

王^文文. 二十世纪的地球偶极子磁场. 地球物理学报, 2005, 48(1): 52 ~ 55

Wang T W. The geomagnetic dipole field in the 20th century. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2005, 48(1): 52 ~ 55

二十世纪的地球偶极子磁场

王^文文

中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

中国科学院空间天气开放研究实验室, 北京 100080

摘 要 1900 ~ 2000 年的 IGRF(国际地磁参考场)资料使研究 20 世纪中地磁场的变化规律成为可能. 在 20 世纪中,即使从 19 世纪起,地球偶极子磁场发生了较大的变化,偶极矩一直保持衰减的势头,地心轴的所有 3 个分量都是减小的. 地磁南极的位置变化在 1930 年左右发生大的转折,1960 年起向西和向南快速移动. 偶极子轴在纬度方面变化只在 1°左右,经度变化在 3°左右,离磁极倒转的条件还差得远.

关键词 地球偶极子磁场 地磁南极 偶极矩

文章编号 0001 - 5733(2005)01 - 0052 - 04 中图分类号 P318 收稿日期 2003 - 09 - 12, 2004 - 09 - 07 收修定稿

The geomagnetic dipole field in the 20th century

WANG Tarr-Wen

Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

Lab. of Space Weather, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract The study of the variations of the geomagnetic field in the 20th century becomes possible because the IGRF (International Geomagnetic Reference Field) data in 1900 ~ 2000 are available. During the 20th century, even after 19th century, the magnetic dipole moments have changed much. And the all three components of the Earth's center dipole decreased much in the last century. The variation of the positions of the geomagnetic south pole in about 1930 turned over, and it began to drift westward and southward after 1960. The direction of the axis of the dipole only changed by about 1° in latitude and by about 3° in longitude in 20th century. That is far away from the reverse of the geomagnetic poles.

Key words Geomagnetic dipole field, Geomagnetic south pole, Magnetic dipole moment.

1 引 言

1839 年高斯(Gauss)把球谐分析方法首次应用于地磁学,建立了地磁场的数学描述,首次成功地区分了内外源场,此后,地磁学从过去单一的观测学科逐步变成既观测又研究、并由研究指导观测的学科. 地磁场基本上是由主磁场、变化磁场和地壳磁场三部分组成,其中主磁场占整个地磁场的百分之九十几. 地磁场随时间的变化主要包括主磁场的长期变

化与变化磁场的短期变化. 地磁场的长期变化包括非偶极子磁场的西向漂移与偶极子的变化. 地球磁场在 20 世纪的 100 年中发生了较大变化. 1968 年 IAGA(国际地磁与高空物理学协会)利用全球地磁资料的高斯分析,给出了第一代国际参考地磁场(IGRF)^[1]. 后来, IAGA 有一个专门小组进行以 5 年为间隔的国际参考地磁场研究,到目前为止,已有 21 个 IGRF(1900 ~ 2000)资料供研究使用. 这就使得全面研究地磁场在刚刚过去的 100 年中的变化规律成为可能. 例如,研究地磁非偶极子场的时空变化

基金项目 国家自然科学基金重点项目(40436016)资助中国地震局地球物理所论著(04AC1025).

作者简介 王^文文,男,1945 年生,1968 年毕业于北京师范大学物理系,1981 年在中国科学院研究生院获硕士学位,研究员,中国科学院研究生院兼职教授,主要从事地磁学研究,也从事某些空间物理和震磁关系方面的研究. E-mail: wangtar-03 @163.com

规律^[2-4], 研究地磁场的能量的分布^[5,6]等等. 主磁场决定磁层的主要形态, 研究主磁场的变化规律, 是研究磁层的基础工作. 偶极子磁场的变化与地磁场倒转密切相关. 本文利用 20 世纪的 21 个 IGRF 的资料以及 19 世纪的资料, 较详细地研究地球偶极子磁场在 20 世纪的变化情况.

2 地球偶极子磁场的高斯系数

地磁场的主磁场由偶极子磁场和非偶极子磁场组成^[7]. 偶极子磁场的高斯系数有 g_1^0, g_1^1, h_1^1 . 在 20 世纪, 它们的变化情况用图 1 来表示. 高斯系数 g_1^0 代表地心轴向偶极子, g_1^1 和 h_1^1 代表赤道平面的地心偶极子^[8]. 从图 1 可以看出, 轴向偶极子 (g_1^0) 增加较快, 但是, 它是负值, 绝对值却是减少的. g_1^1 在 20 世纪中叶开始缓慢增长, 同样因为它是负值, 绝对值也是减少的, 而 h_1^1 在 20 世纪中叶后下降. 可以认为, 地心偶极子的 3 个分量在 20 世纪都是减少的, 其中 g_1^0 和 h_1^1 的衰减较快. 有关偶极子磁场的长期变化可参考文献[9].

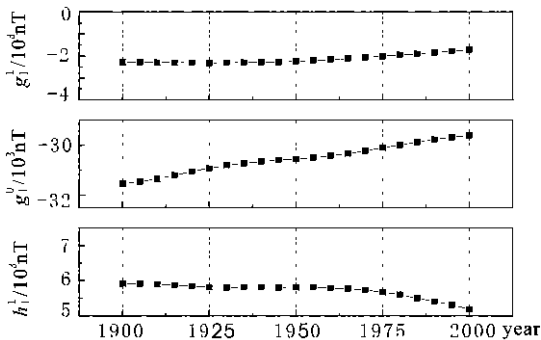


图 1 偶极子磁场的高斯系数在 20 世纪的变化
Fig. 1 Gauss coefficients of dipole in the last century

3 偶极矩的变化

地磁偶极子的磁矩在 20 世纪中衰减较快 (图 2 所示). 图 3 所示的是偶极矩每 5 年的变化率, 1920 年变化率的绝对值最大, 1920 年、1950 年和 1985 年是主要的转折点. 这里似乎存有 60 年的周期变化, 这与某些台站的情况相似^[10]. 本文在此基础上再加上 Ertan & Petersen 计算的 1829 年偶极矩的值、Gauss 计算的 1835 年的值、Adams 计算的 1845 年和 1880 年的值和 Schmidt 计算的 1885 年的值^[8], 形成图 4. 从图 4 可以看出, 不仅在 20 世纪偶极矩衰减,

而且在 19 世纪早已经开始衰减. 这说明偶极矩至少已经连续在近 200 年内衰减. 如果在今后以每年 $4 \times 10^{19} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ 的速率衰减, 则现在的 $7.8 \times 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ 需要约 2000 年衰减到 0 (图 4).

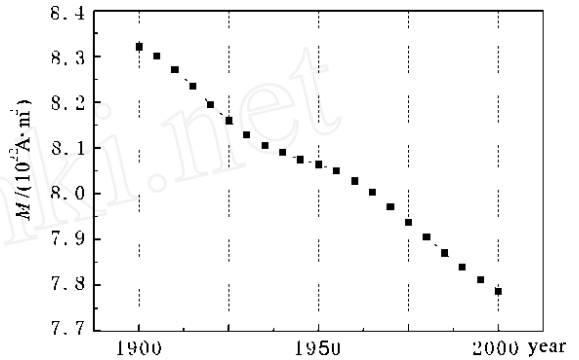


图 2 偶极矩在 20 世纪的变化图
Fig. 2 Change of the magnetic dipole moment in the 20th century

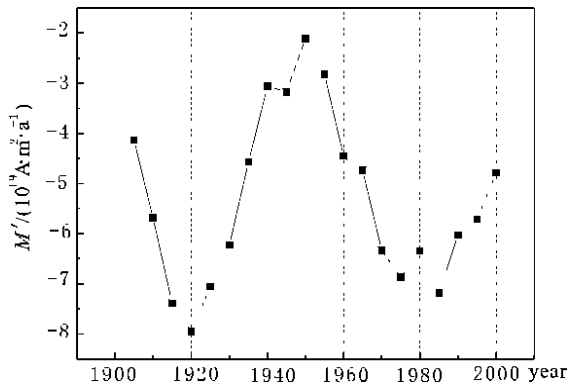


图 3 20 世纪偶极矩变化率图
Fig. 3 Change rate of the magnetic dipole moment in the 20th century

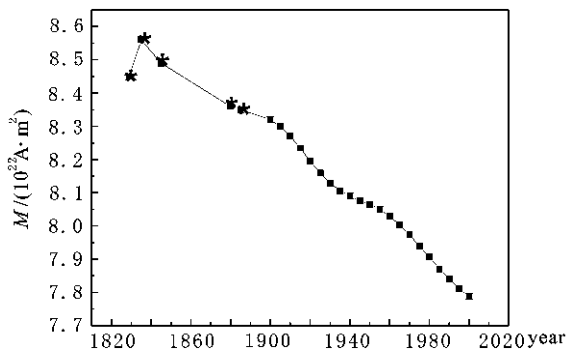


图 4 1800 年以来偶极矩的变化图
Fig. 4 Change of the magnetic dipole moment since 1800

4 地磁南极位置变化

许多与地磁场有关的物理现象不是相对于地理

轴而是相对于地磁轴有明显的对称性,地磁坐标是相对于地磁南北极而定的^[8]. 地磁南北极位置变化也就是地球偶极子磁场的方向变化,偶极子磁场随时间的变化不仅表现在偶极矩的变化上,而且表现在偶极子方向的变化上. 本文利用 IGRF 的高斯系数与下面公式计算了不同年代地磁南极的位置,结果列于图 5 和表 1.

$$\tan \theta_0 = \sqrt{(g_1^1)^2 + (h_1^1)^2} / g_1^0,$$

$$\tan \lambda_0 = h_1^1 / g_1^1,$$

其中 θ_0 和 λ_0 分别为地球磁南极的余纬与经度, g 和 h 为地磁场高斯系数^[8].

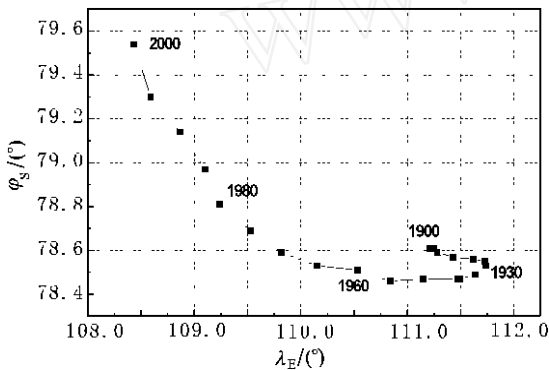


图 5 20 世纪地球磁南极位置变化图

Fig. 5 Position change of the geomagnetic south Pole in the 20th century

图 5 的变化曲线表示,地球磁南极的位置在 1930 年左右发生转折,由向东北漂移突然转向向西北漂移;大约从 1960 年起,加速向西北漂移,从表 1 可以估算出西向漂移速度约为 0.05 %/a,北向漂移速度约为 0.025 %/a. 这与以前的认识是一致的,行武毅(T. Yukutake)等计算的非偶极子的西飘速度为 0.18 %/a 或 0.2 %/a,而偶极子的向西漂移速度只有 0.08 %/a,极向漂移的速度只有 0.01 %/a^[11].

5 讨论

地球偶极子磁场变化是地磁场长期变化的一个重要特征. 随着地磁场的长期变化,磁层的大小与结构也会发生相应的变化,从而引起近地环境的变化. 当偶极矩变小时,磁层会收缩,磁层顶会逼近地球,对于磁暴极为重要的环电流也会改变结构,甚至难以形成. 偶极矩减小到一定程度时,磁极要发生倒转. 极性倒转会使得磁层结构完全翻转过来. 在倒转期间,磁极会移动到低纬或赤道附近,本来位于高纬的极隙区会出现在低纬地区,进而改变太

阳风的能量输入,也会影响能量的纬度分布和经度差异^[12].

表 1 地磁南极位置变化

Table 1 Variation of the position of geomagnetic South pole

年代	经度/(°E)	纬度/(°N)
1900	111.21	78.61
1905	111.25	78.61
1910	111.28	78.59
1915	111.43	78.57
1920	111.62	78.56
1925	111.73	78.55
1930	111.74	78.53
1935	111.64	78.49
1940	111.49	78.47
1945	111.47	78.47
1950	111.15	78.47
1955	110.84	78.46
1960	110.53	78.51
1965	110.15	78.53
1970	109.82	78.59
1975	109.53	78.69
1980	109.24	78.81
1985	109.1	78.97
1990	108.87	79.14
1995	108.59	79.3
2000	108.43	79.54

20 世纪偶极子磁矩在 1920 年代的衰减速率最大,为 $7.95 \times 10^{19} \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{a}$,1950 年是一转折,方向在 1930 年有一明显转折. 为了研究偶极矩衰减的真实性,本文在计算 20 世纪偶极矩的基础上增加引用了 1829 年、1835 年、1845 年、1880 年和 1885 年的偶极矩. 不仅是 20 世纪偶极矩衰减,19 世纪也是如此. 这说明偶极矩已经连续近 200 年内衰减,如果在今后保持以每年 $4 \times 10^{19} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ 的速率连续衰减,则现在的 $7.8 \times 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ 需要约 2000 年衰减到 0. 当然,也有可能偶极矩的变化是波浪式的,即在今后还有增长时期,那么衰减到 0 的时间就难估计了.

偶极矩的衰减与地磁场倒转有关系. 地磁场最近的一次反极性事件发生在 2 万年前的 1 万年期间内. 地磁场反转的一种可能模型认为极性的反转首先是场强的衰减,在几千年内场强衰减为原来的三分之一,同时偶极子轴有约 30° 左右的摆动,然后沿

不规则的途径移到相反的极性, 场强开始上升. 其时间间隔为 10^3 到 10^4 年. 过渡时期地磁场是否具有偶极子特性, 还不能肯定^[8]. 本文分析的偶极矩的变化情况还差不多满足这种条件, 但是偶极子轴远远没有 30° 左右的摆动, 从图 5 可以看出, 100 年内经度变化在 3° 左右, 纬度变化只在 1° 左右, 离地磁场反转还差得很远. 这也就是本文分析偶极子方向变化的原因之一.

参考文献 (References)

- [1] IAGA Commission 2 Working Group 4, International Geomagnetic Reference Field 1965.0. *J. Geophys. Res.*, 1969, **74**: 4407 ~ 4408
- [2] 徐文耀. 行星尺度地磁异常的长期变化. *地球物理学报*, 2001, **44**(2): 180 ~ 189
Xu W Y. Secular variations of the planetary-scale geomagnetic anomalies. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2001, **44**(2): 180 ~ 189
- [3] 魏自刚, 徐文耀. 地磁场的漂移运动和强度变化. *地球物理学报*, 2001, **44**(4): 500 ~ 509
Wei Z G, Xu W Y. Drifting and Intensity of the geomagnetic field. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2001, **44**(4): 500 ~ 509
- [4] 康国发, 吴小平, 胡家富. 1690 年以来全球非偶极子磁场的变化特征. *地球物理学进展*, 2002, **17**(4): 697 ~ 702
Kang G F, Wu X P, Hu J F. Global changes of the non-dipole magnetic field since 1690. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2002, **17**(4): 697 ~ 702
- [5] 徐文耀, 魏自刚. 核幔界面反极性磁斑区和地磁场倒转. *中国科学*, 2001, **31**(8): 617 ~ 625
Xu W Y, Wei Z G. The reverse polarity sections at the interface between core and mantle and the reverse of the geomagnetic field. *Science in China (Series D)*, 2001, **31**(8): 618 ~ 625
- [6] 康国发, 吴小平, 文丽敏等. 地球主磁场的能量密度谱及其长期变化. *地球物理学进展*, 2003, **18**(1): 111 ~ 115
Kang G F, Wu X P, Wen L M, et al. The energy density spectrum and secular variation of the Earth's main magnetic field. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2003, **18**(1): 111 ~ 115
- [7] Jacobs J A. *Geomagnetism* (Vol. 1). Academic Press, 1987 - 1991. 249 ~ 250
- [8] 傅承义, 陈运泰, 祁贵仲. *地球物理学基础*. 北京: 科学出版社, 1985. 116 ~ 130, 178 ~ 180
Fu C Y, Cheng Y T, Qi G Z. *Introduction to Geophysics* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1985. 116 ~ 130, 178 ~ 180
- [9] 王臻文. 20 世纪地磁长期变化场分析. *地球物理学报*, 2004, **47**(3): 423 ~ 427
Wang T W. The analysis of the geomagnetic secular variation in the 20th century. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, **47**(3): 423 ~ 427
- [10] 王鼎益. 佘山台资料的最大熵谱分析[硕士论文]. 北京: 中国科学院地球物理研究所, 1981
Wang D Y. The MEM analysis of the Sheshan data [Master's Thesis]. Beijing: Institute of Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1981
- [11] Merrill R T, McElhinny M W, McFadden P L. *The Magnetic Field of the Earth*. Academic Press, 1998. 53 ~ 57
- [12] 徐文耀. 地球磁场对人类生存环境的影响. 见: 第九届全国日地空间物理学学术讨论会论文摘要集. 2000. 114
Xu W Y. The influence to the human being environment from geomagnetic field. In: Abstracts Collection of the 9th China Congress of the Space Physics (in Chinese). 2000. 114