

中国西安电子科技大学智能生物信息处理中心分子影像研究组
中国科学院自动化所图像处理研究组
美国弗吉尼亚理工大学 VT-WFU 生物医学工程与科学学院生物医学成像研究部

MOSE

光学分子影像仿真平台

用户手册

版本 2.3

更新日期：2011.3.21

Jie Tian, Ph. D., tian@ieee.org

Jimin Liang, Ph. D., jimleung@mail.xidian.edu.cn

Shenghan Ren, Ph. D. Candidate, renshenghan@gmail.com

Ge Wang, Ph. D., wangge@vt.edu

目 录

目 录	I
1 关于 MOSE	1
1.1 简介	1
1.2 新功能	2
1.3 版本 2.3 功能列表	2
1.4 安装与卸载	2
2 详细使用说明	3
2.1 选择工程类型	3
2.2 光学分子影像	5
2.2.1 新建工程	5
2.2.1.1 菜单栏	6
2.2.1.2 工具栏	11
2.2.1.3 视图区	12
2.2.1.4 状态栏	12
2.2.2 输入仿真参数	13
2.2.2.1 参数文件输入	13
2.2.2.2 对话框输入	15
2.2.3 开始仿真	27
2.2.4 输出仿真结果	28
2.2.5 打开工程	34
2.3 2D-3D 能量映射	34
2.4 图像处理	38
2.4.1 阈值提取	38
2.4.2 网格化简	41
2.4.3 边界网格提取	42
3 文件格式说明	44
3.1 文件类型	44
3.2 光传输仿真参数文件	45
3.2.1 输入参数文件格式详细说明	45
3.2.2 光源、介质模型、感兴趣区域及探测器说明	47
3.2.2.1 光源	47
3.2.2.2 介质模型	48
3.2.2.3 平板探测器	50
3.2.2.4 内窥探测器	51
3.2.2.4 感兴趣区域	52
3.3 光传输仿真结果文件	53
3.3.1 连续波	53
3.3.1.1 透射结果	53
3.3.1.2 吸收结果	56
3.3.1.3 平板探测结果	57
3.3.1.3 内窥探测结果	58
3.3.2 时域	58

3.3.2.1 透射结果.....	58
3.3.2.2 吸收结果.....	59
3.3.3 频域.....	60
3.3.3.1 透射结果.....	60
3.3.3.2 吸收结果.....	60
3.4 其他文件.....	61
4 常见问题.....	62

1 关于 MOSE

本章将对 MOSE 的功能及其应用领域进行一个初步的介绍，同时，也对其最新版本的功能更新进行一个说明，详细内容见各小节。

1.1 简介

分子影像作为一种新的成像技术，它可以非侵入性的对活体内参与生理、病理过程的分子和细胞事件进行无损的静态或动态成像。随着分子影像研究的不断深入与发展，各种成像技术也突飞猛进。在分子成像技术的众多具体实现中，由近红外光学成像技术与分子探针等技术结合而成的光学分子成像技术利用荧光素酶或荧光报告基因等标记目标细胞，能够实现在分子和细胞水平上对在体的特定生理过程进行定性和定量研究。相比于其他的分子成像技术，近红外光学分子成像技术具有低能量、无辐射、高灵敏度、高时间分辨率等优点，因此得到了广泛的研究与应用。根据光源类型的不同，常用的近红外光学成像主要有三种：（diffuse optical tomography, DOT）、激发荧光成像（fluorescence molecular tomography, FMT）、生物发光成像（bioluminescence tomography, BLT）。其中 FMT 与 BLT 可用于光学分子成像，而 DOT 成像中由于不涉及到分子探针的标记，并不被认为是光学分子成像，但其在光学分子成像的研究中也起着重要的作用。

随着近红外光学成像算法、技术及设备的不断发展，光学成像系统由最初的光纤接触式探测已逐渐发展到非接触式探测。探测方式的改进降低了研究人员获取大量数据的难度及成本，提高了获取数据的精确性，但是也提高了光传输问题研究的难度。研究人员除了要分析近红外光在生物组织中的传输过程，也要考虑近红外光在自由空间中的传输过程。近红外光在生物组织中的传输行为复杂多样，主要包括反射、吸收、散射、折射、透射等行为，近红外光在自由空间中的传输比较简单，可认为直线传输，也可作为朗伯源处理。

光传输问题的研究可分为前向问题与逆向问题两类：已知生物组织的结构、光学特性和光源的能量分布信息，采用相关模型对光传输过程中的组织内部及外部光强分布进行研究属于光传输研究中的前向问题；已知组织外部光强分布，结合生物组织的组织结构重建生物组织的特性或光源能量分布则属于光传输研究中的逆向问题。前向问题研究属于光学分子影像研究的物理基础和理论依据，是逆向问题研究中不可或缺的部分。

根据激发光源的调制模式不同，成像技术又可分为时域（time domain, TD）、频域（frequency domain, FD）和连续波（continuous wave, CW）三种工作方式。时域表示激发光源为超短脉冲，频域表示激发光源幅度受低频调制，连续波则表示光源的强度保持不变。其中 DOT 与 FMT 都可实现 TD、FD 及 CW 模式的成像，而 BLT 只能进行 CW 模式的成像，这也导致了三种近红外光学成像技术在成像设备及成像过程上的不同，其中 CW 模式最简单成本也最低，FD 模式最复杂成本也最高。

光学成像技术根据图像采集设备的差别可分为两类：接触式成像与非接触式成像。接触式通过将光纤与成像对象（介质）的表面相接触获取介质表面的出射光强信息，非接触式则是通过 CCD 相机在一段距离之外获取介质表面的出射光强信息。这两者各有优缺点，非接触式成像目前已经成为主流研究方向，但非接触式需要考虑光在自由空间中的传输过程，加大了光学成像前向及逆向问题研究的难度。

光学分子影像仿真平台（Molecular Optical Simulation Environment, MOSE）是由西安电子科技大学、中国科学院自动化研究所和美国弗吉尼亚理工大学联合研发的光学分子影像仿真平台，能够实现任意复杂形状生物组织及自由空间中光传输过程的仿真。到目前为止，MOSE 已基于蒙特卡罗（Monte Carlo, MC）方法实现了 DOT、FMT 及 BLT 在 CW、TD 及 FD 下的光传输前向问题求解，以及 CW 下的光在自由空间传输并被 CCD 相机探测过程的仿真。关于逆向问题的求解，目前仍处于研究中，在以后的版本中会逐步加以完善。

1.2 新功能

版本 2.3 相比于前一版本 2.2 主要更新了以下内容：

1. 增加了组织中内窥探测器仿真的功能；
2. 添加了部分新参数，包括内窥探测器的关键字，参数文件版本号由 2.2 升级到 2.3，新版本对老版本的参数文件仍支持；
3. 增加了修正了多谱段多线程运行时的错误；
4. 修改了探测器输出结果文件的输出方式，增加了内窥探测器结果的输出，首先输出平板探测器结果，其次为内窥探测器的输出结果。
5. 修正了一些错误，增强了软件运行稳定性，提高了算法运行效率。

1.3 版本 2.3 功能列表

1. 支持生物发光断层成像（BLT）、扩散光学断层成像（DOT）、激发荧光断层成像（FMT）等三种发光类型的前向光传输过程仿真，仿真算法以 MC 方法为基础；
2. 支持三种光源模式：连续波（CW）、时域（TD）、频域（FD）；
3. 支持匀质及非匀质结构的介质仿真：匀质介质具有唯一的光学性质，非匀质介质的不同区域（组织或器官）则具有不同的光学性质。区域的形状可任意设定，2D 下支持两种规则形状（椭圆、矩形），3D 下支持三种规则形状（球体、柱体、立方体）及非规则形状（形状边界由三角网格描述，如 PLY、OFF、SURF、MESH、AM 等格式文件）。丰富的区域形状有助于用户实现各种复杂介质中的光传输仿真；
4. 可仿真连续波下介质表面出射光到平板探测器（如 CCD）的传输过程，该算法以朗博源及小孔投影原理为基础；
5. 具有将多个角度的二维平板探测图像映射到三维介质表面的功能；
6. 支持 Windows 及 Linux 系统；
7. 支持多线程的并行光传输仿真（采用 OpenMP 语言实现）；
8. 仿真吸收结果支持光子吸收密度或光子流率两种保存方式；
9. 具有医学图像数据的阈值提取功能，可根据设定阈值提取不同器官的边界数据，该数据可用于 MC 仿真中描述介质形状；
10. 支持对三角网格数据的化简，可有效减少网格数量；
11. 具有从四面体网格结构中提取各个区域边界网格的功能；
12. 具有丰富的图像显示功能，主要包括：
 - 1) 复杂介质中的各个区域可独立设置显示属性，包括颜色、透明度、实体/线框显示、是否显示等；
 - 2) 仿真结果（吸收结果与透射结果）的显示支持基于点绘制与基于面绘制两种方式；
 - 3) 可同步显示多层（平行于 XY、YZ 或 XZ 平面）的吸收结果，有助于用户对仿真结果进行快速分析；
13. 支持各种仿真类型、仿真模式下的仿真参数及仿真结果的输入、输出，所有数据文件由工程文件进行统一管理，有助于用户采用 MOSE 对实验结果进行重复分析。
14. 新增加平板探测器和内窥探测器。

1.4 安装与卸载

系统需求

包括 Windows 2000/XP/Vista/7、Ubuntu 10.04/10.10 等。

安装

从 <http://www.mosetm.net> 下载最新版，MOSE 属于绿色软件，无需安装，解压即可运行。MOSE 最新版分为 32 位版本与 64 位版本，请根据自己的系统进行选择。

卸载

直接删除 MOSE 程序所在文件夹即可。

2 详细使用说明

本章将对 MOSE 的使用进行详细说明，共分为四个小节，分别是：选择工程类型、光学分子影像、2D-3D 能量映射及图像处理。

2.1 选择工程类型

在 MOSE 中，所有的功能均由相互独立的“工程”进行管理，目前 MOSE 分为三种工程类型：光学分子影像、2D-3D 能量映射及图像处理，这三种工程类型分别有不同的功能，如下所示：

1. 光学分子影像 (Optical Molecular Imaging)：目前包含了三种成像模态的光传输仿真：生物发光断层成像 (Bioluminescence Tomography, BLT)、激发荧光断层成像 (Fluorescence Molecular Tomography, FMT) 及扩散光学断层成像 (Diffuse Optical Tomography, DOT)；
2. 2D-3D 能量映射 (2D-3D Energy Mapping)：实现将获取的二维 CCD 图像映射到三维介质表面的功能；
3. 图像处理 (Image Processing)：包含 CT 图像的阈值提取、三角网格化简、四面体边界网格提取三种功能。

用户启动 MOSE 后，如图 2.1 所示，可以选择“新建工程”或者“打开工程”。

新建工程：新建一个工程对象，如图 2.2 所示。建立“工程”的目的是为了方便对用户进行的仿真所涉及到的各项数据进行统一管理，每个独立工程都对应一个单独的文件夹，用户需要根据自己的需要选择正确的功能类型。工程名及工程路径由用户自由设定。点击 OK 后，将在相应的路径下生成对应名字的工程保存文件夹，文件夹中包含一个 .mpj 格式的工程文件，用户请勿对该工程文件进行修改，以免出现未知错误。

打开工程：打开一个已存在的工程对象，包括该工程对应的各项数据，如图 2.3 所示。



图 2.1 启动 MOSE

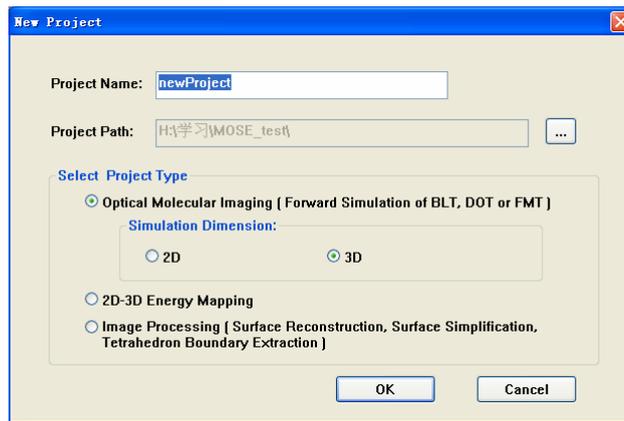


图 2.2 新建工程

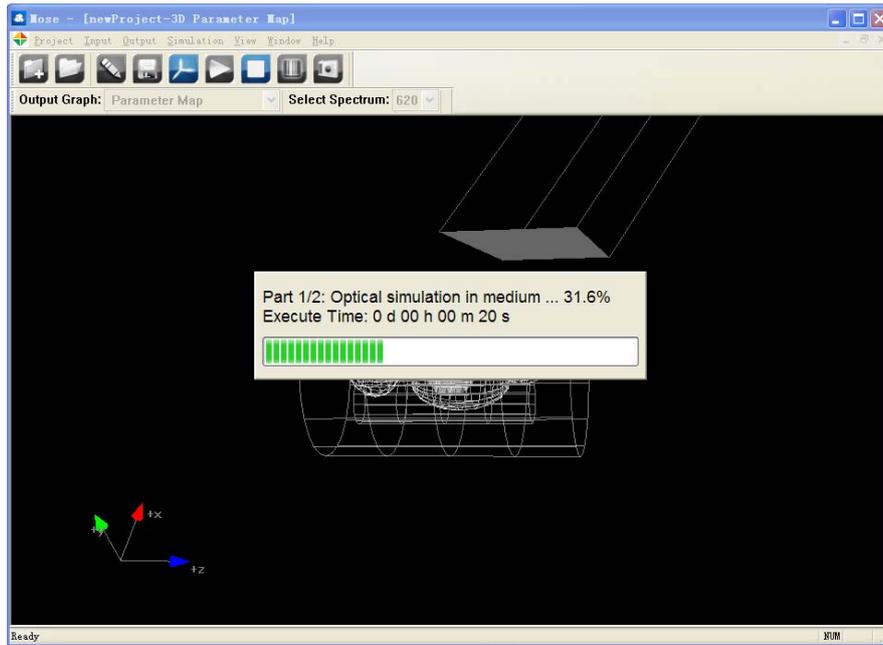


图 2.3 打开工程

在以下的章节中，我们分别根据不同的工程类型下的操作流程进行讲解。

2.2 光学分子影像

2.2.1 新建工程

用户需要在新建工程页面选择光学分子影像工程及相关空间维数，例如当用户选择 3D 下的光学分子影像工程类型，点击 OK 后进入到如图 2.4 的界面。

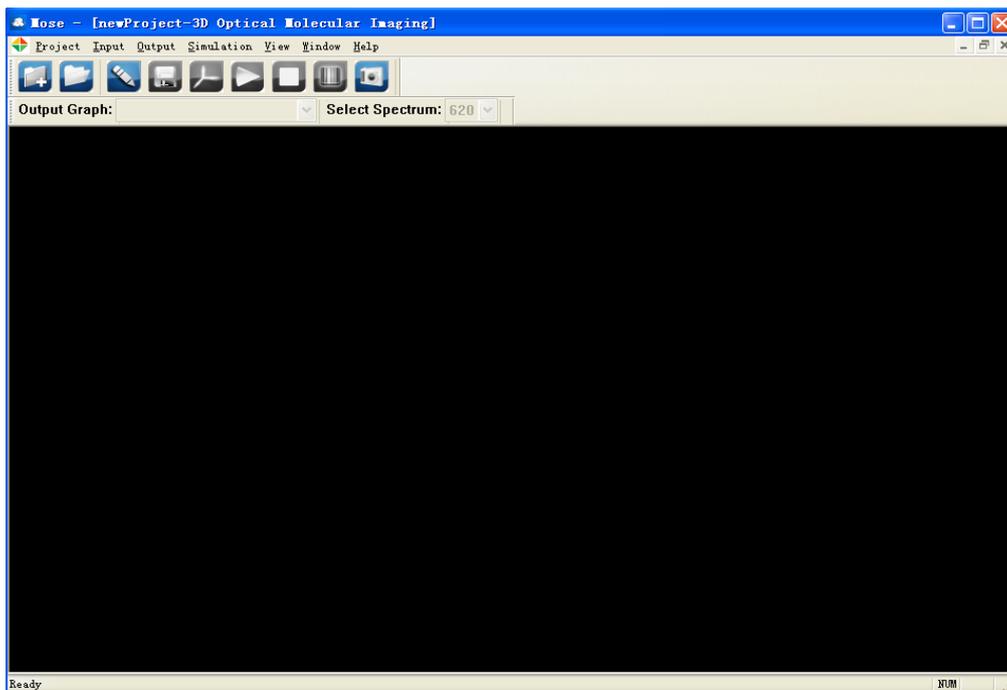


图 2.4 3D 下光学分子影像工程界面

该界面根据功能可分为四个部分：菜单栏、工具栏、视图区、状态栏，图 2.5 为设置参数后的界面显示示意图。

菜单栏：菜单栏包括了 MOSE 的所有基本操作，其中主要包括工程的新建、打开及关闭，参数输入，结果保存，仿真开始及停止，图形显示控制，显示窗口操作等。

工具栏：一些常用菜单命令被同时安排在工具栏上。

视图区：显示输入的介质、光源和探测器等对象，并能根据显示属性的修改实时显示。

状态栏：结果写出和读入时显示进度。

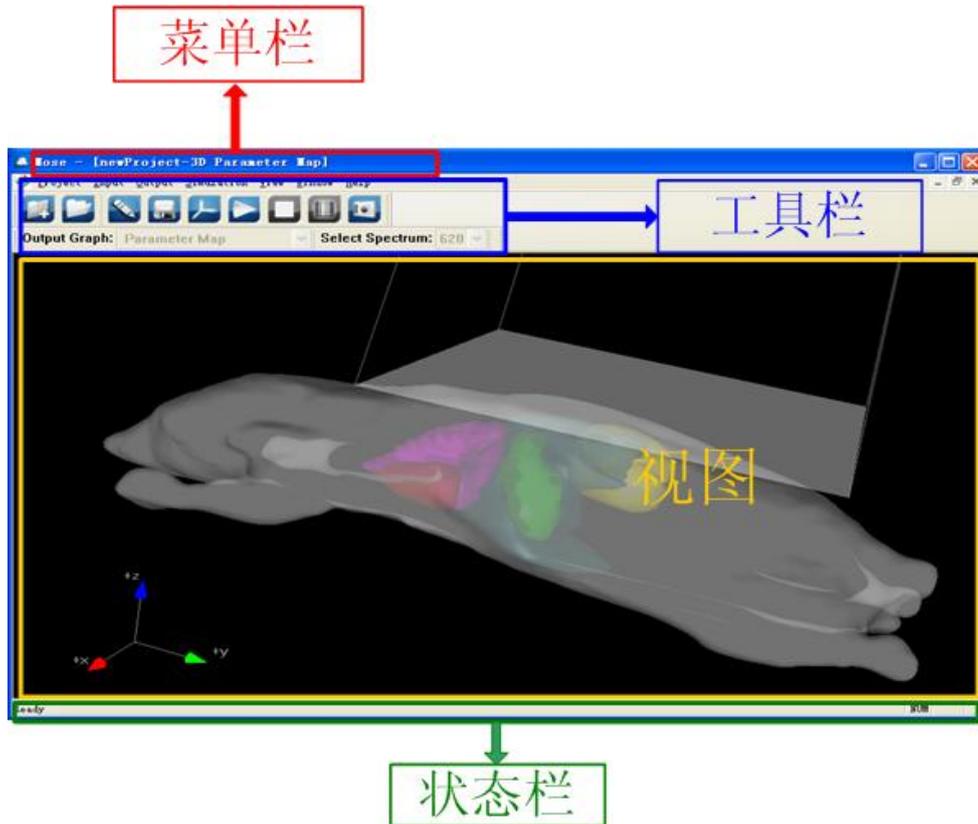


图 2.5 MOSE 主界面

2.2.1.1 菜单栏

MOSE 界面的上方排列着一系列菜单，每个菜单下包含多种功能，以下是对各菜单项的详细说明。

·Project 菜单



New: 新建一个工程。

Open: 打开一个已保存的工程。

Close: 关闭当前工程。

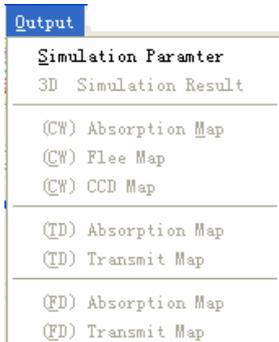
Exit: 退出 MOSE。

·Input 菜单



3D Parameter: 输入三维环境下的仿真参数，参数文件的格式请参照第三章。

·Output 菜单



Simulation Parameter: 将本次仿真中使用仿真参数输出到所建工程文件夹内，文件后缀为.mse。

3D Simulation Result: 完成仿真后，输出仿真的吸收结果、透射结果及探测结果到所建工程文件夹内。

(CW) Absorption Map: 连续波下，输出光子吸收图。

(CW) Transmittance Map: 连续波下，输出光子透射图。

(CW) CCD Map: 连续波下，输出平板探测图和内窥探测图（仅 3D 连续波下可选择该功能）。

(TD) Absorption Map: 时域下，输出光子吸收图。

(TD) Transmit Map: 时域下，输出光子透射图。

(FD) Absorption Map: 频域下，输出光子吸收图（分为幅度与相位）。

(FD) Transmit Map: 频域下，输出光子透射图（分为幅度与相位）。

·Simulation 菜单



Start: 开始仿真。

Stop: 在仿真运行过程中可中止仿真，程序会提示仿真失败。

·View 菜单



Toolbar: 设定是否显示功能按钮栏。

Status Bar: 设定是否显示状态栏。

Select Plane: 设置视图中正对视角的平面坐标系，包括为“XOY”，“YOX”，“XOZ”，“ZOX”，“YOZ”，“ZOY”面。



Background Color: 设置视图区域的背景色，有三种颜色供选择，分别为黑色、白色、灰色。

Color Bar: 色彩条状图有五个选项可以选择。



Render Method: 光传输仿真结果的图形绘制方式，包括基于顶点与基于面两种方式。基于点的绘制方式采用了插值处理，基于面的绘制方式中每个面具有单一颜色。图 2.6 和图 2.7 分别显示了这两种绘制方式的不同效果。

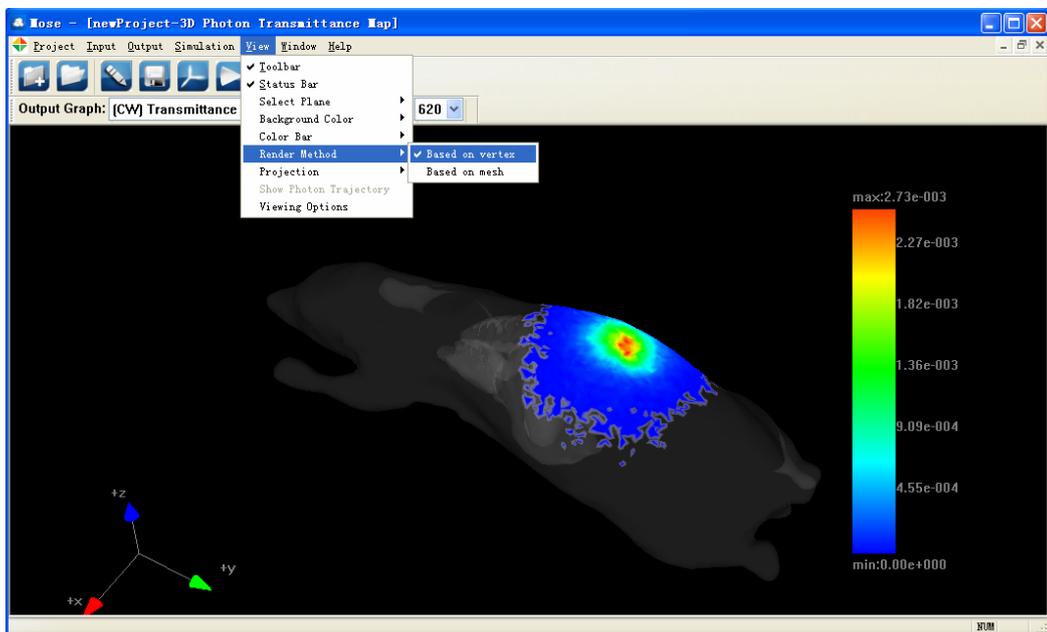


图 2.6 基于点的绘制

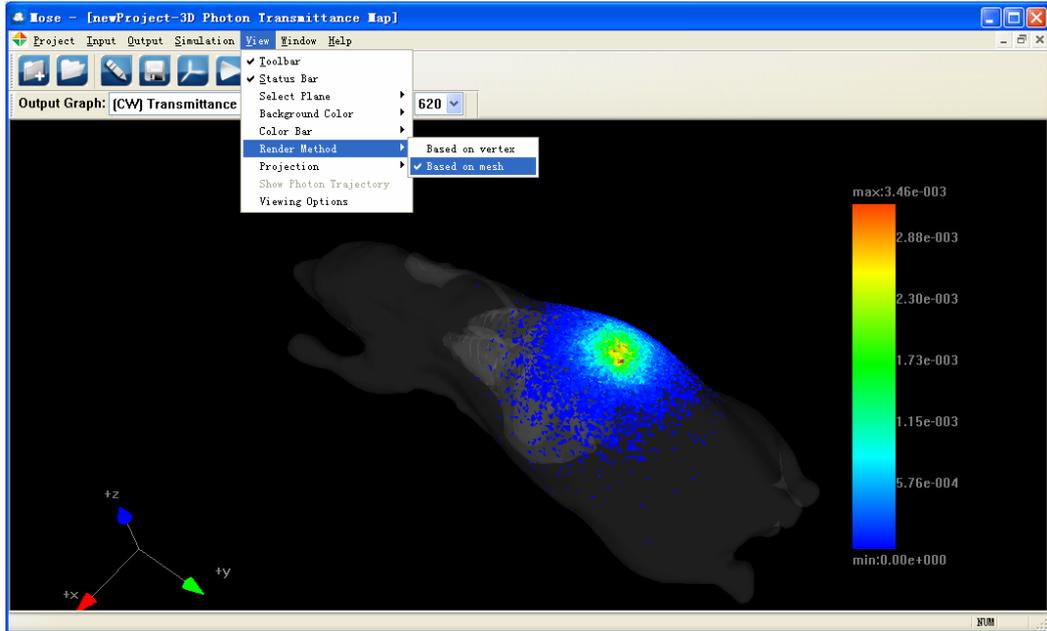


图 2.7 基于面的绘制

Projection: 选择 3D 下的图形投影方式，分为透视投影与正射投影。

Show Photon Trajectory: 设置在仿真运行过程中是否显示光子运行的路径，设置显示后，在视图中会看到每个光子运行的路径，可以检查运行是否正确。但是，设置显示光子路径后将会极大的降低光传输过程仿真的速度，不建议用户设定该项，显示效果如图 2.8 所示。

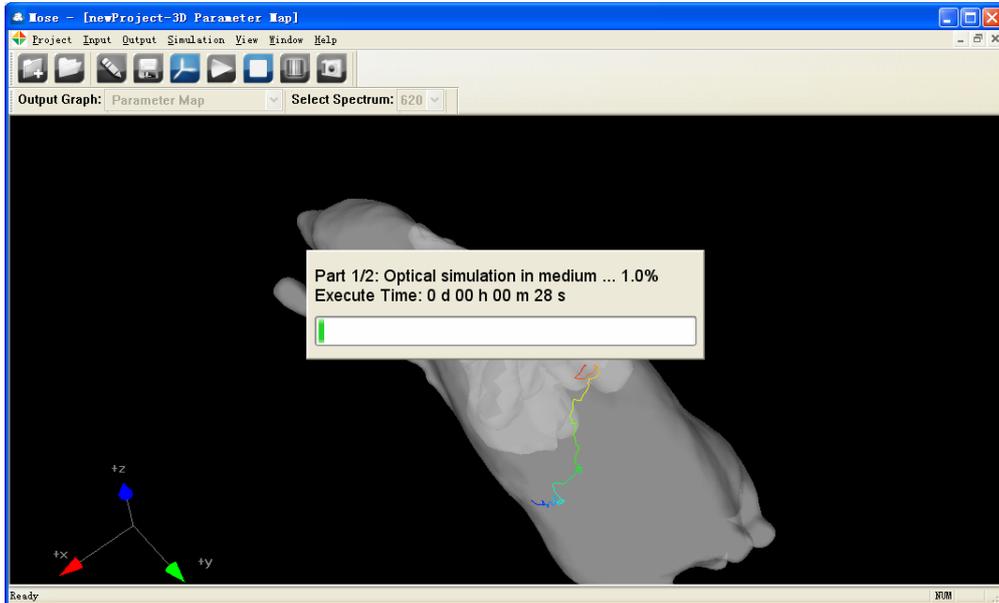


图 2.8 显示光子运行路径

Viewing Options: 设置介质、光源和探测器在不同类型图（参数图、吸收图、透射图）中的显示属性。包括颜色(Color)、透明度(Opacity)、显示/隐藏>Show/Hide)以及实体/线框显示(Solid/Line)，以及介质的属性信息。如图 2.9 所示，图 2.10 为显示效果图。

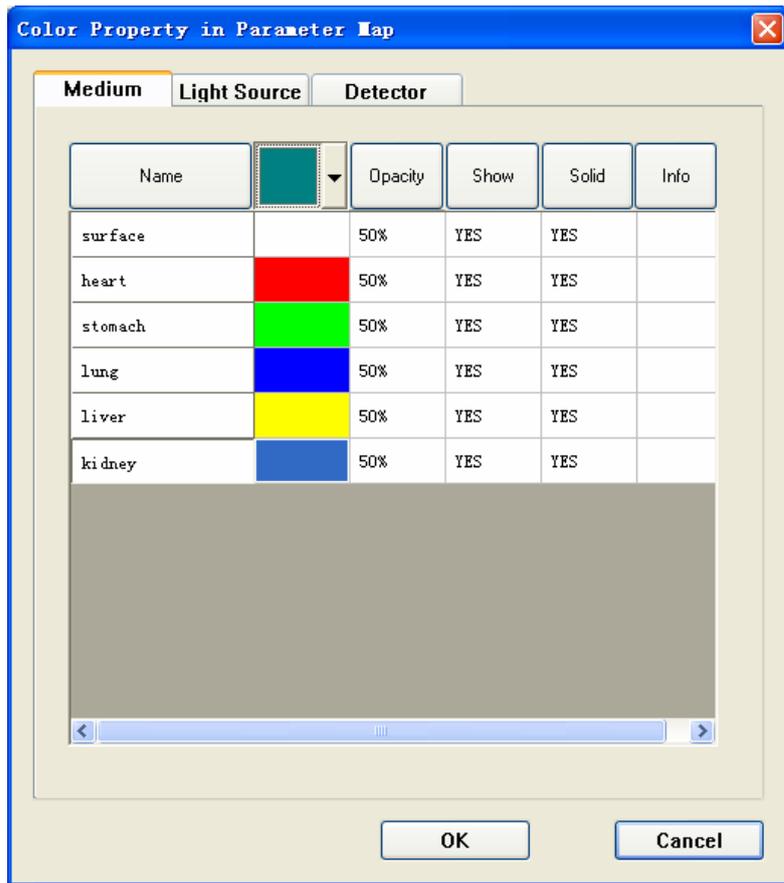


图 2.9 显示属性设置

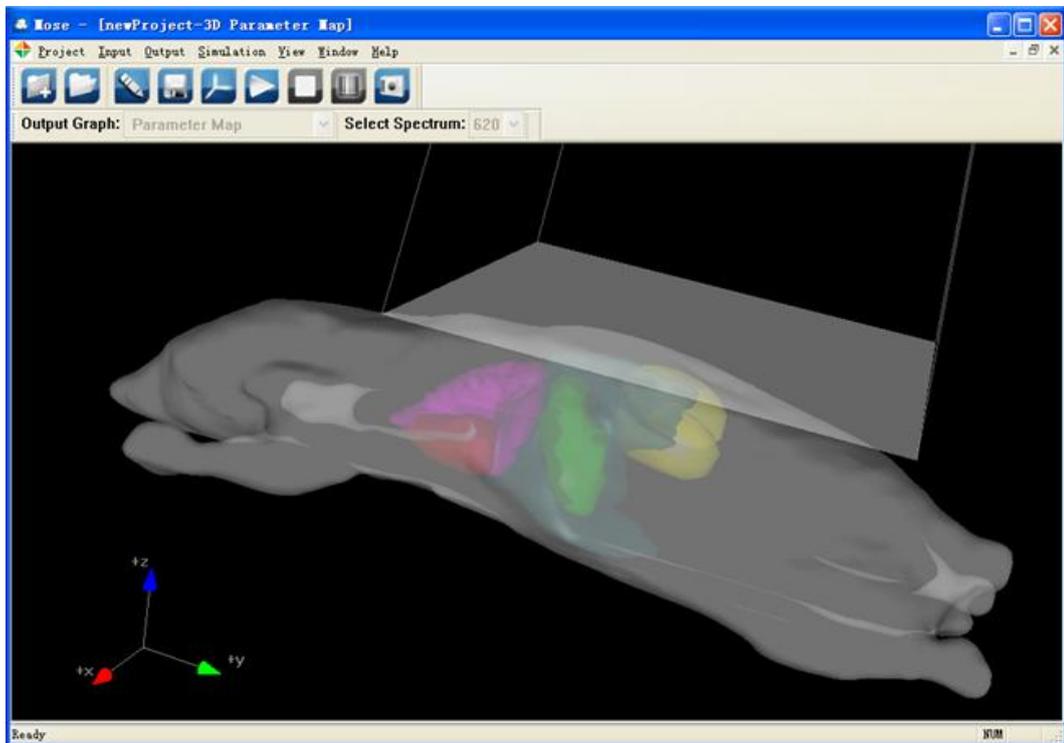
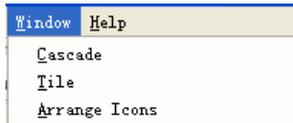


图 2.10 显示属性设置效果图

·Window 菜单

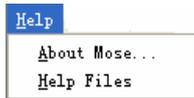


Cascade: 视图层叠。

Tile: 视图平铺。

Arrange Icons: 重排图标。

·Help 菜单



About MOSE: 显示 MOSE 的版本相关信息。

Help Files: 显示 MOSE 的使用说明文档。

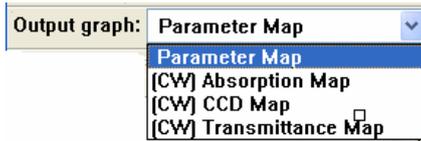
2.2.1.2 工具栏

工具栏是一系列功能按钮的组合，工具栏上的大部分按钮和菜单命令相对应，提供了一种执行常用命令的快捷方法。

表 2.1 工具栏说明

图标	功能
	新建工程
	打开工程
	参数输入
	保存参数及结果
	重置坐标轴
	开始仿真
	中止仿真
	显示/隐藏色彩条状图
	截图

仿真参数图、光子吸收图、光子透射图和光子探测图可以通过菜单栏中的 Output 选择，也可通过工具栏上的 Output graph 选择。



2.2.1.3 视图区

视图区是 MOSE 的显示区域，主要负责仿真参数与仿真结果的显示，如图 2.11。

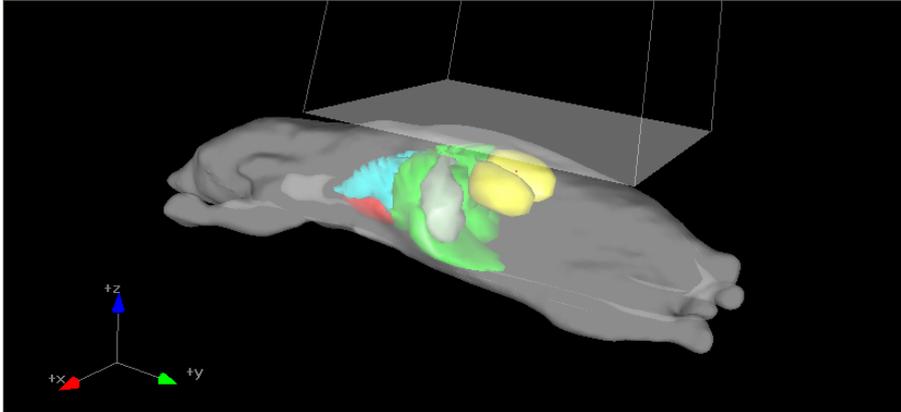


图 2.11 视图区

在菜单栏章节已经介绍了对视图区的一些操作。此外，通过鼠标左、中、右键可以实现对图像的旋转、移动、放大/缩小等操作。

2.2.1.4 状态栏

状态栏主要功能是显示仿真结果保存与打开时的进度信息，如图 2.12。

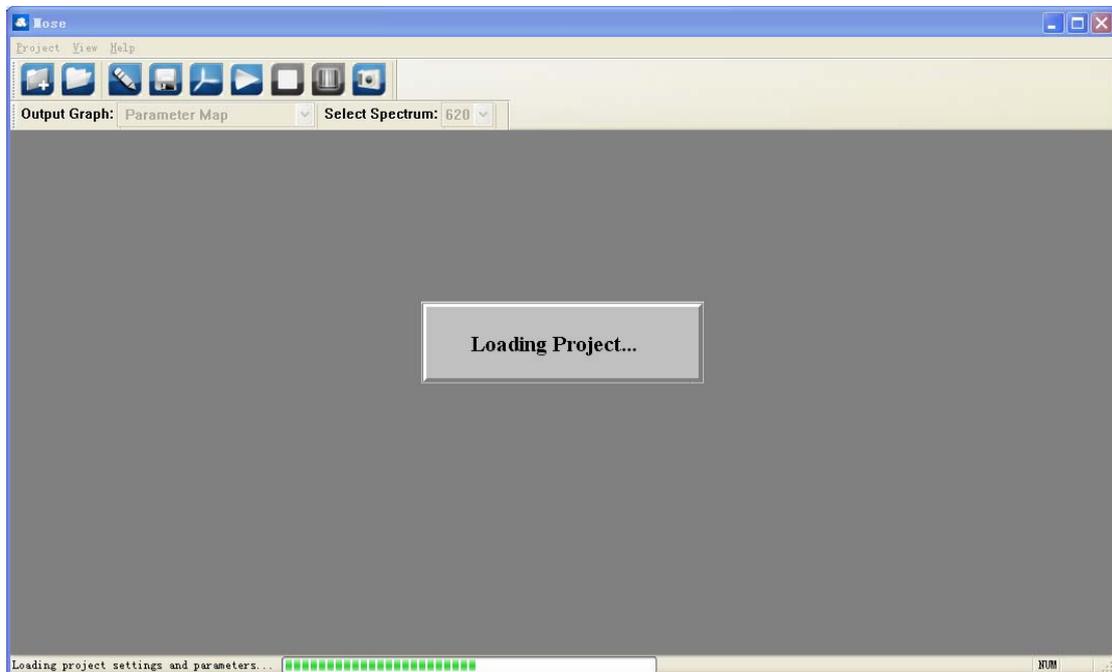


图 2.12 状态栏

2.2.2 输入仿真参数

在 2D 或 3D 环境下参数的输入步骤是一样的，在此以 3D 环境作为示例。在菜单栏中选择 **Input-3D Parameter**，将会弹出参数设置对话框，如图 2.13。该对话框下有四个不同的子页面，分别是介质(Medium)、光源(Light Source)、探测器(Detector)和仿真属性(Simulation Property)。设置仿真参数有两种方式：“参数文件输入”与“对话框输入”，下面分别进行介绍。

注：在 MOSE 最新版本中，根据仿真介质包含组织（或器官）的个数分为匀质介质（包含 1 个组织）、非匀质介质（包含 2 个以上组织）。在 2.2 之前的版本中，构成介质整体的所有组织是“相互独立”的，其边界可由规则形状或者非规则三角网格结构独立描述，在 MOSE 中这种介质模型称之为“独立式介质模型”。在更新到版本 2.2 后，MOSE 引入了一种新的非规则四面体网格结构来描述介质整体，在该结构中，所有组织的形状由四面体构成，并形成一个整体，不同组织之间的边界关系是确定的，这种介质模型称之为“整体式介质模型”。但在版本 2.2 中，对于由四面体网格构成“整体式介质模型”的光传输仿真，为防止参数输入错误目前只支持“参数文件输入”的方式。（详细信息可参考 3.2.2.2 节）

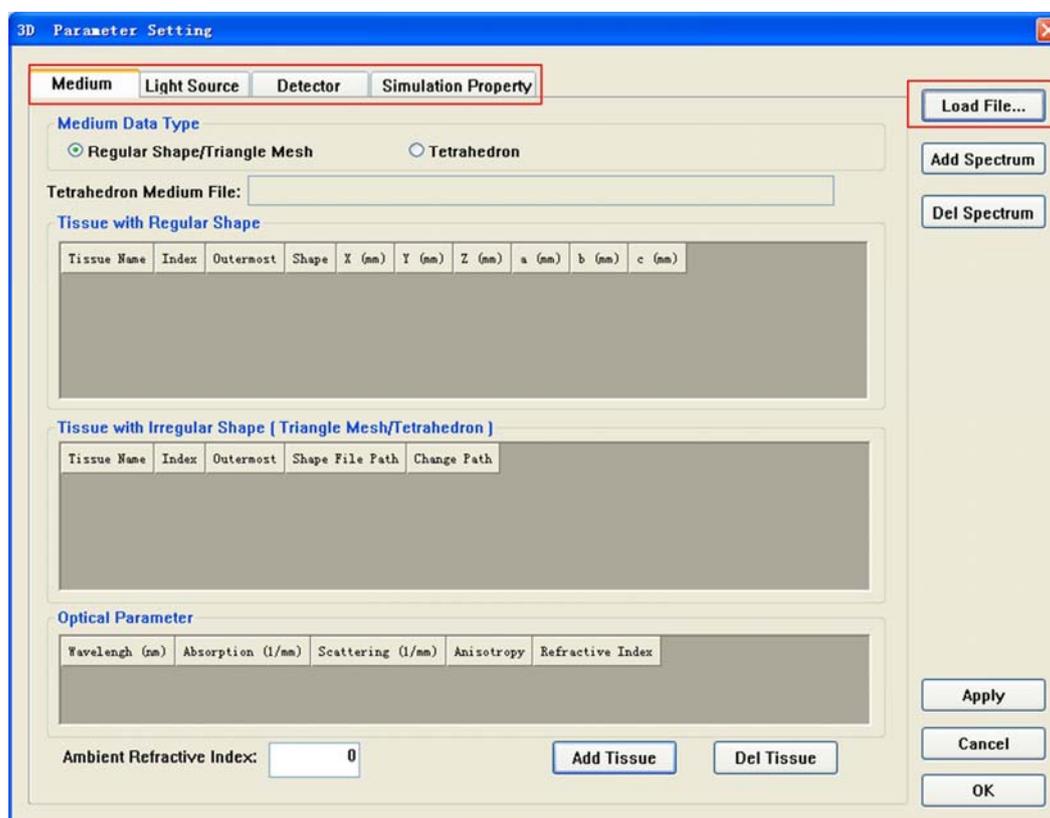


图 2.13 参数设置主界面

2.2.2.1 参数文件输入

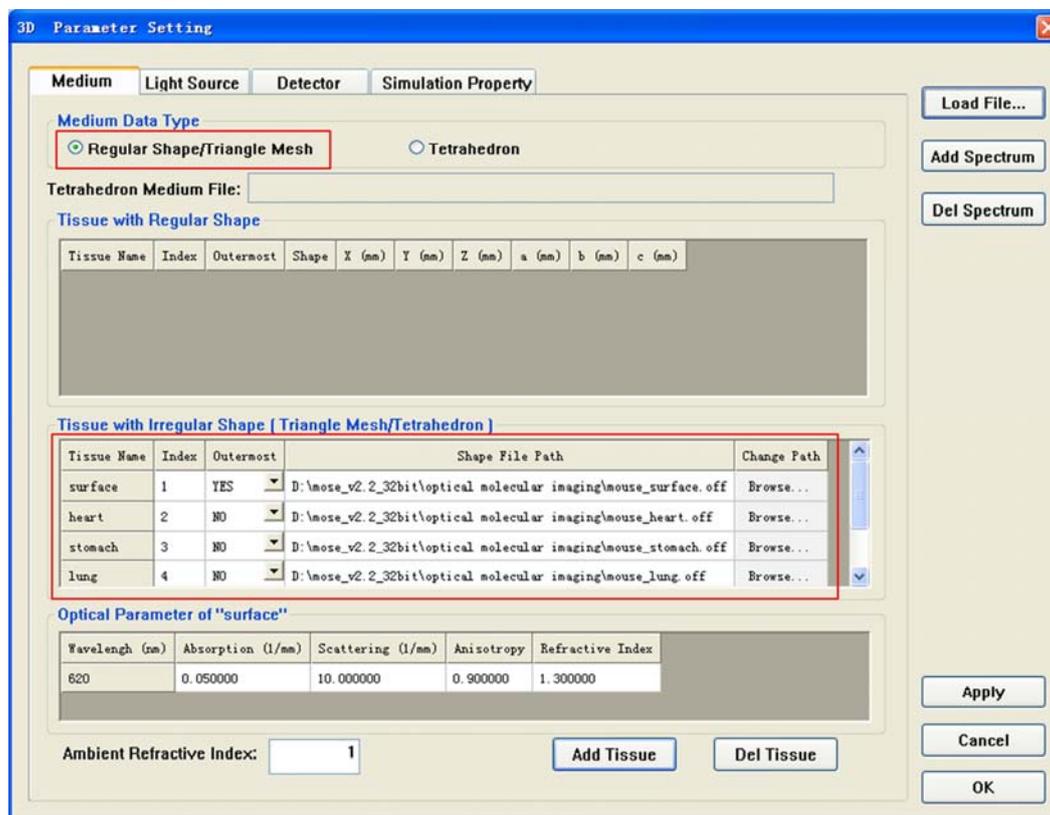
点击 **Load File**，从外部导入仿真参数文件，如图 2.14 所示。MOSE 为参数文件制定了固定的格式，用户需按照格式要求设置参数文件，参数文件具体格式参见第三章，在程序文件夹中我们提供了几组示例参数供用户参考。导入参数文件后，用户仍可以在对话框中对参数进行修改。

根据载入仿真参数中介质模型（详细说明参见 3.2.2 节）的不同，介质属性页面显示会

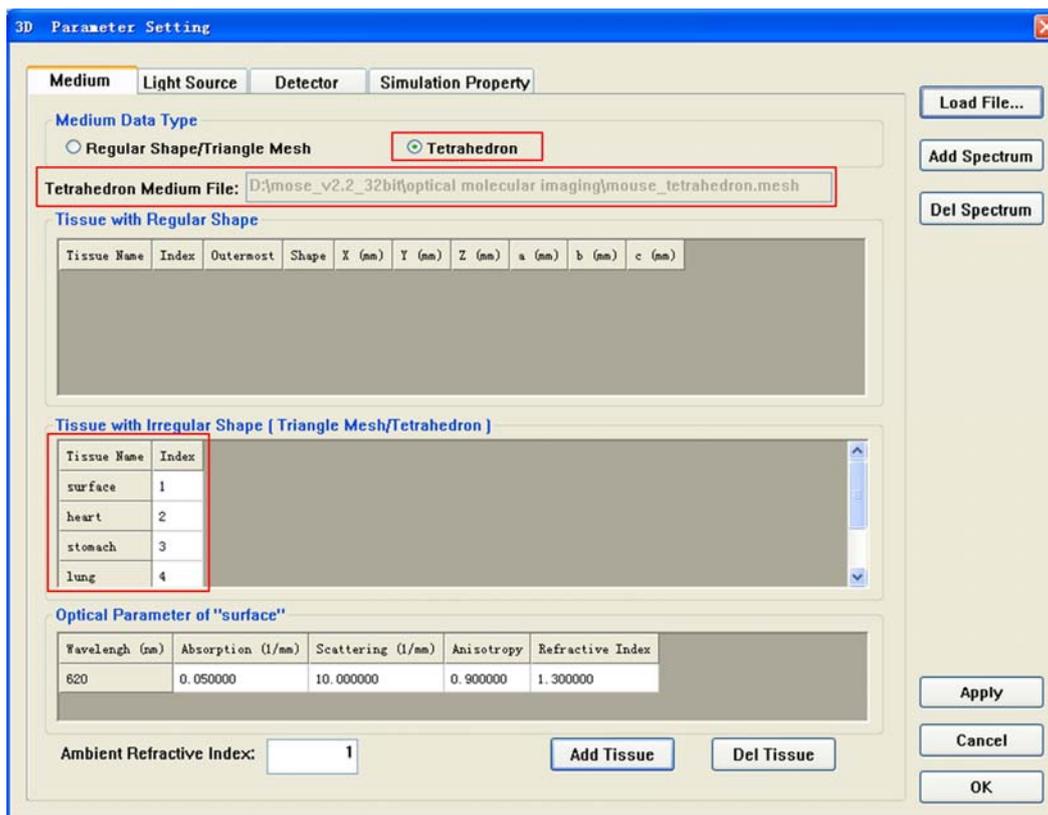
有所不同:

1) 载入“独立式介质模型”(规则形状或者三角网格结构)后, 介质属性页面如图 2.14(a)所示;

2) 载入“整体式介质模型”(四面体网格结构)后, 介质属性页面如图 2.14(b)所示。



(a) 独立式介质模型参数文件



(b) 载入整体式介质模型

图 2.14 载入参数文件对话框

2.2.2.2 对话框输入

用户也可以通过对话框界面对各种仿真参数进行设置。下面按照参数设置的顺序进行介绍，共五个步骤：（1）设置介质参数；（2）设置光源参数；（3）设置谱段参数；（4）设置平板探测器参数；（5）设置仿真属性参数。当没有平板探测器时，可跳过第四步。

步骤一：设置介质参数

首先，添加仿真对象。MOSE 中将仿真对象称为介质，根据介质包含组织数量的多少，又可分为匀质介质（包含一个组织）与非匀质介质（包含多个组织），定义组织的参数包括形状与光学参数。形状分为两种：规则与非规则。规则的形状包括：2D(椭圆、矩形)，3D（立方体、柱体、椭球）；不规则形状包括由三角网格或四面体描述的介质形状。光学参数包括吸收系数、散射系数、各向异性系数及折射率。

采用对话框设置介质参数时，在“Medium Data Type”选项中用户只能选择“Regular Shape/Triangle Mesh”，如图 2.15 所示，介质页面的第一个列表（Tissue with Regular Shape）显示介质中规则形状组织的相关参数；第二个列表（Tissue with Irregular Shape）显示介质中非规则形状组织的相关参数；第三个列表显示各组织对应的光学参数。另外在对话框底部可以设置介质周围环境折射率（Ambient Refractive Index）。

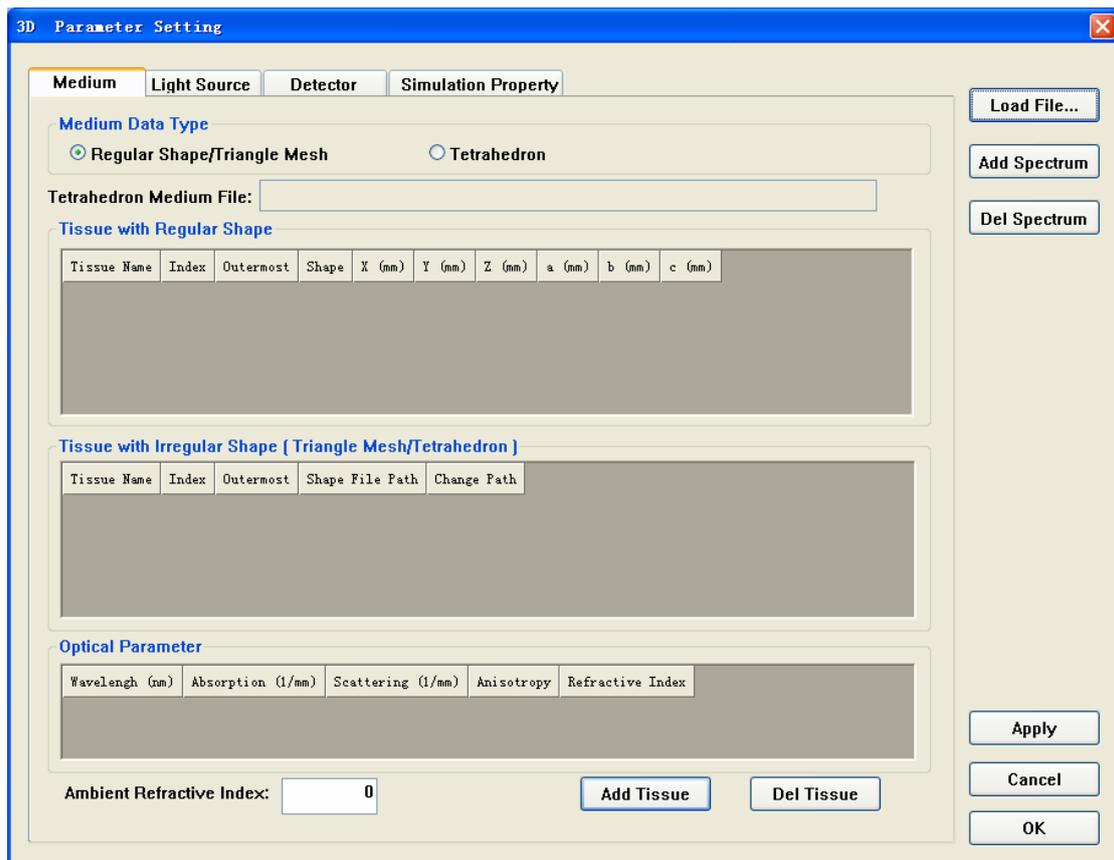


图 2.15 组织参数输入对话框

表 2.2 规则形状组织参数

Tissue Name	组织名字
Index	组织的编号，表示组织添加的顺序
Outermost	是否最外层组织标志位注。如果组织是最外层的组织，则其最外层组织标志位应为 YES，其它组织必须完全在这个组织的包围盒内部，且只允许有一个最外层组织，否则在仿真过程中会发生错误。
Shape	组织形状，规则形状包括 2D 下的椭圆、矩形，3D 下的椭球、立方体、柱体
X	形状中心的 x 坐标（MOSE 中所有的长度单位均为 mm）
Y	形状中心的 y 坐标
Z	形状中心的 y 坐标
a	形状 X 轴的半轴长（不同的形状对应的半周长意义不同，详细见 3.2.2）
b	形状 Y 轴的半轴长
c	形状 Z 轴的半轴长

表 2.3 非规则形状组织参数，为三角网格构成的多面体，由独立的三角网格数据文件描述

Tissue Name	组织名字
Index	组织的编号，表示组织添加的顺序
Outermost	是否最外层组织标志位

Shape File Path	描述非规则形状组织的三角网格数据文件，MOSE 现支持如下几种格式，包括 PLY、OFF、SURF、MESH
Change Path	改变非规则形状文件路径

表 2.4 组织光学参数

Wavelength	波长
Absorption	吸收系数
Scattering	散射系数
Anisotropy	各向异性系数
Refractive Index	折射率

点击 **Add Tissue** 按钮，弹出“Shape Type”选择对话框，如图 2.16 所示。点击按钮 **Del Tissue** 按钮，将删除表格中选中的组织及其各项光学参数。

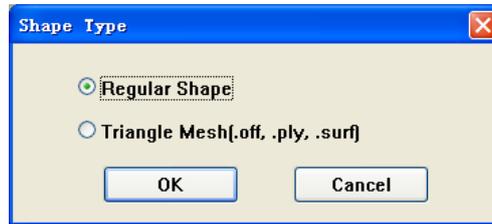


图 2.16 组织形状选择对话框

选择好要添加的形状类型后，进入图 2.17 或 2.18 所示的添加组织界面。图 2.17 为规则形状组织的添加界面，各参数设置与表 2.2、表 2.4 对应。图 2.18 为非规则形状组织的添加界面，各参数设置与表 2.3、表 2.4 对应。

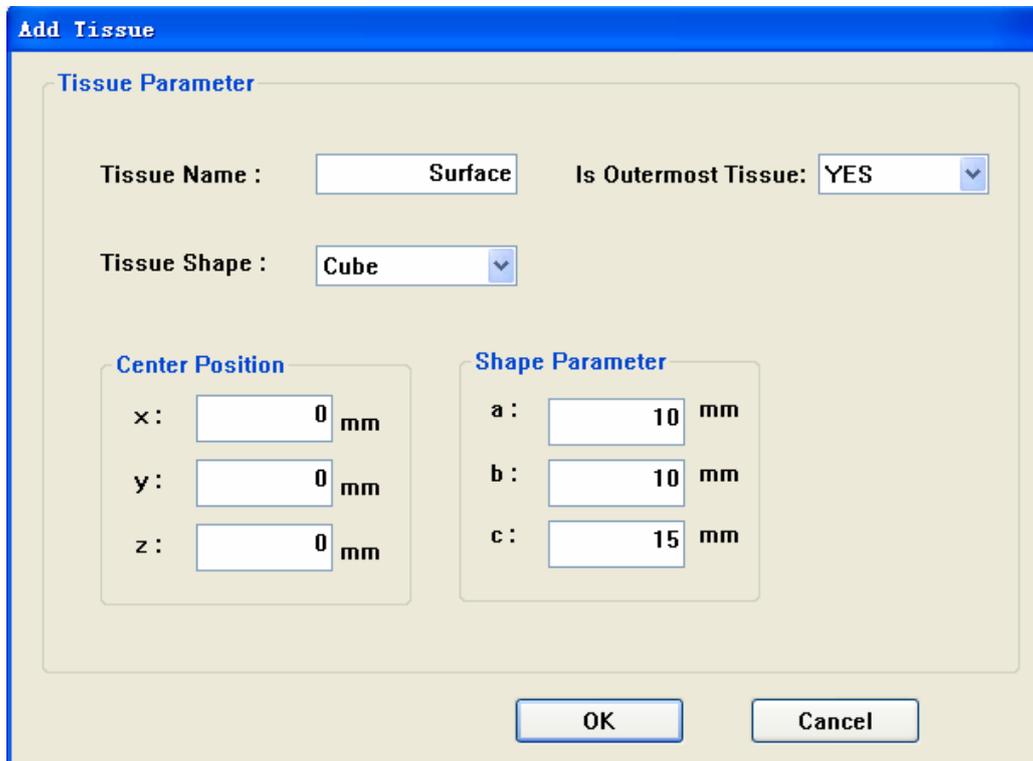


图 2.17 添加规则形状组织对话框

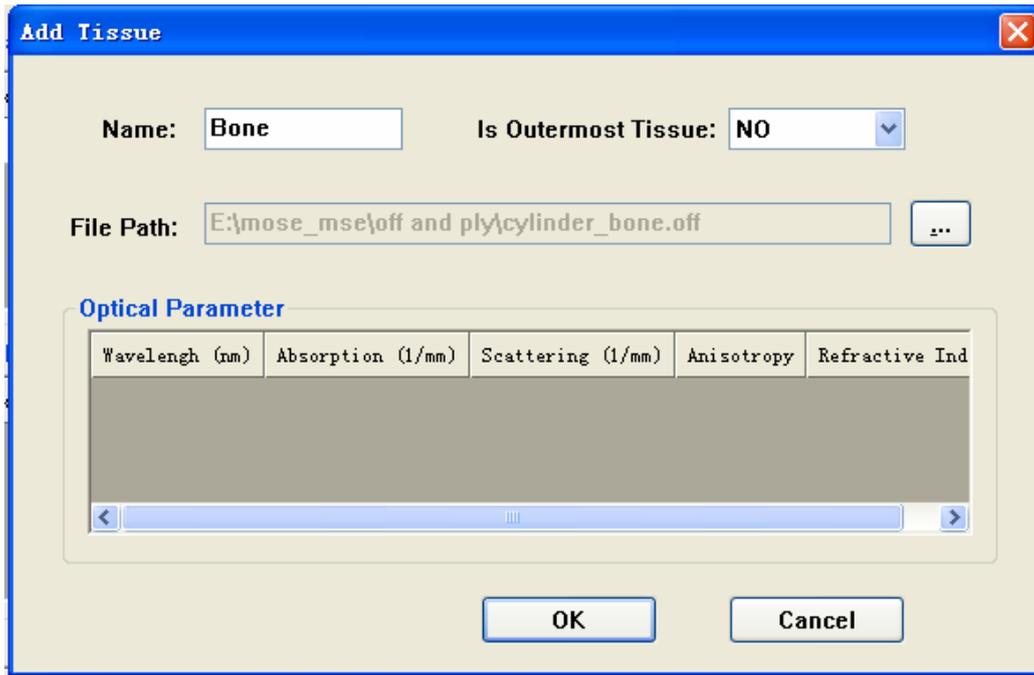


图 2.18 添加非规则形状组织对话框

步骤二：设置光源参数

光源参数设置页面与组织页面在结构上类似，如图 2.19。第一个列表 (Light Source with Regular Shape) 显示介质中规则形状光源的相关参数；第二个列表 (Light Source with Irregular Shape) 显示非规则形状光源的相关参数；第三个列表显示各光源的光学参数，包括光子数、谱段能量、激发波长、量子产额、吸收因子、荧光寿命（后四个参数只属于 FMT 仿真中的荧光团）。

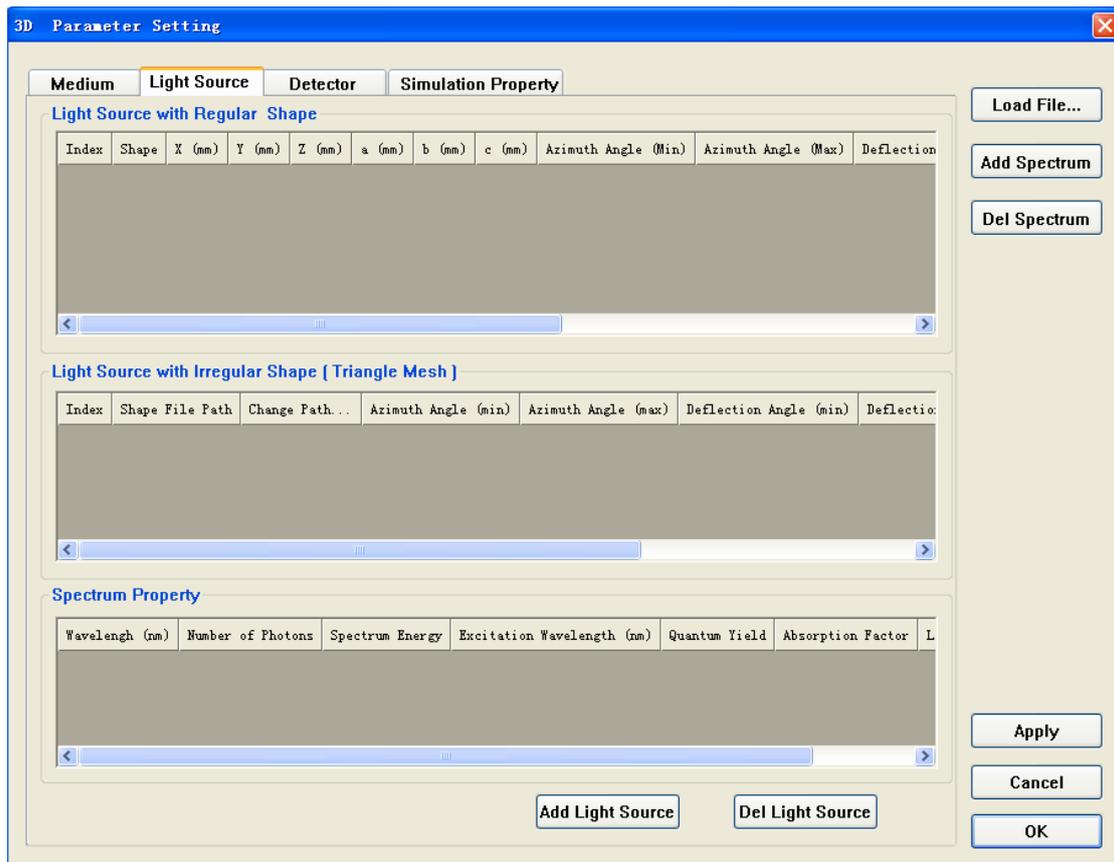


图 2.19 光源参数输入对话框

表 2.5 规则形状光源参数

Index	光源编号
Shape	光源形状
X	形状中心点的 X 轴坐标
Y	形状中心点的 Y 轴坐标
Z	形状中心点的 Z 轴坐标
a	形状 X 轴的半轴长
b	形状 Y 轴的半轴长
c	形状 Z 轴的半轴长
Azimuth Angle (Min)	光子出射方位角的最小值
Azimuth Angle (Max)	光子出射方位角的最大值
Deflection Angle (Min)	光子出射偏转角的最小值
Deflection Angle (Max)	光子出射偏转角的最大值
Internal	光源在组织内部或外部标志位
Solid	实体光源或面光源标志位
Specular	组织外部光源照射到介质表面是否发生镜面反射标志位
Luminous Type	光源发光类型，分为 BLT、DOT、FMT Excitation 及 FMT Emission 四种类型，光源类型必须与在仿真属性页面设置的仿真类型（BLT、DOT、FMT）相一致，否则会出现错误。在 FMT 下，光源可设置为 FMT Excitation 或 FMT Emission，FMT

	Excitation 表示该光源为外部激发光, FMT Emission 表示该光源为内部荧光团, 荧光团需受外部激光激发后才能发光
--	--

表 2.6 非规则形状光源参数, 与非规则形状组织类似

Shape File Path	描述非规则形状组织的三角网格数据文件, MOSE 现支持如下几种格式, 包括.PLY、.OFF、.SURF、.MESH
Change Path	改变形状文件路径
其余部分与列表 2.5 一致	

表 2.7 光源光学参数

Wavelength	波长 (FMT 仿真类型下对应荧光团的出射波长)
Number of Photons	对应波长下的光子数 (FMT 仿真类型下荧光团不需设置该项)
Spectrum Energy	对应波长下的谱段能量 (FMT 仿真类型下荧光团不需设置该项)
Excitation Wavelength (nm)	FMT 仿真类型下荧光团的受激发波长
Quantum Yield	FMT 仿真类型下荧光团的量子产额
Absorption Factor	FMT 仿真类型下荧光团的吸收因子
Life Time	FMT 仿真类型下荧光团的荧光寿命, 单位为皮秒

点击 **Add Light Source** 按钮, 弹出“Shape Type”选择对话框, 如图 2.20。

点击 **Del Light Source** 按钮, 将删除表格中选中的光源及其各项光学参数。



图 2.20 光源形状选择对话框

选择好要添加的形状类型后, 进入图 2.21 或 2.22 所示的添加组织界面。图 2.21 为规则形状光源的添加界面, 各参数设置与表 2.5、表 2.7 对应。图 2.22 为非规则形状光源的添加界面, 各参数设置与表 2.6、表 2.7 对应。

Add Light Source

Light Source Parameter

Shape : Luminous Type:

Center Position (mm): x: y: z:

Half-Axis (mm): a: b: c:

Internal: Solid: Specular:

Photon Emitting

Azimuth Angle Min: degree Max: degree

Deflection Angle Min: degree Max: degree

Property

Wavelength (nm)	Number Of Photons	Spectrum Energy	Excitation Wavelength (nm)

图 2.21 添加规则形状光源对话框

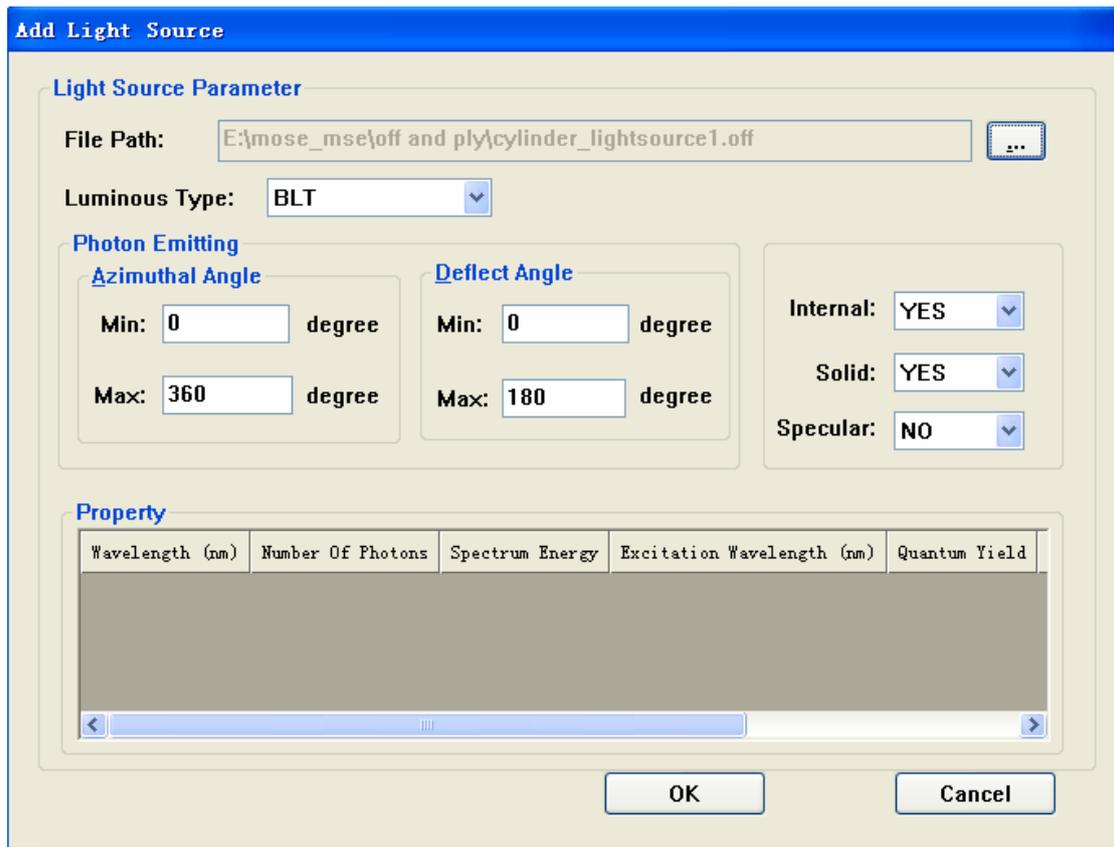


图 2.22 添加非规则形状光源对话框

步骤三：设置谱段参数

点击 **Add Spectrum** 按钮，用户可以添加新的谱段，如图 2.23 所示，由于各谱段下组织的
光学参数并不相同，用户需输入对应新谱段的组织参数及光源参数。

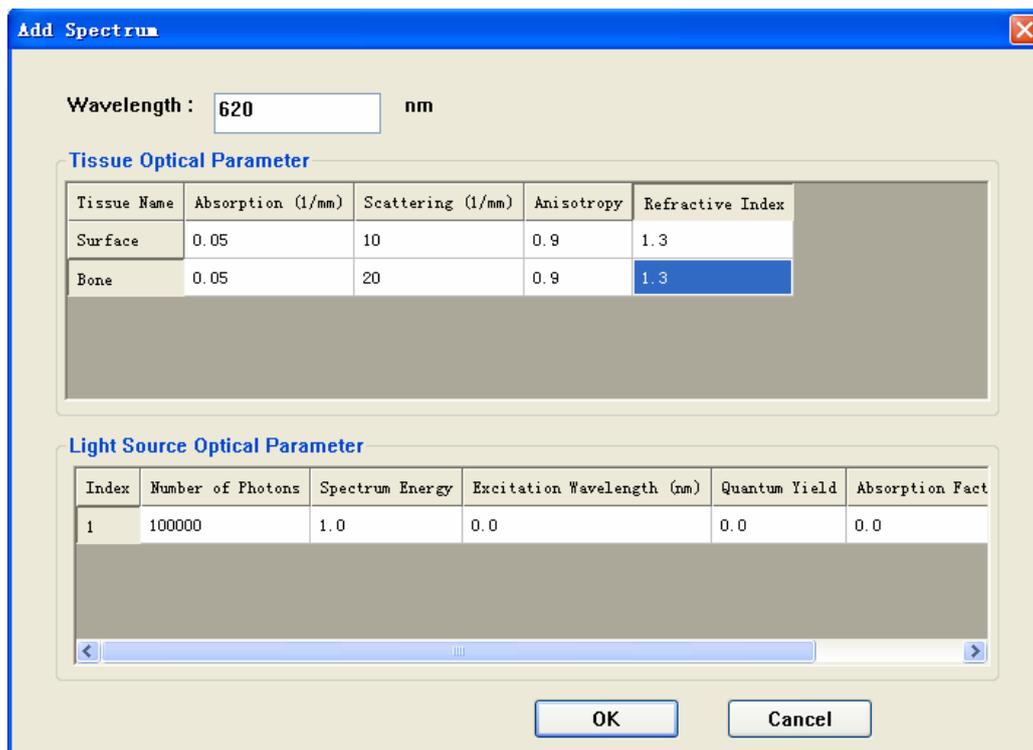


图 2.23 添加谱段对话框

点击 **Del Spectrum** 按钮，用户可以删除选中的谱段，如图 2.24 所示，点击 **OK** 后，会删除该谱段对应的组织和光源参数。

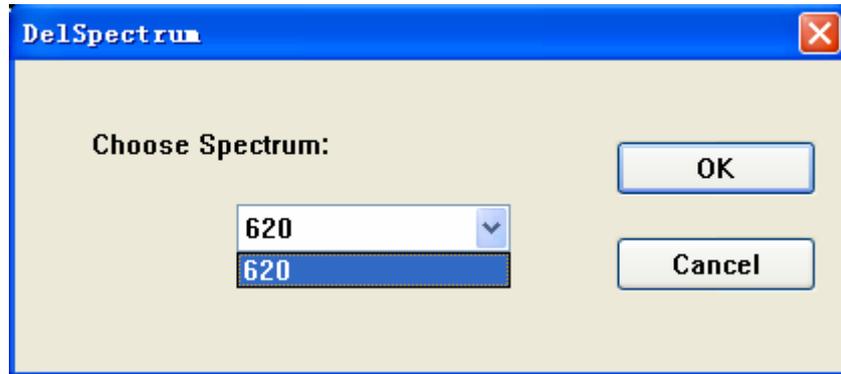


图 2.24 删除谱段对话框

点击 **Apply**，用户可将将在页面中修改过的所有参数进行保存。

点击 **Cancel**，用户将不保存参数设置，并退出参数设置对话框。

点击 **OK**，用户将保存参数设置，并退出参数设置对话框，进入仿真开始界面。

步骤四：设置探测器参数

如图 2.25 所示，在该子页面中可以设置两种探测器一种是平板探测器，一种是内窥探测器。平板探测器及透镜的相关参数，参数说明见表 2.8，平板探测器结构设计参见 3.2.2.3 节。内窥探测器的相关参数说明见表 2.9，内窥探测器结构设计参见 3.2.2.4 节。

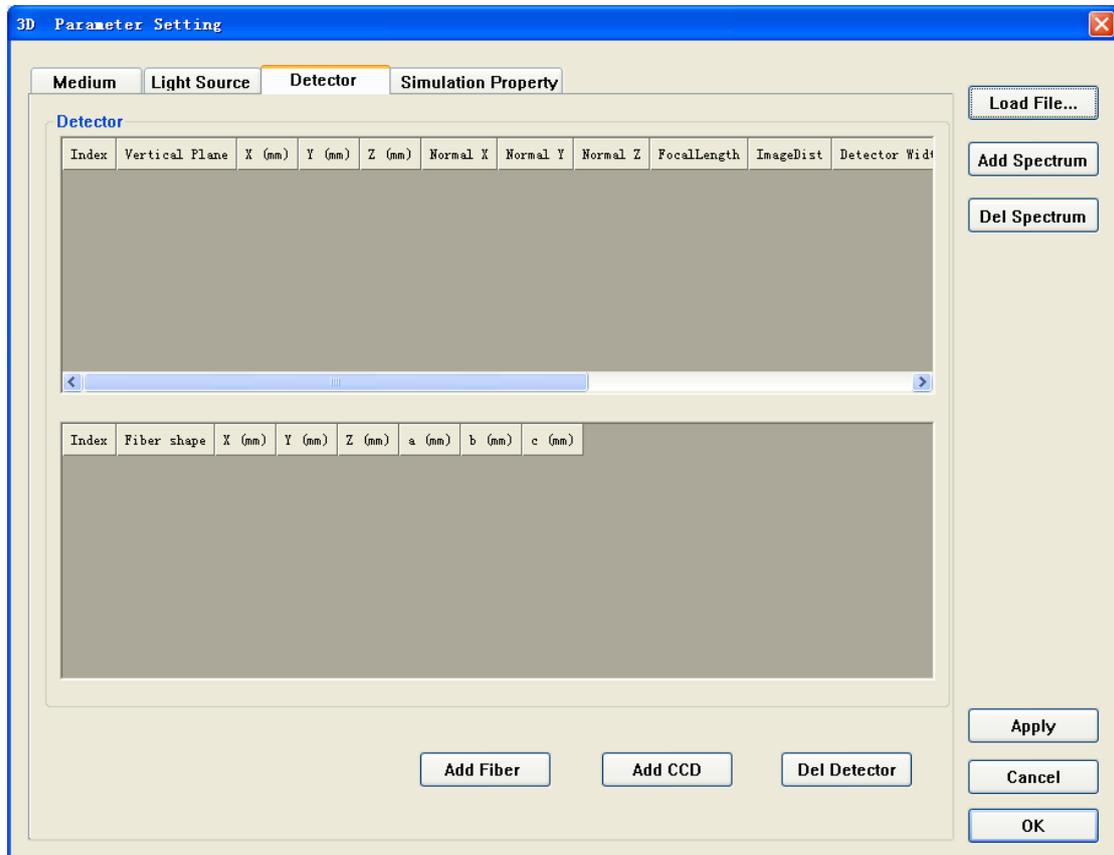


图 2.25 探测器参数对话框

表 2.8 平板探测器参数

Vertical Plane	平板探测器垂直平面
X	平板探测器中心点的 X 轴坐标
Y	平板探测器中心点的 Y 轴坐标
Z	平板探测器中心点的 Z 轴坐标
Normal X	平板探测器法向量 X 轴值
Normal Y	平板探测器法向量 Y 轴值
Normal Z	平板探测器法向量 Z 轴值
Focul Length	透镜焦距
Imag Distance	平板探测器相距
Detector Width	平板探测器宽度
Detector Height	平板探测器高度
Width Resolution	平板探测器宽度分辨率
Height Resolution	平板探测器高度分辨率
Lens Radius	透镜半径

点击 **Add CCD** 按钮，弹出添加平板探测器对话框，如图 2.26 所示。

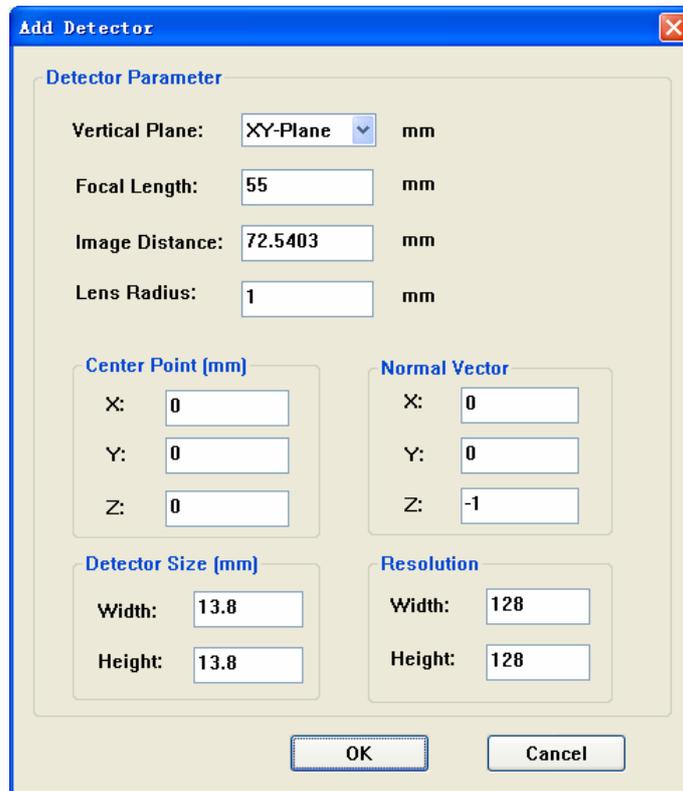


图 2.26 添加平板探测器页面

表 2.9 平板探测器参数

fiberdetector	内窥探测器编号
fiber shape	内窥探测器的形状
X	内窥探测器中心点的 X 轴坐标
Y	内窥探测器中心点的 Y 轴坐标
Z	内窥探测器中心点的 Z 轴坐标
a	内窥探测器 X 轴半轴长
b	内窥探测器 Y 轴半轴长

c	内窥探测器 Z 轴半轴长
---	--------------

点击 **Add Fiber** 按钮，弹出添加平板探测器对话框，如图 2.27 所示。

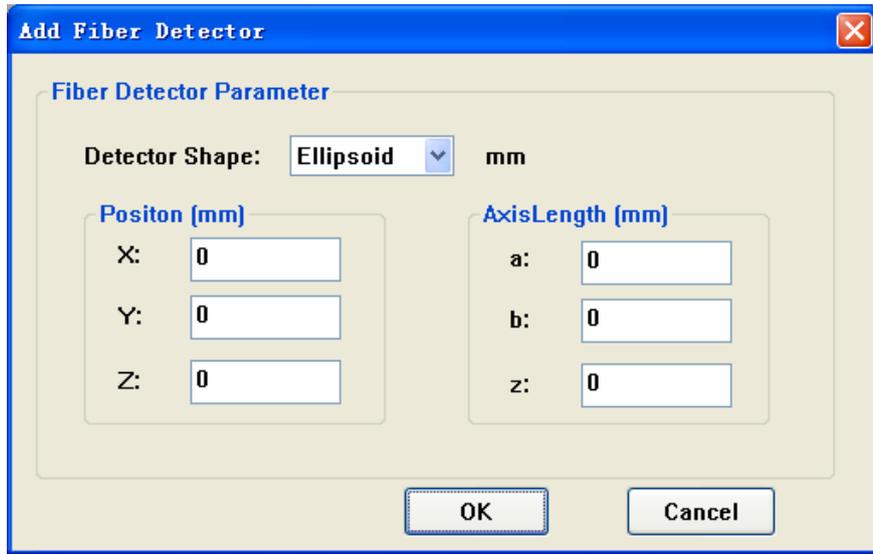


图 2.27 添加内窥探测器页面

点击 **Del Detector** 按钮，将删除表格中选中的探测器及其各项参数。

步骤五：设置仿真属性参数

在该子页面中，可以对光在介质及自由空间中传输仿真的各项属性进行设置，如图 2.28 及表 2.10 所示。

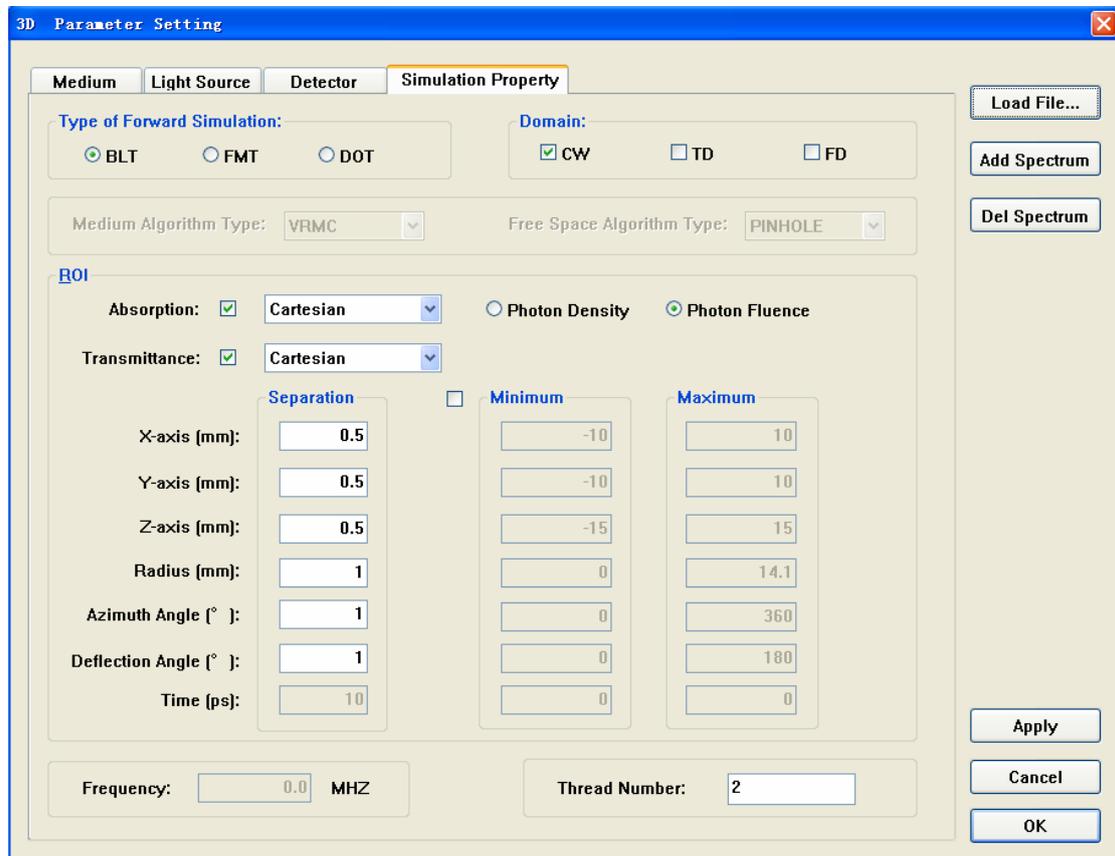


图 2.28 仿真属性页面

表 2.10 仿真属性页面参数

Type of Forward Simulation	三种前向仿真类型，包括 BLT、FMT、DOT，用户可以选择任意一种	
Domain	仿真模态，连续波 (CW)，时域 (TD)，频域 (FD)	
Medium Algorithm Type	光在介质中传输的仿真算法，目前只包含方差减小 MC 法 (VRMC)	
Freespace Algorithm Type	光在自由空间中传输的仿真算法，目前只包含基于小孔原理的方法 (PINHOLE)	
ROI	Absorption	感兴趣区域的光子吸收矩阵设置，2D 下分为极坐标系与直角坐标系，3D 下分为直角坐标系与柱坐标系，用户可选定任意坐标系。吸收结果分为光子密度与光子流率，用户需选择其中一种
	Transmittance	感兴趣区域的光子透射矩阵设置，不同的形状存在差别。目前的程序会自动修正错误的矩阵设置，以防止由于坐标系设置错误而导致的仿真失败
	Separation	感兴趣区域的单元大小设置，包括 X 轴 (X-axis)、Y 轴 (Y-axis)、Z 轴 (Z-axis)、径向 (Radius)、方位角 (Azimuth angle)、偏转角 (Deflection angle) 和时间 (Time)，参见 3.2.2 节的图 3.4
	Minimum	感兴趣区域的最小值设置
	Maximum	感兴趣区域的最大值设置
Frequency	频域下的调制频率设置	
Thread Number	多线程运行时的线程数量设置	

经过以上五个步骤的参数设置，点击参数设置主界面的 OK 后，将进入光传输仿真开始界面，如图 2.29 所示。图中显示了用户之前设置的各项参数，如果发现参数设置错误，可重新参数设置界面进行修改或重新设置。确认无误后，用户可以开始仿真，详细内容见下一节。

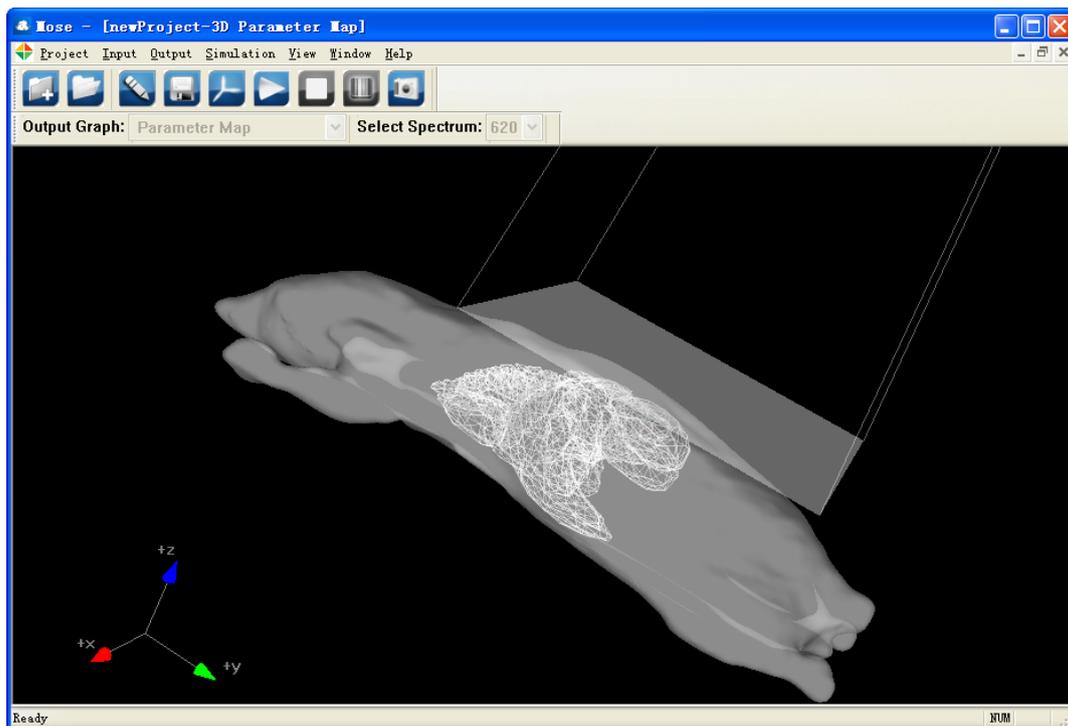


图 2.29 参数设置完毕界面

2.2.3 开始仿真

当参数设置完毕，选择菜单栏 **Simulation-Start**，可启动仿真，如图 2.30。在进度条中显示了程序运行的时间和进度供用户参考。

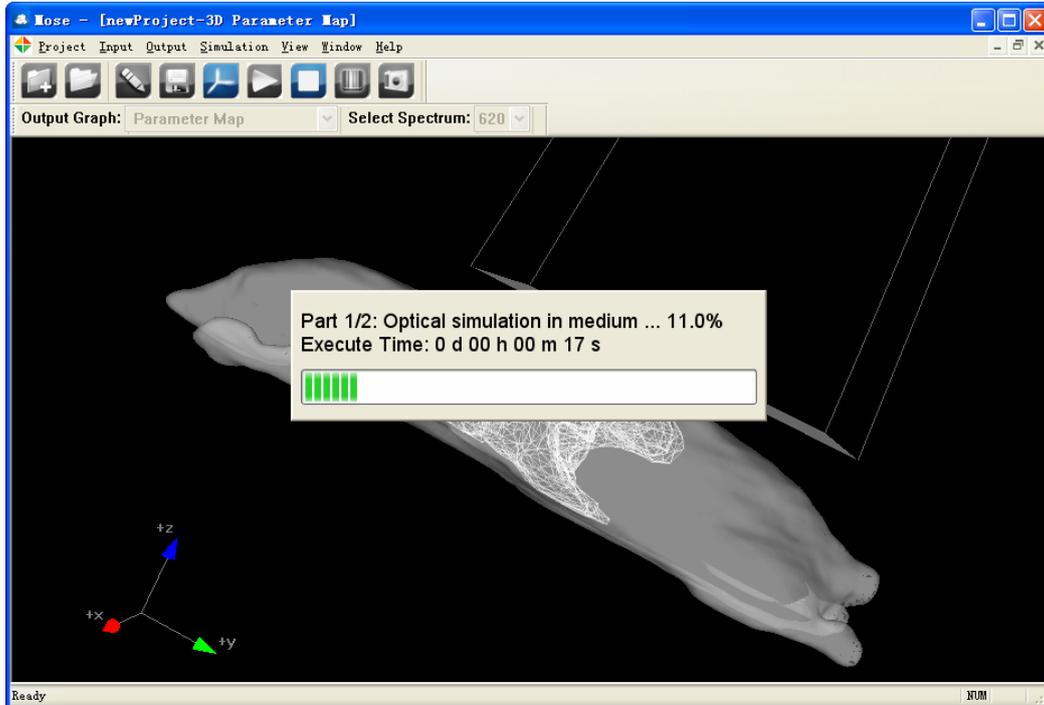


图 2.30 光传输仿真运行界面

其间，如果用户想中止运行，可以点击工具栏快捷键或选择菜单栏 **Simulation-Stop**，仿真将以失败结束，如图 2.31 所示。

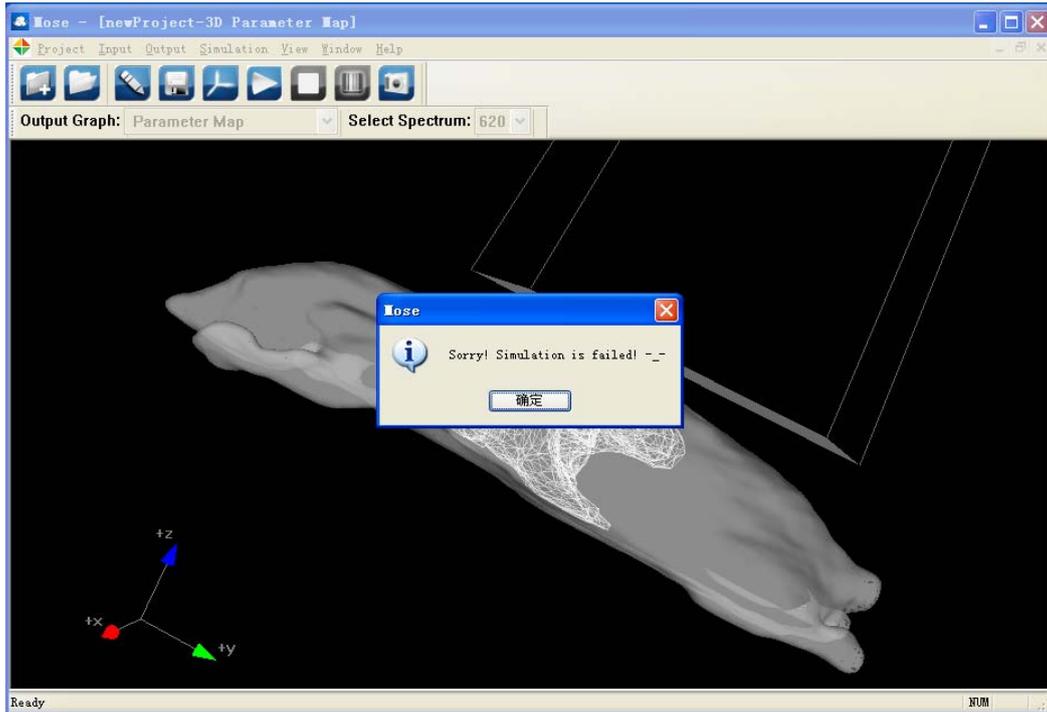


图 2.31 中止仿真运行界面

2.2.4 输出仿真结果

仿真成功结束后，用户可以通过菜单栏选择输出或显示仿真结果。

Output-Simulation Parameter: 输出仿真参数，程序将光传输仿真的参数文件输出到仿真所建工程文件夹内。

Output-3D Simulation Result: 输出光传输仿真结果，程序将光传输仿真的吸收结果、透射结果及探测结果输出到仿真所建工程文件夹内。

Output-(CW/TD/FD) Transmit Map: 分别显示连续波、时域和频域下光子透射图，可在下拉框 **Select spectrum: 620** 中选择谱段，如图 2.32。

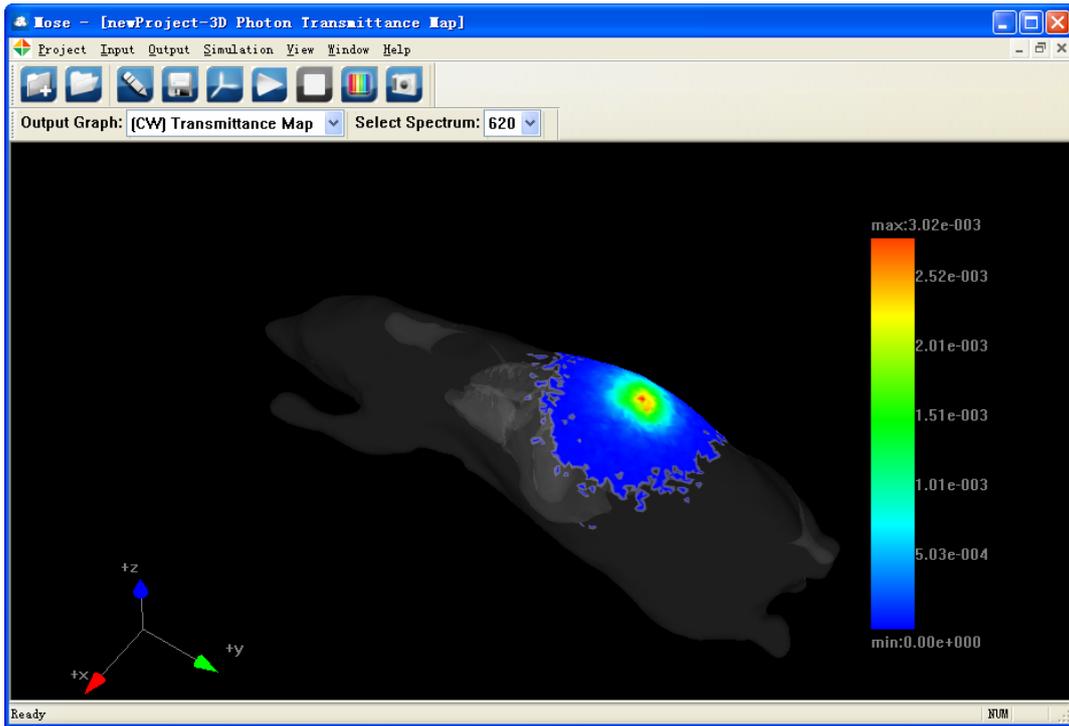


图 2.32 光子透射图

Output-(CW) Detector Map: 显示连续波下光子探测图,可在下拉框 **Select spectrum: 620** 中选择谱段,在下拉框 **Detector Num: 1** 中选探测探测器编号,编号顺序与参数文件中的探测器顺序一致,如图 2.33。

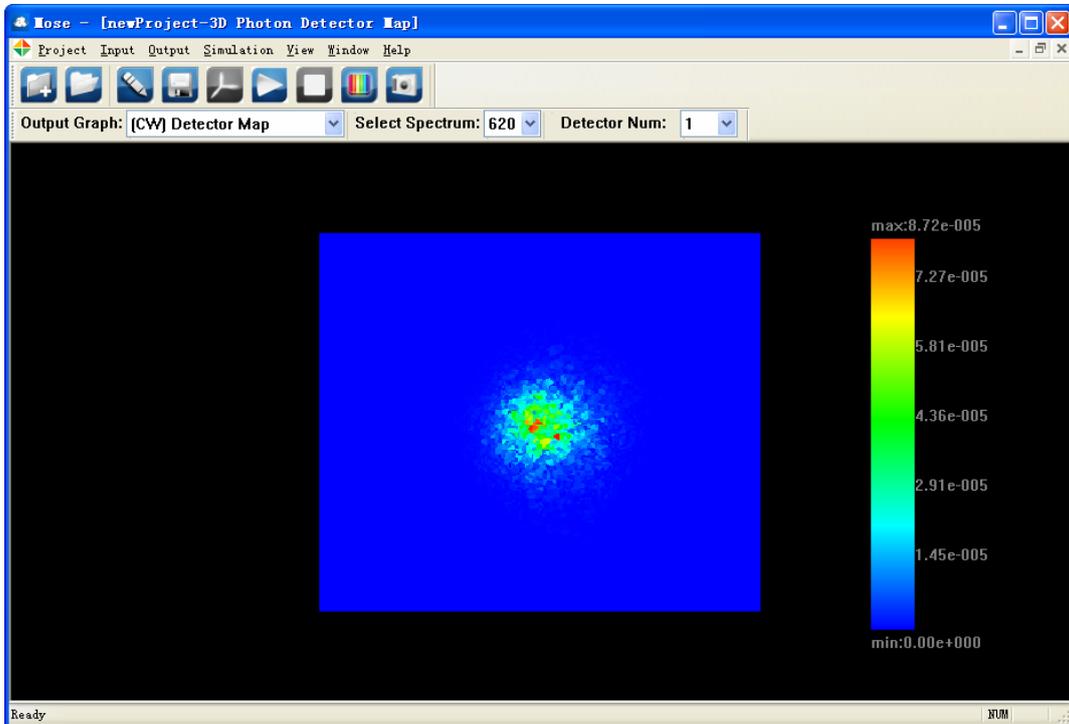


图 2.33 介质表面光子出射探测图

Output-(CW) Detector Map: 显示连续波下光子探测图,可在下拉框 **Select spectrum: 620**

中选择谱段，在下拉框 **Detector Num:** 2 中选探测探测器编号，编号顺序与参数文件中的探测器顺序一致，如图 2.34。

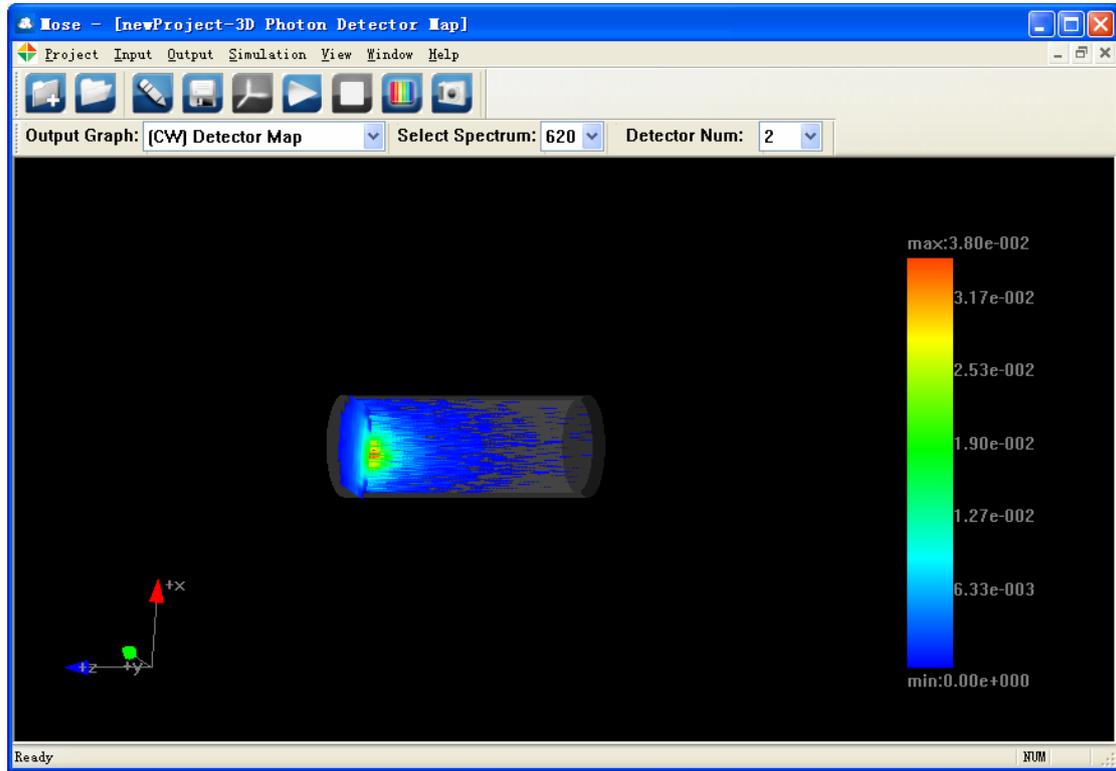
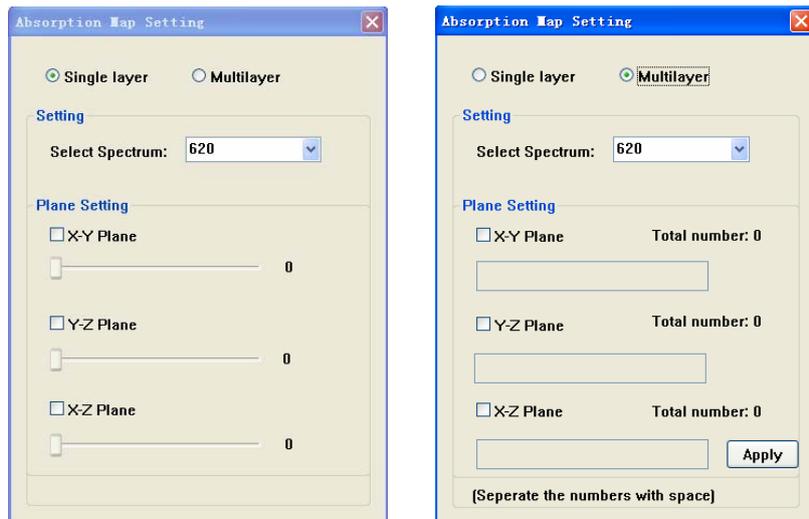


图 2.34 内窥探测器探测图

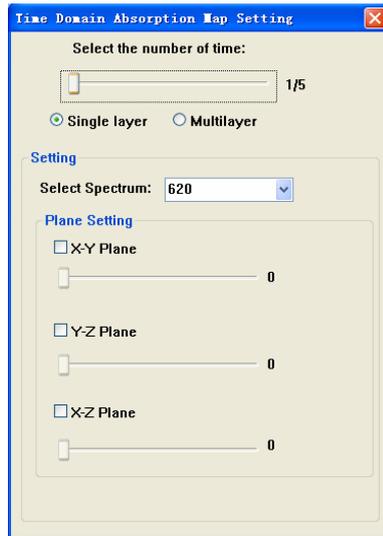
Output-(CW/TD/FD) Absorption Map: 显示连续波、时域和频域下光子吸收图，吸收图的显示采用了两种方式显示：单层显示（Single Layer）与多层显示（Multilayer）。单层显示时由滑动条控制显示具体层数，多层显示时由对话框输入。采用直角坐标系记录时，如图 2.35~2.38 所示。采用柱坐标系记录时，如图 2.39~2.41 所示，对话框详细说明见表 2.11。



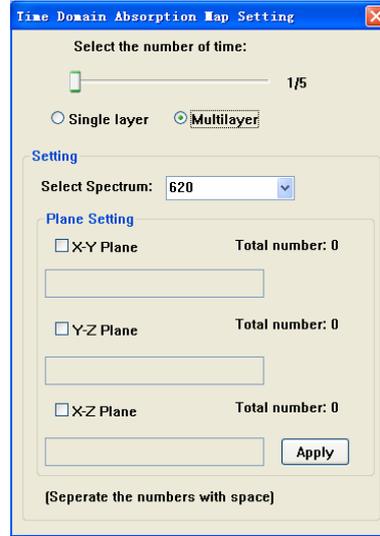
a 单层显示设置

b 多层显示设置

图 2.35 直角坐标系下连续波吸收图显示设置

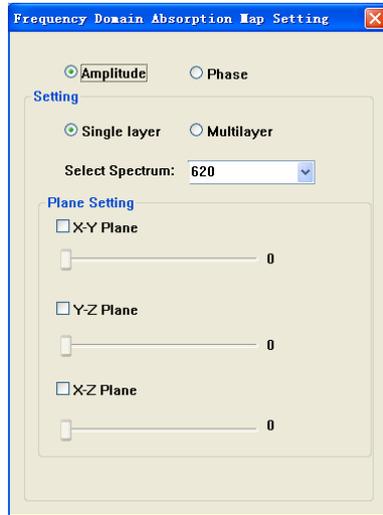


a 单层显示设置

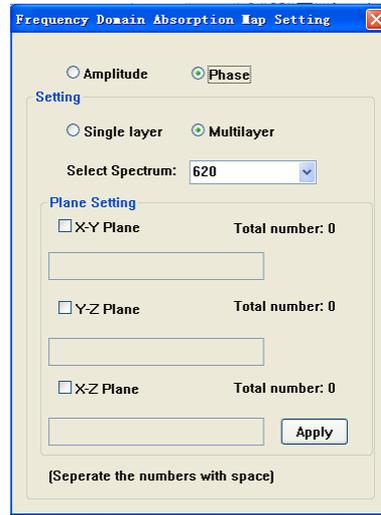


b 多层显示设置

图 2.36 直角坐标系下时域吸收图显示设置



a 单层显示设置



b 多层显示设置

图 2.37 直角坐标系下频域吸收图显示设置

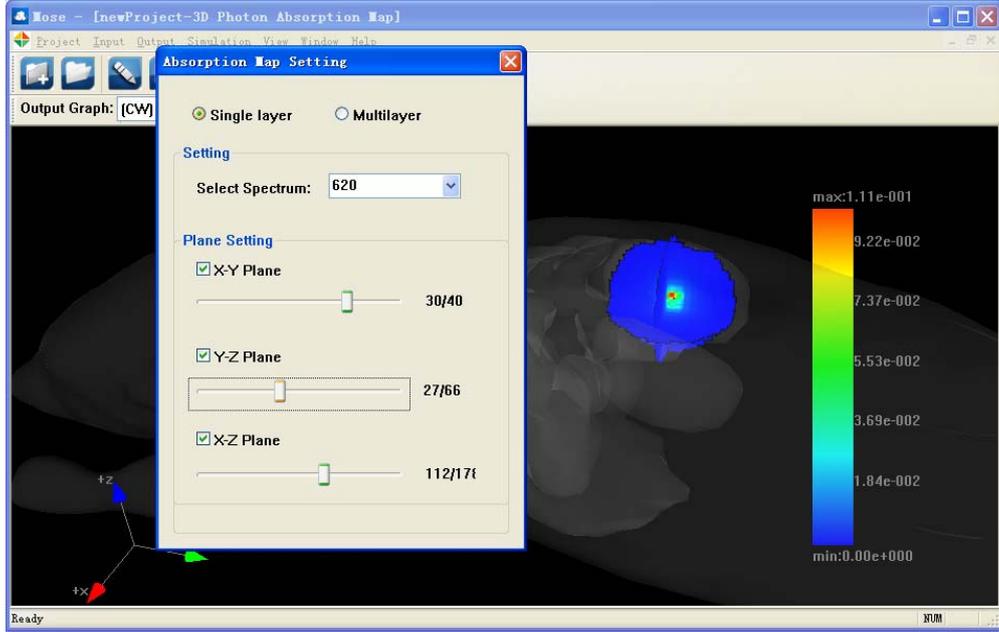
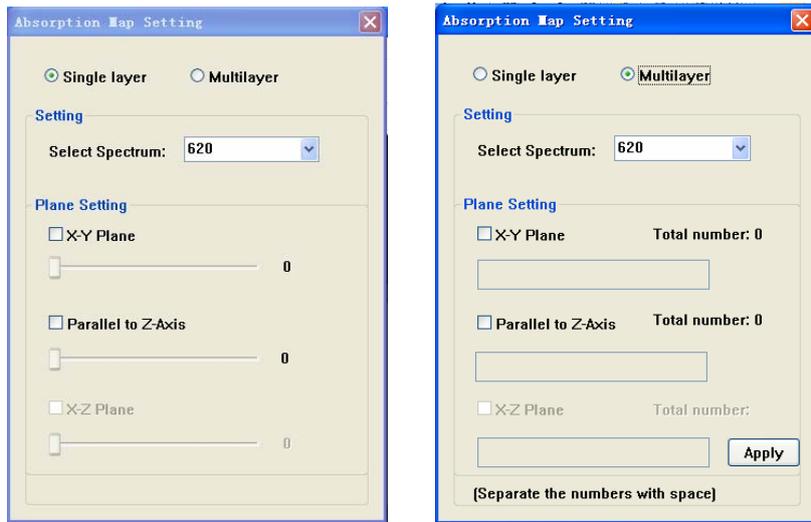


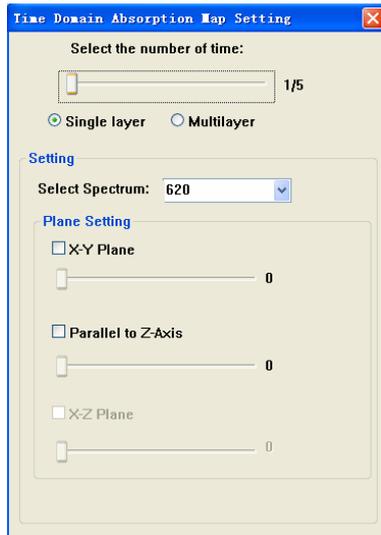
图 2.38 直角坐标系下连续波吸收图单层显示效果图



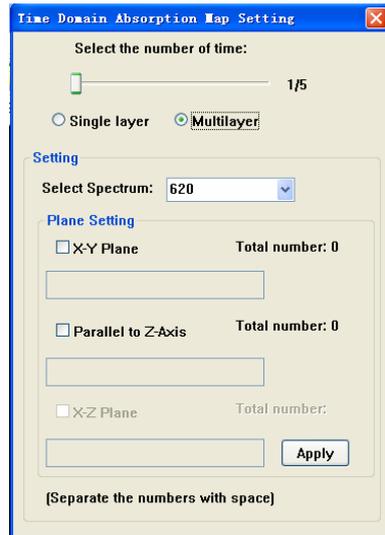
a 单层显示设置

b 多层显示设置

图 2.39 柱坐标系下连续波吸收图显示设置

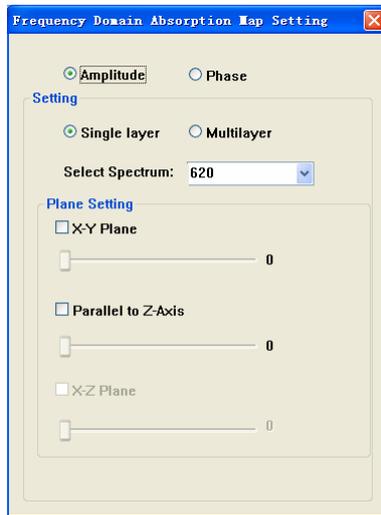


a 单层显示设置

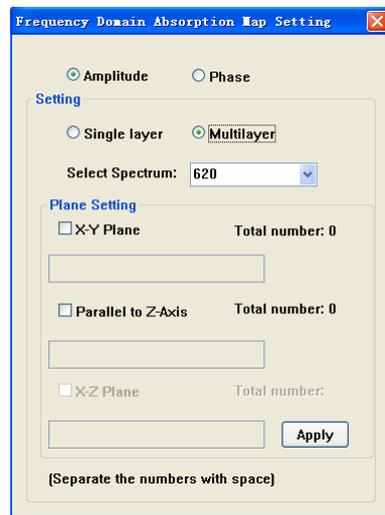


b 多层显示设置

图 2.40 柱坐标系下时域吸收图显示设置



a 单层显示设置



b 多层显示设置

图 2.41 柱坐标系下频域吸收图显示设置

表 2.11 吸收结果显示操作说明

选项	说明
Select Spectrum	选择谱段
Single layer	单层显示，通过滑动条切换不同的层
Multilayer	多层显示，通过对话框输入待显示的层，由空格隔开
Select the number of time	时域下选择时间段
Amplitude	频域下显示幅度
Phase	频域下显示相位
X-Y Plane	显示平面设定：直角坐标系下平行于 XY 平面
Y-Z Plane	显示平面设定：直角坐标系下平行于 YZ 平面
X-Z Plane	显示平面设定：直角坐标系下平行于 XZ 平面
Parallel to Z-Axis	显示平面设定：柱坐标系下平行于 Z 轴

2.2.5 打开工程

用户也可以打开以前建立的工程，在 **File** 目录下选择 **Open** 或单击工具栏上快捷键，找到以前保存的工程文件(.mpj)选择打开，则 MOSE 将载入上次的模拟环境、参数文件、吸收结果、透射结果和探测结果等数据。

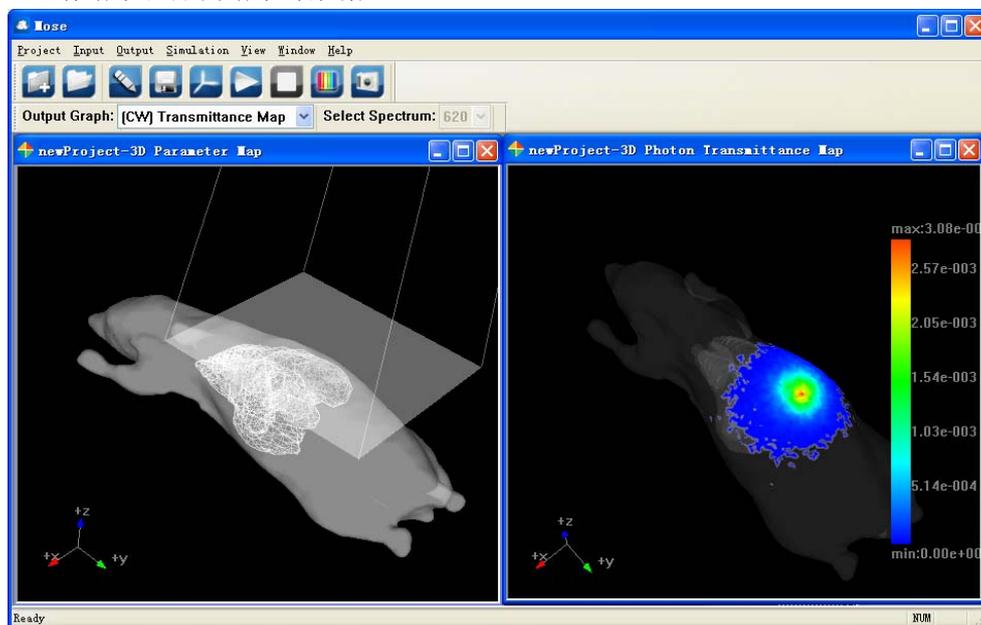


图 2.42 打开工程

注意：如果数据量较大可能会需要一定的读入时间。打开工程后需要根据工程的状态来选择是否进行操作，若工程在上一次运行中只是输入了参数，则在此次打开后仍需要进行仿真及结果输出操作；若参数都未输入，则还需要重新设置参数；若已进行完仿真和结果输出，则在此次打开工程后可直接观察上次运行得到的结果。

2.3 2D-3D 能量映射

实现由 2D 探测图像到 3D 介质表面的映射功能，再结合光传输逆向算法，可以实现对介质光学参数或者光源信息的重建。

点击 **File** 菜单 **New** 按钮或在工具栏上点击新建工程快捷键，选择 2D-3D 能量映射工程，如图：

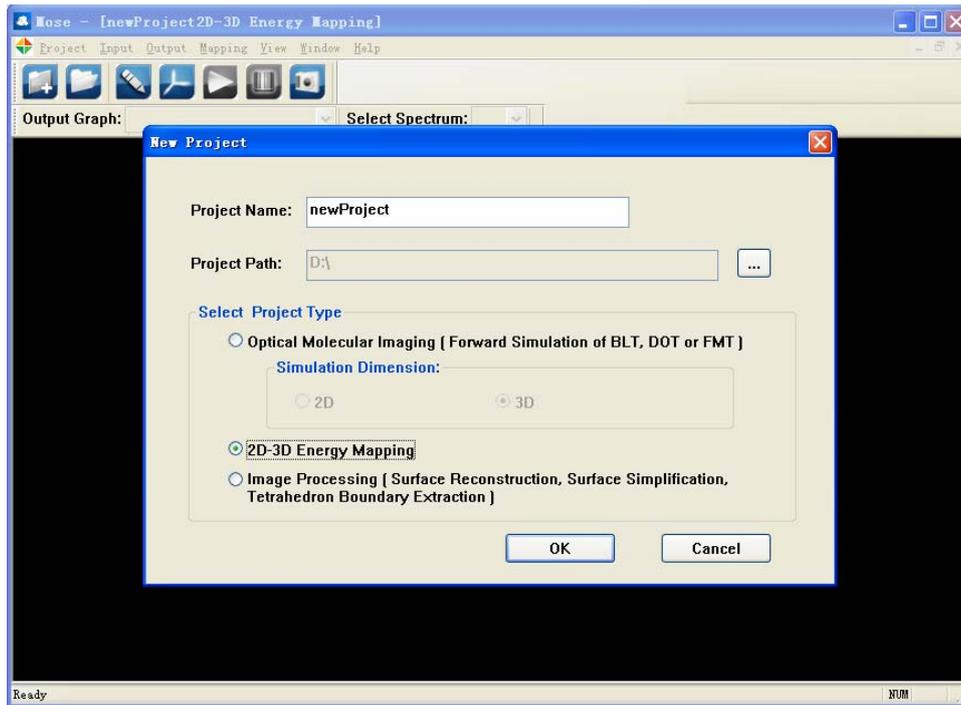


图 2.43 建立 2D-3D 能量映射工程

点 OK 后界面如下:

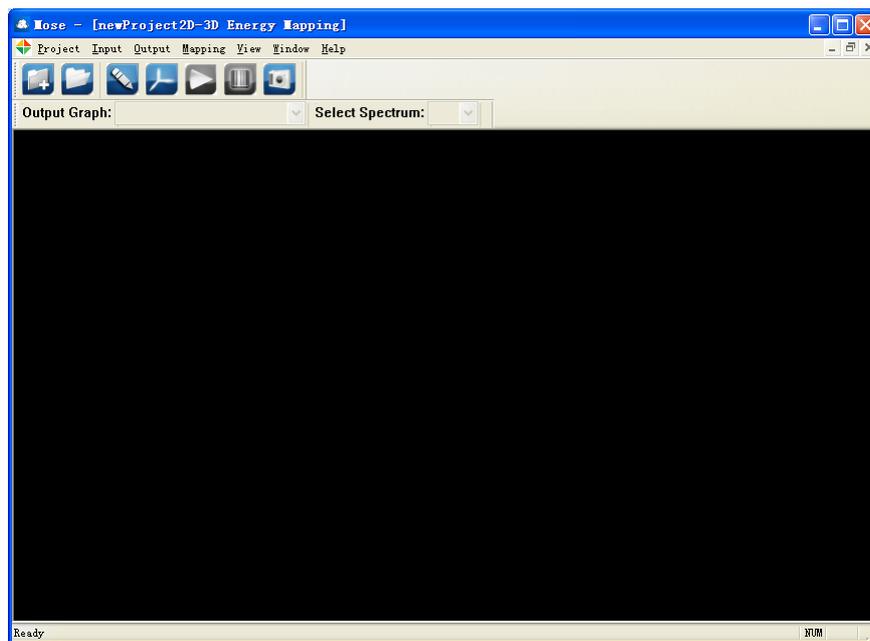


图 2.44 2D-3D 能量映射工程界面

点击 Input 菜单或工具栏输入参数快捷键输入参数，输入参数页面如下:

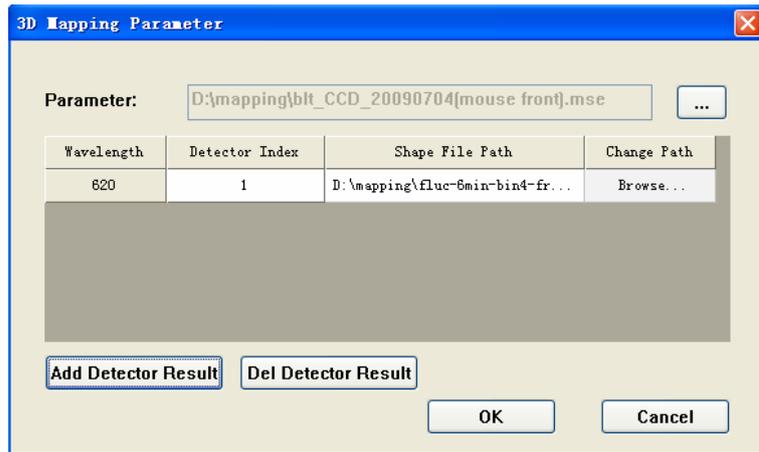


图 2.45 输入参数页面

表 2.12 2D-3D 能量映射界面参数说明

Parameter	参数路径
Add Detector Result	添加探测器结果
Del Detector Result	删除探测器结果
Wavelength	谱段中心波长
Detector Index	探测器编号
File Path	探测器结果文件路径
Change Path	更改探测结果文件路径

输入完成后显示效果图如下：

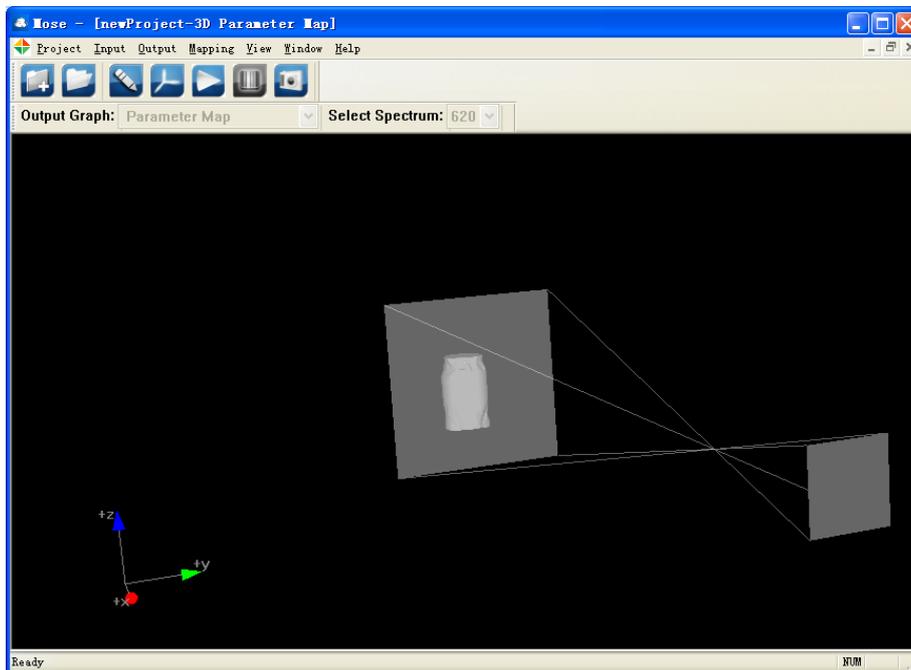


图 2.46 2D-3D 能量映射参数显示

点击 **Simulation-Start** 启动运行：

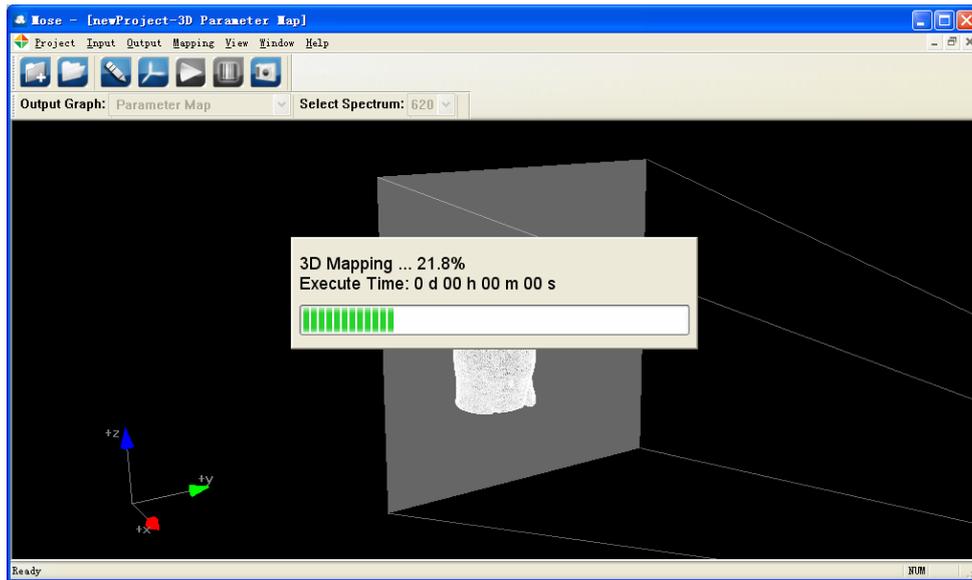


图 2.47 2D-3D 能量映射运行界面

运行完成后得到结果:

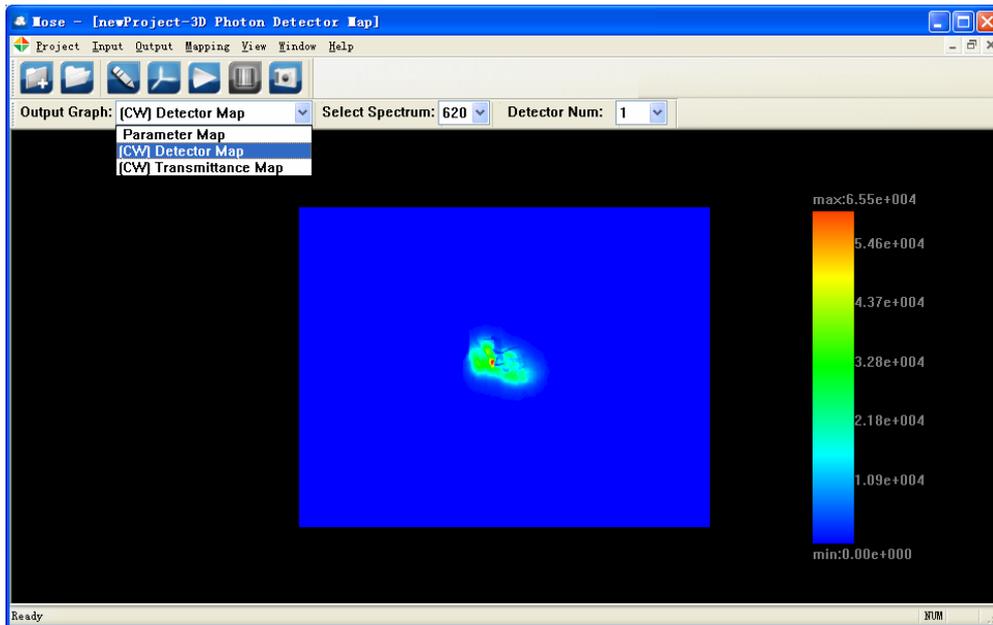


图 2.48 原始探测结果显示

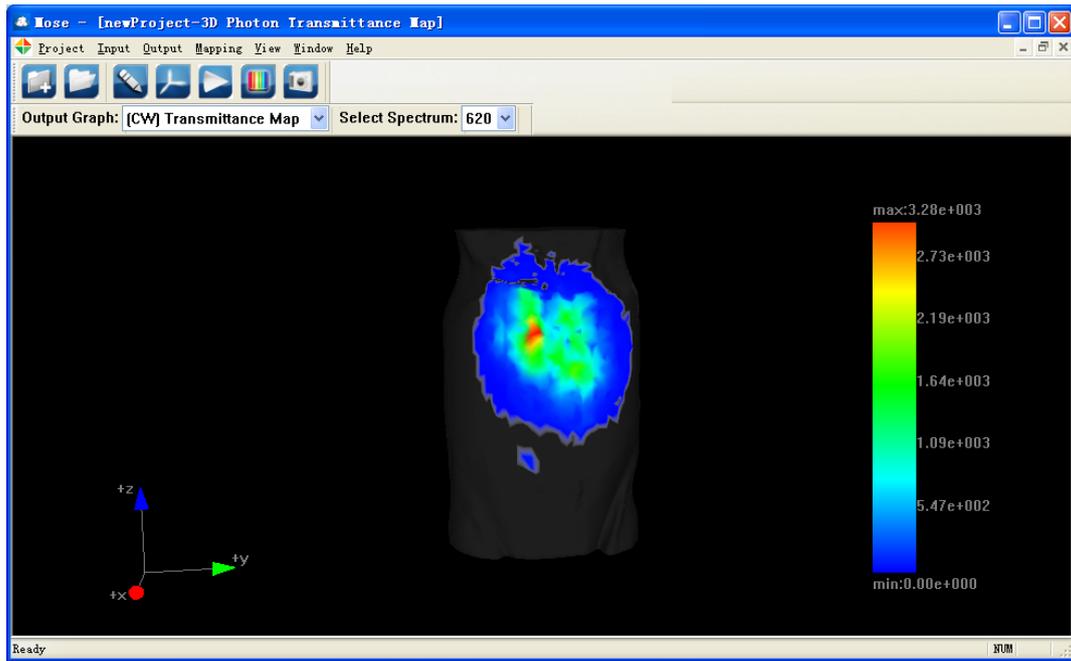


图 2.49 能量映射结果显示

2.4 图像处理

选择图像处理工程类型后，会进入相应的界面。该工程类型包含两个功能：阈值提取与面片化简。

2.4.1 阈值提取

阈值提取功能实现从 CT 或者 MRI 得到的图像数据提取出一定阈值范围内的介质表面，介质表面由三角网格构成。

选择 **File-Load Volume**，从外部读取图像数据文件，目前支持 RAW/IMG/IM0/DICOM 四种格式，图 2.50 给出了读入 RAW/IMG 格式文件的对话框。

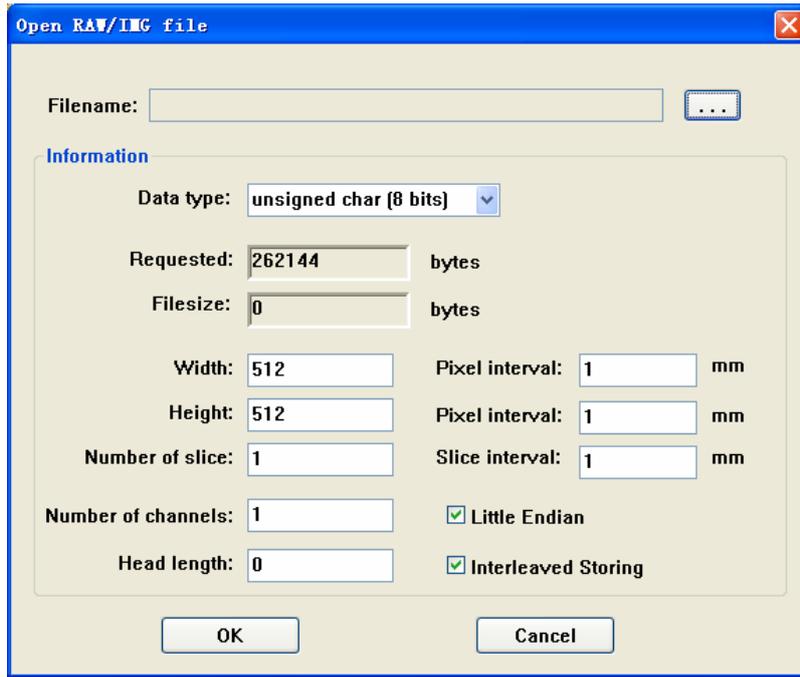


图 2.50 读入 RAW/IMG 格式文件参数设置对话框

表 2.13 阈值提取参数设置

控件名	功能
Filename	raw/img 格式文件存放位置
Data type	raw/img 格式文件中存放数据的类型
Requested	根据用户输入参数动态计算所读文件大小，通过与实际文件大小作比较，校验参数输入正确与否
Filesize	要读取 raw/img 文件的实际大小
Width	raw/img 格式文件每个切片数据的宽度，其后为相应像素大小
Height	raw/img 格式文件每个切片数据的高度，其后为相应像素大小
Number of slice	raw/img 格式文件中保存切片数据的个数，其后为相应像素大小
Number of channels	数据通道数，1：灰度图像，2：RGB 图像，3：RGBA 图像
Head length	文件头长度
Little Endian	数据大小端格式选择
Interleaved Storing	各通道数据是否交叉存储

完成参数设置后点击 **OK**，文件读入正确后界面显示如下图：

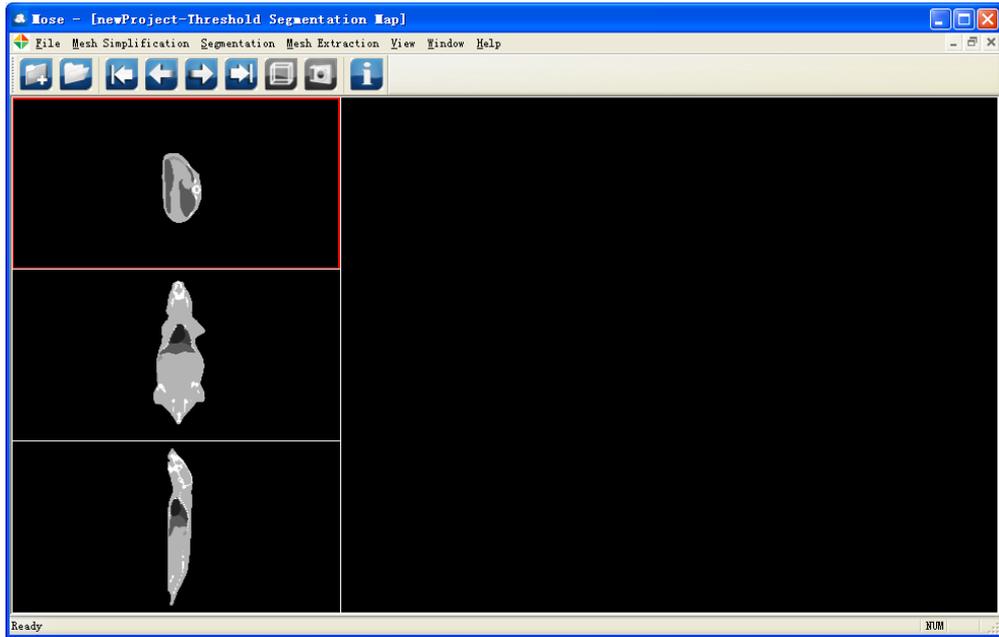


图 2.51 读入 RAW/IMG 格式文件后显示

选择 **Segmentation –Threshold Segmentation**，弹出阈值设置对话框，设置阈值上下限，确认后得到阈值提取结果，显示如下图：



图 2.52 阈值上下限设置对话框

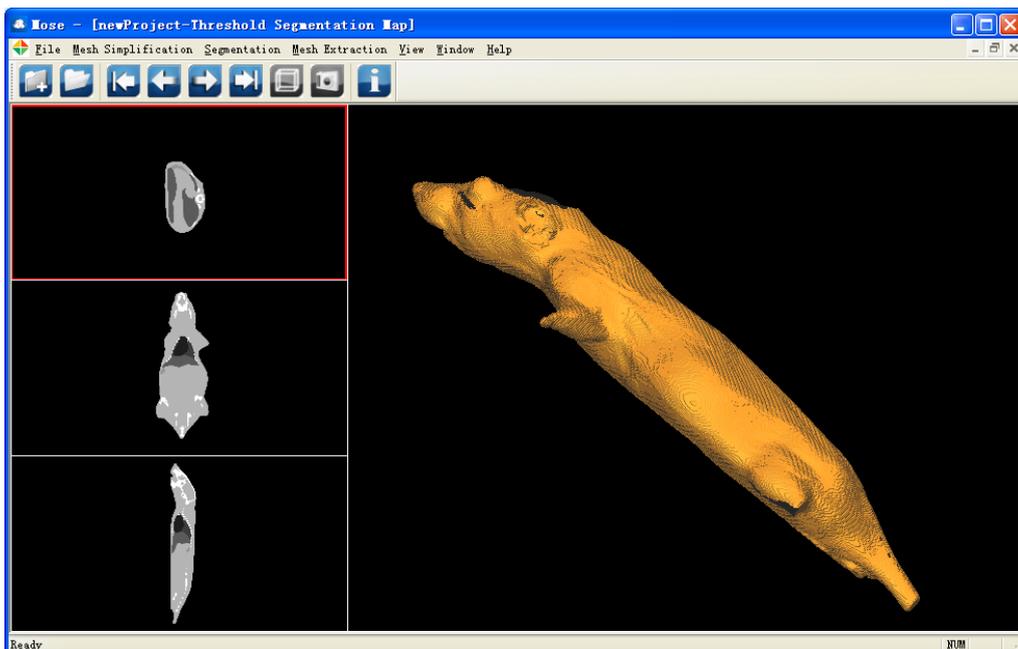


图 2.53 阈值提取结果显示

选择 **Output- Segmentation Result**，可将阈值提取得到的结果输出为.ply 文件，文件默

保存存在工程文件夹下。

2.4.2 网格化简

网格化简功能实现对大数据量的三角网格对象的化简，从而减小数据量，但是会降低对象的细节描述。

选择 **File-Load Surface**，从外部读取三角网格文件，目前支持 PLY/OFF/SURF/STL 四种格式的文件，读取后界面显示如图 2.54 所示。

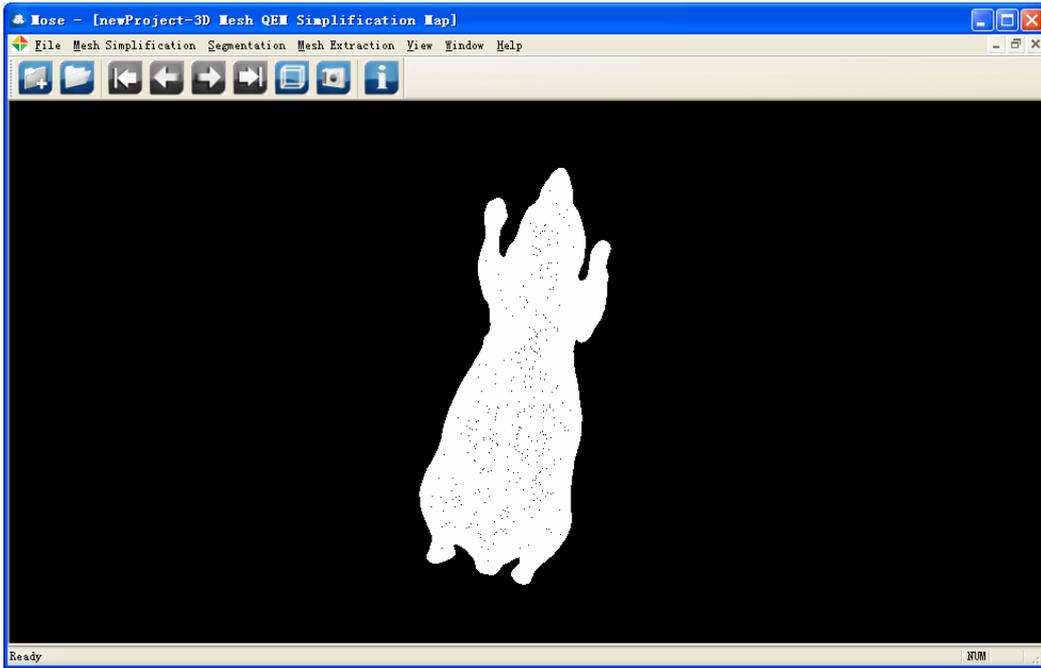


图 2.54 读取 ply 文件后显示

选择 **Mesh Simplification-QEM Arithmetic**，弹出面片化简对话框如图 2.55，设置目标面片数，确认后得到化简结果，显示如图 2.54。

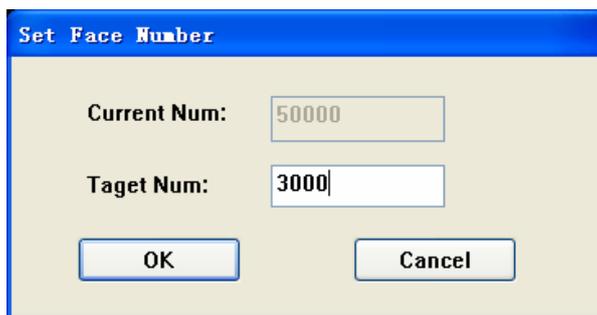


图 2.55 面片化简对话框

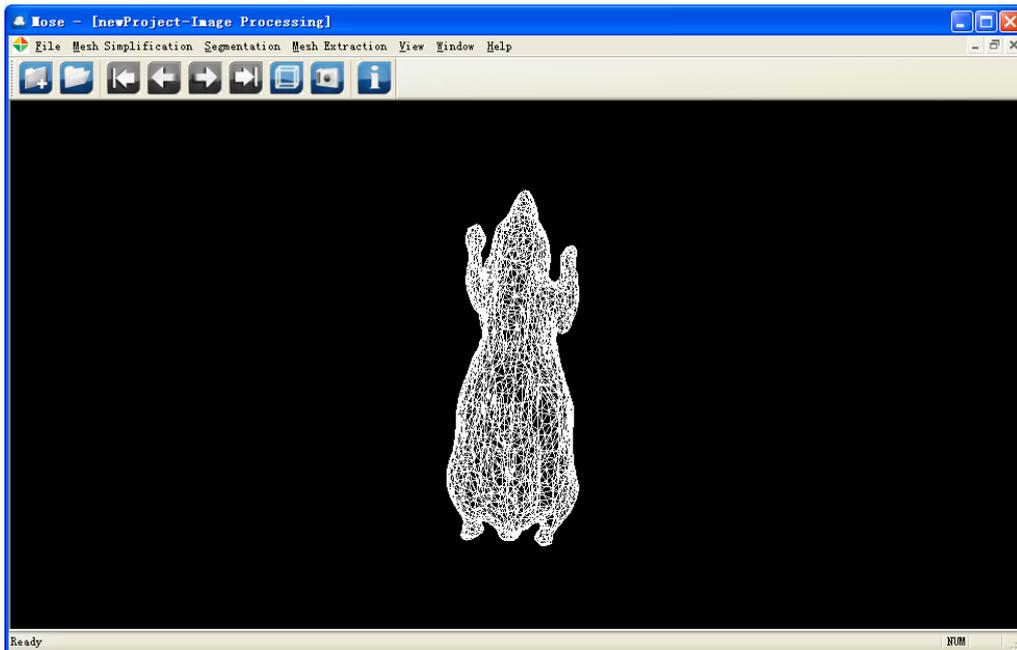


图 2.56 面片化简结果

图 2.56 面片化简结果图选择 **Output-Mesh Simplification Result**，将化简后的结果进行保存。

2.4.3 边界网格提取

四面体边界网格提取功能可以实现对四面体网格数据的边界提取，例如，在有限元中对于复杂区域进行四面体剖分后可以得到由四面体构成的网格数据，采用边界提取功能可以实现对复杂区域中的各个边界进行提取，并分开保存成为各个独立的边界三角网格文件。

选择 **File-Load Surface-MESH/AM File**，从外部读取.mesh 或.am 格式的四面体数据文件，读取后显示如图 2.57，由图中可以看到小鼠内部及外部的所有边界。

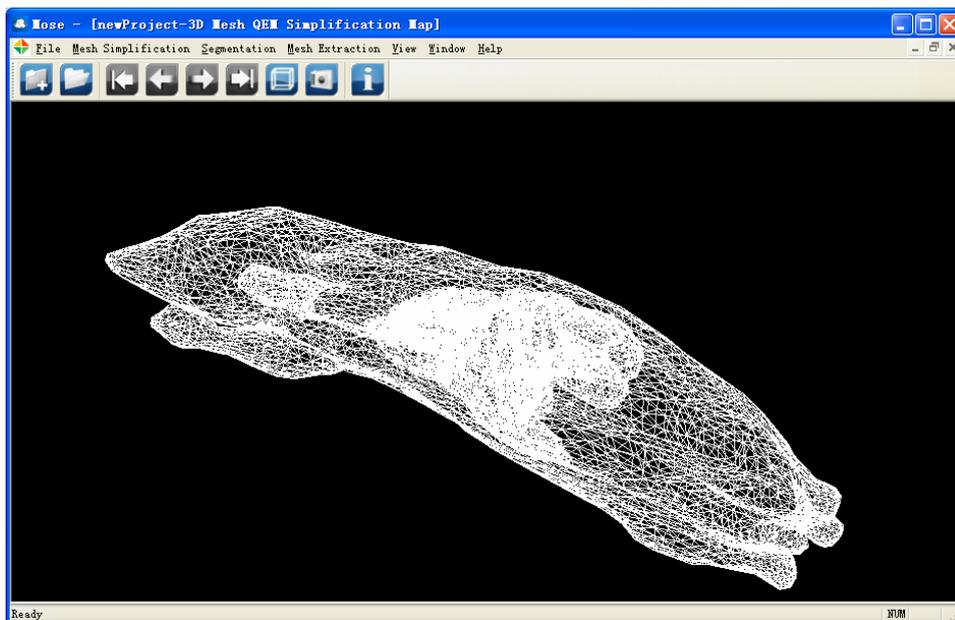


图 2.57 四面体数据读取

完成四面体数据读取后，选择 **Mesh Extraction-Tetrahedron Boundary Extraction**，弹出如图 2.58 对话框：

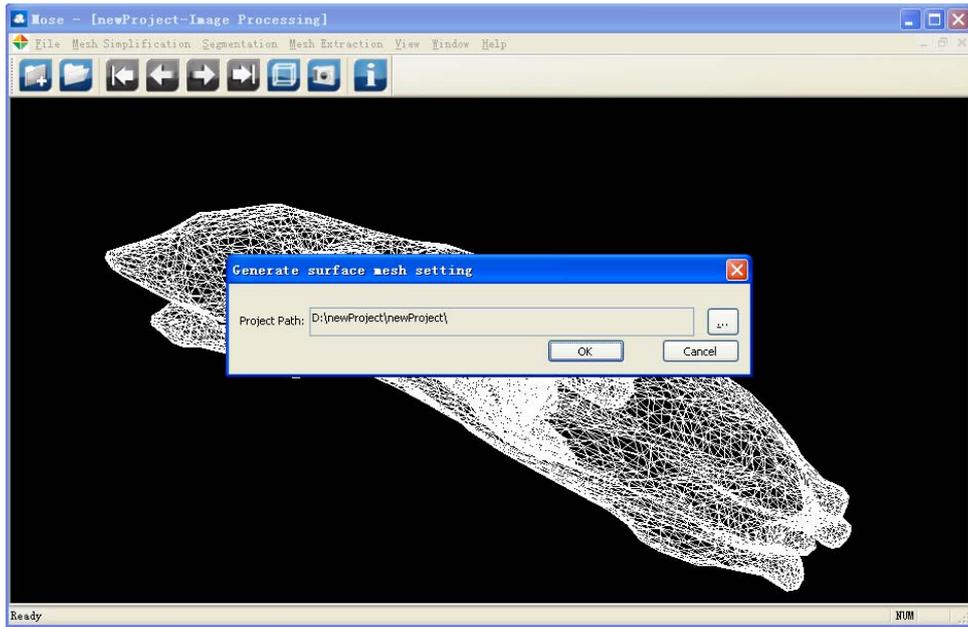
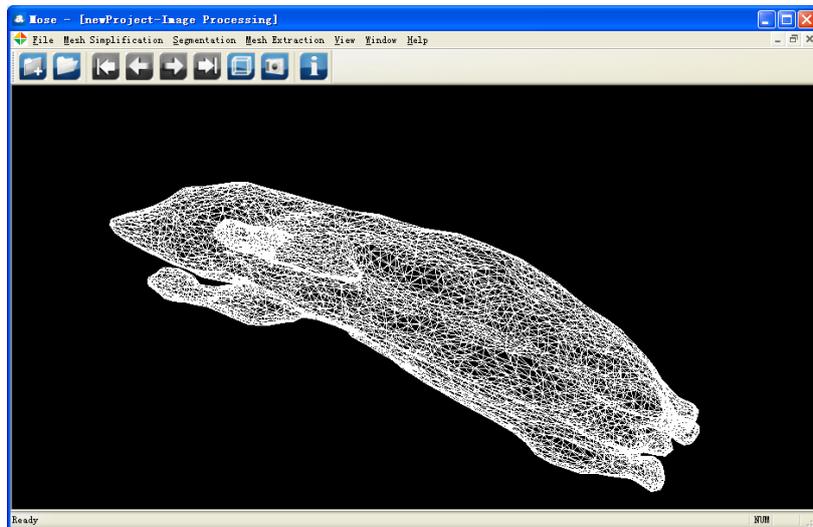


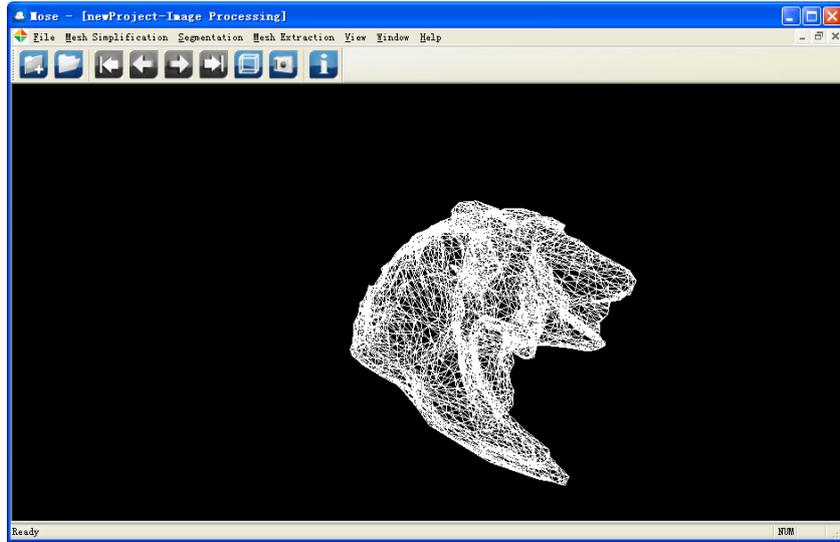
图 2.58 进行四面体数据的边界提取

通过对话框选择文件存放路径后，点击 OK 即开始从四面体数据中提取各区域边界，并自动保存为.off 格式的网格文件。

提取出的各组织器官如图 2.59 所示。



(a) 小鼠表面边界



(b) 肝脏边界

图 2.59 由小鼠四面体数据提取出的各个器官边界

3 文件格式说明

本章将对 MOSE 中使用到的各种文件格式及参数含义进行说明，详细内容见各子节。

3.1 文件类型

MOSE 中的各种文件后缀及功能描述如表 3.1 所示。

表 3.1 文件类型说明

后缀	类型说明	内容说明
.mpj	工程文件	保存 MOSE 运行中的各项信息
.mse	参数文件	保存 MC 仿真的各项实验参数
.A.CW	连续波吸收结果	保存 MC 仿真在连续波下的吸收结果
.T.CW	连续波透射结果	保存 MC 仿真在连续波下的透射结果
.D.CW	探测器探测结果	保存 MC 仿真在连续波下的探测器探测结果。
.A.TD	时域吸收结果	保存 MC 仿真在时域下的吸收结果
.T.TD	时域透射结果	保存 MC 仿真在时域下的透射结果
.A.FD	频域吸收结果	保存 MC 仿真在频域下的吸收结果
.T.FD	频域透射结果	保存 MC 仿真在频域下的透射结果
.D	连续波探测结果	保存 MC 仿真在连续波下的探测结果
.raw	生数据文件	阈值分割时的参数文件
.off	三角网格文件	三角面片数据文件，可用于 MC 仿真中描述组织形状
.ply	三角网格文件	三角面片数据文件，可用于 MC 仿真中描述组织形状
.surf	三角网格文件，由 Netgen 生成	三角面片数据文件，可用于 MC 仿真中描述组织形状
.am	四面体数据文件，由 Amira 生成	四面体数据文件，可用于 MC 仿真中描述介质整体形状

.mesh	四面体数据文件，由 Netgen 生成	四面体数据文件，可用于 MC 仿真中描述介质整体形状
-------	---------------------	----------------------------

3.2 光传输仿真参数文件

本节将对参数文件格式进行详细说明，以及参数文件中各个参数的含义及设置方式。

3.2.1 输入参数文件格式详细说明

表 3.2 参数文件标准格式说明

	格式	默认值	注释
文件头部分	mse		文件类型
	Format Ascii 2.0		文件编码支持 ASCII 编码，版本为 2.0，对应 MOSE v2.1.2
	comment This file is generated by MOSE		文件说明
仿真属性设置部分	SimulationProperty		仿真属性的设定
	SimulationType	BLT	仿真类型设定：BLT、FMT 或 DOT
	Dimension	3D	仿真维数的设定：2D 或 3D
	SpectrumNum	0	谱段数
	LightSourceNum	0	光源数
	TissueNum	0	组织数
	DetectorLensNum	0	探测器数（只在 3D 时需要设定）
	MediumAlgorithm	VRMC	介质中光传输仿真算法
	FreeSpaceAlgorithm	PINHOLE	自由空间中光传输仿真算法（只在 3D 时需要设定）
	ROI		感兴趣区域设定： 1. 3D 下依次为 Xmin、Xmax、Ymin、Ymax、Zmin、Zmax、Rmin、Rmax、Amin、Amax、Dmin、Dmax，其分别对应 X 轴方向最小最大值、Y 轴方向最小最大值、Z 轴方向最小最大值、径向方向最小最大值、方位角方向最小最大值、偏转角方向最小最大值 2. 2D 下依次为 Xmin、Xmax、Ymin、Ymax、Rmin、Rmax、Amin、Amax
	ROIseparation		感兴趣区域单元大小设定： 1. 3D 下依次为 Dx、Dy、Dz、Dr、Da、Dd 2. 2D 下依次为 Dx、Dy、Dr、Da
	AbsorptionMatrix	Cartesian	吸收矩阵坐标系设置：2D 下分为直角坐标系（Cartesian）和极坐标系（Polar），3D 下分为直角坐标系（Cartesian）和柱坐标系（Cylindrial）
	TransmittanceMatrix	Cartesian	透射矩阵坐标系设定，与介质最外层组织的形状相关：2D 下分为直角坐标系（Cartesian）和极坐标系（Polar），3D 下分为直角坐标系（Cartesian）、柱坐标系（Cylindrial）及球坐标系（Spherical）

	FluenceRate	0	计算吸收流率标志位
	PhotonFlyTime	0	记录透射出的光子飞行时间标志位
	OutermostTissueIndex	1	最外层组织编号，与组织参数设置的列表相对应，当介质为四面体网格结构时设置无效
	AmbientMediumR	1	周围介质的折射率
	Domain	CW	仿真模态的设定： 1. CW：其他参数需要设定 2. TD：需设置参数依次为 Tmin、Tmax、Dt，单位为皮秒 3. FD：设置调制频率，单位为 MHz
	ThreadNum	1	线程数，采用多线程仿真时需设定
	MediumShapeTetraType	0	介质形状标志位，1 表示为四面体结构，0 表示为其他形状（包括规则形状或者三角网格形状）
	endSimulationProperty		仿真属性设置结束标志
谱段设置部分	Spectrum		谱段列表，依次为谱段编号、波长
光源参数设置部分	LightSource		光源参数，设置光源编号，从 1 开始
	LightSourceShape		光源形状：2D 下包括 Rectangle 和 Ellipse，3D 下包括 Ellipsoid、Cylinder、Cube 和 TriangleMesh
	LightSourceProperty	Internal solid NoSpecular	光源属性设置，包括如下四点，详细见表 3.3： 1. 介质内部或外部光源（Internal、External） 2. 体光源或面光源（Solid、Face） 3. 有无镜面反射（Specular、NoSpecular） 4. 激发光（Excitation）或荧光团（Emission）（FMT 仿真时才需设置）
	LightSourceCenter	0 0 0	光源为规则形状时的中心点（X Y Z），具体含义与形状相关，例如柱体时 Z 值表示柱体的半高所在点 Z 轴坐标。当为其他形状时，无需设置该项
	LightSourceAxis	0 0 0	光源为规则形状时的半轴长（X Y Z），具体含义与形状相关，当为其他形状时，无需设置该项
	LightSourcePath		当光源形状为三角网格时的文件路径，当为其他形状时，无需设置该项
	LightSourceSpectrumIndex		光源谱段参数，不同的光源类型对应不同的设置格式，详细见表 14： 1. 非荧光团光源：其顺序依次为谱段编号、光源能量、光子数 2. 荧光团：谱段编号、激发光波长、量子产额、吸收因子、荧光寿命（单位为皮秒）
	LightSourceAzimuthAngle	0 360	光子出射方位角范围设定：起始角、终止角，范围为[0, 360]
	LightSourceDeflectionAngle	0 180	光源出射光子偏转角范围设定，只在 3D 下需要设定：起始角，终止角。范围为[0, 180]

介质参数设置部分	MediumTetraPath		介质形状为四面体结构时的文件路径，当介质为其他形状结构时，无需设置该项
	Tissue		组织参数，设定组织编号，从 1 开始
	TissueShape		组织形状，参考光源形状
	TissueCenter	0 0 0	组织为规则形状时的中心点坐标，当为其他形状时，无需设置该项
	TissueAxis	0 0 0	组织为规则形状时的各边半轴长，当为其他形状时，无需设置该项
	TissuePath		光源形状为三角网格时的文件路径，当为其他形状时，无需设置该项
	TissueSpectrumIndex		组织谱段参数，依次为谱段编号、吸收系数、散射系数、各向异性系数、折射率
	平板探测器参数设置部分	DetectorLens	
VerticalPlane		XY	平板探测器所垂直平面（平面设置结构见 3.2.2 节中探测器结构设计示意图）
DetectorCenter		0 0 0	平板探测器中心点坐标（XYZ）
DetectorNormal		0 0 0	平板探测器法向量（XYZ），指向介质的方向
DetectorSize		0 0 0	平板探测器尺寸，单位为毫米
DetectorResolution		0 0	平板探测器分辨率
ImageDist		0	相距
FocalLength		0	透镜焦距
LensRadius		0	透镜半径
内窥探测器参数设置部分	fiberdetector		内窥探测器标志，设置探测器编号
	Fiberdetectorshape	cylinder Ellipsoid	内窥探测器的形状，目前只支持椭球和圆柱体两种形状。默认为椭球形状
	FiberdetectorCenter	0 0 0	内窥探测器的中心点坐标，当为其他形状时，无需设置该项
	FiberdetectorAxis	0 0 0	内窥探测器的各边半轴长。
	endmse		参数文件结束标志

注：当以“#”符号开头时，表示该行为注释。

3.2.2 光源、介质模型、感兴趣区域及探测器说明

3.2.2.1 光源

在 MOSE 最新版本中，光源的类型包含了三种，如表 3.3 中所示。用户在设置光源属性

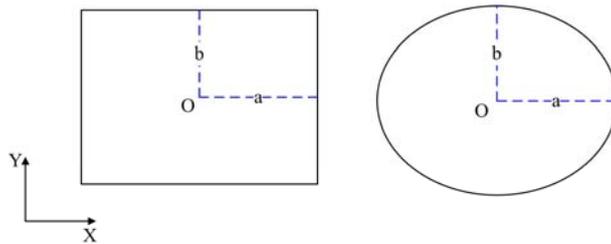
时刻参考表 3.3 设置自己需要的光源。

表 3.3 光源属性在不同仿真类型下的差别对比

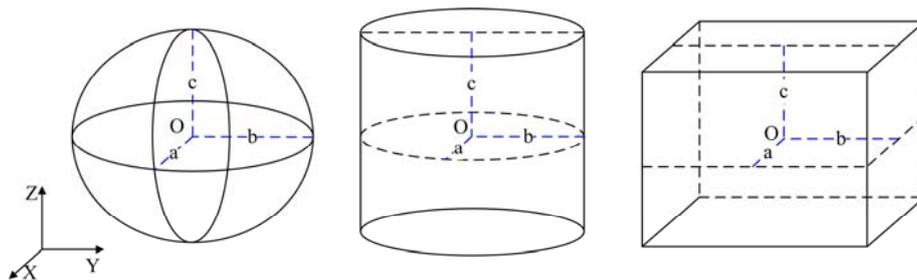
光源属性	前向仿真类型		
	BLT	DOT	FMT
发光类型	生物发光	激光	激发光、荧光
形状	不限	不限	不限
位置	介质内部	介质内部或外部	激发光光源可设置在介质内部或外部，荧光光源只可设置在介质内部
有无镜面发射	无	光源位于介质外部时可设置有镜面发射	激发光光源位于介质外部时可设置有镜面反射
实体或面光源	不限	不限	不限
光谱属性	包括出射波长、光子数、谱段能量	包括出射波长、光子数、谱段能量	激发光光源包括出射波长、光子数、谱段能量；荧光光源包括出射波长、激发波长、量子产额、吸收因子、荧光寿命

3.2.2.2 介质模型

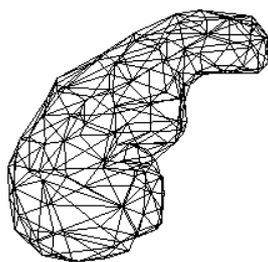
在 MOSE 最新版本中，根据仿真介质包含组织（或器官）的个数分为匀质介质（包含 1 个组织）、非匀质介质（包含 2 个以上组织）。在 2.2 之前的版本中，构成介质整体的所有组织是“相互独立”的，其边界可由规则形状或者非规则三角网格结构（形状类型如图 3.1(a)、(b)、(c)所示）分别描述，这种介质模型称之为“独立式介质模型”。在版本 2.2 后，MOSE 引入了一种新的非规则四面体网格结构来描述介质整体，在该结构中，所有组织的形状由四面体构成，并形成一整体如图 3.2，这种介质模型称之为“整体式介质模型”。介质模型上的差别造成光传输仿真算法的具体实现过程存在不同，不过用户不需要关心程序内部如何实现，只需要掌握如何设置正确的介质结构即可，如下所述。



(a) 2D 形状中心点及半周长示意图，其中 O 代表各形状中心点，
a、b 分别为不同形状对应 X、Y 轴方向的半轴长



(b) 3D 规则形状中心点及半周长示意图，其中 O 代表各形状中心点，
a、b、c 分别为不同形状对应 X、Y、Z 轴方向的半轴长



(c) 非规则三角网格结构，其内部为空（这是一个胃的形状）

图 3.1 独立式介质模型中不同形状类型

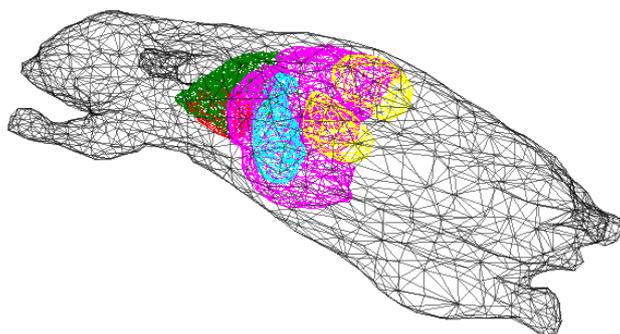


图 3.2 整体式介质模型（非规则四面体网格结构），图中只显示了各个区域边界的三角网格，其内部是由四面体构成（这是一个包含了心脏、肺、胃、肝脏及肾的小鼠整体结构）

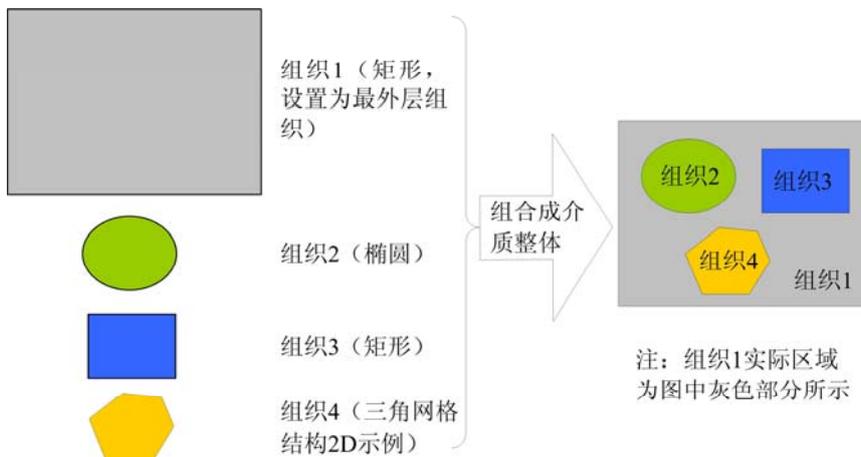


图 3.3 2D 下独立式介质模型构建示意图

独立式介质模型：在这种模型下，各个组织形状需要独立描述，然后所有形状将被整合为介质的整体描述。用户设置介质为此种模型时，需设置以下参数：

1. **MediumShapeTetraType:** 介质形状类型标志位应设置为“0”。
2. **TissueShape:** 设置各个组织的形状，分为规则形状与三角网格结构两种。
3. **TissueCenter** 与 **TissueAxis:** 设置规则形状时的中心点与半轴长。
4. **TissuePath:** 设置三角网格结构时的文件路径。
5. **OutermostTissueIndex:** 设置最外层组织编号，指定组织链表中哪个组织形状位于最外层，编号从 1 开始。要求该组织形状需将其他组织形状包围，否则在仿真过程中会出现错误。需要说明的是，在这种介质模型中，指定为最外层组织的“实际区域”是该组织形状减去其他组织形状后的部分。

图 3.3 为独立式介质模型构建的 2D 示意图。

整体式介质模型：在这种模型下，所有组织形状由四面体网格构成，并形成一整体。用户设置介质为此种模型时，需设置以下参数：

1. **MediumShapeTetraType:** 介质形状类型标志位应设置为“1”。
2. **MediumTetraPath:** 设置描述介质整体的四面体网格文件路径，四面体结构文件格式参见 3.4 节。

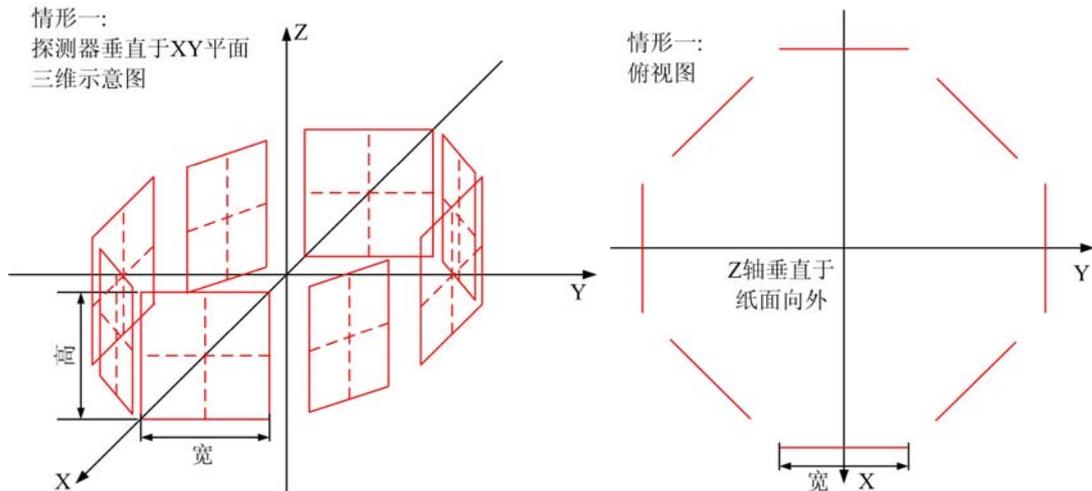
而 **TissueCenter**、**TissueAxis**、**TissuePath** 及 **OutermostTissueIndex** 都不需要设置，否则可能出现错误。

3.2.2.3 平板探测器

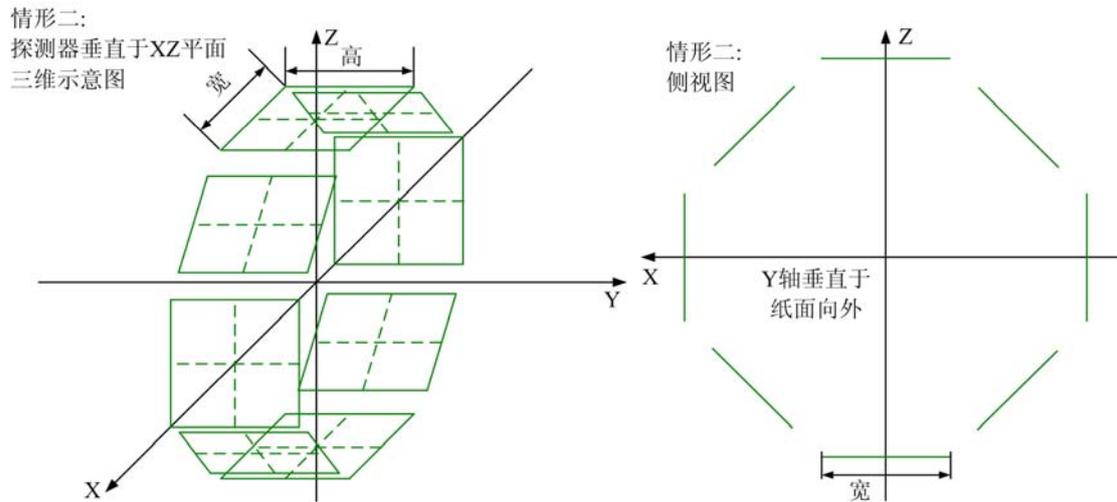
MOSE 中探测器的结构设计如图 3.4 所示，共有三种方式。用户可通过以下几项参数设置仿真实验中需要的探测器：

1. **VerticalPlane:** 探测器垂直平面，在目前版本中探测器不可随意摆置，其探测平面必须垂直于 **XY** 平面、**XZ** 平面或者 **YZ** 平面，如图 3.4 中所示。
2. **DetectorCenter:** 探测平面中心点，决定探测器的位置。
3. **DetectorNormal:** 探测器平面法向量，对应于 **XY** 平面、**XZ** 平面、**YZ** 平面，其值应分别为 $(*, *, 0)$ 、 $(*, 0, *)$ 、 $(0, *, *)$ ，其中*可为任意值。该值决定探测平面探测的方向，正确方向应由探测平面指向介质的方向，如相反，则探测结果均为零。
4. **DetectorSize:** 探测平面尺寸，用户应设置与实际实验中的探测器平面大小一致。
5. **DetectorResolution:** 探测器分辨率，该值决定探测矩阵的大小。
6. **ImageDist:** 相距。
7. **FocalLength:** 焦距。
8. **LensRadius:** 透镜半径，该值目前在探测算法中未起作用。

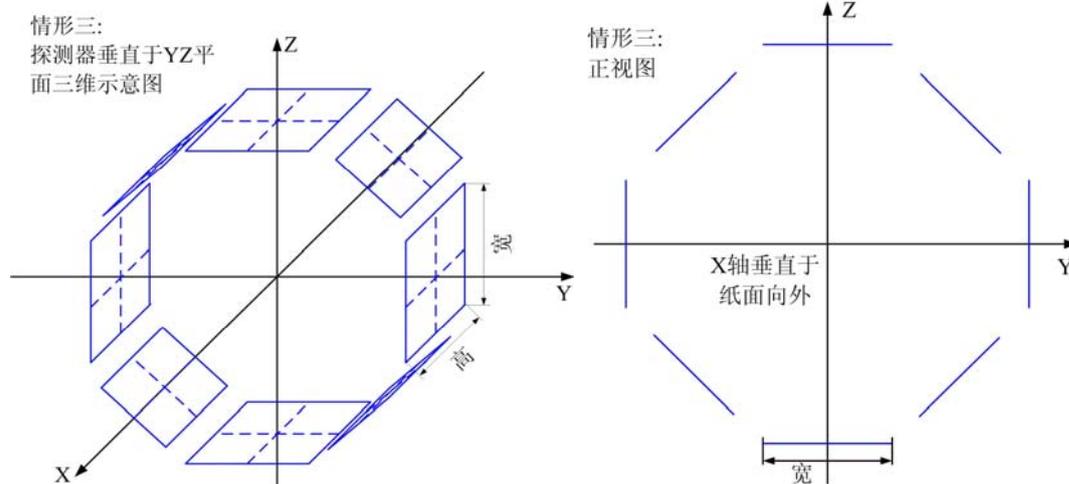
注：用户在设置探测器位置时，需保证与探测平面相对应的“虚拟探测平面”位于介质外部，不可与介质边界相交，否则会出现计算错误。“虚拟探测平面”的位置由探测平面中心点、相距及焦距决定。



(a) 探测器垂直 X-Y 平面，探测器法向量为 $(*, *, 0)$



(b) 探测器垂直 X-Z 平面，探测器法向量为 $(*, 0, *)$



(c) 探测器垂直 Y-Z 平面，探测器法向量为 $(0, *, *)$

图 3.4 平板探测器结构设计

3.2.2.4 内窥探测器

MOSE 中探测器的结构设计如图 3.5 所示，总共有两种形状。用户可通过以下几项参数设置仿真实验中需要的探测器：

1. Fiberdetectorshape: 内窥探测器形状，在目前版本中探测器只能设定为圆柱体或者椭球体。
2. FiberdetectorCenter: 内窥探测器中心点，决定探测器的位置。
3. FiberdetectorAxis: 内窥探测器半轴长，对应于 X 轴，Y 轴，和 Z 轴。该值决定探测器的大小。

注：内窥探测器的分辨率与用户设定的组织的分辨率是一致的，仿真时内窥探测器必须设定在光源的外部且在最外层组织的内部。为了使内窥仿真更接近实际情况，一般设定内窥探测器时需要在内窥探测器外侧设定同样形状的空腔组织。

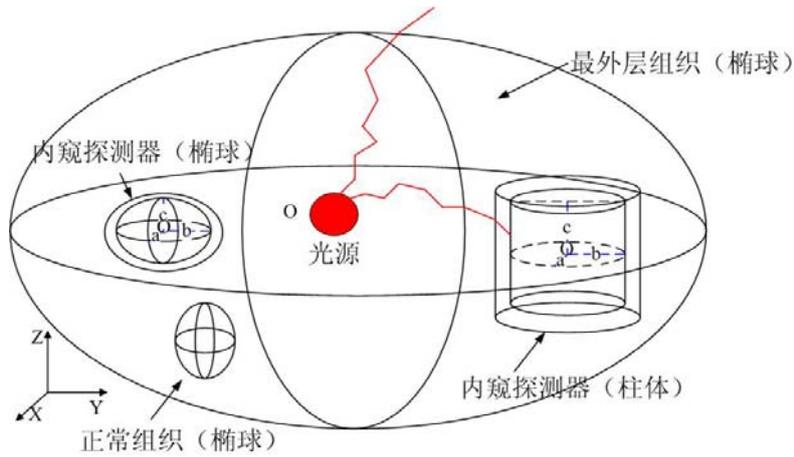


图 3.5 内窥探测器结构设计

3.2.2.4 感兴趣区域

在 MOSE 中光传输仿真结果包含三类：吸收结果、透射结果及探测结果，其中前两种结果的保存与感兴趣区域的及坐标系设置相关。设置不同，结果保存的方式也就存在不同。探测结果的保存只与探测器尺寸及分辨率相关。

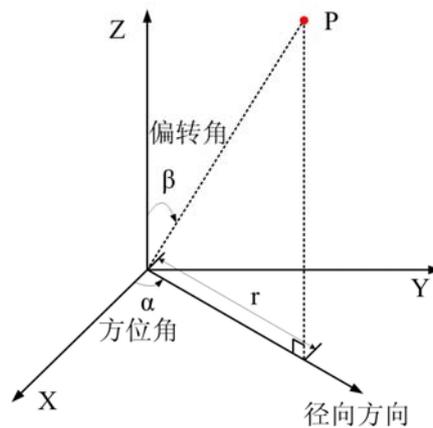


图 3.5 ROI 各坐标轴及角度方向示意图

感兴趣区域参数设置包括以下两项：

1. ROI: 感兴趣区域范围，2D 下包含 4 个方向，分别是 X 轴方向、Y 轴方向、径向方向及方位角方向；3D 下 ROI 可以设置 6 个方向，分别是 X 轴方向、Y 轴方向、Z 轴方向、径向方向、方位角方向及偏转角方向。ROI 的设置由起点与终点决定，同时也与用户选择的坐标系相关。如图 3.5 所示，P 为 3D 下任意一点，其对应的 X 值、Y 值、Z 值、径向值、方位角及偏转角大小分别如图中所示。

2. ROIseparation: 感兴趣区域内各个方向上的单元间隔。

(注：当采用参数文件设置 ROI 及 ROIseparation 时，2D 及 3D 下都需严格按照规定顺序进行设置，不可跳过某些值)

吸收结果与透射结果坐标系设置包括以下 2 项：

1. AbsorptionMatrix: 吸收矩阵坐标系，2D 下有直角坐标系与极坐标系；3D 下有直角坐标系、柱坐标系。

2. TransmittanceMatrix: 透射矩阵坐标系，透射矩阵的设置还受到介质最外层边界

形状的限制。矩形（直角坐标系）、椭圆（极坐标系）、立方体（直角坐标系）、椭球（球坐标系）、柱体（直角坐标系或柱坐标系，只影响柱体上下底面的结果保存方式，柱体侧面始终按照柱坐标系保存），三角网格或者四面体结构时不需设置该项，其结果输出按照网格顶点及面片编号排序。

3.3 光传输仿真结果文件

仿真运行分为三种模态：连续波、时域、频域三种，在此分别对这三种模态下的输出结果进行说明。输出结果分为三种：吸收结果、透射结果和探测结果。

3.3.1 连续波

3.3.1.1 透射结果

透射结果的记录是按照介质最外层组织的形状进行区分，详细说明如下所示。介质最外层组织为非规则三角网格时的透射结果格式如表 3.4 所示，其他形状的透射结果只列出与表 3.4 存在区别的部分。

表 3.4 介质最外层组织形状为非规则三角网格的透射结果格式

内容	注释
Spectrum *	谱段的中心波长
TotalPhotonNum *	在当前谱段下的总光子数
ExecuteTime * (second)	运行总时间（单位 s）
Domain CW	模态
SpecularReflectance *	对应谱段的镜面反射总能量
3DCWTransmittance *	3D 下对应谱段的透射总能量
3DCWTransmittanceMesh *	三角网格面片透射总能量
CountMeshVertex *	三角网格顶点数据量大小
3DCWTransmittanceMeshVertex	三角网格顶点透射结果
0.00000e+000	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的顶点数据顺序一致
...	
CountMeshFace *	三角网格面片数据量大小
3DCWTransmittanceMeshFace	三角网格面片透射结果
0.00000e+000	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的三角网格顺序一致
...	

注：上表中的绿色部分为所有形状下透射结果共同的部分，兰色部分为各种形状下的透射结果不同的部分，以下只对存在区别的部分进行说明，*表示对应的数值大小。

表 3.5 介质为四面体网格结构的透射结果格式

3DCWTransmittance *	3D 下对应谱段的透射总能量
---------------------	----------------

3DCWTransmittanceTetraMesh *	介质表面透射总能量
CountMeshTetraVertex *	四面体顶点数据量大小
3DCWTransmittanceTetraMeshVertex	四面体顶点透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据，顺序与四面体数据的顶点数据顺序一致，其中只有介质外边界顶点的数值不为零
CountMeshTetraFace *	三角网格面片数据量大小
3DCWTransmittanceTetraMeshFace	三角网格面片透射结果
0.00000e+000 ...	二维矩阵数据，前三列为介质边界（包括内边界与外边界，由三角网格构成）的三角网格编号，最后一列为各个面的透射结果，其中只有外边界面的透射数值不为零

表 3.6 介质最外层组织形状为矩形的透射结果格式

2DCWTransmittance *	2D 下对应谱段的透射总能量
2DCWTransmittanceUp *	矩形上底边透射结果总能量
CountX *	沿 X 轴数据量大小
2DCWTransmittanceUpX	矩形上底边透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据
2DCWTransmittanceDown *	矩形下底边透射结果总能量
CountX *	沿 X 轴数据量大小
2DCWTransmittanceDownX	矩形下底边透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据
2DCWTransmittanceLeft *	矩形左侧边透射结果总能量
CountY *	沿 Y 轴数据量大小
2DCWTransmittanceLeftY	矩形左侧边透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据
2DCWTransmittanceRight *	矩形右侧边透射结果总能量
CountY *	沿 Y 轴上数据量大小
2DCWTransmittanceRightY	矩形右侧边透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据

表 3.7 介质最外层组织形状为椭圆的透射结果格式

2DCWTransmittance *	2D 下对应谱段的透射总能量
2DCWTransmittanceSide *	椭圆侧边透射结果总能量
CountA *	沿角度方向数据量大小
2DCWTransmittanceSideA	椭圆侧边透射结果
0.00000e+000	一维矩阵数据

表 3.8 介质最外层组织形状为椭球（透射矩阵为球坐标系）的透射结果格式

3DCWTransmittanceSide *	椭球侧面透射结果总能量
-------------------------	-------------

CountD CountA * *	沿偏转角方向和方位角方向数据量大小
3DCWTransmittanceSideDA	椭球侧面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据，排列顺序为： [0 0] [0 1] ... [0 CountA] [1 0] [1 1] ... [1 CountA] ... [CountD 0] ... [CountD CountA]

表 3.9 介质最外层组织形状为柱体（透射矩阵为柱坐标系）的透射结果格式

3DCWTransmittanceSideAZ *	柱体侧面透射结果总能量
CountA CountZ * *	沿角度方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceSideAZ	柱体侧面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceTop *	柱体上底面透射结果总能量
CountR CountA * *	沿径向与角度方向数据量大小
3DCWTransmittanceTopRA	柱体上底面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceBottom *	柱体下底面透射结果总能量
CountR CountA * *	沿径向与角度方向数据量大小
3DCWTransmittanceBottomRA	柱体下底面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据

表 3.10 介质最外层组织形状为柱体（透射矩阵为直角坐标系）的透射结果格式

3DCWTransmittanceSide *	柱体侧面透射结果总能量
CountA CountZ * *	沿角度方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceSideAZ	柱体侧面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceTop *	柱体上底面透射结果总能量
CountX CountY * *	沿 X 轴方向与 Y 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceTopXY	柱体上底面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceBottom *	柱体下底面透射结果总能量
CountX CountY * *	沿 X 轴方向与 Y 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceBottomXY	柱体下底面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据

表 3.11 介质最外层组织形状为立方体的透射结果格式

3DCWTransmittanceTop *	立方体上底面透射结果总能量
CountX CountY * *	沿 X 轴方向与 Y 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceTopXY	立方体上底面透射结果

0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceBottom *	立方体下底面透射结果总能量
CountX CountY * *	沿 X 轴方向与 Y 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceBottomXY	立方体下底面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceLeft *	立方体左侧面透射结果总能量
CountX CountZ * *	沿 X 轴方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceLeftXZ	立方体左侧面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceRight *	立方体右侧面透射结果总能量
CountX CountZ * *	沿 X 轴方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceRightXZ	立方体右侧面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceFront *	立方体正面透射结果总能量
CountY CountZ * *	沿 Y 轴方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceFrontYZ	立方体正面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据
3DCWTransmittanceBack *	立方体背面透射结果总能量
CountY CountZ * *	沿 Y 轴方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWTransmittanceBackYZ	立方体背面透射结果
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据

3.3.1.2 吸收结果

吸收结果的记录是按照吸收矩阵的坐标系进行区分, 3D 下包括直角坐标系与柱坐标系两种, 2D 下包括直角坐标系与极坐标系, 分别如表 3.12~3.15 所示。

表 3.12 3D 下直角坐标系吸收结果格式

内容	注释
Spectrum *	谱段的中心波长
Domain CW	仿真模态
3DCWAbsorption *	3D 下对应谱段的吸收总能量
CountX CountY CountZ * * *	沿 X 轴方向、Y 轴方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWAbsorptionXYZ	吸收结果数据

0.00000e+000 0.00000e+000	三维矩阵数据，排列顺序为： [0 0 0] [0 0 1] ... [0 0 CountZ] [0 1 0] [0 1 1] ... [0 1 CountZ] ... [0 CountY 0] [0 CountY 1] ... [0 CountY CountZ] ... [CountX CountY 0] [CountX CountY 1]... [CountX CountY CountZ]
--------------------------------------	--

*注：实例为三维直角坐标系下吸收结果，其他坐标系区别如下。

表 3.13 3D 下柱坐标系吸收结果格式

3DCWAbsorption *	3D 下对应谱段的吸收总能量
CountR CountA CountZ ***	沿径向、角度方向与 Z 轴方向数据量大小
3DCWAbsorptionRAZ	吸收结果数据
0.00000e+000 0.00000e+000	三维矩阵数据

表 3.14 2D 下直角坐标系吸收结果格式

2DCWAbsorption *	2D 下对应谱段的吸收总能量
CountX CountY **	沿 X 轴方向与 Y 轴方向数据量大小
2DCWAbsorptionXY	吸收结果数据
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据

表 3.15 2D 下极坐标系吸收结果格式

2DCWAbsorption *	2D 下对应谱段的吸收总能量
CountR CountA **	沿径向与角度方向数据量大小
2DCWAbsorptionRA	吸收结果数据
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据

3.3.1.3 平板探测结果

探测结果格式如表 3.16 所示，按照谱段顺序、探测器顺序进行排列。

表 3.16 3D 下连续波平板探测结果格式

内容	注释
Spectrum *	谱段的中心波长
3DTotalDetection **	探测器编号及相应谱段的探测总能量
HeightResolution WidthResolution **	数据量大小
3DDetectionMatrix	探测结果数据
0.00000e+000 0.00000e+000	二维矩阵数据

3.3.1.3 内窥探测结果

探测结果格式如表 3.17 所示，按照谱段顺序、探测器顺序进行排列。

表 3.17 3D 连续波下内窥探测结果格式

内容	注释
Spectrum *	谱段的中心波长
TotalDetection *	探测器编号
3DFiberDetector *	探测器相应谱段的探测总能量
3DCWFiberDetectorSide *	探测器为圆柱体时侧面探测能量
CountA CountZ **	探测器为圆柱体时侧面分辨率大小，坐标系为圆柱坐标。
3DCWFiberDetectorSideAZ 0.00000e+000 0.00000e+000	圆柱体侧面二维矩阵数据
3DCWFiberDetectorTop *	探测器为圆柱体时顶部探测能量
CountX CountY **	探测器为圆柱体时上下底面分辨率大小，坐标系为直角坐标。
3DCWFiberDetectorTopXY 0.00000e+000 0.00000e+000 ...	圆柱体顶部二维矩阵数据
3DCWFiberDetectorBottom *	探测器为圆柱体时底部探测能量
3DCWFiberDetectorBottomXY 0.00000e+000 0.00000e+000 ...	圆柱体底面二维矩阵数据
CountD CountA **	探测器为椭球形状时侧面分辨率大小，坐标系为球面坐标系。
3DCWTransmittanceSideDA 0.00000e+000 0.00000e+000 ...	椭球侧面二维矩阵数据

3.3.2 时域

3.3.2.1 透射结果

相比于连续波下的透射结果，时域下的透射结果主要是增加了时间段的部分，如表 3.17 中红色字体所示。

表 3.17 时域下的非规则三角网格表面透射结果格式

Domain TD	模态
3DTDTransmittance 2.85103e-002	对应所有时间段下的透射总能量
TDTransmittanceNum 5	总的时间段数
TD 0 *	第 1 个时间段以及该时间段上透射能量总值
3DTDTransmittanceMesh	三角网格面片透射结果在第一个时间段上的和

CountMeshFace *	三角网格面片数据量大小
3DTDTransmittanceMeshFace	三角网格面片透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的三角网格顺序一致
CountMeshVertex *	三角网格顶点数据量大小
3DTDTransmittanceMeshVertex	三角网格顶点透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的顶点数据顺序一致
TD 1 *	第 2 个时间段以及该时间段上透射能量总值
CountMeshFace *	同上
3DTDTransmittanceMeshFace	同上
0.00000e+000 ...	同上
CountMeshVertex *	同上
3DTDTransmittanceMeshVertex	同上
0.00000e+000 ...	同上

注：红色字体部分为三角网格形状在时域下不同于连续波的主要部分，其他形状类似。

3.3.2.2 吸收结果

相比于连续波下的吸收结果，时域下的吸收结果主要是增加了时间段的部分，如表 3.18 中红色字体所示。

表 3.18 时域下的直角坐标系吸收结果格式

Domain TD	运行的模态
3DTDAbsorption *	对应谱段的吸收总能量
CountX CountY CountZ * * *	沿 X 轴方向、Y 轴方向与 Z 轴方向数据量大小
TDAbsorptionNum *	时间段数
TD 0 *	第 1 个时间段以及该时间段上吸收能量总值
3DTDAbsorptionXYZ	
0.00000e+000 0.00000e+000	三维矩阵数据
TD 1 *	第 2 个时间段以及该时间段上吸收能量总值
3DTDAbsorptionXYZ	
0.00000e+000 0.00000e+000	三维矩阵数据

3.3.3 频域

3.3.3.1 透射结果

三维直角坐标系相比于连续波下的透射结果，频域下的透射结果主要是分为了两部分，分别是幅度与相位，如表 3.19 中红色字体所示。

表 3.19 频域下的直角坐标系透射结果格式

Domain FD	模态
CountMeshFace *	三角网格面片数据量大小
3DFDAmpTransmittanceMeshFace	三角网格面片幅度透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的三角网格顺序一致
3DFDPhaTransmittanceMeshFace	三角网格面片相位透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的三角网格顺序一致
CountMeshVertex *	三角网格顶点数据量大小
3DFDAmpTransmittanceMeshVertex	三角网格顶点幅度透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的顶点数据顺序一致
3DFDPhaTransmittanceMeshVertex	三角网格顶点相位透射结果
0.00000e+000 ...	一维矩阵数据，顺序与最外层组织的顶点数据顺序一致

注：红色字体部分为三角网格形状在频域下不同于连续波的主要部分，其他形状类似。

3.3.3.2 吸收结果

相比于连续波下的吸收结果，频域下的吸收结果主要是分为了两部分，分别是幅度与相位，如表 3.20 中红色字体所示。

表 3.20 频域下吸收结果格式

Domain FD	模态
CountX CountY CountZ ***	沿 X 轴方向、Y 轴方向与 Z 轴方向数据量大小
3DFDAmpAbsorptionXYZ	3D 下对应谱段的幅度吸收结果
0.00000e+000 0.00000e+000	三维矩阵数据
3DFDPhaAbsorptionXYZ	3D 下对应谱段的相位吸收结果
0.00000e+000 0.00000e+000	三维矩阵数据

3.4 其他文件

在 MOSE 中，除光传输仿真参数及仿真结果文件以外，还包括以下一些类型的文件：

RAW/IMG/IM0/DCM

说明：图像数据，用于图像处理工程中的边界网格提取。

OFF

说明：目前 MOSE 中只支持描述三角网格的 OFF 格式文件

1. 顶点个数和三角网格个数。
2. 顶点数据
所有顶点的 x, y 和 z 坐标。
3. 三角网格数据
所有三角面片的顶点编号信息，由三角形三个顶点的索引号组成，索引号从 0 开始。对于三角网格数据，每行应以 3 开头，表示有三个顶点。

PLY

说明：目前 MOSE 中只支持描述三角网格的 PLY 格式文件，更多信息请参考 <http://paulbourke.net/dataformats/ply/>

SURF

说明：包含二个部分

1. 顶点数据
首先是顶点个数，其次是所有顶点的 x, y 和 z 坐标。
2. 三角面片数据
首先是三角面片个数，其次是三角面片编号信息，由三角形三个顶点的索引号组成，索引号从 1 开始。

AM

说明：由 Amira 生成的四面体网格文件，更多信息请参考 <http://www.amira.com/>

MESH

说明：四面体网格文件，由 Netgen (<http://www.hpfem.jku.at/netgen/>) 生成，包含三个部分

1. 顶点数据
首先是顶点个数，其次是所有顶点的 x, y 和 z 坐标。
2. 四面体数据
首先是四面体个数，然后是所有四面体的所属区域编号及四个顶点编号信息，区域及顶点编号均从 1 开始。
3. 区域边界三角面片（注：在 MOSE 中应用时可以不包含该部分数据）
首先是边界三角面片个数，其次是三角面片的所属区域编号及三个顶点编号信息，区域及顶点编号均从 1 开始。

STL

说明：目前 MOSE 中只支持描述三角网格的 STL 格式文件，格式如下：

```
solid name
facet normal ni nj nk
  outer loop
    vertex v1x v1y v1z
    vertex v2x v2y v2z
    vertex v3x v3y v3z
  endloop
endfacet
...
...
endsolid name
```

4 常见问题

1. 可否将 MOSE 用于商业机构？

答：可以，MOSE 是一个免费软件，您可以将其应用于任何地方，且不需要支付任何费用。

2. 程序非正常中止后，在任务管理器的进程管理中还存在 MOSE 的程序？

答：由于 MOSE 的开发还处于不完善的阶段，在运行过程中还存在着一些 Bug，可能导致程序出现非正常中止，这时由于程序中有部分内存未正常释放，就会造成 MOSE 程序驻留在任务管理器中，这时就需要用户在任务管理器中手动中止 MOSE 的进程。这个问题我们会在后续的版本中逐步解决，希望您将使用过程中遇到的问题反馈给我们，帮助我们不断完善 MOSE。