见, 而此时画面帧内噪声为 1~3 个灰度 (未作降噪算法)。
- b) 经增强算法后, 此数值变成 7~10 个灰度 8 bit, 画面中更加明显。

6.4.4 灰度计算方式

人工选取气云区域矩形阵列计算均值，对比气云附近均匀背景选取相同大小矩形阵列计算均值。

7 质控质保

7.1 成像画面均匀性验证

成像仪开机后进行常温热机，即开机状态放置 30~45 分钟后，面对 30 °C 面阵黑体，使黑体完全充满画面，保持不动，采集多帧数据，多帧数据计算帧间均值，得到单帧数据，计算其标准差，即为当前仪器在常温环境下面对 30 °C 黑体时的均匀性，此值越小则均匀性越高。

7.2 续航时间验证

将成像仪冷机开机，开始计时，并循环测试仪器的所有功能，记录期间出现的问题和时间点，直到电池耗尽。将成像仪在当前环境中关机静置 1 小时，彻底冷机后，更换满电电池，开机，开始计时，直到电池耗尽，得到续航时长。

7.3 启动时间验证

室温下，将成像仪冷机开机，开始计时，直到成像仪出现红外图像时，停止计时，得到成像仪的启动时间，与出厂时的启动时间对比得出制冷机的工作状态，判断成像仪启动时间是否在正常可用范围内。