

哈尔滨工业大学（深圳）

电磁场 实验指导书

2022 年秋

编者：张弦

目录

实验一 静电场有限差分法简单计算的编程实现.....	1
1.1 实验目的	1
1.2 实验平台	1
1.3 实验内容	1
1.4 实验步骤	1
1.5 实验示例	1
1.6 实验注意事项	3
1.7 实验报告要求	4
实验二 用有限元法求解静电场边值问题	7
1.1 实验目的	7
1.2 实验平台	7
1.3 实验内容	7
1.4 实验步骤	7
1.5 实验示例	7
1.6 实验注意事项	11
1.7 实验报告要求	11

实验一 静电场有限差分法简单计算的编程实现

1.1 实验目的

1. 学习和掌握有限差分法（FDM）的基本概念和求解方法；
2. 掌握利用编程软件实现静电场 FDM 简单计算；

1.2 实验平台

MATLAB 软件

1.3 实验内容

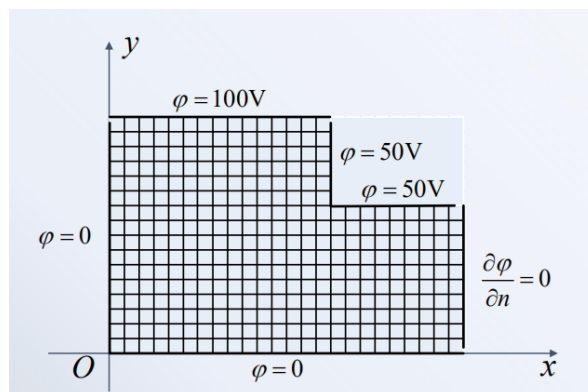
利用 FDM 仿真求解简单二维静电场，使用超松弛迭代法和高斯-塞德尔迭代法求解。

1.4 实验步骤

1. 选择与学号尾数相同的题目进行超松弛迭代法仿真。
2. 选择与学号尾数相同的题目进行高斯-塞德尔迭代法仿真。
3. 完成实验报告。

1.5 实验示例

1. 横截面为带有一缺口的矩形导体板，其中两面（ $x=0$, $y=0$ ）由接地导体板构成，如图所示，槽的其它边界分别接直流电压 100V、50V、50V，右侧边界是为零的第二类边界条件，用超松弛迭代法求此导体板的电位分布。



代码:

%用超松弛迭代法求二维静电场域的电位分布

hx=25;hy=17;%设置网格节点数

v1=ones(hy,hx);%设置行列二维数组

v1(1:6,17:25)=zeros(6,9);

m=24;n=16;%横纵向网格数

%边界的 Dirichlet 边界条件值

v1(1,1:16)=ones(1,16)*100;

v1(2:7,16)=ones(6,1)*50;

v1(7,17:24)=ones(1,8)*50;

v1(2:17,1)=0;

v1(17,:)=0;

%计算松弛因子

t1=(cos(pi/m)+cos(pi/n))/2;

w=2/(1+sqrt(1-t1*t1));

v2=v1;maxt=1;t=0;%初始化

k=0;

while(maxt>1e-6)%由 v1 迭代, 算出 v2, 迭代精度为 0.000001

k=k+1%计算迭代次数

maxt=0;

for i=2:7%从 2 到 7 行循环

for j=2:15%从 2 到 15 列循环

v2(i,j)=v1(i,j)+(v1(i,j+1)+v1(i+1,j)+v2(i-1,j)+v2(i,j-1)-4*v1(i,j))*w/4;%拉普拉斯方程差分式

t=abs(v2(i,j)-v1(i,j));

if(t>maxt) maxt=t;end

end

end

for i=8:(hy-1)%从 8 到 hy-1 行循环

for j=2:(hx-1)%从 2 到 hx-1 列循环

v2(i,j)=v1(i,j)+(v1(i,j+1)+v1(i+1,j)+v2(i-1,j)+v2(i,j-1)-4*v1(i,j))*w/4;%拉普拉斯方程差分式

t=abs(v2(i,j)-v1(i,j));

if(t>maxt) maxt=t;end

end

end

v2(7:hy-1,hx)=v2(7:hy-1,hx-1);

v1=v2

end

v1=v2(hy:-1:1,:)

subplot(1,2,1),mesh(v1)%画三维曲面图

axis([0,25,0,17,0,100])

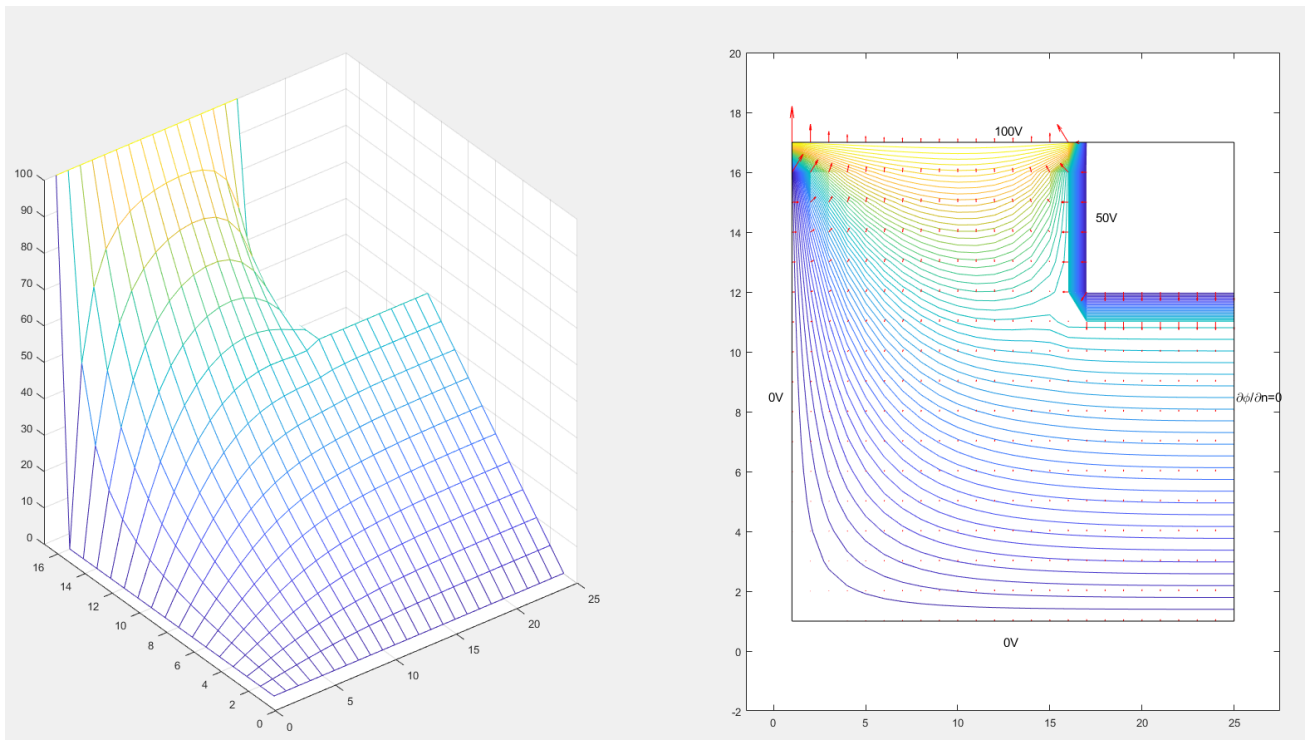
subplot(1,2,2),contour(v1,50)%画等电位线图

```

hold on
x=1:1:hx;y=1:1:hy;
[xx,yy]=meshgrid(x,y);%形成栅格
[Gx,Gy]=gradient(v1,0.6,0.6);%计算梯度
quiver(xx,yy,Gx,Gy,'r')%根据梯度数据画箭头
axis([-1.5,hx+2.5,-2,20])%设置坐标边框
plot([1,1,hx,hx,1],[1,hy,hy,1,1],'k')%画导体边框
text(hx/2-0.5,hy+0.4,'100V','fontsize',11);%下标注
text(hx/2,0.3,'0V','fontsize',11);%上标注
text(-0.3,hy/2,'0V','fontsize',11);%左标注
text(hx+0.1,hy/2,'\partial\phi/\partial n=0','fontsize',11);%右标注
text(hx/2+5,hy/2+6,'50V','fontsize',11);%下标注
hold off

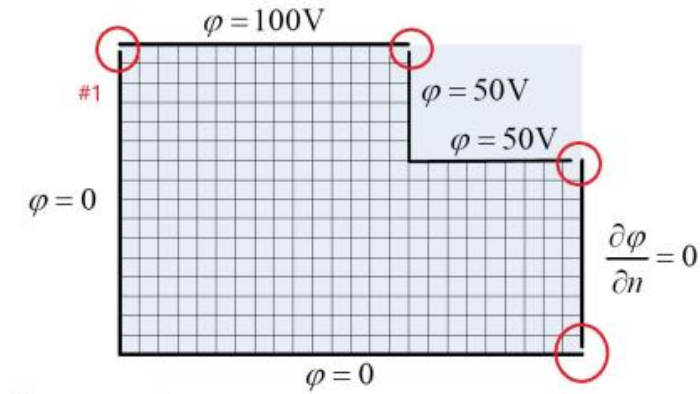
```

实验结果：



1.6 实验注意事项

1. 程序要在编辑器中编写；切记不要直接写在命令窗口。
2. 注意第一类和第二类边界条件在程序中是如何设置或如何体现的。
3. 设置边界条件时注意图中边界实线的起始点和结束点，注意缺口。如#1处，顶角的边界为 100V 而不是 0V，注意缺口。



4. 获得计算结果之后，如何判断结果是否正确（提示：从等位线与边界的垂直或平行的角度考虑）？自行判断之后再提交，以防出错产生扣分。
5. 获得计算结果之后，修改边界条件显示。注意将示例中的边界条件显示情况修改成自己题目中的边界条件，具体为如下所示的 `text` 函数，注意函数中各参数的含义。例如：

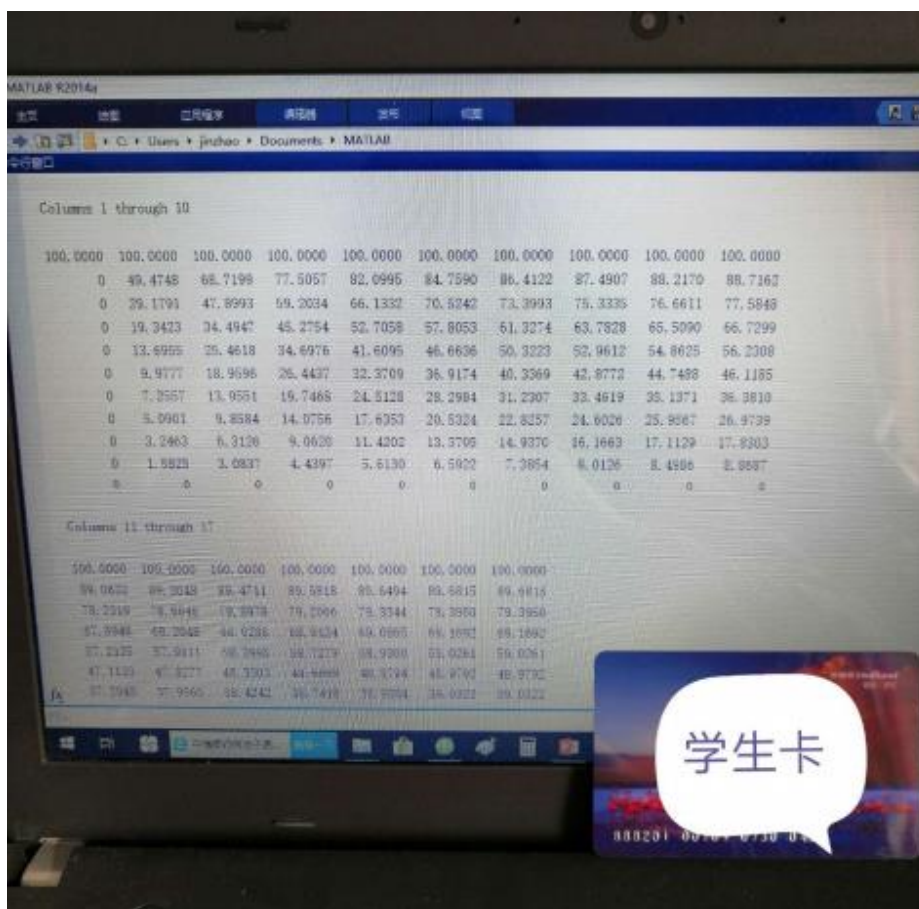
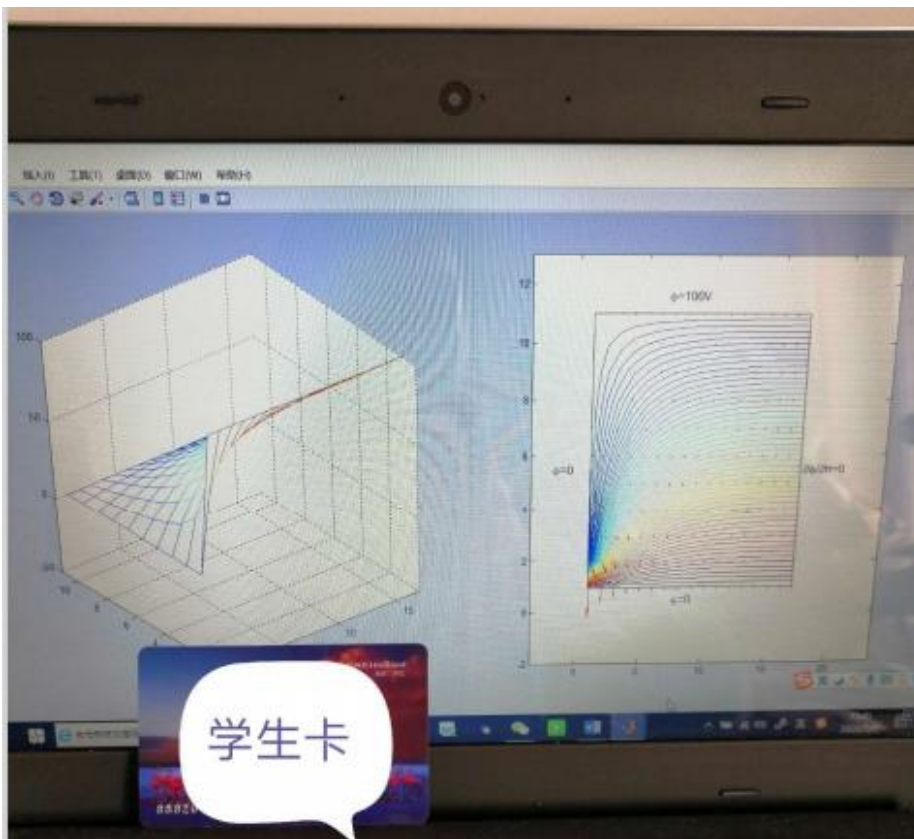
```
text(hx+0.1,hy/2,'\partial\phi/\partial n=0','fontsize',11);
text(hx/2+5,hy/2+6,'50V','fontsize',11);
```

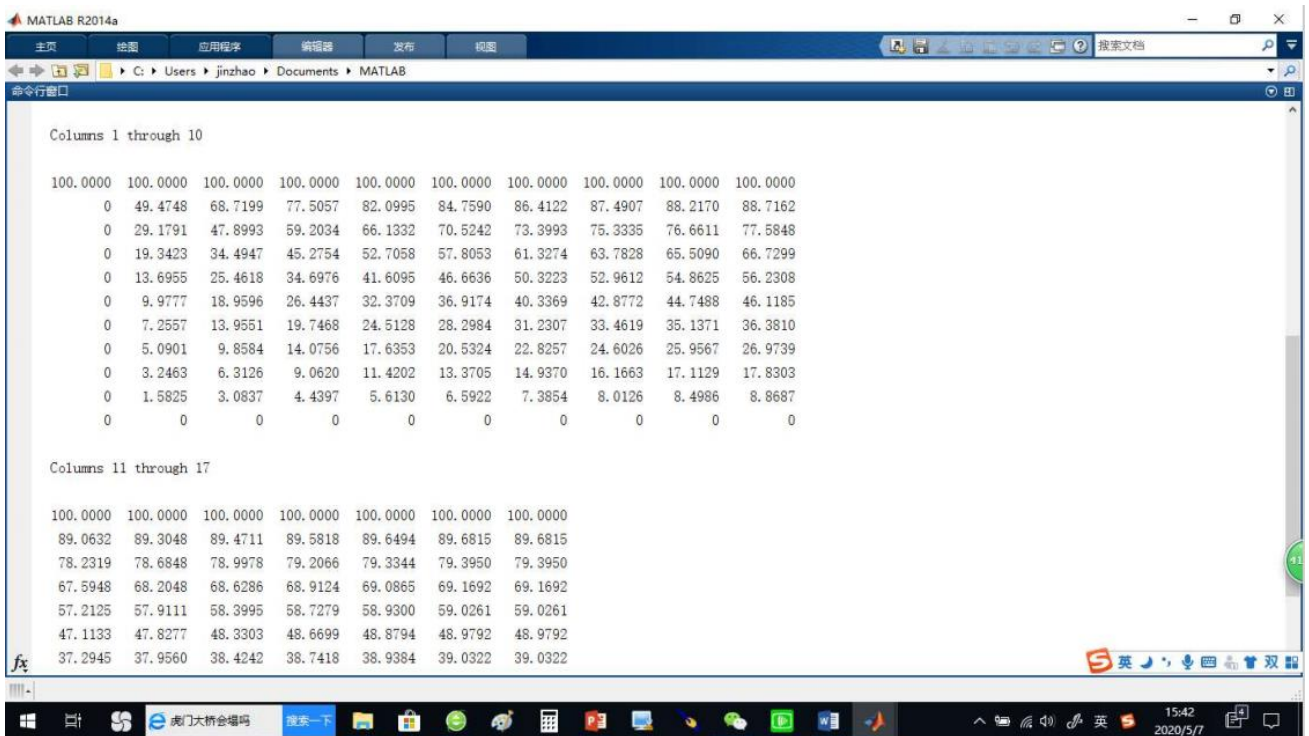
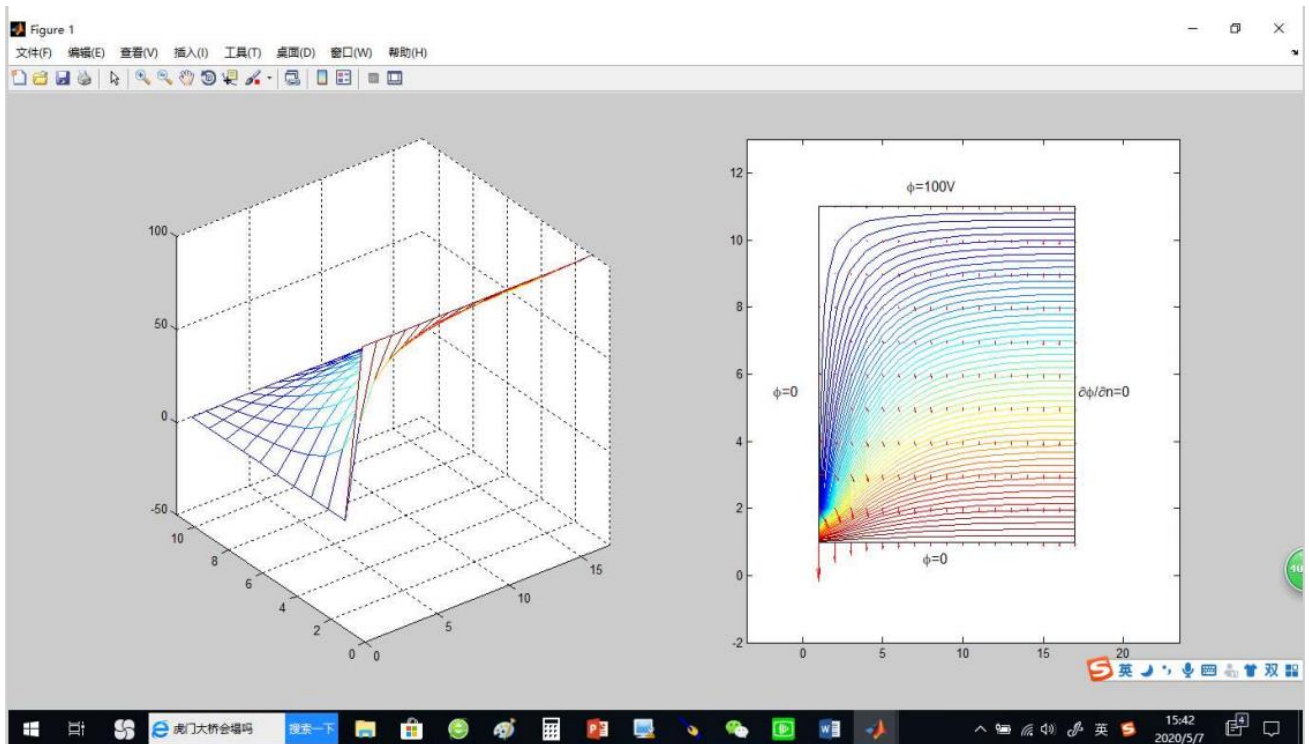
6. 出现死循环时，按 `ctrl+c` 或 `ctrl+break` 强行停止，一般问题在于网络对不上，或者不小心去掉了 `V1=V2` 这个新值存储。

1.7 实验报告要求

一共两份实验报告，每份实验报告包含以下内容：

- 1 实验报告包含抽到的题目+程序+实验结果。
- 2 实验结果包括学生卡+仿真图片的照片，学生卡+最后一代 `v1` 输出矩阵的照片，仿真图片全屏截图和 `v1` 矩阵的全屏截图，均要求清晰可见。





实验二 用有限元法求解静电场边值问题

——以 FEMM 软件为例

2.1 实验目的

1. 学习和掌握有限元法（FEM）的基本概念和求解思路；
2. 掌握利用仿真软件 FEMM 实现静电场边值问题的简单仿真。

2.2 实验平台

FEMM 软件

2.3 实验内容

利用 FEMM 软件，使用有限元方法仿真求解静电场的边值问题。

2.4 实验步骤

1. 学号尾数为 0,3,6,9 的同学请选择题目 01；学号尾数为 1,4,7 的同学请选择题目 02；学号尾数为 2,5,8 的同学请选择题目 03。
2. 学习 FEMM 软件的基本操作，按照示例学习仿真搭建流程。
3. 完成题目，得出仿真结果。
4. 完成实验报告。

2.5 实验示例

1. 具有方形截面电容器的分析(同轴电缆)，如图所示，此示例的外部正方形为 4 厘米，内部正方形为 2 厘米。几何形状在“页内”方向延伸 100 厘米。板之间的电介质是空气。建立模型，分析问题并确定电容。

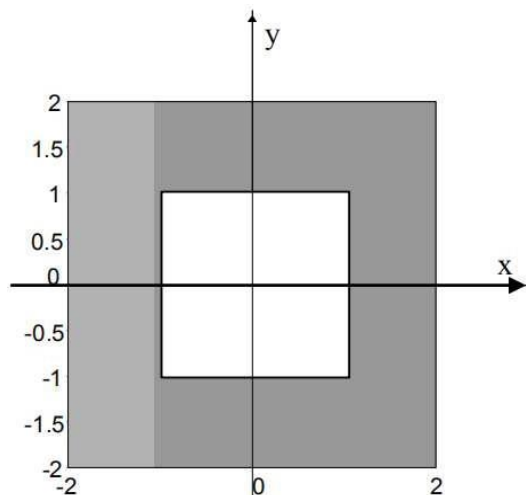


Figure 1: Square Cross-Section Capacitor

首先，由于对称性，仅需对设备的四分之一进行建模。

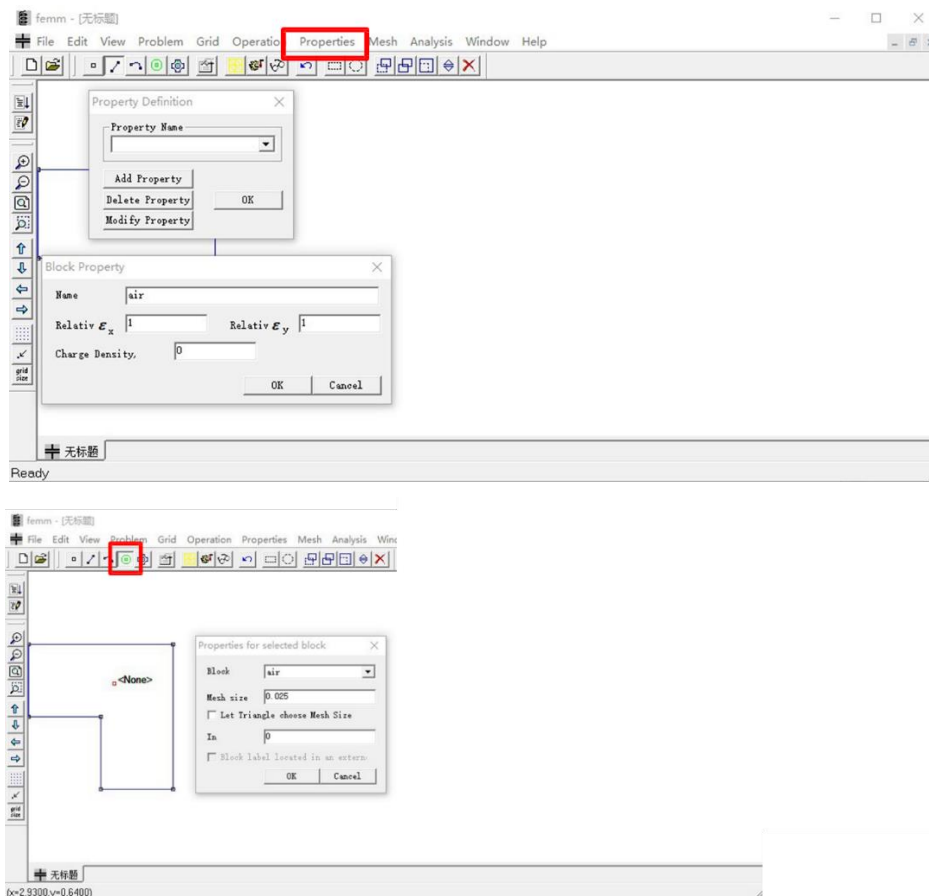
一、 建立模型

- ① 打开 FEMM 程序，在对话框中点击确定
- ② 点击新建文件，选择建立电场问题，点击确定，本例选择创建电场问题
- ③ 点击下拉菜单“Problem”，定义问题属性
- ④ 用节点和线画出几何模型

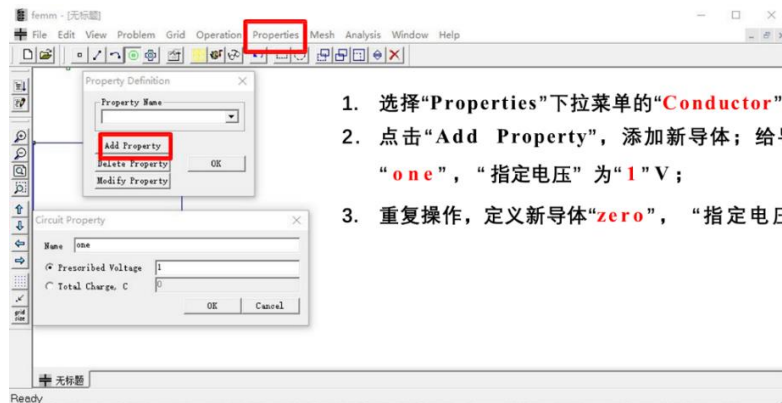
画几何模型

1. 鼠标**左**键点击 ；
2. 按键盘中的“**T a b**”键，出现“Enter Point”对话框；
3. 分别输入坐标，
(0, 1)、(1, 1)、(1, 0)、(2, 0)、(2, 2)、(0, 2)
4. 点击左侧快捷键 ，可观察全部已输入的点。
5. 鼠标**左**键点击 ；
6. 鼠标**左**键依次选取直线段的端点，构成求解区域；

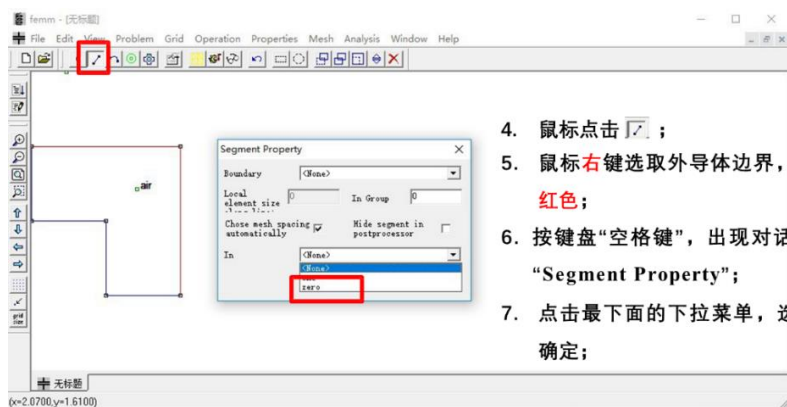
- ⑤ 添加新材料并加载



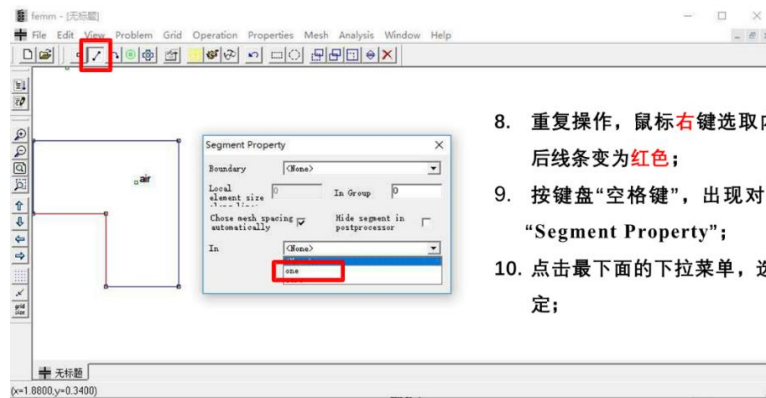
二、 加载并设置边界条件和激励



1. 选择“Properties”下拉菜单的“Conductor”；
2. 点击“Add Property”，添加新导体；给导体定义名字为“one”，“指定电压”为“1”V；
3. 重复操作，定义新导体“zero”，“指定电压”为“0”V；



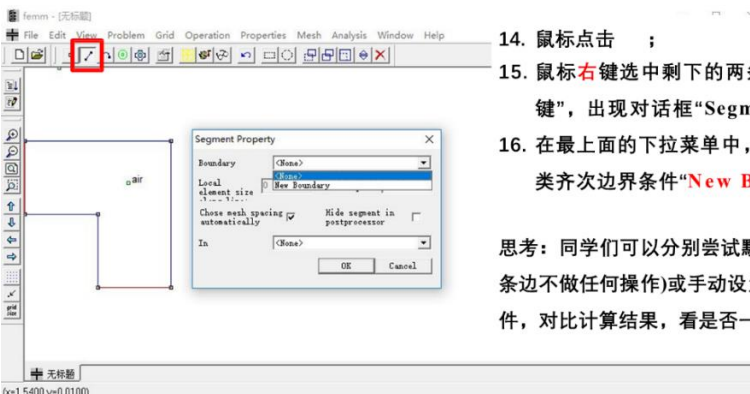
4. 鼠标点击 ；
5. 鼠标右键选取外导体边界，选中后线条变为红色；
6. 按键盘“空格键”，出现对话框“Segment Property”；
7. 点击最下面的下拉菜单，选择“zero”，并确定；



8. 重复操作，鼠标右键选取内导体边界，选中后线条变为红色；
9. 按键盘“空格键”，出现对话框“Segment Property”；
10. 点击最下面的下拉菜单，选择“one”，并确定；



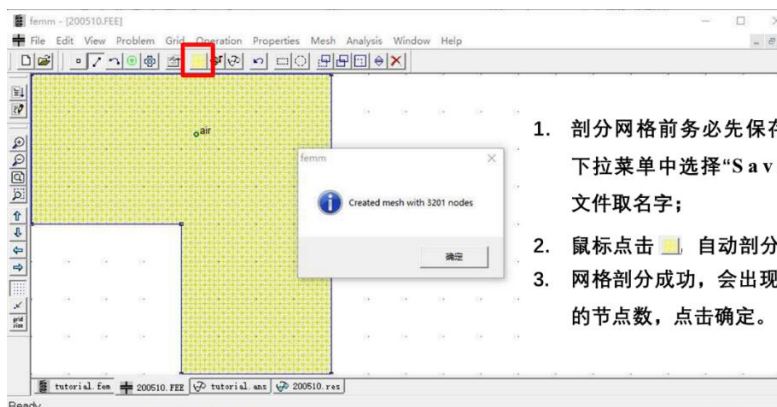
11. 剩下的两条边，在FEMM中如不加载边界条件，则默认为第二类齐次边界条件；
12. 或者手动设置，点击“Properties”下拉菜单的“Boundary”；
13. 点击“Add Property”，添加新边界，此时出现对话框“Boundary Property”，边界类型选择“Mixed”，系数均为0时，正好是第二类齐次边界条件，点击确定；



14. 鼠标点击 ；
15. 鼠标右键选中剩下的两条边，按键盘“空格键”，出现对话框“Segment Property”；
16. 在最上面的下拉菜单中，选择定义好的第二类齐次边界条件“New Boundary”，并确定

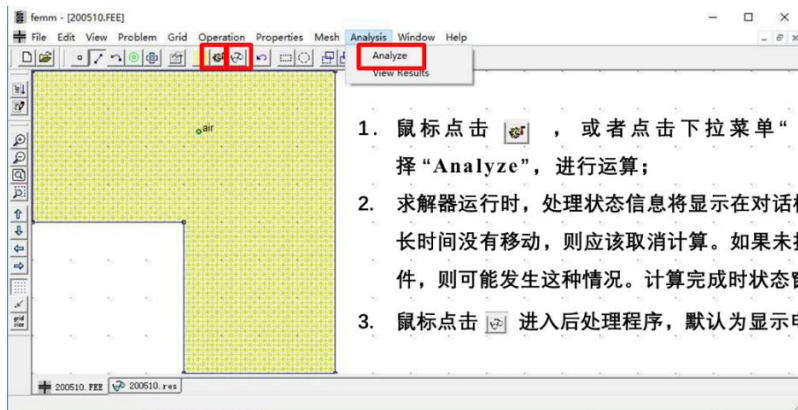
思考：同学们可以分别尝试默认(就是对剩下的两条边不做任何操作)或手动设置第二类齐次边界条件，对比计算结果，看是否一致；



三、 剖分网格

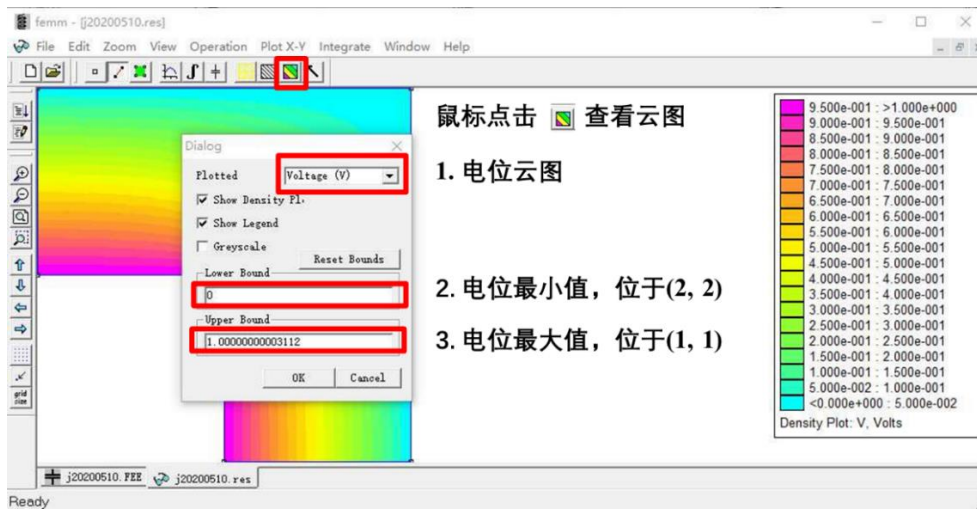


1. 剖分网格前务必先保存文件，在“File”下拉菜单中选择“Save”保存文件，并给文件取名字；
2. 鼠标点击 自动剖分网格；
3. 网格剖分成功，会出现对话框，显示创建的节点数，点击确定。

四、 求解并查看结果



1. 鼠标点击 ，或者点击下拉菜单“Analysis”，选择“Analyze”，进行运算；
2. 求解器运行时，处理状态信息将显示在对话框中。如果进度条长时间没有移动，则应该取消计算。如果未指定足够的边界条件，则可能发生这种情况。计算完成时状态窗口将消失。
3. 鼠标点击  进入后处理程序，默认为显示电位云图；



鼠标点击  查看云图

1. 电位云图
2. 电位最小值，位于(2, 2)
3. 电位最大值，位于(1, 1)

2.6 实验注意事项

7. 在完成每步工作后要注意及时保存文件。
8. 在建立仿真文件选择电场和磁场问题时要选择正确。
9. 在建立仿真文件选择平面和轴对称问题时要选择正确。
10. 默认平面问题深度为 1，注意根据题目修改数值以及单位。

2.7 实验报告要求

1. PDF 格式文件，14 日提交，填写姓名、学号，附原题。
2. 第一问结果展示图片。
3. 第二问给出变化规律的表格，并采用 MATLAB 等软件绘图（要有横纵坐标及单位、曲线及数据点）并简要说明和解释一下变化规律。