

湖北省地方计量技术规范

JJF (鄂) 91—2023

显示缺陷（Mura）评估与补正设备 校准规范

Calibration Specification for Mura Evaluation and Correction Equipment

2023—02—03 发布

2023—03—01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

显示缺陷（Mura）评估 与补正设备校准规范

Calibration Specification for Mura

Evaluation and Correction Equipment

JJF（鄂）91—2023

归口单位：湖北省市场监督管理局

起草单位：武汉精测电子集团股份有限公司

湖北省计量测试技术研究院

广州华星光电半导体显示技术有限公司

OPPO 广东移动通信有限公司

北京小米科技有限公司

本规范委托武汉精测电子集团股份有限公司负责解释

本规范主要起草人：

陈 凯（武汉精测电子集团股份有限公司）

刘荣华（武汉精测电子集团股份有限公司）

朱新旺（湖北省计量测试技术研究院）

闻 铭（武汉精测电子集团股份有限公司）

参加起草人：

沈亚非（武汉精测电子集团股份有限公司）

欧昌东（武汉精测电子集团股份有限公司）

袁捷宇（武汉精测电子集团股份有限公司）

杨 阳（武汉精测电子集团股份有限公司）

梅林海（武汉精测电子集团股份有限公司）

刘 洒（武汉精测电子集团股份有限公司）

郑增强（武汉精测电子集团股份有限公司）

王 军（广州华星光电半导体显示技术有限公司）

李豪凯（OPPO 广东移动通信有限公司）

李佳縉（北京小米科技有限公司）

目录

1	范围.....	1
2	引用文件.....	1
3	术语和计量单位.....	1
4	概述.....	2
5	计量特性.....	4
5.1	GTF 校准.....	4
5.2	单一 Mura 校准.....	4
5.3	组合 Mura 校准.....	5
5.4	加噪 Mura 校准.....	5
6	校准条件.....	5
6.1	校准环境条件.....	5
6.2	校准用设备.....	6
6.3	校准用图库.....	7
7	校准项目和校准方法.....	9
7.1	校准前的准备.....	9
7.2	GTF 的校准.....	9
7.3	单一 Mura 的校准.....	15
7.4	组合 Mura 的校准.....	17
7.5	加噪 Mura 的校准.....	17
8	校准结果表达.....	18
9	复校时间间隔.....	18
附录 A	单一 Mura 类型描述及模拟图示例.....	19
附录 B	组合 Mura 类型描述及模拟图示例.....	24
附录 C	校准原始记录格式.....	26
附录 D	校准证书内页格式.....	28
附录 E	校准结果的测量不确定度评定示例.....	30

引言

本规范的制定以 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1032—2005《光学辐射计量术语》和 JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》的规定为基础性系列规范。

本规范主要参考了 JJF1742—2019《高清视频信号发生器校准规范》、JJG211—2021《亮度计》、JJG1034—2008《光谱光度计标准滤光器》的有关校准方法和技术指标。

本规范的发布机构请注意，声明符合本文件时，可能涉及专利——一种用于评估 DeMura 设备亮度测量精度的方法，专利号 201810608731.2。该专利涉及到本规范中精度值校准（6.3.1 节和 7.2.1 节），具体指获取理想灰阶噪声值和实际灰阶噪声值的相关系数的实验步骤及计算方法。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

该专利的持有人已向本文件的发布机构保证，愿意将以上专利免费授权给中华人民共和国境内任何使用本规范的用户使用。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。本规范实施过程中的疑问和建议，请联系：

专利持有人：武汉精测电子集团股份有限公司

地址：武汉市东湖新技术开发区流芳园南路 22 号

联系人：武汉精测电子集团股份有限公司知识产权部

联系电话：027-87526932

本规范为首次发布。

显示缺陷（Mura）评估与补正设备校准规范

1 范围

本规范适用于对显示面板显示缺陷（Mura）评估和补正设备的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 211—2021 亮度计检定规程

JJG 1034—2008 光谱光度计标准滤光器检定规程

JJF 1032—2005 光学辐射计量术语

JJF 1742—2019 高清视频信号发生器校准规范

GB/T 18910.11—2012 液晶显示器件 第 1-1 部分：术语和符号

GB/T 20871.2—2007 有机发光二极管显示器 第 2 部分：术语与文字符号

IEC 60050-723 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 723:
Broadcasting: Sound, television, data

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

GB/T 18910.11—2012 液晶显示器件 第 1-1 部分：术语和符号、GB/T 20871.2—2007 有机发光二极管显示器 第 2 部分：术语与文字符号以及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 图形发生器 PG（Pattern Generator） [IEC 60050 723-07-40]

一种电子装置，可以将数字图像按照显示面板的驱动协议要求转换为电信号，对显示面板进行驱动，以便显示面板显示出相应的正确图像和视频信号。

3.2 精度值 Accuracy Index

理想灰阶噪声值和实际灰阶噪声值（由待校准设备提取得到的）的相关系数，用于对显示缺陷（Mura）评估与补正设备对显示面板各像素亮度提取的整体精度水平的评估。精度值取值范围 ≤ 1 ，数值越大则表明精度越高。影响精度值的主

要因素为显示缺陷 (Mura) 评估与补正设备取像系统和亮度提取算法, 精度值的高低直接影响显示缺陷 (Mura) 评估和补正的效果。

3.3 显示缺陷 Mura [GB/T 18910.11—2012]

与非均匀性 (non-uniformity) 含义相同, 均指视觉上亮度或色度的不一致性。常见显示缺陷 (Mura) 类型有: 团状 (Blob), 斜纹 (Twill), 环形 (Ring), 水平带 (HBlock), 竖直带 (VBlock), 水平线 (HLine), 竖直线 (VLine), 水平短线 (HShort), 竖直短线 (VShort) 和彩色显示缺陷 (Color, 包含 color shift 和 color mix 两类)。

3.4 显示缺陷补正 DeMura

通过内部或外部设备对具有显示缺陷的面板进行缺陷补正, 补正之后的显示面板在显示匀色画面时无显示不均匀, 或亮色度均匀度满足指标需求。

3.5 检测符合率 (R_d , Coincidence Rate of Detection)

使用显示缺陷 (Mura) 评估与补正设备对有显示缺陷 (Mura) 模拟图的标准显示面板进行显示缺陷 (Mura) 检测, 其中显示缺陷 (Mura) 的类型、位置和尺寸是已知的, 检测结果与已知值符合的模拟图样本数量与总样本数量的比值称为检测符合率。

3.6 判等符合率 (R_c , Coincidence Rate of Classification)

使用显示缺陷 (Mura) 评估与补正设备对有显示缺陷 (Mura) 模拟图的标准显示面板进行显示缺陷 (Mura) 评估, 其中显示缺陷 (Mura) 等级理想值是已知的。利用量化评估分值对显示缺陷 (Mura) 进行三等级划分判等, 判等值与已知值符合的模拟图样本数量与总样本数量的比值称为判等符合率。

4 概述

终端产品如手机、Pad 和笔记本电脑上广泛使用显示面板, 其显示质量将会直接影响消费者的体验。在工厂层面, 显示缺陷 (Mura) (以下简称 Mura) 的评估与补正也是其质量和成本控制的重要内容。Mura 的评估与补正设备一般由三部分构成: 取像系统、PG 系统和计算机系统构成, 如图 1 所示。

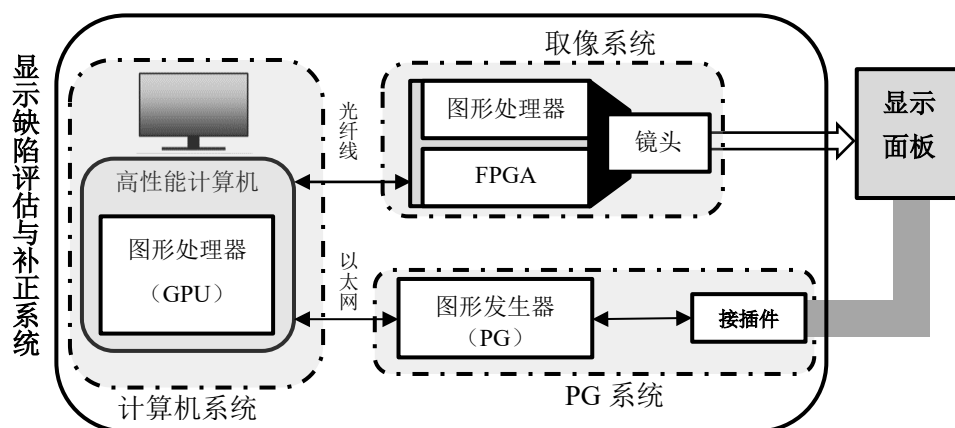


图 1 显示缺陷的评估与补正设备结构图

显示面板从终端厂商走向消费者之前，需要用 Mura 评估设备进行评估；对于可修复的 Mura，则需要通过 Mura 补正设备进行修复；在最终出厂前，Mura 的修复程度以及屏幕显示的均匀性等指标则需要由 Mura 评估设备进行再次评估。

使用无显示缺陷的或亮色度均匀度满足一定要求的显示面板作为标准显示面板，在其上显示图像信息已知的测试图及 Mura 模拟图，使用 Mura 评估与补正设备进行测试，将测试结果与已知的数据进行计算分析，得到检测符合率和判等符合率等参数。显示缺陷（Mura）评估与补正设备校准过程设备放置示意图如下图所示，其中取像系统分辨率推荐 $\geq 3840 \times 2160$ ，PG 系统校准可参照《JJF 1742—2019 高清视频信号发生器校准规范》执行（如适用）。

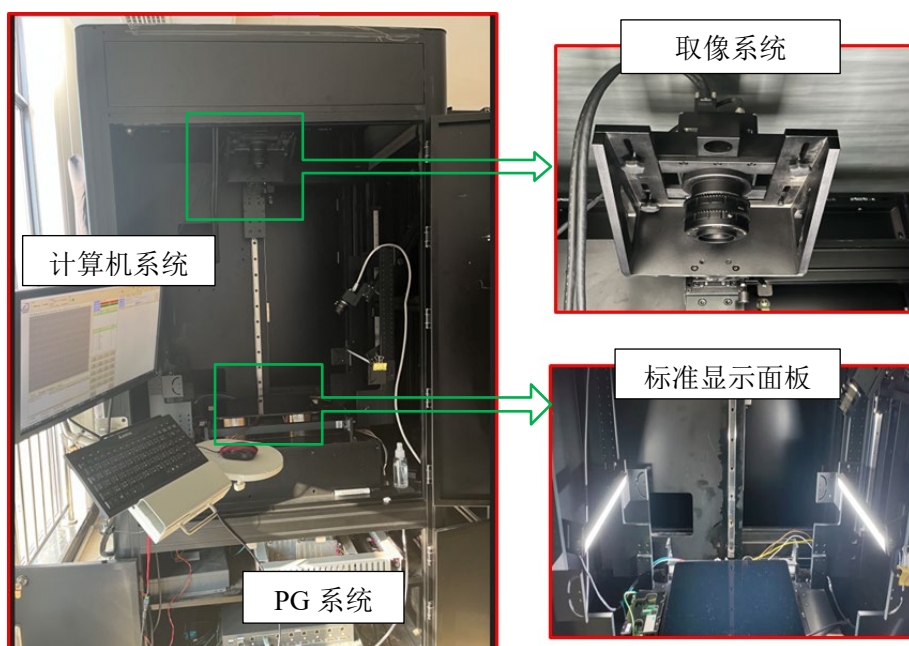


图 2 显示缺陷（Mura）评估与补正设备校准过程设备放置示意图

5 计量特性

5.1 灰阶传递函数（GTF）校准

精确地测量每个子像素的亮度是决定 Mura 评估与补正设备效果的关键。Mura 评估与补正设备的 PG 系统将测试图显示于标准显示面板上，使用 Mura 评估与补正设备的取像装置拍摄屏体画面，提取 Gamma 值及像素亮度值，计算灰阶测量值。灰阶传递函数（Gray Transfer Function，以下简称 GTF）校准是反映灰阶驱动值与灰阶测量值匹配或偏离程度的过程，可实现对 Mura 评估与补正设备亮度提取精度的评估，主要包括四项技术指标：精度值、调制传递函数值（Modulation Transfer Function，以下简称 MTF）、均方根误差值（Root Mean Square Error，以下简称 RMSE）、信噪比（Signal Noise Ratio，以下简称 SNR）值。

GTF 的计量特性应满足表 1 要求。

表 1 GTF 计量特性

序号	校准项目	技术指标
1	精度值	背景灰阶为 32 时 ≥ 0.94
		背景灰阶为 64 时 ≥ 0.96
		背景灰阶为 128 时 ≥ 0.97
		背景灰阶为 192 时 ≥ 0.98
		背景灰阶为 224 时 ≥ 0.98
2	MTF 值	≥ 0.98
3	RMSE 值	≤ 0.05
4	SNR 值	32 灰阶时 $\geq 30\text{dB}$
		224 灰阶时 $\geq 45\text{dB}$

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

5.2 单一 Mura 校准

单一 Mura 校准指 Mura 评估与补正设备对仅有一处显示缺陷的待测屏体的 Mura 评估。由 Mura 评估与补正设备获取标准显示面板的缺陷类型、缺陷位置、缺陷尺寸以及缺陷强度等信息，再与理论值比较，计算得到对应的检测符合率与判等符合率，校准值需满足下表要求。

表 2 单一 Mura 校准

Mura 类型	校准项目	单项指标	平均指标
Blob, Twill, Ring, HBlock, VBlock, HLine, VLine, HShort, VShort, Color	检测符合率	$R_d \geq 90\%$	$R_d \geq 95\%$
	判等符合率	$R_c \geq 70\%$	$R_c \geq 85\%$

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

5.3 组合 Mura 校准

组合 Mura 校准指 Mura 评估与补正设备对同时具有三种不同类型显示缺陷的待测屏体的 Mura 评估的校准。由 Mura 评估与补正设备对显示面板进行评估，获取缺陷类型、缺陷位置、缺陷尺寸以及缺陷强度等信息，再与理论值比对，计算得到对应的检测符合率与判等符合率，校准值需满足下表要求。

表 3 组合 Mura 校准

Mura 组合	校准项目	单项指标	平均指标
每一个组合由三类 Mura 各一个构成，居于屏体中心区域且不重叠，包括：组合 1（Blob、HShort 和 Ring）、组合 2（VBlock、Blob 和 Twill）、组合 3（VLine、VShort 和 Ring）	检测符合率	$R_d \geq 75\%$	$R_d \geq 90\%$
	判等符合率	$R_c \geq 60\%$	$R_c \geq 70\%$

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

5.4 加噪 Mura 校准

加噪 Mura 校准指 Mura 评估与补正设备对仅有一处显示缺陷并叠加一定强度随机噪声的待测屏体的 Mura 评估的校准。由 Mura 评估与补正设备对显示面板进行评估，获取缺陷类型、缺陷位置、缺陷尺寸以及缺陷强度等信息，再与理论值比对，计算得到对应的检测符合率与判等符合率，其校准值需满足下表要求。

表 4 加噪 Mura 校准

Mura 类型	校准项目	单项指标	平均指标
Blob, Twill, Ring, HBlock, VBlock, HLine, VLine, HShort, VShort, Color	检测符合率	$R_d \geq 80\%$	$R_d \geq 95\%$
	判等符合率	$R_c \geq 60\%$	$R_c \geq 80\%$

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 校准环境条件

6.1.1 环境温度：（23±5）℃。

6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ 。

6.1.3 电源电压： $(220 \pm 22) \text{ V}$ ， $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ 。

6.1.4 校准应在暗室或遮光环境中进行，从显示面板表面反射到探头的背景照明光应小于 0.01 cd/m^2 ，或小于显示屏黑场亮度的 $1/20$ 。

6.2 校准用设备

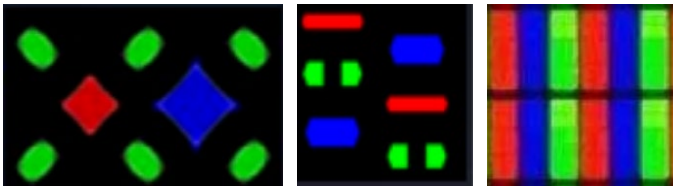
6.2.1 载台

可对显示面板和取像系统进行位置固定，并具备空间平移和旋转调节功能。

6.2.2 标准显示面板

选用符合表 5 要求的手机显示屏作为标准显示面板。

表 5 标准显示面板

参数	要求
屏体类型	OLED 或 LCD
屏体形态	直板或曲面屏，四角可为圆角，正面可带挖孔
尺寸	对角线 (5~8) 英寸
分辨率	不小于 1920×1080
色深	$\geq 8\text{bit}$
亮度	$\geq 250 \text{ cd/m}^2$
色域	色域不小于 sRGB
帧率	帧率 $\geq 50 \text{ Hz}$
Gamma	2.2 ± 0.2
亮色度均匀性	亮度设置为最高亮度，显示 64, 128, 255 灰阶，RGBW 画面四个纯色画面，测量 25 点亮色度值，以屏体中心点为参考计算各个画面 ΔE_{2000} 指标：平均 $\Delta E_{00} \leq 1.0$ ，最大 $\Delta E_{00} \leq 2.5$
时间稳定性	亮度设置为最高亮度，显示 W255 画面，待屏体稳定后，按照 5min 间隔持续测量屏体 25 点亮色度值 30min，在 30min 内屏体 25 点色彩变化：平均 $\Delta E_{00} \leq 1.0$ ，最大 $\Delta E_{00} \leq 2.5$
子像素排布	珍珠排列、2in1 排列、RGB 排列或其他常见排列 

6.3 校准用图库

6.3.1 噪声测试图

分别以 R、G 和 B 纯色画面的 32、64、128、192、224 灰阶为背景灰阶，根据标准显示面板屏体分辨率和测试灰阶，生成均匀分布的随机噪声叠加到背景中。其中随机噪声数据的添加方法可以是在每一个亚像素上都叠加一个随机数，或者是每一个周期几个像素上叠加一个随机数，或者在随机的位置上叠加一个随机数。噪声一般为对应测试灰阶的（-10%，10%）之间，或一般取值±10 之间。典型的噪声测试参数及测试图示例如下。生成噪声图案后，需保存实际噪声图案（N1），对应的测试灰阶值称为 N2。

表 6 噪声强度参数表

测试灰阶值	32	64	128	192	224
噪声强度	±3	±5	±8	±10	±12
Pattern 区间	29~35	59~69	120~136	182~202	212~236

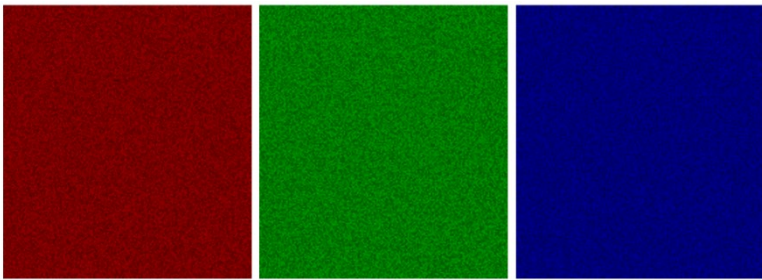


图 3 噪声测试图示例图

6.3.2 栅格测试图

按以下步骤和要求生成栅格测试图，并保存于计算机中。

分别以绿色画面（G）的 32、64、128、192 和 224 作为背景测试灰阶，以背景测试灰阶值的 105%~112%范围内的值为前景灰阶，生成 5 组灰阶值方案。推荐的前景灰阶与测试灰阶对照表如表 7 所示。

表 7 栅格单元参数表

测试灰阶	32	64	128	192	224
前景灰阶	35	69	136	202	236

生成栅格单元，分辨率为 196×196 像素，前景区域水平和竖直方向分布相同，均为对称分布的矩形波图样，从中心到边缘依次为低频（周期为 10）、中频

(周期为 6、4) 和 高频 (周期为 2)。中低频各有 3 个周期, 高频有 4 个周期, 占空比均为 50%, 中心为 16×16 的前景正方形块。前景区域与背景区域灰阶值见表 7, 示意图如图 4 所示。

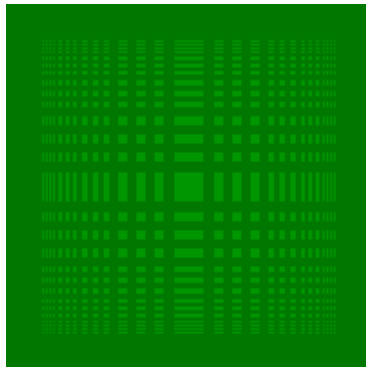


图 4 栅格单元示意图

将栅格单元图分别放置于栅格测试图的四角和正中心, 其余部分用测试灰阶纯色画面填充, 栅格测试图分辨率与标准显示面板分辨率一致, 如图 5 所示。



图 5 栅格测试图示意图

6.3.3 SNR 测试图

灰阶为 32 和 224 的两个纯色 W 画面, 模拟图如图 6 所示。



图 6 SNR 测试图示意图

6.3.4 单一 Mura 测试图

共有 10 类单一 Mura, 每类 Mura 有三个强弱等级 (L1 强, L2 中, L3 弱),

每个 Mura 对应背景灰阶有 64、128 和 224 三个等级，每类 Mura 共有 27 张模拟图。各类型对应 Mura 模拟图可从附录 A 的链接中下载，128 灰阶下的 Mura 模拟图示例及亮度图示例见附录 A。缺陷强度和坐标信息也包括在附录 A 链接中的资源里。

6.3.5 组合 Mura 测试图

将不同类型的三种单一 Mura 组合在一张模拟图中，即为组合 Mura 测试图，其中使用的单一 Mura 图库来源于附录 A 的单一 Mura 测试图缺陷局部截图。用于组合的三种 Mura 具有相同的缺陷等级和背景灰阶值。每种组合 Mura 模拟图具有三个强弱等级，每个等级具有三个背景灰阶值（64、128 和 224 三个背景灰阶等级），其强弱等级和背景灰阶值与所包含的三个单一 Mura 均一致。

组合 Mura 测试图、组合 Mura 的各单一 Mura 类型、强度、背景灰阶、位置等信息见附录 B 及对应链接资源。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前的准备

7.1.1 外观检查

设备应有如下标记：名称、商标、型号、产品号、制造厂、出厂日期。设备不应有影响正常使用的缺陷。设备的光、机、电等零部件应接触良好，牢固可靠，显示数字清晰完整。光路经过的设备内表面应有黑化处理，以减少杂散辐射。

7.1.2 固定和预热

固定标准显示面板，调节载台位置和角度，让显示面板四边框与取像系统视野边框平行并且二者中心对齐。标准显示面板点亮预热 30 min 后再进行校准。

7.2 GTF 的校准

7.2.1 精度值校准

7.2.1.1 计算 Gamma (γ) 值

屏体依次点亮 R、G 和 B 画面的 32、64、128、192 和 255 灰阶均匀画面，使用取像设备拍摄屏体，提取每个子像素点在 RGB 各画面时的亮度图像数据，在双对数刻度下进行最小二乘直线模型拟合，得到每个子像素点在 RGB 画面对应位置的斜率 $\gamma(i)$ 系数和截距 $c(i)$ 系数。

$$\begin{cases} \gamma(i) = \frac{\sum_{k=1}^5 \left(\log_{10} G_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \right) \left(\log_{10} B_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 B_k(i) \right)}{\sum_{k=1}^5 \left(\log_{10} G_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \right)^2} \\ c(i) = \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 B_k(i) - \gamma(i) \cdot \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \end{cases} \quad (1)$$

式中：

$G_k(i)$ ——色彩和位置编号为 i 的点在第 k 个灰阶时的灰阶值；

$B_k(i)$ ——色彩和位置编号为 i 的点在第 k 个灰阶时的亮度值。

7.2.1.2 生成噪声测试图

按照 6.3.1 要求生成灰阶测试图并保存，其中含有噪声的灰阶数据为 $N1$ ，不含噪声的均匀灰阶数据为 $N2$ ，纯噪声灰阶数据为 $N3$ ($N3=N1-N2$)。

7.2.1.3 提取亮度图数据

以灰阶图案 $N1$ 驱动点亮屏体，使用取像设备拍摄屏体，提取到的亮度图数据为 $B1$ 。

7.2.1.4 计算灰阶测量值

基于 Gamma 系数、截距 c 系数、亮度数据 $B1$ ，计算得到各像素对应的灰阶测量值，计算式如下。

$$G1 = \frac{\sqrt[\gamma]{B1}}{10^{c/\gamma}} \quad (2)$$

式中：

$B1$ ——以灰阶图 $N1$ 驱动点亮屏体提取到的各像素亮度数据；

$G1$ ——提取到的各像素灰阶测量值。

7.2.1.5 计算灰阶噪声值

分别计算各像素噪声信号对应的理想灰阶噪声值 ($N3$) 和实际灰阶噪声值 ($G3$)，计算式如下。

$$N3 = N1 - N2 \quad (3)$$

$$G3 = G1 - N2 \quad (4)$$

7.2.1.6 计算精度值

计算理想灰阶噪声值和实际灰阶噪声值的相关系数，其结果即为对应颜色和灰阶下的精度值校准值，计算式如下。

$$\rho(N3, G3) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{N3(i) - \mu_{N3}}{\sigma_{N3}} \right) \left(\frac{G3(i) - \mu_{G3}}{\sigma_{G3}} \right) \quad (5)$$

式中：

$N3(i)$ ——生成的第 i 个像素点的理想噪声值；

$G3(i)$ ——提取的第 i 个像素点的实际噪声值；

μ_{N3} ——理想噪声数据的灰阶均值；

μ_{G3} ——实际噪声数据的灰阶均值；

σ_{N3} ——理想噪声数据的灰阶标准差；

σ_{G3} ——实际噪声数据的灰阶标准差。

记录 R、G 和 B 画面在 5 个灰阶下的相关系数，作为精度值，记录表格见附录 C，相关系数越高则表明 Mura 评估与补正设备对显示面板亚像素级的亮度测量精度越高。

7.2.2 RMSE 值校准

7.2.2.1 计算 Gamma (γ) 值

屏体依次点亮 R、G 和 B 画面的 32、64、128、192 和 255 灰阶均匀画面，使用取像设备拍摄屏体，提取每个子像素点在 RGB 各画面时的亮度图像数据，在双对数刻度下进行最小二乘直线模型拟合，得到每个子像素点在 RGB 画面对应位置的斜率 $\gamma(i)$ 系数和截距 $c(i)$ 系数。

$$\begin{cases} \gamma(i) = \frac{\sum_{k=1}^5 \left(\log_{10} G_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \right) \left(\log_{10} B_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 B_k(i) \right)}{\sum_{k=1}^5 \left(\log_{10} G_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \right)^2} \\ c(i) = \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 B_k(i) - \gamma(i) \cdot \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \end{cases} \quad (6)$$

式中：

$G_k(i)$ ——色彩和位置编号为 i 的点在第 k 个灰阶时的灰阶值；

$B_k(i)$ ——色彩和位置编号为 i 的点在第 k 个灰阶时的亮度值。

7.2.2.2 生成噪声测试图

按照 6.3.1 中的描述生成噪声测试图，保存生成理想灰阶数据 NI 。

7.2.2.3 提取亮度图数据

以灰阶图案 NI 驱动点亮屏体，使用取像设备拍摄屏体，提取到的亮度图数据为 BI 。

7.2.2.4 计算灰阶测量值

基于 Gamma 系数、截距 c 系数、亮度数据 BI ，计算得到各像素对应的灰阶测量值，计算式如下。

$$G1 = \frac{\sqrt[\gamma]{BI}}{10^{c/\gamma}} \quad (7)$$

式中：

BI ——以灰阶图 NI 驱动点亮屏体提取到的各像素亮度数据；

$G1$ ——提取到的各像素灰阶测量值。

7.2.2.5 计算 RMSE 值

计算实际噪声图和灰阶测量值的均方根误差，计算式如下。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (NI(i) - G1(i))^2} \quad (8)$$

式中：

N ——生成的噪声像素个数；

$NI(i)$ ——生成的第 i 个像素点的噪声值；

$G1(i)$ ——提取的第 i 个像素点的灰阶测量值。

7.2.3 MTF 值校准

7.2.3.1 计算 Gamma (γ) 值

屏体依次点亮 R、G 和 B 画面的 32、64、128、192 和 255 灰阶均匀画面，使用取像设备拍摄屏体，提取每个子像素点在 RGB 各画面时的亮度图像数据，在双对数刻度下进行最小二乘直线模型拟合，得到每个子像素点在 RGB 画面对应位置的斜率 $\gamma(i)$ 系数和截距 $c(i)$ 系数。

$$\begin{cases} \gamma(i) = \frac{\sum_{k=1}^5 \left(\log_{10} G_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \right) \left(\log_{10} B_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 B_k(i) \right)}{\sum_{k=1}^5 \left(\log_{10} G_k(i) - \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \right)^2} \\ c(i) = \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 B_k(i) - \gamma(i) \cdot \frac{1}{5} \log_{10} \prod_{k=1}^5 G_k(i) \end{cases} \quad (9)$$

式中：

$G_k(i)$ ——色彩和位置编号为 i 的点在第 k 个灰阶时的灰阶值；

$B_k(i)$ ——色彩和位置编号为 i 的点在第 k 个灰阶时的亮度值。

7.2.3.2 栅格图制备

根据 6.3.2 及屏幕分辨率制作标准栅格测试图（G 画面），保存前景灰阶、背景灰阶、前景区域掩膜（mask）以及 ROI 区域等信息。

7.2.3.3 提取亮度图数据

点亮栅格 pattern，使用取像设备拍摄屏体，提取对应各像素亮度数据 BI 。

7.2.3.4 计算灰阶测量值

基于 Gamma 系数、截距 c 系数、噪声亮度数据 BI ，计算得到各像素对应的实际噪声灰阶值，计算式如下。

$$GI = \frac{\sqrt[\gamma]{BI}}{10^{c/\gamma}} \quad (10)$$

式中：

BI ——以灰阶图 NI 驱动点亮屏体提取到的各像素亮度数据；

GI ——提取到的各像素灰阶测量值。

7.2.3.5 归一化

按照栅格单元前景掩膜，将灰阶测量值（ GI ）图像分割为前景部分 GF 和背景部分 GB ，并利用前景和背景部分的均值对灰阶测量值进行归一化，得到归一化灰阶测量值 GI' ，计算式如下。

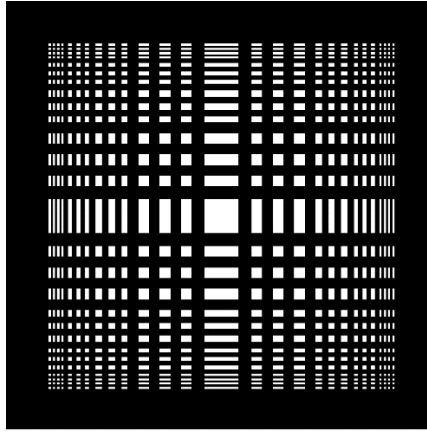


图 7 栅格单元前景掩膜示意图

$$G1' = \frac{G1 - \overline{GB}}{\overline{GF} - \overline{GB}} \quad (11)$$

7.2.3.6 计算 MTF 值

根据栅格单元掩膜, 归一化灰阶测量值 $G1'$ 也可分为前景和背景(分别为 GF' 和 BF') 两部分。计算各个 ROI 区域前景和背景的对比度 M , 并记录下不同背景颜色不同背景灰阶下的 M 值, 称为 MTF 校准值, 该值越大则代表取像精度越高。

$$M = \frac{\overline{GF'} - \overline{GB'}}{\overline{GF'} + \overline{GB'}} \quad (12)$$

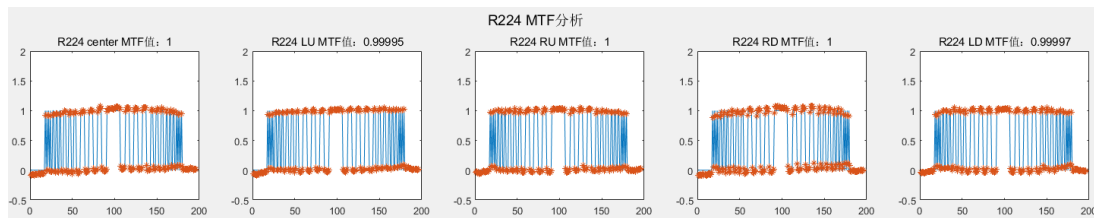


图 8 不同 ROI 的归一化灰阶示意图

7.2.4 SNR 值校准

7.2.4.1 点屏取图

依次点亮 W 画面 32 灰阶和 224 灰阶测试灰阶图, 使用取像设备拍摄屏体, 提取每个子像素点在各灰阶亮度数据, 依次记录为 $B_1(i, j) \square B_{20}(i, j)$, 其中 i 和 j 分别代表像素点在图像中的行列坐标, 角标数字 ($k=1\sim 20$) 代表连续取图的图片序号。

7.2.4.2 计算平均亮度图

计算 20 张亮度图像的平均亮度图 B ，计算式如下。

$$B(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^{20} B_k(i, j)}{20} \quad (13)$$

其中 i 和 j 分别代表像素点在图像中的行列坐标， k 为图片序号。

7.2.4.3 计算 SNR 值

以 20 张亮度图均值为信号，计算第一张亮度图的 SNR，计算式如下。

$$\text{SNR} = 10 \times \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_1^2(i, j)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (B_1(i, j) - B(i, j))^2} \quad (14)$$

其中 m 和 n 分别代表标准显示面板行列分辨率。

7.3 单一 Mura 的校准

7.3.1 模拟图点屏

依次将附录 A 提供的单一 Mura 模拟图点亮到标准显示面板中，Mura 模拟图的 Mura 类型有 10 类，每类 Mura 包含三个强弱等级，每个等级下具有 9 张模拟图（64、128 和 224 三个背景灰阶等级及各自对应的三个不同的模拟图），因此每类 Mura 具有 27 张不同的模拟图。

7.3.2 Mura 信息提取

根据附录 A 数据库的信息，记录每个使用的 Mura 模拟图对应的以下信息：缺陷类型 TypeA，缺陷最小外接矩形框 RectangleA 坐标值（如下图浅色矩形所示），缺陷等级 GradeA，缺陷区域的掩膜图案。

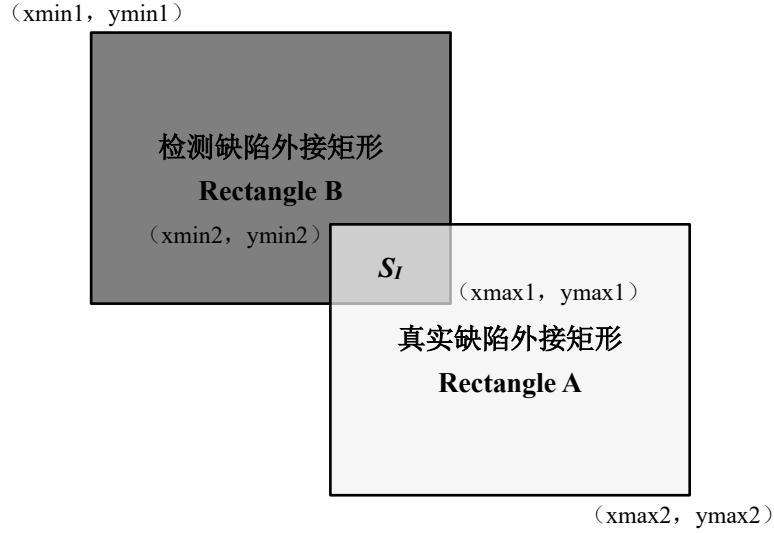


图 9 交并比示意图

7.3.3 Mura 检测和评估

使用 Mura 评估与补正设备对标准显示面板进行 Mura 检测和评估，记录每张 Mura 模拟图对应的以下结果：缺陷类型 TypeB，缺陷最小外接矩形框 RectangleB 坐标值（如上图深色矩形框所示），缺陷量化值 MEV。

7.3.4 交并比计算

7.3.4.1 计算交集面积

若 Mura 类型为 Ring，则按照 Mura 的 ROI 区域计算检测与实际的交集面积；否则按外接矩形面积计算，计算式如下。

$$S_I = \left[\min(x_{\max 1}, x_{\max 2}) - \max(x_{\min 1}, x_{\min 2}) \right] \times \left[\min(y_{\max 1}, y_{\max 2}) - \max(y_{\min 1}, y_{\min 2}) \right] \quad (15)$$

7.3.4.2 计算并集面积

若 Mura 类型为 Ring，则按照 Mura 的 ROI 区域计算检测与实际的并集面积；否则按外接矩形面积计算，计算式如下。

$$S_U = (x_{\max 1} - x_{\min 1}) \cdot (y_{\max 1} - y_{\min 1}) + (x_{\max 2} - x_{\min 2}) \cdot (y_{\max 2} - y_{\min 2}) - S_I \quad (16)$$

7.3.4.3 计算交并比

交并比计算公式如下：

$$\text{IoU} = \frac{C \cap G}{C \cup G} = \frac{S_I}{S_U} \quad (17)$$

7.3.5 计算检测符合率

检测符合率 R_d 计算式如下：

$$R_d(\text{TypeA}) = \frac{N}{M} \quad (18)$$

式中 N 为当前类型对应的 Mura 正确检出的个数， M 为当前 Mura 类型使用模拟图的总个数（定值 27），同时满足以下条件时，则认为 Mura 正确检出：缺陷检出类型一致，即 $\text{TypeB} = \text{TypeA}$ ；检出的缺陷与标记的缺陷交并比 $\text{IoU} \geq 0.65$ 。

7.3.6 Mura 判等

对 Mura 评估与补正设备得到的缺陷量化分值 MEV 进行降序排列，以量化值的上 1/3 分位值作为 L1/L2 判等分割阈值（ MEV_{12} ），以量化值的下 1/3 分位值作为 L2/L3 判等分割阈值（ MEV_{23} ），这两个阈值将 MEV 值划分为三个等级，将判等结果与真实等级值 GradeA 对比，二者一致的称为判等符合。

7.3.7 计算判等符合率

判等符合率 R_c 计算式如下：

$$R_c(\text{TypeA}) = \frac{K}{M} \quad (19)$$

式中 K 为当前类型对应的 Mura 判等符合的个数， M 为当前 Mura 类型使用模拟图的总个数（定值 27），当满足以下三个条件之一，则认为 Mura 判等符合： $\text{GradeA}=\text{L1}$ ，且 $\text{MEV} \geq \text{MEV}_{12}$ ； $\text{GradeA}=\text{L2}$ ，且 $\text{MEV}_{12} > \text{MEV} > \text{MEV}_{23}$ ； $\text{GradeA}=\text{L3}$ ，且 $\text{MEV}_{23} \geq \text{MEV}$ 。

7.4 组合 Mura 的校准

下载附录 B 链接中组合 Mura 的模拟图素材，选择其中三个不同组合作为校准用的图库素材，记录这三组组合 Mura 对应的单一 Mura 类型、强度、位置等信息并记录下来（见附录 C 和附录 D 的“组合 Mura”对应表格），每个组合里的 Mura 类型均不相同。

组合 Mura 的校准可参照 7.3 单一 Mura 的校准来进行，记录各组合对应的检测符合率与判等符合率。

7.5 加噪 Mura 的校准

按照标准显示面板分辨率生成均值为 0、标准差为 0.5 灰阶的随机噪声图，叠加到附录 A 的单一 Mura 模拟图中，再依次将叠加了噪声的模拟图点亮到标准

显示面板。

加噪 Mura 的校准可参照 7.3 单一 Mura 的校准来进行,记录各加噪 Mura 对应的检测符合率与判等符合率。

8 校准结果表达

校准结果以校准证书(或校准报告)的形式给出。校准证书至少应包括下列信息:

- a) 标题,如“校准证书”;
- b) 校准实验室的名称和地址;
- c) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的唯一性标识(如编号)、每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期,如果与校准结果的有效性和应用相关时,应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时,应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 环境条件的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经校准实验室书面批准,不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

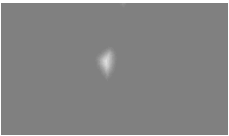
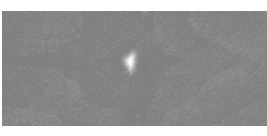
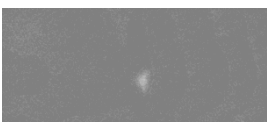
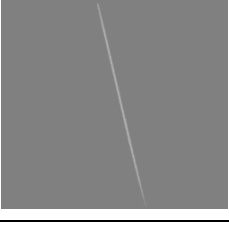
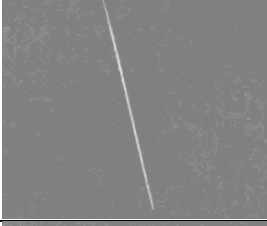
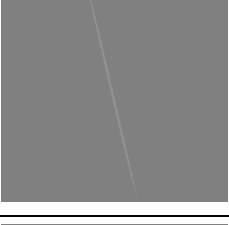
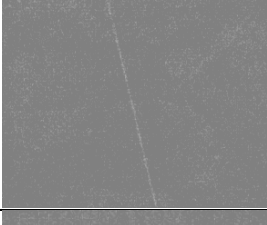
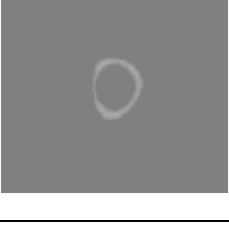
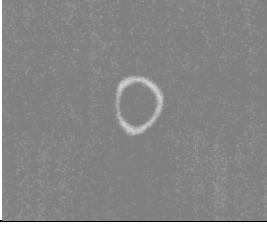
复校时间间隔建议为 12 个月。

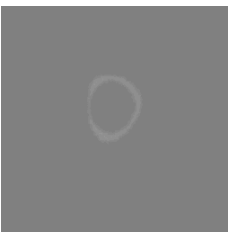
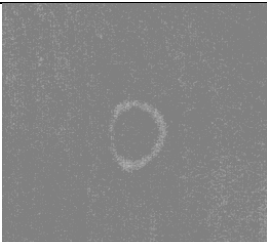
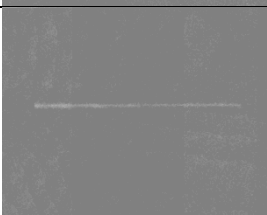
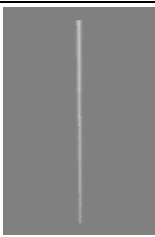
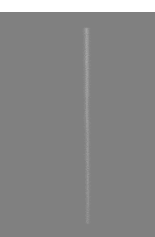
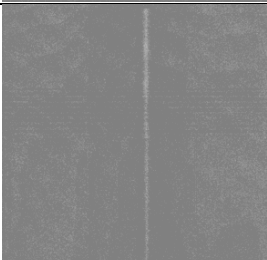
更换重要部件,维修或对仪器性能有怀疑时,可随时校准。

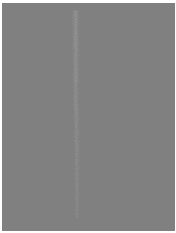
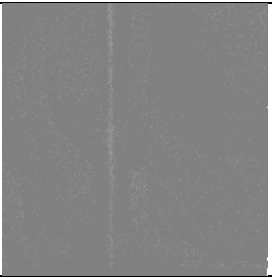
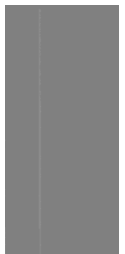
附录 A

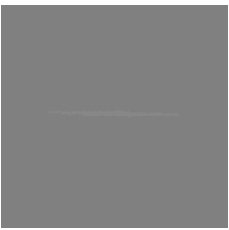
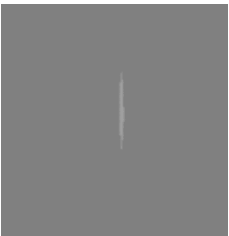
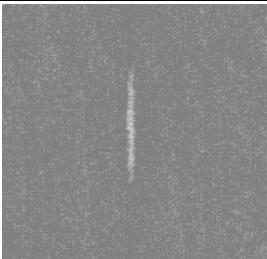
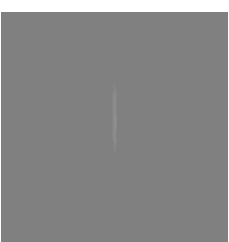
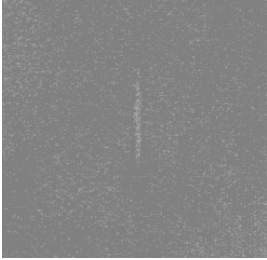
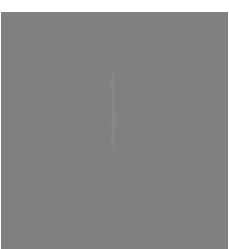
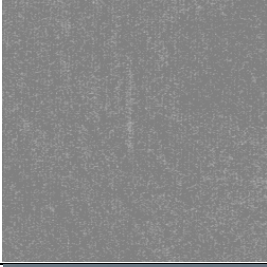
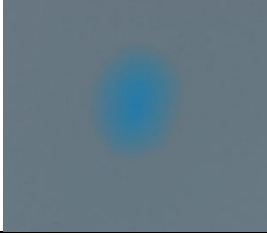
单一 Mura 类型描述及模拟图示例

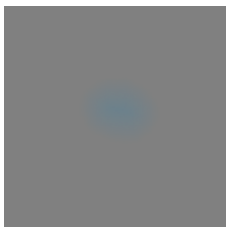
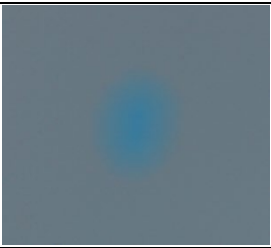
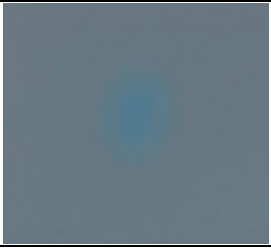
数据库链接：https://pan.baidu.com/s/1i3D75_ajbIpf_q3FIXCHg?pwd=k852

缺陷类型	等级	描述	模拟图示例	亮度图示例
Blob	L1	团状缺陷，根据缺陷区域与背景区域的亮度相对差异确定等级，典型值 $\pm 5.6\%$ （L1）， $\pm 2.8\%$ （L2）， $\pm 1.4\%$ （L3）		
	L2			
	L3			
Twill	L1	斜向条带缺陷，根据缺陷区域与背景区域的亮度相对差异确定等级。		
	L2			
	L3			
Ring	L1	环状缺陷		

缺陷类型	等级	描述	模拟图示例	亮度图示例		
	L2					
	L3					
HBlock	L1	水平条带缺陷，根据缺陷区域与背景区域的亮度相对差异确定等级。				
	L2					
	L3					
VBlock	L1	竖直条带缺陷，根据缺陷区域与背景区域的亮度相对差异确定等级。				
	L2					

缺陷类型	等级	描述	模拟图示例	亮度图示例
	L3			
HLine	L1	水平线缺陷。		
	L2			
	L3			
VLine	L1	竖直线缺陷。		
	L2			
	L3			
HShort	L1	水平短线缺陷。		

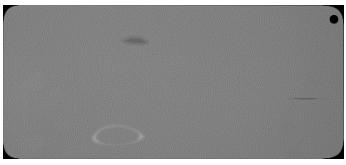
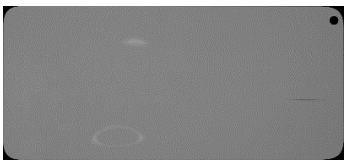
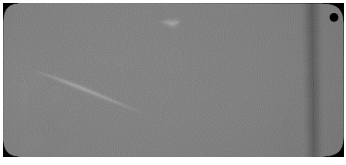
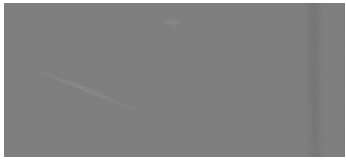
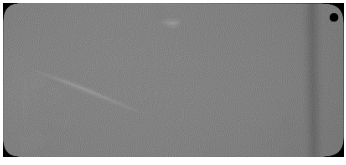
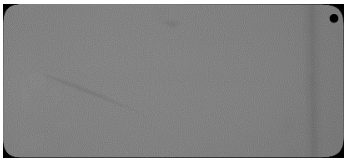
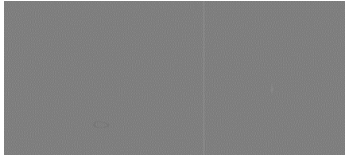
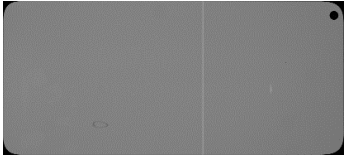
缺陷 类型	等 级	描述	模拟图示例	亮度图示例
	L2			
	L3			
VShort	L1	竖直短线缺陷。		
	L2			
	L3			
Color	L1	彩色缺陷。		

缺陷 类型	等 级	描述	模拟图示例	亮度图示例
	L2			
	L3			

附录 B

组合 Mura 类型描述及模拟图示例

数据库链接: https://pan.baidu.com/s/1i3D75_ajbIpf_q3FIXCHg?pwd=k852

组合序号	等级	描述	模拟图示例	亮度图示例
1	L1	Blob、 HShort、 Ring 组 合，亮暗 随机分布		
	L2			
	L3			
2	L1	VBlock、 Blob、 Twill 组 合，亮暗 随机分布		
	L2			
	L3			
3	L1	VLine、 VShort、 Ring 组 合，亮暗 随机分布		
	L2			

组合序号	等级	描述	模拟图示例	亮度图示例
	L3			

附录 C

校准原始记录格式

委托方			
设备名称		标准器名称	
型号/规格		标准器型号/编号	
设备编号		标准器指标	
制造厂商		标准器不确定度/准确度等级/最大允许误差	
技术依据		标准器证书号/溯源机构/有效期	
湿度	℃	标准器状况	使用前 ☐ 正常 ☐ 不正常
相对湿度	%	地点	

一、GTF 校正

灰阶值	精度值			MTF 值	RMSE 值			SNR 值
	R	G	B		R	G	B	
32								
64								
128								
192								
224								

二、单一 Mura 校准

Mura 类型	检测符合率个数	检测符合率 R_d	判等符合个数	判等符合率 R_c
Blob				
Twill				
Ring				
HBlock				
VBlock				
HLine				
VLine				
HShort				
VShort				
Color				
平均值				

三、组合 Mura 校准

组合	单一 Mura 类型名称			检测符合率 R_d	判等符合率 R_c
	类型 1	类型 2	类型 3		
1	Blob	HShort	Ring		
2	VBlock	Blob	Twill		
3	VLine	VShort	Ring		
平均值					

四、加噪 Mura 校准

Mura 类型	检测符合率个数	检测符合率 R_d	判等符合个数	判等符合率 R_c
Blob				
Twill				
Ring				
HBlock				
VBlock				
HLine				
VLine				
HShort				
VShort				
Color				
平均值				
校准员			校准日期	年 月 日
核验员			建议再校日期	年 月 日

附录 D

校准证书内页格式

一、GTF 指标

样品编号：

灰阶值	精度值			MTF 值	RMSE 值			SNR 值
	R	G	B		R	G	B	
32								
64								
128								
192								
224								

二、单一 Mura 指标

样品编号：

Mura 类型	检测符合率个数	检测符合率 R_d	判等符合个数	判等符合率 R_e
Blob				
Twill				
Ring				
HBlock				
VBlock				
HLine				
VLine				
HShort				
VShort				
Color				
平均值				

三、组合 Mura 指标

样品编号：

组合	单一 Mura 类型名称			检测符合率 R_d	判等符合率 R_c
	类型 1	类型 2	类型 3		
1	Blob	HShort	Ring		
2	VBlock	Blob	Twill		
3	VLine	VShort	Ring		
平均值					

四、加噪 Mura 指标

样品编号：

Mura 类型	检测符合率个数	检测符合率 R_d	判等符合个数	判等符合率 R_c
Blob				
Twill				
Ring				
HBlock				
VBlock				
HLine				
VLine				
HShort				
VShort				
Color				
平均值				

附录 E

校准结果的测量不确定度评定示例

本附录对 (Mura) 评估与补正设备的 Gamma (γ) 进行不确定度评定。

E.1 测量模型

以小米 12 手机屏为待测显示屏, 在手机屏最高亮度下, 用 CA410 色彩分析仪测量屏体中心点。屏体依次点亮 R、G 和 B 画面的 32、64、128、192 和 255 灰阶均匀画面, 使用取像设备拍摄待测显示屏, 提取每个子像素点在 RGB 各画面时的亮度图像数据, 使用最小二乘直线模型拟合双对数刻度下的斜率, 得到每个子像素点在 RGB 画面对应位置的 $\gamma(i)$ 系数。数学表达式简化为:

$$\gamma(i) = \frac{\sum_{k=1}^5 (g_k \cdot \log_{10} B_k(i))}{g_s} \quad (\text{E.1})$$

式中:

$B_k(i)$ ——色彩和位置编号为 i 的点在第 k 个灰阶时的亮度值;

g_k, g_s ——与灰阶相关的系数。

E.2 灵敏系数

$$B_k(i) \text{ 的灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \gamma(i)}{\partial B_k(i)} = \frac{1}{\ln(10)} \times \frac{g_k}{g_s} \times \frac{1}{B_k(i)}$$

$$\text{在 255 灰阶时, } c_1 = \frac{0.32}{B_k(i)}$$

E.3 不确定度来源

分析不确定度的来源, 主要有亮度测量重复性引入的不确定度和色彩分析仪固有不确定度引入的不确定度:

E.4 标准不确定度分量评定

E.4.1 由亮度测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

采用 A 类方法进行评定, 使用贝塞尔公式来计算亮度测量重复性引入的标准不确定度分量, 用色差分析仪重复测量亮度 10 次, 亮度测试数据如下表所示。

表 E.1 重复性测试数据

测量次数	亮度 (cd/m ²)
1	346.54
2	344.78
3	347.12
4	345.89
5	344.35
6	346.22
7	347.81
8	345.99
9	347.08
10	343.67
s	1.319

采用贝塞尔公式得到亮度测量重复性引入的不确定度分量 $u_1=1.319\text{ cd/m}^2$

E.4.2 由色彩分析仪固有不确定度引入的测量不确定度分量 u_2

根据上级计量检定机构给出，亮度相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=2.3\%$ ， $k=2$ ；即可得到手持式光谱分析仪引入的不确定分量 u_2

$u_{2\text{rel}}=1.15\%$ ，取亮度值 346.94 cd/m^2 ， $u_2=3.990\text{ cd/m}^2$

E.5 合成标准不确定度 u_c

表 E.2 不确定度来源合成

序号	不确定度来源	u_i
1	测量重复性	1.319 cd/m^2
2	固有不确定度	3.990 cd/m^2
$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$		4.202 cd/m^2

E.6 扩展不确定度

$u_c(\gamma)=c_1u_c=\frac{0.32}{B_k(i)}\times4.202\text{ cd/m}^2=0.0039$ ，在置信概率为 95%时， $k=2$ 。 γ （G 中

心点）=2.086， $U=0.008$ ， $k=2$ 。

