

# 地磁场偶极子模型的初步计算验证 及地磁场产生原因的初步探究

电磁学论文答辩

王笑宇

PB15061279

指导老师：卢荣德

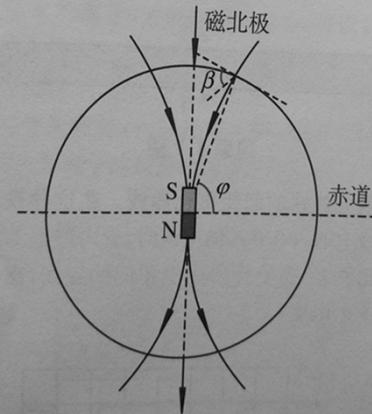
## 报告提纲

1. 探究动机
2. 相关计算及推导求证
3. 结论
4. 展望

## 1. 探究动机:

根据课本《电磁学》第五章作业习题5.13出发，该题将地磁场视为位于地球中心的磁偶极子，故好奇地磁场的等效模型的正确性。做出简单计算求证。

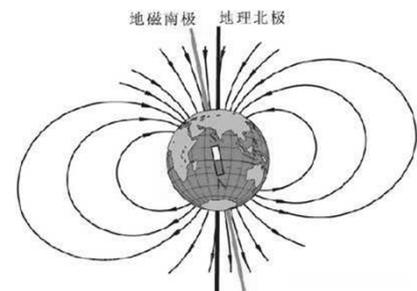
5.13 地球的磁场可以近似地看成一个位于地球中心的磁偶极子，请证明：(1) 磁倾角(地磁场的方向与当地水平面之间的夹角) $\beta$ 与纬度 $\varphi$ 的关系为  $\tan\beta = 2\tan\varphi$ ；(2) 地磁北极处的垂直分量是地磁赤道上水平分量的两倍。



习题 5.13 图

## 2. 相关计算及推导求证(主要内容)

- 2.1 等效磁偶极子
- 2.2 地磁场可视化模型
- 2.3 地球发电机理论
- 2.4 地核结构与外核带电环形电流的计算
- 2.5 地球内核等效铁芯模型计算
- 2.6 初步结论



## 2.1 等效磁偶极子

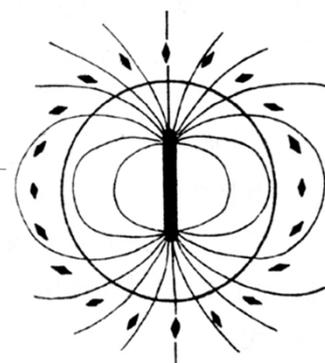
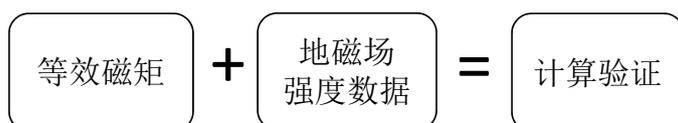


Figure 1: 等效磁偶极子

## 2.2. 地磁场可视化模型<sup>[12]</sup>

引自空间科学学报《地磁场磁力线可视化种子点选取的磁场强度线积分等分算法》

从计算机模拟的结果看在除去太阳风的影响下，地球磁场是大体符合磁偶极子模型的。

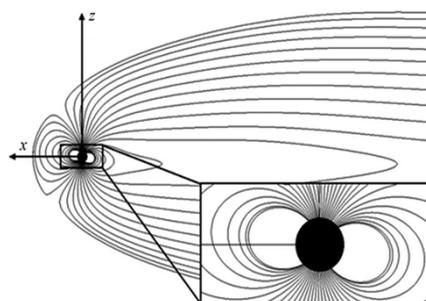


Figure 2: 选取60个种子点并过滤冗余磁力线后的结果

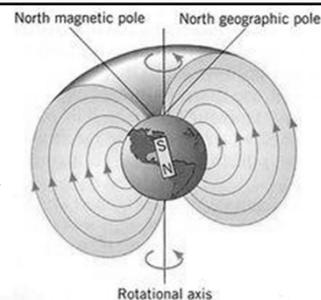
## 2.3. 地球发电机理论

查阅课本有关章节解释：

“目前盛行的有关地磁场产生的原因，主流观念是地球发电机理论，该理论在观测、实验、理论和研究上得到较多证实，也能较好的解释地磁反转现象。地球发电机理论认为地球内核有流动的熔融态铁，形成导电的“汪洋”，导电流体依据电流的磁效应，必然会产生磁场，因此这便是地磁场的由来”<sup>[3]</sup>

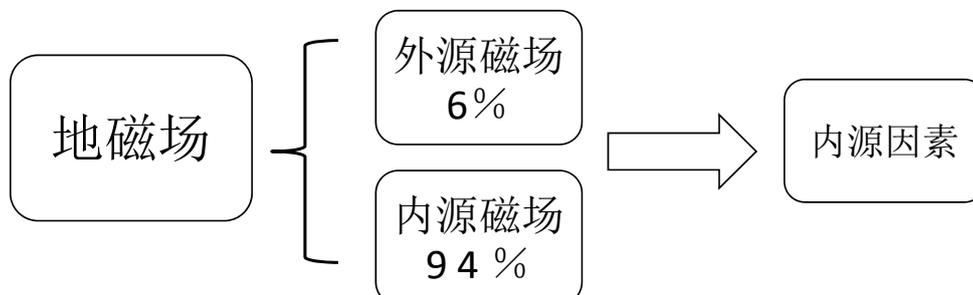
可以看出也是支持磁偶极子模型的，但是课本没有讲明导电流体产生电流的方式，以及流动状态和原因。

由于知识水平有限，故针对查阅的资料做出简单分析推断。



## 探究方向

“在地球上所观测到的磁场却包含了地球内部因素引起的内源磁场和起源于地球外部因素的外源磁场，内源磁场占地球总磁场强度的94%，而外源磁场仅占6%”<sup>[2]</sup>



因此仅探究地球磁场的内源因素

## 2.4.地核结构与外核带电环形电流的计算

查阅地核结构如下<sup>[4]</sup>

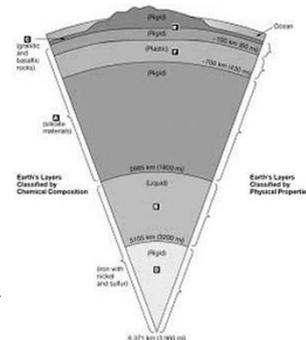
地核结构导致外核慢，内核快。

在太阳引力作用下，内外核角速度不同。



外地核  
液态熔融  
2900km至5000km

内地核  
固态  
深5100km至6371km



形成电流的先决条件

## 外核带电环形电流的计算

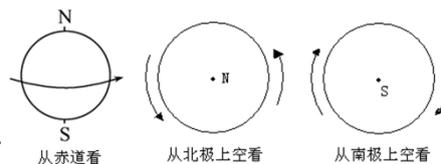


Figure 5:

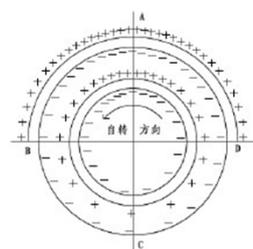


Figure 6:

# 计算如下

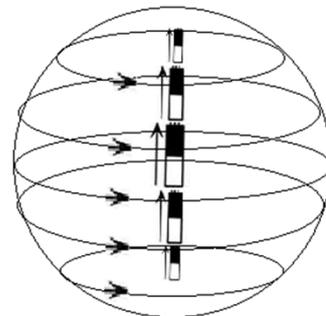


Figure 7:

各纬度环形电流



磁偶极子

而资料给出的参考值为:  $2.4581 \times 10^6 \text{C} \cdot \text{m}^{-2}$

# 修正

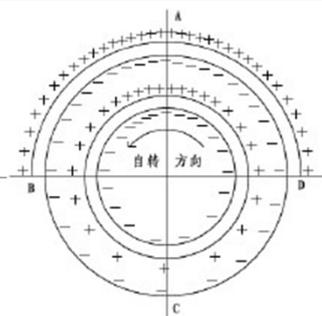


Figure 8:

计算如下

---

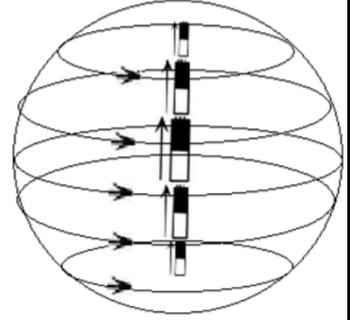


Figure 9:

分析

---

## 质疑:过大面电荷密度

查阅资料后得:

[1]内核和液核物质可以提供地球内部电荷

[2]其中正负电荷的分离至少有两个途径: 引力分离, 摩擦分离

(1)在引力分离时地核物质处于高温高压条件下, 正常的分子结构已遭破坏, 因此根据粒子理论, 导致有大量电荷自由运动。

(2)摩擦分离:外壳与内核自转发生相对运动形成电荷的分离<sup>[2]</sup>

可知此时处于极端高温高压状态下, 若带有大量的面电荷也是合理的。

## 2.5.地球内核等效铁芯模型计算

启发: 有资料显示“内核有限导电率具有稳定磁场的作用, 且内核的作用不可忽略”<sup>[8]</sup>

再考虑到地内核也是铁质的, 类比通电环绕螺线管内部放置铁芯模型

如假设内核全部为铁, 且磁化均匀、全部磁化,

且铁的饱和磁化强度为 $1707 \times 10^3 \text{ A/m}$ <sup>[9]</sup>

内核半径约为 $1211 \text{ km}$ <sup>[4]</sup>

故可大致计算出磁矩为

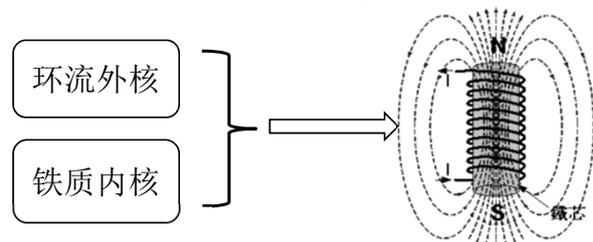


Figure 10:通电环绕螺线管模型

## 分析

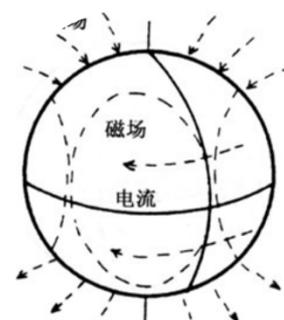


Figure 11:

## 修正

### [1]经查阅资料:

(1)地球越深,压力越大

(2)铁的居里点温度随压强增大而上升,且常压下铁的居里温度为  $T_c=1043K$  [3]。

(3)内核都是主要铁元素,为热的良导体,可以认为内核内外温差不大。故在压强不同的条件下,内核较外部分到达居里点,磁性消失,因此只有部分内核参与磁场形成。[9]

### [2]磁化模型需要修正:

若内核温度全部低于居里点(这是有可能的),那么将内核认为均匀磁化就是不正确的。且内核是一个球体,可能难以均匀磁化,这或许也是算出磁矩相差两个数量级的原因。

### [3]有待进一步改进:

利用外核的环流等效模型,通过对内核不均匀磁化模型的改进计算。

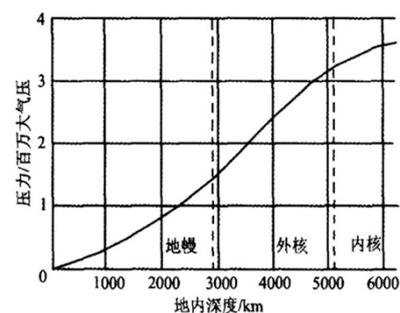


Figure 12:地内深度与压力的关系图

## 2.6.初步结论

[1]外核环形电流产生原因:

- (1) 地球外核的液体性，导致内核与地幔分离；
- (2)同时由于太阳的引力作用，导致内外核转速不均匀；
- (3)由于摩擦作用以及引力作用，导致外核带电。

[2]内核等效铁芯:

- (1)由于压强原因，部分内核在低于居里温度时，其铁磁性还没有消失，此时可以视为一个铁芯；
- (2)受到外核电流产生磁场的磁化，对外核产生的磁场具有强化作用。

[3]总结：在理论和计算上较好的支持了磁偶极子模型。

## 3.结论

[1]从一个简单的题目出发，经过模型可视化求证，理论计算推导，以及等效模型分析（分别从等效环形外核电流以及内核等效铁芯作用方面出发）得出了等效地磁场为磁偶极子的合理性。

[2]同时也得出了地磁场形成的初步推论原因：外核带电产生环形电流，同时内核被磁化产生磁场。

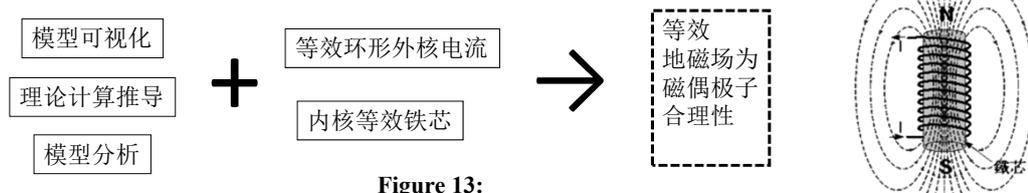


Figure 13:

## 4.展望

[1]外核等效环形电流模型改进:

将外核环形球电流等效成为一个集中于地心处的等效磁偶极子,或许能解决1/4差距的问题。

[2]内核磁化等效模型的改进:

利用外核环流等效模型,充分考虑内核形状,建立内核球形不均匀磁化模型;进一步利用更深的知识进行计算,或许能得到更为贴切的结果。

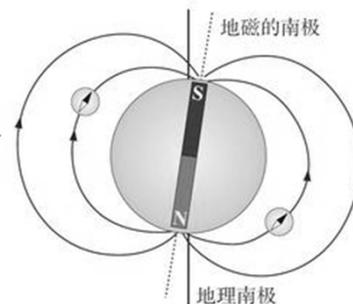


Figure 14:

## 图片来源:

图一 百度图片

[http://image.baidu.com/search/detail?ct=503316480&z=0&ipn=d&word=%E7%A3%81%E5%81%B6%E6%9E%81%E5%AD%90&step\\_word=&hs=0&pn=0&spn=0&di=158272531780&pi=0&rn=1&tn=baiduimagedetail&is=0%2C0&istype=2&ie=utf-8&oe=utf-8&in=&cl=2&lm=-1&st=-1&cs=1037554398%2C2030976302&os=2464034054%2C1664323797&simid=0%2C0&adpicid=0&ln=1851&fr=&fmq=1481809785226\\_D\\_R&fm=detail&ic=0&s=undefined&se=&sme=&tab=0&width=&height=&face=undefined&ist=&jit=&cg=&bdtpe=0&oriquery=&objurl=http%3A%2F%2Fimg.qhimg.com%2Fdr%2F200\\_\\_%2Ft01abeb4b5176179091.png&fromurl=ippr\\_z2C%24qAzdH3FAzdH3Fks52\\_z%26e3Bftgw\\_z%26e3Bv54\\_z%26e3BvgAzdH3FAzdH3Fks52\\_m8ncvwaba8adow37\\_z%26e3Bip4s&gsm=0&rpstart=0&rpnun=0](http://image.baidu.com/search/detail?ct=503316480&z=0&ipn=d&word=%E7%A3%81%E5%81%B6%E6%9E%81%E5%AD%90&step_word=&hs=0&pn=0&spn=0&di=158272531780&pi=0&rn=1&tn=baiduimagedetail&is=0%2C0&istype=2&ie=utf-8&oe=utf-8&in=&cl=2&lm=-1&st=-1&cs=1037554398%2C2030976302&os=2464034054%2C1664323797&simid=0%2C0&adpicid=0&ln=1851&fr=&fmq=1481809785226_D_R&fm=detail&ic=0&s=undefined&se=&sme=&tab=0&width=&height=&face=undefined&ist=&jit=&cg=&bdtpe=0&oriquery=&objurl=http%3A%2F%2Fimg.qhimg.com%2Fdr%2F200__%2Ft01abeb4b5176179091.png&fromurl=ippr_z2C%24qAzdH3FAzdH3Fks52_z%26e3Bftgw_z%26e3Bv54_z%26e3BvgAzdH3FAzdH3Fks52_m8ncvwaba8adow37_z%26e3Bip4s&gsm=0&rpstart=0&rpnun=0)

图二 田清孝等:《地球偶极磁场成因新探讨》---《地球科学进展》1997.2,第12卷第一期----维普资讯 <http://www.cqvip.com>

图三 百度百科—地磁场

图四 百度百科—地磁场

图五 李安生、李振亭《地球基本磁场的形成与变化的探讨》-《地球物理学进展》第2卷第3期2007年6月(页码:750~758)

## 参考文献:

- [1] 百度文库: 地磁场强度数据
- [2] 田清孝等: 《地球偶极磁场成因新探讨》—《地球科学进展》1997.2, 第12卷第一期——维普资讯 <http://www.cqvip.com>
- [3] 课本《电磁学》P228、4.6.1
- [4] 百度百科—地磁场 [http://baike.baidu.com/link?url=V-124AB5ck3J3h8CXdy50GfauzIUkhmnYgx0CHxIGv6j6ecQwTDOcTHZGLjwXyF7xCJUP7nkIwoDovHPEoMLcRkz6qmLjM3CAb3tbAizro8DIHKzveDn\\_V6rbEfoIH](http://baike.baidu.com/link?url=V-124AB5ck3J3h8CXdy50GfauzIUkhmnYgx0CHxIGv6j6ecQwTDOcTHZGLjwXyF7xCJUP7nkIwoDovHPEoMLcRkz6qmLjM3CAb3tbAizro8DIHKzveDn_V6rbEfoIH)
- [5] 杨学祥, 陈殿友. 《地球固体内核快速自转的理论证明和实测证》《实西北地震学报》, 1996, 18(4) 81-82
- [6] 李庚伟、魏文博、张自力《地球外核的电荷密度》—《地球物理学进展》第24卷第5期2009年10月(页码: 1561~1565)
- [7] 宋晓东, 理查德兹. 《地球内核差异旋转的地震证据》. 《自然》, 1996, 382(6588): 221~224.
- [8] J.M.Aurnou D.Brito P.L.Olson 《地球内核超速自转的物理机制》译自: Geophys Res Lett. 1996.23(23) 3401~3404 原题Mechanics of inner core Super-rotation (国家地震局地球物理研究所 王志刚译 范国华校)
- [9] 李安生、李振亭《地球基本磁场的形成与变化的探讨》—《地球物理学进展》第22卷第3期2007年6月(页码: 750~758)
- [10] 百度百科《驱动地球发电机》 [http://baike.baidu.com/link?url=1NJw71bgCzjmhZFkFgONuyyUgjpF4cXhrRz7HOJtefIAGIHfPyc2FF-ZzSNfPz2G4jp\\_0A3ecmIZkjuZqK9etuMykSOFN-IwrwcfY6d3cJW2x5LEdABQjkbOBaTK13Iw1XrjTIVkwRrumheOBVF2KDrjsjAW7rp1DMAoS0VmmY](http://baike.baidu.com/link?url=1NJw71bgCzjmhZFkFgONuyyUgjpF4cXhrRz7HOJtefIAGIHfPyc2FF-ZzSNfPz2G4jp_0A3ecmIZkjuZqK9etuMykSOFN-IwrwcfY6d3cJW2x5LEdABQjkbOBaTK13Iw1XrjTIVkwRrumheOBVF2KDrjsjAW7rp1DMAoS0VmmY)
- [11] 燕查玉 徐文耀《核幔相互作用与地球发电机理论》—《地球科学进展》Mar, 1992, 23
- [12] 高广大 胡晓彦 钟佳 邹自明-《地磁场磁力线可视化种子点选取的磁场强度线积分等分算法》空间科学学报0254-6124/2016/36(2)-147-06 Chin. J. Space Sci.

# 谢谢

