

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}°C)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)前兆方法研究的成果(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,对于干扰因素的识别,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 月底一翌年 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152 mm，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。

白家瞳井地下水的类型、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。白家瞳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月白家瞳地区月降水量为256 mm，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152 mm，因而形成山洪。1991年5月的降水量仅为183 mm，处在春灌抽水的末期，6月10日虽降雨143 mm，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100 mm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）白家瞳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。

（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

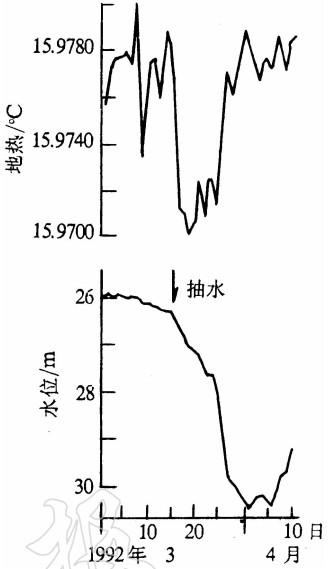


图1 地热与抽水及水位关系

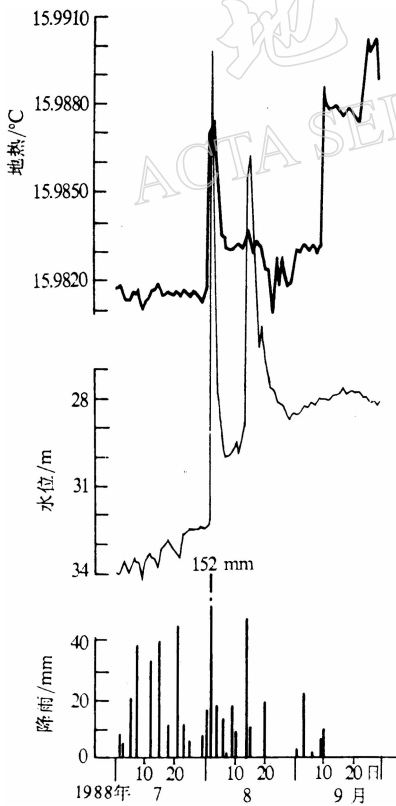


图2 地热与降水及水位关系

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, 是由白家疃井所处的自然环境、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. 根据白家疃井地热动态的缓变—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疃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, 分析处理白家疃井地热资料, 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

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

(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 $M_s6.1$ 地震前, 白家疃井地热动态自 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异常频度起伏的特点, 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 $M_s6.1$ 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疃井地热资料

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

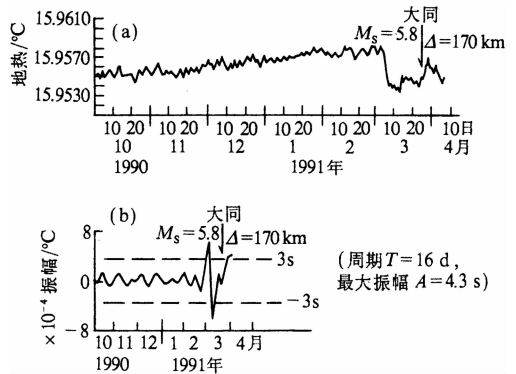


图 3 地热日均值变化曲线(a)和滤波结果(b)

期的振幅变化与 1991 年 3 月 26 日大同 $M_s5.8$ 地震($\Delta=170$ 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. 水氢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、曾小革、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. 水氢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(地下水分册). 北京: 地震出版社. 44~52