

《应用地磁学》实验报告

姓 名：10101213 班 第四组

学 号：10101213

指导教师：李淑玲

实验地点：教五楼 319

实验日期：2015 年 5 月

小组成员：

- 1) 1008121123 苏冠
- 2) 1010121301 高雅琪
- 3) 1010121306 吴静
- 4) 1010121318 于金朋
- 5) 1010121325 卢焰鑫
- 6) 1010121329 马雍
- 7) 1010121333 陆晨炜

实验二：磁性体磁场正演

一、 实验目的：

1、通过球体、水平圆柱体磁场的正演计算，掌握简单规则磁性体正演磁场的计算方法；

2、通过计算认识球体与水平圆柱体磁场的一般分布规律，了解影响磁性体磁场的主要因素（如磁性体的形体、物性参数、走向或计算剖面的选择等），培养学生实际动手能力与分析问题的能力。

二、 实验内容

用 Matlab 语言或 C 语言编程实现球体和水平圆柱体的磁场(包括 Z_a 、 H_a 、 Δt)的正演计算。

三、 实验要求

假设地磁场方向与磁性体磁化强度方向一致且均匀磁化的情况下,当地磁场 $T=50000\text{nT}$, 磁倾角 $I=60^\circ$, 球体与水平圆柱体中心埋深 $R=30\text{m}$, 半径 $r=10\text{m}$, 磁化率 $k=0.2$ (SI) , 计算(观测)剖面磁化强度水平投影夹角 $A' =0^\circ$ 时:

1、正演计算球体的磁场 (Z_a 、 H_{ax} 、 H_{ay} 、 ΔT) , 画出对应的平面等值线图、曲面图及主剖面异常图;

2、正演计算水平圆柱体的磁场 (Z_a 、 H_a 、 ΔT) , 画出主剖面异常结果图;

3、通过改变球体与水平圆柱体的几何参数、磁化强度方向 (I) 、计算剖面的方位角(A')，观察主剖面磁场 Z_a 的变化，分析磁化方向与计算剖面对磁性体磁场特征的影响。

四、 实验原理

球体与水平圆柱体磁场 (Z_a 、 H_a 、 ΔT) 的计算公式是以磁化强度倾角 I 、有效磁化倾角 is 和剖面与磁化强度水平投影夹角 A' 来表达。

1、球体磁场的正演公式:

$$\left. \begin{aligned} H_{ax} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(x^2 + y^2 + R^2)^{5/2}} \cdot \left[(2x^2 - y^2 - R^2) \cos I \cos A' \right. \\ &\quad \left. - 3Rx \sin I + 3xy \cos I \sin A' \right] \\ H_{ay} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(x^2 + y^2 + R^2)^{5/2}} \left[(2y^2 - x^2 - R^2) \cos I \sin A' \right. \\ &\quad \left. - 3Ry \sin I + 3xy \cos I \cos A' \right] \\ Z_a &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(x^2 + y^2 + R^2)^{5/2}} \left[(2R^2 - x^2 - y^2) \sin I \right. \\ &\quad \left. - 3Rx \cos I \cos A' - 3Ry \cos I \sin A' \right] \end{aligned} \right\}$$

$$\Delta T = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(x^2 + y^2 + R^2)^{5/2}} \left[(2R^2 - x^2 - y^2) \sin^2 I + (2x^2 - y^2 - R^2) \cos^2 I \cos^2 A' \right. \\ \left. + (2y^2 - x^2 - R^2) \cos^2 I \sin^2 A' - 3xR \sin 2I \cos A' \right. \\ \left. + 3xy \cos^2 I \sin 2A' - 3yR \sin 2I \sin A' \right]$$

2、水平圆柱体磁场的正演公式:

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= \frac{\mu_0 m_s}{2\pi} \frac{1}{(x^2 + R^2)^2} [(R^2 - x^2) \sin i_s - 2Rx \cos i_s] \\ H_a &= -\frac{\mu_0 m_s}{2\pi} \frac{1}{(x^2 + R^2)^2} [(R^2 - x^2) \cos i_s + 2Rx \sin i_s] \end{aligned} \right\}$$

$$\Delta T = \frac{\mu_0 m_s}{2\pi (x^2 + R^2)^2} \frac{\sin I}{\sin i_s} \left[(R^2 - x^2) \sin (2i_s - 90^\circ) - 2Rx \cos (2i_s - 90^\circ) \right]$$

3、有效磁化强度 M_s 与有效磁化倾角 i_s :

$$\left. \begin{aligned} M_s &= (M_x^2 + M_z^2)^{1/2} = M (\cos^2 I \cos^2 A' + \sin^2 I) \\ i_s &= \tan^{-1} \frac{M_z}{M_x} = \tan^{-1} (\tan I \sec A') \end{aligned} \right\}$$

五、 计算程序代码：

1、 正演计算球体的磁场 (Za、 Hax、 Hay、 Δ T)

```
clc;  
clear;  
  
% 测点分布范围  
dx=5; % X 方向测点间距  
dy=5; % Y 方向测点间距  
nx=81; % X 方向测点数  
ny=81; % Y 方向测点数  
xmin=-200; % X 方向起点  
ymin=-200; % Y 方向起点  
x=xmin:dx:(xmin+(nx-1)*dx); % X 方向范围  
y=ymin:dy:(ymin+(ny-1)*dy); % Y 方向范围  
[X,Y]=meshgrid(x,y); % 转化为排列  
  
u=4*pi*10^(-7); % 磁导率  
i=pi/3; % 有效磁化倾角 i  
a=0; % 剖面磁方位角  
T=50000;% 地磁场 T=50000nT  
  
% 球体参数  
R1=10; % 球体半径 m  
D1=30; % 球体埋深 m  
v1=4*pi*R1^3;  
k=0.2; % 磁化率  
M1=k*T/u; % 磁化强度 A/m
```

```

m1=M1*v1;    %磁矩

% 球体 理论磁异常

%(x-0),(y-0)

Za=(u*m1*((2*D1.^2-X.^2-Y.^2)*sin(i)-3*D1*X.*cos(i)*cos(a)-
3*D1*Y.*cos(i)*sin(a)))./(4*pi*(X.^2+Y.^2+D1.^2).^(5/2));

Hax=(u*m1*((2*X.^2-Y.^2-D1.^2)*cos(i)*cos(a)-
3*D1*X.*sin(i)+3*X.*Y.*cos(i)*sin(a)))./(4*pi*(X.^2+Y.^2+D1.^2).^(5/2));
Hay=(u*m1*((2*Y.^2-X.^2-D1.^2)*cos(i)*cos(a)-
3*D1*Y.*sin(i)+3*X.*Y.*cos(i)*cos(a)))./(4*pi*(X.^2+Y.^2+D1.^2).^(5/2));
deltT=u*m1*((2*D1.^2-X.^2-Y.^2)*sin(i)*sin(i)+(2*X.^2-Y.^2-
D1.^2)*(cos(i)*cos(a))^2+(2*Y.^2-X.^2-D1.^2)*(cos(i)*sin(a))^2-
3*X.*D1*sin(2*i)*cos(a)+3*X.*Y.*cos(i)^2*sin(2*a)-
3*Y.*D1*sin(2*i)*sin(a))./(4*pi*(X.^2+Y.^2+D1.^2).^(5/2));

figure(1), surf(X, Y, Za, 'EdgeColor', 'none'), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('Za/nT'), title('理论球体Za异常曲面图'), colorbar;
figure(2), surf(X, Y, Hax, 'EdgeColor', 'none'), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('Hax/nT'), title('理论球体Hax异常曲面图'), colorbar;
figure(3), surf(X, Y, Hay, 'EdgeColor', 'none'), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('Hay/nT'), title('理论球体Hay异常曲面图'), colorbar;
figure(4), surf(X, Y, deldT, 'EdgeColor', 'none'), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('ΔT/nT'), title('理论球体ΔT异常曲面图'), colorbar;
figure(5), contourf(X, Y, Za), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('Za/nT'), title('理论球体Za异常平面等值线图'), colorbar;
figure(6), contourf(X, Y, Hax), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('Hax/nT'), title('理论球体Hax异常平面等值线图'), colorbar;
figure(7), contourf(X, Y, Hay), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('Hay/nT'), title('理论球体Hay异常平面等值线图'), colorbar;
figure(8), contourf(X, Y, deldT), xlabel('x/m'), ylabel('y/m'), zlabel('ΔT/nT'), title('理论球体ΔT异常平面等值线图'), colorbar;

%主剖面
x0=x;
yy=40;
Za0=Za(yy,:);
Hax0=Hax(yy,:);
Hay0=Hay(yy,:);
deltT0=deltT(yy,:);
figure(9), plot(x, Za0), ylabel('Za/nT'), title('理论球体Za异常主剖面图');
figure(10), plot(x, Hax0), ylabel('Hax/nT'), title('理论球体Hax异常主剖面图');
figure(11), plot(x, Hay0), ylabel('Hay/nT'), title('理论球体Hay异常主剖面图');
figure(12), plot(x, deldT0), ylabel('ΔT/nT'), title('理论球体ΔT异常主剖面图')

```

');

2、水平圆柱体正演代码

clc;

clear;

% 测点分布范围

dx=5; % X 方向测点间距

dy=5; % Y 方向测点间距

nx=81; % X 方向测点数

ny=81; % Y 方向测点数

xmin=-200; % X 方向起点

ymin=-200; % Y 方向起点

x=xmin:dx:(xmin+(nx-1)*dx); % X 方向范围

y=ymin:dy:(ymin+(ny-1)*dy); % Y 方向范围

[X,Y]=meshgrid(x,y); % 转化为排列

u=4*pi*10^(-7); % 磁导率

i=pi/3; % 有效磁化倾角 i

A=0; % 剖面磁方位角

T=50000;% 地磁场 T=50000nT

% 圆柱体参数

R1=10; % 圆柱体半径 m

D1=30; % 圆柱体埋深 m

S1=pi*R1^2;

v1=4*pi*R1^3;

k=0.2; % 磁化率

```
M1=k*T/u; %磁化强度 A/m
```

```
m1=M1*v1; %磁矩
```

```
% 圆柱体 理论磁异常
```

```
Za=(u*m1*((D1.^2-(X-50).^2)*sin(i)-2*D1*(X-50).*cos(i))./(2*pi*((X-50).^2+D1.^2).^2);
```

```
Ha=-u*m1*((D1.^2-(X-50).^2)*cos(i)+2*D1*(X-50).*sin(i))./(2*pi*((X-50).^2+D1.^2).^2);
```

```
deltT=u*m1*sin(i)*((D1^2-X.^2)*cos(2*i-pi/2)-2*D1*X.*cos(2*i-pi/2))./(2*pi*(X.^2+D1.^2).^2*sin(i));
```

```
% figure(1),pcolor(X,Y,Za),shading interp,xlabel('x(m)'),ylabel('y(m)'),title('理论圆柱体 Za 异常');
```

```
% figure(2),pcolor(X,Y,Ha),shading interp,xlabel('x(m)'),ylabel('y(m)'),title('理论圆柱体 Ha 异常');
```

```
% figure(3),pcolor(X,Y,deltT),shading interp,xlabel('x(m)'),ylabel('y(m)'),title('理论圆柱体 delta T 常');
```

```
%主剖面
```

```
x0=x;
```

```
yy=40;
```

```
Za0=Za(yy,:);
```

```
Ha0=Ha(yy,:);
```

```
deltT0=deltT(yy,:);
```

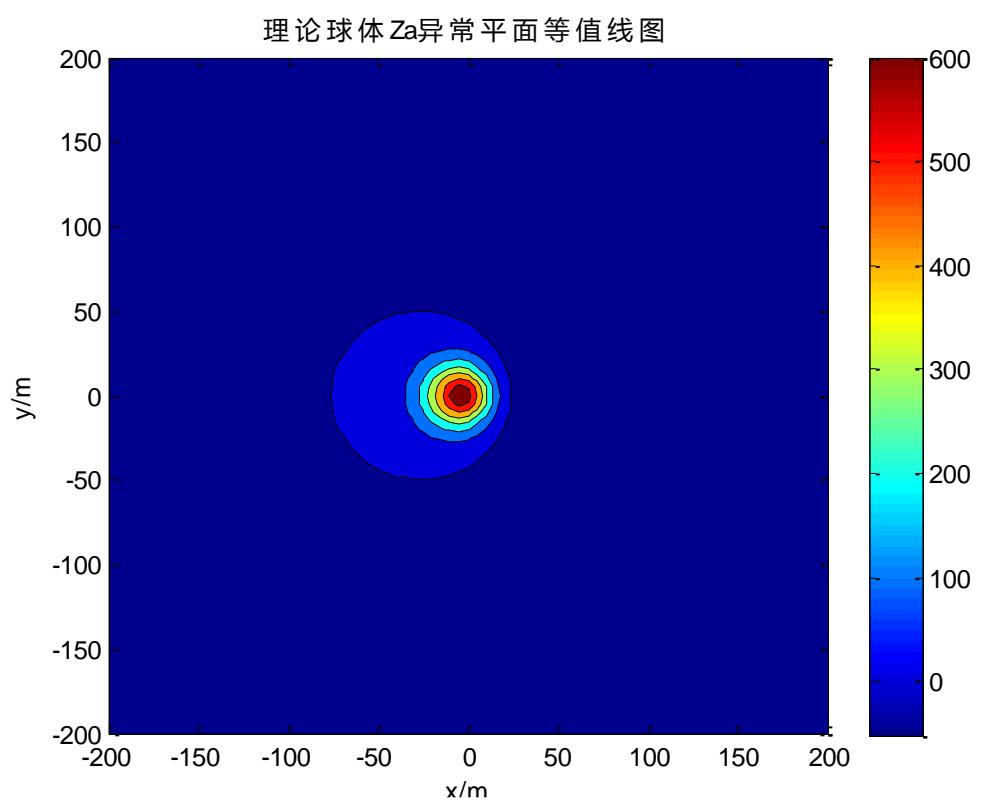
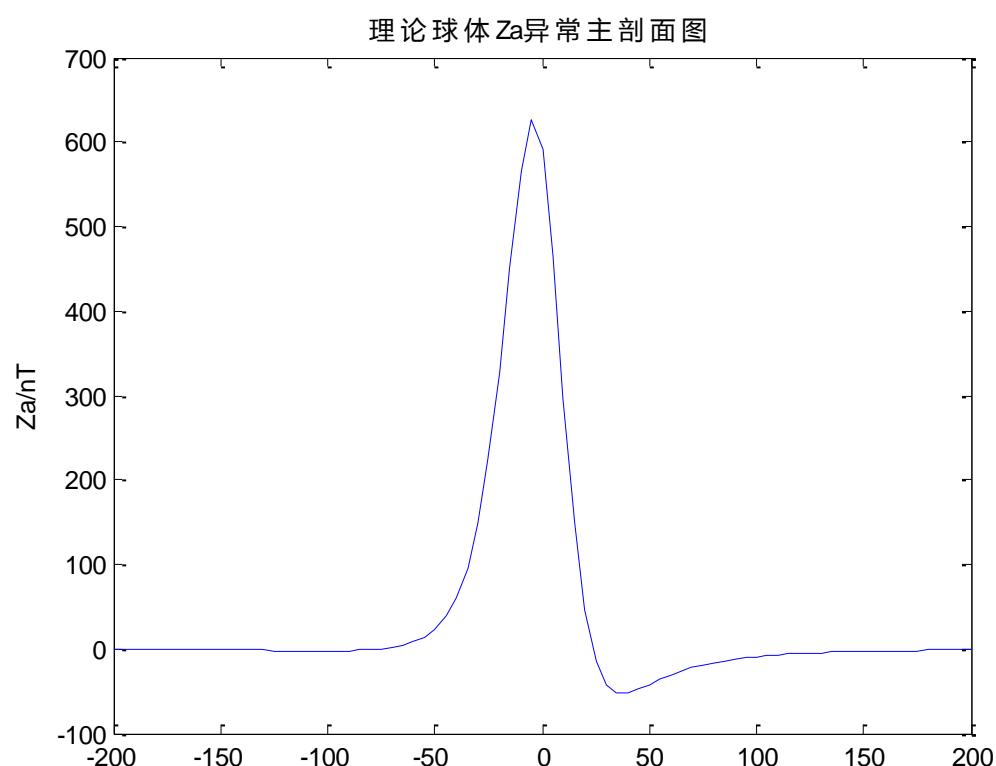
```
figure(4),plot(x,Za0),ylabel('Za/nT'),title('理论圆柱体 Za 异常主剖面图');
```

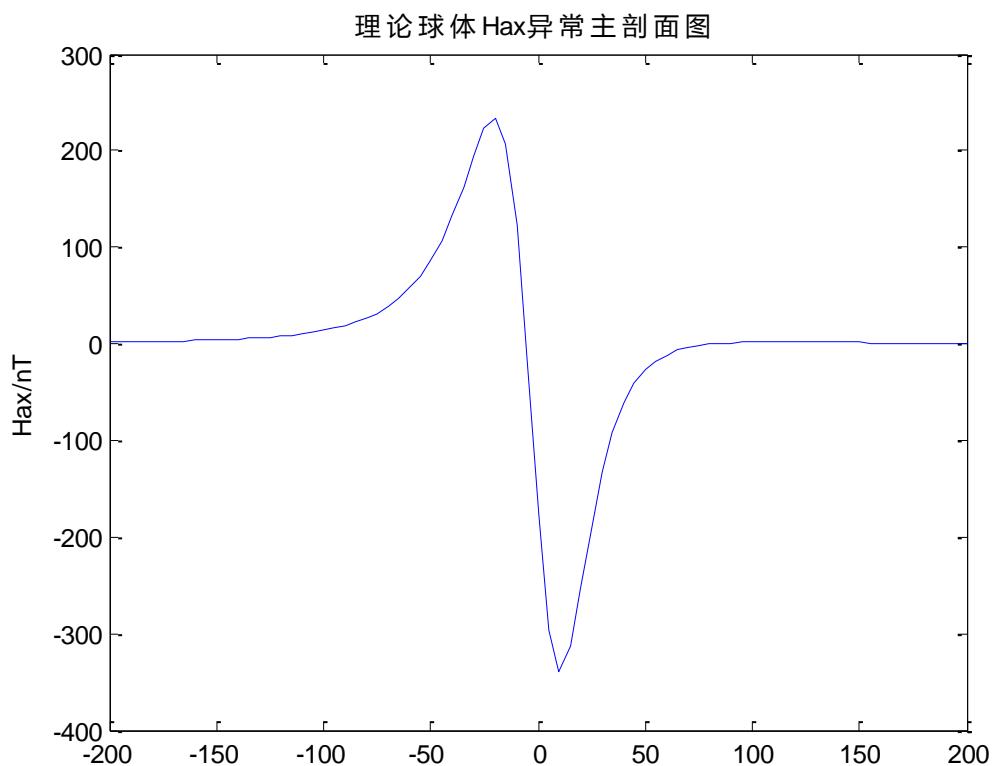
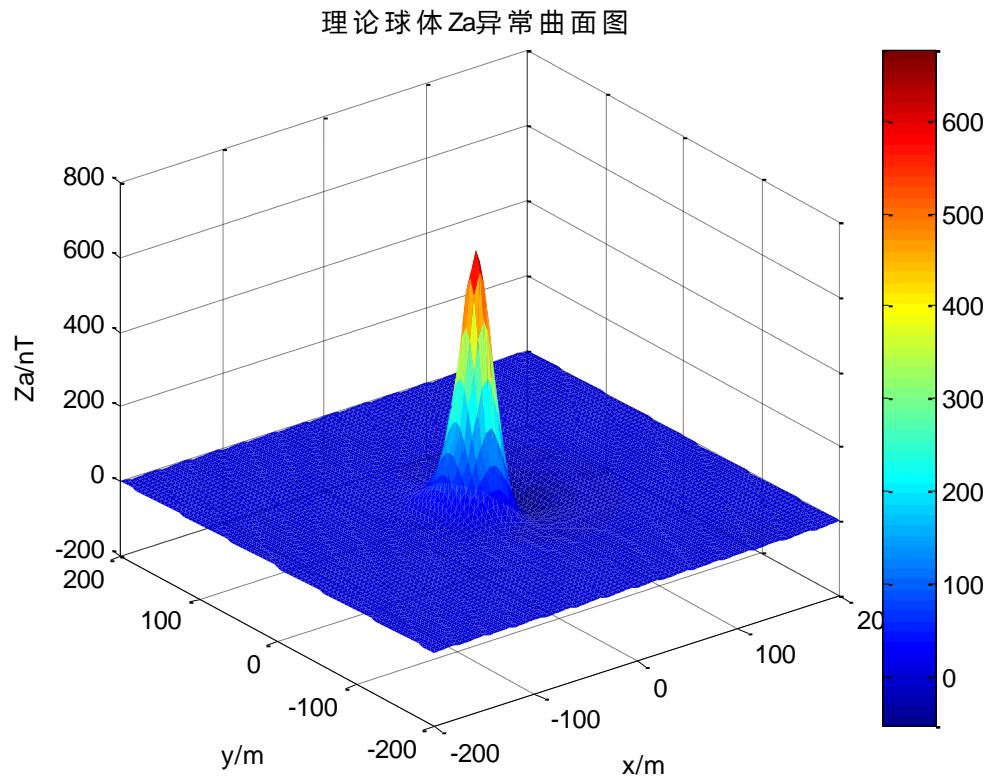
```
figure(5),plot(x,Ha0),ylabel('Ha/nT'),title('理论圆柱体 Ha 异常主剖面图');
```

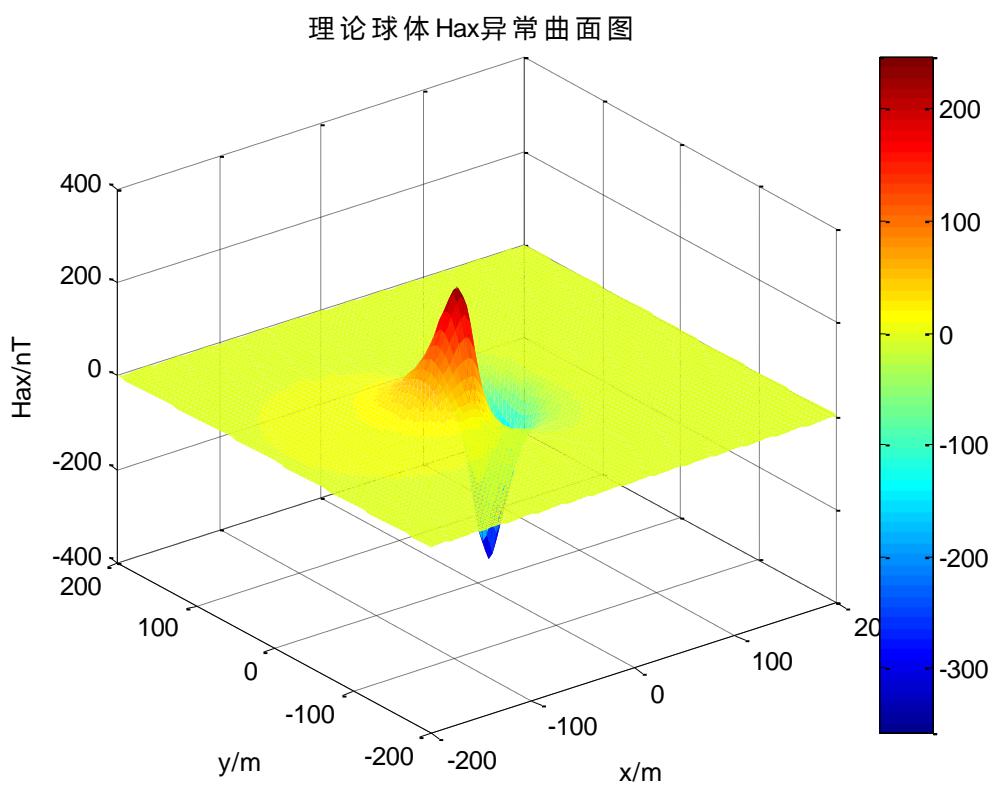
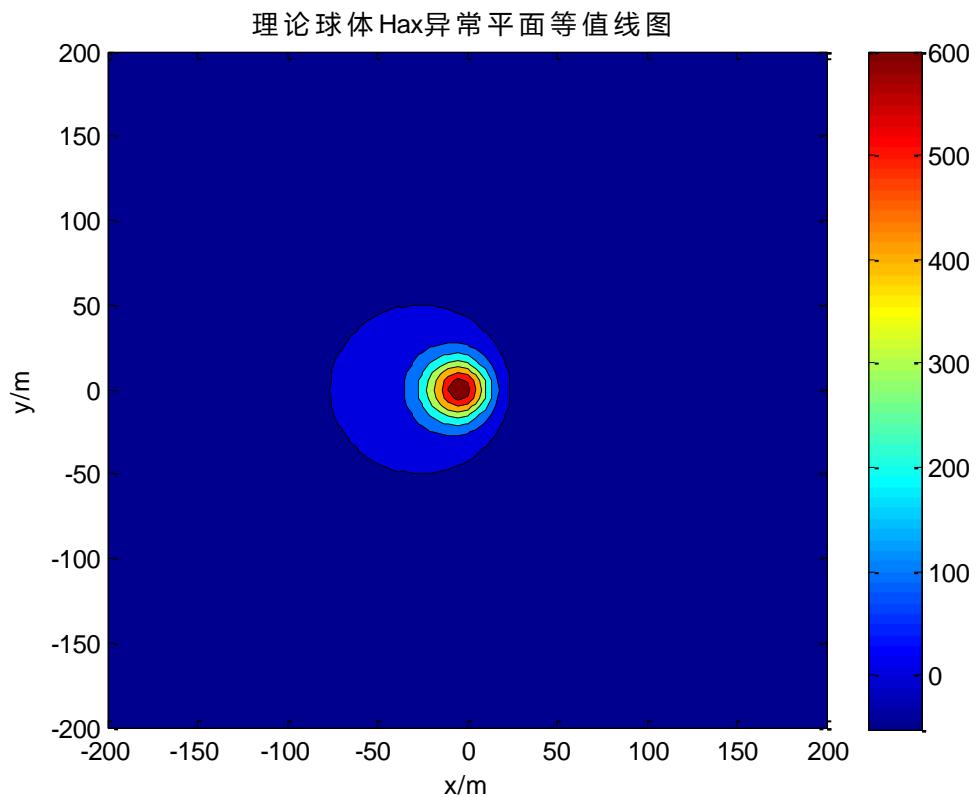
```
figure(6),plot(x,deltT0),ylabel('deltT/nT'),title('理论圆柱体 Δ T 异常主剖面图');
```

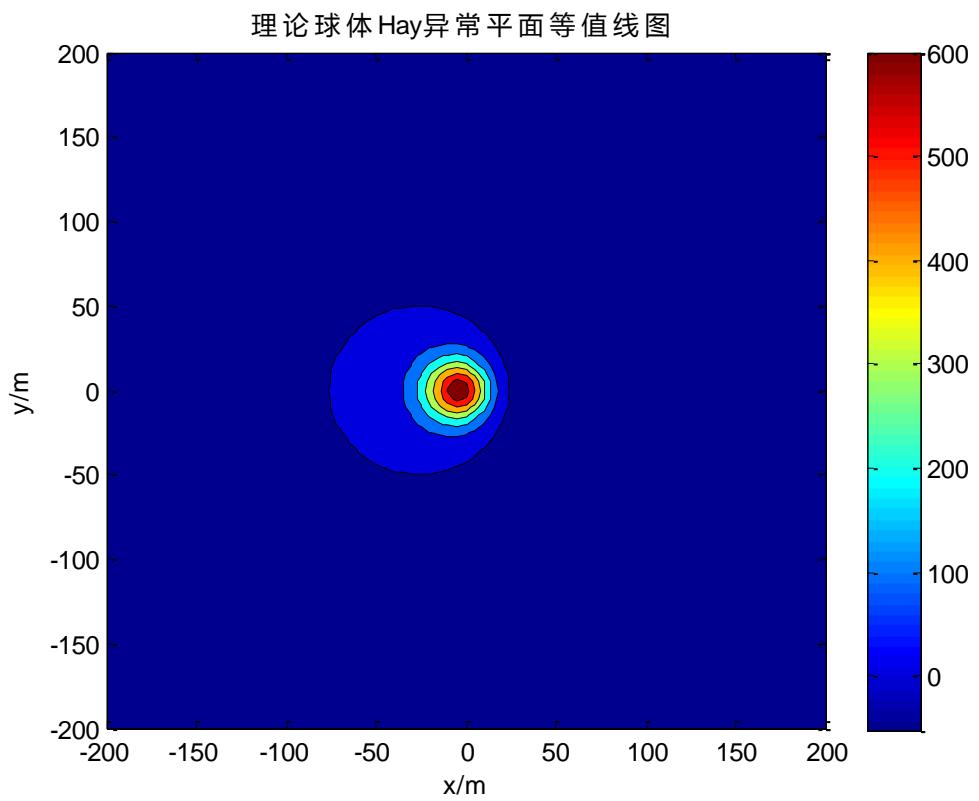
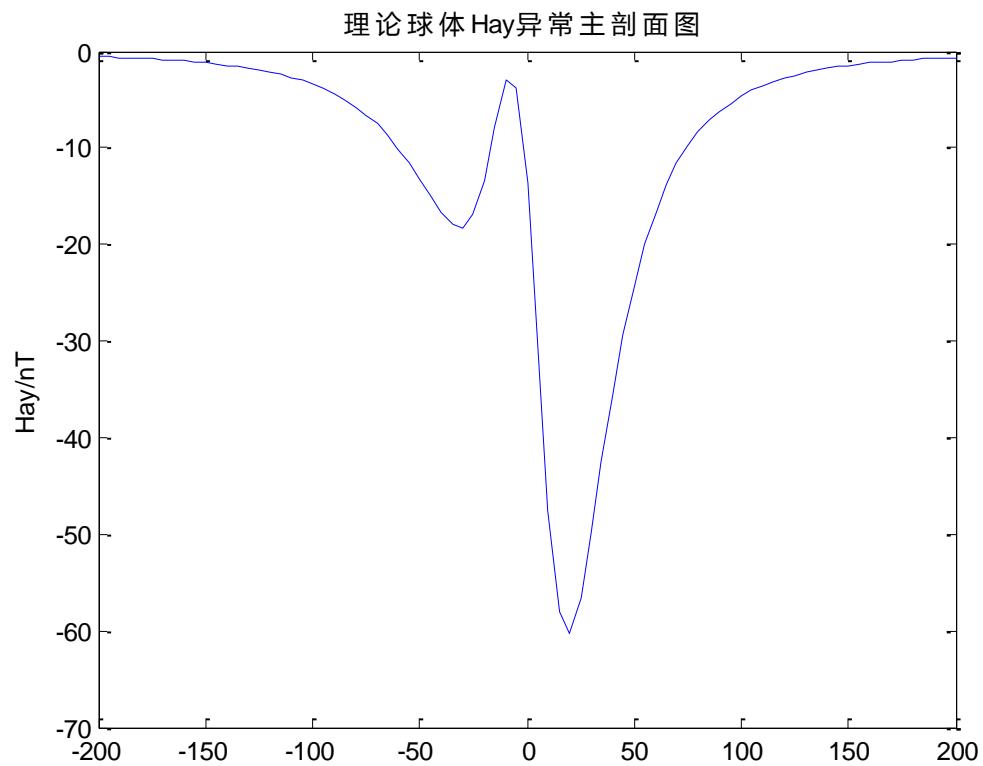
六、 实验结果

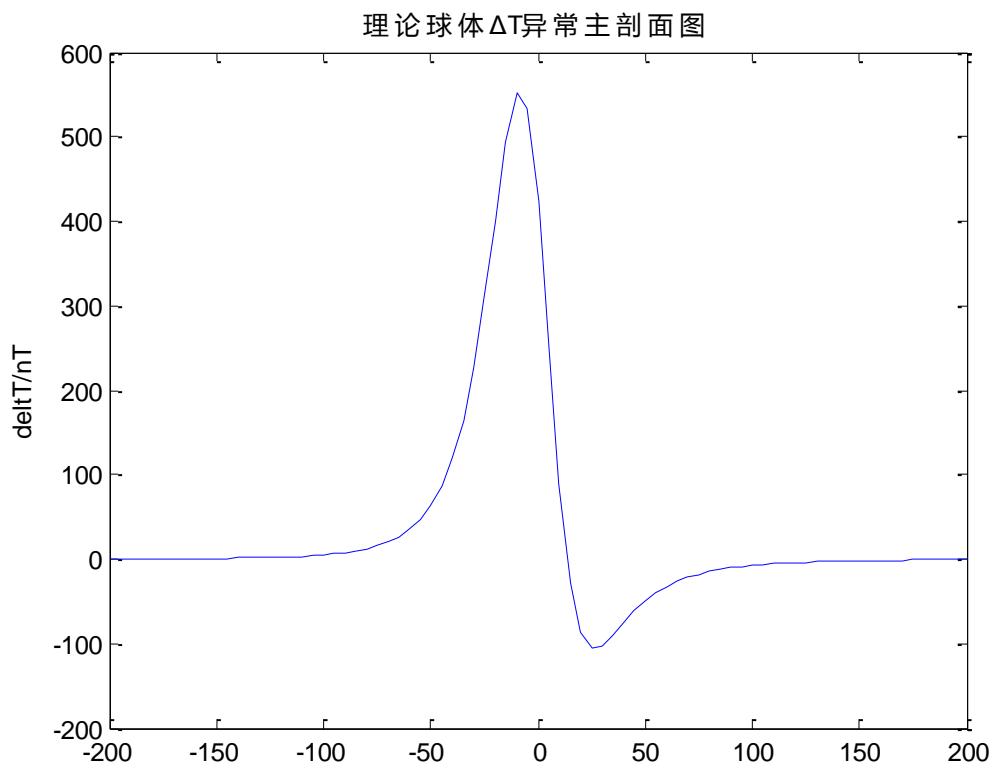
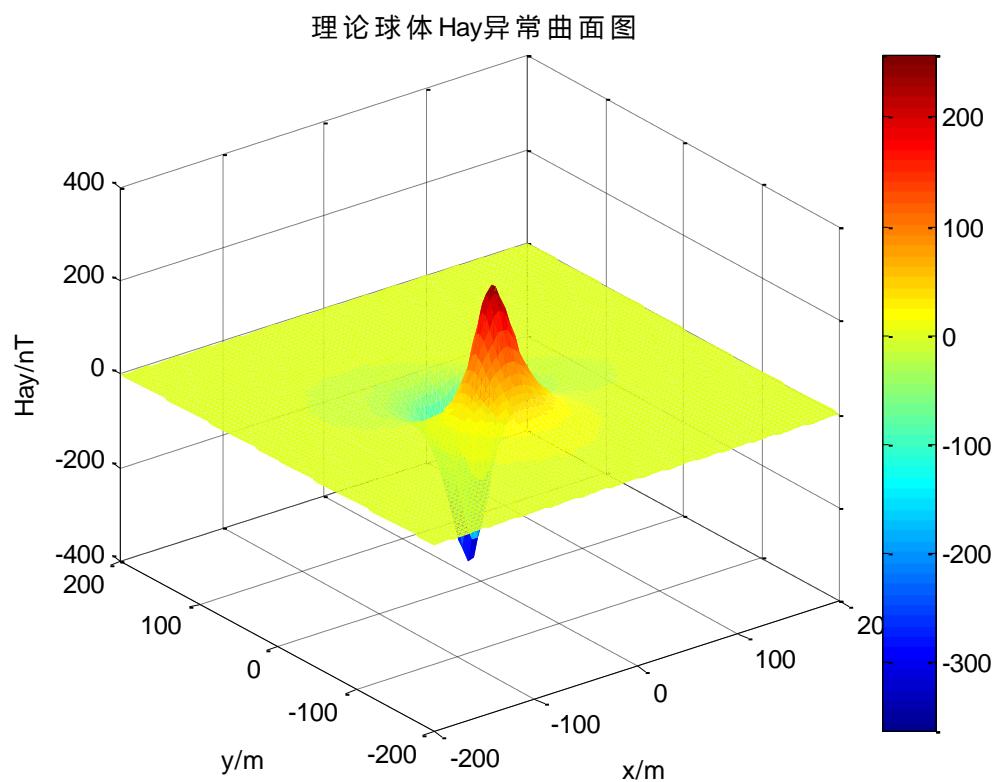
1、正演计算球体磁场的结果 (Z_a 、 H_{ax} 、 H_{ay} 、 ΔT)

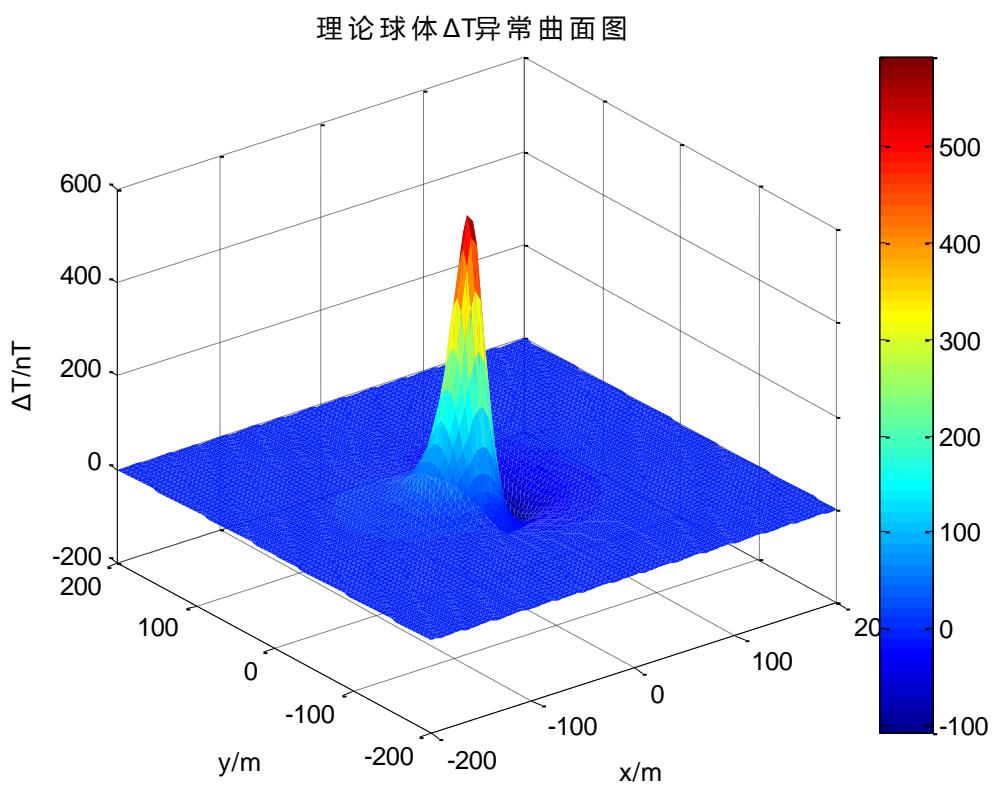
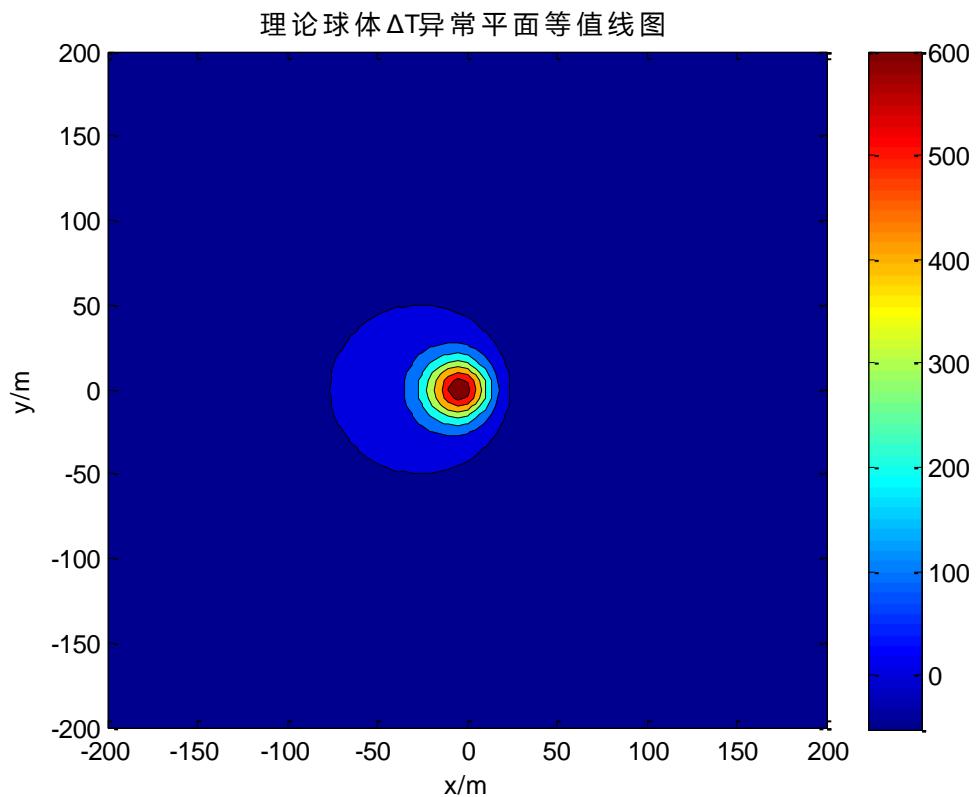




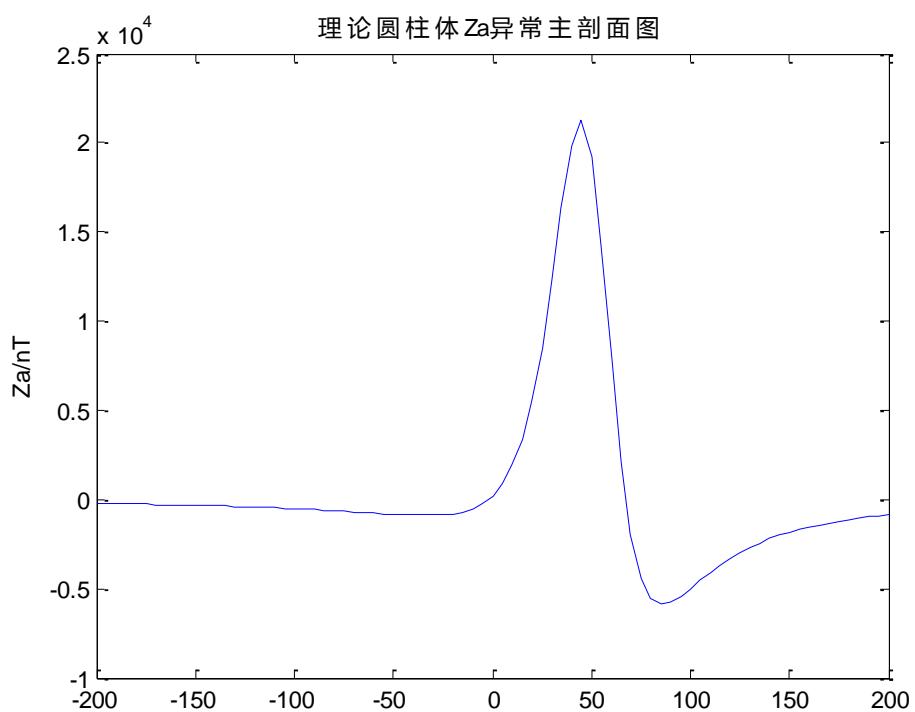


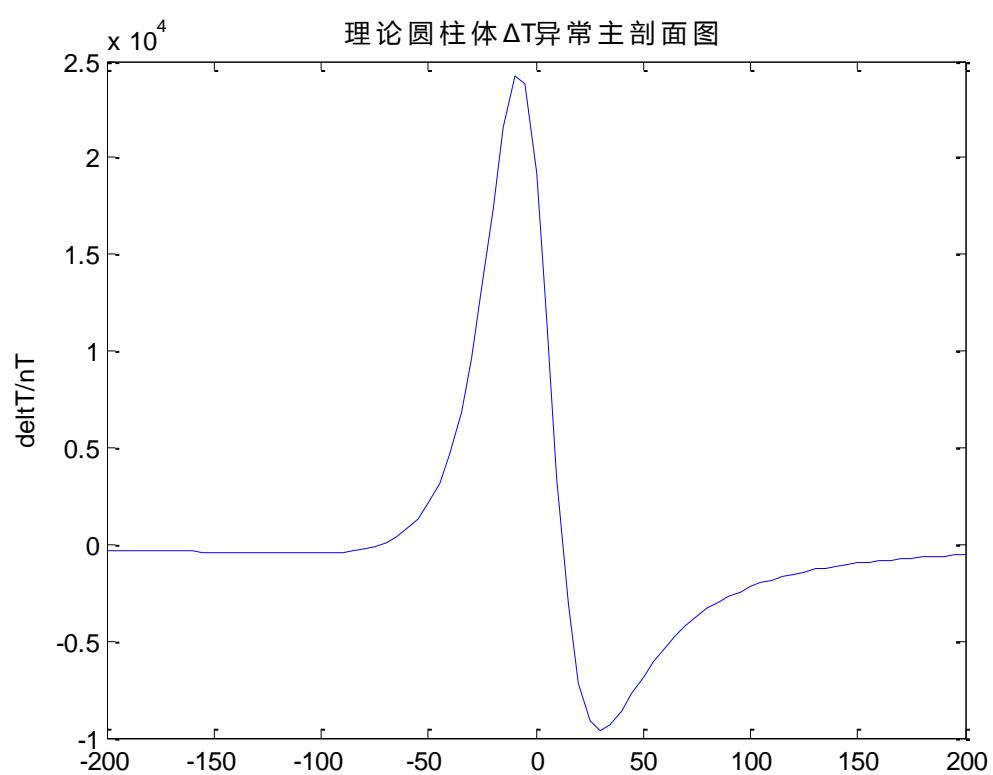
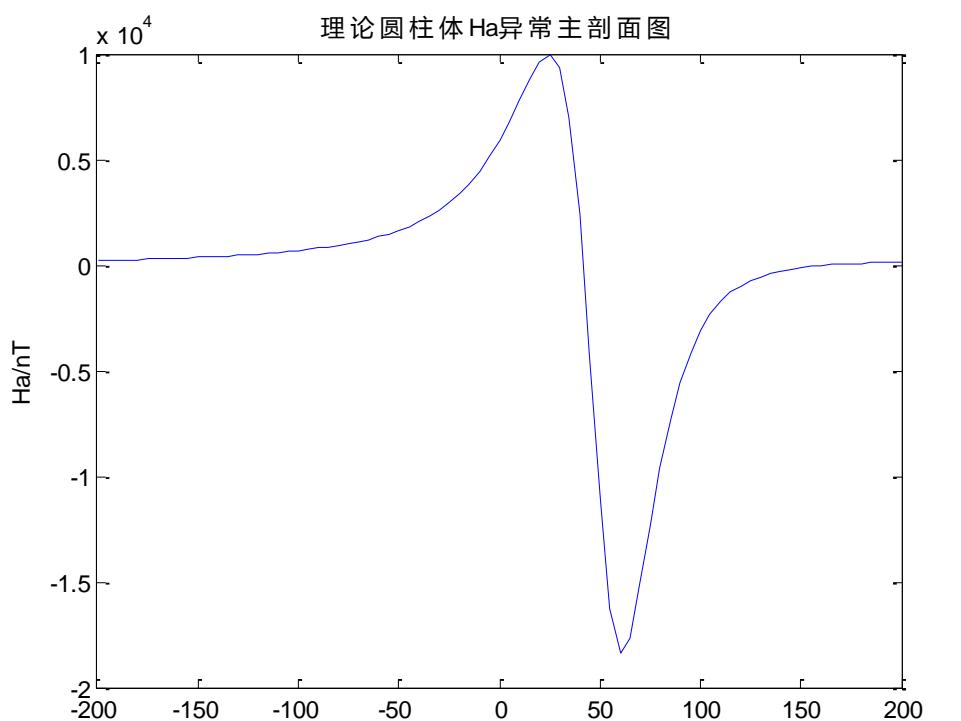






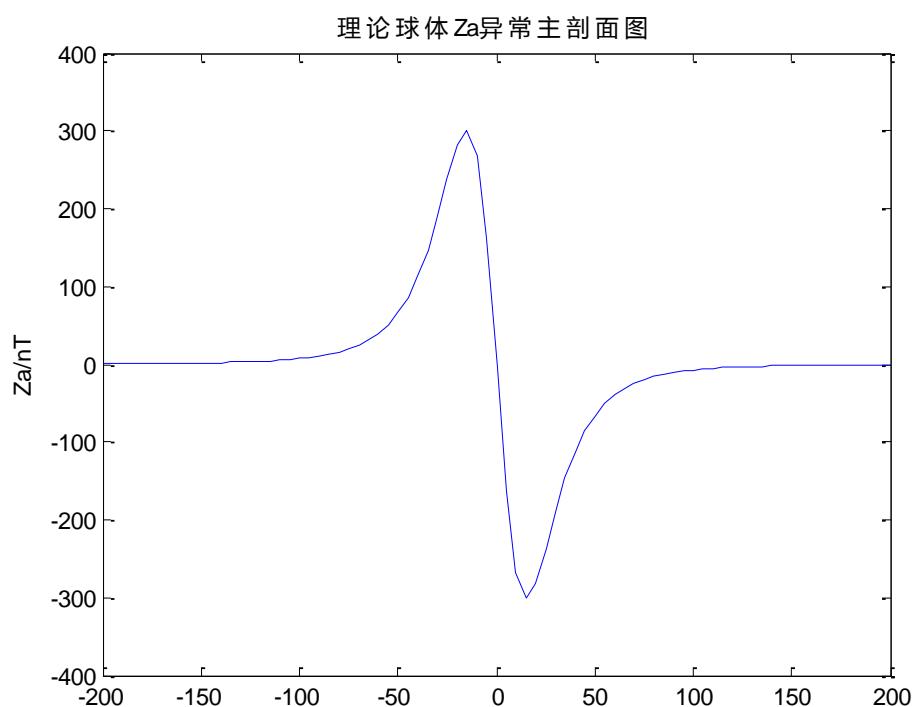
2、正演计算水平圆柱体磁场的结果 (Z_a 、 H_a 、 ΔT)



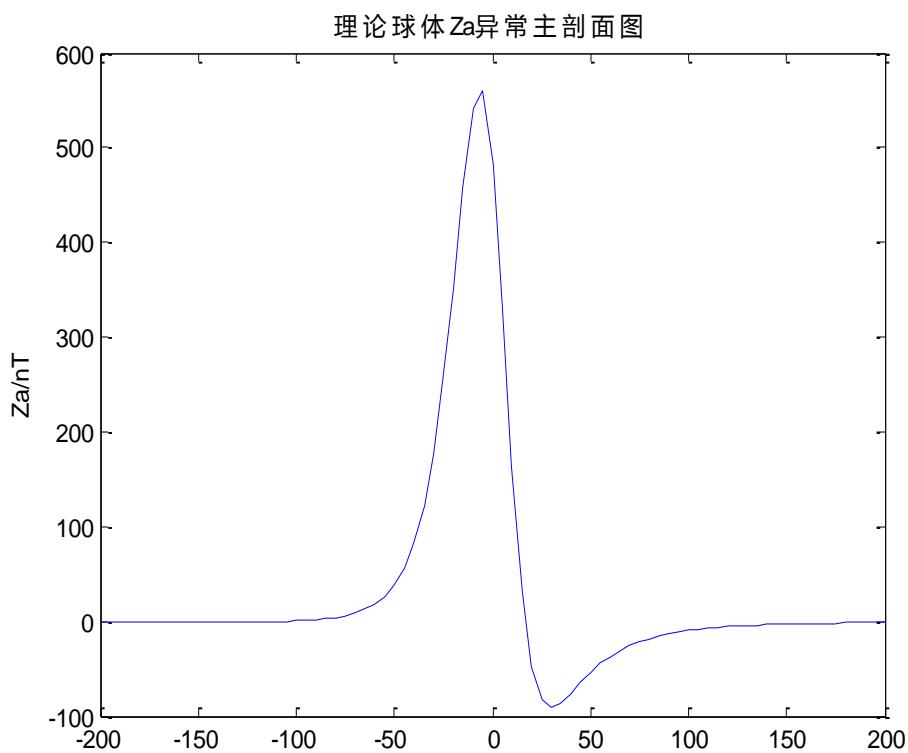


3、改变球体磁化强度方向所得主剖面异常

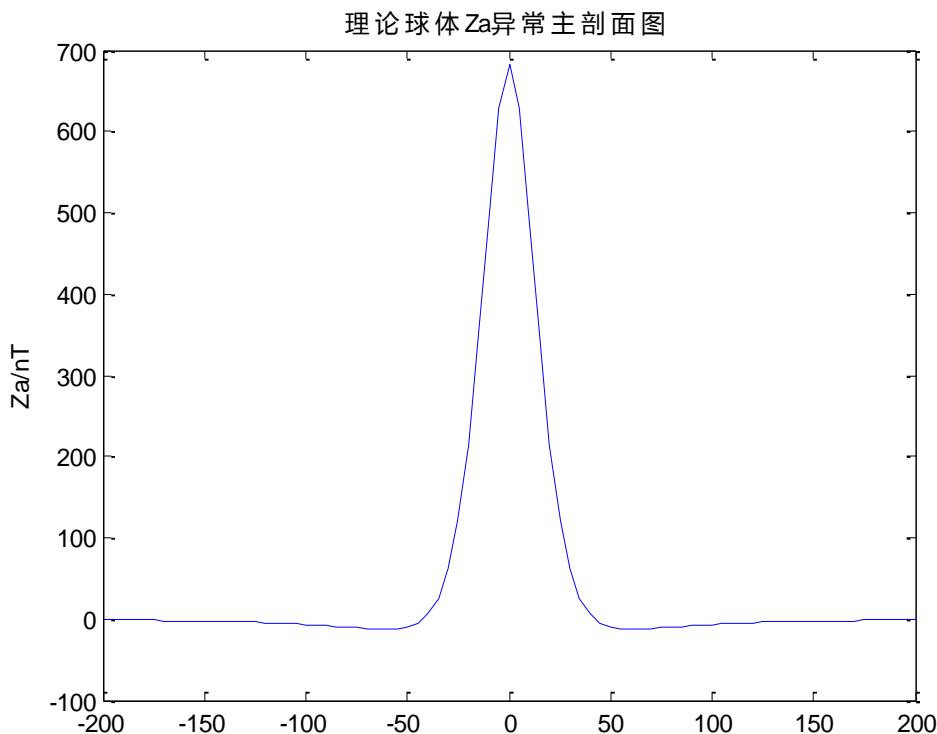
A、 $I=0$



B、 $I=\pi/4$



C、 $I=\pi/2$



七、实验结果分析及总结

通过改变 I 的数值，我们观察到球体的 Za 异常发生变化。

- 1) 当 $I=\pi/3$ 时， za 剖面中心有极大值，左右近似对称，右边有负的极小值；
- 2) 当 $I=\pi/2$ 时， za 剖面中心有极大值，左右两边对称分布，两侧有负的极小值；
- 3) 当 $I=0$ 时， za 剖面呈中心对称，且中心点过原点，右边有负的极小值，左边有正的极大值；
- 4) 当 $I=\pi/4$ 时，左右两边近似对称，右侧有负的极小值，中间有极大值。由此可知，磁化强度方向是影响磁性体磁异常的因素之一。

通过此次实验，我们掌握简单规则磁性体（如球体、水平圆柱体）正演磁场的计算方法，认识了球体与水平圆柱体磁场的一般分布规律，分析讨论了影响磁性体磁场特征的因素，并熟悉了代码编写及制图软件的应用，通过绘制平面等值线图、曲面图及主剖面异常图，直观地了解了简单规则磁性体的磁异常特征，加深了我们对课本所学知识的理解，是一次不可多得的学习机会。