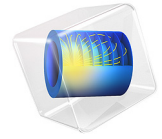


在 COMSOL Multiphysics 5.4 版本中创建



计算电容边缘场效应

简介

典型的电容器由两个导体加上它们之间的电介质构成。在这两个导体之间施加势差会产生电场。这一电场不仅直接存在于导体之间，还会扩展一段距离，这种现象称为边缘场。为了准确预测电容器的电容量，用于模拟边缘场的域必须足够大，并使用适当的边界条件。此示例模拟了空气中的平行板电容器，研究了空气域的大小，还分析了边界条件的选择。

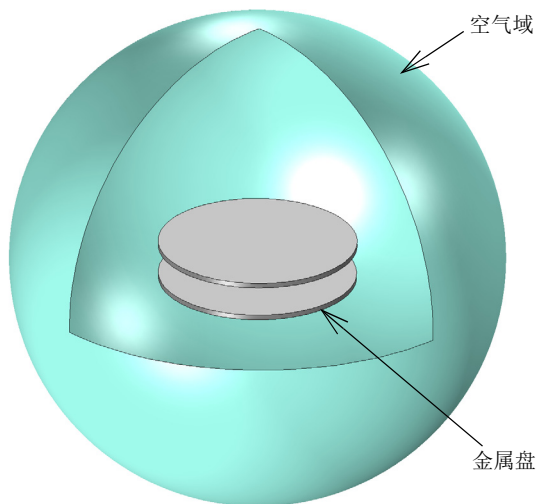


图1：由空气域中的两个金属盘组成的简单电容器。

模型定义

图1显示了空气的球形体积中两个金属盘组成的电容器。球体的大小截断了模拟空间。此模型研究该空气域的大小及其对电容的影响。

其中一块板指定为接地，电势为 0 V 。另一块板上施加 1 V 的电势。

空气球体边界可视为两种不同的物理情况之一：可视为电荷自身不能重新分配的完全绝缘面，或视为电势不发生变化的完全导电面。

完全绝缘面通过“零电荷”边界条件进行模拟。此边界条件意味着电场线与边界相切。

完全导电面可通过“悬浮电位”边界条件进行模拟。此边界条件将球体表面的电势固定为在求解期间计算出的常数值，还意味着电场线与边界垂直。

在相对于周围域大小研究结果的收敛性时，务必固定单元大小。在此模型中，单元大小是固定的，而域大小是变化的。

结果与讨论

图 2 和图 3 分别绘制了空气球体边界视为完全绝缘和完全导电情况下的电场。这两种情况下电场在空气球体边界上的终止方式不同。

图 4 比较了两种边界条件下器件的电容值与空气球体半径的关系。图中还绘制了这两个电容的平均值。请注意，随着半径的增大，计算得到的所有这三个电容都收敛为同一个值。在实际应用中，模拟施加电绝缘和悬浮电位边界条件的小型空气球体并取这两个电容的平均值通常就足够了。

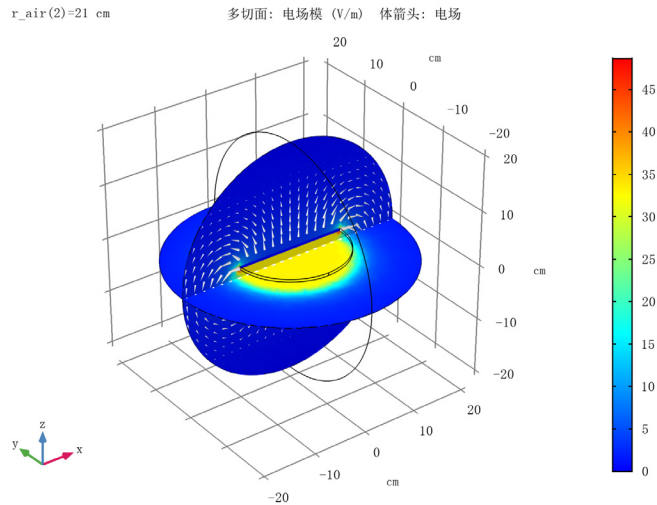


图2：“零电荷”边界条件情况下的电场模（多切面图）和电场（箭头图）。

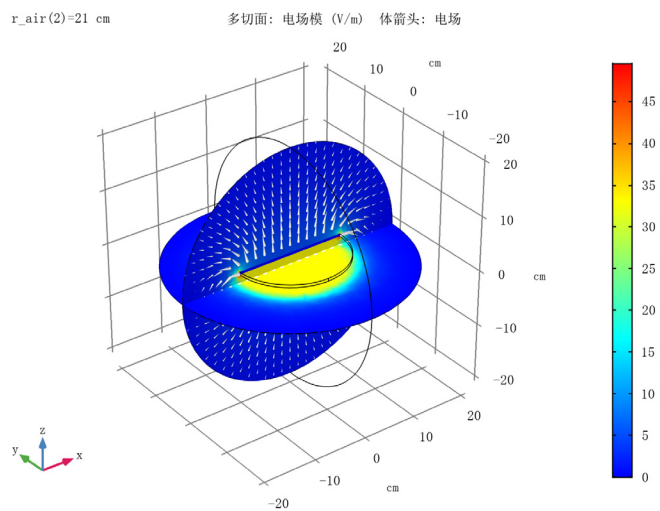


图3: “悬浮电位”边界条件情况下的电场模（多切面图）和电场（箭头图）。

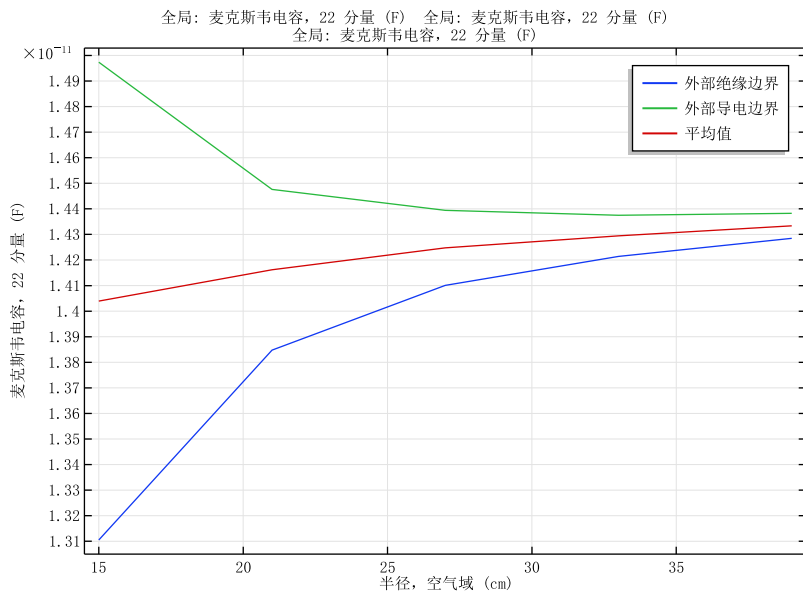


图4：随着周围空气球体大小的增加，器件电容的收敛情况。电绝缘和固定电势边界条件收敛为同一结果。还绘制了两者的平均值。

案例库路径：ACDC_Module/Capacitive_Devices/capacitor_fringing_fields

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**。

全局定义

- 1 在**模型开发者**窗口的**全局定义**节点下，单击**参数 1**。
- 2 在**参数**的**设置**窗口中，定位到**参数**栏。
- 3 在表中输入以下设置：

名称	表达式	值	描述
r_air	15[cm]	0.15 m	半径，空气域

几何 1

- 1 在**模型开发者**窗口的**组件 1 (comp1)**节点下，单击**几何 1**。
- 2 在**几何**的**设置**窗口中，定位到**单位**栏。
- 3 从**长度单位**列表中选择 **cm**。

圆柱体 1 (cyl1)

- 1 在**几何**工具栏中单击**圆柱体**。
- 2 在**圆柱体**的**设置**窗口中，定位到**大小和形状**栏。
- 3 在**半径**文本框中键入 “10”。
- 4 在**高度**文本框中键入 “0.5”。
- 5 定位到**位置**栏。在 **z** 文本框中键入 “-2”。
- 6 单击**构建选定对象**。

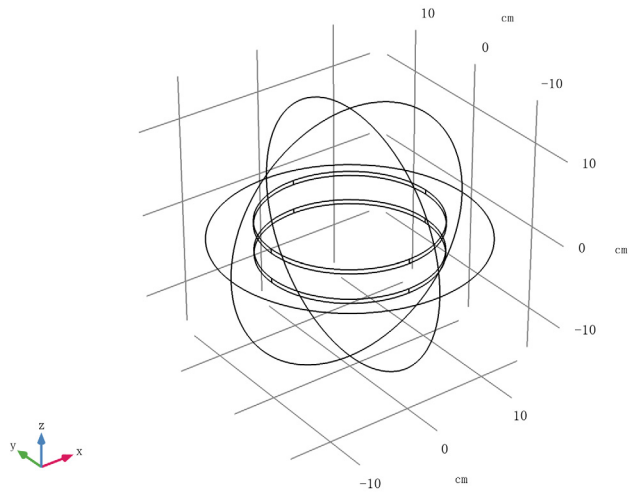
镜像 1 (mir1)

- 1 在**几何**工具栏中单击**变换**，然后选择**镜像**。
- 2 选择 “对象” **cyl1**。
- 3 在**镜像**的**设置**窗口中，定位到**输入**栏。
- 4 选中**保留输入对象**复选框。
- 5 单击**构建选定对象**。

球体 1 (sph1)

- 1 在**几何**工具栏中单击**球体**。
- 2 在**球体**的**设置**窗口中，定位到**大小**栏。
- 3 在**半径**文本框中键入 “r_air”。
- 4 单击**构建选定对象**。

- 5 在图形工具栏中单击**线框渲染**按钮。
- 6 在图形工具栏中单击**缩放到窗口大小**按钮。



几何描述了空气域中的两个金属盘。

为外部边界创建选择，稍后将用于**悬浮电位**边界条件。

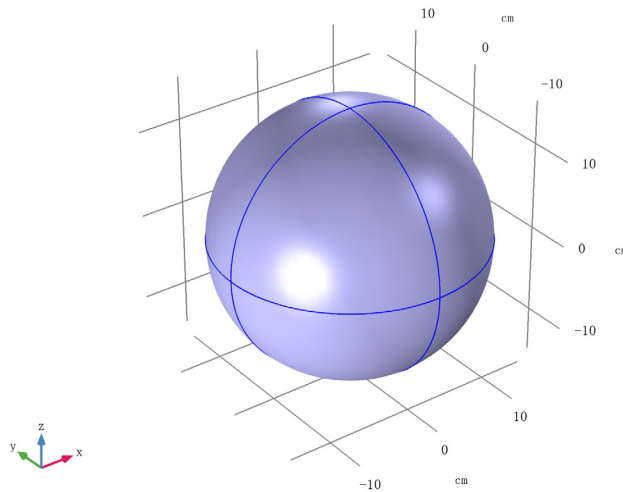
- 7 在**定义**工具栏中单击**显式**。

定义

显式 1

- 1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)**> **定义节点**下，单击**显式 1**。
- 2 在**显式**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “外部”。
- 3 定位到**输入实体**栏。选中**所有域**复选框。

4 定位到**输出实体**栏。从**输出实体**列表中选择**相邻边界**。

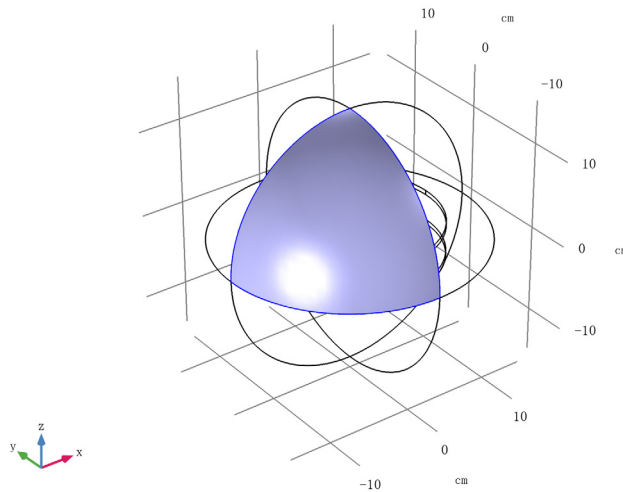


隐藏一个边界，以便在设置物理场和查看网格时更清晰地观察其内部。先选择**静电**接口，然后添加**隐藏**节点。

对物理场隐藏 1

- 1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)**> **定义节点**下，右键单击**视图 1**并选择**对物理场隐藏**。
- 2 在**对物理场隐藏**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 选择“边界”2。



默认边界条件为**零电荷**，应用于所有外部边界。为电极添加两个**终端**特征，一个连接到源，另一个接地。

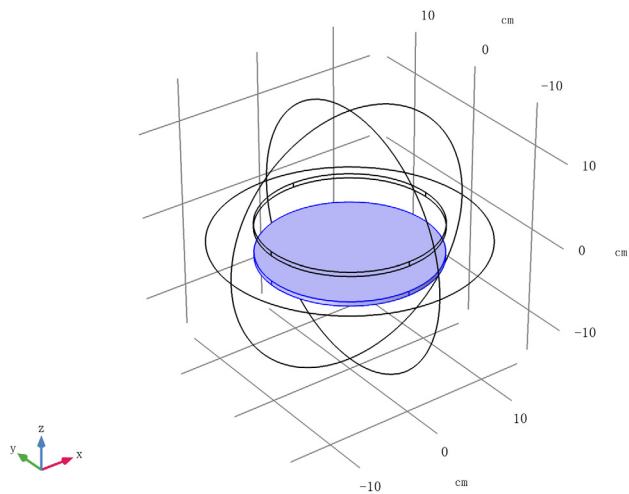
静电 (ES)

在**物理场**工具栏中单击**域**，然后选择**终端**。

终端 1

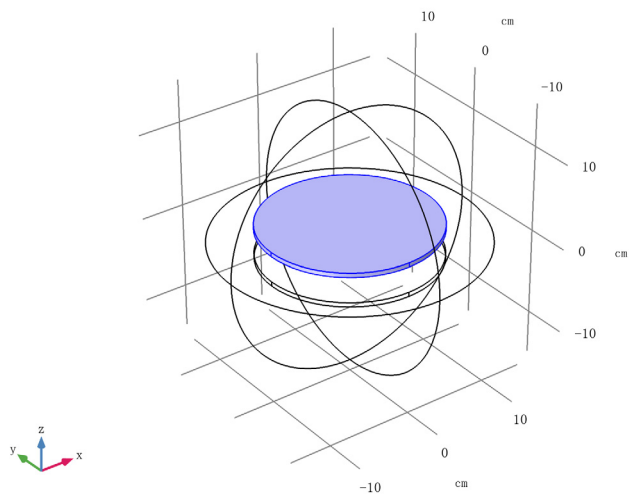
- 1 在**模型开发器**窗口的**组件 1 (comp1)> 静电 (es)**节点下，单击**终端 1**。
- 2 选择“域”2。
- 3 在**终端**的**设置**窗口中，定位到**终端**栏。
- 4 从**终端类型**列表中选择**电压**。

5 在 V_0 文本框中键入 “0”。



终端 2

- 1 在物理场工具栏中单击域，然后选择终端。
- 2 选择 “域” 3。
- 3 在终端的设置窗口中，定位到终端栏。
- 4 从终端类型列表中选择电压。



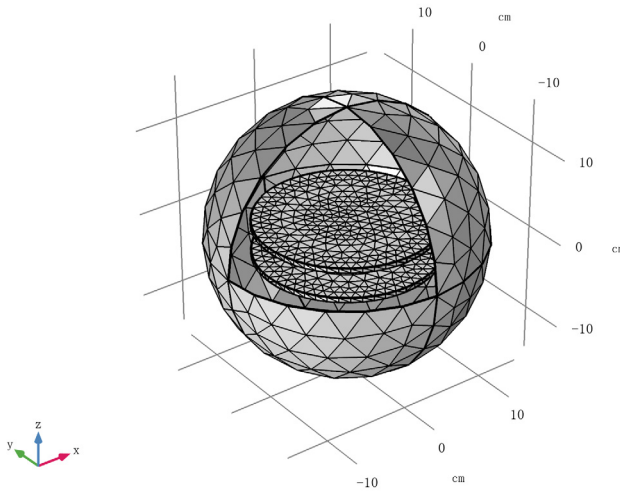
接下来，指派模型的材料属性。为所有域指定**空气**。

添加材料

- 1 在主屏幕工具栏中，单击**添加材料**以打开**添加材料**窗口。
- 2 转到**添加材料**窗口。
- 3 在模型树中选择**内置材料 > Air**。
- 4 单击**添加到“组件 1”**。
- 5 在主屏幕工具栏中，单击**添加材料**以关闭**添加材料**窗口。

网格 1

- 1 在**网格**的**设置**窗口中，定位到**物理场控制网格**栏。
- 2 从单元大小列表中选择**粗化**。
- 3 单击**全部构建**。



研究 1

参数化扫描

- 1 在**研究**工具栏中单击**参数化扫描**。
- 2 在**参数化扫描**的**设置**窗口中，定位到**研究设置**栏。
- 3 单击**添加**。

4 在表中输入以下设置：

参数名称	参数值列表	参数单位
r_air	range(15,6,39)	cm

5 在研究工具栏中单击**计算**。

结果

电势 (es)

修改默认绘图，显示电场模。添加电场箭头图，观察场方向。

- 1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，单击**电势 (es)**。
- 2 在**三维绘图组**的**设置**窗口中，在**标签**文本框中键入 “外部绝缘边界”。
- 3 定位到**数据**栏。从**参数值 (r_air (cm))** 列表中选择 **21**。

多切面 1

- 1 在**模型开发器**窗口中展开**结果 > 外部绝缘边界**节点，然后单击**多切面 1**。
- 2 在**多切面**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 > es.normE - 电场模 - V/m**。
- 3 定位到**多平面数据**栏。找到 **x 平面**子栏。在**平面数**文本框中键入 “0”。

体箭头 1

- 1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，右键单击**外部绝缘边界**并选择**体箭头**。
- 2 在**体箭头**的**设置**窗口中，定位到**箭头位置**栏。
- 3 找到 **x 栅格子**子栏。在**点**文本框中键入 “25”。
- 4 找到 **y 栅格子**子栏。在**点**文本框中键入 “1”。
- 5 找到 **z 栅格子**子栏。在**点**文本框中键入 “25”。
- 6 定位到**着色和样式**栏。从**箭头类型**列表中选择**圆锥体**。
- 7 从**箭头长度**列表中选择**对数**。
- 8 从**颜色**列表中选择**白色**。
- 9 在**外部绝缘边界**工具栏中单击**绘制**。

将得到的绘图与图 2 进行比较。

静电 (ES)

接下来，将**悬浮电位**边界条件应用于外部边界。此条件覆盖了默认的**零电荷**条件。

在**物理场**工具栏中单击**边界**，然后选择**悬浮电位**。

悬浮电位 1

- 1 在模型开发器窗口的组件 1 (comp1)> 静电 (es) 节点下，单击悬浮电位 1。
- 2 在悬浮电位的设置窗口中，定位到边界选择栏。
- 3 从选择列表中选择外部。

添加一个新研究，保留上一个研究的结果。

添加研究

- 1 在主屏幕工具栏中，单击添加研究以打开添加研究窗口。
- 2 转到添加研究窗口。
- 3 找到研究子栏。在选择研究树中选择一般研究 > 稳态。
- 4 单击窗口工具栏中的添加研究。
- 5 在主屏幕工具栏中，单击添加研究以关闭添加研究窗口。

研究 2

参数化扫描

- 1 在研究工具栏中单击参数化扫描。
- 2 在参数化扫描的设置窗口中，定位到研究设置栏。
- 3 单击添加。
- 4 在表中输入以下设置：

参数名称	参数值列表	参数单位
r_air	range(15,6,39)	cm

- 5 在模型开发器窗口中，单击研究 2。
- 6 在研究的设置窗口中，定位到研究设置栏。
- 7 清除生成默认绘图复选框。
- 8 在研究工具栏中单击计算。

结果

外部绝缘边界 1

- 1 在模型开发器窗口的结果节点下，右键单击外部绝缘边界并选择生成副本。
- 2 在三维绘图组的设置窗口中，在标签文本框中键入 “外部导电边界”。
- 3 定位到数据栏。从数据集列表中选择研究 2/ 参数化解 2 (sol9)。

4 在**外部导电边界**工具栏中单击**绘制**。

得到的绘图应如图 3 所示。

5 在**结果**工具栏中单击**更多数据集**，然后选择**合并**。

合并 1

- 1 在**模型开发器**窗口的**结果 > 数据集**节点下，单击**合并 1**。
- 2 在**合并**的**设置**窗口中，定位到**数据 1**栏。
- 3 从**数据**列表中选择**研究 1/ 参数化解 1 (sol2)**。
- 4 定位到**数据 2**栏。从**数据**列表中选择**研究 2/ 参数化解 2 (sol9)**。
- 5 定位到**组合**栏。从**方法**列表中选择**常规**。
- 6 在**表达式**文本框中键入 “ $(data1+data2)/2$ ”。
- 7 在**结果**工具栏中单击**一维绘图组**。

全局 1

- 1 在**模型开发器**窗口的**结果**节点下，右键单击**一维绘图组 3**并选择**全局**。
- 2 在**全局**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。
- 3 从**数据集**列表中选择**研究 1/ 参数化解 1 (sol2)**。
- 4 单击**y 轴数据**栏右上角的**替换表达式**。从菜单中选择**模型 > 组件 1 > 静电 > 终端 > 麦克斯韦电容 - F > es.C22 - 麦克斯韦电容，22 分量**。
- 5 单击**x 轴数据**栏右上角的**替换表达式**。从菜单中选择**模型 > 全局定义 > 参数 > r_air - 半径，空气域 - m**。
- 6 单击以展开**图例**栏。从**图例**列表中选择**手动**。
- 7 在表中输入以下设置：

图例

外部绝缘边界

8 在**一维绘图组 3**工具栏中单击**绘制**。

全局 2

- 1 右键单击**结果 > 一维绘图组 3 > 全局 1**并选择**生成副本**。
- 2 在**全局**的**设置**窗口中，定位到**数据**栏。
- 3 从**数据集**列表中选择**研究 2/ 参数化解 2 (sol9)**。

4 定位到**图例**栏。在表中输入以下设置：

图例
外部导电边界

5 在**一维绘图组 3** 工具栏中单击**绘制**。

全局 3

1 右键单击**结果 > 一维绘图组 3 > 全局 2** 并选择**生成副本**。

2 在**全局**的设置窗口中，定位到**数据**栏。

3 从**数据集**列表中选择**合并 1**。

4 定位到**图例**栏。在表中输入以下设置：

图例
平均值

5 在**一维绘图组 3** 工具栏中单击**绘制**。

这将重现图 4。

研究 1

另外，为了重新计算**研究 1**，也可以按如下所述禁用此特定研究的**悬浮电位**边界条件。

步骤 1：稳态

1 在**模型开发器**窗口的**研究 1** 节点下，单击**步骤 1：稳态**。

2 在**稳态**的设置窗口中，定位到**物理场和变量选择**栏。

3 选中**修改研究步骤的模型配置**复选框。

4 在**物理场和变量选择**树中选择**组件 1 (comp1) > 静电 (es) > 悬浮电位 1**。

5 单击**禁用**。