

我国地热前兆观测台网的现状及对汶川地震的响应^{*}

赵 刚¹, 马文娟², 王 军³, 何案华¹

(1. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085 2 宁夏回族自治区地震局, 银川 750001;

3. 中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要: 介绍了我国地热前兆观测台网的现状及分布特点, 着重对仪器的运行率及影响因素、井孔观测环境、数据产出等方面进行分析。收集整理了 277 个地热观测台站的观测数据, 发现在汶川 $M_s 8.0$ 地震中, 有 134 个台站具有同震响应及震后调整现象。最后对典型的震前地热异常进行了初步分析。

关键词: 地热前兆; 台网分布; 汶川地震; 同震响应

中图分类号: P315.72⁺3 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2009)03-0248-05

0 前言

地震地热前兆异常具有显著的短临前兆特征和较强的映震能力, 其研究思路是: 通过对深井温度动态变化的观测与分析, 研究地热的正常动态及其变化规律, 研究在震源应力场的作用下, 稳定地热场产生的扰动, 寻找地热异常与未来地震的联系, 从而进行地震监测和科学研究。

在几百米至上千米深度的深井中, 温度不受地表因素影响, 特别是气温的影响, 因此深井温度变化是非常微小的, 温度异常信息比较清晰明确(付子忠, 1990)。因此, 为了取得准确、连续、可靠和完整的地热变化资料, 观测深井温度的仪器必须具备高灵敏度、高稳定性、高可靠性等特点。

1 地热前兆台网的发展及现状

1984 年, 云南省建立了 11 个地热前兆观测台站, 实现了深井温度的数字化观测, 这是我国第一个以地震地热前兆研究为目的的地热前兆观测台网。由于观测精度较高, 在地震预报实践中取得了可喜的成绩。如 1988 年澜沧—马 7.6 级地震前记录到的一些异常资料在该次地震的强余震预报中发挥了重要作用(付子忠, 1990)。观测结果表明: 地震地热前兆异常具有显著短临前兆特征, 前兆信息信噪比高, 具有很强的映震能力。

“九五”和“十五”计划期间, 我国地热前兆台网获得了很大的发展, 形成了一定规模, 并获取了一批具有地震地热短临异常信息的震例, 为地震监测预报提供了可靠的前兆信息研究资料。

截止到 2008 年 7 月 31 日, 我国地热前兆观测台网共有 277 个台站, 其具体分布如图 1 所示。其中国家级台站 88 个, 省级台站 63 个, 市、县级台站 126 个, 平均分布密度为 0.31 个/万 km^2 。以台站的新旧程度来分, 19 个台以打印记录方式观测, 比较落后; 93 个台为 2000 ~ 2005 年间建设的台站, 它们可通过某些方式接入“十五”网络; 165 个台为 2006 年以后建设的台站, 它们大都是“十五”网络化仪器, 支持“九五”前兆仪器通讯控制标准和“十五”前兆网络通信规程(何案华等, 2007, 2008; 赵刚等, 2004, 2005)。

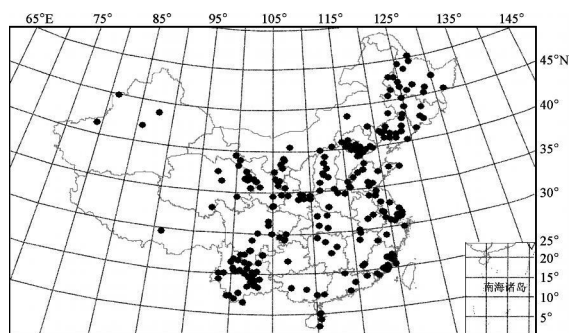


图 1 我国地热前兆观测点的分布

Fig 1 Distribution of observational stations of geothermal precursor in China

* 收稿日期: 2008-11-10.

基金项目: 2007 年公益性行业科研专项 (H200708045) 基金和基本科研业务专项 (ZD20780804) 基金联合资助

从图 1 可以看出, 全国范围内地热前兆观测台站大体上呈条带状分布: 从黑龙江开始, 经吉林、辽宁、北京、山西、陕西、甘肃东部、四川东部到云南。条带以西除青海东部和新疆有少量台站外基本上是空白, 条带以东的山东、江苏、福建有一定数量的台站, 而其他省、市、自治区地热前兆台站数量并不多, 仅有一个或几个。

2 地热前兆台网的运行状况

地热前兆台网运行情况主要从运行率及故障、井孔观测环境、数据产出等方面进行分析。由于台站投入观测的时间不同, 所统计时间段也不同, 其中打印记录方式的台站及“九五”数字化观测台站的统计时间段为 2007 年 1 月 1 日至 2008 年 7 月 31 日, “十五”期间建成的台站, 统计时间段为仪器安装试运行 3 个月起至 2008 年 7 月 31 日。

2.1 地热前兆台网的运行率及影响因素

整个地热前兆台网的运行率平均为 95.64%, 运行率低于 80% 的台站有 14 个, 其中有 3 个台站的仪器是 2008 年 1、2 月间才完成安装; 有 8 个台站的仪器经常受到雷击, 常常被损坏, 连续数十天不能正常工作, 观测资料完整率很低。

数字化仪器出现的故障多为雷击、公共数采故障、仪器本身故障、供电电源故障、设备零件故障、传感器故障等, 其主要原因是: 井房的避雷设施不完善, 造成仪器或传感器遭雷击产生故障; 偏僻地区的台站供电电源不稳, 造成仪器电源故障; “九五”设备仪器的正常老化损坏; 公用数采发生故障。

2.2 井孔观测环境

笔者对 122 个井孔条件进行统计, 给出各种干扰因素的影响程度。地热观测主要受降水、地下水开采、抽水、灌溉、江河水位变化、供电和观测井老化等的影响。在所有的环境影响因素中, 地下水开采和抽水影响最大, 共计有 73 个井孔受地下水开采和抽水影响, 比例达 60%。浅井、深井的主要环境影响因素不同, 对于浅井, 抽水灌溉为主要的干扰源, 中深井则主要受到地下水开采影响。

我国绝大多数观测井的深度为完钻时的深度。由于多年未得到清洗, 井孔底部淤堵, 确切的深度并不知道。据个别省局反映, 有些井在完钻

时深 137 m 但近期测深结果仅为 30 多米。在这种井深不明的情况下进行盲目观测, 产出资料的质量根本得不到保证, 更不能获得可靠的前兆信息。有一些井房的观测条件很差, 如湿度大、腐蚀性气体浓度高, 而井房又没有窗户、排风口等通风设施, 仪器的长期、正常工作受到影响, 使用寿命变短。

2.3 数据产出及报送

目前, 我国地热前兆台网的观测仪器基本上实现了数字化, 产出的数据类型、原始数据、预处理数据等基本相同。数字化观测数据进行预处理后, 可产出如日均值、五日均值、旬均值、月均值和年均值的观测资料。“九五”前的打印记录观测方式台站及“九五”数字化台站的观测数据均通过有线电话网汇集到省级前兆台网中心, 而“十五”数字化观测台站观测数据的收取、处理、入库等工作由软件自动完成。

3 地热前兆台网对汶川地震的响应

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分 04 秒, 四川省汶川县发生 $M_s 8.0$ 地震, 引起全国地热前兆台网内大量观测点的响应 (赵刚等, 2009)。笔者从同震响应和震前异常两个方面进行研究。

为了便于数据分析, 王军等 (2008) 建立了地热前兆应用数据库, 通过 Oracle 调用接口实现快速装载和访问地热前兆应用数据库, 并编写了地热前兆数据分析处理软件。

3.1 地热前兆台网地热测项的同震响应

笔者统计了全国 277 个台站的观测数据, 发现有 134 个台站的地热出现了同震响应, 约占台站总数的 48.37%, 在同震响应中表现为升温的有 68 个, 表现为降温的有 66 个, 升温 and 降温各自所占比例基本相同。

从汶川 $M_s 8.0$ 地震同震响应的地热前兆观测点升、降温分布图 (图 2) 可以看出, 同震响应的地热升、降温分布具有区域性特点, 即同震响应的升温或降温常成片出现——在汶川以南四川境内的测点几乎都表现为升温, 在汶川西北部的青海、甘肃、宁夏等地大多数为降温, 在汶川以东重庆地区范围内为降温, 再往东南方向又几乎都是升温。总体来看, 这次地震引起的同震井孔温度变化最强烈的地区并不在震中区, 而是在陕、甘、宁交界地区。

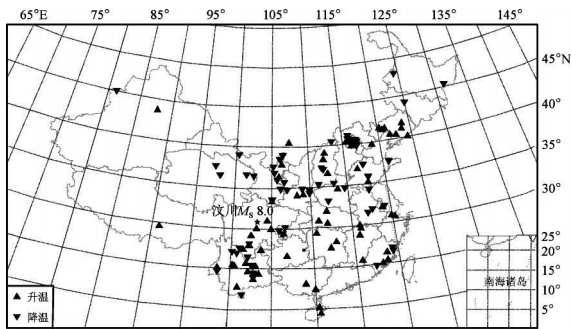


图 2 汶川大地震中有同震响应及震后调整的
地热前兆观测点

Fig2 Geothermal temperature stations responded before
and after the Wenchuan Ms 8.0 earthquake

在汶川 Ms8.0地震震中 1 000 km范围以内共
有 106个地热前兆台站，其中 69个观测点出现了
同震响应，升温的有 33个，降温的有 36个；距震
中 500 km范围以内共有 23个地热前兆台站，其中
有 18个观测点出现了同震响应，升温的有 10个，
降温的有 8个（表 1）。

表 1 同震响应统计表
Tab 1 Statistics of co seismic response

	台站震中距		
	500 km	1 000 km	大于 1 000 km
总台站数量	23	106	277
同震升温响应的台站数量	10	33	68
同震降温响应的台站数量	8	36	66
同震升、降温的台站数小计	18	69	134
所占比例（%）	78.26%	65.09%	48.37%

由表 1可以看出，随着台站震中距的减小，在
汶川 Ms8.0地震震中出现同震响应及震后调整的
台站的比例也大幅度增加，从 48.37% 增加到
78.26%，提高了近 30个百分点。

从此次地震所引起的温度变化量可以看出，
温度变化量小于 0.05℃的井孔数量有 115个，占
全部有同震响应井孔数的 85.82%，还有 59个井
孔的温度变化量小于 0.001℃。由于采用了高精度、
高分辨率的温度观测仪器（分辨率为 0.000 1℃，短
期稳定性为 0.001℃，年稳定性为 0.01℃），约 59
个台站在本次地震中记录到了 0.001℃~0.000 1℃
的温度变化。

3.2 典型震前异常

汶川大地震发生后，笔者对全国的地热观测
资料进行了分析。在排除了明确的环境干扰、仪

器维修、人为干扰、人工抽水等因素造成异常变
化的可能性后，还有 37个台站在震前存在异常。

本文所提出的地震地热前兆异常，与汶川地
震在时间上有很好的相关性，即异常基本恢复后
就发生地震，这可能与汶川地震震源孕育过程有
关。王瑜青等（1994）的研究结果表明：地热正
常动态为稳定型台站出现的异常，其信度较高；
异常幅度远大于背景值的异常，其信度也较高；
背景值越稳定、持续时间越长的异常，信度也就
越高。

距汶川 500 km、1 000 km和更大范围内的异
常台站所占比例见表 2。从表 2可以看出，500 km
范围内，地热测项共有 23个台项，有 5个台项存
在异常，异常台项占 21.74%。距汶川地震震中越
近，异常出现的比例就越大，从 13.36%（大于
1 000 km范围的台站出现疑似异常的比例）增加
到 21.74%（在 500 km范围内的台站出现疑似异
常的比例）。

表 2 地热前兆台网疑似异常台站统计表
Tab 2 Statistics of likely abnormalities recorded by
geothermal precursor stations

	台站震中距		
	500 km	1000 km	大于 1 000 km
异常台站数数量	5	19	37
全部台站数数量	23	106	277
所占比例（%）	21.74%	17.92%	13.36%

从时间特征上来看，短期异常台项有 27个，
临震异常台项有 10个。通过汶川 Ms8.0地震的
地热前兆动态演示图像可看出，地热前兆场似乎具
有初期在外围产生异常然后逐渐向震中区域跳跃
集中，后期由震中区向外围跳跃扩散的特征。

受篇幅所限，笔者没有给出全部异常的曲线，
读者可参阅《全国地热前兆台网对汶川 Ms8.0地
震响应的研究报告》（赵刚等，2008）。下面仅对
几个典型地热前兆异常进行分析。

（1）宁波井。该井位于宁波平原北西丘陵山
区的南部两条北北东向大断裂之间。井深
83.06 m，钢套管 75.0 m。在井孔 16.5~25.0 m
和 44.5~48.5 m处有两个含水层，井流量较小。
该台于 2000年 5月安装了地热观测仪器，传感器
安装在 78 m处。多年来观测数据显示，水温长期
背景动态属稳定型，变化量小于 0.01℃/a。短期

背景动态也是稳定型, 变化量为 $0.002^{\circ}\text{C}/\text{月}$, 具有缓慢平稳上升的规律性。在全球发生的几次 8 级以上地震前, 该井地热资料都有较明显的异常现象 (邱永平, 2006)。异常主要表现为脉冲式向上突跳或阶跃式变化, 最大异常量可达正常日均上升速率的数倍。

从图 3 可以看出, 在汶川地震前, 宁波台水温值曲线变化平稳, 日变幅度正常。从 2008 年 4 月 23 日 06 时 37 分的 20.0936°C 开始, 日变幅度加大, 出现了大幅度跳跃的现象, 在 5 月 2 日 11 点达到最高值 20.0981°C , 日变幅度约是正常日变幅度的 30 倍, 属于显著异常。其后异常跳跃幅度回落, 日变幅度逐渐减小, 异常于 5 月 9 日 13 点 16 分结束, 地热观测曲线恢复正常形态, 该异常是自有观测以来出现的幅度最大、持续时间最长的异常。

(2) 德令哈井。该井温度传感器观测深度为 80 m, 井深 98 m, 距震中 895 km。该井位于河西走廊的大片花岗岩体出露的地震带上, 祁连山北缘段裂带中段逆冲断层, 是地应力易于积累的地区。从图 3 可以看出, 2007 年 12 月至 2008 年 1 月, 曲线下降转折后回返, 经落实异常属实, 后未出现地震。从 2008 年 1 月中旬起温度线性上升 ($0.01^{\circ}\text{C}/\text{月}$, $0.004^{\circ}\text{C}/\text{天}$) 到 5 月 10 日开始加速上升, 5 月 11 日中午时, 温度上升幅度为 0.0115°C , 达到最大值, 随后停止上升, 直至地震发生, 震后由于同震响应, 温度降到 9.6789°C 。笔者判定这是汶川地震的震前反应, 震后有同震效应。

(3) 西宁井。该井深 105 m, 温度传感器安装在 102 m 深处, 距震中 634 km。该井位于西宁盆地边缘, 湟水流域中段, 拉脊山断裂带。台站地层岩性为第三系紫红色泥岩, 观测部位基岩呈完整状弱透水性。从 2007 年 9 月正式投入观测以来所获得的资料可看出, 该井孔水温观测曲线的长期背景动态属稳定型, 短期背景动态也是稳定型, 变化量为 $0.0002^{\circ}\text{C}/\text{月}$ 。从图 3 可以看出, 在汶川地震前的 2007 年 9 月至 2008 年 4 月 25 日, 井水温度变化量小于 0.002°C , 每天的变化量小于 0.0001°C , 其中有 7 天都保持在 14.5789°C , 到 4 月 24 日开始上升趋势消失, 开始快速下降, 到 4 月 30 日, 下降了 0.001°C , 异常幅度约为正常变化幅度的 10 倍, 其后恢复以前状态缓慢上升, 在上升过程中汶川 8.0 级地震发生。

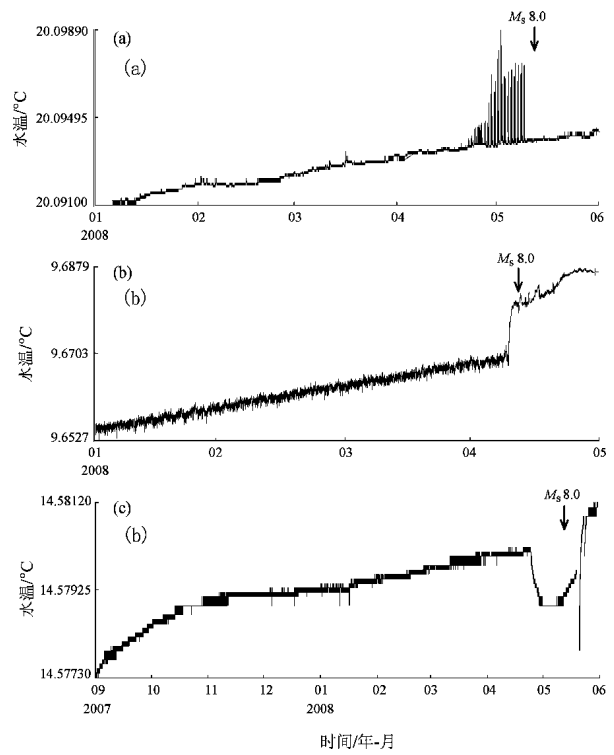


图 3 宁波井 (a)、德令哈井 (b) 和西宁井 (c) 地热分钟值曲线

Fig 3 Temperature curve of Ningbo (a), Delingha (b), and Xining (c) station

4 结语

(1) 从台网发展现状来看, 观测网内测点空间分布不均匀, 应适当增加台站数量, 对那些长期地震预报意见中指出的最有可能发生强地震的危险区, 应加强地热前兆监测; 对于青海西部、西藏、新疆等仪器分布少的地区, 应加大台网的布设密度, 提高监测能力。

(2) 雷击和井房电源干扰等是影响仪器运行的主要原因。要对经常受雷击或受供电故障影响的台站进行改造, 保障仪器的正常运行。对目前台网中的井孔进行一次摸底检查, 搞清楚井孔的基本信息, 对受干扰影响较大的观测井进行优化和改造, 保证产出资料的可靠性和有效性。

(3) 对于汶川 $M_{8.0}$ 地震, 随着井震距的减小, 出现同震响应和异常的台站的比例也明显增加, 异常的升、降温分布与同震响应的升、降温特征基本相符。地热异常反映出震前当地力学环境发生了变化, 破坏了观测点处的水动力平衡, 观测点处的地下水的水流状态发生改变, 从而使

观测点处的井水温度曲线形态发生变化。

中国地震台网中心和各省（市）地震局地热前兆观测工作人员为本项研究提供了宝贵的数据，在此表示衷心的感谢！

参考文献:

付子忠 . 1990. 澜沧—耿马 7.6级地震的地热前兆异常 [J] /赵国光, 刘光勋, 陈宏德, 等 . 地壳构造与地壳应力文集 (4) . 北京: 地震出版社, 85—92.

何案华, 郭柏林, 郭藐西, 等 . 2008. 串口前兆仪器的因特网接入方案与配套软件开发 [J]. 地震研究, 31 (3): 279—283.

何案华, 郭柏林, 秦久刚 . 2007. 基于 VPN技术的无线网络在地震前兆台网中的应用 [J]. 大地测量与地球动力学, 30 (增刊1): 95—99.

邱永平 . 2006. 宁波地震台 ZK03井水温异常与 8级及以上地震的关

系 [J]. 华北地震科学, 24 (4): 18—22.

王军, 郭柏林, 何案华, 等 . 2008. 通过 C++类封装 Oracle调用接口实现地热数据库的快速建库与访问 [J]. 地震研究, 31 (3): 284—289.

王瑜青, 陈桂兰, 付子忠 . 1994. 地热观测资料清理及映震能力分析 [J]. 地震学报, 16 (增刊): 148—152.

赵刚, 付子忠, 王军, 等 . 2008. 全国地热前兆台网对汶川 M_s8.0地震响应的研究报告 [R]. 北京: 中国地震局地壳应力研究所 .

赵刚, 何案华, 秦久刚, 等 . 2004. GPRS技术在地震前兆台网中的应用 [J]. 地震研究, 27 (3): 123—128.

赵刚, 何案华, 王军, 等 . 2005. 数字式温度计的网络化设计 [J]. 地震研究, 28 (3): 180—185.

赵刚, 何案华, 王军, 等 . 2009. 地热前兆台网对汶川地震的同震响应及震后调整 [J]. 大地测量与地球动力学, 29 (2): 28—32.

Geothermal Earthquake Precursor Network and Its Response to M_s8.0 Wenchuan Earthquake

ZHAO Gang, MA Wenjuan, WANG Jun, HE Anhua

- (1. Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China)
- (2. Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, Ningxia, China)
- (3. China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

Abstract

We introduce the current situation and distribution of geothermal earthquake precursor network in China. Among the 277 stations of the network, there are 134 stations whose geothermal values responded coseismically and self-adjusted after the earthquake. Further, we preliminarily analyze the geothermal anomalies before the earthquake.

Key words: geothermal precursor network distribution; Wenchuan Earthquake; coseismic response



邓柏昌 华南理工大学物理系副教授。1982年7月毕业于合肥工业大学地质系应用地球物理专业,获学士学位。1992年毕业于北京师范大学物理系物理教学专业,获硕士学位。主要从事电离层物理、地震电磁预报、电磁场理论及工科大学物理教学法等方面的研究工作。



武安绪 北京市地震局副局长。1989年毕业于云南大学地球物理系。目前主要从事地震活动、地壳形变、数字波形、综合预报、爆炸识别、信号处理、软件开发等研究工作。



蒋锋云 中国地震局第二监测中心工程师。2002年毕业于东华理工大学测绘系测绘工程专业,获理学学士学位。2006年毕业于中国地震局地震研究所固体地球物理专业,获理学硕士学位。主要从事地震预报与GPS数据处理及分析等方面的工作。



段虎荣 陕西铁路工程职业技术学院讲师。2002年7月毕业于长安大学测量工程专业,获学士学位;2006年7月毕业于长安大学大地测量与工程测量学专业,获硕士学位;2008年4月开始攻读长安大学大地测量与工程测量学博士学位。主要从事卫星大地测量研究工作。



武艳强 中国地震局地震预测研究所助理研究员。2003年天津大学计算机信息管理专业毕业,获学士学位;2008年中国地震局地震预测研究所固体地球物理学专业毕业,获理学硕士学位。主要从事大地测量数据处理与分析、孕震形变场识别等方面的研究工作。



张建国 河北省地震局邯郸地震中心台工程师。2006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专业,获理学学士学位。2008年毕业于吉林大学地球探测科学与技术学院固体地球物理专业,获理学硕士学位。主要从事地震监测工作。



李俊 四川大学电子信息学院在读硕士研究生。2006年毕业于四川大学电气信息学院,获工学学士学位。主要从事网络多播技术的研究工作。



庞卫东 2006年毕业于昆明理工大学地球科学系资源勘查工程专业,获学士学位,现为云南大学地球物理系在读硕士研究生。主要从事地球物理数据处理、地震地质及地震活动性分析方面的研究工作。



吕坚 江西省地震局预报中心工程师。2007年毕业于中国科学技术大学地球物理专业,获学士学位。主要从事地震活动性、地震危险性和数字地震学研究工作。



赵刚 中国地震局地壳应力研究所副研究员。2002年毕业于中国地震局地壳应力研究所固体地球物理专业,获理学硕士学位。主要从事前兆观测技术研究工作。

注:秦嘉政、付虹、张立、潘纪顺、王赞赞、杨国华、胡亚轩、周光全的简介已分别刊登在本刊 Vol28 No4, Vol30 No1, Vol29 No4, Vol31 No3, Vol32 No2, Vol31 No1, Vol30 No2, Vol29 No2