

赣南中强震显示的前兆异常复杂性

冯绚敏*

(广东省地震局)

提要 江西省境内的龙南、寻乌两次中强震,震中相距约80km,震级仅差0.6级,两次地震前异常变化的时、空分布有相似之处,但异常内容和变化形态确多样而复杂,这与地震的孕育和发生整个个过程有关。

关键词 地震预报 中强地震前兆 异常复杂性 赣南

地处华南少震、弱震区的赣南地区,于1982年和1987年先后发生龙南5.0级和寻乌5.5级地震(图1),震中相距约80公里。据现有资料分析结果,两次地震前观测到的异常变化有许多异、同,显示了前兆异常的复杂性。

因此,认真分析各项异常的特征,对探寻赣南乃至华南少震区中强地震的前兆异常特征及预报指标,无疑是很有意义的。

震情特征

1982年2月25日江西龙南 $M_s=5.0$ 级地震($24^{\circ}44'4N$, $114^{\circ}48'0E$)属主余震型⁽¹⁾,序列地震频度衰减较快,衰减系数P值为1.3、h值为1.6⁽¹⁾。震区发育北东、东西和北西向三组断裂,北东向断裂是本区的主要构造骨架,但与发震构造关系较密切的又为北东东或近东西向的断裂。自1980年至此5.0级地震前的两年多时间内,赣南或粤闽赣交界地区的地震活动水平很低,未发生过 $M_s \geq 3.0$ 级的地震。5.0级地震后至1982年底的10个月期间内,除其余震

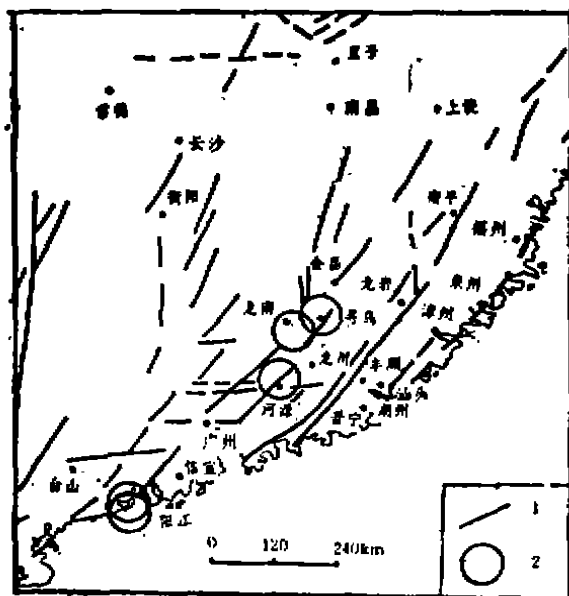


图1 构造及震中分布示意图

Fig. 1 Scheme of the distribution of the structure and epicenters

1. 主要断裂构造; 2. 震中(1982年及1987年)

*丁丽青、邱晓、林美、秦乃岗、袁杰、王莉娅分别提供有关的资料分析结果。

1) 据谢明富结果。

外, 该交界地区未出现新的地震活动, 乃至整个华南少震区(陆区), 无 $M_s \geq 4.5$ 级的地震。

1987年8月2日江西寻乌 $M_s=5.5$ 级地震($25^{\circ}02'N$, $115^{\circ}36'E$)属震群型。“主震”后的两次主要余震分别是8月3日 $M_s=4.9$ 级、8月15日 $M_s=4.8$ 级。该序列地震频度衰减慢, P 值为 0.63^{21} , b 值为 1.4^{11} 。震区处于NNE向邵武—河源断裂带中段, 与EW向三南—漳平—仙游断裂带的交汇部位, 区内除NNE向和EW向断裂外, 其次是NW向和NE向断裂。自1985年至寻乌5.5级地震前的两年多时间内, 赣南及粤闽赣三省交界地区, 除龙南5.0级震区又出现3级地震活动($M_s=3.0 \sim 3.2$ 级, 共6次)外, 在三省交界区也发生了3级地震。更值得注意的是, 沿邵武—河源—阳江这一地震活动条带, 先后发生了1986年1月²⁸日阳江 $M_s=5.0$ 级地震, 1987年2月25日阳江 $M_s=4.7$ 级地震。而寻乌5.5级地震后45天, 发生了1987年9月15日的河源 $M_s=4.6$ 级地震。

以上资料表明, 此两次赣南地区中强震震级相差不多, 序列特征不同, 发震的构造背景及地震活动背景也不同。

前兆异常特征

1. 1982年龙南5.0级地震

龙南5.0级地震前, 距震中最近的正常观测台站是广东龙川台(75km), 主要观测台站及观测项目的分布及有关异常如图2、3和表1所示。资料表明:

(1) 震中区未见小震活动, 无明显前震。地震活动性的异常主要为震前出现延续近10年的小震活动围空现象, 围空区长轴约165公里。这些数值都大于多震区的经验数据。

(2) 除地震活动围空为长期异常外, 其他各项前兆均属短期和临震的异常, 这些异常开始的时间多数在1981年底或1982年初。因此, 震前异常持续时间一般为2~5个月, 平均为70天。

(3) 前兆异常点主要分布在距震中250公里范围内, 但少数异常点远远超出此范围, 最远的达500多公里(江西星子)。

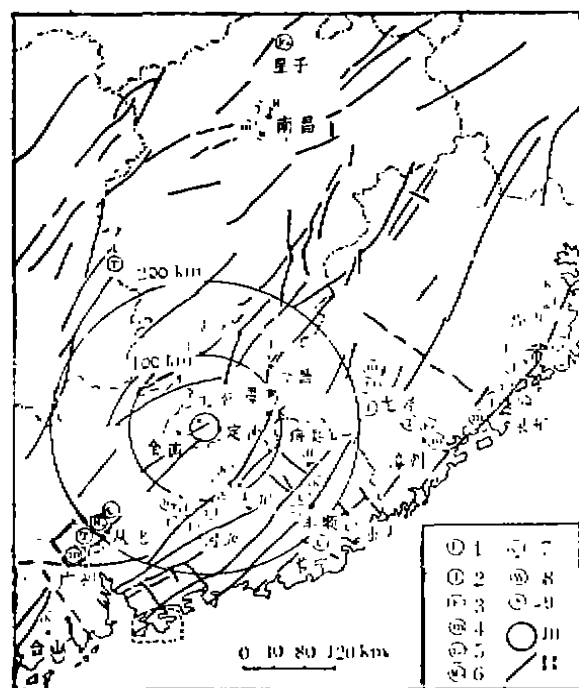


图2 龙南地震前兆观测分布示意图

Fig. 2 Scheme of the distribution of precursor monitoring sites before Longnan earthquake

1、水位; 2、倾斜; 3、地电; 4、地磁; 5、重力;
6、水氦; 7、水化; 8、水位; 9、地应力; 10、5.0级震中; 11、活动性断裂

2) 扫描作新结果。

表 1 龙南地震前兆异常表

Table 1. List of precursor anomalies of Longnan earthquake

台 站	观测项目	分析方法	异常判据及观测误差	震前异常起止时间	最大幅度	震中距	异常特点及备注
广东龙川	水 氮	多丰动态改正 五丰曲线	二倍均方差异常限 $2\sigma=70 \text{ Bg/L}$	1981年12月下旬至 1982年2月初	125 Bg/L	75km	正异常的开始时间 仍应为81年9月底
广东丰顺	水 氮	五日均值	二倍均方差异常限 $2\sigma=24 \text{ Bg/L}$	1981年10月中旬至 1982年1月下旬	44 Bg/L	180km	正异常开始时间与 龙川相近
广东台山	水 氮	五日均值	二倍均方差异常限 $2\sigma=2 \text{ Bg/L}$	震前四天开始上升 震后两天恢复正常	6 Bg/L	355km	震前半小时取样, 测值达最高
江西南昌	水 氮	经流量改正 之余差曲线	二倍均方差异常限 $2\sigma=7 \text{ Bg/L}$	1981年1月初开始上升	10 Bg/L	440km	
江西贵子	水 氮	五日均值	二倍均方差异常限 $2\sigma=15 \text{ Bg/L}$	1981年1月初开始下降	44 Bg/L	528km	
广东龙川	水化 F- SiO ₂	五日值	正常 $0.7\pm0.1 \text{ mg/L}$ 正常 $34.0\pm2.0 \text{ mg/L}$	1981年11月30日前后下降 1981年11月10日前后上升	0.3 mg/L 5.5 mg/L	75km	
广东河源	水化 F- Cl-	五日值	正常 $7.5\pm0.4 \text{ mg/L}$ 正常 20.1 mg/L 起伏变化	1987年11月30日前后下降 1981年12月15日前后下降	1.2 mg/L 0.6 mg/L	115km	Cl-以持续低为特征
广东丰顺	水化 F- SiO ₂ 电导	五日值	正常 $16.8\pm0.4 \text{ mg/L}$ 正常 $94.0\pm4.0 \text{ mg/L}$ 正常0.510值稳定	1981年11月20日前后下降 1981年12月25日前后上升 1982年1月5日前后下降	0.9 mg/L 12.0 mg/L 0.005	180km	持续偏低为特征
广东从化	水化 F- SiO ₂ 电导	五日值	正常 $10.7\pm0.3 \text{ mg/L}$ 正常 $95.0\pm3.0 \text{ mg/L}$ 正常0.459值稳定	1981年12月20日前后下降 1982年1月10日前后下降 1982年1月中旬开始下降	1.4 mg/L 5.0 mg/L 0.005	185km	震后数日下降, 与 本区小震有关
广东普宁	水化 F- SiO ₂	五日值	正常 $21.2\pm0.6 \text{ mg/L}$ 正常 $67.5\pm2.0 \text{ mg/L}$	1981年12月20日前后上升 1981年12月20日前后上升	1.1 mg/L 3.5 mg/L	210km	以持续高值为特征

续上表

台 站	观测项目	分析方法	异常判据及观测误差	震前异常起止时间	最大幅度	震中距	异常特点及备注
广东广州	水化 F- SiO ₂	五日值	正常0.14 mg/L 正常14.3 ± 0.3 mg/L	1981年12月20日前后下降 1981年12月30日前后下降	0.06 mg/L 0.5 mg/L	240km	
广东梅县	水 位	记录曲线	正常情况能记录潮汐变化	震前30分钟记录曲线形态 剧变		120km	
江西会昌	倾 斜	矢量图	拐弯、打结	1982年1月2日开始往北 西后转向		115km	
福建莆田	倾 斜	SN分向 差分曲线	均方差 ± 0.03"	1981年6月开始大幅度变 化(下降)	0.15"	420km	
福建三山	恒 水 柱	WS * S - 余差曲线	均方差 ± 0.00037μ	临震前曲线下降	0.00094μ	470km	
广东河源	地 电	距平均值比标准 差(t值)	异常限 ± 2	1982年2月中旬开始负异常	t ₂ /3.4 t ₁ /3.0	115km	

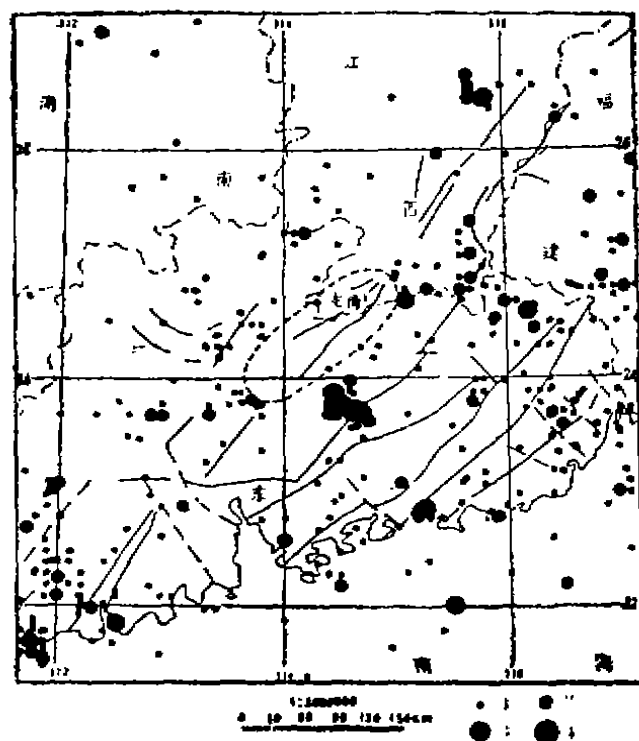


图 3—1 1973年7月—1981年6月 $M_L \geq 2.0$ 级地震分布图

Fig. 3—1 Epicenter distribution of $M_L \geq 2.0$ (July, 1973—June, 1981)

1. M_L : 2.0—2.9; 2. M_L : 3.0—3.9 3. M_L : 4.0—4.9; 4. M_L : 5.0—5.9

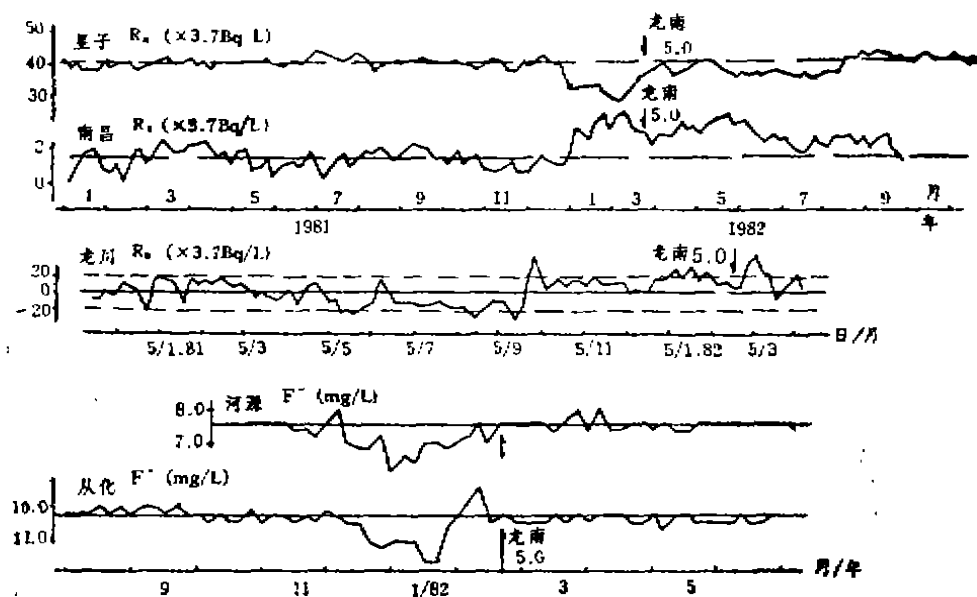


图 3—2 龙南地震前水化学异常曲线

Fig. 3—2 Curve of hydrochemical anomalies prior to Longnan earthquake

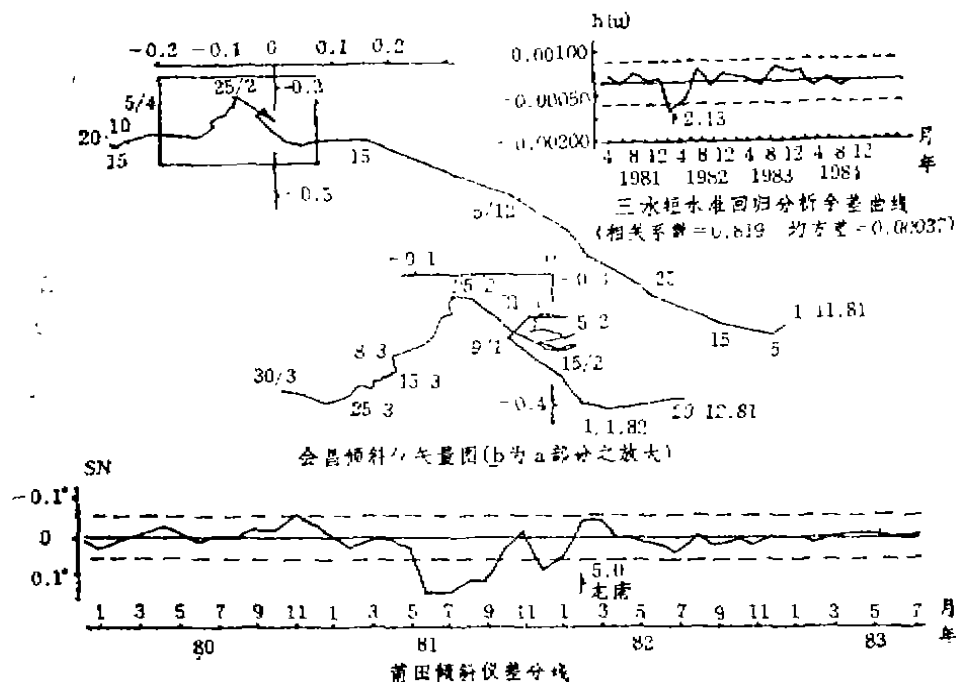


图 3—3 龙南地震前地形变异常曲线

Fig. 3—3 Curve of deformation anomalies prior to Longnan earthquake

(4) 各项前兆异常在形态上各异, 有正异常, 也有负异常; 有变化速率快, 异常幅度大的, 也有变化速率慢, 幅度小的。

(5) 大多数前兆异常变化在5.0级地震前或震后很短的时间内即恢复正常, 异常明显结束。从而呈显出由异常变化开始(上升或下降)—异常变化恢复(下降或上升)—异常变化结束的一个完整异常过程。

(6) 除个别外, 绝大多数异常结束后, 观测值恢复到异常开始前的正常变化范围。

(7) 龙南5.0级地震前, 据粤、闽、赣三省观测资料统计, 在距震中200公里范围内, 有异常的测点占总测点数的71%, 有异常的项数占总项数的57%。而在这些异常中, 地下水F⁻含量的异常变化显得很突出。

2. 1937年寻乌5.5级地震

寻乌地震前, 震中周围观测点的分布情况与龙南地震前相仿(图4)。据现有资料分析的结果, 将有关的异常示于图5、表2。其特征是:

(1) 震前, 异常出现时间多集中在当年4~6月份, 个别早在2月份。震前异常持续时间最长者170天, 最短者25天, 平均为70多天。

(2) 观测到的异常主要集中在距震中250公里范围内, 最远者达500公里。

(3) 与龙南5.0级地震的情况相似, 寻乌地震的前兆异常形态多样, 正负异常均有, 异常幅度也各异。

(4) 异常变化的过程, 寻乌地震与龙南地震的情况有许多不同之处: ①寻乌5.5级地震发生前后, 有一些异常明显结束, 并恢复到原来正常变化状态, 但有不少异常直至地震发

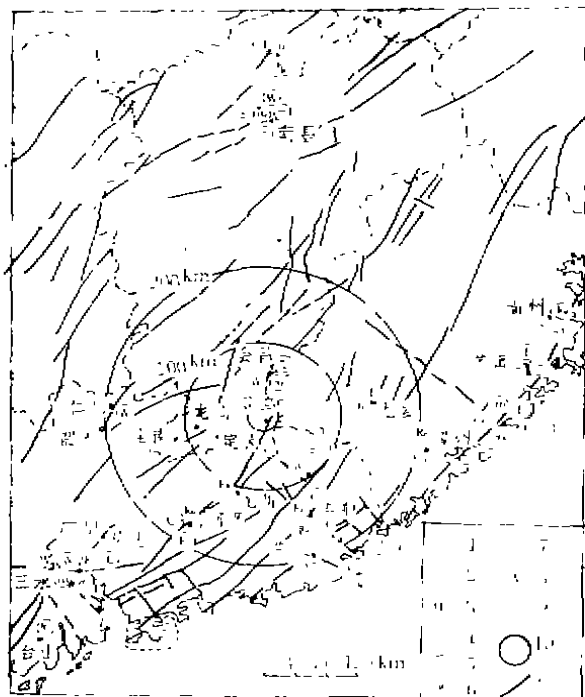


图4 寻乌地震前兆观测分布示意图

Fig. 4 Scheme of the distribution of precursor monitoring sites before Xunwu earthquake

1. 水准; 2. 倾斜; 3. 地电; 4. 地磁; 5. 重力; 6. 水氦;
7. 水化; 8. 水位; 9. 地应力; 10. 中强震中; 11. 活动性断裂

水中 HCO_3^- 含量的异常变化较为突出。

前兆异常复杂性的讨论

龙南5.0级和寻乌5.5级地震,震中相距80公里,震级相差仅0.5级,它们的前兆异常特征提示出许多复杂而值得深入研究的问题:

(1) 从前兆异常的时、空分布特征分析,两次中强震具有相似之处,尤其是震前异常持续时间为60~90天,及前兆异常集中分布在距震中250公里范围内,与华南地区其他几次中强震亦较一致。震前异常持续时间和前兆异常集中分布的空间范围在一定程度上反映了震前地壳应力加强活动的持续时间和空间范围,与未来地震的强度密切相关,故此两项特征似为中强震的专属特征,可作为该区,乃至华南地区的中强震的预报指标,有必要研究并将指标具体化。

(2) 从前兆异常内容和形态可见异常的多样性与复杂性。这不仅表现在震前显示异常变化的只是部分观测项目或部分观测点,而且即使是震中相距不远,震级相差不多的地震,

震后也还未恢复正常。②异常变化震后未恢复到正常状态的,可分为两种情况:其一,异常高值(或低值)一直持续至今,并成为以后的正常变化基值,从而使震前、震后的正常值呈现出明显的阶跃;其二,寻乌5.5级震后,异常有不同程度的发展,至同年9月15日在同一构造带上发生河源4.6级地震及寻乌震区发生一系列小余震后,异常略趋恢复,至同年12月后,各项观测结果维持在某一新的高值(或低值)至今,并同样使震前、震后的正常变化基值呈现明显的阶跃。

(5) 据现有观测资料的初步统计,寻乌5.5级地震前,距震中210公里范围内,显示明显异常的观测点共7个,占总测点的78%;有异常的观测项目共7项,占总测项的37%。其中地下

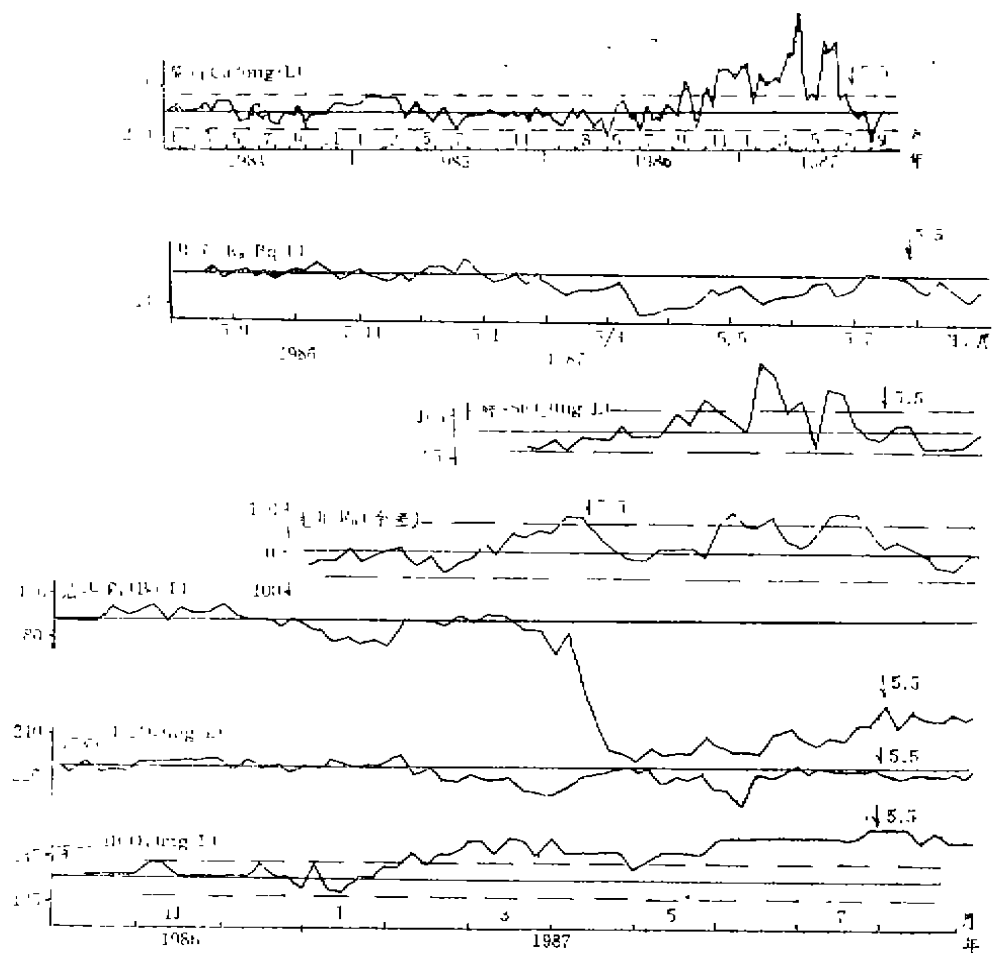


图 5—1 寻乌地震前水化学异常曲线

Fig. 5—1 Curve of hydrochemical anomalies prior to Xunwu earthquake

其前兆异常的内容和形态也不同。以上述两次地震前地下水化学的异常为例，龙南地震前水中 F^- 含量的异常突出，寻乌地震前则是水中 HCO_3^- 含量的异常最明显。此外，不论是 F^- 还是 HCO_3^- 的异常变化，各测点的异常形态又各异。这种多样性和复杂性，反映了孕震过程中应力加强活动的多样性与复杂性。因此不能期望一次地震前会有100%的观测项目或观测点都有异常显示，也不能期望同一地区的地震有完全相同的前兆异常内容和形态。

(3) 对比前兆异常发展过程，既可见异常的多样性与复杂性，又不难看出其与地震的孕育、发生条件及整个过程有关。如上所述的两次赣南中强震，它们的发展构造背景、地震活动背景及序列特征都不同，前兆异常发展过程也各异。如龙南5.0级地震，发生在非主要断裂构造带上，地震序列本身反映了应变能集中——释放的全过程。因此，前兆异常变化也显现了一个由开始——结束，变化形态和过程较完整，图象较清晰，异常发展变化的速率稍快的特征。而寻乌地震发生在邵武——河源断裂构造带上，沿此构造带，除在寻乌先后发生5.5级、4.9级、4.8级及一系列小余震外，又于9月15日（寻乌5.5级震后45天），在广东河

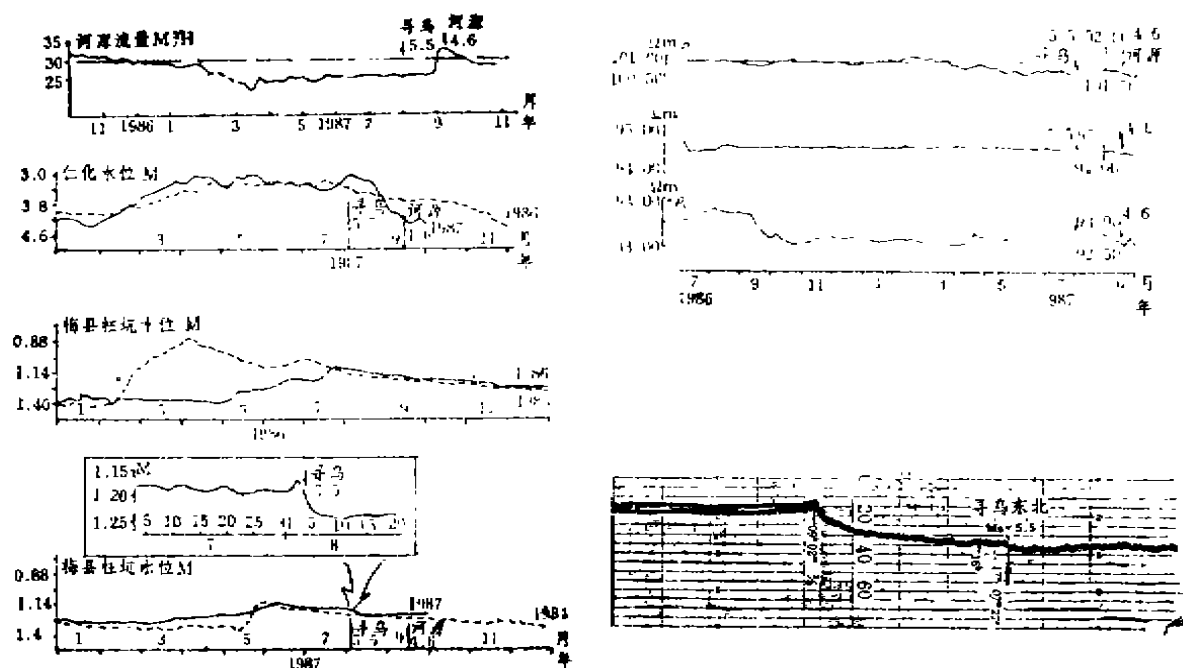


图 5—2 寻乌地震前地下水位、流量异常曲线

Fig. 5—2 Curve of groundwater level and discharge prior to Xunwu earthquake

源发生4.6级地震及一系列余震。若追索整个北东向邵武——河源——阳江地震活动带，则沿此活动带，除上述外，还有1986年1月28日阳江5.0级地震和1987年2月25日阳江4.7级地震。这些反映了此期间区域的和沿主要断裂构造带的应力活动明显加强，并发生了一系列地震。寻乌5.5级地震就是加强活动的结果。因而，构造带上发生了某一次地震，并不意味着该断裂（或区域）活动过程的结束，必须是与该活动有关的一系列地震活动的结束，方意味此断裂（或区域）这一次活动过程的结束。相应的是，在有关的这些中强震前，所观测到的前兆异常变化就有两种情况，其一是，与上述龙南5.0级地震的前兆异常变化类似，这些异常变化与具体某一次地震直接有关，则其变化过程、形态等均可与龙南地震的情况类比；其二是，异常变化并不与这一系列地震中的某一个地震有直接关联，而只与该断裂（或区域）活动的全过程有关，这种异常变化，常表现为该系列中第一个地震发生前开始出现异常，然后在某一高（低）值稳定一段时间，直至系列中最后一个地震发生前后，异常结束，恢复正常。由于是在较大的范围内应力活动加强，通过发生地震释放应变能，在一系列地震发生后，还留有一部分剩余应变（或应变阶），从而使与岩石应变或孔隙压力变化直接有关的前兆观测，在震后，异常只能部分恢复，或完全不能恢复，而是在一个新的正常基值上稳定变化，观测曲线明显出现“阶跃”或“台阶”。寻乌地震后，这种现象很明显。上述分析表明，前兆异常的发展过程，一定程度上反映了地震的孕育、发生过程。因此，研究前兆异常发展过程，对认识和深入研究孕震过程是有意义的。

表2 寻乌地震前兆异常表

Table 2. List of Precursor anomalies of xunwu earthquake

水点名称	异常项目	分析方法	异常判据	异常时间		震距(km)
				开始	结束	
广东龙川	Rn	多年平均动态改正	二倍标准差异常限 $2\sigma=85\text{Bg/L}$	1987.6.初	1987.7.底	75
	HCO_3^-	均值	$198.0 \pm 4.0\text{mg/L}$	1987.5.31.前后	持续高值	150
广东丰顺	SiO_2		$97.0 \pm 10.0\text{mg/L}$	1987.5.31.前后	1987.7.25.前后	
广东河源	SiO_2	均值	$80.0 \pm 5.0\text{mg/L}$	1987.5.15.前后	1987.7.31.前后	170
	F^-		$7.2 \pm 0.3\text{mg/L}$	1987.5.31.前后	1987.9.25.前后	
	Cl^-		$19.6 \pm 0.8\text{mg/L}$	1987.5.10.前后	1987.7.20.前后	
	HCO_3^-		$300 \pm 5\text{mg/L}$	1987.6.5.前后	持续高值	
	Ca^{+}		$31.7 \pm 0.05\text{mg/L}$	1987.7.10.前后	持续高值	
广东普宁	SiO_2	均值	$67.0 \pm 4.0\text{mg/L}$	1987.6.10.前后	1987.10.10.前后	195
	F^-		$20.2 \pm 0.4\text{mg/L}$	1987.4.90.前后	1987.9.25.前后	
	HCO_3^-		$140.0 \pm 4.0\text{mg/L}$	1987.2.15.前后	持续高值	
广东汕头	Rn	均值	$90 \pm 20\text{Bg/L}$	1987.4.7	1987.7.30	215

续上表

名称	地点	异常项目	分析方法	异常判据	异常开始	异常结束	异常时间	最大异常幅度	震级 (km)
广东	广州	HCO_3^-	均值	$226.0 \pm 4.0 \text{ mg/L}$	1987.6.5	1987.6.30		-19.6mg/L	815
		HCO_3^-		一倍标准差 $\pm 4 \text{ mg/L}$	1987.4月中旬	1987.4月中旬		+7 mg/L	
		Cl^-		二倍标准差 $\pm 3.5 \text{ mg/L}$	1987.4	1987.5		+6 mg/L	
福建	泉州	Mg^{++}	水位改正	二倍标准差 $\pm 0.35 \text{ mg/L}$	1987.4	1987.5		+0.7mg/L	300
		Ca^{++}		一倍标准差 $\pm 0.7 \text{ mg/L}$	1987.4	1987.5		+4.2mg/L	
		电导		一倍标准差 $\pm 0.02 \text{ ms/cm}$	1986.12	1987.4		+0.07ug/L	
江西	皇子	Rn	均值	异常限 $\pm 6 \text{ Bq/L}$	1987.2中旬	1987.7初		-16Bg/L	500
广东	河源	水流量	正常动态	动态对比	1987.2	1987.9		-7.8m ³ /h	170
		视电阻率	均值	动态对比	1987.4下旬	雷击破坏异常显示			
广东	广州	地应力	正常动态	动态对比	1987.8.2	雷击未及时恢复			315
广东	梅县	水位	正常动态	动态对比	1987.3	至发震		超特高水位	95
广东	仁化	水位	正常动态	动态对比	1987.7.21	1987.8		高水位异常	190

• 泉州资料据陈颖等。

赣南中强震前兆异常的多样性、复杂性,反映了孕震过程中应力加强活动多样而复杂的过程,因此给地震预测预报带来了困难。根据对现有观测资料分析的结果,在复杂的现象中,确有一些在一定程度上反映了孕震过程中应力活动具共性的特征,即中强震前异常变化持续时间和空间集中分布的范围具有相似性,它反映了震前应力活动的时、空共同特征。这对中强震的预测预报是有实际意义的。

此外,今后应加强对前兆异常复杂性的研究,从中必能获得有关震源及孕震过程的信息。

参 考 文 献

- 〔1〕冯纯敏等,1982年2月25日江西省龙南5.0级地震震例报告,中国震例,未出版。
- 〔2〕何昭呈,江西寻乌震区地震地质特征初步研究,华南地震,第9卷,第2期,1989。
- 〔8〕陈颖等,台湾、寻乌地震前泉州井水化学异常分析,华南地震,第9卷,第4期,1989。

COMPLEXITY OF PRECURSOR ANOMALY BY MODERATELY STRONG EARTHQUAKES IN THE SOUTH OF JIANGXI PROVINCE

Feng Xuanmin

(Seismotological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] The Longnan and Xunwu moderate earthquakes were occurred in Jiangxi province, the distance of two epicenters is about 80km, and the difference of magnitudes between them is only 0.5. The distributions of anomalous variations prior to two earthquakes are similar in time and range, but there is also characterized by variety and complexity of the anomalies, that is related to the progress of the earthquake development.

[Key words] Earthquake prediction, Precursor of moderately strong earthquakes, Complexity of the anomalies, South of Jiangxi Province