

1982年4月海原5.5级地震前后 地电阻率的特征

赵和云 杨明芝

(宁夏地震局)

摘 要

通过对1982年4月14日海原5.5级地震的研究表明:

- 1.地震前 ρ_s 趋势异常以下降为主,临震异常则有升有降,表现了幅度大、速率快的特点。 ρ_s 在地震前后的演化过程是:下降—转平—临震突跳—(发震)—震后回升。
- 2.地震前 ρ_s 的趋势异常有大面积长时间的特征。此外各台最大异常量的方向与当地大断裂(或发震断裂)的展布方向一致。这些特点说明, ρ_s 趋势异常是整个区域应力场急剧增强的反映。
- 3.各台 ρ_s 的异常幅度与台址第四纪复盖层关系密切。复盖层越厚其异常量越小。因此预报中强地震对地电台址的要求要更严格一些。

一、引 言

利用浅层地电阻率随时间的变化预报七级以上的强震已有较多的研究。能否以此来预报中强地震是人们所关心的又一课题。1982年4月14日海原5.5级地震($105^{\circ}30'$; $36^{\circ}45'$)发生在宁夏、甘肃两省区地电台网(地电阻率法)密度大、观测历史长、工作基础相对较好的地区。因此研究这次地震前后浅层地电阻率变化的特征,对于今后地电阻率法预报中强地震无疑是有益的。

本文由各台站震前多年标定和观测资料首先给出异常的评定标准,然后讨论了地震前后 ρ_s 的时空演化特征,强调指出区域性 ρ_s 异常是区域应力场变化的反映。此外还讨论了 ρ_s 异常幅度与台站测区第四纪复盖层的关系。

二、台站及资料

海原5.5级地震前地电台站分布如图1所示。在震中周围100公里范围内有海原、中卫、

西吉三个地电台, 100—150公里范围内还有固原、静宁两台。这些台站在震前都有二年以上的观测资料, 除固原台以外, 其余台站资料连续、可靠。固原台因长期受城市建设的严重干扰, 很难去伪存真, 因此资料未采用。由于各台都是采用 DDC—2 A 型电子自动补偿仪定点定时测量, 因此观测资料的精度可统一用下述三个指标衡量: (1) 标定值一般的偏差 (2) 标定值的稳定性 (即仪器的长期稳定性) (3) 日均值均方相对误差。各台的这三项指标列于表 1 中。

表 1

台站名称	AB (米)	标定偏差 (%)	标定值的相对变化量 (%)	日均值均方相对误差 (%)
海 原	NS: AB = 1200 EW: AB = 1020	0.3—0.4	< 0.5	≤ 0.35
西 吉	NW: AB = 900 EN: AB = 900	0.44—0.80	< 0.5	≤ 1
中 卫	NS: AB = 1000 EW: AB = 1500	2.05—2.70	≤ 0.7	一般为 1
静 宁	NS I EW I AB = 800 NS II EW II			

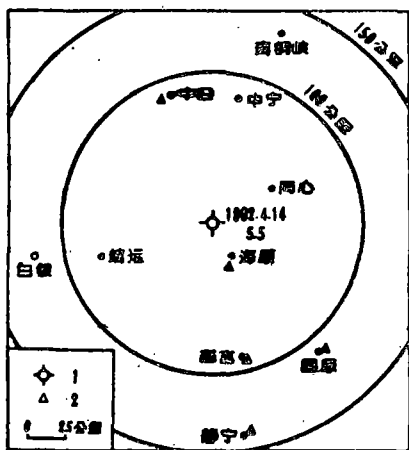


图 1 海原5.5级地震前地电台站分布图
1. 震中 2. 地电台

Fig. 1 The positions of the epicenter and the stations before the Haiyuan earthquake M=5.5.

和蒸发两种作用的影响。蒸发作用主要影响表层; 降水作用则主要通过由南华山而来的地下径流的淡化作用, 影响较深处的电阻率值, 使之随降水增加而升高。图 2 所示的海原台 ρ_s 曲线 (月均值) 与当地降水、蒸发等气象因素有着密切的关系。表 2 给出该台 ρ_s 值与气象资料的相关系数 (或全相关系数)。1981 年以后, NS 道 ρ_s 值与气象资料的相关系数显著减小。利用明显相关的 78、79、80 三年的资料作回归分析, 得到了如图 3 中所示的曲

由表 1 可知, 实际观测区间内仪器系统误差一般都小于 1%, 中卫台要大一些; 标定值的相对变化量在 0.5% 左右; 海原台日均值均方误差较小, 中卫、西吉台较大在 1% 左右。综合考虑这几项指标后, 对观测误差的评定: 海原台以 1% 为上限, 中卫、西吉以 1.5% 为上限。当采用月均值时, 误差会更小, 其精度会更高。因此海原台以大于 1.5%, 西吉中卫两台以大于 2.5% 作为异常评定标准则是可信的。

针对各台资料的具体情况, 还作了如下的处理或分析:

海原台地电阻率存在着反常年变化, 即夏季 ρ_s 高, 冬季 ρ_s 低。根据物探及钻孔资料, 测区有巨厚砾石层复盖, 且含水少, 矿化度极高。因此复盖层电阻率值受到了降水

表 2

相关系数	气象资料	1978 1979年	1978 1979年 1980	1978 1979 1980 1981 1982(1—4月)
ρ_{SEW}	降 水	0.82	0.83	0.83
ρ_{SNS}	降水蒸发	0.82	0.81	0.68

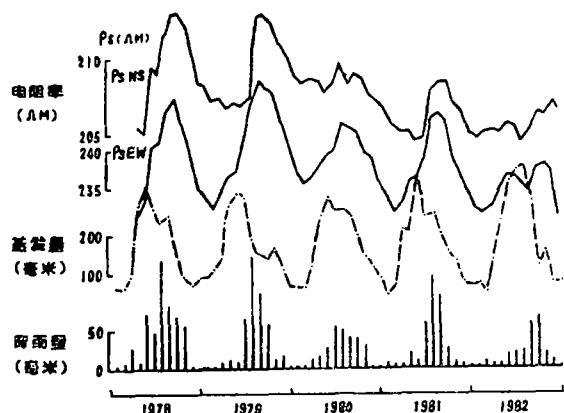


图2 海原台 ρ_s 与气象资料的关系

Fig. 2 Relationship between ρ_s -curve and information of climatic phenomena in Haiyuan station.

线。其中虚线为回归二倍均方误差线。

中卫台因接地条件差,在每次较大的整修电极线路之后, ρ_s 值出现明显的变化。图3中卫台 ρ_s 曲线(月均值)标星号的地方都是由于这种原因引起的。对有明显异常前的资料作方差分析,其两倍均方差用虚线标于图3中。可见1981年以前随机跳动基本未超出两倍均方误差。

1980年9月西吉台两测道有一次测量电极互换,1980年10月以前和以后的资料不连续(图3)。由于供电电极未变,特别是NW道测量电极间距前后变化不大,因此1980年10月前的资料(按当时实际联线的K值重新计算)可作参考。

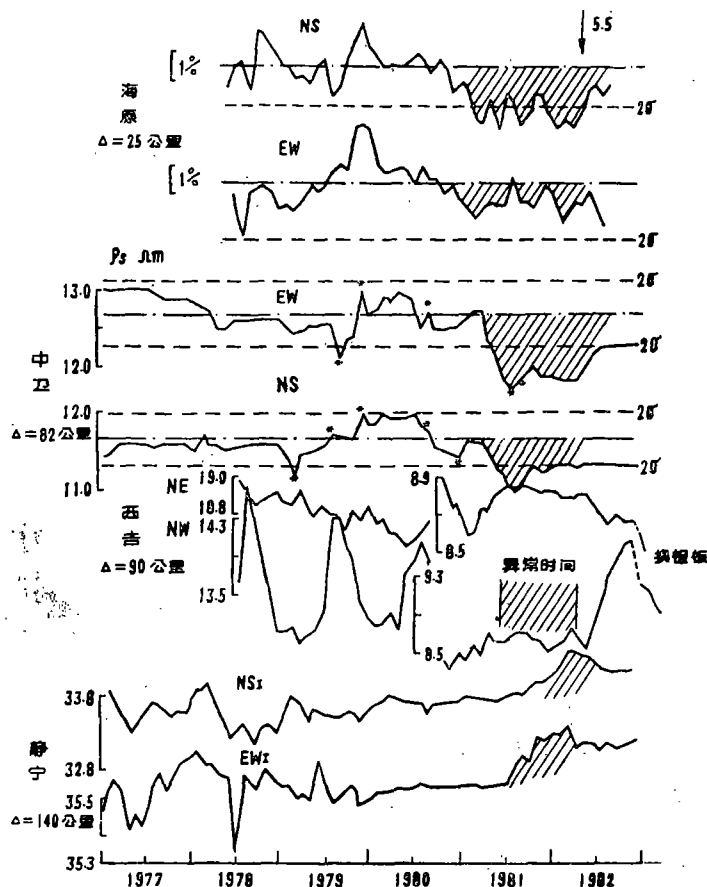


图3 海原5.5级地震前后 ρ_s 变化曲线

Fig. 3 The changes of earth-resistivity before and after the Haiyuan earthquake of magnitude 5.5.

静宁台已有8年以上的观测资料。自1979年以来 ρ_s 一直很平稳。本文仅给出1977年以后的月均值曲线(图3),其中NS_I和EW_I两道在1981年元月至1982年12月间的五日均值曲线示于图4中。

此外,判断异常还有一个重要的标志,就是看多台地电阻率 ρ_s 的时空变化是否有明显的一致性和规律性。如果有,则用干扰是很难解释的。

三、区域性地电阻率的演变特征

1. 趋势性变化

由图3可知,距震中最近的海原台,震前已有四年多连续观测资料。在清除 ρ_s 年变化之后,可以看出,从1978年至1980年 ρ_s 值的变化是相对稳定的。NS道 ρ_s 值从1980年底开始出现了较大幅度的下降,其变化值超过了二倍均方误差。下降在转平之后一直延续到震前,累计下降达-1.9%。EW测道虽然在1980年底以后没有出现超出二倍均方差的异常,但在1980年之后,出现的偏差值较大,而且时间较连续,其变化累计可达-1.3%。

在上述异常出现不久,于1981年4月震中北边的中卫台,两道同时出现了较大幅度的下降。这是1976年5月建台以来所没有的,其中EW道下降幅度较大,达-7.7%,是均方相对误差的4.5倍;NS道下降为-5.4%,是均方相对误差的3.8倍。

震中南边的西吉台在1980年10月重新观测之后, ρ_s 值开始上升,到1981年6月上升到最高点,之后缓慢下降。从1980年10月至发震日期的资料太短,还不足以说清楚,为此把震后至今的资料和1980年9月前的资料联系起来分析。可以得出,NW道 ρ_s 在震前有明显的年变化,而震后也重新出现了年变化。根据以往的年变化规律,至少可以说1981年6月份以后应该出现地电阻率大幅度的上升,然而实际上没有出现,所以尽管说不准该道 ρ_s 值下降的幅度,但NW道 ρ_s 值在1981年6月份之后出现下降(或地电阻率形态异常)则基本上是可信的。NE道由于电极的埋设位置在1980年10月前后差别较大,因而资料严重不连续,无法确定其异常的情况。

从以上讨论可以看出,震中100公里范围内三个台的 ρ_s 值都显示了震前趋势性下降的特征。

需要指出的是,在地震之后,三个台的 ρ_s 值不同程度的有所回升,使震前的负异常被破坏。如果说震前的地电阻率下降反映了能量的积累过程,那么震后地电阻率的回升则反映了震后能量调整达到了新的平衡。因此负异常是否回升可看作异常是否可靠的一个有力判据。

此外,震中距为140公里的静宁台,从1979年以来测值一直平稳。在1982年元月之后四道同步开始急剧上升,其中NS_I道上升幅度最大,为1.7%(图4),震后都略有下降。参考唐山地震前,外围震中距较大的马各庄、张山营等台有幅度不太大的正异常事实,因此很难得出这个上升变化与此次地震无关的结论。

2. 临震变化

这次地震各前兆的临震异常有沿发震断裂呈条带状分布的特点。地电阻率的临震异常是在发震断层延伸方向的西吉、中卫台上出现(图5)的。现分述如下:

西吉台NW道 ρ_s 值从1982年起一直保持在8.65欧姆米左右,从3月11日开始,出现上

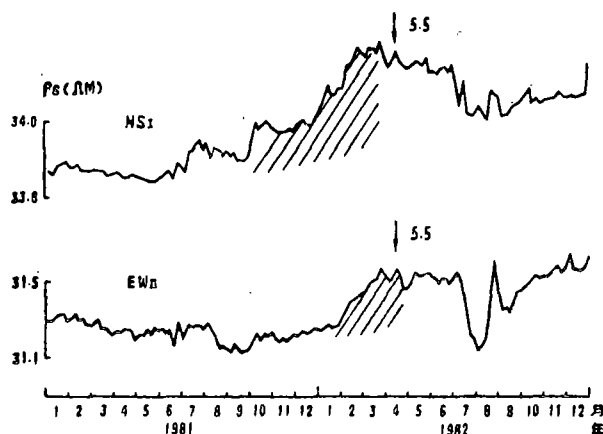


图4 1981—1982静宁台 ρ_s 五日均值曲线

Fig. 4 the curve of five-day's mean resistivity in Jingning station from 1981 to 1982.

升,到了3月28日上升至最高值9.05欧姆米,然后下降,震前两天恢复到基值(见图5—a)。以8.65欧姆米为基线,则在短短的17天内上升了4.6%,是日均值均方误差的近五倍。在异常出现时还多次进行了仪器、线路检查,未发现系统干扰,因此异常是可信的。

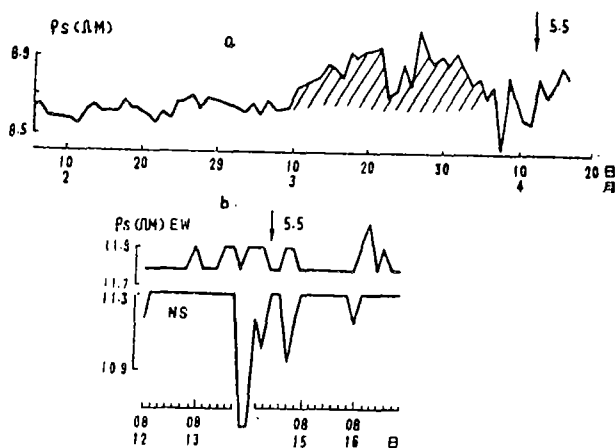


图 5

a. 西吉地电阻率临震异常曲线 b. 中卫地电阻率临震异常曲线

Fig. 5 a The imminent-term anomalies of earth-resistivity in Xiji station.

Fig. 5 b The imminent-term anomalies of earth-resistivity in Zhongwei station.

中卫台NS道 ρ_s 值在震前18小时出现了大幅度突跳性下降(见图5—b),由于夜间没有观测,不知道最大下降值是多少。以现有的资料看,最大下降为-6%,超过日均值相对

误差6倍。

震中距最小的海原台没有发现临震异常。由于台站较少,也还看不出临震异常明显的时空演化趋势,仅就现有的两例来看,临震异常表现了幅度大、速率快,有升有降的特点。

总括以上两个问题的讨论可以看出,在震中100公里范围内的三个台在震前彼此相关的时间内出现了前所未有的同步下降;震前一月到几小时在下降的背景上又出现了大幅度的异常变化(上升或下降);在震后各台 ρ_s 值有不同程度的回升,显示出了这次地震前后的区域 ρ_s 值变化特征,即下降—转平—临震突跳—(发震)—震后不同程度的回升。这与我国近年来发生的九次强震的 ρ_s 演变特征基本相似〔1、2、3、4〕。

四、讨 论

1. 趋势性 ρ_s 变化是区域应力场变化的反应

根据郭增建等人提出的孕震断层长度与震级的经验公式 $M = 3.3 + 2.1 \lg L$,可算得海原5.5级地震的断层长度为14公里。一个14公里的孕震断裂,尤其是又处于距主干大断裂较远的盆地内,能否在近一百公里远处的浅层引起 ρ_s 值的下降是很值得推敲的。那么,地震前大面积长时间的区域性 ρ_s 变化又作何种解释呢?地震前 ρ_s 值最大异常的方向性及异常时间的演化过程也许能提供回答这一问题的一种可能。

把同一台站上异常量最大的测线方向标在构造图上,如图6所示。不难看出,它们与当地的大断裂走向基本一致。其中海原台的最大异常方向与发震断层的走向一致,而与该台南边1920年海原8.5级大震的发震断裂的展布方向关系不大。

不妨作如下粗浅解释:1980年底前后,西、海、固地区的区域应力场可能急剧增强。在区域应力场的作用下,一些断层上沿断层方向的剪切力亦在增强,即会形成多个应力集中区域。从1981年起这个地区小震活动的四个丛集区(见图7)也可以看出,应力集中不是一处而是多处。这些小震活动丛集区的长轴方向也与当地断裂走向一致。由于某种原因,未来的发震断裂比其它断裂的应力集中程度更高,因而影响也更大。当各个断裂上剪切力的值超过某一阈值之后,会引起断裂附近台站的 ρ_s 值下降,其中由于岩体变形、微裂隙的方向性等原因使得沿剪切力方向上的 ρ_s 值下降幅度较大。海原南面的主干大断裂由于海原8.5级强震时已基本错通,不会积累更大的应变能,所以海原台最大异常方向受发震断层的控制。海原5.5级地震的发生则是由于大范围内某些局部点的应力释放造成应力在空间上和强度上向震中区域集中的结果。因此浅部 ρ_s 趋势下降以及所表现的方向性很可能是区域应力场变化的反映,而不能全部归结为发震断裂的作用。

从 ρ_s 异常出现的时间上看,最早超过阈值的首先是未来的发震断层,因此距震中最近的海原台 ρ_s 异常出现得也最早;其次是弧型构造的转折处—中卫地区;之后是其它地区,形成了一个有规律的异常时间序列—由震中向外围扩展。

此外把中卫、海原台的 ρ_s 曲线与西吉、海原、固原、中卫、中宁地区的地震频次曲线相比较(图8),也可看出两种曲线呈镜像关系,也就是说区域上 ρ_s 值出现下降异常的时间与这个地区地震活动明显增强的时间相吻合。

由此可见, ρ_s 大面积长时间的趋势变化反映了区域应力场加强的过程。

2. 不同台 ρ_s 异常量的讨论

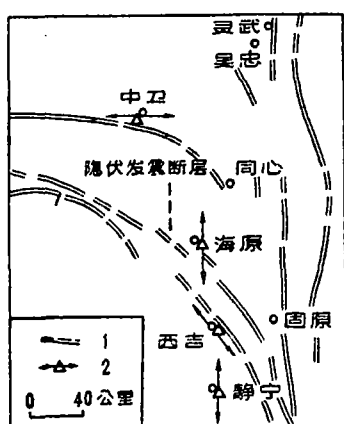


图6 震前各台最大异常的测线方向与当地大断裂走向的关系图

1. 断裂 2. 地电台及异常量最大的方向

Fig. 6 Relationship between the direction of the maximum anomalous value at stations and strike of the local large fault.

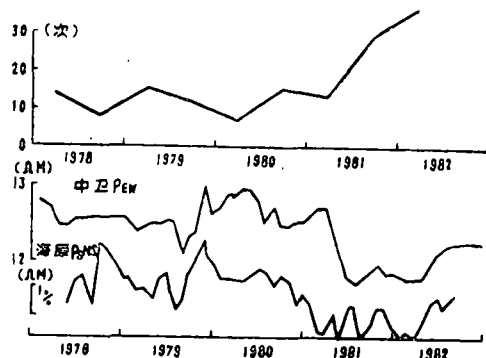


图8 ρ_s 曲线与地震频次曲线对比图(上图 $M_L \geq 2.0$ 地震频次曲线)

Fig. 8 Relationship between ρ_s and earthquake frequency.

等参数。显然震中距最小的海原台由于其第四系厚度最大(430米),其异常量也最小,仅有-1.9%,而且无明显的临震异常;中卫台第四系复盖层较薄(60米左右),且下伏低阻岩层,因而它有-7.7%的趋势异常,还显示了明显的临震突跳;西吉台第四系复盖层最薄(20米左右),它的异常量也最大(估计 $\leq -9\%$),临震异常也较明显。第四系复盖层对 ρ_s 异常量的影响已有研究^[6]。由于第四系浮土相当疏松,在受力作用时,仅小范围转化为致密状态,因而第四系浮土的应变衰减快,由应变引起的 ρ_s 异常量也受到相应的抑制。此外,第四系浮土的孔隙度、湿度较大,因而它的导电性一般比下伏岩层要好,较厚的第四系复盖

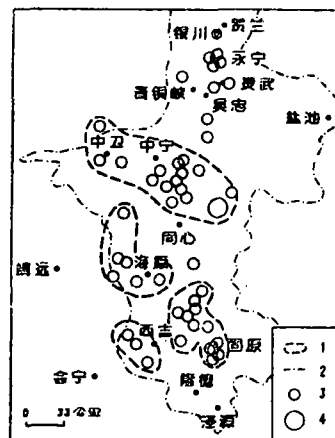


图7 1981年西、海、固、卫、宁地区小震震中分布图(据《宁夏地震目录》)

1. 小震丛集区边界 2. 宁夏区界

3. $2.0 \leq M_L < 4.0$ 4. $4.0 \leq M_L < 5.0$

Fig. 7 The epicentral distribution of the small earthquake in Xiji, Haiyuan, Guyuan, Zhongwei, Zhongning in 1981.

表3

台站	震中距(km)	第四系厚度(m)	最大异常量(%)
海原	25	430	-1.9
中卫	82	60	-7.7
西吉	90	15-20	-9(估计值)
静宁	140	10-30	+1.7

地电阻率 ρ_s 的异常量显然受多种因素控制,例如区域应力场的强度、断层应力集中的水平,震中距大小,台址条件优劣等等。从这次地震来看,在一定的范围内, ρ_s 的异常量明显与台址的第四系厚度有关。表3给出了各台站第四系厚度、最大异常量和震中距

层，必然会形成“高阻型”地电剖面，不利于勘探电流流下伏岩层，造成探测范围变小。由此可见，较厚的浮土是地电阻率法测量的最大干扰因素之一。

五、结 语

通过海原5.5级地震周围五个（固原台除外）不同震中距的地电台 ρ_s 资料的分析研究表明：

1. 海原5.5级地震前的 ρ_s 趋势异常以下降为主；临震异常则有升有降，表现了幅度大、速率快的特点。 ρ_s 在地震前后的演化过程是：下降—转平—临震突跳—（发震）—震后回升。

2. 震前 ρ_s 的趋势异常还表现了大面积长时间的特征。各台的最大异常量分布方向与当地大断裂（或发震断裂）展布的方向大体一致。这些特点表明， ρ_s 的趋势异常可能反映了震前区域应力场急剧增强的过程。

3. 各台 ρ_s 的异常幅度与台址第四系复盖层关系密切，复盖层越厚，其异常量越小。因此预报象海原5.5级这样的中强震，对台址的要求要更严格一些，特别是要求第四系复盖层的厚度要小。

（本文1983年6月18日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组，一九七六年唐山地震，地震出版社，1982.
- 〔2〕刘允秀，唐山地震前视电阻率异常，唐山地震考察与研究，地震出版社，1981.
- 〔3〕钱家栋，几个浅源大地震前后地壳浅部视电阻率观测结果，国际地震预报讨论会论文选（1979年，巴黎），地震出版社.
- 〔4〕赵玉林等，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，Vol. 21, №3, 1978.
- 〔5〕郭增建、秦保燕，震源物理，地震出版社，1979.
- 〔6〕陈有发等，岩性对电阻率前兆的影响，西北地震学报，Vol. 4, №4, 1982.
- 〔7〕王六桥、李善因，某些短临异常的浅层机制，西北地震学报，Vol. 3, №1, 1981.

CHARACTERISTICS OF EARTH—RESISTIVITY BEFORE AND AFTER THE HAIYUAN EARTHQUAKE OF MAGNITUDE

5.5 ON APRIL 14, 1982

Zhao Heyun Yang Mingzhi

(The Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region,
Inchuan, China)

Abstract

In this paper we investigate the characteristics of earth—resistivity before and after the Haiyuan earthquake of magnitude 5.5 on April 14, 1982. The results are as follows:

(1) Before the shock the descending in ρ_s —changes appeared universally in certain areas. But the imminent—term ρ_s anomalies dropped or rose. The large amplitude and the high rate were responsible for imminent—term anomalies. The stages of ρ_s —changes before and after the earthquake were: descending—levelling—sudden jitter for impending earthquake—(quaking)—recovered.

(2) A feature of ρ_s —trend anomalies before the shock appeared to be large area and a long time. On the other hand, the direction of the maximum anomalous value of every station corresponded with the strike of the local large fault (or the earthquake fault). These characteristics showed that the ρ_s —trend anomalies reflected the rapid increase of intensity in the regional stress field.

(3) The ρ_s —anomalous amplitude of every station is closely related to Quaternary system overburden around a station. The thicker the overburden, the smaller its anomalous value will be. Therefore, it needs to have the better underground conditions of stations for forecasting the intermediate magnitude earthquake.