

A Computer Aided Optical Design(CAOD) Software System

Weng Zhicheng Sun Guoliang

Abstract

In this paper the design thought, general structure and functions of the CAOD software system are introduced briefly; the lens data base management system are explained in detail; the technique of interactive graphics and the menu-driven method are described.

Finally, the short-term plan and the Long-term considerations on CAOD are proposed.

如何在IBM PC微机上进行计算机辅助光学设计

目 录

一、引 言	(12)
1 什么是 CAOD	(12)
2 CAOD 的历史	(12)
3 CAOD 的组成	(13)
4 如何将 CAOD 装入硬盘	(14)
5 如何启动 CAOD	(17)
二、基本概念	(19)
1 菜 单	(19)
2 问与答	(22)
3 坐标系和符号规则	(23)
4 非球面	(24)
5 光学玻璃数据库	(24)
6 出错处理	(25)
三、如何建立和修改数据文件	(25)
1 如何进入“建立和修改透镜数据”子菜单	(25)
2 如何建立数据文件——方法 1	(26)
(1) 镜头目录数据库	(26)
(2) 镜头目录数据库管理子系统	(28)
(3) 建立数据文件	(32)
3 如何建立数据文件——方法 2	(34)
4 如何编辑数据文件	(39)
(1) 对数据进行个别修改	(41)
(2) 在光学系统中插入一面或几面	(52)
(3) 从光学系统中删除一面或几面	(55)
(4) 对光学系统进行按比例缩放	(56)
(5) 将给定的光学系统倒排序	(58)
(6) 将两个光学系统对接	(59)
(7) 角度解	(62)
5 光线的设定和修改	(63)
(1) 正常方式	(63)
(2) 相对方式	(65)
(3) 自动生成方式	(66)
(4) 光线的修改	(68)
6 计算赛德像差	(69)

- 7 将内存中的数据文件存盘..... (71)
 - (1) 数据文件存盘且退出..... (71)
 - (2) 数据文件存盘且登录..... (72)
- 8 利用EDIT 进行数据文件的编辑..... (73)
- 四、光路追迹及波差计算..... (74)
 - 1 如何进入“光路追迹及波差计算”子菜单..... (74)
 - 2 光线的设定..... (75)
 - 3 追迹光线..... (80)
 - 4 输出结果..... (89)
 - 5 输出像差曲线..... (90)
 - 6 取新的镜头数据进行光路追迹..... (90)
- 五、像差分析..... (90)
 - 1 如何进入“像差分析”子菜单..... (91)
 - 2 输出的结果..... (92)
- 六、像差优化..... (95)
 - 1 像差优化设计简介..... (95)
 - (1) 评价函数..... (95)
 - (2) 像差函数..... (96)
 - (3) 权因子..... (97)
 - (4) 阻尼因子..... (97)
 - (5) 变量结组..... (99)
 - (6) 约束条件..... (99)
 - 2 如何进入“像差优化”子菜单..... (100)
 - 3 进行优化..... (103)
 - 4 返回到历史上任意一次迭代..... (108)
 - 5 修改目标值、权因子和变量..... (109)
 - 6 输出优化迭代过程中间结果..... (113)
 - 7 将优化的最终结果存储到盘上..... (113)
 - 8 取一组新的透镜数据进行优化..... (113)
 - 9 退出优化, 返回主菜单..... (113)
- 七、像质评价..... (114)
 - 1 光学传递函数..... (114)
 - (1) 自相关积分法计算 OTF (115)
 - (2) 二次傅里叶变换法计算 OTF (116)
 - 2 如何进入“像质评价”子菜单..... (117)
 - 3 自相关积分法计算 OTF 并显示点列图..... (118)
 - (1) 有关数据的设定..... (118)
 - (2) 传函计算..... (122)
 - (3) 取新的镜头数据..... (136)
 - 4 二次傅里叶变换法计算OTF并显示MTF和点扩散函数立体图..... (137)

- (1) 有关数据的设定..... (138)
- (2) 传函计算..... (140)
- (3) 取新的镜头数据..... (158)
- 5 显示波差等高线图..... (158)
- 八、光学镜头的公差估算..... (164)
 - 1 如何进入“公差估算”子菜单..... (165)
 - 2 估算半径、厚度、折射率和色散的公差..... (166)
 - 3 计算偏心公差..... (169)
 - 4 结果的输出..... (170)
 - 5 选取新的透镜数据..... (173)
- 九、命令方式..... (173)
 - 1 如何进入“命令方式”..... (174)
 - 2 退出命令方式的命令..... (174)
 - 3 分页打印命令..... (174)
 - 一点声明..... (175)
- 附录 1 CAOD运行的环境..... (175)
- 附录 2 IBM PC机的操作..... (175)
- 附录 3 DOS 简介..... (177)
 - (1) 什么是 DOS (177)
 - (2) DOS 常用的控制键..... (177)
 - (3) 常用的 DOS 命令..... (177)
 - (4) 文件的概念..... (179)
 - (5) 应用举例..... (181)
- 附录 4 全屏幕编辑程序 EDIT..... (181)
 - (1) 如何进入 EDIT..... (182)
 - (2) EDIT 所用的键..... (183)
 - (3) EDIT 的命令方式..... (184)
- 附录 5 CAOD 批处理文件..... (185)

如何在 IBM PC 微机上 进行计算机辅助光学设计

孙 国 良

(中国科学院光电技术研究所)

翁 志 成

(中国科学院长春光机所)

施 卫 芙

(中国科学院光电技术研究所)

摘要: 本文详细地介绍了如何利用 IBM PC 计算机辅助光学设计软件系统 CAOD 进行光学设计的方法和步骤。

一、引 言

1 什么是CAOD

CAOD (Computer Aided Optical Design) 软件包是一组实用化的工具。一位光学设计工作者, 可以利用这组工具去设计、分析、评价光学系统, 而并不要求具有丰富的软件设计知识, 更不要要求明瞭其中所用的算法。但是, 为了使这组工具充分发挥效能, 在最短的时间内, 设计出最能满足要求的光学系统, 却要求具有基本的光学设计知识。

CAOD 提供了很强的人机图形会话功能, 能够非常方便地建立、修改、组合、缩放、查询镜头结构数据; 对于定焦距共轴光学系统, 包括非球面, 能够进行像差的诊断和分析; 空间光线的追迹; 几何像差和波像差的计算; 提供了光学系统像质评价的手段, 即波差传递函数计算, 包括自相关法和二次傅立叶变换法, 同时给出点列图和点扩散函数三维立体图以及波面图; 提供了光学系统的公差估算, 特别是能够自动地进行像差的优化, 即通常所说的自动光学设计。结果的输出形式, 除了提供清晰整齐的表格式数据外, 更提供了各种直观的图形输出, 如: 光学系统结构剖面图、各种像差曲线图、光路图、传递函数曲线图、点列图、波面图、点扩散函数能量分布的三维立体图等。特别值得指出的是, CAOD 具备一个小型的光学镜头数据库, 并提供了对该数据库的管理功能。这样, 随着时间的推移, 用户自己可以不断地丰富数据库的内容。这对于充分利用前人的或自己的设计结果, 无疑是提供了极大的方便。CAOD 还具备一个玻璃库, 内中除了装有我国自己生产的光学玻璃外, 还有几个主要外国厂家生产的玻璃, 并可以玻璃表的形式输出。CAOD 还备有命令方式。IBM PC DOS 的全部命令均可在 CAOD 控制之下运行。

2 CAOD的历史

CAOD 的最初研制始于 1963 年。当时主要是为中国科学院长春光学精密机械研究所的

光学设计工作者们解决光学计算问题。在 M-103 电子计算机上首先编制出傍轴光线和空间光线计算程序, 并获得通过, 但由于种种条件的限制, 却未正式投入使用。1965 年, 长春光机所购进了英国的 Elliott 503 电子计算机, 此后, 光学设计工作者、光学检验工作者和软件设计工作者密切配合, 从解决本所的实际光学设计问题出发, 采用 ALGOL 60 高级程序设计语言, 编制出空间光线及像差计算程序, 并立即投入使用。1972 年, 长春光机所, 光电技术研究所的科技人员通力合作, 使我国第一个“自动光学设计”程序在 Elliott 503 机上获得通过并交付使用, 同年 10 月, 在全国光学设计经验交流会上正式发表。1973 年以后, 相继补充了像差分布计算、几何传函计算、点列图计算、波差传函计算、公差计算、变焦距自动设计、非球面计算、解 P-W 方程、凸轮优化计算等一系列软件, 具备了形成软件包的大部分素材。与此同时, 这些软件在实际应用中不断修改, 提高对不同光学设计问题的适应能力, 并成功地移植到多种机型上去, 如 709 机、TQ-16 机、SK-4 机等。所有这些软件都尽量照顾到光学设计工作者的习惯, 吸收了光学设计工作者的想法和经验, 以满足光学设计工作者的不同要求。1982 年, 开始在微型计算机上进行光学设计软件的移植和开发, 如: CANON BX-1, Dual 83/20 等, 同时在日立公司产的 M-160 大型机上也装入了光学设计软件。1984 年末, 在中国科学院的资助下, 长春光机所和光电技术研究所两家再度合作, 在 IBM PC/XT、IBM PC/AT 及其兼容机上共同开发计算机辅助光学设计 CAOD 软件系统, 即光学设计软件包。

3 CAOD 的组成

CAOD 全部采用 IBM PC 宏汇编语言和 FORTRAN 77 高级语言进行编写, 不仅使用灵活方便, 而且执行速度快。CAOD 的一个突出的优点是整个软件包是一个有机的整体, 在一个主控程序控制之下, 充分发挥了人机图形会话、菜单驱动、文件读写、成批处理等功能, 把光学设计全过程的各个阶段紧密地联系在一起。而各个功能模块都可以独立地进行扩

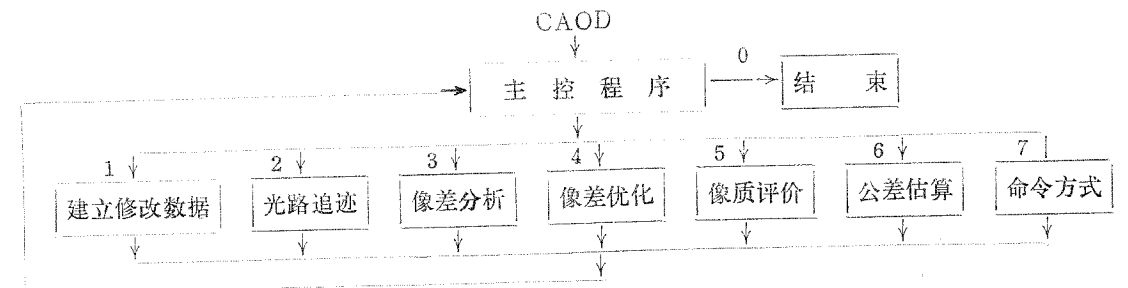


图 1-1

展, 又可方便地增加新的功能块, 从而保证了今后在版本更新时, 版本的向上兼容, 即用户以往的成果在新版本上也照常运行。

CAOD 的总体结构如图 1 所示。所有各功能块的功能及使用方法均在以后各章给出详细的阐述。

总之, CAOD 的操作使用非常容易。即使从来没有学过计算机操作, 也能在很短时间学会使用 CAOD, 设计出想要的光学镜头。

运行 CAOD 所需的硬设备和软设备环境, 请见附录 1。

现在提供的 CAOD 是第二版, 即 CAOD PC V2.0, 分装在 5 张软盘片上:

在标有CAOD PC V2.0(1)的盘中装有

```

SETUP.EXE
CAOD.BAT
CAPTION.BAS
CAOD.DAT
L1.DAT
L2.DAT
MAIN.EXE
DOSCOMS.EXE
GLASS.TAB
BASICA.COM

```

在标有CAOD PC V2.0(2)的盘中装有

```

CREATE.EXE
#RAYTR.EXE

```

在标有CAOD PC V2.0(3)的盘中装有

```

DOA.EXE
OPTIM.EXE

```

在标有CAOD PC V2.0(4)的盘中装有

```

DOTFGQI.EXE
DOTFWFT.EXE

```

在标有CAOD PC V2.0(5)的盘中装有

```

WABNMAP.EXE
OTL.EXE
EDIT.EXE
PR.EXE

```

除了这5张盘片外,还有一本《如何在IBM PC微机上进行计算机辅助光学设计》,就是现在这本资料。

4 如何将CAOD装入硬盘

(1) 打开软盘驱动器的小门,装入标有CAOD PC V2.0(1)的盘片,注意:一定要使贴有标签的面朝上,且使贴有标签的一侧向外,关上小门。如果当前驱动器是软盘驱动器,则只需在键盘上敲入命令

```
DIR ↵
```

其中的符号↵代表“回车键”。如果当前驱动器是硬盘驱动器,则需在键盘上敲入

```
DIR A: ↵
```

则屏幕上应当显示

Volume in drive A is CAOD 200(1)

Directory of A: ↵

```

SETUP  EXE      21564    4-01-87    11:01a
CAOD   BAT       50       4-24-87    3:31p
CAPTION BAS    10022    4-21-87    9:55a
CAOD   DAT    46752    4-18-86    8:33a
L1     DAT       347     4-24-86    2:55p
L2     DAT       246     4-24-86    2:55p
MAIN   EXE    34134    4-21-87    10:55a
DOSCOMS EXE    29652    4-19-87    2:30p
GLASS  TAB     81600    4-11-87    3:49p
BASICA COM    26112    10-20-83   12:00p
10File(s) 106496 bytes free

```

这就是检查盘片内容。接着,应把该盘片的内容复制到硬盘上去。(从现在起,我们假定当前驱动器总是指硬盘驱动器)。敲入命令

```
COPY A: *.* ↵
```

当显示

```
10 File(s) copied
```

时,表示复制完成。

(2) 打开软盘驱动器的小门,取出第一张盘片,装入标有CAOD PC V2.0(2)的盘片。关上小门。在键盘上敲入命令

```
DIR A: ↵
```

之后,屏幕应当显示

```

Volume in drive A is CAOD 200(2)
Directory of A: ↵
CREATE  EXE    190760    5-06-87    9:38p
#RAYTR  EXE    121838    4-20-87    10:30a
2File(s) 49152 bytes free

```

接着,敲入命令

```
COPY A: *.* ↵
```

就把第二张盘片的内容复制到硬盘上去。当再次显示

```
2 File(s) copied
```

时,表示复制完成。

(3) 打开软盘驱动器的小门,取出第二张盘片,装入标有CAOD PC V2.0(3)的盘片。关上小门。键入

```
DIR A: ↵
```

之后,屏幕应当显示

```

Volume in drive A is CAOD 200(3)
Directory of A: ↵
DOA     EXE     78440    4-23-87    8:05p
OPTIM   EXE    113838    5-05-87    3:58p
2 File(s) 168960 bytes free

```

接着，按同样的手续把第三张盘片的内容复制到硬盘上去，即敲入

```
COPY A:*. * ↵
```

当再次显示

```
2 File(s) copied
```

时，表示复制完成。

(4) 打开软盘驱动器的小门，取出第三张盘片，装入标有 CAOD PC V2.0(4) 的盘片。关上小门。键入

```
DIR A: ↵
```

之后，屏幕应当显示

```
Volume in drive A is CAOD 300(4)
Directory of A: ¥
DOTEGQI  EXE  135974  5-06-87  3:55p
DOTFWFT  EXE  130630  5-06-87  4:10p
2 File(s)  95232 bytes free
```

接着，键入

```
COPY A:*. * ↵
```

当再次显示

```
2 File(s) copied
```

时，表示复制完成。

(5) 打开软盘驱动器的小门，取出第四张盘片，装入标有 CAOD PC V2.0(5) 的盘片。关上小门。键入

```
DIR A: ↵
```

之后，屏幕应当显示

```
Volume in drive A is CAOD 200(5)
Directory of A: ¥
WABNMAP  EXE  91924  5-06-87  5:37p
OTL       EXE  90040  4-23-87  3:46p
EDIT     EXE  29560  8-07-84  3:47p
PR       EXE  12389  12-12-86  4:27p
4 File(s)  99328 bytes free
```

接着，键入

```
COPY A:*. * ↵
```

当再次显示

```
4 File(s) copied
```

时，表示复制完成。

至此，全部复制完成。打开小门取出这最后一张盘片，将它们妥为保存。为高校对，键入

```
DIR ↵
```

则应当在目录中至少包含下述文件 (图1-2):

10 3 2
2 0 8 8
1 0 2 0 17
2 3 3 3

Volume in drive C has no label
Directory of C:\CAOD

```
<DIR> 5-07-87 2:04p
.. <DIR> 5-07-87 2:04p
SETUP  EXE  21564  4-01-87 11:01a
CAOD   BAT   50  4-24-87 3:31p
CAPTION BAS 10022 4-21-87 9:55a
CAOD   DAT  46752 4-18-86 8:33a
L1     DAT   347  4-24-86 2:55p
L2     DAT   246  4-24-86 2:55p
MAIN   EXE  34134 4-21-87 10:55a
DOSCOMS EXE 29652 4-19-87 2:30p
GLASS  TAB  81600 4-11-87 3:49p
BASICA COM 26112 10-20-83 12:00p
CREATE EXE 190760 5-06-87 9:38p
#RAYTR EXE 121836 4-20-87 10:30a
DOA    EXE  78440 4-23-87 8:05p
OPTIM  EXE 113830 5-05-87 3:58p
DOTFGQI EXE 135974 5-06-87 3:55p
DOTFWFT EXE 130630 5-06-87 4:10p
WABNMAP EXE 91924 5-06-87 5:37p
OTL    EXE  90040 4-23-87 3:46p
EDIT   EXE  29560 8-07-84 3:47p
PR     EXE  12389 12-12-86 4:27p
22 File(s) 18741248 bytes free
```

图1-3

5 如何启动CAOD

当把 CAOD 全部复制 (装入) 到硬盘后，为了正确地运行它，必需再把标有 CAOD PC V2.1(1) 的盘片装入软盘驱动器，关上小门，然后键入

```
SETUP ↵
```

马上显示

```
O.K.
```

表示整系统建立完成，将软盘片取出，保存好。在此，还应弄清楚打印机驱动程序，见附录

5。从此以后，每当想使用CAOD时，只需键入

```
CAOD ↵
```

接着，清屏幕，稍等片刻，在屏幕上显示蓝底黄字的画面，如图2。

```
Good evening !
```

```
Welcome to using CAOD !
```

```
Waiting for a moment, please.
```

```
Press F9 to STOP Singing.
```

图 1-3

此时会看到硬盘驱动器的指示灯在不停地闪亮，表示正在读“片头”的画面。若不想看这个“片头”，可随时按下功能键 F9，则屏幕立即显示图1-5的画面，叫作“主菜单”。若想看这个“片头”画面，则可等候片刻，机内蜂鸣器奏出乐曲，与此同时，画面显示出 CAOD 字样，下方为一个变焦系统的剖面图，随着变焦系统变倍组的移动，CAOD 也不断地放大或缩小，象征着变焦的效果，见图1-4。

218146
10022
31636
46752
78388
593
78781
34134
113
29652
141767
81600
223307
206112
244474
190760
4402339
121836
562077
78440
640517
113830
734355
133974
890324
830556
1031959
91924
1132803
91840
1212923
29560
1262653
12389
2872

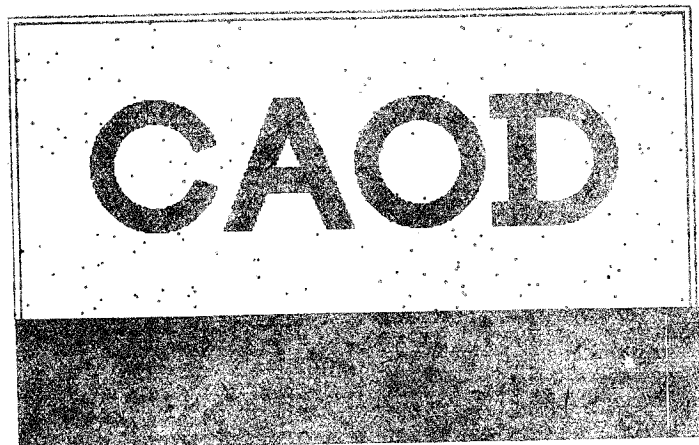


图 1-4

当不需再看这个“片头”的时候，可以随时按下功能键 F9，屏幕立即显示蓝底白字绿边框的“主菜单”，如图1-5。

```

C.A.O.D. MAIN MENU
-----
0. EXIT
1. SET UP & MODIFY LENS DATA
2. SKEW RAY TRACE
3. ABERRATIONS ANALYSIS
4. OPTIMIZATION
5. IMAGE EVALUATION
6. OPTICAL TOLERANCE
7. COMMAND MODE

APPLIED OPTICS LAB.
ACADEMIA SINICA
-----

YOUR CHOICE [0 - 7]:

```

图 1-5

这个主菜单中的各项功能，将在第三章以后讲。在此之前，将介绍一下 CAOD 中用到的一些基本概念，这对于掌握 CAOD 的使用方法，参数的设置，功能的调用是至关重要的。

在结束本章的时候，我们想把本文其余各章的内容在这里做一简要说明。本文只是告诉如何学习使用CAOD，并读懂 CAOD 各种形式的输出，并没有也不可能在这里讲述光学设计基础理论知识，若需要这方面的知识的话，请查阅有关专著。

第二章主要讲述CAOD中用到的一些基本概念。第三章详尽地论述了光学镜头目录数据库管理子系统、光学镜头数据文件的创建和编辑以及赛德像差计算等。第四章着重介绍了光路追迹、波差计算，特别是像差曲线图的含义和输出。第五章描述了像差分析的输入和输出。第六章着力论述了优化方法，即自动设计，从原理、参数设置、实现途径到结果分析，都作了阐述。第七章是关于像质评价方法——传递函数的论述，简单地介绍了理论及算法，给出输出结果的解释。第八章给出光学公差概念的简介，算法及输出结果的含义。第九章讲

述命令方式，重点是在使用CAOD时的一些技巧。为了使从事光学设计的工作者不必去专门查阅有关IBM PC的书籍和资料也能在IBM PC DOS下工作，在附录中给出了CAOD的运行环境、IBM PC机的操作、DOS简介及全屏编辑程序EDIT。一般说来，只要掌握这些，足以满足运行CAOD的要求了。

二、基本概念

在 CAOD 中，我们使用了很多光学设计的概念、术语和计算公式，这些，在普通的专业书籍中均有详尽的阐述，一般不再重述。只有那些与用户见面的符号，在它出现的地点，给出了相应的说明。在本章，只对那些对 CAOD 而言带有全局性的概念和术语给出了详细的阐述。如“菜单”，我们试图给出一个层次结构菜单的概念，又如“问与答”，我们试图使这本资料搁置一旁，也能应答自如。再有，坐标系、符号规则等也应在使用 CAOD 之前有所了解。在CAOD中使用了许多IBM PC DOS的基本概念，则请参阅附录。

1 菜单

在 CAOD 中，我们将多次地引用“菜单”这一术语。在 CAOD 中，“菜单”一词是指“功能目录”。想要实现什么功能，只需照功能目录上提供的各项内容去选，CAOD 就转去执行相应的功能。在CAOD中，我们把在键入

CAOD↵

之后显示的那张蓝底白字绿边框的功能目录（图1-5）叫做“主菜单”。当选择好某一项功能之后，一般说来，又显示一幅新的功能目录，叫做“子菜单”。例如，在主菜单控制之下，当敲入

1↵

时，屏幕就显示如图2-1所示的子菜单：

```

-----
SET UP & MODIFY DATA MENU

0. EXIT
1. Look at INDEX
2. Set up & load the lens data
3. Modify the lens data one by one
4. Insert surfaces to the system
5. Delete surfaces from the system
6. Scale the lens
7. Reverse the system
8. Concatenate two systems
9. Set up rays
10. Angle solve
11. Calculate SEIDEL aberrations
12. Modify list of rays
13. Save data onto disk
-----

YOUR CHOICE:

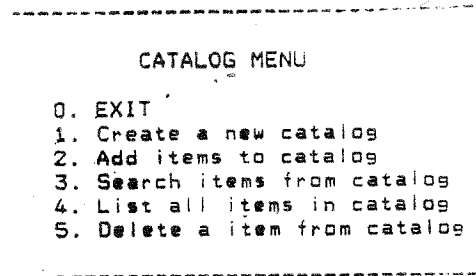
```

图 2-1

在这张(子)菜单控制之下,当敲入

1

之后,屏幕又显示如图2-2所示的“子子菜单”,当然还可能有“子子子菜单”,从而形成了一个多层次的菜单结构(图2-3)。



YOUR CHOICE:

图 2-2

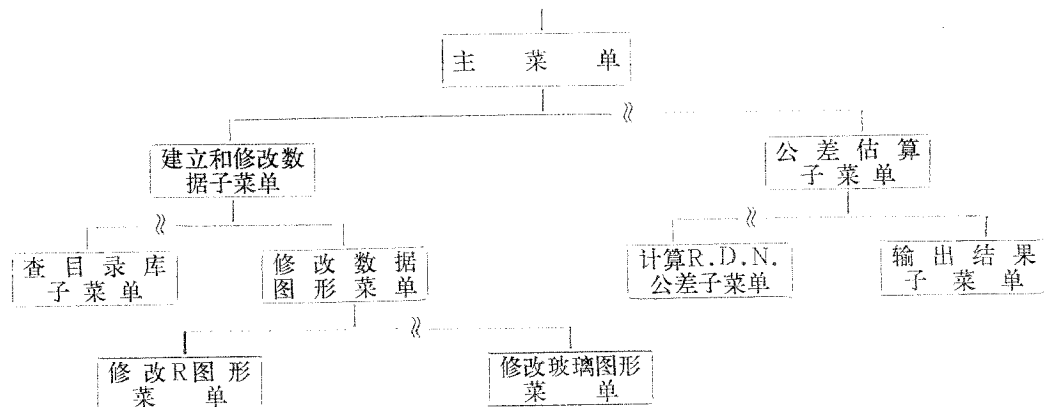
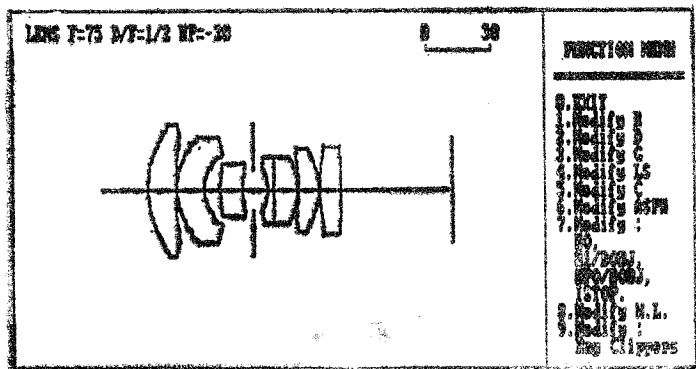


图 2-3

实际上,这正是 CAOD 的整体结构。

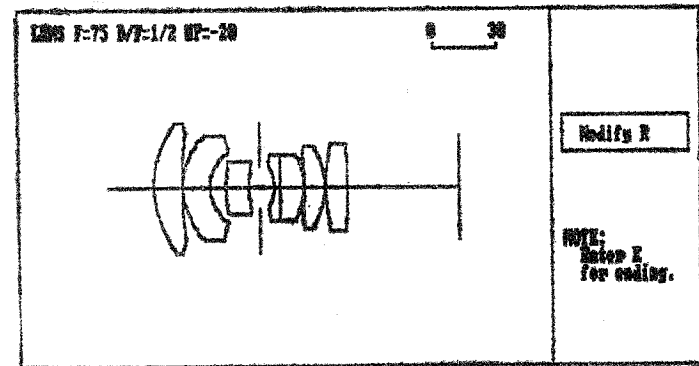
在所有菜单中,第一项功能都是 EXIT,它的编号总是0。它表示,当选择0时,它就返回到它的上一层菜单上去,特别是当处于主菜单时,键入0之后,就返回IBM PC DOS操作系统。



YOUR CHOICE:

图 2-4

菜单显示有两种方式。一种方式是完全由文字表达,如图1-5、图2-1或图2-2;另一种方式是图文并存,如图2-4、图2-5所示。它体现了CAOD的一大特色——人机图形会话。



YOUR CHOICE: 1
Surface No. is:

图 2-5

在图文并存的菜单形式中,在画面右侧的一个细长栏目里,或是显示功能目录,如图2-4中的

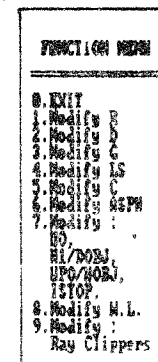


图 2-6

或是表明当前的工作状态,如图2-5中的

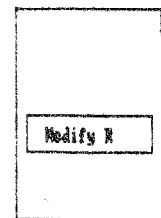


图 2-7

表明当前处于人工修改半径的工作状态,或是给出某种提示,如图2-5中的

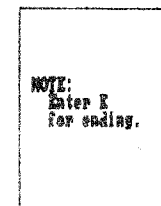


图 2-8

表示要结束修改时, 请键入字母E。要求输入什么内容的提示, 一般均位于画面的底部, 如图2—5中的最下边一行, 提出输入新的半径的数值。

一般说来, 在菜单显示的最下边一行总是提示

YOUR CHOICE;

意思是问你选择哪一项功能。只需敲入该项功能前面的序号即可, 注意: 别忘了敲“回车”键。

2 问与答

在菜单中的

YOUR CHOICE;

之后, 只需回答各项功能前面的那个序号。

但是在 CAOD 中的大量问与答, 却需要小心谨慎地回答。

(1) 需要回答“是”与“否”的。

例如, 在输出像差曲线图时, 为了确定画图时所用的比例尺, 在显示了

Maximum LA = 0.74
Default scale factor = 0.8

之后, 问

O.K. ? [Y/N]

就是说, 如果同意比例尺的默认值 (在例子中是0.8), 就回答“Y”, 否则, 回答“N”。

又例如, 在从“主菜单”

退出时, 敲入0之后, 立即显示

STORE THE FINAL LENS DATA, O.K. ? [Y/N]

这也是要求回答“是 (即Y)”或“否 (N)”。

(2) 要求回答一串字符的。这多半是要求输入一个数据文件名。例如

ENTER THE FILE NAME [LENS75.LEN];

又例如

Input Glass Name;

再例如

SPECIFY FILENAME FOR INPUT;

关于文件的概念见附录3。也有的是希望输入一个标题, 例如

INPUT TITLE;

可以敲入任意一串感兴趣的有某种意义的字符。

(3) 要求回答数据的。例如

INPUT NUMBER OF SURFACES;

要求输入光学系统的总面数。又例如

INPUT UO, H1/DOBJ, UPO/HOBI, ISTOP;

则要求输入四个量: 物方孔径角, 入射高, 视场角, 光栏位置,

0 18.75 -20 7↵

各量之间用空格隔开, 最后敲入回车。再例如

**** INPUT 15 R ****

要求输入15个半径, 可以连续输入, 各数据之间均以空格相隔, 最后敲入回车。

(4) 还有一种图文并存的问答方式 (见图2—5)。在这种情况下, 首先问要修改哪个面的半径, 比如, 回答

1↵

它立即在下一行显示该面半径的当前值, 接着问新的半径值是多少。如此下去, 直至敲入了一个字母E为止。顺便指出, 这时的问与答只在最下边的三行上滚动, 对图形本身不发生任何影响。

3 坐标系和符号规则

CAOD 约定: 在光学系统中的每一个面都有一个局部坐标系。这个坐标系的原点就是曲面的顶点, 而且采用右手坐标系的规则。(见图2—9) Z轴为光轴, 自左向右的指向,

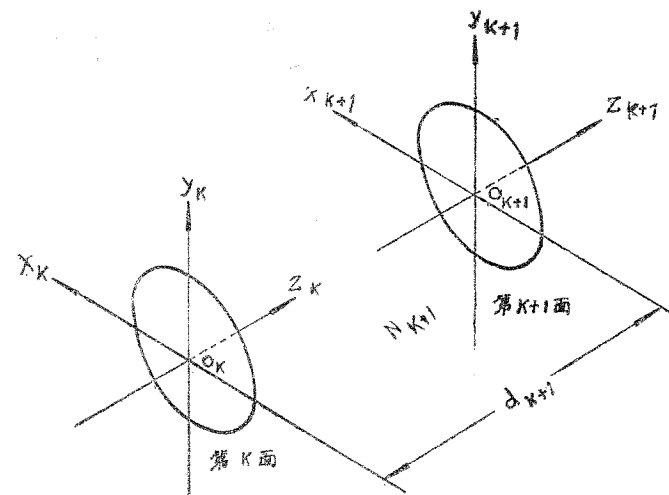


图 2—9

Y-Z平面为系统的对称面, 即子午面; X-Z平面为弧矢面。

CAOD约定, 对于一个光学系统采用下述符号规则:

假定光线最初总是从左到右行进, 除非碰到一个反射面, 否则就一直是这样行进。追迹光线严格按照面的次序进行, 而决不会漏掉一个面。

当曲率中心是在表面的右方时, 半径和曲率是正的。

间隔, 或叫轴上距离的符号取决于对应的光线行进方向, 自左向右时取正号; 反之, 取负号。即每碰到一次反射面, 该面之后的间隔要变号。但在第1面之前的间隔除外, 即第1个间隔的符号取决于入射参考面的位置, 它总是跟计算出来的入瞳位置值符号相反。在输入初始数据时, 第1个间隔只要形式上给一个数, 比如0, 就可以了。

当光线经过媒质从左向右行进时, 其折射率是正的; 当光线从右向左 (例如反射之后) 行进时, 认为其折射率是负的。但在输入初始数据时, 你根本不用去管它, 全输入正的, 在CAOD内部会根据间隔的正负去判断它。

光学系统各结构参数的序号规定如图2—10

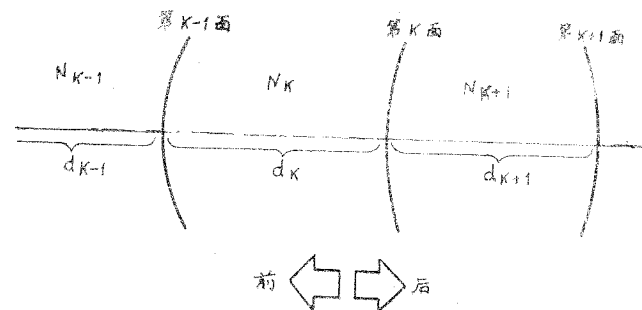


图 2-10

即在第K面之前的间隔和折射率的序号均为K。

CAOD 把入射光线参考面看作是第0面，用于确定入射光线的位置。当输入的第1个间隔 D(1) 为0时，CAOD 将把入瞳面看作是入射光线参考面，并把反号的入瞳距赋给 D(1)，作为从第0面到第1面的距离。若系统为物方远心系统，则把系统第1面的切平面看作入射光线参考面，即第0面，故这时有 D(1)=0。

CAOD约定系统的总面数是把光阑面和像平面计算在内的。当光阑面与系统中某一面重合时，可不作为单独一面处理。最后一个间隔就是像距，在输入初始数据时，如果像方光线是由左向右行进，则输入一个0或任意一个正数；如果像方光线是由右向左行进，则输入任意一个负数。

这样，系统的总面数 = 透镜面数 + 2；系统的间隔总数 = 透镜间隔 + 2。

4 非球面

在 CAOD 中所用的旋转轴对称非球面方程式为

$$z = f(x, y) = \frac{cr^2}{1 + (1 - A_1 c^2 r^2)^{1/2}} + A_2 r^4 + A_3 r^6 + A_4 r^8 + A_5 r^{10}$$

其中 $r = x^2 + y^2$ 。

当 $A_1 = 0$ 时，为斯密特校正板面型方程。

当 $A_2 \sim A_5 = 0$ 时，为二次曲面方程：

$A_1 = 1$ 时，为球面方程；

$A_1 = 0$ 时，为抛物面方程；

$A_1 > 1$ 时，为扁椭球面方程；

$0 < A_1 < 1$ 时，为长椭球面方程；

$A_1 < 0$ 时，为双曲面方程。

5 光学玻璃数据库

在 CAOD 中建有光学玻璃数据库，内中除了装有我国自产的玻璃牌号及参数外，还装入了Schott厂、Ohara厂、Chance-Pilkington厂、Hoya厂、Sovirel厂的玻璃目录，总共

近900种。在玻璃数据库中除了装有玻璃牌号外，还有相应玻璃的计算折射率的常数 A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 和 A_5 。利用公式

$$n^2 = A_0 + A_1 \lambda^2 + A_2 \lambda^{-2} + A_3 \lambda^{-4} + A_4 \lambda^{-6} + A_5 \lambda^{-8}$$

在已知波长 λ (单位: nm) 的情况下，就可以计算出相应的折射率 n 。这个公式的适用波长范围是365—1014nm。在400—750nm的范围内精度是 $\pm 3.10^{-6}$ 。在365—400和750—1014nm范围内精度是 $\pm 5.10^{-6}$ 。

对于不在这个波长范围内的折射率，只好由用户输入了。

6 出错处理

当回答问题或敲入数据时，难免不慎回答错了。若在敲入回车之前就发现敲错了，可以利用←键或Del键进行修改；若在敲入回车之后才发现敲错了，那么在“建立和修改透镜数据”功能块中提供了修改数据的机会；若属于格式错误或敲入了非法字符，CAOD一般都是让重新输入，而不致使已敲入的数据报废。在最坏的情况下，是返回主菜单，但这时，刚刚敲入的数据可能丢失了。

三、如何建立和修改数据文件

1 如何进入“建立和修改透镜数据”子菜单

要想建立光学系统初始结构数据，手续非常简单。启动CAOD并显示主菜单如图3-1

```

C.A.O.D. MAIN MENU
-----
0. EXIT
1. SET UP & MODIFY LENS DATA
2. SKEW RAY TRACE
3. ABERRATIONS ANALYSIS
4. OPTIMIZATION
5. IMAGE EVALUATION
6. OPTICAL TOLERANCE
7. COMMAND MODE

APPLIED OPTICS LAB.
ACADEMIA SINICA
-----

YOUR CHOICE [0 - 7]: 3

```

图 3-1

紧接着，键入

1 ↓

屏幕显示如图3-2

```

-----
          SET UP & MODIFY DATA MENU
-----
0. EXIT
1. Look at INDEX
2. Set up & load the lens data
3. Modify the lens data one by one
4. Insert surfaces to the system
5. Delete surfaces from the system
6. Scale the lens
7. Reverse the system
8. Concatenate two systems
9. Set up rays
10. Angle solve
11. Calculate SEIDEL aberrations
12. Modify list of rays
13. Save data onto disk
-----

```

YOUR CHOICE:

图 3-2

至此, IBM PC就处于“建立和修改透镜数据菜单”的控制之下, 键入 0~13 中的任意一个数字, 便转入相应的功能块。

为了说明具体的操作步骤而给出一些实例, 这些实例从光学设计角度来看不是最好的, 而且可能是相当差的。只是作为操作实例而已。

2 如何建立数据文件——方法 1

CAOD 提供了两种建立数据文件的方法。第一种方法是从光学镜头目录数据库中查找。为此, 只需在图所示的菜单控制下键入

1

则屏幕立即显示如图3-3

```

-----
          CATALOG MENU
-----
0. EXIT
1. Create a new catalog
2. Add items to catalog
3. Search items from catalog
4. List all items in catalog
5. Delete a item from catalog
-----
YOUR CHOICE:

```

图 3-3

(1) 镜头目录数据库

在CAOD中, 备有一个微型的镜头目录数据库管理子系统。只要屏幕上显示出图 3-3 所示的菜单, 就表示此时IBM PC机已处于该子系统的控制之下, 可以利用菜单上所列出的功能对镜头目录数据库进行操作。

镜头目录数据库管理子系统的主要处理对象是以表格形式组织起来的数据, 它们均以文

件的形式存放在数据库中, 即所谓“数据库文件”。在我们目前的数据库中, 共有10个数据库文件, 它们的名字均已由 CAOD 规定好了, 这些名字是:

```

-----
TELESCOP.DT1
TELESCOP.DT2
MICROSCP.DT1
MICROSCP.DT2
PHOTLENS.DT1
PHOTLENS.DT2
EYEPIECE.DT1
EYEPIECE.DT2
LITHOGRA.DT1
LITHOGRA.DT2
-----

```

图 3-4

各数据库文件的用途分述如下:

- TELESCOP.DT1 专门存放有关望远镜镜头目录, 且按视场大小次序排序。
- TELESCOP.DT2 专门存放有关望远镜镜头目录, 且按数值孔径大小次序排序。
- MICROSCP.DT1 专门存放显微物镜镜头目录, 且按视场排序。
- MICROSCP.DT2 专门存放显微物镜镜头目录, 且按数值孔径排序。
- PHOTLENS.DT1 专门存放照相物镜镜头目录, 且按视场排序。
- PHOTLENS.DT2 专门存放照相物镜镜头目录, 且按数值孔径排序。
- EYEPIECE.DT1 专门存放目镜镜头目录, 且按视场排序。
- EYEPIECE.DT2 专门存放目镜镜头目录, 且按数值孔径排序。
- LITHOGRA.DT1 专门存放制版物镜镜头目录, 且按视场排序。
- LITHOGRA.DT2 专门存放制版物镜镜头目录, 且按数值孔径排序。

所有这10个数据库文件的结构, 即表格的格式, 都是一样的。每张表格都由 9 个栏目组成, 各个栏目的标题分别是

```

-----
No. TYPE FIELD/H F.No/N.A. MAG FOCAL FILENAME D.No. COMMENT
-----

```

第 1 个栏目 No. 是序号, 其宽度是 3 个字符, 且只能为数值型。

第 2 个栏目 TYPE 是指镜头的类型, 其宽度是 8 个字符, 其值只能为字符串型, 且只能取下列值之一:

```

-----
TELESCOP.DT1
TELESCOP.DT2
MICROSCP.DT1
MICROSCP.DT2
PHOTLENS.DT1
PHOTLENS.DT2
EYEPIECE.DT1
EYEPIECE.DT2
LITHOGRA.DT1
LITHOGRA.DT2
-----

```

图 3-5

第 3 个栏目 FIELD/H 是指镜头的视场角或物高, 其宽度是 8 个字符, 其值只能为数值型。

第 4 个栏目 F.No/N.A. 是指镜头的 F 数或数值孔径, 其宽度是 11 个字符, 其值只能为数值型。

第 5 个栏目 MAG 是指镜头的放大倍率, 其宽度是 8 个字符, 其值只能为数值型

第 6 个栏目 FOCAL 是指镜头的焦距, 其宽度是 11 个字符, 其值只能为数值型

第7个栏目FILENAME是指该镜头结构数据所在文件的文件名，其宽度是12个字符，其值只能为字符串型。

第8个栏目D: No. 是指镜头结构数据文件，即在第七个栏目中所指出的那个文件。所在的软盘片编号。一般说来，镜头目录数据库文件均驻留在软盘片上。随着时间的推移，这些软盘片也不断增多。在各软盘片的封套上均贴有编了号的标签。在此，就是指这个编号，而不是盘驱动器的编号。其宽度是2个字符，且只能为整数值型。

第9个栏目COMMENT 是指对该镜头可做一些简单的说明，其宽度是11个字符，且只能为字符串型。

上面的叙述中多次提到“宽度”这一术语。其意义是指该栏目最多只能装几个字符。例如某一栏目的宽度为12个字符，且其值为字符串型，则字符串数据LENS.DAT是合法的，因为其宽度，即字符的个数是8个字符(注意：园点·也算一个)。而字符串数据OURLENS12.LEN是不合法的，因为其宽度为13个字符，超过了规定宽度。又如某一栏目的宽度是8个字符，且其值为数值型，则数值数据-5.23是合法的，因为其宽度是5个字符(注意：正负号、小数点都计算在内)，而数值数据78670.325是不合法的，因为其宽度9超过了规定的宽度8。图3-6是一张照相系统的镜头目录表，它就是以名字PHOTLENS为文件名的一个数据库文件。

No.	TYPE	FIELD/H	F.No/N.A.	MAG	FOCAL	FILENAME	D:No.	COMMENT
1	PHOTLENS	8.00	1.800	.00	100.00	00-01-014	1	Photo
2	PHOTLENS	8.00	1.800	.00	100.00	01-00-013	1	Photo
3	PHOTLENS	12.00	1.700	.00	100.00	01-00-016	1	P
4	PHOTLENS	16.00	.610	.00	100.00	01-00-004	1	lens sys.
5	PHOTLENS	20.00	.680	.00	100.00	01-00-003	1	lens sys.
6	PHOTLENS	20.00	1.500	.00	100.00	01-00-005	1	Used by CRT
7	PHOTLENS	22.50	1.400	.00	100.00	01-00-009	1	Double-Gaus
8	PHOTLENS	22.50	1.400	.00	100.00	01-00-010	1	Double Gaus
9	PHOTLENS	22.50	1.400	1.00	1.00	01-00-007	1	Photo
10	PHOTLENS	22.50	1.400	.00	1.00	01-00-008	1	Photo
11	PHOTLENS	23.00	1.400	.00	1.00	01-00-011	1	Large A. Lon
12	PHOTLENS	23.00	1.400	.00	1.00	01-00-012	1	Large A. Lo
13	PHOTLENS	24.00	1.400	.00	1.00	01-00-015	1	Gauss
14	PHOTLENS	34.00	.800	.00	125.00	01-00-002	1	6 Elements

[Press <Enter> to continue]

图 3-6

各数据库文件的内容就是表格中所填入的数据。表格是以“行”为单位的，每一行代表一个镜头，它是一个整体，我们把它叫作一个“记录”。所以文件内容实际上就是一组记录”每个记录都有一个记录序号 No.，表示它在表中的位置。例如，在图3-6中，第1行，就是第1个记录，该记录的内容是

[Press <Enter> to continue]1

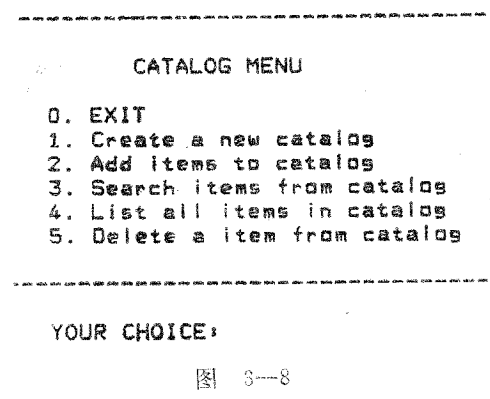
No.	TYPE	FIELD/H	F.No/N.A.	MAG	FOCAL	FILENAME	D:No.	COMMENT
1	PHOTLENS	8.00	1.800	.00	100.00	00-01-014	1	Photo

图 3-7

不难理解，在一个数据库文件中，文件内容仅仅是数据本身，而它的结构才是数据的定义和解释。

(2) 镜头目录数据库管理子系统

作为一个微型的镜头目录数据库管理子系统，CAOD向你提供了5项基本功能：



- 即：
1. 创建镜头目录数据库
 2. 添加记录
 3. 查询检索
 4. 列表
 5. 删除

① 创建一个新的镜头目录数据库只需在“目录”菜单下键入

1 ↵

有两种情况：

当镜头目录数据库文件不存在时，则管理子系统去建立它们，同时屏幕显示

I am creating catalog file,now.

[Press<Enter>to continue]

当你按下“回车”，又返回“目录”菜单。

当镜头目录数据库文件已经存在时，则显示

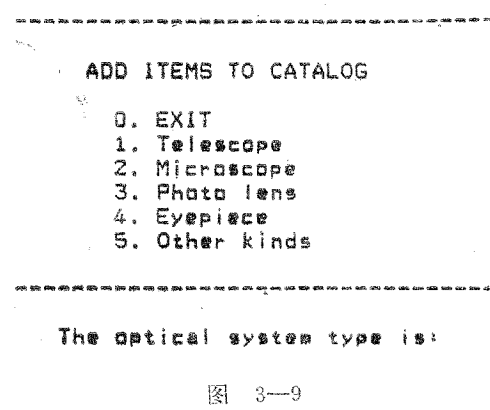
The CATALOG file has already existed.

按下“回车”，返回“目录”菜单。

② 向镜头目录数据库添加记录只需在图3-8所示的菜单控制下键入

2 ↵

即可。屏幕上立即显示



上一节已经讲过现有的镜头目录数据库按用途可分为五类(十个库)，就是这个菜单中列出的五类。若回答

就向望远镜镜头目录数据库（两个库）文件中添加记录；回答2~5中的任意一个数字，就分别向显微物镜镜头目录库、照相物镜库、目镜库和制版物镜库中添加记录。只要回答了一个合法数字，就立即按图3-10所示的次序，要回答相应的问题。各问题的含义，在前面都

```
View field (degree) / Object height: 2
F.No / N.A. (Object): 1.0
Magnification: 0
Focal length: 200
Lens-data file-name: MYFILE
Floppy diskette No.: 1
Comment (if any): Nothing
```

图 3-10

讲过了，不再重述。当回答完最后一个问题之后，屏幕再次显示图3-8所示的菜单，只要愿意，就可以选取1~5中的一个数字，向对应的数据库文件中添加记录。当认为暂时不再需要进行添加记录的操作时，键入

0

返回“镜头目录数据库管理系统菜单”(图3-8)。

③ 检索镜头目录数据库。

数据库建立之后，就可以使用了。而使用数据库的主要形式就是检索，即从数据库中取出满足要求的镜头数据文件名和它所在的盘号。

只需在图3-8所示菜单的控制下键入则屏幕显示如图

```
SEARCH ITEMS FROM CATALOG
0. EXIT
1. Telescope
2. Microscope
3. Photo lens
4. Eyepiece
5. Other kinds

YOUR CHOICE:
```

图 3-11

可根据要求检索某一个数据库，只需敲入相应的序号即可。例如，检索望远镜镜头目录数据库文件，只需键入

1

则屏幕在该菜单之下，接着提出4个问题，它们是（见图3-12）

视场范围从多少到多少；

F数或物方数值孔径范围从多少到多少；

```
View field (from ... to ...) is: 1 3
F.No / N.A. (from ... to ...) is: 0 1
Magnification (from ... to ...) is: 0 0
Focal length (from ... to ...) is: 1 300
```

```
No TYPE FIELD/H F.No/N.A. MAG FOCAL FILENAME D.No. COMMENT
1 TELESCOP 2.00 1.000 .00 200.00 MYFILE 1 Nothing
```

图 3-12

放大率范围从多少到多少；

焦距范围从多少到多少；

对于每个问题的答案，可以只回答一个数值，即不是规定范围，而是指定值；也可以回答两个数值，即规定范围的起始值和终值。在后一种情况下，两个值之间以空格相隔，起始值小于等于终值，且包括空格、正负号、小数点在内，整个答案的字符个数不得超过20个。依次回答完这四个问题之后，屏幕上立即显示出符合这些要求的所有镜头目录，可以从选取所需的镜头数据文件，见图3-12。此后可敲“回车”键，继续看下一页，或返回检索镜头目录的菜单，继续检索其它数据库文件，或键入

0

返回“镜头目录数据库管理系统菜单”。

注意：通过这种检索，应记下感兴趣的那个镜头数据所在的文件名，如上例中的S1和它所在的软盘片号，如上例中D.No.栏目下的1。以备在“建立和修改镜头数据菜单”控制之下、键入第2项功能“建立和装入镜头数据”时使用。

④ 列出镜头目录数据库的全部内容

只需在图3-8所示菜单的控制下键入

4

则屏幕显示

```
LIST THE WHOLE CATALOG
0. EXIT
1. According to FIELD
2. According to F.No.
```

YOUR CHOICE:

图 3-13

这实际上是提供浏览全部数据库文件的一个手段。实例见图3-14。在这个例子中，我们是

```
1
No. TYPE FIELD/H F.No/N.A. MAG FOCAL FILENAME D.No. COMMENT
1 TELESCOP 2.00 .050 7.00 200.00 01-00-01 1
2 TELESCOP 30.00 2.000 2.00 100.00 01-00-02 1
```

图 3-14

按视场大小次序列出。即键入1。例子表明全部数据库文件只有两个记录。当审视完了，敲“回车”键，又显示如图3-7所示的菜单。键入

0

返回“镜头目录数据库管理系统菜单”。

⑤ 从镜头目录数据库中删除记录。

输入各数据文件内容后，不可避免地会碰到文件更新的问题。所谓更新是指添加新记录、删除已有的记录。添加记录的方法已做过介绍，这里介绍删除记录。只需在图3-8所示菜单的控制下键入

5

则屏幕显示如图3-15。接着问要抹的记录处于哪类文件，可以根据情况回答 1~5 中的一个数字。接着问要抹的记录号是多少。图3-14。

```

-----
DELETE A ITEM FROM CATALOG

0. EXIT
1. Telescope
2. Microscope
3. Photo lens
4. Eyepiece
5. Other kinds

-----

YOUR CHOICE:
图 3-15

```

当敲入记录号（例中是 2）之后，立即显示该记录的内容，要进行两次确认（图3-16）。第

```

[Press <Enter> to continue]
The record number is: 2
No  TYPE  FIELD/H  F.No/N.A.  MAG  FOCAL  FILENAME  D:No.  COMMENT
1  TELESCOP  2.00  1.000  .00  200.00  MYFILE  1  Nothing
*** Is it right [ Y/N ] ? *** Y
Do you want to delete the lens data file:
MYFILE
? [Y/N] Y
-----

```

图 3-16

一次是要确认是不是要抹正在显示的记录，当给出肯定回答之后（即键入 Y），就显示第二次确认，是否是抹掉所显示的那个文件名的文件。当再次做出肯定回答（即键入 Y）之后，才将该记录从指定的数据库文件中删除，而且还同时将该记录中所指出的那个文件从文件目录中删除。

(3) 建立数据文件

正如本节开头所述，建立镜头数据文件的第一种方法就是从光学镜头目录数据库中查找。这只需在“镜头目录数据库管理系统的菜单”(图3-8)控制之下，键入

3 ↵

显示菜单如图3-12，正如（3）所阐述的那样，连续回答四个问题，则屏幕显示出要求的全部镜头的目录，记下感兴趣的那个镜头的文件名及该文件所在的软盘号，然后返回到“建立和修改镜头数据菜单”，键入

2 ↵

就表示想建立和装入镜头数据，此时屏幕显示：

```
ENTER THE FILE NAME [LENS75.LEN];
```

应把刚才检索到的那张软盘片装入驱动器 A，关上小门，键入所感兴趣的那个镜头文件名。注意，在键入文件名时，应在文件名前面冠以 A:，表示该文件是在驱动器 A 中的盘片上。例如，文件名是 LENS.LEN，则回答时应键入

A: LENS.LEN ↵

（若感兴趣的镜头文件是在硬盘上，则不要在文件名前冠以 A:）。在上面显示的提问中，[...]中的内容是最近一次回答该问题时所键入的文件名，若只回答了一个“回车”，则 CAOD 默认就是 [...] 中的文件名。

无论是默认最近一次的文件名，还是新键入了文件名，当键入“回车”之后，CAOD 就到指定的盘上去找指定的文件，一旦找到，就将该文件的全部内容，即指定镜头的全部数据，调入内存，并在屏幕上显示出来（图3-17）每显示完一整幅屏幕，暂停，仅当键入“回车”之后，才继续显示下一幅，数据全部显示完了，最后，显示出该镜头的结构剖面图（图3-18）。至此，镜头数据文件建立完毕，可以对它进行感兴趣的处理了。见本章 4，和其余各章。为此，当看完镜头的结构剖面图之后，再次键入“回车”，CAOD 返回到“建立和修改透镜数据菜单”(图3-2)。

```

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
15      .000000  18.750  -20.000  7
NO.     RADIUS  SEPN    INDEX   DISPN   HCA  GL.NO  GLASS
1       54.7900  -64.904  1.0000000  .0000000  31.573  0
2       214.6800  13.170  1.6203000  .0103000  25.888  1  ZK9
3       36.5500   .127  1.0000000  .0000000  25.609  0
4       21.7200  12.800  1.6708972  .0141850  17.394  2  ZBAFS
5       73.3200  7.500  1.0000000  .0000000  13.186  0
6       67.9700  10.750  1.6203000  .0103000  11.757  1  ZK9
7       .0000    5.070  1.0000000  .0000000  11.432  0
8       -23.3000  6.850  1.0000000  .0000000  10.992  0
9       1311.3000  2.700  1.8060013  .0317704  16.367  3  ZF7
10      -35.2900  11.230  1.6646000  .0122000  16.367  4  ZK12
11      -141.3800  .127  1.0000000  .0000000  16.436  0
12      -38.4500  9.760  1.6203000  .0103000  20.152  1  ZK9
13      90.2500  .127  1.0000000  .0000000  20.189  0
14      -340.9500  10.250  1.7017000  .0171000  21.002  5  ZBAF20
15      .0000    52.229  1.0000000  .0000000  25.787  0
NGL     NW      1 WL      2 WL      3 WL
5       3       .5892938  .6562725  .4861327
1       ZK9    1.6203000  1.6173000  1.6276000
2       ZBAFS  1.6708972  1.6667868  1.6809718
[Press <Enter> to continue]
3       ZF7    1.8060013  1.7971476  1.8289180
4       ZK12   1.6646000  1.6610000  1.6732000
5       ZBAF20 1.7017000  1.6967000  1.7138000
NCLIP=  2
1       34.780  14  29.143
[Press <Enter> to continue]
DFO      DHO      FLO      DF1      DHI
17.2977  92.6926  -75.3949  52.2293  -23.1656
EFL      UI      DIMA     MAG      J
75.3949  .248691  52.2293  .0000    6.8244
DPO      DPI     SINUPO   SINUPI   HIMA
64.9037  -67.1756  -.342020  -.215959  27.4415
[Press <Enter> to continue]

```

图 3-17

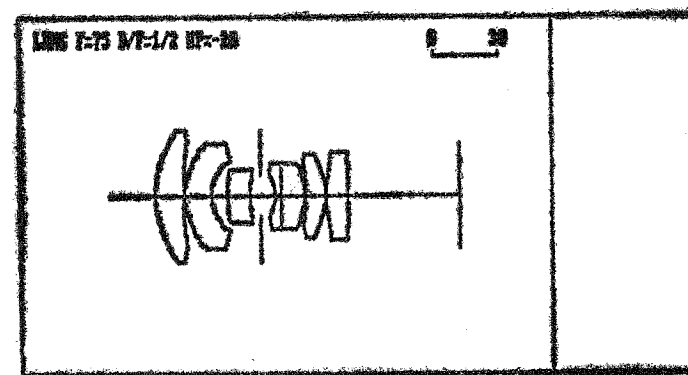


图 3-18

重要说明, 如果已经知道感兴趣的镜头数据文件叫什么名字和它在哪个盘上, 当然不必去查镜头目录数据库, 只要在“建立和修改镜头数据菜单”的控制下, 键入

2 J

当屏幕显示

ENTER THE FILE NAME:

时, 键入所要的文件名, 那么, 就立将该文件从盘上调入计算机的内存, 并在屏幕上显示文件的数据内容, 并画出镜头剖面结构图。再按“回车”, 就又回到“建立和修改透镜数据菜单”。

3 如何建立数据文件——方法 2

当想要处理的镜头数据文件在盘上根本没有时, 就只有从头创建, 这就是第二种方法。为此, 只需在图3—2所示的菜单控制下键入

2 J

屏幕显示

ENTER THE FILE NAME [LENS75.LEN]:

应回答要创建的镜头数据文件名, 例如,

SUN.LEN

CAOD当然在盘上找不到该文件, 故又问:

Create a NEW lens data file ? [Y/N]

是否想建立新的镜头数据文件。注意, CAOD 对于凡是找不到要找的那个文件, 它就问这个问题。这可分两种情况: 一种情况是想找的那个文件在盘上已经存在, 但是把文件名敲错了, 它当然找不到, 此时应回答

N J

则 CAOD 返回“建立和修改透镜数据菜单”, (图3—2), 要求重新选择; 另一种情况是文件名没有错, 只是盘上没有这个文件, 此时应回答

Y J

即建立新的文件。现在的情况当然属于后者, 而且新建的镜头数据文件名就是刚才敲入的文件名。接着屏幕上显示

INPUT TITLE:

意思是请输入一个标题。标题与文件名是完全不同的两码事。文件名是为了区别不同的文件, 以便于文件的访问、执行、修改、检索、加工而赋予的一种标记; 标题是该文件内容的一部分, 它不可能用来区分不同的文件, 只能用来对文件的内容作一简要的说明。例如, 标题中可以包括该镜头的特征描述、用途、来源、作者、日期等。标题的长度不得超过70个字符。当然, 标题也可以是空的, 这时只要敲“回车”即可。屏幕又显示

INPUT NUMBER OF SURFACES:

等待键入该光学系统的总面数。关于总面数的规定请参见第二章2(3)。例如键入

15 J

屏幕显示

INPUT UO, H1/DOBJ, UPO/HOBI, ISTOP:

意思是要输入四个数据。前三个数据决定了光线的初始定位问题。它们是物方孔径角 UO, 轴上边光在第一面上的入射高度 H1 或物距 DOBJ, 视场角 UPO 或物高 HOBI。最后一个数

据是光栏在第几面的面序号 ISTOP。CAOD 对这四个量有下面的约定:

1. 当物体在无限远时, 应当给 UO 键入值 0, 第二个量应键入轴上边光在第一面上的入射高度(单位: mm), 第三个量应键入视场角(单位: 度), 第四个量应键入光栏在第几面。
2. 当物体在近距离时, 应当给 UO 键入物方孔径角的正弦值, 第二个量应键入物距(单位: mm), 第三个量应键入物高(单位: mm), 第四个量应键入光栏在第几面。
3. 当 ISTOP < 1 时, 意味着物方远心光路; 当 ISTOP ≥ 系统总面数时, 意味着像方远心光路。

例如, 键入

J

接着又显示一个小菜单:

```

**** YOU CAN INPUT DATA IN FOLLOWING WAYS ****
1 -- RADII & GLASS TYPES
2 -- RADII & REFRACTIVE INDICES
3 -- CURVATURES & GLASS TYPES
4 -- CURVATURES & REFRACTIVE INDICES

```

图 3—19

CAOD 为了照顾不同用户的习惯, 提供了四种输入方式, 可任选其一:

- 1 -- 半径和玻璃牌号
- 2 -- 半径和折射率
- 3 -- 曲率和玻璃牌号
- 4 -- 曲率和折射率

只要选择的是第 1 或第 2 种方式, 接下来显示的都是

**** INPUT ns R ****

如果选择的是第 3 或第 4 种方式接下来显示的就是

**** INPUT ns CV ****

其中的 R 表示请输入半径, CV 表示请输入曲率, ns 是总面数的实际值。

正如在第一章中所述, CAOD 中备有一个玻璃库, 内中装有我国自己生产的全部光学玻璃牌号及其相应的性能参数, 还有西德 SCHOTT 厂、日本 HOYA 厂等生产的全部光学玻璃牌号及其相应的性能参数。所以当选择第 1 或第 3 种输入方式之后, 再给出玻璃牌号及色光谱线或波长 CAOD 将会自动地从玻璃库中查找出相应的玻璃, 并算出对应于指定谱线或波长的折射率。但是, 如果指出的玻璃牌号在库中查不到, 就将要求输入对应的折射率值。如果选择第 2 或第 4 种输入方式, 也还是要求指定色光谱线或波长以及玻璃牌号。不过这时不再去查玻璃库, 而是要求直接键入指定玻璃牌号所对应的折射率。这对于想使用玻璃库中没有的、炉号特定的、或波长超过指定范围的玻璃, 无疑是提供了一种补充手段。

CAOD 约定: 半径为无穷大(即平面)时, 应敲入其对应的曲率值, 即 0。

例如, 选择第一种输入方式, 键入

1 J

屏上立即提示

**** INPUT 15 R ****

接着光标跑到下一行, 依次键入 15 个数据即可。在键入数据时, 遵守第二章 2(3) 中的约定。现在键入:

54.79 214.6 36.55 21.72 73.32 67.97 0 -23.3 1311.3 -35.3 -141.38 -38.45 90.25 -4
340.95 0 ↵

又提示

**** INPUT 15 D ****

请依入键入15个轴上间隔的实际值。对于间隔，CAOD有以下约定：

1. 沿着光线前进的方向，每当遇到一次反射面，其后的间隔要变一次符号。
2. 最后一个间隔一般是像距，预先并不知道，可以随便敲入一个数，其符号应遵守第1条中的约定。但必须要敲。例如可敲+1或-1。
3. 第一个间隔是指入射光线的参考面（一般为入瞳面）与第一面的距离。通常键入0，CAOD会自动把近轴入瞳距变号后赋给它。若键入的是非0值，就表示入射光线参考面置于此。例如，键入

0 13.17 .127 12.8 7.5 10.75 5.07 6.85 2.7 11.23 .127 9.76 .127 10.25 1 ↵

之后，接着显示：

INPUT number of aspherical surfaces;

意思是请输入系统中非球面的个数。设此数为nas。

若nas≠0，则重复显示nas次下述内容

INPUT surface number & A1,A2,A3,A4,A5;

意思是请输入该非球面的面序号以及A1,A2,A3,A4和A5，它们是第二章2(4)中给出的非球面面形方程中的系数。

若nas=0，表示没有非球面，当然不会让输入上述内容，而直接进入下一项输入内容。

在现在的例中没有非球面，故键入

0 ↵

接下来显示的是：

INPUT NUMBER OF COLOR;

请输色光总数，即计算几个波长的光。设此数为nw。CAOD约定nw≤4。

若nw=1或2，显示

INPUT nw WAVELENGTHS(IN MICRON);

请输入1种或2种光的波长（单位：nm）。

若nw=3，则CAOD会自动设置3种光的波长，但必须指出是哪3种谱线的光。为此，

又显示一张小菜单

```

**** INPUT YOUR CHOICE:
**** YOU CAN SELECT SPECTRAL LINES ****
1 -- D, C, F LINES
2 -- D, C, e, F LINES
3 -- d, C, F, g LINES
4 -- d, C, e, F LINES
5 -- NONE OF ABOVE

```

图 3-20

请指出是哪三种谱线。可以回答1、2、3、或4，表示选择相应的三种谱线；若回答5，则显示

INPUT 3 WAVELENGTHS(IN MICRON)

请键入所要的三种波长。

若nw=4，则CAOD自动设置4种光的波长，但必须指出是哪4种谱线的光。为此，显示小菜单：

```

**** YOU CAN SELECT SPECTRAL LINES ****
1 -- D, C, F, g LINES
2 -- D, C, e, F LINES
3 -- d, C, F, g LINES
4 -- d, C, e, F LINES
5 -- NONE OF ABOVE
**** INPUT YOUR CHOICE:

```

图 3-21

同样，可以回答1、2、3或4，表示选择相应的四种谱线；若回答5，则显示 INPUT 4 WAVELENGTHS(IN MICRON);

请你自己键入你所要的四种波长。

在这两张谱线选取的小菜单中，g,F,e,d,D,C谱线的波长分别是

```

g 0.4358343
F 0.4861327
e 0.5460740
d 0.5875618
D 0.5892938
C 0.6562725

```

在我们的例子中，nw=3，且选择D,C,F线，即在谱线选择小菜单中键入 1 ↵

又显示

HOW MANY KINDS OF GLASS IN THE LENS?

问在该镜头中有几种玻璃。注意，相同的玻璃算作一种。假设有ngl种。在我们的例子中，ngl=5，即键入

5 ↵

接着重复提示ngl次

```

**** INPUT YOUR CHOICE:
INPUT GLASS NAME 1: ZK9
INPUT GLASS NAME 2: ZBAF5
INPUT GLASS NAME 3: ZF7
INPUT GLASS NAME 4: ZK12
INPUT GLASS NAME 5: ZBAF20
**** INPUT 3 REFRACTIVE INDEX OF: ZBAF20

```

图 3-22

CAOD约定，在键入玻璃牌号时，凡是我国生产的，直接键入玻璃牌号名；凡是德国SCHOTT厂生产的，需在玻璃牌号名之后附加一个字母S；凡是日本HOYA厂生产的，需在玻璃牌号名之后附加一个字母H；凡是日本OHARA厂生产的，需在玻璃牌号名之后附加一个字母O。例如

ZK18 表示国产玻璃

BaF3S 表示SCHOTT产玻璃

BaF3H 表示HOYA产玻璃

如果敲入的玻璃牌号在玻璃库（玻璃库中所有玻璃牌号，参见附录6）中找不到，或者

在前面选的是“半径、折射率”或“曲率、折射率”输入方式，则会显示

```
**** INPUT 3 REFRACTIVE INDEX OF: ZBAF20
```

意即请输入指定玻璃牌号的折射率，有几个这种玻璃就重复几次。其中3是色光总数，ZBAF20是指定玻璃牌号。

如果在前面选的是“半径、玻璃牌号”或“曲率、玻璃牌号”，且敲入的玻璃牌号在玻璃库中是有的，则CAOD将按第二章2(5)中给出的公式计算出折射率。

在现在的例子中，敲入下面5个玻璃牌号

```
ZK9
ZBAF5
ZF7
ZK12
ZBAF20
```

由于除ZBAF20外它们在玻璃库中均存在，故只要求输入ZBAF20的折射率。

又显示

```
**** INPUT 15 GLASS NO. IN EACH SPACE ****
```

这实际上请在镜头中给各个玻璃定位。定位办法是这样：从物方的轴上间隔计算起，沿着光线行进的方向，凡是碰到空气间隔，就键入0，凡是碰到玻璃透镜，就键入对应的玻璃序号。我们把这一串数，叫作玻璃定位码。所以，这个镜头有多少个面，在此就要键入多少个数据。在上面的提示中，ns表示镜头的总面数。

在我们的例子中，现在键入：

```
0 1 0 2 0 1 0 0 3 4 0 1 0 5 0
```

又显示：

```
INPUT NUMBER OF RAY CLIPPERS;
```

要敲入栏光面总数。关于栏光面的定义见第二章。这里设栏光面总数为nclip。

在我们的例子中，nclip = 2，故键入

人

```
2 ↵
```

接着显示

```
**** INPUT SURFACE NO. AND HCAL IN PAIRS ****
```

它的意思是说，请输入栏光面所在的面序号和该栏光面的通光半径。接着提示

```
1:
```

就键入第1个栏光面所在的面序号，空格，第1个栏光面通光半径，回车；又提示

```
2:
```

就键入第2个栏光面所在的面序号，……如此下去，直至第nclip个栏光面键入完为止。在输入过程中，如果栏光面半径大于该面的曲率半径时，则显示信息：

```
**** INPUT ERROR ****
SURFACE NO. xxx HCAL = xxx. xxx R = xxx. xxx
**** PLEASE INPUT AGAIN ****
```

意思是“输入错了”，同时告诉你的是第几面，其通光半径是多少，曲率半径是多少。请再输入一次。

在我们的例子中，键入

```
1: 1 34.78
2: 14 30
```

至此，用于光线追迹的数据全部输入完了。现在把这一段中所用例子的全部输出的信息和键入的内容集中起来，如图3—23，也就是建立数据文件的全过程。

```
ENTER THE FILE NAME [ABC]:
Create a NEW lens data file ? [Y/N] Y
INPUT TITLE: ABC
INPUT NUMBER OF SURFACES: 15
INPUT UO, H1/DOBJ, UPO/HOBJ, ISTOP: 0 18.75 -20 7
**** YOU CAN INPUT DATA IN FOLLOWING WAYS ****
1 -- RADII & GLASS TYPES
2 -- RADII & REFRACTIVE INDICES
3 -- CURVATURES & GLASS TYPES
4 -- CURVATURES & REFRACTIVE INDICES
**** INPUT YOUR CHOICE: 1
**** INPUT 15 R ****
54.79 214.68 36.55 21.72 73.32 67.97 0 -23.3
1311.3 -35.29 -141.38 -38.45 90.25 -340.95 0
**** INPUT 15 D ****
-64 13.17 .127 12.8 7.5 10.75 5.07 6.85 2.7
11.23 .127 9.76 .127 10.25 0
INPUT number of aspherical surfaces: 0
INPUT NUMBER OF COLORS: 3
**** YOU CAN SELECT SPECTRAL LINES ****
1 -- D, C, F LINES
2 -- D, C, g LINES
3 -- d, C, F LINES
4 -- d, C, g LINES
5 -- NONE OF ABOVE
**** INPUT YOUR CHOICE: 1
HOW MANY KINDS OF GLASS IN THE LENS? 5
INPUT GLASS NAME 1: ZK9
INPUT GLASS NAME 2: ZBAF5
INPUT GLASS NAME 3: ZF7
INPUT GLASS NAME 4: ZK12
INPUT GLASS NAME 5: ZBAF20
**** INPUT 3 REFRACTIVE INDEX OF: ZBAF20
1.7017 1.6967 1.7138
**** INPUT 15 GLASS NO. IN EACH SPACE ****
0 1 0 2 0 1 0 0 3 4 0 1 0 5 0
INPUT NUMBER OF RAY CLIPPERS: 2
**** INPUT SURFACE NO. AND HCAL IN PAIRS ****
1: 1 34.78
2: 14 29.143
```

图 3—23

全部输入完了，敲入最后一个“回车”之后，立即清屏幕，以表格的形式，将刚才键入的全部数据逐幅地显示在屏幕上（图3—24），最后，给出系统结构剖面图（图3—25）。

在右侧的功能目录上标明：若不想将刚才键入的数据存盘，则键入0，退出。若想存盘，则键入1，退出。我们建议，键入1，退出。即返回到菜单（图3—2）

4 如何编辑数据文件

当发现镜头数据文件中的数据有错误，或者认为个别数据不合适，或者打算增加、插入一些面，或者决定去掉一些面，或者根据自己的经验和特殊要求需要对系统进行缩放、倒排一次。

ABC	UO	H1	UPO	ISTOP	HCA	GL.NO	GLASS
NS	.000000	18.750	-20.000	7			
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN			
1	54.7900	-64.905	1.0000000	.0000000	31.574	0	
2	214.6800	13.170	1.6203185	.0102932	25.888	1	ZK9
3	36.5500	.127	1.0000000	.0000000	25.809	0	
4	21.7200	12.800	1.6708971	.0141850	17.394	2	ZBAF5
5	73.3200	7.500	1.0000000	.0000000	13.186	0	
6	67.9700	10.750	1.6203185	.0102932	11.757	1	ZK9
7	.0000	5.070	1.0000000	.0000000	11.432	0	
8	-23.3000	6.850	1.0000000	.0000000	10.992	0	
9	1311.3000	2.700	1.8060014	.0317705	11.464	3	ZF7
10	-35.2900	11.230	1.6644996	.0121697	16.367	4	ZK12
11	-141.3800	.127	1.0000000	.0000000	16.437	0	
12	-38.4500	9.760	1.6203185	.0102932	20.153	1	ZK9
13	90.2500	.127	1.0000000	.0000000	20.190	0	
14	-340.9500	10.250	1.7017000	.0171000	21.002	5	ZBAF20
15	.0000	52.235	1.0000000	.0000000	25.789	0	
NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL			
5	3	.5892938	.6562725	.4861327			
1	ZK9	1.6203185	1.6172744	1.6275676			
2	ZBAF5	1.6708971	1.6667868	1.6809717			

[Press <Enter> to continue]

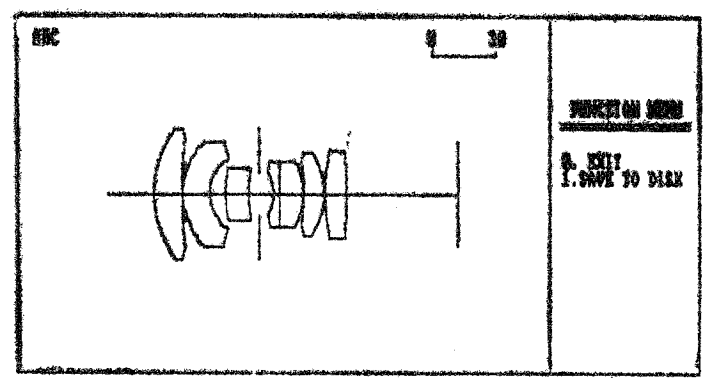
ABC				
3	ZF7	1.8060014	1.7971476	1.8289181
4	ZK12	1.6644996	1.6609800	1.6731497
5	ZBAF20	1.7017000	1.6967000	1.7138000

NCLIP= 2
1 34.780 14 29.143
[Press <Enter> to continue]

	DFO	DHO	FLO	DFI	DHI
	17.2914	92.6935	-75.4021	52.2346	-23.1675
	EFL	UI	DIMA	MAG	J
	75.4021	.248667	52.2346	.0000	6.8244
	DPO	DPI	SINUPO	SINUPI	HIMA
	64.9045	-67.1752	-.342020	-.215971	27.4441

[Press <Enter> to continue]

图 3-24



YOUR CHOICE:

图 3-25

序(即将整个系统倒过来,第1面变成最后一面,第2面变成倒数第2面,当然,相应的间隔、玻璃等亦是同样处理),或者试图把两个镜首尾对接起来,构成一个新的初始结构原型,这就都需要对数据文件中的数据进行处理。为此,CAOD提供了功能强大的图形人机会话式的编辑数据文件功能。

(1) 对数据进行个别修改

在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下,键入

3 ↓

若在此以前,已通过第2项功能的选择将指定的数据文件装入内存(见2.(3))了,则不再要求键入文件名,而将当前在内存的那个文件内容显示出来,并显示图形菜单(图3-26)。若在此以前,还没有把要修改的文件装入内存,那么屏幕提示

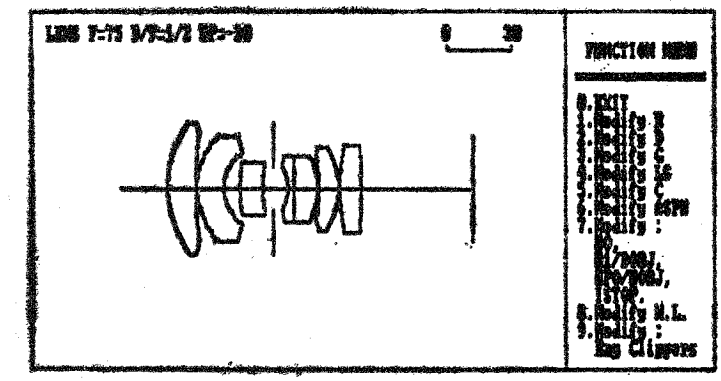
ENTER THE FILE NAME [¥LENS¥LENS75.LEN]:

意即请键入你要进行修改的镜头数据文件的文件名。

例:上一节的例子,想对刚才键入的镜头数据进行修改。键入文件名

SUN.LEN

稍候,屏幕上再次显示出数据文件的全部内容(图3-24)。全部显示完了,按“回车”,显示图形菜单(图3-26)



YOUR CHOICE:

图 3-26

在图形菜单的主要部分显示了镜头的结构图,在图形的上方显示的是数据文件的标题,它的右边是图形比例尺,单位是毫米。在图形右侧栏中显示的是功能菜单。

① 修改半径R

键入

1 ↓

重新显示数据,供审视。按“回车”,显示如图3-27

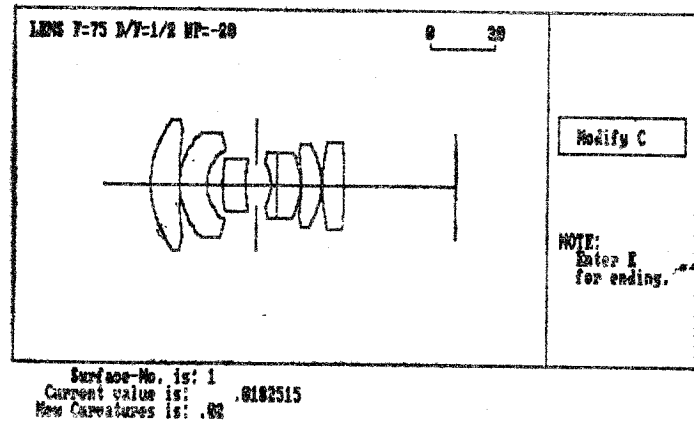


图 3-27

右侧的小方框内，显示当前状态：“修改半径R”。右下边告诉你：如果修改完了，请键入字母E。在图的底部要求输入要修改的半径所在面的序号。当键入序号之后，就显示这个面的半径的当前值，供审查，接着要求输入新的半径值。敲完之后，又要输入面号，如此下去，直至不再想修改了，就在显示面号的后面敲入字母E。

在我们的例子中是这样敲的：

Surface—No. is: 2
 Current value is: 214.6800
 New Radius is: 0
 Surface—No. is: E

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20

NS	UO	H1	UPO	ISTOP	HCA	GL.NO	GLASS
15	.000000	18.750	-20.000	7			
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN			
1	54.7900	-73.508	1.0000000	.0000000	34.516	0	
2	.0000	13.170	1.6203000	.0103000	28.560	1	ZK9
3	36.5500	.127	1.0000000	.0000000	28.467	0	
4	21.7200	12.800	1.6708972	.0141850	18.850	2	ZBAF5
5	73.3200	7.500	1.0000000	.0000000	13.803	0	
6	67.9700	10.750	1.6203000	.0103000	10.562	1	ZK9
7	.0000	5.070	1.0000000	.0000000	9.908	0	
8	-23.3000	6.850	1.0000000	.0000000	9.025	0	
9	1311.3000	2.700	1.8060013	.0317704	10.280	3	ZF7
10	-35.2900	11.230	1.6646000	.0122000	16.307	4	ZK12
11	-141.3800	.127	1.0000000	.0000000	16.381	0	
12	-38.4500	9.760	1.6203000	.0103000	20.346	1	ZK9
13	90.2500	.127	1.0000000	.0000000	20.387	0	
14	-340.9500	10.250	1.7017000	.0171000	21.420	5	ZBAF20
15	.0000	38.414	1.0000000	.0000000	26.310	0	

NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL
5	3	.5892938	.6562725	.4861327
1	ZK9	1.6203000	1.6173000	1.6276000
2	ZBAF5	1.6708972	1.6667868	1.6809718

[Press <Enter> to continue]

3	ZF7	1.8060013	1.7971476	1.8289180
4	ZK12	1.6646000	1.6610000	1.6732000
5	ZBAF20	1.7017000	1.6967000	1.7138000

NCLIP= 2

1	34.780	14	29.143		
DF0		DH0	FLO	DF1	DH1
17.4670		94.3912	-76.9242	38.4138	-38.5104
EFL		UI	DIMA	MAG	J
76.9242		.243746	38.4138	.0000	6.8244
DPO		DPI	SINUPO	SINUPI	HIMA
73.5080		-67.1756	-.342020	-.249169	27.9981

[Press <Enter> to continue]

图 3-28

重新显示数据，供校对(图3-28)，又返回到图形菜单(图3-29)。

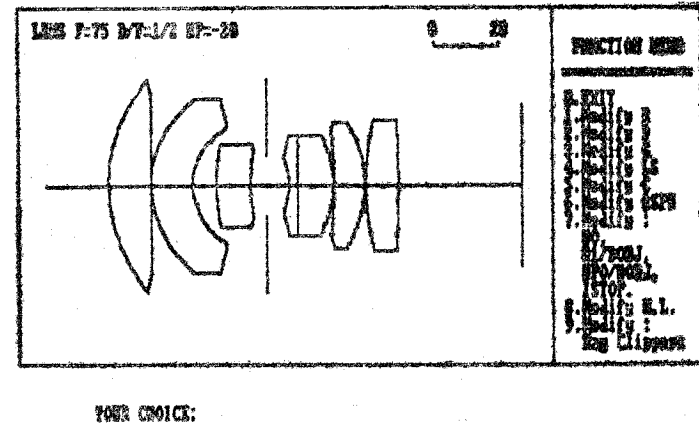


图 3-29

无论是从数值上还是图上，都可看出第2个面变成平面了。

② 修改轴上间隔D

键入

2 ↵

显示数据，供审视。按“回车”，显示如图3-30

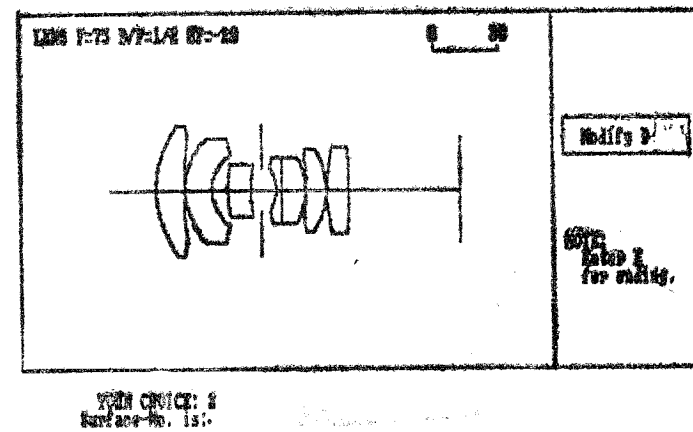


图 3-30

右侧的小方框内，显示当前状态“修改轴上间隔D”。其它均与§4.(1)相同，只是在下方提示中，要你输入新的轴上间隔值。

在我们的例子中是这样敲的：

Surface—No. is: 2
 Current value is: 13.170
 New Separation is: 30
 Surface—No. is: E

当敲入字母E之后，重新显示数据(图3-31)，并返回图形菜单(图3-32)。从数据和图形上都可看出：第2个轴上间隔变了。

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20

NS	UO	H1	UPO	ISTOP					
15	.000000	18.750	-20.000	7					
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN	HCA	GL.NO	GLASS		
1	54.7900	-104.175	1.0000000	.0000000	45.005	0			
2	214.6800	30.000	1.6203000	.0103000	29.239	1	ZK9		
3	36.5500	.127	1.0000000	.0000000	29.141	0			
4	21.7200	12.800	1.6708972	.0141850	19.168	2	ZBAF5		
5	73.3200	7.500	1.0000000	.0000000	13.843	0			
6	67.9700	10.750	1.6203000	.0103000	9.566	1	ZK9		
7	.0000	5.070	1.0000000	.0000000	9.100	0			
8	-23.3000	6.850	1.0000000	.0000000	9.062	0			
9	1311.3000	2.700	1.8060013	.0317704	10.515	3	ZF7		
10	-35.2900	11.230	1.6646000	.0122000	17.082	4	ZK12		
11	-141.3800	.127	1.0000000	.0000000	17.164	0			
12	-38.4500	9.760	1.6203000	.0103000	21.543	1	ZK9		
13	90.2500	.127	1.0000000	.0000000	21.591	0			
14	-340.9500	10.250	1.7017000	.0171000	22.865	5	ZBAF20		
15	.0000	43.423	1.0000000	.0000000	30.006	0			
NGL	NW		1 WL	2 WL	3 WL				
5	3		.5892938	.6562725	.4861327				
1	ZK9		1.6203000	1.6173000	1.6276000				
2	ZBAF5		1.6708972	1.6667868	1.6809718				

[Press <Enter> to continue]

	3	4	5
	ZF7	ZK12	ZBAF20
	1.8060013	1.6646000	1.7017000
	1.7971476	1.6610000	1.6967000
	1.8289180	1.6732000	1.7138000

NCLIP= 2

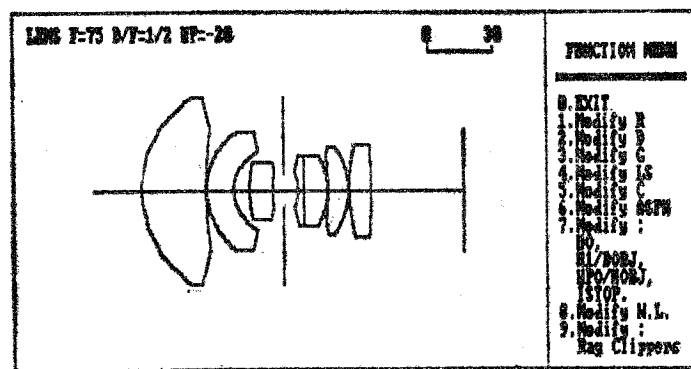
1	14	29.143
34.780		

[Press <Enter> to continue]

DF0	DHO	FLO	DF1	DHI
34.5819	122.3140	-87.7322	43.4231	-44.3091
EFL	UI	DIMA	MAG	J
87.7322	.213719	43.4231	.0000	6.8244
DP0	DPI	SINUPO	SINUPI	HIMA
104.1752	-67.1756	-.342020	-.271307	31.9319

[Press <Enter> to continue]

图 3-31



YOUR CHOICE:

图 3-32

③ 修改玻璃G
键入

3 ↵

据之后，按“回车”，显示如图3-33

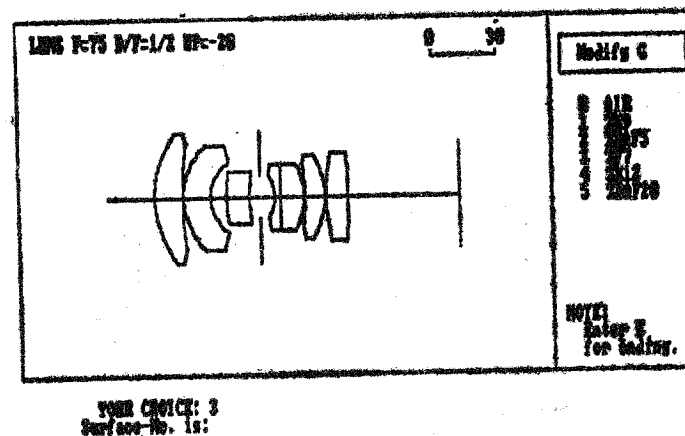


图 3-33

右侧的小方框内，显示当前状态“修改玻璃G”。在它的下方显示出这个镜头当前所用的玻璃的牌号及编号简表。其中，0总是代表空气介质。在下方，又是请输入面序号：

surface—No.is;

这里，再次声明，CAOD 约定第 n 面前的玻璃是第 n 个玻璃。例如，要改例中的第 1 块玻璃，它是在第 2 面之前，故应回答面序号是 2。接着显示

Current value is: 1 ZK9

它告诉你第 2 面之前的这块玻璃在现在这个镜头中的编号和玻璃牌号，又显示

New Glass No.is;

请输入新的玻璃编号。

如果输入的编号比当前菜单上显示的编号大，则显示

Input Glass Name;

意思是要输入对应于这个新编号的玻璃牌号，蜂鸣器叫，以提醒输入新的玻璃牌号。如果只敲“回车”，则又显示

Surface—No.is;

请输入面序号；如果敲入了玻璃牌号，而这个玻璃牌号在 CAOD 的玻璃库中是存在的，则立即将这个新的玻璃编号及牌号显示在图中右侧的菜单之下；如果敲入的玻璃牌号在玻璃库中不存在，则显示

**** INPUT 3 REFRACTIVE INDEX OF;

要输入这个新玻璃牌号的三种折射率。输完之后，也将这个新的玻璃编号及牌号附加在图中右侧的玻璃牌号表之后。再次显示

Surface—No.is;

若已改完，就键入字母E；若未改完，再重复上述过程。

在我们的例子中是这样键入的：

Surface—No.is 2

Current value is: 1 ZK9

New Glass No.is: 6

Input Glass Name: K8

Surface—No. is: E

最后重新显示数据（图3-34），返回到图形菜单（图3-35）。

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20

NS	UO	H1	UPO	ISTOP				
15	.000000	18.750	-20.000	7				
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPM	HCA	GL.NO	GLASS	
1	54.7900	-60.138	1.000000	.0000000	29.943	0		
2	214.6800	13.170	1.5159230	.0090903	24.522	6	KB	
3	36.5500	.127	1.0000000	.0000000	24.451	0		
4	21.7200	12.800	1.6708972	.0141850	16.684	2	ZBAF5	
5	73.3200	7.500	1.0000000	.0000000	13.548	0		
6	67.9700	10.750	1.6203000	.0103000	12.613	1	ZK9	
7	.0000	5.070	1.0000000	.0000000	12.482	0		
8	-23.3000	6.850	1.0000000	.0000000	12.305	0		
9	1311.3000	2.700	1.8060013	.0317704	12.902	3	ZF7	
10	-35.2900	11.230	1.6646000	.0122000	16.565	4	ZK12	
11	-141.3800	.127	1.0000000	.0000000	16.632	0		
12	-38.4500	9.760	1.6203000	.0103000	20.231	1	ZK9	
13	90.2500	.127	1.0000000	.0000000	20.266	0		
14	-340.9500	10.250	1.7017000	.0171000	20.951	5	ZBAF20	
15	.0000	60.229	1.0000000	.0000000	25.200	0		
NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL				
6	3	.5892938	.6562725	.4861327				
1	ZK9	1.6203000	1.6173000	1.6276000				
2	ZBAF5	1.6708972	1.6667868	1.6809718				
[Press <Enter> to continue]								
3	ZF7	1.8060013	1.7971476	1.8289180				
4	ZK12	1.6646000	1.6610000	1.6732000				
5	ZBAF20	1.7017000	1.6967000	1.7138000				
6	KB	1.5159230	1.5132484	1.5223387				
NCLIP=								
2								
1	34.780	14	29.143					
[Press <Enter> to continue]								
DF0	DH0	FLO	DF1	DH1				
17.5271	91.2076	-73.6805	60.2289	-13.4516				
EFL	UI	DIMA	MAG	J				
73.6805	.254477	60.2289	.0000	6.8244				
DPO	DPI	SINUPO	SINUPI	HIMA				
60.1380	-67.1756	-.342020	-.197797	26.8175				
[Press <Enter> to continue]								

图 3—34

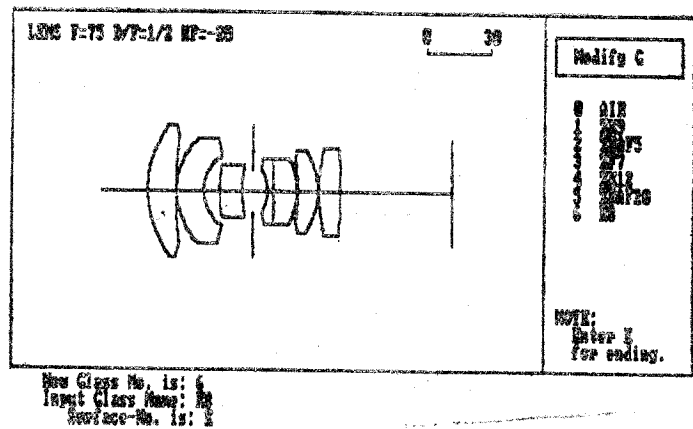


图 3—35

不但在数据中已将原来的ZK9换成了K8，在图中右侧也填进了“6 K8”。

④ 修改面标号LS

键入

4 ↵

显示数据，供审视。按“回车”，显示如图3—36

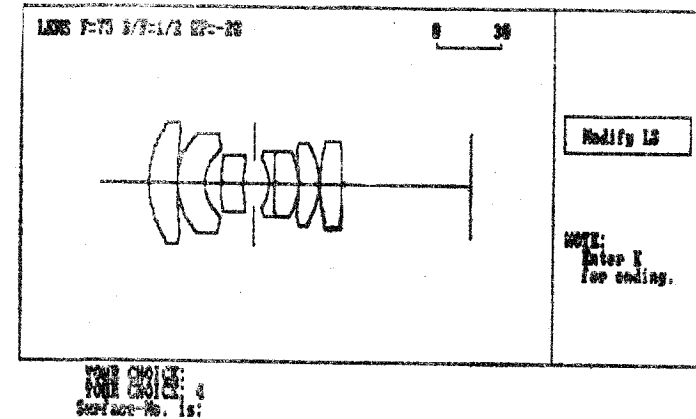


图 3—36

右侧的小方框内，显示当前状态“修改面标号LS”。面标号主要是为在像差自动平衡模块中规定哪些结构参数作为变量之用。对于面标号LS，CAOD有以下约定：

LS	意义
0	该面各参数均不作变数
1	该面的半径作变数
2	该面之前的间隔作变数
3	该面半径及其之前的间隔作变数
4	该面之前介质的折射率和色散作变数
5	该面半径及其之前的介质折射率和色散作变数
6	该面之前的间隔及介质折射率和色散作变数
7	该面半径及其之前的间隔、介质折射率和色散作变数

大于100 该面为非球面

在CAOD中，在进行象差自动平衡时，遇到非球面，也要规定该非球面的哪几个系数作为变量。这是用一个五位整数LASP来表征的，即状态标志。每一位只能取“1”或“0”。

“1”表示作变数，“0”表示不作变数。LASP的各位意义如下：

A1	A2	A3	A4	A5
----	----	----	----	----

A1, …, A5是五个非球面系数。当A1所在的那一位为“0”，表示A1不作变数；否则，A1作变数。其余四个数也一样的道理。

现在看屏幕上的图。在图的下方显示

Surface—No. is:

让键入要改面标号的那个面的序号。之后，告诉该面的面标号当前值：

Current value is:

和

New Label is:

要输入新的面标号值。若输入的面标号值是在0~7范围内的整数，则“回车”后又显示

Surface—No. is:

若输入的面标号值大于100，则显示

Current value is:

后面跟着6个数，前5个数分别是非球面系数A1, ..., A5的当前值，最后一个就是表征这些系数是否在自动像差平衡中作变数的状态标志LASP的当前状态。又显示

Input New A1, A2, A3, A4, A5, LASP:

要求输入新的非球面系数及状态标志。“回车”后又显示

Surface—No. is:

可以敲入字母E，结束面标号的修改。

这里有一点需要指出：如果原来某一面是非球面，可以在这里用设置面标号为0~7的办法，使它改为球面；如果原来某一面是球面，也可以在这里用设置面标号为大于100的办法，使它改为非球面。

```

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
15      .000000  18.750  -20.000  7
NO.     RADIUS  SEPN     INDEX     DISPN     HCA  GL.NO GLASS
1       54.7900  -60.138  1.0000000 .0000000  29.943  0      Asph.
2       214.6800  13.170  1.5159230 .0090903  24.522  6      K8
3       36.5500   .127  1.0000000 .0000000  24.451  0
4       21.7200  12.800  1.6708972 .0141850  16.684  2      ZBAF5
5       73.3200   7.500  1.0000000 .0000000  13.548  0
6       67.9700  10.750  1.6203000 .0103000  12.613  1      ZK9
7        .0000   5.070  1.0000000 .0000000  12.482  0
8       -23.3000  6.850  1.0000000 .0000000  12.305  0
9      1311.3000  2.700  1.8060013 .0317704  12.902  3      ZF7
10      -35.2900  11.230  1.6646000 .0122000  16.565  4      ZK12
11     -141.3800  .127  1.0000000 .0000000  16.632  0
12     -38.4500   9.760  1.6203000 .0103000  20.231  1      ZK9
13      90.2500   .127  1.0000000 .0000000  20.266  0
14     -340.9500  10.250  1.7017000 .0171000  20.951  5      ZBAF20
15      .0000   60.229  1.0000000 .0000000  25.200  0
NAS= 1
NO.     A1      A2      A3      A4      A5      LASP
1      .10000E+00 .10000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 10000
NGL    NW      1 WL     2 WL     3 WL
6      3
      .5892938 .6562725 .4861327

[Press <Enter> to continue]
1      ZK9      1.6203000 1.6173000 1.6276000
2      ZBAF5    1.6708972 1.6667868 1.6809718
3      ZF7      1.8060013 1.7971476 1.8289180
4      ZK12    1.6646000 1.6610000 1.6732000
5      ZBAF20  1.7017000 1.6967000 1.7138000
6      KB      1.5159230 1.5132484 1.5223387

NCLIP= 2
1      34.780 14 29.143
[Press <Enter> to continue]
      DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
      17.5271  91.2076  -73.6805  60.2289  -13.4516
      EFL      UI      DIMA      MAG      J
      73.6805  .254477  60.2289  .0000    6.8244
      DPO      DPI      SINUPO   SINUPI   HIMA
      60.1380  -67.1756  -.342020  -.197797  26.8175
[Press <Enter> to continue]

```

图 3—37

在我们的例子中是这样键入的：

```

Surface—No. is: 1
Current value is: 1
New Label is: 101
Current values are: .100E+01 .000E+00 ...
Input New A1, A2, A3, A4, A5, LASP.
.1 .1 0 0 0 10000
Surface—No. is: E

```

最后重新显示数据，图3—37，返回到图形菜单（图3—26）。

⑤ 修改曲率C

键入

5 ↓

重新显示数据，供审视。按“回车”，显示如图3—38

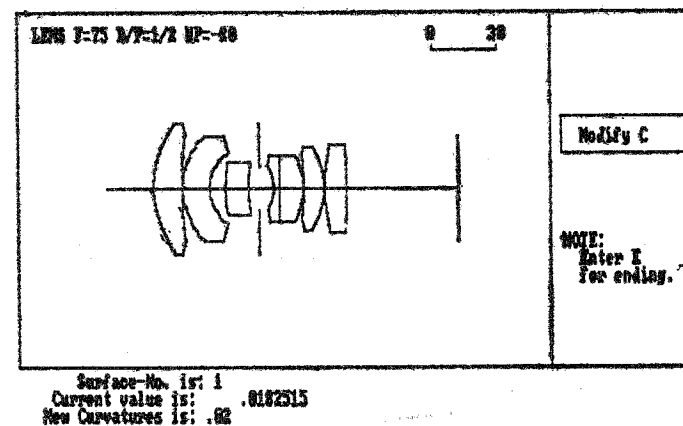


图 3—38

右侧的小方框内，显示当前状态：“修改曲率C”。其它均与4(1)相同。只是在下方提示中，要输入新的曲率值。

在我们的例子中是这样敲的：

```

Surface—No. is: 1
Current value is: .0182515
New Curvatures is: .02
Surface—No. is: E

```

当敲入字母E之后，重新显示数据，返回到图形菜单（图3—26）。

⑥ 修改非球面ASPH

键入

6 ↓

显示数据，供审视。按“回车”，显示如图3—39

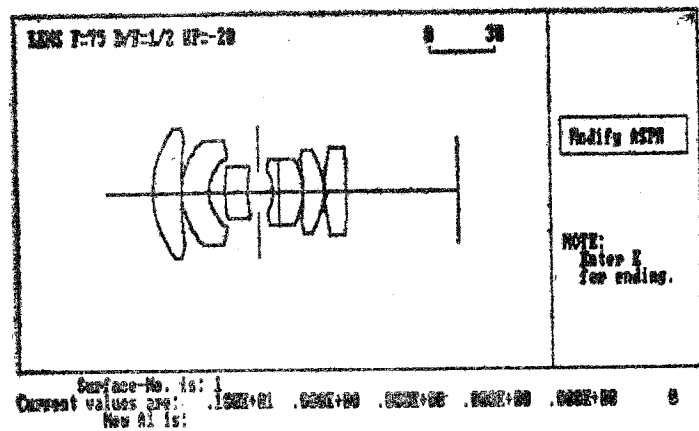


图 3—39

右侧的小方框内，显示当前状态“修改非球面 ASPH”。这里指的是修改非球面的 5 个系数或状态标志（见本章 4. (4)）。在图的下方显示

Surface—No. is;

要敲入要修改的非球面的面序号。接着显示

Current value is

其中前 5 个数分别是非球面系数 A1, …, A5 的当前值，最后一个是状态标志 LASP 的当前状态。接着提示

```
INPUT A1;
INPUT A2;
INPUT A3;
INPUT A4;
INPUT A5;
INPUT Label of asph;
```

全部输入完了，又显示

Surface—No. is;

若未改完，则输入下一个非球面的面序号；若已改完，键入字母 E。

这里需说明的是，它只能限定这面是非球面的情况下去改系数和状态标志，不能把指定的面从非球面改作球面，或者反过来。这是与 4. (1). ④ 的区别。

最后重新显示数据，返回到图形菜单（图 3—26）。

⑦ 修改物方孔径角 UO、近轴边光高 H1 或物距 DOBJ、视场角 UPO 或物高 HOBJ、光栏在第几面 ISTOP

键入

7 ↵

重新显示数据，供审视。按“回车”，显示如图 3—40

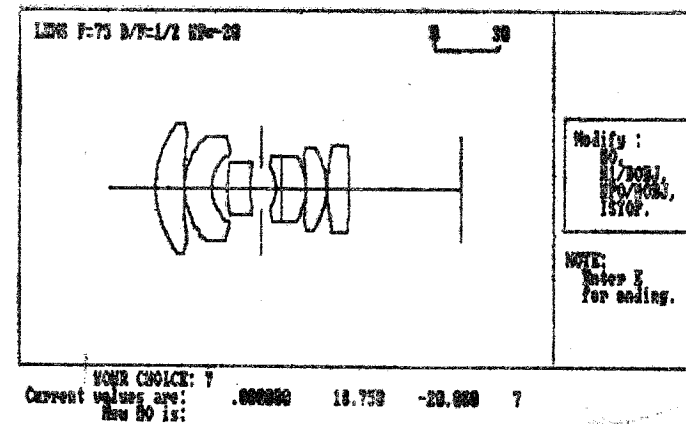


图 3—40

右侧的小方框内，显示当前状态“修改 UO, H1/DOBJ, UPO/HOBI, ISTOP”。其它均与 §4. (1) 相同，只是在下方的提示中，在显示

Current value is;

中的 4 个值分别是 UO, H1/DOBJ, UPO/HOBI, ISTOP, 且跟着让你输入它们的新值:

New UO is;

New H1/DOBJ is;

New UPO/HOBI is;

New ISTOP is;

⑧ 修改波长

键入

8 ↵

马上清屏幕，在左上角显示

Modify Wave Length

Note: Enter E for Ending

INPUT NUMBER OF COLOR;

要输入色光总数，(例如: 3), 则显示

```
**** YOU CAN SELECT SPECTRAL LINES ****
1 -- D, C, F LINES
2 -- D, C, g LINES
3 -- d, C, F LINES
4 -- d, C, g LINES
5 -- NONE OF ABOVE
YOUR CHOICE: 3
```

图 3—41

键入你的选择后，便重新显示数据和图形菜单（图 3—26）。

⑨ 修改栏光面

键入

9 ↵

马上清屏幕，在左上角显示

Modify Ray Clippers

Note: Enter E for Ending

INPUT NUMBER OF RAY CLIPPERS;

要输入栏光面的个数。

又显示

**** INPUT SURFACE NO.AND HCAL IN PAIRS ****

要输入栏光面的序号及其栏光半径。全部输完后，重数显示数据和图形菜单（图3—26）。

至此，该图形菜单中的9项功能全部介绍完了。可以根据需要，任选其中的一部分或全部功能，且选择次序是任意的。

如果暂不作进一步的修改，则可键入

0 ↵

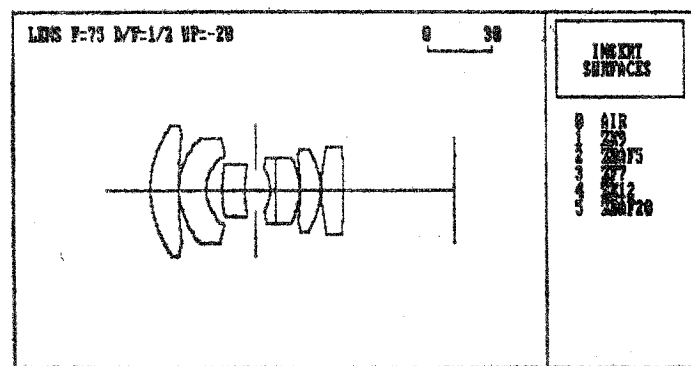
CAOD控制返回到“建立和修改透镜数据菜单”。如图3—2。

(2) 在光学系统中插入一面或几面

上面只讲了对镜头数据文件中的个别数据进行修改的功能，现在来讲编辑数据文件的另一个功能：“插入”。在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下，键入

4 ↵

若在此以前，已通过第2项功能的选择将指定的数据文件装入内存(见2.(3))，则不再要求键入文件名，而立即将当前在内存中的数据文件内容显示出来，并显示图形



Before which surface?

图 3—42

若在此以前，内存中没有数据文件，那么屏幕提示

ENTER THE FILE NAME:

意即请输入镜头数据文件名。装入文件之后，立即显示其内容和镜头结构剖面图。

在我们的例子中，内存已有文件，故不需再次输入文件名。

在图中右侧上方的小方框内显示当前是“插入”状态，在它的下方是该镜头系统所用的玻璃牌号及其在镜头中的编号。在图的下方显示

Before which surface?

问你插在哪一面的前面。接着又问：

How long distance from this surface?

与这个面距离是多少？又问

How many surfaces to be inserted?

要插入几个面？接着显示

INPUT R(n) =

要输入要插入的第一个面的半径，注意，其中的n就是在回答插在哪一面之前的那个面号。

又显示

INPUT D(n) =

要输入所插入的第一个面与其前一面的距离。又显示

INPUT Glass-No.:

要输入在所插入的第一个面前面的空间介质编号。如果是空气，在图中右侧已列出空气介质的编号是0，则键入0；如果是玻璃，首先看一看图中右侧玻璃牌号及其对应编号表中是不是已经有了，如果有，则键入它的编号；如果没有，就键入一个新的编号（只要不跟原有的相同即可），又显示

Input Glass Name:

要输入对应于这个编号的玻璃牌号，(关于玻璃牌号的约定见§3)。如果敲入的玻璃牌号在玻璃库中找不到，就显示

**** INPUT nw REFRACTIVE INDEX OF:

意即请输入指定玻璃牌号的nw折射率。如果敲入的玻璃牌号在玻璃库中是有的，会自动计算出折射率，就不必敲了。如果只插入一个面，那么就立即显示插入之后的全部数据和结构图；如果不止插入一个面，则不止一次地重复

INPUT R

INPUT D

INPUT Glass-No.

这几个问题，直至全部插入全了，显示全部数据和结构图。

插入时面号的排序示意图如下：

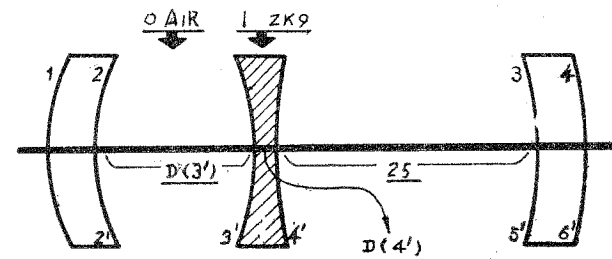


图 3—43

在图中，未划斜线的是插入前的两个玻璃单元，共有4个面，分别标以1、2、3、4。现在想在第3面之前插入一个玻璃单元，故在回答

Before which surface?

时，应键入3。插入的这个玻璃单元与原来没插入时的第3面距25毫米，故在回答

How long distance from this surface,

时应键入25。现在是插入两个面，故在回答

How many surfaces to be inserted?

应键入2。现在整个系统的面序号重新排序为1'、...、6'，所以接着显示的是

INPUT R(3') =

应键入第3'面的半径；

INPUT D(3') =

实际上是该玻璃单元与原系统第2面之距离，应键入18；

INPUT Glass--No.--

应键入 0。接着

INPUT R(4') =

应键入第 4' 面的半径，

INPUT D(4') =

这次才是该玻璃单元的厚度，键入 6。

INPUT Glass--No.--

键入该玻璃单元的玻璃牌号对应的编号 1。

在我们的例子中是这样键入的

```

Before which surface ? 1
How long distance from this surface ? 0
How many surfaces to be inserted ? 2
INPUT R( 1) = 0
INPUT D( 1) = 0
INPUT Glass-NO. : 0
INPUT R( 2) = 0
INPUT D( 2) = 10
INPUT Glass-NO. : 6
Input Glass Name: ZK55

```

图 3-44

显示数据如下：

```

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
17      .000000  18.750  -20.000  9
MO      RADIUS  SEPN      INDEX      DISPN      HCA      GL.NO  GLASS
1        .0000  -71.424  1.0000000  .0000000  33.803  0
2        .0000  10.000  1.5336645  .0076510  31.573  6  ZK55
3       54.7900  .000  1.0000000  .0000000  31.573  0
4      214.6800  13.170  1.6203000  .0103000  25.888  1  ZK9
5       36.5500  .127  1.0000000  .0000000  25.809  0
6       21.7200  12.800  1.6708972  .0141850  17.394  2  ZBAFS
7       73.3200  7.500  1.0000000  .0000000  13.186  0
8       67.9700  10.750  1.6203000  .0103000  11.757  1  ZK9
9        .0000  5.070  1.0000000  .0000000  11.432  0
10      -23.3000  6.850  1.0000000  .0000000  10.992  0
11     1311.3000  2.700  1.8060013  .0317704  11.464  3  ZF7
12      -35.2900  11.230  1.6646000  .0122000  16.367  4  ZK12
13     -141.3800  .127  1.0000000  .0000000  16.436  0
14     -38.4500  9.760  1.6203000  .0103000  20.152  1  ZK9
15       90.2500  .127  1.0000000  .0000000  20.189  0
16     -340.9500  10.250  1.7017000  .0171000  21.002  5  ZBAF20
17        .0000  52.229  1.0000000  .0000000  25.787  0
NGL     NW      1 WL      2 WL      3 WL
6        3          .5892938  .6562725  .4861327
[Press <Enter> to continue]

```

```

1      ZK9      1.6203000  1.6173000  1.6276000
2      ZBAFS   1.6708972  1.6667868  1.6809718
3      ZF7     1.8060013  1.7971476  1.8289180
4      ZK12    1.6646000  1.6610000  1.6732000
5      ZBAF20  1.7017000  1.6967000  1.7138000
6      ZK55    1.5336645  1.5308347  1.5404857
NCLIP= 2
1      34.780  14      38.450
[Press <Enter> to continue]
      DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
23.8180  .99.2129  -75.3949  52.2293  -23.1636
EFL      UI      DIMA      MAG      J
75.3949  .248691  52.2293  .0000  6.8244
DFO      DFI      SINUPO   SINUPI   HIMA
71.4241  -67.1756  -.342020  -.215959  27.4415
[Press <Enter> to continue]

```

图 3-45

显示图形如下：

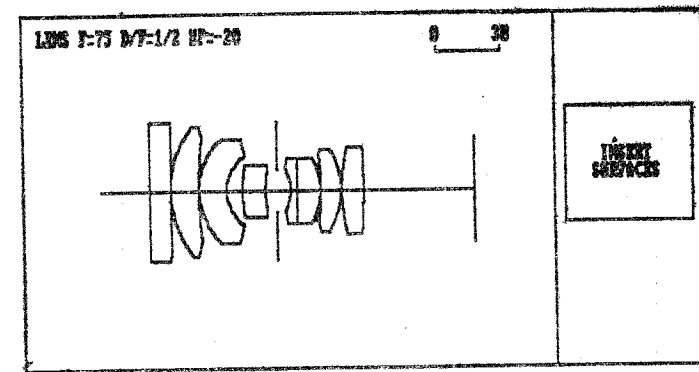


图 3-46

按“回车”，返回“建立和修改透镜数据菜单”。

(3) 从光学系统中删除一面或几面

“删除”是编辑数据文件的一项重要功能。在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下键入

5 ↵

若在此以前，已通过第 2 项功能的选择将指定的数据文件装入内存（见 2(3)）了，则不再要求键入文件名，而立即将当前在内存中的数据文件内容显示出来，并显示图形 3-47

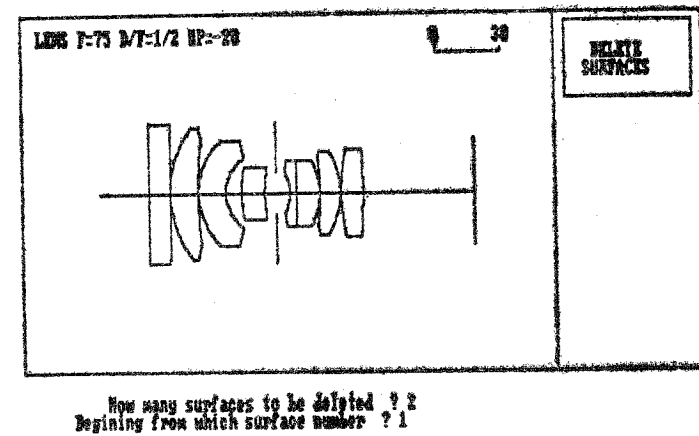


图 3-47

若在此以前，内存中没有数据文件，那么屏幕提示

ENTER THE FILE NAME;

意即请输入镜头数据文件名。装入文件之后，立即显示其内容和镜头结构剖面图。

在图中右侧上方小方框内显示当前是“删除”状态，在图的下方显示

How many surfaces to be deleted?

问你想删除几个面；又问

Beginning from which surface number?

从哪一个面开始删除。只需回答这两个问题就足够了，接着显示删除后的镜头数据和图形。

在我们的例子中是这样键入的：

How many surfaces to be deleted? 2

Beginning from which surface number? 1

显示数据和图形3—48

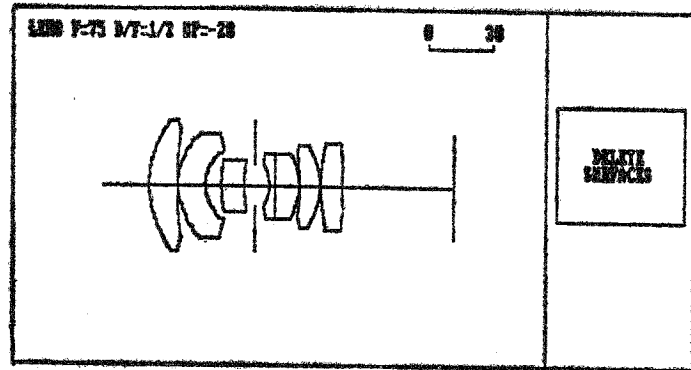


图 3—48

按“回车”，返回“建立和修改透镜数据菜单”。

(4) 对光学系统进行按比例缩放

“按比例缩放”是对光学镜头数据文件进行编辑的一项专有的功能。这在通常的数据库文件编辑中是没有的。所谓按比例缩放，是对光线在第一面上的入射高度、物距、物在近距离时的视场角、镜头的所有半径、间隔、非球面系数等均乘以同一个比例因子，从而获得一个新的系统。往往用于将某一系统缩放到指定的焦距。

在“建立和修改透镜数据菜单”控制下键入

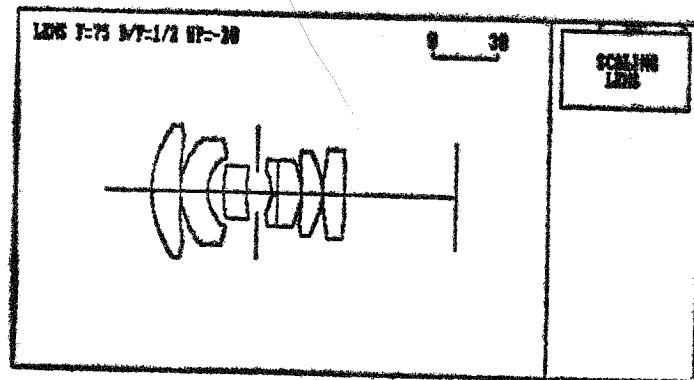
6 ↵

若内存中还没有数据文件，则提示

ENTER THE FILE NAME:

意即请输入镜头数据文件名；若内存中已装入了要缩放的镜头数据文件，则显示数据和图形

(图3—49)



Scaling factor is:

图 3—49

在图中右侧的方框内注明当前状态是“缩放”。在图形的下方显示

Scaling factor is:

要键入缩放比例因子。(键入E表示使用默认值)

在我们的例中，键入2。注意：图形似乎毫无变化，但图中右上方的比例尺变了。

```
LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
15      .000000  37.500  -20.000  7
NO.     RADIUS  SEPN  INDEX  DISP  HCA  GL.NO GLASS
1       109.5800 -129.807 1.0000000 .0000000 63.147 0
2       429.3600  26.340 1.6203000 .0103000 51.776 1 ZK9
3       73.1000   .254 1.0000000 .0000000 51.617 0
4       43.4400  25.600 1.6708972 .0141850 34.788 2 ZBAF5
5       146.6400  15.000 1.0000000 .0000000 26.372 0
6       135.9400  21.500 1.6203000 .0103000 23.515 1 ZK9
7       .0000    10.140 1.0000000 .0000000 22.864 0
8       -46.6000 13.700 1.0000000 .0000000 21.984 0
9       2622.6000 5.400 1.8060013 .0317704 32.734 3 ZF7
10      -70.5800  22.460 1.6646000 .0122000 32.734 4 ZK12
11      -282.7600 .254 1.0000000 .0000000 32.873 0
12      -76.9000  19.520 1.6203000 .0103000 40.305 1 ZK9
13      180.5000 .254 1.0000000 .0000000 40.379 0
14      -681.9000 20.500 1.7017000 .0171000 42.003 5 ZBAF20
15      .0000    104.459 1.0000000 .0000000 51.573 0
NGL     NW      1 WL      2 WL      3 WL
6       3       .5892938 .6562725 .4861327
1       ZK9     1.6203000 1.6173000 1.6276000
2       ZBAF5  1.6708972 1.6667868 1.6809718
[Press <Enter> to continue]
3       ZF7     1.8060013 1.7971476 1.8289180
4       ZK12    1.6646000 1.6610000 1.6732000
5       ZBAF20 1.7017000 1.6967000 1.7138000
6       ZK5S    1.5336645 1.5308347 1.5404857
NCLIP= 2
1       69.560  14      58.286
[Press <Enter> to continue]
DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
34.5954  185.3882 -150.7898 104.4586 -46.3312
EFL      UI       DIMA     MAG      J
150.7898 .248691  104.4586 .0000    13.6489
DPO      DPI     SINUPO  SINUPI   HIMA
129.8074 -134.3511 -.342020 -.215959 54.8830
[Press <Enter> to continue]
```

图 3—50

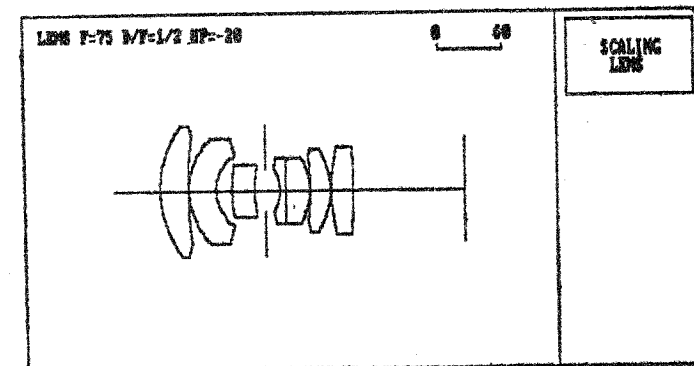


图 3—51

按“回车”，返回到“建立和修改透镜数据菜单”。

(5) 将给定的光学系统倒排序

“倒排序”也是编辑数据文件的一项重要功能。将它跟“按比例缩放” (§4.(10)) 或“对接” (§4.(12)) 结合起来，对于搭制初始结构原型带来极大的方便。

在“建立和修改透镜数据菜单”控制下键入

7↓

若内存中还没有数据文件，则提示

ENTER THE FILE NAME,

意即请输入镜头数据文件名；若内存中已装入了要倒排序的镜头数据文件，则立即显示数据和图形 (图3-52)。

在图中右侧的方框内显示当前状态是“倒排序”，在图中下方显示出UO、HO、UPO、ISTOP 或 DOBJ、HOBJ ISTOP 的当前值，并问想不想改变它们。如果回答

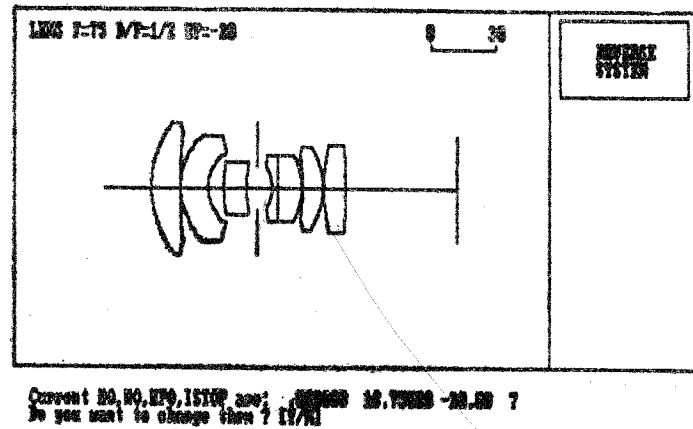


图 3-52

Y↓

即想改变，就又显示

INPUT UO,
INPUT HO,UPO,ISTOP

或

INPUT DOBJ,HOBJ,ISTOP

请输入它们的新值；如果不想改变，就回答

N↓

在我们的例中，回答N↓。然后显示数据和图形3-54

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20

NS	UO	H1	UPO	ISTOP			
15	.000000	10.000	-10.000	8			
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN	HCA	GL.NO	GLASS
1	340.9500	-67.176	1.0000000	.0000000	16.665	0	
2	-90.2500	10.250	1.7017000	.0171000	15.412	5	ZBAF20
3	38.4500	.127	1.0000000	.0000000	15.371	0	
4	141.3800	9.760	1.6203000	.0103000	11.903	1	ZK9
5	35.2900	.127	1.0000000	.0000000	11.836	0	
6	-1311.3000	11.230	1.6646000	.0122000	6.800	4	ZK12
7	23.3000	2.700	1.8060013	.0317704	5.686	3	ZF7
8	.0000	6.850	1.0000000	.0000000	3.850	0	
9	-67.9700	5.070	1.0000000	.0000000	3.715	0	
10	-73.3200	10.750	1.6203000	.0103000	6.283	1	ZK9
11	-21.7200	7.500	1.0000000	.0000000	8.787	0	
12	-36.5500	12.800	1.6708972	.0141850	14.409	2	ZBAF5
13	-214.6800	.127	1.0000000	.0000000	14.474	0	
14	-54.7900	13.170	1.6203000	.0103000	18.996	1	ZK9
15	.0000	-17.298	1.0000000	.0000000	13.092	0	
NGL	NW		1 WL	2 WL	3 WL		
5	3		.5892938	.6562725	.4861327		
1	ZK9		1.6203000	1.6173000	1.6276000		
2	ZBAF5		1.6708972	1.6667868	1.6809718		
[Press <Enter> to continue]							
3	ZF7		1.8060013	1.7971476	1.8289180		
4	ZK12		1.6646000	1.6610000	1.6732000		
5	ZBAF20		1.7017000	1.6967000	1.7138000		
NCLIP=							
1	29.143	14	34.780				
[Press <Enter> to continue]							
	DFO	DHO	FLO	DFI	DHI		
	-52.2293	23.1656	-75.3949	-17.2977	-92.6926		
	EFL	UI	DIMA	MAG	J		
	75.3949	.132635	-17.2977	.0000	1.7633		
	DPO	DPI	SINUPO	SINUPI	HIMA		
	67.1756	-64.9037	-.173648	-.275011	13.2942		
[Press <Enter> to continue]							

图 3-53

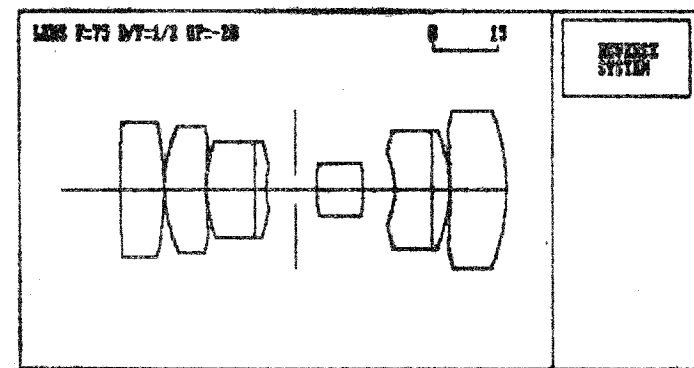


图 3-54

按“回车”，返回“建立和修改透镜数据菜单”。

(6) 将两个光学系统对接

“对接”也是编辑数据文件的一项重要功能。将它跟“按比例缩放” (§4.(10)) 或“倒排序” (§4.(11)) 结合使用，将给搭制初始结构原型带来极大方便。

在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下键入

若内存中还没有任何镜头数据文件，则提示

ENTER THE FILE NAME,

意即请输入一个镜头数据文件名；若内存中已有某一个镜头数据文件，则立即显示当前在内存中的这个文件的数据内容和图形：

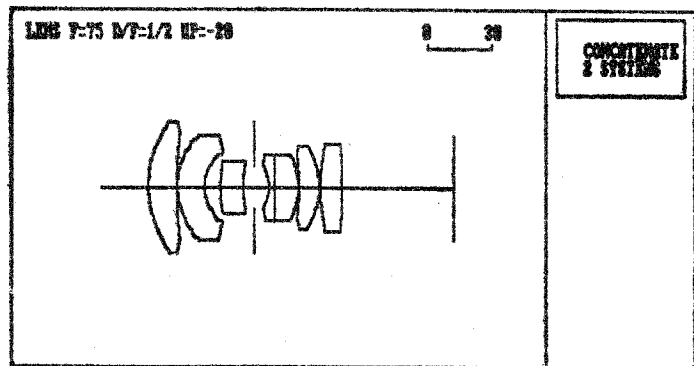


图 3-55

在图中右侧的方框内显示当前状态是“两个系统的对接”。回车后，清屏幕并显示：

Input the First system name,
(If it is current, press <Enter>)

要输入欲对接的第一个系统的文件名。如果就是当前在内存中的镜头，只需按“回车”即可；如果不是内存中的镜头，则应键入文件名。如果在盘上没找到该文件，则显示

The First system does not exist!

让再输一次文件名。如果在盘上找到了这个文件，则将其调入内存，显示数据和图形。你应明白，只是在这个时候内存中才同时装有两个镜头数据文件。

按“回车”后，清屏幕并显示：

Input the second system name,
(If it is current, press <Enter>)

要输入欲对接的第二个系统的文件名。如果就是当前在内存的最初那个镜头，那么只需按“回车”即可；如果不是，则应键入文件名。如果在盘上没找到该文件，则显示

The second system does not exist!

让重新再输一次文件名。如果在盘上找到了这个文件，则将其调入内存，显示数据和图形。按“回车”后，显示

Input the separation between two systems;

让输入这两个系统间的距离是多少。接着显示

Current UO, HO, UPO, ISTOP are;

或

Current UO, DOBJ, HOBJ, ISTOP are;

的当前值，并问是否想修改这几个值：

Do you want to change them[Y/N]?

若想修改，则回答

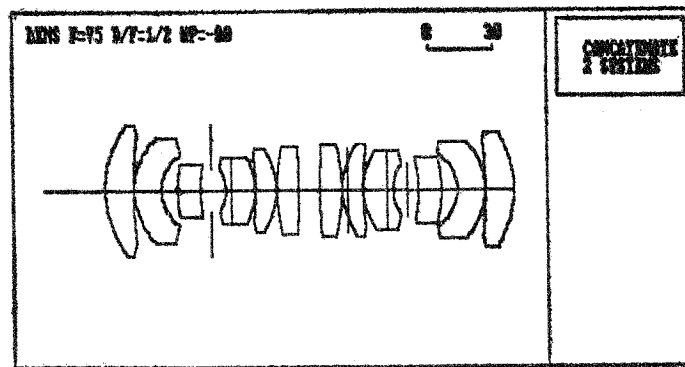


图 3-56

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20

NS	UO	H1	UPO	ISTOP			
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN	HCA	GL.NO	GLASS
29	.000000	18.750	-20.000	7			
1	54.7900	-64.904	1.000000	.0000000	31.573	0	
2	214.6800	13.170	1.6203000	.0103000	25.888	1	ZK9
3	36.9500	.127	1.0000000	.0000000	25.809	0	
4	21.7200	12.800	1.6708972	.0141850	17.394	2	ZBAF5
5	73.3200	7.500	1.0000000	.0000000	13.186	0	
6	67.9700	10.750	1.6203000	.0103000	11.757	1	ZK9
7	.0000	5.070	1.0000000	.0000000	11.432	0	
8	-23.3000	6.850	1.0000000	.0000000	10.992	0	
9	1311.3000	2.700	1.8060013	.0317704	11.464	3	ZF7
10	-35.2900	11.230	1.6646000	.0122000	16.367	4	ZK12
11	-141.3800	.127	1.0000000	.0000000	16.436	0	
12	-38.4500	9.760	1.6203000	.0103000	20.152	1	ZK9
13	90.2500	.127	1.0000000	.0000000	20.189	0	
14	-340.9500	10.250	1.7017000	.0171000	21.002	5	ZBAF20
15	340.9500	10.000	1.0000000	.0000000	21.918	0	
16	-90.2500	10.250	1.7017000	.0171000	22.198	5	ZBAF20
17	38.4500	.127	1.0000000	.0000000	22.182	0	
18	141.3800	9.760	1.6203000	.0103000	19.267	1	ZK9
19	35.2900	.127	1.0000000	.0000000	19.216	0	
[Press <Enter> to continue]							
20	-1311.3000	11.230	1.6646000	.0122000	14.080	4	ZK12
21	23.3000	2.700	1.8060013	.0317704	12.944	3	ZF7
22	.0000	6.850	1.0000000	.0000000	13.195	0	
23	-67.9700	5.070	1.0000000	.0000000	14.273	0	
24	-73.3200	10.750	1.6203000	.0103000	16.546	1	ZK9
25	-21.7200	7.500	1.0000000	.0000000	18.066	0	
26	-36.5500	12.800	1.6708972	.0141850	23.894	2	ZBAF5
27	-214.6800	.127	1.0000000	.0000000	23.935	0	
28	-54.7900	13.170	1.6203000	.0103000	27.116	1	ZK9
29	.0000	-77.476	1.0000000	.0000000	20.582	0	
	NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL		
5	3		.5892938	.6562725	.4861327		
1	ZK9		1.6203000	1.6173000	1.6276000		
2	ZBAF5		1.6708972	1.6667868	1.6809718		
3	ZF7		1.8060013	1.7971476	1.8289180		
4	ZK12		1.6646000	1.6610000	1.6732000		
5	ZBAF20		1.7017000	1.6967000	1.7138000		
NCLIP= 2							
1	34.780	14	29.143				

图 3-57

Y.]

接着显示

INPUT UO;

让输入物方孔径角。又显示

INPUT HO,UPO,ISTOP;

或

INPUT DOBJ,HOBJ,ISTOP;

之后,显示对接之后的镜头的数据和图形。

按“回车”,返回“建立和修改透镜数据菜单”。

由上面可以看出,在对接时实际上是有4种情况:

1. 原来在内存中已存在的系统自对接。(均以“回车”来答复两次文件名的提问)。
2. 第一个是内存中已存在的系统,第二个是从盘上调入的系统(即第一次文件名的提问,回答一个“回车”,第二次文件名的提问,回答一文件名)。
3. 第一个是从盘上调入的系统(即第一次文件名提问,回答一文件名),第二个是内存中已存在的系统(即第二次文件名提问,回答一个“回车”)。
4. 两个系统都是临时从盘上调入的,而原来在内存中的那个系统已被废掉(即两次文件名的提问均回答文件名)。

(7) 角度解

角度解的意思是由指定面之后的近轴边光孔径角,反解出该指定面的半径。它常常用于通过改变最后一个面的曲率使像方数值孔径达到指定值。

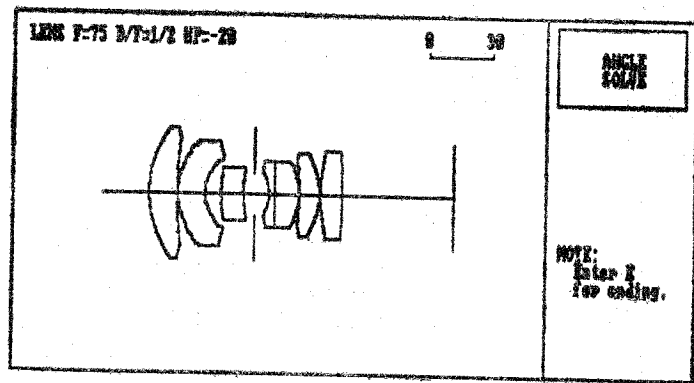
在“建立和修改透镜数据菜单”的控制下键入

10.]

若内存中已有镜头数据文件,则不需再敲入文件名;若内存中当前没有数据文件名,则显示

ENTER THE FILE NAME;

敲入文件名后,显示数据和结构图3—58,在图的右侧方框内显示当前状态是“角度解”。在



Surface No. is:

图 3—58

图的下方要输入指定面的面序号:

Surface—No.is;

又显示

Angle after the surface is;

要输入在该面之后的近轴边光孔径角。然后 CAOD 利用傍轴光线计算公式解出这个面的半径,并返回“建立和修改透镜数据菜单”。

5 光线的设定和修改

在绘制光路图、计算传递函数时,除了必须知道光学系统本身的结构参数外,还应指出要追迹多少条光线,都是哪些光线,它们在入射参考面上的实际坐标值是多少,它们在物方的方向余弦是多少,或者,它们在入射参考面上的相对坐标是多少,或者,要追哪几个视场的光线。总之,有关光线自身的初始数据也必须一一确定。这就是光线的设定。(在追迹光线计算像差、自动设计时,由那个功能块自己进行光线的设定)。

在“建立和修改透镜数据菜单”控制下键入

9.]

若内存中还没有装入数据文件,则提示

ENTER THE FILE NAME;

意即请输入镜头数据文件名;若内存已装入了数据文件,则立即显示

```

**** YOU CAN SET RAYS IN FOLLOWING WAYS **
1 -- NORMAL RAY DATA
2 -- RELATIVE RAY DATA
3 -- GENERATED RAY DATA

```

**** INPUT YOUR CHOICE:

图 3—59

在具体介绍各种方式之前,先介绍一下“光线标号”的概念。在 CAOD 中,专门设了一个表征光线属性的光线标号LR。目前,它可以取10个不同的值,其含义如下:

LR	意 义
1	近轴光线
2	轴上光线
3	主光线
4	子午光线
5	弧矢光线
11	近轴光线且在图形上画出
12	轴上光线且在图形上画出
13	主光线且在图形上画出
14	子午光线且在图上画出
15	弧矢光线且在图上画出

(1) 正常方式

所谓正常方式是由你规定要追多少条光线,每条光线是近轴的、轴上的、主光线、子午

光线还是弧矢光线，各条光线在入射参考面上的实际坐标及在物方的方向余弦。

现在键入

1 ↵

显示

INPUT NUMBER OF RAYS, INCLUDE PARAXIAL RAY ON AXIS;

要输入包括轴上近轴光线在内的光线总数。之后，要求对所有这些光线输入它们的光线标号 LR、它们在入射参考面上的座标 XO 和 YO (单位: mm)，它们在物方的方向余弦 LO 和 MO

```

INPUT NUMBER OF RAYS, INCLUDE PARAXIAL RAY ON AXIS: 3
**** INPUT LR, XO, YO, LO, MO ****
RAY 1: 1 0 1 0 0
RAY 2: 4 0 .5 0 0
RAY 3: 4 0 1 0 0

```

图 3-60

```

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
15      .000000  18.750  -20.000  7
NO.     RADIUS  SEPN    INDEX    DISPN    HCA    GL.NO GLASS
1       54.7900  -64.904  1.0000000 .0000000  31.573  0
2       214.6800  13.170  1.6203000 .0103000  25.888  1  ZK9
3       36.5500   .127  1.0000000 .0000000  25.809  0
4       21.7200  12.800  1.6708972 .0141850  17.394  2  ZBAF5
5       73.3200  7.500  1.0000000 .0000000  13.186  0
6       67.9700  10.750  1.6203000 .0103000  11.757  1  ZK9
7       .0000    5.070  1.0000000 .0000000  11.432  0
8       -23.3000  6.850  1.0000000 .0000000  10.992  0
9       1311.3000  2.700  1.8060013 .0317704  16.367  3  ZF7
10      -35.2900  11.230  1.6646000 .0122000  16.367  4  ZK12
11      -141.3800  .127  1.0000000 .0000000  16.436  0
12      -38.4500  9.760  1.6203000 .0103000  20.152  1  ZK9
13       90.2500  .127  1.0000000 .0000000  20.189  0
14      -340.9500  10.250  1.7017000 .0171000  21.002  5  ZBAF20
15      .0000   52.229  1.0000000 .0000000  25.787  0
NGL     NW      1 WL      2 WL      3 WL
5       3       .5892938  .6562725  .4861327
1       ZK9     1.6203000  1.6173000  1.6276000
2       ZBAF5   1.6708972  1.6667868  1.6809718
[Press <Enter> to continue]
3       ZF7     1.8060013  1.7971476  1.8289180
4       ZK12    1.6646000  1.6610000  1.6732000
5       ZBAF20  1.7017000  1.6967000  1.7138000
NCLIP= 2
1       34.780  14      29.143
        DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
17.2977  92.6926  -75.3949  52.2293  -23.1656
        EFL      UI       DIMA     MAG      J
75.3949  .248691  52.2293  .0000    6.8244
        DPO      DPI      SINUPO   SINUPI   HIMA
64.9037  -67.1756  -.342020  -.215959  27.4415
NFLD= 1
FLD      YPO      VUY      VLY      VX
.0000    .0000    1.0000  -1.0000  1.0000
NR= 3    MR= 1
NO.     LR      XO      YO      LO      MO      XR      YR
1       1       .0000  1.0000  .0000000  .0000000  .0000  1.0000
2       4       .0000  .5000  .0000000  .0000000  .0000  .5000
3       4       .0000  1.0000  .0000000  .0000000  .0000  1.0000
[Press <Enter> to continue]

```

图 3-61

即有多少条光线要求你输入多少次。在显示时，首先显示

**** INPUT LR, XO, YO, LO, MO ****

然后，每次都显示是第几条光线，跟着输入这 5 个值即可。

在设置过程中如果设得不合适，就会让你再设置一次。

例：见图 3-60 和图 3-61

(2) 相对方式

所谓“相对方式”是指除了要给出总共要追多少条光线，是什么光线以外，还要给出各条光线在入射参考面上的相对坐标。

```

INPUT NUMBER OF RAYS, INCLUDE PARAXIAL RAY ON AXIS: 3
**** INPUT LR, XR, YR ****
RAY 1: 1 0.0 1.0
RAY 2: 4 0 .5
RAY 3: 4 0 .85
LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
15      .000000  18.750  -20.000  7
NO      RADIUS  SEPN    INDEX    DISPN    HCA    GL.NO GLASS
1       54.7900  -64.904  1.0000000 .0000000  31.573  0
2       214.6800  13.170  1.6203000 .0103000  25.888  1  ZK9
3       36.5500   .127  1.0000000 .0000000  25.809  0
4       21.7200  12.800  1.6708972 .0141850  17.394  2  ZBAF5
5       73.3200  7.500  1.0000000 .0000000  13.186  0
6       67.9700  10.750  1.6203000 .0103000  11.757  1  ZK9
7       .0000    5.070  1.0000000 .0000000  11.432  0
8       -23.3000  6.850  1.0000000 .0000000  10.992  0
9       1311.3000  2.700  1.8060013 .0317704  16.367  3  ZF7
10      -35.2900  11.230  1.6646000 .0122000  16.367  4  ZK12
11      -141.3800  .127  1.0000000 .0000000  16.436  0
12      -38.4500  9.760  1.6203000 .0103000  20.152  1  ZK9
13       90.2500  .127  1.0000000 .0000000  20.189  0
14      -340.9500  10.250  1.7017000 .0171000  21.002  5  ZBAF20
15      .0000   52.229  1.0000000 .0000000  25.787  0
NGL     NW      1 WL      2 WL      3 WL
5       3       .5892938  .6562725  .4861327
1       ZK9     1.6203000  1.6173000  1.6276000
2       ZBAF5   1.6708972  1.6667868  1.6809718
[Press <Enter> to continue]
3       ZF7     1.8060013  1.7971476  1.8289180
4       ZK12    1.6646000  1.6610000  1.6732000
5       ZBAF20  1.7017000  1.6967000  1.7138000
NCLIP= 2
1       34.780  14      29.143
        DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
17.2977  92.6926  -75.3949  52.2293  -23.1656
        EFL      UI       DIMA     MAG      J
75.3949  .248691  52.2293  .0000    6.8244
        DPO      DPI      SINUPO   SINUPI   HIMA
64.9037  -67.1756  -.342020  -.215959  27.4415
NFLD= 1
FLD      YPO      VUY      VLY      VX
.0000    .0000    1.0000  -1.0000  1.0000
NR= 3    MR= 2
NO.     LR      XO      YO      LO      MO      XR      YR
1       1       .0000  1.0000  .0000000  .0000000  .0000  1.0000
2       4       .0000  .5000  .0000000  .0000000  .0000  .5000
3       4       .0000  .8500  .0000000  .0000000  .0000  .8500
[Press <Enter> to continue]

```

图 3-62

现在键入

2 ↵

显示

INPUT NUMBER OF RAYS, INCLUDE PARAXIAL RAY ON AXIS,

要你输入包括轴上近轴光线在内的光线总数。之后, 显示

**** INPUT LR, XR, YR ****

要你输入每条光线的标号、相对坐标XR和YR。第1条它自动赋值了, 所以显示

RAY1: 1 0.0 1.0

即表明第1条是近轴子午边光。对于轴外视场, 均首先敲入主光线, 即LR=3。而对于主光线的YR, 则键入视场角或物高。

例: 见图3-62

(3) 自动生成方式

所谓自动生成方式是只需规定要算几个视场, 都是哪几个视场就足够了。自动设置了轴上边光和0.707带光; 子午光线在该视场上可通过的最大上边光和0.707带光; 最大下边光和0.707带光; 弧矢光线在该视场上可通过的最大边光和0.707带光。

现在键入

3 ↵

显示

INPUT NUMBER OF FIELDS, INCLUDE 0 FIELD; 3

要你输入包括0视场在内的视场总数。又显示

**** INPUT 3 FIELDS ****

0.51

要你输入都是哪些视场。(其中nf是刚输入的视场总数)。注意: 是相对值!

例: 见图3-63。在图中FIND RAY BOUND部分不必去理会它。从图3-64的结构参数开始往下看。最后NR=, 是光线总数。MR=3, 表示第3种方式。LR是光线标号。XO, YO是光线在入射参考面上的座标。LO, MO是光线在物方的方向余弦。XR, YR是光线在入射参考面上的相对座标。由此可以看出各条光线的初始定位数据。

INPUT NUMBER OF FIELDS, INCLUDE 0 FIELD; 3

**** INPUT 3 FIELDS ****

.71 i 0

FIND RAY BOUND :

```

IS, HCAL, Y: 14 29.14 28.71
IS, HCAL, Y: 14 29.14 29.11
IS, HCAL, Y: 14 29.14 29.14
IS, HCAL, Y: 14 29.14 29.14
IS, HCAL, Y: 1 34.78 -38.67
IS, HCAL, Y: 1 34.78 -35.76
IS, HCAL, Y: 1 34.78 -35.01
IS, HCAL, Y: 1 34.78 -34.83
IS, HCAL, Y: 1 34.78 -34.78
IS, HCAL, HCA: 7 11.33 11.08
IS, HCAL, HCA: 7 11.33 11.32
IS, HCAL, HCA: 7 11.33 11.33
FIND RAY BOUND :
IS, HCAL, Y: 7 11.33 11.33
IS, HCAL, Y: 7 11.33 -11.33
IS, HCAL, HCA: 7 11.33 11.33

```

图 3-63

```

LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
15      .000000  18.750  -20.000  7
NO.     RADIUS  SEPN   INDEX   DISPN   HCA   GL.NO  GLASS
1       54.7900  -64.904 1.000000 .0000000 34.780 0
2       214.6800 13.170 1.6203000 .0103000 33.068 1 ZK9
3       36.5500  .127  1.0000000 .0000000 25.975 0
4       21.7200 12.800 1.6708972 .0141850 17.394 2 ZBAF5
5       73.3200  7.500 1.0000000 .0000000 15.992 0
6       67.9700 10.750 1.6203000 .0103000 11.928 1 ZK9
7       .0000  5.070 1.0000000 .0000000 11.432 0
8       -23.3000 6.850 1.0000000 .0000000 12.916 0
9       1311.3000 2.700 1.8060013 .0317704 17.208 3 ZF7
10      -35.2900 11.230 1.6646000 .0122000 20.497 4 ZK12
11      -141.3800 .127 1.0000000 .0000000 23.887 0
12      -38.4500 9.760 1.6203000 .0103000 25.079 1 ZK9
13      90.2500  .127 1.0000000 .0000000 29.095 0
14      -340.9500 10.250 1.7017000 .0171000 29.143 5 ZBAF20
15      .0000  52.229 1.0000000 .0000000 26.964 0
NGL     NW      1 WL      2 WL      3 WL
5       3       .5892938 .6562725 .4861327
1       ZK9    1.6203000 1.6173000 1.6276000
2       ZBAF5  1.6708972 1.6667868 1.6809718
[Press <Enter> to continue]
LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20
3       ZF7    1.8060013 1.7971476 1.8289180
4       ZK12   1.6646000 1.6610000 1.6732000
5       ZBAF20 1.7017000 1.6967000 1.7138000
NCLIP= 2
1       34.780 14 29.143
      DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
      17.2977  92.6926  -75.3949  52.2293  -23.1656
      EFL      UI      DIMA     MAG      J
      75.3949  .248691  52.2293  .0000    6.8244
      DPO      DPI      SINUPO   SINUPI   HIMA
      64.9037  -67.1756  -.342020  -.215959  27.4415
NFLD= 3
      FLD      YPO      VUY      VLY      VX
      .7100    .0000    1.0000   -1.0000  1.0000
      1.0000  -2.1100  1.0355   -.7243  1.0232
      .0000    .0000    1.0000   -1.0000  1.0000
NR= 17 MR= 3
NO.   LR      XO      YO      LO      MO      XR      YR
1     1       .0000  18.7500 .0000000 .0000000 .0000  1.0000
2     12      .0000  18.7500 .0000000 .0000000 .0000  1.0000
3     2       .0000  13.2563 .0000000 .0000000 .0000  .7070
4     13      .0000  -2.1100 .0000000 .3420201 .0000 -20.0000
5     14      .0000  17.3065 .0000000 .3420201 .0000  1.0355
[Press <Enter> to continue]
6     4       .0000  11.6175 .0000000 .3420201 .0000 .7321
7     4       .0000 -11.7110 .0000000 .3420201 .0000 -.5121
8     14      .0000 -15.6899 .0000000 .3420201 .0000 -.7243
9     5       19.1848 -2.1100 .0000000 .3420201 1.0232 .0000
10    5       13.5636 -2.1100 .0000000 .3420201 .7234 .0000
11    13      .0000  .0000 .0000000 .0000000 .0000 .0000
12    14      .0000  18.7500 .0000000 .0000000 .0000 1.0000
13    4       .0000  13.2563 .0000000 .0000000 .0000 .7070
14    4       .0000 -13.2563 .0000000 .0000000 .0000 -.7070
15    14      .0000 -18.7500 .0000000 .0000000 .0000 -1.0000
16    5       18.7500 .0000 .0000000 .0000000 1.0000 .0000
17    5       13.2563 .0000 .0000000 .0000000 .7070 .0000

```

图 3-64

(4) 光线的修改

在用“正常方式”或“相对方式”设定了光线之后，可能又会发现其中有的设置不合适，需要进行某些调整，例如增加一条光线，删除一条光线等。为此，只需在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下键入

12↵

若内存中还没有数据文件，则提示

ENTER THE FILE NAME:

意即请输入镜头数据文件名；若内存中已有数据文件，则显示

```

-----
MODIFY LIST OF RAYS

0. EXIT
1. Add a ray to the list of rays
2. Subtract a ray from the list of rays

-----

YOUR CHOICE:

```

图 3-65

① 增加一条光线

在当前的子菜单中键入

1↵

显示当前光线设置状态，之后显示

INPUT new ray-number;

要你输入新光线的序号（即在正常方式和相对方式里，显示RAY nr时的那个nr值）。当以前是在正常方式下设置光线时，显示

INPUT --LR, XO, YO, LO, MO;

要你输入光线标号LR，在入射参考面上的实际坐标值XO和YO，在物方的方向余弦；当以前是在相对方式下设置光线时，显示

INPUT --LR, XR, YR

要你输入光线标号LR，相对坐标XR和YR。对于轴外视场，LR=3，此时YR为视场角或物高。

接着又显示当前光线设置状态和

INPUT new ray-number;

要你输入下一条新光线的序号，若不再增加了，敲入字母E，重新显示“修改光线表菜单”。

② 删除一条光线

在“修改光线表菜单”控制下键入

2↵

显示当前光线设置状态，之后显示

INPUT the ray number to be deleted;

请输入要删除的光线的序号，则CAOD将该条光线从光线表中去掉，它以后的那些光线的序号均往前串1。再次显示当前光线设置状态和

INPUT the ray number to be deleted;

若不再删除，键入字母E，重新显示“修改光线表菜单”。

若不再进行修改，则键入

0↵

显示光线表和镜头数据，并返回到“建立和修改透镜数据菜单”。

6 计算赛德(Seidel)像差

光学系统的数据文件建立起来之后，可以对其内容一一进行检查；还可以立即进行赛德像差计算，初步看一下这个系统的初级像差情况，是否是预想的那样。这也是一次总体检

```

12
LENS F-75 D/F=1/2 UP=-20
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
15      000000   18.750  -20.000   7
NC      RADIUS  SEPN      INDEX      DISP      HCA  GL.NO GLASS
1       64.7900  -64.904   1.0000000  .0000000   34.780  0
2       214.6800  13.170   1.6203000  .0103000   33.068  1  ZK9
3       36.5500   .127     1.0000000  .0000000   25.975  0
4       21.7200   12.800   1.6708972  .0141850   17.394  2  ZBAF5
5       73.3200   7.500    1.0000000  .0000000   15.992  0
6       67.9700   10.750   1.6203000  .0103000   11.928  1  ZK9
7       .0000     5.070    1.0000000  .0000000   11.432  0
8       -23.3000  6.850    1.0000000  .0000000   12.916  0
9      1311.3000   2.700    1.8060013  .0317704   17.208  3  ZF7
10     -35.2900   11.230   1.6646000  .0122000   20.497  4  ZK12
11     -141.3800  .127     1.0000000  .0000000   23.887  0
12     -38.4500   9.760    1.6203000  .0103000   25.079  1  ZK9
13     90.2500   .127     1.0000000  .0000000   29.095  0
14    -340.9500  10.250   1.7017000  .0171000   29.143  5  ZBAF20
15     .0000     52.229   1.0000000  .0000000   26.964  0
NGL     NW      1 WL      2 WL      3 WL
E       3       .5892938  .6562725  .4861327
1       ZK9     1.6203000  1.6173000  1.6276000
2       ZBAF5  1.6708972  1.6667868  1.6809718
[Press <Enter> to continue]
3       ZF7     1.8060013  1.7971476  1.8289180
4       ZK12   1.6646000  1.6610000  1.6732000
5       ZBAF20 1.7017000  1.6967000  1.7138000
NCLIP= 2
1       34.780  14  '29.143
      DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
      17.2977  92.6926  -75.3949  52.2293  -23.1656
      EFL      UI      DIMA     MAG      J
      75.3949  .248691  52.2293  .0000    6.8244
      DPO      DPI      SINUPO   SINUPI   HIMA
      64.9037  -67.1756  -.342020  -.215959  27.4415
PRIMARY ABERRATIONS:
NO.     S1      S2      S3      S4      S5      C1      C2
1       .177547  -.032755  .006043  .325416  -.061171  .040789  -.007525
2       .009827  -.054211  .299057  -.083052  -1.311416  .009067  -.050020
3       .011055  .002548  .000587  .511627  .116419  .043615  .010051
4       -.440240  -.029233  -.001941  -.860955  -.056950  -.062720  -.004165
5       .000483  .001865  .007199  .243175  .918353  .009301  .035906
6       -.000155  -.000738  -.003523  -.262315  -1.197913  -.008129  -.038799
7       .000000  .000000  .000000  .000000  .000000  .000000  .000000
8       -.508729  .375912  -.277771  -.892064  .856068  -.103640  .076582
9       -.022222  -.046922  -.099076  -.001671  -.223182  -.039038  -.082429
[Press <Enter> to continue]
10      .076560  -.057397  .043031  .526906  -.418303  .032353  -.024255
11      .000254  -.003220  .040763  -.126111  .954102  -.003049  .038608
12      .524929  -.010263  .000201  .463708  -.009038  .044076  -.000862
13     -.001127  -.014503  -.117375  .212792  .760630  .006933  .070746
14      .183792  -.111132  .067198  .056326  -.081313  .037432  -.022634
Coef:   .011974  .022932  -.035607  .113782  .246285  .006990  .001204
Aber:   .096806  .001682  -.575730  .919864  .018044  .113025  .004841

```

图 3-66

查。CAOD在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下，提供了这一功能。键入

11↓

若内存中没有数据文件，则显示

ENTER THE FILE NAME;

意即要输入文件名；若内存中已有数据文件，则立即进行赛德像差计算并显示结果（图3-66）

现将图中各小标题作如下说明：

第1栏：本镜头的标题。

第2栏：有5个小标题。

- NS 总面数
- UO 物方孔径角（或其正弦）
- H1 光线在物方入射参考面上的高度（或DOBJ物距）
- UPO 视场角（度）（或HOBJ物高）
- ISTOP 光栏所在的面序号各自下面的数字是它们的值。

第3栏：有8个小标题。

- No. 面序号
- RADIUS 半径
- SEPN 轴上间隔
- INDEX 折射率
- DISPN 色散
- HCA 通光孔径之半
- GL.NO 玻璃定位码
- GLASS 玻璃牌号

各自下面的数字是它们的值。

第4栏：有5个小标题

- NGL 镜头采用了几种不同的玻璃
- NW 共有几种波长
- 1WL 第1种波长
- 2WL 第2种波长
- 3WL 第3种波长

第5栏：

- 玻璃序号
- 玻璃牌号
- 折射率

第6栏：

NCLIP = 拦光面的个数拦光面的面序号及半通光孔径

第7栏：高斯光学特性值。

- DFO 物方焦截距
- DHO 物方主面离第一透镜面距离
- FLO 物方焦距

- DFI 像方焦截距
- DHI 像方主面距
- EFL 像方焦距
- UI 像方近轴光线最大孔径角
- DIMA 像距
- MAG 放大率
- J 拉格朗日不变量
- DPO 近轴入瞳距
- DPI 近轴出瞳距
- SINUPO 最大视场近轴主光线的物方视场角（的正弦）
- SINUPI 最大视场近轴主光线的像方视场角（的正弦）
- HIMA 理想像高

第8栏：初级像差系数。

- NO. 面序号
 - S1 轴向初级球差系数
 - S2 初级正弦差OSC系数
 - S3 初级像散($x_i - x_o$)系数
 - S4 初级匹兹瓦和
 - S5 初级畸变系数
 - C1 初级轴向色差系数
 - C2 初级垂轴倍率色差系数
- 在Coef: 那一行分别是对应列上的初级像差系数之和
在Aber: 那一行分别是对应列上的初级像差值

7 将内存中的数据文件存盘

镜头数据文件现在已经建好或修改完毕。一般说来，希望把它永久地或半永久地保存起来，以备将来再次使用。在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下，实际上提供了两种办法。

(1) 数据文件存盘且退出

在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下键入

0↓

在菜单上注明的功能是“退出”到主菜单。为了保证不会因一时疏忽忘记将文件存盘，故在这里再次提示：

STORE THE FINAL LENS DATA, O.K.? [Y/N]

意思是问要不要把当前在内存中的镜头数据存盘。

如果不想存盘，或已经存盘了，键入

N↓

则 CAOD 立即退出“建立和修改镜头数据菜单”返回主菜单。

如果存盘，键入

Y↓

接着显示

ENTER THE FILE NAME;

要你输入文件名,以便用这个名字把内存中当前的数据作为文件存到盘上,然后返回主菜单。需要说明的是:在以前进入“建立和修改镜头数据菜单”时,曾要求输入过文件名。现在这里的文件名可以和以前输入的文件名相同,此时,盘上以这个名字命名的文件的原有内容作废,代之以当前内存中的数据。如果这里的文件名和以前输入的文件名不相同,则盘上的以原有文件名命名的文件内容不变,而当前内存中的数据以刚才输入的文件名为名写到盘上,换句话说,又建立了一个新的文件。

(2) 数据文件存盘且登录

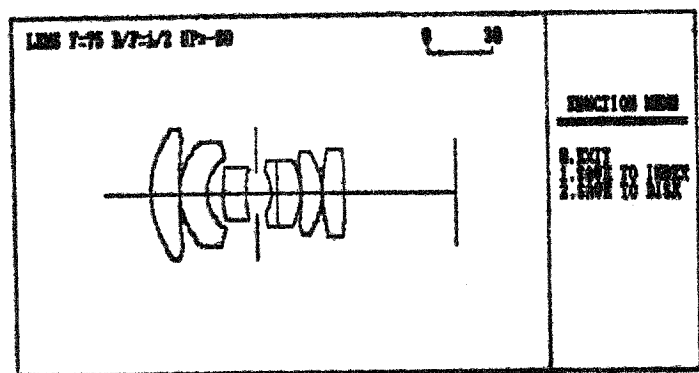
在“建立和修改透镜数据菜单”控制之下键入

13↓

若当前内存中没有数据文件,则显示

INPUT THE FILENAME;

意即要输入文件名;若内存中已有数据文件,则显示数据和图形菜单:



YOUR CHOICE:

图 3-67

在图形右侧的功能菜单里表明

- 0. 返回到上一级菜单
- 1. 数据存盘且登录
- 2. 数据存盘

选择:

现在详述如下。

① 返回到上一级菜单

如果你是偶然进入这个功能块的,既没有打算把数据存盘,也没有打算将文件登录,则键入

0↓

返回“建立和修改透镜数据菜单”。

② 数据存盘且登录

如果你想把内存中的数据以文件的形式存到盘上,然后转去镜头目录数据库管理子系统把这个文件登记到目录中,则键入

显示

```

1↓
FILE NAME IS:
fname
O.K.?[Y/N]

```

其中fname是在进入“建立和修改镜头数据菜单”时输入的文件名。它的意思是问是不是仍以这个名字为文件名把内存中的数据存到盘上去。

如果回答

Y↓

则以原文件名为文件名将数据存盘,而盘上以这个名字为文件名的文件原有内容作废,代之以当前内存中的数据。

如果回答

N↓

则显示

INPUT THE FILE NAME;

要起一个新的名字,以它为文件名将数据存盘,即建立了一个新文件。

将数据存盘后,立即转入镜头目录数据库管理子系统,显示菜单

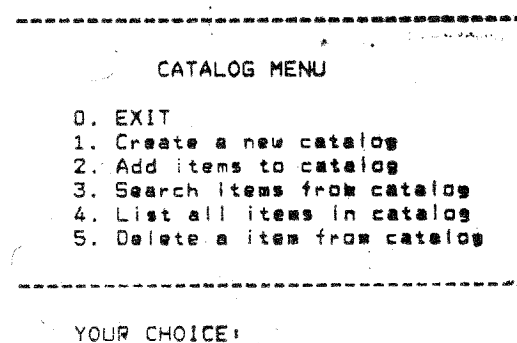


图 3-68

以后该采取什么措施,请看第三章§2。

③ 数据存盘

如果只是想把内存中的数据以文件的形式存到盘上,则键入

2↓

余下来均与(2)②相同,只是将数据存盘后不是转入镜头目录数据库管理子系统,而是返回到“建立和修改透镜数据菜单”。

顺便说一句,如果已通过这道手续将数据存盘了,返回“建立和修改透镜数据菜单”之后,用键入0退出,再次显示

STORE THE FINAL LENS DATA,O.K.?[Y/N]

时,只需键入N即可,不必再存一次。

8 利用 EDIT 进行数据文件的编辑

当数据文件存盘以后,任何时候都可以在IBM PC DOS 控制之下键入命令

EDIT<文件名>↓

对以〈文件名〉命名的文件进行全屏幕编辑。它最大的好处是可以纵观全貌，而且光标可以随便停留在文件的任何字符位置上，对其进行编辑。

如何运用EDIT全屏幕编辑程序，请参阅附录。

四、光路追迹及波差计算

光路追迹及波差计算是 CAOD 的基本功能之一。它可以计算共轴系统（包括旋转对称高次非球面）的各类像差，如赛德像差，轴向和垂轴几何像差，波像差和波色差等。计算结果除了以整齐漂亮的表格数值形式输出之外，还可以在屏幕上输出各种像差曲线图，配之以自选的比例尺、坐标，使对计算结果一目了然。

1 如何进入“光路追迹及波差计算”子菜单

启动CAOD，显示主菜单如下：

```

C.A.O.D. MAIN MENU
-----
0. EXIT
1. SET UP & MODIFY LENS DATA
2. SKEW RAY TRACE
3. ABERRATIONS ANALYSIS
4. OPTIMIZATION
5. IMAGE EVALUATION
6. OPTICAL TOLERANCE
7. COMMAND MODE

APPLIED OPTICS LAB.
ACADEMIA SINICA
-----

```

YOUR CHOICE [0 - 7]:

图 4-1

键入

2 ↵

马上清屏幕并显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT [DL.LEN].

就表明 IBM PC 已处于“光路追迹和波差计算”的子菜单控制之下，等待键入一个文件名（方括弧中的文件名是最近一次使用过的文件名，根据最近一次键入的文件名不一样，它也不一样）。如果键入的文件名命名的文件在盘上不存在，则显示

**** File does not exist. ****

接着再次显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT[ABCDEF].

要再输一次文件名。

这就说明只能对盘上已有的镜头数据文件进行光路追迹和波差计算。若盘上没有指定的镜头数据文件，则应首先采用第三章里讲的方法建立它。

若盘上有键入的文件，则将它调入内存，之后显示光路追迹子菜单：

```

-----
RAY TRACING OPTIONS
-----
0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF COLORS :
   DEFAULT VALUE = 3 MAX. NUMBER = 3
2. SELECT ZONE OF APERATURE, DEFAULT VALUE :
   ZONE : .300 .500 .710 .850 1.000
3. SELECT ZONE OF FIELD, DEFAULT VALUE :
   ZFLD : .000 .710 1.000
4. SELECT DEFOCUS .....[ .0000E+00]
5. SET UP RAY BOUND
6. TRACE RAY
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE ABERRATION CURVES
9. FETCH NEW LENS DATA FOR TRACING
-----
YOUR CHOICE:

```

图 4-2

关于第 0 项选择，即退出光路追迹功能块返回主菜单，无需多说，对其余各种选择分述如下：

2 光线的设定

在“光线追迹”菜单中的第 1、2、3、4、5 选项都是用作光线设定的。

(1) 选择色光总数

在菜单中本项之下还注明默认值是多少，以后，这个默认值指的是最近一次利用本选项设定的值；最大值是指最初建立镜头数据文件时设定的波长数。

现在键入

1 ↵

马上显示

INPUT the number of colors Ncolor.

要输入色光总数，我们键入

3 ↵

马上回到子菜单

```

-----
RAY TRACING OPTIONS
0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF COLORS :
   DEFAULT VALUE = 1 MAX. NUMBER = 3
2. SELECT ZONE OF APERATURE,DEFAULT VALUE :
   ZONE : .300 .500 .710 .850 1.000
3. SELECT ZONE OF FIELD,DEFAULT VALUE :
   ZFLD : .000 .710 1.000
4. SELECT DEFOCUS .....[ .0000E+00]
5. SET UP RAY BOUND
6. TRACE RAY
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE ABERRATION CURVES
9. FETCH NEW LENS DATA FOR TRACING
-----

```

YOUR CHOICE:

图 4-3

在第 1 项下的默认值变成 3 了。

(2) 选择带光线

在本选项下边也给出了默认值。这些值指的是最近一次利用本选项设定的值。

现在键入

2 ↵

马上显示

INPUT the number of aperture Na;

要输入带光线数, 我们键入

3 ↵

又显示

INPUT 3 aperature zones;

要输这三个带 (都是相对值), 我们键入

.5 .71 .85 ↵

立即回到子菜单

```

-----
RAY TRACING OPTIONS
0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF COLORS :
   DEFAULT VALUE = 3 MAX. NUMBER = 3
2. SELECT ZONE OF APERATURE,DEFAULT VALUE :
   ZONE : .500 .710 .850
3. SELECT ZONE OF FIELD,DEFAULT VALUE :
   ZFLD : .000 .710 1.000
4. SELECT DEFOCUS .....[ .0000E+00]
5. SET UP RAY BOUND
6. TRACE RAY
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE ABERRATION CURVES
9. FETCH NEW LENS DATA FOR TRACING
-----

```

YOUR CHOICE:

图 4-4

在第 2 项下的默认值变成刚才键入的值了。

(3) 选择带视场

在本选项下边也给出了默认值。这些值指的是最近一次利用本选项设定的值。

现在键入

3 ↵

马上显示

INPUT number of fields NFL;

要输入带视场的个数。

CAOD约定:

(1) 在计算视场个数时, 必须将 0 视场计算在内;

(2) 最多可选取 6 个带视场;

(3) 若在带视场数值前面冠以“-”号, 则表示还要输出在视场的各条带光线与镜头各面交点的高度。例如, 你选取 4 个带视场 -0 0.5 -0.7 1, 则将输出 0 视场和 0.7 视场的各条带光线在各面上的交点高度。

现在我们输入 5 个视场, 即键入

5 ↵

马上显示

INPUT 5-field zones;

要输入这 5 个带视场 (都是相对值)。我们键入

0 0.3 0.5 0.71 1 ↵

立即回到子菜单

```

-----
RAY TRACING OPTIONS
0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF COLORS :
   DEFAULT VALUE = 3 MAX. NUMBER = 3
2. SELECT ZONE OF APERATURE,DEFAULT VALUE :
   ZONE : .500 .710 .850
3. SELECT ZONE OF FIELD,DEFAULT VALUE :
   ZFLD : .000 .300 .500 .710 1.000
4. SELECT DEFOCUS .....[ .0000E+00]
5. SET UP RAY BOUND
6. TRACE RAY
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE ABERRATION CURVES
9. FETCH NEW LENS DATA FOR TRACING
-----
YOUR CHOICE:

```

图 4-5

第 3 项下的默认值也变成我们刚才键入的值了。

(4) 选择离焦量

在本选项后面的方括弧内给出了默认值。这些默认值指的是最近一次利用本选项设定的值。

现在键入

4 ↵

马上显示

INPUT defocus value;

要你输入离焦量。

CAOD约定:

往右离焦为正离焦, 往左离焦为负离焦。

我们键入

0.001 ↵

立即回到子菜单

```

RAY TRACING OPTIONS
0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF COLORS :
   DEFAULT VALUE = 3 MAX. NUMBER = 3
2. SELECT ZONE OF APERATURE, DEFAULT VALUE :
   ZONE : .500 .710 .850
3. SELECT ZONE OF FIELD, DEFAULT VALUE :
   ZFLD : .000 .300 .500 .710 1.000
4. SELECT DEFOCUS .....[ .1000E-02]
5. SET UP RAY BOUND
6. TRACE RAY
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE ABERRATION CURVES
9. FETCH NEW LENS DATA FOR TRACING

YOUR CHOICE:

```

图 4-6

第 4 项后面方括弧中的默认值变成了我们刚才键入的值。

(5) 设置光线的边界

这一选项的确切含意是: 求出各视场的光束在通过光学系统时的上、下子午边光及弧矢边光和入射参考面交点的位置。

关于拦光可用下图来说明:

① 只是实际光栏起着拦光的作用。

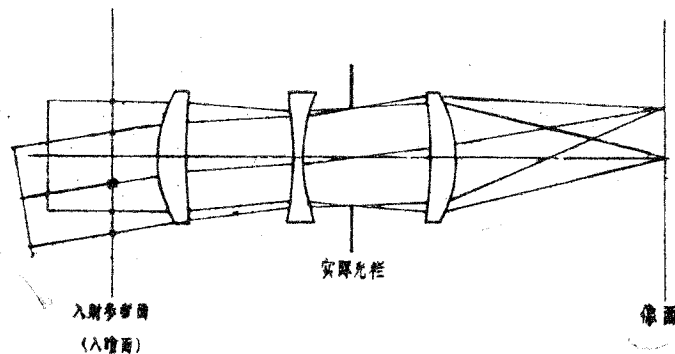


图 4-7

从图4-7可以看出, 某一视场的光束在通过光学系统时, 起到限制其“粗细”作用的是实际光栏。这时可以认为“没有拦光面”(即拦光面是指透镜)。图中·表示0视场上、下子午边光与入射参考面的交点, 0表示某一轴外视场上、下子午边光与入射参考面的交点, ×表示主光线与入射参考面的交点。

② 某些透镜面的口径起着拦光的作用(见图4-8)。从图中可以看出, 某一视场的光束

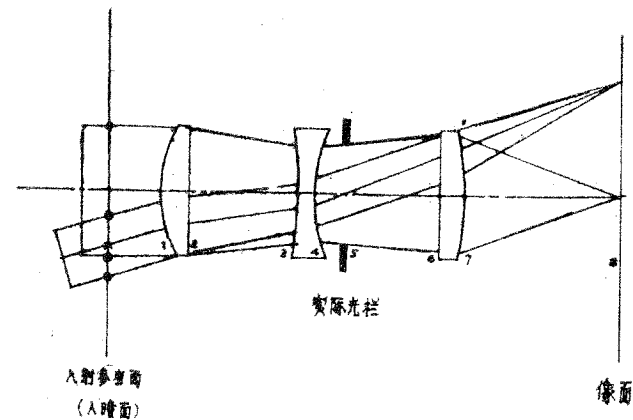


图 4-8

在通过光学系统时, 起到限制其“粗细”作用的是第 1、第 6 面。故拦光面光的序号是 1, HCA(1)是第 1 面的半通光口径; 和 6, HCA(6)是第 6 面的半通光口径。图中的 0 即表示该视场的上、下子午边光与入射参考面的交点。

Are there any vignette surface? [Y/N]

问在系统中有没有拦光面。如果回答

N ↵

表示没有拦光面, 而实际上则是把光栏作为拦光面, 把光束中通过光栏的上、下(左)、右边缘的那几根光线作为上、下子午边光及(左)、右弧矢边光, 然后返回子菜单; 如果回答

Y ↵

表示有拦光面, 接着又问

Do you want to change HCAL? [Y/N]

是否想改变该系统原来设置的那些拦光面的半孔径(最大)值。如果回答

N ↵

即承认原来设置的那些拦光面的半孔径值; 如果回答

Y ↵

就表示不承认原来设置的那些拦光面, 所以显示

INPUT the number of clippers, NCLIP;

让重新输入拦光面的个数 NCLIP, 并重复 NCLIP 次显示

INPUT SURF.NO & HCA, one by one;

让输入拦光面的面序号以及该面的半通光口径最大值, 成对地输入, 直至完了, 返回子菜单。

这里实际上是求出能通过所有拦光面的最大光束中最上、最下、最右边那三根光线在入射参考面上的交点。有了这些交点以及该视场主光线在入射参考面上的交点之后, 就可以设

```

-----
RAY TRACING OPTIONS
0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF COLORS :
   DEFAULT VALUE = 3 MAX. NUMBER = 3
2. SELECT ZONE OF APERATURE,DEFAULT VALUE :
   ZONE : .000 .300 .500 .710 .850 .000
3. SELECT ZONE OF FIELD,DEFAULT VALUE :
   ZFLD : .000 .710 1.000
4. SELECT DEFOCUS .....[ .0000E+00]
5. SET UP RAY BOUND
6. TRACE RAY
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE ABERRATION CURVES
9. FETCH NEW LENS DATA FOR TRACING
-----

YOUR CHOICE:

```

图 4-9

置带光线了。

3 追迹光线

对当前在内存中的镜头（数据）进行光路的追迹并进行波差计算。如果没有设置色光数、带光线数、带视场数、离焦量和光线边界，则均取“子菜单”中各个量的默认值。所以，如果同意这些默认值，就根本不用管“子菜单”中1~5各项。（现在的设置是图4-9）

直接键入

6. J

稍候，屏幕上显示出计算结果，图4-10。到“PRIMARY ABERRATIONS:”(初级像差)那一栏为止，各小标题的意义均已在§3.6中作了说明。下面说明其余的部分。

第1栏：各视场的渐晕情况。

- ZFLD 哪个带视场
- VUY 在入射参考面（通常是入瞳面）上，边缘子午上光线的坐标YO与轴上边光的坐标之比
- VLY 在入射参考面（通常是入瞳面）上，边缘子午下光线的坐标与轴上边光的坐标之比
- VX 在入射参考面（通常是入瞳面）上，边缘弧矢光线的坐标与轴上边光坐标之比

第2栏：轴上光线像差 (ON—AXIS RAY ABERRATIONS): 共有8列。

- ZONE 哪条带光线
- MI 像方光线对Y轴的方向余弦，相当于像方孔径角的正弦，但符号相反
- TAY 光线与像面交点的Y坐标，但符号相反，即TAY = O - Y = -Y
- OPD 以对应色光的波长为单位的光程差值，即波差值

- LA 轴向球差，即 $l' - L'$
- OSC 正弦差
- WCH32 波色差，指第3种与第2种色光的波差之差，即 $\sum (d - D)(n_3 - n_2)$
- WCH12 波色差，指第一种与第2种色光的波差之差，即 $\sum (d - D)(n_1 - n_2)$

以下的的数据均按波长，按孔径带列出。

第3栏：主光线像差 (PRINCIPAL RAY ABERRATIONS:), 共有7列。

- ZFLD 哪个带视场，若它前面冠以负号，即表示还需输出该视场的光线在各面上的高度。
- Ypr 主光线的像高
- Xs 弧矢场曲
- AST 像散
- DIST 相对畸变
- TCH12 第1色光主光线像高与第2色光主光线像高之差
- TCH13 第1色光主光线像高与第3色光主光线像高之差

第4栏：轴外像差 (OFF—AXIS RAY ABERRATIONS:), 共有8列。 以下的的数据均按

- 波长、按视场分别列出。
- W.L. = 哪个波长
- ZFLD = 哪个带视场
- Xz. 轴方向的孔径带
- Yz. 轴方向的孔径带
- LI 像方光线在X轴方向的方向余弦
- MI 像方光线在Y轴方向的方向余弦
- TAx 垂轴像差沿X方向的分量，对弧矢光线来讲，它表示弧矢轴外球差
- TAy 垂轴像差沿Y方向的分量，等于主光线像高减去该光线在像面上交点的Y坐标
- OPD 主光线的光程减去指定带光线的光程之差，单位：波长
- WCH32 波色差，即第3种色光的OPD减去第2种色光的OPD之差，单位：第1种波长

第5栏：子午光线在光学系统中各面上的高度。这只对第三栏中在ZFLD那列的数值前面有负号的视场才输出这些数据。若在那里没有冠以负号者，则根本不输出这一栏内容

至此数据输出部分全部完了。紧接着进行图形输出。CAOD 共安排了4种类型的像差曲线图输出，即：轴上光线的球差曲线和正弦差曲线图，轴外细束光像差——畸变和像散曲线图，轴外垂轴像差曲线图和光程差曲线图。

在输出各像差曲线图之前，CAOD 允许选择图形的比例尺。首先告诉该像差的最大值是多少，然后告诉作图时当前比例尺的默认值是多少（即横坐标轴的最大尺寸是多少），问是否同意这个默认值，可以根据已显示出的像差最大值对其进行调整。若同意，就回答Y；若不同意，就回答N，并输入新的比例尺。

如需把屏幕上显示的像差曲线图拷贝到打印机上，那只需在每幅图显示完了之后，同时按下 $\uparrow + \text{Prt Sc}$ 两个键即可（见附录3）。

O. K. ? [Y/N]
APPLIED OPTICS LAB., ACADEMIA SINICA
RAY TRACE
5- 4-1987 19: 2:57

DOUBLET FOR TESTING OPTIM PROGRAM
Table with columns: NO., RADIUS, SEPN, INDEX, DISPM, HCA, GL, NO GLASS. Includes rows for surface numbers 1-4 and NGL data.

NCLIP= J
Table with columns: DFO, DHO, FLO, DFI, DHI, EFL, UI, DIMA, MAG, J, DPO, DPI, SINUPI, HIMA. Includes values like -64.9990, 1.6827, etc.

[Press <Enter> to continue]

PRIMARY ABERRATIONS
Table with columns: NO., S1, S2, S3, S4, S5, C1, C2. Includes values like .032265, .004163, etc.

[Press <Enter> to continue]

Table with columns: ZFLD, VUY, VLY, VX. Includes values like .000, 1.000, -1.000, 1.000.

ON-AXIS RAY ABERRATIONS :

Table with columns: ZONE, MI, TAY, OPD, LA, OSC, WCH32, WCH12. Includes values like .58929 micron, .000, .300, etc.

[Press <Enter> to continue]
Table with columns: .850, -1.2750, .00037, .6233, .00286, .000157. Includes values like 1.000, -.14982, etc.

[Press <Enter> to continue]

PRINCIPAL RAY ABERRATIONS
Table with columns: ZFLD, Ypr, Xs, AST, DIST, TCH12, TCH13. Includes values like .710, 1.6530, .03322, etc.

[Press <Enter> to continue]

OFF-AXIS RAY ABERRATIONS :
W.L.= .58929 micron

Table with columns: ZFLD = .710, Xzon, Yzon, LI, MI, TAx, TAY, OPD, WCH32. Includes values like .000, 1.000, .00000, etc.

Table with columns: Xzon, Yzon, LI, MI, TAx, TAY, OPD, WCH32. Includes values like .300, .000, -.04501, etc.

[Press <Enter> to continue]

Table with columns: ZFLD = 1.000, Xzon, Yzon, LI, MI, TAx, TAY, OPD, WCH32. Includes values like .000, 1.000, .00000, etc.

[Press <Enter> to continue]
W.L. = .65627 micron

ZFLO = .710		LI	MI	TAx	TAy	OPD
Xzon	Yzon					
.000	1.000	.00000	-.12526	.00000	.01280	1.4973
.000	.850	.00000	-.10252	.00000	.01455	.9982
.000	.710	.00000	-.08129	.00000	.01128	.5751
.000	.500	.00000	-.04951	.00000	.00519	.1819
.000	.300	.00000	-.01935	.00000	.00156	.0375
.000	.000	.00000	.02570	.00000	-.00002	.0000
.000	-.300	.00000	.07059	.00000	-.00233	.0578
.000	-.500	.00000	.10046	.00000	-.00674	.2545
.000	-.710	.00000	.13175	.00000	-.01258	.7176
.000	-.850	.00000	.15254	.00000	-.01387	1.1478
.000	-1.000	.00000	.17467	.00000	-.00678	1.5341
.300	.000	-.04498	.02566	.00030	-.00015	-.0086
.500	.000	-.07499	.02559	.00323	-.00033	.0622
.710	.000	-.10653	.02548	.00807	-.00046	.3326
.850	.000	-.12754	.02538	.00962	-.00042	.6242
1.000	.000	-.14997	.02524	.00447	-.00010	.8963

[Press <Enter> to continue]
ZFLO = 1.000

ZFLO = 1.000		LI	MI	TAx	TAy	OPD
Xzon	Yzon					
.000	1.000	.00000	-.11518	.00000	.02422	2.6734
.000	.850	.00000	-.09232	.00000	.02340	1.8219
.000	.710	.00000	-.07100	.00000	.01832	1.1413
.000	.500	.00000	-.03912	.00000	.01001	.4618
.000	.300	.00000	-.00889	.00000	.00449	.1393
.000	.000	.00000	.03619	.00000	-.00003	.0000
.000	-.300	.00000	.08106	.00000	-.00559	.1672
.000	-.500	.00000	.11087	.00000	-.01223	.5614
.000	-.710	.00000	.14207	.00000	-.02019	1.3345
.000	-.850	.00000	.16276	.00000	-.02251	2.0196
.000	-1.000	.00000	.18477	.00000	-.01580	2.7040
.300	.000	-.04498	.03614	.00178	-.00021	.0418
.500	.000	-.07501	.03604	.00569	-.00046	.2024
.710	.000	-.10655	.03588	.01158	-.00065	.6158
.850	.000	-.12757	.03574	.01384	-.00058	1.0310
1.000	.000	-.15000	.03555	.00945	-.00014	1.4607

图 4-10(3)

[Press <Enter> to continue]
W.L. = .48613 micron

ZFLO = .710		LI	MI	TAx	TAy	OPD
Xzon	Yzon					
.000	1.000	.00000	-.12516	.00000	.00180	2.2234
.000	.850	.00000	-.10251	.00000	.01147	1.8628
.000	.710	.00000	-.08133	.00000	.01242	1.3241
.000	.500	.00000	-.04956	.00000	.00873	.6196
.000	.300	.00000	-.01939	.00000	.00464	.2093
.000	.000	.00000	.02571	.00000	.00010	.0000
.000	-.300	.00000	.07065	.00000	-.00480	.2021
.000	-.500	.00000	.10052	.00000	-.00898	.6245
.000	-.710	.00000	.13178	.00000	-.01115	1.3001
.000	-.850	.00000	.15250	.00000	-.00498	1.7142
.000	-1.000	.00000	.17452	.00000	.00990	1.7149
.300	.000	-.04502	.02567	.00308	.00003	.1298
.500	.000	-.07505	.02560	.00613	-.00003	.4115
.710	.000	-.10656	.02549	.00794	.00003	.8685
.850	.000	-.12752	.02538	.00466	.00026	1.1826
1.000	.000	-.14985	.02525	-.00932	.00065	1.1330

[Press <Enter> to continue]
ZFLO = 1.000

ZFLO = 1.000		LI	MI	TAx	TAy	OPD
Xzon	Yzon					
.000	1.000	.00000	-.11509	.00000	.01433	3.9264
.000	.850	.00000	-.09232	.00000	.02108	3.0471
.000	.710	.00000	-.07104	.00000	.01997	2.1332
.000	.500	.00000	-.03917	.00000	.01383	1.0167
.000	.300	.00000	-.00893	.00000	.00770	.3538
.000	.000	.00000	.03621	.00000	.00014	.0000
.000	-.300	.00000	.08112	.00000	-.00794	.3431
.000	-.500	.00000	.11093	.00000	-.01421	1.0203
.000	-.710	.00000	.14209	.00000	-.01823	2.0897
.000	-.850	.00000	.16272	.00000	-.01481	2.8210
.000	-1.000	.00000	.18461	.00000	.00208	3.1822
.300	.000	-.04503	.03616	.00456	.00005	.1980
.500	.000	-.07506	.03606	.00859	-.00004	.6011
.710	.000	-.10658	.03589	.01145	.00005	1.2717
.850	.000	-.12754	.03575	.00888	.00038	1.7329
1.000	.000	-.14988	.03556	-.00435	.00120	1.8966

图 4-10(4)

在最末一行数据显示完之后,按“回车”,屏幕上显示

Maximum LA = .744478
Default scale factor = .800000
O.K.? [Y/N]

告诉,该镜头的最大球差值是0.744478,当前比例尺的默认值是0.1,问同意否。同意,键入

Y

又显示

Maximnm OSC = .000111
Default scale factor = .000200
O.K.? [Y/N]

告诉,该镜头的最大正弦差值是0.000111,当前比例尺的默认值是0.0002,问同意否。同意,

键入

Y↵

则立即在天蓝色的背景上画出球差和正弦差的像差曲线图:

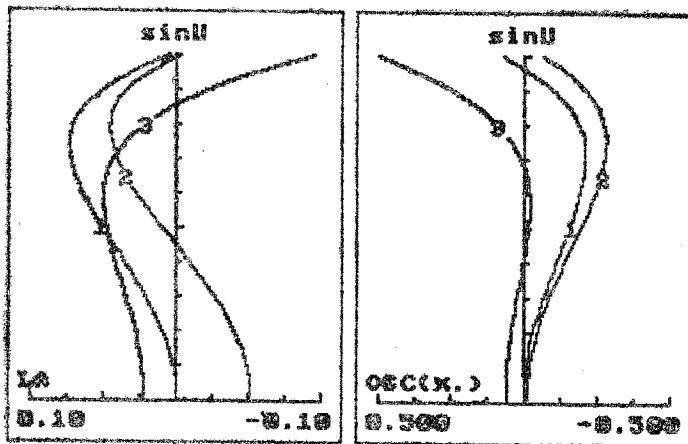


图 4-11

在图中, 纵坐标代表物方孔径角的相对分划值。横坐标已注明, 无需重述。在 OSC 后面的括弧中的%。表示图中的横坐标值应乘以0.001, 若括弧中是%, 则表示应乘以0.01。在曲线上标出的数字则表示是对应于哪种波长的曲线。

按“回车”后, 清屏, 又显示

```

Maximum Xs, Xt= .497097
Default scale factor= .800000
O.K.? [Y/N]N
Input the scale factor: .5
Maximum DIST= .001033
Default scale factor= .002000
O.K.? [Y/N]N
Input the scale factor: .0015

```

接着显示轴外细光束像差——像散和畸变的像差曲线图:

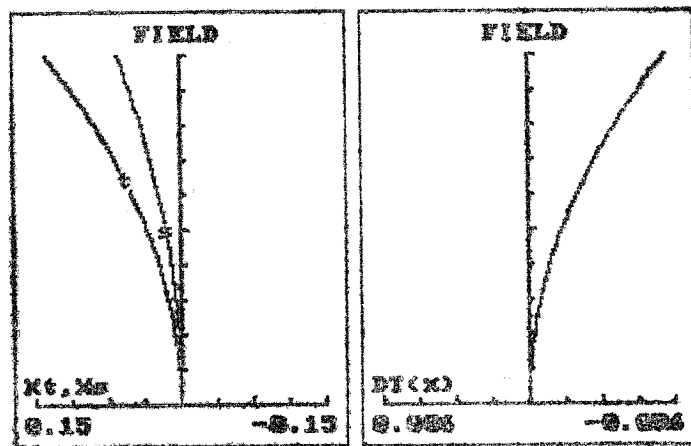


图 4-12

图中, 纵坐标为相对带视场 (按视场角或物高划分)。在 X_s, X_t 的图中曲线上注有字母 t 的, 表示子午场曲 X_t , 注有字母 s 的, 表示弧矢场曲 $X_s = l' - l'_0$ 。在 DT 后面括弧中的%表示图中的横坐标值应乘以0.01。

按“回车”后, 清屏, 又显示

```

Maximum transverse ABN.= .19091
Default scale factor= .20000
O.K.? [Y/N]
Maximum O.P.D. [Waves]= 4.74846
Default scale factor= 5.00000
O.K.? [Y/N]

```

接着按视场显示轴外垂轴像差的TA, 和TA, 像差曲线图:

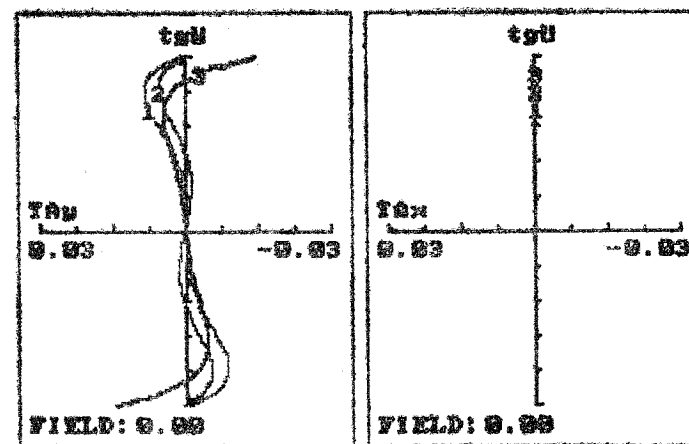


图 4-13(1)

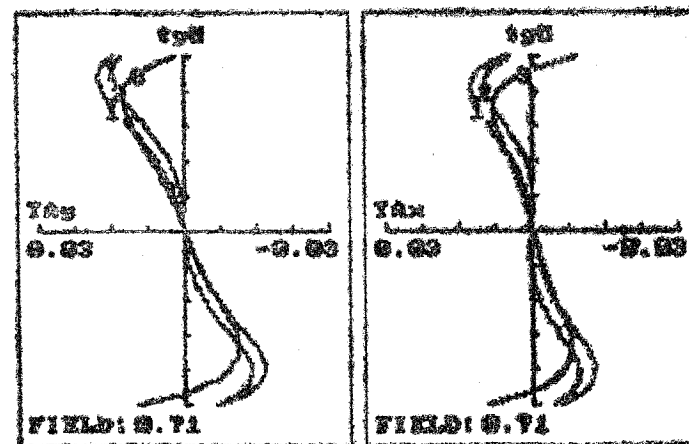


图 4-13(2)

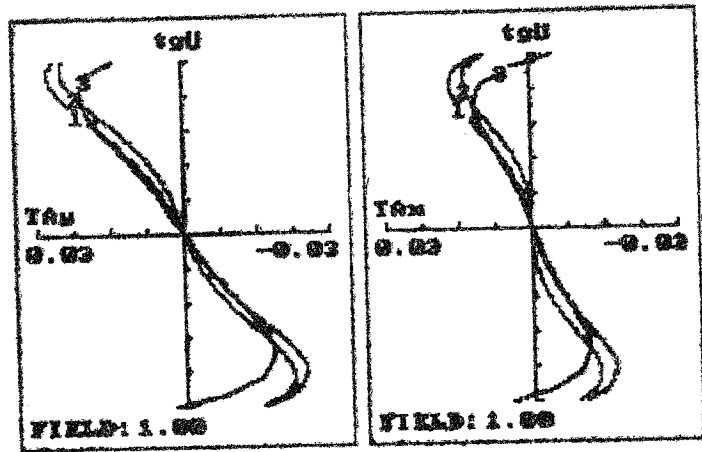


图 4-13(3)

在每幅图中的底部标明是哪个视场的。TA的下标 y 表示是子午的，下标 x 表示是弧矢的。具体计算公式是：

$TA_y =$ 主光线像高 - 对应视场的指定孔径的光线像高。

$TA_x =$ 轴外视场弧矢光线垂轴像差的 x 分量。

图中的纵坐标是物方孔径带。

当所有视场的 TA_y 、 TA_x 像差曲线图全部显示完了之后，又按视场显示光程差OPD，和 OPD_x 的像差曲线图：

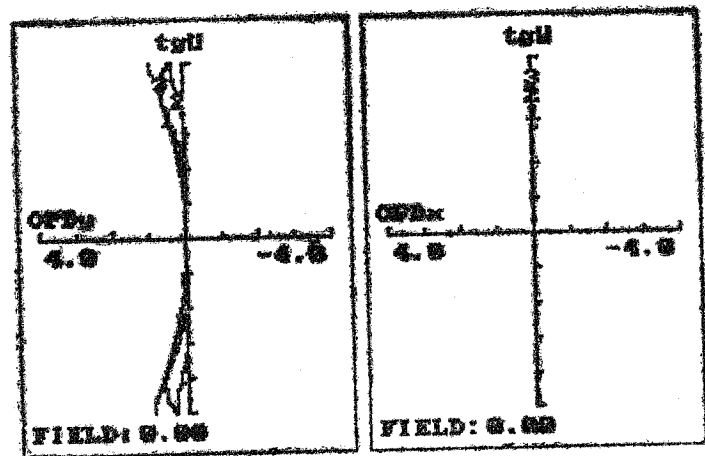


图 4-14(1)

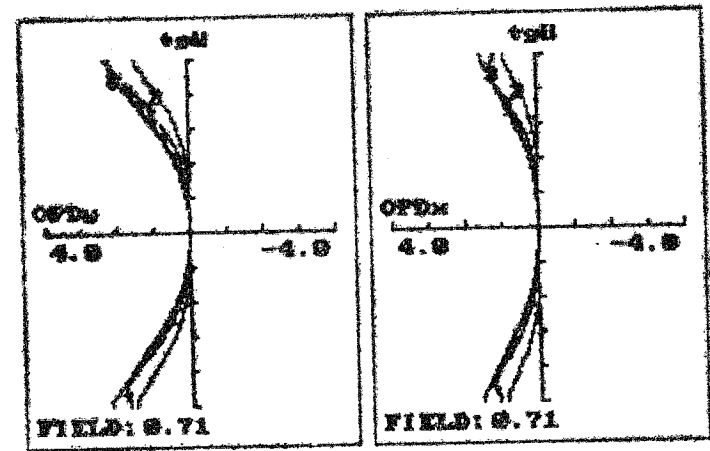


图 4-14(2)

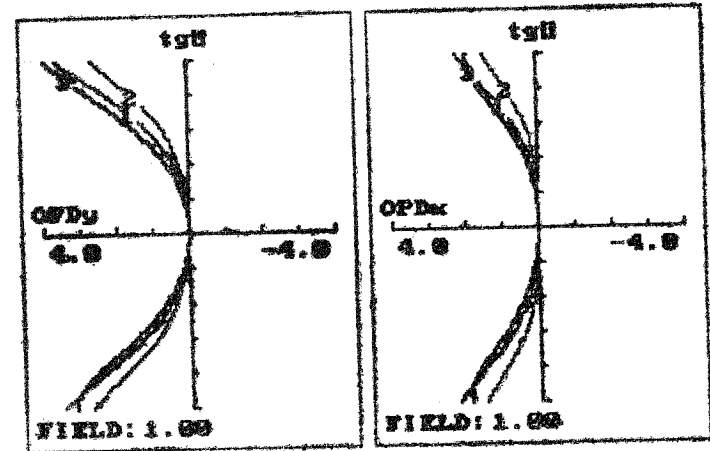


图 4-14(3)

图中 OPD_y 是子午光线的光程差， OPD_x 是弧矢光线的光程差。单位都是波长。

4 输出结果

当光线追迹像差计算完了之后，即可进行结果的输出。直接在子菜单

RAY TRACING OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF COLORS •
DEFAULT VALUE = 3 MAX. NUMBER = 3
2. SELECT ZONE OF APERTURE, DEFAULT VALUE :
ZONE : .300 .500 .710 .850 1.000
3. SELECT ZONE OF FIELD, DEFAULT VALUE :
ZFLD : .000 .710 1.000
4. SELECT DEFOCUS [.0000E+00]
5. SET UP RAY BOUND
6. TRACE RAY
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE ABERRATION CURVES
9. FETCH NEW LENS DATA FOR TRACING

YOUR CHOICE: 7

图 4-15

之下，键入

7 ↵

马上显示

SELECT the output device[1=CRT,2=Printer,3=disk].

意思是可以把结果在CRT上再次显示出来，或输出到打印机上，或保存到磁盘上。

若想再显示一遍，则键入

1 ↵

若想在打印机上打印出来，则键入

2 ↵

若想保存到磁盘上，则键入

3 ↵

接着显示

INPUT the file name:

要输入文件名，选好名字之后，键入它，CAOD 就将刚才计算的结果以这个文件名为文件名写到盘上。

注意，如果根本没进行光线追迹就要求输出结果，那么在输出了结构参数之后，各像差值均为0。

5 输出像差曲线

在子菜单控制下，键入

8 ↵

这时只输出像差曲线图。即相当于§4.3中的输出图形部分。这主要是为了再次看曲线图，不必重新去追迹光线和显示像差数据。但图形的比例尺还是需要再次设置的，万一在第一次设置得不合适时，在这里还可以改。

6 取新的镜头数据进行光路追迹

在子菜单控制下，键入

9 ↵

显示

SPECIFY THE FILENAME FOR INPUT:

让输入感兴趣的文件名。此后，又返回子菜单。

之所以给提供这一选项，是为了不必退出这个功能块就可以对另一个镜进行光线计算，免去了退回到主菜单再进入子菜单的麻烦，节约了时间。有一点需说明，这时子菜单中各项默认值又都恢复成初态，即CAOD为你设置的值。

五、像 差 分 析

在进行透镜设计的过程中，常常需要知道光学系统中各个面产生像差的情况，或者说需要知道像差在各个面的分布状况，从中找出改善成像质量的线索。为此，CAOD 提供了像差分析这一基本功能。它能够对轴上光束计算初级、二级和实际像差的面分布，并把实际像

差与初级、二级像差之差视为高于二级和由二级衍生出来的像差。对于轴向色差，除了计算第二、三色光的波色差 $(d-D)\delta n_{32}$ 之外，还计算出第一、二色光的波色差 $(d-D)\delta n_{12}$ ，以便对复消色差的分析提供依据。对于轴外光束的情况，它计算了初级和实际像差的面分布，并将其差值视为高级量。因此，这一功能块适用于大孔径、中等视场的光学系统的像差分析。目前，暂时限于同轴球面系统。

1 如何进入“像差分析”子菜单

启动 CAOD，显示主菜单如下：

```

C.A.O.D. MAIN MENU
-----
0. EXIT
1. SET UP & MODIFY LENS DATA
2. SKEW RAY TRACE
3. ABERRATIONS ANALYSIS
4. OPTIMIZATION
5. IMAGE EVALUATION
6. OPTICAL TOLERANCE
7. COMMAND MODE

APPLIED OPTICS LAB.
ACADEMIA SINICA
-----

```

YOUR CHOICE [0 - 7]:

图 5-1

键入

3 ↵

马上清屏幕并显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT:

这就表明IBM PC已处于“像差分析”的子菜单控制之下，等待键入一个文件名（方括弧中的文件名是最近一次使用过的文件名，视为默认值）。如果该文件不存在，则显示

**** File does not exist.****

且再次显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT:

要再输一次文件名。

若盘上有键入的文件，则将它调入内存，并显示“像差分析”子菜单：

```

-----
ABERRATIONS ANALYSIS
0 -- EXIT
1 -- CALCULATE AND DISPLAY D.O.A.
2 -- CALCULATE AND PRINT D.O.A.
3 -- CALCULATE AND SAVE TO DISK
4 -- FETCH A NEW LENS DATA
-----

```

YOUR CHOICE:

图 5-2

这里,除了第0项和第4项外,都是进行像差分析的计算,结果都一样,只是输出的外设不同。下面只对输出结果中的各项含义作一说明

2 输出的结果

输出的结果共分8个栏目。

第1栏:结构参数。(详见§3.6)。

第2栏:高斯光学特性值。(详见§3.6)。

接着下面标有

DISTRIBUTION OF ABERRATION

第3栏:近轴边光及近轴主光线的高度和角度值:

- h 近轴边光在各面上的高度
- u 近轴边光在各面上的入射倾角
- i 近轴边光在各面上的入射角
- ii 近轴边光在各面上的折射角
- h_p 近轴主光线在各面上的高度
- u_p 近轴主光线在各面上的入射倾角
- i_p 近轴主光线在各面上的入射角
- ii_p 近轴主光线在各面上的折射角两端标有 SURF,其下面给出面序号。

第4栏:标有Color aberrations,即色差。

- Lch1 初级色差系数
- Lch2 二级色差系数
- Lch3 高级色差系数
- Lch 实际色差系数

它们之间的关系是:

$$Lch = Lch1 + Lch2 + Lch3$$

而且都是相对于第二、三色光而言的色差系数。

在Coef那一行给出了相应列的各面色差系数之和。

在Aber那一行给出了相应列的色差值。

OPD32 镜头中各面的 $(d - D)\delta n_{32}$,即实际轴向波色差的面分布。

OPD12 镜头中各面的 $(d - D)\delta n_{12}$,即实际轴向波色差的面分布。

其中d是轴上间隔,D是孔径边光在各面之间沿光线行进的距离。 δn 表示色散,其下标32表示第3种色光与第2种色光的折射率之差,其下标12表示第1种色光与第2种色光的折射率之差。

在Coef那一行给出了相应列的像差系数之和;Aber那一行给出了相应列的轴向色差值。

Tch1 初级倍率色差系数的面分布

Tch2 二级以上倍率色差系数的面分布

Tch 实际倍率色差系数的面分布

它们是第2种和第3种色光的像高差异的度量。在Aber那一行给出了相应列的像高差异。

第5栏:标有On-axis aberrations,即轴上像差。

Henter = 轴上边光与入射参考面(入瞳面)交点的高度

SA1 初级球差系数的面分布

SA2 二级球差系数的面分布

SA3 高级球差系数的面分布

SA 实际球差系数的面分布

OSC1 初级彗差系数的面分布

OSC2 二级彗差系数的面分布

OSC3 高级彗差系数的面分布

OSC 实际彗差系数的面分布

Yap 所计算的轴上边光在各面的高度

Map 所计算的轴上边光在像方的Y方向上方向余弦

Aber 那一行给出了相应列的轴向球差和彗差

第6栏:标有Principal ray aberrations即主光线、邻主光线细光束像差。

Ypo = 主光线与入射参考面(入瞳面)交点的高度

Ast1 初级像散系数的面分布

Ast2 初级以上像散系数的面分布

Ast 实际像散系数的面分布

Xs1 初级弧矢场曲系数的面分布

Xs2 二级以上弧矢场曲系数的面分布

Xs 实际弧矢场曲系数的面分布

Dist1 初级畸变系数的面分布

Dist2 初级以上畸变系数的面分布

Dist 实际畸变系数的面分布

Aber那一行给出了相应列的像差值(畸变是相对畸变值)。

第7栏:标有Transverse ray aberrations即垂轴像差

在第一行给出了所计算的两条子午光线:A,B。在它们的后边紧接着标出它们在入射参考面上的绝对坐标Y₀和相对坐标Y_r。

TAy1a A光线的初级垂轴像差系数面分布

TAy2a A光线的初级以上垂轴像差系数面分布

TAya A光线的实际垂轴像差系数面分布

TAy1b B光线的初级垂轴像差系数面分布

TAy2b B光线的初级以上垂轴像差系数面分布

TAyb B光线的实际垂轴像差系数面分布

Ypr 主光线在各面上的高度

Ya A光线在各面上的高度

Yb B光线在各面上的高度

Mp 主光线在像方Y方向上的方向余弦

Ma A光线在像方Y方向上的方向余弦

Mb B光线在像方Y方向上的方向余弦

```

[Press <Enter> to continue]
APPLIED OPTICS LAB., ACADEMIA SINICA          5- 4-1987  19:23:20
P.O.BOX 1024 CHANGCHUN, JILIN
DOUBLET FOR TESTING OPTIM PROGRAM
NS      UO      H1      UPO      ISTOP
4      .000000  10.000  -2.000  2
NO.     RADIUS  SEPN    INDEX   DISPN    HCA    GL.NO  GLASS
1      41.1340  -4.164  1.000000 .0000000  10.072  0
2      -29.5272  6.000  1.5162990 .0080515  10.072  1  K9
3      -84.3144  3.000  1.6724998 .0208597  9.644  2  ZF2
4      .0000  62.470  1.0000000 .0000000  2.345  0
NGL    NW      1 WL      2 WL      3 WL
2      3      .5892938  .6562725  .4861327
1      K9      1.5162990  1.5138939  1.5219454
2      ZF2      1.6724998  1.6665994  1.6874591
NCLIP= 0
      DFO      DHO      FLO      DFI      DHI
      -64.9990  1.6827  -66.6817  62.4699  -4.2118
      EFL      UI      DIMA      MAG      J
      66.6817  .149766  62.4699  .0000  .3492
      DPO      DPI      SINUPO  SINUPI  HIMA
      4.1638  -1.8198  -.034899  -.036198  2.3286
[Press <ENTER> to continue]
##### DISTRIBUTION OF ABERRATION #####
SURF   h      u      i      ii     hp      UP      ip      lip     Surf
1      10.000  .00000  .24311  .16033  -.145  -.03490  .03137  .02069  1
2      9.503   .08278  -.40463  -.36684  .000  -.02422  .02422  .02196  2
3      9.368   .04499  -.15610  -.26108  .066  -.02196  .02118  .03542  3
4      .000    .14997  -.14997  -.14997  2.327  -.03620  .03620  .03620  4
[Press <ENTER> to continue]
Color aberrations :
SURF   Lch1   Lch2   Lch3   Lch   OPD32  OPD12  Tch1   Tch2   Tch
1      .012909  .000062 .000090 .013061 .000000 .000000 .001666-.000002 .001663
2      -.041760-.001204-.001469-.044433 .023142 .006913 .002500-.000016 .002484
3      .030505 .000255 .000522 .031282-.023187-.006559-.004138 .000017-.004121
4      .000000 .000000 .000000 .000000 .000000 .000000 .000000 .000000 .000000
Coef   .001654-.000887-.000857-.000090-.000045 .000354 .000027-.000001 .000026
Aber   .07355  -.03943  -.03813  -.00401  -.00401  .03149  .00018  -.00001  .00017
[Press <ENTER> to continue]
On-axis aberrations : Henter = 10.0000
Surf   SA1     SA2     SA3     SA     OSC1    OSC2    OSC3    OSC     Yap
1      .03226  .00100  .00004  .03330  .00416  .00013  .00000  .00430  10.000
2      -.09907  -.01131  -.00488  -.11526  .00593  .00068  .00029  .00690  9.736
3      .07859  .00257  .00099  .08214  -.01066  -.00035  -.00013  -.01114  9.559
4      .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  -.001
Coef   .01178  -.00775  -.00395  .00018  -.00057  .00046  .00016  .00005  Map
Aber   .26197  -.17224  -.08565  .00409  -.00081  .00066  .00023  .00007  -.150
[Press <ENTER> to continue]
Principal ray aberrations : Ypo = .0000
Surf   Ast1   Ast2   Ast   Xs1   Xs2   Xs   Dist1  Dist2  Dist
1      .00054  .00000  .00054  .00155  .00000  .00155  .00020  .00000  .00020
2      -.00035  .00000  -.00036  -.00061  .00000  -.00061  .00004  .00000  .00004
3      .00145  .00000  .00145  .00203  .00000  .00203  -.00028  .00000  -.00028
4      .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000
Coef   .00163  .00000  .00163  .00297  .00000  .00296  -.00004  .00000  -.00004
Aber   .0724  -.0001  .0723  .0659  .0000  .0659  -.00006  .00000  -.00006

```

图 5-3(1)

[Press <ENTER> to continue]

```

Transverse ray aberrations :
Ray A: Yo= 10.245 Yr= 1.0245 Ray B: Yo= -10.245 Yr=-1.0245
Surf   TAY1a  TAY2a  TAYa  TAY1b  TAY2b  TAYb  Ypr  Ya  Yb
1      .02396  .00252  .02648  -.01147  -.00117  -.01264  -.145  10.144  -10.344
2      -.04148  -.01117  -.05265  .05927  .01643  .07570  .000  9.954  -10.020
3      .02649  .00349  .02997  -.05847  -.00652  -.06499  .066  9.857  -9.748
4      .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  2.329  2.303  2.342
Coef   .00896  -.00517  .00380  -.01067  .00874  -.00193  Mp  Ma  Mb
Aber   .05978  -.03446  .02532  -.07114  .05828  -.01286  .03620  -.11895  .18836
[Press <ENTER> to continue]

```

```

Transverse ray abns.-- Ray C: Xo =10.2429 Xr = 1.0243
Surf   TAY1c  TAY2c  TAYc  TAx1c  TAx2c  TAx  Yc  Xc
1      .00208  .00021  .00229  .01717  .00180  .01897  -.100  10.243
2      .00296  .00059  .00355  -.05002  -.01357  -.06359  -.029  9.985
3      -.00533  -.00046  -.00579  .04103  .00484  .04587  .061  9.801
4      .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  2.328  -.008
Coef   -.00028  .00034  .00005  .00819  -.00694  .00125  Lc  Mc
Aber   -.00189  .00224  .00034  .05460  .00224  .00835  .03552  -.15366

```

图 5-3(2)

Aber那一行给出了相应列的像差值。

第8栏: 标有 Transverse ray abns. 即垂轴像差, 后面跟有光线C, 表示计算的是弧矢光线, 接着标出它在入射参考面上的绝对坐标 X_0 和相对坐标 X_r 。由于弧矢光线是空间光线, 故在X、Y方向上均有像差分量。

TAY1c C光线的初级垂轴像差系数面分布

TAY2c C光线的初级以上垂轴像差系数面分布

TAYc C光线的实际垂轴像差系数面分布

TAx1c C光线的初级弧矢像差系数面分布

TAx2c C光线的初级以上弧矢像差系数面分布

TAxc C光线的实际弧矢像差系数面分布

Yc, Xc C光线在各面交点的Y, X坐标

Lc, Mc 是C在光线像方Y轴和X轴方向上的方向余弦。

六、像差优化

像差优化, 即自动光学设计, 是CAOD 的最重要的功能之一。优化的目的是在给定的—组物理约束或其它约束条件下, 产生一个尽可能最优的光学系统。所谓“最优”, 是由一个叫做评价函数的数值来衡量的。这个函数值越小, 就认为这个光学系统的质量越优。当然, 实际情况要复杂得多, 远远没有这么简单。但是, 仅就在优化过程中控制的那些具体的像差而言, 在用户有一定的像差理论基础和实际设计工作经验的情况下, 仔细考虑选择变数, 适当设定目标值和权因子, 确实是能够取得较优或最优的结果。

在具体介绍使用程序之前, 先介绍一些有关的基本概念和术语。

1 像差优化设计简介

(1) 评价函数

为了在一定程度上反映光学系统像差情况的优劣，我们给它订了一个指标，叫做“评价函数”。它是这样构成的：在优化过程中受控制的各种像差与它相应的目标值之差乘以表征这个像差在评价函数中的重要性的权因子，将它们平方起来再求和，这是第一部分；还有一部分是各独立变量的增量乘以表征这个变量在全体变量中地位的权因子，将它们平方起来再求和。后者的作用是限制各独立变量只是在初始出发点的邻域内变化，以保证算法的有效性，即所谓的“阻尼”。用数学公式来表达就是：

$$\varphi = \sum_{k=1}^m f_k^2 + p \sum_{j=1}^n (q_j \cdot x_j)^2$$

其中：m是受到控制的像差的个数；n是独立变量的个数；

p是阻尼因子，标志着独立变量的增量在φ中的相对重要性；

q_j是表征各独立变量相对重要性的权因子；

x_j是各独立变量的增量。在CAOD中，目前可做为独立变量的只限于光学系统结构参数中的各表面半径和各表面之间的轴上距离。至于光学玻璃，以其性能参数作为独立变数，理论上并无困难，只是由于这些性能参数离“连续变化”这一要求甚远，所以其实际效果并不理想，反而浪费了时间。作为补偿，CAOD给提供了极为方便的更换玻璃的手段。非球面系数作为独立变量的问题、变焦系统的优化问题，在即将发行的新版中将成为重点考虑的对象。

f_k是要优化的像差函数。详见§6.1.2。

显然，这样定义的评价函数确实能在一定程度上反映这个光学系统像差的优劣。因为只有当且仅当像差函数接近其目标值时，f_k才趋近于0，从而φ趋近于0。这样一来，像差优化问题就可以这样来描述：

在一组约束条件下，自动选取独立变量的值，使φ达到极小值。优化过程就是使φ向极小值前进的过程。

CAOD采用阻尼最小二乘法求φ的极小值。

(2) 像差函数

在评价函数中的像差函数定义如下：

$$f_k = w_k \cdot (g_k - g_k^*), \quad k = 1, \dots, m$$

其中：

w_k是表征这个像差在评价函数中相对重要性的权因子；

g_k是光学系统的实际“像差”。在CAOD中，我们共选取了25种“像差”，它们是：

- S1 初级球差
- S2 初级彗差
- S3 初级像散
- S4 初级匹兹瓦和
- S5 初级畸变
- C1 初级轴向色差
- C2 初级垂轴倍率色差
- UI 像方近轴光线最大孔径角
- LAm 轴上边光球差

OSC 正弦差

WCH32 波色差，指第3种与第2种色光的波差之差，即Σ(d-D)(n₃-n₂)

WCH12 波色差，指第1种与第2种色光的波差之差，即Σ(d-D)(n₁-n₂)

第一个视场的：

Xs 弧矢场曲

AST 像散

Kt 子午彗差

LA_t 子午球差

Dist 相对畸变

Tch 第3种色光主光线像高减去第2种色光主光线像高的差

第二个视场的：

Xs 弧矢场曲

AST 像散

Kt 子午彗差

LA_t 子午球差

Dist 相对畸变

TAx 垂轴像差沿X方向的分量，对弧矢光线来讲，它来示弧矢轴外球差

TAY 垂轴像差沿Y方向的分量，等于主光线像高减去该光线在像面上交点的Y坐标

由上可见，我们是选取了两个视场来计算像差的。至于是哪两个视场，则在输入数据时由用户自己选定。每个视场要计算哪条带光线也由用户在输入数据时指定。

g_k^{*}是上述25个像差的目标值，即你想让这些像差将来达到的值。这些目标值也是在输入数据时，由用户依次设定。在设定时，要根据具体要求，该是多少，就是多少。不一定全设成0就是最佳设置。

(3) 权因子

权因子w_k是表征各种像差g_k在φ中相对重要性的常数因子，在输入初始数据时由用户一一设定。权因子有两方面的作用：首先，由于各种像差可能有数量级的差别，它们需要分别乘上一个比例因子来消除这种差异。这一部分的工作由CAOD自动完成。其次，根据用户的要求，为了着重地校正某几种像差，可以用加大它们的权因子的方法来实现，这才是要求输入的部分。在CAOD中，对设定的权是做了规化的，故对所有的像差都给权100和都给权1是一样的效果。如果对25种像差中的某几种像差不加控制，则可令对应的权因子为0。

适当选取权因子不仅可以控制迭代过程的收敛方向，还可以控制像差的变化速度，以尽快达到预定的要求。

(4) 阻尼因子

由评价函数的定义可知，阻尼因子有两种，一个是p，它标志着像差部分和自变量增量部分在整个φ中的相对重要性，p起着限制各自变量的变化量的作用，以便保证阻尼最小二乘法算法的有效性。当然，如果把p选得过大，就会使迭代过程的收敛速度过慢；如果把p取得太小，就可能导致迭代过程的发散，因此，如何选取合适的权因子，显然是非常重要的。在具体实现上，CAOD采取了两点措施：一是把评价函数中第二个求和号拆成两部分，一部分是专指自变量是半径的增量，另一部分是专指自变量是间隔的增量，各自的阻尼因

子分别记作 p_r 和 p_d , 即

$$\varphi = \sum_{k=1}^m f_k^2 + p_r \sum_{j=1}^{n_1} (q_j \cdot x_j)^2 + p_d \sum_{j=n_1+1}^n (q_j \cdot x_j)^2$$

在开始时, 令 $p_r = 1$, $p_d = S \cdot p_r$, 其中 S 也可以看作是间隔的增量相对半径的增量的相对重要性。一般取 S 是小于 1 的常数。

第二个措施是自动调节 p_r 。调节 p_r 的原则是:

若 $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1 - \varphi_{line}} < 0.5$, 则 $p_r = 4p_r$

若 $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1 - \varphi_{line}} > 0.9$, 则 $p_r = 0.25p_r$

若 $0.5 \leq \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1 - \varphi_{line}} \leq 0.9$, 则 p_r 不变

其中 φ_1 是本次迭代前的评价函数, 即

$$\varphi_1 = \sum_{k=1}^m f_{k0}^2$$

φ_2 是本次迭代后的评价函数, 即

$$\varphi_2 = \sum_{k=1}^m f_k^2$$

φ_{line} 是 φ_2 的线性部分, 即 φ_2 中的像差展开成泰勒级数时只取零次项和一次项:

$$\varphi_{line} = \sum_{k=1}^m \left(f_{k0} + \sum_{j=1}^n a_{kj} \cdot x_j \right)^2$$

其中

$$a_{kj} = \frac{\partial f_k}{\partial x_j}$$

这样来调节 p_r 的直观解释是: 比值

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1 - \varphi_{line}}$$

体现了由于自变量的变化而使 φ 发生变化呈线性的程度。这个比值越接近 1, 说明线性程度越好, 反之, 越差。由于线性程度好, 才可以减小阻尼因子 p_r , 在程序中给出提示

**** Linearity is quite good ****

由于线性程度差, 即这个比值小于 0.5, 说明应增大阻尼因子 p_r , 在程序中给出提示

**** Linearity is bad ****

在线性程度“适中”的情况下, 保持 p_r 不变。

另一种阻尼因子是根据各独立变量增量的相对重要性确定的, 即 q_j , 这种阻尼因子无需去设置, CAOD 已经为设置好了, 即

$$q_j = \left(\sum_{k=1}^m a_{kj}^2 \right)^{1/2}$$

其中

$$a_{kj} = \frac{\partial f_k}{\partial x_j}$$

这样选取 q_j 的直观解释是: 某个独立变量越“活跃”, 即由阻尼最小二乘法解得的增量对像差函数的影响越大, 就给这个增量加上比较大的阻尼, 而

$$\sum_{k=1}^m a_{kj}^2$$

恰恰反映了这种影响, 迫使 x_j 取较小的步长。

上面介绍的是 CAOD 内部对阻尼因子的处理情况, 实际上用户在进行优化时根本不必去管它。

(5) 变量结组

所谓变量结组就是指某一独立变量变化时, 另一个量也应跟着作相应的变化, 比如系统中某个玻璃单元作“弯曲变化”, 当选取该单元的第一面半径作为独立变量时, 为保证是“弯曲”变化, 那么它的第二面半径一定要相应地作出变化, 前者叫主动变量, 后者叫被动变量。它俩就叫“结组”的变量。又比如系统中某个玻璃单元在一定的轴上间距内作“平移”变化, 那么当选取该单元前面的轴上间距作独立变量时, 为保证是“平移”变化, 那么该单元后面的轴上间距必须跟着作出相应变化, 前者叫主动变量, 后者叫被动变量, 它俩也是“结组”的。其它情况还有“对称变化”、“反对称变化”、“折反系统”中光线两次通过同一个表面等, 都可以考虑为结组变量。

结组方式又分两种: 正结组和负结组。

正结组是指结组的两个变量的变化量的代数差为 0。例如透镜的“弯曲”。当透镜的第一面半径变化量 ΔR_1 时, 为保证是“弯曲”, 第二面半径变化量 ΔR_2 应和 ΔR_1 有下述关系:

$$\Delta R_1 - \Delta R_2 = 0$$

即 $\Delta R_1 = \Delta R_2$ 。

负结组是指结组的两个变量的变化量的代数和为 0。例如一片透镜在某个指定长度的轴上间距范围内作“平移”, 寻找其最佳位置。设这片透镜之前的轴上间距变化量是 Δd_i , 这片透镜之后的轴上间距变化量是 Δd_{i+2} , 为保证是“平移”, 则 Δd_i 和 Δd_{i+2} 应满足下述关系:

$$\Delta d_i + \Delta d_{i+2} = 0$$

即 $\Delta d_i = -\Delta d_{i+2}$ 。

(6) 约束条件

约束条件也叫边界条件, CAOD 是这样安排的:

对于轴上间隔: 若介质是空气, 则当此间隔小于 0.01 时, 认为此间隔违反了边界条件; 若介质是玻璃, 则当此间隔小于 1 时, 认为此间隔违反了边界条件。一旦违反, 立即将此间隔从独立变量的队伍中清除, 即所谓“冻结”。然后把解还原到前次迭代的状态, 重新求解。由于该间隔已不是变量, 当然获得之新解也就不存在在该间隔违反边界条件的问题了。经五次迭代之后, 情况发生了变化, 再将其“假释”, 即恢复其作独立变数的资格试试看。若不再违反, 当然继续作为独立量; 若再次违反, 则再次“冻结”。

对于边缘光线的间隔: 取两条光线作标准, 一条是轴上的边缘光线, 一条是轴外光线的可能的最边缘光线。二者之中无论哪一个小于零, 均视为违反边界条件。一旦违反, 就将那条边缘光线的间隔暂且充作“像差”。对玻璃介质, 以 0.5 为其目标值; 对空气介质, 以 0.05 为其目标值。然后将它作为评价函数的一项, 且给予相当大的权因子, 参与极小化过程。若连

续三次迭代之后, 对于介质是空气的, 此间隔都大于0, 或者对于介质是玻璃的, 此间隔都大于0.3, 则不再将它视为“像差”, 即从“像差”函数的队伍中清除。若再次违反, 仍按上述办法处理。

关于后工作距离, 处理方法与边缘光线间隔的处理方法相同。即如果后工作距离小于指定的下限 (这个下限, 在输入初始数据时, 是要输入的, 即 BWDL), 就视为违反边界条件。一旦违反, 就将它也暂时充作“像差”, 以 $1.05 \times BWDL$ 作为其目标值。然后作为评价函数的一项, 且给予相当大的权因子, 参与极小化过程。若连续三次迭代之后, 它的值均在 BWDL 以上, 则不再将它视为“像差”, 即从“像差”函数的队伍中清除。若再次违反, 仍按上述办法处理。

在发生任何边界条件违反情况时, 程序都实时地通报。

2 如何进入“像差优化”子菜单

启动CAOD, 显示主菜单如下:

```

C.A.O.D. MAIN MENU
-----
0. EXIT
1. SET UP & MODIFY LENS DATA
2. SKEW RAY TRACE
3. ABERRATIONS ANALYSIS
4. OPTIMIZATION
5. IMAGE EVALUATION
6. OPTICAL TOLERANCE
7. COMMAND MODE

APPLIED OPTICS LAB.
ACADEMIA SINICA
-----

YOUR CHOICE [0 - 7]: 4.

```

图 6-1

键入

4 ↵

马上清屏幕并显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT [HUANG.LEN];LENS75.LEN

就表明IBM PC已处于“像差优化”控制之下, 等待键入一个文件名 (方括弧中的文件名是最近一次从盘上读取文件时所用的文件名, 作为文件名的默认值)。如果要的文件在盘上不存在, 则显示

**** File does not exist. ****

接着再次显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT;

要再输一次文件名。

如果文件存在, 则将该文件调入内存。现在 CAOD 开始检查刚读入的这个文件。如果在该文件中没有“像差优化”这一块的专用数据, 则立即显示

Number of Variable Radii(MAX.40);NVR =

要输入“像差优化”的专用数据, 这个是第1个, 即要求输入可作为变量的半径的数目 NVR, 并告诉你这个数目不得超过40个。输入后, 只要 $NVR \neq 0$, 就显示

INPUT nvr VARIABLE RADIUS NO.;

要输入nvr个可变半径的序号。(这里, nvr是NVR的实际数值)。若 $nvr = 0$ 就不显示这一项目了。

又显示

Number of Variable Distances(MAX.40);NVD =

要输入可作为变量的间隔的数目NVD, 并告诉你这个数目不得超过40个。只要 $nvd \neq 0$, 就显示

INPUT nvd VARIABLE DISTANCE NO.;

要输入nvd个可变间隔的序号。若 $nvd = 0$, 就不显示这一项目了。

又显示

Number of R Groups(MAX.10);NDR =

要输入半径结组的数目ndr, 且最大值为10。如果 $ndr \neq 0$, 则显示

INPUT ndr PAIRS OF RADIUS NO.;

要输入ndr对结组的半径序号。注意, 成对地输, 先输被动的, 且, 如果是负结组, 应在该序号前冠以负号, 后输主动的, 即前面的是跟后面的结组, 而后面的才是独立变化的。若 $ndr = 0$, 则不显示这一项。

又显示

Number of D Groups(MAX.10);NDD =

要输入间隔结组的数目ndd, 且最多不得超过10。如果 $ndd \neq 0$, 则显示

INPUT ndd PAIRS OF DISTANCE NO.;

要输入ndd对结组的间隔序号。也是成对地输, 从动者在前, 且, 如果是负结组, 应在该序号前冠以负号, 主动者在后。若 $ndd = 0$, 则不显示这一项。

由§6.1知道, 优化时只能控制两个轴外视场的光线, 故显示

OFF-AXIS FIELD1 =

要输入第1个轴外视场是多少, 注意, 是相对值。又显示

OFF-AXIS FIELD2 =

要输入第2个轴外视场是多少。对于每个视场, 优化时只控制一条带光线, 现在就让你输入是哪条带光线。显示第一个视场的带光线是

ZONE 1 =

第二个视场的带光线是

ZONE 2 =

输入了具体数值 (相对值) 之后, 又显示

Sagittal Zone; SAGI2 =

要输入弧矢带光线是多少 (相对值)。

显示

Vignette Coefficient; VIG =

输入渐晕系数是多少。

显示

Back Working Distance Limit; BWDL =

输入后工作距离的下限值。

接着显示出优化过程所控制的25种“像差”及其编号：

```
[Press <ENTER> to continue]
*****
[1]=S1   [2]=S2   [3]=S3   [4]=S4   [5]=S5   [6]=C1   [7]=C2
[8]=UI   [9]=LAm  [10]=OSC  [11]=Wch32 [12]=Wch12
[13]=Xs  [14]=AST  [15]=Kt   [16]=LAt  [17]=Dist  [18]=Tch23
[19]=Xs  [20]=AST  [21]=Kt   [22]=LAt  [23]=Dist  [24]=TAX  [25]=TAY
*****
INPUT 25 TARGET VALUES:
```

图 6-2

供下面输入它们的目标值和权因子时的参考。

接着显示

INPUT 25 TARGEL VALUES;

要输入25个像差的目标值。可以连续地输，彼此以空间隔开，也可以每输一次，按一次“回车”，只有当给足25个数值后，才继续显示

INPUT 25 WEIGHT VALUES;

要输入25个像差的权因子。输入的方法跟目标值的一样。

至此，“像差优化”专用数据全部输入完了。清屏幕，将刚才输入的全部专用数据以表格形式显示如下：

```
NVR= 2
  1  2
NVD= 0
NDR= 0
NDD= 0
FIELD1 FIELD2 ZONE1 ZONE2 SAG12  VIS  SWDL
.7100  1.0000  1.0000  .7100  .7100  .7000  .100
[Press <ENTER> to continue]
TARGET VALUES:
  S1   S2   S3   S4   S5   C1   C2
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000
  UI   LAm  OSC  WCH32 WCH12
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000
FLD1: Xs  AST  Kt   LAt  Dist  Tch
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000
FLD2: Xs  AST  Kt   LAt  Dist  TAX  TAY
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000
WEIGHT VALUES:
  S1   S2   S3   S4   S5   C1   C2
1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
  UI   LAm  OSC  WCH32 WCH12
1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
FLD1: Xs  AST  Kt   LAt  Dist  Tch
1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
FLD2: Xs  AST  Kt   LAt  Dist  TAX  TAY
1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
```

图 6-3

现在问你，想不想把这组专用数据存到盘上：

STORE THESE DATA, O.K.? [Y/N]

如果想存，则回答

Y↵

并要求指定文件名：

SPECIFY FILENAME FOR STORE;

给出之后，就把这批数据以这个文件名为名存到盘上。如果不想存，就回答

N↵

当然也就不问文件名了。

这是原来不具有专用数据的情况下才显示这些，并要求输入的。如果调入的数据文件中原来就有这块专用数据（即，以前曾输入过，且按上述手续已将它们存在盘上了），那就从指定输入的文件名

SPECIFY FILENAME FOR INPUT;

之后，立即进入“像差优化”的子菜单：

```
.....
) OPTIMIZATION OF LENS
0 -- EXIT
1 -- GO ON OPTIMIZATION
2 -- RETURN TO ANY OLD ITERATION
3 -- MODIFY TARGETS, WEIGHTS & VARIABLES
4 -- OUTPUT THE OPTIM. ITERATIVE PROCESS
5 -- STORE THE FINAL OPTIMIZED RESULTS
6 -- FETCH A NEW LENS DATA FOR OPTIM.
.....
```

YOUR CHOICE:

图 6-4

3 进行优化

在“像差优化”子菜单控制之下键入

1↵

立即输出标题，月一日一年，时：分：秒，紧接着是初始结构数据（各量意义见§3.6），后面跟着优化专用数据块。见图6-5。其中NVR = 可变半径个数

跟着下一行是可变半径的序号 NVD = 可变间隔个数

跟着下一行是可变间隔的序号 NDR = 半径结组数

跟着下一行是结组半径序号 NDD = 间隔结组数

跟着下一行是结组间隔序号

（若NVR, NVD, NDR, NDD中有为0者，则不显示其下一行的相应序号）。

FIELD1 你要控制的第一个视场

FIELD2 你要控制的第二个视场

ZONE1 你要控制的第一个视场的带光线

ZONE2 你要控制的第二个视场的带光线

SAGI2 你要控制的第二个视场的弧矢带光线

STORE THESE DATA, O.K.? [Y/N] N
APPLIED OPTICS LAB., ACADEMIA SINICA
LENS F=75 D/F=1/2 UP=-20

5- 4-1987 19:39:38

NS	UO	H1	UPO	ISTOP	HCA	GL.NO	GLASS
15	.000000	18.750	-20.000	7			
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN			
1	54.7900	-64.904	1.0000000	.0000000	31.573	0	
2	214.6800	13.170	1.6203000	.0103000	25.888	1	ZK9
3	36.5500	.127	1.0000000	.0000000	25.809	0	
4	21.7200	12.800	1.6708972	.0141850	17.394	2	ZBAF5
5	73.3200	7.500	1.0000000	.0000000	13.186	0	
6	67.9700	10.750	1.6203000	.0103000	11.757	1	ZK9
7	.0000	5.070	1.0000000	.0000000	11.432	0	
8	-23.3000	6.850	1.0000000	.0000000	10.992	0	
9	1311.3000	2.700	1.8060013	.0317704	16.367	3	ZF7
10	-35.2900	11.230	1.6646000	.0122000	16.367	4	ZK12
11	-141.3800	.127	1.0000000	.0000000	16.436	0	
12	-38.4500	9.760	1.6203000	.0103000	20.152	1	ZK9
13	90.2500	.127	1.0000000	.0000000	20.189	0	
14	-340.9500	10.250	1.7017000	.0171000	21.002	5	ZBAF20
15	.0000	52.229	1.0000000	.0000000	25.787	0	

NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL
5	3	.5892938	.6562725	.4861327
1	ZK9	1.6203000	1.6173000	1.6276000
2	ZBAF5	1.6708972	1.6667868	1.6809718
3	ZF7	1.8060013	1.7971476	1.8289180
4	ZK12	1.6646000	1.6610000	1.6732000
5	ZBAF20	1.7017000	1.6967000	1.7138000

NCLIP= 2
1 34.780
14 29.143

[Press <ENTER> to continue]

NVR= 2
1 2

NVD= 0
NDR= 0
NDD= 0

FIELD1	FIELD2	ZONE1	ZONE2	SAG12	VIG	BWDL
.7100	1.0000	1.0000	.7100	.7100	.7000	.100

[Press <ENTER> to continue]

TARGET VALUES:						
S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000		
FLD1: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	Tch	
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	
FLD2: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	TAX	TAY
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000

WEIGHT VALUES:						
S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
FLD1: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	Tch	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
FLD2: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	TAX	TAY
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

[Press <ENTER> to continue]

图 6-5

NVR= 2
1 2
NVD= 0
NDR= 0
NDD= 0

FIELD1	FIELD2	ZONE1	ZONE2	SAG12	VIG	BWDL
.7100	1.0000	1.0000	.7100	.7100	.7000	.100

[Press <ENTER> to continue]

TARGET VALUES:						
S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000		
FLD1: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	Tch	
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	
FLD2: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	TAX	TAY
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
WEIGHT VALUES:						
S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
FLD1: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	Tch	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
FLD2: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	TAX	TAY
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

图 6-6

----- 0th iteration -----

No.	RADIUS	SEPN
1:	54.7900	-64.904
2:	214.6800	13.170
3:	36.5500	.127
4:	21.7200	12.800
5:	73.3200	7.500
6:	67.9700	10.750
7:	.0000	5.070
8:	-23.3000	6.850
9:	1311.3000	2.700
10:	-35.2900	11.230
11:	-141.3800	.127
12:	-38.4500	9.760
13:	90.2500	.127
14:	-340.9500	10.250
15:	.0000	52.229

ABERRATION VALUES:						
S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
.01197	.02295	-.03561	.11378	.24628	.00699	.00120
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
.24869	-.02997	.00054	.00289	.00222		
FLD1: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	Tch	
.14391	-.15107	.05778	-.37016	.00889	-.00221	
FLD2: Xs	AST	Kt	LAAt	Dist	TAX	TAY
-.01352	.19983	.03099	-.07959	.01732	-.08374	.06947

MF1= .00000000E+00
MF2= .00000000E+00
MF = .61099495E-03

图 6-6(1)

1 2

1st iteration

No.	RADIUS	SEPN
1:	46.6888	-74.211
2:	210.8470	13.170
3:	36.5500	.127
4:	21.7200	12.800
5:	73.3200	7.500
6:	67.9700	10.750
7:	.0000	5.070
8:	-23.3000	6.850
9:	1311.3000	2.700
10:	-35.2900	11.230
11:	-141.3800	.127
12:	-38.4500	9.760
13:	90.2500	.127
14:	-340.9500	10.250
15:	.0000	40.924

ABERRATION VALUES:

S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
.14797	-.07379	.06209	.16874	-.18527	.01731	-.02415
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
.24033	1.40426	-.00654	.00923	.00359		
FLD1: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	Tch	
.96935	1.42643	-.74652	2.33571	-.01262	-.10426	
FLD2: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	TAX	TAY
2.19965	8.34194	-.99861	5.07449	-.04118	.42405	-.16371
MF1=	.36692558E-03					
MF2=	.36983180E-03					
MF =	.36983180E-03					

***** MF>MF1 *****
MF1= .36692558E-03
MF = .36983180E-03

图 6-6(2)

2nd iteration

No.	RADIUS	SEPN
1:	51.4074	-68.728
2:	229.2037	13.170
3:	36.5500	.127
4:	21.7200	12.800
5:	73.3200	7.500
6:	67.9700	10.750
7:	.0000	5.070
8:	-23.3000	6.850
9:	1311.3000	2.700
10:	-35.2900	11.230
11:	-141.3800	.127
12:	-38.4500	9.760
13:	90.2500	.127
14:	-340.9500	10.250
15:	.0000	47.069

ABERRATION VALUES:

S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
.06328	-.00907	.00040	.14046	.06101	.01142	-.00949
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
.24517	.51957	-.00152	.00564	.00279		
FLD1: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	Tch	
.44532	.33992	-.15905	.39487	.00009	-.04287	
FLD2: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	TAX	TAY
.68646	2.03220	-.22205	.68853	-.00433	.08525	.00977
MF1=	.36692558E-03					
MF2=	.35893598E-03					
MF =	.35893598E-03					

*** Linearity is quite good ***

图 6-6(3)

1 2

3rd iteration

No.	RADIUS	SEPN
1:	45.6650	-75.556
2:	204.2796	13.170
3:	36.5500	.127
4:	21.7200	12.800
5:	73.3200	7.500
6:	67.9700	10.750
7:	.0000	5.070
8:	-23.3000	6.850
9:	1311.3000	2.700
10:	-35.2900	11.230
11:	-141.3800	.127
12:	-38.4500	9.760
13:	90.2500	.127
14:	-340.9500	10.250
15:	.0000	39.562

ABERRATION VALUES:

S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
.16991	-.09356	.08202	.17458	-.24919	.01869	-.02770
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
.23921	1.63991	-.00819	.01007	.00378		
FLD1: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	Tch	
1.13657	1.82179	-.96442	3.09682	-.01613	-.12029	
FLD2: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	TAX	TAY
2.76394	11.64852	-1.34963	8.86612	-.05294	.54166	-.23388
MF1=	.57262582E-03					
MF2=	.56470418E-03					
MF =	.56470418E-03					

*** Linearity is bad ***

图 6-6(4)

1 2

4th iteration

No.	RADIUS	SEPN
1:	44.5324	-77.471
2:	202.2754	13.170
3:	36.5500	.127
4:	21.7200	12.800
5:	73.3200	7.500
6:	67.9700	10.750
7:	.0000	5.070
8:	-23.3000	6.850
9:	1311.3000	2.700
10:	-35.2900	11.230
11:	-141.3800	.127
12:	-38.4500	9.760
13:	90.2500	.127
14:	-340.9500	10.250
15:	.0000	37.573

ABERRATION VALUES:

S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2
.19809	-.12490	.12376	.18365	-.37224	.02068	-.03288
UI	LAm	OSC	WCH32	WCH12		
.23777	1.95216	-.01090	.01129	.00407		
FLD1: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	Tch	
1.47588	2.68599	-1.37436	4.62208	-.02311	-.14582	
FLD2: Xs	AST	Kt	LA _t	Dist	TAX	TAY
4.04238	22.07206	-2.21361	32.03217	-.07891	.78521	-.38356
MF1=	.86544617E-03					
MF2=	.86080242E-03					
MF =	.86080242E-03					

***** (MF1-MF2)/MF2<0.01 *****
***** (MF1-MF2)/MF2<0.01 *****
STORE THESE DATA, O.K.? [Y/N] Y

图 6-6(5)

VIG 渐晕系数

BWDL 后工作距离下限

TARGET VALUES: 接着显示为25个像差设置的目标值

WEIGHT VALUES: 接着显示为25个像差设置的权因子

接下来显示第0次的迭代结果。(注意, 每次迭代结果显示的格式都是一样的: 第一行总是标明这是第几次迭代的结果, 接着下来是这次迭代的结构参数: 半径和间隔。再下来是这次迭代的25个像差值。最后是这次迭代之前的评价函数MF1, 这次迭代之后的评价函数MF2, 以及不包括由于违反边界条件而进入“像差”队伍的评价函数MF。

至此, 开始计算各独立变量的增量。在屏幕上显示计算的进程, 即求得了第一个变量的增量后, 显示1, 求得了第二个变量的增量后, 显示2, 如此下去, 直至求完全部变量的增量, 便又显示下一次的迭代结果。这种迭代过程也一直继续下去, 直至发生下述情况之一, 才会结束整个迭代过程。

1. 当按了“←”键时。

这是用作人工中断。即在迭代过程中的任何时刻, 都可按一次这个键, 它并不马上结束迭代过程, 而是在当前次迭代全部结束之后才发生效力。CAOD 检查你最近是否按过“←”键, 若按过, 则记下当前迭代次数, 同时, 清屏幕, 显示“像差优化”子菜单。

一般来说, 当认为目前优化的结果已能满足你要求, 或者, 当认为再优化下去已无意义, 或者, 当认为需要对权因子、目标值、独立变量做出某些修改, 都可按下此键进行中断。

2. 当 $(MF1 - MF2) / MF2 < 0.01$ 时。

这里 MF1 是本次迭代之前的评价函数, MF2 是本次迭代之后的评价函数。这就说明迭代前后评价函数的变化量(相对值)已经很小了, 即已接近于稳定, 再下降是十分困难了, 则显示

```
(MF1 - MF2) / MF2 < 0.01
STORE THESE DATA, O.K.? [Y/N]
```

问是否要把这最后结果的结构参数及专用数据存到盘上去。如果想存, 就回答

Y ↵

接着显示

```
SPECIFY FILENAME FOR STORE:
```

要输入一个文件名, 就将结果存到盘上, 其文件名就是刚才键入的。如果不想存, 就回答

N ↵

无论存与否, 它都将当前迭代次数记下, 然后返回“像差优化”子菜单。

有一点要说明的是, 在迭代过程中, 当显示

```
***** MF2 > MF1 *****
```

时, 表明迭代过程发散, 同时显示MF1和MF2的值。但迭代过程并不停止, 而是退回到上一次的迭代状态, 增大阻尼因子 p_r 和 p_a 为原来的4倍, 重新求解。

4 返回到历史上任意一次迭代

在“像差优化”子菜单

OPTIMIZATION OF LENS

- 0 -- EXIT
 - 1 -- GO ON OPTIMIZATION
 - 2 -- RETURN TO ANY OLD ITERATION
 - 3 -- MODIFY TARGETS, WEIGHTS & VARIABLES
 - 4 -- OUTPUT THE OPTIM. ITERATIVE PROCESS
 - 5 -- STORE THE FINAL OPTIMIZED RESULTS
 - 6 -- FETCH A NEW LENS DATA FOR OPTIM.
-

YOUR CHOICE: 2

图 6-7

控制之下, 键入

2 ↵

它立即将从第0次迭代至当前次迭代的全部结构数据、像差值及评价函数值依次显示出来, 供挑选哪一次最好。当选好之后, 可以随时中断显示, 只需按“←”即可, 这时屏幕显示

```
SELECT AN ITERATION AS THE NEW BEGINNING.
```

让键入你想返回哪一次迭代的迭代次数。如果这个次数是非法的, 即超过了已有的迭代次数, 将显示

```
*** No such iteration ***
```

意思是没有这次迭代。如果这个次数是合法的, 则将把你键入的这个次数作为第0次, 重新显示结构参数、像差值及评价函数值, 然后返回到“像差优化”子菜单, 可以键入

1 ↵

就从指定的那次迭代开始执行。

实际上, 若不对权因子或目标值或独立变量的设置作任何修改的话, 这样做是毫无意义的。一般情况下, 总是在观察了已经取得的迭代结果之后, 对权因子、目标值或独立变量的设置作出相应的修改, 才选定从哪一次重新开始迭代的。如何修改, 见§6.5。

有一点要补充的是, 如果在盘上找不到这些历次的迭代结果, 则会显示

```
The data file: OPT. TMP does not exist!
```

意思是说, 这些历次的迭代结果不存在。这是因为在退出“像差优化”时没有把它们全部保存起来造成的。

5 修改目标值、权因子和变量

在“像差优化”子菜单

OPTIMIZATION OF LENS

- 0 -- EXIT
 - 1 -- GO ON OPTIMIZATION
 - 2 -- RETURN TO ANY OLD ITERATION
 - 3 -- MODIFY TARGETS, WEIGHTS & VARIABLES
 - 4 -- OUTPUT THE OPTIM. ITERATIVE PROCESS
 - 5 -- STORE THE FINAL OPTIMIZED RESULTS
 - 6 -- FETCH A NEW LENS DATA FOR OPTIM.
-

YOUR CHOICE: 3

图 6-8

控制之下，键入

3.↓

立即在屏幕上将变量设置情况、目标值和权因子显示出来:

```

NVR= 2
  1  2
NVD= 0
NDR= 0
NDD= 0
FIELD1 FIELD2 ZONE1 ZONE2 SAG12 VIG BWDL
.7100 1.0000 1.0000 .7100 .7100 .7000 .100
[Press <ENTER> to continue]
TARGET VALUES:
  S1      S2      S3      S4      S5      C1      C2
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000
  UI      LAm     OSC     WCH32   WCH12
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000
FLD1: Xs  AST     Kt      LAAt    Dist    Tch
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000
FLD2: Xs  AST     Kt      LAAt    Dist    TAX     TAY
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000
WEIGHT VALUES:
  S1      S2      S3      S4      S5      C1      C2
1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00
  UI      LAm     OSC     WCH32   WCH12
1.00     1.00     1.00     1.00     1.00
FLD1: Xs  AST     Kt      LAAt    Dist    Tch
1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00
FLD2: Xs  AST     Kt      LAAt    Dist    TAX     TAY
1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00

```

图 6--9(1)

接着显示像差编码表:

```

*****
[1]=S1 [2]=S2 [3]=S3 [4]=S4 [5]=S5 [6]=C1 [7]=C2
[8]=UI [9]=LAm [10]=OSC [11]=Wch32 [12]=Wch12
[13]=Xs [14]=AST [15]=Kt [16]=LAAt [17]=Dist [18]=Tch23
[19]=Xs [20]=AST [21]=Kt [22]=LAAt [23]=Dist [24]=TAX [25]=TAY
*****
INPUT ABERRATION NO.,TARGET & WEIGHT[input E for ending]:

```

图 6--9(2)

然后，要求以三个数为一组，顺次输入至多25组数。这三个数的顺序为:

像差编码、这个像差的目标值、这个像差的权因子

注意：这三个数的次序切不可乱。至于先输哪个像差的目标值和权，后输哪个像差的目标值和权，那是没有关系的。一旦修改完，随时可以键入字母

E

以结束修改。

接着又显示

Wish to change variable number[Y/N]?

问是否想改变独立变量的个数。若想改，则回答

Y↓

马上显示

umber of Variable Radii(MAX.40):NVR =

要输入可变半径的个数。若不想改，则键入字母

E↓

它将不再问可变半径的序号；若想改，则键入可变半径的新的个数，它就要输入nvr 这么多个可变半径的序号:

INPUT nvr VARIABLE RADIUS No.;

依次输入即可。

接下来显示

Number of Variable Distances(MAX.40):NVD =

要输入新的可变间隔的个数。若不想改，则键入字母

E↓

它将不再问可变间隔的序号；若想改，则键入新的可变间隔的个数，它就要输入nvd 这么多个可变间隔的序号:

INPUT nvd VARIABLE DISTANCE No.;

依次输入即可。

接下来显示

Number of R Groups(MAX.10):NDR =

要输入新的结组半径的个数。若不想改，则键入字母

E↓

它将不再问结组半径的序号；若想改，则键入结组的组数，接着显示

INPUT ndr PAIRS OF RADIUS No.;

让输入ndr 这么多组半径的序号，注意：每组两个数，被动变化的半径序号在前，主动变化的半径序号在后。

接下来显示

Number of D Groups(MAX.10):NDD =

要你输入新的结组间隔的个数。若不想改，则键入字母

E↓

它将不再问结组间隔的序号；若想改，则键入结组的组数，接着显示

INPUT ndd PAIRS OF DISTANCE No.;

让输入ndd这么多组间隔的序号，注意：每组两个数，被动变化的间隔序号在前，主动变化的间隔序号在后。

接下来显示

Do you want to change FIELD,ZONE,VIG,BWDL?[Y/N]

问要不要改变轴外视场，带光线，渐晕系数，后工作距离的下限。如果不改，则键入

N↓

跳过下述诸提问。如果想改，则键入

Y↓

显示

OFF - AXIS FIELD 1 =

和

OFF - AXIS FIELD 2 =

意思是要输入这两个视场。又显示

ZONE 1 =

和

ZONE 2=

意思是要输入这两条带光线。又显示

Sagittal Zone, SAGI 2=

意思是要输入弧矢带光线。又显示

Vignette Coefficient, VIG =

意思是要输入渐晕系数。最后显示

Back Working Distance Limit, BWDL =

意思是要输入后工作距离的下限。

所有这些, 在不想作改动的情况下, 均可键入字母E, 就保持原来的数据不变。和原来输入初始数据时不一样, 不改变, 不能键入0!

整个过程, 集中整理如下:

接下来, 清屏幕, 将整个专用数据块重新显示一遍, 以便校对,

```

1 .1 1.5
E
Wish to change variable numbers [Y/N] ? Y
Number of Variable Radii (MAX. 40): NVR = 3
INPUT 3 VARIABLE RADIUS NO.:
1 2 3
Number of Variable Distances (MAX. 40): NVD = E
Number of R Groups (MAX. 10): NDR = E
Number of D Groups (MAX. 10): NDD = E
Do you want to change FIELD, ZONE, VIG, BWDL ? [Y/N] N
NVR= 3
  1  2  3
NVD= 0
NDR= 0
NDD= 0
FIELD1  FIELD2  ZONE1  ZONE2  SAGI2  VIG  BWDL
.7100  1.0000  1.0000  .7100  .7100  .7000  .100
[Press <ENTER> to continue]
TARGET VALUES:
  S1      S2      S3      S4      S5      C1      C2
.10000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000
  UI      LAm      OSC      WCH32  WCH12
.00000  .00000  .00000  .00000  .00000
FLD1: Xs  AST      Kt      LAt      Dist      Tch
.00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000
FLD2: Xs  AST      Kt      LAt      Dist      TAX      TAY
.00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000  .00000
WEIGHT VALUES:
  S1      S2      S3      S4      S5      C1      C2
1.50     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00
  UI      LAm      OSC      WCH32  WCH12
1.00     1.00     1.00     1.00     1.00
FLD1: Xs  AST      Kt      LAt      Dist      Tch
1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00
FLD2: Xs  AST      Kt      LAt      Dist      TAX      TAY
1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00     1.00
STORE THESE DATA, O.K.? [Y/N]

```

图 6-9(3)(4)

校对过后, 就问

STORE THESE DATA, O.K.? [Y/N]

是否想把这些修改后的数据存起来, 不想存, 键入

N

立即返回“像差优化”子菜单; 若想存(一般情况下当然如此), 键入

Y

则显示

SPECIFY FILENAME FOR STORE;

这个, 你已经很熟悉了, 要给文件起个名字, 以它为文件名, 将数据存盘, 并返回“象差优化”子菜单。

6 输出优化迭代过程中间结果

在“像差优化”子菜单控制下, 键入

4

马上显示

SELECT THE OUTPUT DEVICE(1=CRT, 2=Printer, 3=Disk);

让指定输出设备(1=屏幕, 2=打印机, 3=磁盘), 选定后, 就将初始结构、专用数据、迭代过程的全部结果输出到指定设备上。当然, 若要输出到盘上, 还是要指定文件名的。输出完了, 又返回到“像差优化”子菜单。

这里有个输出技巧问题。如果想把整个迭代过程留一份硬拷贝, 即打印在打印纸上, 不要用Ctrl+Prtsc键运用所谓“跟踪”打印, 因为那样要浪费很多时间, 而应采取现在这种办法, 选择打印机作为输出设备, 一起印出。但仍有美中不足之处, 不能分页打印。为能进行分页打印, 不妨选择磁盘作为输出设备, 记到盘上后, 在命令方式下(见第九章), 利用分页打印命令PR来打印。

7 将优化的最终结果存储到盘上

在“像差优化”子菜单控制下, 键入

5

马上显示

SPECIFY FILENAME FOR STORE;

指定文件后, 就将最后结果存于盘上。

8 取一组新的透镜数据进行优化

在“像差优化”菜单控制下, 键入

6

马上显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT;

键入文件名后, 以下将要发生的事情与§6.2所述内容相同。

9 退出优化, 返回主菜单

在“像差优化”菜单控制下, 键入

0

马上显示

Do you want to DELETE the data file: OPT.TMP that contains the Optim.Iterative Process?[Y/N]

意思是问在退出优化之前,是否想把装有全部迭代中间结果的数据文件 OPT.TMP 抹掉。抹掉,就把磁盘空间腾出来以作它用。你可以在有否保留价值和是否想多腾出一些磁盘空间这二者之间作出权衡,以回答抹还是不抹。即[Y/N]。

要充分发挥自动设计的优势,确实还需积累一些经验。为此,我们将专门给出示范性的例子,供参考。

七、像质评价

1 光学传递函数

在光学镜头设计过程中或设计结束前,都要对成像质量进行计算评价,以判断设计结果的优劣。评价的依据是物空间一点所发出的光能量在像空间的分布状况。从几何光学观点来看,当设计达到理想状态时,能量也将在像空间聚焦于一点,但实际上,由于光学系统存在像差,从而使能量分散。我们在第四、五、六章中讲述的内容就属于这种情况。若从像质评价的角度来看,它们也是一种初步的评价手段。但是 CAOD 还为你提供了另一种类型的评价方法,即本章讲述的光学传递函数评价方法。

近代对光学系统成像问题的讨论,不是将物体看作无数个点的集合,而是将物体看成是各种空间频率的正弦光栅的集合,将光学系统看成是一个“线性滤波器”,从而把成像过程看成是:用傅里叶变换把物平面上的情况表示为各种空间频率的函数,光学系统总是要禁止某一限度以上的高频通过(即我们在实际计算 OTF 时所用的最大空间频率,或截止空间频率),而允许通过的较低的空间频率也由于种种原因而受到不同程度的削弱或推移。这就是所谓光学系统对各种空间频率的响应特性,被称为“频率响应函数”或“光学传递函数”、OTF。光学系统的 OTF 一般是个复函数,包括模和幅角两部分。其模叫作对比传递函数或调制传递函数,记作 MTF,它反映了各种空间频率正弦分布的对比衰减,而幅角部分反映出各种频率正弦分布的空间移动,即相位的变化,叫作相位传递函数,记作 PTF。在评价光学系统成像质量时,一般只考虑 MTF 的大小。

从波像差出发,计算 OTF 的方法分成两大类,CAOD 都提供了。它们是自相关积分法和二次傅里叶变换法。下面的图展示了这两种计算途径的关系:

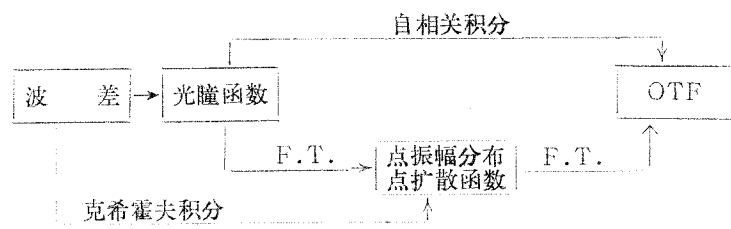


图 7-1

波差是通过光路追迹求得的,从而由

$$\rho(x, y) = \tau e^{i w(x, y)}$$

求得光学系统的光瞳函数(其中 x, y 是光瞳坐标, $w(x, y)$ 是波差函数, τ 是波面上各处的振

幅变化, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ 是波长)。由光瞳函数出发,兵分两路:一路是根据帕色瓦尔定律知, OTF 可以表示为光瞳函数 $\rho(u, v)$ 的自相关函数,从而导至用自相关积分法求 OTF。另一路是首先对光瞳函数进行傅里叶变换,求得点振幅分布、点扩散函数,将点扩散函数再进行一次傅里叶变换,求得系统的 OTF,即二次傅里叶变换法。

CAOD 目前提供的评价方法能够评价的仅限于非相干光照明的、满足等晕条件的成像光学系统。

(1) 自相关积分法计算 OTF

前面提到,根据帕色瓦尔定律, OTF 可以表示为光瞳函数 $f(x, y)$ 的自相关函数

$$D(s, t) = \frac{1}{2\pi} \iint \rho\left(x + \frac{s}{2}, y + \frac{t}{2}\right) \rho^*\left(x - \frac{s}{2}, y - \frac{t}{2}\right) dx dy$$

$$= \frac{1}{2\pi} \iint \exp\left[\frac{2\pi i}{\lambda} \left[w\left(x + \frac{s}{2}, y + \frac{t}{2}\right) - w\left(x - \frac{s}{2}, y - \frac{t}{2}\right)\right]\right] dx dy$$

现在假定只计算弧矢(子午也一样)方向上的 OTF,即设 $t=0$; 又将 $D(0, 0)$ 取做单位,就得到规化的 OTF:

$$D(s) = \frac{1}{A_0} \iint_A \exp\left[\frac{2\pi i}{\lambda} \left[w\left(x + \frac{s}{2}, y\right) - w\left(x - \frac{s}{2}, y\right)\right]\right] dx dy$$

其中 A_0 是整个光瞳的面积, A 是根据空间频率而位移的两个中心分别在 $(\frac{s}{2}, 0)$ 和 $(-\frac{s}{2}, 0)$ 的光瞳重叠的区域, λ 是单色光的波长, x, y 是相对光瞳坐标, $w(x, y)$ 是光瞳上 x, y 点处的波差, s 是在弧矢方向上的规化空间频率。所谓规化空间频率是指

$$s = \frac{\text{实际空间频率} \times \text{波长}}{\text{数值孔径}}$$

各符号的意义见图 7-2。

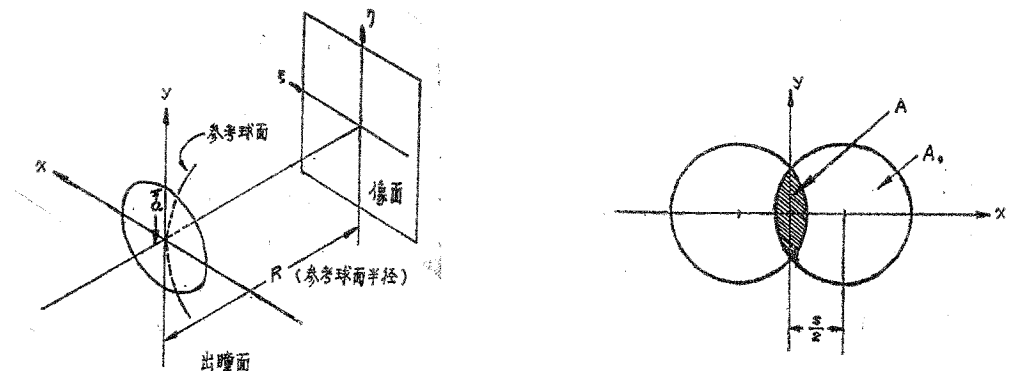


图 7-2

相对光瞳坐标为 $x = \frac{X}{a}$, $y = \frac{Y}{a}$ 。令 f_x 和 f_y 为在弧矢方向和子午方向的实际频率,则规化的空间频率为

$$s = \frac{f_s \cdot \lambda}{\frac{a}{R}} = \frac{f_s \cdot \lambda \cdot R}{a}$$

$$t = \frac{f_t \cdot \lambda}{\frac{a}{R}} = \frac{f_t \cdot \lambda \cdot R}{a}$$

像的规化坐标是

$$u = \frac{a\xi}{\lambda R}, \quad v = \frac{a\eta}{\lambda R}$$

实际计算过程大致如下：首先对每个视场追迹几条适当抽样的光线，算出光程差，然后用拟合的办法求出波差多项式，即 w ，再后用高斯积分法对其进行二重积分，最终求得 OTF。对于积分区域取分点数共有 5 种（见 §7.3），最密为 40×40 个点。

CAOD 只计算了相互垂直的子午方向和弧矢方向的 OTF。其它指标是：最多可计算 6 个视场、4 种波长、20 种空间频率的 OTF。离焦的焦面位置固定是 11 个。

将波差多项式对光瞳坐标求微分，导出垂轴像差多项式，可求得像点点列图及反映能量集中状况的曲线，在图中标出集中 80% 能量的像斑弥散直径。

(2) 二次傅里叶变换法计算 OTF

首先对光瞳函数进行二维傅里叶变换，求得复振幅的点扩散函数：

$$A(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \cdot \exp[2\pi i(ux + vy)] dx dy$$

假设在出瞳面上的光扰动是均匀分布的，则光瞳函数 $p(x, y)$ 可以表示为

$$p(x, y) = \begin{cases} \exp[iw(x, y)] & \text{在光瞳内} \\ 0 & \text{在光瞳外} \end{cases}$$

其中， $w(x, y)$ 是光瞳上点 (x, y) 处的波像差。 u, v 是像点的规化位置坐标。由上式可求得点扩散函数的强度值：

$$I(u, v) = |A(u, v)|^2$$

在单色非相干光照明的条件下，对 $I(u, v)$ 作二维傅里叶变换，则立即求得 OTF：

$$D(s, t) = \frac{\iint_{-\infty}^{\infty} I(u, v) \cdot \exp[-2\pi i(us + vt)] dudv}{\iint_{-\infty}^{\infty} I(u, v) dudv}$$

在实际计算时，采用了 Winograd 的快速傅里叶变换算法。首先将计算 A 和 D 的连续积分离散化：

$$A\left(\frac{l}{NT_1}, \frac{m}{NT_1}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} P(kT_1, mT_1) \exp(2\pi i(kl + mn)/N)$$

$$D\left(\frac{l}{NT_2}, \frac{m}{NT_2}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} I(kT_2, mT_2) \exp(-2\pi i(kl + mn)/N)$$

其中 T_1, T_2 是周期， N 是抽样点总数： $N = N_1 N_2 N_3 N_4$ ，这里的

- $N_1 \in \{1, 2, 4, 8, 16\}$
- $N_2 \in \{1, 3, 9\}$
- $N_3 \in \{1, 5\}$
- $N_4 \in \{1, 7\}$

在 CAOD 中选取的抽样点总数是 $72 \times 72 = 5184$ 。

在计算结果的输出形式上，除了给出弧矢的 MTF，子午的 OTF 实部及虚部，子午的 MTF 和 PTF 的数值形式外，还给出了 MTF 及 PSF 的三维立体图。

今后，在新版本中将提供特定形状和尺寸的接收器的扫描点扩散函数。

2 如何进入“像质评价”子菜单

启动 CAOD，显示主菜单如下：

```

C.A.O.D. MAIN MENU
-----
0. EXIT
1. SET UP & MODIFY LENS DATA
2. SKEW RAY TRACE
3. ABERRATIONS ANALYSIS
4. OPTIMIZATION
5. IMAGE EVALUATION
6. OPTICAL TOLERANCE
7. COMMAND MODE

APPLIED OPTICS LAB.
ACADEMIA SINICA
-----

```

YOUR CHOICE [0 - 7]: 5

图 7-3

键入

5 ↵

则清屏幕，显示“像质评价”子菜单：

```

-----
IMAGE EVALUATION OPTIONS
-----
0. EXIT
1. D.O.T.F. & SPOT DIAGRAM
2. D.O.T.F. & POINT-SPREAD FUNCTION
3. WAVE ABERRATIONS PLOT

YOUR CHOICE:

```

图 7-4

其中的第一项功能就是采用自相关积分法来计算 OTF，同时根据几何像差和波像差之

间的关系，算出光线的点列图坐标，并画出点列图。

其中的第二项功能是采用两次傅里叶变换法来计算 OTF，而其中间结果，即光瞳函数的傅里叶变换，就是系统的点扩散函数，也显示出其强度图形。

其中的第三项功能画出实际波面以理想参考球面为基准的等高线图至此，IBM PC已处于“像质评价”功能块的控制之下。

3 自相关积分法计算OTF并显示点列图

在“像质评价”子菜单控制之下，键入

1 ↵

则清屏幕，显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT;

要输入要计算 OTF 的镜头数据文件名。如果以键入的文件名命名的文件在盘上不存在，则显示

**** File does not exist ****

接着再次显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT;

这就说明只能对盘上已有的镜头数据文件进行OTF计算。若盘上没有指定的镜头数据文件，则应首先采用第三章里讲的方法建立它。只有镜头结构参数还不够，还应按§3.5中讲的方法预先设定好光线。如果，在镜头数据文件中只有基本的结构参数，则会显示：

You have not SET RAYS;

Please use SET UP & MODIFY LENS DATA to do so.

告诉，先回到主菜单去，键入 2，进入“建立和修改透镜数据菜单”，在其控制下，键入 9，进行光线的设置（详见§3.5）。但是，现在你只需按“回车”，返回“像质评价”子菜单，再退到主菜单。如果键入的文件存在，且包括光线设置数据，则清屏幕，显示如下的菜单：

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....4
   (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 100.
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....10
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0000
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0000
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA
-----

```

YOUR CHOICE:

图 7-5

(1) 有关数据的设定

在“MTF及点列图”菜单中，第 1、2、3、4 和 5 选项都是用作有关数据设定的。

① 选取积分点数

在菜单中本项之下注明默认值是 4。以后，这个默认值指的是最近一次利用本选项设定的值。

现在键入

1 ↵

马上显示

(1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)

INPUT YOUR CHOICE: 5

CAOD 在进行自相关积分时，采用高斯积分法，要求给出计算积分的点数。这里采用的是两个方向上积分点数相同。共有五种给法，如提示中所示。这里选择 40 * 40，即键入

5 ↵

马上回到子菜单

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....5
   (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 100.
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....10
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0000
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0000
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA
-----

```

YOUR CHOICE:

图 7-6

在第 1 项之后的默认值变成 5 了。

② 设置最大空间频率

这是第 2 选项。在本选项之后给出的默认值是每 mm100 对线。以后，这个默认值指的是最近一次利用本选项设定的值。

现在键入

2 ↵

马上显示

```

*****
*
* INPUT MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY
* OR INPUT A "0" TO CALCULATE UP
* TO THE CUT-OFF SPATIAL FREQUENCY.
*
*****
MAXIMUM FREQUENCY = 150
-----

```

图 7-1

方框里的意思是：输入最高空间频率或 0，以便计算截止空间频率。下面问最高空间频率是多少。输入之后，马上又回到子菜单：

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....5
  (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....10
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0000
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0000
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA

```

YOUR CHOICE:

图 7-8

在第 2 项之后的默认值变成 150 了。

③ 设置空间频率的个数。

在此选项之后的默认值是 10。以后，这个值指的是最近一次利用本选项设定的值。

现在键入

3 J

马上显示

NUMBER OF FREQUENCIES =

我们键入

15 J

则立即回到子菜单。第 3 项之后的默认值变成了 15。

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPT NS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....5
  (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150.
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....15
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0000
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0000
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA

```

YOUR CHOICE: 4

图 7-9

这样，与 §7.3.2 设置的最高空间频率相结合，可以求出各空间频值是多少。即设最高空间频率是 f_{max} ，空间频率个数是 n_{freq} ，则各空间频率值是：

$$f_n = n \frac{f_{max}}{n_{freq}}$$

其中 $n = 1, 2, \dots, n_{freq}$ 。

④ 设置离焦量

在此选项之后的默认值是 0。以后，这个值指的是最近一次利用本选项设置的值。

现在键入

4 J

马上显示

DEFOCUS =

我们键入 0.05，又回到子菜单：

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....5
  (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150.
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....15
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0500
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0000
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA

```

YOUR CHOICE: 5

图 7-10

第 4 项后的默认值变成 .05 了。

注意，这个离焦量是以理想像面为准的，在其左，为负；在其右，为正。

⑤ 设置焦面位置的增量

在此选项之后的默认值是 0。以后，这个值指的是最近一次利用本选项设置的值。

现在键入

5 J

马上显示：

```

*****
*
* IF YOU WANT TO CALCULATE THROUGH-FOCUS *
* OTF, INPUT DEFOCUS INCREMENT *
* IF DO NOT, INPUT A "0". *
*
*****
DEFOCUS INCREMENT = .05
THROUGH-FOCUS FREQUENCY = 75
-----

```

图 7-11

这个选项的意思是这样：对于一个光学系统，有时需要在某一特定频率下看看在不同离焦情况下OTF的变化，这时OTF作为离焦的函数，从中可以看出最佳像面的变化。那么，现在就在第4选项 (§7.3.4) 中设置的离焦为基准，在它的前后共设置5个离焦位置，算它本身在内，共11个。这11个焦面位置是等间隔的，这个间隔就是在

DEFOCUS INCREMENT =

之后输入的值。单位是 mm。这样，这11个离焦面就定了。如果根本不想算，在其后回答 0 即可。当然，我们现在回答一个非 0 值，就又显示：

THROUGH-FOCUS FREQUENCY =

让回答这个特定频率是多少。这个特定频率可以不是由§7.3.2和§7.33算出来的其中的一个。一般取在最大空间频率的二分之一左右。若这里输入的特定频率超过了最大空间频率，将会让你重新输入。

输入完了，又返回子菜单：

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....5
   (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150.
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....15
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0500
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0500
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA

-----
YOUR CHOICE:

```

图 7-12

第5项后的默认值也变了。

(2) 传函计算

① 传函计算

当进入“传函与点列图”子菜单之后，如果认为第1~5选项中的各项默认值都能满足要求，那么可以立即键入6，进行传函计算。只有当你认为这些默认值不满足要求时，才作出相应的修改或重新设置 (§7.3.1)。现在键入

6

又显示如下的子菜单：

```

**** YOU CAN CALCULATE MONO/POLY OTF ****
1 -- IN THE FIRST WAVELENGTH ONLY
2 -- IN ALL WAVELENGTHS
3 -- IN ALL WAVELENGTHS & POLYCHROMATIC
INPUT YOUR CHOICE:

```

图 7-13

意思是说：可以计算单色或混色光的OTF，共有三项选择

- 1 -- 只计算第一种波长的色光
- 2 -- 计算全部波长的色光
- 3 -- 计算全部波长的色光和混色光

这里需说明的是，第一种波长的色光指的是在你输入初始数据时 (§3.3) 输入的第一种波长。所谓全部波长也指的是在那里设置的1、2、3或4种波长。所谓混色，指的是将这2种或3种或4种色光按一定比例混合而成的色光。所以，当且仅当要计算混色的OTF时 (即选择3)，才会进一步提问：

INPUT 3 WEIGHTS OF COLOR;

即要输入各种 (这里是3种) 单色光在混合时各自占的比重，即权因子。这些权因子设置的根据是所采用的实际光源的光谱特性，光学系统的分光透过率，所使用的接收器的光谱灵敏度特性等。

当一一作出回答之后，又要选择最终结果的输出设备：

```

**** YOU CAN OUTPUT DATA IN FOLLOWING WAYS ****
1 -- TO TERMINAL
2 -- TO PRINTER
3 -- TO A DATA FILE ON DISK
INPUT YOUR CHOICE:

```

图 7-14

即，可以在屏幕上显示，可以在打印机上打印，也可以作为数据文件保存到盘上。而且当且仅当保存到盘上 (即选择3) 时，才会显示

SPECIFY FILENAME FOR OUTPUT;

即要指定文件名。当这个文件名跟盘上的文件名相同时，还会显示

File already existed, replace it? [Y/N]

问是否取代盘上的原有文件，可以做出肯定或否定的回答。一般说来，我们紧接着又显示出最高空间频率 FMAX =，空间频率个数 NFREQ =，离焦量 DEFOCUS =，和积分点数 INT POINTS =。

接下来，全部是自动进行。输出格式首先是按视场排列，即：

```

FIELD = 0.0
:
FIELD = 0.7075
:
FIELD = 0.85
:
FIELD = 1.0

```

在每个视场之后给出实际视场角 $UP =$ ，和主光线像高 $V_p' =$ 。

在每个视场之下，又按波长排序，即：

波长序号 WL No.1 实际波长 WAVELENGTH =

波长序号 WL No.2 实际波长 WAVELENGTH =

波长序号 WL No.3 实际波长 WAVELENGTH =

May 15, 1987 12:17 am
LENS.MTF

PAGE 1

APPLIED OPTICS LAB., ACADEMIA SINICA

5-15-1987 11:39:22

D.O.T.F.

UNIT: MM

5-ELEMENT LENS 24-INCH F/6

NS	UO	H1	UPO	ISTOP	HCA	GL.NO	GLASS
9	.000000	50.800	-14.700	5			
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN	HCA	GL.NO	GLASS
1	172.3658	-67.935	1.0000000	.0000000	50.800	0	
2	-228.7773	25.908	1.6204100	.0102900	50.800	1	SK16
3	1217.9333	10.160	1.5325600	.0115800	46.542	2	TIF2
4	-277.2926	25.202	1.0000000	.0000000	41.984	0	
5	148.7877	10.160	1.5111800	.0100400	41.288	3	TIF1
6	-1214.7879	37.189	1.0000000	.0000000	42.715	0	
7	167.8906	10.160	1.5111800	.0100400	43.608	3	TIF1
8	-242.3502	29.464	1.6204100	.0102900	43.608	1	SK16
9	.0000	522.742	1.0000000	.0000000	154.691	0	

NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL
3	3	.5875618	.6562725	.4861327
1	SK16	1.6204100	1.6172800	1.6275700
2	TIF2	1.5325600	1.5291100	1.5406900
3	TIF1	1.5111800	1.5081400	1.5181800

NCLIP= 8

1	50.800
2	49.124
3	46.876
4	42.893
5	41.696
6	42.875
7	46.040
8	49.774

DFO	DHO	FLO	DFI	DHI
-553.3844	56.2153	-609.5997	523.2994	-86.3004
EFL	UI	DIMA	MAG	J
609.5997	.083333	523.2994	.0000	13.3271
DPO	DPI	SINUPO	SINUPI	HIMA
67.9353	-74.8014	-.253758	-.258637	159.7767

NFLD= 3

FLD	YPO	VUY	VLY	VX
.0000	.0000	1.0000	-1.0000	1.0000
.7100	-.0849	.8212	-.7798	.9754
1.0000	-.2592	.7137	-.6836	.9487

FMAX = 100.00 NFREQ = 10 DEFOCUS = -.5975 INT POINTS = 32 * 32

FIELD .0000: UP = .000 Yp' = .0000

WL NO.1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

SF[C/MM]	RF	MTF
10.00	.0353	.8897
20.00	.0705	.7256
30.00	.1058	.5518
40.00	.1410	.3996
50.00	.1763	.2881
60.00	.2115	.2203

May 15, 1987 12:18 am
LENS.MTF

70.00	.2468	.1902
80.00	.2820	.1888
90.00	.3173	.2050
100.00	.3525	.2261

MAX WAVE ABN DIFFERENCE = .4042 WAVES
AVR WAVE ABN DIFFERENCE = .0316 WAVES
RMS WAVE ABN DIFFERENCE = .1576 WAVES

FIELD .7100: UP = -10.437 Yp' = 112.2462

WL NO.1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
10.00	.7571	.8872	.0196	.8874	.0221
20.00	.3364	.7182	.0360	.7191	.0500
30.00	.0432	.5621	.0390	.5635	.0693
40.00	-.0267	.4464	.0354	.4478	.0791
50.00	.0300	.3662	.0327	.3677	.0890
60.00	.0967	.3089	.0335	.3107	.1079
70.00	.1283	.2641	.0369	.2666	.1389
80.00	.1318	.2246	.0409	.2283	.1803
90.00	.1239	.1859	.0431	.1908	.2277
100.00	.1148	.1464	.0416	.1522	.2769

MAX WAVE ABN DIFFERENCE = 1.1241 WAVES
AVR WAVE ABN DIFFERENCE = .1804 WAVES
RMS WAVE ABN DIFFERENCE = .3286 WAVES

FIELD 1.0000: UP = -14.700 Yp' = 159.9419

WL NO.1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
10.00	.7024	.8947	-.0585	.8966	-.0653
20.00	.5462	.7704	-.0823	.7748	-.1064
30.00	.4070	.6624	-.0894	.6684	-.1341
40.00	.2814	.5753	-.0896	.5823	-.1544
50.00	.1817	.5038	-.0856	.5110	-.1683
60.00	.1132	.4415	-.0783	.4484	-.1754
70.00	.0748	.3841	-.0679	.3900	-.1750
80.00	.0584	.3292	-.0551	.3337	-.1657
90.00	.0542	.2759	-.0406	.2789	-.1460
100.00	.0545	.2251	-.0257	.2266	-.1139

MAX WAVE ABN DIFFERENCE = 1.9885 WAVES
AVR WAVE ABN DIFFERENCE = -.1665 WAVES
RMS WAVE ABN DIFFERENCE = .3282 WAVES

May 15, 1987 12:19 am
LENS.MTF

PAGE 3

```

-----
MAX WAVE ABN DIFFERENCE = 1.9885 WAVES
-----
RUN TIME IS 0:27:38.09 (无8087协处理器时)
-----

```

图 7-15(3)

∴
混色光的OTF

各色光的权因子

∴
在每种波长之下都给出3列数:

实际空间频率 SF[C/MM]	实际空间频率/极限频率 RF	调制传递函数 MTF
∴	∴	∴
∴	∴	∴

且最后给出:

波差最大值 MAX WAVE ABN DIFFERENCE =

在瞳面上波差的平均值 AVR WAVE ABN DIFFERENCE =

波差均方根值

RMS WAVE ABN DIFFERENCE =

在混色光部分只给出两列, 即

实际空间频率 SF[C/MM]	调制传递函数 MTF
∴	∴
∴	∴

且只给出波差平均值和均方根值。

最后一行是整体来看的波差最大值和运行时间。见图7-15(1)~(3) 建议选用1, 即先在屏幕上看一看。回答之后, 立即显示初始数据(图7-15), 这里各标题符号的意义见§3.6和§4.3。

在数值结果输出完了之后, 立即显示各视场的弧矢、子午、混色的 MTF 曲线。在弧矢、子午MTF曲线上的数字表示不同色光的序号, 在混色光MTF曲线上的数字, 1表示弧矢的, 2表示子午的, 3表示弧矢的·子午的。在0°视场, 由于对称性, 子午、弧矢的都一样, 故三条曲线重合, 只注有数字3。见图7-19~图7-21。

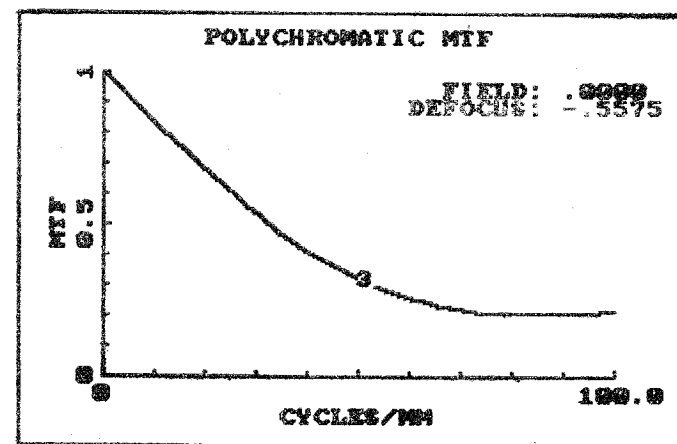
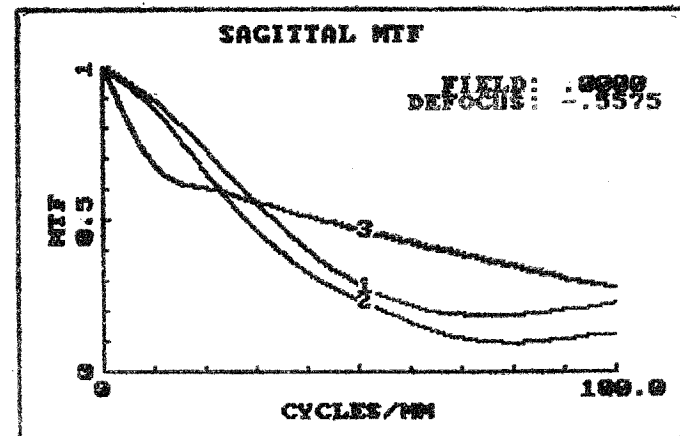


图 7-16

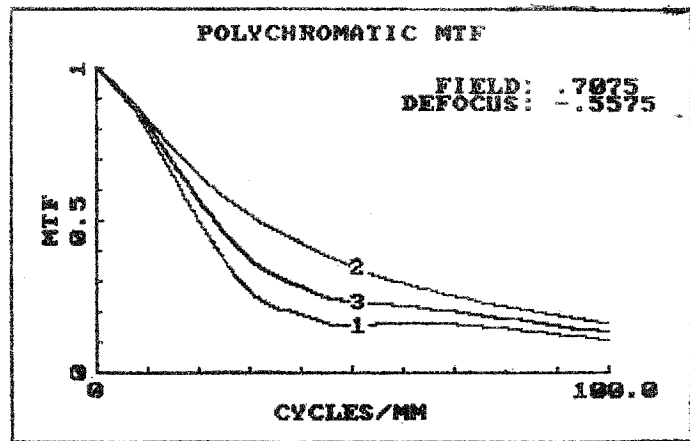
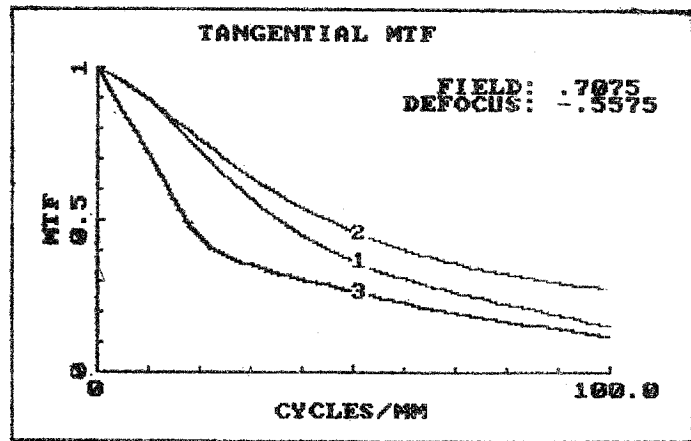
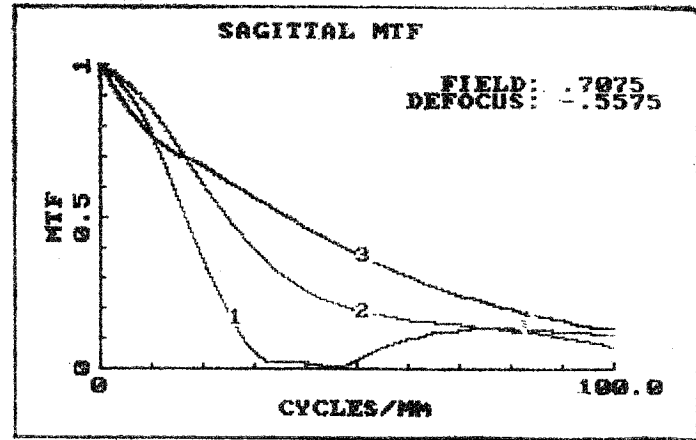


图 7-17

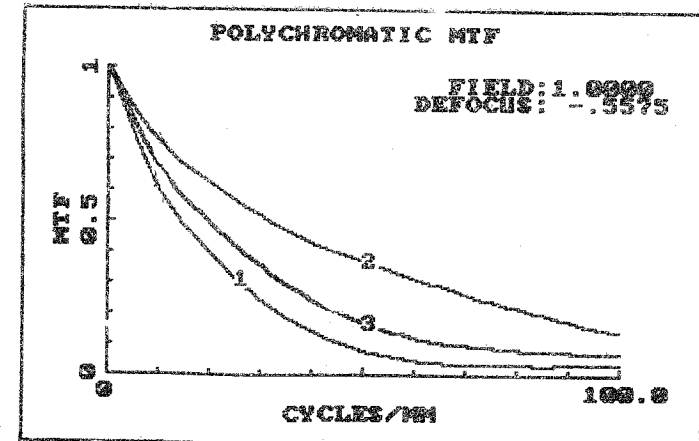
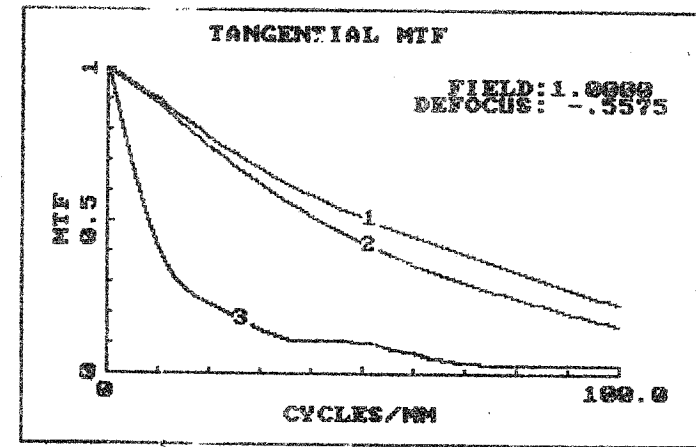
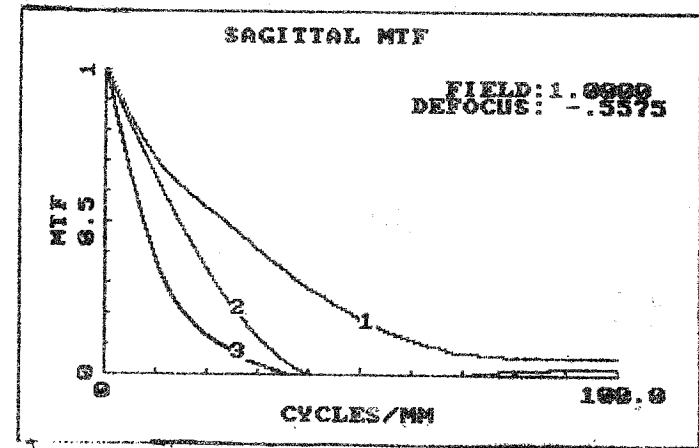


图 7-18

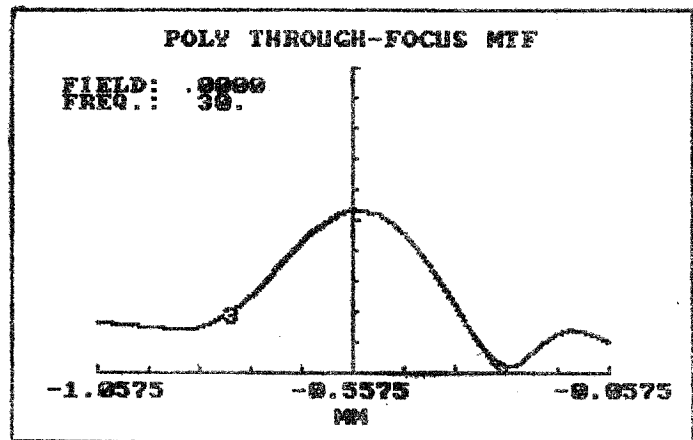
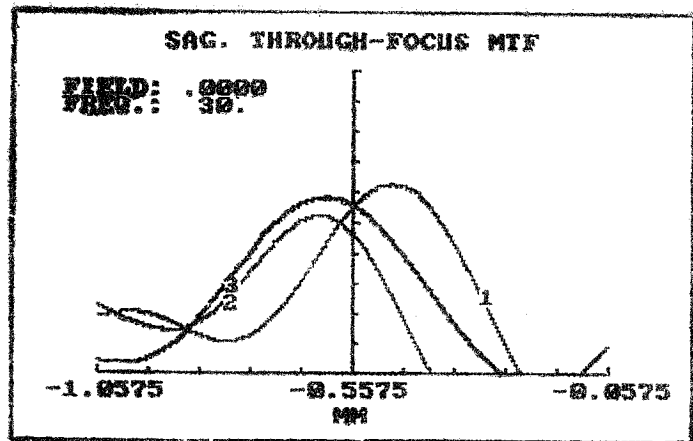


图 7-19

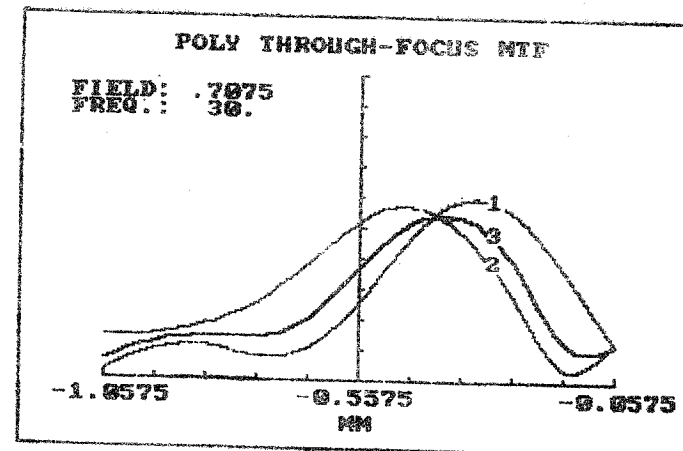
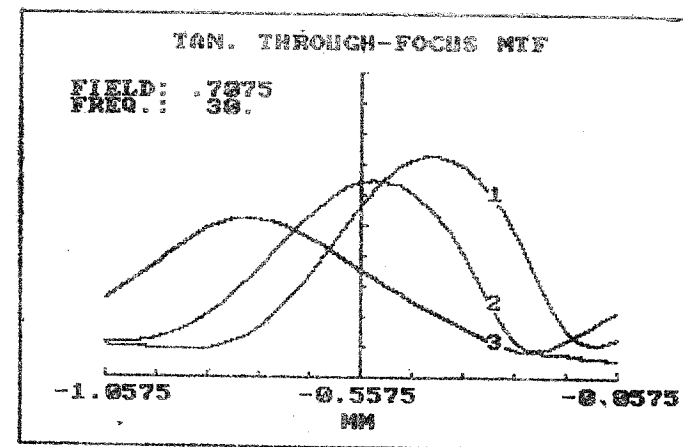
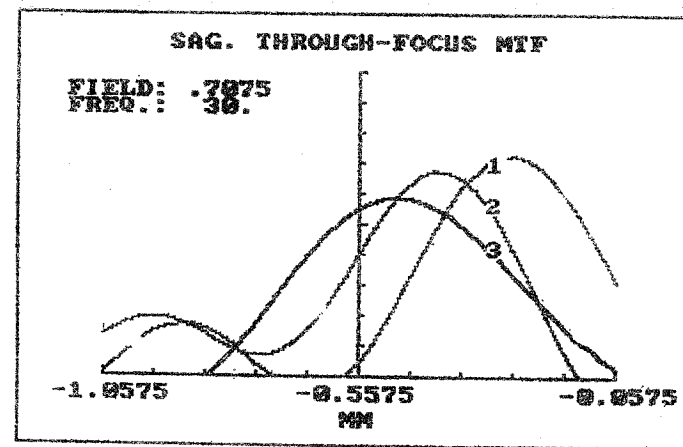


图 7-20

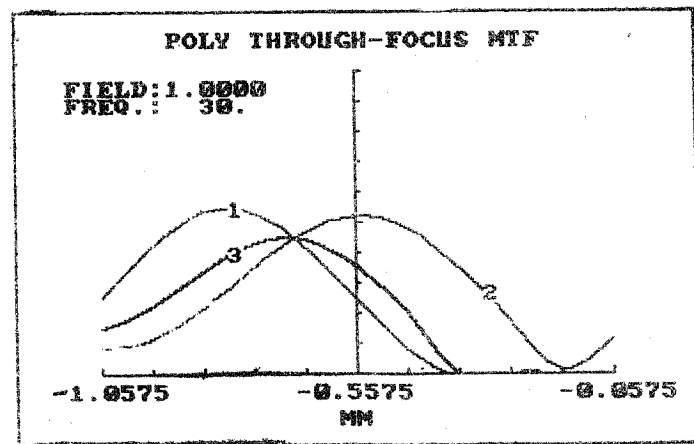
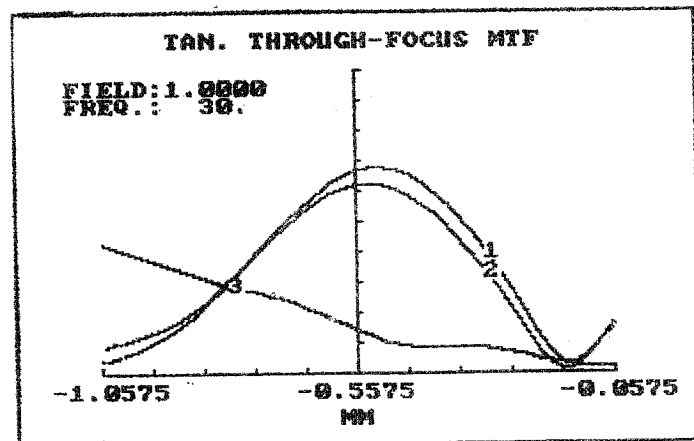
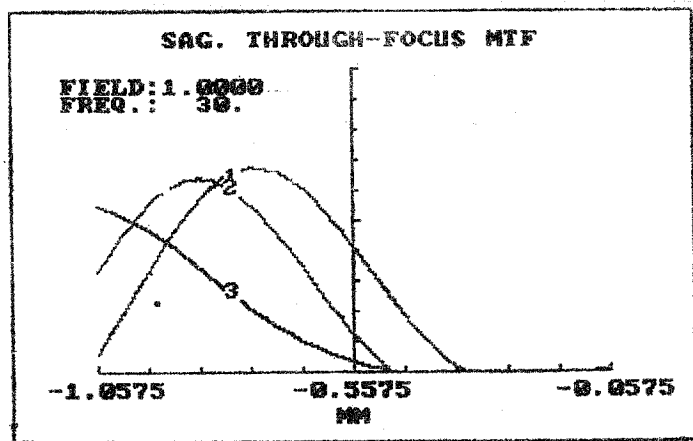


图 7-21

所有这些曲线图，均可用 $\uparrow + \text{Prtscc}$ 键在打印机上复制出来。当曲线输出完了之后，又返回“MTF和点列图”子菜单。

② 点列图的输出

在MTF“和点列图”的子菜单

M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

- 0. EXIT
- 1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....4
(1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
- 2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 100.
- 3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....10
- 4. SET UP THE DEFOCUS..... -0.5575
- 5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... 0.0000
- 6. D.O.T.F. CALCULATION
- 7. OUTPUT THE RESULTS
- 8. DISPLAY THE M.T.F.
- 9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
- 10. FETCH A NEW LENS DATA

YOUR CHOICE:

图 7-22

控制之下键入

9 ↵

则立即显示供画图用的比例尺，首先显示点的半径大小

The half spot size =

接着显示默认的比例尺

Default scale factor =

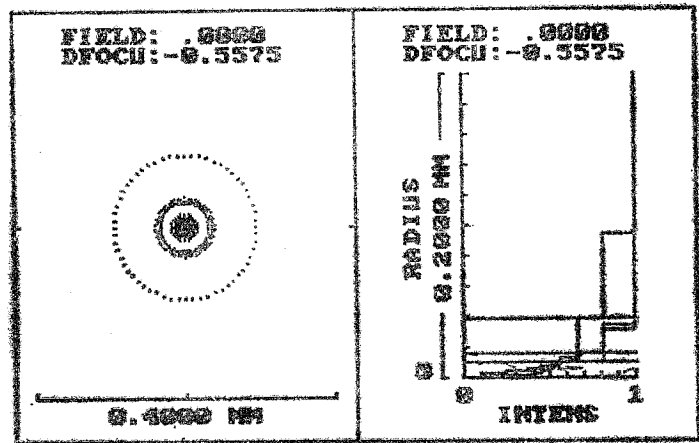
问你合适否

O.K.[Y/N]?

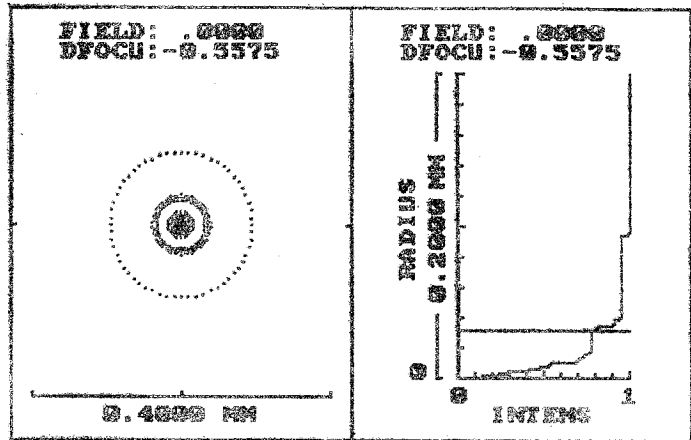
当看到默认的比例尺稍大于点的半径时，就可画出点的全貌，就可以回答 Y。当认为不合适时，可回答 N，它就让你输入比例尺：

Input the scale factor:

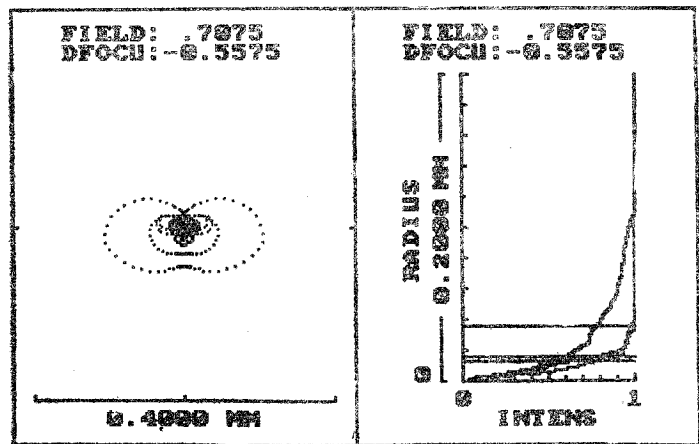
此后，便逐视场地显示点列图，且在其右侧给出能量集中状况的曲线，横坐标是能量，纵坐标是像点的弥散半径，在能量集中80%的地方给出一水平直线，从而直观地看出相应的像点弥散半径是多少。每个视场都给出两幅图，第1幅中的能量集中度曲线有三条，分别对应于三种单色的光线，第2幅中的能量集中度曲线只有一条，代表按你给的三种色光的权因子混合起来的混色光的对应曲线。



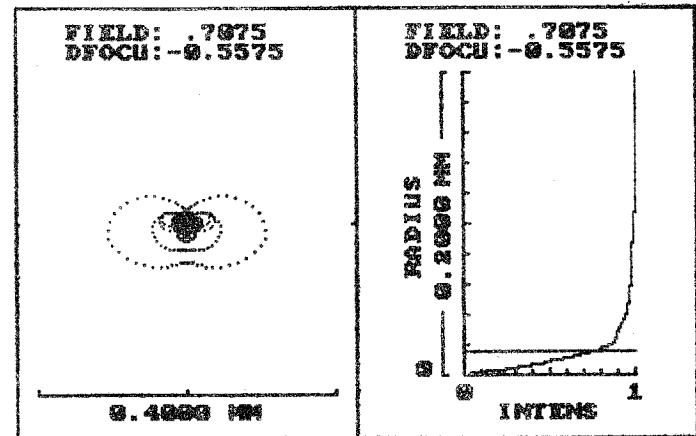
0 视场, 单色
图 7-23



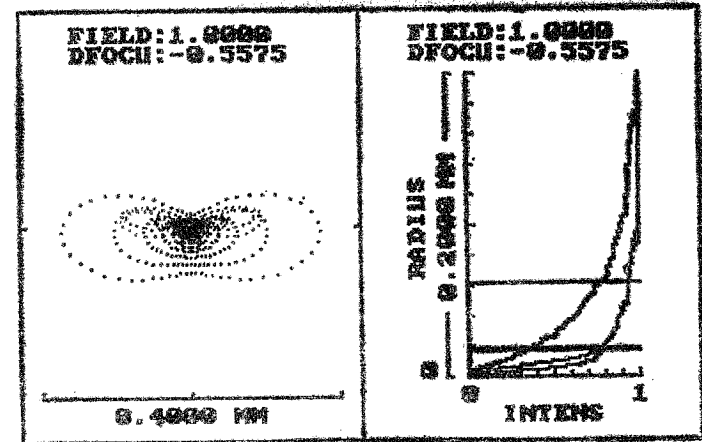
0 视场, 混色
图 7-24



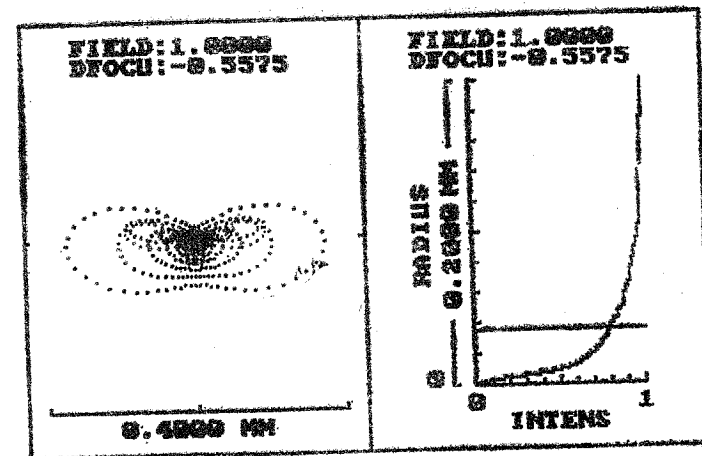
0.7075 视场, 单色
图 7-25



0.7075 视场, 混色
图 7-26



1.0 视场, 单色
图 7-27



1.0 视场, 混色
图 7-28

输出完了又返回子菜单。

③ 传函曲线图的输出

在“MTF 和点列图”子菜单

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....5
  (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150.
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....15
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0500
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0500
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA

-----
YOUR CHOICE: 8

```

图 7-29

控制之下，键入

8 ↓

即可。由于在 §7.3(2)① 中将传函的数据全部算出来了，只要你没退出该子菜单，这些数据就都存在，特别是当只想再次看看 MTF 曲线图时，只需重新显示即可。这一选项就是为此而提供的。详见 §7.3.(2). ① 显示 MTF 曲线图部分。显示完了，又返回子菜单。

④ 输出数值结果

在“MTF和点列图”子菜单控制之下，键入

7 ↓

立即显示

```

SELECT THE OUTPUT DEVICE
(1 = CRT, 2 = Printer, 3 = Disk)

```

又是让选择输出设备。这与 §7.3.(2). ① 中要选择输出设备的客观效果是一样的。不同的是，在那里是边计算边输出（在那里我们建议选用屏幕），而这里是单纯地把内存中的数据输出出来，速度要快得多。同样地，当且仅当选择磁盘作为输出设备时，才又问：

```

SPECIFY FILENAME FOR OUTPUT:

```

即指定数据文件名。而且也只有当指定的这个文件名与盘上的一个文件同名时才会显示

```

File already existed, replace it? [Y/N]

```

即是否取代盘上那个同名文件，可以作出肯定或否定的回答。

输出的数值结果的表格形式与标题符号的意义见 §7.3.(2). ①。

(3) 取新的镜头数据

在不退出“MTF和点列图”子菜单的情况下，可以取新的镜头数据进行 OTF 计算，从而可以节省时间。

在子菜单控制之下

```

-----
M.T.F. & SPOT DIAGRAM OPTIONS

0. EXIT
1. SELECT THE NUMBER OF INTEGRATION POINTS.....5
  (1..16*16, 2..20*20, 3..24*24, 4..32*32, 5..40*40)
2. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150.
3. SET UP THE NUMBER OF SPATIAL FREQUENCIES.....15
4. SET UP THE DEFOCUS..... .0500
5. SET UP THE INCREMENT IN FOCUS..... .0500
6. D.O.T.F. CALCULATION
7. OUTPUT THE RESULTS
8. DISPLAY THE M.T.F.
9. DISPLAY THE SPOT DIAGRAM
10. FETCH A NEW LENS DATA

-----
YOUR CHOICE: 10

```

图 7-30

键入

10 ↓

其后的情况和 §7-3 开始的情况一样。

当要从“MTF 和点列图”子菜单退出时，键入 0 即可。返回到“像质评价”子菜单。

4 二次傅里叶变换法计算 OTF 并显示 MTF 和点扩散函数立体图

在“像质评价”子菜单

```

-----
IMAGE EVALUATION OPTIONS

0. EXIT
1. D.O.T.F. & SPOT DIAGRAM
2. D.O.T.F. & POINT-SPREAD FUNCTION
3. WAVE ABERRATIONS PLOT

-----
YOUR CHOICE: 2

```

图 7-31

控制之下，键入

2 ↓

则清屏幕，显示

```

SPECIFY FILENAME FOR INPUT:

```

要你输入要计算 OTF 的镜头数据文件名。如果这个文件在盘上不存在，则显示

```

**** File does not exist ****

```

接着再次显示

```

SPECIFY FILENAME FOR INPUT:

```

这就说明只能对盘上已有的镜头数据文件进行 OTF 计算。若盘上没有指定的镜头数据文件，

则应首先采用第三章里讲的方法建立它。只有镜头结构参数还不够，还应按§3.5中讲的方法预先设定好光线。如果在镜头数据文件中只有基本的结构参数，则会显示

You have not SET RAYS!

Please use SET UP & MODIFY LENS DATA to do so.

告诉，先回到主菜单去，键入2，进入“建立和修改透镜数据菜单”，在其控制下，键入9，进行光线的设置（详见§3.5）。但是，现在只需按“回车”，返回“像质评价”子菜单，再退到主菜单。

如果键入的文件存在，且包括光线设置数据，则清屏幕，显示下述子菜单：

```

-----
M.T.F. & I.P.S.F. OPTIONS
0. EXIT
1. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 100.
2. SET UP THE DEFOCUS..... .0000
3. D.O.T.F. CALCULATION
4. OUTPUT THE RESULTS
5. DISPLAY SAGITTAL & TANGENTIAL M.T.F.
6. DISPLAY 3D-INTENSITY P.S.F
7. DISPLAY 3D-M.T.F.
8. FETCH A NEW LENS DATA
-----

```

YOUR CHOICE:

图 7—32

(1) 有关数据的设定

在“MTF和IPSF和”菜单中，第1和第2选项都是用作有关数据设定的。

① 设置最大空间频率

在子菜单

```

-----
M.T.F. & I.P.S.F. OPTIONS
0. EXIT
1. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 100.
2. SET UP THE DEFOCUS..... .0000
3. D.O.T.F. CALCULATION
4. OUTPUT THE RESULTS
5. DISPLAY SAGITTAL & TANGENTIAL M.T.F.
6. DISPLAY 3D-INTENSITY P.S.F
7. DISPLAY 3D-M.T.F.
8. FETCH A NEW LENS DATA
-----

```

YOUR CHOICE: 1

图 7—33

控制之下，键入

1 ↵

马上显示

```

-----
*****
*
* INPUT MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY
* OR INPUT A "0" TO CALCULATE UP
* TO THE CUT-OFF SPATIAL FREQUENCY.
*****
MAXIMUM FREQUENCY = 150
-----

```

图 7—34

方框里的意思是：输入最高空间频率或0，以便计算截止空间频率。下面问最高空间频率是多少。输入之后，马上又回到子菜单：

```

-----
M.T.F. & I.P.S.F. OPTIONS
0. EXIT
1. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150.
2. SET UP THE DEFOCUS..... .0000
3. D.O.T.F. CALCULATION
4. OUTPUT THE RESULTS
5. DISPLAY SAGITTAL & TANGENTIAL M.T.F.
6. DISPLAY 3D-INTENSITY P.S.F
7. DISPLAY 3D-M.T.F.
8. FETCH A NEW LENS DATA
-----

```

YOUR CHOICE: 3

图 7—35

在第1项之后的默认值现在变成150了。

在CAOD中，空间频率的个数是固定在20个。这样，就可以求出各空间频率值是多少了。设最高空间频率是 f_{max} ，则各空间频率值是

$$f_n = n \cdot \frac{f_{max}}{20}$$

其中 $n = 1, 2, \dots, 20$ 。

② 设置离焦量

现在键入

2 ↵

马上显示

DEFOCUS =

我们键入0.055，又回到子菜单

M.T.F. & I.P.S.F. OPTIONS

- 0. EXIT
- 1. SET UP THE MAXIMUM SPATIAL FREQUENCY..... 150.
- 2. SET UP THE DEFOCUS..... .0550
- 3. D.O.T.F. CALCULATION
- 4. OUTPUT THE RESULTS
- 5. DISPLAY SAGITTAL & TANGENTIAL M.T.F.
- 6. DISPLAY 3D-INTENSITY P.S.F
- 7. DISPLAY 3D-M.T.F.
- 8. FETCH A NEW LENS DATA

YOUR CHOICE: 图 7-36

其后的默认值变成0.055了。

注意，这个离焦量是以理想像面为准的，在其左，为负；在其右，为正。

(2) 传函计算

① 传函计算

当进入“MTF 和 IPSF”子菜单之后，如果认为第1、2选项中的默认值都正好满足要求，那么可以立即键入3进行传函计算。当（且仅当）认为这些默认值不满足要求时，才作出相应的修改或重新设置 (§7.4.1)。现在键入

3

又显示如下的子菜单

- **** YOU CAN CALCULATE MONO/POLY OTF ****
- 1 -- IN THE FIRST WAVELENGTH ONLY
 - 2 -- IN ALL WAVELENGTHS
 - 3 -- IN ALL WAVELENGTHS & POLYCHROMATIC
- YOUR CHOICE: 1

图 7-37

意思见§7.3.(2). ②。而且当（且仅当）要计算混色的 OTF 时（即选择3），才会进一步提问：

INPUT 3 WEIGHTING FACTORS OF COLOR:

即要输入各种（这里是3种）单色光在混合时各自占的比重，即权因子。在设置这些权因子时，要考虑的因素有光源辐射的光谱分布，光学系统的分光透过率，接收器的光谱灵敏度等。

当一一作答之后，又要选择最终结果的输出设备：

- **** YOU CAN OUTPUT DATA IN FOLLOWING WAYS ****
- 1 -- TO TERMINAL
 - 2 -- TO PRINTER
 - 3 -- TO A DATA FILE ON DISK
- YOUR CHOICE: 1

图 7-38

当（且仅当）保存到盘上（即选择3）时，才会显示

SPECIFY FILENAME FOR OUTPUT:

即要指定文件名。当这个文件名跟盘上的文件名相同时，还会显示

File already existed, replace it? [Y/N]

问是否取代盘上的原有文件，可以作出肯定或否定的回答。一般来说建议你选用1，即先在屏幕上看一看。回答之后，立即显示初始数据，其中各标题符号的意义见§3.6和§4.3。在最后一行又显示出最高空间频率 FMAX =，离焦量 DEFOCUS =，二维快速傅里叶变换的点 数 N—WFT2D =。

至此，进行计算，要稍候一会儿，才会输出MTF的计算结果。

首先输出的是系统结构参数（图7-39）。然后才输出MTF。

输出的格式首先是按视场排序，即：

- FIELD = 0.0
- ⋮
- FIELD = 0.7075
- ⋮
- FIELD = 1.0
- ⋮

在每个视场之后给出实际视场角UP =，和主光线像高Y, ' =。

在每个视场之下，又按波长排序，即：

- 波长序号WL No.1: 实际波长 WAVELENGTH =
 - ⋮
 - 波长序号WL No.2: 实际波长 WAVELENGTH =
 - ⋮
 - 波长序号WL No.3: 实际波长 WAVELENGTH =
- 在0视场的每种波长之下给出两列数，即：

实际空间频率	调制传递函数
SF[C/MM]	MTF
⋮	⋮

在非0视场的每种波长之下给出6列数；即

实际空间频率	弧矢方向调制传函	子午方向传函实部
SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)
⋮	⋮	⋮
子午方向传函虚部	子午方向调制传函	子午方向位相传函
OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
⋮	⋮	⋮

具体数值见图7-39。

APPLIED OPTICS LAB., ACADEMIA SINICA
D.O.T.F.

5- 6-1987 16:54:25
UNIT: MM

5-ELEMENT LENS 24-INCH F/6

NO.	UO	H1	UPO	ISTOP	HCA	GL.NO	GLASS
9	.00000u	50.800	-14.700	5			
1	172.3658	-67.935	1.0000000	.0000000	50.804	0	
2	-228.7773	25.908	1.6204100	.0102900	49.296	1	SK16
3	1217.9333	10.160	1.5325600	.0115800	47.043	2	TIF2
4	-277.2926	25.202	1.0000000	.0000000	43.050	0	
5	148.7877	10.160	1.5111800	.0100400	41.696	3	TIF1
6	-1214.7879	37.189	1.0000000	.0000000	43.027	0	
7	167.8906	10.160	1.5111800	.0100400	46.040	3	TIF1
8	-242.3502	29.464	1.6204100	.0102900	49.771	1	SK16
9	.0000	522.742	1.0000000	.0000000	160.133	0	

NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL
3	3	.5875618	.6562725	.4861327
1	SK16	1.6204100	1.6172800	1.6275700
2	TIF2	1.5325600	1.5291100	1.5406900
3	TIF1	1.5111800	1.5081400	1.5181800

NCLIP= 8

1	50.800
2	49.124
3	46.876
4	42.893
5	41.696
6	42.875
7	46.040
8	49.774

DFO	DHO	FLO	DFI	DHI
-553.3844	56.2153	-609.5997	523.2994	-86.3004
EFL	UI	DIMA	MAG	J
609.5997	.083333	523.2994	.0000	13.3271
DPO	OPI	SINUPO	SINUPI	HIMA
67.9353	-74.8014	-.253758	-.258637	159.7767

NFLD= 3

FLD	YPO	VUY	VLY	VX
.0000	.0000	1.0000	-1.0000	1.0000
.7075	-.0840	.8221	-.7807	.9756
1.0000	-.2530	.7136	-.6837	.9487

FMAX = 100.00 DEFOCUS = -.5575 N_WFT2D = 72 * 72

FIELD 0000: UP = .000 Yp = .000000

WL NO. 1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

SF[C/MM]	MTF
5.00	.9532
10.00	.8916
15.00	.8123
20.00	.7258
25.00	.6373
30.00	.5503

图 7-39(1)

35.00	.4694
40.00	.3977
45.00	.3370
50.00	.2876
55.00	.2493
60.00	.2211
65.00	.2021
70.00	.1911
75.00	.1870
80.00	.1884
85.00	.1939
90.00	.2030
95.00	.2140
100.00	.2245

WL NO. 2: WAVELENGTH = .6562725 MICRON

SF[C/MM]	MTF
5.00	.9457
10.00	.8668
15.00	.7651
20.00	.6587
25.00	.5563
30.00	.4650
35.00	.3891
40.00	.3284
45.00	.2798
50.00	.2391
55.00	.2027
60.00	.1692
65.00	.1398
70.00	.1171
75.00	.1033
80.00	.1000
85.00	.1050
90.00	.1134
95.00	.1211
100.00	.1255

WL NO. 3: WAVELENGTH = .4861327 MICRON

SF[C/MM]	MTF
5.00	.8169
10.00	.6833
15.00	.6263
20.00	.6072
25.00	.5888
30.00	.5676
35.00	.5447
40.00	.5216
45.00	.4993
50.00	.4777
55.00	.4567
60.00	.4361

图 7-39(2)

65.00	.4159
70.00	.3959
75.00	.3761
80.00	.3567
85.00	.3379
90.00	.3196
95.00	.3016
100.00	.2841

POLYCHROMATIC OTF:

WEIGHT(1)= .5000
 WEIGHT(2)= .2500
 WEIGHT(3)= .2500

SF[C/MM]	MTF
5.00	.9172
10.00	.8333
15.00	.7540
20.00	.6794
25.00	.6049
30.00	.5333
35.00	.4681
40.00	.4114
45.00	.3633
50.00	.3230
55.00	.2895
60.00	.2619
65.00	.2400
70.00	.2238
75.00	.2134
80.00	.2084
85.00	.2077
90.00	.2098
95.00	.2127
100.00	.2147

=====
 FIELD .7075: UP = -10.400 Yp' = 111.841684
 =====

WL NO. 1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.9145	.9530	-.0103	.9531	-.0108
10.00	.7672	.8897	-.0214	.8899	-.0240
15.00	.5581	.8083	-.0320	.8089	-.0395
20.00	.3496	.7224	-.0391	.7236	-.0541
25.00	.1700	.6404	-.0424	.6418	-.0662
30.00	.0481	.5663	-.0426	.5679	-.0750
35.00	.0191	.5025	-.0408	.5042	-.0810
40.00	.0211	.4491	-.0383	.4507	-.0850
45.00	.0061	.4047	-.0360	.4063	-.0887
50.00	.0255	.3676	-.0345	.3693	-.0935

图 7-39(3)

55.00	.0685	.3363	-.0339	.3380	-.1006
60.00	.0986	.3092	-.0344	.3112	-.1109
65.00	.1181	.2851	-.0361	.2874	-.1261
70.00	.1298	.2634	-.0383	.2662	-.1443
75.00	.1339	.2441	-.0398	.2473	-.1618
80.00	.1330	.2256	-.0413	.2293	-.1811
85.00	.1294	.2070	-.0427	.2113	-.2035
90.00	.1244	.1882	-.0437	.1932	-.2280
95.00	.1189	.1688	-.0443	.1745	-.2569
100.00	.1137	.1490	-.0442	.1555	-.2886

WL NO. 2: WAVELENGTH = .6562725 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.9450	.9542	.0145	.9543	.0152
10.00	.8558	.8974	.0185	.8976	.0206
15.00	.7363	.8319	.0127	.8320	.0152
20.00	.6104	.7656	.0032	.7656	.0042
25.00	.4923	.7021	-.0070	.7021	-.0100
30.00	.3924	.6434	-.0162	.6436	-.0251
35.00	.3153	.5906	-.0236	.5910	-.0399
40.00	.2596	.5437	-.0295	.5445	-.0542
45.00	.2206	.5024	-.0346	.5036	-.0687
50.00	.1949	.4659	-.0394	.4676	-.0844
55.00	.1780	.4335	-.0451	.4359	-.1036
60.00	.1654	.4045	-.0517	.4078	-.1272
65.00	.1554	.3786	-.0580	.3830	-.1521
70.00	.1467	.3552	-.0651	.3611	-.1812
75.00	.1383	.3338	-.0737	.3418	-.2173
80.00	.1294	.3144	-.0834	.3253	-.2593
85.00	.1193	.2970	-.0944	.3116	-.3078
90.00	.1072	.2809	-.1047	.2997	-.3569
95.00	.0923	.2651	-.1135	.2884	-.4046
100.00	.0743	.2492	-.1217	.2773	-.4544

WL NO. 3: WAVELENGTH = .4861327 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.8669	.8288	-.1844	.8491	-.2189
10.00	.7661	.6551	-.2876	.7154	-.4136
15.00	.7106	.4897	-.2760	.5621	-.5132
20.00	.6682	.3749	-.2305	.4401	-.5513
25.00	.6178	.3221	-.2072	.3831	-.5717
30.00	.5651	.2913	-.2006	.3537	-.6030
35.00	.5142	.2608	-.2021	.3299	-.6592
40.00	.4657	.2310	-.2056	.3092	-.7274
45.00	.4201	.2022	-.2077	.2899	-.7989
50.00	.3783	.1747	-.2067	.2707	-.8690
55.00	.3399	.1492	-.2026	.2516	-.9359
60.00	.3048	.1263	-.1960	.2332	-.9985
65.00	.2734	.1060	-.1875	.2154	-1.0563
70.00	.2459	.0885	-.1777	.1985	-1.1088
75.00	.2212	.0743	-.1682	.1839	-1.1548
80.00	.1989	.0628	-.1597	.1716	-1.1962

图 7-39(4)

85.00	.1790	.0515	-.1512	1597	-1.2428
90.00	.1614	.0394	-.1425	1478	-1.3007
95.00	.1460	.0273	-.1334	1362	-1.3692
100.00	.1325	.0156	-.1234	1243	-1.4447

POLYCHROMATIC OTF:

WEIGHT(1)= .5000
 WEIGHT(2)= .2500
 WEIGHT(3)= .2500

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.9103	.9223	-.0476	.9235	-.0516
10.00	.7891	.8330	-.0780	.8366	-.0933
15.00	.6408	.7346	-.0818	.7391	-.1109
20.00	.4945	.6464	-.0764	.6509	-.1176
25.00	.3625	.5762	-.0748	.5811	-.1290
30.00	.2634	.5168	-.0755	.5223	-.1450
35.00	.2169	.4641	-.0768	.4704	-.1640
40.00	.1918	.4182	-.0779	.4254	-.1842
45.00	.1633	.3785	-.0786	.3866	-.2047
50.00	.1561	.3440	-.0788	.3529	-.2251
55.00	.1637	.3138	-.0789	.3236	-.2462
60.00	.1669	.2873	-.0792	.2980	-.2688
65.00	.1662	.2637	-.0795	.2754	-.2927
70.00	.1630	.2426	-.0798	.2554	-.3179
75.00	.1568	.2241	-.0804	.2380	-.3445
80.00	.1486	.2071	-.0814	.2225	-.3746
85.00	.1393	.1906	-.0828	.2078	-.4096
90.00	.1293	.1742	-.0836	.1932	-.4477
95.00	.1190	.1575	-.0839	.1784	-.4895
100.00	.1085	.1407	-.0834	.1636	-.5349

=====

FIELD 1.0000: UP = -14.700 Yp' = 159.941869

WL NO. 1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.8484	.9533	.0317	.9538	.0332
10.00	.7220	.8994	.0557	.9012	.0619
15.00	.6290	.8394	.0706	.8423	.0839
20.00	.5589	.7806	.0801	.7847	.1022
25.00	.4934	.7256	.0861	.7306	.1181
30.00	.4260	.6751	.0897	.6810	.1321
35.00	.3619	.6294	.0917	.6361	.1447
40.00	.3024	.5881	.0925	.5953	.1560
45.00	.2483	.5504	.0920	.5580	.1656
50.00	.2006	.5157	.0901	.5235	.1731
55.00	.1602	.4835	.0870	.4912	.1780
60.00	.1270	.4538	.0825	.4612	.1799
65.00	.1007	.4265	.0771	.4334	.1789
70.00	.0821	.3995	.0714	.4058	.1768

75.00	.0702	.3727	.0683	.3783	.1733
80.00	.0625	.3475	.0588	.3524	.1667
85.00	.0580	.3219	.0515	.3260	.1587
90.00	.0559	.2959	.0445	.2992	.1491
95.00	.0550	.2714	.0371	.2740	.1389
100.00	.0548	.2466	.0300	.2485	.1211

WL NO. 2: WAVELENGTH = .6562725 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.8400	.9453	.0465	.9465	.0492
10.00	.6550	.8802	.0747	.8833	.0846
15.00	.4821	.8091	.0849	.8135	.1045
20.00	.3463	.7405	.0849	.7453	.1141
25.00	.2253	.6763	.0780	.6808	.1149
30.00	.1266	.6175	.0670	.6211	.1001
35.00	.0457	.5640	.0534	.5665	.0944
40.00	.0077	.5156	.0378	.5170	.0732
45.00	.0255	.4719	.0210	.4724	.0644
50.00	.0338	.4324	.0034	.4324	.0079
55.00	.0296	.3971	-.0136	.3974	-.0342
60.00	.0184	.3638	-.0299	.3650	-.0821
65.00	.0061	.3315	-.0453	.3345	-.1359
70.00	.0062	.3017	-.0587	.3073	-.1922
75.00	.0130	.2718	-.0704	.2808	-.2536
80.00	.0191	.2430	-.0795	.2557	-.3161
85.00	.0221	.2154	-.0853	.2317	-.3773
90.00	.0239	.1874	-.0883	.2072	-.4404
95.00	.0246	.1619	-.0877	.1841	-.4963
100.00	.0245	.1374	-.0842	.1611	-.5497

WL NO. 3: WAVELENGTH = .4861327 MICRON

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.6302	.6701	-.1281	.6823	-.1889
10.00	.3607	.4076	-.1190	.4248	-.2860
15.00	.2261	.2515	.0387	.2542	.1528
20.00	.1384	.1845	.1349	.2285	.6313
25.00	.0637	.1597	.1140	.1962	.6202
30.00	.0301	.1138	.0909	.1454	.6738
35.00	.0243	.0569	.0934	.1093	1.0231
40.00	.0186	.0251	.1038	.1068	1.3335
45.00	.0135	.0135	.1091	.1099	1.4475
50.00	.0125	.0102	.1026	.1031	1.4721
55.00	.0121	.0070	.0870	.0873	1.4816
60.00	.0128	.0023	.0674	.0674	1.5360
65.00	.0182	-.0071	.0493	.0498	1.7133
70.00	.0221	-.0163	.0344	.0361	2.0130
75.00	.0172	-.0209	.0226	.0308	2.3164
80.00	.0067	-.0246	.0159	.0293	2.5667
85.00	.0035	-.0294	.0136	.0324	2.7087
90.00	.0064	-.0314	.0100	.0330	2.8318
95.00	.0148	-.0299	.0064	.0306	2.9308
100.00	.0211	-.0277	.0087	.0290	2.8386

POLYCHROMATIC OTF:

WEIGHT(1)= .5000
WEIGHT(2)= .2500
WEIGHT(3)= .2500

SF[C/MM]	MTF(S)	OTF(R)	OTF(I)	MTF(T)	PTF(T)
5.00	.7918	.8805	-.0046	.8805	-.0052
10.00	.6149	.7717	.0166	.7716	.0215
15.00	.4916	.6848	.0462	.6880	.0963
20.00	.4006	.6215	.0950	.6288	.1516
25.00	.3190	.5716	.0911	.5790	.1579
30.00	.2522	.5204	.0843	.5272	.1607
35.00	.1984	.4700	.0826	.4772	.1739
40.00	.1578	.4292	.0817	.4369	.1880
45.00	.1339	.3965	.0785	.4042	.1955
50.00	.1119	.3685	.0716	.3754	.1918
55.00	.0905	.3430	.0618	.3485	.1784
60.00	.0713	.3184	.0506	.3224	.1577
65.00	.0564	.2944	.0396	.2970	.1336
70.00	.0481	.2711	.0296	.2727	.1088
75.00	.0427	.2490	.0207	.2499	.0828
80.00	.0382	.2283	.0134	.2287	.0584
85.00	.0354	.2074	.0078	.2076	.0376
90.00	.0355	.1870	.0027	.1870	.0142
95.00	.0373	.1687	-.0018	.1687	-.0104
100.00	.0388	.1507	-.0039	.1508	-.0257

RUN TIME IS 0:22:47.87

图 7-39(7)

在数值结果输出完了之后,立即显示各视场的弧矢、子午、混色的 MTF 曲线。在弧矢、子午 MTF 曲线上的数字表示不同色光的序号,在混色光 MTF 曲线上的数字,1 表示弧矢的,2 表示子午的,3 表示√弧矢的·子午的。在 0° 视场,由于轴对称性,子午、弧矢的都一样,故三条曲线重合,只注有数字 3。

所有这些曲线图,均可用 ↑ + prt Sc 键在打印机上复制出来。

当曲线输出完了之后,又返回“MTF和点列图”子菜单。

② 显示点扩散函数强度的主体图

在“MTF&I.P.S.F”菜单(图7-32)之下,键入

6 ↓

即可。这是专门供看这些立体图而提供的选项。稍候,显示如图7-43~图7-45。全部显示完了之后,按“回车”,又返回“MTF&I.P.S.F.”菜单(图7-32)。

③ 显示 MTF 的三维立体图

在“MTF&I.P.S.F”菜单(图7-32)之下,键入

7 ↓

即可。这是专门供看这些立体图而提供的选项。稍候,显示如图7-46~图7-48。

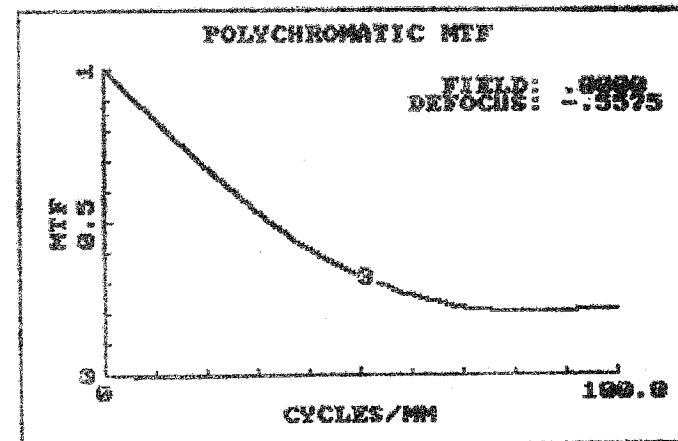
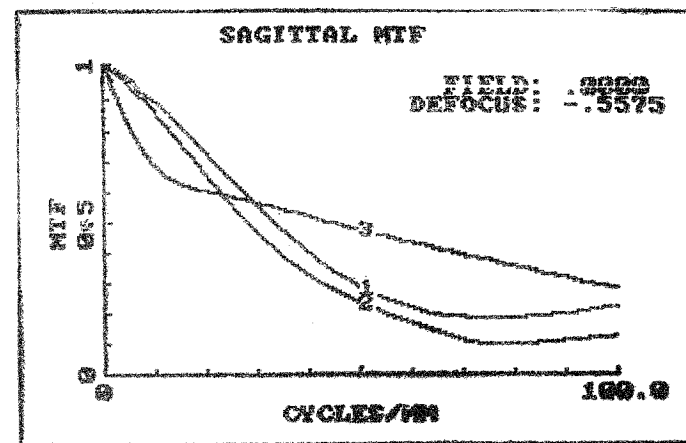


图 7-40

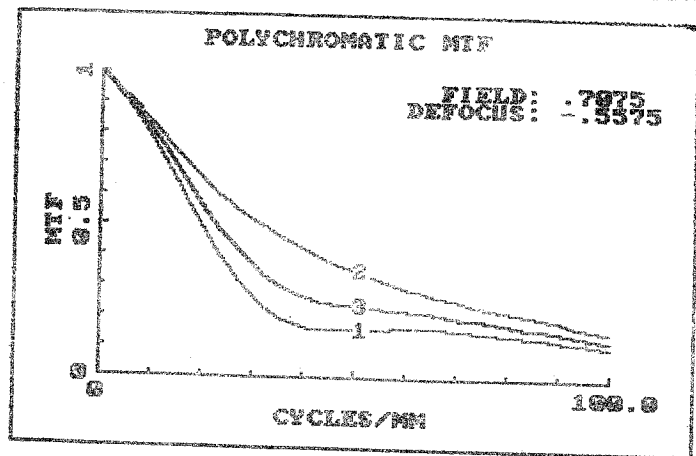
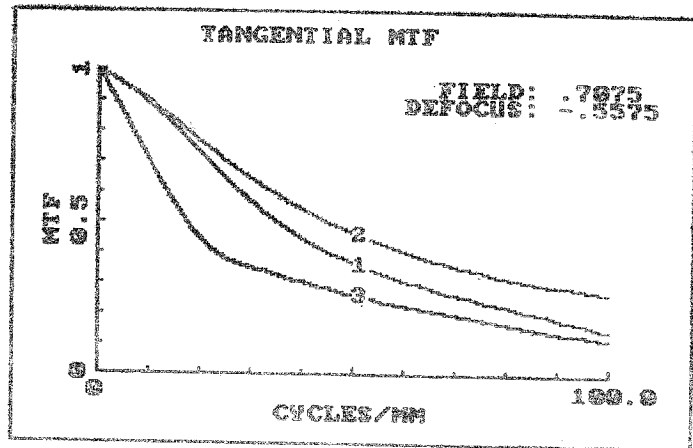
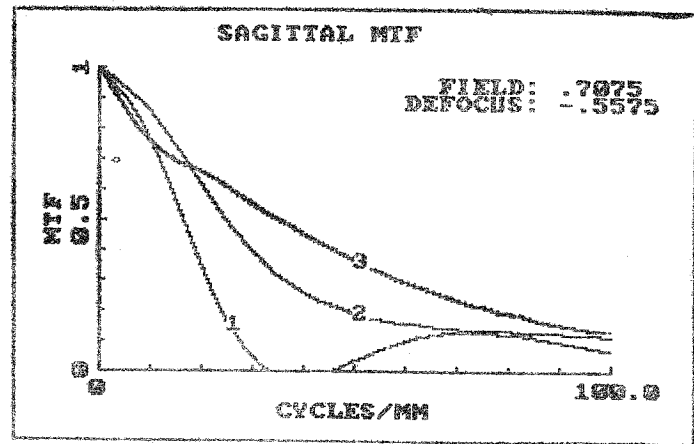


图 7-41

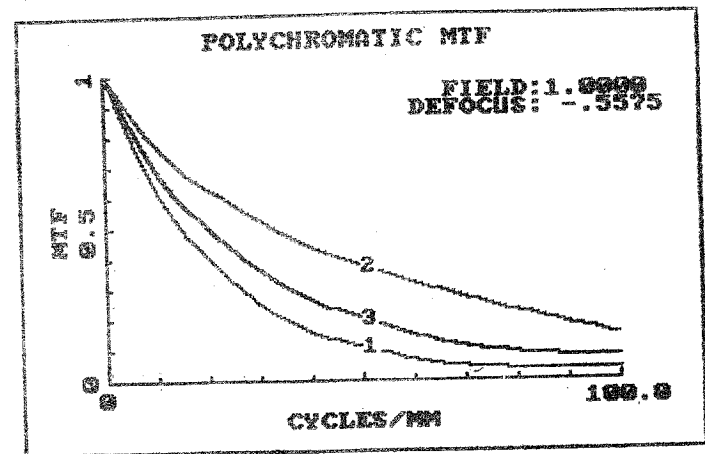
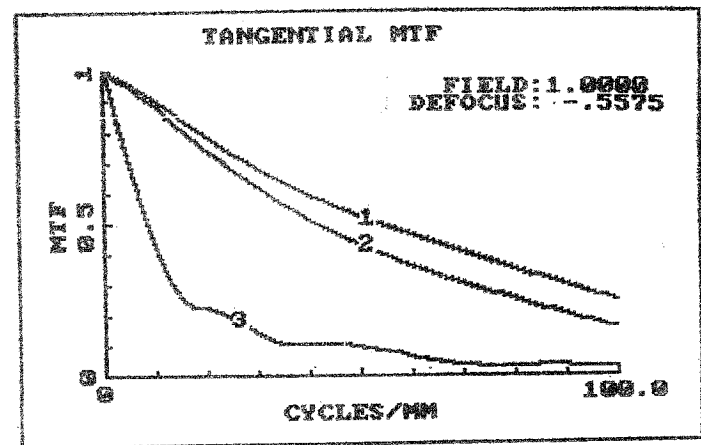
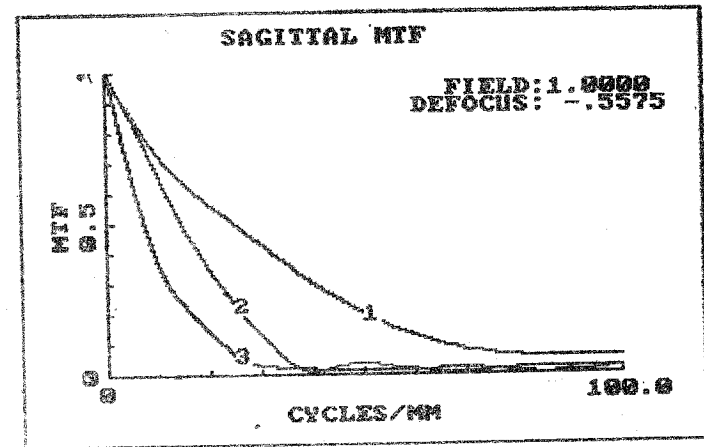
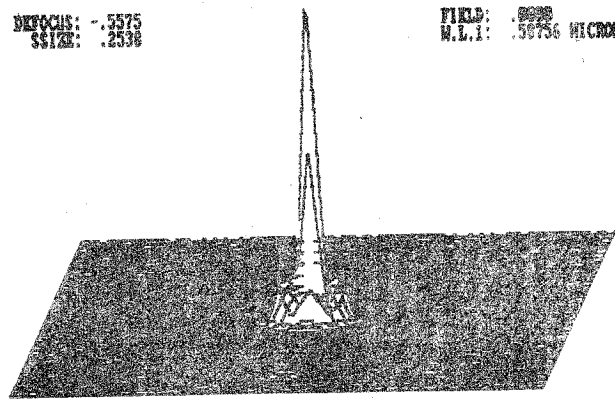


图 7-42

I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SIZE: .2536

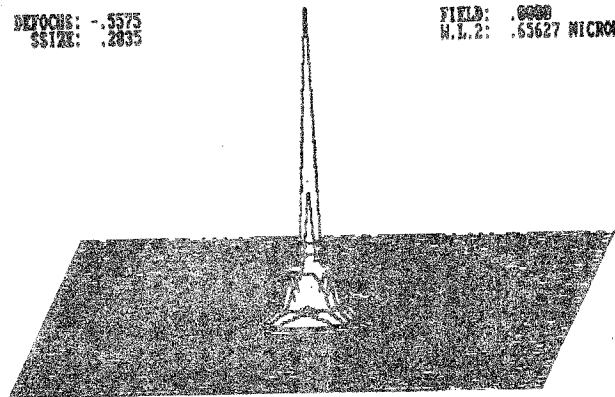
FIELD: .0000
M.L.1: .50756 MICRON



I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SIZE: .2835

FIELD: .0000
M.L.2: .53627 MICRON



I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SIZE: .2160

FIELD: .0000
M.L.3: .48613 MICRON

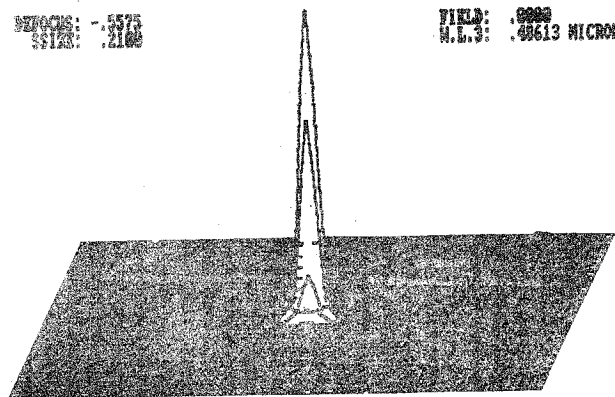
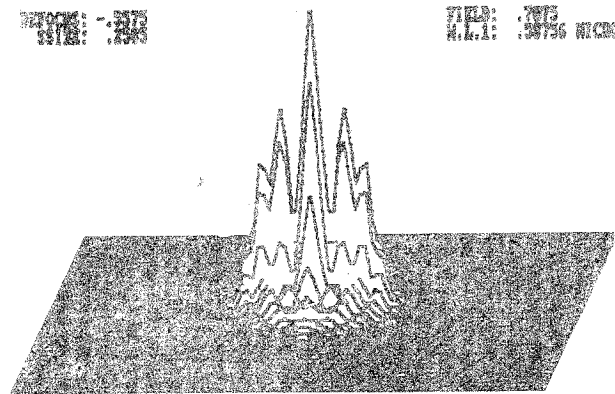


图 7-43

I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SIZE: .2536

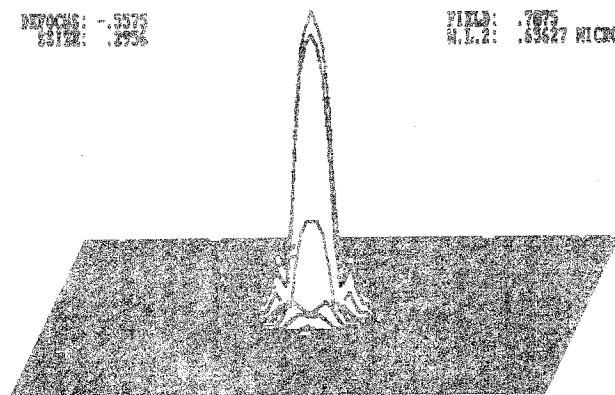
FIELD: .7075
M.L.1: .50756 MICRON



I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SIZE: .2536

FIELD: .7075
M.L.2: .53627 MICRON



I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SIZE: .2160

FIELD: .7075
M.L.3: .48613 MICRON

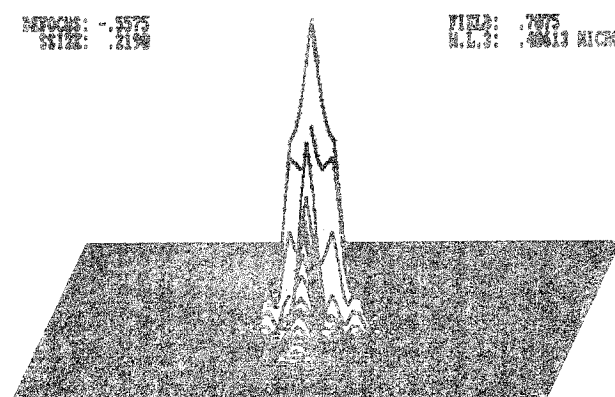
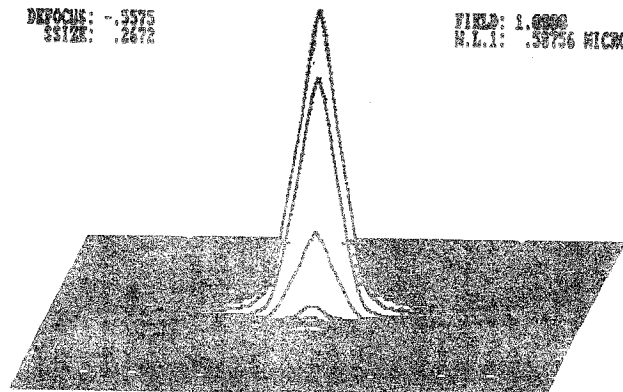


图 7-44

I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SSIZE: .2672

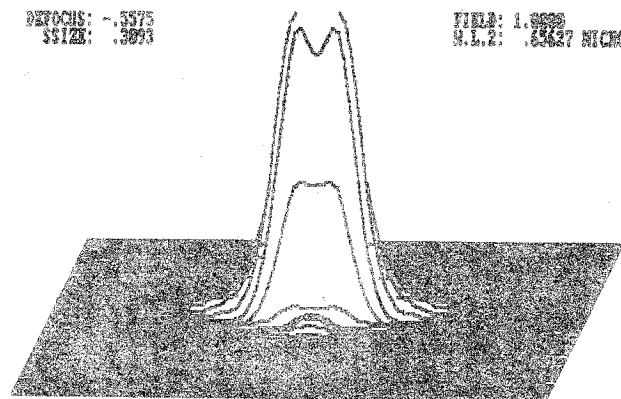
FIELD: 1.0000
N.L.1: .50756 MICRON



I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SSIZE: .3093

FIELD: 1.0000
N.L.2: .55627 MICRON



I. P. S. F.

DEFOCUS: -.5575
SSIZE: .2891

FIELD: 1.0000
N.L.3: .49613 MICRON

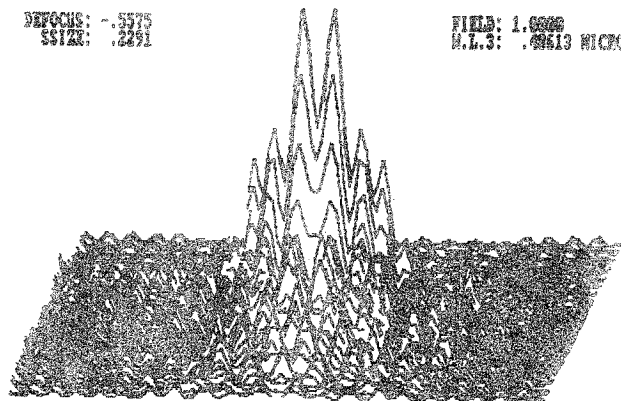
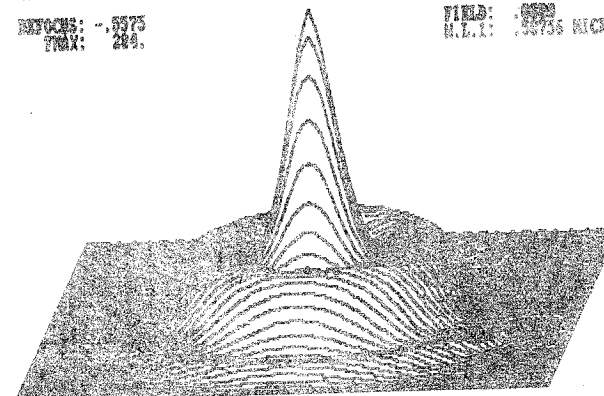


图 7-45

H. T. F.

DEFOCUS: -.5575
PMAX: 249.

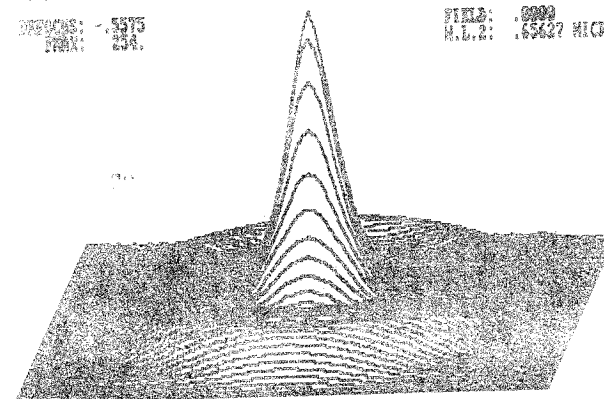
FIELD: .0000
N.L.1: .50756 MICRON



H. T. F.

DEFOCUS: -.5575
PMAX: 254.

FIELD: .0000
N.L.2: .65627 MICRON



H. T. F.

DEFOCUS: -.5575
PMAX: 362.

FIELD: .0000
N.L.3: .49613 MICRON

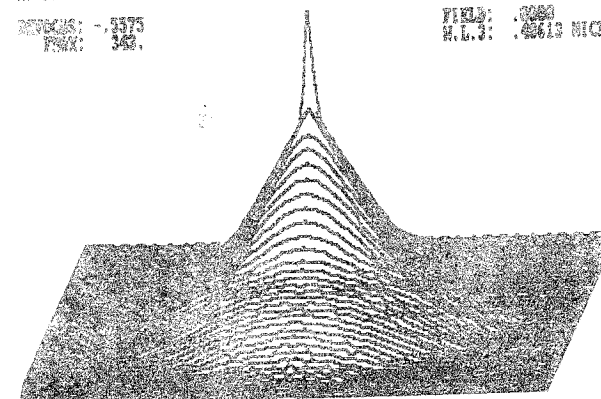


图 7-46

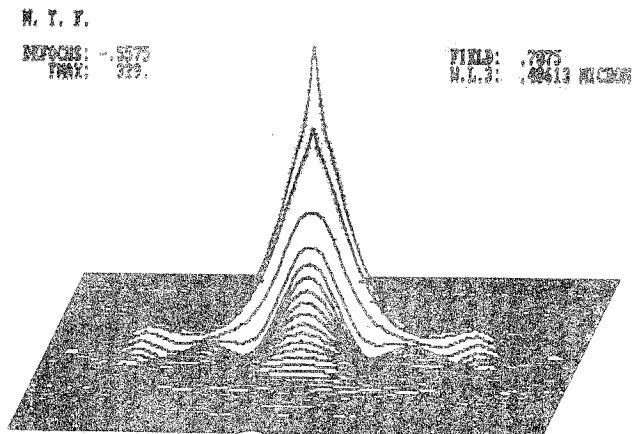
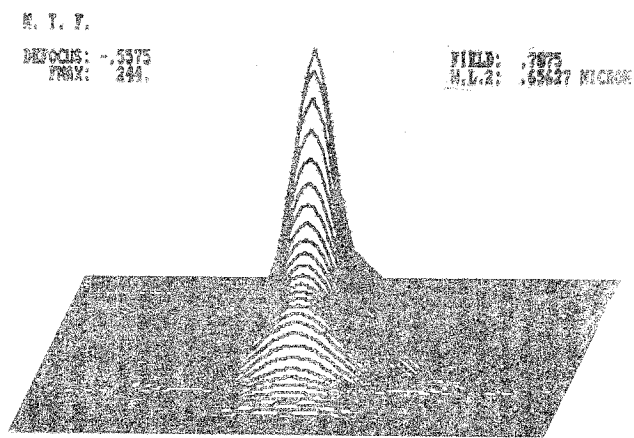
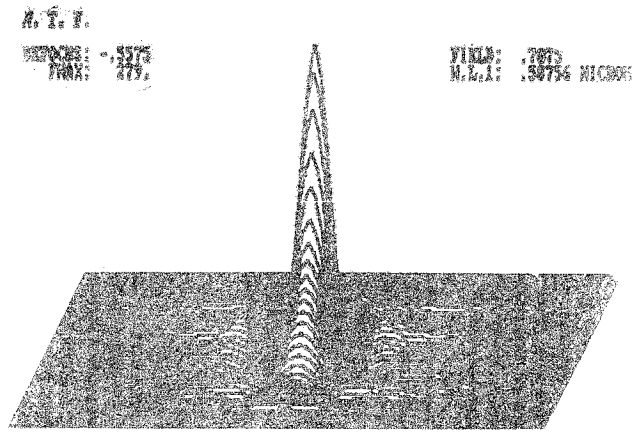


图 7-47

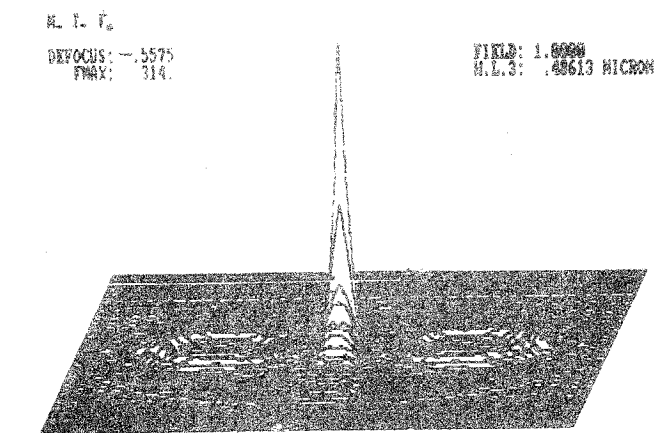
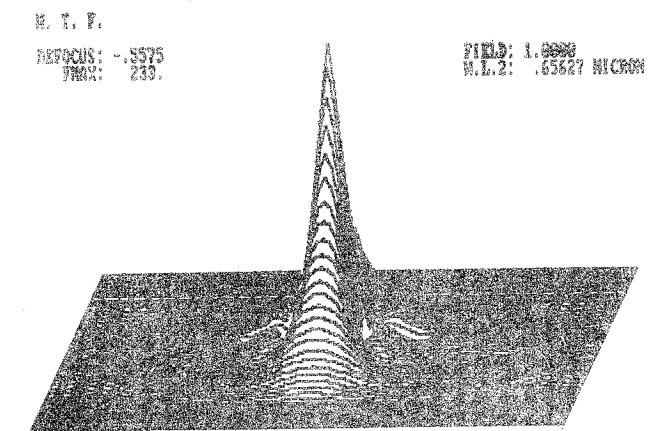
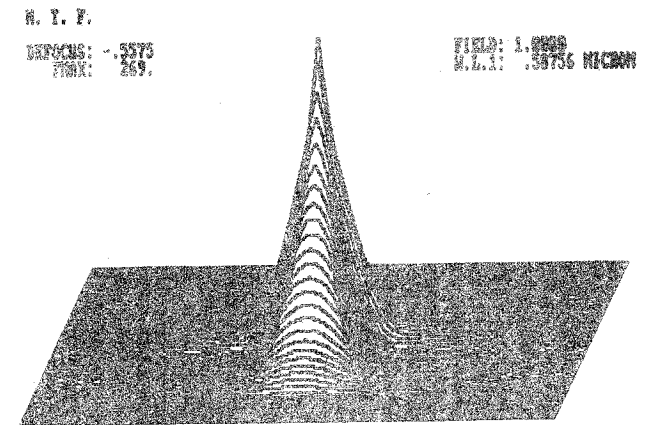


图 7-48

全部显示完了, 按“回车”, 又返回“MTF&I.P.S.F.”菜单 (图7—32)。

④ 显示弧矢和子午的MTF曲线在“MTF&I.P.S.F”菜单 (图7—32) 之下, 键入

5 ↓

即可。这是专门供看这些MTF曲线而提供的选项。稍候, 显示如图7—40~图7—42 全部显示完了, 按“回车”, 又返回“MTF&I.P.S.F”菜单 (图7—32)。

⑤ 输出数值结果

在“MTF & I.P.S.F”菜单 (图7—32) 之下, 键入

4 ↓

即可。立即显示

SELECT THE OUTPUT DEVICE

(1 = CRT, 2 = Printer, 3 = Disk)

又是让选择输出设备。当(且仅当) 选择磁盘作为输出设备时才问你

SPECIFY FILENAME FOR OUTPUT;

即指定数据文件名。而且当(且仅当) 指定的这个文件名与盘上的一个文件同名时才会显示

File already existed, replace it?[Y/N]

即是否取代盘上那个同名文件, 可以作出肯定或否定的回答。

输出的数值结果的表格形式与标题符号的意义见 § 7. 4. (2), ①。

(3) 取新的镜头数据

在不退出“MTF & I.P.S.F”菜单的情况下, 可以取新的镜头数据进行OTF计算, 从而节省时间。在“MTF & I.P.S.F”菜单 (图7—32) 之下, 键入

8 ↓

其后的情况和 § 7. 4 开始的情况一样。不再重述。

当要从“MTF & I.P.S.F”菜单退出时, 键入0即可。返回到像质评价子菜单。

5. 显示波差等高线图

在“像质评价”子菜单

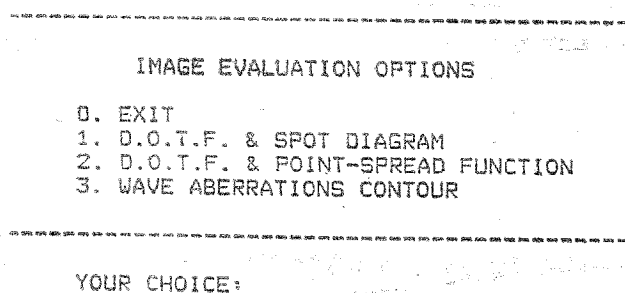


图 7—49

控制之下, 键入

3 ↓

当指定了输入文件名之后, 便显示如下的子菜单:

(1) 设置离焦量

在子菜单 (图7—50) 之下, 键入

WAVE ABERRATIONS CONTOUR OPTIONS

- 0. EXIT
- 1. SET UP THE DEFOCUS..... -.55750E+00
- 2. WAVE ABERRATIONS CALCULATION
- 3. OUTPUT THE RESULTS
- 4. DISPLAY WAVE ABERRATIONS CONTOUR
- 5. FETCH A NEW LENS DATA

YOUR CHOICE:

图 7—50

1 ↓

便显示

DEFOCUS =

当设置好之后, 又返回子菜单 (图7—50)。

但这时的离焦量默认值改变成刚才键入的值了。

(2) 波差计算

在子菜单 (图7—50) 之下, 键入

2 ↓

便显示图7—51

**** YOU CAN CALCULATE MONO/POLY WABM ****

- 1 -- IN THE FIRST WAVELENGTH ONLY
- 2 -- IN ALL WAVELENGTHS

YOUR CHOICE: 1

图 7—51

意思是可计算单色或混色波差:

1 -- 只计算第 1 种波长

2 -- 计算全部波长

当选定之后, 又显示图7—52

**** YOU CAN OUTPUT DATA IN FOLLOWING WAYS ****

- 1 -- TO DISPLAY
- 2 -- TO PRINTER
- 3 -- TO A DATA FILE ON DISK

YOUR CHOICE:

图 7—52

意思是让选择数值结果的输出设备, 见 § 7. 3. (2), ①的解释。

接着, 进行计算, 并输出结果 (图7—53)。图中符号意义在 § 7. 3 和 § 7. 4 中都已做了解释。

APPLIED OPTICS LAB., ACADEMIA SINICA
WAVE ABERRATIONS
5-ELEMENT LENS 24-INCH F/6

05-06-87 19:25:50

NS	UO	H1	UPO	ISTOP				
9	.000000	50.800	-14.700	5				
NO.	RADIUS	SEPN	INDEX	DISPN	HCA	GL.NO	GLASS	
1	172.3658	-67.935	1.0000000	.0000000	50.804	0		
2	-228.7773	25.908	1.6204100	.0102900	49.296	1	SK16	
3	1217.9333	10.160	1.5325600	.0115800	47.043	2	TIF2	
4	-277.2926	25.202	1.0000000	.0000000	43.050	0		
5	148.7877	10.160	1.5111800	.0100400	41.696	3	TIF1	
6	-1214.7879	37.189	1.0000000	.0000000	43.027	0		
7	167.8906	10.160	1.5111800	.0100400	46.040	3	TIF1	
8	-242.3502	29.464	1.6204100	.0102900	49.771	1	SK16	
9	.0000	523.299	1.0000000	.0000000	160.133	0		

NGL	NW	1 WL	2 WL	3 WL
3	3	.5875618	.6562725	.4861327
1	SK16	1.6204100	1.6172800	1.6275700
2	TIF2	1.5325600	1.5291100	1.5406900
3	TIF1	1.5111800	1.5081400	1.5181800

NCLIP= 8

1	50.800
2	49.124
3	46.876
4	42.893
5	41.696
6	42.875
7	46.040
8	49.774

	DFO	DHO	FLO	DFI	DHI
	-553.3844	56.2153	-609.5997	523.2994	-86.3004
	EFL	UI	DIMA	MAG	J
	609.5997	.083333	523.2994	.0000	13.3271
	DPO	DPI	SINUPO	SINUPI	HIMA
	67.9353	-74.8014	-.253758	-.258637	159.9257

NFLD= 3

	FLD	YPO	VUY	VLY	VX
	.0000	.0000	1.0000	-1.0000	1.0000
	.7075	-.0840	.8221	-.7807	.9756
	1.0000	-.2530	.7136	-.6837	.9487

DEFOCUS = .0000 SAMPLING POINTS OF THE EXIT PUPIL = 100 * 100

=====

FIELD .0000: UP = .000 Yp' = .0000

W.L. NO. 1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

MAX WAVE AERRATIONS = 3.0845 WAVES
MIN WAVE AERRATIONS = .0000 WAVES
AVR WAVE AERRATIONS = 1.4412 WAVES
RMS WAVE AERRATIONS = 1.0470 WAVES

FIELD .7075: UP = -10.400 Yp' = 111.9459

W.L. NO. 1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

MAX WAVE AERRATIONS = 4.0085 WAVES
MIN WAVE AERRATIONS = .0000 WAVES
AVR WAVE AERRATIONS = 1.9872 WAVES
RMS WAVE AERRATIONS = 1.1941 WAVES

=====

FIELD 1.0000: UP = -14.700 Yp' = 160.0908

W.L. NO. 1: WAVELENGTH = .5875618 MICRON

MAX WAVE AERRATIONS = 3.0898 WAVES
MIN WAVE AERRATIONS = .0000 WAVES
AVR WAVE AERRATIONS = 1.1695 WAVES
RMS WAVE AERRATIONS = .7393 WAVES

=====

MAXIMUM WAVE AERRATIONS = 4.0085 WAVES
MINIMUM WAVE AERRATIONS = .0000 WAVES

COMPARISON OF COMPUTED MTF AMONG 8 PROGRAMS & CAOD FOR A 5-ELEMENT LENS

FIELD ANGLE 0

FRCC/MM]	MTF from Pgm TA	Largest deviations from TA		OTFGQI	OTFFFT
10	.89	-.02	.00	.00	.00
20	.71	-.02	+.02	.02	.02
30	.52	-.03	+.02	.03	.03
40	.38	-.02	+.02	.02	.02
50	.28	+.01	-.01	.01	.01
60	.22	+.01	-.02	.00	.00
70	.20	-.02	+.01	-.01	.01
80	.20	+.01	-.02	-.01	-.01
90	.20	.00	.00	.00	.00
100	.22	-.01	.00	.01	.00
		-.03	+.02	-.01 .03	-.01 .03

FIELD ANGLE 10.4

RADIAL SCAN

FRCC/MM]	MTF from Pgm TA	Largest deviations from TA		OTFGQI	OTFFFT
10	.74	-.02	.04	.02	.03
20	.35	-.05	.01	-.02	.00
30	.06	-.01	.02	-.02	-.01
40	.00	-.03	.02	-.03	.02
50	.06	-.03	.02	-.03	-.03
60	.11	-.02	.03	-.01	-.01
70	.13	-.01	.01	.00	.00
80	.13	-.02	.00	.00	.00
90	.11	-.01	.02	.02	.01
100	.10	-.01	.01	.02	.01
		-.05	+.04	-.03 .02	-.03 .03

FIELD ANGLE 10.4

TANGENTIAL SCAN

FRCC/MM]	MTF from Pgm TA	Largest deviations from TA		OTFGQI	OTFFFT
10	.88	-.01	.01	.00	.01
20	.73	-.01	.00	-.01	-.01
30	.57	-.01	.01	-.01	.00
40	.45	-.01	.01	.00	.00
50	.37	.00	.02	.00	.00
60	.32	-.01	.02	-.01	-.01
70	.27	-.01	.02	-.01	.00
80	.24	-.02	.01	-.01	-.01
90	.20	-.01	.01	-.01	-.01
100	.16	-.01	.01	-.01	.00
		-.02	+.02	-.01 .00	-.01 .01

图 7-54

FIELD ANGLE 14.7

RADIAL SCAN

FRCC/MM]	MTF from Pgm TA	Largest deviations from TA		OTFGQI	OTFFFT
10	.74	-.03	.04	-.04	-.02
20	.57	-.02	.01	-.02	-.01
30	.42	-.03	.04	-.01	.01
40	.30	-.03	.03	-.02	.00
50	.19	-.03	.03	-.01	.01
60	.13	-.04	.01	-.02	.00
70	.08	-.02	.02	-.01	.00
80	.06	-.01	.01	-.01	.00
90	.06	-.02	.00	-.01	.00
100	.06	-.02	.00	-.01	-.01
		-.04	+.04	-.04 .02	-.02 .01

FIELD ANGLE 14.7

TANGENTIAL SCAN

FRCC/MM]	MTF from Pgm TA	Largest deviations from TA		OTFGQI	OTFFFT
10	.88	-.01	.03	.02	.02
20	.76	-.02	.04	.01	.02
30	.65	-.02	.05	.02	.03
40	.57	-.01	.05	.01	.03
50	.50	-.01	.05	.01	.02
60	.43	-.01	.06	.02	.03
70	.38	.00	.06	.01	.03
80	.33	.00	.05	.00	.02
90	.28	-.01	.05	.00	.02
100	.23	-.01	.05	.00	.02
		-.02	+.06	.01 .02	.02 .03

NOTE :

ref. AD-710633 LENS TEST STANDARDIZATION STUDY
 by Robert E. Hopkins and David Dutton
 Institute of Optics, University of Rochester, Rochester, N.Y.
 July, 1970
 pp. 126-132

图 7-54 续图

(3) 输出结果

在子菜单 (图7-50) 之下, 键入

3

显示

Select the output device (1 = Display, 2 = Printer, 3 = Disk);

要选定输出设备 (解释见 § 7.3)。

然后, 输出结果 (图7-53) 到指定设备上。

(4) 显示波差等高线图

在子菜单 (图7-50) 之下, 键入

4

即可画出波差等高线图 (图7-54-暂缺)。

(5) 取新的透镜数据

在子菜单 (图7—50) 之下, 键入

5.J

余下发生的事情与 § 7.5 同。

关于传函的计算误差, 可参见图54所列的表, 表中列出了在AD报告中(AD—710633)发表的美国罗彻斯特大学光学研究所的TA程序计算的天塞镜头的传函值及国际上8个不同程序计算同一镜头传函之偏差, 在表中最后两列是用我们的CAOD程序分别以自相关法和二次富里哀变换法算得的传函值与TA程序计算结果的偏差。

八、光学镜头的公差估算

为使光学系统的质量保持原设计水平, 根据各结构参数对系统性能影响的分析, 可估算出光学零件的加工公差和装配公差。CAOD提供了一项估算光学系统公差的功能。但是应强调指出: 单纯依靠这里的计算结果是不够的, 还必须考虑到在工艺上是否易于实现, 即实际加工能力, 作出适当的调整, 以便降低生产成本。

光学系统结构参数偏离名义值的影响, 一般均会导致高斯光学和像质的偏差。而高斯光学特性, 如焦距, 倍率等, 一般要求不严, 且在稍微复杂的系统中容易调整, 达到预定的要求。因此, 在CAOD中是以指定视场和孔径的抽样光线的垂轴像差或波像差作为评价函数, 要求由结构参数的公差而引起的像差恶化小于设计者给定的像差容限。具体地说, 镜头的轴对称性加工公差和装配公差, 即半径公差、厚度公差、折射率和色散公差, 都是由轴上边光、0.71带视场、0.71孔径的子午和弧矢光线的像差容差, 0.71带视场的畸变容差决定的。偏心公差是由初级中心倍率色差和中心慧差的容差决定的。局部光圈则是由透镜表面的椭圆变化引起的像差决定的。

这样求得的公差, 有时会出现下述情况, 有一些公差较松, 加工余量较大, 而另一些公差则过严, 超越了加工能力的现有水平。为此, CAOD还提供了几种调节公差的手段。

1. CAOD给指出哪个像差容限对哪个公差的影响最大, 哪个像差容限对整个系统公差过严。使你可以重新考虑最初给定的某些像差容限是否有调整的余地。

2. CAOD对每个结构参数都设有因子WP, 用以改变公差的分配。如果想让某参数采用实际精测值, 不参与公差的分配, 则可令该参数的权因子为0, 从而可以改善其它结构参数的公差。例如, 在双胶合望远物镜设计的例子中, 若玻璃采用实测的已知炉号的玻璃参数, 那就把相应的折射率和色散的权因子取作0。这样, 对其余参数的对称性公差要求, 可以适当放宽。

3. CAOD中设定的结构参数公差上下限默认值, 可以根据实际加工水平进行修改。

4. CAOD允许在计算偏心公差时预先指定一个在装调阶段可调节的透镜单元, 给出它的最大垂轴可调节量, 这样, 其余各面的偏心可放宽些。

还有一点需要说明的是, 在输出公差表中的光圈POW, 实际上是半径公差的等价值, 其中包括样板半径误差及样板检查时的光圈之和。用样板检查面型局部光圈时, 为便于目视估量, 通常要求表面的光圈数不大于5~10倍的局部光圈。因此, 在给定加工图纸上的光圈时, 不能简单照抄。

最后, 再次强调指出, 现在提供的公差估算的适用范围是共轴球面系统, 同时还需要具

有一定的实际的光学设计经验。

1. 如何进入“公差估算”子菜单

启动CAOD, 显示主菜单如下:

C.A.O.D. MAIN MENU

- ```

0. EXIT
1. SET UP & MODIFY LENS DATA
2. SKEW RAY TRACE
3. ABERRATIONS ANALYSIS
4. OPTIMIZATION
5. IMAGE EVALUATION
6. OPTICAL TOLERANCE
7. COMMAND MODE

```

APPLIED OPTICS LAB.  
ACADEMIA SINICA

YOUR CHOICE [0 - 7]:

图 8—1

键入

6.J

马上清屏幕并显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT,

就表明IBM-PC已处于“公差估算”控制之下, 等待键入一个文件名(方括弧中的文件名是最近一次从盘上读取文件时所用的文件名, 作为文件名的默认值)。如果该文件在盘上不存在, 则显示

\*\*\*\* File does not exist \*\*\*\*

接着再次显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT,

要再输一次文件名。

如果文件存在, 则将该文件调入内存。清屏幕, 显示结构数据如图8—2 (例中是一个双胶合物镜)。

```

DOUBLET FOR TESTING OPTIM PROGRAM
NS UO H1 UPO ISTOP
4 .000000 10.000 -2.000 2
NO. RADIUS SEPN INDEX DISP HCA GL.NO GLASS
1 41.1340 -4.164 1.000000 .000000 10.072 0
2 -29.5272 6.000 1.5162990 .0080515 10.072 1 K9
3 -84.3144 3.000 1.6724998 .0208597 9.644 2 ZF2
4 .0000 62.470 1.0000000 .0000000 2.345 0
 NGL NW 1 WL 2 WL 3 WL
2 3 .5892938 .6562725 .4861327
1 K9 1.5162990 1.5138939 1.5219454
2 ZF2 1.6724998 1.6665994 1.6874591
NCLIP= 0

```

图 8—2

接着显示

Input tolerance of relative distortion;  
要输入相对畸变的容差, 比如键入0.01。然后显示下面的子子菜单 (图8—3)

```
You can set allowed degradation of aberrations
in two ways: 1. wave aberration [unit - W.L.]
 2. transverse abn. [unit - MM]
Which way do you prefer [input 1 or 2]: 1
```

图 8—3

它的意思是说, 可以用两种方式去设置像差的容差:

1. 波像差 (单位: 波长)
2. 垂轴像差 (单位: mm)

问选择哪一种。

一般说来, 对于衍射受限的小像差系统选择第1种方式较好; 其余的系统, 如照相物镜, 选择第2种方式较好。在例中是一个望远物镜, 故键入

1 ↵

当选择第1种方式之后, 显示

Input tolerance of O.P.D.in W.L.;

意思是要输入光程差 (即波差) 的容限, 单位是波长。(在例中, 键入0.125, 即八分之一波长)。

当选择第2种方式之后, 显示

Input tolerance of T.A.in MM;

意思是要输入垂轴像差的容限, 单位是mm。

无论是哪一种方式, 一旦作出回答之后, 立即清屏幕, 显示“公差估算”子菜单 (图8—4)

```

OPTICAL TOLERANCE OPTIONS
0 -- EXIT
1 -- Tolerancing R D N & delta-N
2 -- Tolerancing centericity of surfaces
3 -- Output the results
4 -- Fetch a new lens data

YOUR CHOICE: 1
```

图 8—4

2. 估算半径、厚度、折射率和色散的公差

在“公差估算”子菜单 (图8—4) 控制之下, 键入

1 ↵

马上显示“输入的像差容差”表:

| INPUTED ABNS TOLERANCE |                  |               |                   |
|------------------------|------------------|---------------|-------------------|
| LINE NO.               | ABN.             | NOMINAL VALUE | TOLERANCE OF ABNS |
| 1                      | OPD <sub>a</sub> | .9581E+00     | .1250E+00         |
| 2                      | J*OSC            | .4479E-01     | .1250E+00         |
| 3                      | WCH <sub>a</sub> | -.7648E-01    | .1250E+00         |
| 4                      | DT%              | -.2807E-04    | .1000E-01         |
| 5                      | OPD <sub>b</sub> | .1052E+01     | .1250E+00         |
| 6                      | WCH <sub>a</sub> | .4458E+00     | .1250E+00         |
| 7                      | OPD <sub>b</sub> | .1164E+01     | .1250E+00         |
| 8                      | WCH <sub>b</sub> | .2674E+00     | .1250E+00         |
| 9                      | OPD <sub>c</sub> | .7644E+00     | .1250E+00         |
| 10                     | WCH <sub>c</sub> | .3568E+00     | .1250E+00         |

图 8—5

从表中可以看出它有十行四列:

- 第1列是序号;
- 第2列是像差名称;
- 第3列是像差的名义值 (理论值);
- 第4列是像差的容差;

每一行代表一种像差, 其符号意义如下:

1. OPD<sub>a</sub> 轴上边光的光程差;
2. J\*OSC 轴上边光彗差的波差表征;
3. WCH<sub>a</sub> 轴上边光的波色差, 即 $(d-D)_a \delta n$ ;
4. DT% 相对畸变;
5. OPD<sub>b</sub> 0.71带视场0.71带孔径子午上光线的光程差;
6. WCH<sub>a</sub> 0.71带视场0.71带孔径子午上光线的波色差;
7. OPD<sub>b</sub> 0.71带视场0.71带孔径子午下光线的光程差;
8. WCH<sub>b</sub> 0.71带视场0.71带孔径子午下光线的波色差;
9. OPD<sub>c</sub> 0.71带视场0.71带孔径弧矢光线的光程差;
10. WCH<sub>c</sub> 0.71带视场0.71带孔径弧矢光线的波色差。

其中5~10这三条光线在入射参考面上的分布情况如图8—6所示

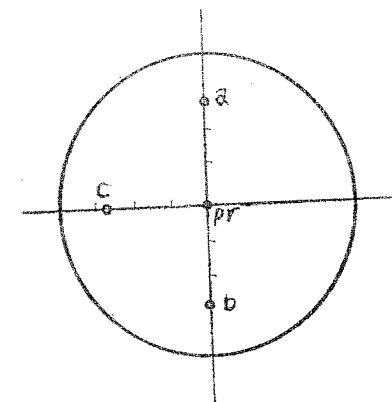


图 8—6

接下来显示

Do you want to change tolerance of abns?[Y/N]Y

问想不想改变这些像差的容差。想改变，键入Y；不想改变，键入N。当（且仅当）键入Y时，显示：

Input line no. & tolerance of abns one by one;  
4 0.02  
E

意思是让参照图8—5中的序号给出其对应的容差值，注意：先打入序号，空格，再打入容差值，回车。改几个，打几个。不改了，键入字母E。例如，想把相对畸变的容差改为0.02，则键入

4 0.02

接着进行计算，在计算过程中会显示如下的一些信息：

Calculating dABN/dC . . . . .  
Calculating dABN/dD . . . . .  
Calculating dABN/dN . . . . .  
Calculating dABN/dDN . . . . .  
Check TOL. limits . . . . .

这些都是告诉你当前正在计算什么，即像差对半径、间隔、折射率、色散的微分，检查公差极限等，可以不必去管它。

接下来显示计算出来的“公差分析表”(图8—7)。可以根据这张表和实际加工水平调整各参数对应的相对权因子或容许的结构公差的上下限以及某些输入的像差容限。

TOLERANCES ANALYSIS

| NO                                 | PARAMETERS   | TOL     |      | P1      | P2      | WP  | ABN              |
|------------------------------------|--------------|---------|------|---------|---------|-----|------------------|
| 1                                  | R 1 41.1340  | .0610   | 6.69 | .50     | 10.00   | 1.0 | OPD <sub>c</sub> |
| 2                                  | R 2 -29.5272 | .0206   | 4.42 | .50     | 10.00   | 1.0 | OPD <sub>c</sub> |
| 3                                  | R 3 -84.3144 | .1113   | 2.67 | .50     | 10.00   | 1.0 | OPD <sub>c</sub> |
| Wish to change P1,P2 or WP ? [Y/N] |              |         |      |         |         |     |                  |
| 4                                  | D 2 6.00000  | .146857 |      | .005000 | .500000 | 1.0 | OPD <sub>c</sub> |
| 5                                  | D 3 3.00000  | .190204 |      | .005000 | .500000 | 1.0 | OPD <sub>c</sub> |
| Wish to change P1,P2 or WP ? [Y/N] |              |         |      |         |         |     |                  |
| 6                                  | N 2 1.51630  | .000207 |      | .000100 | .001000 | 1.0 | OPD <sub>c</sub> |
| 7                                  | N 3 1.67250  | .000297 |      | .000100 | .001000 | 1.0 | OPD <sub>c</sub> |
| Wish to change P1,P2 or WP ? [Y/N] |              |         |      |         |         |     |                  |
| 8                                  | dN 2 .00805  | .000010 |      | .000010 | .000100 | 1.0 | WCH <sub>o</sub> |
| 9                                  | dN 3 .02086  | .000025 |      | .000010 | .000100 | 1.0 | WCH <sub>o</sub> |
| Wish to change P1,P2 or WP ? [Y/N] |              |         |      |         |         |     |                  |

NOTE: AS A WHOLE, OPD<sub>c</sub> HAS AN MAIN EFFECT ON CENTERED TOLERANCES OF LENS. LAST COLUMN INDICATE : WHICH ABN BE RESPONSIBLE FOR SOME PARAMETER TOL.

图 8—7

“公差分析表”中各符号意义如下：

- 第1列是序号；
- 第2列是结构参数，它又有两列，左边一列是结构参数名及其序号，右边一列是其名义值，即理论值；
- 第3列TOL是公差，对于半径，又分两列，左边一列是公差（单位：mm），右边一列是等价的光圈值；
- 第4列P1是根据工艺水平制定的公差下限，CAOD给出了默认值：  
对于半径是0.5（光圈）  
对于厚度是0.005（mm）  
对于折射率是0.0001  
对于色散是0.00001
- 第5列P2是根据工艺水平制定的公差上限，CAOD给出了默认值：  
对于半径是10（光圈）  
对于厚度是0.5（mm）  
对于折射率是0.001  
对于色散是0.0001
- 第6列WP是相应公差的权因子。当WP相对较大时，表示对相应的结构参数公差要求较松。
- 第7列ABN是标志出哪种像差决定了对应结构参数的公差。据此，可对输入的象差容限进行调整。

每当显示完一组结构参数，便立即提问：

Wish to change P1,P2 or WP ? [Y/N]

想不想改变P1, P2或WP。若想，则回答Y；若不想，则回答N。当（且仅当）回答Y时，才显示

INPUT LINE NO.P1,P2,WP one by one,(INPUT<E>for end)。

意思是让参照图8—7中的序号给出其对应的P1,P2,WP。注意：先打入序号，空格，P1值，空格，P2值，空格，WP值，回车。改几个，打几个。不改了，键入字母E。

接着，显示出结论：

NOTE,AS A WHOLE,××××HAS AN MAIN EFFECT ON CENTERED TOLERANCES OF LENS.  
LAST COLUMN INDICATE,WHICH ABN BE RESPONSIBLE FOR SOME PARAMETER TOL.

它的意思是说，总的来看，××××像差对镜头的同轴公差起主导作用。最后一列指出哪个像差应对结构参数的公差负责。

之后，返回“公差估算”子菜单。

3. 计算偏心公差

在“公差估算”子菜单（图8—4）控制之下，键入

2

稍候，显示偏心参数公差表（图8—8）。偏心公差分别由中心彗差和中心倍率色差的容差决定了两组偏心公差值。可以根据光学系统的具体使用情况选定，或选较严的一组。每组均用球

心离光轴的垂直偏离量 (mm) 和球面的倾角 (S) 来表示。

| SUR | RADIUS   | WC  | dS2/dy      | dC2/dy      | MMI   | FI["] | Y[MM] | FI["] |
|-----|----------|-----|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 1   | 41.1340  | 1.0 | .50320E-02  | .19379E-02  | .0169 | 84.8  | .0219 | 110.0 |
| 2   | -29.5272 | 1.0 | -.98216E-02 | -.40889E-02 | .0087 | 60.5  | .0104 | 72.7  |
| 3   | -84.3144 | 1.0 | .57673E-02  | .23164E-02  | .0143 | 34.9  | .0184 | 44.9  |

图 8-8

其中各栏小标题的意义是:

- SUR 面序号
  - RADIUS 半径
  - WC 相对权
  - dS2/dy 中心彗差灵敏度
  - dC2/dy 中心倍率色差灵敏度
  - Y[MM] 偏离量[mm]
  - EI["] 角度[s]
  - Y[MM] 偏离量[mm]
  - FI["] 角度[s]
- } 由中心彗差决定的偏心差
- } 由中心倍率色差决定的偏心差

之后, 又显示

Are there any correcting element ? [Y/N]

问有没有要改的。若有, 键入Y; 若没有, 键入N。当 (且仅当) 回答了Y时, 才显示

Input its surface-no. (N1, N2) & its max decentering value.

意思是让输入它的面号(N1, N2)及其最大的偏心值。注意: 先输面号的起始值N1, 空格, 面号的结束值N2, 空格, 再输最大偏心值, 回车。

之后, 返回“公差估算”子菜单。

#### 4. 结果的输出

在“公差估算”子菜单 (图8-4) 控制之下, 键入

3

立即显示

SELECT OUTPUT DEVICE(1 = CRT, 2 = Printer, 3 = Disk).

意思是可以把计算的结果输出到

1. 屏幕上,
2. 打印机上,
3. 磁盘上.

而且当 (且仅当) 回答3 (即输出到磁盘上) 时, 才继续问:

SPECIFY A FILENAME FOR OUTPUT.

要指出输出的文件名。

一旦指定了输出设备之后, 便立即进行计算, 稍等片刻, 清屏幕, 显示要输出哪项结果的子菜单

#### OUTPUT RESULTS OPTIONS

- 0 -- EXIT
- 1 -- Centered tolerances
- 2 -- Decentered tolerances
- 3 -- Degradation sensitivities lists
- 4 -- Inputed abns tolerances

YOUR CHOICE:

图 8-9

#### (1) 输出同心参数公差

在“输出结果”子菜单 (图8-9) 的控制之下, 键入

1

立即输出结果 (图8-10)

#### CENTERED TOLERANCES

#### DOUBLET FOR TESTING OPTIM PROGRAM.

| SUR | RADIUS   | RADIUS TOL | FRINGES POW/IRR | THICKNESS | THICKNESS TOL | GLASS | INDEX TOL | DISPEN TOL |
|-----|----------|------------|-----------------|-----------|---------------|-------|-----------|------------|
| 1   | 41.1340  | .0610      | 4.7/ .15        |           |               |       |           |            |
| 2   | -29.5272 | .0208      | 4.4/ .56        | 6.0000    | .1469         | K9    | .000207   | .000010    |
| 3   | -84.3144 | .1113      | 2.7/ .12        | 3.0000    | .1902         | ZF2   | .000297   | .000025    |

| SUR | HCA   | SAG     | EFL     | L       | L'      | GLASS INHOMOGENEITY | TOTAL     |
|-----|-------|---------|---------|---------|---------|---------------------|-----------|
| 1   | 10.07 | 1.2522  | 34.283  | -31.911 | 32.581  |                     |           |
| 2   | 10.07 | -1.7789 | -69.091 | 68.103  | -71.914 | .592E-05            | .119E-03  |
| 3   | 9.64  | -1.5534 | 66.682  | -64.999 | 62.470  | .180E-04            | .1363E-03 |

NOTE: RADIUS, RADIUS TOLERANCE, THICKNESS, THICKNESS TOLERANCE AND OTHER LENGTH ARE GIVEN IN MM. FRINGES OF POWER AND IRREGULARITY ARE AT 546.1 NM OVER THE CLEAR APERTURE. IRREGULARITY IS DEFINED AS FRINGES OF CYLINDER POWER IN TEST PLATE FIT.

[Press <Enter> to continue]

图 8-10

在图中, 通栏标题是“同心参数公差”, 左上方给出日期, 右上方是本软件系统名, 下面一行是子标题。

在标题之下, 分为三个部份:

第一部分, 分为6列:

第1列: 面序号SUR。

第2列RADIUS是半径。又分两列: 左边一列是半径的名义值 (理论值) RADIUS, 右边一列是半径的公差TOL。

第3列FRINGES是光圈。又分两列: 左边一列POW是光圈值, 它是半径公差的等价值。在给定加工零件表面的实际光圈时, 应扣除样板误差引起的光圈与半径名义值的光圈之

差。另外，当光圈值大于5至10倍的局部光圈公差时，为了能检测局部光圈，应适当缩小光圈公差值。右边一列IRR是局部光圈值，即用样板测加工表面时所得的柱光焦度。

第4列THICKNESS是厚度公差。又分两列：左边一列THICKNESS是厚度的名义值（理论值），右边一列TOL是厚度公差。

第5列INDEX TOL是折射率公差。又分两列：左边一列GLASS是玻璃牌号名，右边一列TOL是折射率公差。

第6列DSPEN TOL是色散公差。

在各列下面均跟有各面相应的值。

第二部分，表中所列内容是专为加工过程中检测用的数据，并不是公差。其中各项含意是：

SUR 面序号

HCA 半净孔径

SAG 矢高

EFL 焦距（单元的，组元的）

L 前焦截距（单元的，组元的）

R 后焦截距（单元的，组元的）

上述半径、半径公差、厚度、厚度公差以及其它长度量的单位均为毫米。

在右边还有一栏标有GLASS INHOMOGENEITY，即玻璃的不均匀性。关于玻璃的均匀性要求，是假设在垂直于透镜光轴方向存在着线性折射率不均匀性，引起像差（慧差）恶化的前提下估算的。它又分两列：左边一列1/mm表示沿净孔径直径方向每毫米玻璃不均匀性的最大允许值，右边一列TOTAL表示全口径上玻璃不均匀性的变化的最大允许值。

第三部分NOTE是注解，意思是：半径，半径公差，厚度，厚度公差以及其它长度量均以mm为单位。光焦度光圈和局部光圈是在整个净孔径上以5461Å波长的光来量度的。局部光圈定义为球面样板与被测表面之间的柱面光圈数。

之后，返回“输出结果”子菜单（图8—9）。

(2) 输出偏心公差

在“输出结果”子菜单（图8—9）的控制之下，键入

2

立即显示如图8—8。只是不再提问，便返回“输出结果”子菜单。

(3) 输出像差恶化的灵敏度表

在“输出结果”子菜单（图8—9）的控制之下，键入

3

则立即显示如图8—11。在图中通栏标题是“像差改变表”，标题栏的左侧标有

dC: .xxx E - xx

dD: .xxx E - xx

dN: .xxx E - xx

ddN: .xxx E - xx

它们的含意是：本表是对这些指定的结构参量的增量计算表中像差的改变量的。这张表主要是提供各结构参数对像差的灵敏度信息。表中各符号的意义见§8.2。接着，又显示“公差分

析表”(图8—7)。之后，返回“输出结果”子菜单。

| ABERRATIONS CHANGE - LIST |              |              |              |              |              |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| dC :                      | .100E-03     |              |              |              | CAOD=2       |
| dD :                      | .100E-01     |              |              |              |              |
| dN :                      | .100E-02     |              |              |              |              |
| ddN:                      | .100E-03     |              |              |              |              |
| NO                        | OPDa         | J*OSC        | WCHa         | DT%          | OPDa         |
| C 1                       | .772555E-04  | .170305E-04  | .386033E-04  | -.157460E-06 | .206287E-04  |
| C 2                       | .116936E-03  | -.242359E-04 | .660165E-04  | .951279E-08  | .220401E-04  |
| C 3                       | -.177829E-03 | .616534E-04  | -.967794E-04 | -.135608E-06 | -.299630E-04 |
| D 2                       | .189582E-05  | -.462531E-06 | .150941E-05  | .363918E-07  | .298467E-06  |
| D 3                       | -.146377E-05 | .127197E-05  | -.122791E-05 | .629338E-07  | -.135105E-06 |
| N 2                       | .134270E-03  | -.433661E-04 | -.437723E-05 | -.675902E-07 | .235276E-04  |
| N 3                       | -.936752E-04 | .247792E-04  | .322492E-05  | .146137E-08  | -.170503E-04 |
| dN 2                      | .000000E+00  | .000000E+00  | .287420E-03  | .000000E+00  | .000000E+00  |
| dN 3                      | .000000E+00  | .000000E+00  | -.111156E-03 | .000000E+00  | .000000E+00  |
| NO                        | WCHa         | OPDb         | WCHb         | OPDc         | WCHc         |
| C 1                       | .195129E-04  | .204905E-04  | .196921E-04  | .199271E-04  | .196036E-04  |
| C 2                       | .304152E-04  | .324135E-04  | .307005E-04  | .270112E-04  | .305593E-04  |
| C 3                       | -.475326E-04 | -.590301E-04 | -.464788E-04 | -.437248E-04 | -.470102E-04 |
| D 2                       | .507756E-06  | .452543E-06  | .834845E-06  | .394074E-06  | .669430E-06  |
| D 3                       | -.272813E-06 | -.758366E-06 | -.970400E-06 | -.389889E-06 | -.621816E-06 |
| N 2                       | -.133627E-05 | .437655E-04  | -.207672E-05 | .328482E-04  | -.170483E-05 |
| N 3                       | .106095E-05  | -.283347E-04 | .158131E-05  | -.223958E-04 | .131981E-05  |
| dN 2                      | .138408E-03  | .000000E+00  | .141067E-03  | .000000E+00  | .139745E-03  |
| dN 3                      | -.521638E-04 | .000000E+00  | -.536941E-04 | .000000E+00  | -.529311E-04 |

图8—11

(4) 输出“输入的像差容差”

在“输出结果”子菜单（图8—9）的控制之下，键入

4

马上显示“输入的像差容差”表（图8—5），见§8.2。之后，返回“输出结果”子菜单。

(5) 返回到上一级菜单

在“输出结果”子菜单（图8—9）的控制之下，键入

0

立即返回“公差估算”子菜单（图8—4）。

5. 选取新的透镜数据

在“公差估算”子菜单（图8—4）的控制之下，键入

4

则立即显示

SPECIFY FILENAME FOR INPUT,

接下来与 §8.1所述相同。相当于重新开始。

### 九、命令方式

在一定的意义上讲，CAOD是一个自封闭的软件系统。这不仅仅指 CAOD 包括了常规

光学设计的各个主要阶段，而且还意味着在CAOD之下可以运行IBMPCDOS的全部命令。

### 1. 如何进入“命令方式”

启动CAOD，显示主菜单如下：  
键入

7. ]

马上清屏幕并显示

它的意思是说，在这种方式下可以执行全部的IBM PC DOS命令。要退出命令方式，请键入命令QUIT。

接着显示命令方式的提示符

>

表明系统已处于命令方式控制之下，可以键入DOS命令了。

关于DOS命令的简介可参看附录3。应特别指明的是，在命令方式下可以执行全屏幕编辑程序EDIT，这对于编辑镜头数据文件提供了极大的方便。关于EDIT的使用说明，见附录4。

下面仅给出CAOD提供的两条命令。

### 2. 退出命令方式的命令

格式：

QUIT

用途：退出命令方式，返回CAOD主菜单。

### 3. 分页打印命令

格式：

PR[/Switch] filespec [>LPT1]

用途：以分页的形式在屏幕上显示或在打印机上打印出指定文件的内容。

说明：

1. PR是命令字，必须原样照打。
2. 方括弧中的内容是任选的，即根据需要，可打可不打。但方括弧本身总是不打的。
3. /Switch是命令开关，它可以是下述的一部分子开关或全部子开关。开关必须以/开头，各开关间首尾相接，不要加任何分隔符。

WD××× 纸宽。其中×××是以字符为单位的纸的宽度，或者说是每行要打印的字符个数。若不写，则认为是每行打印80个字符。

PL×× 纸长。其中××是以打印行为单位的纸的长度，或者说是每页要打印多少行。若不写，则认为是每页打印66行，在实际打印时，上下留空，实打56行。

CP×× 打印份数。其中××是要打印多少份的具体数值。若不写，则认为是打印1份。

NH 不打印每页的标题、日期和页号。若不写，则打印。

LN××:yy 只打印文件中从第XX行到YY行的内容，其中XX，YY是整数，且XX ≤ YY。若不写，则打印整个文件。

4. filespec 是要打印的文件名。关于文件名的约定请参阅附录3。这里要说明的是：这里的文件名可以是几个，各文件名之间用空格分开。从而用一条命令可以打印几个文件。

5. >LPT1: 表示输出到打印机上，其中LPT1: 是打印机的设备名，也可用PRN，其效果是一样的。若不写，则表示是在屏幕上显示。

6. 在打印时，需将打印纸的分页折线调整到打印头的上方，距打印头一个打印行的距离。

例：下列都是合法的PR命令

PR MYFILE.TXT

PR/WD132CP5 MYFILE>LPT1;

PR/CP3 FILE1.FOR FILE2.FOR>PRN

### 一点声明

由于本文脱稿至印刷出版发行需一段时间，在这段时间内，程序本身还会不断改进完善，故当你拿到程序在微机上运行时，对照本文，会有一些出入，那时，当然以程序为准。

### 附录 1 CAOD 运行的环境

#### 1. CAOD运行的硬件环境

目前提供的CAOD V2.0软件包可以运行在IBMPC/XT机和IBM PC/AT机上。对它们的共同要求是：

内存：至少512K字节；

彩色监视器；

至少有一个软盘驱动器和一个硬盘驱动器；

标准键盘；

24针打印机（如M2024）

主机：Intel 8088(PC/XT)；

Intel 80286(PC/AT)；

建议：为了提高运行速度，最好安装8087协处理器(PC/XT)，或80287协处理器(PC/AT)。

#### 2. CAOD运行的软件环境

目前提供的CAOD V2.0全部是可执行的目标代码程序（其扩展名是.EXE），它们必须在DOS V2.0版或更新的版本下运行。此外，最好具有行编辑程序EDLIN 或全屏幕编辑程序EDIT，这将会给你编辑数据文件带来极大的方便。为了能在打印机上复制出各种图形，你还应具备相应打印机的驱动程序，对于M2024打印机的驱动程序是2024P.EXE，对于3070打印机的驱动程序是ALL24P.EXE。

### 附录 2 IBM PC 机的操作

#### 1. 开机

当主机箱与键盘、监视器、打印机的信号电缆联接好之后，接上电源线，插上电源插头，即可开机。开机时，软盘驱动器的小门不要关，先打开监视器和打印机的电源，再打开主机电源。内存进行自检，然后键入日期和时间（IBM PC/AT则不要）。

显示：

Current date is Tue 01-01-1980

Enter new date:—

键入日期的格式是

03-24-1987

顺序是“月一日一年”。若不想打入日期，可只按“回车”。又显示

Current time is 0:01:40.23

Enter new time:—

为了设定时间，应按“时:分:秒”的格式键入，其中小时是按24小时制。例如

14:28:30

然后显示DOS的标题和版本号，最后是DOS的提示符

C>—

它告诉你现在系统在DOS的控制之下，可以键入DOS命令了。其中，提示符C表示硬盘驱动器是当前驱动器。若想使软盘驱动器A为当前驱动器，只需键入

A:↵

即可，此时DOS提示符变成

A>—

如果你想回到驱动器C，可键入

C:↵

那么DOS提示符又变成

C>—

注意：软盘驱动器的符号是A:或B:，也叫驱动器A和B；硬盘驱动器的符号是C:，也叫驱动器C。

### 2. 关机

我们建议在切断电源之前先进行软关机，即运行磁头复位程序，对于PC/XT是

SHIPDISK↵

对于PC/AT是

SHUTDOWN↵

运行结束后，先关主机电源，再关显示器、打印机的电源。

### 3. IBM PC机的复位

若计算机已加电，但由于某种原因没有在DOS控制之下，或者“锁死”不接受DOS命令，可将Ctrl键与Alt键同时按下并保持住，再按下Del键，然后将它们全部放开，则系统重新启动，要你敲入日期和时间。这种操作也叫作“复位”或“热启动”。一般在系统“锁死”的情况下，都采取这一措施。如果这种操作也不行了，那只好关电源，稍候，重新加电启动，这就是所谓“冷启动”。如果在此之前，还没有来得及把认为应该保存的数据存在盘上，那么就将把这部分数据全部丢失，即“冷启动”之后，这种数据是找不到的，只能重新输入了。

## 附录 3 DOS简介

### (1) 什么是DOS

IBM-PC DOS(IBM/Personal Computer Disk Operating System)是IBM-PC个人计算机磁盘操作系统的缩写。DOS是一组非常重要的程序，它可以使你很容易地建立和管理程序和数据，帮助你管理计算机系统的外部设备（如磁盘驱动器，打印机，绘图仪，显示器，键盘等）。DOS也做一些例行工作。总之，你要使用计算机系统，就要用DOS或其它操作系统。DOS一般是用软盘提供的，当你的系统有硬盘时，一定要把它复制到硬盘上。

### (2) DOS常用的控制键

DOS为你提供了一组常用的控制键，掌握使用它们的方法，是很重要的。

- ESC 按此键后，屏幕上显示“\”，且光标下移一行，取消刚才打入的那一行，然后可打入正确的命令。
- Ctrl 此键总是与其它键一起使用。
- Alt 此键总是与其它键一起使用。
- ↑ 共有两个，把它按下并保持住，再按其它键。若是按字母键，就是大写字母；否则是该键上边的字符。
- Caps Lock 此键是一个反复键，按下此键一次，使打入的字母为大写，再按一次，又使打入的字母变为小写。
- ↵ 回车键，也叫“Enter”键。当打入命令或一行信息时，按此键表示命令结束并令其立即执行，或表示信息行的结束。
- Ctrl+Break 结束当前的操作。在CAOD执行过程中，任何时候按下此键，都立刻中止当前的操作，返回主菜单。
- Ctrl+Num Lock 暂停当前的操作，必须按下某个键，系统才能继续工作。当屏幕上显示很多的输出信息时，可以按下此两键，暂停输出，使你能阅读。
- Ctrl+Prt Sc 这也是反复键，俗称“跟踪打印”。当按它们一次，就会使打印机打印出你打入的字符和显示的字符，再按一次，就只显示不打印了。缺点是降低某些操作速度，因在打印期间，主机要等待。
- Shift+Prt Sc 按下此两键可以在打印机上得到屏幕上显示信息的硬拷贝。在执行了打印机的驱动程序后，用此两键可复制CAOD输出的图形，故这个键也叫“拷屏”。
- ← 注意，它不是小键盘上数字键4上的←。当按此键时，抹去一个字符，且光标左移一个位置。用此键改错极为方便。
- Del 抹去光标所在位置上的字符，其右边的字符全都向左平移一个位置，光标位置不动。也用作改错。

### (3) 常用的DOS命令

#### ① 格式化命令

格式

FORMAT A:[/S]

用途：对软盘驱动器A:中的软盘进行格式化。一个新盘片在使用前必须格式化。

说明：在方括弧中的/S，是可敲可不敲的，若敲（那对方括弧不要敲），则表示在格式化完成后，将DOS也复制到新盘片上。

A:是盘符。若写B:，当然就是对B中的盘进行格式化了。

② 列磁盘文件目录命令

格式:

```
DIR[d:][filename.ext][P][W]
```

用途：对所有目录项或只对指定的文件列出目录。在所列的目录中，除了给出文件名外，还给出文件的大小（以十进制字节数给出），以及文件最后一次写入的日期和时间。

说明：所有方括弧中的项均可写可不写。

d:表示盘符，可为A:或C:等，即列出A盘或C盘上的文件目录。

filename.ext是任意文件名，在实际使用时，应该用你感兴趣的真正文件名来代替。/P表示在屏幕充满时，使显示暂停。要继续显示后面的目录时，按任何一个键均可。

/W给出一个只显示文件名的目录，每行容纳五个文件名。

实例: DIR

列出当前盘当前子目录下的文件目录。

```
DIR A:
```

列出A盘上的文件目录

```
DIR A:SUN.DAT
```

列出A盘上以SUN.DAT为文件名的文件目录，实际上相当于在A盘上找有没有文件SUN.DAT。

```
DIR/P
```

列目录时，装满一屏幕就暂停。

③ 复制文件命令

格式1:

```
COPY filespec
```

用途：把名字叫作filespec的文件复制到当前驱动器的当前子目录之下，且复制出来的文件与源文件filespec同名。

格式2:

```
COPY filespec d:
```

用途：把名字叫作filespec的文件复制到d: 驱动器的盘上，且复制出来的文件与源文件filespec同名。

实例:

```
COPY *.* A:
```

将当前盘当前子目录下的全部文件复制到A盘上去。（\*号出现在文件名或扩展名中，它可以代表自该\*号位置起的文件名或扩展名的其余部分的任意字符）。

格式3:

```
COPY filespec filename[.ext]
```

或

```
COPY filespec d,filename[.ext]
```

用途：把当前驱动器盘上名为filespec的文件复制到当前驱动器或指定盘驱动器d:上的文件filename[.ext]中去。这就使复制出来的文件名与被复制的文件不同名。

实例: COPY A:MY.LEN

把A盘上的文件MY.LEN复制到当前盘的当前子目录上去。

COPY A:YOUR.LEN MY.LEN 把A盘上的文件YOUR.LEN复制到当前盘的MY.LEN文件上去。

④ 删除文件命令

格式:

```
ERASE filespec
```

或

```
DEL filespec
```

用途：这两条命令的作用相同，都是从当前驱动器的盘上删除一个指定的文件 filespec。

⑤ 清除屏幕上显示内容命令

格式:

```
CLS
```

用途：清除屏幕上显示的内容。光标跑到屏幕的左上角。

当然，DOS命令远远不止这些，但有了这几个，做为光学设计工作者使用DOS及CAOD那是足够了。如果有兴趣，可查阅有关DOS的手册或讲述IBM PC的书籍。

(4) 文件的概念

① 文件

一个文件是有关的信息集合。文件可以是程序、数据或其它信息。例如，我们提供的CAOD各个子程序，镜头目录数据库文件，用户建立的镜头结构数据文件等。文件都是记录在软盘或硬盘上。

每个文件都有一个唯一的名字。通过文件的名字来记住文件的本身。这和人们的姓名一样。可以给文件起任何希望的名字。但在同一张盘的同一个目录下，文件的名字不要相同。文件的名字由文件名和扩展名组成，扩展名可以有也可以没有。文件名由1~8个字符组成，扩展名则是以圆点开始的，可以有1~3个字符。尽管说文件名可以随便起，但总有某种含义才好。例如

```
AAAA.AAA
```

这就不是一个好的文件名（尽管它是合法的），因为从名字上丝毫也看不出它跟文件内容有什么联系。而文件名

```
PHOTO.LEN
```

就是一个较好的文件名，该文件内可能是装有与照相物镜有关的数据。

② 文件目录

由于硬盘容量的增大（最低的最大容量也可达10兆字节），所以一个硬盘可同时容纳数千个文件，把大量文件杂乱无章地都堆放在一个文件目录之下，显然查找起来极不方便。DOS 2.00以后的版本给提供了一个手段，能够把同一盘上的有关文件分成几个大组，每个大组放在一个目录中。如果一个大组的文件还太多，则还可以再分成若干小组，每个小组的文件放在一个目录中。如此等等，总可细分下去。从而组成了一个关于文件目录的层次结构。

为方便起见，把对盘进行格式化时建立的目录叫根目录或系统目录。根目录可以包含文

件名和其它目录名，这些目录名还可以包含其它文件名和目录名等等。除根目录外，其它目录均称为子目录。子目录名的格式与文件名相同，名字部分可由1~8个字符组成，也可以有扩展名部分，扩展名以·开头，可以有1~3个字符。在不同目录中的文件名和目录名可以同名。但在同一目录下的文件不能同名。

对于每个驱动器，DOS能记住指定的目录，这个目录叫当前目录，当你打入一个文件名，但没有告诉DOS这个文件在哪个目录中，那么DOS就在这个当前目录中找这个文件。当启动DOS时，将根目录看作是当前目录。

### ③ 指定文件的路径

当想建立或查找某一个文件时，DOS必须知道三件事：文件在哪个驱动器，在该驱动器哪个目录或子目录之下，这个文件叫什么名字。这样，在数千个文件中一下子就找到了要找的文件。如果文件是在当前目录中，你不必指出目录，因为DOS会自动地在当前目录中找。但是，如果该文件不在当前目录中，必须向DOS提供查找的线索，这个线索也叫路径。路径可以从根目录开始的，也可以是从当前目录开始的。如果是从根目录开始，则路径的符号用\开始。如果从当前目录开始找，则路径的第一部分用当前目录的下一级子目录名开始（要找文件在该下一级子目录中）。后面还可以跟一系列的目录名，这些目录名之间均用\分开，如果在这条路径中还包括文件名的话，则文件名和最后一个目录名也用/分开。整个这一串由目录名、文件名组成、以\分开的符号，叫路径名。

例如：

```
\SUN\MYLENS\PHOTO.LES
MYLENS\TELE.LES
```

都是合法的路径名。

在路径名中，还可以包括驱动器名，即盘符A:，C:等，但它们必须在路径名的最前面。例如

```
A:\SUN\MYLENS
```

在CAOD中，凡要输入文件名的地方，都接受路径名。

在DOS中，几乎所有接受文件名的地方，都接受路径名。

可以建立很多子目录，但路径名最长不得超过63个字符。

### ④ 目录命令

建立一个子目录的命令

格式：

```
MD<目录名>
```

用途：建立一个新的子目录，它的名字由命令中的<目录名>规定。

实例：

```
MD\SUN
```

在当前盘的根目录下建立一个叫SUN的子目录。

删除一个子目录的命令

格式：

```
RD<目录名>
```

用途：删除一个在命令中指定的那个子目录。

说明：目录只能用RD命令来删除，而不能用ERASE或DEL命令来删除。

一个目录只有当它是空的时才能删除，也就是要删除的目录不能含有子目录和文件。根目录不能删除。

要删除当前子目录，必须返回到它的上一级子目录才能删除。

每次只能删除一个目录，即只能把指定路径上的最后一个目录删除。

改变当前目录的命令

格式：

```
CD<目录路径名>
```

用途：告诉DOS把哪个目录路径作为当前目录。

实例：

```
CD\SUN
```

把当前盘上的子目录SUN变为当前目录。

```
CD\
```

把当前盘上的根目录变为当前目录。

### (5) 应用举例

现设你拿到了5张盘片，上面录有CAOD的全部软件。你想在根目录下建一个名为CAOD的子目录，将这5张盘片的内容全部复制到子目录CAOD之下。步骤是：

在根目录提示符

```
C:>
```

之下，打入建子目录命令

```
MD CAOD
```

然后，打入

```
DIR
```

看一看该子目录是否已建立。再打入改变目录命令

```
CD CAOD
```

进入该子目录。将5张盘片依次放入驱动器A，关上小门，打入命令

```
COPY A: *.*
```

即可，共重复5次。

最后，打入

```
DIR
```

检查复制的情况。

### 附录4 全屏幕编辑程序EDIT

EDIT是一个全屏幕编辑程序，可以用来建立、修改和显示源文件或文本文件，特别是可以用它来编辑、修改镜头数据文件。所谓全屏幕是指光标可以在屏幕上到处移动，凡在光标所指之处，均可在那里进行编辑。实际上通过在屏幕上移动文件，可以使光标跑到文件的任何地方。

EDIT可以用于：

- 建立新文件，并将其保存起来。
- 修改现有的文件，保存修改后的文件。
- 对整个文件进行删除、插入、再现、搬家、查找等。

(1) 如何进入EDIT

为了进入EDIT, 只须打入

EDIT <文件名> ↵

现在设文件名是EXAMPLE.TXT, 则键入

EDIT EXAMPLE.TXT ↵

若EXAMPLE.TXT在盘上不存在, 则显示如下画面:

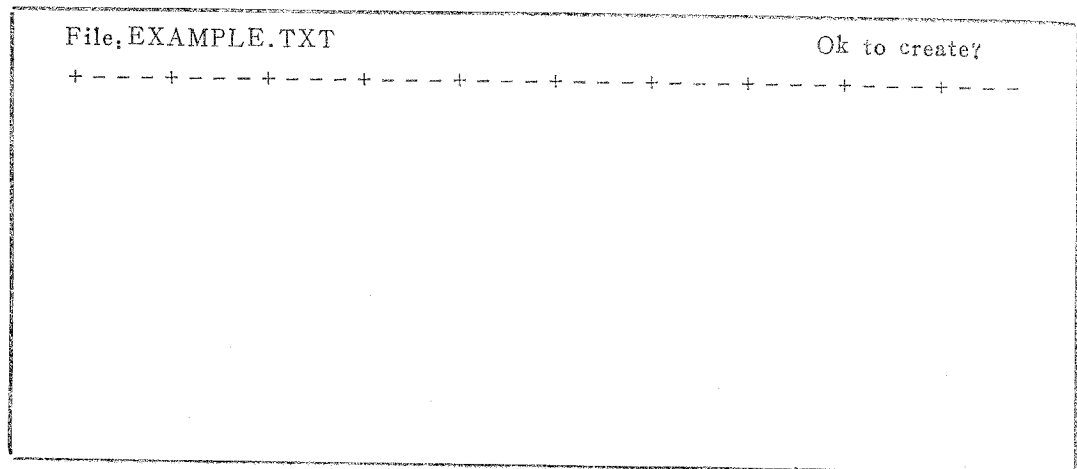


图 A-1

在第一行上显示这个文件的名字EXAMPLE.TXT, 在右上角显示 Ok to create?, 问是否是建一个新文件。这有两种情况, 一是敲错了文件名, 它在盘上找不到, 而再次问是不是建新文件。应回答N, 则立即返回DOS; 另一种情况, 是的确要建一个新文件, 则应回答Y。我们当然是属于后一种情况。则在屏幕中部显示两条虚线, 上面一条中间标有TOP, 表示文件的上界, 下面一条中间标有BOTTOM, 表示文件的下界。因为当前文件是空的, 上、下界当然挨在一起。此时, 按“回车”, 在上、下界之间插入一行空行。光标位于该空行的开头。可以键入想键入的任何内容。例如, 我们共键入了6行, 每行均以“回车”结尾, 于是又在一行的位置上插入一个新的空行, 画面如下:

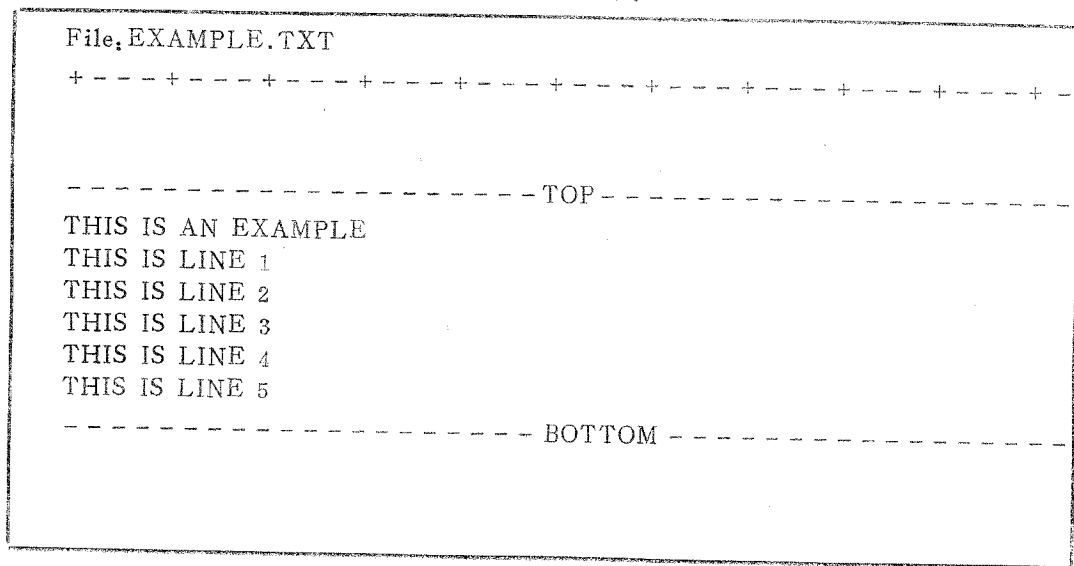


图 A-2

如果文件是已存在的, 则在进入EDIT后, 立即显示文件的内容。

(2) EDIT所用的键

EDIT利用各种功能键和控制键对文件进行编辑。

在下面的符号中,  $\uparrow + F1$ 表示按住换挡键, 再按功能键F1, 然后同时放开。

| 键 法             | 功 能                                                                                                                                                                        |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ↓               | 在光标所在行的下一行插入一空行。                                                                                                                                                           |
| ↑               | 光标上移一行。                                                                                                                                                                    |
| ↓               | 光标下移一行。                                                                                                                                                                    |
| ←               | 光标左移一位。                                                                                                                                                                    |
| →               | 光标右移一位。                                                                                                                                                                    |
| Home            | 光标移至文件的第一行。                                                                                                                                                                |
| End             | 光标移至文件的最末一行。                                                                                                                                                               |
| PgUp            | 光标上移一页, 即20行。                                                                                                                                                              |
| PgDn            | 光标下移一页, 即20行。                                                                                                                                                              |
| Ins             | 进入插入方式。在光标处插入一个字符, 其右边的字符均向右平移一位。要退出插入方式, 再按一次。                                                                                                                            |
| ←               | 抹去光标左边的一个字符, 代之以空格。                                                                                                                                                        |
| Del             | 抹去光标处的字符, 其右边的字符均往左平移一位。                                                                                                                                                   |
| $\uparrow + F1$ | 退出EDIT, 不保留当前正在编辑的文件, 但要你确认一次。                                                                                                                                             |
| F1              | 进入EDIT的命令方式。欲退出命令方式, 就再按一次。当处于命令方式时, 光标跑到标尺以上, 敲入的EDIT命令也显示在标尺以上的地方。且在右上方显示光标所在行的行序号。                                                                                      |
| F2              | 从暂存器中取出刚刚由 $\uparrow + F2$ 键或DELETE命令抹去的那些行, 放在或插在光标当前所在的行的下一行。其后的行均下推一行或多行。                                                                                               |
| $\uparrow + F2$ | 抹去光标所在的行。其后的行均上提一行。连续按, 可连续抹。被抹掉的行现在是放在暂存器中。可由F2键重新恢复它们。但在按了 $\uparrow + F2$ 键抹去一些之后, 你又进行了除移光标和F2功能之外的编辑功能, 则暂存器的内容将丢失, 即用F2键不能再恢复。利用F2和 $\uparrow + F2$ 可实现文本块的抹除、复制、搬家。 |
| F3              | 联接。将光标所在行的下一行接到光标所在行的行尾。若联接后的行超过80个字符, 则超过部分留在下行, 且左对齐。                                                                                                                    |
| $\uparrow + F3$ | 切成两行。将光标所在行自光标位置起之后的全部字符移至下一行上。以后的行均下推一行。                                                                                                                                  |
| F4              | 将光标移至它所在行的行尾。                                                                                                                                                              |
| $\uparrow + F4$ | 将光标移至它所在行的行首。                                                                                                                                                              |
| F5              | 当前正在编辑的文本内容存盘, 不退出EDIT。在右上方显示Lines Written, 行数。                                                                                                                            |

| 键 法     | 功 能                                                                                                                                                         |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ↑ + F5  | 当前正在编辑的文本内容存盘，且退出EDIT。这是最常用的退出方式。                                                                                                                           |
| F6      | 光标在屏幕上的行位置不动，但整个文本在屏幕上上移一行。相当于光标在文本上下移一行，且光标移到行首。                                                                                                           |
| ↑ + F6  | 抹去光标所在行自光标所在位置起右边的全部字符。                                                                                                                                     |
| F7      | 将光标移至“标志线”所在的行。若无“标志线”，则在右上方显示NO Mark found。                                                                                                                |
| ↑ + F7  | 设置“标志线”。即在光标所在的行的下一行插入一条中间标有MARK的虚线。与F7联用，起到将光标移至指定行的作用。注意，在一个文本内只能设置一条“标志线”。即如果已有标志线在某处，再按一次↑ + F7时，就把原来的标志线搬到当前光标所在行的下一行上。                                |
| F8      | 从当前光标所在的行起，向下查找指定的字符串。注意，在引用此项功能和下边讲的↑ + F8功能时，必须首先进入命令方式，即按F1键，使光标跑到标尺以上，键入你要查找的字符串本身，然后按下F8键。若找到了，则光标位于该字符串所在的行，且右上方显示该行的序号；若找不到，就在右上方显示String not found。 |
| ↑ + F8  | 从当前光标所在的行起，向上查找指定的字符串。具体作法，跟F8中讲的一样。                                                                                                                        |
| F9      | 光标在屏幕上的行、列位置均不动，但整个文本在屏幕上上移一行。相当于光标在文本上下移一行，且光标的列位置不变。                                                                                                      |
| ↑ + F9  | 光标在屏幕上的行、列位置均不动，但整个文本在屏幕上下移一行。相当于光标在文本上上移一行，且光标的列位置不变。                                                                                                      |
| F10     | 光标在屏幕上的行、列位置均不动，但整个文本在屏幕上上移10行。相当于光标在文本上下移10行，且光标的列位置不变。                                                                                                    |
| ↑ + F10 | 光标在屏幕上的行、列位置均不动，但整个文本在屏幕上下移10行。相当于光标在文本上上移10行，且光标的列位置不变。                                                                                                    |

### (3) EDIT的命令方式

在上一节中已讲过，要进入命令方式，在编辑期间的任何时候，只需按F1键即可。此时，光标跑到标尺线以上，可以键入EDIT的各种命令。

EDIT 目前有三种命令，即GOTO, DELETE 和FILE。

#### GOTO 命令

格式:

GOTO n

其中n是行序号。

用途: 将文本的第n行移至画面的中央。在右上角显示行序号。光标仍停留在标尺线以上。

说明: 这实际上是找文本的第n行。欲将光标移至第n行处，只需再按一次F1即可。

#### DELETE 命令

格式:

DELETE

用途: 抹去自“标志线”开始至光标所在行的全部内容(且存于暂存器中，可用F2恢复)。

说明: 在使用DELETE以前，必须用↑ + F7设置标志线，使该标志线位于要抹的内容的第一行或最末一行。若标志线位于要抹内容的第一行，则再将光标移至要抹内容的最末一行；若标志线位于要抹内容的第末行，则再将光标移至要抹内容的第一行。然后，按F1，进入命令方式，键入DELETE，再按“回车”，则将指定内容抹去。再按F1，恢复正常编辑状态。

若单纯是抹除，则任务已完成。若是复制，则将光标上移一行，按F2键，则将原来内容在原地照样恢复出来，再将光标移至要复制的地点，按F2键，则将原来内容在新的地点复制出来。

若是搬家，则将光标移到要搬的地点，按F2，即可。

若是搬到另一个文件中，则与下面的FILE命令结合使用。

#### FILE 命令

格式:

FILE <文件名>

用途: 在不退出当前正在编辑的文件的情况下，进入另一文件，进行编辑。当对另一文件编辑完了之后，按↑ + F5，又退回到原来正在编辑的文件。

说明: 这对于把某一文件中的某一块内容复制或搬到另一文件的指定地点是极为有用的。

具体做法是: 利用DELETE将要复制或要搬家的内容送入暂存器中。按F1键，进入命令方式，键入FILE <文件名>，即进入<文件名>所规定的文件，再按F1，进入正常编辑方式，将光标移至指定地点，按F2键。然后按正常方式退出，又回到原来正在编辑的文件。

### 附录 5 CAOD 批处理文件

在提供的CAOD软件系统中，有一个叫做CAOD·BAT的文件，它就是CAOD批处理文件。其内容可以用附录4中讲过的EDIT编辑程序在屏幕上显示出来。操作步骤是，在DOS之下键入

```
EDIT CAOD·BAT ↵
```

则屏幕马上显示

```
2024P
```

```
MAIN
```

共两条，第一条就是配合M2024打印机的驱动程序名。如果你的打印机就是M2024，则无需做任何修改，按↑ + F5退出即可。如果你的打印机是3070，则应当利用EDIT的修改功能将2024P改作ALL24P即可，然后退出。如果你的打印机是其它型号，则只需将2024P改作对应的打印机驱动程序名即可。第二条MAIN是主控程序名，不要改动。

附录 6 CAOD中玻璃库目录表

CHINESE GLASS

| GLASS  | Nd      | Vcf   | GLASS | Nd      | Vcf   |
|--------|---------|-------|-------|---------|-------|
| QK1    | 1.47046 | 66.89 | QK2   | 1.47817 | 65.65 |
| QK3    | 1.48746 | 70.12 | K1    | 1.49966 | 62.06 |
| K2     | 1.50047 | 66.11 | K5    | 1.51007 | 63.42 |
| K7     | 1.51478 | 60.72 | K9    | 1.51637 | 64.13 |
| K10    | 1.51818 | 59.09 | K11   | 1.52638 | 60.24 |
| K12    | 1.53358 | 55.58 | PK1   | 1.51907 | 69.95 |
| PK2    | 1.54867 | 68.09 | BAK1  | 1.53028 | 60.58 |
| BAK2   | 1.53998 | 59.71 | BAK3  | 1.54678 | 62.80 |
| BAK4   | 1.55248 | 63.40 | BAK5  | 1.56068 | 58.42 |
| BAK6   | 1.56388 | 60.81 | BAK7  | 1.56889 | 56.11 |
| BAK8   | 1.57249 | 57.54 | ZK1   | 1.56888 | 62.99 |
| ZK3    | 1.58919 | 61.29 | ZK5   | 1.61120 | 55.83 |
| ZK6    | 1.61269 | 58.39 | ZK7   | 1.61309 | 60.66 |
| ZK8    | 1.61410 | 55.20 | ZK10  | 1.62209 | 56.74 |
| LAK1   | 1.65950 | 57.39 | LAK2  | 1.69211 | 54.58 |
| LAK3   | 1.74693 | 50.98 | KF1   | 1.50057 | 57.24 |
| KF2    | 1.51538 | 54.49 | KF3   | 1.52629 | 51.03 |
| QF1    | 1.54811 | 45.93 | QF2   | 1.56091 | 46.83 |
| QF3    | 1.57502 | 41.34 | QF4   | 1.58013 | 38.02 |
| F1     | 1.60324 | 37.98 | F2    | 1.61294 | 36.98 |
| F3     | 1.61655 | 36.65 | F4    | 1.62005 | 36.38 |
| F5     | 1.62435 | 35.95 | F6    | 1.62495 | 35.61 |
| BAF1   | 1.54809 | 54.00 | BAF2  | 1.56970 | 49.41 |
| BAF3   | 1.57960 | 53.89 | BAF4  | 1.58271 | 46.51 |
| BAF6   | 1.60772 | 46.13 | BAF7  | 1.61413 | 40.06 |
| BAF8   | 1.62605 | 39.12 | ZBAF1 | 1.62231 | 53.19 |
| ZBAF2  | 1.63962 | 48.30 | ZBAF3 | 1.65691 | 51.14 |
| ZBAF4  | 1.66427 | 35.49 | ZBAF5 | 1.67102 | 47.31 |
| ZF1    | 1.64766 | 33.91 | ZF2   | 1.67268 | 32.25 |
| ZF3    | 1.71742 | 29.52 | ZF4   | 1.72822 | 28.35 |
| ZF5    | 1.74003 | 28.19 | ZF6   | 1.75524 | 27.54 |
| ZF7    | 1.80628 | 25.38 | TF1   | 1.52949 | 51.86 |
| TF2    | 1.55390 | 48.63 | TF3   | 1.61242 | 44.13 |
| KZSFN4 | 1.61340 | 44.30 | K3    | 1.50464 | 64.77 |
| K4     | 1.50804 | 61.14 | K6    | 1.51114 | 60.54 |
| K8     | 1.51600 | 56.76 | BAK9  | 1.57444 | 56.39 |
| ZK9    | 1.62041 | 60.27 | ZK11  | 1.63853 | 55.46 |
| ZK12   | 1.66461 | 54.61 | QF5   | 1.58214 | 42.03 |
| F7     | 1.63636 | 35.34 |       |         |       |

SCHOTT GLASS (1)

| GLASS | Nd      | Vcf   | GLASS | Nd      | Vcf   |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| BAF10 | 1.67003 | 47.11 | BAF11 | 1.66672 | 48.42 |
| BAF12 | 1.63930 | 45.18 | BAF13 | 1.66892 | 46.96 |
| BAF3  | 1.58267 | 46.47 | BAF4  | 1.60562 | 43.92 |
| BAF5  | 1.60729 | 49.40 | BAF50 | 1.68273 | 44.50 |
| BAF51 | 1.65224 | 44.93 | BAF52 | 1.60859 | 46.44 |
| BAF53 | 1.67003 | 47.10 | BAF54 | 1.66672 | 48.22 |
| BAF8  | 1.62374 | 47.00 | BAF9  | 1.64328 | 47.95 |
| BAFN6 | 1.58900 | 48.45 | BAK1  | 1.57250 | 57.55 |
| BAK2  | 1.53996 | 59.71 | BAK4  | 1.56883 | 56.12 |
| BAK5  | 1.55671 | 58.65 | BAK50 | 1.56774 | 58.00 |
| BAK6  | 1.57444 | 56.39 | BALF2 | 1.57099 | 50.88 |
| BALF3 | 1.57135 | 52.93 | BALF4 | 1.57957 | 53.71 |
| BALF5 | 1.54739 | 53.63 | BALF6 | 1.58904 | 53.01 |
| BALF8 | 1.55361 | 51.18 | BALK1 | 1.52642 | 60.02 |
| BALK3 | 1.51835 | 60.28 | BASF1 | 1.62606 | 38.96 |
| BASF2 | 1.66446 | 35.83 | BASF5 | 1.60323 | 42.48 |
| BASF6 | 1.66755 | 41.93 | BK1   | 1.51009 | 63.46 |
| BK10  | 1.49782 | 66.95 | BK13  | 1.52122 | 62.77 |
| BK3   | 1.49831 | 65.07 | BK6   | 1.53113 | 62.15 |
| BK7   | 1.51680 | 64.17 | BK8   | 1.52015 | 63.68 |
| BLF50 | 1.58893 | 51.37 | BLF51 | 1.57393 | 52.09 |
| BSF10 | 1.65016 | 39.15 | BSF12 | 1.66998 | 39.20 |
| BSF13 | 1.69761 | 38.57 | BSF14 | 1.69968 | 34.96 |
| BSF50 | 1.71020 | 36.62 | BSF51 | 1.72373 | 38.11 |
| BSF52 | 1.70181 | 41.01 | BSF53 | 1.73627 | 31.99 |
| BSF54 | 1.73627 | 32.15 | BSF55 | 1.69981 | 34.68 |
| BSF56 | 1.65715 | 36.73 | BSF57 | 1.65148 | 41.90 |
| F1    | 1.62588 | 35.70 | F13   | 1.62237 | 36.04 |
| F14   | 1.60140 | 38.23 | F15   | 1.60565 | 37.83 |
| F2    | 1.62004 | 36.37 | F3    | 1.61293 | 37.04 |
| F4    | 1.61659 | 36.63 | F5    | 1.60342 | 38.03 |
| F6    | 1.63636 | 35.34 | F7    | 1.62536 | 35.56 |
| F8    | 1.59551 | 39.18 | F9    | 1.62045 | 38.08 |
| FK1   | 1.47069 | 67.34 | FK3   | 1.46450 | 65.76 |
| FK5   | 1.48749 | 70.41 | FK51  | 1.48656 | 84.47 |
| FK52  | 1.48605 | 81.81 | FN11  | 1.62096 | 36.18 |
| K10   | 1.50137 | 56.41 | K11   | 1.50013 | 61.44 |
| K3    | 1.51823 | 58.98 | K4    | 1.51895 | 57.40 |
| K5    | 1.52249 | 59.49 | K50   | 1.52257 | 60.18 |
| K51   | 1.50518 | 59.55 | K7    | 1.51112 | 60.41 |
| KF1   | 1.54041 | 51.10 | KF3   | 1.51454 | 54.71 |
| KF50  | 1.53088 | 51.11 | KF6   | 1.51742 | 52.20 |
| KF9   | 1.52341 | 51.49 | KZF1  | 1.55115 | 49.68 |
| KZF2  | 1.52944 | 51.69 | KZF5  | 1.52130 | 52.73 |
| KZF6  | 1.52682 | 51.13 | KZFS1 | 1.61310 | 44.34 |
| KZFS2 | 1.55836 | 54.16 | KZFS4 | 1.61340 | 44.30 |
| KZFS5 | 1.65612 | 39.63 | KZFS6 | 1.59196 | 48.51 |
| KZFS7 | 1.68064 | 37.18 | KZFS8 | 1.72047 | 34.61 |
| KZFS9 | 1.59856 | 46.90 | LAF10 | 1.78443 | 43.86 |
| LAF11 | 1.75693 | 31.80 | LAF13 | 1.77551 | 37.84 |
| LAF20 | 1.68248 | 48.20 | LAF21 | 1.78831 | 47.39 |
| LAF22 | 1.78179 | 37.09 | LAF23 | 1.68900 | 49.48 |

SCHOTT GLASS (2)

| GLASS | Nd      | Vcf   | GLASS | Nd      | Vcf   |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| LAF24 | 1.75719 | 47.81 | LAF25 | 1.78427 | 41.30 |
| LAF26 | 1.74597 | 40.01 | LAF9  | 1.79504 | 28.39 |
| LAFN2 | 1.74400 | 44.77 | LAFN3 | 1.71700 | 47.98 |
| LAFN7 | 1.74950 | 34.95 | LAFN8 | 1.73520 | 41.59 |
| LAK10 | 1.72000 | 50.41 | LAK11 | 1.65830 | 57.26 |
| LAK12 | 1.67790 | 55.21 | LAK13 | 1.69350 | 53.33 |
| LAK14 | 1.69680 | 55.41 | LAK16 | 1.73350 | 51.65 |
| LAK17 | 1.78847 | 50.48 | LAK18 | 1.72875 | 54.16 |
| LAK19 | 1.75496 | 53.05 | LAK20 | 1.69349 | 51.56 |
| LAK21 | 1.64050 | 60.10 | LAK22 | 1.65113 | 55.89 |
| LAK23 | 1.66862 | 57.38 | LAK25 | 1.69100 | 54.79 |
| LAK26 | 1.69249 | 58.59 | LAK28 | 1.74429 | 50.78 |
| LAK3  | 1.69350 | 53.45 | LAK31 | 1.69673 | 56.42 |
| LAK8  | 1.71300 | 53.83 | LAK9  | 1.69100 | 54.71 |
| LAKN6 | 1.64250 | 57.96 | LAKN7 | 1.65160 | 58.52 |
| LASF3 | 1.80802 | 40.72 | LASF5 | 1.88069 | 41.01 |
| LASF6 | 1.96052 | 34.92 | LASF7 | 1.92120 | 35.72 |
| LASF8 | 1.80741 | 31.61 | LASF9 | 1.85026 | 32.23 |
| LF1   | 1.57309 | 42.58 | LF2   | 1.58921 | 40.94 |
| LF3   | 1.58215 | 42.07 | LF4   | 1.57845 | 41.59 |
| LFS   | 1.58144 | 40.85 | LF6   | 1.56732 | 42.84 |
| LF7   | 1.57501 | 41.49 | LF8   | 1.56444 | 43.75 |
| LGSK2 | 1.58599 | 61.05 | LLF1  | 1.54814 | 45.75 |
| LLF2  | 1.54072 | 47.16 | LLF3  | 1.56013 | 47.17 |
| LLF4  | 1.56138 | 45.24 | LLF6  | 1.53172 | 48.76 |
| LLF7  | 1.54883 | 45.40 | LSF11 | 1.80166 | 44.26 |
| LSF12 | 1.83565 | 42.29 | LSF13 | 1.85544 | 36.59 |
| LSF15 | 1.87800 | 38.17 | LSF18 | 1.91348 | 32.36 |
| LSF30 | 1.80318 | 46.45 | PK1   | 1.50378 | 66.92 |
| PK2   | 1.51821 | 65.05 | PK3   | 1.52542 | 64.66 |
| PK50  | 1.52054 | 69.71 | PK51  | 1.52855 | 76.96 |
| PSK2  | 1.56873 | 63.08 | PSK3  | 1.55232 | 63.45 |
| PSK50 | 1.55753 | 67.28 | PSK52 | 1.60310 | 65.41 |
| PSK53 | 1.62014 | 63.52 | SF1   | 1.71736 | 29.51 |
| SF10  | 1.72825 | 28.41 | SF11  | 1.78472 | 25.76 |
| SF12  | 1.64831 | 33.84 | SF13  | 1.74077 | 27.60 |
| SF14  | 1.76182 | 26.53 | SF15  | 1.69895 | 30.07 |
| SF16  | 1.64611 | 34.05 | SF17  | 1.65017 | 33.67 |
| SF18  | 1.72151 | 29.25 | SF19  | 1.66680 | 33.01 |
| SF2   | 1.64769 | 33.85 | SF3   | 1.74000 | 28.20 |
| SF4   | 1.75520 | 27.58 | SF5   | 1.67270 | 32.21 |
| SF50  | 1.65473 | 32.88 | SF51  | 1.66025 | 32.94 |
| SF52  | 1.68852 | 30.62 | SF53  | 1.72830 | 28.69 |
| SF54  | 1.74080 | 28.09 | SF55  | 1.76180 | 26.95 |
| SF56  | 1.78470 | 26.08 | SF57  | 1.84666 | 23.83 |
| SF58  | 1.91761 | 21.51 | SF59  | 1.95250 | 20.36 |
| SF6   | 1.80518 | 25.43 | SF61  | 1.75084 | 27.52 |
| SF62  | 1.68134 | 31.94 | SF63  | 1.74840 | 27.71 |
| SF64  | 1.70585 | 30.75 | SF7   | 1.63980 | 34.61 |
| SF8   | 1.68893 | 31.18 | SF9   | 1.65446 | 33.65 |

SCHOTT GLASS (3)

| GLASS | Nd      | Vcf   | GLASS | Nd      | Vcf   |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| SK1   | 1.61025 | 56.71 | SK10  | 1.62280 | 56.90 |
| SK11  | 1.56384 | 60.81 | SK12  | 1.58313 | 59.45 |
| SK13  | 1.59181 | 58.30 | SK14  | 1.60311 | 60.68 |
| SK15  | 1.62299 | 58.05 | SK16  | 1.62041 | 60.32 |
| SK19  | 1.61342 | 57.37 | SK2   | 1.60738 | 56.66 |
| SK20  | 1.55963 | 61.21 | SK3   | 1.60881 | 58.92 |
| SK4   | 1.61272 | 58.63 | SK5   | 1.58913 | 61.27 |
| SK51  | 1.62090 | 60.31 | SK52  | 1.63854 | 55.53 |
| SK6   | 1.61375 | 56.40 | SK7   | 1.60729 | 59.45 |
| SK8   | 1.61117 | 55.92 | SK9   | 1.61405 | 55.17 |
| SKN18 | 1.63854 | 55.42 | SSK1  | 1.61720 | 53.91 |
| SSK2  | 1.62230 | 53.15 | SSK3  | 1.61484 | 51.16 |
| SSK4  | 1.61765 | 55.14 | SSK50 | 1.61795 | 52.61 |
| SSK51 | 1.60361 | 53.63 | SSK52 | 1.65844 | 50.90 |
| SSKN5 | 1.65844 | 50.88 | SSKN8 | 1.61772 | 49.77 |
| TIF1  | 1.51118 | 51.01 | TIF2  | 1.53256 | 45.98 |
| TIF3  | 1.54765 | 42.21 | TIF4  | 1.58406 | 37.04 |
| TIF6  | 1.61650 | 30.97 | TIFN5 | 1.59356 | 35.52 |
| TIK1  | 1.47869 | 58.70 | TISF1 | 1.67339 | 28.90 |
| UBK7  | 1.51680 | 64.28 | UK50  | 1.52257 | 60.39 |
| ZK1   | 1.53315 | 57.98 | ZK5   | 1.53375 | 55.31 |
| ZKN7  | 1.50847 | 61.18 |       |         |       |

OHARA GLASS (1)

| GLASS | Nd      | Vcf   | GLASS | Nd      | Vcf   |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| BAF01 | 1.68250 | 44.66 | BAF02 | 1.66600 | 48.04 |
| BAF1  | 1.55690 | 48.55 | BAF10 | 1.67003 | 47.25 |
| BAF11 | 1.66672 | 48.32 | BAF12 | 1.63930 | 44.88 |
| BAF13 | 1.66892 | 44.99 | BAF2  | 1.56965 | 49.33 |
| BAF3  | 1.58267 | 46.33 | BAF4  | 1.60562 | 43.72 |
| BAF5  | 1.60729 | 49.29 | BAF6  | 1.58900 | 48.61 |
| BAF8  | 1.62374 | 47.10 | BAF9  | 1.64328 | 47.85 |
| BAK1  | 1.57250 | 57.66 | BAK2  | 1.53996 | 59.57 |
| BAK4  | 1.56883 | 56.14 | BAK5  | 1.55671 | 58.62 |
| BAK6  | 1.57444 | 56.48 | BALF2 | 1.57099 | 50.67 |
| BALF3 | 1.57135 | 52.85 | BALF4 | 1.57957 | 53.76 |
| BALF5 | 1.54739 | 53.55 | BALF6 | 1.58904 | 53.33 |
| BALF7 | 1.58875 | 51.18 | BALF8 | 1.55361 | 51.20 |
| BALK1 | 1.52642 | 59.99 | BALK3 | 1.51835 | 60.27 |
| BASF1 | 1.62606 | 39.10 | BASF2 | 1.66446 | 35.83 |
| BASF3 | 1.60717 | 40.34 | BASF4 | 1.65128 | 38.25 |
| BASF5 | 1.60323 | 42.32 | BASF6 | 1.66755 | 41.93 |
| BASF7 | 1.70154 | 41.11 | BASF8 | 1.72342 | 37.95 |
| BK1   | 1.51009 | 63.64 | BK10  | 1.49782 | 66.84 |
| BK12  | 1.51874 | 64.48 | BK2   | 1.50657 | 61.95 |
| BK3   | 1.49831 | 65.03 | BK4   | 1.50048 | 65.99 |
| BK6   | 1.53113 | 62.45 | BK7   | 1.51633 | 64.15 |
| BK9   | 1.49388 | 66.13 | BSF10 | 1.65016 | 39.39 |
| BSF12 | 1.66998 | 39.32 | F1    | 1.62586 | 35.70 |
| F10   | 1.62364 | 36.54 | F16   | 1.59270 | 35.54 |
| F2    | 1.62004 | 36.26 | F3    | 1.61293 | 37.01 |
| F4    | 1.61659 | 36.63 | F5    | 1.60342 | 38.01 |
| F6    | 1.63636 | 35.38 | F8    | 1.59551 | 39.21 |
| F9    | 1.62045 | 38.12 | FK1   | 1.47069 | 67.38 |
| FK3   | 1.46450 | 65.94 | FK4   | 1.47628 | 65.74 |
| FK5   | 1.48749 | 70.16 | K01   | 1.52307 | 58.49 |
| K1    | 1.50977 | 62.10 | K10   | 1.50137 | 56.40 |
| K2    | 1.51602 | 66.80 | K3    | 1.51823 | 58.97 |
| K5    | 1.52249 | 69.79 | K50   | 1.52257 | 60.03 |
| K7    | 1.51112 | 60.49 | KF1   | 1.54041 | 51.00 |
| KF2   | 1.52630 | 51.17 | KF3   | 1.51454 | 54.69 |
| KF4   | 1.53358 | 51.56 | KF5   | 1.52310 | 50.84 |
| KF6   | 1.51742 | 52.28 | KF8   | 1.51118 | 51.02 |
| KZF2  | 1.52944 | 51.72 | KZF4  | 1.57041 | 48.13 |
| KZF5  | 1.52130 | 52.55 | KZF6  | 1.52682 | 51.13 |
| KZF6  | 1.61340 | 43.84 | LAF01 | 1.70000 | 48.08 |
| LAF02 | 1.72000 | 43.71 | LAF03 | 1.73500 | 49.82 |
| LAF04 | 1.75700 | 47.87 | LAF05 | 1.76200 | 40.21 |
| LAF06 | 1.68600 | 49.16 | LAF07 | 1.71285 | 43.40 |
| LAF08 | 1.72000 | 42.08 | LAF09 | 1.69700 | 48.51 |
| LAF10 | 1.74320 | 49.41 | LAF11 | 1.72000 | 46.03 |
| LAF12 | 1.78300 | 36.15 | LAF13 | 1.80740 | 35.43 |
| LAF2  | 1.74400 | 44.78 | LAF3  | 1.71700 | 47.94 |
| LAF7  | 1.74950 | 35.19 | LAF8  | 1.73520 | 41.08 |
| LAK01 | 1.64000 | 60.25 | LAK02 | 1.67000 | 57.33 |
| LAK03 | 1.67000 | 51.63 | LAK04 | 1.65100 | 56.15 |
| LAK05 | 1.65830 | 53.45 | LAK06 | 1.67790 | 50.72 |
| LAK07 | 1.67790 | 53.36 | LAK08 | 1.69349 | 50.81 |
| LAK09 | 1.73400 | 51.52 | LAK10 | 1.71999 | 50.25 |

OHARA GLASS (2)

| GLASS | Nd      | Vcf   | GLASS | Nd      | Vcf   |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| LAK11 | 1.68030 | 57.33 | LAK12 | 1.67790 | 55.34 |
| LAK13 | 1.69350 | 53.35 | LAK14 | 1.69680 | 55.52 |
| LAK18 | 1.72914 | 54.70 | LAK6  | 1.64250 | 58.37 |
| LAK7  | 1.65160 | 58.67 | LAK8  | 1.71300 | 53.90 |
| LAK9  | 1.69100 | 54.84 | LASF1 | 1.78590 | 44.24 |
| LASF2 | 1.79952 | 42.28 | LASF3 | 1.80610 | 40.80 |
| LASF4 | 1.81584 | 44.51 | LASF5 | 1.83481 | 42.83 |
| LASF6 | 1.84100 | 43.27 | LASF7 | 1.86300 | 41.75 |
| LASF8 | 1.86300 | 40.98 | LASF9 | 1.81600 | 46.84 |
| LASK1 | 1.75500 | 52.51 | LF1   | 1.57309 | 42.58 |
| LF2   | 1.58921 | 41.08 | LF3   | 1.58215 | 42.09 |
| LF4   | 1.57845 | 41.52 | LF5   | 1.58144 | 40.75 |
| LF6   | 1.56732 | 42.83 | LF7   | 1.57501 | 41.49 |
| LF8   | 1.56444 | 43.79 | LK010 | 1.72600 | 53.61 |
| LK011 | 1.74100 | 52.72 | LK013 | 1.64100 | 56.93 |
| LK014 | 1.69680 | 56.51 | LLF1  | 1.54814 | 45.78 |
| LLF2  | 1.54072 | 47.20 | LLF3  | 1.56013 | 46.99 |
| LLF4  | 1.56138 | 45.10 | LLF6  | 1.53172 | 48.90 |
| LLF7  | 1.54867 | 48.56 | LLF8  | 1.53256 | 45.91 |
| LSF10 | 1.83400 | 37.19 | LSF11 | 1.77370 | 49.44 |
| LSF12 | 1.80300 | 46.66 | LSF13 | 1.80440 | 39.63 |
| LSF14 | 1.78800 | 47.49 | LSF15 | 1.80399 | 46.57 |
| LSF16 | 1.77249 | 49.67 | LSF17 | 1.79500 | 45.22 |
| LSF18 | 1.83630 | 30.36 | LSF19 | 1.92120 | 35.71 |
| LSK02 | 1.78650 | 50.23 | PK1   | 1.50378 | 66.01 |
| PK2   | 1.51821 | 65.84 | PK3   | 1.52542 | 64.55 |
| PK91  | 1.51728 | 69.56 | PSK01 | 1.61700 | 62.80 |
| PSK02 | 1.61800 | 63.39 | PSK1  | 1.54771 | 62.84 |
| PSK2  | 1.54873 | 63.16 | PSK3  | 1.55232 | 63.75 |
| SF01  | 1.72022 | 29.31 | SF03  | 1.84666 | 23.89 |
| SF1   | 1.71736 | 29.51 | SF10  | 1.72825 | 26.46 |
| SF11  | 1.78472 | 25.71 | SF13  | 1.74077 | 27.77 |
| SF14  | 1.76182 | 24.55 | SF15  | 1.68895 | 30.12 |
| SF18  | 1.72151 | 29.24 | SF19  | 1.66653 | 33.05 |
| SF2   | 1.64769 | 33.80 | SF3   | 1.74000 | 28.29 |
| SF4   | 1.75520 | 27.51 | SF6   | 1.67270 | 32.10 |
| SF6   | 1.80518 | 25.44 | SF7   | 1.63980 | 34.58 |
| SF8   | 1.68893 | 31.08 | SF91  | 1.72286 | 20.88 |
| SFS3  | 1.78470 | 26.22 | SFS6  | 1.76180 | 27.11 |
| SK1   | 1.61025 | 56.51 | SK10  | 1.62280 | 57.06 |
| SK11  | 1.56384 | 60.81 | SK12  | 1.58313 | 59.37 |
| SK14  | 1.60311 | 60.70 | SK15  | 1.62299 | 58.14 |
| SK16  | 1.62041 | 60.27 | SK16  | 1.63854 | 55.38 |
| SK19  | 1.61342 | 57.41 | SK2   | 1.60738 | 56.82 |
| SK20  | 1.55963 | 61.14 | SK3   | 1.60981 | 58.95 |
| SK4   | 4.94453 | 1.24  | SK5   | 1.58913 | 61.12 |
| SK6   | 1.61375 | 56.37 | SK7   | 1.60729 | 59.38 |
| SK9   | 1.61117 | 55.92 | SK9   | 1.61405 | 54.95 |
| SSK01 | 1.64850 | 53.04 | SSK1  | 1.61720 | 54.04 |
| SSK2  | 1.62230 | 53.20 | SSK3  | 1.61484 | 51.17 |
| SSK4  | 1.61765 | 55.05 | SSK5  | 1.63844 | 50.90 |
| SSK6  | 1.61772 | 49.63 | SSK9  | 1.62012 | 49.66 |
| ZK1   | 1.54315 | 57.98 | ZK4   | 1.51190 | 58.14 |
| ZK5   | 1.53375 | 55.53 | ZK7   | 1.50847 | 60.83 |

HOYA GLASS (1)

| GLASS | Nd      | Vcf   | GLASS  | Nd      | Vcf   |
|-------|---------|-------|--------|---------|-------|
| ADC1  | 1.62000 | 62.19 | ADC2   | 1.59700 | 55.29 |
| ADF1  | 1.56500 | 52.96 | ADF4   | 1.61250 | 44.87 |
| ADF8  | 1.68650 | 42.86 | BAC1   | 1.57250 | 57.49 |
| BAC2  | 1.53996 | 59.72 | BAC4   | 1.56883 | 56.04 |
| BAC5  | 1.55671 | 58.56 | BAC6   | 1.57444 | 56.36 |
| BACD1 | 1.61025 | 56.65 | BACD2  | 1.60738 | 56.71 |
| BACD3 | 1.60881 | 58.86 | BACD4  | 1.61272 | 58.58 |
| BACD5 | 1.58913 | 61.25 | BACD6  | 1.61375 | 56.38 |
| BACD7 | 1.60729 | 59.47 | BACD8  | 1.61117 | 55.77 |
| BACD9 | 1.61405 | 55.12 | BACL1  | 1.52642 | 60.11 |
| BACL3 | 1.51835 | 60.40 | BACL10 | 1.67003 | 47.20 |
| BAF11 | 1.66672 | 48.30 | BAF12  | 1.63930 | 45.07 |
| BAF13 | 1.66892 | 44.91 | BAF20  | 1.68578 | 43.90 |
| BAF21 | 1.66422 | 48.94 | BAF22  | 1.68250 | 44.67 |
| BAF3  | 1.58267 | 46.46 | BAF4   | 1.60562 | 43.88 |
| BAF5  | 1.60729 | 49.34 | BAF6   | 1.58900 | 48.54 |
| BAF7  | 1.60801 | 46.21 | BAF8   | 1.62374 | 47.05 |
| BAF9  | 1.64328 | 47.94 | BAFD1  | 1.62606 | 39.09 |
| BAFD2 | 1.66446 | 35.89 | BAFD3  | 1.60717 | 40.36 |
| BAFD4 | 1.65128 | 38.31 | BAFD5  | 1.60323 | 42.39 |
| BAFD6 | 1.66755 | 41.93 | BAFD7  | 1.70154 | 41.15 |
| BAFD8 | 1.72342 | 37.97 | BAFL2  | 1.57099 | 50.86 |
| BAFL3 | 1.57135 | 52.98 | BAFL4  | 1.57957 | 53.71 |
| BAFL6 | 1.58904 | 52.94 | BCD10  | 1.62280 | 56.91 |
| BCD11 | 1.56384 | 60.83 | BCD12  | 1.58313 | 59.46 |
| BCD13 | 1.59181 | 58.31 | BCD14  | 1.60311 | 60.69 |
| BCD15 | 1.62299 | 58.12 | BCD16  | 1.62041 | 60.32 |
| BCD18 | 1.63854 | 55.46 | BD165  | 1.62041 | 59.82 |
| BED1  | 1.61720 | 53.95 | BED2   | 1.62230 | 53.11 |
| BED20 | 1.64850 | 53.03 | BED3   | 1.61484 | 51.15 |
| BED4  | 1.61765 | 55.16 | BED5   | 1.65844 | 50.85 |
| BED9  | 1.62012 | 49.82 | BFD10  | 1.65016 | 39.34 |
| BFD14 | 1.69968 | 34.93 | BFD15  | 1.70200 | 40.20 |
| BSC1  | 1.51009 | 63.44 | BSC3   | 1.49831 | 65.13 |
| BSC6  | 1.53113 | 62.08 | BSC7   | 1.51680 | 64.20 |
| C10   | 1.50137 | 56.30 | C12    | 1.52307 | 58.64 |
| C3    | 1.51823 | 58.96 | C5     | 1.52249 | 59.45 |
| C7    | 1.51112 | 60.49 | CF1    | 1.54041 | 50.95 |
| CF2   | 1.52630 | 51.05 | CF3    | 1.51454 | 54.63 |
| CF4   | 1.53358 | 51.55 | CF5    | 1.52310 | 50.95 |
| CF6   | 1.51742 | 52.15 | F1     | 1.62588 | 35.74 |
| F11   | 1.62096 | 35.95 | F15    | 1.60565 | 37.90 |
| F2    | 1.62004 | 36.30 | F3     | 1.61293 | 36.96 |
| F4    | 1.61659 | 36.62 | F5     | 1.60342 | 38.01 |
| F6    | 1.63636 | 35.34 | F7     | 1.62536 | 35.58 |
| F8    | 1.59551 | 39.22 | F9     | 1.62045 | 38.09 |
| FC1   | 1.47069 | 67.31 | FC3    | 1.46450 | 65.77 |
| FC5   | 1.48749 | 70.44 | FD1    | 1.71736 | 29.50 |
| FD10  | 1.72825 | 28.32 | FD11   | 1.78472 | 25.70 |
| FD12  | 1.64831 | 33.79 | FD13   | 1.74077 | 27.76 |
| FD14  | 1.76182 | 26.55 | FD15   | 1.69894 | 30.05 |
| FD18  | 1.72151 | 29.24 | FD19   | 1.66680 | 33.06 |

HOYA GLASS (2)

| GLASS | Nd      | Vcf   | GLASS | Nd      | Vcf   |
|-------|---------|-------|-------|---------|-------|
| FD2   | 1.64769 | 33.84 | FD20  | 1.72022 | 29.30 |
| FD3   | 1.74000 | 28.25 | FD4   | 1.75520 | 27.53 |
| FD5   | 1.67270 | 32.17 | FD6   | 1.80518 | 25.47 |
| FD7   | 1.63980 | 34.57 | FD8   | 1.68893 | 31.16 |
| FD9   | 1.65446 | 33.72 | FDS2  | 1.72830 | 28.67 |
| FDS   | 1.78470 | 26.06 | FDS5  | 1.76180 | 26.91 |
| FDS9  | 1.84666 | 23.83 | FEL1  | 1.54814 | 45.82 |
| FEL2  | 1.54072 | 47.20 | FEL3  | 1.56012 | 47.09 |
| FEL4  | 1.56138 | 45.23 | FEL6  | 1.53172 | 48.84 |
| FEL7  | 1.54863 | 45.44 | FF1   | 1.51118 | 51.03 |
| FF2   | 1.53256 | 45.94 | FF5   | 1.59270 | 35.45 |
| FL1   | 1.57309 | 42.59 | FL2   | 1.58921 | 40.96 |
| FL3   | 1.58215 | 42.03 | FL4   | 1.57845 | 41.71 |
| FL5   | 1.58144 | 40.89 | FL6   | 1.56732 | 42.84 |
| FL7   | 1.57501 | 41.51 | LAC10 | 1.72000 | 50.34 |
| LAC11 | 1.65830 | 57.26 | LAC12 | 1.67790 | 55.52 |
| LAC13 | 1.69350 | 53.30 | LAC14 | 1.69680 | 55.46 |
| LAC15 | 1.69679 | 56.11 | LAC6  | 1.64250 | 57.96 |
| LAC7  | 1.65160 | 58.40 | LAC8  | 1.71300 | 53.94 |
| LAC9  | 1.69100 | 54.70 | LACL1 | 1.64085 | 56.84 |
| LACL2 | 1.65020 | 55.67 | LACL3 | 1.66480 | 53.40 |
| LACL4 | 1.66960 | 51.66 | LACL5 | 1.69350 | 50.76 |
| LACL6 | 1.64000 | 60.15 | LACL7 | 1.67000 | 57.31 |
| LACL8 | 1.67790 | 53.42 | LACL9 | 1.67790 | 50.56 |
| LAF2  | 1.74400 | 44.87 | LAF3  | 1.71700 | 47.99 |
| LAF7  | 1.74950 | 35.04 | LAF11 | 1.68600 | 49.35 |
| LAF12 | 1.69700 | 48.51 | LAF13 | 1.70030 | 47.82 |
| LAF14 | 1.71270 | 43.30 | LAF15 | 1.72000 | 43.88 |
| LAF16 | 1.72000 | 42.02 | NBF1  | 1.74330 | 49.22 |
| NBF10 | 1.83400 | 37.35 | NBF11 | 1.78590 | 43.93 |
| NBF12 | 1.79950 | 42.34 | NBF13 | 1.80610 | 40.74 |
| NBF14 | 1.80170 | 44.32 | NBF2  | 1.75700 | 47.71 |
| NBF3  | 1.73500 | 49.79 | NBFD1 | 1.78900 | 42.76 |
| NBFD2 | 1.79720 | 41.14 | NBFD3 | 1.80450 | 39.64 |
| NBFD4 | 1.83060 | 36.55 | NBFD5 | 1.76200 | 40.26 |
| NBFD6 | 1.75670 | 36.35 | NBFD7 | 1.78300 | 36.07 |
| NBFD8 | 1.80740 | 35.54 | NBFD9 | 1.75690 | 31.80 |
| PC1   | 1.50378 | 66.89 | PC2   | 1.51821 | 65.16 |
| PC3   | 1.92542 | 64.62 | PCD2  | 1.56873 | 63.11 |
| PCD3  | 1.55232 | 63.42 | PCS1  | 1.51728 | 69.68 |
| SBF1  | 1.55115 | 49.52 | SBF2  | 1.52944 | 51.64 |
| SBF5  | 1.52130 | 52.78 | SBF6  | 1.52682 | 51.09 |
| TAC1  | 1.72600 | 53.42 | TAC2  | 1.74100 | 52.60 |
| TAC4  | 1.73400 | 51.05 | TAF1  | 1.77250 | 49.62 |
| TAF2  | 1.79450 | 45.39 | TAF3  | 1.80420 | 46.51 |
| TAF4  | 1.78800 | 47.49 | TAFD1 | 1.81470 | 44.24 |
| TAFD2 | 1.83770 | 41.97 | TAFD5 | 1.83500 | 42.98 |
| TAFD9 | 1.85030 | 32.18 | TFD10 | 1.81550 | 44.53 |
| TFD13 | 1.85540 | 36.56 | TFD17 | 1.87800 | 38.17 |
| ZNC1  | 1.53315 | 58.06 | ZNC5  | 1.53375 | 55.38 |
| ZNC7  | 1.50847 | 61.27 |       |         |       |

Computer Aided Optical Design (CAOD) With IBM-PC

Sun Guoliang Weng Zhicheng Shi Weifu

Abstract

In this paper methods and steps for doing optical design by using of the CAOD software system with IBM-PC are introduced in detail.