



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

医用内窥镜 第5部分：3D性能

Medical endoscopic imaging system — Part 5: 3D Performance

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

草案版次选择

(本草案完成时间：)

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	6
5 试验方法	11
附录 A (规范性) 视场和视向的测定	16
附录 B (规范性) 角分辨率试验方法	18
附录 C (规范性) 综合光效的测定	20
附录 D (规范性) 单位相对畸变的测定	22
附录 E (规范性) 评价视场面形状参数典型值	24
附录 F (规范性) 亮度响应特性试验方法	25
附录 G (规范性) 信噪比试验方法	28
附录 H (规范性) 静态图像宽容度试验方法	31
附录 I (规范性) 双目色度偏差试验方法	34
附录 J (规范性) 立体准确性试验方法	37
附录 K (规范性) 双目旋转偏差试验方法	41
附录 L (规范性) 双目垂直视差试验方法	43
图 1 内窥镜工作视场模型	3
图 2 朗伯体光效示意图	4
图 3 内窥镜物-像位置关系图	5
图 F.1 亮度响应特性测试标板	25
图 I.1	34
图 I.2	35
图 J.1 棋盘格	37
图 J.2 感知空间中两种视差示意图	39
图 J.3	40
表 1 畸变一致性要求	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。

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5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 第5部分：3D性能

1 范围

本文件规定了具有三维成像功能的医用内窥镜成像系统的3D性能要求、试验方法。
本文件适用于具有三维成像功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

内窥镜成像系统 Medical Endoscope Imaging System

内窥镜成像系统是在内窥镜手术过程中能够完整实现将物方光学信号转换为图像信号，并将图像信号输出的系统。

注1：该系统通常包括完整的成像元器件，但不包括监视器。

注2：该系统不包括光源。

注3：对于电子内窥镜类型，该系统通常包括电子内窥镜和图像处理器；对于光学观察内窥镜类型，该系统通常包括内窥镜和摄像系统。

3.2

末端 distal

内窥镜上相对于使用者的距离比其他参考点远的位置。

见图1中的3

3.3

工作长度 working length

L

光学镜插入人体部分的最大长度。

3.4

光学工作距 working distance

d

被观察物体和光学镜末端之间的距离。

如图1所示

3.5

视场 field of view

通过光学镜观察到的物体视场尺度。

3.6

最大视场高度 maximum image height

h

在平面视场上以视场中心为圆心能在视场周边最远处划圆的半径。对于圆视场是圆的半径。

3.7

顶点视场角 vertex field angle

w

物体(特指一个物点)到光学镜末端中心的连线与视轴的夹角的绝对值(如图1所示),用弧度或度表示。

注:当光学镜规定为和物体接触时,视场角不适用。

3.8

最大视场角 max vertex field angle

W

顶点视场角的最大值。光学镜末端中心对物方最大视场高度的张角。

3.9

入瞳视场角 object pupil field angle

ω_p

物体(特指一个物点)到光学镜成像系统入瞳中心的主光线与视轴的夹角的绝对值,用弧度或度表示。

3.10

最大入瞳视场角 max object pupil field angle

W_p

入瞳视场角的最大值。光学镜成像系统入瞳中心对物方最大视场高度的张角。

3.11

出瞳视场角 image pupil field angle

ω'_p

光学镜成像系统出瞳中心的主光线与光轴的夹角的绝对值,用弧度或度表示。

3.12

最大出瞳视场角 max image pupil field angle

W'_p

出瞳视场角的最大值。

3.13

视轴 axis of view

光学镜入瞳中心与物方视场中心的连线。

见图1中的4

3.14

视向角 direction of view

θ

光学镜的视轴对光学镜镜体主轴所构成的夹角,单位为度($^{\circ}$)。

见图1

3.15

角分辨率 angular resolution

$r_\alpha(d)$

医用内窥镜成像系统以入瞳中心为顶点,对最小可辨等距条纹宽的空间张角的倒数,以周/度(C/°)表示。

3.16

边缘光效 relative effect of edge light Luminosity

光学镜光能传递的轴外光度量与轴上光度量比较的效果,以轴外光度量和轴上光度量之比表示。

3.17

形状参数 shape parameter

z

表征视轴对称的某球面Z视场的形状(如图1所示),公式见(1)式。

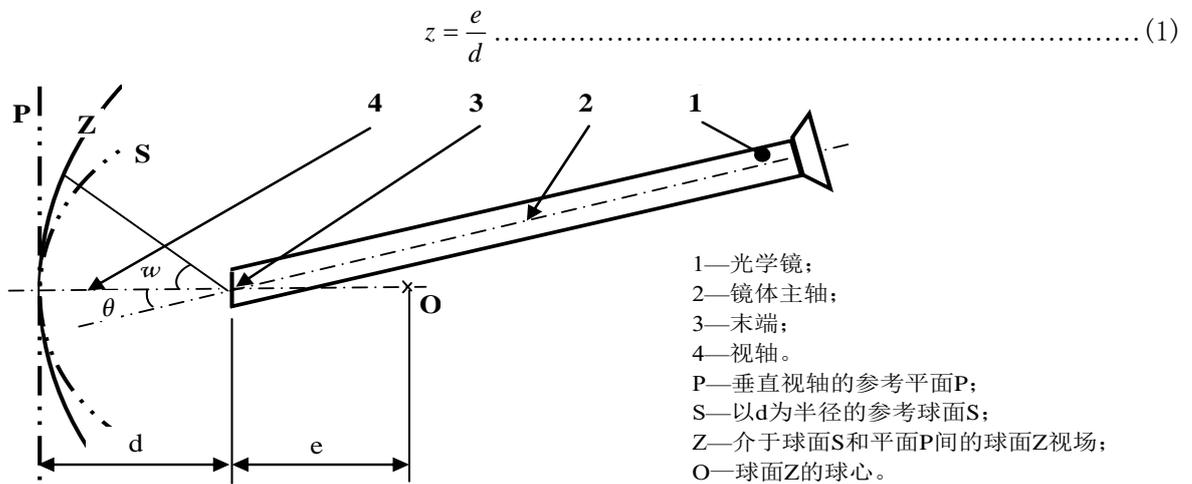


图1 内窥镜工作视场模型

3.18

朗伯体光效 relative effect of Lambert edge light Luminosity

LL_{e-z} 或 LL'_{e-z}

平面元与内球面相向辐射时,朗伯辐射体对受照体的边缘光效,如图2所示。公式见(2)式和(3)式。
光学镜末端向球面Z辐射时:

$$\begin{cases} LL_{e-z} = \left(\frac{\sin w - \sin \varepsilon}{\sin(w - \varepsilon)} \right)^2 \cos w \cdot \cos \varepsilon \\ \sin \varepsilon = \frac{z}{1+z} \sin w \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

球面Z向光学镜入瞳辐射时:

$$\begin{cases} LL'_{e-z} = \left(\frac{\sin \omega_p - \sin \vartheta}{\sin(\omega_p - \vartheta)} \right)^2 \cos \omega_p \cdot \cos \vartheta \\ \sin \vartheta = \frac{z - a/d}{1 + z} \sin \omega_p \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

注1：式中的下标z为球面Z的形状参数值。

注2：垂直视轴的平面是球面Z的一个特例。当 时表示球面Z与垂直视轴的平面重合，朗伯体光效表达式为：，或。

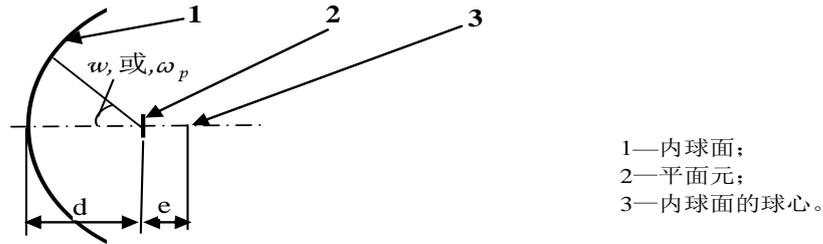


图2 朗伯体光效示意图

3. 19

照明镜体光效 relative self-effect of illumination light Luminosity

$$IL_{eR}$$

光学镜照明光路对边缘光效的贡献，以亮度作为光度量。表达式见(4)式。

$$IL_{eR} = \frac{L_w}{L_0} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

L_w —视场角 w 方向的平均亮度；

L_0 —视场中心方向的亮度。

3. 20

成像镜体光效 relative self-effect of imaging light energy

$$OL_{eR}$$

光学镜成像系统对边缘光效的贡献，以光通量透过率之比表示。表达式见(5)式。

$$OL_{eR} = \frac{\tau_{V-w_p}}{\tau_{V-0}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

τ_{V-w_p} —入瞳视场角 方向的满入瞳平均光透过率；

τ_{V-0} —视场中心方向的满入瞳光透过率。

3. 21

综合镜体光效 synthetical relative self-effect of light energy

$$SL_{eR}$$

光学镜照明光路和成像系统对边缘光效的贡献总合，计算公式见(6)式。

$$SL_{eR} = IL_{eR} \cdot OL_{eR} \dots\dots\dots (6)$$

3.22

综合边缘光效 *synthetical relative effect of edge light energy*

$$SL_{e-z}$$

在余弦漫射体球面Z同视场带位置,光学镜照明光路和成像系统综合的平均边缘光效,公式见(7)式。

$$SL_{e-z} = SL_{eR} \cdot LL_{e-z} \cdot LL'_{e-z} \dots\dots\dots (7)$$

注: 式中的下标z为球面Z的形状参数值。

3.23

单位相对畸变 *unit relative distortion*

$$V_{U-z}$$

物方球面Z视场单位元尺度()的像元径向尺度()与理论像元径向尺度()之差的相对值,其中与视场中心像元尺度相等。如果像在无限远处,单位相对畸变是像方等效的结果。公式表达见(8)式或(9)式。

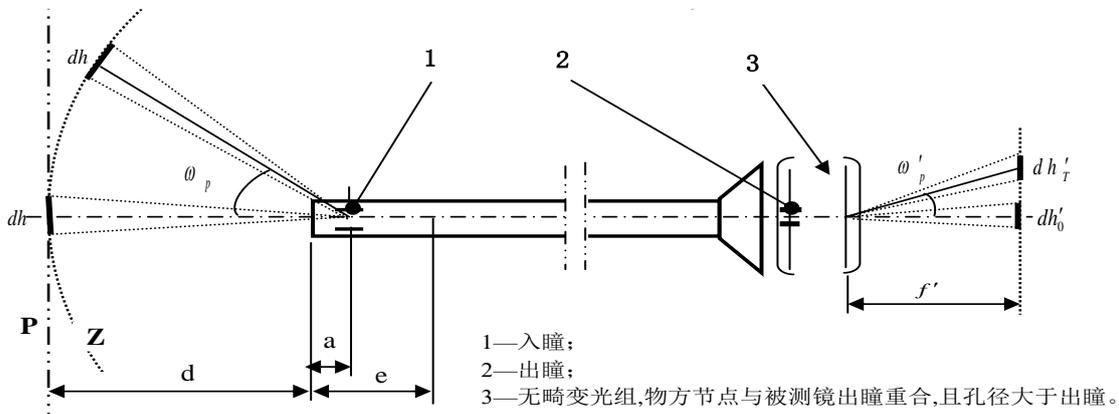


图3 内窥镜物-像位置关系图

$$V_{U-z} = \frac{dh'_T - \eta \cdot dh'_0}{\eta \cdot dh'_0} \dots\dots\dots (8)$$

或:

$$V_{U-z} = \frac{m - \eta \cdot m_0}{\eta \cdot m_0} \dots\dots\dots (9)$$

其中:

$$\left(\begin{aligned} \eta &= 2 / (1 + \beta / \sin \beta) \\ \beta &= \omega_p - \arcsin \left(\frac{z - a/d}{1 + z} \sin \omega_p \right) \end{aligned} \right) \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{和: } \left(\begin{aligned} m &= \frac{dh'_T}{dh} \\ m_0 &= \frac{dh'_0}{dh} \end{aligned} \right) \dots\dots\dots (11)$$

注1: V_{U-z} 的下标z为球面Z的形状参数值。

注2: 垂直视轴的平面是球面的一个特例。当 $z = \infty$ 时表示球面Z与平面P重合,单位相对畸变表达式为

$$V_{U-\infty} = (m - m_0) / m_0 \text{ 。}$$

注3：实际测量选用的单位元尺度应不大于视场最大尺度的8%。

3.24

转换函数 conversion function

不同变量间的转换关系。

3.25

光电转换函数 opto-electronic conversion function OECF

内窥镜成像系统物方亮度和相应的图像输出信号之间的理想关系。

3.26

电光转换函数 elec-opto conversion function EOCF

内窥镜成像系统的各通道输出图像信号和理想监视器上各通道的相应亮度之间的理想关系。

3.27

噪声 noise

电子内窥镜响应信号中内部产生的扰动。

3.28

总体噪声 total noise

固定模式噪声和随机噪声的叠加。

3.29

固定模式噪声 fixed pattern noise

面传感器单元间输出信号的差异。

3.30

随机噪声 temporally varying noise

面传感器某一单元多次曝光间输出信号的差异。

3.31

信噪比 signal-to-noise ratio

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（12）：

$$\text{SNR} = 20\lg\left(\frac{S}{N}\right) \quad (12)$$

式中：

S—输出信号；

N—噪声信号均方根值。

3.32

饱和值 saturation value

进一步增加物面亮度而输出信号保持恒定不变的输出信号值。

3.33

静态图像宽容度 static image tolerance

在单次曝光中可分辨的最大临界物面亮度和最小临界物面亮度之比。

3.34

光谱中性 spectrally neutral

对于某一波段的光保持不变的反射或透射特性。

4 要求

4.1 双目通用成像性能

4.1.1 双目视场和视向

4.1.1.1 双目视场角,

制造商应以任何可能的形式明示内窥镜成像系统左右目视场角的设计值，左右目视场角设计值允差： $\pm 15\%$ 。

4.1.1.2 双目视向角, θ

制造商在光学镜上应标注左右目视向角的名义值，左右目标称视向角允差： $\pm 10^\circ$ 。

4.1.2 像质

4.1.2.1 双目角分辨率, $r_\alpha(d)$

4.1.2.1.1 制造商在随附资料中应给出左右目视场中心角分辨率的标称值及对应的设计光学工作距 d_0 。

4.1.2.1.2 左右目视场中心角分辨率标称值允差-10%（上限不计）；

4.1.2.1.3 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，左右目平均角分辨率应分别不低于实测的左右目视场中心角分辨率的 90%。

注1：如果视场形状非圆形，测量的4个位置在对角线上。

注2：若随附资料中未指定光学工作距d，则测量可在有效景深最远端，但不超过150mm处进行。

4.1.2.2 双目有效景深范围

如果制造商声称光学镜具有景深效果，那么在随附资料中应给出左右目有效景深范围，否则，在随附资料中应声明无景深效果。

具景深效果的光学镜在该景深范围内，左右目视场中心的角分辨率应分别不低于设计光学工作距处角分辨率测量值的80%。试验应至少包括有效景深范围的最远端。

注：对于声称有效景深的最远端会超过150mm的光学镜，其景深范围最远端仅需对光学工作距150mm处考核。

4.1.3 照明

4.1.3.1 双目照明变化率

光学镜经灭菌或消毒试验后，其照明光路的光能积分透过率应保持稳定，用输出光通量衡量，光通量变化率应不大于20%。

注：本条款不适用于一次性使用的光学镜。

4.1.3.2 双目照明有效性

4.1.3.2.1 边缘均匀性

在有效景深范围内检查，照明光斑应充满视场的有效尺度，且在 w_p 的90%视场处的照度应均匀，在该视场带上选择四个正交方位测试，制造商在随附资料中应给出边缘不均匀度的标称值，该边缘不均匀度的标称值允差-10%（上限不计）。

对于标称视向角 $> 0^\circ$ 的内窥镜，测试点应包含视轴与镜体主轴构成的平面上的两点。

注：如果视场形状非圆形，测量的4个位置在对角线上。

4.1.3.2.2 照明镜体光效

制造商应在随附资料中给出在 W_p 的90%视场处的照明镜体光效 IL_{eR} 的名义值，该照明镜体光效 IL_{eR} 的标称值允差-10%（上限不计）。

4.1.4 双目综合光效

制造商在随附资料中应给出在 w_p 的90%视场处的综合镜体光效的名义值并说明其意义。该光效的测定值应不小于名义值。

制造商在设计光学工作距 d_0 处的内窥镜工作视场形状应表述为视轴对称的球面，定义为球面Z视场（见图1）。如果可能，在随附资料中应同时给出该球面Z视场的形状参数 z ，及 w_p 的90%视场处的综合边缘光效。否则，制造商应给出在评价视场面形状下的90%视场处的综合边缘光效（ SL_{e-z_E} ）的值。

注1：如果设计的工作视场形状为非球面，可采用等效球面表述。

注2：附录F给出了评价视场面的形状参数的计算方法和部分典型数据。

4.1.5 双目单位相对畸变， V_{U-z}

光学镜校正畸变的设计工作视场形状应与4.1.4条所述的工作视场形状一致，描述为球面Z视场，该球面Z视场的形状参数 z 与4.1.4条要求相同；光学工作距应与4.1.2条所述的光学工作距一致。光学镜的畸变表述，应以垂直视轴的参考平面P视场上最大视场高度的70%位置所对应的球面Z视场上的单位相对畸变（ V_{U-z} ）。

如果设计工作视场形状为4.1.4条所述的评价视场面，那么单位相对畸变用符号， V_{U-z_E} ，表述。

如果可能，制造商在随附资料中应给出左右目设计工作视场形状下单位相对畸变的控制量；否则应给出评价视场面形状下单位相对畸变的控制量。该单位相对畸变的控制量允差-10%（上限不计）。控制的残留量应符合下列的要求：

- 表述的单位相对畸变控制量为在规定的视场位置上任选四个正交方位测试的算术均值的绝对值；
- 四个正交方位测试的单位相对畸变一致性差应满足表1的规定。

注：如果视场形状非圆形，测试的4个位置在对角线上。

表1 畸变一致性要求

单位相对畸变范围	一致性差， U_V
$ V_{U-z} \leq 25\%$	$\leq 4\%$ （绝对差）
$25\% < V_{U-z} $	$\leq 16\%$ （相对差）
注：绝对差表示单位相对畸变最大值与最小值相减的结果；相对差表示单位相对畸变的绝对差与单位相对畸变均值之比的结果。	

4.1.6 双目亮度响应特性

制造商应在技术资料中给出适配监视器以相对值表示的输出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。

左右目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。

若制造商声称适配监视器的输出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。

注1：推荐适配监视器的输出亮度电光特性采用现有标准的EOCF。

注2：对于自带显示屏的电子内窥镜，所述线性度要求是指自带屏幕的亮度与实际被测标板各灰阶亮度的线性度。

4.1.7 双目信噪比

制造商在技术资料中应给出左右目的随机噪声信噪比的标称值以及对应的摄像模式（若电子内窥镜有多种摄像模式时）。

左右目信噪比的允差为：-20%，上限不计。

4.1.8 双目静态图像宽容度

制造商在随附资料中应给出左右目静态图像宽容度的标称值以及对应的摄像模式（若电子内窥镜有多种摄像模式时）。

左右目静态图像宽容度的允差为：-20%，上限不计。

4.2 3D 特有成像性能

4.2.1 双目一致性

4.2.1.1 双目视场角一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目视场角偏差。双目视场角偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.2 双目视向角一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目视向角偏差。双目视向角偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.3 双目角分辨率一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目角分辨率偏差。双目角分辨率偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.4 双目有效景深范围一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目角分辨率偏差。双目有效景深范围偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.5 双目单位相对畸变一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目单位相对畸变偏差。双目单位相对畸变偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.6 双目亮度响应特性一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目亮度响应特性偏差。双目亮度响应特性偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.7 双目信噪比一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目亮度偏差。双目亮度偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.8 静态图像宽容度一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目静态图像宽容度偏差。双目亮度偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.9 双目色度一致性

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目色度偏差。双目色度偏差的允差为：20%，下限不计。

4.2.1.10 双目中心放大倍率一致性

制造商在技术资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目中心放大倍率偏差的标称值以及对应的摄像模式（若摄像系统有多种摄像模式时）。

双目中心放大倍率偏差的允差为+20%，下限不计。

4.2.2 物方空间关系还原性

4.2.2.1 立体准确性

制造商在随附资料中应该给出医用内窥镜成像系统的xy轴和z轴放大倍率拟合曲线。

4.2.2.2 双目垂直视差

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目垂直视差。双目垂直视差的允差为：20%，下限不计。

4.2.2.3 双目旋转视差

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的双目旋转视差。双目旋转视差的允差为：20%，下限不计。

4.2.3 显示延迟

4.2.3.1 系统显示延时

制造商在随附资料中应给出医用内窥镜成像系统的系统显示延迟的标称值。显示延迟的允差为：20%，下限不计。

4.2.3.2 双目显示时差

制造商在随附资料中应给出双目显示时差的标称值，双目显示时差的允差为：20%，下限不计。

5 试验方法

5.1 成像性能的测定

5.1.1 双目视场和视向的测定

见附录A（规范性附录）。

5.1.2 像质的测定

5.1.2.1 双目角分辨率的测定

见附录B（规范性附录）。

5.1.2.2 双目有效景深的测定

在有效景深范围内选择最不利的光学工作距处试验，按附录B（规范性附录）的方法测试该光学工作距处视场中心的角分辨率。

5.1.3 照明性能的测定

5.1.3.1 设备

采用的设备如下：

- a) 制造商配合使用的光源、导光束。
- b) 光通量计、照度计或其他线性光探测器，测量重复性差不大于1%。

5.1.3.2 设备环境条件

环境条件如下：

- a) 测试环境应控制在暗照度不大于1Lx内。
- b) 光源供电源的电压应在标称电压值上保持稳定，电压稳定度应控制在±2%以内。
- c) 光源预热时间应能保证测量时光源的稳定性。

5.1.3.3 双目照明变化率试验

调节测试用光源的光强至中间值，并用光通量计或其他等效装置测量测试用光源经测试用导光束输出的光通量稳定值记为 ϕ_i 。

将制造商配合使用的光源、导光束与内窥镜成像系统连接后，测量内窥镜输出的光通量记为 ϕ_{o1} (Lm)。

用光通量计或其他等效装置测量测量余弦发光体的光通量稳定值，应在 $\phi_i \pm 1\%$ （如果波动范围超过1%，可修正）。

内窥镜按随附资料规定的灭菌或消毒方法连续重复20次灭菌或消毒试验，并清洁干燥。将余弦发光体紧贴内窥镜的光纤入口，再将制造商配合使用的光源、导光束与内窥镜成像系统连接后，测量输出的光通量记为 ϕ_{o2} (Lm)。

计算光通量变化率按(13)式：

$$\Delta \phi_{oref} = \frac{|\phi_{o1} - \phi_{o2}|}{\phi_{o1}} \dots\dots\dots (13)$$

5.1.3.4 双目照明有效性测试

将制造商配合使用的光源、导光束与内窥镜成像系统连接。用照度计或其他线性探测器测量，照度计窗口直径应不大于90%视场带直径的1/10。

测量时照度计窗口平面应与测量位置点的所选视场切面重合。

5.1.3.4.1 双目边缘均匀性

在有效景深范围内选择一个光学工作距，但不小于50mm，在该工作距的垂轴平面上确定 W_p 的90%对应的视场带，用照度计测量该视场带上任意的四个正交方位的照度值。

照度测值分别记录为 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 ，边缘不均匀度计算按(14)式：

$$U_L = \frac{\max(E_i - E_j)}{2 \sum_{i=1}^4 E_i / 4} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

i, j 可选范围为1, 2, 3, 4。

注： W_p 可用 W 替代。

5.1.3.4.2 双目照明镜体光效

照明镜体光效 IL_{eR} 的测试，可以通过在垂直视轴的平面上测量光强，也可以在以内窥镜末端中心为球心所构成的球面上测量光强。

在平面上测量的光学工作距应不小于50mm；在球面上测量的光学工作距应不小于77mm。

必须测量 W_p 的90%所划圆锥的4个均布方位的光强。如果视场形状非圆形，测量的4个位置在对角线上。

在垂轴平面上测试时，可结合边缘均匀性测试同时进行。用照度计测量视场中心照度记录为 E_0 。

计算 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 的算术平均值，及该算术平均值与视场中心照度测值之比。

计算的比值应除以朗伯体光效值（见式(3)），其中 w 为 $0.9W_p$ 交测量视场位置对应的视场角。

注： W_p 可用 W 代替。

5.1.4 双目综合光效的测定

见附录C（规范性附录）。

5.1.5 双目单位相对畸变的测定

见附录D（规范性附录）。

5.1.6 双目亮度响应特性试验方法

检查制造商提供的技术资料内容。

按照附录F中规定的方法测量电子内窥镜的亮度响应特性。

5.1.7 双目信噪比试验方法

检查制造商提供的技术资料内容。

按照附录G中规定的方法测量电子内窥镜的信噪比。

5.1.8 双目静态图像宽容度试验方法

检查制造商提供的随附资料内容。

按照附录H规定的方法测量电子内窥镜的静态图像宽容度。

5.2 3D 特有成像性能的测定

5.2.1 双目一致性

5.2.1.1 双目视场角一致性

按照5.1.1规定的视场角测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的视场角。

$$\text{双目视场角偏差} = \frac{2 * |\text{左光路视场角} - \text{右光路视场角}|}{(\text{左光路视场角} + \text{右光路视场角})}$$

5.2.1.2 双目视向角一致性

按照5.1.1规定的视向角测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的视向角。

$$\text{双目视向角偏差} = \frac{2 * |\text{左光路视向角} - \text{右光路视向角}|}{(\text{左光路视向角} + \text{右光路视向角})}$$

5.2.1.3 双目角分辨率一致性

按照5.1.2.1规定的角分辨率测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的角分辨率。

$$\text{双目角分辨率偏差} = \frac{2 * |\text{左光路分辨率} - \text{右光路分辨率}|}{(\text{左光路分辨率} + \text{右光路分辨率})}$$

5.2.1.4 双目角有效景深范围一致性

按照5.1.2.2规定的有效景深范围测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的有效景深范围。

$$\text{双目有效景深范围偏差} = \frac{2 * |\text{左光路有效景深范围} - \text{右光路有效景深范围}|}{(\text{左光路有效景深范围} + \text{右光路有效景深范围})}$$

5.2.1.5 双目单位相对畸变一致性

按照5.1.5规定的单位相对畸变测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的单位相对畸变。

$$\text{双目单位相对畸变偏差} = \frac{2 * |\text{左光路单位相对畸变} - \text{右光路单位相对畸变}|}{(\text{左光路单位相对畸变} + \text{右光路单位相对畸变})}$$

5.2.1.6 双目亮度响应特性一致性

按照5.1.6规定的亮度响应特性测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的亮度响应特性。左右光路的亮度响应曲线应基本一致。

5.2.1.7 双目信噪比一致性

按照5.1.7规定的单位相对畸变测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的信噪比。

$$\text{双目信噪比偏差} = \frac{2 * |\text{左光路信噪比} - \text{右光路信噪比}|}{(\text{左光路信噪比} + \text{右光路信噪比})}$$

5.2.1.8 静态图像宽容度一致性

制造按照5.1.8规定的静态图像宽容度测定方法分别测量内窥镜成像系统左右光路的静态图像宽容度。

$$\text{双目静态图像宽容度偏差} = \frac{2 * |\text{左光路静态图像宽容度} - \text{右光路静态图像宽容度}|}{(\text{左光路静态图像宽容度} + \text{右光路静态图像宽容度})}$$

5.2.1.9 双目色度一致性

检查制造商提供的随附资料内容。按照附录I规定的方法测量内窥镜成像系统的双目色度偏差。

5.2.1.10 双目中心放大倍率

在物平面中央放一个测微刻尺作为试验物体，物距调整为产品设计的合焦距离。

分别切换至2D模式三维内窥镜左目、右目出图，分别测量显示器上测微刻尺的长LL (X1.0)和LR(X1.0)（默认倍率）

调整电子放大倍率最小倍率（如0.5倍），重复上述操作步骤，计算最低放大倍率下双目中心放大倍率差异LD(X0.5)

调整电子放大倍率最大倍率（如2倍），重复上述操作步骤，计算最大放大倍率下双目中心放大倍率差异LD(X2.0)

双目中心放大倍率差异 $LD(X_n) = 2 * |LL(X_n) - LR(X_n)| / (LL(X_n) + LR(X_n)) \times 100\%$ 。LD(X1.0)、LD(X0.5)、LD(X2.0)的结果均应符合4.1.11的要求。

注：X_n代表电子放大n倍，如X1.0代表电子放大1.0倍。

5.2.2 物方空间关系还原性

5.2.2.1 立体准确性

检查制造商提供的随附资料内容。按照附录J规定的方法测量内窥镜成像系统的双目垂直视差。

5.2.2.2 双目垂直视差

检查制造商提供的随附资料内容。按照附录K规定的方法测量内窥镜成像系统的双目旋转视差。

5.2.2.3 双目旋转视差

检查制造商提供的随附资料内容。按照附录L规定的方法测量内窥镜成像系统的双目尺寸视差。

5.2.3 显示延迟

5.2.3.1 系统显示延时

首先检查双路图像帧率相同，然后在视场中放置一块秒表，在显示器分屏设置两路影像，使用相机对秒表及显示器上显示的两路影像同时拍摄，图像中秒表的读书为 t_0 ，显示屏左路度数 t_1 ，显示屏右路度数 t_2 ，检验同一张图片中两路影像中秒表读数求差值 $|t_1 - t_2|$ 。

5.2.3.2 双目显示时差

首先检查双路图像帧率相同，然后在视场中放置一块秒表，在显示器分屏设置两路影像，使用相机对秒表及显示器上显示的两路影像同时拍摄，图像中秒表的读数为 t_0 ，显示屏左路秒表读数 t_1 ，显示屏右路秒表读数 t_2 ，左路系统延时 $|t_0 - t_1|$ ，右路系统延时 $|t_0 - t_2|$ 。

附 录 A (规范性) 视场和视向的测定

A.1 测量准确度

视场试验方法的准确度应保证测量不确定度 $U_{95rel}=5\%$;
视向试验方法的准确度应保证测量不确定度 $U_{95}=3^\circ$ 。

A.2 视场角和视向角的测定

本附录下述测定方法适用于具有三维功能内窥镜成像系统的左右光路，也适用于具有荧光功能内窥镜成像系统的荧光图像。

A.2.1 设备

A.2.1.1 尖端测标，尖端位于测标的中心。

A.2.1.2 双环测标，测标上刻划有两个同心圆环，两同心圆环直径分别是 25mm 和 50mm。

A.2.1.3 机械运动装置，可安放内窥镜、尖端测标和双环测标，其机械运动应能满足使尖端目标的中心位置能在以内窥镜末端视场中心为中心的不同半径球面上运动，也能在相同光学工作距处的垂直视轴的平面内运动。

A.2.1.4 照明白光源，照度应不低于 500lx，其光谱特性应与被测光学镜的预期应用相适应。

A.2.2 步骤

A.2.2.1 在机械运动装置上装上尖端测标，通过装调使内窥镜末端视场中心与尖端目标的运动球面中心重合。

A.2.2.2 在机械运动装置上装上双环测标。双环测标的中心在以内窥镜末端视场中心为中心的不同半径（该半径推荐不小于 50mm）球面上运动，观察内窥镜图像，当双环测标的外圆正好与内窥镜视场重合（视场为圆形）或双环测标的外圆正好是内窥镜视场的外接圆（视场为非圆形）时，记录双环测标中心的空间位置，并记录此时双环测标中心与内窥镜末端视场中心的距离为 d_2 (mm)，由内窥镜末端视场中心和双环测标中心的连线确定为内窥镜的视轴，通过计算内窥镜机械轴线和视轴的夹角得到内窥镜的视向角。

A.2.2.3 通过机械运动装置使双环测标的中心沿视轴运动，观察内窥镜图像，

当双环测标的内圆正好与内窥镜视场重合（视场为圆形）或双环测标的内圆正好是内窥镜视场的外接圆（视场为非圆形）时，记录双环测标中心的空间位置，并记录此时双环测标中心与内窥镜末端视场中心的距离为 d_1 (mm)。

A.2.2.4 入瞳视场角 计算可按(A.1)式得到。

$$W_p = \arctan\left(\frac{12.5}{d_2 - d_1}\right) \dots\dots\dots (A.1)$$

A.2.2.5 入瞳与顶点间距 计算可按(A.2)式得到。

$$a = d_2 - 2d_1 \dots\dots\dots (A.2)$$

A. 2. 2. 6 在机械运动装置上装上尖端测标，使尖端测标的中心在距离内窥镜末端设计工作距（在机械运动装置上装上尖端测标，使尖端测标的中心在距离内窥镜末端设计工作距（设计工作距不大于 50mm）或 50mm 处、垂直于内窥镜视轴的平面内运动，观察内窥镜图像，当尖端测标的中心分别正好与内窥镜视场上、向、左、右边缘重合（视场为圆形）或内窥镜视场两对角线两端的（视场为非圆形）时，记录尖端测标中心的空间位置，通过计算内窥镜视轴、内窥镜末端视场中心与尖端测标中心连线的夹角得到内窥镜各边缘位置的视场角，再计算平均值得到内窥镜的视场角 W 。

附录 B (规范性) 角分辨率试验方法

B.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。

B.2 设备

B.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。

B.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。

B.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。

B.2.4 光源,

其光谱特性应与被测光学镜的预期应用相适应。

B.3 步骤

B.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。

输出分别调整为左右目,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。

B.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。

B.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。

B.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 C (规范性) 综合光效的测定

C.1 原理

综合镜体光效()的测定,可以通过测试照明镜体光效和测试成像镜体光效来得到。综合边缘光效()可通过综合镜体光效和朗伯体光效的计算来得到。

C.2 设备

C.2.1 内窥镜支架和光具座。

C.2.2 余弦辐射屏,屏在所要求视场位置和视场中心的亮度均匀度应不大于5%。

注:若能够对屏在所要求视场位置和视场中心的亮度进行监测并计算补偿或修正,则屏的亮度均匀度可不作规定。

C.2.3 照明光源,其光谱特性应与被测光学镜的预期应用相适应。

C.2.4 一个开有一小孔的挡板,小孔直径应不大于视场最大尺度 $2h$ 的5%,挡板的有效尺度应保证无论小孔位于屏的任何位置都能覆盖屏。

C.2.5 光通量计或其他线性光探测器,测量重复性差不大于1%。

C.3 步骤

C.3.1 测试条件

测试条件如下:

a) 测试应保证暗环境照度不大于测量值的5%。

注:若能够对环境照度进行监测并计算补偿或修正,则暗环境照度的要求可放宽。

b) 光源供电源的电压应在标称电压值上保持稳定,电压稳定度应控制在 $\pm 2\%$ 以内。

C.3.2 过程

C.3.2.1 IL_{eR} 的测定方法见 5.1.3.4。

C.3.2.2 成像镜体光效的测试,可以通过在垂直视轴的平面上测量,也可以在以内窥镜末端中心为球心所构成的球面上测量,但视场上的测量位置必须与 IL_{eR} 一致。平面上测定 OL_{eR} 步骤如下:

a) 内窥镜固定于光具座的支架上。

b) 在与测定相同的测量工作距处放置余弦辐射屏,屏面垂直视轴。

c) 在屏的反方向用光源照明。

d) 在屏的正面安放挡板,挡板应紧贴于屏前。

e) 分别设置小孔于视场中心以及对应的视场带的4个均布位置。如果视场形状非圆形,小孔的4个位置在对角线上。

内窥镜成像系统输出信号经过EOCF函数转换后得到对应4个视场位置的理想光度值,计算算术平均值。

算术平均值除以视场中心测值后再除以朗伯体光效值,其中 ω_p 为 $0.9W_p$ 。

注1:测试前应对显示屏给定视场测量位置进行暗光强预测,以修正显示屏暗光强的不一致。

注2: $0.9W_p$ 可用 W 代替。

C.4 计算

综合镜体光效按式(6)计算。

综合边缘光效按式(7)计算, 其中 w 为 $0.9W_p$ 交4.6条所述视场位置对应的视场角。

附录 D (规范性) 单位相对畸变的测定

D.1 原理

内窥镜视场边缘放大率与视场中心放大率不一致产生畸变。测量内窥镜在垂直视轴的平面视场上的单位相对畸变($V_{U-\infty}$)，通过公式转换可计算出设计工作视场形状下一视轴对称的球面Z视场--的单位相对畸变(V_{U-z})，或评价视场面上的单位相对畸变(V_{U-z_E})。换算公式见(D.1)式。

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{U-z} = \frac{V_{U-\infty} + 1}{\eta} \cdot \frac{\sin \omega_p - \sin \vartheta}{\sin(\omega_p - \vartheta)} \cdot \frac{\cos \vartheta}{\cos^2 \omega_p} - 1 \dots\dots\dots (D.1) \\ \sin \vartheta = \frac{z - a/d}{1 + z} \sin \omega_p \end{array} \right.$$

式中 η 的计算见式(1)。

D.2 设备

D.2.1 内窥镜支架、测标夹持器和光具座。

D.2.2 试验的测标，刻划有直径50mm的分划圆，在距圆心17.5mm为半径的圆周上，均布有4个黑色不透明圆斑，圆斑直径不大于4mm。

D.2.3 配导光束的冷光源，或外部照明器，其光谱特性应与被测光学镜的预期应用相适应。

D.2.4 视频摄像系统，带有物镜适配器的摄像头及监视器，物镜应无畸变。

D.2.5 测量显微镜，游标卡尺。

注：若物镜的边缘畸变均匀，可以数据修正。

D.3 步骤

D.3.1 将内窥镜安放在光具座上。

D.3.2 将测标装入测标夹持器，并使测标面垂直视轴固定于内窥镜末端前。

D.3.3 在分测标后安放漫透射屏，并用光源照明，或用冷光源通过内窥镜照明。

D.3.4 通过内窥镜观察或监视器上观察，横向和/或纵向位移调节内窥镜或测标，使测标的分划圆与视场重合。对于非圆视场，测标的分划圆应与最大视场边相切。

D.3.5 对于光学观察镜，将摄像头与内窥镜连接，物镜仔细对焦；对于非目视观察类光学镜，同样调焦（如果可能）。

D.3.6 用测量显微镜测量监视器上视场中心的圆斑像尺寸，以及周边4个圆斑像的径向尺寸并记录。

注：如果监视器上的圆斑像尺寸足够大，可以用游标卡尺测量。

D.3.7 重复E3.1~E3.6步骤三次。

D.4 计算

D. 4.1 单位相对畸变 $V_{U-\infty}$ 的单次测量值用 $V_{U-\infty,i}$ 表示 ($i=1\sim 4$)，计算式见式(10)，其中 $\eta=1$ 。

D. 4.2 球面Z视场单次测量的单位相对畸变 $V_{U-z,i}$ 计算，按式(E.1)，其中 $\omega_p = \arctan(0.7 \tan W_p)$ ；入瞳面与光学镜末端面间距 a 的计算按式(A.3)。

D. 4.3 球面Z视场的单位相对畸变计算公式见(D.2)式。

$$V_{U-z} = \frac{\sum_{i=1}^4 V_{U-z,i}}{4} \dots\dots\dots (D.2)$$

重复三次测量过程，测量结果取算术均值，用 \bar{V}_{U-z} 表示。

D. 4.4 单位相对畸变一致性差计算公式见(E.3)式或(E.4)式：

$$\text{相对值时： } U_{Vrel} = \max \left| \frac{V_{U-z,i} - V_{U-z,j}}{2V_{U-z}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (D.3)$$

$$\text{绝对值时： } U_V = \max |V_{U-z,i} - V_{U-z,j}| / 2 \dots\dots\dots (D.4)$$

最终结果以三次测量的一致性差的算术均值表示。

附 录 E
(规范性)
评价视场面形状参数典型值

E.1 评价视场面的形状参数计算

评价视场面的形状参数 z_E 可解 (E.1) 式的方程得到。

$$\begin{cases} \frac{\cos^3(0.9W)}{\cos^2\varepsilon} = \left(\frac{\sin(0.9W) - \sin\varepsilon}{\sin(0.9W - \varepsilon)} \right)^4 \\ \sin\varepsilon = \frac{z_E}{z_E + 1} \sin(0.9W) \end{cases} \dots\dots\dots (E.1)$$

E.2 评价视场面形状参数典型值数据见表 F.1。

表 F.1 评价视场面形状参数 z_E 典型值

视场角, $2W$ ($^\circ$)	形状参数, z_E
30	1.41854
35	1.43011
40	1.44369
45	1.45940
50	1.47735
55	1.49770
60	1.52062
65	1.54634
70	1.57509
75	1.60716
80	1.64289
85	1.68270
90	1.72706
95	1.77653
100	1.83182
105	1.89375
110	1.96335

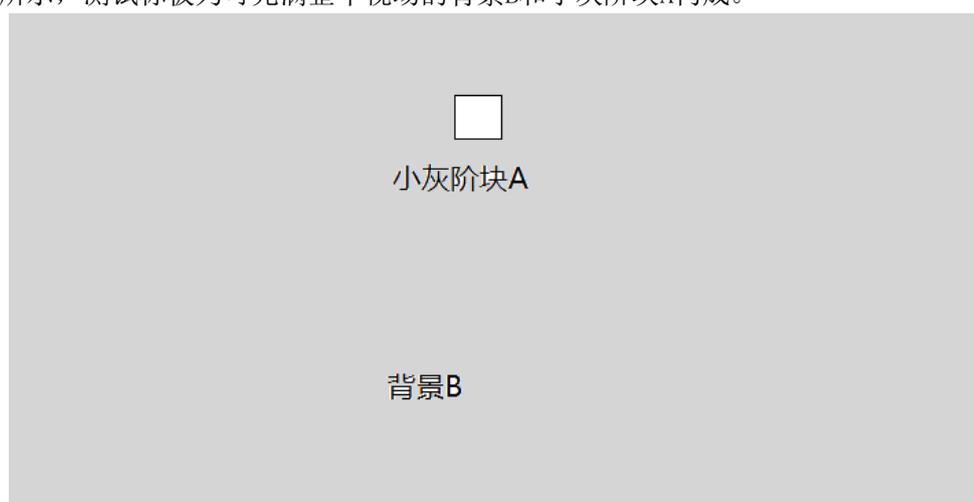
其它值用内插法计算。

附录 F (规范性) 亮度响应特性试验方法

F.1 设备

F.1.1 测试标板

如图A.1所示，测试标板为可充满整个视场的背景B和小灰阶块A构成。



图F.1 亮度响应特性测试标板

小灰阶块A为亮度可独立变化的照明体，照明体亮度变化范围应足以覆盖被测电子内窥镜的静态图像宽容度，且其最小亮度应远低于被测电子内窥镜的暗区截止临界亮度值。该灰阶块A的面积以及位置设置应能保证在其亮度调节过程中不改变被测电子内窥镜包括电子快门在内的整体增益。小灰阶块A的空间亮度均匀度应不超过2%。小灰阶块A的照明光源A应采用制造商配用的光源照明，若不采用制造商配用的光源照明，则试验光源的色温允差 $\pm 10\%$ 、色坐标允差 ± 0.1 ，且在影响测量的时间间隔内亮度时间波动度应不超过 $3.24 \times 10^{-SNR_{temp}/20}$ （其中 SNR_{temp} 为被测电子内窥镜的随机信噪比），并在测试报告中申明。

背景B为光谱中性普通白光发光体。其中，背景B照明的空间均匀度应不超过20%。背景B的光谱分布与制造商配用的白光光源色温允差 $\pm 10\%$ 。背景B的亮度需可测量。

背景B的实现方式举例：可使用LED光源进行拟合得到。

F.1.2 亮度计或其他等效探测器

要求能够精确测量亮度，测量精度不低于1级。

F.1.3 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。

F.2 步骤

F.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 11x 。

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。

F.2.2 测试过程

F.2.2.1 白平衡

对于具有白平衡功能的电子内窥镜，使用A.1.1测试标板在测试条件下进行白平衡。

F.2.2.2 电子内窥镜的取景

调整拍摄距离至需要的位置，记为测量工作距 d_0 。

F.2.2.3 对焦

若电子内窥镜具有自动对焦功能，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。

F.2.2.4 设置测试标板上背景B的亮度

调节测试标板上背景B的亮度，以达到制造商规定的亮度值 L_0 ，在小灰阶块A的整个亮度变化过程中，背景B的亮度应使被测电子内窥镜的整体增益保持不变。

F.2.2.5 改变测试标板上小灰阶块A的亮度及采集分析图像

逐渐改变测试标板上小灰阶块A的亮度，在宽容度范围内选择基本均布的不少于10个的不同亮度水平。对应每个亮度水平，测量该亮度值，记录为 L_i ，并用电子内窥镜拍摄测试标板，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，在小灰阶块A区域选取 $(M \times N)$ 个像素（推荐 32×32 ），分别读取每幅图像中红、绿、蓝各通道的对应输出信号 $(M \times N \times 3)$ 矩阵的输出信号。

对某亮度水平 L_i ，红、绿、蓝各通道信号平均值 \bar{R}_i 、 \bar{G}_i 、 \bar{B}_i 分别由 $(M \times N \times n)$ 个像素的R、G、B值的算术平均计算得到。

F.2.2.6 计算显示亮度值以及拟合度

对所获得的 L_i 对应 \bar{R}_i 、 \bar{G}_i 、 \bar{B}_i 数据组，采用制造商给出的输出信号电光转换函数（EOCF）计算显示亮度值 L_{y_i} （ y_i 分别代表 \bar{R}_i 、 \bar{G}_i 、 \bar{B}_i ）。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。 L_{y_i} 对应实际被测标板各灰阶亮度 L_i 的结果应以表格和/或图形的形式来表述。

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

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

式中：

m—灰阶数；

\bar{L} — L_i 的平均值；

\bar{L}_y — L_{y_i} 的平均值；

红、绿、蓝通道应分别计算。

F.3 结果表述

试验报告应包括以下信息：

- a) 被测电子内窥镜型号和编号；
- b) 摄像模式；

注：适用于可采用多种摄像模式的电子内窥镜。
- c) 若试验光源为非制造商配用光源，声明光源特性；
- d) 测试标板背景B的亮度 L_0 ；
- e) 测量工作距 d_0 ；
- f) 制造商给出的输出亮度电光转换函数或数据列表；
- g) 亮度响应特性线图。
- h) $L-L_y$ 的线性拟合度 R^2 。

附 录 G
(规范性)
信噪比试验方法

G.1 设备

G.1.1 测试标板

同F.1.1

G.1.2 光源

同F.1.2。

G.1.3 图像采集器

同F.1.4。

G.2 步骤

G.2.1 测试条件

同F.2.1。

G.2.2 测试过程

G.2.2.1 白平衡

同F.2.2.1。

G.2.2.2 电子内窥镜的取景

同F.2.2.2。

G.2.2.3 对焦

同F.2.2.3。

G.2.2.4 设置测试标板上背景 B 的亮度

同F.2.2.4。

G.2.2.5 改变测试标板上小灰阶块 A 的亮度及采集分析图像

逐渐改变测试标板上小灰阶块A的亮度，在宽容度范围内选择基本均布的不少于10个的不同亮度水平。对应每个亮度水平，电子内窥镜拍摄测试标板，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，在小灰阶块A区域选取(M×N)个像素(推荐32×32)，分别读取每幅图像中红、绿、蓝各通道的对应输出信号(M×N×3)矩阵的输出信号。

G.2.2.6 根据红、绿和蓝各通道输出信号值，计算亮度信号分量。

对某亮度水平，平均亮度信号分量 \bar{Y} 由 $(M \times N \times n)$ 个像素的 Y 值算术平均计算得到， Y 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。

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

$$Y = 0.2125R + 0.7154G + 0.0721B \quad (G. 1)$$

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。

G. 2. 2. 7 计算噪声（以标准差表示）

根据B. 2. 2. 6条得出的 Y 值，计算色差通道 $(R-Y)$ 和 $(B-Y)$ 的输出信号值。

噪声可以根据亮度分量标准差 $\sigma(Y)$ 、色差通道标差 $\sigma(R-Y)$ 和 $\sigma(B-Y)$ 按照式(G. 2)进行计算。

$$\sigma(D) = [\sigma(Y)^2 + 0.279\sigma(R-Y)^2 + 0.088\sigma(B-Y)^2]^{1/2} \quad (G. 2)$$

式中：

$\sigma(Y)$ —亮度信号分量 Y 的标准差；

$\sigma(R-Y)$ —缺红亮度通道标准差；

$\sigma(B-Y)$ —缺蓝亮度通道标准差。

式(B. 2)中标准差的计算遵从以下过程：

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，按式(G.3)计算该坐标位置上 n 幅的信号输出平均值。

$$\bar{P}_{(x,y)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n P_{k,(x,y)} \quad (G. 3)$$

按式(G.4)计算该坐标位置上 n 幅的信号输出标准差记为 $\sigma_{(x,y)}$ 。

$$\sigma_{(x,y)} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n [P_{k,(x,y)} - \bar{P}_{(x,y)}]^2}{n-1}} \quad (G. 4)$$

按式(G.5)计算在 $M \times N$ 区域内随机噪声的平均值记为 σ_{temp} 。

$$\sigma_{temp} = \frac{\sqrt{\sum \sigma_{(x,y)}^2}}{\sqrt{M \times N}} \quad (G. 5)$$

G. 2. 2. 8 计算不同亮度水平（不同灰阶）的信噪比，并绘制信噪比曲线

根据电子内窥镜拍摄到的不同亮度水平（不同灰阶）的亮度信号分量 \bar{Y} 和噪声值，计算不同亮度水平（不同灰阶）的随机噪声信噪比，并绘制对应的信噪比曲线，纵坐标为信噪比，横坐标为亮度信号分量 \bar{Y} 值。

G.2.2.9 确定电子内窥镜的信噪比。

在信噪比曲线上找到归一化后亮度信号分量 \bar{Y} 值为0.707的信噪比。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，来获取信噪比的估计值。

G.3 结果表述

试验报告应包括以下信息：

- c) 被测电子内窥镜型号和编号；
- d) 摄像模式；

注：适用于可采用多种摄像模式的电子内窥镜。

- e) 若试验光源为非制造商配用光源，声明光源特性；
- f) 测试标板背景 B 的亮度 L_0 ；
- g) 测量工作距 d_0 ；
- h) 信噪比线图；
- i) 信噪比值。

附录 H
(规范性)
静态图像宽容度试验方法

H.1 设备

H.1.1 测试标板

同F.1.1。

H.1.2 光源

同F.1.2。

H.1.3 亮度计

同F.1.3。

H.1.4 图像采集器

同F.1.4。

H.2 步骤

H.2.1 测试条件

同F.2.1。

H.2.2 测试过程

H.2.2.1 白平衡

同F.2.2.1。

H.2.2.2 电子内窥镜的取景

同F.2.2.2。

H.2.2.3 对焦

同F.2.2.3。

H.2.2.4 设置测试标板上背景 B 的亮度

同F.2.2.4。

H.2.2.5 改变测试标板上小灰阶块 A 的亮度及采集分析图像

测试标板上小灰阶块A的亮度水平变化范围应超过宽容度范围，并且至少5个亮度水平低于被测电子内窥镜暗区截止临界亮度值，在暗区截止临界和亮区饱和临界的亮度附近，相邻亮度水平的比值应不大于1.1倍。

逐渐改变测试标板上小灰阶块A的亮度。对于每个选择的亮度水平，测量并记录亮度值为 L_i ，用电子内窥镜拍摄对应亮度的测试标板，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，在小灰阶块A区域选取 $(M \times N)$ 个像素（推荐 32×32 ），分别读取每幅图像中红、绿、蓝各通道的对应输出信号 $(M \times N \times 3)$ 矩阵的输出信号。

H. 2. 2. 6 根据红、绿和蓝各通道输出信号值，计算亮度信号分量。

同B. 2. 2. 6。

H. 2. 2. 7 绘制亮度及其对应的亮度信号输出值曲线

根据D. 2. 2. 5和D. 2. 2. 6步骤中获得的 L_i 和 \bar{V}_i ，绘制亮度及其对应的亮度信号分量的曲线。

H. 2. 2. 8 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 \bar{V}_i 接近饱和值时的临界亮度值 L_{sat} 。

注：任一通道到达饱和即为饱和。

H. 2. 2. 9 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 \bar{V}_i 开始截止时的临界亮度值 L_{min} 。

截止状态的判定：以D. 2. 2. 5中获得的5组较低亮度水平对应的亮度信号分量 \bar{V}_i 的平均值加上2倍按B. 2. 2. 7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} 。

H. 2. 2. 10 计算静态图像宽容度

宽容度 D_R 是根据以下公式确定的：

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

式中：

L_{sat} —饱和临界值，

L_{min} —截止临界值。

H. 3 试验报告

试验报告应包括以下信息：

- 被测电子内窥镜型号和编号；
- 若试验光源为非制造商配用光源，声明光源特性；
- 摄像模式；

注：适用于可采用多种摄像模式的电子内窥镜。

- d) 测试标板上背景 B 的亮度 L_0 ;
- e) 测量工作距 d_0 ;
- f) 饱和临界值 L_{sat} 和截止临界值 L_{min} ;
- g) 静态图像宽容度。

附 录 I
(规范性)
双目色度偏差试验方法

1.1 设备

1.1.1 背景板

采用有均匀反射率的中性灰面板作为背景板，背景板的反射率为 18%。

1.1.2 测试卡

采用标准 24 色卡，24 色卡尺寸小于背景板尺寸，色卡尺寸基本相当于背景板尺寸的 1/4。测试时 24 色卡固定到背景板中间。



图 I.1

照明光源应使得在成像区域内照明均匀，任意位置与平均值的最大偏差不能超过平均值的 2%。

试验照明光源采用光谱分布曲线形状与 D65 标准照明体的光谱分布曲线形状相似，色温允差 $\pm 10\%$ 的光源。

对于制造商给出光源要求的试验光源，该光源的光谱分布曲线形状须与制造商规定的光谱分布曲线形状相似，色温允差 $\pm 10\%$ 。

1.1.3 光路布局

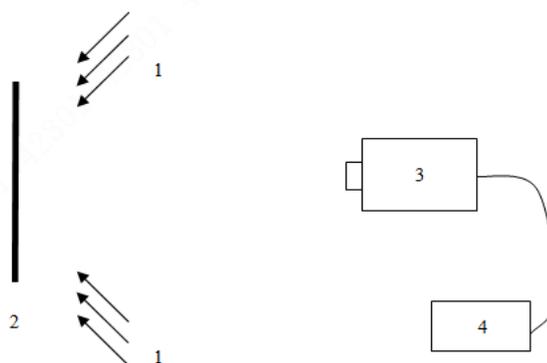


图 I. 2

- 1—光源
- 2—图 E.1 所示测试卡和背景板
- 3—摄像系统
- 4—图像采集卡

1.2 步骤

1.2.1 测试条件

测试环境的温度应是 ISO 554 标准中规定的 $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$ ，相对湿度应是 $(50 \pm 20)\%$ 。

测试环境的暗照度不大于 1lx 。

1.2.2 测试过程

1.2.2.1 白平衡

同 A.2.2.1。

1.2.2.2 摄像系统取景

调整拍摄位置和拍摄距离，使 24 色卡居中，且色卡占成像区域的大小在 80% 以上，色卡区域要全部成像。摄像主机和显示器上设置为 2D 显示模式，可以选择显示左眼或右眼。

1.2.2.3 采集图像

摄像系统拍摄测试标板，用图像采集卡采集左眼和右眼两张图像并保存。

1.2.2.4 计算色块的色相分量 H

对于采集的图像，在色卡的 1-18 色的每个色块中各自选取 $M \times N$ 个像素，并计算每个色块中 $M \times N$ 个像素的颜色均值 R、G、B。根据公式 (I.1) 计算出每个色块的色相值 H。

$$H = \begin{cases} 0^\circ, & \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\max - \min} + 0^\circ, & \max = R \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{\max - \min} + 120^\circ, & \max = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{\max - \min} + 240^\circ, & \max = B \end{cases} \quad (1.1)$$

其中 $\max = \max(R, G, B)$, $\min = \min(R, G, B)$ 。

1.2.2.5 计算双目色度偏差

根据上述过程中计算出的双目的每个色块的色相值 H_L 和 H_R ，可以计算出双目的对应色块的色度差值 H_{diff} ($\leq 180^\circ$)，接着可以计算出所有色块的色度偏差均值 H_{avg_diff} 。

根据左右眼图像的平均亮度值，计算双目亮度偏差（以百分比表示）：

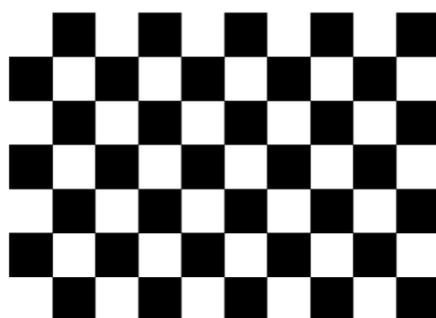
$$Y_{diff} = 100 * \frac{(\max(Y_L, Y_R) - \min(Y_L, Y_R))}{\max(Y_L, Y_R)} \quad (1.2)$$

附录 J
(规范性)
立体准确性试验方法

J.1 设备

J.1.1 测试卡

如图 J1 所示，测试卡为棋盘格卡（10*7）。棋盘格卡尺寸小于背景板尺寸，最近拍摄距离处棋盘格卡全部区域要在采集图像中成像。测试时棋盘格卡固定到 DNP 均匀光源中间。



图J.1 棋盘格

为了保证在最近拍摄距离 $n1$ 处棋盘格卡全部区域在采集图像中成像，垂直方向占 70%左右的视场，根据设备的视场角 θ ，获取棋盘格的最大规格，其中棋盘格中小块的高度参数最大值为（单位 mm）：

$$h = \frac{9 * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * n1 * 0.7}{7 * \sqrt{16^2 + 9^2}}$$

J.1.2 光源

DNP 均匀照明光源，应使得在成像区域内照明均匀，任意位置与平均值的最大偏差不能超过平均值的 2%；

光源亮度保持 $360 \pm 10\% \text{cd/m}^2$ 。

J.1.3 光路布局

同 A.1.3。

3. 按照上述方法，求取不同工作距下的水平视差 $[num_1, \dots, num_n]$ 和棋盘格块的大小 $[size_1, \dots, size_n]$ 。

J. 2. 2. 4. 2 计算不同工作距下显示器端水平视差（单位毫米）

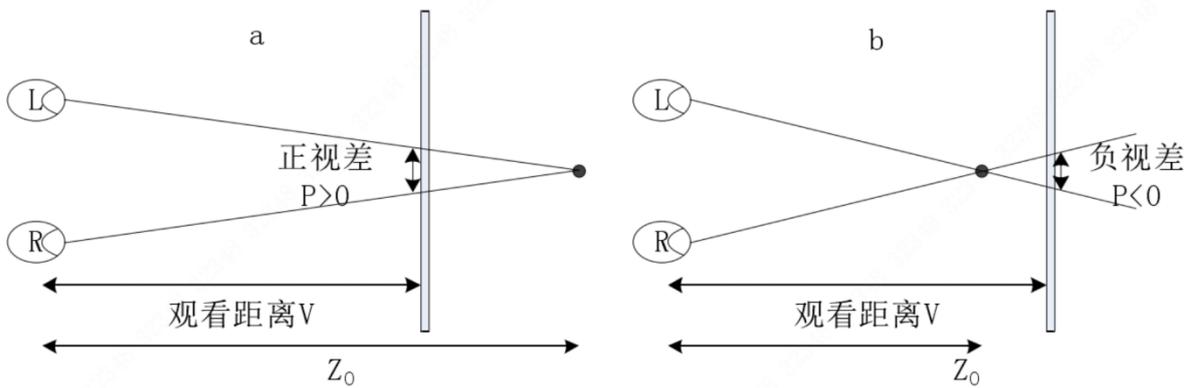
获取摄像主机的分辨率 H_1 、显示器的分辨率 H 、显示器像素的大小 s_{pixel} （单位毫米），根据公式（J. 2）获取不同视差在显示器上的距离 P_i ：

$$P_i = \frac{H}{H_1} * num_i * s_{pixel} \dots \dots \dots (J.3)$$

J. 2. 2. 4. 3 获取不同拍摄距离下感知深度

根据人眼感知模型，获取不同拍摄距离下的感知深度。

人眼感知模型如下图J2：



图J. 2 感知空间中两种视差示意图

其中，L、R是人的左右眼，观看者双眼连线到显示器之间的距离 V ，这里假设观看者的位于显示器的正中间， P_i 是不同视差在显示器上的距离， Z_i 是最终感知的深度信息。

正视差的感知深度信息计算公式为(J. 4)，负视差的感知深度计算公式为(J. 5)：

$$Z_i = V + \frac{P_i * V}{t - P_i} \dots \dots \dots (J.4)$$

$$Z_i = V - \frac{|P_i| * V}{t + |P_i|} \dots \dots \dots (J.5)$$

其中， t 是双目瞳距。

J. 2. 2. 4. 4 2. 2. 4. 4 计算不同拍摄距离下的显示棋盘格大小

$$S_i = \frac{H}{H_1} * size_i * s_{pixel} \dots \dots \dots (J. 6)$$

xy轴放大倍数为:

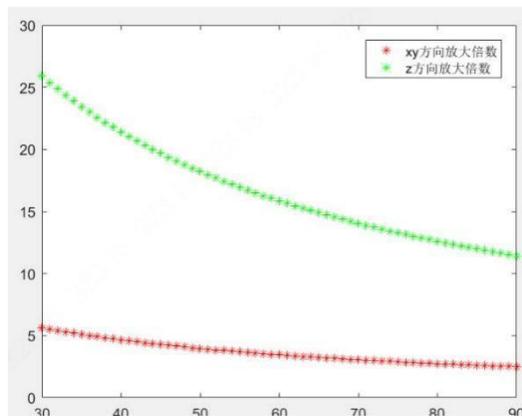
$$ratio_{xy} = \frac{S_i}{s} \dots\dots\dots (J.7)$$

其中, s 为棋盘格大小。

z轴的放大倍数为:

$$ratio_z = \frac{Z_i}{n_i} \dots\dots\dots (J.8)$$

画出xy和z轴的放大倍数曲线, 其中横坐标是拍摄物距, 纵向为各为xy和z轴的放大倍数。



图J. 3

附 录 K
(规范性)
双目旋转偏差试验方法

对于旋转偏差，立体图像中尽量避免出现，旋转偏差过大会给立体图像的观察者造成很大的不舒适感。

K.1 设备

K.1.1 背景板

同 J.1.1。

K.1.2 测试卡

同 J.1.2。

K.1.3 光源

同 J.1.3。

K.1.4 光路布局

同 J.1.4。

K.2 步骤

K.2.1 测试条件

同 J.2.1。

K.2.2 测试过程

K.2.2.1 白平衡

同 J.2.2.1。

K.2.2.2 摄像系统取景

同 J.2.2.2。

K.2.2.3 采集图像

同 J.2.2.3。

K.2.2.4 计算双目旋转偏差

1. 立体视觉中，从世界坐标系到像素坐标系的整个过程如公式 K1：

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{K1})$$

其中， $\begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ 是摄像机的内参， $\begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 是外参。

2. 通过张正友标定方法求解内参、外参和畸变系数。

3. 外参矩阵中的旋转矩阵 R ， R x 、 y 、 z 三个方向旋转矩阵的集成，知道三个方向的旋转组合顺序，就可获取每个方向的旋转角度偏差。

附 录 L
(规范性)
双目垂直视差试验方法

对于垂直视差，立体图像中尽量避免出现，垂直视差过大会给立体图像的观察者造成很大的不舒适感。

L.1 设备

L.1.1 测试卡

同 J.1.1。

L.1.2 光源

同 J.1.2

L.1.3 光路布局

同 J.1.3

L.2 步骤

L.2.1 测试条件

同 J.2.1。

L.2.2 测试过程

L.2.2.1 白平衡

同 J.2.1。

L.2.2.2 摄像系统取景

调整拍摄位置和拍摄距离，使棋盘格卡居中、成像清晰，棋盘格卡区域要全部成像，且不要超过视场的 70%。摄像主机和显示器上设置为 3D 显示模式。

L.2.2.3 采集图像

摄像系统棋盘格卡，用图像采集卡采集左眼和右眼两张图像为一组并保存。

L.2.2.4 计算双目垂直视差

对于采集的图像，计算双目垂直视差步骤如下：

1) 棋盘格角点检测：采用 Harris、Shi-Tomasi 或 FAST 角点检测算法进行左右图像角点位置的获取，得到左右图各个角点的坐标 (x_{ij}^l, y_{ij}^l) 、 (x_{ij}^r, y_{ij}^r) ；

2) 左、右图对应行角点位置的纵坐标进行相减求绝对值，最终进行均值处理，获取相应的垂直视差，如式 (L.1)。

$$V = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |y_{ij}^l - y_{ij}^r| \right) / (m * n) \dots\dots\dots (L.1)$$

式中， V 为垂直视差的均值， m 和 n 分别为棋盘格的行数以及每行包含的角点数， y_{ij}^l 为左图第 i 行 j 个角点的 y 坐标，同理 y_{ij}^r 为右图第 i 行 j 个角点的 y 坐标。

$$\text{ratio} = \frac{V}{H} \times 100\% \dots\dots\dots (L.2)$$

其中， H 为像高。

