

# TracePro 3.0 中文版使用手册

HGO/OPT team 翻译  
Lottie 整理

## 前言

在刚开始学习 TracePro 的时候，很希望有一本中文版本的使用手册，因为原版(英文)太艰涩难懂，且有很多专业术语总把握不到其真正意思。可 TracePro 相关文章本就很少，中文的就更只有寥寥几篇了。

恰好我们这些从事光学设计的同事，都对 TracePro 有很大的兴趣，因此就决定一起把 TracePro 的英文手册翻译过来，作学习用。前后花了约半年多的时间，居然真的弄出来了，虽然中间也曾有中断，但幸好没有虎头蛇尾。当最终翻译出来的时候，有一种特别的成就感。

该手册中第一章和第二章 Neo 翻译，第三章 Land 翻译，第四章 Zollo 翻译，第五章 Michael 翻译，第六章 Ricky 翻译，第七章则是我自己(Lottie) 翻译。由于考虑到必要性，第八和第九章就省略了。中间他们未完成的部分，则由我补上。

由于水平有限，加之在翻译的过程中对 TracePro 的了解还不是很深，在一些词句的翻译上把握得不是很好，因此会有很多错误的地方。本想等做一些修正后再抛开来，但想想这项工作量也不小，且以几个人的看法不一定全面；故先公开出来，等收到一些反馈后再作进一步的修正。在使用的时候最好参考英文版本，这样会好理解一些。

声明：TracePro 手册（英文）著作权由 Lambda 公司所有，本中文版也仅可参考学习用，任何人不得用于商业用途，更不得把本文买卖或抄袭，否则后果自负。

手册中不足之处，还恳请朋友们批评指正。

Lottie  
Licaolee@sina.com

# 第一章 绪论

## TracePro简介

TracePro是一个实体模型的光学分析软件，TracePro用“普适光线追迹”技术来追迹光线，这种技术允许你引入光线到一个模型，而在物件和表面相交处并没有引起额外的损失。在每个每交点，个体光线遵从吸收、反射、折射、衍射和散射定律。

当光线在实体中沿不同路径传播时，TracePro跟踪每条光线的光通量。TracePro计算光的吸收、镜面反射及折射、衍射和散射能量。

描述TracePro如何工作的最好方式是简要概括开始一个新的TracePro工程时所要进行的一些步骤，如下如示，这些步骤会在接下来的几章里进行更深入的讨论。

1. 第二章“创建一个实体模型 (Creating a Solid Model)”——第一步是建立或导入一个几何模型，代表你所希望分析的系统。如果你是从草图中建立一个模型，几何图形通常是刚开始简单而最终会变得很精确很详细，这表明你的系统也超出了工程的寿命。
2. 第三章“定义属性 (Defining Properties)”——材料和表面属性代表希望物体所具备的特征，如反射、折射、吸收和散射等。你可以使用TracePro属性库里定义好的材料和表面属性，也可以制定新的属性满足你具体的要求。
3. 第四章“应用属性 (Applying Properties)”——一旦属性定义好，你可以应用这些属性到你模型中合适的物件和表面上去。
4. 第五章“追迹光线 (Raytracing)”——通过实体进行光线追迹，需先定义光线起始点，有如下几种定义方式：栅格光源 (Grid sources)、表面光源 (surface sources) 和导入已有光源 (Imported Sources)。如何引入光源到模型以及哪些光线追迹参数会被调用，须根据实际情况来确定。
5. 第六章“分析 (Analysis)”——一系列的分析选项可以用来确定方位、区域和光线追迹后的光能量分布。分析选项有很多种，包括：辉度图 (Irradiance Maps)、照度图 (Illuminance Maps)、坎德拉图 (Candela Maps) 和通量图 (Volume Flux Maps)，还有详细光线历史信息，它们可以保存成数据文件，方便后期处理。

如果你是TracePro新手，将会发现用户界面是很容易学习的，你可以在一个很短的时间掌握这些步骤。

## 为何要进行实体建模

实体建模是用一块块的虚拟材料在计算机中构造模型，如同你用实际材料建立实际硬件一样。利用实体建模，你可以确信你在建立的物体在实际中可以建立的，而且你可以得到建模的连贯性，避免许多建模的错误。实体建模正广泛地为机械设计者所应用。它被应用到所多有限元分析 (FEA) 程序和机械计算机辅助设计 (CAD) 中。

利用实际建模有利于光学程序的原因基于如下几个方面：

1. 它使用已有的技术来建立有形系统，包括Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS) 表面。
2. 它可以和其它设计分析程序共享和交换数据。
3. 它把相关的材料属性如折射率与模型中的实体物件连接起来。
4. 它防止一些共同的建模错误发生，如用五条边建立一个立方体。

## TracePro如何执行实体建模？

TracePro是基于一个叫ACIS的特定实体建模引擎的，它由Spatial公司开发的。利用ACIS，TracePro可以很方便的与其它基于ACIS的软件共享实体模型数据。目前有200多个应用程序是基于ACIS的。TracePro也可以与其它非基于ACIS的CAD和分析程序交换IGES和STEP文件，并可以利

用可选ACIS转换模块导入镜头(lens)设计文件。

在TracePro建立的任何实体都会被当作是一个模型(model)，在模型中的每个个体几何体被称为物件(Objects)。在TracePro中，用实体建模的方法要求物件的表面是相邻的。物件可是用TracePro来定义，也可以用其它软件(如CAD)之后再导入TracePro。TracePro实体模型中的物体可以进行各种操作，包括把两个或更多的物件并成一个。

### 为何要用Monte Carlo光线追迹?

在TracePro建模时，运用Monte Carlo算法来模拟光线的散射(scattering)和衍射(diffraction)。在没有散射(scattering)和衍射(diffraction)的情况下，光线是以离散的方式存在。但是，当光线被物体表面散射之后，离散的光线分布会转变成连续的。这些光线的分布会一直传播到下一表面，在经过又一次散射后又会形成新的分布，如此循环，直到光线的强度达到可以忽略的程度。按照这样的方式对光线进行建模需要庞大且相当复杂的程序来实现。Monte Carlo算法是一种用于计算随机过程所产生结果的一种技术。它曾用来对只能用统计学分析的量子力学过程进行描述。Monte Carlo算法应用于光线传播，同样可以作为一种数值积分方法来描述它。它被应用于传统的数值积分方法不能解决的问题。

在运用Monte Carlo算法进行光线追击时散射和衍射被做为一种随机过程。用离散的分布，或者光线试样传播来代替连续的光线分布传播。这些试样是以散射的分布作为概率密度随机采集的。这就使更好的光线追击技术被用来模拟光线散射成为可能。

在“brute force” Monte Carlo光线追击中，光线的方向是随机选取的，通过对大量光线的模拟，能够得到值得信赖的模拟结果。TracePro 通过运用缩减变量技术 (variance reduction) 来减少得到可信结果所需的光线数量。

## 图形化用户界面

TracePro运用易于使用的图形化界面对模型进行观察，添加，运用材料属性，表面属性以及光源属性。界面中有许多快捷工具按钮和常用命令弹出菜单。通过单击鼠标右键可以将其打开。模型的几何形状将显示于窗口之中。当你打开一个TracePro文件(指的是模型文件)，模型将会以侧视轮廓的形式显示于窗口之中。此时的坐标系为y-z坐标系，y轴指向上，z轴指向右。

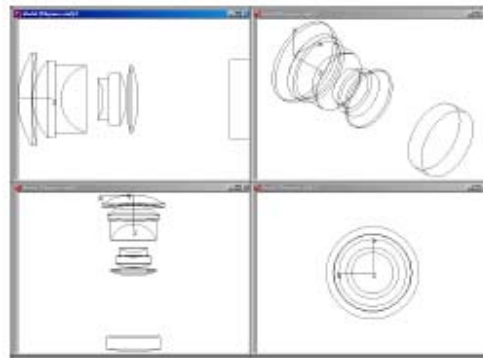
### 多窗口显示

TracePro拥有多文档都图示的用户界面。这就意味着你可以同时打开多个文件机模型文件，而且你可以将一个模型的不同视图同时打开。要打开同一模型的多个视图，只需鼠标选择你需要的模型窗口，然后选择Window|New Window菜单。你也可以点击工具栏上的快捷按钮New Window来实现



**FIGURE 1.1 - Window control Toolbar buttons: A) New Window, B) Cascade Windows, C) Tile Windows Horizontally, D) Tile Windows Vertically**

一旦多模型窗口建立，你就可以在各个窗口中进行独立的视角控制。同普通窗口一样，各窗口可以平铺，层叠，最小化。同样可以用图1.1中的快捷按钮来进行操作

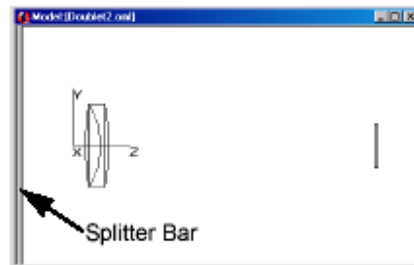


**FIGURE 1.2 - A single model viewed in different orientations in multiple model windows**

如果你需要同时打开不同的模型，只需要从 *File/Open* 菜单中将其打开即可，同样可以使用 *Open* 按钮。需要打开的模型将会在新窗口中打开。一旦所需的模型被打开，你就可以独立的对模型进行操作。正如图1.2所示。留下对当前窗口进行过的操作记录是非常重要的。任何操作（如光线追击，应用属性）都将被应用到当前选择的窗口中。当运行在多窗口模式下时，你应该记住要先选择要进行操作的窗口，然后在进行功能操作。

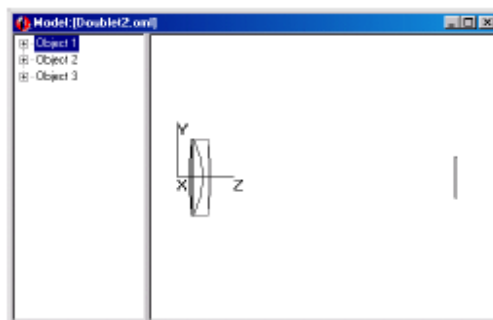
### 系统树

系统树位于模型窗口的旁边，它用分级结构显示模型的物体和表面。在复杂的模型中，它提供一种方便快捷的方式来对物体和表面进行选取。通过拖动窗口的边框，可以将系统树显示出来。系统默认的系统树位于窗口的左边。不过，你可以用 *View|Customize* 对话框来进行改变。同样你可以通过 *Windows|Split* 菜单来打开系统树。



**FIGURE 1.3 - The System Tree Splitter Bar at the default location**

如同图1.4，在你打开系统树后，你可以看到“+”符号，它表示该项是可以被展开的。



**FIGURE 1.4 - The System Tree made visible by the splitter bar**

如果你在系统树中选取了一个物件或一个表面，该物件或表面将会变为黑色来表示被选中。同

样的，当你在窗口中选中物体后，系统数中的相应项也会被突出显示出来。

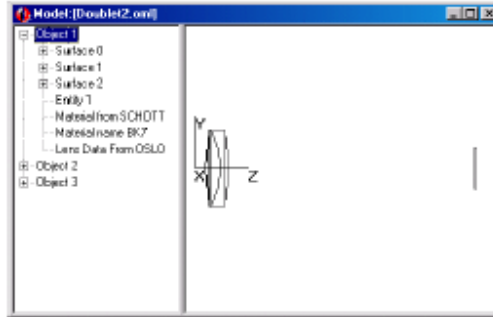


FIGURE 1.5 - The System Tree window after expanding Object 1

当物件1展开后，你会看到：

- 相互独立的表面
- 材料属性目录
- 材料属性名称

将表面项展开后，你同样会看到：

- 表面属性
- 可选光源属性 (Optional source property)

建议将系统树一直打开，它将有助于你：

- 使你的工作可视化
- 选取目标

### 交互菜单

TracePro提供对于当前激活的窗口敏感的环境交互式菜单。建模窗口式经常显示的窗口，它的拥有主菜单（文件，编辑，视图等等）。主菜单在属性编辑器或分析窗口打开或被激活后会发生变化。手册后面会介绍这些窗口，但需要注意的是活动窗口控制菜单工具栏。要返回一个特定的菜单，点击所希望的窗口或从窗口(Window)菜单列表中选择。

另外，每个窗口会拥有一个活两个弹出窗口。通过右键单击可以激活它们。

图1.6所示的是三个根据当前不同选取对象自动生成的弹出菜单。参看“选择物体，表面和边沿”在1.7页

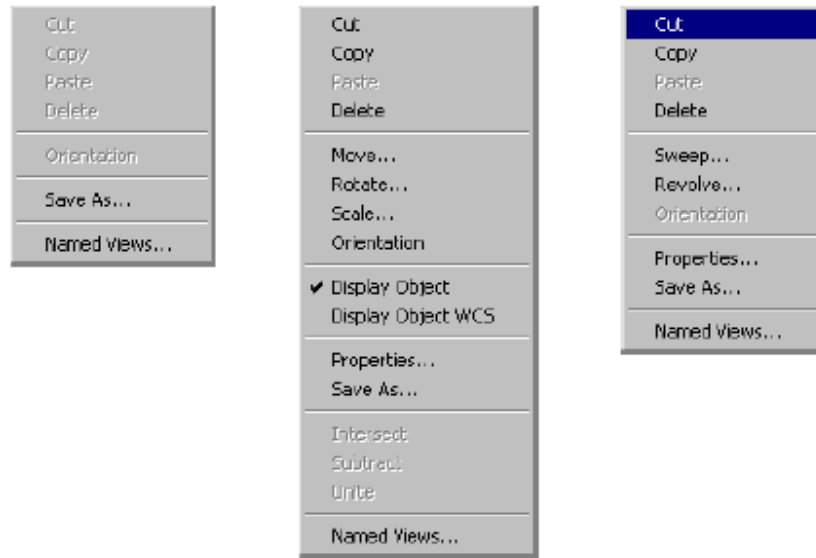


FIGURE 1.6 - Model window popup menus for No Selection, Object Selection, Surface Selection.

### 用户默认值

用户默认值将初始对话框目录存储在 *tpdefs.ini* 文件中。光线追击与分析对话框有设置默认值按钮。按下 *Set Defaults* 等同于按下 *Apply* 按钮。一旦默认值被更新，TracePro 将会在下次启动时运用该值。删除位于 TracePro 安装盘上的 *tpdefs.ini* 文件，就可以返回工厂默认值。

### 物件与表面

#### 更改名称

对于用“Object 1” and “Surface 1.”作为物体名称，对物体命名是比较明智的。它可以使你对物体细节有较多直观的了解。只需在系统树中点击物件名称即可修改。注意，物件名称不是唯一识别物件的方式，因为不同物件可以拥有相同的名称

#### 选择物件，表面和边缘

##### 通过系统树

通过系统树进行物件选择只需点击与之相应的物件名称即可。要选择位于物件上的特定表面，首先先确认改表面所属的物件项目展开，然后单击所需物件表面的名称。记住这些在系统树中的物件名称是可以更改的。相应的物件会高亮显示于模型视窗中。一条边沿在系统树中是不能被选取的。你可以 **Shift** 或 **Ctrl** 键来进行多个物体的选取。通过 **Shift** 键，你先选择第一个物件，按住 **Shift** 不放，然后在选择第二个物件，两个物件中的所有物体都将会被选中。如果用 **Ctrl** 键选择，则只有点击的两个物件会被选中。

附注：**Shift** 键选择只能选择同一类物体。如果第一个选择的是物体，而第二个选择的是表面，那么只有表面会被选中。

##### 通过建模窗口选择



选择一个物体, 首先点击工具栏中的按钮或选择 **Edit|Select Object** 菜单，然后在建模窗

口中选取你所需的物件。你同样可以选用在 **rubber band mode** 中的选取工具。



选取表面。首先点击工具栏上的按钮或选择 **Edit|Select Surface** 菜单，然后点击说许有的表面。



同样的，如果你想要选取物件的 **边沿**，你可以点击工具栏中的按钮或选择 **Edit|Select Edge** 菜单然后点击你说要的边沿。

### 移动物件或其他操作

首先如同上面讲到的一样进行选择选择。按住 **Ctrl** 键然后点击物件，添加更多的物件到所选择的物件中。



移动一个或多个物件，按下 **Translate toolbar** 按钮或选择 **Edit|Object|Move** 菜单，只需直接拖动物件到新位置即可。按住 **Ctrl** 键，你也可以复制当前选取物件并将其拖动到新位置。这些操作适用于所有个人标准窗口。

通过使用 **Edit|Object|Move** 对话框，你同样可以用数字精确控制物件的移动位置。通过

**Edit|Object|Rotate** 对话框，则可以精确转动物体。

通过标准的 **Windows** 编辑控制你能进行剪切，复制，粘贴操作。同样，你也可以将一个模型剪切，复制，粘贴到另外一个 **Tracepro** 的模型中去。甚至你可以在 **TracePro**，基于 **ACIS** 标准的应用程序之间进行剪切，复制，粘贴操作。

最终，你可以通过选择 **Edit|Object|Move** 和 **Edit|Object|Rotate** 对话框中的 **Copy** 按钮来建立一系列的物件

### 交互式视角和编辑

使用 **View** 和 **Edit** 菜单，你可以通过鼠标进行视角变换，移动和旋转一个物体或一组物体。比如说，你可以对窗口视角进行放大，缩小，旋转图面。与之相对应，窗口底部的状态栏会显示鼠标的状态参看 2.35 章“视角改变”

### 法线和向上方向 Normal and Up Vectors

**TracePro** 采用 **X, Y, Z** 相互垂直的 3 维直角坐标系。通常需要定义一个平面来对模型进行观察或者对数据进行显示。该平面按照两各方向相互垂直来定义，即法线矢量和向上矢量 (**the Normal and Up vectors**)。

法线矢量是垂直于平面的光线，你可以将你的屏幕想象成一张放在桌子上的纸，于屏幕或纸面向垂直的方向就是法线矢量。

向上矢量 (**Up vector**) 通常是用来指定向上的或者是 **Y** 方向的任意参考方向。一个矩形平面拥有不一样的长和宽，沿长轴定义向上矢量将会定义高是长的而宽是短的，反之亦然。

**TracePro** 对于建模空间没有进行设定，因此需要你定义一个矢量组来进行建模。对于光学工程师和镜头设计者来说像面应该有一个 **X=0, Y=0** 和 **Z=1** 的法线矢量，以及一个 **X=0, Y=1** 和 **Z=0** 的向上矢量。照明工程师和灯光设计师通常认为目标平面对应于法线矢量为 **X=0, Y=-1** 和 **Z=0**，向上矢量为依赖于模型方位的 **XZ** 平面 **0** 方位角的方向。

法线矢量和向上矢量确定的平面提供一个灵活的环境以用来建模和分析模型，使得一些约定在 **TracePro** 中有很好的兼容性。



### 建模属性 Modeling Properties

TracePro包含有一个关于光学建模，机械材料建模和物体表面材质属性的数据库。

- 材料属性 可以应用于某一物体也可以用于整个系列的物件。这些属性包含折射率, 吸收系数, 温度及散射。
- 定义物体表面边界, 通过参数可以精确定义为吸收体, 镜面反射体, **specular transmittance**, **BRDF**, **BTDF**和表面温度
- 光源属性是特殊的表面属性, 用来定义表面是如何发光的。另外的属性用来定义表面和物件的特殊性质。

定义的具体细节参见第三章。

### 应用属性

为了让TracePro所建的模型在光线最终和分析时拥有其自身的属性, 你需要将这些光学的, 机构的, 光源的属性应用于适当的物件和表面。通过点击**Define|Apply Properties**菜单, 来快速预览所运用的属性是一条比较有效的方法。运用属性对话框将会打开。第四章会详细介绍这些属性。

### 组和用户数据 Class and User Data

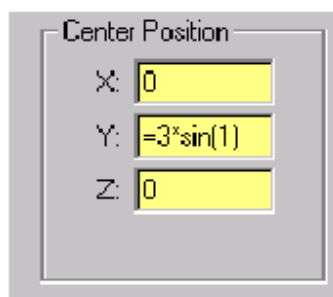
组和用户数据是在复杂的模式下用户对界面进行管理的属性。通过点击**Apply Properties**对话框中的表格来进行运用。你将会看到让你对一个或多个物件应用的唯一的名称的组名。该功能对于建立物件组群很有帮助。运用组将可以在进来的TracePro版本进行扩展。

### 非模态对话框 Modeless Dialog Boxes

很多 TracePro 的操作是通过对话框来完成的。同时有很多 TracePro 的对话框是 *modeless*。一个 *modeless* 对话框意味着你可以在对话框打开的情况下进行操作。Modeless 对话框使你可以将几个对话框同时打开。比如说, 你打开了 *Apply Properties* 对话框, 同样你可以选择工具栏上的 *Select Surface* 按钮。然后有可以回到 *Apply Properties* 对话框来进行表面属性的选择。接下来到建模窗口中选取你想进行属性操作的表面。在回到对话框选择应用属性按钮来将属性应用于表面。

### 表达式求值Expression Evaluator

在TracePro中的很多对话框中, 你会遇到黄色的数据输入框。黄色表示该框建立在表达式求值程序之上。你可以键入数学表达式在该框中进行运算。这些数学运算包含+, -, \*, /和三角函数。为了使表达式求值程序知道输入的使数学表达式, 表达式必须以等号开头(=)。计算结果不会在输入框中显示。



**FIGURE 1.7 - Portion of a dialog box showing an example of the Expression Evaluator. The Expression Evaluator can be used in any numerical data entry field which has a yellow (default) background.**

For a complete list of valid input for expression Table 1.1.

表 1.1: 表达式命令

	Name	Example	Result
<b>Operators</b>			
-	Unary Minus	=-6	-6
+	Add	=12 + 2	14
-	Subtract	=12 - 2	10
*	Multiply	=12 * 2	24
/	Divide	= 12 / 2	6
^	Power	= 12 ^ 2	144
%	Modulus	=12%6 =12%5	0 2
<b>Constants</b>			
PI	pi	=PI	3.14159
E	e	=E	2.71828
<b>Functions</b>			

表 1.1: 表达式命令

SIN	Sin (Radians)	=sin(PI/4)	0.707107
COS	Cosine (Radians)	=cos(PI/4)	0.707107
TAN	Tangent (Radians)	=tan(PI/4)	1.0
SIND	Sin (Degrees)	=sind(45)	0.707107
COSD	Cosine (Degrees)	=cosd(45)	0.707107
TAND	Tangent (Degrees)	=tand(45)	1.0
ASIN	ArcSin (Radians)	=asin(0.707107)	0.785398
ACOS	ArcCos (Radians)	=acos(0.707107)	0.785398
ATAN	ArcTan (Radians)	=atan(1)	0.785398
ASIND	ArcSin (Degrees)	=asind(0.707107)	45
ACOSD	ArcCos (Degrees)	=acosd(0.707107)	45
ATAND	ArcTan (Degrees)	=atand(1)	45
LOG	Log base 10	=log(12.3)	1.08991
LN	Natural Log	=ln(12.3)	2.5096
EXP	Exponential	=exp(2.03)	7.61409
SQRT	Square Roor	=sqrt(144)	12

### 交互式在线帮助



TracePro 有交互式在线帮助。在软件中点击帮助按钮即可激活在线帮助，或者按下 Shift+F1 组合键。这是标准的 Windows 特征。按下帮助按钮，然后选择菜单上的项目或者按下工具条上的按钮，就可以得到你想到的帮助。当光标使菜单项目高亮时，也可以按下 F1 键就可获得相关的帮助。帮助里面也有 TracePro 里可用到的参考材料。通过 Help Topics 或 Macro Reference 就可获得相关的参考材料。

## 第二章 实体建模

### 实体建模简介

立体建模使一项用虚拟物质建立计算机模型的技术，它就像你用真实的物质建模一样。一个三维立体模型被定义为由有限的表面组成。通过立体建模你可以避免普通建模的很多错误。你可以相信你所建的模型外形上使正确可信的。TracePro拥有许多方法来建模和对模型进行操作。

- 可从其他立体建模程序导入
- 可从镜头设计程序导入- TracePro将自动生成立体模型
- 可用TracePro建立块，柱，锥，球面和薄纸thin sheets.
- Create solid objects needed for optomechanical systems 包括光学元件，反射体，集中体 concentrators, 菲涅耳透镜, baffle vanes.
- 通过布尔运算建立复杂模型，布尔运算包含：相交，相减，联合
- 通过Sweep和Revolve命令对模型进行修改。

### Model Units

TracePro模型可能通过几种测量单位来进行创建和显示。所说的对话框将会在本章和全书中提及。建模的单位被设置为预设值并被保存在TracePro OML 文件中。参见2.41.

TracePro采用毫米对几何数据和运算结果进行记录。输入的数据将会被缩放来进行显示。

### 位置和旋转

许多对话框提供位置和选择输入，在建模过程中，TracePro将会在原点建立模型并通过输入的位置和旋转数据进行更改。物件的位置根据物件所在的工作坐标系（WCS）而定。TracePro提供选项来显示物件的WCS。

旋转是应用欧拉角并相对于WCS进行操作的。这同在镜头设计程序中旋转物体表面相似。首先对于X轴旋转，然后对于Y，最后对于Z。变换到某一角度的操作比一定是一样的。The resulting orientation is not necessarily unique. 不如说，物件先以X轴转动90度然后以Z轴转动90度和以Y轴旋转90度是一样的。

### 定义初始物件

运用Insert|Primitive Solid 和它打开的对话框来建立初始物件。对话框是格式化的，包含：块，柱或锥，环，球面和薄纸。

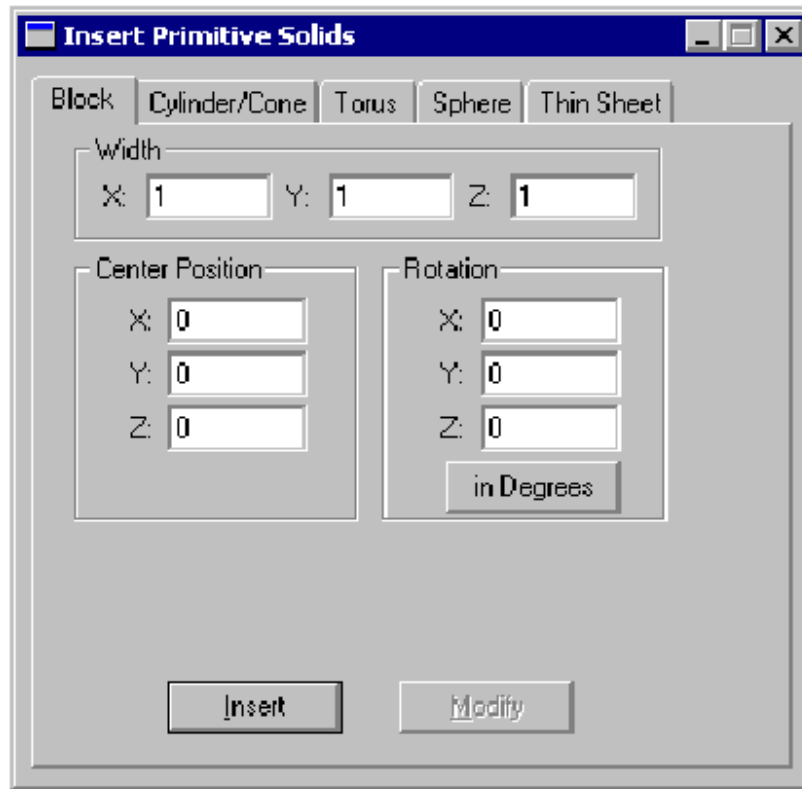


FIGURE 2.1 - Insert Primitive Solid dialog box

块，柱或锥，环提供特定的旋转角度供你建模时使用。每一个旋转角都是相对于每一个坐标轴的。当你选择插入Insert按钮时，模型首先在原点创建，然后分辨沿XYZ轴旋转，最后移动到你指定的位置。TracePro内建立的模型大多数可以在创建他们的同一对话框中使用Modify按钮进行修改。如图2.1. 你可以选择当前已经创建的物体通过使用Insert|Primitive Solid 对话框来访问和修改物体的各项数据。如果没有选择合适的物件，Modify按钮将不能激活。

## Block

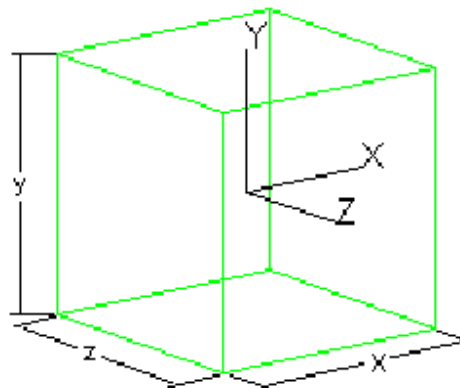


FIGURE 2.2 - 块物件

建立块物件：

1. 选择Insert Primitive Solids中的块选项卡
2. 输入x, y, z宽度
3. 输入块的中心坐标
4. 如果你想旋转块, 则输入相对于x, y, z 坐标轴的旋转角
5. 点击Insert 按钮创建块

如果没有看见所创建的物件, 可能是它不在视场之内或体积太小。可以通过改变窗口视场大小来进行观察。

## Cylinder/Cone

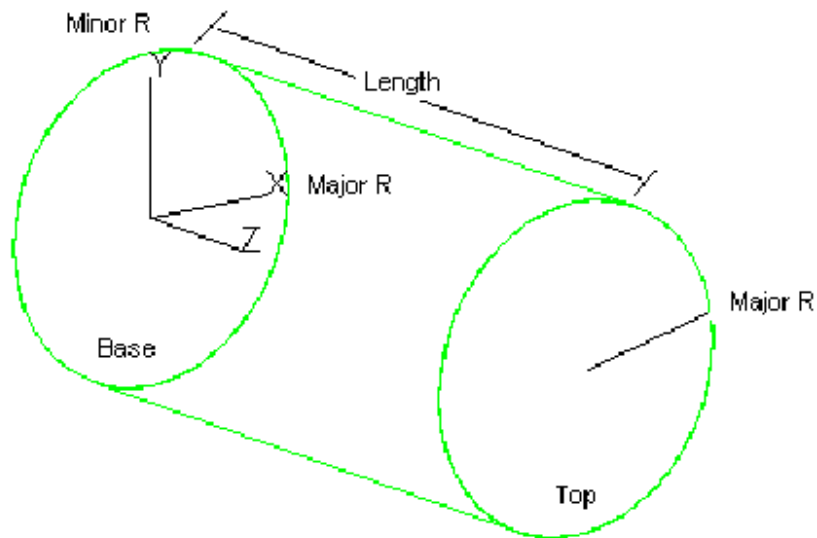


FIGURE 2.3 - Cylinder primitive object

创建圆柱:

1. 选择Insert Primitive Solids中的圆柱选项卡
2. 选择圆柱Cylinder radio按钮
3. 输入底面中心的XYZ位置
4. 输入半径
5. 输入圆柱长度
6. 如果想要旋转圆柱分别输入相对于XYZ坐标轴的旋转角度。对于Z轴, 不存在旋转。
7. 点击Insert 按钮创建圆柱

如果想要创建椭圆柱, 则要设置椭圆窗口Elliptical box同时输入小径Minor Radius.

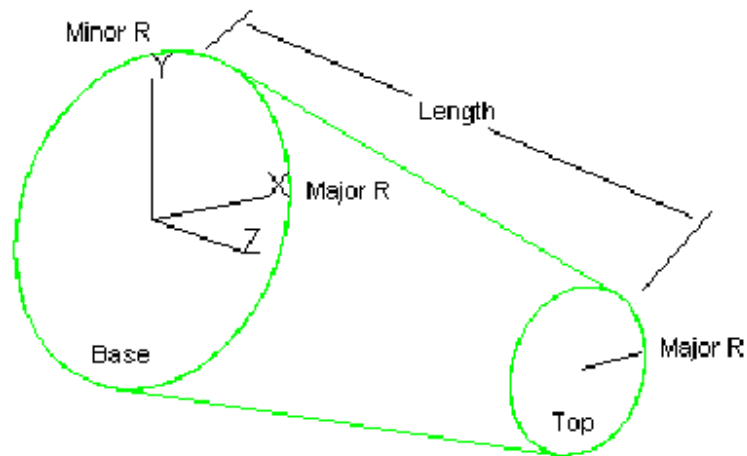


FIGURE 2.4 - Cone primitive object

创建圆锥:

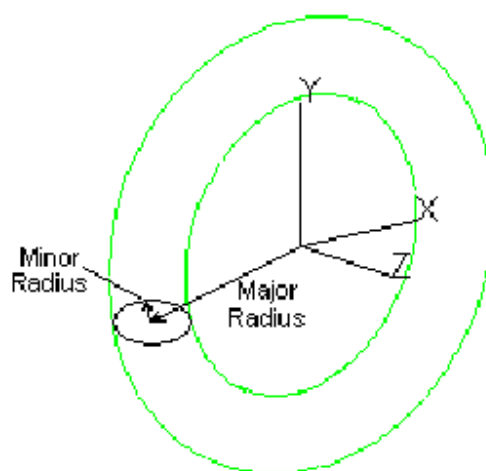
1. 选择Insert Primitive Solids中的圆柱圆锥Cylinder/Cone选项卡
2. 选择圆锥半径按钮
3. 输入圆锥底面x, y, z 值
4. 输入圆锥底面半径
5. 输入圆锥长度
6. 输入圆锥顶面半径
7. 如果想要旋转圆锥分别输入相对于XYZ坐标轴的旋转角度。对于Z轴, 不存在旋转。
8. 点击Insert 按钮创建圆锥

If you want an elliptical cone, place a check mark in the Elliptical check box and enter the Base Minor Radius.

如果没有看见所创建的物件, 可能是它不在视场之内或体积太小。可以通过改变窗口视场大小来进行观察。

## 圆环

主, 次半径如2.5.图所示



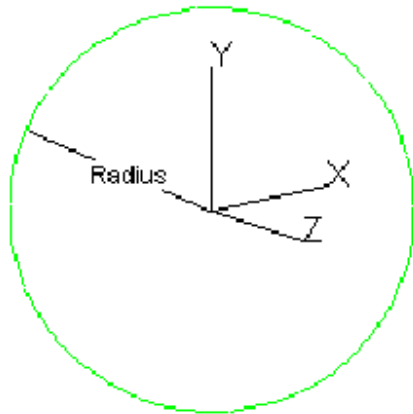
**FIGURE 2.5 - Torus primitive object showing major and minor radii**

创建圆环:

1. 选择Insert Primitive Solids中的圆环Torus选项卡
2. 输入主，次半径
3. 输入中心的XYZ位置
4. 如果想要旋转圆锥分别输入相对于XYZ坐标轴的旋转角度。对于Z轴，不存在旋转。
5. 点击**Insert** 按钮创建圆环

!如果没有看见所创建的物件，可能是它不在视场之内或体积太小。可以通过改变窗口视场大小来进行观察。

## Sphere

**FIGURE 2.6 - Sphere primitive object**

创建球体:

1. 选择Insert Primitive Solids中的圆球sphere选项卡
2. 输入半径
3. 输入中心的XYZ位置
4. 点击**Insert** 按钮创建圆球

!如果没有看见所创建的物件，可能是它不在视场之内或体积太小。可以通过改变窗口视场大小来进行观察。

## Thin Sheet

单面是一多边形围成的面。通过输入各定点的(x, y, z)位置来定义单面。一旦单面被定义，我们就可以通过swept或 revolved来建立一个实体。



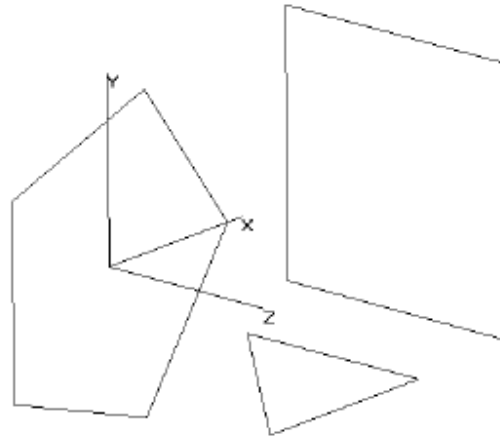


FIGURE 2.7 - Thin Sheet primitive objects

**注意:**

多边形的边界必须是封闭的。多边形的各条边不允许相互交叉。通过将多边形的最后一个点和第一个点连接，来使多边形封闭。单面初始定义为一个平面。如果定义的各项点不在一个平面内，TracePro将会用曲面来填充多边形。由于单面没有厚度没有体积，在单面上应用材料属性可能会导致错误。单面主要用来作为反射元件（只有表面属性）或者作为swept or revolved 形成3D实体的旋转面。

## 创建单面:

1. 选择Insert Primitive Solids中的单面Thin Sheet选项卡
2. 输入多边形各顶点的坐标
3. 点击Insert 按钮创建单面.

如果没有看见所创建的物件，可能是它不在视场之内或体积太小。可以通过改变窗口视场大小来进行观察。

**浮动工具栏创建只要对象（Rubber band Primitives）**

除了上面介绍的方法，通过浮动工具栏上的按钮同样可以建立这些主要目标



## 创建球体

1. 选取球体工具
2. 鼠标单击并拖动鼠标到所需的半径长度。
3. 单击鼠标，完成创建过程



## 创建圆柱:

1. 选取圆柱工具
2. 鼠标单击并上下拖动鼠标确定底面半径
3. 释放鼠标并左右移动确定圆柱长度
4. 单击鼠标，完成创建过程



创建锥体：

1. 选取锥体工具
2. 鼠标单击并上下拖动鼠标确定底面半径
3. 释放鼠标并左右移动确定锥体长度
4. 单击鼠标，完成创建过程



创建块：

1. 选取块工具
2. 鼠标单击并上下拖动鼠标确定底面边长
3. 释放鼠标并上下移动确定块的高度
4. 单击鼠标，完成创建过程

## Defining TracePro Solids

TracePro允许你建立在光机一体机中常见的光学元件，如菲涅耳透镜（Fresnel lens），反射体（reflector），灯管（tube）和**baffle vane**。除非球面镜外，TracePro通过建立主要目标并通过布尔运算来建立这些比较复杂的物体，不过这个过程会相当枯燥乏味。

### 透镜（Lens Element）



插入透镜Insert|Lens Element菜单或插入透镜工具按钮将会打开的对话框允许你全面的对透镜进行详尽的设置如：曲率（或半径），厚度，材料，孔径形状大小位置的设置。你也可以通过透镜功能并运用镀膜的方法来建立一个反射镜。

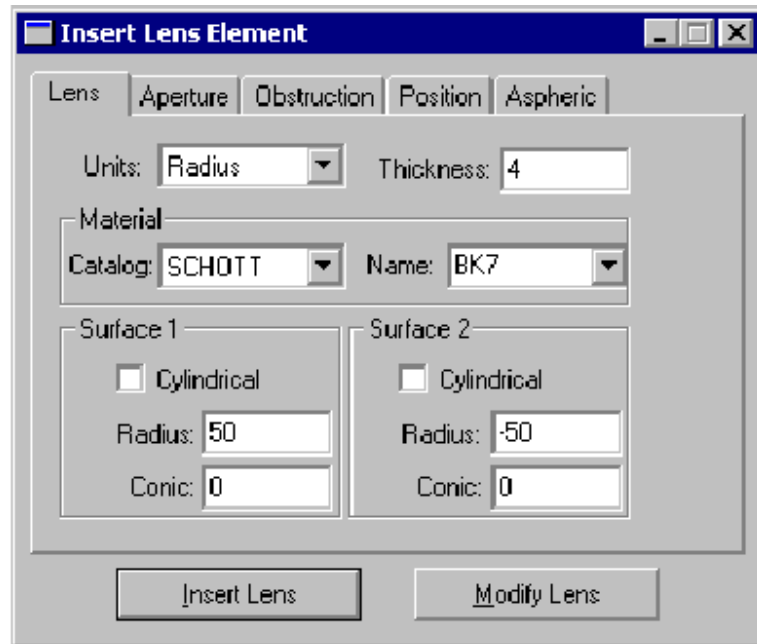


FIGURE 2.8 - Insert Lens Element dialog box

在你将所有透镜参数输入后，回到透镜选项卡并点击 *Insert Lens* 按钮来创建一个透镜。只要不断输入透镜参数并点击 *Insert Lens* 按钮就可以创建多个透镜。插入透镜 *Insert|Lens* 对话框是一个非模态对话框，所以你可以将其打开并留在桌面上以备后用，同时你可以进行其他操作。

你同样可以通过同样的对话框对已有的透镜进行修改。首先你要选中所要修改的透镜，然后透镜选项卡上的修改按钮会被激活，就该参数后，点击修改按钮即可。如果选取的对象不是透镜修改按钮将不会被激活。

### 透镜选项卡

通过透镜选项卡你将可以输入：

1. 透镜表面的曲率半径或半径
2. 每个表面的二次曲线 *Conic* 常数
3. 中心厚度
4. 材料类别
5. 材料名称

如果你选取了圆柱 *Cylindrical* 框，对话框将会使二次曲线常数 *conic constant* 选项变为选旋转 *rotation* 选项。输入旋转角度，透镜将会以 *z* 轴旋转。

默认设置的玻璃牌号为 SCHOTT BK7

一旦你将数据输入完毕即可点击 *Insert Lens* 按钮来建立透镜透镜表面按照下面公式生成：

$$z = \frac{c_v \rho^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c_v^2 \rho^2}} + \sum_{i=1}^{29} A_i \rho^i,$$

其中  $\rho^2 = x^2 + y^2$ ，相对于垂直于透镜的表面，The x, y, z coordinates above are local coordinates relative to the vertex of the surface. See “Aspheric tab” on page 2.10 for details on entering Aspheric lens terms.

TABLE 2.1. 二次曲面常数表

Conic Contact K	Conic Type
小于 -1	双曲面
-1	抛物面
-1 到 0	椭球
0	球
大于 0	回转椭圆柱体 oblate spheroid

下面使修改透镜的步骤：

1. 窗口或系统树中选取透镜
2. 选取Insert|Lens Element菜单
3. 修改数据并点击修改按钮

之后TracePro便会应用你的修改。

如果你用其他的工具来进行修改，如使用布尔工具，TracePro将不在将修改后的物体作为透镜。布尔操作将从总体上改变物体的属性，所以修改透镜最好的方法是使用Insert|Lens Element 对话框中的修改按钮。

### 孔径选项卡

通过孔径选项卡你将设置：

1. 孔径形状
2. 孔径尺寸

孔径的形状将是圆形，方形或椭圆。孔径定义外径或镜头的正方形孔。

### 障碍物选项卡 Obstruction tab

通过障碍物选项卡你将设置：

1. 障碍物形状
2. 障碍物尺寸

The obstruction形状可以没有，也可以是圆形，方形或椭圆。TracePro运用障碍物来在透镜上开口和孔，插入不透明的块和圆柱来模拟透镜上某一部分的光线黯淡的情况。

### 方向选项卡

通过方向选项卡你将设置

1. 在全局坐标global coordinates中的第一表面顶点的x, y, z 坐标。
2. 透镜相对于x, y, z轴的旋转角

### 非球面选项卡 Aspheric tab

通过非球面选项卡你将可以设置每一表面的旋转对称非球面系数（rotationally symmetric aspheric coefficients）

在下拉菜单中选取需要设置非球面系数的表面，从r1到r29设置表面的系数。非球面按下列公式生成：

$$z = \frac{c_v \rho^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c^2 v \rho^2}} + \sum_{i=1}^{29} A_i \rho^i$$

其中 $\rho^2 = x^2 + y^2$ 。The x, y, z coordinates above are local coordinates relative to Each surface may have aspheric terms. 非球面选项卡使用电子表格输入数据。如图2.9,  $A_i$  对应于R<sup>i</sup> 行

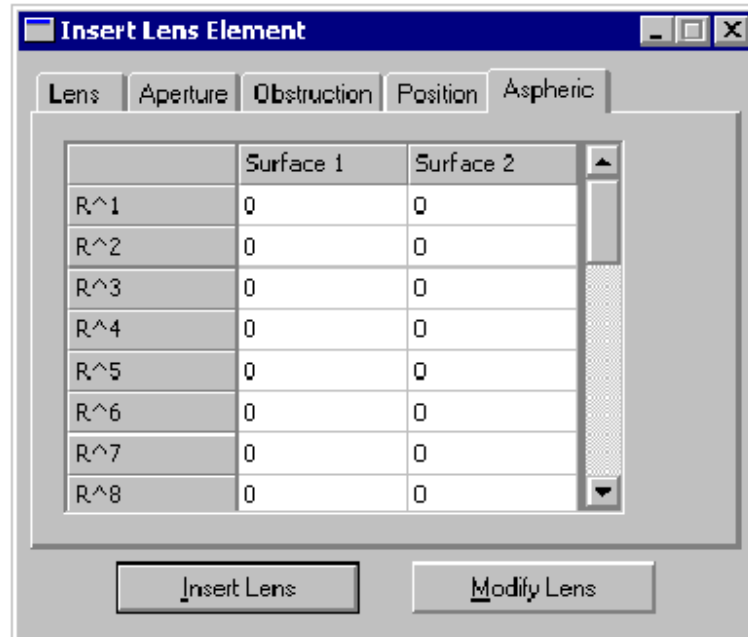


FIGURE 2.9 - Aspheric Tab in Insert Lens dialog

### 菲涅耳透镜（Fresnel Lens）

插入菲涅耳透镜Insert|Fresnel Lens菜单将会打开的非模态对话框允许你全面的对菲涅耳透镜进行详尽的设置如：材料，物/像距。

在对话框你将输入：

1. 圆环宽度（Ring width）或线（lines）/单元（unit）长度
2. 基片厚度（Thickness of the substrate）
3. 基片半径（Radius of the lens substrate）
4. 材料类别，材料名称及设计波长（design wavelength）

5. 物距 (Object distance)
6. 像距 (Image distance)
7. Origin or location of the center of the part
8. 指定方向的旋转角度

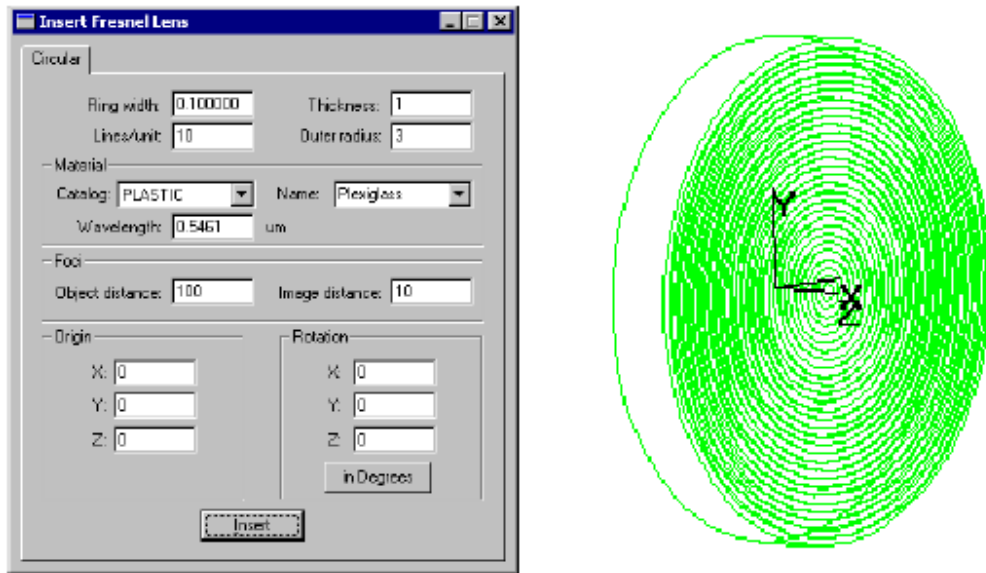


FIGURE 2.10 - Insert Fresnel Lens dialog box and resulting Fresnel Lens

圆环宽度指的是菲涅耳透镜上单个圆环的宽度, while the lines/unit length specifies the inverse of the ring width: 单位长度上圆环的个数(e.g. 50 lines/inch). 你可以两个量其中的一个, 另一个量会自动计算出来。

物, 像距特别指的是点对点成像的情况。在数据输入完毕以后TracePro将会在圆锥面上建立菲涅耳透镜。The facet angles will be chosen so that从透镜左边一点的光线距离与at a distance equal to 物距the object distance is imaged optimally into a point at a distance equal to the image distance on the right side of the lens. 计算菲涅耳透镜facet angles的公式如下:

$$\tan \beta = \frac{\sin \theta_1 + \sin \theta_2}{\sqrt{(n^2 - \sin^2 \theta_1) - \cos \theta_2}}, \quad (2.3)$$

其中  $\theta_1$  是光线入射角,  $\theta_2$  是光线的出射角,  $n$  是材料的折射率,  $\beta$  是facet angle。公式将生成最优化或“非球面”的菲涅耳透镜, 但并不等同于将多个球面的片断压平到一个基片上

TracePro将物、像距零认为是在无限远处。负的举例会被认为是虚像或虚物。

## 反射体 (Reflector)



插入反射体|Insert|Reflector菜单将会打开的非模态对话框允许你全面的对反射体进行详尽的设置如: 为灯或为聚光体 (concentrator)。对话框设置有6个选项卡来对不同的反光体或聚光体进行设置:

- 二次曲面Conic

- 3D混合物
- 凹槽Trough (圆柱Cylinder)
- 联合凹槽Compound Trough
- 举行据光体Rectangular Concentrator
- Facetted Rim Ray

反光体由对话框中设定的具有一定形状和厚度的材料构成。下面的部分描述了反射体的类别。

### 二次曲面Conic

二次曲面反射体圆锥，二次曲线旋转而成。

这些曲线为：

- 圆 Spherical
- 抛物线 Parabolic
- 椭圆曲线 Elliptical
- 双曲线 Hyperbolic

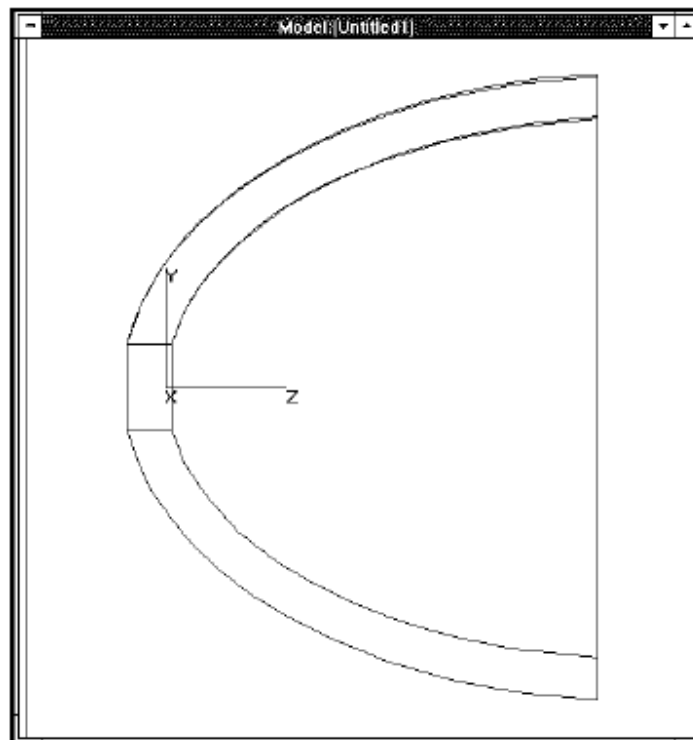


FIGURE 2.11 - Elliptical reflector with a hole at (0,0,0)

这个对话框允许你在上面的基本曲线中，选取一种建立一个基本的反射体形状。你同样需要指定厚度，曲线顶点处孔的半径，位置。没有旋转的反射体将会以图2.11一样方向建立，它的对称轴将与z轴平行，开口方向将朝z轴的正方向。

现面是一个位于坐标原点处，在其顶点处有一孔的椭圆反射体。如果你在曲面顶点处不需要设置孔就将孔的半径设置为0。

对于设置二次曲面反射体必须参数是：

- 面型(e.g. 圆形circular, 椭圆elliptical, 等等.)
- 长度Length (从顶点到反射体边缘的距离)
- 直径Diameter
- 曲率半径Radius of curvature (球面spherical)
- 焦距Focal length(s) (非球面non spherical)
- 厚度Thickness
- 孔的半径Hole radius (位于曲面顶点的可选的孔)
- 原始坐标Origin (顶点的x, y, z 坐标)
- 旋转Rotation (相对于顶点的x, y, z旋转角)

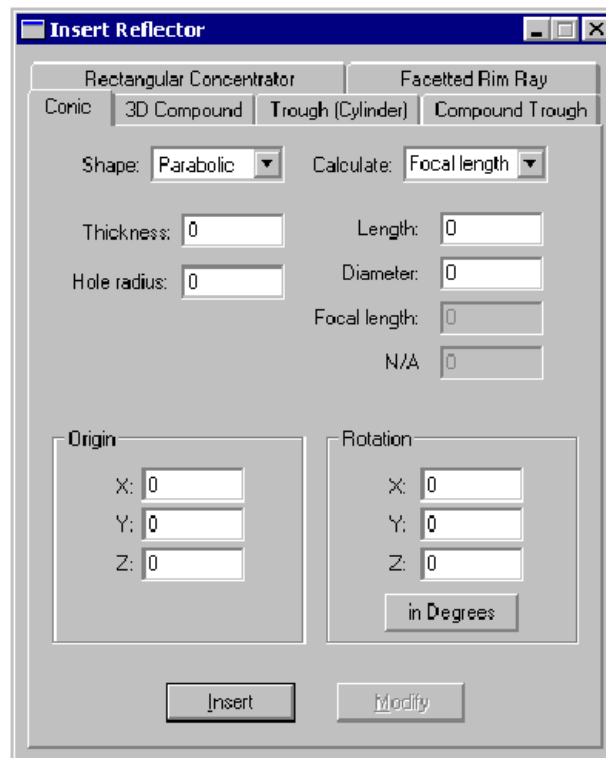


FIGURE 2.12 - Insert Conic Reflector Dialog

反射体长度，直径和半径/焦距是相互关联的。你可以输入其中的一些参数并应用下拉菜单来将其他的参量计算出来。例如，如果你要建立一个适合已知的体积volume的抛物线型反光体你就应该输入反光体的长度和半径。如果已知的是它的直径和焦距则你可以将长度计算出来。

### 3D 混合体 (3D Compound)

一个3D混合体就是一个3D混合聚光器。你可以通过选项卡来建立：

- CPC (混合抛物线聚光器 Compound Parabolic Concentrator),
- CEC (混合椭球面聚光器 Compound Elliptical Concentrator)

该对话框实际上允许你通过设置CPC或CEC来建立从抛物面到椭圆面的左右面型。分别输入倾斜轴 (axis tilt), lateral shift, 聚光体长度 (length of the concentrator), 就可以创建介于CPCs和CECs的面型来。建立理想CPCs和CECs, 你必须输入对话框中各参量当中的一个

创建3D混合体的必要参量是：

- 面型 Shape (椭圆Elliptical, 抛物面Parabolic, 或双曲面Hyperbolic)



- 前端长度Front length (焦点到聚光器入口端的距离)
- 后端长度Back length (焦点到聚光器出口端的距离)
- 侧焦距Lateral focal shift (等于聚光器出口的半径)
- 厚度Thickness
- 倾斜轴Axis tilt (等于聚光器可接受的角度)
- 焦距Focal length(s)
- 坐标原点Origin (出口的x, y, z 坐标中心)
- 旋转角Rotation (x,y,z轴关于出口中心的旋转角)

**注意:** 圆锥反射体是3D混合反射体的一个特例。你可以通过将倾泻轴Axis tilt 和侧焦距Lateral focal shift 设置为0来实现。

更多关于聚光体的信息参看: **High Collection Nonimaging Optics**, W.T. Welford and R.Winston, Academic Press, New York, 1989, ISBN 0-12-742885-2.

### 抛物面聚光体 (Parabolic Concentrators)

混合抛物面聚光体Compound Parabolic Concentrator (CPC)可以将其想象成一个抛物超环面 (parabolic toroid) 比如说一条抛物线绕不是其对称轴的轴旋转而成的曲面。混合抛物面聚光体可以通过对一条抛物线进行倾斜, 旋转等操作来生成。

当面型参数按照Welford -Winston理论给定, CPC是理论上最好的对一定距离的光源进行聚光的面型。同时TracePro 同样允许你建立非光学的concentrator surface.

在TracePro中, CPC的形状由前端长度 (Front length), 后端长度 (Back length), 侧焦距 (focal shift) 和表面倾斜轴 (Axis tilt of the surface) 确定。坐标原点和旋转角用于指定CPC的位置和方向。通过后端长度可以做非规范的CPC, 规范的CPC的后端长度为0。增加后端长度将会使CPC沿出口端点增长。反之, 则使CPC长度变短。前端长度和后端长度都是从抛物线的焦点其中一个端点的距离。

相关的描述如图2.13:

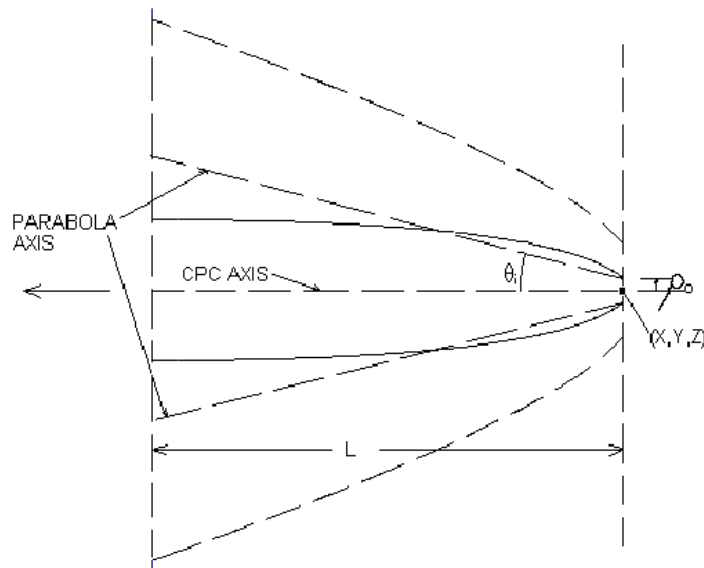


FIGURE 2.13 - Compound Parabolic Concentrator

坐标原点用 (X, Y, Z) 坐标来表示, L 是前端长度,  $\theta_i$  是轴倾斜角,  $\rho_0$  是侧焦距。如果输入旋转角, CPC 首先关于 X 轴旋转, 然后关于 Y 轴旋转, 最后关于 Z 轴旋转。

要做一个规范的或者说是理想的 CPC, 首先要选择一个可接受的角度 (等于轴倾斜角) 和出中半径, 然后确定焦长和聚光器的总长, 焦长由下面的公式获得:

$$f = a(1 + \sin\theta_1), \quad (2.4)$$

其中  $a$  是出口长度,  $\theta_i$  是角度。

总长的计算公式为:

$$L = \frac{a(1 + \sin\theta_1)\cos\theta_1}{\sin^2\theta_1} = \frac{f\cos\theta_1}{\sin^2\theta_1}, \quad (2.5)$$

也可以选择这四个参数中的任何两个, 然后再确定另外两个。要在 TracePro 中应用这种理想的 CPC, 需要设置前端长度等于总长  $L$ , 后端长度为 0, 轴倾斜角等于  $\theta_i$ , 侧焦距等于  $a$ 。为什么侧焦距要等于  $a$  不是很明显的显而易见, 它是根据光线的边界条件来确定的。边界条件的结果认为抛物线已经如此偏离焦点, 以至于其中一边是紧靠另外一边了。详细请看 Welford and Winston 的论述。

### 凹槽 Trough (圆柱 Cylinder)

凹槽或圆柱反射体是圆锥部分通过挤压形成的反射体, 能够被 TracePro 定义的凹槽有:

- 圆柱 Circular cylinder (普通的圆柱)
- 抛物面圆柱 Parabolic cylinder
- 椭圆柱 Elliptical cylinder
- 双曲面圆柱 Hyperbolic cylinder

凹槽在长方向上, 凹槽的顶点处, 同样有光学 slit

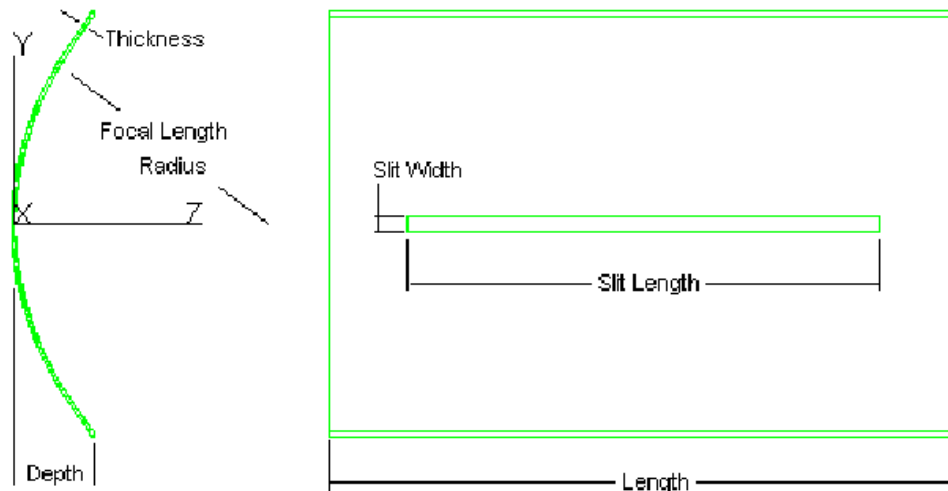


FIGURE 2.14 - Elliptical Trough with Slit

创建凹槽的必要参量:

- 面型 Shape (圆 Circular, 椭圆 Elliptical, 抛物线 Parabolic, 双曲面 Hyperbolic)

- 长度 Length
- 厚度 Thickness
- 深度 Depth (顶点到边沿的距离)
- Slit宽度
- Slit长度
- 焦距长度 Focal length(s) (或圆柱的半径)
- 坐标原点 Origin (x, y, z coordinates of the vertex)
- 旋转角 Rotation (x, y, z rotation angles about the vertex)

### 混合凹槽 (Compound Trough)

混合凹槽反射体除形成它是通过挤压而不是通过旋转形成外，同3D 混合反射体相似。除了需要指定凹槽的长度外（即沿挤压方向），在3D混合反射体中讨论的内容在这里均可适用。

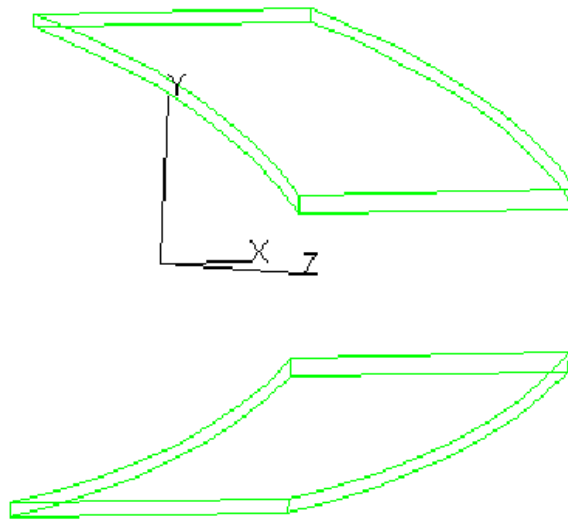


FIGURE 2.15 - Compound Trough Reflector

创建混合凹槽的必要参量是：

- 面型 Shape (椭圆或抛物面)
- 前端长度 Front depth (聚光器入口到焦点的距离)
- 后端长度 Back depth (聚光器出口端到焦点的长度)
- 侧焦距 Lateral focal shift (等于规范聚光器的出口半径)
- 厚度 Thickness
- 长度 Length (沿挤压方向)
- 倾斜轴 Axis tilt (equal to the acceptance angle for a textbook concentrator)
- 焦距 Focal length(s)
- 坐标原点 Origin (x, y, z coordinates of the center of the exit port)
- 旋转角 Rotation (x, y, z rotation angles about the center of the exit port)

### 矩形聚光器 (Rectangular Concentrator)

一个矩形聚光器由两个相互垂直的混合凹槽反射体形成。在XZ或YZ平面内，矩形聚光器的剖面都是混合圆锥曲线，同时在任意的XY平面内都是一个矩形。在矩形聚光器对话框中，需要输入两个混合圆锥同时需要输入创建普通矩形的参量。

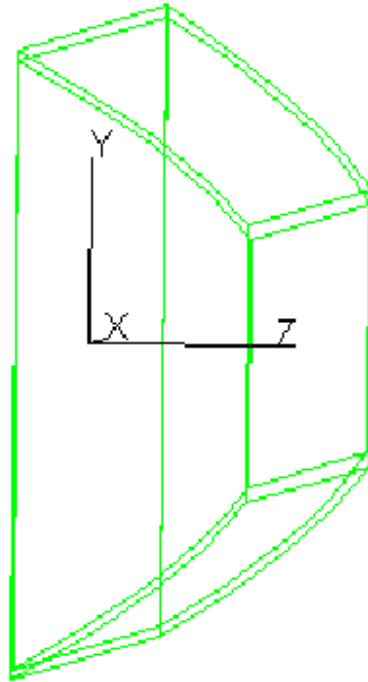


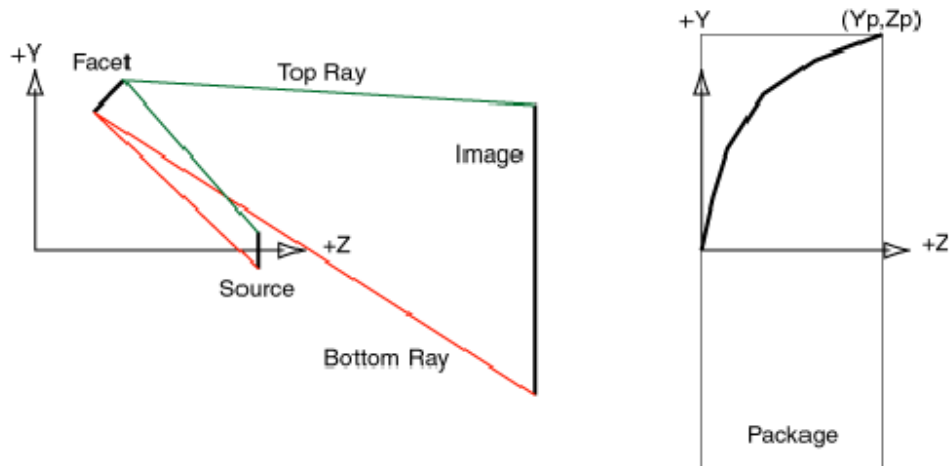
FIGURE 2.16 - Rectangular Concentrator Reflector

创建矩形聚光反射器的必要参量:

- 面型 Shape (椭圆或抛物面)
- 前端长度Front depth (聚光器入口到焦点的距离)
- 后端长度Back depth (聚光器出口端到焦点的长度)
- 侧焦距Lateral focal shift (等于规范聚光器的出口半径)
- 厚度 Thickness
- 倾斜角 Axis tilts in x and y (等于规范聚光器的可接受角)
- X, Y方向上的焦距 Focal length(s) in x and y
- 坐标原点(出口中心在x,y,z坐标轴上的位置)
- 旋转角 (出口中心在x,y,z轴上的角)

#### 小平面对沿光线 (Facetted Rim Ray)

小平面对沿光线经常用来产生一个均匀的发光分布，以当作扩展光源。小平面对沿光线给反射器的输出进行滤波，使物体的图像质量产生影响。TracePro中的小平面对沿光线是给一个确定光源、盒子和光照平面提供的优化器。为了指定反射器，首先要确定盒子高度 $Y_p$ 和宽度 $Z_p$ （位置），如图2.17所示。输入光源高度和到反射器顶点的距离，光源位置。再输入所希望输出的大小，目标高度和位置。TracePro就会从光源顶部追迹一条光线到盒子的位置（ $Y_p, Z_p$ ），再到目标顶部。反射定律将会用来确定小平面的角度。然后TracePro将会扩展小平面对沿光线，以便从光源底部发出的光线，能到达小平面的底部，再到达目标的底部。这就定义了第一个小平面对沿光线。另外的小平面对沿光线也如此定义，直到反射器的顶点相交。这个小平面对沿光线可以基于#Facets/Row进行旋转，形成立体的反射器。



**FIGURE 2.17 - Left: top and bottom rim rays traced for a single facet; Right: package and facet profile**

指定一个矩形聚光器所需要的参数有:

- 厚度Thickness
- 小平面数# Facets/Row (对于一个圆形反射器, 当轮廓面要沿Z轴作sweep时的小平面数目)
- 长度Length (对于凹槽反射器)
- 高度Height (盒子半径)
- 位置Location (从反射器顶点到盒子的Z方向距离)
- 光源高度Source Height (光源在Y轴方向上的半径)
- 光源位置Source Location (反射器顶点到光源原点在Z方向上的距离)
- 目标高度Target Height (目标在Y轴方向上的高度)
- 目标位置Target Location (目标顶点到光源原点在Z方向上的距离)
- 原点 (反射器顶点在坐标轴上的位置)
- 旋转角 (反射器顶点相对于x,y,z坐标轴的角度)

## 管 (Tube)



通过插入 | 管菜单或者工具栏上的按钮就会打开一个非模态对话框, 在该对话框中可以建立一个诸如镜桶或遮光箱之类的管物件。可以创建圆锥形或矩形的管。一个圆柱管可以这么创建: 把圆锥管两个底面的半径设置成一样。圆锥管的横截面也可以是椭圆形的。在管对话框中可以设置:

- 壁厚 Wall thickness
- 管长 Length of the tube
- 横截面形状 Cross-sectional shape (椭圆或矩形)
- 椭圆管基面和顶面的半径 Inside radius of the base and top of an elliptical tube
- 矩形管的X半宽或Y半宽 X half width and Y half width of a rectangular tube.
- 管基面的位置 Position of the base of the tube
- 管的旋转角度 Rotation angles of the axis of the tube
- 基面或顶面是否是封闭的 If the Base or Top is closed

如果输入了旋转角, 管首先会绕x轴旋转, 然后绕y轴旋转, 最后绕z轴旋转。如果旋转角均设置为了, 则表示管是沿z方向的。

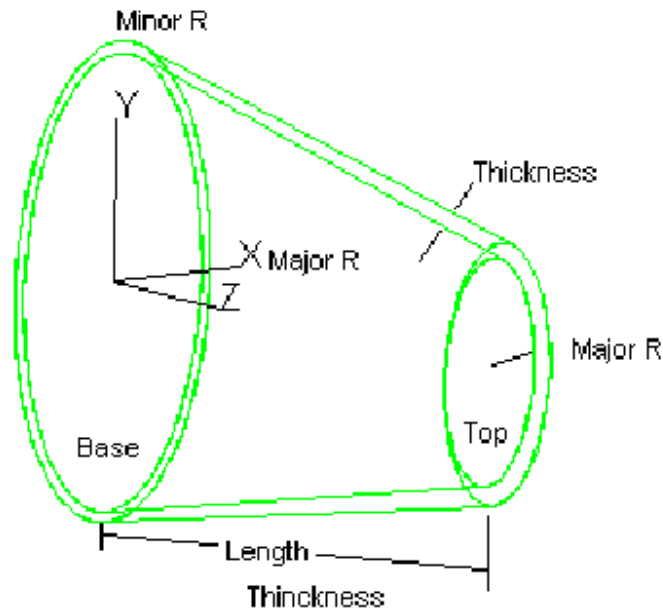


FIGURE 2.18 - Elliptical Tube

由于管对话框是非模态的，所以在打开它的同时也可以做别的事情，如插入其它物件、移动物件、改变视图或应用属性等等。

### 桨形阻光片 (Baffle Vane)

一个桨形阻光片通常由一个平板或锥形金属片构成，其中挖去了一个洞，如图2.19。洞的一边沿通常是尖锐的，以减少边沿处的散射。然而，边沿不是完全尖的。刀口半径使得边沿的横截面是圆形的或小片状的（实际是圆环的一部分）。阻光片的外边与内边平行，使其保持柱状。图2.19展示了该阻光片的一个截面图，它的坐标为 (0,0,0)，旋转角度为 (0,0,0)。

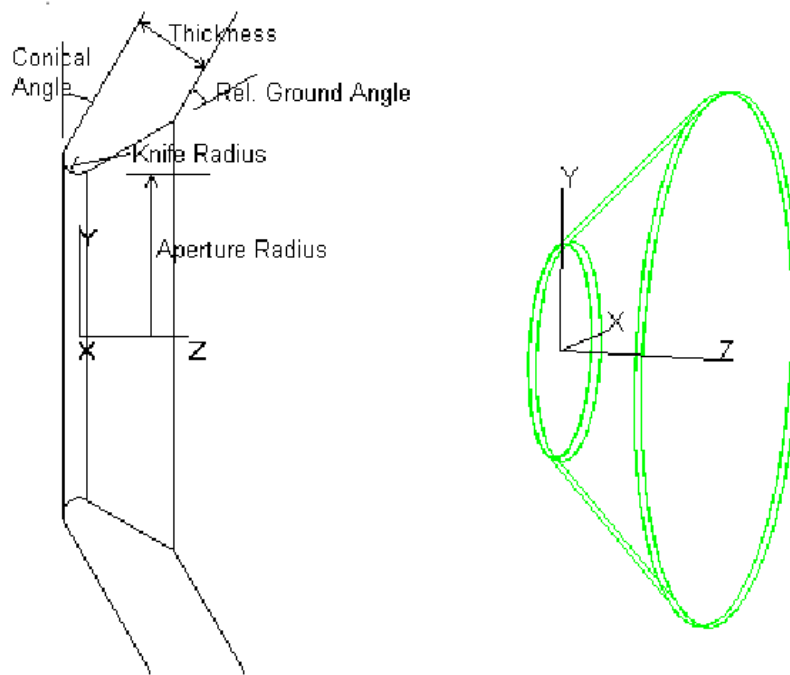


FIGURE 2.19 - Baffle Vane



选择Insert | Baffle Vane或在工具栏上按下Baffle Vane，就会弹出Baffle Vane对话框。在对话框中可以设置：

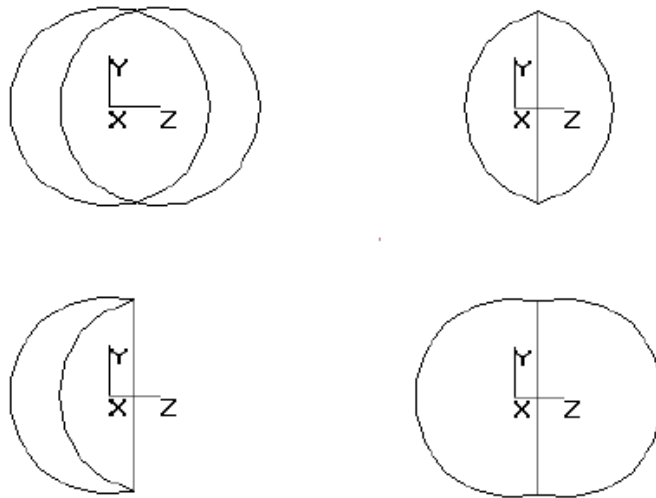
- 孔半径 Aperture Radius – 浆形阻光片洞的半径
- 管半径 Tube Radius – 阻光片的外部半径.
- 厚度 Thickness – 用于制作阻光片的金属薄片的厚度
- 刀口半径 Knife Radius – 刀口截面的半径
- 圆锥角 Conical Angle
- 相对地面角 Relative Ground Angle – 相对于金属表面，刀口是尖锐时的角度
- 位置Position – Baffle vane孔的中心坐标(x, y, z)
- 旋转角Rotation – 如果旋转角都为0，则baffle vane是沿着z轴对称的

如果输入了旋转角，baffle vane首先绕x轴旋转，然后绕y轴旋转，最后绕z轴旋转。Baffle Vane是非模态对话框，所以在打开它的同时也可以做别的事情，如插入其它物件、移动物件、改变视图或应用属性等等。

## 布尔运算（Boolean Operations）

在建模过程中，运用布尔运算是较为常用的方法。通过布尔运算你可以用较为简单的物体来构建复杂的形状，同时也可以用来改变物件的属性。因此，有必要对其进行学习。

。比如说：在块上钻孔，你需要将一个圆柱放置于块之中，先后选取块和圆柱，然后再选Edit|Boolean|Subtract。块中就会再刚才圆柱的位置被减去一块。TracePro中，你可以同时进行多个物件的操作。



**FIGURE 2.20 - Boolean Operations: Two Spheres, Intersection of Two Spheres, Subtraction of Two Spheres, and Union of Two Spheres**

运行布尔运算前，应先将物件的属性(材料属性，表面属性和光源属性)设置好。

注意：当你运行布尔运算后，物件当前运用的属性将会变得混淆，因此TracePro 将会将一些设定的属性删除。

### 相交运算 (Intersect)

相交运算是取两个或多个物件体积相互重叠的部分。如果物件之间没有相互重叠的地方，运行的结果是删除物件。比如说：创建一个双凸透镜，可以通过建立两个球体并使之相互重叠一部分，然后运用相交运算来取两个球体相交的部分。

运用小脚运算需要选取两个或多个物件，你可以通过使用Shift或Ctrl来进行多重选取。例如，取两个物件的交集：



1. 选取 Edit|Select|Object 或点击物件选取按钮
2. 在建模窗口或系统树中选取第一个物件。
3. 点击或按住Shift选取第二、第三、第四个物件
4. 按 Edit|Boolean|Intersect 或点击相交运算按钮来完成操作
5. 运算结果即是两个物体的相交部分。

### 相减运算 (Subtract)

相减运算是将两个或多个物件相互重叠的部分从第一个选取的物体中减去的操作。如果第二个物体没有与第一个选中物件相交的部分，则没有任何效果。如果第二个选中物体将第一个选中的物件完全包含，则第一个选中的物件将被完全删除。例如：如果你想从A中减掉B, C, D, E, 你应该先后选取A, B, C, D, E, 然后运行相减操作。其结果是  $result = A - B - C - D - E$ 。



你可以建立一个中心有孔的Mirror，通过用圆柱从一片Mirror中穿过，然后运用减法操作在Mirror中将Mirror与圆柱相交的部分减去，这样就建立了一个孔。将第一个选中的物件想象成材料，以后再选中的物件就是工具，减运算就像切割一样。同样减运算可以通过Shift 或 Ctrl 对多个物件进行操作。例如：从一个物体中减掉后面三个选中的物件：



1. 选取 Edit|Select|Object 或点击物件选取按钮
2. 在建模窗口或系统树中选取第一个物件the system tree.
3. 点击或按住Shift选取第二、第三、第四个物件
4. 按 Edit|Boolean|Intersect 或点击相减运算按钮来完成操作
5. 执行结果是第一个选中的物件连续的减去后面选取的物件

### 联合 (Unite)

联合操作是将两个或两个以上物件的全部体积联合成一个物体。如果没有物件相互重叠，他们同样会被联合起来，从效果上看，他们被紧密连接起来了。如果一个选中物体将另一个选中的物件完全包含，则较小的物件将被完全删除。你可以建立一个棒棒糖形状：建立球体和小圆柱，并使小圆柱穿入小球，然后通过联合操作将球体和小圆柱联合再一起。联合操作之后所剩的形状就是一个棒棒糖了。你同样可以将baffle vane 联合到tube上，首先选取 Edit|Select|Object或按物件选择按钮，选取tube，按shift选取baffle vane，然后选择 Edit|Boolean|Unite或按联合操作按钮。记住，一旦你将vane 联合到tube，就不能再对其进行操作了，除非你使用Edit|Undo。同样使用Shift或Ctrl你可以对多个物件进行操作。例如联合是个物件：



1. 选取 Edit|Select|Object 或点击物件选取按钮
2. 在建模窗口或系统树中选取第一个物件the system tree.
3. 点击或按住Shift选取第二、第三、第四个物件
4. 按 Edit|Boolean|Intersect 或点击联合运算按钮来完成操作
5. 圆形结果四个物件被完全联合再一起。

### 移动 (Moving)、旋转 (Rotating)、比例缩放 (Scaling)

通过Edit|Object|Translate, Edit|Object|Move, Edit|Object|Rotate,and Edit|Object|Scale 菜单，你可以对一个物件或一组物件进行移动，旋转，缩放操作。任意多的物件通过符合选取都可以形成一组物件进行同时操作。先选中要进行操作的物件，然后再选择要进行操作的菜单并执行之。

所有的对话框都是非模态的，所以你可在进行其他操作时将他保留在界面上。你可以通过设置对话框中的参数并按下Apply来移动，旋转，缩放较小的量。

#### 平移 (Translate)



通过鼠标选择物件，然后选择Edit|Object|Translate 或点击平移 (Translate) 按钮，来将物件拖动到一个新的位置。该功能将一直保持到你选取另一个功能为止。

#### 平移拷贝 (Translate Copy)

按下Ctrl键拖动物件，当你放开鼠标后，复制的新的物件就会移动到鼠标释放的位置上。

### 移动 (Move)

鼠标选中需要移动的一个或一组物件，然后选择 **Edit|Object|Move** 菜单来打开移动选择对话框。该对话框包含相对移动和绝对移动两个按钮和 X, Y, Z 值。你可以选用相对移动选项来相对于物件自身的中心进行移动，或运用绝对移动来相对于全局坐标移动。例如：要沿 Z 轴移动物件 2 个单位，使用相对移动然后设置移动数值如下：

X Center 0

Y Center 0

Z Center 2

然后按下 **Apply**，之后物件及沿 Z 轴移动两个单位。

你同样可以通过设置 (X, Y, Z) 方向来使物件沿顶点移动你想要的距离。

当你选取了多个物件时，第一个选取的物件将移动到你指定的位置，其他的物件也将同第一个物件移动相同的相对位置。

### 移动拷贝 (Move Copy)

移动拷贝可以对一个物件进行拷贝并移动到另外一个位置。这比手动拷贝物件方便了很多，后者只能在原位置对物件进行拷贝。移动拷贝也是创建物件阵列的强有力工具，只要用相对移动拷贝即可，这是因为移动拷贝是对物件先进行拷贝，再移动到指定的位置。一旦指定了 x,y,z 坐标值并选定了物件，只要重复地按下 **Copy** 按钮就会产生一行物件，每按一次生成一个。一行完成后，再选择所有本行的物件，然后可再进行拷贝，只要通过 x,y,z 坐标改变方向就可以了。

注意：如果在拷贝之前对物件赋予了材料和表面属性，那么这些属性也会被拷贝进去，这样又节省了不少的工作。

### 旋转 (Rotate)

要旋转一个或多个物件，首先用鼠标选择这些物件，然后选择 **Edit|Object|Rotate** 来打开旋转选择对话框。对话框包括一个旋转角，一个旋转轴和用来指定旋转点的 x,y,z 值，旋转遵从右手规则，旋转默认单位是度数。如果要用弧度，按下 **In Degree** 按钮，标签就会变成 **in Radians** 按钮，旋转角单位也就变成了弧度。一旦输入了旋转角，旋转轴和旋转基点，按下 **Apply**，选择的物件就会发生旋转。

### 旋转拷贝 (Rotate Copy)

旋转拷贝可以对物件进行拷贝并旋转。这比手动拷贝方便很多，后者只是在原地进行拷贝。旋转拷贝也是创建物件阵列的有力工具，因为旋转拷贝会对所选择的物件进行拷贝，然后再按指定的值旋转。一旦填好了旋转值并选好了物件，重复按下 **copy** 按钮就可以产生一排（弯曲的）物件，按下一次产生一个。

注意：如果在进行旋转拷贝前，对物件赋予了材料和表面属性，这些属性也会保留在旋转拷贝后的物件里，这节省了不少的工作。

### 缩放 (Scale)

要缩放一个或多个物件，首先用鼠标选择物件，然后选择 **Edit|Object|Scale** 来打开缩放选择对话框。该对话框包含一个缩放因数用来指定缩放因子，如果因数大于 1，则放大物件；如果小于 1，则缩小物件。所有的缩放都是相对于物件原点，因此所有的点（除了原点）位置都发生偏移。

也可以使物件原点的位置也跟着缩放，只要勾选 **scale position box** 复选框即可。这对于必需组合到一起的物件组很有帮助。缩放可以在 x,y,z 方向上都保持一样的缩放比例，也可以是不一样的，例如，通过设置一个不同于另外两个的比例因数，可以把一个球体缩放成椭球体。一旦选

定了缩放因数，按下Apply按钮，物件就会被进行相应的缩放。

### 缩放拷贝 (Scale Copy)

运用缩放拷贝可以通过一个动作同时完成拷贝和缩放。这比手动拷贝方便了很多，后面只能在原地对物件进行拷贝。缩放拷贝也是创建同心或是锥形的物件阵列的强有力工具，这是因为缩放拷贝是首先对物件进行拷贝，然后再按指定的比较因数相对于原点对物件进行缩放。一旦定义了缩放因数并选择了物件，重复按下Copy按钮就可以产生同心的物件集。

注意：如果在进行缩放拷贝前，对物件赋予了材料和表面属性，这些属性也会保留在旋转拷贝后的物件里，这节省了不少的工作。

### 方位 (Orientation)

选择Edit|Object|Orientation可以得到物件的位置和旋转欧拉角 (Euler angle)，这些数据是参考物件变换矩阵得来的，Center position栏用来显示物件中心坐标，Euler栏用来显示物件的欧拉角 (Euler angle)。在TracePro里旋转是首先绕X轴，然后Y轴，最后Z轴的顺序来的。物件方位可以通过输入新的中心坐标和欧拉角，再按下Apply按钮来改变。

## 表面平扫和旋转 (Sweeping and Revolving Surfaces)

### 平扫 (Sweep)

要平扫一个平面，需要：

1. 用鼠标点击需要平扫的平面，或者在系统树 (system tree) 中选择它
2. 用Edit|Surface|Sweep打开平扫表面选择对话框 (Sweep Surface Selection dialog box)
3. 输入距离 (Distance) 和锥度角 (Draft angle)
4. 选择是沿着平面法线方向进行平扫还是通过x,y,z矢量来手动确定方向
5. 最后，按下Apply来平扫平面

一个应用平扫命令的实例在后面的章节可以查到。

### 旋转 (Revolve)

通过Edit|Surface|Revolve打开旋转平面选择对话框 (Revolve Surface Selection dialog box)，可以对一个表面进行旋转扫描。旋转扫描只限于平面。要旋转一个表面，需要：

1. 选择一个平面
2. 选择Edit|Surface|Revolve来打开旋转平面选择对话框
3. 输入角度、锥角、半径和步数
4. 输入轴方向数据
5. 按下Apply来旋转表面

TracePro会考虑计算哪个表面将会被旋转，并会使它显示为是“灰色的”，对话框中各栏的含义如下：

角度(Angle): 表面将会被旋转的角度

锥度(Draft): 旋转表面要被渐缩 (张) 的角度

半径(Radius): 表面中心到旋转轴的距离

步数 (steps) = 0: 创建连续的弯曲

> 0: 创建步进式的弯曲

相关例子在后面的章节中可以查到。

## 导入和导出文件 (Importing and Exporting Files)

TracePro可以直接与其它基于ACIS的软件共享数据。TracePro是基于ACIS、几何学引擎的软件，并用ACIS数据库文件格式来存储建模数据，这些数据可精确用于TracePro。要“导入”一个ACIS文件，只要在TracePro打开它即可。要导出一个ACIS文件，要选择|File|Save As, ACIS文件的扩展名为SAT。另外为了与其它基于ACIS的应用软件共享数据，TracePro可以通过IGES和STEP交换标准来导入和导出文件，并可从流行镜头设计软件中导入文件。

### 与其它基于ACIS软件交换文件 (Exchanging Files with Other ACIS-based Software)

用SAT文件与其它软件交换文件可以获得最高的精度重现。一般的规则是，当需要和其它软件共享文件时都使用SAT文件。其它基于ACIS的应用软件有：

- AutoCAD release 13 and higher (solid models).
- AutoCAD Mechanical Desktop
- CADKEY '99
- MSC/NASTRAN for Windows
- MARC
- TurboCAD Solid Modeler
- IronCAD

开发ACIS应用软件的公司列表可以在<http://www.spatial.com>中找到。

与其它软件共享数据时，每个软件添加给文件的特殊数据都会被保存。例如，你可以用AutoCAD来创建实体模型，在TracePro中打开并赋予光学属性给实体和表面。做完某些分析后，又需要在CAD软件中打开并编辑物件。如果你重新在TracePro，之前设置的光学属性仍然存在。只有一部分----并非所有的TracePro特殊数据都会被保留在SAT文件中。导出到其它软件依然保留着的数据有：

- 材料属性 Material Properties
- 表面属性 Surface Properties
- 表面光源参数 Surface Source parameters
- 重点采样目标 Importance sampling targets
- 约定数据 Prescription data
- 物件名和表面名 Object and surface names
- 模拟模式的出射表面 Exit surface for simulation mode

当文件导出到另外基于ACIS软件时，下面TracePro的特殊数据是不会保留的：

- 在Analysis|Grid Raytrace对话框中指定的数据
- 在Analysis|Raytrace选项对话框中指定的数据
- 在Analysis|Irradiance选项对话框中指定的数据
- 在Analysis|Candela选项对话框中指定的数据
- 在Analysis|Polarization选项对话框中指定的数据

ACIS的制造商Spatial周期性更新ACIS内核，使得新的特性加到SAT文件格式中。你用到的基于ACIS的应用软件和用到的TracePro用的可能不是同一版本的内核，但SAT文件具有向后兼容的特性。这意味着，例如，一个基于ACIS3.0的应用软件不能读ACIS4.0的文件，但基于ACIS4.0的应用软件可以读ACIS3.0的文件，通过Help|About TracePro对话框可以查看ACIS的版本信息。

注意：你可以在文本编辑器或Word中查看SAT文件的ACIS版本信息，第一行以三个数字开始，第一个数据是主版本号，第二和第三个是副版本号。这样2.0包含的是200而1.6将包含160。

### 导入ACIS文件 (Importing an ACIS File)

要把ACIS (\*.SAT) 文件导入到TracePro中，首先要在应用程序中保存为SAT档。在其它应用程序中创建一个SAT文件一般是通过导出实体模型，或者是执行File|Save As命令。当保存文件时，确保是TracePro支持的版本。当在应用程序保存SAT文件后，就可以在TracePro中打开它。选择File|Open, 在Files of type下拉菜单中选择ACIS文件 (\*.sat)，然后选择希望打开的文件，

再单击OK。一旦文件被导入，可以用通常的方法来应用材料、表面和光源属性，就如同该模型是由TracePro创建的一样。

### 导出ACIS文件 (Exporting an ACIS File)

要导出SAT文件，只要文件保存为SAT文件，并确认TracePro的ACIS内核与需要用到的应用程序的ACIS内核是兼容的。完成这个动作只要选择File|Save AS，在Save as type下拉单里，选择ACIS(\*.sat)，然后选择ACIS的版本号，再输入文件名称，扩展名为sat，最后单击OK就好了。

### 立体印刷 (\*.STL) 文件 (Stereo Lithography (\*.STL) Files)

STL (Stereo Lithography Interface Specification 立体印刷接口规范) 是立体印刷和快速成型的通用格式，这是表面由三角形小平面构成的棋盘表面模型。TracePro读取可以导入的ASCII和二进制格式文件，并用来进行光线追迹。

### IGES and STEP 文件

IGES和STEP是描述几何数据标准格式的缩写，这些格式被发展成为交换几何数据的标准方法。IGES和STEP是由于NIST (国家标准技术学会 National Institute for Standards and Technology) 和美国工业代表发展而来的。可以设置IGES和STEP文件的导出和导入，如物体和平面代表哪些实体，或者哪个ACIS版本将会被应用。这些选项可以通过Open和Save AS对话框时的选项按钮设置。要在TracePro中导入和导出IGES或STEP文件，首先要在可导出这两种文件格式之一的应用程序中保存文件，如果可能，实体类型为Solid，以方便导入TracePro。TracePro需要Solid Object来设置材料属性。一旦文件从相应的程序中保存，并在tracepro中打开，TracePro将把几何物件转换成ACIS类型的几何物件。要导出IGES或STEP文件，选择File|Save，并在Save as type下拉菜单中选择相应的文件格式，再点击OK。

### 导入Pro/ENGINEER文件 (Importing Data from Pro/ENGINEER)

如果要导入Parametric Technology公司的Pro/ENGINEER程序创建的文件，首先要在Pro/ENGINEER中导出STEP文件，要做到这个，需要Pro/E中安装了STEP模组。要了解更多的信息，请参考PTC的网站 (<http://www.ptc.com>)。

### 从I-DEAS中导入数据 (Importing Data from I-DEAS)

要把Structural Dynamics Research Corporation(SDRC)的I-DEAS软件创建的实体模型导入到TracePro中，首先要用I-DEAS 5或更高的版本来把实体模型保存为STEP文件，之前的版本由于存在严重的Bug而不能导入TracePro中。其默认的保存选项为把所有表面转换成曲线曲面 (NURBS)。把实体模型导出为STEP文件，在TracePro中用NURBS来追迹光线，其速度会很慢。因此，如果I-DEAS模型中包括简单的表面类型 (平面，锥表面，圆柱面，球面或圆环面)，最好用解析选项导出文件。该选项会尝试把所有的表面转换成解析的，以保证更快的光线追迹速度。要产生一个STEP文件，需要IDEAS STEP数据转换器，一个SDRC的产品。要了解更详细的信息，请参考网站<http://www.eds.com/products/plm/ideas>。

### 修复导入数据 (Healing Imported Data)

由于TracePro可以导入不同格式的文件，这些被导入的模型可以通过不同的方法用不同的工具来进行组合。从目前的情形看，不同的模型创建的品质有可能不一样。与其简单的拒绝完整性不同的模型，还不如尝试改进寻些不是很“紧密”的模型 (如两个表面相交不能形成一条棱)，从而提高整个模型的完整性和质量。完成修复功能是复杂的，一般服从如下步骤：

1. 初始化  
暂时修得模型中的特殊属性。
2. 预处理

执行初始模型清除

### 3. 几何简单化

只要可能，把锯齿几何图形解析化

### 4. 连接

把一族面连成单个表面或实体

### 5. 几何修复

修复几何上不正确的地方

### 6. 后处理

校正表面法线，消除不在连在一起的顶点和面。

### 7. 结束

消除在修复过程中增加的属性

修复可以是手动也可以是自动。手动修复允许在修复的每个阶段中修复特定的区域和（或者）改变公差。自动修复允许整个过程在一个操作中进行。这个操作会在每个修复阶段自动确定恰当的公差，提供每个不同阶段的统计数据 and 自动修复的结果，给出修复模型的分析结果。

## 如果进行自动修复（How to Autoheal an Object）

### 1. 选择一个物件

### 2. 选择Tools|Autoheal

TracePro宏输出窗口将会打开并记录自动修复的动作。自动修复首先决定哪个修复过程是必要的，然后执行操作。

## 如何进行手动修复（How to Manually Heal an Object）

### 1. 选择物件

### 2. 选择Tools|Healing|Begin Healing

3. 用Tools|Healing|Analyze看物件是否需要一个简单的、无缝的或几何的修复

4. 用Tools|Healing|Heal来执行必要的修复

5. 选择Tools|Healing|End Healing来结束修复。

在修复过程中，专门的修复属性会加到物件上，End Healing命令消除这些属性还原其原有的属性，并消除额外数据。修复可以当作TracePro的一个附件购买。

## 反转表面和表面法线（Reverse Surfaces (and Surface Normal)）

当选择Tools|Reverse Surfaces，TracePro反转表面的法线方向。实体物件就会反转表面的法线方向，实体物件用表面法线来定义物件的“外面”。例如，一个玻璃球可以定义法线是从中心指向远处，这样它的内部材料为玻璃（Glass）；也可以是从远处指向中心，这样除了球体，所有的空间都定义为玻璃。这个命令通常是用来校正导入STEP和IGES文件引起的错误。

## 联合（Combine）

如果选择Tools|Combine，TracePro就会把选择的表面联合成一个整体。例如，一个立方体可以定义为6个相交的物件，每个物件是一个表面。或者，可以通过六个表面联合成一个立方体。这个命令可以通过把一些已存在的表面联合成单个的物体。在选择Tools|Combine前要先选择相关的表面。IGES文件通常会导出成可联合的表面，或者在导入的时候或者在运行Tools|Combine的时候。

## 镜头设计文件（Lens Design Files）

镜头设计文件也可以导入TracePro中，包括ACCOSV, CODE V, OSLO, Sigma和Zemax程序设计的文件。如果所安装的TracePro中不包含这些转换器而又需要导入这些文件，请与Lambda Research公司索取相关的产品。用File|Open可以打开任何想要打开的文件。TracePro会用曲

率、厚度、材料和孔径自动创建一个实体模型，并保存为OML文件。在转换过程中，TracePro把镜头材料属性转换成TracePro相应的材料属性，如果镜头文件中确定的孔径数据不存在，TracePro会创建大而粗糙的的孔径，其实在TracePro打开该文件之前，在镜头设计文件中确定孔径是一件很简单的事情。一旦文件被导入，如果如同对TracePro创建的实体那样对这些实体设置表面属性。TracePro读取并解析镜头文件中的材料数据，并设置相应的TracePro材料属性。如果某些材料属性设置不正确，可以用手动的方法进行设置。在TracePro系统树（system tree）展开物件，可以清楚的看到它们的材料属性。如果一个物件只有材料名称而没有目录名录，当进行光线追迹时将不会被发现，这时必须打开属性应用对话框并应用正确的属性。在表2.2中可以看到相应镜头设计程序对应的扩展名。

**TABLE 2.2. File Extensions**

Extension	Lens Design Program
LEN	ACCOS V LENO file
SEQ	Code V Sequence file
LEN	OSLO file
OSL	OSLO file
LEN	Sigma file
ZMX	ZEMAX file

在File|Open对话框的List Files of Type下拉菜单中，每一种文件格式都有单独的选项。TracePro支持下面的镜头特性（注意不是所有的镜头设计程序提供所有这些特性）：

- 半径或曲率 Radius or curvature input
- 二次曲线常量 Conic constant (conic surfaces of revolution)
- 旋转非球面 (>r29) Aspheric surfaces of revolution (up to r29)
- 全局坐标 Global coordinate input
- 玻璃名称和制造商的材料规格 Specification of material by glass name and manufacturer
- 表面倾斜度 Surface tilts
- 偏心表面 Decentered surfaces
- 偏心和返回 Decenter and return (ACCOS V and Code V)
- 弯曲光学轴 Bend optical axis (Code V and OSLO)
- 倒转倾斜/偏心 Reverse tilt/decenter (ACCOS V and Code V)
- 圆形、椭圆形和矩形清晰孔径 Circular, elliptical and rectangular clear apertures
- 偏心清晰孔径 Decentered clear aperture
- 清晰孔径旋转 Clear aperture rotations
- 圆形、椭圆形和矩形的光阑 Circular, elliptical and rectangular obstructions
- 偏心光阑 Decentered obstruction
- 光阑旋转 Obstruction rotations
- 表面选择（半径，厚度，材料，孔径，光阑，非球面系数） Surface pickups (radius, thickness, material, aperture, obstruction, aspheric coefficients)

注意：如果文件包含棱柱要导入TracePro则比较困难。大部分文件都可以准确地导入TracePro，而棱柱则是一个例外，棱柱通常会转换成面平行的玻璃片，所以必需要手动在TracePro中创建。

### 合并文件 Merging Files

通过是在CAD程序中进行镜头设计数据合并，但不保留原来的坐标系统。File|Merge对话框提

供通过把一个坐标系统转换成另外一个坐标系统的方法来解决坐标系统间的差异。在机械CAD程序中，习惯上x轴指向右边，y或z指向上面。在大部分光学程序中（包括TracePro），z轴指向右边而y轴指向上边，x轴指向屏幕。要用到合并，首先在TracePro窗口中打开其中一个模型，然后用Merge命令来合并第二个文件。当其中一个文件打开后，选择Select|Merge来打开Merge对话框，在其上面可以手动输入旋转角度，并相对于第一个模型来转换第二个，或者用默认旋转角度。当按下其中一个默认旋转按钮时，TracePro将会根据约定把旋转角赋给新的实体。如果是在CAD坐标系统中打开模型，用ToCAD按钮来合并一个光学模型。如果是镜头文件打开，用ToOptics按钮来合并一个CAD实体模型。在转换新模型的过程中，有选择的输入坐标偏量，最后按下Merge会出现一个打开文件对话框，选择需要进行合并的文件再按下OK。旋转是根据右手定则的欧拉旋转。例如，一个y轴旋转是把物体从z轴向x轴旋转。通过y-z-x可以记住这个规律，x旋转是从y到z，z旋转是从x到y。

### 插入文件 Inserting Files

通过Insert|Part菜单选项可以把一个模型插入到另外一个中。选择Insert|Part菜单选项将会打开文件对话框，这是把文件插入到当前打开的模型中，而不是在一个新的窗口中打开。

### 改变模型视图 Changing the Model View

TracePro允许随意地更改模型视图。你可以把同时打开的许多窗口的每一个按你所希望的那么改变。如果对当前窗口用View下面的命令时，它的视图就会发生改变，这里的很多命令在工具栏上也有。TracePro里面有三种类型的视图：轮廓图（Silhouette）、框架图（Wireframe）和着色图（Render），轮廓图是默认视图，当打开新的模型时就是这个视图；框架图是在表面上增加一些网格，增强形状的3D效果；着色图是把物件表现为实心体，并在入射光的入射角处产生阴影。着色体是假设光源是在观察者的眼睛处。在任何视图下，TracePro所有的功能都可以执行。例如，在轮廓图或框架图下都可以进行布尔操作。在View|Set View对话框中显示TracePro中的视图设置，在这当中可以设置：

- 眼睛位置 Eye position
- 目标位置 Target Position
- 向上矢量 Up Vector
- 透视图打开/关闭 Perspective View On/Off

眼睛位置、目标位置和向上矢量可以在对话框中输入数据进行设置，也可以按后面介绍的方法进行设置。眼睛位置是观看3D图的一点。目标点是3D空间中眼睛看过去的点，当设置目标位置时，TracePro会设置当前模型窗口的位置，以更目标位置在窗口中心。有时视图在TracePro中会补忽略，导致模型的某一部分消失或被砍掉，这种情况通常发生在眼睛点在模型上-或模型的部件上，眼睛后面的部分就将会不显示。通过View|Set View重新设置眼睛位置，或选择View|Zoom All就可以解决这个问题。向上矢量是3D图中用来标明视图方向的矢量。当设置向上矢量后，TracePro旋转视图直到向上矢量在屏幕的垂直方向上。透视复选框允许透视功能打开或关闭，用来帮助观察模型。如果输入了希望控制视角的数据，并按下Apply按钮，就会在窗口显示效果。然而，你会发现用下面这些交互式按钮会更加方便。

### 缩放 Zooming

TracePro提供七种不同的方法来放大和缩小窗口。

：



- 放大 Zoom In —按预先设定的倍数进行放大，放大倍数可以在View|Preferences中进行设置。





• 缩小 Zoom Out —按预先设定的倍数进行缩小，缩小倍数可以在View|Preferences中进行设置。

• 比率缩放（无图标） Zoom Ratio (no icon) — 打开一个对话框输入缩放倍数



• 随鼠标缩放 Zoom Cursor — 按下鼠标左键并向上拖动，就会进行放大动作；按下鼠标左键并向下拖动，就会进行缩小动作。如果鼠标有滚轮，用滚轮也可以进行缩放动作。



• 缩放窗口 Zoom Window — 把框选的区域放大到整个窗口



• 缩放所有 Zoom All —放大或缩小模型中的所有物件使其充满整个窗口，只留10%的边界。



• 缩放选择物件 Zoom Selection — 放大或缩小所选择的物件，直到其充满整个窗口放大或缩小的倍数可以在View|Preferences的Zoom属性页里设置，默认值为2.0和0.5，另外一个值是为鼠标设定的。选择了Single-use zoom window意味着在完成一个窗口缩放命令后，窗口缩放模式就会退出，工具栏上的按钮就不在是凹进去的。默认模式是这个复选框是不选的，这就是说当完成缩放后该命令还保留着，除非再按一次该按钮使它突起，或者选择了别的命令按钮。放大、缩小、缩放窗口、随鼠标缩放，缩放选择物件或缩放所有等命令都可以在视图上找到。

## 视图移动 Panning

View|Pan菜单选项也存在于视图工具栏，允许上下左右的移动。使用该功能首先选择View|Pan菜单选项或者是点击工具栏上的Pan按钮进入移动模式。然后按下鼠标左键在视图窗口里移动。表面上你是在移动物体，但实际上是移动整个视图窗口。视图移动等同于移动眼睛位置和目标位置而两者的相对保持不变。保持目标点在两点连线与平面的交点。

## 旋转视图 Rotating the View

有很多种方法可以旋转视图，可以通过两相菜单选项来进行：

- View|Profile
- View|Rotate

View|Profile可以从5个预设视角进行选择：三个直角视图和两个倾斜视图。它们可以从工具栏也可以菜单中来选择。在菜单中，直角视图为XY,XZ,YZ，这是根据每个视图中可以的坐标轴来确定的。倾斜视图或者说是等大小视图如它们工具栏按钮所显示的那样，ISO1是Y轴向上，Z轴指向右边和观察者，X轴指向右边和远离观察者；ISO2是Y轴指向上，Z轴指向右边并远离观察者，而X轴是指向右边和观察者。

## 命名视图 Named Views



视图命名可由View|Name菜单来进行访问，将会出现如下的命名视图对话框，五个默认视图列在表下并可从View菜单、View工具栏或命名视图中激活。这些视图不能改变缩放倍数。一个新的默认视图Normal To，将会把视图更改到所选平面的法线方向上。如果选择无效将会弹出一个信息框。通过在一个对话框输入一个视图名称并按下Save View，可以保存任何视图。

缩放和视图数据，包括旋转和移动，将会保存以备后用。新的视图将会加到对话框中并保存到模型OML文件内。



FIGURE 2.21 - Named Views dialog

### 视图历史 Previous View



视力历史将会保存10先前的10个视图。选择View|Previous View或视图历史工具将会改变视图。

### 控制物件外观 Controlling the Appearance of Objects

#### 显示物件 Display Object

用View|Display可以单独地控制单个物件的显示与否。在所有窗口中，默认是所有物件都是显示的。如果要隐藏某个物件，首先要在窗口或系统树选中该物件，然后选择View|Display Object或在视图(或系统树)中点击右键，在弹出的交互式菜单中选择Display Object，该物件就会隐藏起来，并在系统树中会显示隐藏信息。对物件显示的控制会影响到正常的轮廓图、框架图和着色图。要重新显示被隐藏的物件，首先要在系统树中选中---但不能在视图窗口中同样实现，因为你看不到该物件---然后选择View|Display来重新显示物件就可以了。要显示所有物件，用View|Display All命令，如下面描述。

#### 显示所有 Display All

用View|Display All可以使所有物件都是可见的。这个功能将会重新计算物件的轮廓图，并在框架图和着色图中重新显示。

#### 显示物件的WCS Display Object WCS

所有TracePro物件共用一个局部坐标系统(WCS)，该系统从全局原点中转换而来，并用X,Y,Z来显示。当移动物件时，相对于全局原点会定义绝对位置。选择一个物件并选择View|Display Object WCS并会显示WCS。图2.22展示了一个反光罩、镜头和球体，以及它们相应的WCSs。反光罩在其反射表面的顶点有它自己的WCS，镜头在其第一表面的顶点有相应的WCS，球体在其中心也有相应的WCS。

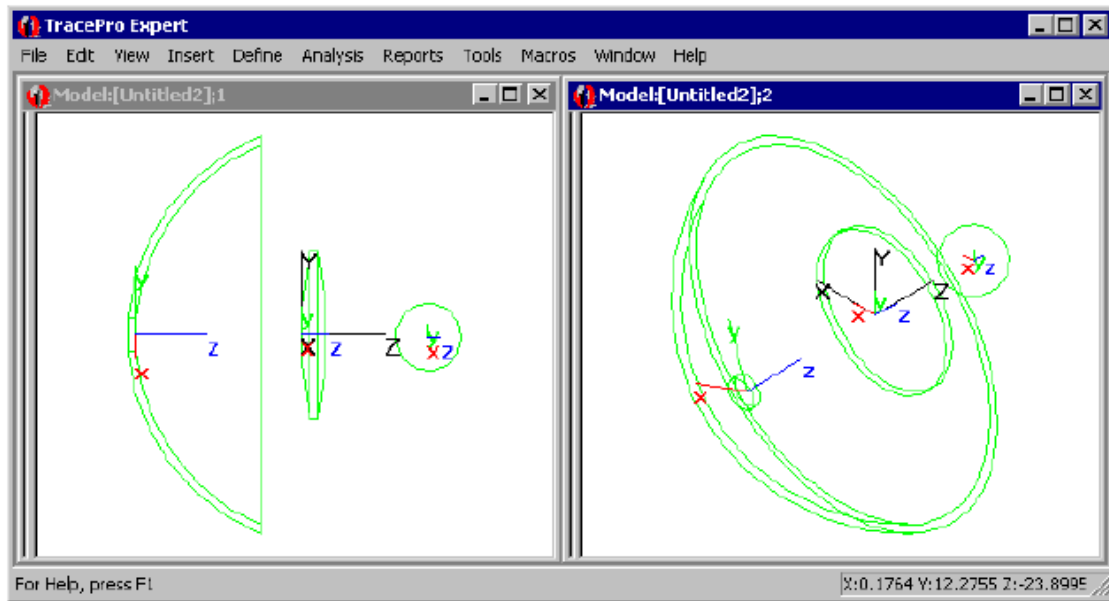


FIGURE 2.22 - WCS of three TracePro objects

#### 显示RepTile Display RepTile

RepTile显示选项会在模型窗口中画出虚拟的RepTile几何图形。选择View|Display RepTile就可以看到相关的RepTile几何图形。在Apply Properties对话框中定义的RepTiles的边界就会被显示出来。请看9.1页的RepTile例子。图2.23展示了一个有棱柱形RepTile的立方体。RepTile被赋为Perfect Absorber表面属性。在所示的光线图中，在表面中间的光线被RepTile表面特性吸收，在RepTile边界外边的光线就会离开块实体。

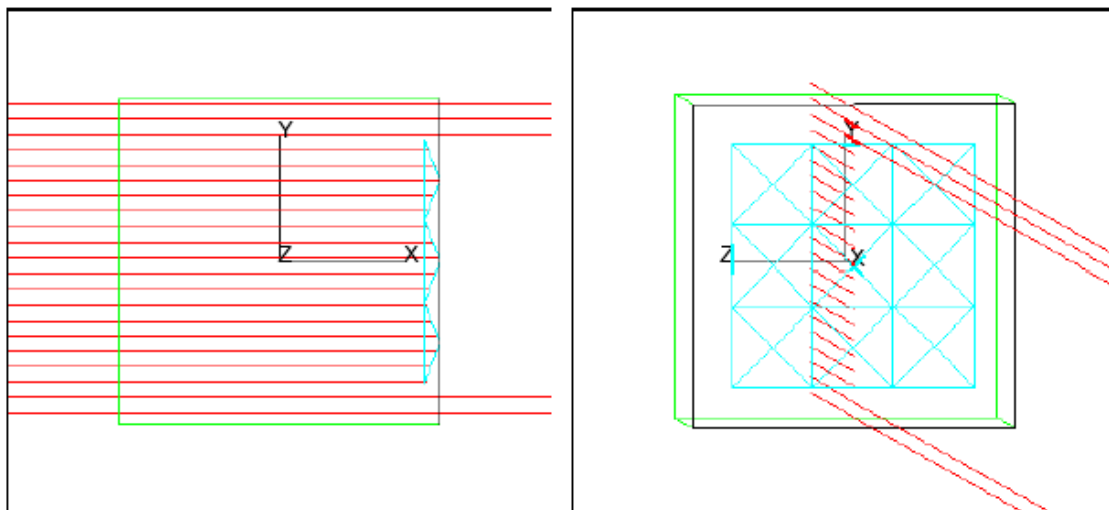


FIGURE 2.23 - Block with Prism RepTile surface displayed

#### 显示重点采样 Display Importance

TracePro提供一个选择来显示视图窗口中的重点采样目标，包括尺寸、方向和表面位置。通过View|Importance Targets菜单选项即可实现。“Importance Sampling”相关章节在7.2页中可看到。图2.24展示了一个有单个Importance target的镜头，Importance Target在图中显示为IT。

光线的一部分在镜头焦点聚合，另外一部分在Importance target所在处聚合，为重点散射光线；其余的是随机光线。

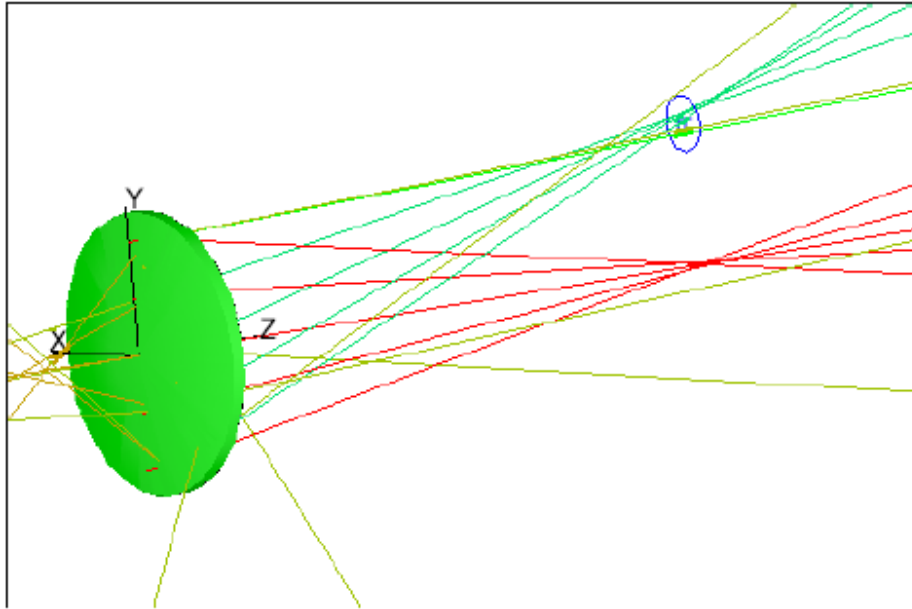


FIGURE 2.24 - Lens showing rays and importance target.

### 颜色 Colors

除了材料和表面属性，物件或其每个表面的颜色都是可以更改的。默认情况下，实体(包括物件和表面)显示为绿色，当被选中时表现为黑色。要更改这些颜色，选择实体并通过Define|Apply Properties打开对话框。选择颜色选项卡并从色板或通过指定RGB值来选择新的颜色，按下应用将会改变实体颜色并重新显示实体。如果选择超过一个实体，所有选择的实体都被更改为新的颜色。当然，也可以把实体变为白色，但不推荐这么做。因为背景色为白色，这么做使实体变得不可见。颜色属性会随模型保存在SAT或OML文件中。关于更多关于“颜色”的内容请看第4.19页的“颜色”部分。

### 定制和参数选择 Customize and Preferences

通过View|Preferences和View|Customize菜单可以定做TracePro的打操作和默认设置，打开任何这两个中的一个菜单项，都会打开一个对话框用来改变设置。关于在对话框中保存默认值的内容也可参考第1.6页“User Default”部分。

### 参数选择 Preferences

要设置参数，选择View|Preferences并选择恰当的选项卡。

### 模型单位 Model Units

TracePro会让你选择在几何模型中偏好用的线性单位。可用的有毫米(millimeters)、厘米(centimeter)、米(meters)和英寸(inchs)。选择View|Preferences并选中对话框中的模型单位选项卡，在下拉菜单中选择所要的单位并按下应用按钮，模型的尺寸就会更改为选择的单位。该选择只适用于当前模型，新打开的模型还是以毫米(millimeters)为单位，详细请看第2.1页的“模型单位”。

### 用正确单位导入模型 Getting a Model into the Proper Units

当从TracePro外部导入一个几何模型时，在进行光学分析前首先要验证该模型是以正确的线性单位导入的。大部分程序允许验证这些单位和数据在导入TracePro后会是正确的。如果不是如此，TracePro也可以很容易地进行调整，以方便进行分析。在TracePro中，这里有一些推荐的步骤：

1. 在导入模型后，决定你用哪种单位观看模型。当鼠标在视图窗口中时，TracePro窗口的状态栏上会显示这方面的信息。
2. 如果希望用其它单位，选择View|Preferences并在preferences对话框中选中Model Units选项卡，从下拉菜单中选中相应的单位并按下Apply按钮(验证用该单位观看模型的情况)。
3. 现在看看数字的数量级。对不对？大了还是小。要使整个模型(如所有物件)能清晰看到，这时需要选择一个合理的比例系数。
4. 提示：大部分计算应用程序都是用毫米、厘米、米或英寸来作为几何图形的单位的，所以一般选择比例系数为10,100,1000, 2.54, 25.4或其倒数，因为这些系数是它们之间的倍数。
5. 在模型中选择所有物件(作法参考第1.7页的“选择物件、表面和边”这一节)，然后选择Edit|Object|Scale菜单项，在Scale Selection对话框中输入合适的缩放系数并按下Apply按钮。
6. 验证并保存文件，然后就可以进行分析了。

### 缩放 Zoom

Zoom选项卡可以让您控制缩放功能。通过Zoom in by:和Zoom out by:来控制View|Zoom In和View|Zoom Out以及Zoom In和Zoom Out按钮的缩放系数。Wheel Zoom系数是用来控制滚轮的缩放功能的。勾选Single use zoom window复选框，会使得在完成一个缩放功能后会释放该功能，即相应的缩放按钮不是下压状态了。要再进行一次缩放，必须要重新选择。

### 视图选项 View Options

有三个复选框用来控制在分析过程中显示是如何更新的。

Prompt before entering Simulation Raytrace复选框默认是勾选的，如果去掉，则在运行设计宏(Scheme macro)时没有用户交互窗口。

Update analysis after selection change复选框控制辉度图/照度图(Irradiance/ illuminance map)是如何显示的，默认下这种复选框是勾选的，当一个新的表面被选中时，辉度/照度图会自动地更新。当勾选复选框时，辉度/照度图就会是静态的，如果要更新，可以按F5或选择Window|Refresh。

当Update analysis after selection change选中时，其下面的Display AutoUpdate reminder如果也被选中，当辉度/照度图过时，就会在窗口顶部显示提示语句。

### 光线颜色 Ray Colors

对于多色光线追迹，可以选择display rays from red to blue(long wavelength to short wavelength)或由visual color of wavelength (IR and UV are displayed in black)。如果照明需要一个位图或在输出设备上不能清晰显示颜色时，也可以选择光线是黑色的。

注意：对于单色光线追迹，光线的颜色由Analysis|Ray Colors对话框中控制，详细参考第6.1页“光线颜色”一节。

### 光线显示 Ray Display

Set default for menu: Analysis|Display Rays设置Analysis|Display Rays菜单项的默认值。在大量光线运行完后，显示光线要花几分钟的时间，这个可能取消运行后的光线显示。当前模型是否显示光线仍然在Analysis|Display Rays菜单项中控制。

The Display ray direction arrows控制是否在光线上显示箭头用以表示光线传播方向。这个选项是全局的，对所有激活窗口都起作用。勾选复选框激活该功能，如下图所示。

当选中Enable ray drawing time out，模型窗口仅显示在标定时间范围之内运算完的光线，

一个可选的提示对话框会显示其它的光线将不会被显示，提示对话框可以通过 Prompt when ray drawing times out 复选框选定，如图 2.25，注意在 View|Preferences 对话框中的 Ray draing time limit 改变后，模型窗口中的光线并不会自动重画。为了使 TracePro 从指定时间开始占用程序，必须在更新 Analysis|Ray Sorting 或才更改模型窗口大小，以激发模型窗口中的光线重画。

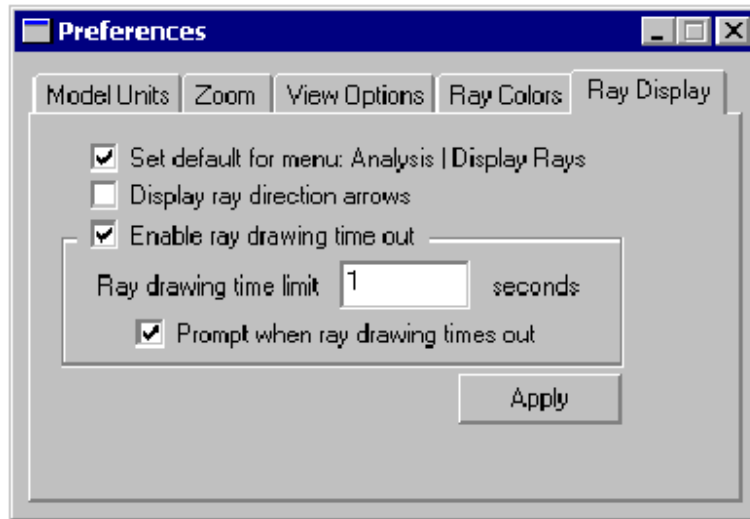


FIGURE 2.25 - Preferences dialog window with the Ray Display tab chosen.

#### 定制 Customize

TracePro 启动时的行为可以通过 Customize TracePro 对话框进行控制，选择 View|Customize 就可打开。

#### 属性数据库 Properties Database

在这里设置属性数据库文件的位置。可以通过直接输入路径和文件名或者通过浏览窗口选择数据库文件。属性一般存在 TracePro.mdb 文件里，一般在安装程序的路径下。可以拷贝默认数据库文件和建立各种属性数据库文件。

#### 数据路径 Data Directory

当打开 TracePro 时，Windows 根据应用属性对话框来设置当前路径和文件夹。当完成 TracePro 安装后，会设置为 TracePro 的安装路径，TracePro.exe 文件也在这里。当选择 File|Open 想打开一个 TracePro 模型时，该路径就会显示出来。可以通过改变应用程序的属性——一般不容易做到——或者在 Data Directory 中改变路径来选择一个不同的路径。如果该处是空的，TracePro 会用默认路径作为数据路径。

#### 系统树设置 Placement of System Tree

这一项可以设置系统树分窗口的位置，它可以在右边也可以在左边。

#### 初始配置 Starting Configuration

打开 TracePro 后的模型窗口可以设置为下面四个中任何一个：

- 打开一个空的模型窗口 Open empty model window
- 打开最近一个编辑过的模型 Open most recently edited model
- 提示是否打开最近编辑的模型 Prompt to open most recently edited model
- 不打开任何窗口 Don't open any model window

#### 打开模型后的物件显示 On opening models

当打开模型时，可以设置TracePro显示所有物件，也可以仅显示设置为可见的物件。  
When opening models, you can set TracePro to display all objects, or display only objects that are set as visible (i.e. not hidden)

#### 打开模型后光线的显示 **On drawing rays (Disabled for Release 3.0)**

Draw off-screen(Fast)选项)适合于大部分TracePro用户。Draw direct to window(VAIO)选项可以用在某些SONY VAIO笔记本上用来正确显示光线。

#### 图形显示驱动 **Graphics Display Driver**

该选项用来控制TracePro模型窗口的画图系统。默认值是OpenGL，如果模型窗口不能正确工作，可以设置为Window internal graphics(GDI)，它可能会显示更慢，如果要改变需要在Windows操作面板里调整刷新频率。

#### 背景色 **Background colors**

这些设置模型窗口、系统树和对话框内求值器的背景色。点击颜色框打开色彩面板就可以进行选择。详细请看第1.10页的“表达式求值器”。

#### 物件/表面颜色 **Object/Surface colors**

这些项目用来改变TracePro中物件创建时的颜色和物件或表面被选中时的颜色。点击颜色框打开色彩面板就可以更改选择。

## 第3章 定义属性

### 概述

本章论述如何定义属性，这些自定义的属性可用于你自己的模型中。一般而言，在你能够“应用”属性之前，你需要先“定义”它。然而为了正确地定义属性，你要得到希望定义的属性的测量数据。例如，如果你有一种特殊涂料想用在你的模型表面，在定义涂料的TracePro属性前，你必须先测量其属性。**如果你仅仅使用TracePro数据库里预定义的属性，你只需阅读本章的前几节，然后跳到第4章“应用属性”。**

当需要自定义属性时，你可以回来阅读本章。本章其余部分假定你已经阅读了第4章的“应用属性”。属性的定义使用属性编辑器，例如选择菜单Define | Edit Property Data | Material Properties 可以打开新窗口进行材料属性的创建和编辑，所有的属性编辑器都是这样调用的。

### 增强的属性编辑器

TracePro3.0 引入了新风格的属性编辑器。材料和表面属性编辑器使用了新框架，而其它编辑器将在随后的发行版本中转换成新框架。

材料和表面属性编辑器被重新修改过而得到充分地增强。现在的列表数据显示了所有的温度（Temperature），波长（Wavelength）和角度（Angle）。行数据可以被删除和排序，行、列数据也可以暂时收缩为隐藏信息而节省空间。如图3.1所示，材料属性编辑器的左边是命令面板，上边是信息面板，下边是格点面板。提供的工具按钮用于隐藏编辑器的窗格以展开感兴趣的窗格。对于材料属性，其数据窗格被分成可列表输入的Table形式和输入插值系数的Formula形式。含lock/unlock图标的工具条用于锁定编辑和解锁。

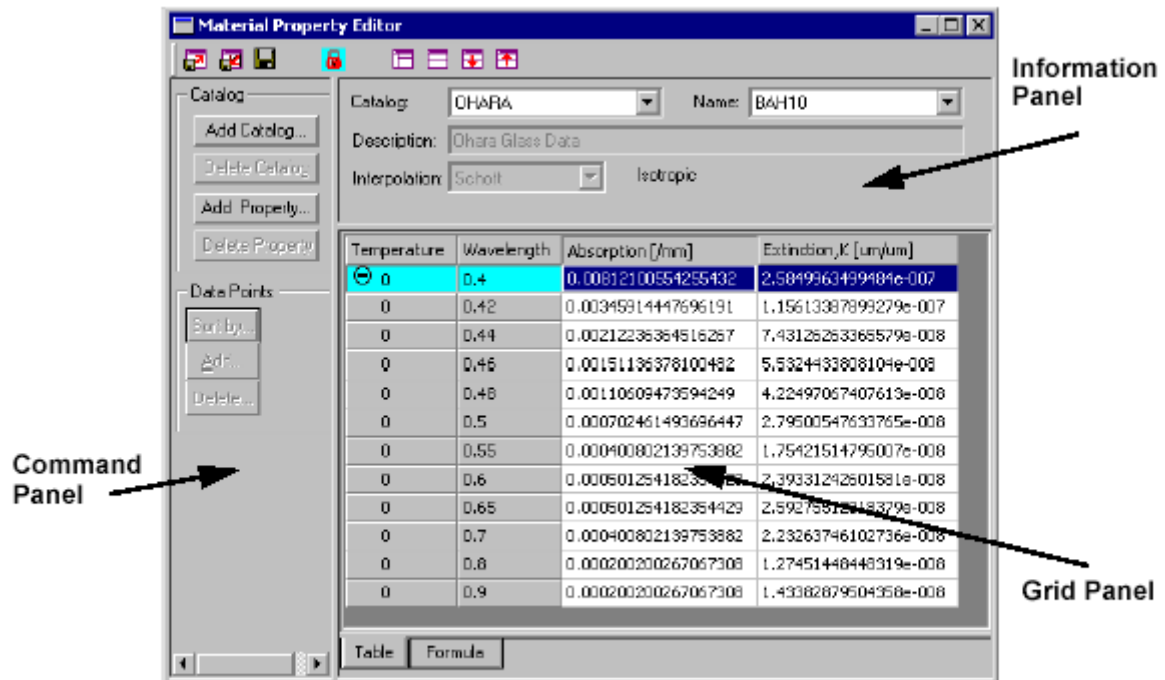


FIGURE 3.1 - Material Property Editor



图3.2所示的表面属性编辑器具有可收缩的属性列和可弹出菜单显示的数据内容。除了一些基本的变化外，表面属性编辑器上单独的数据行可以使用弹出菜单上的Solve For函数。

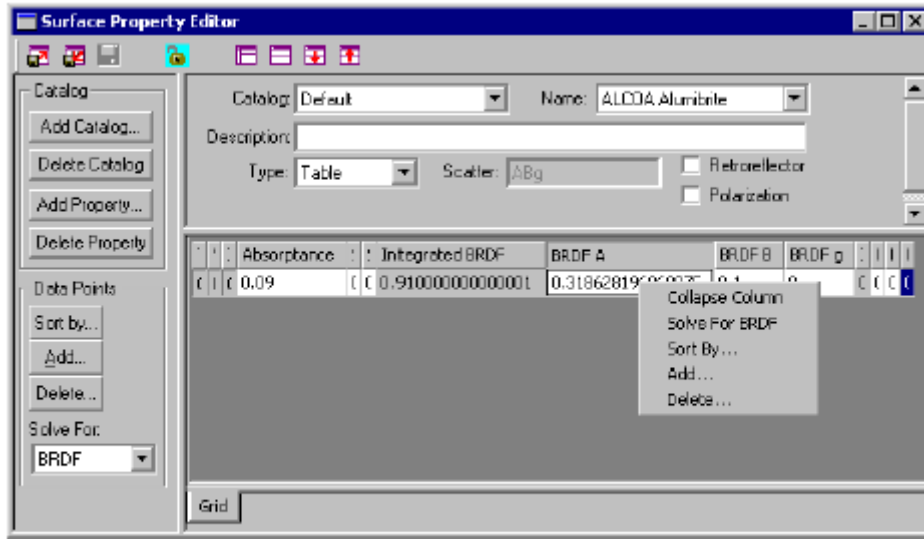



FIGURE 3.2 - Surface Property Editor with a cell popup menu

### 工具栏与菜单

每个工具栏图标有相应的菜单项。

表 3.1. 编辑菜单与工具栏命令

菜单	工具栏图标	描述
File   Import Property		从ASCII文件导入属性数据
File   Export Property		导出属性数据到ASCII文件
File   Save		保存当前属性数据
Edit   Lock Property		图标表示属性处于编辑模式，选择相应菜单项或按下图标将使属性处于锁定模式，属性编辑被禁止
Edit   Unlock Property		图标表示属性处于锁定模式，选择相应菜单项或按下图标将使属性处于编辑模式，属性编辑被允许
View   All Panels		显示编辑器上的3个面板或窗口
View   Info & Grid		隐藏命令面板，使信息面板和格点窗宽度最大化
View   Info Only		使信息窗口最大化
View   Grid Only		使格点窗口最大化
(on menu)		当数据行被收缩时显示此图标，点击图标可以恢复数据行

(on menu)		当数据行展开时显示此图标，点击图标可以隐藏随后的数据行
-----------	---	-----------------------------

## 命令面板

命令面板提供按钮对种类、属性和数据进行操作。它位于属性编辑器左边的分隔窗口，可以拖动分隔条设置其宽度，一些选项依赖于显示的属性类别的变化而改变。

表 3.2. 命令面板按钮

<b>Add Catalog</b>	该按钮显示一个对话框询问新类别的名称，新类别将是空的并成为编辑器的当前类别
<b>Delete Catalog</b>	该按钮将从TracePro数据库文件中删除当前的类别，一旦类别被删除，将不能恢复。见第2.43页“属性数据库”
<b>Add Property</b>	该按钮显示一个对话框询问属性名称和其它初始属性数据，该属性将被添加到目前的分类。
<b>Delete Property</b>	该按钮从目前的分类中删除当前属性，删除前显示警告对话框，一旦属性被删除，将不能恢复
<b>Sort by...</b>	该按钮显示排序对话框，依赖于两个及以上变量的属性可以对选定的变量进行排序。材料属性的列表数据可先基于温度后基于波长进行排序，也可以先基于波长后基于温度进行排序
<b>Add...</b>	该按钮显示添加数据对话框，对话框中输入的一行或几行数据将被添加到属性
<b>Delete...</b>	该按钮显示删除数据对话框，你可以选择一个或更多的属性数据删除，选中的数据将高亮度显示，数据一旦删除将不能恢复
<b>Solve For:</b>	表面属性有一个选项to solve the data by one data items. Solve For 列项仅在表面属性编辑器中可见，但在整个数据集中生效，To solve for 单独的一行，可以选择the value to solve并使用弹出菜单，可参考第3.2页图3.2的例子

## 信息面板

信息面板位于属性编辑器的右上角。该面板显示属性的种类、名称、描述及其它属性数据，其中一些项目是只读的而另一些可以被修改。

## 格点面板

格点面板或称数据面板，位于属性编辑器的右下区域。该面板显示列表数据和系数，有些情况下数据被分成两个或更多的分隔列表窗（如第3.2页的图3.1所示）。对于大多数的数据单元格点面板包含了提供内容帮助菜单的扩展页列表。行数据也可用不同的方式进行排序，以方便编辑。

## 材料属性 LC Standard Expert

TracePro中一个物体的材料属性指明了该物体的折射率和体吸收。为使用材料性质，可选择Define | Apply Properties 对话框，然后选择“Material” Tab，参见第4.4页“材料属性”

注：材料属性编辑器使用新的编辑框架，参见第3.1页“增强的属性编辑器”。

## 材料类别

可以直接从TracePro中获得一些用户和厂商的材料类别数据，你也可以添加自己的种类和材料。

## 材料属性数据库

该数据库包含了预定义的材料种类和材料，你可以从中进行选择，或者使用材料属性编辑器修改和添加用户定义的材料。

你可以通过选择Define | Edit Property Data | Material Properties 打开新窗口，对属性数据库中的材料进行添加或修改，该窗口不仅仅是一个具有许多其它特征的对话框。


材料属性编辑器可以对特定材料的名称、插值（interpolation）类型、说明、温度和波长，TracePro支持的某些材料数据是只读的，不允许编辑。

当采用插值（interpolation）公式进行插值或波长、折射率值为列表数据表示时，一个扩展页窗口将显示折射率或吸收系数。可以用单位为 $1/mm$ 的 $\alpha$ 或无量纲数 $k$ 输入吸收系数，参见第3.8页的公式3.3

选择一个种类后输入或从列表中选择材料名称，TracePro将在编辑器中显示该材料的数据。你可以通过编辑器窗口的命令面板上的Add按钮添加新的材料与种类。

注：属性编辑器与TracePro的大多数特征不符，因为每个编辑器是一个窗口而不是对话框，在编辑器窗口中，菜单栏显示的是一组不同的选项。在编辑器中你可以通过选择窗口菜单的model菜单项返回到模型窗口。

表3.3 材料属性信息面板中使用的字段

<b>Catalog</b>	选择材料属性的种类
<b>Name</b>	材料属性名称的选择框，可以使用下拉式列表选择名称，也可以直接在文本框中输入名称。如果在数据库中发现该名称，其数据将被显示。
<b>Description</b>	对材料属性的注解
<b>Interpolation</b>	选择插值方法。有效的插值方法有：Schott, Sellmeier, 扩展 Schott, Table 及其它，参见第7.7页的“材料属性插值”
<b>Type</b> 	类型显示在Interpolation 之后，类型要么是 Isotropic 要么是 Uniaxial. Isotropic类型的属性具有单一的折射率而Uniaxial类型的属性是双折射型的。

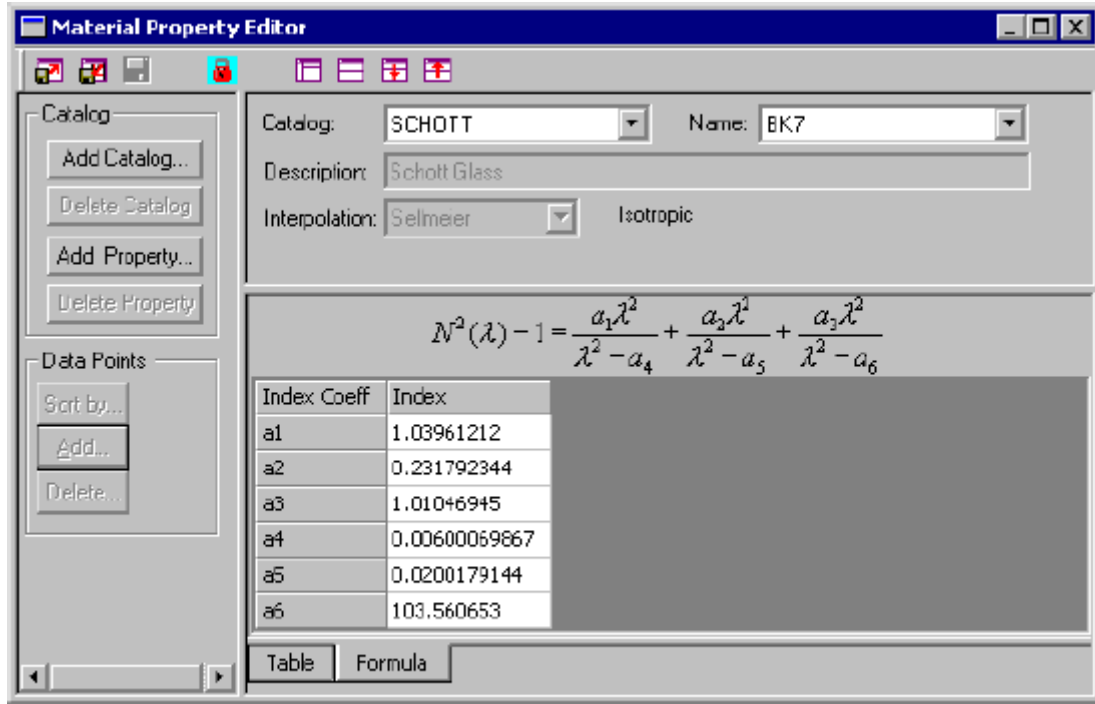


FIGURE 3.3 - The Material Property Editor

### 创建新的材料属性

1. 选择 Define | Edit Property Data | Material Properties 打开材料属性编辑器
2. 使用下拉式种类列表选择一个将要添加新材料属性的种类，添加材料到一个已存在的种类或者使用“Add Catalog”按钮创建你自己的种类。
3. 点击“Add Property”按钮，输入新属性的名称并点击“OK”
4. 选择Interpolation类型并输入方程数值。有关该主题的更多信息可以参见第7.7页“材料属性插值”
5. 使用“Add”按钮添加吸收数据或者列表格式的多波长对应折射率数据，该数据是扩展页格式的。
6. 你可以选择一个数据单元或字段并输入数字对定义属性的数据进行编辑，然而，一定要保证工具栏的“Unlock”图标被显示。
7. 选择“File | Save”或关闭材料属性编辑器并对“property data has changed, save data?”的询问回答yes，保存在数据库中的新属性将在以后使用中生效，下次你就可以获取你的属性。

### 编辑存在的材料属性

1. 选择 Define | Edit Property Data | Material Properties 打开材料属性编辑器
2. 从下拉式种类列表选择一个种类
3. 从下拉式名称种类列表中选择你的属性名称
4. 按下工具栏上的Lock图标进行编辑。你不能改变只读的属性，厂商预定义的属性不能被编辑，除非你将它们输出为文本格式，将它们的状态改变为用户定义，并再次输入到TracePro中，参见“材料输入/输出格式帮助”主题的最新信息。
5. 通过选择数据单元或字段，并输入数据对定义属性的数值进行编辑。
6. 选择“File | Save”或关闭材料属性编辑器并对“property data has changed, save data?”

的询问回答yes，现在属性在数据库中生效。

### 输出一个材料属性

1. 选择 Define | Edit Property Data | Material Properties 打开材料属性编辑器
2. 下拉式种类列表选择一个种类
3. 从下拉式名称种类列表中选择你的属性名称
4. 使用 File | Export Property命令创建一个包含所选属性信息的文本文件，更多信息可参见“材料输入/输出格式帮助”主题。输出的文件是一个表格分隔的文本文件，可以被扩展页程序（spreadsheet program）打开。

### 输入一个材料属性

1. 选择 Define | Edit Property Data | Material Properties 打开材料属性编辑器
2. 使用 File | Import Property命令输入一个包含材料属性信息的格式正确的文本文件，你将被询问该文本文件的路径和名称，输入后属性将被保存。

### 体吸收

有10个插值公式可用描述材料属性的数据，当使用材料属性编辑器时，你必须选择插值类型，本手册最后的技术参考部分列出了这些插值公式。吸收系数的单位是 $1/mm$ 。光线进入到非零吸收系数的材料中将根据Lambert吸收定律衰减：

$$\Phi_T = \Phi_0 e^{-\alpha t}, \quad (3.1)$$

这里， $\Phi_T$ 和 $\Phi_0$ 是透射光和入射光的光通量， $\alpha$ 是吸收系数， $t$ 是光线通过材料的厚度。那么，被材料吸收的光通量是：

$$\Phi_A = \Phi_0(1 - e^{-\alpha t}), \quad (3.2)$$

注：对于用表插值类型定义的材料，当输入其体吸收系数时，记得体吸收系数的单位是毫米的倒数。表3.4说明了1mm和2mm厚的两个样品的Lambert定律的使用。

TABLE 3.4. Bulk Absorption in Inverse Millimeters

Absorption Coefficient	Transmission through 1 mm	Transmission through 2 mm
0.0001	0.9999	0.9998
0.001	0.999	0.998002
0.01	0.99005	0.980199
0.1	0.904837	0.818731
1	0.367879	0.135335

注：吸收系数以数据 $\alpha$ 存放在数据库， $\alpha$ 的单位是毫米的倒数。如果在编辑器中设置了选项“Bulk in K”，你也可以用折射率虚部 $k$ 来表示体吸收， $k$ 与 $\alpha$ 通过下式相关联：

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}. \quad (3.3)$$

当进行 $k$ 与 $\alpha$ 的相互转换时，特别注意波长 $\lambda$ 的单位是毫米。

## 双折射 Expert

自TracePro 3.0版本开始支持双折射材料性质。当光线穿过双折射材料，光线将被分成寻常光和非常光两部分。双折射性质可以标定为Uniaxial，需要另外的信息以定义两组折射率和吸收系数数据，一组为寻常光线的，另一组为非常光线的。

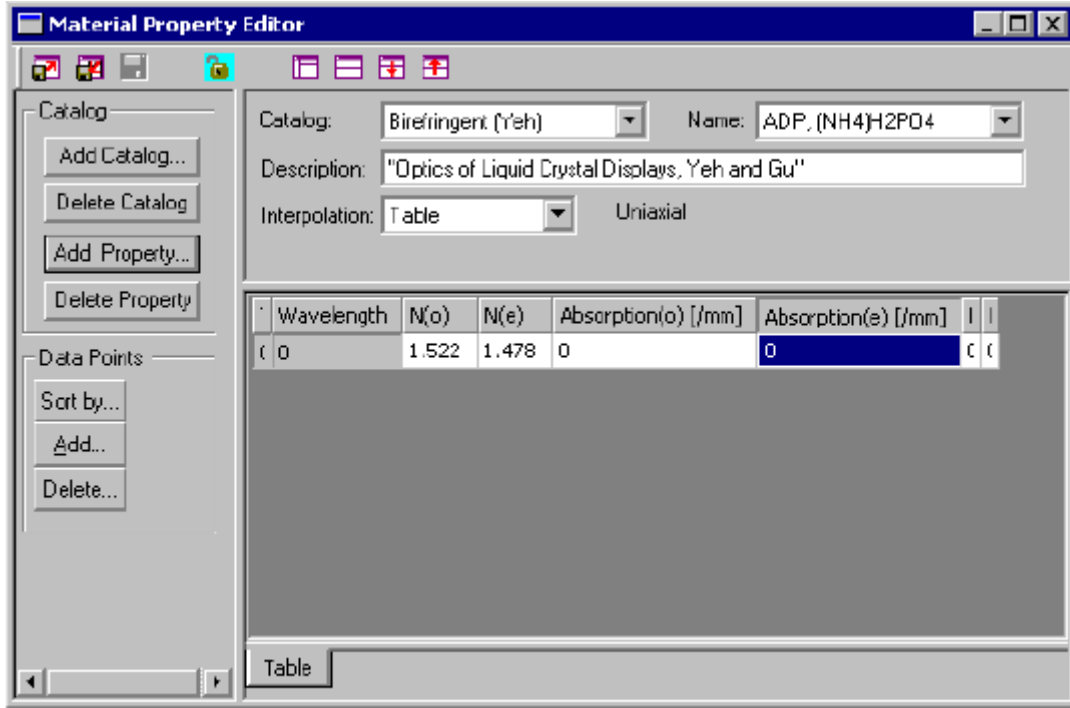


FIGURE 3.4 - Material Editor for a Birefringent Property

有关双折射的信息可参见：

- M. Born and E. Wolf, “Principles of Optics”, Pergamon Press, sixth edition, Chapter 14 (1980), ISBN: 008026481
- P. Yeh and C. Gu, “Optics of Liquid Crystal Displays”, John Wiley & Sons, Chapter 3 (1999), ISBN: 047118201X
- E. Collett, “Polarized Light”, Marcel Dekker, Inc., Chapter 23 (1993), ISBN: 0824787293

## 体散射 Standard Expert

体散射属性编辑器用于：

- 编辑体散射属性数据库中被排序的属性
- 创建体散射体数据库的新增属性

TracePro中使用的散射分布函数（SDF）依据Jacques和Wang的一篇描述生物组织中的散射的论文，采用的是Henyey-Greenstein模型，见方程3.4

$$SDF = p(\theta) = \frac{1 - g^2}{4\pi(1 + g^2 - 2g\cos\theta)^{3/2}} \quad (3.4)$$

其中， $g$ 称为各向异性因子， $g$ 可取值-1到+1，当 $g$ 为正，光线大部分向前散射；当 $g$ 为负，光线大部分向后散射；当 $g$ 为零，散射是各向同性的，即各个方向的散射是相同的，参见第7.27页“体散射”

当一束光进入散射媒质，它传播一段任意距离 $x$ 决定于概率分布：

$$P(x) = e^{-\mu_s x} dx \quad (3.5)$$

其中， $\mu_s$ 称散射系数。散射系数的倒数是光线在材料中的平均自由程，当一束光进入一块厚度小于光线平均自由程的材料时，光线会无散射地通过，相反地，如果材料厚度大于平均自由程，光线一定会被材料散射。当材料同时具有较大的散射系数和较大的吸收系数，那么通过材料后的透射光线将十分微弱。

另一SDF称为Gegenbauer模型，Henyey Greenstein模型是Gegenbauer模型取 $\alpha$ 为1/2时的一个特例：

$$SDF = p(\theta) = \frac{K}{(1 + g^2 - 2g \cos \theta)^{\alpha+1}} \quad (3.6)$$

$$K = \alpha g \frac{(1-g^2)^{2\alpha}}{\pi[(1+g^{2\alpha}) - (1-g^{2\alpha})]} \quad (3.7)$$

TracePro专家为用户提供定义散射的第三个选择是DLL散射，参见第7.29页的“使用散射体DLL”。

1. S. L. Jacques and L.-H. Wang, "Monte Carlo modeling of light transport in tissues," in *Optical Thermal Response of Laser Irradiated Tissue*, edited by A. J. Welch and M. J. C. van Gemert (Plenum Press, New York, 1995), pp. 73-100.
2. A. N. Yaroslavsky, I. V. Yaroslavsky, T. Goldbach, and H.-J. Schwarzaier, "Influence of the scattering phase function approximation on the optical properties of blood determined from the integrating sphere measurements", *Journal of Biomedical Optics* 4(1), 47-53 (January 1999)

## 体散射体属性编辑器

体散射体属性编辑器可定义和修改保存在TracePro属性数据库中的散射profiles.选择 Define | Edit Properties | Bulk Scatter Properties 打开编辑器窗口。

表3.5 体散射编辑器使用的字段

<b>Name</b>	散射体属性名称下拉框，选择下拉式列表中的名称或者输入名称到文本框，如果在数据库中发现该名称，则其数据将被显示
<b>Enable Edit</b>	选中Enable Edit复选框以改变数据。除非该复选框被标记选中，否则你不能添加或改变数据。
<b>Add Bulk Scatter</b>	选择Add Bulk Scatter按钮向数据库中添加新的散射体属性，该按钮显示一个对话框询问散射体属性的名称和初始波长，TracePro检查该名称是否已经存在于数据库中
<b>Insert Wavelength</b>	选择Insert Wavelength按钮向属性添加新的波长，该按钮显示一个对话框询问波长
<b>Description</b>	Description包含属性描述文字
<b>Type</b>	Type显示所选择的散射体模型。散射体模型在添加新属性到数据库时被定义，可生效的三个模型是：

	Henyey-Greenstein Gegenbauer User DLL (仅用于TracePro专家模式)
<b>Anisotropy</b>	对选定的波长输入各向异性因子 $g$ ，这个量描述了光从+1（前向）到-1（后向）的不均匀传播。
<b>Scatter Coefficient</b>	对选定的波长输入散射系数 $\mu_s$ ，单位1/mm
<b>Alpha</b>	在Gegenbauer散射体模型中显示
<b>Coeff 0-5</b> <span style="background-color: #4F81BD; color: white; padding: 2px;">Expert</span>	当使用DLL散射体模型时，这些栏目将替代数据栏，输入的数据会传给DLL并且作为变量改变DLL的计算结果，以这种方式，用户可以在外部对DLL进行编程和修改

=====3.12=====

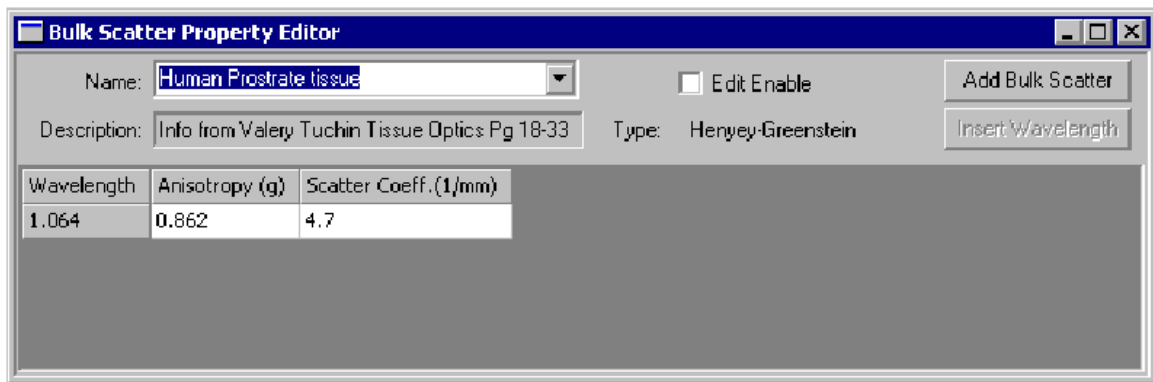


FIGURE 3.5 - The Bulk Scatter Property Editor

## 输入/输出

输入/输出格式在联机帮助中有文档说明。当编辑器打开时，File菜单显示输入属性和输出属性菜单。

## 散射体DLL Expert

TracePro专家提供了通过动态链接库（DLLs）定义体散射体的相位函数的功能。在光线追踪（raytrace）时TracePro中的数据被传递到DLL。DLL计算后的结果被传递回TracePro用于对光线进行散射。体散射体编辑器被用于选择所要的DLL，并添加用户参数数据以控制DLL中的计算，TracePor的随机数函数在DLL初始化过程可以得到，参见第7.29页“用户定义的体散射体”

## 渐变折射率属性 Standard Expert

渐变折射率属性描述了折射率不是常数的材料，例如折射率由边缘到中心变化的透镜玻璃，或折射光从边缘到中心有区别的光学光纤。

渐变折射率沿某个参变量而改变折射率。渐变折射率属性按名称在数据库中标识和存储，渐变折射率属性编辑器允许你对渐变折射率属性进行编辑或创建新的渐变折射率属性，参见第7.9页“渐变折射率外形多项式”

**注：**必须特别对待GRADIUM，这是渐变折射率属性编辑器的类型下拉框中的一个类型，GRADIUM是一家独特的数据处理公司的商标。不同于别的类型，GRADIUM型的渐变折射



率包含了材料属性的数据，并不需要与一个材料属性相联系，在这种情况下，不要将一个材料属性应用于Gradium类型的任何东西。

对于所有其它折射率渐变的属性，你必须应用一个材料属性以支持基本的折射率，例如，一个Axial-Radial外形可以定义数据如图3.6所示：

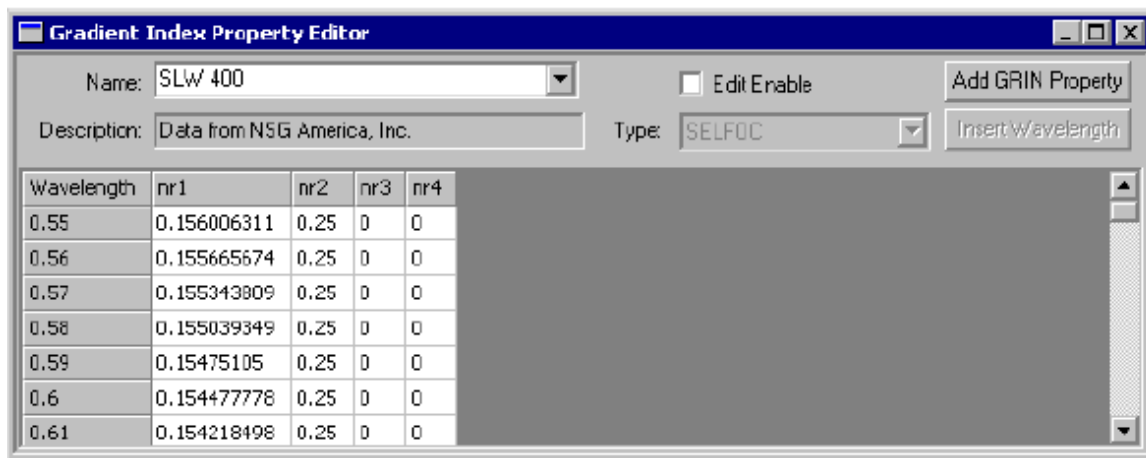


FIGURE 3.6 - The Gradient Index Property Editor

### 渐变折射率属性编辑器

在TracePro中，一个材料的渐变折射率（GRIN）属性被一个名称标识并存储于一个数据库。

渐变折射率属性编辑器可以让你编辑所有存在于GRIN属性数据库中的GRIN属性，或者创建新的GRIN属性。

选择 Define | Edit Property，然后选择 Gradient Index Properties 可以打开GRIN编辑器。编辑器打开的是一个窗口而不是一个对话框，你可以选择Window菜单中的模型项目返回到模型窗口。

**注：**处于编辑器窗口时，菜单栏显示一组不同的选项。在渐变折射率属性编辑器窗口中，你可以通过选择Window菜单的模型项目返回到模型窗口。

表3.6 渐变折射率属性编辑器中的字段

<b>Name</b>	从 Define   Edit Property Data   Gradient Index Property 中通过选择名称下拉列表或在下拉文本框中输入名称可以选择一个渐变折射率属性，如果该名称存在于数据库，则其数据将被显示。
<b>Edit Enable</b>	你必须选中Edit Enable复选框，才能对数据进行改变或编辑，除非该复选框被标记选中，否则你不能添加或改变数据。
<b>Description</b>	Description包含描述渐变折射率属性的其它信息
<b>Type</b>	Type下拉列表允许你指明或改变包含在属性中的渐变折射率数据的类型。添加一个属性并选中Edit Enable可以激活Type框和下拉列表，参见第7.9页“渐变折射率外形多项式”
<b>Add GRIN Property</b>	Add GRIN Property按钮可向数据库中添加新属性，一个模态对话框提示输入属性名称、属性类别和初始波长，数据库搜索一个属性以匹配所要求的名称
<b>Insert Wavelength</b>	Insert Wavelength按钮用于给属性添加新波长

### 创建一个新的渐变折射率属性

1. 选择 Define | Edit property Data | Gradient Index Properties 打开渐变折射率属性编辑器窗口
2. 选择Add GRIN Property
3. 输入新属性名称，输入或从下拉框中选择类型，输入一个初始波长值
4. 在扩展页中通过选择一个数值并输入改变后的值可以对系数进行编辑
5. 从File菜单中选择Save, 或关闭渐变折射率属性编辑器并对询问“property has changed, save data” 回到yes
6. 检查新属性是否存在于渐变折射率属性数据库并在以后的使用中有效。

### 编辑一个现存的渐变折射率属性

1. 选择 Define | Edit property Data | Gradient Index Properties 打开渐变折射率属性编辑器窗口
2. 选择Edit Enable。如果不选中Edit Enable, 你不能对数据进行改变, TracePro支持的属性是只读的, 不能被编辑
3. 从下拉列表中选中一个渐变折射率属性, 选中一个值并进行想要的改变
4. 从File菜单中选择Save, 或关闭渐变折射率属性编辑器并对询问“property has changed, save data” 回到yes
5. 检查被编辑的属性。现在, 在渐变折射率属性数据库中更新后的属性在以后使用中有效。

### 输出一个渐变折射率属性

1. 选择 Define | Edit property Data | Gradient Index Properties 打开渐变折射率属性编辑器窗口
2. 从下拉列表中选择一个渐变折射率属性
3. 选择 File | Export Property 以创建一个定义所选渐变折射率属性信息的文本文件, 对话框将提示输入该文件的名称和路径, 你可以在“渐变折射率输入输出格式” 章节找到更多关于TracePro使用的文件格式的信息。

### 输入一个渐变折射率属性

1. 选择 Define | Edit property Data | Gradient Index Properties 打开渐变折射率属性编辑器窗口
2. 选择 File | Import Property 以输入一个定义渐变折射率属性的格式正确的文本文件。对话框将提示你输入该文件的名称和路径。

## 表面属性

表面属性定义一个表面的吸收、BRDF、BTDF、镜面反射和透射。在TracePro中, 表面属性以名称标识并存储于数据库。

关于表面属性的要素如BRDF、BTDF的更详细描述可参见第7.12页“BSDF”

**注:** 表面属性编辑器使用了新的编辑器框架, 参见第3.1页的“增强的属性编辑器”。

### 使用表面属性数据库

提供预定义表面属性的数据库作为TracePro的资源存在，你可以使用表面属性编辑器添加自己的表面属性，编辑器是一个单独的窗口，当处于表面属性编辑窗口时，你可以通过选择Window菜单中的模型菜单项返回模型窗口。

选择 Define | Edit Property Data | Surface Properties 对表面属性数据库中的记录进行编辑。

- 表面属性编辑器允许你修改已存属性的数据类型、说明和数据实体
- 编辑器是一个扩展页风格的窗口，显示的每一排数据对应于每个入射角、波长和温度
- 可以输入多个波长、温度和入射角所对应的数据。在对列表数据进行光线追踪的过程中，TracePro在波长、温度和入射角间进行线性插值。
- 表面属性的名称和种类被应用于模型数据，并且为TracePro属性数据库查询时提供参考
- 可以使用几种类型的数据输入表面属性，参见第3.17页表3.7 “Surface Property Types”
- 可以为表面输入基于三种散射模型的散射或BSDF数据。透射散射（BTDF）和反射散射（BRDF）以表面属性的每个波长和角度的数据表格形式输入，参见第7.12页“BSDF”。

表3.7 表面属性类型

<b>Fresnel</b>	Fresnel类型假设表面没有包层覆盖，TracePro在表面的两面均应用了物体的材料属性以计算Fresnel反射和透射，可能涉及散射体数据
<b>Table</b>	Table类型以变化的入射角、波长和温度的表格形式存储数据，输入反射系数和透射系数可带也可不带偏振项(polarization terms)。可能涉及散射体项，数据可以用Solve For函数。典型的表格数据来自测量值
<b>Stack</b> Standard Expert	Stack类型使用一层薄膜和物体在表面两面的材料属性进行反射数据，偏振效应包含在Stack计算中，散射体数据可以用格点面板中的表单格式进行添加，参见第3.12页“薄膜层”。
<b>Grating</b> Standard Expert	Grating类型类似于Table类型，除了镜面反射和透射出射点（transmission entries）的计算是根据在编辑器格点面板中输入的反射和透射光栅系数，参见第3.21页“薄膜层”
<b>Anisotropic</b> Expert	Anisotropic类型以表格形式输入，对于每一个入射角、波长和温度的情况，均包含一个或多个角度。散射体数据被涉及，且数据可以使用Solve For函数，参见第7.18页“各向异性表面属性”
<b>Coating DLL</b> Expert	该类型使用用户提供的DLL计算属性的反射要素。格点面板中涉及散射体数据，参见第7.21页“用户定义的表面属性”

### 使用表面属性编辑器

选择 Define | Edit properties | Surface Properties 打开编辑器窗口。

正如接下来几节中所介绍，表面属性编辑器有几种打开方式（entries）。值得注意的是：在一个表面属性名称下，你可以输入多波长和多入射角的属性。

表3.8 表面属性信息面板中使用的字段

<b>Catalog</b>	下拉列表中选择属性种类名称
<b>Name</b>	从Name下拉列表中选择名称或输入数据中没有的表面属性名称。表面属性的名称作为表面属性的引用服务于TracePro的各个部分。如果你输入

	的名称与数据库中一个涂层的名称匹配，则其数据将显示在表面属性编辑器的扩展页部分。当你添加一个新的表面属性，你首先会被提示该属性的名称，因为这是定义表面属性所需的最起码的数据信息。
<b>Description</b>	Description是可选项，它提供比名称更完整的信息去描述表面属性。
<b>Type</b>	从下拉列表中选中：Fresnel, Table, Stack, Grating, Anisotropic 或 Coating DLL。当你定义一个新属性时，Table类型作为默认的类型显示，而且“Solve For”被激活以等待选择一个计算的数值。参见第3.17页表3.7“表面属性类别”
<b>Scatter</b>	显示属性所用的散射体模型，通过选择Add Property对话框创建属性时，散射体模型被选定。
<b>Retroreflection</b>	选中此复选框可以使表面具有回射而不是透射的属性。当你定义一个新表面属性时，Retroreflection复选框默认是未选中，选中Retroreflection复选框可以创建表面为回射性质的表面属性。[注意：Retroreflector 在Grating类型中无效]。如果你选中Retroreflector复选框，Specular Transmittance和BTDF将变成Specular Retroreflectance和BRRDF（双向回射分布函数），那将允许你输入反射回射系数（specular Retroreflection coefficient）和依赖回射发现的散射，回射表面不允许存在透射。要知道BRRDF仅是表面属性总的BRDF的一份，表面实际的总BRDF等于TracePro BRDF 和BRRDF的总和。
<b>Polarization</b> Standard Expert	选中该复选框以形式偏振项，这将为属性的反射要素增加数据列：S和P偏振、位相。
<b>Stack</b> Standard Expert	Stack下拉列表提供可用的薄膜层定义以进行选择，该列表是为Stack类型的表面属性显示的。在Stack类型可用于表面属性之前，你需要先用Stack编辑器定义一个Stack，参见第3.21页“薄膜层”
<b>Spacing</b> Standard Expert	对于Grating类型的表面属性，一个间距检查框（Spacing entry）被显示以提供属性的格点间距。
<b>DLL Name</b> Expert	对于Coating DLL表面属性，一个DLL名称和浏览按钮被显示以提供使用涂层DLL的文件名称和路径，参见第7.21页“用户定义的表面属性”。

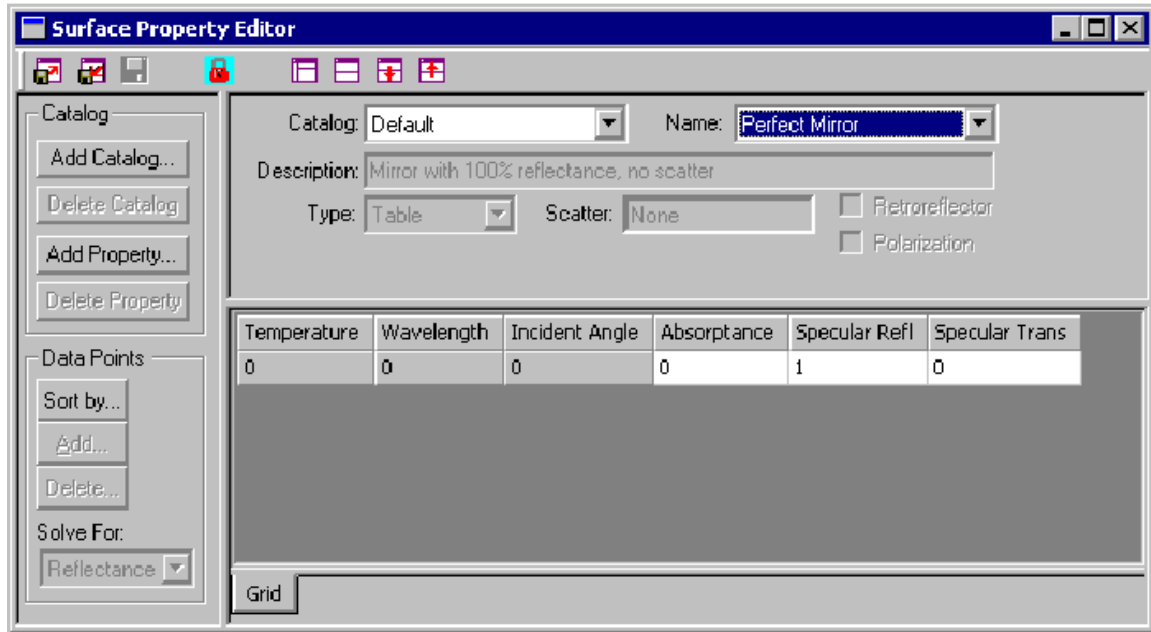


FIGURE 3.7 - The Surface Property Editor

### 使用Solve for

Solve for: 用编辑器扩展页上的数值找到在Solve for下拉列表中指定的数值，为了保证正确，该数值必须遵守能力守恒定律——吸收、镜面反射、镜面透射、integrated BRDF和integrated BTDF之和必须为1，TracePro不允许你保存不遵守守恒定律的属性。

Solve For仅仅适用于Table, Anisotropic和Grating类型的属性，如果类型字段被设置为“Table”，“Anisotropic”或“Grating”，则“Solve for”字段被激活。

在Table和Anisotropic类型中，选择Solve for得到以下量之一：

- Absorptance
- Specular reflectance
- Specular transmittance
- BRDF
- BTDF (或 BRRDF)

在Grating类型中，选择Solve for得到以下量之一：

- Absorptance
- BRDF
- BTDF

**注：**NONE也在Solve for下拉菜单中有效，如果选择NONE并输入无法进行计算的数值，你将关闭不了编辑器，它回一直提示信息。例如，如果吸收设为0.3而其它所有的数值为0，提示信息显示为：Sum does not equal 1.0 at Angle=0, Wavelength=0.5, please update or Solve. 即使关掉Solve特征，编辑器也会注意到总和数是否为1

举例来说，如果你打算为一面镜子构造一个新属性，你可能会从测量数据中知道BRDF，你也可能会从出版数据或实验测量数据中知道吸收，那么为了完成表面属性构造，你会做如下操作：

1. 根据你的测量值输BRDF A, B和g
2. 输入吸收系数 (Absorptance)

3. 从Solve下拉框中选择Reflectance  
一旦选择了Reflectance，镜面反射项目（specular reflectance entry）将被更新。

### 创建新的表面属性

1. 选择Define | Edit Property Data | Surface Properties打开表面属性编辑器窗口
2. 从种类下拉列表选择一个种类
3. 点击Add Property，输入新属性的名称和初始角度和初始波长
4. 通过选择或修改对其它数值进行编辑
5. 从表面属性编辑器窗口中选择File | Save，或者关闭窗口并对提示“property has changed, save data?”回答“yes”，你的新属性现在被保存在属性数据库并在以后的使用中生效。

### 编辑存在的表面属性

1. 选择Define | Edit Property Data | Surface Properties打开表面属性编辑器窗口
2. 从种类下拉列表选择一个种类
3. 从名称下拉列表中选择要编辑的属性名
4. 按下工具栏的Lock图标使处于编辑状态，你不能对只读属性进行修改，厂商预定义的属性也不能编辑，除非将其输出为文本格式，将它们的状态改为用户定义，并且重新输入文本文件到TracePro，参见Surface Import/Export Format帮助主题获取最新信息
5. 选择你想要修改的值，并输入新数据
6. 从表面属性编辑器窗口中选择File | Save，或者关闭窗口并对提示“property has changed, save data?”回答“yes”，你的新属性现在被保存在属性数据库并在以后的使用中生效。

### 输出表面属性

1. 选择Define | Edit Property Data | Surface Properties打开表面属性编辑器窗口
2. 从种类下拉列表选择一个种类
3. 从名称下拉列表中选择要编辑的属性名

使用 File | Export Property 命令创建一个包含所选表面属性信息的文本文件，对话框提示你输入所创建文件的名称和路径，你可以参考 TracePro 帮助文件中关于 Import/Export Format 的章节，获得更多关于 TracePros 使用的文件格式方面的信息，被输出文件是一个表格分隔的文本文件，可以被扩展页程序打开。

### 输入表面属性

1. 择Define | Edit Property Data | Surface Properties打开表面属性编辑器窗口
2. 使用 File | Import Property命令输入一个包含表面属性信息的格式正确的文本文件，对话框提示你输入文本文件的路径和名称，你可以参考TracePro帮助文件中关于 Import/Export Format的章节，获得更多关于TracePro使用的文件格式方面的信息。

### 薄膜堆层 Standard Expert

TracePro使用薄膜（Thin Films）来计算多层电介质层的镜面性质。薄膜具有材料属性

如折射率系数、吸收系数、堆层编辑器（Stack Editor）和表面属性

如果材料输入了依赖于波长和温度的折射率，则堆层结构（stack）和表面属性是完全色散的。

### 输入一个单层堆（Single Layer Stack）

许多透镜都有一层氟化镁（MgF）涂层覆盖，它是一种普通的可见光区域的抗反射膜（Anti-Reflection coating），典型的抗反射膜为可见光谱中心的四分之一波长光学厚度（Quarter Wave Optical Thickness）。为了获得给定波长最大透过率，可选择物理厚度为  $0.25 \lambda/n$  以达到四分之一波长光学厚度。

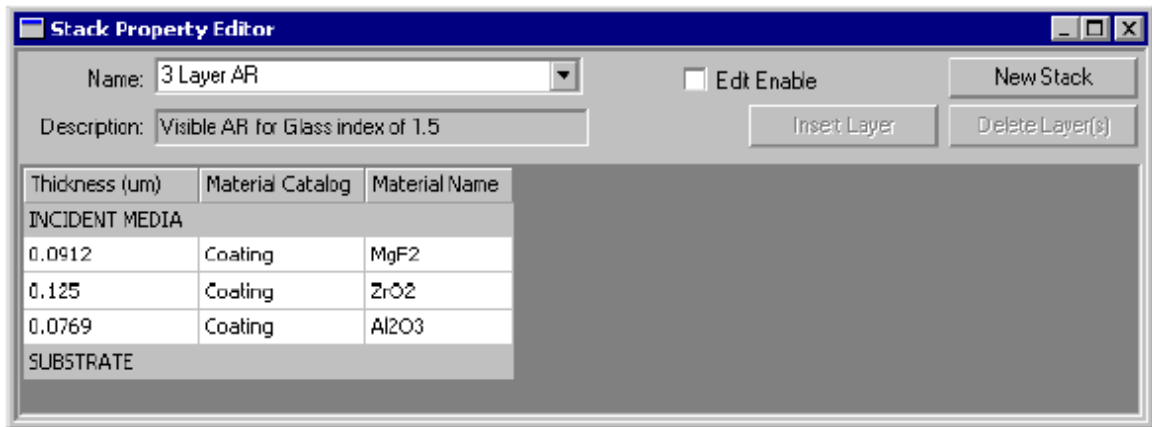


FIGURE 3.8 - Stack Property Editor

**注意：**堆层属性编辑器的数据列是下拉列表，种类和名称可从中选择。因为堆层使用了材料属性，当材料数据包含波长和温度数据时，则堆层是完全散射的。

通过选择 Define | Edit Property Data | Thin Film Stacks 打开属性编辑器，定义类型Stack的表面属性：

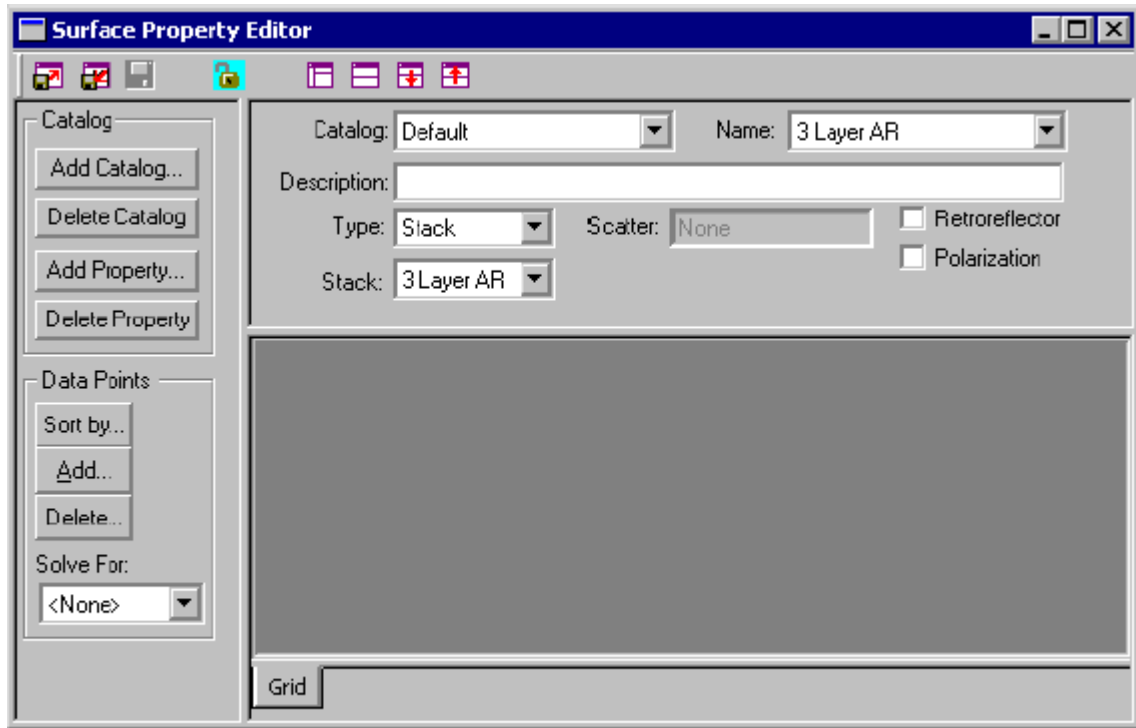


FIGURE 3.9 - Stack Entered Into Surface Property Editor

当抗反射（AR）表面属性被应用到Schott BK7玻璃制造的物体时，我们将看到在可见光波长的反射率低于4%，没有覆盖BK7的表面反射率将超过4%。

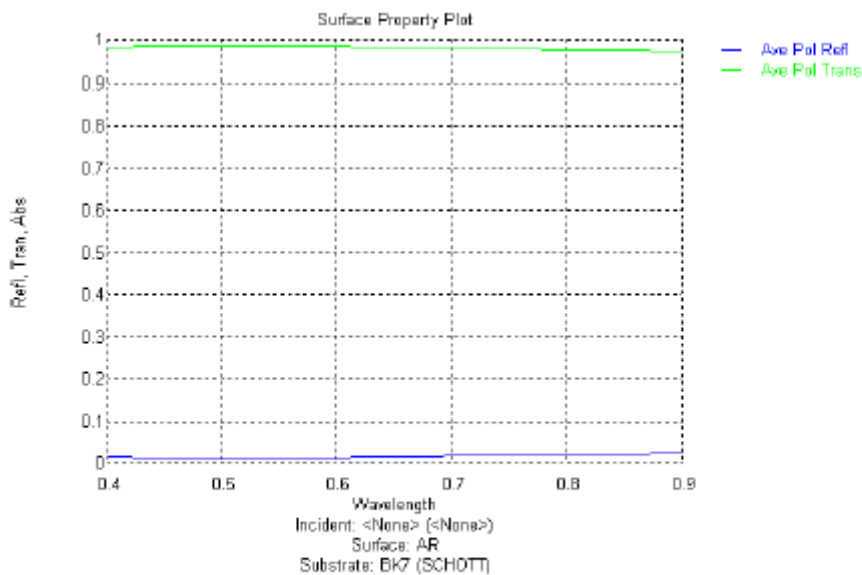


FIGURE 3.10 - Reflectance after the AR Surface Property is Applied to the Schott BK7 Glass

### 使用堆层编辑器（Stack Editor）

堆层编辑器提供方法为堆层添加或改变各种层（layers），选择Define | Edit Properties | Thin Film Stacks 打开层编辑器窗口。



堆层可以用表格数据输入，第一层为表格最上面一排数据，与入射介质相关，最后一层为表格最底一排数据，与衬底介质相关，衬底介质对应于表面属性被应用的物体。

TracePro 堆层使用材料属性数据库构建，在各种材料类别中定义的任何材料均可以作为层插入，堆的每一个层也需要定义一个厚度（单位mm）。

表3.9 堆层编辑器中的字段

<b>Name</b>	属性名选择框，在Name下拉列表中选择名称或在Name文本框中输入名称，如果在数据库中发现与输入的名称相匹配的，其数据将被显示。
<b>Description</b>	Description字段用于描述关于属性的额外信息
<b>Edit Enable</b>	选中Edit Enable 使编辑改变有效，如果Edit Enable没有被选中，你将不能进行编辑
<b>New Stack</b>	使用该屏蔽按钮向数据库中添加新的堆层，选择该按钮后，一个模态对话框提示输入新堆层属性的名称，如果将名称输入到字段，数据库将进行匹配检查
<b>Insert Layer</b>	该屏蔽按钮添加一个层(行)到多层堆（数据表格），添加的数据行在高亮度行至上
<b>Delete Layer (s)</b>	该屏蔽按钮用于从数据表格（堆层）中删除一层或多层。选择一行数据以标记将被删除，然后点击Delete Layer(s)按钮
<b>Thickness</b>	该列用于输入或编辑层的物理厚度，其单位为mm
<b>Material Catalog</b>	该列用于输入或编辑一个有效种类的名称
<b>Material Name</b>	该列用于输入或编辑材料的名称
<b>Import Property</b>	<p>从<b>File</b>菜单中，你可以输入一个以文本文件定义的堆层属性，该文本文件必须是TracePro帮助主题中指定的格式: <i>Stack Property Import /Export Format</i>.</p> <p>菜单<b>File   Import</b>可以从其它TracePro用户接受堆层属性，如果一个堆层属性使用<b>File   Export Property</b>从TracePro中输出，那么它可以使用<b>File   Import Property</b>输入。</p> <p>为了输入一个堆层,打开堆层属性编辑器,然后选择<b>File   Import Property</b>打开带*.txt文件格式的Stack Property Data File对话框，选择一个输入的文件并点击OK按钮</p>
<b>Export Property</b>	<p>从<b>File</b>菜单中，你可以选择<b>Export Property</b>项输出文本格式的堆层属性，<b>File   Export Property</b>为其它TracePro用户传输一个堆层属性。为了输出一个堆层属性，选择<b>File   Export, Export Stack Property Data File</b> 对话框将以文件类型*.txt被打开，堆层属性的名称即为文件名称，如果你愿意，也可输入一个新的文件名，点击OK按钮输出堆层属性。</p>

### 薄膜堆层编辑簿（Thin Film Stack Editing Note）

薄膜堆层（thin film）是一个特别的例子，因为它从属于表面（surface）属性，也就是说，用薄膜堆层编辑器创建了一个堆层属性后，下一步将打开Surface Property Editor以使用表面属性中的堆层属性。在Surface Property Editor中，设置type为stack，现在你可以添加Thin

Film Stack Editor中没有的scatter，通过变为表面属性的一部分，scatter的堆层属性在应用到表面之前被增强。操作步骤为：

1. 在Stack Property Editor中创建Stack Property
2. 在Surface Property Editor中设置type=Stack以创建Surface Property
3. 应用Surface Property到你的模型中的一个表面

## RepTile表面 Expert

### 概述

当建模有许多细小的重复结构的物体时，常常不可能用TracePro或其它固体建模程序创建这样的结构，例如，用在平板LCD上的增亮薄膜（brightness-enhancing films）可能有几千或几万个重复的表面结构单元，TracePro中的表面特征RepTile允许你通过指定一个或一系列Tile的形状来创建这样的物体。相对于等价的几何固体模型，该特征允许你创建复杂模型并大大减少模型尺寸、审查时间和光线追迹时间。

（参见第9.1页“RepTile Examples”）

### 定义一个RepTile表面

TracePro中定做一个RepTile表面的步骤和应用表面属性相似。TracePro有一个数据库包含不同的RepTile表面形状和几何体，你可以定义不同的RepTile参数并将它们添加到数据库。数据库是通过RepTile属性编辑器进行访问的，不同的Tile形状（环ring，矩形Rectangular，交错矩形Staggered Rectangular，和六角形Hexagonal）和Tile几何体（圆锥状conical、球状spherical、四坡顶hip-roof、立体角cube-comer、棱镜prism、圆棱镜rounded prism和菲涅耳透镜Fresnel lens）可以利用。总之，几何体可以定义为bumps 或 holes。

一旦RepTile属性输入到数据库，它就可以通过Apply Properties对话框上的RepTile应用到一个平面。另外，应用一个RepTile需要平面上Tiles所在边界的数据，以及一个关键的参考Tile（0，0）的位置。

当你将一个RepTile表面应用到一个平面时，TracePro定义一个包含平铺空间的单元cell，该单元具有一定的边界（圆或矩形）和深度，你必须明白深度的计算，因为单元必须被镶嵌在拥有RepTile表面的物体，如果违反这条规则，将导致不正确的结果。

RepTile表面上tiles的方向用法向矢量（Up Vector）指定，它定义了表面的y轴，与之垂直的平面定义z轴，x轴与y、z轴垂直并形成右手坐标系。Tile形状外观的宽度width是沿x轴的尺度，高度height沿y轴（Up Vector），bumps/holes的深度depth/高度height沿z轴。

### RepTile形状

一个RepTile表面的Tile形状可以是下面的一种：

- 环 Ring
- 矩形 Rectangular
- 交错矩形 Staggered Rectangular
- 六角形 Hexagonal

### 环形Tiles (Ring tiles)

环形Tiles 是等间距（equal width）的同心圆，中心的ring tile是一个半径为r0的圆，并

且每一个ring的宽度width也是 $r_0$ ，Ring Tiles被经常用于Fresnel lenses， $(0, 0)$  tile的位置是环的中心。

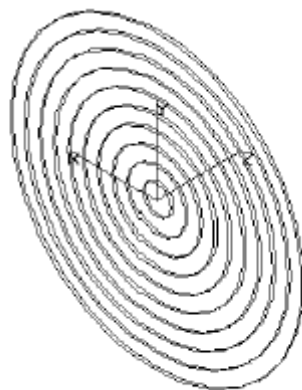


FIGURE 3.11 - Example of ring tiles geometry.

### 矩形tiles

矩形Tiles是排列为矩形阵列的矩形，Figure 3.12显示了具有圆锥体外形（conical bump geometry）的矩形Tiles的阵列。

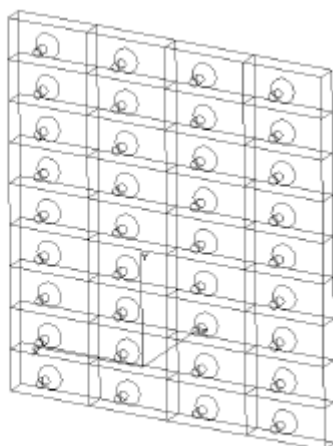


FIGURE 3.12 - Example of rectangular tiles with conical bump geometry.

### 交错矩形Tiles（Staggered rectangular tiles）

交错矩形Tiles和矩形Tiles类似，除了交替的tiles行相错开半个tile的宽度，像砌砖一样。具有圆锥体的交错矩形Tiles的例子显示如Figure 3.13，以Tiles的高度和宽度定义交错矩形Tiles。

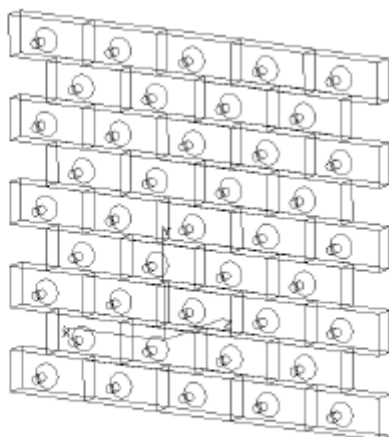


FIGURE 3.13 - Example of staggered rectangular tiles with conical bump geometry.

### 六角形Tiles (Hexagonal tiles)

六角形Tiles是像蜂巢一样密排的六角形，六角形的宽度 (Width) 是一个相对的两条边之间的距离，如Figure 3.14所示。六角形内沿垂直方向充满点 (points)，如Figure 3.15所示。

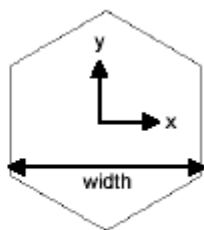


FIGURE 3.14 - Hexagonal tile with local x and y axes and width parameter

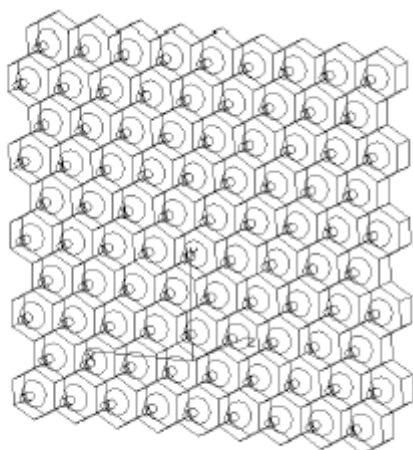


FIGURE 3.15 - Example of hexagonal tiles with conical bump geometry.

### RepTile几何体 (geometries)

有几个几何体可用于定义RepTile表面上的Tiles，更多的几何体将在TracePro的未来发展中添加。大多数几何体可以被定义为bumps或holes，Bumps向表面外突出，而Holes向表面里

突出。几何体也可以一行变化到下一行，或从一圈变化到下一圈。并不是所有的几何体与所有的形状相配（compatible），几何体和Tile形状的匹配情况总结为表3.10：

**TABLE 3.10 - Compatibility of geometry and tile shapes.  
Fresnel lens parameters must vary versus ring.**

Geometry	Bump/Hole	Can Vary versus Row/ring	Tile shape			
			Ring	Rectangle	Staggered rectangle	Hexagonal
Fresnel Lens	X	X	X			
Cone	X	X		X	X	X
Sphere	X	X		X	X	X
Hip Roof	X	X		X	X	
Prism		X		X	X	
Rounded Prism		X		X	X	
Cube Corner						X

有可能你定义的几何体会产生不正确的光线追迹结果，下面章节描述了这些情形。

#### 菲涅耳透镜几何体 Fresnel lens geometry

菲涅耳透镜几何体通过锥平面角(angles of conical facets)和一个张角(draft angle)来指定。您必须指定菲涅耳透镜几何体的变化规律。每一环的平面角可以不一样，但每环的张角要是一致的。指定bump几何体可以使菲涅耳透镜是正；指定为hole则是负的。菲涅耳几何体和tile形状必须定义以使得每一环都不一样，且必须有足够的环来填满边界，否则在最外面环的边界就有不确定的行为。要做一个居中的菲涅耳透镜需要把中心和边界中心坐标和(0,0)tile位置重合。您也可以做一个“偏心的”菲涅耳透镜，只要边界中心与(0,0)tile中心不重合就可。

#### 锥几何体 Conical geometry

锥几何体是由削去顶端的圆锥和一个可选斜面构成。如图3.16所示，指定底面半径、圆锥角和圆锥高，以及可选的斜面的高度和角度。圆锥和斜面都是从底面突出，要做相互在一起的圆锥突块或洞，需要指定锥半径、斜面高度的混合，以及与tile不一致的斜面角度。如果这样做，每行的几何体不会不一样，或者导致表面中断。圆锥几何体可以和矩形、双排矩形或六角tiles共同

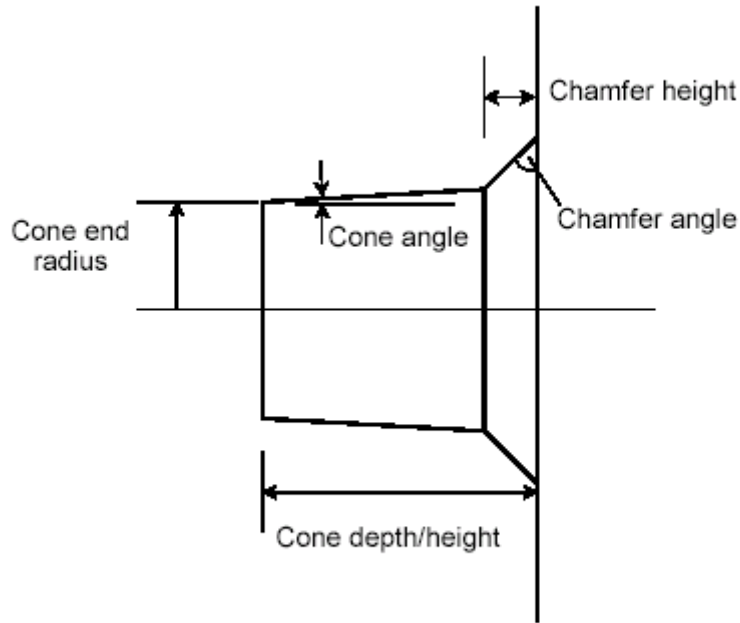


FIGURE 3.16 - Parameters for defining conical geometry.

### 球几何体 Spherical geometry

球几何体由突出或凹进去的球体和一个可选平面构成。通过基于底面的高度和球体的半径可以指定一个突出的球几何体。突出底面的高度不能大于球体半径。要使这些突块或洞相互胶合在一起，如透镜阵列，指定一个高度和半径足够大的球体，使它与底面不相交。指定一个球几何体需要的尺寸如图3.17所示。球几何体可以与矩形、双排矩形或六角形tiles一起用。

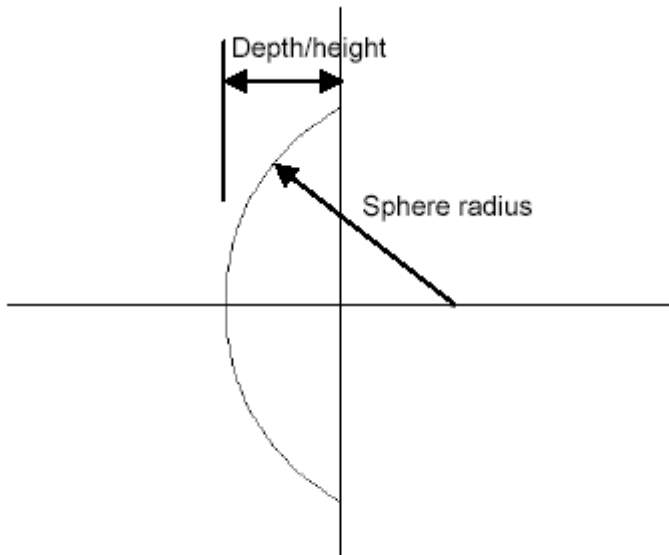


FIGURE 3.17 - Parameters for specifying spherical geometry.

### Hip-roof几何体 Hip-roof geometry

Hip-roof几何体如金字塔形状， $x$ 角和 $y$ 角不一样。另外 $x$ 方向宽度和 $y$ 方向宽度也可以不一样。最后，可以选择的用一个平面切掉图形的顶端，形成四边形的顶部。指定一个hip roof需要的尺寸如图3.18所示，四边形的如3.19所示。如果深度/高度小于在倾斜面的相交点，顶部就会被切掉而形成四边形的顶部。要使这些tiles胶合在一起，设定 $x$ 或 $y$ 边界为0。Hip-roof

几何体可以与矩形和双排矩形的tiles一起用。

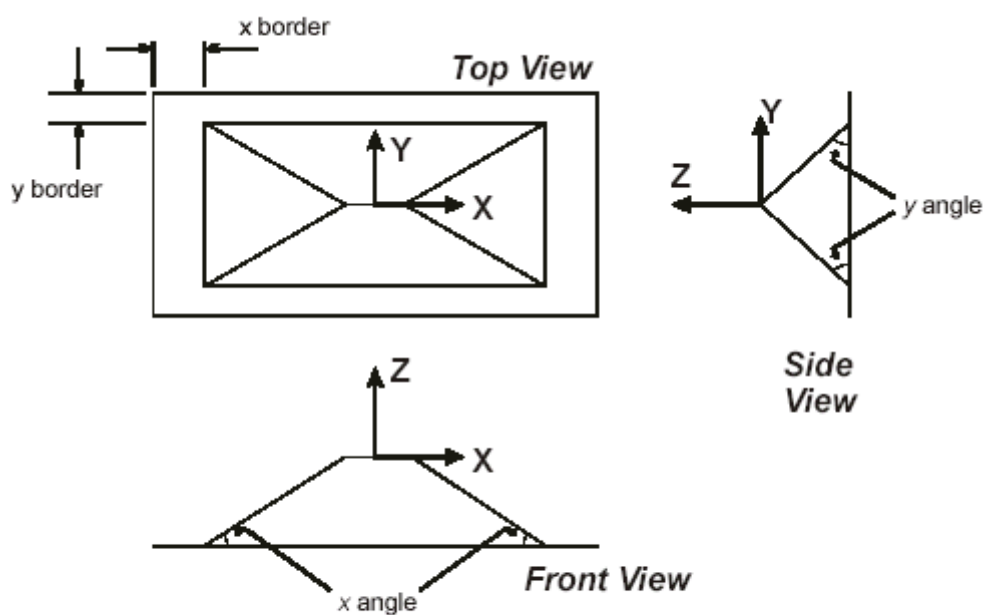


FIGURE 3.18 - Hip-roof bump geometry showing front, side and bottom views. The local coordinate axes are shown in each view. The outer rectangle in the front view is the rectangular tile. In this example the  $y$  angle is 45 degrees and the  $x$  angle is 30 degrees.

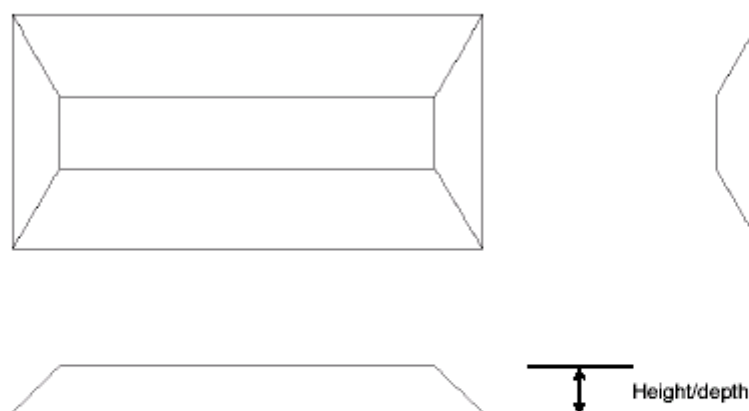


FIGURE 3.19 - Mansard roof tile showing the effect of truncating the roof. In this example, the  $x$  and  $y$  borders are both zero. The  $y$  angle is 30 degrees and the  $x$  angle is 45 degrees.

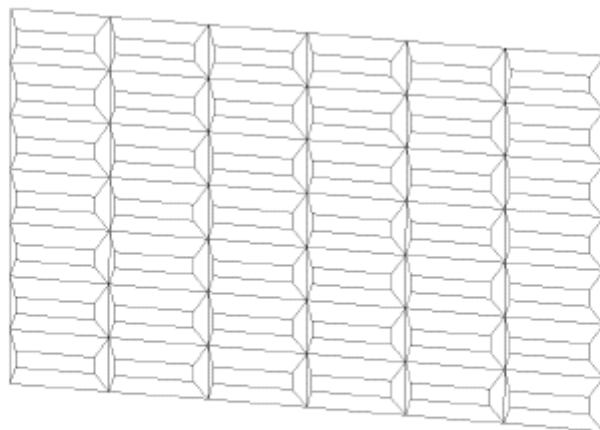


FIGURE 3.20 - A surface tiled with the mansard roof tile illustrated in Figure 3.19 The x and y borders are zero, so there is no flat region between the tiles.

### 棱柱几何体 Prism geometry

棱柱几何体的形状如同金字塔形，有不同的主副x角( $x_0$ 和 $x_1$ )和不同的主副y角( $y_0$ 和 $y_1$ )。指定棱柱几何体需要的尺寸如图3.21所示。注意，不同于hip roof几何体，棱柱几何体没有边界。角度可以被定义，这样棱柱看起来是偏移的。正因为如此，tile的中心可以与棱柱顶点不重合。要使棱柱相互“胶合”到一起产有一边连续的棱线，确定相邻tiles面相交角为90度。所有四个角在一列tiles可以不相同。

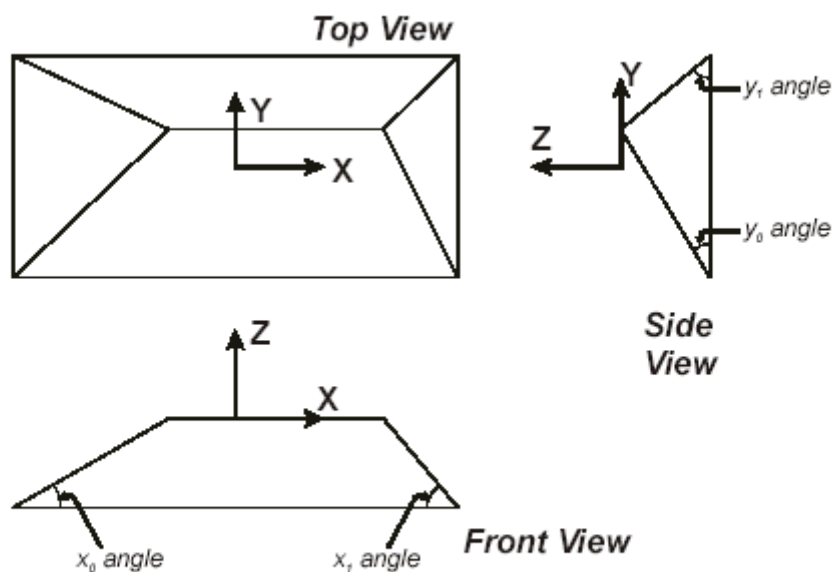


FIGURE 3.21 - Prism geometry showing top, side and front views. The local origin and coordinate axes are shown in each view. Due to the angles chosen, the local origin does not line up with the “peak” of the prism structure.



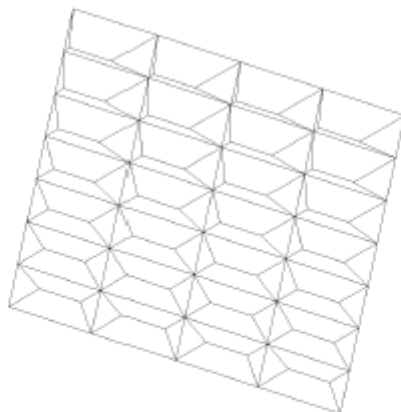


FIGURE 3.22 - A surface tiled with the Prism geometry illustrated in Figure 3.21. Note that all four facet angles change as a function of row, so all tiles vary in appearance from the top to the bottom of this figure.

### 圆形棱柱几何体 Rounded prism geometry

圆形棱柱几何体为三角形状，有不同的主副y角( $y_0$ 和 $y_1$ )指定一个圆形棱柱几何体所需的尺寸如图3.23所示。注意不同于hip-roof几何体，圆形棱柱是没有边界的；而且，也不同于棱柱几何体，它的x角是限制在90度的。由于y角可以定义，因此对于单个tile而言有可以看起来是偏置的。也正因为如此，tile中心可以与棱柱顶点不重合。一系列上的tiles角度可以不同。棱柱几何体仅可以与矩形或双排矩形tiles同时用。如果仅有一列tiles，光线追迹速度也不会更快—例如，如果tile宽度(x方向)大于或等于RepTile边界宽度(用Define|Apply Properties|RepTile定义)

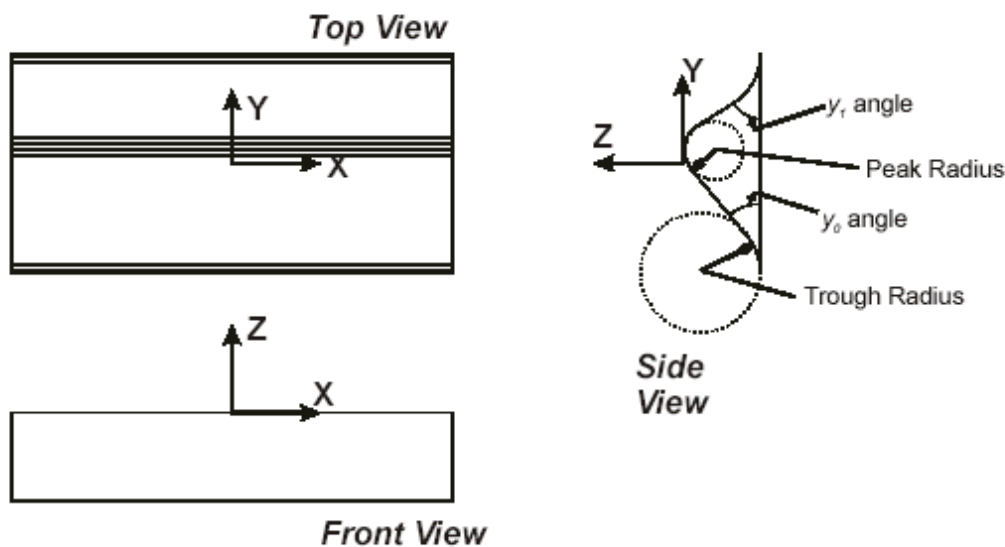
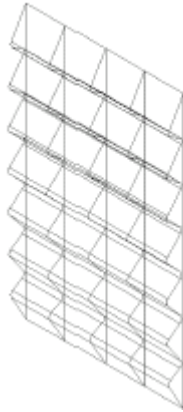


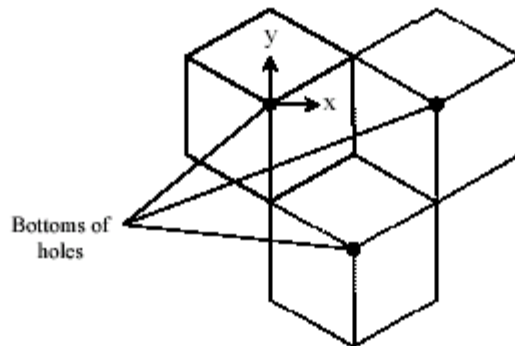
FIGURE 3.23 - Rounded Prism geometry showing front, side and top views. The local origin and coordinate axes are shown in each view. Due to the angles chosen, the local origin does not line up with the “peak” of the prism structure.



**FIGURE 3.24 - A surface tiled with the rounded prism illustrated in Figure 3.23. No “x” angles can be defined when using a rounded prism so the prism “roof” lines are continuous. Note that the angles change as a function of row, so all tiles vary in appearance from the top to the bottom of this figure.**

#### 立方体角几何体 Cube-corner geometry

立方体角几何体由六角形排列的立方体角相关反射体构成。指定一个立方体角几何体不需要任何参数。一个tile内的立方体角几何体的指向如图3.25所示。立方体角几何体仅可与六角tiles一起用。由于其形状所致，立方体角几何体tile的周长不是一个常数，但周长与相邻的立方体tiles匹配很好。



**FIGURE 3.25 - A cube corner is oriented in a hexagonal tile as shown (along with two neighboring tiles). The cube corner tile is always concave, that is, the vertex (at the origin in this illustration) is at the bottom of a hole.**

## 属性数据库工具 Property Database Tools

数据库菜单提供更新和保持TracePro属性数据库的工具。属性数据默认保存在TracePro.MDB文件中，其为Microsoft Access数据库文件格式。实际名称和属性数据库位置可以在定制对话框中定义。详细参看第2.44页“数据位置”。

### 导入Import

数据导入选项把属性数据从一个文本文件(text file)导入到TracePro中。不同于其它编辑器的属性命令，文本文件可以包含多个属性，通过“SAVE-DATA”线来分隔开。而且，不同类型的属性可以保存在同一个文件当中。这样，表面属性、材料属性、体散射属性等等，都

可以集中在同一个文件当中，每一个属性由“SAVE-DATA”线分隔。属性数据库中所有这些数据都被包含在TracePro分布介质中。在导入过程中，会在属性数据库中再检查一下属性名。如果该名称在数据库中存在相应的属性，会弹出一个提示对话框，单个的属性可以被覆盖或跳过去。

### 导出 Export

属性导出命令会产生一个包含模型所有属性数据的文件。选择Tools|Database|Export菜单或按下F12键产生一个包含属性数据的文本文件，文件另存为对话框将会显示用来输入文件名。每个属性用SAVE-DATA行分隔。数据可以用Tools|Database|Import菜单或F11键再导入。如果您的TracePro版本是个人版或要与其它人合作且要发OML文件，您可以导出模型数据并发送属性数据。这两个文件包含打开和分析TracePro模型需要的所有数据。

## 第四章 应用属性

### 使用属性

一旦在 TracePro 里建立了几何体，那么下一步就是给几何体指定属性，以确定光线将如何相互影响。TracePro 包括了让你定义的自己属性的能力。（见第三章“定义属性”）

哪些属性是需要模拟那些特殊问题的？在回答之前，思考一下属性组中的物理属性和光线轨迹属性会比较有用。

在模型或设计完成的时候，物理属性就被看成实物的特性。这些属性对光线的路径有直接的影响。在物理属性列表（表 4.1）中就能看到确定哪些属性对给定的模型起作用。

光线轨迹属性是运用 TracePro 已有的属性，来帮助你做光线追踪更加有效。并不必要将他运用于给定的模型。一旦物理属性被设置了，我们可以先提前到第五章“光线追踪”，来确定哪一些 TracePro 的光线轨迹属性对于模型有用，然后回来设置那些必要的光线轨迹属性。

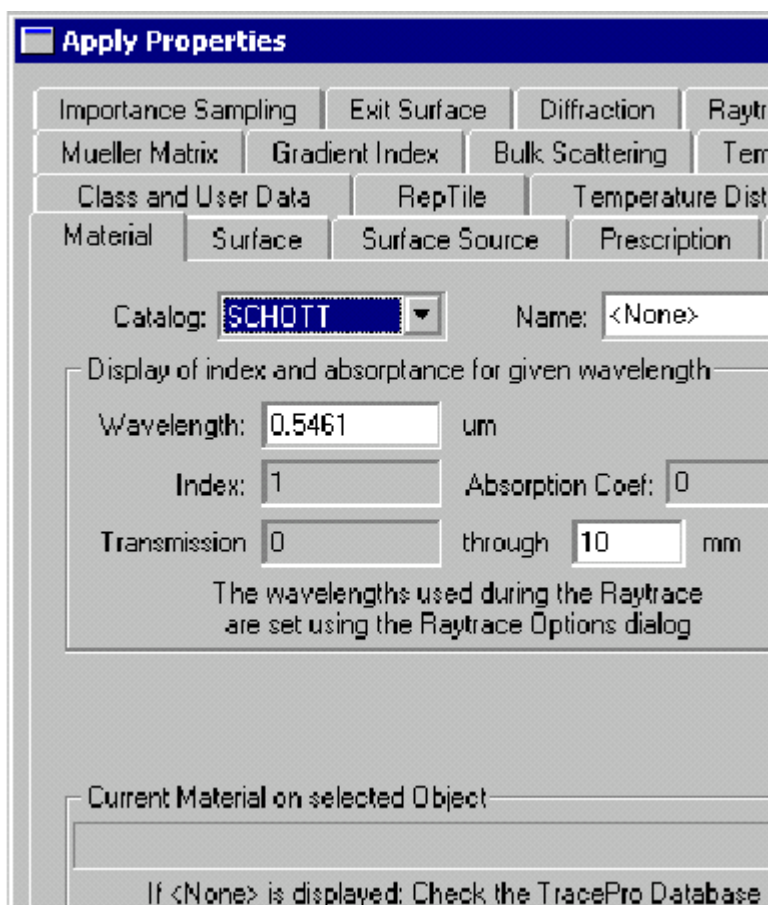


FIGURE 4.1 – TracePro Expert Apply Properties Dialog Box

所有属性的运用都是相同的，仅有的区别是用于物体还是用于面，表 4.1 是个概要。

- 打开应用属性对话框，在菜单上选取 **Define | Apply Properties**。右键系统树，或者模型窗口，就可以得到属性对话框的快捷方式。见“Context Menus”（page 1.6）
- 在属性框中为将要运用的属性选取适当的项。
- 在系统树或者模型窗口中选取物体或面。见“Selecting Objects, Surfaces and Edges”（page 1.7）
- 在属性对话框中输入必需的数据（见本章剩余部分的有关各属性的细节内容）
- 按“**Apply**”按钮
- 确认属性是否生效，可以展开系统树种物体或面，察看属性信息。
- 属性对话框是非模态的，我们可在 TracePro 中随时打开。任何时候我们可以打开对话框，在系统树中选取物体或者面，输入必要的参数，并按“**Apply**”生效。
- 运用在面上的属性能运用在一个或多个物体上，物体的每个面都会接受到属性的数据信息。这也许是个有用的快捷方式。选取想要设置的物体和面的时候请格外注意。

TABLE 4.1. Apply Properties Categories

	Object	Surface
<b>Physical Properties</b>	Material*	Surface*
	Temperature	Surface Source*
	Mueller Matrix* (polarization)	Diffraction
	Gradient Index*	Temperature
	Bulk Scattering*	Temperature Distribution
<b>Raytrace Properties</b>	Raytrace Flag	RepTile**
		Surface Source
		Prescription
		Importance Sampling
<b>Other Properties</b>	Exit Surface	
	Color	Color
	Class and User Data	

\* 用户自定义和存储在属性数据库的属性（见第三章）

\*\*瓦片估算属性了被用户自定义和存储在属性数据库中（见“RepTile Surfaces” page3.25），但只在 TracePro Expert Edition 中有效。

在本章中谈论的属性工具提供运用的额外方式，表 4.2 列出了属性和它们运用的目的。

TABLE 4.2. Properties and Applications

Properties	When Needed?
Material	Refraction, Fresnel Reflections, Bulk Absorption, Bulk Scattering, Gradient Index
Surface	Reflection (other than Fresnel reflection), Coatings, Thin Film Stacks, Scatter, Surface Absorption, Gratings
Surface Source	Used to define source for Surface Raytracing. Chapter 5, "Raytracing".
Temperature	Needed only if other properties are temperature-dependent, such as cases where the Index of Refraction varies with temperature
Mueller Matrix	Needed only when modeling Polarization effects
Gradient Index	Needed only for materials with varying Indexes of Refraction, requires Material property
Bulk Scattering	Needed only for modeling scatter from within the volume of an object, requires Material property (For Surface Scatter, see "Surface Properties" on page 4.8)
Diffraction	Needed only when the diffraction effects of rays incident near the edges of an aperture are significant
Color	To change the display color of an object or surface to another color from the default color (green)
Class & User Data	Provides resources that the macro language can use
Raytrace Flag	To let a user remove individual objects from a raytrace
Prescription	Needed for Auto Importance Sampling, ray path sorting, optical scatter threshold
Importance Sampling	Needed only for Importance Sampling and Optical Scatter Intercept Limit
Exit Surface	Needed only for Simulation Mode raytraces
RepTile	Needed for modeling surfaces with repeated structures
Temperature Distribution	Used to apply spatially varying temperature distributions to surfaces, requires Surface property

## Material Properties (材料属性)

LC Standard Expert

材料属性通常是指定物体的折射率和吸收体积

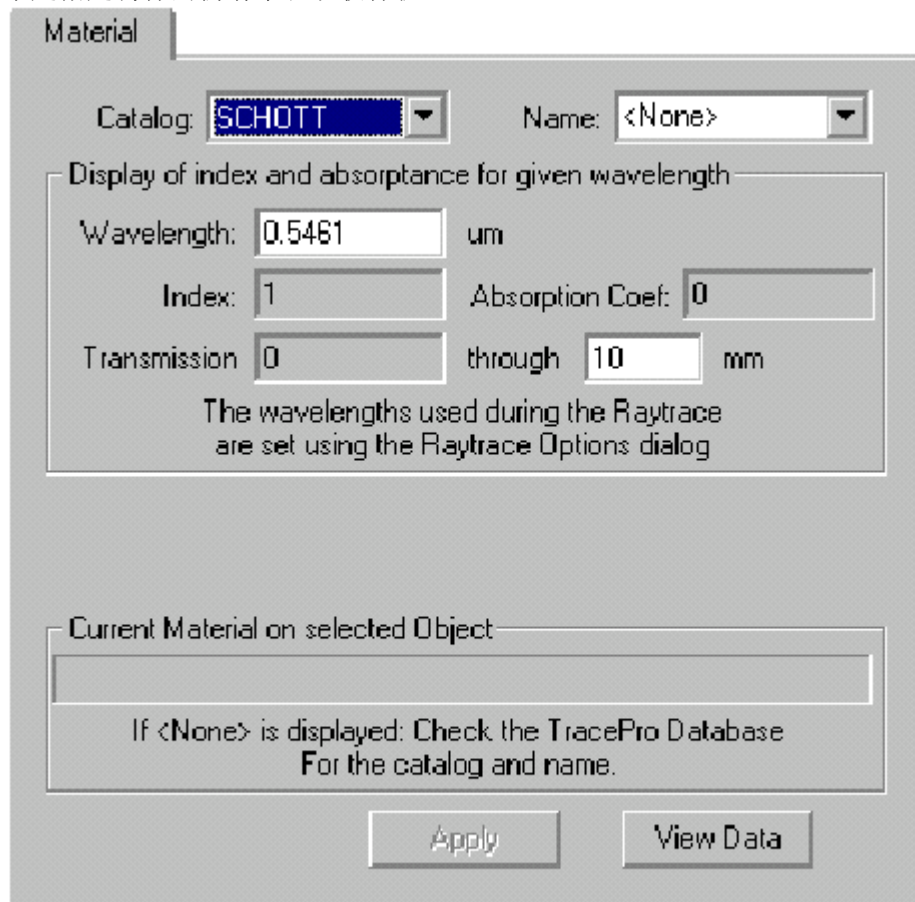


FIGURE 4.2 - The Apply Properties Dialog Box - Material tab

材料选项显示了一系列的按钮，以及进一步的对话框，允许用户：

- 从属性数据库选择已知的材料属性
- 观看选择的属性的数据
- 在模型的物体上运用选择的属性

## Material Catalogs (材料目录) Expert

材料属性被分列于各自的目录中，你可以添加更多的目录，更加方便的运用那些你确定要使用的属性。目录包含厂商数据，其他TracePro使用的的数据，以及用户自定义的材料。

## Applying Material Properties (运用材料属性)

数据库有预先定义的材料。你能在它们中间选择，或是使用材料属性编辑器修改或添加用户自定义材料。见“Material Properties” (Page 3.5)

在你模型的物体上运用材料属性：

1. 在模型上选择一个物体，你可以在系统树或者模型窗口上点选它。
2. 选择 **Define | Apply Properties**，并选择 **Material** 窗口。
3. 在下拉式菜单中选择目录，并点选所要的材料。
4. 点 **“Apply”** 运用属性
5. 在系统树上确认性的属性是可见的

## Applying Birefringent Material Properties (运用双折射材料属性)

在你的模型中运用双折射属性:

1. 在模型中选择一个物体, 你可以在系统树或者模型窗口上点选它。
2. 选择 **Define | Apply Properties**, 并选择 **Material** 窗口。
3. 在下拉式菜单中选择目录, 并点选所要的材料。
4. 对于双折射属性, 矢量栏现实要输入的晶轴。晶轴的方向将随着物体的移动和旋转而相关的变化。
5. “Apply” 运用属性
6. 在系统树上确认性的属性是可见的

## Bulk Scattering (体散射) Standard Expert

体散射体是由于材料本身的不均匀性以及杂质造成的散射体。

体散射属性是与物体材料属性一同起作用的。(详见技术参考资料 Page 7.27)

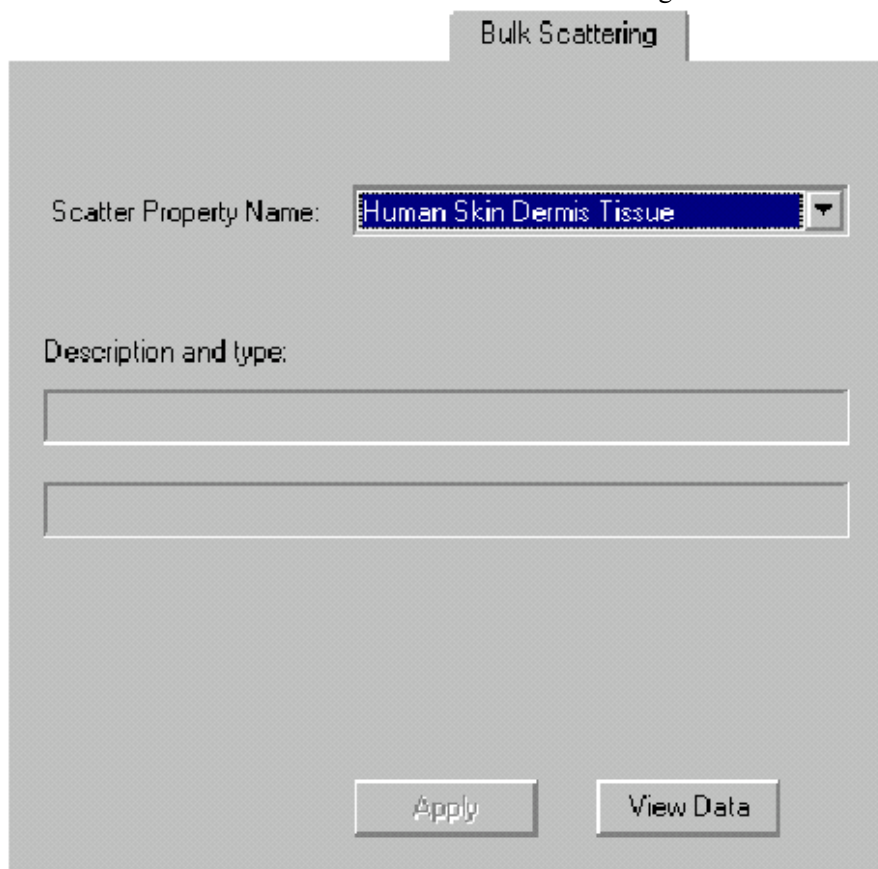


FIGURE 4.3 - The Apply Properties Dialog Box - Bulk Scattering tab

如图 4.3 所示, 选取 **Define | Apply Properties | Bulk Scattering** 来运用体散射属性, 通过 **Define | Edit Property Data | Bulk Scatter Properties** 来编辑属性。

例如一个简单的例子: 使用一块各边都为1mm的 Schott BK7。左图4.4 显示了一条45度入射光线在其**Total Internal Reflection (TIR)** 内部所有反射面的情况。由图显示了加上体散射属性后的结果。



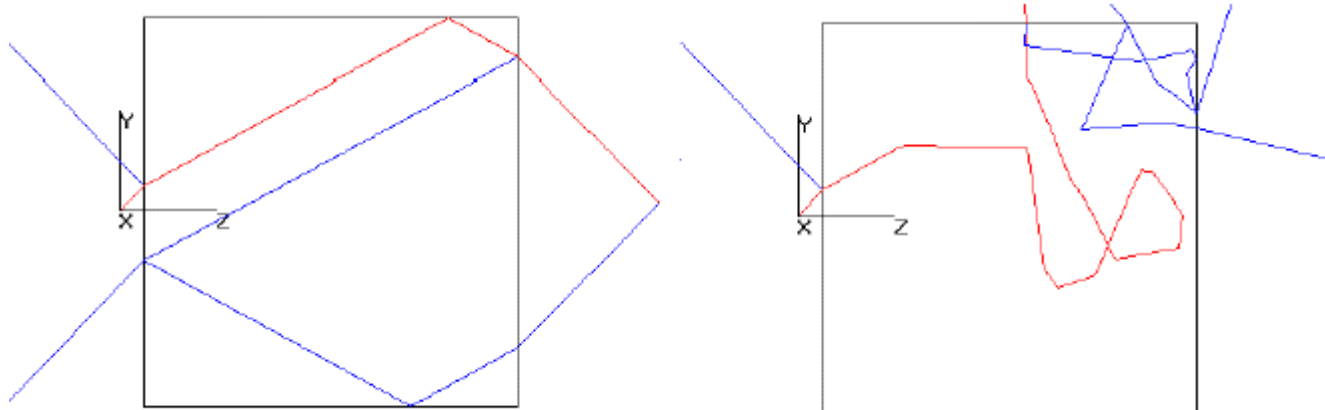


FIGURE 4.4 - Block of glass shown before (left) and after (right) Bulk Scattering property is applied.

你同样可以对固体物体使用importance sampling（重点取样）来提高散射体的取样效果。为了获得如图4.4右边的图，在物体的基础上增加了向目标传播的光线数目。每条重要光线都在物体内部被散射了。

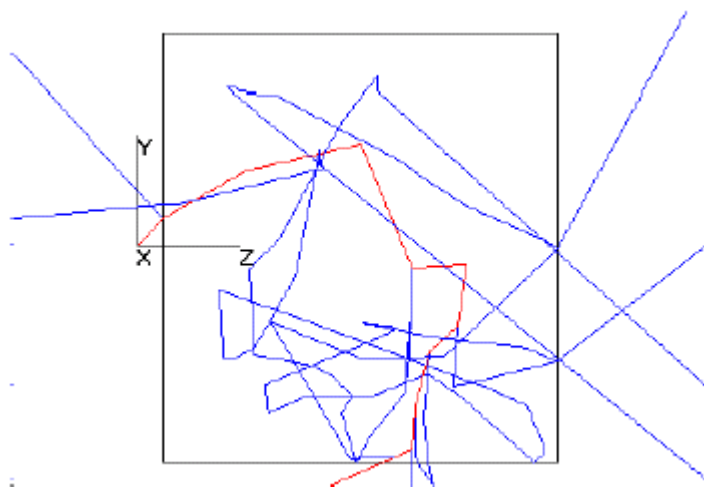


FIGURE 4.5 - Bulk Scattering with Importance Sampling Target

注意：这些例子光通量的及县都设为 0.0005

使用体散射：

1. 恰当运用材料属性是为了物体内的散射建模
2. 运用体散射属性

## Gradient Index Properties（渐变折射率属性）

Standard

Expert

梯度值属性是描述材料的折射率不是定值时的性质。例如玻璃的折射率从中间到边缘的变化，或者光纤从中心到边缘折射光线的不同。

梯度值是与物体材料属性相联系的，它随着剖面参数变化而改变折射率。

注意：GRADIUM，下拉菜单中的一项，必须被不同的处理。不像其他的，GRADIUM Gradient Index 虽包括材料属性数据，但没有要求与材料属性结合在一起。

就像这个例子，不要再对一个已经使用了GRADIUM的物体运用材料属性。

对于其他的所有梯度值属性，你必须使用材料属性使它有基本的折射率。例如，如图4.6的轴向光线可有如下的定义：

1. 选取 Define | Apply Properties | Material 项，对棒使用一种玻璃材质属性（比如：Schott BK7）
2. 选取并运用 Define | Apply Properties | Gradient Index 属性项，剖面被运用到玻璃棒从原点到辐射的方向。向上的矢量被定义为边缘对称的。一旦运用这些数据，原点和方向矢量将随着你移动和旋转物体而变化。

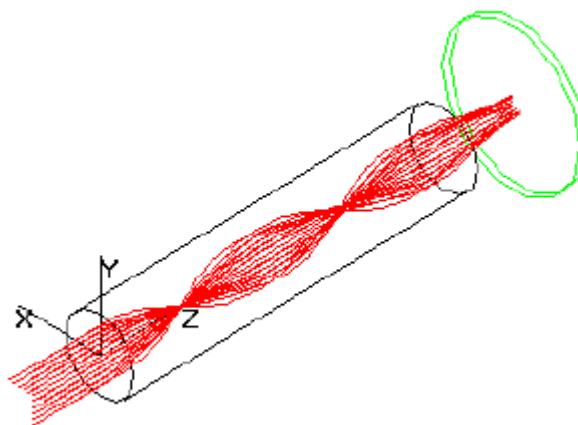
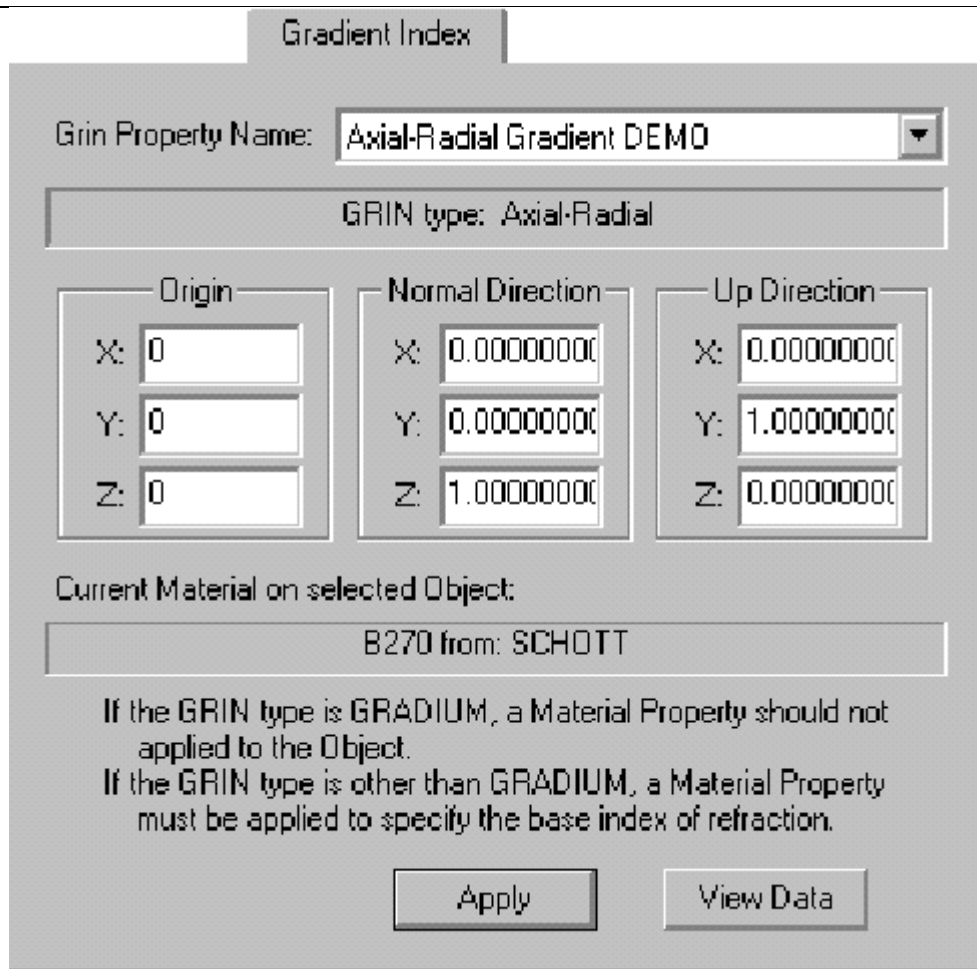


FIGURE 4.6 - Applying a GRIN Property to a Rod

## Surface Properties（表面属性）

表面属性提供了absorptance（吸收比）、scatter（散射）---BRDF and BTDF、specular reflectance（镜面反射系数）以及 specular transmittance（镜面透射系数）。TracePro中表面属性由名字和目录以及存储的数据库定义。

要想知道关于零件表面属性更详尽的描述（例如：BRDF和BTDF），请看第7章“Technical Reference”。用以下步骤来选取属性并使用它：

1. 在你的模型上选取一个面。可以从模型窗口或者系统树选取。
2. 选取 Define | Apply Properties，然后选取 Surface 项。
3. 在下拉菜单中选取表面属性目录和名字。

4. 用“Reference Data”项可以显示表面属性类型表。用同时需要选择“Angles Measured in Air”（空气测量角）或“Angles Measured in Substrate”（片基测量角）。需要“Angles Measured in Substrate”选项，仅仅在原始数据被用来创建那些在与空气不同的媒质中测量的表面属性。
5. 对于光栅类型表面属性，我也需要为上方向输入数值。上方向是正光栅顺序的方向。
6. 对于各向异性或椭圆型BSDF，你需要定义各项异性坐标轴，其为方位角确定0.0角
7. 按下 Apply 按钮
8. 在系统树中检查你输入的变化

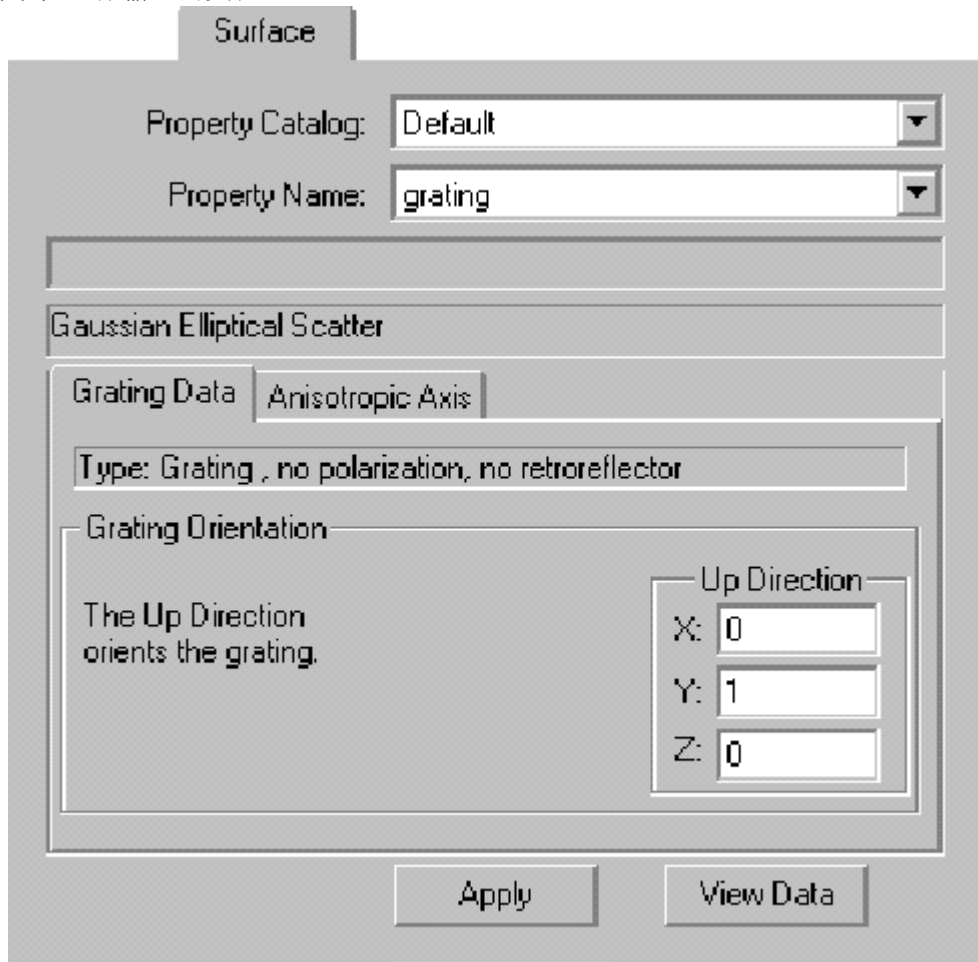


FIGURE 4.7 - Surface property with Grating Data and Anisotropic (各项异性的) Axis tabs

### 使用表面属性数据库:

有预定义表面属性的数据库被看作 TracePro 的资源之一。你可以更改当前表面属性的定义，用表面属性编辑器调价你自己的目录和表面属性。（见“Surface Properties 表面属性” page 3.16）

## Surface Property Plotter Standard Expert

表面属性绘图仪是评价一个面的光学属性。很多属性随着波长、角度或者其他参数而变化。属性绘图仪提供了按显示参数的选项来对这些属性的可视化。绘图仪对于表面属性的显示不是有限的，还可以通过与衬底介质和/或入射介质的一起使用来绘制材料属性。你能绘制与入射波长或角度相关的性能曲线。这些曲线独立于 TracePro 模型，并被用来完成评估不同制品的表面特性的假定研究。在图 4.8，你看到的是未镀膜的 Schott BK7 玻璃与入射角的关系曲线。图 4.8 记录了使用的显示参数。

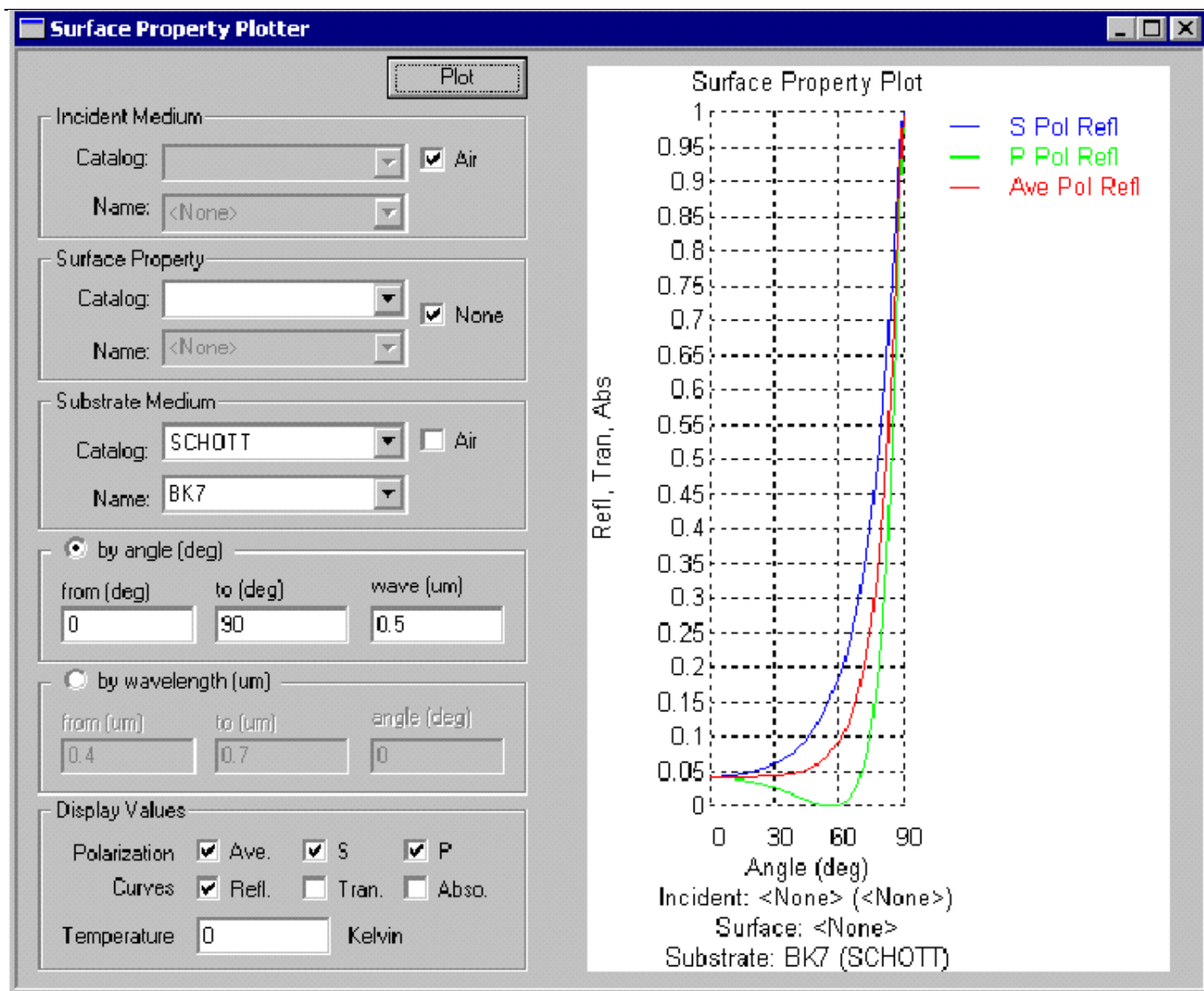


FIGURE 4.8 - Surface Property Plotter

### Plot (绘图)

选取Plot screen按钮来计算与波长或入射角相关联的表面属性

### Incident Medium (相关介质)

选取一种材料，它是将被绘制表面属性的那一面的。这个选择在到达表面规定了将有哪些光线穿过。

**Catalog** 在下拉菜单中选取适当的光学材料目录。如果空气框已有了标记，这个框将变灰色。

**Name** 在下拉菜单中选取以附属介质属性的名字，如果空气框已有了标记，这个框将变灰色。

**Air** 如果在光线到达要绘制属性图的界面前的路径上没有物体，就在空气检查框上标记。

### Surface Property (表面属性)

选取一个表面属性的名字或不选以评价未镀层介质的性能。

**Catalog** 在下拉菜单中选一表面目录，如果None检验框中有标记了，它将变为灰色。

**Name** 在下拉菜单中选取名字

**None** 定义未镀膜介质选 None

### Substrate Medium (衬底介质)

通过选取目录、名字，或者选空气说明没有物体或界面存在于光线出射表面属性的那一边。

**Catalog** 在下拉菜单中选取适当的光学材料目录。

**Name** 在下拉菜单中选取以衬底介质属性的名字

**Air** 在空气检查框中标记，说明没有物体或者界面存在于光线出射表面属性的那一边。

**by angle (deg) (角度-度)**

以度输入角度范围，以微米输入波长。

**from** 输入角度范围的起点 (0~90)

**to** 输入角度范围的终点 (0~90)

**wave (um)**输入波长

**by wavelength (um)**

输入波长范围和一角度

**from** 输入波长范围的起点

**to** 输入波长范围的终点

**angle** 输入角度 (0~90)

**Display Values (显示数值)**

选择曲线绘图，偏振和温度会改变曲线。没有偏振选项，有些曲线不能绘制。

**Polarization** 对于Ave(Average), S(S轴),P(P轴)，选择一个或多个检验框

**Curves** 对于Refl(反射),Tran(透射),Abso(吸收)，选择一个或多个检验框

**Temperature** 在文本框中键入K氏温度

**Surface Source Properties (表面光源属性)**

表面源是特指在光线追迹中发出光线的面。在TracePro中有四种表面源属性。有两种发射不连续波长光 (flux, irradiance)。另两种发射连续波段的光 (Blackbody, graybody)。

你可以使TracePro模型中任何面成为光线追迹的发射源：

1. 选一个面给它定义表面源属性，你可以在系统树或模型窗口中选择。  
**Note:** 你可以给物体运用表面源属性，使每个面的属性都生效。
2. 选 [Define | Apply Properties](#) 开启运用属性对话框
3. 选 [Surface Source](#) 栏
4. 指定表面源的属性类别，你的选择将改变此栏的字段。可以选：Flux, Irradiance, Blackbody, Graybody.
5. 定义你所需要的面成为源面
  - a) 可以选择 [Define | Apply Properties](#) 或者在模型窗口点右键选择 [Properties...](#)从活动对话框中将面定义成源。菜单将打开应用属性对话框，见图4.9 运用属性对话框
  - b) 选择面源栏和一个面
  - c) 添写相应源必需的字段，按应用按钮
6. Flux 和 Irradiance类型的面源发射不连续波长，Blackbody 和 Graybody类型的面源发射连续波段。不连续波长和连续波段的选择是针对 [Analysis | Raytrace Options | Wavelengths](#) 栏对波长的描述而选的（见page 5.23）。

同样，你也可以去掉面源属性，打开对话框，选择表面，选面源形式为<None>，按 [Apply](#) 按钮

Surface Source

Source Type: Graybody    Min Rays: 10

Temperature: 1200    Kelvin    Total Rays: 1200

Emissivity: 1    Total Power: 0.078045764

From (um)	To (um)	# Inc.	Power (lm)	# Rays
0	3	1	0.031501	484
3	5	5	0.0260842	401
5	10.6	1	0.0167621	258
10.6	INF	1	0.0036985	57
Totals			0.0780458	1200

Angular Distribution: Lambertian

Suppress random rays (Requires Source Importance Sampling)

Apply    Calculate Power

FIGURE 4.9 - Blackbody Source (requires Continuous Wavebands)

Surface Source

Source Type: Flux

Flux: 10 lumens    Total Rays: 12

Total Power: 30

Wave. (um)	Weight	Power (lm)
0.5461	1	10
1.054	1	10
3	1	10

Angular Distribution: Lambertian

Suppress random rays (Requires Source Importance Sampling)

Apply    Calculate Power

FIGURE 4.10 - Flux Source (requires Discrete Wavelengths)

### Source Type (光源类型)

**Flux**——所有能量都是从表面发射。Flux光源表面在整个表面均匀的发射能量。光线以随机的方向从表面发射，并且是以不连续的波长方式发射。

**Irradiance**——Irradiance光源表面以单位面积分布能量。因而，更大的区域将提供更高的光通量。它采用不连续波长。

**Blackbody**——Blackbody光源表面需要提供温度和连续的波长，用于计算光源表面的辐照度。TracePro用波段来描述连续谱（spectrum）。它计算加权波长（spectrally weighted wavelength）来描述每个波段。在计算中，TracePro尝试在每个波段分布光线的数目，产生与Flux近似相等的光线。最少光线区确定了由计算分配给每个波段的最少数光线数目。

**Graybody**——Graybody光源表面需要温度、发射系数和连续波段，来计算光源表面的辐照度。TracePro用波段来描述连续谱，它计算加权波长（spectrally weighted wavelength）来描述每个波段。计算中，TracePro尝试在每个波段分布光线的数目，产生与Flux近似相等的光线。Graybody计算在发射区用这些数值决定能量再在表面的分布。最小光线区确定由计算分配给每个波段的最少数光线数目。

## Source Units

定义数量和单位的类型，Watts(Flux), Watts/m<sup>2</sup>(Irradiance), 温度(Blackbody,Graybody), 是下拉式菜单显示温度选项(Kervin, degrees C, degree F)。

## Min Rays

定义由TracePro计算的分配给每个波段的最少数光线数目。

## Total Rays

定义要从面源发射的光线数目。对于Flex或Irradiance(不连续波长)的光线追迹，就严格的定义了要求被追迹的光线数目。对于Blackbody或Graybody(连续波段)的光线追迹，TracePro将以其他参数为基础、需求的光线数目为目标来计算。多的光线数目将使光线分布更平滑和精确。当然也会使计算时间更长。

[经过Blackbody或Graybody计算后，在光线追迹中计算的光线数目与Define | Apply Properties | Surface Source对话框中标记为“Totals”是不一样的]

## Emissivity（发射率）

定义从0~1的数来指示发射率。这个数目使用来计算从表面发射的光通量。

## Apply Button

在对话框改变成新的值。

## Calculate Power Button

这个按钮进行连续波段计算并显示结果。用光线追迹属性对话框定以波长或波段。

## Totals

这个区域显示使迹衬面源发射的光线数目，在对话框中的表格区显示。

## 角分布 Angular Distribution

选择Lambertian, Normal to Surface, Surface Absorptance 或Uniform。表面光源会以这四种角分布中的一种来发出光线。对于光线追迹来说，指定光线的角度和概率是非常重要的。

朗伯体（Lambertian）——以余弦角分布形式发出辐射。

垂直于表面（Normal to Surface）——以垂直于表面的方向发出辐射，该选项可以让您用一个球体来产生一个发散的球面波（如同点光源发出一样），或用球壳内表面产生一个会聚球面波。

表面吸收比（Surface absorptance）——用吸收比VS入射角轮廓图来指定表面属性为发出光线的角发射分布。用黑体和灰体光源的光谱发射率来表示波长的依赖性。

均衡性（Uniform）——均匀地产生光线到半球中，这可以让你用一个平面来模拟点光源，如一个球对称性的光源。

## 抑制随机光线 Suppress random rays

By HGO/OPT

这个选项关闭表面光源的随机光线追迹，要使该选项起作用，必须要定义重点采样（Importance sampling）。

### 波长 Wavelength

这里一个波长引用单一的不连续波长。对于一个用到许多波长的光线追迹来说，TracePro会让您指定一个数学加权系数用以提高或削弱某个波长在计算中的作用。

### 波段 Waveband

From 和 to限制每个波段的显示。在一个追迹计算中可以有許多波段。TracePro对每个波段计算光谱加权波长（Spectrally weighted wavelengths），并对光谱加权波长进行追迹。

### 黑体表面光源 Blackbody Surface Sources LC Standard Expert

在朗伯体(Lambertian)角模式下，根据量子辐射原理（Planck黑体辐射原理），一个理想的吸收入射到其上所有的光并在光谱范围里发射光，光线的分布依赖于表面的温度。近似理想黑体可由其上只有一个允许光线进入的小口的空腔做成，但一些表面（如特殊漆黑的表面）在一定的波长范围里接近黑体。

**注意：**根据基尔霍夫（Kirchhoff）原理，表面吸收比等于它的发射比。要在TracePro中严格地模拟热辐射，必须在角分布(Angular Distribution)栏中选择Surface Absorptance，然后TracePro用吸收率来替代发射率。如果选择其它的角分布，TracePro设置发射率为同一个。

### 黑体和灰体计算 Blackbody and Graybody Calculations LC Standard Expert

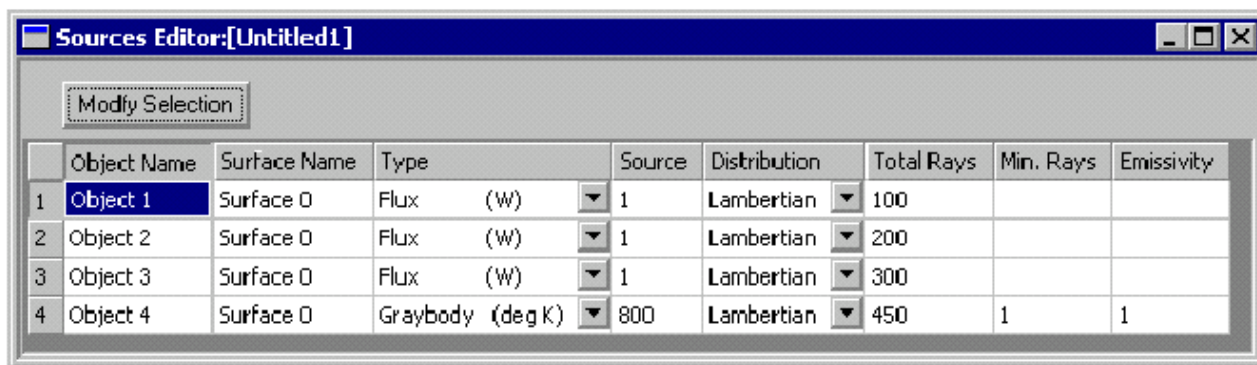
TracePro计算表面光源中每个波段的辐射率，辐射率是黑体函数在波段两个边界波长之间的积分，

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) M(\lambda, T) d\lambda, \quad (4.1)$$

其中M是黑体光谱辐射函数， $\varepsilon$ 是光谱发射率，T是温度， $\lambda$ 是波长，L是波段辐射率。

### 光源表格 Source Spreadsheet

一个表格的编辑器可用来查看和更改表面光源，这个编辑器提供一个界面来更改每个个体光源，用它可以设置和缩放多个光源的数据。这个编辑器可以用Define|Source Editor来打开。



	Object Name	Surface Name	Type	Source	Distribution	Total Rays	Min. Rays	Emissivity
1	Object 1	Surface 0	Flux (W)	1	Lambertian	100		
2	Object 2	Surface 0	Flux (W)	1	Lambertian	200		
3	Object 3	Surface 0	Flux (W)	1	Lambertian	300		
4	Object 4	Surface 0	Graybody (deg K)	800	Lambertian	450	1	1

在这个编辑器内，可以更改物件名称、表面名称以及在合适的单元格内输入新数据。光源类型（Source Type）和分布（Distribution）单元格只提供列表供选择，选择下拉单项目并按下Modify Selection按钮就可以更改光源类型。下一部分会有一个多光源编辑的一个例子。

### 对几个光源同时缩放总光线数 Scaling the Total Rays for Several Sources

要同时修改几个光源的数据，选择一个或几个的光源参数，如下图所示，在这个例子中包括所有光源的总光线（Total Rays），按下Modify Selection出现一个修改选择光源参数的对话框，在里面输入一个新的参数值或缩放系数，如图4.11。



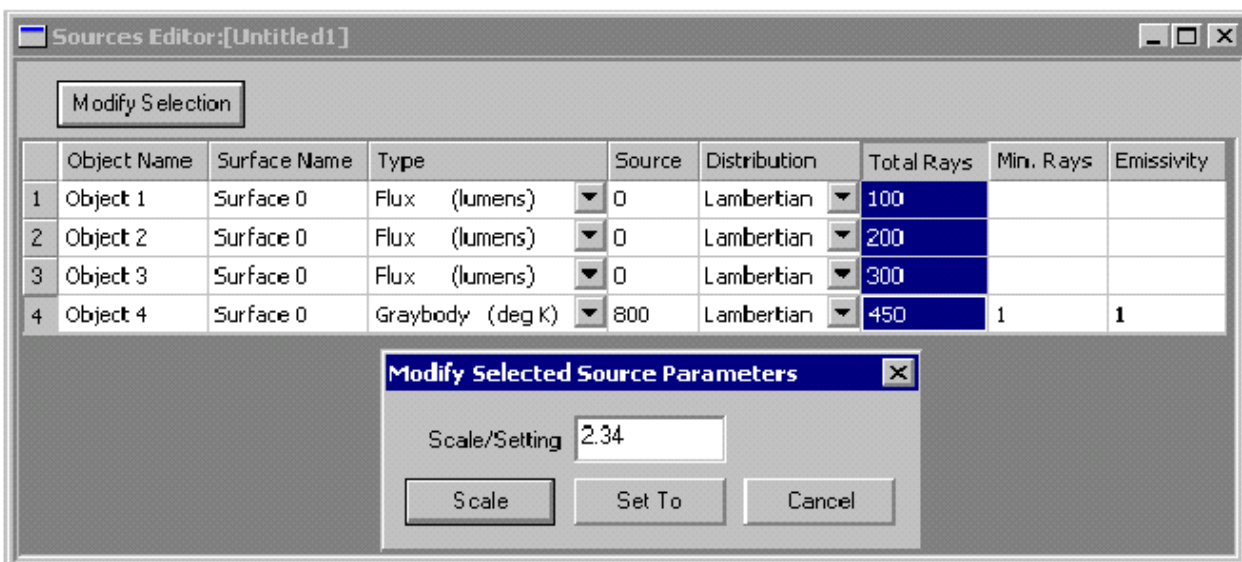


FIGURE 4.11 - Source Editor Modify Dialog

在选择参数的过程中，可以通过Shift和Ctrl键来增加选择项，选择可以跨行和列，如图4.12。

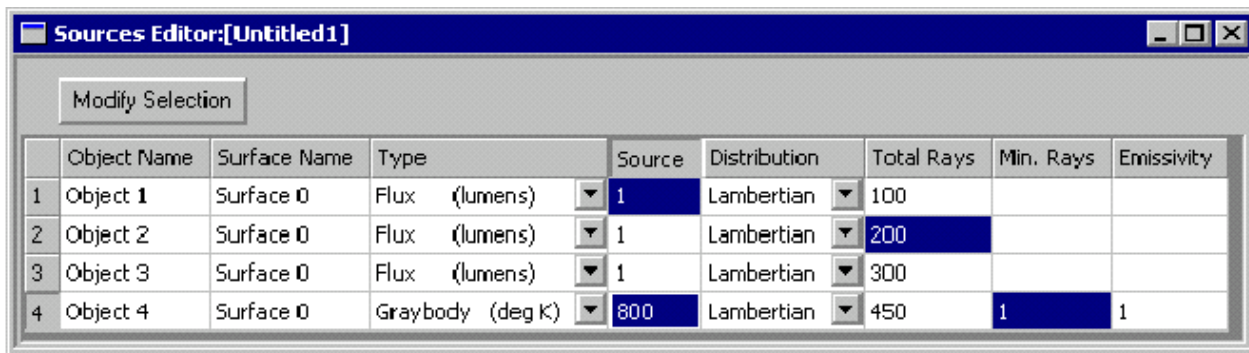


FIGURE 4.12 - Extended selection in numeric data cells

光源类型和分布可以通过下拉菜单来更改，如图4.13所示。

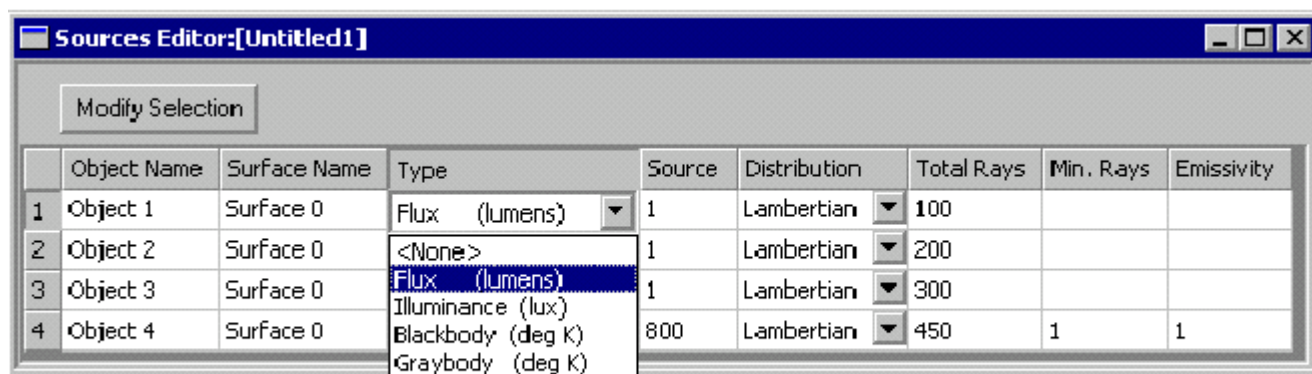


FIGURE 4.13 - Source Type dropdown list

## 规定 Prescription **Standard** **Expert**

在Define|Apply Properties对话框里的规定选项卡可以让你指定镜头表面的顺序，以进行影像形成光线的追迹。TracePro用规定（表面列表）来做三件事：（1）筛选光线；（2）自动建立重点采样目标（importance-sampling target），（3）在追迹过程中测试光学散射光线终止的极限。序列在这里是很重要的，因为TracePro是非序列光追迹程序。

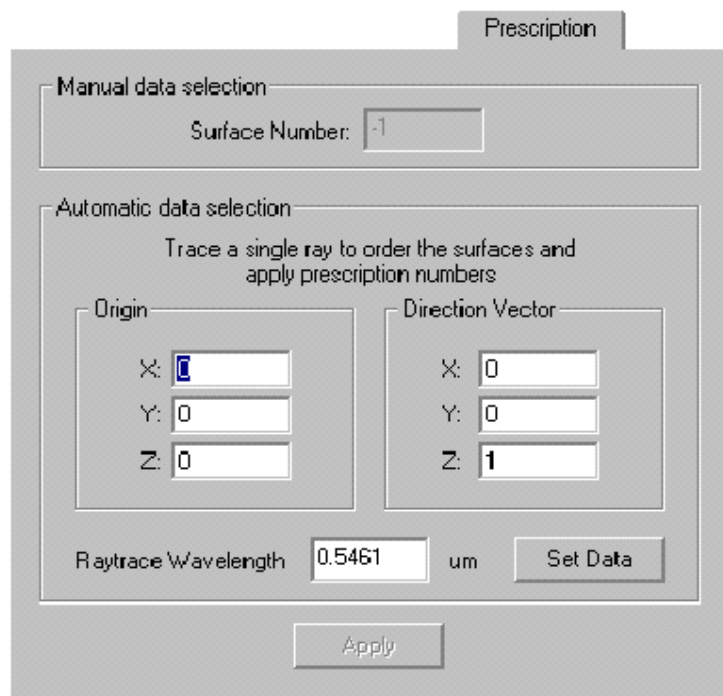
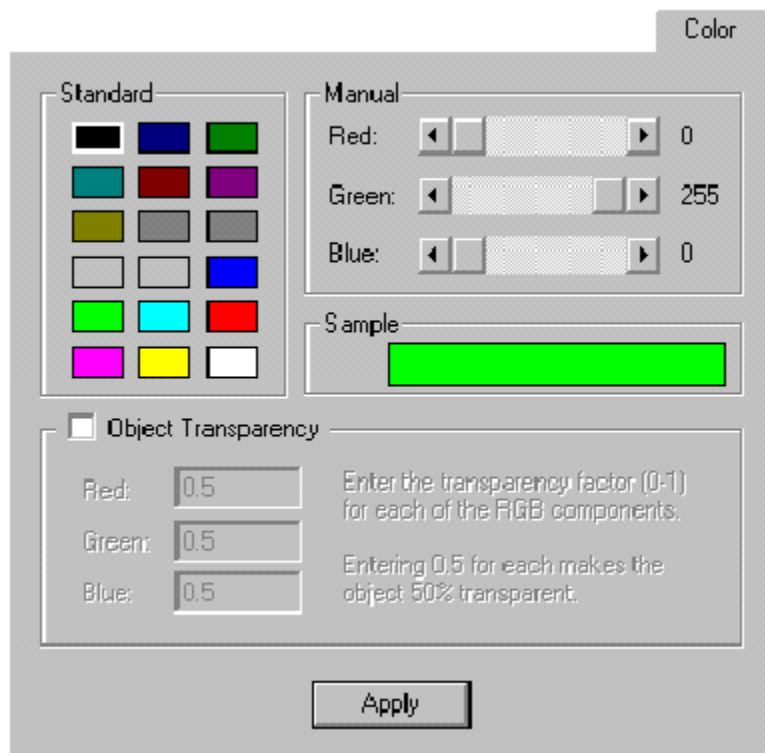


FIGURE 4.14 - Prescription Dialog

您可以手动或自动指定相交点的顺序，该选项卡让您通过输入光线系统中心光线的起始位置和方向来自动定义规定（prescription）；您也可以通过手动更改规定表面数字来编辑规定。如果规定数字是-1，意味着表面不是光学规定的一部分，请参考第4.23页的“Setup of Importance Sampling”。

## 颜色 Color

在模型窗口中，TracePro显示物件和表面的默认值为绿色，当用户选择某个物件或表面时，它会变成黑色。要改变默认的显示颜色，选择View|Customize并改变颜色选择。要改变物件或表面的颜色，打开Define|Apply Properties对话框，并选择颜色选项卡，从色板中选择一个新的颜色或自创一个。按下Apply按钮就改变选择的物件或表面的颜色。该颜色会被保存为模型数据。



物件颜色也可以包含透明度，透明度可以指定为从0.0到1.0中的任何值，0.0表示是不透明的，而1.0是完全透

明的。这些可以对色彩的红绿蓝进行设置。设置红为1.0而绿蓝为0.0的，就会使红物件是透明的而绿蓝物件是不透明的。

## 重点采样 Importance Sampling Standard Expert

在光学系统中，TracePro是用Monte Carlo技术在一定方向上产生和传播光线，这些方向对结果的决定是很重要的。它通过增加到达用户感兴趣的表面的光线数量来提高采样率。从概念上理解重点采样，包含“何时需要重点采样”部分，这部分的内容请参考技术参考（Technical Reference）那一章第7.2页的“重点采样”。重点采样可以用来提高下列应用的采样率：

- 表面散射 Surface Scatter
- 体散射 Bulk Scatter
- 衍射 Diffraction
- 表面光源 Surface Sources

重点采样的立体角可以通过圆形、圆环或矩形块来定义，这些块称为重点采样目标（importance sampling targets），这些目标不是实体模型（solid model）的一部分，仅仅用于重点采样。这些重点采样目标可以通过两种方式来定义——手动或自，自动设置重点采样可以用于表面序列规定可以定义的光学系统；如果模型包含多个潜在杂散光路径则需要手动设置目标。也可首先自动设置重点采样目标，然后手动增加其它目标。一旦重点采样已经被定义，他们可以编辑、删除和显示，参考第2.40页的“Display Importance”。

### 定义重点采样目标（手动）Defining Importance Sampling Targets (Manually)

通过选择Define|Apply Properties并在Apply Properties对话框中选中Importance Sampling选项卡，就可以手动设置重点采样目标，如图4.16所示。重点采样目标对话框可以让您直接指定重点采样目标的位置、方向和尺寸。您可以选择矩形或圆环形重点采样目标。

注意：重点采样目标可以在模型窗口中显示，请参考第2.40的“DisplayImportance”

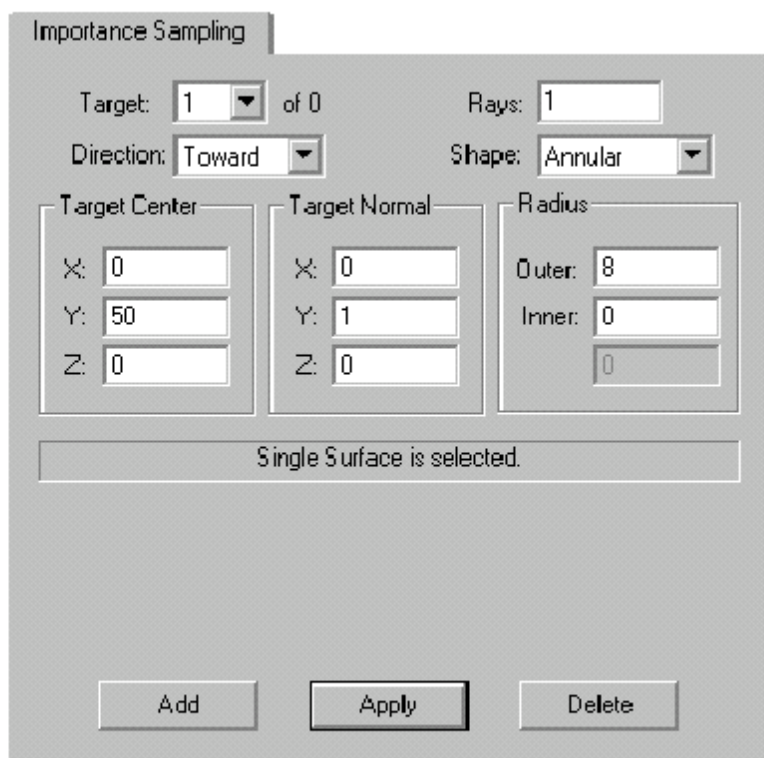


FIGURE 4.16 - The Apply Properties dialog box - Importance Sampling tab

手动设置重点采样目标的步骤如下：

1. 按下Add来定义一个新的重点采样目标
2. 指定重点光线的数量
3. 指定重点光线的方向（朝向或离开目标）
4. 选择重点采样目标的形状并输入目标的位置、方向和尺寸

## 5. 按下Apply来保存信息并用重点采样属性更新表面

这五个步骤会在后面部分作详细讨论。

重点采样率可以通过对一个散射表面指定多个重点采样目标实现, 对每个散射表面可以设置任意多的重点采样目标。

表 4.3. 重点采样对话框中的项目

<b>采样数 (samples)</b>	指定您希望朝向 (或离开) 目标的光线数目
<b>方向 (Direction)</b>	指定“Toward”或“Away”, 这决定于您是希望光线是朝向重点采样目标还是离开它
<b>形状 (Shape)</b>	指定重点采样目标的形状是圆环形还是矩形, 后面的对话框会根据选择有所不同
<b>表面中心/圆环 (Surface Center/Annular)</b>	指定x, y, z坐标来建立圆环形重点采样表面
<b>表面法向/圆环 (Surface Center/Annular)</b>	指定x, y, z坐标来建立重点采样表面法向
<b>半径/圆环 (Radius/Annular)</b>	给重点采样目标指定外径和内径
<b>第一、二、三角点坐标/矩形 (First, Second, and Third Corner/Rectangular)</b>	指定x, y, z坐标来建立三个决定矩形重点采样目标的角点
<b>Add按钮 (Add Button)</b>	按下该按钮来增加一个重点采样目标并用其后的对话框数据定义, 要使重点采样和特定表面联系在一起, 首先在按下Add按钮前在模型窗口选中一个表面。
<b>Apply按钮 (Apply Button)</b>	当完成定义或编辑重点采样目标属性后, 按下此按钮使之生效
<b>Delete按钮 (Delete Button)</b>	按下此按钮删除显示的重点采样目标

### 增加目标 Adding Targets

要增加一个重点采样目标, 选择Define|Apply Properties, 就会打开一个Apply Properties对话框, 选择Importance Sampling选项卡, 然后选择一个需要在其上面增加重点采样目标的表面 (对表面散射、折射或表面光源) 或物件 (对于体散射), 注意在对话框中有一个下拉框用来显示当前选中表面所拥有的重点采样数量。要访问重点采样设置, 也可以通过用鼠标右键单击模型窗口, 在出现的上下文菜单中选择Properties。

### 重点光线数 Number of Importance Rays

提高重点采样能力, 可能通过给每个重点采样目标分裂光线, 以使更多的光线到达每个重点采样的目标。如果重点采样目标包含一个更大的立体角或表面BSDF差异比较大 (超过一个数量级) 或希望有更多的采样数, 则选择多个光线给重点采样目标。

### 重点光线方向 Direction of Importance Rays

必须给重点采样光线指定方向, 或者是朝向或者是离开目标。

### 重点采样目标的形状、尺寸和位置 Shape, Dimensions, and Location of Importance Targets

每个重点采样目标有一个指定的形状, 或者是圆环形或者是矩形。如果圆环的外径是正数而内径是零, 表面目标是圆形的。除了形状外, 还必须指定目标的位置, 对于一个圆形目标, 必须指定中心位置、法线方向和半径; 对于一个矩形目标, 必须指定目标三个角点的位置。当手动设置重点采样目标时, 注意目标所包含的立体角不超过1个球面度, 如果区域比较大, 可以分成几个目标使得每个目标包含的立体角足够小, 这对不同角度上BSDF差异比较大的表面尤为重要 (例如镜片或镜头之类的抛光面)。

### 应用重点采样属性 Apply the Importance Sampling Property

一旦重点采样光线的数目、方向和目标的形状、位置、方向和尺寸都已定义, 在系统树中选择表面或物件, 单击Apply就可应用重点采样属性了。

### 自动设置重点采样 Automatic Setup of Importance Sampling

对于包含许多镜头的复杂光学系统, 如果需要散射和杂散光分析, 对每个表面手动设置重点采样就显得复杂且耗费时间。TracePro可以让你对所有的光学表面自动定义重点采样目标。下面的讨论会假设您熟悉光学成像方向的术语。

### 定义规定 Define the Prescription

在进行自动设置重点采样目标之前, 必须首先定义规定, 用来确定光线通过表面的顺序。用Define|Apply Properties对话框的Prescription选项卡就可以定义规定。

### 选择目标形状 Select the Target Shape

正确设定规定后，选择Define|Auto Importance Sampling对话框，其标题栏为Automatic Setup of Importance Sampling（如图4.17）。然后指定规定表面重点采样目标的形状为圆环或矩形，其形状最接近光学系统的视场形状。可能通过选择圆环按钮来指定圆形状目标。

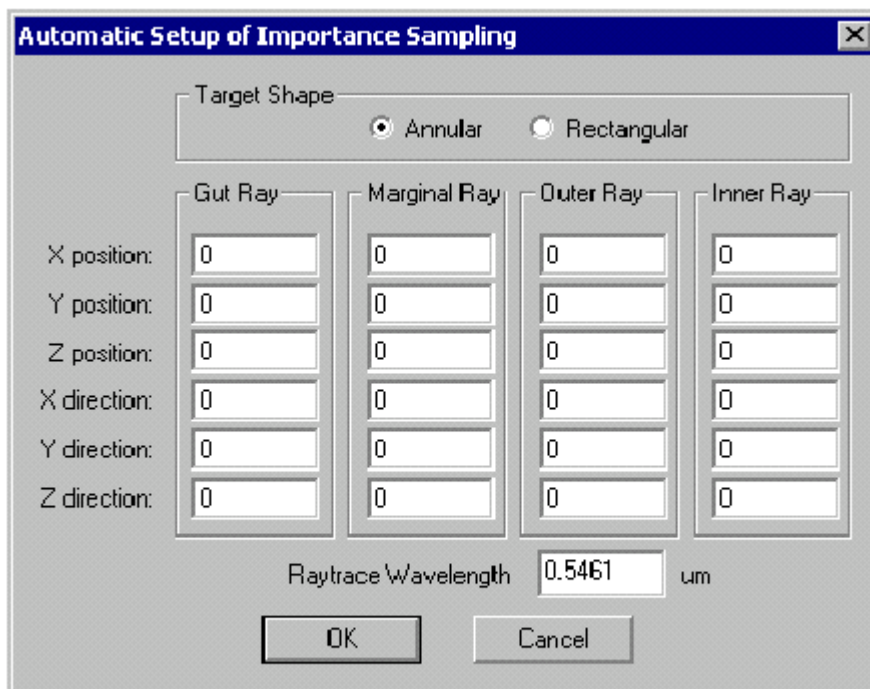


FIGURE 4.17 - Automatic Setup of Importance Sampling Dialog Box

指定中心光线（gut ray）、边缘光线（Marginal ray）和一到两条主光线（chief rays）

#### Specify a gut ray, marginal ray, and one or two chief rays.

中心光线（Gut Ray） 经过光阑中心和视场中心的光线

边缘光线（Marginal Ray） 经过光阑边缘和视场中心的光线

主光线（Chief Ray） 经过光阑中心和视场边缘的光线。高度光线和宽度光线都是主光线。

在某些情况下，用镜头设置程序来确定起始位置和光线方向是非常有用的。两个主光线用来确定矩形或圆环形目标。要定义圆形目标，选择圆环并设Inner Ray所有数据为0。

注意：如果中心光线被光学系统挡住（如Gassegrain Telescope的第二片反射镜），移动中心光线到观察孔径的内边缘。

#### 圆环目标 Annular Targets

要定义重点采样的圆环目标，输入各光线所需要的数据。内环光线经过光阑中心和圆环形目标的内环边缘，如图4.18所示。外环光线经过光阑中心和圆环形目标的外环边缘，且与目标相交点和内环光线、中心光线与目标相交点在同一条线上。

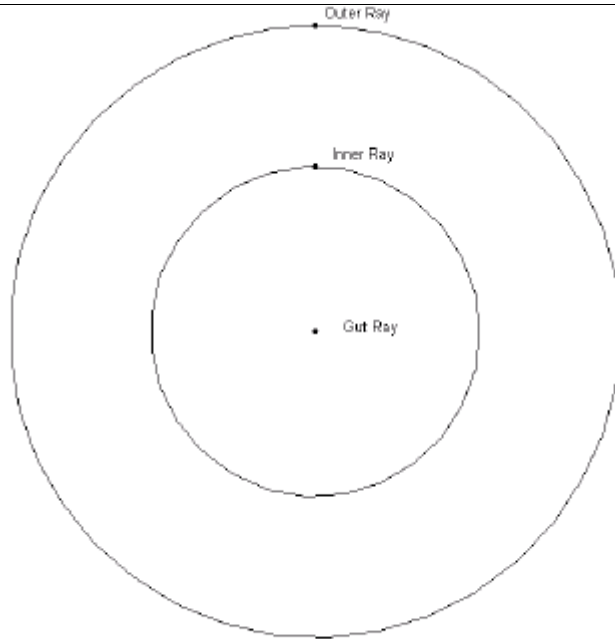


FIGURE 4.18 - Ray locations for automatic setup of importance sampling targets with an annular field of view

#### 矩形目标 Rectangular Targets

要定义重点采样的矩形目标，输入各光线所需的数据。高度光线经过光阑中心和矩形目标的长边中心，宽度光线经过另光阑中心和另外一条边的中心。边缘光线经过光阑边缘并与中心光线相交于目标的同一点，TracePro根据边缘光线和中心光线的交点来计算像面的距离和位置。

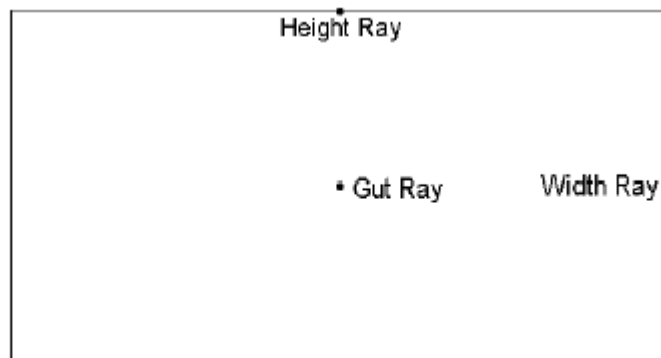


FIGURE 4.19 - Ray locations for automatic setup of importance sampling targets with a rectangular field of view

#### 应用目标 Apply Targets

一旦定义了规定、选择了目标形状、指定了中心光线、边缘光线和主光线，单击OK就自动应用了重点采样目标，通过展开系统树中相关表面，可以检查已被应用的重点采样目标。

#### 编辑/删除重点采样目标 Editing/Deleting Importance Sampling Targets

在Define|Apply Properties对话框的Importance Sampling选项卡中，可以检查并手动或自动编辑已定义的重点采样目标。在Importance Sampling打开后选择表面，然后在下拉列表中选中要编辑的重点采样目标，在对话框中更改参数，再点击Apply。要删除一个重点采样目标，在下拉列表中选择重点采样目标，单击Delete按钮就删除了这个采样目标。

#### 出射表面 Exit Surface

如果您用模拟模式（Simulation Mode）来减少计算长度和任务，必须指定一个表面为出射面来显示辐照图，TracePro可以有选择的收集一个表面的光通量和入射光线的坐标和方向，以显示坎德拉图。光线不必“出射”

到这个表面上，但是这个表面的常用术语。

**Standard** **Expert** TracePro和TracePro专业版在模拟模式下提供多个出射表面。一旦出射表面定义了，光线就可以在模拟模式下追迹。要察看分析结果，选择一个出射表面并显示图即可。如果显示了图但没有选择表面，那么图上显示的是第一个出射表面的数据。如果选择的是一个物件或一个非出射表面，在窗口中就会出现一个信息，要求您选择一个有效的出射表面。在开始一个模拟模式的光线追迹之前，您必须指定出射表面（一个或多个），按如下步骤来做该动作：

1. 选择一个您希望收集光通量和照度数据的表面
2. 选择Define|Apply Properties来打开一个对话框
3. 在对话框中选择出射表面选项卡
4. 选中Exit Surface复选框
5. 在对话框的底部单击Apply按钮

## 衍射 **Diffraction** **Standard** **Expert**

小孔衍射是光的“沿障碍物绕射”。TracePro可以模拟边界衍射，也称小孔衍射，一般发生在光线部分被边界挡住的地方。TracePro建立衍射模型的方法是逼近法，它在大角或广角是正确的。关于衍射模型的详细讨论在第七章“技术参考”里有涉及到。

### 在TracePro中定义衍射 **Defining Diffraction in TracePro**

衍射是光的本质之一，当光通过一个障碍物且其一部分被障碍物挡住时，就会有衍射发生。这个物理过程限制了镜头的解像力。衍射是一种干扰现象，当光波是无障碍传播时，它们是连续而可重建的干扰；当其中一个被障碍物挡住，它的波前忽然就不完美，干涉波就会出现。水波经过挡板的时候就可以观察到衍射现象，一个长平面波经过一个挡板（波平行于挡板）就会导致挡板端面发出球面波。原始的平面波离开挡板后依然是不连续的，球面波和平面波在“缺口”区域相互干扰，引起干涉的最大值和最小值——引起水波进入“阴影”区，使得观察者不能完整地看到水波的前进。光的衍射结果与此相似。完整的衍射分析是物理学的一个数学分支，这已超过了本手册的范围，感兴趣的读者，可以查阅相关书籍，大部分光学书本都有这方面的介绍。一些附加技术细节在第七章“技术参考”里也有涉及到。

### TracePro何时需要用到衍射 **Do I need to Model Diffraction in TracePro?**

TracePro执行的衍射建模能力是有限的，一般用来进行杂散光分析，以及特殊光学仪器系统的传播，在其中衍射对透射有很大影响。一般地，影像质量的衍射研究一般由光学设计软件如OSLO来做，而且对照明系统衍射建模不是必需的。如果您给杂散光分析建立衍射模型，对光学系统中的每个衍射孔径定义重点采样也是必要。衍射孔径的重点采样目标与先前规定的光学表面目标一致。

### 如何设置衍射 **How do I Set Up Diffraction?**

TracePro中衍射发生在定义了衍射属性的表面上。在一个表面设置衍射由四个步骤完成：

1. 选择要建立衍射模型的表面。它可以是反射镜片或镜头的表面，如果没有想设置衍射的表面，必需定义了“虚拟物件（dummy object）”，并虚拟物件放在希望衍射发生的地方，然后选择物件的一个面。
2. 在Define|Apply Properties对话框中的衍射选项卡里选中Aperture Diffraction复选框。
3. 在Raytrace Options对话框里设置衍射距离（可选），该设置让您通过指定距离来限制模型计算。孔径衍射距离是从衍射边界的最大距离，该边界是用户想模拟光线计算的边界。超过这个距离，TracePro认为光线是无偏离的。如果您不能确定如何用这个设置，就保持它的默认值。

### 对一个衍射表面应用重点采样 **Applying Importance Sampling to a Diffracting Surface**

1. 选择一个球壳物件并关于孔径旋转一个小角度，如一度角。
  - a. 选择球壳物件并通过Edit|Object|Rotate来打开旋转对话框。
  - b. 关于x轴旋转一个物件，并输入一个角度。
  - c. 把旋转点设在(0,0,0)，并按下Apply。这使得球面光源产生的光线在观察盒里聚于一点
2. 重做光线追迹和辐照度看这个改变是如果影响出射表面的入射光。你会看到没有光线出现在你的出射表面上。
3. 给与出射表面一致的衍射表面设置一个重点采样目标，来进行光线追迹。
  - a. 应用重点采样给衍射表面，首先选择衍射表面（z=0的表面），打开Apply Properties对话框，选择重点采样选项卡，然后按下Add按钮设置如下的属性：

Target:	1
Rays:	1
Direction:	Toward
Shape:	Rectangular
First Corner:	X = 0.55; X = 0.55; Z = 1000
Second Corner:	X = -0.55; X = 0.55; Z = 1000
First Corner:	X = 0.55; X = -0.55; Z = 1000

- b. 单击Apply。这些属性定义给出射表面，作为衍射表面的重点目标。
4. 关闭Apply Properties对话框并打开Analysis|Raytrace Options对话框  
在阈值选项卡，设置光通量阈值为 $1e-50$ 。由于重点采样“迫使”一个Monte Carlo追迹（通常是随机的）在特定方向上产生一条光线，必须选择足够值的阈值。结果，打在重点目标上的光线光通量根据光线出现的概率进行调整。
5. 重新进行光线追迹并观察打到目标区域上的重点采样光线。下面的辐照图该追迹的一个可能结果。

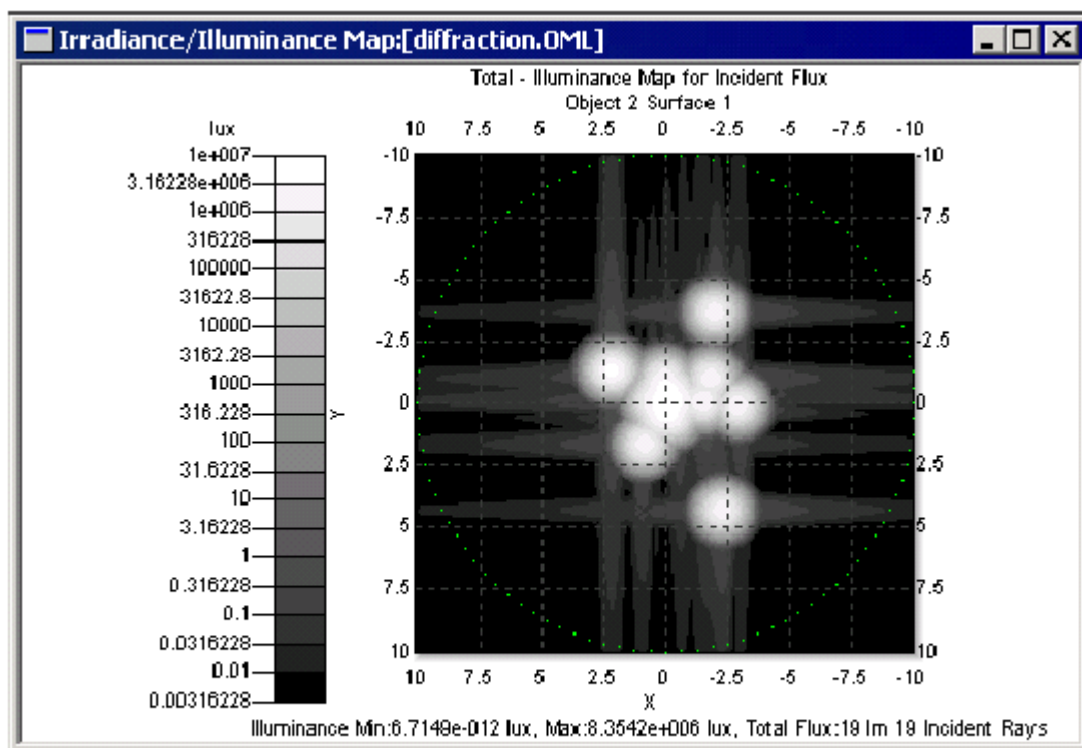


FIGURE 4.20 - Irradiance Map for Edge Diffraction with Importance Sampling

6. 关于x轴把光源物件旋转1个或几度，旋转点为原点(0,0,0)。
7. 重新进行光线追迹并在观察表面上观察更低的光通量。

## 使用光线标志 Using the Raytrace Flag

光线追迹标志可以让您把一个物件从光线追迹中剔除，这可以加快光线追迹速度。在追迹之前的核查(Audit)中，在Macro/Message对话框中会提醒您哪个表面已经从光线追迹中剔除。要在追迹中剔除一个物件，选择物件，打开Define|Apply Properties对话框，选择Raytrace Flag选项卡，选中复选框，再单击Apply。

## Mueller矩阵 Mueller Matrix Standard Expert

通过指定Mueller矩阵，您可以创建和应用一个偏振元件到TracePro中。TracePro用Stokes vector-Mueller方法来建立偏振光模型。用Define|Apply Properties对话框并选择Mueller matrix选项卡来应用偏振到TracePro物件中。用Grid Raytrace对话框也可指定起始光线的偏振。



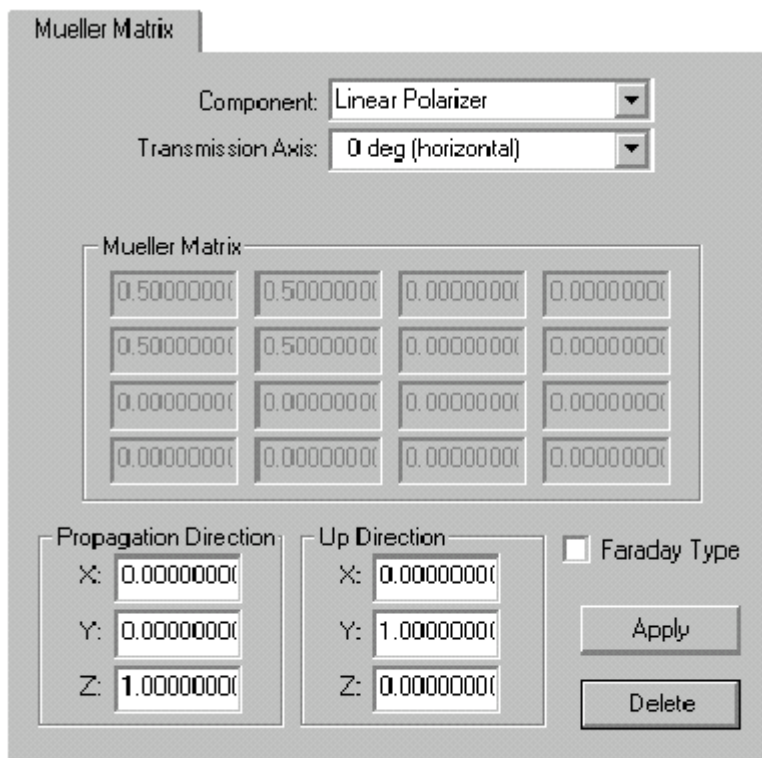


FIGURE 4.21 - The Apply Properties Dialog Box - Mueller Matrix tab

如果指定了一个Mueller矩阵，必须同时指定它的方向。指定方向可以通过指定在对话下部的“向上方向（Up Direction）”矢量和“传播方向（Propagatoin Direction）”矢量来完成。方位矢量在全局坐标中指定。方向矢量在Mueller矩阵起作用的时候指定光线传播的方向。

当一条光线穿过一个物件的时候，光线的Stokes矢量转换成Mueller矩阵坐标系统，然后被Mueller矩阵所乘来确定光线的偏振状态。当光线进入物件后，任何为Mueller矩阵吸收的光通量都会被记录。这就是说，这就是说，光线离开物件时所具有的光通量小于Meller矩阵吸收前的光通量，类似于体吸收（Bulk absorption）。

一个Mueller矩阵是一个4x4矩阵，一个Stokes矢量是一列长为4的列向量。因此Mueller矩阵乘以一个Stokes矢量产生一个新的Stokes矢量。在这个上Stokes矢量可以传播过一个光学系统。例如，一个Mueller矩阵不做任何事情，仅是一个单位矩阵：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

而一个水平偏振为：

$$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

非偏振的Stokes矢量为：

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

而完全水平偏振光的Stokes矢量为：

1  
1  
0  
0

在第七章“技术参考”里有关于Mueller矩阵和Stokes矢量的例子。Mueller矩阵和Stokes矢量在很多书里都有讨论（如E.L. O’Neill的Introduction to Statistical Optics, Dover, ISBN: 0486673286 (1992); E. Collett的Polarized Light: Fundamentals and Applications, Dekker, ISBN: 0824787293(1992); Shurcliff and Ballard的Polarized Light, van Nostrand (1964); Kliger, Lewis, and Randall的Polarized Light in Optics and Spectroscopy, Academic Press, ISBN: 0124149758 (1990)).

Mueller矩阵必须小心定义——因为很有可能创建一个不可能的Mueller矩阵，如创建了一个导致Stokes矢量物理不存在的Mueller矩阵。

## 温度 Temperature Standard Expert

TracePro有表面和物件的温度属性。材料和表面属性中有基于波长和温度的数据。在光线追迹和核查过程中，属性数据就会被更新以反映当前表面和物件的温度。如果一个物件定义了温度而表面没有，物件的温度将会被应用到表面。如果温度没有定义，将会使用默认值。举个例子，有一个名为“Temperature”的材料属性，它在300K时的折射率为1.5，在500K时为2.5。两种情况下的光线追迹如下图所示。

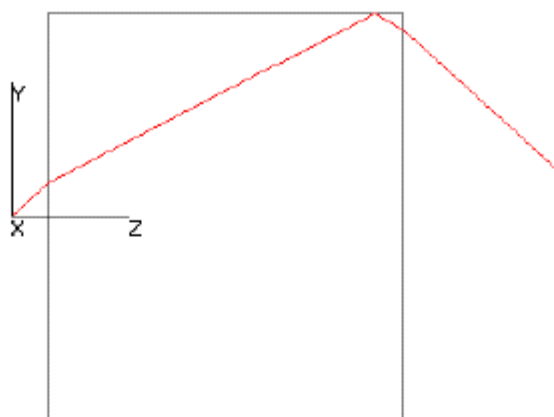


FIGURE 4.22 - Raytrace of block with example “Temperature” material applied, with  $n = 1.5$  at  $T=300K$

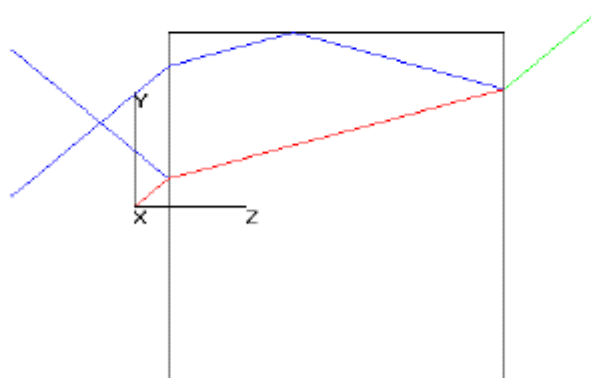


FIGURE 4.23 - Raytrace of block with example “Temperature” material applied, with  $n = 2.5$  at  $T=500K$

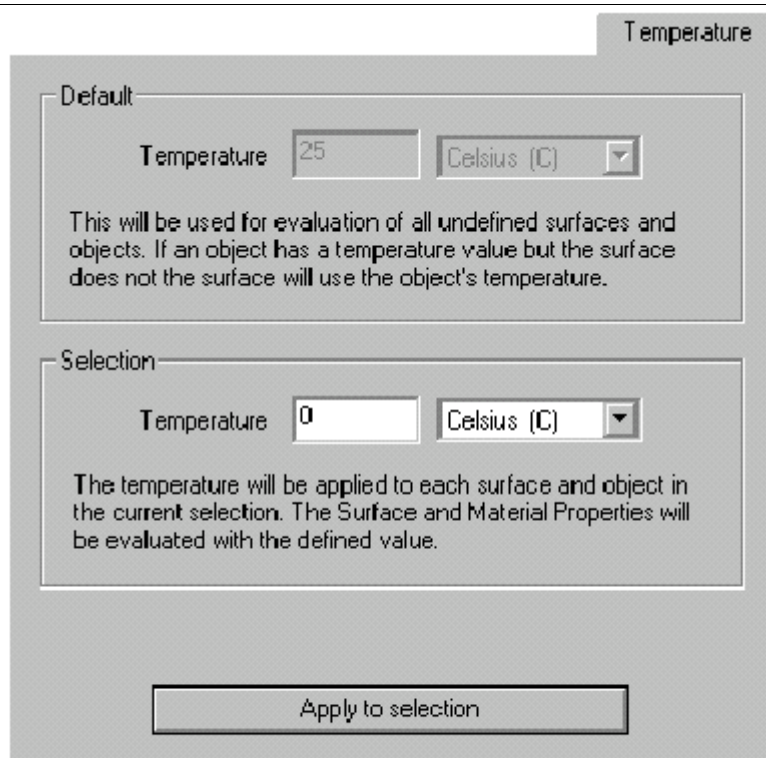


FIGURE 4.24 - Apply Properties Dialog Box, Temperature Tab

温度可以像其它属性一样通过Apply Property对话框来应用。在选择具有相同温度的物件和表面后，输入新的温度数据并按下Apply来更新模型，温度可以以C、F或Kelvin为单位来输入。

**注意：**如果属性定义只有一个温度，表面和物件的温度就会被忽略。

**注意：**当前版本的TracePro不会用到默认温度。

## 类和用户数据 **Class and User Data** **Standard** **Expert**

类数据的特征是让用户定义一个字符串和数字数据给一个或多个物件，类名称会在不出的输出中显示并可用macro语言来访问。要应用类数据到一个或多个物件，通过Edit|Select|Objects工具来选择物件并打开Apply Properties对话框，选择Class and User Data选项卡来输入被应用的名称，再按下Apply来更新选择的物件。

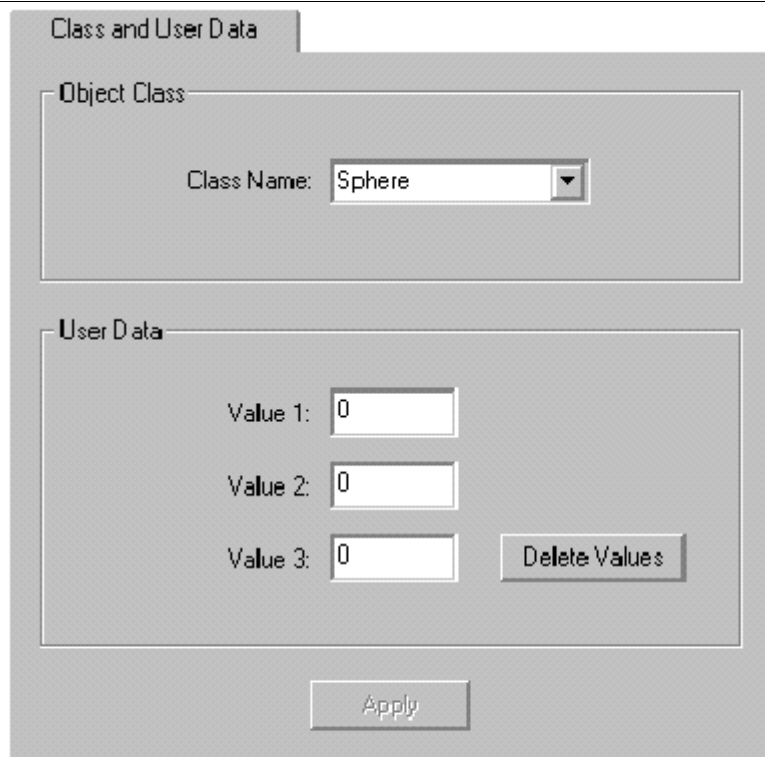


FIGURE 4.25 - Apply Properties Dialog Box, Class and User Data Tab

用户数据可以把数字数据应用到一个或多个物件，这个数据可能在macro操作时用来存储光线追迹过程中的数据。在属性报告和系统树中会显示被应用的类和用户数据。在线Macro参考提供详细的macro命令来应用类和用户数据。

## RepTile表面 RepTile Surfaces Expert

### 概述 Overview

如果创建的物件有许多小的重复结构，通常用TracePro或其它实体建模程序是不可行的。例如，用在平板LCD上的增光片（Brightness-enhancing films）有几千甚至几百万个重复的表面结构单元。TracePro中的RepTile表面特性可以让您通过指定每个或每行Tile的形状来创建这些物件。与等同的实体几何模型相比，这个属性可以让您用更小的模型容量、更短的核查时间和光线追迹时创建复杂的模型。

### 指定RepTile表面 Specifying a RepTile surface

在TracePro中制作一个RepTile表面的过程就如同应用一个表面属性。TracePro拥有一个包含不同RepTile表面类型和几何结构的数据库，您也可以定义不同的RepTile参数并添加到数据库中。数据库可以通过RepTile属性编辑器来访问，可以应用不同的tile形状（环、矩形、交错矩形和六角形）和几何结构（圆锥（conical）、球体（spherical）、屋脊（hip-roof）、立方体角（cube-corner）、棱柱（prism）、圆柱（rounded prism）和菲涅耳透镜（Fresnel lens））。一般情况下，几何结构可以定义为凸块（bumps）或凹块。如果RepTile属性已被输入到数据库中，可以通过打开Apply Properties对话框的RepTile选项卡来应用到一个平面表面上。附加数据也是需要的，如在Tiles表面定义边界（矩形或圆形）、参照tile(0,0)的位置，这些数据都在Apply Properties对话框的RepTile选项卡里输入。

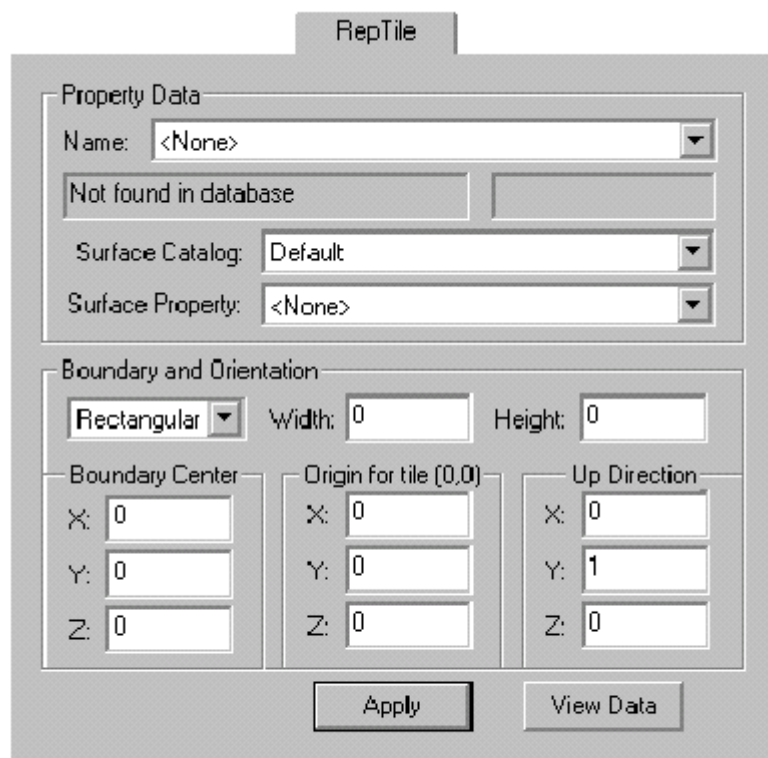
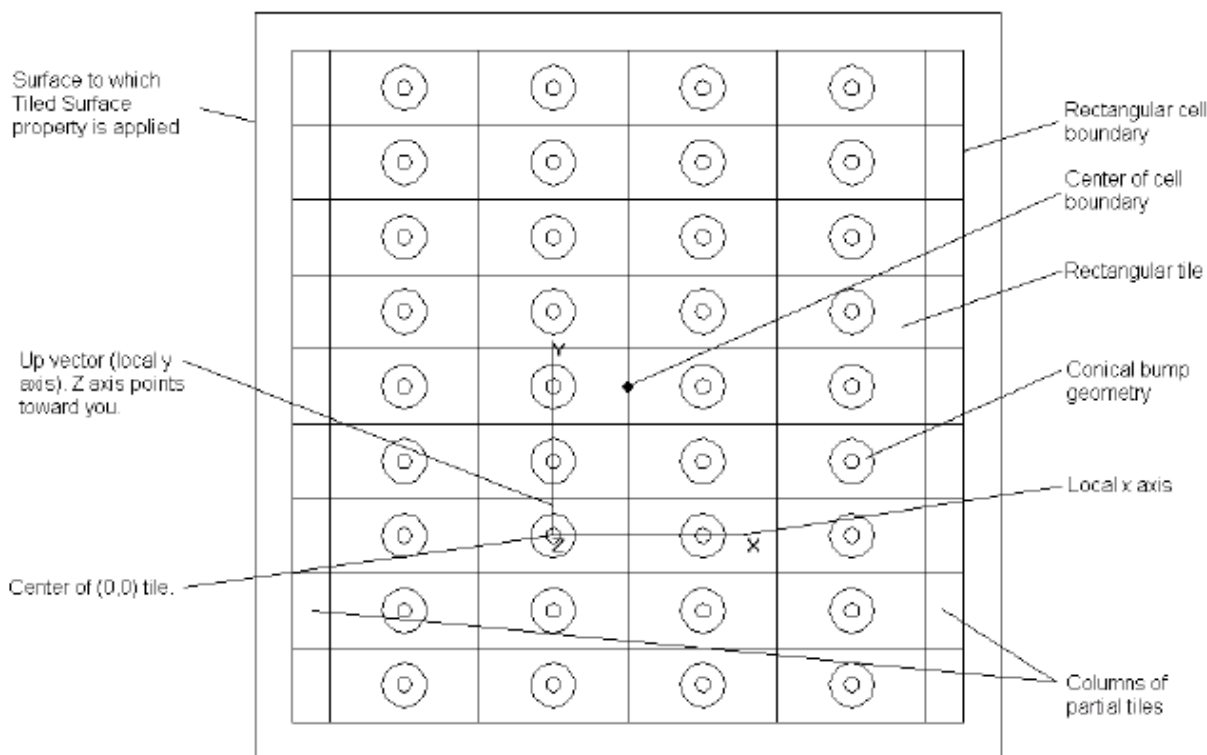


FIGURE 4.26 - RepTile Dialog

当你应用RepTile到一个平面表面时，TracePro定义一个包含tile的“单元（cell）”，这个单元有边界的形状（圆形或矩形）和可计算的深度。单元的深度如下：

- 深度或高度d，也即几何结构的最深度，是可计算的
- 每边有0.001的可变范围

单元的总深为 $d+0.002\text{mm}$ ，所有的几何结构表面从顶部到底部的深度至少为 $0.001\text{mm}$ 。使用时要注意深度，因为单元必须要被物件应用了Reptile的表面完全包含。如果这个规则被破坏，就会导致正确的光线出现。另一个是想像单元“嵌入”表面 $0.002\text{mm}$ 的距离（对于凸块和凹块都一样）。沿着单元的边界必须有一个边界，这就是说，这个边界不应于任何表面或物件相同，以防止光线逃掉。这个边界可以很小，如 $0.001\text{mm}$ ，但不能为0，以免出现错误光线。



**FIGURE 4.27 - A completed RepTile Surface. The tiled region has a rectangular boundary, and the tiles are rectangular with conical geometry. The tile numbering increases along the x and y axes. Tiles along the local x axis are in rows, and those along the local y axis (the Up vector) are in columns.**

RepTile表面上的tiles方位由向上矢量确定，这个矢量是当应用RepTile表面属性给一个表面时输入的。向上矢量的方向定义了表面局部y轴，表面法线矢量定义了局部z轴，局部x轴垂直于y轴和z轴，形成右手定则坐标系统。Tile的宽度是沿着x方向的尺寸，高度沿着y方向的尺寸，凸块或凹块的深度/高度沿是沿z方向的尺寸。

图4.27展示了一个矩形表面平面，其上应用了一个RepTile表面属性，您要指定(0,0) tile的(x,y,z)位置。Tile按x轴和y轴编号，在(0,0)上面的tile为(0,1)，在(0,0)右边的tile为(1,0)，通常情况下，tile的位置由它的坐标(nx,ny)确定。当您选择的是变量几何结构时，几何结构随ny变而变，因此对于一个给定的ny，所有的nx都是一样的，在图4.27中，所有同一行上的tiles都是一样的，但在同一列中，每行的几何结构可以是不一样的。当您输入坐标(0,0)时，它不一定要在表面上。如果它在表面的上面或下面，相应的点会沿着法线方向投影到表面上。一些tiles（或其一小部分）不会被再利用，但这是一个应用RepTile表面特性的很有效方法。

### 边界形状 Boundary Shapes

TracePro会终止那些企图通过RepTile表面结构边界而进行一个RepTile表面结构的任何光线。这些光线的光通量就变成丢失光通量(Lost flux)。

### 圆形边界 Circular boundary

通过一个中心点(x,y,z)和一个半径来指定一个圆形边界。当您指定一个圆形边界时，TracePro会创建一个矩形单元来包含tiles。

### 矩形边界 Rectangular boundary

通过一个中心点(x,y,z)和宽高来指定一个矩形边界。当您指定一个矩形边界时，TracePro会创建一个矩形单元来包含tiles。

### 可视化表面属性 Visualization and Surface Properties

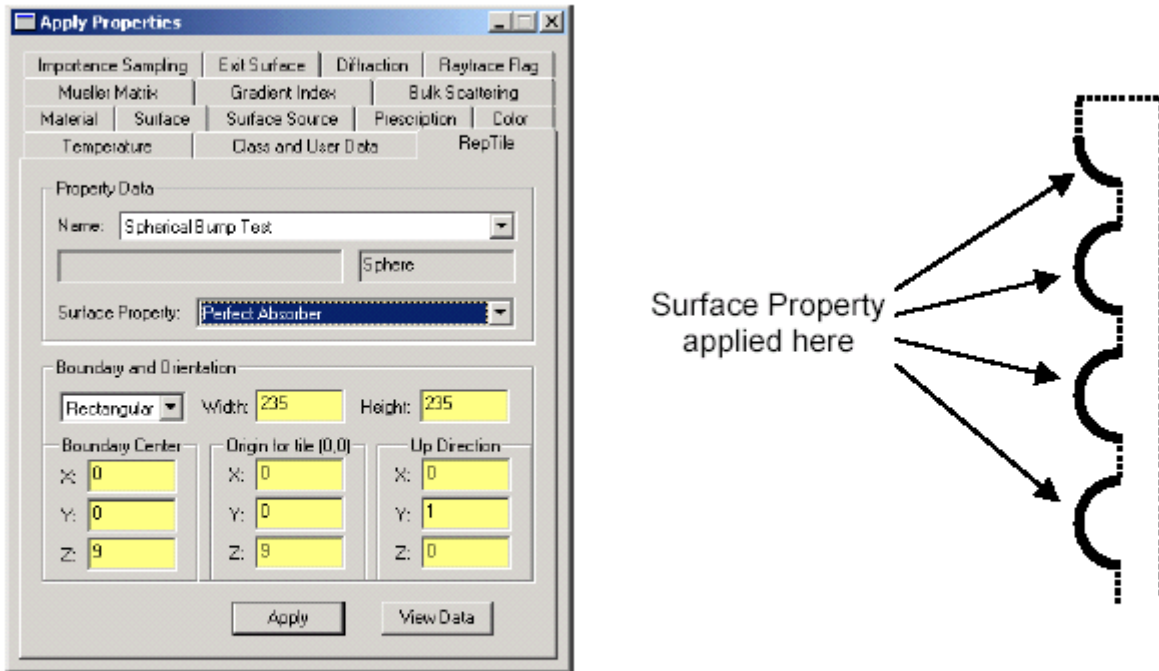
注意在TracePro模型窗口中并没有画出RepTile的表面，因为这样做会严重影响表面的计算效率。要使RepTile表面是可视化的，您可以在Apply Properties中把RepTile表面属性设为Perfect Absorbed，然后追迹一束为RepTile表面所吸收的光线，然后这些光线就会在RepTile表面终止。请参考第2.39页的“Display RepTile”。

图4.28展示了包含一系列球面凸块的物件的不同表示方法，这些凸块在TracePro模型窗口中应用了左手定则。图4.28A展示了物件的剖面图，表面凸块创建的结构就如同实际的实体模型时一样。为了创建这个物件，要几个

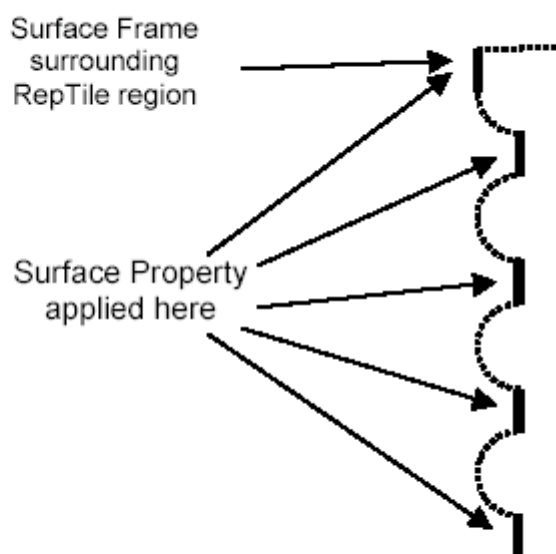
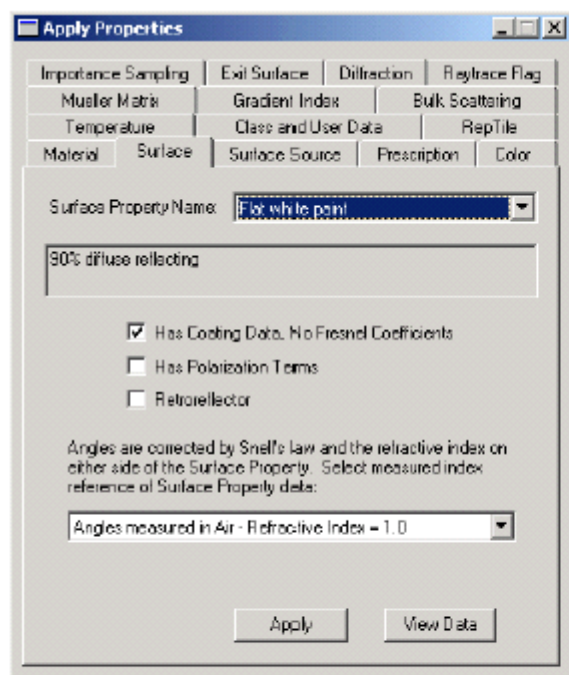
球体联合形成一个单个实体模型物件。

图4.28B展示了交替型的剖面图：一个显示与图4.28A一样几何结构的RepTile表面。您将清楚地看到在图4.28B中RepTile表面在物件中没有显示。图4.28C描述了一种显示RepTile表面的推荐方法：Perfect Absorber表面被应用到表面，一系列接近等间距的光线以Grid raytrace方式进行追迹。由于光线被Reptile表面吸收，所以其末端显示了表面几何结构的剖面图。

在同一个RepTile表面上，可以以不同的方式应用两个不同的表面属性，如图4.29所示，在Apply Properties对话框的RepTile选项卡中通过改变表面属性来把一个表面属性应用于RepTile，图4.29描述了通过在Apply Properties对话框的Surface指定Surface Property Name来把另一个不同的表面属性应用于RepTile。注意任何一个tile的边界区域(如一个凸块、凹块周边的区域)应用的是后面一种的表面属性，同样的，后者还应用于RepTile单元的边框(看图4.30的标志)。



**FIGURE 4.29 - Applying a surface property directly to RepTile features in the Apply Properties dialog. The surface property will apply to the surfaces drawn with bold lines in the schematic.**



**FIGURE 4.30 - Applying a surface property to the underlying surface of a RepTile surface in the Apply Properties dialog. The surface property will apply to the surfaces drawn with bold lines in the schematic.**

如果您要对被所有RepTile区域吸收的光线进行追迹(如图4.28C),则RepTile区域表面属性(图4.29)和后面的表面属性(图4.30)都要设置为Perfect Absorber。

## 温度分布 Temperature Distribution

一个温度分布属性允许表面上非线性的温度分布,该属性可以通过在Define|Apply Properties的Temperature Distribution选项卡进行设置。与这特征兼容的表面有矩形(矩形边界的平面)、圆形(圆形边界的平面)和圆柱形(圆柱体的曲面,每个端点垂直于圆柱体中心轴)。分布信息保存于ASCII文件中,并可定义为:一个包含沿表面点的二维数组,在给定点之间用内插值法方式计算;一个多项式表达式,超过5次方,用户定义系数。参考第7.34页的“Non-Uniform Temperature Distributions”。



## 第五章 光线追迹

### 光线追迹的介绍

这一章介绍了如何得到以及控制光线的轨迹。你的光线和你的模型间作用的方式一部分取决于你的模型本身（你的物体的细节和你给予它的特性应用），一部分也由你控制光线发射进入模型的方式决定。这里有三种基本的光线发射方法：栅格式光线追迹，源文件光线追迹和表面光线追迹。我们将首先介绍它们的不同点，然后再介绍一些在 TracePro 光线轨迹控制中都会用到的共同特征。

TracePro 通过光线轨迹控制来模拟光通量通过模型的分布。这一章包括在 TracePro 中应用光线轨迹控制的逻辑和你可以用来增强光线轨迹的技术。

### 栅格式光线追迹

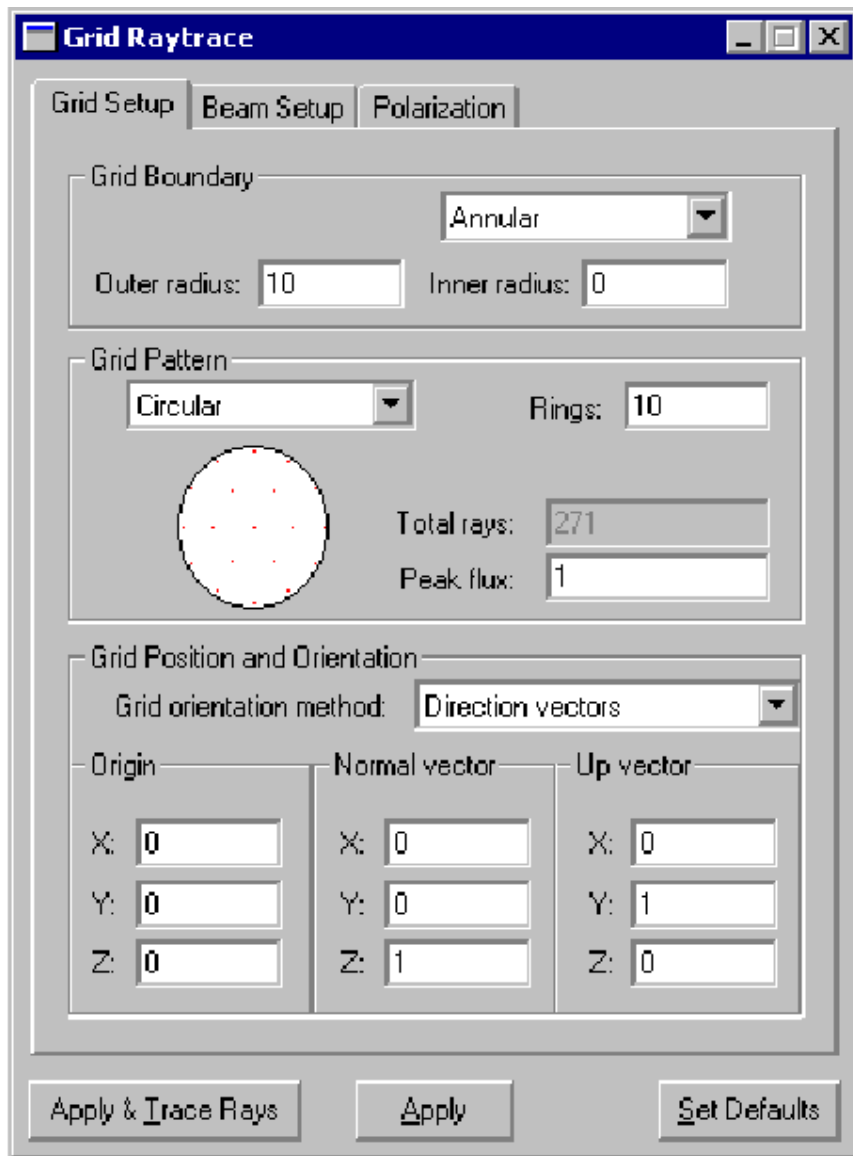


图 5-1— 在 analyze 菜单下的的 Grid Raytrace 对话框

在栅格光线追迹方式中，你在有规律的或者随机的栅格中指定光线的空间和角度的分布。TracePro 从一个假想的平面中打出一栅格的光线。

当模型被存成 OML 文档的时候，栅格光线轨迹信息也被存储。当数据改变的时候，点击 Set Defaults 键把数据设成默认值，以供下次打开 TracePro 时使用。参见第一章中 1.6 页的“user default”部分。

表格 5.1 总结了在定义栅格光线追迹中的第一组选项。栅格的参数确定了它的大小，样式和位置。一般而言，你可以把栅格光线看成是从无穷远的光源发射的相互平行的准直线样本。栅格平面定义一个同光线平行的窗口，从中可以看到通过边界内的光线。

表格 5.1. 栅格光线轨迹选择——栅格设置

栅格设置表格	
Attribute 属性	Value (值)
Grid Boundary 栅格边界	Annular 环状的 Rectangular 矩形的
Grid Dimensions 栅格边界半径	Inner & outer radius (Annular) 内径和外径 (环状) Y half-height & X half-width (Rectangular) Y 半高度和 X 半宽度 (矩形)
Grid Pattern 栅格点分布样式	Rectangular 矩形 Circular 圆形 Cross 十字形 Dithered rectangular 抖动的矩形 Random 随机
Grid density 栅格密度	Number of rings (circular pattern), OR 圆环数 (圆形样式) 或者 X points & Y points (rectangular, cross, or dithered grid pattern), OR X 点值和 Y 点值 (矩形, 十字形, 或者抖动矩形的样式) 或者 Not applicable (random grid pattern) 无属性 (随机样式)
Number of rays to trace 发出的光线数目	Calculated (rectangular, circular, cross, or dithered grid pattern), OR 系统计算出来的值 (矩形, 圆形, 十字形, 或者颤抖的矩形的样式), 或者 User defined (random grid pattern) 用户定义的 (随机样式)
Peak Flux 光通量峰值	User defined 用户定义的
Center coordinates of grid 栅格的中央坐标	x, y, z coordinates of origin x, y, z 的初始坐标值
Orientation of grid 栅格的方向	x, y, z Normal and Up vectors OR x, y, z 的法线方向和视图的向上方向 或者 x, y, z Euler rotation angles

	x, y, z 欧拉转动角
--	---------------

表格 5.2 列出了栅格光线轨迹的光束选项。光束选项改变栅格的空间和角度曲线。

表格 5.2 栅格光线选项 — 光束设置

Beam Setup tab 光束设置表格	
Attribute 属性	Value(s)值
<b>Spatial profile of beam</b> 光束的空间曲线	Uniform 均匀光束 Gaussian 高斯光束
<b>Spatial weighting of beam</b> 光束的空间加权	uniform flux & weighted position OR 均匀光通量 和 位置加权 uniform position & weighted flux (Gaussian) 均匀位置 和 加权光通量 (高斯光)
<b>Spatial Dimensions of Beam (Gaussian only)</b> 光束的空间尺寸	x waist $1/e^2$ radius 束腰在 $1/e^2$ 处的 x 半径 y waist $1/e^2$ radius 束腰在 $1/e^2$ 处的 y 半径
<b>Angular profile of beam</b> 光束的角度曲线	Uniform 均匀光 Gaussian 高斯光 Lambertian 朗伯光 Solar 日光
<b>Angular weighting of beam</b> 光束的角度加权	Uniform flux & weighted angle OR 均匀光通量和角度加权 Uniform angle & weighted flux (Random grid and angularly non-uniform beam only) 均匀角度和光通量加权 (仅用于随机栅格和角度非均匀的光束)
<b>Angular Dimensions of Beam</b> 光束的角度大小	radius OR 半径 或者 x $1/e^2$ half-angle & y $1/e^2$ half-angle $1/e^2$ 处的 x 平面半角和 $1/e^2$ 处的 y 平面半角
<b>Orientation of beam</b> 光束的方向	set perpendicular to grid OR 设为同栅格垂直 或者 direction vectors OR 方向向量 或者 Euler angles OR 欧拉角度 或者 Converge to a point OR 汇聚到一点 或者 Diverge from a point 从一点处发散

偏振表格提供了一种初始化栅格射出的光束的偏振状态的方法。表格 5.3 列出了偏振的选项。

<b>Polarization tab 偏振表格</b>	
Standard 标准	Expert 专家
<b>Attribute 属性</b>	<b>Value(s) 值</b>
<b>Polarization state 偏振状态</b>	Unpolarized, linear, circular, or custom 非偏振的, 线性的, 圆形的, 或者定制的
<b>Degree of Polarization 偏振程度系数</b>	$0 < \text{degree} < 1$ $0 < \text{偏振程度系数} < 1$
<b>Custom Polarization 定制偏振</b>	Method, Handedness, Ratio, Orientation 偏振方法, 旋向, 比率, 方向
<b>Normalized Stokes Vector 归一化向量</b>	Display only 仅仅显示

当你填完这些参数后, 点击 Apply&Trace Rays 按钮, 那么光线就按轨迹发出了。你也

可以选择点击工具栏上的 Grid Trace 按钮  来开始发光过程。这时会有进度条对话框打开, 当发射光线完成后, 对话框自动关闭。

你任何时候都可以通过点击对话框上的 cancel 来打断发射光线的全过程。你也可以选择 Analysis|Resume Raytrace 从同一个位置继续发光过程, 发光过程将接着上次的过程直接从下一个号码的光线开始发光。

栅格光线轨迹对话框中的栅格设置栏表现的是被选取栅格的原型, 可以作为预览看到光线是如何产生的。偏振设置栏也同样提供了光的偏振性质的预览。

指定栅格光线轨迹的参数如下所述。

## 栅格的设置

### 栅格边界

栅格的边界指定了栅格的形状和尺寸, 从中将产生一栅格平面的光线。光线按照栅格的样式生成。在栅格边界之外的光的起点将被抹去。栅格的样式和边界是结合的和相配的。

### 形状

一个环形的栅格边界意味着一个由栅格的尺寸决定了半径的环面。所以的光线出发点都需要处于该环面中。

比如说, 如果在一个环形边界中选择栅格样式为矩形样式, 光线的出发点呈现方形栅格, 而他们的边界将由等同环面的大小。环面外的光线出发点——无论是在环形中孔之中还是在方形栅格之间——都会被清除掉。

如果把一个矩形边界和一个圆形的栅格样式结合应用, 那么矩形边界的对角线大小将成为圆形栅格的半径。在圆形之中, 矩形之外的光线出发点都将被抹去。

如果把一个环形边界和一个圆形栅格样式结合, 那么在环心中孔的光线将被抹去。

如果选择了随机的光线栅格, 光线出发点将在边界中随机分布(无论边界是环形的还是矩形的), 并且由选择的权重决定分布的权重。

### 尺寸

#### 外径或者栅格的 Y 半高

外径指的是环状边界的外面半径。Y 半高值指的是矩形栅格边界在“上”向量方向或者栅格本身的 Y 轴方向。

#### 内径或者栅格的 X 半宽

内径指的是环状边界的中孔的半径。X 半宽值指的是矩形栅格边界的在栅格上 X 方向

的半宽度。

### 栅格样式

无论是一般的还是颤抖的栅格样式，都是由一系列的单元格决定的。当栅格样式选定了之后，在栅格边界的范围内就被分成一系列面积相等的单元格，然后每个单元格发出一条光线。对于圆形的，矩形的和十字形的栅格样式来说，每条光线的起始点都是其对应单元格的几何中心点。在颤抖矩形栅格样式中，会从单元格里随机的选出一个点，然后从该点起始引出光线。

在随机栅格样式的情况下，栅格边界内并没有划分单元，所以没条光线都是从一个在栅格边界范围内完全随机的地方发出的。

### 圆形样式

在圆形栅格样式里，光线起始呈环状分布。第一个环就是圆的中心点，第二个环是包括六个点，均匀排列在中心点周围，形成一个环；然后后面每一层环都比前一层多六条光线。通过设置环的半径使得每条光线都代表相等的面积。

如果你选择的环数等于  $n$ ，那么由之作成的光线的条数  $N$  为：

$$N = 3n(n-1) + 1 \quad (5.1)$$

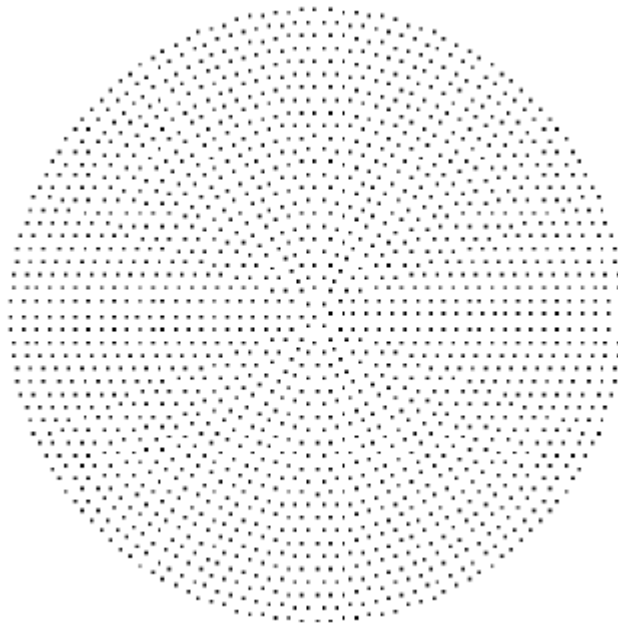


图 5.2 圆形栅格形状的例子，图中用 25 个环造成了 1801 条光线

### 矩形

在矩形栅格样式中，光线以矩形的样式发出，在局部的  $x$  轴和  $y$  轴上以相等的距离排开。把边界范围分成矩形单元格的办法可以保证每条光线的起始位置。

对于一个矩形的边界范围，该矩形将被分为  $N_x \times N_y$  个单元格，其中  $N_x$  和  $N_y$  是其局部或者栅格的各自的  $x$  和  $y$  方向。这里的局部  $x$  和  $y$  的方向由对话框底部的栅格方向（Grid Orientation）选项来决定。

在一个环形的边界范围内，所应用的矩形为一边长为外环直径的正方形。一旦所有的单元格都决定了，就从每个单元格的中央发出光线。那就使得光线处于均匀分布的栅格中。

光线出发点在  $x$  和  $y$  方向的分开距离不一定就要相等，换句话说，决定光线起始点的单元格不一定是正方形的，但通常是长方形的。栅格间距（或者单元格的纵横比）由边界的纵

横比，已经  $N_x$  和  $N_y$  值决定。

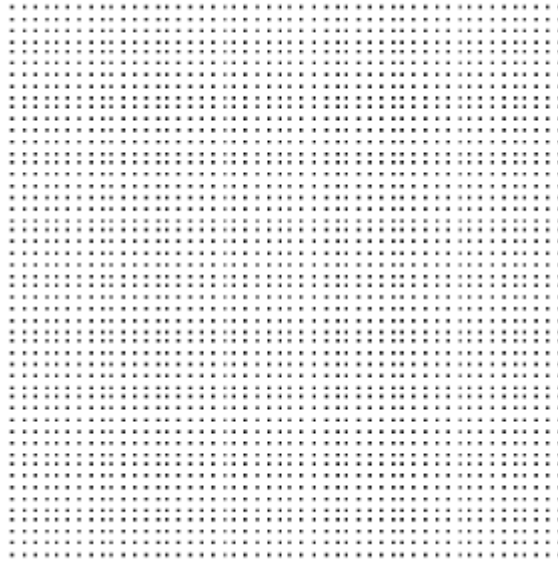


图 5.3 -矩形栅格样式和正方形边界范围  $N_x=50$  及  $N_y=50$ ，造出了以正方形样式排列的 2500 条光线。

#### 颤抖的矩形样式

颤抖是一种处理过程，通过它矩形栅格样式中的光线出发点微微的改变以导入随机效果——是矩形栅格和随机栅格两者之间的一种妥协。颤抖样式打碎了矩形样式中的样式噪音的同时又避免了随机栅格中的空洞和簇的形成。颤抖样式的形成是通过首先如矩形栅格样式一样定义矩形栅格，然后在栅格中随机的选择一个光线的随机起始点。

对颤抖样式来说，光线起始点所处的单元格不一定是正方形，但是一般都是矩形。单元的纵横比由边界范围的纵横比  $N_x$  和  $N_y$  的值决定。

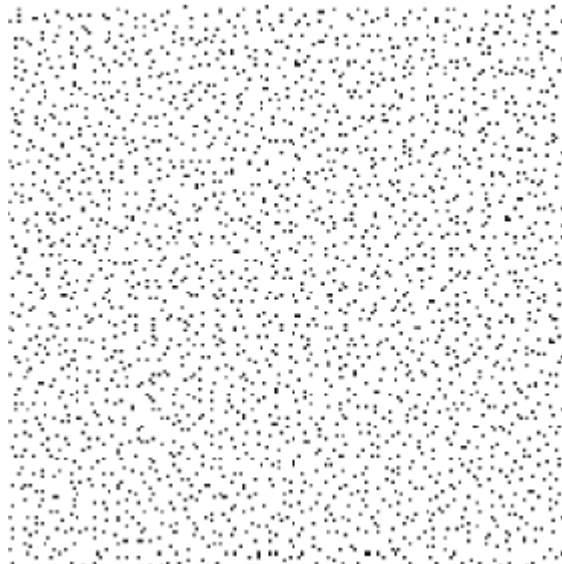


图 5.4 -在  $N_x=50$  和  $N_y=50$  的情况下正方形边界范围中的颤抖矩形栅格样式。将这幅图片同矩形栅格样式（图 5.3）和随机栅格样式(图 5.6)作比较。

#### 十字形样式

十字形样式让你可以作成两行光线，一行沿水平方向，另一行沿竖直方向。在每个方向

上排列的光线数目通常是一个奇数，所以在图案的中间总是有一根光线。如果你写入了一个偶数，那么在产生光线之前，系统会先把你写的数加一。光线的起始点由一系列单元格决定，这些单元格边界范围分为  $N_x \times N_y$  栅格状的矩形。对颤抖样式来说，光线起始点所处的单元格不一定是正方形，但是一般都是矩形。单元的纵横比由边界范围的纵横比  $N_x$  和  $N_y$  的值决定。



图 5.5 -  $N_x=50$ ,  $N_y=50$  的十字栅格样式，包含了 101 条光线。

### 随机栅格样式

在随机栅格样式中，发光点随机的分布在栅格边界范围内。对一个矩形的边界来说，发光点在该矩形中随机分布，同样对于环形的边界范围来说，发光点在该环形中随机分布。你只需要直接输入光线的总数目，而不再需要选择  $N_x$  和  $N_y$  的值。

随机的栅格分布样式是最纯粹的蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟方法，但它不一定是最好的方法。如图 5.6 所示，即使是特别的和颤抖随机栅格样式相比较，随机栅格样式中仍然存在着太多空洞和簇。这一点显得很麻烦，特别是再你的模型中包含设计了细节，需要对光线适当的（就是说，既不能采样过多，也不能太少）采样的时候。

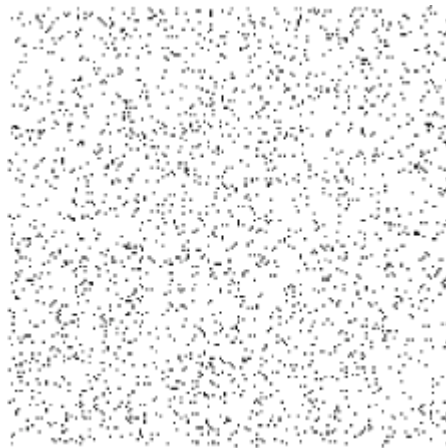


图 5.6 - 正方形界限范围中包含 2500 条光线的随机栅格样式。请将该图和上述矩形栅格样式已经颤抖矩形栅格样式作比较。

### 栅格密度：点数/环数

环数或者 Y 栅格点的数目

这是在圆形栅格时的半径上的栅格点数（也就是环的数目），或者在矩形和颤抖矩形栅格上沿 Y 轴方向上的栅格点数。在矩形栅格时，如果将该值设为 1，则可以生成一行光线；在圆形栅格时，如果将该值设为 1，则只有中心一条光线。

### 环数或者 Y 栅格点的数目

这是在矩形和颤抖矩形栅格上沿 X 轴方向上的栅格点数，如果将该值设为 1，则可以生成一系列光线。

### 光通量峰值

光通量峰值对于均匀光束来说就是其光通量常值，对于非均匀光束来说，就是其最大的光通量峰值。对于均匀光束来说，其中每条光线的起始光通量都是这个数值。对于非均匀光束来说，在光分布峰端的那条光线的起始光通量是这个数值。因此，在栅格轨迹控制中产生的所有的光通量由下列因素决定：光通量峰值、光线的数目、和栅格分布的形状。

### 栅格位置原点

栅格位置原点指的就是栅格中心点在模型的坐标系下的 x,y,z 坐标。

### 栅格定向

栅格的定向由其栅格法向量和向上向量或者转动角度指定。法向量和向上向量法向量指定了同栅格所在的假想平面相垂直的方向向量。向上向量指定了栅格边界和栅格样式中沿着 Y 轴和 Y 坐标的方向向量。你并不一定非得指定上向量和法向量垂直，而且向量本身也不一定是得指定为单位向量。比如说，如果你打算把一个对 Y 轴和 Z 轴均成 45 度角的平面作为发光平面，其向上向量的方向在 Y-Z 平面之中。你可以如下设定：

Normal Vector (法向量)		Up Vector (向上向量)	
X	0	X	0
Y	1	Y	1
Z	1	Z	0

TracePro 会首先把法向量标准化（单位化）为  $(0, 1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ ，然后把向上向量在向上向量和法向量组成的平面内旋转，直到向上向量和法向量垂直正交为止。旋转后的向上向量为  $(0, 1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ 。

### 欧拉转动角

欧拉转动角指定了从坐标系转动到栅格的定向的角度。如果转动角为零，则栅格的法向量沿 Z 轴正方向，栅格边界和栅格样式的 Y 坐标方向沿 Y 轴方向，X 坐标方向沿 X 轴方向。有三个转角值让你可以连续的转动栅格定向和 X，Y 即 Z 轴间的夹角。

你可以选择用幅度单位或者角度单位来表示角的大小。为了获得如上例中的栅格定向，你可以输入 X 欧拉角为 -45 度，Y 和 Z 欧拉角为零。旋转方式遵循右手定则。

## 光线设置

### 光线的空间曲线



光线的空间形状既可以是均匀（切面光强一致）光也可以是高斯光。如果你选择了高斯光，你可以设定束腰处的  $x$  和  $y$  的半径来定义一个椭圆的光束。如果想要匀称的圆形光束，把  $x$  和  $y$  的值设成一样就可以了。这里  $x$  和  $y$  的束腰半径指的是束腰处从光束光强峰值处到包含  $1/e^2$  的光强的距离。椭圆高斯光的方向由栅格设置（Grid Setup）栏里的栅格位置和方向（Grid Position and Orientation）的值来表示。 $y$  值是沿着向上向量的方向，或者说是栅格局部的  $y$  轴方向来测量的，而  $x$  值是沿着栅格局部的  $x$  轴方向来测量的，那就是说，和  $y-z$  平面是垂直的关系。

如果选择了高斯光束，光束是被栅格边界所平截的。TracePro 向外产生光线直到栅格边界的范围。如果栅格的边界范围比光束的光强值  $1/e^2$  的范围大很多，那么大多数的发出的光线的强度将会小到令人可笑。简单的将栅格边界设小就可以解决这种问题。

如果选择了高斯光束，那么总是会使用到随机的栅格样式。

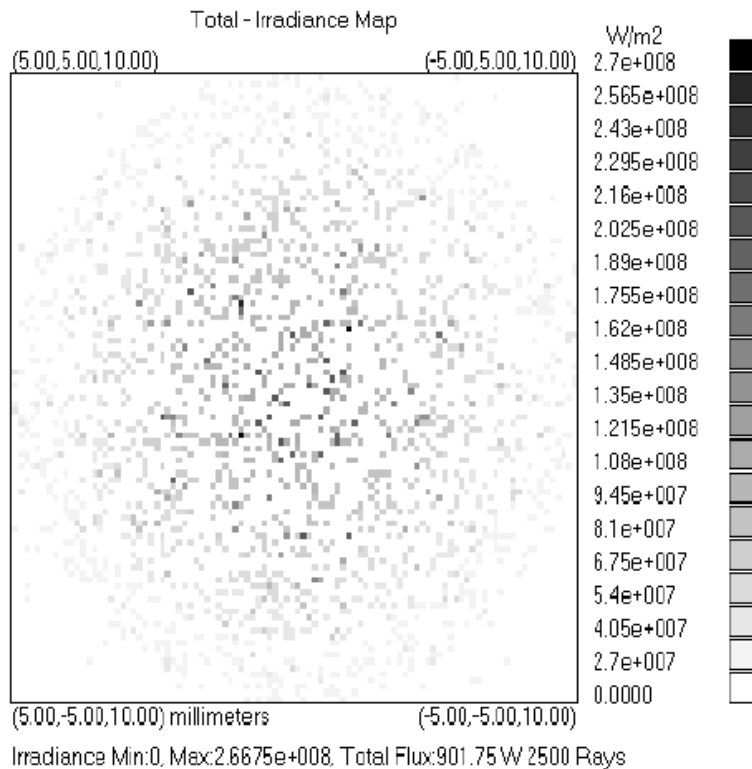


图 5.7 – 均匀位置和权重光通量的高斯光束的光辐照度分布图。这些光线的起始点是随机分布的，但是离峰值越远的光线其包含的光通量就越小。

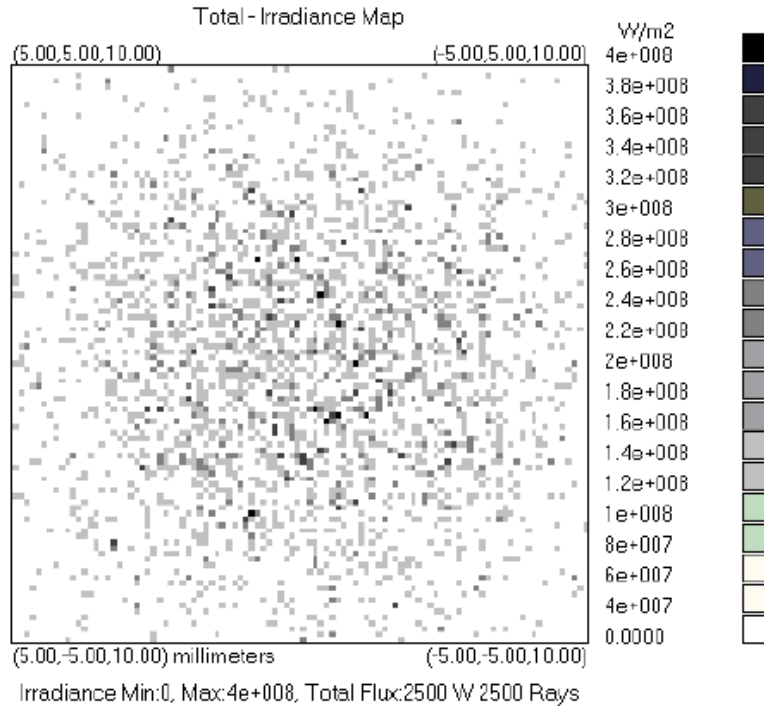


图 5.8 – 均匀光通量和权重位置的高斯光束的光辐照度分布图。这些光线所包含的光通量是一致的，但是再离中心点越近的位置产生的光线数越多。

### 光束的空间权重

空间光束形状可以是：

- 均匀光通量和权重位置
- 均匀位置和权重光通量

均匀光通量和权重位置——每根光线都包含和峰值光通量相等的光通量，但是每根光线的出发点位置由一定的函数分布所决定。对于高斯光来说，从栅格的中间出发的光线数目将大于从栅格边界出发的光线数目，而整体的光通量分布将因此而在形状上呈高斯分布。

均匀位置和权重光通量——光线在栅格范围内的分布是均匀的，但是每条光线包含的光通量值将由空间分布函数决定权重。

### 光束的空间尺寸

这里的尺寸仅仅对于非均匀光曲线有意义。对于高斯空间光束曲线来说， $x$  和  $y$  半径参数定义了一个椭圆的高斯光束曲面，也就是：

$$E = E_{\text{peak}} e^{-2(x/x_0)^2 - 2(y/y_0)^2}, \quad (5.2)$$

其中  $x$  和  $y$  分别是局部的或者说栅格的坐标系而且  $x_0$  和  $y_0$  是椭圆的  $1/e^2$  半径。栅格的  $y$  轴由栅格的位置/指向的向上向量决定， $z$  轴由其法向量决定。栅格的  $x$  轴和其他两个轴成右手坐标系关系。

### 光束的空间 X 束腰半径

沿着  $x$  轴的到光束光通量为  $1/e^2$  处的半径，

$$E = E_{\text{peak}} e^{-2(x/x_0)^2}, \quad (5.3)$$

其中  $x_0$  是束腰处的半径。

### 光束的空间 Y 束腰半径

沿着 y 轴的方向到光束光通量为  $1/e^2$  处的半径，

$$E = E_{\text{peak}} e^{-2(y/y_0)^2}, \quad (5.4)$$

其中  $y_0$  是束腰处的半径。

光束的角度曲线

光束角度曲线的形状可能会既不是均匀光（比如，形成锥面的光），也不是高斯光，朗伯光或者日光。角度曲线就主要描述其光强的方向。

均匀光在其定义该光线的圆锥立体角内拥有均匀的光强，而在该立体角的外面则为零。

高斯光束的剖面曲线为高斯曲线，而且 x 和 y 的角度可以独立的定义，可以在光束中造出一个椭圆形。

朗伯光束的光强为：

$$I = I_0 \cos \theta, \quad (5.5)$$

其中  $\theta$  为 0 时所指的是沿着栅格法线的方向。在空间半角半角 R (Half angle R) 处填入角度半径的数值，光束从这里被削去以外的光线。

日光光束的角度曲线就和测量到的太阳光一样。选择日光的时候，TracePro 会忽略输入的角度值而使用实际测量到的太阳光的值。由于这时角度曲线是和光的波长有关的，所以 TracePro 中发出的光将是在光线轨迹选项对话框的选项栏 (Raytrace Options Dialog box, Option tab) 中所输入的光的波长。日光曲线的数据来自参考书籍 *Astrophysical Quantities, Second Edition, Chapter 9, by C.W. Allen, The Athlone Press, London, ISBN: 0387987460 (1963)*。

### 光线的角度权重

该选项只应用于非均匀光束形状中（就是高斯光、朗伯光或者日光）。光束可以是：

- 均匀光通量和权重的角度
- 均匀角度和权重的光通量

均匀光通量和权重角度指的是每根光线都包含和峰值光通量相等的光通量，但是每根光线的出发点角度由角度分布函数所决定。

均匀位置和权重光通量指的是光线的分布是均匀的，但是每条光线包含的光通量值将由空间分布函数决定权重。

对于高斯光的角度分布来说，TracePro 对角度的扩展设了上限也防止发出光通量过低的光线。角度的最大值由下式决定：

$$\theta_{\text{max}} = 2 \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \quad (5.6)$$

对于一个圆形高斯光束来说，该式给出的光通量最低为  $e^{-16}$  或者为光通量峰值的  $10^{-7}$ 。

### 光束的 X 和 Y 半角

对于一束高斯光来说，该角即到达光束光通量  $1/e^2$  的在 x 或者 y 方向的半角。高斯光束的角度曲线如下式：

$$L = L_{\text{peak}} e^{-2(x/x_0)^2} e^{-2(y/y_0)^2} \quad (5.7)$$

其中的  $x_0$  和  $y_0$  是半角角度。

### 半角半径

半角半径指的是在均匀光和朗伯光曲线中发射的空间立体半角的值。

### 光束方向

光束的方向既可以设为同栅格方向独立的量也可以绑定在栅格方向上。如果是独立的量，则由下列两者之一决定：

- 法向量和向上向量（在全局坐标系中）。
- 旋转角度（在全局坐标系中）。

### 同栅格垂直

设定该条之后，光束将同栅格设定栏（Grid Setup Tab）中设定的栅格平面垂直。

### 方向向量

光束的方向由两个向量决定。法向量指向光束的中间，而向上向量指定了光束的上方向或者高斯角度分布的局部y方向。默认的向量值为：

- 方向向量 (0, 0, 1)
- 向上向量 (0, 1, 0)

### 欧拉角

在全局坐标系中的欧拉转动角指定了一个平行于光束的法向量和一个向上向量。法向量最初为z单位向量而向上向量最初为y单位向量。然后向量按照x, y, z的顺序以所设定的角度进行旋转。比如说：一个x转动将标准化的z单位向量沿着x转动，使得法向量处于y-z平面中。

### 从点处发散和会聚

这种模式用于在会聚时的定义一个真实的点，或者在发散时定义一个虚拟的点，后者用于在光线射出栅格时对准。该选项同时也提供了一种定义点光源的快捷方式，无论是真实的（发散自）或者虚拟的（会聚到）。

### 偏振 Standard Expert

TracePro使用斯托克斯向量(Stokes vector)和缪勒矩阵(Mueller matrix)来表示偏振光。斯托克斯向量表示光的偏振状态，而缪勒矩阵表示光学器件对光的偏振状态的作用。作用的计算方式为把缪勒矩阵乘以斯托克斯行向量。

使用斯托克斯向量的方法和其他方法相比的优势在于，它也可以用来表示非偏振光和部分偏振光。关于偏振光的进一步深入的讨论超越了本手册的内容，但是在很多相关教科书上都可以找到。（比如说，E.L. O'Neill, Introduction to Statistical Optics, Dover (1992); E. Collett, Polarized Light, Dekker (1992); Shurcliff and Ballard, Polarized Light, van Nostrand (1964); Kligler, Lewis, and Randall, Polarized Light in Optics and Spectroscopy, Academic Press (1990).) 尽管如此，不需要对斯托克斯向量和缪勒矩阵知道那么多，你也可以在TracePro中发射出偏振光。在相关的技术章节有一个常用器件的缪勒矩阵表格。参见7.24的表格7.4。

在栅格光线轨迹对话框里的偏振栏里你可以指定从栅格中发出的光线的初始偏振状态。偏振栏中有三个区域。在最上面的区域你可以选择偏振状态和偏振角度。在中间区域你可以定制偏振状态，最低下一行仅仅用作表示信息。极化状态以图形的方式描述，同时也显示出斯托克斯向量值。

### 偏振状态

要完全的指定偏振状态，你必须输入：

- 偏振的状态，无论是标准的还是设定的。
- 偏振的程度。
- 设定的规格值，如果你选择了设定的极化状态的话。
- 光线的指向方向。这个提供了偏振状态涉及的方向或者叫做“向上向量”。

其中光线的指向方向由栅格设置栏和光线设置栏决定。

你可以使用下列三种方法之一来指定光线的极化状态：

- 选择标准极化状态中的一种。
- 通过设定方法指定一线性极化状态。
- 通过设定方法指定一椭圆极化状态。

在对话框顶端的下拉菜单里选择一种标准的极化状态。可用的标准极化状态有：

- 非极化的Unpolarized
- 水平线性Horizontal Linear
- 垂直线性Vertical Linear
- 正45度线性+45 degrees Linear
- 负45度线性-45 degrees Linear
- 右旋Right Circular
- 左旋Left Circular

### 非偏振光

非偏振光是没有有规律偏振方向的光。它包含的偏振状态是随机的偏振状态。非偏振光由下面的斯托克斯向量表示：

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

你可以通过在下拉菜单中选择非偏振化来把偏振光设为非偏振光，也可以直接把偏振程度拉到零。

### 部分偏振光和偏振的程度

如果你指定了一种偏振状态，那么同时你也指定了他的偏振程度。完全的非偏振光意味着其偏振程度为零。完全的偏振光的偏振状态为1。中间的值表示的是偏振光和非偏振光的中间状态，或者叫做部分偏振光。

### 设定偏振态

#### 设定线性的偏振态

在偏振态（Polarization State）下拉菜单中选择Custom Linear选项，有两种方式设定线性偏振态的指向或者旋转角度。通过在Method下拉菜单中选择椭圆形和旋向（Ellipse and Handedness），你可以设定线性偏振光的偏振方向。对于线性偏振光来说，旋向没有意义且椭圆度为0.0。通过在Method下拉菜单中选择幅度和相位（Amplitudes and Phase），你可以设定X和Y方向的振幅。对于线性偏振光其相位差为零。

### 设定椭圆偏振态

在偏振态 (Polarization State) 下拉菜单中选择 Custom Elliptical 选项, 有两种方式设定椭圆偏振态。通过在 Method 下拉菜单中选择椭圆形和旋向 (Ellipse and Handedness), 你可以设定偏振椭圆的旋向, 比率和指向。通过在 Method 下拉菜单中选择幅度和相位 (Amplitudes and Phase), 你可以设定 X 和 Y 方向的振幅和相位差。条目的标签随着你选择设定椭圆的方法动态改变。并有图像显示反馈给你所指定的极化状态。

## 光源光线追迹

光源光线追迹可以用来追踪一个表面光源, 或者光源文件, 或者两者同时发出的光线。

### 表面光源

一个表面光源可以从一个实体 object 的一个或者多个表面沿着预先指定的角度分布发射出光线。在你开始光线追迹之前, 你必须先作下面这件事:

- 选择一个或多个模型表面设为“表面光源”。

在你选择了你想让其发出光的所有表面并对它们输入适当数据之后, 你可以用下列方法之一开始光线追迹:



- 点击工具栏中 Source Trace 按钮

- 选择 Analysis -> Source Raytrace 项, 然后按下 Trace Rays 按钮。

光源表面可以用下列方法之一定义:

- 离散波长 (光通量或者辐照光源, 光源文件)
- 连续波带 (黑体或者灰体表面辐射)

注意: 你一次只能使用一种波长设定的光源。你可以从 The Source Raytrace 对话框中选择现在需要的是离散波长还是连续波带。

- 在离散波长模式中, 如果存在黑体或者灰体辐射表面, 系统将打出警告, 因为它们不能被用于离散波长模式中。
- 在连续波长模式中, 对于别的发光方式, 系统也将打出警告。

在光线追迹的任意时刻, 你都可以点击光线追迹过程对话框中的 Cancel 来取消该过程。你也可以选择 Analysis -> Resume Raytrace 来继续该过程。系统将从连续的下一条光线开始接着追迹过程。

### 表面光源中的重点取样 Standard Expert

为了增加对特定方向光线的取样, 你可以使用表面光源的重点取样选项。这和散射光线的重点取样是类似的。你为散射光设定的重点取样同样适用于表面光源。

由于对某一表面光源所特别设置了重点取样, 从该表面发出的光线将向设有重点取样数据的位置发射。光线的光通量由光源的角度发散曲线决定, 空间立体角由重点取样目标点决定, 而光通量和光亮度由表面光源决定。

### 光源文件

包含光线数据的文件可以作为光源插入一个 TracePro 的模型里面。一个光源文件包含七栏表格状数据, 每条光线 XYZ 起始位置, 每条光线的 XYZ 方向向量, 和一个光通量值。

光源文件概念的引入使我们能够 (1) 将 Radiant Imaging 无边界的引入到 TracePro 模

型中，(2) 通过在一个表面上所有入射光线数据重新作为光源用于另一个模型中，从而实现所谓“持续”的光线追迹，(3) 可以通过理论上的或者在别的应用程序上测定的数据制作光源器件。(例如：文本编辑器或者电子制表软件)。

无论用哪种方法制成的光源文件，都是用同一种方式插入模型之中。

### 通过Radiant Imaging数据制造光源文件

Radiant Imaging, Inc. (Duvall, Washington, USA) 提供了对于光源器件的量测服务和数据。Lambda Research和Radiant Imaging之间的合作使得你可以在使用TracePro中引入这些量测数据，以制作出真实的光源模型。

通过Radiant Imaging数据来制作TracePro光源文件按以下步骤：

1. 启动ProSource，从Radiant Imaging可得到该软件。
2. 打开一个Radiant Imaging数据库文件（后缀名为.mdb）。
3. 在Ray Generation对话框中键入导出条件。
4. 选择一种TracePro所能识别的导出类型，以.dat或者.txt为后缀。
5. 点击Generate Rays来制作TracePro 光源文件。

欲得知更多有关ProSource的信息，请联系Radiant Imaging。 <http://www.radimg.com/>。

### 从入射光线表格中制作光源文件

可以使用TracePro中的入射光线表格来制作光源文件。一些关于该功能的例子如下所示：

- 如LED的模型中，插入的空物体作为“target”（靶子），开始光线追迹，把入射光线表格存成光源文件，把该LED的光源文件插入其他模型当中。
- 同上，可以通过在同一模型中多次插入该LED光源文件来制作一个LED光源阵列。
- 在一个复杂光学系统中分析杂散光时，在光路的任何位置插入作为靶子的空物体，则打在其上的入射光就可以被存为光源文件，而该光源文件就可以在分析修改光路后端是插入作为光源——好处在于使前面的物体和光线追迹无关，从而可以可观地降低光线追迹的时间。

制作光源文件的步骤：

1. 在模式窗口或者系统树中选择表面。
2. 选择Analysis→Incident Ray Table来观察入射光线表格。
3. 激活入射光线表格窗口，选择File→Save As，选择文件格式为.txt，然后选中为“Export to Source File format”

欲更多的了解入射光线表格请参见6.21页的“Incident Ray Table”节。

### 从理论或者测量得到的数据制作光源文件

光源文件可以是任何的七栏表格化数据——每条光线XYZ起始位置，每条光线的XYZ方向向量，和一个光通量值。

光源文件必须有合适的头信息以保证被TracePro所识别。（参见TracePro的帮助主题“Source File Format”以获取更多信息）最简单的制作光线文件办法便是制作一个简单的模型，然后按照上面的方法从入射光表格中先制作出一个源文件；然后，用文本编辑器或者电子表格方式打开该光源文件，删掉已有数据，然后计算，剪切和粘贴，或者输入理论值或者测得数据值。最后把该文件存成文本文件的形式。

### 插入光源

要在TracePro模型中插入光源文件，选取Insert→Source来打开如下所示的光源对话

框。

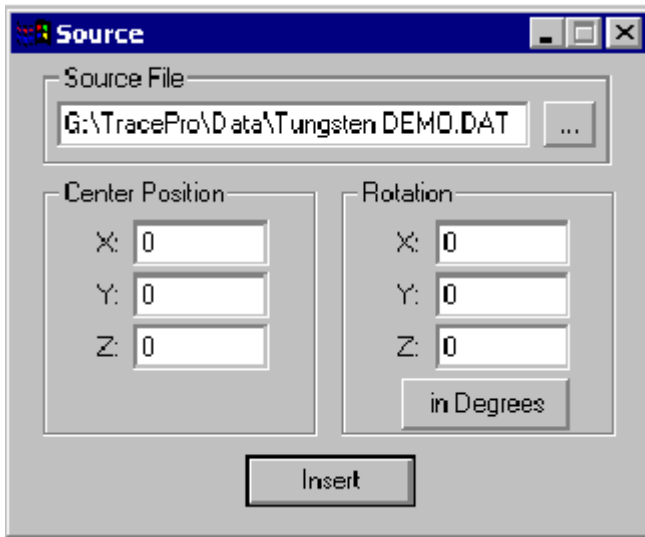


图5.9 – Insert->Source对话框



1. 输入该txt或者dat文件名。可以直接键入，或者使用Source Dialog对话框浏览。
2. 输入该光源的中心位置和转动角度。转动角度是沿着x，y，和z轴的连续角度。默认的角度单位是“度”。

**注：**选择Center Position为原点(0,0,0)，而Rotation Angles为零，则光线将从光源文件中设定的XYZ位置出发，且会沿着光源文件中设定XYZ方向向量传播。如果选择别的Center Position或者Rotation Angle的话，将在该传播点和方向上“添加偏移量”。

3. 你可以点击*in Degrees*按钮在弧度和角度的单位之间换算。点击该按钮后它的名字变成*in Radians*。你再次点击该按钮可将其重新切换到弧度单位。
4. 设定完光源之后，点击Insert插入一个球形Object来承担这些光源数据。该球形Object的中心位置即Center Position的坐标位置，而它的半径将由TracePro计算决定。该半径代表的是由光源文件决定的光源的大小。

你可以相对待其他Object一样移动和转动该球形（参见1.8页“移动物体及其他操作”），而源数据也随之运动。若要从之发射光线，选择Analysis->Source Raytrace开启一个表面光源追迹。

## 光线追迹选项

选择Analysis->Raytrace Options打开光线追迹对话框。该对话框控制了光线追迹的各个方面。



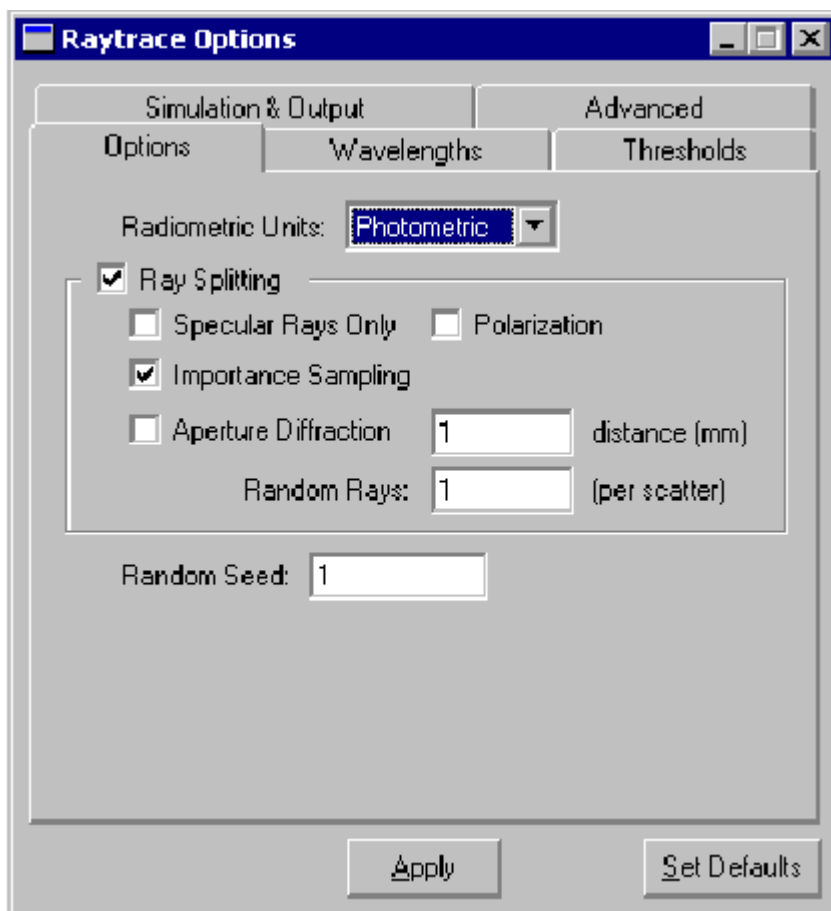


图5.10 – 光线追迹选项对话框

当模型作为OML文件写入到磁盘时，光线追迹选项也被存贮。在数据变更以后，在Set Default点击一下，则下次TracePro打开时会以该数据为默认数据值。参见1.6页的“用户默认值”选项。

## 选项

Analysis->Raytrace Options对话框中的Option栏让你设置影响光线追迹过程的各个参数。这些参数作用于整个模型中。

你可以检查重点取样（Importance Sampling）栏来选择是否进行重点取样。而Random Rays栏则让你决定一条光线打向散射表面后会发出几条随机散射光线。最后，你可以设置一个随机数种子并设定辐射计量单位。

## 辐射计量单位

可以通过辐射计量单位选项来决定选择是辐射计量单位还是光学计量单位。两种计量单位都是SI单位。它们具体的表示由表格5.4所示。

表格5.4选择Radiometry（辐射计量单位）和Photometry(光学计量单位)

	Radiometry辐射计量单位		Photometry光学计量单位	
	Name名称	Unit单位	Name名称	Unit单位
Power功率	Flux光通量	Watt (W)瓦特	Luminous flux光通量	lumen (l)流明
Power/area功率/面积	Irradiance辐照度	Watt/meter <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> )瓦特/m <sup>2</sup>	Illuminance光照度	lux (lx)勒克斯

Power/solid angle 功率/立体角	Intensity强度	Watt/steradian(W/sr) 瓦特/立体角	Luminous intensity发光强 度	candela (cd)坎 德拉
-----------------------------	-------------	--------------------------------	-------------------------------	---------------------

\*\*\*\*\*Pag5.21(down)\*\*\*\*\*

表格5.5 TracePro选择单位所能起的不同效果。

Place 位置	Radiometric label(s) 幅度单位显示	Photometric label(s) 光学单位显示
Apply Properties dialog, Surface Source tab, 1st box (Source Type dropdown list)	<None> Flux Irradiance	<None> Luminous Flux Illuminance
Apply Properties dialog, Surface Source tab, 2nd box	Irradiance/Flux (W/m <sup>2</sup> ) / (W)	Illuminance/Flux (lux)/ (lumens)
Irradiance/Illuminance map – top	Total - Irradiance Map	Total – Illuminance Map
Irradiance/Illuminance map – units	Unit = W/m <sup>2</sup>	Unit = lux
Irradiance/Illuminance map – flux	Unit = W	Unit = lumen
Irradiance/Illuminance map options - Map Type	Irradiance Radiance	Illuminance Luminance
Intensity/Candela plot	Intensity - W/sr	Luminous Intensity - candela

### 光线分割

在光线分割 (Ray Splitting) 框中选中之后, 可以让你在光线追迹中应用Specular Rays Only 仅指特殊光线, Importance Sampling重点取样, Polarization偏振, 和Aperture Diffraction孔径衍射四项属性。

在最原始的Monte Carlo光线追迹中, 并没有所谓的光线分割和重点取样。每次当一条光线打到一个表面上, 其吸收, 反射, 及该表面的透过系数都是作为概率来计算的, 由概率权重来选择该光线的轨迹。例如, 设定一表面的吸收比等于0.1, 反射比等于0.2, 透过比等于0.7 (按能量守恒, 这些系数加起来必须等于1)。当光线打到该平面的时候, 10%的时候是完全吸收, 20%的时候完全反射, 70%的时候完全透过。该结果由下面方式计算得到: 当一条光线打到表面上时, 在零和一之间选择一个随机的数。如果该数在0到0.1之间, 该光线被吸收。如果该数在0.1到0.3之间, 该光线被反射, 而如何该数在0.3到1之间, 该光线就被透过。计算射出该表面模型的光通量的比率时, 简单把吸收的光线数目加起来, 再同起初激发的光线数目相除即可。

如果你应用了光线的分割, 当一条光线和一个表面相交的时候, 该光线就会被分割为好几条光线。相交处分割出来光线的光通量由该表面的吸收比, 反射比和透射系数决定。当分

割光线的数量呈几何上升的时候，会产生大量数目的光线段数，导致TracePro占用更多的计算机内存。事先知道你的模型系统是个非图像系统是重要的，这样的系统里表面反射和透射光线都是均匀的，那么你就可以关掉光线分割选项。

在一个图像系统模型中，很多光线当它们的光通量被分割到小到光通量临界值以下时就会消失，以将光线段的总数目保持在一个可以控制的范围之内。如果应用了光线的分割导致光线的追迹变得缓慢的话，检查一下光通量的临界值是不是设得太低了。如果设置了适当的光通量临界值光线追迹依然很慢的话，试试关掉光线分割吧~！

### 仅指特殊光线(Specular Rays Only)

选择Specular Rays Only选项使得光线仅仅传输过某些表面的反射或者透射。你可以应用该选项来去掉散射的光线。这对于你解决一些问题很有用，也可以用于考察诸如鬼影之类的分析。而被去掉的散射的光线的光通量也将丢失。

### 偏振 (Polarization) Standard Expert

选择该选项来打开TracePro的光线追迹的偏振特征状态。每根光线都有自己的一个斯托克斯向量，当该光线打到一个带有偏振属性的表面，或者带有缪勒矩阵的表面，或者双折射物资时，其斯托克斯向量也会改变。你也许会注意到加上偏振之后光线追迹的速率会减慢，且会耗掉更多的内存。

在很多教科书中都包含了关于缪勒矩阵和斯托克斯向量的讨论。（比如：E.L. O'Neill, Introduction to Statistical Optics, Dover (1992); E. Collett, Polarized Light, Dekker (1992); Shurcliff and Ballard, Polarized Light, van Nostrand (1964); Kliger, Lewis, and Randall, Polarized Light in Optics and Spectroscopy, Academic Press (1990)

### 重点取样 Standard Expert

如果在重点取样栏被选上的话，在光线追迹过程中你选择的重点取样将被执行。取消选择则关掉重点取样。如果你是在调试你的模型且不想应用重点取样的话，就可以关掉它。如果关掉了重点取样，则原先分配给重点取样光线的能量将被分配给随机的光线。

### 光圈衍射和光圈衍射距离 Standard Expert

选上光圈衍射栏后可导致TracePro使光线在接近一衍射边缘时弯曲，去掉选项后衍射的面就会被当作普通面处理。

光圈衍射距离决定经过衍射边缘时衍射的程度。当光线入射到包含衍射边缘的平面时，离该边缘越近，其路径改变得越大，而离的越远，改变得越小。在TracePro的模型中，你可以设置衍射的发生距离。在光线追迹的过程中，忽略离衍射边缘远的光线的衍射可以节省追迹时间。

当你仅仅关心偏角大的光线的时候（比如分析离散光），可以把衍射距离设得很小（100x 波长）。如果对所有的光线你都感兴趣的话，可以把衍射距离设得很大，那样所有的光线都将被衍射。将衍射距离设为最大光圈的一半则所有的光线都将被衍射。有关在TracePro中建立衍射的进一步讨论请参照4.27的“在TracePro中定义衍射”。

### 随机光线

随机光线数目规定了在一根光线打在一个带衍射或者散射属性的表面时产生出来的光线数目。随机光线就是那些打向随机方向的光线数目，权重由BSDF决定。

该值的初始值为1。你可以在其中填入任何正数目。数目越大，光线树就越宽，导致光线追迹过程越来越慢，消耗的内存也会越来越多。

### 随机种子 Random Seed

TracePro用伪随机数完成不同的工作，例如，设置散射光线的方向或者是确定一个随机网格光源或表面光源的光线起始位置。无论何时用到随机数，随机数发生器就会用来产生一个随机数。随机数发生器需要一个种子或者是初始值来开始产生一系列伪随机数。如果连续两个模拟的随机种子相同，则会产生相同的一系列随机数，这既有优点又有缺点，因此TracePro让你可设置随机种子的值。大部分用户从不改变这个值。。

### 波长(和波段) Wavelengths (and Wavebands) LC Standard Expert

TracePro在光追迹过程中可以用一个或多个波长的光来产生单色或多色光追迹结果。可选择两种波长类型：连续的和不连续的。

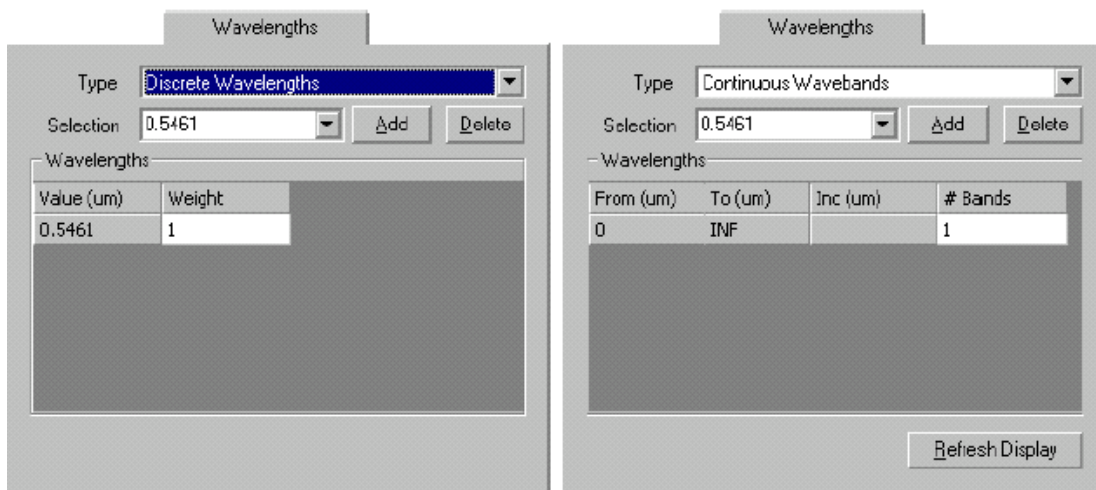


FIGURE 5.11 - Ravtrace Option tabs for Wavelengths and Wavebands

不连续波长可用在网格光源和大部分表面光源上。在追迹过程中，波长选项卡里的每一个波长都会追迹到。一个波长的默认权重值为1.0，在光线追迹过程中被用来计算每条光线的光通量。光谱权重用于进行多色光追迹。连续波段用于黑体或灰体表面光源。这些光源有一个光谱轮廓线，用以一个光源到另外一个光源时产生变化，尤其是如果光源有不同的发射率和温度。对于每一个波段的定义，要选择一个波长，它代表整个波段的能量，并被光源所追迹。波段定义需要一个起始波长、一个终止波长和段数。对于一个从1um到3um段数为2的波段，将会从1-2um和2-3um中选择一个波长。

#### 类型 Type

光源追迹可以用不连续波长或连续波段。黑体和灰体光源用波段而其它光源用不连续波长。

#### 选择 Selection

在选择框里输入一入波长，按下Add按键把它加入到波长列表里。也可以从列表中选择一个按下Delete按钮来删除它。在光线追迹中，可以指定任意多个的波长，但大部分情况下，一个就足够了。如果波长数目超过一个，TracePro会对每个波长或波段进行重复的光线追迹。坎德拉图显示所有波长光线追迹的结果，而光通量报告则显示所有波长的结果和每个波长的结果。照度图可

能包括所有波长的总量或者是单个波长的结果，这取决于Ray Sorting。详细请看第6.4页“Extended Ray Sorting”一节。波长在光线追迹过程中用于评价材料属性和表面属性。这在每次追迹前的核查(Audit)一步完成。一旦属性评估好且核查完毕，就开始光线追迹。

## RC版的波长选择 Wavelength selection in RC RC

TracePro RC版在追迹过程中只追迹单个波长，产生单色结果。在Raytrace Options对话框中选择Option选项卡里选择用来评估光学属性的波长。例如，一个同时有几个波长的表面属性被应用，在核查阶段，用于追迹的波长就会从属性数据库中找出与其一致的波长。。如5.27页的5.14图。

## 阈值 Thresholds

Raytrace Options对话框中的阈值选项卡（Thresholds tab）用来控制通量阈值和截止极限。阈值通过提供给TracePro光线通量极限来控制光线追迹。最常用的是光通量阈值。在TracePro中光线从光源开始，在追迹过程中分裂，直到子光线携带的通量小于阈值，在这一点上，光线的的一个分支就会终止。

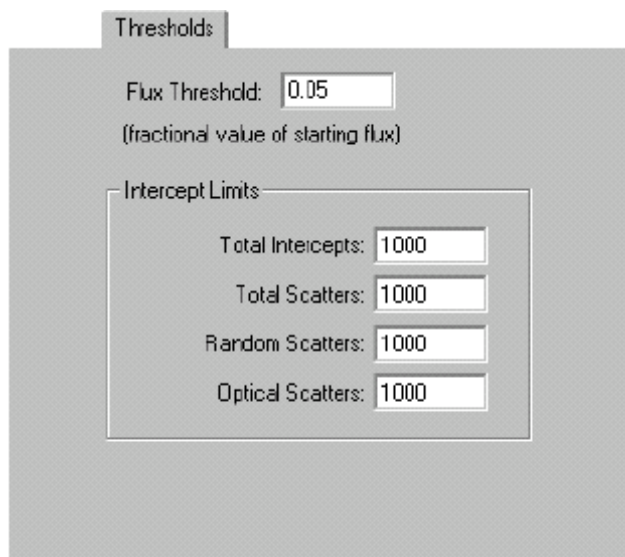


FIGURE 5.12 - Raytrace Thresholds Tab

光线追迹也可以通过限制相交数来控制。相交数是指一条光线路径所包括的光线与表面相交的次数。也可以基于如下的标准来终止光线：

- 一条光线路径中光线与表面相交的总次数
- 一条光线路径中的总散射次数
- 一条光线路径中随机散射次数
- 一条光线路径中在光学表面散射的次数。光学表面由一个指示（prescription）属性来定义

对于每条起始光线，这些限制用来控制其与表面的相交次数。总相交次数通过节点直接控制光线树的深度，而其它限制则是间接地控制。

## 模拟与输出 Simulation and Output Standard Expert

Raytrace Options对话框中的Simulation and Output选项卡让你在一个模拟过程中控制保存哪些数据，以及在光线追迹完成后哪些数据将会被看到。要保存一个出射表面的光线数据并产生照

度图，则要勾选Collect Exit Surface Data复选框。要保存坎德拉/光强图光线数据，则要勾选Collect Candela Data复选框。

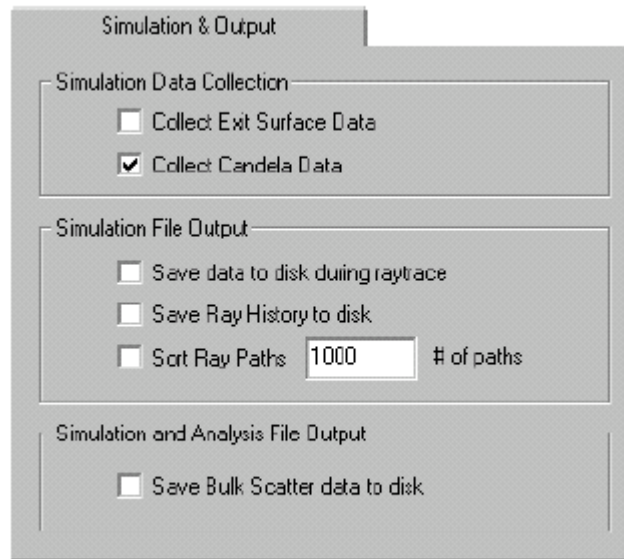


FIGURE 5.13 - Simulation and Output Tab

#### 收集出射表面数据 Collect Exit Surface Data

收集的数据是出射表面属性定义出的射表面的数据。光线追迹结束后，出射表面的照度图和光线表都会显示。

#### 收集坎德拉数据 Collect Candela Data

收集到的数据是从模型中逃离并“消失在无限远”的光线数据。在光线追迹结果后，会显示坎德拉图。

#### 在光线追迹过程中把数据保存到硬盘 Save Data to Disk during Raytrace

在光线追迹过程中，TracePro可以以二进制格式保存出射表面和坎德拉数据，这些数据可以通过文件菜单中的导入命令在辉度/照度或坎德拉图窗口中重新显示。如果这个选项没有被选择，这些数据也不会被保存到硬盘中。

#### 保存光线历史到硬盘 Save Ray History to disk

一个模型出射表面的光线历史表将会产生并保存为文本文件，文件名是模型名加上“-rayhistory.txt”。如果这个选项没有被选择，数据将不会写到磁盘。

#### 分类光线路径 Sort Ray Paths

一批在出射表面被吸收到光线的路径产生并保存到文本文件中，文件名是模型名加上“-raypaths.txt”。如果该选项没有被选择，数据将不会写到磁盘。

#### 保存体散射数据到磁盘 Save Bulk Scatter data to disk

一组每个体散射光线的位置和光通量值会产生并保存到文本文件中，文件名是模型名加上“-scatter.txt”。如果该选项没有被选择，数据将不会写到磁盘。

## LC和RC的模拟选项 **RC** **LC**

对于LC和RC版的TracePro，模拟信息设置是在Raytrace Options对话框的Options选项卡里设置，有两种可以让您控制在光线追迹模拟过程中哪些数据将会被保存。要保存一个出射表面的光线数据并产生照度图，则要勾选Collect Exit Surface Data复选框。要保存坎德拉/光强图光线数据，则要勾选Collect Candela Data复选框。

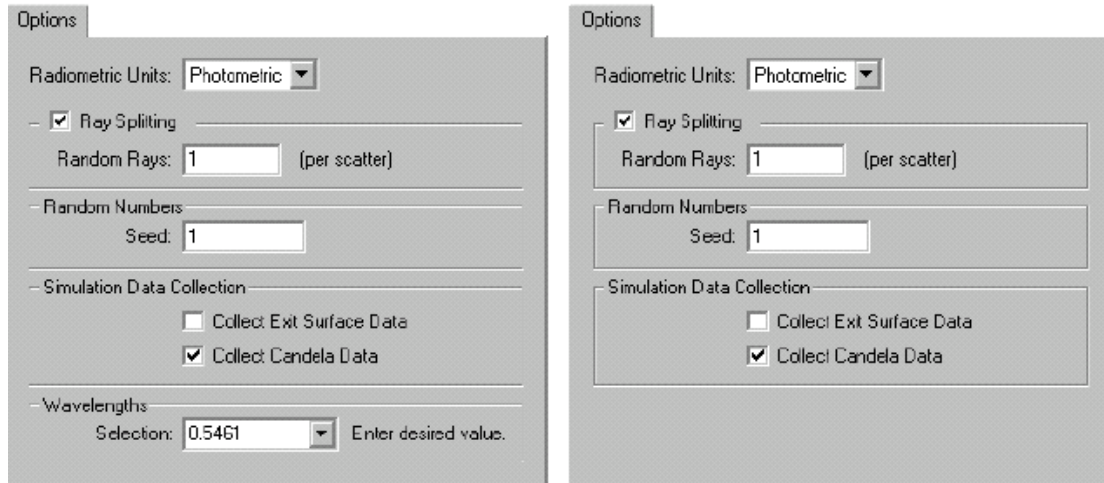


FIGURE 5.14 - Options Tab for TracePro RC (left) and TracePro LC (right)

### 收集出射表面数据 **Collect Exit Surface Data**

收集的数据是出射表面属性定义出的射表面的数据。光线追迹结束后，出射表面的照度图和光线表都会显示。

### 收集坎德拉数据 **Collect Candela Data**

收集到的数据是从模型中逃离并“消失在无限远”的光线数据。在光线追迹结果后，会显示坎德拉图。

## 高级选项 **Advanced Options** **Standard** **Expert**

通过高级选项可以提高光线追迹速度、更改渐变系数精度和控制TracePro中嵌套物件的数目。

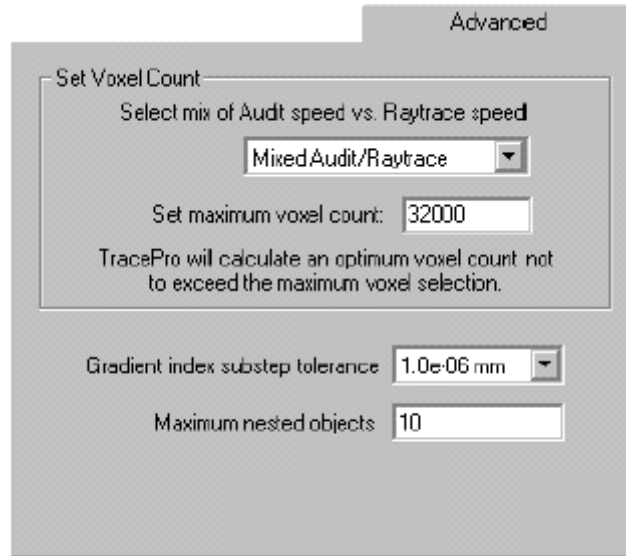


FIGURE 5.15 - Advanced Tab

### 设置Voxel数 Set Voxel Count

为了加快光线追迹速度，TracePro用物件空间把模型分为一些小区域，叫Voxels。用Voxels包含一个光线追迹速度对核查速度的平衡。更小的voxels可以使光线追迹得更快，但会降低核查的速度。在高级选项里，您可以改变Voxel的尺寸和voxels允许的最大数量。该特性可以让你通过三个标准设置来平衡核查速度和光线追迹速度。一般来说，对复杂或大型模型的分析会采用最快核查或核查/追迹混合设置来进行光线追迹。用相对少量的光线来演示系统设置和阈值设置，当你打算追迹很多光线，设置为Fastest Raytrace并设置Voxel Count选项，把Maximum Voxel Count设置为约4,000,000，需要注意的是更多的voxels会用到更多的存储。分配给每个voxel的最小内存为4字节，越大的模型需要更多的内存。4,000,000个voxels意味着至少需要32MB的内存，这些设置意味着会花更多的时间在核查方面——大约半个小时。TracePro用Maximum Voxel Count来作为上限，但在核查过程中计算的是真实的voxel数量。

### 渐变系数子步公差 Gradient Index Substep Tolerance

渐变系数子步公差可以让您在光线追迹过程中通过在物件上设置渐变系数属性来平衡精度和速度，TracePro用的是合适步进算法。每个子步用渐变系数材料产生曲线。每个子步的长度是许多变量的函数，包括材料局部区域渐变轮廓线和用户提供的子步公差。当光线追迹到材料时，光学位置和光学路径不允许超过这个公差，当这个公差匹配，一个新的子步就被创建了。更小的公差会提高精度，但同时也会减慢光线追迹速度；而一个更大公差会加快光线追迹速度，但同时也会降低精度。该设置的最佳设置依赖模型的具体特性。对一个特殊的模型要进行不同设置的实验，再确定最佳设置。

### 最大嵌套物件数 Maximum Nested Objects

最大嵌套物件数是指光线追迹过程中允许物件嵌套的级数。最大嵌套物件数的默认值为10，如果一个模型超过10个，光线就会在第11个嵌套物件上终止，并在消息/宏窗口中出现一条信息。选择一个大于10的值这些光线将会继续进行。把默认值改变有一个不容忽视的影响，即追迹速度和RAM占用量。用默认值是最好的选择，除非出现错误时才进行手工更改。



## 光线追迹模式 Raytracing modes

TracePro允许您选择不同的模式来保存追迹中的光线。在分析菜单（Analysis menu）底部选择其中一种模式即可，可以是分析模式（Analysis Mode）或是模拟模式（Simulation Mode）。这可以让您调和信息的利用量和内存的占用量之间的平衡。分析模式产生更多的光线数据，但同时也占用更多内存容量；而模拟模式产生更少的数据但占用更少的内存，如果选择模拟模式，在追迹前必须指定一个出射表面，以便在追迹完后可以看到照度图。

### 分析模式 Analysis Mode

在分析模式中，TracePro保存追迹过程中产生的所有光线数据。在光线追迹完成后，该模式可以让您分析任意表面的辐照图，不过该模式下运行需要大量的内存。每条光线分裂得越多，光线与表面相交得也越多，每条起始光线所占用的内存也越多。有许多光线（几万条或几十万或更多）开始的一个追迹，每条光线会与表面相交很多次，这时需要几百兆的内存。在光线追迹过程中，TracePro需要的内存要向Windows申请，最初会用到物理内存，如果所有物理内存都用完了，操作系统将会分配虚拟内存给TracePro。访问虚拟内存比访问物理内存要慢很多，因此如果TracePro在进行一个需要大量内存的追迹时，当它用到虚拟内存时的速度会慢很多。如果连虚拟内存也用完了，TracePro将会终止追迹。只要硬盘空间足够大，您可以在Windows控制面板中增加虚拟内存，在Windows NT系统中，必须以管理员的身份登录才能进行该设置。在Windows任务栏下，选择开始 | 设置 | 控制面板，并双击系统项，在高级选项卡中点击性能，再在弹出的对话框中的虚拟内存区上点击“更改”，就可以进行相应的设置。如果您自己不会设置虚拟内存，可以向系统管理员或其他专家寻求帮助。您可以在计算机中安装更多的RAM来增加物理内存。要执行一个分析模式的追迹，在分析菜单（Analysis menu）下选择分析模式（Analysis Mode）就可以了。如果在Analysis Mode项前有一个√，就表示TracePro是在分析模式下进行。当追迹完成后，您可以查看任何表面的辐照图以及显示坎德拉图。

### 保存和恢复光线追迹 Saving and Restoring a Ray-Trace

一个分析模式的光线追迹，可以保存到磁盘供以后显示。要做到这个，选择File|Save Ray Data使TracePro进入光线保存模式，这个动作会使Save Ray Data项打开或关闭。如果在打开的状态下保存一个TracePro模型文件，会产生另外一个扩展名为ray的文件。这个光线文件包含最近追迹的所有光线数据。要保存光线数据，首先要确定TracePro是在光线保存(ray saving)模式下，您可以通过打开文件（File）菜单来确定Save Ray Data项是选中的（如果菜单项有一个√，则表示是选中的，再点击一次就变成非选中的），然后选择File|Save As并确保文件扩展名为omi，按下保存就保存了文件，TracePro将会保存一个omi文件和一个ray文件。同步保留omi文件和ray文件是非常重要的，更改omi文件的几何图形和属性将会使保存的光线数据毫无用处。因此，不要轻易改变模型，除非您打算再进行一次追迹，如果您希望使模型和光线数据随开发进度都保存下来，在File|Save Ray Data选中的状态下用一个新名称另存模型文件。

要恢复一个保存的追迹，只要打一个与ray文件关联的omi就可以了。TracePro将会同时寻找并打ray文件，而把光线显示出来（只要Analysis|Display Rays菜单项是选中的）。一旦光线被恢复，您可以用Analysis|Ray Sort来对它们进行挑选和显示辐照图和坎德拉图。

### 模拟模式 Simulation Mode

在模拟模式下，在追迹过程仅有很少量的光线数据会被保存。这可以让您在虚拟内存或所有内存用完之前可以追迹更多的光线，这样就可以在模拟模式中追迹比分析模式更多的光线。然而，由于更少的光线数据被保存，在追迹之后不可以对任何的表面显示辐照图。进行光线追迹之前，

必须选择一个出射面，其上的光线数据在追迹过程会被保存，然后在追迹过程中，只要那种入射到该表面的光线会被保存。

注意：TracePro和TracePro专业版允许多个出射面，TracePro RC版和LC版只允许一个出射面。

在开始追迹前，必须选择一个出射面，这个出射面可以是模型中的任意表面。要选择这个出射面，首先选择Edit|Select Surface或在工具栏上选择表面选择按钮，然后选择Define|Apply打开应用属性对话框，点击Exit Surface属性页。在模型或系统树中选择要其成为出射面的表面，这个表面是可以显示辐照图的表面，最后选中Exit Surface的复选框并按下Apply

### 模拟选项 Simulation Options Standard Expert

要使TracePro在追迹过程中保存数据，你必须指出是否保存出射表面的数据，坎德拉图数据，或者两者保存。完成这个可能通过选择Analysis|Raytrace选项，在Simulation & Output选项卡里面您可以选择哪种类型的数据在追迹过程中将会被保存。为了在光线追迹完成后能看到需要的结果，必须在执行追迹前选择合适的选项。

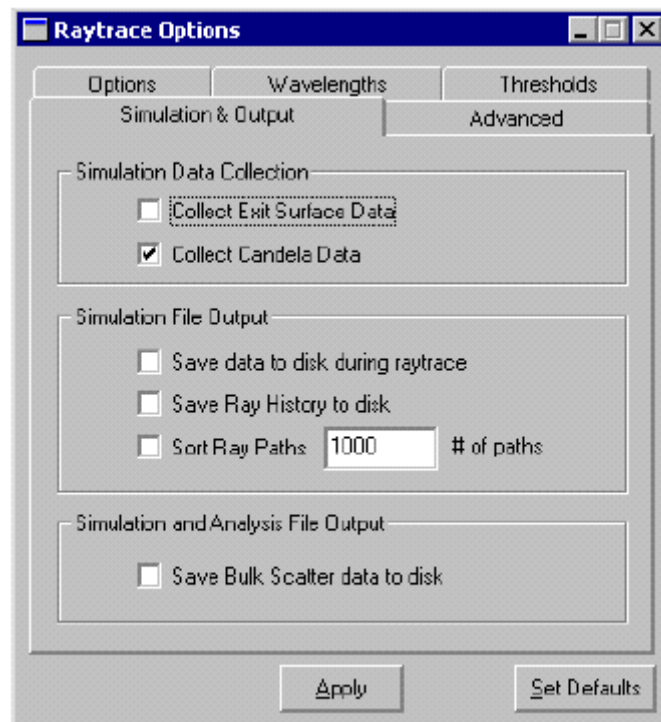


FIGURE 5.16 - Raytrace Options Dialog Box

Save data to disk during raytrace选项把辐照图数据以二进制格式保存在磁盘上，没有RAM用来收集出射表面的数据，在线帮助上可以看到关于这一项的使用和它的局限。Save Bulk Scatter data to disk选项可以用在分析模式和模拟模式，且会产生三个文本文件。当Save Ray History to disk被选中时，出射表面的光线历史表会产生并被保存到一个文本文件中，文件名为模型名加上“-rayhistory.txt”，这个格式可以与从分析模式下导出的的光线历史区分开来。当Sort Ray Paths被选中一组在出射表面被吸收的光线路径会产生，件名为模型名加上“-raypaths.txt”，每条光线路径都是独一无二的，因此如果两条光线路径与表面相交的次序和每个相次类型都相同的话，就会被当成是同一条路径。输出文件列出路径数量、每条路径的光通量、相交顺序、相交类别和表面名称。光线路径用于杂散光分析和“鬼影”光线识别中。当Save Bulk Scatter data to disk选中时，一组包含每条体散射光线位置和光通量值的数据会产生并保存到一个文本文件中，文件名

为模型名加上“-scatter.txt”。在其上发生体散射的物件也会列入其中。注意：该选项也可用于分析模式。

#### LC和RC版的模拟数据 **Simulation Data for LC and RC**

Collect Exit Surface Data 和Collect Candela Data选项可以在TracePro LC和TracePro RC中看到，参考第5.27页的“Simulation Options for LC and RC”。

## 第六章 分析

### 检验光线追迹结果

完成光线追迹之后，当进行结果评估时，分析菜单提供多种方法来显示光线追迹数据。Displaying Rays 和 Ray Sorting 让你观察数据是否是你期待的结果。Irradiance Maps, Ray Tables and Polarization Maps 提供每一个表面的模拟结果。Candela Plots 显示模型中光线数据的角度分配。Volume Flux Viewer 能够观察模型内部的流量分布。Reports Menu 帮助你完成分析光线数据和模型的多种报告形式。Tools 菜单包括附加的功能来帮助你完成光线追迹结果。

### Analysis Menu

在本章中的描述中，大多数的光线追迹结果从 Analysis Menu 中得到，光线追迹也被包含在 Analysis Menu 项目的开始，这在第五章有详细地介绍。

#### Display Rays

**Analysis | Display Rays** 选项允许你控制光线的显示。“Analysis Mode (分析模式)”下，在完成光线追迹后，光线默认地被显示或取消。光线在“Simulation Mode (模拟模式)”中不能够被显示。

要关闭显示的光线，只需进入 **Analysis | Display Rays**，显示光线的状态是通过菜单上√标志来标注的。如果被 trace 的光线有很多并且带有许多的 splits or branches，程序会花很长时间来显示这些光线。你可以根据需要设定 **Window | Auto Update** 来更新光线的显示，这时的光线不会被随时更新，直到你按“F5”或选择 **Window | Refresh**。光线也可能在和图画程序组合期间同步显示，当具有优先设置时。参考 2.43 页的“Ray Display”。

你也可以按照下面的描述使用 **Ray Sorting** 来决定哪些光线显示。

#### Ray Colors

可以通过 Ray Color 对话框来设置光线的颜色来取代预先设值的颜色值，对于单色光，Ray Color 对话框提供三种预设的颜色值来显示光线颜色。连同 Default Red-Green-Blue 三色，还有 **Extended and Logarithmic** 的 10 级调色板供选择，可以通过不同颜色的不同阶数来改变每阶的相关交点或是增加新的阶数。

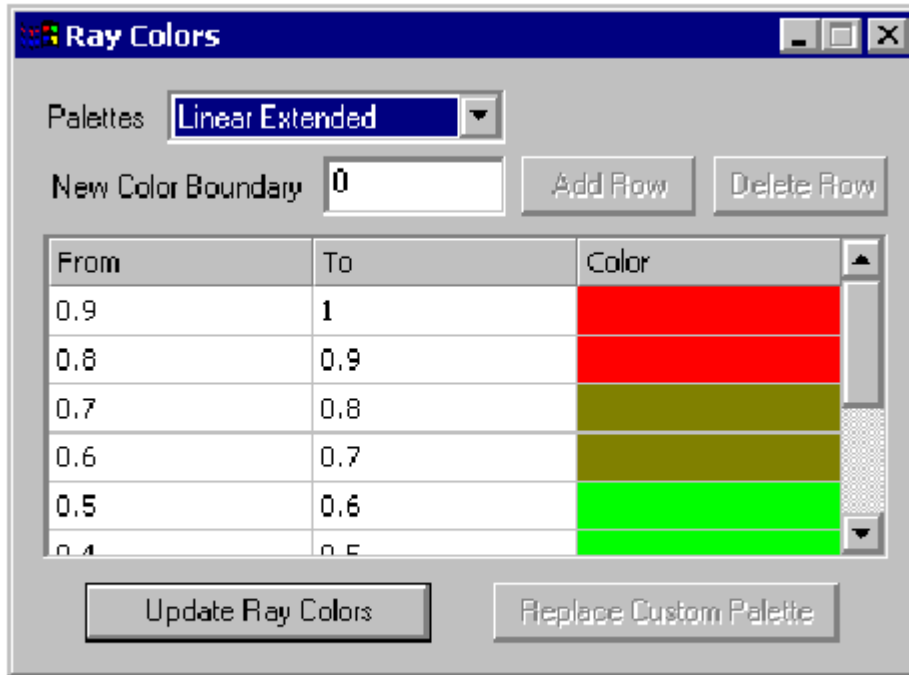


FIGURE 6.1 - Ray Color Dialog

**改变调色板颜色**

- 1、使用Analysis | Ray Colors，打开Ray Colors对话框
- 2、选择 Desired Palette
- 3、点击 Update Ray Colors

**创建一个自定义的颜色**

- 1、使用Analysis | Ray Colors，打开Ray Colors对话框
- 2、选择 Desired Palette
- 3、在New Color Boundary 内输入值后，点击Add Row创建交叉点
- 4、通过选择一行后，点击Delete Row来删除交叉点
- 5、点击Color单元格从Color Picking对话框中选择新的颜色来改变颜色
- 6、点击Replace Custom Palette
- 7、点击Update Ray Colors

%%注意%% Custom Color Palette 将被存储在Model's OML文件中。

**Ray Sorting**

Ray Sorting 决定模型窗口光线的显示，并且也可以用于 **plots and tables**。要打开Ray Sorting对话框，选择Analysis | Ray Sorting，默认值为All Rays，显示所有部分的每一条被追踪光线。光线的显示不会改变直到你按Update按钮。

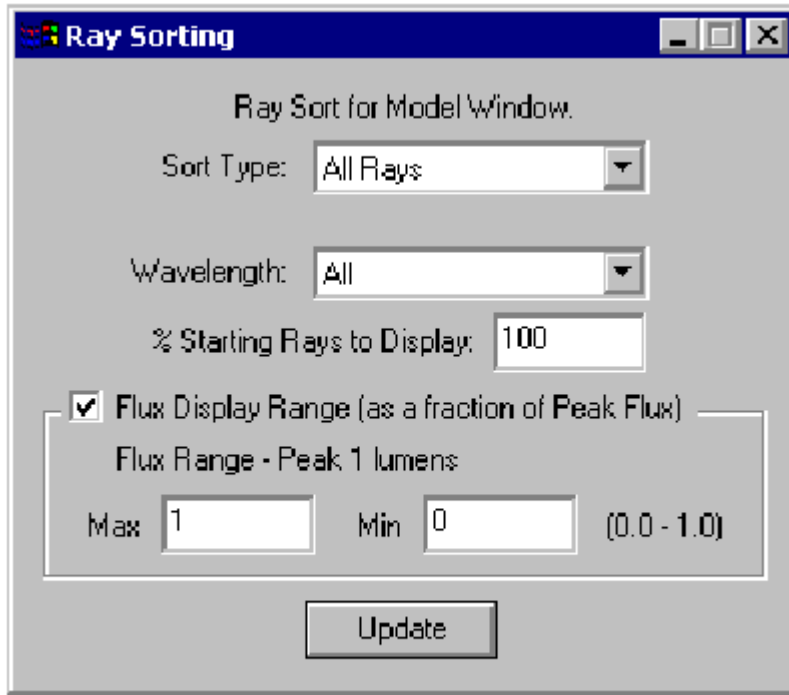


FIGURE 6.2 - Ray Sorting Dialog

在Ray Sorting对话框中，Sort Type的所有选项，除了All Rays，在sorting之前需要选择一个表面。

TABLE 6.1. Summary of Sort Type choices in Ray Sorting dialog box

Sort Type	Meaning	Surface Selection Required?
All Rays	显示所有光线	No
Selected Surface	只显示打在所选面上的光线	Yes
Specular(镜面的)	只显示打在所选面上,并且只经过镜面反射或折射的光线,散射光线不显示	Yes
Singal Scatter	只显示打在所选面上,并且只经过一次散射的光线	Yes
Multiple Scatter	只显示打在所选面上,并且经过多次散射的光线	Yes

也可以通过设定光线的波长来挑选光线，在Raytrace Options中设定波长，默认值为全部波长。

Starting Rays To Display也可以设定，当你完成很多条光线追迹后，这个会很有帮助。在这样一个例子中，因为有太多太多的光线使你不能看到有用的光线。默认值为100%。

Flux Display被用来控制单波长光线追迹光线的颜色（对于多波长的光线追迹，光线的颜色由View | Preferences | Ray Colors选项来控制。

Flux Display基于初始光线小数值的，默认为全部显示。要改变Flux Display的设定，在Ray Sorting对话框中勾选Flux Display，在Flux Range中输入值来去除range外的光线。

### Extended Ray Sorting

Ray Sorting 适用于TracePro分析plots and ray tables，光线的选取可以通过波长和交集类型来实现。由于plots and ray tables 需要选择一个表面，所以All Rays的Sort Types和

Selected Surface 可以得到相同的结果。Flux Display和% Rays只适用于光线现实的sorting选项。

%%注意%% Ray Sorting不适用于Candela Plots 和 3D Irradiance Maps.

A simple example using a model with two blocks, the As2S3 surface property and polychromatic Grid Raytrace is shown in Figure 6.3.

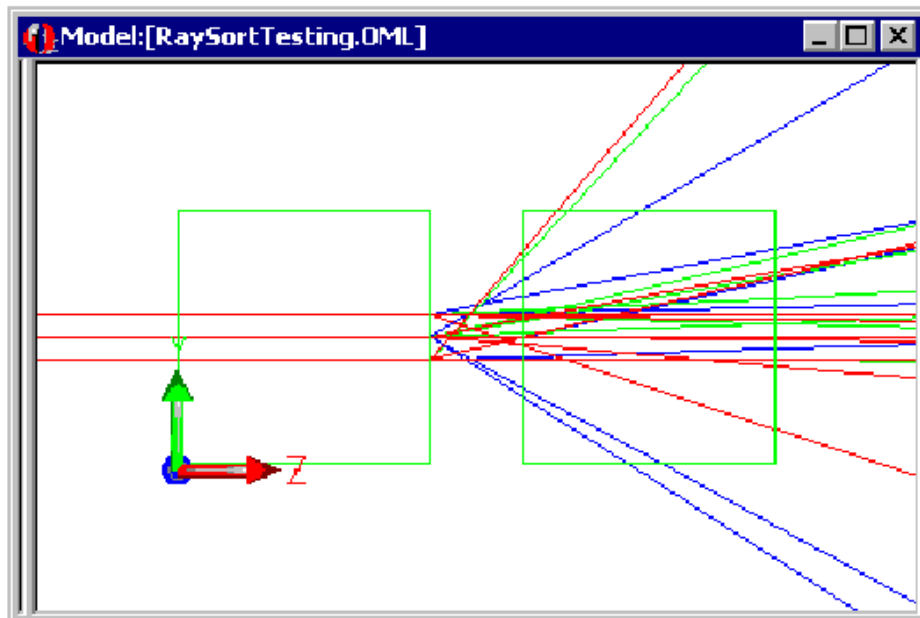


FIGURE 6.3 - Generic model showing scattering of rays on right surface of left block.

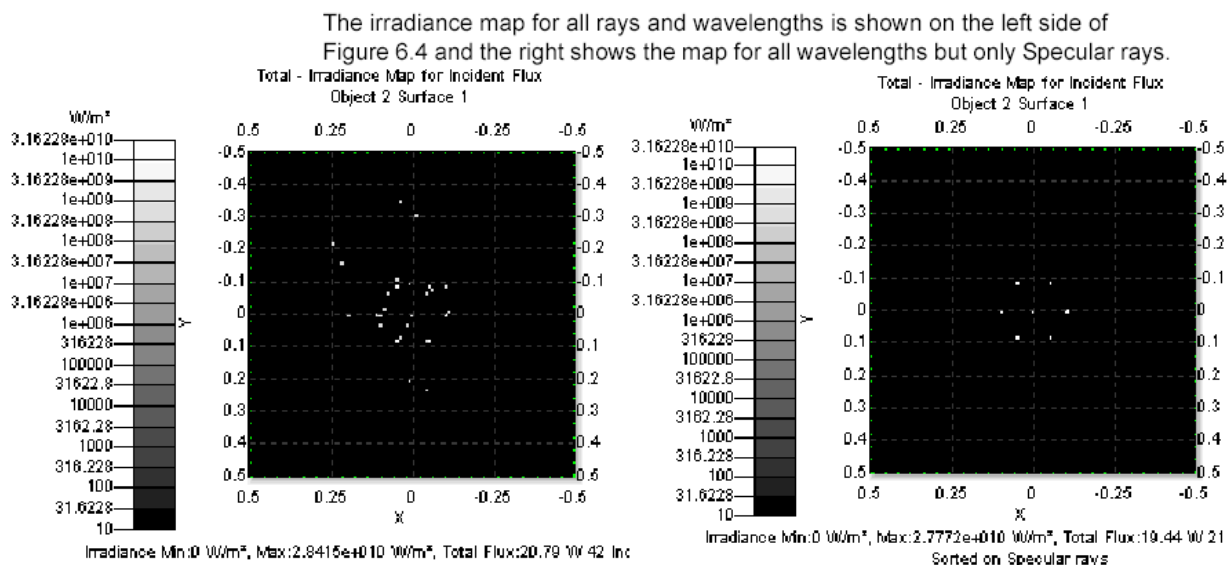


FIGURE 6.4 - TracePro Irradiance maps, All rays (left), Specular rays (right)

Irradiance Map Ray Sorting 对话框如图6.5所示，注意此时所选取的窗口显示在对话框的上面。

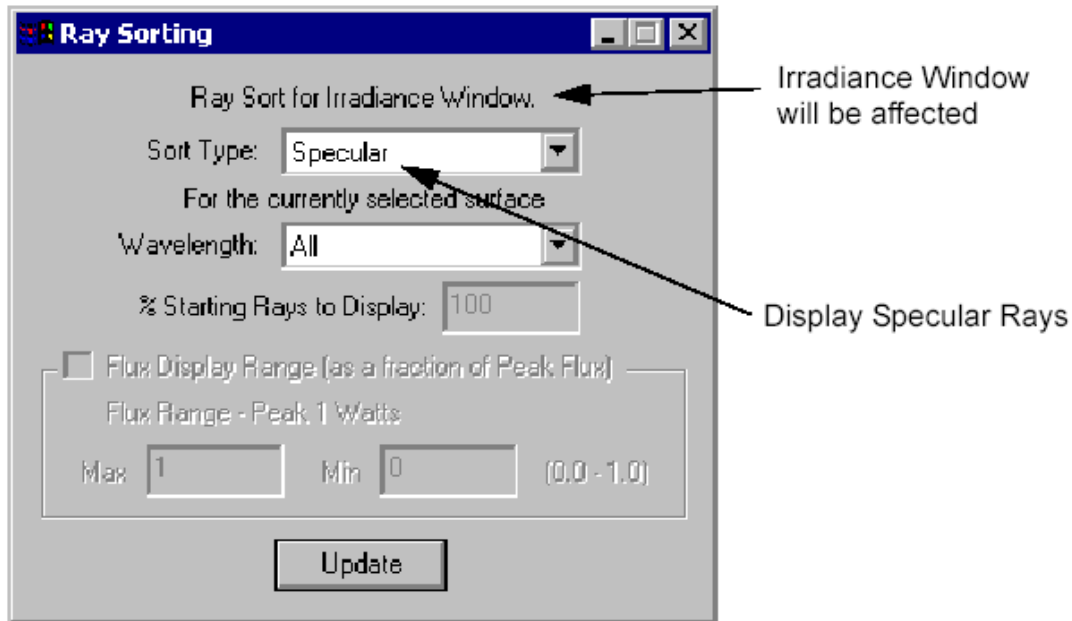


FIGURE 6.5 - Ray Sorting dialog window.

具有相同选择效果的 Incident Ray Table 如图6.6所示，注意，显示的唯一Intercept 类型为RandTran (Random Transmission)，因为散射表面在所选表面之前。

Ray Number	Wavelength	Start Ray	Ray Node	Type	History	Flux	X Pos.	Y Pos.	Z Pos.	X Vec.	Y Vec.	Z Vec.	50
1	0.5461	1	4	RandTran		0.0642695	0.00159545	-0.202538	2.86937	0.00378736	-0.460793	0.876826	0.0
2	0.5461	2	4	RandTran		0.0642695	-0.040363	-0.237049	2.86937	-0.304614	-0.51444	0.8015	0.0
3	0.5461	3	4	RandTran		0.0642695	0.21074	0.157043	2.86937	0.393064	0.172252	0.903233	0.0
4	0.5461	4	4	RandTran		0.0642695	0.0055591	0.0952051	2.86937	0.151319	0.0230155	0.968217	0.0
5	0.5461	5	4	RandTran		0.0642695	0.24314	0.219007	2.86937	0.62426	0.39843	0.671977	0.0
6	0.5461	6	4	RandTran		0.0642695	0.19035	-0.00159637	2.86937	0.535531	0.189405	0.823002	0.0
7	0.5461	7	4	RandTran		0.0642695	0.0357602	-0.0760498	2.86937	-0.0385073	0.0285368	0.998851	0.0
8	1.054	1	4	RandTran		0.0642695	0.0717921	0.0646903	2.86937	0.188035	0.169434	0.967437	0.0
9	1.054	2	4	RandTran		0.0642695	0.0844042	0.0153011	2.86937	-0.0421491	0.0413525	0.998255	0.0
10	1.054	3	4	RandTran		0.0642695	0.048624	0.104213	2.86937	-0.0037211	0.0476231	0.998858	0.0
11	1.054	4	4	RandTran		0.0642695	-0.061438	0.077583	2.86937	-0.0309424	-0.0243996	0.999223	0.0
12	1.054	5	4	RandTran		0.0642695	-0.105725	0.0844413	2.86937	-0.0151077	0.222835	0.974739	0.0
13	1.054	6	4	RandTran		0.0642695	-0.0493014	-0.0879064	2.86937	0.00189131	-0.00353006	0.999992	0.0
14	1.054	7	4	RandTran		0.0642695	-0.017826	0.308574	2.86937	-0.124415	0.724883	0.677544	0.0
15	3	1	4	RandTran		0.0642695	0.0153913	-0.0307308	2.86937	0.0414899	-0.0628403	0.995699	0.0
16	3	2	4	RandTran		0.0642695	0.10568	-0.00345373	2.86937	0.015375	-0.00934863	0.999636	0.0
17	3	3	4	RandTran		0.0642695	0.0444432	0.0014273	2.86937	-0.015041	-0.0140001	0.999769	0.0
18	3	4	4	RandTran		0.0642695	0.0907759	-0.0358275	2.86937	0.340193	-0.295859	0.892601	0.0
19	3	5	4	RandTran		0.0642695	-0.042304	0.0692856	2.86937	0.151746	0.182226	0.971476	0.0
20	3	6	4	RandTran		0.0642695	0.0314839	0.342595	2.86937	0.142433	0.750231	0.645652	0.0
21	3	7	4	RandTran		0.0642695	-0.110554	0.00059887	2.86937	-0.389613	0.211609	0.896339	0.0

FIGURE 6.6 - Incident Ray Table.

## Ray Select

Ray Select 菜单项影响Ray Histories窗口，要选择下一次光线的历史记录，通过Analysis | Ray Select | Next Ray 或 Analysis | Ray Select | Previous Ray来实现。当然也可以用快捷方式 Alt-Page Down 或 Alt-Page Up。



## Irradiance Maps

光照度图或照明图可以通过选择 **Analysis | Irradiance Maps**来观察。发光图显示了当前所选面所发生的发光事件，如果这个表面不是一个平面，发出的光会被投射到一个平面。投射面的方向可以在发光选项中控制，路径为：**Analysis | Irradiance Options**，别的一些设置也在这里实现，如下所述。

图片显示为从最黑到最白的阴影，或者是调色板中任何一种可供选择的颜色。

光照度图的定位方向被定义为Normal Vector（法向）和Up Vector，在**Analysis | Irradiance Options**对话框中可以找到设置。Normal Vector垂直于所显示的光出射面。Up Vector决定了显示的图的那一面在你屏幕的顶部。你通过可以点击*Automatically calculate Normal and Up Vectors*来选择Normal 和 Up 方向，然后别忘了点击Update。

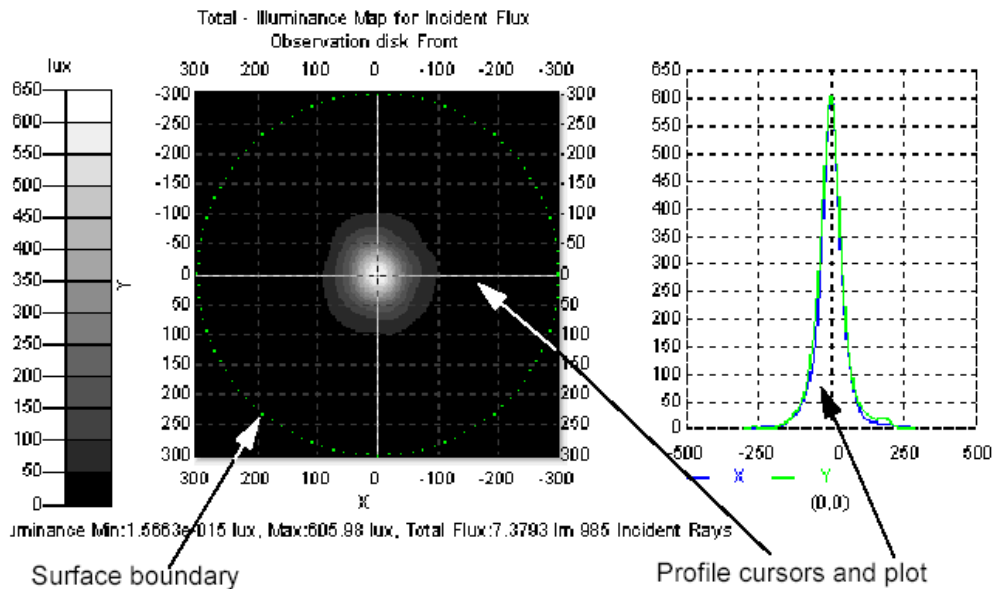


FIGURE 6.7 - Irradiance Map with Profiles for Elliptical Reflector Demo

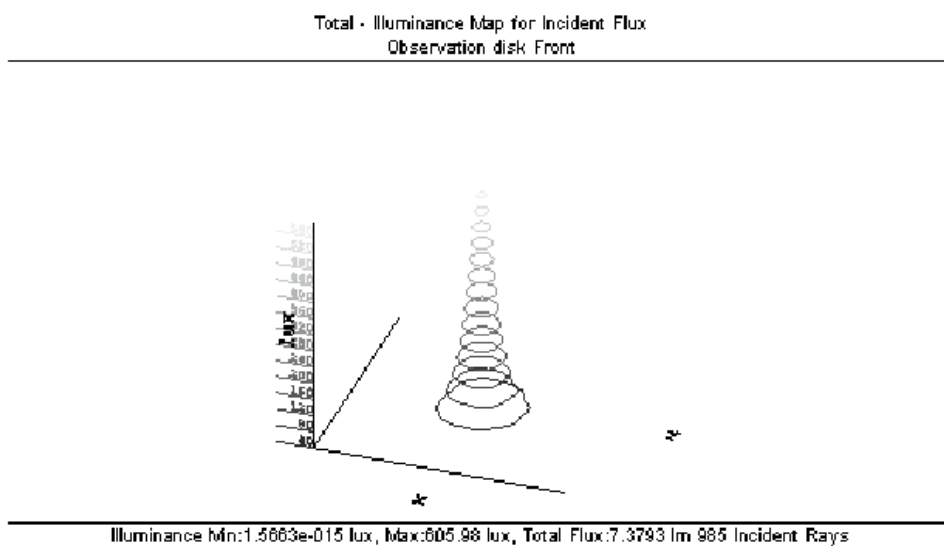


FIGURE 6.8 - Irradiance Map contours in 3D for Elliptical Reflector Demo

光照度图是指入射到单位接收表面或LUX的辐射功率，发生在所选的表面上。当追迹的光线

数量不足时，光照度图会显得有些杂乱。像素的杂讯和斑驳状可以通过Irradiance Options对话框中的Smoothing来平滑，伴随而来的是相应的解析度的下降。消除杂讯的产生有多种实例，你也可以通过增加起始光线的数量或者是在你模拟离散光时增加随机光线的数量来产生更多重要的样本光线。

## Irradiance Map Options

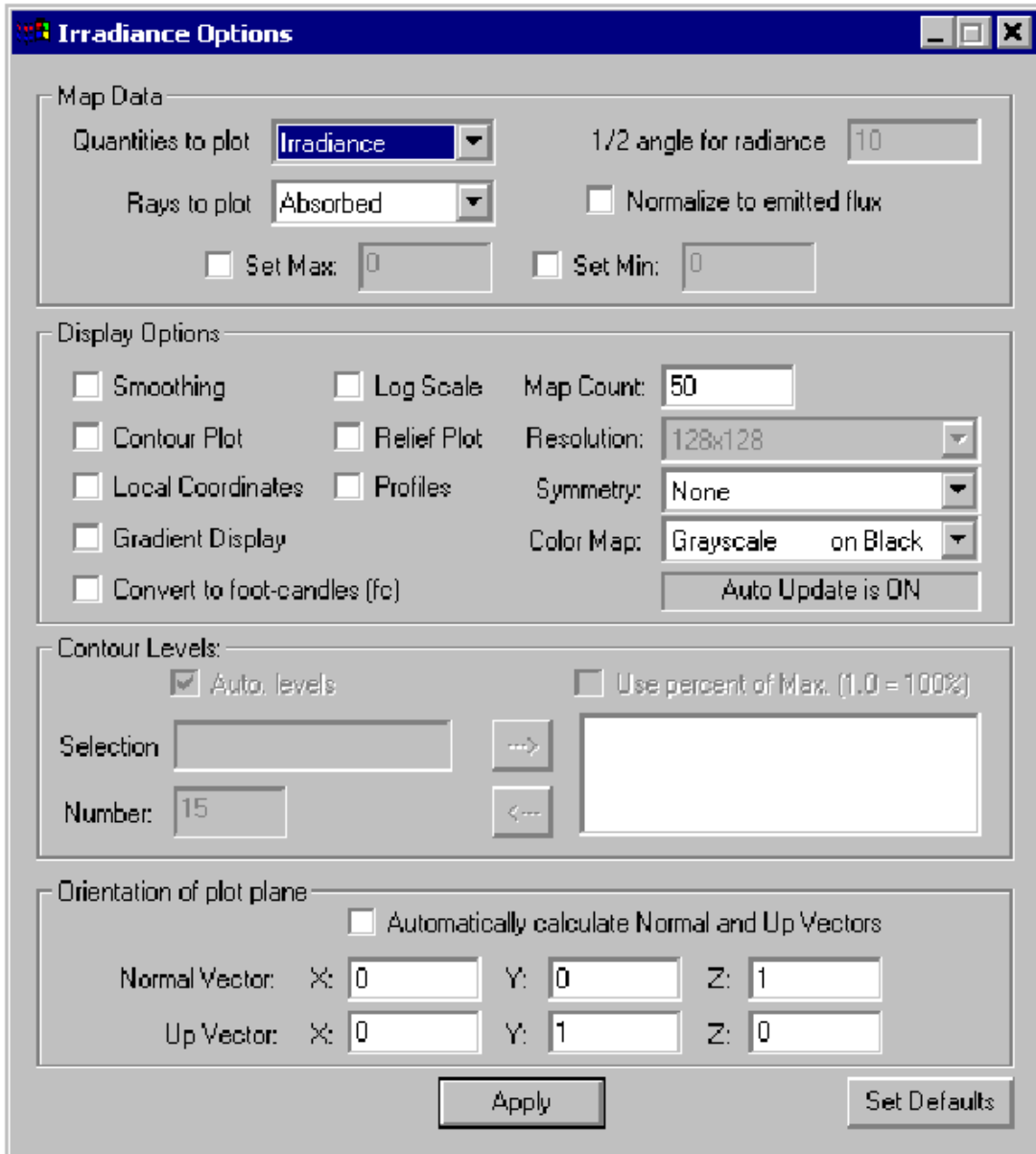


FIGURE 6.9 - Irradiance Options Dialog box

光照度图的选项是通过选择Analysis | Irradiance Options的Irradiance Options选项来设置的，或者在光照度图上点击鼠标右键选择Irradiance Options，每个选项和功能将在下面有详细介绍。

### Map Data

Map Data定义了区域内显示光线的数量。

### Quantities to Plot

选择显示的图类型，你可以选择Irradiance, Radiance, CIE (x,y), or CIE (u1,v1), 如果是三种波长，你可以选择真或伪RGB彩色图表示。

### Rays to Plot

你可以观察图的部分或是全部光线，当相同的光县累计打在所选择的面上时，部分光照度图容易产生误导。例如，在两条平行的反射镜片之间的一个面， would have the same ray intersect the surface until the ray fell below the flux threshold or intercept threshold generating a incident flux many time greater that the starting flux of the ray.

### ½ Angle

定义了为辐射亮度（Radiance）计算的立体角（只适用在Radiance图），Irradiance是单位面积上的能量，而Radiance是单位面积上单位立体角，视角垂直于表面。

### Normalize

规范从所有发光源发出的所有出射通量给图的数据，这个选项允许你使通量和光照规范为总共的通量，如果这个框被选中后，TracePro在光照度图中使用出色通量来除以总通量。这对于在光学系统计算的系统透射率和照明系统中计算发光效率，会非常有用。

#### Example 1: System Transmittance

假设你需要计算一个光学系统的System Transmittance，你大概会使用grid raytrace option，出射通量等于所有出射光县通量的总和。当显示照度图时，System Transmittance等于总的通量（显示在照度图窗口的底端）除以出射通量。要得到System Transmittance，选中Normalize to emitted flux对话框，然后按Apply按钮。这时图会被重新显示，Normalized Flux的值就是system transmittance。

#### Example 2: Lighting Efficiency

假设你要计算一发光源某一平面的发光效率，你会选择Surface Source追迹选项，出射通量等与你定义光源的通量。当显示光通量图时，处于观察面的总的光通量显示在窗口的底端，发光效率等于出射通量除以总的通量。要直接得到发光效率，选中Normalize to emitted flux选项，然后按Apply按钮。这时图会被重新显示，Normalized Flux的值就是光源的发光效率。

### Set Max/Min

Max/Min值设定图表刻度的范围，如果设定了最大值，在照度图中任何大于MAX值的数字将被显示为MAX，MIN值也同样是。如果Log Scale被设定，Min值将不起作用。

### Display Options

显示选项控制着图表的输出。

#### Smoothing

如果Smoothing选项被选中，照度分布将被采用Gaussian平滑公式进行平滑：

$$K(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x^2+y^2)/(2\sigma^2)}, \quad (6.1)$$

这里 $\sigma$ 为Gaussian束腰半径，取决于Count值in linear units.

通过Gaussian公式与照度分布的卷集进行Smoothing运算。

$$E_{\text{smooth}}(x, y) = \iint E(x', y') K(x - x', y - y') dx' dy' \quad (6.2)$$

卷集计算可以通过Fourier变换，配合边界条件，然后再进行Fourier反变换来完成。

### Contour Plot

选择Contour Plot（等高图）建立照度分布的地形图，当选择Contour Plot时Smoothing功能会自动开启，等高图的阶数和梯度在Contour Levels选项中有详细描述。

### Local Coordinates

图表的角落标注着所选面的同步数据，缺省条件下，图表的角标显示为XYZ球型坐标，点击Local Coordinates时显示为平面的XY坐标。

### Gradient Display

选中此项时，用连续梯度的彩色图代替离散的轮廓图。

### Convert to foot-candles

图示刻度值和输出数据转变为foot-candles

### Log Scale

选中此项时，照度图以对数的刻度值显示，主要用于在非常低的照度下，观察照度分布的细节，比如说是散射光分析。

如果同时选中Logarithmic Scale 和 Smoothing，并且同时选择了一个比较大的Count值（大于40或50）。在照度图中会看到细节部分的内容，它们在尖峰附近以十字形的图案显示。这个一个模糊而可以忽略不计的结果。

### Relief Plot

选中此选项，通过OpenGL产生3D浮雕。

## 轮廓线 Profiles

选中该复选框，会显示辉度图/照度图的截面轮廓图，当按下Apply时，就会显示一个包含轮廓线的框图。在辉度/照度图中任意点击一下，就会出现出现一个水平剖面和一个垂直剖面的轮廓图，每个剖面经过鼠标点击的那一点。每次点击一个新的点，显示都会更新，如果在辉度/照度图外点击，则轮廓线是空白的。要去除轮廓线，不选中复选框并接下Apply。

## 行/列像素数 Map Count

count决定辉度图中显示的分辨率。Count值是辉度图上水平和垂直方向的像素数。TracePro显示的是正方形辉度图和正方形像素。当平滑（Smoothing）起作用时，Map count用来控制数据平滑的程度。

## 解析度 Resolution

设置平滑数据网格的大小。平滑需要用到快速付立叶变换（FFT）来计算，需要网格内的数据。

## 对称 Symmetry

利用这个功能您可以利用已知辉度或照度图中已知的对称性，通过比较少的光线就可以获得比较平滑的分布，这里有五个对称选项：

- 无（None） – 没有对称被应用，为默认值。
- 左右（Left / Right） – 对称被应用在图的左右两个半面。
- 上下（Up / Down） - 对称被应用在图的上下两个半面。
- 四个象限（Quadrant） - This is the combination of Left / Right and Up / Down symmetry.
- 旋转（Rotational） - 对称沿一条垂直于图中心的轴被应用

对称要谨慎的使用。即使模型中没有对称TracePro也会把对称强加在辉度/照度图上，通过

这个选项，用户告诉TracePro被描绘是对称的。

### 色彩图 Color Map

通过下拉菜单选择灰度图或其中一种彩色图。色彩的选择会影响强度和等高图的显示。

### 等高图等级 Contour Levels

该项控制等高图显示的阶数。

#### 选择 Selection

当Auto levels复选框不是选中时，这里提供一种方式来让您把新的数值输入到Contour levels列表框中。键入一个新的数值并单击>按钮来把值加到列表里或单击<按钮来移除一个数值。

#### 数目 Number

如果选中了Contour Plot复选框，该项控制等高图中等高线等级的数目。

#### 用最大值的百分比 Use percent of Max.

这个选项可以让您一个最大值的百分数（0.0~1.0），TracePro计算和设置每一阶的数值。

#### 自动调整 Auto levels

自动调整（Auto levels）控制等高图中的等高线的阶。如果Auto levels复选框被选中，TracePro均匀地把亮度值分到每一阶当中，除数（等级数）在对话框的number中定义。按下Apply按钮更新每个等级的数值，同时辉度/亮度图也会被更新。

如果Auto levels没有被选中，TracePro用对话框Levels区右边的定义数值，您可以通过移进或移出数值来自定义等级。从Selection框中把数值移入列表用>按钮，移出用<按钮。

### 自动计算法向和向上矢量 Automatically Calculate Normal and Up Vectors

法向矢量和向上矢量指定辉度图的方向。当你打开一个辉度图窗口，TracePro用这些矢量确定图的方向，这些矢量不是明确的方向，得依靠您选择的表面。您可以重新输入矢量图，也可以选中Automatically calculate Normal and Up Directions复选框，如果选中了该复选框并按下Apply按钮，TracePro就会企图选择一个明确的投影表面。如果选择的表面很奇特且不能投影到一个明确的表面，就要手动输入法向和向上矢量。

#### 法向矢量 Normal Vector

法向矢量是三维空间中用来确定辉度图投影平面方向的一个矢量，平面被定义为垂直于法向矢量，选择表面的辉度入射被投影到这个平面上。当辉度图显示时，法向矢量是从观察者指向显示器屏幕。

#### 向上矢量 Up Vector

向上矢量是三维空间中用来确定辉度图投影平面方向的一个矢量，平面被定义为平行于向上矢量，选择表面的辉度入射被投影到这个表面上。当辉度图显示时，向上矢量朝向显示器的顶部。

#### 设置默认值 Set Defaults

当模型以OML文件写入硬盘时该选择被保存。在数据改变之后，按下Set Defaults按钮就会把数据保存到TracePro默认值文件中，下次打开TracePro时就会使用这些数据。

### 访问辉度图数据 Access to Irradiance Data

辉度计算结果可以从TracePro导出到其他的应用软件如电子表格word。在TracePro激活辉度窗口并选择Edit|Copy，然后转到其它应用程序（如Excel）选择Edit|Paste，表格数据就从粘贴板转到该程序中，数据的制表格式可以轻易地转移到电子表格程序中。通过Edit|Copy

Bitmap菜单也可以把图复制成位图格式。

您也可以把数据保存成文本文件。首先，选择希望的窗口为活动窗口，然后从TracePro菜单中选择File|Save AS，打开的另存为对话框可以让你用默认扩展名txt保存文件。文件以制表格式保存，方便导入到电子表格程序中。选择bmp为扩展名可以把辉度图保存为位图文件。

## 坎德拉图 Candela Plots

要显示坎德拉图，首先选择Analysis|Candela Plots，然后选择Polar Iso-Candela、Rectangular Iso-Candela、Polar Candela Distribution或Rectangular Candela Distribution。

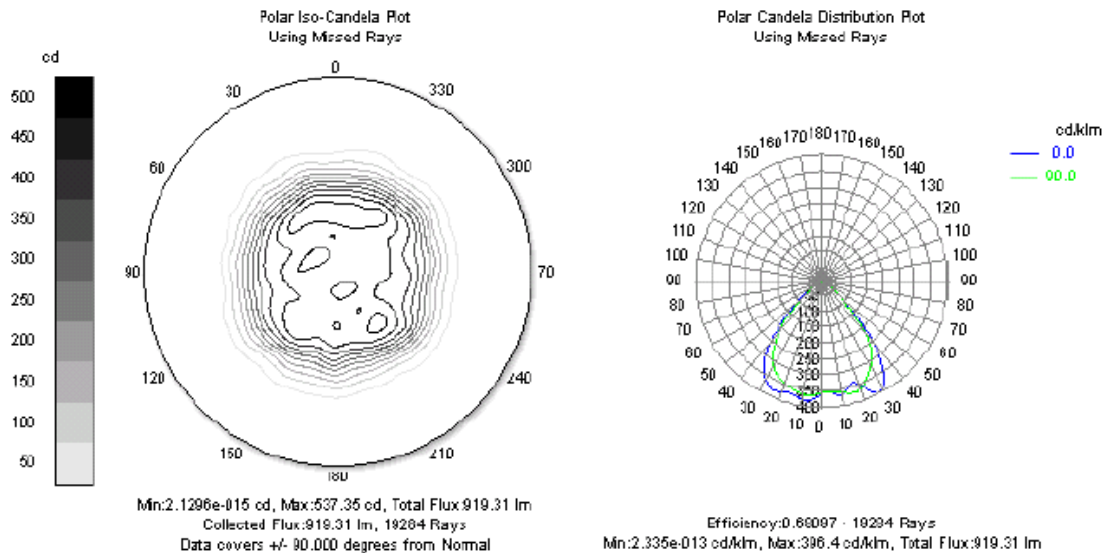


FIGURE 6.10 - Polar Iso Candela Contours (left) Candela Distribution in Luminaire Format (right)

坎德拉是发光强度或每立体角光通量图。在光度学单位中，发光强度单位是坎德拉（流明每立体角）；在辐度单位中，发光强度单位是瓦特每立体角。坎德拉图在照明系统设计中经常会被用到。

坎德拉数据可以从逃离光线、表面出射光线或表面入射光线中收集。逃离光线是所有“离开”模型并“消失在无限远”的光线集合；出射光线是与表面相交光线的一部分，由于光线分裂，几种光线片段都会统计到坎德拉数据当中；入射光线是与表面相交光线的集合。对于逃离光线，不需要选择表面，但出射和入射光线一定要选择一个表面。

坎德拉图描述的是光通量随角度变化的图形，并且可以用Candela Options对话框来平滑。Iso-candela图是描述为彩色图或等高图。分布图是经过坎德拉分布的截面曲线图。

坎德拉图的方向由法线方向和向上方向来确定，它们在Analysis|Candela Options对话框中指定。法线方向指定坎德拉图的轴，向上方向指定哪个方向是向上的。

## 坎德拉选项 Candela Options

坎德拉选项可以通过Candela Option对话框进行控制。选择Analysis|Candela Options或在坎德拉图中右键单击就可以打开访问。对话框分成四个属性页：

- 方位和光线（Orientation and Rays）
- 极坐标Iso坎德拉图（Polar Iso-Candela）
- 矩形Iso坎德拉图（Rectangular Iso-Candela）
- 坎德拉分布图（Candela Distributions）

方位和光线选项针对所有的坎德拉图，每个选项和它的功能在下面逐一介绍。

## 设置默认值 Set Defaults

当模型以OML文件写入硬盘时该选项被保存。数据改变后，按下Set Defaults按钮把数据保存到TracePro中，这些数据在下次打开TracePro时被应用。

## 方位和光线 Orientation and Rays

### 法线矢量 Normal Vector

法线矢量在三维空间中用来确定坎德拉的极轴。坎德拉/发光强度图的中心就基于这个方向。在图中，法线矢量离开观察者指向坎德拉图，可以想像为您看的方向与光线照射的方向一致，这些光线产生了光强分布。例如，如果您设计了一个把光投向右边的照明体，如沿+z轴方向，那么您就会设置法线矢量为 $X=0, Y=0, Z=1$ 。

### 向上方向 Up Vector

向上方向是三维空间中用来确定坎德拉图中哪个方向是向上的。在坎德拉图中指定哪个方向指向屏幕的上方。例如，如果您设计了一个把光投向右边的照明体，如沿+z轴方向，设置了法线方向为 $X=0, Y=0, Z=1$ ，由于TracePro中y轴一般指向上，您可以设置向上方向为 $X=0, Y=1, Z=0$ 。如果您想知道您倒立时的光线分布，可以设置 $X=1, Y=0, Z=0$ 。

### 坎德拉图方位举例 Candela Plot Orientation Example

例如，如果您设计了一个把光投向右边的照明体，如+z轴方向，然后您可能设置法线矢量为 $X=0, Y=0, Z=1$ 。由于y轴在TracePro中一般指向上，所以您可以设置向上矢量为 $X=0, Y=1, Z=0$ 。如果您设计了一条指向下方的光线，您会设置法向光线为 $X=0, Y=-1, Z=0$ ，向上方向可以是 $X=1, Y=0, Z=0$ 或 $X=0, Y=0, Z=1$ 。图6.11展示了两个与这个例子法线方向和向上方向相应的两个半球，左边的法线方向为 $(0,0,1)$ ，右边的法线方向为 $(0,-1,0)$ ，法线和向上矢量参照图6.11中的全局原点。

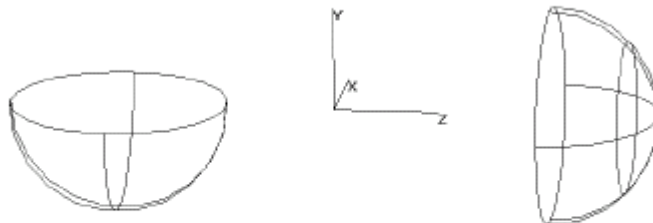


FIGURE 6.11 - Candela hemispheres for left) Normal vector  $(0,-1,0)$ , Up vector  $(0,0,1)$  and right) Normal vector  $(0,0,1)$ , Up vector  $(0,1,0)$

### 光线选择 Ray Selection

光线选择可以让您选择哪些光线当作坎德拉图的数据，可以选择逃离光线、选中表面的出射光线或选中表面的入射光线。

### 数理处理 | 对称 Data Processing | Symmetry

应用这个选项，您可以利用已知的对称到坎德拉图中，这样可以通过相对比较少的光线来获得比较平滑的分布。共有5个对称选项：

- 无 (None) - 默认值，没有对称被应用。
- 左/右 (Left / Right) - 对称应用到图的左右两边。

- 上/下 (Up / Down) - 对称应用到图的上下两边。
- 四象限 (Quadrant) - 上下左右对称。
- 旋转 (Rotational) - 关于垂直于图中心的轴对称。

对称选择必须谨慎使用。即使您的模型并不拥有对称特性，如果选中了一个TracePro也会迫使坎德拉图是对称的。用户通过这一选项，告诉TracePro图形中的数据是有所选择的对称特性的。

### 极坐标Iso坎德拉图 Polar Iso-Candela

极坐标Iso坎德拉图展示了极轴上的球极角，它显示球方位角和方位方向。该图把一个半球映射到一个平面上，分布以矩形或极坐标的格式显示。

### 平滑 Smoothing

如果选中了平滑复选框，光强度分布就会用Gaussian平滑内核来平滑，格式为：

$$K(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x^2+y^2)/(2\sigma^2)}, \quad (6.3)$$

其中 $\sigma$ 是Gaussian的束腰半径，平滑复选框右边的数字就是束腰半径。例如，默认值25意味着内核的束腰半径是图宽度的1/25。平滑是内核和光强度分布的卷积，

$$E_{\text{smooth}}(x, y) = \iint E(x', y') K(x-x', y-y') dx' dy', \quad (6.4)$$

卷积通过Fourier转换、过滤器和反Fourier转换完成。

### 等高线图 Contour Plot

如果选中了Contour Plot复选框，极坐标Iso坎德拉数据以等高线形式显示。显示的等级数由对话框Polar-Iso candela属性页Leves区的Number内的数值来确定。

### 角宽 Angular width

极坐标Iso坎德拉图按输入角度显示半球的子集，输入角度的单位为度。

### 最大值/最小值 Set Max/Min

设置图的最在值和最小值，如果选中该项，编辑框中的值在坎德拉图更新时会被用到。

### 对数图 Log Plot

选中这个复选框则以对数形式显示辉度，当您需要看很低的辉度细节时，这个选项很有用。这可以用在杂散光分析中

### 色彩图 Color Map

用这个下拉菜单选择灰度或其中一种彩色图。色彩的选择会影响到Iso坎德拉和分布图的强度图显示和等高线图显示

### 自动调整 Auto levels

自动调整 (Auto levels) 控制极坐标Iso坎德拉图的等高图级数。如果选中了Auto levels复选框，TracePro把光强度值均匀地分到每一级中，级数由对话框Levels区Number里的数值决定。按下Apply按钮，坎德拉图就以新的级数更新。

如果Auto levels没有选中，TracePro用对话框Levels区右边列表框里定义的级别显示。您可以通过移进或移出数值来定制级别。从Selection框里把数据移入列表用>按钮，移出用<按钮。

### 选择 Selection

当Auto levels没有被选中时，通过该处把新的值加入到Contour levels列表中。输入数值并按下>按钮就把数值加到列表中。

### 数值 Number



这里控制Auto levels的级数，在色彩强度模式或等高线模式都起作用。

### 矩形Iso坎德拉图 Rectangular Iso-Candela

矩形坎德拉图显示光强度随垂直和水平角度的变化。这与极坐标图形成对应，在其上极坐标的极在图的中心，在矩形图中，图的中心是赤道，因此角度是垂直和水平角。图上显示一个正方形区域，区域的大小可以对话框进行设置。

### 高度和宽度 Height and Width

在该处控制显示区域的角度大小，单位是度。图的中心沿法线方向，顶部沿向上方向。

### 角度转换 Angle Convention

角度转换定义显示矩形图的方法。选择Orthoonal angles显示投影到x-z和y-z直角平面的角度数据。Type A和Type B goniometers用Lighting Handbook里定义的角度，这本书由北美照明工程协会（IESNA）出版。

### 轮廓线图 Profiles

在同一窗口中显示一个XY图，数据来源于鼠标点击的位置。

### 三维图 3D Plot

该选项通过OpenGL产生一个三维图。

### 坎德拉分布图 Candela Distributions

坎德拉分布图定义为包含出射光源的球的某些面。面的数目和解析角由用户来定义。

### 平滑 Smoothing

该选项定义是否对包含的数据进行平滑。如果选中，平滑框里数值就被当作平滑因数。如果关掉平滑，该数值当做显示时点数量。

### cd/Klm

坎德拉每流明的输出比例。

### 水平角数目 Number of horizontal angles

设置图显示的水平角数目，这些对应于ldt(eulumdat)格式文件里的C角。

### 光源格式 Luminaire format

选中时，极坐标坎德拉分布图变更为符合标准光源设计格式，即法线方向指向下方。

### 角宽 Angular width

以度为单位设置发光显示的角宽，极坐标和矩形分布图的角宽可以分别设置。

### 发光宽度 Luminaire width

以度为单位设置显示的角高度。

### 设置最大值/最小值 Set Max/Min

设置图显示的最大值或最小值，如果选中该项，编辑框内输入的数值就会在图被更新时应用。

### 对数图 Log Plot

选中该项则以对数标度显示照度，当需要在很低照度下看清细节时该选项很有用，这可能在杂散光分析中会应用到。

### IESNA和Eulumdat格式 IESNA and Eulumdat formats

数据可以以IESNA(ies)和Eulumdat(ldt)格式保存为文本文件。当通过File|Save As保存数据为文本文件时，在扩展名下拉菜单中可以选择文件格式。IES格式是在IESNA（Illuminating Engineering Society of North America）标准LM-63-95里指定，图6.12概述了IESNA格式里关于角度的约定。

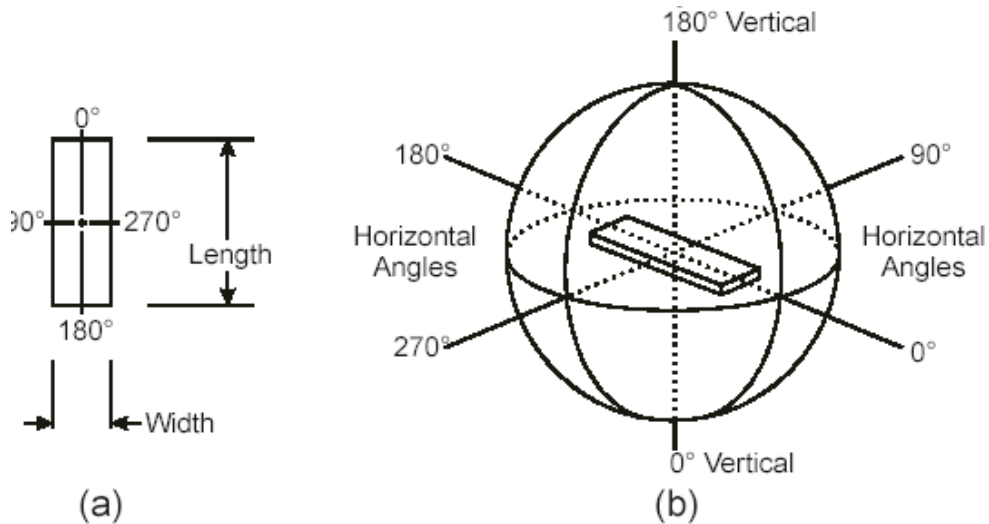


FIGURE 6.12 - Conventions for vertical and horizontal angles used in standard IESNA format; (a) plan view of luminaire showing length and width in relation to horizontal angles, and (b) schematic showing vertical and horizontal angles.<sup>1</sup>

### 存取光强数据 Access to Candela/Intensity Data

光强计算结果可以很容易从TracePro导出到另外的应用软件如电子表格或字处理程序。选择相应的坎德拉图为活动窗口，再选择Edit|Copy或按下Ctrl-C，然后切换到另外的程序如Excel，选择Edit|Paste或按下Ctrl-V，表列数据就从粘贴板传到另外的程序了。通过Edit|Copy Bitmap菜单也可以把图像复制为位图。您也可把数据保存为文本文件，首先选择希望的窗口为活动窗口，然后从TracePro菜单中选择File|Save As，在Save As对话框显示默认扩展名为txt。保存的文件是制表格式，很方便导入到电子表格程序当中。在Save As对话框中通过选择文件类型，光强图（坎德拉图）也可以保存为IESNA LM-63-95标准格式（.ies）、Eulumdat(.ldt)或Windows Bitmap(.bmp)格式。

### 偏振图 Polarization Maps

该命令把入射光通量的偏振椭圆图映射到选择的表面上，灰阶等级表示表面点的偏振程度。下边的图显示了四分之一波长输入和输出面的形状。物件是由45度线偏振栅格光照明。

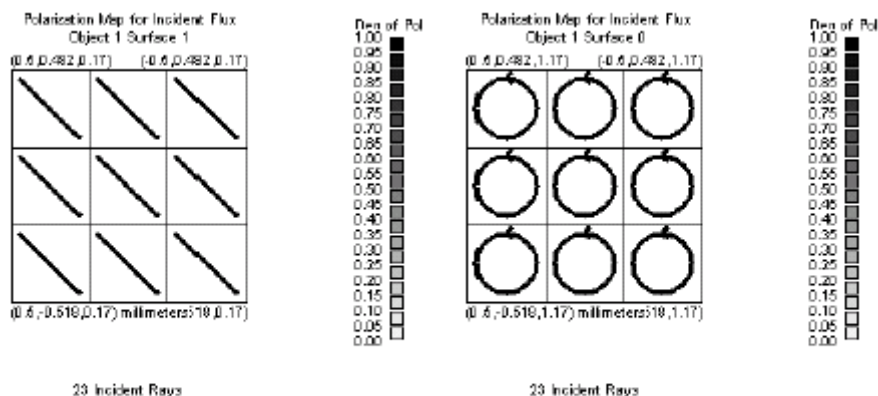


FIGURE 6.13 - Polarization Maps

注意：偏振必需要在Analysis|Raytrace|Options对话框中激活。

### 偏振选项 Polarization Options

**图中光线选择 Rays to Plot**

您可以观察吸收或入射光线的偏振图。

**偏振角度范围 Deg of Pol Range**

设置偏振图的最大和最小角度范围。

**行/列像素数 Map Count**

设置水平和垂直方向上“光通量桶”的个数。

**色彩图 Color Map**

选择显示图的调色板，灰度和彩色色板都可以利用。

**自动计算 Automatic calculation**

选中则自动计算法线和向上矢量。

**法线矢量 Normal Vector**

定义照度图的法线平面，非平面表面会被投影到照度图平面上。

**向上矢量 Up Vector**

定义照度图平面的向上矢量，向上矢量定义显示图的“垂直轴”。非平面表面将会被投影到照度图平面上。

**应用 Apply**

更新图的选项并显示新的照度图。

**设置为默认值 Set Defaults**

当模型以OML文件写入硬盘时，该选项被保存。在数据被改变后，按下Set Defaults按钮，就会把数据保存到TracePro默认文件中，下次使用TracePro时调用这些数据。

**入射光线表 Incident Ray Table**

入射光线表显示所选择表面的入射光线数据。该表可以滚动，打印，也可以复制到其他Windows应用程序中，或者保存为文件，保存文件也可定义为光源文件。

入射光线表可以检视模型中任何表面的光线。要检视入射光线表，选择Edit|Select Surface菜单或按下选择表面工具按钮，然后选择一个您希望检视入射光线表的表面，再选择Analysis|Incident Ray Table，一个包含选择表面入射光线表格的窗口就会打开。要检视另外一个表面的入射光线线，用鼠标选择该表面，光线表里的数据就会自动更新，入射光线表显示如下一些栏：

**表6.2 入射光线表中的栏的含义**

Ray Number	表中的行
Wavelength	当前光线的波长
Start Ray	例如，起始光线3就是光线追迹中的第三条光线
Ray Node	起始光线为节点1（光源或栅格），第一个光线—表面交点为节点2
Type	先前光线节点类型，如镜面反射为SpecRefl
History	一般为空，先前节点的特殊类型，如TIR为整体内部反射—一个先前节点整体内反射是Typ=SpecReft和History=TIR.
Flux	入射光线的能量
X Pos., Y pos, Z Pos	光线击打表面的X,Y,Z坐标
X Vec., Y Vec., Z Vec	光线离开表面的X,Y,Z方向余弦

**表6.3偏振打开时光线表最后的栏**

S0,S1,S2,S3	Stokes矢量在光线局部坐标系统中的分量
Deg Pol	光线偏振的角度
Ellipse Ratio	偏振椭圆两个轴的比率
Xvec MajAxis Yvec MajAxis Zvec MajAxis	一个指向偏振椭圆主轴的矢量的X, Y, Z坐标

注意: X Vec, Y Vec, 和Z Vec代表光表光线传播方向的局部z轴

#### 复制和粘贴入射光线数据 Copying and Pasting the Incident Ray Table Data

入射光线表里的数据可以从TracePro导出到另外的程序如电子表格或字处理程序。把入射光线表窗口变为活动窗口, 在TracePro中选择Edit|Copy (或Ctrl-C), 再切换到另外一个程序如Excel, 选择Edit|Paste (或Ctrl-V), Windowe剪贴板上的数据就转到这个程序中了。

#### 保存入射光线表到一个文件中 Saving the Incident Ray Table in a File

您也可以把入射光线表保存为一个文本文件, 然后导入到一个电子表格程序中, 或用您自己或其它分析软件执行后处理操作。要做到如此, 首先确保入射光线表窗口是活动的, 然后选择File|Save As, 默认扩展名为txt, 输入文件名称再按下OK, TracePro保存入射光线表为制表文件。当您保存入射光线表到一个文件, 附加的数据栏会被保存, 如表6.4, 波长显示在第一行。

表6.4入射光线表的栏

Ray Number	表中的行
Start Number	起始数3表示是光线追迹中的第三条光线
Split Number	起始光线的Split Number为1 (光源或栅格), 第一个光线与表面相交点Split Number为2, 依次类推。
Type	光线节点类别, 如SpecRefl为镜面反射
Hist	一般为空, 表示先前节点的特殊类别, 如TIR为总内反射。这样, 先前节点的总内反射导致Type=SpecRefl和Hist=TIR
Inc Flux	表面入射光线通量
Abso Flux	入射光线为表面吸收的通量
X Pos., Y Pos., Z Pos.	光线与表面相交的全局坐标
X Vec., Y Vec., Z Vec	入射光线的方向余弦
X Norm, Y Norm, Z Norm	光线与表面相交点的法线矢量
S0, S1, S2, S3	偏振态下入射光线的Stokes矢量
DegOfPol	入射光线的偏振角度
Ellipse Ratio	偏振椭圆两轴的比率
Xvec MajAxis, Yvec MajAxis, Zvec MajAxis	一个指向偏振椭圆主轴的矢量的X, Y, Z坐标

注意: X Vec, Y Vec, 和Z Vec代表光表光线传播方向的局部z轴

### 保存入射光线表为光源文件 Saving the Incident Ray Table as a Source File

TracePro中可以从入射光线表创建光源文件。使入射光线表为活动窗口，选择File|Save As，再选择文件格式为.txt，然后选中“Export to Source File”格式。关于光源文件及其应用的信息，请参考第五章的“Source Files”

### 光线历史 Ray Histories

光线历史表窗口显示入射光线的方向、与表面相交点坐标、入射通量、光程和光线在整个路径中与表面相交的物件和表面的名称。每个光线路径历史显示在它本身的光线历史表格中，每个光线历史表面可以用光标来滚动，通过Analysis|Ray Select|Next Ray和Analysis|Ray Select|Previous，或通过Alt+PgDn和Alt+PgUp，可以检视其它光线的历史。导航按钮可以让您选择第一条光线(|<)，上一条光线(<)，下一条光线(>)，或最后光线(>|)，您也可以输入一个数字再按下Enter键来显示一个指定的光线。

Wavelength	Ray Node	Start Ray	X Pos.	Y Pos.	Z Pos.	Flux	OPL	X Vec.
0.5461	1	1	1.83281	4.65197	85.3287	0.01	0	0.307533
0.5461	2	1	21.9164	63.6825	65.9156	0.01	65.3056	0.309542
0.5461	3	1	26.5601	77.275	61.5878	0.00952772	88.6381	0.307889
0.5461	4	1	39.3609	114.872	49.293	0.00907774	130.214	-0.0473943
0.5461	5	1	-6.1505	-12.4345	1000	0.00861184	1090.49	0

FIGURE 6.14 - Ray History Table

光线历史表窗口可以检视模型中的任何表面。要检视一个历史表格，选择Edit|Select|Surface菜单或选中Select Surface工具按钮，然后选择一个希望看到光线历史表格的表面，再选择Analysis|Ray Histories，一个显示指定表面光线历史表格的新窗口就会打开。要检视另外一个表面的光线历史，用鼠标选择该表面然后光线表格就会更新为新选择表面的光线。每个光线历史表显示表6.5中的所有栏，如果激活了偏振追迹，则还显示6.6中的栏。

表6.5光线历史表中各栏的含义

Wavelength	当前光线的波长
Ray Node	起始光线为节点1，第一个光线与表面相交点为节点2，依次类推
Start Ray	如起始光线3是光线追迹中的第3条光线
X Pos., Y Pos., Z Pos.	光线与表面相交的X,Y,Z坐标
Flux	入射光线通量
OPL	光线的总光程，从光源开始累积——光线路程乘以折射率的积分
X Vec., Y Vec., Z Vec.	离开光线的方向余弦
Type	如镜面反射为SpecRefl
History	一般为空，先前节点的特殊类型，如TIR为整体内部反射——一个先前节点整体内反射是Typ=SpecReft和History=TIR.

Object	当前光线节点的物件名称
Surface	当前光线节点的表面名称

表6.3偏振打开时光线表最后的栏

S0,S1,S2,S3	Stokes矢量在光线局部坐标系统中的分量
Deg Pol	光线偏振的角度
Ellipse Ratio	偏振椭圆两个轴的比率
Xvec MajAxis Yvec MajAxis Zvec MajAxis	一个指向偏振椭圆主轴的矢量的X, Y, Z坐标

### 复制和粘贴光线历史表数据 Copying and Pasting the Ray History Table Data

光线历史表数据很容易从TracePro导出到另外的应用程序如电子表格或字处理程序。首先，确保光线历史表窗口为活动窗口，在TracePro中选择Edit|Copy（或Ctrl-C），再切换到另外一个应用程序选择Edit|Paste（或Ctrl-V），Window剪贴板上的数据就转到这个程序中了

### 保存光线历史数据到文件中 Saving the Ray History Table in a File

您可以把光线历史表保存为一个文本文件，然后再导入到一个电子表格程序中，如通过您自己或其它分析软件来执行后处理操作。首先确定光线历史表格窗口为活动窗口，然后选择File|Save As，文件扩展名默认为txt，输入文件名并按下OK，TracePro就会把光线历史表保存为制表形文本文件。当光线历史表保存为文件时，会包含如表6.7的附加数据列，起始光线数和波长在首行给出。这些列含义如下：

表6.7 光线历史表各列含义

Ray Node	起始光线为节点1，第一个光线与表面相交点为节点2，依次类推
Flux	入射光线通量
OPL	光线的总光程，从光源开始累积——光线路程乘以折射率的积分
X Pos., Y Pos., Z Pos.	光线与表面相交的X,Y,Z坐标
X Vec., Y Vec., Z Vec.	离开光线的方向余弦
Type	如镜面反射为SpecRefl
Hist	一般为空，先前节点的特殊类型，如TIR为整体内部反射——一个先前节点整体内反射是Typ=SpecReft和History=TIR.
Object	当前光线节点的物件名称
Surface	当前光线节点的表面名称
S0,S1,S2,S3	Stokes矢量在光线局部坐标系统中的分量
Deg Pol	光线偏振的角度
Ellipse Ratio	偏振椭圆两个轴的比率
Xvec MajAxis Yvec MajAxis Zvec MajAxis	一个指向偏振椭圆主轴的矢量的X, Y, Z坐标

## 报告菜单 Reports Menu

通过报告菜单(Reports Menu)TracePro可以产生光线追迹和属性的报告，包括光线追迹报告(Raytrace report)、光通量报告(Flux report)和属性数据报告(Property Data report)。

### 光通量 Flux

光通量报告提供一个最近一次光线追迹的总结，通过File|Save As菜单也可以把这些数据保存为制表型文本文件，方便检查和后期处理。数据列包括Surface Area, Number of Incident rays, Absorbed flux和Lost flux, Lost flux数据可分为几个不同的种类以判别光线损失是由哪些机理引起的。数据显示每个物件的体吸收和入射光通量，入射光通量是入射到物件的光通量总和，因此光线数据不会被双倍计算。对于多色光线追迹，波长或波段数据都可以被选择，就如同单波长一样。显示物件的数据用红色表示，表面的用蓝色表示。

### 属性数据 Property Data

这个报告显示模型的属性数据，它提供类似系统树中物件和表面的信息。通过Save As菜单可以把数据保存为制表型的文本文件，方便后面的检查和后期处理。显示物件的数据用红色表示，表面的用蓝色表示。

### 光线追迹报告 Raytrace Report

这个报告打开一个模态窗口用来显示内存用量和活动窗口最近一次光线追迹所花销的时间，物理内存和虚拟内存都会显示，光线存储可以用工具菜单上的Delete Raydata Memory可以删除追迹存储的信息。

- 总物理内存-总的物理内存大小
- 可用物理内存—可用物理内存大小
- 已用物理内存—总的物理内存减去可用的物理内存
- 总的虚拟内存—用户分配虚拟地址空间的大小
- 可用虚拟内存—可用虚拟内存的大小
- 已用虚拟内存—总虚拟内存减去可用虚拟内存大小

物理内存信息也可在任务管理器和系统性能工具内显示，但虚拟内存会与实际应用相联系。

### 保存和恢复光线追迹 Saving and Restoring a Raytrace

分析模式下的光线追迹可以保存到硬盘中，为以后显示。首先通过File|Save Ray Data来把TracePro切换到光线保存模式，该动作打开或关闭Save Ray Data菜单项。当在保存模型中选中该项时，会同时保存另一个扩展名为ray的文件，光线文件包含最近完成追迹的所有光线数据。

要保存光线数据，首先确定TracePro是在光线保存模式下(ray saving mode)，查看文件菜单中的Save Ray Data项是否选中（如果显示为  Save Ray Data 则是选中的，如果还选一次就变成不是选中的了），然后选择File|Save As输入一个oml文件的名称，点击Save保存文件，TracePro就会保存一个oml文件和一个ray文件。需要注意的是oml文件和ray文件是同步的，改变oml文件的几何结构和属性就会使得保存的光线数据是过时而无用的，因此改变模型后要重新进行光线追迹。

要恢复一个保存的光线追迹，打开与ray文件相联的oml文件，TracePro会寻找和打开光线文件，并显示光线（假设Analysis|Display Rays菜单项是选中的）。一旦光线被恢复，就可

以用Analysis|Ray Sort来进行光线挑选，以及显示照度图和坎德拉图等。然而光通量不能从光线文件中产生，要得到一个光通量报告，必须重新进行一次光线追迹。

## 工具菜单 Tools Menu

在工具菜单(Tools menu)下有几个很用的命令，包括核查(Auditing)，几何转换(geometry conversion)和数据库(database)的应用。几何结构(geometry)和数据库(database)在其它章节已有讨论。

### 核查 Audit

TracePro使用两种方式的核查，一个是更新式核查(update audit)，一个是整体核查(full audit)。TracePro自动执行其中一种核查并当作光线追迹的一部分，该核查自动核对相对于之前的核查有哪些变化，并处理这些数据，如果没发现之前的核查数据，TracePro就会开始一个整体核查。

您也可以通过菜单选项手动开始一个整体核查，您可能希望在光线追迹前采用一个“手动的”核查，以发现一些问题如表面或表面属性的缺陷(flaws)，或者其它模型中潜在的问题。在消息窗口中会显示错误信息。一个手动核查覆盖所有先前的核查数据，相比之下，自动核查(automatic audit)仅是更新改变的数据。

### 删除光线数据存储 Delete Raydata Memory

选择删除光线数据存储>Delete Raydata Memory)就会使TracePro删除实际模型光线追迹后的数据，选中该项后光线显示和其它的一些分析就不再是可用的了。

### 收集体积通量 Collect Volume Flux

#### 概述 Overview

TracePro有能力执行体积通量计算。从一个分析模式的光线追迹中，用户可以记述一组连续平行六面体单元。对于每一个单元，每个给定的光线追迹会计算4个通量值，结果保存在用户定义文件当中。四种光通量为：光源光通量、入射光通量，吸收光通量和损失光通量。从工具按钮，选择Collect Volume Flux，就会出现图6.15的对话框。



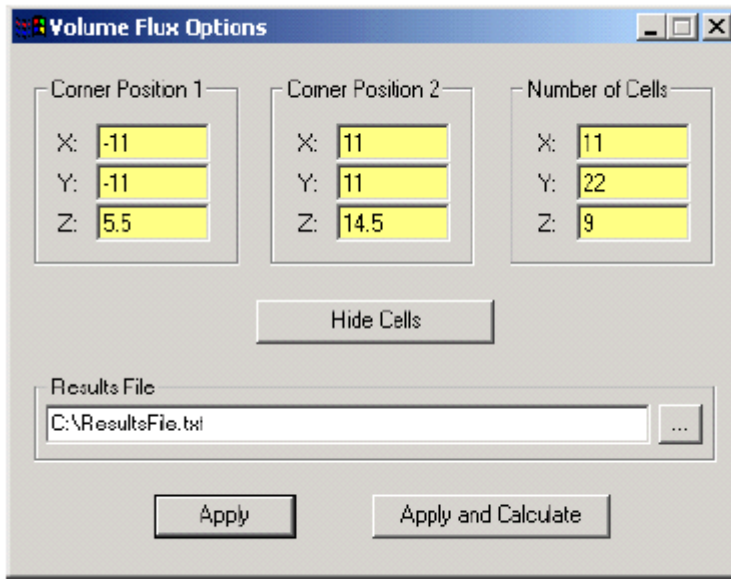


FIGURE 6.15 - Example Volume Flux Options dialog box

单元组用两个对角点来描述。对于每一维X、Y和Z，用户可以指定每一维的单元个数。最后，输入结果文件的名称。按钮显示的是模型窗口的单元集合，如图6.16所示。

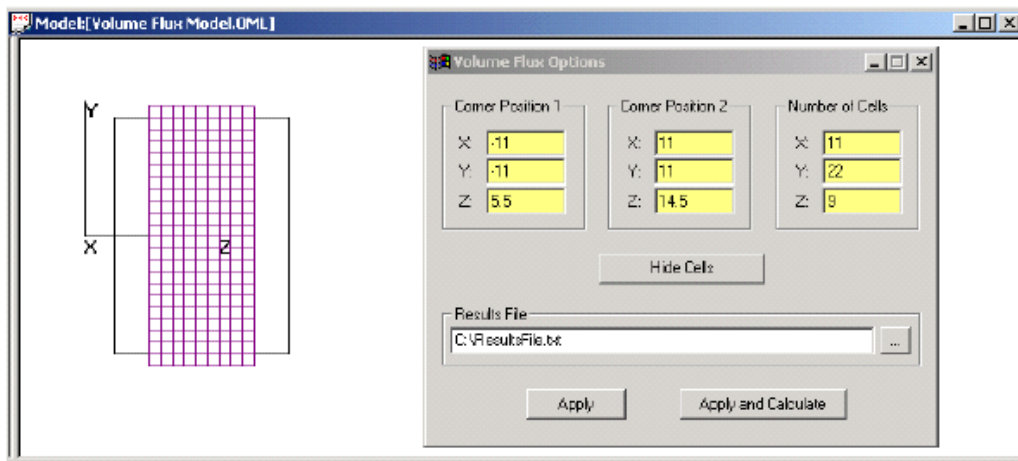


FIGURE 6.16 - TracePro model window showing cells defined for volume flux analysis. This example shows the cells placed inside a sub section of a simple block geometry. The Show Cells button toggles to Hide Cells after being chosen.

对于任何给定的光线追迹，您可以执行无数次体积光通量计算。通过改变输入到Volume Flux Options window中，您能把体积光通量计算结果写入不同的文件。如果愿意，每个计算结果可以利用一个不同的体积光通量单元结构而不用再重新执行光线追迹。

您也可以把不同的追迹结果保存到同样一个文件当中，这种情况下要求这一次的光线追迹到下一次追迹中体积光通量结构没有发生变化，当前光线追迹的结果就会精确的加到文件中。一个递增计数器，会用于追踪模拟的次数并保存到文件中。总之，如果指定的结果文件不存在，就会创建一个新的，如果已经存在，TracePro就会比较文件与当前模型中的数据，以及当前的体积光通量单元结构。表6.8为TracePro判别动作的结果。

表6.8

Volum Flux Cell Configuration	New	New	Old	Old
Raytrace	New	Old	New	Old
TracePro Action	用户企图覆盖结果文件	用户企图覆盖结果文件	新数据增加到已存在的结果文件中	用户尝试确定是否有已存在的数据要增加到结果文件的已存在数据中

## 观察体积光通量 View Volume Flux

### 概述 Overview

Volume Flux Viewer可以用来把那些通量工具菜单的Collect Volume Flux选项收集到的数据显示出来。当体积光通量被收集后保存到一个文本文件中，该文件可以载入Volume Flux Viewer。由于体积光通量数据是一个3维网格数据，Volume flux viewer允许你数据的任何2维部分。要利用Volume Flux Viewer，选择Tools|View Volume Flux，点击Open按钮来打开一个体积光通量文件（Volume Flux file）。

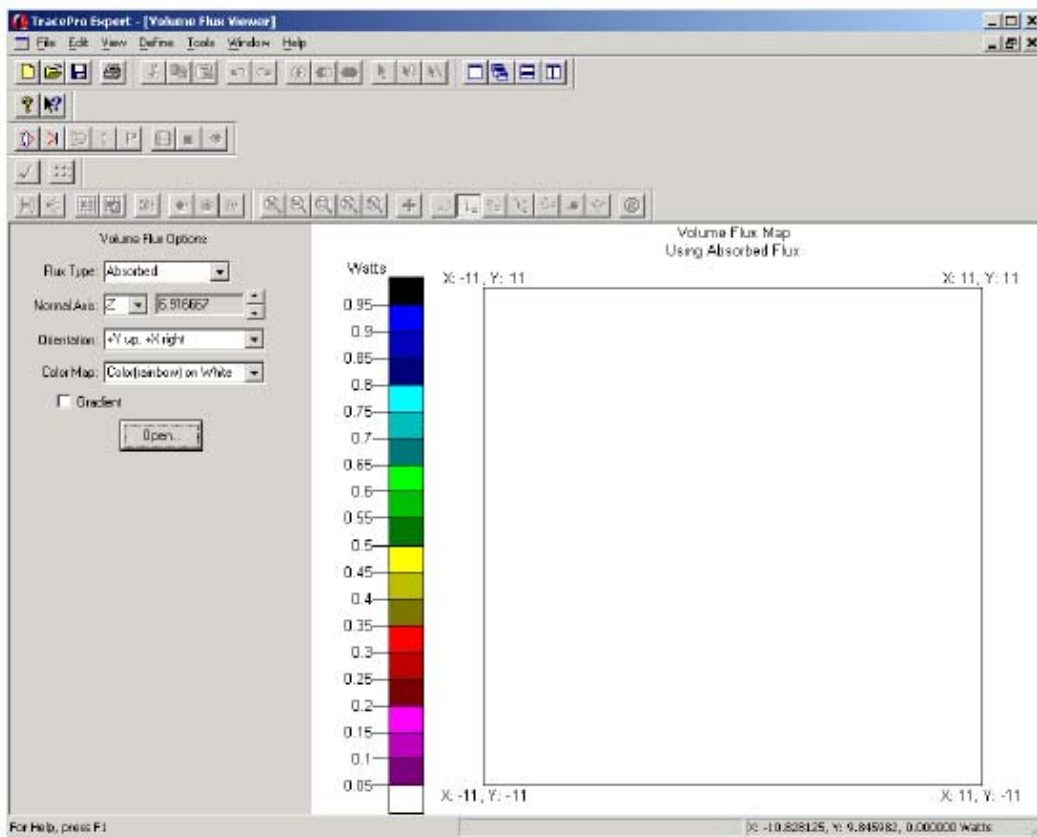


FIGURE 6.17 - Opening the file.

### 通量类型 Flux Type

一旦体积光通量文件被打开，您可以选择观察光通量的类型，下拉菜单中有Absorbed, Incident, Lost, 或Originating等类型可以选择。

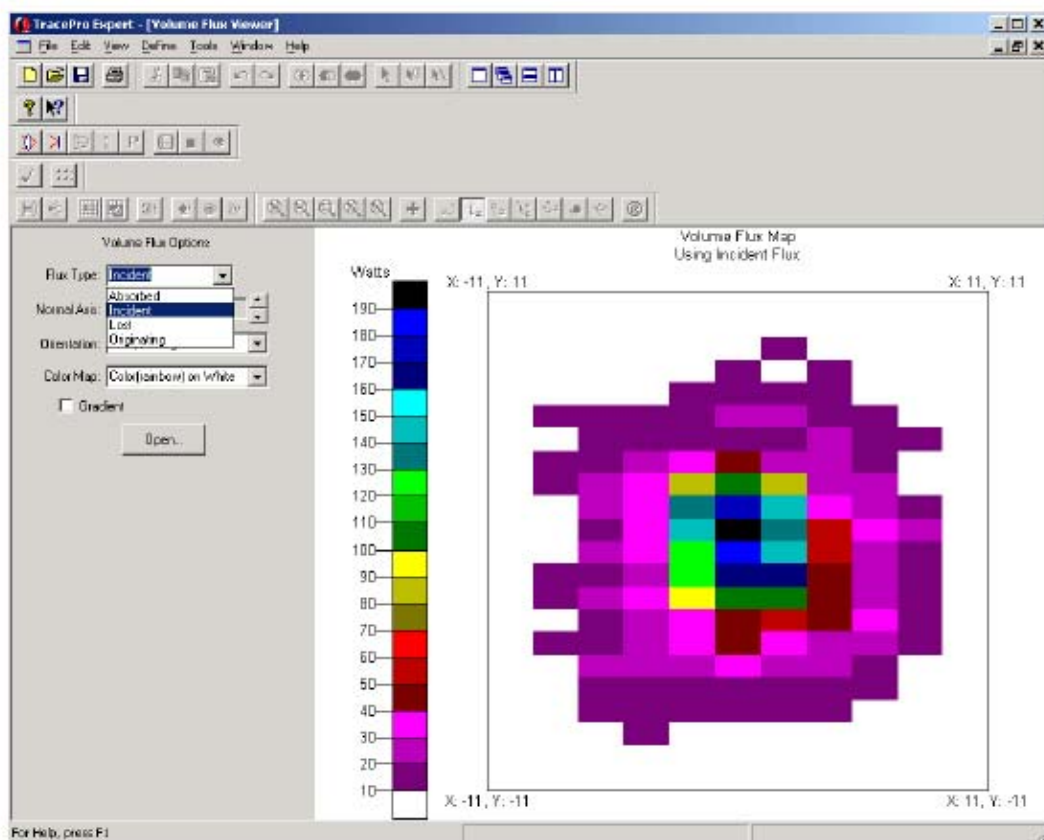


FIGURE 6.18 - Changing the flux type.

### 法线轴/方向 Normal Axis/Orientation

默认观察体积光通量的方向为：正向Z轴指向屏幕（法线轴），正向Y轴指向上边，正向X轴指向右边。如果您想观察X轴指定屏幕、Z轴指向上边和Y轴指向左边的数据，就要选择X轴为法线轴，从方向下拉菜单（Orientation drop-down）选择“+Z向上，+Y向向左”。

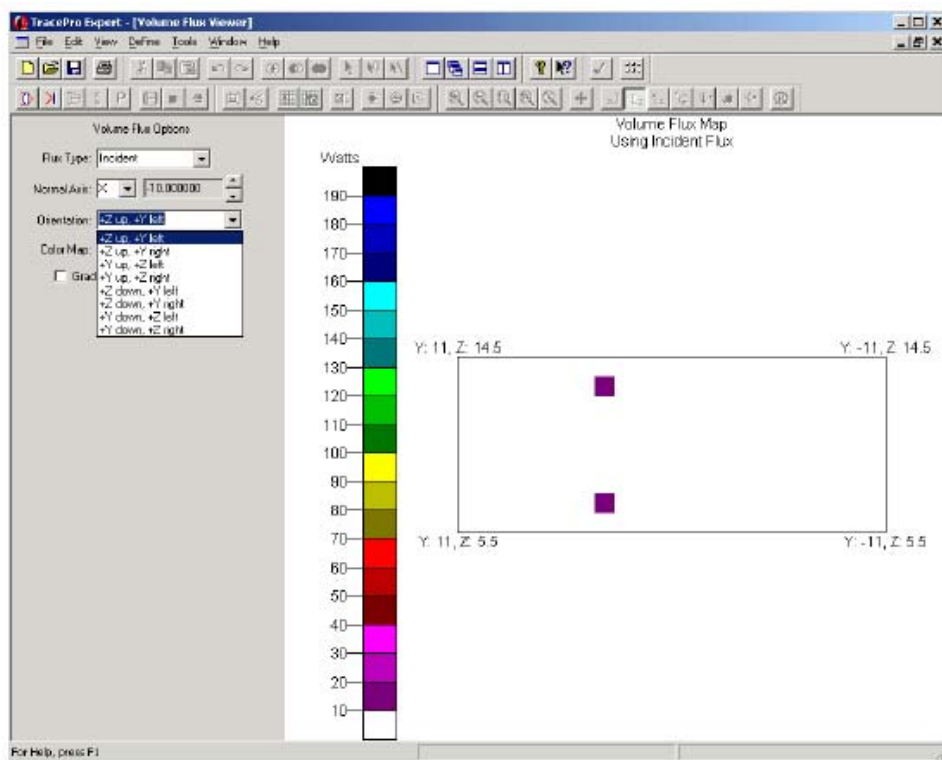


FIGURE 6.19 - Changing the orientation.

### 薄片 Slices

在这个例子中，X轴有11个单元，这意味着在上面的方向（orientation）中，有11个可以显示的“薄片”。要通过薄片滚动，用旋转控制（图6.20）法线轴的右边。这个数字仅在旋转控制的左边显示当前薄片数据的坐标（这种情况为X）



FIGURE 6.20 - Spin control for Volume Flux Slices

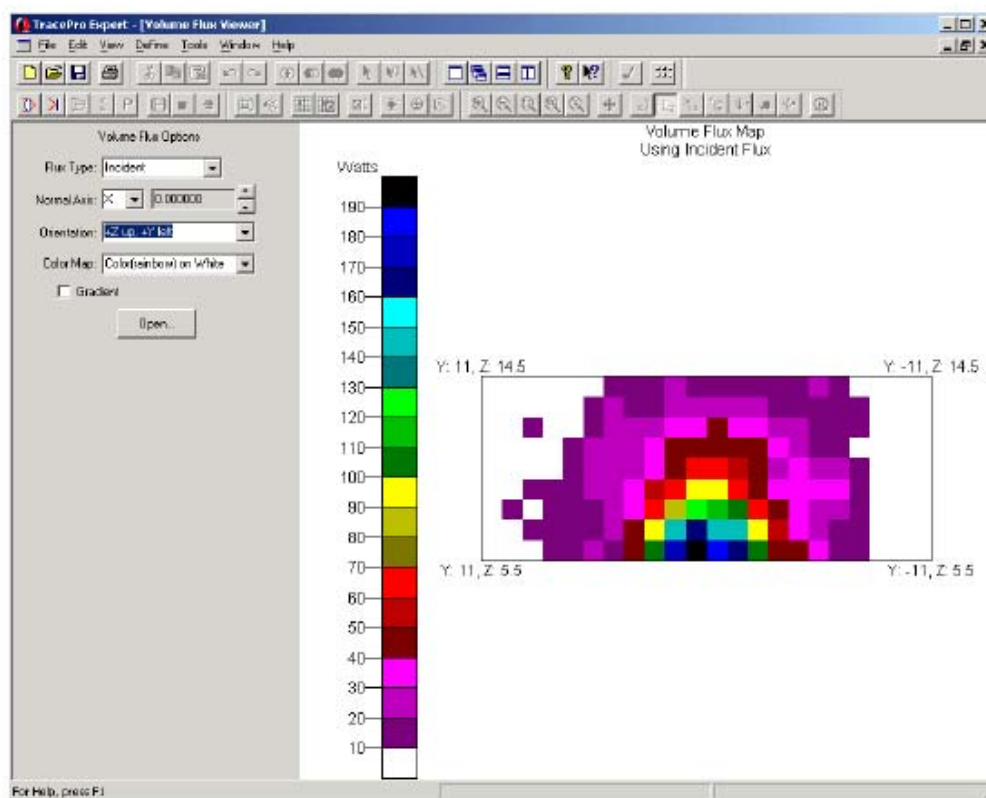


FIGURE 6.21 - Scrolling through the data slices.

### 色彩图/梯度 Color Map/Gradient

这里有几种色彩方案可以用来显示数据，每个都可以直接从色彩图下拉菜单中选择。

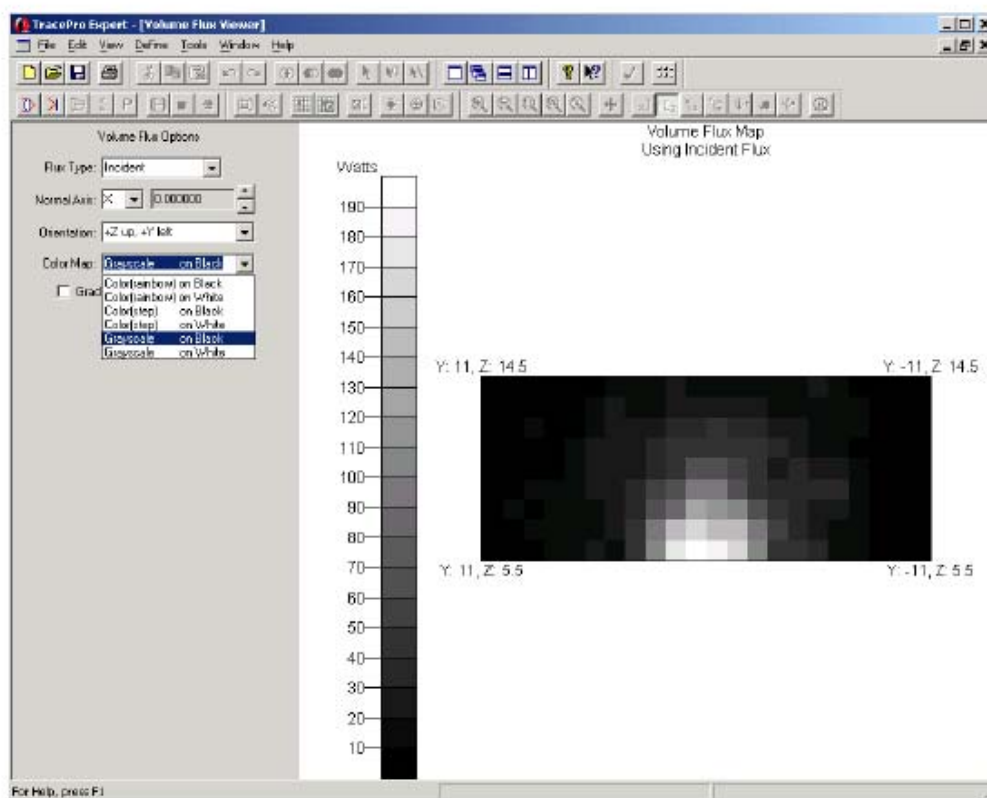


FIGURE 6.22 - Changing the color map.

### 梯度 Gradient

默认情况下，数据范围分为几种子范围。在色彩图中每种安排一个色彩。左边的色板显示哪种色彩和哪个数据值的范围相对应。梯度（gradient）选项创建一个连续的色板，图中每个数据值基于在色彩梯度中位置涂以一个新的颜色。

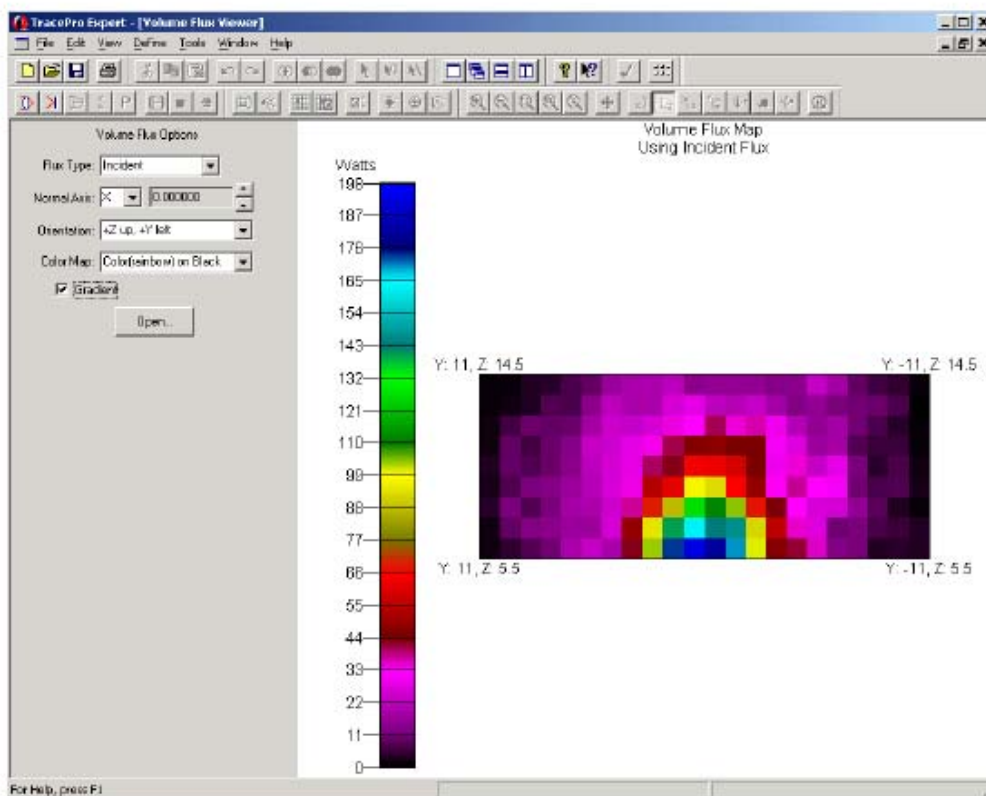


FIGURE 6.23 - Using Gradient mode.

## 第七章 技术参考

### 简介

这一章包括 TracePro 很多方面的详细资料。相似的主题在前面各章均有介绍，这一章主要是做更深一层的讨论，在学习前面各章时如果必要可参考这一章的内容。

### 蒙特卡罗模拟在光线分裂中的应用

蒙特卡罗方法被用于模拟很多物理过程。凡是过程经过随机处理，样品随机抽取且用概率分布来描述物理过程的均称为蒙特卡罗。在光学领域里，光线是采样的样品，镜面反射及透射、反射式及透射式散射和吸收是过程。蒙特卡罗技术源于二战中的 Manhattan 计划，当时用于模拟中子在裂变材料中的传输过程。使用蒙特卡罗技术的第一台计算机是一间位于 Los Alamos 的充满计算器的房间，科学家们在这儿监控。之后也是在 Los Alamos，第一台电子计算机用于蒙特卡罗模拟。在战后及 50 年代，蒙特卡罗技术随方差缩减技术进步而得到提高，这种技术大大提高了蒙特卡罗模拟的收敛速度，使其在光线分裂、重点采样及分层采样取得很大成功。这些技术在今天仍然被广泛使用。

50 年代后期及 60 年代初，蒙特卡罗方法开始用于追迹射线，但不是用在光学模拟，而是用在热辐射传输模拟。早期的计算机由于其有限的处理能力，只能执行所谓的“原始蒙特卡罗”技术，即没有任何方差缩减技术。60 年代末，第一个光学蒙特卡罗程序开发出来，名为 GUERAP，它把方差缩减技术用在光线分裂(Ray splitting)及重点采样(importance sampling)中。TracePro 也用 GUERAP 一样的方法来使用方差缩减技术。

同样是在 60 年代末，在计算机图形学领域里的工人开始用“原始蒙特卡罗”技术在线性打印机上打印图片，他们称之为“光子追迹”。在原始蒙特卡罗中，光线要么被全吸收要么被全透射，光线在这过程中能量保持不变。原始蒙特卡罗所做的实际上是保存能量，但容易受到收敛过慢问题的困扰，例如人口普查中有很大的方差，可能就会出现这个问题。

光线分裂被应用于光线跟踪中意味着光线将被分裂成几个不同的成分，每个成分携带入射光线的一部分能量，对于表面上的一条入射光线，如果光线分裂选项是 ON 且选择一次散射只产生一条随机光线，那么 TracePro 将会产生 4 条离开这个表面的光线(镜面反射 R 和镜面透射 T，散射反射 R 和散射透射 T)，这 4 条光线的光通量之后等于入射光通量减去表面吸收的光通量(吸收可认为是第五条不传输的光线)。

这个过程的原理是，除了极少情况，方差缩减(包括光线分裂)减少了方差，有时会出现戏剧性的情况。在杂散光问题中，收敛的提高可能需一个  $1e10\sim 1e20$  的因数，如果没有方差缩减这个问题是没有希望解决的。

把光线分裂选项选为 OFF 是为了那种在极少情况下出现的、即使简单的光线分裂也会引起浓密的“光线树”且会用到很大内存容量的情形。关掉光线分裂选项，TracePro 将用表面属性成分(镜面 R 和 T，散射 R 和 T)来作为 4 种输出的概率，它将产生一条光通量等于入射光线光通量减去在表面上被吸收掉的光通量的光线。光线分裂选项选为 OFF 是 TracePro 中最接近原始蒙特卡罗的一种光线跟踪方式。然而，在 TracePro 中光线分裂选项选为 OFF，一部分入射光的光通量会被吸收掉，因此每线光线在传输过程中光通量会减少。这种原始蒙特卡罗的变种之所以被用到，是因为它减少了方差但没有增加额外的内存用量。

总的来说，我们推荐使用光线分裂设为 ON，光线追迹的次数可以通过光通量阈值和起始光线数来确定，收敛情况可能通过 Flux Report 中的 Lost Flux 栏来监控。光线分裂 OFF



选项之所以保留仅仅是为了没有光线分裂的情况下也可以得到很好的结果。

## 重点采样(Importance Sampling)

重点采样是一种蒙特卡罗技术，应用这种技术可以使光线在光学系统中朝特定的方向产生和传播。哪个是“重要的”可以根据你所需要的结果来定。这种技术通过增加到达用户感兴趣的表面的光线来提高采样。

重点采样在杂散光分析中是必不可少的，在此处入射光衰减得非常厉害，当然重点采样也可以用到别的类型的分析中。在杂散光分析中，光学系统中的每一个光学表面都应设一个重点采样目标。

需要记住的是重点采样仅仅用在提高散射、衍射或表面光源的采样。设计中遇到的的镜面反射和镜面透射并不会因为使用重点采样而有所提高-----这些光线的方向是由反射定律及菲涅耳定律来决定的。

图7举了对 Lens 第二个表面上的散射使用重点采样的简单例子,最右边的物体(对象)当做探测器。在这个例子中光线从离轴方向射入，这样所有的折射光线都不能到达探测器。通常散射会是在折射光线附近会更强一些，因此随机散射的光线也很少会到达探测器上。当一个重点对象被应用时，它将保证对应于一条入射光线会有一条或更多的重点采样光线打到探测器上，由于重点采样的光线是由立体角和散射分布函数决定的，一个“真实的”答案就可以用最少的光线来模拟了。

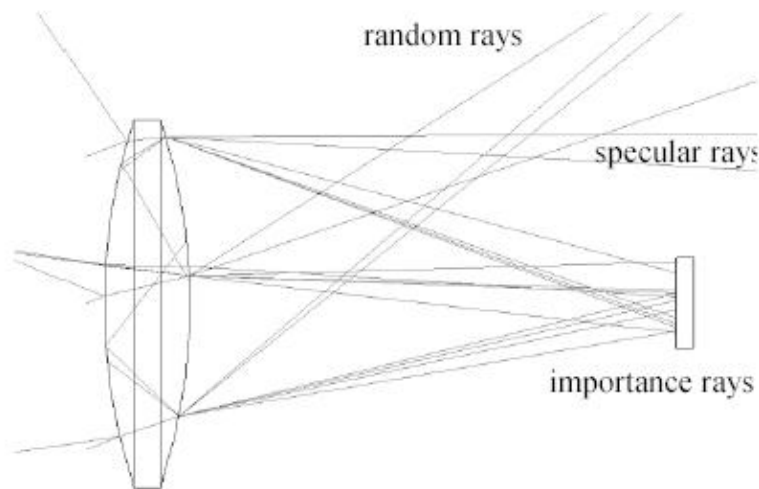


FIGURE 7.1 - Lens shows specular, scatter, and importance rays

### 重点采样和随机光线

在没有重点采样的情况下，TracePro 用在随机方向产生光线的方式来模拟散射。如果你在模拟一个光强被大大削弱的情形，例如杂散光分析，非常少或几乎没有光线到达你所考虑的表面。例如，如果你尝试确定从一个远离光学系统视场的光源发出的光线的杂散光到达探测器的可能性，假设光能衰减得非常厉害，你可能不得不让光源发出数量非常大的光线 ( $10^{10}$ ,  $10^{20}$  或者更多) 才能得到到达探测器的一条光线。重点采样提供了这样一种方法，

它使得物理上不大可能出现的事件发生的机率会大大增加，然而最终的结果是正确的。重点采样提供了一个增加你所关心的事件发生的概率。

重点采样影响散射和衍射光线的走向。当一条光线到达一个表面上，如果有散射和重点采样，则分裂成散射部分的光线会趋向于再分裂成一条随机散射光线和一条重点采样光线，重点采样光线的方向是朝向重点采样对象的方向。光线的光通量是通过计算 BSDF 对立体角的积分，再乘以入射光通量，立体角是散射表面上的点看到重点采样对象的立体角，计算式如下：

$$\Phi_{\text{important}} = \Phi_{\text{incident}} \int_{\Delta\Omega} \text{BSDF}(\Omega) \cos\theta d\Omega. \quad (7.1)$$

实际上，积分可以近似等于 BSDF 乘以重点采样对象包着的立体角，即有：

$$\Phi_{\text{important}} \approx \Phi_{\text{incident}} \cdot \text{BSDF} \Omega \cdot \cos\theta \cdot \Delta\Omega. \quad (7.2)$$

这种近似意味着一些重点采样光线的光通量补低估，而其它的会高估。为了得到正确的结果，有必要对大量光线的光通量进行平均。重点采样的光线的光通量是分配给散射的一部分，剩下的部分是由随机散射的光线获得。随机光线的方向是随机的，权重由 BSDF 决定。TracePro 检查这条光线的方向，确保它不与重点采样对象相交。如果相交，会选择另外一个方向且再检查。这个过程重复下去直到找到一个有效的方向或者超过了指定的阈值。如果超过了阈值，随机光线部分将会丢弃不再计算。

### 什么时候用到重点采样？

重点采样应用于：

1. 杂散光分析
2. 包含散射的非成像分析，尤其是在收集面积相对较小的地方
3. 表面光源，特别是在你需要在很窄的方向上采样大量的光线时

可以用一个很好的方法来判断是否需要用到重点采样：看是否想在光源或出口表面上有很好的采样。光源或出口表面上的采样(光线的数量)依赖于你所做的模拟。在某些情况下，光源仅需很少的光线(几十或几百)就可得到很好的效果；在另外一些情况下可能需要很多的光线(几千或几百万)。

在出口表面上也一样。你可直接通过选择起始光线的数目和光线分布类型来控制光源上的采样，你也可通过用重点采样来间接控制每线起始光线到达出口表面的光线数。起始的光线越多，模拟所花的时间就越长。使用重点采样有利于增加出口的采样数和执行的时间，但在感兴趣的表面上会产生更多的采样，正确使用重点采样可以让你只用很少的起始光线就可以在感兴趣的表面上得到光线。

如果模拟的目的是用精细的空间解析度来预测辉度，则需要很多光线出现在出口表面上。由于蒙特卡罗的统计原理，辉度分布是有噪声的，就如光源强度不足或积分时间不足时的光强测量。为了提高信噪比，需要在出口表面上获取更多的光线，就如同增加光源亮度或增加积分时间一样。可以通过发出更多的光线或增加重点采样的方式来增加出口表面上的光线数。

### 如何选用重点采样的目标？

重点采样的目的是增加光线通过用户所关心的路径的概率。一个重要的准则是获得每

一条起始光线到达所感兴趣表面的概率为 1。对杂散光衰减得很厉害的光学系统，进行杂散光分析是一个很大的挑战。最佳的重点采样选择是靠判断，但接下来会给出几个指南。然而，在最少光线的情况，当做杂散光分析时不得不对每一个光学表面定义重点采样。

### 重点采样举例

首先，考虑没有重点采样会是什么样的情形。光线在每个表面上根据 BSDF 对应的概率分布进行散射和衍射。如果一条光线进入一个光学系统，然后打在盒子的一个表面上，如果这个表面涂着平滑的黑漆，结果会是怎样呢？

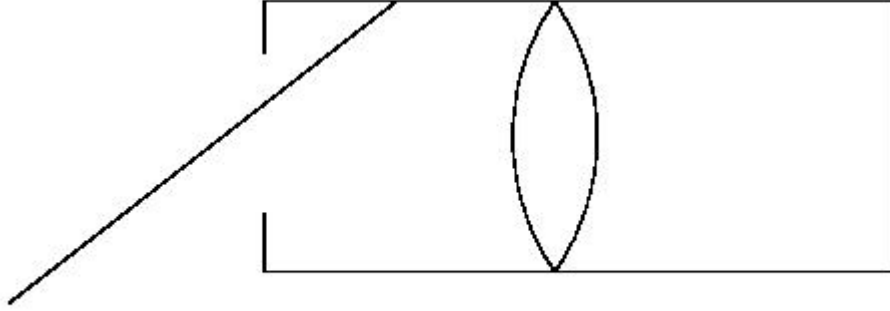


FIGURE 7.2 - No Importance Sampling

一条从这个表面上随机散射出去的光线的分布概率为：

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{\cos\theta}{\pi} \quad (7.3)$$

这条光线朝向镜头的概率为概率密度对立体角的积分，立体角是从光线与盒子表面的交点看镜头的立体张角。假设镜头的半径  $R=1$ ，交点到镜头的距离是  $d=2$ ，光线以  $60^\circ$  角离开盒子表面。光线到达镜头的概率近似为：

$$p_l = \frac{\cos\theta}{\pi} \cdot \frac{\pi R_{\text{lens}}^2}{d^2} = \frac{1}{8} \quad (7.4)$$

现在假设镜头的抛光面有一个典型的 BSDF，就是说在镜面方面上有一个很大的峰值。例如，高光线向探测器散射的 BSDF 为：

$$f_s \approx 3 \times 10^{-7} / \sin^2\theta \quad (7.5)$$

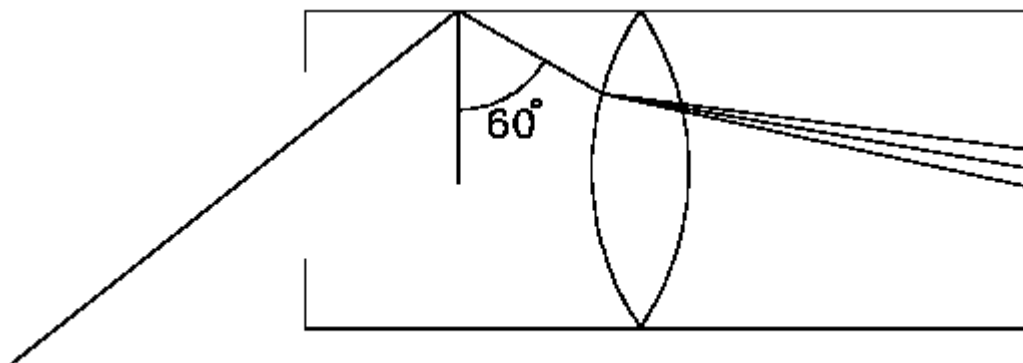


FIGURE 7.3 - Scatter

光线从一个方向散射到轴上一个立体角为 1 毫弧角的探测器上如图 7.3，其概率近似为：

$$p = f_s(\theta) \cos\theta \Delta\theta\Omega, \quad (7.6)$$

这里  $\Delta\Omega = (10^{-3} \text{radian})^2$ ，设  $\theta = 30$  度，则

$$p_2 = 1.04 \times 10^{-12}. \quad (7.7)$$

光线从盒子表面散射到镜头，然后从镜头表面到探测器的总概率为：

$$P_{\text{total}} = p_1 p_2 = 1.30 \times 10^{-13}. \quad (7.8)$$

这意味着我们不得不发出  $10^{13}$  的光线才有可能在探测器得到一条光线。很显然，如果从镜头到探测器我们设一个重点采样，它把  $P_2$  提到 1，就可以得到一个可接受的情形：

$$P_{\text{total}} = p_1 = \frac{1}{8}. \quad (7.9)$$

在 7.3 中可以看到，探测器表面不能被定义为一个对镜头的重点采样目标。我们需要设定的是由镜头表面形成的对着探测器的重点采样，而不是由系统形成的。对镜头的第二表面，我们设定对着探测器的重点采样。

重点采样目标必需要放在光学表面形成的像面上，用这种方式，任何打在光学表面上的光总会产生一条打在探测器上的光线。

## 材料属性

在 TracePro 中，一个材料属性指定一个折射系数和总体吸收系数。在应用属性的对话框里，材料标签栏可以让你从 TracePro 属性库里选择一个材料属性并应用于模型的对象中。

### 材料属性数据库

通过材料属性编辑器可以添加或更改属性库里的数据，这个编辑器在 Define | Edit Properties | Material Properties 菜单里。

在编辑器里可以更改插值方式、描述、温度及插值系数或表格条目。电子表格显示插值公式系数或波长及表格的值。吸收系数的单位是每毫米分之一(1/mm)。

选择一个目录并输入材料名时,TracePro 将会显示材料的相关数据。按下 Add Material

Property 将会打开一个窗口，在那里可以输入新材料的名称。

### 材料属性插值计算公式

以下的插值计算公式是应用于计算材料属性数据的。 $a_i$  值显示在电子表格的上方。

#### Schott:

$$N^2(\lambda) = a_1 + a_2\lambda^2 + \frac{a_3}{\lambda^2} + \frac{a_4}{\lambda^4} + \frac{a_5}{\lambda^6} + \frac{a_6}{\lambda^8} \quad (7.10)$$

#### Sellmeier 1:

$$N^2(\lambda) - 1 = \frac{a_1\lambda^2}{\lambda^2 - a_4} + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_5} + \frac{a_3\lambda^2}{\lambda^2 - a_6} \quad (7.11)$$

#### Extended Schott:

$$N^2(\lambda) = a_1\lambda^8 + a_2\lambda^6 + a_3\lambda^4 + a_4\lambda^2 + a_5 + \frac{a_6}{\lambda^2} + \frac{a_7}{\lambda^4} + \frac{a_8}{\lambda^6} + \frac{a_9}{\lambda^8} + \frac{a_{10}}{\lambda^{10}} \quad (7.12)$$

#### Herzberger:

$$N(\lambda) = a_1 + a_2L + a_3L^2 + a_4\lambda^2 + a_5\lambda^4 + a_6\lambda^6$$

$$L = \frac{1}{\lambda^2 - 0.028} \quad (7.13)$$

**Conrady:**

$$N(\lambda) = a_1 + \frac{a_2}{\lambda} + \frac{a_3}{\lambda^{3.5}} \quad (7.14)$$

**Sellmeier 2:**

$$N^2(\lambda) - 1 = a_1 + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_4} + \frac{a_3}{\lambda^2 - a_5} \quad (7.15)$$

**Sellmeier 3:**

$$N^2(\lambda) - 1 = \frac{a_1\lambda^2}{\lambda^2 - a_5} + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_6} + \frac{a_3\lambda^2}{\lambda^2 - a_7} + \frac{a_4\lambda^2}{\lambda^2 - a_8} \quad (7.16)$$

**Sellmeier 4:**

$$N^2(\lambda) = a_1 + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_4} + \frac{a_3\lambda^2}{\lambda^2 - a_5} \quad (7.17)$$

**Handbook of Optics 1:**

$$N^2(\lambda) = a_1 + \frac{a_2}{\lambda^2 - a_3} - a_4\lambda^2 \quad (7.18)$$

**Handbook of Optics 2:**

$$N^2(\lambda) = a_1 + \frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2 - a_3} - a_4\lambda^2 \quad (7.19)$$

**梯度折射率剖面的多项式形式**

常用梯度折射率的多项式有如下形式:

**Axial-Radial gradient**

$$n(r, z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

$$\text{where... } r^2 = x^2 + y^2$$

**Axial-Elliptical gradient**

$$n(r, z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

$$\text{where... } r^2 = \mathbf{nrxx}x^2 + \mathbf{nryy}y^2$$

**Axial-Sinusoidal gradient**

$$n(r, z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

$$\text{where... } r^2 = \left[ 1 + \mathbf{sva} \sin\left(\frac{z}{\mathbf{svp}} + \mathbf{svf}\right) \right] (x^2 + y^2)$$

**Axial-Tapered gradient**

$$n(r, z) = n_0 + \mathbf{nz1}z + \mathbf{nz2}z^2 + \mathbf{nz3}z^3 + \mathbf{nz4}z^4 + \mathbf{nr1}r^2 + \mathbf{nr2}r^4 + \mathbf{nr3}r^6 + \mathbf{nr4}r^8$$

$$\text{where... } r^2 = [1 + (\mathbf{tasz} + \mathbf{tao})](x^2 + y^2)$$

**SELFOC gradient**

$$n^2(r) = n_0^2 [1 - (\mathbf{nr1}r)^2 + \mathbf{nr2}(\mathbf{nr1}r)^4 + \mathbf{nr3}(\mathbf{nr1}r)^6 + \mathbf{nr4}(\mathbf{nr1}r)^8]$$

$$\text{where... } r^2 = x^2 + y^2$$

**Wood Lens gradient**

$$n(r) = n_0 + \mathbf{nr1}r^2$$

$$\text{where... } r^2 = x^2 + y^2$$

**Spherical gradient**

$$n(r) = n_0 + nr1(sgc - r) + nr2(sgc - r)^2 + nr3(sgc - r)^3 + nr4(sgc - r)^4$$

$$\text{where... } r^2 = x^2 + y^2 + (z - sgc)^2$$

**Fisheye Lens gradient**

$$n(r) = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{r}{nr1}\right)^2}$$

$$\text{where... } r^2 = x^2 + y^2 + (z - sgc)^2$$

**Luneburg Lens gradient**

$$n(r) = n \sqrt{2 - \left(\frac{r}{nr1}\right)^2}$$

$$\text{where... } r^2 = x^2 + y^2 + (z - sgc)^2$$

**GRADIUM gradient**

$$\begin{aligned} n_{\text{gww}}(z') = & \text{gnz0} + \text{gnz1}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right) + \text{gnz2}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^2 + \text{gnz3}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^3 + \\ & \text{gnz4}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^4 + \text{gnz5}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^5 + \text{gnz6}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^6 + \\ & \text{gnz7}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^7 + \text{gnz8}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^8 + \text{gnz9}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^9 + \\ & \text{gnz10}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^{10} + \text{gnz11}\left(\frac{z'}{\text{gmz}}\right)^{11} \end{aligned}$$

$$\text{where... } z' = \text{goz} + z$$

TracePro 支持两种格式的 GRADIUM: Buchdahl 和 Sellmeier。两者都均利用上面的表达式,  $n_{\text{gww}}(z)$  为渐变折射率。GRADIUM 两种表达式仅仅在于它们的分布表达式不同, Buchdahl 形式是较早使用而现在很少有人用的, 它能够向后兼容。Sellmeier 形式现在在光路技术中常用到。GRADIUM 玻璃的制造商会用两种不同的方式对他们的产品进行详细的描述。

GRADIUM(Buchdahl)分布式可用 16 个系数来描述, 这系数在 Buchdahl 色坐标里四次展开。



At a wavelength other than  $g_{wv}$ , the index is computed as follows.

$$n_{\lambda}(z') = n_{g_{wv}} + V_1\omega + V_2\omega^2 + V_3\omega^3 + V_4\omega^4$$

where...

$$\omega = \frac{\lambda - g_{wv}}{1 + \frac{\lambda - g_{wv}}{g_{wv} - 0.187}}$$

$$V_1 = gra1n_{g_{wv}}^3 + grb1n_{g_{wv}}^2 + grc1n_{g_{wv}} + grd1$$

$$V_2 = gra2n_{g_{wv}}^3 + grb2n_{g_{wv}}^2 + grc2n_{g_{wv}} + grd2$$

$$V_3 = gra3n_{g_{wv}}^3 + grb3n_{g_{wv}}^2 + grc3n_{g_{wv}} + grd3$$

$$V_4 = gra4n_{g_{wv}}^3 + grb4n_{g_{wv}}^2 + grc4n_{g_{wv}} + grd4$$

GRADIUM(Sellmeier)分布式用 48 个系数通过修正的 Sellmeier 模型来描述

## 表面属性

表面属性主要是描述反射、透射、吸收和表面散射

### BSDF

双向散射分布函数(BSDF)是光从一个表面上的不同方向散射强度的度量。BSDF 是一个既包括入射方向又包括散射方向的函数，因此称“双向”的。在计算上，BSDF 定义为每单位入射光照度的散射辉度，或

$$\text{BSDF}(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s) = \frac{dL_s(\theta_s, \phi_s)}{dE_i(\theta_i, \phi_i)} \quad (7.20)$$

由于辉度的单位是  $\text{watts/m}^2 \cdot \text{sr}$ ，照度的单位是  $\text{watts/m}^2$ ，所以 BSDF 的单位是  $1/\text{sr}$ 。

在 TracePro 中,BSDF 相对于入射方向具有移位不变性，抛光表面的这种特性最先在 Harvey 的博士论文中提到。移位不变性意味着 BSDF 的形状仅依赖于镜面方向和散射方向间的差异。这种模型对很多表面是非常有用的，尤其是光学抛光表面。

BSDF 是表面散射的一般术语，实际上有三种具体的 BSDF：

- BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)
- BTDF(Bidirectional Transmittance Distribution Function)
- BDDF(Bidirectional Diffraction Distribution Function)

### Harvey-Shack BSDF

在他的论文中(J.E.Harvey, "Light-Scattering Properties of Optical Surfaces", Ph.D.Dissertation, U.Arizona.1976), Harvey发现,如果用方向余弦函数替代角度来表示BSDF,那么BSDF将会独立于入射方向,Harvey称之如线性系统理论中一样,为“移位不变性”,如图7.4。 $\beta_0$ 是镜面方向的单位向量 $\mathbf{r}_0$ 在表面上的投影， $\beta$ 是散射方向的单位向量 $\mathbf{r}$ 在表面上的投影，它们差的绝对值 $|\beta - \beta_0|$ ，是BSDF的变量，注意 $\beta$ 和 $\beta_0$ 不是单位向量，它们是单位向量在表面上的投影，因此它们的长度小于或等于1。Harvey-Shack方法为很多光学表面的行为给出了一个很好的模型，如：

- 散射主要是由于表面粗糙
- 散射是等方性的
- 表面的粗糙程度相对于光波长是很小的

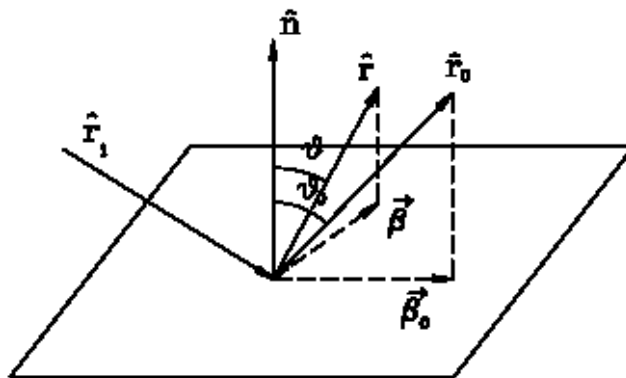


FIGURE 7.4 - Harvey-Shack BSDF: a shift-invariant BSDF representation

当测量或评价入射平面的BSDF时，如当散射方向 $\mathbf{r}$ 和入射方向 $\mathbf{r}_i$ 及镜面方向 $\mathbf{r}_o$ 在同一平面时， $|\beta - \beta_0|$ 简化为 $|\sin \theta - \sin \theta_0|$ ， $\theta$ 是散射方向与表面法线的夹角， $\theta_0$ 是镜面方向与表面法线的夹角。当光垂直于表面时， $\theta_0=0$ 因此 $|\beta - \beta_0| = \sin \theta$ 。测量一般是在入射平面内，许多BSDF图有以 $|\sin \theta - \sin \theta_0|$ ， $\sin \theta - \sin \theta_0$ ， $\sin \theta$ ，或 $\theta$ 作为水平轴。

### ABg BSDF模型

TracePro中的BSDF模型为准幂数倒数模型，称为ABg模型。之所以称之为ABg模型是因为如下公式中的三个参数：

$$\text{BSDF} = \frac{A}{B + |\beta - \beta_0|^g}, \quad (7.21)$$

这里A, B和g是使公式符合测量结果的三个参数。

一个典型的ABg模型，如下图：

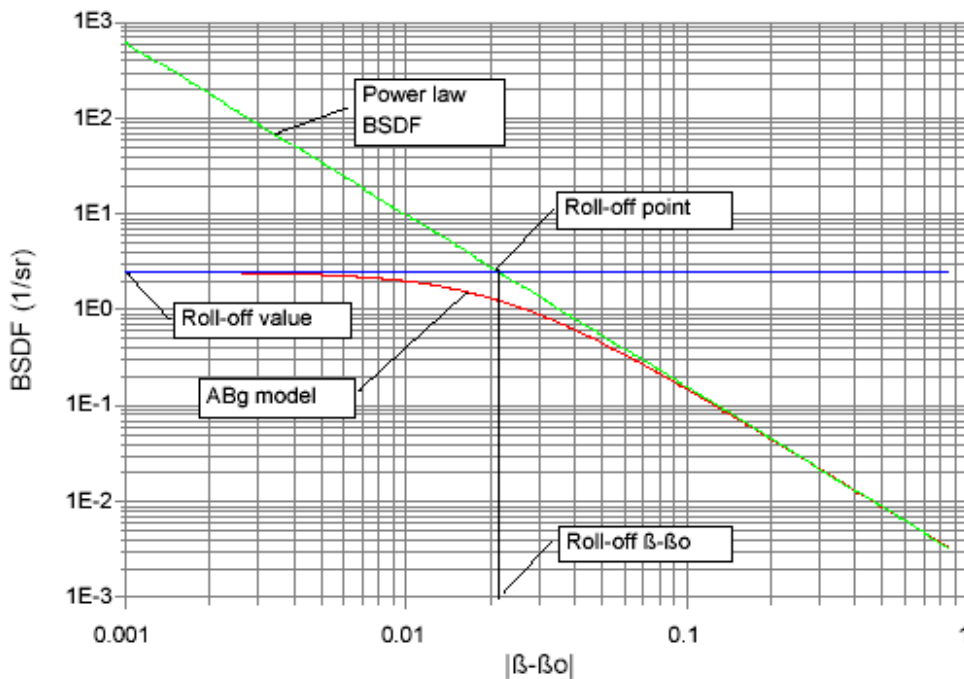


FIGURE 7.5 - ABg BSDF Model where  $A=0.0025$ ,  $B=0.001$ , and  $g=1.8$

注意ABg模型的如下属性：

B必须要大于0，除非 $g=0$ 。

如果 $g$ 是0，它将成为Lambertian BSDF，值为 $A/(B+1)$ ，总散射为 $\pi A/(B+1)$ 。

如果 $g$ 小于0，BSDF随 $|\beta - \beta_0|$ 增加而增加，一些表面有这种行为

大部分光学抛光表面有符合这种模型的BSDF形状。这个模型在 $|\beta - \beta_0|$ 的地方会有一个平坦区，在roll-off点有一个转换值，在这个点之外是一条近似直线的曲线。G值一般在1~3之间，主要依赖于材料特性，抛光方法和抛光程度。B值一般是0.001或更小。A值的取值范围则很大。当 $|\beta - \beta_0|=0$ 时，曲线“平坦化”：

$$\text{BSDF}(0) = A/B. \quad (7.22)$$

在 roll-off 点,

$$B = (\beta_{\text{rolloff}})^g. \quad (7.23)$$

### BRDF, BTDF 与 TS

BRDF 是 Bidirectional Scattering Distribution Function (双向散射分布函数), BSDF 是通用术语, 具体包括:

- BRDF-Bi-directional Reflectance Distribution Function (双向反射分布函数)
- BTDF-Bi-directional Transmittance Distribution Function (双向透射分布函数)

这些参量分别参照于反射和透射式散射。在 TracePro 中定义表面属性时, 可以同时定义 BRDF 和 BTDF。

另一个与 BSDF 有关的参量是 TS (Total Scatter)。在 Tracepro 中, TS 定义为所有角度上 BSDF 的积分:

$$\text{TS} = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \text{BSDF}(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s) \cos\theta \sin\theta (d\theta) d\phi, \quad (7.24)$$

这里  $\theta$  和  $\phi$  是球面极坐标系里的坐标, 定义 Z 轴为法线。当光垂直入射时,  $\theta_i$  和  $\phi_i$  为 0,  $\theta_s = \theta$  和  $\phi_s = \phi$ , TS 为:

$$\text{TS} = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \text{BSDF}(0, 0, \theta_s, \phi_s) \cos\theta \sin\theta (d\theta) d\phi. \quad (7.25)$$

为了使 TracePro 保持能量平衡, 所有的光入射到一个表面时都要根据表面属性进行能量计算。这就是说吸收 (absorption)、镜面反射与透射及散射系数总和为 1:

$$a + R_s + T_s + R_{\text{TS}} + T_{\text{TS}} = 1, \quad (7.26)$$

在这里:

a=absorptance

$R_s$  = specular reflectance

$T_s$  = specular transmittance

$R_{\text{TS}}$  = TS for reflection

$T_{\text{TS}}$  = TS for transmission.

在编辑或增加一个表面属性时, 如果这个条件不能满足, TracePro 将不会让你离开编辑器。在 TracePro 中可以选用 solve for 使条件得到满足。

## 椭圆形 BSDF (Elliptical BSDF)

### 什么是椭圆形 BSDF?

椭圆形BSDF是说系数是以椭圆形分布的,因此散射光是不对称分布的。椭圆形BSDF是不对称BSDF的特殊情形。尽管椭圆形BSDF是非对称的,Abg模型却是关于 $|\beta - \beta_0|$ 对称的。在这里,将对两种椭圆形BSDF进行介绍:椭圆Abg模型和椭圆Gaussian模型。

在TracePro中,当创建一个椭圆形BSDF的表面属性时,要通过X和Y轴定义椭圆,这将确定散射的方向,你必需要根据轴来定义系数。当把表面属性应用于某一表面时,X轴的方向就被确定了。如果你把椭圆BSDF用在各向异性的表面,会有一个方向来确定各向异性和椭圆BSDF的方向。当你创建各向异性的表面属性时,可以加许多你希望的值,如 $\theta$ 和 $\phi$ 。对于每个温度和波长,表面属性编辑器将会为每对 $\theta$ 和 $\phi$ 创建系数表。对于每对 $\theta$ 和 $\phi$ ,你只需输入BSDF的峰值及BSDF的X、Y系数。

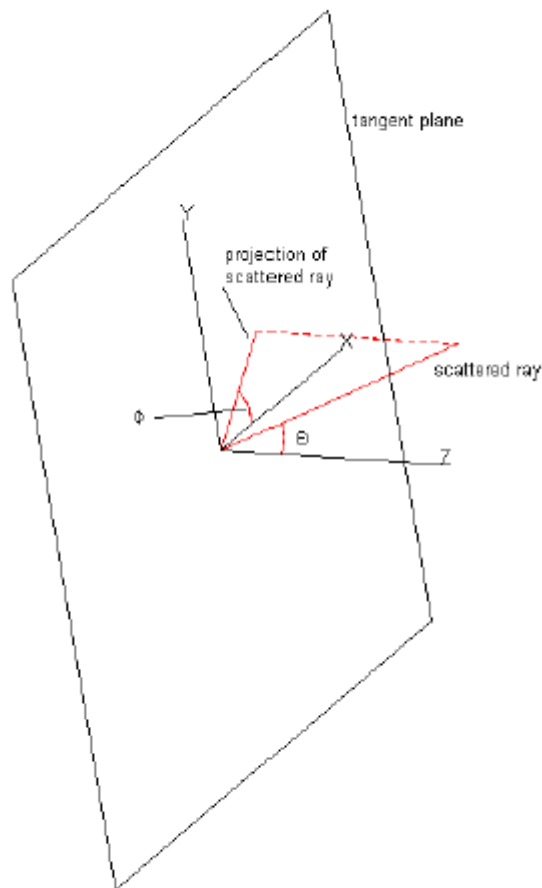


FIGURE 7.6 - Elliptical BSDF coordinates

许多表面呈现不对称的散射行为。任何表面在不同方向上“看起来不一样”,就有可能呈现不对称的散射特性。例如一个被刷过或被机器处理过的表面可能会有不对称散射。许多

复合材料表面在一特定方向上会有纹路，这也会使材料呈现不对称的散射。一些散射体专门为不对称散射设计，如全息散射体。

尽管其具有多功能性和一般性，TracePro的椭圆BSDF还是有其局限性。如果你把椭圆BSDF属性用在一个平面上，其“谷底”固定于一个方向，为了使椭圆BSDF为空间独立性(如在表面不同部分有所不同)，将不得不把物体破坏为几个部分。

然而，你可以模仿圆形刷在抛物镜面作记号的情形。因为“方位角(azimuth)=0”的轴是投影在切线平面上，为了计算方位角，azimuth=0轴确定椭圆BSDF的对称性。假设在上图中反射体的轴是Z轴，为了模仿画笔在抛物面的情形，作一azimuth=0的轴垂直于反射体的轴，如(1, 0, 0)或(0, 1, 0)。为了使笔能在一个倾斜角上作标记，作一azimuth=0的轴，它既不平行也不垂直于反射体的轴。

### 椭圆ABg BSDF 模型

椭圆Abg模型基于Abg模型，它是对称的。之所以称为椭圆Abg，是因为为每个系数指定了椭圆的轴。TracePro会指定一个适合于轴的椭圆，而其它方向的系数则由椭圆来确定。椭圆Abg模型由以下运算法则来确定：

1. 当创建一个椭圆BSDF表面属性时，要输入B和g系数作为x和y轴。
2. 当应用这个属性时，需指定方位角为0的轴。它成为确定系数的局部x轴。
3. 进行光线追迹时，局部表面的法线和方位角为0的轴构成一个局部坐标系。表面法线是局部z轴，方位角为0的轴是x轴。如果方位角为0的轴不垂直于表面法线，在包括它和法线的平面内旋转此轴，使其与法线垂直。
4. 当散射光线的方向投影到切线平面时，方位角 $\phi$ 就确定了。详细可看7.16页的“椭圆BSDF坐标”
5. 系数B'和g'是由x和y构成的椭圆来确定：

$$\frac{1}{B'^2} = \frac{(\cos\phi)^2}{B_x^2} + \frac{(\sin\phi)^2}{B_y^2} \quad (7.27)$$

和

$$\frac{1}{g'^2} = \frac{(\cos\phi)^2}{g_x^2} + \frac{(\sin\phi)^2}{g_y^2} \quad (7.28)$$

6. Abg的BSDF也可以用同样的方法来估计，如

$$\text{BSDF} = \frac{A}{B' + |\vec{\beta} - \vec{\beta}_0|^{g'}} \quad (7.29)$$

7. 系数A由下面的公式来确定，

$$\text{BSDF}(0) = \frac{A}{B'} \quad (7.30)$$

或

$$A = \text{BSDF}(0) \cdot B' \quad (7.31)$$

这里 BSDF(0) 是峰值 BSDF，当你创建一个椭圆 BSDF 模型时，在每行需输入如下系数：

- Peak BRDF
- BRDF  $B_x$
- BRDF  $B_y$
- BRDF  $g_x$
- BRDF  $g_y$
- Peak BTDF
- BTDF  $B_x$
- BTDF  $B_y$
- BTDF  $g_x$
- BTDF  $g_y$

#### 椭圆高斯(Gaussian)BSDF

椭圆高斯 BSDF 有更简单的形式，只需输入峰值 BSDF 和  $1/e^2$  半宽，BSDF 即有如下形式：

$$\text{BSDF} = \text{BSDF}(0)e^{-2\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \quad (7.32)$$

这里 BSDF(0) 是峰值 BSDF，当你创建一个椭圆高斯 BSDF 模型时，每行需输入如下系数：

- Peak BRDF
- BRDF  $s_x$
- BRDF  $s_y$
- Peak BTDF
- BTDF  $s_x$
- BTDF  $s_y$

$s_x$  和  $s_y$  是高斯 BSDF  $1/e^2$  半宽

#### 各向异性表面属性

根据 Merriam-Webster 大学词典，各向异性的意思是：

构成：an-isotropic

发音：“a”ni-s&-’tr&-pik

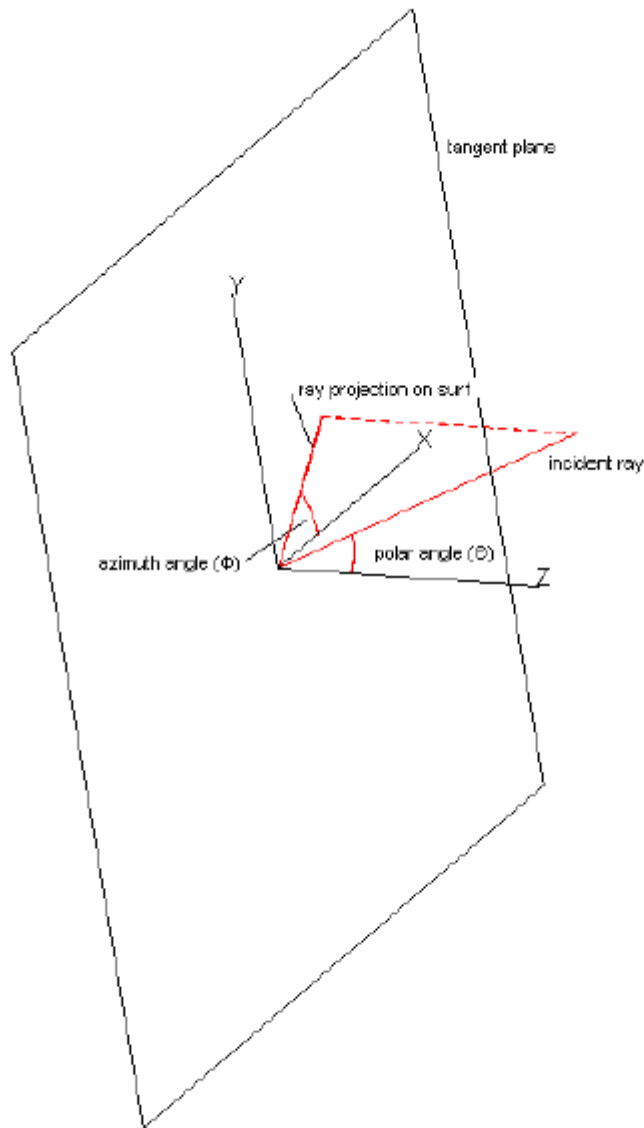
词性：形容词

时间：1879

词义：在不同方向上测量属性有不同的值(如非晶体)

各向异性的原意是“非等方性”，等方性的意思为(根据 Merriam-Webster)大学词典：在所有方向上测量属性会有同样的值。对于一个表面属性，各向异性行为意味着系数会根据入

射方向不同而有所不同。在TracePro表面属性中，入射方向两个角度来描述，一个是极角  $\theta$ ，另一个是方位角  $\phi$ ，类似于球坐标系。表面的法线是Z轴，X和Y轴在切线平面内，如图7.7。



**FIGURE 7.7 - Polar Coordinates for anisotropic surface property**

在 TracePro 中创建表面属性时，可以加入很多你所想加的  $\theta$  和  $\phi$  的值，对于一个各向异性的表面属性，BSDF 可以是 Abg 模型，也可以是椭圆 BSDF 模型，让你可以完全控制表面的行为。

在应用各向异性表面属性到一个平面上是，必需指定方位角为零的方向，即图 7.7 中的 X 轴。

#### 各向异性表面类型

许多表面呈现各位异性行为。当光线入射到表面时，从不同的方向看“看起来是不同的”，说明这个表面是各向异性的。例如，刷过或处理过的表面可能会依入射方向在不同方向上反射光的数量有所不同。许多复合材料在特定方向上有纹理，因此呈现各向异性。一些扩散体专门设计为具有各向异性特性。



尽管它有多功能性和一般性，TracePro 中的各向表面属性还是有其局限性。如果应用各向异性表面在一个表面上，表面的“谷底”只能容下一个方向。为了使各向异性具有空间独立性(如在表面不同部分会有所不同)，不得不把表面分为几个部分。

然而，你可以仿照圆形画笔在抛物曲线在作标记的情形。由于你输入的方位角为 0 的轴投影在切线平面上，各向异性的对称性就由方位角为 0 的轴来确定。假设反射面的轴是沿着 Z 轴，如图 7.7。为了模仿画笔在反射体上用标记，你需输入方位角的轴为 (0, 0, 1) 或沿着 Z 轴。为了能使画笔能作反射体轴的平行线，需输入一方位角为 0 且垂直于反射体法线的轴，如 (1, 0, 0) 或 (0, 1, 0)。为了能使画笔在倾斜的角上标记，方位为 0 的轴要既不平行也不垂直于反射体的法线。

### 获得各向异性数据

为了从一各向异性平面获得数据，你可能不得不去测量材料样品。如果你没有设备也没有专门的技术，你需到其它商业性实验室去做测量。Lambda 不认可任何特殊实验室的测量结果，不过测试时最好参考半球方向反射或透射函数(the Hemispherical Directional Reflectance or Transmittance Function)，经常缩写为 HDRF 或 HDTF。它能给出相对于入射方向的总反射系数或透射系数，但不能分辨出镜面或散射成分。把这两分辨出来的最好方法是测出几个方向的 BRDF 和 (或) BTDF。因此要充分表征一个各向异性表面，你需要进行两种测量：HDRF/HDTF 和 BRDF/BTDF。例如，为了创建一个不透明表面的表面属性(镜面透射和 BTDF 都为 0)，你需

1. 获得样品 BRDF 和 HDRF 的测量数据
2. 在 TracePro 中用一 BSDF 模型使其符合 BRDF 的测量结果
3. 输入 BRDF 系数到表面属性中
4. 对  $\theta$  和  $\phi$  计算 HDRF，再根据  $A=1-HDRF$  计算吸收率，并输入到表面属性中
5. 在表面属性编辑器中选 Solve for Reflectance。

当你测量时，要确保样品的方向相对于测量设备是已知的。定义一个本地轴，然后所有的测量都参考这条轴。这条轴在你创建表面属性时当作方位角为 0 的轴

## 用户自定义表面属性

### 概述

TracePro 通过使用动态链接库 (DLLs) 让用户定义属性。现在表面和体散射属性可以用到这个功能。

为了使用这些属性，必需创建一个 DLL，它扮演属计算的角色，在属性编辑器里定义一个属性即可用在表面或物件上了。

### 创建表面属性 DLL

TracePro 掷送一套源文件使创建 C++ DLL 更加容易。通过 DLL 界面，你可以定制可应用于 TracePro 模型的表面属性。当追迹光线时，TracePro 的光线追迹引擎将直接与这样表面属性打交道。

目前，TracePro 支持如下的输入输出格式，将来会有所拓展。

TABLE 7.1. Surface DLL Inputs

Inputs:	Description	Variable
	wavelength	input[WAVELENGTH]
	temperature	input[TEMPERATURE]
	position X	input[RAY_POS_X]
	position Y	input[RAY_POS_Y]
	position Z	input[RAY_POS_Z]
	incident direction X	input[RAY_DIR_X]
	incident direction Y	input[RAY_DIR_Y]
	incident direction Z	input[RAY_DIR_Z]
	flux S0, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S0]
	flux S1, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S1]
	flux S2, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S2]
	flux S3, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_S3]
	flux SX, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SX]
	flux SY, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SY]
	flux SZ, (Stokes Vector)	input[RAY_FLUX_SZ]
	surface normal X	input[SURF_NORM_X]
	surface normal Y	input[SURF_NORM_Y]
	surface normal Z	input[SURF_NORM_Z]

TABLE 7.2. Surface DLL Outputs

Outputs	Description	Variable
	s – absorptance	results[ABSO_S]
	p – absorptance	results[ABSO_P]
	s – reflectance	results[REFL_S]
	p – reflectance	results[REFL_P]
	s – transmittance	results[TRAN_S]
	p – transmittance	results[TRAN_P]
	Phase reflection [deg]	results[PHAS_R]
	Phase transmission [deg]	results[PHAS_T]

DLL 的信息统一放在 TracePro 安装目录(缺省为 C:\Program Files\Lambda Research Corporation\TracePro)的子目录\DLLs 下面。在这个 DLLs 目录里, 你可以看到:

- TraceProDLLs.h  
与 TracePro 共享的头文件定义写在输入与输出数组后面的数组, 它被包含在每个新 DLL 表面属性当中。
- SurfacePropDll  
包含源文件、工程和工作区文件的文件夹被当作例子写入你自己的 DLL  
在创建和应用你的 DLL 时, 要遵循如下步骤:

1. 把 SurfacePropDll 文件夹及所有内容 copy 到 Dlls 目录下的一个新文件夹里。
2. 在 Developer Studio 里打开工作区文件 (surf.dsw)。
3. 加入你的代码和资源文件到 surf.h 和 surf.cpp 中。
4. 创建 DLL 文件，这个工程的 DLL 文件的名称将为 surf.dll。
5. 在 TracePro 表面属性编辑器中，创建一个新的表面属性。设置“Type”为“Coating DLL”，并把 DLL 文件导进来。
6. 现在就可以应用这个表面属性在任何你所希望设置的表面上了。
7. 当应用这种类型的表面属性时，必需指定原点 (origin)，法向方向 (normal direction) 和向上方向 (up direction)。这将用来在全局坐标系中区别出局部坐标系。
8. 完成调试后，移动或重命名 DLL，它将会被移到最近
9. 重命名 DLL 后，返回并修正表面属性用来识别 DLL 文件的新位置。

### 创建表面属性

可以用类似于创建标准表面属性的方式来创建 DLL 表面属性。用 Add Surface Property 按钮来增添一个新的属性，并把 Type 设为 Coating DLL。反射属性数据由 DLL 提供，散射属性可以在表面属性编辑器里单独增加。

### 应用表面属性

表面属性对话框提供附加数据给 DLL 属性。一个原点、法向矢量和纵向矢量会用来标志表面的属性方向，这些数据可以在空间上改变属性。当物体旋转时，法向矢量和纵向矢量会发生变化；当物体移动时，原点会发生变化。

## Mueller 矩阵与 Stokes 矢量 Standard Expert

TracePro 用 Mueller 矩阵-Stokes 矢量来描述光的极化状态，并计算光与极化物体的交互作用。

为了您的方便，我们已把 Stokes 矢量和 Mueller 矩阵制成几种标准格式的表格

**TABLE 7.3. Stokes vectors of selected polarization states (flux = 1).**

Polarization state	Stokes vector
Linear, parallel to x axis	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
Linear, parallel to y axis	$\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
Linear, 45 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$
Linear, 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$
General linear, at angle $\alpha$ to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \\ \sin 2\alpha \\ 0 \end{bmatrix}$

Circularly polarized, right-handed	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$
Circularly polarized, left-handed	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$
General elliptical, ellipse at angle $\lambda$ to x axis, phase or ellipticity = $\omega$	$\begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\omega \cos 2\lambda \\ \cos 2\omega \sin 2\lambda \\ \sin 2\omega \end{bmatrix}$
Unpolarized (Randomly polarized)	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

TABLE 7.4. Mueller matrices for selected polarizing components

Component description	Mueller matrix
Linear polarizer with transmission axis along the x axis (horizontal polarizer)	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis along the y axis, i.e. at 90 degrees to the x axis (vertical polarizer)	$\begin{bmatrix} 0.5 & -0.5 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis at 45 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis at 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Right circular polarizer	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$
Left circular polarizer	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & -0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis along the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis along the y axis, i.e., at 90 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis at 45 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Linear quarterwave retarder with fast axis at 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Unity matrix (Does nothing)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

TABLE 7.4 (cont.). Mueller matrices for selected polarizing components

Component description	Mueller matrix
Linear halfwave retarder with fast axis at 0 or 90 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
Linear halfwave retarder with fast axis at 45 or 135 degrees to the x axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
Circular halfwave retarder right- or left-handed	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

TABLE 7.5. General Mueller matrices for selected types of components

Component description	Mueller matrix
Compensator: introduces a phase difference of $2\delta$ between the x and y components	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos 2\delta & -\sin 2\delta \\ 0 & 0 & \sin 2\delta & \cos 2\delta \end{bmatrix}$
Rotator: rotates the plane of polarization counterclockwise through an angle $\theta$ about the z axis	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & -\sin 2\theta & 0 \\ 0 & \sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Linear polarizer with transmission axis oriented at an angle $\alpha$ to the x axis	$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 \cos 2\alpha & 0.5 \sin 2\alpha & 0 \\ 0.5 \cos 2\alpha & 0.5 \cos^2 2\alpha & 0.5 \sin 2\alpha \cos 2\alpha & 0 \\ 0.5 \sin 2\alpha & 0.5 \sin 2\alpha \cos 2\alpha & 0.5 \sin^2 2\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

## 体散射 **Standard** **Expert**

当光线进入具有体散射的物体时，光线会传播一段距离，然后光线的方向发生偏移，类似于 TracePro 中光线通过狭缝发生衍射的情形。重点采样的光线也可以产生在您所需要的方向。光线偏离的方向及重点采样的光线能量由概率分布来决定，这有点类似于 BSDF，但又有些不一样，BSDF 定义为每单元入射辉度的散射辐射率，而散射分布函数（SDF）定义为每单元入射能量的散射强度分布，

$$\text{SDF} = \frac{\partial I(r)}{\partial \Phi} \quad (7.33)$$

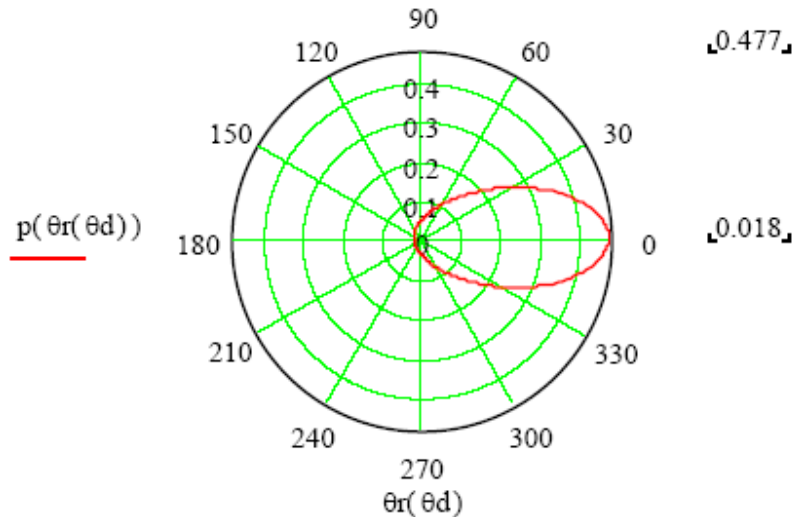
另外，SDF 独立于入射方向。

### Henyey-Greenstein 状态函数

SDF 在 TracePro 中被应用，是在 Jacques 和 Wang 发表的一篇关于生物表皮散射的文章之后，其有如下形式：

$$\text{SDF} = p(\theta) = \frac{1 - g^2}{4\pi(1 + g^2 - 2g\cos\theta)^{3/2}}, \quad (7.34)$$

这里  $g$  为各向异性系数， $g$  的值在  $-1$  和  $1$  之间，当  $g$  是正数时，散射光线方向在前进方向上多一些；当  $g$  是负的时，散射光线在返回方向上会多一些；当  $g$  是  $0$  时，散射是各向同性的，如在所有方向上均一样。图 7.8 是  $g=0.5$  时的散射分布函数图。



**FIGURE 7.8 - Example scattering distribution with  $g = 0.5$ . Zero is the forward direction**

## Gegenbauer 状态函数

TracePro 提供的另外一种散射状态函数为 Gegenbauer 状态函数。Henyey-Greenstein 函数实际上是 Gegenbauer 状态函数的特殊情形。Gegenbauer 函数描述为：

$$SDF = f(\theta) = K[1 + g^2 - 2g \cos \theta]^{-(\alpha+1)} \quad (7.35)$$

这里

$$K = \frac{\alpha g}{\pi} \cdot \frac{(1-g^2)^{2\alpha}}{(1+g)^{2\alpha} - 1 - g)^{2\alpha}} \quad (7.36)$$

和

$$\alpha > -1/2, |g| \leq 1 \quad (7.37)$$

Henyey-Greenstein 状态函数是 Gegenbauer 状态函数  $\alpha=1/2$  时的特殊情形。

## 散射系数

当光线进入散射物体时，会传播一段距离，其值  $x$  由概率分布来决定

$$P(x)dx = e^{-\mu_s x} dx, \quad (7.38)$$

这里  $\mu_s$  称为散射系数。散射系数的倒数为光线在物体中的自由程，光线通过物体而没有被散射也是有可能出现的。如果物体的厚度相对于自由程是“厚”的，几乎可以确定光线会在物体中被散射。当一个大的散射系数与一个大的吸收系数同时出现时，光线通过材料的能力就会很弱。

## 体散射在 TracePro 中的应用

为了在 TracePro 中模拟体散射，需选择一个你希望其具有散射特性的物体，用应用属性对话框 (Apply Properties Dialog) 设定一个材料属性，然后设定一个体散射模型给物体，最后你可以对物体设重点采样（其设定方法与表面重点采样方法一样）。

如果要定义一个新的体散射，首先打开体散射模型对话框，创建一个新的散射属性并增添一个新的波长值，然后输入散射系数  $g$  (各向异性因数) 和  $\mu_s$ ， $\mu_s$  的单位是  $1/\text{mm}$ 。大部分体散射材料都有一些体吸收，因此需定义一个具有体吸收的材料属性并应用到相应的散射体中。

## 用户自定义体散射 Expert

TracePro 专业版提供了一个新的功能，即通过编译动态链接库 (DLLs) 来定义状态函数给体散射。当追迹光线时，相关数据从 TracePro 传递给 DLL，DLL 计算结果并返回给 TracePro，再用来散射光线。体散射编辑器用来选择 DLL 档并输入参数来控制 DLL 的执行。通过 DLL 初始化，可以在 TracePro 中设随机函数。

### 使用散射 DLLs

从 DLL 中使用体散射的状态函数类似于使用已有的体散射属性。使用时，TracePro 体散射窗口首先会被打开，然后让用户编译 DLL 并输入相关的参数。这些参数连同 DLL 的信息一起



存储到TracePro的属性数据库中。

在体散射属性编辑器中按下Add Bulk Scatter按钮时,就可以把一个新的属性赋予物件。包括DLL在内,有好几种散射类型都可以被利用。

在DLL Name编辑框中输入DLL名称,然后会弹出一个对话,让你选择其位置。电子表格中的行允许用户在里面增加数据,这些数据可以在进行光线追迹时可以用到。每行对应于一个波长,可以输入6个数。数据虽然是全部进入DLL,但对于波长的利用并非如此。

TracePro需Call的DLL函数有:

## fnInitDll

Action: Initialize DLL

Syntax: BULK\_API double **fnInitDll**(RAND\_FN address)

Arg Types: address RAND\_FN

Returns: double (ignored by TracePro)

Errors: An error will be printed to the Macro Window if the function fails or does not exist in the DLL.

Description: The Initialization function will pass in the address of the TracePro random number generator. Any other initialization may be performed done here. This routine is called after the DLL is loaded by TracePro

Limitations: Not applicable

Example:

```
// This initializes the DLL
BULK_API double fnInitDll(RAND_FN address)
{
random_function = address;
return (double) 1.0;
}
```

## fnMeanFreePath

Action: Return the mean free path.

Syntax: BULK\_API double **fnMeanFreePath**(double wave, double temp, double rindex, double bulkabso, int num, double \*coef);

Arg Types: wave double

temp double

rindex double

bulkabso double

num integer

coef double array

Returns: double

Errors: An error will be printed to the Macro Window if the function fails or does not exist in the DLL.

Description: During importance sampling, TracePro generates a ray for a given solid angle. This function

returns the fraction of the total scatter contained in the solid angle defined by the importance target from the origin of the scattered ray. TracePro passes the cosine of the solid angle as the last argument (angle).

Return the scatter fraction for a which is scattered

Limitations: Not applicable

Example:

```
// This returns the mean free path
BULK_API double fnMeanFreePath(double wave,
double temp,
double rindex,
double bulkabso,
int num,
double *coef)
{
if ( coef == NULL )
return (double) 1.0;
if ( coef[3] > 0 )
return 1.0 / coef[3];
return 1.0;
}
```

## fnEvaluateBSDF

Action: Return the scatter fraction for ray scattered in a particular solid angle

Syntax: BULK\_API double **fnEvaluateBSDF**(double wave, double temp, double rindex, double bulkabso, int num, double \*coef, double cos\_alpha);

Arg Types: wave double

temp double

rindex double

bulkabso double

num integer

coef double array

cos\_alpha double

Returns: double

Errors: An error will be printed to the Macro Window if the function fails or does not exist in the DLL.

Description: During importance sampling, TracePro generates a ray for a given solid angle. This function returns the fraction of the total scatter contained in the solid angle defined by the importance target from the origin of the scattered ray. TracePro passes the cosine of the solid angle as the last argument (angle).

Return the scatter fraction for a which is scattered

Limitations: Not applicable

Example:

```
// Return the scatter fraction for ray scattered in a particular
```

```

solid angle
BULK_API double fnEvaluateBSDF(double wave,
double temp,
double rindex,
double bulkabso,
int num,
double *coef,
double cos_alpha)
{
double result = 0;
if ( coef == NULL )
return (double) result;
double g = coef[2];
double g2 = g * g;
double cos_temp;
if ( (g < -1.0) || (g > 1.0) )
{
// Error condition
result = 0.0;
}
else if ( fabs(g) < LF_ROUNDOFF_TOL )
result = 1.0 / (4.0 * PI);
else
{
cos_temp = 1.0 + g2 - 2.0 * g * cos_alpha;
// There is an extra factor of 1/TWOPI to correctly
// normalize the bsdf (really sdf)
// compared to the Wang and Jacques paper. Their formula
// (eq. 14) is used only for deriving the
// polar c.d.f., because they never heard of importance
// sampling. Requiring that the integral
// of the probability distribution over a sphere is equal
// to one produces the extra factor of 1/TWOPI.
result = ( 1.0 - g2 ) / ( TWOPI * 2.0 * pow( cos_temp, 1.5 ) );
}
return (result);
}

```

## fnScatterDirection

Action: Returns the cosine of the scatter in theta and the angle in phi

Syntax: BULK\_API double **fnScatterDirection**(double wave, double temp, double rindex, double bulkabso, int num, double \*coef, double phi);

Arg Types: wave double

temp double

rindex double

bulkabso double

num integer

coef double array

phi double pointer

Returns: double, and double pointer in phi

Errors: An error will be printed to the Macro Window if the function fails or does not exist in the DLL.

Description: During ray trace, the scattered ray direction is calculated by the following function within a volume scatter region. This function calculates the cosine of the theta scatter angle where a value of 1.0 is along the original ray direction and -1.0 reverses the ray direction. The phi angle is then calculated about the ray direction and passed back to TracePro as phi.

Limitations: Not applicable

Example:

// This returns the cosine of the scatter in theta and the angle

in phi

```
BULK_API double fnScatterDirection(double wave,
double temp,
double rindex,
double bulkabso,
int num,
double *coef,
double *phi)
{
double cos_theta = 1.0;
*phi = 0.0;
if ( coef == NULL )
return (double) cos_theta;
double g = coef[2];
double g2 = g * g;
double cos_temp;
if ( fabs(g) < SMALLANGLE )
cos_theta = 2.0*frand() - 1.0;
// isotropic scattering, i.e. g = "anisotropy" coefficient
else
{
// theta is the same as alpha in tissue scattering notes
cos_temp = (1.0-g2) / (1.0 - g + 2.0*g*frand());
cos_theta = (0.5/g) * ( 1.0 + g2 - ( cos_temp * cos_temp ) );
}
*phi = frand() * TWOPI;
return (double) cos_theta;
}
```

## Common Arguments passed from TracePro

wave current raytrace wavelength

temp current raytrace temperature

rindex refractive index on the object as defined by the applied Material Property

bulkabso bulk absorption for the object as defined by the applied Material Property

num number of elements in the coef array

coef array of user data defined in the spreadsheet area of the Bulk Scatter Editor

Each function takes the current wavelength (wave), temperature (temp), refractive index (rindex), bulk absorptance (bulkabso), coefficient count (num) and coefficient array (coef). The coefficient array has 8 elements for each count in num. The Temperature is currently passed as 0.0 for all rows.

Bulk Scattering Editor where the array elements are

coef[0] = temp, (First Editor Row)

coef[1] = wave,

coef[2] = Coeff 0

coef[3] = Coeff 1

coef[4] = Coeff 2

coef[5] = Coeff 3

coef[6] = Coeff 4

coef[7] = Coeff 5

coef[8] = temp, (Second Editor Row)

coef[9] = wave,

coef[10] = Coeff 0

coef[11] = Coeff 1

coef[12] = Coeff 2

coef[13] = Coeff 3

coef[14] = Coeff 4

coef[15] = Coeff 5 and so on.

### DLL输出参数定义

好几种编程语言可以用来编译散射DLL文件。在光盘中Bulk Scatter Property文件夹里有一个用Microsoft Visual C++编写的例子。Windows需要这些函数可以导出以便TracePro可以访问它们。一个典型的导出文件（DLL Export File）如下：

LIBRARY bulk

EXPORTS

fnInitDll @2

fnMeanFreePath@3

fnEvaluateBSDF@4

fnScatterDirection@5

## 非线性温度分布 (Non-Uniform Temperature Distributions)

### 概述

一种温度分布属性允许在表面上的温度分布是非线性的。可以在Define|Apply Properties对话框中的Temperature Distribution标签页时使用之。与此特征一致的表面形状有矩形（一个具有矩形边界的平面）、圆形（一个具有圆形边界的平面）和圆柱形（圆柱的曲面）。分布信息存在ASCII文件里，且可以定义为：沿着表面的二维点阵列，用这些点阵用双线性插值方式得出来的曲面；或是一个多项式表达式，当到达5次时，由用户定义系数。

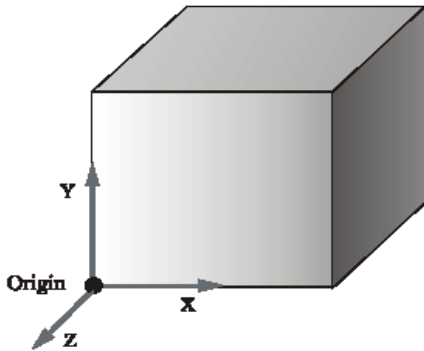
### 分布类型

有三种可能的类型—矩形、圆形和圆柱形，并有两种方式来定义表面的温度值—在已定义出的定之间的插值温度，或是用一套方程与温度联系起来。这使用有6个类型的非线性分布，列表如下

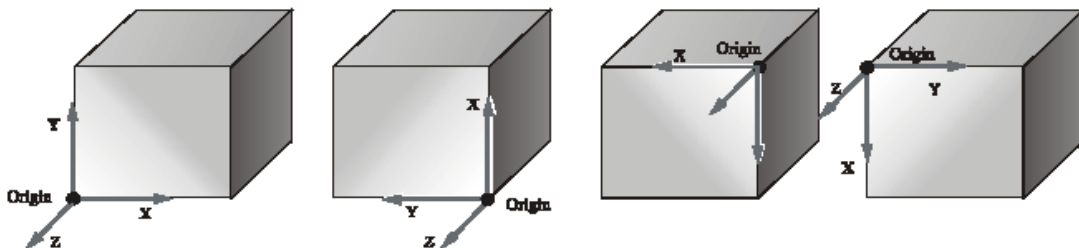
类型	分布	
0	矩形区域	插值点
1	矩形区域	多项式分布
2	圆形区域	插值点
3	圆形区域	多项式分布
4	圆柱区域	插值点
5	圆柱区域	多项式分布

### 矩形坐标系

矩形表面由XY坐标系统来定义。为了使轴分布更形象，用三维矢量空间来讨论会更容易些。坐标系统的原点为矩形表面的一个顶点。Z轴通过原点并垂直于给定的表面，且由物体向外，X轴和Y轴沿着矩形的两条边，其方向由右手定则来确定，如下的描述：



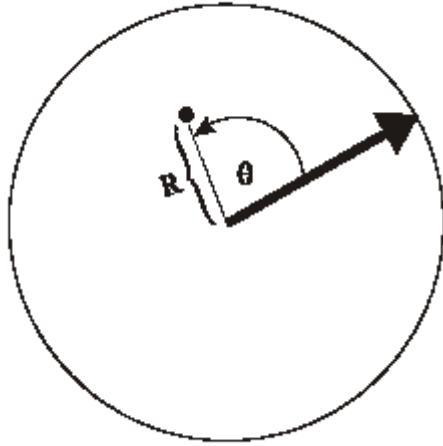
在Apply Properties对话框的Temperature Distribution标签页中，通过Next Point按钮可以使原点类矩形的四个点间切换，四个可能的坐标系统为



TracePro calculates all these vectors automatically once you define the origin.

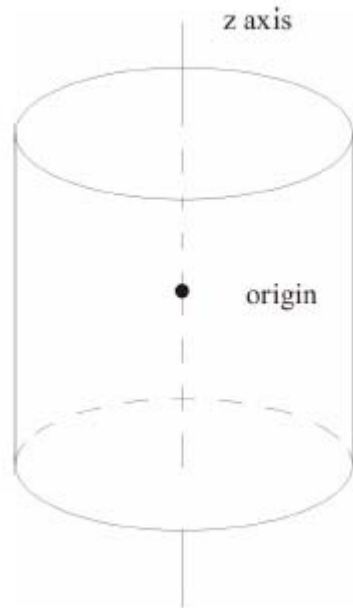
### 圆形坐标系

圆形表面由极坐标系统的 $R$ 和 $\theta$ 来确定。系统的原点是圆表面的中心。必须设定 $X$ 轴为测量角 $\theta$ 的轴，测量的方向为逆时针方向，如下图所示：



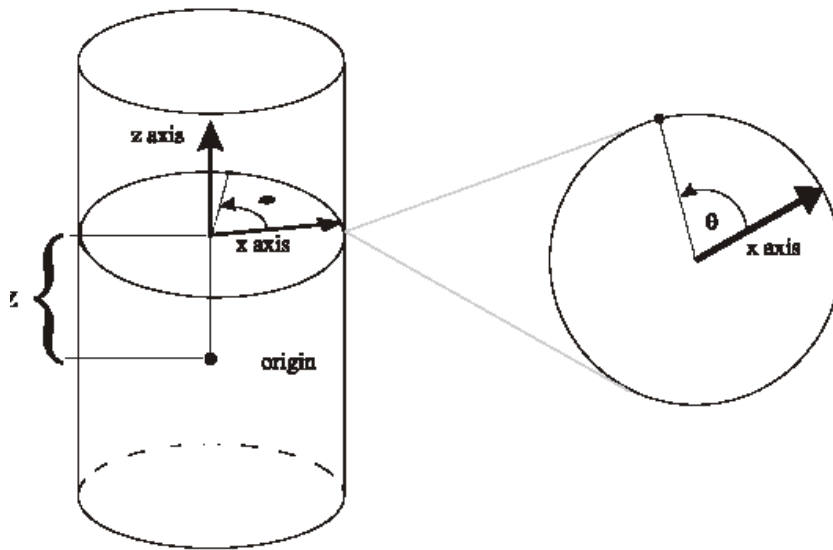
### 圆柱坐标系

圆柱形表面由圆柱坐标系的 $Z$ 和 $\theta$ 来确定。坐标的原点是圆柱的中心， $Z$ 轴是圆柱的中心轴。



在Apply Properties对话框的Temperature Distribution标签页中，点击Flip Local Z按钮时，可以让 $Z$ 轴反向。当观察圆柱的横截面时，最好把 $\theta$ 可视化。设定 $X$ 轴为 $\theta$ 的测量轴，设定方法如同圆坐标系时一样。

圆坐标系与圆柱坐标系有两个主要的不同点：圆是圆柱的一个“小薄片”，其原点是“小薄片”与圆柱 $Z$ 轴的交点；圆的半径 $R$ 总是圆柱的半径，因为我们需要它在圆柱表面上。



### 定义温度分布

对于上面所列的三种表面类型，只要给TracePro一个指定的温度值就可以选择地设定温度分布。这三种类型在输入值的格式上会稍微有点不同。一般情况下，你可以定义每一维的温度值并列表出来，如后面的例子。

另外，你可以选择用多项式来定义这些表面的温度分布。在这种情形下，要选择多项式的各项系数。TracePro里常用到的多项式有如下几种（更多的请参考这一章的后面）：

**TABLE 7.7. Polynomial sets used for approximations of each dimension**

Dimension (Surface Type)	Polynomial Type
X (Rectangular)	Legendre Polynomial
Y (Rectangular)	Legendre Polynomial
R, $\theta$ (Circular)	Zernike Polynomial
Z (Cylindrical)	Legendre polynomial
$\theta$ (Cylindrical)	Fourier Series

无论是用插值还是用多项式来描述温度分布，都需要通过Apply properties对话框中的Temperature Distribution标签页来导入ASCII文件。



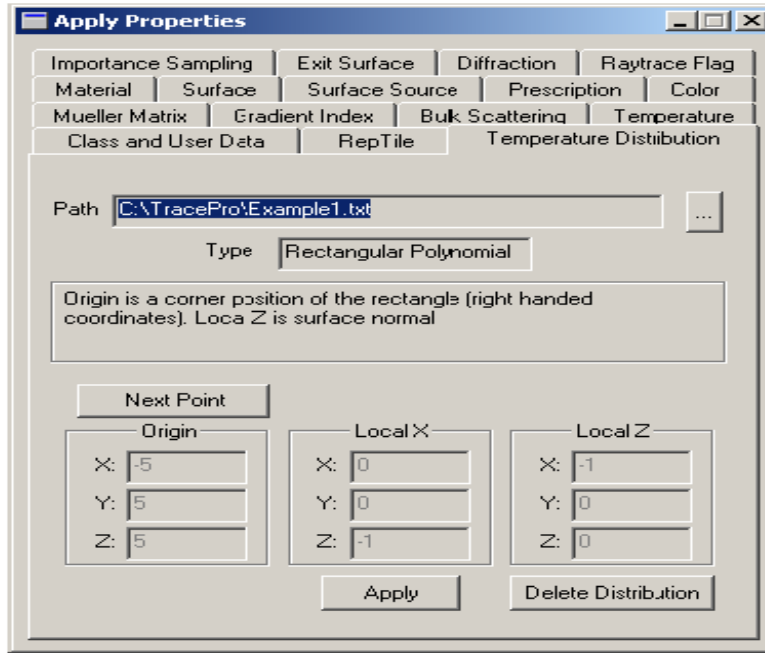


FIGURE 7.9 - Temperature Distribution Dialog

为了应用一个属性，选择一个表面，右击弹出菜单，然后选中Properties项，在弹出的Apply Properties对话框中选Temperature Distribution属性页。加载刚才创建的文件，如果必要，用Next Point或Flip Local Z按钮来选择地改变方向。点击Apply即把属性赋予表面。

### 温度分布保存文件的格式

在Tracepro中，六种非线性温度分布都有其自己保存数据的方式。相对通用的格式如下面的两种表格：

TABLE 7.8. General File Format for Import and Export

```
TracePro Temperature Distribution Property Data
File Name [file name]
TracePro Release: [release version]
Database Version: [database version]
Data generated at [time and date]

Name [Property Name]
Catalog [Property Catalog]
Description [Property Description]
Type <Type>
Dim1_Coeffs_Points < Dim1_Coeffs_Points>
Dim2_Coeffs_Points < Dim2_Coeffs_Points>
User_Data 1

<Header>
<Data Set>
```

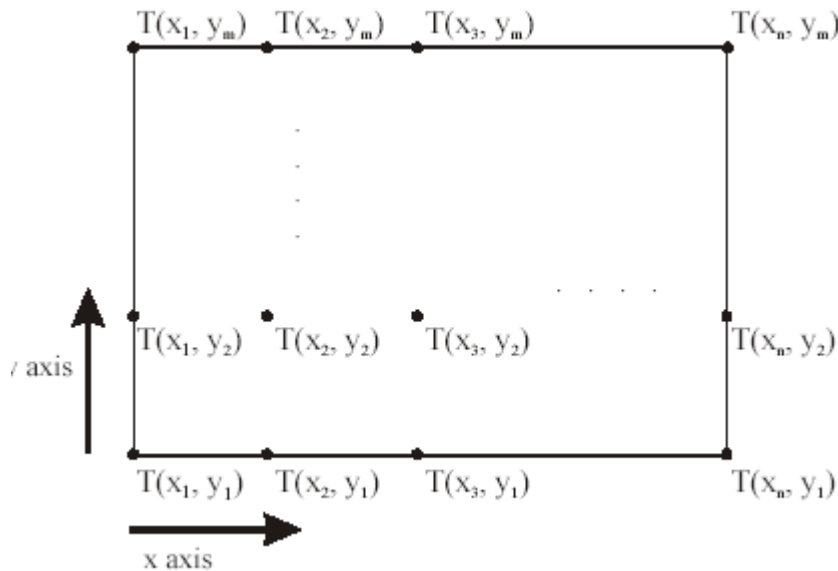
TABLE 7.9. Details for Creating Data Import and Export Files

Type	Description of Types	Dim1_Coeffs_Points	Dim2_Coeffs_Points	Header	Data Set
0	Rectangular, Interpolated Points	number of X points	number of Y points	Temperatures [Kelvin]	X*Y temperature values
1	Rectangular, Polynomial Distribution	6	6	Coefficients	6 Legendre coefficients $a_{0,0} \Rightarrow a_{5,5}$
2	Circular, Interpolated Points	number of R points	number of $\theta$ points	Temperatures [Kelvin]	$R*\theta$ temperature values
3	Circular, Polynomial Distribution	21	0	Coefficients	21 Zernike coefficients $b_0 \Rightarrow b_{20}$
4	Cylindrical, Interpolated Points	number of Z points	number of $\theta$ points	Temperatures [Kelvin]	$Z*\theta$ temperature values
5	Cylindrical, Polynomial Distribution	6	11	Coefficients	6 Legendre coefficients $c_{0,0} \Rightarrow c_{5,10}$

当定义一个非线性温度分布属性时，文件名、属性名、目录和描述都可以由你来决定。对这些数据的调查对六种类型都是一样的。余下的在温度分布导入/导出文件里的数据在下面详细讨论。

#### 类型0：插值点式矩形（Rectangular with Interpolated Points）

在这种情况下，Dim1\_Coeffs\_Points为表面的列数，Dim2\_Coeffs\_Points为表面的行数。在Data Set下将列出温度值，我们定义的一个系统如下：



在此情形下，我们有n列和m行，把数据输入如下的文件即可：

TracePro Temperature Distribution Property Data

File Name C:\Tracepro\Example0.txt

TracePro Release: 2 4 0

Database Version: 2 1 0

Data generated at 09:52:39 November 16, 2001

Name           Type 0 Example

Catalog        Examples

Description

Type           0

Dim1\_Coeffs\_Pointsn

Dim2\_Coeffs\_Pointsm

User\_Data     1

Temperatures [Kelvin]

T(X1,Y1)

T(X2,Y1)

T(X3,Y1)

.

.

.

T(Xn,Y1)

T(X1,Y2)

T(X2,Y2)

T(X3,Y2)

.

.

.

T(Xn,Y2)

T(X1,Y3)

.

.

.

T(Xn,Ym-1)

T(X1,Ym)

T(X2,Ym)

T(X3,Ym)

.

.

.

T(Xn-2,Ym)

T(X n-1,Ym)

T(Xn,Ym)

**类型1: 多项式分布式矩形 (Rectangular with polynomial distribution)**

在这种情况下, Dim1\_Coeffs\_Points是Legendre 公式的X系数的数目6;

Dim2\_Coeffs\_Points是Legendre 公式的Y系数数目6。对于用户自定义多项式, 相关的系数如下, 文件的格式为:

such a file is:

```
TracePro Temperature Distribution Property Data
File Name C:\Tracepro\Example1.txt
TracePro Release: 2 4 0
Database Version: 2 1 0
Data generated at 09:52:39 November 16, 2001
```

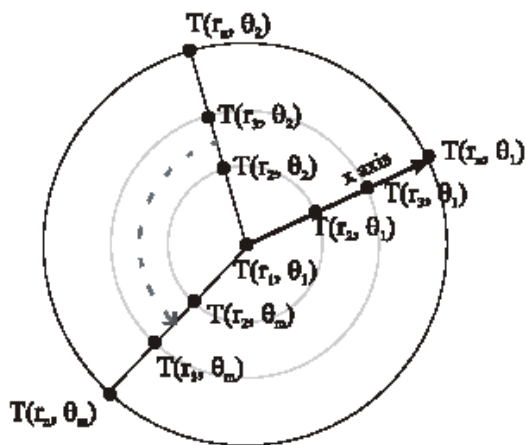
```
Name          Type 1 Example
Catalog       Examples
Description
Type          1
Dim1_Coeffs_Points6
Dim2_Coeffs_Points6
User_Data     1
```

Coefficients

```
a0,0
a1,0
a2,0
.
.
.
a5,0
a0,1
a1,1
a2,1
.
.
.
a5,1
a0,2
.
.
.
a5,4
a0,5
a1,5
.
.
.
a4,5
a5,5
```

**类型2: 插值点式圆形**

在类型2的情况下, Dim1\_Coeffs\_Points为不同R值的个数, Dim2\_Coeffs\_Points是 $\theta$ 旋转一周的个数。或者说, Dim1\_Coeffs\_Points为表面上同心圆的数目, Dim2\_Coeffs\_Points为一个圆中角度值变化的个数。角度的变化值为下列的数据集, 通常形式为:



We have  $n$  concentric circles and  $m$  spokes. All points of the form  $T(R_1, \theta_j)$ , where  $1 \leq j \leq m$ , are defining the temperature at the origin. If the values given for points of this form differ, TracePro will take the average and assign it to the origin. A type 2 data file would have the following format:

```
TracePro Temperature Distribution Property Data
File Name C:\Tracepro\Example2.txt
TracePro Release: 2 4 0
Database Version: 2 1 0
Data generated at 09:52:39 November 16, 2001
```

```
Name          Type 2 Example
Catalog       Examples
Description
Type          2
Dim1_Coeffs_Points n
Dim2_Coeffs_Points m
User_Data     1
```

Temperatures [Kelvin]

T(R1,q1)

T(R2,q1)

T(R3,q1)

.

.

.

T(Rn,q1)

T(R1,q2)

T(R2,q2)

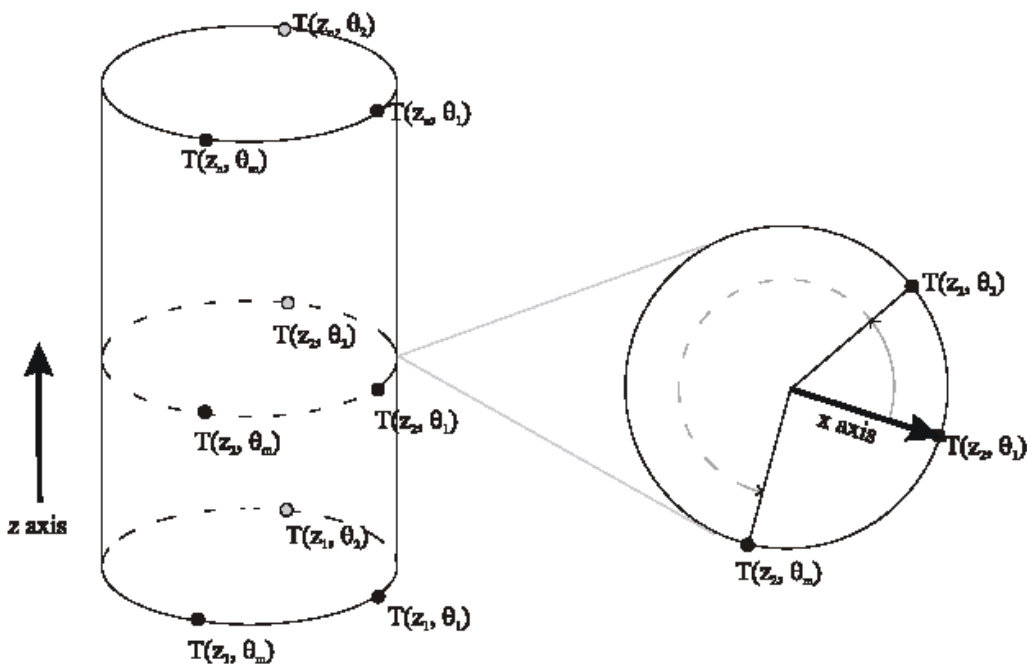
T(R3,q2)

.

.  
 .  
 T(Rn,q2)  
 T(R1,q3)  
 .  
 .  
 T(Rn,qm-1)  
 T(R1,qm)  
 T(R2,qm)  
 T(R3,qm)  
 .  
 .  
 .  
 T(Rn-2,qm)  
 T(R n-1,qm)  
 T(Rn,qm)

**类型4: 插值点式的圆筒 (Cylinder with Interpolated Points)**

对于类型4, Dim1\_Coeffs\_Points为沿表面Z值的个数, Dim2\_Coeffs\_Points为  $\theta$  在一个横截面上旋转一周的角度的个数。或者说Dim1\_Coeffs\_Points为表面上横截面的个数, Dim2\_Coeffs\_Points为一个横截面上的辐条数。数据集为角度的一个列表, 类型4的情形会为如下的形式:



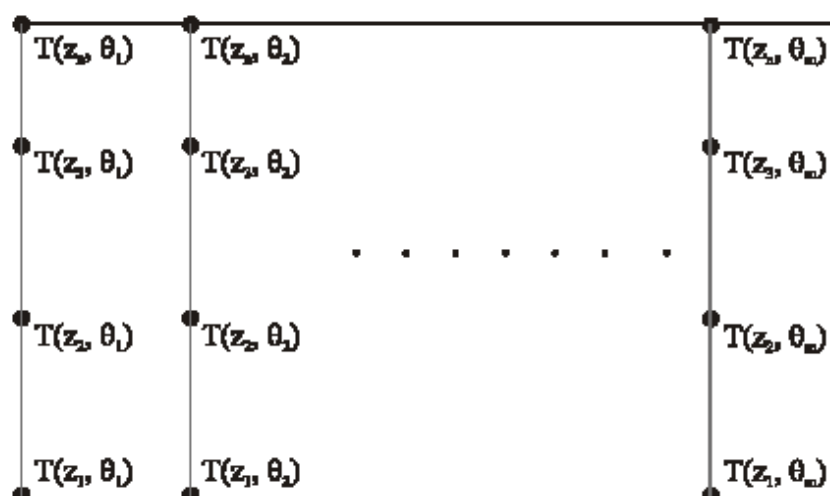


FIGURE 7.10 - Map view of cylinder's surface

This diagram shows  $n$  cross-sections and  $m$  spokes. A data file for 1 information would be:

```
TracePro Temperature Distribution Property Data
File Name C:\Tracepro\Example4.txt
TracePro Release: 2 4 0
Database Version: 2 1 0
Data generated at 09:52:39 November 16, 2001
```

```
Name          Type 4 Example
Catalog       Examples
Description
Type          4
Dim1_Coeffs_Pointsn
Dim2_Coeffs_Pointsm
User_Data     1
```

Temperatures [Kelvin]

$T(Z_1, q_1)$

$T(Z_2, q_1)$

$T(Z_3, q_1)$

.

.

.

$T(Z_n, q_1)$

$T(Z_1, q_2)$

$T(Z_2, q_2)$

$T(Z_3, q_2)$

.

```

.
.
T(Zn,q2)
T(Z1,q3)
.
.
T(Zn,qm-1)
T(Z1,qm)
T(Z2,qm)
T(Z3,qm)
.
.
T(Zn-2,qm)
T(Z n-1,qm)
T(Zn,qm)

```

#### 类型5: 多项式分布式的圆筒

对于类型5, Dim1\_Coeffs\_Points为Legendre Z系数的个数6, Dim2\_Coeffs\_Points为Fourier级数 0 系数的个数11, 相关的数据集列表如下:

```

TracePro Temperature Distribution Property Data
File Name C:\Tracepro\Example5.txt
TracePro Release: 2 4 0
Database Version: 2 1 0
Data generated at 09:52:39 November 16, 2001

```

```

Name          Type 5 Example
Catalog       Examples
Description
Type          5
Dim1_Coeffs_Points6
Dim2_Coeffs_Points11
User_Data     1

```

```

Coefficients
c0,0
c1,0
c2,0
.
.
.

```



c5,0  
 c0,1  
 c1,1  
 c2,1  
 .  
 .  
 .  
 c5,1  
 c0,2  
 .  
 .  
 .  
 c5,9  
 c0,10  
 c1,10  
 .  
 .  
 .  
 c4,10  
 c5,10

### “温度”分布的多项式近似值

下面列表规定“温度”分布不同多项式的近似值

Dimension (Surface Type)	Polynomial Type
X (Rectangular)	Legendre Polynomial
Y (Rectangular)	Legendre Polynomial
R, $\theta$ (Circular)	Zernike Polynomial
Z (Cylindrical)	Legendre polynomial
$\theta$ (Cylindrical)	Fourier Series

TABLE 7.10. Legendre Polynomials

Polynomial Number	Polynomial
0	1
1	x
2	$0.5 (-1 + 3x^2)$
3	$0.5 (-3x + 5x^3)$
4	$0.125 (3 - 30x^2 + 35x^4)$
5	$0.125 (15x - 70x^3 + 63x^5)$

TABLE 7.11. Zernike Polynomials

Polynomial Number	Polynomial
0	1
1	$r \cos\theta$
2	$r \sin\theta$
3	$r^2 \cos 2\theta$
4	$2r^2 - 1$
5	$r^2 \sin 2\theta$
6	$r^3 \cos 3\theta$
7	$(3r^3 - 2r) \cos\theta$
8	$(3r^3 - 2r) \sin\theta$
9	$r^3 \sin 3\theta$
10	$r^4 \cos 4\theta$
11	$(4r^4 - 3r^2) \cos 2\theta$
12	$6r^4 - 6r^2 + 1$
13	$(4r^4 - 3r^2) \sin 2\theta$
14	$r^4 \sin 4\theta$
15	$r^5 \cos 5\theta$
16	$(5r^5 - 4r^3) \cos 3\theta$
17	$(10r^5 - 12r^3 + 3r) \cos\theta$
18	$(10r^5 - 12r^3 + 3r) \sin\theta$
19	$(5r^5 - 4r^3) \sin 3\theta$
20	$r^5 \cos 5\theta$

TABLE 7.12. Fourier Series

Term Number	Term
0	0.5
1	$\cos\theta$
2	$\sin\theta$

3	cos2θ
4	sin2θ
5	cos3θ
6	sin3θ
7	cos4θ
8	sin4θ
9	cos5θ
10	sin5θ

Rules for combining the preceding sets of functions with the user-defined coefficients are outlined in Table 7.13, and in greater detail in Table 7.14 through Table 7.16. TracePro evaluates the user-created functions in three dimensions in order to find the temperature value at any point on the surface.

**TABLE 7.13. Polynomial functions for calculating temperatures**

Distribution Type	Function
1	$T = \sum_{j=0} \sum_{i=0} a_{i,j} L_i(x) L_j(y)$
3	$T = \sum_{i=0} b_i Z_i(r, \theta)$
5	$T = \sum_{j=0} \sum_{i=0} c_{i,j} L_i(z) F_j(\theta)$

TABLE 7.14. Polynomial for Rectangular Surfaces

Coefficient ( $a_{i,j}$ )	First Legendre Polynomial ( $L_i(x)$ )	Second Legendre Polynomial ( $L_j(y)$ )
$a_{0,0}$	1	1
$a_{1,0}$	x	1
$a_{2,0}$	$[0.5 (-1 + 3x^2)]$	1
$a_{3,0}$	$[0.5 (-3x + 5x^3)]$	1
$a_{4,0}$	$[0.125 (3 - 30x^2 + 35x^4)]$	1
$a_{5,0}$	$[0.125 (15x - 70x^3 + 63x^5)]$	1
$a_{0,1}$	1	y
$a_{1,1}$	x	y
$a_{2,1}$	$[0.5 (-1 + 3x^2)]$	y
$a_{3,1}$	$[0.5 (-3x + 5x^3)]$	y
$a_{4,1}$	$[0.125 (3 - 30x^2 + 35x^4)]$	y
$a_{5,1}$	$[0.125 (15x - 70x^3 + 63x^5)]$	y
$a_{0,2}$	1	$[0.5 (-1 + 3y^2)]$
$a_{1,2}$	x	$[0.5 (-1 + 3y^2)]$
$a_{2,2}$	$[0.5 (-1 + 3x^2)]$	$[0.5 (-1 + 3y^2)]$
$a_{3,2}$	$[0.5 (-3x + 5x^3)]$	$[0.5 (-1 + 3y^2)]$
$a_{4,2}$	$[0.125 (3 - 30x^2 + 35x^4)]$	$[0.5 (-1 + 3y^2)]$
$a_{5,2}$	$[0.125 (15x - 70x^3 + 63x^5)]$	$[0.5 (-1 + 3y^2)]$
$a_{0,3}$	1	$[0.5 (-3y + 5y^3)]$
$a_{1,3}$	x	$[0.5 (-3y + 5y^3)]$
$a_{2,3}$	$[0.5 (-1 + 3x^2)]$	$[0.5 (-3y + 5y^3)]$
$a_{3,3}$	$[0.5 (-3x + 5x^3)]$	$[0.5 (-3y + 5y^3)]$
$a_{4,3}$	$[0.125 (3 - 30x^2 + 35x^4)]$	$[0.5 (-3y + 5y^3)]$
$a_{5,3}$	$[0.125 (15x - 70x^3 + 63x^5)]$	$[0.5 (-3y + 5y^3)]$
$a_{0,4}$	1	$[0.125 (3 - 30y^2 + 35y^4)]$
$a_{1,4}$	x	$[0.125 (3 - 30y^2 + 35y^4)]$
$a_{2,4}$	$[0.5 (-1 + 3x^2)]$	$[0.125 (3 - 30y^2 + 35y^4)]$
$a_{3,4}$	$[0.5 (-3x + 5x^3)]$	$[0.125 (3 - 30y^2 + 35y^4)]$
$a_{4,4}$	$[0.125 (3 - 30x^2 + 35x^4)]$	$[0.125 (3 - 30y^2 + 35y^4)]$
$a_{5,4}$	$[0.125 (15x - 70x^3 + 63x^5)]$	$[0.125 (3 - 30y^2 + 35y^4)]$
$a_{0,5}$	1	$[0.125 (15y - 70y^3 + 63y^5)]$
$a_{1,5}$	x	$[0.125 (15y - 70y^3 + 63y^5)]$
$a_{2,5}$	$[0.5 (-1 + 3x^2)]$	$[0.125 (15y - 70y^3 + 63y^5)]$
$a_{3,5}$	$[0.5 (-3x + 5x^3)]$	$[0.125 (15y - 70y^3 + 63y^5)]$

a <sub>4,5</sub>	$[0.125 ( 3 - 30x^2 + 35x^4 )]$	$[0.125 ( 15y - 70y^3 + 63y^5 )]$
a <sub>5,5</sub>	$[0.125 ( 15x - 70x^3 + 63x^5 )]$	$[0.125 ( 15y - 70y^3 + 63y^5 )]$

TABLE 7.15. Polynomial for Circular Surfaces

Coefficient (b <sub>i</sub> )	Zernike Polynomial (Z <sub>i</sub> (r, θ))
b <sub>0</sub>	1
b <sub>1</sub>	(r cosθ)
b <sub>2</sub>	(r sinθ)
b <sub>3</sub>	(r <sup>2</sup> cos2θ)
b <sub>4</sub>	(2r <sup>2</sup> - 1)
b <sub>5</sub>	(r <sup>2</sup> sin2θ)
b <sub>6</sub>	(r <sup>3</sup> cos3θ)
b <sub>7</sub>	[( 3r <sup>3</sup> - 2r ) cosθ]
b <sub>8</sub>	[( 3r <sup>3</sup> - 2r ) sinθ]
b <sub>9</sub>	(r <sup>3</sup> sin3θ)
b <sub>10</sub>	(r <sup>4</sup> cos4θ)
b <sub>11</sub>	[( 4r <sup>4</sup> - 3r <sup>2</sup> ) cos2θ]
b <sub>12</sub>	(6r <sup>4</sup> - 6r <sup>2</sup> + 1)
b <sub>13</sub>	[( 4r <sup>4</sup> - 3r <sup>2</sup> ) sin2θ]
b <sub>14</sub>	(r <sup>4</sup> sin4θ)
b <sub>15</sub>	(r <sup>5</sup> cos5θ)
b <sub>16</sub>	[( 5r <sup>5</sup> - 4r <sup>3</sup> ) cos3θ]
b <sub>17</sub>	[( 10r <sup>5</sup> - 12r <sup>3</sup> + 3r ) cosθ]
b <sub>18</sub>	[( 10r <sup>5</sup> - 12r <sup>3</sup> + 3r ) sinθ]
b <sub>19</sub>	[( 5r <sup>5</sup> - 4r <sup>3</sup> ) sin3θ]
b <sub>20</sub>	(r <sup>5</sup> cos5θ)

TABLE 7.16. Polynomial for Cylindrical Surfaces

Coefficient (c <sub>i,j</sub> )	Legendre Polynomial (L <sub>i</sub> (z))	Fourier Series (F <sub>j</sub> (θ))
c <sub>0,0</sub>	1	0.5
c <sub>1,0</sub>	z	0.5
c <sub>2,0</sub>	$[0.5 ( -1 + 3z^2 )]$	0.5
c <sub>3,0</sub>	$[0.5 ( -3z + 5z^3 )]$	0.5
c <sub>4,0</sub>	$[0.125 ( 3 - 30z^2 + 35z^4 )]$	0.5
c <sub>5,0</sub>	$[0.125 ( 15z - 70z^3 + 63z^5 )]$	0.5
c <sub>0,1</sub>	1	cosθ

c1,1	z	cos $\theta$
c2,1	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	cos $\theta$
c3,1	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	cos $\theta$
c4,1	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	cos $\theta$
c5,1	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	cos $\theta$
c0,2	1	sin $\theta$
c1,2	z	sin $\theta$
c2,2	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	sin $\theta$
c3,2	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	sin $\theta$
c4,2	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	sin $\theta$
c5,2	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	sin $\theta$
c0,3	1	cos2 $\theta$
c1,3	z	cos2 $\theta$
c2,3	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	cos2 $\theta$
c3,3	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	cos2 $\theta$
c4,3	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	cos2 $\theta$
c5,3	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	cos2 $\theta$
c0,4	1	sin2 $\theta$
c1,4	z	sin2 $\theta$
c2,4	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	sin2 $\theta$
c3,4	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	sin2 $\theta$
c4,4	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	sin2 $\theta$
c5,4	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	sin2 $\theta$
c0,5	1	cos3 $\theta$
c1,5	z	cos3 $\theta$
c2,5	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	cos3 $\theta$
c3,5	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	cos3 $\theta$
c4,5	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	cos3 $\theta$
c5,5	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	cos3 $\theta$
c0,6	1	sin3 $\theta$
c1,6	z	sin3 $\theta$
c2,6	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	sin3 $\theta$
c3,6	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	sin3 $\theta$
c4,6	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	sin3 $\theta$
c5,6	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	sin3 $\theta$
c0,7	1	cos4 $\theta$

c1,7	z	cos4θ
c2,7	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	cos4θ
c3,7	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	cos4θ
c4,7	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	cos4θ
c5,7	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	cos4θ
c0,8	1	sin4θ
c1,8	z	sin4θ
c2,8	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	sin4θ
c3,8	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	sin4θ
c4,8	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	sin4θ
c5,8	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	sin4θ
c0,9	1	cos5θ
c1,9	z	cos5θ
c2,9	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	cos5θ
c3,9	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	cos5θ
c4,9	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	cos5θ
c5,9	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	cos5θ
c0,10	1	sin5θ
c1,10	z	sin5θ
c2,10	[0.5 (-1 + 3z <sup>2</sup> )]	sin5θ
c3,10	[0.5 (-3z + 5z <sup>3</sup> )]	sin5θ
c4,10	[0.125 (3 - 30z <sup>2</sup> + 35z <sup>4</sup> )]	sin5θ
c5,10	[0.125 (15z - 70z <sup>3</sup> + 63z <sup>5</sup> )]	sin5θ