

# 用大地电磁测深法来监测地壳电 性随时间变化的初步研究

张云琳 司玉兰 郭守年 安海静\*

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文讨论了青海祁连俄博测点1979—1985年间的大地电磁测深重复观测结果。观测中选用了磁暴和强磁扰期间的大地电磁记录,保持了观测仪器的较高的稳定性。测点所在地区电磁干扰背景小、地震活动性较强。文中分析了观测记录和资料处理的误差,结果表明,在某些频段内,视电阻率曲线的系统变化和测区周围地区一些5级左右地震活动有着一定的对应关系。

近年来国内外开始采用大地电磁测深法来监测地壳内电阻率随时间的变化,用来研究地震预报问题,并取得了一些成果。I·K·Reddy等人根据扩容理论和实验结果认为〔1〕,一个大地震发生之前,在扩容区内,大地电磁测深的视电阻率值可以发生60—70%的变化。根据波速比的观测结果,他们认为美国的圣费尔南多6.4级地震的扩容区范围从震中区向外至少可以扩展到80公里以外,一个7级地震的扩容区可达190公里〔2〕。加拿大、美国都开展了这项工作,日本的一些科学工作者曾在秋田6.2级地震前用大地电磁测深法观测到地壳内部电导率的变化,并发现阻抗振幅A在震前降低,主阻抗 $Z_{yx}$ 与辅阻抗 $Z_{xy}$ 的夹角 $\theta$ 反时针增加。

在唐山7.8级地震前,国家地震局北京地质研究所大地电磁测深组在距震中120公里的风河营测点的三次观测中,发现视电阻率出现了规律性的变化,尤其是震前两个月的视电阻率值比以前明显降低,横向周期小于200秒,第二次比第一次降低了30—40%,而震后两个月又趋于恢复〔4〕。

在松潘地震前后,我们在距震中50—60公里的南坪和文县中寨测点,用大地电磁测深法进行了重复测量和连续观测。在南坪测点的三次测量结果表明,在60—300秒的周期范围内,震前视电阻率值与震后视电阻率值相比有系统的下降,最大下降值达到50—70%。另外在大震前非均匀主轴方位角 $\theta_0$ 、二维判别系数S和 $S_0$ 也都发生了变化〔3〕。

\*参加本项工作的还有:刘宝勤、刘晓玲、贾政、张五四、武玉霞、李柱国、张文仁、屈建昌

1979—1985年，我们又在青海省祁连县俄博测点进行了四次大地电磁测深重复测量，取得了一些成果，现介绍如下。

### 一、大地电磁观测仪器和测点概况

在青海俄博测点的四次重复测量中，我们均使用LH—1型大地电磁测深仪，该仪器在使用过程中不断地得到改进和完善，并配套成为大地电磁测深仪器的记录系统。仪器系统的记录频带可达6—6000秒范围，适用于对地壳—上地幔深度范围的大地电磁探测。另外采用了标准时间信号控制装置，采用了由稳频电源驱动的四分量大地电流仪，这样保证了所记录的电磁场四个分量之间真实的振幅和相位特性，从而提高了大地电磁观测资料的精度。对于观测仪器中的磁仪器的某些部分经过严格处理和改进之后，使直流残余电势由 $10^2$ 毫伏数量级降低为 $10^1$ — $10^0$ 毫伏数量级，因而提高了磁仪器的抗干扰能力和稳定性。

青海祁连俄博测点地处民乐—张掖盆地、武威、天祝、门源、刚查和热水地区的中间地带，海拔3500米，偏僻的高寒草原提供了电磁干扰背景小、信噪比高的天然有利条件。1979年7月进行了第一次测量，获得了如图1所示的两条主轴方向上的视电阻率曲线 $\rho_{xy}^a$ 和 $\rho_{yx}^a$ ，并且由此得出反映地下电性结构的可能的模型参数（见表1）。

表1 电性分层参数

$\rho$	h	H
1310	41.5	41.5
9.4	0.7	42.2
2030	62.4	105
20.6	9.2	114
836	136	250
30.4		

该测点表层的电阻率较高，并存在下部地壳低阻层，反映出走廊平均地壳厚度约为51公里左右，上地幔第一低阻层顶面埋藏深度为105公里。测点所在地区不但具有走廊南山带的电性结构特征，而且也表现出向走廊拗陷带过渡的电性结构特征。另外该测点还处于沿走廊南山带向东延伸到古浪测点方向的上地幔顶部梯度带中，其周围地区地震比较活跃，1983—1984年曾发生过数次5级左右地震。因此我们选择了这一测点来进行重

复测量。测点地壳表层具有较高的电阻率值，这样将能更加敏感地反映出由于扩容所引起的某些频段范围内视电阻率的下降。

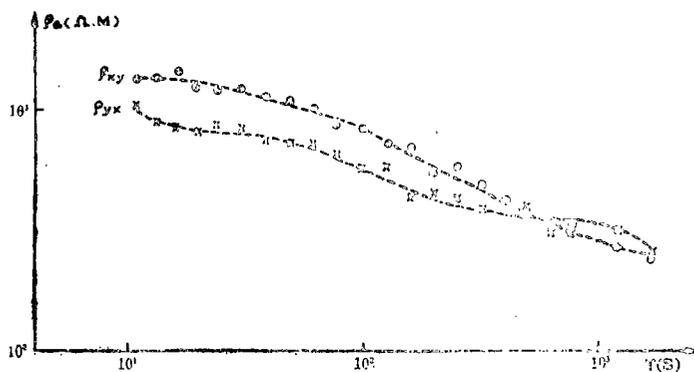


图1 1979年7月实测视电阻率曲线及一维反演曲线

Fig. 1 The apparent resistivity sounding curve in July 1979 (The first measurement)

## 二、俄博测点复测结果及其与该区附近地震活动趋势的关系

复测分别在1984年6月、10月和1985年8月进行。图2、图3、图4分别为1984年6月、10月和1985年8月的视电阻率曲线。

### 1. 四次重复测量视电阻率曲线总体形态

为了便于研究，我们将四次测量的视电阻率曲线绘于图5中。在7年的时间内，尽管可能存在着大地电磁场的场源和极化方式的差异以及地下介质电性可能产生的变化，然而，四次测量的视电阻率曲线都密集在一条窄带范围内，甚至有些频点各次测量值不同程度地重合在一起。

我们所选用的资料均为在磁暴或强磁扰中的电磁资料，其信噪比高、周期丰富。另外模拟记录器的频带为2秒— $\infty$ ，快资料选用3—4段，每段连续时间为40分钟以上，采样间隔时间为1—2秒；慢资料也选用3—4段，每段连续时间为8小时以上，慢资料电磁脉动

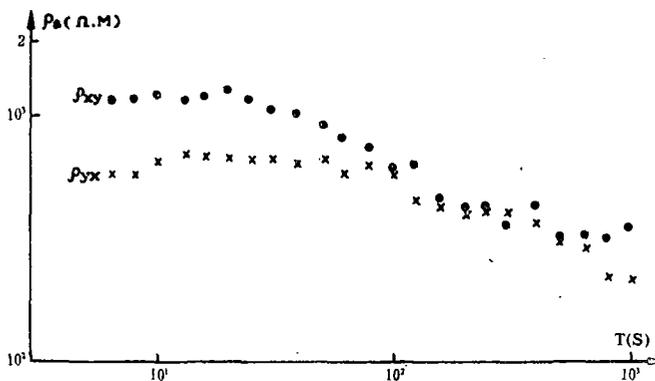


图2 1984年6月实测视电阻率曲线

Fig. 2 The apparent resistivity sounding curve in June 1984 (The second measurement)

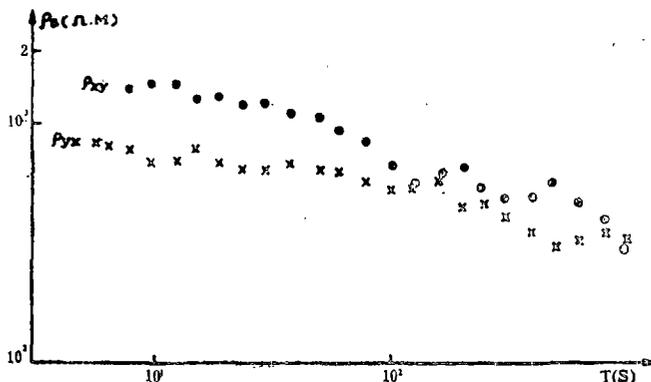


图3 1984年10月实测视电阻率曲线

Fig. 3 The apparent resistivity sounding curve in Oct. 1984 (The third measurement)

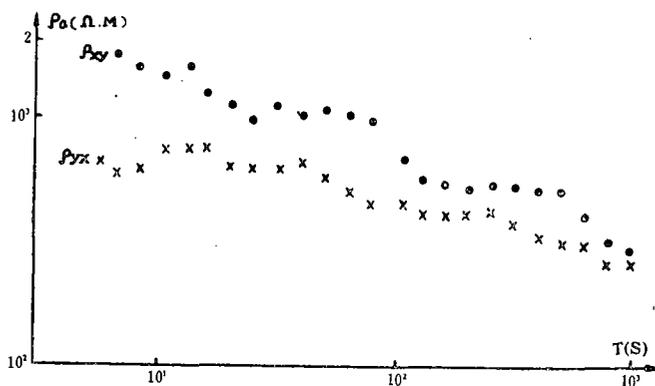


图 4 1985年 8 月实测视电阻率曲线

Fig. 4 The apparent resistivity sounding curve in Aug.1985 (The fourth measurement)

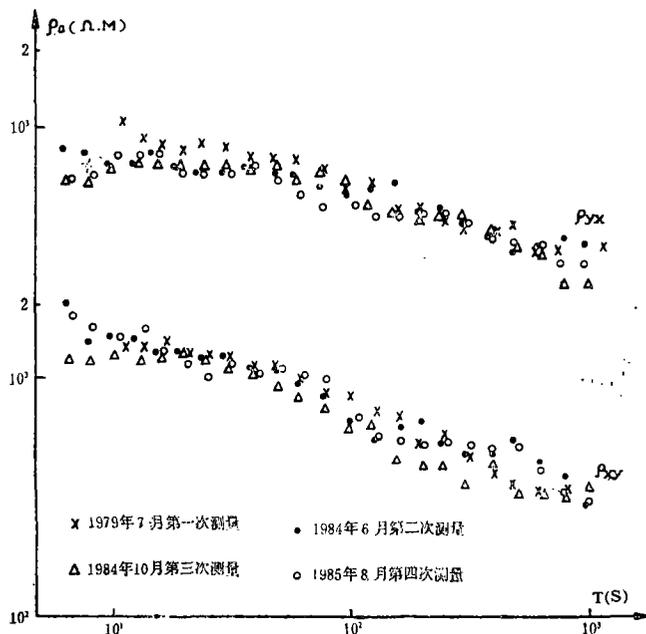


图 5 四次实测视电阻率曲线

Fig. 5 Apparent resistivity sounding curves in the four measurements

信号经过了时间常数为150秒的低通滤波器处理，采样时间间隔为20—30秒。因而我们所记录的频带范围内，“假频效应”和“载断效应”都不会给计算结果带来明显的影响。

表 2、表 3 分别是四次重复测量的计算结果， $\rho_{xy}$ 和 $\rho_{yx}$ 分别为横向和纵向视电阻率曲线，单位为欧姆米， $CP_{ij}$  ( $i, j = x, y$ ) 为张量阻抗的全信息相干度，上角标 1、2、3、4 表示各次测量次数。由表可见，四次测量结果中  $CP$  均在 0.9 左右，则张量阻抗的精度不低于 10%。

2. 视电阻率曲线高频范围的特征

$\rho_{yx}$  曲线 (测点的解释曲线) 在高频段部分以 40—50 秒作为一个结点部位 (该部位中

四次实测 $\rho_{xy}$ 、 $CP_{xy}$ 计算结果

表2

T(s)	$\rho^1_{xy}$	$CP^1_{xy}$	$\rho^2_{xy}$	$CP^2_{xy}$	$\rho^3_{xy}$	$CP^3_{xy}$	$\rho^4_{xy}$	$CP^4_{xy}$
6.5	—	—	3248	0.72	1180	0.76	1825.6	0.82
8.0	—	—	2022	0.81	1156	0.84	1600.1	0.87
10.2	1310	0.81	1323	0.93	1224	0.89	1486.9	0.85
13.1	1310	0.88	1442	0.88	1146	0.89	1643.5	0.78
15.8	1410	0.92	1403	0.93	1208	0.90	1280.2	0.89
19.3	1230	0.86	1350	0.93	1284	0.95	1167.8	0.90
24.1	1220	0.97	1366	0.96	1176	0.92	1031.4	0.93
30.5	1210	0.98	1177	0.97	1077	0.93	1150.2	0.95
38.6	1100	0.98	1191	0.94	1021	0.97	1048.0	0.94
49.3	1120	0.98	1076	0.95	938	0.98	1112.5	0.96
60.9	1020	0.98	1044	0.96	832	0.98	1052.6	0.94
77.2	870	0.98	900	0.97	748	0.99	998.4	0.89
99.8	855	0.98	819	0.98	612	0.95	700.9	0.96
124.2	733	0.92	641	0.95	651	0.98	576.7	0.91
155.7	706	0.94	553	0.86	471	0.94	557.8	0.92
197.8	550	0.95	627.5	0.71	428	0.85	513.3	0.86
246.7	599	0.94	639.1	0.85	441	0.87	544.0	0.85
307.3	481	0.95	521.1	0.82	365	0.90	537.1	0.86
390.1	419	0.95	489.9	0.87	447	0.88	525.6	0.89
487.3	361	0.90	481.8	0.85	333	0.92	519.7	0.90
620.4	330	0.97	553.0	0.90	329	0.79	430.8	0.91
776.0	336	0.94	444.1	0.94	326	0.85	338.0	0.92
1018.3	267	0.97	388.5	0.95	352	0.74	308.9	0.94
平均值	—	0.94	—	0.90	—	0.90	—	0.90

四次测量的值完全重合)向高频端伸展张开呈一喇叭口形状。以1979年第一次测量为基准,1984年6月、10月的第二和第三次测量值都表现出下降的趋势,与1979年第一次测量的值相比约下降15—30%左右,其中曲线首部(约6—20秒)下降的幅度更明显一些,估计对应这一频带的电磁波有效穿透深度在地壳深度的范围内。另外,在该频带范围内高端的三个频点上(5.3秒、6.5秒、7.9秒),第三次测量的值比第二次下降16—20%左右。1985年8月的第四次测量结果表明,在 $\rho_{xy}$ 首部两频点(6.5秒、7.9秒)处视电阻率值和第三次测量值较为靠近,随着周期的增大,在10秒、13秒和16秒三个频点上其视电阻率值呈现出回升趋势,靠近1979年第一次测量值,在20秒—50秒频段内又和1984年的两次测量值重合在一起。

四条 $\rho_{xy}$ 曲线的高频段首部形态也和 $\rho_{xy}$ 曲线类似,呈一开口的喇叭形状,其中值得注

表 3 四次实测  $\rho_{yx}$ 、 $CP_{yx}$  计算结果

T (s)	$\rho^1_{yx}$	$CP^1_{yx}$	$\rho^2_{yx}$	$CP^2_{yx}$	$\rho^3_{yx}$	$CP^3_{yx}$	$\rho^4_{yx}$	$CP^4_{yx}$
6.5	—	—	841	0.82	590	0.67	606.6	0.88
8.0	—	—	792	0.86	570	0.83	643.2	0.91
10.2	1040	0.86	760	0.87	673	0.76	771.4	0.86
13.1	883	0.92	682	0.84	713	0.88	782.0	0.79
15.8	849	0.98	693	0.92	687	0.93	778.9	0.85
19.3	805	0.93	763	0.93	679	0.93	648.3	0.88
24.1	860	0.97	665	0.96	673	0.96	624.5	0.94
30.5	827	0.97	631	0.96	691	0.98	631.8	0.95
38.6	757	0.97	633	0.95	648	0.76	671.4	0.91
49.3	735	0.96	672	0.96	665	0.96	596.1	0.96
60.9	734	0.98	624	0.96	588	0.96	517.2	0.96
77.2	656	0.92	611	0.97	644	0.96	464.1	0.90
99.8	572	0.96	553	0.97	592	0.83	478.0	0.97
124.2	569	0.81	494	0.92	458	0.94	428.5	0.90
155.7	438	0.91	538	0.72	425	0.88	420.6	0.82
197.8	458	0.91	569.9	0.70	402	0.84	431.8	0.87
246.7	421	0.74	426.1	0.83	421	0.88	438.1	0.87
307.3	394	0.89	447.9	0.87	412	0.83	384.4	0.71
390.1	379	0.91	386.9	0.88	370	0.85	342.8	0.85
487.3	387	0.88	339.3	0.91	313	0.89	325.7	0.79
620.4	313	0.93	282.6	0.93	269	0.80	324.5	0.78
776.0	312	0.88	301.8	0.96	217	0.91	272.2	0.83
1018.3	314	0.93	334.0	0.95	214	0.75	271.2	0.91
平均值	—	0.92	—	0.90	—	0.87	—	0.87

意的是1984年第二次测量的视电率值和1979年第一次测量值较为接近；1984年第三次测量的视电阻率值和第一、第二次测量值相比呈系统下降变化（尤其是高频段的首部更为明显）。特别明显的是1985年8月第四次测量  $\rho_{yx}$  曲线的高频段首部视电率值又回升到第一和第二次测量值水平。这种回升变化趋势和  $\rho_{yx}$  曲线表现出的回升变化趋势相一致。

视电阻率曲线  $\rho_{yx}$  和  $\rho_{yx}$  高频段范围的变化特征和该测点附近地区的地震活动呈明显的对应关系。

1984年，俄博测点周围地区曾先后发生过一些5级左右的地震（见图6），如1983年7月27日青海木里5.0和4.8级地震、1984年1月6日武威5.5级地震、1984年2月17日青海刚查5.0级地震、1984年5月23日雅布赖5级地震和1984年12月天祝4.7级地震。是否由于地震造成的地壳内某些层位扩容区介质的电阻率变化，从而引起测点视电阻率在某些频段范围内的

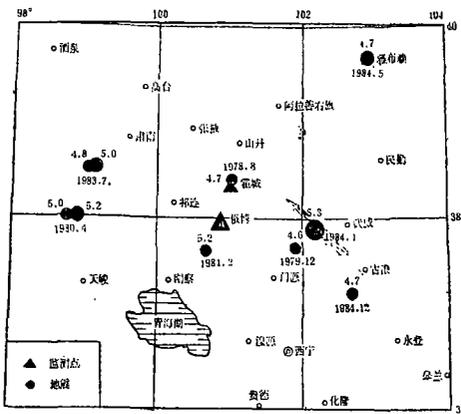


图6 俄博测点附近地区1978年1月—1986年6月5级左右地震震中分布图

Fig.6 The epicentral distribution of  $M \approx 5$  near Qinghai Province Ebo site in Jan.1978—June 1986

### 3. 视电阻率曲线中频段范围的形态特征

四次测量结果的  $\rho_{yx}^1$  曲线表明, 每次测量的视电阻率值都集中交叉分布在一条窄带内, 四条  $\rho_{yx}^1$  曲线中频窄带较为密集, 从而也说明了四次观测的精度是较好的。

$\rho_{yx}^1$  曲线在50—400秒中频段的尾部(200—400秒)的四个频点上, 四次测量的视电阻率值都重合在一起。在50秒—2000秒的频段中四次测量视电阻率值也分布在一个窄带内。在50—100秒频段内第四次视电阻率值和前三次值比较有一个幅度为10—20%的下降变化, 初步估算在这一频段内的电磁波的有效穿透深度在地壳底部和上地幔顶部之间。

## 三、结 论

我们在青海俄博测点进行的四次大地电磁测深重复测量结果证实, 进行较高精度的大地电磁观测, 可以获得较为稳定的张量阻抗视电阻率曲线, 从而可以监测地震前地壳内介质的电阻率的变化。由于四次测量所得到的视电阻率曲线都比较连续平滑, 各次测量的视电阻率曲线的变化是在某频带范围中系统的变化, 而不是个别频点的跳动, 因而我们认为, 在进一步提高仪器观测精度的前提下, 采用大地电磁测深法, 通过连续的重复观测, 可能监测出对应于地壳内某些层位的大于10%的视电阻率变化〔5〕〔1〕。

俄博测点正处在沿走廊南山带向东伸展的上地幔顶部的梯度带中〔1〕, 这一深部背景和复测结果所显示的视电阻率下降变化趋势, 是否意味着这一地区仍有可能在今后相当长的一段时间孕育大震, 尚需实践的检验。

因此在该地区内, 进一步用大地电磁测深来监测震源深度范围内视电阻率随时间的变化, 将是有重要意义的。

(本文1986年1月11日收到)

1) 兰州地震研究所大地电磁测深组, 河西走廊附近地区的大地电磁测深, 1984.

下降, 这将是需要进一步研究的问题。

1985年8月第四次测量结果中,  $\rho_{yx}^1$  和  $\rho_{yx}^1$  曲线高频段所表现出的变化可能表明, 测点及其附近地区地壳内某些层位的介质的电阻率不再下降, 而正处于恢复和稳定状态。而在该测点周围地区从1985年1月到1986年6月一直再没有发生5级左右的地震, 处于比较稳定的时期。按照I. K. Reddy 等人的扩容理论和实验结果〔1〕〔2〕以及国内外的一些观测结果, 如果俄博测点周围一个6级左右的地震扩容区内视电阻率值继续保持这种稳定趋势的话, 那就意味着该测点及其周围80公里以内的地区, 在目前和今后一段时期内发生6级以上地震的可能性将很小。

### 参 考 文 献

- [1] Reddy, I.K. et al., Monitoring of dependent electric resistivity by magnetotelluric, Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, Vol.28, No 2, 1976.
- [2] Anderson, D.L. and Whitcomb J.H, Time-dependent seismology, J. Geophys. Res., Vol.80, No 11, 1975.
- [3] 国家地震局兰州地震研究所大地电磁测深组, 与大震有关的地壳深部的电性变化, 大地电磁测深, 地震出版社, 1981.
- [4] 国家地震局地质研究所大地电磁测深组, 北京凤河营地区的地壳电性结构及其在唐山大震前后的变化, 大地电磁测深, 地震出版社, 1981.
- [5] 刘国栋、毛桐恩, 大地电磁测深法在地震研究中的应用, 大地电磁测深研究, 地震出版社, 1984.

## PRELIMINARY STUDY ON MONITORING THE TEMPORARY CHANGE IN ELECTRICAL PROPERTY IN EARTH CRUST ON EBO SITE, QIJIAN, QINGHAI PROVINCE BY MT METHOD

Zhang Yunlin Si Yulan Guo Shounian An Haijing et al  
(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau*)

### Abstract

This paper deals with the results of repeated observations in apparent resistivity on Ebo site, Qilian, Qinghai Province from 1979 to 1985 by of MT method. It is suggested that the observationary site is characterized by low noise background and high seismicity around it. During the observation the stability of the instrument was kept very high and the records obtained were taken in the period of magnetic storm or strong magnetic disturbance. The error of results were analysed and discussed. It could be found that there were systematic changes in the apparent resistivity in some frequency range associated with the occurrences of earthquakes of  $M \approx 5$  around the site. It is possible to get the stable impedance tensor apparent resistivity curves and other geophysical function of responses by MT observation with high accuracy, so that MT could be one of the means, which is used to monitor the temporary change of resistivity in the depth corresponding to the focus. Further observation and test of the temporary change of apparent resistivity by MT associated with earthquake preparatory process is needed.