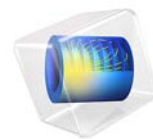


在 COMSOL Multiphysics 5.4 版本中创建



# 电传感器

## 简介

---

本案例通过简化的静电设置模拟了电阻断层成像 (EIT) 方法，这是一种根据物体介电常数分布进行成像的方法。这种成像技术通过在物体表面测量电流和电压来实现。

医疗诊断就应用了这种技术。由于身体各器官及组织的电属性各不相同，因此可以采用非入侵的方式获得各器官及组织的具体定位及运动的信息。

本模型显示如何根据盒内小物体的不同材料属性从盒外判断其形状及其在盒内的位置。在盒子边界施加一个势差，会产生一个表面电荷密度，其大小根据盒内介电常数分布而有所不同。

## 模型定义

---

本模型求解  $\rho = 0$  时的高斯定律：

$$-\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r \nabla V) = \rho$$

盒内空气的  $\epsilon_r$  为 1。使用三种不同材料制成三个物体，这三种材料的相对介电常数值  $\epsilon_r$ ：1、2 和 3。

为了得到一个电压差，在盒底部设定一个接地条件 ( $V = 0$ )，在盒顶部施加条件  $V = 1$ 。盒子侧面的边界条件设为电绝缘： $\mathbf{n} \cdot \mathbf{D} = 0$ 。

## 结果与讨论

---

如图 1 所示，材料介电常数越高，对应的表面电荷密度也越高，与我们所期望的一致。在表面电荷密度图中重现出盒内图形的成像。

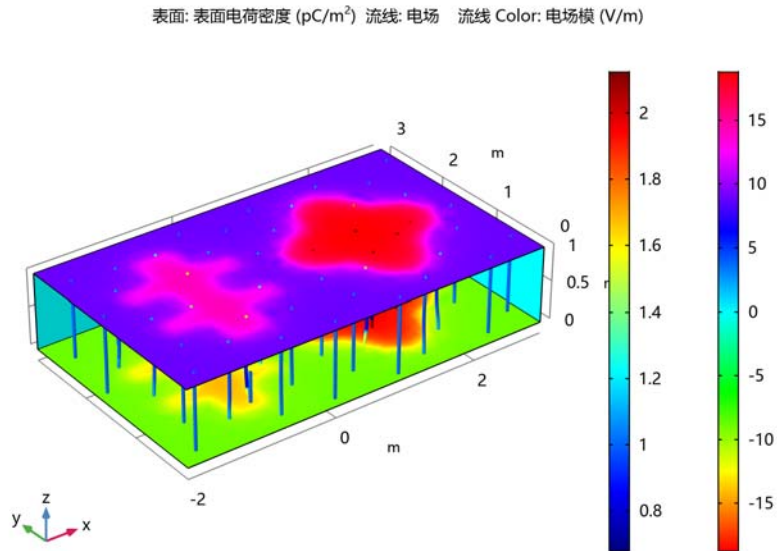


图1: 表面电荷密度 (边界)、电场 (流线密度) 以及电势 (流线颜色)。

几何内部的流线显示电场的变化。介电常数值较高的介质中, 电场值较小。

---

案例库路径: COMSOL\_Multiphysics/Electromagnetics/electric\_sensor

---

### 建模操作说明

---

从文件菜单中选择**新建**。

#### 新建

在**新建**窗口中, 单击**模型向导**。

#### 模型向导

- 1 在**模型向导**窗口中, 单击**三维**。
- 2 在**选择物理场树**中选择 **AC/DC> 静电 (es)**。
- 3 单击**添加**。

- 4 单击**研究**。
- 5 在**选择研究树**中选择**一般研究 > 稳态**。
- 6 单击**完成**。

## 几何 1

### *工作平面 1 (wp1)*

- 1 在几何工具栏中单击**工作平面**。
- 2 在**工作平面**的**设置**窗口中，定位到**平面定义**栏。
- 3 在**z**坐标文本框中键入“0.1”。
- 4 单击**显示工作平面**。

### *工作平面 1 (wp1) > 矩形 1 (r1)*

- 1 在**工作平面**工具栏中单击**体素**，然后选择**矩形**。
- 2 在**矩形**的**设置**窗口中，定位到**大小和形状**栏。
- 3 在**宽度**文本框中键入“0.5”。
- 4 在**高度**文本框中键入“2”。
- 5 定位到**位置**栏。在 **xw** 文本框中键入“-1”。
- 6 在 **yw** 文本框中键入“0.5”。
- 7 右键单击**组件 1 (comp1) > 几何 1 > 工作平面 1 (wp1) > 平面几何 > 矩形 1 (r1)**并选择**构建选定对象**。

### *工作平面 1 (wp1) > 矩形 2 (r2)*

- 1 在**工作平面**工具栏中单击**体素**，然后选择**矩形**。
- 2 在**矩形**的**设置**窗口中，定位到**大小和形状**栏。
- 3 在**宽度**文本框中键入“1.5”。
- 4 在**高度**文本框中键入“0.25”。
- 5 定位到**位置**栏。在 **xw** 文本框中键入“-1.5”。
- 6 在 **yw** 文本框中键入“1”。
- 7 右键单击**组件 1 (comp1) > 几何 1 > 工作平面 1 (wp1) > 平面几何 > 矩形 2 (r2)**并选择**构建选定对象**。

### *工作平面 1 (wp1) > 矩形 3 (r3)*

- 1 在**工作平面**工具栏中单击**体素**，然后选择**矩形**。
- 2 在**矩形**的**设置**窗口中，定位到**大小和形状**栏。
- 3 在**宽度**文本框中键入“1.5”。

- 4 在**高度**文本框中键入“0.25”。
- 5 定位到**位置**栏。在 **xw** 文本框中键入“-1.5”。
- 6 在 **yw** 文本框中键入“1.75”。
- 7 右键单击**组件 1 (comp1)**>**几何 1**>**工作平面 1 (wp1)**>**平面几何**>**矩形 3 (r3)**并选择**构建选定对象**。

*工作平面 1 (wp1) > 并集 1 (uni1)*

- 1 在**工作平面**工具栏中单击**布尔操作和分割**，然后选择**并集**。
- 2 单击**图形**窗口，然后按 Ctrl+A 选择所有对象。
- 3 在**并集**的**设置**窗口中，定位到**并集**栏。
- 4 清除**保留内部边界**复选框。
- 5 右键单击**组件 1 (comp1)**>**几何 1**>**工作平面 1 (wp1)**>**平面几何**>**并集 1 (uni1)**并选择**构建选定对象**。
- 6 在**图形**工具栏中单击**缩放到窗口大小**按钮。

*工作平面 1 (wp1) > 椭圆 1 (e1)*

- 1 在**工作平面**工具栏中单击**体素**，然后选择**椭圆**。
- 2 在**椭圆**的**设置**窗口中，定位到**大小和形状**栏。
- 3 在 **a 半轴**文本框中键入“0.5”。
- 4 定位到**位置**栏。在 **xw** 文本框中键入“1.5”。
- 5 在 **yw** 文本框中键入“1.5”。
- 6 右键单击**组件 1 (comp1)**>**几何 1**>**工作平面 1 (wp1)**>**平面几何**>**椭圆 1 (e1)**并选择**构建选定对象**。
- 7 在**图形**工具栏中单击**缩放到窗口大小**按钮。

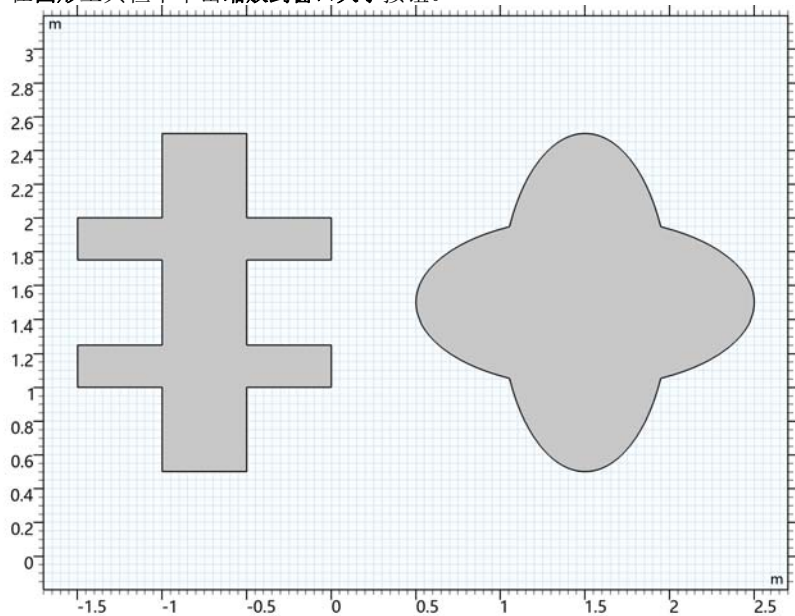
*工作平面 1 (wp1) > 椭圆 2 (e2)*

- 1 在**工作平面**工具栏中单击**体素**，然后选择**椭圆**。
- 2 在**椭圆**的**设置**窗口中，定位到**大小和形状**栏。
- 3 在 **b 半轴**文本框中键入“0.5”。
- 4 定位到**位置**栏。在 **xw** 文本框中键入“1.5”。
- 5 在 **yw** 文本框中键入“1.5”。
- 6 右键单击**组件 1 (comp1)**>**几何 1**>**工作平面 1 (wp1)**>**平面几何**>**椭圆 2 (e2)**并选择**构建选定对象**。

*工作平面 1 (wp1) > 组合 1 (col)*

- 1 在**工作平面**工具栏中单击**布尔操作和分割**，然后选择**组合**。

- 2 选择“对象”**e1**和**e2**。
- 3 在**组合**的**设置**窗口中，定位到**组合**栏。
- 4 清除**保留内部边界**复选框。
- 5 在**设置公式**文本框中键入“**e1+e2**”。
- 6 右键单击**组件 1 (comp1)**>**几何 1**>**工作平面 1 (wp1)**>**平面几何**>**组合 1 (co1)**并选择**构建选定对象**。
- 7 在**图形**工具栏中单击**缩放到窗口大小**按钮。



*工作平面 1 (wp1)*

在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)**>**几何 1**节点下，单击**工作平面 1 (wp1)**。

*拉伸 1 (ext1)*

- 1 在**几何**工具栏中单击**拉伸**。
- 2 在**拉伸**的**设置**窗口中，定位到**距离**栏。
- 3 在表中输入以下设置：

距离 (m)
0.8

- 4 右键单击**拉伸 1 (ext1)**并选择**构建选定对象**。

5 在图形工具栏中单击**缩放到窗口大小**按钮。

*长方体 1 (blk1)*

1 在几何工具栏中单击**长方体**。

2 在长方体的**设置**窗口中，定位到**大小和形状**栏。

3 在**宽度**文本框中键入“5”。

4 在**深度**文本框中键入“3”。

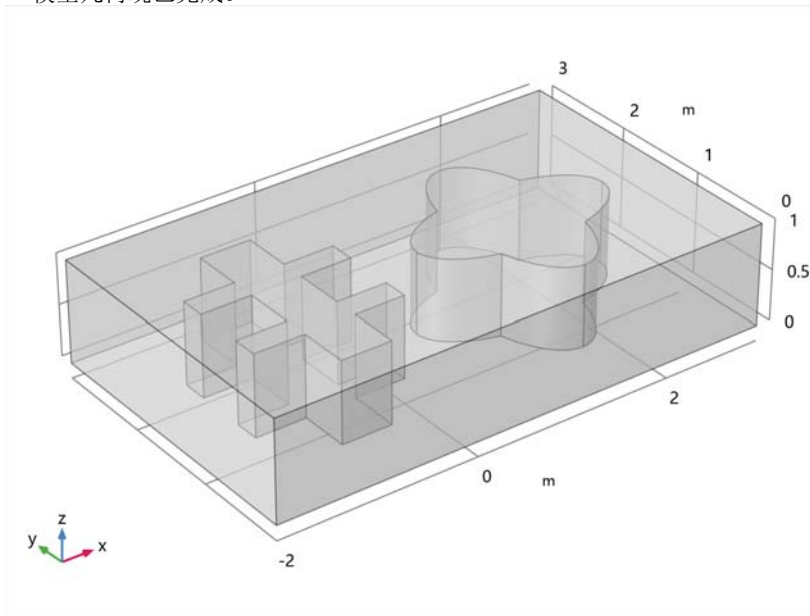
5 定位到**位置**栏。在 **x** 文本框中键入“-2”。

6 单击**构建所有对象**。

7 在图形工具栏中单击**缩放到窗口大小**按钮。

8 在图形工具栏中单击**透明**按钮。

模型几何现已完成。



**静电 (ES)**

*接地 1*

1 在物理场工具栏中单击**边界**，然后选择**接地**。

2 选择“边界”3。

电势 1

- 1 在物理场工具栏中单击边界，然后选择电势。
- 2 选择“边界”4。
- 3 在电势的设置窗口中，定位到电势栏。
- 4 在  $V_0$  文本框中键入“1”。

材料

材料 1 (mat1)

- 1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1) 节点下，右键单击材料并选择空材料。
- 2 在材料的设置窗口中，定位到材料属性明细栏。
- 3 在表中输入以下设置：

属性	变量	值	单位	属性组
相对介电常数	epsilon_nr_iso ; epsilon_rii = epsilon_nr_iso, epsilon_rij = 0	1	1	基本

材料 2 (mat2)

- 1 右键单击材料并选择空材料。
- 2 选择“域”2。
- 3 在材料的设置窗口中，定位到材料属性明细栏。
- 4 在表中输入以下设置：

属性	变量	值	单位	属性组
相对介电常数	epsilon_nr_iso ; epsilon_rii = epsilon_nr_iso, epsilon_rij = 0	2	1	基本

材料 3 (mat3)

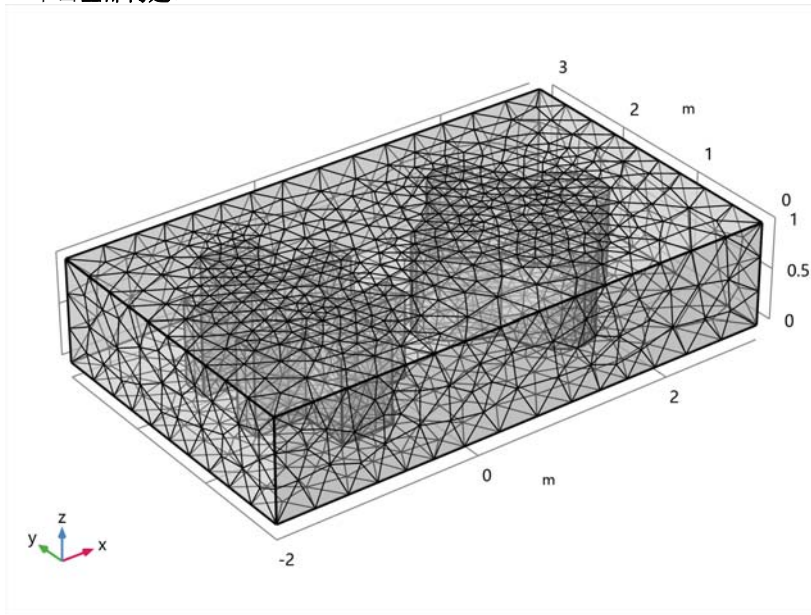
- 1 右键单击材料并选择空材料。
- 2 选择“域”3。
- 3 在材料的设置窗口中，定位到材料属性明细栏。
- 4 在表中输入以下设置：

属性	变量	值	单位	属性组
相对介电常数	epsilon_nr_iso ; epsilon_rii = epsilon_nr_iso, epsilon_rij = 0	3	1	基本



### 网格 1

- 1 在模型开发器窗口的**组件 1 (comp1)** 节点下，单击**网格 1**。
- 2 在网格的**设置**窗口中，定位到**物理场控制网格**栏。
- 3 从单元大小列表中选择**细化**。
- 4 单击**全部构建**。



### 研究 1

在主屏幕工具栏中单击**计算**。

### 结果

#### 电势 ( $es$ )

要重现图 1 中的绘图，可以先抑制一些边界，使盒内变得可见。

#### 研究 1/ 解 1 ( $sol1$ )

- 1 在模型开发器窗口中展开**结果 > 数据集**节点。
- 2 右键单击**研究 1/ 解 1 ( $sol1$ )** 并选择**选择**。

#### 选择

- 1 在模型开发器窗口的**结果 > 数据集 > 研究 1/ 解 1 ( $sol1$ )** 节点下，单击**选择**。
- 2 在选择的**设置**窗口中，定位到**几何实体选择**栏。

- 3 从几何实体层列表中选择边界。
- 4 从选择列表中选择所有边界。
- 5 选择“边界”3-5和38。
- 6 在图形工具栏中单击透明按钮。

#### 电势 (es)

移除默认的电势切面图。

- 1 在模型开发器窗口的结果节点下，右键单击电势 (es) 并选择删除。
- 2 单击是进行确认。

#### 表面 1

- 1 在主屏幕工具栏中单击添加绘图组，然后选择三维绘图组。
- 2 在模型开发器窗口中，右键单击三维绘图组 1 并选择表面。
- 3 在表面的设置窗口中，单击表达式栏右上角的替换表达式。从菜单中选择模型 > 组件 1 > 静电 > 电流和电荷 > es.nD - 表面电荷密度 - C/m<sup>2</sup>。
- 4 定位到表达式栏。在单位编辑框中键入“pC/m<sup>2</sup>”。
- 5 定位到着色和样式栏。从颜色表列表中选择Cyclic。
- 6 在三维绘图组 1 工具栏中单击绘制。
- 7 在图形工具栏中单击缩放至窗口大小按钮。

#### 流线 1

- 1 在模型开发器窗口的结果节点下，右键单击三维绘图组 1 并选择流线。
- 2 在流线的设置窗口中，定位到流线定位栏。
- 3 从定位列表中选择大小受控。
- 4 定位到着色和样式栏。找到线样式子栏。从类型列表中选择管。

#### 颜色表达式 1

- 1 右键单击结果 > 三维绘图组 1 > 流线 1 并选择颜色表达式。
  - 2 在颜色表达式的设置窗口中，单击表达式栏右上角的替换表达式。从菜单中选择模型 > 组件 1 > 静电 > 电 > es.normE - 电场模 - V/m。
  - 3 单击以展开标题栏。从标题类型列表中选择自动。
- 将生成的绘图与图 1 进行比较。