



OPTOTEK

TracePro 照明设计实例教程

Illumination System Design using TracePro



南京光科信息技术有限公司

NANJING OPTOTEK TECHNOLOGY CO., LTD.

第一章 照明理论基础介绍-----2

辐射度学/光度学/色度学理论-----2

TRACEPRO 界面介绍-----7

TRACEPRO 分析功能详解-----11

TRACEPRO 基本建模-----21

TRACEPRO 中光源模型建立-----29

TRACEPRO 格点光源的使用-----29

LED 模型模拟-----33

LED 芯片表面光源创建方法-----42

如何创建近场光源文件-----52

IES 光源文件的导入-----56

RAYFILE 文件光源导入-----66

光源光强光谱图形读取生成光源-----71

自定义光源发光角度-----86

TRACEPRO 物体表面特性定义-----91

表面喷砂氧化或磨砂面散射特性模拟实例-----91

表面分光虑光特性模拟实例-----100

RGB LED 光源模拟-----105

荧光散射模拟-----110

鳞甲结构（压花表面）模拟实例-----120

LED 设计实例-----127

LED 手电筒透镜方形光斑设计-----127

LED 反光杯设计-----138

LED CPC 射灯透镜建模方法-----145

高级照明实例-----150

TRACEPRO 中的衍射光栅模型-----150

光管耦合效率模拟教程-----154

TRACEPRO 辉度渲染-----181

自动重点采样实例-----187

积分球模拟方法-----192

生物组织光学模拟-----203

LCD 背光板模拟实例-----218

第一章 照明理论基础介绍-----2

辐射度学/光度学/色度学理论-----2

TRACEPRO 界面介绍-----7

TRACEPRO 分析功能详解-----11

TRACEPRO 基本建模-----21

TRACEPRO 中光源模型建立-----29

TRACEPRO 格点光源的使用-----29

LED 模型模拟-----33

LED 芯片表面光源创建方法-----42

如何创建近场光源文件-----52

IES 光源文件的导入-----56

RAYFILE 文件光源导入-----66

光源光强光谱图形读取生成光源-----71

自定义光源发光角度-----86

TRACEPRO 物体表面特性定义-----91

表面喷砂氧化或磨砂面散射特性模拟实例-----91

表面分光虑光特性模拟实例-----100

RGB LED 光源模拟-----105

荧光散射模拟-----110

鳞甲结构（压花表面）模拟实例-----120

LED 设计实例-----127

LED 手电筒透镜方形光斑设计-----127

LED 反光杯设计-----138

LED CPC 射灯透镜建模方法-----145

高级照明实例-----150

TRACEPRO 中的衍射光栅模型-----150

光管耦合效率模拟教程-----154

TRACEPRO 辉度渲染-----181

自动重点采样实例-----187

积分球模拟方法-----192

生物组织光学模拟-----203

LCD 背光板模拟实例-----218

第一章 照明理论基础介绍

辐射度学/光度学/色度学理论

在研究照明系统设计之初，我们应首先了解光辐射相关的理论。什么是光辐射呢？

以电磁波形式或粒子（光子）形式传播的能量，它们可以用光学元件反射、成像或色散，这种能量及其传播过程称为光辐射。一般认为其波长在 $10\text{nm} \sim 1\text{mm}$ ，或频率在 $3 \times 10^{16}\text{Hz} \sim 3 \times 10^{11}\text{Hz}$ 范围内。一般按辐射波长及人眼的生理视觉效应将光辐射分成三部分：紫外辐射、可见光和红外辐射。一般在可见到紫外波段波长用 nm 、在红外波段波长用 μm 表示。波数的单位习惯用 cm^{-1} 。

为了对光辐射进行定量描述，需要引入计量光辐射的物理量。而对于光辐射的探测和计量，存在着辐射度单位和光度单位两套不同的体系。

在辐射度单位体系中：辐通量（又称为辐射功率）或者辐射能是基本量，是只与辐射客体有关的量。其基本单位是瓦特（W）或者焦耳（J）。辐射度学适用于整个电磁波段。

光度单位体系是一套反映视觉亮暗特性的光辐射计量单位，被选作基本量的不是光通量而是发光强度，其基本单位是坎德拉（cd）。光度学只适用于可见光波段。

以上两类单位体系中的物理量在物理概念上是不同的，但所用的物理符号一一对应的。下面重点介绍光度单位体系中的物理量。辐射度单位体系中的物理量可对比理解。

光通量（lm）——光源的发光能力：单位时间内光源发出的光量叫做光通量，用符号 Φ 表示，单位为流明（lm）。例如黄绿光单色光源辐射功率为 1W 时，它发出的光通量为 680lm 。

光强（cd）——光通的空间分布：光源在给定方向的单位立体角中发射的光通量的空间密度，称为光源在这一方向上的发光强度，以符号 I 表示，单位为坎德拉（cd）。这个单位只与光源的发光能力和某个立体角度有关。例如， 40W 白炽灯泡在未加灯罩前，其正下方的光强约为 30cd 。加上一个不透光的搪瓷灯罩后，原来向上发出的光通量大都被灯罩朝下方反射，使下方的光通量密度增大，光强由 30cd 增强到 73cd 左右；若加上聚焦合适的镜面反射灯罩，可以达到上百坎德拉。后两种情况下光源的光通量没有发生任何变化，只是光通量在空间的分布更为集中。

照度（lx）——被照射面接受的光通量密度：对于被照射面而言，常用落在其单位面积上的光通量的数值来表示它被照明的程度，用符号 E 表示，单位为勒克斯（lx）。 1lx 表示 1lm 的光通量均匀分布在 1 平方米的被照面上。公式为 $E = \Phi / A$ 。例如在 40W 白炽灯的台灯下看书，桌面上的平均照度值为 $200 \sim 300\text{lx}$ 。

在光源光通量不变的情况下，照度与距离成反比关系。需要注意的是这个度量只与光源相关，被照物体完全是被动的。光强的数值并不与人眼感受到的亮度成比例关系。

亮度（ cd/m^2 ）——被照物体的明亮程度：发光体在视线方向单位投影面积上的发光强度，称为该发光体的表面亮度，用符号 L 表示，单位为坎德拉每平方米（ cd/m^2 ）。如在房间内同一位置，并排放着一个黑色和一个白色物体，虽然他们受到的照度相同，但是白色物体比黑色物体看起来亮得多，说明被照物体表面的照度并不能直接表达人眼对它的视觉感觉。

这是由于视觉是由被视物体的发光或反光（透光），在视网膜上形成的照度而产生的。被视物体实际上是一个发光体，视网膜上的照度是被视物体在沿视线方向上的发光强度造成的。

在不同情景下的一些照度值如下：

晴天阳光直射地面照度约为 100000lx

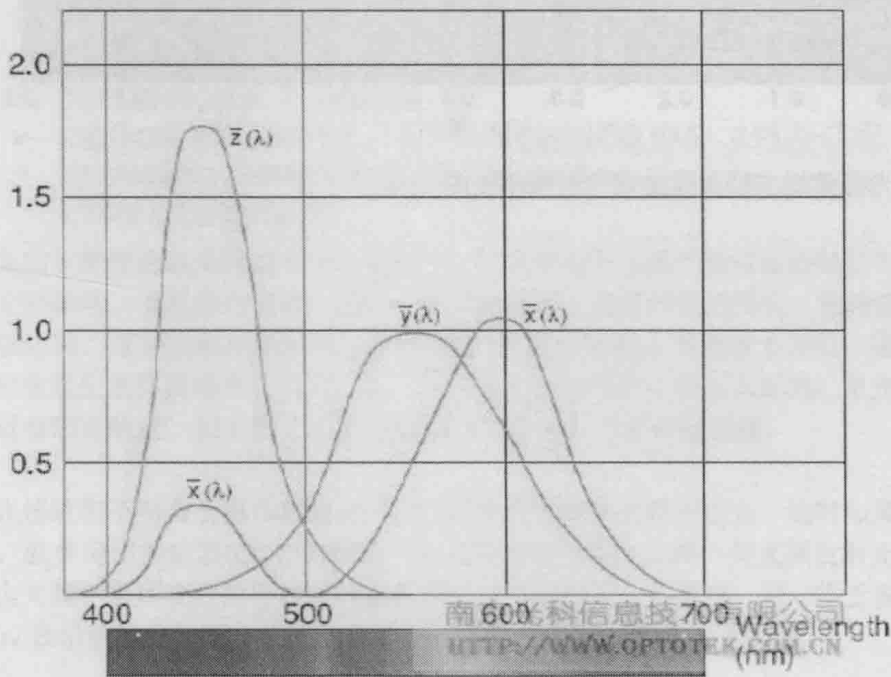
晴天背阴处照度约为 10000lx

- 晴天室内北窗附近照度约为 2000lx
- 晴天室内中央照度约为 200lx
- 晴天室内角落照度约为 20lx
- 阴天室外 50—500lx
- 阴天室内 5—50lx
- 月光（满月）2500lx
- 日光灯 5000lx
- 电视机荧光屏 100lx
- 阅读书刊时所需的照度 50~60lx
- 在 40W 白炽灯下 1m 远处的照度约为 30lx
- 晴朗月夜照度约为 0.2lx
- 黑夜 0.001lx

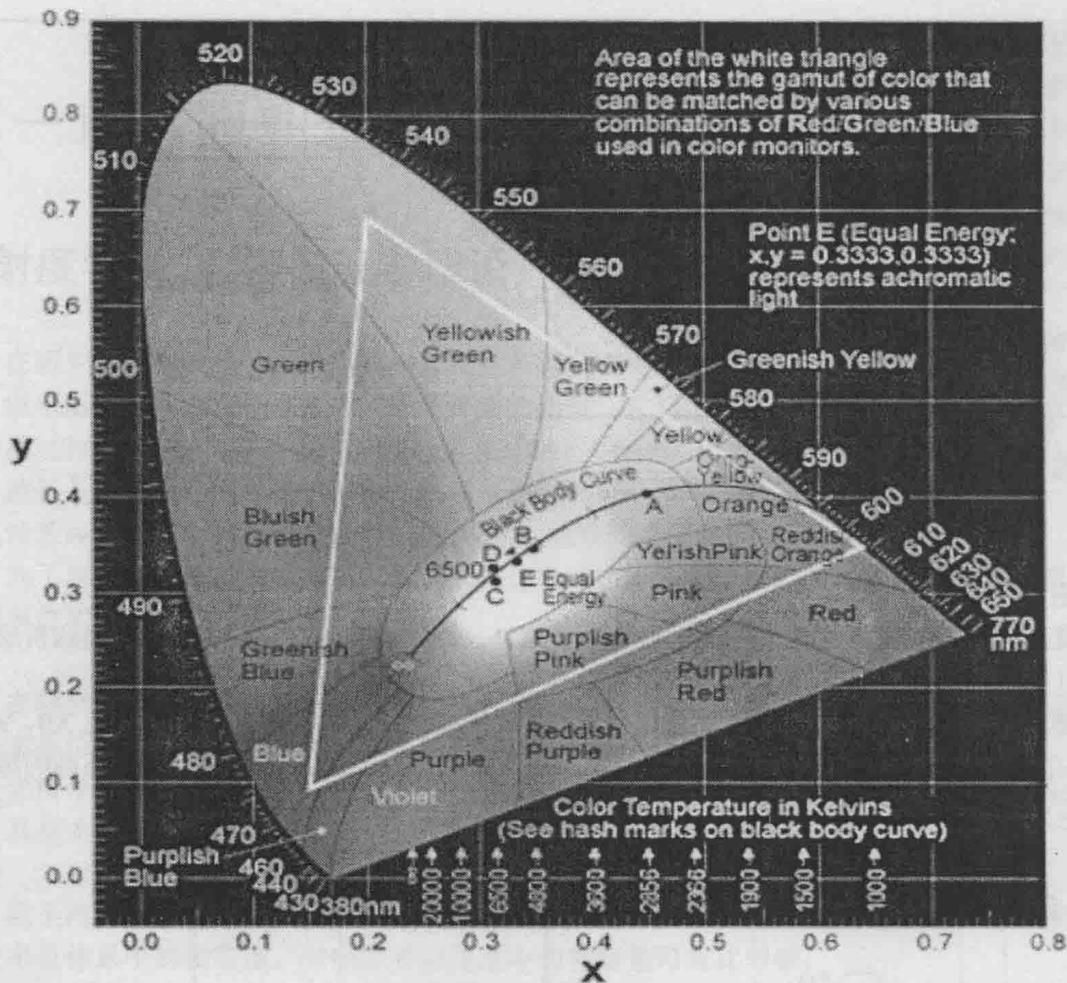
色度学基础介绍

色彩是一种视觉感受，客观世界通过人的视觉器官形成信息，使人们产生对它的认识。人类解析颜色受光源、光线反射（透射）的主体、观察者的眼睛和脑影响

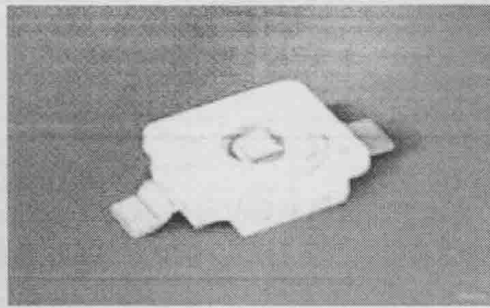
人眼对色彩的感应能力，可使用 CIE 1931 配色函数曲线，此图描述的是人眼对假想的三原色 X0、Y0、Z0 的感应度。原色(X0)：饱和度比光谱红还高的红紫色。原色(Y0)：饱和度比 520nm 光谱绿还高的绿。原色(Z0)：饱和度比 477nm 光谱蓝还高的蓝：



我们使用 CIE 1931 色坐标来描述光源的光谱颜色特性，色坐标如下，每个坐标点代表一种颜色，比如我们所说的白光区域坐标位于（0.33， 0.32）附近：



比如 LED 光源数据文档在描述光谱时使用 CIE 坐标:

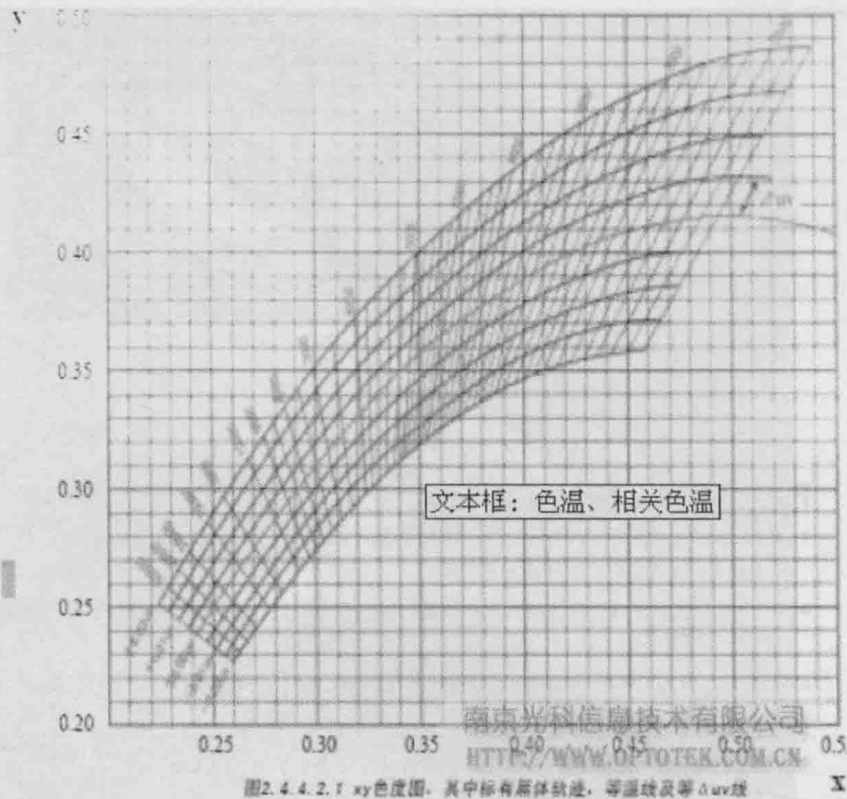


Features

- **package:** white SMD package, clear silicone lens, chip level conversion
- **typical Luminous Flux:** 116 lm at 350 mA and up to 273 lm at 1 A
- **feature of the device:** high efficient lightsource at low space
- **color coordinates:** $x = 0.31$, $y = 0.32$ acc. to CIE 1931 (white)
- **typ. color temperature:** 6500 K
- **viewing angle:** 170°
- **technology:** ThinGaN
- **optical efficiency:** 146 lm/W at 100 mA
- **grouping parameter:** luminous flux, color coordinates

很多情况下,我们也使用色温来描述光源光谱颜色,色温的概念起源于物体被加热至不同温度时,它会表现出相对应的不同颜色。当温度升高时,物体的辐射会改变,导致颜色的变化。色相的范围可在 CIE 色度图上显示为一条曲线,这条线称作黑体辐射轨迹(或叫普朗克轨迹)。当温度上升时,颜色会从深红色转为橙色、黄色、白色直至最终的略带蓝色的白色。大多数的自然光源,例如太阳光、星光和火的色彩温度特性,都非常接近普朗克轨迹。如上图 CIE 坐标图中的黑色线表示黑体辐射线。

当光源发出的光接近但不吻合于黑体辐射时,色温的概念就需要被延伸出去,这时如果要来描述这样一类光源发射的光,就要用相关色温(CCT)的概念。黑体辐射的色温与这样一类光源发射光的色温是相接近的,相关色温是由光源色彩所在点的等温线计算所得的。等温线是一些直线,同一线上各点的颜色看起来是相同的,而 Δuv 表示该颜色与黑体轨迹的色差,最大的色差大小 Δuv 为 ± 0.02 。



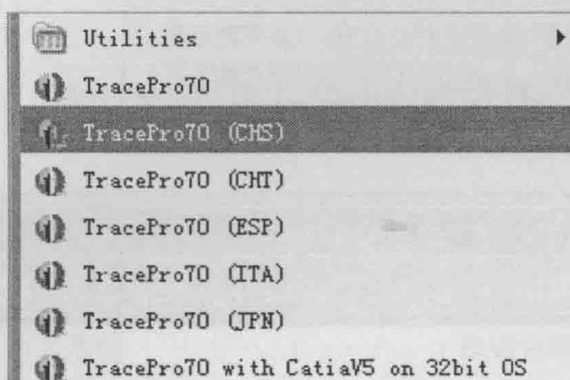
一些相关色温实例:

- 卤素灯 3000k
- 钨丝灯 2700k
- 高压钠灯 1950-2250k
- 蜡烛光 2000k
- 金属卤化物灯 4000-4600k
- 冷色荧光灯 4000-5000k
- 高压汞灯 3450-3750k
- 暖色荧光灯 2500-3000k
- 晴空 8000-8500k
- 阴天 6500-7500k
- 夏日正午阳光 5500k
- 下午日光 4000k

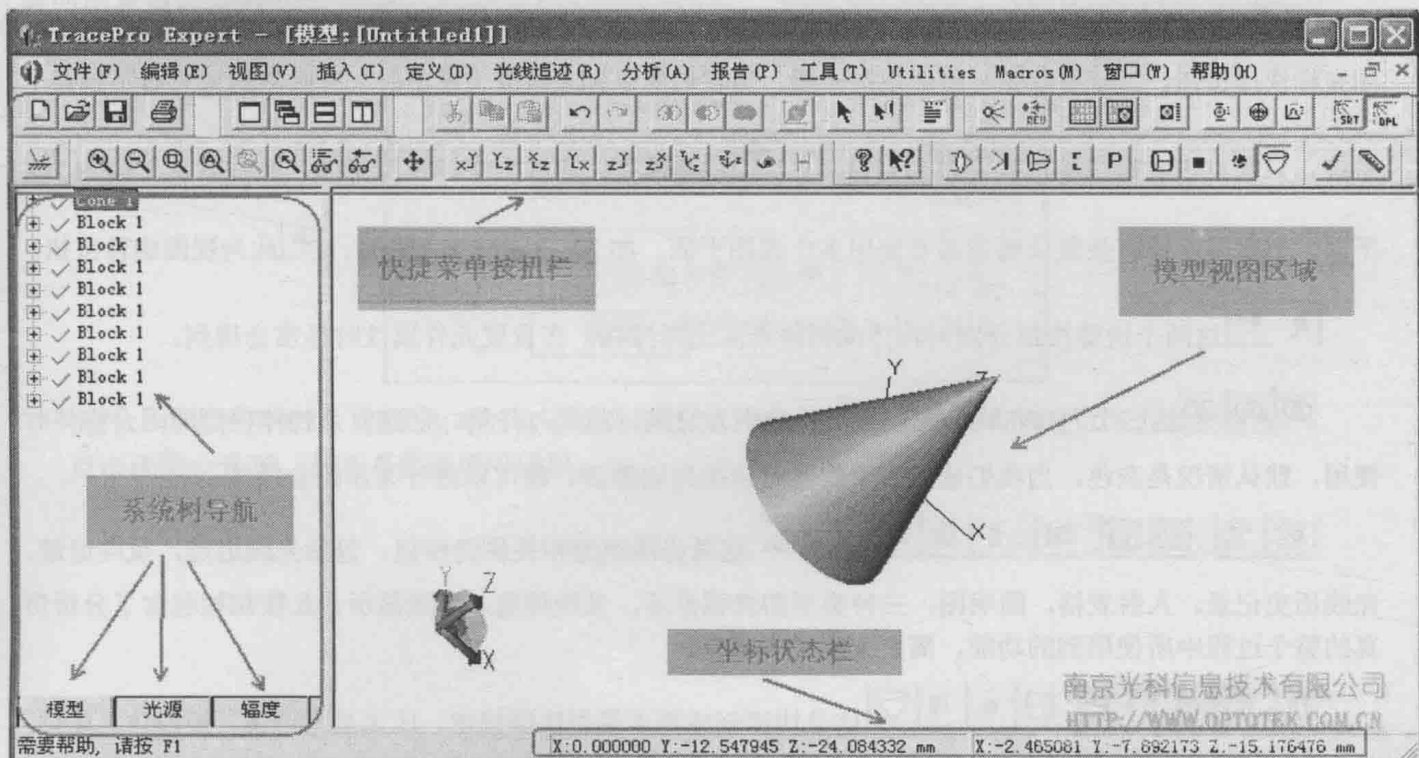
TracePro 界面介绍

TracePro 照明设计软件界面简洁, 极易上手, 有强大的分析功能适用于几乎所有的照明系统设计仿真。接下来我们从界面开始详细介绍软件的使用操作方法, 使想学习照明设计的学者们快速入门, 掌握它的各项使用功能。

打开 TracePro 软件, 在安装完成后程序会自动创建多国语言快捷方式, 如英文版, 简体中文版, 繁体中文版, 日语, 意大利语等:



其中 CHS 表示简体中文版, 将其打开:



上图显示了 TracePro 软件的主界面, 整个界面共分为五个部分:

主菜单, 即最上面一行显示的菜单项, 包括文件, 编辑, 视图, 插入, 定义等所有功能菜单, 每个主菜单选项都包括多个子菜单, 在今后的设计中我们将会使用。

快捷菜单按钮栏, 即上图中红框标注所示, 它包含了设计中常用的一些基本功能, 方便我们设计使用, 大大提高了软件操作效率。比如打开、保存, 撤消, 光线追迹, 照度分析, 光强角度分析, 坐标系统等等。

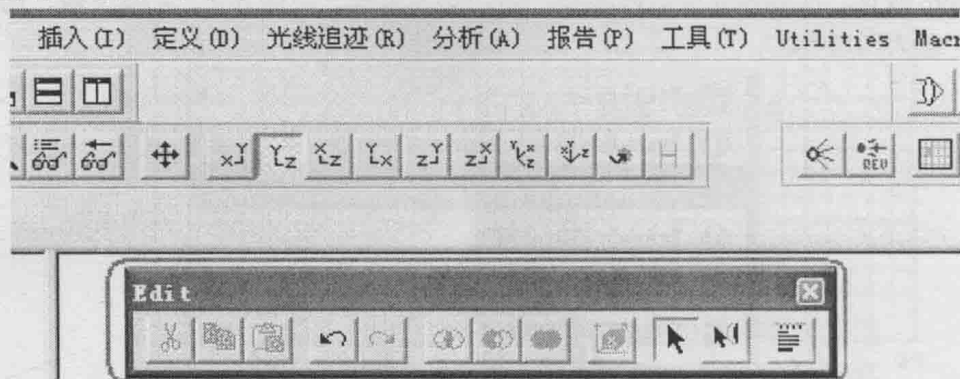
系统树导航, 默认位于软件的左侧如上图, 我们设计的所有系统元件全都可以在这里找到, 包括光源, 物体, 探测器, 可以方便我们快速修改系统模型, 如物体参数, 表面特性, 名称等。系统树包含三个项目

类型：模型，光源和辐度。根据类型可快速筛选我们想要修改的参数。如修改光源光线条数，可直接将系统树选在光源项目下（默认在模型项目）。

模型视图区域，即上图的右半部分，也占据了整个界面的大部分。系统元件形状视图在这里可直接查看，通过修改模型参数实时查看形状或效果。

坐标状态栏，用来显示当前鼠标点击位置处的三维坐标 XYZ。它有两套 XYZ 坐标，第一套表示鼠标左键点击位置处固定坐标点，后一套为鼠标移动时实时坐标跟踪。在设计时可使用坐标状态显示来近似估算模型尺寸或距离关系。

在快捷按钮栏中，我们简单讲解一些常用的按钮，所有快捷按钮栏都可以任何拖动，调换位置，只需鼠标点击按钮的空白区域并拖动即可：



此按钮栏为最常用的视图坐标快捷按钮。

用以查看整个模型视图，当我们用鼠标滚轮放大模型时，有时放的太大看不到整个系统，只需点击此按钮即可找到最适合窗口。

移动模型。右边为坐标视图平面，软件默认平面为 YZ 平面，但很多时候有些复杂模型需要使用多个视图平面，如 XY 平面，XZ 平面。

此为视图旋转按钮。

这两个快捷按钮分别为物体或物体表面选择按钮，在设置元件属性时经常会用到。

这三个为布尔物体操作按钮，分别为交集，差集与并集。创建复杂物体模型即组合物体时使用，默认情况是灰色，当我们选择多个物体时按钮自动激活。就可以进行布尔组合操作。

这是光线追迹相关快捷按钮，包括光线追迹，反向追迹，光线历史记录，入射表格，照明图，三种类型的光强显示，光线筛选，光线显示。此按钮栏包含了分析仿真的整个过程中所使用到的功能，需要大家详细理解。

这是快速创建基本模型快捷按钮。比如基本透镜，矩形体，球体，锥体等。

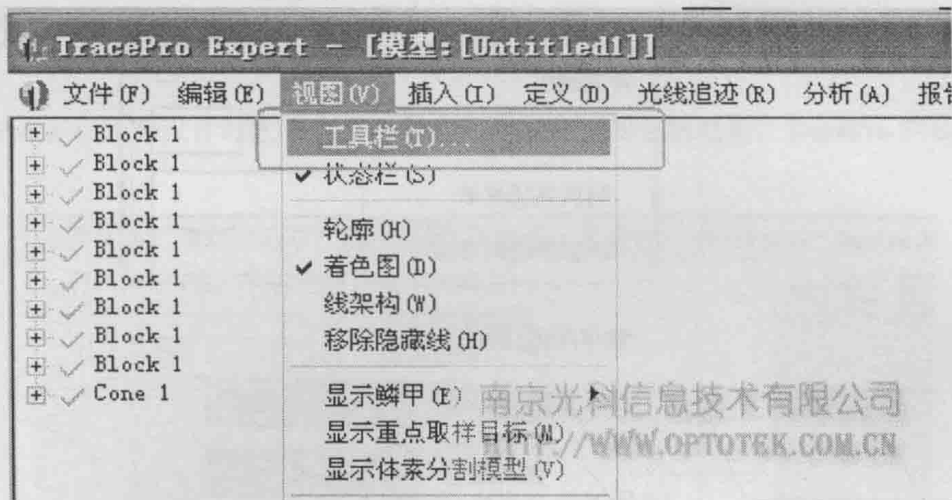
这个单独存在的按钮称为应用特性按钮，物体的所有属性如表面、材料等都可使用此按钮来打开对话框。

窗口排列按钮，当我们打开一个或多个 TracePro 文件时，可使用不同的视图方式来查看。

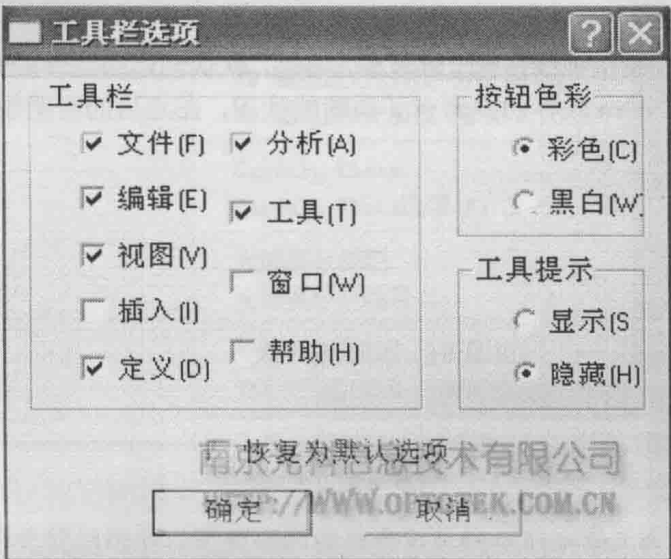
所有快捷按钮功能均可在主菜单相关条目中找到，根据设计习惯，我们可以自定义快捷栏显示，方法

如下：

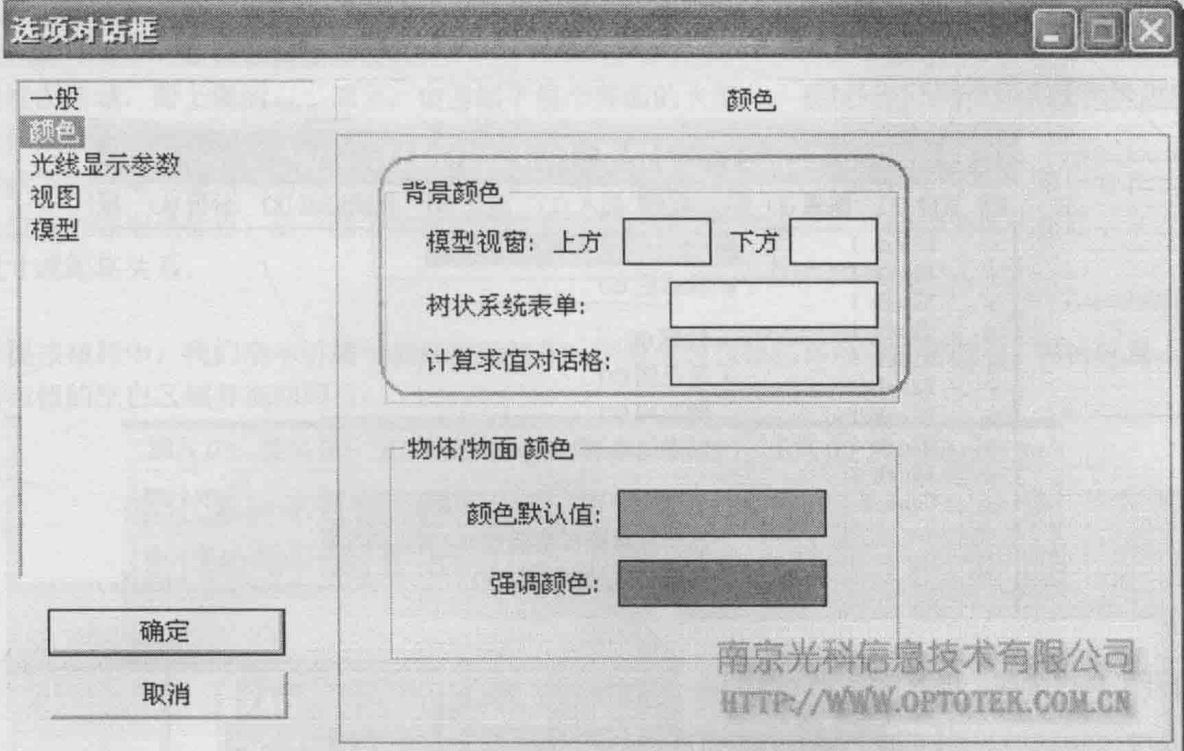
点击主菜单下的视图>>工具栏：



打开工具栏选项，进行自定义按钮：



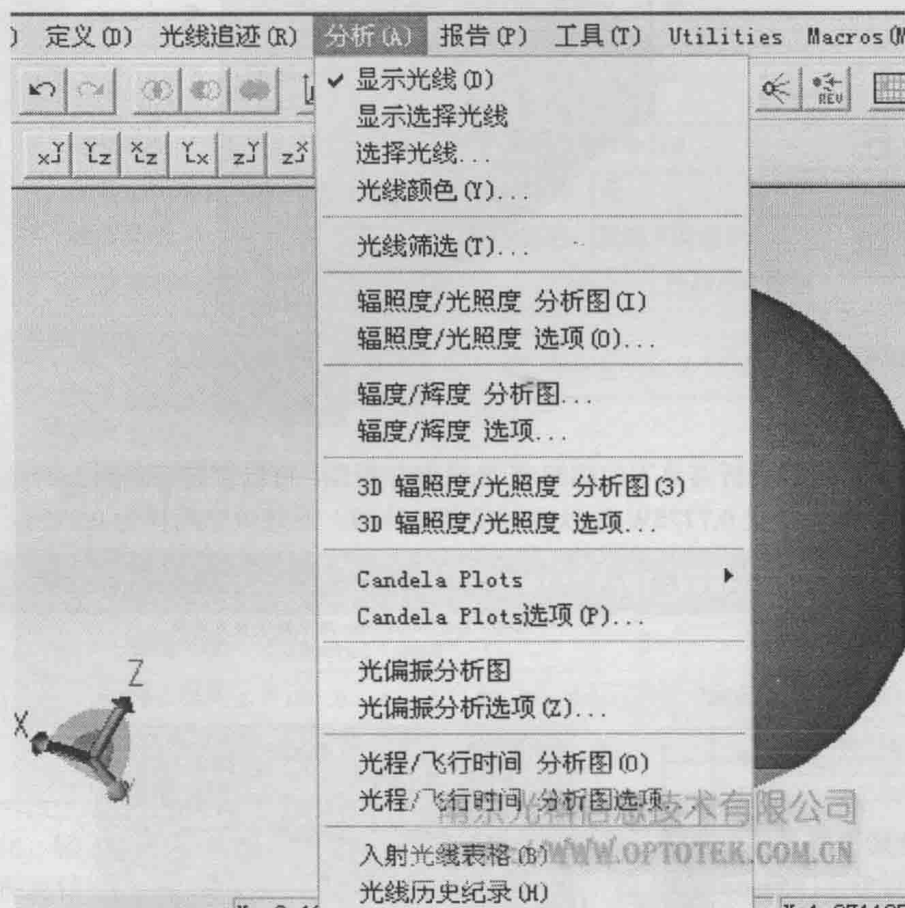
另外，在主视图窗口，我们也可以自定义背景显示，默认为灰白渐变，可通过以下方式来更改：点击视图>>选项，打开系统选项对话框：



上图中背景颜色可修改模型视图，系统树表单，同时，默认创建的物体颜色显示也可在此对话框设置。到这里，相信你对 TracePro 软件的界面有了清晰的认识，在之后的照明设计中我们更加加深对各项功能的理解。

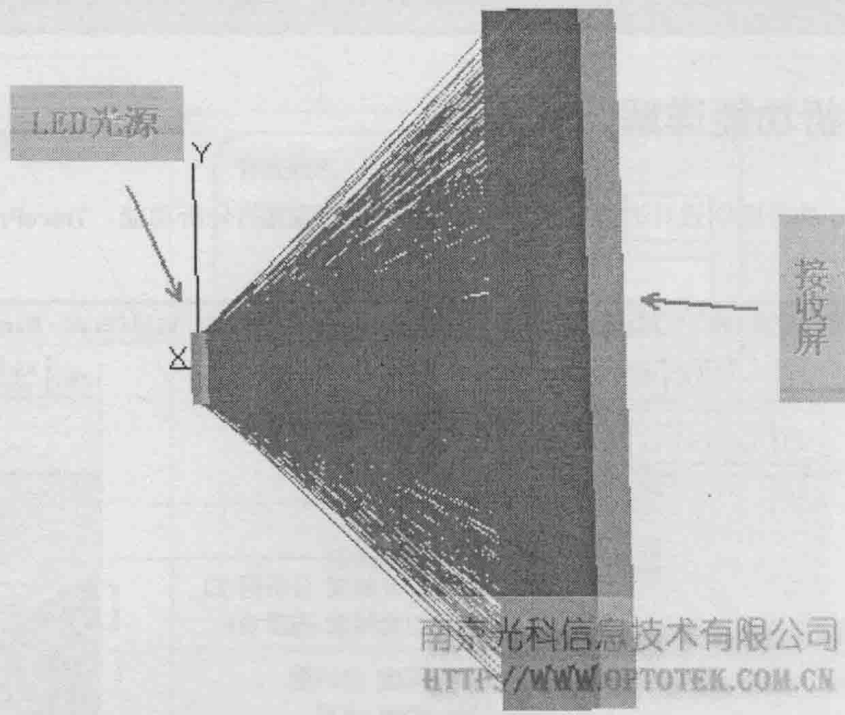
TracePro 分析功能详解

在使用 TracePro 进行照明设计时，我们需要学会使用它强大的分析功能，TracePro 常用的分析功能如下图所示：

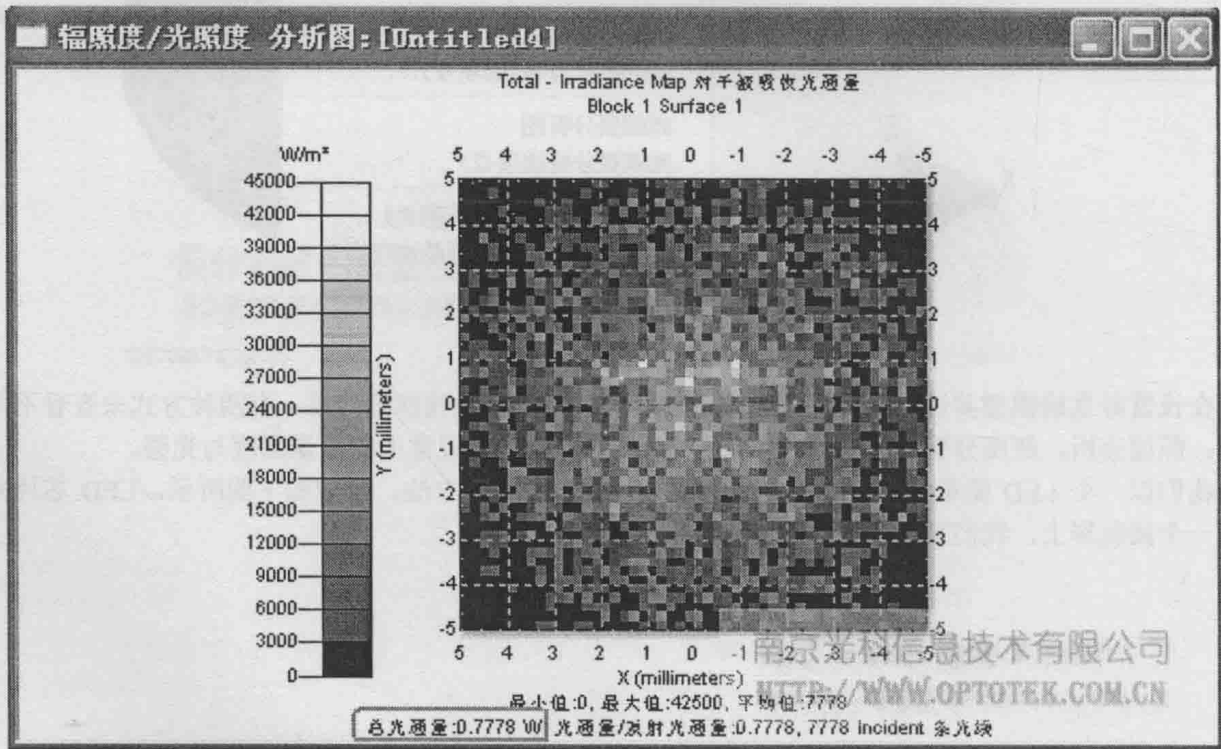


在设置好系统模型并进行光线追迹后，最重要的就是查看光线探测结果。有四种方式来查看不同数据结果：照度分析，辉度分析，3D 光照度分析，光强分析。其中较常用的便是照度与光强。

我们以一个 LED 简单光源模型为例来介绍这几种常用分析方法。模型如下图所示，LED 芯片光源入射在一个接收屏上，我们来探测在接收屏上的照度情况及光强：



选择接收屏表面，打开分析菜单下的辐照度/光照度分析图，可以看到探测面上的光斑分布情况以及接收到的通量大小，目前总能量 0.7778W 是以辐射度学统计的，系统效率同样为 0.7778。



从黑白照度图上可以看到噪声太大，可以通过加大光线追迹量来使探测器结果更平滑。同样，我们也有可能直接设置探测器的平滑度。在图形上点右键，选择设置选项打开设置对话框：

■ 辐照度/光照度 分析图选项

图形数据

分析项目 辐照度

Normalize to: <无>

描绘光线 吸收

最大值(x): 0

最小值(n): 0

显示选项

☒ 平滑化(S)

☐ 对数量度

No. of Pixels: 50

☐ 等高线图

☐ 辅助图示

FFT Grid: 128x128

☐ 区域坐标系

☒ 剖面曲线

对称: 无

☐ 梯度显示

图形颜色: 黑底灰阶显示

☐ 转换成foot-candles (fc)

开启自动更新

等高线间距:

☒ 自动决定间距

☐ 使用百分比最大值 (1.0 = 100%)

筛选值

筛目: 15

绘图平面方位设定

☒ 自动设定法线与指上向量

法线向量: X: 0 Y: 0 Z: 1

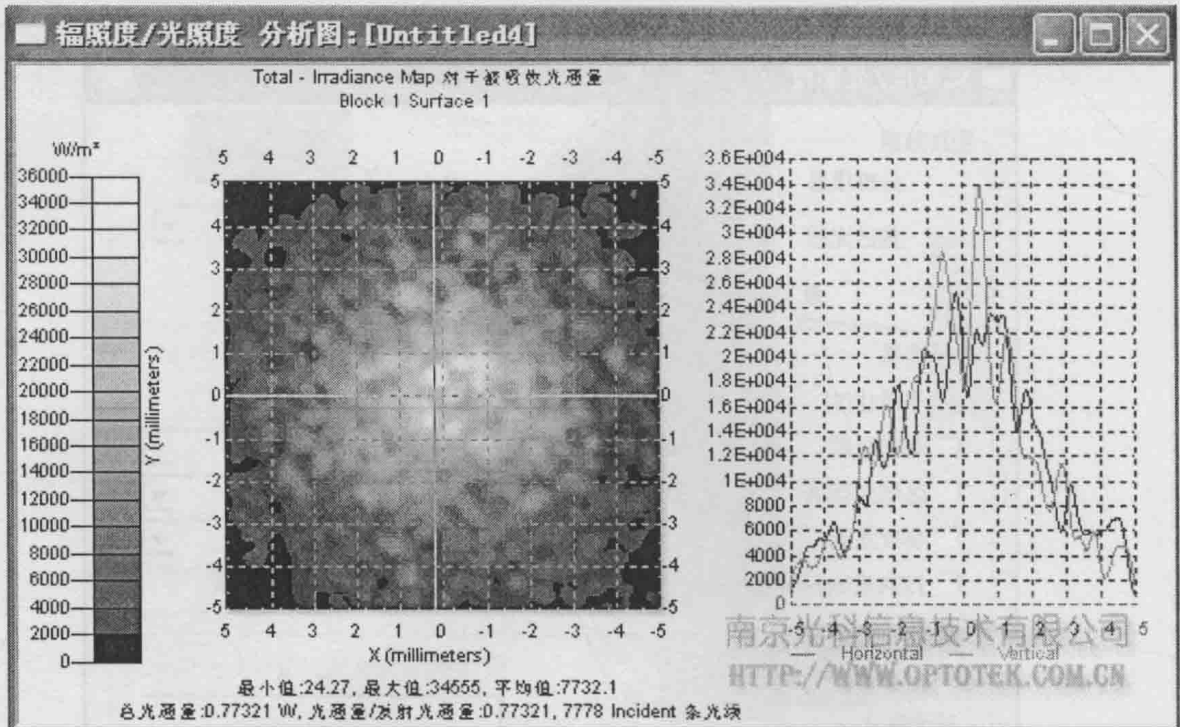
指上向量: X: 0 Y: 0 Z: 1

应用

设置为默认值

通过设置平滑化, 输入 No.of Pixels 数值可以对探测器进行平滑, 使探测器各相邻像素通量平滑过度, 这样会损失实际的探测精度。No.of Pixels 数值越小, 平滑度越高, 反之越低。我们不建议采用过低或过高的平滑值, 默认 50 是比较合理的。剖面曲线选项可以查看探测面上的照度分布曲线, 图形颜色选项可以查看黑白或彩色图形显示:

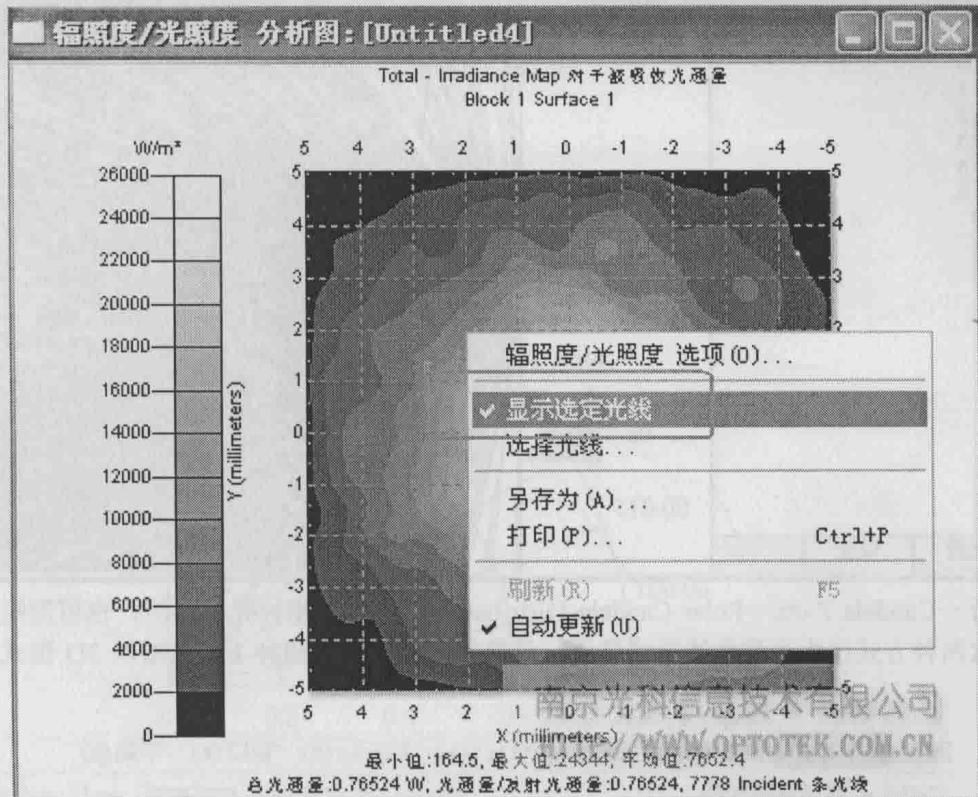
13



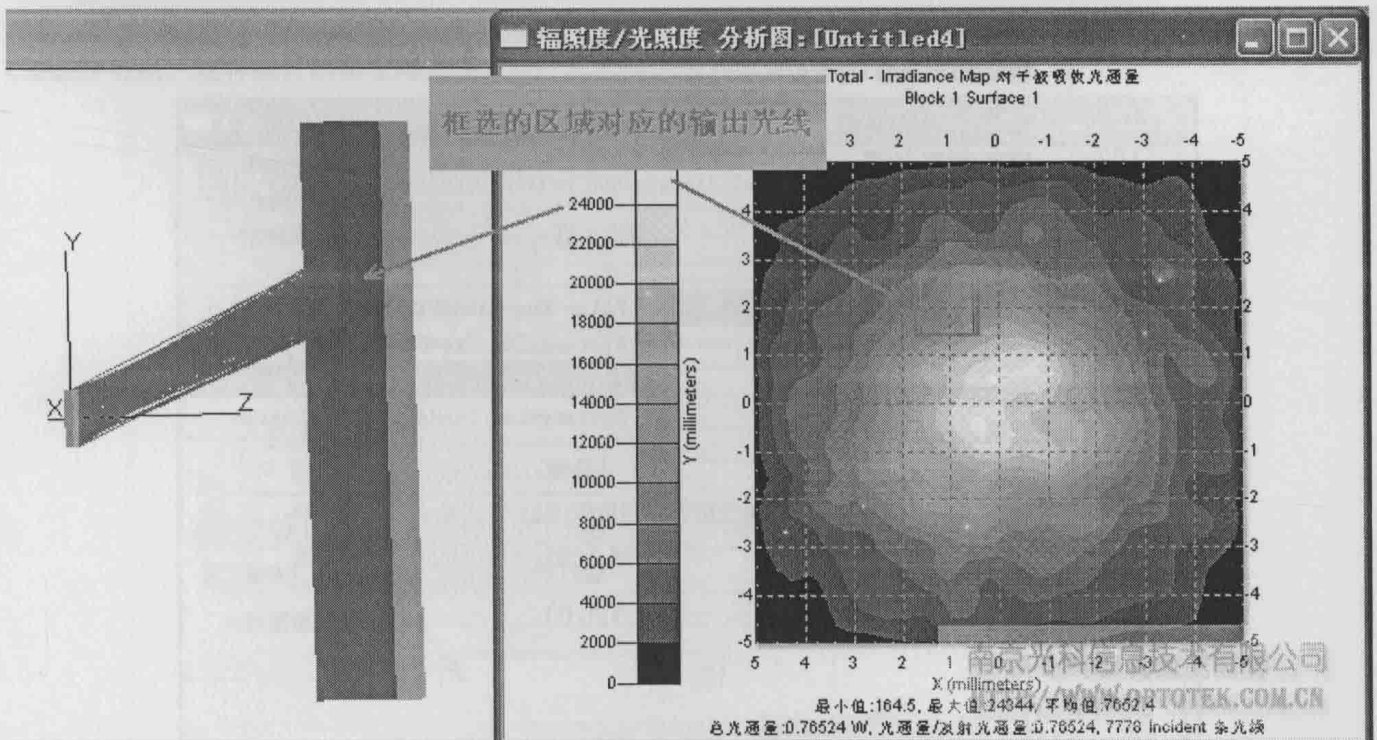
平滑后的光斑如上图，十字交叉线代表水平和垂直方向，用以绘制出右侧的照度分布曲线。鼠标在左侧图形中拖动十字交叉线，可实时查看各个位置处的照度曲线。也可以使用辅助图示 3 维显示照度分布，如下图：



在照度图中也支持光线筛选功能，在图形上右击，选择“显示选定光线”选项，我们就可以查看探测器上任意位置处的光线是来自于光源的哪部分。



选择“显示选定光线”以后，按住 Shift 键并在照度图上框选出感兴趣的区域，然后直接查看视图窗口的光线显示就可看到：



接下来我们查看光源在空间的发光角度，因为光源发光角度与位置无关，我们不必用探测器去查看光强，删除探测器重新进行光线追迹：