

无线地下流体数据监测系统水位观测数据 与模拟水位观测数据一致性研究^{*}

耿 杰, 陈安方, 潘双进

(山东省地震局, 济南 250014)

摘要: 以山东地区投测的中科光大无线地下流体数据监测系统产出的水位数据为基础, 从系统现场测试结果、观测资料变化特征及与模拟观测系统产出数据的一致性研究结果等方面, 对该系统进行了分析与评价。认为该观测系统的产出数据能够较客观地反映地下水位的相对变化特征; 在观测系统的数据采集模块、GPRS通讯模块和中心系统程序各部分正常工作的情况下, 系统产出的数字化观测资料可用于地震分析预报研究。

关键词: 地下流体; 一致性; 监测系统; 分析评价

中图分类号: P315.72⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)03-0238-06

0 引言

国内外学者以大量的观测事实论证了水位动态不仅可以直接反映含水层受力状态变化引起的孔隙压力的变化, 还可反映含水层地下水径流的速度与流量等渗流场的变化, 因此人们一直将其作为地震前兆监测的重要手段(汪成民等, 1988; 王吉易等, 1997)。我国的地震地下水动态观测已经历了 30 多年的时间, 随着地下流体数字化观测技术(车用太等, 2002)的不断发展, 地震地下水动态观测技术也逐渐由模拟观测向数字化观测发展。

“中科光大无线地下流体数据监测系统”最初是山东省菏泽市地震局在实施中国地震局资助项目“菏泽数字地震深井水温水位观测系统研究”过程中与北京中科光大自动化技术有限公司合作开发研制的, 项目的初衷是结合菏泽实际, 开发研制适合菏泽地震监测使用的地下流体数字化观测仪器。该项目 2005 年 4 月通过山东省地震局组织的专家组验收。

为了进一步强化山东省各地、市震情短临跟踪能力, 部分地、市地震局先后与中科光大公司签订了购买或试用协议, 并陆续投入观测。随着山东省地震短临跟踪强化项目的不断推进, 现已投测并正常运行的观测点达 25 个。

这些观测点的投测无疑大大增强了地方观测点的监测能力。为了进一步分析研究这些观测数据的正确性和有效性, 使观测资料能够更好地发挥作用, 我们对已投测的仪器产出的观测资料进行了分析, 并将其与以往的模拟观测资料进行了一致性研究, 以期对山东乃至全国的地下流体地方观测点建设有一定的借鉴意义。

1 无线地下流体数据监测系统简介

中科光大无线地下流体数据监测系统包括如图 1 所示的 5 个部分: ① 水下水温、水位数据采集仪表(水温采集探头和水位采集探头); ② 水上

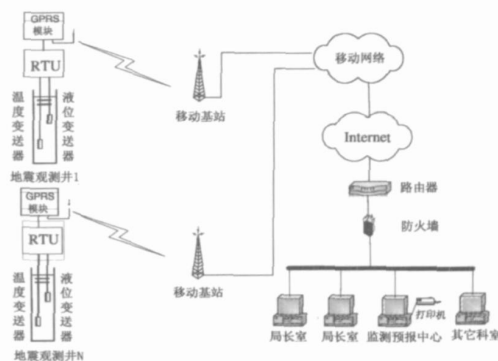


图 1 中科光大无线地下流体监测系统结构图

^{*} 收稿日期: 2007-09-20.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC01B02-03-02)和山东省地震局合同制项目共同资助

水温、水位采集装置 (数据采集模块); ③ 采集数据传输装置 (GPRS数据传输模块); ④ 数据传输中介过程 (移动通讯网络和 Internet); ⑤ 控制中心设备远程控制程序和控制中心数据管理程序。

2 无线地下流体数据监测系统现场测试结果

2005 年 4 月 11 日和 2005 年 11 月 16 日, 我们分别对菏泽市成武县张庄观测井和淄博市南定观测井进行了系统功能的现场测试。

2.1 测试依据

(1) 菏泽深井水温、水位数字化观测系统设计目标;

(2) 菏泽深井水温、水位数字化观测系统建设技术方案。

2.2 测试环境

(1) 井点观测系统: 成武县张庄观测井井房, 淄博市南定观测井井房;

(2) 菏泽市地震局中心处理系统, 淄博市地震局台网中心处理系统。

2.3 测试结果

(1) 深井观测系统的数据采集、传输与汇集
菏泽市地震局深井水温、水位数字化观测系统由 1 个数据汇集、处理、控制中心和 3 个观测点组成; 淄博市地震局数字化水温水位观测系统由 1 个数据汇集、处理、控制中心和 1 个观测点组成。两系统均采用 GPRS 无线传输方式实现数据的汇集处理。测试组在听取仪器研制者介绍、实地功能测试后, 检查了系统的运行流程。地震观测井数据计算机远程自动采集系统负责台站仪器的实时监控、收数命令的发送、数据的转换、处理和远程控制等功能。台站仪器端负责 GPRS 通信链路的建立, 通信连接建立后, 采用 TCP/IP 协议, 由台网的系统软件实现通信命令的发送、数据采样率的控制和接收数据包等功能。

(2) 地震观测井数据计算机远程自动采集系统软件的功能

测试组在台网中心对软件进行了功能测试。该软件具有数据实时监视、数据转换、数据浏览、数据入库和与现有地震前兆数据处理软件 (EIS2000) 的连接功能。

(3) 观测精度和质量检查测试

利用系统可以即时采集水温、水位测值变化的特点, 测试组在菏泽成武观测井、淄博南定观测井分别利用水温、水位观测探头在水中不同深度位置的测值变化, 检查分析了系统产出数据的变化情况, 结果显示菏泽市地震局、淄博市地震局中心处理系统实时采集的水位埋深值与实际操作变化值基本相吻合; 水温实时采集值与实际操作过程的分析变化规律相吻合。

3 无线地下流体数据监测系统水位与模拟水位一致性研究

在对模拟水位和中科光大无线地下流体数据监测系统水位观测资料 (以下简称中科光大数字化水位) 进行直观对比、定性描述的基础上, 假定运行多年的模拟记录可靠, 我们对数字化记录及模拟记录资料进行了变化趋势、方差及均值一致性三方面的统计检验 (李庆海等, 1982)。如完全通过则表明两者统计性状完全一致, 资料可进行无缝连接使用; 若趋势及方差一致但均值不一致, 则表明数字化资料可用于预报, 异常形态、异常幅度等均可继承使用, 但本底值必须重新摸索; 若趋势一致但均值及方差不一致, 则表明数字化资料可用于预报, 但变化本底值、异常形态、异常幅度等均需重新摸索; 若三者皆不一致, 则只能根据仪器研制的理论原理并等待实际观测的长期积累, 再作检验与评价研究。

我们选择同时刻模拟水位与数字化水位的观测值和日均值分别进行对比计算, 以检验两者同时刻及较长时段观测资料的一致性。

3.1 数字化水位与模拟水位的一致性检验

(1) 变化趋势一致性检验 —— 检验

令 x_i 及 y_i ($i=1, 2, \dots, n$, n 为统计天数) 分别表示每日相同时刻的模拟及数字化记录的观测值 (或日均值), 则相关系数

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2] \cdot [n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2]}} \quad (1)$$

定性地看, r 值越趋近于 1, 则二者的变化趋势越一致。取定显著性水平 $\alpha=0.01$ 或 $\alpha=0.05$ 或

$\alpha=0.1$ 自由度 $f=n-2$ 进而可确定相应于一定显著性水平 α 及自由度 的最小相关系数 r_0 若 $r > r_0$ 则检验通过, 否则不通过。

(2) 样本方差的一致性检验——F 检验

x_i, y_i 为模拟及数字化记录, 令其长度分别为 n_x, n_y 统计量 F 定义为

$$F=\frac{S_x^2}{S_y^2} \sim F(n_x-1, n_y-1).$$

(2)

式中 S_x^2, S_y^2 分别为两组数据的样本方差。建立统计量 F 时已认定分子大于等于分母, 即始终有 $F \geq 1$ 。取定显著性水平 $\alpha=0.01$ 或 $\alpha=0.05$ 或 $\alpha=0.1$ 可得相应于显著水平为 α 、第一自由度为 (n_x-1) 、第二自由度为 (n_y-1) 所对应的 $F_\alpha(n_x-1, n_y-1)$ 。若 $F > F_\alpha(n_x-1, n_y-1)$ 则否定一致性假设; 若 $F < F_\alpha(n_x-1, n_y-1)$ 则肯定一致性假设, 认为二者方差一致。

(3) 均值的一致性检验——t 检验

若前述方差一致性检验得以通过则可看作等精度观测, 否则属不等精度观测, 统计量 定义为

$$t=\frac{(\bar{x}-\bar{y})}{\sqrt{\frac{S_x^2}{n_x}+\frac{S_y^2}{n_y}}}.$$

(3)

取定显著性水平 $\alpha=0.01$ 或 $\alpha=0.05$ 或 $\alpha=0.1$ 自由度 $f=n_x+n_y-2$ 得 分布临界值 $t_\alpha(n_x+n_y-2)$ 使得 $P\{|t| \geq t_\alpha(n_x+n_y-2)\}=\alpha$ 。进而可进行检验: 若 $|t| > t_\alpha(n_x+n_y-2)$, 则检验不能通过; 若 $|t| < t_\alpha(n_x+n_y-2)$ 则检验通过, 二者均值一致。

3.2 一致性检验结果

取显著性水平 $\alpha=0.05$ 对同时有模拟水位观测和中科光大数字化水位观测的济南郭店井、菏泽成武井和枣庄鲁 15 井同时段的产出观测数据进行统计检验 (表 1、2、3)。结果显示, 3 口观测井所测模拟水位与中科光大数字化水位的变化趋势均通过检验, 表明模拟水位与数字化水位具有较一致的变化趋势, 但上述三井 t 检验均未通过, F 检验仅成武井通过, 显示中科光大数字化水位产出数据与模拟观测基值和方差变化不一致, 表明中科光大数字化水位资料可用于预报, 但其变化本底值、异常形态、异常幅度等均需重新摸索。

表 1 济南郭店井模拟水位与中科光大数字化水位统计检验结果

检验方法	模拟水位 09 时值与数字化水位 09 时值				模拟水位日均值与数字化水位日均值			
	2005 年 10 月		2005 年 11 月		2005 年 10 月		2005 年 11 月	
	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值
t 检验	0.707	0.367	0.395	0.367	0.561	0.367	0.356	0.367
F 检验	14.387	1.65	7.189	1.65	46.537	1.65	8.463	1.65
t 检验	4.643	2.00	9.667	2.00	2.916	2.00	8.515	2.00

表 2 菏泽成武井模拟水位与中科光大数字化水位统计检验结果

检验方法	模拟水位 08 时值与数字化水位 08 时值				模拟水位日均值与数字化水位日均值			
	2005 年 2 月		2005 年 3 月		2005 年 2 月		2005 年 3 月	
	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值
t 检验	0.808	0.374	0.565	0.361	0.502	0.374	0.590	0.361
F 检验	1.257	1.67	1.153	1.65	1.115	1.67	1.108	1.65
t 检验	44.633	2.00	36.366	2.00	44.989	2.00	36.106	2.00

表 3 枣庄鲁 15 井模拟水位与中科光大数字化水位统计检验结果

检验方法	模拟水位 09 时值与数字化水位 09 时值				模拟水位日均值与数字化水位日均值			
	2006 年 1 月		2006 年 2 月		2006 年 1 月		2006 年 2 月	
	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值
t 检验	0.039	0.355	0.565	0.413	0.370	0.355	0.590	0.413
F 检验	6.105	1.62	1.015	1.78	5.770	1.62	1.245	1.78
t 检验	6.427	2.00	14.156	2.02	4.257	2.00	12.592	2.02

4 无线地下流体数据监测系统水位变化特征分析

4.1 中科光大数字化水位显示的微动态变化特征

(1) 数字化水位观测资料的固体潮效应

深井水位模拟观测 (SW40水位仪) 和中国地震局“九五”期间研制投测的 LN-3A 数字化水位仪具有记录井水位固体潮变化的能力已无可争议 (孙亚强等, 2001)。从投测的中科光大数字化水位观测井产出数据分析, 部分井孔也显示有较好的固体潮汐特征 (图 2)。

我们按照目前使用的全国水位资料内在质量统评办法的固体潮汐因子和观测误差的计算方法, 给出了山东省部分模拟水位资料、LN-3A 数字水位仪观测资料及部分现已投测的中科光大数字化水位观测资料的计算结果 (表 4)。同时具有模拟水位观测和中科光大数字化水位观测的济南郭店井的计算结果显示, 这两种观测方式的 M_2 波潮汐因

子、潮汐因子中误差、潮汐因子相对误差、 M_2 波最大潮差均基本相同。枣庄鲁 15 井由于中科光大数字化水位、水温探头电缆线的投入, 使井径相对变小, 致使该井原有的 SW40 水位仪浮子碰壁, 从而使两者计算结果与显示结果有一定的差异 (表 4、图 2)。

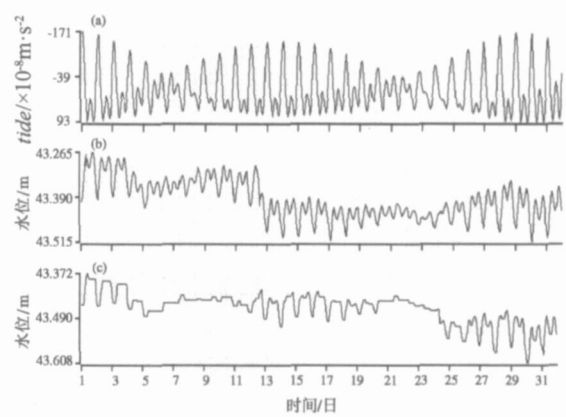


图 2 2006 年 1 月枣庄鲁 15 井同期固体潮理论值 (a)、中科光大数字化水位 (b) 与模拟水位 (c) 对比曲线

表 4 山东部分水位观测井潮汐因子及观测误差计算结果

观测井名称	仪器名称	水位	资料日期/年—月	M_2 波潮汐因子	潮汐因子中误差	潮汐因子相对误差	M_2 波最大潮差 /mm
枣庄鲁 15 井	SW40 水位仪	静水位	2005—10	1.920 7	0.017 9	0.009 3	136
枣庄鲁 15 井	SW40 水位仪	静水位	2006—01	1.002 5	0.062 2	0.062 0	111
枣庄鲁 15 井	中科光大水位仪	静水位	2006—01	2.154 7	0.034 5	0.016 0	185
济南郭店	中科光大水位仪	静水位	2005—10	0.960 2	0.130 0	0.135 4	272
济南郭店	SW40 水位仪	静水位	2005—10	0.951 9	0.145 4	0.152 7	279
日照东港	中科光大水位仪	静水位	2006—01	0.538 7	0.018 1	0.033 6	105

(2) 数字化水位的气压效应

地下水位变化与气压变化之间呈现负相关关系, 即气压升高, 井水位下降; 气压降低, 井水位升高 (贾化周等, 1995; 张昭栋等, 1986)。中科光大数字化水位观测也显示了这一变化特征, 计算 2006 年 1 月潍坊马庄井数字化水位整点观测值与气压整点值 (蒋骏等, 2000), 两者相关系数 $\gamma = -0.546$ 。

(3) 数字化水位的地震波效应

由于投测井孔采样间隔多设置为 10 分钟, 故未见地震波效应 (水震波) 显示。地下水位地震波效应受观测层的岩性、埋深、井孔—含水层间的导水能力、井孔水柱高度以及发震地点、震级等诸多因素的影响, 同时也受观测系统响应特征的影响 (张昭栋等, 1992; 殷积涛, 1990)。水位

的分钟值采样和 10 分钟采样不能满足记录水震波 (主要周期为 10~20 s) 的要求。

4.2 中科光大数字化水位显示的宏观动态变化特征

分析菏泽地区投测时间较长的 3 口深井比较完整时段的观测资料 (图 3) 可以看出, 菏泽东明气象局井总体呈趋势下降变化, 在此背景下, 由于受降雨和城市、工业开采用水的影响, 呈上升和下降波动变化; 成武张庄井受降雨和开采影响较小, 总体呈缓慢下降趋势; 曹县倪集井受一定程度的降雨影响, 变化趋势缓慢下降。

2005 年下半年以来投测的观测井, 由于观测时间相对较短, 其间又多次进行系统调试、更换仪器设备, 因此难以对其宏观动态特征做出较为合理的评价, 从目前的资料情况分析, 部分受定

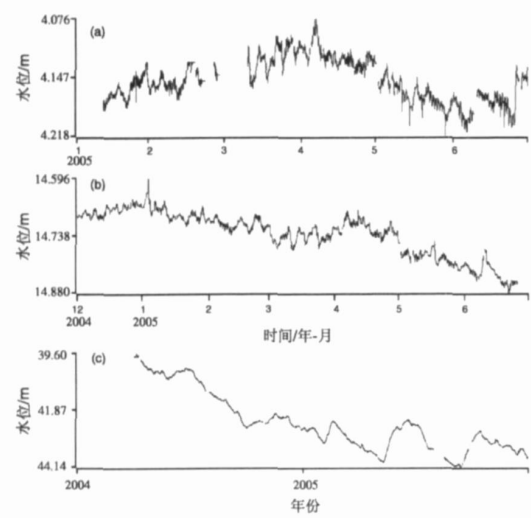


图3 菏泽地区3口深井数字化水位变化曲线
(a)曹县倪集井;(b)成武张庄井;(c)东明气象局井

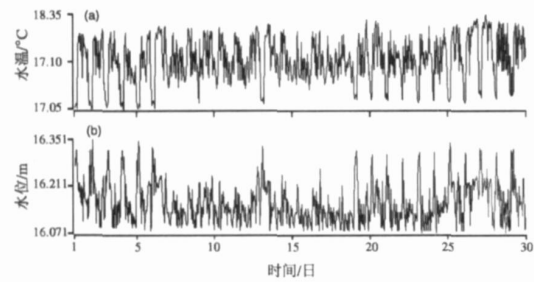


图4 2005-11-01~30日青州烟校井数字化
水温(a)、水位(b)变化曲线

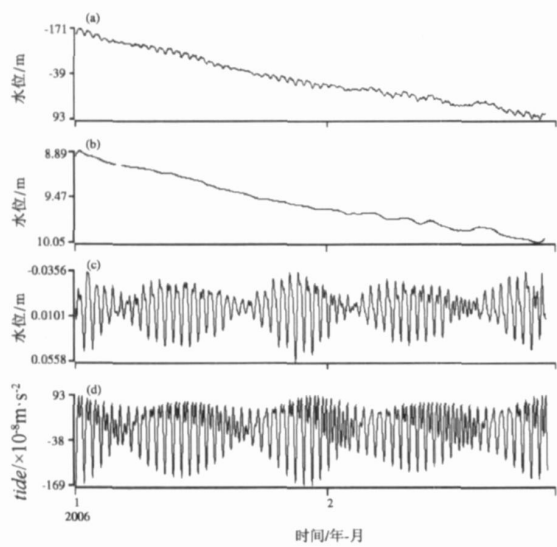


图5 日照东港井数字化水位趋势分析结果
(a)水位原始数据;(b)一般多项式分段曲线拟合值;
(c)原始水位与一般多项式分段曲线拟合值之差;
(d)重力(地下水)固体潮理论值

时抽水开采干扰影响的井孔, 水位受开采影响下降及停止抽水后恢复形态(图4);有的观测井由于受降雨补给影响, 水位呈较明显的上升变化。

日照东港井水位由于受城市用水开采的影响, 呈明显的下降趋势, 日照东港井中科数字化水位产出数据也显示了这一变化特征, 数字化水位呈明显的趋势性下降变化, 对水位数据进行趋势分析后的结果显示, 该井记录的固体潮汐特征变化比较明显(图5)。

5 结论

(1) 中科光大数字化水位观测系统的产出数据能够较客观地反映地下水位的相对变化特征。在观测系统的数据采集模块、GPRS通讯模块和中心系统程序各部分正常工作的情况下, 系统产出的数字化观测资料可用于地震分析预报。

(2) 对中科光大数字化水位数据在地震分析预报中的应用, 应借鉴已有的地下流体地震分析预报方法, 在积累资料的基础上, 结合观测井的井孔条件、干扰特征等, 对各测项正常变化的本底值、异常形态及异常识别方法进行总结和摸索, 以期这些观测资料能在日常震情监测和异常的短临跟踪工作中发挥应有的作用。

(3) 经过一段时间的运行结果显示, 中科光大系统工作比较稳定、实用性较强、功能较齐全, 且实现了与地震前兆数据处理软件(EI2000)的连接, 能够及时地对产出数据进行分析处理。

由于中科光大无线地下流体数据监测系统在我省投测时间尚短, 加之该系统仍处于不断改进与完善过程中, 各项分析结果还有待进一步完善和补充。

本研究得到枣庄市地震局、临沂市地震局、淄博市地震局、济宁市地震局和日照市地震局有关人员的大力支持, 笔者在此深表谢意!

参考文献:

车用太, 孔令昌, 陈华静, 等. 2002. 地下流体数字化观测技术 [M]. 北京: 地震出版社.
贾化周, 张伟, 董守玉, 等. 1995. 地震地下水手册 [M]. 北京: 地震出版社.
蒋骏, 李胜乐, 张雁滨, 等. 2000. 地震前兆信息处理与软件系统

- (EIS2000) [M]. 北京: 地震出版社.
- 李庆海, 陶本藻. 1982. 概率统计原理和在测量中的应用 [M]. 北京: 测绘出版社.
- 孙亚强, 宋彦云, 王方建, 等. 2001. 地震前兆台网技术——山东数字试验台网 [M]. 北京: 地震出版社.
- 汪成民, 车用太, 万迪坤, 等. 1988. 地下水微动态研究 [M]. 北京: 地震出版社.
- 王吉易, 董守玉, 陈建民, 等. 1997. 地下流体地震预报方法 [M]. 北京: 地震出版社.
- 殷积涛. 1990. 井口水位对几种含水层变形的响应函数 [J] // 中国地震局科技监测司. 地震预报方法实用化研究文集——水位、水文化专集: 北京: 地震出版社: 127—133.
- 张昭栋, 王尤培, 郑金涵. 1992. 井孔变径与井含水层系统对地震波的响应 [J]. 华北地震科学, 10 (3): 66—73.
- 张昭栋, 郑金涵, 冯初刚. 1986. 气压对井水位的影响地震 [J]. 地震, 6 (1): 42—46.

Consistency of the Data Recorded by the Wireless Underground Water Observation System Developed by Zhongke-Guangda Company with Analog Observation Data

GENG Jie CHEN An-fang PAN Shuang-jin

(Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract

Based on the data recorded by the wireless underground water observation system developed by Zhongke-Guangda Company, we personally analyze and evaluate the system from the in situ test results of the system, the change characteristics of the data and the consistency of the data with analog observation data. We believe that the digital data produced by the system can mirror the relative change of underground water. Under normal work conditions of the observation system (including the models of data gathering, GPRS communication and the procedure of centre system), the data produced by the system can be used in earthquake prediction.

Key words: underground water; consistency; monitoring system; evaluation analysis



温瑞智 中国地震局工程力学研究所信息技术与工程材料室主任、研究员,中国地震局新世纪百人计划人选。1994年毕业于大连理工大学工程力学系,获硕士学位。1999年毕业于中国地震局工程力学研究所,获博士学位,随即入哈尔滨工业大学力学博士后流动站和北京工业大学土木工程博士后流动站工作。中国地震学会会员、中国地理信息系统协会会员、加拿大土木工程协会会员、加拿大地震工程协会会员。主要从事强震动观测、断层对地震动影响、信息技术在防灾减灾领域中的应用等研究。



潘纪顺 中国地震局地球物理勘探中心高级工程师。2002年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学学院固体地球物理学专业,获理学硕士学位。2007年毕业于中国地震局地球物理研究所固体地球物理学专业,获理学博士学位。主要从事浅层地震勘探、地震宽角折射、反射勘探、高分辨率折射地震勘探、火山监测、桩基检测等工作,主要研究方向是地震数据处理、地震成像与反演。



杜方 四川省地震局研究员。1992年毕业于武汉测绘科技大学,获硕士学位。主要从事现今地壳运动及动力学、前兆机理与地震预测方法等研究。



刘勇健 广东工业大学副教授。1993年毕业于成都理工学院油气地质与勘探专业,获工学硕士学位。现在中国科学院广州地球化学研究所地质构造专业攻读博士学位。主要从事岩土工程的教学与研究工作。



刘琼仙 云南省地震局高级工程师。1988年毕业于江苏工学院计算机及应用专业,获工学学士学位。主要从事强震动观测网络及信息的研究工作。



耿杰 山东省地震局副局长。1985年毕业于山东科技大学地质系。主要从事地震分析预报与研究工作。



胡先明 四川省地震局高级工程师。1981年毕业于国家地震局天水地震学校地球物理专业,1988年毕业于中国科学技术大学地球物理专业。主要从事水库诱发地震研究和地下水观测等工作。



王爱国 中国地震局地震预测研究所兰州基地副研究员。1994年毕业于兰州大学地质系,2002年获中国地震局兰州地震研究所硕士学位。主要从事地震地质、工程地震及数值模拟等方面的研究工作。