

团 体 标 准

T/GDCKCJH 094—2024

内表面检测 UV 紫外荧光内窥镜法

Internal surface testing – UV ultraviolet fluorescence endoscope
method

2024-09-12 发布

2024-09-15 实施

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 要求.....	3
5 检测方法.....	6

全国团体标准信息平台

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。

本文件由广东省测量控制技术与装备应用促进会提出并归口。

本文件起草单位：深圳杰泰科技有限公司。

本文件主要起草人：黎文富、蒙均、张广平、梁耀、王良锋、叶佳。

本文件为首次发布。

内表面检测 UV 紫外荧光内窥镜法

1 范围

本文件规定了使用 UV 紫外荧光内窥镜进行内表面检测的术语和定义、要求、检测方法。

本文件适用于使用 UV 紫外荧光内窥镜对金属与非金属材质零部件及复杂总成结构的内表面细微裂纹、腐蚀、异物残留等不可见缺陷的精准检测与全面评估。

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 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证
- GB/T 20737 无损检测 通用术语与定义
- GB/T 41856.1 无损检测工业内窥镜目视检测 第1部分：方法
- HB/Z 359 荧光渗透检测典型显示图谱

3 术语和定义

GB/T 20737 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

内窥镜 endoscope

集光学、人体工学、精密机械、电子、数学与软件技术于一体，配备图像传感器、光学镜头、照明光源及机械装置，专用于汽车、航空发动机、管道、机械部件等对象内表面的无损检测仪器，检测过程无需拆解或中断运行。

3.2

目视检测 visual inspection

通过肉眼或辅助视觉工具(如放大镜、显微镜等)对物体进行直接观察，以检测其外观、结构、状态或缺陷的方法。

3.3

UV 紫外荧光内窥镜 UV fluorescence endoscope

能够利用紫外线激发荧光并观察被检测物体内表面缺陷的内窥镜。

3.4

荧光渗透检测 fluorescent penetrant inspection

利用荧光染料(荧光渗透剂)来检测表面裂纹或孔隙的非破坏性检测方法。

3.5

紫外光 ultraviolet light

一种波长比可见光短但比 X 射线长的电磁波,通常在 10 nm 到 400 nm 区间内。

3.6

白光 white light

可见光谱中含有全部波长的光线。

3.7

亮度 luminance

表示发光面发光强弱的物理量。

3.8

镜头 lens

内窥镜的探头成像部件。

3.9

探头 probe

插入被检测物体内部的内窥镜有效工作部分。

3.10

镜体 lens body

配备有灯光、图像传感器、光学镜头等组件的细长管道。

3.11

插入管 insertion tube

内窥镜的探头硬管或软管部分。

3.12

景深 depth of field

取得清晰图像的成像范围。

3.13

焦距 depth of focus

从透镜中心到光聚集之焦点的距离。

3.14

荧光剂 fluorescent agent

一种能够吸收紫外光或可见光并发出荧光的化学物质。

3.15

清洗剂 cleaning agent

用于清洁或去除污渍、油脂、污垢等物质的化学或物理制剂。

3.16

光源 light source

用于改善观察条件或视觉识别的人工发光体/辐射源。

3.17

照明光源 lighting source

产生光以照亮某个区域或物体的光源。

3.18

光源强度 light intensity

光源在单位面积上产生的光通量或光的强弱程度。

3.19

光纤 optical fiber

一种由玻璃或塑料制成的纤维，可作为光传导的媒介。

3.20

照度 illuminance

物体单位面积上所得到的光通量。

3.21

清晰度 definition

图像细节轮廓的清晰程度。

4 要求**4.1 检测方法原理**

UV 紫外荧光内窥镜中，通过紫外线激发荧光剂产生可见光的现象被称为荧光反应。使用 UV 紫外荧光内窥镜进行检测，首先在被检测物被测表面上涂覆一层荧光剂，使其渗透进裂缝或缺陷中，随后用清洗剂将多余的荧光剂清除，并使用内窥镜内置的紫外线光源对物体表面进行照射。被检测物表面的裂缝或缺陷中残留的荧光剂会发出可见光，被内窥镜探头(又称镜体)捕捉并传输到显示器上，供操作者观察和分析。运用 UV 紫外荧光内窥镜的图像处理技术，可以清晰地观察到缺陷的大小、形态和位置，并通过对比实测图像与典型图谱，进一步分析和评估被检测区域或结构的实际状况。

4.2 环境要求

4.2.1 紫外光源的稳定性应在 $\pm 2\%$ 以内。选择高质量、稳定性好的光源组件，并使用稳定的电源供应、合理的电路设计以及有效的散热等措施，保持输出光能不变，避免光源波动对检测结果的影响。光源强度应可调，以适应不同检测对象和环境的需求。

4.2.2 检测的环境温度应控制在 $15^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 之间。

4.2.3 控制操作环境的相对湿度在 $60\%\sim 90\%$ 内，以防止仪器受潮或样品吸水影响检测结果。

4.2.4 确保操作环境具有良好的通风条件，以减少有害气体和粉尘的积聚，保护操作人员健康，并

防止这些因素对检测结果产生干扰。

4.2.5 保持操作环境的洁净度，避免尘埃、油污等污染物附着在仪器和样品上影响检测结果的准确性。应定期对操作环境进行清洁和消毒。

4.2.6 操作人员应佩戴防护眼镜和防护服，以减少紫外线对眼睛和皮肤的伤害并避免长时间暴露在紫外线下。

4.2.7 确保内窥镜及其配套设备的电气安全，防止触电事故的发生。应定期检查电气线路和设备的绝缘性能，确保接地良好。

4.3 人员要求

实施检测的人员应按 GB/T 9445 或合同各方认可的体系进行资格鉴定与认证，取得目视检测相关资格证书，或采用雇主对其进行岗位培训和操作授权。

4.4 UV 紫外荧光内窥镜要求

4.4.1 UV 紫外荧光内窥镜组成

UV 紫外荧光内窥镜由内窥镜探头、照明光源、控制系统、显示系统、控制软件、辅助功能部件等组成。此外，还应配备必要的校准与验证装置，以确保检测结果的可靠性。

4.4.2 内窥镜探头

内窥镜探头是 UV 紫外荧光检测系统的核心组件，需遵循高精度、高耐用性的设计原则。探头直径应精确控制在特定尺寸(如 6 mm)，以适配多种细小空间检测需求，常用的探头规格尺寸和配套要求见表 1。探头内部集成光学成像系统，包括高精度光学透镜组及特制镀膜，可在宽光谱范围内(400~700)nm 实现图像的高透过率与高对比度。特别配置的后置光纤 365 nm 紫外光源，结合白光光源(400~700)nm，通过主机一键切换功能，可实现被检物表面缺陷快速定位与精准探伤。探头前端应采用耐磨、防水、防腐蚀材料，如四层钨丝编织管，确保在恶劣环境下长期稳定运行。此外，采用高精度的机械/电动摇杆导向驱动系统，应能控制探头实现 360 度任意向弯曲，使检测过程中探头零延迟精准弯曲，提升检测效率与准确性。

表 1 常用探头规格尺寸和配套要求

探头直径	3.9 mm、6.0 mm、8.0 mm
管线长度	1 m、1.5 m、3.0 m(可定制)
屏幕规格	13.0 cm~17.8 cm(5.1 英寸~7.0 英寸)
像素	30 万、49 万、64 万、100 万

4.4.3 照明光源

4.4.3.1 光源系统由紫外光与白光组成，紫外光用于特定物质的荧光检测，而白光则提供检测区域的清晰视野。

4.4.3.2 内窥镜应具备紫外、白光光源切换功能。白光扫视用于记录外观，紫外光可精准定位缺陷，应用于多场景检测，根据需求可快速切换。

4.4.3.3 采用波长为 365 nm 的紫外光，其波长公差范围应控制在 ± 5 nm 内，以确保清晰且准确的荧光反应检测被测物体的裂纹或缺陷。

4.4.3.4 对于 UV 紫外荧光内窥镜的白光光源，通常照度要求高于 4×10^4 lx，推荐色温在 5500 K 左右，显色指数应尽可能高，一般建议 Ra 值大于 90，以确保在检测过程中能够准确识别物体的颜色特征。

4.4.3.5 紫外光源应具有 ≥ 5 级的强度调节功能。紫外光源本身可能含有白光成分，其白光的强度应 ≤ 20 lx。在执行荧光检测功能时，紫外光源强度在距离光源 10 cm 处需达到 $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

4.4.3.6 白光光源应具有 ≥ 5 级的强度调节功能。通常情况下，在进行荧光检测时，白光光源应调至 0 lx，以有效减小背景光干扰，保证荧光信号的清晰捕捉。

4.4.3.7 采用高品质紫外灯配稳定电源，需确保输出电压/电流波动范围在 $\pm 2\%$ 以内，保障光源长期稳定输出，避免影响检测。

4.4.3.8 根据被检件的材质和内表面状态，可调整光源的照度等级。

4.4.4 控制系统

内窥镜控制系统宜具备下列功能：

- a) 焦距和光照度调整功能，应有自动和手动调整方式；
- b) 探头应设计有宽泛的景深调节范围，如 5 mm~50 mm、10 mm~100 mm 不等，以适应不同深度目标的检测需求，确保从表面到深层结构的清晰成像；
- c) 支持多角度的灵活调整，包括水平、垂直及倾斜等多方向旋转，以便从不同视角观察检测对象，全面捕捉缺陷信息；
- d) 配备精密的机械/电动导向系统，实现探头的无延迟、高精度控制，确保在复杂环境中能稳定、准确地定位和操作，提升检测效率和准确性。

4.4.5 显示系统

4.4.5.1 显示系统的分辨率不宜低于内窥镜检测系统分辨率。

4.4.5.2 显示系统的成像质量，宜采用分辨率测试卡测试，以判断成像的清晰度、分辨率、桶形失真、色彩失真等。

4.4.6 检测软件

检测软件宜具有图像定格拍照、录像、放大、对比等功能，并可进行色彩设置、亮度调节、文件名与图片存储及调用、录像/视频播放、删除、格式化、照明色彩白平衡等。

4.4.7 辅助功能部件

辅助功能部件属于选用部件，可根据多余物材质、形状等异物抓取需求，选用适当的辅助抓取工具，长度一般应大于内窥镜探头插入管长度。抓取多余物时，应避免辅助工具拉伤被检件表面。当抓取工具进入内窥镜工作通道时，应处于伸直收紧状态，方便抓取。

内孔、内腔发现毛刺或需要倒角情况下，可选取内置工具通道的内窥电动打磨装置进行可视化操作。

5 检测方法

5.1 检测准备

5.1.1 确保 UV 紫外荧光内窥镜处于良好工作状态，检查光源系统（特别是紫外光源）是否完整无损，亮度、波长等参数符合检测要求。

5.1.2 启动校准程序，使用标准样版或图片进行对比调整，分别校准图像的清晰度、对比度、色彩饱和度、白平衡等参数，直至图像显示清晰、色彩准确无偏差，避免影响缺陷识别。

5.1.3 对检测样品进行必要的预处理，如打磨、清洗等，确保样品表面清洁，无油脂、污垢等杂质，避免影响荧光渗透效果。

5.1.4 根据待检物的材料性质和检测要求选择合适的清洗剂、显像剂和渗透剂，具体要求如下：

- a) 清洗剂需具备高溶解性以清除非特异性荧光污染，强润湿作用以提升清洗效率，良好互溶性和挥发性以减少残留，低毒性以保障安全，以及化学稳定性以避免干扰检测结果；
- b) 显像剂需具备良好对比背景、稳定荧光性能、强显像能力、良好附着状态，且安全无毒，以保障检测准确性和人员安全；
- c) 渗透剂需具备化学稳定性，确保荧光信号持久；高荧光强度，提升成像清晰度；波长需匹配荧光显微镜，保障图像质量。同时，应确保渗透剂稳定且低毒，保障安全。

5.1.5 内窥镜检测前应注意以下要素：

- a) 避免内窥镜探头的镜头跌落、碰撞、轧压；
- b) 避免内窥镜探头的线缆轧压或被锐物割伤；
- c) 检查内窥镜探头的连接是否牢固、探头表面是否完好；
- d) 避免被检件内异物、障碍或边口毛刺对内窥镜探头造成损伤或被卡。

5.2 检测规程

检测前应编制相应的检测规程或检测作业文件，其具体规程参照 GB/T 41856.1 制定，至少应包括：

- a) 检测的具体目的，确定被检件信息，被检范围（检测的具体位置、尺寸和材质）；
- b) UV 紫外荧光内窥镜型号、规格及配件清单；

- c) 内窥镜的校准方法和要求，包括光源强度、镜头清晰度、光纤传输效率等关键参数的校准标准；
- d) UV 紫外荧光内窥镜在检测前应进行预热、清洁和功能检查，确保处于正常工作状态；
- e) 检测人员资格；
- f) 检测步骤；
- g) 内窥镜探头规格(尺寸)、插入方式、移动速度和观察角度等；
- h) 检测时机；
- i) 检测结果的评定；
- j) 后处理方法；
- k) 对检测数据整理、分析和存档；
- l) 编制、审核和批准人员姓名及日期。

5.3 检测步骤

5.3.1 荧光渗透

荧光渗透检测步骤如下：

- a) 清除工件被测表面的污垢、油污、锈蚀、氧化皮、油漆、涂层等污染物，以确保渗透剂能够顺利渗透到缺陷中。通常可使用机械清理、化学清洗或溶剂清洗等方法；
- b) 清洗后，使工件被测表面自然干燥或使用适当的干燥方法，避免表面残留水分或清洁剂；
- c) 选择合适的荧光渗透剂，要求含有荧光染料，能在紫外光照射下发出荧光；
- d) 将渗透剂均匀地施加在工件被测表面上，可以采用喷涂、刷涂、浇涂或浸涂等方法，确保渗透剂能够充分覆盖整个待检区域；
- e) 渗透剂需在工件表面停留一段时间，通常为 5 min 至 1 h 不等，具体时间取决于工件的材质、缺陷的大小、深度以及渗透剂的性能，被检物材料参考等待时间见表 2。在此期间，渗透剂会通过毛细作用渗入到工件表面的开口缺陷中；
- f) 去除工件表面多余的渗透剂。根据渗透剂的类型，可以选择水洗型、后乳化型或溶剂去除型等不同的清洗方式，并确保清洗干净；
- g) 清洗后，使工件表面自然干燥或使用适当的方法干燥，然后准备显像处理。对于显像处理的时间选择，建议根据具体材料、清洗剂残留情况、环境温度与湿度等条件灵活调整，原则上应确保显像时间足够充分以显现潜在缺陷，同时避免过长时间导致显像效果下降。显像时间宜控制在 10 min 到 30 min 之间，操作中需根据实际情况做出合理调整；
- h) 在工件表面均匀地施加一层显像剂。显像剂应具有良好的吸附性能，能够将缺陷中残留的渗透剂吸引出来并附着在工件表面，形成可见的荧光图像；
- i) 完成检测后，只有在渗透检测产品有可能有害于后续工序或使用功能的情况下，才有必要对被检件进行后清洗。若有要求，应对被检件作适当的腐蚀防护。

表 2 不同被检物材料渗透等待时间

分类	材料类型	渗透等待时间
金属材料	铝、镁铸件	5 min 至 30 min
	不锈钢	30 min 至 60 min
	黄铜和青铜	10 min 至 30 min
非金属材料	塑料	5 min 至 30 min
	玻璃	30 min 至 120 min

5.3.2 UV 紫外荧光内窥镜检测

UV 紫外荧光内窥镜检测检测步骤如下：

- a) 开启显示器、图像记录传输系统、处理器，将内窥镜的探头插入到工件内部需要检测的区域。首先，进行白光扫视，以记录工件的外观情况，确保无遗漏或初步判断检测区域状态。随后，开启紫外光源，调整至适宜强度，以激发荧光物质发出明亮且清晰的荧光信号，注意调节光源距离和角度，通过内窥镜的摄像头捕捉白光下的外观图像及荧光图像；
- b) 更换内窥镜探头时，应先调弱或完全关闭紫外光源的亮度；
- c) 操纵内窥镜探头检测时，被检部位的弯曲半径不应小于探头允许最小弯曲半径。当检测或经过弯曲通道时，应控制好探头方向，保持正确走向，必要时可采用有硬性导管的工装加以控制，避免过度扭动方向控制钮。不使用时，探头方向控制钮应处于释放位置；
- d) 处理分析采集的图像(包括但不限于图像增强、对比度调整、噪点去除等，对图像进行细致分析，识别并记录任何异常的荧光信号)；
- e) 关机时，按 a) 步骤的相反的顺序和要求操作；
- f) 清洁内窥镜探头(镜体)，去除残留的荧光物质、污垢或油渍，避免使用腐蚀性强的清洁剂或粗糙的擦拭工具，以免损伤探头表面。

5.4 结果评价

5.4.1 缺陷类型识别

按照 HB/Z 359 确定的图像与检测图像进行对比，识别缺陷类型。

5.4.2 结果评定

根据委托检测合同的约定评价缺陷的类型及测量数据，给出接受、返修或拒收的结论。

5.5 检测报告

在 UV 紫外荧光内窥镜检测流程完成后，需详尽记录检测结果及所有相关检测参数，并据此编制

检测报告。报告的具体格式与内容细节，应依据特定应用场景的规范文件执行，或由合同各方协商确定。检测报告必须涵盖但不限于以下核心要素：

- a) 委托单位和送检日期；
 - b) 被检件信息，如名称、型号、规格、材质及生产批次等；
 - c) 引用本文件或验收要求；
 - d) 所使用的UV 紫外荧光内窥镜的型号、规格及主要技术参数；
 - e) 检测步骤和方法(包括荧光渗透剂的施涂、去除多余渗透剂、喷涂显像剂、使用内窥镜检测等过程)；
 - f) 检测结论(渗透剂施涂时间、显像剂喷涂后的等待时间、内窥镜检测的具体位置等，以图片和文字进行记录)；
 - g) 检测人员、报告编写人员和审核人员签名及日期；
 - h) 检测报告编号与日期。
-