第 11 卷 第 1 期　　地 震 学 报　　Vol. 11, No. 1
1989 年 2 月　　ACTA SEISMOLOGICA SINICA　　Feb., 1989

研究简报

# 震源深度范围内视电阻率随时间变化的观测试验及其与地震活动的关系

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和甘肃山丹霍城测点 1979 年 7 月—1986 年 10 月间的大地电磁测深重复观测试验结果．测点所在地区的电磁干扰背景较小、地震活动性较强．文中分析了观测记录和资料处理中的误差．结果表明，以初始值为基准，俄博测点 1984 年两次复测的视电阻率曲线在部分频带范围内出现过 15—30% 左右的系统变化，与此期间测区附近发生的一些 $M\approx 5$ 的地震活动有着一定的对应关系；1985 年复测的视电阻率曲线又恢复至初始值，而此期间测区附近没有 $M\approx 5$ 及其以上的地震活动，1986 年霍城测点和俄博测点复测的视电阻率曲线在较宽的频带范围内发生了 40—70% 左右的系统变化，与此期间震中距为 60 km 左右的青海门源 $M=6.7$，5.7 和 5.0 地震群密切相关．

**关键词**　视电阻率；主轴方向视电阻率曲线；全信息相干度；二维偏离度，穿透深度，平均电阻率；勘探深度；张量阻抗

## 一、监测区和测点概况

甘肃河西走廊东部地区位于青藏高原的东北缘，是我国的地震重点监视区之一．由大地电磁测深获得的结果表明，该区软流圈顶面存在于沿走廊南山带呈东西方向和与此方向垂直呈南北方向的局部二维梯度带中，同时地壳电性还呈现出剧烈的横向变化，因而具有发生强震及其以上地震的深部电性背景[1]．自 1978 年以来，该区先后发生过 $M=4.7$—6.7 地震十余次，表现出较强的地震活动性．

以东经 101°、北纬 38° 为中心的青海祁连俄博测点和甘肃山丹霍城测点分别处于河西走廊的南山带和走廊拗陷带中，它们分别地处海拔 3500 m 的祁连山区和张掖-民乐盆地的东南部，其电磁干扰背景都较小，地壳内介质的电阻率分别为较高（俄博为 1000Ω · m 左右）和较低（霍城为 200Ω · m 左右），具有不同的电性结构特征．如图 1 监测区测点和地震活动（自 1978 年以来 $M\approx 5$ 及其以上地震）分布图所示．

1987 年 1 月 18 日收到本文初稿，1987 年 6 月 26 日决定采用．
* 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、屈健鹏等．

http://www.dizhenxb.org.cn

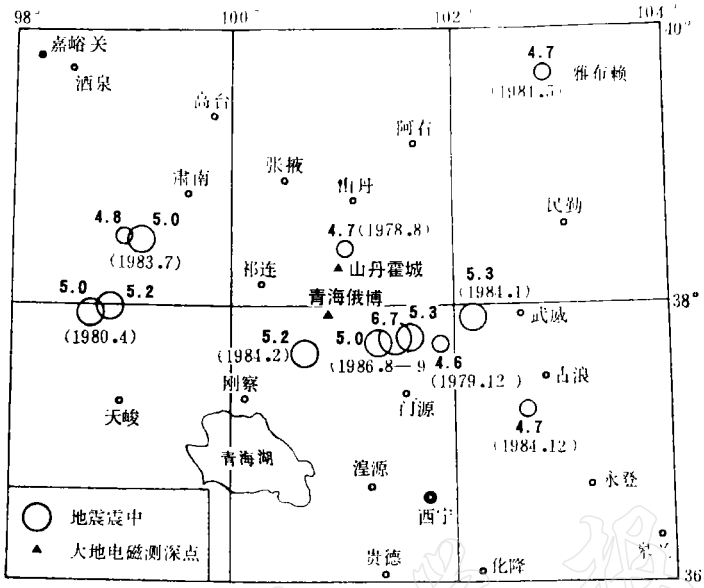


图 1　监测区测点和地震活动(自 1978 年以来 $M \approx 5$ 及其以上地震)分布图

各次复测中均采用 LH-1 型大地电磁测深仪，记录频段达 6—6000 秒，分为快、慢两个频段同时记录．该仪器在使用中不断得以改进和完善，保证了电磁场四个分量之间真实的幅频特性，提高了仪器的抗干扰能力和稳定性，从而提高了大地电磁记录资料的精度．资料处理中均选用磁暴和强磁扰中的记录，其信噪比高、周期丰富[2]．快资料选用 3—4 段，每段连续时间为 40 分钟以上，采样时间间隔为 1—2 秒；慢资料亦选用 3—4 段，每段连续时间在 8 小时以上，慢资料电磁脉动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"假频效应"和"截断效应"都不会给计算结果带来明显的影响．各次复测结果中张量阻抗的全信息相干度 CP 均在 0.9 左右，因而张量阻抗的精度不低于 10%[3]，从而保证了观测结果的可靠性．

## 二、复测结果及其与地震活动的关系

大地电磁测深重复观测可以获得来自震源深度范围内电性变化的信息．该方法和地电阻率法、偶极测深结合起来形成了地表—地壳浅部—地壳深部的地电阻率监测系统．视电阻率曲线 $\rho_a$ 的形态和量值的变化反映了地下介质电性的变化．为直观定性地展示出地下介质电阻率随深度的分布特征，引入对应于地表到地下某一深度（勘探深度）$\bar{H}$ 范围内的平均电阻率 $\bar{\rho}$ 的概念（把地下介质假设为水平均匀层状）．电磁波穿透深度 $P = \frac{1}{2\pi}\sqrt{10\rho_a T}$，经验公式 $\bar{H} = \frac{2}{3}P = \frac{1}{3\pi}\sqrt{10\bar{\rho}T}$，其中 $\bar{\rho} = \rho_a$．由测点所获得的两条视电阻率曲线，进而可作出沿着两条非均匀主轴方向地下介质的平均电阻率 $\bar{\rho}$ 随勘探深度 $\bar{H}$ 的分布曲线．

现将重复观测结果介绍如下：

http://www.dizhenxb.org.cn

**1. 俄博测点 1979—1985 年复测结果**

俄博测点分别在 1979 年 7 月初测，1984 年 6 月、10 月、1985 年 8 月和 1986 年 9 月复测.

见图 2 中 A 俄博测点重复测量主轴方向视电阻率曲线，1979—1985 年七年中四次复测的视电阻率曲线 $\rho_{xy}$ 和 $\rho_{yx}$ 的总体形态都是密集分布在窄带中，甚至在有些频点上还完全重合在一起. 可见进行较高精度的大地电磁重复测量能够获得较为稳定的张量阻抗视电阻率曲线，而这一窄带基本上正反映了测点正常曲线的形态和范围. 作出这四次复测的几何平均值曲线如图 2 中 B 俄博测点重复测量视电阻率几何平均值曲线所示.

1984 年两次复测的两条视电阻率曲线在高频端出现了 15—30% 的系统下降变化. 这种变化与测区周围发生的一些 $M\approx5$ 的地震活动呈一定的对应关系：1984 年间曾发生了武威 5.3 级、刚查 5.2 级、雅布赖 4.7 级和天祝 4.7 级地震.

1985 年 8 月复测的两条视电阻率曲线又恢复至初始值，而此期间测区周围没有 $M\approx5$ 及其以上的地震活动，处于相对平静时期.

1984 年和 1985 年复测的平均电阻率曲线（如图 3 所示）$\bar{\rho}_{xy}$ 和 $\bar{\rho}_{yx}$ 在地壳-上地幔顶部深度范围亦表现出了一定的系统下降变化和恢复特征，与视电阻率曲线的变化特征相类似.

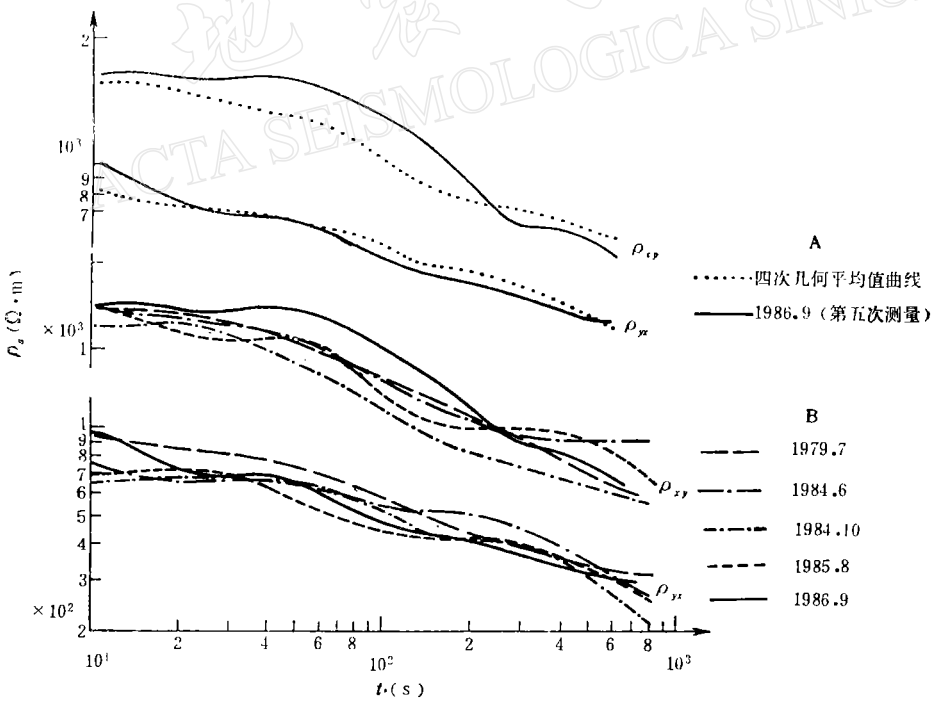


图 2 俄博测点重复测量结果

A——主轴方向视电阻率曲线；B——视电阻率几何平均值曲线

**2. 俄博和霍城测点 1986 年复测结果**

1）俄博测点 1986 年 9 月复测的两条视电阻率曲线其中的 $\rho_{yx}$ 曲线仍保持在正常曲

http://www.dizhenxb.org.cn

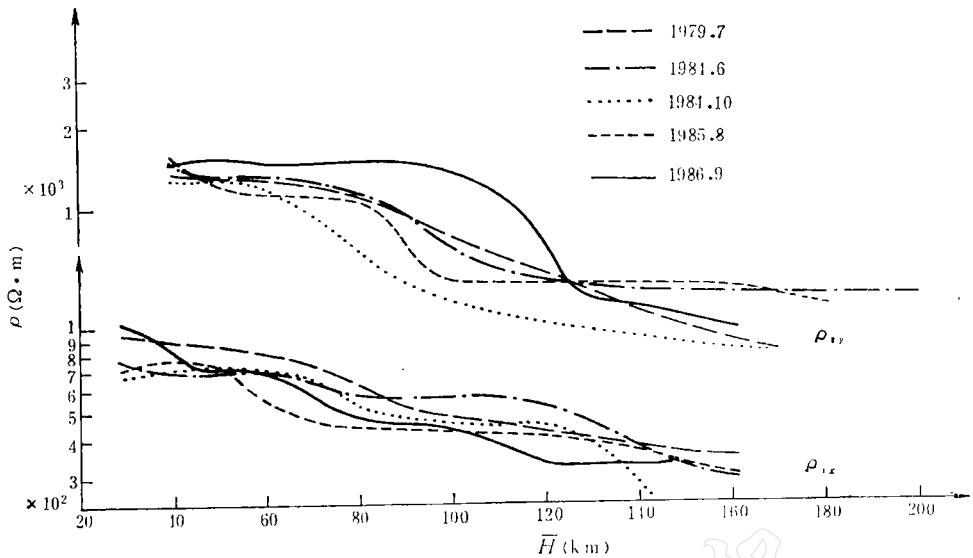


图 3　俄博测点重复测量平均电阻率 $\bar{\rho}$-勘探深度 $\bar{H}$ 曲线

线形态的窄带范围中，而 $\rho_{xy}$ 曲线却发生了明显的变化．由图 2 中 B 可见，1986 年复测的 $\rho_{yx}$ 曲线基本上和正常情况下的几何平均值曲线重合在一起，仅仅在曲线的首部 10—20 秒频带中有约 25% 的上升变化；但是 $\rho_{xy}$ 曲线在 20—200 秒较宽的频带中却明显地系统上升变化，其最大幅值为 43.8% 左右，在 200—600 秒频带中又基本重合在一起．

1986 年复测的两条平均电阻率曲线（见图 3），其中 $\bar{\rho}_{yx}$ 曲线在勘探深度 25—140 km 范围中没有明显的变化，该曲线交叉分布在窄带中；而 $\bar{\rho}_{xy}$ 曲线在勘探深度 60—120 km（相当于地壳的底部到上地幔顶部）范围中却发生了显著的系统上升变化．平均电阻率曲线和视电阻率曲线亦表现出类似的变化特征．

由前所述俄博测点地壳介质电阻率普遍较高为 1000Ω · m 左右，因而可视作为不含水的干岩石模型，复测视电阻率曲线 $\rho_{xy}$ 和平均电阻率曲线 $\bar{\rho}_{xy}$ 的系统上升变化与雪崩式裂隙扩散（IPE）模式的解释结果是较为一致的．

2）霍城测点于 1986 年 5 月初测，7 月和 10 月复测．

以初测值为基础，由图 4 霍城测点重复测量主轴方向视电阻率曲线可见：$\rho_{xy}$ 在 20—200 秒较宽的频带中第二次测量出现了最大幅值为 28% 左右的系统下降变化；第三次测量继续出现了最大幅值为 40% 左右的系统下降变化，在 200—400 秒频带中各次测量值又都重合在一起．$\rho_{yx}$ 第二次测量在 150—400 秒频带中出现最大幅值为 25% 左右的系统上升变化，在 20—150 秒频带中稍有下降变化，但幅值不大，不甚明显；第三次测量在 60—400 秒频带中继续出现了最大幅值为 70% 左右的系统上升变化，在 10—60 秒频带中与初测值重合在一起．

1986 年复测的平均电阻率曲线也出现了明显的系统变化．如图 5 霍城测点重复测量平均电阻率曲线所示：$\bar{\rho}_{xy}$ 在 20—60km 的勘探深度范围（相当于地壳的中部—下部）中出现了最大幅值为 45% 左右的系统下降变化，在 60—105 km 范围中密集在窄带中，没

http://www.dizhenxb.org.cn

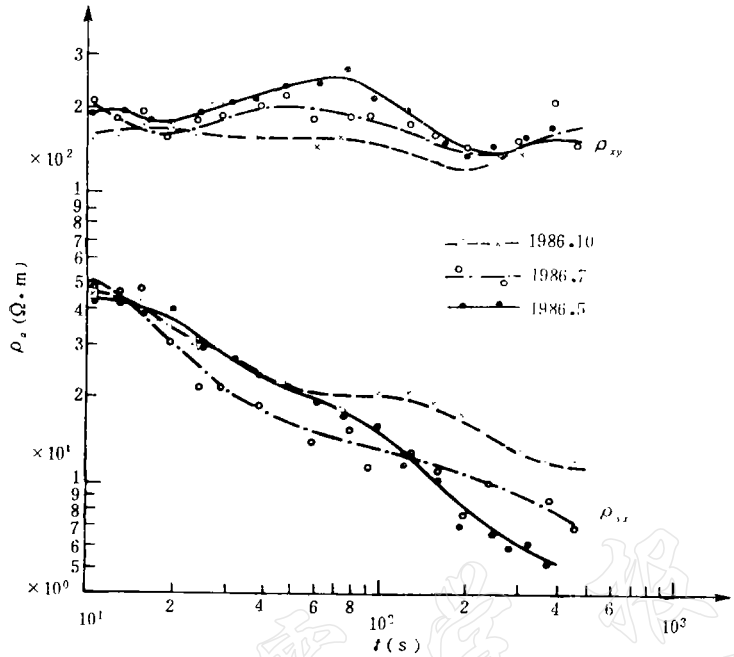


图 4 霍城测点重复测量主轴方向视电阻率曲线

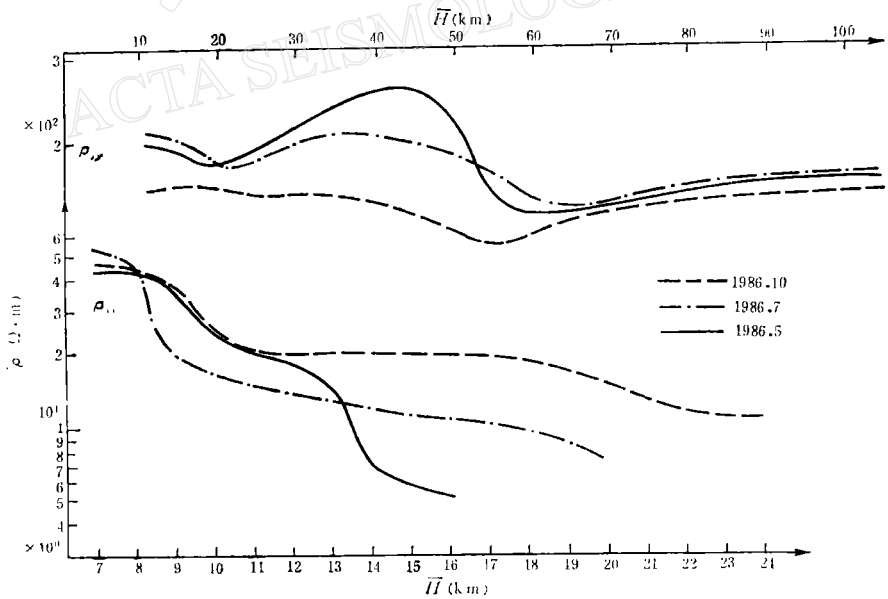


图 5 霍城测点重复测量平均电阻率 $\bar{\rho}$-勘探深度 $\bar{H}$ 曲线

有明显的变化；$\bar{\rho}_{yx}$ 在 13—16—20km 范围中出现了系统上升变化，由几个欧姆米变到十多个欧姆米。

1986 年复测的二维偏离度 $S$ 曲线在 10—150 秒频带中出现了系统上升变化（如图 6

http://www.dizhenxb.org.cn

所示)。二维偏离度的定义为：对应于某一周期附近，$S=\frac{|Z_{xx}+Z_{yy}|}{|Z_{xy}-Z_{yx}|}$. 当介质为均匀介质或为典型二维非均匀介质时，则 $S=0$；当介质与二维非均匀介质的偏离程度越大时，则 $S$ 值就越大，亦即介质向三维非均匀介质靠近。因而 1986 年复测结果表明地下某一深度范围内介质的电性剧烈地变化着，其三维非均匀性的程度越来越强。另外亦可看出，二维偏离度 $S$ 曲线在 10—150 秒频带中持续增大的变化趋势与平均电阻率 $\bar{\rho}_{xy}$ 曲线在 20—60km 勘探深度中的变化形态有着较为明显的对应关系。

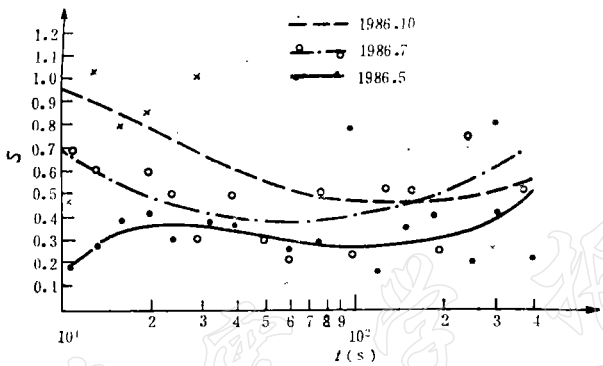


图 6　霍城测点重复测量二维偏离度 $S$-$T$ 曲线

霍城测点地壳介质电阻率普遍较低，为 200Ω · m 左右，因而可视作为富含水的湿岩石模型。$\rho_{xy}$ 曲线和 $\bar{\rho}_{xy}$ 曲线之系统下降变化与膨胀流体扩散（DD）模式的解释结果是一致的。

综上所述监测区重复观测结果表明，地下介质的电性发生着明显的系统变化。这种变化与震中距为 60km 左右的青海门源 1986 年 8 月 26 日—9 月 17 日发生的 $M=6.7$，5.7 和 5.0 地震群有着密切的关系。

## 三、结　论

1. 进行较高精度的大地电磁测深多次复测可以获得较为稳定的张量阻抗视电阻率曲线，进而可得到呈窄带集中分布的正常情况下视电阻率曲线的形态范围，而只有当测区附近发生中强及其以上地震时，视电阻率曲线才在某些频带内发生系统变化。

2. 重复测量视电阻率曲线的变化乃是在某些频带中的系统变化，而不是个别频点视电阻率值的跳动。所以采用较高精度的重复观测有可能监测出视电阻率大于 10% 的变化[4]。

3. 对应于 $M=4.7$—5.3、震中距为 50—250 km 范围的地震活动，视电阻率曲线可出现 15—30% 左右较窄频带范围的系统变化；对应于 $M=6.7$，5.7 和 5.0，震中距为 60 km 左右的地震群，视电阻率曲线出现了 40—70% 的较宽频带范围的系统变化。并且视电阻率曲线、平均电阻率曲线及二维偏离度曲线有着某些类似的变化特征。

http://www.dizhenxb.org.cn

4. 两测点主轴方向视电阻率曲线 $\rho_{xy}$（近似于南北方向）对应于门源中强地震群同时都出现了十分明显的系统变化。由地下介质电性发生剧烈变化的主轴方向可以推断出该次地震群的构造主应力呈南北方向作用。这与文献[5,6]的论述相一致。

5.对应于同一个地震活动，地壳——上地幔电性结构不同的测点可以表现出不同形态的系统变化。地壳介质电阻率较低的霍城测点和较高的俄博测点，其近似于南北方向的视电阻率曲线分别表现为系统地下降和上升变化。这与文献[7],[8]所论述相一致。

6. 分析表明该区地下介质电性目前继续处在较为剧烈的变化中，测区周围近期将有发生强震及其以上地震的可能。

## 参 考 文 献

[1] 国家地震局兰州地震研究所大地电磁测深组，1987. 河西走廊及其附近地区的大地电磁测深. 勘探地球物理专辑第二辑，大地电磁测深，138—144，地质出版社.

[2] 张云琳、郭守年、司玉兰，1987. 我国西北部分地区大地电磁观测中的信噪比. 勘探地球物理专辑第二辑，大地电磁测深，105—114，地质出版社.

[3] 张云琳、司玉兰、郭守年、安海静，1987. 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. 西北地震学报，1: 54—61.

[4] 刘国栋、毛桐恩，1984. 大地电磁测深法在地震研究中的应用. 大地电磁测深研究，348—359，地震出版社.

[5] 马宗晋、张德成，1986. 板块构造与地震. 板块构造基本问题，363—391，地震出版社.

[6] 罗灼礼，1979. 印度洋板块向北顶撞与我国西部及邻区现代构造应力场和地震活动的关系. 西北地震学报，4: 11—21.

[7] 赵玉林、钱复业，1978. 唐山 7.8 级强震前震中周围形变电阻率的下降异常. 地球物理学报，**21** 181—190.

[8] Qian Jadong, Gui Xitai, Ma Huaizhou, Ma Xikang, Guan Huaping and Zhao Qingming, 1979, Observations of apparent resistivity in the shallow crust before and after several great shallow earthquake, Procedings of the International Symposium on Earthquake Prediction, 145—155, Paris, UNESCO.

http://www.dizhenxb.org.cn

# OBSERVATION OF CHANGES WITH TIME OF APPARENT RESISTIVITY WITHIN THE DEPTHS OF EARTHQUAKE FOCI AND THE OCCURRENCE OF EARTHQUAKES

ZHANG YUNLIN, SI YULAN, GUO SHOUNIAN AND AN HAIJING

*(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)*

## Abstract

This paper deals with test results of repeated observations of the apparent resistivity at the Ebo site, Qilian, Qinghai Province and at Huocheng, Shandan, Gansu Province from July 1979 to October 1986 by the MT method. The noise background is low and seismicity is high around the observation sites. The errors of observations are analysed and discussed. It is found that in comparison with initial curves, systematic changes of 15—30% in the apparent resistivity in part of the frequency range of two repeated observations in 1984 at the Ebo site were associated with the occurrences of earthquakes of $M\approx5$ around the sites; then returning to initial values when measurements were repeated in 1985 at the Ebo site with no earthquakes of $M\approx5$ occurring around the sites. Systematic changes of 40—70% in the apparent resistivity in the entire frequency range repeatedly observed in 1986 at the Ebo site and at the Huocheng site were closely associated with the occurrences of earthquakes of $M=6.7$, 5.7, 5.0 at Menyuan, Qinghai Province. The epicentral distances of the two observation sites were about 60 km.

http://www.dizhenxb.org.cn