

王江、张晓刚、王莉森等, 2016, 河北辛集井水温梯度及固体潮特征, 中国地震, 32(3), 556~562。

· 研究报道 ·

# 河北辛集井水温梯度及固体潮特征

王江 张晓刚 王莉森 马广庆 梁红杰 牛露

河北省地震局监测网络中心, 石家庄市槐中路 262 号 050021

**摘要** 对河北辛集井进行了 50~200m 深度内的井水温梯度测试, 结果表明测试深度内存在 3 处负梯度段 (50~60m 处、90~110m 处、130~140m 处)。在 50~60m 深度处的水温负梯度位置, 发现了清晰的水温固体潮, 其相位与水位固体潮相反。根据该井的综合钻井资料、水文地质条件分析认为水温负梯度可能与井管外低温含水层热交换有关, 并讨论了负梯度处的水温固体潮特征。

**关键词:** 辛集井 井水温梯度 水温固体潮

[文章编号] 1001-4683(2016)03-0556-07 [中图分类号] 315 [文献标识码] A

## 0 引言

井水温观测是地下流体观测的重要观测项目, 井水温的微动态信息被认为与地壳应力、地震前兆存在密切关系。我国的地下流体观测台网在上世纪末普遍布设了水温观测项目。根据《地震及前兆数字观测技术规范》(中国地震局, 2001) 中的要求, 在开展水温观测之前应进行井水温梯度测试。

## 1 实验井概述

河北辛集井位于辛集市旧垒头村西, 坐标  $37.976^{\circ}\text{N}$ ,  $115.180^{\circ}\text{E}$ , 地面高程 36.50m。1977 年 7 月由华北油田勘探队建设, 成井时为高温高压自流井, 于 2010 年 3 月断流。断流前由于温度过高 ( $83^{\circ}\text{C}$ ), 未开展井水温观测。目前仅进行数字化水位观测, 水位埋深约 34m。

该井完钻井深 2052.37m, 表层套管内径 53.34cm、下设深度至 23.10m, 第一段技术套管内径 24.45cm、深度至 877.83m, 第二段技术套管 17.78cm、深度至 1539.40m, 套管外围采用水泥固井止水。1539.40~2052.37m 深度处为裸孔, 观测层为震旦亚界白云岩承压含水层, 厚度 512.97m。井孔柱状图见图 1。

[收稿日期] 2015-07-21; [修定日期] 2016-09-19

[项目类别] 河北省地震局 2014 年度星火计划面上项目 (DZ20140711037) 资助

[作者简介] 王江, 男, 1984 年生, 工程师, 主要从事地震地下流体监测与研究。E-mail: wangj@eq-he.ac.cn

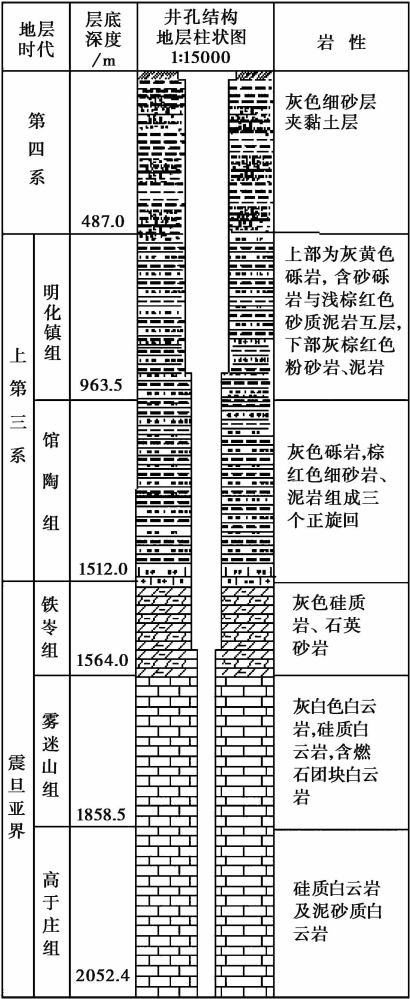


图 1 辛集井井孔柱状图

2 井水温梯度测试及结果

2.1 测试方法

根据《地震地下流体观测技术》(国家地震局科技监测司,1995)、《地震及前兆数字观测技术规范》(中国地震局,2001)及《地震地下流体学》(车用太等,2006)对井水温梯度测试的要求,梯度测试过程中每次变化 10~20m 深度测量 10min,至少测试 10 个点的数据,井深 200~1000m 时,应每次变化 25m 深度测量 20min。新疆地震局于 2011 年地下流体学科统评会介绍了针对水温传感器最佳观测位置的梯度测试实验条件,将每次变化深度调整为 10m;温泉井水温梯度测试条件将传感器每次变化深度后的静置观测时间调整为 30min(何案华等,2014);车用太等(2013)在总结地震井水温观测的基本问题时提出水温梯度测试每次变化 10~20m 深度测量时间不应少于 1h。

辛集井水温梯度测试仪器为中国地震局地壳应力研究所生产的 SZW-1 型数字式温度计,附带 200m 线缆,仪器分辨率为 0.0001℃,绝对精度为±0.05℃,采样率为 1 次/min。基于

测量仪器条件及该井水位埋深,水温梯度测量深度范围为 50~200m,每次变化 10m 深度测量 10~14h。水温梯度测试完成后,选择水温变化敏感深度进行加密测量,条件为每次变化 5m 深度测量 24h。

2.2 测试结果

水温梯度测试结果首先将调整水温传感器深度的短时波动数据处理掉,然后计算每次调整传感器深度后静置观测时间内的平均值及对应梯度值。辛集井水温梯度测试变化范围 -20.9~18.5℃/hm,存在 3 处水温负梯度,分别位于 50~60m、90~110m、130~140m 深度(表 1、图 2a)。

表 1 辛集井水温梯度测试结果

| 井深度<br>/m | 温度均值<br>/℃ | 梯度<br>/(℃·hm <sup>-1</sup> ) |
|-----------|------------|------------------------------|
| 50        | 19.3920    |                              |
| 60        | 18.3901    | -10.019                      |
| 70        | 19.3783    | 9.882                        |
| 80        | 20.9015    | 15.232                       |
| 90        | 20.921     | 0.195                        |
| 100       | 20.5918    | -3.292                       |
| 110       | 20.1775    | -4.143                       |
| 120       | 21.5418    | 13.643                       |
| 130       | 21.8215    | 2.797                        |
| 140       | 19.7322    | -20.893                      |
| 150       | 20.2639    | 5.317                        |
| 160       | 20.4217    | 1.578                        |
| 170       | 20.9651    | 5.434                        |
| 180       | 22.3329    | 13.678                       |
| 190       | 24.18      | 18.471                       |

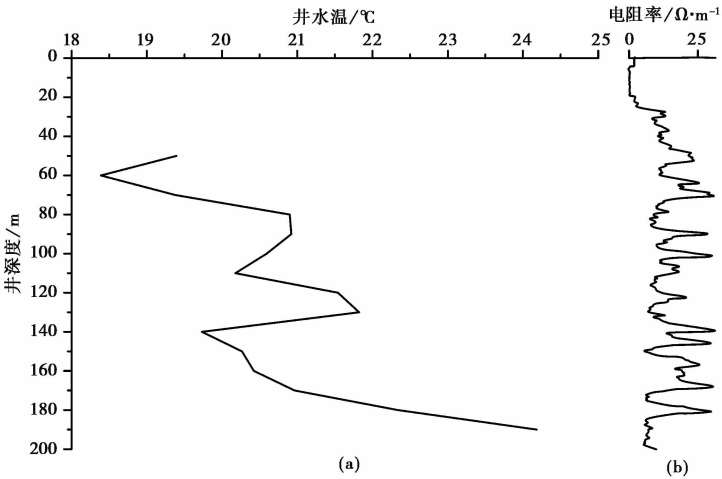


图 2 辛集井水温梯度图(a)及钻井电阻率曲线扫描图(b)

3 水温固体潮测试结果

辛集井水温梯度测试 50~190m 深度内每次变化传感器位置后的水温测量数据(70m 处传感器线缆标记由于破损未能静置观测,60m 观测完成后直接降至 80m 深度),与同井同时段的水位观测数据及计算重力理论固体潮数据绘制了对比曲线(图 3)。该井 50m(图 3(a))、60m(图 3(b))、100m(图 3(e))、130m(图 3(h))深度可见水温固体潮形态。其中 50m(图 3(a))处水温曲线干扰因素较多,水温潮差 0.0052℃;60m(图 3(b))处水温曲线相对光滑,水温潮差 0.0036℃;100m(图 3(e))处水温曲线变化趋势缓慢,水温潮差 0.0085℃;130m(图 3(h))处水温曲线突跳较多,水温潮差 0.0042℃。

根据水温梯度测试结果及每次变化深度水温观测对比曲线,选择 50~80m 深度范围进行步长 5m 的加密观测,并绘制了加密测量水温、水位及计算重力理论固体潮同井同时段数据对比曲线(图 4),发现 55m(图 4(f))处水温固体潮形态最为清晰,水温潮差为 0.0098℃。

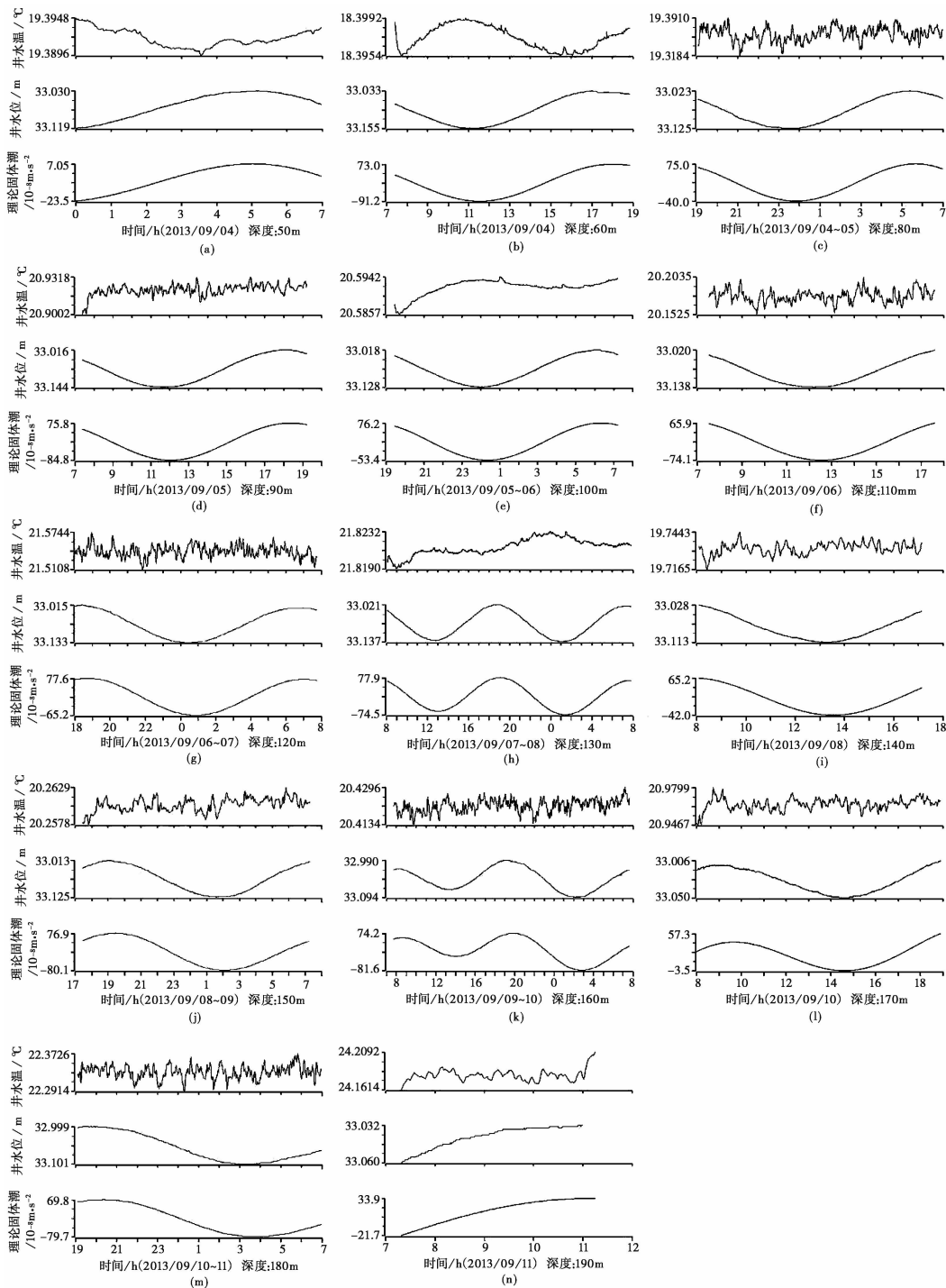


图3 辛集井50~190m深度水温、水位、理论固体潮同时段对比曲线

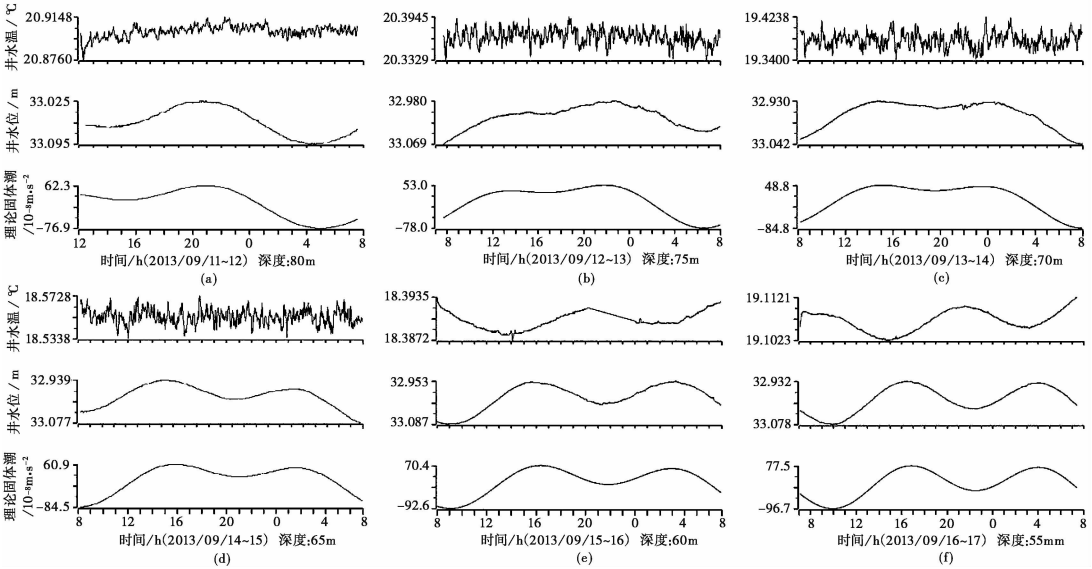


图4 辛集井 55~80m 深度加密测量水温、水位、理论固体潮同时段对比曲线

4 井水温负梯度及固体潮汐特征

4.1 井水温负梯度

辛集井 50~200m 深度内水温梯度变化范围为 $-20.9\sim18.5^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ,超出正常地温梯度范围 $2\sim3^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 及地下水温度研究结果 $1.8\sim3.6^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ (Heath,1983)。水温梯度测试结果发现 3 处负梯度(50~60m 深度梯度 $-10.0^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 、90~110m 深度梯度 $-4.1^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 、130~140m 深度梯度 $-20.9^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ )。塔院井水温在 105~180m 深度内存在负梯度 $-0.3^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ,该深度内水温下降缓慢,普遍认为与地质构造及水文地质条件有关(谷元珠等,2003)。新 30 井水温在 110~230m 深度内存在负梯度 $-5.9^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ (汪成国等,2012),冷热交换被认为是该井负梯度出现的原因(何案华等,2014)。辛集井系油田部门勘探井,设计用途并非地震观测,对于 487m 以上第四系覆盖层的钻孔岩芯未进行详细编录,钻孔柱状图(图 1)中描述为灰色细砂层夹粘土层,结合钻井电阻率曲线(图 2(b))3 处水温负梯度深度(55~60m、95~105m、130~140m)的电阻值明显低于其它深度处的特征,推测负梯度深度存在粘土层为相对隔水层、细砂层为相对含水层的第四系孔隙含水层,且含水层水温低于井管内相同深度的井水温。井管内外水温冷热差异形成热交换,导致该深度井水温出现负梯度。

4.2 水温固体潮特征

辛集井 50~190m 深度 3 个水温负梯度位置记录到固体潮,而正梯度深度内水温观测波动较大,未见固体潮。其中,50~60m 深度水温梯度 $-10.0^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ,55m 深度潮差为 $0.0098^{\circ}\text{C}$ ,固体潮形态比较清晰;90~110m 深度水温梯度 $-4.1^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ,100m 深度潮差 $0.0085^{\circ}\text{C}$ ,固体潮形态相对光滑,但趋势平缓;130~140m 深度水温梯度 $-20.9^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ,130m 深度潮差为 $0.0042^{\circ}\text{C}$ ,可见固体潮,但突跳较多。而塔院井水温观测在负梯度(约 $-1.5^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ )及正梯度(约 $1^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ )深度均观测到固体潮,且梯度变化大的位置水温潮汐动态变化范围大(杨竹转,

2011)。不同于塔院井,辛集井水温固体潮仅与负梯度有关,且水温固体潮动态范围(潮差)与梯度变化大小无明显线性关系。

该井 50m(图 3(a))、55m(图 4(f))、60m(图 3(b)、图 4(e))、100m(图 3(e))、110m(图 3(f))深度水温固体潮与水位固体潮相位相反,即水温增高,水位下降;水温降低,水位上升。这与水温负梯度处的温度变化特征相符。河北昌黎井的水温固体潮变化机制(张子广等,2007)及井水流量潮汐变化机制(马玉川等,2010)与辛集井水温固体潮变化特征类似。

辛集井断流前水温 83℃,属于高温高压自流井,水热动力学机制(车用太等,2014)是水温动态的主导机制。观测含水层为 1539.4m 深度以下承压含水层,通过钻井电阻率曲线(图 2(b))发现 487m 以上可能存在相对含水层。该井断流后由于压力降低、水位快速下降,梯度测量时已降至 33m,浅层深度井管外的低温含水层与井管内的观测水体热交换明显,表明负梯度深度的井水温动态受地热动力学机制(车用太等,2014)影响为主。

该井负梯度深度的水温固体潮峰谷变化超前于水位及理论固体潮。祁县井由于井管阻塞水温固体潮特征(马玉川等,2014)与辛集井相似。但辛集井水温梯度测试变化水温传感器深度过程,未见明显阻滞,无井管阻塞可能。因此,此现象在后续工作中值得深入研究。

## 5 结论

辛集井水温梯度测试变化范围大( $-20.9 \sim 18.5^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ),在 50~200m 深度内发现 3 处负梯度:50~60m 深度( $-10.0^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ )、90~110m 深度( $-4.1^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ )、130~140m 深度( $-20.9^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ )。结合该井钻孔柱状图及钻井电阻率曲线分析,推测负梯度是井管外的第四系低温含水层与井管内观测水体进行热交换所导致。

该井于 3 处负梯度深度发现了水温固体潮,但未发现水温固体潮动态范围与负梯度变化大小存在明显线性关系。选取该井负梯度水温固体潮曲线光滑的 50~60m 深度进行了加密观测,于 55m 深度观测到清晰的水温固体潮,潮差  $0.0098^{\circ}\text{C}$ ,其相位与水位固体潮相反。水温固体潮特征及负梯度表明该井水温受水热动力学及地热动力学共同作用。

此外,辛集井水温固体潮超前于水位固体潮的现象可能与该井特殊的水文地质条件有关,仍需继续研究。

致谢:感谢车用太对论文撰写的悉心指导,感谢张子广、盛艳蕊等对本文结论部分给出的参考意见。

## 参考文献

- 车用太、鱼金子,2006,地震地下流体力学,北京:气象出版社。
- 车用太、鱼金子,2013,井水温度观测中有待解决的若干基本问题,中国地震,29(3),306~315。
- 车用太、何案华、鱼金子,2014,水温微动态形成的水热动力学与地热动力学机制,地震学报,36(1),106~117。
- 谷元珠、车用太,2003,塔院井水温微动态研究,地震,23(1),102~108。
- 国家地震局科技监测司,1995,地震地下流体观测技术,北京:地震出版社。
- 何案华、汪成国、李晓东等,2014,新疆温泉水温梯度观测实验及结果分析,大地测量与地球动力学,34(1),51~54。
- 马玉川、刘耀炜、任宏微等,2010,自流井水温固体潮效应及其应变响应能力,中国地震,26(2),172~182。
- 马玉川、王博,2014,祁县井水温和水位的奇异潮汐关系探讨,中国地震,30(1),55~63。
- 汪成国、赵刚、高守权等,2012,新 30 井不同深度下的水温观测实验及其结果,地震,32(3),37~46。
- 杨竹转,2011,地震波引起的井水位水温同震变化及其机理研究,博士学位论文,北京:中国地震局地质研究所。

张子广、张素欣、李薇等,2007,昌黎井水温潮汐形成机理分析,地震,27(3),34~40。  
中国地震局,2001,地震及前兆数字观测技术规范,北京:地震出版社。  
Heath R C,1983,Basic Ground-Water Hydrology,Reston,VA:U.S. Geological Survey.

Characteristics of water temperature gradient and tide in the Xinji well,Hebei Province

Wang Jiang   Zhang Xiaogang   Wang Lisen   Ma Guangqing   Liang Hongjie   Niu Lu  
Earthquake Administration of Hebei Province,Shijiazhuang 050021,China

**Abstract**   Water temperature gradient in Xinji well has been tested from 50m to 200m deep,and the results show that there are 3 negative gradient sections( 50-60m,90-110m,130-140m) in the test depth. The clear water temperature tide,whose phase is in contrast to the water level tide,has been found in 50m to 60m depth position in the water temperature negative gradient. According to the well drilling data and hydrogeological conditions,water temperature negative gradient may be associated with the cold water layer in the same depth around the well. Characteristics of the water temperature tide in the negative gradient have been discussed.

**Key words:**   Xinji well;   Water temperature gradient;   Water temperature tide