

三峡井网温度梯度特征分析^{* 1}

梅建昌¹⁾ 黎永东¹⁾ 李家明^{1,2)} 郭熙枝¹⁾

(1)中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室),武汉 430071
(2)中国地震局地壳应力研究所武汉创新基地,武汉 430071)

摘要 对三峡水网的6口观测井的温度梯度测量结果表明:太阳辐射热的影响深度为20~30 m;各井的水温梯度差异较大,同一井不同深度井段的温度梯度也不同。影响温度梯度的主要因素是地层岩性、岩体发育的完整性和太阳辐射热。

关键词 温度梯度;三峡井网;太阳辐射热;地层岩性;岩体发育

中图分类号:P315.72+3

文献标识码:A

ANALYSIS ON TEMPERATURE GRADIENT IN THREE GEORGES WELLS NETWORK

Mei Jianchang¹⁾, Li Yongdong¹⁾, Li Jiaming^{1,2)} and Guo Xizhi¹⁾

(1)Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071
(2)Wuhan Base of Institute of Crustal Dynamics, CEA, Wuhan 430071)

Abstract The temperature gradient is measured in 6 wells of the Three Georges well network observation network. The result shows that the influence depth of sun-radiation heat is 20 – 30 m. The water temperature gradient is different in deferent wells, the diversity of temperature gradient in different depth in one well is obvious. Stratum lithology, development of rock mass and sun-radiation heat play important roles in affecting the temperature gradient.

Key words: temperature gradient; Three Geoges well network; sun-radiation heat; stratum lithology; development of rock mass

1 引言

关于水温前兆特征、干扰、动态类型等研究已有国内外学者进行过大量研究^[1-5]。车用太^[2]等认为水温动态的研究不仅对地震预报探索有重要意义,且对地球动力学、地球物理的研究提供丰富的资料。三峡水库地震地下水动态监测网(简称三峡井网)由8口观测井组成,布设在库首区和坝区两个诱发地震危险区内。各观测井均安装有水位与水温两个地下水前兆主测项。该井网于2012年4月开始对

其中的6口井及井房进行改造、设备更新,6月底安装仪器设备,7月中旬开始运行。为确定水温传感器放置位置,本文分段动态测试了各井温度梯度,并分析了各井水温受太阳辐射热的影响深度、不同大地构造区的地热差异。

2 温度梯度测量

三峡水网的温度梯度测量是利用DSW-1型高精度水温水位综合观测仪在坝区的丁家坪、茅坪以及库首区的4口井等6口井进行(图1)。该仪器的

* 收稿日期:2013-05-28

基金项目:中国长江三峡工程开发总公司专项基金(SXSN/3354)

作者简介:梅建昌,男,1957年生,高级工程师,主要研究方向:地震监测. E-mail: tomjc@163.com

水温分辨力为 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}$, 仪器的短期稳定性为 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{天}$; 采样率为 1 次/分钟。井中温度测量多从井口以下 20 m 深度处开始, 每 20 m 深度测一个值, 每次测量间隔 20 分钟。

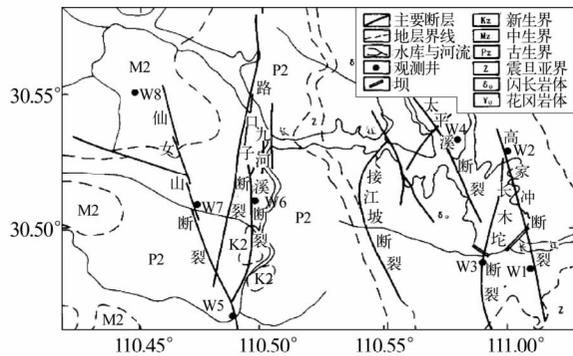


图1 三峡井网观测井分布

Fig. 1 Observation wells distribution of the Three Gorges well network

2.1 丁家坪井

丁家坪井位于长江北岸丘陵山地中的一小冲沟西侧、湖北省宜昌市夷陵区太平溪镇境内, 井点海拔高程 201 m。井区内发育有黑云母石英闪长岩, 井孔围岩较为完整, 温度测量结果及井孔柱状图如图 2 所示。测量温度梯度时, 丁家坪井水位埋深为 2.145 m, 井房内温度为 $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。梯度测量后, 温度传感器放置在井口以下 110 m 深度处, 该井中温度共测 6 个深度点, 取得 5 个井段的梯度值见表 1, 梯度图及井孔柱状图见图 2。

表 1 丁家坪井水温测量及其梯度值

Tab. 1 Measurement results of water temperature and its gradient in Dingjiaping well

测点序号	测点深度 (m)	测值 ($^{\circ}\text{C}$)	井孔梯度 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{hm}^{-1}$)
1	20	18.573 4	
2	40	19.002 3	+ 2.144 5
3	60	19.258 0	+ 1.278 5
4	80	19.446 5	+ 0.942 5
5	100	19.612 4	+ 0.829 5
6	120	19.712 9	+ 0.502 5

丁家坪井 20 m 以下为正温度梯度, 水温受太阳辐射热的影响深度(负温度梯度段)小于 20 m。丁家坪井 20 ~ 120 m 井段井水温梯度为 $2.1445 \sim 0.5025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$, 平均梯度值约为 $1.1395\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

2.2 茅坪井

茅坪井位于长江南岸一级阶地的茅坪河东。井点海拔高程 113 m。井区内发育有黑云母石英闪长岩, 井孔围岩较为完整, 温度测量结果及井孔柱状图如图 3 所示。测量温度梯度时, 茅坪井水位埋深为 7.22 m, 井房内温度为 $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。梯度测量后, 温度传感器放置在井口以下 100 m 深度处, 该井中温

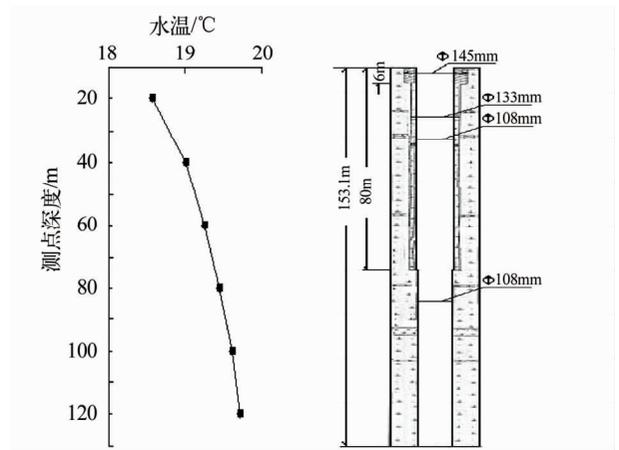


图 2 丁家坪井水温梯度及井孔岩性

Fig. 2 Gradient of water temperature and lithology of bore-hole in Dingjiaping well

度共测 7 个深度点, 取得 6 个井段的梯度值(表 2)。

茅坪井 20 m 以下为正温度梯度, 水温受太阳辐射热的影响深度(负温度梯度段)小于 20 m。茅坪井 20 ~ 140 m 井段井水温梯度为 $4.215 \sim 0.637\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$, 平均梯度值约为 $1.5432\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。可见茅坪井的平均梯度值均小于全球地壳的地温平均梯度值 ($3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$)^[5]。

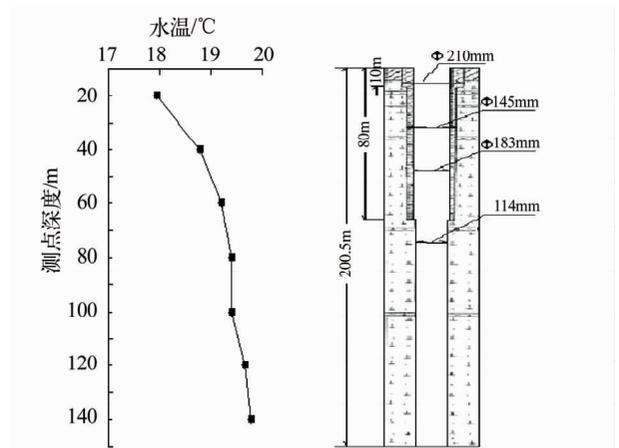


图 3 茅坪井水温梯度及井孔岩性

Fig. 3 Gradient of water temperature and lithology of bore-hole in Maoping well

表 2 茅坪井水温测量及其梯度值

Tab. 2 Measurement results of water temperature and its gradient in Maoping well

测点序号	测点深度 (m)	测值 ($^{\circ}\text{C}$)	井孔梯度 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{hm}^{-1}$)
1	20	17.937 8	
2	40	18.780 8	+ 4.21 5
3	60	19.209 8	+ 2.145
4	80	19.398 2	+ 0.942
5	100	19.407 1	+ 0.044 5
6	120	19.662 3	+ 1.276
7	140	19.789 7	+ 0.637

2.3 大河口井

大河口井位于长江南岸山间河谷区、仙女山断裂带南端。井点海拔高程 241 m。在此次改造中,大河口井重新洗井,井管在原井口上延伸 6 m,井口至 111 m 为 $\Phi 108$ mm 厚度 6 mm 井管,111 ~ 134 m 为 $\Phi 108$ mm 厚度 6 mm 花管。测量温度梯度时,大河口井水位埋深为 6.9 m,井房内温度为 34.8 $^{\circ}\text{C}$ 。梯度测量后,温度传感器放置在井口以下 110 m 深度处。井区内发育为灰岩。大河口井井温梯度是测 6 个深度点,取 5 个井段梯度值,温度梯度测量结果见表 3。梯度图及井孔柱状图见图 4。表 4 可见大河口井 20 ~ 120 m 井段井水温梯度为 0.470 5 ~ 0.081 0 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,平均梯度值约为 0.301 6 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

表 3 大河口井水温测量及其梯度值

Tab. 3 Measurement results of water temperature and its gradient in Dahekou well

测点序号	测点深度 (m)	测值 ($^{\circ}\text{C}$)	井孔梯度 ($^{\circ}\text{C hm}^{-1}$)
1	20	23.313 7	
2	40	23.407 8	+ 0.470 5
3	60	23.448 5	+ 0.203 5
4	80	23.511 0	+ 0.312 5
5	100	23.599 1	+ 0.440 5
6	120	23.615 3	+ 0.081 0

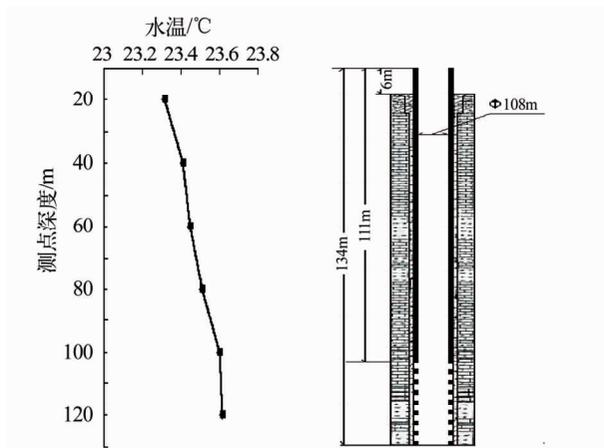


图 4 大河口井水温梯度及井孔岩性

Fig. 4 Gradient of water temperature and lithology of bore-hole in Dahekou well

2.4 屈家湾井

屈家湾井位于长江南岸中低山区、九湾溪河西。井点海拔高程 543 m。测量温度梯度时,屈家湾井水位埋深为 21.11 m,井房内温度为 33 $^{\circ}\text{C}$ 。梯度测量后,温度传感器放置在井口以下 70 m 深度处。井区内发育为砂岩。屈家湾井温梯度是测 6 个深度

点,取 5 个井段梯度值,温度梯度测量结果见表 4,梯度图及井孔柱状图见图 5。由表 4 可见屈家湾井受太阳辐射热影响的深度为 30 m(负梯度井段),井中 30 ~ 70 m 深度段水温梯度为 0.376 ~ 0.565 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,平均梯度值约为 0.663 5 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,较全球地壳平均梯度值低。

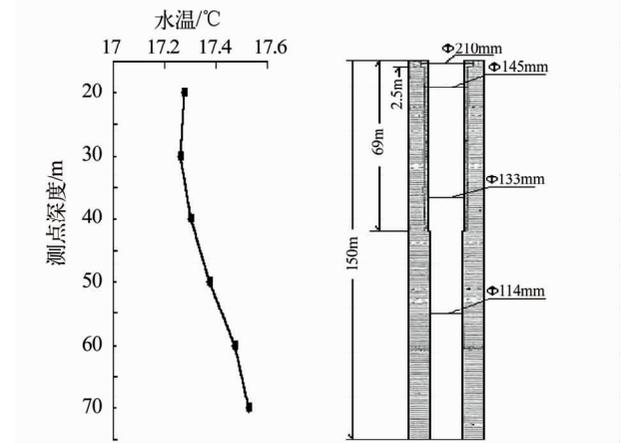


图 5 屈家湾井水温梯度及井孔岩性

Fig. 5 Gradient of water temperature and lithology of bore-hole in Qujiawan well

表 4 屈家湾井水温测量及其梯度值

Tab. 4 Measurement results of water temperature and its gradient in Qujiawan well

测点序号	测点深度 (m)	测值 ($^{\circ}\text{C}$)	井孔梯度 ($^{\circ}\text{C hm}^{-1}$)
1	20	17.276 0	
2	30	17.262 4	- 0.136 0
3	40	17.300 0	+ 0.376 0
4	50	17.375 4	+ 0.754 0
5	60	17.471 3	+ 0.959 0
6	70	17.527 8	+ 0.565 0

2.5 周坪井

周坪井位于长江南岸山间河谷北岸丘陵山地。井点海拔高程 475 m。周坪井在此次改造中也为新洗井,井口至井下 50 m 为 $\Phi 108$ mm 厚度 6 mm 井管,50 ~ 86 m 为 $\Phi 108$ mm 厚度 6 mm 花管。测量温度梯度时,周坪井水位埋深为 2.5 m,井房内温度为 31 $^{\circ}\text{C}$ 。梯度测量后,温度传感器放置在井口以下 40 m 深度处。周坪井井温梯度是测 9 个深度点,取 8 个井段梯度值,温度梯度测量结果见表 5,梯度图及井孔柱状图见图 6。在周坪井 10 ~ 86.5 m 井段井水温梯度为 4.238 0 ~ 1.013 9 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,平均梯度值约为 1.082 5 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。周坪井井下 20 ~ 86 m 温度梯度是逐渐增大。周坪井的含水层在井底 60 ~ 86 m,井孔底部为断层破碎带,仙女山断裂带由此通过。

表 5 周坪井水温测量及其梯度值

Tab.5 Measurement results of water temperature and its gradient in Zhouping well

测点序号	测点深度 (m)	测值 ($^{\circ}\text{C}$)	井孔梯度 ($^{\circ}\text{C hm}^{-1}$)
1	10	16.001 4	
2	20	16.425 2	+ 4.238 0
3	30	16.477 9	+ 0.527 0
4	40	16.489 6	+ 0.117 0
5	50	16.532 3	+ 0.427 0
6	60	16.592 4	+ 0.601 0
7	70	16.668 5	+ 0.761 0
8	80	16.757 3	+ 0.888 0
9	86.5	16.823 2	+ 1.013 9

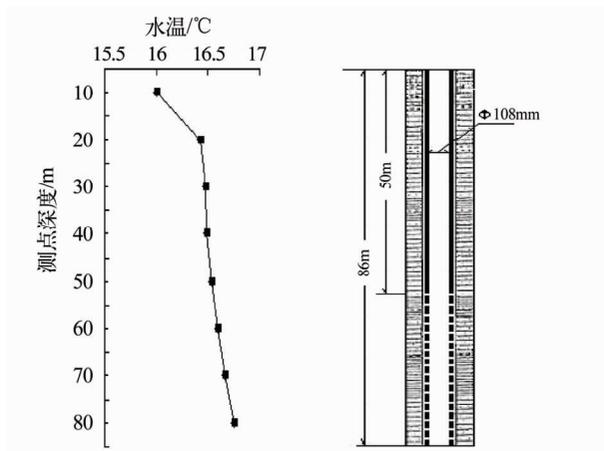


图 6 周坪井水温梯度及井孔岩性

Fig.6 Gradient of water temperature and lithology of borehole in Zhouping well

2.6 郭家坝井

郭家坝井位于山间河谷东岸丘陵山地。井点海拔高程 195 m。测量温度梯度时,井水位埋深为 1.16 m,井房内温度为 36°C 。梯度测量后,温度传感器放置在井口以下 100 m 深度处。郭家坝井井温梯度是测 5 个深度点,取 4 个井段梯度值,温度梯度测量结果见表 6,梯度图及井孔柱状图见图 7。在 20~100 m 井段井水温梯度为 $1.034 5 \sim 0.581 0^{\circ}\text{C/hm}$,平均梯度值约为 $0.949 2^{\circ}\text{C/hm}$ 。

表 6 郭家坝井水温测量及其梯度值

Tab.6 Measurement results of water temperature and its gradient in Guojiaba well

测点序号	测点深度 (m)	测值 ($^{\circ}\text{C}$)	井孔梯度 ($^{\circ}\text{C hm}^{-1}$)
1	20	19.469 0	
2	40	19.675 9	+ 1.034 5
3	60	19.919 4	+ 1.217 5
4	80	20.094 4	+ 0.875 0
5	100	20.210 6	+ 0.581 0

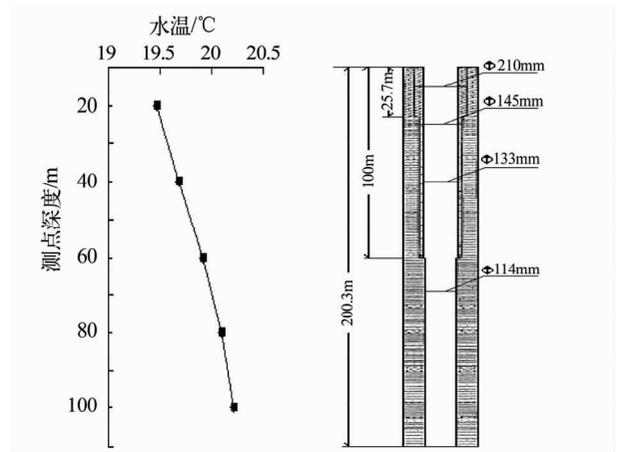


图 7 郭家坝井水温梯度及井孔岩性

Fig.7 Gradient of water temperature and lithology of borehole in Guojiaba well

3 梯度特征的影响因素

从温度梯度值来看,太阳辐射对三峡井网中的屈家湾井水温影响明显。太阳辐射热的影响深度在陆地一般被认为仅 10~20 m^[5]。该井水温受太阳辐射影响最深达 30 m,可能与该井所处的地形地貌条件有关,井区位于中低山区,沟谷较发育,井点以南为山坡状。区内主要发育有下古生界碳酸盐岩与碎屑岩系,在峡谷内裸露于地表,直接受太阳辐射热的影响。

三峡井网 6 口井的水温平均梯度,总体上偏小,最小约为 $0.301 6^{\circ}\text{C/hm}$,最大 $1.543 2^{\circ}\text{C/hm}$,小于全球地壳平均梯度值。各井不同深度段上水温梯度变化较大。

同样是黑云母石英闪长岩,但茅坪井的水温梯度较丁家坪井大,这可能与茅坪井距长木坨断裂带较近有关。丁家坪井井区内高家冲断裂呈 SSE-NNW、长木坨断裂呈 SSW-NNE 伸入,二条断裂在井区似交而未交。茅坪井井区有长木坨断裂带,呈近 S-N 向贯穿,井点距断裂带的地面距离小于 50 m。井点距坝约 1 km。测量结果表明;1) 地层岩性与构造条件是影响水温梯度大小的重要因素,岩体相对破碎地区的水温梯度变化较大;2) 井孔深部的水温除了地热的传导外,还与井水的热对流有关;3) 水温梯度不稳定,不仅各井不同,而且同一口井的不同井段差异也很大。

4 结论

1) 太阳辐射对三峡井网大部分井水温的影响深度范围为 10~20 m,仅屈家湾井在 30 m 左右;

2) 各井的水温梯度差异较大,最小者仅 0.117°C/hm ,最大者达 4.238°C/hm ;

3) 地层岩性、岩体相对发育程度与构造条件是影响水温梯度大小的重要因素;

4) 井孔深部的水温除了地热的传导外,还与井水的热对流有关。

参 考 文 献

1 胡敦宽,等,白家瞳观测井的地热干扰排除及机理探讨[J].地震学报,1996,19(1):128-130.

(上接第70页)

近仙女山断裂带附近分布,而左岸只有部分沿九畹溪断裂分布,大部分地震分布在仙女山断裂带延长线和九畹溪断裂的控制区域内,呈NE走向。

2)图3显示,地震精定位后,大部分地震震源深度有所增加,地表浅层地震分布减少,在3~9 km优势分布;

3)根据研究区域地震构造格架和构造背景,分析认为仙女山断裂-九畹溪断裂属盖层断裂,在地质历史特别是早第四纪时多次强烈活动,但晚更新世以来活动较弱。2008年的两次显著性地震可能与构造应力场调整和仙女山断裂最新的弱活动有关,与库水荷载和渗透作用有一定的关系。

致谢 衷心感谢姚运生、刘锁旺研究员、王秋良副研究员提出的宝贵的意见和建议!

参 考 文 献

1 车用太,等.长江三峡工程库首区胡家坪 Ms4.1 水库诱发地震研究[J].地震,2009,29(4):1-13.

2 Waldhauser F and Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, California[J]. Bull Seism Soc A-

mer.,2000,90(6):1353-1368.

2 车用太,鱼金子,刘春国.我国地震地下水温度动态观测与研究[J].水文地质工程地质,1996,(4):34-37.

3 山西运城东郭井水温梯度测试及其结果分析[J].山西地震,146(2):10-14.

4 金沙江水网各观测井温度梯度的精细测量结果及其分析[J].地震地质,2011,33(3):615-619.

5 《地球科学大辞典》编辑委员会.地球科学大辞典(应用学科卷)[M].北京:地质出版社,2005.

mer.,2000,90(6):1353-1368.

3 魏贵春,等.郭家坝地震序列的双差法重新定位研究[J].大地测量与地球动力学,2009,(6):56-59.

4 杨智娟,等.双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用[J].中国科学(D辑),2003,33(增刊):129-134.

5 黄媛,杨建思,张天中.2003年新疆巴楚-伽师地震序列的双差法重新定位研究[J].地球物理学报,2006,49(1):162-169.

6 魏贵春,等.三峡地区震级偏差初步对比分析[J].大地测量与地球动力学,2010,(增):22-25.

7 郑圻森,等.华南地区地壳速度结构分析[J].沉积与特提斯地质,2003,23(12):9-13.

8 郑圻森,等.华南地区岩石圈地壳速度结构数据处理[J].物探化探计算技术,2004,26(2):97-100.

9 闻则刚,等.广东省东部地区的S波速度结构[J].西北地震学报,2005,27(2):154-157.

10 廖武林,等.三峡地区P波速度层析成像研究[J].大地测量与地球动力学,2007,(3):80-84.

11 姚运生,等.双差地震定位程序的改进[J].大地测量与地球动力学,2007,(3):76-79.

12 郑钰,杨建思.双差算法的剖析及参数对定位的影响[J].地震地磁观测与研究,2008,29(3):85-93.