

第二章 数字彩色
电视摄像机
(2)光学系统

主要内容

- 变焦距镜头
- 色温校正片和中性滤光片
- 分光棱镜/滤色片
- 光学低通滤波器
- 摄像机光学系统存在问题

一、变焦距镜头

变焦距镜头 Zoom Lens

- 作用：将拍摄景物成像在感光器件上。
- 输入信号：
 - 聚焦控制信号；
 - 电动变焦距控制电压：实现电动变焦；
 - 光圈关闭电压：输出彩条信号时或自动调节黑平衡时，来自控制电路；
 - 自动光圈控制电压：自动控制光圈大小。
- 输出信号：
 - 录像机启动 / 停止电压（VTR S / S）；

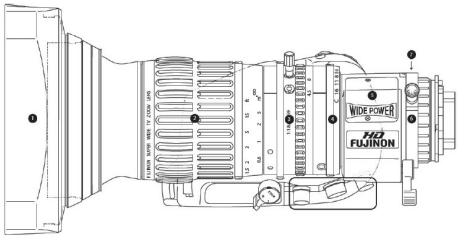
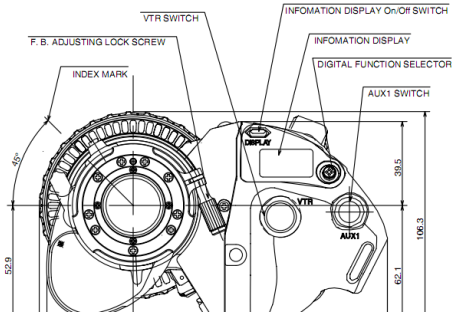


图 2-7 Fujinon HA13×4.5BE 高清镜头
注:①遮光罩(Hood) ②聚焦环(Focus Ring) ③变焦环(Zoom Ring) ④光圈环(Iris Ring)
⑤倍率镜(Extender) ⑥微距环(Macro Ring) ⑦后焦环(Back Focus Ring)



一、变焦距镜头

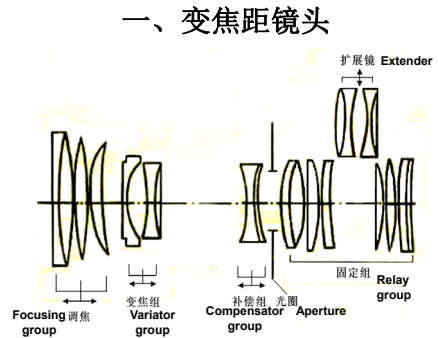
(一) 变焦距镜头的组成

- 5组或7组镜片
- (1) 聚焦组（调焦组）Focus：使一定距离的拍摄物清晰的成像在感光器件上；
 - (2) 变焦组（变倍组）Zoom：调整焦距；
 - (3) 补偿组：变焦距时与变焦组按一定轨迹同时移动，保持像清晰度不变；
 - (4) 光圈（光阑）Iris：控制进光量；
 - (5) 固定组（移像组）：将像面移后一段距离（后焦距），以便在镜头和感光器件之间安装分光棱镜和色温校正片等。

一、变焦距镜头

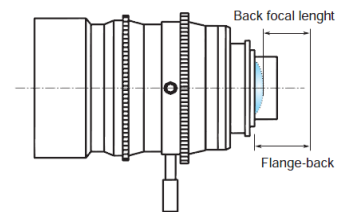
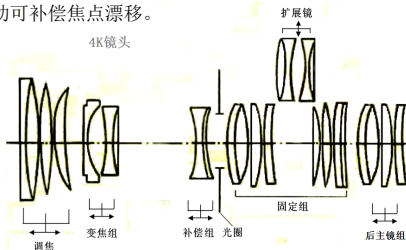
(一) 变焦距镜头的组成

- (6) **倍率镜（扩展镜），Extender**：扩大变焦距倍数（ $\times 2$ ）加入倍率镜后，原镜头的焦距可扩展若干倍。如加入2倍（ $\times 2$ ）的倍率镜，比如原镜头焦距9—143mm，则变为18—286mm。
- (7) **超近摄镜/微距镜，MACRO**：用于拍摄物距极近的物体；
- (8) **后焦距的调节环，F.f.或F.B.**：调后焦距。镜头的最后一个透镜表面到成像面之间的距离称为后焦（截）距。在此之间放置分光棱镜。后焦距调整好后，不要轻易变动，否则聚焦不清晰。（需要调制后焦环的现象为：长焦端清晰，拉开后短焦端模糊。）

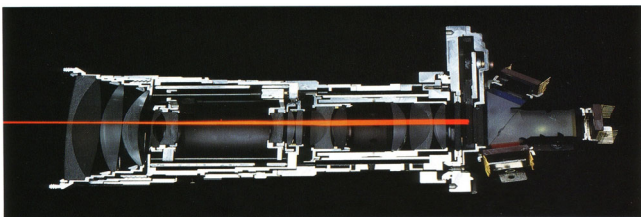


4K镜头的特殊需求

- (9) **后主镜组**：4K镜头在长焦和广角端容易出现焦点漂移，后主镜组的移动可补偿焦点漂移。



摄像机的光学系统



1、聚焦/调焦

- (1) 作用：使一定距离的拍摄物清晰的成像在感光器件上

(2) 调焦方法

- 手动调焦
- 自动调焦/瞬时自动
- PEAKING/辅助调焦



(3) 自动聚焦原理

a、间接法——实测物距方式

原理

- 它是利用一些可以被利用的间接距离测量方式来获取物距，通过运算，伺服电路驱动焦距调节的微型马达，带动调焦镜片组的轴向移动，来达到自动焦距调节的目的。

特点

- 目标精度高；
- 成本高；
- 体积比较大；
- 维护困难；

方法

- 无源光学基线测距；
- 有源超声波测距；
- 有源主动红外测距；
- 现代的激光技术在测量领域的应用。

间接实测物距方式

无源光学基线测距

- 在取景器里使用光学基线原理得到磨砂、裂像、菱锥等手段的焦距调节方式。经过一系列的函数分析计算后，进行调焦驱动。

有源超声波测距

- 通过发射具有特征频率的超声波对被摄目标的探测，通过计算发射出特征频率的超声波和反射回接受到特征频率的超声波所用的时间，换算出距离，也就是物距，伺服电路驱动焦距调节的微型马达，达到自动调焦的目的。

有源主动红外测距以及现代激光技术测距

- 原理上基本与有源超声波测距相似

b.高频分量析出方式

原理：

直接利用摄像机的视频信号进行焦距调节。如果我们把视频图像看成由若干个点组成的一帧图像，这时候会发现，在焦距清晰时，这些点的边缘也清晰，焦距模糊时，这些点的边缘也变得模糊起来。同一景物，焦距发生了改变，图像清晰的视频信号的高频分量成分丰富，而图像模糊的视频信号的高频分量要相对少一些。即图像的细节由信号的高频分量表示。



图1



图2



图3

高频分量析出方式

实现步骤：

- 剪取调焦中心。我们经常需要的被摄目标处于靶面的中心位置，通过大量的实际调查统计，这个区域的大小为靶面1/3~1/5，反映到监视器上就是屏幕中心的1/3~1/5区域为我们的主要观察目标区。在电路上我们通过行、场扫描的时序控制将这一区域的视频信号给剪取下来。
- 高频分量析出。将剪取下来的视频信号通过特定的高通滤波器，析出对焦距变化敏感的高频分量成份。
- 伺服比较驱动。通过析出的对焦距变化敏感的高频分量成份，通过比较器(comparator)电路伺服驱动调焦微型可逆马达转动，直到得到最大值，完成一次自动调焦过程。

以下情况**可能**会出现自动聚焦不实：

- 被摄物体照度过低或对比度不高；
- 被摄物体不处于画面中心；
- 没有垂直细条纹；
- 被摄目标处于有栅栏场景内（笼子里的动物）；
- 由远至近的倾斜物体；
- 布满规律细条状物体；
- 前方有透明物体遮挡；
- 被摄目标区域有晃动的树叶。

| 无源 | 有源 | 高频析出 |
|----|-----|------|
| N | Y | N |
| N | N | Y/N |
| N | Y | Y |
| N | N | N |
| N | N | N |
| N | Y | Y |
| Y | Y/N | Y |
| N | N | N |

1、聚焦/调焦

(4) 镜头的分类

a. 内聚焦镜头

- 结构：双层套筒结构，移动镜片和固定镜片分装在两个套筒上，机械精度要求高。



特点：

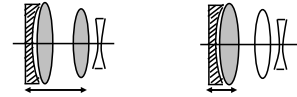
- 调焦组的前三片镜片中最前面的1片或2片不动，只有中间或最后1片移动。
- 调焦时遮光罩和镜头前装的滤光镜都不随调焦转动，允许方形遮光罩，有效减少杂散光。
- 调焦组镜片可加像差校正片，提高镜头质量。



1、聚焦/调焦头

b. 外焦距镜头

- 结构：一个套筒，调焦组的镜片和遮光罩装置一个套筒上，机械结构简单。
- 特点：调焦组的几片镜片和遮光罩都固定在一个套筒上，调焦时转动套筒，几个镜片同时移动，遮光罩也随之转动。只能装圆形遮光罩。减少杂散光的效果不如方形遮光罩。



2、变焦

(1) 变焦距原理

光学变焦距系统是一种焦距可以变化而像面保持稳定且在变焦过程中像质保持良好的光学系统。如果变焦距系统由 k 个透镜组成，由几何光学可知，整个系统的合成焦距为

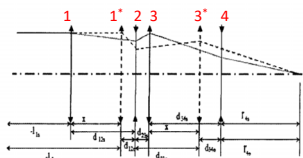
$$f' = f_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdots \beta_k$$

即合成焦距为第一个透镜组的焦距和其后各个透镜组垂轴放大率的乘积。设 $\beta_2 \cdot \beta_3 \cdots \beta_k$ 为初始状态， $\beta_2^* \cdot \beta_3^* \cdots \beta_k^*$ 为新位置的垂轴放大率的乘积，变焦比：

$$\tau = \frac{\beta_2^* \cdot \beta_3^* \cdots \beta_k^*}{\beta_2 \cdot \beta_3 \cdots \beta_k}$$



a. 光学补偿式变焦距系统——焦距不能连续变化 四组镜片光学补偿型



特点：

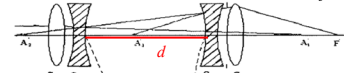
- 镜片分为固定组元、移动的透镜组（用于变倍和补偿）；
- 透镜组必须移动到某些特殊位置才能得到稳定清晰的像面；
- 容易实现，机械简单，但是焦距不能连续变化，而是几个离散值，使用受限。

b. 机械补偿式变焦距系统——焦距可以连续变化

单变倍单补偿型（负-负）

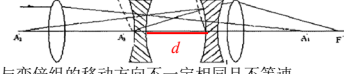
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

最短焦



固定组 变倍组

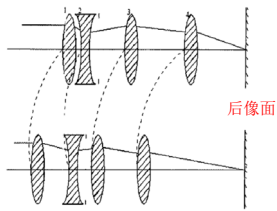
最长焦



特点：

- 补偿组的移动与变倍组的移动方向不一定相同且不等速。
- 根据近轴微分方程和高斯光学基本物象关系式求解固定组与变倍组的间隔。
- 结构复杂，工艺要求高，可保持镜片移动期间，成像清晰稳定。

c.多组元全动型变焦距系统——保证镜头的全长很短



特点:

相对新型的变焦系统，变焦运动过程中，各组员都按一定的轨迹作曲线运动，使各组员按最佳方式移动，以实现在镜头变焦比增大的情况下仍然能镜头的全长减小到很短。需求解运动组元之间的间隔变化，使得后像面保持稳定。
容易实现高倍率变焦镜头的小型化。非常适合手机变焦。

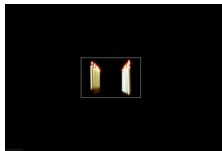
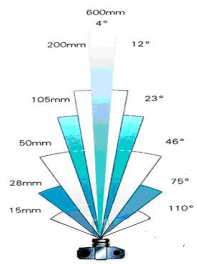
(2) 变焦的作用

焦距的变化可引起景别、景深、视角等变化。

- 焦距越大（其他参数相同时）景深越浅。短焦则景深大。
- 焦距越大，视角越小；而短焦则对广角。

思考：如何拍摄这样的镜头？

背景在不断扩大，前景人物在画面中的大小不变。



原构图



Zoom In

Dolly In

(3) 变焦方式:

- 电动变焦（如家用）S；
- 手动变焦（如舞台用）M；



3、光圈

(1) 光圈F数 定义：像面上单位面积上的入射光量：

$$L_0 = \frac{1}{4} \frac{\tau L_s}{1-m^2} \left(\frac{D}{f} \right)^2 \approx \frac{1}{4} \tau L_s \frac{1}{F^2}$$

其中， τ 为镜头透光率； L_s 为景物照度； f 为焦距； $m \ll 1$

D 为入射光瞳（入射到像面中心的光柱直径）；

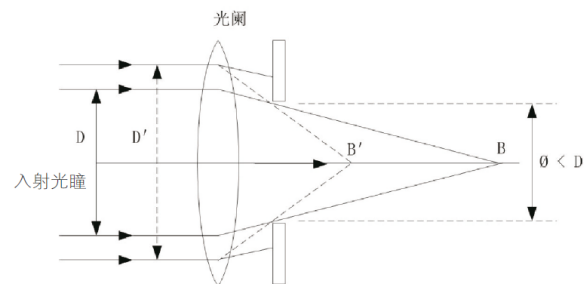
- 定义：相对孔径： D/f ；

- 定义：光圈F数： $F = f/D$ ；

可见， F 越小，光通量越大；

典型的光圈F数系列：1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22

光圈每增大一档，进光量变到以前的二倍。

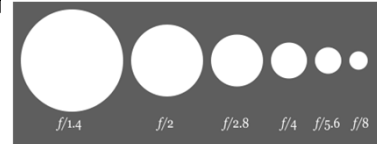


| | | |
|-------------------------|---|----------------------|
| IRSE | 16:9 | |
| Zoom Ratio | 22:1 | |
| Built-in extender | 1.0X | 2.0X |
| Range of Focal Length | 7.3 – 161mm | 14.6-322mm |
| Maximum Aperture | F2.6 at 161mm | 9.2 at 322mm |
| Minimum object Distance | 0.8m from front lens vertex (with macro ; M.O.D.: 0.1m) | |
| Approx. Size | W x H x L = 165 x 175 x 336 mm | |

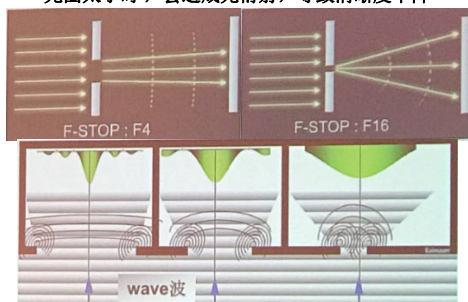
注意：14.6-322mm是等效焦距，实际镜头数值是7.3-161mm
F5.2是等效光圈，实际镜头光圈环数值还是F2.6

(2) 光圈作用：

- F越大，光圈越小；
- 光圈变化引起到达摄像器件光敏面的光通量，即成像面的光照度改变。光圈越小，光通量越小。
- 光圈大时，景深浅，清晰度下降。光圈过小，产生衍射，清晰度会受影响

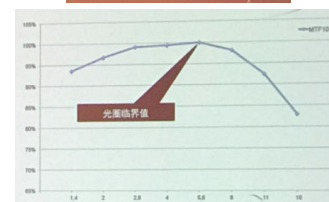


- 光圈太小时，会造成光衍射，导致清晰度下降



- 摄影师要避免镜头光圈达到衍射特性的临界值

F16



光圈临界值的影响因素：像素间距（感光元件的尺寸大小、像素数目）

| | S3S (4K) | 2/3in (HD) | 2/3in (4K) |
|--------|---------------|-------------|-------------|
| 感光元件尺寸 | 32.62 * 13.68 | 9.59 * 5.39 | 9.59 * 5.39 |
| 像素数目 | 4096 * 2160 | 1920 * 1080 | 4096 * 2160 |
| 像素间距 | 5.7 um | 4.9 um | 2.3 um |
| 临界光圈值 | F 8.6 | F 7.5 | F 4.0 |

(3) 光圈的调节方法

- 解决曝光不足和曝光过度；
 - a. 自动光圈：自动光圈档（A）；
 - b. 程式曝光（DV）：摄像机本身存储的特殊环境下拍摄最佳方案，通过菜单设定，一般有聚光灯模式、运动模式、柔和肖像模式、沙滩和雪地、黄昏和月色、风景和橱窗、低亮度；
 - c. 手动光圈：手动光圈（M）；也可加瞬时自动光圈，按下按钮时为自动光圈。
 - 背景太亮（如逆光像）
 - 光线强弱变化很快（如树丛中摇动的镜头）

(4) 自动光圈原理

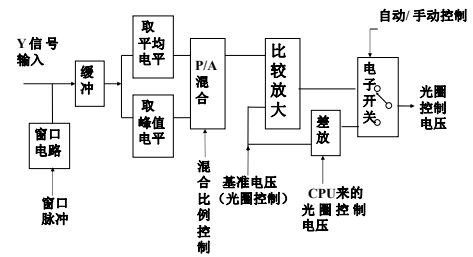
原理:

- 自动光圈电路根据图像亮度产生控制电压，用以控制光圈电极，从而调节光圈大小，使摄像机输出的图像信号白色电平保持 $0.7V_{pp}$ 。

方法:

- 处理放大器的R、G、B进入自动控制电路，经过矩阵形成Y，作为图像亮度检测信号；
- 窗口脉冲只使窗口内的信号进入电路，产生光圈控制电压；窗口一般在图像中心的圆形、方形或椭圆形区域内，以保证图像中心部分的景物亮度合适；
- 调节基准电压可调节光圈稳定值的大小；
- 峰值和平均值比例可以根据场景需要调节。

自动光圈的结构



思考，变焦时如果是自动光圈，会不会出现忽明忽暗的状况？

拍摄小技巧:

- 白加黑减
- 高亮度对象摇至阴影处时（如从窗外景转到窗内景），曝光变换较明显，最好分开拍摄。
- 黑暗的环境用慢速快门拍摄时要使用三脚架。小景深的画面可用高速快门拍摄（光圈大）。

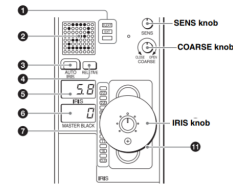


白背景要加大光圈



黑背景要减小光圈

RCP-1000



Iris Adjustment Functions

| | Relative value mode (IRIS RELATIVE button lit) | Absolute value mode (IRIS RELATIVE button not lit) |
|-------------|---|--|
| IRIS knob | Adjusts the iris in relative values. | Adjusts the iris within the variable range set by the SENS and COARSE knobs. |
| COARSE knob | Adjusts the iris in relative values within the full range from OPEN to CLOSE. | Sets the lower limit for the CLOSE side. |
| SENS knob | Does not function. | Sets the upper limit for OPEN, referenced to the CLOSE value set by the COARSE knob. |

4、倍率镜（EXT/Extender）

例：×2倍率镜

原焦距变化范围 $8\sim 14\times 8\text{mm}$ ，打开倍率镜后，焦距变化范围 $2\times (8\sim 14\times 8)=16\sim 224\text{mm}$

- 光照较暗时不宜用；因为加入倍率镜后，相对孔径减小，光通量减少到原来的 $1/4$ ，所以需要加大光圈两档（一般此处用自动光圈调节）。光圈加大会造成像变大，图像清晰度降低。

思考：使用倍率镜后，摄像机的变焦比有什么改变？

5、超近摄镜/微距镜（MACRO）

- 常用镜头的近摄距离在60cm或80cm以上（Minimum object Distance，MOD），物距太近则无法清晰成像。
- 方法：
 - 松开锁钉，转动超近摄环，向MACRO白线推到头；
 - 调焦至近距离点（如60cm \sim $+\infty$ 的镜头，选择60cm）；
 - 变焦使清晰（向短焦变）；
 - 拍摄完成后，要将超近镜复原；

6、后焦距调节

(1) 定义：镜头的最后一个透镜表面到成像面之间的距离称为后焦（截）距。在此之间放置分光棱镜。

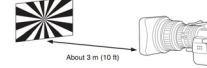
(2) 何时调节后焦？

- 后焦距调整好后，不要轻易变动，否则聚焦不清晰。
- 新装镜头、或变焦时图像清晰度随焦距变化时需要调后焦。
- 后焦有误时的现象为：长焦端清晰，拉开后短焦端模糊。

(3) 后焦距调节方法

为什么要打开光圈？

- Set the iris to manual.
- Open the iris. Place the flange focal length adjustment chart about 3m away from the camera, lit well enough to provide a satisfactory video output level.
- Loosen the fixing screws on the F.f or F.B ring.
- Use manual or power zoom to set the lens to telephoto.



- Point the camera at the chart by turning the focus ring and focus on it.
- Set the zoom ring to wide angle.
- Turn the F.f or F.B ring until the chart is in focus, being careful not to disturb the focus ring.
- Repeat steps d to g until the chart stays in focus all the way from wide angle to telephoto.
- Tighten the F.f or F.B ring fixing screws.

(二) 主要参数

1、成像尺寸

用摄像器件直径尺寸表示，镜头成像尺寸应与像面尺寸一致。

- 标清摄像镜头的成像尺寸：宽/高=4:3

SDTV常用成像尺寸：

| 成像尺寸（宽×高） | 像面对角线 | 相应摄像管直径 | |
|-----------|-------|---------|------|
| mm | mm | in | mm |
| 8.8×6.6 | 11 | 2/3 | 18 |
| 6.4×4.8 | 8 | 1/2 | 12.7 |

- 高清摄像镜头的成像尺寸：宽/高=16:9

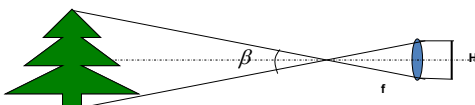
例：9.59×5.4 11 2/3 18

2、视场角/视角

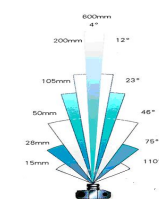
能够通过镜头成像的最大镜像范围在镜头处的张角。

$$\beta = 2 \arctg(H/2f)$$

β 为垂直视场角；H为成像高度；f为焦距



- 垂直视角和水平视角
 - 短焦镜头又称**广角镜头**（50度以上）；
 - **长焦镜头**又称望远镜头



3、变焦比

变焦比：最长焦距与最短焦距之比。

- **光学变焦(Optical Zoom)**

- 依靠光学镜头结构来实现变焦，不会损失画面质量；
- 变焦倍数 一般在10~25倍，甚至35倍；
- 变焦范围 例：35~350mm、28~200mm；
- 日常的拍摄中多用28~150mm的焦距；

按焦距将镜头分为三类：标准镜头（约50~135mm）、短焦镜头（约28~50mm）、长焦镜头（约200mm以上）。24mm以内的焦距为超短焦，400mm以上的焦距为超长焦。

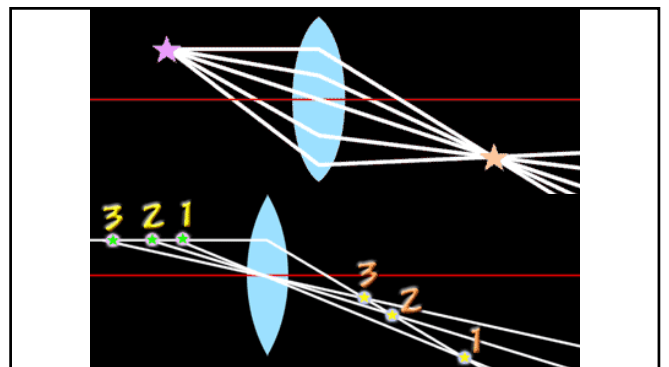
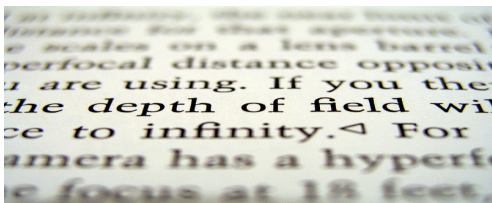
- **数码变焦(Digital Zoom)**

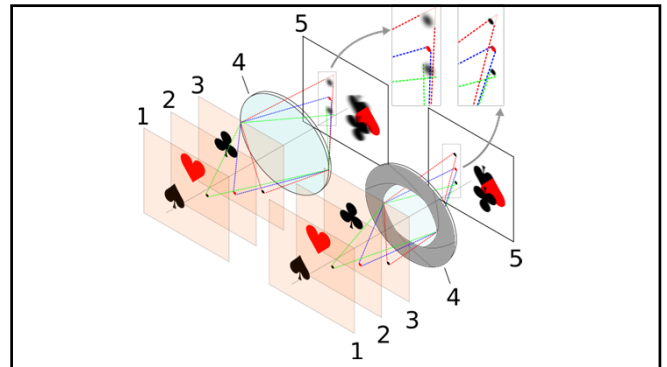
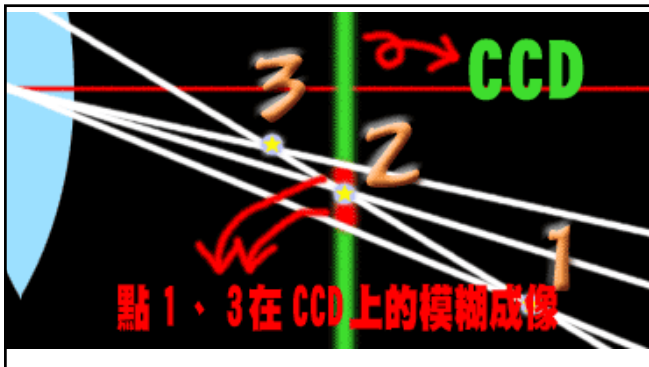
- 实质是画面的电子放大，CCD上的部分像素通过插值处理放大到整个像面，清晰度会有一定程度的下降；
- 变焦倍数 一般在44~600倍；



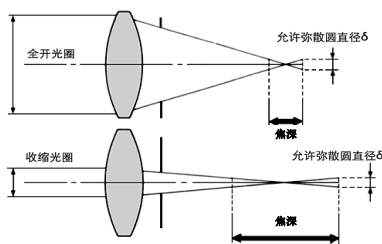
4、景深

景深 (Depth of Field)：拍摄图像时，调焦使得某一距离物体像最清晰，该距离前后一定的范围内的物像也比较清晰，这段能得到清晰图像的景物距离叫景深。



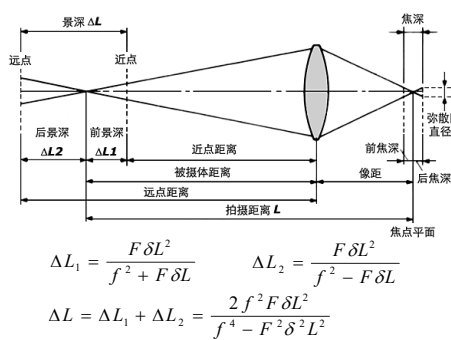


- 景深随焦距、光圈、拍摄距离而变化



景深与焦深

- 焦深
 - 焦点前后各有一个容许弥散圆，这两个弥散圆之间的距离称为焦深。
- 景深
 - 在被摄主体前后一定距离范围内的物体能清晰成像，该范围称为景深。换言之，被摄物体的前后纵深呈现在成像面的影像模糊度都在容许弥散圆的限定范围内，该纵深距离成为景深。
 - 后景深大于前景深。
 - 小景深突出了主体，也产生了比较强的立体感。大景深，能清晰容纳的物体多，拍摄内容更全面。



$$\Delta L_1 = \frac{F \delta L^2}{f^2 + F \delta L} \quad \Delta L_2 = \frac{F \delta L^2}{f^2 - F \delta L}$$

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = \frac{2 f^2 F \delta L^2}{f^4 - F^2 \delta^2 L^2}$$

景深:

$$\Delta L \approx \frac{2 F \delta L^2}{f^2} = \frac{2 \delta L^2}{D f}$$

δ : 允许像点弥散圆直径

L : 拍摄距离

F : 入射光瞳

f : 焦距

例：下图中两幅照片分别用f2.8与f32光圈所拍摄。



— 固定拍摄距离和光圈，则焦距越大，景深越小；

例：下图中两幅照片分别用28mm端与140mm端所拍摄。



- | | | |
|-------------|-----|---|
| • 光圈大 | 景深越 | 浅 |
| • 焦距长 | 景深越 | 浅 |
| • 物距远 | 景深越 | 深 |
| • 图像清晰度要求越高 | 景深越 | 浅 |

$$\Delta L \approx \frac{2F\delta L^2}{f^2} = \frac{2\delta L^2}{Df}$$

思考

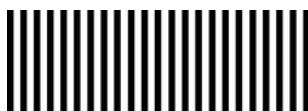
- 为什么在电视摄像时，一般采用以下步骤：先推特写，聚焦聚实，再拉回镜头，构图拍摄？

5、调制传递函数MTF

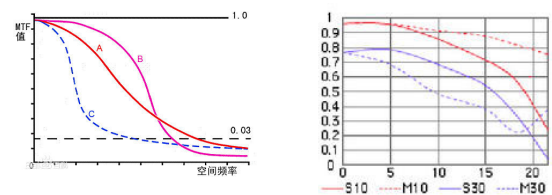
调制度 $M = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$

镜头成像的调制度随空间频率变化的函数称为调制传递函数（调制度传递函数）MTF（Modulation Transfer Function）。

原来调制度为M的正弦光栅，如果经过镜头到达像平面的像的调制度为M'，则有MTF值= M' / M



正弦光栅



6、摄像机的灵敏度（业界）

- a) **最低照度**：在摄像机开到最大光圈，使用最大增益时，要让图像电平达到规定值所需的照度。在获得图像信噪比相同的情况下，**照度值越低，越灵敏。**
 为了使摄像机在不同光源，特别是低照度条件下也能拍摄出高质量的画面，确定了形成最佳画面效果所需要的照度值，可以通过该照度值判断摄像机的灵敏度。
- b) **标准光圈/感光度**：在标准照度2000lx，色温3200k，0dB增益下，摄像机使用的光圈F数表示。在获得图像信噪比相同的情况下，**F数越大，越灵敏。**
- 摄像器件灵敏度：**
 投射到CCD上1流明的光通量所产生的电流（光源色温3200K的白光）。

索尼DSR-650WSPL摄录一体机：

- 最低照度 0.5Lx（F1.4，36 dB增益），0.03Lx（16帧积聚时使用低速快门模式）
- 感光度 F11（标准值）（2000 lx，89.9%反射率）

要求：通过摄像机最低照度或感光度（标准光圈）的参数值，能够判断摄像机的灵敏度情况。

（三）不同成像尺寸镜头类比

成像尺寸——与所用摄像器件的像面尺寸一致。

标准清晰度电视（SDTV）常用的尺寸有以下种：

| 成像尺寸（宽×高） | 像面对角线 | 相应摄像管直径 |
|-----------|-------|----------|
| mm | mm | in mm |
| 8.8×6.6 | 11 | 2/3 18 |
| 6.4×4.8 | 8 | 1/2 12.7 |

■ 高清摄像镜头的成像尺寸：宽/高=16/9

例：9.59 × 5.4 11 2/3 18mm
 (= 58.1mm²)

（三）不同成像尺寸镜头类比

1、等效焦距

$$f_m/f_n = a_m/a_n$$

f:焦距 a:成像尺寸对角线长

例如：使用成像尺寸为11mm拍摄的画面时采用了55mm的焦距，如希望则如果采用8mm摄像机拍摄时，为了使视场角不变，景别不变，焦距为多少？

2、等效光圈F数

等同灵敏度：

在同等条件下（对准同一个景象，用相同视场角），**不同尺寸**的摄像器件，其灵敏度和像素数相同，要输出信号幅度相同，应调至不同的光圈F数使两者对应像素的**光通量相等**。此时称两者的光圈F数等效。

不同尺寸摄像器件的扫描行数相同，像素数相同，小尺寸摄像器件的像素面积减小；如想输出相同强度的信号，要求单位面积上的光量增加，即F数减小。 $F_m/F_n = a_m/a_n$

例如，2/3英寸的F=5.6，与1/2英寸的F=5.6×(8/11)=4 是等效的。

3、景深比较

• 景深：

$$\Delta L \approx \frac{2F\delta L^2}{f^2} = \frac{2\delta L^2}{Df}$$

- 像面尺寸减小，弥散圆直径也成比例减小。不同像面尺寸摄像机在等效焦距和等效光圈下拍摄时，景深相同
- 像面尺寸减小，成像面一侧焦深减小。

（四）4K镜头

- 开发具有4K电影效果的用于拍摄电视的4K镜头



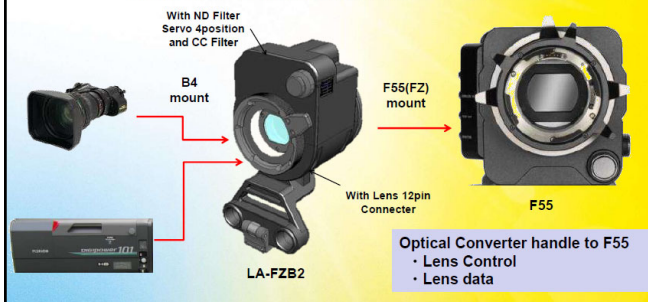
巴西世界杯全球4K转播 4K摄影机 + 富士PL卡口电影镜头（定焦）

- 为解决大型体育赛事大倍率长焦转播需求，尝试摄影机 + PL/B4转接环 + 电视箱式镜头



B4卡口转到35mm有像场放大问题，会丢两档光圈，仍然无法取得良好的画质，解析度也不行。

2/3英寸B4卡口高清镜头适配器——LA-FZB2



4K镜头



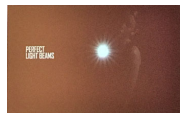
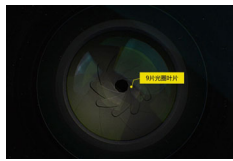
2015年英超（BT Sports）
率先使用B4卡口4K镜头



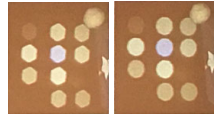
2017年 中超



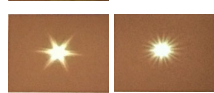
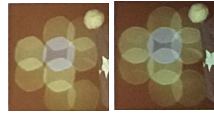
- 9-blade iris



F5.6: 6片

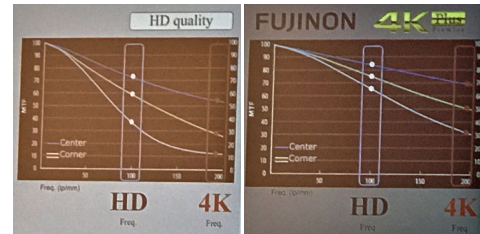


F2.8



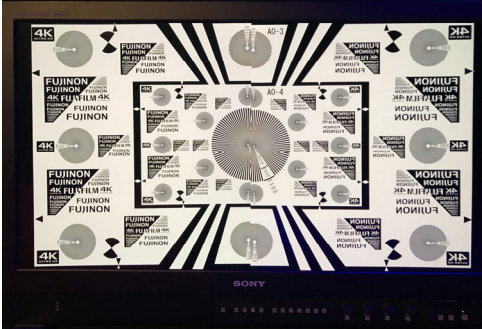
4K镜头

- MTF整体提高



4K FUJINON UA 80倍

HD FUJINON XA 77倍

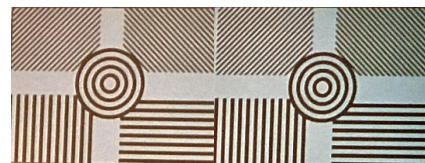


4K镜头

- 通过镜头结构设计屏蔽不必要的光线，减少杂散光，使得在背光拍摄时减少光斑和黑噪点。白电平相同的情况下，黑电平：

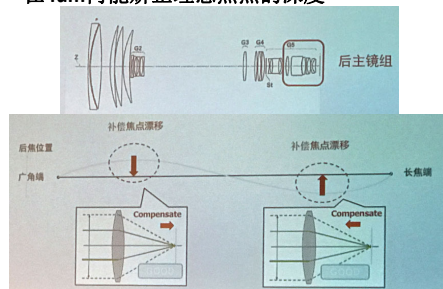
HD Len 21.9%

4K Len 11.6%

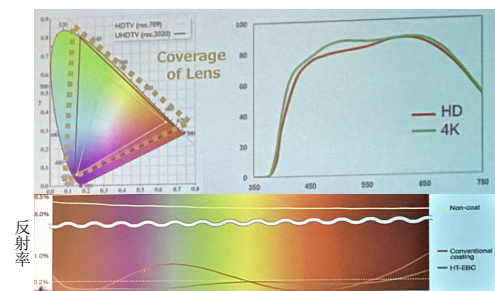


- 焦点偏移补偿

在4um内能矫正理想焦点的深度



- HT-EBC纳米镀膜技术优秀涂层，减少炫光，提高光通率降低反射率，特别提升蓝光通光率。



第二章 第二节 摄像机光学系统

- 一. 变焦距镜头
- 二. 色温校正片和中性滤光片
- 三. 分光棱镜/滤色片
- 四. 光学低通滤波器
- 五. 摄像机光学系统存在问题

二、色温校正片和中性滤光片

(一) 色温校正片CC Filter

Color Compensating Filter

作用：辅助调节白平衡。白平衡调节时，老式摄像机处理放大器增益调节范围不超过 $\pm 3dB$ ，色温变化较大时，该调节范围不够，可先用色温校正片使入射光转换成3200K的光，再稍调增益。摄像机处理放大器增益以3200K为基准光设定(preset)。

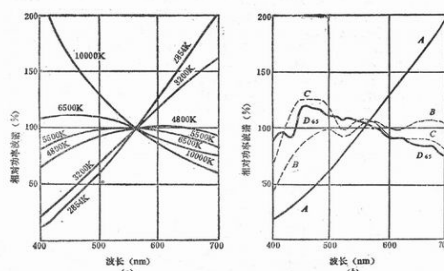
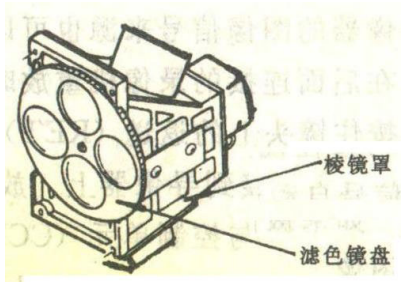


图2.1-2 滤色片与标准光源的相对功率谱图

几种常用色温校正片

| 编号 | 工作色温(K) | 透过率(%) | 相关光源 |
|----|-------------|--------|--------|
| 1 | 3200 | 100 | 室内 |
| 2 | 4800 | 100 | 中午太阳光 |
| 3 | 4800+0.25ND | 25 | 中午强太阳光 |
| 4 | 6800 | 100 | 厚云阴天 |
| 5 | 6800+0.25ND | 25 | 一般阴天 |

色温值较高的色温片是暖色的还是冷色的？

| FILTER selector setting | Filter selection |
|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 3200 K |
| 2 | 5600 K + $\frac{1}{8}$ ND |
| 3 | 5600 K |
| 4 | 5600 K + $\frac{1}{64}$ ND |

| FILTER selector (inner knob) setting | ND filter selection |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1 | Clear |
| 2 | $\frac{1}{4}$ ND |
| 3 | $\frac{1}{16}$ ND |
| 4 | $\frac{1}{64}$ ND |

（二）中性滤光片ND

中性滤光片ND（Neutral Density Filter）

作用：辅助调节光通量。校正片上镀有中性减光膜，使各种波长的光有相同的透过率。又叫灰片。

neutral density filter or ND filter is a "grey" filter. An ideal neutral density filter reduces light of all wavelengths or colors equally.

无极ND

索尼在其摄像机产品PXW-Z280上采用了电控无极ND滤镜Electronic Variable ND Filter。

特点：

电压控制，从1/4至1/128流畅改变滤镜的透过率。

使用方法：

- 使用镜头侧边的拨轮，控制ND精细调整（1/4至1/128）
- Auto ND，滤镜根据摄像机拍摄的画面亮度，自动调整透过率
- 传统ND转轮，默认挡位1/4、1/16、1/64，该挡位可调。

思考：Auto ND和自动光圈有何区别？

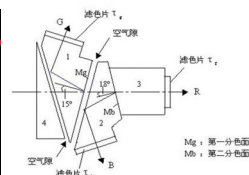
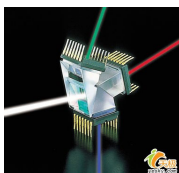
第二章 第二节 摄像机光学系统

- 一. 变焦距镜头
- 二. 色温校正片和中性滤光片
- 三. 分光棱镜/滤色片
- 四. 光学低通滤波器
- 五. 摄像机光学系统存在问题

三、分光棱镜/滤色片

（一）分光棱镜的结构

- 分色膜：分光面上蒸镀金属薄膜
- 不同的分光棱镜分光次序不同
- 3片或4片



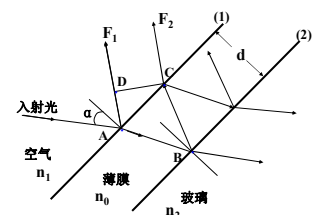
分光原理——薄膜干涉原理

空气折射率 n_1 ：1.00027

金属折射率 n_0 ：几十

玻璃折射率 n_2 ：1.5

薄膜厚度 d



• 薄膜干涉

由于薄膜厚度很薄，反射光F1和F2距离很近，发生干涉，光程差

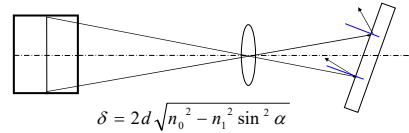
$$\delta = 2d\sqrt{n_0^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha}$$

- δ 等于波长时，F1和F2在C、D出同相位，互相加强，相当于光全部反射；
- δ 等于半波长时，F1和F2在C、D出反相位，互相抵消，相当于光全部透射；

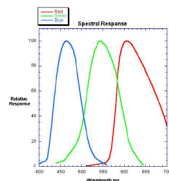
- 构造d、n0、n2，可使某些波长的入射光在薄膜上全部反射，另一些波长的入射光在薄膜上全部透射，从而实现分光。

分光棱镜的色渐变

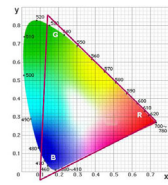
光程差与光在分光膜上的入射角有关。像面上不同部位的光在分光膜上的入射角不同，使同样波长的光在不同部位的光程差也不同。这使同一种光在整个像面上反射与透射量之比也不同，造成像面上分光不均匀，在重现图像上出现色渐变。



分光特性



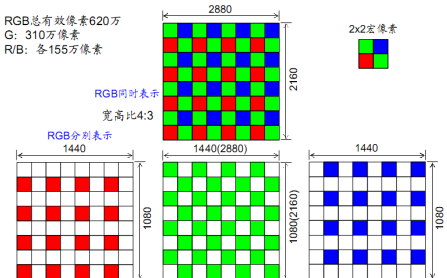
摄像机分光特性曲线（光谱特性图）



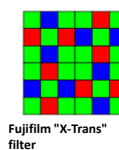
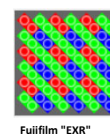
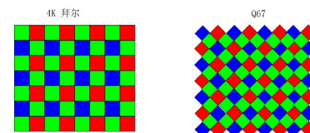
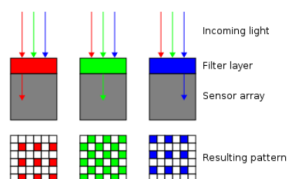
相应CIE色度图

（二）分色滤色片

RGB总有效像素620万
G: 310万像素
R/B: 各155万像素



- 分色滤色片是一种彩色滤色片阵列，多为单片感光器件摄像机使用，其滤色片中，绿色占50%，红色和蓝色各占25%，因此又称RGBG、GRGB或RGGB

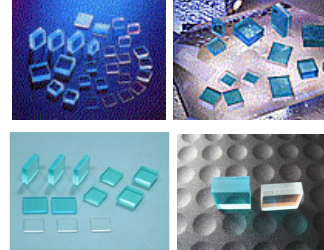


第二章 第二节 摄像机光学系统

- 一. 变焦距镜头
- 二. 色温校正片和中性滤光片
- 三. 分光棱镜/滤色片
- 四. 光学低通滤波器
- 五. 摄像机光学系统存在问题

四、光学低通滤波器

Optical Low Pass Filter (OLPF)



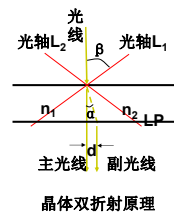
四、光学低通滤波器

- 思考：为什么要用OLPF？
- 1988年日本富士公司与东芝公司合作推出第一台数码静态相机首次使用OLPF。
- 结构
 - 两块或多块石英晶体薄板构成，放在CCD传感器的前面。
- 材质
 - 晶体光学滤波器由一组低通滤波器和红外线滤光器组成。光学低通滤波器由高品质人造光学水晶制成；红外线滤光器由高品质人造光学水晶经特殊镀膜处理制成。

四、光学低通滤波器

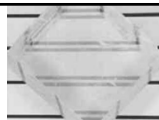
• 原理

- 晶体的双折射现象：
光线沿光轴 L_1 入射时，折射率为 n_1 ；沿光轴 L_2 入射时，折射率为 n_2 ；光线垂直入射时，输出分为2条距离为 d 的平行光线。



- 晶体的厚度适当时，2条紧邻的平行光线犹如一条变粗的光线。

双折射现象

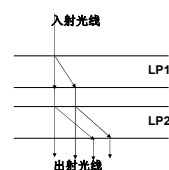


透过方解石晶体的线条



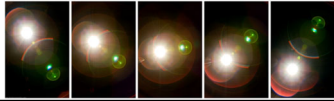
双层晶体的光学低通：

LP：晶体平面



五、摄像机光学系统存在问题

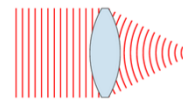
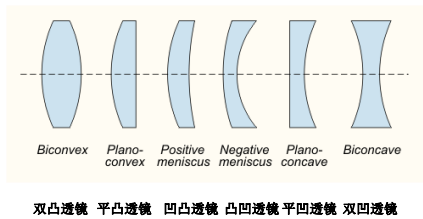
- **镜头中的相差**——球差、慧差、色差、几何畸变。
- **白斑**——镜头的透光率在整个像面上不均匀；分光棱镜存在色渐变
- **杂散光**——反射光在镜头的各片透镜之间反复地反射和透射；感光器件内晶体结构和各半导体内有微量的反射光。
- **色彩失真**——镜头的透过特性、分光系统的分光特性和摄像器件的光谱灵敏度综合决定



五、摄像机光学系统存在问题

(一)、镜头中的像差

- **现象**
 - 清晰度下降、彩色光斑/镶边、几何畸变
- **原因**
 - 理想镜头成像必须满足：点成像为点、垂直的面与光轴垂直成像、物与像互为相似形。
 - 实际镜头非理想：镜片的球面形使得点非点、不同波长的光焦点不同。

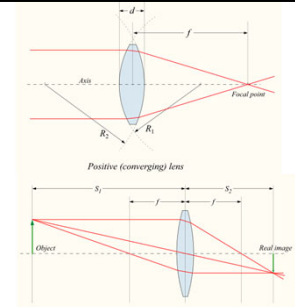


$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)d}{nR_1R_2} \right]$$

If d is small

$$\frac{1}{f} \approx (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]$$

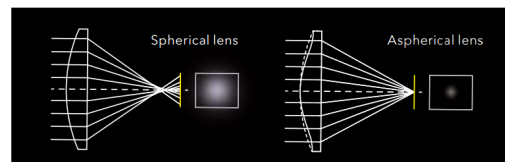
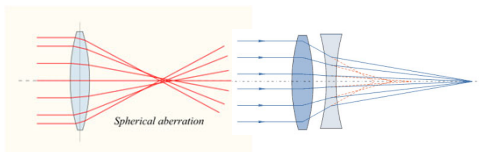
$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} = \frac{1}{f}$$



1、球差 Spherical aberration：透镜边缘部分比中心部分对光线弯曲的厉害。

后果：降低清晰度

解决：粘合凹面镜，或制成非球面镜



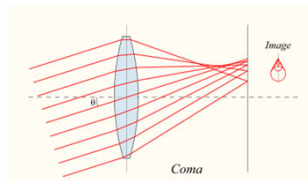
球面镜
Spherical Lens

非球面镜
Aspherical Lens

2、慧差Coma：由位于主轴外的某一轴外物点，经光学系统折射后，结成拖着明亮尾巴的彗星形光斑。

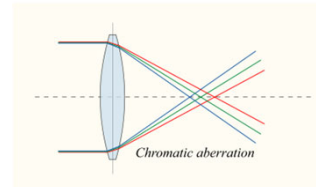
后果：降低清晰度

解决：粘合凹面镜或制成非球面镜。拍摄时使用小光圈也能减轻慧差。

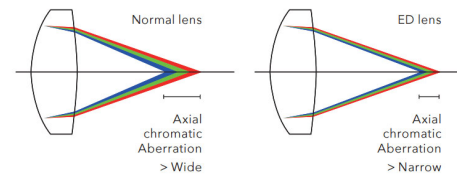
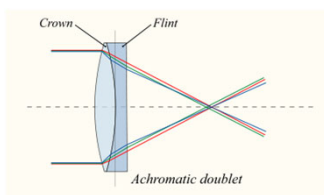


3、色差：折射率与波长有关，波长越短，折射率越大。

后果：引起轴上色差——彩色模糊，彩色虚边，焦距越长，越严重；横向色差——三基色图像重合误差。



解决：粘合凹面镜或用不同色散的玻璃校正，但不能完全解决。摄像机要求使用色散小的镜头，感光器件安装也要与镜头配合好。



采用色散极小的ED (Extra-low Dispersion) 镜头

五、摄像机光学系统存在问题

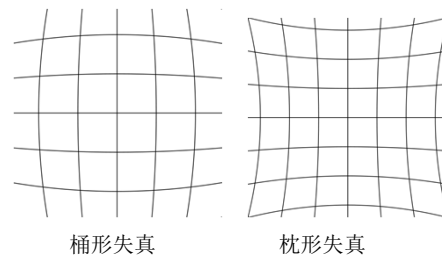
(二) 镜头中的几何畸变

1、桶形——短焦

2、枕形——长焦

原因：球差、焦距和光圈的作用引起。

解决：尽量保持镜头的焦距为适中的状态。





桶形失真



枕形失真

思考

1. 通过变焦距进行推拉, 和通过改变机位 (不变焦) 进行推拉, 拍摄效果有何不同?
2. 已知景物照度为2000 lx, 光圈 $F1=11$, 增益为0dB时, 输出电平为700mV, 那么该摄像机开起最大光圈 $F2=1.4$, 最大增益30dB时, 则所需景物最低照度是多少lx?
3. 采用自动光圈拍摄如下所示图像, 在变焦距时光圈如何变化?



4. 采用自动光圈拍摄的图像时, 如果发现图像过亮或过暗时应该如何校正?

5. 请写出摄像机镜头可调节部分的名称、作用、调节方法。
6. 简述以下词汇的意思: 视场角、变焦比、景深、MTF (曲线)。
7. 某镜头参数如下表, 请填写空缺的部分。

| | | |
|-------------------------|---|-------------|
| IRSE | 16:9 | |
| Zoom Ratio | ? | |
| Built-in extender | 1.0X | 2.0X |
| Range of Focal Length | 7.3 - 161mm | ? - 322mm |
| Maximum Aperture | F2.6 at 161mm | F? at 322mm |
| Minimum object Distance | 0.8m from front lens vertex (with macro ; M.O.D.: 0.1m) | |
| Approx. Size | W x H x L = 165 x 175 x 336 mm | |