

世界超高清视频产业联盟标准

T/UWA 016 —2022

XR 虚实融合制作系统 技术要求与测试方法

Technical requirements and measurement methods of
XR virtual-real integrated production system

2022 - 11 - 10 发布

2022 - 11 - 10 实施

目 次

| | |
|-----------------------------|----|
| 前 言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 XR 虚实融合制作系统典型架构应用模式 | 1 |
| 4.1 概述 | 1 |
| 4.2 LED 大屏子系统 | 3 |
| 4.3 目标跟踪子系统 | 3 |
| 4.4 拍摄子系统 | 3 |
| 4.5 渲染子系统 | 3 |
| 5 XR 虚实融合制作常规工作流程 | 3 |
| 5.1 应用模式 1 | 3 |
| 5.2 应用模式 2 | 3 |
| 6 技术要求 | 3 |
| 6.1 LED 大屏子系统技术要求 | 3 |
| 6.2 目标跟踪子系统技术要求 | 4 |
| 6.3 拍摄子系统技术要求 | 4 |
| 6.4 渲染子系统技术要求 | 4 |
| 7 测试方法 | 5 |
| 7.1 测试信号图 | 5 |
| 7.2 LED 大屏子系统技术测试 | 7 |
| 7.3 目标跟踪子系统技术测试 | 10 |
| 7.4 渲染子系统技术测试 | 12 |

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。

本文件由世界超高清视频产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：中央广播电视总台超高清视音频制播呈现国家重点实验室、凌云光技术股份有限公司、国家广播电视总局广播电视规划院8K超高清标准研究与测试国家广播电视总局重点实验室、国家广播电视总局广播电视科学研究院、北京广播电视台、北京爱奇艺科技有限公司、上海文化广播影视集团有限公司（SMG）、智慧媒体制播应用国家广播电视总局重点实验室、中国电子技术标准化研究院、工业和信息化部电子第五研究所、广州市广播电视台、缔铠仕视觉艺术（上海）有限公司、日本夏普株式会社、上海数字电视国家工程研究中心有限公司、广东广播电视台、咪咕文化科技有限公司、中国信息通信研究院、优酷信息技术（北京）有限公司、利亚德光电股份有限公司、深圳利亚德光电有限公司、深圳金立翔视效科技有限公司、北京七维视觉科技有限公司、中国移动通信集团有限公司研究院、中国联合网络通信有限公司、深圳市奥拓电子有限公司、深圳市洲明科技股份有限公司、深圳创维新世界科技有限公司、深圳创壹科技文化有限公司、中视奇云（北京）有限公司、湖南国科微电子股份有限公司深圳分公司、西安诺瓦星云科技股份有限公司、深圳思谋信息科技有限公司、深圳市酷开网络科技股份有限公司、京东方科技集团股份有限公司

本文件主要起草人：姜文波、姚毅、赵贵华、宁金辉、王惠明、郑涛、谭阳、范晓轩、高夕晴、陈瑾、商鹏、熊伟、刘博文、周志勇、祁杰、郭晓强、魏娜、饶丰、王浩、苏卓涛、李水晶、吴鹏、张岳、贾凯、赵晓莺、韦胜钰、陈曦、白建军、刘莉、邓凤翔、孙岳、殷元江、刘耀、李小鹏、顾礼华、尚峰、林浩、殷惠清、吴梓刚、谭胜淋、冯健峰、邹海明、陈石平、李萌、王勇、黄琴华、李宁、孙强、刘冠志、成智刚、林琳、刘志杰、李晓榕，段然。

XR 虚实融合制作系统技术要求与测试方法

1 范围

本文件规定了XR虚实融合制作系统及四个子系统的技术要求与测试方法。
本文件适用于XR虚实融合制作系统的建设、应用、测试和运行维护。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ITU-R BT.2124-0 (2019) 评估电视色差潜在可见性的客观指标 (Objective metric for the assessment of the potential visibility of colour differences in television)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

扩展现实 extended reality, XR

利用硬件设备结合多种技术手段，将虚拟场景和真实场景融合的技术。

注：包含了增强现实（augmented reality, AR）、虚拟现实（virtual reality, VR）、混合现实（mixed reality, MR）等代表性形态。

3.2

虚实融合制作 virtual-real integrated production

对摄像机实拍的真实人物、景具、屏幕显示的三维场景等可视化元素与屏幕外AR拓展的虚拟场景通过渲染子系统进行合成，输出逼真的虚实融合视频。

3.3

虚拟摄像机 virtual camera

渲染引擎中根据摄像机位置及镜头参数生成虚拟场景视频的功能组件。

3.4

摄像机跟踪 camera tracking

实时计算出真实摄像机光心的6自由度信息并获取镜头的焦距、对焦信息的功能。

3.5

运动捕捉 motion capture

对人或物体在三维空间运动轨迹进行跟踪、测试和记录的功能。

3.6

虚拟数字人 digital human

由计算机图形学、运动捕捉、深度学习、语音合成等技术创造及使用，并具有多重人类特征（外貌特征、人类表演能力、人类交互能力等）的虚拟形象，也可称其为虚拟人、数字人等。

4 XR 虚实融合制作系统典型架构应用模式

4.1 概述

XR虚实融合制作是基于大屏幕构建的虚拟场景和舞台现实场景进行视频制作的一种节目制作方式。XR虚实融合制作系统包括LED大屏子系统、拍摄子系统、目标跟踪子系统、渲染子系统。XR虚实融合制作系统包括两种典型的应用模式：

a) 应用模式1：系统制作的视频为所拍即得的内容，见图1。

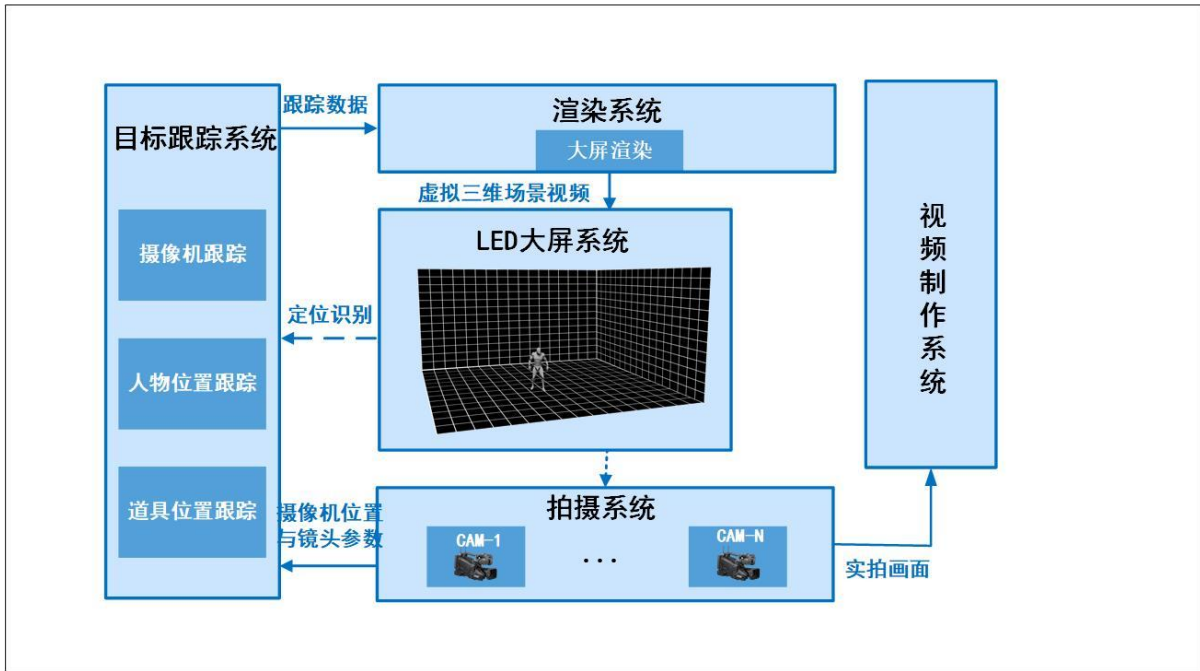


图 1 应用模式 1 示意图

b) 应用模式2：系统制作的视频除所拍即得的内容外，还包含屏幕外AR拓展的内容，见图2。

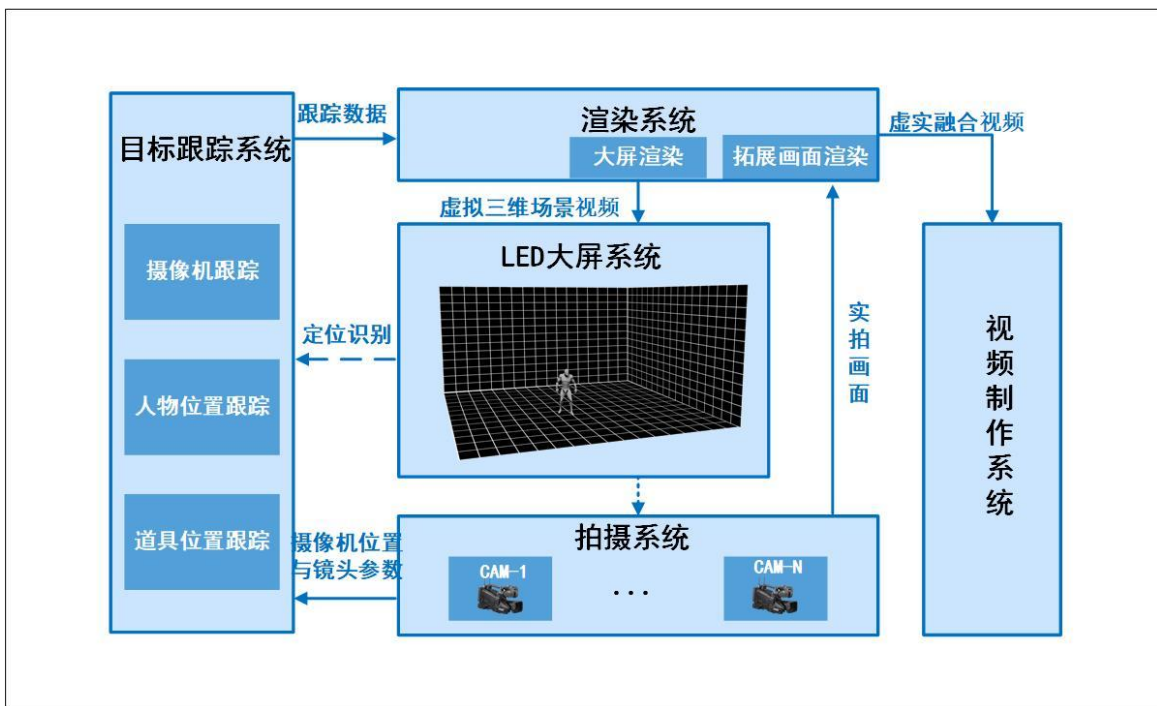


图 2 应用模式 2 示意图

4.2 LED 大屏子系统

LED大屏子系统通常采用立屏加地屏的组合方式，其主要功能是对渲染子系统输出的虚拟场景视频进行显示。

4.3 目标跟踪子系统

目标跟踪子系统的主要功能是对摄像机位置与镜头参数、人体位置、道具位置进行实时获取，将摄像机位置与镜头参数数据映射至渲染系统中的虚拟摄像机，实现对虚拟三维场景的渲染以及对虚拟数字人动作、相应道具或特效的驱动。

4.4 拍摄子系统

拍摄子系统的主要功能是对现场画面进行采集，采集图像既可以直接输出，得到所拍即得的虚实融合视频，也可以传送至渲染子系统，得到在舞台大屏幕视频基础上延伸拓展的虚实融合视频。

4.5 渲染子系统

渲染子系统有两个主要功能，一是对虚拟三维场景进行渲染并输出至LED大屏子系统，二是将接收拍摄信号与舞台大屏幕延伸拓展的虚拟视频融合，输出虚实融合视频。

5 XR 虚实融合制作常规工作流程

5.1 应用模式 1

应用模式1的工作流程如下：

- a) 目标跟踪子系统通过解算获取摄像机位置与镜头参数、人体位置、道具位置，传输至渲染子系统；
- b) 渲染子系统对该摄像机视角下的虚拟三维视频进行渲染，并根据人体或道具的位置参数驱动虚拟场景中数字人或道具特效；
- c) LED 大屏子系统接收渲染子系统输出的虚拟三维视频并显示；
- d) 拍摄子系统拍摄表演区域与 LED 大屏背景并输出至视频制作系统。

5.2 应用模式 2

应用模式2的工作流程如下：

- a) 目标跟踪子系统通过解算获取摄像机位置与镜头参数、人体位置、道具位置，传输至渲染子系统；
- b) 渲染子系统对该摄像机视角下的虚拟三维视频进行渲染，并根据人体或道具的位置参数驱动虚拟场景中数字人或道具特效；
- c) LED 大屏子系统接收渲染子系统输出的虚拟三维视频并显示；
- d) 拍摄子系统拍摄表演区域与 LED 大屏背景；
- e) 渲染子系统接收拍摄子系统输出的视频并叠加 AR 场景，再渲染输出合成视频至视频制作系统。

6 技术要求

6.1 LED 大屏子系统技术要求

LED 大屏的分辨率与幅型比，应根据场地实际情况进行选择。LED 大屏子系统的技术要求见表 1。

表 1 LED 大屏子系统技术要求

| 序号 | 项目名称 | 技术要求 | |
|----|----------------------------|--|---|
| 1 | 最大亮度 | $\geq 600\text{cd/m}^2$ | |
| 2 | LED 单灯刷新频率 | 立屏 | 地屏 |
| | | $\geq 3840\text{Hz}$ | $\geq 1920\text{Hz}$ |
| 3 | 换帧频率 | $\geq 50\text{Hz}$ (且为摄像机帧率的整数倍) | |
| 4 | 色温 | 3000K-9300K 可调 | |
| 5 | 屏幕灰阶等级 | $\geq 10\text{bit}$ | |
| 6 | 白场亮度不均匀性 | $\leq 5\%$ | |
| 7 | 白场色度不均匀性 ($\Delta u'v'$) | ≤ 0.006 | |
| 8 | 电光转换特性 (Γ) | 输入信号电平从 10%到 90%， Γ 测试值与标称值的差异在 ± 0.30 之内 | |
| 9 | 亮度与视角关系 | 立屏 | 地屏 |
| | | 屏幕水平方向 $\pm 45^\circ$ 的亮度测试值与屏幕法线方向亮度测试值的差异应不超过 $\pm 25\%$ | 屏幕水平和垂直方向 $\pm 45^\circ$ 的亮度测试值与屏幕法线方向亮度测试值的差异应不超过 $\pm 45\%$ |
| 10 | LED 屏幕像素点间距 | 立屏 | 地屏 |
| | | $\leq 3\text{mm}$ | $\leq 5\text{mm}$ |
| 11 | 地屏承重 | $\geq 1000\text{kg/m}^2$, 显示屏显示无异常、结构无裂纹 | |
| 12 | 地屏和立屏的一致性 | 亮度差异 | $\leq 10\%$ |
| | | 色温偏差 ($\Delta u'v'$) | ≤ 0.02 |
| | | 色彩偏差 | $\Delta E_{\text{TP}} \leq 10$ |
| 13 | LED 大屏分辨率参考值 | 摄像机分辨率 | 大屏分辨率 |
| | | 1920×1080 | $\geq 1920 \times 1080$ |
| | | 3840×2160 | $\geq 3840 \times 2160$ |

6.2 目标跟踪子系统技术要求

目标跟踪子系统的技术要求见表2。

表 2 目标跟踪子系统技术要求

| 序号 | 项目名称 | 技术要求 |
|----|--------------|--|
| 1 | 支持跟踪的摄像机数量 | ≥ 1 台 |
| 2 | 摄像机位置跟踪误差 | 目标跟踪子系统解算的摄像机位置与真实摄像机位置之间的误差 $\leq 0.2\text{mm/m}$ |
| 3 | 摄像机位置跟踪静态稳定性 | 摄像机静止时, 目标跟踪子系统解算出的摄像机位置数值的稳定性, 位置波动 $\leq 0.2\text{mm}$ |
| 4 | 支持跟踪的人物数量 | ≥ 1 人 |
| 5 | 跟踪系统数据输出频率 | $\geq 50\text{Hz}$ |
| 6 | 镜头多焦段标定误差 | 实拍标记点的图像坐标与基于标定结果计算出的图像坐标的差值 ≤ 2 个图像像素 |

6.3 拍摄子系统技术要求

拍摄子系统的技术要求见表3。

表 3 拍摄子系统技术要求

| 序号 | 项目名称 | 技术要求 |
|----|---------|---------------------|
| 1 | 支持摄像机数量 | ≥ 1 机位 |
| 2 | 摄像机分辨率 | 1920×1080/3840×2160 |
| 3 | 摄像机帧率 | 50/60/100/120Hz |

6.4 渲染子系统技术要求

渲染子系统合成输出的视频可分为摄像机实拍屏内部分和屏外AR拓展部分。渲染子系统的技术要求见表4。

表 4 渲染子系统技术要求

| 序号 | 项目名称 | 技术要求 |
|----|----------------------------|--------------------|
| 1 | 屏内部分与屏外 AR 拓展部分在合成视频内的拼接误差 | ≤ 5 个像素 |
| 2 | 屏内部分与屏外 AR 拓展部分在合成视频内的时间延迟 | $\leq 20\text{ms}$ |
| 3 | 渲染合成输出频率 | $\geq 50\text{Hz}$ |

7 测试方法

测试应满足以下条件：

- 温度：15°C-35°C；
- 相对湿度：20%-80%；
- 交流电源：(220±22) V、(50±1) Hz；
- 环境照度变化 $<\pm 10\%$ ，且不存在明显的有色光源；
- 亮度计测试屏幕上最小面积亮度至少包含16个相邻像素点。

7.1 测试信号图

7.1.1. 白场信号图和黑场信号图

白场和黑场信号图是平坦的亮度信号图，其电平分别为100%和0%，波形见图3和图4。

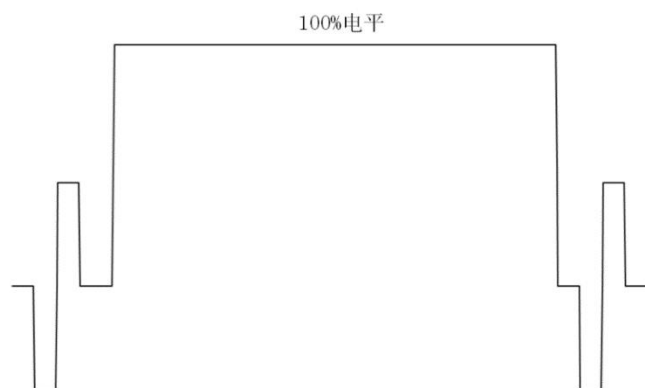


图 3 白场信号波形图

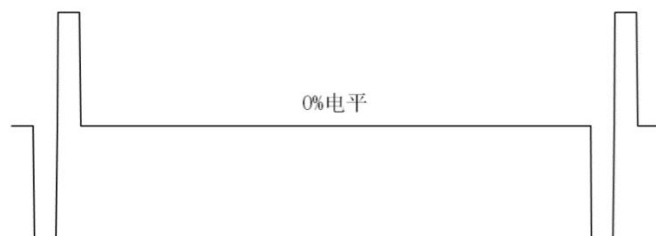


图 4 黑场信号波形图

7.1.2. 灰窗信号图

灰窗信号图是在电平为0%的黑场背景上有一个位于画面中心的灰色正方形窗口的信号图，灰色正方形窗口面积为整个图像的1%。

灰窗信号图共有19个，其窗口电平值见表5。

表 5 灰窗信号图的窗口电平值

| 灰阶测试序号 | 信号电平值（10比特窄范围） |
|--------|----------------|
| 1 | 64 |
| 2 | 86 |
| 3 | 138 |
| 4 | 190 |
| 5 | 242 |
| 6 | 294 |
| 7 | 346 |
| 8 | 398 |
| 9 | 450 |
| 10 | 502 |
| 11 | 554 |
| 12 | 606 |
| 13 | 658 |
| 14 | 710 |
| 15 | 762 |
| 16 | 814 |
| 17 | 866 |
| 18 | 918 |
| 19 | 940 |

7.1.3. 灰阶等级信号图

灰阶等级信号图是一组特殊的灰窗信号，其信号结构与6.1.2灰窗信号相同，区别在于窗口的信号电平不同。灰阶等级信号图的窗口信号电平值为852到940（10比特窄范围信号）之间逐等级变化的一组数值（即852、853……940），根据测试需要，可以选取其中的任意等级进行测试。

7.1.4. 亮度阶梯信号图

亮度阶梯信号图是将亮度信号由黑到100%白等分成若干个亮度阶梯的信号图。根据等分数量的不同，可分为10阶梯、11阶梯、12阶梯，依次类推到24阶梯。

7.1.5. 单像素信号图

单像素信号图是指在黑场画面上有若干由单像素（100%白色）排列而成的行和列的信号图。其中的一种示例图见图5。



图 5 单像素信号图

7.1.6. 基色信号图

基色信号图包括：红、绿、蓝、品、青、黄六种全场信号。各基色信号电平值（10bit窄范围）见表6。

表 6 基色信号电平值

| 基色 | 信号电平（10bit） | | |
|----|-------------|-----|-----|
| | R' | G' | B' |
| 红 | 940 | 64 | 64 |
| 绿 | 64 | 940 | 64 |
| 蓝 | 64 | 64 | 940 |
| 品 | 940 | 64 | 940 |
| 青 | 64 | 940 | 940 |
| 黄 | 940 | 940 | 64 |

7.2 LED 大屏子系统技术测试

7.2.1. 最大亮度

测试条件如下：

- a) 测试信号：白场信号图、亮度阶梯信号图（12 阶梯）；
- b) 测试仪器：亮度计。

测试步骤如下：

- a) 输入 12 阶梯亮度阶梯信号图，被测显示屏亮度由 100cd/m² 开始逐渐提高亮度，同时目测检查屏幕能否鉴别出 12 级亮度等级；
- b) 在屏幕恰可鉴别 12 级亮度等级时，输入白场信号图，测试此时屏幕中心的亮度，记为最大亮度。

7.2.2. LED 单灯刷新频率

测试条件如下：

- a) 测试信号：单像素信号图；

b) 测试仪器：光电转换器（响应时间不大于 50us）、示波器。

测试步骤如下：

- a) 将被测显示屏的单灯刷新频率设置为最大值；
- b) 输入单像素信号图，用光电转换器拾取屏幕上某 1 个发光像素的光信号；
- c) 用示波器观测光电转换器输出的单灯驱动信号波形，测试该信号波形的周期 T ，则单灯刷新频率为 $1/T$ 。

7.2.3. 换帧频率

测试条件如下：

- a) 测试信号：黑场信号图、白场信号图；
- b) 测试仪器：光电转换器、示波器。

测试步骤如下：

- a) 将被测显示屏的换帧频率设置为最大值；
- b) 输入黑场与白场交替出现（1 帧黑场 1 帧白场）的测试信号，用光电转换器拾取屏幕上某区域 4 个以上相邻像素的光信号；
- c) 用示波器观测光电转换器输出的屏幕信号波形，如在该信号波形中可识别出相邻的两帧图像，则测试两帧图像之间的间隔 T ，换帧频率即为 $1/T$ ；如在信号波形中无法识别出相邻的两帧图像，则继续步骤 d)和 e)；
- d) 输入黑场与白场交替出现的测试信号（信号帧率应与屏幕配套使用的摄像机信号帧率相同），用光电转换器拾取屏幕上某区域 4 个以上相邻像素的光信号；
- e) 用示波器观测光电转换器输出的屏幕信号波形，测试该信号波形中相邻两帧图像之间的间隔 T ，换帧频率即为 $1/T$ 。

7.2.4. 色温

测试条件如下：

- a) 测试信号：白场信号图；
- b) 测试仪器：色度计。

测试步骤如下：

- a) 输入白场信号图，将被测显示屏的色温设置为 3000K，测试此时屏幕的白场色温；
- b) 将被测显示屏的色温设置为 5600K，测试此时屏幕的白场色温；
- c) 将被测显示屏的色温设置为 9300K，测试此时屏幕的白场色温；
- d) 验证色温是否在 3000K-9300K 可调。

7.2.5. 屏幕灰阶等级

测试条件如下：

- a) 测试信号：灰阶等级信号图；
- b) 测试仪器：亮度计。

测试步骤如下：

- a) 从灰阶等级信号图中随机选取十个连续等级的、单调变化的窗口信号，记为 G_1 、 G_2 G_{10} ；
- b) 依次输入信号 G_1 、 G_2 G_{10} ，用亮度计依次测试各窗口信号的窗口亮度，每个信号测试 3 次并取平均值， G_1 、 G_2 G_{10} 十个信号的测试结果分别记为 L_1 、 L_2 L_{10} ；
- c) 计算 L_1 、 L_2 L_{10} 与 G_1 、 G_2 G_{10} 的线性相关系数，当线性相关系数大于等于 0.95 时，判定该显示屏的灰阶等级达到 10 比特。

7.2.6. 白场亮度不均匀性

测试条件如下：

- a) 测试信号：白场信号图；
- b) 测试仪器：亮度计。

测试步骤如下:

- a) 输入白场信号图, 测试被测显示屏不同区域 9 个点 (见图 6) 的亮度值, 如被测屏幕幅型比非 16:9, 测试点可按图 6 线性缩放;
- b) 计算亮度不均匀性, 计算公式为: (测试最大值-测试最小值)/平均值×100%。

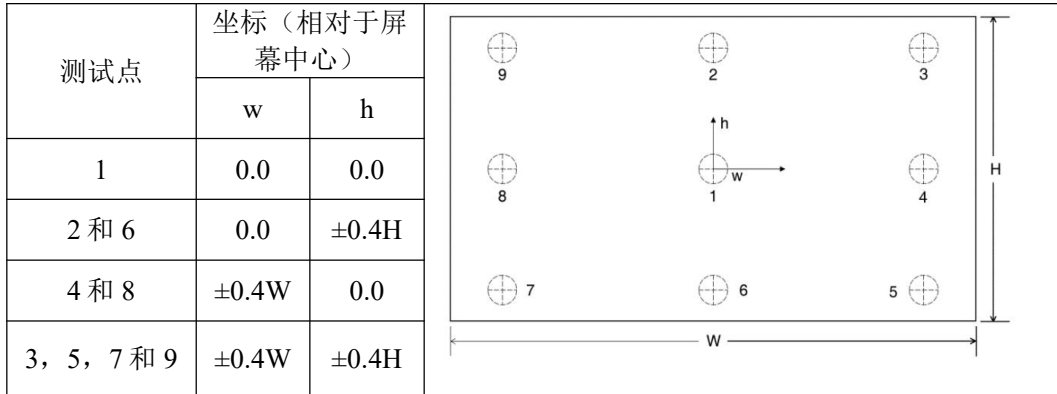


图 6 亮度不均匀性测试区域

7.2.7. 白场色度不均匀性

测试条件如下:

- a) 测试信号: 白场信号图;
- b) 测试仪器: 色度计。

测试步骤如下:

- a) 输入白场信号图, 测试被测显示屏不同区域 9 个点 (见图 6) 的色度值;
- b) 计算各点色度测试值与屏幕中心点测试值的偏差距离 $\Delta u'v'$ 。

7.2.8. 电光转换特性

测试条件如下:

- a) 测试信号: 灰窗信号图;
- b) 测试仪器: 亮度计。

测试步骤如下:

- a) 依次输入并显示灰窗信号图的灰阶 1 到灰阶 19, 用测试仪器测试被测显示屏中心点的亮度。在测试过程中, 亮度和对比度的设置不能改变;
- b) 按公式 (1) 计算 Gamma 值, 计算公式如下:

$$\gamma_N = \frac{\lg \left[\frac{L_N - L_{MIN}}{L_{MAX}} \right]}{\lg \left[\frac{(Y_{IN} - Y_{MIN})}{(Y_{MAX} - Y_{MIN})} \right]} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- Y_{IN} —— 当 $N=\{10\%,20\%,\dots,90\%\}$ 时对应的输入信号电平;
- L_N —— 当 $N=\{10\%,20\%,\dots,90\%\}$ 时测得的屏幕亮度;
- L_{MAX} —— 输入信号电平为 Y_{MAX} 时测得的屏幕亮度;
- L_{MIN} —— 输入信号电平为 Y_{MIN} 时测得的屏幕亮度;
- Y_{MAX} —— 对于数字 10 比特系统, Y_{MAX} 为 940;
- Y_{MIN} —— 对于数字 10 比特系统, Y_{MIN} 为 64。

7.2.9. 亮度与视角的关系

测试条件如下：

- a) 测试信号：白场信号图；
- b) 测试仪器：量角器、亮度计。

测试步骤如下：

- a) 输入白场信号图，在亮度计垂直于被测显示屏的情况下，测试屏幕的亮度，记为 L_0 ；
- b) 将亮度计从屏幕法线方向向左调整至与被测显示屏夹角为 45° ，测试屏幕的亮度值，记为 L_{-45} ；
- c) 按公式（2）计算亮度变化：

$$\frac{(L_{-45} - L_0)}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$
- d) 将亮度计从屏幕法线方向向右调整至与被测显示屏夹角为 45° ，测试屏幕的亮度值，记为 L_{+45} ；
- e) 按公式（3）计算亮度变化。

$$\frac{(L_{+45} - L_0)}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

7.2.10. 地屏承重

测试条件如下：

- a) 测试信号：白场信号图；
- b) 测试仪器：万能材料试验机或压力机。

测试步骤如下：

- a) 将被测大屏系统地屏调整到实际应用状态；
- b) 地屏显示白场信号图，选取显示屏中心位置，放置 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 钢块，用万能材料试验机或压力机施加 1000N 的压力垂直作用于显示屏并持续 5 秒钟；
- c) 观察显示屏显示是否异常、结构是否有裂纹。

7.2.11. 地屏和立屏的一致性

测试条件如下：

- a) 测试信号：白场信号图、基色信号图；
- b) 测试仪器：亮度计、色度计。

测试步骤如下：

- a) 将被测大屏系统的立屏和地屏调整到实际应用状态；
- b) 立屏显示白场信号图，用亮度计在屏幕法线方向测试屏幕的亮度，记为 L_1 ，用色度计在屏幕法线方向测试屏幕的色度坐标 (u'_1, v'_1) ；
- c) 地屏显示白场信号图，用亮度计在屏幕法线方向测试屏幕的亮度，记为 L_2 ，用色度计在屏幕法线方向测试屏幕的色度坐标 (u'_2, v'_2) ；
- d) 按公式（4）取绝对值计算亮度差异：

$$\frac{(L_1 - L_2)}{L_1} \dots\dots\dots(4)$$
- e) 按公式（5）计算 (u'_1, v'_1) 和 (u'_2, v'_2) 之间的距离 $\Delta u'v'$ ，作为色温偏差测试结果：

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_1 - u'_2)^2 + (v'_1 - v'_2)^2} \dots\dots\dots(5)$$
- f) 立屏依次显示红、绿、蓝、品、青、黄六种基色信号图，用色度计在屏幕法线方向依次测试屏幕的色度坐标 XYZ_{vc1} 、 XYZ_{vc2} 、 XYZ_{vc3} 、 XYZ_{vc4} 、 XYZ_{vc5} 、 XYZ_{vc6} ；
- g) 地屏依次显示红、绿、蓝、品、青、黄六种基色信号图，用色度计在屏幕法线方向依次测试屏幕的色度坐标 XYZ_{hc1} 、 XYZ_{hc2} 、 XYZ_{hc3} 、 XYZ_{hc4} 、 XYZ_{hc5} 、 XYZ_{hc6} ；
- h) 分别计算地屏与立屏在显示同一颜色时对应的色彩偏差 ΔE_{ITP} ，计算公式见 ITU-R BT.2124-0 (2019)。

7.3 目标跟踪子系统技术测试

7.3.1. 摄像机位置跟踪误差

测试条件如下：

- a) 精密电控平移台，运动行程 $\geq 1\text{m}$ ，行程误差 $\leq 0.01\text{mm/m}$ ；
- b) 按照产品说明书要求，将摄像机跟踪装置调试至工作状态。

测试步骤如下：

- a) 场地中选择边长 1m 的正方形区域，4 条边分别记为 A、B、C、D，首先在 A 边上放置精密电控平移台，如图 7 所示：

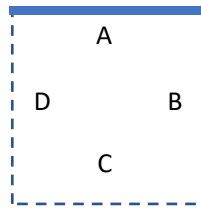


图 7 电控平移台放置俯视示意图

- b) 将摄像机跟踪装置稳固连接精密电控平移台上方，记录摄像机跟踪装置解算出的当前坐标点 X；
- c) 操控精密电控平移台使其带动摄像机跟踪装置位移 1m ，记录此摄像机跟踪装置解算出的坐标点 Y；
- d) 按公式 (6) 计算 $X(x_1, y_1, z_1)$ 与 $Y(x_2, y_2, z_2)$ 的欧式距离；

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

- e) 按公式 (7) 计算误差；

$$e = |d - 1| \quad \dots\dots\dots(7)$$

- f) 依次在 B、C、D 三条边上重复 b) - d) 步，对所得的计算误差求平均值，即为摄像机位置跟踪误差 (mm/m)。

7.3.2. 摄像机位置跟踪静态稳定性

测试条件如下：

- a) 精密电控平移台，运动行程 $\geq 1\text{m}$ ，行程误差 $\leq 0.01\text{mm/m}$ ；
- b) 按照产品说明书要求，将摄像机跟踪装置调试至工作状态。

测试步骤如下：

- a) 运动摄像机跟踪装置到边长 1m 的正方形的四个角点并作为测试点，固定跟踪装置位置，录制跟踪装置位置数据；
- b) 分别导出每个测试点的摄像机跟踪装置位置数据；
- c) 根据位置数据的波动值，计算平均值即反映位置跟踪静态稳定性。

7.3.3. 镜头多焦段标定误差

测试条件如下：

- a) 1 台高清或 4K 摄像机；
- b) 1 个广角镜头，焦段覆盖 $5\text{-}50\text{mm}$ ，或者 1 个标准镜头，焦段覆盖 $10\text{-}100\text{mm}$ ；
- c) 按照产品说明书要求，将摄像机跟踪装置调试至工作状态后得到镜头文件（包含镜头参数，相机内参等数据）；
- d) 1 块棋盘格标定板。

测试步骤如下：

- a) 将镜头焦段 5 等分，从小到大依次记为 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 、 f_5 ，将镜头的调焦环与对焦环均调整到最小状态；

- b) 记录此时镜头的焦距与对焦参数，移动标定板，使其位于摄像机画面中央并能清晰成像，占图像画幅的 1/8-1/4，拍摄图像并存储，固定摄像机位置；
- c) 移动标定板，使标定板依次位于摄像机画面不同位置，并能清晰成像，占图像画幅的 1/8-1/4，拍摄图像并存储（参考张氏标定法），共采集 50 张图像；
- d) 使用前 30 张图像用于计算相机内参数，得到相机内参矩阵 M ，畸变系数 D ；
- e) 使用后 20 张图像计算相机内参标定误差；提取图像中标定板的角点坐标标记为矩阵 A ，根据该焦距与对焦对应的相机内参数与标定板三维坐标，重投影得到相应的角点坐标标记为矩阵 B 。依次计算上述 20 个标定板图像中 A 与 B 的坐标差值，计算坐标差值的平均值；
- f) 依次调整镜头焦距至 f_2 、 f_3 、 f_4 、 f_5 ，每一焦距下都重复 b) - d) 步，计算出镜头多焦段标定误差。

7.4 渲染子系统技术测试

7.4.1. 屏内部分与屏外 AR 拓展部分在合成视频内的拼接误差

测试条件如下：

- a) 1 台高清或 4K 摄像机；
- b) 1 个广角镜头，焦段覆盖 5-50mm，或者 1 个标准镜头，焦段覆盖 10-100mm；
- c) 按照产品说明书要求，将摄像机跟踪装置调试至工作状态后得到镜头文件（包含镜头参数，相机内参等数据）；
- d) 虚拟场景 LED 屏幕建模完成；
- e) 物理摄像机定位空间与虚拟场景空间校准完成；
- f) 虚拟场景 LED 屏幕与物理 LED 大屏投射相同标定板图案。

测试步骤如下：

- a) 使用摄像机跟踪数据驱动虚拟摄像机；
- b) 虚拟摄像机实时调用镜头文件数据；
- c) 固定摄像机位置，广角镜头以镜头焦段 5 等分为测试步长，标准镜头以镜头焦段 3 等分为测试步长，依次调节镜头变焦。在每一次焦距下，摄像机拍摄 LED 标定板图像、虚拟摄像机拍摄虚拟场景 LED 画面，作为一个图像组；
- d) 依次运动摄像机至其他 5 个位置，按照上一步操作拍摄测试图像组；
- e) 计算图像组中标定板角点坐标偏差平均值，为虚实视频拼接误差。

7.4.2. 屏内部分与屏外 AR 拓展部分在合成视频内的时间延迟

测试条件如下：

- a) 1 台高清或 4K 摄像机；
- b) 1 个广角镜头，焦段覆盖 5-50mm，或者 1 个标准镜头，焦段覆盖 10-100mm；
- c) 按照产品说明书要求，将摄像机跟踪装置调试至工作状态后得到镜头文件（包含镜头参数，相机内参等数据）；
- d) 对大屏、渲染、跟踪、拍摄子系统进行时延校准，实现帧同步。

测试步骤如下：

- a) 渲染引擎生成 50Hz 时码测试信号；
- b) 保持摄像机静止并开始拍摄，录制渲染合成信号 1 min；
- c) 逐帧观察合成画面，按公式（8）计算屏内部分时码帧号与屏外 AR 拓展部分时码帧号的帧号差绝对值；

$$N=|In-Out| \dots\dots\dots(8)$$

式中：

In —— 屏内部分时码帧号；

Out —— 屏外 AR 拓展部分时码帧号。

- d) 取所有帧号差绝对值的最大值记为 N_{\max} ，按公式 (9) 计算时间延迟。
$$1 / (50 \times N_{\max}) \dots\dots\dots(9)$$