

许康生, 李英, 李秋红, 等. 甘肃三个台地磁日变赫斯特指数的时序特征[J]. 地震工程学报, 2017, 39(1): 0107-0111. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.01.0107

XU Kang-sheng, LI Ying, LI Qiu-hong, et al. Time Series Characteristics of the Hurst Exponent of the Geomagnetic Diurnal Variation at Three Stations in Gansu Province[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(1): 0107-0111. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.01.0107

甘肃三个台地磁日变赫斯特指数的时序特征^①

许康生, 李 英, 李秋红

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:选用甘肃嘉峪关、兰州和天水地磁台 2011—2013 年的观测数据, 重点研究地磁垂直向日变化波形下行段的赫斯特指数变化的时序特征。结果表明, 在此 3 年内, 嘉峪关台和兰州台地磁垂直向日变化波形下行段的赫斯特指数变化范围分别是 0.08 和 0.06, 天水台在 2012 年存在一个赫斯特指数幅度超过正常变化范围的过程, 在此过程完成后的 2013 年 7 月 22 日, 在距离天水 130 km 的漳县和岷县交界发生 M_{6.6} 地震。结合其他学者的研究结果, 认为这一赫斯特指数的异常变化过程可能反映了区域性地球深部(下地壳与上地幔)热物质运移变化而引起地球局部居里面变化, 也可能是地震孕育过程在地磁日变中的表征。这一发现有益于进一步研究地磁日变异常的机理、震磁关系以及地震预报的探索。

关键词: 地磁日变; 赫斯特指数; 强震; 震磁关系

中图分类号: P315.72⁺¹

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)01-0107-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.01.0107

Time Series Characteristics of the Hurst Exponent of the Geomagnetic Diurnal Variation at Three Stations in Gansu Province

XU Kang-sheng, LI Ying, LI Qiu-hong

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

Abstract: Diurnal variation is an important part of the geomagnetic field. In this study, observation data was collected from 2011 to 2013 at three stations (JYG, LZH, and TSY) in the Gansu province. The data focused on time series characteristics of the Hurst exponent of geomagnetic Z-component diurnal variation. The results show that the variation range of the Hurst exponent at JYG and LZH stations is 0.08 and 0.06, respectively. This represents a normal change because the low point is in the middle of a year and the peak point is at the end of the year, completing a change cycle within a year. The change is similar between JYG and LZH stations. In 2012, there was a change in the Hurst exponent exceeding the normal range. On July 22, 2013, the M_s6.6 earthquake occurred at the junction of Minxian and Zhangxian in the Gansu province, 130 km from Tianshui city. The abnormal change of the Hurst exponent at the TSY station may be the result of a magnetic field change induced by the transfer of local, deep thermal mass in the earth.

① 收稿日期: 2015-10-26

基金项目: 国家自然科学基金(41474046)

作者简介: 许康生, 男, 高级工程师, 从事地震监测及地震数据处理研究。E-mail: xuks2008@qq.com。

In combination with other research, this may provide an early indication of the Minxian $M_s6.6$ earthquake. This study provides evidence for further study of the mechanism of geomagnetic diurnal variation anomalies, seismo-magnetic relation, and earthquake prediction.

Key words: geomagnetic diurnal variation; Hurst exponent; strong earthquake; seismo-magnetic relation

0 引言

在地磁场的背景变化中,地磁日变是一个重要组成部分。台站观测到的地磁日变包含两方面的信息:一是地球外空间电流体系产生的外源场,在较大的空间范围内,有较好的空间相关性,是地磁日变的主体;二是外空间电流体系在地球内部产生的感应磁场,携带着区域地下电磁结构的变化信息,包括地球浅部和深部的信息。许多观测和研究表明,地震的孕育和发生过程伴随着电磁场的变化,实验和理论的研究也给出了多种解释。一些文献给出了震磁关系的研究方法和结果,如地磁加卸载响应比法、地磁转换函数法、地磁低点位移法^[1-2]及震前地磁谱质心的异常变化^[9]等。由于地震的孕育和发生是一个十分复杂的过程,现有对震磁现象的认识和理解还十分有限,且研究尚处于探索阶段,但显然震磁现象的提取及其物理机理的研究具有重要意义。日变赫斯特指数变化实际描述了日变波形态的变化。在台站地理位置相近,共处一个大的外源环境下的日变形态变化是地球内源所致可能性较大,而这个内源变化是否与地震孕育过程有关联是一个值得进一步探讨的问题。本文选用甘肃三个台 2011—2013 年的地磁资料,对垂直向日变下行段进行赫斯特指数计算,提取其在时序上的变化特征,试图研究其变化特征及与 2013 年 7 月甘肃漳县岷县 $M6.6$ 地震孕育之间的关系。这一结果对于研究地震孕育过程、震磁关系及赫斯特指数异常的产生机理具有参考意义。

1 数据处理

分别采用嘉峪关台(JYG)、兰州台(LZH)和天水台(TSY)三个地磁台 2011 年 1 月—2013 年 12 月地磁 Z 分量的观测资料,数据采样率为每秒 1 个样点,每天一个数据文件。为保证测值在时序上的连续性及完整性,首先对个别缺数进行线性内插补数;其次为消除高频变化或偶然突发干扰对日变形态的影响,对观测数据进行阶数为 11 的样条拟合预处理。

赫斯特指数最初是由 H.E.Hurst 在研究尼罗河水库水流量和储存能力关系时提出,并在此基础上提出用重标极差(R/S)分析来建立赫斯特指数(H),以此作为判断数据是随机的还是有偏随机游走过程的指标。

设有一组序列数:

$X = X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, 对于任意整数 $T \in \{1, 2, 3, \dots\}$ 的均值序列为:

$$(X)_T = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^T X_{(n)} \quad (1)$$

其极差为:

$$R_{(T)} = \max_{1 \leq n \leq T} X_{(n,T)} - \min_{1 \leq n \leq T} X_{(n,T)} \quad (2)$$

其标准差为:

$$S_{(T)} = \left\{ \frac{1}{T} \sum_{n=1}^T [X_{(n)} - X_T]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

则

$$R_{(T)} / S_{(T)} = (cT)^H \quad (4)$$

其中: c 为常数; H 即为赫斯特指数。

在本研究中,每天截取开始下降点至当日最低点的数据计算出一个赫斯特指数,每天得到的赫斯特指数数值构成了其时序变化,为凸显出其大周期变化过程,对该指数的时序序列数据进行样条拟合处理并得到一个处理结果。

2 赫斯特指数的时序特征

对嘉峪关台(JYG)、兰州台(LZH)和天水台(TSY)地磁垂直向日变赫斯特指数时序的表达如图 1 所示。需要说明的是三幅赫斯特指数时序变化图中的曲线在两端都存在变化加速的现象,这可能是样条拟合处理引起的端点效应,而此效应只出现在结果数据两端的极小区段,不会影响整体结果的可靠性,在结果分析中可以忽略。

(1) 嘉峪关台赫斯特指数的时序变化

图 1(a)展示的是 2011—2013 年嘉峪关台(JYG)地磁垂直向日变赫斯特指数的时序变化。

在样条拟合结果图中,假设存在一个常态下的背景变化范围,姑且认为该台的下限值为 0.81,上限值为 0.89,那么背景变化范围就是 0.08。在忽略端

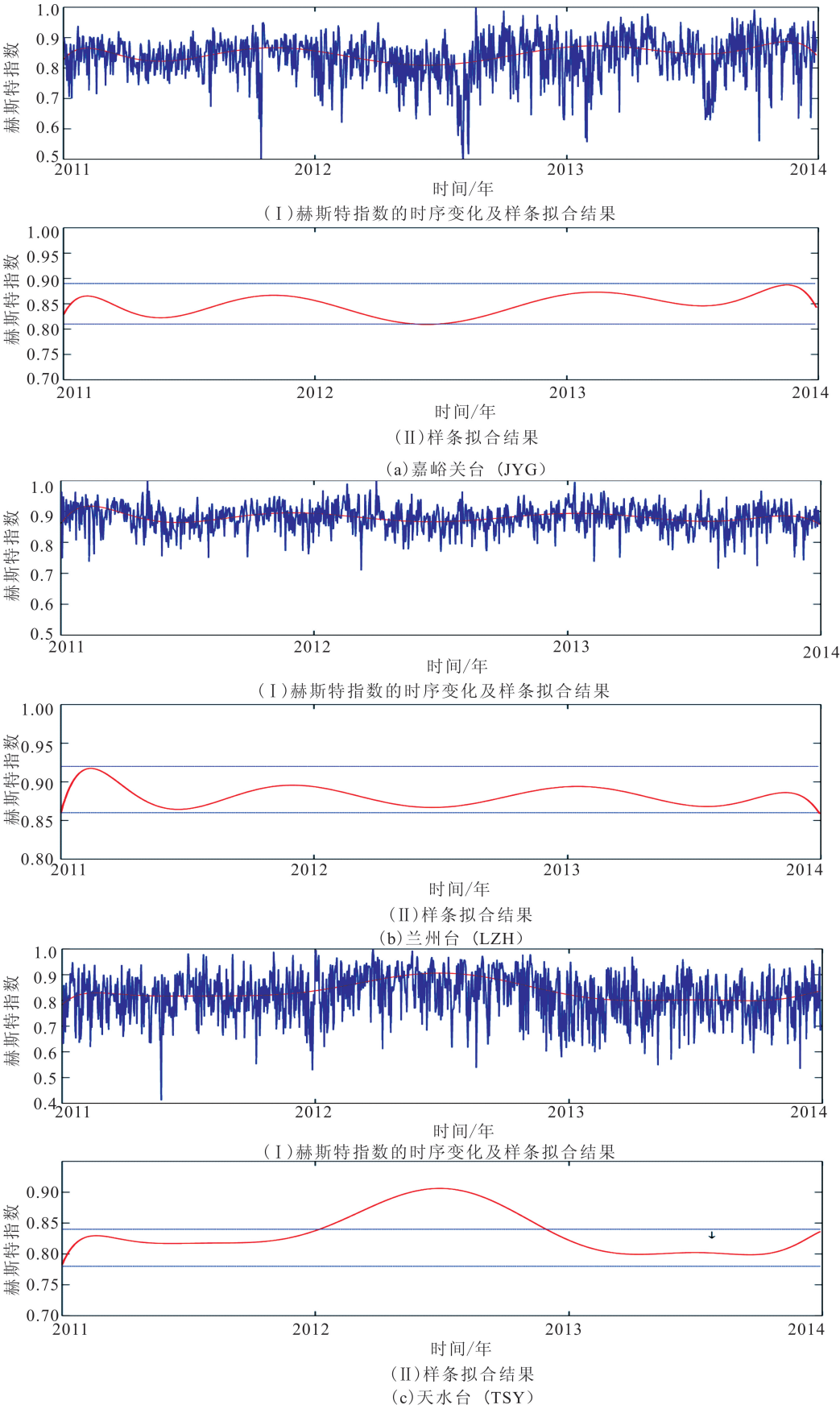


图 1 地磁垂直向日变赫斯特指数

Fig.1 The Hurst exponent of geomagnetic Z-component diurnal variation

点效应的前提下可见较为规律的年变过程,未见明显幅度异常变化。

(2) 兰州台赫斯特指数的时序变化

如图 1(b)所示,兰州台(LZH)地磁垂直分量赫斯特指数的下限值为 0.86,上限值为 0.92,其变化背景范围为 0.06。兰州台和嘉峪关台相距约 620 km。无论是上、下限值还是变化范围与嘉峪关台的结果基本一致,赫斯特指数没有明显的年变差异,也就是说未见明显的外源影响差异。

(3) 天水台赫斯特指数的时序变化

图 1(c)给出了天水台(TSY)地磁垂直分量赫斯特指数时序变化。同样,先给定该台下限值为 0.78,上限值为 0.84,那么背景变化范围为 0.06,这与嘉峪关台(JYG)和兰州台(LZH)的结果基本相当。从 2012 年初赫斯特指数上升突破上限,峰值为 0.91,高于上限值 0.07,超出部分与三年的常态变化幅度相当。峰值大致出现在 2012 年 6 月,之后开始逐渐恢复,达到全年的较低水平。2013 年 7 月 22 日甘肃漳县岷县交界发生 M6.6 强震,震中距天水地磁台约 130 km,嘉峪关(JYG)和兰州台(LZH)分别距震中 780 km 及 150 km。

3 讨论及结论

3.1 结果讨论

一般认为地磁日变来自两个方面因素的影响:一是外源场,来自空间电流体系,具有较广的空间分布范围;二是内源场,反映区域或台站附近地球内部电磁结构的变化,具有区域性和局部性特征。从以上结果可以看出,三个台地磁垂直分量正常背景的赫斯特指数变化范围分别为 0.08、0.06 和 0.06(平均值为 0.07),也就是说,这个变化幅度应该表征了地磁的正常背景变化。嘉峪关台、兰州台变化基本相似,其共同的特征是:一年完成一个周期,低值出现在年中,高值出现在年底,基本反映了日地空间关系的常态变化。而天水台的赫斯特指数变化显示出独特性,应该是存在一种非常态作用和常态变化叠加作用的结果,而这种非常态作用具有长周期特征,所以作用源来自地层较深的部分,且在空间上表现出区域性和局部性特征,可以排除外源场引起变化的可能性,属于地球内部磁场变化的结果。震磁关系的焦点就是地震源和内源磁场的关系问题。在研究地球动力学问题时有学者提出“塑性流动-地震”双层网络构想,进而建立了大陆岩石圈多层构造模型^[5-6],认为地壳地震带和网络是地下深部塑性流动

网络的一种显示,上地壳的力学过程受到下地壳和上地幔的延性或半延性物质升温 and 运移的控制,也就是说下地壳和上地幔的塑性流动层在局部表现是条带状的。前苏联学者在研究东欧地台以磁异常的关系时也发现区域性磁异常呈狭长条带状分布的特征,该项研究能够确定磁源下底在 25~30 km^[7]。有学者认为单纯从地表现象研究地震的发生和发展已难以奏效,必须研究和探索地震“孕育”、发生和发展的深部介质与构造环境及其深层动力学过程^[8]。研究震源及周边环境的热状态、热变异、热运移与壳-幔边界运动状态,是地震学研究的重要方面,而这些变化会引起地球居里面变化,进而引起地球内部地磁场的变化。众所周知,地震学的岩石圈下限深度就是对流软流圈地幔的顶界面。有学者对中国西部岩石圈热状态与流变学强度特征作了研究,结果表明地表热流值较高的区域出现在青藏高原及周边地区,其中祁连山、天山褶皱带莫霍面温度达到 700 °C,加上厚地壳共同组成地震易发的构造背景特征^[12]。深部热物质的上涌抬升会引起磁层底部部分消磁,从而引起相应部分的居里面发生变化。赫斯特指数处于较高值,表明地磁变化在时序上的正相关性,即在未来一段时间引起这种变化的作用将持续存在。从地震学角度来说,这一过程就是一个地震能量持续聚集的过程,当赫斯特指数出现拐点下行时,意味着这一持续过程的结束,可能就是“孕震”过程的完成。综上所述,基于本项研究结果初步认为,2012 年天水台地磁垂直分量日变的赫斯特指数突破背景正常变化范围的过程,可能是周围地球局部深处热物质运动引起磁场变化的结果,可能表征了 2013 年 7 月 22 日漳县岷县地震(M 6.6)地震的孕育过程。

3.2 结论

基于以上计算和分析,我们认为:

(1) 日变赫斯特指数实际是日变波形态变化的一个描述,常态下日变赫斯特指数的时序变化应该具有较稳定的变化范围和形态。甘肃三个台地磁垂直向日变的常态赫斯特指数变化幅度在 0.06~0.08,超过这一范围意味着附加了一个其他场源的作用,而这一场源可能是外源,也可能是内源。相邻多台的结果比较可以帮助甄别附加作用的来源。

(2) 2012 年天水台地磁垂直向日变的常态赫斯特指数变化形态显示出独特性,且幅度超过了常态变化范围,应该是常态日变化和附加作用叠加的结果,而这一附加作用过程可能表征了 2013 年 7 月

22 日漳县岷县地震(M6.6)地震的孕育过程。

(3) 限于地磁台站的稀少及中强震震例数量的局限,以上研究仅给出初步结论,尚需更多震例及相应的观测资料作进一步研究。

参考文献(References)

- [1] 韩鹏,黄清华,修济刚.地磁日变与地震活动的主成分分析——以日本岩手县北部 6.1 级地震为例[J].地球物理学报,2009,52(6):1556-1563.
HAN Peng, HUANG Qing-hua, XIU Ji-Gang. Principal Component Analysis of Geomagnetic Diurnal Variation Associated with Earthquakes: Case Study of the M6.1 Iwate_ken Nairka Hokabu Earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(6): 1556-1563. (in Chinese)
- [2] 张学民,钱家栋,王亚丽,等.地磁低点位移频谱特征及机理探讨[J].地震学报,2008,30(5):474-483.
ZHANG Xue-Min, QIAN Jia-Dong, WANG Ya-Li, et al. Spectral Features of Geomagnetic Low Point Displacement and Discussion on Its Mechanism[J]. Acta Seismologica Sinica, 2008, 30(5): 474-483. (in Chinese)
- [3] 陈伯舫.地磁日变化中的震磁效应研究[J].地震学报,1994,16(3):361-367.
CHEN Bo-fang. Study on the Seismic Effect of Geomagnetic Diurnal Variation[J]. Acta Seismologica Sinica, 1994, 16(3): 361-367. (in Chinese)
- [4] 缪鹏,王行舟,吴小平.汶川地震对华东地区中强震的影响分析[J].地震地磁观测与研究,2010,31(2):6-11.
MIU Peng, WANG Xing-Zhou, WU Xiao-ping. Analysis of Influence of Wenchuan Earthquake on the Moderate Earthquakes in East China[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2010, 31(2): 6-11. (in Chinese)
- [5] 王绳祖.岩石的脆性-延性转变及塑性流动网络[J].地球物理学进展,1993,8(4):27-37.
WANG Sheng-zu. Brittle-ductile Transition and Plastic-flow Networks in Rocks[J]. Progress in Geophysics, 1993, 8(4): 27-37. (in Chinese)
- [6] 王绳祖.亚洲大陆岩石圈多层构造模型和塑性流动网络[J].地质学报,1993,67(1):1-18.
WANG Sheng-zu. Multi-layer Tectonic Model for Intraplate Deformation and Plastic-flow-network in the Asian Continental Lithosphere[J]. Acta Geological Sinica, 1993, 67(1): 1-18. (in Chinese)
- [7] 姜枚,王秀琨.地磁异常与地壳深部构造关系的研究[J].国外地质勘探技术,1984,1(1):17-23.
JIANG Mei, WANG Xiu-kun. A Study on the Relationship between Geomagnetic Anomaly and Crustal Structure[J]. Foreign Geological Prospecting Technology, 1984, 1(1): 17-23. (in Chinese)
- [8] 滕吉文.地球内部物质、能量交换与资源和灾害[J].地学前缘,2001,8(3):1-8.
TENG Ji-wen. The Exchange of Substance and Energy, Different Sphere Coupling and Deep Dynamal Process with in the Earthquake[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(3): 1-8. (in Chinese)
- [9] 许康生,辛长江,李英.汶川地震前后地磁 Z 分量的谱质心变化[J].地震工程学报,2014,36(2):393-397.
XU Kang-sheng, XIN Chang-jiang, LI Ying. The Spectrum Centroid Variation in Geomagnetic Z-component Data before and after the Wenchuan Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(2): 393-397. (in Chinese)
- [10] 许康生,李秋红,李英.大地震前近台背景噪声的频谱分析[J].西北地震学报,2012,34(2):150-153.
XU Kang-sheng, LI Qiu-hong, LI Ying. Analysis on the Spectrum of Background Noise in Stations Near by Epicenters of Two Great Earthquakes[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(2): 150-153. (in Chinese)
- [11] 许康生,李英,李秋红.近地震波的小波相对能量分布特征分析[J].地震工程学报,2013,35(1):166-170.
XU Kang-sheng, LI Ying, LI Qiu-hong. Distribution Characteristics of Wavelet Relative Energy on Near-earthquake Wave[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1): 166-170. (in Chinese)
- [12] 汪洋,程素华.中国西部及邻区岩石圈热状态与流变学强度特征[J].地学前缘,2013,20(1):182-189.
WANG Yang, CHENG Su-hua. Thermal State and Rheological Strength of the Lithosphere beneath Western Part of China and Its Adjacent Region[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(1): 182-189. (in Chinese)