

中国地区地磁静日变化场 $S_q(H)$ 台链分布特征^{*}

王建军¹, 杨冬梅², 张素琴², 朱 荣²

(1. 甘肃省地震局, 兰州 730000 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要: 选取地磁台网数字化观测资料, 分析了中国地区 $S_q(H)$ 的时空分布特征, 得出以下结论: (1) 经度链 $S_q(H)$ 在夏季和春秋存在明显的午前午后不对称现象; (2) 夏、春秋、冬 3 个时段 S_q 焦点的平均位置分别大约为 $27^\circ N$ 、 $29^\circ N$ 和 $35^\circ N$ 这只是一个平均状态, 单个静日的 S_q 焦点有可能出现在 $50^\circ N$ 以北, 也可能出现在 $19^\circ N$ 以南; (3) 两条经度链上 H 变幅的纬向变化趋势不一致现象、相同纬度链上 $S_q(H)$ 形态反向或者 H 变幅自东向西递增(减)现象, 均说明 S_q 焦点在自东向西的迁移过程中, 除了经向上的迁移外, 还有纬向上的迁移或者电流强度的变化。

关键词: 经度链; 纬度链; $S_q(H)$; S_q 焦点

中图分类号: P318.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-0666(2010)04-0329-08

0 引言

太阳静日变化是中低纬度地磁日变化中最重要的规则变化, 它是电离层中持续存在的电流体系流动的结果, 其焦点对于太阳有一个相对固定的位置。这种由持续存在的场源引起的地磁场的规则变化称为规则日变化 S_R (程安龙等, 1998)。这个持续存在的电流体系包括南(北)半球中低纬区域顺(逆)时针流动的电流涡, 通常称为 S_q 电流涡, 其中心称为 S_q 焦点。就北半球而言, S_q 焦点的变化范围为 $25^\circ N \sim 35^\circ N$ 焦点地方时为 10:00 ~ 12:00 (徐文耀, 李卫东, 1994)。

在太阳同步坐标系下, 静日 S_q 电流体系的结构可以一级近似地认为是稳定的, 地面台站观测到的日变化就是在这个电流体系下地球自转的结果, 时间变化反映着电流体系的经度效应(陈化然等, 2009)。

如果 S_q 电流涡是均匀、对称的涡状结构, 根据右手螺旋法则可以推断, 在北半球的中低纬地区, H 分量变化形态在经度链和纬度链上的空间分布应该分别具备如下特征: 在地方时正午附近, 相同经度链上 S_q 焦点南北两侧形态相反, 北侧台站以向下为主, 南侧台站以向上为主; 就变幅而言, 南北两侧应依次向焦点方向递减, 焦点附近台站变幅极小; 相同纬度链上, 形态及变幅应基本一致。上述推论

在本文中暂且称之为 S_q 电流涡理论。

中国地震局地磁台网数字化观测网络现已建设完成, 其台网密度大大增强, 台网布局更趋合理, 从中选取若干台站分别组成经度链和纬度链, 可以进一步研究地磁静日变化场的时空分布规律, 对上述空间分布特征作进一步验证。

本文以 S_R 表示单个静日的规则日变化, 以 S_q 表示统计平均变化, 文中列举的台链典型个例日期全部都是磁静日。本文所有台链的 S_q 或 S_R 图形中, 粗线代表变幅极大, 次粗线代表变幅极小。

1 选用资料和研究方法

从中国地震局地磁台网中选取 39 个数据连续、可靠的台站, 接近似于同一经纬度原则分别组成 2 条经度链和 5 条纬度链(图 1), 选用 2008 ~ 2009 年两个完整的自然年度观测数据, 分夏季(5、6、7、8 月)、春秋(3、4、9、10 月)和冬季(11、12、1、2 月)3 个时段进行讨论。

1.1 经度链

(1) $117^\circ E$ 满洲里—锡林浩特—静海—泰安—蒙城—泾县—南昌—泉州。

(2) $108^\circ E$ 乌加河—银川—固原—乾陵—汉中—恩施—重庆—贵阳—河池—邕宁—琼中。

1.2 纬度链

(1) $40^\circ N$ 喀什—嘉峪关—银川—乌加河—

* 收稿日期: 2010-03-15

基金项目: 地震行业科研专项, 地磁场动态分布计算(200708043)资助

- 大同—静海—营口。
- (2) 36°N 格尔木—都兰—湟源—兰州—固原—临汾—广平—泰安—安丘。
- (3) 33°N 狮泉河—玉树—汉中—十堰—蒙城—海安。
- (4) 30°N 拉萨—重庆—恩施—九峰—泾县—杭州。
- (5) 25°N 通海—河池—韶关—泉州。

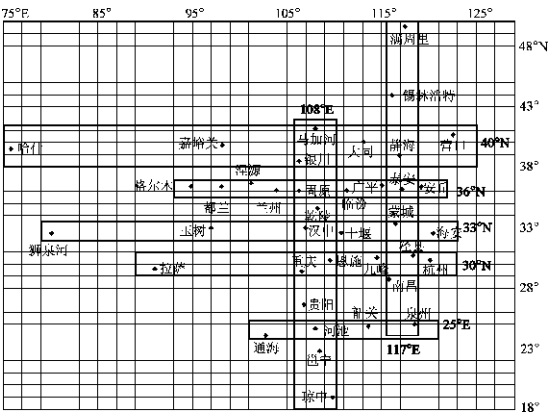


图 1 选定地磁台链 (地理坐标)
Fig 1 Selected geomagnetic station chain
(geographical coordinates)

1.3 S_k 计算方法

传统的 S_k 计算方法是每月 5 天国际磁静日期间地磁日变化曲线的平均, 这个计算方法所表示的是统计平均变化。本文将地磁台网分钟值预处理数据由世界时转换至地方时 (精确至分钟), 用 FM 方法计算出单个静日的规则日变化 S_k 。选取磁静日 S_k 求取季均值, 得到不同季节的 S_k 。

FM 方法由芬兰气象研究所研制, 是 IAGA 推荐使用的 K 指数计算中用于提取 S_k 变化的方法 (Menvielle Papitashvili 1995)。其计算思路是: 调入当天及前后各一天共 3 天的地方时数据, 以每小时前后 (m+n) 分钟的数据计算该小时平均值, 用 5 次谐波函数拟合由此生成的每小时平均值, 进而生成 S_k 曲线。其中 m 与地方时有关, 每 3 个小时取一个相同的值: 白天为 0 分钟, 凌晨 3~6 时和傍晚 18~21 时为 60 分钟, 午夜为 90 分钟。另一个参数 n 取决于地磁活动性, 定义为 $n=K^{0.3}$ 分钟, K 为 3 小时时段中由最大值与最小值之差简单确定的 K 指数初始值。

1.4 磁静日筛选规则

以德国亥姆霍兹波茨坦中心 (GFZ) 公布的每

月十天国际磁静日作为选取地方静日的标准, 重点考虑连续几天都是静日的情况。如果其前一天为扰日, 或者该静日为非连续的孤立静日, 则将该静日剔除。

2 台链分析

2.1 经度链

由 S_k 电流涡理论可知, 在地方时—纬度坐标系中, 相同经度链上 $S_k(H)$ 南北两侧形态相反, 变幅也应该分别由南北两侧向焦点方向递减; 在纬度—变幅坐标系中, 两条经度链 H 变幅的纬向变化趋势应该基本一致, 尤其是变幅极值所处纬度应大体相当 (图 2)。

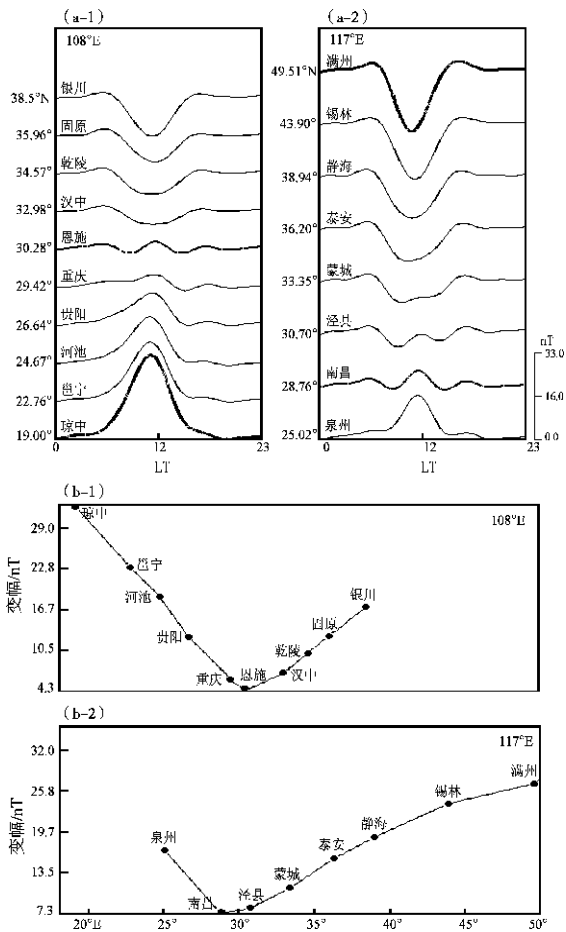


图 2 正常的经度链 $S_k(H)$ 空间分布形态 (2008—11—04)
(a) 静日变化 S_k (b) S_k 日变幅
Fig 2 Normal spatial distribution of $S_k(H)$ in longitudinal chain (Nov. 4, 2008)
(a) Daily variation of S_k (b) Daily range of S_k

2.1.1 季均值 S_q 的时空分布

从 $S_q(H)$ 季均值图形 (图 3 a b c) 来看, 夏季和春秋季节存在明显的午前午后不对称现象 (在全年的单个静日 S_q 形态中也普遍存在, 包括

冬季)。午前谷值从北向南递减, 午后峰值从北向南递增。该现象使最北端台站的单谷状, 到最南端时演化为单峰状, 同时也导致南北反向没有冬季明显。

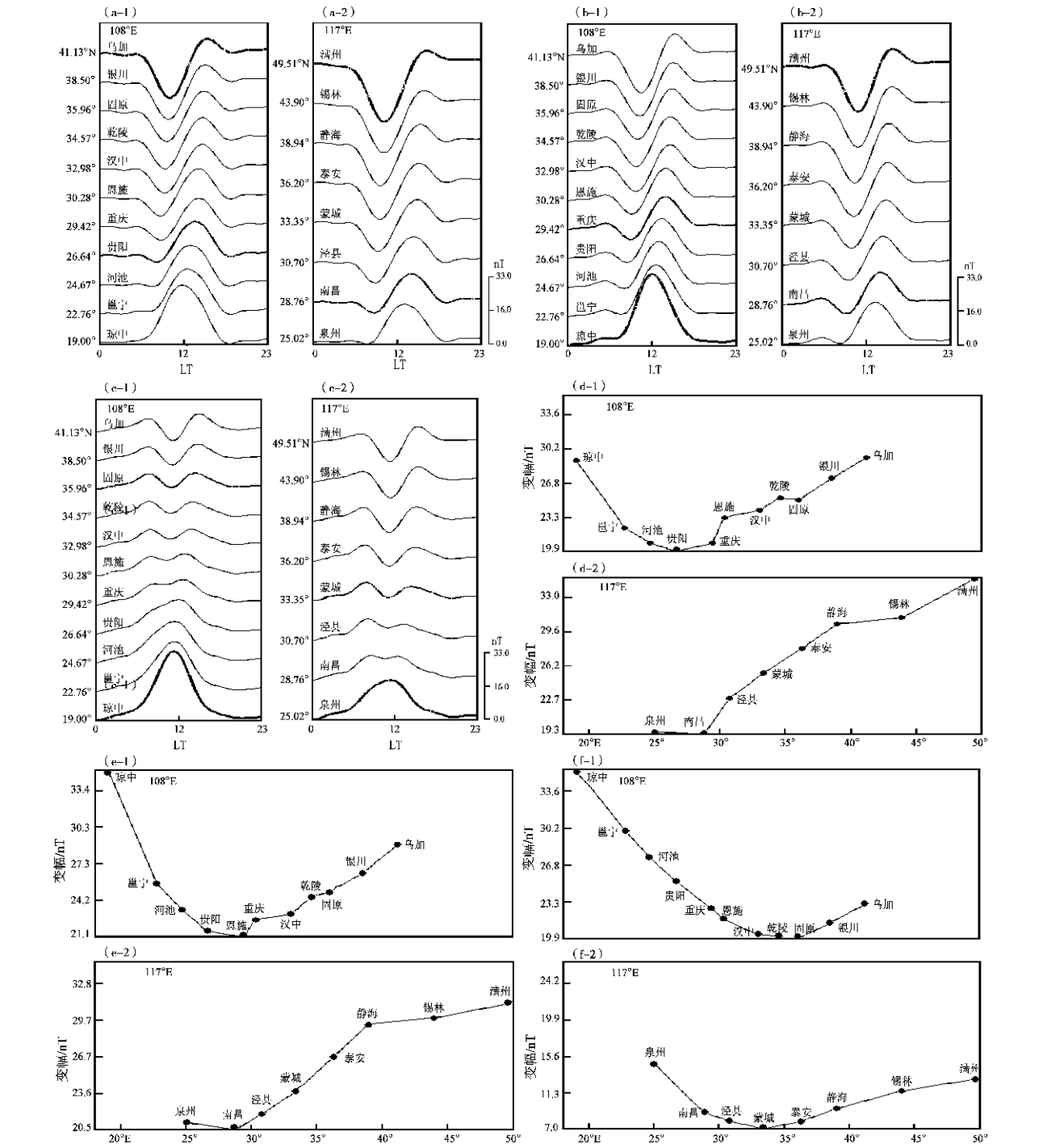


图 3 经度链 $S_q(H)$ 季均值
(a) 夏季 S_q ; (b) 春秋季节 S_q ; (c) 冬季 S_q ; (d) 夏季 S_q 日变幅; (e) 春秋季节 S_q 日变幅; (f) 冬季 S_q 日变幅
Fig 3 Seasonal Average of $S_q(H)$ in longitudinal chain
(a) S_q in Summer; (b) S_q in Equinox; (c) S_q in Winter; (d) Daily range of S_q in Summer
(e) Daily range of S_q in Equinox; (f) Daily range of S_q in winter

在纬度—日变幅坐标系中 (图 3 d e f), 夏、春秋、冬 3 时段均表现出由南北两侧向中间递减, 变幅极小的位置所处纬度大致应是 S_1 焦点经过之处。由图中大致可以估算出: 夏、春秋、冬 3 个时段 S_1 焦点的平均位置大约分别是: 27°N 、 29°N 和 35°N

2.1.2 经度链 S_R (H) 典型个例

(1) 经度链 H 变幅自南向北递减

经度链 H 变幅自南向北递减的出现日期分别为: 2008 年 1 月 4 日、2 月 25 日、12 月 20 日、2009 年 1 月 25 日 (图 4)、2 月 7 日、2 月 8 日, 这些时间全部在冬季。图 4 b 中, 两条经度链全部呈自南向北递减形态。根据 S_1 电流涡理论, 大致可以推测出这一天的 S_1 焦点出现在满州里 (49.57°N) 以北。

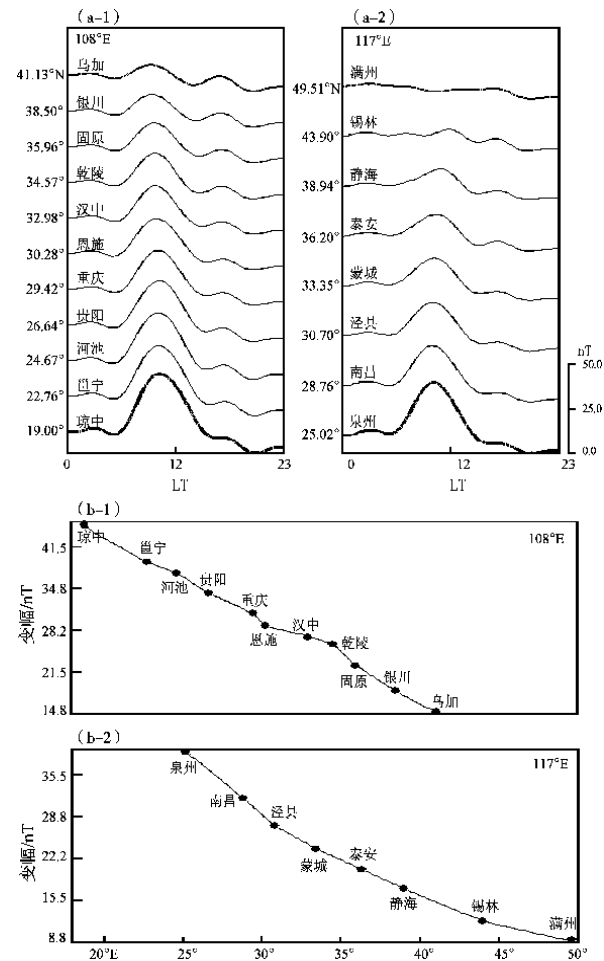


图 4 经度链 S_R (H) 典型图例 (2009-01-25)

(a) 静日变化 S_R (b) S_R 日变幅

Fig. 4 Typical example of S_R (H) in longitudinal chain (Jan 25, 2009)

(a) Daily variation of S_R (b) Daily range of S_R

(2) 经度链 H 变幅自中高纬分别向南北两侧递减

经度链 H 变幅自中高纬分别向南北两侧递减的出现日期分别为: 2008 年 9 月 11 日、9 月 12 日 (图 5)、9 月 13 日、2009 年 7 月 18 日、9 月 23 日、9 月 25 日、12 月 8 日、12 月 9 日、12 月 29 日, 这些日期分布于全年各季节。

图 5 b 中, 两条经度链全部呈自中高纬分别向南北两侧递减形态。根据 S_1 电流涡理论, 可以推测出这一天分别在南北两侧各出现一个电流涡 (逆时针), 高纬地区的递减形态应该是极区电流影响所致。因此, 这一天的 S_1 焦点应该出现在琼中 (19°N) 以南。

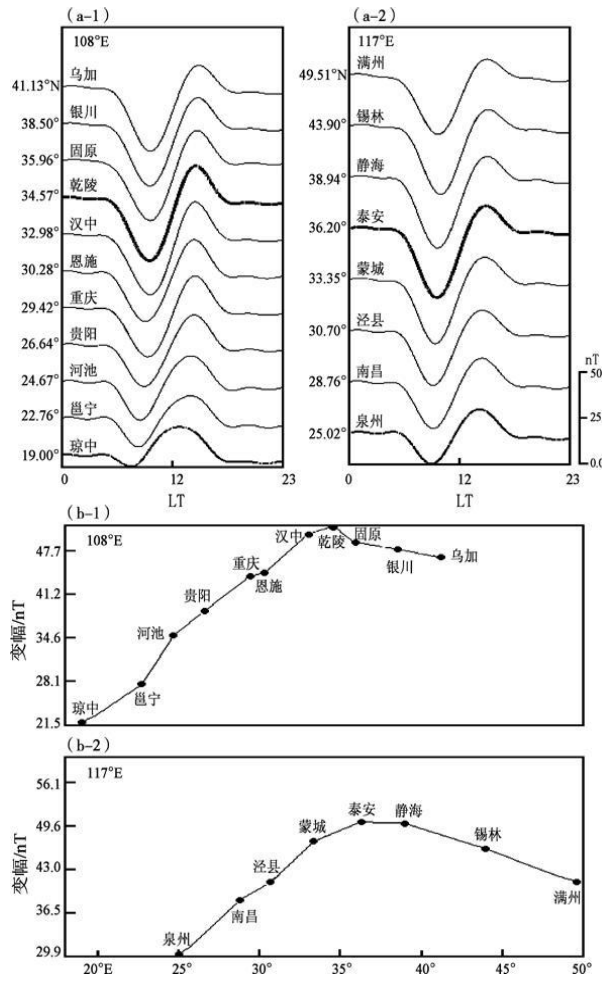


图 5 经度链 S_R (H) 典型图例 (2008-09-12)

(a) 静日变化 S_R (b) S_R 日变幅

Fig. 5 Typical example of S_R (H) in longitudinal chain (Sep 12, 2008)

(a) Daily variation of S_R (b) Daily range of S_R

(3) 两条经度链 H 变幅的纬向变化趋势不一致

两条经度链 H 变幅的纬向变化趋势不一致的出现日期分别为：2008 年 7 月 8 日、11 月 19 日(图 6)、12 月 1 日、2009 年 6 月 1 日、6 月 12 日、7 月 16 日、10 月 18 日、12 月 1 日，这些日期分布于全年各季节。正常情况下，两条经度链 H 变幅的纬向变化趋势应基本一致(图 2b 图 3d e f 图 4b 图 5b)，但实际资料中两者不一致的现象却经常出现。因经度链纬向布局密度不均，两链变幅极小所在的纬度相差在 5° 以内暂视之为正常。这些日期反映了纬向变化趋势相差较大的情况。

图 6 b 中， $108^\circ E$ 链变幅自南向北递减，而 $117^\circ E$ 链却分别由南、北两侧向南昌台 ($29^\circ N$) 递减，两者变幅极小所在的纬度差达 10° 以上。这说明 S_R 电流涡在由 $117^\circ E$ 迁移至 $108^\circ E$ 的大约半个小时中发生变形，从而导致了 S_R 焦点在纬向上的快速迁移。此现象再次验证了 S_R 电流涡随时间变化的复杂性。

2.2 纬度链

根据 S_R 电流涡理论，相同纬度链上 $S_R(H)$ 的形态及变幅大小应基本一致，但在具体分析中，发现如下三种典型个例：

2.2.1 纬度链 H 反向

纬度链 H 反向的个例出现日期分别为：2008 年 1 月 1 日、11 月 18 日、2009 年 11 月 5 日、11 月 6 日、12 月 1 日(图 7)，全部处于冬季。

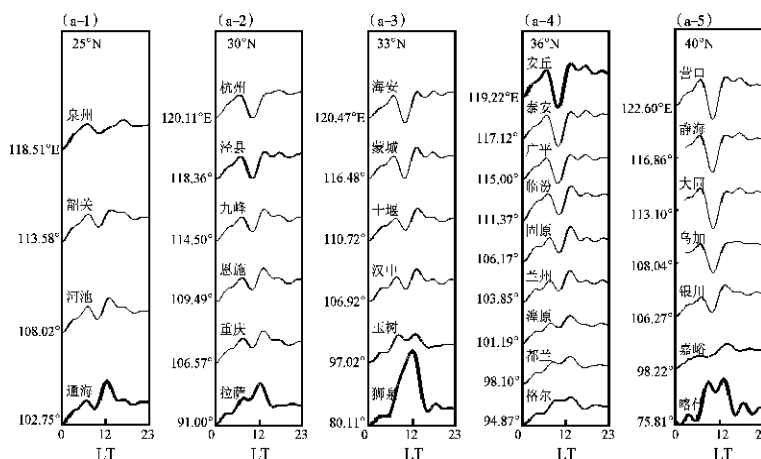


图 7 纬度链 $S_R(H)$ 典型图例 (2009-12-01)

(a) 静日变化 S_R (b) S_R 日变幅

Fig 7 Typical example of $S_R(H)$ in latitudinal chain (Dec 1, 2009)

(a) Quiet daily variation of S_R (b) Daily range of S_R

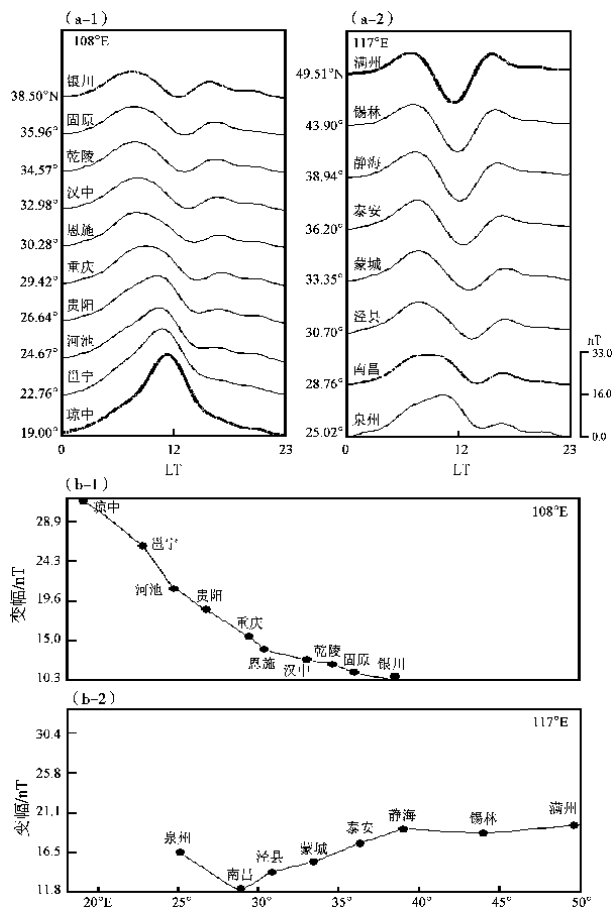


图 6 经度链 $S_R(H)$ 典型图例 (2008-11-19)

(a) 静日变化 S_R (b) S_R 日变幅

Fig 6 Typical example of $S_R(H)$ in longitudinal chain (Nov 19, 2008)

(a) Daily variation of S_R (b) Daily range of S_R

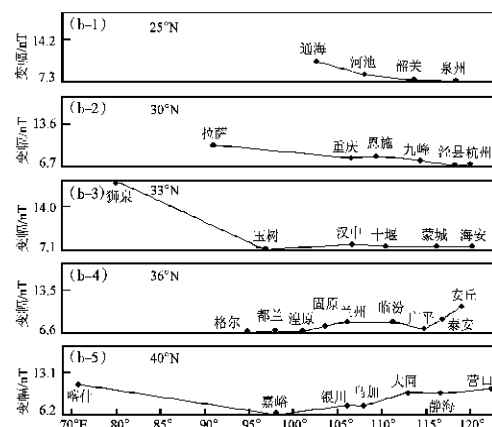


图 7 a中, 33°N链中的狮泉河、40°N链中的喀什均表现出反向。图 7 b中, 40°N链在经度—变幅座标系中也明显呈自东西两侧向中间递减。造成此现象的原因应该是 S_1 焦点在自东向西的迁移过程中, 还有一个从南向北的迁移所致。

冬季的磁场强度较小, 地磁日变形态更容易受到高纬电流体系的影响, 纬度链反向现象全部处于冬季, 再次验证了冬季磁场变化的复杂性。

2.2.2 纬度链 H 变幅自东向西递增

纬度链 H 变幅自东向西递增的典型个例出现

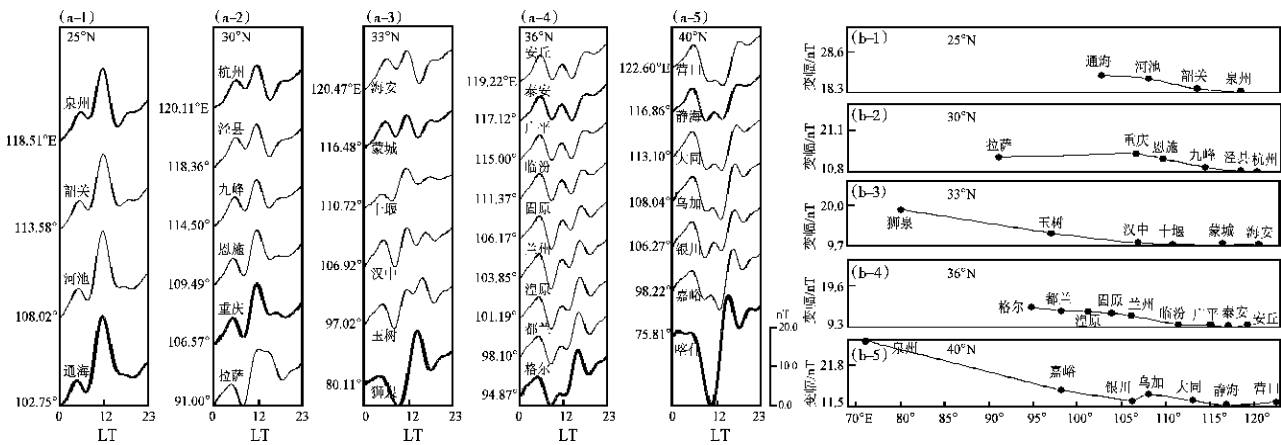


图 8 纬度链 $S_R(H)$ 典型图例 (2008-03-04)

(a) 静日变化 S_R (b) S_R 日变幅

Fig 8 Typical example of $S_R(H)$ in latitudinal chain (Mar 4 2008)

(a) Daily variation of S_R (b) Daily range of S_R

2.2.3 纬度链 H 变幅自东向西递减

纬度链 H 变幅自东向西递减的个例的出现日期分别为: 2008年 9月 23日、12月 30日、2009月 1月 12日、3月 2日、5月 12日、8月 24日、8月 25日、9月 9日、9月 24日、9月 25日 (图 9)、12月 4日, 这些日期分布于全年各季节。这种现象较为普遍, 经常是 5条纬度链中有 1~3条出现递减, 这里只是列举了 4条以上明显递减的日期的纬度链。

图 9 b中, 除 25°N链外, 其它四链的 H 变幅全部呈自东向西递减形态。该现象说明: 对于同一纬度链, 东部地区的台站距离 S_1 焦点远, 西部地区台站距离 S_1 焦点近。由此大致可以推测这一天 S_1 焦点在自东向西的迁移过程中, 除了经向上的迁移外, 还可能

有纬向上的迁移, 或者电流强度在逐渐增强。

图 8 b中, 5条链大致全部呈自东向西递增形态。该现象说明: 对于同一纬度链, 东部地区的台站距离 S_1 焦点近, 西部地区台站距离 S_1 焦点远, 由此大致可以推测这一天 S_1 焦点在自东向西的迁移过程中, 除了经向上的迁移外, 还可能

3 结论和讨论

本文根据中国地区地磁台链资料分析, 得出如下主要结论:

(1) 经度链 $S_1(H)$ 在夏季和春秋存在明显的午前午后不对称现象 (在全年的单个静日 S_R 形态中也普遍存在, 包括冬季), 午前谷值从北向南递减, 午后峰值从北向南递增。

(2) 夏、春秋、冬 3季 S_1 焦点的平均位置大约分别是: 27°N 29°N和 35°N 基本与徐文耀和李卫东 (1994) 的结论 (电流涡焦点的变化范围在 25°N~35°N之间) 一致。但这个变化范围只是一个平均状态, 并不能代表每天的 S_1 焦点都严格稳定在这个范围内。经度链 H 变幅的自南向北递

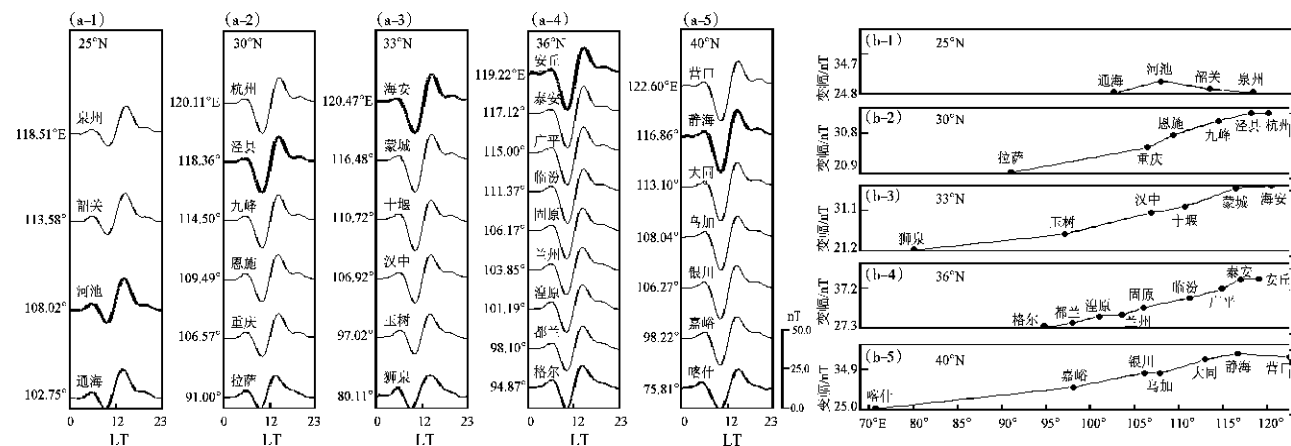


图 9 纬度链 S_H (H) 典型图例 (2009-09-25)

(a) 静日变化 S_H (b) S_H 日变幅

Fig 9 Typical example of S_H (H) in latitudinal chain (Sep 25 2009)

(a) Daily variation of S_H (b) Daily range of S_H

减、自中高纬分别向南北两侧递减的现象表明：单个静日的 S_H 焦点有可能出现在 50°N 以北（冬季可能性较大），也可能出现在 19°N 以南。

(3) 两条经度链上 H 变幅的纬向变化趋势不一致现象，相同纬度链上 S_H (H) 形态反向、变幅自东向西递增（减）现象，均说明 S_H 焦点在自东向西的迁移过程中，除了经向上的迁移外，还可能有纬向上的迁移，或者电流强度发生变化。

关于经度链 S_H (H) 的午前午后不对称现象，赵旭东等 (2008) 给出的解释是：引起这种变化的原因可能是低纬电流系和高纬电流系共同作用造成。如果没有这两个电流系的影响，中低纬地区的 S_H 等效电流在南北半球呈均匀对称分布的涡状结构。而低纬电流系和高纬电流系的共同作用使得 S_H 电流涡出现变形。

两条经度链 H 变幅的纬向变化趋势不一致现象，说明了 S_H 电流体系随时间变化的复杂性。笔者近年来在对地面观测资料进行 S_H 电流体系的瞬时反演研究中，发现 S_H 焦点在中国境内的空间运行轨迹并非总是自东向西的直线，而是经常呈斜线或弧线（王建军，杨冬梅，2009），此结论与上述结论 (3) 基本一致。Yumoto 和 the MAGDAS Group (2009) 设想在假定某一天的 S_H 电流体系不发生显著变化的基础上，利用某一经度链上的时间变化数据来描绘 S_H 电流体系的空间分布。从结论 (3) 可以看出，虽然大多数情况下这一假设可

以成立，但是也有一些时段中这一假设是不成立的。利用经纬度链同时描绘 S_H 电流体系将是一个更完善的方案。我国地处中低纬地区，又建设了相对密集的网络化数字地磁观测台网，为深入开展 S_H 电流体系研究提供了不可多得的优越条件。

Chapman 和 Bartels (1940) 的研究表明， S_H 外源场与内源场之比约为 2:1，相位差约为 1 小时。根据徐文耀和李卫东 (1994) 的研究成果，静日变化场 S_H 除地方时效应外，还有世界时、地方时 + 世界时两部分的影响。本文中的 S_H 由 FMI 方法提取，没有进行内外源分离，只去除了地方时效应，没有考虑世界时、地方时 + 世界时两部分的影响，这是下一步需要继续改进和深入研究的地方。

高玉芬、李琪对本文提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢！

参考文献：

- 陈化然，杜爱民，王亚丽，等 . 2009. 地磁低点位移与地磁场等效电流体系关系的初步研究 [J]. 地球物理学报, 31(1): 59—67.
- 程安龙，周锦屏，黄蔚北，等 . 1998. 中国地磁台网 K 指数测量结果分析 [J]. 地震地磁观测与研究, 19(2): 48—55.
- 苏鸾声，林金狮 . 1987. 山东省地磁基本场的分布特征 [J]. 地震研究, 10(6): 703—711.
- 王建军，杨冬梅 . 2009. 中国地区地磁静日变化场 S_H (H) 时空分布特征 [J]. 地震地磁观测与研究, 30(1): 44—50.
- 徐文耀，李卫东 . 1994. S_H 外源和内源电流体系的经度效应和 UT 变

化[J]. 地球物理学报, 37(4): 440—447.

张建国, 刘晓灿, 唐庭梅, 等. 2009. 汶川地震前后中国大陆地磁场动态演化特征初步研究[J]. 地震研究, 32(3): 231—234.

赵旭东, 杜爱民, 徐文耀. 2008. S_q 电流系午前午后不对称性现象的来源[J]. 地球物理学报, 51(3): 643—649.

Chapman S, Bartels J. 1940. Geomagnetism[M]. London: Oxford University Press.

K Yumoto, the MAGDAS Group. 2009. MAGDAS Project and its application for space weather[J]. AIP Conference Proceedings, 1144(1): 173—178.

MMenviel, N Papitashvili. 1995. Computer production of K indexes: Review and comparison of methods[J]. Geophysical Journal International, 123(3): 866—886.

Research on the Distribution of Geomagnetic Daily Variation
along Some Station Chains in China

WANG Jian-jun¹, YANG Dong-mei¹, ZHANG Su-qing², ZHU Rong²

(1. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(2. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

Abstract

The temporal and spatial distribution of $S_q(H)$ in China was analyzed based on the geomagnetic digitized data from the geomagnetic observation network. It was found that: (1) there was obvious prenoon-postnoon asymmetry of $S_q(H)$ in Summer and Equinox; (2) in Summer, Equinox and Winter, the averaged focus position of S_q were 27°N , 29°N and 35°N respectively. But in a single quiet day, the focus of S_q might appear in the north of 50°N and in the south of 19°N ; (3) there were some special behavior of the $S_q(H)$ distributions such as the latitudinal trend inconsistencies in two longitudinal chain, the reverse of $S_q(H)$ variations in the same latitudinal chain and the increase (decrease) of the daily ranges from east to west. All these demonstrated that there might be latitudinal migration of the S_q focus or changes in current intensity during the longitudinal migration of S_q focus from east to west.

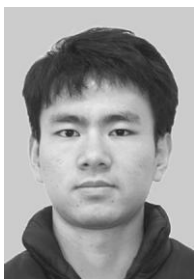
Key words: longitudinal chain; latitudinal chain; $S_q(H)$; S_q focus



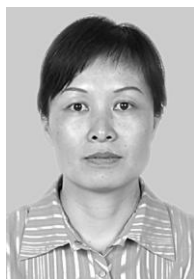
徐桂明 江苏省地震局高级工程师。毕业于河海大学水文地质与工程地质专业，获学士学位。主要从事地震流体预报地震工作。中国地震学会地震流体专业委员会委员。



刘 锦 广东省地震局工程师。1991年毕业于防灾技术学院应用地球物理系，获大专学历；2004年毕业于华南理工大学工商管理系，获管理学学士学位。主要从事地下流体分析预报等研究。



阮 祥 四川省地震局预报研究所助理工程师。2004年云南大学固体地球物理专业毕业，获理学学士学位；2007年中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获理学硕士学位。目前从事地震学与地震预报方面的研究。



杨晶琼 云南省地震局高级工程师。1990年毕业于云南师范大学地理系，获学士学位。主要从事地震分析编目与数字地震资料应用研究工作。



蒋翠荣 河北省地震局张家口中心台工程师。1985年毕业于河北电大。现主要从事地震台站监测工作。



王建军 甘肃省地震局工程师。1996年毕业于防灾科技学院地球物理系；2008年兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获硕士学位。曾参与开发中国地震前兆数据处理系统、中国地震前兆数据管理系统，现主要从事地震监测、软件开发、地磁基本场研究等方面的工作。



郭婷婷 山东省地震局助理研究员。2004年毕业于西北农林科技大学水利与建筑工程学院，获硕士学位；现就读于中国地震局地质研究所攻读博士学位。主要从事构造应力场分析及其相关数值模拟等工作。



马文娟 宁夏地震局工程师。1999年毕业于宁夏大学数学系软件工程专业，获理学学士学位；现为同济大学在读硕士研究生。主要从事前兆观测技术、数据处理、数据库开发利用等研究。2009年中国地震局地壳应力研究所交流访问学者。



单维锋 防灾科技学院讲师。1998年毕业于山东大学威海分校计算机应用专业；2005年毕业于云南大学软件工程专业，获硕士学位；现于北京工业大学计算机学院攻读博士学位。主要从事地震前兆数据处理、并行计算等方面研究工作。ACM专业会员、新加坡国际计算机科学与技术协会（IACSII）会员。

注：钱晓东、张希、苏琴、张昱、刘强、施伟华、吴立辛、曾宪伟、何案华、周光全的简历分别刊登在本刊 Vol.29 No.1; Vol.30 No.3 Vol.32 No.2 Vol.31 No.3 Vol.30 No.4 Vol.30 No.4 Vol.30 No.1; Vol.31 No.2 Vol.31 No.3 Vol.29 No.4