

武威地电台映震能力讨论^{*}

杜学彬

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 本文研究了武威地电台周围 150 km 范围内发生的景泰 6.2、门源 6.4、天祝西 4.7、旦马 5.6、雅布赖 4.7 级地震和共和 7.0 级地震($\Delta=270$ km)该台地电阻率(ρ_s)变化,结果显示:对于前 4 次地震,该台 EW 道测值出现 10^{-1} — 10^{-2} 量级的 ρ_s 短临异常,共和和雅布赖地震前后观测到 10^{-1} 量级的 ρ_s 短期下降异常。作者研究认为, ρ_s 异常可能是该台 EW 道探测范围内介质不完整,孕震后期震源力学过程引起地下水沿测区内次级断层、裂隙或裂缝活动造成的。最后本文指出,该台 EW 道测值对其周围特定位置发生的中强以上地震,在短临阶段映震能力较强。

关键词: 河西走廊地震构造带 青海 强震 地电阻率 映震能力 临震异常

1 引言

1984 年—1990 年甘肃武威地电台周围 150 km 范围内发生了景泰 6.2、门源 6.4、天祝西 4.7、旦马 5.6 和雅布赖 4.7 级地震,1990 年青海省共和发生一次 7.0 级地震。上述 6 次地震前武威地电台 EW 道 ρ_s 测值出现了异常变化。这些变化是否与地震有关,产生异常变化的原因是什么,这是本文要研究和讨论的问题。通过对上述问题的分析讨论,对武威地电台的映震能力提出认识,同时为该台周围发生的中强地震和强震的短临预报提供依据。

2 武威地电台基本观测条件

武威台地理位置为北纬 $37^{\circ}55'$,东经 $102^{\circ}36'$ 。该台位于北祁连地槽山间凹陷盆地内。武威—天祝 NNW 向隐伏断层和民勤—武威 NE 向隐伏断层在该台附近交汇。1927 年古浪 8 级大震距该台约 40 km,本次地震两个主要形变带之一的 NNW 向磨咀子—中坝地震形变带就发育在武威—天祝 NNW 向隐伏断层上。该台处于古浪 8 级大震的高烈度区(8 度区)内,周围小构造发育,小震活动很频繁。因此,从构造条件看,该台位于地壳薄弱部位(图 1)。

武威台设 4 极对称装置,布设 EW 和 NS 两个方向测道。自 1983 年起供电极距为 1200 m,测量极距为 600 m,供电极使用 1.2×1.2 m 的铅板,测量极用 0.8×0.8 m 的铅板。供电、测量极埋深 3 m。NS 道高差约 20 m,地下水埋深由南向北为 30—5 m。南供电极距铁路仅 20 m 左右。EW 道基本无高差。测区内 3 口机井距 EW 向测量极约 200 m。自来水管道与东供电线路平行,相距约 200 m,距离东供电极仅 2 m。该台使用 DDC—2A 仪器观测,

^{*} 国家地震局兰州地震研究所青年基金和甘肃省自然科学基金项目。

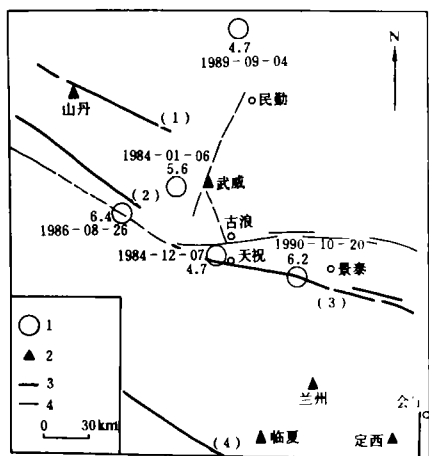


图1 地电台、震中和构造分布图

1. 震中; 2. 地电台; 3. 主要活动断裂; 4. 一般活动断裂; (1) 龙首山南缘断裂; (2) 祁连山北缘断裂; (3) 海原—六盘山断裂; (4) 西秦岭北缘断裂。

Fig. 1 Distribution of geoelectric stations, epicenters and active faults

10—52 天在线性上升背景上的突降变化。雅布赖 4.7 和共和 7.0 级地震发生在该台 ρ_s 测值持续了 4—5 个月的下降背景上。震后 ρ_s 测值大幅度回升。表 1 给出了除共和地震以外其它 5 次地震的异常参数。这些异常究竟是地震引起的还是偶然的干扰因素引起的, 以下分别进行讨论。

3.1 景泰 6.2 级地震

该次地震前武威地电台 ρ_s 异常变化(图 2A)与邻近的山丹台($\Delta = 285$ km)、定西台($\Delta = 192$ km)短临变化同步^[3]。文献[3]指出这 3 个台 ρ_s 异常是本次地震引起的。

3.2 门源 6.4 级地震

该次地震发生在祁连山北缘断裂以南。据文献[4]该次地震是 NWW 向引张作用为主造成的。武威台基本上位于监测该次地震 ρ_s

人工读数。因此从上述观测条件看, 影响该台观测资料内在质量的不利因素比较多。

从另外的角度看, 该台位于地壳薄弱部位, 根据文献[1]和[2], 这有利于该台对地震的监测。1983—1990 年该台观测资料连续, 几次地震前异常幅度大, 变化形态清晰, 有一定的持续时间。此外周围地电台密集, 有利于对比分析。

3 地震前地电阻率异常分析

武威地电台 NS 道测值在 1983—1988 年季节性变化达 7% 左右, 1989—1990 年季节性变化消失。从观测资料不能确认震前 ρ_s 短临异常。故本文仅讨论 EW 道的 ρ_s 观测资料。图 2 是 6 次地震前该台 EW 道 ρ_s 日均值曲线。

由图 2 可见, 天祝西 4.7、门源 6.4、景泰 6.2 和旦马 5.6 级地震前, 武威台 EW 道 ρ_s 测值均出现了异常变化, 其共同特点是: 异常分为两个阶段, 即持续 5 个月左右的线性上升变化和震前

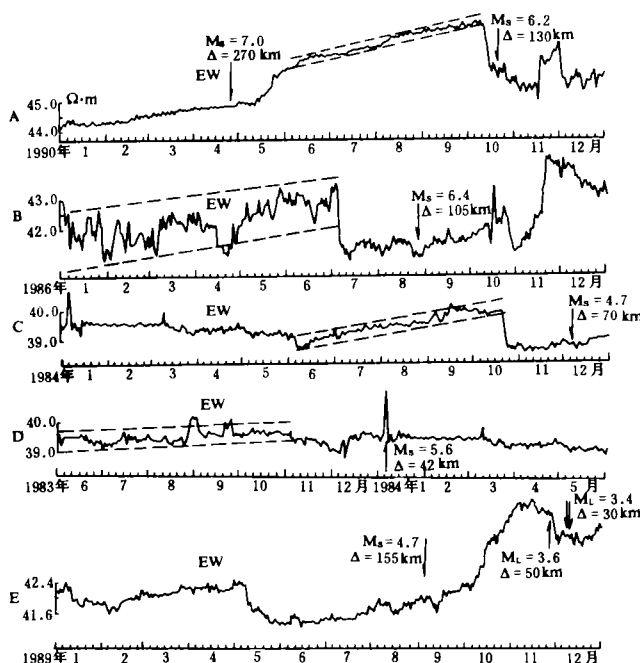


图2 武威地电台 EW 道地电阻率日均值曲线

Fig. 2 Daily mean value curves of earth-resistivity in EW observation direction at Wuwei geoelectric station.

临震异常的有利位置^{[1][2]}。震前武威台 ρ_s 测值呈线性上升变化,持续约 5 个月。震前 52 天 ρ_s 测值开始下降(图 2B)。其短临变化与景泰 6.2 级地震 ρ_s 异常形态相同。作者认为武威台观测的 ρ_s 异常与该次地震有关。

表 1 ρ_s 测值异常参数

地震 (Ms)	时间	震中距 (km)	突 降 异 常			短 期 异 常	
			$\Delta\rho_s/\sigma_{s-1}$	$\Delta\rho_s/\rho_s$	超前时间 (天)	$\Delta\rho_s/\rho_s$	变化形态描述
景泰 6.2	1990—10—20	130	27.4	-4.4%	10	+6.0%	线性上升持续 5 个月
门源 6.4	1986—08—26	105	4.7	-4.7%	52	+3.1%	线性上升持续 5 个月
天祝西 4.7	1984—12—07	70	13.0	-4.0%	45	3.1%	线性上升持续 4.5 个月
旦马 5.6	1984—01—06	42	5.5	-2.5%	40	+1.3%	线性上升持续 5 个月
雅布赖 4.7	1984—09—04	150				-3.5%	下降异常持续 4 个月

注:表中异常参数的计算是粗略的。

距震中 120 km 的山丹地电台未观测到 ρ_s 异常(图 3A)。据文献[1]和[2],这是祁连山北缘断裂对山丹台观测 ρ_s 异常起了阻隔作用。

祁连山北缘断裂向 SE 方向延伸到古浪 8 级大震震中附近。门源 6.4 级地震发生在该断裂以南的冷龙岭断层上,据文献[1]和[2]和该次地震的发震机制,北缘断裂对武威台观测门源地震引起的 ρ_s 临震异常有阻隔作用。但门源地震的震中已接近该断裂末端(图 1),其阻隔作用不强。因此,武威台在该次地震前观测到了 ρ_s 短临异常。反过来由该台在该次地震前 ρ_s 变化、该次地震发震机制和该台与该次地震的相对位置也可说明,北缘断裂 SE 末端处于文献 1)所示的位置,而再未向 SE 方向连续延伸。

3.3 天祝西 4.7 级地震

本次地震发生在海原—六盘山 NW 向断裂带北侧。据文献[1]和[2],武威和山丹地电台位于监测该次地震 ρ_s 临震异常的有利位置。该次地震前这两个台 ρ_s 突降异常都很突出(图 2C,图 3B)。武威台 ρ_s 短期异常呈线性上升,持续约 4.5 个月。临震异常是在短期上升背景上明显突降。短期异常和临震异常形态与景泰 6.2、门源 6.4 级地震异常形态相同。

3.4 旦马 5.6 级地震

该次地震前 28 天—40 天,武威台 ρ_s 测值为 1983 年 6 月—1984 年 5 月的最低值(其中 3 天停电)。震前 30 天 ρ_s 测值开始回升,震前一天出现突跳,幅度达 7.2%(图 2D)。文献[1]给出了 1984 年 1 月 1 日—7 日的时值曲线。该次地震发生在武威地电台以西 42 km 处,武威台位于监测该次地震临震异常有利位置^{[1][2]}。地震当天笔者随兰州地震研究所考察队赴震区考察,武威台观测人员在震前一天发现了 EW 道 ρ_s 测值出现突变。总的看来,该次地震的 ρ_s 短期和突降异常与前 3 次地震的短临异常有共同的特点,同时也有不同之处。

3.5 雅布赖 4.7 级地震和共和 7.0 级地震

1989 年雅布赖 4.7 级地震发生在武威台 ρ_s 下降异常期间,没有出现突降异常。其变化形态与前 4 次地震不同。1987 年 12 月—1989 年 4 月 17 个月中,除少数几天外, ρ_s 测值稳定

1)兰州地震研究所,中国南北地震带现今活动断裂图(1:3000000)

在 $42.0 \Omega \cdot \text{m}$ 左右,下限不超过 $41.5 \Omega \cdot \text{m}$ 。而在1989年5月不到20天时间内 ρ_s 测值急剧下降,出现1987年12月—1989年12月25个月中的最低值,变幅达 -3.5% 。出现下降异常3个多月以后发震,震后不久测值大幅度回升(图2E,1987—1988年曲线未绘)。

1990年共和7.0级地震也发生在武威台 ρ_s 测值下降异常期间。尽管震中距已达270 km,但该台位于监测短临异常的有利位置。震前下降异常持续时间与雅布赖地震前异常持续时间接近,震后不久 ρ_s 测值也大幅度回升(图2A、E)。

上述6次地震中,景泰6.2、天祝西4.7和门源6.4级地震发生在海原—六盘山NW向断裂带上或其西延部份——冷龙岭断层上。3次地震前 ρ_s 异常形态极为相似。且马5.6级地震发生在武威台以西,其 ρ_s 短临异常形态与前3次地震有相似之处,也有不同之处。雅布赖4.7级地震发生在该台以北,共和7.0级地震发生在该台以南(海原—六盘山断裂以南),异常形态与上述4次地震前异常形态大不相同,但这两次地震短期异常形态十分相似,震前和震后持续时间相接近,震后即回升。显示出武威台EW道 ρ_s 异常形态与发震构造和地震发生的具体地点有关。

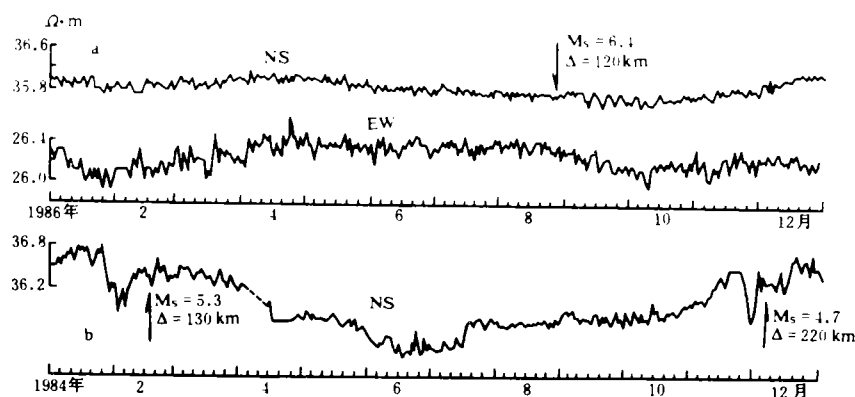


图3 山丹地电台地电阻率日均值曲线

Fig. 3 Curves of earth-resistivity at Shandan geoelectric station

1985年5月该台 ρ_s 测值出现上升变化,9月12日突然下降。此变化与景泰、门源和天祝西地震前 ρ_s 短期和突降异常形态相似;1987年4月该台 ρ_s 突降也与上述3次地震前突降相似。上述异常期间内该台附近均发生了 $M_L > 3.0$ 的小震活动,但未发生中强以上地震,周围其它台站也未观测到同步异常。笔者认为断层活动不一定都以中强以上地震形式。测区周围断层发生“蠕滑”或小震活动也会影响介质原电性条件。不过这类断层活动影响范围小。因此,相距较远的地电台观测不到由此引起的 ρ_s 异常。而中强以上地震断层活动影响范围大,远距离位于特定位置的地电台可能观测到由此引起的 ρ_s 异常。

门源6.4级和天祝西4.7级地震的突降异常起始时间分别是震前52天和45天,大于文献[5]统计的临震异常超前时间。但突降是在持续了5个月的线性上升背景上突然下降的,属于临震异常。

4 问题讨论

(1) 图4是武二井柱状剖面图²⁾。该井位于武威地电台东南5 km。低阻层埋深370—

642 m,平均电阻率 $10\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右。725 m 以下电阻率增大,平均为 $80\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

由图 4 可见,642 m 以上是第四、第三系沉积层,其中第四系厚 370 m,主要是砾石(孔隙度 20.2—37.7%)、砂(15.0—63.2%)、砂岩(2.0—18.4%)、粘土(10.1—62.9%)以及泥岩。642—800 m 左右属二迭系,主要以砂岩、泥岩为主。测区内地下水丰富,埋深约几米—30 米。该台探测范围内的大孔隙度介质应处于饱和状态或部分饱和状态。

日本学者是 Yamazaki 利用两相介质的麦克斯韦电导率公式讨论了干岩石、饱和岩石和部份饱和岩石受压条件下电阻率变化与应变之间的关系,得到干岩石和饱和岩石电阻率变化($\Delta\rho/\rho$)与体应变($\Delta V/V$)的比值和孔隙度(φ)成反比,即

$$\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta V/V}\propto\frac{1}{\varphi}\tag{1}$$

部份饱和岩石电阻率变化($\Delta\rho/\rho$)与线应变变化($\Delta L/L$)的比值随介质含水量(ω)的增大而下降,即

$$\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta L/L}\propto\frac{1}{\omega}\tag{2}$$

根据阿契定律也可推导出部份饱和岩石 $\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta V/V}$ 与 φ 的关系满足(1)式^[6]。

Yamazaki 测出部份饱和的多孔沉积岩 $\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta L/L}$ 随岩石湿度增大而明显降低。当湿度从 2% 增至 25%,比值 $\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta L/L}$ 从 400 减小到 25。

把地震地电阻率异常归因于岩石形变的思想是基于应变微小的条件下比值 $\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta V/V}$ (或者 $\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta L/L}$) 大,实验表明,随着应变增大,比值急剧减小^[6]。但武威台探测范围内介质恰恰由大孔隙度的沉积岩组成。其次武威台 NS 道在这几次地震前未记录到可以识别的 ρ_s 短期和突变异常。因此,对武威台的 ρ_s 异常显然不能用介质形变来解释。

武威台观测到的几次地震的 ρ_s 突降异常和短期异常幅度均为 10^{-1} — 10^{-2} 量级,并且突降异常在短期异常背景上 3—4 天就形成了。因此该台 ρ_s 震前异常可能是地震前短期内震源区力学过程引起地下水沿 EW 道探测范围内的小断层、或裂隙、裂缝活动引起的。

(2) 武威地电台测区内除了自来水井、管道外还有农田、树林。夏季雨量大或农灌时地下水位、地表湿度随之变化。另外测区内居民用电及工业用电都会对地电观测造成干扰。这

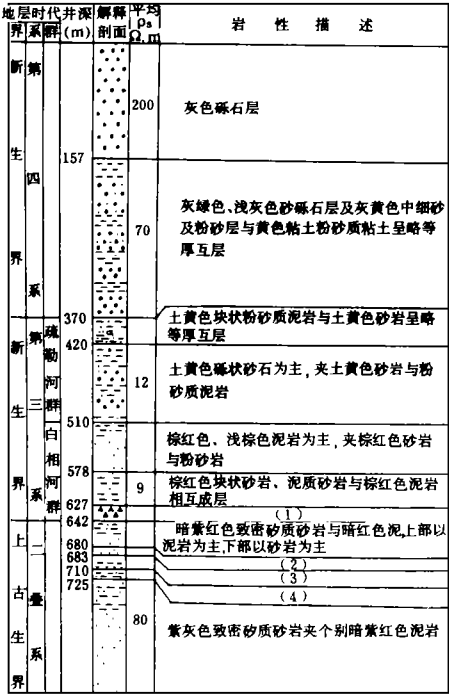


图 4 武二井柱状剖面图

(1) 浅红色块状钙质角砾石;(2) 暗紫红色疏松砂岩;(3) 暗紫红色致密砂质砂岩夹暗紫红色泥岩;(4) 暗紫红色致密砂质砂岩、泥质互层

Fig. 4 Stratigraphic column of No. 2 well in Wuwei city.

2)武威地电台.地电观测报告,1995

些不利因素对该台观测资料质量有一定影响。但是,上述6次地震前 ρ_s 短期异常幅度大,形态清晰;短期异常持续了一定时间,几次地震持续时间接近;景泰、门源、天祝西地震前均在短期异常背景上出现大幅度突降变化,共和、雅布赖地震短期下降变化形态相同,震前和震后持续时间接近。因此,笔者认为虽然影响武威地电台观测质量的不利因素多,但该台EW道测值对其周围特定位置发生的中强以上地震,短临阶段映震能力强。

5 结论

综上所述,可以得到如下结论:

(1) 武威地电台EW道在景泰6.2、门源6.4、天祝西4.7和旦马5.6级地震前观测到 10^{-1} — 10^{-2} 量级的 ρ_s 短临异常。异常形态表现为震前短期内线性上升,持续约5个月,临震前10—52天开始突降,地震均发生在突降期间。共和7.0和雅布赖4.7级地震前3.5—5个月开始出现 10^{-2} 量级短期异常,震后即回升。

(2) 武威地电台探测范围内介质是大孔隙度的含水沉积层。该台EW道对6次地震观测到的 ρ_s 短期异常、临震异常可能是EW道探测范围内介质不完整,孕震过程引起地下水沿测区内次级断层或裂隙、裂缝活动造成的。

(3) 虽然影响武威台观测质量的不利因素多,但该台EW道对其周围特定位置发生的中强以上地震,其短临阶段映震能力强。

(本文1994年4月16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,1992,(1): 18—26
- 2 杜学彬,等. 地电阻率临震突变与活断层、发展应力场. 地震学报,1993,15(3):303—312
- 3 杜学彬,等. 地电阻率临震突变识别. 西北地震学报,1993,15(3):50—56
- 4 徐纪人,等. 1986年8月26日门源6.4级地震及其强余震的震源机制解. 西北地震学报,1986,8(3):83—84
- 5 杜学彬. 大陆中、强地震地电阻率临震突变及其时空分布讨论. 地震,1992,(6):51—60
- 6 钱家栋,等. 地电阻率法在地震预报中的应用. 北京:地震出版社,1985. 116—125

RESEARCH ON THE REFLECTING EARTHQUAKE ABILITY OF WUWEI GEOELECTRIC STATION

Du Xuebin

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

Earth-resistivity (ρ_s) changes of Wuwei geoelectric station before and after earthquakes of M 6.2 in Jingtai county, M 6.4 in Menyuan, M 4.7 in West of Tianzhu, M 5.6 in Danma and M 4.7 in Yabulai ($\Delta \leq 150$ km), as well as M 7.0 in Gonghe ($\Delta = 270$ km) in this paper. Conclusions are follows: (1) Short-impending ρ_s anomalies up to 10^{-1} — 10^{-2} magnitude were recorded in EW observation direction at the station before the former 4 earthquakes, short-term ρ_s anomalies up to 10^{-2} magnitude which were decreased were recorded before the Gonghe and Yabula earthquakes. (2) The short-impending ρ_s anomalies in the direction were probably caused by the move of ground water along second faults, rifts or fissures in the late period of seismogenic process, since earth medium within the range of exploration in the direction was fragmentary. Finally, author thinks, the reflecting earthquake ability of short-impending ρ_s change in EW direction of the station is higher for moderate and strong earthquakes occurred in certain region around the station.

Key words: Hexi corridor seismotectonic zone, Qinghai, Strong earthquake, Ground resistivity, Reflecting earthquake ability, Impending earthquake anomaly