

光学系统总体布局设计方法

西安一傲光学设计工作室 姚多舜

一、前言

光学系统，特别对一个比较复杂的光学系统，在系统设计初期就必须根据光学仪器总体要求利用光学系统基本结构元件，合理安排系统光路走向，完成光学系统总体布局设计，然后才是光学系统具体结构设计，像差平衡以致适当公差分配，最终获得一个结果与性能俱佳的优质光学系统。一个较复杂的光学系统，往往不只是几片简单光学零件的组合，有时还可能是各种不同变焦系统结构，甚至还会有各种不同要求的多光谱，共轴或非共轴的多个子系统结合的多光路系统的融合，才能满足光学仪器总体的多功能需求。OCAD 光学系统自动设计程序提供了一个具有特色的光学系统总体布局平台，可以利用光学系统的各种结构元件合理布局构建光学系统草图，直接显示并方便协调光线走向，实现光学原理，使得在光学系统设计的初期完成光学系统总体布局初始设计，接着还可以利用 OCAD 程序的其他初始结构设计功能完成光学系统初始结构参数设计，为下一步光学系统成像质量优化及其他后期设计打下基础。

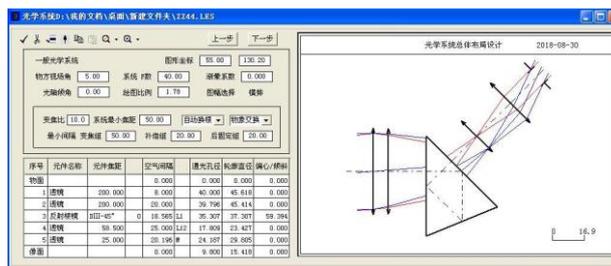


图 1-1 一般光学系统总体布局设计平台界面

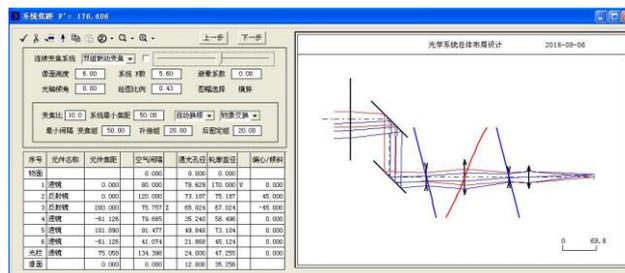


图 1-2 连续变焦光学系统总体布局（显示凸轮曲线）界面

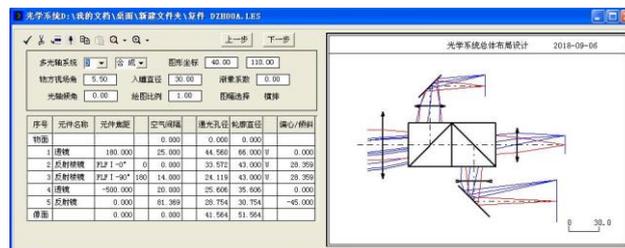


图 1-4 多光路光学系统总体组合布局界面

二、 光学系统的设计输入

在进行光学系统设计之前，首先需要明确总体对光学系统的技术要求，也称为设计输入参数，这些属于整个光学系统设计的依据。其中包括：光学系统的类型、系统目标特性、系统像方特性、光学系统总体布局要求以及对光学系统通光量的要求等。

有了以上设计要求方能着手光学系统的方案设计。以往的这段工作都是由设计人员在纸面上构思，反复进行光学系统总体勾画，选择最佳方案。目前有了 OCAD 光学系统自动设计程序，有效地提供了初始方案草图设计的平台。使用时只需在该程序的工具条里选择“光学系统总体布局设计”的功能就可顺利完成光学系统总体方案设计工作。

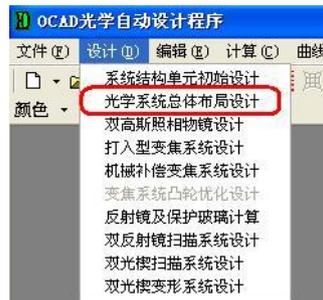


图 2-1 光学系统总体布局设计初始建模的选择

点开之后出现窗口如图 2-2。

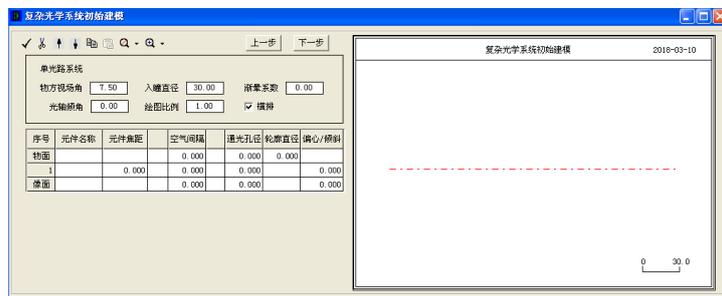


图 2-2 光学系统总体布局设计窗体

窗体分为两部分，左半部是数据部分，如图 2-3。右半部为绘制方案草图的绘图平台。在数据部分的上部填写相应光学系统的设计要求。其中包括系统视场范围、入瞳大小、系统渐晕系数，还有便于绘图的比如光轴倾角、绘图比例以及图幅选择以及图形横排或竖排的选择等。



图 2-3 窗体性能参数填写部分

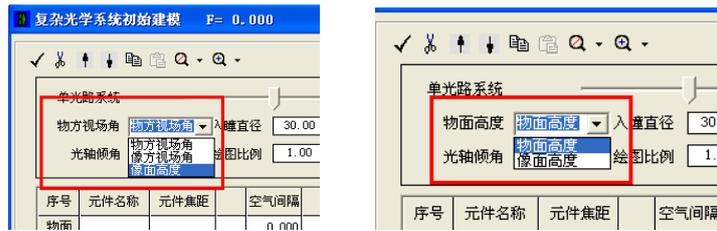


图 2-4 物方参数的选择



图 2-5 通光孔径形式的选择

对于其他要求，可以利用主窗体的主菜单的“编辑”内的“系统基本数据”窗体内选择“系统波长”及“系统环境”等内容。

三、一般光学系统的设计

填写完对光学系统的设计技术要求之后就可以在窗体右侧的绘图框内绘制光学系统方案草图。绘图框的基本尺寸默认为一张横排的 A4 图纸。如果根据系统总体尺寸的要求需要调整绘图框图纸图幅的尺寸，可以利用界面是文字框从“图幅选择”中选择，点击“图幅选择”后会出现一个下拉式菜单，从中选择常用的图幅尺寸代号，如果不满足还可以选择“自定义”，给定需要的横向尺寸和纵向尺寸，如图 3-1。如果需要调整图纸横排或竖排的形式，只要在窗体左侧的数据框内的“横排”或“竖排”的选择框内点击就可以自动变换，如图 3-2。

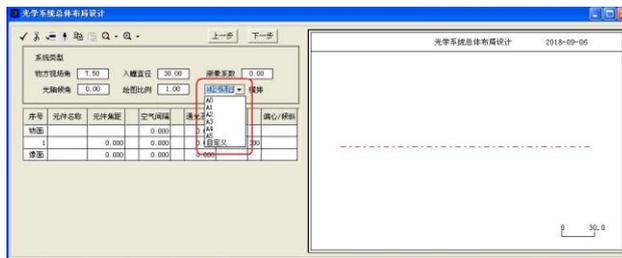


图 3-1 图幅尺寸选择

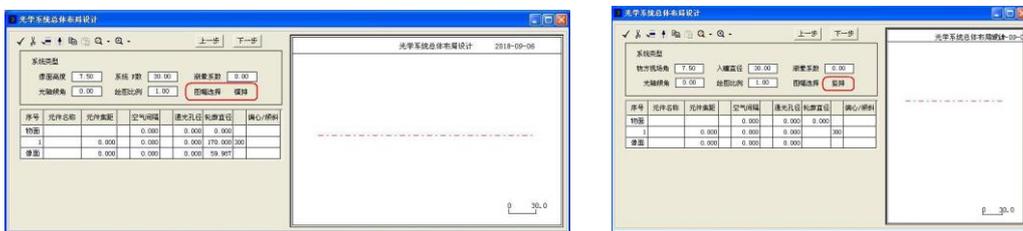


图 3-2 图纸的横竖排列选择

通过以上设置即可进行光学系统初步方案草图绘制。所有光学系统，其基本元素都不外乎是由透镜、光栏、反射镜以及折射棱镜等组成。光学系统初始结构方案的绘制，就是依次在绘图框内安排各种不同

光学元素，作为棋子一样排兵布阵。在布阵时，先在左侧数据框的表格框内“元件名称”列的对应面序号栏内点击，立即在对应位置出现“命令集”下拉式菜单，从中选取所需光学元素。

一) 初始方案草图绘制

1. 透镜的绘制

透镜是构成光学系统的最基本元素，由于透镜具有相应光焦度，所以他是光线成像的基本元素。透镜焦距为零时就是保护玻璃或分划镜。一般光学系统的前端第一个零件都用透镜（或保护玻璃）。因此在绘制光学方案草图时首先在绘图框内先画透镜。

绘制透镜时，先在 下拉菜单“命令集”中选取“透镜”，同时界面要求输入透镜焦距值，然后在右侧绘图框内光轴上相应位置点击划动一下，等出现一条蓝色线条定位后确定透镜所在位置，程序自动绘制出该透镜图形并显示系统光线，同时在数据表格内显示有关参数。绘图过程见图 3-3 所示。绘图结果如图 3-4。依此类推可以反复绘制许多所需要的透镜元素构成光学系统。



图 3-3 透镜的绘制过程

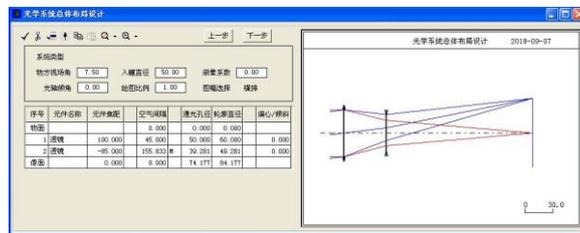


图 3-4 透镜的绘制

2. 反射镜的绘制

反射镜同样也是构成光学系统的组成元素之一。由于反射镜通过对光线反射成像，同时，由于反射镜与光轴夹角的改变可以用于折转光轴。

在绘制反射镜时，与上相同，在命令集内选择了“反射镜”，绘制反射镜时首先需要输入反射镜的焦距值，接着还有输入反射镜与光轴的夹角，然后在绘图框内适当位置点击，即可自动绘制出所需图形，如图 4-5 右侧图形。由于反射镜的焦距是由反射镜不同表面半径决定的，为简化方便在方案草图中均用平面表示。

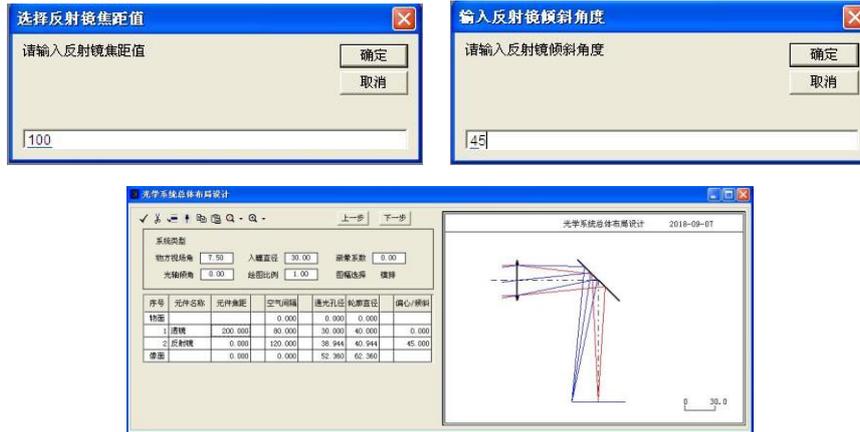


图 3-5 反射镜的绘制

3. 折射棱镜的绘制

折射棱镜在光学系统内不仅可以起到折转光轴的作用，还可用来对物象起到倒像或镜像转换作用。在绘制折射棱镜前首先要在命令集内选取“反射棱镜”，如图 3-6。由于折射棱镜有较长的光轴展开长度，相当于一块有相当厚度的平板玻璃，具有不同等效空气层，因此在绘制反射棱镜时还须给出棱镜材料的玻璃牌号名称，如图 3-7，然后从在界面上显示反射棱镜名称的下拉式菜单上选择需要的反射棱镜名称，如图 3-8。由于反射棱镜是非对称元件，在选择棱镜名称后还有按提示要求输入棱镜主截面与图面的沿光轴夹角，有些棱镜还需要继续输入比如棱镜光轴长度延长尺寸或棱镜潜望高度等参数，可按界面提示输入。所需数据填写完毕后，在绘图框内棱镜应该位置是点击划动一下，等出现一条蓝色线条定位，即可自动绘制出该反射棱镜图形如图 3-9。

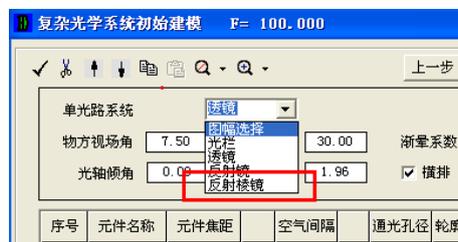


图 3-6 反射棱镜的名称选择

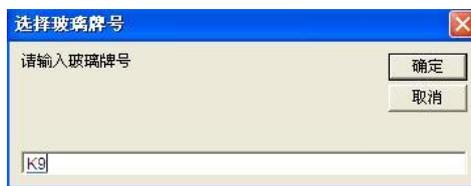


图 3-7 输入反射棱镜玻璃材料牌号



图 3-8 选择反射棱镜的棱镜名称代号

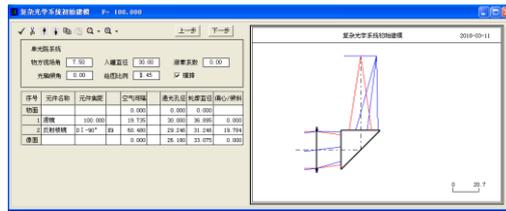


图 3-9 系统内绘制反射棱镜元素

4. 孔径光阑的绘制

孔径光阑虽然不是光学零件，但可在光学系统内对主光线位置起着决定作用，而且会影响整个光学系统外形尺寸的作用。

在绘制孔径光阑时，按以上方法在命令集内选择“光阑”，然后在绘图框的光学系统内光阑位置上点击划动一下，等出现一条蓝色线条定位，即可自动绘出孔径光阑图形，并自动求解出主光线的位置，如图 3-10。

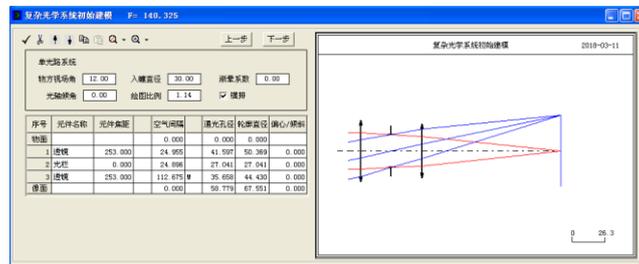


图 3-10 绘制系统内孔径光阑

按照以上方法绘制系统内各不同光学元素后，如果需要继续排布其他元素，可以按同样方法依次绘制。每次都可随意选择不同光学元素。如图 3-11。

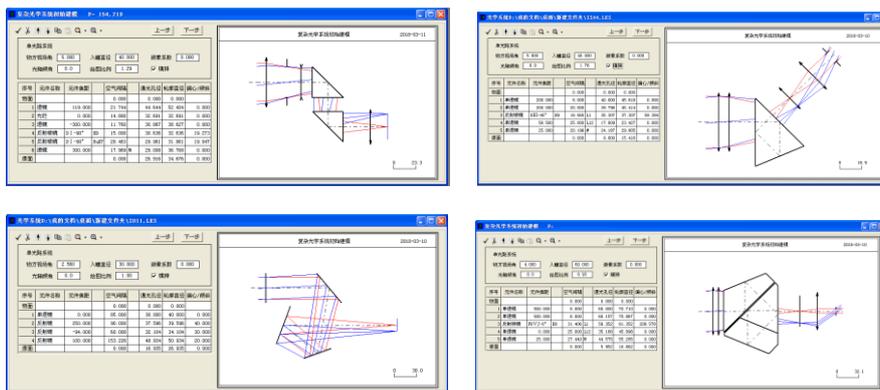


图 3-11 绘制出的各种不同光学系统方案草图

5. 望远系统的参数建立

作为目视的望远系统，目标在无限远处，经系统成像后由目镜出射的像方也应该在无限远处便于人眼接收。为了获得出射平行光线，要求系统物镜像面与目镜前焦面重合。如果系统有分划镜，还要求物镜焦点、分划面以及目镜像面三者彼此都要重合。为了满足这一要求，在绘制方案草图时，应该使系统物

镜与目镜间空气间隔等于物镜后截距与目镜前截距之和。在操作时可以点击该间隔数据后一系列的间隔特性处，界面会出现一个下拉菜单，给出多项选择，其中包括：物镜后截距、目镜前截距以及物镜目镜间隔等三项。如果系统没有分划板，可以直接选择“物镜目镜间隔（L12）”，程序会自动计算出物镜后截距和目镜前截距总和并输入给物镜和目镜间的空气间隔值构成望远系统完整数据。

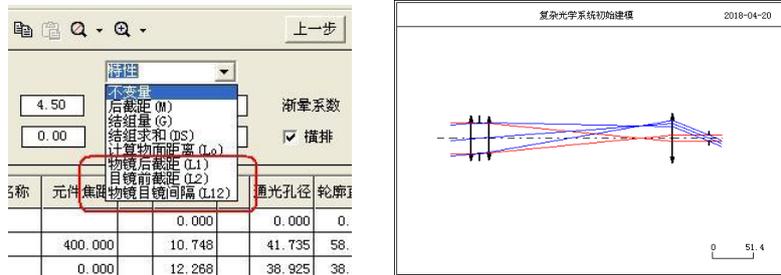


图 3-12 望远系统的参数建立

如果系统内有分划板，还要求物镜像面与分划面重合。此时必须分别要求物镜与分划面之间间隔等于物镜后截距，分划面与目镜间隔等于目镜前截距。此时就要在下拉菜单内分别选择“物镜后截距（L1）”和“物镜目镜间隔（L12）”，程序自动计算出对应数据输入，构成完整望远系统数据参数。

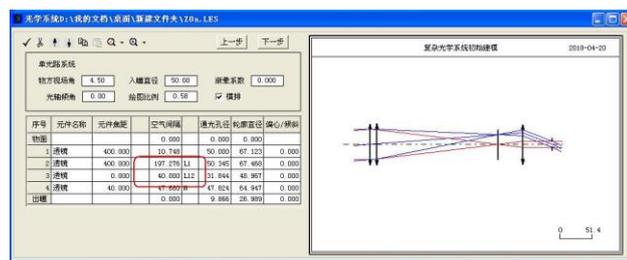


图 3-13 带有分划板的望远系统的参数建立

6. 显微镜放大倍率的物距给定

显微镜的放大倍率决定着显微镜的显微放大能力。当显微镜的焦距值一定时，决定其放大倍率的取决于系统物面距离。为此在一个显微系统初始方案建模完成后，确定系统物距是很重要。本程序就具有自动求解并输入显微镜物距的功能。在操作时只要在界面的数据表格内物距数据特性栏内点击，然后出现下拉式菜单，从中选择“计算物面距离（Lo）”，再根据提示输入系统角放大率值，程序会自动求解并输入显微镜的物距值。

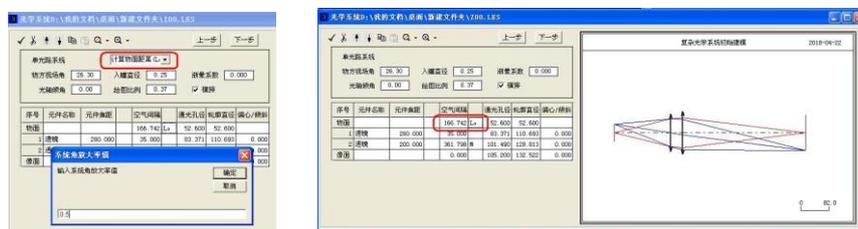


图 3-14 根据放大倍率求解显微镜物距参数

二) 方案草图的调整与修改

既然是方案草图只是光学系统结构方案的初步设想，必然需要结构反复调整修改才能逐渐成熟。

1. 元件参数的修改

光学元件的参数包括各光学元素的焦距值、反射镜的表面倾斜角以及各光学元素之间的空气间隔等，对于折射棱镜，还可以重新选择棱镜名称及其相应参数。总之，凡是在绘图过程中输入的数据均可方便地修改。修改方式有两种，一是直接在数据表格内修改重新输入所需数据，第二种方法是在点击了需要修改是数据时在上方会出现一个可调整数据的拉杆工具条，只要拉动工具条，对应数据就会连续变化，直到满足要求为止，如图 3-15 所示。比如需要调整系统在第一块透镜的焦距，首先利用鼠标点击表格框在指定光学元素所在序号中元件焦距数据，立即可以看到上方出现的拉杆条，此时拉到拉杆条指针，就可发现图相框内图形在动态变化，指定松开鼠标修改结束。其他参数修改于此类似。

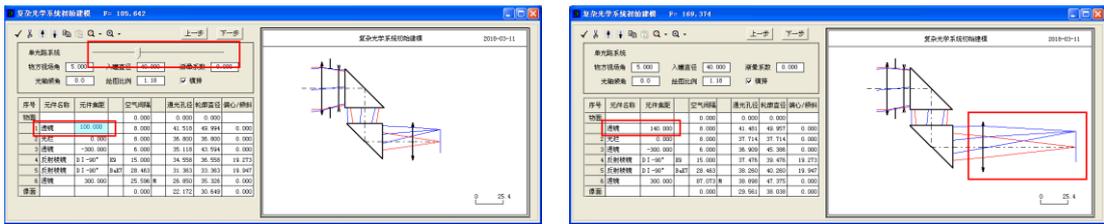


图 3-15 元件参数的修改

2. 元件布局位置的调整

方案草图的调整与修改不仅仅是修改某光学元件的本身特性参数，各元件之间的相对位置也同样是光学系统的重要参数。

为了调整光学元素的空间位置在修改指定参数时还必须保持其他元素的位置不变，比如要在系统在改变其中孔径光阑位置，或者叫把孔径光阑在前后两个透镜间移动，此时可以利用工具条在“位移”功能。首先点击数据框内对应“光阑”元件，然后选择工具条在“位移”按钮，可以发现有许多子功能，选择其中“单件拖移”，此时在绘图框内需要元件会变成红色提示，再利用鼠标点击该元素，沿光轴方向移动，直接该元件随之移动，其他元件保持不动，指定带起鼠标，调整完毕。

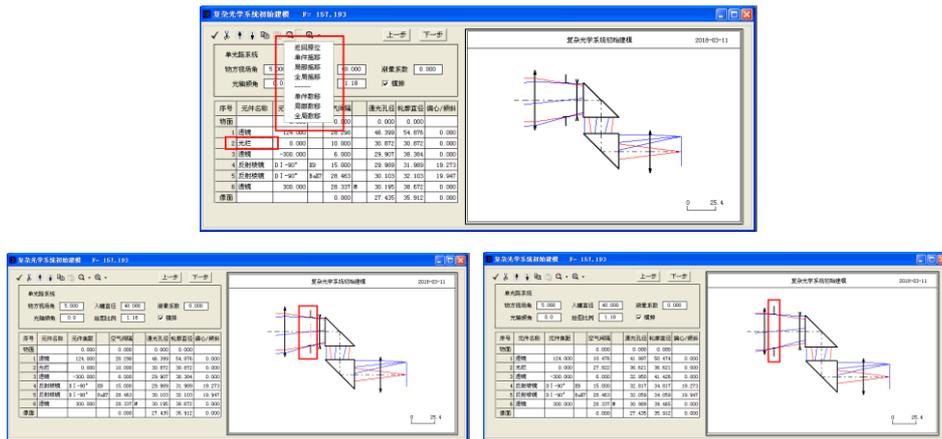


图 3-16 元件的单件拖移

如果要求一次同时调整连续几个光学元素位置，可以利用子工具条内“局部拖移”功能，和以上类似，先选择需要移动的前一个元件序号后在选择“局部拖移”功能后界面提示需要输入局部元件的最后

一个元件的随着面序号，其余相同，调整后的效果如图 3-17。

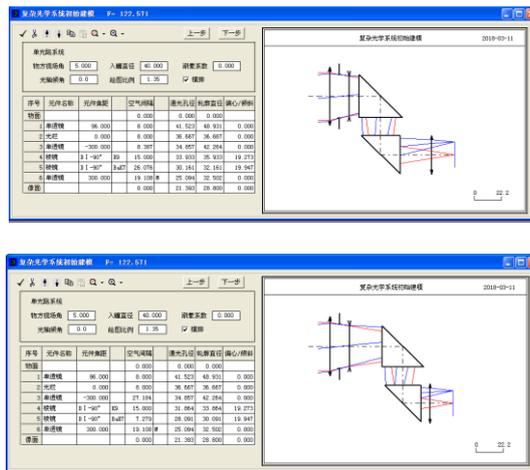


图 3-17 部分元件的集体拖移

以上光学元素的位移不仅可以鼠标拖移方法，也可以给定移动数据，采用单件数移或局部数移方法实现。

3. 元件的添加与删除

在方案草图设计过程难免需要随时添加或删除不同光学元素。需要删除时很简单，只要首先指定数据框内数据表格内需要删除对象，利用工具条中“删除”按钮，即可立即完成。如果需要添加新光学元素，需要首先指定添加光学元素的上一行相应序号，等出现“命令集”后即可顺利添加所需元素。

4. 图形绘制的比例及位置调整

在系统方案修改与调整过程中，会产生整个图形在图纸内的尺寸变化，甚至超出图纸范围或图形位置不平衡，此时可利用工具条内“位移”按钮或“缩放”按钮及时调整。需要调整图纸绘图比例时，可选择“缩放”按钮，图面上出现斜向箭头图标，顺箭头方向左右移动即可调整图形比例。如需整体移动图形，可选择“位移”按钮，图面出现十字形图标，鼠标可以任意拉到图形移动的任意位置，直到满意为止，如图 3-18。在进行图形位移时还可以选择“缩放”按钮的子按钮中“全局数移”按指定数据移动。

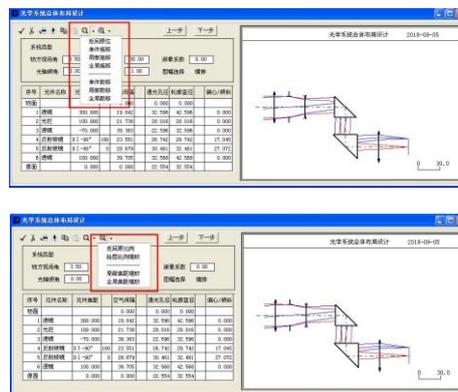


图 3-18 图形的缩放与位移功能

如果只需要调整绘图比例，可利用窗体数据界面内“绘图比例”功能，此功能比较简单，一方面可

以直接修改绘图比例数据，同时还可以使用拉杆条拖动，连续修改绘图比例，动态显示修改效果指定合适为止，如图 3-19 所示。

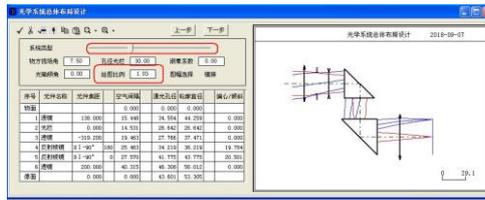


图 3-19 使用“绘图比例”调整图形绘制比例

三) 外形尺寸计算

完成光学系统总体布局设计的初始草图只是光学系统设计的第一步，接着就可以通过外形尺寸计算，求解各光学元件的 PW 值查看该元件在系统内的像差贡献，为了整个系统的像差便于平衡，须让各光学元件的像差贡献大致平衡才可容易获得成像质量满意的系统。

为了求解光学系统的外形尺寸以求得系统 PW 值分配，首先点击界面上方“下一步”按钮，然后输入必要的三级像差系数要求值，再点击左上方“确定”按钮，程序会自动求解出系统各元件的有关数据。

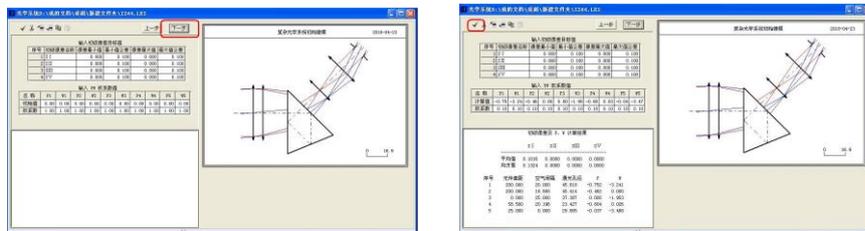


图 3-20 光学系统外形尺寸计算

四) 初始结构设计

求得各光学元件的 PW 值之后，即可以对各元件逐一进行初始结构设计。当需要设计指定元件时，就在对应表格中的“选择”栏内点击，设计立即开始。



图 3-21 初始结构设计选择界面

1、透镜设计

在初始设计草图中的“透镜”仅只是一个“光学元件”符号，还不是具体光学零件，要把它转换成真正意义的“透镜”还需要进一步利用 OCAD 程序内的“系统结构单元初始设计”功能完成。当对透镜设计点击“选择”后，界面会自动出现具体透镜设计窗体。具体透镜结构可以是单透镜、双胶合透镜以及单透镜与胶合透镜的组合等多种形式供选择。

代号	元件焦距	空气间隔	轮廓直径	P	W	选择	保存
1	400.000	20.000	51.111	0.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	380.000	80.000	52.602	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	0.000	50.606	40.718	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	85.000	50.000	46.018	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	50.000	32.430	43.752	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

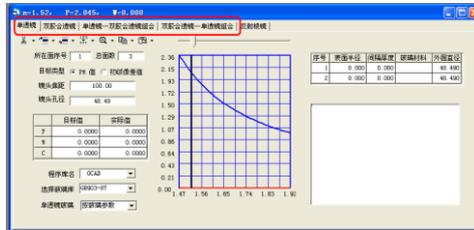


图 3-22 系统结构单元初始设计界面

在出现“系统结构单元初始设计”时，程序会显示该“透镜”的基本参数要求，比如镜头焦距值、镜头孔径以及对透镜 PW 值的要求等，可以根据这些要求选择透镜的具体结构形式，比如单透镜、胶合透镜以及多透镜组合等各种结构形式。如果选择双胶合透镜，就可以按提示选择透镜玻璃组合，进而直接计算出胶合透镜的表面半径中心厚度等具体结构参数，完成该条件的结构设计。如有不合适还可以进一步修改，满意之后再前面表格中点击“保存”即可。

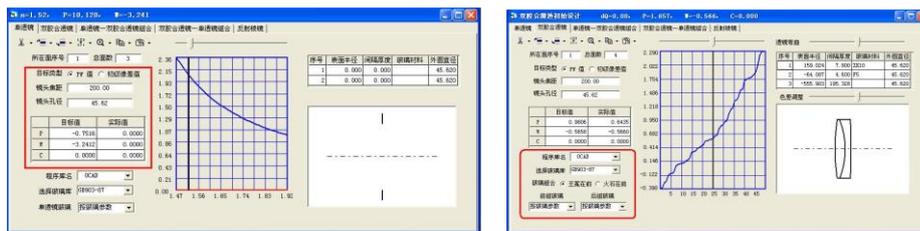


图 3-19 透镜结构单元初始设计界面

代号	元件焦距	空气间隔	轮廓直径	P	W	选择	保存
1	400.000	20.000	51.111	0.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1	380.000	80.000	52.602	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	0.000	50.606	40.718	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	85.000	50.000	46.018	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	50.000	32.430	43.752	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

图 3-20 透镜结构单元设计保存

对于有些透镜，其相对孔径比较大，或 PW 值要求较高，一片透镜或透镜简单组合满足不了要求，虽然在设计草图内只用一块透镜单元表示，但实际上需要多组透镜才能承担，必须在具体设计时进行复杂化处理。例如本设计例子中目镜焦距为 50，而其通光孔径则要求 43.75，显然一块透镜无法满足要求，参数可以把它分裂为两块焦距分别为 100 的双胶合透镜以及一组单透镜与双胶合透镜的组合，如图所示。

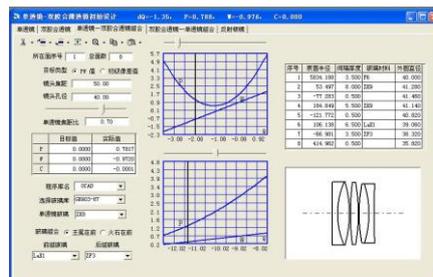
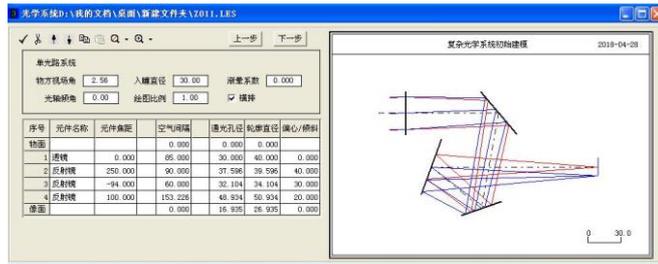


图 3-21 多透镜结构单元初始设计界面

2、反射镜设计

反射镜是个结构比较简单的光学元素，只有一个反射面构成。因反射面的表面半径决定反射镜的焦距值。反射镜半径用来会聚光线，还可以利用其对光轴的倾斜或偏心折转光轴。由于其倾斜或偏心都可实现折转光轴的作用，为简便起见以上初始结构建模时都用倾斜表示，而且在绘图时都用平面表示。反射镜的结构参数比较简单，只是有了焦距值就可以了，所以在具体结构设计时只要在“选择”框内点击，程序会自动完成结构设计并自动“保存”。

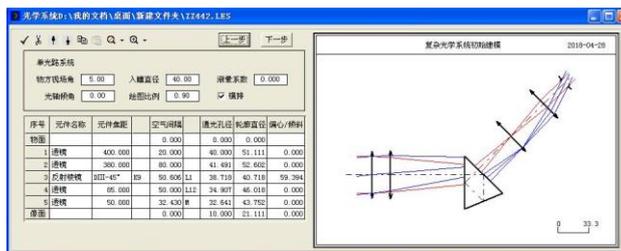


代号	元件焦距	空气间隔	轮廓直径	P	W	选择	保存
1	0.000	85.000	40.000	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	250.000	90.000	39.596	0.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	-94.000	60.000	34.104	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	100.000	153.226	50.934	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

图 3-22 反射镜结构单元初始设计界面

3、反射棱镜设计

反射棱镜也是个结构比较简单的光学元素，只要反射棱镜的标准代号以及其通光孔径确定，该反射棱镜就有了明确的结构尺寸，不需更多处理。同样，只有在窗体数据表格中使用“选择”栏确定，程序会自动完成系统结构的设计工作，完成后自动“保存”。



序号	元件名称	元件焦距	空气间隔	通光孔径	轮廓直径	偏心/倾斜
1	透镜	400.000	20.000	40.000	51.111	0.000
2	透镜	380.000	80.000	41.401	52.602	0.000
3	反射棱镜	DIII-45°	R9	50.606	40.718	59.394
4	透镜	85.000	50.000	34.901	46.018	0.000
5	透镜	50.000	32.430	32.641	43.752	0.000
像面			0.000	10.000	21.111	0.000

代号	元件焦距	空气间隔	轮廓直径	P	W	选择	保存
1	400.000	20.000	51.111	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	380.000	80.000	52.602	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	0.000	50.606	40.718	0.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1	85.000	50.000	46.018	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	50.000	32.430	43.752	0.000	0.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

图 3-23 反射棱镜结构单元初始设计界面

4、孔径光阑设计

孔径光阑不是有效光学元件，只是利用系统内一个金属框或透镜框遮拦部分光线的通过，借以改变系统主光线的位置，从而影响系统像差变化，为此它在光学系统设计时也起着重要作用。在光学系统总体布局设计初始结构自动建模阶段把它作为一个光学元件使用。在由系统初始建模转向真实系统设计时也需要进行转换。由于孔径光阑只有位置及通光孔径，没有其他参数，使用设计时十分简便。只有点击“选择”，程序会自动在指定位置设置下孔径光阑，并自动记录“保存”即可。

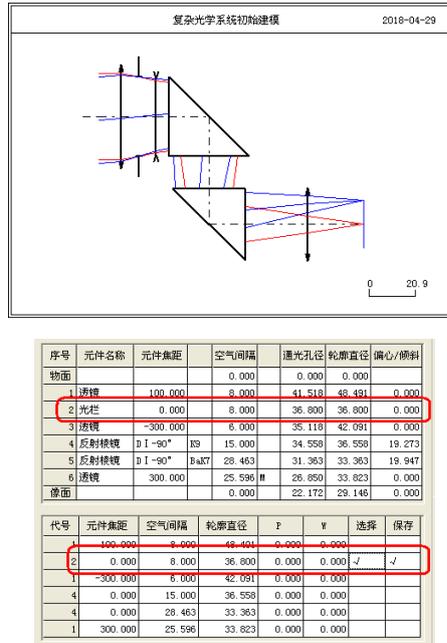


图 3-24 孔径光阑结构单元初始设计界面

五) 系统合成

当把光学系统总体布局初始结构中的每个光学元件依次完成具体结构设计之后，只要点击窗体内“下一步”按钮，程序会把这个系统自动组合成一个完整的光学系统。



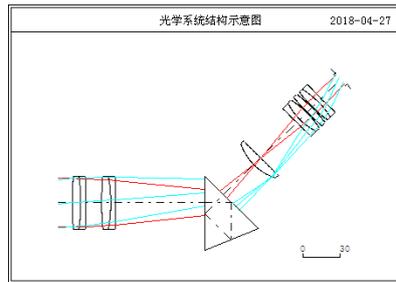


图 3-25 系统合成

四、连续变焦光学系统布局设计

对于连续变焦系统，都有一个不可缺少的前固定组。一般连续变焦光学系统的前固定组都是一个单一光学元件，无论其具体结构由几片镜头组成，都是相互密接的透镜组。但对于一个较复杂的变焦系统，根据总体最佳布局或系统性能需要，往往借用前方定焦的光学部件组合作为变焦系统的前固定组，为此使得计算前固定组的主面位置和后工作距离作为前固定组与后方变焦组之间间隔距离计算比较麻烦。为解决这一问题，在该光学系统总体布局平台上给出了此设计功能。

在该光学系统总体布局平台上，可以在系统变焦组前方的所有有焦系统完整的作为系统前固定组，比如系统前方示意三天假组成的对称式照相物镜作为前固定组。绘制完前三个透镜元件作为前固定组的前方照相物镜后，然后从第 4 组起分别为三组元连续变焦系统的变焦组、补偿组以及后固定组。后固定组后面还允许有其他光学元件。如图 4-1。

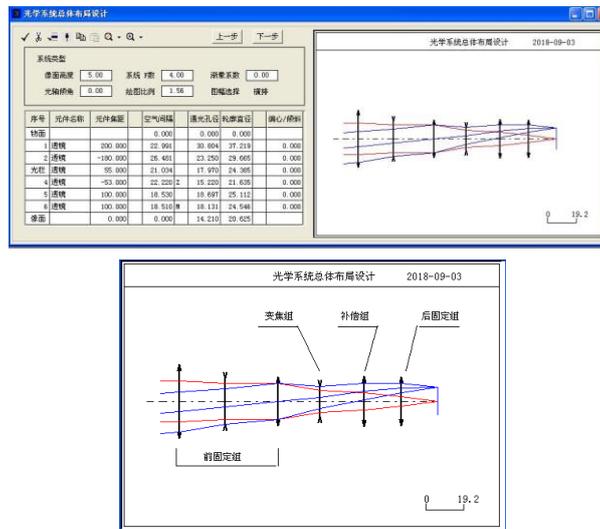


图 4-1 连续变焦系统布局初步设计

作为一般光学系统基本结构布局完毕，即可利用界面内“系统类型”选择方式，点击该文字框后显示如图 4-2 右上方，选择“连续变焦系统”。选择“连续变焦系统”完毕，同时在右侧显示下拉菜单一般选择变焦系统类型。此外界面上还会显示连续变焦系统的可选方框如图 4-3。在此框内可以根据设计要求填写变焦系统的变焦比、变焦范围以及可组分间最小间隔距离。



图 4-2 选择系统为连续变焦系统

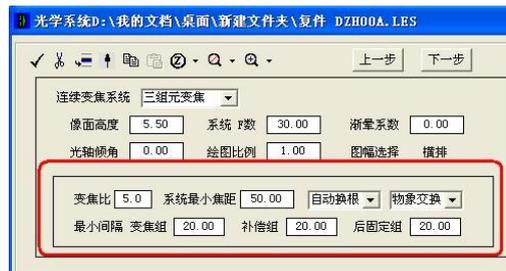


图 4-3 填写连续变焦系统设计参数

如果前固定组是一个多组元组成的复合结构前固定组，还需在前固定组的“空气间隔”右侧的特性栏内利用下拉式菜单选择“变焦变量 (Z)”，如图 4-4。



图 4-4 指定前固定组位置

所有数据填写完毕，选择工具条内“确定”或“变焦”按钮，即可有程序自动生成变焦系统所有相关参数并自动显示变焦系统示意图，如图 4-5。

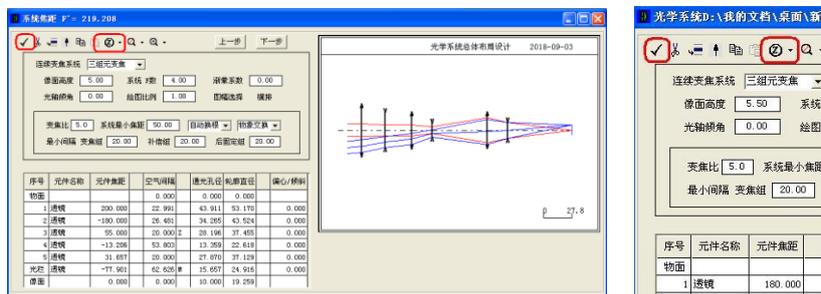


图 4-5 确定连续变焦系统各组分结构数据

为了显示变焦系统的其他图形及数据，通过工具条中“变焦”按钮的子按钮，如图 6-6，分别显示系统运动曲线、凸轮曲线、焦距曲线以及像面位移曲线等。

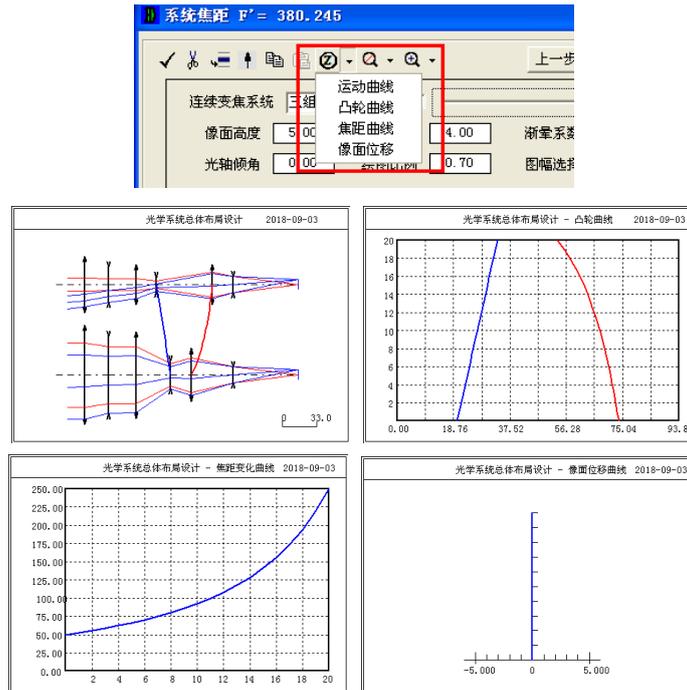


图 4-6 连续变焦系统各种曲线图

至此，整个连续变焦光学系统总体布局完成，接着可以参照上述一般光学系统一样逐步进行系统外形尺寸计算及各组分 PW 值分配，如图 4-7 至图 4-10 所示。

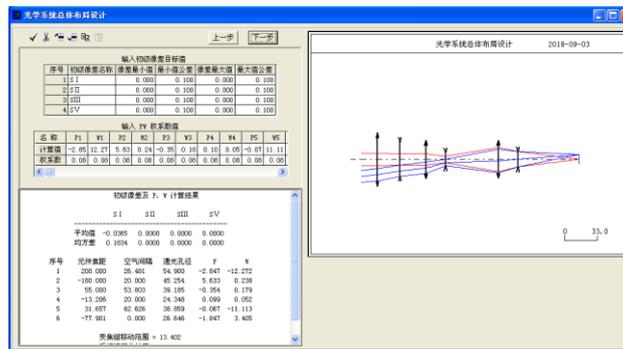


图 4-7 计算连续变焦系统外形尺寸及 PW 分配



图 4-8 选择连续变焦系统各组分实体结构参数

序号	备注	曲率半径	厚度	材料	玻璃折射率	玻璃阿贝数	厚度公差	曲率公差	偏心公差
1		0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2		174.0000	0.5000	D20	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
3		-90.0000	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
4		1000.0000	0.1700		1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
5		-207.4470	0.5000	L407	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
6		124.1440	0.5000	L47	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
7		-113.4100	0.5000	L47	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
8		82.0000	0.4000	L407	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
9		-90.4000	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
10		870.0000	0.5000		1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
11		41.7100	0.5000	D20	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
12		-194.0740	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
13		1070.4440	0.5000		1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
14		-51.7840	0.4000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
15		101.7740	0.4000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
16		-26.2420	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
17		73.7020	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
18		-90.0000	0.4000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
19		23.9400	0.4000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
20		57.0000	0.5000	D20	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
21		-25.3470	0.5000	L407	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
22		124.0000	0.5000	L407	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
23		87.0000	0.5000	L407	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
24		-46.7100	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
25		80.0000	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
26		49.0000	0.5000	D20	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
27		14.1100	0.5000	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
28		2613.2520	0.7333	P5	1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005
29		0.0000	0.0000		1.4726	50.1999	±0.005	±0.005	±0.005

图 4-9 连续变焦系统初始结构参数形成及光学系统结构示意图

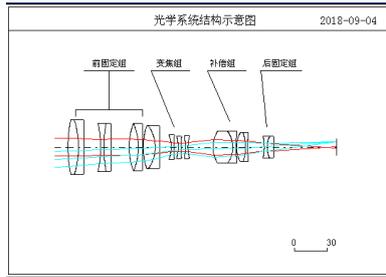


图 4-10 连续变焦系统初始结构各组成部分说明

五、 移入式断续变焦光学系统设计

移入式（也称之为打入/打出式）断续变焦系统是断续变焦系统的一种常见结构形式。他在一个一般光学系统内移入一组活动透镜组，用以改变系统焦距且保持系统像面位置不变。该活动组可以移入系统的平行光路中也可移入会聚光路内。被移入的系统也称之为固定组，如图 5-1。

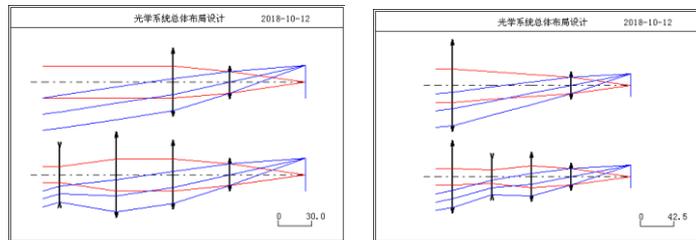


图 5-1 移入式断续变焦系统

对于移入式变焦系统，在光学计算时为方便起见，都使用移入后的结构形式处理，需要移除后的数据采用把活动组的焦距值设为零，光线传播不受影响，计算移入后的光路时给出活动组的实际值即可，如图 5-1。

一）移入式断续变焦系统的建立

为建立移入式断续变焦系统结构，首先在“光学系统总体布局”的界面内，先在系统类型的下拉菜单内选择“一般光学系统系统”，出现界面如图 5-2。



图 5-2 一般光学系统设计界面

有了这一界面可以按一般光学系统的模式建立一个移入式断续变焦系统的固定部分，然后再需要移入位置绘制有两个透镜组成的活动部分，透镜焦距可以赋值为零“0”。如图 5-2。活动组的焦距值暂时设为“0”或任意其他值，活动组在系统内的位置及活动组两透镜的间隔位置都应按实际要求给定。

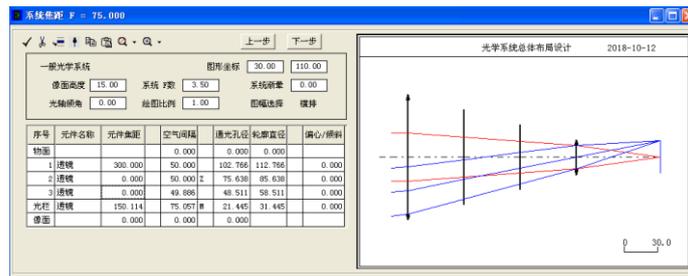


图 5-2 移入式断续变焦系统设计界面

以上图形和数据输入完成后，再在系统类型下拉式菜单内选择“断续变焦系统”，根据设计要求填写断续变焦系统的变焦比以及其他有关设计指标要求值，还要利用“空气间隔”右侧的特性栏内选择“变焦变量”，确定活动组的位置面序号。一般情况下活动组移入前为长焦距，移入后变为短焦距，因此断续变焦系统的变焦比是指活动组移入前的焦距与移入后的焦距比值。最后利用工具条内“确定”或“变焦”按钮，点击后由程序自动计算出活动组两透镜的焦距值，如图 5-3。由于活动组在系统内的位置不同，活动组的结构形式也不同，比如活动组在系统平行光路内活动组的入射光和出射光均应为平行光，活动组应该是个望远系统才能保证系统像面位置不变。反之，如果活动组在系统会聚光路内，就应该保证活动组的物点与像点重合，不影响系统像面位置不变。活动组所在位置的光路特性有程序自动判别计算活动组透镜焦距值，完成断续变焦光学系统设计。

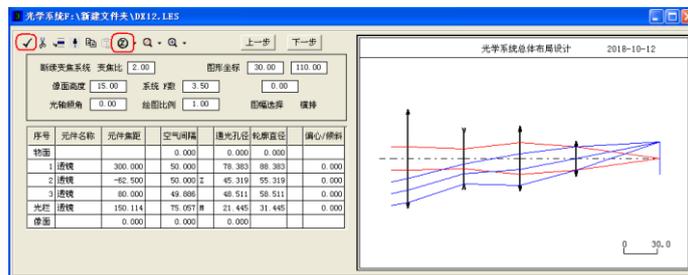


图 5-3 移入式断续变焦系统自动设计

二) 移入式断续变焦系统移入 / 移出效果显示

为了显示移入式断续变焦系统的设计效果，程序可以分别显示移出前或移入后的光路变化，可以利用工具条的“变焦”菜单的子菜单分别显示，如图 5-4。

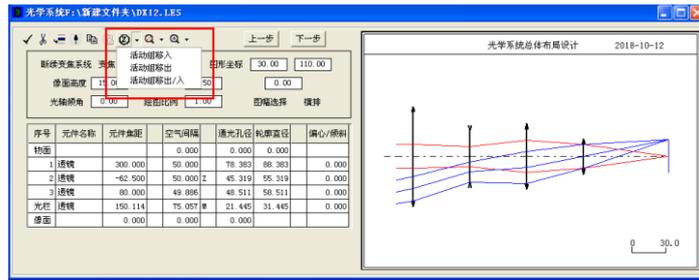


图 5-4 移入移出前后系统图形及数据显示选择

除了移入移出显示，为了对比还可以同时显示移入移出的光路显示，如图 5-5。

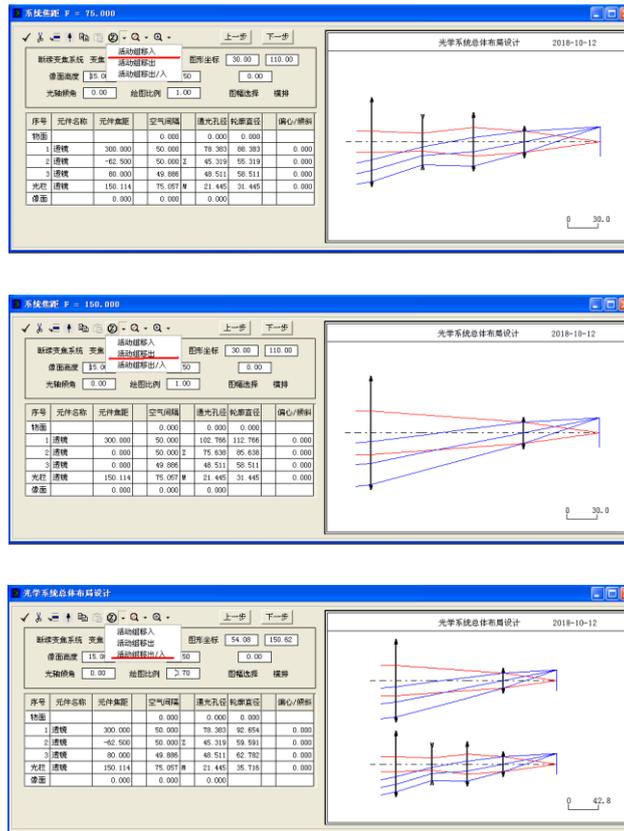


图 5-5 移入移出前后系统图形及数据显示效果

六、多光轴光学系统设计

作为一个复杂的光学设备，根据使用功能需要，往往要求系统有多个光学子系统配套使用各尽其责实现多种用途。比如有的需要在白天或夜间使用，有的需要把一个整个光谱带分解成不同色光（或色系），或者把多路图像融合到一个图像中去，等等，总之，通常称作多光谱多光路复合系统，也称之为多光轴光学系统。为了合理有机结合系统布局，往往需要一个可以同时布局这样一个多光轴复合系统的光学布局平台。OCAD 光学设计程序为此提供了这一设计平台，满足光学设计需求。平台使用方法以一个分光系统为例如图 6-1。

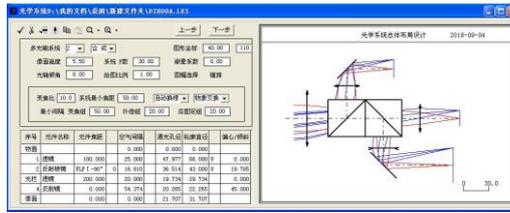


图 6-1 多光路复合光学系统设计平台

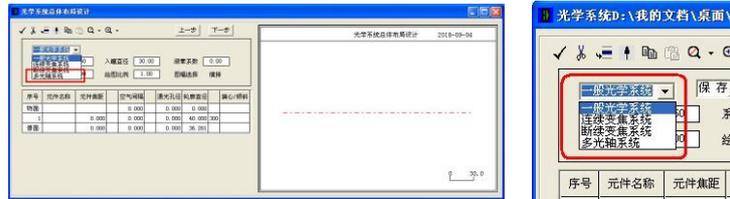


图 6-2 多光路复合光学系统设计功能建立

在布局设计多光路系统之前，先在系统类型处选择“多光路系统”，然后出现如图 6-2 界面。

所谓多光路系统，其实就是有若干个单一光路的子系统的集合构成的。为了在多光路系统内添加新的子系统，可以利用界面的工具条上的工具按钮进行读入或插入一个新子系统，如图 6-3。

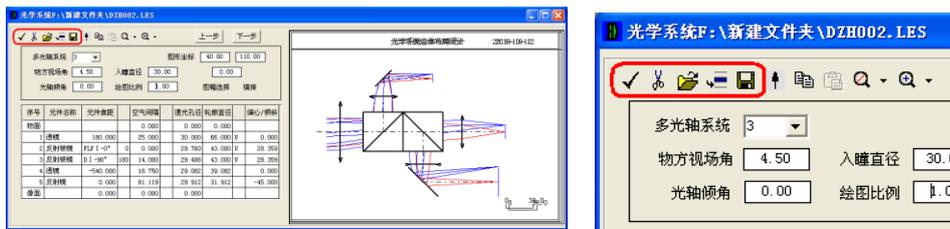


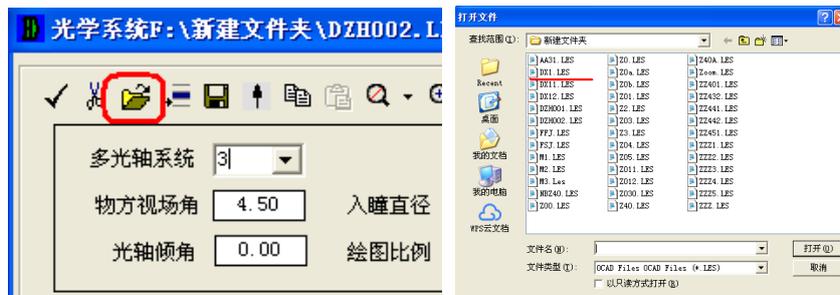
图 6-3 多光路光学系统子系统的添加

一) 子系统的添加

子系统的添加有两种方式，一是利用工具条内读入 (open) 按钮读取已经建立好的单光路系统，另一方法则可以利用工具条内的插入按钮插入一个新多光路数，然后利用界面平台新建一个单光路系统。

1. 子系统的读入

需要读入现有单光路数据文件时，首先利用工具条内“读入” (open) 按钮，选择所需“.LES”格式文件，读入所需新系统，读入后还必须利用“保存”按钮加以保存才可正式添加在多光路系统内，如图 6-4。



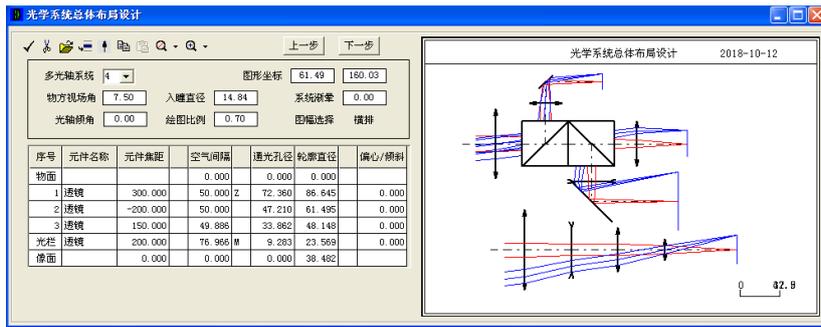


图 6-4 多光路光学系统内读入新子系统

2. 子系统的插入新建

如果当前没有所需单光路文件可以首先利用工具条内插入按钮，添加多光路的光路序号，然后再利用界面按照单光路一般光学系统的绘制方法绘制多光路系统中任意一个光学子系统结构示意图如图 6-5 所示，绘制完成后，再利用工具条内“保存”按钮加以保存。在选择“保存”时一定要注意目前保存在第几个光路里，光路标号在“多光路系统”标题右侧的菜单里。

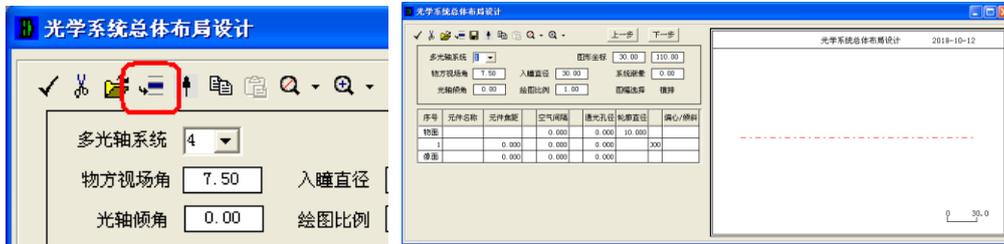


图 6-5 多光路光学系统内向下插入新建子系统

前一个子系统绘制完毕并保存后，接着在工具条内点击“下插入”，又可继续绘制下一个光学子系统，如图 6-5。再在新界面内重复以上操作完成下一个光学子系统绘制，如图 6-5，如此继续重复即可完成多个子系统绘制，如图 6-4。

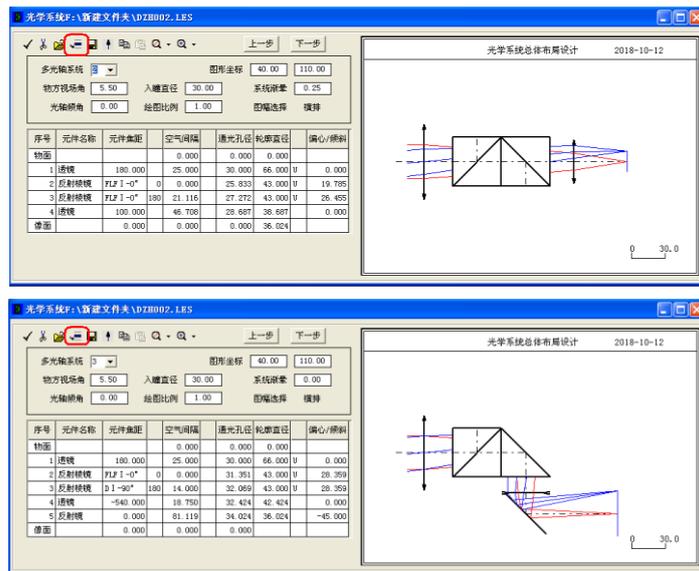


图 6-5 多光路光学系统子系统添加

完成所有单个光学子系统绘制之后，按工具条内“确定（OK）”键即可把所有各系统合成在一起，如图 6-1 所示。此时如果发现某子系统绘制不合适或者与其他子系统间相对位置不匹配，还可以先得多光路系统内选择子系统的顺序号，即可自动提取该子系统数据及图形，利用界面显示数据或绘图功能进行所需修改。最后获得满足要求的多光路系统示意图。

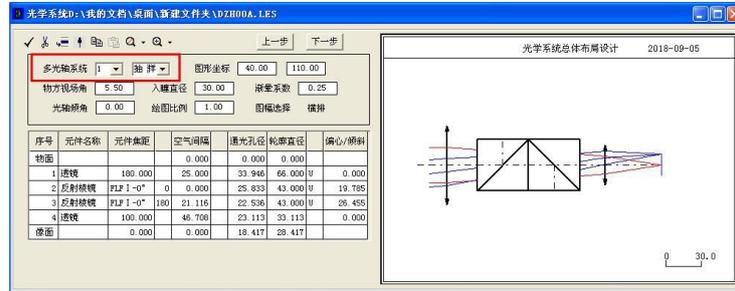


图 6-6 多光路光学系统子系统抽样

二) 子系统的删除

如果系统内需要删除一个不需要的子系统，首先需要在界面上的光路顺序号内选择对应光路顺序号显示该子系统图形之后，可以利用工具条内“删除”按钮加以删除。

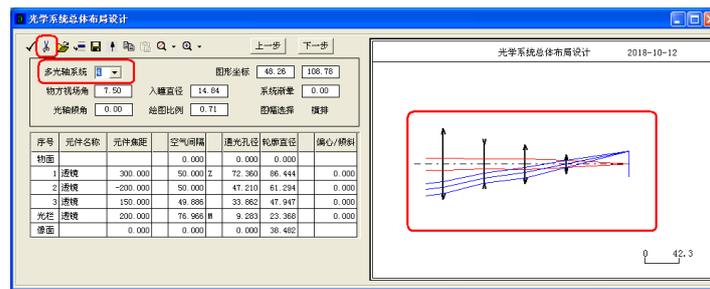


图 6-6 多光路光学系统内子系统删除

三) 子系统的保存

当多光路内任意子系统有所修改或变更或添加或删除后，都必须对变更后的状态加以“保存”处理，否则任何修改都无效。在需要保存时必须首先在界面上部子系统序号表内选择对应序号，然后选择“保存”点击即可完成。

完成多光路系统布局绘制后，即可以进入下一步外形尺寸计算及各系统具体初始结构设计阶段。多光路系统与单光路不同在于，多光路系统是由多个在光学性能以及系统结构上彼此独立的子系统组成，因此在下面具体初始结构设计时，也必须对各子系统分别进行，这时必须先选择该子系统在多光路系统内的顺序号加以“选择”，界面显示相应图形后再逐一对各子系统进行操作才能最终完成多光路系统内所有各子系统的初始结构设计。

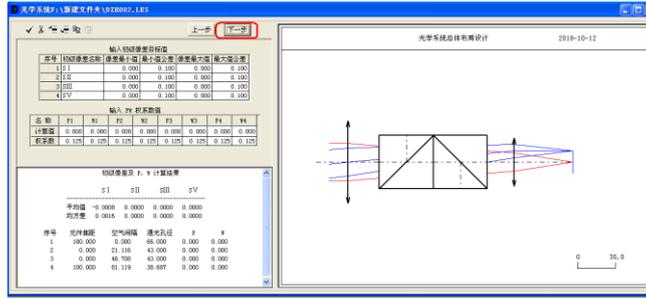


图 6-7 多光路光学系统子系统计算外形尺寸及 PW 值



图 6-8 多光路光学系统子系统初始结构设计