

59-64

共和7.0级地震前地下流体 前兆的动态演化特征*

p 315.7

刘耀炜 张元生

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 使用40个地下流体观测点的资料,对1990年4月26日青海省共和 M_s 7.0地震的前兆动态特征进行了系统研究,结果表明:

(1) 地震带内观测点的水氡趋势异常及水化、水位群体异常及频次异常与断层平均形变速率呈同步变化,地下流体群体异常频次的累加值曲线在地震前表现为指数加速变化图形。

(2) 震源外围240 km范围内的水氡中短期趋势上升异常,表现为由震源逐渐向外围扩散的特点,在短临阶段各测点水氡的异常变化基本同步。

(3) 流体短临前兆出现明显的起伏加剧和层次现象,突出的表现是流量、断层气日变化在临震阶段出现3次加剧,且异常幅度一次高于一次。

主题词 青海 断层气 地下水位异常 氡异常 动态演化 群体异常

1 引言

1990年4月26日17时37分在青海省海南州共和县西南55 km的塘格木地区发生了 M_s 7.0地震。微观震中为北纬 36.04° ,东经 108.39° ,震源深度32 km^[1]。截止1991年10月共发生 $M_L \geq 1.0$ 的余震1 679次(可定震中的余震约5 000余次), $M_L \geq 4.0$ 的余震约27次, $M_L \geq 5.0$ 余震8次。

共和7.0级地震是1976年以来我国青藏块体北缘及南北地震带北段发生的最大的一次地震。因此,详细研究其孕震与发展过程中前兆的动态特征是非常重要的。本文使用了从甘肃、青海、宁夏、陕西4省(区)筛选出的40个地下流体观测点的资料(水氡、断层气、水位、流量及井口压力等),研究了共和7.0级地震的中短临前兆的动态特征,探讨判别大震从孕育到发展阶段的动态指标。这40个地下流体观测点的基本情况见表1。图1是地下流体观测台(点)及构造分布图。

2 地下流体群体异常的中短期层次特征

在共和7.0级地震的孕育过程及发展时段,地下流体前兆所反映出的信息是非常丰富的,除了异常的同步性、异常变化的阶段性外,在一定区域的较长时间内,群体异常在时空分布上

本文1997年1月31日收到。

* 甘肃省青年科学基金资助项目。本文英文稿在1996年8月第30届国际地震大会上交流。

第一作者简介:刘耀炜,男,1957年7月生,研究员,主要从事地下流体预报地震的研究工作。

表1 西北地区(陕、甘、宁、青)研究井孔水文地质及观测情况

序号	井孔名称	经度	纬度	地质构造部位	测点类型	水温℃	流量 L/s	井深 m	含水层岩性	测项
1	庆阳院 01	107°53'	36°01'	鄂尔多斯地台	钻孔	13		201	白垩纪砂岩	水位
2	静宁院 06	105°40'	35°21'	海原-六盘山断裂	钻孔	15		400	志留纪石英砂岩	水位
3	兰州院 18	103°46'	36°03'	黄河 I 级阶地	钻孔	15		82	第四纪砂砾石	水位
4	西影井	108°57'	34°13'	临潼-长安断裂带	钻孔	71		1417	第三纪砂岩	水位
5	青钢峡	105°54'	37°42'	牛首山断裂带	钻孔			46.7	第三纪砂岩	水位
6	西宁住署	101°45'	36°55'	拉脊山构造带	钻孔		0.5	117		水位
7	清水院 07	106°08'	34°45'	清水成县断裂带	钻孔	12	0.023	165	第三纪砂砾岩	流量
8	礼县院 09	105°07'	34°08'	礼县成县断裂带	钻孔	12	1.015	254	第三纪含砾砂岩	流量
9	成县院 10	105°45'	33°45'	清水-成县断裂带	钻孔	14	0.04	260	第三纪含砂泥岩	流量
10	通渭	101°11'	36°39'	日月山构造带	上升泉	7	0.7		片麻岩	流量
11	民和	102°48'	36°19'	拉脊山构造带	下降泉	9	12		第四纪粘砂土砾岩	流量
12	周至	108°11'	34°09'	秦岭北缘断裂带	钻孔	106		2778	第三纪砂岩含砾砂岩	井口压力
13	红寺湖 2#	101°07'	36°54'	龙首山北缘断裂	人工埋孔			2.4	新近纪砂岩	气态、气态
14	古浪气体	102°53'	37°23'	冷龙岭断裂	人工埋孔			2.4	新近纪砂岩	气态、气态
15	武都震沟	104°57'	33°21'	白龙江断裂带	上升泉	17	0.3		志留纪灰岩	水氧
16	附梓厂	106°40'	35°32'	六盘山断裂东侧	自流井	10	10	37	白垩纪砂岩	水氧
17	天水官寨	105°45'	34°34'	西秦岭北缘断裂	抽水井	13	22		第四纪砂砾岩	水氧
18	清水温泉	106°15'	34°11'	通渭-清水断裂	温泉	50	2.5		晚古生代花岗岩	水氧
19	通渭温泉	105°16'	35°12'	通渭-清水断裂	温泉	53	3.5		印支期花岗岩	水氧
20	武山温泉	105°25'	34°39'	西秦岭北缘断裂	温泉	56	1.4		似斑状花岗岩长岩	水氧
21	礼县石岭	105°11'	34°02'	西秦岭北缘断裂	下降泉	12	0.36	268	第四纪砂砾岩	水氧
22	西和芦河	105°26'	33°52'	西秦岭北缘断裂	上升泉	13	0.5		新生代花岗岩	水氧
23	迭部陈刚	103°12'	37°07'	秦岭-昆仑构造带	下降泉	12	3.8		第四纪砂砾岩	水氧
24	兰州五泉山	103°40'	36°03'	兴隆山-榆中断裂	裂隙泉	13	1.3		第四纪砂砾岩	水氧
25	榆中	104°05'	35°47'	兴隆山-榆中断裂	上升泉	7	0.01		震旦纪变质岩	水氧
26	北滩子	102°02'	38°15'	龙首山断裂东侧	溢出泉	7	0.3		第四纪砂砾岩	水氧
27	西武吉	100°12'	38°45'	祁连山北缘断裂	上升泉	7	0.56		奥陶纪灰岩	水氧
28	红寺湖 1#	101°07'	36°54'	龙首山北缘断裂	上升泉	15	5.0		白垩纪砂岩	水氧
29	孔子沟	102°36'	37°55'	古浪断裂西端	自流井	29.5	0.14	552	加里东期花岗岩	水氧
30	石峡山	106°36'	39°18'	正宁关天断裂	下降泉	19	0.2		震旦纪花岗岩	水氧
31	吴武	105°54'	38°36'	银川断陷盆地东	自流井	12	0.6		第四纪砂砾岩砂岩	水氧
32	固原	106°12'	36°18'	清水河断裂	自流井	9.5	0.8	300m	第四纪白垩纪砾层	水氧
33	小口子	105°54'	36°36'	贺兰山东断裂	下降泉	15	0.25		震旦纪花岗岩	水氧
34	宝鼎	107°03'	34°25'	秦岭北缘断裂带	下降泉	15	0.2		元古代风化石岩	水氧
35	赵家湾	106°51'	34°43'	陇-宜断裂带	温泉	29	1.2		砂岩	水氧
36	西宁	101°43'	36°38'	拉脊山构造带	上升泉	12	0.1		第三纪砂砾岩	水氧
37	通渭	101°11'	36°39'	日月山构造带	上升泉	7	0.7		片麻岩	水氧
38	永都	102°24'	36°33'	拉脊山构造带	上升泉	21	0.2		花岗岩片岩	水氧
39	共和	100°36'	36°17'	青海南山构造带	自流井	33	10	240	第三纪砂砾岩	水氧
40	循化	102°29'	35°50'	拉脊山构造带	下降泉	9	0.7		第四纪泥质砂砾岩	水氧

还表现出层次性、加速性以及起伏加剧的动态特征。在不同时间尺度上(半年、月、旬),异常频次的变化速率^[2]和频次累加指数拟合曲线存在三个阶段,其特征是:

(1) 平稳变化阶段:在此阶段虽有异常出现,但数量少,异常间隔长,异常频次累加曲线呈现出斜率很小的线性特点。

(2) 加速变化阶段:此阶段流体异常数量增多,异常的配套性好,群体异常累加频次变化速率连续为正值,累加值呈指数加速上升。

(3) 调整变化阶段:此阶段异常数量逐渐减少,异常时间间隔增大,异常累加频次变化速

率连续为负值。

图2为不同时间尺度上群体异常累加曲线及变化速率曲线。在半年尺度的演化中(图2a),符合群体异常加速条件的流体测点约占全部观测点的1/3。测点分布在整個祁连山NW向构造带和天水~兰州~西宁NNW向构造带上。在月和旬时间尺度上(图2b, c),符合群体异常加速条件的流体测点增加,占全部观测点的1/2以上。异常点大都集中在天水~兰州~西宁NNW向构造带上。异常点密度增大。

从物理机制方面看,地下流体群体异常的演化过程与区域内构造应力活动水平有直接关系。区域内大面积受力程度及应力应变的强度决定着群体异常频次的大小及分布范围。图3为共和地震前后孕震区外围($\Delta \geq 350$ km)跨断层水准测量曲线与水氡趋势变化及地下流体群体异常频次对照图。图中显著地表现出祁连山北缘跨断层平均形变量的增减与Rn异常的趋势变化及异常频次的数量有明显的正相关关系。这表明在地震的孕育过程中,区域应力场与地下流体活动显著加强,而且配套性十分明显。

3 地下流体群体异常的动态迁移及起伏加剧特征

前兆异常的动态迁移及起伏加剧在大震前出现,说明大范围介质的调整运动向更加协调统一方面发展,即出现长程关联^[3]。共和7.0级地震近场区240 km范围内测点的水氡月均值中短期趋势异常的加速上升阶段的开始时间,反映出异常由震中区逐渐向外围扩散(图4)。从图4中可以看出,最早出现异常加速上升的是湟源水氡($\Delta = 125$ km),时间

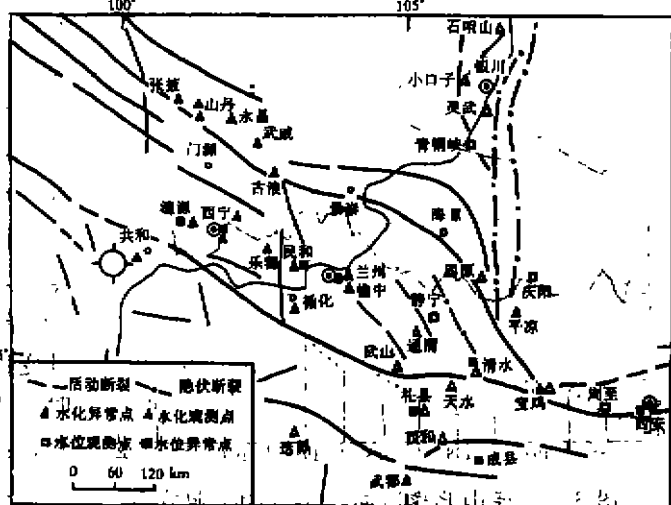


图1 地下流体观测台及构造分布图

Fig.1 Ground fluid observation stations and geological structures in research area.

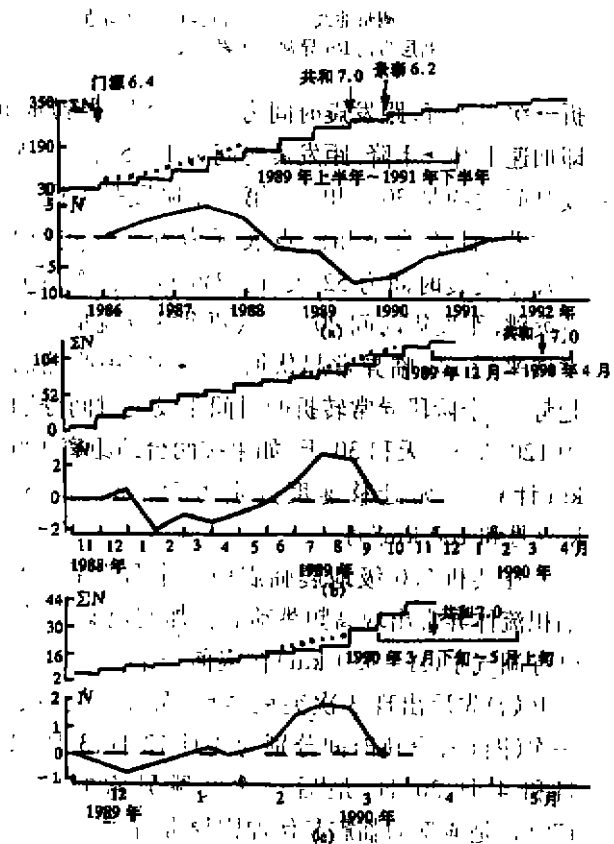


图2 地下流体群体异常不同时间尺度的变化图

Fig.2 Variation of ground fluid cluster anomalies at the different temporal scale.

(a) 中期异常; (b) 短期异常; (c) 长期异常

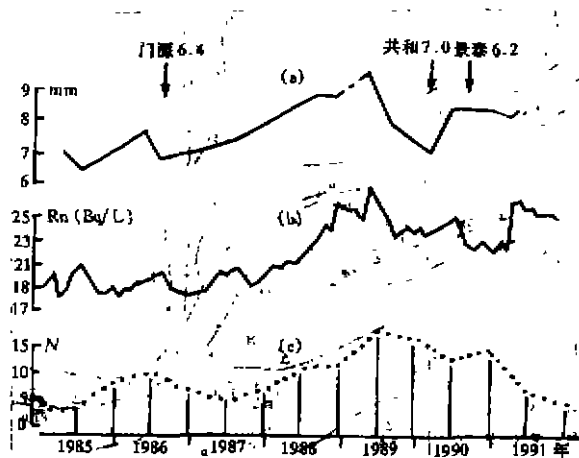


图3 祁连山北缘跨断层水准测量曲线与Rn趋势异常及群体异常频次图

Fig.3 Curves of level surveying in north edge of the Qilianshan mountains and frequency of both Rn trending anomalies.

(a) 水准测量曲线; (b) 西武当 Rn 月均值;
(c) 断层带内 Rn 异常频次累计图

折→缓慢下降,距发震时间为7~9个月,持续时间大约是5~6个月,接着又出现了第二阶段,即加速上升→下降,距发震时间为1~5个月,持续时间大约是30~40天,第三个阶段是临震突变过程,此阶段民和测点表现为阶变形式(10天),距发震时间为52天,而湟源测点表现为单点突跳,距发震时间20天,从两个井点流量异常发展来看,短临异常起伏加剧有向震中收缩的趋势,三个阶段异常转折的时间距发震时间分别为120天、90天和30天,如果按两台站距离100 km计算,异常迁移速度分别为25 km/月,35 km/月和100 km/月。

在共和7.0级地震临震前一个月左右,大面积流体异常出现高频跳动起伏加剧现象,山丹红寺湖气汞($\Delta = 350$ km)在震前一个月(3月中旬开始)先后出现3次突跳异常,而且一次高于一次(图6),突跳时间分别为3月12日、3月31日和4月20日,最后一次突跳异常幅度达178%,是典型的临震起伏加剧异常,青海佐署水位($\Delta = 140$ km)日均值在震前3月19日至4月20日的30天中出现大幅度变化(日均差分值大于2.5倍均方差),4月初加剧,4月7日至4月25日的时变曲线出现了观测以来从未见过的高

是1987年8月~1988年9月,其次为西宁永氧($\Delta = 160$ km),时间是1988年5月~1989年7月,乐都($\Delta = 205$ km)、循化($\Delta = 220$ km)和民和($\Delta = 240$ km)水氧分别于1988年10月~1989年4月,1989年1月~8月和1989年2月~9月出现加速上升,而位于距震中仅65 km的共和水氧测点,是在外围区测点水氧异常都发生转折(下降)后,才于1989年10月呈现加速上升变化,于1990年1月转为下降,距发震时间3个多月,这种现象与唐山地震时水化、地下水异常动态演化过程极为相似^[4]。

共和7.0级地震震源外围区的流量测点的异常在短临阶段出现3次起伏加剧的变化过程,并表现为由外围向震源区收缩的现象(图5),从图中可以看出,民和测点流量($\Delta = 125$ km)和湟源测点流量($\Delta = 220$ km)变化的第一阶段为加剧上升→转

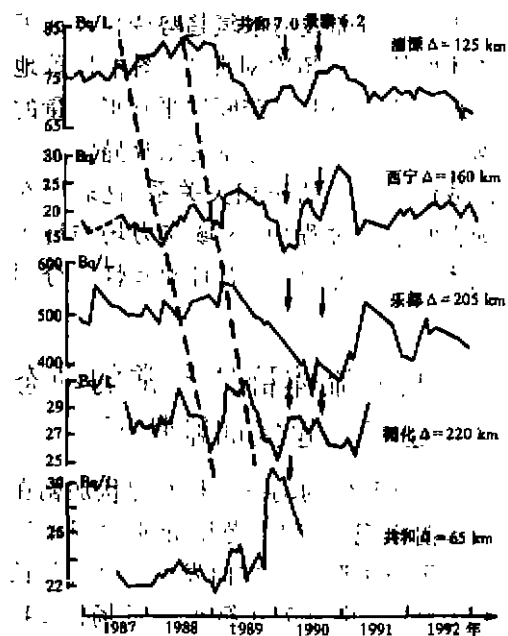


图4 共和7.0级地震前后水氧月均值趋势异常

Fig.4 Trending anomaly of monthly mean value of radon in groundwater before and after the Gonghe Ms7.0 earthquake.

频、大幅度振荡,最大为4月16日14~16时,变幅达50 mm,距发震时间为9天,符合倍九法则.这种特征为大震跟踪预报提供了有效的信息.

4 讨论

共和7.0级地震发生在历史上无中强地震记载,地表无明显断层出露的共和盆地内.震源区附近的水准测量表明,从1983年开始至震前形成了最高值约100 mm的垂直形变异常隆起区,其长轴达30 km,方向为NWW(国家地震局第二地形变监测中心).在250 km范围内水氧在震前2~0.5年出现趋势上升转折的异常,形成由震中向外围扩散的动态变化特征,这种现象可能与震中区大面积隆起产生的附加应力引起地下流体物质流动有关.在350 km范围以外的流体异常主要受区域应力场的影响,如西武当水氧趋势异常及外围

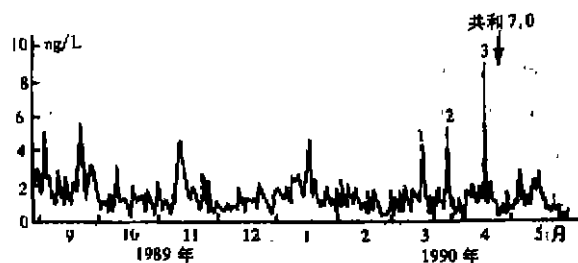


图6 甘肃山丹红寺湖测点气汞日均值图
(据何跟巧和常秋君)

Fig. 6 Daily mean value of gas-mercury at Hongshihu station, in Shaadan of Gansu Province (from He Genqiao and Chang Qiujun).

孕震系统已进入非稳定状态,预示着大震即将来临.

地下流体的中短临前兆动态特征的信息内含十分丰富,进一步研究其内在的联系和时空演化定量指标对于追踪大震发生的地点,预测发展时间和震级都是十分重要的.

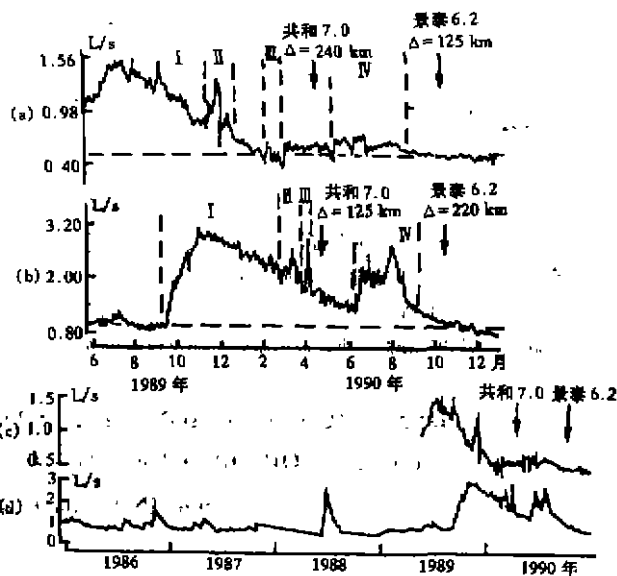


图5 民和、湟源测点流量日均值及5日均值图

Fig. 5 Daily and five-day average values of the groundwater flow at Minhe and Huangyuan stations.

(a) 民和流量日均值; (b) 湟源流量日均值;

(c) 民和流量全过程; (d) 湟源流量全过程.

流体测点的群体异常频次与所处构造带的应力应变关系密切,这可能反映了一个孕震块体内有多个应力集中和应力调整区的前兆的复杂性特点.在震前6个月至临震阶段,震源区和外围区的流体异常形成以起伏加剧现象为主的短临前兆特征.异常面积进一步扩大,异常的配套性和同步性更好.异常层次性更为明显,并有向震中迁移的趋势.3次突变性异常一次高于一次,地气耦合作用显著(节气调制,流量突变点的倍九特征等).这些流体异常特征表明了

参考文献

- 1 陈培善. 地震目录. 地震学报, 1991, 13(1): 125~128.
- 2 王吉易, 郑云贞, 张冀欣, 等. 水化多层次加速前兆图象. 中国地震, 1994, 10(增刊): 157~165.
- 3 秦保燕, 李佐唐. 共和地震前兆起伏加剧的层次性与大震的跟踪预报. 西北地震学报, 1995, 17(3): 1~9.
- 4 李宜翔. 水氧异常的扩散收缩现象. 地震, 1981, (5): 41~43.
- 5 何跟巧, 常秋君, 郭玉英, 花盛. 共和地震与断层气动态异常. 内陆地震, 1990, 4(4): 367~373.
- 6 张新基, 王长岭, 张慧. 西北地区水化特征及地震预测研究. 地震, 1994, (增刊): 1~6.

**DYNAMIC EVOLUTION CHARACTERISTICS OF GROUND FLUID
PRECURSORS BEFORE THE GONGHE $M_s7.0$ EARTHQUAKE
1990 IN QINGHAI PROVINCE**

LIU Yaowei ZHANG Yuansheng

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000)

Abstract

The dynamic evolution characteristics of ground fluid precursors of the $M_s7.0$ Gonghe earthquake on April 26, 1990 in Qinghai Province are systematically studied, by using the ground fluid data of 40 observation stations. The results are following:

- (1) The mean deformation rate of faults in seismic belt were synchronous with the cluster anomaly frequency of the ground fluid and the trend anomalies of radon content in groundwater. The curves of the deformation rate of fault and the accumulative frequency of the ground fluid cluster anomalies changed acceleratly in a law of index.
- (2) The acceleration and rising stage of medium-term tendency anomalies of the radon data, which were obtained from the observation stations within 240 kilometers of the focus of the $M_s7.0$ Gonghe earthquake showed transmission feature from the focus to the periphery. The anomalies in short-impending term of the radon data appeared synchronously.
- (3) The ground fluid precursors showed clearly aggravation of fluctuation and hierarchy pattern. It is obvious that the change of daily mean values of fault product gases and flow of groundwater showed three hierarchies with anomalous amplitude which are higher and higher each in the impending earthquake stage.

Key words: Qinghai, Fault product gas, Groundwater level anomaly, Radon anomaly, Dynamic evolution, Cluster anomaly