

团 体 标 准

T/ACEF 095—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 Imager(OGI) for volatile organic compound leakage detection

2023-11-17 发布

2023-11-18 实施

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 仪器构成	2
5 评价要求	3
6 检测方法	5
7 质控质保	7
参考文献	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、上海市环境监测中心、北京市计量检测科学研究院、中国环境科学研究院、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：昆明物理研究所、江苏天瑞仪器股份有限公司、烟台艾睿光电科技有限公司、浙江焜腾红外科技有限公司、北京国环汇智环境科技有限公司。

本文件参编单位：浙江红谱科技股份有限公司、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、南昌航空大学、天津智易时代科技发展有限公司、南京智谱科技有限公司、浙江航天恒嘉数据科技有限公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司、中国测试技术研究院、云南省红外探测技术应用重点实验室、沧州慧龙环境科技有限公司。

本文件主要起草人：高松、杨雪纯、吴克食、焦正、许夏、程翼源、宁珠凯、蔡云飞、秦承华、杨思远、高健、杨振琪、张国城、贾滨、陈洁、袁名松、栾旭东、陈孙发、何玮、刘宇廷、李鑫、詹建龙、邓丰涛、钟小露、陈星、李毅、常余良、孟凡柔、冯涛、锁言鹏、张仕家、张宁、黄红友、寿春刚、刘文亮、杨崇新、龙海涛、方士豪、代威力、陈涛、蔡宏忱、字崇德、孙瑞莲、张志勇、徐洁倩、苏丹、刘东东、周鑫、赵雪松、罗春辉、沈志成、马嘉羽、李运建、于玉。

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

本规范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”）的基本参数、技术要求、试验项目及要求、质控质保规范等。

本标准适用于石油炼制、石油化学、精细化工和天然气储运以及其他行业设备、管道组件、储罐等挥发性有机物泄漏检测的、现场应急监测、污染筛查等调查与监测控制和管理。本标准涉及的试验条件及数据处理方法等，可供在线式红外成像仪参考。

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 4208 外壳防护等级（IP代码）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光学气体成像仪 optical gas imager（OGI）

利用红外探测技术和挥发性有机气体云团的辐射光谱和吸收光谱特性，能够对挥发性有机气体云团进行可视化成像，使得微小泄漏的被测气体也可以从复杂背景中清晰识别的仪器。由红外镜头、制冷型红外焦平面探测器组件、可见光组件、红外成像模块、信号处理模块、图像显控组件、人机交互组件、供电组件及接口等组成。

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，目标与背景之间的温差，也称噪声等效温差（NETD），它是评价红外成像仪探测目标灵敏程度和噪声大小的一个客观参数，单位：mK。

[来源：GB/T 19870—2018, 3.3, 有修改]

3.3

噪声等效浓度路径长度 noise equivalent concentration path length（NECL）

气体泄漏成像检测系统输出目标图像信噪比为1时，沿检测系统视线方向的气体浓度分布路径积分。单位：ppm.m。

3.4

最小可探测泄漏速率 minimum detectable leak rate (MDLR)

在某种条件下，仪器能够直接观察到的最小泄漏量，单位：mL/min或g/h。

3.5

视场 field of view

成像仪可观测到的空间范围在水平和垂直方向的最大张角。

[来源：GB/T 19870—2018, 3.4, 有修改]

3.6

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(DAS)或瞬时视场来表示。

[来源：GB/T 19870—2018, 3.5, 有修改]

3.7

红外焦平面探测器 infrared focal panel detector (Infrared FPAs)

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、锑化铟等。

4 仪器构成

便携式挥发性有机物泄漏检测红外成像仪由制冷型红外焦平面探测器、红外镜头组成成像部件，实现对场景红外辐射能的两维空间解析，形成规定的视场和分辨力，经成像电路处理后提供数字视频输出；为方便调查取证，增加了可见光摄像头。信号处理模块接收可见光与红外视频图像输入，完成相关图像智能算法分析处理后输出至显控组件显示。

便携式挥发性有机物泄漏检测红外成像仪由红外镜头、制冷型红外焦平面探测器组件、可见光组件、红外成像模块、信号处理模块、图像显控组件、人机交互组件、供电组件及接口等组成，如图1所示。

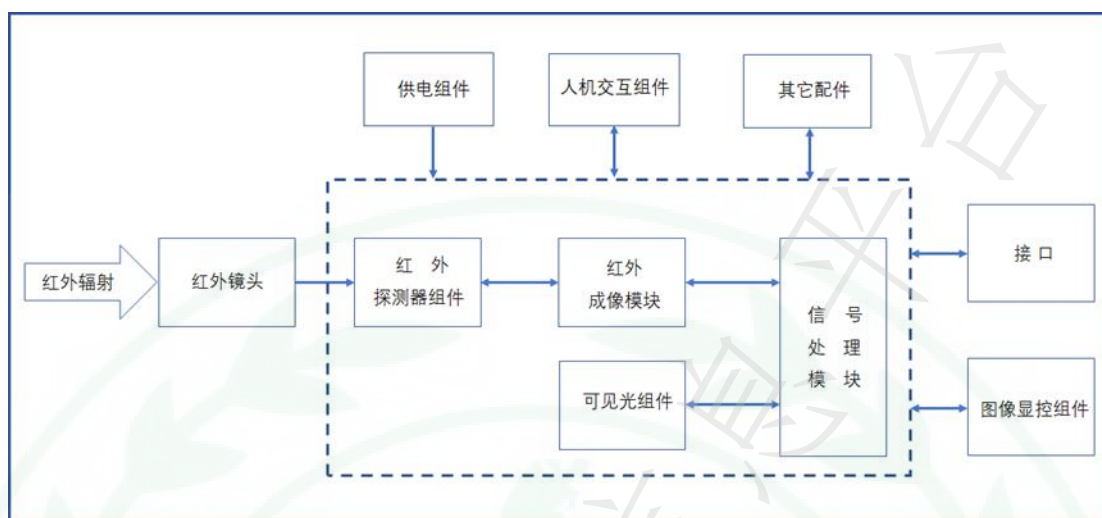


图 1 OGI 系统组成

5 评价要求

5.1 一般规定

5.1.1 采样帧速率不宜低于 25 Hz。

5.1.2 便携式红外成像仪应具备可见光摄像头，其探测器像素不宜低于 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 $3.2\ \mu\text{m}\sim 3.4\ \mu\text{m}$ ，对于烯烃类的气体可优先选择长波，测量波段至少包含 $10.3\ \mu\text{m}\sim 10.7\ \mu\text{m}$ 。

5.1.4 便携式红外成像仪制冷单元工作温度宜 80 K，整机重量不应大于 4.0 kg，宜小于 3.0 kg。

5.1.5 便携式红外成像仪显示屏分辨率不宜低于 $1024\ \text{dpi}\times 600\ \text{dpi}$ 。

5.1.6 环境要求

- a) 一般工作温度为 $-20\ ^\circ\text{C}\sim 50\ ^\circ\text{C}$ ；
- 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 $-30\ ^\circ\text{C}\sim 60\ ^\circ\text{C}$ 。

5.2 功能要求

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 具备实时成像对比度、亮度可调功能、气体增强显示功能、地理定位功能、视频实时输出外接显示器功能、可选配激光测距功能等。

5.2.4 需要捕获 8 bit 以及 14 bit 原始图、宜记录气云范围、得到有效灰度值和检出值等各项数据

指标。

5.3 安全要求

5.3.1 便携式红外成像仪的外壳防护等级不应低于 GB/T 4208 中 IP54 的要求。

5.3.2 成像仪应满足 Ex ic II C T4 Gc 防爆标志的防爆要求。

5.4 性能要求

5.4.1 视场

根据实际应用需求，视场宜在 $15^{\circ} \times 12^{\circ} \sim 23^{\circ} \times 18^{\circ}$ 范围，成像清晰范围在 $2 \text{ m} \sim \infty$ ，可手动或自动调焦。

5.4.2 空间分辨力

成像仪分辨物体空间几何形状细节的能力，一般像元张角（DAS）宜在 $0.9 \text{ mrad} \sim 1.5 \text{ mrad}$ 。

5.4.3 推荐测温范围：

- a) 在 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，测温的最大允许误差应不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 在 $>100^{\circ}\text{C}$ 及 $<0^{\circ}\text{C}$ 时，测温的最大允许误差应不超过度数的 $\pm 2\%$ 。

5.4.4 NETD 限值

室温（ $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）下，相对孔径为 1 时，NETD 应小于 20 mK。

5.4.5 NECL 检出限

在实验室环境中，将气体发生池腔体抽至真空状态（ 1.6×10^{-3} 以下）或用氮气将气体发生池清洗至一定的洁净度，然后用氮气将气体发生池回填至常压，控制背景黑体及气体发生池腔体温度，保证一定的目标背景温差，将被测气体缓慢匀速充入，待气体平衡后，检测成像系统输出图像的信噪比。NECL $\leq 400 \text{ ppm.m}$ （甲烷，目标背景温差 -5 K ）。

5.4.6 MDLR 检出限

5.4.6.1 在实验室环境温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $40\% \text{RH} \sim 80\% \text{RH}$ ，环境和背景黑体温差为 $+2 \text{ K}$ ，距离为 2 m 的条件下，气体流出和流向均可见的泄漏限值：

- a) 甲烷标准气体，99.99 %mol/mol 浓度，15 mL/min 流速以上；
- b) 正丁烷标准气体，2.0 %mol/mol 浓度，100 mL/min 流速以上。

5.4.6.2 在晴天光照充足，环境温度为 $10^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ，风速 $\leq 4 \text{ m/s}$ ，湿度 $5\% \text{RH} \sim 80\% \text{RH}$ ，距离为 3 m 的条件下，气体流出和流向均可见的泄漏限值：

- a) 乙烯标准气体：3.0 %mol/mol 浓度，2.5 L/min 流速以上；
- b) 甲烷标准气体：5.0 %mol/mol 浓度，0.5 L/min 流速以上；2.5 %mol/mol 浓度，1.0 L/min 流速以上。

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在常温（ $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）下，不小于 3 h。

5.4.8 调焦方式：便携式红外成像仪应实现手动调焦或自动调焦。

6 检测方法

6.1 NETD 检测方法和设备

6.1.1 测试方法

6.1.1.1 在测试系统靶盘上安装四杆靶和半圆靶；将红外成像仪放置在转台上，关闭滤波器，对经过平行光管产生的目标靶调焦清晰，增益调到最佳，关闭边缘增强，将红外成像仪的视频信号接入性能测试系统。设置适当的温差范围，使红外成像仪在测试过程中始终工作在线性区，调整靶盘到四杆靶位置，切换至窄视场，使其清晰成像于视场中心，运行测试软件，进行等效阵列长度校正。

6.1.1.2 选用半圆靶，使其清晰成像于视场中心，进行信号传递函数（*SITF*）测试：设置合适的温差变化范围，运行测试软件执行 *SITF* 测试命令，得到 *SITF* 曲线图和 *SITF* 值，曲线的线性变化区斜率即为系统响应率 *SITF*。

6.1.1.3 在红外成像仪入瞳孔径处放置一均匀背景物，将靶标温差设为 0 °C，运行测试软件，以成像仪为测试区域中心，在水平视场和垂直视场的 25 % 范围内进行测试，得到该区域的均方根噪声值（*RMS*）。

运行软件自动代入公式（1）计算得出 *NETD*：

$$NETD(^{\circ}C) = \frac{RMS}{SITF} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

RMS——测试区域的均方根噪声值，dB；

SITF——系统响应率，无量纲。

6.1.2 NETD 测试系统

- a) 标准温差黑体：温度准确度：±0.03 °C；发射率：>0.95；温度均匀性：±0.01 °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。

6.1.3 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	发射率	稳定度
腔式精密低温黑体	-20 °C ~ 60 °C	0.97 ± 0.02	±0.03 °C
腔式精密中温黑体	40 °C ~ 300 °C	0.97 ± 0.02	±0.05 °C
腔式精密高温黑体	300 °C ~ 990 °C	0.99 ± 0.01	±0.50 °C

6.1.4 恒温恒湿箱

- a) 温度范围：-40 °C~60 °C；
- b) 湿度范围：10 %RH~98 %RH (0 °C~60 °C)；
- c) 控制精度：±1 °C、±2 %RH。

6.1.5 冲击振动台

- a) 正弦振动频率：5 Hz~500 Hz；
- b) 振动量级：1 mm，或 4 g；
- c) 冲击量级：30 g，11 ms ± 2 ms 半正弦波。

6.2 MDLR 检测方法和设备

6.2.1 测试方法：

6.2.1.1 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 （建议调整至 2 m），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。

$$\Delta T_0 = T_{b0} - T_g \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- ΔT_0 ——背景黑体辐射源温度与待测气体间温差；
 T_{b0} ——背景黑体温度；
 T_g ——待测气体温度。

6.2.1.2 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（气体流出和流向均可见）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)。

6.2.1.3 保持其他测试条件不变，重复步骤 6.2.1.2。

6.2.2 测试设备：面源黑体：温度范围-20 °C~20 °C，有效辐射面积 $\geq 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ，控温精度： $\pm 0.1 \text{ °C}$ ，温度均匀性：0.03 °C；流量计：精度 1%。

6.2.3 目标气体可探测的灰度要求

室内常温均匀场景下，使用标气进行气云成像，对比常温背景，16 bit 方式下，灰度差为 200~230 个灰度单位，通用算法转换成 8 bit 方式下，对应灰度差为 8~13 个灰度单位，即认为气云肉眼可见，此时画面帧内噪声为 1~3 个灰度单位（未作降噪算法）。

6.3 NECL 检测方法和设备

6.3.1 测试方法

6.3.1.1 将便携式红外成像仪正对气体发生池放置，并确保黑体能够在便携式红外成像仪中显示完全。

6.3.1.2 将气体发生池腔体内气压抽至近真空（ 1.6×10^{-3} Pa 以下），黑体温度设置为 25 °C。

6.3.1.3 遮挡气体便携式红外成像仪镜头，采集图像。

6.3.1.4 设置腔体温控装置为 30 °C，黑体与腔体温差为-5 °C。

6.3.1.5 向气体发生池腔体注入甲烷（待测气体），关闭气阀，待 1 min~3 min 使气体及腔体温度稳定后，用调试电脑采集图像并存储。

6.3.1.6 重复 5 步骤，向气体发生池腔体多次累计注入 3~5 个浓度梯度（在线性区间内）的目标气体，每次充入气体，待气体稳定后，用调试电脑采集图像并存储。

6.3.1.7 利用采集到的不同浓度图像计算出便携式红外成像仪的目标相应强度变化 k ，利用遮挡镜头的图像计算出图像的均方根噪声 σ_{SYS} 。

6.3.1.8 NECL 计算公式为：

$$NECL = \int_0^L \frac{\sigma_{SYS}}{k} dL \dots\dots\dots (3)$$

式中：

σ_{SYS} ——图像的均方根噪声，dB；

k ——目标相应强度变化，无量纲；

L ——气体发生池长度，m。

6.3.2 测试设备：气体发生池。

7 质控质保

7.1 成像画面均匀性验证

成像仪常温开机正常工作后放置 30 min~45 min，利用可产生均匀辐射的遮蔽物（如镜头盖等）完全遮挡镜头并进行非均匀性校正，校正后移开遮蔽物，观察场景时红外图像应均匀，缓慢移动成像仪时，无明显固定图案噪声。

7.2 续航时间验证

室温下，将充满电的成像仪冷机（成像仪至少已关机1小时以上）开机，正常工作后开始计时，每隔半小时循环测试成像仪的主要功能，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。

参 考 文 献

- [1] GB/T 19870 工业检测型红外成像仪
 - [2] HJ 733 泄漏和敞开页面排放的挥发性有机物检测技术导则
 - [3] HJ 1230 工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南
 - [4] T/SMA 0011 电力红外成像仪性能评估技术规范
 - [5] QSH 0546 石化装置挥发性有机化合物泄漏检测规范
 - [6] ISO/AWI 5750 无损检测 红外热成像 电气设备测试
 - [7] ISO 10878 无损检测 红外热成像 词汇
 - [8] ISO 10880 无损检测 红外成像仪检测 一般原则
 - [9] ISO 18251—1 无损检测 红外热成像 第 1 部分：系统和设备的特性
 - [10] ISO 18251—2 无损检测 红外热成像 第 2 部分：综合性能、测试方法
 - [11] ISO 22290 无损检测 红外热成像测试 热弹性应力测量
-