

● 高等学校教材

彩色电视接收机原理

● 陈贤尧 卓归生 张锡年 沈建国 合编

● 高等教育出版社

CAISE DIANSHI

JIESHOULI

YUANLI



高等学校教材

彩色电视接收机原理

陈贤尧 卓归生 合编
张锡年 沈建国

高等教育出版社

内 容 提 要

本书主要论述广播电视的基本原理、黑白和彩色电视接收机的设计思想以及电路原理的分析。内容包括：色度学知识、电视传象原理、黑白和彩色电视机的工作原理、彩色电视专用集成电路的剖析与应用技术、彩色电视接收机的调试和电视天线。

本书可作为各类高等学校的无线电技术类、物理专业的彩色电视接收机教材和参考书，也供从事无线电技术人员、维修人员及业余爱好者研读。

责任编辑 郭玉凤

高等学校教材

彩色电视接收机原理

陈贤尧 卓归生 合编
张锡年 沈建国

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

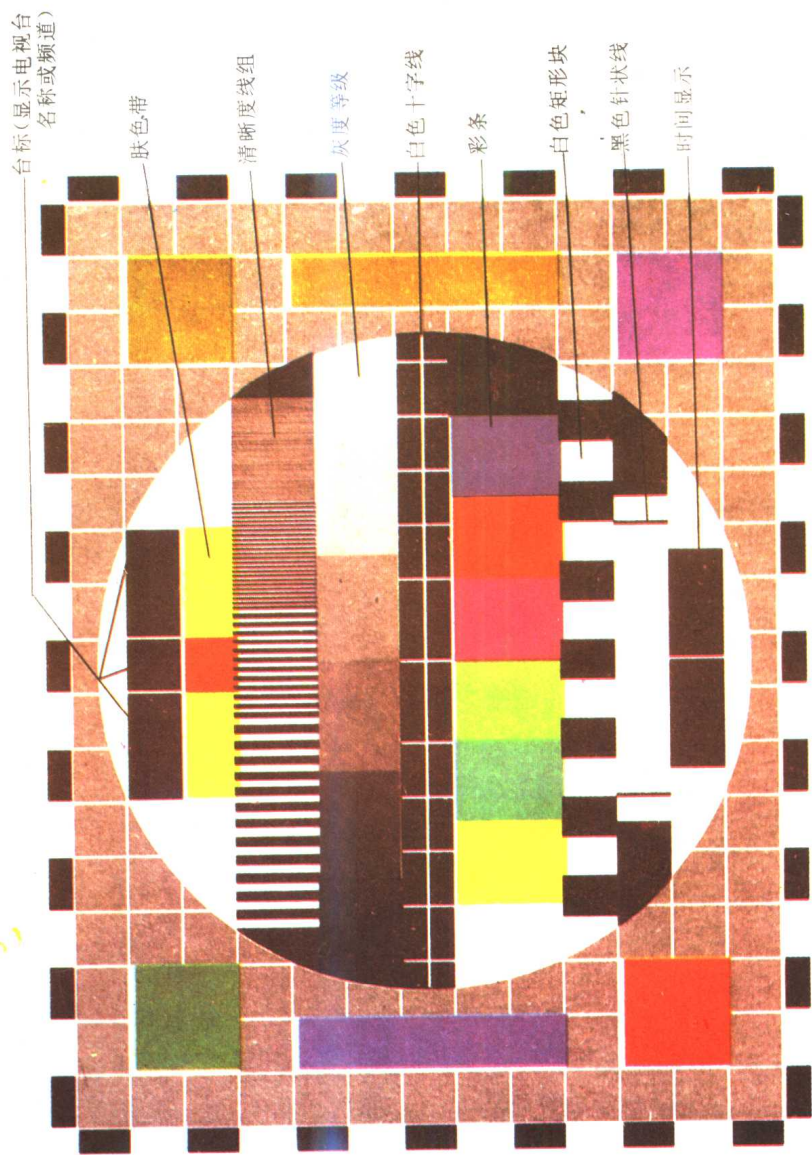
开本 787×1092 1/16 印张 31.75 插页 7 字数 790 000

1993年5月第1版 1993年5月第1次印刷

印数 0001—4 591

ISBN 7-04-004182-0/TN·182

定价 11.20 元



图(7·2-1) 电视测试卡

序

教材建设是培养人才和保证教学质量的基础建设。1985年9月在华东师范大学召开的全国高等师范院校无线电教材工作会议上，确定首先解决各院校所共同迫切需要的电视课和计算机应用课方面的教材，并且委托在这些课程方面有基础的学校举办学习班。华东师范大学接受委托举办了“彩色电视接收机原理”讲习班，并且编写了有关教材。华东师范大学自1970年起就进行彩色电视机的试制，为上海最早制成彩色电视机的三个单位之一。华东师范大学教师对电视机的工作原理有较深入的了解，在实践方面也有较丰富的经验。但由于华东师范大学任务较多，未必能把全部力量投入于这个讲习班和编写教材，因而某些不足之处在所难免。任何教材都是编写者辛勤劳动的成果。希望使用这本教材的师生能随时提出宝贵意见供编者在再版时进行修改和提高。

华东师范大学 陈涵奎

1989年3月

E902010-6

前 言

我校根据1985年9月召开的“全国高等师范院校无线电教材工作会议”的建议,在1986年8月为师范院校教师举办了“彩色电视接收机原理”的讲习班。在办班的过程中,编写了《电视接收机原理》的教材,本书是在该教材的基础上修改和充实而成。

本书包含黑白电视和彩色电视的接收机电路技术,因以彩色电视机为主,故书名定为《彩色电视接收机原理》。

从高等师范院校培养目标出发,按照本课程的特点和师范院校的实际情况,本书在编写修改工作中注意了下列几点:

1. 论述力求深入浅出、系统地阐述电视接收机技术中的基本原理、基本电路和整机的剖析。

2. 本书以彩色电视接收机为主线,采用黑白电视和彩色电视、分立线路和集成电路自然结合的方式进行原理和电路的论述。

3. 力求具有一定的先进性和实践性,反映国内电视接收机的实际水平,着重分析当前流行的集成电路彩色电视接收机。

4. 力求有适当的深度和广度,涉及的一些理论分析有严格的推导和证明,收集了较多的实用参考数据和技术资料,便于不同学校和不同专业根据自己的教学需要灵活选择教材。

5. 为便于教学和自学,本书在每章末给出了适量的思考题和习题。

本书共分8章。前三章简要地、概括地介绍了色度学知识和电视原理;第四、五、六章系统地、深入地讨论了电视接收机基本理论,分析了基本电路,并对某些新的元器件的应用作了介绍,集成电路电视接收机主要介绍了以四个单片(TA7176AP、TA7609AP、TA7193AP和TA7607AP)为基础的彩色接收机电路,而对以二个单片(TA7680/81AP和TA7698AP)为基础的彩色接收机,因它们的内部电路包含了上述四个单片的基本电路,故未作详细介绍;第七章介绍电视接收机的调试技术,使读者对接收机的性能和调试有一个全面的整体认识;第八章介绍电视信号的传播与天线,这部分内容常为人们所忽视,天线的质量和架设技术对图象的质量有巨大的影响,因此介绍这方面的知识是非常必要的。

本书在编写过程中,始终得到陈涵奎教授的亲切指导和关心。书稿的第一章至第四章由卓归生编写,第五章至第六章由陈贤尧编写,第七章由沈建国编写,第八章由张锡年编写。第一章至第七章由翁默颖教授负责审稿,第八章由上海市广播科学研究所何允高级工程师审稿。陈贤尧统编和审定全稿。

在编写的过程中得到上海广播器材厂肖汝立高级工程师和奚维德工程师的关心和帮助,在此致以衷心的感谢。

由于我们水平有限,时间仓促,如有遗误之处,敬请批评指正!

编 者

1988年12月于华东师大电子科学技术系

目 录

第一章 电视传象基础

§ 1.1 电视的意义	1
§ 1.2 图象的特征参数	2
§ 1.3 电视图象的扫描变换	3
§ 1.3.1 图象的分解和传送	3
§ 1.3.2 人眼的分辨力	5
§ 1.3.3 视觉惰性与闪烁感觉	7
§ 1.3.4 电视扫描原理	8
§ 1.3.5 黑白全电视信号	14
§ 1.3.6 场、行频率及有关参数的确定	15
§ 1.4 电视图象信号频谱	19
§ 1.5 图象信号的传输特点	20
§ 1.5.1 图象信号传输极性	20
§ 1.5.2 图象信号的脉冲特性	21
§ 1.5.3 平均电平(直流分量)传输	21
§ 1.5.4 伽玛(γ)校正	22
§ 1.6 电视图象传输系统	23
思考题与习题	24

第二章 彩色图象信息变换

§ 2.1 光和色	25
§ 2.1.1 彩色	25
§ 2.1.2 物体色和光源	26
§ 2.2 人眼的光谱响应	27
§ 2.2.1 视觉函数	27
§ 2.3 三基色原理	28
§ 2.4 颜色的度量	29
§ 2.4.1 色度匹配	29
§ 2.4.2 RG 计色制	30
§ 2.4.3 XY 计色制	33
§ 2.5 彩色的呈现	39
§ 2.5.1 显像三基色的选择	40
§ 2.5.2 显像三基色的系数与亮度方程	41

§ 2.5.3 视觉光谱响应曲线	43
思考题与习题	44

第三章 彩色图象信号的传输

§ 3.1 兼容制彩色电视制式	47
§ 3.1.1 兼容制彩色电视	47
§ 3.1.2 大面积着色原理——色度信号的 频带压缩	48
§ 3.1.3 频谱交错原理	49
§ 3.2 色度矩阵编码	50
§ 3.2.1 亮度信号与色差信号	50
§ 3.2.2 亮度和色差电压的产生	52
§ 3.3 标准彩条信号	54
§ 3.4 PAL 色度信号	55
§ 3.4.1 正交平衡调幅	56
§ 3.4.2 传输电平压缩	57
§ 3.4.3 PAL 色度信号	60
§ 3.5 PAL 色度信号解调	71
§ 3.5.1 u 、 v 信号分离原理	71
§ 3.5.2 梳状滤波器的频率特性	73
§ 3.5.3 实际的梳状滤波器电路应满足 的条件	75
§ 3.5.4 同步解调原理	77
§ 3.5.5 副载波恢复原理	81
思考题与习题	92

第四章 电视信号接收通道

§ 4.1 概述	96
§ 4.1.1 电视信号的发送	96
§ 4.1.2 电视信号的接收	100
§ 4.2 高频调谐器	106
§ 4.2.1 概述	106
§ 4.2.2 输入电路	109
§ 4.2.3 机械调谐式全频道高频调谐器	112

§ 4.2.4	电子式调谐器	131
§ 4.2.5	红外遥控选台高频调谐器	143
§ 4.3	中频放大通道	149
§ 4.3.1	概述	149
§ 4.3.2	吸收电路	156
§ 4.3.3	声表面波中频滤波器 (SAWF)	160
§ 4.3.4	自动增益控制 (AGC) 电路	166
§ 4.3.5	视频检波	172
§ 4.3.6	中放通道实例介绍	180
§ 4.3.7	集成电路中放通道	183
§ 4.4	视频放大器和亮度通道	21
§ 4.4.1	视频放大器	211
§ 4.4.2	亮度通道	221
§ 4.5	色度解码通道	238
§ 4.5.1	色度带通放大器及其辅助电路	238
§ 4.5.2	梳状滤波器及其激励电路	244
§ 4.5.3	同步检波 (解调) 电路	245
§ 4.5.4	G-Y 矩阵电路	248
§ 4.5.5	副载波恢复电路	249
§ 4.5.6	色度解码集成电路——TA7193P	257
§ 4.6	伴音通道	277
§ 4.6.1	概述	277
§ 4.6.2	伴音第二中放电路	278
§ 4.6.3	鉴频器电路	281
§ 4.6.4	伴音电路实例介绍	287
§ 4.6.5	集成电路 TA7176AP 伴音通道	288
思考题与习题		297

第五章 显象管及其校正电路

§ 5.1	显象管	303
§ 5.1.1	概述	303
§ 5.1.2	黑白显象管的构造和工作原理	304
§ 5.1.3	显象管调制特性和电-光转换特性	310
§ 5.1.4	显象管的偏转系统	311
§ 5.2	彩色显象管及其校正电路	316
§ 5.2.1	荫罩式三枪三束管 (简称荫罩管)	316
§ 5.2.2	单枪三束缝隙板式的彩色显象管	327
§ 5.3	自会聚彩色显象管	328

§ 5.3.1	自会聚管的特点	329
§ 5.3.2	自会聚管的工作原理	330
思考题与习题		337

第六章 图象重现电路

§ 6.1	同步分离电路	340
§ 6.1.1	概述	310
§ 6.1.2	同步分离电路	341
§ 6.1.3	抗干扰电路	347
§ 6.1.4	场同步脉冲的获得	352
§ 6.2	场扫描电路	356
§ 6.2.1	概述	356
§ 6.2.2	第一类场扫描电路	357
§ 6.2.3	电视多谐振荡器场扫描电路	376
§ 6.2.4	场振荡器的同步	383
§ 6.3	行扫描电路	385
§ 6.3.1	概述	385
§ 6.3.2	行输出电路的工作原理	387
§ 6.3.3	行输出电路中的畸变及其校正	392
§ 6.3.4	行输出变压器和变压整流电路	396
§ 6.3.5	行激励电路	405
§ 6.3.6	自动频率控制 (AFC) 电路	408
§ 6.4	行、场扫描集成电路分析	417
§ 6.4.1	行扫描集成电路分析	419
§ 6.4.2	场扫描集成电路分析	428
§ 6.4.3	行、场扫描电路实例	430
§ 6.5	开关式稳压电源	431
§ 6.5.1	开关式稳压电源的基本工作原理	432
§ 6.5.2	变压器耦合储能式开关稳压电源实例	434
§ 6.6	自动消磁电路	443
思考题与习题		446

第七章 彩色电视接收机的调试

§ 7.1	电视接收机的主要技术指标	449
§ 7.2	电视测试图 (卡)	453
§ 7.3	中频放大器的调试	454
§ 7.4	解码器的调试	457
§ 7.5	彩色电视机扫描部分的调试	462

§ 7.6 彩色电视机的整机调试	465	
§ 7.7 集成彩色电视机的调试	468	插页三
第八章 电视信号的传播和电视天线		
§ 8.1 电视信号的传播	476	插页四
§ 8.1.1 电波的传播途径	476	
§ 8.1.2 电视信号的传播及其电场强度的计算	477	插页五
§ 8.1.3 建筑物对电视信号传播的影响	478	插页六
§ 8.2 天线的主要参数	479	插页七
§ 8.3 电视发射天线	481	插页八
§ 8.4 电视接收天线	487	插页九
§ 8.4.1 室内电视天线	487	插页十
§ 8.4.2 引向天线	490	
§ 8.4.3 共用天线电视系统	491	
§ 8.4.4 电视接收天线的连接、安装与架设	493	
插页一 图 (4.2-47) 电子调谐器电原理图		
插页二 图 (4.3-67) TA7607AP/11AP集成		
		电路的内部电路图
		图 (4.5-31) 色度解码通道电原理图
		图 (4.5-32)(a) TA7193P 集成块内部电路
		图 (4.5-32)(b) TA7193P 集成块外围电路
		图 (6.4-14) 行、场扫描电路实例
		图 (6.5-11) 自激式开关电源电原理图
		图 (7.3-3) 中放电原理图
		图 (7.5-1) 扫描部分电原理图
		附图1 $35D1-\frac{1}{2}$ 黑、白电视接收机电原理图
		附图2 上海牌Z647-1B彩色电视机电原理图
		附图3 Z656-2A型彩色电视接收机

第一章 电视传象基础

§ 1.1 电视的意义

人类在生产活动、科学实验、文化生活中需要用各种方式传送音响、文字、图象等视听信息，随着科学与技术的进展，形成了现在的电视技术系统。它是一种利用现代通信理论和技术，用电的方法实时地远距离传送活动影像与声音信息的传输系统，能把远隔重洋、相距万里的世界各地的自然风光、人物形象、城乡风貌、文学艺术、科学成就、教学内容、语言特征等信息及时地呈现在电视观众面前，使其具有“耳闻目睹，身临其境”之感，它满足了视、听觉在空间与时间上的相关性的要求，具有真实和生动鲜明的特点。

由大量的统计实验证明，人们在获取周围信息时，通过视觉得到的信息为总信息量的80%左右，由听觉获得的信息量为15%左右。这样，由视、听觉获得的信息量为总信息量的95%左右。在研究人们的记忆保持率的时候发现：听讲授，3小时后能记忆原材料的70%，三天后为10%。仅看3小时后能记忆原来的72%，三天后为20%，如果视、听觉同时并用，3小时后能记忆85%，三天后记忆仍能保持65%左右。这说明视、听觉同时并用比单纯听或看的记忆保持率高得多。可见，电视系统能同时传输活动图象和音响，能使视、听觉并用。故它是目前传送信息量最大、速度最快、效能最高的信息传输系统。

电视传象的过程，可以概括为光与电的相互转换和传输的过程。电视传象原理可用图(1.1-1)来表示，图中光-电转换过程就是摄像，摄像是利用摄像机完成的。摄像机所得的电视信号通过有线的或无线的传送方法到达接收端。接收机是把接收到的电视信号通过显象装置重现为人眼看得见的电视图象。

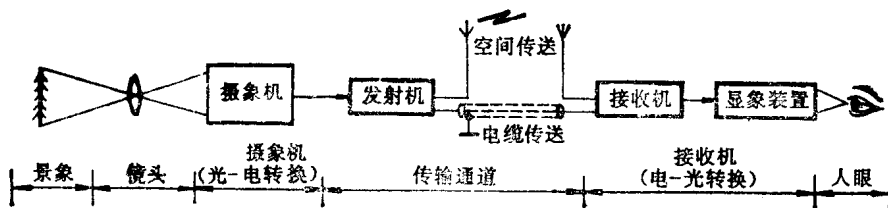


图 (1.1-1) 电视传象原理图

电视有许多特殊的性能。首先是传送距离远，就是在太空中、月球上的景象也能传送到每家每户；二是利用电视可以观察到人不能或不易到的地方的景象，例如深海、核子爆炸现场、高温或超低温环境等地方；三是用红外或微光电视可以看到人眼所不能直接观察到的景象；另

外, 利用电视的拍摄和放录速度的变换, 可以把肉眼捕捉不住的瞬态现象, 变得非常缓慢地呈现于屏幕上, 使人们能较深入地分析一些有意义的瞬变过程。反之, 也可把非常缓慢变化的物体运动状态, 在短时间来表达, 使所需要的信息, 由冗长而变成简明扼要, 一目了然。正是由于这些特点, 使电视技术在现代工业、农业、科学实验、文化教育、新闻广播、医药卫生、体育、空间和水下探测等方面都得到了广泛的应用。

§ 1.2 图象的特征参数

当人们用耳朵听声音时, 只是感觉到声音强弱随时间而变化, 也就是说, 传送声音只要用一个物理量即声强信号就可以了, 它是时间的单值函数。但用眼睛看景物时, 是通过光波的传递来实现的, 由于景物对照射光的透射、反射、吸收特性不同以及景物的几何位置、运动状态、颜色等的差别, 使景物光的空间分布、功率大小和光谱成分等光学特性发生变化, 由此引起人们视觉反应的差别。在正常情况下, 人们通过视觉的明、暗差别感和不同的彩色感来识别景物的。为了表征这种复杂的效应, 需要引入亮度、色调、色饱和度三个物理量。

亮度: 物体表面发光 (包括反射、透射) 引起视觉的明亮程度。例如, 显象管屏幕上的发光亮度较高, 使人们能在有背景光下观看图象。黑、白显象管的亮度峰值在 $200 \times 10^{-4} \text{sb}$ (熙提)^① 左右, 彩色显象管的亮度峰值为 $120 \times 10^{-4} \text{sb}$ 左右。白天太阳光的亮度值大约为 $15 \times 10^4 \text{sb}$, 没有月亮的夜晚的亮度值约 10^{-8}sb 。

色调: 可见光中主波长作用于人眼引起的颜色感称为色调。不同波长的光, 在人眼视觉上表现为不同的色调, 如太阳光谱中的可见光, 经过棱镜折射后作用于人眼引起红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等色调。

色饱和: 是表示颜色的浓淡程度。即表示彩色光掺白光的程度, 它说明主波长的颜色光与白光混合时所占的百分比数。

由于照射物体的光源、物体运动的状态和其几何位置是变化的, 因此表示图象特征参数的三个物理量也是随时间、空间而变化, 即亮度 (L_v)、色调 (λ)、色饱和度 (ϕ) 是时间和空间变量的函数, 即

$$L_v = f(x, y, z, t)$$

$$\lambda = f(x, y, z, t)$$

$$\phi = f(x, y, z, t)$$

在黑、白电视中, 不传送色调、色饱和度, 仅传透明、暗变化的平面图象, 它的数学表达式可简化为

$$L_v = f(x, y, t)$$

而彩色电视则要同时传送亮度、色调、色饱和度三个量。

^① 1sb (熙提) 等于每 cm^2 (平方厘米) 发光强度为 1cd (坎德拉), 即 $1 \text{sb}(\text{熙提}) = 1 \text{cd}/\text{cm}^2$ (坎德拉/平方厘米)。

§ 1.3 电视图象的扫描变换

§ 1.3.1 图象的分解和传送

一、象素

现在先让我们用放大镜仔细观察一下报纸或画片上的画，见图 (1.3-1)。可以看到它们是由排列整齐的许许多多的小黑点组成的，黑点粗大的地方，图象较暗，黑点细小的地方，图象较明亮。另外，当我们观察图片时候，如果离开图片一段适当的距离，这些黑点就不能再分辨清楚而连成一片，感觉到是一幅完整的图象。一般地说，单位面积黑点越多越密，图象越精细清晰。反之，黑点越稀，图象就比较粗糙。这种构成图象的细小点子，常称做象素。根据现代图象清晰度的要求，每幅电视图象有 50 多万个象素。因此，看画面是否细微清晰，是与单位面积的象素数目和观看距离有关。



图 (1.3-1) 图片中的象素

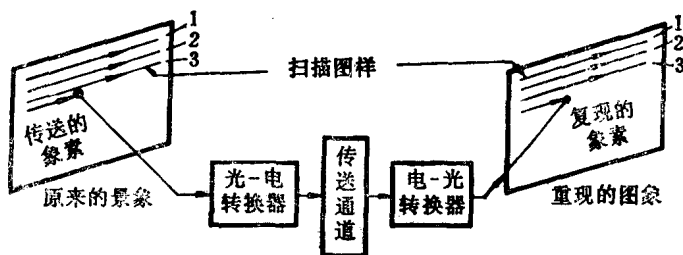


图 (1.3-2) 电视图象顺序传送系统

同样，也可将一幅彩色图象分解成许多象素，对彩色图象来说，亮度、色度^①基本相同的最小单元构成一个象素。然后，把象素看成是彩色随时间变化的光点，把彩色变化的光点，通过光-电转换器，依时序变换为相应的电信号再传送出去，在接收端，把收到的电信号，通过电-光转换器，按同样的时序转变为对应的彩色光点。对于黑、白电视来说，只需传送亮度变化，用一个通道就可以重现出原来的图象。如图 (1.3-2) 所示。

由于人眼只能接受光学图象信息，而电视系统通道传送的则是随时间变化的电信号。因此，为了传送活动的光学图象，首先要将光学图象转换成电信号，然后再将传输到接收端的电信号变成光学图象，为视觉所接受，其过程如图 (1.1-1) 所示。实现图象的光-电和电-光转换的器件分别称为摄象管和显象管。

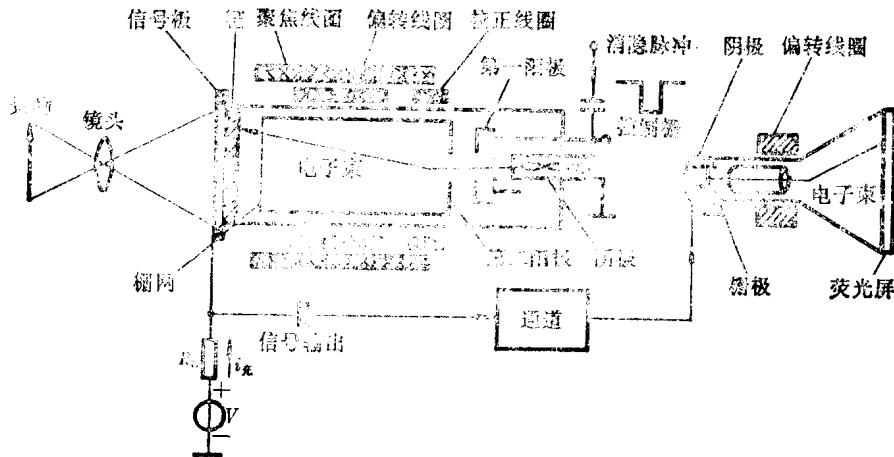
^① 色度：包括色调和色饱和度。

二、摄像管

摄像管是把光的图象变成电的图象并转换成图象的电信号的器件。目前广播电视采用的是光电导摄像管，下面对它作简要的介绍。

光电导摄像管是由电子枪和光电导材料构成的靶面组成，其结构如图(1.3-3)所示。

电子枪提供一条细的电子束。由阴极发生的电子，在第一阳极(加速极)电场的作用下，以一定的速度向靶面方向运动，控制栅极电压可控制电子束的强弱。电子束经加速场加速进入第二阳极聚成细束。由于摄像管靶电压 V 比第二阳极低许多，因此电子束通过栅网后，作减速运动，最后以接近零速度垂直上靶。与此同时，管外套着的聚焦线圈、偏转线圈使细电子束在靶面上左右扫描。



图(1.3-3) 电视摄像与显象原理

光电导管的靶面是将被传送的光的图象变成相应的电的图象，它是由电导率随光照的增强而增加的光敏半导体材料制成，如硫化锑、氧化铅、硅光电二极管点阵等。

下面讨论当扫描运动着的电子束打到靶面上后的光-电转换情况。由于光电导材料靶面的电导率是随光照的增强而增加，因此靶面在光的图象作用下，可看成是一幅电导率的图象，它同样可分成 n 个靶单元。靶单元又叫靶象素，而每一个靶单元可等效为一个靶电容 C_n 和靶电阻 R_n 的并联，如图(1.3-4)所示。假如某时刻电子束扫到第 n 个靶单元，此时靶电压 V 迅即通过 R_L 对 C_n 充电到接近于 V ，当电子束离开后， C_n 上的电压 V 即通过 R_n 放电，放电多少决定于与光照强弱成比例的靶电阻 R_n ，放电的时间常数为 $C_n \cdot R_n$ ，数值上比一帧扫描①时间长些，电导大(R_n 小)放电快，反之则小。当经过一帧时间后，电子束又扫到第 n 个靶单元，此时靶电压 V 又迅速对 C_n 充电，以补充放电时失去的电荷量。当光照强、电导率大、 R_n 小，放电时 C_n 失去电荷就多，故 C_n 充电电流 $i_{充}$ 较大。反之，光照弱、电导率小、 R_n 大，放电时 C_n 失去电荷较少， C_n 充电电流就较小。 $i_{充}$ 流过 R_L 即形成信号电压，因为 $i_{充}$ 流过 R_L 的方向是自下而上的，所以输出信号极性为负。图(1.3-5)表示了电子束扫描一行后输出的电信号波形，其中

① 电子束沿垂直方向的扫描为帧扫描。

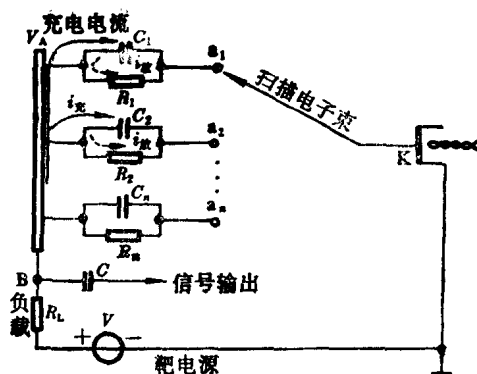


图 (1.3-4) 光电导管工作的等效电路

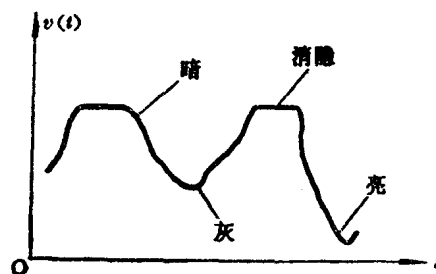


图 (1.3-5) 摄像管输出的电信号(电容隔直前)

高电平对应于光照弱，低电平对应光照强，水平部分表示消隐，在消隐期间电子枪关闭，靶电容 C_n 基本上无充电电流。

综上所述，光电导摄像管受被摄物光照射时，将引起光电导靶面的电导率变化，通过扫描电子束的作用，使靶电容放电时间长的在靶电容上将储存电荷，充电时间短的则快速“拾取”电荷。即对电荷慢存快取，使光-电转换提高效率。

三、显象管

电视显象管是完成电-光转换的图象显示器件。在显象管中，由电子枪发出的电子束，在偏转线圈的作用下，电子束按照摄像管中相同的规律同步进行扫描。涂敷在荧光屏上的荧光粉，在高速电子束轰击下发光（荧光粉的荧光效应），其发光强弱取决于轰击的电子数量与速度。只要用代表图象的电信号去控制电子束的强弱，就会在荧光屏上重现被摄景象。这样，显象管便完成了时间-空间转换过程和电-光转换过程。

在显象管（摄像管）中，被电子束扫过的屏幕的发光面叫光栅面。根据人眼的视觉特性，人眼在观看景物时成矩形面，由大量实验测定，水平视角为 30° ，垂直视角为 22° ，如图(1.3-6)所示。水平与垂直视角的比值为 $\frac{30}{22} = 1.36$ ，这个比值接近 $4:3$ 。因此电视有效扫描面的宽、高比亦规定为 $4:3$ ，即 $\frac{W}{H} = \frac{4}{3}$ 。在第五章中，将对显象管作更详细的讨论。

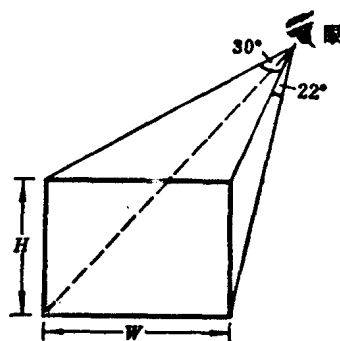


图 (1.3-6) 人眼观看物体的水平与垂直视角

§ 1.3.2 人眼的分辨力

当与人眼相隔一定距离的两个黑点靠近到一定程度时，人眼就分辨不出有两个黑点存在，

而只感觉到是连在一起的一个黑点。这说明人眼分辨细节的能力有一极限。这种分辨细节的能力称为人眼的分辨力或视觉锐度。这种细节分辨力是以图 (1.3-7) 所示的最小视角 θ 的倒数来表示的。图中 L 表示人眼与图象之间的距离； d 表示能分辨的相邻最近两点的间距； θ 表示人眼对该两点间的视角（也称分辨角）。则根据图示的几何关系，得到

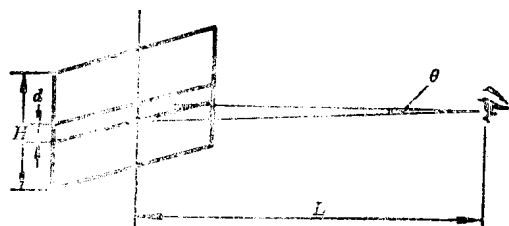


图 (1.3-7) 人眼分辨力

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{d}{2L}$$

在视角 θ 很小时近似有

$$\frac{\theta}{2} \approx \frac{d}{2L} \quad \text{或} \quad \theta \approx \frac{d}{L} \text{ rad}$$

于是，分辨角若以〔角〕分（′）为单位（视觉锐度的倒数）可写为

$$\theta \approx \frac{57.3 \times 60 \times d}{L} = 3438 \frac{d}{L} \text{〔角〕分（′）} \quad (1.3-1)$$

在正常照度与观看距离的条件下，人眼能分辨被观察物体细节的最小视角，称生理极限角。为了测试生理极限角，国际上采用“蓝道”环视标，作为通用视标。“蓝道”环与测试距离及照度关系如图 (1.3-8) 所示。当“蓝道”环视标的缺口宽度约为环外径的 $1/5$ 时，标准人眼（大量正常人视力的统计平均值）在距环中心 5m 处，照度为 500lx 时，能看到环的缺口所张的视角为 $1'$ 到 $1.5'$ 。这个实验结果，是在标准照度（500lx）时获得的，如果照度比标准照度低，标准人眼分辨景物细节能力要下降。当照度太低时，人眼分辨力大为降低，且分辨不出颜色。相反，当照度太高时，分辨力也不会再增加，甚至由于“眩目”现象而降低。从生理角度看，人眼分辨力与物体在视网膜上成象的位置有关，因为人眼的光敏细胞在黄斑区分布较密，在黄斑区凹部集中有大量锥状细胞，因而这里的分辨力最高。当光刺激偏离中央凹部 5° 处，分辨力几乎下降一半，而偏离 $40^\circ \sim 50^\circ$ 处，分辨力就只有中央凹部的 $1/20$ 。所以观察目标时，为了分辨细节，必须使细节成象于中央凹部处。

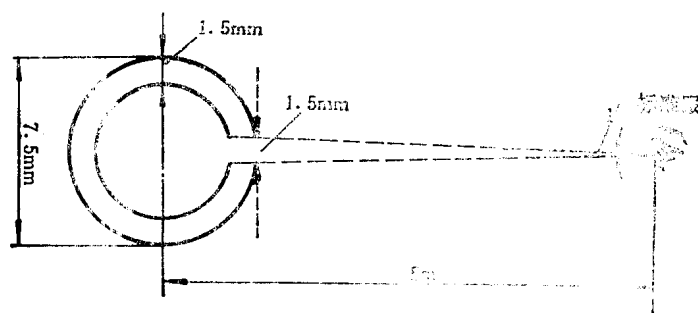


图 (1.3-8) “蓝道”环视标的细节图

分辨力还与景物相对对比度 C_r 有关。 $C_r = \frac{L_v - L_{v0}}{L_{v0}} \times 100\%$ ，其中 L_v 为物体亮度， L_{v0} 为背景亮度， C_r 小则表明物体亮度与背景亮度接近，分辨力自然要降低。

被观察物体的运动速度也会影响分辨力。运动速度快，分辨力将下降。

人眼对彩色的分辨力比亮度分辨力低。在生理极限角下的黑、白相间条纹换成两条不同颜色的条纹后，人眼就不能分辨出颜色的条纹来，例如，红、绿相间的条纹引起的是一黄色条的感觉。实验还表明，人眼对不同彩色细节的分辨力也不相同。例如，在同样照度下，能分清绿色细节时，对红、蓝细节往往就分不清。如果把眼睛对黑、白细节的分辨力定为 100%，则实验测得人眼对不同配色的鉴别能力是不同的，而且对黑、白配色的鉴别能力最高。见表(1.3-1)所示，当人们在一定距离上观看白色背景上宽度为 1mm、相距为 0.5cm 的黑色条纹；在红色背景上相距为 1cm 的相同宽度的绿色条纹和在蓝色背景上相距 2.5cm 的相同宽度的绿色条纹等三幅图案时，开始还分得清是两条线，到了某一距离以外，就分不清是孤立的两条线了，可见人眼分辨细节的能力是有限的。有意义的是，这三幅图象中的条纹几乎是在近似相同的距离以后分不清的。换句话说，在相等的距离内，并不因后两幅图案中两条纹间距大而分得更清楚些。上面说明，人眼对彩色细节分辨能力远比对黑、白分辨能力低。因此，彩色电视系统在传送彩色图象时，轮廓的细节部分只传送黑白图象，这就是利用所谓大面积着色原理节省传输频带的依据。

表 (1.3-1) 人眼对不同配色的敏感度

配 色		视觉敏感度%
黑	白	100
黑	绿	94
黑	红	90
黑	蓝	26
绿	红	40
红	蓝	23
绿	蓝	19

§ 1.3.3 视觉惰性与闪烁感觉

一、视觉惰性

当一定强度的光突然作用于视网膜时，不能在瞬间形成稳定的主观亮度感觉，而有一个短暂的过渡过程。随着作用时间的增长，主观亮度感觉由小到大，达到最大值后又降低到正常

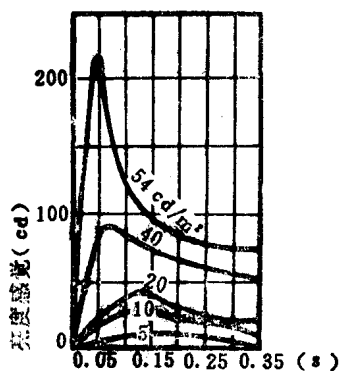


图 (1.3-9) 不同亮度下亮度感觉与时间的关系

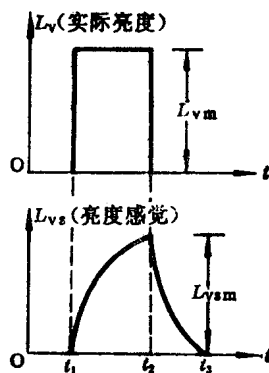


图 (1.3-10) 视觉惰性

值。图(1.3-9)示出在不同光亮度(5~54cd/m²)作用下,亮度感觉与作用时间的关系。由图也可得到这样的认识,即短暂的光刺激比长时间的光刺激更加醒目(指重复频率较低时)。海上航标采用断续灯光就是利用人眼的这种特性。

不仅亮度感觉的形成需要有过渡过程,当光消失后,亮度感觉也并不瞬时消失,而是按接近指数函数的规律逐渐减小。图(1.3-10)表示窄光脉冲及其引起的主观亮度感觉。显然,后者滞后于前者。人眼的这种视觉特性称为视觉惰性或视觉暂留。人的视觉暂留时间约为0.1s。

二、闪烁感觉

如果人眼受周期性光脉冲刺激,则当重复频率不够高时,会产生一明一暗的闪烁感觉。这是因为有光和无光时在亮度感觉上有可分辨的差别所致。如果将重复频率提高到某一定值以上,人眼就察觉不到是脉冲光源,而是均匀的不闪烁光源的感觉。不会引起闪烁感觉的最低重复频率,称为临界闪烁频率。

临界闪烁频率(常用 f_0 表示)与很多因素有关,其中最重要的是光脉冲亮度 L_{vm} ,它们之间的关系可用以下公式近似表示:

$$f_0 = a \lg L_{vm} + b \quad (1.3-2)$$

式中, a 和 b 均为常数,对于电视屏幕来讲,若 L_{vm} 用cd/m²为单位,则常取 a 约为9.6, b 约为26.6。所以当 $L_{vm}=100\text{cd/m}^2$ 时, $f_0 \approx 45.8\text{Hz}$ 。随着 L_{vm} 的提高, f_0 也将提高。临界闪烁频率还与亮度变化幅度有关,亮度变化幅度越大,临界闪烁频率越高。

对于重复频率在临界闪烁频率以上的光脉冲,人眼不再感觉到闪烁,这时主观感觉的亮度 L_v 等于光脉冲亮度的平均值。即

$$L_v = \frac{1}{T} \int_0^T L_v(t) dt \quad (1.3-3)$$

式中, $L_v(t)$ 为光脉冲亮度的时间函数; T 为重复周期。由上式描述的规律称为塔尔博特-普拉塞定律。

上述视觉特性是设计电视系统的重要依据。例如,目前在电视技术中,广泛采用将一幅画面分成两场传送的“隔行扫描”方式,它既可以克服大面积闪烁现象(代之以不易觉察的行间闪烁),又可以节省传输系统的频带。

§ 1.3.4 电视扫描原理

在电视技术中,摄像管是通过电子束扫描,把原来以空间分布的像素信息转换为按时间分布的像素信息(图象信号)。

就数学表达式来说,通过扫描便把空间坐标 x 和 y 变换成时间 t 的函数:

$$x = f(t) \text{ 和 } y = f(t)$$

这样,可利用已知的扫描规律,把亮度、色调、色饱和度变换为时间的一维函数:

$$L_v = f(t), \lambda = f(t), \phi = f(t)$$

由此可见,运用扫描的方法,可以实现空间和时间之间的变换,在显象管里,是把图象的电信号重新转换成图象也需要有相同的扫描过程。为了使人眼观看图象时不易疲劳,取宽与高为4:3的长方形画面,且采用等速单向直线性扫描,即电子束水平方向从左到右,同时逐渐由

• 8 •