

白家疃观测井的地热干扰排除及机理探讨^{*}

胡敦宽¹⁾ 李淑芳¹⁾ 刘永铭²⁾

1) 中国北京 100095 北京地震基准台

2) 中国北京 100085 国家地震局地壳应力研究所

主题词 地热 干扰排除 抽水 降水

地震监测预报研究的实践表明,不研究地热的正常动态,就无法判别异常;不进行干扰因素的研究,就不能有效地提取地热前兆信息。因此,研究正常动态及其干扰因素,是地热前兆方法的基础。这项工作,不仅有着实际应用的价值,而且有着理论研究的意义。

1 地热观测工作

1985年8月,北京白家疃地热(水温,下同)前兆观测井,使用高精度(测温分辨率 10^{-4} ℃)SZW-1型数字式温度计,测温探头置于井下250 m处,观测记录水温整点值。该井是全国第一批开展地热前兆观测的井点,也是全国唯一进行过测温探头标定工作的井点。资料完整率达96.3%,资料可靠、连续,对地热观测资料进行了地震信息在时间域和频率域上的特征研究。开展了与国家地震局“八五”攻关三级专题项目和“台站三结合”相应的课题研究。同时,进行了试验性的地热监测预报工作。

2 影响地热动态观测的干扰因素分析

借鉴于地震地下流体(水位、水化)前兆方法研究成果(北京市地震队,1974;王吉易,1988),白家疃井在开展地热观测的同时,即开展了可能与地热动态有关的干扰因素的观测、试验与环境调查工作。保留了地下水位(井深80 m)、大气降水观测。结果表明,有关资料的积累、研究与相关工作的开展,对干扰因素的识别,对认识和掌握地热的正常动态都是很有必要的。

2.1 农灌抽水的干扰

季节性的农灌抽水是白家疃井地热动态的主要干扰因素。抽水可加速地下水的排泄过程,使水流在含水层内的流速、流量增大,流向改变,水位下降,从而破坏水温在“围岩-井-水”系统中的平衡,使地热测值发生变化。

抽水造成地热值变化的原因和特点,与测温井孔岩性结构、所处的自然环境及抽水状况有关。地热井深300 m,奥陶系灰岩230 m,第四系厚度70 m。成井时回灌水泥止水,未能达到设计要求,因而形成双层含水层结构的特性,使测温含水层与上层潜水有一定的水力联系。在地热井500 m范围内,有5口200~150 m深的奥陶系灰岩井(内有4口农灌生产井)、1口第四系水井。每年11月底—翌年3月上旬,地热井区范围的生活抽水量微弱,约400吨/日。3月中旬开始,4口农灌井先后抽水,抽水量可达5 600吨/日,并持续到6月。进入11月,又有20多天的冬灌抽水。经多年观测、试验及现场调查证实,地热井处在上述井孔抽水影响半径之内。

* 国家地震局“八五”攻关项目。国家地震局地球物理研究所论著 95A0019。
1994-11-03 收到初稿, 1995-01-17 收到修改稿。

农灌抽水对地热值的影响,具有以下特点:季节性强,重现性较好。3月中旬,地热值多出现突发性下降变化。冬灌抽水期,地热值则无明显变化;地热日值曲线,具有随春灌抽水起始、抽水量、水位相应下降的特征。抽水起始,地热值多出现下降变化,形成谷状(或脉冲状)形态,当流量稳定后,地热值又以突升的变化,恢复至原值附近波动。如1992年3月,春灌抽水后,地热日值出现10天低值期,平均下降0.0056°C。地热与水位相关关系显著(见图1)。

2.2 大气降水的干扰

特大降水在地热井区的直接入渗补给。1988年8月1日20时~2日03时,降暴雨152mm,形成地表迳流。山洪由泄洪河上裸露的灰岩岩溶裂隙处,直接入渗补给测温含水层,引起地热值变化。当特大降水在远距离入渗补给的地下水迳流至观测区后,水位出现第二次峰值,地热值再次出现变化。

白家疃井地下水的类型、岩石的透水性、地下水的埋深等与降水的影响有密切的关系。白家疃井处于山前冲洪积扇上部,山区与平原交接处。奥陶系灰岩裸露,岩溶裂隙发育,是第四系潜水和灰岩承压水的补给区与排泄区。测温含水层地下水类型属灰岩浅层承压水,井孔含水层顶板

的隔水性能差,有利于降水的入渗,为降水干扰创造了条件。

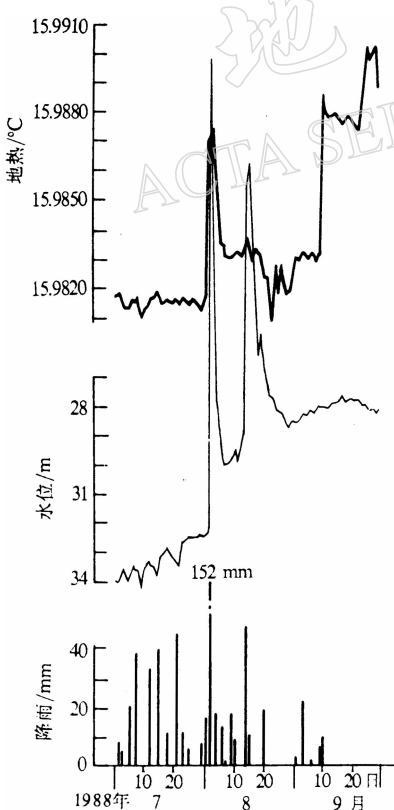
不同的降水时间、背景和形式,是上述暴雨干扰发生的又一条件。1988年7月白家疃地区月降水量为256mm,地下水得到一定量的补给,水位已呈上升变化的趋势。8月2日,在88个多小时内,又集中降水152mm,因而形成山洪。1991年5月的降水量仅为183mm,处在春灌抽水的末期,6月10日虽降雨143mm,但降水时间长且较分散,未能形成山洪,地热值无明显变化。

大气降水对地热值的影响,具有以下特点:1988年8月2日特定条件下的暴雨,使地热值曲线出现陡峭尖锥状变化,地热值突升0.0067°C,持续3天后,于8月5日回降,接近原地热值。地热、水位、降雨复相关关系显著;特定条件下的暴雨,对灰岩承压水远距离补给区的补给迳流,使地热值出现阶变型变化。当水位于8月15~16日,出现第二次峰值的25天后,地热值由15.9830°C突升至15.9885°C,并在此高值上延续至年底。反映出特大降水对地热干扰的滞后效应。水位、地热这种形式的动态,多出现在灰岩承压水的排泄区内(见图2);日降水量在100mm以下时,对地热日变化无明显影响,但月、年的降水量对地热趋势变化有一定影响。

由以上讨论可以看出:

(1) 白家疃井地热正常动态是自然因素和人为因素综合影响的结果。不同的时期,受干扰因素及其影响程度的不同,形成地热动态变化过程的不同特征。

图2 地热与降水及水位关系



(2) 地下水动力条件变化是影响地热正常动态的重要因素。降水和抽水都使水位差增大,流量也增

大,从而引起地热值变化.地热与水位相关关系密切.

(3) 地下水动力条件变化对地热影响的状况,是由白家瞳井所处的自然环境、地下水类型、地下水埋深、岩石的透水性及围岩等条件决定的.

3 干扰的排除方法及其有效性

排除干扰的实质就是进行地热动态预测,并确定其正常动态.根据白家瞳井地热动态的缓变—近直线型,偶有阶变型变化的特点,结合抽水与降水影响地热测值的物理过程,要求干扰排除后,异常分辨率明显提高,其结果对地震预报中异常信息的提取有直接意义.

3.1 适用于分析处理白家瞳井地热资料的几种方法

利用回归分析方法和二阶差分方法,分析处理白家瞳井地热资料,结果较好(胡敦宽,李淑芳,1993).

3.1.1 回归分析方法

(1) 对上述特大降水的干扰,采用多元回归方法,处理地热、水位、降水的日值资料.多元回归方程为

$$\hat{Y} = 15.9851 - 0.00002x_1 - 0.0004x_2 \quad (n = 12, r = 0.914, a^{0.01} = 0.708, x_1 \text{ 为水位}, x_2 \text{ 为降水量})$$

(2) 一元回归余差法.利用1985年10月~1991年3月地热、水位的363个五日均值,分不同时段,做一元回归余差处理.其结果即为排除抽水、降水干扰后的地热五日回归余差值.

(3) 逐步回归方法.1989年10月28日大同 $M_s 6.1$ 地震前,白家瞳井地热动态自1987~1989年出现多年连续上升的趋势性变化,每年上升的变幅分别是101%,99%和100%.利用逐步回归余差方法处理1985年10月~1991年3月地热、水位(x_1)、降水量(x_2)57个月均值资料.处理前,对月降水量三点线性平滑;某些时段,将月降水量与地热水位月均值之间做相位滞后检验,并做合理的相位校正的数据预处理工作.做逐步回归余差处理后的地热趋势异常分辨率明显提高.排除抽水、降水干扰后的地热月逐步回归余差值,在1988年5月、6月,1988年12月~1989年2月出现中期异常.地热前兆异常时间进程的阶段性和平滑度起伏的特点,与马丽和高旭(1990)首都圈地区出现的各种前兆现象是一致的.其中1986年5月~1989年6月的38个月的逐步回归方程为

$$\hat{Y} = 15.1698 + 0.266x_1, n = 38, r = 0.904, \text{回归平方和}(u)0.763, \text{剩余平方和}(Q)0.171, F \text{ 值} 160.57. \text{逐步回归结果良好.}$$

3.1.2 二阶差分法

差分法能够消除长周期漂移,突出时间序列的高频变化.该方法简便、实用,适用于缓变动态类型的资料.使用二阶差分方法处理1985年10月~1991年3月地热日均值资料,结果较好.计算二阶差分月均值,在其随时间变化的多年过程曲线上,于1989年10月18日大同 $M_s 6.1$ 地震前的1988年12月和1989年3月、4月均出现明显的高值异常.

3.1.3 最大熵谱-带通滤波法

利用最大熵谱估计法确定白家瞳井地热资料的特征周期,据此设计带通滤波器,抛弃与地震无关的特征成份,而直接提取地热资料的特定周期的前兆异常信息.使用此方法处理了1985年10月~1991年3月地热日均值(整点值)资料,获得了较好的结果(胡敦宽,1995).如分析处理1990年10月1日~1991年4月5日地热日均值资料,结果显示16天周

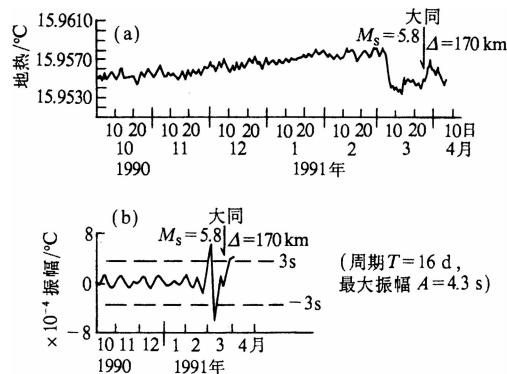


图3 地热日均值变化曲线(a)和滤波结果(b)

期的振幅变化与 1991 年 3 月 26 日大同 $M_s 5.8$ 地震 ($\Delta = 170 \text{ km}$) 对应较好(见图 3).

3.2 干扰排除方法的有效性

利用回归余差(地热、水位五日均值)、二阶差分、最大熵谱-带通常滤波方法，分别处理 1985 年 10 月～1991 年 3 月地热资料，其结果与白家疃为中心 200 km 范围内， $M_L \geq 4.0$ 地震有较好的对应关系，见下表。

地热异常对应率与映震效能表

| 方 法 | 地震 总数 | 异常 次数 | 对应地 震次数 | 有异常无 地震次数 | 有地震无 异常次数 | 映震效能 | 成功率 |
|----------|----------|----------|------------|--------------|--------------|------|-----|
| 最大熵谱带通滤波 | 31 | 27 | 27 | 0 | 4 | 87% | 77% |
| 一元回归余差 | 31 | 24 | 23 | 1 | 7 | 71% | 59% |
| 二阶差分 | 31 | 23 | 21 | 2 | 8 | 61% | 51% |

由表可见，最大熵谱带通滤波方法处理资料的效果最好，频率域的映震效能较时间域的平均映震效能提高 21%，达到 87%。回归余差、二阶差分方法有异常无地震的虚异常概率仅为 4%～9%，效果也是较好的。

4 结束语

农灌抽水与大气降水干扰对白家疃井地热测值的影响，首先是改变水动力条件，破坏水温在“围岩-井-水”系统中的平衡，进而引起地热测值变化。这是农灌抽水与降水干扰机理的共同之处。地热与水位(流量)间的统计相关关系是地热动态与干扰因素内在联系的集中反映。

以图象分析、环境调查(试验)、数理统计三者相结合的分析方法，对于地热前兆的干扰是能够定性或定量地识别和排除的。排除干扰后的地热值，与地震的对应关系较好，地震异常信息置信度较高。因而，可以认为干扰的识别与排除是有效的。

参 考 文 献

- 北京市地震队，1974. 水氡正常动态的初步研究. 地震战线, (1): 29~34
 胡敦宽, 李淑芳, 1993. 白家疃井地热动态与地震关系初步研究. 地震地磁观测与研究, (6): 36~41
 胡敦宽、曾小萍、赵明等, 1995. 地热前兆预报地震新方法研究. 地震, (3): 234~239
 马丽, 高旭, 1990. 大同-阳高震群前兆现象的综合分析. 地震, (4): 45~57
 王吉易, 1988. 水氡动态的影响因素及排除方法, 地震监测与预报方法清理成果汇编(地下水部分). 北京: 地震出版社.
 44~52