

地磁Z分量日变幅度相关分析与 唐山7.8级地震

卢振业 孙若昧

(国家地震局分析预报中心)

摘 要

本文给出了唐山地震前后昌黎台、宝坻台和北京台相对红山台地磁场垂直分量Z日变幅相关分析的结果。结果表明震前三台均有异常显示,昌黎台最为明显,异常时间为数月,异常幅度为数伽马。综合文献[1,2]及本文结果,简单讨论了这类变化的可能机制,提出包体破裂失稳—孔隙流体扩散—包体膨胀硬化过程可能是引起这种变化的原因。

一、引 言

在震磁研究中,由于构成地磁场的种类繁多,频带宽广,各成分来源不同,且变化规律各异,所以,在提取震磁信息时有两大特点:一是用单台资料准确地分离地磁场的正常背景与异常变化是不可能的,而需用多台资料进行对比处理,二是必须对原始记录数据进行各种数学处理方可识别震磁信息。这是因为若地磁场的某种变化成分不是由地震引起的,那么在分析震磁信息时则必须将其滤除,这种滤除方法便是我们所说的数学处理方法。根据提取震磁信息的频带、空间和时间范围的不同,数学处理方法也不相同。

相关分析是一种常用的数理统计方法。利用此法处理多台地磁资料提取震磁信息的工作取得了一些结果。文献[1]用此法提取到1974年6—7月间发生在邢台地区两个中等地震($M_s=5.0$, $M_s=4.3$)前持续1—2月,幅度可达4—5伽马的震磁异常。文献[2]则给出了云南省内1976—1979四年期间中强地震震前相关系数的统计结果。结果表明云南境内许多中强地震前均有异常显示。其异常时间长短不一,平均为20天左右,且有随震级增加和震中距减小而变长的趋势。异常幅度也有随之增大的趋势,其量级与[1]基本一致。

唐山地震是发生在我国地磁台站较为稠密的地区,震级比[1][2]中所研究的震级均大。如果相关分析方法是有效的,那么唐山地震前应当有所反应。本文目的便是检验它的存在与否。

二、方法与资料

利用相关分析提取震磁信息的基本出发点是：不同台站所处地理位置不同，地磁场的变化也随之不同。但由于地磁场诸变化成分的场源远离地表，地表附近的杂散电流和感应电流均可忽略，则各变化场在地表应当连续。不同台站的地磁场皆受相同场源控制，从而地表各处的地磁场相互之间有着确定的物理关系和统计关系。借助物理模式提取震磁信息需找到引起地磁场变化的各场源的空间位置及数学形式，这在目前尚有诸多困难。而相关分析则可不讨论物理模式而只着眼于统计关系的分析，故相关分析方法仍不失是提取震磁信息的基本方法之一。通常情况下所研究两台相距不远，为简化问题多用线性相关来讨论处理。

线性相关方法的具体做法在一般教科书中均有介绍。文献[1][2]均采用地磁Z分量整点值做为基础数据。相关系数 γ 实际代表了两台地磁日变形态的相似程度， γ 值低即说明两台日变形态有较大的差异。日变形态的相似程度在很大程度上可由日变幅度加以表征，这可由图1看出。图1(a)为北京台和红山台地磁垂直分量整点值的相关图，图1(b)是同一时期两台日变幅的相关图。从两图相关系数接近可说明用日变幅度的相关程度表征日变形态的相似程度是有效的。因此，为简化计算过程以便于日常监测工作，可利用日变幅度作为相关分析的基础资料。在分析中采用上午幅度（上午极大值与极小值差）和下午幅度值，而不用最大日变幅。其主要考虑是，若两台中极大值分别出现在上、下午，则最大日变幅可能代表着不同的物理过程，相关分析的物理意义则不甚清楚。

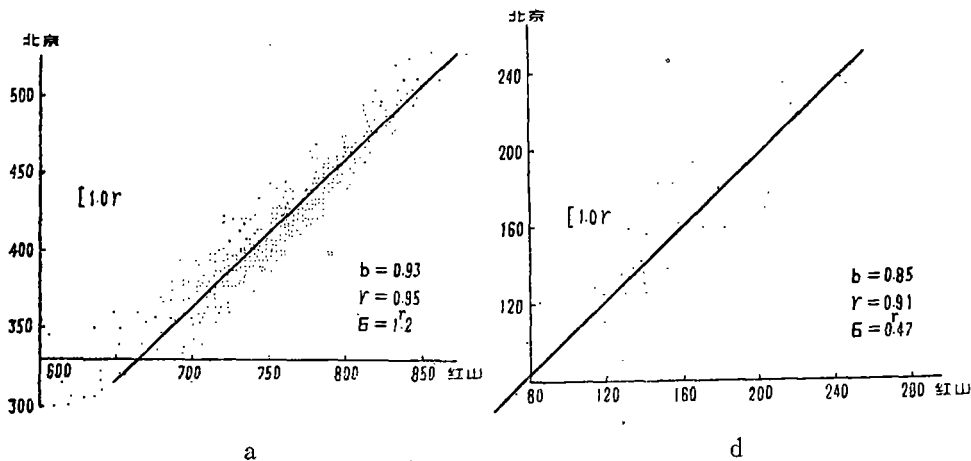


图1 北京、红山两台地磁Z分量相关图

a. 1975年9月每小时整点值, b. 1975年9月每日下午幅度值

Fig. 1 Geomagnetic vertical component correlatograph of Beijing with Hongshan

a. Hourly data for September 1975

b. Afternoon amplitude data for September 1975

所用资料为1975年4月—1976年12月底红山、北京、宝坻和昌黎四个台的数据，同时还使用了获鹿台1976年部分资料，台站位置如图2所示。我们分别做了步长为10天和一个月的计算。在做步长为10天的计算时，如遇缺记，则用该10天相邻日的观测值补足，以免因取样

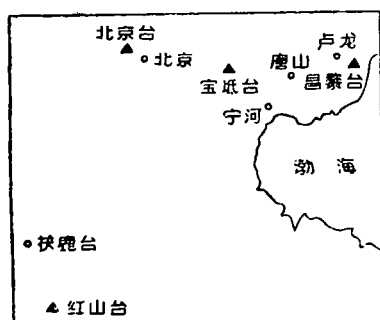


图2 台站位置图

Fig. 2 place of stations

个数太少和不一致而带来信度不一致的问题。做步长为1个月的计算时，则以有完整记录的天数为准，这样对信度和结果均无明显影响。资料来源取自各台手抄月报表。对个别明显笔误而在报表中难以判断的数据未曾使用。

三、结 果

表1列出了各台相对红山台下午变幅步长为1月的相关分析结果，其中列出了相关系数 γ ，回归系数 b 和偏差 σ 。其它几组结果均已算出，结果相差很少，为节省篇幅，这里从略，步长为10天的结果示于图4。

表1 各台相对红山台的相关分析结果（下午变幅，步长1月）

Table 1 Correlation analysis with Hongshan

年	月	参 数	北 京			昌 黎			宝 坻		
			γ	b	σ (伽马)	γ	b	σ (伽马)	γ	b	σ (伽马)
一 九 七 五	4		0.91	0.95	0.43	0.90	0.84	0.48	0.89	0.76	0.49
	5		0.92	0.93	0.29	0.85	0.69	0.55	0.89	0.72	0.38
	6		0.89	1.06	0.53	0.88	0.85	0.56	0.90	0.98	0.46
	7		0.92	0.85	0.50	0.90	0.86	0.66	0.91	0.90	0.63
	8		0.91	0.89	0.51	0.85	0.74	0.82	0.92	0.81	0.43
	9		0.93	0.95	0.34	0.91	0.85	0.47	0.92	0.89	0.42
	10		0.90	0.91	0.48	0.93	0.86	0.37	0.91	0.76	0.47
	11		0.95	0.99	0.26	0.93	0.93	0.39	0.91	0.88	0.50
	12		0.96	1.05	0.15	0.89	0.85	0.42	0.93	0.95	0.29
一 九 七 六	1		0.94	0.99	0.25	0.87	0.78	0.51	0.91	0.95	0.37
	2		0.93	0.91	0.34	0.87	0.83	0.62	0.92	0.85	0.24
	3		0.98	0.96	0.16	0.95	0.82	0.53	0.96	0.77	0.42
	4		0.99	0.94	0.17	0.98	0.76	0.26	0.99	0.84	0.20
	5		0.90	0.91	0.68	0.85	0.64	1.07	0.90	0.78	0.72
	6		0.96	1.00	0.29	0.84	0.86	1.08	0.92	0.96	0.52
	7		0.92	0.91	0.53	0.83	0.81	1.16	0.91	0.97	0.62
	8		0.88	0.90	0.59	0.78	0.65	1.06	0.86	0.71	0.66
	9		0.91	0.87	0.41	0.82	0.56	0.88	0.92	0.73	0.37
	10		0.92	0.91	0.36	0.88	0.76	0.55	0.90	0.86	0.46
	11		0.90	1.00	0.35	0.85	0.76	0.53	0.93	0.87	0.25
	12		0.93	1.00	0.35	0.89	0.76	0.53	0.89	0.90	0.48
平 均			0.93 $\pm$ 0.03	0.93 $\pm$ 0.07		0.88 $\pm$ 0.05	0.78 $\pm$ 0.09		0.92 $\pm$ 0.03	0.85 $\pm$ 0.08	

图3给出了北京、昌黎和宝坻台相对红山台每月 γ 、 b 和 σ 的时序曲线。实横线代表各自均值，虚线代表一倍均方差值，垂线段代表地震发生时刻。从图中不难看出，北京与红山二台的相关系数较高，大都在0.90以上，曲线起伏不大，对均值的离散绝大多数不超过一倍均方差，仅有1976年8月的 γ 值超出一倍均方差。这种极好的相关现象反映了地磁日变化主要受控于高空电离层电流体系这一事实。虽然相关系数很高，但其较大的波动仍可能携有震

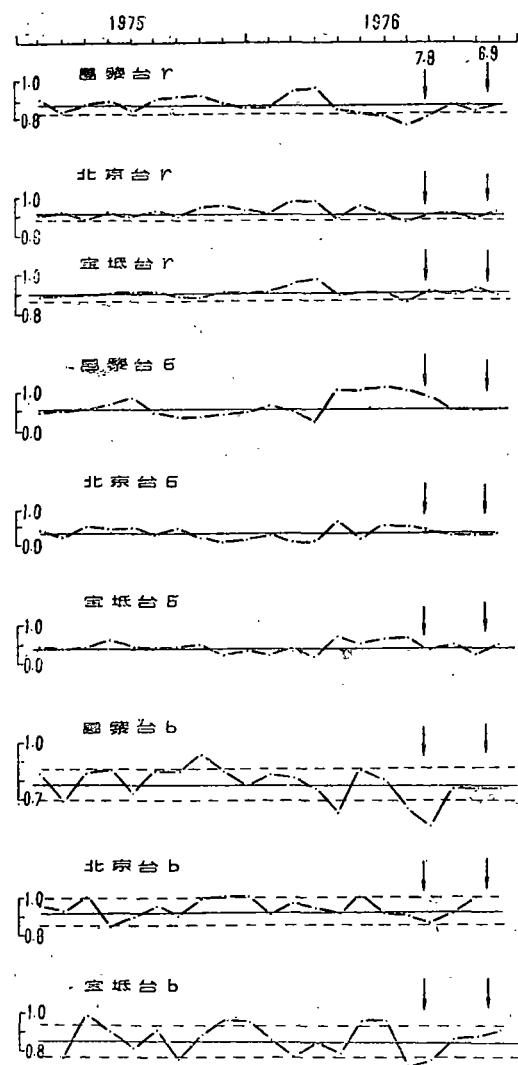


图3 各台与红山台地磁Z分量相关分析图
(步长一月)

Fig. 3 Correlativity result on geomagnetic Z component with Hongshan
(step-one month)

磁信息。图中昌黎台与红山台的 γ 曲线在1976年3月以前和10月以后是相当平稳的,而在1976年4月份之后连续五个月发生了明显变化。先是突然大幅度下降,随后恢复,然后再次下降。在此期间有7月28日唐山 $M_s = 7.8$, 7月28日卢龙 $M_s = 7.1$ 及11月15日宁河 $M_s = 6.9$ 三次地震发生。昌黎台距唐山地震震中约80公里,距卢龙地震震中不足40公里,距宁河震中约120公里。所以说这种变化很可能与这一地震系列有关。尤为突出的是昌黎台的 σ 曲线异常更为明显,1976年4月份之前颇为平稳,而在地震发生前后的5月至9月间几乎高出平时一倍。昌黎台回归系数 b 曲线上似乎也有异常显示,5月至9月间有一明显的下降过程。北京台和宝坻台的 σ 曲线有同样形态的变化,只是变化幅度较小。以上这些随地震发生过程在时间上和空间上一致的现象看来与地震可能是有联系的。

相关分析结果在一定程度上是与步长有关的,所以说以上结果有可能是因步长选择不适引起的。为此我们分别计算了步长为10天和15天的结果,图4为各台与红山台步长为10天的相关系数 γ 曲线,从图中看出, γ 曲线虽然波动较大,但与以1月为步长的计算结果基本形态是一致的,主要的异常段仍在1976年4—9月份。图4的下部还同时给出了昌黎台自1976年5月至年底的步长为15天的结果,我们看到这与步长为10天的结果几乎一样。

震前异常出现在夏秋季,这令人怀疑是季节效应。但从1975年较为平稳的结果中可以认为该结果与季节是无多大关系的。此外,从图3和图4中清楚看到,最大异常出现在1976年5月份的下旬。北京、宝坻和昌黎台同时出现该异常,这也令人怀疑是因红山台观测数据有误引起的。为此我们检查了获鹿台和红山台的观测资料并计算了相关系数,发现两台数据非常一致,相关系数大于0.97。1976年8月上旬获鹿台与红山台相关系数也超过0.97,这说明获鹿台和红山台的地磁场变化在此期间与昌黎、宝坻、北京三台确实存在明显差异。

总之,以上分析表明唐山地震前后,在距震中较近的昌黎台的地磁变化既不是由于数学处理引起的,也不是全球性或区域性的地磁过程,而是一局部的地球物理现象。考虑这种现

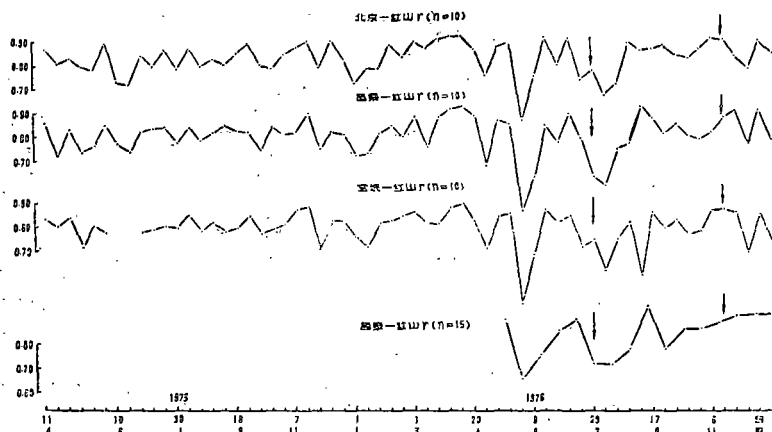


图4. 各台与红山台相关系数图

Fig. 4 Correlate with Hongshan

象在时间和空间上与唐山地震的一致性，同时考虑与其它地磁前兆分析结果的一致性^{〔8〕}，以及与其它前兆手段的时空一致性^{〔8〕}，可以认为二者之间存在着内在联系。该结果与〔1〕〔2〕的结果有着较好的一致性，即震前皆出现相关系数的明显下降，且持续时间有着一定的类比性。为了比较，现将结果综合整理列于表2：

表2

不同地震前相关分析异常

Table 2

Geomagnetic anomaly before earthquakes discovered by correlation analysis

地 震	震级	异常台	参考台	异常时间	异常量	出 处
邢 台	0.5	尧 头	红 山	2 月	5 Y	〔1〕
邢 台	4.3	尧 头	红 山	1 月	4 Y	〔1〕
下 关	5.3	下 关	昆 明	17天	3 Y	〔2〕
丽 江	5.3	丽 江	昆 明	36天	7 Y	〔2〕
宁 蒗	6.4	波 口	昆 明	6 天	3.5 Y	〔2〕
		丽 江		10天	4 Y	
宁 蒗	6.7	波 口	昆 明	17天	4 Y	〔2〕
		丽 江		35天	10.5 Y	
龙 陵	7.4	波 口	昆 明	7 天	2 Y	〔2〕
		云 县		43天	12 Y	
唐 山*	7.8	下 关	红 山	36天	9 Y	本文
		昌 黎		5 月	10 Y	
		宝 坻		8 月	6 Y	
		北 京		8 月	8 Y	

*该异常实为唐山、卢龙和宁河地震系列的反应，时间、量级难以区分。

四、讨 论

由以上分析可见，不同作者使用相同方法对不同时期、不同地区的地震得到了类似的结

果。这说明用相关分析方法提取震磁信息是有一定效果的。可以认为震前出现该类异常似乎具有一定的普遍性。对其可能的机理试讨论如下。

岩石在应力作用下剩余磁化强度及磁化率会发生变化,许多作者在实验室测得了这一结果^[4、5],并用这些结果解释观测到的震前地磁场变化。同时,地下岩石在应力作用下其电导率也会发生变化,从而引起感应磁场的变化,通过对感应磁场的研究可以提取震磁信息。陈伯舫^[6]、祁贵仲^[8]和王正尚^[7]均有这方面的报导。但无论是磁化率的变化还是电导率的变化都被认为是区域应力引起的,由于区域应力变化的时间尺度较大,因此由它们引起的变化将是一种较为平稳的单向变化,这种单向变化反应到地磁场中将表现为一种缓慢的趋势性变化,在相关分析中即表现为震源区和源外区回归系数的变化,但难以使相关系数发生明显的改变。能引起相关系数下降和偏差增大的原因只能是存在周期小于统计步长的快速变化,从而使与正常台站的相关系数变低。

水谷仁^[9]用流体扩散效应解释松代震群的地磁变化。他指出,当岩体破裂时,若周围存在流体,流体则会向裂隙扩散,在扩散过程中产生过滤电位,从而产生电流,进而产生磁场。祁贵仲^[10]也曾提出流体扩散的“膨胀磁效应”。这两篇文章均用了稳流模式,并未提及反复地振荡式的变化问题,也就难以解释相关系数下降的现象。

由岩石破裂实验可知,在压应力作用下岩石破裂前,由于岩体内部裂隙网络张开而扩容,进而形成包体,当应变达临界值时,岩体将失稳破裂,破裂的进一步扩展将产生地震。但若包体周围存在流体,当形变时间与流体扩散的特征时间相比很短时,由于流体难以及时渗入,岩石孔隙压力下降,根据孔隙有效应力定律,从而使有效应力增加,包体暂时不发生失稳,而趋于稳定变形,但随着包体外围孔隙流体向包体内补充,包体内的孔隙压力逐渐升高回复,有效应力将再次下降,包体将再次失稳,这样将会产生一个反复的膨胀硬化和流体扩散过程,根据流体扩散磁效应的模式^[9],便会产生一种伴生的周期或准周期性的电磁效应,若该效应在做相关分析的两台不一致,则必然使相关系数和偏差发生变化。变化周期取决于流体扩散的特征时间,在一般情况下,根据物理参数的取值范围可估算该周期在数天至数十天的量级以内。这种周期性或准周期性的地磁变化当然也可以用其它方法提取,笔者^[11]通过昌黎、北京和红山地磁垂直分量的谱分析发现,唐山地震前昌黎台和北京台相对红山台存在数天至数十天的短周期异常变化,该变化的延续时间、空间范围和异常幅度与本文结果颇为一致。由此看来,包体破裂失稳—孔隙流体扩散—包体膨胀硬化过程可能是引起以上短周期变化的原因,这也可能是引起其它一些前兆现象具有某种韵律现象的原因。

从另一方面看,产生以上现象的条件是重要的,若包体周围不存在流体,则不会产生磁效应;同时,如果流体扩散的特征时间与形变时间相比不是很长,则虽然可能会产生磁效应,但难以引起振荡式的反复变化;当然,如果包体周围的流体有限,也可能会使以上过程于某一阶段中止,从而有磁效应而没有地震发生。这些复杂的情况将取决于震源区及周围区的环境因素和力学条件。

当然,以上对机理的讨论仅是一种探讨而已,它只提供了一种解释以上现象的可能模式。同样,幅度相关分析方法和所有其它地震前兆分析方法一样,能否作为地震预报的日常监视指标还有待于更多震例的进一步检验,也有待于理论上的进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地球物理研究所十室一组, 地磁场的空间相关性及其在地震预报中的应用, 地球物理学报, Vol.20. №3, 1977.
- [2] 林美、沈斌, 地震垂直分量相关分析与地震的对应关系, 地震研究, 5卷, 2期, 1982.
- [3] 1976年唐山7.8级地震, 唐山地震编辑组, 地震出版社, 1982.
- [4] F. D. Stacey, The seismagnetic effect, Pure and Appl. Geophys., 58, 1964.
- [5] T. Nagata, Tectonomagnetism, IAGA Bulletin, №27, 1974.
- [6] 陈伯舫, 渤海西岸的电导率异常, 地球物理学报, Vol.17, №3, 1974.
- [7] 王正尚, 新丰江6.1级地震与感应地磁场, 地震科学研究, Vol. 2, 1980.
- [8] 祁贵仲等, 渤海地区地磁短周期变化异常和上地幔高导层的分布及其与唐山地震的关系, 中国科学, 7期, 1981.
- [9] Hitoshi Mizutani and Tsuneo Ishido, A new interpretation of magnetic field variation associated with the Matsushiro Earthquake, J. Geomag. Geoelectr., Vol.28, №2, 1976.
- [10] 祁贵仲, 膨胀磁效应, 地球物理学报, Vol.21, №2, 1978.
- [11] 卢振业、孙若味、邢如英, 唐山地震前后地磁Z分量功率谱异常, 地震, 2期, 1983.

CORRELATIVITY ANALYSIS ON DAILY CHANGE AMPLITUDE OF GEOMAGNETIC Z COMPONENT AND TANGSHAN 7.8 EARTHQUAKE

Lu Zhenye Sun Ruomei

(Centre for Analysis and Prediction of State Seismological Bureau)

Abstract

Applying Changli, Baodi, and Beijing geomagnetic vertical component data, the correlativity with Hongshan was described. The results show that at all of three stations occurred abnormal variation before Tangshan earthquake. Abnormal variation at Changli was the most obvious, abnormal period lasted for a couple of months, abnormal amplitude was about 10 nt. Based on the results of the references (1,2) and this paper, the mechanism of the geomagnetic abnormal variations was discussed. The process, preseismic instability of inclusion-porous fluid diffusion-dilatation and hardening of inclusion, probably was the reason for the above geomagnetic abnormal variation,