

临震电磁波信息研究

张德齐 殷春阳 王盛飞 郭一新 吴少武

(江苏省地震局)

临震电磁波辐射与电磁扰动的现象,早在1966年邢台地震时就引起了人们的注意。1975年海城地震和1976年唐山大地震后,一些单位从不同的方面开展了观测研究工作。我省一些中强震震前也曾出现过不同表现形式的电磁波辐射与电磁扰动现象。如1970年10月29日金湖4.2级地震前约2小时,震中区一鱼场工人发现收音机受到强烈干扰,震后即恢复正常;1974年4月22日溧阳5.5级地震前约2小时,震中附近有人发现收音机收听到特有噪音;1976年11月2日盐城大纵湖4.5级地震和1977年5月10日溧水4.1级地震前都曾有测报点记录到地电低频扰动。由于观测者所用设备的频响范围不同,这些信息有的是在高频段被发现,有的是在低频段被发现,还不能说明在频段上有什么截然的边界。在对机理尚不清楚时,我们把这些震前电磁波辐射与电磁扰动的信号统称为“震前电磁波信息”。

本文介绍了我省1979年7月9日溧阳6级地震前,在距震中80公里的南京观测点所记录到的超低频临震电磁波信息。并对其波形与信号特征进行了分析讨论。

一、观测试验原理与结果

大量已知确切现象所显示的震前电磁波信息的频率范围是非常宽的。很可能从甚低频一直伸展到特高频。针对这些不同频段的信号,可以有相当多的观测方式。鉴于观测超低频频段信号具有抗干扰能力强、终端设备可利用现有专用仪器(地震记录仪)直接笔绘波形,满足连续可见长期运转等优点,所以选定了以超低频频段的信息作为初始观测研究频段。假设震前在震源区或其附近由于某种物理效应而激发电磁波信息,超低频信号成份的辐射与传播有如下特点:

1) 根据自由空间电磁波的辐射原理,对于一电流均匀分布、长度为 h 的源天线,其总辐射功率 P 与波长 λ 的平方成反比,即与频率的平方成正比,频率越高其辐射能力越强。对于超低频成份,辐射能力是极其微弱的,它主要是依靠传导作用来输送能量。

总辐射功率表达式为:

$$P = \frac{2 I^2 h \eta \pi}{3 \lambda^2}$$

其中, I ——源天线中的瞬时电流。

η ——电场与磁场强度之比

2) (平面)电磁波在导电介质中传播时,电场的振幅以 $e^{-\beta x}$ 的倍数随传播距离 x 的增大而减小。 β 称为衰减系数。 β 越大,则波幅随传播距离增大而衰减得越快,反之亦然。而 β 除与介质的电性参数有关外,还随电磁波频率 f 的增加而加大。因此传播途径上的波幅除与介质的电性参数有关外,是随频率的增加而按指数规律衰减的。所以,在介质电性参数相同的条件下,超低频信号成份的波幅衰减要比高频成份小得多。衰减常数 β 的数学表达式为:

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu \varepsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon} \right)^2} - 1 \right]}$$

其中, $\omega = 2\pi f$ ——圆频率,

μ ——介质导磁系数,

ε ——介质介电常数,

σ ——介质电导率。

$\sigma/\omega\varepsilon$ ——为传导电流与位移电流之比。当频率很低时,位移电流比起传导电流来,显得很小。导电介质如水、土层,岩层等,可以当作良导体来考虑。根据上述特点,对超低频信号成份难于采用现有的一般无线电天线设备直接接收,而采用了埋设金属探头接触传导的信号拾取方式。信号馈线采用屏蔽线并埋入地表一定深度。凡暴露在土层外的部分,都套以钢管加强屏蔽。屏蔽层与金属探头之间的绝缘电阻达几十兆欧至上百兆欧量级,足以保证空中游散电磁波不致从馈线直接窜入接收装置。信号馈入终端设备之前经过低通滤波器,滤掉数十赫兹以上的频率成分。该观测系统的实测频响特性曲线如图1,显而易见,该观测系统实际上是超低频窄带选频接收系统,对频带外的干扰具有很强的抑制作用。

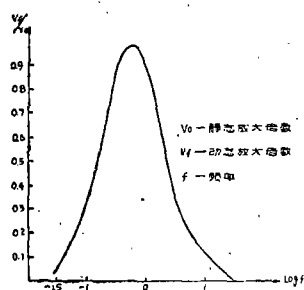


图1 全系统频率响应曲线

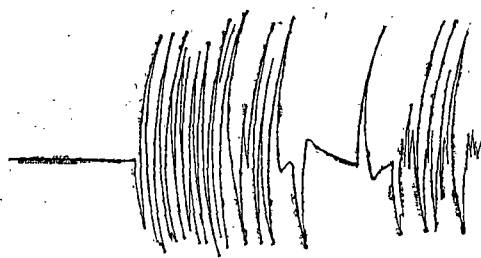


图2 A型波

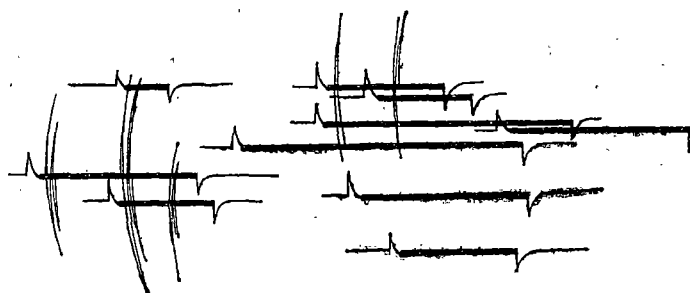


图3 B型波

南京卫岗测点在1979年溧阳6级地震前后记录到三种特殊波型。为便于叙述,我们定名为“**A型波**”、“**B型波**”及“**AB型波**”。“**A型波**”是周期为1—5秒的“低频”波,出现于早期(图2)、“**B型波**”其特征类似于充放电波形,周期在0.1~0.05秒之间,叠加有“低频”成分(图3);并以波列形式出现于临震时期。“**AB型波**”兼有“**A型**”与“**B型波**”的特征,出现于震后一段时期(图4)。所观测到的电磁波信息的频率、持续时间和波列组数在溧阳地震前后有一个逐渐增加和减少的过程(见图6)。

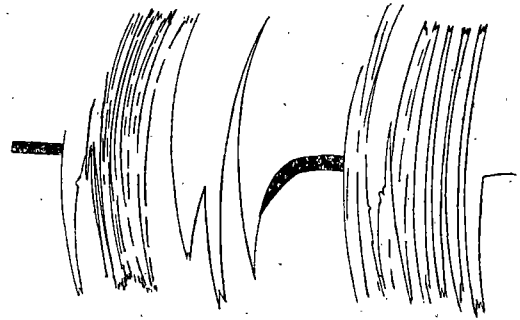


图4 AB型波

震前,电磁波频率增高的现象有可能是临震特征之一。我们应当给予足够的重视。也许临震电磁波的频谱要比所了解的宽得多。7月5日,6日电磁波的持续时间达到最高峰,波列组数亦达前所未有的峰值,这似乎是临震的又一特征。

二、结果分析

A与AB型波,虽然出现在溧阳6级地震前后的一段较长时间中,但是这些波在地震前有一个逐渐增强,震后逐渐衰弱的过程。随着观测资料的不断积累,说明这一现象与溧阳6级地震不是偶然的巧合。特别是B型波,唯有在溧阳6级地震的临震时曾出现之外,至今却再未出现。本地亦未再发生相应的强震。

由图5可以看出,1979年7月5日、6日两天出现的B型波列持续时间很长,这种现象也是前所未有的。5日波动持续近5小时,出现23组波列。6日持续时间长达9个半小时,出现118组波列。同一天溧阳台核旋地磁垂直分量观测达14伽玛的最大变幅。两群B型波列之间平静了13个小时,第二群B型波列结束到发震相隔74个小时。

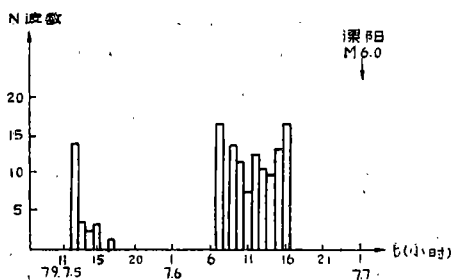


图5 B型波波列数变化图

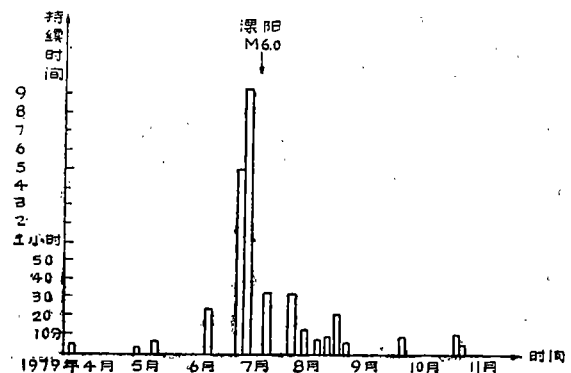


图6 波动持续时间直方图

“A型波”及“AB型波”，出现的次数比较多，延续的时间也比较长。震前出现的A型波是否是溧阳地震的早期前兆，震后出现的AB型波是否是溧阳地震的震后效应，以及B型波是否有可能给我们提供一定的临震信息，对此我们提出下列几个问题进行分析研究：

外界干扰因素 近两年的观测记录中，绝大多数时间里记录线条是平直的。偶尔或短时间出现的干扰波型表现为单脉冲或小幅度连续波动，易于识别。而这三种波形，却是相当引人注目的。但它们是否由于工业游散电流或外空因素、气象因素所激发呢？

我们详细调查了周围的工业和科研用电及大型电子设施情况，证实了它们可能通过大地构成回路的信号频率都是相当高的，一则不能在土层里传输较远距离，再者其工作频段（微波波段）已远远超出我们的响应范围。尤其是作了200米距离，一千瓩功率电器设备开机十五分钟的工业游散电流干扰试验，发现它对观测记录毫无影响。同时，对核旋地磁垂直分量观测也无影响。通过对记录信号的波形和周期的进一步分析排除了工业游散电流干扰的可能性。

至于气象因素，我们查阅了南京气象台所观测的当地及邻近地区的雷暴资料。当年共记录雷暴33天次，其中唯独8月4日信号与雷暴是在同一天出现，但具体时刻各有不同。从实际记录图纸中可见，只有在近处落地雷的瞬间仪器才有反应，并且是单个的脉冲，不是波列，易于识别。

经分析太阳黑子观测资料的结果，表明与所记录到的各类波型之间均不相关。尤其是经过震后又一个年头的观测，不仅外界环境相同而且经历了太阳黑子活动高年，暴雨、强雷等天文、气象的剧烈变化，却再未出现这种现象，更加排除了外界干扰的可能性。

仪器工作状态与信号验证 以上三种波型能否是记录器的电子线路部分在工作过程中发生了故障，例如：接触不良、漏电，乃至自激振荡之类。为了确切鉴别所记录到的信号的真伪，我们作了如下实验：

1979年5月11日将两组不同探头信号输入到两台独立工作的DD—1记录器，两台仪器同时记录到了同一类型的电磁波信号。

1979年7月19日由两组不同的探头，一组输入到DD—1记录器，一组输入到DSL—1A单分相记录器，两台记录器再次同时记录到同一波形。而DSL—1A记录器是采用直流电源，DD—1记录器却是用的交流电源。实验结果，既排除了仪器故障的可能性，也排除了由供电系统窜入干扰信号的可能性。

1979年8月底当DD—1记录器上出现波动信号时，适逢正在同地进行仪器试测的核旋地磁仪垂直分量观测的读数突然增加，数据起伏达270伽玛左右，而且两者是在同一时间出现，同一时间消失，这就进一步证明了所记录到的电磁波信号确实存在于地下及地表空间。

与地震的关系 三种波型的初始瞬变电流方向表明，溧阳6级地震前后一定时间内，南京测点可能还多次受着某个固定电场的控制。

南京测点观测场地的地貌，是西高东低、北高南低，埋设在土层中的探头其直流成分应受过滤电场的控制〔东(+)西(-)，南(+)北(-)〕。实测结果是与理论分析相附合的。而埋在岩石内的探头却不受过滤电场的影响〔西(+)东(-)，南(+)北(-)〕。但是，79年4月4日至9月4日，所观测到的三种信号，无论来自土层还是岩层的三种波型初始瞬变电流方向全部来自东南。而且它与固有的地电流（尤其是直流）成份之间显然没有什么联系。

10月4日所出现的A型波，其初始瞬变电流方向突然紊乱。而11月3日，5日出现的A

型波其初始瞬变电流方向却转而来自北西。这种电流方向的有规律的改变是符合于一次地震过程的一个完整形态的。这种初始瞬变电流方向的有规律的改变恰巧与某些观测方法对溧阳地震后效的结束时间大体一致的。

应当强调指出现象是,震前各种波型之初始瞬变电流方向均与发震方向意外地吻合(1979年7月9日溧阳6级地震震中位于南京东南方向80公里处)波动持续时间、波列组数及信号频谱随时间的变化与溧阳地震在时间上亦表现出显著的相关。

4月4日至6月22日所出现的电磁波基本上以A型波为主(4月4日除外)。而7月5日、6日出现的电磁波,其频率增高到10赫芝以上。7月19日至10月4日出现的电磁波,其特征是属AB型波。7月19日的AB型波中“高频”成分极为丰富,但以后随着时间的延续,“高频”成分逐渐衰减,直至11月3日、5日“高频”成分完全消失。从频谱来分析、到此即为一个完整过程。与此同时,波动的持续时间逐渐缩短,但是在衰减过程中也有起伏。

上述地震前后初始瞬变电流方向,波列组数、持续时间及频谱变化过程与溧阳6级地震在时间上都是相关的。临震阶段,电磁波的频率明显地增高,可能大大超出了本观测系统的频响范围。此外,临震阶段波动持续时间和波列组数均达到前所未有的峰值。这两种现象都是观测记录中所显见的。

三、 讨 论

1. 据所掌握的资料,一次大的能量释放过程,诸如火山爆发、核爆炸等……,总有部分能量以电磁波形式向外辐射。对此,我们曾于1978年12月在江西永平千吨爆破现场距爆破中心880米处观测到地电频率的显著变化。其跃变率达25%。显示了岩石破裂瞬间所产生的交变电场(自然亦伴随着有交变磁场)的存在。这可以视为一次大尺度的模拟试验。

而上述“震前电磁波信息”观测之近震震例与分析结果所提供的观测事实有助于对临震电磁波辐射与电磁扰动现象在超低频频段情况的认识。为震前电磁波信息研究积累了一次近震震例。

2. 一个中等强度地震可能产生的震前电磁波的辐射能力是不容忽视的。一个6级地震所释放的能量,若以其千分之一转换为电磁波能量就可高达一万七千瓩小时。何况震前在震源区所积累的总能量总是远大于震时所释放的弹性应变能。所以转换为电磁波的能量实际数值很可能比以上所考虑的数值还要大很多。电磁波的频率越低,其传输路程上的衰减就越小,其穿透能力越强。鉴于上述原理,对于数十赫芝以下的超低频电磁信号,甚至有可能从震源附近穿过岩层“直接向地表传导”,而且到达地表后的强度尚足以能被有关电子接收设备所感受到。

3. 尽管目前人们对震前电磁波辐射与电磁扰动现象的发生机理还未认识清楚,但大量的有关震前电磁波辐射与电磁扰动现象都是确实的。无论根据传统的电弹模型的岩石压电与压磁效应,或根据普通物理的简单摩擦电效应原理,或根据诸如电学动力学现象的有关模型……均能推测出地壳发生构造活动时震源附近电磁变化的存在。进而运用现代电学原理,不难推知震源附近电磁场的变化是完全可以透过地下某种波导而传输到地表的。震源附近的电场达到一定强度时,在地下某些部位引起气体物质电离直至放电而激发电磁波。这种由于地壳内部放电所激发的电磁波,频谱自然是相当宽的。其超低频部分可能直接通过岩层传导到地

表, 频率相对较高的部分被吸收。另一方面亦有相当一部分电磁波通过某种地下渠道而达到地表。其中低频、中频部份可能以地波形式沿地表传至远地, 而高频部份有可能射向电离层经反射到达远地。更甚至地表电场亦可能达到足以致使空气泄放电流的程度。有人曾计算了电动力学现象所产生电场梯度的可能值之一为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 伏/米。我们的观测结果, 其信号强度在几至几十毫伏间变化。单就信号强度而言, 在数量级上是相吻合的。

(本文1980年11月6日收到)

THE STUDY OF THE ELECTROMAGNETIC WAVES INFORMATION DURING THE APPROACHING OF THE EARTHQUAKES

Zhang De-qi Yin Chun-ang Wang Sheng-fei

Guo yix-in Wu Shao-wu

(Seismological Bureau of Jiangsu Province)

Abstract

~~Present the three types of electromagnetic waves observed~~
~~During the period before and after the earthquake of magnitude 6.0~~
occurred on July 9, 1979 in Liyang, Jiangsu province, the observational station of electromagnetic waves in Nanjing (epicenter distance about 80 km) indicated the following three types of waves:

1. The electromagnetic waves arising at the early stage before the earthquake are called waves type A;
2. The electromagnetic waves arising in the form of wave train before the approaching of the earthquake are called waves type B;
3. The electromagnetic waves arising after the earthquake characterizing both A and B are called waves type AB.

All sorts of the phenomena indicated that the characteristics of the electromagnetic waves arising during the approaching of the earthquake are: the nearer the occurrence of the earthquake approached, the higher the frequency of the electromagnetic waves. Moreover, the frequency spectrum of the electromagnetic waves appeared to be wider than it is known today. In the continued duration in which the electromagnetic waves were arising, the group number of the wave train reached the peak value.