JOURNAL OF GEODESY AND GEODYNAMICS

文章编号:1671-5942(2014)01-0051-04

新疆温泉井水温梯度观测实验及结果分析

何案华¹⁾ 汪成国²⁾ 李晓东²⁾ 高守权²⁾ 赵 刚²⁾ 邹 广²⁾ (¹⁾ 中国地震局地壳应力研究所(地壳动力学重点实验室) 北京 100085 (2) 新疆维吾尔自治区地震局 乌鲁木齐 830011

摘 要 对新疆温泉井井孔水温梯度和不同深度的水温动态观测的数据分析表明,观测井不同深度上的水温变 化形态有一定的共性,如水温稳定过程均为对数曲线;但更多表现出差异性,如稳定时间复杂多变、不同深度段的 井水温度微动态特征差异明显;水温梯度剧变带内井水温度显示出潮汐变化。结合该井的井孔柱状图及区域水文 地质结构分析表明,这些差异性变化主要与井孔的水文地质特征、地下水类型有关。

关键词 温泉井;井水温度;水温梯度;水温微动态;水文地质

中图分类号: P315.72⁺3 文献标识码: A

OBSERVATION AND DATA ANALYSIS OF WATER TEMPERATURE GRADIENT IN WENCHUAN WELL , XINJIANG

He Anhua¹⁾, Wang Chengguo²⁾, Li Xiaodong²⁾, Gao Shouquan²⁾, Zhao Gang²⁾ and Zou Guang²⁾

- (1) Key Laboratory of Crustal Dynamics , Institute of Crustal Dynamics , CEA , Beijing 100085
- 2) Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region Urumqi 830011

Abstract Analyzing results of observational data of water temperature gradient experiment in Wenquan Well, Xinjiang indicate that there are macro-stability and micro-differency in water temperature changes. The macro-stability can be represented by a Logarithmic equation, and the micro-differency manifests in dynamic changes in various depth. In addition, the tidal variations can be captured at the layer where water gradients changing violently. The differency mainly is related to hydro geological structure.

Key words: hot spring well; water temperature; water gradient; micro-dynamic temperature; hydrogeology

1 引言

我国地震地下流体自 20 世纪 80 年代研发出高 精度石英温度计^[1] 以来,已在全国 360 多口观测井 进行水(地) 温动态观测,以此为基础组建了我国地 热前兆观测网络。该网络曾多次记录到地震前水温 异常现象,其中 2007 年宁洱 6.4 级地震前大范围同 步异常尤为显著^[2,3];另外还在多次特大地震时记 录到同震阶变现象^[4,5]。然而对观测资料的研究表 明,水既带有丰富的地壳运动信息,同时也由于地下 水运动的复杂性,导致用水(地)温变化进行地震预 测变得更为复杂。譬如井水温度微动态变化形成条 件及其机理十分复杂,在一口井的不同深度观测到 的井水温度微动态特征差异明显^[4],不仅其变化幅 度不同,甚至变化形态及变化过程与持续时间等也 不相同。对这种差异的形成机理,一些学者提出了 井水温度微动态形成机理水热动力学的对流机制、 地热动力学的传导机制等^[5,6],但这两种理论对上

 ^{*} 收稿日期: 2013-08-26
基金项目: 国家自然科学基金(41104051); 中国地震局地壳应力研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项(ZDJ2011 – 07)
作者简介: 何案华, 男, 1979 年生, 硕士, 现主要从事地震前兆观测技术研发、流体资料分析与处理. E – mail: dqs_hah@163. com

述复杂现象的成因尚不能给出圆满的解释。

针对这种状况,作者在新疆温泉地下流体观测 井中开展了一系列探索性研究。本文将结合井孔柱 状图、多层位水温微动态观测等 介绍温泉井水温梯 度的高精度观测实验方法及分析结果。

2 观测井概况

52

温泉井又称新 30 井 位于新疆维吾尔自治区温 泉县三泉疗养院内,海拔高1323 m。该井干2006 年12月开始进行以地震前兆监测为目的的水位水 温观测。该井地处博尔塔拉河谷之南缘地区,井区 内主要发育有中石炭统凝灰质砂岩与花岗斑岩 ,上 覆地层为厚仅几米的含大量碎石的第四系冲积洪积 粘性土。井点位于博尔塔拉断陷谷地南缘断裂之 南、该断裂为高角度正断层、走向近东西、倾向北、倾 角 75°~85°。

根据地质勘探结果,该井完工深度为304 m,现 今深度为 212 m。井孔结构、围岩岩性与含水性及 其温度与视电阻率测试结果如图1所示。由图1可 见,井孔结构: 0~24.77 m 设 d293 mm 套管 24.77 ~62.00 m 设 \$\phi159 mm 套管 ,以下为 \$\phi222 mm 裸 孔;围岩主要为中石炭统凝灰质砂岩与上古代侵入 岩 其岩性为花斑岩与霏细岩;钻孔揭露出有多层破 碎带 其深度分别为 2.5~65 m、77~91 m、104~ 124 m、130~141 m、164~173 m、187~196 m 视电 阻率测井结果表明破碎带为低阻性 是主要含水段。 温度测井结果表明,井孔内水温较高 30 m 处为 29 ℃ 52 m 处为 31.3 ℃,109 m 处为 33.5 ℃,110~ 115 m 深度段为高梯度段,至186 m 水温达37.8 ℃; 然后水温呈负梯度下降特征 ,212 m 降至 33.3 ℃。依此判定 主要热水层段为 107~186 m(特别 是 110~115 m 深度段) 186 m 以下为相对冷水段。

3 观测实验

井水温度观测梯度实验于 2012 年 7 月 13-15 日进行;采用 SZW-IA 型数字式温度计,该水温传感 器的分辨率为0.0001℃,观测精度不低于0.01℃, 数据采样率为1次/分钟。

观测实验始于 13 日 17:00 时,当时井水位埋深 为 3.79 m, 气温为 25.1 ℃。由井口开始 0~70 m 井段每 10 m 深度测一组水温 ,75~210 m 井段每 5 m 深度测一组水温;除75m与180m二个深度上观 测了 12 个小时左右外 其他每一个深度上连续观测 30 分钟。整个试验是分深度段、连续间隔性观测 的 观测数据由计算机现场采集与处理。



图 1 井孔结构与围岩岩性、含水性、温度、视电阻率测 试结果①

Fig. 1 wall-rock litho-logy, aquosity, temperature and apparent resistivity of the well

3.1 各个深度半小时动态特征

经统计研究 在每个测量深度上 井水温度随时 间变化可以表示为

$$T(t) = \alpha e^{bt} + c e^{dt}$$

式中,*T*(*t*)为某一时刻水温*t*为时间点(分钟),*a*、 b、c、d 为常数。可以看出,水温随时间变化的基本 特征是急速变化后逐渐趋于稳定;在水温正梯度段, 水温急速变化是由低变高,而在水温负梯度段则为 由高变低。图2为该井4个典型深度段水温半小时 动态曲线。

由图 2 可见,不同深度上的水温半小时动态特 征有共性 但也有差异性。最明显的共性是变化的 形态基本一致 都是对数曲线;但变化的细节有明显 的差异:1) 水温由急剧升降变化转变为稳定的时间 长度 10~20 分钟不等, 总体上浅部(20~50 m)短, 约10分钟, 中部(60~180 m) 长 多为15~20分钟, 其中个别深度段较短(120、140 m 等);2) 水温急剧 变化段(梯度变化幅度大的层位)水温实际动态与 拟合曲线吻合程度 浅部(20~70 m) 差 深部(80 m 以下)好;3)水温动态稳定段特征,有三种不同情 况: 第一种情况是水温十分稳定 实际动态与拟合曲 线基本吻合(50~80 m、90~120 m); 第二种情况是 水温不十分稳定 在平稳背景上上下波动(90~120 m、140~170 m); 第三种情况是水温仍有趋势变化, 略呈上升趋势(130、150、170 m);4)180 m 深度上水 温动态持续观测了 13 个半小时(约 800 分钟),其

① 新疆第二水文工程地质大队地热地质勘查报告[R]. 2003.



(d)深度为200m



动态特征表现更为复杂,水温动态急剧上升过程持续了约200分钟,然后呈缓慢下降趋势。

分析结果表明,上述的差异性,主要取决于井孔 的水文地质特征,即井孔的结构、井孔中含水层的分 布及地下水温度的变化等^[7]。井孔浅层水温急剧 上升变化过程段,水温稳定时间短与该井段内下设 有套管(0~62 m)、井水不受含水层地下水的直接 有关;井孔中部水温稳定段中"稳中有起伏",可能 与该井段主要处在隔水段或非含水层段,但其下部 又有一小截为含水层的水文地质特征有关,其中个 别"稳中略升"的井段可能与该井发育在热水层有 关;180 m 深度是井孔围岩中热水层与相对"冷"水 层的分界,以上发育在热水层,以下发育在相对冷水 层(水温降到 32 ~ 33 ℃),因此表现为半小时动态 上、下截然不同,水温稳定而又呈下降趋势等特征 (图 3)。



图 3 180 米处水温稳定过程

Fig. 3 A stable process of water-temperature in 180-meter

3.2 各井段的水温梯度特征

井深 10~70 m、每 10 m 的测试结果与井深 75 ~205 m、每 5 m 的测试结果构成的测井段水温梯 度,如图 4。



图 4 水温梯度测量结果

Fig. 4 Water-temperature gradient

由图 4 可见,水温梯度变化较大。180 m 并段 以上的为正梯度段,即随深度水温升高,180 m 以下 则为负梯度段,随深度水温下降;正梯度段内最大为 34.3 C/hm(30~40 m 并段),最小仅 0.5 C/hm (175~180 m 并段),多数在 4~10 C(60~170 m 并段);正梯度段又可分为二段,10~60 m 深度段为 特高梯度带(>10 C/hm),60~170 m 深度段为高 梯度带(<10 C/hm),但其中也有个别高梯度带 (90~120 m 并段 8~12 C/hm)与个别特低梯度带 (140~145 m,155~160 m,<3 C/hm);负梯度段 内,最大为-11.3 C/hm 最小为-5.9 C/hm,多数 为-6.0~-8.0 C/hm。可见该并孔中水温梯度极 不均匀。梯度的不均一性与井孔水文地质条件密切 相关。10~60 m 井段为围岩破碎等(2.5~65 m), 是深部高温热水上漏的主要通道。正梯度段内的水 温高梯度异常段(105~120 m,160~175 m)或低梯 度异常段(70~90 m,135~165 m)都与围岩破碎、 电阻率低的含水层段相吻合,证明各个含水层中渗 出的地下水温度有高低之差,即高梯度带渗出的水 温相对高,低梯度带渗出的水温相对低;水温梯度变 化最大的是 170~185 m 井段,由 12.6 C/hm 降到 -11.3 C/n,梯度变化剧烈与该深度为冷热水交界 有关。

3.3 井孔水温梯度对井水温度微动态特征 的影响分析

为了分析不同层位水温变化特性与井孔水文地 质条件之间关系,汪成国^[8]于2010年1~2月间进 行了140~185 m不同深度上的水温微动态观测,观 测结果表明,水温的日起伏度随观测深度的增加而 逐渐变小,即水温微动态随深度而趋于平稳;观测深 度为180 m与185 m时水温微动态显示出潮汐变 化,日潮差为0.0047~0.0064 ℃。

4 结论

1) 从 130、140、190、200 m 四个曲线拟合结果可 以看出 温度稳定过程遵循指数函数规律 只在稳定 所需时间上略有区别。130、140 m 处 10 分钟后基 本已经稳定,但仍有着较明显的小幅上升趋势;而 190、200 m 处稳定时间相对较快,15 分钟后已经看 不出趋势性变化。另外从拟合中的预期范围也可以 得到同样的结论,在预期范围95%基础上,深部明 显小于浅部。经过水样抽取时发现,190 m 处井孔 内呈淤泥状,一定程度上削弱了该处水交替的剧烈 程度 淤泥状的水对水温到了滤波作用 从而出现上 述现象 深部水稳定速度、稳定程度都优于浅层水; 由此可见 水温响应特性跟传感器所处的位置的地 质特征、地下水类型有着十分紧密的联系。地震前 兆中地热观测手段,由于水的参与,使其观测过程、 反应机理变得极其复杂多变; 井与井之间、同一口井 中不同部位之间,其变化过程都需进行现场确认、观 测才可能得到确切的答案。

2) 从水温梯度看,存在正梯度段(最大达 34.3 ℃/hm) 与负梯度段(最小达 - 5.9 ℃/hm);另外从 不同深度动态响应特征看,180 m 水温表现出较为 明显的地球潮汐现象,而其他观测段没有出现。

3) 从梯度测量数据还可以看出,其梯度拐点的 出现,一般距离为5~10 m;以此来看,在井孔内地 质结构较复杂段进行梯度测量时,其间隔宜小不宜 大,以免遗漏许多信息。每点固定稳定时间不应小 于 30 分钟。

致谢 感谢车用太研究员、许秋龙、王建国高级工程师的悉心指导,以及新疆温泉地震台、新疆自治区地 震局地下流体中心同仁的倾力协助!

参考文献

- 付子忠. 地热动态观测与地热前兆 [J]. 地壳构造与地壳 应力, 1998, 1(1): 1-7. (Fu Zizhong. The dynamic observation of geothermal and geothermal precursor [J]. Crustal Structure and Crustal Stress, 1998, 1(1):1-7)
- 2 刘耀炜 等. 井孔水温异常与 2007 年宁洱 6.4 级地震关系分析 [J]. 地震研究 2008 31(4): 347 353. (Liu Yaowei, et al. Relationship between bore-hole water temperature anomaly and the 2007 Ning'er M6.4 earthquake [J]. Journal of Seismological Research 2008 31(40): 347 - 353)
- 3 车用太 等. 张北-尚义地震的地下流体异常场及其成因 分析[J]. 地震学报 ,1999 ,21(2):194 - 201. (Che Yongtai, et al. The anomalous field of underground fluids related to the Zhangbei-Shangyi earthquake and formation cause [J]. Acta Seismological Sinica , 1999 ,21(2): 194 - 201)
- 4 王瑜青. 地热观测资料清理及映震能力分析 [J]. 地震学报,1994,16(增刊):148-152.(Wang Yuqing. Analysis of the ability of geothermal observations reflecting earthquakes [J]. Acta Seismological Sinica, 1994, 16(supplement): 148-152)
- 5 赵刚,等. 地热对汶川 8.0 级地震的同震响应及震后调整 [J]. 大地测量与地球动力学 2009 (2): 29 – 32. (Zhao Gang. Co-seismic response and post-seismic effect of geothermic on Wenchuan Ms8. 0 earthquake [J]. Journal of Geodesy and Geodynamic , 2009 (2): 29 – 32)
- 6 冯恩国,王华. 我国地震地下流体观测现状的调查与分析 [J]. 地震与地磁观测研究 2012 32(3): 37 - 46. (Feng Enguo and Wang Hua. Investigation and analysis on the current status of the seismic underground fluid observation in China [J]. Seismologic and Geomagnetic Observation and Research, 2012, 32(3): 37 - 46)
- 7 刘炜. 动力加载作用与地下水特征动态过程比较 [D]. 中国地质大学(北京),2009. (Liu Yaowei. Dynamic loading and physical dynamics process of groundwater [D]. China University of Geosciences, 2009)
- 8 汪成国,等.新30井不同深度下的水温观测试验及其结果[J].地震,2012,32(3):37-46.(Wang Chengguo, et al. Water temperature observation test and results at different depths of the new 30 well [J]. Earthquake, 2012,32(3): 37-46)