

汶川 8.0 级地震以及其它大震前的 地电阻率异常特征

肖武军¹, 关华平²

(1. 中国地震台网中心, 北京 100045; 2. 中国震局地震预测研究所, 北京 100083)

摘要:对 2008 年汶川 8.0 级地震前周边远近台站的地电阻率异常特征进行了分析。离震中 400 km 内的郫县、甘孜、冕宁、武都四个台站基本都存在 1 年以上的中期异常;距震中较远的兰州台和天水台则出现了短临异常变化。总结了我国 9 次 7 级以上大震前地电阻率台观测资料,认为电阻率异常形态以负异常为主,在极值附近或转折恢复过程中发生地震。震中附近台站多数有异常,大部分为一年以上中期的变化,年变形态消失;震前能观测到短临变化;一般在极值点附近发震。较远台站部分存在异常;短期和临震异常变化相对增多;在回升过程中或异常恢复后发震。

关键词:地电阻率;异常;汶川 8.0 级地震;大地震

中图分类号: P315.72+2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)04-0349-07

Anomalous Change Features of Resistivity before the Wenchuan M8.0 Earthquake and Other Large Earthquake in China

XIAO Wu-jun¹, GUAN Hua-ping²

(1. China Earthquake Network Center, Beijing 100045, China;

2. Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100083, China)

Abstract: The anomalous change features of resistivity in the monitoring stations, which are located near or far from the epicenter of Wenchuan M8.0 earthquake in 2008, are analyzed. There were intermediate-term anomalies for more than one year at Pixian, Ganzi, Mianning and Wudu stations which are less than 400 km from the epicenter, and short and imminent-term anomalies even existed at Lanzhou and Tianshui stations which are far from the epicenter. Also the data of electrical resistivity in past several tens years for 9 large earthquakes with $M \geq 7.0$ are summarized. The result shows that most anomalous resistivity changes before large earthquake are negative and the value curves are decline, earthquake often occur near the position of extremum or in resuming process. The anomalies can be found at most stations near epicenter, lasting for more than one year with annual variation disappear. The short and imminent-term change can be observed also. For far stations, only some have the anomaly, mainly are short and imminent, and event occurs in or after resuming process.

Key words: Resistivity; Anomaly; Wenchuan M8.0 earthquake; Large earthquake

0 引言

地震地电阻率监测预报方法自 1967 年河间地震开展以来,至今 30 多年。这期间记录到了近 80

次地震震例,积累了丰富的经验和认识。2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级特大地震前也记录到了地电阻率的异常变化。本文分别研究了汶川地震前

远、近震中地电阻率台站的异常变化,并结合以往中国大陆 8 次 7 级以上地震前的地电阻率变化,总结出大地震前的异常演化特征。

引起大地震的地电阻率异常的原因可分为两种:一种是由震源区作用引起的近震中台站的异常变化;另一种则为大范围区域应力场与震源区共同作用引起的较远区域的台站异常变化,震源区的影响随着震中距的增加而减小。成因不同异常表现形式也不相同。根据地震断层与震级的关系^[1] $\lg L=3.2+0.5M$, 求出:当 $M=7.0$ 时, $L=50\text{ km}$; 当 $M=8.0$ 时, $L=158\text{ km}$ 。考虑到地震断层影响范围为其长度的 2~3 倍,选取 2.5 倍作为影响范围,范围内的台站为近震中台站;超出这个范围至 2 倍距离之间的台站则为远离震中台站(表 1)。

表 1 不同震级的影响范围

震级/M	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0
L/km	50	56	63	71	79	89	100	112	125	141	158
2.5L/km	125	150	157	177	198	222	250	280	312	352	395

1 汶川地震前周边地电阻率异常特征

2008 年 5 月 12 日我国四川汶川发生 8.0 级地震,为我国近几十年来最强的地震事件,造成了巨大的人员伤亡和财产损失。该地震的余震沿 NE 走向延伸超过 300 km^[2]。在这次地震前,有多种地球物理参量记录到了震前及临震信息,如形变、流体以及地电阻率等异常变化。本文对汶川地震周边(距震中 650 km 范围内)在 8.0 级大地震前记录到的电阻率异常变化的特征进行分析和探讨。

1.1 汶川地震周边台站分布

汶川地震周边 650 km 范围内的台站分布主要有四川境内的郫县(成都)、甘孜、冕宁、西昌、攀枝花台;云南境内的元谋台;甘肃境内的武都、天水、通渭、兰州台;宁夏的固原台;以及陕西的宝鸡、乾县、以及西安(植物园)台(图 1)。

1.2 近震中台站异常表现

根据表 1,对于 8.0 级地震,400 km 范围内属于近震中台站,包括郫县、冕宁、武都、西昌和甘孜台。此次地震前地电阻率异常最为典型的为郫县台。郫县地电阻率台于四川省成都市区西北 38 km 的郫县境内,始测于 1974 年 11 月。该台处于龙门山构造带东侧的成都新生代凹陷盆地内,西离安县—灌县断裂仅 20 余公里,东距龙泉山断裂约 60 余公里。该台年变态较好,其地电阻率与多数地电台夏低冬高观测结果有所不同,均出现夏(7~9 月)高

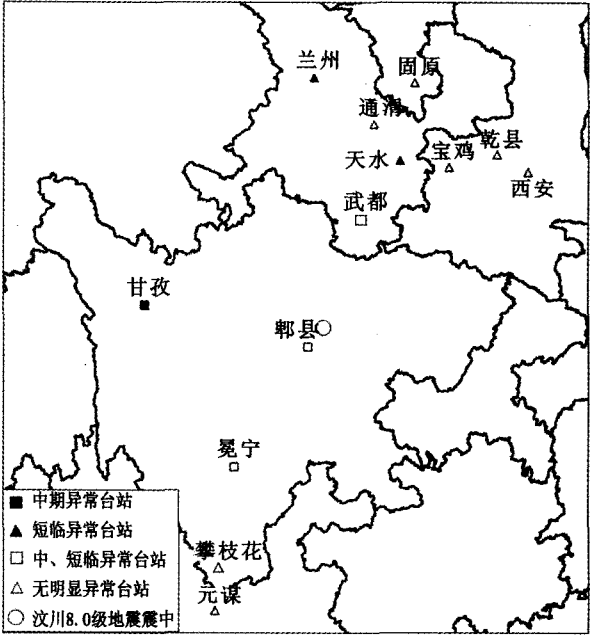


图 1 汶川地震 650 km 内地电阻率台站分布图

Fig. 1 Distribution of resistivity stations less than 650 km to Wenchuan 8.0 earthquake epicenter.

冬(1~3 月)低现象^[3]。

该台地电阻率从 2005 年 7 月开始整个年变化幅度比往年减小,2006 年 8 月开始 NE 道地电阻率趋势性下降,年变形态消失,2008 年 1 月 29 日转折,下降时间超过 1 年半。在整个异常时间段内一直呈持续性下降趋势,幅度达 9%(图 2(a))。汶川地震前该方向出现相对较大变化,2008 年 4 月 26 日—5 月 6 日出现短期的大幅上升,而从 5 月 6 日开始至震前又反向出现了大幅的下降变化,呈现出相对明显的临震异常(图 2(b))。该台 NW 道每年的 2—6 月份处于相对的高值阶段,在秋冬季节呈低值变化趋势,在汶川地震发生前变化并不十分显著。同一个台站两个方向的变化不同步,可能与岩石的各向异性有关。地震孕育过程中应力的变化必然导致震区岩石介质各向异性状态或程度的变化。这种变化可由对称四极电法装置相互垂直的两测量道测得的地电阻率的差异变化反映出来。

其它 4 个台站中,冕宁台 SN 道从 2005 年 5 月开始下降,到 2008 年 1 月开始转平,存在一个长达 3 年多的趋势异常;临震前 5 月 8 日开始出现大幅突跳下降变化,幅度达 12.6%;震后 16—18 日又有大幅下降。甘孜台和武都台年变化形态基本保持与往年一致,但幅度存在异常:甘孜台 EW 道和 NW 道都呈趋势性减小变化,EW 道下降幅度 3.3%,

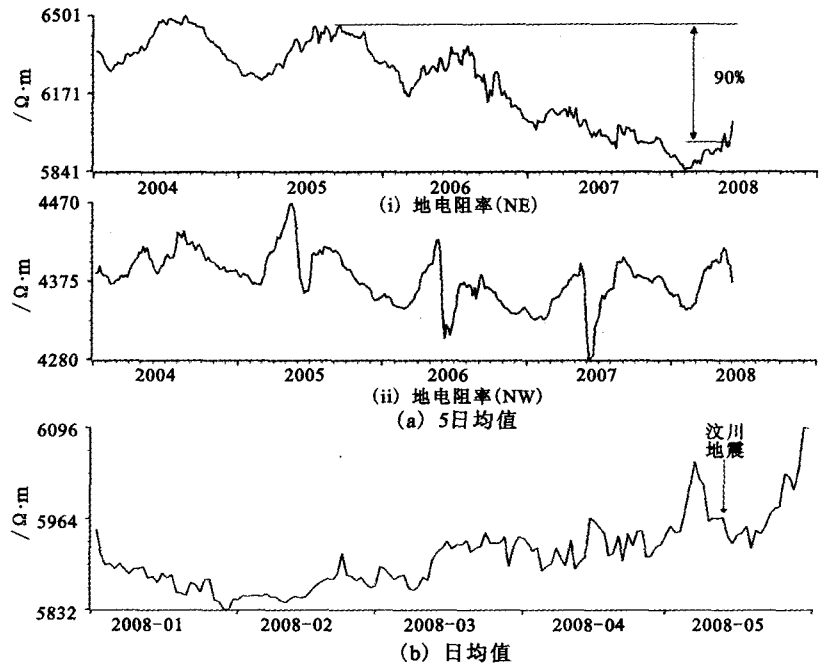


图 2 汶川地震前郫县台地电阻率 NE 道均值变化曲线

Fig. 2 The mean value variation curves of resistivity on NE direction in Pixian station before the Wenchuan M8.0 earthquake.

NW 道下降幅度为 3.4%，异常时间 24 个月，在年变极小值附近发震；武都台 NW 道年变化形态还存在，但是从 2006 年 7 月开始呈趋势性上升变化，异常幅度达 3.3%，异常时间 22 个月。而 EW 道从 2008 年 3 月开始破年变，改变了以往的下降规律开始转平，异常幅度和往年相比为 1.2%，震前 2 个月出现短临异常。西昌台异常不明显(表 2, 图 3)。

1.3 远震中台站的异常变化

远震中台站中，在 650 km 范围内只有天水台和兰州台存在短期的异常。天水台 SN 道从震前 2 个月开始出现上升，2008 年 4 月到达最高点，上升幅度达 1%，然后回复，在回复过程中发生汶川地震。兰州 NE 道从 2007 年 8 月开始下降，下降时间超过 8 个月，异常幅度为 4.3%，在回升过程中发生地震(图 4, 表 2)。其它台变化并不明显。

表 2 汶川大震前周边地电阻率异常特征

台站	震中距/km	测向	异常性质	发震所处时异常段	异常起始时间	持续时间/月	异常幅度/%
郫县	40	NE	中期、短临	恢复过程中	2005 年 7 月	34	-9.0
冕宁	300	EW	中期	极小值点附近	2005 年 5 月	36	-12.6
武都	310	NW	中期	极大值点附近	2006 年 7 月	22	3.3
		EW	短临	极小值附近	2008 年 3 月	2	-1.2
甘孜	350	EW	中期	极小值附近	2006 年 5 月	24	-3.4
		NW	中期	极小值附近	2006 年 5 月	24	-3.3
天水	460	NS	正	恢复过程中	2008 年 3 月	2	1.0
兰州	530	NE	负	恢复过程中	2008 年 9 月	8	-4.3%

2 中国大陆其他大震前的地电阻率异常特征

我们对以往中国大陆发生的 8 次 7.0 级以上地震进行了整理，总结了 7 级以上强震近震中台站与远震中台站的异常变化特征。

2.1 近震中台站异常变化特征

(1) 在 7 级大地震前，300 km 范围内的地电台

站大部分观测到了震前地电阻率 1 年至 2.5 年左右的趋势性下降变化(个别台站为上升)，8 级地震可达到 3 年。异常的变化幅度从百分之几到百分之十几。地震往往发生在异常极值点附近(表 3^[4-5])，表 3 中七次大地震中 9 个台站为近震中台站，全部在极值点附近发生地震，其中 8 次为极小值，1 次为极大值。

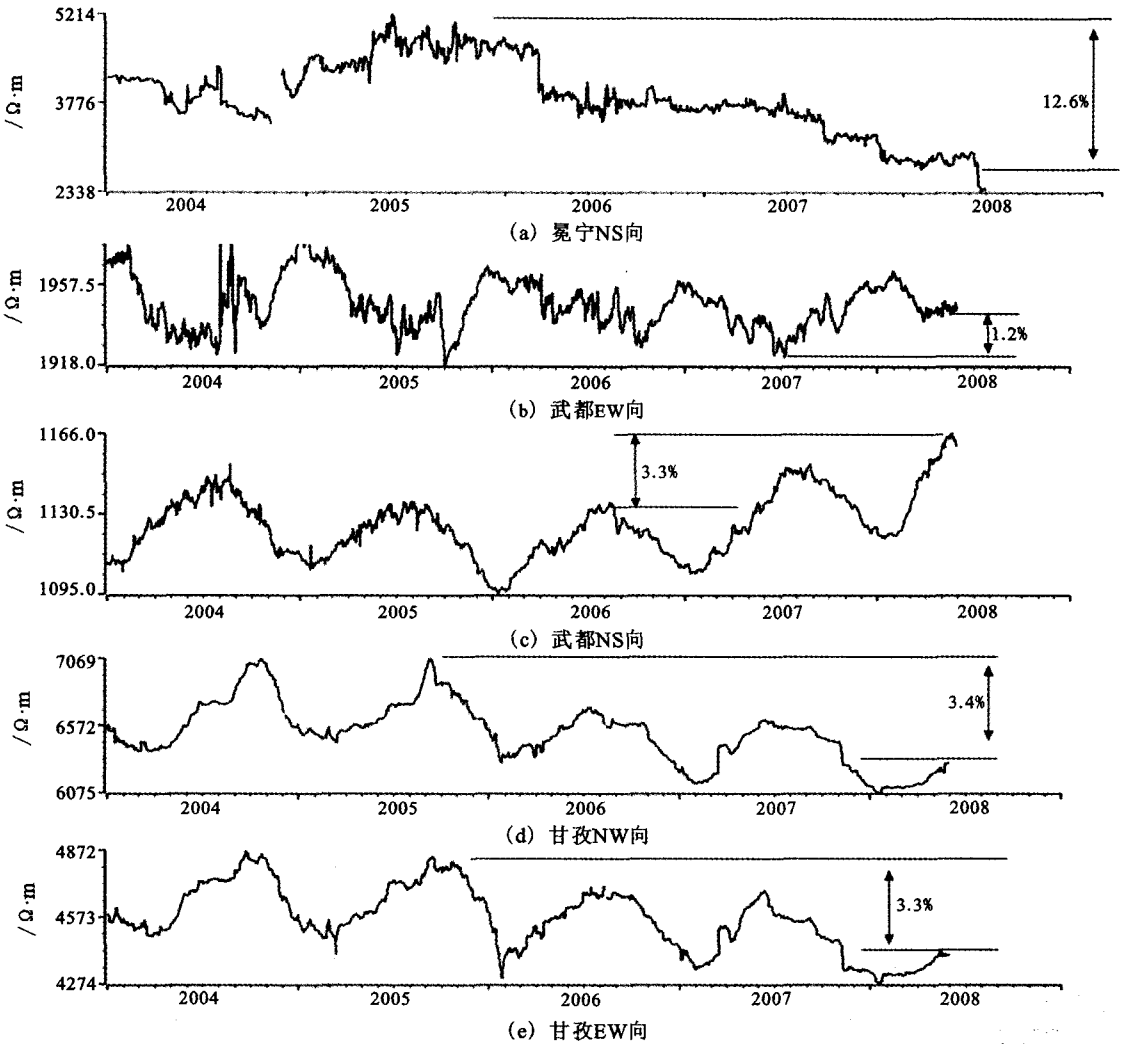


图 3 汶川地震前 400 公里范围地电阻率异常台站日均值曲线图

Fig. 3 The daily mean vaule variation of resistivity in three stations which are in 400 km from the epicenter before Wenchuan M8.0 earthquake.

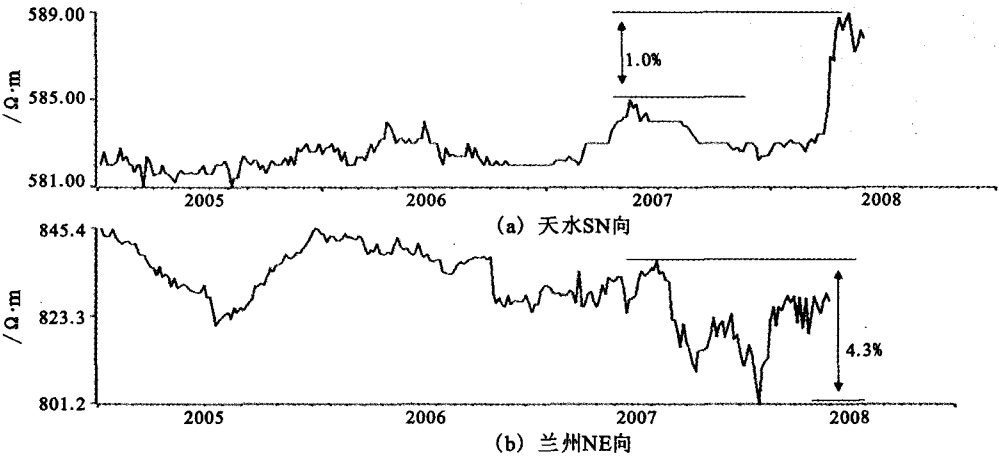


图 4 汶川地震前远震中台站的地电阻率异常 5 日均值曲线

Fig. 4 The 5 daily mean value variation of resistivity in stations which are far more than 400 km from the epicenter before Wenchuan M8.0 earthquake.

表 3 中国大陆 7 级以上大震前地电阻率异常特征

地震日期	震中地点	震级/M	台站	震中距/km	测向	远近场性质	发震所处异常时段	持续时间/月	异常幅度/%			
1969-07-18	渤海	7.4	大柏舍	380	SN	远	恢复过程中	12	-1.5			
			牛桥	380	SN	远	恢复过程中	12	-1.5			
			西昌	170	SN	远	恢复过程中	13	-5.2			
1974-05-11	永善—大关	7.1	会理	240	EW	远	恢复过程中	13	2.9			
			朱易	230	SN	远	恢复过程中	12	-2.5			
					EW	远	恢复过程中	12	-2.5			
			台安	90	NW	近	极大值附近	17	5.2			
			昌黎	310	EW	远	极小值附近	17	-3.0			
1975-02-04	海城	7.3	唐山	410	EW	远	恢复后	15	-3.0			
			宝坻	450	SN	远	恢复过程中	15	-2.0			
					EW	远	恢复过程中	15	-3.0			
			唐山	0	SN	近	极小值附近	31	-4.5			
					EW	近	极小值附近	31	-3.3			
			马家沟	10	NE	近	极小值附近	临震突跳	-12.0			
					NW	近	极小值附近	临震突跳	-24.0			
			昌黎	70	SN	近	极小值附近	31	-5.9			
					EW	近	极小值附近	31	-5.6			
			1976-07-28	唐山	7.8	宝坻	80	SN	近	极小值附近	30	-3.0
EW	近	极小值附近						30	-3.8			
青光	110	SN				近	极小值附近	20	-2.7			
		EW				近	极小值附近	20	-2.7			
忠兴庄	150	NE				近	极小值附近	31	-3.9			
		NW				近	极小值附近	31	-5.5			
1976-05-29	龙陵	7.3				楚雄	270	NE	远	极大值附近	12	7.5
						7.4	康定	300	SN	远	极小值附近	12
			武都	100	NW1				近	极小值附近	14	-3.0
					NW2	近	极小值附近	14	-6.5			
1976-08-16	松潘—平武	7.2	松潘	70	NE	近	极小值附近	13	-2.0			
					NW	近	极小值附近	13	-3.8			
			通渭	280	SN	远*	极小值附近	14	-1.4			
					1988-11-06	澜沧—耿马	7.6	腾冲	300	EW	远	恢复后
通海	290	SN	远	恢复后				20	-9.0			

(2) 在大地震发生后,多数台站观测值表现较快的回升(少数下降回复),但一般不会很快恢复到原有正常水平。经过一段较长时间,有的台站地电阻率值恢复,有的则不能恢复。但存在年变化形态的台站,则年变形态恢复正常。

都台,大部分台站不能同时观测到全过程。有的台站能观测中期和短期的趋势加速转折变化,记录不到临震突变异常,如宝坻台;而另外有的台记录不到趋势变化,却记录到临震突变,如唐山地震的西集、徐庄子、小汤山等台。

(3) 可观测到中期、短期、和临震异常的各个阶段变化:异常起始阶段(中期)地电阻率开始较明显的下降;异常持续阶段(中短期)地电阻率在下降基础上的平稳发展;异常加速阶段(短期及短临)地电阻率的进一步加速下降,常出现在大震前 2~3 个月内,变化速率比前面阶段大几倍,这种加速转折变化往往是异常由中期进入短期阶段的标志。但是中期、短期和临震异常仅在少数台站上能同时观测到,如唐山 7.8 级地震的昌黎台,松潘 7.2 级地震的武

临震突跳往往在大震前几天至半月内观测到。无论与中期还是与短期阶段相比,临震异常具有大幅度突跳和突发式特点。临震异常范围比中期异常范围大,如唐山地震前中期异常仅分布在震中周围 200 km 左右范围内,而临震异常远在菏泽台(550 km)郑州台(650 km)都可观测到。在异常时间上、演化上表现为从远处向震中的发展过程(表 4)。

表 4 唐山地震前临震异常台站与异常提前时间表

台站	唐山	马家沟	昌黎	西集	徐庄子	小汤山	大圩河	菏泽	郑州
震中距/km	0	10	70	120	140	180	320	520	650
临震异常提前天数	3	4	8	5	4	4	15	10	22

(4) 台址条件相似的台站在不同地震前记录到形态相近的异常变化。1976年7月28日唐山7.8级地震时的昌黎台和1976年8月16日松潘7.2级地震时的武都台, 两台相距1300余千米, 地震发生时间前后相差19.5天, 但它们变化的形态相似。究其原因, 可能是台址条件相似: 昌黎台测区附近有地下水矿化度较高的热水存在, 而武都台测区内有黄铁矿存在, 易导电的物质存在可能是两个台站上短临变化相似的原因。

2.2 远震中台站异常变化特征

(1) 在大地震前300~600 km范围内的地电台站只有部分台站观测到了地电阻率异常, 异常时间也为1~2.5年左右, 地震一般发生在异常转折恢复过程中或异常恢复后发生。表3的7次大地震中, 13个台站为远离震中台站, 其中10个台站为异常恢复过程中或恢复后发生地震, 仅有3个台为极值附近发生地震。

(2) 以短期和临震异常为主, 某些台站也可能观测到中期的趋势性变化: 异常从地震发生前几个月开始, 然后加速或平稳发展并出现转折, 在临震前异常迅速恢复, 在恢复过程中或恢复后转平后发生地震。某些台站虽然远离震中, 但却有临震前的突跳, 这可能与台站所处构造位置及地下介质性质有关。对唐山地震临震异常的研究表明, 出现临震异常的台站地下存在易导电的物质。

(3) 地震后, 经过一段时间后地电阻率值一般不恢复到原来的数值。

3 异常变化机理探索

地震前地电阻的变化很多学者都进行了研究。大量的研究表明: 岩石在受力破裂过程中, 地电阻率会出现明显的变化。1975年Brace通过实验表明, 在低应力下不饱和岩层随压应力增加, 电阻率下降, 而饱和岩石电阻率上升^[6], 地下介质一般处于非饱和状态, 因此地电阻率异常以下降变化居多。

近震中台站能观测到长、中、短、临各个阶段的异常变化。在地震孕育的早期阶段, 震源区附近的台站(近震中台站)介质在低的构造应力场的作用下处于弹性变形阶段, 此时晶粒的位错、孔隙度的改变和流体的运移还具有相当大的随机性, 所以震中附近的介质宏观上表现仍然为整体的均匀、稳定变形。此时在地表震中附近台站的电阻率观测也处于一种相对稳定的趋势变化。在地震发生的短临阶段, 震

源区已处于高应力状况, 断层的局部活动已经出现, 岩石微破裂与流体运移急速发展, 介质处于非弹性变形的破碎临界状况。对于地电观测, 许多有利的高导电通路有可能出现, 可能引起地下电阻率发生变化。其中有两类很重要: 一是面导电机理, 破裂的发展已在三维空间形成了巨大的连贯平面, 沟通了流体并为多种导电机理创造了条件; 另一类是体导电结构的变化, 在破裂面以外的广大介质空间里含水孔隙与导电颗粒是以某种串联、并联的方式来传导电流的。高应力状态很容易改变孔隙与颗粒的主轴方向, 也就改变了它们的串、并联关系, 二者的作用不仅造成宏观电阻率各向异性的增强, 震源区附近表现出短临异常变化^[7]。部分台站在临震前还出现突跳现象。

在地震的孕育阶段, 远离震中的台站在低应力情况下产生的应变不大, 不足以引起含水孔隙的优势排列, 因此多数远震中台站异常不明显, 仅有少数台站由于构造相关也存在趋势性变化。在地震前的短期和临震阶段, 远离震源区台站也产生了小应变。根据Yamazaki等人的研究, 在小应变受力条件下, 不饱和岩石标本电阻率的变化($\Delta\rho/\rho$)对应变变化的放大系数可达 $10^2 \sim 10^3$ ^[8]; 而且应变愈小, 放大系数愈高。因此, 由于放大效应, 在远离震中的地方也可以产生相当量级的异常变化^[9], 兰州台的变化幅度就达到了4.3%。

〔参考文献〕

- [1] Michio OTSUKA. 地震のマグニチュードと地表に現れる断層について[J]. 地震, 1965, 18(1): 1-8.
- [2] 徐锡伟, 闻学泽, 于慎鄂, 等. 汶川M8.0地震地表破裂的发现及其发震构造讨论[J]. 地震地质, 2008, 30(3): 578-600.
- [3] Jun Lu, Shunzhang Xue, Fuyue Qian, et al. Unexpected changes in resistivity monitoring for earthquakes of the Longmen Shan in Sichuan, China, with a fixed Schlumberger sounding array[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2004, 145, (1-4): 87-97.
- [4] 马宗晋, 等. 1966—1976年中国九大地震[M]. 北京: 地震出版社, 1982.
- [5] 汪志亮, 王志贤, 余素荣. 地电前兆异常特征及澜沧—耿马7.6级地震预报问题[J]. 地震, 1995, (3): 240-245.
- [6] Brace W F. Dilatancy-related elect resistivity Changes in rocks [J]. Pure and Applied Geophysics, 1975, 13(1/2): 207-217.
- [7] 郝锦琦, 冯锐, 周建国, 等. 岩石破裂过程中电阻率变化机理的探讨[J]. 地球物理学报, 2002, 45(3): 426-434.

- [9] 曹井泉, 朝伦巴根, 汪翠枝. 华北地区中等地震活动非稳态特征及预报效能研究[J]. 西北地震学报, 2008, 30(2): 168-172.
- [10] 许少燮. 地震活动性预报地震方法[J]. 地震学报, 1993, 15(2): 239-252.
- [11] 李亚荣, 荣代路, 韩晓明. 2003年岷县5.5级地震地震学前兆前兆特征及预报意义[J]. 西北地震学报, 2007, 29(2): 150-155.
- [12] 张彬, 杨选辉, 易志刚. 松潘—平武地震前地震视应变场的时空演变[J]. 西北地震学报, 2007, 29(3): 121-123.
- [13] 路鹏, 刘瑞丰, 李志雄, 等. 地震科学数据的分级分类探讨[J]. 西北地震学报, 2007, 29(3): 249-254.
- [14] 高立新. 巴林左旗—阿鲁科尔沁旗5.9级地震前地下流体异常特征分析[J]. 地震, 2005, 25(1): 103-110.
- [15] 高立新, 阎海滨, 丁风和, 等. 东乌珠穆沁旗5.9级地震参数及序列特征[J]. 东北地震研究, 2005, 21(2): 16-23.

(上接 354 页)

- [8] Yamazaki Y. Electrical conductivity of strained rocks, 1, Laboratory experiments on sedimentary rocks[J]. Bull. Earthquake Inst. Univ. Tokyo, 1965, 43: 783-802.
- [9] 张学民, 翟彦忠, 郭建芳, 等. 2004年印尼8.7级强震前昌黎台的远场电性异常特征探讨[J]. 地震, 2006, 26(4): 82-93.
- [10] Freed A M. Earthquake triggering by static, dynamic, and postseismic stress transfer[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2005, 33: 335-367.
- [11] 国家地震局预测预防司. 电磁学分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1998: 32-33.
- [12] 赵玉林, 钱复业, 许同春. 受力条件下岩(土)层电阻率变化的放大系数及其与应变关系的研究[A]//国家地震局. 地震预报方法实用化文集地磁地电专辑[G]. 北京: 学术书刊出版社, 1990: 334-342.
- [13] 杜学斌, 叶青, 马占虎, 等. 强地震附近电阻率对称四极观测的探测深度[J]. 地球物理学报, 2008, 51(6): 1943-1949.
- [14] 杜学斌, 马占虎, 叶青, 等. 与强震有关的视电阻率各项异性变化[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 93-100.
- [15] 阮爱国, 李清河, 赵和云. APE理论与地电阻率前兆[J]. 西北地震学报, 2000, 22(3): 209-216.
- [16] 钱家栋, 曹爱民. 1976年唐山7.8级地震地电阻率和地下水前兆综合物理机制研究[J]. 地震, 1998, 18(增刊): 1-9.
- [17] Crampin S, Evans R, Atkinson B K. Earthquake prediction: A new physical basis[J]. Geophys. J. R. Astr. Soc., 1984, 76: 147-156.
- [18] Crampin S, Booth D C, Evans R, et al.. Changes in shear wave splitting at Anza near the time of the North Palm Springs earthquake[J]. J. Geophys. Res., 1990, 98(B7): 11197-11212.
- [19] 马占虎, 杜学彬, 谭大成, 等. 地震电性变化及其物理机制初步讨论[J]. 西北地震学报, 2004, 26(3): 234-239.