|  |
| --- |
| **电磁场数值计算课程报告** |
| **上海交通大学电气工程系**  **2018年11月**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **小组成员信息** | | | | **组员姓名** | **学 号** | **班 级** | | **张三** |  |  | | **李四** |  |  | | **王五** |  |  | |

目录

[1. 实验任务 3](#_Toc342490669)

[2. 实验内容 4](#_Toc342490670)

[2.1 有限元法 4](#_Toc342490671)

[2.1.1 概述 4](#_Toc342490672)

[2.1.2 应用步骤 4](#_Toc342490673)

[2.2 实验过程 4](#_Toc342490674)

[2.2.1 问题分析 4](#_Toc342490675)

[2.2.2 有限元剖分及分片差值与基函数 5](#_Toc342490676)

[2.2.2.1 三角元剖分 5](#_Toc342490677)

[2.2.2.2 分片线性插值 5](#_Toc342490678)

[2.2.3变分问题的离散化与有限元方程 6](#_Toc342490679)

[2.2.3.1 单元分析 6](#_Toc342490680)

[2.2.3.2 总体合成 7](#_Toc342490681)

[2.2.3.3 有源场的有限元方程 8](#_Toc342490682)

[2.2.4边界条件 8](#_Toc342490683)

[2.2.5有限元方程求解 9](#_Toc342490684)

[2.2.6 后处理 9](#_Toc342490685)

[2.2.6.1 单位长度电容 9](#_Toc342490686)

[2.2.6.2 等势线求取 9](#_Toc342490687)

[2.2.6.3 电场线绘制 10](#_Toc342490688)

[2.2.6.4 有限差分法计算电势分布 10](#_Toc342490689)

[2.2.7 程序介绍 11](#_Toc342490690)

[2.2.7.1 流程图 11](#_Toc342490691)

[2.2.7.2 函数介绍 11](#_Toc342490692)

[2.3 实验结果 13](#_Toc342490693)

[2.3.1 电位等势线分布 13](#_Toc342490694)

[2.3.2 电场分布曲线 14](#_Toc342490695)

[2.3.2.1无体电荷时的电场分布 14](#_Toc342490696)

[2.3.2.2存在体电荷时的电场分布 14](#_Toc342490697)

[2.3.2.3两种情形下电场、电势分布图 19](#_Toc342490698)

[2.3.3 同轴导线电场分布计算数据 20](#_Toc342490699)

[2.3.3.1 计算场域内的无体电荷时节点电势 20](#_Toc342490700)

[2.3.3.2 无体电荷时的电场强度分布 20](#_Toc342490701)

[2.3.3.3 存在体电荷时的节点电势 （取体电荷密度） 21](#_Toc342490702)

[2.3.3.4 存在体电荷时的电场强度 （取体电荷密度） 21](#_Toc342490703)

[2.4解析解讨论 21](#_Toc342490704)

[2.5结果讨论 23](#_Toc342490705)

[3. 心得体会 25](#_Toc342490706)

[4. 程序附录 26](#_Toc342490707)

[5. 参考文献 41](#_Toc342490708)

# 实验任务

题目8：一金属圆筒，半径为，高度为。圆筒接地，但其筒盖与筒壁相互绝缘，其间间隙极小，并设筒盖电位。

（1）以电位为待求量，计算圆筒内电场分布；

（2）绘制等位线。

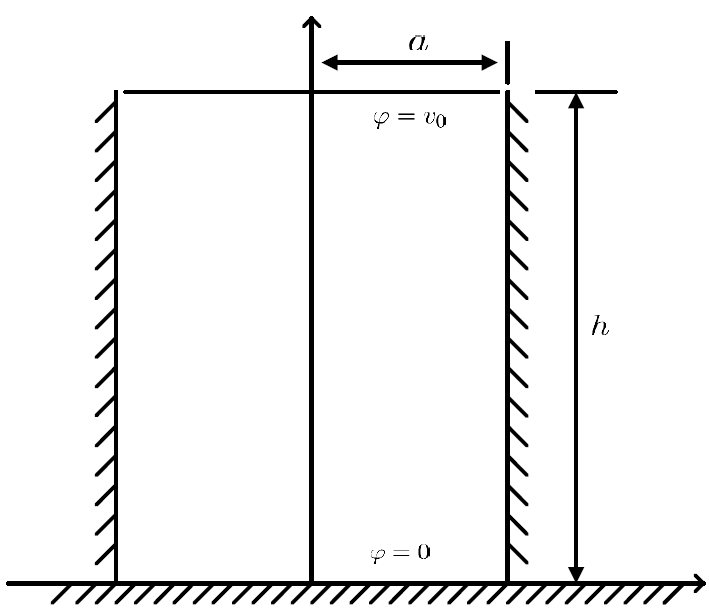


图1-1 金属圆筒沿截面示意图

# 实验内容

## 有限差分法

### 概述

在电磁场数值计算方法中，有限差分法（Finite Difference Method，简称FDM）是应用最早的一种方法。为求解由偏微分方程定解问题所构造的数学模型，有限差分法的基本思想就是利用网格剖分将定解区域（场域）离散化为网格离散节点的集合，然后，基于差分原理的应用，以各离散点上函数的差商来近似替代该点的偏导数，这样，待求的偏微分方程定解问题课转化为相应的差分方程组（代数方程组）问题，接触各离散点上的待求函数值，即为所求定解问题的离散解。若再应用插值方法，便可从离散解得到定解问题在整个场域上的近似解。

### 应用步骤

对于包含电磁场在内的各种物理场，应用有限差分法进行数值计算的步骤通常是：

1. 采用一定的网格剖分方式离散化场域；
2. 基于差分原理的应用，对场域内偏微分方程以及定解条件进行差分离散化处理（一般把这一步骤称为构造差分格式）；
3. 由所建立的差分格式（即与原定解问题对应的离散数学模型——代数方程组），选用合适的代数方程组的解法，编制计算程序，算出待求的离散解。

## 实验过程

### 问题分析

根据题意，对与一个金属圆筒，以中心轴线作为轴，其应具有关于轴的轴对称性。因此，建立柱坐标系，并取圆筒地面为。

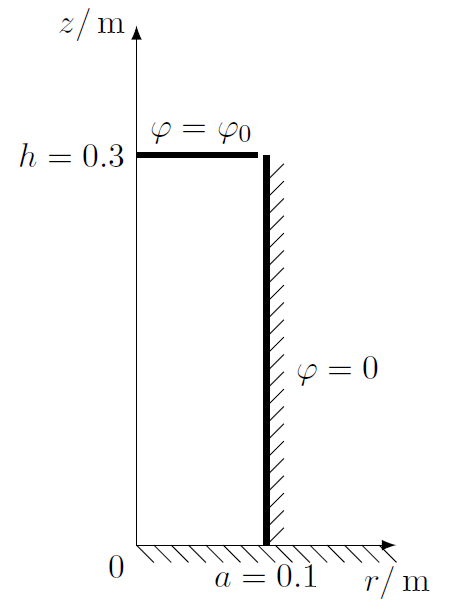


图2-1 分析场域以及建立坐标系示意图

列写关于待求场域的泊松方程：

本题中待求场域为无源场，泊松方程可以简化为拉普拉斯方程

对于柱坐标形式，表示为：

又由对称性，有：

因此，对于待求场域列写的拉普拉斯方程为：

方程中仅有两个坐标量，即待求三维场域问题可以转化到二维平面上（沿金属圆筒轴向任一截面）解决。

### 差分格式构造

#### 2.2.2.1 场域划分

对于所给定的偏微分方程定解问题，应用有限差分法，首先需从网格剖分着手决定离散点的分布方式。原则上，可以采用任意的网格剖分方式，但这将直接影响所得差分方程的具体内容，进而影响解题的经济性和计算精度。为简化问题，通常采用完全有规律的分布方式，这样在每个离散点上就能得出相同形式的差分方程，有效地提高解题速度，因而经常采用正方形网格的剖分方式。

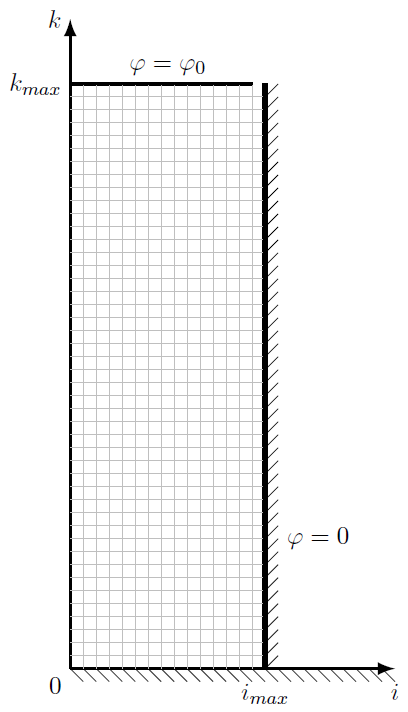


图2-2 场域划分示意图

本题中，也按照这种正方形网格对已经化简到二维平面的场域进行剖分。对于沿轴线方向的截面，沿轴方向按照的间距进行等分，沿半径方向按照的间距进行等分，并采用双下标形式进行简化表示：

#### 2.2.2.2 差分方程列写

基于上述场域划分和坐标表示方式，对于场域内某一节点，它与周围相邻的节点1，2，3，4构成一个所谓对称的星形，该节点与其附近节点的待求电势近似值*，，，，*可以构成对该节点电势的一阶与二阶差分方程。

对于泊松方程中的一阶偏导项 ，按照中心差商近似表示为：

对于泊松方程中的二阶偏导项 和 ，也同样用差商近似表示：

由此，在点处的差分离散格式的泊松方程可以表示为：

此时，节点上的位函数值尤其周围四个相邻节点的位函数值表示，差分方程中只出现了待求节点和其相邻四个节点，即五点差分格式。

### 2.2.3边界条件

为求解给定的边值问题，在完成上述泛定方程的差分格式构造后，还必须对定解条件——边界条件进行差分化处理。对于本题的金属圆筒，根据题意与已知条件，场域边界即为圆筒表面，按照柱坐标系的选取，圆筒中心轴线处，也存在边界条件。根据场域划分，对应的网格节点恰好落在边界上，即满足第一类边界条件，只要直接将位函数的值赋给对应的节点即可。

具体的边界条件赋值可表示为：

圆筒底部：

对于圆筒中心轴线处，由对称性，边界条件可以写为：

对应的可将圆筒中心轴线处的差分方程改写为：

### 2.2.4差分方程求解

综上所述，对场域内各个节点（包括所有场域内节点和有关的边界节点）逐一列出对应的差分计算格式，即构成以这些离散节点的位函数为待求量的差分方程组（代数方程组）。仔细分析所得的差分方程组，不难看出，该方程组的系数一般都是有规律的，且各个方程都很简单，包含的项数不多。因此，在众多的代数解法中，对于有限差分法，通常都采用迭代法，这是因为用计算程序来实现迭代时，需要用哪些系数就算出哪些系数，不需要时不保留，这样可显著降低对计算机存贮容量的需求。

在迭代法的应用中，为加速迭代解的收敛速度，通常采用的是逐次超松弛迭代法。本题求解中采用高斯—赛德尔迭代法，并规定迭代的运算顺序是：先从小的先做，对于固定的，小的先做。由此，关于节点迭代到第次时的近似值，应由如下迭代公式算得：

对应的，在边界上的节点的迭代公式为：

### 2.2.5对圆筒外开放场域求解

在求解圆筒内场域电场分布的过程中，由于假设了筒盖和侧壁之间的缝隙极小，当划分场域的网格选区的单元步长较小的时候，侧壁和筒盖之间的电场强度就会极大；同时，如果想要计算该圆筒的集总参数电容值，也需要计算筒盖外表面上的电荷分布。因此考虑为该缝隙设定一个有限的大小，并解除该处的定解边界条件，并计算圆筒之外的开放场域的电场分布，把此时的边界设定到足够远的位置。

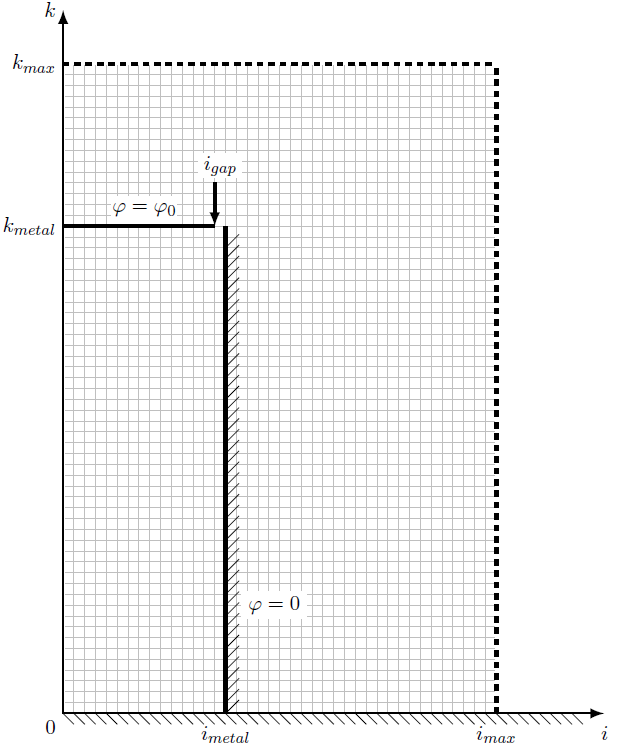


图2-3 开放场域划分示意图

容易看出，此时差分方程的格式和求解方法均为发生改变，只需要重新设定边界条件，即可运用同样的计算程序得到圆筒内外的电场分布。设当时，电场已经衰减地极小，即，可以认为满足无穷远处的条件；并且认为的位置即为接地面，同样。此时，双坐标表示法和实际空间尺寸之间的关系为：

而

分别为金属圆筒侧壁、顶盖、顶盖半径处对应的双坐标。

由此，可以将边界条件写作：

圆筒底部与地面：

上边界无穷远处：

侧面无穷远处：

### 2.2.6 后处理

#### 2.2.6.1圆筒集总电容

由于已知圆筒顶盖和侧壁、底面之间的电势差，且通过对开放场域的电场分布求解，可以得到电场分布，由此可以通过顶盖表面的电场强度得到顶盖的电荷面密度分布：

对顶盖表面做面积分，可以得到顶盖所带电荷。进而由电容定义式，即可求得圆筒电容值：

#### 2.2.6.2 等势线求取

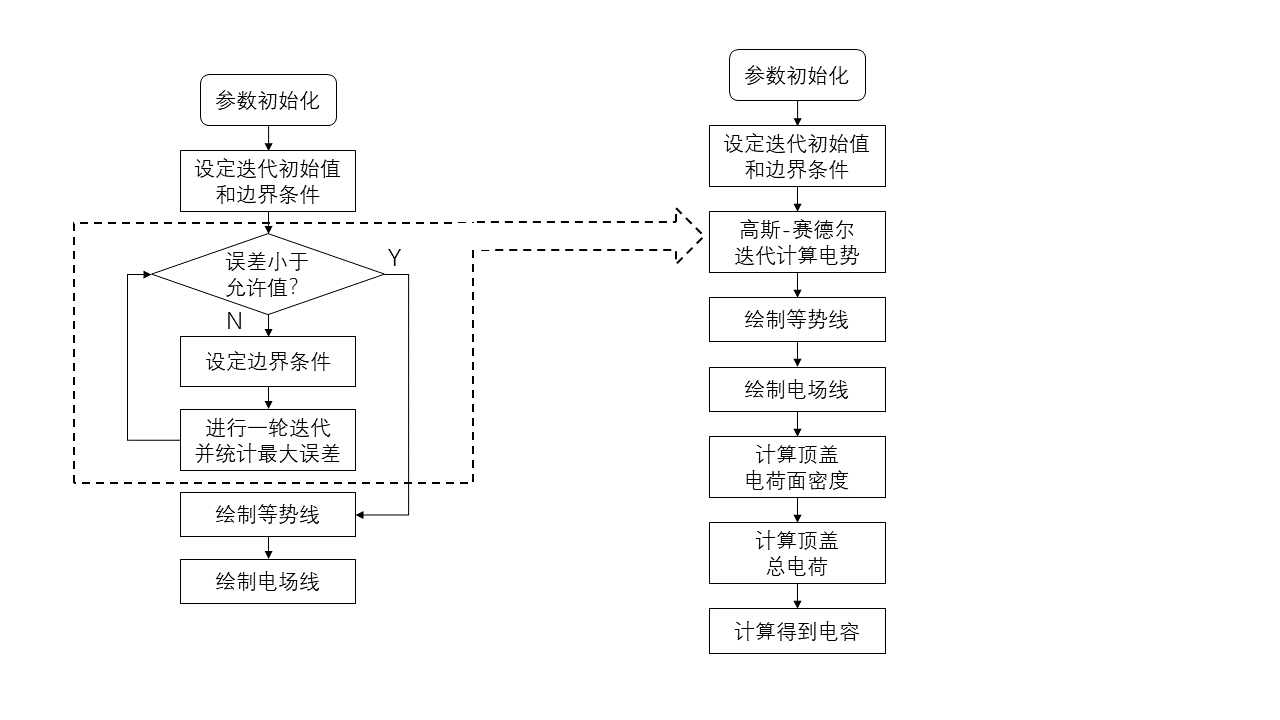
等势线的绘制由matlab中的函数contour完成，也可以利用函数contourf来绘制带填充效果的等势线。

contourf和contour的调用格式相同，contourf(x,y,u,n)的四个参数中，x,y指定了绘制等势线的场域坐标，u给出了指定场域中的位函数分布，n指定了需要绘制的等势线条数，默认为均匀分布，也可以通过给定向量的形式自定义每条等位线对应的位函数。此外，还可以通过’LineSpec’的形式设置等势线参数。

#### 2.2.6.3 电场线绘制

电场线绘制基于公式：，由电位分布通过负梯度求出电场的x,y方向上的分量。再利用matlab中的函数[dx,dy]=gradient(z)和quiver(x,y,-dx,-dy);得到计算场域内的电场分布。

### 2.2.7 程序介绍



## 实验结果

### 电位等势线分布与电场分布

通过求解差分方程得到电势分布，由此可以画出等势线，以及进一步得到电场分布。结果如下所示：

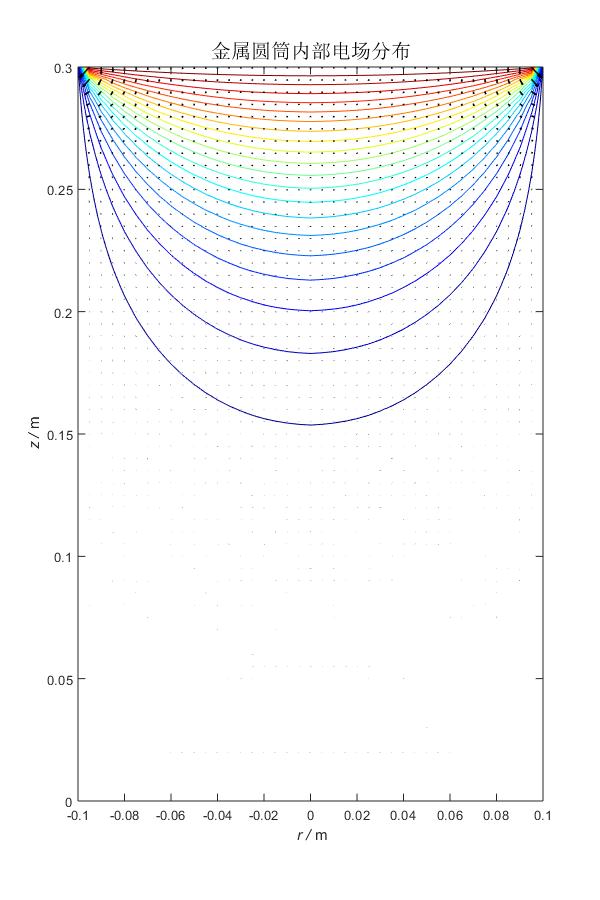
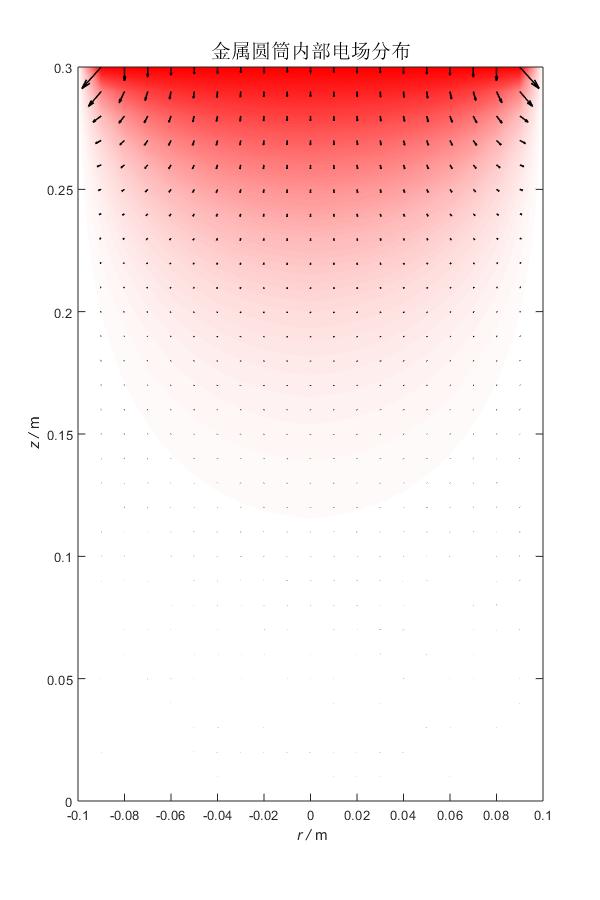


图2-4 金属圆筒内部电场分布

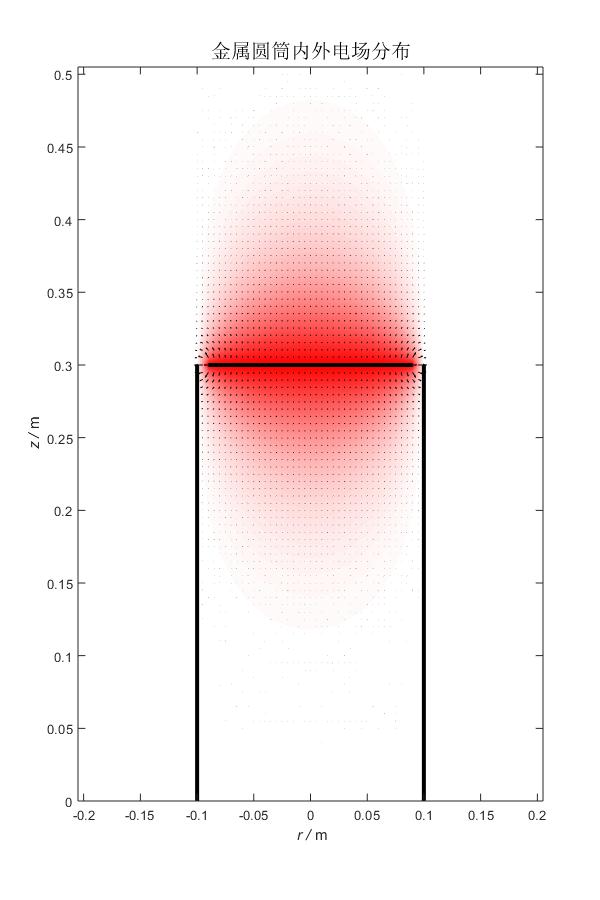


图2-5 金属圆筒外部电场分布

### 圆筒顶盖电荷分布和电容计算

通过圆筒顶盖两侧的轴方向的电场强度，得到圆筒顶盖的电荷分布，如图 所示。可见，圆筒顶盖上的电荷几乎全部分布在顶盖边缘，而中间部分电荷很少。这与金属圆筒的电场分布规律相吻合。

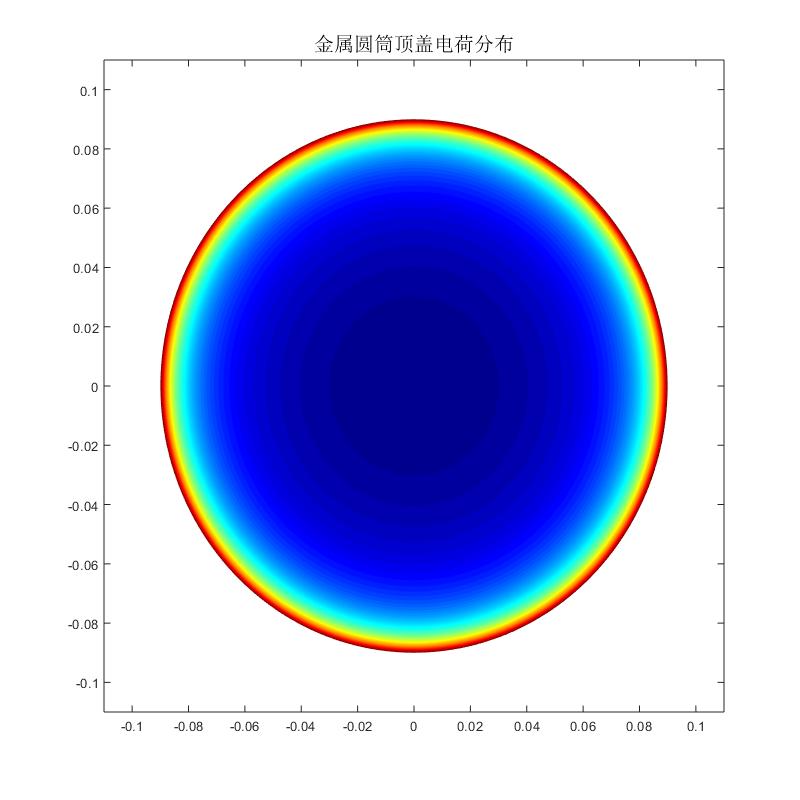


图2-6 金属圆筒顶盖电荷分布

对圆筒顶盖的电荷进行面积分，得到总的电荷，由此可以计算得到金属圆筒的等效电容为：

## 2.4解析解讨论

以一个更为一般的例子来说明，如图2-8所示，为内导体厚度为2t的矩形同轴带状线的四分之一。

求解的场域A-B-C-D-E-F-G是有边界的。边界A-B-C电位为100，边界D-E-F-G为零电位，也就是说它们都满足第一类边界条件；而边界C-D和A-G由于对称性分别满足第二类齐次边界条件，即电位的法向导数等于零，所以四分之一场域是有边界的。

将四分之一区域沿BF划分为两分域，各分域内电位分别用和表示，则边界条

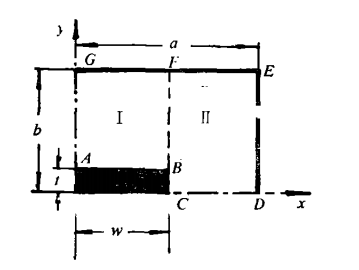


图2-8 算法说明示意图

件为



同时，在交界面BF处



其中为一未知函数。如果选取和分别为



则可使边界条件的第1~4和第6式得到满足。

由于既可以在CBF上表示为，也可以在CB上表示为，还可以在BF上表示为。两种表达式的傅氏系数必须恒等，于是，当x=w时，



利用边界条件第5式，既有



同理，越过交界面FB时，由的连续性，可以给出当x=w时



联立求解上面两式就可以得到系数和的值。最后，得到电位和的解答，进而不难求出单位长度上的电容。



在本次题目中，2t=b=1，2w=a=1。代入以上数据可以计算得出电场分布，但是由于以上方程过于复杂，本小组成员的数学能力难以解出以上方程，因此这里只介绍解法，具体结果通过有限差分法和有限元法进行计算并且相互验证。

## 2.5结果讨论

1. 由计算结果可以看出，在金属圆筒内部，电势降落基本集中在靠近顶盖和侧壁的部分，特别是顶盖和侧壁的缝隙位置，电势变化最为剧烈，而在圆筒靠下位置，电势已经接近于零，变化很小。
2. 同样对于电场强度大小而言，在靠近顶盖位置电场强度较高，而在圆筒中下部很小；在靠近顶盖位置，也是在顶盖边缘、接近顶盖和侧壁缝隙的位置电场强度大，顶盖中心处电场强度较小。
3. 对电场强度方向而言，整体呈现从顶盖指向侧壁的趋势，在顶盖和侧壁附近基本与表面垂直，呈现出导体在静电场中的特性。
4. 对于计算开放场域的结果，可以看到，外部电场基本分布在顶盖上方，且分布和圆筒内部呈现出对称性。由于按照题图给出的示意图，圆筒侧壁高度和顶盖齐平，缝隙存在于和顶盖同一高度位置，相当于侧壁将顶盖包在内部，因此也将电场都限制在了圆筒半径范围内，向圆筒四周发散的电场很少。而如果修改边界条件的设定，将金属圆筒的几何结构修改为顶盖边缘半径和侧壁齐平，缝隙存在于顶盖下方和侧壁之间，则可以看到从顶盖输出的电场强度向圆筒外围发散，最终回到圆筒侧壁外表面。如图 所示，可见，由于缝隙处完成了电势从最大值到零的变化，因此缝隙的状态对金属圆筒的电场分布非常重要。

# 心得体会

# 程序附录

clearvars;

%设置金属圆筒尺寸

a\_m = 0.1;

h\_m = 0.3;

%设置边界电势值

phih\_V = 100;

phi0\_V = 0;

%设置划分场域的步长

step\_a = 0.005;

step\_h = 0.005;

%根据步长得到需要的数组长度

length\_a = a\_m/step\_a+1;

length\_h = h\_m/step\_h+1;

%phi[i,k,t] -- 存储电势值

% i -- r方向坐标

% k -- z方向坐标

% t -- 存储当前和上一次迭代值

%初始化电势均为零

phi = zeros(length\_a, length\_h, 2);

%设定顶盖电势

for i=1:length\_a-1

phi(i,length\_h,1) = phih\_V;

end

%记录迭代次数

times = 0;

%记录两次迭代间的最大误差

maxerror\_V = 1000;

%设定容许值

tolerance\_V = 0.0001;

%当前电势结果存储的位置指针

this\_time = 1;

%迭代开始

while maxerror\_V > tolerance\_V

times = times + 1;

%确定当前和上一次迭代数据存储的位置指针

last\_time = this\_time;

this\_time = mod(times,2)+1;

maxerror\_V = 0;

%设定顶盖和底部的边界条件

for i = 1:length\_a

phi(i,1,this\_time) = phi0\_V;

phi(i,length\_h,this\_time) = phih\_V;

end

phi(length\_a,length\_h,this\_time) = phi0\_V;

%设定中心轴线和侧壁的边界条件

for k = 2:length\_h-1

phi(1,k,this\_time) = (2\*phi(2,k,last\_time)/step\_a^2

+(phi(1,k+1,last\_time)

+phi(1,k-1,this\_time))/step\_h^2)/(2/step\_a^2+2/step\_h^2);

if (phi(1,k,this\_time)-phi(1,k,last\_time)) > maxerror\_V

maxerror\_V = phi(1,k,this\_time)-phi(1,k,last\_time);

end

phi(length\_a,k,this\_time) = phi0\_V;

end

%对场域内各节点进行迭代计算

for i = 2:length\_a-1

for k = 2:length\_h-1

phi(i,k,this\_time) = ((phi(i+1,k,last\_time)

+phi(i-1,k,this\_time))/step\_a^2

+(phi(i+1,k,last\_time)-phi(i-1,k,this\_time))

/(2\*(i-1)\*step\_a^2)+(phi(i,k+1,last\_time)

+phi(i,k-1,this\_time))/step\_h^2)

/(2/step\_a^2+2/step\_h^2);

if (phi(i,k,this\_time)-phi(i,k,last\_time)) > maxerror\_V

maxerror\_V = phi(1,k,this\_time)-phi(1,k,last\_time);

end

end

end

clc;

disp(maxerror\_V);

end

%取出迭代结果，展开到整个对称截面，便于观察

phi\_final = zeros(2\*length\_a-1,length\_h);

for i = 1:2\*length\_a-1

phi\_final(i,:) = phi(abs(i-length\_a)+1,:,this\_time);

end

%给出实际尺寸坐标

R = -a\_m:step\_a:a\_m;

Z = 0:step\_h:h\_m;

figure

set(gcf,'Position',[300 100 600 900]);

%绘制等势线，由于i对应横向半径，k对应纵向高度，为了美观，将矩阵转置

contour(R,Z,phi\_final(:,:)',20);

title('金属圆筒内部电场分布','FontSize',15);

xlabel('\it r /\rm m');

ylabel('\it z /\rm m');

hold on

%求得电场强度

[Er,Ez] = gradient(-phi\_final(:,:)',step\_a,step\_h);

%绘制电场强度矢量

quiver(R(2:2\*length\_a-2),Z(1:length\_h),Er(1:length\_h,2:2\*length\_a-2),

Ez(1:length\_h,2:2\*length\_a-2),'Color','k','LineWidth',1.2);

%另一种风格的等势线

figure

set(gcf,'Position',[300 100 600 900]);

contourf(R,Z,phi\_final(:,:)',200,'LineStyle','None');

title('金属圆筒内部电场分布','FontSize',15);

xlabel('\it r /\rm m');

ylabel('\it z /\rm m');

hold on

[Er,Ez] = gradient(-phi\_final(:,:)',step\_a,step\_h);

quiver(R(2:2\*length\_a-2),Z(1:length\_h),Er(1:length\_h,2:2\*length\_a-2),

Ez(1:length\_h,2:2\*length\_a-2),'Color','k','LineWidth',1.2);

%计算开放场域电场分布

%设定认为的无穷远位置

r\_inf = 5;

z\_inf = 15;

%设定缝隙尺寸

a\_gap = 0.01;

%设定划分场域步长

step\_a = a\_gap/5;

step\_h = a\_gap/5;

%设定金属圆筒边界对应的坐标

metal\_a = a\_m/step\_a+1;

metal\_h = h\_m/step\_h+1;

gap\_a = round((a\_m-a\_gap)/step\_a+1);

%设定需要的数组长度

length\_a = r\_inf/step\_a+1;

length\_h = z\_inf/step\_h+1;

%初始化电势值

phi = zeros(length\_a, length\_h, 2);

for i=1:gap\_a

phi(i,metal\_h,1) = phih\_V;

end

times = 0;

maxerror\_V = 1000;

tolerance\_V = 0.0001;

this\_time = 1;

while maxerror\_V > tolerance\_V

times = times + 1;

last\_time = this\_time;

this\_time = mod(times,2)+1;

maxerror\_V = 0;

%设定无穷高处和地面边界条件

for i = 1:length\_a

phi(i,1,this\_time) = phi0\_V;

phi(i,length\_h,this\_time) = phi0\_V;

end

%设定顶盖边界条件

for i = 1:gap\_a

phi(i,metal\_h,this\_time) = phih\_V;

end

%设定中心轴线和侧面无穷远处边界条件

for k = 2:length\_h-1

%剔除顶盖上的节点

if k~=metal\_h

phi(1,k,this\_time) = (2\*phi(2,k,last\_time)/step\_a^2

+(phi(1,k+1,last\_time)

+phi(1,k-1,this\_time))/step\_h^2)

/(2/step\_a^2+2/step\_h^2);

if (phi(1,k,this\_time)-phi(1,k,last\_time)) > maxerror\_V

maxerror\_V = phi(1,k,this\_time)-phi(1,k,last\_time);

end

end

phi(length\_a,k,this\_time) = phi0\_V;

end

%设定圆筒侧壁边界条件

for k = 2:metal\_h

phi(metal\_a,k,this\_time) = phi0\_V;

end

%进行一轮迭代计算

for i = 2:length\_a-1

for k = 2:length\_h-1

%剔除金属部分节点

if ((k~=metal\_h)&&(i~=metal\_a))||((k==metal\_h)&&(i>gap\_a)&&(i<metal\_a))

phi(i,k,this\_time) = ((phi(i+1,k,last\_time)

+phi(i-1,k,this\_time))

/step\_a^2+(phi(i+1,k,last\_time)

-phi(i-1,k,this\_time))/(2\*(i-1)\*step\_a^2)

+(phi(i,k+1,last\_time)

+phi(i,k-1,this\_time))/step\_h^2)

/(2/step\_a^2+2/step\_h^2);

if (phi(i,k,this\_time)-phi(i,k,last\_time)) > maxerror\_V

maxerror\_V = phi(1,k,this\_time)-phi(1,k,last\_time);

end

end

end

end

clc;

disp(maxerror\_V);

end

%设定绘制场域大小

draw\_a = metal\_a\*2;

draw\_h = round(metal\_h\*1.6667);

%去除电势结果

phi\_final = zeros(2\*draw\_a-1,draw\_h);

for i = 1:2\*draw\_a-1

phi\_final(i,:) = phi(abs(i-draw\_a)+1,1:draw\_h,this\_time);

end

R = -(draw\_a-1)\*step\_a:step\_a:(draw\_a-1)\*step\_a;

Z = 0:step\_h:(draw\_h-1)\*step\_h;

%绘制等势线

figure

set(gcf,'Position',[300 100 600 900]);

contour(R,Z,phi\_final(:,:)',20);

title('金属圆筒内外电场分布','FontSize',15);

xlabel('\it r /\rm m');

ylabel('\it z /\rm m');

hold on

%绘制电场强度

[Er,Ez] = gradient(-phi\_final(:,:)',step\_a,step\_h);

quiver(R(2:2\*draw\_a-2),Z(1:draw\_h),

Er(1:draw\_h,2:2\*draw\_a-2),Ez(1:draw\_h,2:2\*draw\_a-2),'Color','k');

%画出金属圆筒

plot([a\_m a\_m],[0 h\_m],'k-','LineWidth',3);

plot([-a\_m -a\_m],[0 h\_m],'k-','LineWidth',3);

plot([-(a\_m-a\_gap) a\_m-a\_gap],[h\_m h\_m],'k-','LineWidth',3);

%绘制另一种风格等势线

figure

set(gcf,'Position',[300 100 600 900]);

contourf(R,Z,phi\_final(:,:)',200,'LineStyle','None');

title('金属圆筒内外电场分布','FontSize',15);

xlabel('\it r /\rm m');

ylabel('\it z /\rm m');

hold on

[Er,Ez] = gradient(-phi\_final(:,:)',step\_a,step\_h);

quiver(R(2:2\*draw\_a-2),Z(1:draw\_h),Er(1:draw\_h,2:2\*draw\_a-2),

Ez(1:draw\_h,2:2\*draw\_a-2),'Color','k');

plot([a\_m a\_m],[0 h\_m],'k-','LineWidth',3);

plot([-a\_m -a\_m],[0 h\_m],'k-','LineWidth',3);

plot([-(a\_m-a\_gap) a\_m-a\_gap],[h\_m h\_m],'k-','LineWidth',3);

%计算电容

%设定介电常数

e = 8.854187817e-12;

%初始化电荷面密度数组

q = zeros(gap\_a,1);

%根据顶盖表面Z轴方向电场强度，计算电荷面密度

for i=1:gap\_a

q(i) = e\*(abs(Ez(metal\_h-1,draw\_a+i-1))+abs(Ez(metal\_h+1,draw\_a+i-1)));

end

%积分得到总电荷量

Q = q(1)\*pi\*step\_a^2 + q(gap\_a)\*pi\*((a\_m-a\_gap)^2-(a\_m-a\_gap-step\_a)^2);

for i=2:gap\_a-1

Q = Q + q(i)\*pi\*(((i-0.5)\*step\_a)^2-((i-1.5)\*step\_a)^2);

end

%由定义式计算得到电容值

C = Q/(phih\_V-phi0\_V);

disp(['电容大小为',num2str(C\*1E12),'pF']);

%绘制电荷分布

figure

set(gcf,'Position',[300 100 800 800]);

%生成柱坐标计算网格

theta\_n = 200;

theta = linspace(0,2\*pi,theta\_n);

r = 0:step\_a:a\_m-a\_gap;

[Theta,R] = meshgrid(theta,r);

%填入电荷面密度

z = zeros(gap\_a,theta\_n);

for i=1:gap\_a

z(i,:) = q(i).\*ones(1,theta\_n);

end

%转化到直角坐标

[X,Y,Z] = pol2cart(Theta,R,z);

%绘制

contourf(X,Y,Z,200,'LineStyle','None');

axis([-a\_m\*1.1 a\_m\*1.1 -a\_m\*1.1 a\_m\*1.1]);

title('金属圆筒顶盖电荷分布','FontSize',15);

# 参考文献

[1] 倪光正 工程电磁场数值计算 机械工业出版社 2006

[2] 卡坦 MATLAB有限元分析与应用 清华大学出版社 2004

[3] 金建铭 电磁场有限元方法 西安电子科技大学出版社 1998

[4] 马西奎. 矩形同轴带状线电容的计算[J]. 电子科学学刊,1986(8):309-315