

李军辉、李琪、王行舟, 2012, 中国大陆地磁场 Z 分量日变幅的时空特征分析, 中国地震, 28(1), 42 ~ 50。

中国大陆地磁场 Z 分量日变幅的时空特征分析

李军辉^{1,2)} 李琪³⁾ 王行舟^{1,2)} 何康^{1,2)} 陶月潮¹⁾ 陈俊^{1,2)}

1) 安徽省地震局, 合肥市长江西路 558 号 230031

2) 蒙城地球物理野外观测站, 合肥市长江西路 558 号 230031

3) 中国地震局地球物理所, 北京 100081

摘要 通过分析中国大陆 76 个地磁台站 2008 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日地磁场 Z 分量日变幅的时空特征, 得到结论如下: ①在时间上, 回归分析和傅里叶分析结果表明, 所有台站地磁 Z 分量的日变幅均有明显的周期性变化, 周期主要有 365 天、183 天、122 天、73 天等, 其中 365 天的周期振幅最大 (即年周期)。②空间上, 地磁场 Z 分量日变幅随纬度整体呈非线性变化, 在 25°N 附近存在拐点 (极大值点), 在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}\text{N}$, 日变幅随纬度的增加而增加, 在 $25^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{N}$, Z 的日变幅随纬度的增加而减小。③通过地磁场 Z 分量日变幅时空分布与等效电流对比, 结果显示地磁场 Z 分量日变幅的时空变化特征主要是由等效电流的时空演化决定的。④若粗略地把地磁场 Z 分量日变幅最大值所处的纬度视为等效电流的焦点所在的纬度, 则焦点所在纬度夏季最高, 春秋季次之, 冬季最低, 逐日焦点变化最大可达 10° 。

关键词: 中国大陆 地磁 Z 日变幅 时空特征

[文章编号] 1001-4683 (2012) 01-042-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地磁日变幅是指在 1 天内地磁要素变化中极大值与极小值的差, 能直接反应地磁场活动的强弱。因此, 研究地磁场日变幅对于了解地磁场变化特征、解释“地磁低点位移”现象等都具有一定的物理意义。

Chapman 等 (1940) 详细研究了地磁场静日变化 S_q 的全球性时空分布及产生 S_q 的根源, 从而建立了一套研究全球性地磁日变场的分析方法, 创立了地磁日变化大气发电机理论, 并进一步研究了 1958 年接近赤道电急流区不同经度台站地磁静日 H 、 Z 分量的日变幅, 指出测得的地磁场日变幅有明显的半年变化和对于经纬度的不对称性 (Chapman et al, 1965)。Rastogi (1993) 分析了低纬度地磁场 H 分量的日变化、季节变化及其与电离层 E 区电子浓度的关系, 认为地磁场 H 分量的日变化主要是由于电离层 E 区电子密度的变化引起的, 季节性变化的主要原因是 E 区的水平电流季节变化。Parish 等 (1994) 分析了赤道附近

[收稿日期] 2011-04-08

[项目类别] 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 (DQJB11C10) 和中国地震局震情跟踪任务 (2010020705) 联合资助

[作者简介] 李军辉, 男, 1982 年生, 2006 年本科毕业于中国科技大学地球物理系, 主要从事地震地磁学研究。

E-mail: lijunhui_ah@163.com

的 Huancayo 站 1979 年 H 分量时均值的频谱特征, 研究结果显示, 赤道电流存在 27 天的周期变化。

中国关于地磁日变幅的相关研究也取得了一定的成果, 高玉芬等 (1981) 研究了我国 8 个地磁站 Z 分量日变幅在中国地区的空间分布特征, 结果显示 Z 分量日变幅静日变化的空间分布呈明显的夏季最高, 冬季最低且具有明显的逐月及逐日变化特征。姚法章等 (1991) 采用幅比法分析了 17 个台站 22 年的 Z 分量静日变化幅度, 指出在 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}N$ 有一个变迁带, 变迁带南北两侧日变幅随纬度线性递减。胡久常 (1992) 利用全国 16 个地磁台站 1982 ~ 1986 年的《地磁观测报告》对地磁三要素 (D 、 H 、 Z) 的日变幅做了分析, 结果显示, 三个地磁要素的日变幅存在季节性变化和 11 年的太阳周期性变化, 区域日变幅与地磁纬度有明显的线性关系。

上述研究中, 大多研究地磁 H 、 Z 分量的日变幅, 由于 H 分量容易受到太阳活动的影响, 而地磁 Z 分量日变幅受太阳活动的影响较小, 近年来在地震预测方面取得了较广泛的应用 (冯志生等, 2001; 张翼等, 2007)。随着地磁观测仪器的不断改进, 尤其是数字化改造以后, 地磁观测台站数量增加, 分布更加均匀合理, 积累了大量的地磁日变幅数据。因此, 重新对地磁 Z 分量日变幅的时空特征进行分析, 可以发现更精细的地磁场日变化活动特征。另外, 本文将基于等效电流的结果从理论上解释形成日变幅时空变化的原因。

1 基础数据

1.1 地磁台站

前兆地磁观测台网经过“十五”数字化改造以后, 全国有 124 个台站 150 套数字化地磁观测仪器运行, 这些仪器绝大部分运行良好, 提升了地磁台网基本观测产出的能力 (朱荣等, 2010)。本文从中国地磁台网中心下载并整理了 76 个观测连续性较好的地磁台站 2008 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日的 Z 分量日变幅数据, 台站分布如图 1 所示。图 1 显示东部地区台站分布比较均匀, 西部地区尤其是新疆、西藏等地区的台站较少, 研究中发现台站间距的大小对地磁场日变幅无影响。地磁观测仪器为采样率较高的数字化 FHD 质子磁力仪 (分钟采样) 和 GM4 观测仪器 (秒采样), 采样率对日变幅的计算结果无明显影响。对台站 1 天的变化数据序列 $\{a\}$, 其日变幅的计算如下

$$\Delta a = a_{\max} - a_{\min} \quad (1)$$

1.2 等效电流反演

本文利用球谐分析方法反演地磁静日变化 (Sq) 的等效电流, 该方法用来分析全球范围内地磁场分布及其长期变化。球谐分析由高斯首先提出并应用于地磁学研究, 借助球谐分析方法, 可以得到内源场和外源场两部分, 地磁日变的 $\frac{1}{3}$ 来源于内源场, $\frac{2}{3}$ 来源于外源场。因此本文的等效电流是通过球谐分析的外源场电流, 其分析流程和算法简要概述为: 每月选择 5 天地磁静日数据的平均值代表该月地磁活动水平, 首先对数据进行 FFT 处理, 然后对系数三角函数进行样条插值处理, 其次求缔合勒让德系数和高斯系数, 最后将高斯系数带入磁位的计算公式, 根据磁位与等效电流的关系, 得到等效的外源场电流 (赵旭东等, 2010)。

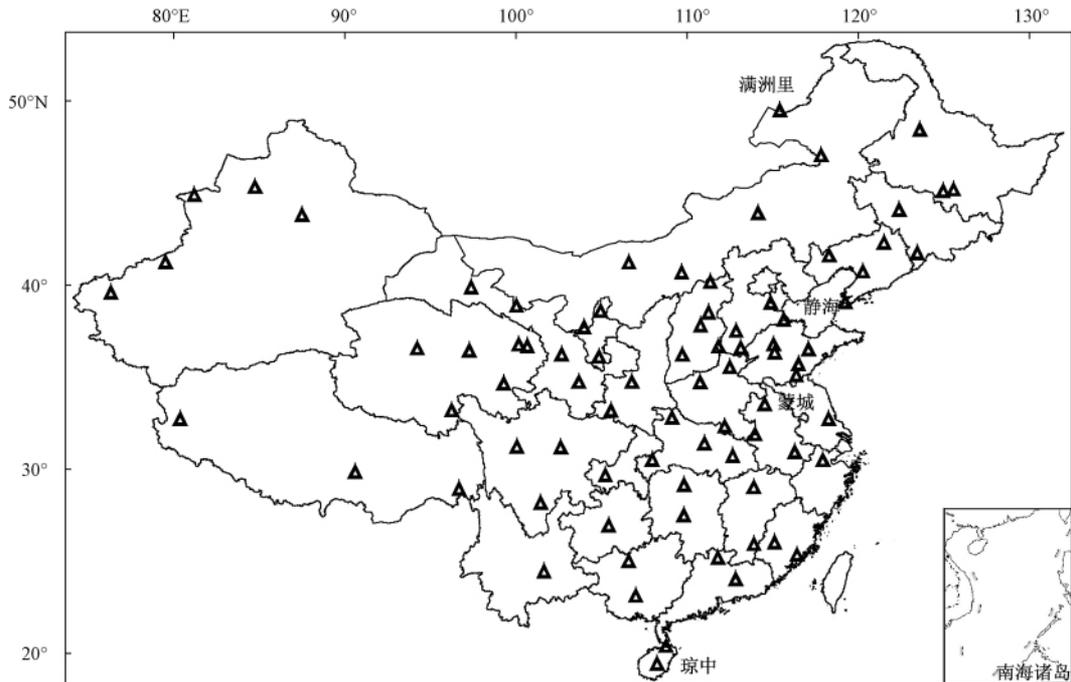


图1 中国大陆地磁台站分布图

2 日变幅时间变化特征

从研究地磁场的角度一般把1年分为3季:1、2、11、12月为冬季;3、4、9、10月为春秋季节;5、6、7、8月为夏季。已有的研究表明,地磁 Z 分量日变幅有年变化(年周期),季节变化(日变幅夏季最大,春秋季节次之,冬季最小)以及短周期的变化(马瑞平等,2004;Bhardwaj,2009)。首先选取不同纬度的琼中台(19.00°N、109.80°E)、蒙城台(33.35°N、116.48°E)、静海台(38.94°N、116.86°E)、满洲里台(49.57°N、117.43°E)等4个台站的 Z 分量日变幅数据进行分析(图2),为了提高年周期和半年周期变化的分析精度,对日变幅数据按下式进行多元回归分析,得到年变化和半年变化的幅度和相位。

$$y_i = a_0 + a_1 \cos\left(\frac{2\pi}{365}i\right) + a_2 \sin\left(\frac{2\pi}{365}i\right) + a_3 \cos\left(\frac{4\pi}{365}i\right) + a_4 \sin\left(\frac{4\pi}{365}i\right) \quad (2)$$

其中 y_i 为回归分析结果, i 为日序数, $a_0 \sim a_4$ 为回归系数, $\sqrt{a_1^2 + a_2^2}$ 和 $\arctan\left(\frac{a_2}{a_1}\right)$ 分别为年变化的幅度和相位, $\sqrt{a_3^2 + a_4^2}$ 和 $\arctan\left(\frac{a_4}{a_3}\right)$ 分别为半年变化的幅度和相位。

图2为上述4个台站数据的回归分析结果,图2(a)~(d)表明:①4个不同纬度的台站2008~2010年的日变幅数据具有相同的周期变化, Z 值日变幅值夏高,冬低;②琼中台的年变化不明显,可能受到赤道电流的影响;③蒙城、静海和满洲里台的年变化和季节变化都比较明显。76个地磁台站的 Z 值日变幅均依(2)式进行多元回归分析,得到76个回归分析后的曲线如图3(a)所示。结果显示,所有的台站均呈现出冬季变幅小,最小时约为5nT;夏季变幅最大,最大日变幅达到35nT左右,这些都符合潮汐发电机理论和以往的地磁观测结果。

地磁要素的日变幅与太阳天顶角有关,因为太阳天顶角通过控制电子密度分布决定电离层电导率,在中低纬度,天顶角具有夏季大、冬季小的特点(Takeda et al,2003)。

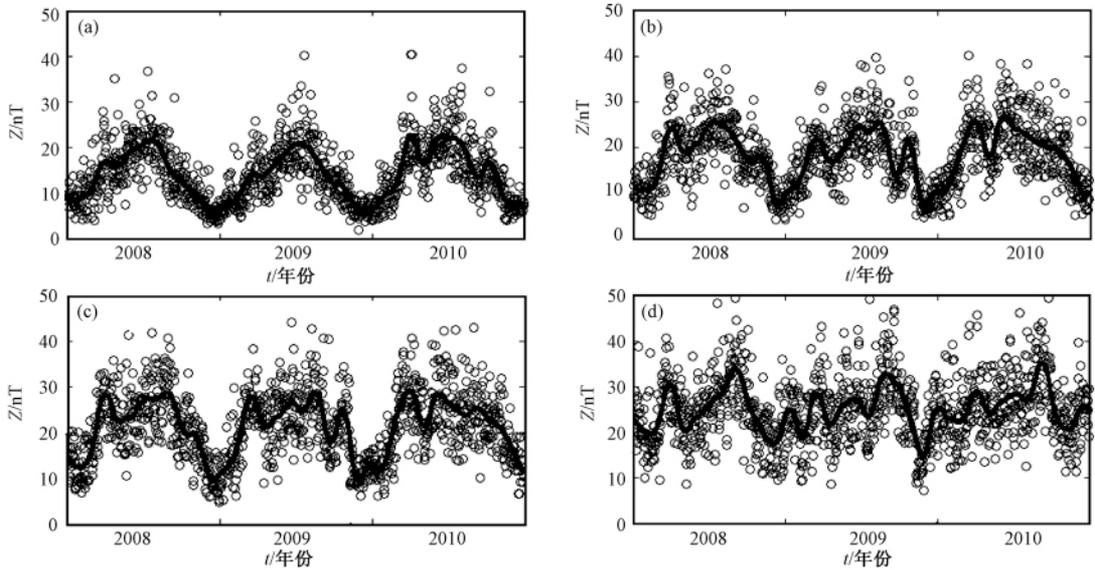


图2 (a) 满洲里台 (b) 静海台 (c) 蒙城台及 (d) 琼中台地磁场 Z 分量日变幅原始数据及多元回归曲线 (○为原始数据)

另外,本文对76个台站 Z 值的日变幅采用了傅里叶分析(陈后金等,2008),所有结果均显示, Z 值日变幅的主要周期有365天、183天、122天和73天,其中365天的年周期振幅最大(图3(b))。此外还以蒙城台为例,分析了该台2010年地磁场 Z 分量日变幅月均值与该纬度上 S_q 等效电流月均值的变化关系(图3(c)),通过对比发现,地磁场 Z 分量日变幅的年变化与等效电流的变化有较好的同步性,这些均起源于地球自转的周期性变化(赵旭东等,2008)。

3 空间变化特征

图4为76个台站地磁场 Z 分量日变幅的时间和空间变化规律,横坐标为时间,纵坐标为台站的地理纬度,色彩变化表示日变幅的大小。结果显示,76个台站的 Z 值日变幅均有明显的年周期和季节变化,夏季大,春秋季节次之,冬季最小。

地磁场 Z 分量日变幅年均值与地理纬度的线性关系在全国表现为日变幅随纬度的增加而减小(胡久常,1992)。作者计算了76个台站日变幅2010年年均值与地理纬度的关系(图5),图5(a)显示 Z 值变幅的年均值与地理纬度呈非线性变化,图5(b)表明1、2阶拟合的均方误差较大,相关系数相对较小;3阶多项式拟合的均方误差相对1、2阶较小,相关系数相对1、2阶大,相关性较好;4、5阶拟合的结果与3阶相比,均方误差和相关系数基本无明显的改善,因此3阶拟合较合适。由图5(a)可以看出,3阶拟合的结果明显优于1阶,因此认为地磁场 Z 分量日变幅年均值与地理纬度不存在明显的线性关系,仅在局部范围($25^{\circ} \sim 50^{\circ}N$)其日变幅随纬度的增加而减小,线性关系较好。

研究表明,地磁场 Z 分量日变幅的极大值空间分布近似与等效电流的焦点位置相对应(高玉芬等,1981)。因此,地磁 Z 分量日变幅最大值的季节变化、逐月变化及逐日变化主要反映了等效

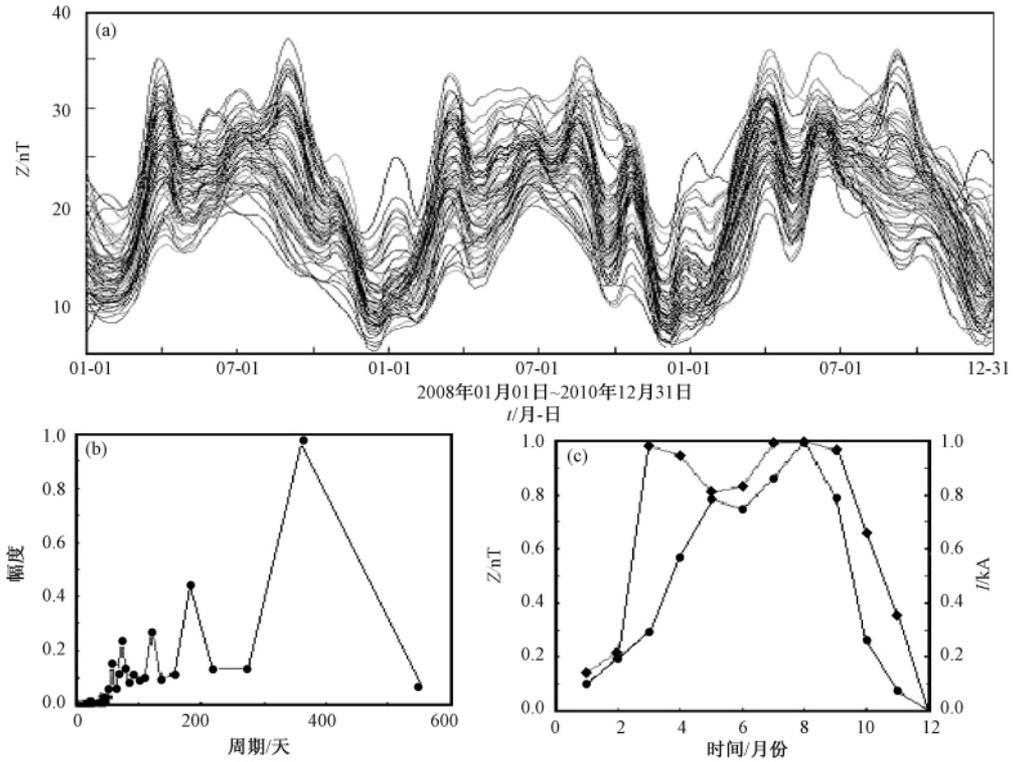


图3 (a) 76个台站的地磁Z分量变幅多元回归分析曲线; (b) 76个台站地磁Z分量日变幅傅里叶分析结果; (c) 2010年蒙城台Z分量日变幅月均值与等效电流的归一化对比(◆为Z分量日变幅月均值, ●为等效电流)

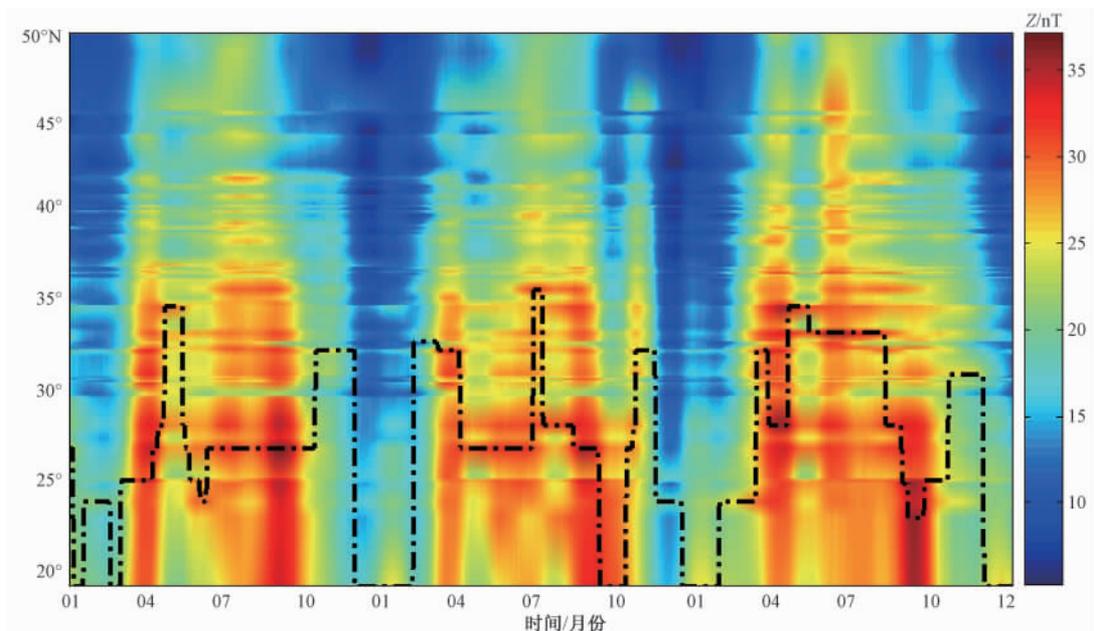


图4 76个地磁台2008年1月~2010年12月Z分量日变幅的时空变化
(黑色点线表示逐日最大变幅所在的纬度)

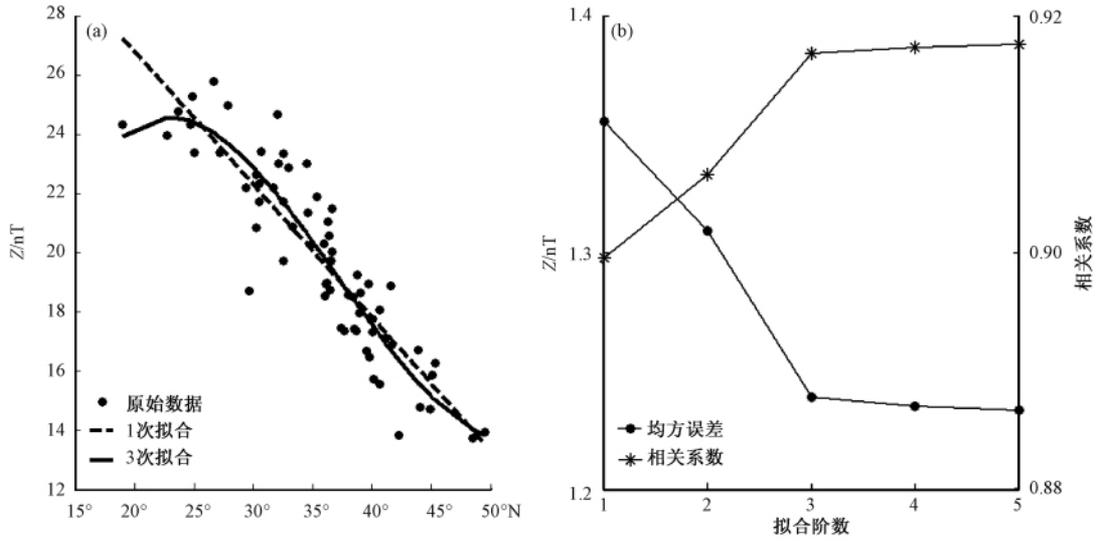


图5 (a) Z 分量日变幅年均值随地理纬度的变化及 1 阶和 3 阶的拟合曲线;
 (b) Z 分量日变幅年均值 1~5 阶多项式拟合的均方误差曲线及相关系数变化

电流焦点的变化。如图 4 中黑色点线为中国大陆地磁 Z 分量日变幅逐日的最大值的纬度,由此可见,等效电流的焦点位置存在明显的季节变化及逐月逐日变化,冬季电流焦点纬度最低,夏季最高,春秋季节居中,在连续 2 个静日,焦点纬度的变化最大可达 10°。冬季(1、2、11、12 月)的等效电流焦点在较低纬度区,即 Z 分量日变幅最大值在低纬度区,因此冬季日变幅的线性关系较好(图 6(a));夏季(5~8 月)等效电流焦点北移,地磁场 Z 分量日变幅最大值出现在 25°N 附近,因此日变幅的整体线性关系较差(图 6(b)),仅在局部区域(25°~50°N)呈线性变化。

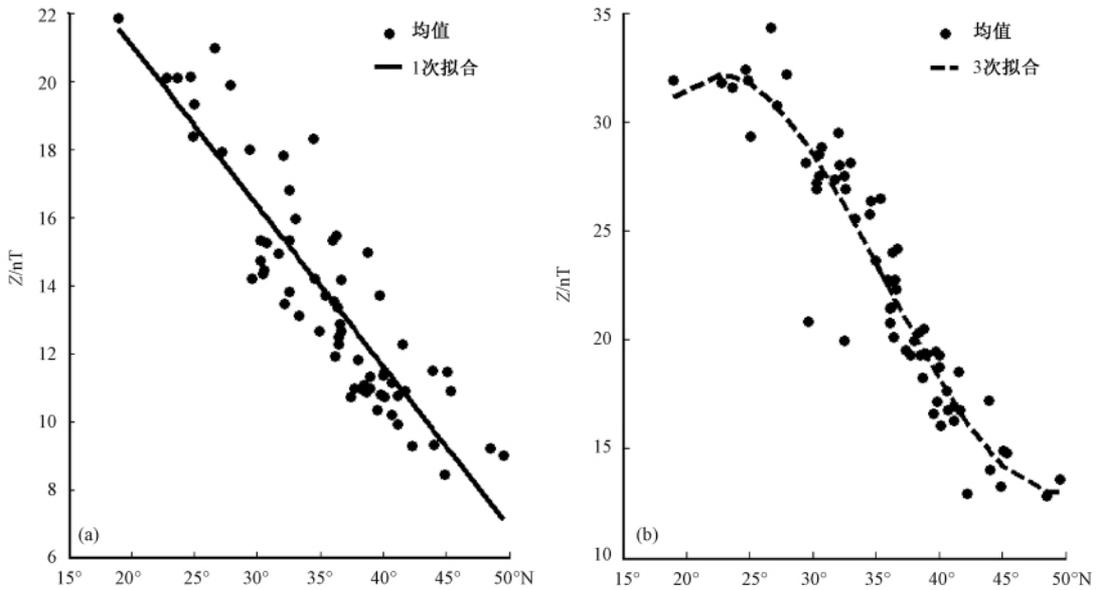


图6 (a) Z 分量日变幅冬季均值随地理纬度的变化及 1 次拟合曲线;
 (b) Z 分量日变幅夏季均值随地理纬度的变化及 3 次拟合曲线

为了研究等效电流与地磁场 Z 值日变幅空间分布的相关性,作者分析了 2008 年 9 月 Z 分量日变幅月均值的变化与该月等效电流的关系,图 7 为 Z 值日变幅在 9 月份的月均值空间分布(散点 A), Z 值日变幅的 3 阶多项式拟合曲线 B,反演得到的 9 月份 Sq 等效电流随纬度的空间分布曲线 C(归一化结果)。图中曲线 B、C 随地磁纬度的变化具有相同的变化趋势,二者的相关系数为 0.997。因此认为地磁场 Z 分量日变幅的空间分布主要是由等效电流的空间变化特性决定的。

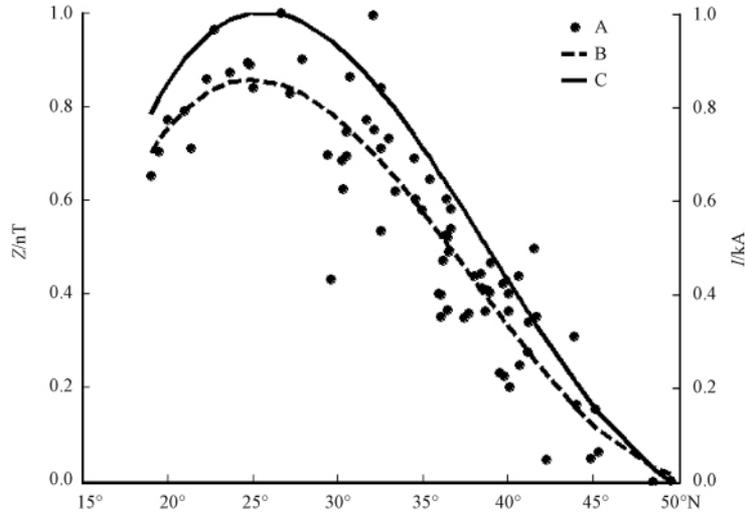


图 7 地磁场 Z 值日变幅及等效电流随纬度变化的归一化结果
A 为 Z 值日变幅的月均值;B 为日变幅的 3 阶拟合曲线;C 为等效电流

4 结论与讨论

通过对中国大陆 76 个台站 2008 年 1 月~2010 年 12 月地磁场 Z 分量日变幅数据的时空分析及与等效电流对比,得到如下结论:

(1) 时间域内的回归分析和傅里叶分析表明,76 个台站地磁场 Z 分量日变幅在时间域具有明显的周期性变化特征,主要周期有 365 天、183 天、122 天、73 天。地磁场 Z 分量日变幅的周期性变化及季节性变化主要是太阳天顶角的周期性变化引起的。

(2) 地磁场 Z 分量日变幅的空间分布特征显示,地磁场 Z 分量日变幅在 25°N 附近存在拐点,在 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 随纬度的增加而增加,在 $25^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 随纬度的增加而减小。因此,地磁场 Z 分量日变幅在整体上不是随着磁纬的增加而减小的线性关系,而呈非线性变化。

(3) 若粗略地把地磁场 Z 分量日变幅最大值的纬度视为等效电流的焦点,焦点所在纬度夏季高,冬季低,逐日变化焦点最大可达 10° 。在北半球,冬季的等效电流焦点在低纬度,因此冬季日变幅随着磁纬的增加而减小,呈较好的线性关系;夏季的等效电流焦点在大气潮汐风作用下北移,焦点出现在 25°N 附近。所以,在空间上,地磁场 Z 分量日变幅随纬度呈非线性变化。

致谢:本文计算 Sq 等效电流体系的程序及数据来源于中国地震局地球物理研究所杨冬梅老师,感谢

中国地磁台网中心为本研究提供数据下载服务。对审稿人给予的修改建议表示衷心的感谢。

参考文献

- 陈后金、薛健、胡健,2008, 数字信号处理,北京:高等教育出版社。
- 冯志生、王建宇、蒋延林等,2001,地磁垂直分量日变幅逐日比及其与地震关系的探讨,华南地震,**21**(2),20~27。
- 高玉芬、祁燕琴,1981,中国地区地磁垂直分量日变幅的空间分布及高空电流体系焦点移动,地震学报,**3**(2),143~151。
- 胡久常,1992,地磁日变幅的时空变化,地震地磁观测与研究,**13**(3),73~77。
- 马瑞平、徐寄遥,2004,广州地磁 Z 分量日变幅的谱特征,空间科学学报,**24**(4),275~282。
- 姚法章、任丽君、朱东升,1991,地磁垂直分量静日变幅的纬度效应,地震,**11**(1),45~50。
- 张翼、杨福喜、和锐,2007,乌鲁木齐台地磁 Z 分量日变幅及其逐日比地震前兆分析,内陆地震,**21**(1),78~85。
- 赵旭东、杜爱民、陈化然等,2010,Sq 电流体系的反演与地磁日变模型的建立,地球物理学进展,**25**(6),1959~1967。
- 赵旭东、杜爱民、徐文耀等,2008,Sq 电流系午前午后不对称性现象的来源,地球物理学报,**51**(3),643~649。
- 朱荣、杨冬梅、张素琴,2010,数字地磁台网数据应用进展,地震地磁观测与研究,**31**(4),102~107。
- Bhardwaj S K,2009,Equatorial and low latitude geomagnetic field oscillations in the Indian region,J Ind Geophys Union,**13**(3),107~120.
- Chapman S,Baetel,1940,Geomagnetism,Oxford at the Clarendon press.
- Chapman S,Rajia R K S,1965,The H and Z variations along and near the equatorial electrojet in India Africa and the Pcaific,J Atmos Terr Phys,**27**,559~581.
- Parish H F,Forbes J M,Kamalabadi F,1994,Plantetary wave and solar emission signatures in the equatorial electrojet,J Geophys Res,**99**(A1),355~368.
- Rastogi R G,1993,Geomagnetic field variations at low latitudes and ionospheric electric field,J Atmos Terr Phys,**55**(10),1375~1381.
- Takeda M,Iyemori T,Saito A,2003,Relationship between electric field and current in the ionosphere and the geomagnetic Sq field,J Geophys Res,**108**(A5),1183~1187.

Spatial and temporal variation of geomagnetic vertical daily ranges in Chinese Mainland

Li Junhui^{1,2)} *Li Qi*³⁾ *Wang Xingzhou*^{1,2)} *He Kang*^{1,2)} *Tao Yuechao*¹⁾ *Chen Jun*^{1,2)}

1) Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China

2) National Geophysical Observatory at Mengcheng, Hefei 230031, China

3) Institutes of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China

Abstract In this paper, the authors analyze the daily ranges of vertical about 76 geomagnetic stations from January 1, 2008 to December 31, 2010. They use those data to study the spatial and temporal characteristics of Z ranges and the results are summarized as follows: ① In temporal, they adopt the regressive analysis and FFT analysis to analyze the data, the results show that the Z component daily ranges of all stations have an cyclical variation obviously. The computed Fourier spectra of all the data sets have clearly resolved the required periodicities in the data, in the form of distinct peaks at 365-, 183-, 122-, and 73-day periods. The power spectral of 365-day is the highest in all periods. ② In spatial, the daily ranges show nonlinear variation with latitude in China. The results show there exists a point of inflexion (maximal value point) nearby about 25°N . The daily ranges of Z rise during $15^{\circ} \sim 25^{\circ}\text{N}$ and have a good linear decrease variation along with $25^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{N}$. ③ Comparing the variation of Z daily ranges with the Sq current inversion in spatial and temporal, they find that the Sq current system causes the spatial and temporal characteristics of Z ranges. ④ If the latitudes of the maximum amplitudes of variation of the vertical component on geomagnetic quiet days are roughly taken as the latitudes corresponding to the foci of Sq overhead current system, you can see that these latitudes of foci become higher in summer, lowest in winter and highest during Equinoxes, displaying conspicuously monthly and daily variations. For two successive geomagnetic quiet days, the latitudes of foci may vary ten degrees.

Key words: Chinese Mainland Geomagnetic Daily ranges of vertical Spatial and temporal variation