

团 体 标 准

T/CARA 0004—2022

近眼显示设备 光学显示性能测试方法

Near eye display - the measurement method of the optical performances

2022-12-13 发布

2022-12-13 实施

增强现实核心技术产业联盟 发布

CAPRA



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

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 缩略语	3
5 测试方法	3
附 录 A (资料性) 眼点和适眼距的确定方法	21
附 录 B (资料性) 测试图像	23

GB/T

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这些专利的责任。

本文件由舜宇光学（浙江）研究院有限公司提出。

本文件由增强现实核心技术产业联盟归口。

本文件起草单位：舜宇光学（浙江）研究院有限公司、浙江商汤科技开发有限公司、浙江大学、华东理工大学、浙江生一光学感知科技有限公司、深圳市亿境虚拟现实技术有限公司、北京耐德佳显示技术有限公司、深圳惠牛科技有限公司、上海鲲游光电科技有限公司、海信视像科技有限公司、TCL移动通信科技（宁波）有限公司、杭州光粒科技有限公司、陕西优托物联科技有限公司、策义集团股份有限公司、北京外号信息技术有限公司。

本文件主要起草人：蒋坤君、孙杰、张炜、章国锋、盛崇山、孙夏、蔡方、石庆、胡晓波、段家喜、张韦魁、朱建雄、李帅、楼歆晔、王大勇、张君杰、王佳宁、田鑫、何海生、李江亮、方俊、苏爱民。

近眼显示设备 光学显示性能测试方法

1 范围

本文件规定了近眼显示设备（Near eye display）的术语定义以及光学显示性能测试方法。

本文件适用于近眼显示设备，主要包含增强现实（Augmented reality，简称“AR”）近眼显示设备，以及虚拟现实（Virtual reality，简称“VR”）近眼显示设备。

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

3 术语和定义

下列术语和定义适合于本文件。

3.1 LMD 的入瞳 entrance pupil of LMD

孔径光阑对 LMD 前方光学系统的光学成像。

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 63145-20-10:2019,3.1.1,有修改]

3.2 眼点 eye point

可以获得眼戴显示最理想显示性能时，佩戴者眼睛的入瞳所在的位置。

注 1：一般情况下，眼点位置应由近眼显示设备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。

[来源：IEC 63145-20-10:2019,3.1.3, 有修改]

3.3 眼盒 eye-box

佩戴者无需头部移动或者其他调整（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。

[来源：IEC 63145-20-10:2019, 3.1.2, 有修改]

3.4 瞳距 interpupillary distance

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 1：双目合像精度仅适用于双目视觉近眼显示设备。

注 2：水平会聚角 φ_x 、垂直发散角 α_y 、相对像旋转角 θ_z 均有正、负，正负值的定义详见 5.7.8；具体地：

当 $\varphi_x < 0$ 时，代表近眼显示设备双目图像会聚；当 $\varphi_x > 0$ 时，代表近眼显示设备的双目图像发散；当 $\varphi_x = 0$ 时，代表近眼显示设备双目图像水平会聚在无穷远处。

当 $\alpha_y < 0$ 时，代表左眼水平线在右眼水平线上方；当 $\alpha_y > 0$ 时，代表左眼水平线在右眼水平线下方；当 $\alpha_y = 0$ 时，代表近眼显示设备双目图像垂直合像为最佳水平。

当 $\theta_z > 0$ 代表左眼图像可顺时针旋转至与右眼图像重合； $\theta_z < 0$ 代表左眼图像可逆时针旋转至与右眼图像重合；当 $\theta_z = 0$ 时，近眼显示设备双目图像相对像倾斜为最佳水平。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AR：增强现实(Augmented Reality)

VR：虚拟现实(Virtual reality)

NED：近眼显示设备(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)

5 测试方法

5.1 测试条件

5.1.1 测试环境

- a) 光学性能测试环境应为暗室；
- b) 测试环境温度应保持在 22°C~28°C；
- c) 相对湿度应保持在 25%~85% 的范围内；
- d) 气压应保持在 86kPa~106kPa 的范围内。

5.1.2 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待测设备(DUT)的光输出达到稳定后进行。当 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。

5.1.3 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%。

5.2 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 X、Y、Z 轴）平移和绕三轴的旋转，如图 1 所示。

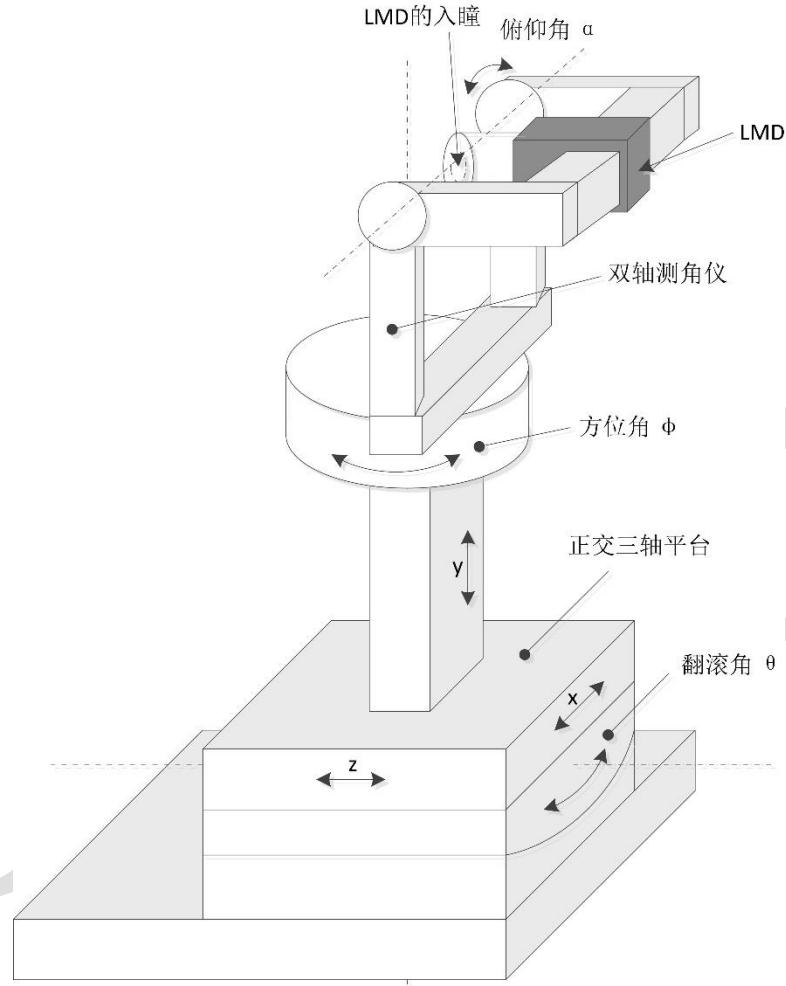


图1 近眼显示设备测试平台

5.2.1 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 以眼点为旋转中心绕 X、Y、Z 的旋转；如按眼球中心作为旋转中心，需在测试报告中体现。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°。

5.2.2 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。

为方便，本标准中统一采用光谱测量设备和图像测量设备的描述，并应满足以下要求：

a) 光谱测量设备应满足：

- 1) 波长应覆盖 380nm~780nm 波段；
- 2) 光谱带宽应不大于 5nm；

- 3) 波长准确度应不超过 0.3nm;
- 4) 入瞳大小在 2mm~5mm 内。
- b) 图像测量设备应满足:
 - 1) 入瞳大小在 2mm~5mm 内;
 - 2) 图像测量设备的像素角密度至少应为 DUT 像素角密度的 4 倍。

5.3 测试图像

为完成近眼显示设备的光学性能检测，附录 B 中的测试图像应当被采用。

5.4 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，如图 2 的测量坐标系应当被采用。

图 2 中规定了 X, Y, Z 直角坐标系，且坐标系的原点为 DUT 的眼点（也是光学测量中 LMD 的入瞳中心位置），此外还规定了绕 X, Y, Z 三轴的旋转角，具体为：绕 X 轴的旋转角 α （称为“俯仰角”）、绕 Y 轴的旋转角 φ （称为“方位角”）、绕 Z 轴的旋转角 θ （称为“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。

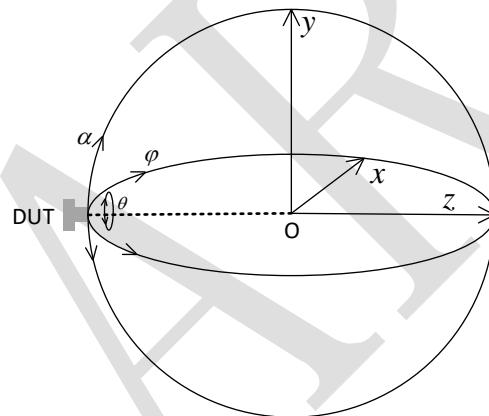
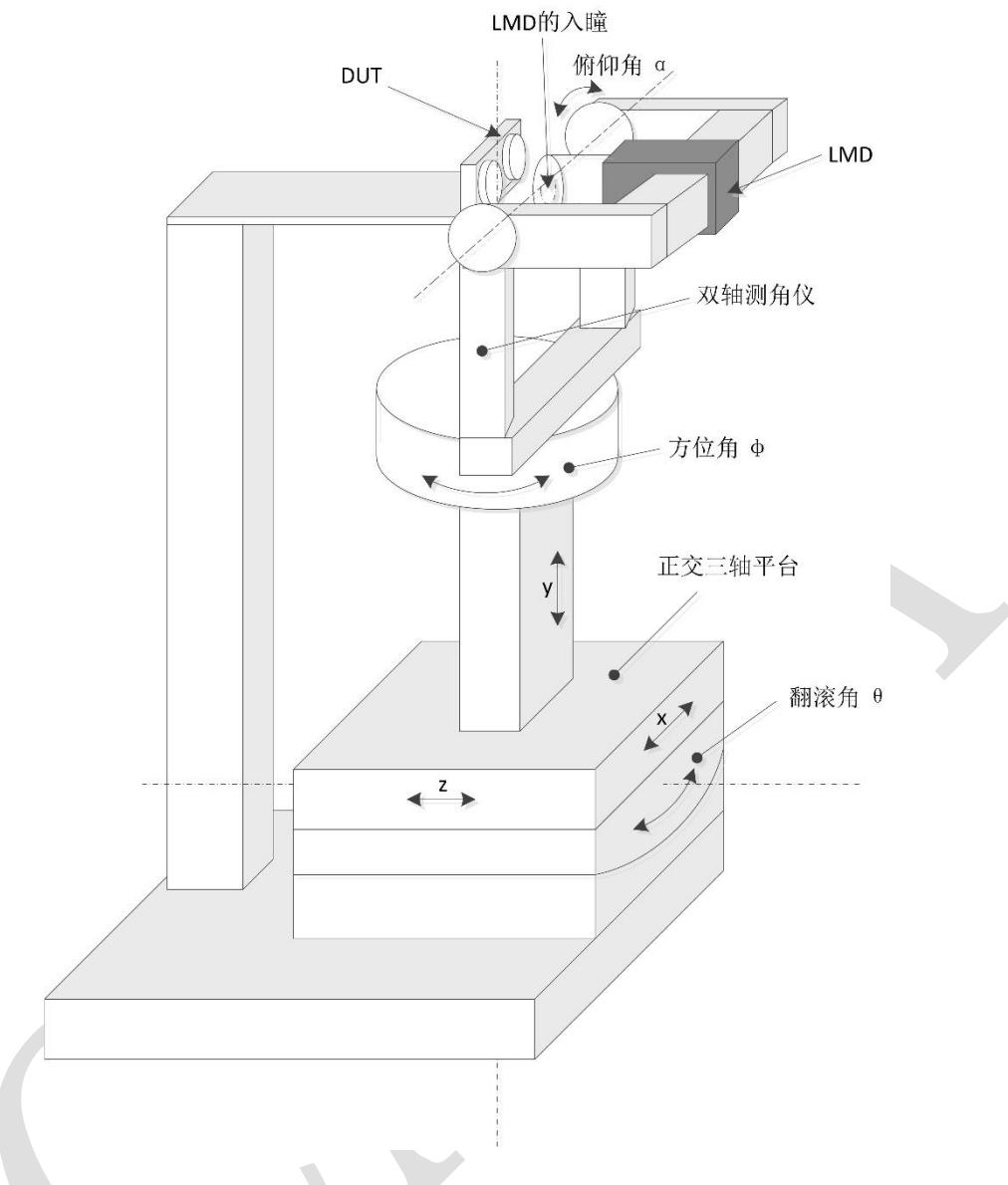


图 2 测量坐标系

5.5 测试前安装

DUT 应当安装在稳定的平台上以确保显示图像稳定性。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 3 所示。

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



5.6 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）。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 4 所示。如果涉及到对图 4 之外的测量点，需要在在测试报告中说明。

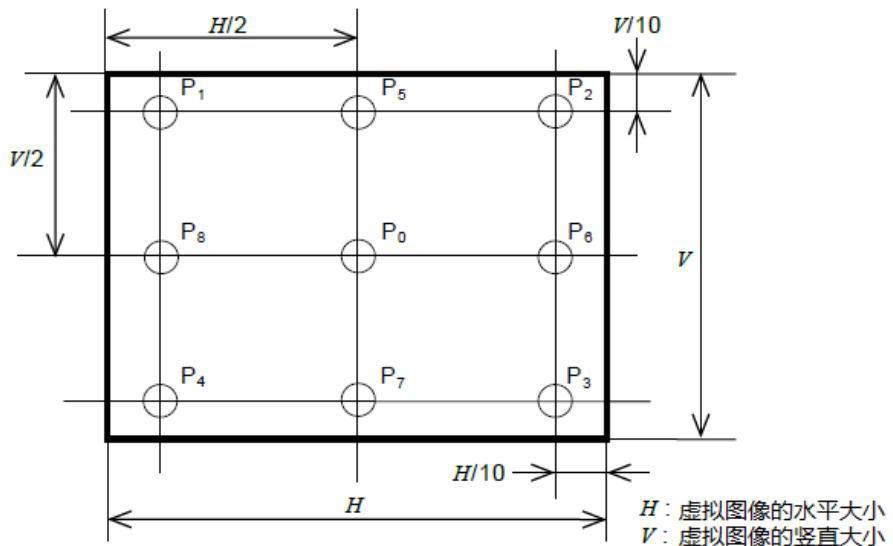


图 4 虚拟图像测量点

5.7 性能测试

其中除瞳距、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。

5.7.1 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：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。

5.7.1.1 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：根据 FOV 大小，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_{s1} ；

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（2）、（3）计算眼盒大小：

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

$$H_{BOX} = \min(\Delta y_{i1}) + \min(\Delta y_{i2}) (i=1, 2, \dots, 8) \quad (3)$$

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 4。

5.7.1.2 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.7 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（28）；

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（4）、（5）计算眼盒大小：

$$W_{box} = x_R - x_L \quad (4)$$

$$H_{box} = y_T - y_B \quad (5)$$

式中：

W_{BOX} 为眼盒宽度；

H_{BOX} 为眼盒高度。

5.7.2 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。

5.7.3 FOV

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，以及基于图像增强的快速测量方法。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：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。

5.7.3.1 基于亮度的测量方法

本方法采用光谱测量设备作为 LMD。

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，具体地，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° ，在垂直方向向分别向上、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_r 和 α_p ；

(3) 在水平和垂直方向同时转动 LMD(例如, 采取 45°倾斜角, (如果不合适则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($\varphi_{\text{sw}}, \alpha_{\text{sw}}$)、($\varphi_{\text{soa}}, \alpha_{\text{soa}}$)、($\varphi_{\text{soi}}, \alpha_{\text{soi}}$)、($\varphi_{\text{sw}}, \alpha_{\text{sw}}$)。

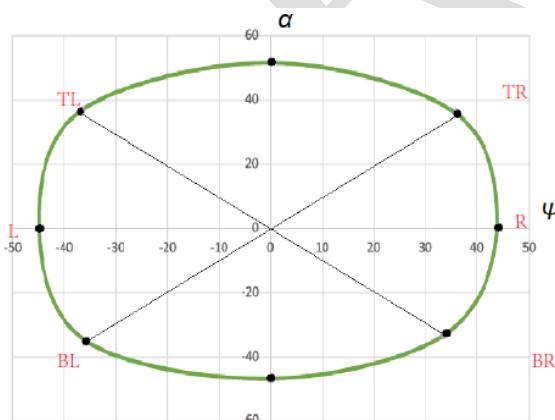


图 5 FOV 边界示意图

步骤5：按照下面公式计算视场角：

(1) 水平视场角 A_v 的计算公式如下:

$$A_h = \varphi_L + \varphi_R \quad (6)$$

式申

A 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:

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:

$$A_d = \frac{A_{d1} + A_{d2}}{2} \quad \text{.....(8)}$$

式中：

A_{d1} 为左上到右下的对角视场角，计算如下：

$$A_{\text{dl}} = \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{TL}) + \tan^2(\alpha_{TL})} + \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{BR}) + \tan^2(\alpha_{BR})} \quad (1)$$

武中：

φ_{tr} 为左上角点的方位角;

α_{TL} 为左上角点的俯仰角;

φ_{11} 为右下角点的方位角:

α_{-+} 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：

$$A_{d2} = \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{TR}) + \tan^2(\alpha_{TR})} + \tan^{-1} \sqrt{\tan^2(\varphi_{RL}) + \tan^2(\alpha_{RL})} \quad (10)$$

式中.

ρ_{up} 为右上角点的方位角:

α_{-} 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。

5.7.3.2 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 显示垂直四线对调制对比度测试图像 (如图 B.7 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_1 位置，并计算 P_1 点的调制对比度，具体计算方法见公式(28)：

步骤 5：使用六轴运动平台将 LMD 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%；

步骤 6：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 3-6；

步骤 8：将 LMD 运动至 P_5 位置；

步骤 9：计算对应的调制对比度；

步骤 10：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%；

步骤 11：记录下该状态下的角度坐标；

步骤 12：对剩余的边界点 (P_6 - P_8) 重复步骤 8-11；

步骤 13：按照公式 (6) ~ (9) 计算视场角。

5.7.3.3 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 5.5 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 所示，角点对应编号为 1, 2, 3, 4；边缘点对应编号为 5, 6, 7, 8。

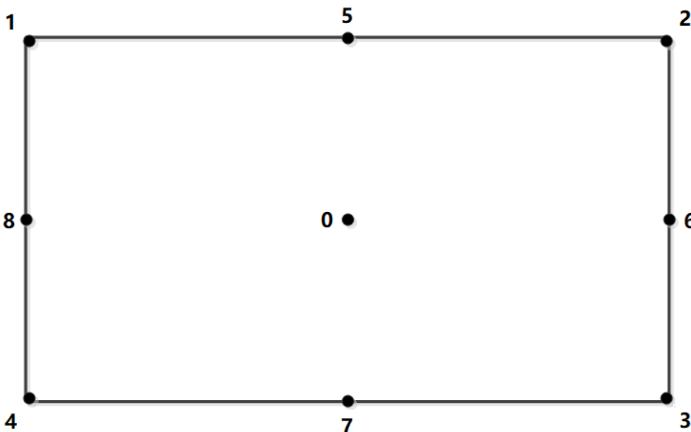


图 6 角点以及边缘点位置关系图

(3) 根据公式计算获得 DUT 的 FOV，计算方法如下：

$$A_v = \theta_{05} + \theta_{07} = \tan^{-1} \frac{L_{05}}{f_x} + \tan^{-1} \frac{L_{07}}{f_x} \dots \dots \dots \quad (11)$$

$$A_h = \theta_{08} + \theta_{06} = \tan^{-1} \frac{L_{08}}{f_y} + \tan^{-1} \frac{L_{06}}{f_y} \dots \dots \dots \quad (12)$$

$$A_{d1} = \theta_{01} + \theta_{03} = \tan^{-1} \frac{L_{01}}{0.5(f_x + f_y)} + \tan^{-1} \frac{L_{03}}{0.5(f_x + f_y)} \dots \dots \dots \quad (13)$$

$$A_{d2} = \theta_{04} + \theta_{02} = \tan^{-1} \frac{L_{04}}{0.5(f_x + f_y)} + \tan^{-1} \frac{L_{02}}{0.5(f_x + f_y)} \dots \dots \dots \quad (14)$$

$$A_d = (A_{d1} + A_{d2}) / 2 \dots \dots \dots \quad (15)$$

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：

$$f_y = \frac{f}{P} \dots \dots \dots \quad (16)$$

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；

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

$$f_x = \frac{f}{P} \dots \dots \dots \quad (17)$$

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；

P 为像素元大小。

5.7.4 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.13）。

5.7.4.1 基于亮度的测试方法

测试方法同 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 (18) ~ (23) 计算畸变:

$$\varphi_{a,L} = (\varphi_{TL} + 2\varphi_L + \varphi_{BL})/4 \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

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。

$$\varphi_{a,R} = (\varphi_{TR} + 2\varphi_R + \varphi_{BR})/4 \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

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;

$$\alpha_{a,T} = (\alpha_{TL} + 2\alpha_T + \alpha_{TR})/4 \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

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;

$$\alpha_{a,B} = (\alpha_{BL} + 2\alpha_B + \alpha_{BR})/4 \quad \dots \dots \dots \quad (21)$$

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:

$$A_{vh} = \tan^{-1}(\sqrt{\tan^2 \alpha_v + \tan^2 \varphi_h}) \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

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:

$$\delta_{vh} = \left(\frac{A_{m,vh} - A_{i,vh}}{A_{i,vh}} \right) \times 100 \quad \dots \quad (23)$$

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。

5.7.4.2 基于FOV的测量方法

测试方法同 5.7.3.1 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：

$$D_v = \left(\frac{\tan \alpha_{TR} + \tan \alpha_{BR} + \tan \alpha_{TL} + \tan \alpha_{BL}}{2(\tan \alpha_T + \tan \alpha_B)} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots \quad (24)$$

$$D_h = \left(\frac{\tan \varphi_{TL} + \tan \varphi_{TR} + \tan \varphi_{BL} + \tan \varphi_{BR}}{2(\tan \varphi_L + \tan \varphi_R)} - 1 \right) \times 100\% \quad (25)$$

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

α_T 为上边缘的俯仰角；

α_B 为下边缘的俯仰角。

4.3 基于图像增强的

4.3 基于图像增强的快

5.7.4.3 基于图像增强的快速测量方法

测试方法同 5.7.3.3.

在获得角点的位置后，畸变的计算公式如下：

$$D_v = \left(\frac{L_{14} + L_{23}}{2L_{57}} - 1 \right) \times 100\% \quad (26)$$

$$D_h = \left(\frac{L_{12} + L_{43}}{2L_{86}} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots \quad (27)$$

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。

5.7.5 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 5.5 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。

测试采用黑白间隔条纹，定义如图 7 所示；四线对调制对比度测试图对应黑白条纹间隔为四像素大小。

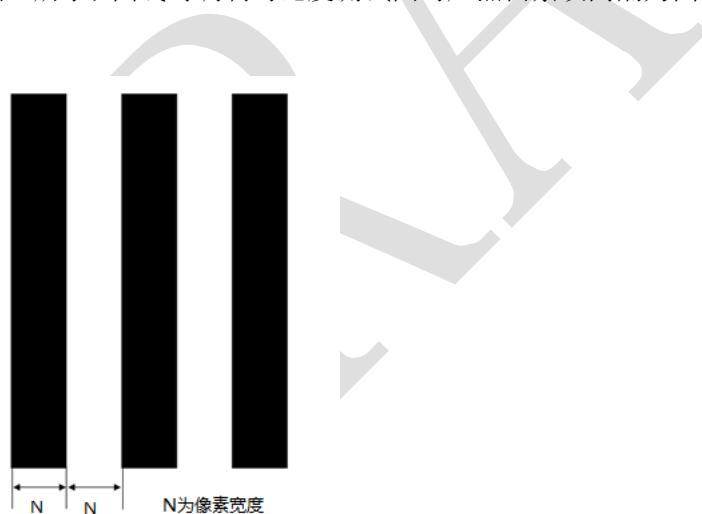


图 7 四线对调制对比度测试图示意

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 显示垂直线对调制对比度测试图像 (如图 B.7 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 $L_{ym,0}$ 和最小的相对亮度值 $L_{ym,0}$ ；

步骤 5：重复步骤 4 对其他测试点进行测试。

步骤 6：更换水平四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（28）计算在四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，并重复步骤 1~步骤 6 的步骤。

调制对比度按照下面的公式计算：

$$C_{mj} = \frac{L_{vm,i} - L_{vm,j}}{L_{vm,i} + L_{vm,j}} \dots \dots \dots \quad (28)$$

式中：

C_{m_i} 为 P_i 点的调制对比度;

L_{max} 为测试点 P 点处测量场的最大亮度;

L_{min} 为测试点 P 点处测量场的最小亮度。

5.7.6 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 5.5 的要求。

测试步骤如下：

步骤 1：DUT 显示图 B.9 的鬼像测试图像；

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 (1)。

5.7.7 虚像距离

在测量虚像距离时，采用可变焦镜头，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 显示垂直四线对调制对比度测试图像（如图 B.7 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。

5.7.8 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，可以采用棋盘格测试图像或者十字光标测试图像作为测试图像，测试方法具体见 5.7.8.1 和 5.7.8.2。

5.7.8.1 基于棋盘格测试图像的测量方法

测试步骤如下：

步骤1：DUT 显示棋盘格测试图像（图 B.4）：

步骤2：调节LMP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5.5的要求。

步骤3：LMD采集左眼虚像光学系统的图像1：

步骤 4：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盒中心位置；

步骤 5: LMD 采集右眼虚像光学系统的图像 ?

步骤6：根据测量的图像计算双目会像精度。具体为：

水平会聚角用 φ 标识，且示意图见图 7(a)，按照下面公式计算：

$$\varphi_x = \tan^{-1}\left(\frac{dx}{f_x}\right) \quad (28)$$

式由

dx 为图像 1 和图像 2 在 X 轴方向的像素偏差;

f_x 为所采用的相机系统内参，代表 x 方向上的等效焦距；

注：本标准中，当图像2相对于图像1向X轴负方向偏移，则 dx 为正（即 $\varphi_x > 0$ ）；当图像2相对于图像1向X轴正方向偏移，则 dx 为负（即 $\varphi_x < 0$ ）。

垂直发散角用 α_v 标识, 示意图见图 7(b), 计算按照下面公式:

$$\alpha_y = \tan^{-1} \left(\frac{dy}{f_y} \right) \quad (30)$$

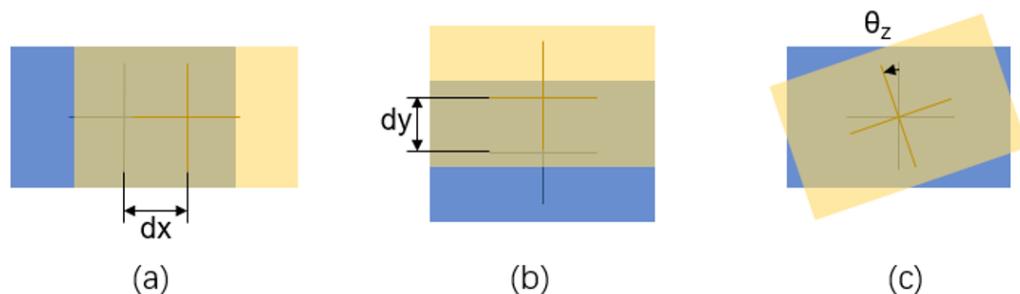
式中：

dy 为图像 1 和图像 2 在 Y 轴方向的像素偏差:

f_y 为所采用的相机系统内参，代表 y 方向上的等效焦距；

注：本标准中，当图像 2 相对于图像 1 向 y 轴负方向偏移，则 dy 为正（即 $\alpha_y > 0$ ）；当图像 2 相对于图像 1 向 y 轴正方向偏移，则 dy 为负（即 $\alpha_y < 0$ ）。

相对像倾斜角用 θ_z 标识, 定义为以图像中心为旋转中心, 从图像1旋转到与图像2重合时的旋转角, 且 θ_z 为锐角; 当旋转角为逆时针时, θ_z 为负, 如见图7(c)所示; 当旋转角为顺时针时, θ_z 为正。



说明：蓝色图案表示左眼虚像光学系统的显示图像；黄色图案表示右眼虚像光学系统的显示图像。

图 8 双目合像示意图

5.7.8.2 基于十字光标测试图像的测量方法

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 5.5 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 α_v ；

步骤 5：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 ；

步骤 6：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。

5.7.9 亮度及亮度均匀性

近眼显示设备的亮度均匀性均应在最大显示亮度下评价；如果近眼显示设备的亮度可调节，则应将近眼显示设备调至最大亮度下进行亮度均匀性评价。

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 5.5 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 点处的亮度 L_p 。

亮度非均匀性 (NU) 的计算公式如下:

$$NU = \frac{L_{\text{vM}} - L_{\text{va}}}{L_{\text{va}}} \times 100\% \quad (31)$$

武中：

L_{\max} 为所有测量点中的最大亮度值；

L 为所有测量点的平均亮度值，计算公式如下：

$$L_{va} = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 L_{vi} \quad (32)$$

厚度均匀性(IJ)可以采用下面公式计算:

$$U \equiv 1 - NU \quad (33)$$

5.7.10 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.10、图 B.11、图 B.12）；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 LMP 和 DUT 的位置以满足 5.5 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:

$$\begin{aligned} u' &= \frac{4x}{-2x+12y+3} \\ v' &= \frac{9y}{-2x+12y+3} \end{aligned} \quad (34)$$

式中.

(x, y) 为 CIE 1931 色品坐标。

色域的计算方法如公式 (35) 所示:

$$GA_{u'v'} = 256.1 \times |(u'_R - u'_B)(v'_G - v'_B) - (u'_G - u'_B)(v'_R - v'_B)| \quad \dots \dots \dots \quad (35)$$

5.7.11 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.10、图 B.11、图 B.12), 并测量对应测试图像下各测试点的色坐标, 并根据公式 (36) 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:

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_j - u'_i)^2 + (v'_j - v'_i)^2} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, 8; j = 0, 1, 2, \dots, 8; i \neq j) \quad \dots \dots \dots \quad (36)$$

5.7.12 颜色配准误差

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 5.7.3.1 或 5.7.3.3 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 $A_{vh,color}$;

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, 按照公式计算红色、蓝色通道的色差。

$$\varepsilon_{vh,color} = A_{vh,color} - A_{vh,Green} \quad \dots \dots \dots \quad (37)$$

式中:

$\varepsilon_{vh,color}$ 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。

5.7.13 对比度

5.7.13.1 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.5)、中心和角点为白色的棋盘格测试图像(图 B.6)作为对比度测试图像; 调节 LMD 和 DUT 的位置以满足 5.5 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.6), 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：

$$CR_i = \frac{L_{Wi}}{L_{Bi}} \quad \dots \quad (38)$$

式中：

L_{W_i} 为 P_i 点处的白场亮度;

L_{Bi} 为 P_i 点处的暗场亮度；

平均对比度计算公式如下：

$$CR_a = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 CR_i \quad \dots \dots \dots \quad (39)$$

式中：

CR_i 为 P_i 点处的对比度;

CR_a 为平均对比度;

对比度非均匀性 (NU_{CR}) 计算公式如下：

$$NU_{CR} = \frac{CR_{\max} - CR_{\min}}{CR_a} \quad (40)$$

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；

NU_{CR} 为对比度非均匀性。

5.7.13.2 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 5.5 的要求。

测量步骤如下：

步骤 1：**PUT** 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 $L_{uv}(0, 0, 0, \alpha, \phi)$ L_{Wij} ;

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_{Pi} ($0, 0, 0, \alpha_i, \varphi_i$) L_{Bi} 。

对比度的计算参考 5.7.13.1 公式 (38) ~ 公式 (40)。

附录 A
(资料性)
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。

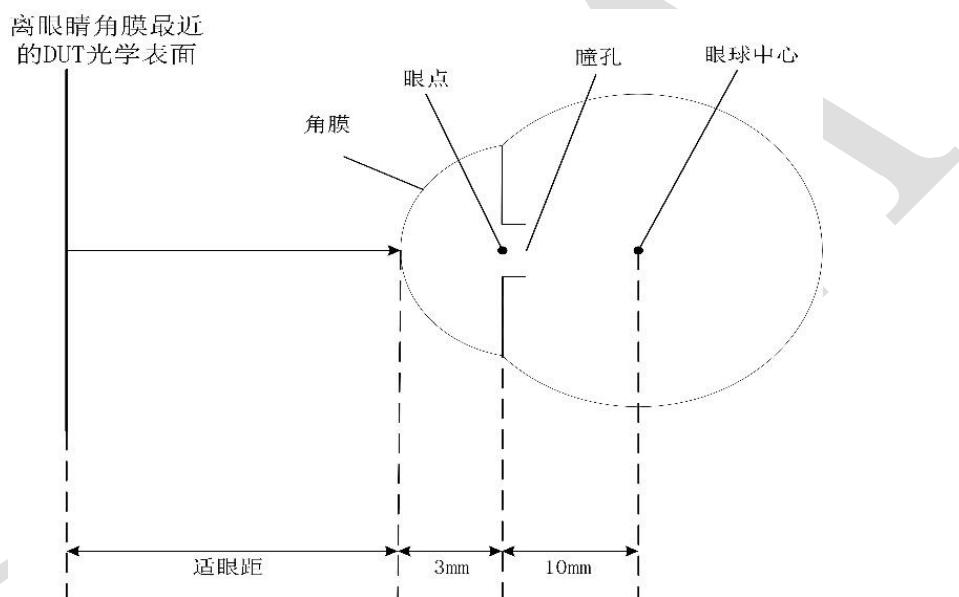


图 A.1 DUT 的眼点距以及眼点位置示意图

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，默认采用 22mm 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 X 轴正负方向的边界位置，分别为 $+y$ 和 $-y$ ；

步骤 6：将 LMD 放置步骤 5 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 5 中记录的 X 轴正负方向（即 $+x$, $-x$ ）的边界位置的中点；

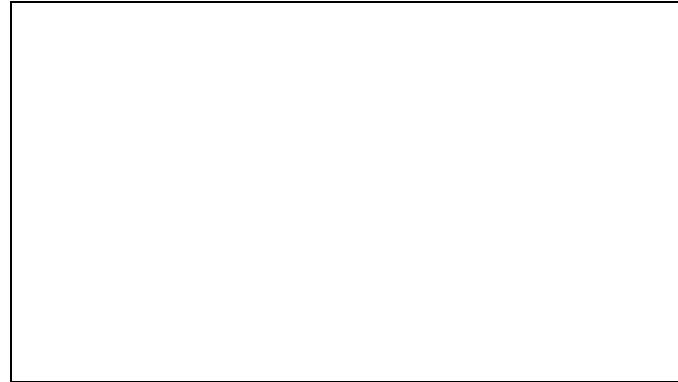
步骤 7：沿 Y 轴正负方向分别平移 LMD，并记录图像面积减小为 95% 最大图像面积的是 X 轴正负方向的边界位置，分别为 $+y$ 和 $-y$ ；

步骤 8：将 LMD 放置步骤 7 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。

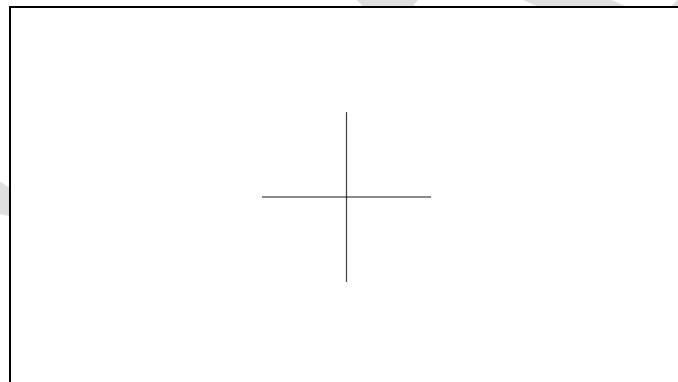
附录 B
(资料性)
测试图像

按照本标准的测试方法,下面的测试图像被采用;如果采用其他的测试图像,需要在测试报告中说明。



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

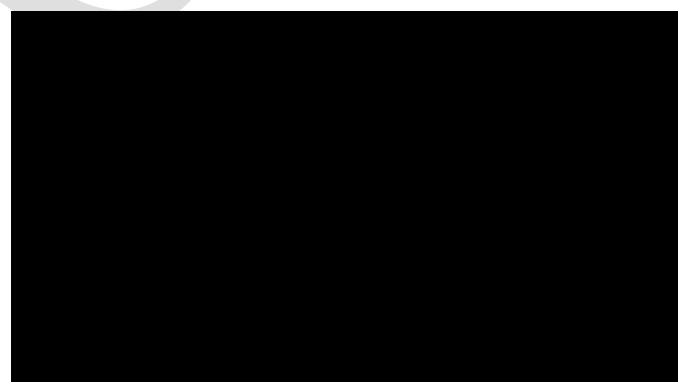


图 B. 3 全黑场测试图像



图 B. 4 棋盘格测试图像

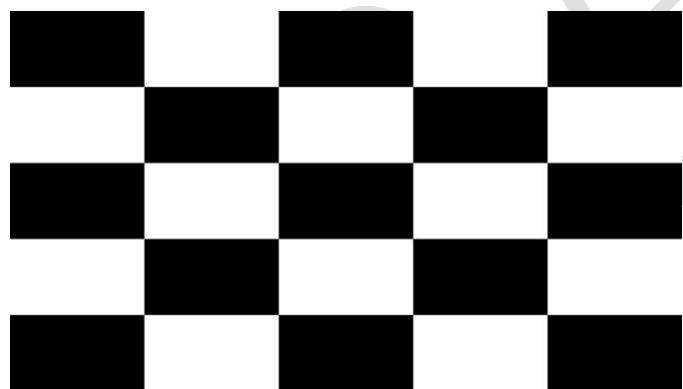


图 B. 5 黑底棋盘格图案

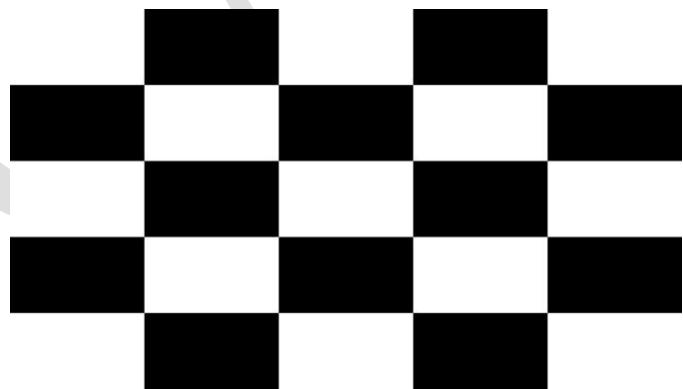


图 B. 6 白底棋盘格图案

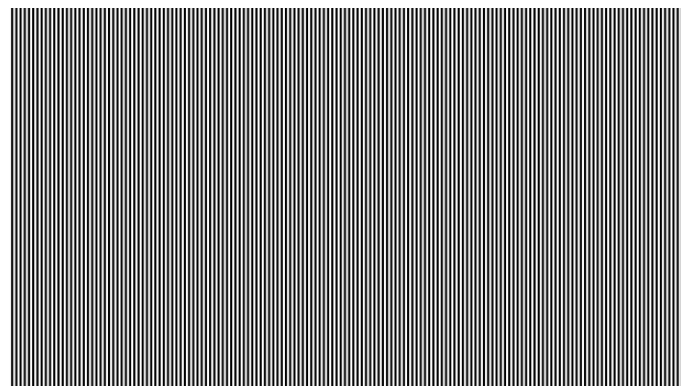


图 B. 7 垂直四线对调制对比度测试图像

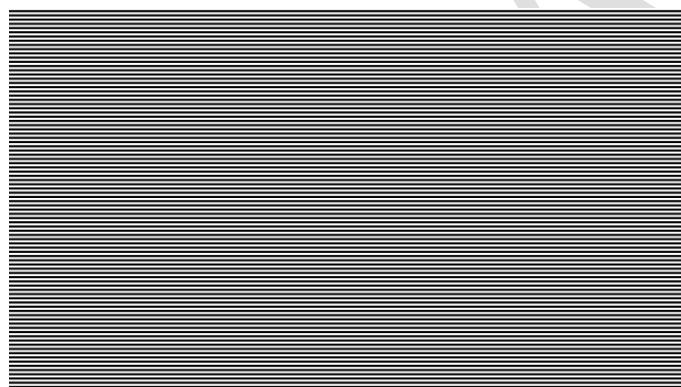


图 B. 8 水平四线对调制对比度测试图像

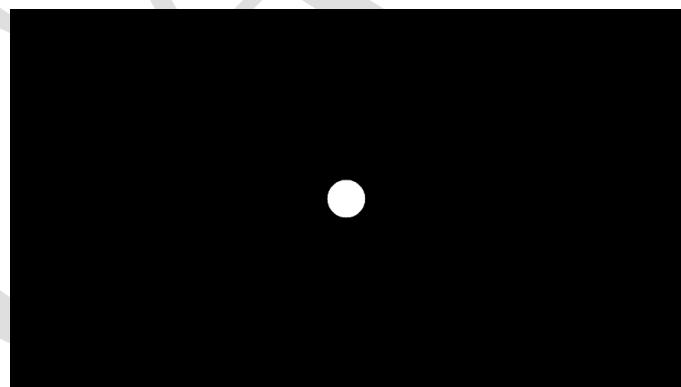


图 B. 9 鬼影测试图像



图 B. 10 绿色测试图像



图 B. 11 蓝色测试图像



图 B. 12 红色测试图像



图 B.13 中心为特定大小白场、周围为黑场的局部畸变测试图像

CARA

参 考 文 献

- [1] IEC TR 63145-1-1: 2018 Eyewear display Part 1-1: Generic introduction
- [2] IEC 63145-20-10: 2019 Fundamental measurement methods-Optical properties
- [3] IEC 63145-20-20: 2019 Fundamental measurement methods-Image quality
- [4] ISO/CIE 11664-1: 2019 Colorimetry-Part1 :CIE standard colorimetric observers
- [5] IEC 63145-22-10: 2020 Eyewear display-Part 22-10:Specific measurement method for AR type
-Optical properties