

程万正, 官致君, 苏琴, 阮祥, 张致伟. 2011. 汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区前兆异常及其统计分析. 地震学报, 33(3): 304-318.

Cheng Wanzheng, Guan Zhijun, Su Qin, Ruan Xiang, Zhang Zhiwei. 2011. Precursory anomalies in Sichuan region before 2008 Wenchuan $M_s8.0$ earthquake and their statistical analysis. *Acta Seismologica Sinica*, 33(3): 304-318.

汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区 前兆异常及其统计分析*

程万正[†] 官致君 苏琴 阮祥 张致伟

(中国成都 610041 四川省地震局)

摘要 研究了2008年5月12日汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区观测到的各种异常. 异常项与所有测项(或测站、台、场地、井点、泉点)之比称为异常测项(测点)比, 以下类同. 地震前四川地区流动短水准观测存在中长期趋势异常的场地比为0.28, 异常测项比为0.20; 流动短基线存在中期趋势异常的场地比为0.13, 异常测项比为0.13; 地倾斜类观测存在中期趋势异常的台站比为0.17, 异常测项比为0.13; 地下水位观测存在中期趋势异常的水位井点比为0.20; 温泉观测存在水温短期异常的泉点比为0.15; 温泉水氡、气氡观测存在短期异常的台点比为0.08, 异常测项比为0.04; 井泉水质组分观测存在短期异常的台点比为0.20, 异常测项比为0.04; 视电阻率观测存在中期异常的台站比为0.17, 异常测项比为0.06. 对同一观测台或场地有不同观测手段, 分别计算了台或场地数: 四川地区在汶川8.0级地震前各类观测台或场地共有172个, 存在观测异常台或场地比为0.14, 其中出现中期与短期异常场地比分别是0.08和0.03; 各类观测项共有335项, 异常测项比为0.09, 其中出现中期与短期异常测项的占比分别是0.06和0.01. 可见, 震前仪器微观测台或测项多数没有观测到突出异常现象. 本文中其它没有提及的观测手段或观测项的资料, 经过研究没有分析检测出异常项.

关键词 汶川 $M_s8.0$ 地震 观测异常 地震前兆 异常点的空间分布

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2011.03.004 中图分类号: P315.63 文献标识码: A

Precursory anomalies in Sichuan region before 2008 Wenchuan $M_s8.0$ earthquake and their statistical analysis

Cheng Wanzheng[†] Guan Zhijun Su Qin Ruan Xiang Zhang Zhiwei

(Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract: Various observation anomalies in Sichuan region before the 12 May 2008 Wenchuan $M_s8.0$ earthquake were studied. The abnormal items against all of observation items (or observation stations, measuring platforms, sites, well points, spring points) are the ratio of abnormal items (points), following are

* 基金项目 国家自然科学基金项目(41090294)资助.

收稿日期 2010-03-23 收到初稿, 2010-11-16 决定采用修改稿.

[†] 通讯作者 e-mail: cwzsedz@163.com

similar. On the mobile short leveling, the site and item ratios of existing medium to long-term trend anomalies are 0.28 and 0.20 respectively. On the mobile short baseline, the site and item ratios of existing medium-term trend anomalies are 0.13 and 0.13 respectively. On the ground tilt measurement, the station ratio of medium-term trend anomalies is 0.17, the abnormal item ratio is 0.13. On the groundwater level observation, the well point ratio of medium-term trend anomalies is 0.20. On the hot spring observation, the spring point ratio of short-term anomalies is 0.15. On the hot spring water-gas radon observation, the station and point ratio of short-term anomalies is 0.08, the abnormal item ratio is 0.04. On the well water quality component observation, the station and point ratio of short-term anomalies is 0.02, the abnormal item ratio is 0.04. On the apparent resistivity, the station and items ratios of medium-term anomalies are 0.17 and 0.06 respectively. There have various observation means in the same station or site, we calculate the station or site number. There are 172 various stations or sites in Sichuan area before the Wenchuan $M_s8.0$ earthquake, and abnormal stations or sites ratio is 0.14, the site ratios of appearing medium-term and short-term anomalies are 0.08 and 0.03 respectively. The total of various observation items are 335, the ratio of abnormal items is 0.09. The ratios of medium-term and short-term abnormal items are 0.06 and 0.01 respectively. It is clear that there are not obvious anomalies recorded by station or observation items before the earthquake. As for other observation means and data of observation items which are not involved in this paper, after researching, there have no abnormal items.

Key words: Wenchuan $M_s8.0$ earthquake; observed anomaly; earthquake precursor; spatial distribution of abnormal point

引言

2008年5月12日汶川 $M_s8.0$ 地震后四川地区前兆观测资料、异常分析和总结受到了地震工作者的广泛关注。为此,四川省地震局预报研究所总结给出《汶川 8.0 级地震预报科学总结与反思》研究报告。之后,程万正等对前兆观测资料进一步分析,相继给出了 4 篇研究报告^{①-④};一些研究人员给出了汶川 $M_s8.0$ 地震异常分析和认识(晏锐,2009;郝晓光,胡小刚,2008;陆明勇等,2010),对是否存在异常有不同看法。在这些观测资料分析结果和研究报告的基础上,本文全面细致地分析了全部观测资料,包括流动与定点形变,地下流体、水化学组分,地电、地磁等全部观测数据,以及近年来新上的观测手段的系统分析结果。本文给出了汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区观测异常,以及观测到的变化幅度相对较大的异常项,并经历年观测资料与异常的细致比对,给出了包括异常项占比等统计分析结果。

① 程万正,苏琴,孙毅. 2009. 对汶川 8.0 级地震前四川地区地形变类观测异常的分析. 打印稿.

② 程万正,官致君,李军,杨虹. 2009. 对汶川 8.0 级地震前四川地区地下水、水化学组分观测异常的分析. 打印稿.

③ 程万正,任越霞,吴小平. 2009. 对汶川 8.0 级地震前四川地区地电地磁观测异常的分析. 打印稿.

④ 程万正,吴小平,官致君,朱航,路茜. 2008. 汶川 8.0 级地震前上报的宏观异常现象及分析结果. 打印稿.

1 震前各类观测异常观测结果

根据中国震例分析和编辑原则,对给出观测资料的分析异常应给出可信程度.本文所列异常项的经验性异常判定的主要依据是,对该测点长期观测资料的质量的了解,观测符合规范,长期观测资料能够确定正常动态值的变化背景.其异常判定经过全部资料和全过程的分析,排除已知的干扰和年变化等因素,认为该突出变化与地震时间相关才列入异常项.符合、基本符合、不符合上述要求者分别划分为 I 类、II 类、III 类.这里异常项的给出仅根据观测资料的处理分析结果与地震的相关性认识,未深入至观测异常与地震机理问题.下面给出总的结果,再分述各监测手段资料的结果.

表 1 给出汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区各类前兆观测手段出现异常项及比例数.需要说明的是,对同一观测台或场地有不同观测手段,则分别计算台或场地数.四川地区在汶川 $M_s8.0$ 地震前共有各类观测台或场地 172 个,存在观测异常台或场地比为 0.14,其中出现

表 1 2008 年汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区各类前兆观测手段出现异常统计表

Table 1 Statistics of abnormal precursor items in Sichuan region before 2008 Wenchuan $M_s8.0$ earthquake

观测项目	观测手段	观测台或场地(个数)	异常台比例						观测项(项数)	异常测项比例					
			N		中期		短期			N		中期		短期	
			N	P	n	P_a	n	P_b		N	P	n	P_a	n	P_b
流动形变	短水准	18	5	0.28	5	0.28	30	6	0.20	6	0.10				
	短基线	8	1	0.13	1	0.13	16	2	0.13	2	0.13				
定点形变	短水准	2					4								
	短基线	1					2								
	断层蠕变	6					12								
	地倾斜	12	2	0.17	2	0.17	40	5	0.13	5	0.13				
	大地重力	4					4								
	洞体应变	3					6								
	钻孔应变	6					21								
地下流体	井水位	20	4	0.20	4	0.20	20	4	0.20	4	0.20				
	泉水温	26	4	0.15			4	0.15				4	0.15		
	泉水氡、气氡	12	1	0.08	1	0.08	23	1	0.04	1	0.04				
	井泉水质组分	5	1	0.20			1	0.20				1	0.04		
	泉气体组分	4					13								
	断层 CO ₂	13					13								
地电	大地视电阻率	6	1	0.17	1	0.17	18	1	0.06	1	0.06				
	大地自然电位	6					18								
	长极距地电场	6					18								
	短极距地电场	6					18								
地磁	强度 F	2					2								
	垂直分量 Z	5					5								
	磁偏角 D	1					1								
合计		172	24	0.14	14	0.08	5	0.03	335	29	0.09	19	0.06	5	0.01

注: N 为出现异常台或异常测项数, n 为中期异常或短期异常台或异常测项数, P 为所占比例.

中期异常 P_a 和短期异常 P_b 场地比分别是 0.08 和 0.03; 各类观测项共有 335, 异常测项比为 0.09, 其中出现中期异常 P_a 和短期异常 P_b 测项的占比分别是 0.06 和 0.01. 可见, 震前仪器微观监测台或测项多数没有观测到突出异常现象.

1.1 震前地形变观测异常

四川地区跨断层流动垂直、水平形变观测场地, 在汶川 $M_s8.0$ 地震前出现中长期趋势异常的有 6 个, 即蒲江、格菱、安顺场、道孚、冕宁和老乾宁. 其中 1 个为长期趋势异常, 5 个为中期趋势异常. 蒲江流动短水准观测场地位于四川省蒲江县境内, 跨蒲江—新津断层. 该场地 2—1 边(图 1)短水准观测结果分析, 该断层有明显的张性活动趋势. 该曲线出现 2 次大的变化, 即 1995 年后出现较大幅度变化, 估计与地块运动有关. 这期间发生的地震有 1993—1995 年汶川 3 次 5 级地震, 1996 年 2 月云南丽江 7.0 级地震. 该曲线 1996—2005 年曲线恢复走势, 表明该观测断层段张性活动恢复; 2002—2003 年曲线拉平, 运动停滞, 断层活动消失; 2006—2008 年曲线持续波动下降(图 1), 至汶川 $M_s8.0$ 地震时曲线累计下降 1.86 mm, 断层压性活动有所增强. 震后观测曲线呈现 1996—2005 年的走势. 震前该场地仅此测边有观测资料. 按照中国震例编辑原则, 对给出分析异常的可信程度分类, 对可靠、较可靠、仅作参考的异常项划分为 I 类、II 类和 III 类. 下面均按此原则给出. 分析认为, 蒲江场地短水准观测资料在汶川 $M_s8.0$ 地震前出现中期趋势异常明显, 该场地与汶川 $M_s8.0$ 地震的震中距为 80 km, 为 I 类异常.

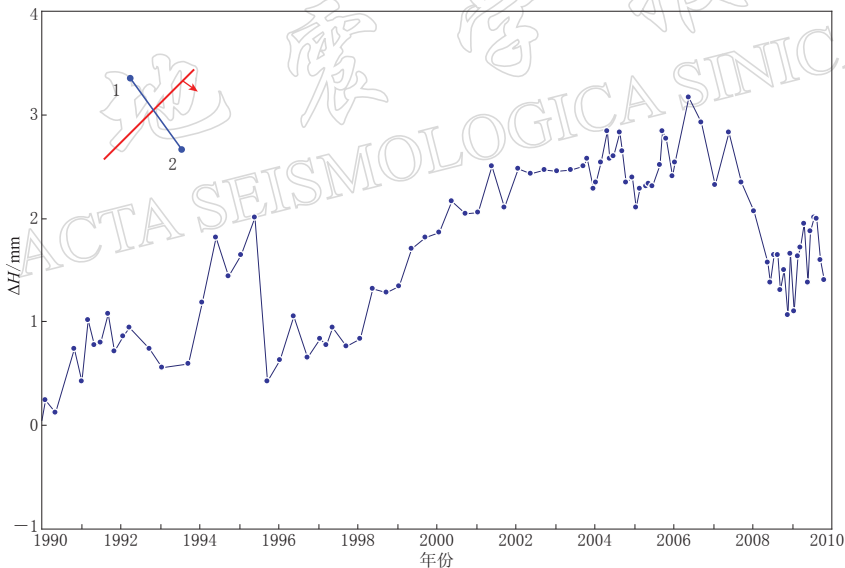


图 1 蒲江场地短水准 2—1 边观测曲线

Fig. 1 Observed variation of the 2—1 side of short leveling in Pujiang

对四川地区包括地形变在内的各类资料的分析结果见表 2. 表中序号 1—9 项是地形变类异常项. 对表中 II 类、III 类观测异常项, 图略.

汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区地形变类观测异常台或场地分布见图 2. 从 20 世纪 80 年代开始四川地区流动和定点形变观测场地沿 3 条主要地震断裂带, 即北西向鲜水河断裂带, 北东向龙门山断裂带, 以及南北向安宁河断裂带建设, 持续开展观测.

四川地区地形变观测分为复测周期较长的流动形变与定点连续观测形变两种. 流动形变分为流动短水准和短基线, 观测场地沿鲜水河断裂带和安宁河断裂带观测. 龙门山断裂带仅有流动短水准观测. 流动短水准观测有 18 个场地, 出现中长期趋势异常的场地有 5 个,

表 2 2008 年汶川 $M_s 8.0$ 地震前四川地区各类观测异常Table 2 Observed anomalies in Sichuan region before 2008 Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake

序号	观测手段	台站或观测区	分析方法	异常判据	震前异常起止时间	震后变化	最大幅度	震中距 /km	异常类别
1	短水准	蒲江 2—1	测线垂直形变图	压性异常, 由张性趋势转为压性	2006-04—2008-12	0.50 mm	1.86 mm	80	A _I
2	短水准	格菱 AB, AC	测线垂直形变图	压性异常, 变化速率超过正常同期值	2006-10—2008-04	无	0.60 mm	279	A _{II}
3	短水准	安顺场 BA	BA 垂直形变图	压性异常, 由长期张性趋势转为压性	2006-01—2008-07	无	0.24 mm	198	A _{II}
4	短水准	道孚 NS	测线垂直形变图	断层活动停滞, 正常的断层活动消失	2006-01—2009-12	无	0.65 mm	218	A _{III}
5	短水准	冕宁 3—1	测线垂直形变图	张性异常, 断层活动转为张性	1996-10—2007-12	无	3.92 mm	262	L _{III}
6	短基线	老乾宁 3—1, 3—5	测线水平形变图	由趋势右旋活动转为左旋活动	2005-01—2009-12	无	0.55 mm	189	A _{III}
7	石英摆倾斜仪	姑咱台 NS, EW	日均值	SN 向趋势下降	2006-07—2009-12	无	0.6"	145	A _{III}
8	伸缩仪	姑咱台 NS, EW	日均值	趋势转折、下降速率加大	2007-06—2009-12	持续	1.3×10^{-6}	145	A _{III}
9	石英摆倾斜仪	雅安台 NS	日均值曲线	趋势转折	2007-05—2009-12	持续	1.4"	125	A _{III}
10	水位	蒲江井	日均值	趋势下降	2006-12—2007-07	9 月下旬突升	-66.3 cm	84	A _I
11	水位	小金井	日均值	反年变上升	2007-04—2008-05	正常	417 mm	98	A _{II}
12	水位	德阳川	日均值	趋势下降转平	2007-01—2008-12	趋势下降	-12 mm	106	A _{II}
13	水位	泸州井	日均值	趋势上升、破年变	2006-09—2008-05	恢复、下降	+55 cm	270	A _{II}
14	水温	巴塘 305 泉	日均值	水温上升	2008-04-29—05-03	高值	3 °C	428	B _{II}
15	水温	理塘毛垭泉	日均值	水温 3 天上升 6 °C	2008-03-26—03-27	正常	6 °C	324	B _{III}
16	水温	乡城泉	日均值	水温偏低	2008-04-24—04-29	下降	-2.5 °C	422	C _{III}
17	水温	康定龙头沟泉	日均值	水温上升	2008-03-02—03-08	正常	1.5 °C	168	B _{II}
18	水质组分	康定龙头沟泉	相对百分含量	突跳异常 (3 项)	2008-01-07	正常	7.2%	168	B _{III}
19	水氡	理县泉	日测值	下降	2007-11-09—11-18	正常	18%	52	A _{II}
20	视电阻率	成都台 NE 向	日均值	趋势下降	2005-05—2008-01	正常	累计 4.5 $\Omega \cdot m$	36	A _I

注: 根据中国震例的编写说明, 观测异常分为长期趋势背景异常(L), 出现在地震前 5 年以上; 中期趋势背景异常(A), 出现在震前 0.5—5 年; 短期趋势异常(B), 震前 1—6 个月; 临震异常(C), 震前 1 个月内。

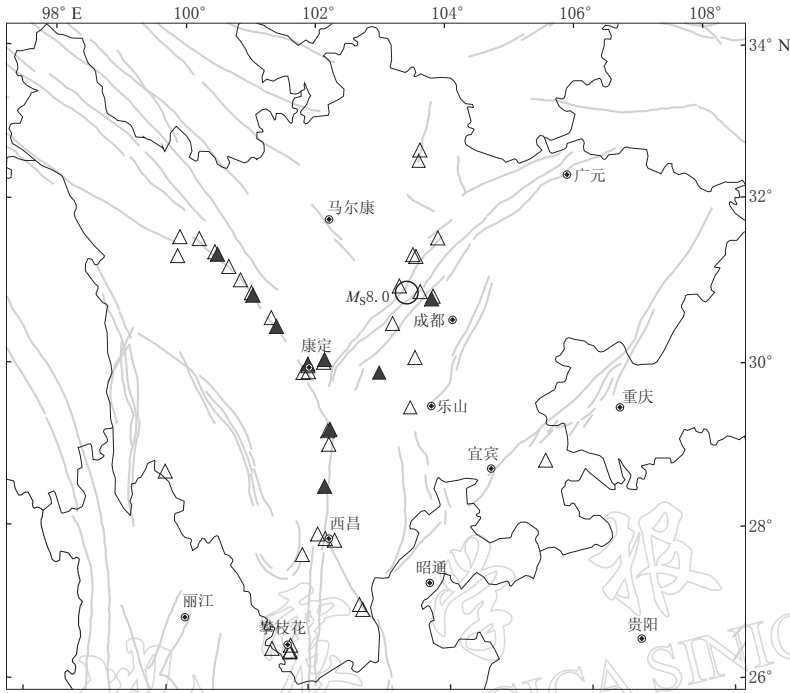


图 2 2008 年汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区地形变类观测异常台或场地分布
 三角形为观测场地，其中实心三角形为出现观测异常的场地

Fig. 2 The stations or sites with observed anomalies in crustal deformation in Sichuan region before 2008 Wenchuan $M_s8.0$ earthquake. Triangles denote observation sites and solid ones mean those having anomaly observations

其异常台站比为 0.28；流动短水准观测项有 30 个，出现中长期趋势异常的观测项有 6 个，其异常测项比为 0.20，见表 2。流动短基线观测有 8 个场地，出现中长期趋势异常的场地有 1 个，其异常台站比为 0.13；流动短基线观测项有 16 个，出现中长期趋势异常的观测项有 2 个，其异常测项比为 0.13。

耿达流动短水准场地跨龙门山断裂带后山断裂的次级断裂。经核实该场地 AB 测线的 A 点为土中点，且位于修建的两幢楼房之间，受环境因素影响产生下沉。根据震前和震后的工作结果，均认为该异常出现时段与当地修建房屋时段非常吻合，不是地震前兆异常^①。

汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区地倾斜类 12 个场地，出现观测异常台 2 个，即姑咱和雅安台石英摆倾斜和姑咱伸缩仪观测，表现为中期异常，均定为 A_{III} 类观测异常(图略)。其异常台站比为 0.17；观测项 40 个，出现中期趋势异常的观测项 5 个，其异常测项比为 0.13。

分析其它地形变类观测资料，包括散布连续应变、蠕变、重力等观测项，分析研究结果均未出现观测异常。关于成都台重力记录在汶川 $M_s8.0$ 地震前未经滤波的重力观测曲线出现变粗的现象。一些专家认为是地震前兆异常。例如郝晓光和胡小刚(2008)宽带地震仪资料证实汶川大地震“震前重力扰动”。另外，全国数十个台站宽带地震仪资料中均发现了汶川大地震的“震前扰动”和 LaCoste ET 重力仪观测到的“震前扰动”。“震前扰动”是在震前两天开始

① 苏琴，段明. 2007. 耿达短水准场地异常核实报告(3). 四川省测绘工程院.

并逐渐增大,一直持续到汶川大地震发生,信号周期也是 4—8 s. 根据朱航等的对比研究结果^①,曲线变粗实际上是高频成分的波动幅度变大. 台风活动是造成成都台重力曲线变粗的主要原因. 重力记录曲线变粗的情况起始于台风登陆中国之前 1—2 天;当台风消亡之时,该台重力曲线变粗的情况随之终止,曲线恢复正常;最大风力出现的时间均在重力曲线变粗的时段内. 因此,成都台重力记录曲线变粗是由于台风活动导致的. 傅容珊等(2009)分析了我国宽带地震仪记录和论文“汶川大地震宽带地震仪短临异常及成因初探”提供的数据,认为所谓 5·12 汶川 8.0 级强烈地震前后记录的“短临异常”并非地震前兆,其最可能是在此期间西太平洋的 02 号强台风“威马逊”激发的脉动异常. 对此,有争议的重力扰动类的“短临异常”现象,是否是“地震前兆”,今后还可能会提出新的看法. 为此,本文没有将其列入异常项.

1.2 震前地下流体类观测异常

1.2.1 震前地下水位观测异常

四川地区地下水位观测井点有 20 个,汶川 $M_s8.0$ 地震前,有 4 口井观测值出现异常,即蒲江、德阳、泸州和小金井. 前 3 口井位于四川盆地,小金井位于川北地区. 蒲江井水位观测中期异常相对显著.

蒲江井位于蒲江—新津断裂带附近,为超深井水位观测. 由图 3 可见,2006 年 12 月—2007 年 7 月,该井水位出现大幅度下降. 2007 年 7 月的水位是 1997 年以来的最低值,相对 2006 年 7 月水位下降了 663 mm,破年变化走势的中期异常显著. 2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s8.0$ 地震前 3 个月,即 2008 年 2 月以来无突跳异常. 分析认为,2006 年 12 月—2007 年 7 月蒲江井水位观测曲线显示趋势下降、年变消失,其异常为 I 类中期趋势异常.

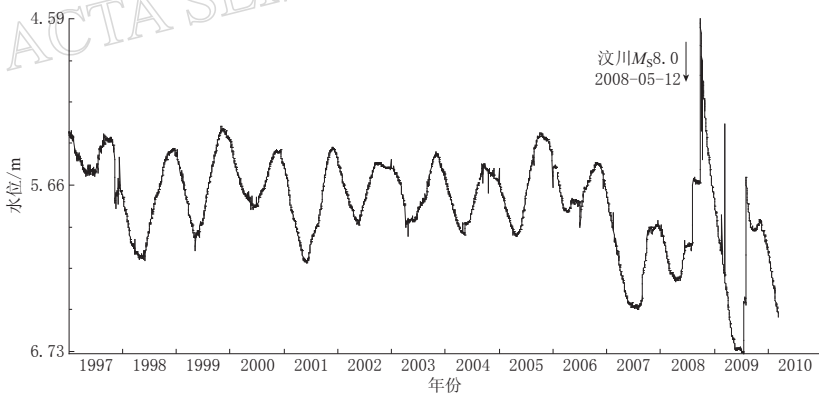


图 3 蒲江井水位日均值曲线

Fig. 3 Daily average value of water level in Pujiang well

四川地区 20 口井地下水位观测分析结果表明,出现中期趋势异常的场地数有 4 个,其异常台站比为 0.20;观测项也是 20 个,其异常测项比为 0.20(表 2).

陆明勇等(2010)文中认为,江油井水位测值 2004—2006 年是长趋势异常. 而该井 2001—2002 年、2006—2009 年水位也不正常. 关键在于难以确定其正常动态值的变化背景. 另外,会理 18 号井水位资料显示 2007 年 7 月陡降,晏锐(2009)分析认为是异常,实际是观测井附近开矿引起. 对上述两起有争议的异常,本文没有列入.

① 朱航,邓建平,阳光. 2009. 关于汶川 8.0 级地震前两项异常真伪的探讨. 四川省地震局.

1.2.2 震前温泉水温观测异常

四川地区温泉水温观测点有 26 个, 出现异常的有 4 个, 即巴塘、理塘、乡城和康定泉, 均分布在四川西部地区. 其中巴塘(305K 道班)和康定龙头沟温泉水温观测异常相对显著.

1) 巴塘 305 温泉位于巴塘断裂带附近, 属人工每天温度计观测, 读数误差小于 0.5°C . 该温泉观测点在 2001 年曾进行改造, 其观测曲线见图 4. 2002—2009 年该泉点水温观测值与 1997—2001 年观测值相比, 温度整体上升, 尤其 2005—2009 年人工观测值维持在 70°C . 2008 年 4 月 29 日—5 月 3 日, 该温泉水温从 28 日 70.0°C 升到 73°C , 水温上升了 3°C . 该温泉水来源于地下深部, 水温值没有显著年变或周期性特点. 观测值在 2008 年 5 月汶川 $M_s 8.0$ 地震前变化明显, 并且之前观测数据未出现此类高值异常, 定为 II 类短临异常.

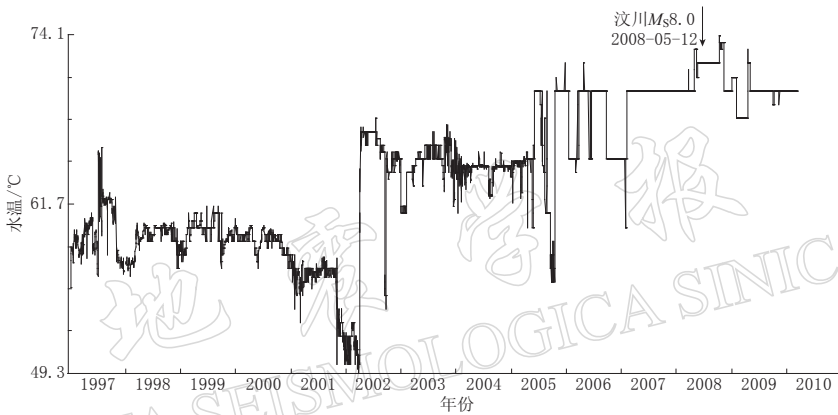


图 4 巴塘(305K)温泉水温曲线

Fig. 4 Temperature variation observed in Batang spring (305K site)

2) 康定龙头沟温泉位于川西鲜水河断裂带南段, 人工每天温度计观测, 读数误差小于 0.5°C . 1997—2009 年该温泉水温观测值稳定(图 5), 无显著年变化起伏, 长期在 72°C 上下 1°C 附近波动. 2008 年 3 月 2 日相对 1 日上升了 1.5°C , 从 72°C 上升到 73.5°C , 3 月 5 日的水温为 75°C , 3 月 3—8 日水温维持在 73.5°C — 75.0°C 之间波动. 考虑 2008 年 3 月 5 日该温泉水温观测值达到高值水平, 而 2001 年雅江 6.0 级地震前没有变化, 将该温泉水温偏高的现象定

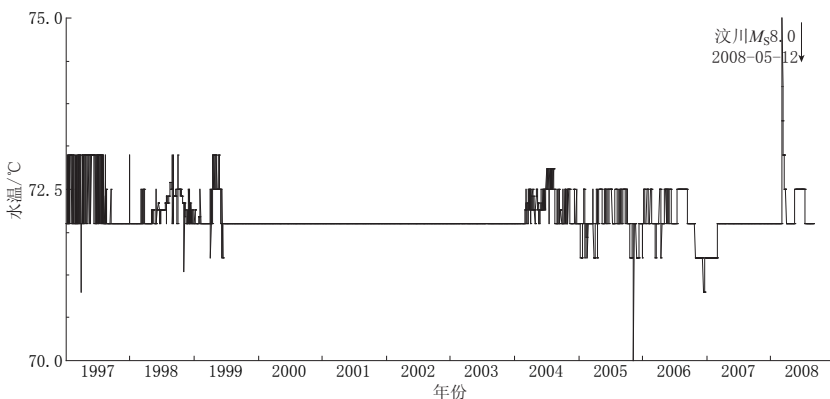


图 5 康定龙头沟川-57 温泉水温分析曲线

Fig. 5 Temperature variation of Chuan-57 spring in Longtougou, Kangding

为 II 类短期异常.

需要说明的是,巴塘 305K 公路道班温泉和康定龙头沟温泉水温常年均在 60 至 70 多度.包括川西高寒地区有 30 年观测资料的几个温泉点的资料均显示无显著年变化或周期性变化,表明水温受地表或气温因素影响小,主要反映地下深部水涌出的温度.一般每天人工观测 3 次取均值,观测曲线有时多日平稳,有时出现脉冲形态.

四川地区温泉水温观测点出现短临异常的场地数有 4 个,其异常台站比为 0.15;观测项有 26 个,其异常测项比为 0.15(表 1).其中 2 个水温异常为 III 类异常(图略).

1.2.3 震前温泉水化组分观测异常

四川地区泉点水氡和气氡观测点有 12 个,共 23 个测项.其中,水氡 10 个测项,“九五”期间增加气氡观测 3 项,“十五”期间增加气氡、溶解氡观测 10 项.四川地区水质观测点 5 个,气体观测点 4 个,气汞、溶解汞观测点 5 个.汶川 $M_s8.0$ 地震前出现短期异常 1 个,即理县水氡;气体观测点 4 个,出现异常 1 个,即康定龙头沟泉.

理县水氡观测点位于川北地块内,距汶川 $M_s8.0$ 地震 53 km.由图 6 可见,理县水氡观测资料 2007 年 11 月 9 日后呈现趋势下降,至 11 月 18 日累计下降已超过 18%.之后理县水氡持续在低值波动,2008 年 1 月后,氡值缓慢回升,4 月中旬左右基本恢复到下降前的测值水平.理县水氡因资料较短,未纳入“十五”攻关统计之列,汶川地震前无 5 级以上震例参考.考虑 2004—2006 年之间其数据变化幅度和异常形态,判定为 II 类短期异常.

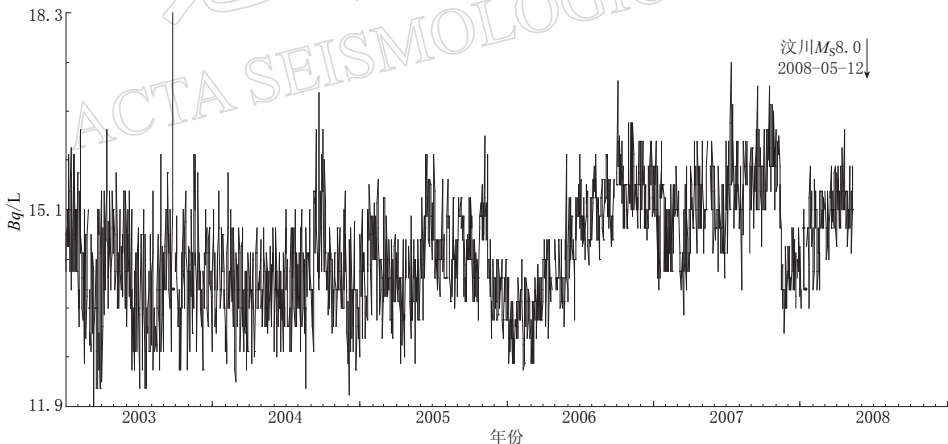


图 6 理县水氡分析曲线

Fig. 6 Water radon variation at Lixian observation site

四川地区温泉水氡、气氡观测点 12 个,出现短临异常的场地数 1 个,其异常台站比为 0.08;观测项有 23 个,其异常测项比为 0.04.四川地区井泉水质组分观测点 5 个,出现短期异常的场地数 1 个,其异常台站比为 0.20;观测项是 25 个,其异常测项比为 0.04.

甘孜水氡观测在 2007 年和 2008 年初均出现大幅度氡值下降的异常现象.这均是由观测井点外水沟水倒灌引起,此氡值的大幅度下降属观测环境改变出现的干扰,不是异常.

四川地区地下水位、温泉水温、水氡、气氡及水化学组分、断层气 CO_2 等观测点主要散布在川西地区和龙门山构造带两侧地区.其中,四川地区地下水位、温泉水温观测长达 30 年,水氡观测长达 20 年,水化学组分、断层气 CO_2 等观测近 10 年.本文对这些观测资料全

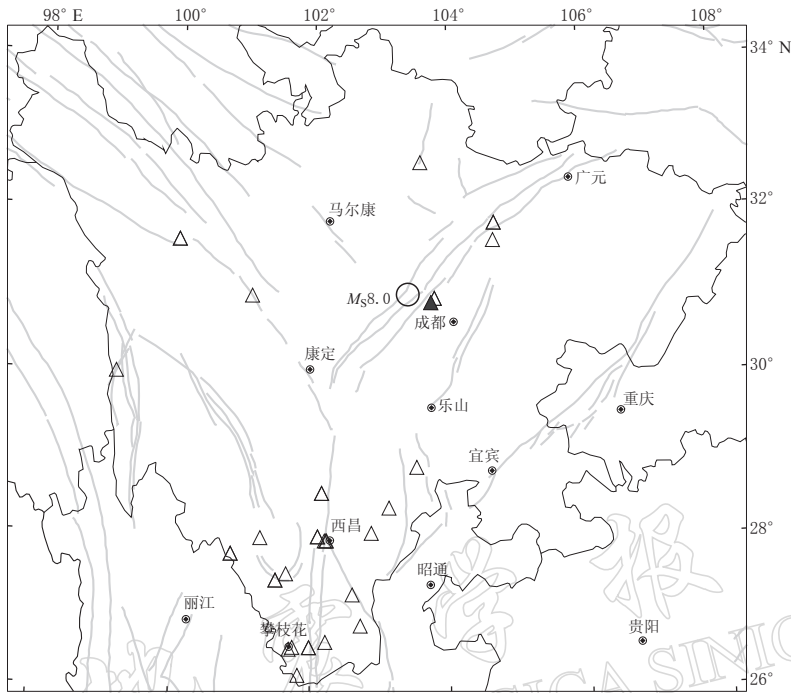


图 8 2008 年汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区地电、地磁类观测异常点分布
三角形为观测点, 其中实心三角形为出现观测异常的测点

Fig. 8 Stations with anomaly observations of earth resistivity and geomagnetism before 2008 Wenchuan $M_s8.0$ earthquake

Triangles denote observation sites and solid ones represent those with anomaly observations

落实报告分析认为, 2005—2008 年成都台 NE 测向观测曲线显示趋势下降、年变消失, 该异常为 I 类中期趋势异常。

成都台 $N48.5^\circ W$ 测向的观测曲线见图 9b, 分析认为观测资料呈现一定年变化形态, 但是 1998—2009 年测值平稳, 不存在异常显示。该台 $N57.5^\circ E$ 测向观测视电阻率值的年变化幅度为 $3 \Omega \cdot m$ 左右, 而 $N48.5^\circ W$ 测向年变化幅度仅 $1 \Omega \cdot m$ 左右, 观测值曲线起伏前者大于后者。观测值包括多种环境因素, $N57.5^\circ E$ 测向观测与地下构造走向展布大体一致, 而 $N48.5^\circ W$ 测向与其大体垂向展布, 这是除干扰因素外的可能解释之一。根据以往震例异常总结, 不同测向观测不能同时反应异常现象是较多的, 这不仅是地电类手段地表监测与分析前兆异常中的问题。这里仅从观测数据的变化作一说明。

冕宁地电台 NW 向观测值 2000 年以前平稳, 2001 年开始观测值下降, 至 2003 年年中观测值幅度维持在低值水平。2003 年年中再次大幅度下降, 至 2004 年底维持在更低值水平。2005 年以后至 2009 年观测情况发生很大改变。鉴于该台近年观测环境受到严重的影响, 异常和干扰常叠加在一起, 难于区分。

另外, 钱复业等(2008)分析 2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s8.0$ 地震前四川省红格台 PS100 仪器观测站震前半月至临震前(2008 年 4 月 30 日—5 月 11 日 23 时)记录资料, 认为得到了汶川 $M_s8.0$ 地震的 HRT 波短临地震震兆异常。本文对 2004—2009 年四川地区 PS100 地电场的 5 个台的 18 个测项的全部观测资料进行了分析, 认为这些测项的观测值不连续,

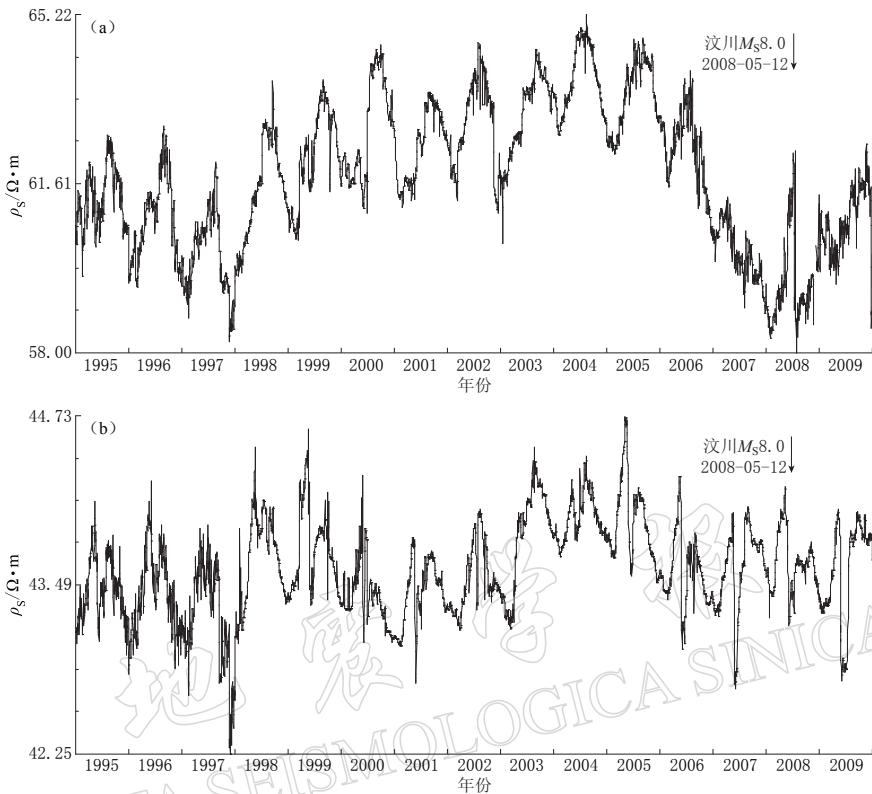


图9 成都台视电阻率日均值曲线. (a) $N57.5^{\circ}E$ 测向; (b) $N48.5^{\circ}W$ 测向

Fig. 9 Daily average value of apparent resistivity at Chengdu station

(a) Lateral $N57.5^{\circ}E$; (b) lateral $N48.5^{\circ}W$

严重断数, 走势不规则, 偶然正、负脉冲频繁. 作者认为这样的观测资料, 缺乏正常动态值的变化背景, 即使采用数学处理方法分析异常也难以检测, 认为其可信度低. 对这起地电疑似异常本文没有列入.

四川地区 6 个地磁台垂直分量观测在 2008 年 5 月 9 日出现整点值的日变形态变小的现象. 鉴于此类现象以前出现次数多, 评分值低故本文没有列入.

2 结果与分析

汶川 $M_s 8.0$ 地震前四川地区流动短水准观测 18 个场地, 存在中长期趋势异常的场地比为 0.28; 观测项 30 个, 异常测项比为 0.20.

流动短基线观测 8 个场地, 存在中长期趋势异常的场地比为 0.13; 观测项 16 个, 异常测项比为 0.13.

地倾斜类 12 个场地, 存在形变异常的台站比为 0.17; 观测项 40 个, 异常测项比为 0.13.

地下水水位观测 20 口井, 存在水位异常的井点比为 0.20; 观测项 20 个, 异常测项比为 0.20. 温泉水温观测点 26 个, 存在水温异常的泉点比为 0.15. 温泉水氢、气氦观测点 12 个, 存在短临异常的台点比为 0.08; 观测项 23 个, 其异常测项比为 0.04. 井泉水水质组分观测点 5 个, 存在短期异常的台点比为 0.20; 观测项 25 个, 其异常测项比为 0.04.

视电阻率观测 6 个台, 存在中期异常的台站比 0.17; 观测项 18 个, 其异常测项比为 0.06.

其它没有提及的观测手段或观测项的资料, 经研究没有分析检测出异常项. 至于疑似或有争议的观测异常的详细说明, 限于篇幅请参阅相关报告^{①-④}.

对同一观测台或场地有不同观测手段, 分别计算台或场地数, 则四川地区共有各类观测台或场地 172 个, 存在观测异常台或场地比为 0.14, 出现中期、短临观测异常场地比分别是 0.08 和 0.03. 四川地区共有各类观测项 335 个, 异常测项比为 0.09, 出现中期、短临观测异常测项比分别是 0.06 和 0.01. 可见, 震前仪器微观测台或测项多数没有观测到突出异常现象.

图 10 给出了四川地区 2005—2008 年出现的各类中期异常和短期异常的空间分布. 川西地区泉水水温出现短期形态异常, 其测点位置见图 10 中实心三角形所示.

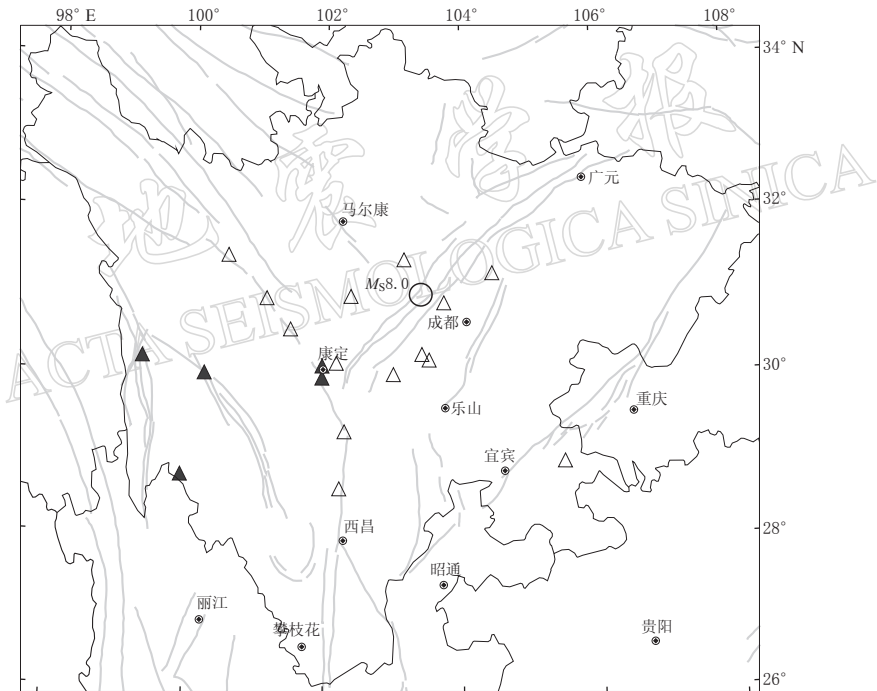


图 10 2008 年汶川 $M_s8.0$ 地震前观测异常点的分布

空心三角形为出现中期异常的测点, 实心三角形为出现短期异常的测点

Fig. 10 Distribution of observed anomalies before 2008 Wenchuan $M_s8.0$ earthquake.

Blank triangles denote the sites with medium-term anomaly observations and solid ones mark those with short-term anomaly observations

泉水水温短期异常测点分布在四川西部地区的理塘、巴塘、乡城和康定. 这些泉水的水温观测, 采用每天人工观测、读数、记录. 龙门山断裂带两侧地下水位、视电阻率、短水

① 程万正, 苏琴, 孙毅. 2009. 对汶川 8.0 级地震前四川地区地形变类观测异常的分析. 打印稿.

② 程万正, 官致君, 李军, 杨虹. 2009. 对汶川 8.0 级地震前四川地区地下水、水化学组份观测异常的分析. 打印稿.

③ 程万正, 任越霞, 吴小平. 2009. 对汶川 8.0 级地震前四川地区地电地磁观测异常的分析. 打印稿.

④ 程万正, 吴小平, 官致君, 朱航, 路茜. 2008. 汶川 8.0 级地震前上报的宏观异常现象及分析结果. 打印稿.

准出现几年上升或下降中期趋势异常现象. 蒲江场地短水准观测出现中期异常, 位置在蒲江—新津断裂南西端, 走向与北东向龙门山断裂带平行, 震前复测时间 2—4 个月井水位和地电观测存在中长期趋势形态异常的观测点位于川中盆地和川北地区, 即北东向龙门山断裂带两侧地区. 出现异常点是成都台视电阻率, 德阳、小金、蒲江水位, 理县水氡. 另外, 位于四川盆地南缘的泸州水位也出现趋势异常. 这些观测异常多呈现为观测值年变化曲线的形态异常.

3 讨论与结论

汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区观测的中期和短期观测异常的所占比例较低. 震前仪器微观监测台或测项大多数没有监测到短临异常, 更没有观测到准同步观测异常的突变现象. 汶川逆冲型单侧破裂地震周围前兆观测台分布的不合理等因素造成或不满足 Jackson (2004) 曾给出的地震前兆所必须满足的 4 个必要条件中的第二个条件, 即距离地震越近, 前兆应该越明显. 亦即汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区观测项目并没有出现异常百分比随震级升高而增大, 随距离增大而减小. 汶川 $M_s8.0$ 地震前四川地区各类观测异常点不是主要分布在龙门山断裂带及附近地区. 不可忽视的原因, 与龙门山断裂带观测手段或测项少有关.

从震前观测资料的分析结果看, 仅凭极少量的趋势异常, 难以对汶川 $M_s8.0$ 地震作出技术预测, 尤其是短临预测. 可以参看或旁证的资料是震前历次会商会提供的档案. 四川省地震局预报研究所承担四川地区各类监测手段日常报送数据的处理, 日常分析, 信息收集, 异常核实, 应用震情预测探索, 震情会商, 分析预测报告的上报, 以及邻省区和中国地震台网中心的联系与情况报告. 日常主要的震情跟踪分析形式, 通过每周、月度震情会商意见, 给出与历年同期变化幅度差异较大的观测台或测项, 列入会商报告. 所列入的这些测项, 包含异常测项, 也包含变化幅度或速率较大而不一定是异常的测项. 特别是所列的这些测项, 若变化持续, 可能在数周或数月一直列入. 基于周、月度震情会商会档案提出的异常项, 统计给出 2002 年 1 月—2008 年 4 月周震情会商给出的异常观测项总数, 并给出分析曲线图 11.

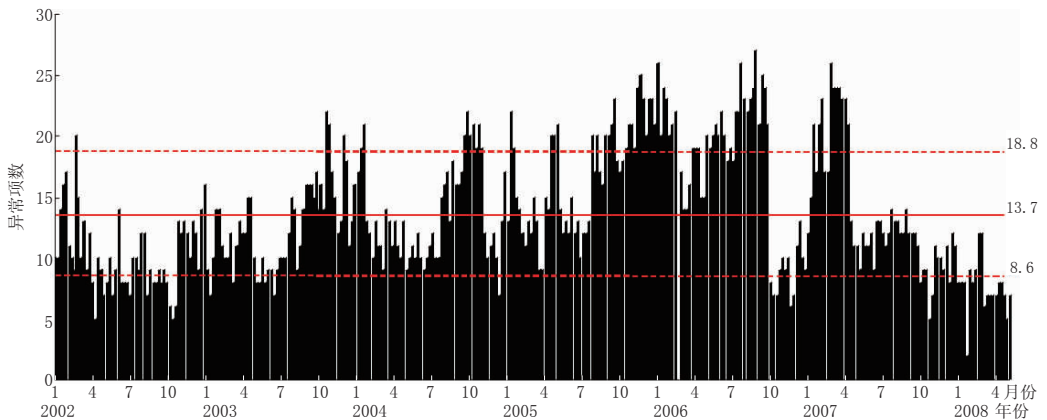


图 11 2002 年 1 月 1 日—2008 年 5 月 11 日周会商提出的异常项数随时间分布图

Fig. 11 Variation with time of the abnormal observation items proposed in weekly earthquake situation consultation from Jan. 1, 2002 to May 11, 2008

四川地区每周震情会商给出的各类异常观测项数的平均值为 13.7 项, 标准偏差为 5.1 项. 在 2004—2007 年的部分连续月份持续出现较高的异常测项数, 此期间四川地区没有发生强地震. 而在 2007 年 4 月后半月至 2008 年 4 月会商中提出的观测异常项却明显偏少, 特别是 2008 年 1—4 月异常测项数更低, 低于平均值一半左右. 在四川地区各类异常测项持续数月很少的情况下发生汶川 $M_s8.0$ 地震. 究其原因, 有几种分析与认识:

1) 近震源区闭锁, 所以四川地区观测前兆异常少.

2) 近年模拟前兆观测停测部分由数字观测代替. 此期间实际四川地区较多保留模拟和数字前兆的同测.

3) 多数观测点周围由于开发扩建原因近年观测环境越来越差, 观测不到地下信息等.

究竟哪种因素影响更甚, 问题涉及面宽, 需要进一步工作给出. 本文仅此抛砖引玉. 实际是根据观测数据的分析, 检测出的观测异常与未来大震的关系不明显. 而地震预测, 尤其经验性短临地震预测, 提取可重复的前兆异常特征量或特征现象, 寻求规律性, 这是基本的或本质的技术方法和途径. 因此, 这给孕震物理研究, 前兆物理机理提出了比以往更为复杂的研究课题.

参 考 文 献

- 郝晓光, 胡小刚. 2008. 宽带地震仪资料证实汶川大地震“震前重力扰动”[J]. 地球物理学进展, **23**(4): 1332–1335.
- 郝晓光, 胡小刚, 许厚泽, 钟敏, 方剑, 郝兴华, 刘明, 刘根友, 薛怀平. 2008. 汶川大地震前的重力扰动[J]. 大地测量与地球动力学, **28**(3): 129–131.
- 傅容珊, 万柯松, 崇加军, 薛霆威. 2009. 地震前兆还是其他因素?: 与“汶川大地震宽带地震仪短临异常及成因初探”作者商榷[J]. 地球物理学报, **52**(2): 584–589.
- 陆明勇, 房宗维, 赵丽葵. 2010. 汶川 8.0 级地震前地下流体长趋势变化特征讨论[J]. 地震, **30**(1): 61–71.
- 钱复业, 赵璧如, 钱卫, 赵健, 何世根, 李世愚, 孙振凯, 张东宁, 张洪魁, 卢军, 李绍坤, 郭纯生, 夏坤寿, 徐建明, 鞠航, 黎明, 和泰名, 唐宇雄, 张平, 赵玉林. 2008. 汶川 $M_s8.0$ 地震的短临地电波动(潮汐力谐振和共振波 2HRT 波)前兆[J]. 国际地震动态, (7): 1–9.
- 晏锐. 2009. 地震前兆观测资料分析[M]//中国地震局监测预报司编. 汶川 8.0 级地震科学研究报告. 北京: 地震出版社: 175–184.
- Jackson D D. 2004. Earthquake prediction and forecasting[C]//IUGG. *Geophysical Monograph*, 150: 335–348.