

# 大地震前电磁辐射信息的观测研究

陈智勇

杜晓泉

(中国廊坊 102800 廊坊市地震局) (中国石家庄 050021 河北省地震局)

徐东红

宋志新

(中国廊坊 102800 廊坊市地震局) (中国石家庄 050021 河北省地震局)

## 摘 要

河北省地震电磁前兆实验台网,采用特制的埋地电极做传感器,接收较强地震前的超低频电磁辐射的交变电压信息.从已积累的多个台站连续近10年来记录到的电磁异常,可以肯定其与300 km以内 $M_s=5$ 以上地震具有较好的相关关系.震级越大,相关越好.电磁辐射异常信息,出现在较强地震的临震前,其自动连续笔绘记录呈阵发性的组状电磁脉冲波形态.具有起伏增强、信息与震中距成反比、频率相对升高、区域波形相似和方向性等特征,并含有与地震相关的一些数量因素.应用这些特征和相关因素,可为地震三要素的研究,提供重要依据.

**关键词** 超低频; 电磁辐射; 电磁脉冲

## 1. 引 言

地震电磁前兆的研究是新兴起的课题,尚处于探索阶段.由于它的实用性意义,引起愈来愈多的有关学者和人们的重视.许多国家开展了这方面的研究,称作“电磁辐射”或“射电”现象.中国地震电磁前兆的研究开始较早,接收的方法和频段选择不完全相同,但取得的与地震相关关系是近似的.

河北省从1979年开始,重点研究超低频电磁辐射异常与200 km左右以内 $M_s=4.5$ 以上地震的关系.1981年在华北平原沉降带和其西、北部边缘布设了一批观测台站,组成电磁实验台网.目前台网包括以廊坊为中心的廊坊、怀来、昌黎、三河、新城、文安、青县、宁晋、临漳和东沽港10个台站.实践证明,以代号E-EM(Electromagnetic information of ground electrode)的“震前电磁交变信息”仪器系统获得的电磁异常信息,背景噪声小,反映一定距离内的较强地震的效果甚佳,具有深入研究的前景.

## 2. 仪器系统概况

常规观测使用的 E-EM 整机系统的基本原理如图 1a 所示. 传感器为埋入地下 6 m 的特制的不锈钢电极对, 极距 40 m. 接收的极间电磁辐射信息经绝缘屏蔽导线输送给“前置组件”, 滤掉可能的干扰因素, 再输送到经改装的 DD-1 型记录仪, 记录方式为自动连续笔绘. 终端优势频宽 0.1–10 Hz, 输入电阻大于 10 MΩ, 噪声小于 6 μV (0.3 mm), 其频率曲线如图 1b 所示. 记录灵敏度为 0.5 mV/mm, 记录器走纸速度为 60 mm/min, 供电为交流 220 V、直流 24 V, 二者可自动切换.

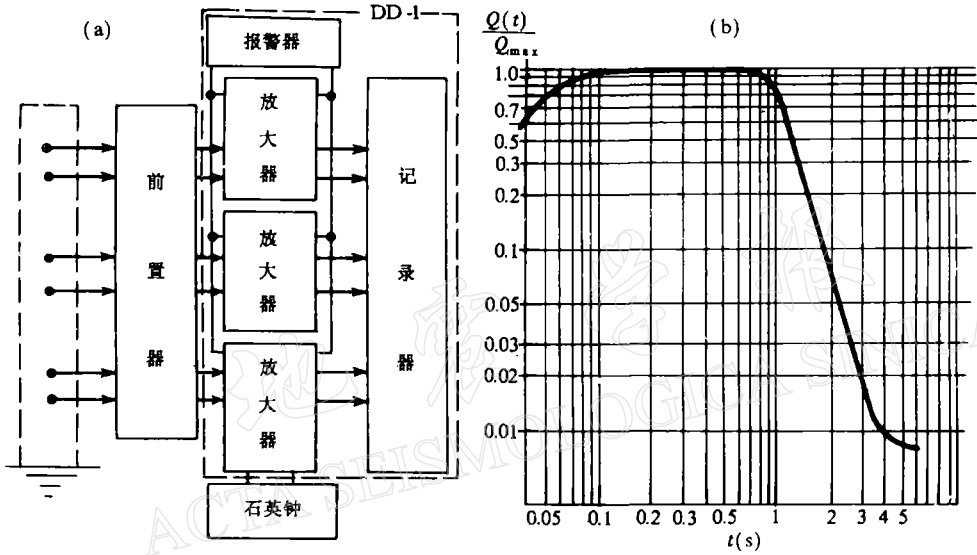


图 1 整机系统原理和终端频率特性曲线

(a) 仪器原理框图; (b) 终端频率特性曲线

仪器系统中的“前置组件”主要用于防止市电等工频干扰和电极极化电位进入放大器, 影响前级的工作点以及整个系统的阻抗匹配.

## 3. 观测资料综述

利用 E-EM 仪器系统获取的观测记录, 图纸清晰, 正常情况下记录线平直, 基本无本底噪声, 只是在 200 km 左右以内发生接近中强以上地震, 或较近区域内地震活动明显增强前的近期时, 才有电磁辐射信息显示. 近 10 年来的连续观测中, 各台都记录到大量的电磁异常. 虽然记录波形随机变化, 但都具有电磁脉冲波的特点. 按其形态、频谱和与地震的关系, 可分成 A 类脉冲波、B 类脉冲波、准脉冲波和待研究的波形四个类别. 其中前三类波形与 300 km 以内中强以上的地震相关甚密, 各自的特点是: A 类脉冲波带有指数包络电磁振荡脉冲波的特点(田士哲等, 1980). 幅度 1–3 mV, 周期 0.05–0.1 s, 多为准等幅振荡波; B 类脉冲波为变幅振荡尖脉冲波, 其幅度一般在 0.5–14 mV 范围内变化, 周期多为

0.4–2.5 s; 准脉冲波峰谷圆滑, 似准正弦波形态, 一般幅度 2–4 mV, 周期 2.5–5 s(图 2).

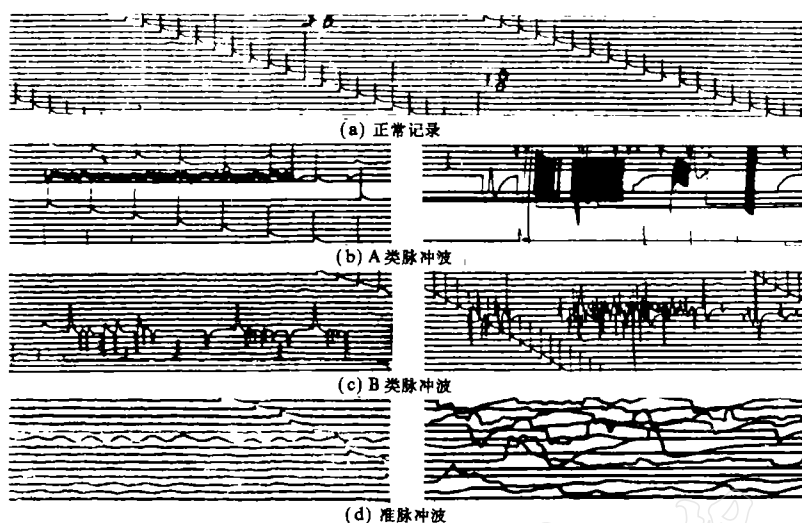


图 2 正常记录和异常波分类图

## 4. 电磁辐射信息与地震的关系

上述三类电磁辐射异常波形, 与一定距离内较强地震的关系甚密, 但在 300 km 内  $M_s=5$  以上地震前的近期, 并非单独出现, 多是由某一类异常波初始而后起伏增强, 频谱也随机变化. 临震前几天(最多 10 多天)内, 发展成它们的混合叠加形态. 异常波持续的时间、幅度与地震的强度成正相关关系.

### 4.1 异常标准

目前使用的半定量异常标准包含异常波持续的时间(s)和它的平均幅度(mV)两个物理量. 在综合分析计算时, 采用持续时间(s)与平均场强(V/m)的乘积, 取复合单位“ $s \cdot V/m$ ”. 根据经验, 连续 3 天以上记到信息看作异常. 幅度 2–4 mV、连续 5–15 天出现起伏增强的信息, 并且发展到信息日总量达到  $1.5 s \cdot V/m$  时, 定做“明显异常”; 低于这个标准特别是不具有起伏增强特点的信息, 看作“一般异常”; 显著起伏增强发展持续 15 天以上的信息, 并且日信息总量达到  $4 s \cdot V/m$  时, 规定为“显著异常”. 单台或少数局部台的“明显异常”一般与 200 km 内  $M_s=4.5$  水平或距台站几十至百 km 内的 3–4 级地震相关. 多个台出现“明显异常”并逐步发展成“显著异常”, 再加上其它一些临震征兆, 则与 300 km 以内  $M_s=5$  以上的地震关系密切.

### 4.2 异常与地震的关系

在近 10 年的连续观测中, 台网记录到的电磁辐射异常, 达到明显及其以上异常标准的, 总计近 50 个时段. 其中包括多台 5 个历时 24 天以上的时段. 在这期间异常的发展, 多次出现明显以至显著异常的起伏, 并带有其它一些临震特征. 异常段结束的当天或 3 天以内, 在 300 km 内分别发生了相应的也是仅有的 5 次  $M_s=5.3$  以上的地震(表 1).

表 1 电磁辐射信息与地震对照表

电 磁 辐 射 信 息						地 震			
异常起止 时 段	异常 天数	异常量值 ( $s \cdot V/m$ )	峰值日期 (月·日)	峰辐值 (mV)	临震信息时段 (月·日)	时 间 (月·日)	震级 ( $M_s$ )	震 中	平均距离 (km)
1981.10.6-11.8	34	$2.24 \times 10^2$	11.6	5.8	11.2-7	11.9	5.6	邢台	220
1982.9.14-10.9	36	$2.18 \times 10^2$	10.16	5.4	10.8-18	10.19	5.8	芦龙	270
1985.1.16-2.9	24	$1.61 \times 10^2$	11.26	4.3	11.21-27	11.30	5.3	任县	260
1988.6.23-8.3	41	$2.23 \times 10^2$	7.19	4.2	7.19-8.2	7.23	4.6	阳原	200
			7.24	2.6		7.25	4.6	唐山	190
			7.26	3.6		7.26	4.8	唐山	200
						7.30	4.4	滦县	220
			8.1	4.8		8.3	4.8	滦县	240
1989.8.26-10.18	54	$3.26 \times 10^2$	10.17	11.8	10.2-18	10.19	6.1	阳高	290

其余的异常时段为 5-10 天左右,最长的一次是 18 天,大多与 200 km 以内  $M_s=4.5-4.8$  或距台站几十至百 km 内 4 级地震相关(图 3).

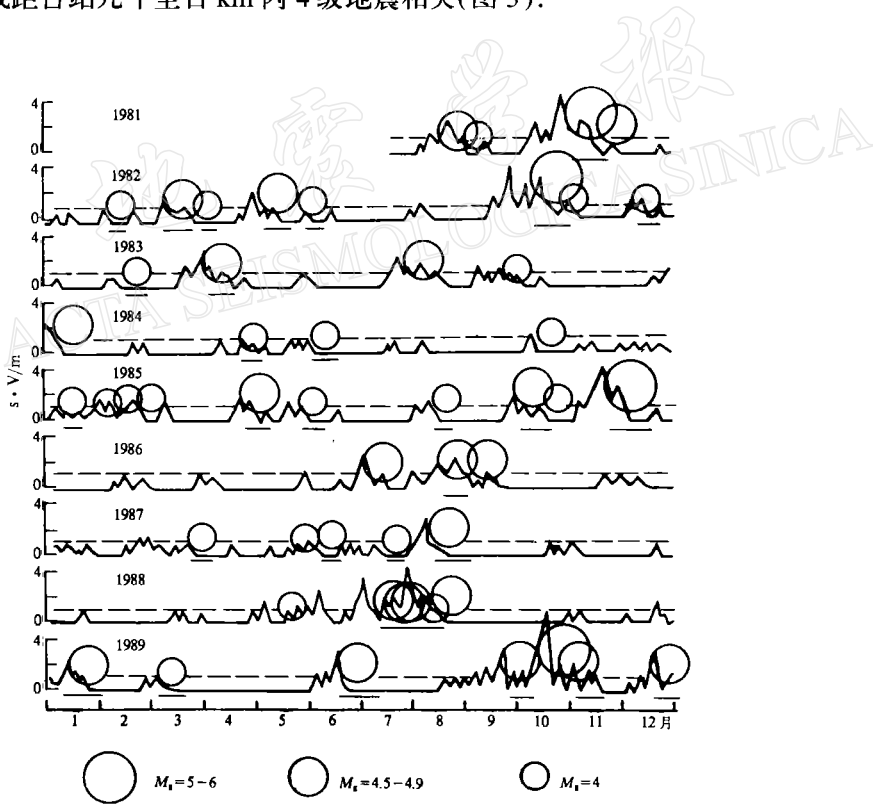


图 3 异常信息与地震关系图.加“-”的震例作了不同程度的预报

应该说明,也有少数异常,特别是某一单台短时期异常出现之后,没有相应的地震发生.然而,没有记录到任何电磁异常,在其监测范围内发生显著地震的事件,10 年来还没有出现过.

4.3 电磁信息量与地震能量的统计比较

震前电磁辐射信息量与地震能量之间的定量关系还远没有确立,但从与它们相关的物理量统计比较,还是可以看出具有正相关的因素(表 2).表 2 中电磁信息量是用其复合单位表示的台网逐年记录到的总和;地震能量的统计,是以廊坊为中心的 300 km 内  $M_s=5$  以上、200 km 内  $M_s=4.5$  以上、100 km 左右以内  $M_s=4$  以上和各台 50 km 内全部地震能量的逐年总和,单位为 J.

表 2 电磁信息与地震能量统计表

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
$s \cdot V/m$	$4.0 \times 10^2$	$3.4 \times 10^2$	$1.3 \times 10^2$	$6.2 \times 10^2$	$2.3 \times 10^2$	$6.2 \times 10^1$	$1.4 \times 10^2$	$2.8 \times 10^2$	$4.7 \times 10^2$
J	$4.3 \times 10^{13}$	$7.8 \times 10^{12}$	$1.7 \times 10^{12}$	$1.2 \times 10^{12}$	$1.6 \times 10^{13}$	$7.6 \times 10^{11}$	$1.8 \times 10^{12}$	$2.7 \times 10^{12}$	$3.4 \times 10^{13}$

注: 1981 年只包括 8—12 月共 5 个月的数量.

5. 电磁辐射的异常特征

国内外该类研究曾指出,震前电磁辐射信息的频谱相当宽,一般从甚低频到高频的接收都有反应(田士哲等,1980;阿勃杜拉别可夫,1979).机制实验检测证明,本台网使用的 E-EM 仪器系统,能够接收记录 0.05—10 Hz 的电磁信息的原始波,也能接收记录到 1.2 kHz 以内电磁信息的包络.常规观测获取的异常笔绘记录波形复杂,随机变化很大,难于确认其频率的真值(确属超低频无疑!),故所说频率系指笔绘记录波形的频率近似值.经大量震例资料剖析,其异常记录波形具有阵发性波组状、起伏增强发展、频率相对升高、区域波形相似、信息总强度与震中距成反比、方向性和特殊灵敏通道等特征.本文仅介绍与地震三要素相关密切并使用有效的 3 个特征.

5.1 信息起伏增强达最大峰值后发展

震前电磁辐射脉冲信息与地震相关的一个明显特征,是表征其量值的持续时间、幅度和频度等因素起伏变化而总趋势越来越强.  $M_s=5$  以上地震的异常信息,从日变动态图上都可找到几个起伏变化的峰值,而地震都发生在最大峰值之后的 2—5 天(参见表 1).图 4 给出两个震例的震前异常信息日变动态直方图.

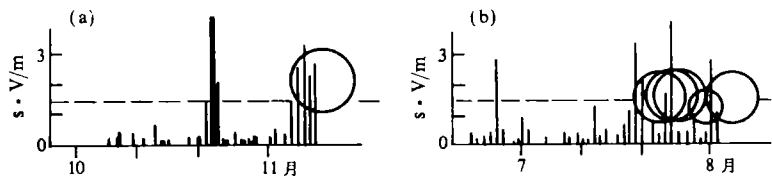


图 4 信息起伏增强日变动态直方图

(a) 1981 年 11 月 9 日邢台  $M_s=5.6$ 地震; (b) 1988 年 7 月 23 日—8 月 3 日阳原·唐山 5 级震群

震前电磁辐射信息起伏增强持续的时间、变化幅度、起伏次数及其频度,与即将发生的地震的强度和震中距,有着直接的联系.起伏持续时间越长,变化幅差越大,起伏次数越多或频度越高,未来的地震强度也越大.前述 300 km 内仅有的 5 次中强地震(含 1 次震群),大同  $M_s=6.1$  地震的异常起伏持续 54 天,其它一般 30 天左右;大同震前异常变化

幅差 10.2 mV, 其它震前变化幅差一般 2—3 mV; 大同地震临震信息波组长达几小时, 其它地震临震波组多为几十分钟. 显著的信息起伏增强变化, 为 300 km 左右以内中强以上地震特有的前兆. 有时 1000 km 以外的强烈地震, 也能在临震的几天内接收到某种信息, 但追寻不到明显的起伏变化过程; 较近距离内 3—4 级地震, 其震前信息没有相当长的持续时间, 没有明显的幅度变化, 也没有延时较长的临震信息波组.

## 5.2 信息频率随临震时间的靠近相对升高

记录到的电磁脉冲信息的频率, 在异常发展中随机变化. 地震越强, 临震时间越近, 变化越厉害, 频率越高. 已发生的  $M_s=5$  以上地震的震前异常信息, 都具有这个特点, 称作频率相对升高特征. 图 5 给出 1985 年任县  $M_s=5.3$  地震和 1989 年阳高  $M_s=6.1$  地震前的近期信息频率逐渐升高的实例(图 5).

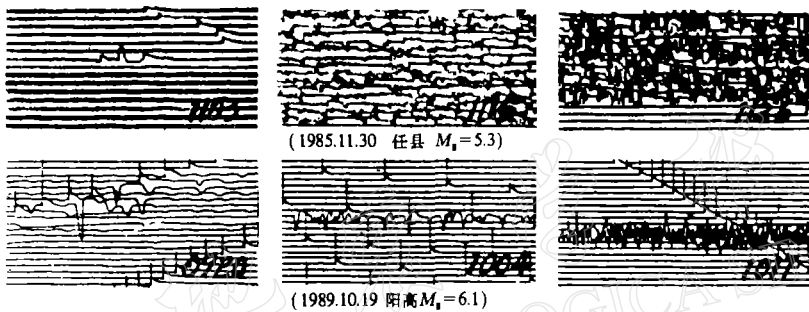


图 5 信息频率相对升高震例图

异常初始阶段, 信息周期多在 5—3 s 内变化. 中期阶段, 多为 2—1 s 的波组, 有时夹杂一些更短周期的信息. 临震几天内信息周期非常复杂, 多在 0.1 s 左右, 还有更短周期的指数包络形态的叠加. 远强地震找不出这样频谱变化的复杂过程; 近区域内 3—4 级地震前的信息, 一般不具有这个特点. 因此, 电磁辐射脉冲信息的频谱复杂变化和其频率升高, 是 300 km 以内中强以上地震的又一前兆现象, 当 0.1 s 以至更短周期的信息波组显著增多时, 可能是临震信号.

## 5.3 区域波形相似特征

区域波形相似特征的含义, 是指一定范围内不同台址记录到的同一构造部位(或地震构造小区)不同时间发生的较强地震. 其震前电磁信息记录波形具有相似的频谱形态, 地震越强, 越是如此. 而不同区域的震前信息的记录波形, 则显示差异并有它各自相似的频谱特点. 图 6 给出廊坊台组先后记录到的邢台、唐山和河间构造小区 3 个区域内发生的不同地震部分原始记录组合图. 不难看出, 同区域内具有不同震前信息波形相似, 而与其它区域信息不同的特点.

此特征说明同一区域的震前信息特点有其再现性, 用来判断可能的震中部位, 有一定实用价值. 经过深入研究, 还可能为震源机制和电磁辐射的源、场及其传播的探讨, 提供有用的资料.

此外, 大多数震前电磁辐射, 特别是异常初始阶段, 不同台接收到的信息的时刻相差悬殊. 然而, 随着异常的发展增强, 其到达时差减小, 临震几天内, 相距几十至上百 km 的

台站, 可以收到几乎同时甚至同步信息. 作为一个特点研究, 有可能为发震时间、方位等提供判据.

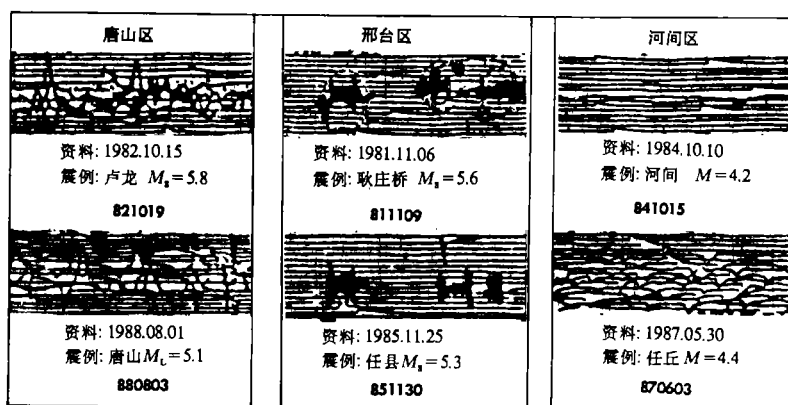


图6 区域波形相似特征实例图

## 6. 讨论与结语

不同台站接收到的信息时差过大, 是目前该类研究普遍发现的现象. 有时在相距百至几百 km 接收到的电磁信息, 相差数分钟、数小时甚至几天; 还有单台有异常, 多数台无异常或多数台有异常, 少数台无异常, 以及此起彼伏的现象, 统称“信息不同步现象”. 前已述及,  $M_s = 5$  以上地震前的电磁辐射异常, 有不同步现象, 但还有由不同步趋向同步的过程. 因此, 造成信息不同步的原因除传播介质的影响外, 多元电磁场信息, 可能是重要的原因之一.

依据板内地震机制电磁辐射的研究, 对多元电磁场形成的原因及接收信息由不同步到趋向同步, 提出两点认识: (1) 孕震后期, 孕震构造岩层的微破裂、预滑等导致机电转换而产生“震源电磁场”. 在其构造的延伸、相连和相邻的相当大范围内的某些特殊部位, 可能产生若干个“伴生电磁场”(陈智勇等, 1989). 伴生场产生的时间、强度、受其局部条件的制约, 当然不一定同时出现并达到同一强度. 此阶段各台站接收到的可能是各自附近或其它不同场源的信息、时间不同步, 甚至相差悬殊. 但因为都受震源应力场的牵控作用, 所以又大体在同一个时段产生. 随着孕震活动的进一步加剧, 震源电磁场和伴生电磁场可能随之增强, 电磁辐射强度、频度增强, 时间增长, 使不同台站信息时差减小. 当震源电磁场强大到一定时, 可能将一定范围内的某些伴生场覆盖(信息叠加), 形成相当强大的统一电磁场. 此时, 可以接收到近似同时以致完全同步的信息. 但各伴生场与震源场不一定是同号叠加, 可能使某个区域的电磁信息反而减弱, 造成该区域接收不到明显的临震异常; (2) 孕震过程中, 可能在一个或几个构造的相当大范围内, 形成多个应力-应变区而产生多个局部电磁辐射场, 各辐射场由于受各自条件的制约, 辐射信息的强度和时刻, 不一定是相同的, 而是零乱无序的. 但因为都受孕震应力场的牵制, 所以又大体在同一个时段内形成. 随着孕震应力活动的加剧, 各局部电磁场都有可能增强, 其中某部位更适宜应力

的进一步集中,便是未来可能的主破裂区域.当然,此部位的局部电磁场将突出地增强,有可能逐渐将其它某些局部电磁场覆盖,而形成相当强大统一的震前电磁场.

地震电磁前兆的研究,仍处于探索阶段,许多问题尚没有解决.但它确能在较强地震前给人以“警觉”,深入研究可能是有希望的.

本研究得到陈大元副教授和陈峰老师的指导帮助;台网的张俊恒、邓荫芬、步克功、罗英杰、吕庆华、刘国权等做了大量工作,在此一并表示感谢.

### 参 考 文 献

- 田士哲、黄玉英、刘成宝,1980. 震前电磁波异常小议.地震战线, 1: 41-43.  
阿勃杜拉别可夫,卡·纳·(著),蒋宏耀译,1990. 地壳中的电磁现象, 139-141. 学术书刊出版社, 北京.  
陈智勇、杜晓泉,1989. 地震电磁波前兆特征.地震地磁观测与研究, 10, 5, 40-43.

地震学报  
ACTA SEISMOLOGICA SINICA