

高清晰度数字电视技术简介

高清晰度电视（HDTV）是电视技术的最新发展，在此之前电视技术已经经历了从黑白到彩色、从模拟到数字的转变。数字电视技术的发展释放了标清电视（SDTV）技术标准的全部潜力，在不改变电视体系标准的条件下使图像质量比模拟电视有了很大提高。因此在数字电视的基础上要想大幅度提高图像质量就必须改变电视技术标准，增加有效信息量，这就是高清晰度电视。

清晰度（分辨率）的表达方法

由于历史的原因在电视、电影（胶片）以及数字影像等行业表达清晰度（分辨率）的方法是不同的。

电视清晰度的表达方法——线、电视线、带宽、调制度

模拟电视时代摄像管和显像管都是通过扫描线的扫描产生和再现图像，所以当时用“线”或“电视线”表示清晰度。

• 垂直清晰度

电视的垂直清晰度用线数表示，与有效扫描行数有关。在理想的极端条件下垂直清晰度与有效扫描行数相同，在一般情况下垂直清晰度相当于有效扫描行数的50-70%（科尔系数）。

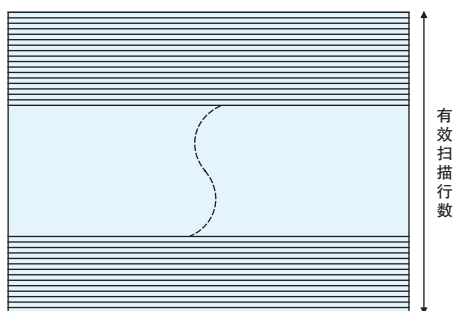


图1. 垂直清晰度

• 水平清晰度 —— 绝对清晰度（线）和相对清晰度（电视线）

绝对清晰度是指在水平方向上实际显示的线条数。例如，在水平方向上显示 400 条线（黑色 / 白色各 200 条）时称水平清晰度为 400 线。

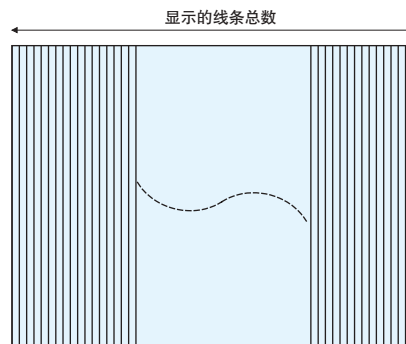


图2. 水平清晰度—绝对清晰度

因为电视画面的宽高比是 4:3，所以在象素尺寸相同的条件下水平方向上能够容纳的象素数量是垂直方向上的 4/3 倍。例如，在线距相同的情况下垂直方向显示 300 条线时水平方向上能够显示 400 条线。为了在同一系统中用相同的度量方法表示不同方向上的清晰度，在电视技术中把画面宽高比与水平方向上显示线条数的乘积称为“电视线”。例如，在水平方向上显示 400 条线时称水平清晰度为

$$400 \times 3/4 = 300 \text{ 电视线}$$

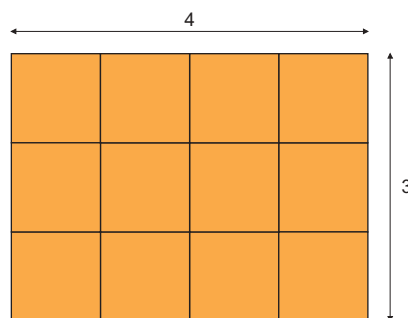


图3. 水平清晰度—相对清晰度

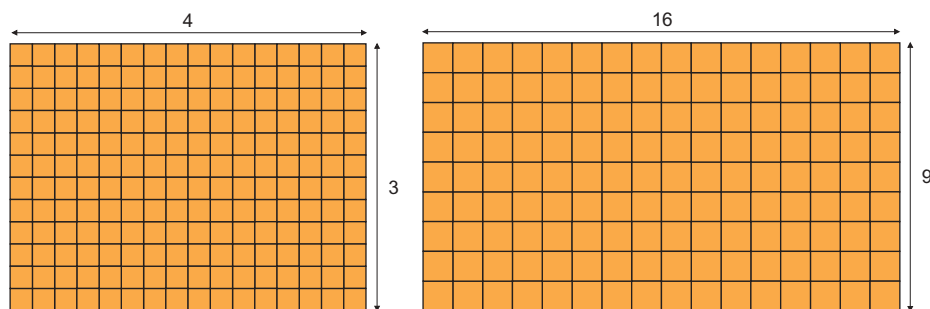


图4. 宽高比不同时相对清晰度也不同

因为用电视线概念表达的水平清晰度是相对值，所以在显示线条数量相同的情况下画面宽高比不同时水平清晰度的电视线数是不同的。例如，同样在水平方向上显示 400 条线时如果画面宽高比是 16 : 9 则水平清晰度为

$$400 \times 9/16 = 225 \text{ 电视线}$$

• 带宽与调制度

电视的水平清晰度还可以用带宽或调制度表示。带宽与调制度是频率与电平（幅度）之间的函数关系，是 MTF（调制传输函数）在电视技术中的专用表述。

带宽是在约定电平值的位置计量频带宽度，例如 3dB 带宽就是以最大值作为 0dB 时电平下降 3dB 处的频带宽度。电视技术中经常使用的带宽有三种，即 0dB 带宽，-1dB 带宽和 -3dB 带宽。

调制度是在约定频率点的位置计量电平值，例如标清摄像机就是以 0.5MHz 的输出幅度作为参考电平，5MHz 频率点的输出电平与参考电平之比即为调制度，用百分比表示。

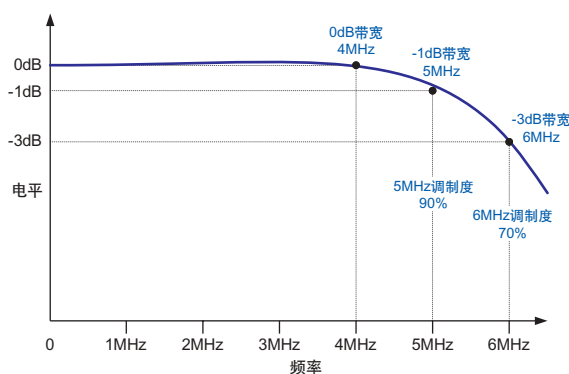


图5. 某电视系统的幅度—频率特性

• 电视信号传输带宽与水平清晰度的关系

标准清晰度电视 (ITU R BT.601-5) 在水平方向上显示 400 条黑色和白色线条相当于在一行的有效扫描期间 (53.3 微秒) 内使正弦波变化 200 次：

$$200 \text{ 个周期} / 53.3 \text{ 微秒} = 3.75 \text{ MHz}$$

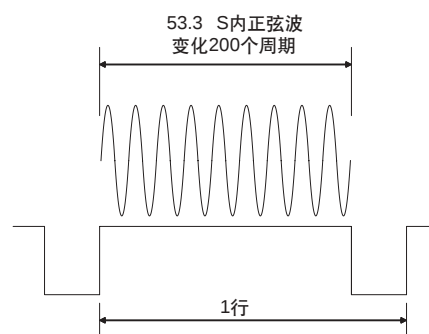


图6. 电视信号传输带宽与水平清晰度的关系—标清

标准清晰度电视画面宽高比为 4:3 时在水平方向上显示 400 条黑白线称水平清晰度为 400 线或 300 电视线，每 1 MHz 带宽相当于

$$300 \text{ 电视线} / 3.75 \text{ MHz} = 80 \text{ 电视线} / 1 \text{ MHz}$$

$$400 \text{ 线} / 3.75 \text{ MHz} = 107 \text{ 线} / 1 \text{ MHz}$$

标准清晰度电视亮度信号的 0dB 传输带宽最大为 6 MHz，相当于水平清晰度

$$6 \text{ MHz} \times 80 \text{ 电视线} / 1 \text{ MHz} = 480 \text{ 电视线}$$

$$6 \text{ MHz} \times 107 \text{ 线} / 1 \text{ MHz} = 640 \text{ 线}$$

重现 720 线需要的带宽为

$$720 / 107 = 6.75 \text{ MHz (取样频率 } 13.5 \text{ MHz 的 } 1/2)$$

(说明：ITU R BT.601-5 规定的标清亮度信号 0dB 带宽为 5.75MHz，但实际产品的 0dB 带宽大多为 6MHz)

高清晰度电视 (ITU-R BT.709-5) 在水平方向上显示 400 条黑色和白色线条相当于在一行的有效扫描期间 (25.858 微秒) 内使正弦波变化 200 次

$$200 \text{ 个周期} / 25.858 \text{ 微秒} = 7.734 \text{ MHz}$$

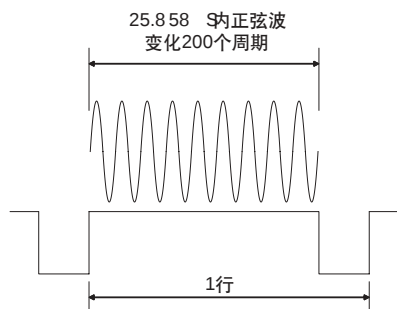


图7. 电视信号传输带宽与水平清晰度的关系—高清

高清晰度电视画面宽高比为 16:9, 在水平方向上显示 400 条黑白线称水平清晰度为 400 线或 225 电视线, 每 1 MHz 带宽相当于

$$225 \text{ 电视线} / 7.734 \text{ MHz} = 29 \text{ 电视线} / 1 \text{ MHz}$$

$$400 \text{ 线} / 7.734 \text{ MHz} = 52 \text{ 线} / 1 \text{ MHz}$$

高清晰度电视亮度信号的 0dB 传输带宽最大为 30 MHz, 相当于水平清晰度

$$30 \text{ MHz} \times 29 \text{ 电视线} / 1 \text{ MHz} = 870 \text{ 电视线}$$

$$30 \text{ MHz} \times 52 \text{ 线} / 1 \text{ MHz} = 1550 \text{ 线}$$

重现 1920 线需要的带宽为

$$1920 / 52 = 37.125 \text{ MHz} \quad (\text{取样频率 } 74.25 \text{ MHz 的 } 1/2)$$

电影胶片清晰度的表达方法——线对

胶片采用每毫米线对 (Line Pair/mm) 表示清晰度。需要注意的是, 电视与胶片对清晰度的定义有所不同。在胶片技术中 400 线清晰度是指 400 线对 (Line Pair), 显示 400 线对也就是 800 条线, 而在电视技术中 400 线清晰度是指显示 400 条线, 即 200 线对。

数字影像清晰度的表达方法——像素

数字影像 (如数码相机等) 和计算机图形处理采用像素表示清晰度, 像素是组成图像的最小单位。表现彩色图像需要 RGB 或 Y/B-Y/R-Y 三个独立的分量, 因此每个像素实际上都是由 3 个单色像素组成的。

目前数字电影和数字电视的摄像和显像也都采用了有限像素的器件如 CCD、CMOS、LCD、PDP、DLP 等, 因此不论是数字影像还是电影、电视都可以用像素表达

清晰度。例如, 标清数字电视的清晰度可以表示为 720x480 (525@60Hz) 或 720x576 (625@50Hz), 每帧画面的像素数量分别为 34 万和 41 万。高清数字电视的清晰度可以表示为 1920x1080 或 1280x720, 每帧画面的像素数量分别为 207 万和 92 万。

电视信号的数字化

包括电视信号在内的各种信息的原始形态都是模拟的, 电视信号的数字化就是把在时间轴和电平轴上连续变化的模拟电视信号在时间轴和电平轴上离散化, 即用有限的取样点和有限的电平阶去表现在时间和电平上无限变化的模拟信号。

取样

取样就是把电视信号在时间轴上离散化, 用有限像素表现无限清晰的景物。根据尼奎斯特定理, 只要了解了取样频率 (单位时间内的取样点数) 就知道了该系统能够传输信号的带宽, 也就是清晰度。

看电影相当于隔着一个巨大的旋转扇叶观看实际的景物, 观众看到的只是在两个扇叶之间未被遮挡的画面, 当旋转的扇叶挡住眼睛的时候观众什么都看不到。这实际上也是一种取样, 这个取样就是用有限数量的静止画面表达在空间上连续运动的景物。

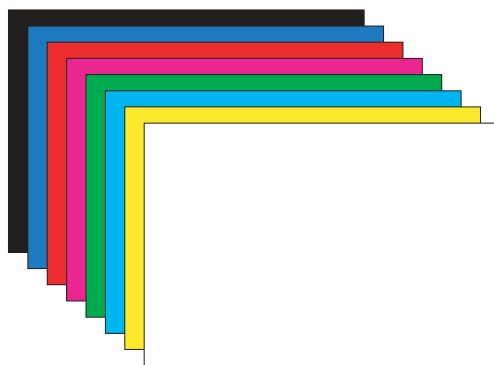


图8. 胶片电影

与看电影类似，看电视时也相当于隔着一个旋转的扇叶观看景物，扇叶的旋转速度就是场频或帧频。与看电影不同的是看模拟电视时在旋转扇叶的后面还增加了一个固定不动的帘子，帘子的缝隙相当于扫描线，观众只能看到帘子缝隙间的景物，被帘子挡住的部分是看不到的，帘子的缝隙数量越多相当于扫描线越多，图像的垂直清晰度就越高。扫描也是一种取样，这个取样就是在垂直方向上对两维空间画面离散化，用有限数量的水平扫描线表达完整的静止画面。

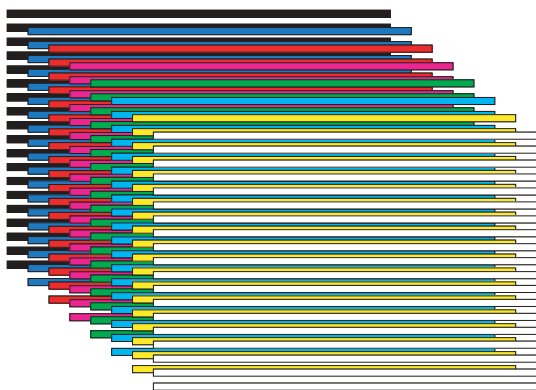


图9. 模拟电视

电视信号数字化后原来在时间轴上连续变化的每行信号被离散化成了有限的取样点，因此如果说看模拟电视是相当于隔着一个旋转的扇叶和帘子观看景物的话，那么看数字电视就相当于隔着一个旋转的扇叶和筛子观看景物了。筛子水平方向上的孔越多相当于取样点越多也就是取样频率越高，图像的水平清晰度就越高。

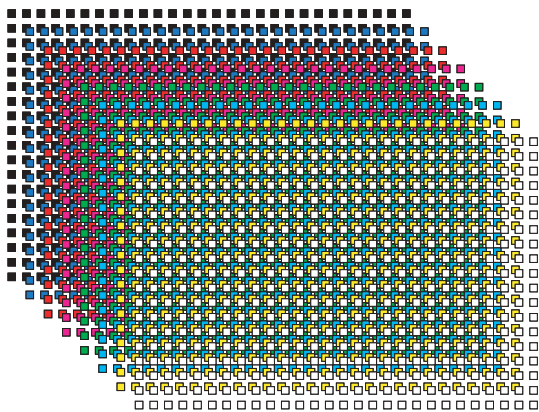


图10. 数字电视

• 正交取样

正交取样是指在每行扫描线上的取样点都处于相同的位置，把这些样点用直线连接起来，连线与扫描线正交。

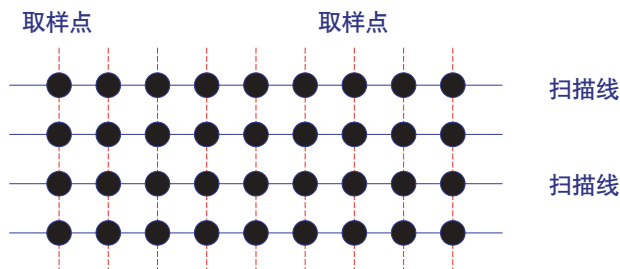


图11. 正交取样

正交取样是图形和图像计算机处理的基础，这种取样结构对人的视觉干扰小，实际上目前所有的演播室分量数字电视标准都采用了正交取样结构。

实现正交取样的条件是取样频率必须是水平扫描频率（行频）的整倍数。

• 方形像素

如果每个像素在水平和垂直方向上的大小是相同的，那么在画面的垂直和水平方向上所能容纳的像素数量之比应该与画面的宽高比相同。方形像素的概念最早是在计算机行业提出并实际应用的，目前计算机行业绝大多数显示标准都符合方形像素原则，例如：

VGA（640x480），SVGA（800x600），XGA（1024x768），UXGA（1600x1200）均符合方形像素原则，只有SXGA（1280x1024）例外。

方形像素有利于图形和图像的计算机处理。早期1125行高清电视标准中有效扫描行数是1035行，为符合方形像素的原则已经将有效扫描行数修改为1080行。

16:9 宽高比高清电视系统均符合方形像素原则，如1920x1080，1280x720。而4:3 宽高比的标准清晰度电视720x576和720x480都不是方形像素。

• 数字电视的取样结构

在数字电视技术中经常用4:2:2、4:2:0等方式表达数字分量电视信号的取样结构，这种表示法的原始含义是亮度与色度信号的取样频率之比。例如在4:2:2中，

4 表示亮度信号的取样频率，2 和 2 表示两个色差信号的取样频率。4 的原始含义是亮度信号的取样频率是彩色副载波的 4 倍即 13.5MHz（NTSC 的付载波频率是 3.58MHz），2 的含义是色差信号的取样频率是副载波的 2 倍即 6.75MHz。

不过近年来这种表示法已经被大大扩展，目前取样结构的表示法不光代表了亮度与色度信号的取样频率之比，还用于表示亮度与色度的清晰度也就是取样点数量的比例。例如标清数字分量信号的 4:2:2 表示每行亮度信号的取样点数量是 720 个，带宽 6MHz，色度信号的取样点数量是亮度信号的一半 360 个，带宽 3MHz。高清数字分量信号的 4:2:2 表示每行亮度信号的取样点数量是 1920 个，带宽 30MHz，色度信号的取样点数量是亮度信号的一半 960 个，带宽 15MHz。

图 12 是 4:4:4（RGB）的取样结构，在 4:4:4 的取样结构中 RGB 的取样点数量（也就是带宽和清晰度）是一样的。

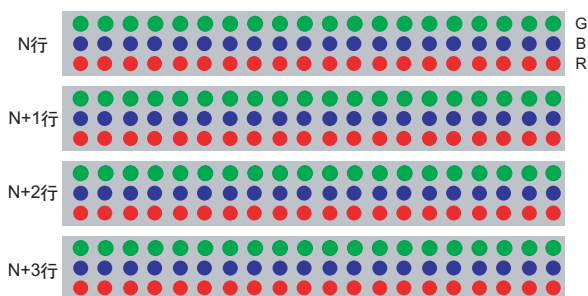


图12. 4:4:4（RGB）的取样结构

为了降低数字电视信号源的码率，电视制作时很少采用 4:4:4 的 RGB 全带宽取样结构，实际使用的大多是 Y/B-Y/R-Y 取样，并对 B-Y/R-Y 色度信号采用了亚取样处理，使其取样点数量少于亮度信号。图 13 示出了 4:2:2 的取样结构，色度信号在水平方向上的取样点数量是亮度信号的 1/2。

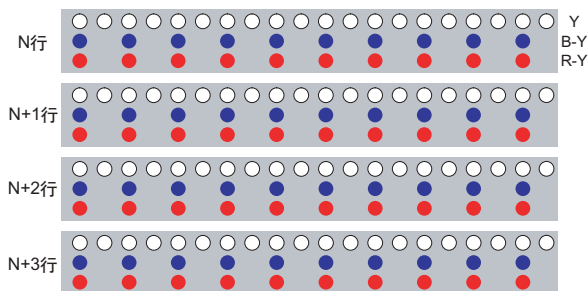


图13. 4:2:2（Y/B-Y/R-Y）的取样结构

在 4:2:2:4 中后面的 4 表示键控信号，其取样点数量与亮度信号相同，4:0:0 表示每行电视信号中只有亮度信号。

图 14 是 4:1:1 的取样结构，色度信号在水平方向上的取样点数量是亮度信号的 1/4。

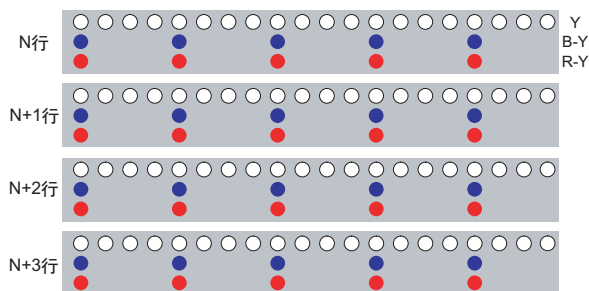


图14. 4:1:1（Y/B-Y/R-Y）的取样结构

4:2:0 表示色度信号的取样点数量在水平和垂直方向上都是亮度信号的 1/2。不过在不同的技术标准中 4:2:0 的色度信号取样结构是不一样的，图 15、图 16 和图 17 分别示出了 MPEG-2、MPEG-1 以及 DVB 的 4:2:0 取样结构。

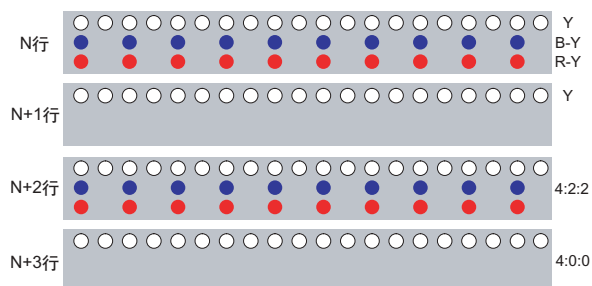


图15. 4:2:0（Y/B-Y/R-Y）的取样结构（MPEG-2）

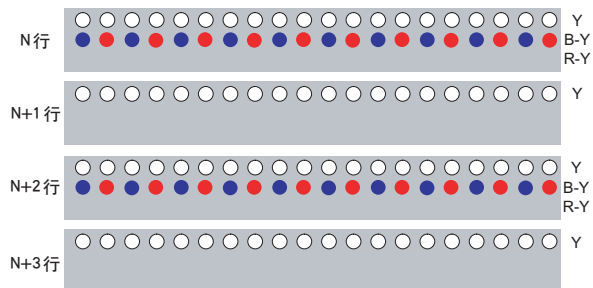


图16. 4:2:0（Y/B-Y/R-Y）的取样结构（MPEG-1）

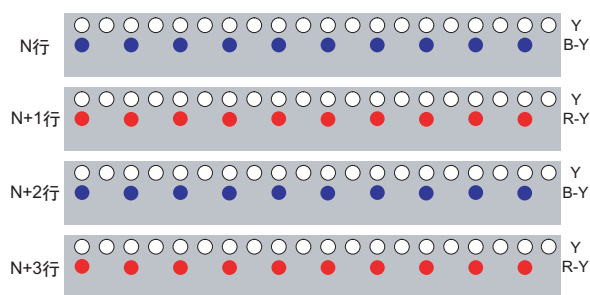


图17. 4:2:0 (Y/B-Y/R-Y) 的取样结构 (DVB)

图 18 是用像素数量表示的标清电视不同取样结构示意图, 图 19 是用相同方式表示的高清取样结构, 图 20 是目前市场上各种实用高清产品的取样结构。

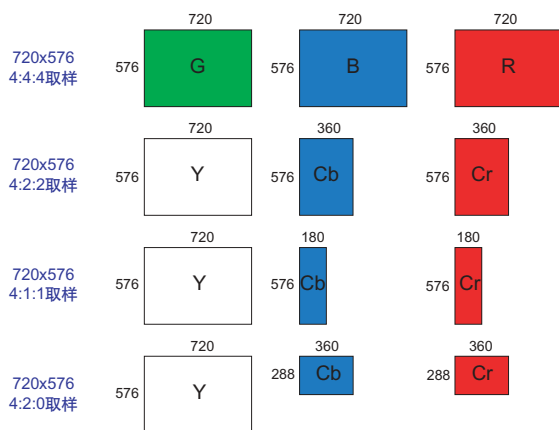


图18. 不同取样结构的清晰度—标清

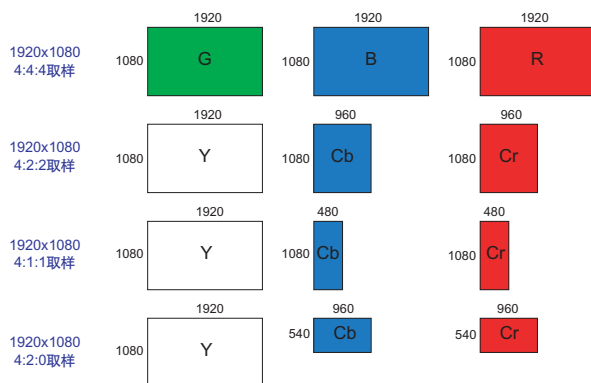


图19. 不同取样结构的清晰度—高清

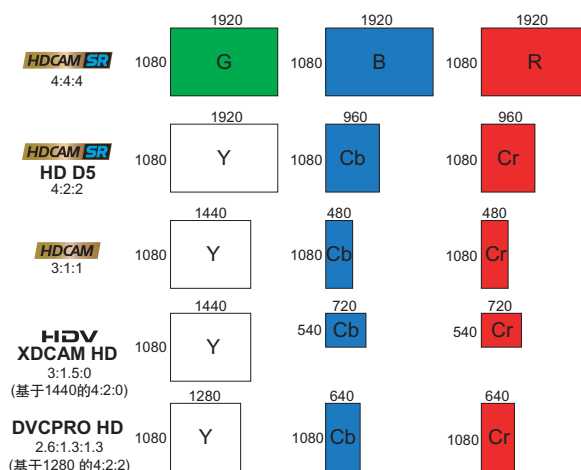


图20. 不同高清记录格式的取样结构 (清晰度)

从图 20 中可以看到 HDCAM 的 3:1:1 和 HDV/XDCAM HD 的 3:1:5:0。HDCAM 是目前市场上广泛使用的高清拍摄 / 制作设备, 每行亮度信号的取样点数量是 1440, 色度信号是 480。如果把 ITU 的高清取样点数量 1920:960:960 称为 4:2:2, 那么很显然可以把 HDCAM 的 1440:480:480 称为 3:1:1。HDV/XDCAM HD 的亮度取样点数量是 1440, 色度为 720, 色度信号垂直方向上的取样点数量是亮度的一半, 仿照 4:2:0 的说法可以称之为 3:1:5:0, 或叫做基于 1440 的 4:2:0。

• 取样结构小结

把 4:4:4 经预滤波、亚取样转变成 4:2:2、4:1:1、3:1:1、4:2:0 或 3:1:5:0 (基于 1440 的 4:2:0) 的目的是用不压缩的方法通过降低彩色分辨率的方式降低数字电视信号的码率。

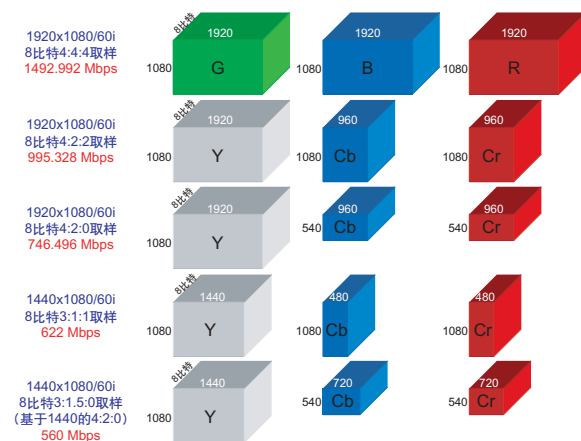


图21. 不同取样结构 (清晰度) 的码率

为了更深入地了解不同取样结构的性能，图 22 至图 26 示出了各种取样结构的图像质量样本。通过对这些样本的分析可以得出结论，4:4:4 适用于最高质量的节目拍摄 / 制作以及复杂特技如高精度色键合成，4:2:2 是电视台高质量节目制作的标准，4:2:0 适用于一点对多点的播出、发行以及无需复杂特技制作的简单编辑。



图22. 不同取样结构的样本比较

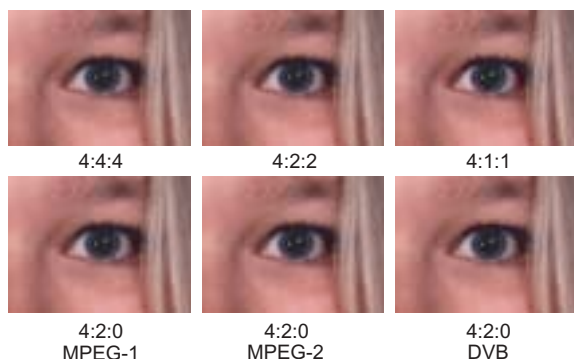


图23. 不同取样结构的样本比较

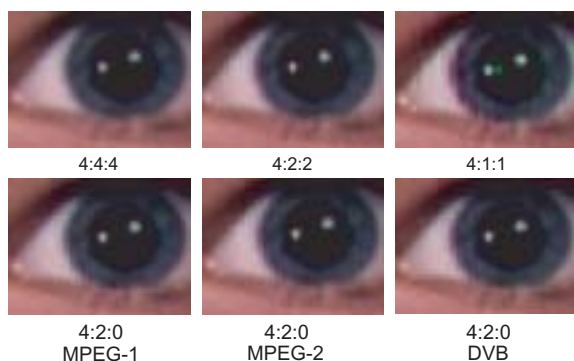


图24. 不同取样结构的样本比较

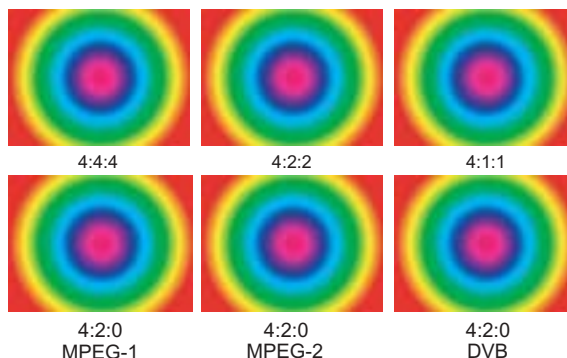


图25. 不同取样结构的样本比较

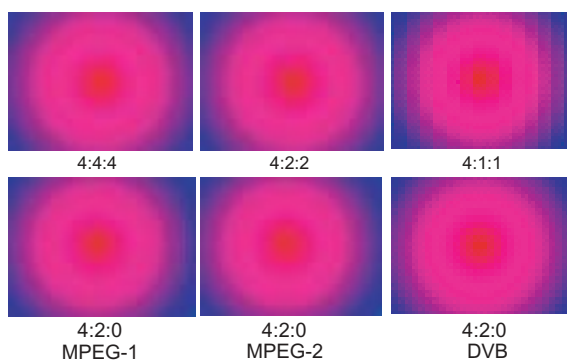


图26. 不同取样结构的样本比较



图27. 不同量化比特的效果

量化

量化就是把电视信号在电平（幅度）轴上离散化，用有限的灰度阶表现无限的灰度。量化的比特越高传输电平的精度越高，只要了解了量化比特数就知道了该系统所能达到的最高信噪比。印刷、数字影像以及电视行业的经验表明，8 比特（256 灰度阶）是再现图像连续灰度的最低要求，低于 8 比特时人眼就会分辨出灰度层级中的灰度差，呈现版画感。高质量记录和制作需要 10 比特（1024 灰度阶）。

数字电视格式的表示法

在不同的文献资料中可以看到很多数字电视格式表示法。

SMPTE 的表示法

在 SMPTE 文件中 1920 x 1080/60/I 表示每行取样点数量 1920，每帧有效扫描行数 1080，60 场隔行扫描。1280 x 720/60/P 表示每行取样点数量 1280，每帧有效扫描行数 720，60 帧逐行扫描。最后的字母 I 表示隔行（Interlace）扫描，P 表示逐行（Progressive）扫描。

EBU 的表示法

在 EBU 文件中 1920 x 1080/I/25（简化表示为 1080/I/25）表示每行取样点数量 1920，每帧有效扫描行数 1080，25 帧（50 场）隔行扫描。1280 x 720/P/50 表示每行取样点数量 1280，每帧有效扫描行数 720，50 帧逐行扫描。中间的字母 I 表示隔行（Interlace）扫描，P 表示逐行（Progressive）扫描。

在 EBU 表示法中最后的数字表示帧频，因此 EBU 的 1920 x 1080/I/25 与 SMPTE 的 1920 x 1080/50/I 含义完全相同，有时容易造成误解。

简化表示法

因为 SMPTE 的表示法比较长，为求简便在很多文件中经常把 SMPTE 表示法简化使用。例如 1920x1080/60/I 表示为 1080/60i，1280 x 720/60/P 表示为 720/60P。

采用简化表示法美国的 NTSC 可表示为 480/60i，欧洲和中国的 PAL 可表示为 576/50i，这是目前使用最多的表示法。

其它表示法

目前数字电视格式并没有统一的表示法，因此在各种文献中也经常可以见到其它的表示法。例如，已知帧/场频时用 1080i、720P 表示有效扫描线数和扫描方式，已知扫描线数时用 50i 或 60P 表示帧/场频和扫描方式。

有些资料用 1080/50/2:1 表示 1080/50i，720/60/1:1 表示 720/60P。有时用 @ 代替 /，如 1080@60i，720@60P。有的文件用扫描线总数代替有效扫描线，如 1125/60i，750/60P，625/50i，525/60i。

欧洲经常用 1080i25 或 1080i/25 表示帧频 25Hz 的隔行扫描，这是从 EBU 表示法简化来的，相当于一般简化表示法的 1080/50i。同样地，在欧洲也经常用 720p50 表示 720/50P。

1080/50i 有时被表示为 1080i50 或 1080i/50Hz。

数字电视信号的码率

码率是在单位时间内系统所能达到的最大数据量。传输数字电视信号时信道设备（如矩阵、光端机等）的带宽必须大于通过该通道的码率。

标准清晰度数字电视信号的码率

在 ITU-R601 数字电视标准中，采用 10 比特量化时亮度信号的码率为

$$\text{取样频率} \times \text{量化比特数} = 13.5 \text{ (MHz)} \times 10 \text{ (Bit)} \\ = 135 \text{ Mbps}$$

2 个色差信号的码率为

$$2 \times 6.75 \text{ (MHz)} \times 10 \text{ (Bit)} = 135 \text{ Mbps}$$

总的码率为

$$\text{亮度信号码率} + \text{色差信号码率} = 135 + 135 = 270 \text{ Mbps}$$

270Mbit/S 是标清数字分量演播室使用的 SDI 接口标准码率。

高清晰度数字电视信号的码率

在 SMPTE 274M 数字电视标准中，采用 10 比特量化时亮度信号的码率为

$$\text{取样频率} \times \text{量化比特数} = 74.25 \text{ (MHz)} \times 10 \text{ (Bit)} \\ = 742.5 \text{ Mbps}$$

2 个色差信号的码率为

$$2 \times 37.125 \text{ (MHz)} \times 10 \text{ (Bit)} = 742.5 \text{ Mbps}$$

总的码率为

$$\text{亮度信号码率} + \text{色差信号码率} = 742.5 + 742.5 = 1485 \text{ Mbps}$$

从上述计算中可以看到，高清晰度电视的码率是标准清晰度电视的 5.5 倍。

1485Mbps 是高清晰度数字分量演播室使用的 HD-SDI 接口标准码率。

数字电视信号的有效码率

有效码率（视频有效码率）是在单位时间内与视频信号有关的数据量。因为在电视信号的水平垂直消隐期间内没有视频信息，所以有效码率一般只是码率的 60-80%。使用磁带、硬盘或光盘存储数字视频信号时可以只记录有效码率代表的视频信息。

标准清晰度数字电视信号的有效码率

在 ITU-R601 数字电视标准中，采用 8 比特量化时 480/60i (NTSC) 亮度信号的有效码率为

$$\text{每行的取样点数} \times \text{有效扫描行数} \times \text{量化比特数} \times \text{帧频} \\ = 720 \times 480 \times 8 \times 30 = 82.944 \text{ Mbps}$$

2 个色差信号的有效码率为

$$2 \times 360 \times 480 \times 8 \times 30 = 82.944 \text{ Mbps}$$

总的有效码率为

亮度信号有效码率 + 色差信号有效码率

$$= 82.944 + 82.944 = 165.888 \text{ Mbps (480/60i)}$$

576/50i (PAL) 总的有效码率为

$$720 \times 576 \times 8 \times 25 \times 2 = 165.888 \text{ Mbps (576/50i)}$$

从上述计算可以看到由于 480/60i 的有效扫描行数少场频高而 576/50i 的有效扫描行数多场频低，实际上两种信号的有效码率是相同的。

高清晰度数字电视信号的有效码率

在 SMPTE 274M 数字电视标准中，采用 8 比特量化时 1080/60i 信号格式亮度信号的有效码率为

$$1920 \times 1080 \times 8 \times 30 = 497.664 \text{ Mbps}$$

2 个色差信号的有效码率为

$$2 \times 960 \times 1080 \times 8 \times 30 = 497.664 \text{ Mbps}$$

总的有效码率为 $2 \times 497.664 = 995.328 \text{ Mbps (1080/60i)}$

1080/50i 信号格式的有效码率为

$$1920 \times 1080 \times 8 \times 25 \times 2 = 829.44 \text{ Mbps (1080/50i)}$$

因为 ITU 推荐的高清晰度电视标准无论帧频高低每帧内的有效扫描行数和每行内的有效取样点数相同，所以 1080/60i 的有效码率是 1080/50i 的 1.2 倍。与标准清晰度电视相比 1080/60i 的有效码率是 480/60i (NTSC) 的 6 倍，1080/50i 的有效码率是 576/50i (PAL) 的 5 倍。

NTSC 国家和地区的 59.94i

由于历史的原因电视的场或帧频一般都是与当地电网频率相同的。在电源频率为 60Hz 的美国播出黑白电视时其场频也是 60Hz，与电网频率相同，但开始 NTSC 彩色电视广播后其场频改为 59.94Hz，降低了千分之一。改变场频的原因是 NTSC 的彩色副载波频率采用了 1/2 行频间置，为了避免彩色副载波与亮度信号和音频载波之间的相互干扰，各种频率之间必须满足下述关系：

- 彩色副载波是二分之一行频的整倍数（1/2 行频间置）
- 音频载波是行频的整倍数

为满足 NTSC 彩色信号与原黑白电视信号的兼容性要求，音频载波频率 4.5 MHz 不能更改，因此

- 行频取 $4.5 \text{ MHz} / 286 = 15,734 \text{ Hz}$ （与黑白电视的 15,750 Hz 相近）
- 帧频取 $15734 / 525 = 29.97 \text{ Hz}$ （与黑白电视的 30 Hz 相近）

- 场频取 $29.97 \times 2 = 59.94 \text{ Hz}$ （与黑白电视的 60 Hz 相近）
- 所有频率均同比下降千分之一（ $F / 1.001$ ）

在采用 NTSC 的国家和地区（如美国和日本）为满足标准清晰度与高清晰度电视信号相互转换的要求，高清晰度电视采用了与 NTSC 相同的场频 59.94Hz ，因此与 60Hz 相比所有相关频率均同比下降千分之一，例如

- 取样频率由 74.25 MHz 下降为 $74.25 \text{ MHz} / 1.001 = 74.176 \text{ MHz}$
- 行频由 67.5 KHz 下降为 $67.5 \text{ KHz} / 1.001 = 67.433 \text{ KHz}$
- 场频由 60 Hz 下降为 $60 \text{ Hz} / 1.001 = 59.94 \text{ Hz}$

频率降低了千分之一后应称为 59.94i ，但习惯上仍经常称为 60i 。与 NTSC 相同，编辑 $1080/59.94\text{i}$ 格式的高清晰度信号时需按失落帧方式处理。

在 NTSC 国家和地区进行电影 / 电视转换时由于 60i 的场频降低了千分之一，与此相对应 24P 的帧频也降低为 23.976 Hz ，但用于电影制作时仍然采用 24P 而非 23.976P 。

逐行扫描和隔行扫描

电视采用扫描的方法把二维静止画面分解成若干行一维的扫描线，构成一幅完整画面的全部扫描线叫电视帧。最简单的扫描方式是逐行扫描，每帧图像由电子束顺序地一行接着一行连续扫描而成，下一帧扫描线的位置与上一帧完全相同。为了在有限的带宽资源条件下提高图像刷新率，模拟电视采用了 $2:1$ 隔行扫描。 $2:1$ 隔行扫描是把一帧电视画面分两次交错扫描，下一场扫描线的位置与上一场相差一行，在空间上两个相邻电视场的扫描线位置相隔一行。

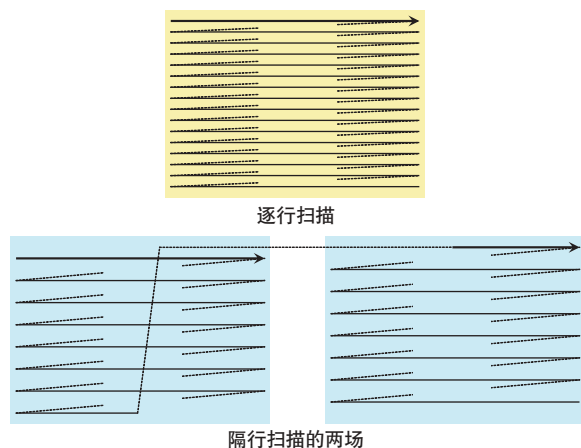


图28. 逐行与隔行扫描

逐行扫描的优点是有利于图形和图像的计算机处理，没有隔行扫描所特有的场间闪烁感，长时间观看眼睛不易疲劳，它的缺点是与相同垂直扫描频率的隔行扫描方式相比数据量大一倍。目前数字电影的拍摄和放映、计算机显示以及部分数字电视的制作和播出采用逐行扫描。隔行扫描的优点是与相同垂直扫描频率的逐行扫描方式相比数据量只有逐行的一半，缺点是场间闪烁感觉明显，不利于图形和图像的计算机处理，长时间观看眼睛容易疲劳。

与标清时代隔行扫描一统天下的局面不同，高清电视从诞生之日起就采用了逐行与隔行两种扫描方式。高清电视采用逐行扫描拍摄和制作的原因之一是拍摄和显示器件的逐行化。近年来随着显示屏幕尺寸的扩大，显像管类的传统显示器件正在逐步让位给等离子显示屏（PDP）和液晶显示屏（LCD）这样的平板显示器件，采用 LCD 或 DLP 芯片的投影显示设备也有了长足的发展。显像管的光栅是通过电子束扫描形成的，这种灵活的扫描寻址方式不需要逐一驱动每个像素，因此既适用于隔行也适用于逐行显示。PDP、LCD、DLP 的图像显示原理与显像管完全不同，他们是有限像素的面阵列显示器件，这种采用 XY 寻址的显示方式需要逐一驱动每个像素单元，不论输入信号是何种扫描方式也不论他们的清晰度高低都要被转换成与显示面板物理像素数量相同的清晰度显示，因此这类新型的平板显示器件更适于显示逐行扫描信号。实际上采用 PDP、LCD、DLP 等器件的电视显示的都是逐行扫描图像，即使输入的是隔行扫描信号也会在显示驱动电路中转换成逐行扫描。因此，也可以把 PDP、LCD、DLP 等称为逐行扫描显示器件。如果在拍摄、制作和显示等环节都采用逐行扫描方式，就可以避免信号的隔行、逐行转换带来的图像质量损失。

Psf—逐行分段传输

逐行扫描信号的传输方式有两种，一种是一帧一帧地传输逐行扫描信号，另一种是把一帧逐行扫描的电视信号分成奇数场和偶数场分别传送，即 Progressive segmented frame - 逐行分段传输，缩写为 Psf。Psf 是一种用隔行扫描接口传送逐行扫描信号的传输方式，由于 Psf 的信号传输结构与隔行扫描相同，因此采用 Psf 传输可以使逐行扫描信号与大部分只支持隔行扫描格式的记录、制作和显示设备兼容。例如用 1080/25P 拍摄的图像如果采用逐行扫描的 25P 传输，只有少数带有 25P 逐行传输接口的记录、制作和显示设备才能接收并处理这种逐行扫描信号；而采用 25Psf 传输时所有支持 1080/50i 的录像机、切换台和监视器等隔行设备都可以把 25Psf 当作 50i 直接记录、处理和显示。如果接收端的逐行设备也支持 Psf 传输方式，那么在接收端通过 Psf 接口就可以把分成两场传输的逐行扫描信号合成成一帧。同样地，所有支持 1080/60i (1080/59.94i) 的隔行设备也可以用于 1080/30Psf (1080/29.97Psf) 逐行信号的传输、记录和显示。

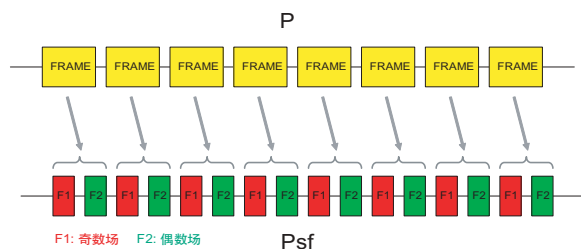


图29. Psf-逐行分段传输

Psf 与隔行扫描信号的不同之处在于，逐行的 Psf 每帧取样一次得到一帧画面，再把这一帧分成两场分别传送，在接收端这两场仍然可以合成为一个完整的帧；隔行扫描每帧取样两次，即每场取样一次，但这两场是在不同的时间取样得到的，在拍摄运动图像时由于两场的取样时间不同所以这两场图像在空间上是不能完全重合的，因此拍摄活动画面时不能把隔行扫描得到的两场合成成一帧完整的画面。

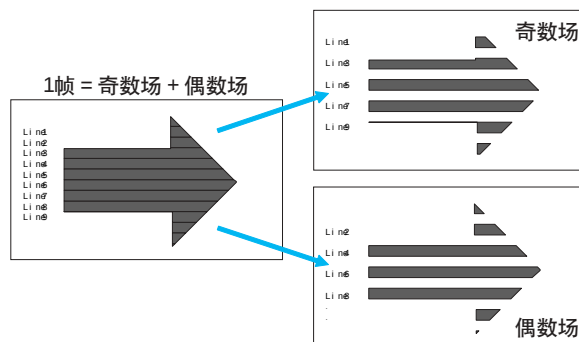


图30. 逐行Psf传输-每帧取样一次分成两场传输

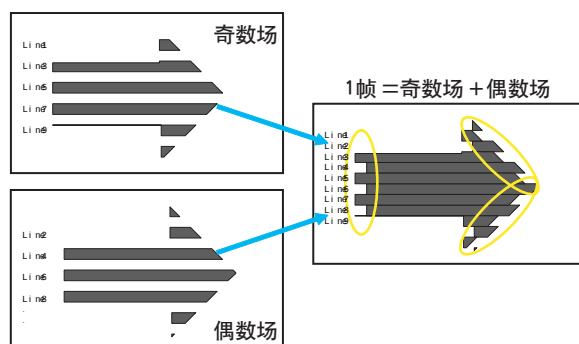


图31. 隔行扫描-每帧取样两次无法再合成为一帧

配置了 Psf 接口的设备能够用 Psf 方式输入 / 输出逐行扫描信号，不过它不能接收或传送非 Psf 即不分段的逐行扫描信号，而配置了逐行扫描传输接口的设备只能输入 / 输出不分段的逐行扫描信号，它们不能与带有 Psf 接口的设备交换逐行扫描节目。

用于制作和交换的逐行扫描格式

- 1080/24P-1920x1080/24P 和 1920x1080/23.976P, 简称 24P, 数字电视的制作、交换格式之一。

因为 24P 与每秒 24 幅画面的电影胶片具有天然的亲和力, 24P 主要用于数字电影的拍摄、制作以及节目交换。24P 拍摄的数字版节目可以转换成胶片在普通影院里放映, 还可以下变换至 480/24P 压缩成逐行扫描的 MPEG2 文件用于 DVD 发行。此外, 在北美地区传统上用胶片拍摄的黄金时段电视剧和广告等类节目也越来越多地被 24P 数字拍摄所替代。

由于每秒 24 次的刷新频率太低, 24P 只适用于节目制作和交换而不能直接用于播出。在 60Hz 电源的国家和地区 24P 的节目可以通过 3-2 下拉变换和下变换得到 60 场的 1080/60i 和 480/60i (NTSC) 隔行扫描信号, 这种下拉变换与把每秒 24 幅胶片画面转换成 60 场电视信号时的处理完全相同。实际上 24P 有两种版本, 一种是电影行业采用的 24P, 另一种是用于电视制作的 23.976P。23.976P 经过 3-2 下拉变换后的场频就是 59.94Hz, 不过由于习惯的原因仍然经常把这种 23.976P 称为“24P”。

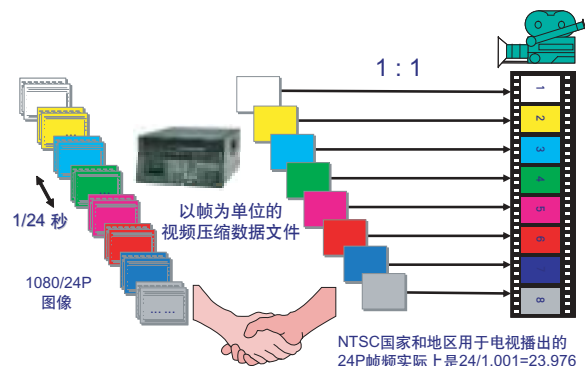


图32. 24P电影电视转换

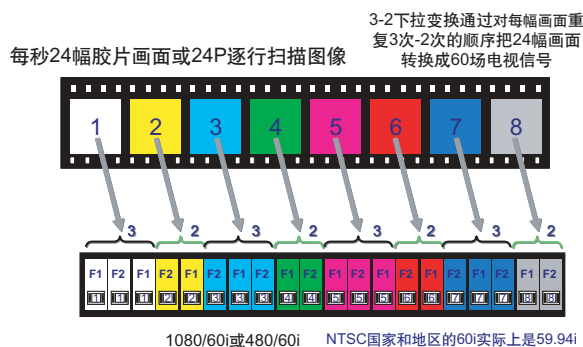


图33. 3-2下拉变换（2-3下拉变换）

有三种方法可以显示 24P 逐行扫描信号, 一种是采用 Psf 的传输方式把 24 帧的逐行信号转换成 48 场的隔行信号显示 (即 24Psf), 不过由于 48Hz 的刷新频率低于人眼闪烁感阈值 50Hz, 观看这种 48i 的隔行图像时因闪烁感太强眼睛极易疲劳; 第二种方法是把 24P 经过 3-2 下拉变换转换成 60 场隔行扫描信号显示; 最好的方法是 3 倍帧频显示, 即在专用的监视器内用数字处理的方法把每帧逐行扫描的画面重复显示 3 次, 这样在监视器上显示的就是 72P 的逐行扫描图像, 既提高了显示质量又消除了闪烁感。

- 1080/25P - 1920x1080/25P, 数字电视的制作、交换格式之一。

25P 的应用范围与 24P 几乎完全相同, 其区别是 24P 主要应用于 60Hz 的国家和地区而 25P 主要应用于 50Hz 的国家和地区, 这是因为 1080/25P 的逐行扫描信号可以很容易地通过 Psf 传输方式转换成 1080/50i (即 25Psf) 的高清隔行信号或下变换成 576/50i (PAL) 的标清隔行信号播出, 还可以下变换至 576/25P 压缩成逐行扫描的 MPEG2 文件用于 DVD 发行。

25P 的显示方法有两种, 除了上述采用 Psf 的传输方式把 25P 转换成 50i (即 25Psf) 的隔行显示外更好的方法是倍帧频显示, 即用数字处理的方法把每帧逐行扫描的画面重复显示 2 次或 3 次, 这样在监视器上显示的就是 50P 或 75P 的逐行扫描图像。

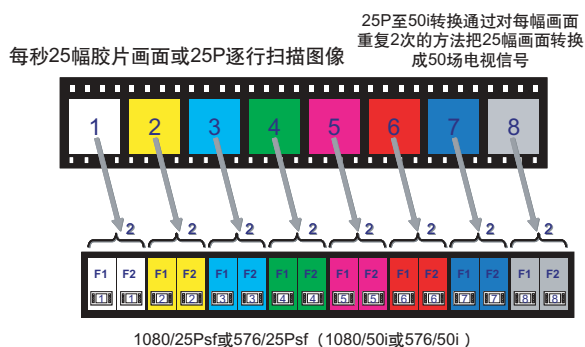


图34. 25P至50i（25Psf）转换

- 1080/30P - 1920x1080/29.97P, 数字电视的制作、交换格式之一。

30P 主要是在 60Hz 的国家和地区用于高清晰度数字电视节目制作和交换, 完成的 1080/30P 逐行节目可以很容易地通过 Psf 传输方式转换成 1080/60i (即 30Psf) 的高清隔行信号或下变换成 480/60i (NTSC) 的标清隔行信号直接用于播出。

30P 的显示方法也有两种,即用 Psf 的传输方式把 30P 转换成 60i 的隔行显示以及用数字处理的方法 2 倍帧频显示 60P 的逐行扫描图像。

通过上述说明可以看到,在美国采用 1080/60i 作为传输(播出)格式的电视台其制作格式有三种:逐行扫描 1080/24P 和 30P,以及隔行的 1080/60i。一般来说用于交换和发行的电影、黄金时段电视剧、专题节目采用逐行 24P 或 30P 制作,而新闻特别是体育节目、直播则采用隔行扫描的 60i。同样地,在中国采用 1080/50i 播出格式的条件下制作格式既可以用隔行的 1080/50i 也可以用逐行的 1080/25P。

扫描格式的转换

在实际工作中有时需要把不同垂直扫描频率、不同扫描格式的素材相互转换,尽管在市场上已经有支持各种高清扫描格式互转的产品供货,但这些转换器的价格不菲,转换质量也受到各种因素的限制。利用现有的高清录像机可以实现一些比较简单的扫描格式转换,经过这种简单转换的图像质量与转换前没有差别。

• 24P 与 25P 的相互转换

采用索尼高清录像机可以实现 24P 与 25P 的相互转换。例如需要把 24P 的磁带素材转换成 25P 时只要把 HDCAM 或 HDCAM SR 录像机的系统设置成 25P,录像机就会加快重放速度把 24P 磁带按每秒 25 格的速度重放。因为重放速度加快所以重放素材的时间会缩短 4%,100 分钟的节目变成了 96 分钟。

重放速度的变化会造成音频取样频率的变化,因此数字音频输出的音质可能会受到影响(间或有很小的噼啪声),可以使用模拟音频输出。

同理把 HDCAM 或 HDCAM SR 录像机的系统设置成 24P 可以实现 25P 至 24P 的转换,但由于重放速度变慢所以重放素材时间会增加 4%,100 分钟节目变成了 104 分钟。

• 23.976P 与 24P 的相互转换

与上述操作方式相同,把 HDCAM 或 HDCAM SR 录像机的系统设置成 24P 时就可以把 23.976P 的素材重放成 24P,因为速度加快了 1/1000 所以节目时间会缩短 1/1000。反之也可以通过把录像机系统设置成 23.976P 的方法把 24P 的素材重放成 23.976P,节目时间会增加 1/1000。

• 23.976P (24P) 至 59.94i (60i) 转换

把 24P 的逐行扫描信号转换成 60i 就是所谓 3-2 下拉变换。有些型号的索尼录像机可以选装下拉变换板,还有的型号已经内置了下拉变换功能,把具有下拉变换功能录像机的系统设置成 23.976P 时就可以在转换输出接口输出 59.94i 的隔行扫描信号。

• 25P (或 24P) 至 50i 转换

前面已经谈到把 25P 转换成 50i 实际上就是把 25P 用 25Psf 传输,这只是信息的分拆传输,非常简单。只要把索尼录像机系统设置成 25Psf 或 50i,就可以把 25P 的素材输出成 25Psf 或 50i 信号了。25Psf 可以被所有支持 50i 的设备当作隔行信号接收,不过如果接收端支持 25Psf 的话就会被识别成 25Psf。同样地,系统设置成 25Psf 或 50i 的录像机也可以把 24P 或 23.976P 的磁带重放成 50i。与 24P (23.976P) 转换成 25P 的情况相同,因为重放速度加快所以重放素材的时间会缩短 4%。

从信号处理的过程来看从逐行向隔行的转换是信息的分拆传输或减少的过程,处理简单容易,不会造成图像质量的损失。而从隔行向逐行的转换需进行增加信息的内插(Interpolation)处理,不论采用多么昂贵的设备转换后的图像质量都不如原始拍摄的逐行信号好,因此除非必要应该尽量避免隔行至逐行的转换处理。

拍摄建议

因为 24P、25P 和 30P 每秒拍摄的画面数量只有 50i 或 60i 的一半,所以在拍摄推、拉、摇、移这类运动镜头时会出现与电影胶片拍摄相同的抖动现象,其表现是画面中的物体移动不够平滑。对已经习惯了隔行电视拍摄的摄影师来说,采用传统电视摄像机操作方式拍摄 24P、25P 时由于镜头推、拉、摇、移的速度过快,拍摄的运动镜头画面会出现明显的抖动现象,看起来很不舒服。已经习惯于胶片拍摄的电影摄影师可以很容易地过渡到 24P、25P 数字拍摄,而对于没有拍摄过胶片电影的电视摄影师来说必须学习使用拍摄胶片电影的方法才能拍好 24P、25P。

24P、25P 逐行扫描主要用于拍摄数字电影或可能转换成胶片放映的节目。此外,由于 24P、25P 已经成为国际电视节目销售和交换市场上的主要高清扫描格式,建议准备用于国际交流的高清节目(如高清文献类纪录片等)也采用 24P 或 25P 拍摄,只用于电视播出的节目采用 50i 或 60i 隔行拍摄。

HD- SD高清晰度串行数字分量接口

高清晰度数字电视使用符合 SMPTE 292M 标准的串行数字分量接口传输数字分量电视信号及其内嵌的多路数字音频信号和辅助数据，其取样频率为 74.25 MHz，量化电平 10 比特，码率 1485 Mbps，可以传输的高清数字电视信号格式见表 1。与符合 SMPTE 259M 的标清串行数字接口 SDI 一样，HD-SDI 的通道编码也采用了对相位不敏感的归零反相扰码（NRZI），即在接收端检测到信号电平变化时为 1，信号电平不变时为 0。HD-SDI 使用 75 欧姆 BNC 连接器和 75 欧姆同轴电缆，用 8281 电缆时最大传输距离 100 米。

信号格式	传输方式	有效视频码率（10比特）
1080/60i	1080/60i	1244.16Mbps
1080/30P	1080/30P	
	1080/30Psf	
1080/50i	1080/50i	1036.8Mbps
1080/25P	1080/25P	
	1080/25Psf	
1080/24P	1080/24P	995.328Mbps
	1080/24Psf	
720/60P	720/60P	1105.92Mbps

注：除表中列出的60i、30P、24P和60P外实际使用的还有比这几个频率低1/1000的垂直扫描频率，其码率比表中列出的值降低1/1000，行频、帧频以及取样频率也降低了1/1000

表1. HD-SDI接口（单链接）传输的信号格式

由于 HD-SDI 能够传输的最高码率是 1485 Mbps 也就是通常所说的 1.5Gbps，因此超过 1485 Mbps 码率的信号如 4:4:4 高清 RGB 全带宽信号（1866.24Mbps）或 1080/50P、1080/60P（2488.32Mbps）逐行扫描信号必须采用两条 HD-SDI 电缆传输，这就是 SMPTE 372M 标准的“双链接”传输方式。

为了实现用一条电缆“单链接”传输 4:4:4 或 1080/60P 信号的目标，SMPTE 完成了可以传输 3Gbps 码率的 HD-SDI 串行数字接口的标准化文件 SMPTE 424M，不过目前还没有支持 3Gbps 码率 HD-SDI 接口的产品供货。

高清与标清电视的差别

高清与标清电视的差别主要体现在宽高比、清晰度、色域以及亮度方程等方面。

高清晰度电视标准

表 2 至表 6 分别示出了国际电信联盟（ITU）、美国电影电视工程师协会（SMPTE）、欧洲广播联盟（EBU）以及中国国家广电总局有关高清晰度电视技术标准的部分内容。

每行有效样点数	1920
每帧有效扫描行	1080
取样结构	正交取样
像素形状	方形像素
画面宽高比	16 : 9
每帧扫描行数	1125行（原1250行标准已经取消）
垂直扫描类型	逐行或2:1隔行扫描
垂直扫描频率（逐行）	逐行23.976/24/25/29.97/30/50/59.94/60帧
垂直扫描频率（隔行）	隔行50/59.94/60场
取样频率	亮度74.25 MHz，色度37.125 MHz
取样频率(1080/50P、60P)	亮度148.5 MHz，色度74.25 MHz
0dB带宽	亮度30 MHz，色度15 MHz
量化电平	8或10比特

注：垂直扫描频率为23.976、29.97、59.94Hz时取样频率比表中列出的值降低了1/1000

表2. ITU-R BT.709-5建议书部分内容—1080P&i

每行有效样点数	1920
每帧有效扫描行	1080
取样结构	正交取样
像素形状	方形像素
画面宽高比	16 : 9
每帧扫描行数	1125行
垂直扫描类型	逐行或2:1隔行扫描
垂直扫描频率（逐行）	逐行23.976/24/25/29.97/30/50/59.94/60帧
垂直扫描频率（隔行）	隔行50/59.94/60场
取样频率	亮度74.25 MHz，色度37.125 MHz
取样频率(1080/50P、60P)	亮度148.5 MHz，色度74.25 MHz
0dB带宽	亮度30 MHz，色度15 MHz
量化电平	8、10或12比特（单链接时不能传输12比特信号）

注：垂直扫描频率为23.976、29.97、59.94Hz时取样频率比表中列出的值降低了1/1000

表3. SMPTE 274M部分内容—1080P&i

每行有效样点数	1920
每帧有效扫描行	1080
取样结构	正交取样
像素形状	方形像素
画面宽高比	16 : 9
每帧扫描行数	1125行
垂直扫描类型	逐行或2:1隔行扫描
垂直扫描频率（逐行）	逐行24帧
垂直扫描频率（隔行）	隔行50场
取样频率	亮度74.25 MHz，色度37.125 MHz
0dB带宽	亮度30 MHz，色度15 MHz
量化电平	8或10比特

表4. 广电总局GY/T 155-2000部分内容—1080/24P&50i

每行有效样点数:	1280
每帧有效扫描行:	720
取样结构:	正交取样
像素形状:	方形像素
画面宽高比:	16:9
每帧扫描行数:	750行
垂直扫描类型:	逐行扫描
垂直扫描频率:	23.976/24/25/29.976/30/50/59.94/60 帧
取样频率:	亮度74.25 MHz, 色度37.125 MHz
量化电平:	8或10比特

注: 垂直扫描频率为23.976、29.97、59.94Hz时取样频率比表中列出的值降低了1/1000

表5. SMPTE 296M部分内容—720P

每行有效样点数:	1280
每帧有效扫描行:	720
取样结构:	正交取样
像素形状:	方形像素
画面宽高比:	16:9
每帧扫描行数:	750行
垂直扫描类型:	逐行扫描
垂直扫描频率:	50帧
取样频率:	亮度74.25 MHz, 色度37.125 MHz
量化电平:	8或10比特

注: 720/50P是EBU推荐的高清传输格式和4种高清制作格式之一, 其它3种高清制作格式是1080/50i、1080/25P和1080/50P

表6. EBU-TECH 3299部分内容—720P

从表2至表6可以看到, 目前高清晰度电视的标准有两种, 一种是1080i和P, 另一种是720P。隔行的1080/50i、60i和逐行的720/50P、60P用于播出和制作, 1080/24P、25P和30P只用于节目制作和交换, 1080/50P和60P还没有实用化。从地域上来看, 在原NTSC国家和地区中除了美国的ABC和FOX采用了720/60P(720/59.94P)以外高清播出大多采用了1080/60i(1080/59.94i)。在原PAL国家和地区中大部分采用了1080/50i, 欧广联(EBU)建议用720/50P作为欧洲的高清播出格式, 720/50P、1080/50i、1080/25P和1080/50P用于高清制作, 不过目前欧洲已经开始播出的高清节目都是1080/50i。表7示出了不同国家和地区采用的高清扫描格式。

扫描格式	使用国家和地区
1080/60i	美国CBS, HBO, NBC等, 日本, 韩国, 台湾地区, 部分南美国
720/60P	美国ABC, FOX
1080/50i	澳大利亚, 中国, 香港, 新加坡
720/50P	欧洲(尚未开始实际的720/50P播出)

1. 实际播出的60i和60P都是相关频率同比降低1/1000的59.94i和59.94P
2. 欧洲的一些电视台已经开始用1080/50i播出高清节目

表7. 不同国家和地区采用的高清扫描格式

从技术标准的等级来看, 国际标准化组织如ITU(国际电讯联盟)的技术标准等级最高, 涵盖的范围最大, 各国家和地区的技术标准如SMPTE、EBU以及GY/T(中国国家广电总局)均符合ITU标准, 但涵盖的范围可能比ITU小。ITU等国际标准一般叫作“建议书”而不称为“标准”, 看起来只是“建议”但具有事实上的强制性。采用符合国际技术标准制作的电视节目有利于国际间的节目交换, 每帧1920x1080像素的画面被称为高清晰度通用图像格式CIF(Common Image Format), 是国际通用的图像交换格式。

高清与标清的差别

• 宽高比
标清电视屏幕4:3的宽高比是参考普通电影银幕1.37:1宽高比制定的。习惯上电视一般以整数与整数之比来表达宽高比, 而电影则是以屏幕高度为1宽度为高度倍数的形式表达宽高比, 例如宽高比4:3用电影的表达方法就是1.33:1。

高清电视屏幕的宽高比是16:9, 也就是1.78:1, 是参考遮幅宽银幕电影1.85:1的宽高比制定的。美国、欧洲和澳大利亚的部分标清数字电视也采用16:9, 但在中国和其它大多数国家和地区只有高清采用16:9。

• 清晰度(分辨率)
高清晰度电视的分辨率有两种, 一种是每帧画面1920x1080像素, 另一种是1280x720像素, 后者的水平和垂直方向像素数量分别是前者的2/3, 总的像素数量是前者的4/9, 不到一半。

高清1920x1080的信息量是标清720x576的5倍, 720x480的6倍。高清1280x720的信息量分别是标清720x576和720x480的2.2倍和2.7倍。图35和图36分别示出了不同分辨率画面在像素尺寸相同时的比较以及图像尺寸相同的比较。



标清: 720 x 576



高清: 1280 x 720



高清: 1920 x 1080

图35. 像素尺寸相同时标清与高清的比较



标清: 720 x 576



高清: 1920 x 1080

图36. 图像尺寸相同时标清与高清的比较

• 亮度方程和色域

标清亮度方程和色域

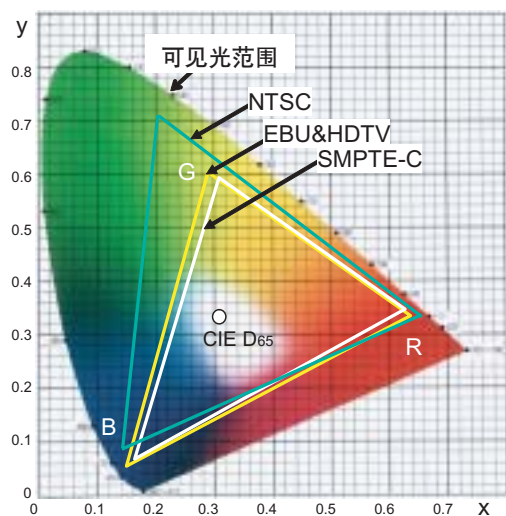
1953 年美国制定 NTSC 标准时以 C 光源为基础确定了 NTSC 色域，并以此为依据导出了现在仍然广泛使用的亮度方程

$$Y=0.30R+0.59G+0.11B$$

这种基于 C 光源的 NTSC 色域在制造产品也就是显像管时遇到了很大困难，符合 NTSC 色域的荧光粉特别是绿色荧光粉的发光效率太低，造成显像管的亮度不足。由于彩色显像管的结构必须使用荫罩实现会聚，荫罩的遮挡降低了电子束的透过率，因此亮度问题显得越发严重。上述原因造成了早期制造的彩色显像管亮度都比较低。为了提高显像管的亮度制造商开始寻找发光效率更高的荧光粉组合，随着显像管制造技术特别是荧光粉技术的发展市场上出现了采用“新型”荧光粉制造的高亮度显像管，但这些显像管荧光粉的色域特别是绿色域都不符合 NTSC 标准，因此彩色还原不如低亮度的显像管好。不过在高亮度与更好的彩色还原之间市场选择了高亮度，从此 NTSC 色域开始了名存实亡的进程。

1965 年 CIE 定义了 D 光源也就是 D65 基准白，并被 1966 年制定的 PAL 标准首先采用。EBU 制定 PAL 标准（EBU Techn. 3213）时对色域采用了比较务实的做法，充分考虑了当时荧光粉的制造技术水平，特别是绿色荧光粉的发光效率。因此虽然看起来 EBU 的色域比 NTSC 小了很多，但依此标准制造的显像管比较好地兼顾了亮度与彩色还原的性能。严格地说由于采用了不同于 NTSC 的色域和标准白，PAL 标准应该采用与 NTSC 不同的亮度方程，但 EBU 仍然沿用了 NTSC 亮度方程没有作任何改变，所以这个所谓的“标准亮度方程”用于 PAL 时肯定是有误差的，只不过因为误差不大对实际应用的影响比较小。

欧洲人的实用主义对美国产生了影响，其后 SMPTE RP145 制定的 SMPTE C 彩色监视器色域标准也采用了与欧洲类似的思路，其 RGB 色坐标与 EBU 非常接近，但与 NTSC 色域相差比较大。与 EBU 相同 SMPTE C 也采用了 D65 基准白，但为了与原有的标准保持一致采用 SMPTE C 色域的 NTSC 设备仍然沿用了 NTSC 亮度方程。SMPTE C 色域的引入加快了 NTSC 色域退出历史舞台的速度，很快市场上就没有符合 NTSC 色域标准的设备供货了。



	NTSC		EBU		SMPTE-C		HDTV (ITU-R709)	
	x	y	x	y	x	y	x	y
R	0.670	0.330	0.640	0.330	0.630	0.340	0.640	0.330
G	0.210	0.710	0.290	0.600	0.310	0.595	0.300	0.600
B	0.140	0.080	0.150	0.060	0.155	0.070	0.150	0.060
基准白	IIC		D65		D65		D65	
基准白坐标	0.3101	0.3162	0.3127	0.3290	0.3127	0.3290	0.3127	0.3290

图37. 电视的色域

1984年ITU R601（原来的CCIR601）标准制定时也采用了与NTSC完全相同的亮度方程系数，在数字电视时代进一步确定了NTSC亮度方程的“标准性”。这样就产生了一个有趣的现象，如今在标清电视领域广泛使用的亮度方程是从古老的、已经不再使用的C光源和NTSC色域推导出来的，但C光源和NTSC色域早已成了仅存在于教科书上的标准，实际使用的是D65基准白和EBU、SMPTE C色域。这种矛盾的现象造成了标清电视彩色还原的误差，这是历史的产物。

高清亮度方程和色域

在1990年制定的高清标准ITU R709中色域是一个政治上妥协的产物，其R和B的坐标以及G的y坐标与EBU完全相同，G的x坐标则是SMPTE C和EUB的平均值。与EBU和SMPTE C一样，ITU R709也采用了D65基准白。趁着从标清向高清过渡的机会ITU R709彻底解决了标清时代遗留的亮度方程这个历史问

题，消除了标清电视标准中存在的亮度和色度误差。从D65基准白和ITU R709色域推导出来亮度方程是

$$Y=0.2126R+0.7152G+0.0722B$$

这个亮度方程与从C光源和NTSC色域导出的标清亮度方程系数不同，最大的差别是绿色的分量增加而红色和蓝色的分量都减少了。从高清彩条测试信号的波形可以看到，高清的绿色亮度信号幅度比标清绿色大，而高清紫色亮度信号的幅度比标清紫色小。这是因为紫色是由红色和蓝色组成的，所以在高清彩条信号中紫色的亮度信号幅度比标清紫色低。

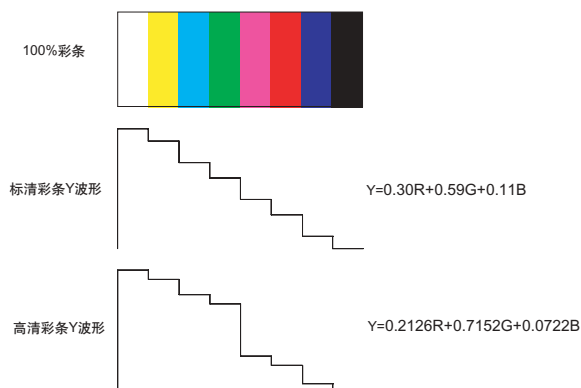


图38. 标清与高清彩条测试信号波形比较