



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

医用内窥镜成像系统 第4部分：荧光性能

Medical endoscopic imaging system-part4:Fluorescence performances

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(工作组讨论稿)

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 要求 2

5 试验方法 3

附录 A（规范性） 荧光辐亮度响应特性试验方法..... 4

附录 B（规范性） 荧光信噪比试验方法..... 8

附录 C（规范性） 荧光静态图像宽容度试验方法..... 10

附录 D（规范性） 角分辨率试验方法..... 12

附录 E（规范性） 焦面一致性试验方法..... 14

附录 F（规范性） 融合精度试验方法..... 16

附录 G（规范性） 延迟同步率试验方法..... 17

附录 H（资料性） 荧光辐亮度与 ICG 溶液浓度关系的测定..... 18

图 A.1 测试布局简图..... 4

图 A.2 荧光测试工装..... 5

图 A.3 多阶中性滤光片..... 5

图 E.1 星形测试标板..... 14

图 E.2 组合装置布局示意图..... 14

图 F.1 棋盘格测试卡..... 16

图 H.1 激发光调整组合装置..... 18

图 H.2 标定组合装置图..... 19

表 H.1 荧光辐亮度与 ICG 溶液浓度关系数据表..... 20

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。

GB/T ××××《医用内窥镜成像系统》分为5个部分：

- 第1部分：基本要求
- 第2部分：成像性能
- 第3部分：机械性能
- 第4部分：荧光性能
- 第5部分：3D性能

本文件为GB/T ××××的第4部分。

本文件由全国光学和光子学标准化技术委员会医用光学和仪器分技术委员会（SAC/TC 103/SC 1）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

医用内窥镜成像系统 第4部分：荧光性能

1 范围

本文件规定了具有荧光成像性能的医用内窥镜成像系统的荧光性能要求、试验方法。
本文件适用于具有荧光成像性能的医用内窥镜成像系统

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。

JB/T 9328:1999 分辨力板

ISO 22028-1:2004 摄影和印刷技术 数据图像储存、处理和互换用扩展颜色编码 第1部分：层次结构和要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

荧光光电转换函数 fluorescence opto-electronic conversion function (fluorescence OECF)
内窥镜成像系统物方荧光辐亮度和相应的荧光图像输出信号之间的理想关系。

3.2

信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR)

信噪比是一种被广泛应用的图像质量客观评价标准。

特定信号电平上，输出信号与噪声信号均方根值 (rms) 的比率用对数值表示，表达式见式 (1)

$$SNR = 20 \lg \left(\frac{S}{N} \right) \text{ ————— (1)}$$

其中，

S——输出信号；

N——噪声信号均方根；

3.3

荧光静态图像宽容度 (fluorescence static image tolerance)

荧光内窥镜系统在单次曝光中可分辨的最大临界物面荧光辐射亮度和最小临界物面荧光辐射亮度之比（或可分辨的最大荧光溶剂浓度和最小临界荧光溶剂浓度之比）。

3.4

焦面一致性 (focal plane concordance)

焦面一致性是指荧光内窥镜成像系统在白光焦面和荧光焦面的差异。白光焦面与荧光焦面面间距差异越小，荧光叠加画面质量越好。

3.5

融合精度 (fusion precision)

白光图像与荧光图像融合处理后的重合精度。

3.6

延迟同步率 (latency synchronization)

白光、荧光两路从成像到显示输出，系统延迟的差异。

4 要求

4.1 荧光响应特性

制造商应在技术资料中给出荧光图像以相对值表示的输出荧光辐亮度电光转换函数或数据列表。数据列表在宽容度区域内的取样点不少于10个，并覆盖整个宽容度内区域。

内窥镜成像系统荧光图像输出信号按该电光特性计算所得亮度与实际被测标板各灰阶荧光辐亮度应保持良好的线性度，线性拟合系数 R^2 应不小于0.98。

若制造商声称适荧光图像的输出荧光辐亮度和物面亮度是按照非线性设计的，那么制造商应给出相应的评价要求和方法。

4.2 荧光信噪比

制造商在技术资料中应给出内窥镜成像系统荧光图像的随机噪声信噪比的标称值以及对应的摄像模式（若内窥镜成像系统有多种摄像模式时）。

信噪比的允差为：-20%，上限不计。

4.3 荧光静态图像宽容度

制造商在随附资料中应给出内窥镜成像系统荧光图像的静态图像宽容度的标称值以及对应的摄像模式（若内窥镜成像系统有多种摄像模式时）。

静态图像宽容度的允差为：-20%，上限不计。

4.4 荧光图像角分辨率

4.4.1 制造商在随附资料中应给出视场中心角分辨率的标称值及对应的设计光学工作距。

4.4.2 视场中心角分辨率标称值允差-10%（上限不计）；

4.4.3 以相同光学工作距处的垂直视轴的平面作视场，在最大视场高度的70%位置上任选四个正交方位测量，平均角分辨率应不低于实测的视场中心角分辨率的90%。

注：如果视场形状非圆形，测量的4个位置在对角线上。

4.5 焦面一致性

制造商应在随附资料中给出白光图像和荧光图像的焦面一致性数值，实测值与标称值允差 $\pm 20\%$ 。

4.6 融合精度

制造商应在随附资料中给出荧光图像与白光图像的融合精度标称值，实测值与标称值允差 $\pm 20\%$ ，下限不计。

4.7 延迟同步率

制造商应在随附资料中给出白光图像与荧光图像的延迟同步率，实测值与标称值允差 $\pm 20\%$ ，下限不计。

5 试验方法

5.1 荧光辐亮度响应特性

见附录A（规范性附录）

5.2 荧光信噪比

见附录B（规范性附录）

5.3 荧光静态图像宽容度

见附录C（规范性附录）

5.4 荧光图像角分辨率

见附录D（规范性附录）

5.5 焦面一致性

见附录E（规范性附录）

5.6 融合精度

见附录F（规范性附录）

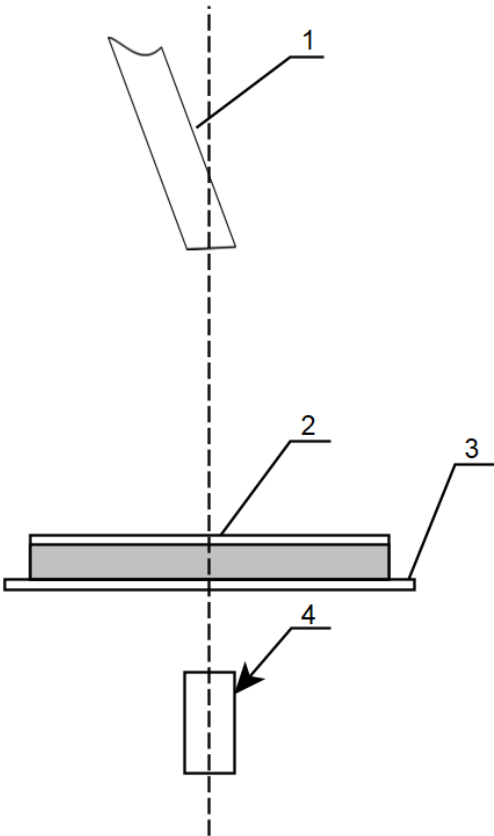
5.7 延迟同步率

见附录G（规范性附录）

附录 A
(规范性)
荧光辐亮度响应特性试验方法

A.1 设备

按照图A.1所示，搭建测试布局：

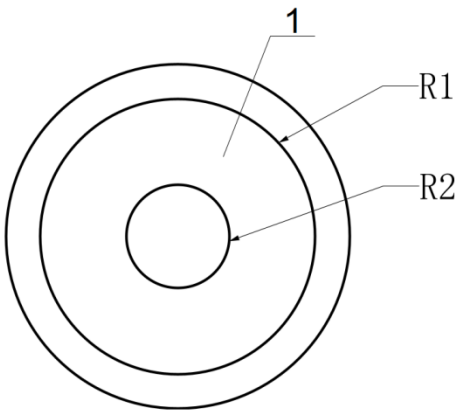


- 1—被测荧光内窥镜成像系统前端（电子镜/光学镜）；
- 2—荧光测试工装（含衰减装置）；
- 3—散射板；
- 4—激发光光源。

图A.1 测试布局简图

A.1.1 荧光测试工装（含衰减装置）

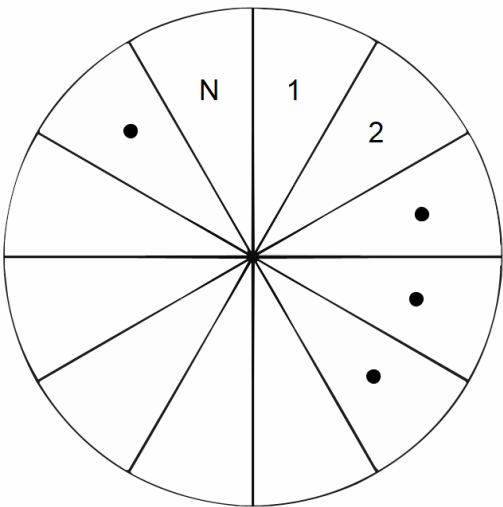
工装由ICG溶液样品槽和多阶中性密度滤光片组成。
样品槽区域的形态可优选为环形，在近红外激发光波段（780~808nm）透过率≥90%。
工装示意图如A.2所示



1—环形样品槽区域。

图A. 2 荧光测试工装

工装配有多阶中性密度滤光片，若样品槽为环形，则中心密度按圆形步进，步进阶数 $N \geq 20$ ，对于优选的环形样品槽，多阶中心密度滤光片示意图如A. 3所示，其半径尺寸同图A. 2中工装半径参数R1，为便于背景信号分析，可优选将第N块衰减区域设定为背景区域，即该区域对于待测荧光波段透过率近似为0。



图A. 3 多阶中性滤光片

A. 1. 2 光源

供应商提供荧光内窥镜成像系统的配套光，需提荧光光源参数：峰值波长、半高宽、测试时需要设置的光源挡位值以及此时对应的功率值。

A. 1. 3 辐亮度计或等效测量设备

要求能够精确探测荧光发射光辐亮度。

A. 1. 4 图像采集器

要求能够无损采集并保存各种编码模式的图像数据。

A.2 步骤

A.2.1 测试条件

测试环境的温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $(50 \pm 20)\%$ 。

测试环境的暗照度不大于1lx。

控制光源的供电电源电压稳定度应控制在 $\pm 2\%$ 以内。

光源应充分预热稳定。

A.2.2 测试过程

A.2.2.1 荧光内窥镜成像系统的取景

调整内窥镜成像系统的内窥镜末端至测量工作距 d_0 。该测量工作距 d_0 与内窥镜的设计工作距相同。输出模式调节至荧光图像。

A.2.2.2 对焦

若内窥镜成像系统具有自动对焦功能，拍摄测试标板时可以稍微对焦模糊，以减少由区块本身的纹理质地产生的噪声。这里强调的是“稍微”，区块之间的边界必须保持明显区别。

A.2.2.3 测量荧光辐亮度及采集分析图像

对应测试布局中2的每个辐亮度水平，测量该辐亮度值，记录为 L_i 。

用内窥镜成像系统拍摄测试布局，用图像采集器采集 n 幅图像并保存， n 不小于8。对采集的图像，在宽容度范围内选择基本均布的不少于10个的不同辐亮度水平。在不同辐亮度水平的每个区域选取 $(M \times N)$ 个像素（推荐 32×32 ），分别读取每个不同辐亮度水平区域的荧光图像的对应输出信号 $(M \times N)$ 矩阵的输出信号。

对某辐亮度水平 L_i ，荧光图像信号平均值 分别由 $(M \times N)$ 个像素的荧光信号值的算术平均计算得到。

A.2.2.4 计算显示亮度值以及拟合度

对所获得的 对应 数据组，采用制造商给出的输出信号电光转换函数（EOCF）计算荧光图像显示亮度值（ 分别代表 ）。若制造商给出的是数据列表，则输出亮度电光转换函数可采用分段线性拟合得到。对应实际被测标板各灰阶亮度 的结果应以表格和/或图形的形式来表述。

计算 $L-L_y$ 的线性拟合度 R^2 （有效位至小数点后2位）。计算公式如下：

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^m (L_i - \bar{L})(L_{y_i} - \bar{L}_y) \right]^2}{\sum_{i=1}^m (L_i - \bar{L})^2 \cdot \sum_{i=1}^m (L_{y_i} - \bar{L}_y)^2} \quad (\text{A. 1})$$

式中：

m —灰阶数；

— 的平均值；

— 的平均值；

如果需要，也可通过附录H中荧光辐亮度和ICG溶液浓度的转换数据列表，按照线性插值运算，得到以为ICG溶液浓度为相关量的拟合度。

A.3 结果表述

试验报告应包括以下信息：

- a) 被测内窥镜成像系统型号和编号；
- b) 摄像模式；

注：适用于可采用多种摄像模式的内窥镜成像系统。包括白光增益设置、荧光图像增益设置等影响测量结果的重要模式设置信息。

- c) 试验光源的光源特性；
- d) 测量工作距 d_0 ；
- e) 制造商给出的荧光图像输出辐亮度电光转换函数或数据列表；
- f) 荧光辐亮度响应特性线图。
- g) $L-L_y$ 的线性拟合度 R^2 。

附 录 B
(规范性)
荧光信噪比试验方法

B.1 设备

同A.1

B.1.1 荧光测试工装（含衰减装置）

同A.1.1

B.1.2 光源

同A.1.2

B.1.3 辐亮度计或等效测量设备

同A.1.3

B.1.4 图像采集器

同A.1.4

B.2 步骤

B.2.1 测试条件

同A.2.1。

B.2.2 测试过程

B.2.2.1 荧光内窥镜成像系统的取景

同A.2.2.1。

B.2.2.2 对焦

同A.2.2.2。

B.2.2.3 测量荧光辐亮度及采集分析图像

同A.2.2.3。

B.2.2.4 根据荧光图像输出信号值，计算亮度信号分量。

对某亮度水平，荧光图像平均亮度信号分量 由 $(M \times N \times n)$ 个像素的 值算术平均计算得到，由红、绿和蓝各通道输出信号经电光转换（EOCF）函数计算并加权后获得。各通道加权值按照制造商给出的编码方式取值。

注：常规的标准编码可查阅ISO 22028-1:2004。

示例：如果编码方式采用 ITU-R BT. 709 中规定的编码方式， 值计算可以进行以下加权：

$$Y = 0.2125R + 0.7154G + 0.0721B \tag{G.1}$$

式中：

R、G、B—红绿蓝各通道输出信号值经电光转换（EOCF）函数转换后的数值。

B.2.2.5 计算噪声（以标准差表示）

对于 $M \times N$ 区域内任意位置坐标 (x, y) ，设 $P_{k,(x,y)}$ 为第 k 张图像在 (x, y) 坐标位置上的信号输出值（经荧光EOCF函数转换后），按式（B.1）计算该坐标位置上 n 幅的信号输出平均值。

$$\bar{P}_{(x,y)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n P_{k,(x,y)} \quad (\text{B.1})$$

按式（B.2）计算该坐标位置上 n 幅的信号输出标准差记为 $\sigma_{(x,y)}$ 。

$$\sigma_{(x,y)} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n [P_{k,(x,y)} - \bar{P}_{(x,y)}]^2}{n-1}} \quad (\text{B.2})$$

按式（B.3）计算在 $M \times N$ 区域内随机噪声的平均值记为 σ_{temp} 。

$$\sigma_{temp} = \frac{\sqrt{\sum \sigma_{(x,y)}^2}}{\sqrt{M \times N}} \quad (\text{B.3})$$

B.2.2.6 计算不同亮度水平（不同灰阶）的荧光信噪比，并绘制信噪比曲线

根据内窥镜成像系统拍摄到的不同亮度水平（不同灰阶）的荧光图像亮度信号分量 S 和荧光图像噪声值 N ，计算不同亮度水平（不同灰阶）的荧光图像随机噪声信噪比，并绘制对应的荧光信噪比曲线，纵坐标为荧光信噪比，横坐标为辐亮度信号分量 S 值。

B.2.2.7 确定内窥镜成像系统的荧光信噪比。

在荧光信噪比曲线上找到归一化后亮度信号分量 S 值为0.707的荧光信噪比。如果0.707不完全等于某个灰阶对应的输出信号值，建议采用分段线性插值计算，来获取荧光信噪比的估计值。

如果需要，也可通过附录H中荧光辐亮度和ICG溶液浓度的转换数据列表，按照线性插值运算，得到以为ICG溶液浓度为相关量的荧光信噪比。

B.3 结果表述

试验报告应包括以下信息：

- a) 被测内窥镜成像系统型号和编号；
- b) 摄像模式；

注：适用于可采用多种摄像模式的内窥镜成像系统。包括白光增益设置、荧光图像增益设置等影响测量结果的重要模式设置信息。

- c) 试验光源的光源特性；
- d) 测试标板背景B的亮度 L_0 ；
- e) 测量工作距 d_0 ；
- f) 荧光信噪比线图；
- g) 荧光信噪比值。

附 录 C
(规范性)
荧光静态图像宽容度试验方法

C.1 设备

同A.1

C.1.1 荧光测试工装（含衰减装置）

同A.1.1

C.1.2 光源

同A.1.2

C.1.3 辐亮度计或等效测量设备

同A.1.3

C.1.4 图像采集器

同A.1.4

C.2 步骤

C.2.1 测试条件

同A.2.1。

C.2.2 测试过程

C.2.2.1 荧光内窥镜成像系统的取景

同A.2.2.1。

C.2.2.2 对焦

同A.2.2.2。

C.2.2.3 测量荧光辐亮度及采集分析图像

测试布局中2的荧光辐亮度变化范围应超过宽容度范围，并且至少5个荧光辐亮度水平低于被测内窥镜成像系统暗区截止临界荧光辐亮度值。

对应测试布局中2的每个辐亮度水平，测量该辐亮度值，记录为 L_i 。

用内窥镜成像系统拍摄测试布局，用图像采集器采集 n 幅图像并保存， n 不小于8。对采集的图像，在宽容度范围内选择基本均布的不少于10个的不同辐亮度水平。在不同辐亮度水平的每个区域选取 $(M \times N)$ 个像素（推荐 32×32 ），分别读取每个不同辐亮度水平区域的荧光图像的对应输出信号 $(M \times N)$ 矩阵的输出信号。

对某辐亮度水平 L_i ，荧光图像信号平均值 分别由 $(M \times N)$ 个像素的荧光信号值的算术平均计算得到。

C. 2. 2. 4 根据荧光图像输出信号值，计算荧光辐亮度信号分量。

同B. 2. 2. 4。

C. 2. 2. 5 绘制亮度及其对应的荧光辐亮度信号输出值曲线

根据C. 2. 2. 3和C. 2. 2. 4步骤中获得的 L_i 和 L_{fi} ，绘制亮度及其对应的荧光辐亮度信号分量的曲线。

C. 2. 2. 6 读取高亮区域亮度饱和临界值 L_{sat}

读取曲线上高亮区域亮度信号分量 接近饱和值时的临界荧光辐亮度值 L_{sat} 。

注：任一通道到达饱和即为饱和。

C. 2. 2. 7 计算暗区亮度截止临界值 L_{min}

读取曲线上暗区亮度信号分量 开始截止时的临界荧光辐亮度值 L_{min} 。

截止状态的判定：以C. 2. 2. 4中获得的5组较低亮度水平对应的亮度信号分量 的平均值加上2倍按B. 2. 2. 5计算所得的随机噪声的平均值为阈值，找到亮度输出信号值大于该阈值并最接近该阈值的数据，该数据对应的亮度即为临界亮度值 L_{min} 。

C. 2. 2. 8 计算静态图像宽容度

宽容度DR是根据以下公式确定的：

$$D_R = \frac{L_{sat}}{L_{min}} \quad (C. 1)$$

式中：

L_{sat} —饱和临界值，

L_{min} —截止临界值。

如果需要，也可通过附录H中荧光辐亮度和ICG溶液浓度的转换数据列表，按照线性插值运算，得到以为ICG溶液浓度为相关量的荧光静态图像宽容度。

C. 3 试验报告

试验报告应包括以下信息：

- 被测内窥镜成像系统型号和编号；
- 试验光源的光源特性；
- 摄像模式；

注：适用于可采用多种摄像模式的内窥镜成像系统。包括白光增益设置、荧光图像增益设置等影响测量结果的重要模式设置信息。

- 测试标板上背景B的亮度 L_0 ；
- 测量工作距 d_0 ；
- 荧光图像饱和临界值 L_{sat} 和荧光图像截止临界值 L_{min} ；
- 荧光静态图像宽容度。

附 录 D
(规范性)
角分辨率试验方法

D.1 原理

测量内窥镜在有效景深范围内对高对比等距线对的最小可分辨线条间距来得到最小分辨角。

D.2 设备

D.2.1 分辨率标准板

分辨率线宽和线对宽度应已知,可符合JB/T9328-1999分辨率板中A型或USAF1951的分辨率试验线对图案,每组线对至少有两个方向,例如水平方向和垂直方向,范围为1 Lp/mm至100 Lp/mm。

D.2.2 机械运动装置

可安放内窥镜和分辨率目标,其机械运动应能满足使分辨率目标的中心位置能在相同光学工作距处的垂直视轴的平面内运动,而分辨率目标面应与以内窥镜末端视场中心为中心的球面相切。

D.2.3 视频摄像系统

带有变倍物镜适配器的摄像头及监视器,变倍物镜应色差校正良好,并且系统组合分辨率应不低于被测内窥镜的分辨率要求。

D.2.4 光源,

其光谱特性应与被测光学镜的预期应用相适应。

D.3 步骤

D.3.1 准备

将内窥镜和分辨率目标安放在机械运动装置上。

将分辨率标准板放在内窥镜设计的光学工作距离处,并垂直视轴固定。

在分辨率标准板后安放漫透射屏,并用光源照明。

输出调整为荧光图像模式,通过医用内窥镜成像系统在监视器上的输出图像观察,通过机械运动装置调节内窥镜或分辨率标准板位置,使极限可辨的试验图案调整到测试对应的视场位置。

若被测成像系统包含变倍物镜,放大倍率调整到试验图案画面最大不溢出后仔细对焦。并结合监视器亮度调节。轴上的和轴外的测量应该在相同的焦距下进行。

D.3.2 通过机械运动装置使分辨率目标运动至内窥镜的设计光学工作距离处,并垂直视轴,通过无损采集图像后电子放大到足够倍数进行观察并确定内窥镜的视场中心最小可辨等距条纹宽,对分辨率试验线对图案的不同方向(如子午或弧矢方向),取其中的较不利值。

D.3.3 通过机械运动装置使分辨率目标的中心运动至轴外边缘给定视场四个均布位置,如果视场形状非圆形,分辨率目标的4个位置在对角线上。分辨率目标的中心位置应在与测量视场中心分辨率相同光学工作距处的垂直视轴的平面内,而分辨率目标面可选择与垂直被测内窥镜视向的平面相切,或与以内

窥镜末端视场中心为中心的球面相切。通过监视器观察并确定内窥镜的视场边缘最小可辨等距条纹宽，对分辨率试验线对图案的不同方向（如子午或弧矢方向），取其中的较不利值。

注：在内窥镜的焦深范围内，角分辨率和距离无关。

D.4 计算

按照角分辨率的定义，以医用内窥镜成像系统的入瞳中心为顶点，计算最小可辨等距条纹宽的空间张角的倒数，以周/度（C/°）表示。

附录 E
(规范性)
焦面一致性试验方法

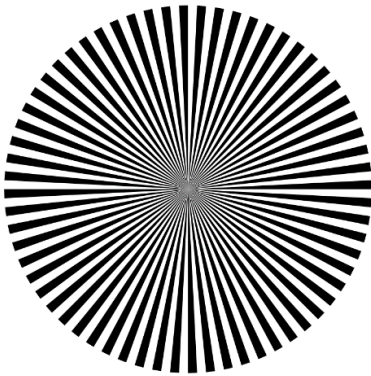
E.1 设备

内窥镜支架。

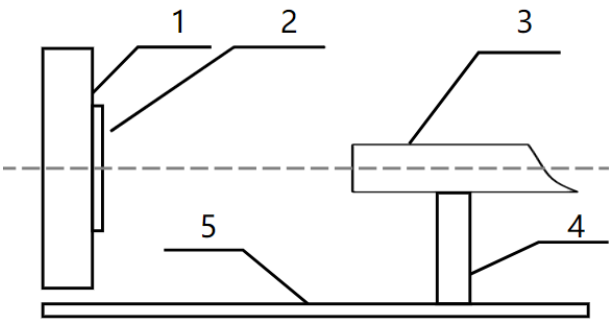
双通道透射式灯箱，可见光和近红外照明应使得标板区域内照明均匀，区域内任意位置处与中心位置的亮度差应在±10%内。

正弦波星形状测试标板，如图E.3所示。

带位置指示器的滑动导轨，内窥镜与标卡之间物距可通过滑动导轨精确调整，导轨定位精度0.1mm，组合装置如图C.4所示。



图E.1 星形测试标板



- 1—灯箱；
- 2—测试卡；
- 3—待测内窥镜系统；
- 4—内窥镜支架；
- 5—滑动导轨。

图E.2 组合装置布局示意图

E.2 步骤

E.2.1 测试条件

同A.2.1

E.2.2 测试过程

开启摄像系统，切换到白光模式，白平衡；

调整拍摄距离为标称工作距离，记为 d_0 ，并使测试标板居中。对于带聚焦功能的内窥镜系统，在该工作距离下对焦，采集保存图像。

a) 以2mm为步长，在工作距离 d_0 前后的5个测量点位，抓取图像。上述11个测量距离分别记 d_i ， $-5 \leq i \leq 5$ ， $i \in \mathbb{Z}$ 。

切换到荧光模式，同样的测量点位置，抓取图像。

E.2.3 结果处理

应按照YY 1587-2018中5.6规定的空间响应实验方法对上述图像进行处理，得到每个测量点位白光、荧光图像的 $SFR_{50\%}$ 值，分别记为 SFR_i^w, SFR_i^f ， $-5 \leq i \leq 5$ ， $i \in \mathbb{Z}$ 。

SFR_i^w 极大值对应的位置为 d^w ， SFR_i^f 极大值对应的位置为 d^f 。

则焦面一致性 $\Delta f = |d^f - d^w|$ 。

E.3 结果表述

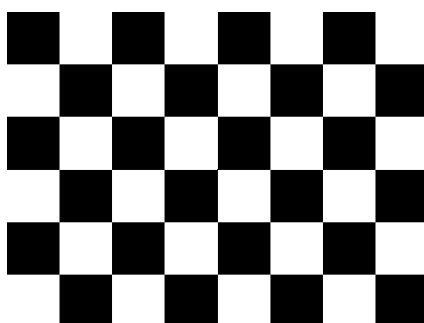
试验报告应包括以下信息：

- 被测摄像系统型号和编号；
- 镜头状况，包括型号、焦距、和/或可变倍镜头的变倍状况；
- 摄像模式；
- 荧光分辨率，单位LW/PH；
- 荧光和白光焦面一致性 Δf 。

附 录 F
(规范性)
融合精度试验方法

F.1 设备

- a) 透射式棋盘格测试卡，见图D.1。
- b) 双通道透射式灯箱，灯箱具有双通道，可分别提供白光和近红外波段的照明，光照均匀性> 90%。



图F.1 棋盘格测试卡

组合装置示意图同C.2。

F.2 测试步骤

- a) 将内窥镜安放在光具座上；
- b) 将测试板固定于透射式灯箱，调整灯箱与内窥镜相对位置，使得测试板处在内窥镜设计的光学工作距离处，并垂直于视轴；
- c) 切换灯箱照明到可见光波段，并切换显示模式到白光模式，对焦使得图像最清晰，保存照片。
- d) 切换灯箱照明到近红外波段，并切换显示模式到荧光模式，保存照片。

F.3 计算

将上述两幅图片载入计算机软件中，并对其中的随机 N 个角点进行融合精度计算， $N \geq 3$

白光(W_{ix}, W_{iy})，荧光(F_{ix}, F_{iy})， $1 \leq i \leq N$ 。

X方向上的融合精度误差序列为 $S_{ix} = |W_{ix} - F_{ix}|$ ， $i = 1, 2, \dots, N$ 。

Y方向上的融合精度误差序列为 $S_{iy} = |W_{iy} - F_{iy}|$ ， $i = 1, 2, \dots, N$ 。

则，X方向上的融合精度 $D_x = \max(S_{ix})$ 。

Y方向上的融合精度 $D_y = \max(S_{iy})$ 。

附 录 G
(规范性)
延迟同步率试验方法

G.1 设备

- a) 毫秒精度的数字时钟。
- b) 高速相机，帧率 ≥ 1000 。

G.2 步骤

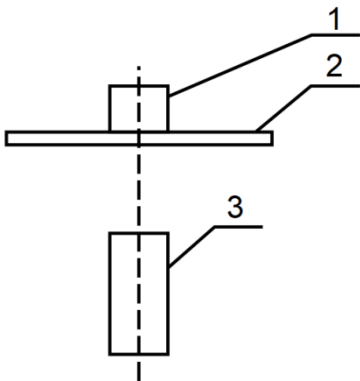
将数字时钟放置在视场中，切换到白光模式，使用高速相机对显示器的白光影像和数字时钟同时进行拍照，检验同一张照片中白光影像和数字时钟的差值，记为 W_{delay} 。同样切换到荧光模式，拍照，得到荧光模式下的系统延迟 F_{delay} 。这延迟同步率 $S = |W_{delay} - F_{delay}|$ 。

附 录 H
(资料性)
荧光辐亮度与 ICG 溶液浓度关系的测定

H.1 概述

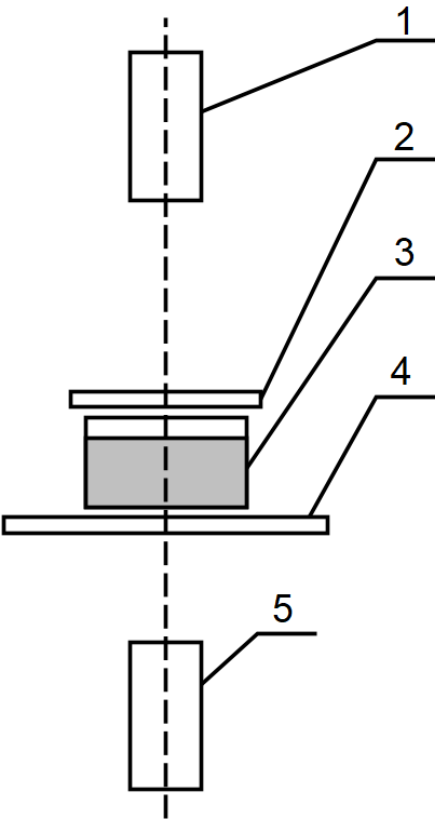
如有需要，荧光响应特性、荧光信噪比、荧光静态图像宽容度的表述可通过本附录测定得到的荧光辐亮度和ICG溶液浓度的转换数据列表，按照相同ICG溶液浓度条件下辐射亮度与激发光的辐射照度成正比的规律，进行线性插值运算，得到以为ICG溶液浓度为相关量的表述方式。

H.2 标定示意图



- 1—亮度计；
- 2—散射板；
- 3—激发光光源。

图H.1 激发光调整组合装置



- 1—亮度计；
- 2—激发光滤光片；
- 3—样品盘；
- 4—散射板；
- 5—激发光光源。

图H. 2 标定组合装置图

H. 3 各浓度荧光试剂配制

取一定量的吲哚菁绿干粉（纯度≥94%），用去离子水稀释为 $5 \times 10^{-4}\text{M}$ 的吲哚菁绿溶液，即 0.38748mg/mL 。

将上述吲哚菁绿溶液稀释10倍（取 0.1mL 吲哚菁绿母液，加入 0.9mL 小牛血清），即为 $5 \times 10^{-5}\text{M}$ 。采用2倍梯度稀释法配制，与小牛血清按照1:1比例（基础液 100uL ，加入 100uL 小牛血清），阶梯稀释15次，最低浓度为 $1.53 \times 10^{-9}\text{M}$

H. 4 各浓度荧光试剂辐亮度测量

H. 4. 1 调整激发光功率

按图 H.1 搭建组合装置，开启 785nm 激发光光源，准直垂直照射到散射板，通过光功率计在激发光光路中轴线，散射板表面的正上方，测量辐照度，调整激发光光源亮度，使得测得的辐照度为 $E_0 = 1\text{mW}/\text{cm}^2$ 。

H.4.2 获取荧光试剂浓度与辐亮度关系曲线

保持图 H.1 中调整的激发光功率以及散射板和激发光光源相对位置不变，按图 H.2 所示搭建组合装置，用移液枪取 G.3.1 中配置的试剂 200 μL ，滴入样品孔，液面高度为 2mm，在距离样品盘正上方 x-cm 处，用亮度计进行辐亮度测量，得到该溶液对应的辐亮度 I 。同样方式测得各浓度下的辐亮度 I_i ，其中 $i = 1, 2, \dots, 16$ 。整理得到各梯度浓度与辐亮度对照表 G.1。

记录激发光光谱特征，得到该光谱特征下的荧光辐亮度与 ICG 溶液关系数据表（如激发光波长 $\lambda = 785\text{nm}$ 、辐照度 $E = 1\text{mW}/\text{cm}^2$ 、环境温度），如表 H.1 所示。

表H.1 荧光辐亮度与 ICG 溶液浓度关系数据表

序号	辐亮度	浓度
1	I_1	C_1
2	I_2	C_2
...	...	...
...	...	...
16	I_{16}	C_{16}
...	...	...