

旋转磁偶极子在空间产生电场的模拟



中国科学技术大学

少年班学院 黄业琦 PB17000144
指导老师 张一飞

○ 主目录 | CONTENTS

课题背景及内容

公式推导

结论

1

3

5

2

4

基本理论

模拟结果

 <p>第一部分</p>	<h1>课题背景及内容</h1>
---	------------------

○ 背景

研究背景

在现代船舶探测手段中，常用的手段为轴频电场信号探测。由于这种电场具有十分优秀的分析性质，且强度适中，便于测量，这种信号探测近年来得到国内外学者们的重视。我们在模型化分析问题的时候，选择磁场问题中的基本化的分析单元——磁偶极子进行分析。本文详细分析了磁偶极子自转产生的电场性质，利用数学和计算机工具做出精细的模拟，最终得出模型。

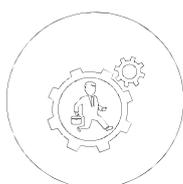
2

 <p>第二部分</p>	<h1>基本理论</h1>
---	---------------

基本理论

磁偶极子的观点
麦克斯韦方程组

3



第三部分

公式推导

○ 基本理论

研究对象选择磁偶极子

$$B_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3x^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right) \left(\hat{i}m(t) \right) + \frac{(3\mu_0xy)}{4\pi r^5} \left(\hat{j}m(t) \right) + \frac{(3\mu_0xz)}{4\pi r^5} \left(\hat{k}m(t) \right)$$

$$B_y = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3y^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right) \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{3(m(t)\vec{r})\vec{r}}{r^5} - \frac{m(t)}{r^3} \right] \frac{(3\mu_0yz)}{4\pi r^5} \left(\hat{k}m(t) \right)$$

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{3z^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right) \left(\hat{k}m(t) \right) + \frac{(3\mu_0zx)}{4\pi r^5} \left(\hat{i}m(t) \right) + \frac{(3\mu_0zy)}{4\pi r^5} \left(\hat{j}m(t) \right)$$

4

○ 基本理论

$$\oint_l \vec{E} dl = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_S \vec{B} dS$$

$$E_x = -\frac{\mu_0 \omega z \left(\hat{i} \bullet \vec{m}(t) \right)}{4\pi r^3}$$

$$E_y = -\frac{\mu_0 \omega z \left(\hat{j} \bullet \vec{m}(t) \right)}{4\pi r^3}$$

$$E_z = \frac{\mu_0 x \omega \left(\hat{i} \bullet \vec{m}(t) \right)}{4\pi r^3} + \frac{\mu_0 y \omega \left(\hat{j} \bullet \vec{m}(t) \right)}{4\pi r^3}$$

5



第四部分

计算机模拟

○ 计算机模拟

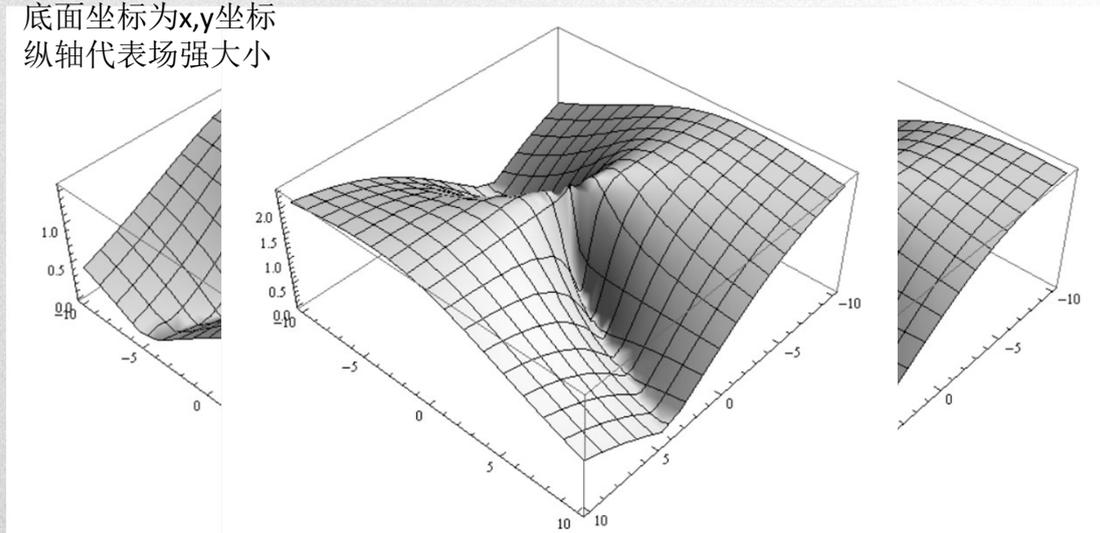
模拟磁偶极子旋转的过程有许多困难，首先模拟一个复杂磁场在空间中旋转就已经十分复杂。为此我们将采用一些特殊的处理办法：时域有限差分法（FDTD）。我们将时间作为离散化的单元处理，用每一小段时间的开始作为时间段的代表。依次处理每一段时间。

我们选取的旋转磁场为之前所描绘的磁场。以麦克斯韦方程组求解空间中的电场分布。从而达到模拟磁偶极子旋转产生感生电场的效果。我们将做一组图像展示模拟的结果。

6

○ 效果展示 固定z 关于t的变化 t=2,4,5

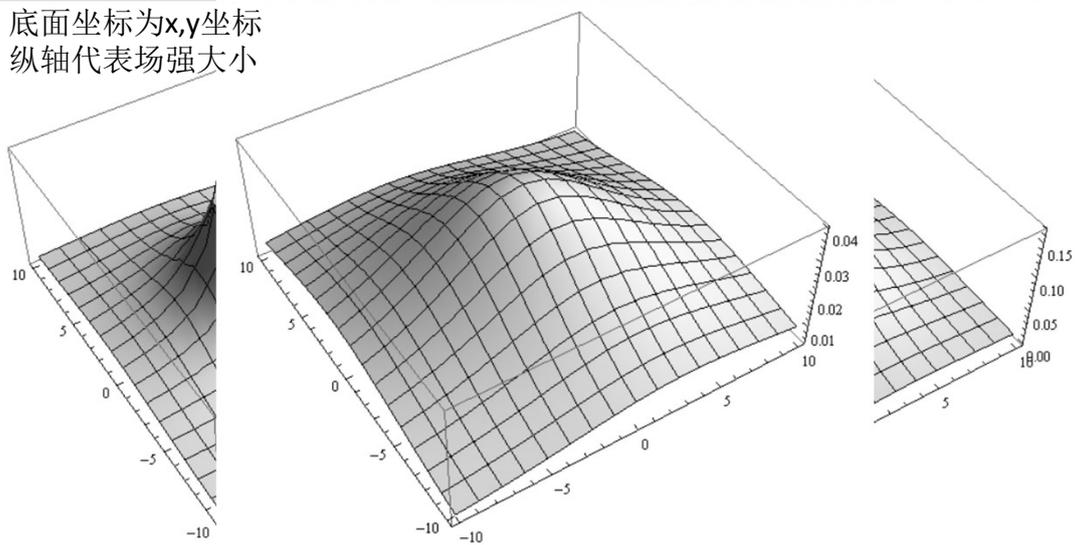
底面坐标为x,y坐标
纵轴代表场强大小



7

○ 效果展示 固定t 关于z的变化 $z=0.5, 3, 10$

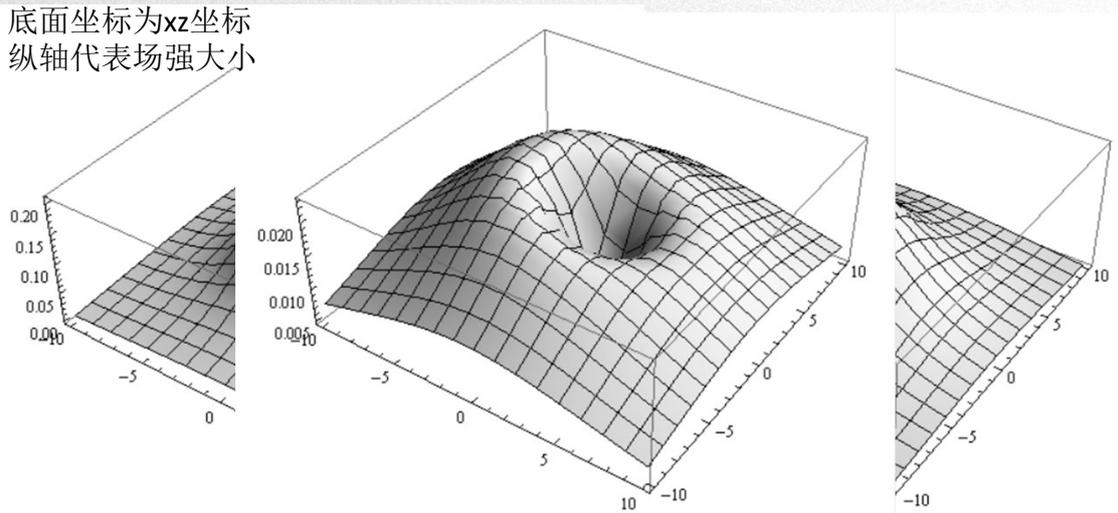
底面坐标为x,y坐标
纵轴代表场强大小



8

○ 效果展示 固定t 关于y的变化 $y=0, 3, 6$

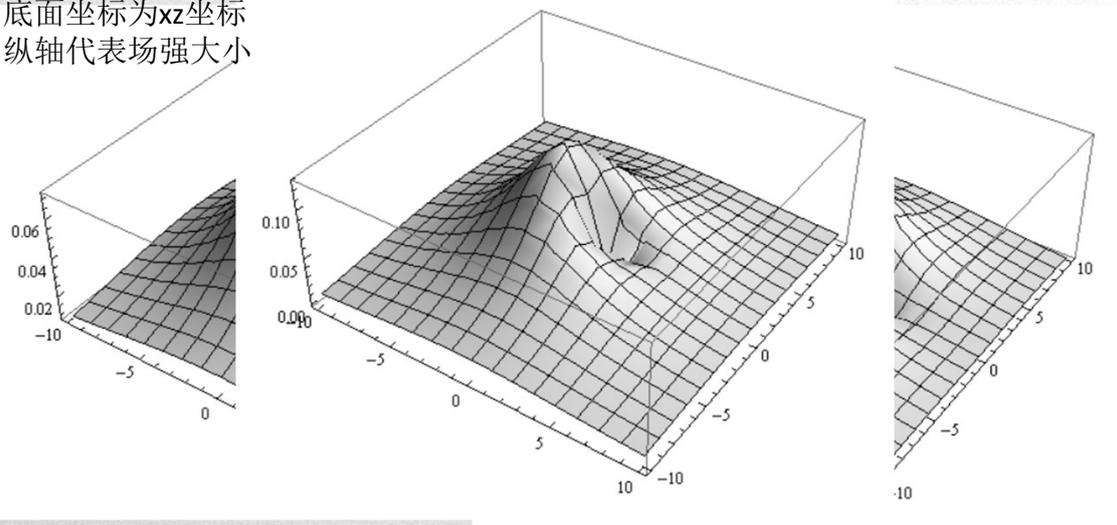
底面坐标为xz坐标
纵轴代表场强大小



9

○ 效果展示 固定y 关于t的变化 t=2,4,6

底面坐标为xz坐标
纵轴代表场强大小



10



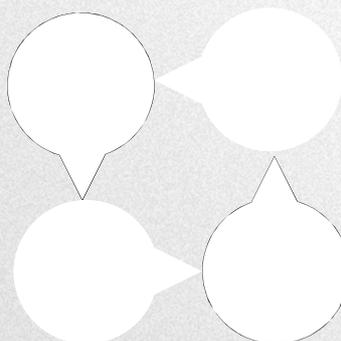
第五部分

结论

○ 结论

结论四
磁偶极子旋转速率与电场
旋转速率保持一致且存在
1/4周期相位差

结论三
任意一点处的各个方向的
分量有相位差：z轴向与y
轴向差1/2周期



结论一
随着z的增大，场强分布逐
渐趋于平缓。整个电场随着
t绕z轴旋转。

结论二
任意一点处的各个方向的
分量有相位差：x轴向与y
轴向差1/4周期

11

○ 应用

应用

在我们模拟结果中，我们发现场强大小明显的峰值属性与相位差属性，我们在监测到轴频电场峰值与各个方向相位差的变化之后，利用数学手段可以推测出导致异常点的原因。未来我将更进一步将研究不同形状与材质的障碍物对电场信号的影响。

11

