

# 提取地震地电场异常的垂直极化方向投影法<sup>\*</sup>

阮爱国 赵和云

(中国兰州 730000 中国地震局兰州地震研究所)

**摘要** 以中法合作项目天祝地电台的观测资料为研究对象,分析了大地电场极化的线性特征,提出了一种分离正常背景变化与异常电信号的方法——垂直极化方向投影法;讨论了不同时间间隔大地电场的极化现象,确定以一天间隔来进行极化方向回归统计.用该方法处理了 1995 年 7 月 22 日永登 5.8 级和 1996 年 6 月 1 日天祝西 5.4 级地震前后的大地电场观测资料,发现两次地震分别超前 28 天和 37 天出现了异常电信号.最后讨论了该方法的使用条件.

**关键词** 大地电场 异常 极化方向 投影

## 引言

进入 90 年代,地震预报中的大地电场观测研究在世界范围内又重新蓬勃开展起来.主要原因有:① 希腊科学家十几年来应用大地电场观测方法,简称 VAN 法(阮爱国, 1998),作出了据称成功率极高的短临地震预报,从而引起了各方面对大地电场观测研究的重视;② 国际上关于 VAN 方法的机理及其预报成功率的争论提出了许多亟待研究的课题,促使一些国家投入了一定的人力物力来开展这方面的观测试验与研究;③ 目前数字化观测仪器的研制、固体不极化电极的应用以及现代化数据传输技术的发展,使大地电场的观测中硬件部分有了长足的进步,其中最显著的是数据的采样密度已达到分秒水平,电极极化问题得到了较好控制.

笔者认为,大地电场预报地震的关键在于 VAN 所述的 SES 信号(seismic electric signals)是否真的存在.从理论和室内岩石力学实验的结果出发,不少科学家都预言地震前有异常电信号存在(Varotsos, Alexopoulous, 1984; Varotsos, 1993).但这些信号混杂于正常大地电场变化的背景中,显然,寻找分离正常变化与异常信号的方法是大地电场法预报地震的一个重要研究领域.本文将给出一种较为有效的方法——垂直极化方向投影法.

研究资料来自中法合作的天祝地电台.该台位于 1990 年景泰 6.2 级地震的极震区,建在海原—祁连山弧形大断裂的破碎带上,大地电场观测在 NS 和 EW 向有极距分别为 110 m 和 250 m 的两道测线,磁场观测 NS 和 EW 两个方向的磁分量.数据采样密度为每分钟 1 次,并采用固体不极化电极.有关台站情况的详细描述请参阅赵和云等(1998)文献.

<sup>\*</sup> 甘肃省自然科学基金(ZS991-A25-013)、中国地震局兰州地震研究所青年基金资助项目.中国地震局兰州地震研究所科技论著编号 LC2000011.  
1998-12-21 收到初稿,1999-12-09 收到修改稿,2000-02-01 决定采用.

1 垂直极化方向投影法原理

几十年来困扰地震监测预报各前兆手段的难题之一，是如何从观测资料中提取真正的前兆异常。实际资料处理方法大都采用信号或信息处理的各种数学方法，常常忽略了各前兆手段观测量的内在特性，得到的所谓异常信号往往不具可操作性和重复性。因此，对所观测量的物理内涵进行详尽的分析并加以利用，从而建立具有明确物理意义的资料处理方法，将是地震短临预报的关键之一。

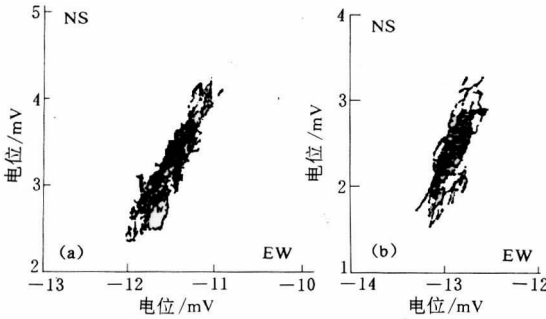


图 1 天祝台大地电场极化图  
(a) 1995 年 1 月 1 日；(b) 1995 年 1 月 15 日

以垂直极化方向为纵轴，则正常变化在纵轴上的变动范围非常小，基本达到了把正常背景变化分离出去的目的。图 2 是对 1995 年 1 月 1 日天祝大地电场观测曲线应用上述方法的处理结果。从图中可以看出，分离效果基本上是满意的。假如有某种信号叠加到了大地电场的正常变化上，而这种信号未必满足已有的线性极化规律，则必然在垂直极化方向的纵轴上远远超出正常变化范围，从而达到了识别异常信号的目的。需要强调的是，得到的异常信号还不一定是地震前兆信息，如降雨、雷电、磁暴、电极电位的突变等都不满足大地电场的规律，因此，它们都会用上述方法之后被反映出来。只有通过观测装置的合理设置加上正确的分析，才能最终识别出地震电信号。

通常，地电场可分为天然变化电场（又称大地电场）和稳定电场（又称自然电场）两大部分。研究发现，大地电场在很多情况下是线性极化的。图 1 为甘肃省天祝地电台观测到的以 1 分钟采样间隔的极化图。不难看出，各变化点大体都落在一个不太宽的长方形区域内，呈一种准线性极化。

大地电场极化的原因是由于天电在地球内部感应而成，它应属于大地电场的正常变化。如果以极化方向为横轴、

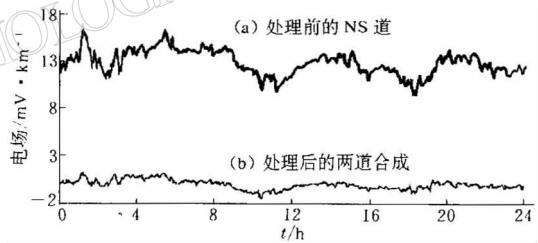


图 2 天祝台 1995 年 1 月 1 日大地电场南北分量  
垂直极化投影法处理前(a)后(b)对比图

2 大地电场的极化特征

虽然已阐明了通过垂直极化方向上的投影可达到分离正常变化与异常信号的目的，但大地电场的极化方向并不是固定不变的。事实上所谓的线性极化仅仅是一种近似的描述，随着时间的推移、极化方向的改变，极化图会偏离准线性形态。那么究竟选择多长时间的观测资料来确定极化方向最为合适？为此，必须弄清楚大地电场线性极化在不同时段内的变化特征。

2.1 1 小时极化特点

图 3 为天祝台 1995 年 1 月 1 日不同小时得到的极化图. 可以明显看出, 同一小时内的极化点相对集中; 每个小时内的极化也都表现为线性极化, 但近似于线性极化的程度有差异. 例如, 图中第 3 小时的极化偏离线性极化的程度就比第 1, 2 小时的大, 但同时也能看出各小时的极化方向大体一致.

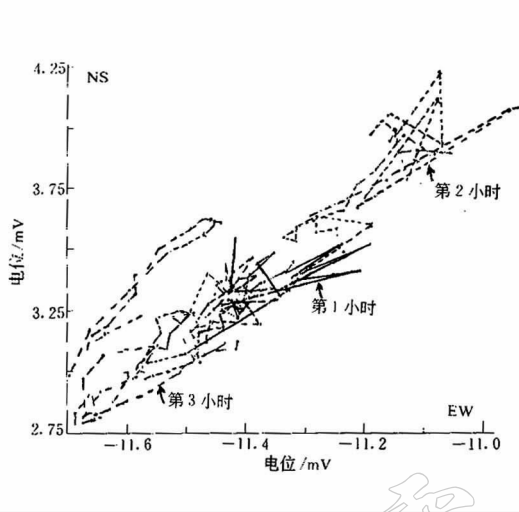


图 3 天祝台 1995 年 1 月 1 日大地电场不同小时的极化图

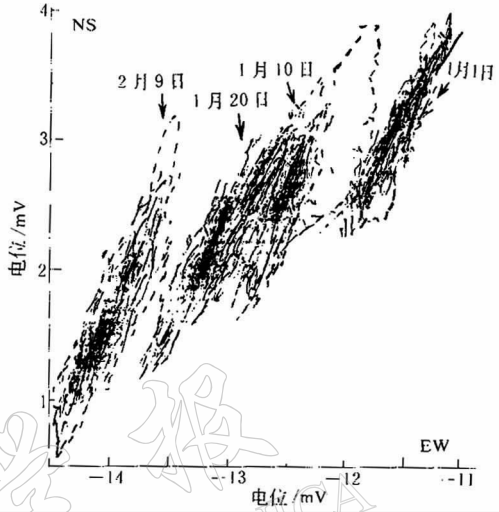


图 4 天祝台 1995 年大地电场不同 24 小时的极化平移现象

2.2 6 小时极化特点

通过对每 6 小时极化图的分析, 所得结论是, 不同 6 小时的极化形态有所差别, 也即与线性极化的最佳拟合直线的吻合程度不同, 但比 1 小时的极化更贴近于线性极化. 每个 6 小时极化点的变化范围大体相同.

2.3 12 小时极化特点

同样对各 12 小时的极化图进行回归分析, 虽然仍有差异, 但不同 12 小时的极化点变化范围基本重合, 极化方向较 6 小时的情况更加接近一致.

2.4 24 小时极化特点

图 4 为天祝台 1995 年资料中若干不同 24 小时之间的极化图. 可明显看出, 24 小时内的极化方向较为稳定, 不同 24 小时的极化方向显示出逐渐偏移的特征. 为了比较不同 24 小时极化方向的变化, 图 5 给出天祝台 1995 年 1 月 1 日(实线)和 1 月 5 日(虚线)的极化图, 以及它们各自回归得到的极化方向. 可以看出, 相邻 24 小时的极化方向一致, 且有较好的稳定性.

以上图件及分析表明, 天祝台大地电场的极化无论在 1 小时、6 小时之内, 还是 12 小时、24 小时之内, 均显示出线性极化的特征. 但当时间间隔较短时, 极化方向不稳定, 个别甚至部分极化点的偏差较大, 难于通过垂直极化方向投影法来识别这些点是正常变化还是异常变化; 当所取时间间隔较长时, 极化方向则相对稳定, 取定的正常背景变化范围趋于合理; 如果时间间隔超过 24 小时, 由于不同 24 小时之间极化点的整体偏移, 使得极化偏离了准线性极化. 因此, 选择极化图的时间间隔以 24 小时(一天)为宜.

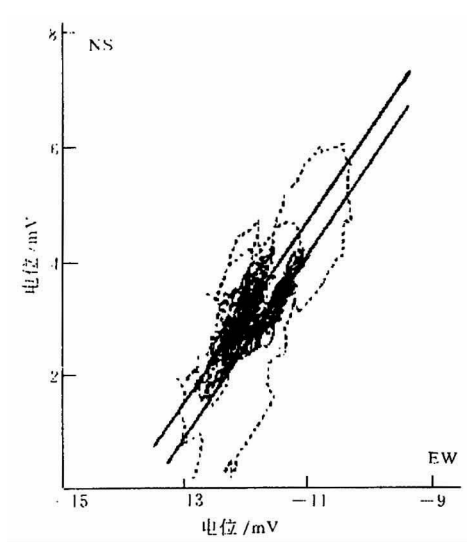


图5 天祝台1995年1月1日(实线)和1月5日(虚线)的极化图及极化方向

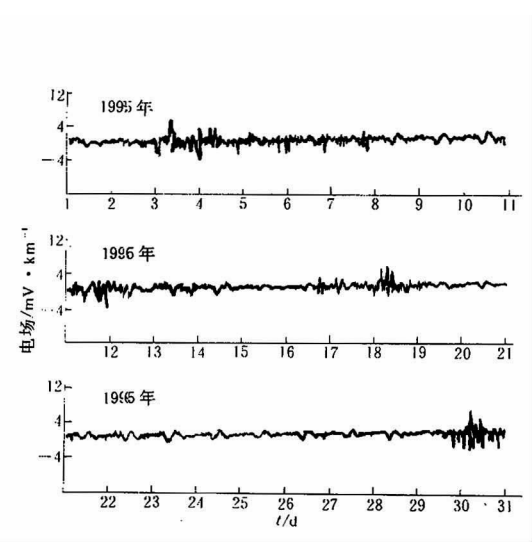


图6 天祝台大地电场1995年1月份资料采用垂直极化方向投影法处理后的结果

3 试算结果

按照上述方法原理和选定的时间间隔,对天祝台1995、1996年全年的资料逐天进行了计算. 计算步骤是:①对NS和EW两个方向上相同极距观测资料在同一时刻的电场观测值进行矢量合成,找出每一时刻的极化点位置;②作这些极化点的线性回归计算,其回归直线即为线性极化的极化方向;③根据回归直线方程对原坐标作平移、旋转,使新坐标的横轴与回归直线重合;④将各极化点投影到新坐标轴的纵轴上.

观测资料的对比分析表明(赵和云等,1998),同一方向不同极距的电场变化基本重合,但高频成分存在随机性差异,所以在上述步骤前,可对同一方向不同极距电场值作平均处理,以消除这种随机差异. 图6为1995年1月份的处理结果. 可以看到,该方法基本消除了背景变化,但仍有个别测值变化较大,为此,给出投影值偏离日均值的3倍均方差作为警戒线. 当超过这一警戒线时,就需要认真分析产生的原因. 天祝台周围无工业企业,观测环境较好,但风扰很大,加之干燥,容易由摩擦产生电扰动,一般这种变化为单点突跳;在

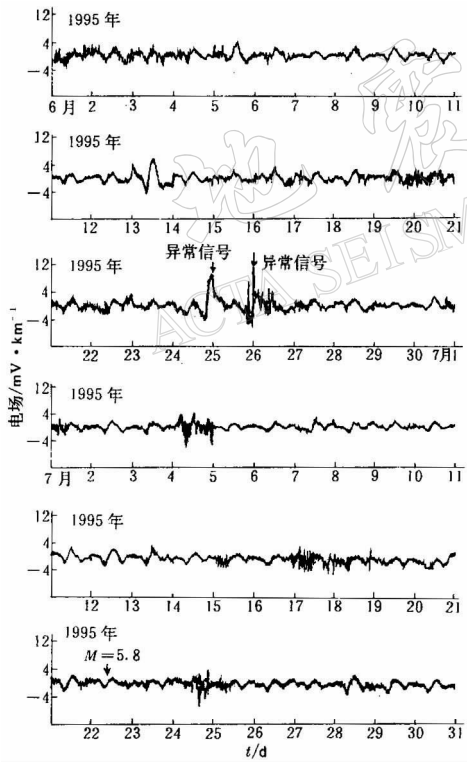


图7 1995年7月22日永登5.8级地震前后经垂直极化方向投影处理后的大地电场

环境较好,但风扰很大,加之干燥,容易由摩擦产生电扰动,一般这种变化为单点突跳;在

夏季也存在雷电、降水引起的变化,这都需要通过气象观测加以剔除.

图 7 是 1995 年 7 月 22 日永登 5.8 级地震前后经垂直极化方向投影处理后的电场变化情况.在 6 月 24、25 日距发震 28 天,出现了特征完全不同于图 6 的异常变化,幅度达 10 mV/km.

图 8 是 1996 年 6 月 1 日天祝西 5.4 级地震前后经垂直极化方向投影处理后的电场变化情况.在 4 月 25 日距发震 37 天,出现了一次明显的幅度为 8 mV/km 突跳性变化.有关这两次地震的电性前兆机理,赵和云等(1998)已作过较全面的分析,本文不再讨论.

## 4 结论

综上所述,垂直极化方向投影法对分离大地电场的正常背景变化与异常变化是简便而有效的.其物理概念清楚,但它的使用也不是无条件的.实际应用中发现至少需要满足以下两点:

(1) 大地电场必须是近似线性极化的.当由于某种原因使极化为椭圆时,该方法的使用效果是很差的.

(2) 观测大地电场的电极电位要大体保持稳定.有时电极在某种外界因素影响下,或使用寿命问题,会使电极电位发生很大的变化,这时就无法使用该方法.这种情况的判定方法是将电场极化图与同点的地磁极化图(一般为椭圆)相比较,如果地磁极化图变化不大而电场极化图变化很大时,则可以判定电极存在问题.

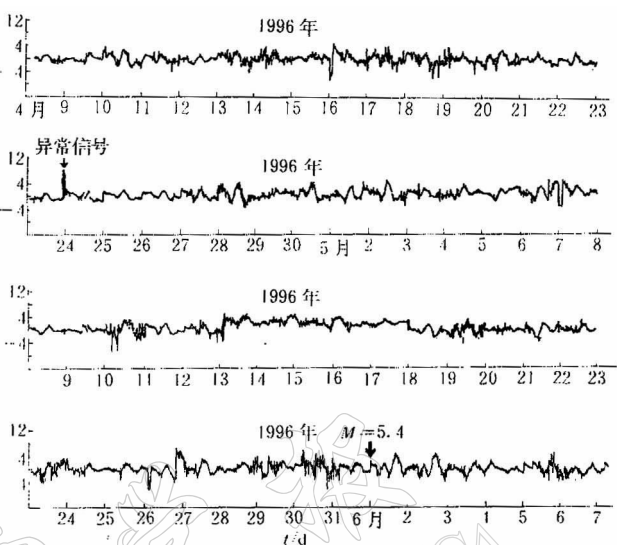


图 8 1996 年 6 月 1 日天祝西 5.4 级地震前后经垂直极化方向投影处理后的大地电场

## 参 考 文 献

- 阮爱国. 1998. 考察希腊地震预报 VAN 法的报告. 地震地电学发展与展望. 兰州: 兰州大学出版社, 138~150
- 赵和云, 阮爱国, 杨荣, 等. 1998. 天祝台地电场三年观测资料的分析与讨论. 地震地电学发展与展望. 兰州: 兰州大学出版社, 123~137
- Uyeda S. 1995. Introduction to the VAN method of earthquake prediction. *A Critical Review of VAN*. World Scientific, 3~28
- Varotsos P, Alexopoulos K. 1984. Physical properties of the variation of the electric field of the earth preceding earthquake. I. *Tectonophysics*, **110**, 73~98
- Varotsos P, Alexopoulos K, Lazaridou M. 1993. Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals II. *Tectonophysics*, **224**(1/2): 1~37