

一种震荡型震磁效应的可能机制—膨胀 硬化致稳、流体扩散失稳震磁效应

卢振业

(国家地震局分析预报中心)

摘 要

本文根据一些地震前后地磁场出现上下波动形态的震磁效应现象,以包体模式为基础,提出了该类震磁效应的可能的物理机制。

当包体处于临界失稳状态时,由于大量微裂隙的产生,使孔隙压力下降,岩石有效应力增加,导致包体硬化致稳;若周围有流体渗入包体,则将导致孔隙压力回升,有效应力下降,包体将再度失稳,然后又是致稳,直至最后由于包体动态失稳而发生地震。根据流体扩散磁效应理论,这个过程将引起上下波动型的震磁变化。

最后讨论了各种条件下该类震磁效应的可能形态,并指出这种韵律性的前兆现象可能有一定的普遍性,是短临地震预报中值得重视的一个现象。

地震前地磁场的异常变化已为越来越多的事实所证实。一些地震工作者试图从理论上解释这些现象,先后提出了若干不同的震磁模型。本文从震磁效应的时间过程出发,对震前发现的一种振荡型震磁异常进行探讨研究,并提出该类震磁变化的可能的物理机制。

一、震 例

一些地震前,靠近震中区的一些地磁台站记录到一种较短周期的振荡型的震磁变化。这种变化的周期并不严格,大致在数天到数十天之间,似乎随地区和地震而异,其振幅的量级在数伽马至数十伽马之间。除我国的几次地震前有此类记录外,日本、英国的某些地震前也有类似的变化。

1. 唐山7.8级地震前后地磁Z 功率谱异常

图1a是根据昌黎地磁台(距主震震中80公里)、北京台(距震中约180公里)和红山台(距震中约400公里)地磁垂直分量Z整点值所做的功率谱图^[1],从图中不难看出地震前后的谱异常。图1b是按周期绘制的谱异常值(相对红山台)曲线,图中显示异常谱的差值是较大的,频带也较宽,同时还可以看出,地震前后异常谱的频带变化过程。

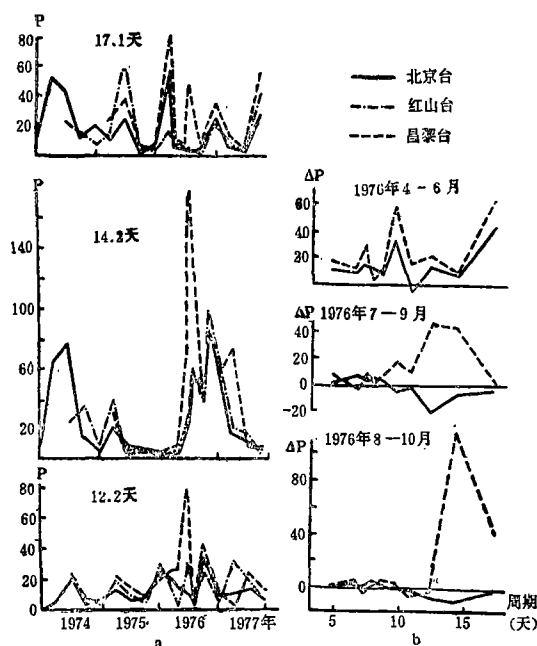


图 1

- a. 昌黎台、北京台和红山台Z日变幅
b. 昌黎台、北京台震前(右上)和震后(右下)相对于红山台谱异常值[1]

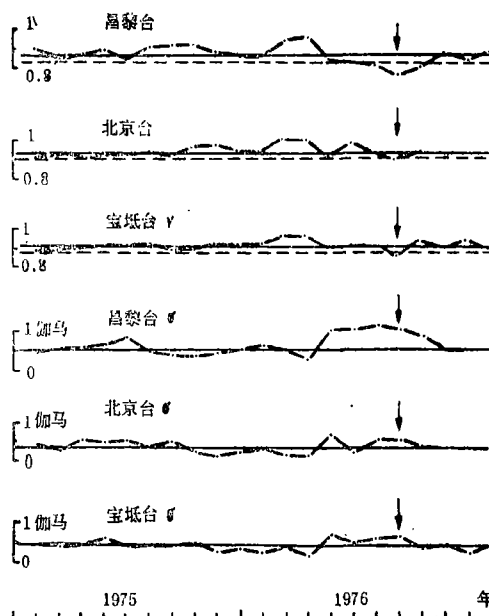


图 2 唐山地震前后Z日变幅相关分析结果
(γ 为相关系数, 步长30天, σ 为偏差)
Fig. 2 The correlations of Z daily amplitude (reference to Hongshan stop is a month) before and after the Tangshan earthquake (M=7.8)

2. 唐山7.8级地震前后Z日变幅相关分析

图2是唐山地震前后昌黎、北京和宝坻台相对红山台Z分量日变幅相关分析的结果[2], 其中宝坻台距震中约80公里。从图中可以看到, 相关系数 γ 和偏差 σ 在地震前有明显的变化, 相关系数下降百分之二十, 偏差 σ 增大近一倍。这里需要指出, 图中 γ 虽没有显示震荡型的变化, 但它的下降说明两台间有一种非同步变化存在。这与谱异常结果是完全一致的。

3. 云南境内几个较大地震前Z整点值相关分析的结果

林美[5]等利用云南境内各地磁台Z整点值做相关分析(参考台为昆明台), 发现多数地震前均有异常显示, 结果列于表1。

表 1

地 震	龙 陵		宁 蒗		宁 蒗		宁 蒗		丽 江		下 关
震 级	7.4		6.7		6.4		5.5		5.3		5.3
异 常 台	云县	下关	丽江	渡口	丽江	渡口	丽江	渡口	丽江	渡口	下关
震中距(km)	130	170	110	120	100	100	117	117	12	141	8
异常时间(天)	43	36	35	7	10	17	8	13	36	6	17
异常量(伽马)	11.6	8.6	10.5	1.9	4.3	4.4	2.4	1.8	6.9	3.5	3.1

4. 英国卡莱尔(Carlisle)地震前地磁转换函数的变化[8]

1979年12月26日在英国Carlisle发生了一次5级地震, D. Beamish^[8]利用Eskdale-muri台和York台三分向光泵磁力仪的观测资料, 对转换函数进行复变分析, 发现震前有明显的前兆变化, 图3仅绘出了其中一个参数(F)的实部曲线, 可以看出震前地磁振荡型的变化是较典型的。

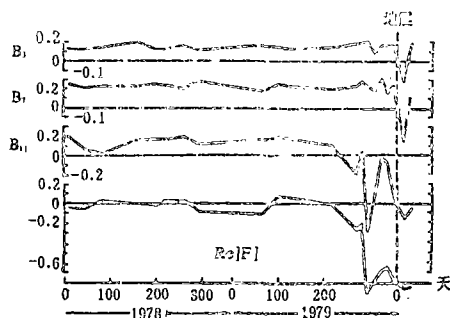


图 3

5. 日本柿岗台附近较大地震与地磁转换函数的统计结果

佐野幸三根据柿岗地磁台 KASMER 系统的记录资料, 以每次较大地震的发展日为统计的时间零点, 将地震前后各54天的转换函数值重迭统计, 发现震前有非常明显的周期性, 图4是其中的一个典型图例^[4]。

以上事实证明, 地震前出现震荡型地磁场变化的现象具有一定的普遍性。

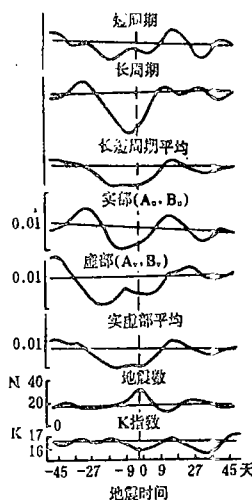


图 4

二、岩石的膨胀硬化和流体扩散作用

绝大多数岩石的孔隙中往往充填有流体, 最常见的流体为水。孔隙中的流体具有一定的压力, 称为孔隙压力。孔隙内充填有流体的岩石实际上是一种两相体。实验证明, 在这种状态下, 岩石在破裂、摩擦等过程中简单地遵从有效应力公式:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij} - P_c \quad (1)$$

式中 σ_{ij} 为有效应力, σ_{ij} 为岩石单相存在时的应力, P_c 为岩石的孔隙压力。

假设震源体是一个在一无限弹性地质体中镶嵌了一个力学性质完全不同、几何形状规则而物理性质均匀的非弹性包体, 图5为包体的失稳过程示意图。图中横座标为剪应变, 纵座标为剪应力, 曲线OC为包体的应力应变曲线, 直线OL为包体外围岩石的应力应变曲线, 斜线簇BB'为Eshelby线, 其斜率即为包体外围线弹性体的卸载刚度。

从图5可以看出当外围介质的剪应力 τ_c 增加时, Eshelby线簇与OC曲线的交点随 τ_c 的变化在变动, 在B'点前, 包体应力应变曲线的斜率均大于周围岩石的卸载刚度, 说明这时包体处于稳定状态。但是当 τ_c 增加到B点时, Eshelby线与包体应力应变曲线相交在B'点, 该点的斜率正好与周围介质的卸载刚度一致, 从而包体达到动态失稳临界状态。但是, 当包体扩容时, 内部产生微裂隙, 由于裂隙空间的增加而使 P_c 下降, 根据有效应力定律, σ_{ij} 将增加, 从而使包体硬化, 产生致稳作用, 亦即OC曲线又向上方移动变为OC', 过B点的

Eshelby 线与包体的应力应变曲线在 B' 点相交，从而又达到一个新的稳定状态，这就是硬化致稳作用。

如果包体周围存在流体（如水），当包体扩容后，流体将向包体渗流而进入微裂隙， P_c 将随流体的补充而回升， σ_{11} 将再度下降，包体应力应变曲线 OC' 再次向下方移动，并引起包体的再度失稳——再度硬化致稳的反复过程。这一过程并没有严格的周期，其时间取决于区域应力 τ_0 增加时包体的形变速率与流体扩散速率。包体在临界失稳状态时的形变速率是很快，而流体扩散速率则由流体扩散的特征时间 t_d 决定，根据流体扩散方程和失稳阶段的初始条件及边界条件可以求出特征时间 $t_d^{(0)}$ ，即：

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 P_c}{\partial X^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial P_c}{\partial t}, & \alpha = \frac{\mu \beta \eta}{k} \\ P(r, 0) = P_0 \left[1 + \frac{2 r_1}{\pi r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \left(\frac{\pi^2}{12} \right)^{n^2} \sin \frac{n \pi r}{r_1} \right] \\ P(r, t) = P_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{由 (2) 式求得: } t_d = L^2 / \alpha \quad (3)$$

其中 K 为岩石渗透率， μ 为孔隙液体的粘滞系数， β 为孔隙液体的压缩系数， η 为岩石的孔隙率， r_1 为包体的半径， r 为包体内任意点的座标， L 为孔隙流体所流经的距离， P_0 为外围孔隙压力，包体内部孔隙压力 P_c 的解可近似为一指数形式：

$$P_c \approx P_0 (1 - e^{-\gamma t}) \quad (4)$$

式中 γ 为取决于包体尺度及介质物理性质的一个常数，

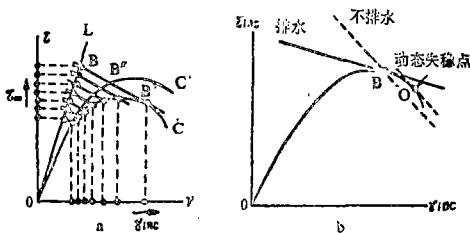


图 5 包体失稳过程示意图

Fig. 5 The instability of inclusion

Rice^[9] 将流体向包体扩散分为两类。

当 t_d 远大于包体失稳时的形变所需的时间时，称为不排水情况，反之为排水情况。在这两种情况下流体的作用是不一样的。图 5b 是流体作用示意图。图中排水直线代表水渗透非常及时的情况，不排水直线则代表水渗透缓慢滞后的情况。从图中可以看出，在排水情况下，包体失稳点为 B 点，在不排水情况下，包体要延迟到 O 点才能失稳。

由电化学可知，若岩石孔隙中存在有流体（如水），则在固、液两相介质的界面处会形成偶电层。一般情况下，岩石表面吸附负电荷，而水层表面保持有正电荷，电荷量多少取决于岩石和液体的物理化学性质。水谷仁^[7]和祁贵仲^[8]先后指出，这种带有正电荷的水如果在压力作用下向新产生的裂隙区扩散，则会形成电流，而聚集的电荷若与高导层相通，则会沿高导层向外运移电荷，从而也可产生电流并产生磁场，这个磁场迭加在地磁场上，便能产生可以观测到的地磁信息。他们根据所建立的模型对磁效应的量级进行了计算，计算结果也表明，所产生的磁效应的量级是可以被观测到的。另外日本松代震群前，地下水和地磁场的同步变化是很有说服力的证据^[6]。

图 6 是松代地震时加贺泉涌水量曲线、保科台和松代台地磁总强度变化曲线及地震频度曲线。从图中可以看到，地磁场和泉水流量曲线变化极为一致，而两者与地震频度曲线却相

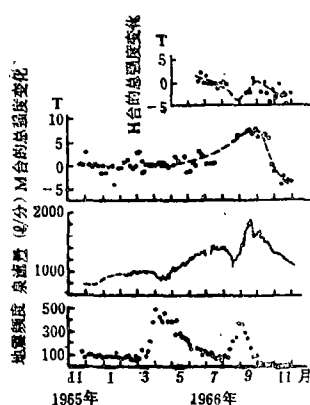


图 6

差较大。由此可见,松代地震时水的扩散运动和地磁场变化可能存在着因果关系。另外,由于对地下岩石介质情况了解甚少,在进行计算时,对许多物性参数的选取是带有很大任意性的,因此,计算结果是近似的。

综上所述,可以得到这样的震磁机制:岩石受力产生形变,当应力达到岩石破裂强度的 $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ 时,岩石的应力应变曲线变为非线性,即岩石产生扩容,岩石内产生大量微裂隙,由于孔隙的增加(大),孔隙压力下降,岩石的有效应力随之增加。若有效应力处在峰值应力附近,岩石并不立即破裂,而

是膨胀硬化,如果周围介质的卸载刚度等于包体失稳时的软化强度,则因膨胀硬化作用而暂时致稳。如若包体周围存在流体(如水),水便向致稳的包体内扩散。由于电化作用,扩散的水中将带有电荷,从而在水扩散过程中产生电流并引起磁效应,这样的磁效应即称为膨胀硬化——流体扩散磁效应。随着水的渗入,包体内孔隙压力上升,有效应力下降,包体再度失稳扩容,并再度硬化致稳,水再度扩散,直至包体最后失稳而发生地震。在这种过程中,磁效应将是一种震荡型的磁变化过程。这种震磁模型可以称为膨胀硬化致稳、流体扩散失稳模型。

三、讨 论

由前面所给出的震例中看出,震荡型震磁效应变化的时间为数天到数十天。根据公式(2)(3)及岩石的实验结果,选取 $\mu = 10^{-2}$ 达因·厘米²/秒, $\beta = 10^{-10}$ 达因⁻¹厘米², $h = 0.01$, $L = 1$ 公里, $K = 4 \times 10^{-11}$ /厘米(4毫达西)进行计算,得到 $t_e \approx 29$ 天,这与观测结果基本上一致。因此,文中所提出的模式基本上是适用的。

膨胀硬化—流体扩散震磁效应的产生是有条件的,首先,包体周围要存在足够的流体,其次是流体扩散的时间要远大于岩体形变软化的时间,另外岩石还需要具有一定的物性参数。这些条件中每一个因素的改变都会使磁效应的量级、形态和空间分布发生重大变化。因此,以上所提出的模式仅是一种可能的物理机制,而且仅仅是地震孕育过程中在一定条件下某些孕育阶段的可能机制。作者并不试图用该模式解释所有的震磁现象,因为在地震孕育的不同阶段,由于具体的边界条件、初始条件、受力条件及介质条件的制约,可能有不同的震磁机制在起主导作用。

以上模式的提出是有一定的观测实例和理论根据的,它所揭露的可能是地震震源体孕育末期开始发生失稳状态前后的过程,反映震源体破裂前的应力应变状态,因此深入细致地研究这一过程,对地震的短临预报可能有一定的意义。在地震前兆观测中,这种震荡型的前兆变化比较普遍,将这些类似的韵律现象用统一的震源模式加以研究,对于揭露震源的物理本质可能是有益的。

(本文1985年3月22日收到)

参 考 文 献

- [1] 卢振业、孙若昧、邢如英，唐山地震前后地磁Z分量功率谱异常，地震，№2，1983。
- [2] 卢振业、孙若昧，地磁Z分量日变幅相关分析和唐山7.8级地震，西北地震学报，Vol.6，№2，1984。
- [3] D.Beamish, A geomagnetic precursor to the 1979 Carlisle earthquake, Geophys.J.R.astr.soc., Vol.68, 531—543, 1982.
- [4] Yukizo sano, Time change of transfer function at kakioka related to earthquake occurrences I, I, Geophysical Magazine, Vol.40, №1—2, 1980—1981.
- [5] 林美等，地磁垂直分量相关分析与地震的对应关系，地震研究，Vol.5，№2，1980。
- [6] 林命周等，流体（水）在孕震过程中的作用，地球物理学报，Vol.24，№2，1981。
- [7] H.Mizutani and T.Ishido, A new interpretation of magnetic field variation associated with the Matsushiro earthquakes J.Geomag.Geoelectr., Vol.28, №2, 1976.
- [8] 祁贵仲，“膨胀”磁效应，地球物理学报，Vol.21，№1，1978。

A POSSIBLE MECHANISM OF THE OSCILLATORY SEISMOMAGNETIC EFFECT—DILATENT HARDENING— STABILIZING, FLUID DEFUSING INSTABILIZING SEISMOMAGNETIC MODEL

Lu Zhenye

(Centre for Analysis and Prediction, State Seismological Bureau)

Abstract

One type of the seismomagnetic effects is represented, —oscillatory geomagnetic abnormality before some earthquakes. Based on the inclusion model a possible physical mechanism of above seismomagnetic effect is represented as well,

When the inclusion is in instable stage there are lots of microcracks in it, if there are fluid surrounding the inclusion, dilatancy that occurs more rapidly than fluid can diffuse into the newly created pore space, which can reduce the pore fluid pressure. A decrease of pore fluid pressure increases the effective compressive stress, and the inclusion will be hardening when fluid diffuses from surrounding material into the inclusion, the pore fluid pressure increases total compressive stress decreases, and the inclusion is weakened and is instability again. According to the theory of fluid diffusion of magnetic effect, the oscillatory seismomagnetic effect will cause this process. Finally, the reasons of different types of oscillatory seismomagnetic effect are discussed