

团 体 标 准

T/ISC XXX—XXXX

近眼显示终端光学显示性能测试方法

The Measurement Method of the Optical Performances of Near Eye Display
Devices

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利与支持性文件一并附上。

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中 国 互 联 网 协 会 发 布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 错误！未定义书签。

2 规范性引用文件 错误！未定义书签。

3 术语和定义 错误！未定义书签。

4 符号和缩略语 错误！未定义书签。

5 XXXX 错误！未定义书签。

 5.1 XXXX 错误！未定义书签。

附录 A （规范性） XXXX 错误！未定义书签。

 A.1 XXXX 错误！未定义书签。

 A.1.1 XXXX 错误！未定义书签。

附录 B （资料性） XXXX 错误！未定义书签。

 B.1 XXXX 错误！未定义书签。

 B.1.1 XXXX 错误！未定义书签。

参考文献 错误！未定义书签。

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。

本文件是T/CIITA x《……》第i部分。T/CIITA x已经发布了以下部分：

——第1部分：……；

——……；

——第n部分：……。

本文件替代T/CIITA x. i《……》，与T/CIITA x. i相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a)

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。

本文件由中国互联网协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——

引 言

近眼显示终端光学显示性能测试方法

1 范围

本文件规定了近眼显示的术语定义、光学显示性能测试方法。

本文件适用于指导近眼显示设备的光学性能检测。

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 38259-2019 信息技术 虚拟现实头戴式显示设备通用规范

IEC TR 63145-1-1：2018 眼戴显示第 1-1 部分：通用介绍（Eyewear display Part 1-1: Generic introduction）

IEC 63145-20-10:2019 基础测量方法-光学特性（Fundamental measurement methods - Optical properties）

IEC 63145-20-20:2019 基础测量方法-图像质量（Fundamental measurement methods - Image quality）

ISO/CIE 11664-1：2019 色度学 第 1 部分：CIE 标准色度观察者（Colorimetry - Part1: CIE standard colorimetric observers）

IEC 63145-22-10:2020 眼戴显示 第22-10 部分：AR 型的测量方法-光学特性（Eyewear display-Part 22-10:Specific measurement method for AR type - Optical properties）

3 术语和定义

下列术语以及定义适用于本文件。

3.1 光学测量装置入瞳

孔径光阑对光学测量装置前方光学系统在物方的光学成像。

注：如果在孔径光阑前面没有镜片，入瞳的位置为孔径光阑的位置，入瞳的大小为孔径光阑的大小。

【来源：IEC 63145-20-10:2019，定义 3.1.1】

3.2 眼点

可以获得眼戴显示最优显示性能时，佩戴者眼睛的入瞳所在的位置。

注 1：一般情况下，眼点位置应由眼镜制造商或者供应商指定；如果制造商或供应商未指定眼点位置，则参考附录 A 的方法确定眼点位置。

注 2：眼点通常作为光学测量的原点位置；除特殊指定外，眼点的位置位于眼戴显示出瞳的中心。

【改写 IEC 63145-20-10:2019，定义 3.1.3】

3.3 眼盒

佩戴者无需头部移动或者其他的调整（眼睛的自然转动除外）便足以看到 DUT 所显示的整个虚拟

图像时，佩戴者眼睛所在的三维空间。

注 1：“足以看到”是指显示图像必须满足产品指标说明中所有指标要求。

注 2：本标准中采用眼盒宽度 W_{BOX} 、眼盒高度 H_{BOX} 评价眼盒大小。

【改写 IEC 63145-20-10:2019，定义 3.1.2】

3.4 瞳距

眼戴显示的左眼虚像光学系统和右眼虚像光学系统的眼盒中心的距离。

注：仅适用于双目视觉近眼显示设备。

3.5 适眼距

眼睛角膜最凸出位置到最近的 DUT 光学表面之间的距离。

注：对于光轴与光学平面带倾角的眼戴显示设备，适眼距为沿光轴方向 DUT 的结构最外侧（靠近人眼一侧）与角膜之间的距离。

【改写 IEC 63145-20-10:2019，定义 3.1.4】

3.6 视场角

从近眼显示设备的人眼位置观察到的虚像有效区域所对应的角区域。

注 1：视场角包括水平视场角 A_h 、垂直视场角 A_v 、对角线视场角 A_d 。

注 2：一般情况下，虚像的有效区域为人眼可观察到的图像边缘所包围的图像区域。

3.7 畸变

成像过程中所产生的图像像元的几何位置相对于参照系统发生的挤压、伸展、偏移和扭曲等，使图像的几何位置、尺寸、形状、方位等发生的改变。

【来源：GB/T 38259-2019，定义 3.11】

3.8 调制对比度

相间黑白线的亮度变化值。

注：调制对比度，也被称作 Michelson Contrast，或 Contrast Modulation，本标准中采用调制对比度进行描述。

3.9 鬼像

由于近眼显示设备光学系统内部光路多次反射等原因，在眼戴显示目标呈现图像周围产生的重影或虚影现象。在光学领域，尤其在 AR 光波导、Pancake 光学系统、镜头系统中，该现象通常称为 ghost image，本标准采用“鬼像”作为对应术语。

注：鬼像采用鬼像区域目标区域的能量比值 R_{ghost} 来表征， R_{ghost} 数值越大，表示鬼像能量与目标显示图像的比值越大，对近眼显示设备的光学显示效果的负影响越大。

3.10 虚像距离

沿 DUT 光轴方向，虚像光学系统的眼点位置与虚像平面之间的距离。

3.11 双目合像精度

表征左眼虚像光学系统与右眼虚像光学系统图像融合的品质；本标准中用水平会聚角 φ_x 、垂直发散角 θ_y 、相对像旋转角 θ_z 三个参数来表征。

注：双目合像精度仅适用于双目视觉近眼显示设备。

3.12 角分辨率

在用户视野中，沿某一方向，每个单位角度内能够看到的显示设备所输出像素的数量。

【来源：GB/T 38259-2019，定义 3.1】

3.13 双目差异

针对双目视觉的近眼显示设备，左右目在眼盒、视场角、调制对比度、虚像距离维度的数值差异。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

NED 近眼显示 (Near Eye Display)

LMD 光学测量装置 (Light Measurement Device)

DUT 待测设备 (Device Under Test)

FOV 视场角 (Field of View)

PPD 角分辨率 (Pixels Per Degree)

CPD 角频率 (Cycles Per Degree)

WBOX 眼盒宽度 (Width of Eye-box)

HBOX 眼盒高度 (Height of Eye-box)

CR 对比度 (Contrast Ratio)

NU 亮度非均匀性 (Non-Uniformity, Brightness Non-Uniformity)

5 光学显示性能要求

5.1 适眼距

适眼距对于光学测量安装定位有重要意义。一般情况下，适眼距应由制造商或销售商标称对于特殊情况无法提供适眼距的情况，按照附录A 中章节A.1 确定适眼距。

5.2 眼盒

近眼显示设备的眼盒大小应由制造商或销售商标称，且实测值应不低于标称值的 90%。

5.3 瞳距

近眼显示设备的瞳距应由制造商或销售商标称；如果近眼显示设备的瞳距为可调节瞳距，应说明瞳距的可调节范围。瞳距或瞳距调节范围的实测值与标称值的偏差不应超过 10%。当标称值为区间范围时，应分别对区间上下限进行比较，实测值应满足标称范围要求。

注：本标准中，当标称值为单一数值时，偏差定义为： $偏差 = \left| \frac{实测值 - 标称值}{标称值} \right|$ 。当标称值为范围值时，分别计算实测值与标称范围上下限的符合情况。

5.4 视场角

近眼显示设备的视场角应由制造商或销售商标称，且实测值不应低于标称值的 95%。

5.5 虚像距离

近眼显示设备的虚像距离应由制造商或销售商标称，定义屈光度 (Dioptre) 为以米为单位的虚像距离的倒数，对应光焦度差值不超过 0.1。

5.6 亮度

近眼显示设备的亮度应由制造商或者销售商标称，且实测值不应低于标称值的 95%。

5.7 色域覆盖率

近眼显示设备的色域覆盖率应由制造商或者销售商标称，且测试值与标称值之间的差值不应超过 5%。

注：本标准中，差值定义为： $\text{差值} = |\text{实测值} - \text{标称值}|$ 。

6 测试方法

6.1 测试条件

6.1.1 测试环境

光学性能测试环境应为暗室，测试环境温度应保持在 22℃-28℃，相对湿度应保持在 25%-70%的范围内，气压应保持在 86kPa-106kPa 的范围内。

6.1.2 预热稳定

如无特殊说明，近眼显示设备的所有测试均应当在 DUT 的光输出达到稳定后进行。当 5 分钟内 DUT 的亮度输出变化在 3%以内时，认为 DUT 达到稳定。如果 DUT 的亮度输出变化超出 3%，应当在测试报告中说明。

6.1.3 电源

为确保 DUT 的性能稳定，DUT 的驱动电源应当调至 DUT 的标称供电参数。如测试过程中 DUT 为电池供电，则应确保测试过程中电量不少于满量程的 50%。

6.2 测量设备

近眼显示设备的光学测试平台由六轴运动平台搭载光学测量装置构成。光学测量装置安装在六轴运动平台的末端，并通过六轴运动平台实现光学测量装置的三轴（具体为 XYZ 轴）平移和绕三轴的旋转，如图 6.2 所示。

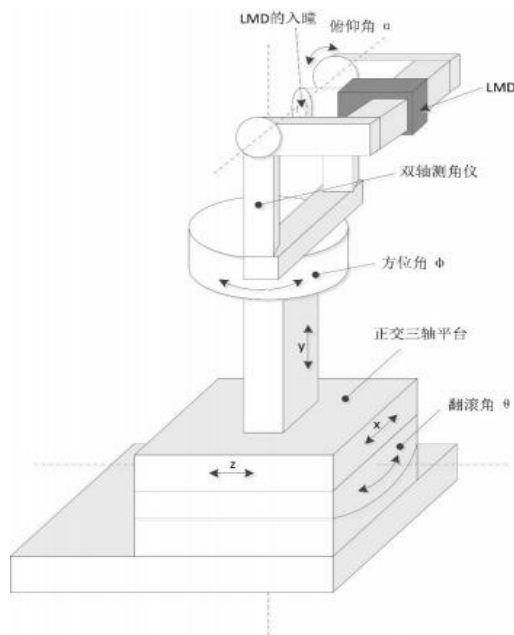


图 6.2 近眼显示设备测试平台

6.2.1 六轴运动平台

六轴运动平台，用于实现LMD在X、Y、Z方向的平移，以及控制LMD以眼球中心（即LMD入瞳沿光轴往后10mm处，参考图A.1定义）为旋转中心绕XYZ的旋转；平移距离准确度应不低于0.02mm，旋转角度准确度应不低于0.02°，建议采用六轴机械手臂作为运动平台。

6.2.2 光学测量装置(LMD)

光学测量装置应具备光谱测量功能和图像测量功能。LMD可以由独立的光谱测量设备和图像测量设备构成，也可以为集成光谱测量和图像测量功能于一体的光学检测设备。

本标准中统一采用光谱测量设备和图像测量设备的便捷描述，并应满足以下要求：

(1) 光谱测量设备应满足：

- 波长应覆盖380nm-780nm波段；
- 光谱带宽应不大于5nm；
- 波长准确度应不超过0.2nm；
- 入瞳大小在2mm-5mm内；

(2) 图像测量设备应满足：

- 入瞳大小在2mm-5mm内；
- 图像测量设备的像素角密度推荐为DUT角分辨率的4倍，此处角度为平面角。

6.3 测试图像

为完成近眼显示设备光学性能检测，应采用附录B规定的测试图像。

6.4 测量坐标系

为表征虚拟图像的空间位置以及眼盒、DUT的参考点、DUT的眼点以及适眼距之间的位置关系，测量坐标系应符合图6.4的规定。

图6.4中规定了XYZ直角坐标系，且坐标系的原点为DUT的眼点沿光轴远离DUT设备方向10mm的位置（也是光学测量中LMD的入瞳中心位置靠近视网膜方向10mm的位置），此外还规定了绕XYZ三轴的旋转角，具体为：绕X轴的旋转角 α （俯仰角）、绕Y轴的旋转角 φ （方位角）、绕Z轴的旋转角 θ （翻滚角）。

注：眼点和适眼距应当由制造商或者供应商提供；如果未提供，按照附录A的方案确定DUT的眼点位置及适眼距。

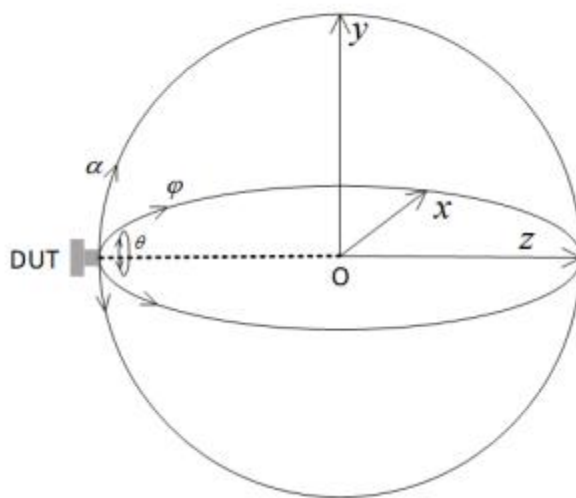


图 6.4 测量坐标系

6.5 测试前安装

DUT 应安装在稳定的平台上，以确保显示图像稳定。LMD 与 DUT 之间的相对位置通过六轴运动平台进行调节。测试前，应调节 LMD 的位置，确保 LMD 的入瞳中心位于 DUT 的眼点位置，LMD 的光轴平行于 DUT 的光轴，如图 6.5 所示。

注：除特殊说明外，本标准中 NED 设备的所有光学参数在测量前应满足 5.5 章节的安装要求。

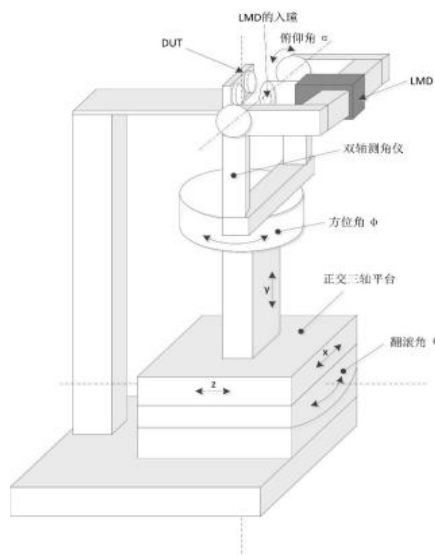


图 6.5 测试前安装

6.6 测试点

在对 DUT 的光学性能进行测量时，通常要对虚像图像进行中心点单点测量，或者多点测量（例如 5 点测量法、9 点测量法），单点测量范围推荐为 2° 。本标准中对 DUT 显示虚拟图像的各个测量点进行统一编号，如图 6.6 所示。如果涉及到对图 6.6 之外的测量点，需要在单独说明。

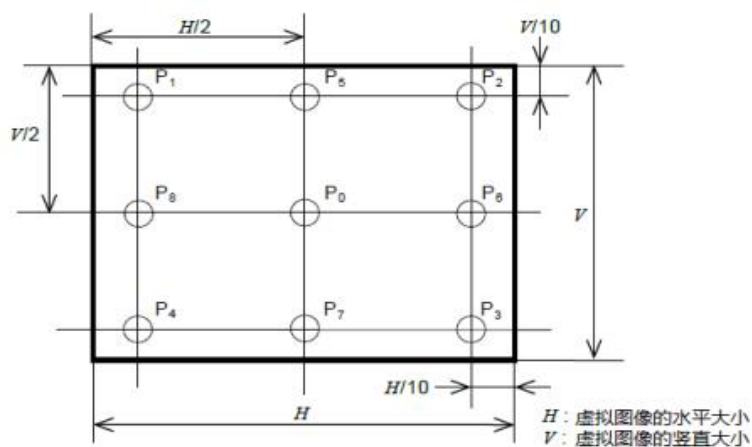


图 6.6 虚拟图像测量点

6.7 性能测试

本章节中除瞳距、双目合像性能以外，所有的性能测试均仅针对近眼显示设备的单个虚像光学系统；对于基于双目视觉的近眼显示设备，可根据测量需要，分别对左眼虚像光学系统、右眼虚像光学系统进行相关性能测试。

6.7.1 眼盒

眼盒测试应当在DUT的FOV已知或已经测得的前提下进行。

本标准中眼盒的测试具体为眼点位置处的眼盒大小测试。眼盒测试方法有两种，分别为：基于亮度的测量方法以及基于调制对比度的测量方法。针对具体的眼盒测试，应当在测试报告中说明当前测试所采用的测试方法。

注1：本标准中眼盒边界判定中的所采用的亮度阈值以及调制对比度阈值均为建议值；如果实际测量中采用其他阈值作为边界条件，应在报告中说明。

注2：本标准中眼盒边界判定中的所采用的边缘测量点位置为建议值；在实际测量中，如遇测量点位置画面被裁切，可选用最接近该点位且能够观察完整画面的点位替代，记录该点位角度信息，且应在报告中说明。

6.7.1.1 基于亮度的测量方法

基于亮度眼盒测量中，应采用光谱测量设备作为LMD。

测试步骤如下：

- 步骤1：通过六轴运动平台将光谱测量设备的入瞳中心移动至DUT的眼点位置；
- 步骤2：DUT显示全白场测试图像（如图B.1所示）；
- 步骤3：旋转LMD使得LMD的光轴方向指向虚拟图像的中心（ P_0 点）；
- 步骤4：测量虚拟图像中心 P_0 点的亮度值；
- 步骤5：根据FOV大小，旋转LMD使得LMD的光轴方向指向虚拟图像的上边缘点 P_5 ；
- 步骤6：在通过坐标原点、垂直于DUT光轴的平面内，以适当的步进间隔向顶端移动LMD，同时保持LMD的光轴方向对齐虚拟图像的上边缘点。测量亮度值，直至测得的亮度值降至虚拟图像中心亮度的50%；
- 步骤7：记录LMD向顶端的移动距离， ΔY_{51} ；
- 步骤8：重复步骤6~步骤7，向底端、左侧、右侧的操作；并记录LMD的相应的移动距离 Δy_{52} ， Δx_{51} ， Δx_{52} ；
- 步骤9：旋转LMD的方向指向虚拟图像的其他边缘点 P_i （ $i=1,2,3,4,6,7,8$ ）；
- 步骤10：重复步骤6~步骤8，并记录LMD的移动距离， Δy_{i1} ， Δy_{i2} ， Δx_{i1} ， Δx_{i2} ；
- 步骤11：按照公式（1）、（2）计算眼盒大小：

$$W_{BOX} = \min(\Delta x_{i1}) + \min(\Delta x_{i2})(i = 1, 2, \dots, 8) \dots\dots\dots (1)$$

$$H_{BOX} = \min(\Delta y_{i1}) + \min(\Delta y_{i2})(i = 1, 2, \dots, 8) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

W_{BOX} 为眼盒宽度；

H_{BOX} 为眼盒高度；

i 为测量点的编号，具体见图6.6。

6.7.1.2 基于调制对比度的测量方法

基于调制对比度的眼盒测量中，采用图像测量设备作为光学测量装置。

具体步骤如下：

步骤 1：通过六轴运动平台将LMD 的入瞳中心移动至DUT 的眼点位置；

步骤2：DUT 显示垂直四线对调制对比度测试图像（如图B. 6 所示）；测量并计算中心 P_0 点的调制对比度，调制对比度的计算方法见公式（27）；

步骤3：根据FOV 大小，旋转LMD，使得LMD 的光轴方向指向虚拟图像的上边缘点 P_5 位置；

步骤4：在通过坐标原点、垂直于DUT 光轴的平面内，以适当的步进间隔向上边缘方向移动LMD，同时保持LMD 的光轴方向对齐虚拟图像的上边缘。测量调制对比度，直至测得的调制对比度数值降至中心点调制对比度的 50%；

步骤5：记录LMD 向上边缘的移动距离 y_T ；

步骤6：依次旋转LMD 的光轴方向指向虚拟图像下边缘、左侧边缘、右侧边缘，重复步骤4，记录LMD 向各边缘方向移动并使得阈值条件满足时LMD 移动的距离 y_B, x_L, x_R ；

步骤7：根据公式（3）、（4）计算眼盒大小：

$$W_{\text{box}} = x_R - x_L \dots\dots\dots (3)$$

$$H_{\text{box}} = y_T - y_B \dots\dots\dots (4)$$

6.7.2 瞳距

通过六轴运动平台分别记录 DUT 左眼虚像光学系统和右眼虚像光学系统的眼盒中心位置，计算两个眼盒中心的距离即为瞳距。

6.7.3 视场角

FOV 测量方法有三种，分别为：基于亮度的测量方法、基于调制对比度的测量方法和基于图像的快速测量方法。针对具体的FOV 测试，应当在测试报告中说明当前测试所采用的测试方法。

注 1：本标准中FOV 边界判定中的所采用的亮度阈值以及调制对比度阈值均为建议值；如果实际测量中采用其他阈值作为边界条件，应在报告中说明。

注 2：本标准中基于调制对比度的测量方法涉及的边缘点位均为建议值；在实际测量中，如遇测量点位置画面被裁切，可选用最接近该点位且能够观察完整画面的点位替代，记录该点位角度信息，且应在报告中说明。

6.7.3.1 基于亮度的测量方法

本方法采用光谱测量设备作为LMD，步骤如下：

步骤 1：通过六轴运动平台将LMD 的入瞳中心移动至DUT 的眼点位置；

步骤 2：DUT 显示全白场测试图像（如图B. 1 所示）；

步骤 3：将LMD 的测量方向对准虚拟图像的中心点 P_0 ，并测量中心点的亮度；

步骤 4：寻找角点，用六轴运动平台寻找角点的方法如下：

（1）保持 LMD 在垂直方向上的俯仰角为 0° ，在水平方向上向左、向右分别转动 LMD，直至LMD 测得的亮度下降为中心点亮度的 50%时，记录水平方向向左、向右的转动角度 φ_L 和 φ_R ；

（2）保持 LMD 在水平方向的方位角为 0° ，在垂直方向上分别向上、向下转动 LMD，直至 LMD 测得的亮度下降为中心点亮度的 50%时，记录垂直方向向上、向下的转动角度 α_T 和 α_B ；

(3) 在水平和垂直方向同时转动LMD(通过虚拟图像的实际长宽比之间的关系计算倾斜角)，直至 LMD测得的亮度下降为中心点亮度的25%时，记录左上、右下、右上、左下的角度位置(φ_{TL} , α_{TL})、(φ_{BR} , α_{BR})、(φ_{TR} , α_{TR})、(φ_{BL} , α_{BL}) ；

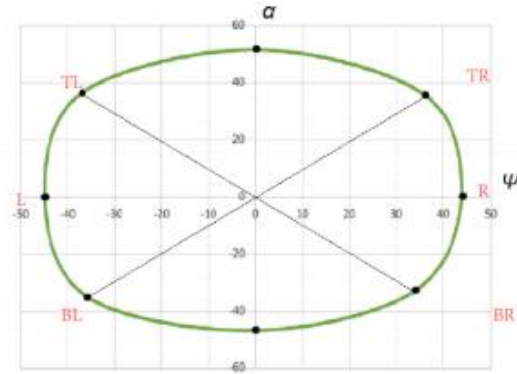


图 6.7.3.1 FOV边界示意图

步骤 5: 按照以下公式计算视场角:

(1) 水平视场角 A_h 的计算公式如下:

$$A_h = \varphi_L + \varphi_R \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

A_h 是水平视场角;

φ_L 是左边边界方位角;

φ_R 为右边边界方位角;

(2) 垂直视场角 A_v 的计算公式如下:

$$A_v = \alpha_T + \alpha_B \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

A_v 为垂直视场角;

α_T 为顶端边缘的俯仰角;

α_B 为底端边缘的俯仰角;

(3) 对角视场角 A_d 的计算公式如下:

$$A_d = \frac{A_{d1} + A_{d2}}{2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

A_{d1} 为左上到右下的对角视场角, 计算如下:

$$A_{d1} = \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{TL}) + \frac{\tan^2(\alpha_{TL})}{\cos^2(\varphi_{TL})}} + \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{BR}) + \frac{\tan^2(\alpha_{BR})}{\cos^2(\varphi_{BR})}} \quad \dots\dots (8)$$

式中:

φ_{TL} 为左上角点的方位角;

α_{TL} 为左上角点的俯仰角;

φ_{BR} 为右下角点的方位角;

α_{BR} 为右下角点的俯仰角；

A_{d2} 为右上到左下的对角视场角；计算如下：

$$A_{d2} = \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{TR}) + \frac{\tan^2(\alpha_{TR})}{\cos^2(\varphi_{TR})}} + \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{BL}) + \frac{\tan^2(\alpha_{BL})}{\cos^2(\varphi_{BL})}} \dots (9)$$

其中：

φ_{TR} 为右上角点的方位角；

α_{TR} 为右上角点的俯仰角；

φ_{BL} 为左下角点的方位角；

α_{BL} 为左下角点的俯仰角。

6.7.3.2 基于调制对比度的测试方法

基于调制对比度的 FOV 测量中，应采用图像测量设备作为 LMD，具体的测试步骤如下：

步骤 1：通过六轴运动平台将 LMD 的入瞳中心移动至 DUT 的眼点位置；

步骤 2：DUT 显示垂直四像素线对调制对比度测试图像（如图 B.6 所示）；

步骤 3：将 LMD 的测量方向对准虚拟图像的中心点 P_0 ，并测量中心点的调制对比度；

步骤 4：使用运动平台将 LMD 指向 P_5 位置，并计算 P_5 点的调制对比度，具体计算方法见公式 (27)；

步骤 5：使用运动平台将 LMD 指向离 P_5 位置最近的虚像边界位置运动，并计算对应的调制对比度，直至测得的调制对比度降至为中心调制对比度的 50%，记录下该状态下的角度坐标；

步骤 6：对剩余的边界点 (P_6 - P_8) 重复步骤 4-5；

步骤 7：使用六轴运动平台在水平和垂直方向同时转动 LMD (通过虚拟图像的实际长宽比之间的关系计算倾斜角)，指向离 P_1 位置最近的虚像角落运动，并计算对应的调制对比度，直至测得的调制对比度降至为中心点调制对比度的 50%，记录下该状态下的角度坐标；

步骤 7：对剩余的角点 (P_2 - P_4) 重复步骤 7；

步骤 8：按照公式 (5) ~ (9) 计算视场角。

6.7.3.3 基于图像增强的快速测量方法

该方法采用图像测量设备作为 LMD，LMD 以及 DUT 的安装满足本标准 6.5 章节的要求；测量前图像测量设备需要进行内参标定，并校正图像畸变。测量步骤如下：

步骤 1：DUT 显示全白场测试图像（图 B.1）；

步骤 2：LMD 拍摄 DUT 的虚拟图像；针对 LMD 采集的虚像图像，提取图像四个角点和图像四个边缘位置，角点以及边缘点的位置关系如图 6.7.3.3 所示，角点对应编号为 1-4；边缘点对应编号为 5-8；如遇角点特征不完整情况，角点位置按照虚拟图像的实际长宽比之间的关系计算的倾斜角方向寻找画面边缘确定；

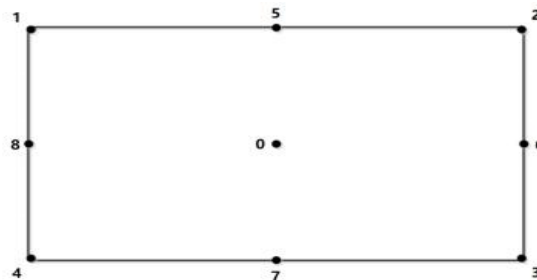


图 6.7.3.3 角点以及边缘点位置关系图

步骤3：根据公式计算获得DUT 的FOV，计算方法如下。

$$A_v = \theta_{05} + \theta_{07} = \tan^{-1} \frac{L_{05}}{f_y} + \tan^{-1} \frac{L_{07}}{f_y} \dots\dots\dots (10)$$

$$A_h = \theta_{08} + \theta_{06} = \tan^{-1} \frac{L_{08}}{f_x} + \tan^{-1} \frac{L_{06}}{f_x} \dots\dots\dots (11)$$

$$A_{d1} = \theta_{01} + \theta_{03} = \tan^{-1} \frac{L_{01}}{0.5(f_x + f_y)} + \tan^{-1} \frac{L_{03}}{0.5(f_x + f_y)} \dots\dots\dots (12)$$

$$A_{d2} = \theta_{04} + \theta_{02} = \tan^{-1} \frac{L_{04}}{0.5(f_x + f_y)} + \tan^{-1} \frac{L_{02}}{0.5(f_x + f_y)} \dots\dots\dots (13)$$

$$A_d = (A_{d1} + A_{d2})/2 \dots\dots\dots (14)$$

式中：

L_{ij} 为图像中角点 i、j 之间的像素距离；

A_v 为水平视场角；

A_h 为垂直视场角；

A_{d1} 为左上到右下斜对角视场角；

A_{d2} 为右上到左下斜对角视场角；

A_d 为对角视场角；

f_y 为图像测量设备的等效焦距，计算方法如下；

$$f_y = \frac{f}{p} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

f_y 为相机y 方向上的等效焦距，可根据相机标定获得；

f 为相机镜头的光学焦距，单位为mm；

p 为像素元大小。

f_x 为图像测量设备的等效焦距，计算方法如下

$$f_x = \frac{f}{p} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

f_x 为相机系统x 方向上的等效焦距；可根据相机标定获得；

f 为相机镜头的光学焦距，单位为mm；

p 为像素元大小。

6.7.4 畸变

本标准中畸变的测试有三种方法，分别为：基于亮度的测试方法、基于FOV 的测试方法以及基于图像增强的快速测量方法。

上述方法适用于全视场以及特定视场的畸变测量。当进行全视场畸变测量时，DUT应显示全白场图像（图B.1）；当进行特定视场的畸变测量时，DUT应显示中心为特定大小白场、周围为黑场的局部畸变测试图像（图B.12）。

6.7.4.1 基于亮度的测试方法

测试方法同章节 5.7.3.1 中步骤 1-步骤 4，记录下八个点的角度坐标。

按照公式 (17) - (22) 计算畸变：

$$\varphi_{a,L} = (\varphi_{TL} + 2\varphi_L + \varphi_{BL}) / 4 \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\varphi_{a,L}$ 为全视场或者特定视场的水平方向左侧方位角；

φ_{TL} 为左上角点的方位角；

φ_L 为左边缘的方位角；

φ_{BL} 为左下角点的方位角。

$$\varphi_{a,R} = (\varphi_{TR} + 2\varphi_R + \varphi_{BR}) / 4 \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$\varphi_{a,R}$ 为全视场或者特定视场的水平方向右侧方位角；

φ_{TR} 为右上角点的方位角；

φ_R 为右边缘的方位角；

φ_{BR} 为右下角点的方位角；

$$\alpha_{a,T} = (\alpha_{TL} + 2\alpha_T + \alpha_{TR}) / 4 \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$\alpha_{a,T}$ 为全视场或者特定视场的垂直方向朝上的俯仰角；

α_{TL} 为左上角点的俯仰角；

α_T 为上边缘的俯仰角；

α_{TR} 为右上角点的俯仰角；

$$\alpha_{a,B} = (\alpha_{BL} + 2\alpha_B + \alpha_{BR}) / 4 \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$\alpha_{a,B}$ 为全视场或者特定视场的垂直方向朝下的俯仰角；

α_{BL} 为左下角点的俯仰角；

α_B 为下边缘的俯仰角；

α_{BR} 为右下角点的俯仰角；

半角视场角计算公式如下：

$$A_{vh} = \tan^{-1}(\sqrt{\tan^2 \alpha_v + \tan^2 \varphi_h}) \dots\dots\dots (21)$$

式中：

A_{vh} 是角点的半视场角；

α_v 是角点的俯仰角；

φ_h 是角点的方位角；

畸变计算公式如下：

$$\delta_{vh} = \left(\frac{A_{m,vh} - A_{i,vh}}{A_{i,vh}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

δ_{vh} 是各角点位置的畸变系数（单位%）；

$A_{m,vh}$ 为实测得到的各角点位置的半视场角；

$A_{i,vh}$ 为理想的各角点位置的半视场角。

6.7.4.2 基于FOV的测量方法

测试方法同章节6.7.3.1中步骤1-步骤4，记录下八个点的角度坐标。

畸变的计算方法如下：

$$D_v = \left(\frac{\frac{\tan \alpha_{TR} + \tan \alpha_{BR}}{\cos \varphi_{TR} \cos \varphi_{BR}} + \frac{\tan \alpha_{TL} + \tan \alpha_{BL}}{\cos \varphi_{TL} \cos \varphi_{BL}}}{2 \left(\frac{\tan \alpha_T + \tan \alpha_B}{\cos \varphi_T + \cos \varphi_B} \right)} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$D_h = \left(\frac{\tan \varphi_{TL} + \tan \varphi_{TR} + \tan \varphi_{BL} + \tan \varphi_{BR}}{2(\tan \varphi_L + \tan \varphi_R)} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：

D_v 为垂直畸变；

D_h 为水平畸变；

φ_{TL} 为左上角点的方位角；

φ_{BL} 为左下角点的方位角；

φ_{TR} 为右上角点的方位角；

φ_{BR} 为右下角点的方位角；

φ_L 为左边缘的方位角；

φ_R 为右边缘的方位角；

α_{TL} 为左上角点的俯仰角；

α_{TR} 为右上角点的俯仰角；

α_{BL} 为左下角点的俯仰角；

α_{BR} 为右下角点的俯仰角；

α_T 为上边缘的俯仰角；

α_B 为下边缘的俯仰角。

6.7.4.3 基于图像增强的快速测量方法

测试方法同6.7.3.3。

在获得角点的位置后，畸变的计算公式如下：

$$D_v = \left(\frac{L_{14} + L_{23}}{2L_{57}} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$D_h = \left(\frac{L_{12} + L_{43}}{2L_{86}} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中：

L_{ij} 为图像中角点 i 与角点 j 之间的像素距离；

D_v 为垂直畸变；

D_h 为水平畸变。

6.7.5 调制对比度

调制对比度的测量中应采用图像测量设备作为LMD，且图像测量设备的测量场应不低于 5° 。

测试前确保 LMD 以及DUT 的满足本标准 6.5 章的安装要求。除特殊要求外，采用九点法对DUT 的虚像进行调制对比度测试。

测试步骤如下：

步骤 1：根据俯仰角 α ，方位角 ϕ ，调节LMD至特定的距离和观察方向；

步骤2：DUT 显示垂直像素线对调制对比度测试图像（如图B. 6 所示）；

步骤3：调节LMD 的焦距使得暗条纹和亮条纹亮度差最大；

步骤4：在 p_0 点测试DUT 的图像，获得最大的相对亮度值 $L_{VM,0}$ 和最小的相对亮度值 $L_{vm,0}$ ；

步骤5：重复步骤4对其他测试点进行测试；

步骤6：更换水平像素线对调制对比度测试图，重复步骤1-步骤5 的操作，并根据公式（27）计算在像素线对调制对比度测试图下的调制对比度；

步骤7：根据需要，更换其它像素宽度线对调制对比度测试图，线宽定义如图 6.7.5 所示；并重复步骤 1-步骤 6 的步骤；

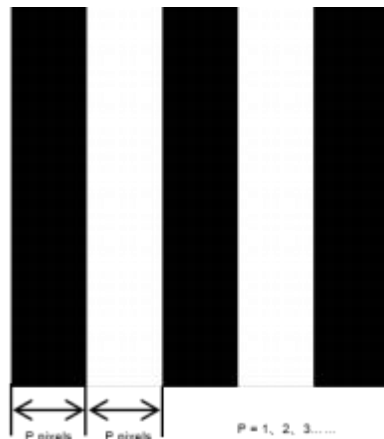


图 6.7.5 P 像素宽度线对示意图

步骤8：输出给定像素宽度线对下的调制对比度以及按照公式(28)计算像素角频率。

调制对比度按照下面的公式计算：

$$C_{m,j} = \frac{L_{VM,i} - L_{vm,i}}{L_{VM,i} + L_{vm,i}} \dots\dots\dots (27)$$

式中：

$C_{m,j}$ 为 p_i 点的调制对比度；

$L_{VM,i}$ 为测试点 p_i 点处测量场的最大亮度；

$L_{vm,i}$ 为测试点 p_i 点处测量场的最小亮度。

像素角频率按照下面的公式计算：

$$CPD = \frac{N}{2p \times FOV} \dots\dots\dots (28)$$

式中：

CPD 为像素角频率，区分水平和垂直方向；

N 为DUT在对应水平或垂直方向的总像素数量；
FOV 为DUT在对应水平或垂直方向的视场角大小；
P 为给定的线对像素宽度。

6.7.6 鬼像

鬼像测量采用图像测量设备作为LMD，安装LMD 以及DUT 满足本标准中6.5 章节要求。

测试步骤如下：

步骤 1：DUT 显示图B.8 示意的 P_0 点鬼像测试图像；其中圆直径为画面大小的十分之一（取长宽较小一边计算），圆心点位参考图 6.7.6 所示位置；

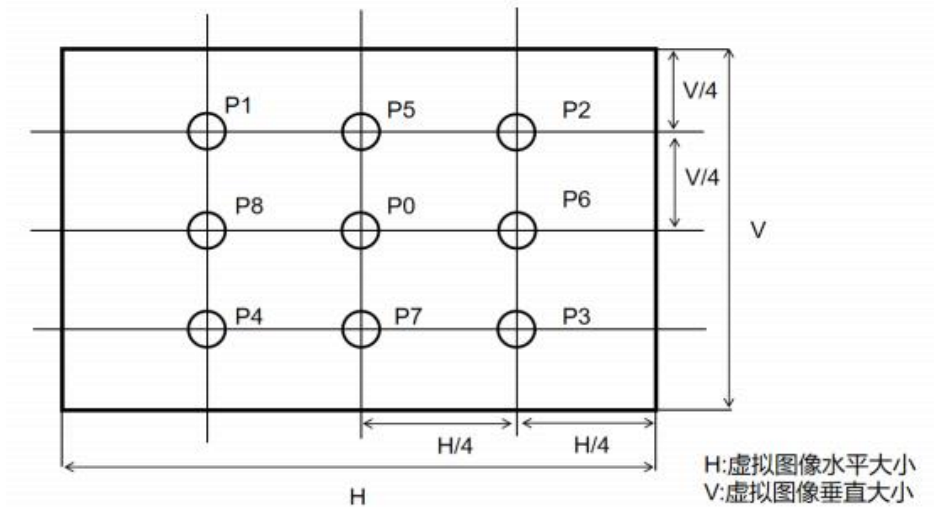


图 6.7.6 鬼像及角分辨率测量点位图

步骤2：LMD 测量DUT 的显示图像，根据测得的图像，获得实像圆的像素面积以及平均能量；

步骤3：框选视场范围内和实像形状相似的鬼像区域；

步骤4：统计鬼像区域的像素面积以及平均能量；

步骤5：计算鬼像区域与实像的能量比值 R_{ghost} ，见公式（29）。

$$R_{ghost} = L_{ghost}/L_{target} \dots \dots \dots (29)$$

式中：

L_{target} 为目标图像区域平均亮度，为总亮度数值除以目标区域的总像素面积；

L_{ghost} 为鬼像图像区域平均亮度，为总亮度数值除以鬼像区域的总像素面积；

步骤6：根据需要重复步骤 1-5，统计 P_1 - P_8 的鬼像测量结果。

6.7.7 虚像距离

在测量虚像距离时，采用可调焦镜头，预先标定好清晰对焦状态下的物像距离关系。在测试中，通过像方关系反推出虚像距离，测试步骤如下：

步骤 1：通过六轴运动平台将带后焦可调镜头的图像测量设备的入瞳中心移动至 DUT 的眼点位置；

步骤2：DUT 显示垂直四像素线对调制对比度测试图像（如图B. 6 所示）；

步骤3：调整镜头的对焦点，找到调制对比度最大的对焦位置；

步骤4：根据物像关系查表输出此刻对应的虚像距离。

6.7.8 双目合像精度

双目合像的测量前提是DUT的瞳距已知。双目合像测量中采用图像测量设备作为LMD，可以采用十字光标测试图像作为测试图像，测试步骤如下：

步骤1：DUT显示十字光标测试图像（图B.2）；

步骤2：调节LMD的入瞳中心位置位于DUT的左眼虚像光学系统眼点位置；并满足本标准6.5的要求；

步骤3：根据已知的瞳距，沿着左眼虚像光学系统眼点位置的坐标系沿X轴平移LMD，直至LMD位于右眼虚像光学系统的眼点位置；

步骤4：以LMD当前位置为基准，采用六轴运动平台依次调节LMD水平方向角度使得虚像十字中心与LMD图像中心在水平方向上重合，记录调整角度 ϕ_x ；当光轴角度调整方向为指向左眼方向时，为水平会聚，反之为发散；

步骤5：调整LMD垂直方向角度，使得虚像十字中心与LMD图像中心在垂直方向上重合，记录调整角度为垂直发散角 γ ；

步骤6：调整LMD光轴旋转角度，使得虚像十字水平线与LMD图像水平线对齐，记录调整角度为相对像旋转角 θ_z ；

步骤7：根据以上步骤输出最终的垂直发散角、水平会聚角、相对像旋转角。

6.7.9 亮度及亮度均匀性

采用光谱测量装置作为亮度以及亮度均匀性测量中的光学测量装置，采用白场图像作为测试图像。调节LMD和DUT的位置以满足本标准6.5章节的要求。

测量步骤如下：

步骤1：DUT显示白场测试图像，如图B.1；

步骤2：调节LMD的入瞳位于DUT的眼点位置，并且聚焦在指定的虚像距离位置；

步骤3：调节LMD的测试方向，对准 $p_i (i = 0, 1, \dots, 8)$ ；

步骤4：测量 p_i 点出的亮度 L_{vi} 。

步骤5：输出各点亮度值以及按照公式(31)和(32)输出亮度平均值 L_{va} 和亮度均匀性U。

亮度非均匀性（NU）的计算公式如下：

$$NU = \frac{L_{vM} - L_{vm}}{L_{vM}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中：

L_{vM} 为所有测量点中的最大亮度值；

L_{vm} 为所有测量点中的最小亮度值；

L_{va} 为所有测量点的平均亮度值，计算公式如下：

$$L_{va} = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 L_{vi} \quad \dots\dots\dots (31)$$

亮度均匀性(U)可以采用下面公式计算：

$$U = 1 - NU \quad \dots\dots\dots (32)$$

6.7.10 颜色和色域

颜色测量采用光谱测量设备，一般情况下，颜色测量中应采用白、红、绿、蓝纯色测试图像作为测试图像（图B.1、图B.9、图B.10、图B.11）；但对于多基色显示，应对所有采用的基色测试图像进行测试，并在报告中说明，测试步骤如下：

步骤 1: 调节 LMD 和 DUT 的位置以满足本标准 6.5 章节的要求; DUT 显示全屏单色测试图像 (白/红/绿/蓝);

步骤 2: 测量当前单色测试图像的色坐标;

步骤 3: 更换其他测试图像, 重复步骤2 测试当前测试图像的色坐标。

色坐标的计算采用 CIE 1976 UCS 颜色坐标(U' , V') 进行表征, 计算公式如下:

$$u' = \frac{4x}{-2x+12y+3}, \quad v' = \frac{9y}{-2x+12y+3} \dots\dots\dots(33)$$

式中:

(x, y) 为CIE 1931 色品坐标。

色域的计算方法如公式 (34) 所示:

$$GA_{u'v'} = 256.1 \times |(u'_R - u'_B)(v'_G - v'_B) - (u'_G - u'_B)(v'_R - v'_B)| \dots\dots\dots(34)$$

6.7.11 颜色不均匀性

颜色均匀性测量可采用光谱测量设备或者与 CIE 三刺激值响应曲线相匹配的色度计进行测量; 对于高精度测量, 推荐采用光谱测量设备作为颜色测量设备。

颜色均匀性的测试过程与亮度均匀性一致, 区别在于应采用白、红、绿、蓝测试图像(图B. 1、图 B. 9、图 B. 10、图B. 11), 并测量对应测试图像下各测试点的色坐标, 并根据公式 (35) 计算图4 中任意两点之间的色差 $\Delta U'V'$; 输出最大值 $(\Delta U'V')_{\max}$ 作为颜色不均匀性指标。

色差的计算方法如下:

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_j - u'_i)^2 + (v'_j - v'_i)^2} (i = 0,1,2\dots8; j = 0,1,2\dots8; i \neq j) \dots\dots(35)$$

6.7.12 颜色配准误差

颜色配准误差测量的是红绿蓝三个颜色通道视场角上的差异, 颜色配准误差的测试步骤如下:

步骤 1: DUT 显示红色测试图像;

步骤2: 按照 6.7.3.1 章节或 6.7.3.3 章节的方法, 测量当前测试图像下的FOV;

步骤3: 计算红色测量图案下的对角视场角 $A_{vh,color=red}$;

步骤4: DUT 依次显示绿色、蓝色单色测试图像, 并重复步骤 1-步骤3 的步骤;

步骤5: 以绿色测试图像为基准, 按照公式 (36) 计算红色、蓝色通道的颜色配准误差。

$$\epsilon_{vh,color} = A_{vh,color} - A_{vh,Green} \dots\dots\dots(36)$$

式中:

$\epsilon_{vh,color}$ 为在对应红色或蓝色通道下的颜色配准误差;

$A_{vh,color}$ 为在对应红色或蓝色通道下的对角视场角;

$A_{vh,Green}$ 为绿色通道下的对角视场角。

6.7.13 对比度

6.7.13.1 基于棋盘格测试图像的对比度测量

采用光谱测量设备作为对比度测量中的LMD, 采用中心及角点为黑色棋盘格(图B. 4)、中心和角点为白色的棋盘格测试图像(图B. 5)作为对比度测试图像; 调节LMD和DUT 的位置以满足本标准6.5 章节的要求。

测量步骤如下：

步骤 1：DUT 显示中心为白色的棋盘格测试图像 (图B. 4)，采用LMD测量 $p_i (i = 0,1,\dots,8)$ 点的亮度值 L_{wi} ；

步骤2：DUT 显示中心为黑色的棋盘格测试图像 (图B. 5)，采用LMD测量 $p_i (i = 0,1,\dots,8)$ 点的亮度值 L_{Bi} ；

步骤3：根据测试的亮度值计算对比度，具体为：

在 $p_i (i = 0,1,\dots,8)$ 测试点位置的对比度计算公式如下：

$$CR_i = \frac{L_{wi}}{L_{Bi}} \dots\dots\dots (37)$$

式中：

L_{wi} 为 p_i 点处的白场亮度；

L_{Bi} 为 p_i 点处的黑场亮度；

平均对比度计算公式如下：

$$CR_a = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 CR_i \dots\dots\dots (38)$$

式中：

CR_i 为 p_i 点处的对比度；

CR_a 为平均对比度；

对比度均匀性 (U_{CR}) 计算公式如下：

$$U_{CR} = (1 - \frac{CR_{max} - CR_{min}}{CR_{max}}) \times 100\% \dots\dots\dots (39)$$

式中：

CR_{max} 为 9 个测试点对比度中的最大值；

CR_{min} 为 9 个测试点对比度中的最小值；

U_{CR} 为对比度均匀性。

步骤4: 输出各点位对比度值，以及按照公式 (38) 及公式 (39) 计算的平均对比度 CR_a 和对比度均匀性 U_{CR} 。

6.7.13.2 基于纯色测试图像的对比度测量

采用光谱测量设备作为对比度测量中的 LMD，采用全黑场测试图像、全白场测试图像作为对比度测试图像；调节LMD和DUT 的位置以满足本标准 6.5 章节的要求。

测量步骤如下：

步骤 1：DUT 显示全白场测试图像 (图B. 1)；

步骤2：LMD 测量DUT 显示图像在 $P_i (i = 0,1,\dots,8)$ 的亮度 $L_{wi}(0,0,0,\alpha_i,\varphi_i)L_{wi}$ ；

步骤3：DUT 显示全黑场测试图像 (图B. 3)；

步骤4：LMD 测量DUT 显示图像在 $P_i (i = 0,1,\dots,8)$ 的亮度 $L_{Bi}(0,0,0,\alpha_i,\varphi_i)L_{Bi}$ ；

步骤5：输出各点位对比度值，以及按照公式 (37) 及公式 (38) 计算的平均对比度 CR_a 和对比度均匀性 U_{CR} 。

6.7.14 角分辨率

角分辨率测量采用图像测量设备作为LMD，安装LMD 以及DUT 满足本标准中6.5 章节要求。

测量步骤如下：

步骤 1：DUT 显示 N 个像素长宽正方形白块测试图像 (图 B. 13)，其中 N 为画面大小的八分之一

(取长宽较小一边计算)，白块中心位置按照图 6.7.6 定义放置；

步骤2：调节LMD 的入瞳中心位置位于DUT 的左眼虚像光学系统眼点位置；并满足本标准6.5 的要求；

步骤3：按照FOV 测量流程，测量白块水平及垂直FOV 数值；

步骤4：按照公式 $PPD_h = \frac{N}{A_h}$ 及 $PPD_v = \frac{N}{A_v}$ ；输出水平及垂直角分辨率。

步骤5：根据需要重复步骤 1-4，统计 P₁-P₈ 的角分辨率测量结果。

6.7.15 双目差异

双目差异性评估的是双目视觉的近眼显示设备，左右目在眼盒、视场角、调制对比度、虚像距离维度的数值差异百分比；要求左右目按照同一测量方法输出测量值，并按照公式（40）进行百分比计算。

$$Diff = \frac{M_{left} - M_{right}}{M_{left}} \times 100\% \dots\dots\dots (40)$$

式中：

Diff 为双目差异百分比值；

M_{left} 为左目项目测量值；

M_{right} 为右目项目测量值。

附录 A (资料性附录)

眼点和适眼距的确定方法

一般情况下，适眼距以及眼点位置均应由制造商或者供应商给出。如果没有给出，按照附录A的方法进行眼点距确定眼点位置确定。

DUT 的眼点距以及眼点位置示意图见图 A.1。

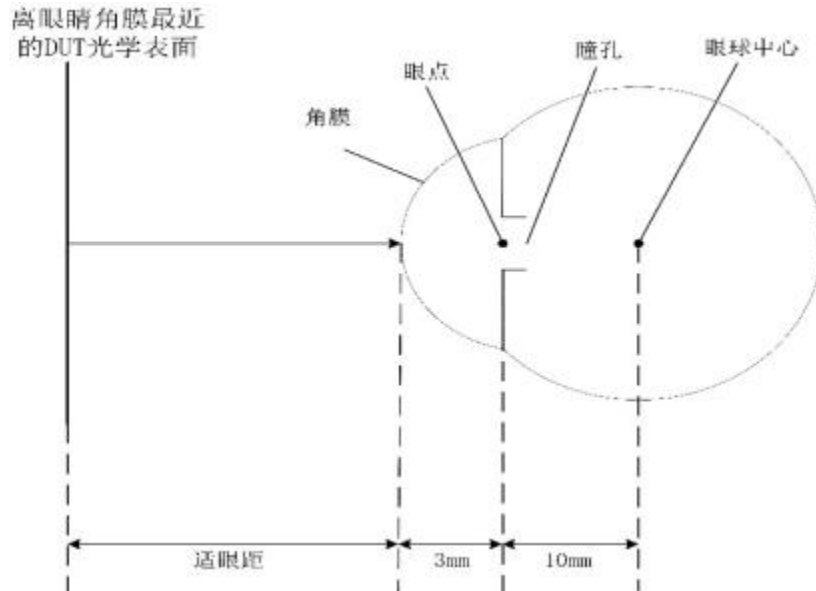


图 A.1 DUT 的眼点距以及眼点位置示意图

A.1 适眼距确定

适眼距一般由 DUT 制造商或销售商给出，如未给出，本标准中默认采用 15mm 作为适眼距离，且应当在测试报告中说明。

在近眼显示设备的光学测量中，采用以下步骤将 LMD 的入瞳位于垂直光轴且经过 DUT 眼点的平面内，具体步骤如下：

步骤 1：沿着 Z 方向移动 LMD 至 DUT 的参考点位置；

步骤 2：DUT 显示十字光标测试图像（图 B.2），调整 LMD 使得光轴与 DUT 对齐；

步骤 3：沿着光轴方向移动 LMD，直至 LMD 与 DUT 的最近光学表面贴合；

步骤 4：沿着光轴远离 DUT 的方向移动 LMD，移动距离应为适眼距离加上 3mm，此时默认 LMD 的入瞳位于垂直光轴且经过 DUT 眼点的平面内。

A.2 眼点的确定

眼点位置确定的前提是 DUT 的适眼距已经确定。

眼点的确定有两种方法，分别为：基于调制对比度的测量方法、基于亮度的测量方法。

A.2.1 基于调制对比度的测量方法

该方法使用图像测量设备，步骤如下：

步骤1：DUT 显示十字光标测试图像（图B.2），调节LMD 使得十字对焦清晰，并且LMD 光轴平行于DUT 的光轴；

步骤2：DUT 显示4 像素线宽的垂直线对调制对比度测试图像，计算中心点 P_0 的调制对比度 c_0 ；其中 $c_0 = \frac{c_h + c_v}{2}$ ，水平方向对比度 c_h 和竖直方向对比度 c_v ；

步骤3：沿X 轴正负方向分别平移LMD，并记录调制对比度下降至中心对比度的50%的位置，是X 轴正负方向的边界位置，分别为+x,-x；

步骤4：将LMD 放置步骤3 中记录的X 轴正负方向(即+x,-x)的边界位置的中点；

步骤5：沿Y 轴正负方向分别平移LMD，并记录调制对比度下降至中心对比度的50%的位置，是Y 轴正负方向的边界位置，分别为+y,-y；

步骤6：将LMD 放置步骤六中记录的Y 轴正负方向的边界位置（即+y -y)的中点；

步骤7：重复步骤3~步骤6，直至中心位置不再发生变化，此位置记为眼点位置。

A. 2. 2 基于亮度的测量方法

该方法使用图像测量设备，具体步骤如下：

步骤1：DUT 显示十字光标测试图像（图B.2）

步骤2：将LMD 聚焦在十字光标测试图像

步骤3：倾斜调节LMD，使得LMD 的光轴位于十字光标图案的中心；

步骤4：DUT 投射全白场测试图像，并调节至最大亮度,LMD 测量虚拟图像。亮度图像定义为最大亮度50%以上的全部亮度图像的面积，并默认为是全白场图像的最大图像面积。

步骤5：沿X 轴正负方向分别平移LMD，并记录图像面积减小为95%最大图像面积的是X 轴正负方向的边界位置，分别为+x,-x；

步骤6：将LMD 放置步骤六中记录的X 轴正负方向(即+x,-x)的边界位置的中点；

步骤7：沿Y 轴正负方向分别平移LMD，并记录图像面积减小为95%最大图像面积的是Y 轴正负方向的边界位置，分别为+y,-y；

步骤8：将LMD 放置步骤6 中记录的Y 轴正负方向的边界位置（即+y -y)的中点；

步骤9：重复步骤5~步骤8，直至中心位置不再发生变化，此位置记为眼点位置。

附录 B
(资料性附录)

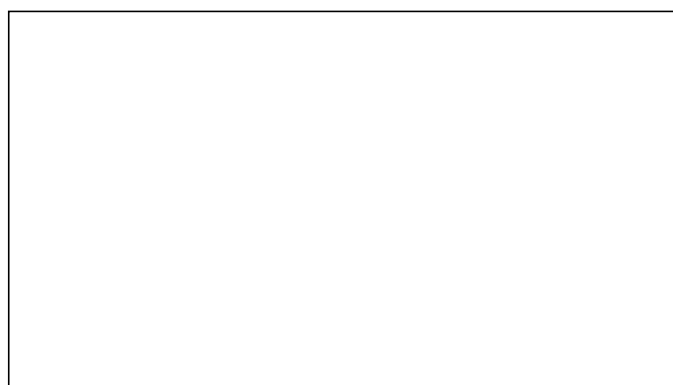
测试图像

按照本标准的测试方法，采用如下测试图像，如果采用其他的测试图像，需要予以说明。



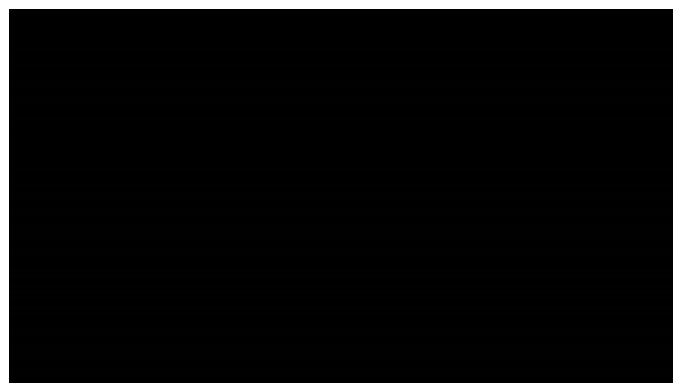
说明：该图案实际为白色边框，上图黑色边框仅作为边界标识作用。

图B. 1全白场测试图像

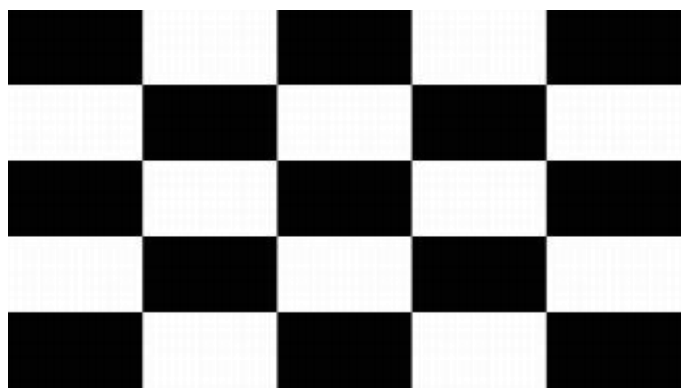


说明：该图案实际为白色边框，上图黑色边框仅作为边界标识作用。

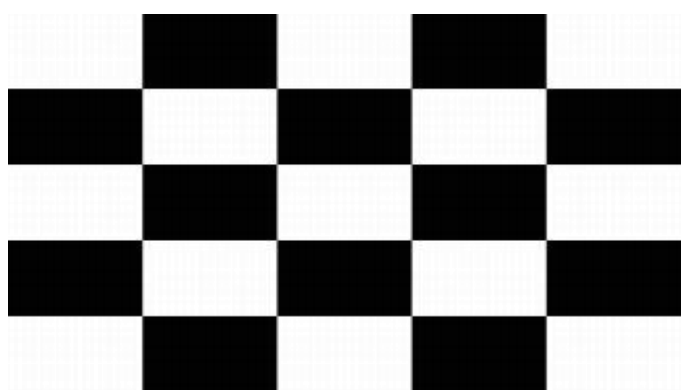
图B. 2十字光标测试图像



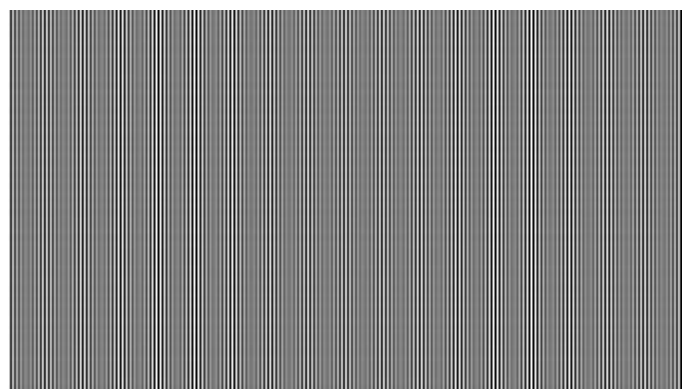
图B. 3全黑场测试图像



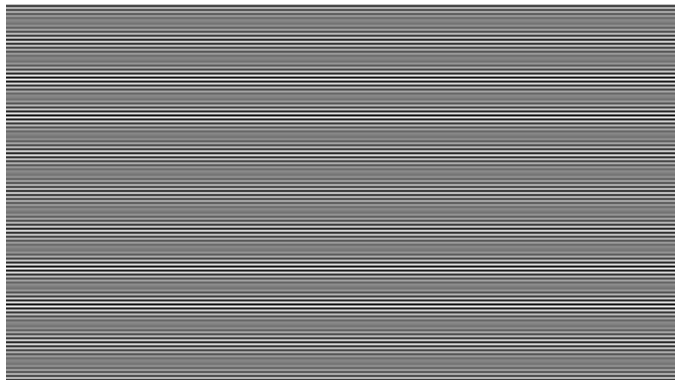
图B. 4 黑底棋盘格图案



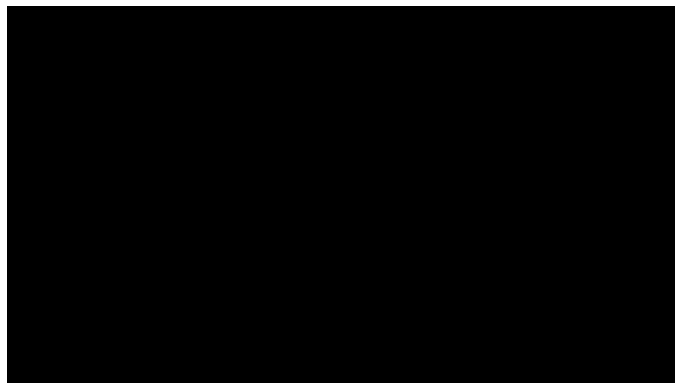
图B. 5 白底棋盘格图案



图B. 6 垂直四像素线对调制对比度测试图像



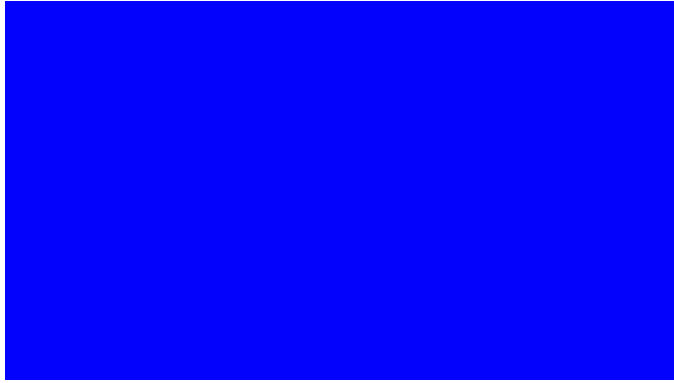
图B. 7 水平四像素线对调制对比度测试图像



图B. 8 中心鬼影测试图像



图B. 9 绿色测试图像



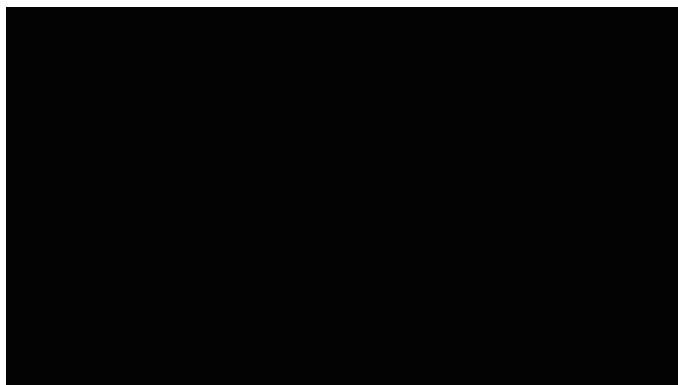
图B. 10 蓝色测试图像



图B. 11 红色测试图像



图B. 12 中心为特定大小白场、周围为黑场的局部畸变测试图像



图B. 13 正方形角分辨率测试图像