

北京电影学院数字电影技术专业系列教材

后浪电影学院 046

后浪出版

(插图版)

视频 技术基础



孙 略◎著



世界图书出版公司

北京市教育委员会专业建设资助项目

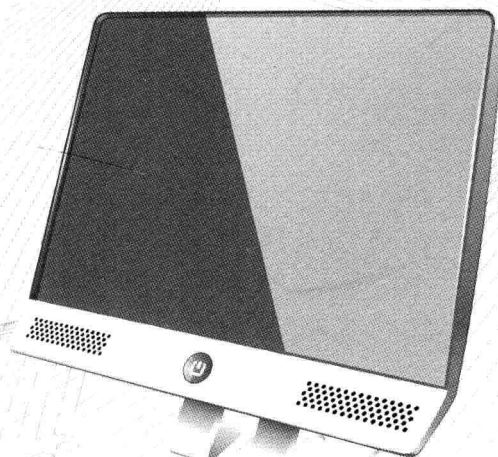
后浪出版

后浪电影学院046

(插图版)

视频 技术基础

孙 略◎著



世界图书出版公司

北京·广州·上海·西安

图书在版编目 (CIP) 数据

视频技术基础 / 孙略著. ——北京: 世界图书出版公司北京公司, 2013.5

ISBN 978-7-5100-6181-3

I. ①视… II. ①孙… III. ①视频制作 IV. ①TN948.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 103762 号

视频技术基础 (插图版)

著 者: 孙 略	丛 书 名: 电影学院	筹划出版: 银杏树下	出版统筹: 吴兴元
编辑统筹: 陈草心	责任编辑: 曹 佳 刘晋京	营销推广: ONEBOOK	装帧制造: 墨白空间

出 版: 世界图书出版公司北京公司

出 版 人: 张跃明

发 行: 世界图书出版公司北京公司 (北京朝内大街 137 号 邮编 100010)

销 售: 各地新华书店

印 刷: 北京嘉实印刷有限公司 (北京昌平区百善镇东沙屯 466 号 邮编 102206)

(如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请与承印厂联系调换。联系电话: 010-61732313)

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 11 插页 4

字 数: 222 千

版 次: 2013 年 10 月第 1 版

印 次: 2013 年 10 月第 1 次印刷

读者服务: reader@hinabook.com 139-1140-1220

投稿服务: onebook@hinabook.com 133-6631-2326

购书服务: buy@hinabook.com 133-6657-3072

网上订购: www.hinabook.com (后浪官网)

拍电影网: www.pmovie.com (“电影学院”官网)

ISBN 978-7-5100-6181-3

定 价: 35.00 元

后浪出版咨询 (北京) 有限公司常年法律顾问: 北京大成律师事务所 周天晖 copyright@hinabook.com

版权所有 翻印必究

前 言

随着数字技术的不断发展,胶片正在从电影的前期拍摄、后期制作、发行及放映等各个环节中逐步退出历史舞台,电影已经进入了全面数字化的时代。

本世纪以来,我国数字电影技术取得了飞速发展。目前,在前期拍摄阶段,90%以上的影片采用数字摄影机;在后期制作阶段,传统胶片的剪辑、配光等手段几乎绝迹,被数字技术全面取代;在发行、放映阶段,传统胶片拷贝所占比例快速减少,国内新增银幕全部为数字银幕。在电影产业的各个环节中,传统胶片遭到了无情地淘汰。

作为数字电影技术的重要组成部分,视频技术是研究数字影像的获取、存储、传输、处理及再现的一门基础性技术。视频技术与图像处理技术并列为数字电影技术的两大基础性技术。

对于数字时代的电影制作人员以及电影技术工作者,只有掌握了一定的视频技术基础知识,才能了解相关设备的工作原理,才能正确使用各类数字电影设备,才能合理设计、规划电影制作流程,才能开发出具有实用价值的软硬件制作系统,才能拍摄出高质量的影片,从而提升我国电影制作的整体水平。

作为北京电影学院影视技术系影视摄影与制作专业“视频技术基础”课程的教材,本书在撰写过程中充分考虑了专业教学的特点与需求,在内容编排上尽量做到全面、系统,在理论深度上尽量考虑本科学生的接受能力,同时注重与该专业其他课程的衔接。作为一门专业基础课的教材,同时也考虑到数字视频技术本身的快速发展,在本书撰写过程中,作者侧重于对时效较长的理论的论述,为学生打下扎实的基础。对于各类视频设备的介绍则侧重于一般性原理,因为只有掌握了基本原理,学生才能在实践中较快地掌握各类设备的原理及使用方法。

本书第一章“人眼视觉与图像属性”,从分析人眼视觉特性的角度出发,介绍数字图像的特点及其与人眼视觉之间的关系;第二章“色彩科学”主要介绍色度学基础知识以及视频技术中的相关色彩知识;第三章“感光元件”介绍CCD与CMOS的工作原理和各类分光方式;第四章“扫描与同步”介绍扫描与同步原理;第五章“模拟与数字”介绍模拟视频与数字视频的相关基础知识及二者间的关系;第六章“视频传输”介绍模拟与数字视频信号的传输原理以及各类视频接口的特点;第七章“视频标准与

视频格式”介绍各类视频标准与格式的特点；第八章“视频的存储”介绍不同视频存储介质及其工作原理；第九章“时间与时码”介绍时间与时码的相关基础知识；第十章“显示”介绍不同显示设备的工作原理及特性；第十一章“伽马”介绍视频影像伽马原理。

本书可作为各大专院校影视制作、视频工程、数字媒体技术以及摄影等相关专业的教材或参考书。对影视制作、多媒体制作等相关领域的技术工作者也具有一定的参考价值。

由于本人能力、水平的限制，书中难免出现错误或不妥之处，欢迎广大专家和读者批评指正。

致 谢

感谢北京电影学院影视技术系刘戈三老师、李铭老师、郭学玲老师、陈军老师、朱梁老师以及其他同事在本书撰写及出版过程中对本人的帮助和支持；感谢影视技术系2012级全体研究生在本书一校过程中所付出的努力；感谢影视技术系2011级全体本科生，课堂上你们的反馈极具价值。

感谢后浪“电影学院”编辑部，你们辛勤的工作保证了本书的质量。

感谢我的博士生导师沙占祥教授，您严谨的学风将影响我的一生。

目 录

Contents

前 言 / 1

第1章 人眼视觉与图像属性 / 1

1.1 人眼的结构 / 1

1.2 人眼视觉与影像分辨率 / 2

1.2.1 影像分辨率 / 2

1.2.2 观看距离及视角 / 3

1.2.3 画面宽高比 / 6

1.2.4 像素宽高比 / 6

1.3 人眼视觉与影像扫描 / 8

1.3.1 临界闪烁频率 / 8

1.3.2 扫描方式与扫描速度 / 10

1.3.3 帧频与运动表现 / 11

1.4 人眼视觉与伽马 / 11

1.4.1 人眼对亮度的反应 / 11

1.4.2 数字影像的位深 / 13

1.4.3 “编码100”问题 / 13

1.4.4 非线性编码与伽马 / 15

1.5 图像的结构 / 16

1.5.1 像 素 / 16

1.5.2 尼奎斯特定律与混叠 / 17

第2章 色彩科学 / 19

2.1 色彩三要素与色立体 / 19

2.1.1 色彩三要素 / 19

2.1.2 色立体 / 20

2.2 光的基础知识 / 22

2.2.1 光 谱 / 22

2.2.2 物体的色彩 / 23

2.2.3 色 温 / 24

2.2.4 标准光源 / 25

2.3 三基色与色度图 / 26

2.3.1 RGB计色制 / 27

2.3.2 XYZ计色制与CIE色度图 / 29

2.4 视觉均匀的色彩空间 / 32

2.5 视频技术中的三基色 / 34

2.5.1 色彩的重现 / 34

2.5.2 RGB三基色 / 35

第3章 感光元件 / 38

3.1 摄像管工作原理 / 38

3.2 CCD工作原理 / 39

3.2.1 电荷的积累 / 39

3.2.2 电荷的转移 / 41

3.3 CMOS传感器 / 43

3.4 分 光 / 46

第4章 扫描与同步 / 50

4.1 扫 描 / 50

4.1.1 扫描与消隐 / 51

4.1.2 逐行扫描与隔行扫描 / 53

4.1.3 扫描方式与运动再现 / 55

4.1.4 逐行分段帧 / 58

4.2 同 步 / 58

4.2.1 同步异常 / 58

4.2.2 模拟视频信号的同步 / 59

第5章 模拟与数字 / 64

5.1 从模拟到数字 / 66

5.2 信号与噪声 / 68

5.2.1 分 贝 / 68

5.2.2 信噪比与感光度 / 69

5.3 傅里叶变换 / 72

5.3.1 时域与频域 / 72

5.3.2 傅里叶变换 / 74

5.4 采样与量化 / 76

5.4.1 采样与量化 / 76

5.4.2 采样频率与混叠 / 77

5.4.3 量化与量化位深 / 81

5.5 色度采样 / 81

第6章 视频传输 / 85

6.1 模拟视频的传输 / 85

6.1.1 调 制 / 85

6.1.2 频段划分 / 87

6.2 数字视频传输 / 87

6.2.1 数字信号的调制 / 87

6.2.2 数字视频串行传输原理 / 89

6.3 视频传输接口 / 93

6.3.1 视频传输接口 / 93

第7章 视频标准与视频格式 / 100

7.1 视频标准制定者 / 100

7.1.1 电影与电视工程师协会

(SMPTE) / 101

7.1.2 国际电信联盟 (ITU) / 101

7.1.3 动态图像专家组

(MPEG) / 102

7.1.4 数字电影倡导组织

(DCI) / 102

7.2 主要视频格式介绍 / 103

7.2.1 国际电信联盟定义的

视频标准 / 103

7.2.2 数字视频记录格式 / 105

7.2.3 视频文件的封装 / 110

第8章 视频的存储 / 113

8.1 磁带录像机工作原理 / 113

8.2 半导体存储设备 / 117

第9章 时间与时码 / 119

9.1 不同拍摄速度的选择及其转换 / 119

9.1.1 帧速率的转换 / 120

9.2 时 码 / 122

9.2.1 时码格式 / 122

9.2.2 drop-frame与non-drop-frame / 124

9.2.3 VITC与LTC / 125

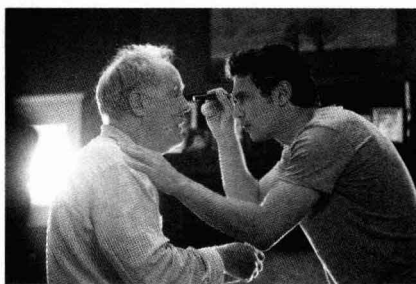
9.2.4 时码的运行 / 126

9.2.5 多机拍摄时码问题 / 127

第10章 显 示 / 129	
10.1 液晶显示器 / 129	
10.1.1 液晶显示器工作原理 / 129	
10.1.2 液晶显示器的性能评价 / 135	
10.1.3 液晶投影 / 138	
10.2 数字光处理技术 / 139	
10.2.1 数字微镜设备 / 139	
10.2.2 DLP工作原理 / 141	
10.2.3 DLP技术的优势 / 144	
10.3 等离子显示技术 / 145	
第11章 伽 马 / 148	
11.1 视频伽马 / 148	
11.1.1 人眼的非线性 / 148	
11.1.2 CRT的伽马与亮度的非线性失真 / 150	
11.1.3 伽马校正 / 151	
11.1.4 环境效应与系统伽马 / 154	
11.1.5 视频伽马对亮度的记录与亮度参考点 / 156	
11.1.6 18%灰与灰渐变 / 157	
11.2 电影伽马 / 159	
11.2.1 视频伽马的局限 / 159	
11.2.2 对数影像 / 161	
11.2.3 LUT技术与影像再现 / 163	
出版后记 / 168	

第 1 章

人眼视觉与图像属性



视频图像最终是要呈现给观众的，观众的需求决定了视频图像的属性。在现有技术条件下，视频图像的处理成本以及视频图像的质量是两个相互制约的因素。处理成本主要指在获取、记录、传输和再现视频图像的过程中发生的经济成本以及时间成本；而视频图像的质量主要指其对视觉信息再现的完整性、准确性以及艺术性。本书主要研究视频技术在影视领域的应用原理与应用技术，对于成本与质量两个因素，电影侧重考虑质量因素，而电视则力求在二者之间找到符合市场需求的平衡点。

不论电影或电视，最终的画面都要呈现给观众，从某种意义上讲，视频图像的质量只有一种评价方法，就是观众的认可，而人的视觉特点以及心理特点在其中起到了决定性作用。本章在介绍人眼视觉特点的基础上，注重讨论视频图像的内部结构、分辨率、扫描方式、扫描速度以及视频图像动态范围等基本属性，从而使读者了解人眼视觉特点与视频图像属性之间的关系。

1.1 人眼的结构

人眼的结构是非常复杂的，图 1-1 显示了人眼的主要组成部分。

如图 1-1 所示，眼球由多层组织构成，最外层是蛋白质层，眼球壁的前部是透明的，称为角膜，光线通过角膜进入眼内，眼球壁的其他部分为非透明的白色组织，称为巩膜，主要起保护眼球的作用。巩膜里面的一层由虹膜和脉络膜组成，脉络膜内含有丰富的色素，为黑色，具有遮光作用。而虹膜的颜色具有种族差异，分别有黑色、蓝色和褐色等。

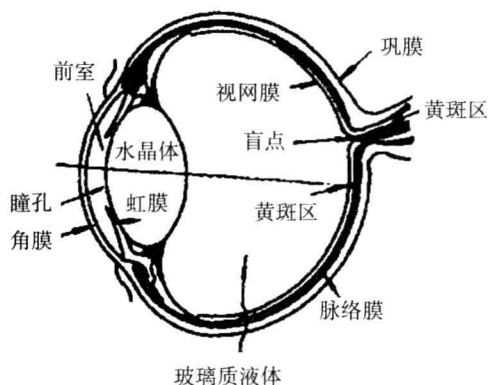


图1-1 人眼的结构

虹膜中间的圆孔为瞳孔，虹膜的环状肌肉可调节瞳孔的大小，一般成人瞳孔的调节范围为2至8毫米。瞳孔的作用与照相机的光圈相同，主要是控制进入眼内的光通量。

眼球壁最里层为视网膜层，由众多的感光细胞组成。感光细胞分杆状细胞和锥状细胞两种。杆状细胞分布于视网膜的边缘区域，主要负责暗视视觉，对亮度非常敏感，通常在照度比较低的情况下起作用，它对色彩的分辨能力很差，这就是为什么我们在昏暗的环境中较难分辨物体色彩的原因。锥状细胞分布在视网膜的中心区域，主要负责明视视觉，它既能分辨光线的强弱，又能辨别色彩。所有的感光细胞都与视神经连接，视神经汇集到视网膜上的一点，然后通向大脑，该汇集点无感光细胞，称为盲点。

瞳孔后面有一个扁球形透明体，称为晶状体，它与照相机中的镜头作用相似，可使景物在视网膜上清晰成像。正对晶状体的视网膜上有一个集中了大量锥状细胞的黄斑区，是感光细胞最密集的地方，而且每一个感光细胞都对应一条视神经，所以此区域感知景物的清晰度最高。视网膜上距离黄斑区越远的区域，感光细胞分布越稀松，而且多个感光细胞对应一条视神经，所以离黄斑区越远，清晰度越低。

眼球前室充满了透明液体，对紫外线具有一定的吸收作用。后室充满了玻璃质液体，起到一定的滤光保护作用。

1.2 人眼视觉与影像分辨率

1.2.1 影像分辨率

图1-2表示了各种格式视频影像的分辨率，视频影像的分辨率由水平分辨率和垂直分辨率组成。水平分辨率就是数字视频影像水平方向上的像素数目，而垂直分辨率

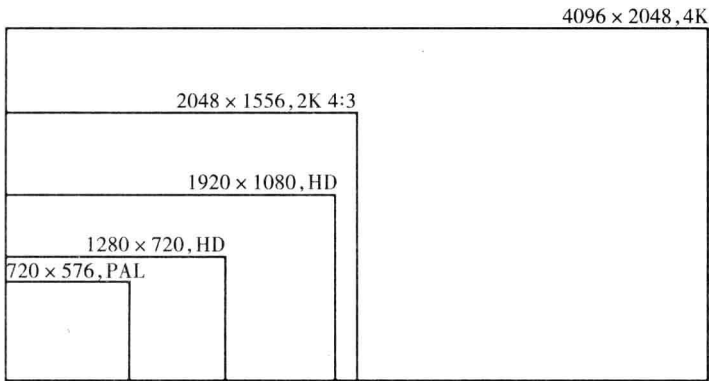


图 1-2 不同格式视频影像分辨率

是垂直方向上的像素数目。水平分辨率 × 垂直分辨率 = 影像的像素数。水平、垂直分辨率以及像素宽高比共同决定了影像的宽高比。

影像分辨率越高，所传达的信息量就越大，对景物细节的表现就越丰富。但影像分辨率应符合其用途，并不是越高越好。例如许多网络上的视频应采用较小的 320 × 240 的分辨率，其单帧总像素数只有 7.6 万，经压缩后，可以大幅度减少传输成本，便于点播或下载。而目前在电影制作过程中已经广泛出现的 4K 格式，其单帧总像素数达到千万以上，二者的总像素数目相差 100 多倍，显然 4K 格式并不适合网上播放。

1.2.2 观看距离及视角

当我们检查视力的时候，视力表上有各种大小不同的“E”字，被测者与视力表的距离为 5 米，如果被测者刚好能看清标注为“1.5”的那一行“E”字的朝向，说明被测者的视力为 1.5，1.5 的视力代表被测者具有正常而健康的视力水平。“E”字的大小以及测试距离必须是恒定的，这样才能保证视力测量结果的统一，如图 1-3 所示。

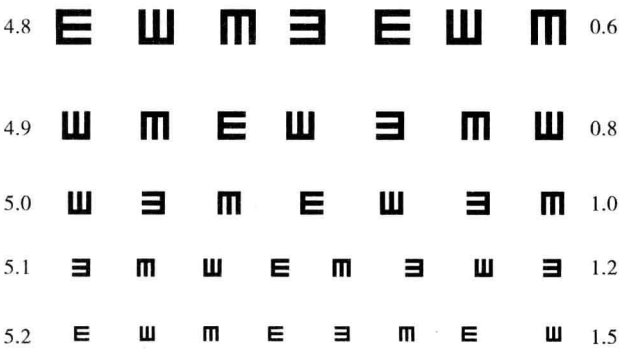


图 1-3 视力表（局部）

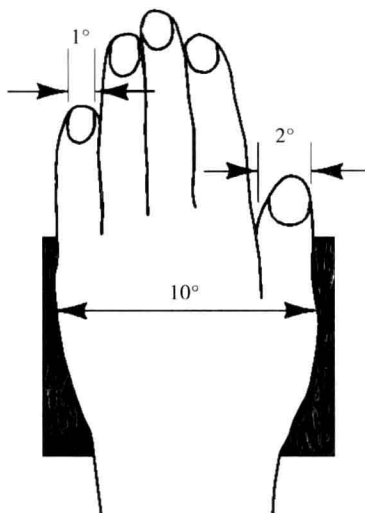


图 1-4 手掌与视角

视力表是根据视角的原理设计的。所谓视角就是由外界两点发出的光线汇聚于人眼时所形成的夹角。正常情况下，人眼能分辨出两点的最小距离与人眼所形成的视角为最小视角，研究表明，最小视角约为 $1/60^\circ$ 。视力表就是以此进行设计的。当被测者距离 5 米观看视力表时，代表 1.5 视力的那一行“E”字相对于人眼的视角刚好为 $1/60^\circ$ ，也就是 $1'$ 。

我们现在了解了人眼分辨率以视角表示约为 $1'$ ，这个角度是一个非常小的数值，我们很难想象 $1'$ 视角到底有多大。但是有一个简单的方法可以让我们了解 1° 角的大小。方法如下，将我们的胳膊伸直，将手背面向自己，这时小拇指相对于我们的眼睛所展开的视角约为 1° ，大拇指为 2° ，而整个手掌的宽度约为 10° ，如图 1-4 所示。根据前述原则，在小拇指的宽度内必须具备 60 个以上的像素人眼才能够认为影像是连续的，也就是看不出独立的像素。

$1'$ 视角在视频技术中是一个关键的参数，视频影像的分辨率和观看距离都需要根据这个参数来制定。根据公式 1.1，观看距离需要大于像素宽度的 3400 倍才能消除“像素感”。

$$3400 \approx \frac{1}{\sin\left(\frac{1}{60}\right)^\circ} \quad (\text{公式 1.1})$$

PAL 制标准清晰度电视有效行数为 576，也就是从屏幕的上方向下计算，在一帧之内一共扫描了 576 行。根据 $3400/576 \approx 5.9$ ，得出在观看 PAL 制标清电视时距离屏幕的距离应大于屏幕高度的 5.9 倍。同样道理，NTSC 制标准清晰度电视有效行数为 480，

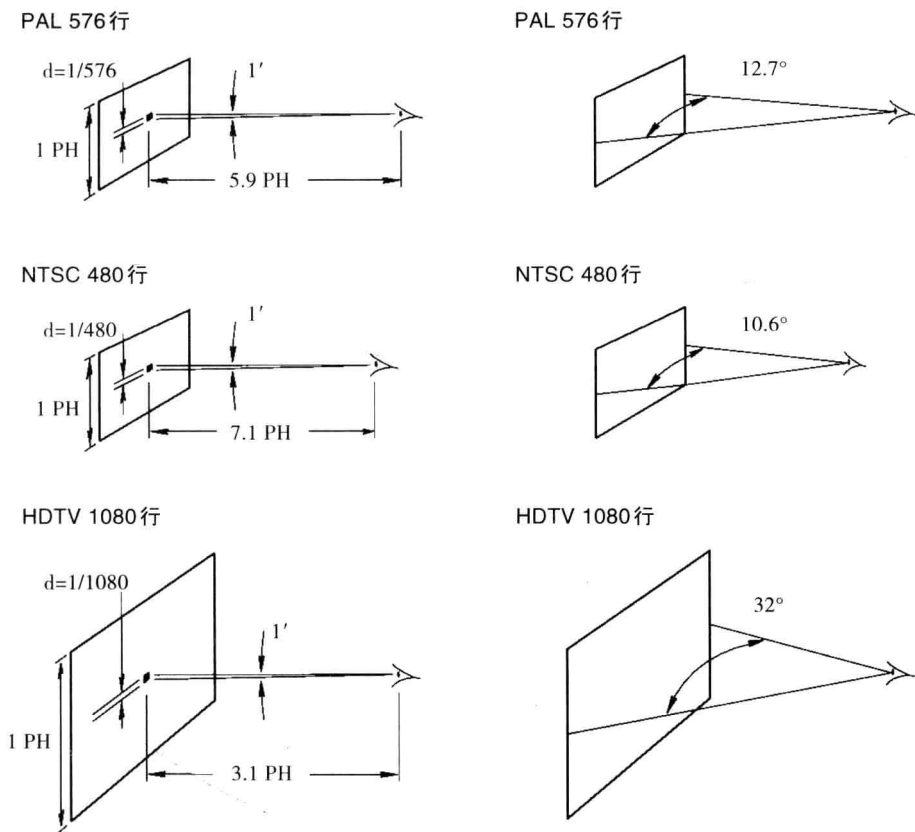


图1-5 观看距离与视角

3400/480 $\approx$ 7.1，即在观看 NTSC 制标清电视时距离屏幕的距离应大于屏幕高度的 7.1 倍。根据以上计算，如果 PAL 制和 NTSC 制电视的屏幕尺寸是一致的话，我们在观看 NTSC 制电视的时候需要距离屏幕更远一些才能获得同样的清晰效果，如图 1-5 所示。

同样基于以上假设，即 PAL 制和 NTSC 制电视的屏幕尺寸一致，为了获得相同的清晰效果，观看 NTSC 制电视的时候需要距离屏幕更远一些，这意味着我们在观看 NTSC 制电视的时候对屏幕张开的垂直视角小于 PAL 制电视，即普通观众们常说的“画面小了”。由 $1' \times 576 \approx 9.6^\circ$ ，得出观看 PAL 制电视时可获得的最大垂直视角约为 9.6° ，由于标清电视的宽高比为 1.33，那么 $9.6^\circ \times 1.33 \approx 12.7^\circ$ ，得出观看 PAL 制电视时可获得的最大水平视角约为 12.7° 。同理，NTSC 制的最大垂直视角和水平视角分别约为 8° 和 10.6° ，而 1920×1080 分辨率的高清晰度电视的最大垂直视角和水平视角分别约为 18° 和 32° ，从这些数据可以得出，观众在观看高清电视时所获得的视角远远大于标清电视。同时，经计算不难得出，观众在观看 1920×1080 分辨率的高清电视时，只需要距离电视约 3 倍屏幕高度即可获得清晰画面，观看距离远远小于标清电视，如图 1-5 所示。

在印刷技术中也存在同样的道理，较高质量印刷产品的分辨率需要大于300，也就是大于每英寸300个点， $3400/300 \approx 11$ 英寸，约为28厘米，也就是只有在阅读距离小于28厘米的条件下，正常人眼才能观察到印刷网格，而人们平时阅读的一般距离为35厘米左右。

1.2.3 画面宽高比

人眼的视角范围并不是正方形的，水平视角要大于垂直视角，所以电视画面以及电影画面的宽高比都大于1。根据标准的不同，不同种类影像具有不同的画面宽高比，如表1-1。

表 1-1 不同种类影像的画面宽高比

类别	名称	画面宽高比
电影画面	全画幅（Full Aperture）	1.33 : 1（4 : 3）
	学院画幅（Academy）	1.37 : 1
	遮幅宽银幕（Flat）	1.85 : 1或1.66 : 1
	变形宽银幕（Cinemascope）	2.35 : 1
电视画面	标准清晰度电视（SDTV）	1.33 : 1（4 : 3）
	高清晰度电视（HDTV）	1.78 : 1（16 : 9）

由于画面宽高比的不同，在影视广播、放映及制作的过程中经常会遇到画面宽高比的转换问题。画面宽高比转换一般会遇到两种情况，一种是将较低的画面宽高比转换为较高的画面宽高比，另一种情况则相反。图1-6显示了4 : 3与16 : 9画面之间的相互转换方法，其他宽高比画面之间的转换与其类似。

其中，a图、b图和c图为4 : 3画面转换为16 : 9画面。a为画面两边加遮幅；b为画面上下直接裁切；c为画面垂直方向压缩。d图、e图和f图为16 : 9画面转换为4 : 3画面。d为画面左右两边直接裁切；e为画面上下加遮幅；f为画面水平方向压缩。

1.2.4 像素宽高比

数字视频画面由若干像素组成，所谓像素宽高比（Pixel Aspect Ratio）是指某一个具体像素的宽度和高度的比例。并不是所有的像素宽高比都是1，有些视频格式的像素是正方形的，有些视频格式的像素是矩形的。例如大多数计算机视频系统的像素

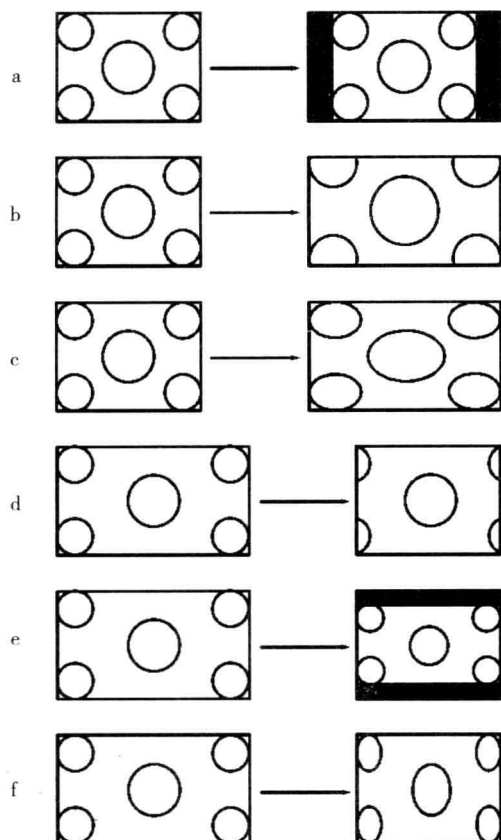


图1-6 不同画面宽高比之间的转换

宽高比为1, 1920×1080 高清标准以及720HDV的像素宽高比也为1, 而1080HDV以及DVCPRO HD的像素宽高比为1.33 (4:3), 另外, NTSC制DV (非宽屏) 像素宽高比为0.9, PAL制DV (非宽屏) 像素宽高比为1.066。需要强调的是, 模拟视频信号本身并没有像素的概念, 只有行的概念, 亮度信号在一行的范围内是连续变化的, 所以模拟信号本身也不存在像素宽高比的概念, 只有在数字化以后才具备像素概念, 才能讨论像素宽高比。而模拟显示器由若干具体像素组成, 存在像素宽高比的概念。

以PAL制DV为例, 其有效像素为720×576, 如果在像素分辨率为1的显示系统中显示, 其画面宽高比为 $720/576=1.25$ (5:4), 并不是PAL制的1.33 (4:3), 这是因为PAL制DV本身的像素宽高比为1.066, 而 $1.25 \times 1.066=1.33$, 如图1-7所示。

又如DVCPRO HD1080p/i格式的水平分辨率为1440, 而不是1920。DVCPRO HD是一种记录格式, 这种记录格式的像素宽高比为4:3, 在视频采集的过程中, 会将1440的水平分辨率上变换为1920, 从而达到16:9的画幅宽高比。

在实际影片制作过程中, 像素宽高比的不一致可能会造成一定的问题, 这类问题

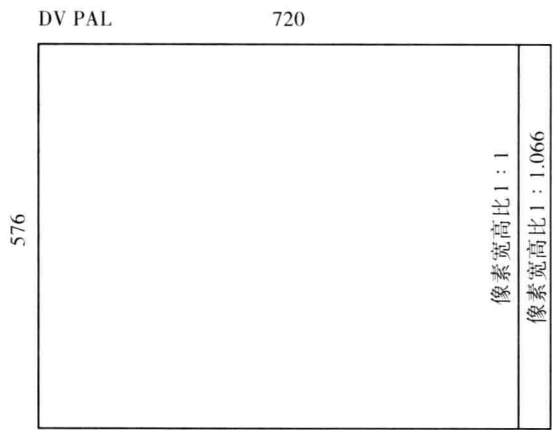


图1-7 PAL制DV在像素宽高比为1和1.066的显示系统中显示的画幅比

往往出现在画面采集和输出的过程中，一般的采集和输出系统都具有像素宽高比的设定功能，只要明确影片最终画面宽高比，并以此为依据选择适当的像素宽高比即可避免错误的发生。

1.3 人眼视觉与影像扫描

1.3.1 临界闪烁频率

人眼对光线的反应具有一种延时效应。当一定强度的光突然作用于视网膜时，人眼对此强光的亮度感觉并不是稳定的，在强光刚刚摄入视网膜的一瞬间，人眼对此光线的亮度感觉几乎为零，而随着时间的推移，在极短时间内（大约在0.05秒至0.15秒范围内），主观的亮度感觉升至最大，可能要大于实际光线的亮度。而后，亮度感觉会逐渐降低到相对稳定的正常值。图1-8为不同亮度下亮度感觉与时间的关系。所以，在相同亮度下，闪烁光源比稳定光源对人眼的视觉刺激更加强烈，这就是为什么救护车的警示灯采用闪烁光源的原因。

另一方面，当光线突然消失后，人眼对亮度的感觉并没有马上消失，而是随着时间的推移逐渐减小，如图1-9所示，当较窄的脉冲光线作用于视网膜后，人眼对亮度变化的感觉有明显的延时效果，在脉冲光线消失后的特定时间内，人眼对亮度的感觉仍旧存在，这种特性称为视觉惰性。

电影正是利用了这种视觉惰性从而产生连续的运动画面。在拍摄影片时，每秒共有24格胶片曝光，在放映影片时，每一格胶片会闪烁两次（每一格画面会被遮挡一次，

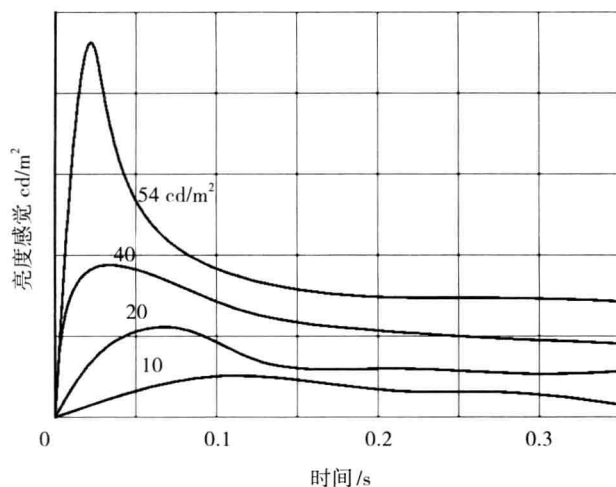


图1-8 不同亮度下亮度感觉与时间的关系

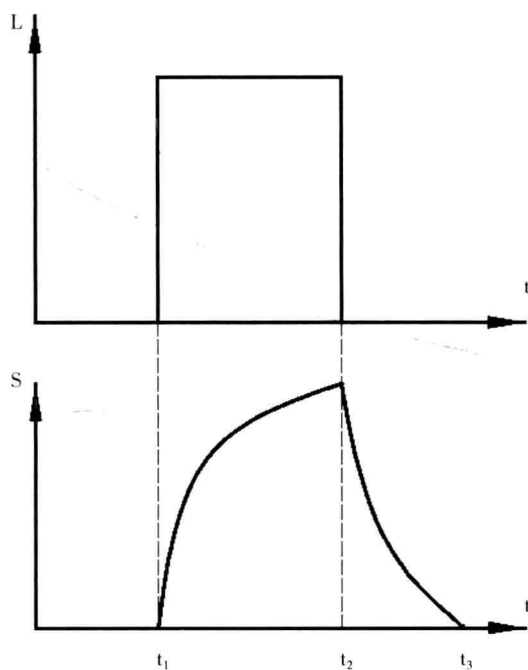


图1-9 视觉惰性 (L-实际亮度; S-亮度感觉)

形成两次闪烁), 所以在观看胶片放映的影片时, 我们看到的画面每秒钟闪烁48次。我们都有观看电影的经验, 在影院环境下, 每秒48次的闪烁频率并没有产生视觉上的闪烁感。如果降低画面的闪烁频率至原来的一半, 即每秒24次, 所有的观众均会感到强烈的闪烁感。