

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

❖ 2.1 CRT显示器的基本结构与工作原理

- 2.1.1 黑白CRT显示器的基本结构与工作原理
- 2.1.2 彩色CRT显示器的基本结构与工作原理
- 2.1.3 CRT显示器的主要单元

❖ 2.2 CRT显示器的驱动与控制

- 2.2.1 CRT显示器相关技术
- 2.2.2 CRT显示器驱控电路

❖ 2.3 CRT显示器的特点、性能指标及发展历史

- 2.3.1 CRT显示器的特点
- 2.3.2 CRT显示器的性能指标
- 2.3.3 CRT显示技术的发展历史

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

❖ CRT显示器:

使用阴极射线管(Cathode Ray Tube)的显示器:

黑白CRT显示器

彩色CRT显示器

核心部件: CRT显像管 (即阴极射线管),

组成: 电子枪(Electron Gun)、偏转线圈(Deflection coils)、荫罩(Shadow mask)、荧光粉层(Phosphor)及玻璃外壳, 电子枪。

使用电子枪发射电子, 经过垂直和水平的偏转线圈控制电子的偏转角度, 最后电子轰击屏使磷光物质发光。通过电压调节电子枪发射电子束的功率, 在屏幕上形成明暗不同的光点。

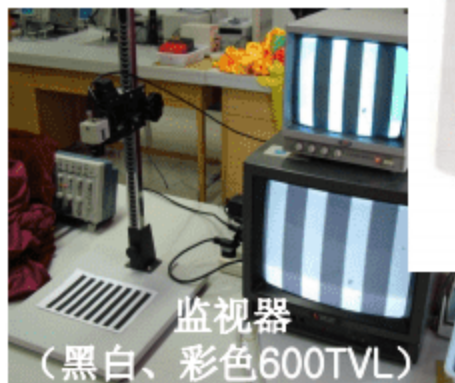


早期单枪单束CRT(1937年)



早期单枪双束CRT(1938)

CRT显像管制成的产品



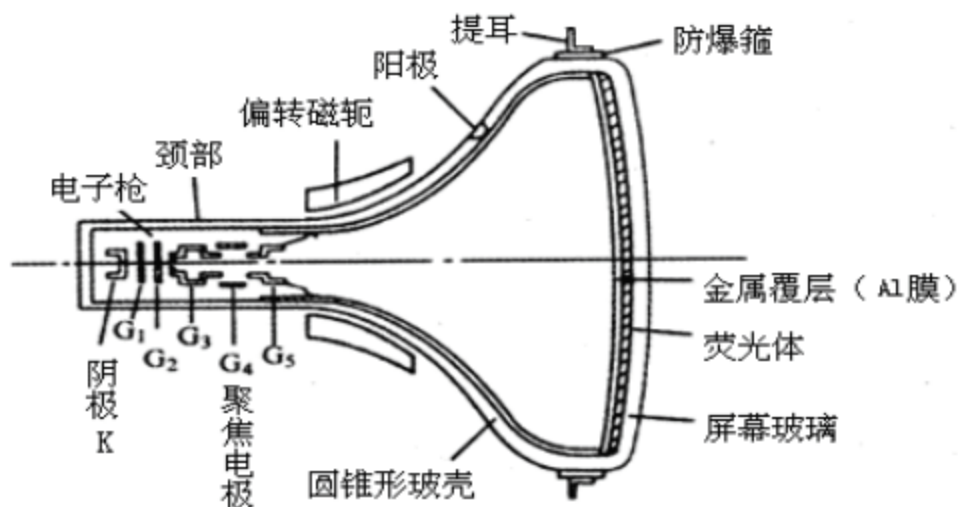
第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

2.1.1 黑白CRT显示器的基本结构与工作原理

黑白**CRT**即单色(**Monochrome Monitor**)**CRT**:
单一电子枪, 产生黑白两种颜色。

主要用途: 电视显示图像, 工业控制用作监视器。

组成: 圆锥形玻壳、荧光屏、电子枪系统、控制电子束偏转扫描的偏转线圈。



灯丝、阴极（K）、栅极（G1或称调制器）、加速极构成发射系统；聚焦极、高压阳极构成聚焦系统。

工作时，电子枪中阴极被灯丝加热，阴极发射电子。电子束首先被加在栅极的视频电信号所调制，然后经加速和聚焦后，高速轰击荧光屏上的荧光体，荧光体发出可见光。

电子束的电流受显示信号控制，信号电压高，电子枪发射的电子束流也越大，荧光体发光亮度也越高。最后通过偏转磁轭控制电子束，在荧光屏上从上到下，从左到右依次扫描，从而将原被摄图像完整地显示在荧光屏上。

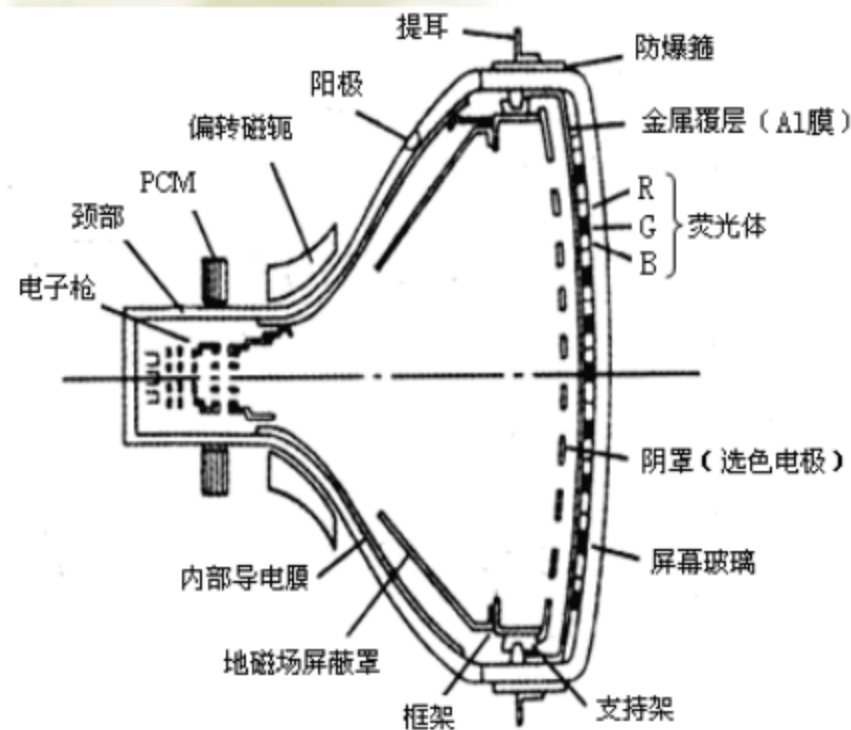
第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

2.1.2 彩色CRT显示器的基本结构与工作原理

彩色CRT利用三基色图像叠加原理实现彩色图像的显示。

荫罩式彩色CRT
占市场主导地位

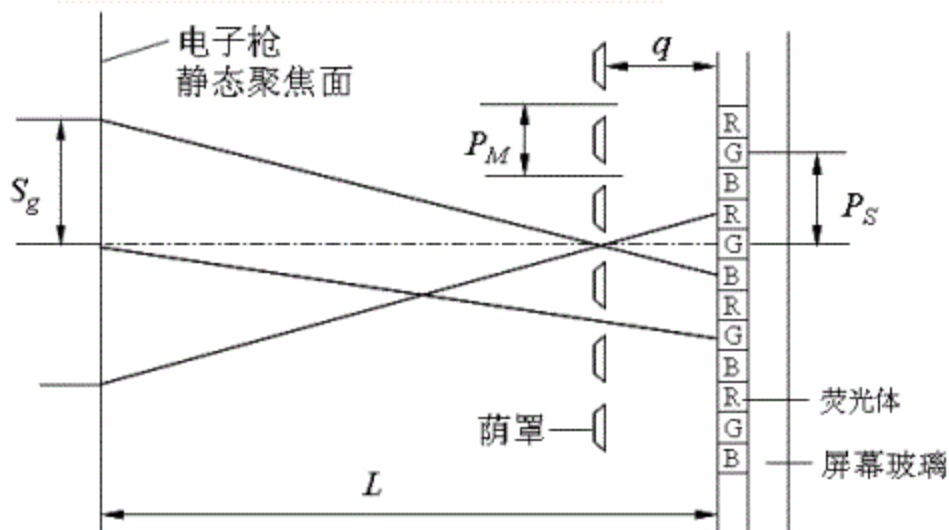
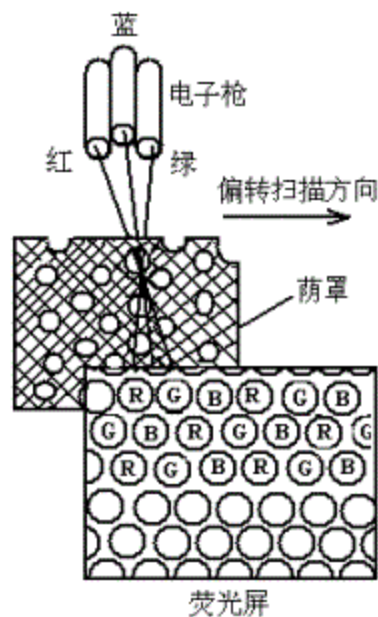
第2章 阴极射线管(CRT)显示技术



荧光屏上每一个像素由产生红(R)、绿(G)、蓝(B)的三种荧光体组成，电子枪设有3个阴极，分别发射电子束，轰击对应的荧光体。为防止每个电子束轰击另外两个颜色的荧光体，在荧光面离荧光面一定距离处设有选色电极——阴罩。

彩色CRT的结构示意图

第2章 阴极射线管 (CRT) 显示技术



荫罩型彩色CRT中，玻壳荧光屏的内面形成点状红、绿、蓝三色荧光体。

彩色CRT工作原理

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

荫罩与荧光屏的距离可根据几何关系由下式确定:

$$q = L \cdot P_M / (3S_g) \quad (2-1)$$

$$\lambda = P_S / P_M = L / (L - q) \quad (2-2)$$

式中: q 为荫罩与荧光屏的距离; λ 为孔距放大率;

L 为从电子枪到荧光面的距离; S_g 为电子枪的束间距; P_M 为电子束排列方向的荫罩孔距; P_S 为电子束排列方向的荧光屏上同一色荧光体的点间距。

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

整体工作过程:

通电后灯丝发热——阴极发射电子流——电子流被加速，经透镜聚焦成极细的电子束——在阳极高压下获得大能量——轰击荧光屏上的三原色荧光粉层——荧光粉单元发出强弱不同的红、绿、蓝光。根据空间混色法产生全色彩（利用人眼在一定距离下分辨力有限的特性，产生与直接混色法相同的效果。）

荫罩式工作时，电子束通过网眼打在呈三角形排列的荧光点上。

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

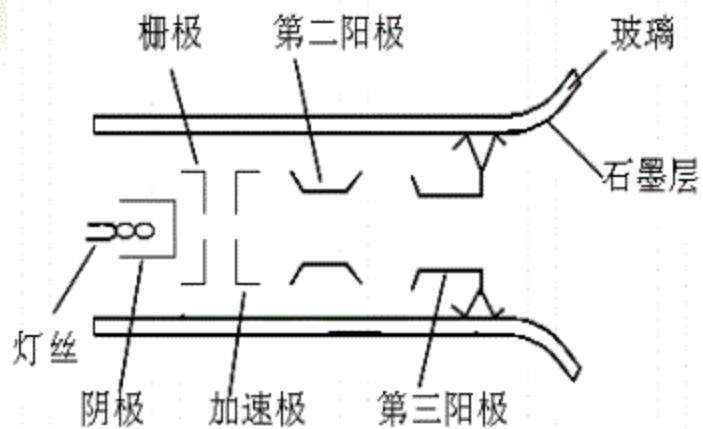
❖ 2.1.3 CRT显示器的主要单元

1. 电子枪

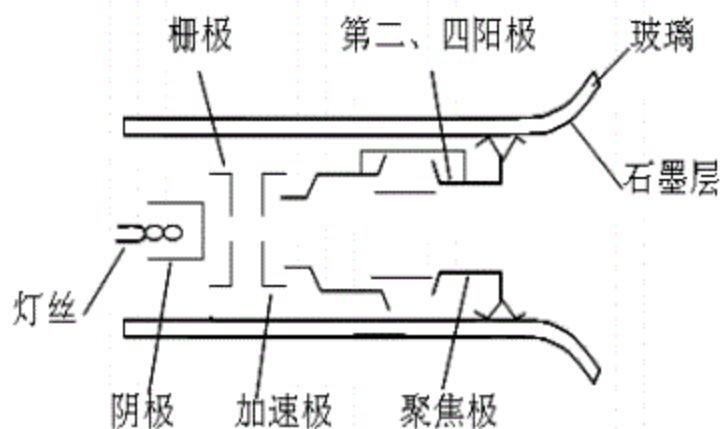
电子枪用来产生电子束，以轰击荧光屏上的荧光粉发光。由灯丝、阴极、栅极、加速极、高压阳极组成：

- ✓ 为了在屏幕上得到亮而清晰的图像，要求电子枪产生大的电子束流，小的扫描点（约0.2mm）。
- ✓ 此外，电子枪应有良好的调制特性。在调制信号控制过程中，扫描点没有明显的散焦现象。

光电显示技术



(a) 三极电子枪



(b) 四极电子枪

电子枪结构示意图

电子枪中各部分的作用：

(1) 灯丝——通电后电能转变成热能并对阴极加热到600-800度。

(2) 阴极——呈圆筒状，顶端涂有钡锶钙的氧化物，灯丝通电时，阴极受热发射电子。

(3) 栅极——金属圆筒，在阴极外面，顶端开有小孔，让电子束通过。改变与阴极的相对电位可以控制电子束的强弱。

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

(4) 加速极——顶部开小孔的金属筒。通常在加速极上加有几百伏的正电压，控制电子束到达荧光屏的速度。

(5) 聚焦极—— $5\sim 8\text{KV}$ ，聚焦极、加速极及高压极一起构成一个电子透镜。

(6) 高压阳极——建立强电场，使电子束高速轰击荧光屏， $20\sim 30\text{KV}$ 。

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

2. 荧光屏

由涂覆在玻璃壳内的荧光粉和叠于荧光粉层上面的铝膜共同组成。工作时电子枪发射电子束打在荧光粉上，被轰击的荧光粉发出可见光。

- ✓ 发光亮度和发光效率足够高
- ✓ 发光光谱适合人眼观察
- ✓ 图像分辨力高
- ✓ 余辉适当
- ✓ 稳定性好，寿命高

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

CRT的发光性能首先取决于荧光粉的材料:

荧光粉的发光效率: 每瓦电功率获得的发光强度。

荧光粉的余辉特性:

当电子束轰击停止后, 荧光粉的发光并非立即消失, 而是按指数规律衰减。

余辉时间: 荧光粉在电子束轰击停止后, 其亮度减小到电子轰击时稳定亮度的 $1/10$ 所经历的时间。

第2章 阴极射线管 (CRT) 显示技术

一般地，余辉分成三类：

余辉时间长于0.1s的称为长余辉发光；余辉时间介于0.1s至0.001s的称为中余辉发光；余辉时间短于0.001s的称为短余辉发光

余辉太长，前一帧的余辉会重叠在下一帧图像上，图像模糊。

余辉太短，屏幕的平均亮度减低。

屏幕的亮度取决于荧光粉的发光效率、余辉时间及电子束轰击的功率。

第2章 阴极射线管(CRT)显示技术

已知荧光粉的发光时间特性 $L(t)$ ，一帧时间 T 内平均亮度应为：

$$L = \frac{1}{T} \int_0^T L(t) dt$$

(2-3)

屏幕亮度除了与余辉时间有关外，还取决于电子束的电流密度和加速电压的高低。屏幕亮度可表示为

$$L \approx A j U_a^2 S$$

(2-4)

以提高电压更有效

第2章 阴极射线管 (CRT) 显示技术

3. 偏转系统

让电子束在水平方向和垂直方向上偏转，使荧光屏上的任何一点都能发光——**偏转系统的作用**。

显像管通常采用磁偏转：

偏转像差小，适用于大角度偏转。

偏转线圈分为行偏转线圈和场偏转线圈。通有扫描电路提供的锯齿波电流，产生在垂直方向和水平方向线性变化的磁场，在行扫描和场扫描共同作用下，电子束从上到下从左到右运动。

第2章 阴极射线管 (CRT) 显示技术

4. 荫罩

荫罩、玻壳和电子枪是组成彩色显像管的三大主要部件，彩色显象管的荫罩起分色作用。

5. 玻璃管壳

玻璃管壳通常由屏幕玻璃、锥体、管颈三部分组成。用普通玻璃做CRT的外围器件，是因为透明性高，能耐受高空并能吸收从内部产生的X射线。

2.2 CRT显示器的驱动与控制

2.2.1 CRT显示器相关技术

1. 生成图像

CRT当电子束偏转到边缘时，会产生偏转像差，造成边缘的图像产生畸变。为此，显示器生产厂把显像管制造成球形，消除偏转带来的图像退化。缺点是屏幕变弯曲。

电子束由左至右，由上至下的过程称为刷新，不断重复地刷新就能保持图像的持续性。

2. 混合颜色

彩色显示器有三只电子枪，每个电子枪都有独立的偏转线圈，分别激发出R、G、B（Red、Blue、Green，红、蓝、绿）三束光，混合后可以产生1600万种颜色——真彩色。

生成彩色图像电子枪要扫描屏幕三次，其过程比黑白图像复杂得多。

3. 垂直和水平同步

两个基本的同步信号:

水平同步信号控制电子束画出一条横越屏幕线的时间，垂直同步信号决定了CRT从屏幕顶部画到底部，再返回原始位置的时间，垂直同步也称为刷新率。

标准电视机的水平同步信号=512线×30帧/秒=15.75kHz。

4. 交错和非交错

电视机采用的是交错 (Interlace) 扫描，每一帧都要刷新两次。

第一次扫奇数行、第二次扫偶数行，以30fps的频率实现60fps图像，避免了显像管负荷过重。

5. 金属隔板技术

有两点：

如何使用更薄的金属，并缩小点与点之间的位置 (Dot Pitch, 点距)，让它与屏幕上的点一一对应；

如何修正电子束，让它更符合要求。

荫罩的主要缺点：

金属板随能量的变化产生弯曲。金属板变形使电子束偏离原定目标，显示的画面会模糊。目前效果最好的是镍/铁合金，膨胀率几乎为零。

2.2.2 CRT显示器驱动控制

1. 扫描方式

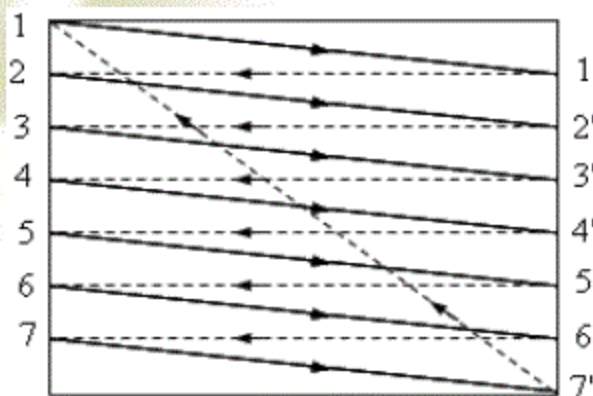
一般CRT电子束扫描由磁偏转线圈控制。

扫描方式：垂直方向从左上向右下，分逐行扫描和隔行扫描。

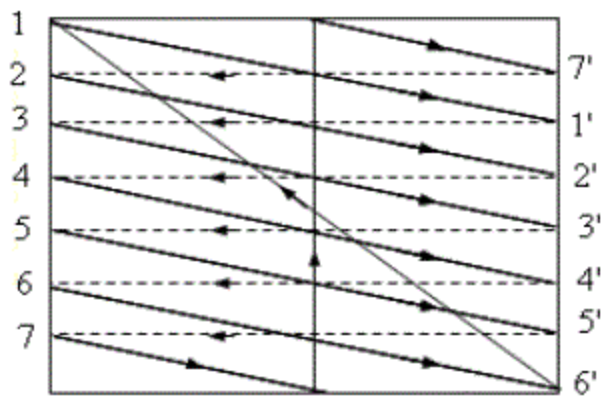
当帧频为50Hz，扫描行数为625，图像宽高比为4:3时，需要10.5MHz信号带宽。

实际系统采用隔行扫描方式来降低图像信号的频带。

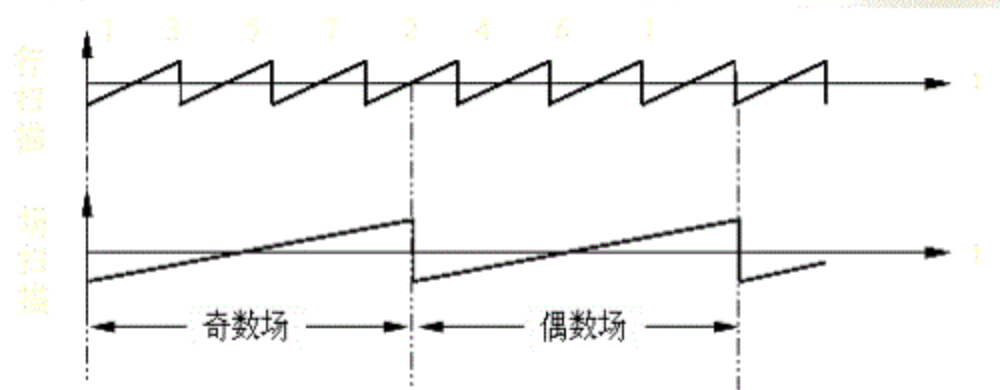
光电显示技术



(a) 顺序扫描方式



(b) 飞越扫描方式



(c) 行光栅的行扫描与场扫描波形

图2.5 CRT扫描方式

2.2.2 CRT显示器驱动控制

2. 辉度及颜色

单色CRT 只需要对辉度进行控制，彩色CRT 还需要对颜色进行控制，辉度和颜色都是通过电流量来控制的。

电流控制方式中有栅极(G1)驱动方式和阴极驱动方式。

彩色CRT的颜色显示：3电子束电流调制。

光电显示技术

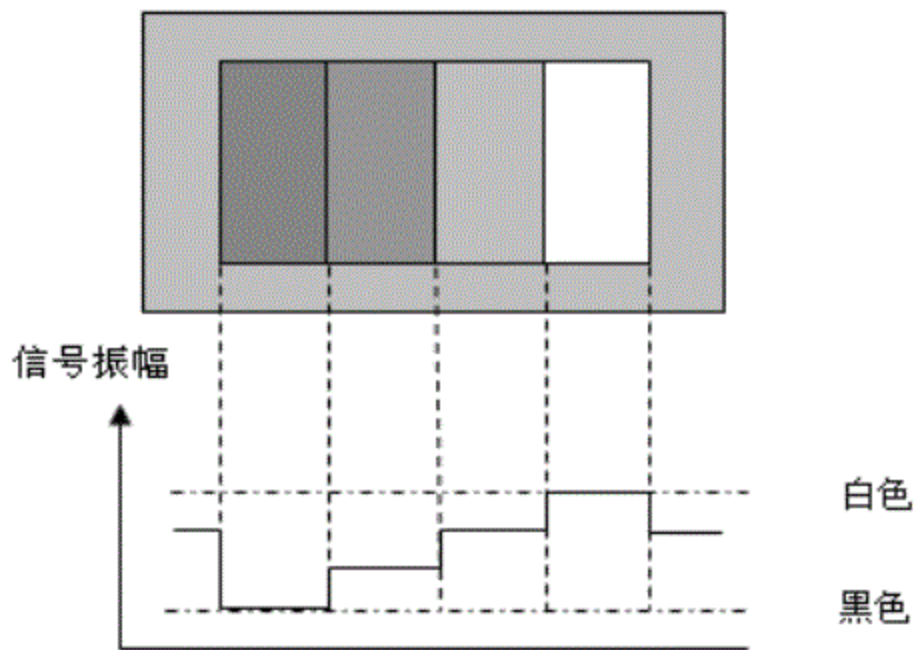
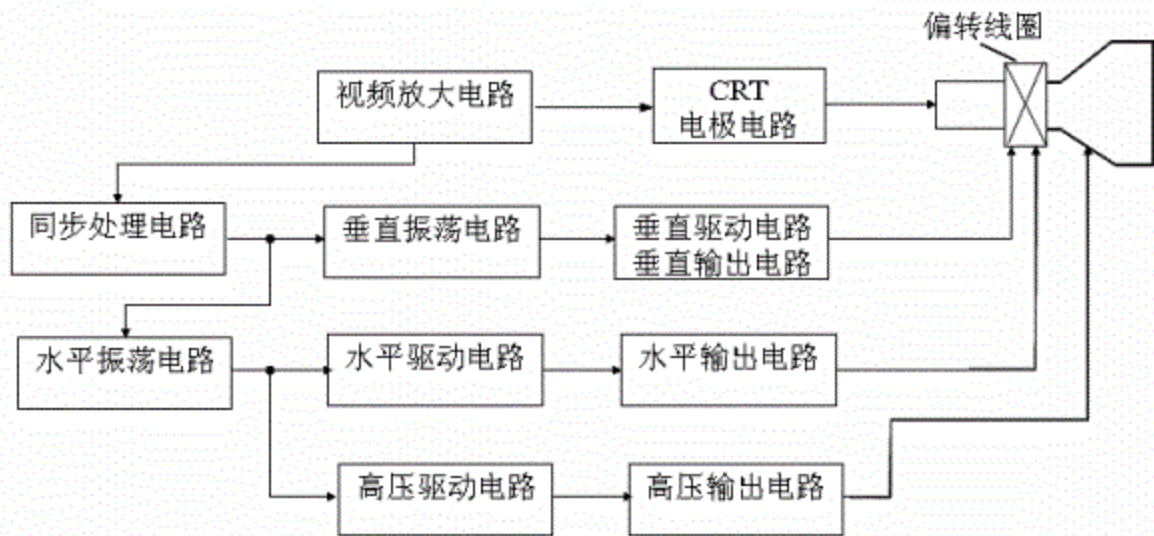


图2.6 画面的辉度与信号振幅的关系

2.2.2 CRT显示器驱动控制

3. CRT显示器驱控器的电路构成



CRT显示器驱控器的电路

2.3 CRT显示器的特点、性能及发展历史

2.3.1 CRT显示器的特点

CRT 最大的优势在于高的性价比，同时还具有：

1. 价格低
2. 亮度高
3. 对比度高
4. 色域广
5. 分辨率高
6. 响应速度快
7. 视野角宽
8. 显示版式可以灵活变化
9. 寿命长

2.3.2 CRT显示器的性能指标

1. 像素和分辨率

分辨率：每一条水平线上的点数乘以水平线的数目，如 640×480 、 1024×768 及 1024×1024 等。以 640×480 的分辨率来说，即每一条线上包含有640个像素点且共有480条线。分辨率越高，屏幕上所能呈现的图像也就越精细。

分辨率的计算方法如下：**最大显示宽度/水平点距=像素数**，比如标准17英寸CRT显示器的最大显示宽度是320mm，标称点距是0.28mm，那么首先按 $0.28 \times 0.866 = 0.243$ 的公式计算出水平点距，然后按 $320 / 0.243 = 1316$ 的公式得出像素数。

2.3.2 CRT显示器的性能指标

2. 点距

点距（DOT PITCH）是显像管重要的技术参数之一，单位为毫米。一般公认的点距定义是荧光屏上两个最临近的同色荧光点的直线距离，即两个红色（或绿、蓝）像素单元之间的距离。

点距越小越好，点距越小，显示器显示图型越清晰，但对于显像管的聚焦性能要求就越高。之前的显示器多为0.31mm和0.39mm，如今大多数显示器采用的都是0.28mm的点距。

用显示区域的宽和高分别除以点距，即得到显示器的垂直和水平方向上最高可显示的点数。

2.3.2 CRT显示器的性能指标

3. 场频、行频及视频带宽

水平扫描频率、垂直扫描频率及视频带宽三个参数是显示器的重要指标，很大程度上决定了显示器的档次。

视频带宽：每秒钟电子枪扫描过图像点的个数，以兆赫兹为单位。是显示器非的重要参数，决定显示器性能的好坏。带宽越高表明显示器电路可以处理的频率范围越大，显示器性能越好。高的带宽能处理更高的频率，信号失真越小，显示的图像质量更好。

视频带宽的计算方法为：

$$\text{带宽} = \text{垂直刷新率} \times (\text{垂直分辨率} \div 0.93) \times (\text{水平分辨率} \div 0.8) = \text{水平分辨率} \times \text{垂直分辨率} \times \text{垂直刷新率} \times 1.34$$

垂直像素和水平像素都要除以一个参数是因为要考虑电子枪从最后一行/列返回到第一行/列的回程时间。

场频就是垂直扫描频率也即屏幕垂直刷新率，通常以Hz为单位，它表示屏幕的图像每秒钟重复描绘多少次，也就是指每秒钟屏幕刷新的次数。垂直刷新率越高，屏幕的闪烁现象越不明显，眼睛就越不容易疲劳。

2.3.2 CRT显示器的性能指标

行频就是水平扫描频率，指电子枪每秒在屏幕上扫过的水平线数。单位一般是千赫兹。场频和行频的关系式一般如下：

$$\text{行频} = \text{场频} \times \text{垂直分辨率} \times 1.04 \quad (2-7)$$

可见行频是一个综合了分辨率和场频的参数，能够比较全面的反映显示器的性能。

2.3.2 CRT显示器的性能指标

4. 刷新率

刷新率是指显示屏幕刷新的速度，它的单位是赫兹。刷新频率越低，图像闪烁和抖动的越厉害，眼睛观看时疲劳的越快。刷新频率越高，图像显示就越自然、越清晰。刷新率又分水平刷新率和垂直刷新率。水平刷新率又叫行频。垂直刷新率也叫场频。

2.3.2 CRT显示器的性能指标

5. 屏幕尺寸和最大可视面积

屏幕尺寸实际是指显像管尺寸。最大可视面积指显像管的屏幕显示的可见图形的最大范围。屏幕大小通常以对角线的长度衡量，以英寸为单位。

一般显示器的最大可视面积都会小于屏幕尺寸。

我们平常说的**17英寸**、**15英寸**实际上指显像管尺寸，而实际可视区域远到不了这个尺寸。**14英寸**的显示器可视范围往往只有**12英寸**；**15英寸**显示器的可视范围在**13.8英寸**左右；**19英寸**显示器可视区域达到**18英寸**左右。

2.3.2 CRT显示器的性能指标

6. 色温

色温：按绝对黑体来定义的，光源的辐射在可见区和绝对黑体的辐射完全相同时，此时黑体的温度就称此光源的色温。

色温可以人为方式来改变，显示器上一般都提供色温调节功能，这是由于不同区域的人眼睛对颜色的识别略有差别，所以在不同地区显示器都要将颜色调节到适合这一地区的人的使用。

2.3.2 CRT显示器的性能指标

7. 亮度

亮度是指显示器荧光屏上荧光粉发光的总能量与其接受的电子束能量之比。所以某一点的光输出正比于电子束电流、高压及停留时间三者的乘积。简单的讲，亮度是控制荧光屏发亮的等级。

8. 对比度

对比度是指荧光屏画面上最大亮度与最小亮度之比。一般显示器最起码应有30: 1的对比度。

9. 灰度

在图形显示方式中，灰度是指一系列从纯白到纯黑的阴影。

10. 余辉时间

荧光屏上的荧光粉在电子束停止轰击后，其余辉并不会立即消失，而是要经历一个逐步消失的过程，称之为余辉。

光电显示技术

2.3.3 CRT显示技术的历史、现状及发展

1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000

1897年由布劳恩（K.F.Braun）发明

示波器，黑白CRT

荫罩彩色CRT

一字排列条状荧
光屏导入自会聚

监视器用的彩色显像管

CRT的历史