

韩孔艳, 崔博闻, 邢成起, 等. 北京地区5口井温度梯度分析[J]. 华北地震科学, 2016, 34(3): 53-60.

北京地区5口井温度梯度分析

韩孔艳, 崔博闻, 邢成起, 杨明波

(北京市地震局, 北京 100080)

摘要:对北京市范围内5口观测井进行了温度梯度精细测量。结果显示:不同区域受到的太阳辐射热的影响深度存在差异,可能与岩性及岩土中夹杂砂砾石颗粒的大小、多少有关;不同观测井的温度梯度值不同,最小的仅 $0.014\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,最大者达 $3.376\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,推测与井孔结构、地层岩性及构造条件等有关。水温传感器放置处的温度梯度特征很大程度上影响着水温微动态特征及水温前兆信息特征。

关键词:北京区域;观测井温度梯度;太阳辐射热

中图分类号:P315.723

文献标志码:A

文章编号:1003-1375(2016)03-0053-08

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2016.03.010

0 引言

2012—2014年,我们对北京地区奥运保障期间新增的5口观测井进行了升级改造,安装了ZKGD3000-G型高精度水位、水温及气压综合观测仪。在安装水温仪时,为提高观测数据质量,水温探头应放在观测井温度波动较小的部位,以期观测到信噪比较高的前兆信息。对北京区域5口水温观测井进行了温度梯度测量,结果显示不同区域内的观测井受到太阳辐射热的影响深度不同,各井的温度梯度值也存在较大差异,通过对比分析认为其可能与观测井岩性及井孔结构等有关。温度梯度的测量为井水温度微动态特征及其成因机制的研究提供重要依据。

1 温度梯度的测量

本文温度梯度测量的5口观测井分布在北京怀柔、昌平、平谷、密云及通州5个区县内,梯度测量实验使用的是ZKGD3000-G型高精度水位、水温及气压综合观测仪,该仪器水温传感器分辨率优于 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}$,仪器短期稳定性为 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$;精度等级为:优于 $0.1\%\text{ F.S.}$,数据采样率为1次/分钟。

梯度测量多从井口以下20 m处开始,每隔20 m测量一个值,150 m以下每隔10 m测量1个

值,每测点先稳定5~7 min,而后各测点测量时间大于10 min,取10 min内较稳定的几个测值的平均值作为该深度的温度值,温度测量的精度和测点的间距等相对是比较精细的。

2 各井概况及温度梯度测量结果

2.1 怀柔七道梁井

七道梁井位于北京市怀柔区长哨营乡七道梁正白旗村西,系侏罗系浅灰色砾岩夹砂岩。该井完钻深度为305 m,下设壁厚5 mm, $\varnothing 146\text{ mm}$ 无缝钢管至290 m,290 m以下为裸孔。根据钻探揭露岩性和施工过程中冲洗液消耗量分析,该井290.20~298.00 m是少量裂隙发育的砾岩,为含水层。该井孔结构、岩性特征及温度测量结果见图1。

温度梯度测量时,井水位埋深为0.97 m,井房内温度为 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。该井中共测13个深度点,测得12个井段的梯度值(表1)。测量结果显示该井太阳能辐射热的影响深度(负梯度井段)在20 m以上,20 m深度以下不受太阳能辐射的影响,梯度值为 $0.4060\sim 2.5040\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,平均为 $1.4667\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,小于全球地壳的地温平均梯度值 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}^{[1]}$ 。由于地热探头电缆线长度有限,仪器安装时将地热传感器探头放置在井口以下190 m深度处。

收稿日期:2016-04-20

基金项目:2012年度北京市地震局任务性科技专项(JZX-201201);2016年度北京市地震局任务性科技专项(JZX-201603)

作者简介:韩孔艳(1982—),女,安徽太和人,硕士,主要从事首都地下流体前兆资料分析与处理工作. E-mail:kyhan106@126.com

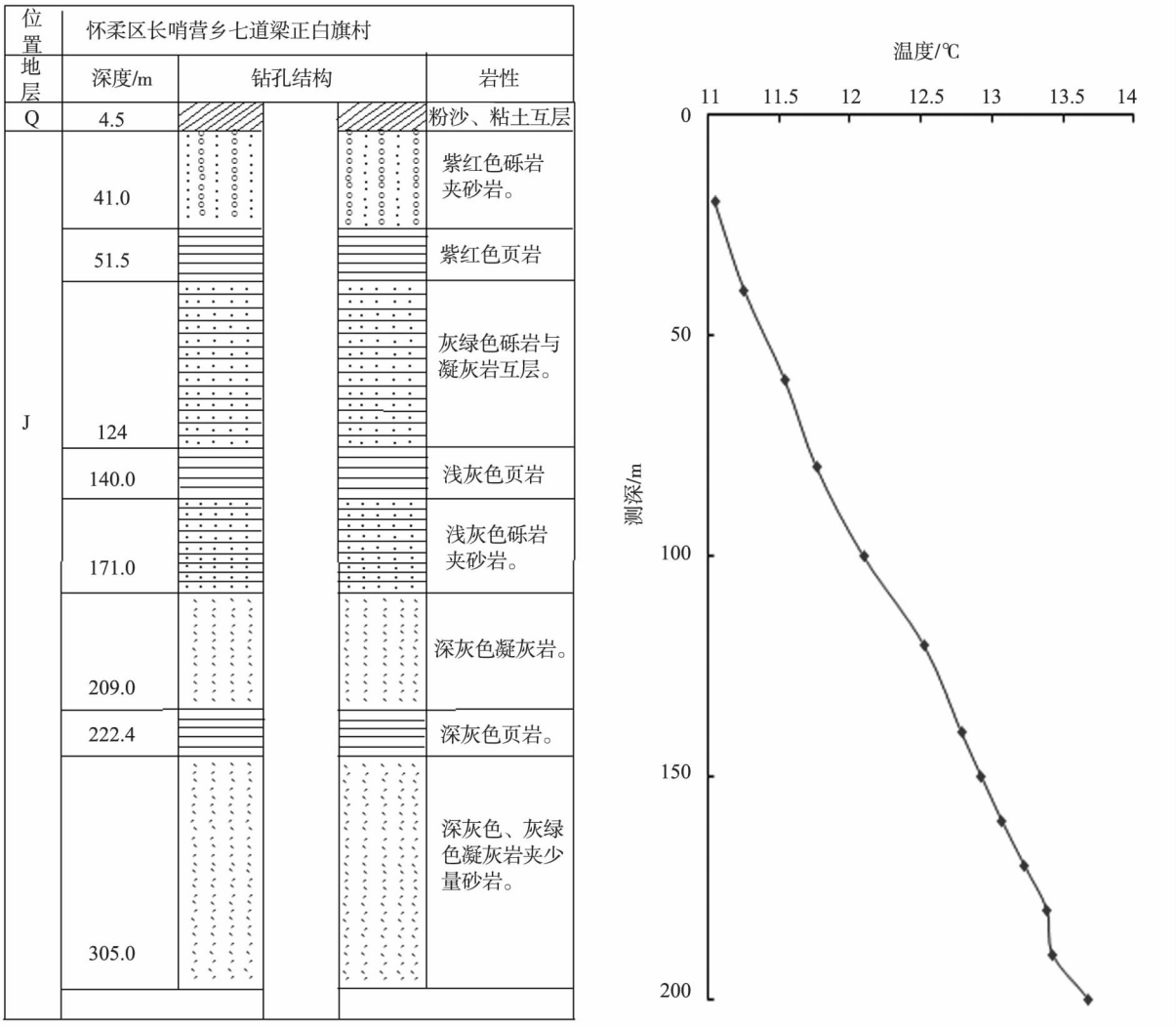


图1 七道梁井孔结构与水温梯度图

表1 北京地区5各井的水温梯度对比

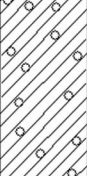
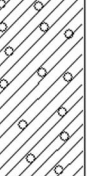
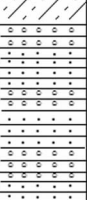
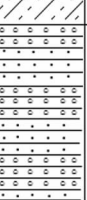
测点序号	测点深度/m	井段梯度/(℃/hm)				
		七道梁井	兴寿井	早立庄井	西邵渠井	西集井
1	20					
2	40	1.044 5	—2.007 0		—4.194	
3	60	1.410 5		—1.045 0	—4.933	—1.741 0
4	80	1.131 0	2.700 5	0.500 5	—2.924	1.349 0
5	100	1.645 5	2.717 5	—0.041 0	1.158 5	
6	120	2.122 5	2.918 5	—0.276 0	—2.125	1.796 5
7	140	1.342 0	3.279 0	0.117 5	—0.264	2.036 5
8	150	1.412 0	3.483 0	—0.190 0	—0.369	
9	160	1.445 0	3.147 0	—0.067 0	—0.04	2.758 0
10	170	1.577 0	3.432 0	0.105 0	—0.169	
11	180	1.560 0	3.550 0	0.218 0	—0.153	2.659 0
12	185		4.274 0	0.336 0		
13	190	0.406 0	4.262 0	0.316 0	—0.100	
14	200	2.504 0		0.204 0	—0.014	1.715 0

2.2 昌平兴寿井

昌平兴寿井位于北京市昌平区兴寿镇政府院内,该井完钻深度为 301.50 m,第四系厚度为 242 m,下为侏罗系灰色砂砾岩,290.90 m 以上采用壁厚 5 mm,Φ146 mm 无缝钢管。根据钻探揭露岩心和施工过程中冲洗液消耗量分析,291.0~301.0 m 段裂隙发育为含水层。

该井孔结构、岩性特征及温度测量如图 2 所示。测量温度梯度时,井水位埋深为 51.34 m,井房内温

度为 22℃左右。该井中温度共测 13 个深度点,取得 12 个井段的梯度值(表 1)。测量结果显示该井太阳能辐射热的影响深度(负梯度井段)在 40 m 以上,40 m 深度以下不受太阳能辐射的影响,计算处于井水中的 10 测点的温度梯度值为 2.700 5~4.274 0℃/hm,平均为 3.333 4℃/hm,略大于全球地壳的地温平均梯度值 3℃/hm。温度梯度测量后,地热传感器探头放置在井口以下 180 m 深度处。

位置	昌平区兴寿镇政府院内			
地层	深度/m	钻孔结构		岩性
Q	52.0			粉土、粘土互层
	130			粘土夹姜石。
	157			灰褐色粘土。
	177			砾石、粘土充填
	196			灰褐色粘土。
	223			砾石、粘土充填
	242			褐灰色粘土。
J	301			砾岩夹砂岩, 291~301 m 裂隙发育为含水层。

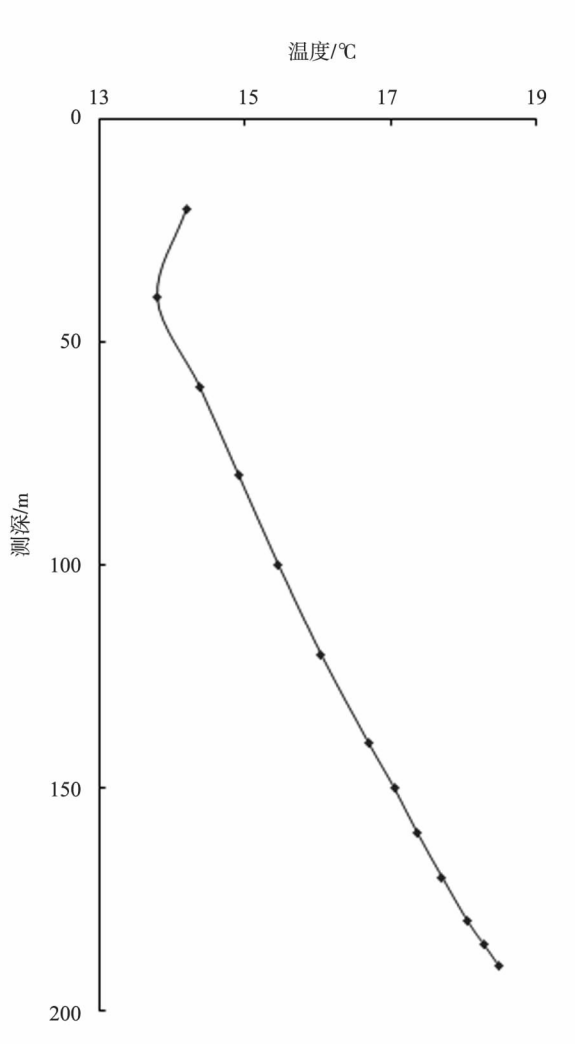


图 2 兴寿井孔结构与水温梯度图

2.3 平谷早立庄井

平谷早立庄井位于北京市平谷马坊镇早立庄小学院内,终孔深度为 349.68 m,第四系厚度为 155 m,下为二叠系砂岩夹页岩。取得 149~150 m 段的中粗砂作为该井的含水层,下设 Φ146 mm,壁厚 5 mm 无缝钢管至 301.32 m,底口用钢板封死,144 m

以上填入粘土球止水。

井孔结构、岩性特征及温度测量结果如图 3 所示。测量温度梯度时,井水位埋深为 34.63 m,井房内温度为 20℃左右。该井中温度共测 14 个深度点,取得 13 个井段的梯度值(表 1)。测量结果显示该井中太阳能辐射热的影响深度(负梯度井段)在

60 m 以上,但在 80 ~120 m,140 ~160 m 存在 2 个负梯度带,梯度值都远小于全球地壳的地温平均梯度值,160 m 以下为正梯度带,梯度值为 0. 105 ~ 0. 336 °C/hm,平均为 0. 235 8 °C/hm,远小于全球

地壳的地温平均梯度值 3 °C/hm。温度梯度测量后,地热传感器探头放置在井口以下 200 m 深度处。

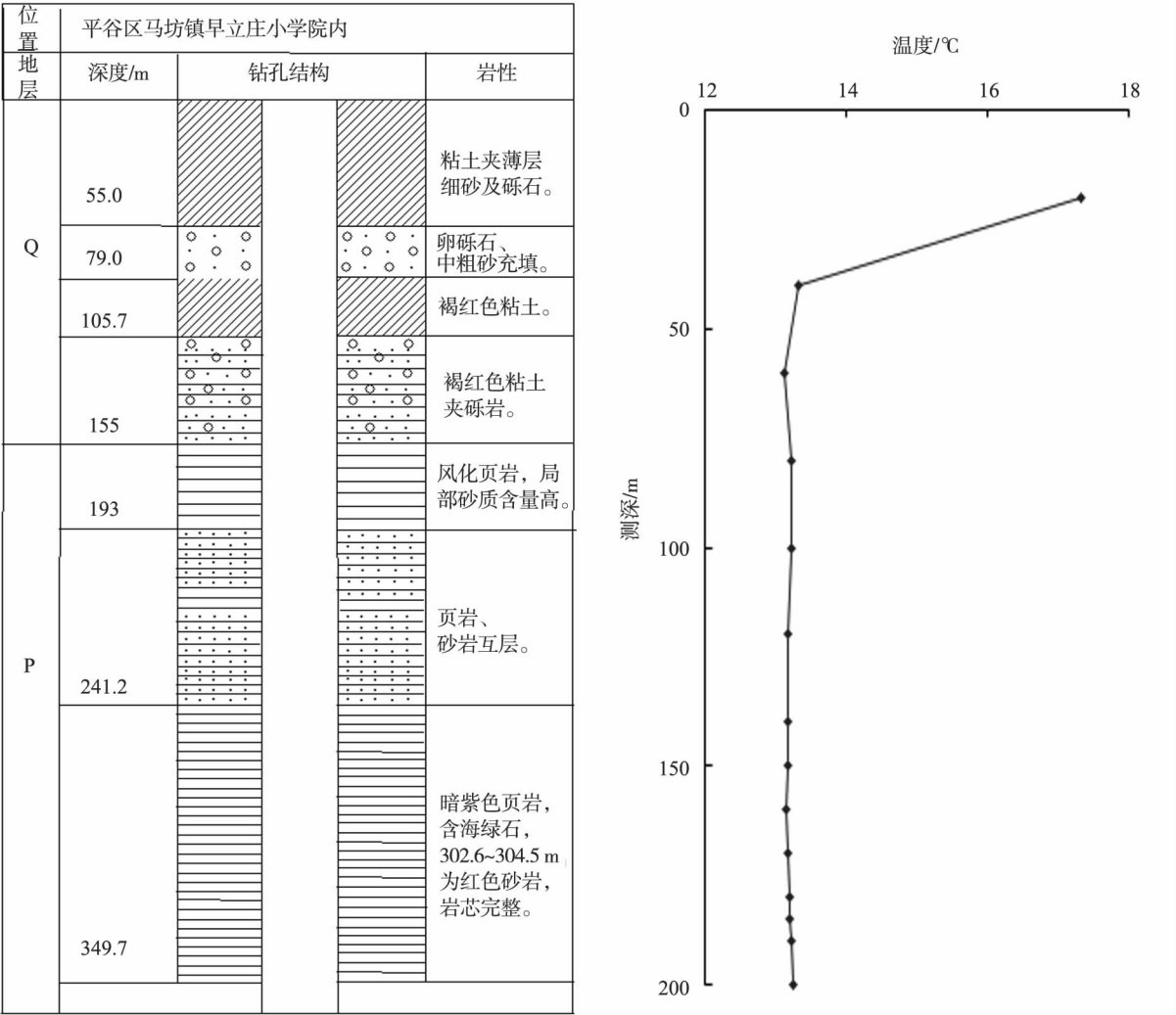


图 3 早立庄井孔结构与水温梯度图

2.4 密云西邵渠井

密云西邵渠井位于北京市密云县东邵渠镇西邵渠村南,终孔深度为 300 m,5 m 以上为第四系碎石土,5 ~300 m 为震旦系石灰岩。200 m 以上下设壁厚 5 mm,Ø165 mm 的无缝钢管,200 ~288 m 下设滤水管。本文查阅钻探成井时施工单位提供的施工报告,根据井钻探揭露的岩芯特征并结合测井资料,该井 48 ~109 m、154 ~196 m 裂隙发育,裂隙内充填方解石晶族,为该井孔未利用的含水层。本井孔利用的含水层深度为 210. 0 ~270. 0 m、283. 0 ~285. 0 m,含水层裂隙较发育,但充填有花岗岩脉及

少量方解石,富水性弱。该井孔结构、岩性特征及温度测量结果如图 4 所示。测量温度梯度时,井水位埋深为 85. 5 m,井房内温度为 30 °C 左右。该井中温度共测 13 个深度点,取得 12 个井段的梯度值,其中 20 ~80 m 间的 4 个测点是井内空气中测得的数值,此段温度梯度为-4. 932 5~-2. 924 0 °C/hm,平均为-4. 017 °C/hm;100 ~200 m 间的 9 个测点是井水中测得的数值,此段温度梯度为-2. 124 5~-0. 014 0 °C/hm,平均为-0. 404 2 °C/hm。测量结果显示该井中所测点全部为负梯度带,该现象可能与该井地处深山峡谷区,且井孔多处裂隙发育,上

层冷水易于下渗补给等情况有关。梯度测量后,温度传感器放置在井口以下 200 m 处。

2.5 通州西集井

通州西集井位于通州区西集通州地震台院内,终孔深度为 301.57 m,下设 $\varnothing 146$ mm 的无缝钢管至 249 m。该井 251~257 m 和 287~291 m 为粘性土充填,结合测井资料分析为非含水层,含水层深度为 249~251 m 和 257~287 m 及 291~301.57 m,厚度为 42.57 m,为中粗砂和中细砂充填的卵砾石层。

该井孔结构、岩性特征及温度测量结果如图 5 所示。测量温度梯度时,井水位埋深为 35.28 m,井房内温度为 30℃左右。该井中温度共测 9 个深度点,取得 8 个井段的梯度值(表 1)。测量结果显示该井中太阳能辐射热的影响深度(负梯度井段)在 60 m 以上,60 m 深度以下为正梯度带,梯度值为 1.159~2.758℃/hm,平均值为 2.129℃/hm,小于全球地壳地温平均梯度值 3℃/hm。梯度测量后,传感器放置在井口以下 200 m 处。

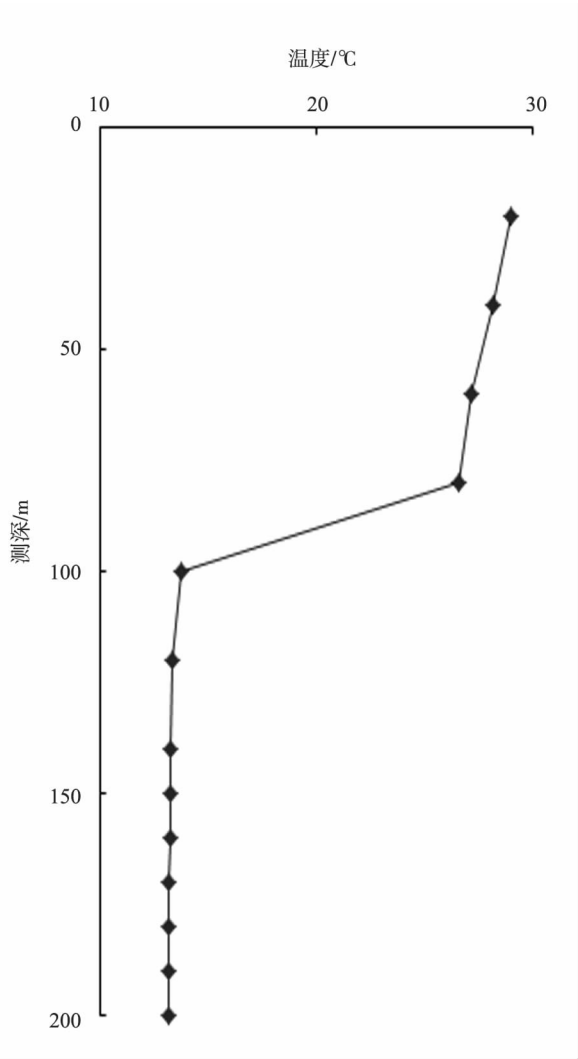
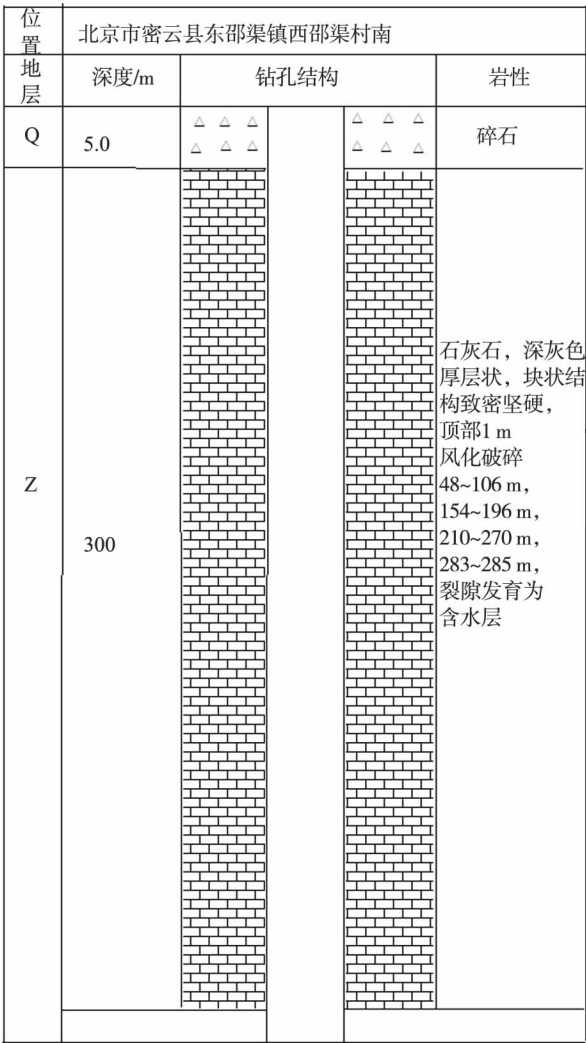


图 4 西邵渠井孔结构与水温梯度图

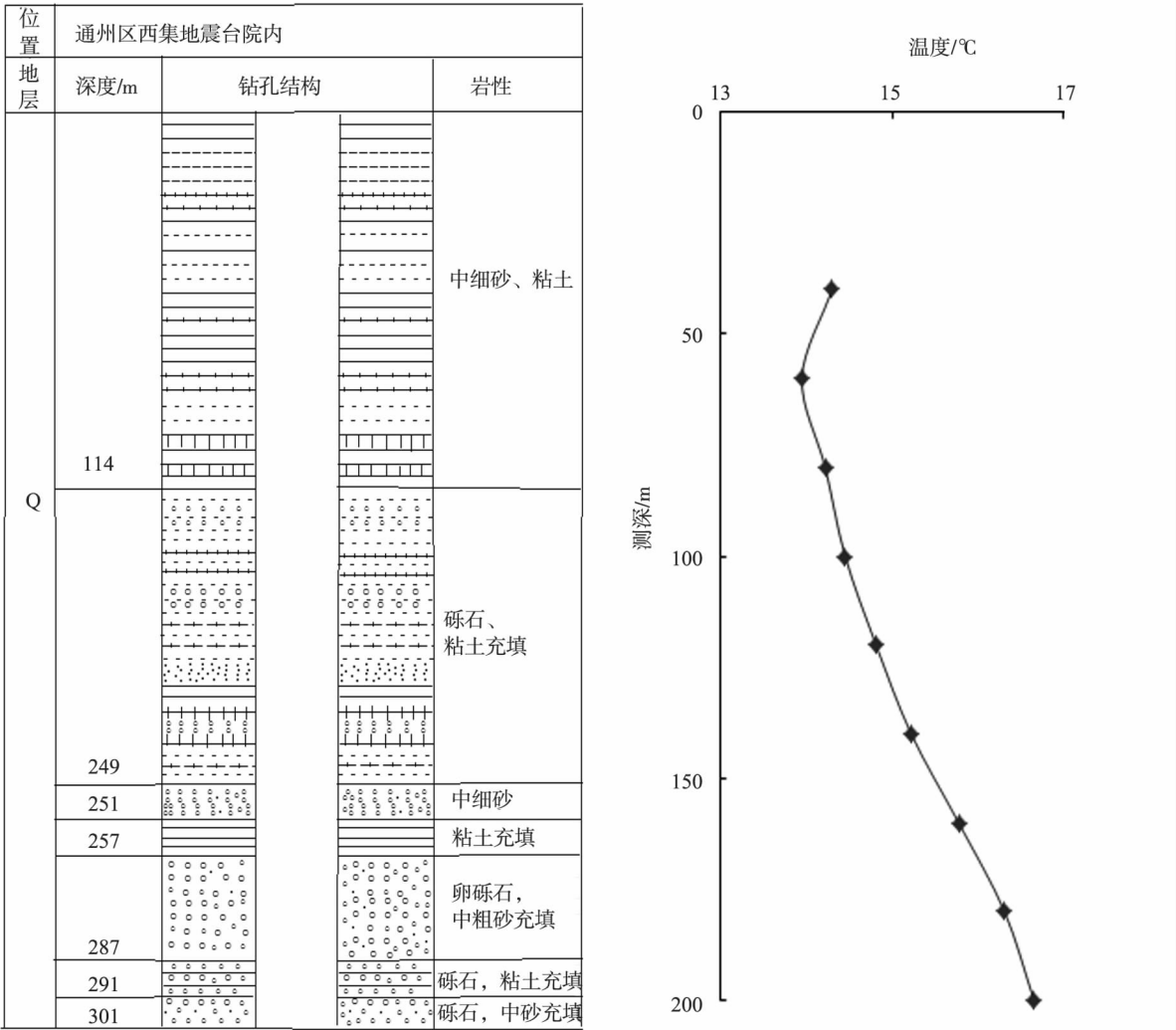


图5 西集井孔结构与水温梯度图²

3 温度与梯度特征分析

3.1 太阳辐射热影响深度特征

据有关资料,太阳辐射热的影响深度在陆地一般被认为仅为10~20 m^[1-2],车用太的研究结果揭示了不同井受太阳辐射热影响深度的差异主要与地层岩性和断裂构造等有关^[3]。本研究所测北京区域5个水温观测井中,受太阳能影响最浅的为怀柔七道梁井,大概在20 m以上;密云西邵渠井终孔深度为300 m,井水位埋深为85.5 m,所测的200 m深度仍为负梯度带,其它观测井的影响深度多在40~60 m以上。我们结合观测井位置及井孔结构图对影响深度的差异进行解释。

西邵渠井(图4)上层为4~5 m的碎石层,第四系分布较浅,利于太阳能辐射热的向下传导,下层为震旦系石灰岩,但多处地层裂隙发育为含水层,且地处深山峡谷区的山坡上,深部地层裸露于地表,易于热量向下传递。该井孔48~109 m、154~196 m裂隙发育,裂隙内充填方解石晶族,2个裂隙较发育含水层段的存在,使得大量地表水可以沿裂隙快速下渗,与套管内封闭的井水进行热量交换,从而降低了井水的温度,因而观测数据上显示所测200 m井段的温度梯度全为负梯度带。七道梁井第四系覆盖层较浅,其上层为粘土夹碎石,下层为侏罗系浅灰色砾岩夹砂岩,多夹有页岩,可能阻碍了太阳辐射热的传导,因而太阳能辐射热的影响深度较小。兴寿井、早

2 本文井孔资料来自《北京奥运会地震安全保障工程—前兆流体观测井施工报告》,作者:山东省地矿工程勘察院,2008年6月,保存于北京市地震局。

立庄井、西集井受到太阳能辐射热影响的深度在 40~60 m,多为第四系粘土夹砂砾石,影响深度未达到基岩,粘土中夹杂砂砾石颗粒的大小及多少导致了辐射热影响深度的差异。

3.2 温度梯度特征及其影响因素

大量的研究成果揭示,观测井的温度梯度特征

差异主要取决于井孔的水文地质特征,即井孔的结构、地层岩性、构造条件及井孔中含水层分布和地下水温的变化等^[3-5]。本研究所测量的 5 口水温观测井的温度梯度特征存在很大差异,去除各井空气中的温度梯度值,我们对各井水温梯度特征进行了分析(表 2)。

表 2 北京水网各井的水温梯度对比

井名	七道梁	兴寿	早立庄	西邵渠	西集
测量深度/m	20~200	60~190	40~200	100~200	60~200
梯度范围/($^{\circ}\text{C}/\text{hm}$)	0.406~2.504	2.700 5~4.260 0	0.040 5~1.045 0	-0.014 0~-2.124 5	1.159~2.758
梯度均值/($^{\circ}\text{C}/\text{hm}$)	1.466 7	3.376 0	0.284 6	-0.404 2	2.129 0

从图 4 密云西邵渠井孔结构图可知,该井上层为 4~5 m 的碎石层,第四系厚度较浅,且下层为震旦系石灰岩,喀斯特地貌发育。根据钻探揭露岩芯并结合测井资料分析,该井 48~109 m、154~196 m 裂隙发育,裂隙内填充方解石晶族,为该观测井孔未利用的含水层,此构造特征利于热量的交换。由于以上 2 个裂隙较发育含水层段的存在,使得大量地表水可以沿裂隙向下渗入,与套管内封闭的井水进行热量交换,从而降低了井水的温度。根据冷水下渗的原理,温度低的水会向下运动,从而使得井孔下部的水温越低,所以该井所测 200 m 井段的温度梯度全为负梯度带。48~109 m 间发育的裂隙对 100~120 m 间的影响较大,其温度梯度值达 -2.125 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。但随深度的增加,其冷水下渗的影响将逐渐减小,因而 160 m 以下的梯度值仅在 -0.014~-0.169 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 范围内。

怀柔七道梁井为侏罗系浅灰色砾岩夹砂岩(图 1),其透水性、热导率较石灰岩好,所以水温梯度也相对增大,40~200 m 段水温梯度为 1.044 5~2.504 0 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ (除 180~190 m 段外)。180~190 m 段为深灰色凝灰岩,透水性和热导率都低,该段水温梯度值也仅为 0.406 0 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

通州西集(图 5)和昌平兴寿(图 2)井分别下设套管至 249.0 m 和 290.9 m,岩性多为粘土夹砂砾岩,其岩性含水性好,热阻小,热导率高,有利于地温随深度的正常变化,其温度梯度值与全球地壳地温平均梯度值 3 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 相近。

平谷早立庄井(图 3)观测含水层为 149~150 m,其上为粘土夹砂砾岩,岩性利于地温随深度的正常变化,但 150 m 以下设套管至终孔,且孔底用钢

板封死,不利于井孔内水流的热对流运动。当热传导时,一般热量向温度低的地方传导扩散,但含水层上部存在负梯度带犹如加了一个盖子,使得传导扩散受阻,这可能是导致 160~200 m 段水温梯度值较小的原因,仅为 0.105~0.316 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

3.3 温度梯度对水温微动态的影响

水温观测数据的动态特征与水温传感器放置的位置有很重要的关系。当水温探头放置在水温正梯度带上,水温潮汐与水位同向变化,水温探头放置在负梯度带上,水温潮汐与水位反向变化(也存在特殊时段,水位有潮汐但水温显示不出潮汐效应)。

地震前水温微动态也存在复杂性,既有上升型也有下降型。这种复杂性也与水温传感器的放置深度有重要的关系。在水温负梯度段,如果传感器放置在上部浅处时水温会阶降,放置在下部深度处水温会阶升;在水温正梯度段,上部水温会阶升,下部水温会阶降^[4]。

在安装水温仪器前,对观测井进行水温梯度测量并结合井孔结构和电缆线许可范围,选择梯度变化较小的位置放置传感器。进行水温梯度测量为进行水温微动态特征及水温前兆信息的提取提供重要依据。

4 基本认识与讨论

1)北京不同区域受太阳能辐射热的影响深度不同,最浅的怀柔七道梁井为 20 m,兴寿井、早立庄井、西集井受太阳辐射热的影响深度在 40~60 m 左右,都为第四系覆盖层,未达到基岩深度,影响深度的差异可能与粘土中夹杂砂砾石颗粒的大小及多少有关;同时由于西邵渠井地处深山峡谷区,且井孔

多处裂隙发育,上层冷水易于下渗补给等情况,使得该井 200 m 以内全部为负梯度带。

2)西邵渠井第四系分布较浅,下层灰岩喀斯特地貌发育,且 48~109 m 及 154~196 m 段裂隙较发育含水层,利于上层冷水的下渗,所以该井所测 200 m 井段的温度梯度全为负梯度带,且 48~109 m 间发育的裂隙对 100~120 m 间的影响较大,其温度梯度值达 $-2.125\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$,但由于冷水下渗的影响有限,160 m 以下的梯度值仅在 $-0.014\sim-0.169\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 范围内。

3)西集和兴寿井为粘土夹砂砾岩,其岩性含水性好,热导率高,其温度梯度值与全球地壳地温平均

梯度值 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 相近。平谷早立庄井 150 m 以下设套管至终孔,孔底用钢板封死,不利于井孔内水流的热对流运动,且含水层上部存在的负梯度带犹如加了一个盖子,使得传导扩散受阻,导致 160~200 m 段水温梯度值较小,仅为 $0.105\sim0.316\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。

4)水温观测数据的动态特征以及地震前水温微动态的复杂性都与水温传感器放置的深度有重要关系。在水温仪器安装时必须对水温梯度进行测量,结合井孔结构和电缆线许可范围,选择梯度变化较小的位置放置传感器,传感器放置段内的梯度特征为进行水温微动态特征的研究及水温前兆信息的提取提供重要依据。

参考文献:

- [1] 滕吉文. 固体地球物理学概论[M]. 北京:地震出版社,2003:410-442.
- [2] 《地球科学大辞典》编辑委员会. 地球科学大辞典(应用学科卷)[Z]. 北京:地质出版社,2005:264.
- [3] 车用太,何案华,鱼金子,等. 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):615-626.
- [4] 刘耀伟. 动力加载作用与地下水物理动态过程研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2009.
- [5] 何案华,汪成国,李晓东,等. 新疆温泉井水温梯度观测实验及结果分析[J]. 大地测量与地球动力学,2014,34(1):51-54.

Temperature Gradient Analysis of Five Wells in Beijing Area

HAN Kong-yan, CUI Bo-wen, XING Cheng-qi, YANG Ming-bo

(Earthquake Administration of Beijing Municipality, Beijing 100080, China)

Abstract: The temperature and its gradient of 5 wells in Beijing area are measured and analyzed. The result shows that the effect of sun-radiation heat is regionally different and depends on the percentage of the sandy gravel particles and its size in the clay. The average water temperature gradient is different in different wells, the minimum value is $0.014\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$, the maximum is $3.376\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$. The difference is mainly related to hydrogeology structure, lithology of stratum and the tectonic condition. The micro-behavior characteristics of water temperature of well and the anomalies before an earthquake depend largely on the temperature gradient of the section in where the temperature sensor is fixed.

Key words: Beijing area; temperature gradient of observation well; sun-radiation heat