

1、代码说明

1.1 代码说明：

- 1、代码在 matlab2018 上编写，经测试可在 matlab2018 及以上版本使用。
- 2、提供的测试数据是由 comsol5.2 版本生成，并使用 matlab2018 读取并保存为.mat 格式
- 3、文件夹 MyFemPML 为有限元代码存放文件夹。My_Fem_PML 为主程序。
- 4、文件夹 MeshDataMake 提供了生成的 Mesh 数据的 matlab 代码，并提供了演示中使用的数据，comsol 工程文件

1.2 代码目标：

使用有限元法求解二维光波导的本征模式。

1.3 实现功能：

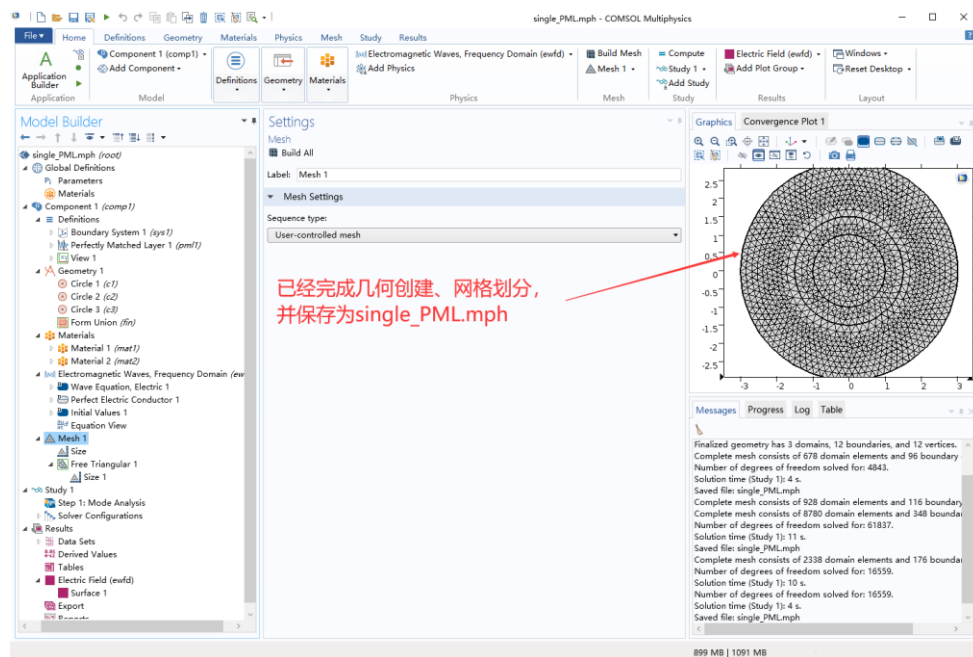
- 1、读取、显示 comsol 生成的二维网格数据
- 2、设置不同区域网格的材料参数。目前可设置的参数为相对介电常数 ϵ_r 和相对磁导率 μ_r 。
 ϵ_r 和 μ_r 可以是对角矩阵。即可以计算部分各向异性光波导
- 3、提供了 PEC、PMC 两种边界条件
- 4、提供了 PML，但 PML 区域只能是圆环
- 5、可设置波长、求解模式数目、求解目标有效折射率
- 6、可绘制 Ex、Ey、Ez 电场并显示

1.4 有限元法及 PML 说明

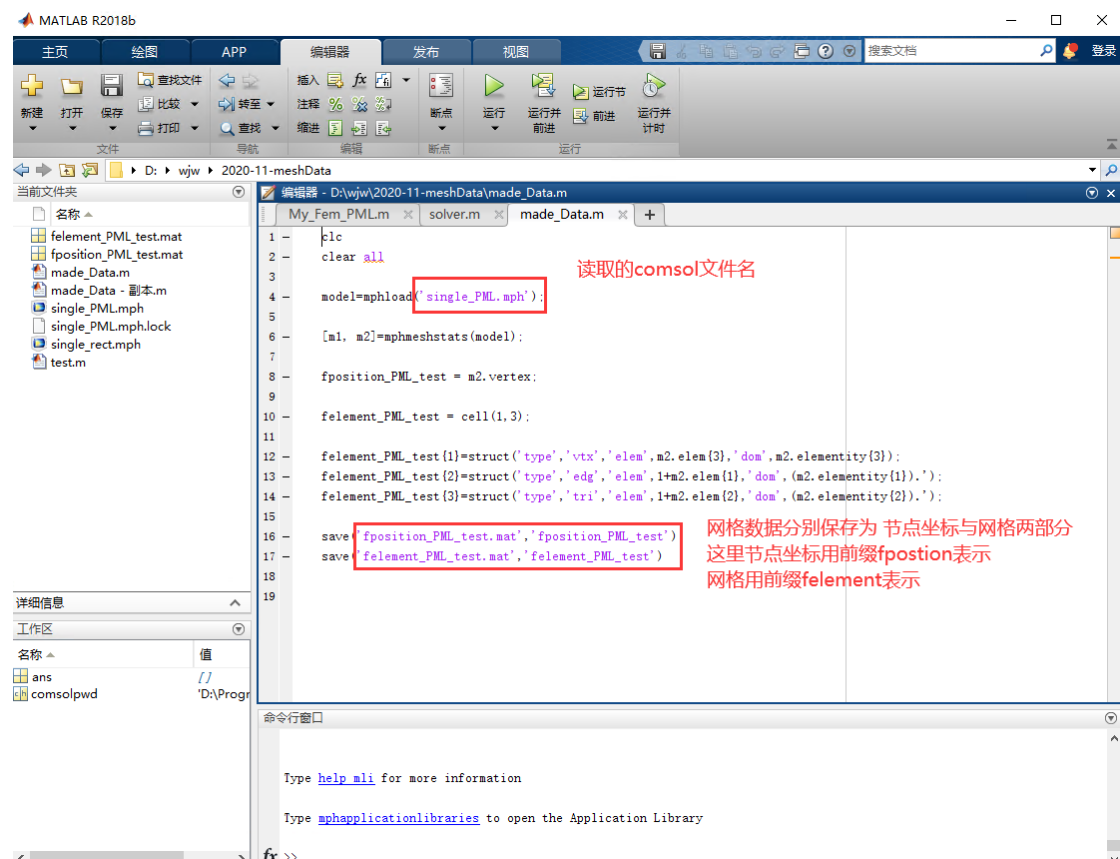
- 1、有限元公式推导参考了《Quick Finite Elements for Electromagnetic Waves》和《Electromagnetic waves, materials, and computation with MATLAB》
- 2、PML 具体公式参考了 COMSOL5.2

2、数据制作

- 1、使用 comsol5.2 创建二维几何结构并进行网格划分，然后保存



2、打开 comsol5.2 with matlab，使用提供的 made_Data.m 文件生成后续使用需要的网格数据。



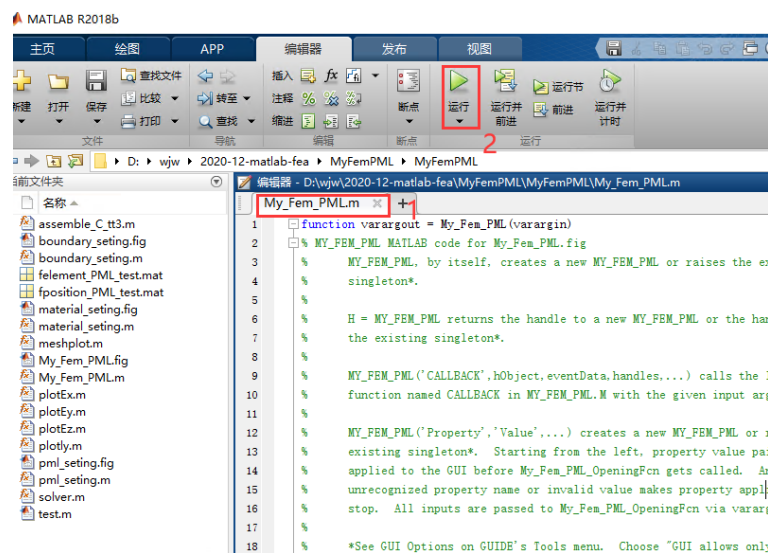
3、至此已经完成了网格数据的生成。将网格数据放置 MyFemPML 文件夹下即可

名称	修改日期	类型	大小
assemble_C_tt3	2019/12/15 21:47	MATLAB Code	35 KB
boundary_seting	2020/12/30 16:07	MATLAB Figure	13 KB
boundary seting	2020/12/30 16:33	MATLAB Code	4 KB
felement_PML_test	2020/12/30 20:42	MATLAB Data	10 KB
fposition PML test	2020/12/30 20:42	MATLAB Data	18 KB
material_seting	2017/1/4 18:53	MATLAB Figure	18 KB
material_seting	2020/10/13 20:34	MATLAB Code	7 KB
meshplot	2017/1/4 21:59	MATLAB Code	2 KB
My_Fem_PML	2020/12/30 15:53	MATLAB Figure	41 KB
My_Fem_PML	2020/12/30 18:21	MATLAB Code	18 KB
plotEx	2020/12/30 15:57	MATLAB Code	4 KB
plotEy	2020/12/30 15:58	MATLAB Code	2 KB
plotEz	2020/12/30 15:57	MATLAB Code	2 KB
plotly	2020/12/30 15:51	MATLAB Code	1 KB
pml_seting	2020/12/30 16:08	MATLAB Figure	12 KB
pml_seting	2020/12/30 16:09	MATLAB Code	9 KB
solver	2020/12/30 18:23	MATLAB Code	12 KB
test	2020/12/30 15:34	MATLAB Code	1 KB

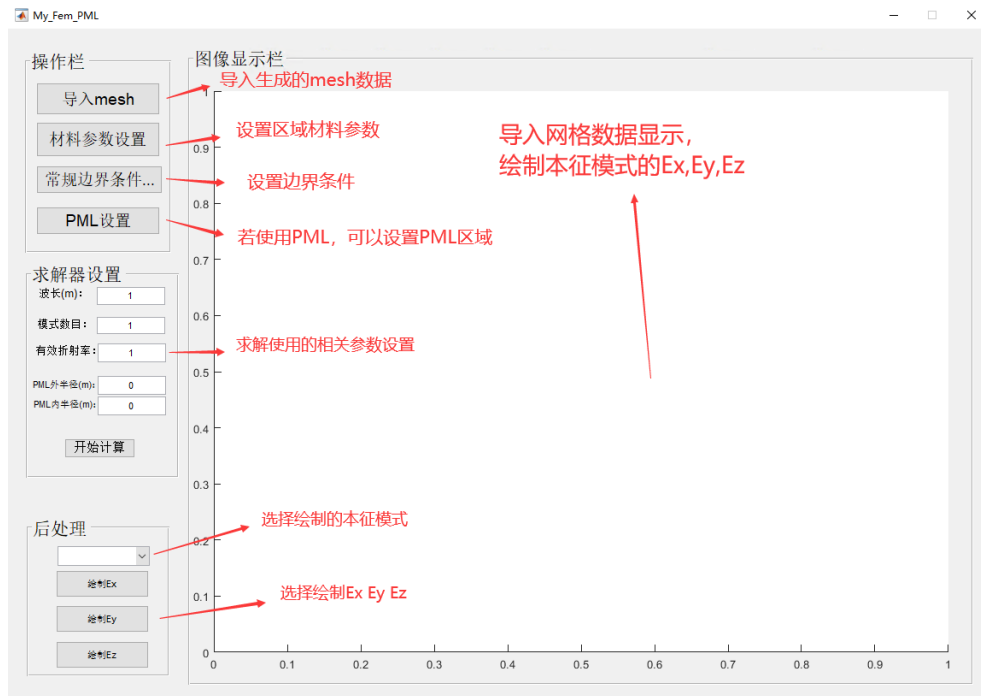
刚刚生成好的网格数据

3、有限元 GUI 代码使用说明

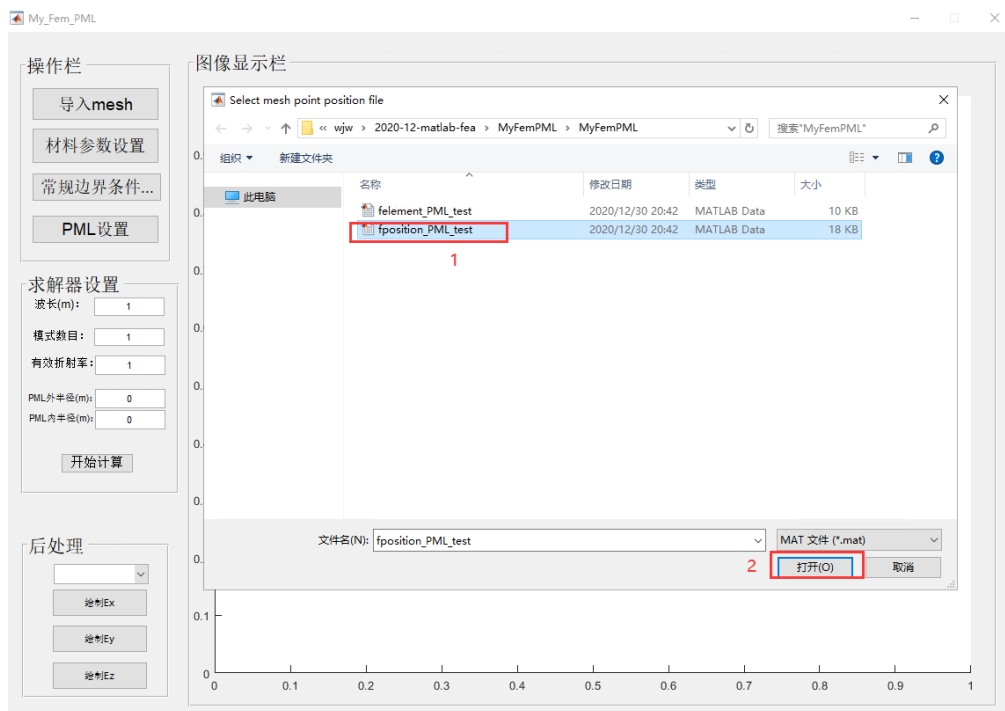
1、My_Fem_PML.m 为主程序，打开并运行

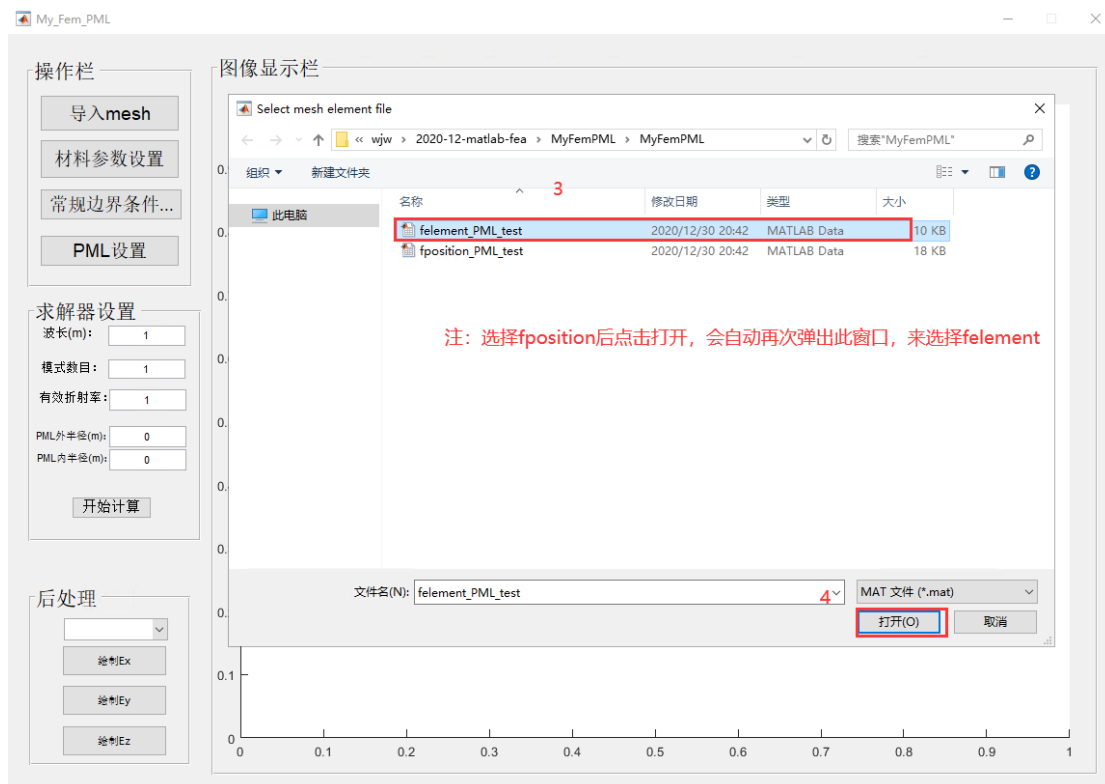


运行后会看到以下界面

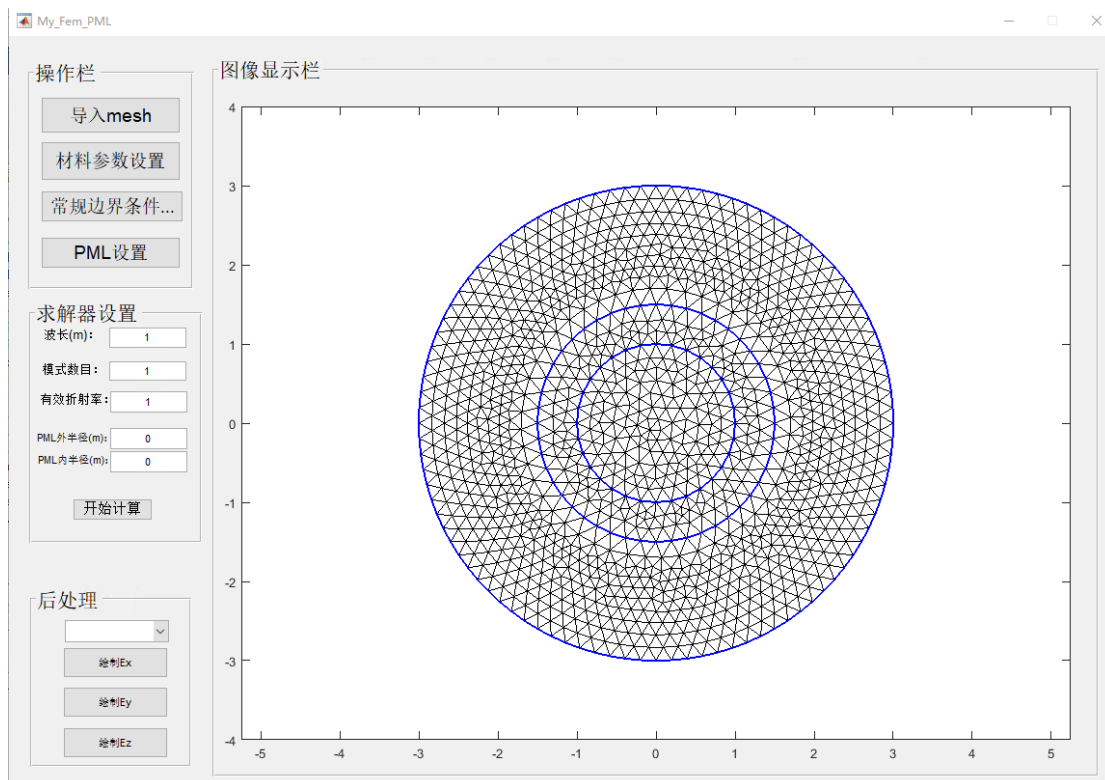


2、点击导入 mesh，然后依次选择刚刚生成的节点坐标与网格数据(fposition 和 felement)





完成后将看到读取的网格：



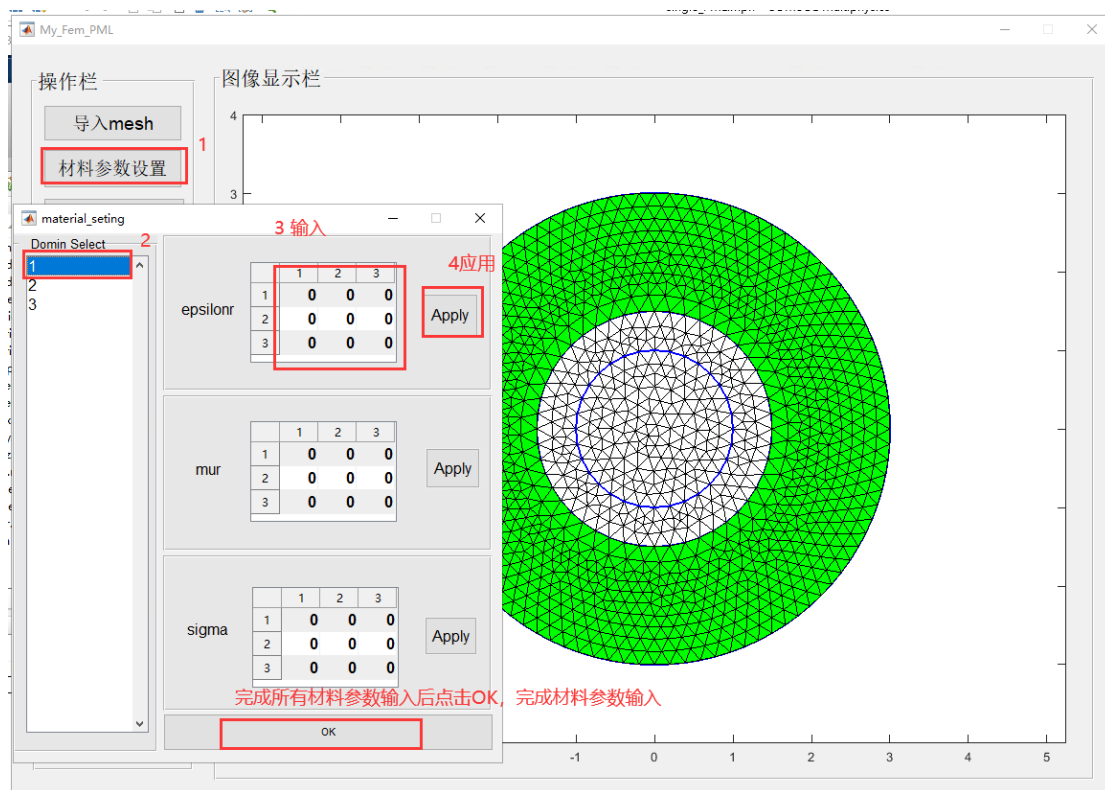
3、材料参数设置。点击材料参数设置

默认材料参数全为 0。演示的网格有三个区域，三个区域材料参数均要设置。

ϵ_{r} 为相对介电常数， μ_{r} 为相对磁导率， σ 为电导率。

目前仅有 ϵ_{r} ， μ_{r} 可设置。Sigma 设置后也不能起效。

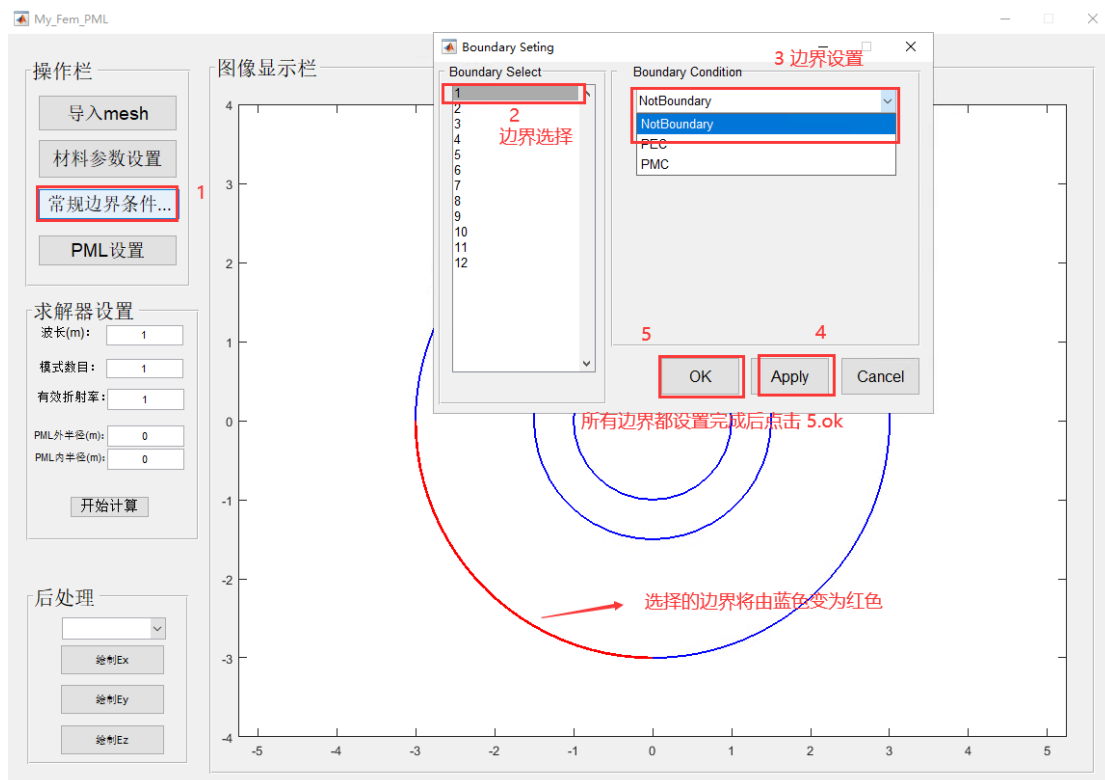
ϵ_{r} ， μ_{r} 只能是对角矩阵，即非对角元项输入后也不起效。



选中区域在图像显示栏中变为绿色。上图中即最外围圆环为区域 1

演示中区域 1, 2 设置的 eps、mur 均为[1 0 0;0 1 0;0 0 1]。区域 3 设置的 eps 为[1.2 0 0;0 1.2 0;0 0 1.2], mur 设置为[1 0 0;0 1 0;0 0 1]。

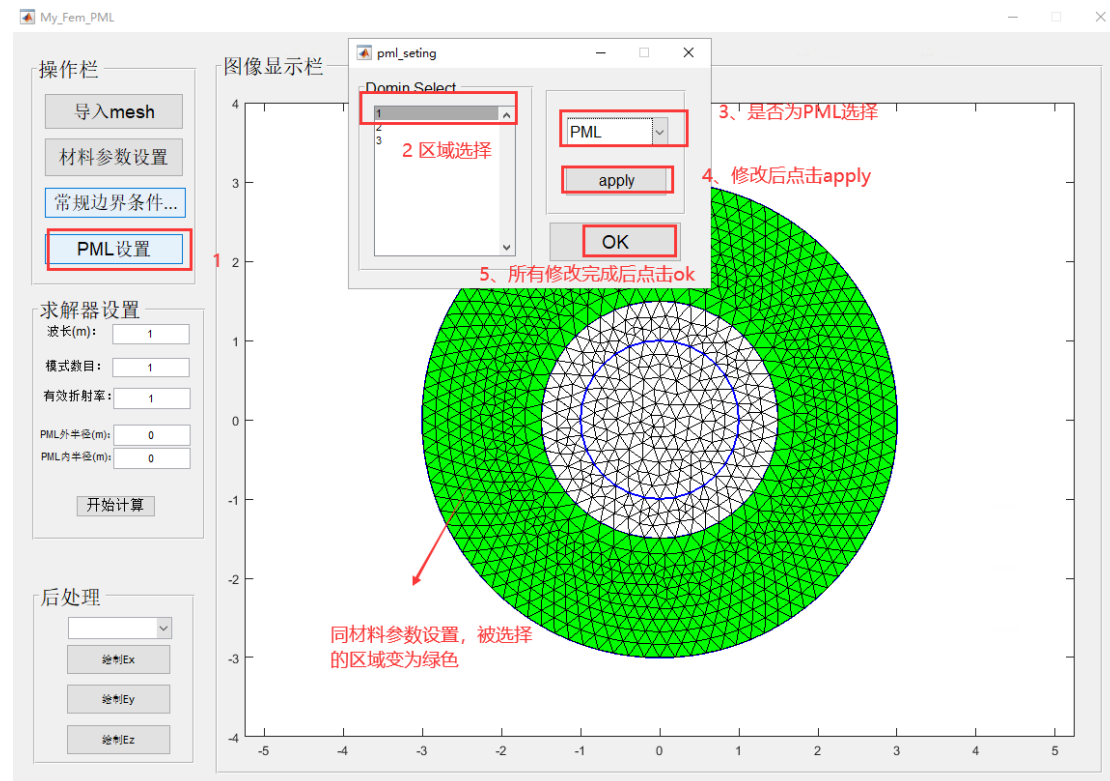
4、边界条件设置。设置 PEC 或者 PMC 边界条件。因为网格导出格式问题,有些边不是边界,需要设置为 NotBoundary。所有边界默认为 NotBoundary。



演示中，将边 1 2 7 12 设置为 PEC

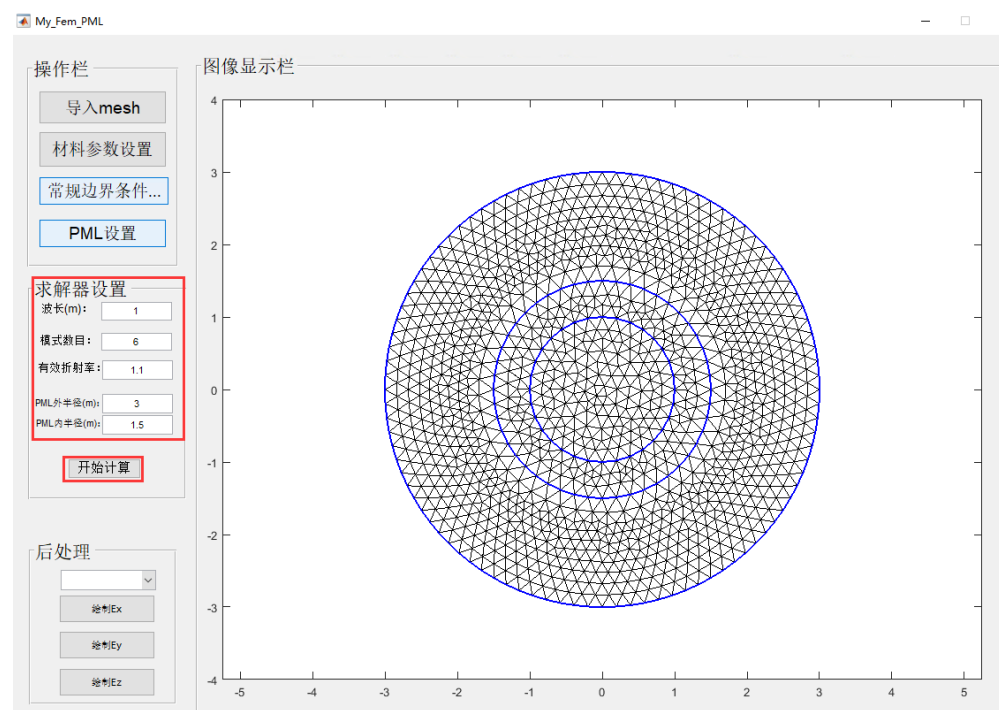
5、PML 设置。选择需要为 PML 区域，并将其设置为 PML

默认所有区域为 normal，即不是 PML

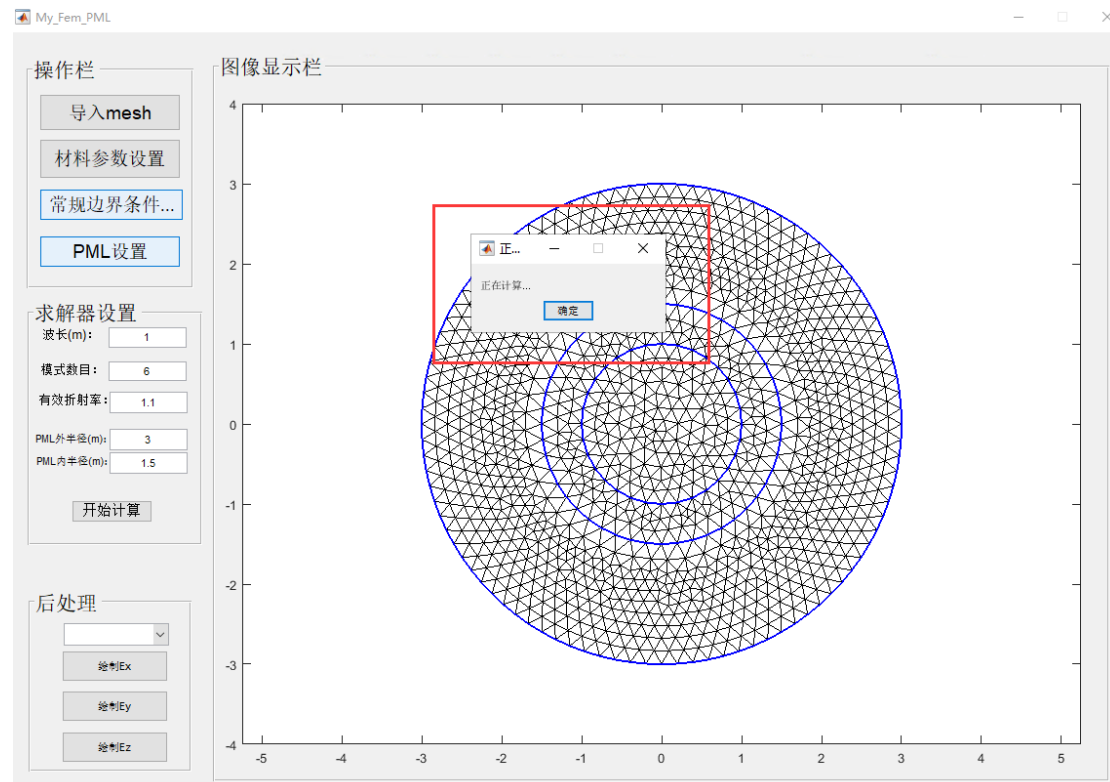


演示中，将区域 1 设置为 PML。

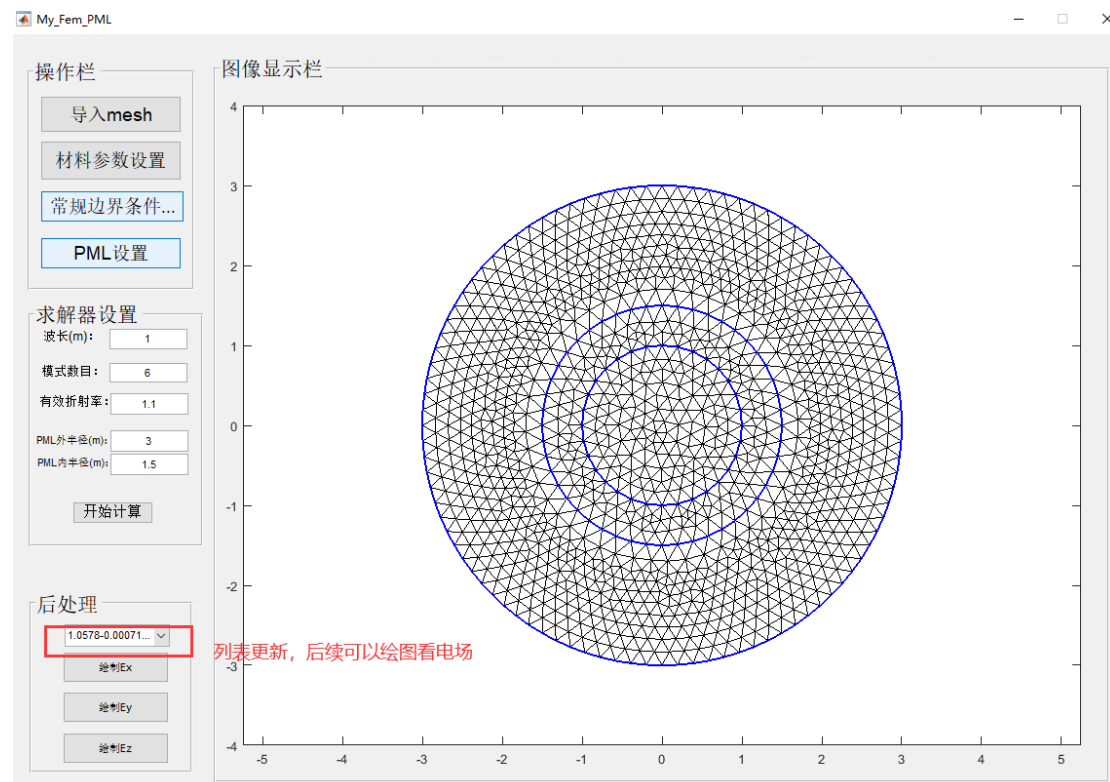
6、求解器设置。设置相应参数，来进行求解



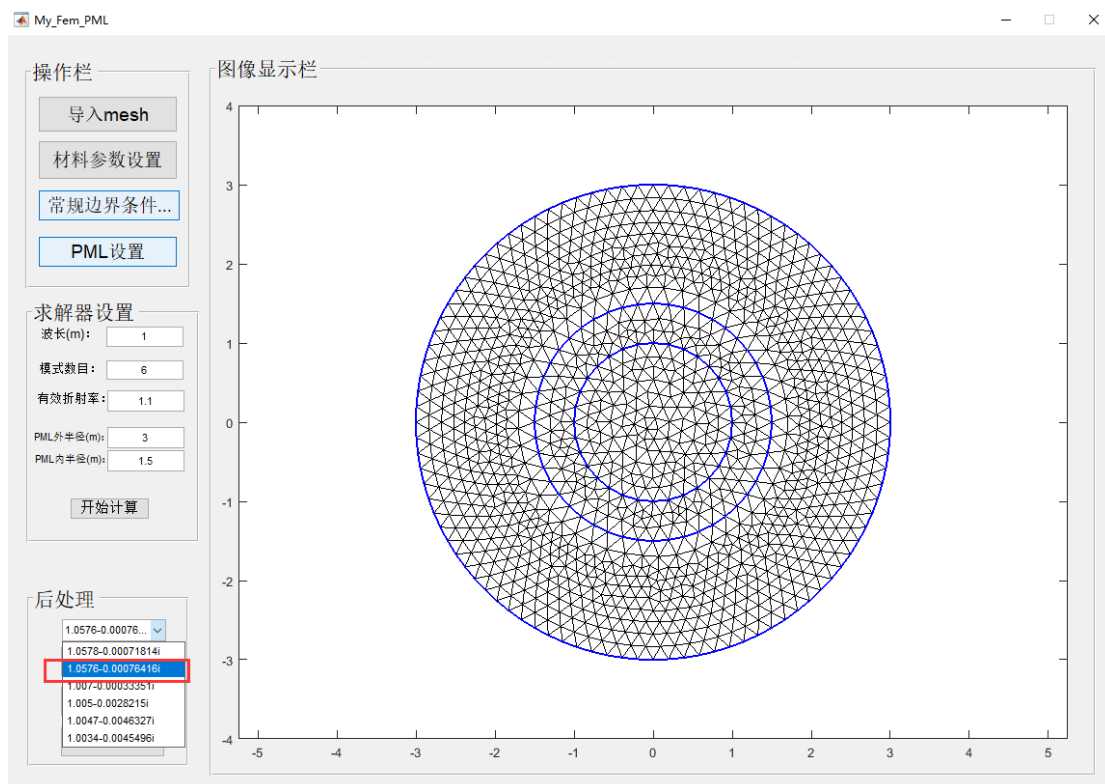
求解的本征模式真空波长设置为 1m，求解模式数设置为 6 个。在有效折射率 1.1 附近进行求解。因为使用了 PML，还需要提供 PML 参数，这里区域 1 为 PML，外半径为 3m 内半径为 1.5m。最后点击开始计算。将弹出以下窗口



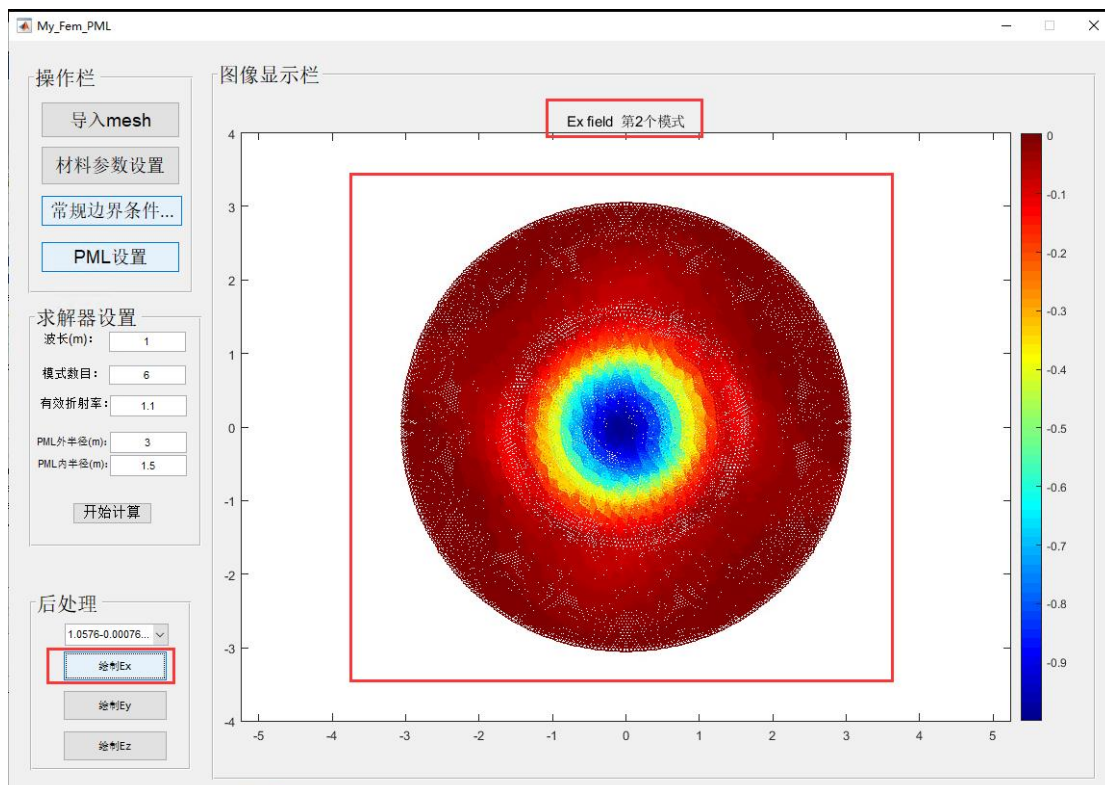
表示正在进行计算。计算结束后弹窗消失，后处理的模式的有效折射率列表更新



7、后处理。绘制出选择的本征模式的电场图。这里我们选择第二个模式：



点击“绘制 Ex”，将出现以下图像



图像显示栏上的 title 表示绘制的是第 2 个模式的 Ex 场。

因为绘制的是有限元法离散的节点处电场，因此看到的图实际由一个个圆圈构成

4、结果

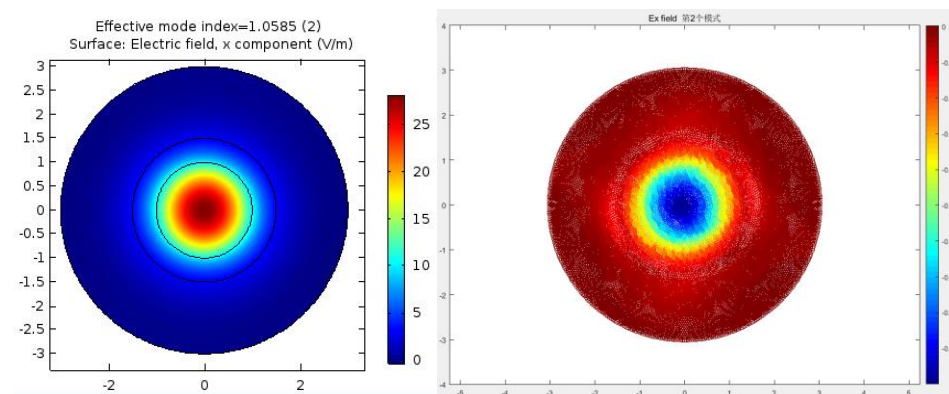
代码求解出的本征模式的有效折射率为：

```
1.0578-0.00071814i  
1.0576-0.00076416i  
1.007-0.00033351i  
1.005-0.0028215i  
1.0047-0.0046327i  
1.0034-0.0045496i
```

Comsol 相同材料参数、边界条件、PML 区域设置下求解出有效折射率为：

```
1.0122-7.8817E-4i  
1.009-3.4646E-4i  
1.009-3.4645E-4i  
1.0585 (1)  
1.0585 (2)  
1.0101+7.0338E-4i
```

数据相差 0.01 以内。



比较两者模场图，也基本一致。

因此可以做出以下结论，在一定误差范围内，正确计算出了二维光波导的本征模式。

误差原因分析：

- 1、我们的有限元法中使用的是一阶插值函数，而 comsol 使用二阶插值函数
- 2、矩阵组装过程中，处理比较粗糙，没有考虑计算顺序对精度的影响，没有使用矩阵处理技巧。比如，组装矩阵原本应为稀疏矩阵，但我们做了两次求逆运算，破坏了矩阵的稀疏性。
- 3、求解使用的 matlab eigs 函数，没有对矩阵做任何处理。