

甘孜地震台水氡观测资料的干扰识别和短临异常分析^{*}

刘仕锦, 李学川, 吴 伟

(四川省地震局康定地震中心站, 四川康定 626001)

摘要: 系统整理了甘孜地震台自有水氡观测以来的数据, 分析了观测数据中的各种干扰因素, 并研究了在该台 200 km 范围内的 5 级以上地震、300 km 内的 6 级以上地震前水氡的短临异常特征。结果表明, 1974 年以来甘孜水氡多次出现中短期异常变化, 异常具有破年变、相关关系改变等特点, 水氡异常的产生与水温、流量因素有关, 更与岩石应力一应变、地壳构造活动等有关。短临异常出现的时间大多集中在 1 个月内, 异常形态以突升、突降为主, 异常变化的幅度在 10% 以上, 异常幅度的大小与地震震级的大小并无明显的相关性。

关键词: 水氡观测; 干扰识别; 短临异常; 异常特征; 四川康定

中图分类号: P315.72⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)01-0014-06

0 前言

在地表所进行的各种地震前兆观测, 其观测数据的变化, 实际上是多种因素共同作用于地壳和观测系统的综合反映 (中国地震科技监测预报司, 1995)。国内外地震地下流体动态观测始于上世纪 60 年代。1966 年邢台地震后, 我国第一个水化观测点在邢台地区新集市建点 (王云基等, 1999), 目前已经发展到拥有近千口观测井, 开展以水位、水温 (地热)、氡、汞观测为主体的规模宏大的地震地下流体动态观测网。40 年来积累了大量的资料, 取得了一批强震和中强震震例; 观测到一系列地震地下流体前兆异常信息 (中国地震科技监测预报司, 2002)。地下流体化学组份因其灵敏的映震效能受到地震工作者的重视 (车用太等, 1998; 何崇君等, 2005), 实践表明, 利用地下流体方法进行地震预报探索有着良好的发展前景。

在国外, 主要是独联体国家、日本和美国在这一学科领域中开展了较多的研究工作。前苏联广泛开展了利用水文地球化学方法预报地震的工作, 其观测项目有: 气体组分、化学组分、同位素比值以及水位、流量、水温等。日本侧重于地下水中氡浓度、断层气体的测量和氡的观测。美

国主要对地下水和土壤中的氡进行测定, 还对一系列井泉的流量、水质成分、温度、电导率、PH 值及气体组分进行观测。

甘孜地震台水氡观测始于 1974 年 3 月, 至今已积累了 30 余年的观测资料, 期间四川甘孜州及邻区发生了多次 5.0 以上地震, 地震前观测资料出现了不同程度的短临异常, 为地震预报提供了丰富的信息。笔者借助四川中短期地震预报研究成果 (程万正, 1994), 全面分析观测资料, 排除观测资料的各种干扰因素, 提取地下流体地震前兆信息 (王长岭等, 1982), 结合典型震例, 总结其短临异常特征随时间变化的规律, 进一步发挥地下流体观测在地震短临预报中的作用。

1 泉点及观测环境概述

甘孜地震台水氡观测泉点位于甘孜县县城西面河坝村对面 5 m 处, 距县城 1 km, 距台站 3.5 km, 海拔为 3 360 m。构造上位于甘孜河谷盆地内北西向隐伏断裂——甘孜断裂上盘, 鲜水河断裂带西北端, “歹”字型构造的头部向中部的转折部, 雅砻江左岸高河漫滩上 (四川省地震局, 1989)。泉点井口是边长为 1 m 的正方形, 水深 2 m, 该泉点出水方式为自流上升型, 属基岩裂隙承压上升泉; 基岩成份主要是石英砂板岩, 水质主

^{*} 收稿日期: 2007-03-24

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划子专题 (2006BAC01B02-03-04) 资助。

要成份为 HCO_3^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等, 水层时代为上三迭纪。

1974 年 3 月 15 日至 1975 年 11 月 30 日, 观测人员在骑兵营洗澡堂池子内取水分析, 1975 年 10 ~ 11 月重新在现址选点、挖井, 并修建取水平房一座, 12 月 1 日开始取水进行水氡分析。1974 ~ 1983 年使用的仪器为 FD-105 氡钍射气仪, 1984 年至今, 使用的仪器为 FD-105 K 氡钍射气仪。

2 水氡观测中的干扰因素分析

水氡的干扰变化, 是指与地壳构造和地震孕育发生过程无关的各种水氡动态变化, 包括有规律与无规律的、正常动态及不正常动态变化, 产生这种变化的影响因素称为干扰因素 (中国地震局监测预报司, 2000)。

水氡的干扰因素较多, 干扰的机理也较为复杂, 常见的有降水、抽水、地表水混入等。多年的地震预报实践证明, 对地下水化学参量动态特征研究, 是有效提取地震前兆信息的基础工作和关键。水化参量观测值随时间变化的曲线, 实际上是各种影响因素综合作用的结果。因此, 在异常提取过程中, 要研究不同地质环境下水化学参量所受干扰因素的特征。前人通过大量的系统研究, 认为水化学的动态变化是多元性的, 其所受影响与气象、天文等因素的变化有关 (中国地震科技监测预报司, 2002)。本文根据甘孜地震台水氡观测的辅助项目和观测工作日志等, 收集整理并分析了该台水氡观测数据的各种干扰因素。

2.1 观测系统干扰

仪器故障引起缺数、标定仪器致 K 值发生变化、更换仪器元件和标准源都可能引起日均值明显整体上升或下降、呈阶跃的干扰。如 1980 年后测值大幅度下降, 经对原始资料的查阅发现是 1980 年后使用的仪器格值发生了较大的变化, 由原来的 ($K=0.23$ 埃曼·升/格/分) 变为 ($K=0.0949$ 埃曼·升/格/分), 两次格值之间的差值变化, 反映了仪器本身随着使用时间的增长其性能发生的变化 (图 1)。在 1991 年前的观测资料中仪器故障引起的缺数干扰比较多, 对部分震例的分析产生了一定的影响, 但这种干扰随着科学技术的发展会越来越来少。

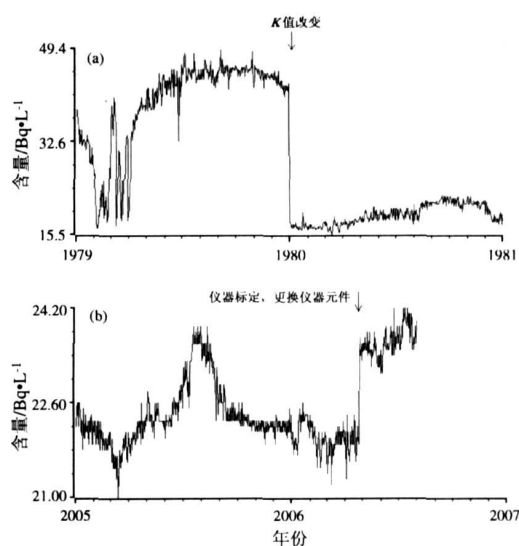


图 1 观测系统干扰

(a) K 值改变; (b) 仪器标定, 更换元件

2.2 环境干扰

一类是泉水采样点位置的改变: 此类干扰表现为从某一时间开始, 测值整体幅度有明显的变化, 呈阶跃状 (图 2 a)。1975 年 10 ~ 11 月重新选点、挖井, 12 月 1 日开始在现址进行水氡取水观测。

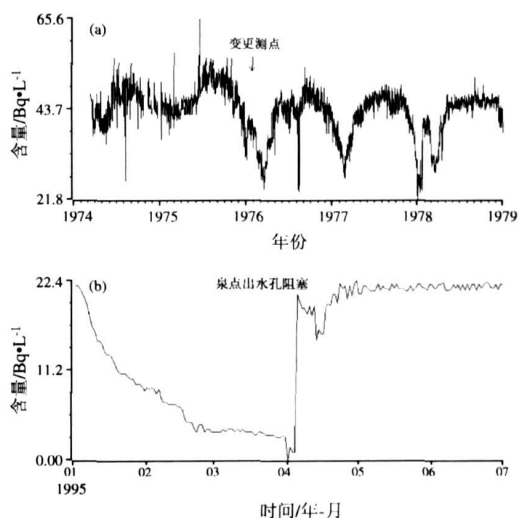


图 2 环境变化干扰

(a) 变更测点干扰; (b) 泉点阻塞干扰

另外随着社会的发展, 温泉的资源开发利用程度越来越高, 不可避免地影响到台站的观测环境, 附近的居民在观测点周围修建了洗澡塘, 大量抽取地下水, 改变了泉点原来的混合比, 使环境受到干扰, 在 1995 年 1 月中旬至 4 月 3 日出现

了泉点出水孔阻塞的情况，致使观测值大幅度下降（图 2 b）。

2.3 年变干扰

水氡的年变动态特征：观测资料有正常年变，属夏天高冬天低的“弓”型形态，每年的 1~3 月为最低值，8 月前后达到最高值，然后又开始下降，年底再回到低值，属年变周期型中的“夏高冬低”型。这种准年周期的变化，并非地壳的应力—应变状态的改变所引起的干扰，与地震无关，习惯称为年变化干扰（李菊珍等，2004）。有关专家研究认

为，其主要影响因素是气温（或地温）、气压、水温、湿度、流量及降水等。水氡现有的辅助观测项目有：水温、水位、气温、气压、降雨、湿度、湿度和鼓泡水温。我们将这些测项与水氡测值的关系进行了统计分析计算（表 1），得出甘孜台水氡主要受气温、流量的影响（图 3）。甘孜台水氡气温影响期主要为每年 4~8 月，该时期气温逐渐上升，水氡值也随之上升，具有明显的相关关系。据研究，气温引起水氡值变化的机理是水气对流作用（张炜等，1988）。

表 1 2003~2006 年甘孜水氡（Bq/L）、流量（L/s）月均值统计

项 目		月 测 值											
年份	测项	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2003	水氡	20.8	19.7	20.7	22.6	22.7	23.2	23.5	23.2	23.2	23.2	23.0	22.4
	流量	0.45	0.38	0.35	0.37	0.39	0.41	0.49	0.52	0.52	0.52	0.51	0.48
2004	水氡	21.2	20.1	21.8	22.2	22.0	21.9	22.3	22.6	22.5	22.5	22.5	22.5
	流量	0.46	0.45	0.46	0.49	0.49	0.53	0.56	0.55	0.56	0.55	0.54	0.53
2005	水氡	22.2	22.0	21.7	22.9	22.4	22.5	23.4	23.2	22.5	22.3	22.2	22.2
	流量	0.53	0.52	0.51	0.52	0.54	0.56	0.58	0.61	0.61	0.61	0.60	0.61
2006	水氡	22.2	21.9	21.9	22.3	23.5	23.6	23.9	23.6	23.3	22.6	22.8	21.0
	流量	0.61	0.60	0.59	0.56	0.56	0.60	0.61	0.57	0.55	0.50	0.51	0.48

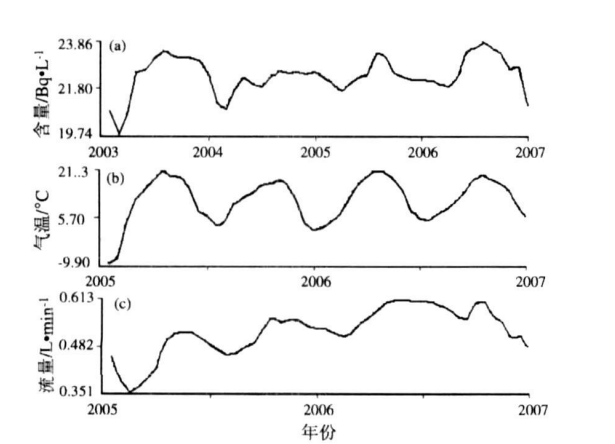


图 3 甘孜水氡（a）、气温（b）和流量（c）月均值变化曲线图

从多年动态变化看，甘孜水氡变化与流量的相关性较好，即水氡值随流量的增加而变大。以上分析可知，甘孜水氡多次出现中短期异常变化，异常具有破年变、相关关系改变等特点，水氡异常与水温、流量等因素有关，更与岩石应力——应变、地壳构造活动等有关。

有这类干扰因素的观测资料可通过波谱分析（周期谱、最优周期谱）、滤波分析（13 点月均值同步平滑）、相关距平分析、线性回归及逐步回归

分析等方法进行干扰的定量排除。

3 水氡短临异常分析

通过对甘孜地震台水氡 30 余年资料的整理分析可以看出，1974~1980 年和 1996~2003 年这两个时段的资料有较好的年变规律；其它时段资料的年变规律不明显（图 4）。尤其是 1982~1990 年的观测数据起伏波动大，有的年份观测曲线变平；有的年份曲线起伏波动较大；有的年份的高值、低值时段颠倒，打破了以前较好的年变规律。在此期间恰是四川地区中强地震活跃时段，在甘孜地震台 300 km 范围内发生了多次 5 级以上中强地震。

（1）甘孜地震台水氡的短临异常特征主要表现为：日均值突升、突降；短趋势的上升或下降。2 个月左右的时间内多次出现大幅度波动；相对稳定的变化背景上出现单点突跳异常；异常变化的幅度在 10% 以上，异常幅度的大小与地震的大小并无明显的相关性（图 5）。

比较典型的震例有：① 1976 年 8 月 16 日和 23 日的松潘—平武 7.2 级地震前，甘孜地震台水氡测值从 1975 年 5 月 1 日正常的 41 Bq/L 下降到

表 2 甘孜水氡的短临异常与台站附近 5 级以上地震的对应情况统计表

序号	地 震			异常开始时间 年 月 日	异常 幅度	异常结束时间 年 月 日	短临异常特征	距发震时间 / d	震中距 / km
	时 间 年 月 日	地点	震级 / M_s						
1	1974-06-15	甘孜东南	5.0	1974-04-24	19%	异常中发震	大幅度波动	51	0
2	1975-01-12	康定—九龙间	6.2	1974-10-10	30%	1975-01-09	大幅度波动	93	314
3	1976-08-16	松潘—平武间	7.2	1976-08-04	40%	1976-08-15	3 次突跳 (负异常)	8	482
	1976-08-23	松潘—平武间	7.2						477
4	1979-03-29	青海玉树南	6.2	1979-02-26	45%	异常中发震	低值段出现 3 个 “鼓包”异常	32	323
5	1981-01-24	道孚	6.9	1981-01-16	26%	1981-01-24	短期下降	8	146
6	1982-06-16	甘孜北西	6.0						31
7	1988-06-02	道孚	5.0						198
8	1989-01-19	理塘北	5.2	1988-12-09	20%	1989-01-01	短期大幅度波动	22	159
9	1989-04-16	巴塘 6.7 级震群		1989-02-17	21%	异常中发震	两次大幅度下降	60	198
10	1989-09-22	小金北	6.6	1989-08-31	12%	异常中发震	低值异常	22	265
11	1990-04-09	巴塘	5.0						201
12	1993-05-24	德格北	5.0	1993-02-09	10%	1993-02-13	短期下降异常	4	135
13	1996-12-31	白玉—新龙	5.5						109
14	2001-02-23	雅江	6.0	2001-01-18	11%	在异常的下降 过程发震	低值段的短期高值	5	269
15	2002-08-08	新龙	5.3						78

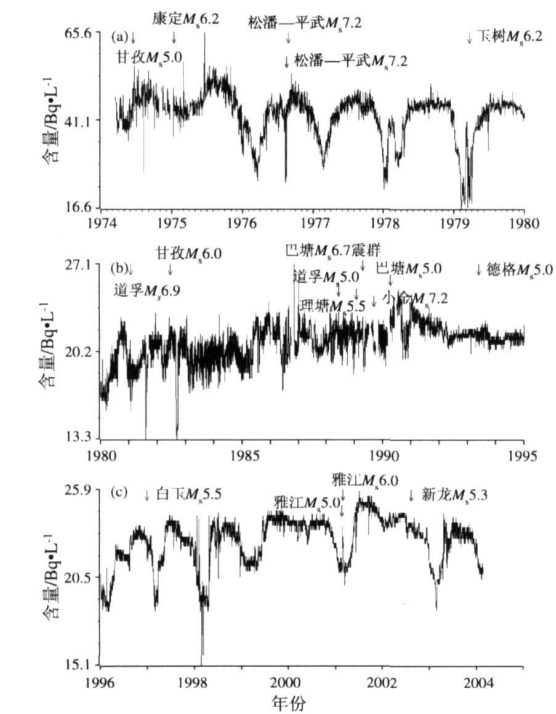


图 4 甘孜水氡日均值曲线图

(a) 1974~1979 (b) 1980~1994 (c) 1996~2003

33.6 Bq/L，这是短期异常。在 8 月 8 日、12 日、14 日出现了 3 次临震负突跳异常，幅度达 40%；
② 1979 年 3 月 29 日青海玉树南 6.2 级地震前，从 1979 年 2 月 26 日开始在低值时间出现了 2 月 26 日至 3 月 10 日，3 月 11~19 日、3 月 22 日至发震时

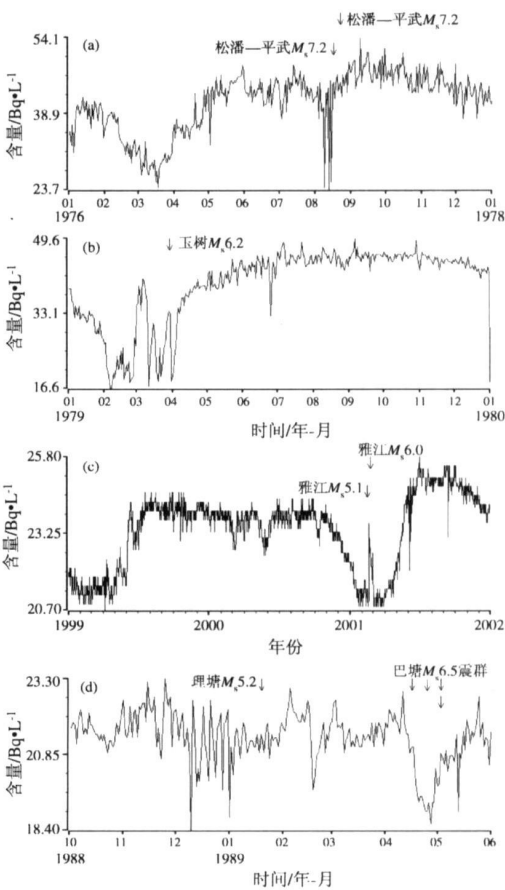


图 5 甘孜水氡各种典型短临异常图

(a) 松潘—平武 7.2 级双震；(b) 青海玉树 6.2 级地震；
(c) 雅江 6.0 级地震；(d) 巴塘 6.5 级地震

仍在高值异常中的3个“鼓包”式的高值异常,由20 Bq/L左右上升到最高值40.7 Bq/L,测值增高了近1倍,在其值上升的过程中,单点最高上升幅度达45%;③2001年2月23日雅江6.0级地震前,甘孜台水氡从1999年6月开始出现高值异常,高值持续至2000年11月中旬,时间长达18个月,2000年1~3月应为低值的年变规律也被打破,这是典型的中期异常。11月中旬测值开始缓慢下降,恢复正常的年变,异常结束约2个月后雅江发生5.0级地震,此后的2001年2月18日,水氡出现了低值时段的突跳异常,相对变幅达11.2%,达到下降前的高值异常水平,之后测值开始下降,在下降过程中雅江发生6.0级地震。甘孜地震台根据此异常,及时提交了地震预报意见。

(2)异常时间大多在震前2个月内出现。异常出现最短的只有4天,最长的时间为93天;异常持续的时间较短,大多集中在1个月内。

(3)6.0级以上地震前出现短临异常的比例比5.0级以上地震高。在统计的震例中,8次6.0级以上的地震有7次在震前出现明显的短临异常;而7次5.0级以上的地震中,只有3次出现明显的短临异常。

(4)在研究的震例中,没有发现异常与未来地震地点有较好的相关性,也就是说,就甘孜水氡单测项而言,对未来地震的地点预测并没有太大的指示作用。

4 结论与讨论

甘孜地震台水氡观测资料的主要干扰因素为观测系统、环境和年变干扰,年变干扰中又主要是气温、流量干扰。

甘孜水氡异常具有破年变、相关关系改变等特点,水氡测值的变化与水温、流量有关,更与岩石应力一应变、地壳构造活动等有关。

在中强地震前,在震中距为500 km范围内水氡多次出现明显的短临异常变化,其短临异常特征表现为:短临异常出现的时间较短,大多集中在1个月内,异常形态以突升、突降为主,异常变化的幅度在10%以上;异常幅度的大小与地震的大小并无明显的相关性。

甘孜水氡1982~1990年的观测数据起伏、波动大,长时间打破年变规律;此期间正好是四川的一个中强地震活跃时段,在甘孜300 km的范围发生了多次5级以上中强地震。在中短期异常判定

中,观测值破年变被认为是水化学参量中短期异常的重要特征。因此甘孜水氡出现的这种长时间打破年变规律的异常情况,是否因该地区处于高应力水平所致,两者之间是否存在必然的联系,这是一个值得探讨的问题。

当然,用甘孜台水氡异常来预报地震也存在一些问题,仍存在有异常无地震,有地震无异常等现象。另外在资料的处理过程中发现,有些地震虽然离甘孜台较远,如1979年3月29日青海玉树南6.2级地震和1991年2月18日小金5.4级地震(震中距分别是323 km和265 km),在地震前有较好的短临异常,这可能是由于地下流体的远场前兆(何崇君等,2006;车用太等,2002);而1982年6月16日甘孜6.0级和1988年6月2日道孚5.0级地震距甘孜台较近(震中距分别是31 km和198 km)却没有明显的短期异常出现。这些问题应当认真总结和深入研究。

参考文献:

- 车用太, 鱼金子. 1997. 地下流体的源兆、场兆、远兆及其在地震预报中意义 [J]. 地震, 17 (3): 283—289.
- 车用太, 谷元珠, 金鱼儿, 等. 2002. 昆仑山口西8.1级地震前地下流体的远场异常及其意义 [J]. 地震, 22 (44): 106—113.
- 程万正. 1994. 四川中短期地震预报研究 [M]. 成都: 成都地图出版社.
- 何崇君, 王新, 赵小茂, 等. 2005. 临潼台氡气异常与地震的对应关系研究 [J]. 华北地震学报, 23 (3): 37—40.
- 何崇君, 王新, 赵小茂, 等. 2006. 华清4泉水溶气体百分含量合计的强震远场前兆特征 [J]. 地震研究, 29 (3): 234—238.
- 李菊珍, 兰丛欣, 等. 2004. 北京数字化地电阻率干扰识别与异常分析 [J]. 防灾技术高等专科学校学报, 6 (4): 9—13.
- 刘仕锦, 李学川, 李志鹏, 等. 2006. 康定温泉逸出气短期预测研究 [J]. 四川地震, (2): 43—47.
- 四川省地震局. 1979. 一九七六年松潘地震 [M]. 北京: 地震出版社.
- 四川省地震局. 1989. 鲜水河活动断裂带 [M]. 成都: 四川科学技术出版社.
- 王长岭, 唐丰年, 杨玉荣. 1982. 地下水含氡量观测与地震预报探索 [M]. 北京: 国家地震局监测处.
- 王云基, 李正中. 1999. 地震地下流体观测技术研究与应用 [M]. 成都: 成都地图出版社.
- 中国地震局科技监测司. 1995. 地震地下水手册 [M]. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2000. 地震前兆异常落实工作指南 [M]. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2002. 强地震中短期预报方法及其效能研究 [M]. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2002. 地下流体数字观测技术 [M]. 北京: 地震出版社.

Interfering Recognizing and Short imminent Anomaly Analysis with the Observatory Data of Radon in Groundwater in Ganzi Seismic Station

LU Shi-jin LI Xue-chuan WU Wei

(Earthquake Administration of Sichuan Province, Kangding 626001, Sichuan, China)

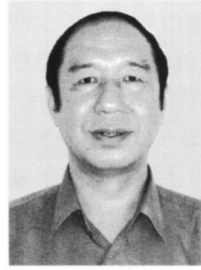
Abstract

The observatory data of the radon in groundwater in Ganzi Seismic Station since the station was built up is systematically processed and the several interfering factors are analyzed. We have studied the characteristics of the connections among the radon changes in groundwater and the earthquakes above $M_{5.0}$ occurred within the distance of 200 km, and $M_{6.0}$ within 300 km around the seismic station. Our results show that since 1974 when the observatory data were recorded, the radon contents in groundwater presented anomaly changes of mid-short term for several times. These anomalies have features of breaking the annual changes and changing the correlation coefficient. The anomaly changes of radon content in groundwater are related to the temperature, the flow of groundwater, and the changes of rock stress-strain and the crust activity. The time of most short-imminent anomalies is concentrated within 1 month, the anomaly forms show sudden increase and decrease, and the amplitude is above 10%. There is no obvious correlation between the anomaly amplitude and the magnitude.

Key words: Radon observation in Ganzi; interfering recognition; short-imminent anomaly; anomaly feature; Sichuan sKangding



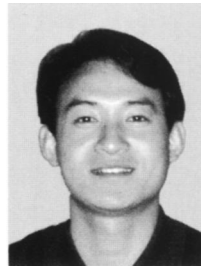
杨国华 中国地震局第一监测中心研究员。1982年毕业于武汉测绘学院大地测量系。现主要从事地震预测、地壳动力学及GPS应用技术研究。



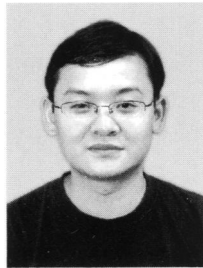
张宏志 中国地震局地球物理所副研究员。1978年毕业于北京大学地球物理系。主要从事数字地震观测资料处理、参数测定及相关研究工作。



杨清湖 台湾省屏东县消防局防灾企划课课长。1989年毕业于警官学校消防系,2006年9月起在屏东科技大学土木工程系攻读硕士学位。主要从事消防与灾害防救企划工作。



王志勇 山东科技大学讲师。2001年毕业于山东科技大学测量工程专业,获学士学位;2007年毕业于山东科技大学摄影测量与遥感专业,获博士学位。主要从事微波遥感、InSAR及D-InSAR数据处理、摄影测量与遥感等方面的研究工作。



傅再扬 福建省地震局信息网络与应急指挥中心工程师。1996年毕业于防灾技术高等专科学校地球物理专业,2003年取得福州大学计算机科学与技术专业本科学历。主要从事地震应急指挥中心技术系统管理与维护工作。



蔡辉腾 福建省地震局,工程师。2006年毕业于重庆大学土木工程学院防灾减灾工程与防护工程专业,获硕士学位。主要从事地震工程和结构抗震等方面的研究工作。



刘仕锦 四川省地震局康定地震中心站工程师。1991年毕业于北京地震技术专科学校(现为防灾技术学院)。主要从事地震分析预报研究和科技档案管理工作。



徐云马 中国地震局第二监测中心工程师。1998年毕业于长安大学测量工程系。现主要从事重力和地形变研究工作。