

地电阻率临震突变识别*

杜学彬 陈宝智

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文研究了从复杂地电阻率变化背景上提取地电阻率临震突变信息的数学方法,并以景泰6.2级地震为例,讨论了区分中强以上地震前的临震突变异常和干扰引起的突变异常的思路和方法。对于地电台站密集地区发生的中强以上地震,在临震前用本文提出的思路和方法有可能对其发生地点和发震时间作出比较准确的预报。

关键词: 临震突变;地电阻率;景泰地震

一、前言

文献[1]的研究结果表明,中国大陆多次中强以上地震前都观测到地电阻率(ρ_s)临震突变。突变多数集中在震前几小时—十几天开始出现,一般变化量级 $\Delta\rho_s/\rho_s \geq 10^{-2}$,变化量 $\Delta\rho_s \geq 2\sigma_{n-1}$ (σ_{n-1} 是曲线均方根误差)。实验室大型花岗岩非饱和标本破裂实验也揭示,岩石标本大破裂前夕 ρ_s 变化出现类似突变^[2]。因此在平稳变化的 ρ_s 均值序列上, ρ_s 临震突变一般是很明显的。

但是当 ρ_s 临震突变迭加在十分复杂的 ρ_s 变化背景上时,则难以辨认,另外干扰因素也可以造成 ρ_s 发生突发性变化。因此,如何从 ρ_s 复杂变化背景上提取其临震突变异常,以及如何区分孕震过程引起的 ρ_s 临震突变异常和干扰因素引起的 ρ_s 突发性变化,是应用地电阻率法预报地震的重要问题。本文对上述问题进行了研究,提出了识别临震突变异常的具体思路和方法。

二、提取 ρ_s 突变异常的数学方法

1. 数学思路

由于 ρ_s 临震突变是突发性变化,持续时间短,因此,可以由 ρ_s 正常变化时段(拟合段)求出最佳周期成份,再外推出突变期间(外推段)的周期成份。由实际观测值扣除拟合段、外推段的周期成份和序列平均值,得残差序列。拟合段不含与临震突变相关的信息,若外推段出现突变,则外推段残差与拟合段残差应有明显差异,否则不应有明显差异。

2. 周期成份优选及外推

* 地震科学联合基金会资助项目。

ρ_s 曲线的正常变化由趋势变化、周期成份和随机成份构成。趋势变化可看作是周期远大于资料段长度的周期分量,故 ρ_s 正常变化是周期和随机成份两者迭加。

用 $X(n) (n=1, 2, \dots)$ 表示等时间间隔的 ρ_s 均值序列。 ρ_s 变化的数学模型为:

$$X(n) = P_L(n) + S(n) + \bar{C} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

其中 $P_L(n)$ 为周期成份; $S(n)$ 和 \bar{C} 分别表示随机成份和序列平均值; L 是 $X(n)$ 中所含周期分量总个数。

设拟合段 $X(n)$ 长度为 N 。以剩余平方和最小为目标, 试验确定各周期分量的周期、振幅和初相。试验周期上限为 N 的 4—10 倍。对优选出的每一周期分量的可信性检验采用 Schuster 随机概率判别法^[3]。

设 N' 为外推段长度。优选出 $P_L(n)$ 后, 其外推段周期值为 $P_L(n) (n=N+1, N+2, \dots, N+N')$, 分别求得外推段和拟合段残差, 即(1)式中的随机值 $S(n) (n=1, 2, \dots, N, N+1, \dots, N+N')$ 。

实际上拟合段往往很复杂。由于这种复杂性可能会造成外推段残差出现系统性偏差, 因此要求外推段初始部分(长度为 M)是正常变化。由(1)式外推出初始部分 M 个 ρ_s 值后, 用 M 个实测 ρ_s 值对应减去 M 个外推的 ρ_s , 得 M 个差值, 求其平均 V_m 。用 V_m 修正外推的周期值。为此须由拟合段残差求出外推段初始部分的 M 个残差值 $S(n) (n=N+1, N+2, \dots, N+M)$ 。

用统计检验方法^[4]对拟合段 $S(n) (n=1, 2, \dots, N)$ 进行平稳性检验表明, 在给定显著水平 α 的条件下, $S(n)$ 一般是平稳的, 所以外推段初始部分残差值 $S(n)$ 可由拟合段的 N 个残差值和下式外推得到:

$$S(N+1) = C(1)S(N) + C(2)S(N-1) + \dots + C(k)S(N+1-K) \quad (2)$$

其中 k 是预测模型阶数, 由 FPE 准则确定; $C(n) (n=1, 2, \dots, k)$ 是预测系数, 由 BUG 递推法^[5]求得。

3. 残差序列讨论

拟合段和外推段最终残差序列为:

$$S(n) = X(n) - [P_L(n) + \bar{C}] \quad (n = 1, 2, \dots, N, N+1, \dots, N+N') \quad (3)$$

由拟合段残差确定残差变化上、下限。

$$e = \bar{S}(n) \pm 2\sigma_{n-1}$$

其中 $\bar{S}(n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S(n)$, σ_{n-1} 是拟合段残差的均方根。

如果外推段出现临震突变, 则外推段和拟合段残差应满足下式:

$$\left. \begin{aligned} |S(n)| &\leq e \quad (n = 1, 2, \dots, N, N+1, \dots, N+M, N+M+1, \dots, N+I-1, N+I', \dots, N+N') \\ |S(n)| &> e \quad (n = N+I, N+I+1, \dots, N+I'-1) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

I 和 I' 的取值范围是 $M+1 \leq I < I' \leq N'$ 。

如果外推段内没有出现临震突变, 则拟合段和外推段残差应满足下式:

$$|S(n)| \leq \varepsilon (n = 1, 2, \dots, N + 1, N + 2, \dots, N + N'). \quad (6)$$

ρ_s 临震突变一般在震前一个月内出现,再考虑到对外推周期值的校正,实际计算中一般外推 50—60 个数据,即取 $N' = 50 - 60$ 。当拟合段足够长时,就能较准确的外推出与拟合段一致的 N' 个正常变化的周期值。

4. 实例检验

图 1 是 1976 年唐山 7.8 级地震前后邢台台和 1990 年景泰 6.2 级地震前后山丹台 ρ_s 日均值曲线,由图可见,震前很难识别出临震突变异常。

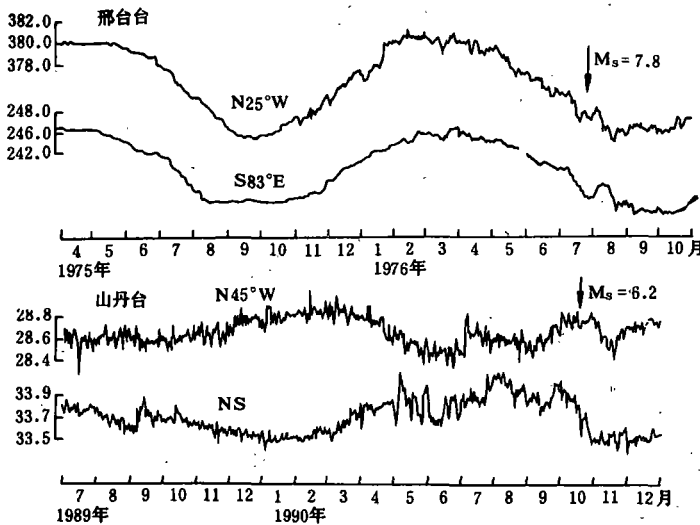


图 1 邢台和山丹地电台地电阻率日均值曲线

Fig. 1 Daily mean value curves of earth-resistivity at Xingtai and Shandan geoelectric stations

用外推法对两台的资料作处理。外推段选取比较长,为 126—250 天,即 $N' = 126 - 250$,包括临震前及震后一段时间。图 2 是其残差序列。

由图 2 可以看出,临震突变十分清晰。临震前及震后短期内残差连续超出 ε 上、下限。4 条残差曲线都显示了平稳—短期异常—突变—回复的过程。突变前和突变消失后的残差基本上都在 ε 上、下限之内变化,并且拟合段和外推段的相毗邻部分没有明显差异,是连续变化的。

三、 ρ_s 临震突变异常空间识别

干扰也造成 ρ_s 发生突发性变化。因此,对 ρ_s 均值曲线和残差序列出现的 ρ_s 突变异常需要进行判别,确定其是临震突变还是非震干扰。

笔者在 1989 年提出了“地电阻率临震突变活断层—应力场效应”(以下简称“效应”,1989 年 9 月在全国中青年科技人员地电前兆学术研讨会上作了交流¹⁾),认为:(1)地电台与地震震中之间存在深大活断裂或强烈活动的断层,当其走向与发震应力场方向交角较小时,对地电台观测 ρ_s 临震突变有“阻隔”作用。活断裂、活断层走向与发震应力场方向平行时,“阻隔”作用最强;二者正交,“阻隔”作用最弱。(2)位于深大活断裂或强烈活动的断层附近(20—30 公里以内),并且与中强以上地震震中的连线和发震应力场方向夹角小于 30°左右的地电台震前易观测到 ρ_s 临震突变。文献[6]对这种“阻隔”作用作了有限元数值模拟,结果表明“阻隔”作用是确实存在的。

1)杜学彬等,地电阻率临震突变与活断层、发震应力场 (地震学报待刊)

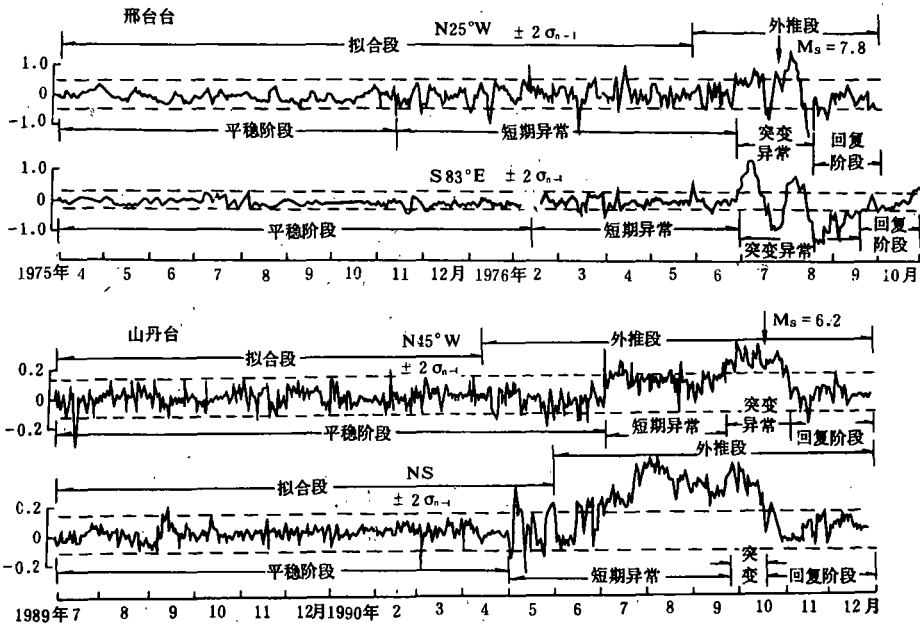


图2 邢台和山丹地电台地电阻率残差序列

Fig. 2 Residual sequences of earth-resistivity at Xingtai and Shandan geoelectric stations

需要指出的是发展应力场是指对震源断层错动起了主要作用的应力场。对已发生的地震由震源机制资料和野外考察确定。对于不同的地震,其发震应力场可能以压应力为主,也可能以张应力为主。

本文以1990年景泰6.2级地震*为例,根据“效应”讨论如何从空间上识别ρ_s临震突变异常。景泰6.2级地震震中周围450公里范围内分布有16个地电台(图3)。其中兰州和天水台数次更换仪器,漏电次数较多,不易分析利用,无平罗台观测资料,故这3个台不列入讨论范围。其余13个台震前观测条件均符合《地电台站技术规范》要求,并且各台资料均当天上报,显然这13个地电台的观测结果是可信的。在13个台站中,武威、定西和山丹三个台观测到了临震突变异常,其余10个台没有观测到ρ_s异常。

武威台EW道ρ_s测值从1990年5月开始线性上升,10月1日开始大幅度下降(图4),这一变化与1986年门源6.4和1984年天祝西4.7级地震前ρ_s短临变化形态类似²⁾。但是1985年和1987年武威台附近并未发生中强以上地震,该台ρ_s也出现了类似变化。因此仅此无法断定这一变化是临震异常还是非震因素引起的。由图4和图1可见定西台NS道和山丹台NS道、N45°W道ρ_s测值也出现突变异常。山丹台的突变异常在差值序列上很明显(图2)。表1给出这3个台的ρ_s突变异常参数。

3个台出现ρ_s突变异常的起始时间仅相差1—十几天,而且ρ_s突变异常均迭加在持续

*景泰6.2级地震前地电阻率变化十分典型,笔者在有关文章中曾使用过这些资料。

了3—5个月的短期异常背景上。尤其是武威台和定西台突变异常的起始时间仅相差一天，短期异常均呈线性上升，持续时间相近。

这3个台相距约160公里—500公里，其连线呈NW向并跨越NWW走向的海原—六盘山断裂带西段(图3)。

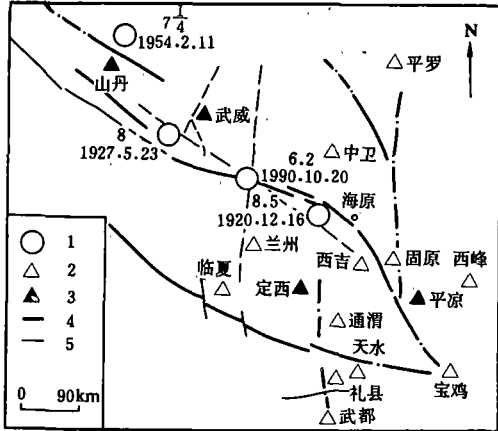


图3 地电台、震中和主要活动断层分布图
Fig. 3 Distributive maps for geoelectric stations, epicenters and mainly active faults

根据作者提出的“效应”可以认为上述三个台的突变异常可能是地震引起的。根据空间位置分析，未来地震震中应位于海原—六盘山断裂带西段，其发震应力场方向大致为NW向或与此方向大致相同。

从台址构造条件看，武威台位于武威—天祝NW向活断层和民勤—武威NE向活断层交江处，距1927年古浪8级大震震中约40公里，武威台所在地区是该次地震高烈度区(X度区)。1984年巨马5.6级地震前该台EW道就观测到明显的 ρ_s 临震突变，1984年天祝西4.7和1986年门源6.4级地震该台也观测到类似的 ρ_s 变化。山丹台距龙首山南缘深大活断裂十几公里，距1954年山丹7 $\frac{1}{4}$

级地震震中二十几公里。1984年刚察5.3、天祝西4.7级地震前该台NS道就观测到明显的 ρ_s 临震突变。定西台距通渭—武都南NS向深大活断裂约30公里。可见3个台均位于弱地壳部位。另外3个台和震中的连线与推测的NW向发震应力场方向夹角均不大，并且3个台与震中之间也不存在“阻隔”断裂、断层。

中卫、临夏等10个地电台同期内没有出现 ρ_s 异常(图5)。根据作者提出的“效应”分析，这是由于该区的NS、NW和NWW向深大断裂对西吉、通渭、固原、礼县、平凉、西峰、武都和宝鸡8个台形成“阻隔”；临夏台附近没有深大断裂，并且该台和震中的连线与发震应力场方向夹角在60°—70°；中卫台和震中连线与发震应力场方向几乎垂直。

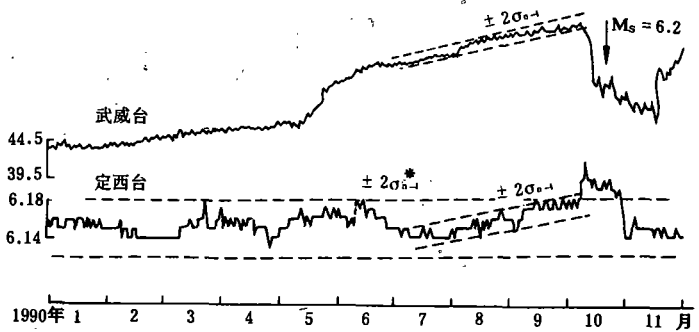


图4 武威和定西地电台地电阻率日均值曲线
Fig. 4 Daily mean value curves of earth-resistivity at Wuwei and Dingxi geoelectric stations

2) 杜学彬, 武威地电台映震能力(待刊)

平凉台 NS 道 ρ_s 在 10 月中旬出现持续几天的下降变化, 幅度很小, 并且不连续(图 5)。这一变化与武威、定西和山丹台的变化无内在联系^[7]。

表 1 突变异常参数

台站	震中距 (km)	观测道	相对变幅 %	均方差 (σ_{n-1})	变化量 (σ_{n-1})	超前时间 (天)	说 明
武威	130	EW	-4.4	0.08	27.4	10	消除线性变化
定西	192	NS	+0.8	0.01	6.1	11	消除线性变化
山丹	285	N45°W	1.2	0.06	5.8	26	外推法, 消除规则干扰
		NS	1.4	0.07	7.8	26	外推法, 消除规则干扰

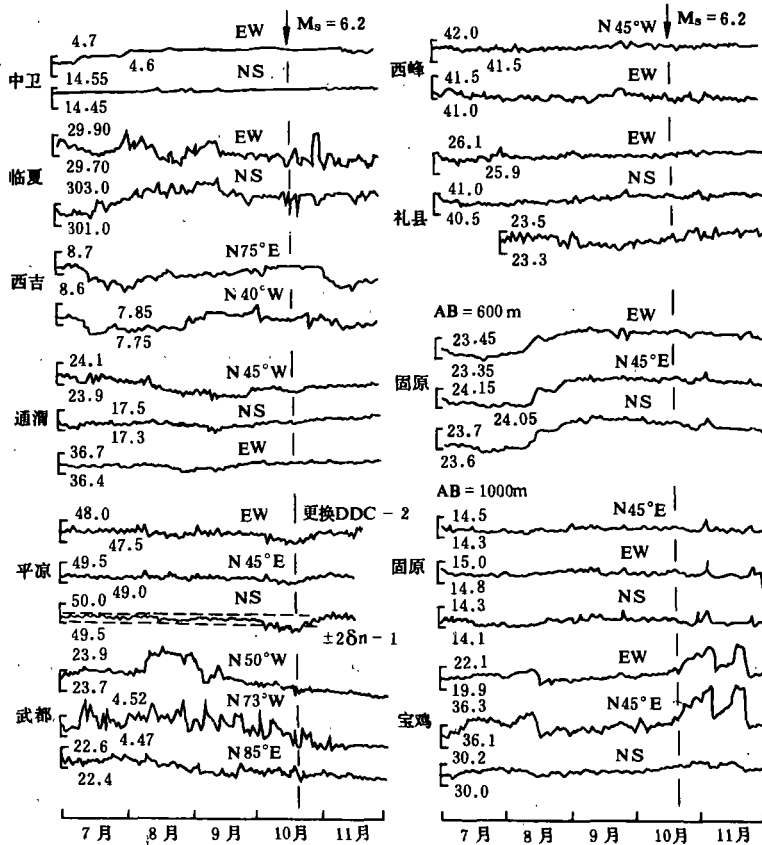


图 5 中卫等 10 个地电台地电阻率日均值曲线

Fig. 5 Daily mean value curves of earth-resistivity at Zhongwei geoelectric station as well as other 9 stations

四、结论

1. 在 ρ_s 背景变化比较复杂时,利用本文介绍的外推法对资料进行处理后在其残差序列曲线上可以明显识别出临震突变及短期异常。

2. ρ_s 临震突变的分布很复杂,并且干扰因素也能引起 ρ_s 出现突变异常,但根据作者1989年提出的“活断层—应力场效应”,再结合其他条件一般能在震前识别出 ρ_s 临震突变,并对发震地点和时间作出预报。对于在地电台站密集的地区发生的中强以上地震,利用本文提出的思路和方法有可能对其发生的时间和地点作出较准确的临震预报。

(本文1992年2月11日收到)

参考文献

- [1] 杜学彬, 临震 ρ_s 突变活断层—应力场效应, 地震, No. 1, 1992.
- [2] 陆阳泉, 大型花岗岩标本缓慢膨胀破裂过程中电阻率和声发射前兆特征的实验研究, 西北地震学报, Vol. 12, No. 2, 1990.
- [3] 黄忠恕, 波谱分析方法及其在水文气象中的应用, 气象出版社, 1983.
- [4] 冯康, 数值计算方法, 国防工业出版社, pp. 192—200, 1978.
- [5] 何振亚, 数字信号处理的理论与应用(下册), 人民邮电出版社, pp. 249—269, 1983.
- [6] 阮爱国, 地电台址构造条件三维有限元数值模拟, 西北地震学报, Vol. 13, No. 4, 1991.
- [7] 杜学彬, 景泰 6.2(M_s)级地震地电阻率变化特征, 中国地震, Vol. 8, No. 3, 1992.

RECOGNITION OF SUDDEN CHANGE IN EARTH-RESISTIVITY DUE TO EARTHQUAKES

Du Xuebin, Chen Baozhi

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Abstract

This paper studied a mathematical method for separating sudden change anomalies from complicated background changes in earth-resistivity, and discussed how to recognize the sudden change anomalies in earth-resistivity due to earthquakes and sudden changes in interferences immediately before the earthquakes, taking the Jingtai earthquake (6.2) as an example. The result shows that for moderately strong or strong earthquakes which occur in the dense area of geoelectric stations, it seems to be possible to predict the epicenters and the times of occurrence using the method mentioned above immediately before the earthquakes.

Key Words: Sudden Change Anomaly; Earth-Resistivity; Jingtai Earthquake