

ITU-R BT.2111-3 建议书

(05/2025)

BT系列：广播业务（电视）

高动态范围电视系统色彩条 测试模式规范

前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

知识产权政策（IPR）

国际电联无线电通信部门（ITU-R）的 IPR 政策述于 ITU-R 第 1 号决议所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从 <https://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh> 获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策实施指南》和 ITU-R 专利信息数据库。

ITU-R 建议书系列	
（可同时在以下网址获得： https://www.itu.int/publ/R-REC/zh ）	
系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和标准频率发射
V	词汇和相关课题

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物
2025年，日内瓦

© 国际电联 2025

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

ITU-R BT.2111-3建议书

高动态范围电视系统色彩条测试模式规范

(2017-2019-2020-2025)

范围

本建议书对ITU-R BT.2100建议书规定的高动态范围电视系统的参考测试模式进行了规范。

关键词

色彩条、高动态范围（HDR）、高动态范围电视（HDR-TV）、HLG、PQ、测试模式、测试信号

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 测试模式对评估电视系统中色度和亮度性能提供一种方便的手段；
- b) 当多格式广播或是在各种格式之间进行格式变换时，此种测试模式是有用的；
- c) 采用测试模式能简化测试过程，并可减少对系统的信号参数和校准差错做出错误解释的可能性，

注意到

ITU-R BT.2100建议书规定了用于节目制作和国际节目交换的高动态范围电视的图像参数值，

建议

应实施附件1中规定的测试模式，并可在高动态范围电视（HDR-TV）系统中用于节目制作和分发，

进一步建议

制造商应指明辐射图生成器采用了哪个版本的ITU-R BT.2111建议书测试模式。

附件1 (规范性)

测试模式规范

目录

页码

知识产权政策 (IPR)	ii
附件1 (规范性) – 测试模式规范.....	2
1 标准参考文献	2
2 目的	2
3 系统类型	3
4 测试模式的各个部分	3
5 测试模式代码值精度	3
附件1的后附资料1 (说明性) – 组成HLG测试模式的各个部分	14
附件1的后附资料2 (说明性) – 波形监视器上的HLG波形	15
附件1的后附资料3 (供参考) – 有关将HLG/BT.2020彩条转换为SDR/BT.709的信息 ..	16

1 标准参考文献

ITU-R BT.471建议书 – 色彩条信号术语和说明

ITU-R BT.709建议书 – 用于节目制作和国际节目交换的高清晰度电视标准的参数值

ITU-R BT.2100建议书 – 用于节目制作和国际节目交换的高动态范围电视的图像参数值

2 目的

基准测试模式有以下几个目的：

- 节目制作链中色度和亮度的质量控制；
- 检验和调整广播设备、特别是视频监视器中的色度和亮度校准；
- 用于视频制作、发射和显现的设备的总体测试；
- 确认视频电路工作有效和相关音频可予应用。

该测试模式无意用于黑色电平校准，它最好使用PLUGE信号进行设置。

3 系统类型

本建议书中所述的测试模式有意结合ITU-R BT.2100建议书来使用。这些系统间的差别在于它们色彩编码中的比例系数（或“色度学”）以及它们的分辨率。

4 测试模式的各个部分¹

具有窄范围编码之混合对数伽马（HLG）系统的测试模式的各个部分如图1所示，具有窄范围编码之感知量化（PQ）系统的测试模式如图2所示，具有全范围编码之PQ系统的测试模式如图3所示。色彩图如图4所示。也可参见附件1的后附资料1和2。

5 测试模式代码值精度

为组成测试图的每个信号电平提供了10比特和12比特代码值。

众所周知，广播制作和分发是基于10比特精度的信号流，尽管在某些情况下和过程中，10比特信号被转换为12比特。

为了确保10比特和12比特窄范围信号路径之间测试模式使用的互操作性，10比特代码值被定义为主要代码值，由此导出的所有12比特代码值都保持10比特的精度。

¹ 希望实施者应在该测试信号中包括信号格式（HLG窄范围、PQ窄范围或PQ全范围）的某些视觉识别。测试模式包括可以可选地用于该目的与/或其他目的的灰色条（右上和左上）。

图1
HLG窄范围的测试模式详情

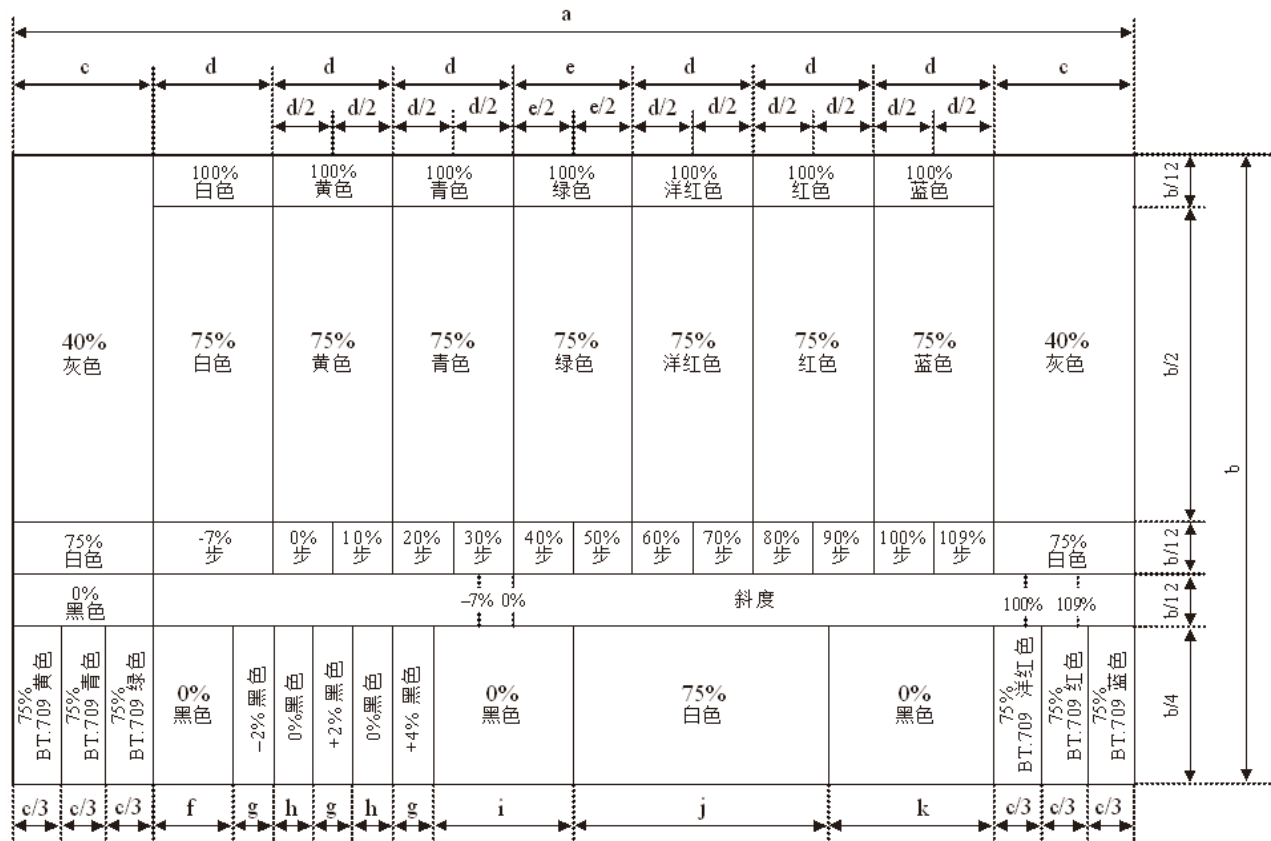
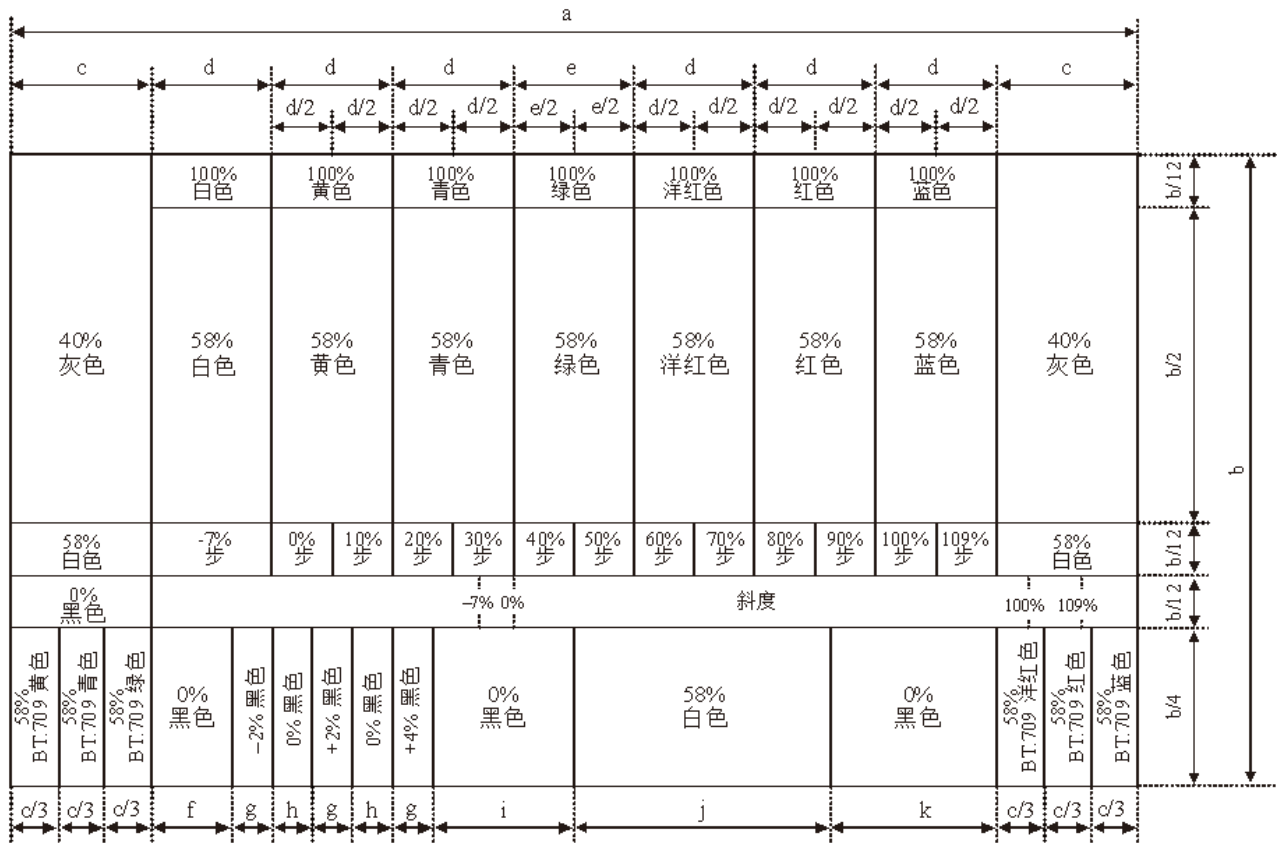


图2

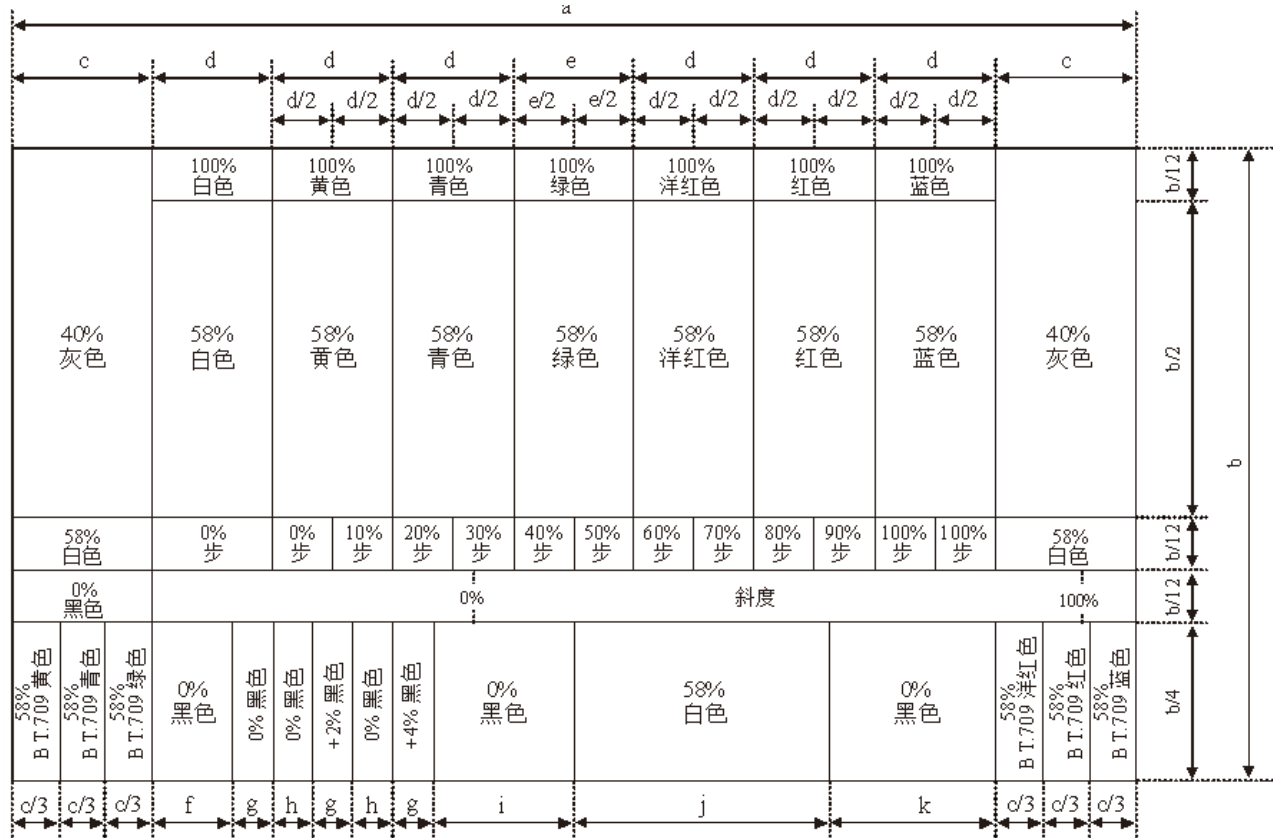
PQ窄范围的测试模式详情



B T2111-02

图3

PQ全范围的测试模式详情



BT2111-03

注 – PQ全范围测试模式斜度部分的位置使0%电平与绿色条的左边缘对齐，见表6。这一定位与本建议书的早期版本略有不同。

表1

2K、4K和8K格式的条大小

条大小 (像素)	2K	4K	8K
a	1920	3840	7680
b	1080	2160	4320
c	240	480	960
d	206	412	824
e	204	408	816
f	136	272	544
g	70	140	280
h	68	136	272
i	238	476	952
j	438	876	1752
k	282	564	1128

图4
测试模式的颜色图



表2
HLG窄范围的信号电平

图像区域	10位			12位		
	R′	G′	B′	R′	G′	B′
100% 白色	940	940	940	3 760	3 760	3 760
100% 黄色	940	940	64	3 760	3 760	256
100% 青色	64	940	940	256	3 760	3 760
100% 绿色	64	940	64	256	3 760	256
100% 洋红色	940	64	940	3 760	256	3 760
100% 红色	940	64	64	3 760	256	256
100% 蓝色	64	64	940	256	256	3 760
75% 白色	721	721	721	2 884	2 884	2 884
75% 黄色	721	721	64	2 884	2 884	256
75% 青色	64	721	721	256	2 884	2 884
75% 绿色	64	721	64	256	2 884	256
75% 洋红色	721	64	721	2 884	256	2 884
75% 红色	721	64	64	2 884	256	256
75% 蓝色	64	64	721	256	256	2 884
40% 灰色	414	414	414	1 656	1 656	1 656
−7% 步 ⁽¹⁾	4	4	4	16	16	16
0%步	64	64	64	256	256	256
10%步	152	152	152	608	608	608
20%步	239	239	239	956	956	956

表2（结束）

	10位			12位		
图像区域	R'	G'	B'	R'	G'	B'
30%步	327	327	327	1 308	1 308	1 308
40%步	414	414	414	1 656	1 656	1 656
50%步	502	502	502	2 008	2 008	2 008
60%步	590	590	590	2 360	2 360	2 360
70%步	677	677	677	2 708	2 708	2 708
80%步	765	765	765	3 060	3 060	3 060
90%步	852	852	852	3 408	3 408	3 408
100%步	940	940	940	3 760	3 760	3 760
109%步 ⁽²⁾	1 019	1 019	1 019	4 076	4 076	4 076
	参见图5和表5					
75% BT.709 黄色	713	719	316	2 852	2 876	1 264
75% BT.709 青色	538	709	718	2 152	2 836	2 872
75% BT.709 绿色	512	706	296	2 048	2 824	1 184
75% BT.709 洋红色	651	286	705	2 604	1 144	2 820
75% BT.709 红色	639	269	164	2 556	1 076	656
75% BT.709 蓝色	227	147	702	908	588	2 808
0% 黑色	64	64	64	256	256	256
-2% 黑色 ⁽³⁾	48	48	48	192	192	192
+2% 黑色 ⁽⁴⁾	80	80	80	320	320	320
+4% 黑色	99	99	99	396	396	396

⁽¹⁾ 约-7%步长的代码值是ITU-R BT.2100建议书为窄范围信号规定的视频数据范围的最小允许值。

⁽²⁾ 大约+109%图像区域的编码值是ITU-R BT.2100建议书为窄范围信号规定的视频数据范围的最大允许值。

⁽³⁾ 约-2%黑电平窄范围信号的代码值相当于ITU-R BT.814建议书中“稍暗的电平”的编码值。

⁽⁴⁾ 大约+2%黑电平窄范围信号的代码值对应于ITU-R BT.814建议书中“稍亮的电平”的代码值。

表3

PQ窄范围的信号电平

	10位			12位		
图像区域	R′	G′	B′	R′	G′	B′
100% 白色	940	940	940	3 760	3 760	3 760
100% 黄色	940	940	64	3 760	3 760	256
100% 青色	64	940	940	256	3 760	3 760
100% 绿色	64	940	64	256	3 760	256
100% 洋红色	940	64	940	3 760	256	3 760
100% 红色	940	64	64	3 760	256	256
100% 蓝色	64	64	940	256	256	3 760
58% 白色 ⁽¹⁾	573	573	573	2 292	2 292	2 292
58% 黄色 ⁽¹⁾	573	573	64	2 292	2 292	256
58% 青色 ⁽¹⁾	64	573	573	256	2 292	2 292
58% 绿色 ⁽¹⁾	64	573	64	256	2 292	256
58% 洋红色 ⁽¹⁾	573	64	573	2 292	256	2 292
58% 红色 ⁽¹⁾	573	64	64	2 292	256	256
58% 蓝色 ⁽¹⁾	64	64	573	256	256	2 292
40% 灰色	414	414	414	1 656	1 656	1 656
-7% 步 ⁽²⁾	4	4	4	16	16	16
0% 步	64	64	64	256	256	256
10% 步	152	152	152	608	608	608
20% 步	239	239	239	956	956	956
30% 步	327	327	327	1 308	1 308	1 308
40% 步	414	414	414	1 656	1 656	1 656
50% 步	502	502	502	2 008	2 008	2 008
60% 步	590	590	590	2 360	2 360	2 360
70% 步	677	677	677	2 708	2 708	2 708
80% 步	765	765	765	3 060	3 060	3 060
90% 步	852	852	852	3 408	3 408	3 408
100% 步	940	940	940	3 760	3 760	3 760
109% 步	1 019	1 019	1 019	4 076	4 076	4 076
斜度	参见图5和表5					
58% BT.709 黄色 ⁽¹⁾	569	572	381	2 276	2 288	1 524
58% BT.709 青色 ⁽¹⁾	485	566	571	1 940	2 264	2 284
58% BT.709 绿色 ⁽¹⁾	474	565	368	1 896	2 260	1 472
58% BT.709 洋红色 ⁽¹⁾	537	362	564	2 148	1 448	2 256

表3（结束）

	10位			12位		
图像区域	R′	G′	B′	R′	G′	B′
58% BT.709 红色 ⁽¹⁾	531	351	257	2 124	1 404	1 028
58% BT.709 蓝色 ⁽¹⁾	318	236	563	1 272	944	2 252
0% 黑色	64	64	64	256	256	256
−2%黑色 ⁽³⁾	48	48	48	192	192	192
+2%黑色 ⁽⁴⁾	80	80	80	320	320	320
+4%黑色	99	99	99	396	396	396

(1) 约58%电平的代码值对应于1 000 cd/m2参考电平75% HLG (203.15 cd/m²)。代码值与本建议书早期版本中规定的值稍有不同。

(2) 约−7%步长的代码值是ITU-R BT.2100建议书为窄范围信号规定的视频数据范围的最小允许值。

(3) 约−2%黑电平窄范围信号的代码值相当于ITU-R BT.814建议书中“稍暗的电平”的编码值。

(4) 大约+2%黑电平窄范围信号的代码值对应于ITU-R BT.814建议书中“稍亮的电平”的代码值。

表4

PQ全范围的信号电平

	10位			12位		
图像区域	R′	G′	B′	R′	G′	B′
100% 白色	1 023	1 023	1 023	4 095	4 095	4 095
100% 黄色	1 023	1 023	0	4 095	4 095	0
100% 青色	0	1 023	1 023	0	4 095	4 095
100% 绿色	0	1 023	0	0	4 095	0
100% 洋红色	1 023	0	1 023	4 095	0	4 095
100% 红色	1 023	0	0	4 095	0	0
100% 蓝色	0	0	1 023	0	0	4 095
58% 白色 ⁽¹⁾	594	594	594	2 378	2 378	2 378
58% 黄色 ⁽¹⁾	594	594	0	2 378	2 378	0
58% 青色 ⁽¹⁾	0	594	594	0	2 378	2 378
58% 绿色 ⁽¹⁾	0	594	0	0	2 378	0
58% 洋红色 ⁽¹⁾	594	0	594	2 378	0	2 378
58% 红色 ⁽¹⁾	594	0	0	2 378	0	0
58% 蓝色 ⁽¹⁾	0	0	594	0	0	2 378
40% 灰色	409	409	409	1 638	1 638	1 638
0% 步	0	0	0	0	0	0
10% 步	102	102	102	410	410	410
20% 步	205	205	205	819	819	819

表4（结束）

	10位			12位		
图像区域	R′	G′	B′	R′	G′	B′
30% 步	307	307	307	1 229	1 229	1 229
40% 步	409	409	409	1 638	1 638	1 638
50% 步	512	512	512	2 048	2 048	2 048
60% 步	614	614	614	2 457	2 457	2 457
70% 步	716	716	716	2 867	2 867	2 867
80% 步	818	818	818	3 276	3 276	3 276
90% 步	921	921	921	3 686	3 686	3 686
100% 步	1 023	1 023	1 023	4 095	4 095	4 095
斜度	参见图6和表6					
58% BT.709 黄色 ⁽¹⁾	589	593	370	2 359	2 373	1 483
58% BT.709 青色 ⁽¹⁾	491	586	592	1 967	2 348	2 371
58% BT.709 绿色 ⁽¹⁾	479	585	355	1 918	2 342	1 423
58% BT.709 洋红色 ⁽¹⁾	552	348	584	2 209	1 391	2 339
58% BT.709 红色 ⁽¹⁾	545	335	225	2 181	1 339	901
58% BT.709 蓝色 ⁽¹⁾	296	201	582	1 186	806	2 331
0%黑色	0	0	0	0	0	0
+2%黑色 ⁽²⁾	19	19	19	75	75	75
+4%黑色	41	41	41	164	164	164

⁽¹⁾ 约58%电平的代码值对应于1 000 cd/m²参考电平的75% HLG (203.15 cd/m²)。代码值与本建议书早期版本中规定的值稍有不同。

⁽²⁾ 大约+2%黑电平窄范围信号的代码值对应于ITU-R BT.814建议书中“稍亮的电平”的代码值。代码值与本建议书早期版本中规定的值稍有不同。

图5

斜度的HLG/PQ窄范围信号电平

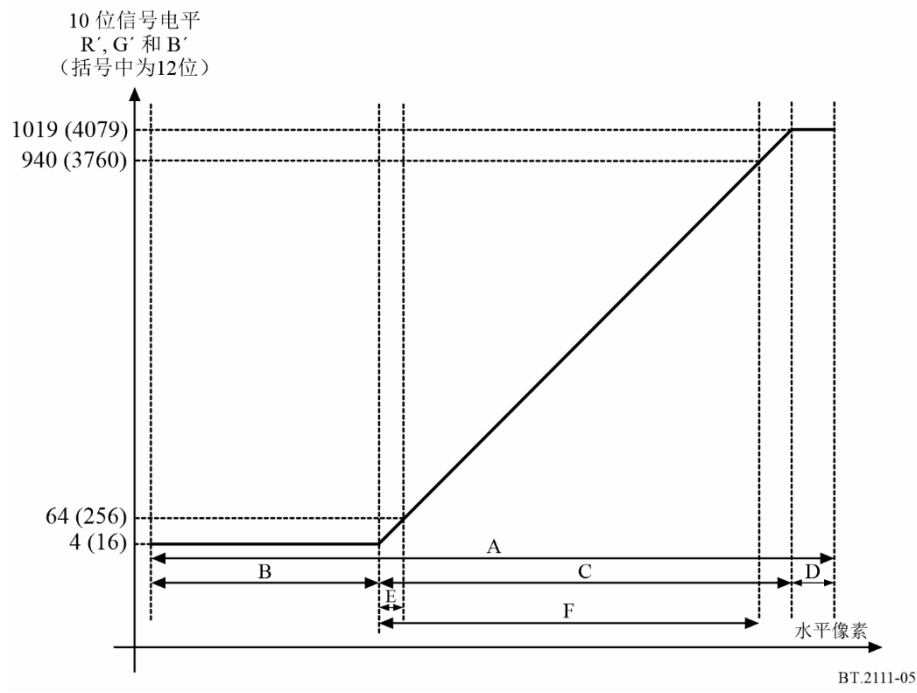


表5

2K、4K和8K格式的HLG/PQ窄范围斜度宽度

宽度 (像素)	2K		4K		8K	
	10位	12位	10位	12位	10位	12位
A	1 680	1 680	3 360	3 360	6 720	6 720
B	559	559	1 118	1 117	2 236	2 233
C ⁽¹⁾	1 014	1 015	2 028	2 031	4 056	4 062
D	107	106	214	212	428	425
E ⁽²⁾	59	59	118	119	236	239
F ⁽³⁾	935	935	1 870	1 871	3 740	3 743

⁽¹⁾ C对应于10位中5至1 018、8K12位中17至4 078、4K12位中18至4 078和2K12位中20至4 076的信号电平范围。

⁽²⁾ E对应于10位中5至63、8K12位中17至255、4K12位中18至254和2K12位中20至252的信号电平范围。

⁽³⁾ F对应于10位中5至939、8K12位中17至3 759、4K12位中18至3 758和2K12位中20至3 756的信号电平范围。

图6
斜度的PQ全范围信号电平

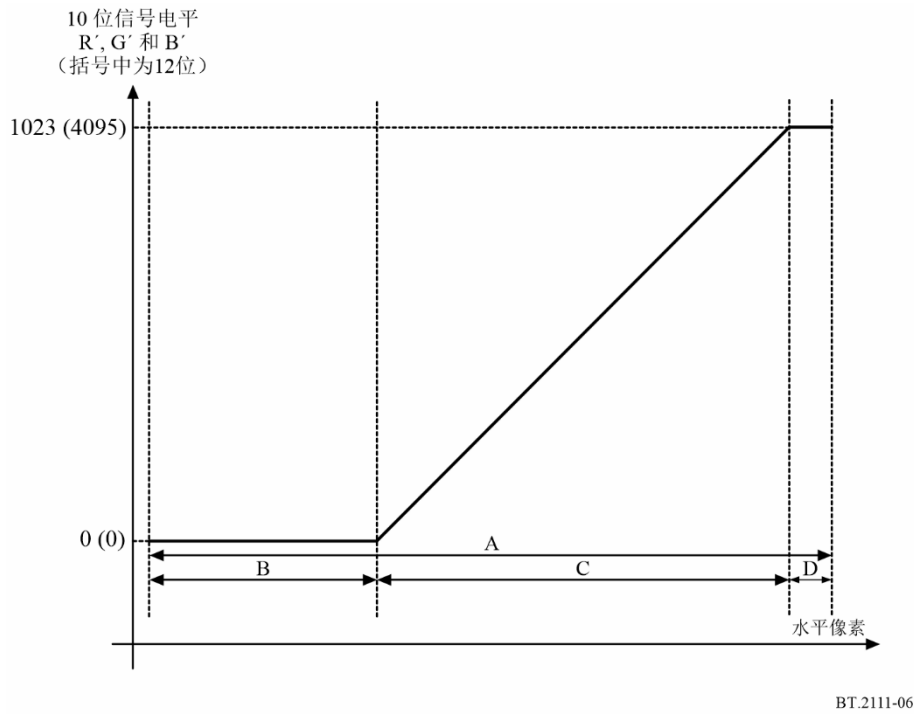


表6
2K、4K和8K格式的PQ全范围斜度宽度

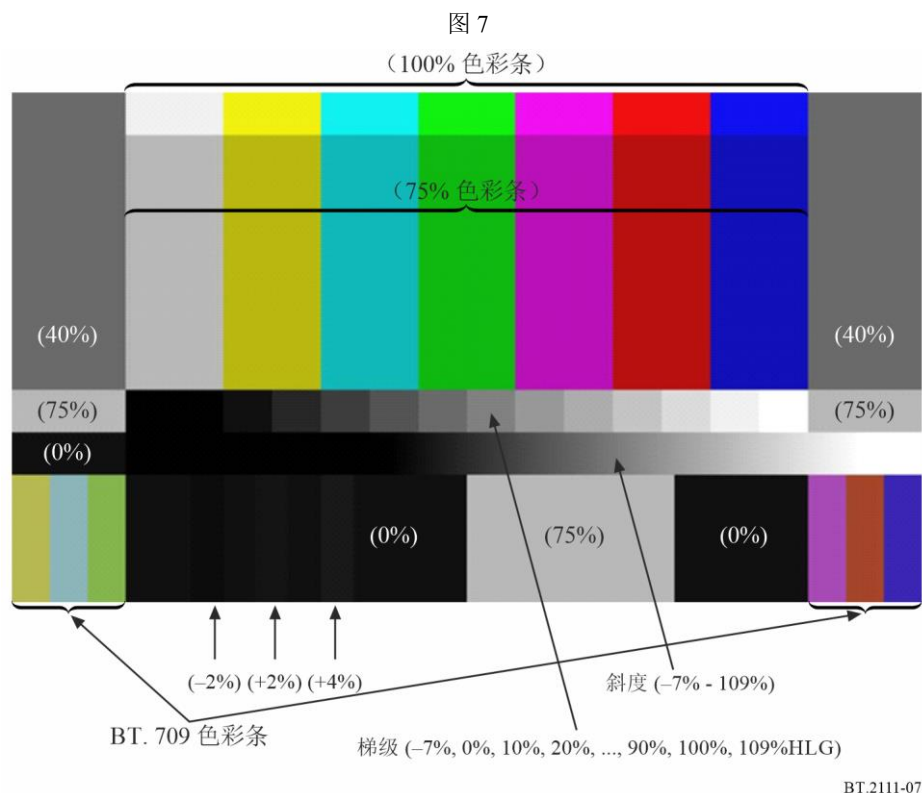
宽度 (像素)	2K		4K		8K	
	10 bits	12 bits	10 bits	12 bits	10 bits	12 bits
A	1 680	1 680	3 360	3 360	6 720	6 720
B ⁽²⁾	618	618	1 236	1 236	2 472	2 472
C ⁽¹⁾	1 022	1 023	2 044	2 047	4 088	4 094
D ⁽²⁾	40	39	80	77	160	154

⁽¹⁾ C对应于10位中1至1 022、8K12位中1至4 094、4K12位中2至4 094和2K12位中4至4 092的信号电平范围。

⁽²⁾ B和D的像素宽度与本建议书的早先版本所规定的那些稍有不同。

附件1的 后附资料1 (说明性)

组成HLG测试模式的各个部分



色彩条：主色彩条为75%HLG，顶部为100%HLG色彩条。

BT.709色彩条：利用HLG OETF和ITU-R BT.2087建议书中所示的有限精度矩阵生成。应该注意的是，如果使用更高精度的颜色转换矩阵来生成这些条，则在某些情况下会导致电平略有不同。BT.709色彩条位于左底部和右底部，以避免与波形监视器上的主色彩条相重叠。

斜度：电平从-7%HLG到109%HLG。0%的视频电平位于绿色条的左边缘。

梯级：电平从-7%HLG到109%HLG。0%步的左边缘位于黄色条的左边缘。在0%HLG和100%HLG之间有10%的间隔。每一步的宽度是色彩条的一半。步信号和斜度信号的所处位置在波形监视器上将不会相重叠。

黑色信号：由0%、-2%、0%、+2%、0%、+4%组成，0%的视频电平位于亮区外的左下方，以提高可见度。

灰色条（右和左）：可选地，这些区域可用于包括针对特定需求的其他模式。

注 – 约-7%HLG和109%HLG电平分别是ITU-R BT.2100建议书中为窄范围信号规定的视频数据范围的最小和最大允许值。大约-2%和+2%视频电平的代码值分别对应于ITU-R BT.814建议书中的“稍暗的电平”和“稍亮的电平”的码值。

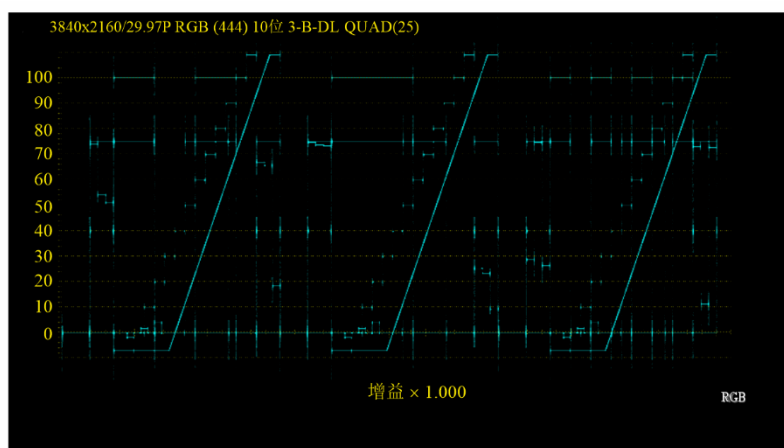
附件1的
后附资料2
(说明性)

波形监视器上的HLG波形

图8显示了波形监视器上测试模式的HLG波形。

图 8

波形监视器上的波形（分别为红色、绿色和蓝色）



BT.2111-08

附件1的 后附资料3 (供参考)

有关将HLG/BT.2020彩条转换为SDR/BT.709的信息

图9展示了HLG/BT.2020彩条，其中包括BT.709等效彩条及其波形快照和设置为BT.2020色度的矢量示波器。

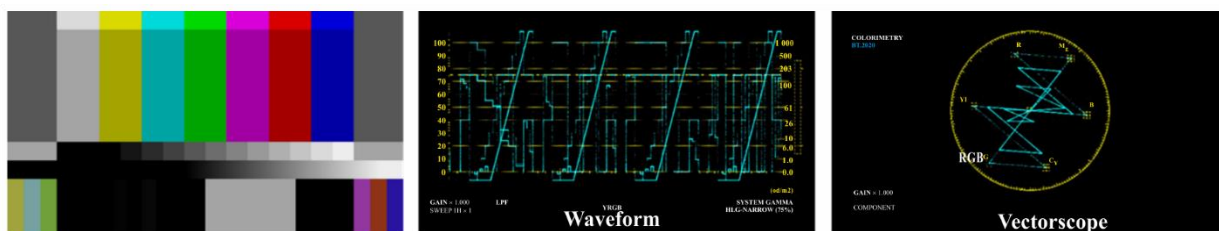
图11展示了如何使用图10所述场景参考转换方法，从HLG/BT.2020转换到SDR/BT.709的色带，这是“SDR到HDR映射（场景参考）”的逆变换。注意该方法不包括色调映射。转换成SDR时，HDR信号使用了硬限幅。在场景参考转换后，BT.709等效色条落在矢量示波器目标之上。

图13展示了如何使用图12中所述显示参考转换方法，从HLG/BT.2020转换到SDR/BT.709的色带，这是“没有伽马调整的SDR到HLG映射（显示参考）”的逆变换。注意该方法不包括色调映射。当转换成SDR时，HDR信号使用了硬限幅。与BT.709相当的彩色条落在与矢量示波器目标稍微不同的位置。

表7总结了输入75%HLG和BT.709等效彩条以及转换后的SDR/BT.709彩条的信号电平。等效于BT.709的彩条通过场景参考转换转换为与原始SDR/蓝牙709彩条相同的信号电平。通过场景参考转换得到的SDR色条的一些信号电平与原始SDR色条不完全相同。例如，由于舍入误差，绿色条的信号电平不是（64、940、64）而是（71、939、66）。

图9

HLG/BT.2020彩条及其波形快照和设置为BT.2020色度的矢量示波器



BT.2111-09

图10

从HLG/BT.2020转换到SDR/BT.709的场景参考转换法



注 – 增益设置为75%的HLG相当于100%的SDR。颜色转换矩阵如ITU-R BT.2407号报告“基于线性矩阵变换的BT.2020向BT.709简单转换”的第2节所述。请注意，其他方法可能会导致BT.709彩色量之外的输入信号具有不同的信号电平。

图11

使用场景参考转换及其波形快照和设置为BT.2020色度的矢量示波器将色条转换为SDR/BT.709

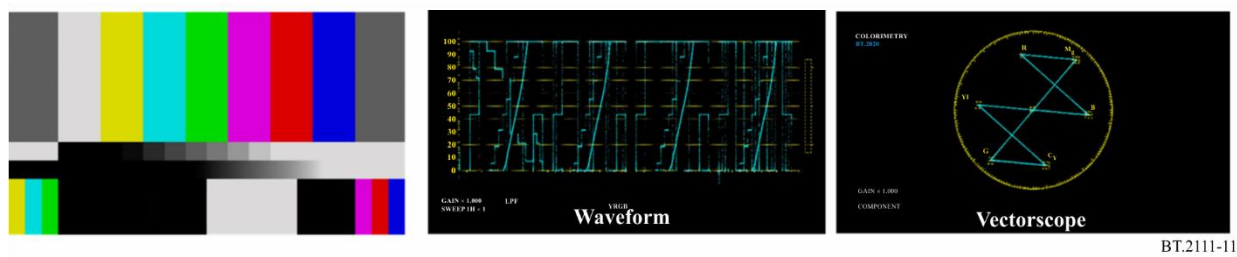


图12

从HLG/BT.2020转换到SDR/BT.709的显示参考转换法



注 – 增益设置为75%的HLG相当于100%的SDR。颜色转换矩阵与图10中的相同。

图13

使用显示参考转换及其波形快照和设置为BT.709色度的矢量示波器将色条转换为SDR/BT.709

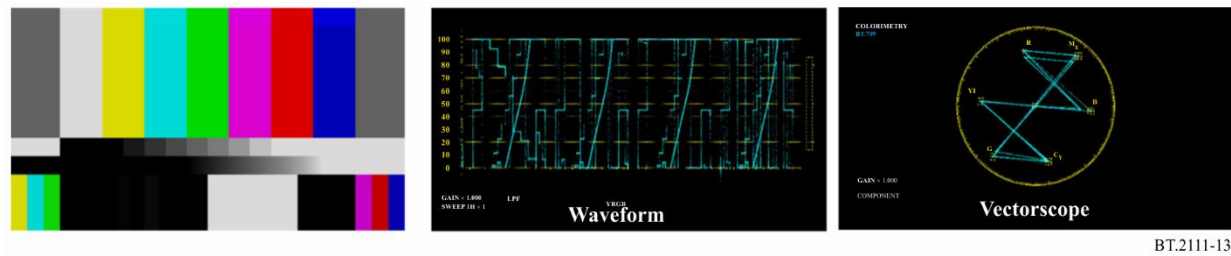


表7

通过图10和12方法转换的输入为75%的HLG和BT.709等效色条
以及输出SDR/BT.709色条的10位信号电平

图像区域	输入信号电平 (HLG/BT.2020, 10位)			输出信号电平 (SDR/BT.709, 10位) (未应用色调映射, 单纯色转换)					
				场景参考转换			显示参考转换		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
75% 白色	721	721	721	940	940	940	940	940	940
75% 黄色	721	721	64	940	940	64	940	939	64
75% 蓝绿色	64	721	721	64	940	940	64	940	924
75% 绿色	64	721	64	64	940	64	64	940	64
75% 品红	721	64	721	940	64	940	940	64	894
75% 红色	721	64	64	940	64	64	940	64	64
75% 蓝色	64	64	721	64	64	940	64	64	789
75% BT.709 黄色	713	719	316	939	940	64	933	934	64
75% BT.709 蓝绿色	538	709	718	64	940	939	64	924	922
75% BT.709 绿色	512	706	296	71	939	66	124	915	99
75% BT.709 品红	651	286	705	940	65	940	854	89	853
75% BT.709 红色	639	269	164	940	64	64	835	64	64
75% BT.709 蓝色	227	147	702	66	64	940	93	64	768
