

地电场观测及强震前大地电位异常特征

李江华 曾 柯

(武汉市地震办公室)

冯家铎

(武汉市岱山中学)

摘要 通过平行方位相关分析、纯异常矢量比值和功率谱分析、 P_c 地电脉动、地电暴湾扰等多种方法论证了岱山中学地电场的短周期(小于 4d)变化属于大地电位变化,该观测点是观测大地电位变化的敏感点。同时还分析了澜沧、巴塘等强震前的大地电位异常特征。这些异常变化受周期为 10~30s 的超低频电磁幅射调制,大地电位基值发生几个 mV 的短暂变化,异常持续时间为 10~75min,其超前时间为 8.8~32.5h。

关键词: 地电场 临震异常 强震

1 前言

在 70 年代我国海城、松潘、龙陵、盐源等 7 级地震的短临预报实践中,地电场观测曾起过重要作用。进入 80 年代,国内的地电场观测进入探索、积累资料的阶段。近年来,钱复业等从地电场数据中提取地电场动电效应震兆,毛可等相继总结地电场震兆异常特点^[1]。在国际上,地电场观测也相当活跃,前苏联与日本学者依据地电场异常作过一定的地震预报。希腊瓦罗特索斯等建立极距大多为 50~200m 的地电场观测台网,并以持续时间几十分钟和超前时间约为 7h 的大地电位短暂异常多次预报过希腊的中强震^[2],其成绩倍受世人瞩目。

过去曾有人对地电场观测的物理量提出过质疑与否定,对该手段观测大地电位能力的论证工作尚鲜为人见。本文以平行方位相关分析、 P_c 地电脉动、地电暴湾扰、功率谱分析、纯异常矢量比值为 1 等多种方法论证了岱山中学地电场的短周期(小于 4d)变化属于大地电位变化,为该手段可观测大地电位临震前兆提供了较为可信的证据。

在 1988~1990 年我国大陆地震相对活跃时段,该校地电观测点观测到几组与强震有关的大地电位异常,它们均由稳流部分与交变部分组成。本文介绍这类异常旨在促进对该项手段的重视,进一步完善与普及地电场观测,以期捕捉强震的临震信息。

2 岱山中学地电场观测条件

岱山中学位于武汉市北面。台站两层铅筒电极埋深分别为 4.0m 和 10.5m。本文主要使用深层地电资料。EW 与 SN 两个方位测线的极距分别为 98m 与 124m。测线方位角分别为 $NW 282^\circ$ 与 $NNE 26^\circ$ (图 1)。

目视读数采用 DT-830 型数字式万用表,内阻为 $10M\Omega$ 。独立读取 6 个方位的电位值以考

第一作者简介:李江华 男,49 岁,高工,现主要从事工程地震和地电观测研究。

收稿日期:1995-08-15;修改稿:1995-09-27

察平行方位和矢量比值的特性。本文使用的地电位日均值为每天 3 次读数之均值。

自动记录仪器为 3066 型水平台式记录仪,输入阻抗为 $1M\Omega$ 。走纸速度为 $6cm/h$,测程挡为 $10mV/cm$ 。3066 型记录仪采用带有保护屏蔽的浮空输入回路,对共模干扰具有良好的抑制作用。无仪器自激振荡影响。正常情况下,自记曲线为直线,噪声水平小于 $0.2mV/100m$ 。

表 1 为 1989 年地电位与日降水量、 $3.2m$ 深处地温旬均值、邻近水井的 PH 值旬均值的相关分析结果。若取样本数 $N=200$ 和 $N=28$,当 $\alpha=0.05$ 时,则相关系数 $\gamma=0.138$ 和 $\gamma=0.361$;当 $\alpha=0.01$ 时,则 $\gamma=0.181$ 和 $\gamma=0.463$ 。

由表 1 可见,地电位与降雨量不相关。EW 向地电位与地温、水井 PH 值均不明显相关。SN 向地电位与 PH 值不相关,但与地温尚存明显相关,在趋势分析中应加以排除。

3 岱山中学地电场的短周期(小于 4d)变化特征

3.1 场强与背景值

以 1989 年 3 月 1 日为例,EW 与 SN 向的测值分别为 $15.2mV$ 与 $-25.1mV$,折合场强分别为 0.155 与 $0.202mV/m$,均小于 $1.0mV/m$,量级上属自然电位。

该点地电场背景值相对稳定。各方位地电位日均值的年中误差一般小下 $5mV$ 。将九日滑动平均值作为基值,则九日滑动余差 B 值(以下简称 B 值)为叠加在长周期成分之上的短周期(小于 4d)变化。 B 值的中误差一般为 $0.2\sim 1.5mV$ 。取 3 倍中误差为异常限,可以分辨的 B 值异常量级为 $0.6\sim 4.5mV$,相应异常场强则为 $5\sim 40mV/km$ 。即在短周期成分中,可以分辨大地电位量级的异常。

3.2 平行方位地电位呈显著相关

通常认为,平行方位的地电位同步变化可以排除极化电位的影响。

例如,尽管 $10.5m$ 与 $4.0m$ 深的两层电极测得的地电场基值存在差异,但其动态变化的同步性很好(图略)。

表 2 为 1989 年 1~7 月 SE 向和 NW 向日均值与 B 值的相关分析结果(图略)。若取样本数 $N=190$,当 $\alpha=0.01$ 时, $\gamma=0.188$ 。

由表 2 可见,SE 向与 NW 向日均值呈显著相关。 B 值的相关程度更高,进一步反映出 B

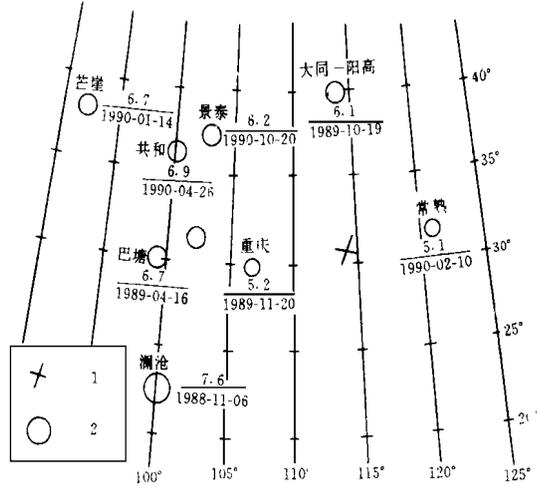


图 1 武汉岱山中学地电台测线方位与地震震中分布

Fig. 1 Distribution of earthquake centers and the orientation of geoelectric measuring line of Daishan Middle School, Wuhan City.

1 测线方位; 2 地震(震级/震害时间)

表 1 地电位与几种相关系数

方向	N	$\gamma_{\text{降雨}}$	$\gamma_{\text{地温}}$	γ_{PH}
SN	210	-0.0127		
SN	30		0.528	0.206
EW	30		0.337	-0.058

值的变化主要是地电场变化。由于 B 值的量级小, 故平行方位的 B 值异常场强处于同一量级。

3.3 多方位 B 值异常的矢量比值为 1

依据电场的矢量性, 可以考察 B 值异常的性质。前人已用下式考察过某些地电测点的正常场的性质(公式解释略)。

$$\frac{E_L}{E_0} = \frac{\frac{V_L}{D_L}}{\sqrt{\left(\frac{V_x}{D_x}\right)^2 + \left(\frac{V_y}{D_y}\right)^2}} \cdot \cos(\theta - \alpha) = 1 \quad (1)$$

笔者认为更重要的是对异常场进行考察。鉴于异常场是叠加在正常场之上的, 因此需对正常场与异常场加以区分。

1989 年 3 月 13~14 日发生大磁暴。依据式(1)计算这两天多方位 B 值的矢量比值分别为 1.02 和 -0.96, 证实观测到了由磁暴引起的附加大地电场的变化。

3.4 P_C 地电脉动和地电日变化的谱分析

大地电场地电脉动与地磁脉动具有相同的周期和成因, 其脉动周期一般为 0.2~1 000s。图 2 为岱山中学在白天记录到的 P_{C3} 、 P_{C4} 、 P_{C5} 地电规则脉动。其曲线 a、b、c 的脉动周期分别是 10~45s、45~150s、150~600s, 振幅分别为 0.2、0.3 和 1.0mV。这表明该点记录到了大地电场的微变化^[3]。

大地电场起源于天电, 其日变化与地磁场具有相同的周期。周期一般为 24、12、8、6h。地电 SN 分量与地磁 E 分量的形态比较一致, EW 分量与地磁 N 分量的形态比较一致。

功率谱分析表明, 1989 年 3 月 12~15 日磁暴时, 武昌台地磁偏角与岱山地电都有 17.1h 的卓越周期。

对不同时间段的武昌台地磁偏角整点值和岱山地电的功率谱分析表明, 地电含有与地磁场相同的谐波成分。这亦是该点地电场观测到大地电场变化的证据(图略)。

3.5 地电暴湾扰

岱山中学地电场对磁暴相当敏感, 几乎完整地记录了 1988~1991 年的每一个磁暴引起的地电暴湾扰, 是该点观测到大地电位的有力证据。

1989 年 3 月 13~14 日发生 $k=9$ 的大磁暴。图 3 为 1989 年 3 月 13 日地电自记曲线。SN 地电暴湾扰最大变化幅度达 45mV, 地电暴场强达 362mV/km。图 4 为地磁地电整点值曲线。地磁偏角 (D) 采用武昌地磁台资料。

相关分析表明, 磁暴时大地电位的变化比磁偏角的变化滞后 9h, 呈显著相关。地磁地电整点值的卓越周期为 17.1h。

瑞典米尔教授(1989)给出简化的二维地球电磁感应计算公式

表 2

SE 与 NW	N	γ
日均值	191	0.256
B 值	183	0.607

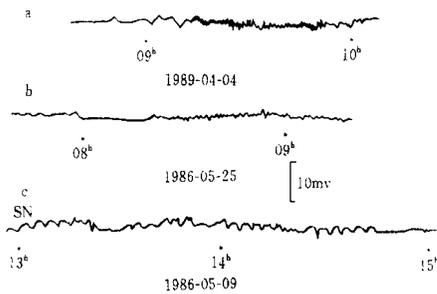


图 2 P_C 脉动实测曲线

Fig. 2 The measured curves of P_C geoelectric pulsations.

a P_{C3} 脉动曲线; b P_{C4} 脉动曲线; c P_{C5} 脉动曲线

$$|E_Y|^2 = 0.579 \times 10^{-4} \cdot \frac{1}{T} \cdot \rho \cdot |H_x|^2 \quad (2)$$

式(2)中, T 为周期, 单位为 d, 取实测值 $T = \frac{17.1}{24} = 0.7125(d)$ 。 ρ 为电阻率, 红砂岩的电阻率取 $10^2 \sim 10^3 \Omega \cdot m$ 。 当磁暴指数 $k = 9$ 时, $|H_x|$ 应大于 300nT, 取 350nT。 计算得 $|E_y|$ 为 31.55 ~ 99.77mV/km。

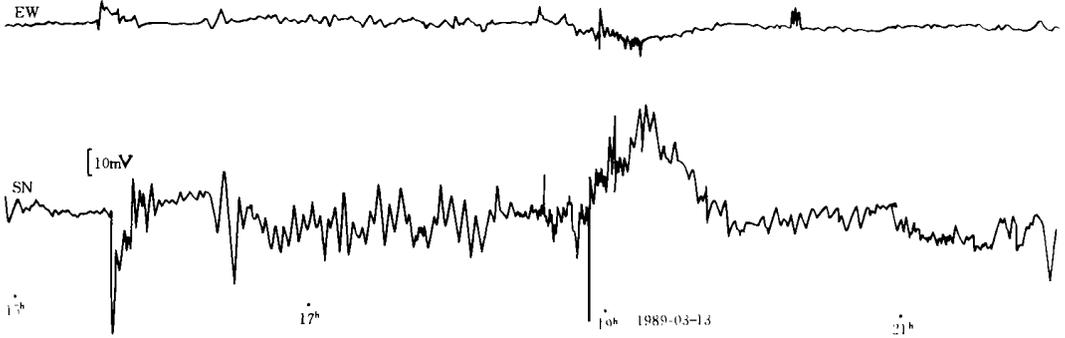


图 3 1989 年 3 月 13 日地电自记曲线

Fig. 3 The geoelectric bay curves measured on March 13, 1989.

实测 SN 地电暴场强达 362mV/km, 比计算值高一个数量级, 表明岱山中学位于地壳电导率不均匀地区, 是观测大地电位变化的敏感点。

通过上述分析, 可以认为该校观测到了大地电位短周期变化。地电场观测本质上是相对值测量, 只要求基值稳定, 能观测到并区分出叠加在基值之上的大地电位变化, 就达到了我们的目的。该校地电场对大地电位相当敏感的事实, 反映出此手段具备一定的监测大地电位地震前兆的能力。

4 与强震有关的大地电位异常图象

图 5 给出了 5 组强震前的大地电位异常图象, 现分述如下。

4.1 澜沧 7.6 级地震前的异常图象

图 5a 为 1988 年 11 月 5 日地电位自记曲线。图中可见, 1988-11-05-20:50 ~ 06-00:55 共记录到 3 组异常信号, 持续时间分别为 45、40 和 75min。EW 向的信号幅度较大, 其峰—峰值为 8.0mV, 在电磁幅射信号影响下, 大地电位基值逐渐倾斜变化, 最大变化达 6.0mV。SN 向的超低频异常信号较小, 其峰—峰值为

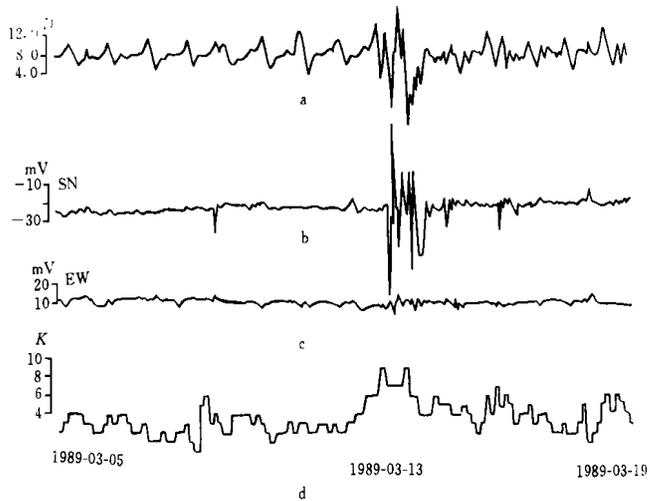


图 4 地磁地电整点值曲线

Fig. 4 Curves of geomagnetic and geoelectric values at integral o'clock sharp. a 武昌地磁台磁偏角; b、c 岱山中学大地电位; d 磁暴指数

2~3mV, 基值倾斜变化为-3.0mV。以上异常出现后的第二天, 即 1988-11-06-23: 03 发生澜沧 7.6 级地震。震中距为 1 550km。

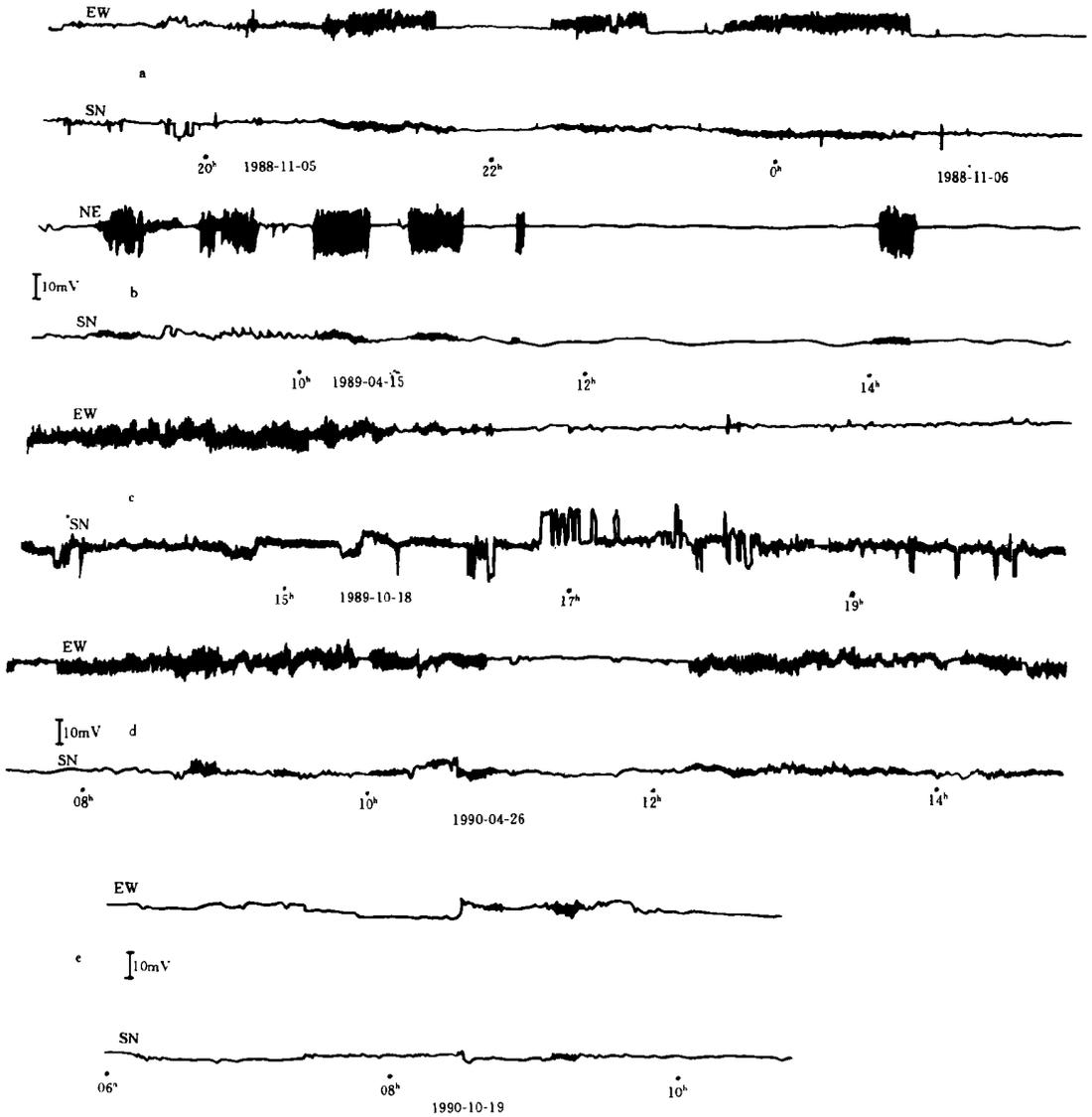


图 5 强震前大地电位异常

Fig. 5 Anomalies of ground potential before strong earthquakes.

- a 澜沧 7.6 级地震前; b 巴塘 6.7 级地震前; c 大同一阳高 6.1 级地震前;
- d 青海共和 6.9 级地震前; e 甘肃景泰 6.2 级地震前

4.2 巴塘 6.7 级地震前的异常图象

1989 年 4 月中旬至 5 月上旬, 岱山中学地电场连续观测到成簇的持续时间为几分钟到半小时的超低频信号, 异常时间段与巴塘 6.7 级震群对应较好。

由图 5b 曲线可见, 1989 年 4 月 15 日 EW 向接收到 6 组超低频信号, 其峰—峰值为

18mV, 单簇信号持续时间为 3~20min, 基值变化为-4.0mV。SN 向所记录到的信号, 其峰—峰值为 2mV, 基值变化为 1.0mV。在异常出现后的第 2 天, 即 1989-04-16-04:34, 巴塘发生了 6.7 级地震。震中距为 1 410km。

4.3 大同一阳高 6.1 级地震前的异常图象

图 5c 曲线中, EW 向接收到的几组超低频信号的峰—峰值为 9mV。在 1989-10-18-14:30~15:10, 大地电位基值变化为-4.0mV。SN 向的峰—峰值为 3mV, 在下午 14:35~45, 基值变化为-3.0mV。SN 向还接收到一系列持续时间为 0.5~5min 的方波, 方向有正有负, 幅度达 12mV。方波较密集的时间在 16:00~18:00。以上异常出现后的第 2 天, 即 1989-10-19-01:01 发生了大同一阳高 6.1 级地震。震中距为 1 045km。

4.4 青海共和 6.9 级地震前的异常图象

由图 5d 曲线可见, 1990 年 4 月 26 日 EW 向记录到多组超低频信号, 峰—峰值为 8.0mV, 在上午 10:40 基值变化为-2.0mV。SN 向在 10:20~40 电磁幅射峰—峰值为 3mV, 大地电位基值有一个倾斜变化, 最大达 5.0mV, 这些异常过后, 于 1990-04-26-17:37 发生了青海共和 6.9 级地震。震中距为 1 410km。

4.5 甘肃景泰 6.2 级地震的异常图象

由图 5e 曲线可见, 1990 年 10 月 19 日 EW 向记录到少量超低频信号, 峰—峰值为 4mV。在上午 07:22~08:29, 大地电位基值发生倾斜变化, 最大达-5.0mV。在相应时间里, SN 向的电磁幅射峰—峰值为 2mV, 大地电位基值的变化为 2.0mV。这些信号出现后的第 2 天, 即在 1990-10-20-16:07 发生了甘肃景泰 6.2 级地震。

以上是比较典型的岱山中学大地电位临震异常图象。单簇异常图象的持续时间一般为几十分钟, 尚未造成日均值异常变化。这些图象与雷电脉冲或磁暴造成的地电湾扰、以及游散工业脉冲、仪器自激图象有明显区别, 是比较可靠的与地壳应力变化有关的大地电位异常, 为临震异常图象增添了新的内容。

5 大地电位临震异常的物理特征分析

5.1 大地电磁幅射异常的主频率

受仪器走纸速度(6cm/h)的限制, 根据记录波形及笔绘特点, 采用计算单位时间内的脉冲个数的方法, 估算出所记录电磁幅射信号的频率为 0.1~0.03Hz, 周期约为 10~33s。

5.2 异常“超前时间”的统计

这里以超低频电磁信号与大地电位基值同时出现变化的时间作为异常起始时间, 它距发震时刻的时间间隔即是本文所指的异常“超前时间”, 统计结果见表 3。

由表 3 可见, 异常超前时间与震级、震中距似乎不存在相关关系。

5.3 大地电位基值异常幅度与震级、震中距的关系

从图 5 可以看出, 单道测线大地电位基值倾斜变化的最大异常幅度达 6.0mV, 折算场强达 61.2mV/km。总异常矢量的最大场强为 70.0mV/km。

表 3 地震异常超前时间的统计结果

震中	震级	异常起始时间	发震时间	异常超前时间(h)
澜沧	7.6	1988-11-05-20:50	11-06-23:03	26.0
巴塘	6.7	1989-04-15-08:50	04-16-04:34	19.7
大同	6.1	1989-10-18-14:20	10-19-01:01	11.0
共和	6.9	1990-04-26-08:50	04-26-17:37	8.8
景泰	6.2	1990-10-19-07:20	10-20-16:07	32.5

图 6 为总异常场强 ΔV 和震中距 r 之乘积的对数与相关地震震级的关系散点图(图中还有重庆 5.2 级地震与常熟 5.1 级地震的数据)。

由图 6 可见, $\lg(r \cdot \Delta V)$ 与 M_S 似呈正相关关系。尽管统计样本个数偏少, 但仍粗略地反映了岱山中学单台异常总场强与不同震级、不同震中距的地震的关系, 大致是与震级成正比, 与震中距成反比。

5.4 大地电位基值异常矢量角与所对应的地震的等震线长轴方向的关系

由表 4 可见, 所统计的几次震例中, 有一次震例的异常相关角近似等于 0° , 有 3 次震例的近似等于 90° 。巴塘地震的异常矢量角则与巴塘至武汉的地理方位角一致。大地电位基值异常矢量方向或者垂直于相关地震的等震线长轴方向, 或者与等震线长轴方向一致, 似乎反映出场源与接收点存在着某种相关性。

5.5 超低频电磁辐射异常信号峰—峰值水平合矢量方向与震中的关系

统计结果见表 5。
由表 5 可见, 有 3 次震例的峰—峰值异常矢量角与等震线长轴方位角相近, 有 1 次震例的峰异常相关角近似等于 90° 。巴塘地震的峰—峰值矢量角与巴塘至武汉的地理方位角相近。这些现象表明, 上述地震前的电磁辐射异常信号来自相应震中场源方向。

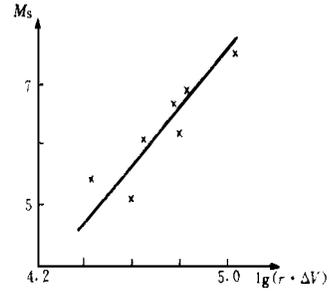


图 6 震级 M_S 与 $\lg(r \cdot \Delta V)$ 的关系
Fig. 6 Relationship between M_S and $\lg(r \cdot \Delta V)$.

表 4 大地电位基值异常矢量角与所对应地震等震线长轴方向的统计结果

震中	震级	等震线长轴方向	异常矢量角 β	异常相关角 $(\alpha-\beta)$
澜沧	7.6	330°	82°	$180^\circ + 68^\circ$
巴塘	6.7		272°	
大同	6.1	35°	315°	$-(180^\circ + 100^\circ)$
共和	6.9	315°	230°	85°
景泰	6.2	285°	267°	18°

6 讨论

(1) 与毛可等报告的时间长达数天到数月的地电场长周期异常不同, 本文报告的大地电位异常属持续时间仅数十分钟的临震异常。与张德齐等^[4]报告的频率为 0.1 ~ 20Hz 的超低频电磁辐射异常也不同, 本文报告的超低频异常信号的频率仅为 0.03 ~ 0.1Hz。因此这种新型的稳变与交变信号综合在一起的大地电位异常, 不仅丰富了地电场临震前兆图象, 也为把目前国内外地震电磁辐射研究的超低频段向更低频率的一端扩展开来提供了可信的资料和证据。

表 5 超低频电磁辐射异常信号峰—峰值水平合矢量方向与相应地震等震线长轴方向的统计结果

地震	等震线长轴方位角 α	峰—峰异常矢量角 β_1	峰异常相关角 $(\alpha-\beta_1)$
澜沧	330°	120°	$180^\circ + 30^\circ$
巴塘		107°	
大同	35°	118°	-83°
共和	315°	120°	$180^\circ + 15^\circ$
景泰	285°	127°	$180^\circ - 22^\circ$

(2) 澜沧地震前的大地电位前兆图象比较典型, 并且是在夜间出现的, 无干扰。所记录到的大地电位基值的短暂变化与希腊瓦罗特索斯等报道的大地电位前兆形态相似, 不同点在于岱山中学大地电位的倾斜变化是受 $0.03 \sim 0.1\text{Hz}$ 的超低频电磁辐射信号影响造成的。

(3) 大同一阳高 6.1 级地震的临震前兆以 SN 向出现兼有正负方向变化的方波为特征, 方波持续时间为 $0.5 \sim 10\text{min}$ 。这个现象似乎可以解释以往土地电临震突跳表现为指针左右摆动的根源。只有这种方波及 0.03Hz 左右的超低频信号才能造成表头指针明显摆动。

(4) 在有关震前地电场异常与电磁辐射异常的报道中, 多数都有强弱反复与阵发的特点, 许多单个异常或单簇脉冲的持续时间都为数十分钟。本文的异常图象亦表明, 在短临预报探索中, 仅仅只观测整点值是不够的, 在大地电位观测中, 这应推广自动连续记录, 以抓住大地电位短暂异常。

(5) 本文报告的交变异常频率约为 $0.03 \sim 0.1\text{Hz}$, 一个波长(λ)约为 $1\,000 \sim 300$ 万 km, 相关震源与接收点距离(R)最大为 $1\,500$ km, R 与 λ 之比约为 $0.00015 \sim 0.0005$ 。一般认为位于电磁辐射场 $R < \lambda$ 的区域均为准静场。包德修等^[5]论证了在小于 0.1λ 的范围内, 准静场占绝对优势。故本文报告的强震前超低频扰动仍属电磁辐射的准静场段, 可以用直流场沿地壳表层的地壳波导传播理论加以解释与定量研究。

参考文献

- 1 毛可, 等. 几次地震前河西地区地电场的异常特征. 西北地震学报, 1991, 13(3).
- 2 Varotsos P, et al. Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquake. I. Tectonophysics, 1984, 110.
- 3 孙正江, 等. 地电概论. 北京: 地震出版社, 1984.
- 4 张德齐, 等. 地震电磁波前兆的观测研究. 震前电磁波观测与实验研究文集. 北京: 地震出版社, 1989.
- 5 包德修, 等. 地震电磁信息的偶电体模型. 中国地震, 1991, 7(4).

THE OBSERVATIONS OF ELECTROTELLURIC FIELD AND ANOMALY CHARACTERS OF GEODETIC POTENTIAL BEFORE STRONG EARTHQUAKES

Li Jianghua Zeng Ke

(*Seismological Office of Wuhan City*)

Feng Jiaduo

(*Daishan Middle School, Wuhan City*)

Abstract

It is considered that the shortest-period variations of electrotelluric field at Daishan middle school station belong to the geodetic potential through the analyses of parallel direction correlation, the pure anomaly vector ratio, P_C electrotelluric pulsation, geoelectric bay, etc. The station is highly sensitive to geodetic potential change. In addition, the characters of geodetic potential anomaly before the strong earthquakes occurring in Lancang, Batang, etc. are analyzed. These anomaly variations affected by the ultra-low frequency electromagnetic radiation occurred within 8.8—32.5 hours before earthquakes and lasted the time from 20 min to 75 min.

Key words: Geoelectric field, Impending earthquake anomaly, Strong earthquake