

# 电视跟踪器光学镜头的设计

唐庆国

(船舶重工集团公司 723 所, 扬州 225001)

**摘要** 从工程应用角度阐述了电视跟踪器光学镜头参数的选择。对从事该专业及应用总体的工程设计人员提供了一种设计依据和计算方法。

**关键词** 光学镜头 电视跟踪 光电跟踪

## 0 引言

从 20 世纪 80 年代以来, 世界各国火控雷达为了抗击电磁干扰, 都纷纷加装各种光电抗干扰设施, 诸如电视跟踪器、红外热像仪、激光测距仪等等。独立使用的光电跟踪仪也已研制成功, 陆续装备部队使用。

火控雷达加装电视跟踪器, 从总体角度, 首先要提出应用要求, 即战术技术指标。如对目标(飞机、舰船、导弹或坦克、战车等)的发现距离, 可靠跟踪距离和最近跟踪距离, 即所谓“威力”。战术技术指标就是电视跟踪器光学镜头设计的依据。

## 1 焦距 $f'$

光学镜头焦距  $f'$  的计算应根据战术技术指标提出的目标性质和“威力”进行。镜头光路图如图 1 所示。

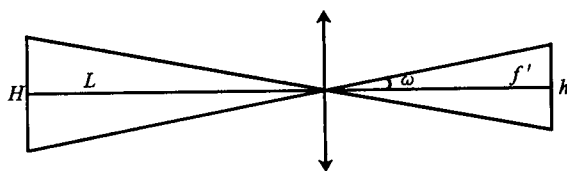


图 1 镜头光路图

图中:  $H$ ——目标的线尺寸;

$L$ ——作用距离;

$h$ ——目标在摄像机像感上成像的尺寸;

$f'$ ——焦距;

$\omega$ ——视场角。

根据几何光学原理, 有:

$$f' = \frac{h}{H}L \quad (1)$$

美国部队电子作战部在弗吉尼亚州贝福瓦堡的夜视实验室曾用实验测定过特殊目标的探测与识别的概率, 结论是: 有 1 对线, 对探测目标有 60% 的概率; 有 2 对线时, 探测概率达 100%。选择长焦距, 以选择目标图像占 2 行电视行为好(这里指连续 2 行)。

现行的 CCD 摄像机以目前用得较多的 1/2 英寸为例, 像感尺寸为 6.4 mm × 4.8 mm (对角线为 8 mm)。目前我国现行的电视体制为 CCIR 制式, 即隔行扫描体制, 每场为 312.5 行, 场消隐 25 行。每场实际扫描行数为 287.5 行, 即:

$$\frac{h}{4.8} = \frac{2}{287.5}$$

$$h = \frac{2 \times 4.8}{287.5} (\text{mm})$$

经置换运算, 得出最短焦距的计算公式:

$$f'_{\min} = \frac{2 \times 4.8}{287.5} \cdot \frac{L_{\max}}{H} \quad (2)$$

当目标在最近距离时, 目标在电视荧屏上成像不应溢出, 一般以不超出 1/2 视场为佳。据此, 可得出最近距离时的最长焦距  $f'_{\max}$ :

$$f'_{\max} = \frac{4.8}{2} \cdot \frac{L_{\min}}{H} = \frac{2.4 \times L_{\min}}{H} \quad (3)$$

很显然, 电视光学镜头的焦距就应该在  $f'_{\min} \sim f'_{\max}$  之间选取。定焦镜头的焦距一般选

$f'_{\min}$ 为焦距长度。而焦距越长,镜头的体积、重量和外形尺寸都要加大。显然,从工程角度来看,这是我们不希望的。所以,镜头焦距的选择还要考虑其它因素,诸如:战术指标的使用环境、摄像机的靶面(或者像感)尺寸及水平分辨率、镜头的鉴别率和白光透过率以及有没有使用光学或视频图像增强器等等,综合考虑来确定焦距值,最终以满足战术技术指标的要求为目的。

对于变焦镜头,因为尺寸可以做小,焦距可以在  $f'_{\min} \sim f'_{\max}$  之间选定。

例如某型雷达电视跟踪器战术技术指标如下:

对掠海飞行导弹,飞行高度在 30 m 以下,发现距离 7 km,最近跟踪距离为 250 m,导弹截面积  $0.1 \text{ m}^2$  (直径为 0.316 m)。CCD 摄像机为 1/2 英寸。

(1) 对导弹作用距离 7 km, 求最短焦距:

$$f'_{\min} = \frac{2 \times 4.8}{287.5} \times \frac{7 \times 10^3}{0.316} = 740 (\text{mm})$$

(2) 对导弹最近跟踪距离为 250 m, 求最长焦距:

$$f'_{\max} = \frac{2.4 \times 250}{0.316} = 1900 (\text{mm})$$

(3) 假定对导弹的作用距离改为 5 km, 则:

$$f'_{\min} = \frac{2 \times 4.8 \times 5 \times 10^3}{287.5 \times 0.316} = 528 (\text{mm})$$

可见,该电视跟踪器光学镜头的焦距  $f'$  可在 740 mm ~ 1900 mm 之间选取。如果把“威力”指标降低到 5 km, 则焦距  $f'$  可在 528 mm 附近选取。

## 2 视场(视场角) $2\omega$

从图 1 可见,视场(亦称圆视场)  $2\omega = 2\arctan \frac{h}{2f'}$ , 对于 1/2 英寸 CCD 摄像机,像感最大线尺寸  $h = 8 \text{ mm}$ 。摄像机像感尺寸如图 2 所示。

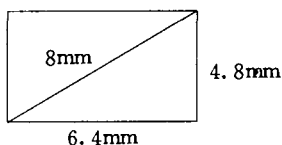


图 2 摄像机像感尺寸

则:

$$2\omega = 2\arctan \frac{4}{f'} \quad (4)$$

可见,视场角只和镜头焦距  $f'$  与摄像机像面尺寸  $h$  有关。

由于电视荧屏是矩形的,所以电视的矩形视场分别为:

垂直视场:

$$2\omega_v = 2\omega \times 0.6 = 1.2\omega = 2\arctan \frac{2.4}{f'} \quad (5)$$

水平视场:

$$2\omega_h = 2\omega \times 0.8 = 1.6\omega = 2\arctan \frac{3.2}{f'} \quad (6)$$

举例:某电视光学镜头  $f' = 500 \text{ mm}$ 。

则有:

$$\text{圆视场: } 2\omega = 2\arctan \frac{4}{500} = 0.917^\circ = 55'$$

$$\text{垂直视场: } 2\omega_v = 2\arctan \frac{2.4}{500} = 0.55^\circ = 33'$$

$$\text{水平视场: } 2\omega_h = 2\arctan \frac{3.2}{500} = 0.73^\circ = 44'$$

## 3 相对孔径 $D/f'$

电视跟踪是被动跟踪系统,能接收到的能量是一个重要指标。相对孔径与进入光学系统的能量成正比。相对孔径大,进入系统的能量就多,当然对目标的作用距离就远。但是,光学系统的焦距  $f'$  较长时,相对孔径不宜过大,否则镜头的体积就会增大。一般来说,白光可见光电视的光学镜头,相对孔径按经验数据,选 1:4 至 1:7; 而微光电视镜头  $D/f'$  可选得大一点,比如 1:1, 1:2, 甚至大于 1。

相对孔径习惯又叫“孔焦比”,即  $D/f'$ 。某些光学资料称之为“光阑指数”,“光阑指数”即  $f'/D$ , 是“孔焦比”的倒数。

相对孔径的计算,一般光学研制厂所都是按经验数据选取,它跟摄像机的灵敏度和水平分辨率都有关系。如白光 CCD 摄像机的灵敏度越高,水平分辨率越高,则镜头的相对孔径  $D/f'$  可选取小一点,比如 1:5.6 或者 1:7; 相反,  $D/f'$  则选大一点,比如 1:4。

#### 4 鉴别率 $N$

鉴别率  $N$  是光学系统的一个重要指标,它直接影响到电视跟踪器的作用距离。鉴别率高,作用距离就远一点。光学系统的鉴别率应远大于 CCD 摄像机分辨率,比如某 1/2 英寸 CCD 摄像机的水平分辨率为 580 TVL,则光学系统的鉴别率应做到  $N \times 6.4(\text{mm}) \times \text{透过率 } \tau > 580 \text{ TVL}$ ,  $\tau$  一般选 0.65,则  $N > \frac{580}{6.4 \times 0.65}$ ,即  $N > 140$  对线/mm。

#### 5 透过率 $\tau$

透过率亦称白光透过率。透过率  $\tau$  在光学系统中的作用是显而易见的,  $\tau$  高,则通过去的光能量大,作用距离就远。透过率  $\tau$  和玻璃的性能以及镀膜材料的性能有关,一般透射式镜头的透过率,普通光学厂都能做到 0.6 以上,好的镜头可以做到 0.8 甚至更高。 $\tau$  的选取根据战术技术指标的要求和光学厂的技术水平而定。一般选 0.6~0.8。

#### 6 杂光系数 $\eta$

杂光系统是衡量镜头光学品质的一个重要指标。顾名思义,  $\eta$  就是衡量镜头消除杂散光干扰的 1 个参数。杂光系数太大,在电视屏幕中心就会形成 1 个亮斑。当然,任何生产厂家都不可能将杂光消除得干干净净,即将  $\eta$  做到 0。实际上,对于一般电视跟踪器用的光学镜头,  $\eta < 5\%$  就可以了,最大不得超过 7%。这是一般光学厂

都能够做到的。

#### 7 结束语

从武器系统和军事上使用的角度来看,希望电视跟踪器的光学镜头看得远,看得清楚,体积小,重量轻。而从上面分析来看,影响电视镜头作用距离的因素很多,如焦距  $f'$ 、相对孔径  $D/f'$ 、鉴别率  $N$ 、透过率  $\tau$ 、杂光系数  $\eta$  等,主要的因素还是焦距  $f'$  和鉴别率  $N$ 。焦距  $f'$  越长,看得越远;光学系统的鉴别率  $N$  (含 CCD 摄像机的分辨率)高,就看得远,看得清楚。因此,增大探测距离要求增长焦距和提高电视摄像机的分辨率。其次,透过率  $\tau$  高,相对孔径  $D/f'$  大,探测距离也会远一点。在视场角  $2\omega$  不变的情况下,焦距  $f'$  越长,即 CCD 像感尺寸越大,探测距离也越远。

一般来说,一台光学镜头一旦由工厂设计制造出来,其对目标的作用距离也就确定了。当然,一个工程设计人员在追求“作用距离”这个指标的同时,还不得不考虑其它技术指标,诸如外形尺寸、重量等。总之,要制造出一台完全符合战术技术指标要求的电视光学镜头来,工程设计人员必须根据战术技术指标的要求,结合用户方的要求和光学生产厂家的技术水平和生产能力,权衡利弊,反复研究,再结合本文上边的论述进行设计,方能达到目的。

#### 参考文献

- 1 薛鸣球. 电视跟踪用光学系统. 仪器仪表学报, 1984, 5(3): 225~229