

# VR 光学测量手册

## 目录

目录.....	i
1. 引言.....	1
2. 应用.....	1
2.1. VR/MR 头盔.....	1
2.1.1. 光学组件.....	2
2.2. AR 头盔.....	3
2.2.1. 光学组件.....	3
2.3. 测量项目 .....	3
3. 常见术语定义和坐标系统.....	4
3.1. 与眼睛相关的尺寸和定义 .....	4
3.2. 与 DUT（被测设备）相关的尺寸和定义.....	5
3.3. 与光测量设备（LMD）相关的尺寸和定义 .....	6
3.4. 坐标系统 .....	7
3.5. 不同坐标系统的表示方法 .....	8
4. 测量标准.....	8
4.1. IEC TR 63145-1-1:2018 .....	10
4.2. IEC 63145-1-2:2022 .....	11
4.3. IEC 63145-10:2023 .....	11
4.4. IEC 63145-20-10:2019 .....	12
4.5. IEC 63145-20-20:2019 .....	12
4.6. IEC 63145-21-20:2022 .....	13
4.7. IEC 63145-22-10:2020 .....	13
4.8. IEC 63145-22-20:2024 .....	14
4.9. IEC TR 62977-1-31:2021/AMD1:2022 .....	15
4.10. ISO 9241-333:2017 .....	15
4.11. ISO/TR 9241-380:2022-06 .....	16

4.12.	Display Measurement Specification (DMS) for Automotive-TFT LCDs (V5.1, 2018) (Gamma).....	16
4.13.	ANSI/INFOCOMM 3M-201 .....	17
4.14.	Information Display Measurements Standard .....	17
5.	光测量设备.....	18
5.1.	LMD 设备规格要求.....	18
5.2.	LMD 功能要求.....	18
5.2.1.	成像光测量设备 (ILMD) 标准.....	18
5.2.2.	测角光度计 (Goniophotometer) 标准.....	19
5.3.	测量场景 .....	20
6.	测试方法.....	20
6.1.	眼点对齐 .....	21
6.1.1.	眼点对齐 (ICDM) .....	21
6.1.2.	使用十字线进行眼点对准 (ICDM) .....	22
6.1.3.	使用中心亮度进行眼点对准 (ICDM) .....	23
6.1.4.	使用中心分辨率进行眼点对准 (ICDM) .....	23
6.1.5.	使用视场进行眼点对准 (ICDM) .....	23
6.1.6.	利用横向色差对 NED 眼盒进行中心定位 (ICDM) .....	24
6.1.7.	利用彗差、散光、场曲率对 NED 眼盒进行中心定位 (ICDM) .....	24
6.1.8.	采用全视场亮度法进行眼点对准 (IEC-63145-20-10:2019) .....	25
6.1.9.	采用 Michelson 对比度法进行眼点对准 (IEC-63145-20-10:2019) .....	25
6.1.10.	不同眼点对齐技术之间的比较.....	26
6.2.	亮度测量 .....	27
6.2.1.	亮度测量 (IEC-63145-20-10:2019) .....	27
6.2.2.	亮度和对比度均匀性测量 (ICDM ) .....	27
6.3.	色度和色域测量 .....	27
6.3.1.	色度和色域测量 (IEC-63145-20-10:2019) .....	28
6.3.2.	色度色域面积均匀性测量 (ICDM) .....	28
6.4.	色度均匀性测量 .....	28
6.4.1.	色度均匀性测量 (IEC-63145-20-10:2019) .....	28

6.4.2. 色度均匀性测量 (ICDM) .....	29
6.5. 对比度测量 .....	29
6.5.1. 对比度测量 (IEC-63145-20-10:2019) .....	29
6.5.2. 使用大视场 LMD 测量棋盘格图案的对比度 (ICDM) .....	30
6.5.3. 使用小视场 LMD 测量棋盘格图案的对比度 (ICDM) .....	30
6.6. 视场角 (FOV) 测量方法 .....	31
6.6.1. 亮度测量法 (IEC-63145-20-10:2019) .....	31
6.6.2. Michelson 对比度测量法 (IEC-63145-20-20:2019) .....	31
6.6.3. NED 视场角测量 (ICDM) .....	32
6.6.4. 亮度测量法 (ICDM) .....	32
6.6.5. Michelson 对比度测量法 (ICDM) .....	32
6.7. 眼盒测量方法 .....	33
6.7.1. 亮度测量法 (IEC-63145-20-10:2019) .....	33
6.7.2. Michelson 对比度测量法 (IEC-63145-20-20:2019) .....	33
6.7.3. 中心亮度方法 (ICDM) .....	34
6.7.4. Michelson 对比度测量法 (ICDM) .....	34
6.7.5. Draper 方法 (ICDM) .....	35
6.7.6. 基于亮度的视场角方法 (ICDM) .....	35
6.7.7. 基于 Michelson 对比度的视场角方法 (ICDM) .....	36
6.8. 畸变测量方法 .....	36
6.8.1. 标准畸变测量 (IEC-63145-20-20:2019) .....	36
6.8.2. NED 局部几何畸变测量 (ICDM) .....	36
6.9. 颜色配准误差测量方法 .....	37
6.9.1. 颜色配准误差标准测量 (IEC-63145-20-20:2019) .....	37
6.10. Michelson 对比度测量方法 .....	37
6.10.1. 标准 Michelson 对比度测量 (IEC-63145-20-20:2019) .....	37
6.10.2. Michelson 对比度均匀性测量 (ICDM) .....	38
6.11. 焦距与虚拟图像距离 (VID) 测量方法 .....	38
6.11.1. 焦距法 (IEC-63145-20-20:2019) .....	38
6.11.2. 视差法 (IEC-63145-20-20:2019) .....	39

6.11.3. 虚拟图像距离 (K. Guo 2019) .....	39
6.11.4. 虚拟图像距离测量: 使用 LMD 镜头焦点 (ICDM) .....	39
6.11.5. 在视场角内的虚拟图像距离 (ICDM) .....	40
6.12. 调制传递函数 (MTF) .....	40
6.12.1. 空间测量 (ICDM) .....	40
6.13. 黑/白对比度测量 .....	40
6.13.1. 信号对比度 (ICDM) .....	41
6.13.2. 双视自动立体系统串扰 (ICDM) .....	41
6.14. 伽马值测量 .....	41
6.14.1. 伽马和灰度失真 (ICDM) .....	41
6.14.2. 伽马值测量 (DFF) .....	42
6.15. 像素角密度测量 .....	42
6.15.1. 像素角密度 (IEC-63145-20-10:2019) .....	42
6.16. 测试方法概述 .....	43
6.17. 测试图案 .....	45
6.18. 测量点位的定义 .....	47
7. 测量平台 .....	48
7.1. 测量设置 .....	48
7.1.1. 测量机械平台 .....	50
7.2. 对齐流程 .....	52
7.2.1. 准备工作 .....	52
7.2.2. 十字准线对齐 .....	52
7.2.3. 斑点 (blob) 对齐 .....	57
8. 测量示例 .....	58
8.1. 中心虚拟图像基本测量: .....	58
8.2. 均匀性 .....	61
8.3. 对比度 .....	64
8.4. 畸变测量 .....	67
8.4.1. 扭曲图像的畸变测量 .....	70
8.4.2. 色差测量 .....	71

8.5. 锐度 .....	72
8.5.1. Michelson 对比度 .....	72
8.5.2. 斜边分析.....	74
8.6. 虚拟图像距离测量（2D 光测量设备） .....	76
8.7. 虚拟图像距离测量（点光测量设备） .....	77
8.8. 视场测量 .....	79
8.9. 眼盒测量 .....	81
8.10. 像素密度测量 .....	82
9. 结语 .....	85
插图索引.....	87
表格索引.....	89
参考文献.....	90

# 1. 引言

本手册旨在详尽介绍如何运用光学测量设备对增强现实（AR）、虚拟现实（VR）及混合现实（MR）设备及其组件进行精确测量。尽管手册主要聚焦于 VR 设备，但所提供的测量方法同样适用于 MR 和 AR 设备。本手册涵盖了：

- 应用介绍
- 相关技术标准和推荐方法
- 测量设置
- 测量步骤及示例

# 2. 应用

AR、MR 和 VR 技术通过不同的方式融合虚拟世界与现实世界：

- **虚拟现实（VR）**：用户通过 VR 设备完全沉浸于虚拟世界，与现实世界内容无混合。
- **混合现实（MR）**：通过视频透视技术将虚拟世界与现实世界结合。
- **增强现实（AR）**：通过透视显示器（如波导）将虚拟内容叠加到现实世界。

## 2.1. VR/MR 头盔

VR 和 MR 头戴设备通常设计用于完全覆盖用户的视野（见表 1）。

						
Meta Quest Pro	Playstation VR2	Pico 4	Valve Index	Apple Vision Pro	HTC Vive Focus 3	Nolo VR Glass

表 1：不同虚拟现实头盔设计

在测量前，建议移除可能阻碍测量光学部件的所有配件。同时，为了确保测试图案能按预期显示，最好能够从底层直接调用硬件。为降低测量设备与头戴设备之间的碰撞风险，优先选择从底部进行测量（见图 1）。

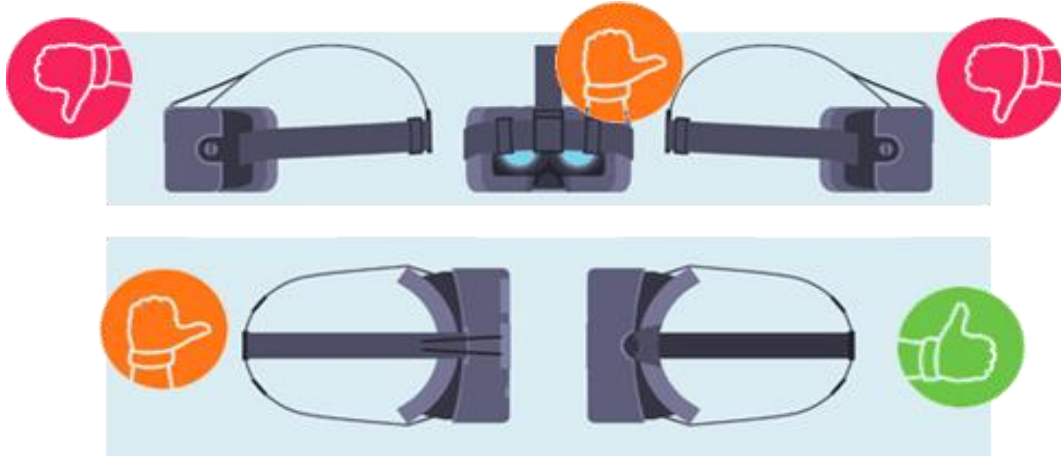


图 1：为降低与头盔碰撞风险，通常优先选择从底部进行测量

进行双眼测量（同时测量头盔的两个目镜）时，需为光测量设备（LMD）留出足够空间。例如，瞳距通常在 60 毫米到 75 毫米之间，因此 LMD 的镜头直径应小于此瞳距。

### 2.1.1. 光学组件

VR/MR 设备中，显示器的图像通过透镜投射到人眼（近眼显示）。根据设备设计，每个显示器可拥有自己的透镜，或两个透镜共用一个大型显示器。

显示器通常采用以下技术：

- LCD（液晶显示器）
- OLED（有机发光二极管）
- OLEDonSi（硅基有机发光二极管）

透镜通常采用以下类型：

- 双球面透镜
- 非球面透镜
- Fresnel 透镜（菲涅耳透镜）
- Pancake 透镜

若近眼显示包含 Pancake 透镜，由于其透射率仅为 10%到 25%，因此需要高亮度显示器。



## 2.2. AR 头盔

AR 头盔允许用户通过显示屏幕看到真实世界，并将额外的信息或虚拟内容叠加到现实世界的视图上。

AR 头盔的设计与普通太阳镜相似（见表 2）。有些设计采用单片眼镜的形式。AR 头盔的开发目标是设计出轻巧且时尚的设备，以便能够全天候使用。原则上，测量 AR 设备的考虑与 VR 设备相同（见图 1）。



表 2：不同增强现实（AR）头盔设计概览

### 2.2.1. 光学组件

AR 头盔设计追求小型化、轻量化，通常采用紧凑型显示器和光学元件。显示器设计极为紧凑，体积仅几立方厘米：

- 微型 OLED（硅基有机发光二极管）
- 微型 LED
- LCOS（液晶硅）
- LBS（激光束扫描）

在眼睛前方的光学元件方面，使用了多种类型：

- 分束器
- 半反镜
- 棱镜
- 波导
- 金属透镜或金属表面

目前，波导是应用最广泛的技术之一。

## 2.3. 测量项目

针对虚拟现实（VR）设备的光学测量，主要涉及以下五个关键项目：

- **亮度（均匀性）**：测量设备在不同区域显示的亮度水平，以及这些亮度分布的均匀性。这对于确保用户体验的一致性至关重要。

- **颜色（均匀性）**：评估设备在不同区域显示的颜色是否一致。颜色均匀性对于图像质量和用户体验同样重要。
- **对比度**：测量显示器中最亮部分与最暗部分之间的差异。高对比度有助于提高图像的清晰度和深度感。
- **清晰度**：评估图像的清晰度和细节水平。这对于确保文本和图像的易读性以及整体视觉体验的满意度至关重要。
- **扭曲**：检测图像是否存在扭曲，尤其是在边缘区域。扭曲可能会影响用户的沉浸感和舒适度。

这些测量项目共同确保了 VR 设备的视觉性能符合高标准，从而提供高质量的沉浸式体验。

### 3. 常见术语定义和坐标系统

本节内容详细介绍了与眼睛、待测设备（DUT）、光测量设备（LMD）以及增强现实（AR）/虚拟现实（VR）头戴显示设备相关的尺寸规格和术语。文中不仅为这些设备提供了精确的尺寸定义，而且还介绍了多个坐标系统。具体来说，待测设备（DUT）和光学测量设备（LMD）各有一套独立的坐标系统。此外，本文档还解释了这些坐标系统如何与人类眼睛的位置和视角相关联，从而确保测量和显示的准确性。

#### 3.1. 与眼睛相关的尺寸和定义

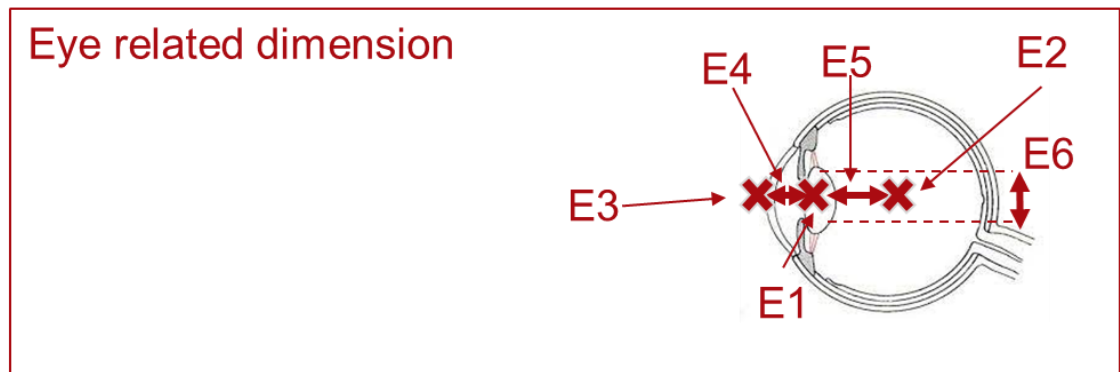


图 2：眼睛相关的尺寸

符号	名称	描述
----	----	----

E1	瞳孔点	眼睛入瞳的中心。
E2	眼睛旋转点	眼睛的中心，也是眼睛旋转的中心。常用于基于眼睛注视的测量，例如畸变或 MTF（调制传递函数）。
E3	角膜顶点	角膜表面的最前点。
E4	角膜顶点至瞳孔点的距离	角膜顶点（E3）与瞳孔点（E1）之间的距离，标准值为 3 毫米（IEC63145-20-10/ICDM）。
E5	眼睛旋转点至瞳孔点的距离	眼睛旋转点（E2）与瞳孔点（E1）之间的距离，标准值为 10 毫米（IEC63145-20-10/ICDM）。
E6	眼睛入瞳直径	眼睛入瞳的直径。

表 3：与眼睛相关的尺寸和定义

3.2. 与 DUT（被测设备）相关的尺寸和定义

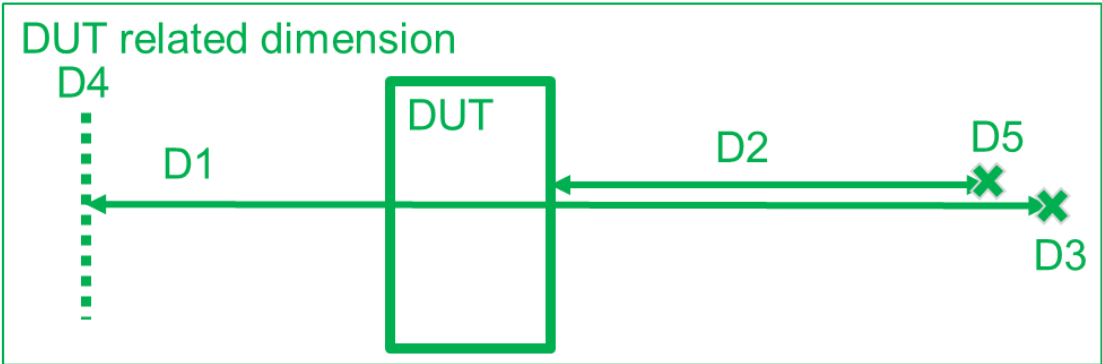


图 3：DUT 相关的尺寸

符号	名称	描述
D1	虚拟像距或焦距	眼睛点（D3）到虚拟像平面（D4）之间的距离。
D2	眼睛间隔	角膜顶点（D5）（眼睛的）到虚拟像显示设备最近光学元件的距离（IEC63145-20-10）。实际应用中，通

		常将眼睛间隔定义为最近光学元件与眼睛点之间的距离。
D3	眼睛点	设计位置，在此位置放置眼睛的入瞳，以在使用眼镜显示设备时达到最佳性能，并作为测量的原点位置（IEC63145-20-10）。
D4	虚拟像（平面）	由 DUT 的光学元件生成的虚拟像。
D5	角膜顶点	角膜表面的最前点。D5 与 E3 相同。

表 4：与 DUT 相关的尺寸和定义

3.3. 与光测量设备（LMD）相关的尺寸和定义

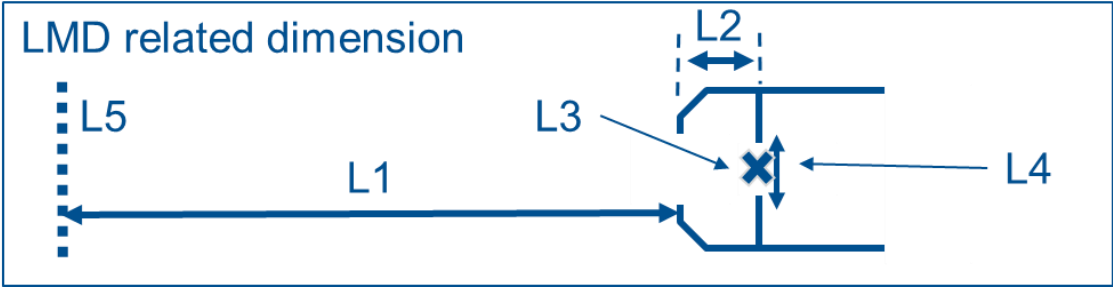


图 4：LMD 相关的尺寸

符号	名称	描述
L1	焦距	镜头到焦点的距离。
L2	LMD 入瞳至光测量设备前表面的距离	LMD 入瞳（L4）与光测量设备前表面之间的距离。
L3	LMD 瞳孔点	LMD 入瞳的中心。
L4	LMD 入瞳直径	LMD 入瞳的直径。
L5	焦平面	在焦距处的物平面。

表 5：与光测量设备相关的尺寸和定义

在系统良好对齐的情况下，所有对应点应相互重叠（参见图 5）。

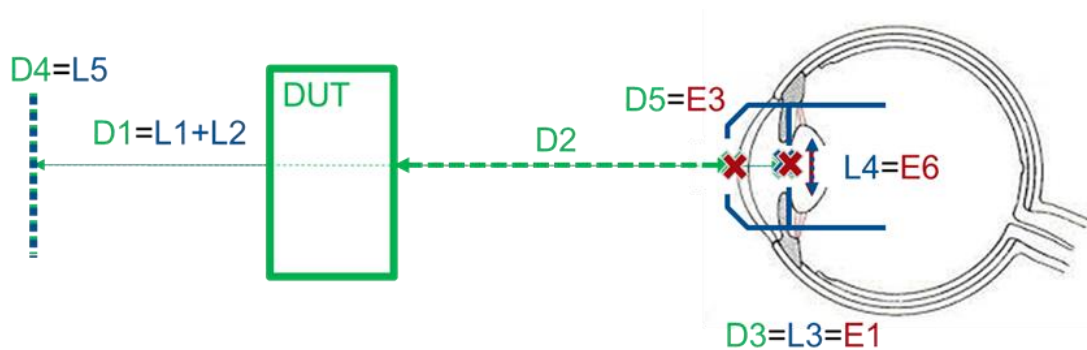


图 5: 显示了与 DUT 对齐的测量设备，并标出了与眼睛相关的尺寸

### 3.4. 坐标系

VR 测量中有两个关键坐标系：

- **DUT 坐标系：** 由被测设备定义。
- **测量设备坐标系：** 由测量设备定义。

根据国际电工委员会（IEC）2019 年发布的《IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display - Part 20-10: Fundamental measurement methods - Optical properties》中的坐标系（参见图 6）。

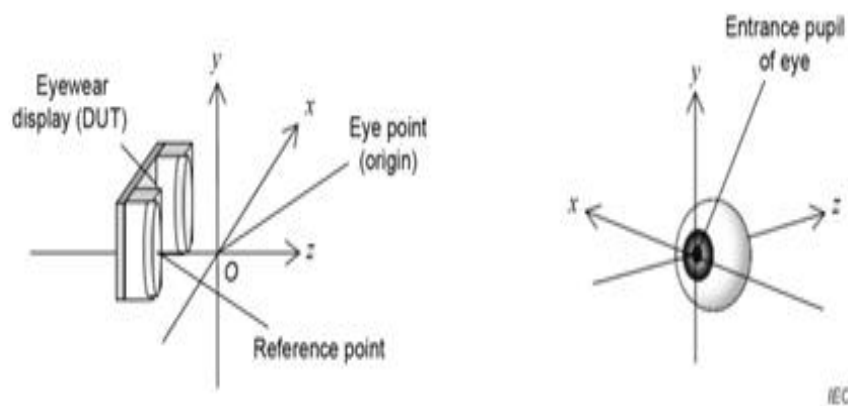


图 6: 坐标系定义，来源：《IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display - Part 20-10: Fundamental measurement methods - Optical properties》

若需模拟视线，应将眼睛的旋转点作为旋转中心（参见图 7）。

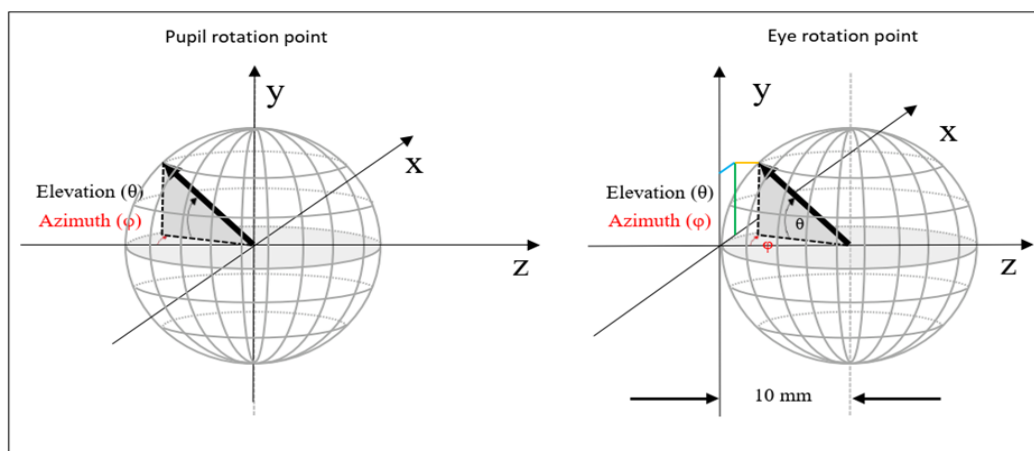


图 7：坐标系定义，来源：信息显示测量标准（ICDM）发布的《ICDM - Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022》

### 3.5. 不同坐标系统的表示方法

为了适应不同的应用场景和个人喜好，AR/VR/MR 应用允许用户选择多种坐标系。在 AR/VR/MR 应用中，通常使用笛卡尔坐标系或球形（极坐标）坐标系。

- **笛卡尔坐标系：**  $x$ ,  $y$ ,  $z$
- **球形（极坐标）坐标系：**  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $R$ （其中  $\theta$  表示仰角， $\phi$  表示方位角， $R$  表示到原点的距离，即球体的半径）

在进行畸变测量时，笛卡尔坐标系因其直观性而得到广泛应用。而在进行像素密度测量时，球形坐标系则更加适用，因为它可以更好地反映屏幕上像素的分布情况。在二维测量中，由于不考虑深度信息，坐标的表示方式简化为：

- **笛卡尔坐标系：**  $x$ ,  $y$
- **球形（极坐标）坐标系：**  $\theta$ ,  $\phi$

## 4. 测量标准

增强现实（AR）、混合现实（MR）和虚拟现实（VR）设备遵循一系列国际标准，这些标准为设备的光学测量提供了指导（见表 1）。由于新标准不断由不同组织讨论和发布，任何列表都难以做到完整无缺。尽管一些标准最初是针对平板显示技术的，但它们的原理和技术要求在很大程度上也适用于近眼显示设备。这些标准的持

续更新和扩展，确保了 AR、MR 和 VR 技术的发展能够跟上技术创新的步伐，同时也保障了用户体验的一致性和安全性。

标准/组织	标题
IEC TR 63145-1-1:2018	Eyewear display - Part 1-1: Generic introduction 眼镜显示 - 第 1-1 部分：通用介绍
IEC 63145-1-2:2022	Eyewear display - Part 1-2: Generic - Terminology 眼镜显示 - 第 1-2 部分：通用术语
IEC 63145-10:2023	Eyewear display - Part 10: Specifications 眼镜显示 - 第 10 部分：规格要求
IEC 63145-20-10:2019	Eyewear display - Part 20-10: Fundamental measurement methods - Optical properties 眼镜显示 - 第 20-10 部分：基本测量方法 - 光学特性
IEC 63145-20-20:2019	Eyewear display - Part 20-20: Fundamental measurement methods - Image quality 眼镜显示 - 第 20-20 部分：基本测量方法 - 图像质量
IEC 63145-21-20:2022	Eyewear display - Part 21-20: Specific measurement methods for VR image quality - Screen door effect 眼镜显示 - 第 21-20 部分：VR 图像质量特定测量方法 - 屏幕门效应
IEC 63145-22-10:2020	Eyewear display - Part 22-10: Specific measurement methods for AR type - Optical properties 眼镜显示 - 第 22-10 部分：AR 类型特定测量方法 - 光学特性
IEC 63145-22-20:2024	Eyewear display - Part 22-20: Specific measurement methods for AR type - Image quality 眼镜显示 - 第 22-20 部分：AR 类型特定测量方法 - 图像质量
IEC TR 62977-1-31:2021/AMD1:2022	Amendment 1 - Electronic displays - Part 1-31: Generic - Practical information on the use of light measuring devices

	修订 1 - 电子显示 - 第 1-31 部分：通用 - 使用光测量设备的实用信息
ISO 9241-333:2017	Ergonomics of human-system interaction - Part 333: Stereoscopic displays using glasses 人机交互工效学 - 第 333 部分：使用眼镜的立体显示
ISO/TR 9241-380:2022-06	Ergonomics of human-system interaction - Part 380: Survey result of HMD (Head-Mounted Displays) characteristics related to human-system interaction 人机交互工效学 - 第 380 部分：头戴式显示设备特性与人机交互的调查结果
DFF	Display Measurement Specification (DMS) for Automotive-TFT LCDs (V5.1, 2018) (Gamma) 汽车 TFT LCD 显示测量规范 (DMS) (V5.1, 2018) (Gamma)
ANSI/INFOCOMM 3M-201	Projected Image System Contrast Ratio 投影图像系统对比度
ICDM	Information Display Measurements Standard 信息显示测量标准

表 6：AR/VR 应用相关标准概览

## 4.1. IEC TR 63145-1-1:2018

IEC TR 63145-1-1:2018，由国际电工委员会（IEC）发布，旨在为近眼显示（NEDs）技术提供一套统一的术语和定义。这份报告的标题为“眼镜显示 - 第 1-1 部分：通用介绍”，对于增强现实（AR）和虚拟现实（VR）头戴式设备等领域而言，其重要性不言而喻。该报告的核心宗旨是为制造商、开发者、研究人员以及其他利益相关者打造一个共同的沟通平台，确保对近眼显示技术的理解和交流的一致性。报告内容涵盖了光学系统、显示技术类型以及性能指标等多个方面，为这些领域的关键术语提供了明确的定义：

- **视野（Field of View, FOV）**：指用户通过显示设备在任何特定时刻能够观察到的环境范围。
- **分辨率**：描述图像的精细度，通常以每度像素数（Pixels Per Degree, PPD）或每英寸像素数（Pixels Per Inch, PPI）作为衡量标准。
- **刷新率**：表示显示设备每秒更新的频率，以赫兹（Hertz, Hz）为单位。
- **亮度和对比度**：用于评估显示设备的亮度水平以及图像中最暗与最亮部分之间的差异。
- **光学畸变**：指由于显示系统的光学特性导致的图像失真现象。



需要注意的是，IEC TR 63145-1-1:2018 是一份技术报告，而不是一项正式的标准。它只提供了一般信息和建议，不会包含具体的测试方法和性能指标。因此，在实际应用中，可能需要结合其他相关的 IEC 标准或技术报告来全面评估近眼显示的性能。

## 4.2. IEC 63145-1-2:2022

IEC 63145-1-2:2022 是国际电工委员会（IEC）颁布的一项标准，旨在为增强现实（AR）、虚拟现实（VR）和混合现实（MR）系统提供全面的指南，尤其是眼镜式显示设备。该标准的全称是“眼镜显示 - 第 1-2 部分：通用术语”。IEC 63145-1-2:2022 的核心目标是为 AR/VR 眼镜系统建立一套标准化的术语和框架，以确保行业内部的沟通一致性和清晰度。它详细覆盖了眼镜显示系统的多个关键组成部分和方面：

- **系统架构：**详述眼镜显示系统的整体结构，包括硬件和软件组件。
- **光学系统：**介绍眼镜显示中使用的光学元件，例如镜头、波导等，这些元件对增强内容的视觉质量有重要影响。
- **显示技术：**列举眼镜中使用的显示技术，例如有机发光二极管（OLED）、液晶显示器（LCD）等。
- **用户交互：**探讨用户与眼镜显示内容互动的方式，包括手势识别、眼动追踪和语音命令等。
- **性能指标：**明确眼镜显示的关键性能指标，如视野范围、分辨率、亮度、对比度、延迟等。
- **人体工程学和安全性：**关注眼镜的人体工程学设计考虑和安全性问题，确保佩戴的舒适性和安全性。

通过提供这些指导原则，IEC 63145-1-2:2022 旨在推动眼镜显示产品的开发、评估和标准化，帮助制造商、开发者和研究人员创建符合行业标准的、具有高互操作性的高质量 AR 系统。

## 4.3. IEC 63145-10:2023

IEC 63145-10:2023 是国际电工委员会（IEC）颁布的一项重要标准，其全称为“眼镜显示 - 第 10 部分：规格要求”。该标准为增强现实（AR）、虚拟现实（VR）和混合现实（MR）应用中使用的眼镜显示系统提供了一个全面的框架。IEC 63145-10:2023 的主要目标包含以下几个方面：

- **确立通用术语：**为眼镜显示系统制定一套标准的术语和定义，以便于相关利益方之间的沟通和理解。

- **描述系统组件：**详细阐述眼镜显示系统的主要组件和子系统，包括光学系统、显示技术、传感器和用户界面元素。
- **明确性能指标：**指出评估眼镜显示质量和效果的关键性能指标及其测量方法，如视野范围、分辨率、亮度、对比度、刷新率、延迟和光学畸变等。
- **强调设计考量：**提供关于眼镜显示系统设计和人体工程学方面的指导，以提升用户的舒适度、安全性和整体体验。
- **促进互操作性：**确保不同制造商生产的眼镜显示设备能够顺畅地协同工作，通过标准化技术来达成这一目标。

IEC 63145-10:2023 通过全面介绍眼镜显示的原理和标准，为制造商、开发者、研究人员以及其他利益相关者提供指导，帮助他们开发出高质量、互操作性强且用户友好的眼镜显示系统。这一标准对于推动近眼显示技术的进步至关重要，确保技术发展满足行业标准和用户期望。

#### 4.4. IEC 63145-20-10:2019

IEC 63145-20-10:2019 是一项国际电工委员会（IEC）发布的标准，旨在为眼戴显示设备的光学性能测量提供统一的测试方法和标准条件。眼戴显示设备包括虚拟现实（VR）和增强现实（AR）眼镜，它们利用虚拟图像光学技术来向用户显示图像。这项标准的主要目的是确保不同制造商和测试机构在评估眼戴显示设备的光学性能时能够采用一致和可重复的测量方法，从而提高测量结果的可比性和准确性。标准中规定了测量眼戴显示设备光学性能的各种参数，包括但不限于亮度、亮度均匀性、对比度、色度、色域、色度均匀性、视场角（FOV）、眼盒（eye box）和角像素密度等。这些参数对于评估眼戴显示设备的性能至关重要，因为它们直接影响用户体验，如图像质量、舒适度和沉浸感。为了实现这些测量，IEC 63145-20-10:2019 提供了详细的测量条件和测试程序。这些条件包括测试环境的设置（如照明条件、背景颜色、测试距离等），以及测试设备和测量设备的要求。标准还可能包括对测量结果的分析 and 解释的指南，以确保测试结果的有效性和可靠性。通过遵循这一标准，眼戴显示设备制造商可以确保其产品的光学性能满足特定的质量和性能要求，同时也可以帮助消费者和行业用户选择符合特定光学性能标准的产品。此外，该标准对于促进眼戴显示设备在全球市场上的互操作性和兼容性也具有重要意义。

#### 4.5. IEC 63145-20-20:2019

IEC 63145-20-20:2019 是国际电工委员会（IEC）发布的一项标准，旨在为眼戴显示设备的图像质量测量提供统一的测试方法和标准条件。眼戴显示设备包括虚拟现实（VR）和增强现实（AR）眼镜，它们利用虚拟图像光学技术来向用户显示图像。这项标准的主要目的是确保不同制造商和测试机构在评估眼戴显示设备的图像质量

时能够采用一致和可重复的测量方法，从而提高测量结果的可比性和准确性。标准中规定了测量眼戴显示设备图像质量的各项参数，包括但不限于失真、色彩注册误差、Michelson 对比度和焦距（屈光度）等。这些参数对于评估眼戴显示设备的图像质量至关重要，因为它们直接影响用户体验，如图像清晰度、颜色准确性和视觉舒适度。为了实现这些测量，IEC 63145-20-20:2019 提供了详细的测量条件和测试程序。这些条件包括测试环境的设置（如照明条件、背景颜色、测试距离等），以及测试设备和测量设备的要求。标准还可能包括对测量结果的分析 and 解释的指南，以确保测试结果的有效性和可靠性。通过遵循这一标准，眼戴显示设备制造商可以确保其产品的图像质量满足特定的质量和性能要求，同时也可以帮助消费者和行业用户选择符合特定图像质量标准的产品。此外，该标准对于促进眼戴显示设备在全球市场上的互操作性和兼容性也具有重要意义。

## 4.6. IEC 63145-21-20:2022

IEC 63145-21-20:2022 是一项重要的国际标准，它由国际电工委员会（IEC）在 2022 年 7 月 27 日发布，旨在为虚拟现实（VR）类型的眼戴显示设备的图像质量提供统一的评估标准。这一标准主要针对眼戴显示设备中的屏幕门效应（Screen Door Effect, SDE）进行测量和评估。

屏幕门效应是眼戴显示设备中常见的一种视觉现象，它描述了当用户观察显示屏时，由于像素之间的间距或黑边，导致视觉上出现的一种网格状或线状的结构。这种现象可能会降低用户的沉浸感和体验质量，因此在设计和制造 VR 眼戴显示设备时，需要尽量减少屏幕门效应的影响。

为了确保不同设备之间的图像质量可以进行公平和准确的比较，IEC 63145-21-20:2022 标准提供了一种统一的测量方法和标准条件。这些方法和条件包括了对眼戴显示设备中的屏幕门效应的测量方法、测量设备的要求、测量环境的要求以及数据处理和评估的方法等。通过遵循这些标准，制造商和测试机构可以更加准确地评估和优化眼戴显示设备的图像质量，从而提升用户的体验质量。

IEC 63145-21-20:2022 标准的发布对于推动 VR 技术的发展和提升用户体验具有重要作用。它不仅为制造商提供了一种可靠的参考标准，也为用户在选择和使用 VR 眼戴显示设备时提供了一种参考依据。随着 VR 技术的不断发展和应用，这一标准将在未来的 VR 眼戴显示设备设计和评估中发挥重要作用。

## 4.7. IEC 63145-22-10:2020

IEC 63145-22-10:2020 是一项由国际电工委员会（IEC）发布的国际标准，旨在为增强现实（AR）眼镜显示器光学特性提供统一的测试和评估方法。这一标准于 2020 年 1 月 10 日正式发布，并专注于 AR 眼镜显示器的透空光学特性和成像质量的测量。

增强现实技术通过将虚拟信息叠加到现实世界中，为用户提供了一种全新的交互体验。AR 眼镜作为这种技术的关键载体，其显示质量直接影响到用户的沉浸感和体验效果。因此，准确测量和评估 AR 眼镜显示器的光学性能对于提升产品质量和用户体验至关重要。

IEC 63145-22-10:2020 标准规定了测量 AR 眼镜显示器透射特性、环境光下的显示性能以及成像质量的标准条件和方法。这些条件和方法包括了对测量设备的要求、测量环境的要求、数据处理和评估的方法等。通过遵循这些标准，制造商和测试机构可以更加准确地评估和优化 AR 眼镜显示器的光学性能，从而提升用户的体验质量。

IEC 63145-22-10:2020 标准的发布对于推动 AR 技术的发展和提升用户体验具有重要作用。它为制造商提供了一种可靠的参考标准，也为用户在选择和使用 AR 眼镜显示器时提供了一种参考依据。此外，这一标准的实施还将有助于促进 AR 眼镜显示器市场的健康发展，推动行业的创新和进步。

随着 AR 技术的不断发展和应用，IEC 63145-22-10:2020 标准将在未来的 AR 眼镜显示器设计和评估中发挥重要作用。它不仅为制造商提供了一种统一的测量方法和标准条件，还为用户在选择和使用 AR 眼镜显示器时提供了一种参考依据。通过遵循这些标准，制造商可以更加准确地评估和优化 AR 眼镜显示器的光学性能，从而提升用户的体验质量。

## 4.8. IEC 63145-22-20:2024

IEC 63145-22-20:2024 于 2024 年 2 月 6 日由国际电工委员会（IEC）发布。这一标准专门针对增强现实（AR）类型的眼戴显示设备的图像质量，具体规定了测量这些显示器图像质量的标准化条件和测量方法。它适用于使用虚拟图像光学的透视型（AR 眼镜）眼戴显示设备。需要注意的是，该标准不适用于透视型显示设备（VR 眼镜）、隐形眼镜类型显示器和直接视网膜投影显示器。

标准中包含了多种测量条件和方法，例如标准环境条件、电源供应、预热时间、暗室条件等。此外，还涵盖了测量系统的细节，包括标准坐标系统、测量设备、背景和透视真实场景条件等。为了确保准确测量，标准还提供了不同测试图案的设置，如棋盘图案、纯色图案和光栅图案等。此外，标准中还包含了与虚拟图像和透视真实场景相关的多种参数测量方法，例如环境对比度、环境色度和色域面积、静态图像分辨率、次级图像效应、闪烁等。

IEC 63145-22-20:2024 的发布对于提升 AR 眼戴显示设备的图像质量评估具有重要意义。它为制造商和测试机构提供了一种统一的测量方法和标准条件，以确保不同设备之间的光学性能可以进行公平和准确的比较。这对于推动 AR 技术的发展和提升用户体验具有重要作用。通过遵循这些标准，制造商可以更加准确地评估和优化 AR 眼戴显示设备的图像质量，从而提升用户的体验质量。



## 4.9. IEC TR 62977-1-31:2021/AMD1:2022

IEC TR 62977-1-31:2021/AMD1:2022 是一项关于电子显示器的国际技术报告，它于 2022 年 3 月 14 日由国际电工委员会（IEC）发布。这份报告提供了关于使用光测量设备（包括亮度计、色度计和光谱辐射计）的实用信息，这些设备带有用于表征电子显示器的亮度测量光学系统。

这份报告是技术报告（Technical Report）类型的出版物，其目的是为电子显示器的光测量提供实际的操作指南和建议。它涵盖了亮度计、色度计和光谱辐射计等设备的使用，这些设备在评估和优化电子显示器的性能方面发挥着关键作用。报告的发布对于确保电子显示器在亮度、色彩和光谱方面的测量准确性和一致性具有重要意义。

需要注意的是，IEC TR 62977-1-31:2021/AMD1:2022 是对先前发布的 IEC TR 62977-1-31:2021 标准的修正案（Amendment），旨在更新和完善原有标准的内容。这表明了 IEC 对电子显示器领域标准的持续关注和更新，以适应技术的进步和市场的发展。IEC TR 62977-1-31:2021/AMD1:2022 是电子显示器领域的一个重要技术文件，它为制造商、测试机构和其他相关方提供了一套统一的测量方法和实践指南，有助于提高电子显示器产品的质量和性能。

## 4.10. ISO 9241-333:2017

ISO 9241-333:2017 是国际标准化组织（ISO）发布的一项标准，专注于评估和确保立体显示设备在人类系统交互中的 ergonomic（人机工程学）要求。这些设备通过产生或促进双眼视差来增强立体视觉效果，从而为用户提供更加沉浸和真实的观看体验。然而，这种立体显示技术也可能导致视觉疲劳和不适，因此需要特定的 ergonomic（人机工程学）要求来确保用户在观看立体图像时的有效性和舒适性。该标准提供了一系列测试方法和度量标准，用于评估立体显示设备的性能和用户体验。这些测试方法包括测量立体图像的视差、亮度和对比度、色彩准确性、视场角等参数，以及评估用户的视觉舒适度和立体感知。通过遵循这些测试方法和度量标准，制造商可以确保其立体显示设备符合 ergonomic（人机工程学）要求，并能够为用户提供高质量的立体视觉体验。

ISO 9241-333:2017 适用于各种类型的立体显示设备，包括时间或空间交错类型的显示设备，如平板显示器和投影显示器。这些设备通常使用眼镜来分离左右眼图像，以产生立体效果。该标准主要关注商业和家庭休闲应用，例如观看电影、玩游戏等，并规定了暗环境下的使用条件。这一标准的发布对于推动立体显示技术的发展和提升用户体验具有重要意义。通过遵循这些标准，制造商可以更加准确地评估和优化立体显示器的性能，从而提升用户的体验质量。

## 4.11. ISO/TR 9241-380:2022-06

ISO/TR 9241-380:2022 是人机交互工效学领域的一个重要文档，专注于头戴式显示器（HMDs）与人类系统交互的特性研究。这份报告基于对头戴式显示器的特性进行深入分析，旨在为设计师、开发者和研究人员提供关于如何更好地设计 HMDs 的指导。

ISO/TR 9241-380:2022 涵盖了 HMDs 的多个方面，包括显示技术、光学性能、人体工程学、交互方式等。这些方面都对用户体验产生了重要影响，因此需要在设计过程中进行综合考虑。例如，显示技术的选择将直接影响图像的清晰度和色彩准确性，光学性能则关系到图像的亮度和对比度，人体工程学则涉及到设备的舒适度和使用便捷性，而交互方式则决定了用户与设备之间的交互效率和便捷性。

此外，ISO/TR 9241-380:2022 还强调了用户体验的重要性。由于 HMDs 的使用场景多种多样，包括游戏、教育、医疗等，因此需要针对不同的使用场景进行优化，以满足用户的需求。例如，在游戏中，HMDs 需要提供高响应速度和低延迟的交互方式，而在医疗领域，则需要提供高清晰度和准确的图像显示。

ISO/TR 9241-380:2022 为头戴式显示器的设计和开发提供了重要的参考和指导。通过综合考虑多个方面的因素，可以更好地满足用户的需求，提供更好的用户体验。随着 HMDs 技术的不断发展和应用场景的不断拓展，这份文档的重要性将越来越大，对于推动 HMDs 技术的发展和应用具有重要意义。

## 4.12. Display Measurement Specification (DMS) for Automotive-TFT LCDs (V5.1, 2018) (Gamma)

汽车 TFT LCD 显示屏的显示测量规范（DMS）（V5.1, 2018）是关于 Gamma 校正的一个标准或指南。这个规范主要说明了如何准确测量汽车显示屏的 Gamma 校正，这对于保证图像和颜色的准确显示非常重要。

这个规范主要包括以下几个方面：

- **Gamma 曲线的定义：**规定了显示屏应该达到的 Gamma 曲线标准。这个曲线决定了输入信号和显示亮度的关系。
- **测量方法：**详细说明了如何准确地测量 TFT LCD 显示屏的 Gamma 校正，包括使用什么设备、如何进行校准以及在什么环境下进行测量。
- **性能要求：**设定了 Gamma 校正的性能标准，确保显示屏在不同的亮度下都能提供一致且准确的颜色显示。
- **合规性和认证：**为制造商提供了如何确保他们的产品符合 Gamma 校正标准的指导，这可能包括一系列的测试和认证过程。
- **行业应用：**针对汽车显示屏的特殊应用，考虑了如环境光线、观看角度和耐用性等汽车特有的因素。

遵循这个规范，制造商可以生产出颜色准确、性能一致的 TFT LCD 显示屏。

## 4.13. ANSI/INFOCOMM 3M-201

ANSI/INFOCOMM 3M-201 是由音频视觉和集成体验协会（AVIXA，前身为 InfoComm International）和美国国家标准协会（ANSI）联合发布的一个标准。该标准的标题为“投影图像系统对比度比 - 测量和规范”。它概述了测量和规范投影图像系统对比度比率的方法，这对于评估用于各种音频视觉（AV）应用的投影机的性能和质量至关重要。

ANSI/INFOCOMM 3M-201 覆盖的关键方面包括：

- **测量方法：**定义了用于准确测量投影图像系统对比度比率的标准程序和设备。这包括设置测试条件的指南、使用适当的测试图案并考虑环境光线。
- **对比度比率计算：**提供了基于峰值白光亮度和黑电平测量的对比度比率计算方法。对比度比率量化了投影图像中最亮和最暗部分之间的亮度差异。
- **报告要求：**规定了测量对比度比率应如何报告，以确保制造商、集成商和投影系统用户之间的一致性和清晰沟通。
- **应用和合规性：**为制造商和集成商提供指导，确保他们的投影系统符合指定的对比度比率要求。遵守此标准有助于确保不同投影环境中的图像质量和性能的一致性。

ANSI/INFOCOMM 3M-201 在为投影系统设定图像质量基准方面发挥着关键作用，提供了一个标准化方法来评估和比较用于教育、企业、娱乐和其他 AV 场景的投影图像的对比度性能。

## 4.14. Information Display Measurements Standard

国际显示测量委员会（ICDM）的信息显示测量标准是一套用于指导如何测量和评估电子显示屏性能的规则。这个标准非常重要，因为它能帮助确保不同类型的显示屏（如 LCD、OLED 以及用于消费电子、汽车和医疗设备等领域的显示屏）在质量评估方面具有一致性和准确性。

这个标准主要包括以下几个方面：

- **测量方法：**详细说明了如何测量显示屏的各种关键特性，如亮度、颜色范围、对比度、分辨率、响应时间和视角等。
- **性能指标：**规定了如何计算和报告用于描述显示屏性能的各项指标，确保测量结果公正且具有可比性。
- **校准和设置：**提供了关于如何校准测量设备以及如何设置测试环境的建议，以减少外部因素对测量结果的影响。
- **环境条件：**推荐了在进行测量时应控制的环境条件，以保证测量结果的一致性。

- **报告要求：**规定了如何报告测量结果，以便于各方之间清晰地交流和比较显示屏的性能数据。

这个标准对于显示屏的开发者、评估者和质量保证人员来说非常重要。遵循这个标准可以帮助他们确保显示屏满足既定的性能标准，并在不同的应用和环境条件下为用户提供一致且满意的使用体验。

## 5. 光测量设备

### 5.1. LMD 设备规格要求

**IEC-63145-20-10:2019 标准：**

依据 IEC-63145-20-10:2019 标准，光测量设备的入瞳直径应介于 2 mm 至 5 mm 之间，且不得大于待测设备（DUT）的输出光场。同时，设备的角度精度需控制在  $0.1^\circ$  以内，平移台的定位精度相对于光测量设备（LMD）/待测设备（DUT）应达到 0.05 mm 或更优。

**ICDM 标准：**

根据 ICDM（Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022）标准，建议角度精度为  $0.05^\circ$ ，在特定情况下可放宽至  $0.1^\circ$ 。平移台的精度应达到显示屏对角线的 0.1%。

### 5.2. LMD 功能要求

成像光测量设备（ILMD）应能提供待测设备（DUT）的 2D 图像。为了与点光测量设备（LMD）的数据进行比较，通常需要根据设备不同的视场（FOV）进行笛卡尔坐标系与球面坐标系之间的转换。如果 ILMD 支持极坐标，则在比较时应优先使用，例如与光度计设备进行比较时。

#### 5.2.1. 成像光测量设备（ILMD）标准

**IEC-63145-20-10:2019 标准：**

- 光谱范围测量范围应为 380 nm 至 780 nm。



- 带宽应小于 5 nm。
- 波长精度应小于 0.3 nm。
- 2D 成像 LMD 应采用滤波器类型的 LMD。
- 2D 成像 LMD 的像素数量应不少于测量场内虚拟图像子像素数量的 4 倍。

#### ICDM 标准:

- **亮度测量:** 对于 CIE A 光源的亮度测量, 要求测量结果的相对不确定度 (考虑 2 倍覆盖因子) 不超过 4%, 且在 5 分钟内的重复性误差不超过 0.4%。此外, 测量设备的相对光谱响应率与  $V(\lambda)$  曲线的偏差应小于或等于 8%。
- **照明测量:** 在对 CIE A 光源进行照明测量时, 测量结果的相对不确定度 (考虑 2 倍覆盖因子) 应不超过 4%, 5 分钟内的重复性误差应小于 0.4%。相对光谱响应率与  $V(\lambda)$  曲线的偏差应小于 8%, 且方向响应误差不超过 2%。
- **色度测量:** 对于 CIE A 光源的色度测量, 所有测量设备在测定 CIE 1931 (x, y) 色度坐标时, 其扩展不确定度 (考虑 2 倍覆盖因子) 不应超过 0.005, 且重复性误差应小于 0.002。
- **辐射亮度测量:** 对于覆盖 380 nm 至 780 nm 范围的光谱辐射计, 其在 400 nm 至 700 nm 范围内的相对扩展不确定度 (考虑 2 倍覆盖因子) 应小于或等于 2%, 而在 380 nm 至 400 nm 和 700 nm 至 780 nm 范围内的相对扩展不确定度应小于或等于 5%。
- **阵列探测器测量:** 对于 CIE A 光源均匀源的亮度测量, 使用阵列探测器时, 测量结果的相对不确定度 (考虑 2 倍覆盖因子) 应不超过 4%, 5 分钟内的重复性误差应小于 0.4%。相对光谱响应率与  $V(\lambda)$  曲线的偏差应小于 8%, 且任意  $10 \times 10$  像素测量区域的平均值在  $50\% \pm 10\%$  饱和度时, 应与整个阵列的平均值相差在 2% 以内。

### 5.2.2. 测角光度计 (Goniophotometer) 标准

#### IEC-63145-20-10:2019 标准:

- 光谱范围: 380 nm - 780 nm。
- 带宽:  $< 5$  nm。
- 波长准确度:  $< 0.3$  nm。
- 双轴光度计。
- 角度准确度:  $\leq 0.1^\circ$ 。
- 三轴平移台: 平移准确度  $\leq 0.05$  mm。

5.3. 测量场景

根据需求，可能存在不同的测量场景。关键在于是否采用瞳孔点（pupil point）或眼动点（eye rotation point）进行测量。当需要将 2D 光测量设备与点光测量设备直接比较，以评估 DUT 的全视场时，这种情况属于类型 3（见表 7）。

对齐类型	示意图
类型 1：瞳孔固定于 LMD 旋转点：瞳孔点 当 LMD 旋转时，能看到 DUT 的不同视角，测量孔径随之改变。不反映自然现实。ICDM 推荐使用此方法。	
类型 2：瞳孔固定于 LMD 旋转点：眼动点 当 LMD 旋转时，能看到 DUT 的不同视角，测量孔径随之改变，反映自然现实。IEC 推荐使用此方法。	
类型 3：瞳孔不固定于 LMD 旋转点：瞳孔点 当 LMD 旋转时，能看到 DUT 的不同视角，而测量孔径保持不变。 在使用 2D 光测量设备与点光测量设备比较时，保持 DUT 的非倾斜视图至关重要。	

表 7：不同类型的 LMD 与视场组合（注：灰色框代表 LMD，镜头代表 DUT，之间的细线代表视场或孔径）

6. 测试方法

在本章节中，针对每种测试方法，我们将提供以下四个标志性的提示，用以明确是否适宜采用 2D 光测量设备（2D LMD）或点光测量设备（点 LMD）。此外，这些提示还将指导我们是否在执行特定测试方法时需要对准测量设备进行位置调整。

- ☒2D：适用于 2D 光测量设备
- ☒点：适用于点光测量设备
- ☒移动点：测试过程中需移动点光测量设备
- ☒移动 2D：测试过程中需移动 2D 光测量设备

## 6.1. 眼点对齐

根据“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”的规定，眼点对齐的精度需在 $\pm 1$  毫米（x, y 坐标）范围内。

### 6.1.1. 眼点对齐（ICDM）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☒ 移动 2D

依据“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”，眼点（眼盒）的标准通常通过选取一个特定属性或维度来确定，例如从一个最大值的50%。可用的属性或维度包括但不限于：

- 亮度
- 对比度比
- Michelson 对比度
- 颜色
- 几何失真

#### 测量步骤

1. 使用适当的测量图案。
2. 将 LMD 向 $-x$  方向移动，直至达到标准位置  $(x_{1,j})$ （j 代表迭代次数）。
3. 将 LMD 向  $x$  方向移动，直至达到标准位置  $(x_{2,j})$ 。
4. 确定在 $-x$  和  $x$  之间的中间点  $(x_{m,j})$ 。
5. 将中间点设置为新的零点，即 $x_{m,j}$ 。
6. 将 LMD 向 $-y$  方向移动，直至达到标准位置  $(y_{1,j})$ 。
7. 将 LMD 向  $y$  方向移动，直至达到标准位置  $(y_{2,j})$ 。
8. 确定在 $-y$  和  $y$  之间的中间点  $(y_{m,j})$ 。
9. 将中间点设置为新的零点，即 $y_{m,j}$ 。

10. 重复步骤 2 至 9，直至零点的变化小于 1 毫米。

## 计算方法

计算公式如下：

$$x_{m,j} = (x_{2,j} - x_{1,j})/2$$

$$y_{m,j} = (y_{2,j} - y_{1,j})/2$$

重复以上步骤，直到：

$$x_{m,j} - x_{m,j-1} < 1mm$$

$$y_{m,j} - y_{m,j-1} < 1mm$$

## 报告要求

报告应包含当前目镜的最终眼点位置的绝对坐标，LMD 的类型，设置条件，测试图案，对齐方法，以及用于确定眼盒边界的属性和阈值值。

### 6.1.2. 使用十字线进行眼点对准（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

请参考“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”了解更多详情。此方法适用于 2D 光测量设备或直接目测。

## 测量参数

- 十字线图案的线宽
- 十字线图案的亮度
- 十字线图案的扭曲程度

注意：2D 光测量设备应具备足够的分辨率以准确检测十字线图案。

### 6.1.3. 使用中心亮度进行眼点对准（ICDM）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☒ 移动 2D

更多细节请参阅“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D 光测量设备或点 LMD。

#### 测量参数

- 亮度

备注：以 2° 的测量视场角为基准，亮度降低 50%作为评判标准。

### 6.1.4. 使用中心分辨率进行眼点对准（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

更多细节请参阅“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D 光测量设备。

#### 测量参数

- Michelson 对比度

备注：以 Michelson 对比度下降 50%作为评判标准。

### 6.1.5. 使用视场进行眼点对准（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

更多细节请参阅“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D 光测量设备。

### 测量参数

- 视场

备注：2D LMD 的视场（FOV）应大于被测设备（DUT）。将视场区域减少到 95%作为评判标准。

### 6.1.6. 利用横向色差对 NED 眼盒进行中心定位（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

更多细节请参阅“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D 光测量设备。

### 测量参数

- 横向色差

备注：为确保准确分析，2D LMD 系统应具备足够的分辨率，以便清晰地识别测试图案中的条形码以及被测器件（DUT）的亚像素级特征。

### 6.1.7. 利用彗差、散光、场曲率对 NED 眼盒进行中心定位（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

更多细节请参阅“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D 光测量设备。

## 测量参数

- 光学像差

备注：为了精确解析亚像素特征，2D LMD 系统的分辨率应至少是被测器件（DUT）特征尺寸的四倍。这样的分辨率确保了每个测试图案点能够在图像中被至少四个像素所覆盖。如果分辨率不足，导致每个点未能达到至少四像素的覆盖，那么 2D LMD 的视场（FOV）可能会限制在  $10^\circ$  以内。

### 6.1.8. 采用全视场亮度法进行眼点对准（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

更多细节请参阅“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。此方法适用于 2D 光测量设备。

## 测量参数

- 亮度

备注：以亮度下降 50%和图像面积减少 95%作为评判标准。

### 6.1.9. 采用 Michelson 对比度法进行眼点对准（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

更多细节请参阅“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。此方法适用于 2D 光测量设备。

## 测量参数

- Michelson 对比度

备注：以 Michelson 对比度下降 50%作为评判标准。

### 6.1.10. 不同眼点对齐技术之间的比较

方法	眼点对齐	使用十字线进行眼点对准	使用中心亮度进行眼点对准	使用中心分辨率进行眼点对准	使用视场进行眼点对准	利用横向色差对 NED 眼盒进行中心定位	利用彗差、散光、场曲率对 NED 眼盒进行中心定位	采用全视场亮度法进行眼点对准	采用 Michelson 对比度法进行眼点对准
LMD 类型	点/2D	2D	点/2D LMD 场角 2°	2D LMD FOV > FOV 虚拟图像	2D	2D	2D LMD 分辨率应至少是 DUT 的四倍	2D	2D
测试图案		十字线	白色	白色	格栅图案	颜色	颜色	白色	格栅图案
评判标准	标准定义的眼框中间	眼点等于图案的最佳成像	眼点是亮度下降到 50%的眼框中间	眼点是视野为 95%的眼框中间	眼点是 Michelson 对比度下降到 50%的眼框中间	眼点是与绿色等颜色的色差最小的位置。仅适用于具有可测量色差的 DUT	眼点是最小分数面积的位置。仅适用于具有可测量彗差、散光或场曲的 DUT	眼点是亮度区域大小最大的眼框中间。亮度区域大小定义为下降到 50%	眼点是 Michelson 对比度下降到 50%的眼框中间

表 8：不同眼点对齐技术之间的比较

**备注：**在讨论的各种方法中，一个基本要求是确保 DUT 和 LMD 之间的位置定位准确无误，尤其是 DUT 和 LMD 之间的角度设置需要能够重复实现。



## 6.2. 亮度测量

### 6.2.1. 亮度测量（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 亮度

### 6.2.2. 亮度和对亮度均匀性测量（ICDM）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 亮度（白色、红色、绿色、蓝色）
- 黑色
- 对比度

## 6.3. 色度和色域测量

### 6.3.1. 色度和色域测量（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 色度坐标  $x$ ,  $y$ （红色、绿色、蓝色）
- 色域面积（ $xy$ ）

### 6.3.2. 色度色域面积均匀性测量（ICDM）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 色度坐标  $x$ ,  $y$ （红色、绿色、蓝色）
- 色域面积（ $xy$ ）

## 6.4. 色度均匀性测量

### 6.4.1. 色度均匀性测量（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点

- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

评估色度均匀性时，以最大色彩距离为标准。

## 6.4.2. 色度均匀性测量（ICDM）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

- 色度  $u'$  ,  $v'$  （白色、红色、绿色、蓝色、黑色）
- 白色色度均匀性

## 6.5. 对比度测量

### 6.5.1. 对比度测量（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

- 对比度

## 6.5.2. 使用大视场 LMD 测量棋盘格图案的对比度（ICDM）

别名 ANSI 对比度。

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。本方法适用于 2D LMD。

### 测量参数

- 白色、黑色亮度
- 对比度

## 6.5.3. 使用小视场 LMD 测量棋盘格图案的对比度（ICDM）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。本方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

- 亮度
- 对比度

备注：测量视场应为  $1^{\circ} - 2^{\circ}$ 。

## 6.6. 视场角（FOV）测量方法

### 6.6.1. 亮度测量法（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 水平视场角
- 垂直视场角
- 斜向视场角

备注：以亮度下降至 50%作为评判标准。

### 6.6.2. Michelson 对比度测量法（IEC-63145-20-20:2019）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality”。此方法适用于 2D LMD。

#### 测量参数

- 水平视场角
- 垂直视场角
- 斜向视场角

备注：以 Michelson 对比度下降至特定值作为评判标准。

### 6.6.3. NED 视场角测量 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 亮度
- 角度

备注：评估应在 LMD 光学轴正负 1° 范围内进行。

### 6.6.4. 亮度测量法 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 亮度
- 角度

备注：以亮度下降至给定极限（如 50%）作为评判标准。

### 6.6.5. Michelson 对比度测量法 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D LMD。

### 测量参数

- 角度
- Michelson 对比度

备注：以 Michelson 对比度下降至给定极限（如 50%）作为评判标准。

## 6.7. 眼盒测量方法

### 6.7.1. 亮度测量法（IEC-63145-20-10:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”。此方法适用于 2D LMD 和点 LMD。

### 测量参数

- 宽度
- 高度
- 深度
- 体积

备注：以亮度下降至给定值作为评判标准。

### 6.7.2. Michelson 对比度测量法（IEC-63145-20-20:2019）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality”。此方法适用于 2D LMD。

### 测量参数

- 宽度
- 高度
- 对角线

备注：以 Michelson 对比度下降至给定值作为评判标准。

### 6.7.3. 中心亮度方法（ICDM）

- ☒2D
- ☒点
- ☒移动点
- ☒移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

- 亮度
- x, y 距离

备注：以亮度下降至给定值作为评判标准。

### 6.7.4. Michelson 对比度测量法（ICDM）

- ☒2D
- □点
- □移动点
- ☒移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D LMD。



### 测量参数

- Michelson 对比度
- x, y 距离

备注：以 Michelson 对比度下降至给定值作为评判标准。

#### 6.7.5. Draper 方法 (ICDM)

- ☑2D
- □点
- □移动点
- ☑移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD。

### 测量参数

- Michelson 对比度
- x, y 距离

备注：以 Michelson 对比度下降至给定值作为评判标准，且此方法需较少的图像数量。

#### 6.7.6. 基于亮度的视场角方法 (ICDM)

- ☑2D
- ☑点
- ☑移动点
- ☑移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

- x, y 距离

备注：以亮度下降至给定值作为评判标准。

### 6.7.7. 基于 Michelson 对比度的视场角方法 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD。

#### 测量参数

- x, y 距离

备注：以 Michelson 对比度下降至给定值作为评判标准。

## 6.8. 畸变测量方法

### 6.8.1. 标准畸变测量 (IEC-63145-20-20:2019)

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见 “IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality”。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 畸变

### 6.8.2. NED 局部几何畸变测量 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点

- ☐ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D LMD。

#### 测量参数

- 畸变百分比

## 6.9. 颜色配准误差测量方法

### 6.9.1. 颜色配准误差标准测量（IEC-63145-20-20:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☒ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality”。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 配准误差

## 6.10. Michelson 对比度测量方法

### 6.10.1. 标准 Michelson 对比度测量（IEC-63145-20-20:2019）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality”。此方法适用于 2D LMD。

## 测量参数

- Michelson 对比度

### 6.10.2. Michelson 对比度均匀性测量 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD。

## 测量参数

- Michelson 对比度

## 6.11. 焦距与虚拟图像距离 (VID) 测量方法

### 6.11.1. 焦距法 (IEC-63145-20-20:2019)

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见 “IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality”。此方法适用于 2D LMD。

## 测量参数

- Michelson 对比度

备注：测量时需改变 LMD 的焦点。

### 6.11.2. 视差法（IEC-63145-20-20:2019）

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见“IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality”。此方法适用于 2D LMD。

#### 测量参数

- 两个位置的角度变化

### 6.11.3. 虚拟图像距离（K. Guo 2019）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“Single shot scan less method for virtual image distance measurement for near eye display systems”。该方法是通过特殊光圈生成两个图像。

### 6.11.4. 虚拟图像距离测量：使用 LMD 镜头焦点（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”。此方法适用于 2D LMD。

#### 测量参数

- Michelson 对比度

备注：测量时需改变 LMD 的焦点。

### 6.11.5. 在视场角内的虚拟图像距离（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☒ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于带有聚焦镜头的 2D LMD。

#### 测量参数

- 图像焦距

备注：测量时需改变 LMD 的焦点。

## 6.12. 调制传递函数（MTF）

### 6.12.1. 空间测量（ICDM）

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD。

#### 测量参数

- Michelson 对比度
- 斜边 MTF
- 分辨率

## 6.13. 黑/白对比度测量

### 6.13.1. 信号对比度 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 黑/白对比度

### 6.13.2. 双视自动立体系统串扰 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

#### 测量参数

- 黑/白对比度

## 6.14. 伽马值测量

### 6.14.1. 伽马和灰度失真 (ICDM)

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见 “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022”  
。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

- 伽马
- 灰度

## 6.14.2. 伽马值测量 (DFF)

- ☒ 2D
- ☒ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

详情参见“DFF Display Measurement Specification (DMS) for Automotive-TFT LCDs (V5.1, 2018) (Gamma)”。此方法适用于 2D LMD 或点 LMD。

### 测量参数

- 伽马
- 灰度

## 6.15. 像素角密度测量

### 6.15.1. 像素角密度 (IEC-63145-20-10:2019)

- ☒ 2D
- ☐ 点
- ☐ 移动点
- ☐ 移动 2D

在“IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties”中讨论了像素角密度的测量方法，其中包括两种主要的技术：

- **基本方法：**这种方法涉及在给定的测量场中计算显示设备（DUT）的像素数。这通常是通过在 DUT 的显示面上放置一个网格或点阵，并使用图像分析软件来确定 DUT 显示了多少个像素。这种方法简单直接，但可能受到 DUT 分辨率、测量设备精度以及环境因素的影响。



- **斑点图案法：**这种方法涉及激活 DUT 的一定数量的像素，例如通过在 DUT 上显示特定的斑点图案。然后，测量这些激活像素所覆盖的立体角。立体角是三维空间中一个点与另一个点（通常是视点）之间的角度，它描述了在特定视角下可见的像素数量。这种方法可以提供更精确的像素角密度测量，因为它考虑了像素的实际分布和视角的影响。

## 测量参数

- 像素角密度（PAD），即与显示设备（DUT）相关的像素每度（PPD）

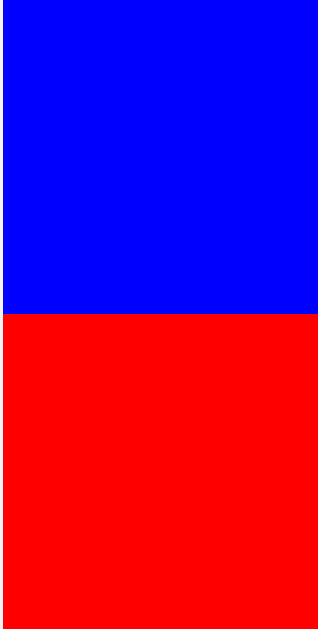
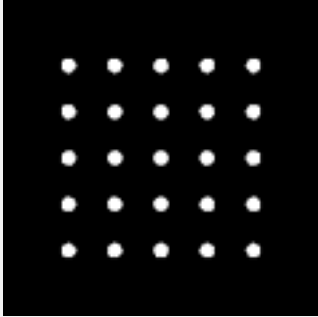
## 6.16. 测试方法概述

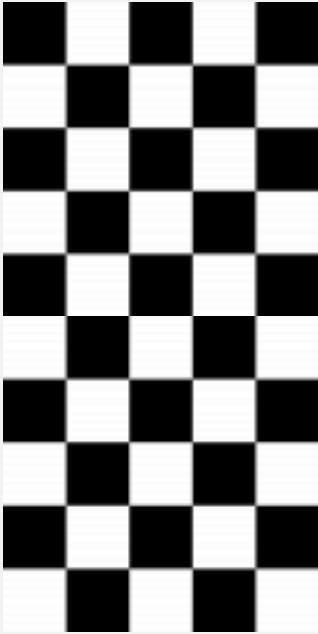
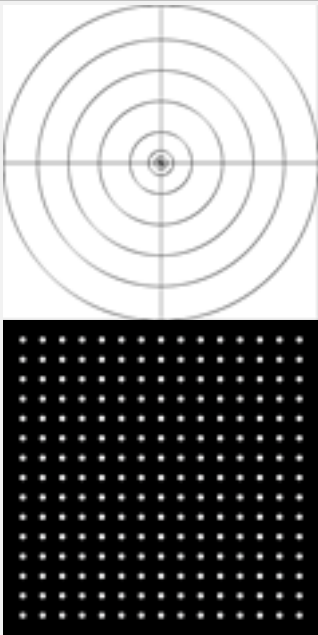
#	测试方法	2D	点	移动点	移动2D
1	眼点对齐（ICDM）	☒	☒	☒	☒
2	使用十字线进行眼点对准（ICDM）	☒	☐	☐	☒
3	使用中心亮度进行眼点对准（ICDM）	☒	☒	☒	☒
4	使用中心分辨率进行眼点对准（ICDM）	☒	☐	☐	☒
5	使用视场进行眼点对准（ICDM）	☒	☐	☐	☒
6	利用横向色差对 NED 眼盒进行中心定位（ICDM）	☒	☐	☐	☒
7	利用彗差、散光、场曲率对 NED 眼盒进行中心定位（ICDM）	☒	☐	☐	☒
8	采用全视场亮度法进行眼点对准（IEC-63145-20-10:2019）	☒	☐	☐	☒
9	采用 Michelson 对比度法进行眼点对准（IEC-63145-20-10:2019）	☒	☐	☐	☒
10	亮度测量（IEC-63145-20-10:2019）	☒	☒	☒	☐
11	亮度和对比度均匀性测量（ICDM）	☒	☒	☒	☐
12	色度和色域测量（IEC-63145-20-10:2019）	☒	☒	☒	☐
13	色度色域面积均匀性测量（ICDM）	☒	☒	☒	☐
14	色度均匀性测量（IEC-63145-20-10:2019）	☒	☒	☒	☐
15	色度均匀性测量（ICDM）	☒	☒	☒	☐
16	对比度测量（IEC-63145-20-10:2019）	☒	☒	☒	☐
17	使用大视场 LMD 测量棋盘格图案的对比度（ICDM）	☒	☐	☐	☐
18	使用小视场 LMD 测量棋盘格图案的对比度（ICDM）	☒	☒	☒	☒

19	FOV 亮度测量法 (IEC-63145-20-10:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	FOV Michelson 对比度测量法 (IEC-63145-20-20:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	NED 视场角测量 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	FOV 亮度测量法 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	FOV Michelson 对比度测量法 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	眼盒亮度测量法 (IEC-63145-20-10:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	眼盒 Michelson 对比度测量法 (IEC-63145-20-20:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	眼盒中心亮度方法 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	眼盒 Michelson 对比度测量法 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	眼盒 Draper 方法 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	眼盒基于亮度的视场角方法 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	眼盒基于 Michelson 对比度的视场角方法 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	标准畸变测量 (IEC-63145-20-20:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	NED 局部几何畸变测量 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	颜色配准误差标准测量 (IEC-63145-20-20:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	标准 Michelson 对比度测量 (IEC-63145-20-20:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	Michelson 对比度均匀性测量 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
36	焦距测量 (IEC-63145-20-20:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
37	视差测量 (IEC-63145-20-20:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38	虚拟图像距离 (K. Guo 2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39	虚拟图像距离测量: 使用 LMD 镜头焦点 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
40	在视场角内的虚拟图像距离 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
41	空间测量 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42	信号对比度 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43	双视自动立体系统串扰 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44	伽马和灰度失真 (ICDM)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
45	伽马值测量 (DFF)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
49	像素角密度 (IEC-63145-20-10:2019)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

表 9: 测试方法概述

6. 17.      测试图案

#	图案	示例
1	全实心图案：指以单一颜色（通常是白色、红色、绿色或蓝色）展现显示分辨率的图案。	
2	斑点状图案	

3	棋盘格图案	
4	对齐图案	

5	用于 Michelson 对比度的格栅图案	
6	倾斜边缘图案	

表 10：测试图案概览

### 6.18. 测量点位的定义

在现行标准中，为了准确评估参数如均匀性，通常规定了 5 个或 9 个测量点。这些测量点的具体位置是基于显示器的尺寸来决定的（参见图 8）。对于增强现实（AR）、虚拟现实（VR）以及混合现实（MR）的组件或头戴设备，鉴于显示位置与视场内位置之间的关系往往不易确定，测量点也可以依据视场（FOV）来设定。图 9 提供了一个以 FOV 为参考的示例。考虑到 FOV 或显示器的形状可能存在差异，测量点的位置应当进行适当调整，以确保评价结果的准确性和有效性。

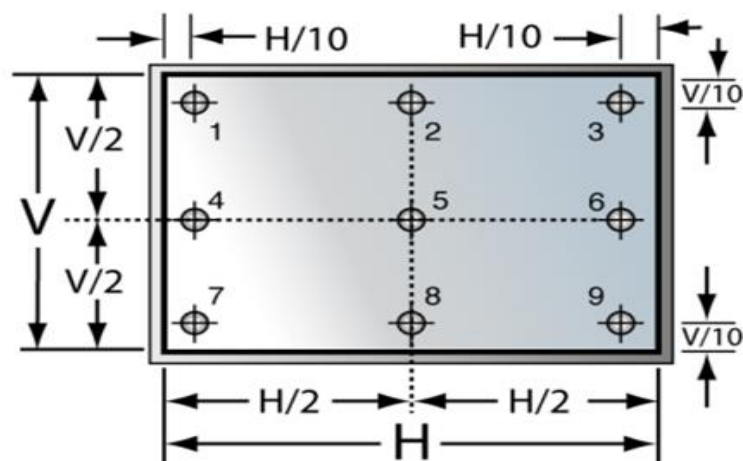


图 8：使用显示尺寸定义测量位置的示例

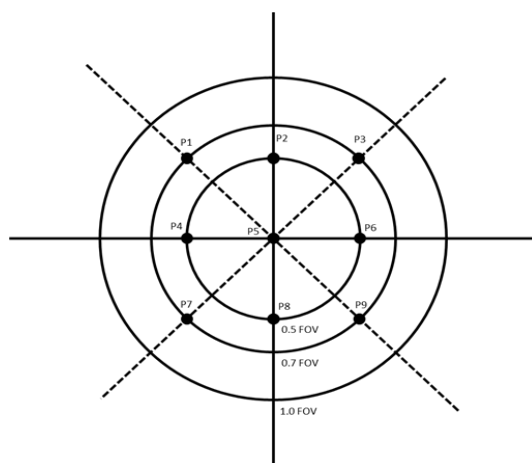


图 9：在视场（FOV）尺寸中定义测量点

## 7. 测量平台

### 7.1. 测量设置

测量过程的第一步是进行可重复的校准。这主要意味着要找到一个起始点，该点可以用于眼动扫描等操作。ICDM 和 IEC 标准提供了一些校准程序。同时，还需要确定在测量中应使用的旋转参考点。可以选择瞳孔旋转点或眼球旋转点作为旋转的参考。眼球旋转点更为真实，因为它模拟了人眼的注视方向（见图 10）。眼球旋转点位于瞳孔点后 10 毫米处（见图 11）。眼球的移动会导致注视方向的明显变化（见图 12）。关于校准与测量的不同情境，请参见表 11。

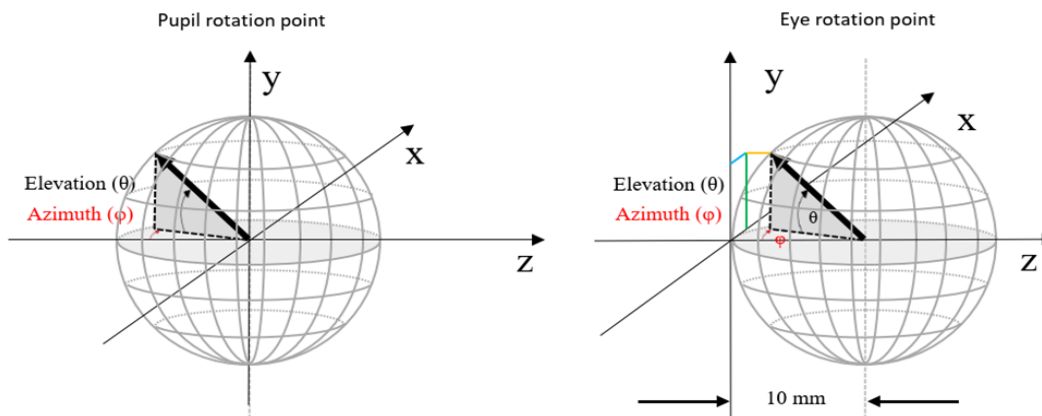


图 10: 旋转点的不同定义

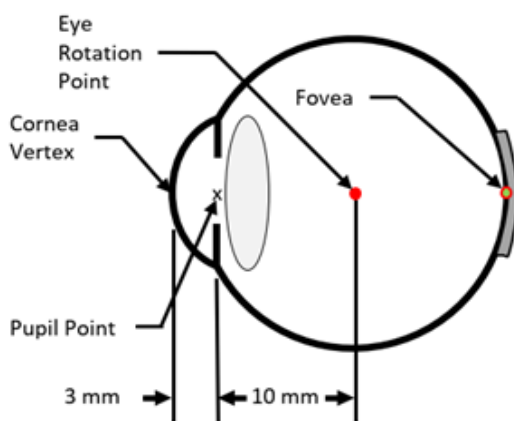


图 11: 标准眼球的几何结构

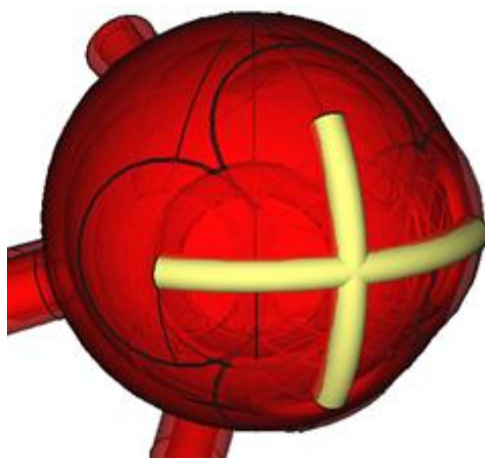


图 12: 黄色区域显示眼睛在水平方向（左右 50°）和垂直方向（上下 40°）的最大转动范围。

对齐类型	示意图
类型 1：瞳孔固定于 LMD <b>旋转点：瞳孔点</b> 当 LMD 旋转时，能看到 DUT 的不同视角，测量孔径随之改变。不反映自然现实。ICDM 推荐使用此方法。	
类型 2：瞳孔固定于 LMD <b>旋转点：眼动点</b> 当 LMD 旋转时，能看到 DUT 的不同视角，测量孔径随之改变，反映自然现实。IEC 推荐使用此方法。	
类型 3：瞳孔不固定于 LMD <b>旋转点：瞳孔点</b> 当 LMD 旋转时，能看到 DUT 的不同视角，而测量孔径保持不变。 在使用 2D 光测量设备与点光测量设备比较时，保持 DUT 的非倾斜视图至关重要。	

表 11：不同类型的 LMD 与视场组合（注：灰色框代表 LMD，镜头代表 DUT，之间的细线代表视场或孔径）

### 7.1.1. 测量机械平台

为保证测量条件一致且可重复，点光测量设备和 2D 光测量设备的设置应相近，从而确保测量结果具有可比性。其中一个关键点是待测设备（DUT）与光测量设备（LMD）的正确对齐。

根据 IEC 标准的建议，设置应满足以下精确度要求：

- x, y, z 轴的精度 < 0.05 毫米
- $\alpha$ （倾斜角）， $\Psi$ （方位角）的精度 < 0.1°



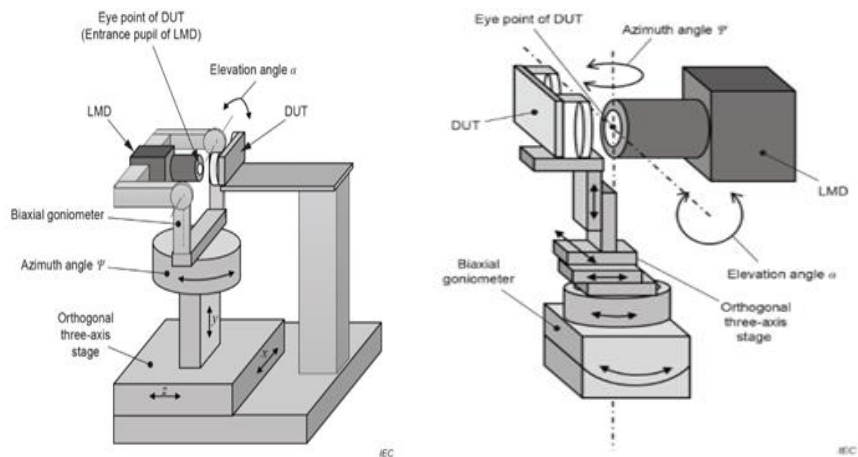


图 13：基于 IEC 标准的基本装置配置。

可能的解决方案包括：

- 配备平移和旋转平台的测角仪（参见图 14）
- 六轴运动控制系统
- 机械臂

机械装置一般由多个移动元件组成，如下图所示。确保所有元件的坐标系统相互对齐，对实现精确可靠的运动至关重要。

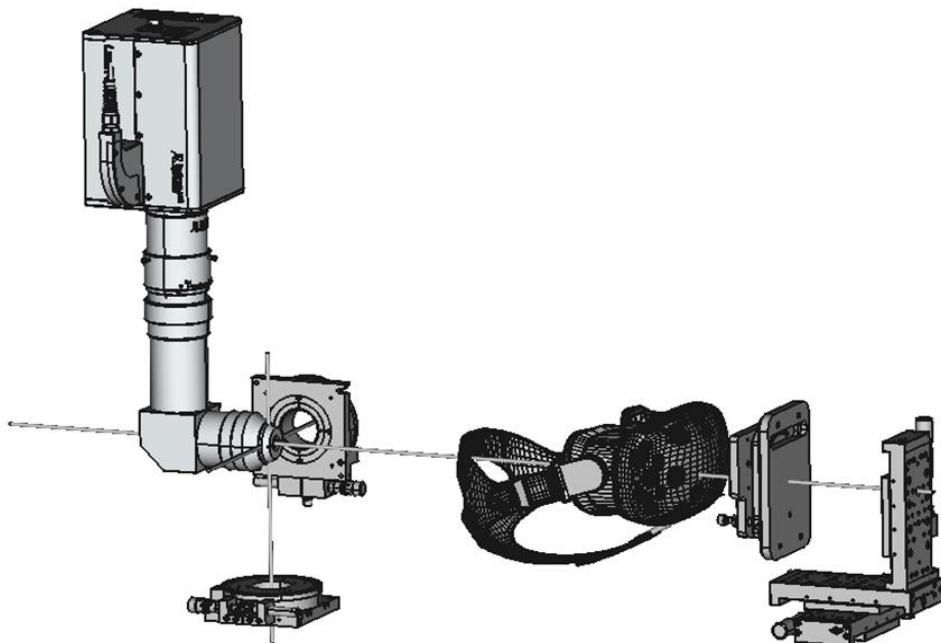


图 14：所需装置的总体视图（爆炸示意图）

## 7.2. 对齐流程

### 7.2.1. 准备工作

在将被测设备（DUT）与测量设备对齐之前，务必确保光测量设备（LMD）的光轴与机械平移台精准对齐。比如，可以用激光束穿过光测量设备的光纤，以此检查 LMD 的光轴是否与导轨系统平行。或者在 XYZ 导轨系统上装一面镜子，把激光反射回 2D 光测量设备。这样能保证其他支架，如平移台，已经与 2D 光测量设备很好地对齐了。

对齐的目的是使光测量设备（LMD）的坐标系与被测设备（DUT）的坐标系对齐，使它们的轴重合。图 15 清楚地展示了对齐的目标。

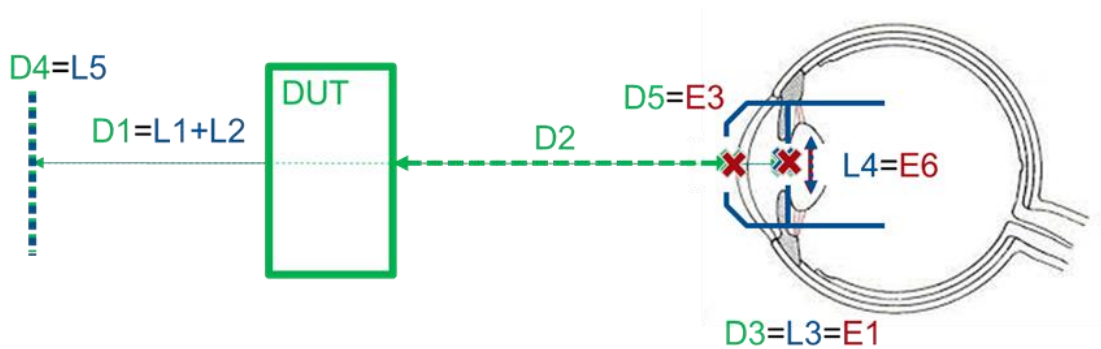


图 15: LMD 和 DUT 的对齐坐标系统

### 7.2.2. 十字准线对齐

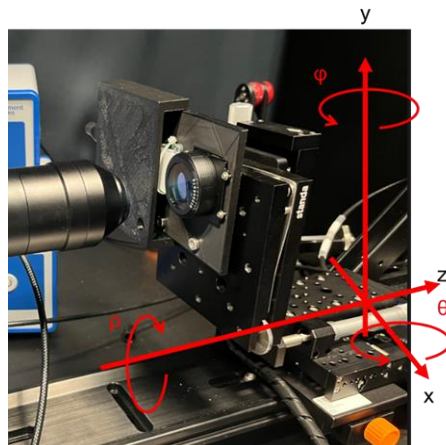


图 16: 十字准线对齐测试平台

在对齐过程中，以下几何参数是需要重点考虑的关键因素：

- $\phi$  方位角：控制设备在水平面的旋转。
- $\theta$  仰角：控制设备在垂直面的旋转。
- $\rho$  旋转：涉及设备绕自身轴的旋转。
- $z$  轴：用于调整眼距，即设备与观察者眼睛之间的距离。
- $x, y$  或其他笛卡尔坐标：用于调整设备在水平面内的位置。

在理想情况下，AR/VR 光学测量设备的光轴应与光学导轨保持平行，以确保测量的精确性。这一对准过程通常通过激光束校准来实现，以确保光轴的对齐精度。

如果 AR/VR 光学测量设备的光轴没有精确对齐，那么在调整  $x$ 、 $y$  或  $z$  坐标时，可能会不可避免地影响到其他坐标的调整。这种相互依赖的关系在对准过程中尤为重要，尤其是在执行眼动追踪扫描时，因为任何微小的偏差都可能导致测量结果的准确性下降。

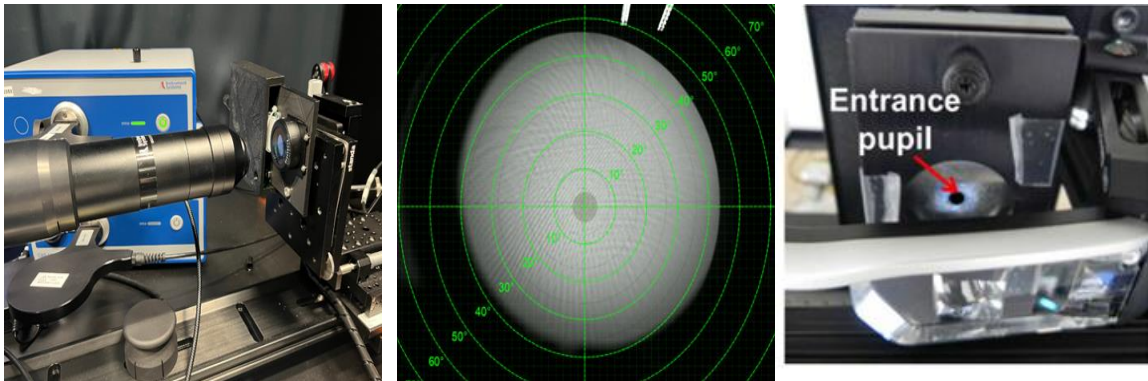


图 17：十字准线对齐过程

### 初始对齐：

在进行细致的调整之前，首先需要将 DUT 放置在尽可能准确的位置，以确保后续对齐过程的顺利进行。以下是初始对齐的关键步骤：

1. **中心对齐：**确保 DUT 与 LMD 的镜头中心对齐。这是为了确保从 DUT 发出的光线能够正确地通过 LMD 的镜头，从而获得准确的测量结果。
2. **平行对齐：**调整 DUT，使其表面与 AR/VR 设备的镜头表面保持平行。平行对齐有助于减少因角度偏差导致的图像失真，提高对准精度。

3. **光线照射：**确保 DUT 发出的光线能够充分照亮 LMD 的入瞳处。正确的光线照射是获取清晰、准确测量数据的前提，有助于提高整个对齐过程的效率和准确性。

通过以上初始对齐步骤，可以为后续的精细调整打下良好的基础，确保整个对齐过程的高效和精确。

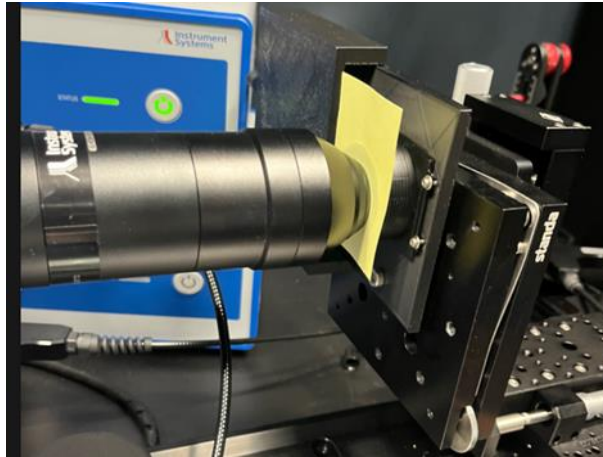


图 18：Z 轴眼距对齐过程

### Z 轴眼距对齐：

眼距，即 AR/VR 设备与 DUT（待测设备）之间的距离，是 DUT 的关键参数之一。此参数通常由设备制造商提供。若未明确给出，可以采用 20 毫米作为标准的默认眼距。眼距的定义可能因标准而异。一种定义将其视为从 DUT 镜头表面到眼睛表面的距离，而另一种则将其定义为从镜头表面到 AR/VR 设备入瞳处的距离。

以下是对齐 Z 轴眼距的步骤：

1. 使用平移台沿 Z 轴移动 DUT，逐步减小 AR/VR 镜头与 DUT 镜头之间的距离。
2. 继续调整，直到两者之间的距离足够近，能够轻轻夹住并固定一张摆动的纸片。这一步骤旨在确保镜头间不会发生直接接触，从而避免潜在的损坏。
3. 在确保不会发生接触后，将 DUT 沿 Z 轴向外移动，直至达到预定的眼距值。

**备注：**在设置眼距时，务必考虑镜头表面与入瞳之间的实际距离，以确保精确对齐。

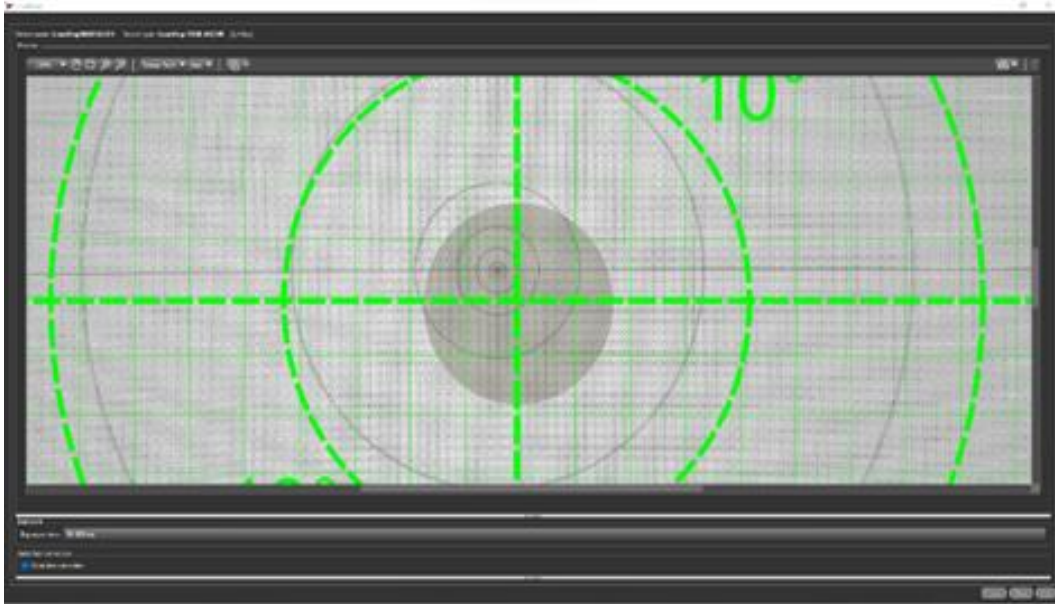


图 19:  $\rho$  轴对齐过程截图

#### $\rho$ 轴对齐:

- 在测量软件界面中显示十字准线图案。
- 操作 DUT，使其上的十字准线与软件显示的十字准线对齐。
- 精细调整，确保 DUT 上的十字准线轴与测量软件中的十字准线轴保持平行，以达到预定的  $\rho$  轴设定值。
- 通过这种对齐方式，可以精确地将  $\rho$  轴定位到所需的特定角度，确保两个十字准线的轴线相互平行，从而满足对准要求。



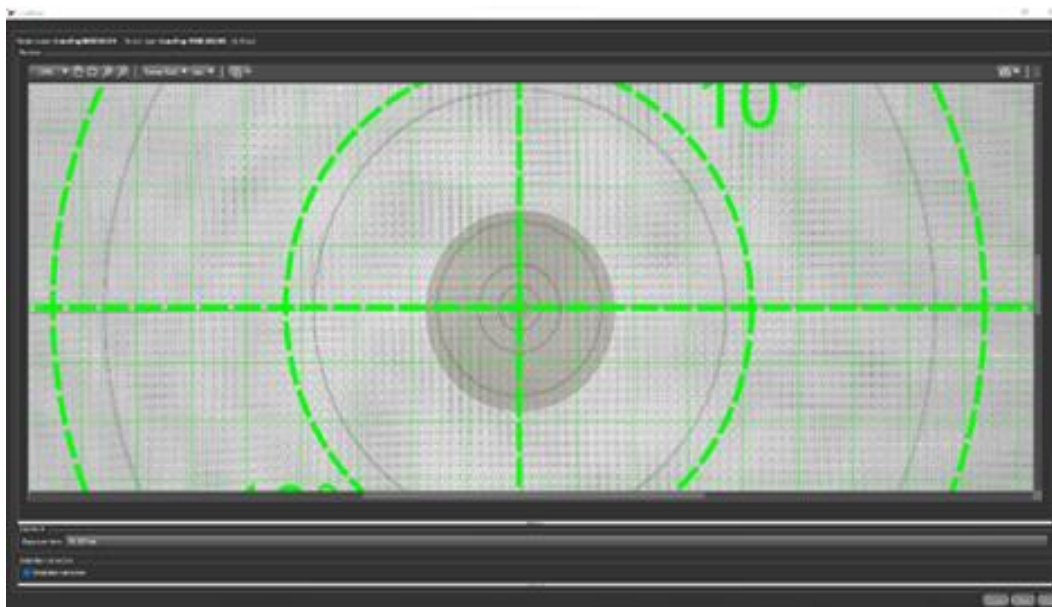


图 20:  $\phi$  方位角/  $\theta$  仰角对齐过程截图

#### $\phi$ 方位角/ $\theta$ 仰角对齐:

- 在待测设备（DUT）上投射一个十字准线图案。
- 通过旋转 DUT，调整  $\phi$  方位角（水平旋转角度）和  $\theta$  仰角（垂直旋转角度），直至 DUT 上的十字准线中心与测量软件界面上所显示的十字准线中心完全对齐。
- 精确对准后，确保十字准线在两个视图中的位置一致，以完成  $\phi$  方位角和  $\theta$  仰角的对齐工作。

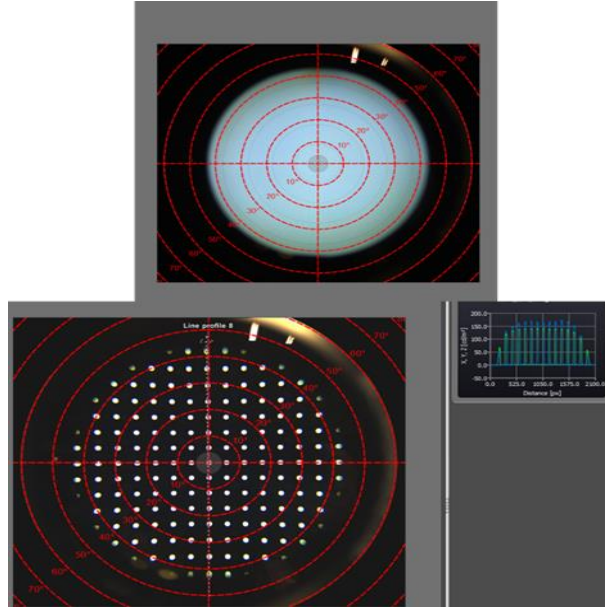


图 21: X/Y 轴对齐过程截图

### X/Y 轴对齐:

- X/Y 轴的对齐主要通过调节亮度值来实现。这一过程涉及逐步调整 X/Y 坐标，直至亮度峰值达到视场中心，并确保整个视场（FOV）内的亮度分布达到对称状态。为精确对齐，可在测量软件中应用线函数（设定线宽以覆盖整个圆形视场的宽度），以确保视场中心等距离的点亮度一致。
- 除了依赖亮度值，对齐过程还可以借助对比度、失真度或清晰度等其他参数作为辅助手段。
- 完成 X/Y 轴的对齐后，可能还需要对  $\phi$  方位角和  $\theta$  仰角进行微调，以实现更精确的对准。需要注意的是，方位角和仰角的调整可能会影响之前 X/Y 轴的对齐状态，因此调整后应重新检查并适当微调 X/Y 轴，以保证最终的对准精度。

### 7.2.3. 斑点 (blob) 对齐

本部分简要介绍了一种特殊对齐流程。在 DUT 的  $z$  轴与光学轴线不完全一致，且其沿  $z$  轴的距离在 10 毫米至大约 40 毫米范围内变动时，所观察到的斑点 (blob) 变化将呈现不对称性。以下图像展示了正确与错误对齐的两种情况。

左侧图像展示了正确对齐的示例。图中顶部为视点处的图像，底部则为视点后大约 30 毫米位置（远离 DUT）的图像。右侧图像则揭示了错误对齐的情况，同样，顶部为视点处的图像，底部为视点后大约 30 毫米处的图像。在错误对齐的案例中，斑点的分布明显失去了对称性。

为了提高对齐的精度，对齐过程不仅需要考虑到斑点的不对称变化，还应当包括对  $\phi$  方位角和  $\theta$  仰角的调整，以及 x/y 轴的精确对齐。这样的综合调整是确保对准精度的关键。

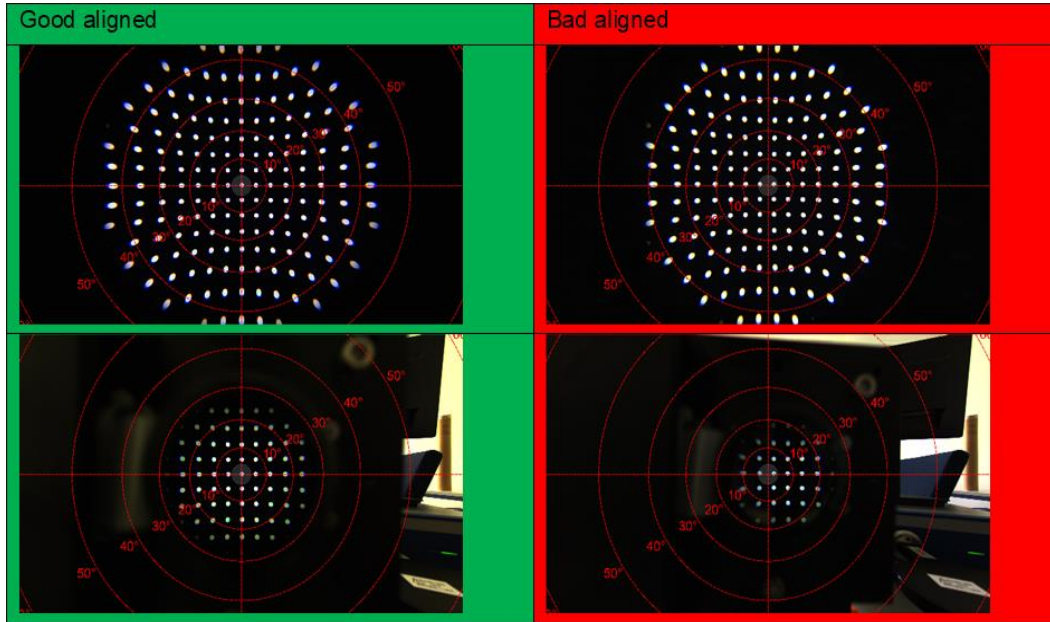


图 22：斑点对齐截图，正确（左）与错误（右）

## 8. 测量示例

### 8.1. 中心虚拟图像基本测量：

这一部分介绍了对中心虚拟图像进行基本测量的方法。中心虚拟图像通常指的是在光学或显示系统中，通过特定方式形成的、位于光学系统中心的图像。这种图像对于评估光学系统的性能，如分辨率、对比度和均匀性等，是非常重要的。

基本测量可能包括对图像亮度和对比度的评估，以及确定图像的清晰度和稳定性。这些测量有助于确保显示系统能够提供高质量的视觉效果，特别是在关键的应用场景中，如虚拟现实（VR）或增强现实（AR）系统。

**光测量设备（LMD）：**

Instrument Systems DMS803（测角光度计）。



## 被测设备（DUT）：

配备 Pancake 光学元件以及 OLED on Si 显示屏的 NED 设备，分辨率为 2560 px x 2560 px。

## 测试图案：

涵盖了纯白色、红色、绿色、蓝色以及黑色等多种颜色。

## 测量：

首先，将方位角和仰角均设定为  $0^\circ$ ，然后把 LMD 放置于视点 P5 处（具体点位可参考下图）。

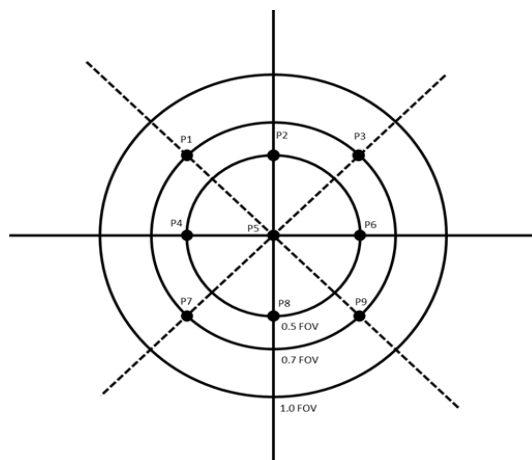


图 23：在视场（FOV）尺寸中定义测量点

## 分析：

可以从  $x, y$  颜色坐标计算出色温（CCT）：

$$CCT = 437n^3 + 3601n^2 + 6861n + 5514$$

$$n = \frac{(x - 0.3320)}{(0.1858 - y)}$$

对比度  $C_{FWS}$  可以通过以下方式计算：

$$C_{FWS} = \frac{L_w}{L_b}$$

其中，

- $L_w$ 是全帧白色亮度，
- $L_b$ 是全帧黑色亮度。

对比度  $C_{FWS}$ 反映了屏幕在显示纯白色和纯黑色时亮度的差异程度。高对比度比值意味着屏幕能够显示出更深的黑色和更亮的白色，从而提供更清晰、更生动的图像。在光学测量中，对比度比值越高，通常表示显示设备的性能越好。

在计算对比度  $C_{FWS}$ 时，如果需要考虑屏幕背后的背景亮度对测量结果的影响，可以使用以下扩展公式：

$$C_{FWS} = \frac{(L_w - L_{bg})}{(L_b - L_{bg})}$$

其中，

- $L_w$ 是全帧白色亮度，
- $L_b$ 是全帧黑色亮度，
- $L_{bg}$ 是背景亮度（当设备关闭时的环境亮度）。

在实际应用中，如果背景亮度对测量结果的影响可以忽略不计，可以将  $L_{bg}$  设置为  $0 \text{ cd/m}^2$ 。这意味着在计算对比度时，只考虑屏幕本身的亮度和暗度，而不考虑外部环境的影响。

### 测量结果：

主要颜色	亮度 ( $\text{cd/m}^2$ )	x 色坐标	y 色坐标	色温 (K)	对比度	色域覆盖率
白色	<i>106.65</i>	<i>0.3338</i>	<i>0.3589</i>	<u>5437</u>	<u>&gt;100000</u>	<u>88% (DCI-P3)</u>
红色	<i>25.56</i>	<i>0.6549</i>	<i>0.3345</i>			
绿色	<i>66.882</i>	<i>0.2468</i>	<i>0.6899</i>			
蓝色	<i>10.387</i>	<i>0.1746</i>	<i>0.0976</i>			
黑色	<i>&lt;0.0001</i>					

表 12：ICDM 虚拟图像中心的基本测量报告表（斜体部分表示测量数据，下划线部分则为计算结果）

## 8.2. 均匀性

本节讨论的是显示系统的均匀性。在光学和显示技术中，均匀性是指显示屏上亮度或色彩的一致性。一个均匀性高的显示屏，在其整个表面上显示相同颜色或亮度时，不会出现明显的亮度波动或色彩偏差。

均匀性的测量通常涉及对显示屏不同区域的亮度进行采样，并比较这些值以确定是否存在显著的差异。这对于确保视觉体验的质量至关重要，尤其是在需要精确色彩和亮度控制的应用中，如专业影像编辑或医疗成像。不均匀的显示可能会导致图像失真，影响用户的观感和工作效率。

### 光测量设备（LMD）：

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR（2D 光测量设备）

- 入瞳（Entrance pupil）：3mm
- 焦距：1000mm

### 被测设备（DUT）：

配备 Pancake 光学元件和 TFT-LCD 显示屏的 NED 设备，分辨率为 1600 px x 1600 px。

### 测试图案：

包括全实心白色、红色、绿色、蓝色和黑色，用于评估显示屏在不同颜色下的均匀性。

### 测量：

在显示屏上的 9 个不同点进行测量，以评估整个屏幕的均匀性。

测量点	视角（FOV）
P1	0.7 FOV（-0.5 FOV in x and +0.5 FOV in y）
P2	0.5 FOV（0 FOV in x and +0.5 FOV in y）
P3	0.7 FOV（+0.5 FOV in x and +0.5 FOV in y）
P4	0.5 FOV（-0.5 FOV in x and 0 FOV in y）

P5	0 FOV (0 FOV in x and 0 FOV in y)
P6	0.5 FOV (+0.5 FOV in x and 0 FOV in y)
P7	0.7 FOV (-0.5 FOV in x and -0.5 FOV in y)
P8	0.5 FOV (0 FOV in x and -0.5 FOV in y)
P9	0.7 FOV (+0.5 FOV in x and -0.5 FOV in y)

表 13: 9 点测量点位

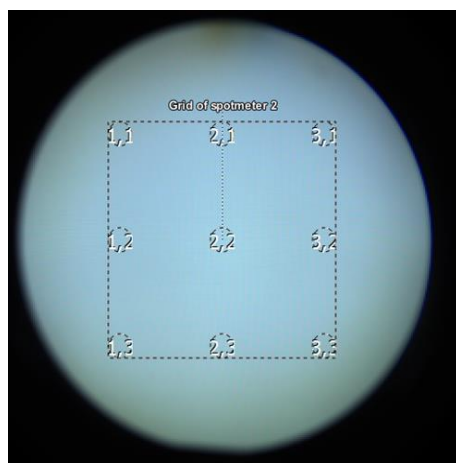


图 24: 3x3 点测量示意图

### 分析:

为了评估显示屏的亮度均匀性，我们定义了两个关键参数：亮度非均匀性（NU）和亮度均匀性（U）。

**亮度非均匀性 NU**（N 个测量点）：这个参数衡量的是显示屏上不同测量点之间亮度的最大差异。计算公式为：

$$NU = \frac{L_{vM} - L_{va}}{L_{va}} \times 100\%$$

其中，

- $L_{vM}$  是所有测量点中的最大亮度，
- $L_{va}$  是所有测量点的平均亮度，计算公式为：

$$L_{va} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} L_{vi}$$

- $L_{vi}$ 是在第  $i$  个点的测量亮度。

**亮度均匀性  $U$ :** 这个参数表示显示屏的整体均匀性。计算公式为:

$$U = 100\% - NU$$

**对比度  $C_{FWS}$**  可以通过以下方式计算:

$$C_{FWS} = \frac{L_w}{L_b}$$

其中,

- $L_w$ 是全帧白色亮度,
- $L_b$ 是全帧黑色亮度。

如果需要考虑背景亮度对测量结果的影响,对比度比的计算可以扩展为:

$$C_{FWS} = \frac{(L_w - L_{bg})}{(L_b - L_{bg})}$$

其中,

- $L_{bg}$  是背景亮度(当设备关闭时的环境亮度)。

**测量结果:**

位置	白色亮度 (cd/m <sup>2</sup> )	红色亮度 (cd/m <sup>2</sup> )	绿色亮度 (cd/m <sup>2</sup> )	蓝色亮度 (cd/m <sup>2</sup> )	黑色亮度 (cd/m <sup>2</sup> )	对比度
P1	131.2	18.79	102.9	9.5	0.35	<u>377</u>
P2	142.5	19.99	111.7	10.7	0.34	<u>418</u>
P3	131.7	18.51	103.4	9.9	0.35	<u>378</u>
P4	143.1	20.15	111.9	10.6	0.30	<u>473</u>
P5	153.9	21.31	120.6	11.3	0.33	<u>467</u>
P6	144.0	20.24	112.7	10.7	0.32	<u>449</u>
P7	137.0	19.27	107.0	10.1	0.30	<u>457</u>
P8	145.3	20.40	113.4	10.9	0.31	<u>476</u>
P9	133.3	18.67	104.0	9.8	0.32	<u>419</u>
最小值	131.2	18.51	102.9	9.5	0.30	

最大值	<i>153.9</i>	<i>21.31</i>	<i>120.6</i>	<i>11.3</i>	0.35	
平均值	<u>140.2</u>	<u>19.70</u>	<u>109.7</u>	<u>10.4</u>	<u>0.32</u>	
非均匀性	<u>10%</u>	<u>8%</u>	<u>10%</u>	<u>9%</u>	<u>8%</u>	
均匀性	<u>90%</u>	<u>92%</u>	<u>90%</u>	<u>91%</u>	<u>92%</u>	

表 14: 均匀性测量报告表（斜体部分表示测量数据，下划线部分则为计算结果）

### 8.3. 对比度

对比度是衡量显示设备性能的一个重要参数，它反映了屏幕上最亮区域和最暗区域之间的亮度差异。一个高对比度的显示设备能够提供更深沉的黑色和更明亮的白色，从而产生更生动、更清晰的图像。

#### 光测量设备（LMD）：

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR（2D 光测量设备）

- 入瞳（Entrance pupil）：3mm
- 焦距：1000mm

#### 被测设备（DUT）：

配备 Pancake 光学元件和 TFT-LCD 显示屏的 NED 设备，分辨率为 1600 px x 1600 px。

#### 测试图案：

测试图案使用了 5x5 的棋盘图案。

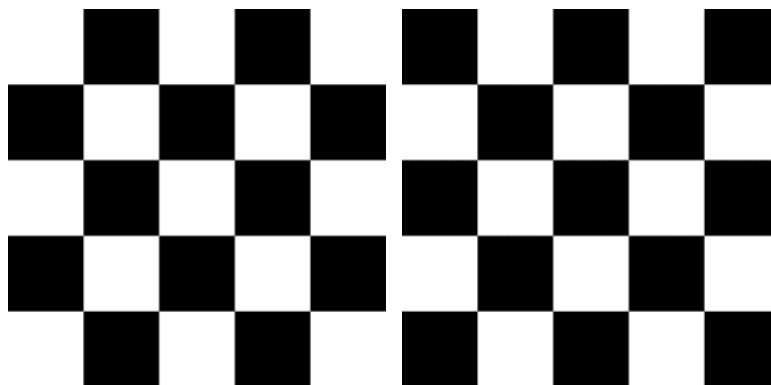


图 25：对比度测量测试图案

### 测量：

2D 光测量设备被设置使用极坐标进行测量，进行了两次测量：一次使用白色中心的棋盘图案，另一次使用黑色中心的棋盘图案。这种测量方法有助于评估显示器在显示纯白色和纯黑色时的亮度和对比度性能，以及在不同亮度区域之间的过渡效果。

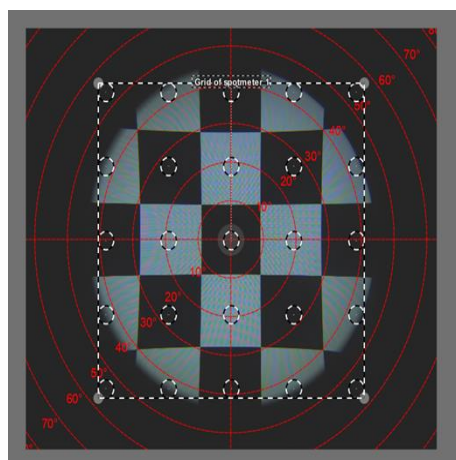


图 26：对比度示例测量

### 分析：

在对比度分析中，仅使用棋盘图案红色方框区域内进行测量。

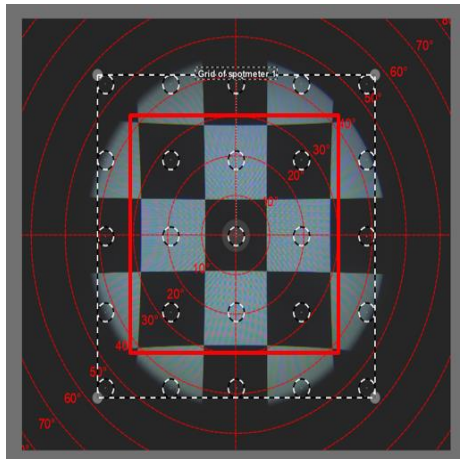


图 27：红框显示了被分析的区域

**测量结果：**

测量的对比度总结在下表中：

65.8	43.3	79.0
58.3	60.7	44.4
56.7	43.5	51.1

表 15：标记的 3x3 点的对比度

**注意：对比度受 LMD 光学系统影响。**对比度在测量过程中可能会受到 LMD 光学系统特性的影响。例如，LMD 内部的散射现象可能会改变测量结果，通常会导致对比度值降低。为了获得更准确的测量结果，可以将测量设备特征化，即测量设备对结果的影响被量化并从最终测量值中减去。然而，在某些情况下（如 NED 设备），这种特征化过程可能会比较复杂。

LumiTop ARVR（2D 光测量设备）在使用棋盘图案时通常会测量出比 DMS（测角光度计）低的对比度，这一差异主要是由于 LumiTop 镜头中的光散射现象更为显著。

使用 LumiTop 5300 ARVR 测量的对比度（中心点，P5）	60.7
使用 DMS-803 测量的对比度（中心点，P5）	139.2

表 16：LumiTop 与 DMS 棋盘图案对比度比较



## 8.4. 畸变测量

在制造 AR/VR/MR 设备时，精确测量近眼显示器的光学畸变是关键环节。这种畸变源于透镜的特性，因此，为了有效补偿这一现象，设备需准确掌握畸变信息，备注：畸变分析使用笛卡尔坐标系。

### 光测量设备（LMD）：

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR（2D 光测量设备）

- 入瞳（Entrance pupil）：3mm
- 焦距：1000mm

### 被测设备（DUT）：

配备 Pancake 光学元件以及 OLEDonSi 显示屏的 NED 设备，分辨率为 2560 px x 2560 px。

### 测试图案：

使用斑点（blob）图案进行畸变测量（见图 28）。

- 25x25 个斑点
- 测试图案尺寸 2560 px x 2560 px
- 斑点间距 100 px
- 斑点半径 15 px

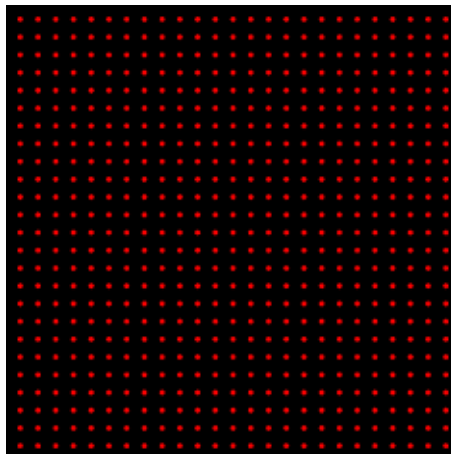


图 28：用于红色畸变测量的斑点图案

### 测量：

图 29 展示了使用红色斑点图案进行镜头畸变测量的示例。这种测量方法通过分析图像中圆点的变形程度来确定镜头的畸变程度。

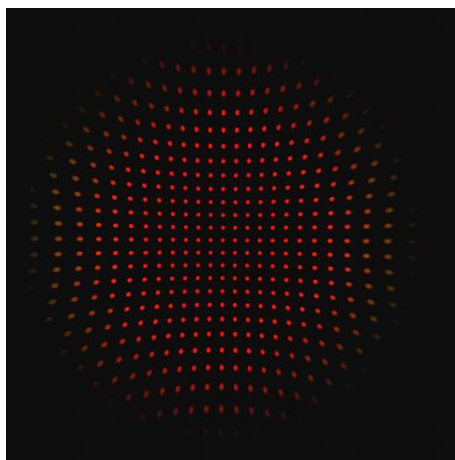


图 29：使用红色斑点图案进行镜头畸变测量的示例

### 分析：

畸变分析的主要步骤包括：

1. 检测圆点的位置。
2. 利用靠近图像中心的圆点生成一个预期位置的网格。这一步假设中心附近的圆点畸变可以忽略。
3. 计算每个圆点 $d_{i,j}$ 的畸变程度：

$$d_{i,j} = \frac{h'_{i,j} - h_{i,j}}{h_{i,j}}$$

其中，

- $d_{i,j}$ 表示索引为  $i$  和  $j$  的圆点的畸变程度，
- $i$  和  $j$  是圆点相对于中心圆点的索引（中心圆点的索引为  $i=j=0$ ），
- $h'_{i,j}$ 是索引为  $i, j$  的圆点相对于中心的实际测量距离，

- $h_{i,j}$  是根据图像中心圆点间距离确定的格距  $m$  计算出的索引为  $i, j$  的圆点的预期距离，公式为：

$$h_{i,j} = \sqrt{(i \times m)^2 + (j \times m)^2}$$

图 27 给出了预期和实际测量圆点位置的一个示例。

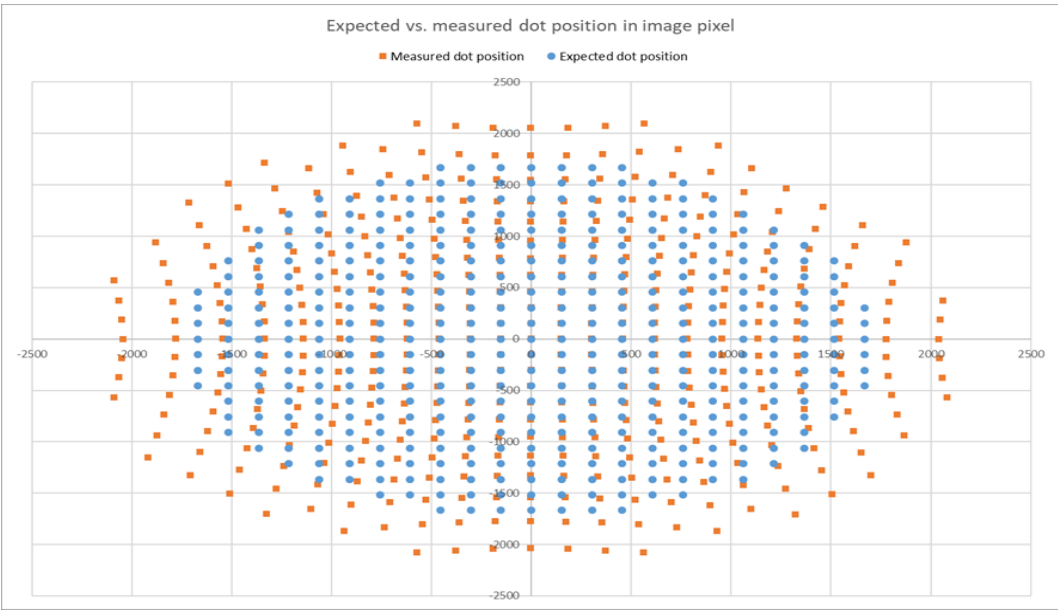


图 30：红色图案的预期（蓝色圆点）和实际（红色方块）测量圆点位置

对所使用的 DUT 进行的测量显示，畸变达到了 26.6%（参见下图）。

N/M	M=11	M=10	M=9	M=8	M=7	M=6	M=5	M=4	M=3	M=2	M=1	M=0	M=1	M=2	M=3	M=4	M=5	M=6	M=7	M=8	M=9	M=10	M=11
N=11									24.8%	23.5%	22.6%	22.3%	22.6%	23.4%	24.8%								
N=10							23.4%	21.0%	19.2%	18.0%	17.3%	17.1%	17.3%	18.0%	19.2%	21.0%	23.4%						
N=9					24.8%	21.2%	18.5%	16.4%	14.8%	13.7%	13.1%	12.9%	13.1%	13.8%	14.8%	16.4%	18.5%	21.3%	24.9%				
N=8				24.4%	20.2%	17.1%	14.7%	12.8%	11.5%	10.5%	9.9%	9.7%	9.9%	10.4%	11.4%	12.8%	14.5%	17.0%	20.2%	24.3%			
N=7			25.0%	20.3%	16.7%	13.8%	11.7%	10.0%	8.8%	7.8%	7.3%	7.1%	7.2%	7.7%	8.6%	9.9%	11.6%	13.8%	16.5%	20.2%	24.9%		
N=6		26.6%	21.4%	17.1%	13.9%	11.3%	9.3%	7.8%	6.6%	5.7%	5.2%	5.0%	5.2%	5.6%	6.4%	7.6%	9.2%	11.2%	13.8%	17.0%	21.2%		
N=5		23.6%	18.6%	14.7%	11.7%	9.3%	7.4%	6.0%	4.8%	4.0%	3.5%	3.3%	3.5%	3.9%	4.7%	5.8%	7.3%	9.2%	11.6%	14.6%	18.4%	23.4%	
N=4		21.1%	16.5%	12.8%	10.0%	7.7%	5.9%	4.5%	3.5%	2.7%	2.2%	2.0%	2.1%	2.5%	3.2%	4.3%	5.7%	7.6%	10.0%	12.8%	16.4%	20.9%	
N=3	25.1%	19.4%	14.9%	11.5%	8.8%	6.6%	4.9%	3.5%	2.4%	1.6%	1.1%	0.9%	1.0%	1.4%	2.1%	3.2%	4.6%	6.4%	8.7%	11.4%	14.9%	19.2%	24.8%
N=2	23.7%	18.2%	13.9%	10.6%	7.9%	5.9%	4.1%	2.8%	1.7%	0.9%	0.4%	0.1%	0.3%	0.7%	1.4%	2.4%	3.8%	5.6%	7.8%	10.5%	13.8%	18.0%	23.4%
N=1	22.8%	17.5%	13.3%	10.1%	7.4%	5.4%	3.7%	2.4%	1.3%	0.6%	0.1%	-0.3%	-0.2%	0.2%	0.9%	2.0%	3.3%	5.1%	7.3%	9.9%	13.2%	17.3%	22.6%
N=0	22.5%	17.2%	13.1%	9.9%	7.3%	5.3%	3.6%	2.2%	1.2%	0.5%	0.0%	0.0%	-0.2%	0.0%	0.8%	1.9%	3.2%	4.9%	7.1%	9.7%	13.0%	17.1%	22.4%
N=1	22.8%	17.4%	13.4%	10.1%	7.5%	5.4%	3.7%	2.4%	1.4%	0.7%	0.3%	0.0%	-0.1%	0.3%	1.0%	2.1%	3.4%	5.2%	7.3%	9.9%	13.2%	17.3%	22.8%
N=2	23.7%	18.2%	14.0%	10.7%	8.0%	5.9%	4.2%	2.9%	1.8%	1.2%	0.8%	0.5%	0.5%	0.8%	1.5%	2.6%	3.9%	5.7%	7.8%	10.5%	13.8%	18.1%	23.7%
N=3	25.1%	19.5%	15.0%	11.6%	8.9%	6.7%	4.9%	3.6%	2.5%	1.8%	1.4%	1.1%	1.2%	1.5%	2.3%	3.3%	4.7%	6.5%	8.7%	11.4%	14.9%	19.3%	
N=4		21.3%	16.7%	13.0%	10.1%	7.9%	6.0%	4.6%	3.5%	2.8%	2.3%	2.1%	2.2%	2.6%	3.4%	4.4%	5.9%	7.8%	10.0%	12.8%	16.5%	21.2%	
N=5		23.7%	18.8%	14.9%	11.9%	9.4%	7.5%	6.0%	4.9%	4.2%	3.7%	3.5%	3.6%	4.0%	4.8%	5.9%	7.4%	9.3%	11.7%	14.7%	18.7%	23.8%	
N=6			21.7%	17.4%	14.1%	11.5%	9.5%	7.9%	6.7%	5.9%	5.4%	5.2%	5.3%	5.8%	6.6%	7.8%	9.4%	11.4%	13.8%	17.3%	21.6%		
N=7			25.3%	20.6%	17.0%	14.1%	11.9%	10.2%	8.9%	8.0%	7.5%	7.3%	7.5%	8.0%	8.8%	10.1%	11.8%	13.9%	16.8%	20.6%			
N=8				24.8%	20.6%	17.4%	14.9%	13.0%	11.6%	10.7%	10.1%	9.9%	10.2%	10.7%	11.6%	13.0%	14.9%	17.3%	20.5%				
N=9					25.5%	21.8%	18.9%	16.7%	15.1%	14.1%	13.5%	13.3%	13.5%	14.1%	15.2%	16.7%	18.8%	21.6%					
N=10						24.0%	21.5%	19.7%	18.4%	17.7%	17.5%	17.8%	18.5%	19.7%	21.5%	23.9%							
N=11									25.4%	23.9%	23.1%	22.8%	23.1%	23.9%	25.4%								

图 31：红色图案的畸变测量结果

#### 8.4.1. 扭曲图像的畸变测量

通过畸变测量得到的结果，用户可以创建一个模型来预先补偿图像的畸变。这种方法通过调整显示图像的方式来校正畸变。下图展示了用于预补偿畸变的圆点图案。

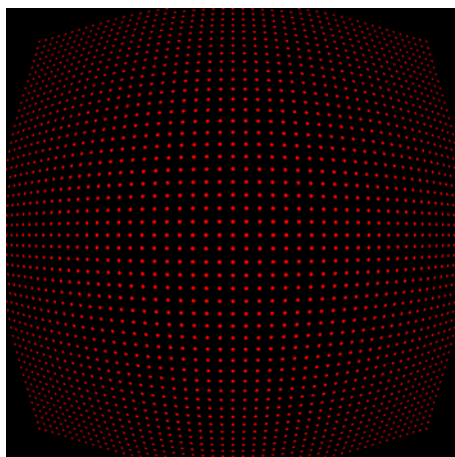


图 32：红色图案的预补偿圆点图案

应用了预补偿图案后，可见的图案如图 33 所示。这个图案经过畸变预补偿处理，能够更准确地显示，减少了因镜头畸变引起的图像扭曲。

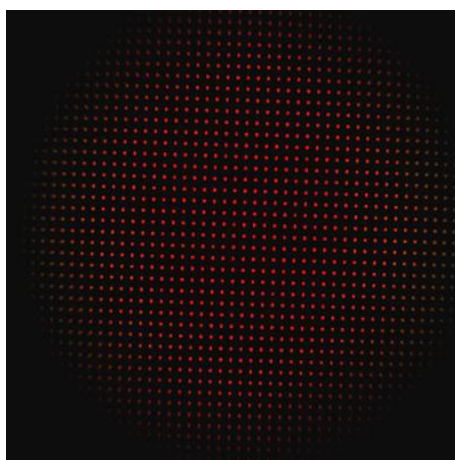


图 33：展示了使用预补偿图案的 NED 的显示图像。通过预补偿图案，图像的畸变得到了校正，使得显示效果更加真实和准确

使用真实的照片，预补偿图案和 NED 显示的图像分别展示在图 34 中，而在图 35 中直接比较了未使用预补偿和使用预补偿图案作为输入的情况。



图 34：左：预补偿图像；右：NED 显示的图像

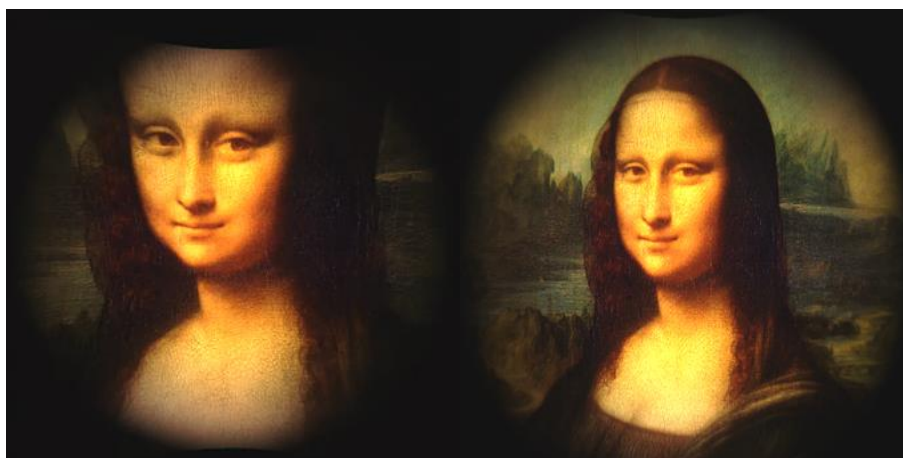


图 35：左：未使用预补偿图像的显示图像；右：使用预补偿图像的显示图像

#### 8.4.2. 色差测量

在畸变测量过程中记录的数据可以用来量化色差。这通过比较不同颜色通道（如红色、绿色和蓝色）中圆点的位置来实现。色差是由于镜头对不同颜色光的聚焦能力不同而产生的，这种差异会导致图像颜色边缘出现模糊或色晕。

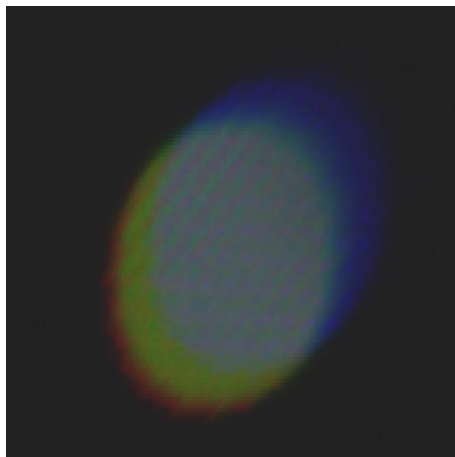


图 36: 展示了使用白色圆点图案放大的圆点，以显示色差。在这里，不同颜色通道的圆点位置差异清晰可见，这种差异就是色差，它会导致图像颜色边缘出现模糊或色晕

## 8.5. 锐度

### 8.5.1. Michelson 对比度

Michelson 对比度与对比度传递函数（CFT）相同。在近眼显示的情况下，Michelson 对比度通常也被称为 MTF（调制传递函数）。

**光测量设备（LMD）：**

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR（2D 光测量设备）

- 入瞳（Entrance pupil）：3mm
- 焦距：1000mm

**被测设备（DUT）：**

配备 Pancake 光学元件和 TFT-LCD 显示屏的 NED 设备，分辨率为 1600 px x 1600 px。

**测试图案：**

Michelson 对比度的测试图案如下图中展示的所示：

- 由 2 像素黑色和 2 像素白色组成的线条

- 测试图案尺寸为 1600 像素 x 1600 像素
- 水平对齐

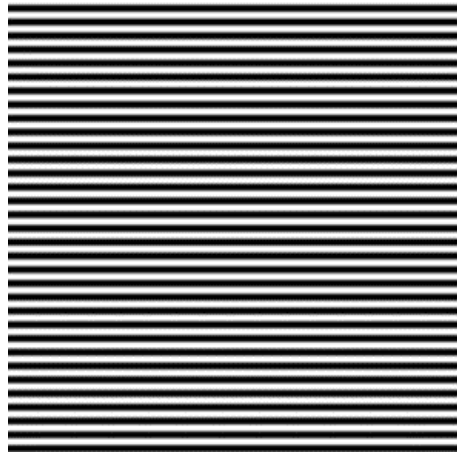


图 37：用于测量 Michelson 对比度的测试图案

#### 测量：

测量过程采用了极坐标畸变设置。这种设置有助于更准确地分析和校正图像的畸变，特别是在需要考虑图像中心和边缘区域畸变差异的情况下。

#### 分析：

Michelson 对比度  $C_{m,i}$  可以通过以下方式计算：

$$C_{m,i} = \frac{L_{vM,i} - L_{vm,i}}{L_{vM,i} + L_{vm,i}}$$

其中，

- $C_{m,i}$  表示在点  $P_i$  的 Michelson 对比度，
- $L_{vM,i}$  表示在点  $P_i$  图像中的最大亮度，
- $L_{vm,i}$  表示在点  $P_i$  图像中的最小亮度。

**提示：**大部分光测量设备系统并非衍射受限设计，这意味着它不能用于测量光学系统（如 NED）的绝对 Michelson 对比度值。不过，只要 Michelson 对比度值不是太低（即空间频率不是太高，>0.2 或 20%），就可以进行 DUT 之间的比较。这种比较有助于评估不同设备之间的性能差异。



### 8.5.2. 斜边分析

斜边分析是一种用于测量图像锐度的方法，虽它并不是专门为测量 NED 而定义的。使用斜边分析的优势在于，它能够提供完整空间频率范围的空间频率响应（SFR）。

**光测量设备（LMD）：**

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR（2D 光测量设备）

- 入瞳（Entrance pupil）：3mm
- 焦距：1000mm

**被测设备（DUT）：**

配备 Pancake 光学元件和 TFT-LCD 显示屏的 NED 设备，分辨率为 1600 px x 1600 px。

**测试图案：**

斜边的测试图案如下图中展示的所示：

- 由 11x11 的方格组成
- 测试图案尺寸为 1600 像素 x 1600 像素
- 方格之间的距离为 100 像素
- 每个方格的大小为 50 像素

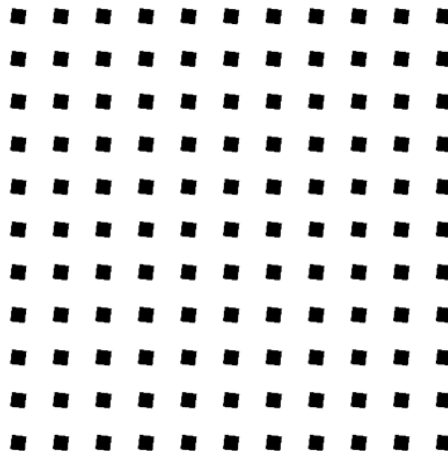




图 38：用于测量斜边的测试图案

**测量：**

测量过程采用了极坐标畸变设置，这种设置能够将测量的单位从每像素周期（cyc/px）转换为每度周期（cyc/°）。这种转换有助于更准确地评估图像在不同视角下的性能，特别是在需要考虑图像在宽视角范围内的显示效果时。

**分析：**

每像素周期（cyc/px）乃是空间频率的单位，此像素与图像中的像素相互对应。若要将该单位转变为更具直观性的单位，诸如每度周期（cyc/°），推荐采用极坐标设置充当去畸变的方法，从而能够直接获取具有角度坐标的图像。借由运用从像素至度的转换因子，空间频率能够依据以下关系予以转换：

$$c = \text{转换因子 (px/°)}$$

$$\text{空间频率 [cyc/°]} = \text{空间频率 [cyc/px]} * c$$

这个转换有助于将空间频率的测量结果从像素单位转换为角度单位，从而更直观地评估图像在不同视角下的性能。

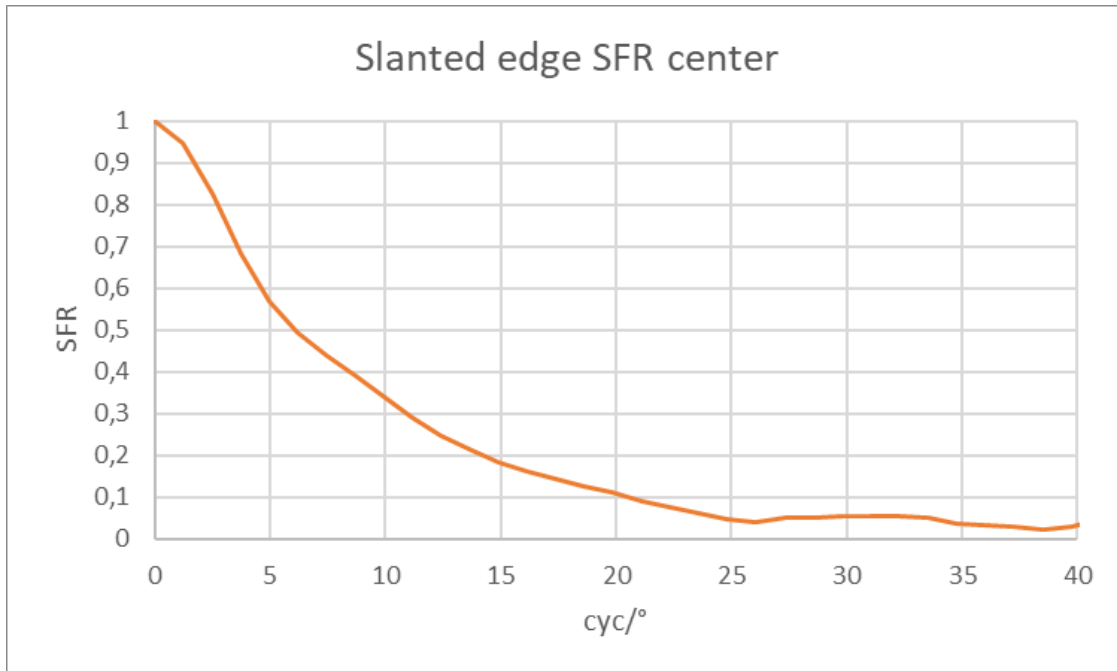


图 39：数据已转换为每度周期（cyc/°）的形式，以利于更直观地理解并使用这些数据

**提示：**大部分光测量设备系统并非衍射受限设计，这意味着它不能用于测量光学系统（如 NED）的绝对空间频率响应（SFR）值。不过，只要 SFR 值不是太低（即空间频率不是太高， $>0.2$  或 20%），就可以进行 DUT 之间的比较。这种比较有助于评估不同设备之间的性能差异。

## 8.6. 虚拟图像距离测量（2D 光测量设备）

利用 2D 光学测量设备或点光源测量技术，我们能够精确测量虚拟图像的距离。以下案例演示了如何使用 2D 光测量设备采用视差法进行测量。这一技术要求收集至少两个数据点以进行准确评估。

**光测量设备（LMD）：**

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR（2D 光测量设备）

- 入瞳（Entrance pupil）：3mm
- 焦距：1000mm

**被测设备（DUT）：**

- 配备 Pancake 光学元件以及 OLEDonSi 显示屏的 NED 设备，分辨率为 2560 px x 2560 px。
- NED 允许将屈光度设置从 +1 dpt 调整为 -5 dpt。

**测试图案：**

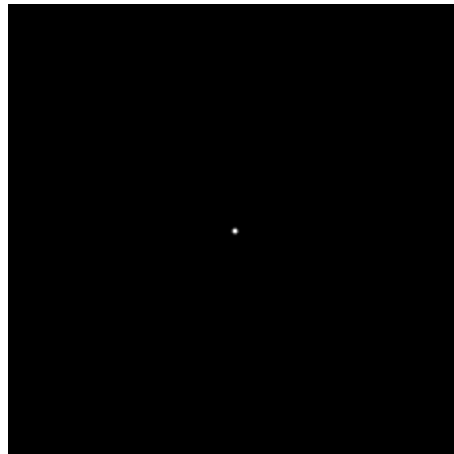


图 40: 采用单点图案进行虚拟图像距离测量

### 测量:

为了执行测量，必须将待测设备（DUT）或光测量设备（LMD）相对于人眼位置在 x 轴或 y 轴方向上移动特定的距离。以下是测量流程：

1. 将设备从人眼位置沿 x 轴向左移动 3 毫米。
2. 在此新位置捕捉图像。
3. 随后，将设备从人眼位置沿 x 轴向右移动 3 毫米。
4. 再次捕捉图像。

测量过程中采用极坐标系统，这便于直接进行角度的测量。

### 分析:

屈光度及其范围是通过获得的焦距范围的倒数来计算的：

$$D_o = \frac{1}{\gamma_o}$$

其中，

$D_o$  代表在 P0（中心）点的屈光度，

$\gamma_o$  代表在 P0（中心）点的焦距（米）。

## 8.7. 虚拟图像距离测量（点光测量设备）

### 光测量设备（LMD）：

Instrument Systems DMS803（测角光度计）。

### 被测设备（DUT）：

配备 Pancake 光学元件以及 OLED on Si 显示屏的 NED 设备，分辨率为 2560 px x 2560 px。

**测试图案：**

使用十字准线图案。



图 41：用于虚拟图像距离测量的十字准线图案

**测量：**

- 通过测角光度计的角度调节装置，将十字准线图案精确对准取景器中心，并记录当前的角度值。
- 将设备从人眼位置沿 x 轴向右移动 3 毫米。
- 再次使用测角光度计的角度调节装置，将十字准线图案重新对准取景器中心，并记录新的角度值。

备注：测角光度计系统已配置为仅响应  $\phi$  角的变化，因此沿 x 轴的移动将直接导致  $\phi$  角的变化。

x 轴位置 (mm)	$\phi$ 角 ( $^{\circ}$ )
-3	-0.64
3	0.71

表 17：  $\phi$  角测量结果

**分析：**

虚拟图像距离是通过计算两点之间的位移和测量的角度来得出的。

$$VID_m = \frac{\Delta x}{\tan(\Omega)}$$

测量值 W	$1.35^{\circ} = 0.71^{\circ} - (-0.64^{\circ})$
$\Delta x$ (位置变化)	6 mm
测量得到的 $VID_m$ (m)	0.254
DUT 预期的 $VID_m$ (m)	0.25

表 18: 虚拟图像距离测量结果

## 8.8. 视场测量

光测量设备 (LMD) :

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR (2D 光测量设备)

- 入瞳 (Entrance pupil) : 3mm
- 焦距: 1000mm

被测设备 (DUT) :

配备 Pancake 光学元件以及 OLED on Si 显示屏的 NED 设备, 分辨率为 2560 px x 2560 px。

测试图案:

使用纯白图案。

测量:

测量的图像如下图所示。

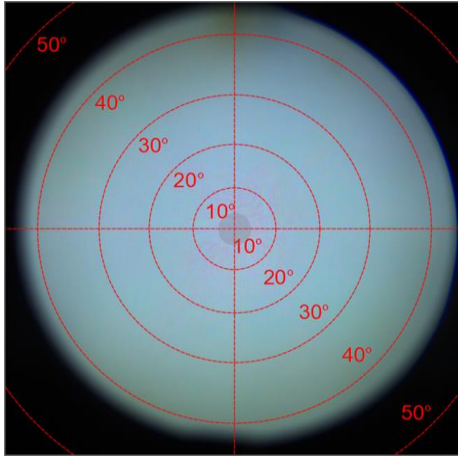


图 42：白色图案的测量图像

分析：

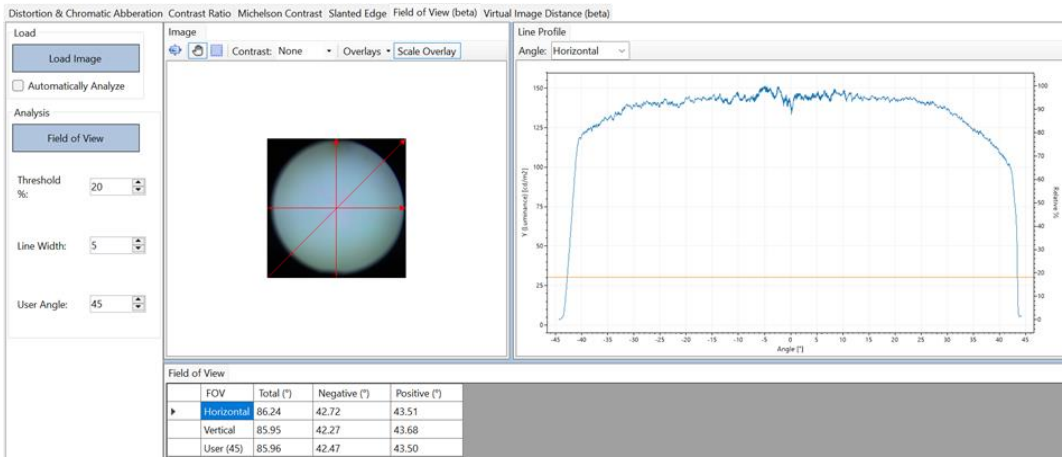


图 43：视场分析截图

分析结果总结在表 19 中（亮度阈值为中心亮度的 20%）。

视场	总和（°）	负（°）	正（°）
水平	86.24	42.72	43.51
垂直	85.95	42.27	43.68
用户（45°）	85.96	42.47	43.50

表 19：视场分析结果

## 8.9. 眼盒测量

光测量设备（LMD）：

Instrument Systems DMS803（测角光度计）。

被测设备（DUT）：

配备 Pancake 光学元件以及 OLEDonSi 显示屏的 NED 设备，分辨率为 2560 px x 2560 px。

测试图案：

使用纯白图案。

测量：

在  $\theta=0^\circ$ ， $\phi=0^\circ$  的基准条件下进行测量，测量范围设定为 x 轴从-15 毫米至 15 毫米，以及 y 轴从-15 毫米至 15 毫米。

分析：

以亮度下降至中心亮度的 50%作为评判标准。

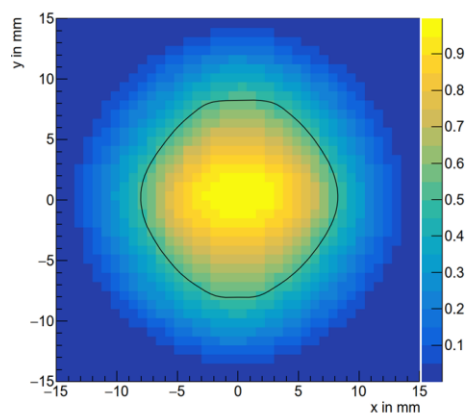


图 44：眼距为 12 毫米时的眼盒扫描图。图中展示了相对亮度分布。黑线标示出亮度下降至 50%的临界区域。

对于所选的眼盒标准，其宽度和高度参数如下表所示：

轴向	眼盒尺寸（毫米）
x 轴（y=0 毫米）	16.3
y 轴（x=0 毫米）	16.3

表 20：眼盒测量结果

## 8.10. 像素密度测量

光测量设备（LMD）：

Instrument Systems LumiTop 5300 ARVR（2D 光测量设备）

- 入瞳（Entrance pupil）：3mm
- 焦距：1000mm

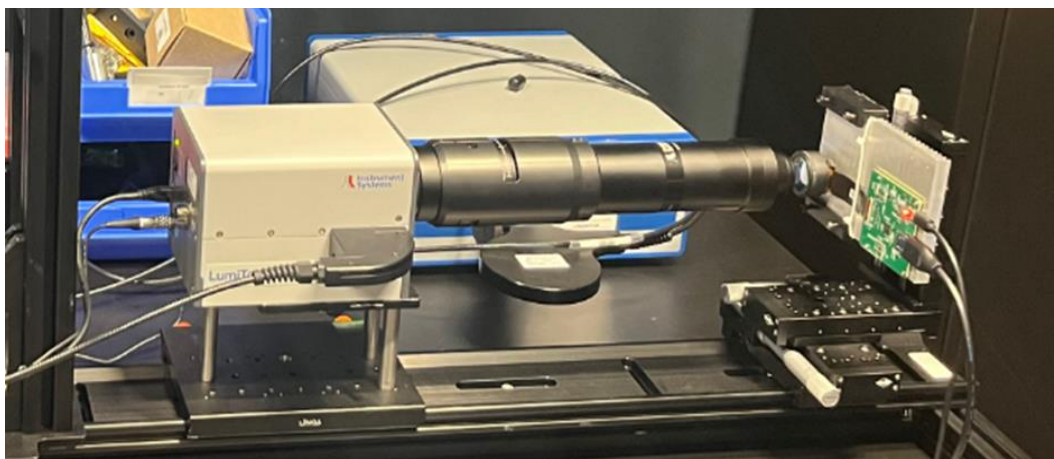


图 45：像素密度测量的测量平台

被测设备（DUT）：

配备 Pancake 光学元件和 TFT-LCD 显示屏的 NED 设备，分辨率为 1600 px x 1600 px。

测试图案：

使用用于畸变测量的斑点图案：



- 由 15x15 个斑点组成。
- 测试图案的整体尺寸为 1600 像素 x1600 像素。
- 斑点之间的间隔设定为 100 像素。
- 每个斑点的半径为 15 像素。

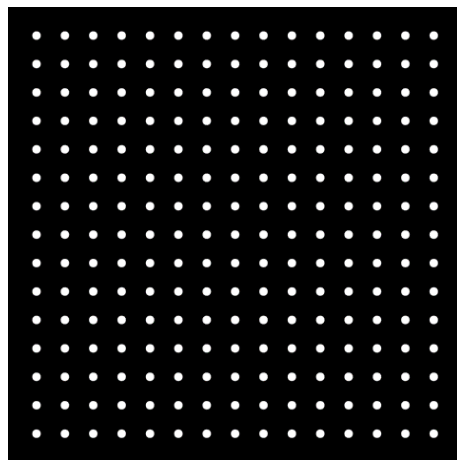


图 46：用于像素密度测量的斑点图案

测量：

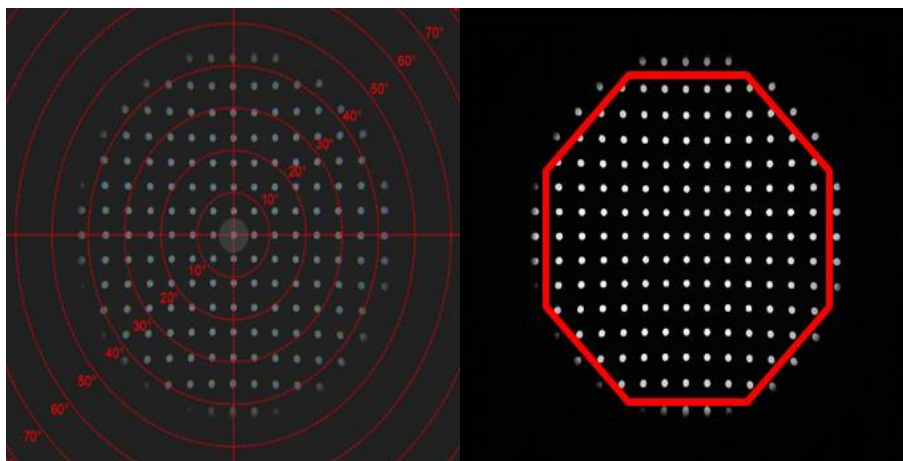


图 47：用于数据分析的选定斑点（左）以及同一图像上叠加的视场范围（右）

分析：

- 首先计算每个斑点的面积。

- 在图像中，每个像素对应的角度为  $0.02396^\circ$ ，这是通过极坐标校准得到的转换因子  $c$ 。
- PAD（像素每度）的计算方法如下：
  - 显示设备上斑点的面积（测试图案）为  $a=709$  像素<sup>2</sup>。
  - 使用光测量设备测量的斑点面积。
  - 斑点的 PAD 计算公式为  $PAD_{blob} = \sqrt{\frac{a}{A \cdot c^2}}$ ，其中单位为像素每度（px/deg，即 ppd）。
- 下图展示了不同斑点的 PAD 值。
  - 中心位置的 PAD 值最优，达到 17.1 PPD。
  - 在图像的边缘区域，PAD 值降至大约 15 PPD。

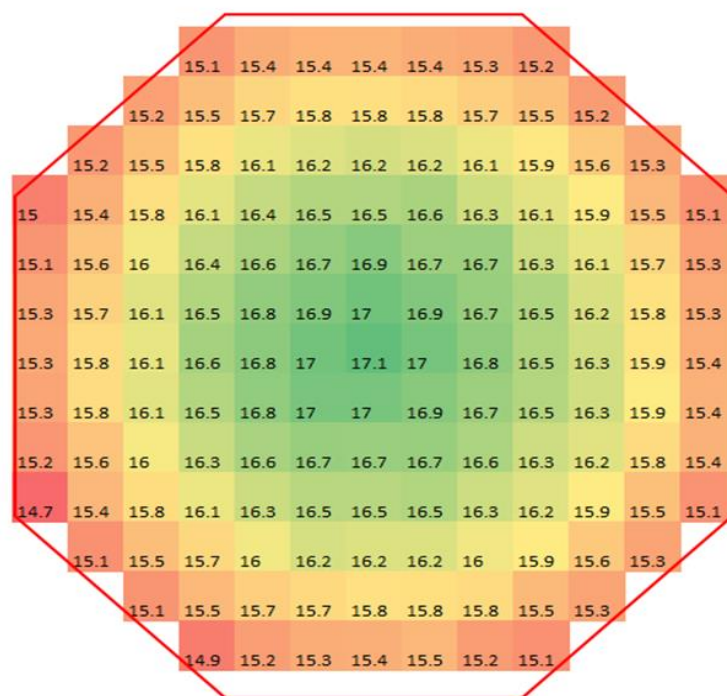


图 48: 像素密度结果

## 9. 结语

本手册着重阐述了利用光测量设备对增强现实（AR）、混合现实（MR）和虚拟现实（VR）设备及组件进行测量的相关要点，涵盖应用概述、标准和定义、光测量设备、测量方法、测量平台以及测量示例等方面。

在应用层面，VR/MR 头显通常能完全封闭用户视野，其设计会对测量产生影响，组件包含显示器和透镜；而 AR 头显允许用户在观察真实世界的同时叠加虚拟内容，组件涵盖小型显示和薄光学元件。对于 VR 设备，重要的测量内容有亮度、颜色、失真、对比度和清晰度。

就标准和定义而言，手册详细说明了 AR/VR/MR 头戴显示设备常见的尺寸规格与术语，并阐释了多个相关坐标系统。DUT（被测设备）和 LMD（光测量设备）分别拥有独立的坐标系统，且均与人类眼睛的位置和视角相关联，以此保障测量和显示的精准无误。同时，还介绍了 AR/VR 头戴显示设备中的常见术语，以及笛卡尔坐标系和球形坐标系在测量中的应用。

AR/VR/MR 设备的性能评估需遵循一系列国际标准，涉及光学测量、图像质量、人体工程学等诸多方面。例如，IEC 63145 系列标准为眼镜显示设备提供了统一的术语、测试方法和性能指标，保证不同设备的可比较性与一致性；ISO 9241-333:2017 标准着重关注立体显示设备的人机工程学要求，确保用户的舒适度和视觉健康；ANSI/INFOCOMM 3M-201 标准针对投影图像系统的对比度比率，提供了测量和规范方法。遵循这些标准，制造商能够开发出性能卓越、用户体验优良的 AR/VR 设备，促进行业稳健发展。

光测量设备（LMD）作为评估设备光学性能的关键工具，需满足严格的规格要求，如入瞳直径、角度精度、平移台精度等。成像光测量设备（ILMD）应能提供 DUT 的 2D 图像，并支持笛卡尔坐标系与球面坐标系的转换。LMD 还需满足不同的功能需求，像光谱范围、带宽、波长精度等。此外，依据测量需求，LMD 可采用瞳孔点或眼动点进行测量，以模拟多样的观察场景。

测量方法章节深入讲解了多种测试手段，包含眼点对齐、光学特性、图像质量等方面。每种测试方法均明确了适用的光测量设备类型（2D LMD 或点 LMD）以及是否需要移动设备。眼点对齐方式多样，如依据 ICDM 标准通过特定属性或维度确定，还能利用十字线、中心亮度、中心分辨率、视场、横向色差、彗差等来对准，各方法具有不同测量参数和评判标准。光学特性测量包含亮度、亮度和对比度均匀性、色度和色域、色度均匀性、对比度等，不同方法对应不同 LMD 类型且有相应测量参数和参考标准。图像质量测量涉及视场角、眼盒、畸变、颜色配准误差、Michelson 对比度、焦距与虚拟图像距离、MTF、黑/白对比度、伽马值、像素角密度等，每种测量方法均有具体适用设备、测量参数和相关标准。另外，文档还介绍了测试方法的概述、所需测试图案以及测量点位的定义，测量点位可依照显示器尺寸或视场确定，以确保测量结果的准确可靠。

在测试平台设置方面，AR/VR 光学测量设备对齐的关键在于保证测量设备（LMD）的坐标系与待测设备（DUT）的坐标系完美重合。对齐流程包含十字准线对齐和斑点对齐两种方式，其中十字准线对齐用于调整 DUT 的位置和角度，斑点对齐则用于检测 DUT 与光学轴线的一致性。在对齐过程中，需精确把控方位角、仰角、旋转角、眼距以及 X/Y 轴位置，以确保测量结果的准确性和可重复性。

测量示例涵盖了均匀性和对比度、失真、清晰度、DUT 特性等的测量，全面展示了具体的测量流程、所使用的设备、DUT、测试模式、测量步骤以及数据分析等内容。

## 插图索引

图 1: 为降低与头盔碰撞风险, 通常优先选择从底部进行测量.....	2
图 2: 眼睛相关的尺寸.....	4
图 3: DUT 相关的尺寸.....	5
图 4: LMD 相关的尺寸.....	6
图 5: 显示了与 DUT 对齐的测量设备, 并标出了与眼睛相关的尺寸.....	7
图 6: 坐标系定义, 来源: 《IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display - Part 20-10: Fundamental measurement methods - Optical properties》.....	7
图 7: 坐标系定义, 来源: 信息显示测量标准 (ICDM) 发布的《ICDM - Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022》.....	8
图 8: 使用显示尺寸定义测量位置的示例.....	48
图 9: 在视场 (FOV) 尺寸中定义测量点.....	48
图 10: 旋转点的不同定义.....	49
图 11: 标准眼球的几何结构.....	49
图 12: 黄色区域显示眼睛在水平方向 (左右 $50^{\circ}$ ) 和垂直方向 (上下 $40^{\circ}$ ) 的最大转动范围。.....	49
图 13: 基于 IEC 标准的基本装置配置。.....	51
图 14: 所需装置的总体视图 (爆炸示意图).....	51
图 15: LMD 和 DUT 的对齐坐标系统.....	52
图 16: 十字准线对齐测试平台.....	52
图 17: 十字准线对齐过程.....	53
图 18: Z 轴眼距对齐过程.....	54
图 19: $\rho$ 轴对齐过程截图.....	55
图 20: $\phi$ 方位角/ $\theta$ 仰角对齐过程截图.....	56
图 21: X/Y 轴对齐过程截图.....	57
图 22: 斑点对齐截图, 正确 (左) 与错误 (右).....	58
图 23: 在视场 (FOV) 尺寸中定义测量点.....	59
图 24: 3x3 点测量示意图.....	62
图 25: 对比度测量测试图案.....	65
图 26: 对比度示例测量.....	65
图 27: 红框显示了被分析的区域.....	66
图 28: 用于红色畸变测量的斑点图案.....	68
图 29: 使用红色斑点图案进行镜头畸变测量的示例.....	68
图 30: 红色图案的预期 (蓝色圆点) 和实际 (红色方块) 测量圆点位置.....	69
图 31: 红色图案的畸变测量结果.....	70
图 32: 红色图案的预补偿圆点图案.....	70

图 33: 展示了使用预补偿图案的 NED 的显示图像。通过预补偿图案, 图像的畸变得到了校正, 使得显示效果更加真实和准确.....	70
图 34: 左: 预补偿图像; 右: NED 显示的图像 .....	71
图 35: 左: 未使用预补偿图像的显示图像; 右: 使用预补偿图像的显示图像..	71
图 36: 展示了使用白色圆点图案放大的圆点, 以显示色差。在这里, 不同颜色通道的圆点位置差异清晰可见, 这种差异就是色差, 它会导致图像颜色边缘出现模糊或色晕.....	72
图 37: 用于测量 Michelson 对比度的测试图案.....	73
图 38: 用于测量斜边的测试图案.....	75
图 39: 数据已转换为每度周期 (cyc/°) 的形式, 以利于更直观地理解并使用这些数据.....	75
图 40: 采用单点图案进行虚拟图像距离测量.....	77
图 41: 用于虚拟图像距离测量的十字准线图案.....	78
图 42: 白色图案的测量图像.....	80
图 43: 视场分析截图.....	80
图 44: 眼距为 12 毫米时的眼盒扫描图。图中展示了相对亮度分布。黑线标示出亮度下降至 50% 的临界区域。 .....	81
图 45: 像素密度测量的测量平台.....	82
图 46: 用于像素密度测量的斑点图案.....	83
图 47: 用于数据分析的选定斑点 (左) 以及同一图像上叠加的视场范围 (右)	83
图 48: 像素密度结果.....	84

## 表格索引

表 1: 不同虚拟现实头盔设计.....	1
表 2: 不同增强现实 (AR) 头盔设计概览。.....	3
表 3: 与眼睛相关的尺寸和定义.....	5
表 4: 与 DUT 相关的尺寸和定义.....	6
表 5: 与光测量设备相关的尺寸和定义.....	6
表 6: AR/VR 应用相关标准概览.....	10
表 7: 不同类型的 LMD 与视场组合 (注: 灰色框代表 LMD, 镜头代表 DUT, 之间的 细线代表视场或孔径).....	20
表 8: 不同眼点对齐技术之间的比较.....	26
表 9: 测试方法概述.....	44
表 10: 测试图案概览.....	47
表 11: 不同类型的 LMD 与视场组合 (注: 灰色框代表 LMD, 镜头代表 DUT, 之间的 细线代表视场或孔径).....	50
表 12: ICDM 虚拟图像中心的基本测量报告表 (斜体部分表示测量数据, 下划线部 分则为计算结果).....	60
表 13: 9 点测量点位.....	62
表 14: 均匀性测量报告表 (斜体部分表示测量数据, 下划线部分则为计算结果) .....	64
表 15: 标记的 3x3 点的对比度.....	66
表 16: LumiTop 与 DMS 棋盘图案对比度比较.....	66
表 17: $\Phi$ 角测量结果.....	78
表 18: 虚拟图像距离测量结果.....	79
表 19: 视场分析结果.....	80
表 20: 眼盒测量结果.....	82

## 参考文献

- [1] IEC, “IEC 63145-20-10:2019 Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties,” IEC, 2019.
- [2] ICDM, “ICDM – Information Display Measurements Standard-V1.1a, 2022,” ICDM, 2022.
- [3] IEC, “IEC 63145-20-20:2019 Eyewear display – Part 20-20: Fundamental measurement methods – Image quality,” IEC, 2019.
- [4] K. Guo, “Single shot scan less method for virtual image distance measurement for near eye display systems,” SID 2019 DIGEST, p. 527pp, 2019.
- [5] DFF, “DFF Display Measurement Specification (DMS) for Automotive-TFT LCDs (V5.1, 2018) (Gamma),” DFF, 2018.
- [6] IEC, “IEC 63145-21-20:2022 Eyewear display – Part 21-20: Specific measurement methods for VR image quality – Screen door effect,” IEC, 2022.
- [7] IS, DMS 803 Basic System Hardware Manual Rev. 7 / August 2014, Berlin: Instrument Systems GmbH, 2014.
- [8] ISO, ISO 12233:2023 Photography — Electronic still picture imaging — Resolution and spatial frequency responses, ISO, 2023.
- [9] IEC, “IEC TR 63145-1-1:2018 Eyewear display – Part 1-1: Generic introduction,” IEC, 2018.
- [10] IEC, “IEC 63145-1-2:2022 Eyewear display – Part 1-2: Generic – Terminology,” IEC, 2022.
- [11] IEC, “IEC 63145-22-10:2020 Eyewear display – Part 22-10: Specific measurement methods for AR type – Optical properties,” IEC, 2020.
- [12] IEC, “IEC 63145-22-20:2020 Eyewear display – Part 22-20: Specific measurement methods for AR type – Image qualities,” IEC, Unpublished.
- [13] IEC, “IEC TR 62977-1-31:2021/AMD1:2022 Amendment 1 – Electronic displays – Part 1-31: Generic – Practical information on the use of light measuring devices,” IEC, 2021.



- [14] ISO, “ISO 9241-333:2017-04 Ergonomics of human-system interaction – Part 333: Stereoscopic displays using glasses,” ISO, 2017.
- [15] ISO, “ISO/TR 9241-380:2022-06 Ergonomics of human-system interaction – Part 380: Survey result of HMD (Head-Mounted Displays) characteristics related to human-system interaction,” ISO, 2022.
- [16] ANSI, “ANSI/INFOCOMM 3M-2011 Projected Image System Contrast Ratio,” ANSI, 2011.
- [17] K. R. Byrant, “Tutorial Presentation: OPTI521 Distance,” University of Arizona, Arizona, 2023.
- [18] S. W. Singer, “Advanced optics for vision,” AIA.
- [19] P. Turtoi, “COMPATIBILITY ANALYSIS OF THE OPTICAL SYSTEMS CHARACTERISTICS USED IN IMAGE FUSION,” in AFASES 2013, Brasov, 2013.
- [20] W. N. Charman, “The retinal image in the human eye,” Progress in Retinal Research, pp. 1-50, 1983.
- [21] G. D. Boremann, Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical Systems, Second Edition ed., Bellingham: SPIE, 2021.