

重庆邮电大学

课程设计报告

学年学期： 2021-2022学年 ☒春 ☐秋学期

课程名称： 工程电磁场B

学生学院： 通信与信息工程学院

专业班级：

学生学号：

学生姓名：

联系电话：

课程名称	工程电磁场 B	课程编号	A2012130
课程设计题目	基于 Matlab/C 的电偶极子/磁偶极子近场仿真分析		
评阅人		成绩	

一、课程设计目标

用 Matlab/C 计算电偶极子的空间电场强度，并画出电场分布图；利用 Matlab/C 计算磁偶极子的空间磁场强度，并画出磁场分布图。

二、课程设计理论基础

电偶极子 (electric dipole) 是两个等量异号点电荷组成的系统。电偶极子的特征用电偶极矩 $\vec{p} = q\vec{l}$ 描述，其中 l 是两点电荷之间的距离， \vec{l} 和 \vec{p} 的方向规定由 $-q$ 指向 $+q$ 。

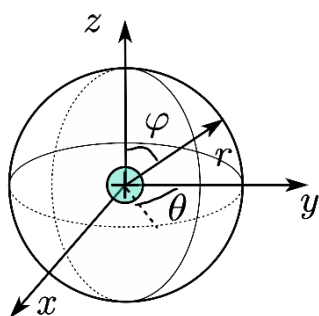


图 1 单一元电荷分析图

元电荷分析：针对电偶极子中的单个电荷进行分析，电荷量大小为 $+q$ ，仅有单个元电荷产生的电场中，电势的表达式为：

$$\varphi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon r} \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} \vec{E} = -\nabla\varphi + \nabla \times \vec{A} \\ \vec{A} = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\nabla \times \vec{E}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} dV' \end{cases} \quad (1.2)$$

因为静电场是有散无旋场 ($\nabla \times \vec{E} = 0$) 且由赫姆霍兹定律 (式 1.2) 与元电荷产生电场的电势表达式, 可得到单一元电荷产生的电场的表达式:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2} \quad (1.3)$$

针对电偶极子, 利用电势叠加原理, 很容易可计算出二维平面或三维空间中任意一点的电势, 来利用 $\vec{E} = -\nabla\varphi$ 即可计算出电偶极子任意一点处的电场强度。

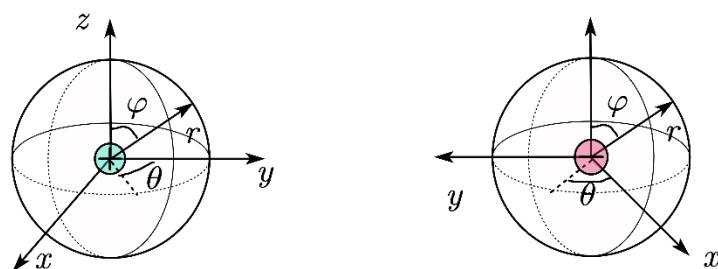


图 2 电偶极子分析图

磁偶极子是类比电偶极子而建立的物理模型。具有等值异号的两个点磁荷构成的系统称为磁偶极子。但由于没有发现单独存在的磁单极子, 因此磁偶极子的物理模型不是两个磁单极子, 而是一段封闭回路电流。磁偶极子模型能够很好地描述小尺度闭合电路元产生的磁场分布。

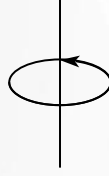


图 3 磁偶极子示意图

由毕奥-萨伐尔定律定律：

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^2} \quad (2.1)$$

对积分元进行积分得到最终磁偶极子磁场的表达式：

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 IS}{4\pi r^3} [\vec{e}_r 2\cos\theta + \vec{e}_\theta \sin\theta] \quad (2.2)$$

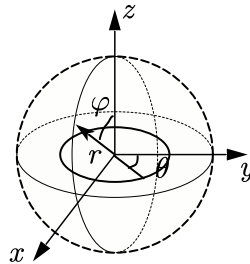


图 4 磁偶极子分析图

式 2.2 是基于球坐标系下的表达式转为 xyz 坐标轴为：

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 IS}{4\pi r^3} \left[\vec{e}_x \frac{3x^2 y}{r^2 \sqrt{x^2 + y^2}} + \vec{e}_y \frac{3x^2 y}{r^2 \sqrt{x^2 + y^2}} + \vec{e}_z \left(2 - 3 \frac{x^2}{r^2} \right) \right] \quad (2.3)$$

利用式 2.3 对磁偶极子进行二维平面与三维空间中的磁场分布仿真。

三、课程设计实施过程

针对电偶极子的二维平面，设置 $+q$ 在 $(1.6, 0)$ 和 $-q$ 在 $(-1.6, 0)$ ，选择电荷量为元电荷大小，蓝色箭头代表电场方向，红色线代表二维平面的等位面/线。

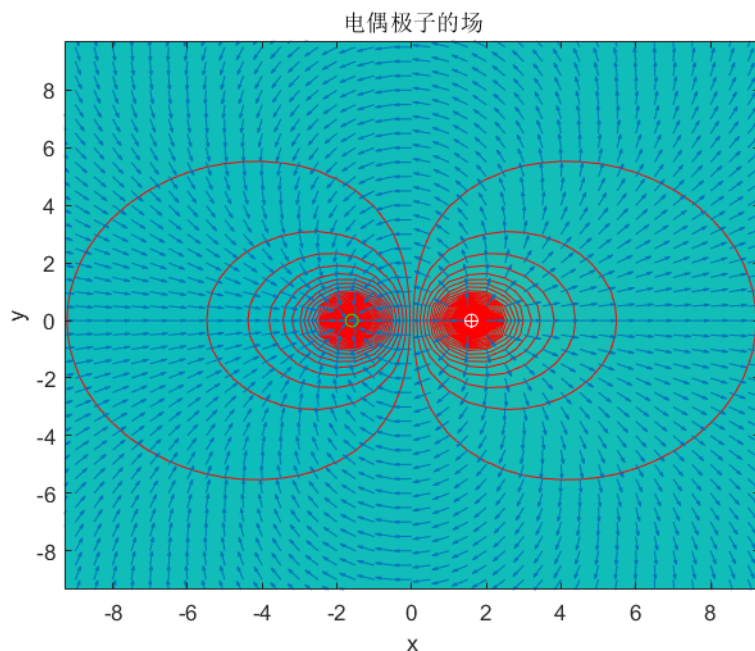


图 5 二维电偶极子的电场仿真图

从二维电偶极子的仿真图可以得到的电偶极子产生的电场为有源无旋场，电场方向由正电荷指向负电荷，符合工程电磁场课程中的理论，验证了实验仿真的正确性。

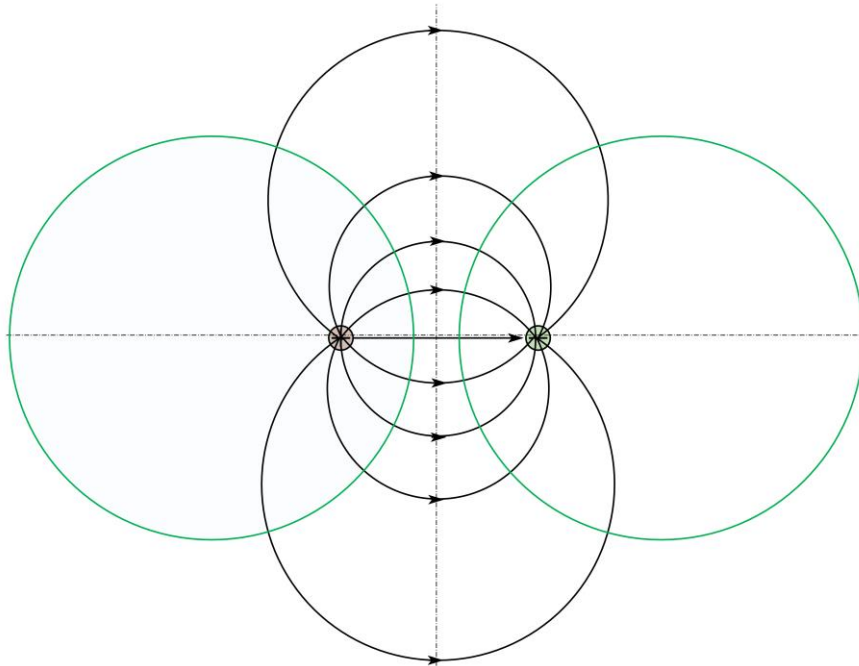


图 6 二维电偶极子的电场实际示意图

取二维平面的电势大小分布，得到最终二维平面的电势分布图（ z 轴代表电势大小）。

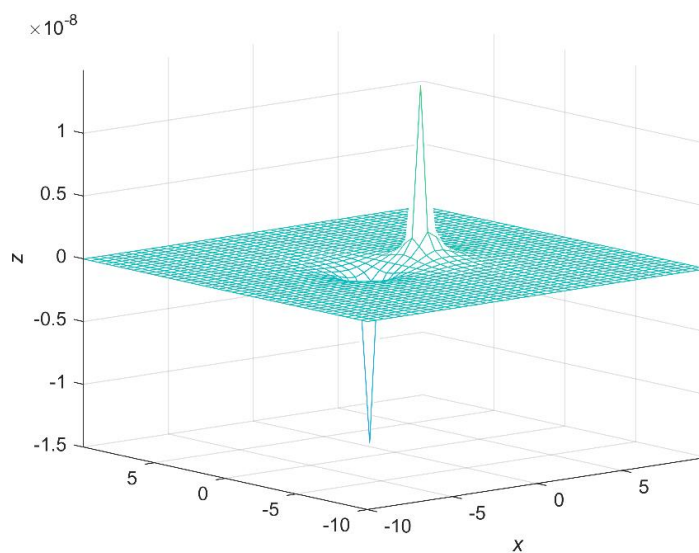


图 7 二维电偶极子的电势分布图

取二维平面的电场强度大小分布，得到最终二维平面的电场强度分布图（ z 轴代表电场强度大小）。

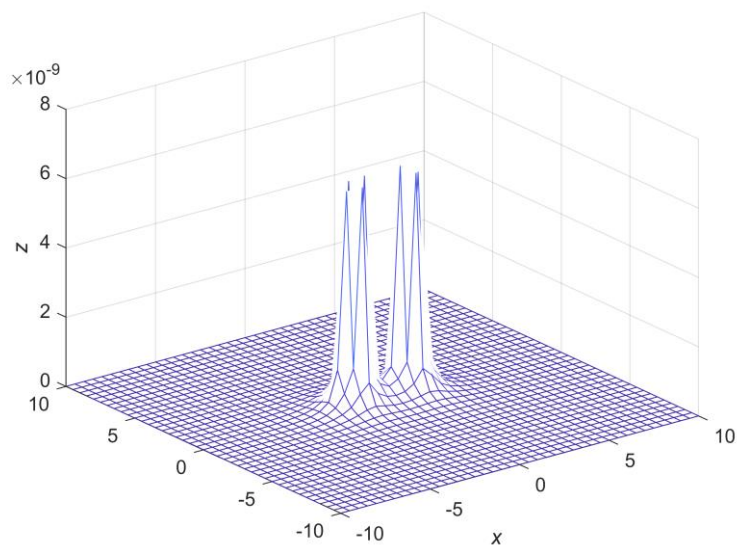


图 8 二维电偶极子的电场强度大小分布图

matlab 仿真代码：

clear; % 清除变量

clf; % 清除当前图像窗口

q=1.602e-19; % 元电荷电量

k=1/(4*pi*8.85e-12); % 静电力常量

a=1.6; % 正电荷的单位距离

b=1.6; % 负电荷的单位距离

x=-10:0.5:10; % 横坐标范围

y=x; % 纵坐标范围

[X,Y]=meshgrid(x,y); % 设置坐标网格点 meshgrid 生成网格采样点

rp=sqrt((X-a).^2+(Y).^2); % 第一个正电荷到场点的距离

rm=sqrt((X+b).^2+(Y).^2); % 第一个负电荷到场点的距离

V=q*k*(1./rp-1./rm); % 计算电势

[Ex,Ey]=gradient(-V); % 计算场强

AE=sqrt(Ex.^2+Ey.^2);

```

Ex=Ex./AE;

Ey=Ey./AE; % 场强归一化，使箭头等长

cv=linspace(min(min(V)),max(max(V)),250); % 产生 250 个电位值

contourf(X,Y,V,cv,'r-') % 用红实线画填色等位线图

title('电偶极子的场'), % 显示标题

hold on % 保持图像

quiver(X,Y,Ex,Ey,0.7) % 第五输入宗量 0.7 使场强箭头长短适中

plot(a,0,'wo',a,0,'w+') % 用绿线画正电荷位置

plot(-b,0,'go',-b,0,'g-') % 用黄线画负电荷位置

xlabel('x'); % 显示横坐标

ylabel('y'), % 显示纵坐标

hold off % 保持图像

% surf(X,Y,V)

% xlabel('\itx');

% ylabel('\itz');

% hold off % 保持图像

mesh(X,Y,AE)

xlabel('\itx');

ylabel('\itz');

hold off % 保持图像

```

针对电偶极子的三维空间，设置 $+q$ 在 $(1.6, 0, 0)$ 和 $-q$ 在 $(-1.6, 0, 0)$ ，选择电荷量为元电荷大小，蓝色箭头代表电场方向，黄色

线构成的面代表三维空间的等位面/线。

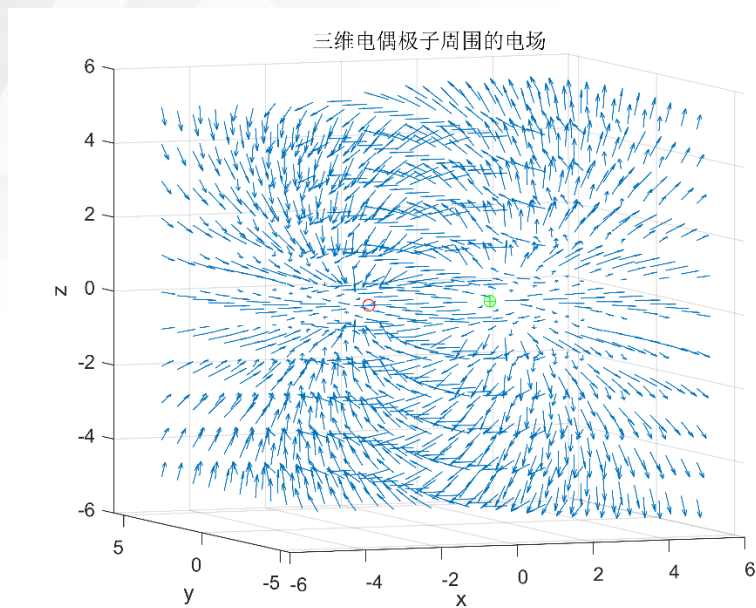


图 9 三维电偶极子的电场分布仿真图

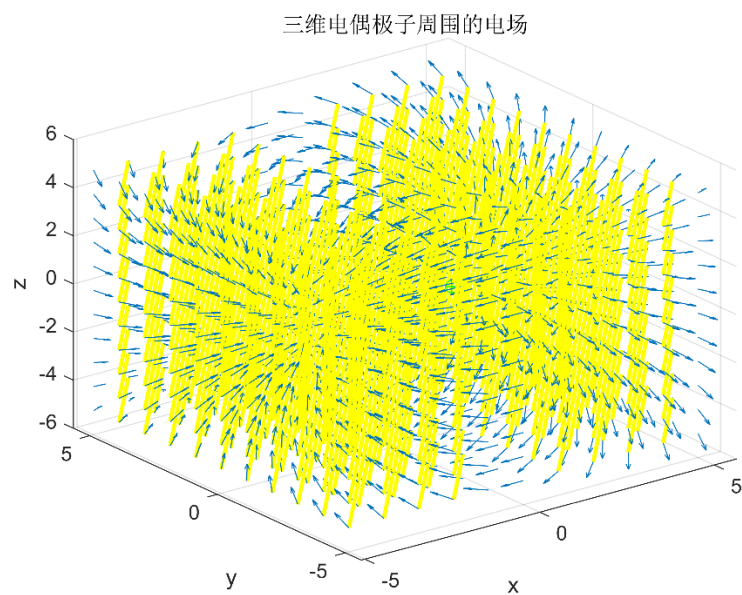


图 10 三维电偶极子的电场、电势仿真图

同时，利用 **matlab** 在三维空间中产生 68921 ($41*41*41$) 个散点，每个散点的电场强度以颜色深度代表，得到了三维空间内电偶极子电场强度大小分布色深图（以三维图像表示四维信息）

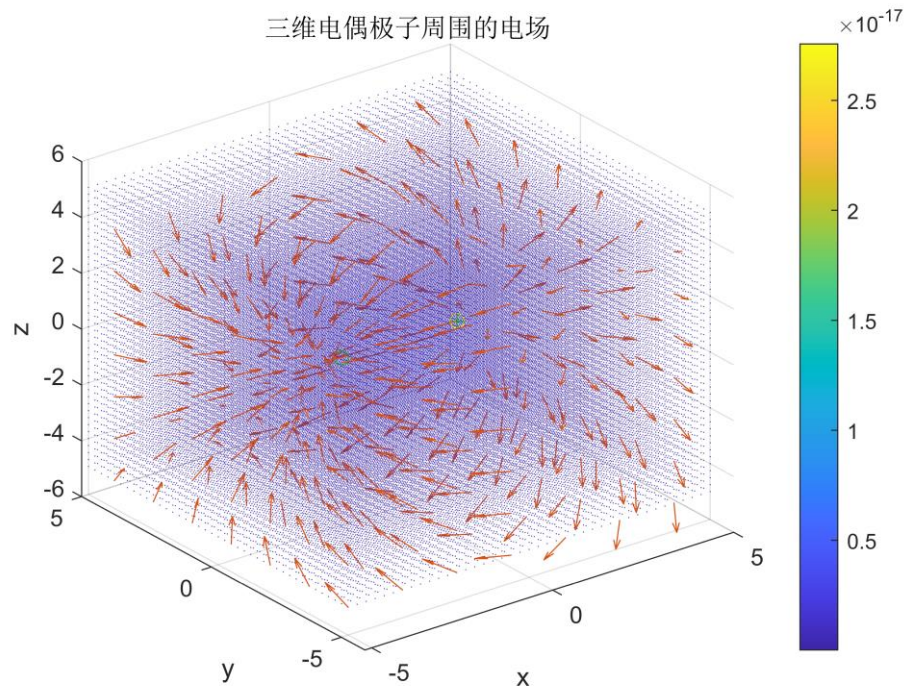


图 10 三维电偶极子的电场强度大小分布色深图

从三维电偶极子的仿真图可以在二维平面的基础上更加加深了对电偶极子空间层面电场的研究，电场方向由正电荷指向负电荷，同样可以看出电偶极子产生的电场为有源无旋场，符合工程电磁场课程中的理论，验证了实验仿真的正确性。

matlab 仿真代码：

```
% clear; % 清除变量
```

```
clf; % 清除当前图像窗口
```

```
I=1.602e-8; % 元电流大小
```

```
R=0.3;
```

```
k=1/1e-7; % 磁场常量
```

```
S=2*pi*R*R;
```

```
x=-4:1:4; % 横坐标范围
```

```
y=x; % 纵坐标范围
```

```

z=y;

xx=-4:0.25:4; % 横坐标范围

yy=xx

zz=xx

points1 = zeros(33,33,33);

points2 = zeros(3,33*33*33);

% c = zeros(1,33*33*33);

for i=1:33

    for j=1:33

        for k=1:33

            points2(:,k+33*(j-1)+33*33*(i-1))=[xx(i),yy(j),zz(k)]';

        end

    end

end

[Xx,Yy,Zz]=meshgrid(xx,yy,zz); % 设置坐标网格点 meshgrid 生成网格采样点

r=sqrt((Xx).^2+(Yy).^2); % 第一个顺磁偶极子到场点的距离

rr=sqrt((Xx).^2+(Zz).^2);

Bx=(I*k*S./((Xx).^3)).*3.*(Xx.*Zz)./((rr).^2).*(Xx./r);

By=Bx;

Bz=(I*k*S./((Xx).^3)).*(2-3.*(Xx.*Xx)./((rr).^2));

B=sqrt(Bx.*Bx+By.*By+Bz.*Bz)

% for i=1:33

%     for j=1:33

```

```

%           for k=1:33
%
%           M=B(:, :, k)
%
%           c(1,k+33*(j-1)+33*33*(i-1))=M(i,j)
%
%           end
%
%       end
% end

[X,Y,Z]=meshgrid(x,y,z); % 设置坐标网格点 meshgrid 生成网格采样点
r=sqrt((X).^2+(Y).^2); % 第一个顺磁偶极子到场点的距离
rr=sqrt((X).^2+(Z).^2);
Bx=(I*k*S./((X).^3)).*3.*(X.*Z)./((rr).^2).*(X./r);
By=Bx;
Bz=(I*k*S./((X).^3)).*(2-3.*(X.*X)./((rr).^2));
title('磁偶极子周围的磁场'), % 显示标题
hold on % 保持图像
scatter3(points2(1,:),points2(2,:),points2(3,:),2,c, 'r')
colorbar
xlabel('x'); % 显示横坐标
ylabel('y'), % 显示纵坐标
h = 0; % 高度
pos = [0,0]; % 圆心位置
t=0:0.001:(2*pi); % 圆滑性设置
t=[t,0];
o=plot3(pos(1)+R*sin(t),pos(2)+R*cos(t), h*ones(size(t)));

```

```

set(o,'LineWidth',3);

hold on;

verts = stream3(X,Y,Z,Bx,By,Bz,X,Y,Z);

l=streamline(verts);

view(3);

set(l,'LineWidth',2);

set(l,'Color','k');

```

针对磁偶极子二维平面，设置电偶极子在 $(0, 0)$ 原点，选择电流的电流大小 $1.602\text{e-}6\text{A}$ 为电偶极子电流大小，半径为 0.3 ，绿色箭头代表磁偶极子，红色线代表二维平面的磁场线。

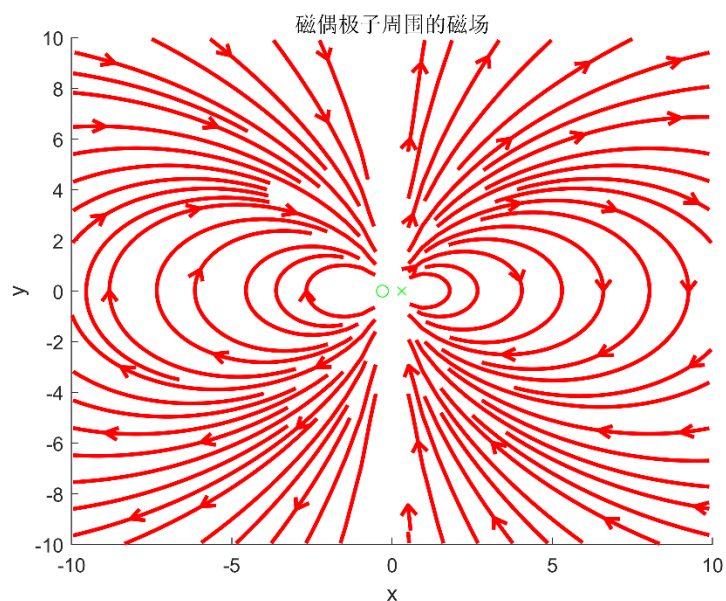


图 11 磁偶极子二维磁场分布图

于此同时,利用 **matlab** 画出在整个二维平面内磁感应强度 **B** 的分布图:

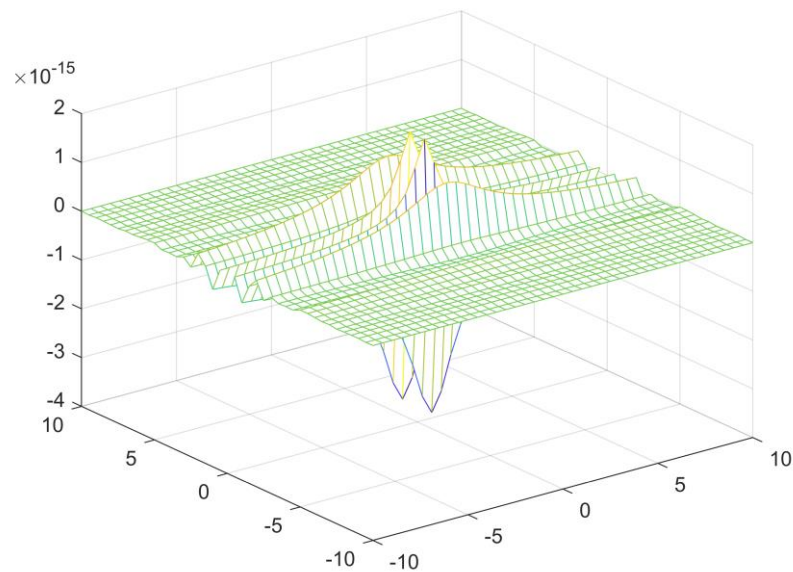


图 12 磁偶极子二维磁感应强度大小分布图

从二维磁偶极子的仿真图与磁感应强度大小分布图可以得到磁偶极子产生的磁场为无源有旋场，磁场方向穿过磁偶极子，遵循右手螺旋定则，符合工程电磁场课程中的理论，验证了实验仿真的正确性。

Matlab 仿真代码：

```
clear; % 清除变量
```

```
clf; % 清除当前图像窗口
```

```
I=1.602e-6; % 元电流大小
```

```
R=0.3;
```

```
k=1/1e-7; % 磁场常量
```

```
S=2*pi*R*R;
```

```
x=-10:0.5:10; % 横坐标范围
```

```
y=x; % 纵坐标范围
```

```
[X,Y]=meshgrid(x,y); % 设置坐标网格点 meshgrid 生成网格采样点
```

```
r=sqrt((X).^2+(Y).^2); % 第一个顺磁偶极子到场点的距离
```

```
B=(I*k*S./((r).^3))*2*Y./r; % 计算磁感应强度
```

```
Bx=(I*k*S./((X).^3)).*3.*(X.*Y)./((r).^2);
```

```
By=(I*k*S./((X).^3)).*(2-3.*(X.*X)./((r).^2));
```

```
title('磁偶极子周围的磁场'), % 显示标题
```

```
hold on % 保持图像
```

```
figure(1);
```

```
l = streamslice(X,Y,Bx,By);
```

```
set(l,'LineWidth',2)
```

```
set(l,'Color','r');
```

```
xlabel('x'); % 显示横坐标
```

```
ylabel('y'), % 显示纵坐标
```

```
plot(R,0,'gx');
```

```
plot(-R,0,'go');
```

```
figure(2);
```

```
mesh(X,Y,B)
```

针对磁偶极子三维空间，设置电偶极子在(0, 0, 0)原点，选择电流的电流大小1.602e-6A为电偶极子电流大小，半径为0.3，蓝色圆环代表磁偶极子，红色线代表二维平面的磁场线。

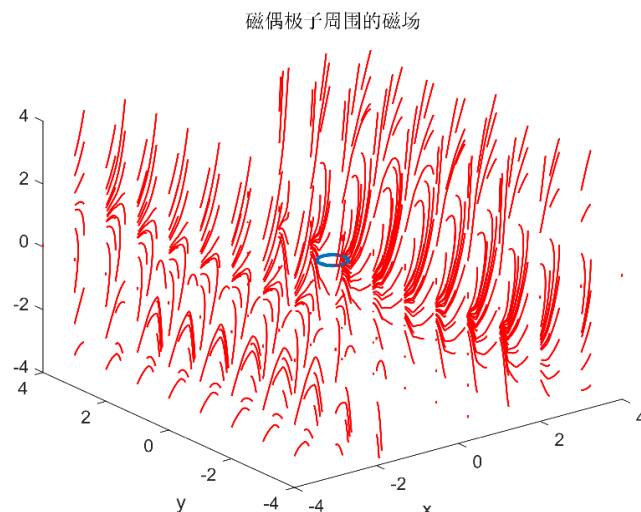


图 13 磁偶极子三维磁场分布图

于此同时，与电偶极子三维分析相同，生成 35937 组散点（ $33 \times 33 \times 33$ ）利用 matlab 的色深图，可以画出三维磁场中磁感应强度大小在三维空间中的分布情况：

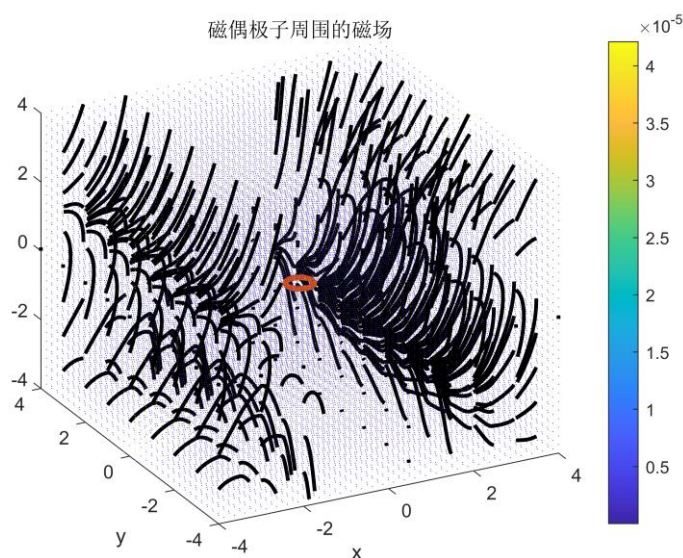


图 14 三维磁偶极子的磁感应强度大小分布色深图

从二维磁偶极子的基础上研究三维空间中磁偶极子产生的磁场，加大对磁偶极子的研究深度，同样可以发现磁偶极子在三维空间中产生的磁场为无源有旋场，磁场方向穿过磁偶极子，遵循右手螺旋定则，符合工程电磁场课程中的理论，验证了实验仿真的正确性。

Matlab 仿真代码:

```
% clear; % 清除变量
```

```
clf; % 清除当前图像窗口
```

```
q=1.602e-19; % 元电荷电量
```

```
k=1/(4*pi*8.85e-12); % 静电力常量
```

```
a=1.6; % 正电荷的单位距离
```

```
b=1.6; % 负电荷的单位距离
```

```
x=-5:1:5; % 横坐标范围
```

```
y=x; % y 坐标范围
```

```
z=x;
```

```
xx=-5:0.25:5; % 横坐标范围
```

```
yy=xx
```

```
zz=xx
```

```
points1 = zeros(41,41,41);
```

```
points2 = zeros(3,41*41*41);
```

```
% c = zeros(1,41*41*41);
```

```
A=[a,0,0]';
```

```
B=[-b,0,0];
```

```
for i=1:41
```

```
    for j=1:41
```

```
        for k=1:41
```

```
            points2(:,k+41*(j-1)+41*41*(i-1))=[xx(i),yy(j),zz(k)]';
```

```
        end
```

```

        end

end

%z=x.*y' % z 坐标范围

[X,Y,Z]=meshgrid(xx,yy,zz); % 设置坐标网格点 meshgrid 生成网格采样点

r=sqrt((X-a).^2+(Y).^2+(Z).^2); % 第一个正电荷到场点的距离

R=sqrt((X+b).^2+(Y).^2+(Z).^2); % 第一个负电荷到场点的距离

V=q*k*(1./r-1./R); % 计算电势

[Ex,Ey,Ez]=gradient(-V); % 计算场强

AE=sqrt(Ex.^2+Ey.^2+Ez.^2);

M=AE(:, :, 1)

% for i=1:41

%     for j=1:41

%         for k=1:41

%             M=AE(:, :, k)

%             c(1,k+41*(j-1)+41*41*(i-1))=M(i,j)

%         end

%     end

% end

x=-5:1.5:5; % 横坐标范围

y=x; % y 坐标范围

z=x;

[X,Y,Z]=meshgrid(x,y,z); % 设置坐标网格点 meshgrid 生成网格采样点

r=sqrt((X-a).^2+(Y).^2+(Z).^2); % 第一个正电荷到场点的距离

```

```

R=sqrt((X+b).^2+(Y).^2+(Z).^2); % 第一个负电荷到场点的距离
V=q*k*(1./r-1./R); % 计算电势
[Ex,Ey,Ez]=gradient(-V); % 计算场强
AE=sqrt(Ex.^2+Ey.^2+Ez.^2);
scatter3(points2(1,:),points2(2,:),points2(3,:),2,c,'.')
colorbar
Ex=Ex./AE;
Ey=Ey./AE;
Ez=Ez./AE;
% 场强归一化，使箭头等长
hold on;
quiver3(X,Y,Z,Ex,Ey,Ez,0.7) % 第五输入宗量 0.7 使场强箭头长短适中
hold on;
title('三维电偶极子周围的电场'), % 显示标题
hold on % 保持图像
plot3(1.6,0,0,'yo',1.6,0,0,'g+') % 用绿线画正电荷位置
plot3(-1.6,0,0,'go',-1.6,0,0,'g-') % 用黄线画负电荷位置
hold on;
figure(1)
xlabel('x'); % 显示横坐标
ylabel('y'), % 显示纵坐标
zlabel('z'); % 显示横坐标
% cv=linspace(min(min(min(V))),max(max(max(V))),1000); % 产生 100 个电位

```

值

```
% verts = stream3(X,Y,Z,V,V,V,X,Y,Z);
```

```
% l=streamline(verts);
```

```
% set(l,'LineWidth',2);
```

```
% set(l,'Color','y');
```

```
view(3)
```

四、心得体会

通过本次实验仿真，不仅加深了我对工程电磁场理论知识的理解，而且通过时间仿真，从视觉的角度可以实际感受到场的产生与变化，不仅如此，也提升了我的实践能力，提升了我的 **matlab** 使用熟练度，实际接触 **matlab** 关于矢量场仿真的函数，提升了动手能力与代码编写能力，收获丰富。