

1900—2000 年非偶极子磁场的全球变化^{*}

安振昌 王月华

(中国科学院地球物理研究所, 北京 100101)

摘 要

根据第 7 代 IGRF 模型, 计算并绘制了 1900—2000 年(时间间隔为 5a)非偶极子磁场的全球分布, 计算和分析了各个磁异常中心位置和强度的变化. 东亚正磁异常、大洋洲负磁异常、南大西洋正磁异常、非洲负磁异常和北美洲正磁异常是分布范围广、异常强度大的 5 个磁异常. 南大西洋正磁异常是强度最大的磁异常. 在 20 世纪 90 年代以前, 东亚正磁异常的强度位居第 2 位, 90 年代以后, 非洲负磁异常的强度(绝对值)超过东亚正磁异常, 成为第 2 大磁异常. 磁异常强度增长最快的是非洲负磁异常、南大西洋正磁异常和大洋洲负磁异常. 南大西洋正磁异常和非洲负磁异常是磁异常中心位置变化最快的两个磁异常.

关键词 偶极子磁场, 非偶极子磁场, 国际地磁参考场, 全球变化.

1 引 言

1839 年高斯把球谐分析方法用于地磁场, 得到了地磁场的球谐表达式, 创立了高斯理论. 自高斯理论提出后, 许多学者利用各种类型的地磁资料 and 不同的处理方法作球谐分析, 计算地磁场的球谐系数^[1]. 20 世纪 60 年代以前, 由于这方面的工作缺乏国际间的合作, 所以不同作者的计算结果有明显的差异. 1968 年国际地磁学和高空大气物理学协会(IAGA)给出了第 1 代国际地磁参考场(IGRF), 而后大约每 5 年给出一个新的 IGRF, 1995 年 IAGA 给出了最新的第 7 代 IGRF^[2,3].

根据地磁场的球谐模型, 可以计算非偶极子磁场($n \geq 2$). 1899 年 Bauer^[4]首次计算了非偶极子磁场, 而后有些学者也计算了非偶极子磁场^[5-10]. 由于使用的地磁场球谐模型的精度不高或不够系统等原因, 所以人们对非偶极子磁场的认识不够准确、不够完整^[11].

本文根据 1995 年在美国 Boulder 召开的第 21 届 IUGG 大会上通过的第 7 代 IGRF(包括 20 个主磁场模型和 1 个长期变化模型), 系统地计算和分析了 1900—2000 年(时间间隔为 5a)非偶极子磁场的全球变化, 使我们对最近 100 年间各个年代非偶极子磁场的全球分布、各个磁异常的中心位置和强度有一个新的认识.

^{*} 国家自然科学基金资助项目(49734140, 49574219).

本文 1998-10-19 收到修定稿.

2 计算方法

地磁场球谐模型中, $n = 1$ 的项代表偶极子磁场, $n \geq 2$ 的项代表非偶极子磁场^[8].
非偶极子磁场的北向强度 (X)、东向强度 (Y) 和垂直强度 (Z) 的表示式为

$$X = \sum_{n=2}^{10} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \frac{dP_n^m(\cos \theta)}{d\theta}, \tag{1}$$

$$Y = \sum_{n=2}^{10} \sum_{m=1}^n \frac{m}{\sin \theta} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} (g_n^m \sin m\lambda - h_n^m \cos m\lambda) P_n^m(\cos \theta), \tag{2}$$

$$Z = - \sum_{n=2}^{10} \sum_{m=0}^n (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\cos \theta). \tag{3}$$

式中 a 为地球平均半径, r 为径向距离. 本文计算中取 $r = a = 6371.2\text{km}$, 代表地球表面非偶极子磁场的分布; λ 和 θ 分别为地点的经度和余纬; g_n^m, h_n^m 是 IGRF 的球谐系数 ($n = m = 10$); $P_n^m(\cos \theta)$ 是施密特形式的缔合勒让德函数.

3 计算结果

根据 (1) — (3) 式, 计算了 1900—2000 年期间 (间隔为 5a) 共 21 个年代的非偶极子磁场, 绘制了相应年代全球非偶极子磁场垂直强度 (Z) 分布图. 为节省篇幅, 本文只给出 1995.0 年的非偶极子磁场图 (Z) (图 1). 从图 1 可以看到非偶极子磁场有几个正的和负的异常中心, 分别称作正磁异常和负磁异常. 因为这些磁异常的分布范围很大, 因此也称作世界磁异常或大陆磁异常.

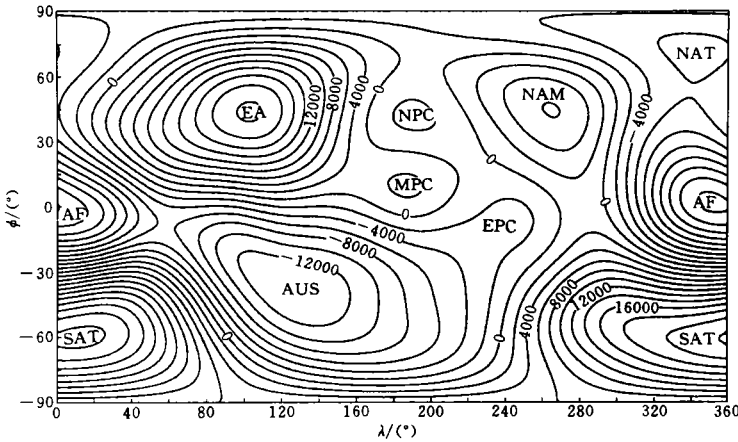


图1 1995.0年非偶极子磁场垂直强度 (Z) 分布图 单位: nT

Fig.1 The vertical component map (Z) of non-dipole magnetic field for 1995.0 Unit: nT

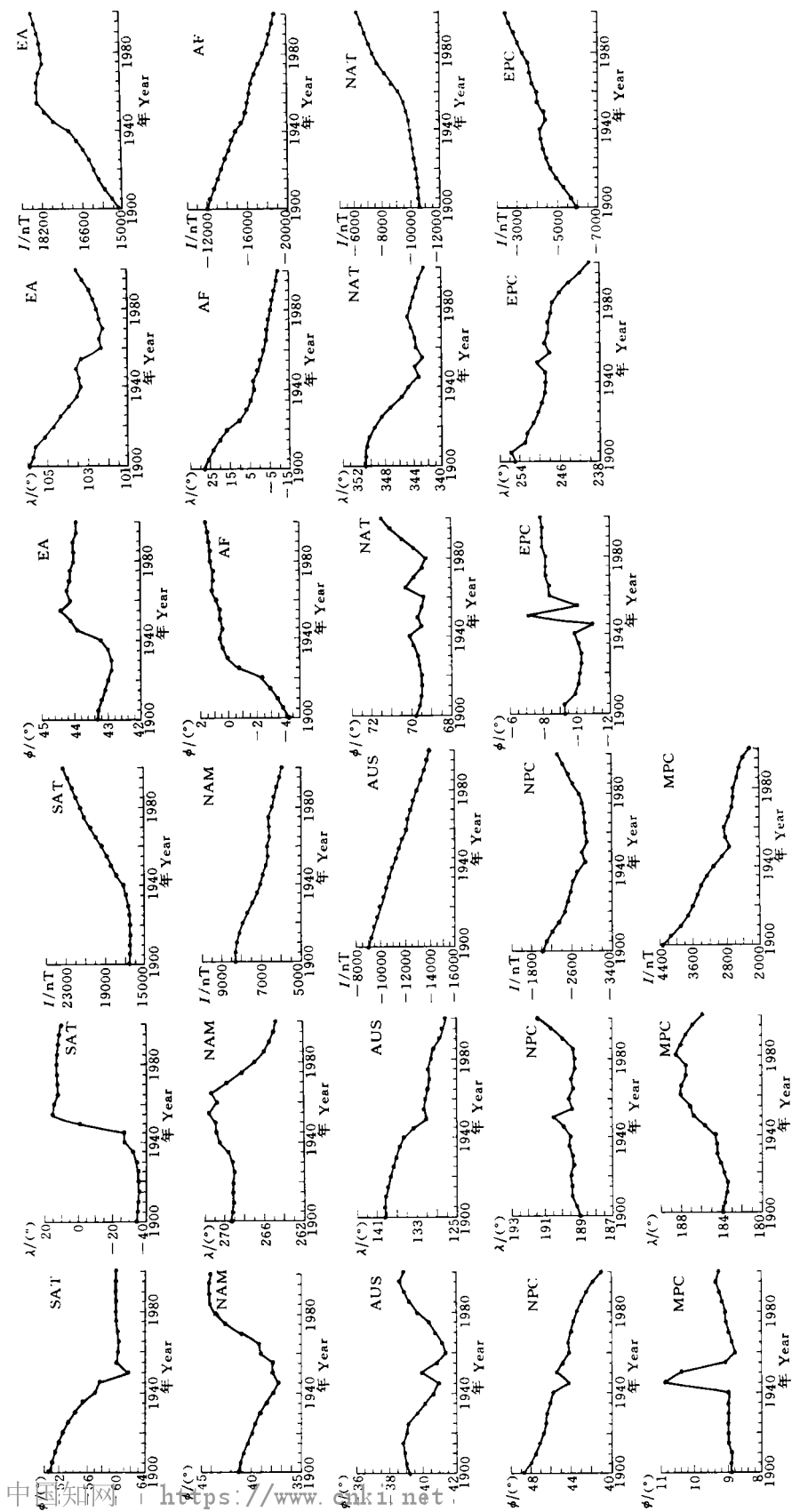


图2 1900—2000年各个磁异常的中心位置和强度的变化
Fig.2 Variation of the location and intensity of each magnetic anomaly center for 1900—2000

SAT: 南大西洋正磁异常 EA: 东亚正磁异常 NAM: 北美洲正磁异常 AF: 非洲负磁异常 NAT: 北大西洋负磁异常
NPC: 北太平洋负磁异常 MPC: 中太平洋正磁异常 EPC: 东南太平洋负磁异常 AUS: 大洋洲负磁异常

为了研究磁异常中心的漂移与强度变化,计算了各个磁异常在各个年代的磁异常中心位置和强度(表 1 和图 2). 下面叙述各个磁异常近 100 年间异常中心的漂移(东西方向和南北方向)和强度变化(负异常指绝对值,下同). 文中 φ 、 λ 和 I 分别表示纬度、经度和磁异常强度.

3.1 南大西洋正磁异常 磁异常(在图 2 中用 SAT 表示)位于大西洋的南部、南美洲南部和印度洋西南部的广大地区,东西角距约 180° ,南北角距约 60° (图 1).

1900—1950 年期间,磁异常中心由 50.7°S 向南漂移到 61.6°S ; 1955—2000 年期间,磁异常中心的纬度基本不变,位于 60.0°S 附近,异常中心的经度由 1900 年的 34.3°W 向东漂移到 1945 年的 27.2°W ; 而后出现快速向东漂移,由 1945 年的 27.2°W 变化为 1955 年的 15.9°E ; 此后异常中心又以 $0.1^\circ/\text{a}$ 的速度向西漂移,由 1955 年的 15.9°E 变化为 2000 年的 11.4°E . 南大西洋正磁异常的强度逐年增加,由 1900 年的 16546.1 nT 增加为 2000 年的 23 028.3 nT,平均年增长率为 64.8 nT/a,是全球强度最大的磁异常(表 1,图 2 中的 SAT 异常).

3.2 东亚正磁异常 位于亚洲大陆和欧洲大陆东部,东西角距约 140° ,南北角距约 70° (图 1). 东亚正磁异常的中心位置变化不大,异常强度逐年增加. 1900—1940 年异常中心的平均纬度为 43.1°N ; 1945—2000 年期间的平均纬度为 44.1°N . 1900—1970 年异常中心以 $0.05^\circ/\text{a}$ 的速度向西漂移,由 1900 年的 105.9°E 变化为 1970 年的 102.2°E . 1970—2000 年异常中心以 $0.04^\circ/\text{a}$ 的速率向东漂移,2000 年异常中心的经度为 103.5°E .

该异常的强度以 32.4 nT/a 的速度增长,由 1900 年的 15212.6 nT 增加为 2000 年的 18449.8 nT(表 1,图 2 中的 EA 异常).

3.3 北美洲正磁异常 位于北美洲,角距半径约 30° (图 1). 20 世纪前半期,磁异常中心向南、向东漂移,20 世纪后半期,则向北、向西漂移(图 2 中的 NAM 异常). 该异常中心的纬度由 1900 年的 41.3°N 变化为 1945 年的 37.4°N ,以 $0.1^\circ/\text{a}$ 的速率向南漂移. 1945 年以后,异常中心以 $0.1^\circ/\text{a}$ 的速率向北漂移,由 1945 年的 37.4°N 变化为 2000 年的 44.3°N . 1900—1935 年期间,异常中心在经度方向上基本不变,平均位置为 90.8°W ,1935—1960 年期间,异常中心向东漂移,而后又以 $0.2^\circ/\text{a}$ 的速率向西漂移,由 1965 年的 88.7°W 变化为 2000 年的 95.3°W (表 1,图 2 中的 NAM 异常).

异常强度逐年减小,由 1900 年的 8317.4 nT 减弱为 2000 年的 5967.9 nT,平均年变率为 -23.5 nT/a .

3.4 非洲负磁异常 位于非洲大陆和大西洋的东部,东西角距约 100° ,南北角距约 60° (图 1). 非洲负磁异常的中心向北、向西漂移,强度(绝对值)逐年增加(表 1,图 2 中的 AF 异常). 该磁异常的中心向北漂移,其中 1900—1930 年期间,以 $0.14^\circ/\text{a}$ 的速度较快的向北漂移,异常中心的纬度由 1900 年的 4.2°S 变为 1930 年的 0.1°N ; 1935—2000 年期间,则以 $0.02^\circ/\text{a}$ 的速率缓慢向北漂移,由 1935 年的 0.4°N 变化为 2000 年的 1.6°N .

磁异常中心以 $0.38^\circ/\text{a}$ 的速度向西漂移,异常中心的经度由 1900 年的 27.8°E 变化为 2000 年的 9.8°W ,在 100 年里向西漂移近 38° . 非洲负磁异常是全球非偶极子磁场中向西漂移最快的磁异常. 磁异常强度绝对值以 67.1 nT/a 的速率增加,由 1900 年的 -12031.4 nT 变化为 2000 年的 -18745.3 nT .

表1 1900—2000年磁异常中心位置和强度

| Table 1 The location and intensity of each magnetic anomaly center for 1900—2000 | | | | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------|
| 年 | $\varphi/(^{\circ})$ | $\lambda/(^{\circ})$ | I/nT | $\varphi/(^{\circ})$ | $\lambda/(^{\circ})$ | I/nT | $\varphi/(^{\circ})$ | $\lambda/(^{\circ})$ | I/nT |
| Year | Lat | Long | Intensity | Lat | Long | Intensity | Lat | Long | Intensity |
| 南大西洋正磁异常 (SAT) | | | 东亚正磁异常 (EA) | | | 北美洲正磁异常 (NAM) | | | |
| 1900 | -50.7 | 325.7 | 16546.1 | 43.3 | 105.9 | 15212.6 | 41.3 | 269.3 | 8317.4 |
| 1905 | -51.1 | 325.3 | 16539.4 | 43.3 | 105.7 | 15444.4 | 41.1 | 269.2 | 8298.8 |
| 1910 | -51.5 | 324.8 | 16527.5 | 43.2 | 105.6 | 15696.3 | 40.8 | 269.1 | 8240.2 |
| 1915 | -52.0 | 324.3 | 16497.0 | 43.1 | 105.1 | 15941.9 | 40.4 | 269.2 | 8105.9 |
| 1920 | -52.6 | 324.2 | 16490.1 | 43.0 | 104.7 | 16136.9 | 40.0 | 269.1 | 7923.3 |
| 1925 | -53.4 | 324.7 | 16559.7 | 42.9 | 104.3 | 16300.1 | 39.7 | 269.0 | 7688.8 |
| 1930 | -54.3 | 326.0 | 16689.0 | 42.9 | 103.9 | 16508.4 | 39.2 | 269.2 | 7431.8 |
| 1935 | -55.4 | 327.7 | 16874.9 | 43.0 | 103.5 | 16757.2 | 38.6 | 269.6 | 7202.4 |
| 1940 | -57.1 | 332.8 | 17128.2 | 43.2 | 103.3 | 17051.6 | 37.9 | 270.5 | 7034.5 |
| 1945 | -57.7 | 332.8 | 17906.9 | 43.9 | 103.4 | 17659.8 | 37.4 | 270.8 | 6940.4 |
| 1950 | -61.6 | 359.3 | 18291.8 | 44.1 | 103.5 | 18012.7 | 38.0 | 270.9 | 6752.0 |
| 1955 | -60.0 | 15.9 | 18784.8 | 44.4 | 103.3 | 18280.3 | 38.0 | 271.6 | 6680.6 |
| 1960 | -60.2 | 15.5 | 19307.3 | 44.1 | 102.3 | 18280.1 | 39.2 | 270.7 | 6705.2 |
| 1965 | -60.3 | 12.9 | 19836.3 | 44.2 | 102.4 | 18252.6 | 39.4 | 271.3 | 6598.2 |
| 1970 | -60.1 | 13.5 | 20399.7 | 44.1 | 102.2 | 18187.1 | 41.1 | 269.7 | 6638.1 |
| 1975 | -60.0 | 13.8 | 20964.7 | 44.1 | 102.4 | 18033.4 | 42.8 | 268.2 | 6652.5 |
| 1980 | -59.9 | 14.3 | 21366.8 | 44.0 | 102.5 | 18081.2 | 43.9 | 266.9 | 6437.1 |
| 1985 | -59.9 | 13.8 | 21775.3 | 44.0 | 102.7 | 18116.2 | 44.4 | 265.9 | 6362.7 |
| 1990 | -59.9 | 13.1 | 22182.3 | 44.0 | 102.9 | 18201.3 | 44.5 | 265.4 | 6222.8 |
| 1995 | -59.9 | 12.3 | 22582.8 | 43.9 | 103.2 | 18332.1 | 44.5 | 264.9 | 6100.3 |
| 2000 | -59.9 | 11.4 | 23028.3 | 43.9 | 103.5 | 18449.8 | 44.3 | 264.7 | 5967.9 |
| 中太平洋正磁异常 (MPC) | | | 非洲负磁异常 (AF) | | | 大洋洲负磁异常 (AUS) | | | |
| 1900 | 8.9 | 183.9 | 4331.2 | -4.2 | 27.8 | -12031.4 | -39.2 | 139.4 | -9038.6 |
| 1905 | 8.9 | 183.7 | 4129.0 | -3.8 | 25.7 | -12313.6 | -39.0 | 139.4 | -9267.8 |
| 1910 | 8.9 | 183.5 | 3917.9 | -3.4 | 23.1 | -12677.2 | -38.9 | 139.3 | -9504.8 |
| 1915 | 9.0 | 183.4 | 3706.9 | -2.9 | 20.0 | -13074.9 | -38.8 | 138.8 | -9765.4 |
| 1920 | 9.0 | 183.8 | 3579.6 | -2.3 | 16.3 | -13427.7 | -39.0 | 138.3 | -10006.6 |
| 1925 | 9.0 | 184.1 | 3487.5 | -0.7 | 10.0 | -13773.0 | -39.1 | 137.6 | -10278.1 |
| 1930 | 9.0 | 184.5 | 3390.2 | 0.1 | 6.4 | -14141.0 | -39.6 | 137.1 | -10532.4 |
| 1935 | 9.0 | 184.5 | 3265.9 | 0.4 | 4.3 | -14483.0 | -40.1 | 136.4 | -10755.8 |
| 1940 | 9.0 | 184.7 | 3111.9 | 0.6 | 2.8 | -14814.1 | -40.6 | 135.5 | -10969.4 |
| 1945 | 10.9 | 185.7 | 2911.7 | 0.4 | 2.8 | -15469.6 | -40.9 | 133.4 | -11287.7 |
| 1950 | 10.4 | 186.8 | 2707.4 | 0.6 | 0.5 | -15849.1 | -39.9 | 131.0 | -11519.4 |
| 1955 | 9.1 | 187.1 | 2800.6 | 0.6 | -0.7 | -16042.1 | -40.8 | 131.6 | -11813.9 |
| 1960 | 8.8 | 188.2 | 2860.5 | 0.9 | -2.4 | -16248.5 | -41.3 | 131.2 | -12167.4 |
| 1965 | 8.9 | 188.1 | 2737.9 | 1.2 | -3.7 | -16394.5 | -41.1 | 130.6 | -12221.4 |
| 1970 | 9.0 | 187.6 | 2649.4 | 1.1 | -4.1 | -16722.6 | -40.7 | 130.4 | -12454.1 |
| 1975 | 9.1 | 187.6 | 2599.5 | 1.1 | -4.9 | -17142.6 | -40.3 | 130.6 | -12648.8 |
| 1980 | 9.1 | 188.7 | 2593.8 | 1.3 | -6.0 | -17640.5 | -39.6 | 130.0 | -12956.3 |
| 1985 | 9.2 | 188.2 | 2529.6 | 1.3 | -6.8 | -18020.4 | -39.1 | 129.5 | -13291.2 |
| 1990 | 9.3 | 187.7 | 2482.3 | 1.4 | -7.8 | 18277.1 | -38.8 | 128.3 | -13559.8 |
| 1995 | 9.4 | 187.0 | 2372.1 | 1.5 | -8.8 | -18527.0 | -38.5 | 127.7 | -13790.6 |
| 2000 | 9.3 | 186.0 | 2222.0 | 1.6 | -9.8 | -18745.3 | -38.8 | 127.1 | -13993.6 |

续表1

| 年 | $\varphi/(^{\circ})$ | $\lambda/(^{\circ})$ | I/nT | $\varphi/(^{\circ})$ | $\lambda/(^{\circ})$ | I/nT | $\varphi/(^{\circ})$ | $\lambda/(^{\circ})$ | I/nT |
|------|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------|
| Year | Lat | Long | Intensity | Lat | Long | Intensity | Lat | Long | Intensity |
| | 北大西洋负磁异常(NAT) | | | 北太平洋负磁异常(NPC) | | | 东南太平洋负磁异常(EPC) | | |
| 1900 | 69.8 | 350.7 | -10642.4 | 48.7 | 188.9 | -2027.9 | -9.3 | 254.9 | -5959.7 |
| 1905 | 69.6 | 350.7 | -10559.2 | 48.0 | 189.1 | -2094.7 | -9.3 | 255.7 | -5677.7 |
| 1910 | 69.5 | 350.6 | -10504.5 | 47.5 | 189.4 | -2204.0 | -9.9 | 252.9 | -5304.2 |
| 1915 | 69.5 | 350.1 | -10461.5 | 47.1 | 189.4 | -2349.0 | -10.1 | 252.4 | -4934.9 |
| 1920 | 69.5 | 349.4 | -10356.9 | 46.7 | 189.5 | -2468.0 | -10.2 | 251.1 | -4655.9 |
| 1925 | 69.6 | 348.5 | -10233.0 | 46.5 | 189.3 | -2530.1 | -10.3 | 250.2 | -4458.4 |
| 1930 | 69.7 | 347.2 | -10135.9 | 46.4 | 189.4 | -2576.8 | -10.3 | 249.5 | -4304.7 |
| 1935 | 69.9 | 345.6 | -10052.8 | 46.1 | 189.6 | -2629.2 | -10.1 | 248.9 | -4201.1 |
| 1940 | 70.1 | 344.6 | -9942.1 | 45.8 | 189.5 | -2711.0 | -9.9 | 248.8 | -4161.6 |
| 1945 | 69.5 | 343.2 | -9876.7 | 44.3 | 189.9 | -2889.4 | -11.0 | 248.8 | -4430.8 |
| 1950 | 69.7 | 343.8 | -9694.2 | 45.5 | 190.5 | -2810.0 | -7.2 | 250.4 | -4285.0 |
| 1955 | 69.5 | 342.7 | -9478.3 | 45.0 | 189.4 | -2918.3 | -10.1 | 248.0 | -4017.8 |
| 1960 | 69.4 | 343.6 | -9103.3 | 44.3 | 189.6 | -2874.8 | -8.4 | 249.0 | -3995.1 |
| 1965 | 70.3 | 343.7 | -8622.0 | 44.4 | 189.4 | -2864.4 | -8.4 | 248.2 | -3760.0 |
| 1970 | 69.9 | 344.2 | -8173.3 | 44.2 | 189.5 | -2853.8 | -8.2 | 248.2 | -3641.5 |
| 1975 | 69.5 | 344.8 | -7657.5 | 43.9 | 189.3 | -2823.2 | -8.2 | 247.7 | -3586.3 |
| 1980 | 69.3 | 344.4 | -7313.4 | 43.6 | 189.3 | -2754.3 | -8.2 | 247.4 | -3302.0 |
| 1985 | 69.9 | 343.9 | -7049.9 | 43.1 | 189.4 | -2621.8 | -8.0 | 245.9 | -3066.0 |
| 1990 | 70.5 | 343.5 | -6787.2 | 42.6 | 190.0 | -2536.4 | -8.0 | 244.2 | -2856.2 |
| 1995 | 71.1 | 343.1 | -6546.6 | 42.0 | 190.7 | -2434.6 | -8.0 | 241.8 | -2637.1 |
| 2000 | 71.5 | 342.5 | -6280.2 | 41.1 | 191.5 | -2328.4 | -7.9 | 240.4 | -2441.4 |

非洲负磁异常是全球向西漂移最快、强度绝对值增长最快的大陆磁异常。从1990年起,非洲负磁异常的强度已超过东亚正磁异常而成为世界第二大磁异常。

3.5 大洋洲负磁异常 位于大洋洲、印度洋东南部和太平洋西南部。东西角距约140°,南北角距约70°(图1)。磁异常中心有时向北漂移,有时向南漂移,但在南北方向上的漂移幅度不大;该磁异常中心一直向西漂移;强度绝对值逐年增加。

异常中心在1900—1915年期间缓慢向北运动,1920—1960年期间向南漂移,而后再向北漂移。异常中心一直向西漂移,异常中心的经度由1900年的139.4°E变化为2000年的127.1°E,平均西漂速度为0.12°/a。强度绝对值缓慢增加,由1900年的-9038.6 nT变化为2000年的-13993.6 nT,平均年变率为-49.6 nT/a(表1,图2中的AUS异常)。

3.6 北大西洋负磁异常 位于斯堪地纳维亚半岛和格陵兰岛之间的海域,展布范围不大,角距半径约20°(图1)。异常中心向北、向西漂移。1900年的磁异常中心位于69.8°N,9.3°W,2000年磁异常中心为71.5°N,17.5°W。磁异常强度绝对值由1900年的-10642.4 nT逐渐减弱为2000年的-6280.2 nT,平均年变率为43.6 nT/a(表1,图2中的NAT异常)。

3.7 北太平洋负磁异常 在太平洋北部的阿留申群岛附近,磁异常范围不大,角距半径约15°(图1)。异常中心向南、向东缓慢漂移。1900年异常中心位于48.7°N和171.1°W,2000年位于41.1°N和168.5°W,磁异常中心向南、向东的漂移速率分别为0.08°/a和0.02°/a。异常强度由1900年的-2029.9 nT增加(指绝对值)为1955年的-2918.3 nT,而后再逐渐变弱,由1960年的-2874.8 nT变化为2000年的-2328.4 nT,换句话说,该异

常的强度绝对值在前 50 年是增加的,在后 50 年里是减少的(表 1,图 2 中的 NPC 异常)。

3.8 东南太平洋负磁异常 在太平洋的东南部,展布范围较小,角距半径约 10° (图 1)。平均而言,磁异常中心缓慢向北、向西漂移。异常中心位置由 1900 年的 9.3°S , 105.1°W 变化为 2000 年的 7.9°S , 120.0°W ,平均西漂速度为 $0.15^{\circ}/\text{a}$ 。强度绝对值由 1900 年的 $-5\,959.7\text{ nT}$ 减弱为 2000 年的 $-2\,441.4\text{ nT}$,平均年变率为 35 nT/a (表 1,图 2 中的 EPC 异常)。

3.9 中太平洋正磁异常 这是一个范围不大的正异常,位于太平洋中部的马绍尔群岛附近,角距半径约 10° (图 1)。除个别年代外(1945,1950 年),磁异常中心在纬度方向上变化不大(平均位置为 9°N)。异常中心在 1900—1980 年期间缓慢向东漂移,由 1900 年的 176.1°W 变化为 1980 年的 171.3°W ;而后又以约 $0.1^{\circ}/\text{a}$ 的速度向西漂移,异常中心的经度由 1980 年的 171.3°W 变化为 2000 年的 174.0°W 。强度逐渐减弱,由 1900 年的 4331.2 nT 变化为 2000 年的 2222.0 nT ,平均年变率为 -22 nT/a (表 1,图 2 中的 MPC 异常)。

4 结论与讨论

4.1 结 论

4.1.1 各个磁异常的强度均在不断变化。20 世纪 90 年代,强度最大的磁异常是南大西洋正磁异常(1995.0 年的强度为 $22\,582.8\text{ nT}$),其次是非洲负磁异常(1995.0 年的强度为 $-18\,527.0\text{ nT}$),东亚正磁异常位居第 3 位(1995.0 年的强度为 $18\,332.1\text{ nT}$)。在 20 世纪 90 年代以前,东亚正磁异常的强度一直位居第 2 位,90 年代被非洲负磁异常超过,退居第 3 位。

磁异常强度(或强度绝对值)增加最快的是非洲负磁异常(平均年变率为 67.1 nT/a),其次是南大西洋正磁异常(平均年变率为 64.8 nT/a)和大洋洲负磁异常(平均年变率为 49.6 nT/a),东亚正磁异常的年增长率为 32.4 nT/a 。

4.1.2 从磁异常的分布范围看,展布面积最大的磁异常有 3 个:东亚正磁异常、大洋洲负磁异常和南大西洋正磁异常;另外,非洲负磁异常和北美洲正磁异常的展布范围也具有洲际规模。上述 5 个磁异常可称作五大磁异常,其余 4 个异常(北大西洋负磁异常、北太平洋负磁异常、东南太平洋负磁异常和中太平洋正磁异常)的展布范围均较小。

4.1.3 磁异常中心在东西方向上的漂移可分为 3 类:1 是向西漂移,2 是向东漂移,3 是异常中心有时向西移,有时向东移。

第 1 类磁异常包括非洲负磁异常、大洋洲负磁异常、北大西洋负磁异常和东南太平洋负磁异常。非洲负磁异常是向西漂移最快的大陆磁异常,在 100 年里,非洲负磁异常的中心向西漂移近 38° ,大洋洲负磁异常的中心向西漂移 12° ,北大西洋负磁异常和东南太平洋负磁异常的中心分别向西漂移 8° 和 15° 。

第 2 类磁异常包括南大西洋正磁异常和北太平洋负磁异常。南大西洋正磁异常在 20 世纪前 50 年,异常中心的平均经度为 33°W ,后 50 年的平均经度为 12°E ,该异常中心在 1945—1955 年期间向东移动 45° 。北太平洋负磁异常中心向东漂移的幅度很小,在 100 年间只向东移动 2.6° 。

第 3 类异常包括东亚正磁异常、北美洲正磁异常和中太平洋正磁异常。东亚正磁异常在 1970 年以前缓慢向西漂移,而后向东漂移;北美洲正磁异常在 60 年代以前向东漂移,

而后向西漂移;中太平洋正磁异常在 80 年代以前缓慢向东漂移,而后向西漂移。

磁异常中心在东西方向上变化最大的两个磁异常是非洲负磁异常(均匀快速向西漂移和南大西洋正磁异常(向东移动)。

4.1.4 磁异常中心在南北方向上的漂移亦可分为 3 类:第 1 类是异常中心向北漂移,包括东亚正磁异常、非洲负磁异常、北大西洋负磁异常、东南太平洋负磁异常和中太平洋正磁异常。第 2 类是异常中心向南漂移,包括南大西洋正磁异常和北太平洋负磁异常。第 3 类是异常中心有时向北漂移,有时向南漂移,这类异常包括大洋洲负磁异常和北美洲正磁异常。磁异常中心在南北方向漂移最快的 3 个磁异常依次是南大西洋正磁异常、北太平洋负磁异常和非洲负磁异常。

4.1.5 从非偶极子磁场的全球分布图(图 1)可以清楚地看到:在全球范围内,太平洋地区的非偶极子磁场强度最弱。在广阔的太平洋地区,仅分布着强度弱、面积小的 3 个磁异常,它们是北太平洋负磁异常(1995.0 年的强度为 $-2\,434.6\text{ nT}$)、中太平洋正磁异常(1995.0 年的强度为 $2\,372.1\text{ nT}$)和东南太平洋负磁异常(1995.0 年的强度为 $-2\,637.1\text{ nT}$)。

4.2 讨 论

非偶极子磁场是根据各个年代的国际地磁参考场(IGRF)计算出来的,所以 IGRF 的精度决定了非偶极子磁场的计算精度。

根据 IGRF1900—IGRF1935(共 8 个模型)计算的南大西洋正磁异常只有一个焦点。但是,根据 IGRF1940 计算的南大西洋正磁异常有两个焦点:一个是表 1 和图 2 中给出的焦点(57.1°S , 332.8°E),另一个焦点位于 60.6°S 和 10.8°E ,中心强度为 17145.4 nT 。根据 DGRF1945 计算的南大西洋正磁异常则只有一个焦点(57.7°S , 332.8°E),与 1940 年南大西洋正磁异常第一个焦点的位置几乎完全一样。考虑到焦点位置变化的连续性,表 1 和图 2 只给出 1940 年南大西洋正磁异常第一个焦点的位置,而没有给出另一个焦点的位置。近百年只是在 1940 年南大西洋正磁异常有两个焦点,其它年代的世界磁异常只有一个焦点。南大西洋正磁异常中心经度在 1945—1955 年间发生快速变化,其原因之一可能是 IGRF 在南大西洋地区的精度不够高造成的^[12],在南大西洋的广大地区由于缺乏实测地磁资料,所以这些地区的 IGRF 精度较低。

参 考 文 献

- 1 Barracough D R. Spherical harmonic models of the geomagnetic field. *IGS Geomagnetic Bulletin* 8, 1978
- 2 安振昌. 1945—1995 年国际地磁参考场. 地球物理学进展, 1992, 7(2): 54—60
AN Zhen-Chang. International Geomagnetic Reference Field for 1945—1995. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 1992, 7(2): 54—60
- 3 Barton C E, Baldwin R T, Barracough D R, et al. International geomagnetic reference field, 1995 revision. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1996, 97(1—4): 23—26
- 4 Bauer L. The physical decomposition of the Earth's permanent magnetic field. *Terr. Magn. Atm. Electr.*, 1899, 4(1): 35—52
- 5 Vestine E H, Laporte L, Lange J, et al. The geomagnetic field, its description and analysis. Washington: Carnegie Inst., 1947
- 6 Yukutake T, Tachinaka H. The non-dipole part of the earth's magnetic field. *Bull. Earthquake Res. Inst.* 1968, 46: 1027—1074

- 7 Merrill R T, McElhinny M W. The Earth's Magnetic Field. New York: Academic Press Inc. 1983
- 8 Langel R A. The main field. In: Edited by J A Jacobs. Geomagnetism, Vol.1. London, Orlando, San Diego, New York, Austin, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press, 1987. 249—512
- 9 任国泰. 关于东亚大陆磁场的研究. 地球物理学报, 1981, 24(4): 404—414
REN Guo-Tai. A Study on the eastern Asia continent magnetic field. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1981, 24(4): 404—414
- 10 林云芳, 曾小平, 郭启华. 东亚地区地磁非偶极场长期变化的分析. 地球物理学报, 1985, 28(5): 482—496
LIN Yun-Fang, ZENG Xiao-Ping, GUO Qi-Hua. Analysis of secular variations of non-dipole geomagnetic field in East Asia. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 1985, 28(5): 482—496
- 11 倪永生. 地磁学简明教程. 北京: 地震出版社, 1990, 53—64
NI Yong-Sheng. Brief Course of Geomagnetism (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 1990. 53—64
- 12 Langel R A. International geomagnetic reference field, the sixth generation. *J. Geomag. Geoelectr.*, 1992, 44(9): 679—707

GLOBAL CHANGES OF THE NON-DIPOLE MAGNETIC FIELDS FOR 1900—2000

AN ZHEN-CHANG WANG YUE-HUA

(Institute of Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract

Based on the seventh generation of International Geomagnetic Reference Field, the nondipole magnetic fields for 1900—2000 (interval is 5 years.) were calculated and drawn, the locations and intensities of each magnetic anomaly centre at different epoch were computed and analysed, too. The distribution ranges are very large, and the intensities are very strong for the following five magnetic anomalies: Eastern Asian positive anomaly, Oceanian negative anomaly, Southern Atlantic positive anomaly, African negative anomaly and Northern American positive anomaly. The intensity of Southern Atlantic positive anomaly is the biggest. The intensity of Eastern Asian positive anomaly is the second before 1990. The intensity of African negative anomaly exceeds the Eastern Asian anomaly and becomes the second since 1990. The increasing rate of magnetic anomaly intensity (absolute value) of African negative anomaly is the largest (average annual variation rate is 67.1 nT/a), that of Southern Atlantic positive anomaly is the second (that is 64.8 nT/a), that of Oceanian negative anomaly is the third (that is 49.6 nT/a). The location changes of magnetic anomaly centre of African and Southern Atlantic anomaly are the fastest in the all of the magnetic anomalies.

Key words Dipole magnetic field, Non-dipole magnetic field, International Geomagnetic Reference Field, Global change.

作者简介 安振昌, 男, 1940年生, 1964年毕业于中国科技大学地球物理系, 现为中国科学院地球物理研究所研究员. 从事地球主磁场、地磁场长期变化、陆地磁异常和卫星磁异常等方面的研究.