

# 彩色图像解码仪光学系统

匡裕光 丁甲民

**摘要：**彩色图像解码仪是根据母国光教授等人提出的“用黑白胶片拍摄记录彩色图像技术”设计的。该技术主要由编码相机和彩色图像解码仪两部分组成。本文主要从总体要求角度叙述彩色图像解码仪光学系统技术参数的确定，及各部分光学设计特点。

## 一、前言

彩色图像解码仪是母国光教授等人提出的“用黑白胶片拍摄记录彩色图像技术”的一部分。该技术主要由编码照相机和彩色图像解码仪两部分组成。编码相机的核心器件是紧贴于黑白胶片前的一块三色编码光栅。通过该光栅，照相机把景物的图像和彩色信息编码记录在黑白胶片上。解码仪通过频谱滤波，把记录在黑白编码片上的彩色信息再现出来，显示原景物的真彩色图像。这是一项在国际上创新的技术，并获准发明专利。

彩色图像解码仪的光学系统由聚光镜、小孔、准直物镜、白光傅立叶物镜、频谱滤波器、场镜等部分组成，如图1所示。为了做到体积小、重量轻、各光学件均选用尽量短的焦距，并采用四块平面反射镜使光路折叠，减少体积。为保证成像质量和增加总能量利用率，反射镜的加工面型要求较严。镀银膜加保护膜，4次反射总反射率可达88%，基本满足设计要求。为保证仪器能经受住高低温实验的考验，全仪器没有用胶合件。本文主要从总体要求的角度，讨论各部分设计所要考虑的主要问题和特点。

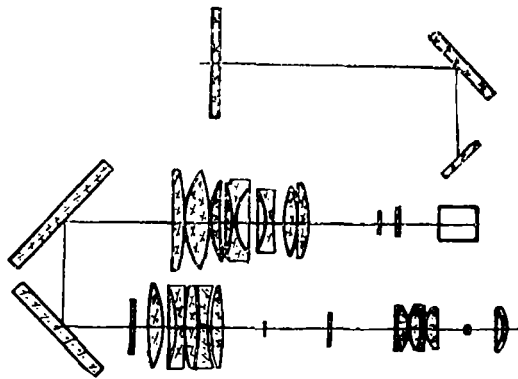


图1 彩色图像解码仪光学系统

## 二、聚光镜

光源选用350W钨灯。南开大学实验室原采用氙灯。氙灯弧光中有一个极亮的亮核，能

提高照明的质量。氙灯工作时产生臭氧,对工作人员健康和仪器均有害。钨灯色温为 (5000 ± 500)K,基本上能满足使用要求,图像彩色还原良好,且不产生对工作人员和仪器有害的气体。聚光镜物距 - 37.5mm,倍率 2 倍。物方数值孔径 0.5,像方 0.25。为保证被照明的准直物镜入射光束有较好的质量,聚光镜像方数值孔径应稍大于准直物镜的数值孔径(0.167)。聚光镜采用 5 片消色差透镜,能使整个可见光的宽光谱区都均匀聚焦于准直物镜的焦点上,因此,各色光的准直性都很好。消色差聚光镜是本仪器的一个特色。

为降低仪器工作时升温,聚光镜第一面镀反红外,透可见光膜系,在光源另一侧设置一个与光源同心的球面反射镜,反射镜镀透红外、反可见光膜系。这样,大部分可见光能有效地利用,而大部分红外辐射被引出仪器外。

### 三、准直物镜

准直物镜的口径是被照明编码片的对角线尺寸加适当余量确定的。本项目选用 120 胶片做编码片,胶片尺寸为 (60 × 60)mm,对角线 85mm。我们选取准直物镜有效口径为 100mm。准直物镜的焦距通常由它所能承受的相对孔径大小和仪器的总体尺寸要求来决定。一般口径 100mm 的平行光管,相对孔径约为  $F/10$ 。我们设计的焦距为 300mm,相对孔径  $F/3$ 。远大于常用的  $F/10$ 。为保证在特大相对孔径下有优良的质量,选用五片结构见图 2。玻璃的选择要考虑减小二级光谱,采用  $FK_2$  和  $TF_3$  等玻璃,二级光谱为  $0.406\lambda$ ,很好。为降低成本,我们还设计了一种用  $QK_3$ 、 $TF_3$  玻璃的准直物镜,其二级光谱为  $1.9\lambda$ 。本文所示像差曲线是用  $FK_2$ 、 $TF_3$  设计的。对于大相对孔径的平行光管,高级球差和高级色差不易校正。我们设计的平行光管,具有很大的相对孔径 ( $F/3$ ),质量优良,是一种罕见的特大相对孔径的平行光管。(表 1 图 3)。

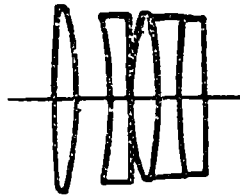


图 2 平行光管结构图  $f = 300\text{mm}$ ,  $F/3$

表 1 平行光管像差数据 ( $FK_2/TF_3$ )

ON-AXIS DAY ABERRATIONS,			OPD	LA	OSC	WCH32	WCH12
ZONE	MI	TAY					
N. L. = .58756micron							
.000				.00000	.000000		
.300	-.05000	.00036	.0191	-.00366	.000028	.0845	.0660
.500	-.08334	.00008	.0342	-.00981	.000069	.1623	.1682
.710	-.11834	-.00065	.0177	-.01628	.000108	.2042	.2915
.850	-.14167	-.00061	-.0114	-.01509	.000096	.0990	.3613
1.000	-.16667	.00230	.0068	.00279	.000005	-.1857	.4064
W. L. = .65827micron							
.000				-.03194	.000014		
.300	-.05000	-.00109	-.0409	-.03259	.000055		
.500	-.08333	-.00190	-.1166	-.03351	.000066		
.710	-.11833	-.00254	-.2360	-.03209	.000087		
.850	-.14167	-.00198	-.3229	-.02462	.000065		
1.000	-.16666	.00189	-.3416	.000035	-.000040		

ON-AXIS DAY ABERRATIONS,

W. L. = .48613micron

.000				.01545	.000012
.300	-.05000	.00078	.0538	.00481	.000055
.500	-.08334	-.00022	.0831	-.01343	.000121
.710	-.11834	-.00326	-.0307	-.03813	.000197
.850	-.14167	-.00581	-.2496	-.05140	.00219
1.000	-.16667	-.00659	-.5861	-.04978	.000184

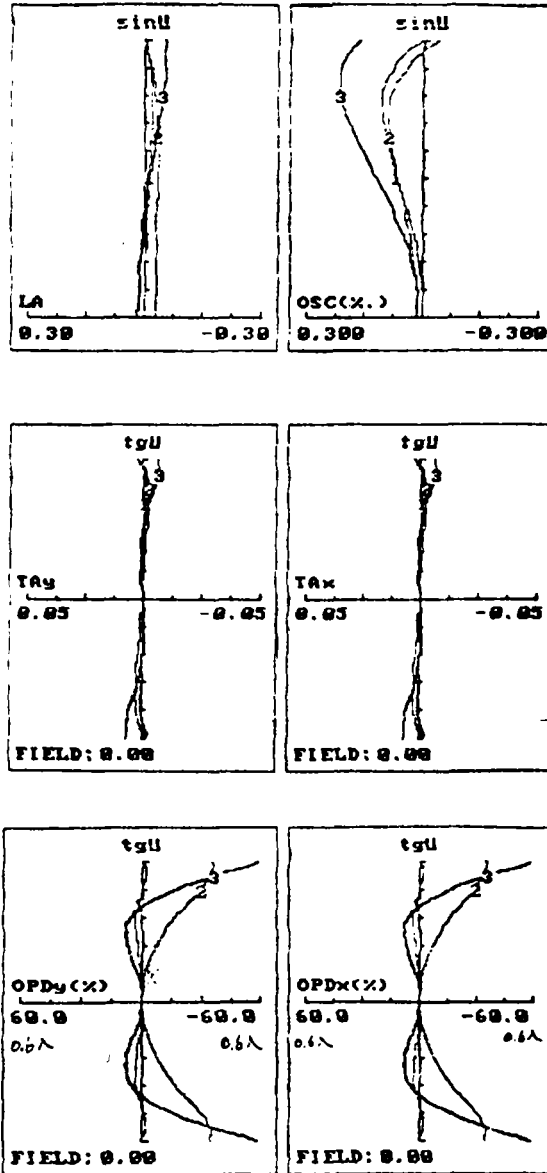


图3 平行光管像差曲线图 ( $f = 300\text{mm}, F/3, FK_2/TK_3$ )

#### 四、白光傅立叶镜头

这是解码仪的最主要的光学部件。白光信息处理系统没有采用惯用的由2只傅立叶镜头

组成的  $4F$  系统，而只用了一个镜头，既用于滤波，又用于成像。使结构简化，成本降低。

傅立叶镜头的口径由编码片的对角线尺寸加上衍射引起的增量决定。本系统口径为  $100\text{mm}$ 。标准傅立叶镜头的焦距约为口径的  $10\sim 20$  倍。我们选取焦距为  $291.46\text{mm}$ 。为什么能选用这么短的焦距，第一，成像光路的像质要求为对  $30$  对线/ $\text{mm}$  的频率  $\text{MTF} \geq 0.4$  即可，远低于标准傅立叶镜头要求的波像差小于  $1/10$  波长。第二，基本上不考虑频谱面的像差校正。

白光傅立叶镜头物方孔径角由编码片一级衍射角决定，对于  $30$  对线/ $\text{mm}$  的编码光栅，一级衍射角为  $0.018$ ，像方孔径角由倍率决定。我们选用  $2$  倍，则像方孔径角为  $0.009$ 。为保证透镜有优良的像质，我们设计时选取的孔径角为上述值一倍以上，即  $0.04, 0.02$ 。在孔径角加大一倍的条件下，对频率  $30$  对线/ $\text{mm}$ ， $d, c, F$  光线的  $\text{MTF} \geq 0.4$ 。对于焦距  $300\text{mm}$  的镜头，二级光谱也应考虑（本设计二级光谱为  $0.47\lambda$ ）。本系统对频谱滤波只要求三个不同方向的三个一级频谱能彼此分开，不得重叠。对于光的振幅和位相像差并无严格要求。设计时对频谱面的像差考虑较少。此外，由于光源是白光，故应对整个可见光区校正像差，这也是白光傅立叶镜头有别于只对单色光校正像差的标准傅立叶镜头的不同之处。

频谱滤波器设置在傅立叶镜头的后焦面上，因此光阑和出瞳也在后焦面上。此处位于镜头外侧，距镜头最后面是  $169\text{mm}$ ，使整个镜头对光阑严重不对称，引起像差校正的困难。白光傅立叶镜头是小口径，中等视场，宽波段小像差系统。

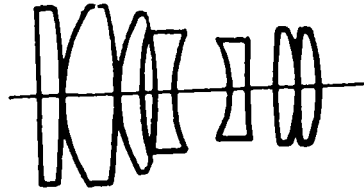


图4 白光傅立叶镜头光学结构图

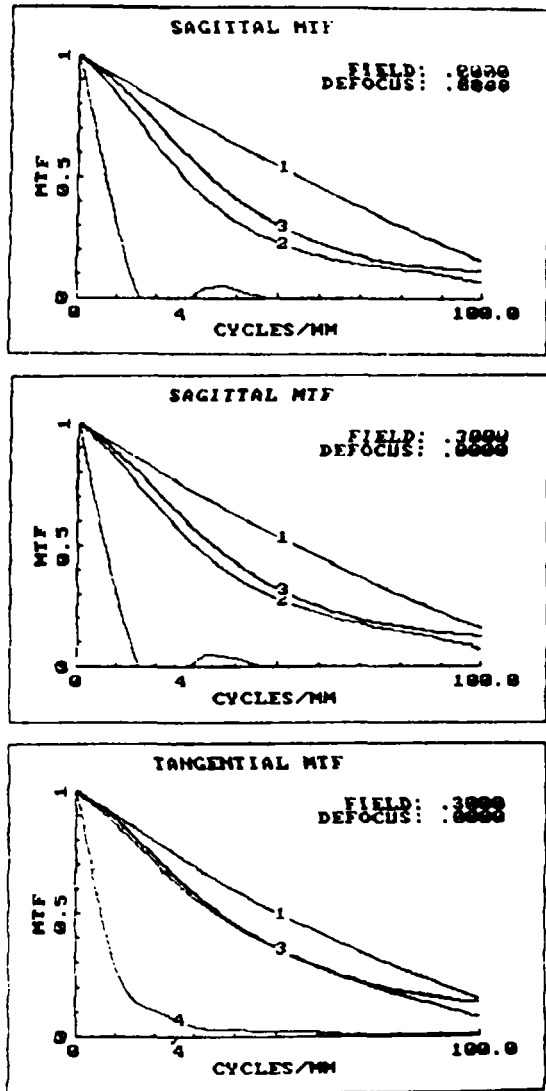
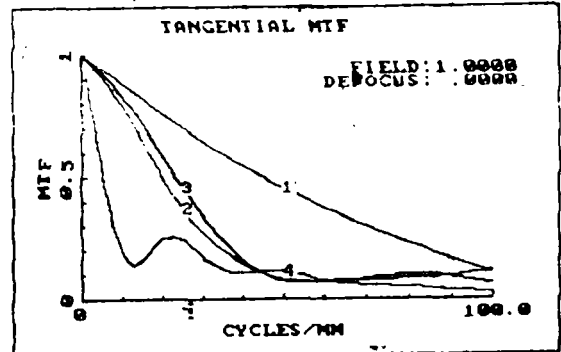
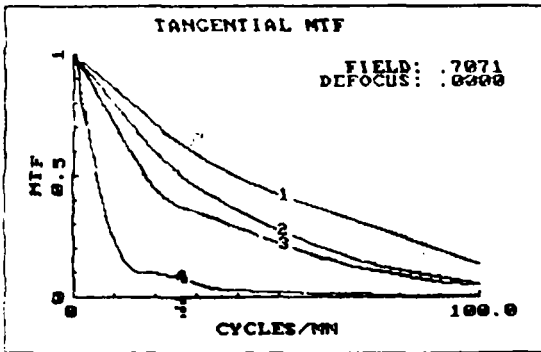
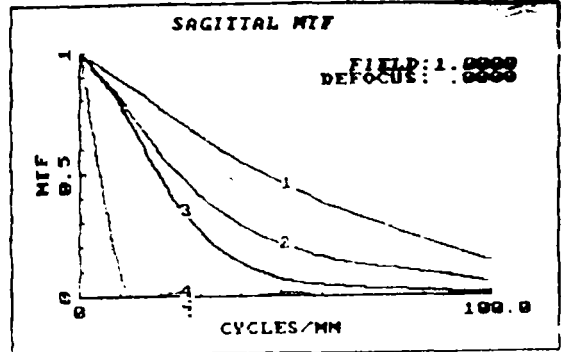
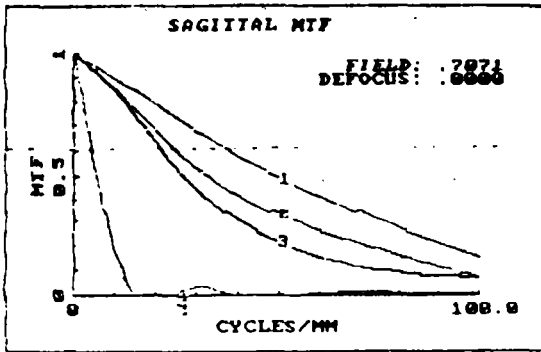


图5 白光傅立叶低镜头MTF曲线，空间频率30线/ $\text{mm}$

(a) 0 视场 0.3 视场

图中 1, 2, 3 代表  $d, c, F$  线，4 为  $g$  线不考虑  $\theta$  线



(b) 0.71视场 (c) 全视场

图中1,2,3代表d, c, F线 4为g线不考虑g线

## 五、三种输出方式

解码仪要求设置三种输出方式:

1. 在像面处的毛玻璃上直接目视观察。
2. 用彩色印相纸曝光印相。
3. 用摄像机在彩色监视器上显示。

第三种显示方式, 摄像机是外购的日本摄像机, 要通过一个置于傅立叶镜头像面附近的场镜, 把傅立叶镜头的出瞳成像到摄像机入瞳处。

摄像机镜头焦距短, 入瞳口径小, 在短焦距位置入瞳口径仅有5mm左右。因此, 场镜设计不但要考虑到物、像位置, 而且要考虑倍率不能太大。即白光傅立叶镜头的出瞳通过场镜成像在摄像机入瞳上。出瞳在入瞳上像的大小要小于入瞳直径。也就是要使傅立叶镜头出瞳上的红、绿、蓝三个频谱像都成像在摄像机入瞳直径之内。否则, 图像的色还原将受影响。因此, 摄像机到场镜的距离不能太远。本系统以400mm为宜。场镜的倍率小些, 焦距应选短些。

其次, 摄像机镜头的近摄距离为1.2m, 摄像机无法对更近的场面清晰聚焦, 出现图像不清晰。为解决这一问题, 我们只好在摄像机镜头前加上一个近摄透镜, 近摄镜头焦距由试验

决定。为使解码仪的全图像能完整的显示在彩色监视器上,摄像机入瞳中心对傅立叶镜头像面的张角应小于或等于摄像机镜头在该焦距对应的最大视场角。故摄像机也不宜距场镜太近。

## Optical System of Color Image Decoder

Kuang Yuguang Ding Jiamin

### Abstract

The color image decoder is designed by means of professor Mu Guoguang's new idea which is a novel technology recording and displaying color image with black and white film.

This novel technology consists of a encoding camera and color image decoder. This paper described the choice of the technical parameters of the optical systems in the color image decoder from the viewpoint of the general design of the whole instrument and the characteristics in optical design.