

# 4K 超高清电视节目制作技术 实施指南（2020 版）

国家广播电视总局科技司

2020 年 5 月

# 前言

发展4K超高清电视是广播电视行业贯彻落实创新驱动发展战略、促进文化与科技融合、深化广播电视供给侧结构性改革的重要举措，对于满足人民群众日益增长的精神文化需求，提升广播电视传播力、影响力和舆论引导力，促进文化产业与民族工业发展具有重要意义。为了有效规范和促进我国4K超高清电视发展，国家广播电视总局发布了《GY/T 307-2017 超清晰电视系统节目制作和交换参数值》和《GY/T 315-2018 高动态范围电视节目制作和交换图像参数值》等标准，规定了4K超高清电视节目视频技术参数；为了保障4K超高清电视制播、传输、接收及显示的质量，国家广播电视总局于2018年8月发布了《4K超高清电视技术应用实施指南（2018版）》，规定了4K超高清电视应用中多种技术参数如何选择、适配和协同，解决系统性端到端参数配置问题，指导电视台和有线电视、卫星电视、IPTV、互联网电视规范开展4K超高清电视直播和点播业务。在近期的实际应用中，发现在拍摄制作过程中，还存在流程不规范、技术质量不达标等问题，影响了4K超高清电视优质呈现；在SDR向HDR过渡阶段，4K超高清HDR和高清SDR同时制作的流程不统一，4K超高清电视和高清电视质量参差不齐。

为了指导电视台、内容生产商等开展4K超高清频道制播和内容生产，提高节目质量和制作效率，国家广播电视总局科技司2019年设立了“4K超高清电视节目制作技术实施指南”项目，成立了项目组，由广播电视科学研究院牵头，中央广播电视总台、广东广播电视台、广播电视规划院、四川传媒学院、宇田索诚科技股份有限公司等单位参加，结合中央广播电视总台、广东广播电视台在4K超高清电视频道的制播实践，进行了4K超高清电视节目拍摄制作相关研究，制定了本实施指南。

指导单位：国家广播电视总局科技司

起草单位：广播电视科学研究院、中央广播电视总台、广东广播电视台、广播电视规划院、四川传媒学院、宇田索诚科技股份有限公司

编写指导：孙苏川、杜百川、关丽霞

起草人：郭晓强、李岩、周芸、罗映辉、王亚明、宁金辉、王珮、林小海、张乾、刘斌、周立、邵凤莲、向东、冉峡、胡潇、李小雨

# 目 录

1	范围 .....	1
2	规范性引用文件 .....	1
3	术语和定义 .....	1
4	缩略语 .....	2
5	概述 .....	3
6	参考电平 .....	3
6.1	概述 .....	3
6.2	制作时信号电平的一致性校准 .....	3
7	信号格式 .....	5
7.1	采样格式 .....	5
7.2	比特深度 .....	5
7.3	信号域 .....	5
7.4	彩色表示法 .....	6
8	信号监看 .....	6
8.1	概述 .....	6
8.2	采用彩条信号对监视器进行校准 .....	7
8.3	PQ 信号的显示 .....	7
8.4	HLG 信号的显示 .....	7
9	包含 SDR 内容的 HDR 制作 .....	9
9.1	概述 .....	9
9.2	8 比特内容的使用 .....	10
9.3	SDR 图形的映射 .....	10
10	PQ 和 HLG 之间的转换 .....	10
11	HDR 和 SDR 同时制作 .....	11
11.1	概述 .....	11
11.2	直播流程 .....	11

11.2.1	概述	11
11.2.2	SDR 优先的制作流程	11
11.2.3	HDR 优先的制作流程	13
11.3	录播流程	14
11.3.1	概述	14
11.3.2	不调色录播	14
11.3.3	调色录播	14
11.3.4	“准直播”形式的录播	15
11.4	SDR-HDR-SDR 往返转换	16
12	超高清节目制作设备控制要求	16
13	图像亮度	16
13.1	概述	16
13.2	静态图像的舒适亮度	16
13.3	节目亮度变化的容忍度	17
附录 A	(资料性附录) 绝对亮度体系和相对亮度体系	18
附录 B	(资料性附录) SDR 和 HDR 比较	20
附录 C	(资料性附录) HLG 可变伽玛的作用	22
附录 D	(资料性附录) HLG-LIVE	24
附录 E	(资料性附录) HDR 与 SDR 同时制作直播系统设置参考	25
附录 F	(资料性附录) 4K 超高清电视主观评价用测试序列图像、波监截图	29
附录 G	(资料性附录) 本实施指南与 BT. 2408-3 的关系	31

# 4K超高清电视节目制作技术实施指南

## 1 范围

本实施指南推荐了4K超高清电视节目拍摄制作方法与流程，本文涉及的4K超高清电视节目技术参数为3840×2160/50P/10bit，BT.2020色域，HLG/PQ HDR。

本实施指南适用于4K超高清电视节目拍摄和制作，也适用于4K超高清电视制作系统及设备的验收、运行和维护。

## 2 规范性引用文件

GY/T 155-2000 高清晰度电视节目制作及交换用视频参数值（ITU-R BT.709-3, Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange, MOD）

GY/T 307-2017 超高清晰度电视系统节目制作和交换参数值（ITU-R BT.2020-2, Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange, MOD）

GY/T 315-2018 高动态范围电视节目制作和交换图像参数值（ITU-R BT.2100-1, Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange, MOD）

GY/T 326-2019 监视器亮度和对比度校准用PLUGE测试信号规范及校准步骤（ITU-R BT.814-4, Specifications of PLUGE test signals and alignment procedures for setting of brightness and contrast of displays, MOD）

ITU-R BT.1886 Reference electro-optical transfer function for flat panel displays used in HDTV studio production, HDTV演播室制作中使用的平板显示器参考电光转换特性（EOTF）

ITU-R BT.2390-7 High dynamic range television for production and international programme exchange, 高动态范围电视节目制作和国际交换

ITU-R BT.2111-1 Specification of colour bar test pattern for high dynamic range television systems, 高动态范围电视系统彩条测试信号

ITU-R BT.2446-0 Methods for conversion of high dynamic range content to standard dynamic range content and vice-versa, HDR和SDR内容相互转换方法

ITU-R BT.2408-3 Guidance for operational practices in HDR television production, HDR电视制作操作指南

## 3 术语和定义

参考白 **Reference White**

参考白在本实施指南中定义为100%反射白卡的基准信号电平。这是在受控光照下放置在场中心中心的100%朗伯反射器产生的信号电平，通常被称为漫反射白。摄像机可能拍摄到更亮的白但不在关注点的中心，因此可能比HDR参考白更亮。

HDR 参考白是 HDR 制作的重要依据，其作用与 SDR 的峰值白信号电平相似，是 HDR 拍摄时的曝光基准。

### **图形白 Graph White**

图形白在本实施指南中定义为与100%反射白卡在图形域的等效电平：图形元素内没有任何镜面高光时的平面白色元素的信号电平。因此，它具有与HDR参考白相同的信号电平，并且可以基于该电平插入图形和字幕。

### **观感 Look**

显示图像的特征。观众看到的原生系统（如PQ、HLG、SDR）的彩色和色调的感受。

### **直接映射 Direct Mapping**

不对SDR信号进行扩展处理，以保持原始SDR的观感。因此，在HDR监视器上显示的直接映射SDR图像与SDR监视器上显示的原始SDR图像在SDR的拐点部分具有相同的观感。

### **色调映射 Tone Mapping**

也称下映射（下转换）。把HDR信号中高于参考白的HDR高光部分压缩到了SDR信号的拐点以上的范围内，与SDR摄像机处理高光的道理相同。

### **反色调映射 Inverse Tone Mapping**

也称上映射（上转换）。把SDR信号中高于拐点以上部分扩展到了相应于HDR的参考白以上范围，以模拟HDR内容的观感。因此，在HDR监视器上显示的上映射SDR图像与原生HDR图像具有类似的观感。

## **4 缩略语**

HDR 高动态范围（High Dynamic Range）

SDR 标准动态范围（Standard Dynamic Range）

PQ 感知量化（Perceptual Quantizer）

HLG 混合对数伽马（Hybrid Log-Gamma）

LUT 查找表（Look Up Table）

PLUGE 图像校准信号发生器（Picture Line Up Generation Equipment）

SNR 信噪比（Signal Noise Ratio）

EOTF 电光转换函数（Electro-Optical Transfer Function）

OETF 光电转换函数（Opto-Electronic Transfer Function）

CRI 显色指数（Color Rendering Index）

TLCI 电视光源一致性参数（Television Lighting Consistency Index）

## 5 概述

4K超高清电视节目拍摄制作时，首先需要对信号电平的一致性进行校准，参考电平相关规定见第6章；此外，拍摄制作过程中需设置正确的4K超高清电视节目信号格式，包括采样格式、比特深度、信号域、彩色表示法等，具体要求见第7章；在监看环节，建议采用第8章规定的信号监看方法保证不同信号的正确监看；在HDR制作过程中，可能会有SDR内容的存在，建议采用第9章规定的包含SDR内容的HDR制作方法，保证不同信号间正确映射；同时包含PQ信号和HLG信号时，建议采用第10章规定的PQ和HLG的转换方法，保证转换前后信号的一致性；在SDR向HDR过渡阶段，需考虑HDR和SDR同时制作的情况，根据节目制作流程，将4K HDR制作分为实时直播与非实时录播两类，直播流程、录播流程及SDR-HDR-SDR往返转换过程见第11章；开展超高清电视节目制作时，必须满足最基本的摄像机、灯光、测试设备等要求，系统设备控制要求见第12章。

考虑到本实施指南涉及到相对亮度体系、绝对亮度体系、SDR、PQ、HLG等基本概念，为了便于理解，附录A介绍了绝对亮度体系和相对亮度体系，附录B比较了SDR和HDR的异同，附录C介绍了HLG中可变伽玛的作用，附录D介绍了HLG-Live，附录E根据实际4K超高清节目制作实践，给出HDR与SDR同时制作直播系统中不同设备的设置参考，附录F列举了4K超高清电视主观评价用测试序列图像、波监截图。此外，本实施指南是在ITU-R Rep BT.2408-3的基础上进行修改，附录G给出了实施指南和ITU-R Rep BT.2408-3的对应关系，便于进一步理解本文。

我国4K超高清电视采用了支持HDR的高质量格式，目前4K HDR节目制作仍然处于制播实践阶段，还缺乏丰富的节目制作经验。因此，未来还需要开展大量的试验和实践，不断补充和完善节目制作相关参数和流程，进一步提升制作效率和质量。

## 6 参考电平

### 6.1 概述

在拍摄制作过程中，可以预先调整增益和快门等摄像机控制，以充分利用摄像机成像器件的能力，即在信噪比(SNR)和传感器峰值能力之间保持平衡，以体现创作意图。可以考虑下述列出的参考电平结合创作意图来调整曝光。

### 6.2 制作时信号电平的一致性校准

标清和高清电视信号有模拟与数字两种形态，模拟电视信号的峰-峰值为1V，其中同步占0.3V，视频占0.7V(700mV)，因为同步并不包含图像信息，所以电视制作只关注峰-峰值为700mV的视频。模拟电视的视频信号电平用mV或百分比表示，700mV对应100%，数字信号用编码值代表不同的电平，但习惯上仍沿用了模拟时代mV或百分比的电平表示法。超

高清电视只有数字信号一种形态，一般用百分比表示HDR电平。在本实施指南中，信号电平用% PQ和% HLG表示。这些百分比表示的信号值介于归一化为0到1范围内的最小和最大的非线性值之间。

在受控的演播室照明下，采用1000 cd/m<sup>2</sup>（基准峰值亮度）监视器进行PQ和HLG制作时使用测试卡和图形的基准信号电平推荐值见表1。当监视器的峰值亮度不为1000 cd/m<sup>2</sup>时，PQ的基准亮度值与表1相同，HLG基准亮度值与表1中的值不同。

表 1 HLG 和 PQ 制作的基准信号电平

反射对象或参考 (亮度系数, %)	基准亮度, 单位: cd/m <sup>2</sup> (PQ和 1000 cd/m <sup>2</sup> HLG)	基准信号电平	
		%HLG	%PQ
灰度卡 (18%)	26	38	38
灰阶卡(最大83%)	162	71	56
灰阶卡(最大90%)	179	73	57
参考电平: HDR 参考白 (100%) 亦为漫反射白和图形白	203	75	58

HDR 参考白基准信号电平与显示亮度的关系为：在信号电平幅度为 58%时，PQ 监视器上显示的白色亮度为 203 cd/m<sup>2</sup>；信号电平幅度为 75%时，1000 cd/m<sup>2</sup> HLG 监视器上显示的白色亮度也是 203 cd/m<sup>2</sup>。

参考白基准电平表示的是，拍摄 100%反射率的白色测试卡（100%朗伯反射器）时，PQ 摄像机输出电平幅度应为 58%，HLG 摄像机输出电平幅度应为 75%。如果测试卡的反射率为 90%，则 PQ 与 HLG 的电平应分别为 57%和 73%，在 1000 cd/m<sup>2</sup> 监视器显示的白色亮度为 179 cd/m<sup>2</sup>。

从电平的角度看，58%PQ 或 75%HLG 参考白基准信号电平是一个分界线，低于参考白基准电平的内容可以看作是 SDR 部分，超过参考白基准电平的内容可以看作是 HDR 高光部分。参考白基准电平的作用是确定 PQ 或 HLG 拍摄制作的曝光基准，该电平也是 HDR 制作时白色字幕的推荐电平。

SDR 的峰值白电平是 100%，对应 SDR 监视器 100 cd/m<sup>2</sup>亮度。对 SDR 制作来说，峰值白电平既有校准层面的意义，也有操作层面的意义。在波形监视器上，100%既是曝光基准也是最高电平，对应拍摄场景内所能显示的最高亮度的景物，因此峰值白电平既可以用于系统校准，也可以为调光工程师的曝光控制提供参考。

PQ 和 HLG 的参考白电平分别是 58%和 75%，对应 1000 cd/m<sup>2</sup> HDR 监视器 203 cd/m<sup>2</sup>亮度。对 HDR 制作来说，参考白电平适用于系统一致性校准，在使用摄像机时不便于主观操作。在波形监视器上，58%或 75%是定光点但不是最高电平，并不对应拍摄场景内最高亮度的景物，调光工程师无法判断 58%或 75%电平对应哪些景物，找不到定光点，因此无法像 SDR 的峰值白电平那样为调光工程师的曝光控制提供参考。



当不方便使用测试卡时，可以使用其他对象（如肤色或草坪）设置信号电平。与 HDR 参考白一样，PQ 的基准亮度值在不同峰值亮度的 PQ 参考监视器上是相同的，而 HLG 的基准亮度值则取决于监视器的峰值亮度，采用基准峰值亮度 1000 cd/m<sup>2</sup> HLG 监视器时，常见反射对象的信号电平见表 2。

表 2 PQ 和 HLG 制作中常见对象的初始信号电平

反射对象	基准亮度 cd/m <sup>2</sup> (PQ 和1000 cd/m <sup>2</sup> HLG)	信号电平	
		% HLG	%PQ
肤色 (Fitzpatrick量表)			
1-2型浅肤色	65-110	55-65	45-55
3-4型中等肤色	40-85	45-60	40-50
5-6型深肤色	10-40	25-45	30-40
草坪	30-65	40-55	40-45

Fitzpatrick肤色量表用于对不同地区的皮肤进行分类，最初是作为评估不同类型皮肤对紫外线反应的方法，也可以为电视制作中出现的肤色范围提供一种方便的分类方法。

测试表明，在峰值亮度为1000 cd/m<sup>2</sup>的HLG监视器上，亚洲人面部肤色为45%-65%HLG，即40-110 cd/m<sup>2</sup>。一般情况下，男性肤色偏低、女性偏高，化妆后的肤色也会普遍偏高。

## 7 信号格式

### 7.1 采样格式

4K超高清成片的采样格式应为4:2:2，素材的采样格式至少为4:2:2或更高（如4:4:4）。

### 7.2 比特深度

使用传统的10比特架构和10比特制作编解码器，采用与标准动态范围制作类似的码率可以制作高质量的HDR节目。

使用12比特制作系统则可以为 PQ和 HLG的下游信号处理提供更大的空间。

### 7.3 信号域

GY/T 315规定了窄域和全域两种不同的信号表示法，窄域表示法被广泛使用并被视为默认选项，而全域表示法仅在4K超高清电视端到端各方都遵循的情况下使用。窄域和全域信号表示法比较见图1。

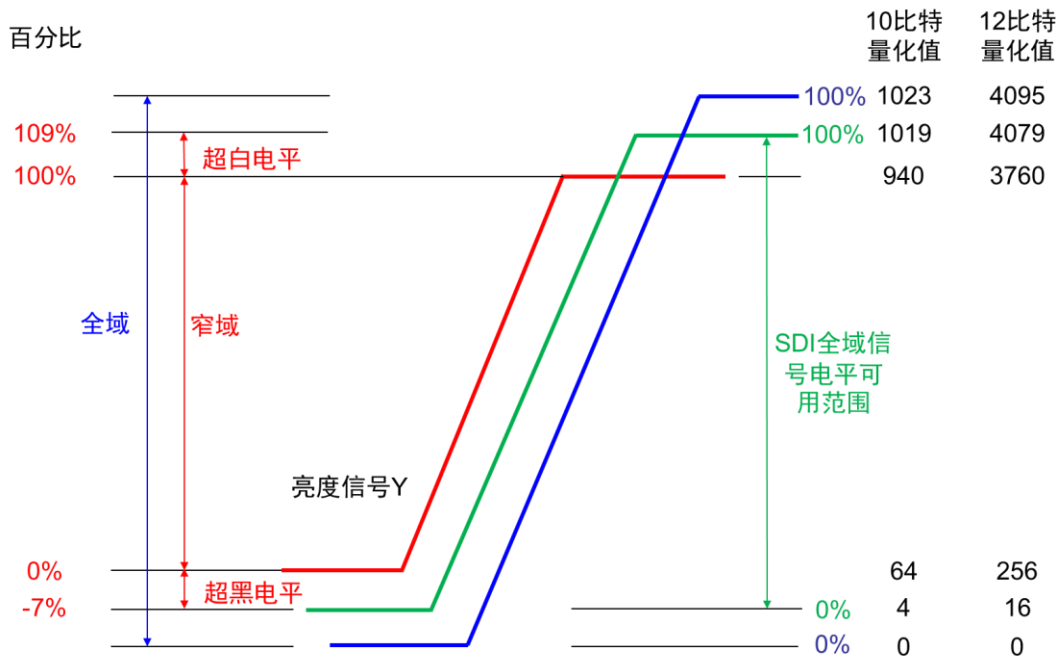


图 1 窄域和全域信号表示法比较

HLG推荐使用窄域信号，以保持信号保真度并降低在制作中误将全域信号误认成窄域信号（反之亦然）的风险。常用的视频处理技术，如图像调整、滤波和压缩，会产生超出基准峰值亮度的过冲，扩展到“超白”区域（其信号  $E' > 1.0$ ），并产生延伸到黑色以下的下冲，进入“超黑”区域（其信号  $E' < 0.0$ ）。为了保持图像的保真度，应避免对使用全域产生的过冲和下冲信号削波。此外，制作中使用的 HLG监视器的黑色电平应使用GY/T 326中规定的PLUGE信号或ITU-R BT.2111规定的HLG彩条测试信号进行调整，如果信号中存在超黑，则更易于调整。

全域表示法对PQ信号具有抑制条带/轮廓的可见性和处理的增量优势。由于PQ的动态范围大，画面很少包含接近动态范围极值的像素值。因此，过冲和下冲不太可能被削波。

#### 7.4 彩色表示法

GY/T 315 描述了适用于彩色下采样和/或信源编码的两种亮度和色差信号表示方法：非恒定亮度  $Y'C'_B C'_R$  信号格式和恒定亮度  $IC_T C_P$  信号格式。

由于目前大部分制作、播出和显示设备不支持  $IC_T C_P$ , PQ 和 HLG 制作建议采用  $Y'C'_B C'_R$  信号格式。

## 8 信号监看

### 8.1 概述

理想情况下，如制作切换台的“节目”“预览”输出、调色等关键监看，应使用支持宽

色域和高动态范围信号的监视器。支持 BT.2020 彩色空间的监视器应包括管理其原生显示色域之外彩色的方法。

## 8.2 采用彩条信号对监视器进行校准

对 HDR 制作来说，使用符合行业技术标准且经过校准的监视器是确保图像质量的重要依据。可以采用 ITU-R BT.2111 规定的 HDR 彩条信号对监视器的亮度和彩色进行校准，测试信号包括 HLG 窄域彩条、PQ 窄域彩条和 PQ 全域彩条等。

例如，HLG 制作时，应调整监视器使其峰值亮度和参考白基准信号电平亮度符合本实施指南要求。显示 HLG 窄域彩条测试信号时，在峰值亮度  $1000 \text{ cd/m}^2$  监视器上，彩条中 100% HLG 电平对应的亮度应为  $1000 \text{ cd/m}^2$ ，75% HLG 电平对应的亮度应为  $203 \text{ cd/m}^2$ 。

## 8.3 PQ 信号的显示

PQ 信号所表示的内容可能被限制在特定监视器的预期能力之内，也可以不受限制，并表现摄像机拍摄的全部高光。实际操作中，监视器可能无法达到 BT.2020 色域的全部范围或 PQ 信号  $10000 \text{ cd/m}^2$  范围的所有亮度，从而导致某些编码的彩色可能无法在某些监视器上显示。

支持 PQ 的监视器可能包括也可能不包括色调映射，将非常高的亮度信号降至该监视器的显示能力范围内。某些监视器可能会在其峰值输出能力处削波（例如  $2000 \text{ cd/m}^2$ ），某些监视器可能包含提供软削波的色调映射。

对于制作应用，监视器通常应该具有硬削波的显示能力，并提供一种方法来识别超出监视器能力的像素（亮度或彩色）。如果需要软削波，可以将查找表（LUT）应用于信号以提供所需的色调映射。应注意允许超出标准监视器色域或动态范围的内容，因为这些内容不能准确地呈现给制作者，因此不能作为预期效果参考。标准监视器应提供可选的整体亮度衰减，以便暂时将高亮度信号降低到其显示能力范围内，以便对编码后比参考监视器显示能力更亮的内容进行检查。

如果将 BT.2020 色域的 PQ 信号呈现在 BT.709 色域的监视器上，则图像将显得暗淡和褪色，彩色饱和度降低，并会有一些色调偏移。外部的 3D LUT 可以提供将彩色和亮度下映射到 BT.709 色域的功能，从而在传统 BT.709 色域监视器上实现令人满意的显示效果，一些监视器可以通过内置的 3D LUT 提供此功能。虽然这样可以在 BT.709 色域监视器上观看，但其显示效果不应用于对 HDR 节目制作做出关键判断。

如果必须在比参考环境(BT.2020 中规定的  $5 \text{ cd/m}^2$  环境光)更亮的环境中监看 PQ 信号，制造商可提供可调整的亮度和显示特性来补偿不同的观看环境。

## 8.4 HLG 信号的显示

GY/T 315 表 5 规定了用于参考显示的 HLG EOTF，注释 5f 规定了当使用不同峰值亮度

的 HLG 监视器时，如何调整监视器的伽玛值以补偿眼睛适应人类视觉系统响应的变化。

监视器上与基准峰值(100%信号电平)对应的亮度应调整到适合观看环境的舒适电平。基准峰值信号电平不必设置为监视器的峰值亮度，实际测试和应用实践证明，GY/T 315 建议的 1000 cd/m<sup>2</sup> 基准峰值亮度监视器在典型的标准制作环境中运行良好。

对比度、亮度和显示系统伽玛 (GY/T 315 表 5 中的  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$ ) 根据观看环境和监视器的基准峰值亮度进行适当的调整。

首先，当使用不同峰值亮度的 HLG 监视器时，应调整监视器的伽玛值以补偿眼睛适应人类视觉系统响应的变化。伽玛调整允许具有不同峰值亮度的各种监视器产生一致的信号，标准制作环境 (5 cd/m<sup>2</sup> 环境光) 中典型 HLG 制作监视器的伽玛值见表 3。

表 3 HLG 显示伽马

基准峰值亮度(cd/m <sup>2</sup> )	显示伽玛
400	1.03
600	1.11
800	1.16
1000	1.20
1500	1.27
2000	1.33

然后，通过调整用户增益控制 (传统的“对比度”控制)，用 HDR 参考白 (75%HLG) 电平和亮度计调整监视器的基准峰值亮度，各种典型监视器的亮度级别见表 4。

表 4 不同基准峰值亮度监视器显示的 HDR 参考白 (75%HLG) 亮度级别

基准峰值亮度(cd/m <sup>2</sup> )	HDR 参考白(cd/m <sup>2</sup> )
400	101
600	138
800	172
1000	203
1500	276
2000	343

在非标准观看环境中，应进一步对监视器的系统伽玛调整来补偿眼睛的自适应状态。假设在典型的浅色墙壁标准环境下，环境反射率约为 60%时一系列常见环境的推荐伽玛调整见表 5。但是，为了最大程度保持信号的一致性，建议使用 GY/T 315 中规定的标准观看条件。

伽玛调整值在 0.03 以内只在专家进行主观评价时使用，因此大多数关键的电视制作环境中不需要额外的伽玛调整。但是，建议对明亮环境或非常黑暗的环境进行伽玛调整，例如有时用于新闻制作的场景，或者是调色师喜欢在非常黑暗的环境中工作的场景。

表 5 不同环境光条件的典型制作环境

典型环境	典型照度 (Lux)	典型亮度(cd/m <sup>2</sup> )	典型伽玛调整
办公室制作 晴天	130	25	-0.05
办公室制作 阴天	75	15	-0.04
编辑室	50	10	-0.02
调色室	25	5	0.00
制作控制室/ 昏暗的调色室	3	0.5	+0.08

最后，使用黑电平提升控制（传统“亮度”控制）和GY/T 326标准规定的PLUGE信号来调整显示器黑电平，使测试图案上的负条纹正好消失，同时正条纹保持可见。

为了在SDR屏幕上显示HLG信号时获得最佳效果，SDR监视器应支持BT.2020色域。如果只是为了确认信号的有无，可采用BT.709监视器，但BT.709监视器将显示有可见色调偏移的欠饱和图像。

对于非关键制作监视器，例如多画面制作监视器，可用SDR BT.709监视器监看，采用3D-LUT将BT.2020 HDR信号下变换为BT.709 SDR信号，从而使彩色失真最小化。

## 9 包含 SDR 内容的 HDR 制作

### 9.1 概述

SDR内容可以直接映射，也可以反色调映射（上映射）为HDR，以包含在HDR节目中。直接映射将SDR内容放置到HDR容器中，类似于如何将使用BT.709色域的内容放置在BT.2020容器中，目的是在HDR监视器上显示时保留SDR内容的观感。相反，反色调映射（上映射）旨在扩展内容以使用更多可用的HDR亮度范围，从而利用更多的显示功能，使在SDR拍摄的内容看起来更像是HDR拍摄的内容。

根据应用情况，直接映射和反色调映射有两种可能的方法：

(1) 场景参考映射：当目标是匹配HDR和SDR摄像机的彩色和相对色调时使用场景参考映射；例如在电视直播制作中混合使用SDR和HDR摄像机。场景参考映射基于照射在摄像机传感器上的光，但它们包括任何摄像机特性、白平衡和任何艺术性的摄像机调整。

(2) 显示参考映射：当目标是在HDR监视器显示内容时保留SDR监视器上看到的彩色和相对色调时，使用显示参考映射；例如，在HDR节目中包含SDR调色内容。显示参考映射是通过缩放参考显示所再现的光而导出的。

详细映射方法参见ITU-R BT.2390报告，包括如何确保HDR和映射的SDR内容之间的肤色亮度具有可比性。第6.2节描述的基准信号电平可能有助于在映射过程中指导中间色调电平。

此外，在某些应用场景中，将SDR内容转换为HDR内容时，采用非线性的方式将动态范围进行扩展，以更好的适配人眼特性，ITU-R BT.2446中给出了几种转换方法建议。在转换过程中，建议遵循以下原则：

- (1) 保留暗部细节；
- (2) 确保中部内容不被过分扩展；
- (3) 高亮部分在保证内容质量前提下尽量扩展至显示峰值亮度；
- (4) 在亮度分量调整的同时，要保证色度分量的正确调整；
- (5) 保持时域稳定性，不应引入时域误差。

## 9.2 8 比特内容的使用

虽然HDR制作至少应使用10比特，但有时可能无法避免在HDR节目中包含8比特的SDR内容。在这种情况下，应使用直接映射而不是反色调映射将内容放入HDR信号容器中，以避免扩展SDR高光部分可能带来的条带和彩色失真。

## 9.3 SDR 图形的映射

SDR图形和字幕可以直接映射到表1中规定的HDR信号“图形白”信号电平（75%HLG或58%PQ），以避免转换为HDR后使它们看起来太亮，从而使下层视频相比之下显得暗淡。除少数广告外，所有SDR图形均应使用场景参考映射。

## 10 PQ 和 HLG 之间的转换

PQ和HLG格式转换方法参见ITU-R BT.2390报告第7节“Conversion between PQ and HLG”。

由于PQ和HLG信号在不同峰值亮度的监视器上渲染的方式不同，因此需要转换而不是简单的转码。通过为HLG信号选择1000cd/m<sup>2</sup>的峰值显示亮度（ $L_w$ ），并且将PQ信号限制在相同的峰值亮度，从而使转换后的信号实现亮度一致。

通常，从HLG转换为PQ信号将保持HLG“观感”，而从PQ转换为HLG的信号将保持PQ“观感”。因此在转换后使用矢量示波器或CIE彩色图测量测试信号（例如彩条、摄像机测试卡）时应特别注意。

## 11 HDR 和 SDR 同时制作

### 11.1 概述

很多用4K超高清电视系统制作的HDR节目需要下变换成SDR在高清频道播出，或需要同时制作4K HDR与高清SDR。在从高清SDR过渡到4K HDR期间，大多数观众仍观看高清SDR节目。因此，节目制作不应因4K HDR的引入而对高清SDR制作造成重大影响。然而，用完全独立的4K HDR和高清SDR制作系统来完成直播节目和大型活动是不太经济或实际的，除了两个制作系统的设备和人员成本之外，拍摄现场可能没有足够的空间同时容纳HDR和SDR摄像机机位。

根据节目制作流程，将4K HDR制作分为实时直播与非实时录播两类。

### 11.2 直播流程

#### 11.2.1 概述

在直播流程中设备和人员是有保障的，无论演播室、转播车还是EFP系统都会配置调光监视器和波形监视器，有专门的调光师调整摄像机光圈控制曝光。在这种专业的工作环境中，HDR与SDR的曝光控制原则是一样的，都是“所见即所得”，即调光师根据监视器显示的图像和波形监视器显示的波形控制曝光，使画面需要表现的人物或主体灰度层次符合制作者的意图。

由于HLG能够兼容SDR，其制作、播出流程与现有的工作流程相似，因此更适合HDR直播。

#### 11.2.2 SDR 优先的制作流程

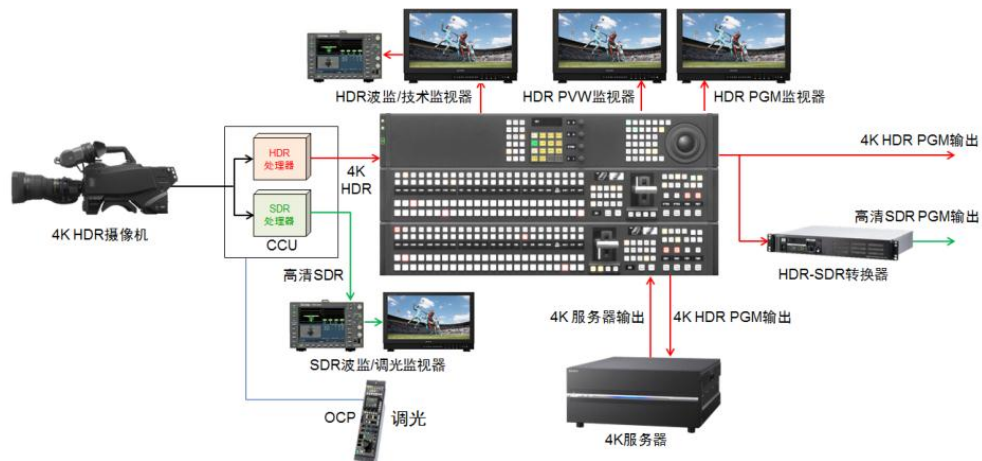


图 3 4K HDR 制作系统：用 SDR 调光制作 HDR

SDR优先的制作系统见图3，4K HDR制作系统包括摄像机、切换台等核心设备，通过对HDR摄像机内置下变换器设置SDR转换增益差（相当于曝光偏置），能够同时输出HDR和

SDR信号，用SDR输出对摄像机进行调光，输出4K HDR节目信号。对HDR-SDR转换器设置相同的SDR转换增益差，将制作系统输出的HDR进行下变换，获得高质量的SDR图像。

SDR优先的制作流程就像传统的高清制作一样，以摄像机下变换输出的SDR图像和波形为基准，用SDR监视器和波形监视器调光制作HDR，使高清SDR与4K HDR都能正确曝光，调光工程师与导演看到的高清图像与播出的高清图像完全相同，实现了高清SDR的“所见即所得”。

用SDR调光制作HDR的主要原因如下：

- 确保质量：用SDR调光可在确保高清SDR图像质量的情况下同时获得一定质量保证的4K HDR图像；
- 提高调光精度：调整光圈时同样的曝光量变化在HDR监视器上亮度变化很小，在SDR监视器上亮度变化很大，因此SDR调光更精准；
- 精准控制肤色曝光：肤色电平都在SDR范围内，用SDR调光能够精准控制SDR和HDR的肤色电平；
- 减轻视觉疲劳：HDR监视器峰值亮度比SDR高得多，调光工程师长时间观看容易出现视觉疲劳，判断力下降；
- 保留传统经验和习惯：SDR时代调光工程师长期积累的宝贵经验和操作习惯得以保留，无需改变。

用SDR调光制作HDR的核心是设置HDR转换SDR的增益差。HLG转换为SDR包括电平、伽玛和色域映射，参考白基准电平从75% HLG映射至100% SDR（BT.709），伽玛从HLG映射至SDR（BT.709），色域从BT.2020映射至BT.709。在三个映射中，伽玛和色域映射是产品制造商设计决定的，用户只能进行相应的选择和微调。最重要的是电平映射，用户需要设置HDR转SDR的增益差，使HLG电平正确映射至SDR。

4K HDR演播室摄像机核心处理单元都内置了HDR与SDR两个独立的信号处理器，可以同时输出4K HDR与高清SDR信号。由于HDR的动态范围比SDR大得多，摄像机以SDR为基准调光时HDR就会曝光不足，如果扩大光圈以HDR为基准调光时SDR就会曝光过度，为了使HDR与SDR都能正确曝光，需要用光圈控制HDR曝光，并为HDR与SDR处理器设置适当的增益差控制SDR曝光。

采用SDR优先的制作流程时必须用测试信号和测试卡检查、验证摄像机核心处理单元内置下变换SDR输出与4K HDR节目输出转换器下变换SDR信号的电平、伽玛和色域相同，两者有差别时需要调整摄像机或转换器进行调整使之尽可能一致，以实现电视直播制作要求的“所见即所得”。

用SDR调光制作HDR，将75% HLG电平映射到SDR后成为100%峰值白电平，这样调光工程师可采用与SDR制作时相同的定光点作为参考，实现了用SDR调光精准控制HDR曝光的目的。以索尼为例，HLG转换SDR的增益差为-10.2dB，当HLG转换SDR的增益差设置为



-10.2dB时，75% HLG电平映射为100% SDR电平。在±0.8dB的范围内增减SDR增益差可以改变4K图像的HDR效果，体现制作者的创作意图。转换增益差越大HDR的曝光量就越大，HDR效果越明显。

只要系统设置了正确的HLG与SDR增益差（映射关系），就能确保SDR正确曝光时HDR图像在技术上正确曝光，但无法满足调光师或导演对HDR图像风格化的艺术表达诉求。以高清SDR图像为基准调光时，高清质量满足要求时HLG质量也能有保证。虽然调光师只能看到SDR画面，但视频工程师和导演能在HDR波形监视器和节目监视器上看到HDR画面，监控HDR图像质量。

需要说明的是，受到拍摄制作等条件的限制，目前很多从业人员HDR制作经验有限，为了保证从SDR向HDR制作平稳过渡，采用SDR对HDR调光是同时确保4K超高清和高清图像质量的有效方法。

### 11.2.3 HDR 优先的制作流程



图 4 4K HDR 制作系统：用 HDR 调光制作 HDR

如果制作的4K节目主要用于HDR播出或发行，可以采用HDR优先流程，以摄像机输出的HDR图像和波形为基准，用HDR监视器和波形监视器调光制作HDR，HDR优先的制作系统见图4，用HDR调光制作HDR为调光师和导演提供了比SDR大得多的亮度和彩色创作空间，充分发挥HDR技术的优势。

由于HDR图像的曝光宽容度远大于SDR，因此获得高质量的HDR信号后，下变换SDR转换器应采用智能化的动态映射才能获得高质量SDR输出。动态转换器旨在优化不同场景HDR到SDR映射曲线，从而适应比固定（或静态）增益差映射曲线更宽的曝光范围。目前市场上符合测试要求的动态转换相关产品还在实践中，实际操作时，以HDR为基准调光制作HDR，采用固定增益差下变换得到的SDR图像易出现过曝光或欠曝光。

在下变换的SDR信号中，黑电平差异可能比在HDR信号中更明显，因为来自HDR图像中明亮高光的眩光可以掩盖阴影中的细节，应确保HDR和下变换SDR信号的黑电平一致。

### 11.3 录播流程

#### 11.3.1 概述

非实时的录播分为三种：一种是后期不调色，只做简单编辑；一种是像电影一样在后期精工细作，通过调色实现制作者对图像的创作意图；还有一种是类似直播的录播。后期是否调色对前期拍摄曝光控制的要求完全不同，调光方法也不一样。

#### 11.3.2 不调色录播

在不调色的录播流程中，拍摄调光、记录素材以及成片的伽玛和色域相同，制作过程中不改变伽玛和色域，成片的图像与拍摄素材相同，因此曝光控制与直播相同，应采用适合直播的HLG、BT.2020色域、10比特、4:2:2 YC<sub>B</sub>C<sub>R</sub>视频格式。

在记录素材后再编辑制作的非实时录播流程中，拍摄时设备和人员条件都比直播简单的多，在大多数情况下，摄像师只能依靠取景器显示的图像取景、聚焦并调整光圈控制曝光。在这种ENG模式的工作环境中，由于摄录一体机自带的取景器不支持HDR显示，除非外接HDR监视器，否则在取景器小尺寸SDR屏幕上无法用“所见即所得”的方法控制光圈实现HDR正确曝光。

解决这个问题的方法之一是像直播一样用SDR调光制作HDR。一些新型的4K HDR摄录一体机也像4K演播室摄像机一样内置了两个独立的信号处理器，可同时分别处理HDR与SDR信号，并设置SDR转换增益差。以HLG拍摄为例，可以通过SDR增益差设置把75% HLG电平映射为100% SDR峰值白电平，这样就可以在摄像机自带的小尺寸SDR取景器上像拍摄高清SDR一样监看并控制SDR与HDR的曝光。

另一种方法是在取景器上直接把HLG当作SDR图像调光。很多4K HDR摄录一体机只有一个信号处理器，不能同时处理SDR与HDR信号，只能用取景器的SDR屏显示HDR图像，尽管有些取景器可以用SDR屏模拟显示HDR画面，但取景器的亮度比HDR监视器低得多，无法真实再现HDR图像的效果。由于HLG与SDR兼容，当SDR监视器的伽玛值设置为2.2时，显示的图像灰度层次与HLG下变换SDR的图像相似。因此，可以直接在取景器的SDR屏上显示HLG图像，并把HLG图像当作SDR一样调整光圈控制HDR曝光。虽然取景器的伽玛值无法调整为2.2，但这种曝光控制的方法误差并不大，在没有条件外接HDR监视器的情况下，可以作为HLG拍摄曝光控制的备选方法。

#### 11.3.3 调色录播

在后期调色的录播流程中，拍摄调光的目的是有效利用成像器件的全部动态范围，由于成像器件的动态范围比摄像机取景器显示屏的动态范围大得多，单人拍摄操作时只能用取景

器控制曝光。在这种“所见非所得”的制作流程中，最常用的方法是在电视伽玛取景器显示屏上直接显示对数伽玛的低反差画面。记录素材应为无压缩或浅压缩的16比特线性伽玛RAW，或基于Cineon的12比特对数伽玛（如Log C、S-Log3、C-Log、V-Log等）RGB图像格式，在PQ或HLG空间制作输出，或在更大的空间（例如ACES）制作完成后输出PQ或HLG，而不是直接用PQ或HLG伽玛拍摄、记录。

由于在“所见非所得”的流程中拍摄调光、记录素材与成片的伽玛、色域并不一定相同，因此拍摄调光时看到的图像灰度、彩色与成片不同，曝光控制的目的是有效利用成像器件的全部动态范围，可以用电影行业的多种常用方法和工具控制曝光，例如在电视伽玛（ITU-R BT.1886）监视器上直接显示对数伽玛的低反差画面和波形，用假彩色标识不同亮度电平，直方图等。对“所见非所得”的制作流程来说，拍摄只是第一次艺术创作，后期调色是第二次艺术创作。

在电视伽玛的屏幕上显示对数伽玛图像时呈现出底片一样的低反差画面，实际上就是把成像器件的高动态范围图像压缩到了低动态范围的显示屏上。对比“正常”反差画面，在这种低反差的“灰色”画面上摄影师可以看到全部灰度层次，虽然反差不真实但有利于摄影师控制曝光量，记录尽可能多的灰度信息，为后期制作调色保留足够的调整余地。很多摄像机取景器里还内置了波形监视器功能，可以在画面上叠加RGB信号波形或与电平相关的假彩色，为摄影师提供更技术化的曝光提示信息。

#### 11.3.4 “准直播”形式的录播

近年来随着电影与电视制作技术的融合，在一些采用“准直播”形式的录播节目中（例如演唱会、歌舞剧等），出现了介于“所见即所得”电视流程与“所见非所得”电影流程之间的录播模式，这种模式采用直播切换的方式记录素材，后期制作时只对素材进行“浅调色”处理以弥补前期拍摄调光的不足。这种新的录播模式相当于在电视直播流程之后增加了调色工序，拍摄时采用不同对数伽玛曲线，BT.2020色域，记录10比特4:2:2 YC<sub>B</sub>C<sub>R</sub>视频格式。

用HLG伽玛拍摄时可以采用与直播相同的曝光控制方式，用对数伽玛拍摄时可以用“所见非所得”的电影模式控制曝光。这种直播与录播的混合模式适应了部分市场需求，不过由于较低记录码率的10比特4:2:2 YC<sub>B</sub>C<sub>R</sub>视频素材并不适合调色应用，因此其成片图像质量不如单纯的直播或录播好。

此外，由于调色必须在RGB基色空间内完成，而在这种混合制作模式中记录素材和成片都是YC<sub>B</sub>C<sub>R</sub>的亮度+色差空间，调色前与调色后必须进行RGB与YC<sub>B</sub>C<sub>R</sub>的空间转换，在数字域里这种矩阵运算仍然会改变电平，所以在10比特量化时空间转换是有损的。这种处理实现方便，但也会降低成片的图像质量，这也是录播时记录素材通常采用RAW或RGB格式文件的原因。

## 11.4 SDR-HDR-SDR 往返转换

在制作过程中将SDR信号转换为HDR，然后再转换回SDR，这就是“往返转换”。

场景参考映射的特点是把SDR上变换到HDR后再下变换到SDR时，经过上、下变换的往返后SDR信号的电平、伽玛、色域与转换前完全相同，因为下变换时75% HLG电平映射到100% SDR峰值白电平，与上变换时正好相反，伽玛、色域的映射也是如此，这个特点对SDR/HDR混合制作非常重要。

显示参考映射不是以信号电平为基准，而是以SDR监视器的显示光为基准，以尽量还原原始信号的观感。为了在HDR与SDR混合制作时确保往返转换后的SDR信号与未经转换的原SDR信号相同，应尽量避免在往返转换时混合使用场景参考映射与显示参考映射，推荐使用场景参考映射。

## 12 超高清节目制作设备控制要求

相关机构在开展4K超高清电视节目制作时，必须满足最基本的摄像机、灯光、测试设备和测试信号等要求，确保节目制作流程中涉及的各项设备功能都经过专业的测试验证，才可能保证制作出的4K超高清电视节目满足相关质量要求。

为确保完美再现BT.2020色域，建议4K HDR演播室使用的专业灯具显色系数（CRI）应大于90，或电视光源一致性参数（TLCI）大于90。

监测设备应至少具备支持BT.2020色域和HDR转换曲线的HDR波监和专业监视器用于HDR节目监看。

测试信号应至少具备ITU-R BT.2111规定的HDR彩条信号和GY/T 326中规定的PLUGE信号，采用这些标准的信号对监视器等设备进行统一校准，确保不同品牌和型号的设备制作出的节目具有良好的亮度、彩色一致性。

## 13 图像亮度

### 13.1 概述

实验表明，在距屏幕3.2倍图像高度处，显示像素亮度的平均值与主观感知亮度具有良好的相关性。这一简单客观指标的有效性表明，在制作中实时监控亮度是一个可实现的目标。这将为节目制作者提供指导，使家庭观看舒适，同时允许发挥他们的艺术创作空间。该指标可进一步用于表征长期和短期平均亮度。

### 13.2 静态图像的舒适亮度

测试表明，在1000 cd/m<sup>2</sup>的HLG监视器上，平均亮度小于250 cd/m<sup>2</sup>的HLG图像在亮度不超过2500 cd/m<sup>2</sup>的HLG监视器/显示器上不会被判断为太亮。

即使在静态亮度可以接受的情况下，亮度突然变化也会令人不舒服，因此需要根据要求确保在可能发生亮度跳跃时使观众感到舒适。

### 13.3 节目亮度变化的容忍度

节目之间可能会产生图像亮度的突然变化时，例如节目中插入广告，必须确保HDR亮度变化受到一定的控制，以避免造成观众观看不适。



图5 对不同亮度跳变的容忍度

图5显示了对不同亮度变化的容忍度，从第一平均亮度A到第二平均亮度B的转换根据“不困扰”、“稍微困扰”还是“困扰”进行分类。图中有两个区域用蓝色粗线标出。内部区域的平均显示亮度电平为5至80 cd/m<sup>2</sup>，仅包含一个“稍微困扰”的突变，因此可以认为是操作范围合适，不会导致观众产生不适感。外部区域的平均显示亮度电平高达160 cd/m<sup>2</sup>，包括一些稍微令人困扰的突变，因此可以认为是一个扩展的范围，可以产生创造性的效果。

需要注意的是，从明亮的场景过渡到非常暗的场景后，阴影细节人眼可能不能马上观察到，即使过渡也没有产生不适感，这是因为人眼需要时间适应。此外，舒适的整体亮度并不能确保充分利用HDR可用的动态范围。

## 附录 A

### (资料性附录)

#### 绝对亮度体系和相对亮度体系

PQ采用绝对亮度体系，显示亮度只与信号电平有关，与设备无关，信号电平与显示亮度有一一对应的关系：51%电平对应100 cd/m<sup>2</sup>，58%对应203 cd/m<sup>2</sup>，70%对应600 cd/m<sup>2</sup>，75%对应1000 cd/m<sup>2</sup>，83%对应2000 cd/m<sup>2</sup>，89%对应4000 cd/m<sup>2</sup>，100%对应10000 cd/m<sup>2</sup>。

用 1000 cd/m<sup>2</sup> 监视器制作的 PQ HDR 母版称为 PQ1000，2000 cd/m<sup>2</sup> 监视器制作的称为 PQ2000，其余以此类推。与此对应，PQ1000 的最高电平为 75%，PQ2000 的最高电平为 83%，其余以此类推。在 PQ 绝对亮度体系中母版亮度电平与显示亮度是部分映射关系，电视机的峰值亮度低于制作母版时，不能显示母版中高于电视机峰值亮度的灰度层次和彩色，而高于制作母版峰值亮度的电视机只能显示与母版相同的最高亮度。

比如，采用4000 cd/m<sup>2</sup>监视器制作的PQ4000母版，在2000 cd/m<sup>2</sup>电视机上只能显示2000 cd/m<sup>2</sup>以内的内容，在1000 cd/m<sup>2</sup>电视机上只能显示1000 cd/m<sup>2</sup>以内的内容，在600 cd/m<sup>2</sup>电视机上也只能显示600 cd/m<sup>2</sup>以内的内容，如图A.1所示；采用600 cd/m<sup>2</sup>监视器制作的PQ600母版，在1000 cd/m<sup>2</sup>、2000 cd/m<sup>2</sup>、4000 cd/m<sup>2</sup>电视机上都只能显示600 cd/m<sup>2</sup>以内的内容，如图A.2所示。

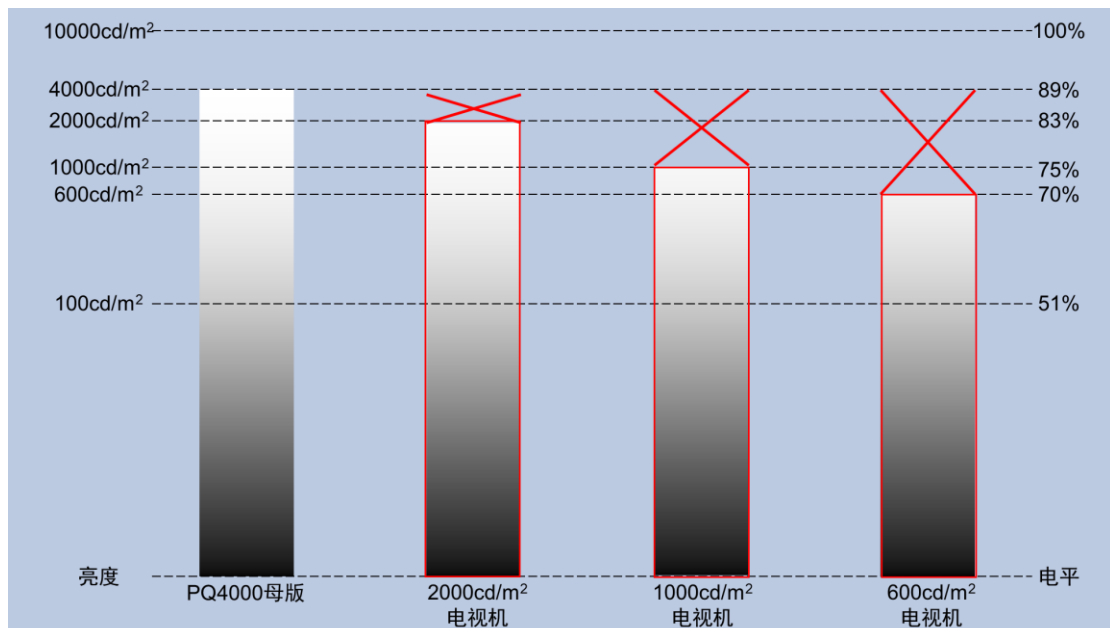


图 A.1 PQ 电视机亮度低于制作母版时不能显示母版中高于电视机亮度的灰度层次

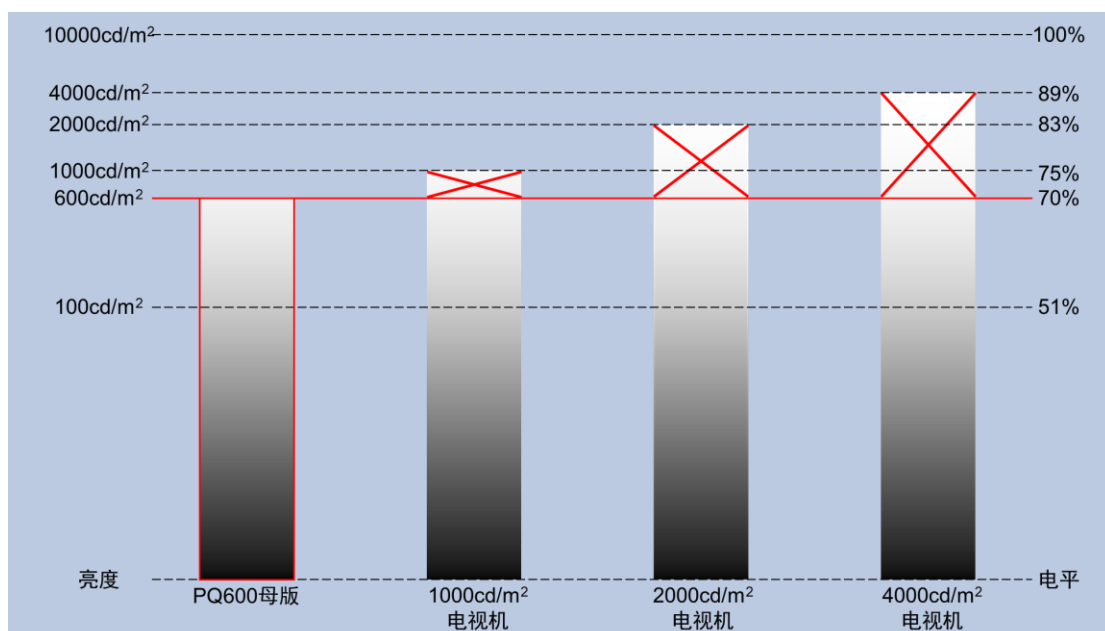


图 A.2 PQ 电视机亮度高于制作母版时只能显示与母版相同的最高亮度

采用PQ制作HDR节目时，监视器的亮度越高制作出的HDR母版亮度越高，如果节目母版是用高亮度监视器制作的，电视机的亮度越高，能够显示HDR节目中高亮度层次和彩色的内容就越多。由于PQ对显示设备精度要求很高，必须在播出码流中加入控制显示设备性能的元数据形成完善的HDR方案才能充分发挥其优势。

HLG与现有电视系统一样采用相对亮度体系，母版亮度电平与电视机显示亮度是全部映射关系，显示亮度不但与信号电平有关，还与显示设备有关，信号的最高电平对应显示设备的最高亮度。HLG的低亮度部分与现有的电视伽玛类似，高亮度部分为对数伽玛，即两种伽玛的混合。

附录 B  
(资料性附录)  
SDR 和 HDR 比较

从 HDR 的角度看，可以认为 SDR 摄像机拐点和斜率处理的高亮度内容就是“高光部分”，只不过 SDR 电视分配给拐点/斜率的电平和亮度资源比 HDR 电视少得多。换言之，可以把 HLG 伽玛曲线高于参考白的 HDR 高光部分看作是 SDR 电视拐点/斜率的升级和扩展。HLG 在兼容现有 SDR 电视的基础上提升了动态范围，因此更适合广播电视行业应用。

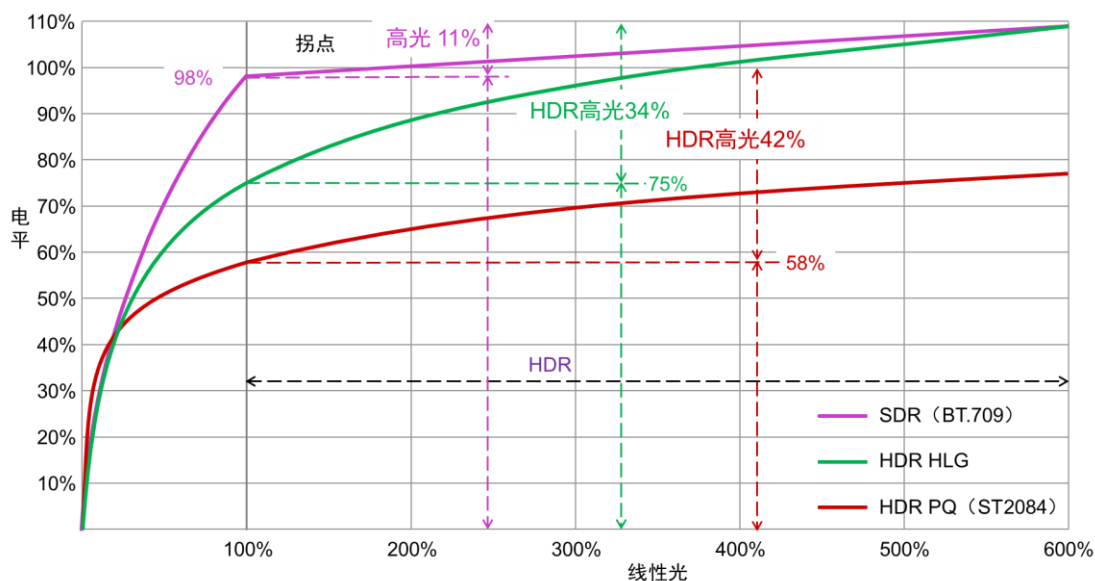


图 B.1 SDR 与 HDR 的 OETF 比较

SDR 和 HDR OETF 见图 B.1，在 SDR 和 HDR 电视体系中，以参考白为分界点，高于参考白的是高光部分；以 58% PQ 或 75% HLG 电平为分界点，高于 58% PQ 或 75% HLG 电平是 HDR 高光部分。

SDR 电视用于高光部分为 11% (98%~109%)，只占可用电平资源的 10% 左右；HLG 和 PQ 的 HDR 高光部分分别为 34% (75%~109%) 和 42% (58%~100%)，则占可用电平资源的 30~40%。

不同峰值显示亮度时 SDR 与 HDR 的 EOTF 特性见图 B.2。PQ 采用绝对亮度体系，其 EOTF 曲线是唯一的，显示设备峰值亮度不同时在 PQ 曲线上只是改变了上截止点的位置，而采用相对亮度体系的 HLG 则分别表现为不同的 EOTF 曲线。

在不同峰值亮度的监视器上，58% PQ 电平对应的 HDR 参考白亮度都是 203cd/m<sup>2</sup>，而 75% HLG 电平对应的 HDR 参考白在不同峰值亮度监视器上是不一样的，1000 cd/m<sup>2</sup>、800 cd/m<sup>2</sup>、600 cd/m<sup>2</sup> 和 400 cd/m<sup>2</sup> 监视器显示的 HDR 参考白亮度分别为 203 cd/m<sup>2</sup>、172 cd/m<sup>2</sup>、138 cd/m<sup>2</sup> 和 101 cd/m<sup>2</sup>，这就是绝对亮度与相对亮度体系的差别。



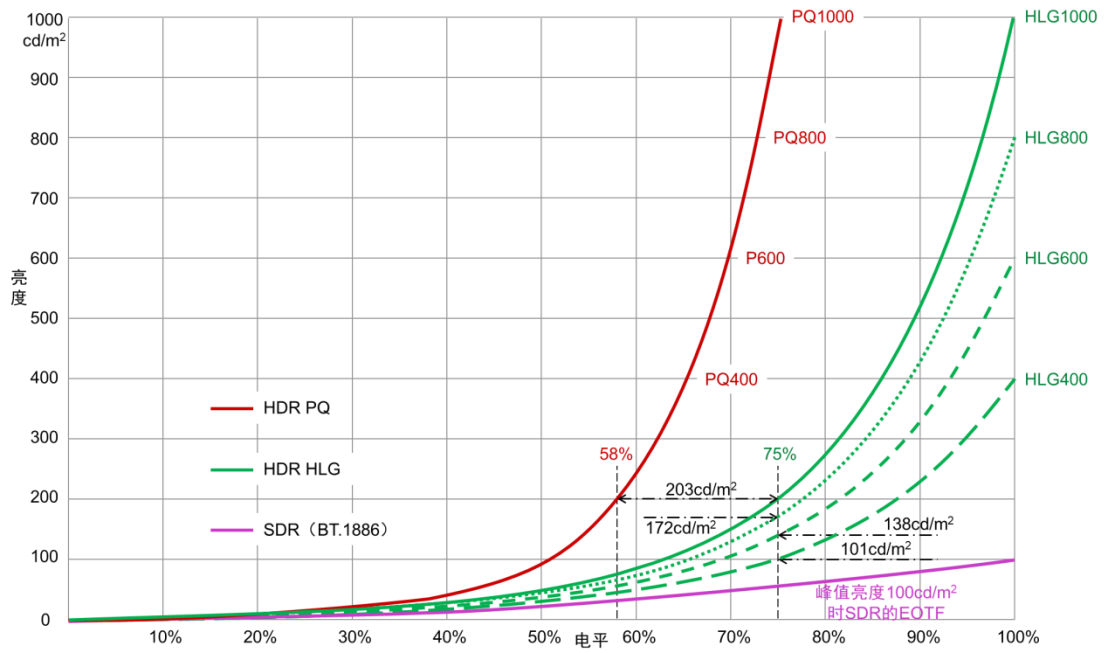


图 B.2 不同峰值亮度时 SDR 与 HDR 的 EOTF 特性

绝对亮度体系的 PQ 显示峰值亮度越高 HDR 高光部分比例越大，而无论显示峰值亮度高低，HLG 用于 HDR 高光部分（75%电平以上）的亮度资源都是 70%~80%左右，这也是绝对亮度与相对亮度体系的差别。

附录 C  
(资料性附录)  
HLG 可变伽玛的作用

在传统电视的相对亮度体系中，母版亮度电平与显示亮度是全部映射关系，不同亮度显示设备的伽玛值相同。当电视机亮度与母版亮度不一致时，电视机亮度改变时暗部、中部和亮部的亮度同比变化，如图 C.1 所示。

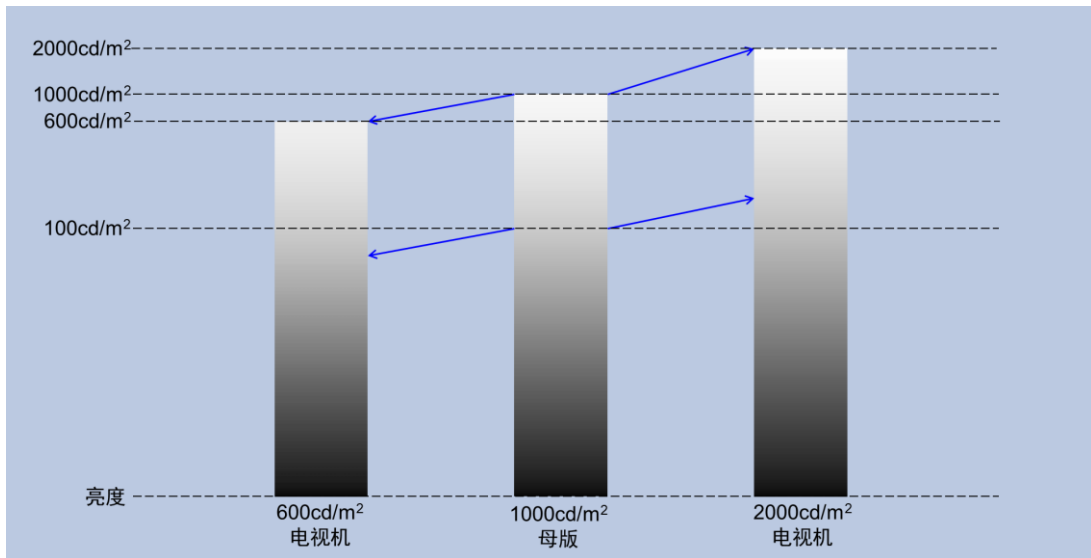


图 C.1 传统相对亮度体系

HLG 也是相对亮度体系，母版亮度电平与显示亮度也是全部映射关系，但系统伽马  $\gamma$  随着显示屏亮度不同可变，计算公式为： $\gamma = 1.2 + 0.42 \text{Log}_{10}(L_w / 1000)$ ， $L_w$  为显示屏最高亮度。当电视机与 HLG 母版亮度不同时，可变伽玛自动调整电视机  $100 \text{ cd/m}^2$  以下的亮度，使不同亮度电视机显示的肤色亮度基本相同。

例如，HLG 母版亮度为  $1000 \text{ cd/m}^2$ （伽马为 1.2），电视机最高显示亮度为  $600 \text{ cd/m}^2$ （伽马为 1.11），显示面板伽玛小于制作监视器伽玛，系统伽玛减小，图像对比度降低， $100 \text{ cd/m}^2$  以下的平均亮度上升，显示肤色亮度与  $1000 \text{ cd/m}^2$  电视相近，如图 C.2 所示。电视机最高显示亮度为  $2000 \text{ cd/m}^2$ （伽马为 1.33），显示面板伽玛大于制作监视器伽玛，系统伽玛增加，图像对比度增大， $100 \text{ cd/m}^2$  以下的平均亮度下降，显示肤色亮度与  $1000 \text{ cd/m}^2$  电视相近，如图 C.3 所示。

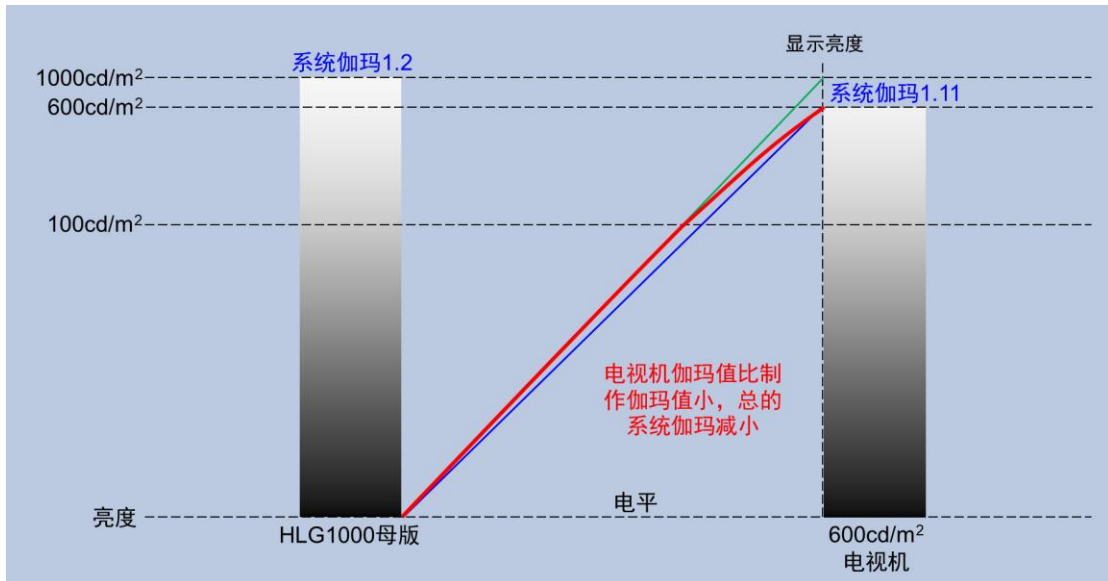


图 C.2 HLG 电视机亮度低于母版亮度

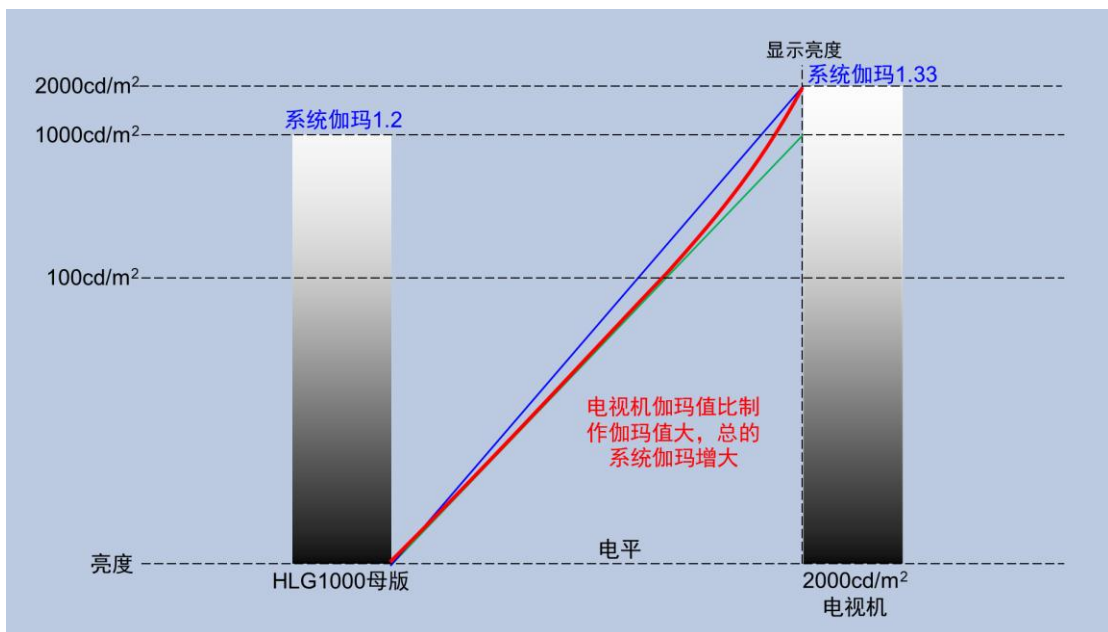


图 C.3 HLG 电视机亮度高于母版亮度

HLG 的可变伽玛可以自动适应，不需要元数据，虽然没有绝对亮度体系那么精确，但简单有效。如果不用可变伽玛，HLG 就会像现有的固定伽玛 SDR 电视一样，电视机峰值亮度不同时肤色亮度也发生较大变化。

附 录 D  
(资料性附录)  
HLG-Live

HLG-Live 是索尼对 HLG 的改进版本，也可以认为是“索尼版” HLG，配置在索尼广播级 4K 演播室摄像机、4K ENG 肩扛摄录一体机等设备上。在这些设备上既可以选择 BT.2100 定义的标准 HLG，也可以选择索尼的 HLG-Live。HLG-Live 与 HLG 完全兼容，其 OETF 曲线形状与 HLG 相同，因此用 HLG-Live 拍摄的节目在 HLG 监视器和电视机上显示的图像与 HLG 完全相同，无需任何特殊处理。

HLG-Live 与 HLG 的区别是灵敏度与转换 SDR 时的增益差不同。例如，索尼 HDC4300 摄像机设置为 HLG-Live 时，其灵敏度比设置为 HLG 提升了 5dB，接近 1 档光圈，对低照度拍摄非常有利。HLG-Live 下变换 SDR 时的增益差也比 HLG 小 5dB，使用索尼 HDRC4000 转换器做 HDR 至 SDR 下变换时，如果摄像机选择 HLG-Live，HDRC4000 必须设置为 AIR MACHNING ON 与之匹配，其下变换 SDR 的增益差与摄像机下变换 SDR 的增益差相同，都比 HLG 下变换 SDR 增益差小 5dB。同样地，用 HDRC4000 转换器把 SDR 上变换为 HLG-Live 信号时，也必须把 AIR MACHNING 设置为 ON，转换增益也比 SDR 转换为 HLG 时小 5dB，才能与系统内其他 HLG-Live 信号混合切换操作。

## 附录 E

### (资料性附录)

#### HDR 与 SDR 同时制作直播系统设置参考

HDR 与 SDR 同时制作直播时可以采用 SDR 调光的 SDR 优先制作模式，或 HDR 调光的 HDR 优先制作模式。目前，中国正处于从高清 SDR 向 4K HDR 制作过渡阶段的初期，建议采用 SDR 调光的 SDR 优先制作模式以实现平稳过渡。

以 2019 年中央广播电视总台国庆直播时采用的 SDR 优先制作流程为例，首先必须对系统中的 4K 摄像机，上、下变换器以及 4K 监视器等主要设备进行正确的设置，才能确保制作系统能同时提供高质量的 4K HDR 信号和高清 SDR 信号，表 E.1 至 E.5 分别列出了各主要设备的设置参数集供参考。此次直播主要采用的是索尼设备，其他厂商和平台的设备参数设置应根据实际情况决定。

##### HDR/SDR 制作系统设置流程：

- 视频技术人员应按照参数要求正确设置 4K 摄像机及下变换器、4K 和高清监视器等设备。
- 使用 ITU-R BT.2111 HLG 彩条信号对系统通道及 4K 监视器进行亮度、曲线、色域等参数确认。
- SDR 调光以 4K 摄像机输出的 HD SDR 信号，以及经系统下变换输出的 HD SDR PGM 信号作为调光参考。

摄像机基础调整流程：标准复位——摄像机调整黑平衡——选择正确的色矩阵及色温片——选择合理的 ND 片——摄像机对准 90% 反射率调白卡（方向为主用方向，避免逆光），调整光圈至高清电平为 650mV，调整白平衡——查看调白一致性并适当微调。

摄像机调白应统一时间进行，使用统一的调白卡，视频技术人员应根据光线色温变化进行适当微调。对于给到特写的机位要确认摄像机肤色还原正确，一致性好，必要时调整肤色轮廓等。

PDW-Z580 建议使用两档斑马纹曝光，一档为 60%，主要是人脸曝光基准；一档为 90%，是天空及高亮部分曝光基准。

表 E.1 HDC4300/P50 摄像机设置

项目	优先级	参数
CCU S03: BT.2020 COLOR MODE	必须	WIDE-BC
S04: HDR MODE	必须	LIVE HDR
S04: SDR GAIN	必须	-6.0dB（见摄像机设置 P25）

表 E.1 (续)

S04: HDR BLACK OFFSET	必须	-4~-40 (根据镜头类型和拍摄场景确定, 见摄像机设置 P25)
S05: OETF	必须	HLG-Live
S05: COLOR	必须	BT.2020
摄像机 Paint P4: Detail	必须	ON, 默认值 0 0 0 (必要时根据需要调整)
Paint P7: Skin Detail	建议	OFF
Paint P8: Matrix	必须	ON
Paint P8: Preset Matrix	必须	ITU-709
Paint P8: Preset Adaptive Matrix	建议	ON, Level 4 (拍摄场景或照明有大量饱和蓝色时)
Paint P12: Knee	必须	ON, 默认值 0 0 0
Paint P13: Shuttle	建议	根据现场大屏闪烁情况选择
Paint P24: GAMMA TABLE	必须	STANDARD 5
Paint P25: SDR GAIN	必须	-6.0dB
Paint P25: BLACK OFFSET	必须	-4
MAIN BLACK HDR BLACK OFFSET	必须	拍摄 DSC 灰度/彩色测试卡, 调整 OCP 黑控制环使 SDR 黑电平为 0; 调整 HDR BLACE OFFSET, 使 4K 黑电平为 0
摄像机光圈: 极限值	必须	任何情况下 2/3 英寸 4K 摄像机光圈都不应小于 F11, 以避免衍射效应使 4K 图像分辨率下降
摄像机光圈: 正常拍摄值	建议	F3 - F10

表 E.2 PDW-Z580 摄像机设置

项 目	优先级	参 数
COLOR GAMUT	必须	BT.2020
OETF	必须	HLG-Live
SDR GAIN	必须	-6.0dB
Skin Detail	建议	关

表 E.2 (续)

预设矩阵	必须	开, ITU-709
Adaptive Matrix 自适应矩阵	建议	开 (拍摄场景或照明有大量蓝色 LED 光源时)
Shuttle 快门	建议	根据现场大屏闪烁情况选择
摄像机光圈: 极限值	必须	任何情况下 2/3 英寸 4K 摄像机光圈都不应小于 F11, 以避免衍射效应使 4K 图像分辨率下降
摄像机光圈: 正常拍摄值	建议	F3 - F10

表 E.3 HDRC4000 转换器下变换设置

项 目	优先级	参 数
C01: DISPLAY REFERRED (SDR ON HDR)	必须	OFF
C03: INPUT 4K	必须	根据系统连接情况选择接口类型
C03: AIR MATCHING	必须	ON
C03: HDR BLACK COMPRESSION	必须	ON
C03: INPUT 4K OETF	必须	HLG (Var 1.2)
C03: INPUT 4K COLOR	必须	BT.2020
C03: OUTPUT HD	必须	HD-SDI
C03: OUTPUT OETF	必须	SDR
C03: OUTPUT COLOR	必须	GY/T 155
S21: SETTING MODE	必须	SONY SYSTEM CAMERA
S21: MASTER BLACK: BLACK OFFSET	必须	0 4~40 (与摄像机设置相关)
S22: HDR→SDR GAIN:	必须	-6dB
S24: KNEE	必须	ON, 默认值 0 0 0 0
S25: GAMMA	必须	ON
S25: TABLE	必须	STANDARD 5
S25: STEP	必须	0.45

表 E.3 (续)

S25: LEVEL	必须	R0 G0 B0 M0
S26: WHITE CLIP	必须	OFF
S51: DETAIL	必须	ON
S51: HD DETAIL	必须	ON, 默认值 0 0 0 0 0 0

表 E.4 HDRC4000 转换器上变换设置

项 目	优先级	参 数
C01:: DISPLAY REFERRED (SDR ON HDR)	必须	OFF
C04: AIR MACHINING	必须	ON
C04: INPUT	必须	SDR
C04: OUTPUT 4K	必须	根据系统连接情况选择接口类型
C04: OUTPUT 4K OETF	必须	HLG (Var 1.2)
C04: OUTPUT 4K COLOR	必须	BT.2020
C07: HD DEINTERLACE	建议	MOTION DETECTION
S32: SDR→HDR GAIN	必须	6.0dB

表 E.5 BVM-X 系列监视器设置

项 目	优先级	参 数
RGB Range	必须	Limited
EOTF	必须	ITU-R BT.2100 (HLG)
HLG System Gamma	必须	X300/X310: 1.200, X550: 1.03
Color Space	必须	ITU-R BT.2020
Transfer Matrix	必须	ITU-R BT.2020
Color Temp.	必须	D65
Contrast	必须	400
Brightness	必须	0
Chroma	必须	1000



附录 F  
(资料性附录)

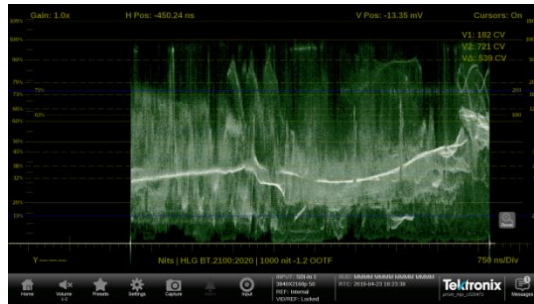
4K 超高清电视主观评价用测试序列图像、波监截图

采用两个4K超高清电视主观评价用测试序列的图像、波监截图来说明4K超高清电视节目画面中HDR高光反射体、黑色反射体、白色字幕、三种类型肤色（Fitzpatrick肤色量表）、HDR区域等内容的亮度值。测试序列的格式为3840×2160/50P/10bit/BT.2020/HLG，采用峰值亮度为1000 cd/m<sup>2</sup>的HLG监视器。

图F.1中，（a）显示了测试序列1对应的某一帧图像，（b）显示了图像在波监上的复合信号波形图，（c）显示了图像中三个典型的位置对应的亮度值，点1（P1）为白色字幕，亮度值为203.2 cd/m<sup>2</sup>，点2（P2）为图像中亮度较高的酒杯所在的位置，亮度为903.9 cd/m<sup>2</sup>，点3（P3）为图像中装饰物黑色玻璃底所在的位置，亮度为0.3 cd/m<sup>2</sup>。（d）对图像中超过203 cd/m<sup>2</sup>的内容进行了HDR区域分色标识。



(a) 测试序列 1 图像截图



(b) 测试序列 1 复合信号波形截图



(c) 测试序列 1 三点亮度值显示截图



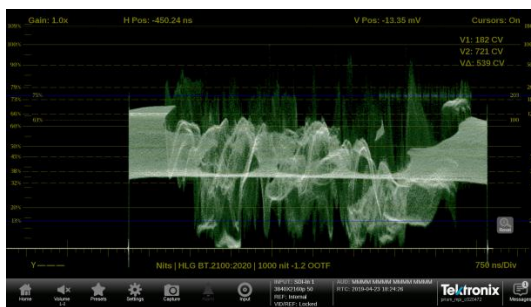
(d) 测试序列 1 HDR 区域显示截图

图 F.1 测试序列 1 图像、波监截图

图F.2中，（a）显示了测试序列2对应的某一帧图像，（b）显示了图像在波监上的复合信号波形图，（c）显示了图像中三个典型的位置对应的亮度值，点1（P1）为1-2型浅肤色脸部所在的位置，亮度为99.1 cd/m<sup>2</sup>，点2（P2）为3-4型中等肤色脸部所在的位置，亮度为81.2 cd/m<sup>2</sup>，点3（P3）为5-6型深肤色脸部所在的位置，亮度为33.2 cd/m<sup>2</sup>。（d）对图像中超过203 cd/m<sup>2</sup>的内容进行HDR区域分色标识。



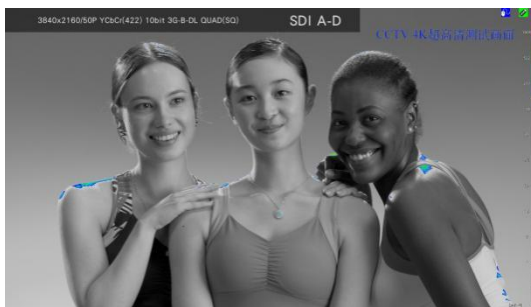
(a) 测试序列 2 图像截图



(b) 测试序列 2 复合信号波形截图



(c) 测试序列 2 三点亮度值显示截图



(d) 测试序列 2 HDR 区域显示截图

图 F.2 测试序列 2 图像、波监截图

## 附录 G

### （资料性附录）

#### 本实施指南与 BT. 2408-3 的关系

本实施指南在ITU-R Rep BT.2408-3 “Guidance for operational practices in HDR television production”（以下简称BT.2408）基础上，结合我国4K超高清频道制播实践进行了修改。本实施指南章节和BT.2408具体对应关系如下：

第6章和第7章的“参考电平”和“信号格式”对应BT.2408第2章“Reference levels and signal format”；

第8章“信号监看”对应BT.2408第3章“Monitoring”；

第9章“包含SDR内容的HDR制作”对应BT.2408第5章“Inclusion of standard dynamic range content”；

第10章“PQ和HLG之间的转换”对应BT.2408第6章“Conversion between PQ and HLG”；

第11章“HDR和SDR同时制作”中11.2节“直播流程”对应BT.2408第7章“Transitioning from SDR BT.709 to HDR BT.2100 production”中7.1节“HDR focussed production”和7.2节“SDR focussed production”；11.4节“SDR-HDR-SDR往返转换”对应BT.2408 7.4节“SDR-HDR-SDR Round-Tripping”。