

李细顺, 高登平, 李琪, 王静, 梁斌, 胡秀娟, 王利兵, 罗娜, 宋昭, 2015. CM4 模型数据与台站实测数据的对比研究. 震灾防御技术, 10 (2): 418—425. doi: 10.11899/zzfy20150223

CM4 模型数据与台站实测数据的对比研究¹

李细顺¹⁾ 高登平¹⁾ 李琪²⁾ 王静¹⁾ 梁斌³⁾
胡秀娟¹⁾ 王利兵¹⁾ 罗娜¹⁾ 宋昭¹⁾

1) 河北省地震局红山基准台, 邢台 054000

2) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

3) 河北省新乐地震台, 新乐 050700

摘要 本文利用第四代地磁场综合模型 (Comprehensive Model 4, CM4), 计算了 1982—2002 年隆尧地磁台站的磁层源磁场及其感应场、电离层源磁场及其感应场的地磁北向分量 X 、东向分量 Y 、垂直分量 Z , 分析了各场源磁场随时间的变化特征。磁层源磁场及其感应场呈现出 11 年和 27 天的周期性变化, 有些年的 27 天周期性变化显著, 有些年则不太显著; 电离层源磁场及其感应场具有明显的季节变化, 不同年相同季节的变化形态一致但幅度不同; 日变化分析显示, 磁静日和磁扰日期间的模型数据与台站实测数据变化一致性较好, 相关性较高。

关键词: 综合模型 CM4 地核场 磁层源磁场 电离层源磁场 感应场 时均值 相关系数

引言

地磁场是指在固体地球内部和外部到磁层顶空间范围内所有场源产生的磁场, 一般将地磁场分为内源场和外源场。国内外许多学者如 Wardinski 等 (2006)、Haines (1985)、Alldredge (1987)、Maus 等 (2005)、徐文耀 (2002; 2009)、Lesur 等 (2008) 都对内源场进行过详细的研究。同时, 安振昌等 (1992)、Hemant 等 (2005; 2007) 还针对地壳磁异常场进行了研究。地磁模型能对地磁场时空分布进行较为直观表示, 20 世纪 90 年代美国国家宇航局戈达德飞行中心 (NASA/GSFC) 和丹麦空间研究所 (DSRI) 联合开发了一种地磁场建模的新方法, 称之为综合建模 (Comprehensive Modeling, 简称 CM) (白春华等, 2008)。基于综合建模法 Sabaka 等 (1993) 建立了第一代地磁场综合模型 CM1; Langel 等 (1996) 在 CM1 的基础上建立了第二代地磁场综合模型 CM2; 之后, 美国和丹麦空间研究中心的科学家 Sabaka 等 (2002) 又在 CM2 的基础上建立了第三代地磁场综合模型 CM3。相对于 CM1 和 CM2 而言, CM3 主要是进行了高阶地壳层场的表示, 能在卫星上获取大部分已知的地壳异常场。CM3 模型的内源场最大截断阶数 N 为 65, 时间跨度为 1960—1985 年, 长期变化通过 3 次 B-spline 方法的 13 阶表示 (冯

1 基金项目 中国地震局地球物理研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项项目 DQJB12C07 资助。

[收稿日期] 2015-04-09

[作者简介] 李细顺, 女, 生于 1976 年。2014 年毕业于防灾科技学院地球物理专业, 大学本科, 工程师。主要从事地磁观测与研究。E-mail: lxs@eq-he.ac.cn

彦等, 2011)。

随后, Sabaka 等 (2004) 利用卫星和台站数据在 CM3 的基础上建立了第四代地磁场综合模型 CM4, 与 CM3 相比, CM4 采用了更多的卫星数据, 包括 POGO 和 CHAMP 卫星的标量数据, 以及 MAGSAT 和 Oersted 卫星的标量和矢量数据。CM4 模型利用大量高精度的数据, 通过迭代重加权最小二乘法进行估算, 共求出了 25243 个系数。同时 CM4 将地磁场场源分离得更细, 可分为地核场、地壳场、磁层源磁场、感应场、电离层源磁场; 而且适应时间范围更长为 1960—2002 年, 并进一步降低了数据噪声。CM4 模型的 1—15 阶代表地核场, 16—65 阶代表地壳场。

利用 CM4 模型科学家进行了诸多研究, 如: Maus (2008) 利用 CM4 近年来建立的较为常用的全球地磁模型进行了地磁功率谱的研究; Torta 等 (2008) 基于 CM4 等模型对每日磁场变化范围的长期表现进行了研究, 结果显示 CM 系列模型缺少对观察到的每日磁场变化的表示, 另外, 在 CM 模型中不同等级的太阳活动必须使用不同等级的 F10.7 值; Hulot 等 (2009) 利用 CM4 内源场的 Mauersberger-Lowes 功率谱与其他模型比较, 分析了小尺度的地核场长期变化; Olsen 等 (2009) 利用 CM4 进一步研究了可能存在的磁场外部源场。

本文计算了隆尧地磁台测点的 CM4 模型数据, 分析了磁层和电离层场源磁场以及感应场在磁静日、磁扰日和世界时第 19 时时均值的日变化特征、季节变化特征、年变化特征、磁层源磁场及其感应场的 27 天重现性, 并研究了模型数据与实测数据的一致性, 可为台站利用 CM4 模型数据做进一步的研究提供依据。

1 数据处理与计算

1.1 台站数据

本文所用红山台地磁七要素的绝对时均值数据, 均依据该台站历年地磁观测报告。1984 年年初和 1985 年年初, 台站的绝对观测仪器曾进行过更换或调试, 造成 1983 年末和 1984 年初之间、1984 年末和 1985 年初之间均有一个台阶性差值。为了便于与 CM4 模型计算结果进行对比, 对台站数据进行了台阶量改正, 将数据统一到同一个观测标准。

1.2 模型数据

CM4 模型使用了 1947—2002 年期间 POGO 和 CHAMP 卫星提供的中国大陆地区地磁标量数据 (F), 以及 Magsat 和 Oersted 卫星提供的中国大陆地区地磁标量数据 (F) 和矢量数据 (X, Y, Z), 数据总数超过 160 万个。CM4 所使用的台站数据采用了固定地磁台站的每月最静时时均值 (OHMs) 的两种不同采样率数据分别为: ①1960—1985 年间最接近 1:00 地方时的台站时均值, 表示为 OHM_1AM; ②在 POGO 和 MAGSAT 卫星任务期间, 每月磁静日中以 2 小时为间隔的台站时均值, 表示为 OHM_MUL。

1.3 数据计算

在丹麦空间研究所 Olsen 等 (2009) 和美国国家航空航天管理局戈达德空间飞行中心 Sabaka 等 (2004) 提供的模型计算软件的基础上, 笔者编写了计算红山地磁台测点的时均值数据程序。该程序可通过输入年月日 (格式为 $yyymmdd$)、经度、纬度、磁层场球电流强度指数 (Dst 指数) 以及太阳通量指数 ($F10.7$), 计算出上述 6 种场源的半小时均值、时均值、日均值、月均值和年均值。

2 模型数据各场源时间变化分析

2.1 磁层源磁场及其感应场变化特征

笔者选取隆尧地磁台 1982—2002 年间每日世界时第 19 时模型数据的时均值, 绘制了磁层源磁场及其感应场和 F10.7 随时间的变化曲线, 如图 1 所示。F10.7 是太阳 10.7cm 波长 (2800MHz) 射电辐射流量, 由位于加拿大英属哥伦比亚彭带克顿市的射电天文台每天 17 时 (UTC) 对太阳进行观测得到, 其单位是 sfu (太阳辐射通量, $1\text{sfu}=1\times 10^{-22}\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Hz}^{-1}$)。

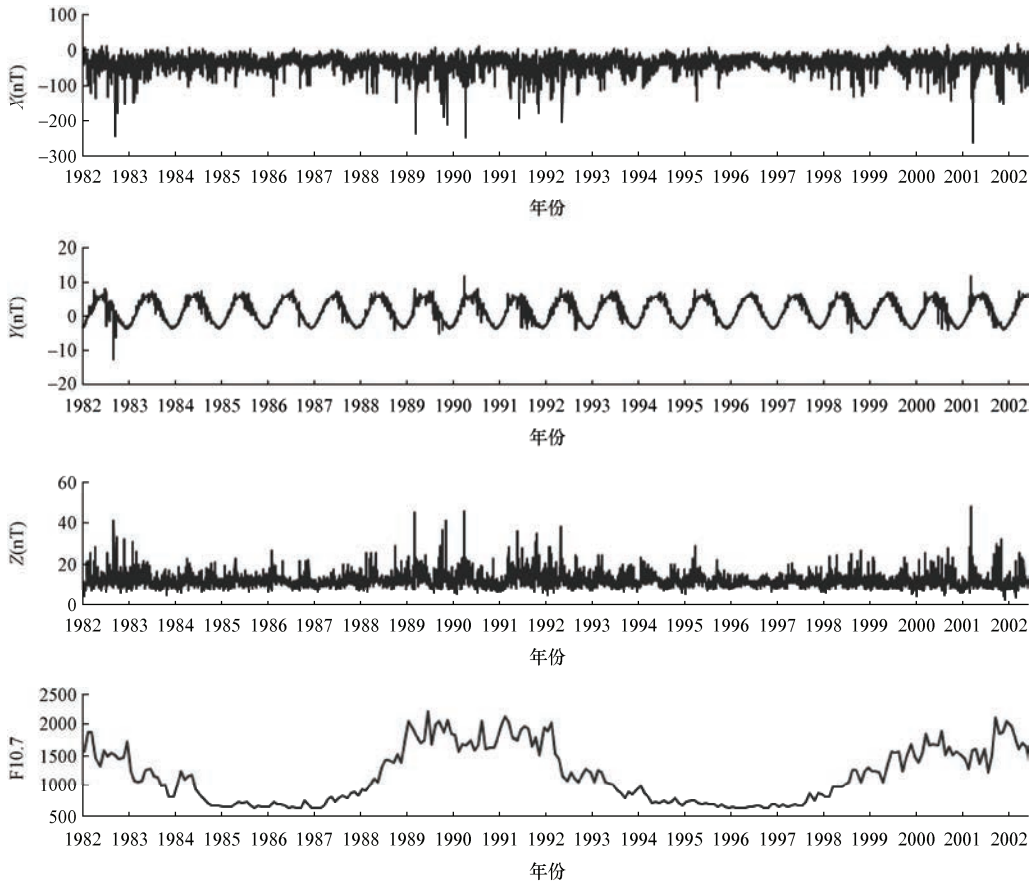


图 1 1982—2002 年磁层源磁场及其感应场和 F10.7 的变化曲线

Fig.1 The temporal change of the magnetospheric field plus its induced field and the F10.7 in 1982—2002

图 1 为隆尧地磁台地磁场北向分量 X、东向分量 Y、垂直分量 Z 在 1982 年 1 月 1 日至 2002 年 9 月 15 日期间磁层源磁场及其感应场的第 19 时时均值变化与 F10.7 随时间的变化曲线。从时间上看, 3 个分量呈现显著的以 1 年为周期的变化, 其中, Y 分量最显著, X 分量与 Z 分量次之。X 分量幅度变化最大, Z 分量次之, Y 分量最小。太阳黑子的活动周期大约为 11.2 年, 活跃时会对地球的磁场产生影响, 1990 年 4 月三分量磁场均呈现强扰动, 11 年后的 2001 年 3 月三分量也出现了强烈的磁场扰动, 存在显著的 11 年周期变化, 这与太阳活动性指数 F10.7 周期性变化是对应的。

同时，笔者还选取 1997 年磁层源磁场及其感应场模型数据的时均值，以每 3 小时取平均值，每天生成 8 个数据，全年每 3 小时时段均值数据按 27 天分段，5 个 27 天段对应的时均值迭加平均，用它与相应日期的 K_p 指数进行对比，如图 2 所示。从图中可以看出， X 分量和 Z 分量具有明显的 27 天太阳自转周期变化，即地磁活动的 27 天重现性，而 Y 分量 27 天周期性变化则不显著。

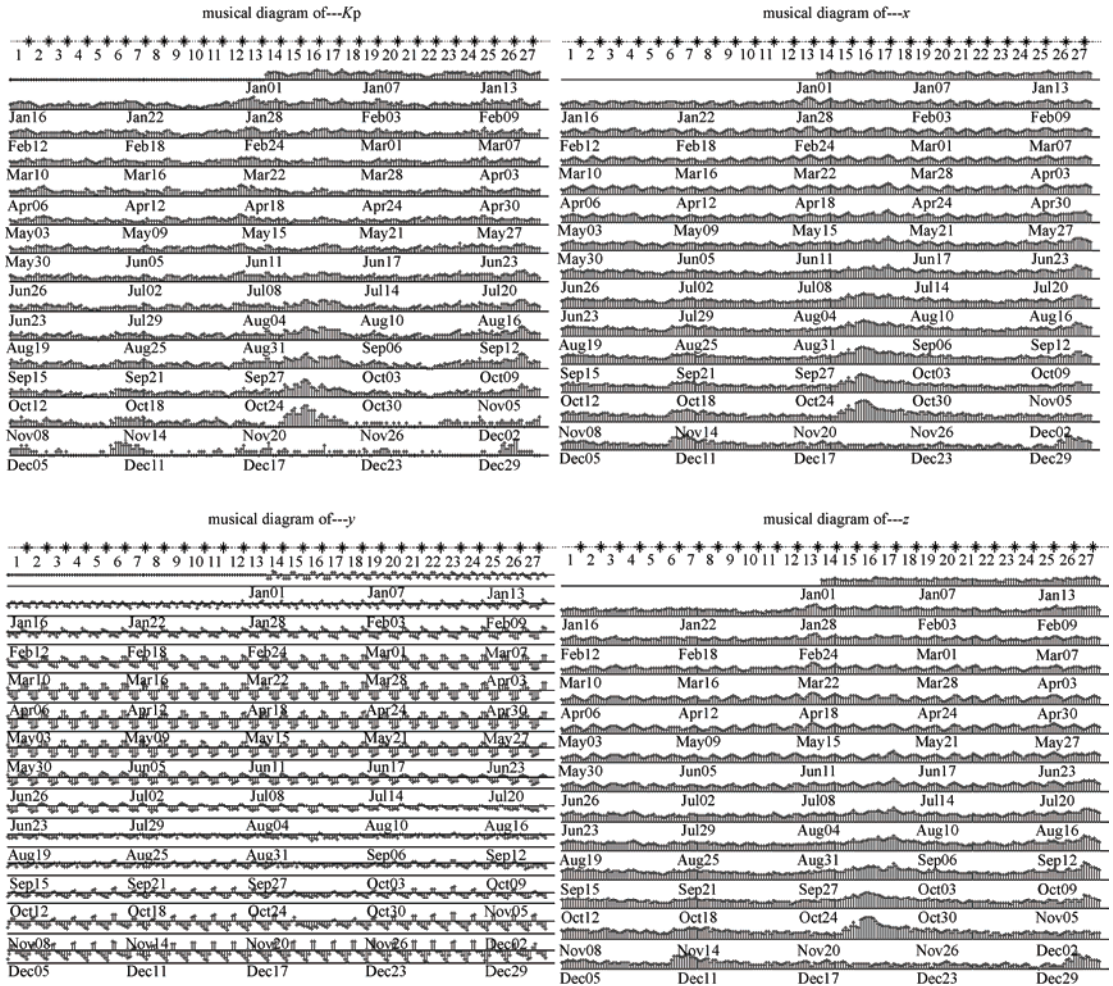


图 2 1997 年 X 、 Y 、 Z 的 27 天周期性变化与 K_p 指数的对比图

Fig.2 The 27-day variation shown in X , Y , Z components and K_p index in 1997

2.2 电离层源磁场及其感应场变化特征

笔者选取 1987 年磁静日期间电离层源磁场及其感应场时均值数据，如图 3 所示。从图中可以看出， X 分量、 Y 分量、 Z 分量呈现出显著的季节变化特征，夏季变幅最大，春秋季节次之，冬季最小，其变化特征与姚休义等（2012）的研究成果一致，3 个分量中 Y 分量变幅最大， X 分量次之， Z 分量最小。考虑到 1989 年是太阳活动高年，笔者选取 1989 年磁静日期间电离层源磁场及其感应场时均值数据做图，如图 4 所示。从图中可以看出，1989 年的季节变化特征与 1987 年的相似，只是变化幅度要大的多。

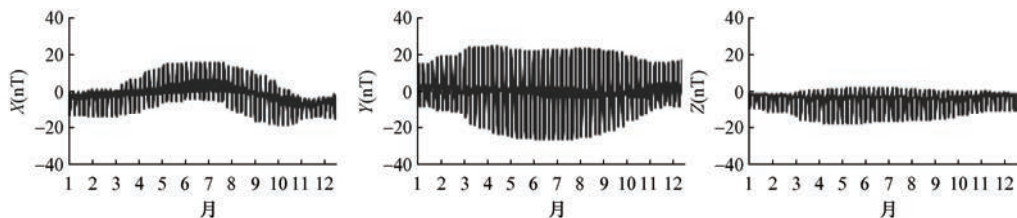


图3 1987年电离层源磁场及其感应场变化

Fig.3 The temporal change of the ionospheric field plus its induced field in 1987

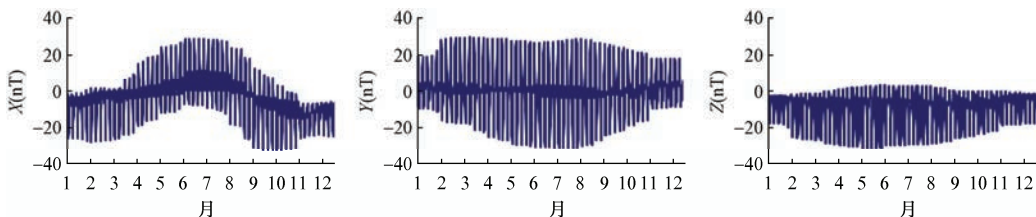
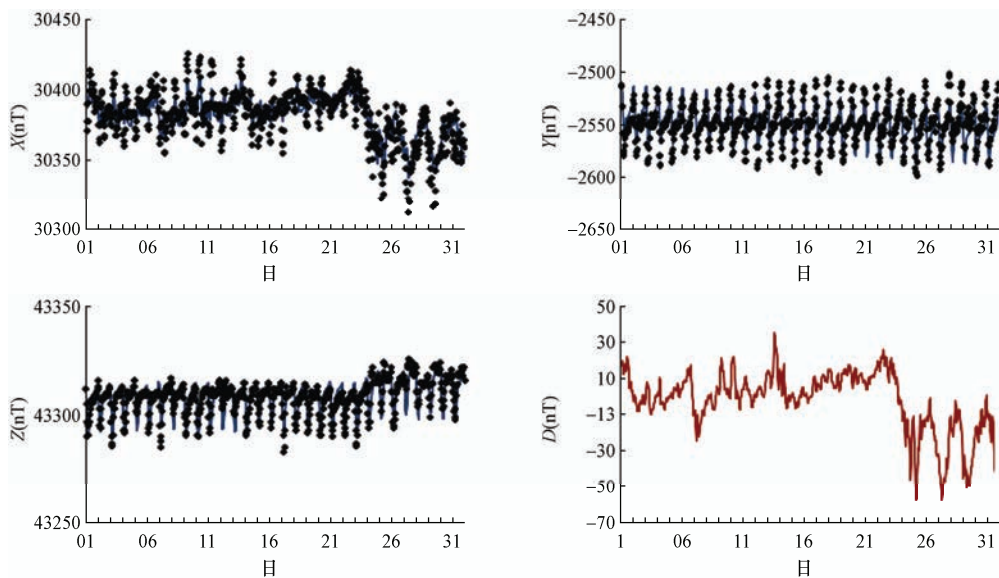


图4 1989年电离层源磁场及其感应场变化

Fig.4 The temporal change of the ionospheric field plus its induced field in 1989

2.3 时均值日变化对比分析

笔者抽取 1987 年 5 月的模型数据和台站实测数据的时均值，在去除了台站实测数据和模型数据的系统偏差后，进行了两种数据的对比，如图 5 所示。图中亮蓝线代表模型数据，黑色散点代表实测数据，红色的亮线表示相同时间内的 Dst 指数（对比图形均采用相同的表示方法）。



实线表示模型值；虚线表示观测值

图5 1987年5月实测值与模型值的时均值变化

Fig.5 The temporal change of the hourly mean values and Dst in May 1987

从图 5 可以看出, 台站观测值与模型预测值同步变化, 变化趋势一致, 幅度基本相同。实测数据与模型数据 (X, Y, Z) 差值的 RMS 为 (9.88, 10.57, 4.20), 相关系数 X 分量为 0.88, Y 分量为 0.81, Z 分量为 0.83。

为了进一步研究模型数据与台站实测数据变化的一致性, 笔者还选取 1982 年 9 月的数据进行了分析。9 月 6 日发生了特大型磁暴, 图 6 给出了实测值 (X, Y, Z) 时均值 (黑点) 和模型值 (X, Y, Z) (蓝线) 在 9 月的变化, 在去除了实测数据和模型数据的系统偏差后, 可以看出处在中低纬度的隆尧地磁台在整个活动较强的月份吻合得也非常好。在发生特大型磁暴期间, 实测数据与模型数据 (X, Y, Z) 差值的 RMS 为 (28.02, 15.09, 9.03), X 分量变化幅度与 Dst 指数变幅均在 $-200\text{nT} \sim -300\text{nT}$ 。台站实测数据与模型数据的相关系数在 X 分量为 0.90; 在 Y 分量为 0.79; 在 Z 分量为 0.84。

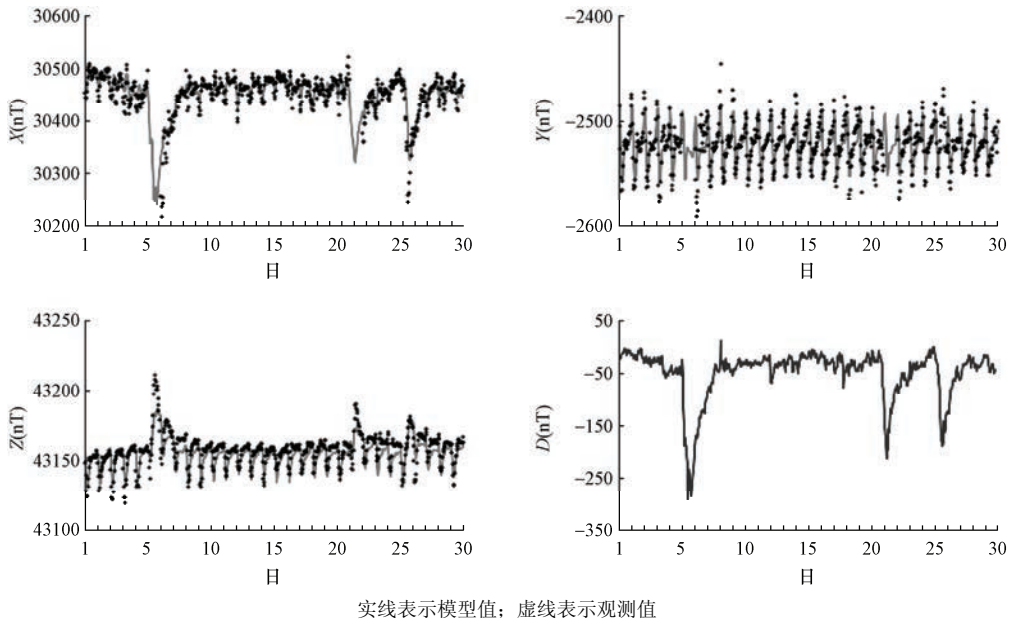


图 6 1982 年 9 月实测值与模型值的时均值变化

Fig.6 The temporal change of the hourly mean values and Dst in Sep. 1982

3 结论

本文研究了地磁场中磁层和电离层场源磁场随时间的变化。磁层源磁场及其感应场分别具有 11 年和 27 天的周期性变化。电离层源磁场及其感应场呈现出明显的季节变化, 夏季变幅最大, 春秋季节次之, 冬季最小。其中, Y 分量变化最显著, X 分量和 Z 分量则比较平稳。不同年份电离层源磁场及其感应场的季节变化特征相同, 但变化幅度不同, 太阳活动高年变化幅度大, 太阳活动低年变化幅度小。

磁层源磁场及其感应场的 11 年周期变化与太阳活动性指数 F10.7 周期性变化相对应, 是 11 年太阳活动周影响的结果; 其 27 天周期变化, 是太阳 27 天自转的影响。电离层源磁场及其感应场的季节变化与太阳的光辐射有关, 夏季光辐射最强, 春秋季节次之, 冬季最弱。太阳

活动高年的光辐射强于低年。

选取磁静日数据与磁暴期间数据进行时均值对比后发现, 模型数据与台站实测数据吻合度较高, 相关性较好。

参考文献

- 安振昌, 徐元芳, 王月华, 1992. 中国地区 MAGSAT 卫星标量和矢量磁异常图. 空间科学学报, **12** (2): 123—128.
- 白春华, 徐文耀, 康国发, 2008. 地球主磁场模型. 地球物理学进展, **23** (4): 1045—1057.
- 冯彦, 安振昌, 孙涵等, 2011. 基于第四代地磁场综合模型 (CM4) 以改善模型边界效应的研究. 地球物理学进展, **26** (3): 850—857.
- 徐文耀, 2002. 地球主磁场的 NOC 模型. 中国科学, **32** (7): 18—29.
- 徐文耀, 2009. 地球电磁现象物理学. 合肥: 中幽科学技术大学出版社, 18—29
- 姚休义, 杨冬梅, 陈化然等, 2012. 短周期地磁扰动的时空分布特征研究, 地球物理学报, **55** (8): 2660—2668.
- Allredge L.R., 1987. On regional magnetic charts. Geomag. Geoelectr., **39**: 723—738.
- Haines G.V., 1985. Spherical cap harmonic analysis. Geophys. Res., **90** (B3): 2583—2592.
- Hemant K., Maus S., 2005. Geological modeling of the new CHAMP magnetic anomaly maps using a geographical information system technique. Phys. Earth Planet Int., **149**: 321—323.
- Hemant K., Thebault E., Manda M., Ravat D., Maus S., 2007. Magnetic anomaly map of the world: merging satellite, airborne, marine and ground-based magnetic data sets. Earth Planet Sci. Lett., **260**: 56—71.
- Hulot G., Olsen N., Thebault E. et al., 2009. Crustal concealing of small-scale core-field secular variation. Geophys. J. Int., **177**: 361—366.
- Langel R A., Sabaka R.J., Baldwin R.T., et al., 1996. The near Earth magnetic field from magnetospheric and quiet-day ionospheric sources and how it is modeled. Phys. Earth Planet Int., **98** (324): 235—267.
- Lesur V., Wardinski L., Rother M., Manda M., 2008. GRIMM: the GFZ reference internal magnetic model based on vector satellite and observatory data. Geophys. J. Int., **173**: 382—394.
- Maus S., Macmillan S., Chernova T. et al., 2005. The 10th generation international geomagnetic reference field. Phys. Earth Planet Int., **151**: 320—322.
- Maus S., 2008. The geomagnetic power spectrum., Geophys. J. Int., **174**: 135—142.
- Olsen N., Manda M., Sabaka T.J. et al., 2009. CHAOS-2 A Geomagnetic Field Model Derived from one Decade of Continuous Satellite Data. Geophys. J. Int., **179**: 1477—1487.
- Sabaka T. J., Baldwin R. T., 1993. Modeling the Sq magnetic field from POGO and Magsat satellite and contemporaneous hourly observatory data: phase I. NASA/GSFC Contract NAS5, 31760.
- Sabaka T.J., Olsen N., Langel R.A., 2002. A comprehensive model of the quiet-time, near-Earth magnetic field: phase 3. Geophys. J. Int., **151**: 32—68.
- Sabaka T.J., Olsen N., Purucker M.E., 2004. Extending comprehensive models of the Earth's magnetic field with Oersted and CHAMP data. Geophys. J. Int., **159**: 521—547.
- Torta J M., Gaya-Pique L.R., Curto J.J., et al., 2008. An inspection of the long term behaviour of the range of the daily geomagnetic field variation from comprehensive modeling, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial

Physics, doi: 10.1016/j.jastp.06.006.

Wardinski I., Holme R., 2006. A time-dependent model of the earth's magnetic field and its secular variation for the period 1980-2000. *Geophys. Res. Lett.*, **33**: 101—123.

Comparison of CM4 Model Data and the Measured Data of the Station

Li Xishun¹⁾, Gao Dengping¹⁾, Li Qi²⁾, Wang Jing¹⁾, Liang Bin³⁾, Hu Xiujuan¹⁾,
Wang Libing¹⁾, Luo Na¹⁾ and Song Zhao¹⁾

1) Hongshan Magnetic Observatory, Earthquake Administration of Hebei Province, Xingtai 055350, China

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

3) Xinle Earthquake Station of Hebei Province, Xinle 050700, China

Abstract By use of the newest Comprehensive Model 4, this article calculates, from the year of 1982 to 2002 at Longyao geomagnetic observatory, the core field, crust field, magnetosphere field and its induction field, ionosphere field and its induction field. And the characteristic of each field source changing over time from geomagnetic north component (X), geomagnetic east component (Y), geomagnetic vertical component (Z) is also calculated and analyzed. The annual rate of the core field shows the characteristic of annual change. The value of crust field is constant. Magnetosphere field and its induction field show the characteristic for a long period over 11 years change, in which there is an obvious change for a short time over 27 days in some years while the others are not. Ionosphere field and its induction field show the characteristic of obvious seasonal change and the same one season has the same changing morphology, but the range changes differently. Time mean variation analysis shows the model data from magnetically quiet day, and magnetically disturbed day which are well coincided with test data from the geomagnetic observatory and they are also consistent.

Key words: Comprehensive model; CM4; Core field; Magnetic field; Ionosphere field; Induction field; The mean time value; Correlation coefficient