

临震电磁波前兆的观测研究

张德齐 王盛飞 张念孝
(江苏省地震局)

摘要

本文介绍江苏地区震前电磁波观测台网几年来的实际观测资料,并根据1979年溧阳 $M,6.0$ 、1983年山东荷泽 $M,5.9$ 及1984年南黄海 $M,6.2$ 级等地震前电磁波辐射信号的观测结果,讨论有关临震电磁波前兆问题。

关键词 震前电磁波辐射;超低频;水平埋地天线;二次辐射场

前言

震前电磁波辐射现象的研究,近些年来在国内外正越来越引起人们的重视,从室内岩石破裂电磁辐射模拟试验^[1-3],直到地震现场观测研究方面都取得了丰富的资料,有关发生与传播机理的理论探讨方面^[4],也已达到一定的深度。研究结果表明,从震前电磁波辐射信号中提取短临前兆信息是有希望的。在此,我们提供江苏地区多年来所取得的震前电磁波观测研究结果,以便进一步讨论震前电磁波辐射信号的前兆特征,及其在短临预报中可能提供的信息。

为了研究震前电磁波辐射现象是否与地震孕育过程之间存在着客观联系,自1975年以来,我们从超低频频段的观测入手,进行定点长期观测。在省内逐步建立了以超低频频段为主要接收频段,监测与研究相结合的多频段观测网。见图1。

其中一部分观测点是1984年南黄海6.2级地震以后建立的。目前的观测台网包括有10个观测点。近几年来,适逢长江中下游的扬州—铜陵地震带地震活动处于活跃时期。包括邻近地区在内已发生三次 $M,6.0$ 左右地震及两次 $M,4-5$ 地震,震前都观测到了异常信号。其中,有两次6级以上地震的震中距仅有70—80km,所观测到的异常信号波形也很醒目。本地区破坏性地震的平均复发周期一般都在数年以上。据本地区测震台网观测结果, $M,3.0$ 以上的有感地震,一年之内也屈指可数,相应地在长期观测记录图中无震(正常)噪声记录背景与震前异常记录波形之间一般是比较容易辨别的。

一、观测频段与接收装置

为了取得较满意的观测结果,必须合理选择观测频段。对此,我们主要考虑以下两个

本文1986年9月29日收到,1987年4月21日收到修改稿。

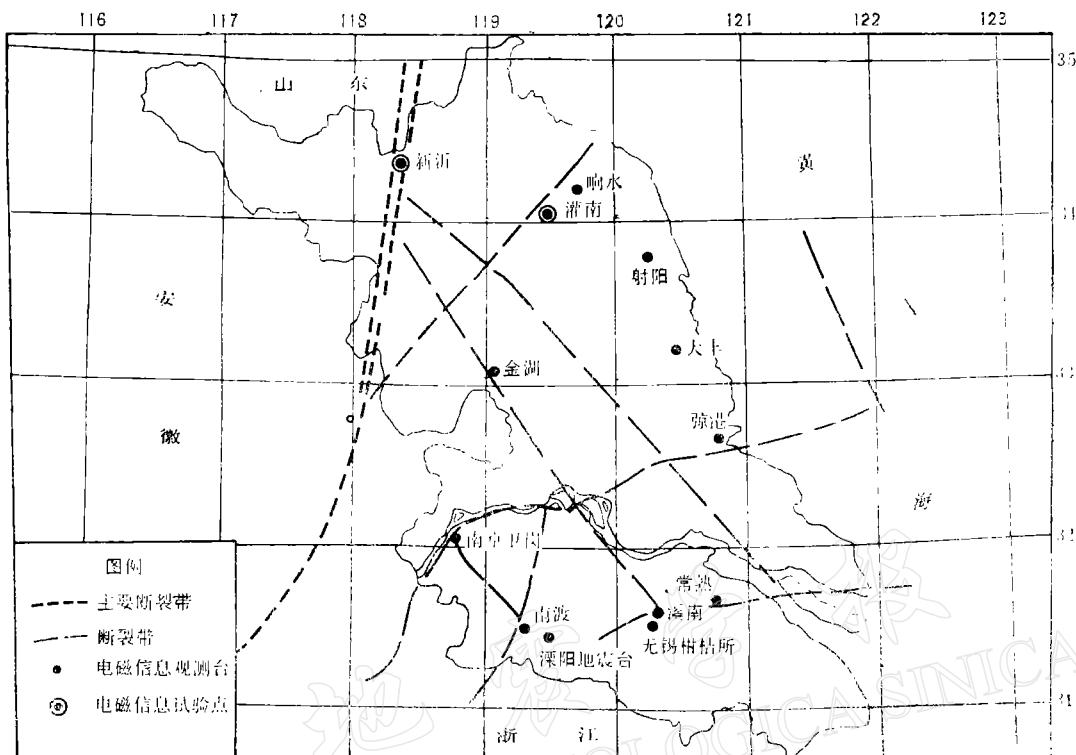


图1 江苏省电磁波信息点位分布图
Distribution of electromagnetic wave observation points in Jiangsu region.

方面的因素:

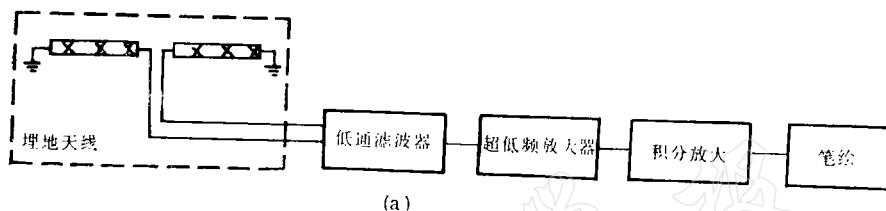
1.许多观测事实表明,地震活动的电磁波辐射信号频谱是很宽的。在一些大地震发生前出现的电磁干扰特异现象中,从静电场到广播波段直至微波段都有所显示^[5]。对于这些电磁干扰特异现象,可以根据其产生的原因分为辐射异常与传播异常两类^[6]。其中辐射异常信号,是指来自地震电磁波辐射源的电磁波信号,而电磁波沿地下传播时,由于介质的电导率显著增大,传导电流所引起的损耗增加,因而波幅的衰减将远大于在自由空间传播时所产生的衰减。同时,频率 f 越低, δ 越大则穿透能力越强^[7]。以 $f = 20\text{Hz}$ 的超低频电磁波为例,取岩层的平均电导率为 10^{-5}S/m 计算 δ ,其值可达 35km 左右,完全可能从地下直接穿透岩层到达接收点。而对于较高的频率,如数十千周至数百千周以上的信号,除有可能通过地壳波导^[8]传输至一定的“窗口”溢出地表外,多数情况下难于从地球深部穿出地表直接被地表观测点接收到。因而,所观测到的较高频率信号,多数可能为震中上空的二次辐射场^[9,10]。所以,在较低的频率范围内,选取观测频段有利于接收直接来自地下的震前电磁波辐射信号。

2.从干扰方面考虑,可能遇到的干扰因素主要有无线电广播、通讯、导航(我们暂把它们统称为发讯台干扰),大气闪电及工业干扰等。由于发讯台的工作频率或工作频段通常

1) 行武毅来华报告电磁学研究的两点成果,国外地震科技情报,1985。

是已知而且是固定的,因此可以在选择接收频段时避开它们。根据我们对无线电频率管理部门的调查结果,在很低的频段范围内,还远未被人工无线电领域所开发利用,尚有广阔的范围供我们选择。而另一方面,工业干扰频谱的电压幅度通常是与频率成反比的。接收机的工作频率越高,越有利于抗工业干扰。由此,接收机的工作频率高一些较好。对于大气闪电干扰,其频谱主要落在甚低频频段内,它的干扰场强的峰值频段一般在 10kHz 附近^[10]。根据上述几种主要干扰因素的特点,结合电磁波在地下传播情况综合考虑,我们选取超低频频段为主要观测频段,同时逐步在几个观测点上向甚低频、中频和高频频段扩展为多频段观测点。

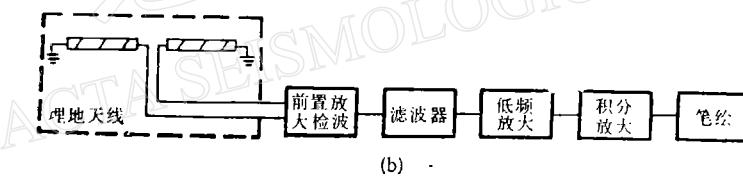
我们所采用的多频段接收装置框图如图 2 所示。



(a)

图 2(a) 埋地天线超低频观测系统框图

Block diagram of the ground antenna ultra-low frequency observation system.



(b)

图 2(b) 埋地天线宽频放大检波接收系统框图

Block diagram of the ground antenna wide-band observation system.

其中图 2(a) 和图 2(b) 所示的接收装置采用水平埋地天线,以利于减少以垂直场强为主的大气闪电干扰。天线长度一般在数十或百米以上,并将天线的两端保持良好接地,以提高天线效率。图 2(a) 的滤波器通频带有两种形式:第一种形式考虑到接收机所输出的干扰电压有效值是与其通频带宽度的平方根成比例,采用窄带滤波以利于减小工业干扰,其中心工作频率为 1Hz 左右,带宽约 2Hz。在中心工作频率处,全系统记录灵敏度可达 $1\text{mm}/\mu\text{v}$ 。目前我省 10 个观测点上,凡采用水平埋地天线的超低频接收道均采用这种接收方式;图 2(b) 为采用水平埋地天线的宽带接收系统。埋地天线的水平长度为 160m,接地网埋入地表以下 5m 左右,天线导体固紧在 $\phi 40\text{mm}$ 的空腔管道的中心位置。整体埋入地表以下 1.5m 深处,可以工作在超低频直至数百千 Hz 的中频,全系统增益可达 120 dB 左右。这种观测方式,只在南渡观测点进行过试验,目的是为了与窄带接收进行对比。

图 2(c) 为采用铁硅铝磁天线的超低频接收道的框图,也曾分别采用了窄带接收和 1 kHz 以下的宽带接收两种方式。全系统放大倍数可以达到 10^5 。在我省震前电磁波观测

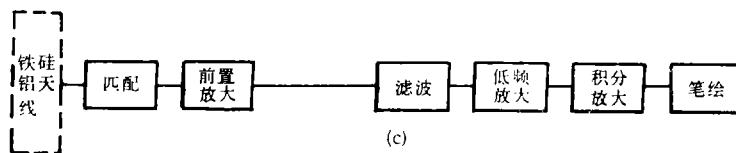


图 2(c) 铁硅铝天线接收系统框图

Block diagram of the Sendust antenna receiving system.

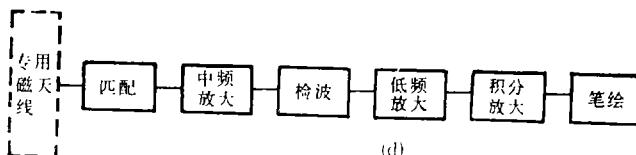


图 2(d) 中频观测系统框图

Block diagram of the intermediate frequency observation system.

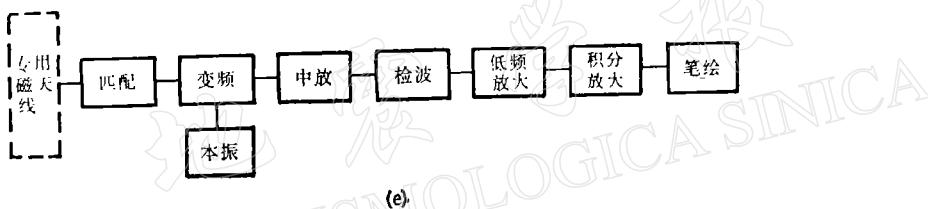


图 2(c) 高频观测系统框图

Block diagram of the high-frequency observation system.

网中,除个别观测点外,均采用了这种接收装置。

图 2(d),(e) 分别表示中频和高频频道接收装置框图. 两个频道均备有专用磁天线, 并采用点频接收方式, 整机增益均在 100dB 以上. 中频接收道的中心工作频率初步取在 350kHz 和 368kHz, 而后在观测点现场进行大约 $\pm 10\text{kHz}$ 范围的微调, 使记录图呈现尽可能小的干扰背景. 高频接收道的中心工作频率初步取在 1.68MHz 和 1.72MHz, 在观测点现场进行大约为 $\pm 20\text{kHz}$ 范围的微调, 使工作频率调准在“寂静点”上. 由于受条件所限, 我们只在南渡、琼港及常熟进行过较长时间的中、高频观测试验, 其中常熟观测点为坑道接收点, 整个接收装置均设在距坑道口约 170m 的洞室内, 并用塑料套房将仪器密闭起来防潮, 以保证记录仪器长期可靠地工作. 坑道内除照明电源外无其它电器设备, 为进一步避免电源线引入干扰. 接收机电源引线采用屏蔽性能良好的电缆线, 从坑道口直接送入套房坑道内. 照明电源线除观测人员在坑道内短时停留期间外, 均与坑道外的电力网完全切断. 除以上三个观测点外, 为了进一步提高信噪比, 我们于 1983 年年底, 在无锡柑桔研究所开始进行过 30kHz 及 350kHz 深井观测试验, 该井原深 562m, 花岗岩, 井口至 100m 深处为钢套管. 由于距市中心较远, 因而环境干扰较小. 在试验过程中, 曾将天线置入深井内, 经过近半年的观测试验后, 因防水密封装置渗水而改为用鞭状天线的超低频深井接收方式.

下面为叙述简明起见,分别用符号 A, B, C, D 加上角标 1, 2, 3 来代表上述各个不同的观测频道,具体内容列表如下。

下表中所列出的各观测频道,尽管有的接收装置的灵敏度较高,但在现场实际工作时需要酌情给予衰减,以取得清晰的记录线条。在不同观测点上实际工作倍率可能有较大的悬殊,如南京卫岗 A₁ 接收频道工作倍率几乎比灌南 A₁ 接收道的工作倍率低一个数量级。

频道代号	天线名称	积分或检波前的工作频段
A ₁	水平埋地电天线	0.2Hz—2Hz
A ₂	同上	0.2Hz—800Hz
A ₃	同上	0.2Hz—300kHz
B ₁	铁硅铝磁天线	0.2Hz—10Hz
B ₂	同上	0.2Hz—120Hz
C ₁	专用磁天线	350kHz (点频)
C ₂	同上	368kHz (点频)
D ₁	同上	1.68MHz (点频)
D ₂	同上	1.72MHz (点频)

二、观 测 资 料

长期的实际观测结果表明, 大气闪电及工业干扰在记录图上是比较易于识别的。前者表现为离散的单脉冲, 而工业干扰往往是较连续的小幅度波动。在时间上具有很明显的规律性, 与异常信号之间是比较容易区分的。1979年7月9日溧阳 $M_s 6.0$, 1982年4月22日东台县弶港 $M_s 4.6$, 1984年5月21日南黄海 $M_s 6.2$ 这些较大地震发生前的短临阶段, 都曾观测到较丰富的超低频电磁波信号。1984年南黄海 $M_s 6.2$ 地震和1983年11月7日山东菏泽 $M_s 5.9$ 地震前, 在中、高频接收道上也观测到了临震电磁波信号。

1979年7月9日溧阳6级地震前, 南渡观测点已停测, 因而全省只有卫岗观测点(距震中80km)以不同天线布设方向的三个单一频道A₁进行观测工作。临震前的7月5, 6两天出现类似于充放电波形, 周期在0.1—0.05s之间, 且伴有周期为2s左右的“低频”振荡成分, 以波列形式出现, 折合到接收机输入端, 其信号强度为mv量级。5日波动持续达

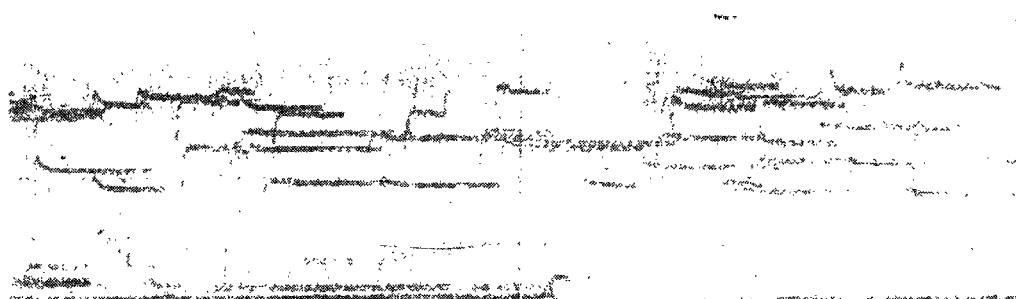


图 3 溧阳六级地震的临震波形

Waveforms shortly before the $M_s 6.0$ Liyang earthquake.

5个多小时，出现23组波列；6日持续波动时间近9个半小时，波列数目剧增到118组（图3）。同一天溧阳台核旋地磁垂直分量观测值出现了8 γ 左右的异常变化，两组波列之间平静了13个小时，第二群波列结束到发震相隔74小时。详细情况见文献[11]。

1984年5月21日南黄海6.2级地震前，省内有弶港（A₁，A₂，B₁，D₂四个频道），常熟（B₁，D₂两个频道），南渡（A₃，B₁两个频道）和卫岗（A₁和磁天线竖放的B₁两个频道）四个观测点正常工作。除卫岗外，其余三个观测点都记录到醒目的异常电磁波信号，三个观测点距震中分别为70km，150km和200km。震前14天，开始在弶港A接收频道上观测到长周期电场波动，以5月9，10两日最明显。在此期间，南渡A₃和B₁频道也有一定反应。5月11日长周期波动明显减弱，5月12日15时左右，弶港、常熟、南渡三个多频段观测点均出现突出的电磁波异常信号（图4）。在弶港观测点的A₁，A₂接收道所

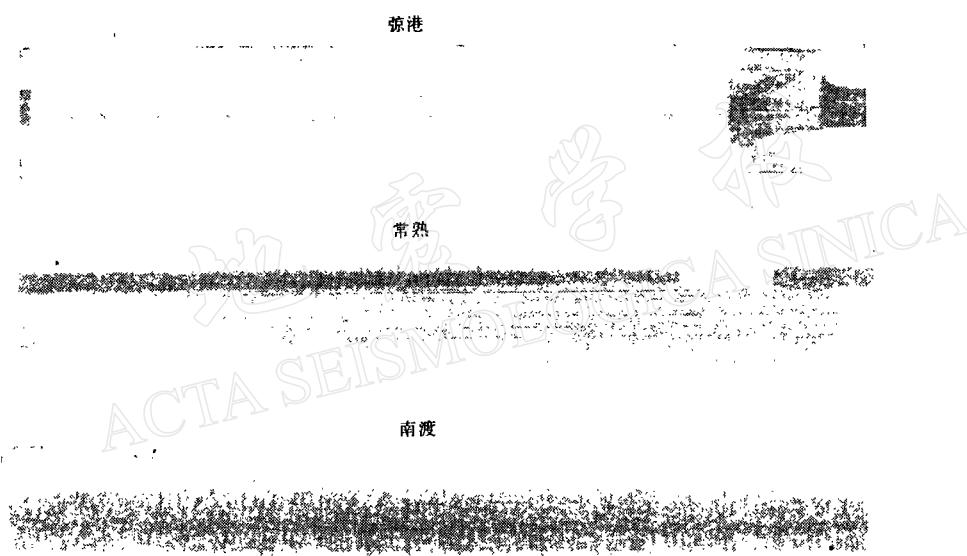


图4 1984年黄海6.2级地震，5月12日观测记录图

Records taken before the M_s 6.2 Yellow-Sea earthquake of May 12, 1984.

观测到的信号强度折合到接收机的输入端，一般都在mv量级；南渡观测点的B₁接收道和

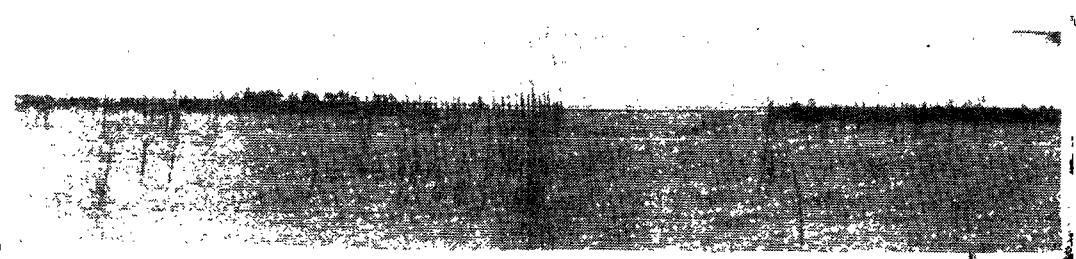


图5 1982年4月21日灌南观测记录图

Record taken at Guannan observation point on April 21, 1982.

弶港观测点的 B_1 (磁棒竖放) 接收道所观测到的信号强度折合到接收机输入端为 10^{-1} mv 量级; 弶港和常熟观测点的 D_2 接收道所观测到的信号场强为 10^1 — 10^2 μ v/m 量级. 其中距震中最近的弶港观测点, 所接收到的超低频信号断续至 5 月 19 日 14 时结束. 总的说来, 上述三个点在高频道记录到的信号都不如菏泽 5.9 级地震前那样强烈. 这次地震前, 卫岗观测点没有观测到明显的异常信号.

1982 年 4 月 22 日 07 时 52 分, 江苏东台县弶港附近发生了 $M_4.6$ 地震, 震前省内有卫岗 (三个 A_1 频道)、灌南 (两个 A_1 频道) 及金湖 (两个 A_1 频道) 三个观测点正常工作, 而只有灌南观测点记录到异常信号. 灌南观测点 (震中距 212km) 在 4 月 21 日 08 时 30 分左右开始记录到明显的超低频电磁波信号 (图 5), 其强度为 10^{-1} mv 量级. 异常信号结

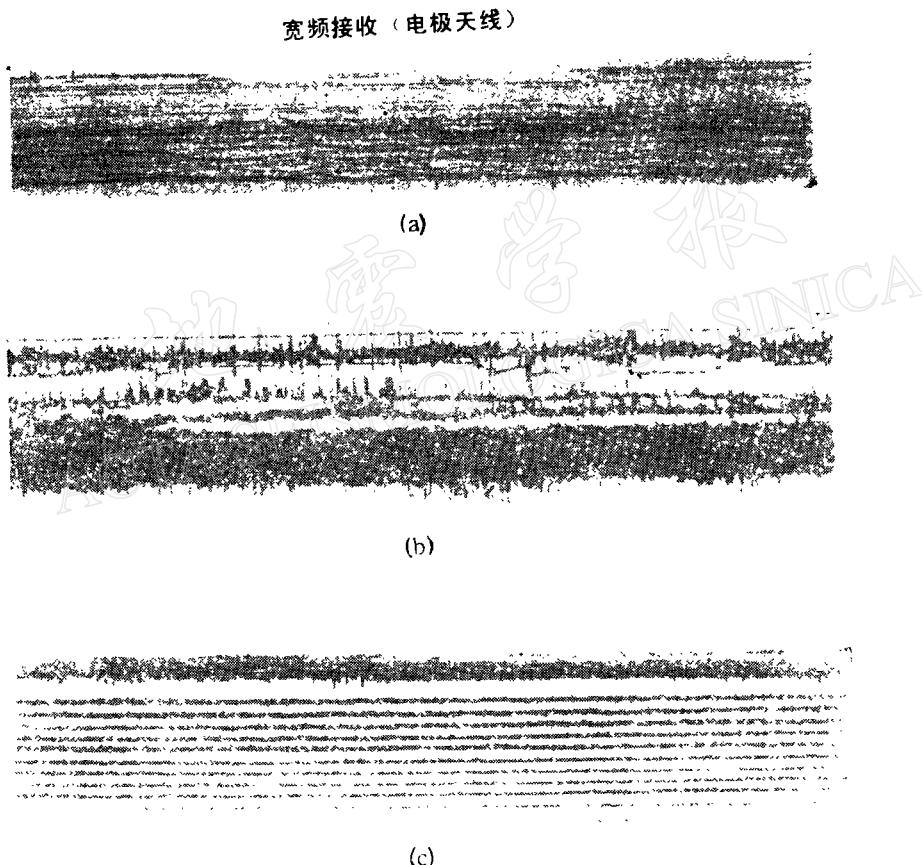


图 6(a) 1983年山东菏泽 5.9 级地震前 A_3 频道断续出现的超长周期电场波动
Ultra-long period electric field fluctuations appearing intermittently in channel A_3 before the Heze, Shandong earthquake of 1983.

图 6(b) 1983年山东菏泽 5.9 级地震前 D_2 频道噪声由弱到强过程
Noise in D_2 frequency channel growing from weak to strong before the earthquake of $M5.9$ at Heze, Shandong in 1983.

图 6(c) 1983年山东菏泽 5.9 级地震前 C_1 频道噪声由弱到强变化过程
Noise in C_1 frequency channel growing from weak to strong before the earthquake of $M5.9$ at Heze, Shandong in 1983.

束后, 次日即发震, 该观测点天线长度为 100m, 环境干扰较小。

1983 年 11 月 7 日山东菏泽 $M_{\text{w}} 5.9$ 地震前的观测资料, 是我省 1982 年开始多频段观测以后的第一个多频段观测震例。震前南渡 (A_3, B_1 两个频道) 及琼港 (A_1, A_2, C_1, D_2, B_1 五个频道)、常熟 (B_1, D_1 两个频道)、卫岗 (两道 A_1) 等四个观测点处于正常工作状态, 其中南渡、琼港两个观测点记录到明显的异常信号 (震中距均在 500km 左右)。最早于震前 20 天, 在南渡观测点的 A_3 频道断续出现长周期电场波动 [图 6(a)], 其幅值在输入端可达到 0.3mV 左右。21 日以后逐渐减弱, 并开始出现脉冲、噪音信号, 11 月 2 日 22 时 00 分左右至 3 日 07 时 58 分左右, A_3, B_1 频道脉冲信号最强。琼港观测点 B_1 (磁天线竖放) 频道没有记录到明显的信号, 而 C_1, D_2 频道观测到了较明显的异常信号, 主要表现为噪音背景显著加强。 D_2 频道于 10 月 21 日 20 时 49 分左右开始在正常背景下出现噪音信号, 由弱到强 [图 6(b)], 信号场强为 $10^1 \mu\text{V}/\text{m}$ 量级。 C_1 频道噪音信号于 10 月 30 日 03 时 48 分左右开始明显加强 [图 6(c)], 信号场强为 $10^1-10^2 \mu\text{V}/\text{m}$ 量级。11 月 1 日以后噪音信号显著减少。从 5 日零时 10 分左右直至发震, 记录完全恢复正常。灵敏度较低的 A_1, A_2 接收道在震前也记录到一定的异常信息, 但远不如中、高频道明显。

三、观测结果与讨论

根据几年来对本地区相继发生的几次破坏性地震的观测资料来看, 震前电磁波辐射信号是有一定规律的, 从中提取有前兆意义的信息是有希望的, 对此提出以下几点认识供讨论:

1. 震前电磁波辐射信号带来的临震时间前兆信息是明确的: (1) 在我们仅有的几次中强震震例中, 各频道信号在逼近地震前都出现平静。超低频频段所观测到的临震电磁波信号结束时间至发震, 这一时间段一般在几十小时至几天之间; (2) 本地区三次 6 级左右地震前, 所观测到的震前电磁波信号都曾不止一次地出现高潮期, 而且异常信号可能在几天甚至几十天以前开始出现; (3) 所观测到的震前电磁波信号的出现时间不仅往往与其它一些前兆的短临变化时间吻合^[12], 而且与本地区中强震发生前曾发生异常小震群活动的时间比较吻合。

2. 几次观测震例中, 曾有个别观测点确实没有接收到信号, 而有的观测点信号特别显著, 这一结果表明, 地下电磁波辐射源有可能存在方向性, 而且其传播条件很可能比我们目前所了解的还要复杂。因而, 只靠对观测网资料进行分析, 提取有关未来地震准确震中的前兆信息是困难的。这个问题可能唯有借助于现代无线电定位技术才能可望解决。

3. 从我们现有观测结果来看, 地震强度与观测信号强度之间不存在线性关系。

4. 所观测到的不同频率信号强度, 总的说来频率低的频段其信号幅度较大。此外根据黄海 6.2 级地震和菏泽 5.9 级地震观测结果对比, 可以看出, 前者在较高频段上出现的信号远不如后者丰富, 这是否与地下传播路径上的介质的电学特性有关是值得研究的。此外, 根据我们观测试验结果来看, 选用超低频、低频频段进行观测较易于取得较平稳的观测背景, 突出震前信息, 但为了研究辐射源定位问题, 需要开展较高频段的观测试验, 两者以综合兼顾为好。

参 考 文 献

- [1] 杨玉荣译自 Japan-China Symposium on earthquake prediction, 1984.
- [2] 钱书清、张以勤、曹惠馨、吕智,岩石破裂时产生电磁脉冲的观测与研究,地震学报,8,301—307,1986.
- [3] 徐为民、童生光、吴培稚,岩石破裂过程中电磁辐射的实验研究,地球物理学报,28,181—189,1985.
- [4] 冯竞、张世杰,产生地震电磁前兆信息的一种机制,地震研究,8, 33—37,1985.
- [5] 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组,一九七六年唐山地震,第十三章.
- [6] 张德齐、王盛飞、张念孝、刘淑蓉,临震电磁波发射信号强度的量级估算,地震学报,1985,4: 12—17.
- [7] Wheeler, H. A., Radio Transmission, U. S. Patent, 4030032, 6, 1977.
- [8] 虞光复、杨朝梁、徐渝生、郑文新、李明,地壳波导与地震电磁信息的接收,地震研究,8,39—51,1985.
- [9] M. A. 萨多夫斯基、Г. А. 索波列夫、Н. И. 米古诺夫,喀尔巴阡山大地震时无线电波天然辐射的变化,国际地震动态,1980,10: 11—12.
- [10] 甚低频无线电工程,国防工业出版社,1973.
- [11] 张德齐、殷春阳、王盛飞、郭一新、关少武,临震电磁波研究,西北地震学报,3,9—14,1981.
- [12] 彭纯一、徐国铭,黄海 6.2 级地震磁效应,地震学报,8,309—316,1986.

OBSERVATION AND STUDIES OF THE ELECTROMAGNETIC WAVES DURING THE APPROACHING OF EARTHQUAKES

ZHANG DEQI, WANG SHENGFEI AND ZHANG NIANXIAO

(Seismological Bureau of Jiangsu Province)

Abstract

This article introduces the practical observations of the pre-earthquake electromagnetic wave observation station network in Jiangsu region in resent years and discusses the electromagnetic wave warning-signs during the approaching period of earthquakes based on the observations of the electromagetic radiation signals before the Liyang earthquake Ms 6.0 in Jiangsu province in 1979, the Heze earthquake Ms 5.9 in Shandong province in 1983 and the South Yellow Sea earthquake Ms 6.2 in 1984.