

川滇地区强震流体综合前兆特征初探^{*}

曹玲玲¹, 刘耀炜²

(1. 甘肃省地震局, 兰州 730000 2. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要: 从《中国震例》中选取 1976~1998 年川滇地区发生的 15 次 $M \geq 6$ 地震作为震例, 依据图形对比和统计的方法, 分析了不同震级的地震前水位 (流量)、温度及水氡异常变化的协调性特征, 结果显示, 无论是在时间演化方面还是在空间演化方面, 这 3 个流体测项之间都具有协调性演化关系, 震级不同, 异常的表现形式也不同, 并且 7 级以上地震的异常的协调性特征明显好于 6.0~6.9 级地震。

关键词: 强震; 流体; 协调性; 川滇地区

中图分类号: P315.72⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0666(2010)03-0239-08

0 引言

地震预报研究中, 前兆特征一直是我国地震学者研究的重要课题之一。他们在“八五”期间进行了地震短临预报研究, “九五”期间进行了一年尺度的预报研究, “十五”期间进行了短期预测研究, “十一五”期间进行长趋势预测研究, 并通过这些研究提出了大量的流体异常提取方法和判别指标 (刘耀炜等, 1999, 2002, 2004, 车用太, 刘五洲, 1998, 陈立德等, 2008), 在地震预报工作中发挥了一定的作用。

地震孕育是个复杂的过程, 在流体前兆表现上, 不同的地震具有的相同的异常特征并不多, 因而已有震例的研究结果对未来地震预测的指导作用并不大, 简单统计意义上的前兆判别很难满足地震监测预报的需要。因此, 寻找具有物理基础的地震前兆特征, 是提高地震预报水平的必经之路。考虑到可用于地震预报的地震异常是在孕震过程中引起的, 它们彼此之间应该有联系, 基于此, 本文对强震流体各测项之间的前兆协调性特征进行分析, 以便使各测项异常之间相互印证, 有效剔除干扰, 凸显异常, 这对提高异常的信度具有重要意义。

1 研究区及资料的选取

川滇地区 6 级以上地震频发, 1976~1998 年

共发生 6 级以上地震 15 次 (图 1), 其中 6~6.9 地震 10 次, 7 级及以上地震 5 次。这些地震具有很好的分布规律: 一组呈北东东向分布, 一组呈

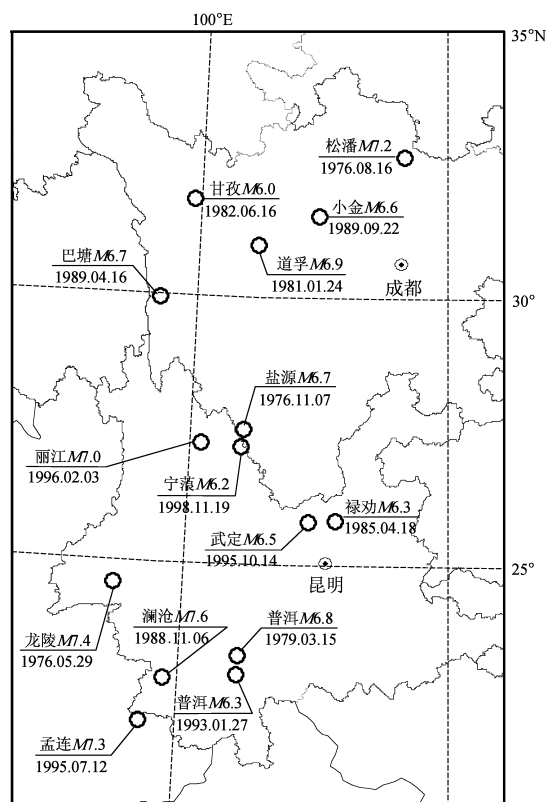


图 1 川滇地区 6 级以上地震震中分布图
Fig 1 Centra distribution of $M \geq 6.0$ earthquakes in Sichuan-Yunnan area

* 收稿日期: 2009-08-18.

基金项目: “十一五”国家科技支撑课题 (2006BAC01B 02-03-01)、地震联合基金 (A08104) 和震情跟踪合同课题 (2009020602) 联合资助

北西西向分布，还有一组分布方向不明显，但空间相对集中。多年来该地区地下流体观测台站一直在变化，但总体测项齐全，台项数多，分布合

理，为本研究提供了很好的资料保证，因此笔者选取川滇地区为研究区，研究水位、水氡和温度 3 个测项在 6 级以上地震前的异常协调性变化特征。

表 1 川滇地区 6 级以上地震流体异常统计特征表
Tab 1 Fluid anomaly characteristics of $M \geq 6.0$ earthquakes in Sichuan-Yunnan area

震级	震中距 / km	异常阶段性划分		主要异常特征
$M \geq 7.0$	0 ~ 500	A	6 个月以上	趋势上升（下降）破年变，年变幅加大，持续高值（低值）
		B	1 ~ 6 个月	趋势异常的转折，破年变，加速上升（下降）—平稳
$6 \leq M \leq 6.9$	0 ~ 300	C	1 个月之内	急速上升（下降）阶变，正负突跳，脉冲

由于所选地震时间跨度大，早期的前兆资料很难收集齐全，因此笔者不对异常进行重新提取，而是对已出版的《中国震例》（张肇诚等，1990^a；1999^b；2000^c；陈棋福等，2002^{a, b, c}）给出的异常进行统计对比分析。异常的阶段性划分同样遵从《中国震例》的划分标准：A 为震前 6 个月以上出现的异常，即趋势异常；B 为震前 1 ~ 6 个月出现的异常，为短期异常；C 为震前 1 个月内出现的异常，为短临异常（表 1）。

2 流体前兆协调性特征

2.1 流体异常时间演化协调性特征

2.1.1 异常月频次演化与地震的关系

(1) 7 级以上地震

1976 年龙陵 $M_s 7.4$ 地震发生时，水位和水氡测项观测台站较多，但温度测项仅有 1 个台站；而 1976 年松潘 $M_s 7.2$ 地震发生时水位和温度两个测项仅各有 1 个测点（张肇诚，1990^a），因此笔者仅对 1988 年澜沧地震、1995 年孟连地震和 1996 年丽江地震的地下流体各测项的异常月频次演化及其与地震的关系进行分析（图 2）。由图 2 可以看出，这 3 次地震前的各流体测项之间异常月频次变化的一致性很好——前期各测项异常月频次都为逐渐增加，随后加速上升，表明异常台项数在地震孕育的前期是逐渐增加的。异常的最高频次出现在震前 3 个月之内，地震发生在异常月频次下降的阶段。

(2) 6.0 ~ 6.9 级地震

1976 ~ 1998 年川滇地区发生 6 级以上地震多达 10 次，但由于 1985 年之前的地震监测台站太少，有些测项仅 1 个台站出现异常，并且大多地震前温度或异常台项很少或没有异常出现。因此本

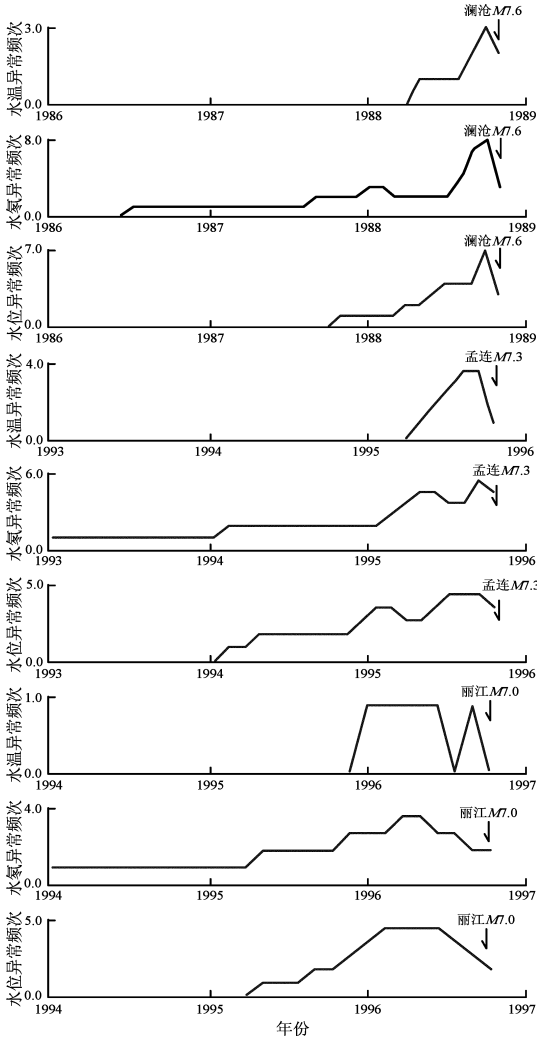


图 2 澜沧 7.6 级、孟连 7.3 级和丽江 7.0 级地震流体各测项异常月频次变化图
(异常台站来自《中国震例》)
Fig 2 Monthly frequency of three fluid items before $M_s 7.6$ Lancang earthquake, $M_s 7.3$ Menglian earthquake and $M_s 7.0$ Lijiang earthquake (the anomalous stations come from Earthquake Cases In China)

文仅分析 1985 ~ 1998 年发生的 $M_s6.0 \sim 6.9$ 地震的水位和水氡异常月频次演化及其与地震的关系。

从图 3 可以看出, 川滇地区 $M_s6.0 \sim 6.9$ 地震前水位、水氡异常月频次的演化过程为增加—平稳—增加—发震—下降或平稳—增加—发震—下降, 虽然地震的演化过程存在一定差异, 但同一地震不同流体测项的演化过程具有很好的协调性。同时也可以看出, 6 次地震中有 5 次发生在

各测项异常月频次最高的阶段, 不同的是有些异常月频次达到最高值即发震, 而有些月频次高值持续一段时间后才发震, 持续时间一般在两个月之内。1998 年宁蒗 6.2 级地震前流体各测项异常月频次曲线演化形态与其它几次地震前的异常月频次曲线形态没有太大的区别, 但本次地震发生在所有异常结束之后, 原因不甚明确, 有待进一步研究。

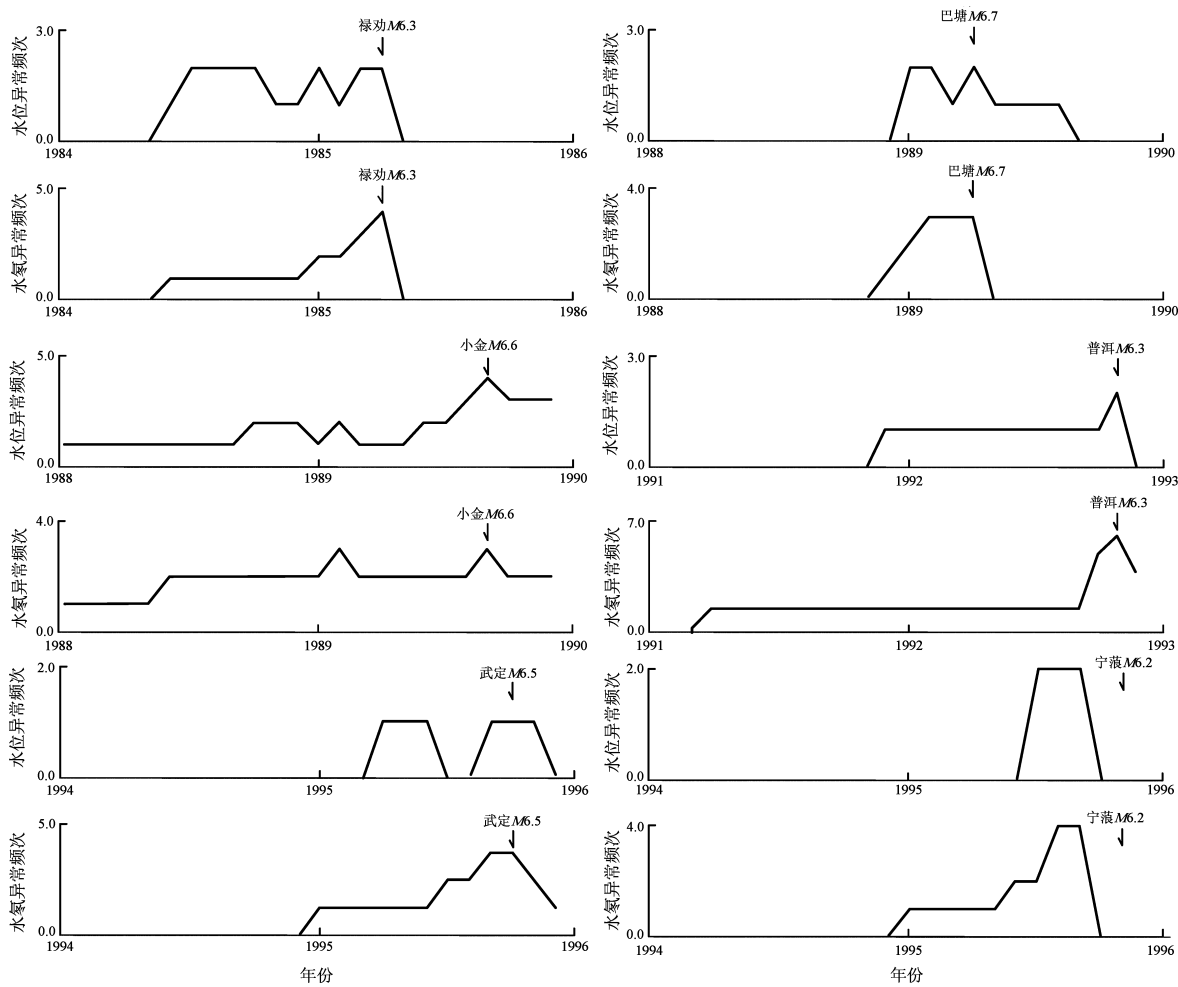


图 3 禄劝 6.3 级、巴塘 6.7 级、小金 6.6 级、普洱 6.3 级、武定 6.5 级、宁蒗 6.2 级地震异常月频次变化曲线图 (异常台站来自《中国震例》)

Fig 3 Monthly frequency of two fluid items before $M_s6.3$ Luquan earthquake, $M_s6.7$ Batang earthquake, $M_s6.6$ Xiaojin earthquake, $M_s6.3$ Pu'er earthquake, $M_s6.5$ Wuding earthquake, $M_s6.2$ Ninglang earthquake (the anomalous stations come from Earthquake Cases In China)

综合上述分析, 不论是 7 级以上地震还是 6.0 ~ 6.9 级地震, 流体各测项异常月频次的变化都具有很好的协调性——早期阶段, 异常频次是逐步增加的, 但 7 级以上地震发生在异常月频次下降阶段, 而 6.0 ~ 6.9 级地震发生在异常月频次最高阶段。

2.1.2 发震时存在的异常台项与结束的异常台项的比例关系

前兆异常的阶段性演变是预测发震时间的主要依据, 但对川滇地区 6 级以上地震震例进行分析后发现, 在孕震过程中, 几乎没有一个测点的单

个流体测项能够显示出完整的异常演化过程，大多往往只有一个阶段出现，如只有趋势异常而没有短期异常，或者相反，因此可分析地震发生时异常结束台站数和异常未结束台站数的比例，为预测发震时间提供判据。

(1) 7级以上地震

对研究区 5 次 7 级以上地震发震时异常未结束的台项数与异常已结束的台项数进行统计(表 2)，可以看出，不管是 3 个流体测项都出现异常的地震还是仅有 2 个测项出现异常的地震，都表现为异常已结束的台项百分比高于异常未结束的台项百分比，同一地震，水氡异常测项的百分比和水位异常测项的百分比相差很小。由此可以看出，研究区 7 级以上地震发震时流体各测项异常台项百分比的变化具有共同的特征，即大部分异常已经结束。

表 2 7 级以上地震发生时水位、水温、水氡异常结束的台项与异常未结束台项的百分比统计
Tab 2 Percentage of tem inative and ongoing anomalies of three fluid items of $M_s \geq 7.0$ earthquakes

异常状态	测项	龙陵地震	松潘地震	澜沧地震	孟连地震	丽江地震
已结束	水氡	50%	100%	73%	50%	50%
	水位	50%	100%	50%	63%	66%
	水温	无异常台站	无异常台站	60%	86%	100%
未结束	水氡	50%	0	27%	50%	50%
	水位	50%	0	50%	37%	40%
	水温	无异常台站	无异常台站	40%	14%	0

表 3 6.0~6.9 级地震前水氡、水位异常结束和未结束的异常台项百分比
Tab 3 Percentage of tem inative and ongoing anomalies of two fluid items of $M_s 6.0-6.9$ earthquakes

地震名称	异常已结束台项与总异常台项百分比		异常未结束台项与总异常台项百分比	
	水氡	水位	水氡	水位
1976 年宁蒗 6.7 级震群	100%	100%	0	0
1979 年普洱 6.8 级地震	33%	100%	67%	0
1985 年禄劝 6.3 级地震	50%	50%	50%	50%
1989 年巴塘震群	60%	67%	40%	33%
1989 年小金 6.6 级地震	0	67%	100%	33%
1993 年普洱 6.3 级地震	40%	33%	60%	67%
1995 年武定 6.5 级地震	0	0	100%	100%
1998 年漾 6.2 级地震	100%	100%	0	0

综合上述分析，川滇地区 6 级以上地震发生时异常台项百分比的变化具有很好的协调性特征，具体表现为：7 级以上地震发震时各测项异常结束的台项为 50% 以上；6.0~6.9 级地震则有两种类型，部分地震为 50% 以上异常台项结束，部分地震为异常结束的台项不到 50%，并且

(2) 6.0~6.9 级地震

6.0~6.9 级地震发生时温度测项出现异常的台项很少，因此这里对温度异常台项比的变化不做分析。从表 3 可以看出，除 1979 年普洱地震和 1989 年小金地震，其余 6 次地震发生时已结束和未结束的水氡、水位异常台项比明显一致，要么都为高值，要么都为低值，其中 3 次地震发生时异常结束的台项百分比高，2 次地震发生时异常未结束的台项百分比高，1 次地震发生时异常已结束和未结束的台项百分比相同。

因此，研究区 6.0~6.9 级大多数地震（占 87.5%）发生时水位和水氡异常台项比的变化具有很好的协调性，但具体表现上存在差异，有些地震发生时多数台项的异常已结束，而有些地震发生时多数台项的异常尚未结束，并且这两种类型地震在数量上没有明显的差别。

在数量上没有明显的区别，但同一地震测项间的变化协调一致。由此可见，震级越高异常台项比变化规律越明显。

2.2 流体异常空间演化协调性特征

2.2.1 趋势异常与短期短临异常空间分布范围

(1) 7 级以上地震

表 4 为 7 级以上地震各阶段异常分布范围的统计。可以看出, 水温测项的趋势性异常并不明显。但水氡和水位的趋势性异常很明显。异常分布范围比较狭小, 通常在距震中 200 km 内的环形范围内, 异常距震中较远, 一般在震中 150 km 以外的

区域。对于同一次地震, 距离震中最近的水位台站和水氡台站的震中距相差很小。与趋势性异常相比, 短期短临异常的分布范围比较大, 并且在震中附近广泛存在。由此可以看出, 各测项异常最早出现的地区并不是未来地震的震中区域。

表 4 7 级以上地震水氡、水位异常各阶段异常空间分布范围统计表
Tab 4 Spatial distribution of water level and water radon anomalies of $M_s \geq 7.0$ earthquakes

异常类型	测项	震中距范围 / km				
		龙陵地震	松潘地震	澜沧地震	孟连地震	丽江地震
趋势性异常	水氡	192 ~ 380	120 ~ 340	138 ~ 390	218 ~ 295	303 ~ 483
	水位	192 ~ 490	无异常	130 ~ 258	300 ~ 468	303 ~ 495
	水温	—	—	—	—	422
短期、短临异常	水氡	213	340	38 ~ 500	60 ~ 400	247
	水位	60 ~ 77	120	57 ~ 500	180 ~ 425	190
	水温	—	—	123 ~ 415	110 ~ 460	205

注: “—” 表示该测项该阶段未出现异常。

(2) 6.0 ~ 6.9 级地震

从表 5 可以看出, 3 次 6.0 ~ 6.9 级地震, 只有 1 个台站的水氡出现趋势异常且 1 次地震水氡未出现趋势异常。所有地震中, 均没有两个以上的台站出现水位趋势异常, 由此可以看出, 该区 6.0 ~ 6.9 级地震 6 个月以上的趋势异常并不广泛发育。

从异常的分布范围看, 水位、水氡的趋势性异常一般都分布在震中距大于 100 km 的区域, 短期、短临异常分布则很广泛, 不仅存在于震中区

域, 还涵盖了趋势异常的分布范围, 并且在震中距差别不大的情况下, 这些台站的水位、水氡异常在各阶段的分布范围很接近。

综合上述分析可以看出, 不管是 7 级以上地震还是 6.0 ~ 6.9 级地震, 各阶段水氡与水位异常在空间上的分布具有相似的特征, 即趋势性异常分布在距震中较远的区域, 并且分布范围不是很广; 短期、短临异常震分布范围广, 涵盖了趋势性异常的分布范围, 因此 6 级以上地震异常最早出现的地区并不是未来地震的震中区。

表 5 6.0 ~ 6.9 级以上地震水氡、水位异常各阶段异常空间分布范围统计表
Tab 5 Spatial distribution of water level and water radon anomalies of $M_s 6.0 - 6.9$ earthquakes

地震名称	震中距 / km			
	趋势性异常		短期、短临异常	
	水氡	水位	水氡	水位
1976 年盐源 6.7 级地震	240 ~ 300	240	140	—
1979 年普洱 6.8 级地震	300 ~ 356	427	235	—
1985 年禄劝 6.3 级地震	227	100	75 ~ 263	78 ~ 280
1989 年巴塘震群	283	—	362 ~ 495	190 ~ 494
1989 年小金 6.6 级地震	161 ~ 168	195	161 ~ 412	61 ~ 234
1993 年普洱 6.3 级地震	17 ~ 286	221	22 ~ 286	17 ~ 221
1995 年武定 6.5 级地震	—	250	138 ~ 200	99 ~ 248
1998 年宁蒗 6.2 级地震	144	—	196 ~ 264	84 ~ 268

注: “—” 表示该测项该阶段未出现异常。

2.2.2 空间范围异常集中度分析

异常集中度指一定震中距范围内测项出现异常的台站数目占该区域相应测项的台站总数的百分比。

(1) 7 级以上地震

根据《中国震例》(张肇诚, 1990^a, b 1999 2000 陈棋福, 2002^a, b c) 将 7 级地震的最大

异常范围定为 500 km 以 100 km为半径区间进行统计 (表 6), 除丽江地震之外, 其它 4次地震异常集中度最高值在 0~100 km范围内, 并且高达 100%, 在 200~300 km和 300~400 km区间内异常集中度相近, 在 100~200 km和 400~500 km区间内, 不同地震的异常集中度差别较大。

表 6 7级以上地震异常台数与相应测项总台站数比例统计表
Tab. 6 Ratio of anomalous items to relevant total items of $M_s \geq 7.0$ earthquakes

地震	测项	震中距范围 / km				
		0~100	100~200	200~300	300~400	400~500
松潘	水氡	100%	无台站	无台站	50%	无台站
	水位	无台站	100%	无台站	无台站	无台站
龙陵	水氡	无台站	100%	50%	50%	30%
	水位	100%	100%	无台站	无台站	100%
澜沧	水氡	100%	33%	29%	33%	25%
	水位	100%	33%	33%	30%	25%
孟连	水氡	100%	0	60%	50%	0
	水位	100%	33%	33%	33%	29%
丽江	水氡	0	0	11%	18%	17%
	水位	33%	50%	0	10%	10%

(2) 6.0~6.9级地震

对于 6.0~6.9级地震划分区间以 100 km为半径进行统计, 结果见表 7。可以看出在 200~300 km震中距范围内, 水位、水氡的异常集中度差别不大, 而在其它范围内两者差别很大, 并且异常集中度没有在任何区间占明显的优势, 因此无法用异常集中度来确定未来 6.0~6.9级地震的震中。

综合上述分析, 各震中距区段内水位、水氡异常集中度具有一定的协调性特征, 但 7级以上地

震的异常的协调性更好一些, 同时也可以看出, 7级以上地震震中距 100 km范围内的水氡、水位异常集中度高, 但 6.0~6.9级地震这种规律不明显。总之, 异常集中度指标适合预测 7级以上地震, 但不适合预测 6.0~6.9级地震震中。

2.2.3 水氡、水位各阶段异常空间分布及其形态与地质构造的关系

(1) 7级以上地震

该地区 5次 7级以上地震前水氡、水位的趋势性异常在空间上是随机分布的, 异常形态的变化与地质构造没有明显的依赖关系, 而短期短临异常的分布则向地质构造带 (特别是发震构造) 集中, 并且不同的异常形态与震源机制解的两个节面息息相关。笔者以 1988年 11月 6日澜沧一耿马 7.6、7.2级地震为例进行分析。

图 4为澜沧一耿马地震前水氡阶段性异常空间演化图。可以看出, 水氡的趋势异常在形态上主要呈现上升变化, 在空间上随机分布, 看不出异常台点空间分布与发震构造的关系。当异常演化到短期短临阶段, 其受构造控制的特点就显现出来——异常主要沿两组断层分布, 与震源机制解的两个节面走向 (节面 1走向为 324.5° , 节面 2走向 54.5°) 密切相关 (姜葵, 1993; 王博等, 2003), 在异常曲线变化形态上也出现了分异现象, 沿着发震节面异常曲线都表现为下降, 沿另一个节面异常曲线表现为上升。

表 7 6级以上地震异常台数与相应测项总台站数比例统计表

Tab. 7 Ratio of anomalous items to relevant total items of $M_s 6.0-6.9$ earthquakes

地震	测项	震中距范围 / km		
		0~100	100~200	200~300
盐源 6.7	水氡	无台站	33%	29%
	水位	无台站	无台站	100%
普洱 6.8	水氡	无台站	50%	50%
	水位	无台站	无台站	无台站
禄劝 6.3	水氡	17%	0	33%
	水位	40%	0	20%
小金 6.6	水氡	无台站	100%	0
	水位	100%	100%	50%
武定 6.5	水氡	25%	40%	0%
	水位	20%	0%	33%
普洱 6.3	水氡	100%	25%	50%
	水位	50%	0	50%
宁蒗 6.2	水氡	0	25%	22%
	水位	50%	13%	14%

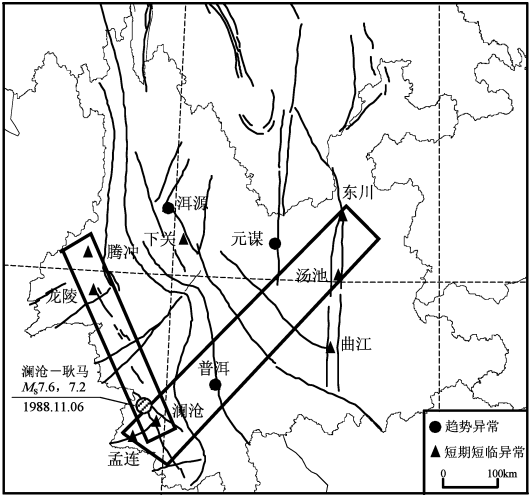


图 4 澜沧—耿马地震水氡异常时空演化图
(实心圆为趋势异常点，三角形为短期短临异常点)
Fig 4 Anomalous distribution of water radon of M_s7.6 7.2 Lancang-Gengma earthquake
(round points stand for trending anomaly triangles stand for short and impending anomaly)

图 5 为澜沧—耿马地震前水位的阶段性异常空间演化图。同样，水位的趋势异常点分布较为分散，受构造控制不明显。短期、短临异常台站明显受构造控制。水位的原始曲线异常变化也出现了分异现象，沿发震构造节面分布的台站原始曲线形态主要表现为下降变化，沿另一构造节面分布的台站的异常曲线表现为上升。

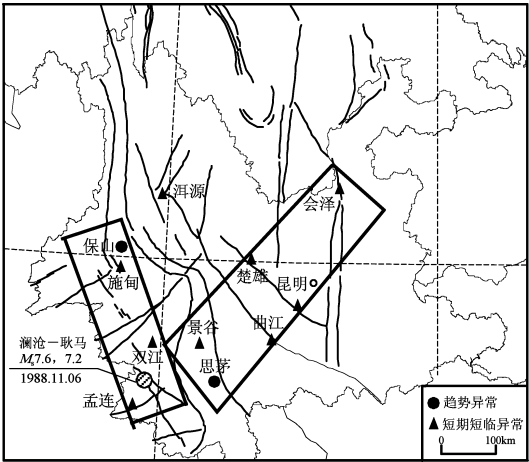


图 5 澜沧—耿马地震水位异常时空演化图
(实心圆为趋势异常，三角形为短期短临异常)
Fig 5 Anomalous distribution of water level of M_s7.6 7.2 Lancang-Gengma earthquake
(round points stand for trending anomaly triangles stand for short and impending anomaly)

综合上述分析，水氡、水位异常的阶段性演化具有明显的协调性特征，并且原始曲线的异常变化在主破裂面附近表现为趋势下降，在辅助破裂面附近表现为上升。利用这种空间演化特征以及异常形态的变化可以预测未来地震的震中位置。

(2) 6.0~6.9级地震

由于台站分布的限制，6.0~6.9级地震异常的阶段性发展并不是很完整，各个阶段都有异常，但总有一个阶段仅有 1 个台站出现异常，无法分析其阶段性变化在空间上的演化过程。因此笔者以 1993 年普洱 6.3 级地震为例，仅分析短期、短临阶段异常的空间分布。

从图 6 可以看出，水氡出现短期、短临异常的 4 个台站中，位于主破裂节面附近（走向为 329°）的两个台站的异常曲线表现为下降变化，其余两个为上升变化。虽然水位仅有两个台站（普洱和玉溪）出现短期、短临异常，但在空间上仍然与水氡短期、短临异常的分布一致。由此可以看出，尽管 6.0~6.9 级地震前水氡、水位的阶段性异常台站数量较少，其空间演化过程很难分析，但短期、短临阶段水氡、水位异常台站同样明显受构造控制而在附近分布，并且台站的异常变化形态也与构造有明显的关系。

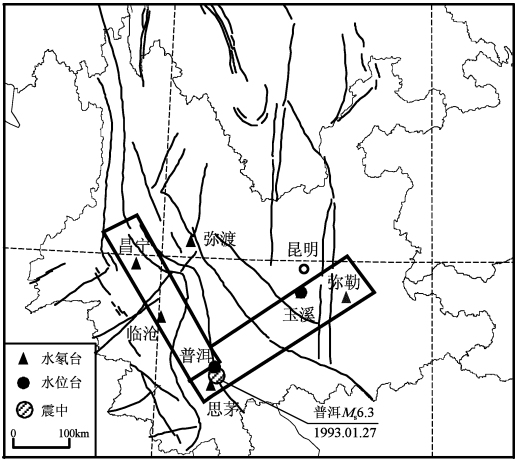


图 6 1993 年普洱 6.3 级地震水位、水氡短期短临异常分布图
(实心圆为趋势异常，三角形为短期短临异常)

Fig 6 Short and impending anomalies of water level and water radon of Pu'er M_s6.3 earthquake in 1993

综合上述分析，无论是 7 级以上大震还是 6.0~6.9 级强震，震前水氡和水位异常在短期、短

临阶段都向发震构造或相关的构造带迁移，并且 7 级以上地震各测项表现出在同一构造带附近异常的变化形态相同，即共同（或绝大部分）表现为上升或下降变化的协调性特征，而对于 6.0~6.9 级地震，由于短期、短临阶段出现的异常太少，这种协调性规律没有显现出来。

3 结论

- （1）异常的时间演化协调性特征上，7 级以上地震发生在流体各测项异常月频次下降的阶段，而 6.0~6.9 级地震发生在流体各测项异常月频次最高的时段。7 级以上地震发生时，流体各测项 50% 以上的异常已经结束，而对于 6.0~6.9 级地震，有些地震发生时各测项 50% 以上的异常结束，有些地震发生时尚有 50% 以上的异常项未结束，并且这两种类型的地震数量上相差不大。
- （2）异常空间分布范围上，7 级以上地震流体各测项趋势异常分布范围比较小，并且距离震中较远，通常在震中距 150 km 以外的区域，而 6.0~6.9 级地震的趋势异常通常分布在距离震中 100 km 以外的区域。短期、短临异常分布范围都很广泛，并且涵盖了趋势异常的分布范围。
- （3）异常与构造的关系上，6 级以上地震的趋势异常分布比较分散，且受构造控制不明显。7 级

以上地震的流体短期和短临异常间协调性特征非常明显。异常沿构造带分布，并且异常形态出现明显的分异现象，而对于 6.0~6.9 级地震，由于异常测项较少，这种特征并不明显。

参考文献：

车用太，刘五洲 . 1998. 地壳流体与地震活动关系及其在强震预测中的意义 [J]. 地震地质, 20 (4): 431—437.
陈立德，付虹，邬成栋 . 2008. 强震短临异常共性特征的物理基础 [J]. 地震研究, 31 (2): 99—103.
陈棋福 . 2002^a. 中国震例 (1992—1994) [M]. 北京: 地震出版社 .
陈棋福 . 2002^b. 中国震例 (1995—1996) [M]. 北京: 地震出版社 .
陈棋福 . 2002^c. 中国震例 (1997—1999) [M]. 北京: 地震出版社 .
姜葵 . 1993. 1988 年云南澜沧—耿马地震 [M]. 昆明: 云南大学出版社 .
刘耀炜，曹玲玲，平建军 . 2004. 地下流体短期前兆典型特征分析 [J]. 中国地震, 20 (4): 372—379.
刘耀炜，范世宏，曹玲玲 . 1999. 地下流体中短期异常与地震活动性指标 [J]. 地震, 19 (1): 19—25.
刘耀炜，施锦，潘树新，等 . 2002. 水化学中短期参量异常识别方法及效能评价 [J]. 地震, 20 (增刊): 97—106.
王博，刘耀炜，孙小龙 . 2008. 地下流体与断裂活动关系的研究综述 [J]. 地震研究, 31 (3): 296—302.
张肇诚 . 1990^a. 中国震例 (1976—1980) [M]. 北京: 地震出版社 .
张肇诚 . 1990^b. 中国震例 (1981—1985) [M]. 北京: 地震出版社 .
张肇诚 . 1999. 中国震例 (1986—1988) [M]. 北京: 地震出版社 .
张肇诚 . 2000. 中国震例 (1989—1991) [M]. 北京: 地震出版社 .

Preliminary Study on the Characteristics of Integrated Precursors of Fluid before Strong Earthquakes in Sichuan-Yunnan Region

CAO Ling-ling, LU Yao-wei

- (1. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)
- (2. Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

Abstract

Selecting 15 $M_s \geq 6.0$ earthquakes occurred in Sichuan-Yunnan area from 1976 to 1998 from Earthquake Cases In China, we study the harmonious characteristics of variation of water table (or flow rate), water temperature and water radon before the occurrence of the earthquakes. We find that these three anomalies of the fluid items are harmonious with each other in the course of the temporal and spatial evolution. For different earthquakes, the anomalies behave differently. The anomalies of the $M_s \geq 7.0$ earthquakes are more harmonious than those of the $M_s 6.0-6.9$ earthquakes.

Key words: strong earthquake, fluid harmony, Sichuan-Yunnan area



张宇翔 陕西省地震局高级工程师。1986年毕业于陕西工学院电子系无线电专业,获学士学位。陕西省地震学会学术委员会委员,陕西省地震学会地震监测技术委员会主任。主要从事地震监测技术、地震灾害研究等工作。



曹玲玲 甘肃省地震局副研究员。1996年毕业于南京大学地球科学系,获学士学位;2001年毕业于中国地震局兰州地震研究所,获硕士学位。主要从事地下流体地震预报研究工作。



方宏芳 福建省漳州市地震局工程师。1990年毕业于中国地质大学水文地质工程地质专业,获工学学士学位;2009年12月毕业于云南大学固体地球物理专业,获理学硕士学位。主要从事地下流体、体应变监测及地震预测研究工作。



程建武 甘肃省地震局高级工程师。1996年毕业于西安地质学院矿产勘查专业,获理学学士学位;2001年毕业于中国地震局兰州地震研究所地球物理专业,获理学硕士学位;2010年毕业于中国地震局地质研究所,获博士学位。主要从事活动构造与地震危险性评价工作。



李罡风 安徽省地震局工程师。1996年毕业于安徽大学数学系应用数学专业,获理学学士学位。主要从事地震前兆观测数据分析处理和地理信息系统开发等工作。



徐春迪 宝鸡文理学院地理科学与环境工程系副教授。1997年毕业于西北大学城市与资源学系,获理学学士学位;2007年毕业于华东师范大学资源与环境学院地理信息系统与地图学专业,获理学硕士学位。主要从事3S技术应用及资源与灾害方面的教学和研究工作。



韩晓明 内蒙古自治区地震局工程师。2004年毕业于河南理工大学测绘与国土信息工程学院大地测量专业,获工学学士学位;2007年毕业于中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业,获理学硕士学位。主要从事地震活动性以及测震学方面的研究工作。



史杰 中国地震局兰州地震研究所在读硕士研究生。2003年毕业于新疆大学资源勘查系资源勘查工程专业,获工学学士学位。主要从事活动构造研究工作。

注:张昱、李永莉、莘海亮、曾宪伟、谢晓峰、刘丽芳、胡毅力、曹彦波、倪泰山的简介已分别刊登在本刊:
Vol31, No3 Vol29, No3 Vol31, No2 Vol31, No2 Vol33, No1 Vol28, No4 Vol29, No2 Vol30
No3 Vol32, No1.

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>