

1990年景泰6.2级地震前后 甘肃东南部地区的区域异常^{*}

——地震前兆与后效区分问题之初探

毛可 郭大庆^{**} 李秦梅 张慧 郑田新 郭文娣

(国家地震局兰州地震研究所,兰州 730000)

摘要 在分析地震活动性、地壳形变和其它前兆资料基础上指出,1990年景泰6.2级地震前后甘肃东南部地区的区域异常具有变化速率小,起始时间不同步,异常反映的力学性质不一致等特征,其中以异常变化速率小最为显著。该特征与地壳形变及地震活动性异常变化有较好的一致性。通过分析,认为景泰6.2级地震前甘肃东南部地区出现的群体异常是共和7.0级地震和景泰6.2级地震的区域性前兆,震后该区持续的异常变化反映了强震后大范围内的应力调整过程。甘肃东南部地区构造环境特殊,该地区可能是南北地震带第5、第6强震组的共同调整区之一。

关键词: 甘肃 异常 异常识别 区域异常 震后效应 景泰地震

1 引言

李献智等人分析中国大陆某些强震震例后指出^[1],强震前兆场时空分布具有大尺度特征,认为强震前兆场及震后影响场是极为广阔的。杨国华分析了华北北部地区近十年来地壳垂直差异运动^[2],结果显示大同地震前除震中周围有明显异常外,整个华北北部地区均处于应变积累状态,地形变异常尺度可达600 km。梅世蓉也指出^[3],大震以后,在广阔范围内立即出现许多异常变化,有的与大震前相似,有时甚至比大震前还要剧烈,范围更大,有时还在新的地方引起一些新的异常变化。这些新的异常变化有时包含另一个大震的前兆信息。如1976年5月29日龙陵7.4级大地震后,在四川省,尤其是龙门山中南段突然出现大批宏观、微观异常,结果于当年8月16日在松潘发生7.2级地震。而唐山地震后,在中国东部十几个省范围内,出现了大量宏观、微观异常,据此作出的大震预测却未得到证实。因此,一次强震发生后如何区分该地震的后效和后续地震的前兆,至今仍然是一个十分困难的问题。

本文分析了1990年景泰6.2级地震前后甘肃东南部地区的区域异常特征,并与其它地震对比,试图探索地震前兆与后效的区分问题,为在地震预报工作中正确地识别前兆提供依据。

2 景泰6.2级地震前后甘肃东南部地区区域异常特征

早在1988年甘东南地区的一些前兆台项就开始出现趋势异常。1990年10月20日景泰

* 本文为85-04-02课题部分研究成果之一

** 国家地震局分析预报中心

6.2级地震后,上述异常进一步发展,并在与其相邻的宁夏、陕西、四川的部分地区先后出现多手段、多台项前兆异常。异常台项达25个,分布面积约 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 。据此,1992年4月国家地震局科技监测司组织了由28位专家组成的甘肃东南部震情跟踪工作队,对异常进行现场落实与研究。经过认真分析,多数专家认为,尽管景泰6.2级地震后该地区存在群体异常(25项异常中的14项得到确认),但其地震活动性背景尚无大的改变,目前还看不出该区有发生7级以上大震的迹象。景泰6.2级地震发生后至今已近4年,在此期间内甘肃东南部地区连1次5级地震都未发生。事实证明,当时多数同志对该区地震形势的估计是正确的。

1990年景泰6.2级地震前后甘肃东南部地区异常台项多,分布广,但它们在时空分布特征上与强震前兆毕竟有很大差异。本文拟从地震活动性和前兆两方面来研究景泰6.2级地震前后甘肃东南部地区的区域异常特征。

2.1 地震活动性异常

从1986年9月起在甘肃东南部的迭部地区就出现一个 $M_s \geq 3.0$ 的孕震空区(图1a)。1987年1月8日迭部5.9级地震后,空区继续发展。空区长轴为140 km,按实用化攻关指南规定的指标,该空区应孕育一个5-6级地震。1992年2月8日迭部4.0级地震、1994年4月5日宕昌4.2级地震发生在空区中部,可能标志着该空区已经瓦解。图1b是甘肃东南部地区(N 33° - 36° ,E 103° - 106°)1981年1月至1994年2月归一化地震频度曲线。1989年前该区地

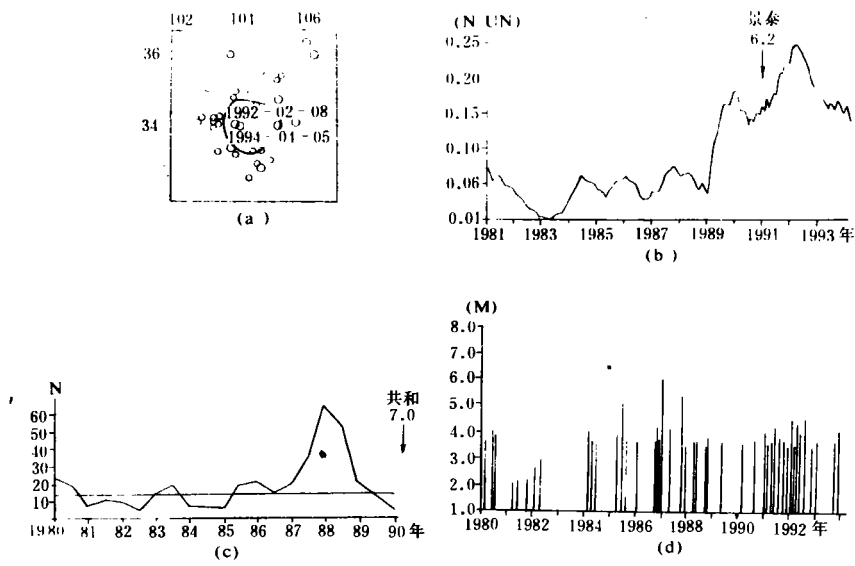


图1 甘肃东南部地区地震活动性异常

(a)1986年9月以来甘东南地区出现的地震空区(据焦远碧); (b)甘东南地区归一化地震频度曲线(据刘维贺); (c)青海省东北部地震频次滑动曲线(据青海省地震局); (d)甘东南地区地震M-t曲线(M ≥ 3.5)(据刘维贺)

Fig. 1 Anomalies of seismic activity in the Southeast of Gansu Province.

震频度明显偏低。从1989年下半年开始,频度明显增大,此后维持在较高水平上波动。与青海东北部地区(N 35° - 37° ,E 99° - 101°)N-t滑动曲线(图1c)相比两者有明显差异。1987年前该区地震频度很小,1987年急剧增大,1988年达到极值。随后频度明显减小,至正常值时发生共

和7.0级地震。由M-t图(图1d)可见,尽管1989年下半年以来甘东南地区 $M_s \geq 3.5$ 级地震频次显著增多,但强度不大。据统计,1987年10月25日礼县5.1级地震后,该区仅发生多次3级地震,5次4级地震,它们是1991年1月24日漳县4.1级地震、5月25日甘谷4.0级地震、1992年2月8日迭部4.0级地震、8月1日武山4.1级地震和1994年4月5日宕昌4.2级地震。3年多来该区地震强度无明显增大趋势。

强震震例表明,在小震活动增强的背景上出现小震频度的急剧增大或明显减小,是发生强震的中短期前兆信息之一。1989年以来甘东南地区地震活动以频度大、强度低为特征,该时段内以应变释放为主,即由构造运动增强所积累的应变能往往以中小地震的形式释放出来。

2.2 地壳形变异常

国家地震局第二地形变监测中心在研究陕甘宁地区大地形变特征后指出*,继承性运动增强,并出现一定规模的隆起区及其相伴生的形变高梯度带是该地区发生强震的背景条件。但满足此条件不一定会发生强震。只有其附近的跨断层测点出现显著的断层形变异常,才具有中期预报意义。

二十年来兰州-天水-武都水准网测量结果表明,该区垂直形变场的演化可分4个阶段:(1)1972-1976年,以天水-漳县-岷县为界,南部上升,北部下降,表现为幅度较大的反继承性运动;(2)1976-1982年,以陇西-漳县-岷县-宕昌为界,西北升,东南降,表现为由反继承性运动向继承性运动调整;(3)1982-1987年,北部榆中、华家岭-静宁等地隆起,南部礼县、成县、武都-文县等地沉降,形变等值线与构造线基本一致,表现为较强的继承性运动;(4)1987-1993年,大范围上升和下降的格局已被破坏,代之为隆起和沉降相间的格局,表现为继承性运动的减弱和局部应力场的调整。该区各时段运动的平均速率及平均升降差异见表1。兰州-天水-武都地区跨断层形变测量资料与上述结果有很好的 consistency。

由该区18个跨断层形变测点的垂直运动速率合成图(图2a)可以看出,1991年以来垂直运动速率稍有增大,但不存在显著的断层形变异常。

伴随强震孕育的应变积累是一个缓慢过程。从西吉-海原-固原地区水准测量结果来看,1981-1985年该区垂直形变平均速率与平均升降差异明显偏高(表1),该异常可能与景泰6.2级地震孕育过程有关。1991年以来复测结果表明,西海固、兰州-天水-武都、滇西地区地壳运动强度减弱。国家地震局第二地形变监测中心指出,这可能与西部地区1988-1990年中强震和强震活跃段后的应力场调整有关。图2b是甘东南地区宕昌台连通管倾斜分量5日均值曲线。由该图可见,自1990年7月建台以来,宕昌连通管总体上呈南东向倾斜,到目前为止尚未出现继承性运动加速或反继承性运动的明显趋势。关于1991年以来甘东南地区进入应力调整阶段的认识,由此得到佐证。

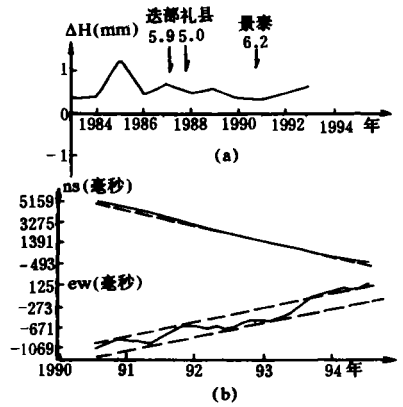


图2 甘肃东南部地区的地壳形变异常

(a)兰州-天水-武都地区断层垂直运动速率合成图(据国家地震局第二地形变监测中心);(b)甘肃宕昌台连通管倾斜分量5日均值曲线

Fig. 2 Ground deformation anomaly in the Southeast of Gansu Province

* 国家地震局第二地形变监测中心.1994年度震情研究报告.

表1 甘肃部分地区水准测量结果

地 区	时段(年份)	平均速率(mm/a)	平均升降差异(mm/a)
兰州—天水—武都	1972—1976	5.13	10.25
	1976—1982	3.47	8.91
	1982—1987	2.83	5.69
	1987—1993	1.57	3.14
西海固	1975—1981	2.56	5.13
	1981—1985	3.47	6.94
	1985—1991	2.25	4.53

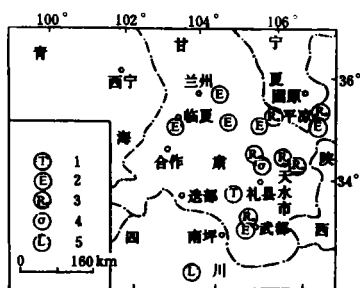


图3 1990年景泰6.2级地震前后甘肃东南部地区异常台项分布

1 倾斜; 2 地电; 3 水氡; 4 应力; 5 水准

Fig. 3 Distribution of anomalous stations and items in the Southeast of Gansu before and after the Jingtai Ms 6.2 earthquake in 1990.

2.3 水氡及地电异常

甘东南地区是甘肃前兆台网密度较大的地区之一。在 $N33^{\circ}-36^{\circ}$, $E103^{\circ}-106^{\circ}$ 范围内有 6 种前兆手段, 30 多个前兆测点。1990 年景泰 6.2 级地震前后该区出现多手段多台项前兆异常, 图 3 给出了各项异常的平面分布。本文以甘东南测点分布最多的水氡和地电为例, 分析该区异常的群体特征。

2.3.1 异常变化速率小

6 级左右地震水氡异常的速率通常较大。如 1966 年塔什干 5.3 级地震前塔什干某测点, 氡值异常持续时间为 6 年, 年变速率高达 30 % 以上(图 4a)。图 4b 显示, 1984 年南黄海 6.2 级地震前江苏镇江船山矿台水氡异常变化长达 3 年, 年变速率达 10 %。甘东南地区 6 个水氡点 1989 年以来氡值的趋势变化都很明显(图 4c), 各台平均年变速率实际上都很小, 最大为 7.3 % (表 2)。图 5 是甘东南地区 6 个地电台 17 个测道趋势异常变化曲线。由该组曲线可看出, 除武都、兰州、通渭台个别测道在

较短时间内有较大变化幅度外, 其它测道的年变速率均小于 1 %, 低于实用化攻关指南规定的 1.5 % 的异常指标。对 17 个测道求平均, 得到的多道地电阻率平均年变速率列于表 3。其中 1989 年速率较大, 为 0.68 %, 1990 的最大, 为 0.75 %。如果异常速率在一定程度上反映某地区应变积累速率的话, 以上事实表明, 1989—1990 年期间甘东南地区应变积累速率虽不大, 但具有协同性, 它们共同参与了该时期青藏块体东北部地区的构造运动。景泰 6.2 级地震后地电异常速率减小, 表明该区可能进入区域构造运动的调整阶段。

2.3.2 趋势异常起始时间不同步, 呈此起彼伏的态势

国内大量强震震例研究结果表明, 趋势异常的起始时间具有准同步性, 并有由震中向外围逐步扩展的趋势。最早出现异常与最晚出现异常的时间差一般为 1 年左右, 甚至更短。由表 2 和表 3 可见, 甘东南地区水氡和地电异常起始时间同步性极差。水氡异常起始时间的间隔为 43 个月, 地电为 30 个月。异常起始时间的同步性可能反映区域应力场的加强; 异常起始时间的参差不齐, 此起彼伏, 反映构造运动的无序, 即反映区域应力场的变化不具有整体性, 而处于

调整状态。

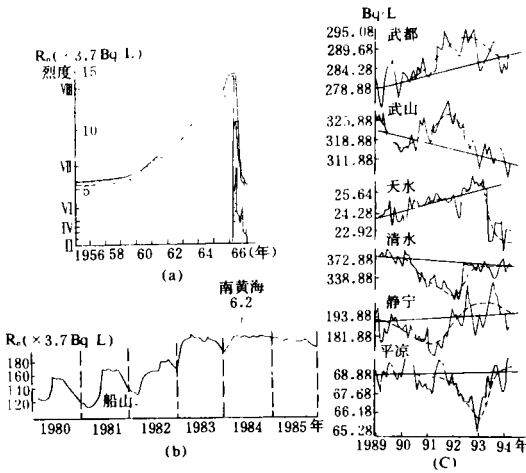


图 4 甘肃东南部地区水氡异常与其他测点的对比
 (a)塔什干 5.3 级地震前塔什干某测点水氡异常
 (b)南黄海 6.2 级地震前江苏镇江船山矿台水氡异常
 (c)甘东南地区水氡异常(1989—1994 年)

Fig. 4 A comparison between anomaly of radon in ground water in the Southeast of Gansu (from 1989 to 1994)and that in some other place.

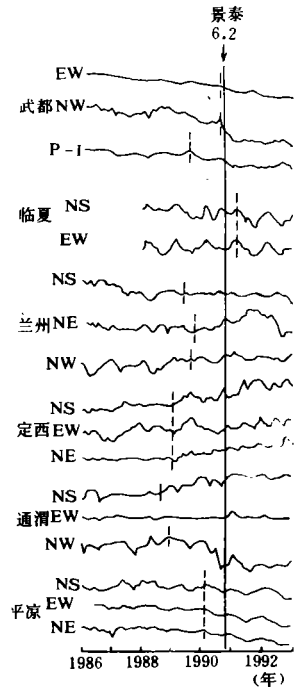


图 5 甘肃东南部地区的地电阻率异常(1986—1992 年)
 Fig. 5 Ground resistivity anomaly in the Southeast of Gansu (from 1986 to 1992).

2.3.3 异常反映的力学性质在空间分布上的不规则性

笔者曾指出⁽⁴⁾,青藏高原北缘地区主要继承了第三纪以来的构造运动特征,即现今仍然是山区上升,盆地下降,区域断裂以挤压为主,沿断裂方向的走滑量较小,构造形变通常具有连续性、单向性和均匀性。当某地区某时段出现:(a)挤压应力增强时;(b)反继承性运动或继承性运动加速时,该地区有可能发生强震。为此,对于青藏高原北部这一特定地区可把反映压应力增强,反映反继承性运动或继承性运动加速的异常视为应力积累性异常,反之为应力调整性异常。笔者曾统计过 1983—1992 年甘肃及其毗邻地区发生的 14 次 $M_s \geq 5.0$ 级地震的前兆异常台项。震前显示的 72 台项异常中应力积累性异常为 60 台项,占总异常台项的 83%。其中水动态及水氡异常均以正异常为主。如 1990 年 4 月 26 日共和 7.0 级地震前青海东部 9 个水氡测点中,除 1 个异常不明显外,其余 8 个测点均显示正异常。而甘东南地区水氡异常反映的力学性质很不一致(表 2)。6 项异常中正异常 2 项,负异常 3 项,负异常→正异常 1 项。这种正负相间的情况跟前面提到的地形变隆起和沉降相间的格局类似,表明景泰 6.2 级地震后甘东南地区可能是青藏高原北部地区构造运动调整区之一。

3 甘东南地区前兆场演化机理

甘东南地区位于青藏块体的东北缘,恰好处于阿拉善地块、鄂尔多斯块体、四川盆地块体

的交接带。岩石圈动力学研究表明,构造运动受控于板块、亚板块和块体之间的相互作用。甘东南地区的特殊构造环境决定它在块体运动过程中地壳物质最容易发生蠕滑和形变,使它成为地壳运动的敏感部位。有迹象表明,太平洋板块对中国大陆的作用已影响到青藏高原的东北缘。但青藏块体的构造运动主要受控于印度板块北东向的碰撞和挤压。统计表明,南北地震带上的强震往往具有成组发生的特点。每组强震以印缅弧上的中深震或滇南7级以上地震为牵头震,由南向北呈步进式或振荡式迁移。1912年以来该带已发生6组强震。第5组为:1970年通海7.7—1973年炉霍7.6—1974年大关7.1—1976年龙陵7.4—松潘7.2。第6组为:1988耿马7.6—1989年巴塘6.7—小金6.6—1990年共和7.0—景泰6.2。这类成组地震迁移现象实质上反映了在印度板块作用下南北地震带应力场的时空演化,而前兆场及震后影响场也从一个侧面反映了该过程的动力学图象。

表2 1989年以来甘东南地区水氡测点异常统计

测点	异常起始时间	异常持续 时间(月)	异常 性质	异常特征量	数学处理方法	平均年变速率 (%)
武都殿沟	1990-11	36	正	超过2倍方差	多元逐步回归	2.4
武山22*	1990-05	30	正	同上	同上	3.0
天水官泉	1993-05	11	负	同上	同上	7.2
清水	1990-05	24	负	同上	矩平校正	7.3
静宁东峡	1989-11	53	负→正	同上	多元逐步回归	5.9
平凉附件厂	1992-02	15	负	同上	滑动付氏分析	3.1

表3 甘东南地区地电异常起始时间及多道平均年变速率

年 份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992			
多道平均年变速率	0.61%	0.54%	0.41%	0.68%	0.75%	0.56%	0.40%			
台 道	武 都		临 夏		兰 州		定西	平凉	通渭	
	EW,NW	P-I	NS,EW	NS	NE	NW	NS,EW,NE	NS,EW,NE	NS	NW
异常起始时间	1990-08	1989-08	1991-02	1989-05	1989-10	1989-08	1989-02	1990-03	1988-09	1988-12

当南北地震带第5强震组中最后一次地震——松潘7.2级地震发生后,位于震中附近的武都平行I道地电异常恢复时间达6年多,到1982年才结束。这与唐山7.8级大震后昌黎台地电异常的恢复时间大致相当。由此得到的启示是,从本质上来说各类前兆异常曲线反映的是一次构造运动过程中应力应变的演化。在时间进程上,前兆异常的形成、发展、消亡有一过程。它不会突然产生,也不会突然消失。震后异常的恢复时间可能比震前异常时间更长。在地域上,后效明显的地方不仅包含震源区、前兆显示区,而且可能比我们预料的要广阔得多。

松潘7.2级地震后,即1977—1982年甘东南地区前兆台站先后出现一批异常变化。其中最典型的有平凉NE道、临夏EW道、天水EW道地电及天水官泉水氡、武山NE向电感应力(图6)。该情况与1991年以来甘东南出现的区域异常极为相似。实际上,1977—1981年甘东南及其邻近地区连一次5级地震都没有发生。上述无震异常可能是松潘7.2级地震的后效。

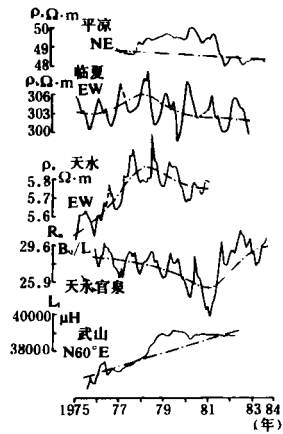


图 6 1976 年松潘 7.2 级地震后甘东南地区出现的调整性异常

Fig. 6 Adjustment anomalies in the southeast of Gansu after the Songpan Ms 7.2 earthquake in 1976.

假定 7 级和 6 级地震前兆显示区的半径分别为 300 km 和 200 km。作南北地震带上第 5、6 强震组每个地震前兆显示区的包络线(图 7),包络线所含的范围分别为第 5 组(虚线)和第 6 组(点划线)强震的主体活动区。而甘东南地区(图中阴影部分)恰好位于第 5、6 强震组主体活动区的北端和顶侧。由其特殊构造部位及区域异常显示的特征可以判定,甘东南地区在 1970 年通海 7.7—1976 年松潘 7.2 级强震组与 1988 年耿马 7.6—1990 年景泰 6.2 级强震组中均充当了应力调整区的角色。

总之,景泰 6.2 级地震后甘东南地区持续的群体异常与松潘 7.2 级地震后该区出现的异常没有本质上差异,它们都属于区域调整异常。其不同在于,前者反映的是该区反继承性运动(1972—1976 年)向继承性运动(1976—1982 年)调整,运动强度大,区域异常在时间上具有滞后特征;后者反映的是该区继承性运动增强向继承性运动减弱调整,运动强度较小,区域异常反映出协同参与的特征。

4 讨论与结论

地震是地壳运动的形式之一。地壳运动还以长期缓慢的隆起、沉降、褶曲、扭转及蠕滑等形式表现出来。地震与其它地质事件既

有联系又有区别。其一,地震是地壳介质某些特殊构造部位应力达到极限强度时岩体破裂产生的一种快速错动,震源区弹性应变能的积累在时间上是非线性的。因此,它在前兆异常曲线上反映出的形态、幅度、速率和持续时间跟其它地质事件有明显差异。其二,地质事件所导致的剩余形变,主要突出了形变的塑性特征,而地震形变则是在缓慢形变背景上的超常形变,主要突出介质的弹性特征,震后往往反映出明显的弹性回跳。

通过以上分析可得到下列认识:

(1)强震的前兆场和震后影响场是极其广阔的。有些后效异常可能包含另一个大震的前兆信息,有的则不然。研究与追踪一次强震后较大范围内地震活动性、地壳形变和其它前兆异常反映出的区域应力场动态演化,是区分地震前兆和后效的关键之所在。

(2)景泰 6.2 级地震前甘东南地区出现的群体异常是共和 7.0 级、景泰 6.2 级地震的区域前兆,震后该区持续的异常变化反映了大范围的应力调整。景泰地震前后甘东南地区的区域异常具有变化速率小,起始时间不同步,异常性质不一致等特点。其中异常变化速率小最为显著,它与该区同期地壳形变和地震活动异常特征有较好的一致性。

(3)地震往往是成组成丛活动的。每组强震都有它的主体活动区,也有它的调整区。由于甘东南地区所处的构造环境特殊,在南北地震带第 5、第 6 强震组中均扮演了调整区的角色。

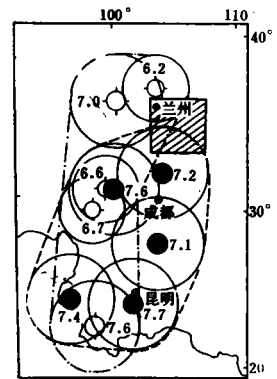


图 7 南北地震带第 5、第 6 强震组主体活动区及甘东南地区位置

Fig. 7 The location of the South-east of Gansu and the main active areas of the 5th and the 6th strong earthquake clusters along the North-South earthquake zone.

(4)从本质上来说,各类前兆异常反映的是一次孕震过程中应力应变的演化。在时间进程上,前兆异常的形成、发展和消亡有一过程。它不会突然产生,也不会突然消失。震后异常(后效)的恢复时间可能比震前异常时间更长。在地域上,后效明显的地方不仅包含震源区、前兆显示区,而且可能比我们预想的要大得多。

(本文1995年5月29日收到)

参考文献

- 1 李献智,等. 中国大陆强震前兆时空分布的大尺度特征初探. 地震,1993,(3),44-51.
- 2 杨国华,等. 大同地震与华北北部地壳异态垂直运动. 中国地震,1994,10(1).
- 3 梅世蓉,等. 中国地震预报概论. 北京:地震出版社,1993.
- 4 毛 可,等. 中国西北地区震后异常与新地震异常的识别和研究. 地震学报,1994,(增刊).

THE REGIONAL ANOMALIES IN THE SOUTHEAST OF GANSU PROVINCE BEFORE AND AFTER THE JINGTAI Ms 6.2 EARTHQUAKE IN 1990 —Preliminary Research on the Problem of Distinguishing between the Precursor and Postseismic Effect

Mao Ke, Guo Daqing, Li Qinmei, Zhang Hui, Zhen Tianxin and Guo Wendi
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

In this paper, based on the analysis of seismicity, crustal deformation and other precursory data, the authors indicated that the regional anomalies in the southeast of Gansu Province before and after the Jingtai Ms 6.2 earthquake in 1990 are characterized by small changing speed, a synchronous start time, different mechanics natures reflected by different anomalies, and so on. These accord with the anomalous changes of crustal deformation and seismicity. It is considered that the group anomalies in the southeast of Gansu before the Jingtai Ms 6.2 earthquake are regional precursor of the Gonghe Ms 7.0 and Jingtai Ms 6.2 earthquakes. The sustained anomalies after the earthquake reflected the stress adjustment within a vast area.

The structure conditions in the Southeast of Gansu have their specific characters. The southeast of Gansu likely is one of the common adjusting regions of the 5th and the 6th strong earthquake clusters along the North-South earthquake zone.

Key words: Gansu, Anomaly, Anomaly recognition, Regional anomaly, Post seismic effect, Jingtai earthquake