

北京平原区浅层地温场特征及其影响因素研究

卫万顺 郑桂森 栾英波

(北京市地质矿产勘查开发局, 北京 100195)

摘要:本文在大量钻孔测温资料的基础上,系统分析了平原区浅层地温场分布特征,对影响浅层地温场的多种因素进行了系统研究。该区 20~300 m 深度内平均地温梯度为 7.2°C/100 m,高于北京深部(基岩)地温梯度 2.5~3.0°C/100 m,大地热流值为 66.35~84.14 mW/m²,较高的热流值显示岩石圈相对较薄且存在隐伏断裂。该区现今浅层地温场与深部地温场联系密切,形态分布与平原区重要隐伏活动断裂走向基本一致,主要受新构造运动控制,地下水、岩土体岩性及结构是浅层地温场分布的重要影响因素。

关键词:现今浅层地温;地温梯度;影响因素;北京平原区

中图分类号:P314 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)06-1733-07

浅层地温能作为一种积蓄在地下(0~200 m)的无形自然资源,是地球深部的热传导和热对流与太阳辐射共同作用的产物。为地表以下 0~200 m 深度内温度与距离地表 1.5 m 处不被阳光直接照射情况下(百叶箱)的温度之间存在常年温差而形成的能量,是两个状态不同的温度场之间存在的势能,人们借助热泵技术实现了在两个温度场之间建立恒定温度场的目的。浅层地温场对浅层地温能资源的形成、开发利用起着决定性作用,研究其分布特征,对探索浅层地温能资源分布规律、潜力评价及其开发利用都具有较高的实用价值和重要的理论意义。前人对地温场开展了一些研究,并取得了丰富的成果,主要集中在指导深部地热勘探开发和分析地热在油气生成过程中的作用^[1-9]。本文在全面收集和整理北京平原区浅层地温场数据的基础上,系统研究了地质构造、地层岩性、地下水、地形地貌以及太阳照射、气候等多种对浅层地温场产生影响的因素,为合理评价浅层地温能资源提供科学依据。

1 北京平原区地质概况

北京地区新生代以来受到喜马拉雅运动的影

响,在继承中生代末期地质构造格架的基础上,由北西向东南基底断块阶梯状递降,构成了著名的北京断陷盆地(图 1),盆地内堆积了巨厚的河湖相碎屑堆积物^[10](图 2)。平原区第四系沉积物受断裂活动影响和地理环境限制,形成了几个不同的古盆地沉积中心,沉积厚度有明显的差异,由山前至平原区厚度一般为几十米到数百米,在沉积中心可达 1000 m 左右(图 3),第四纪沉积物成因类型主要有冲积相、洪积相、湖沼相,有些地区还发现海相沉积物^[11-12]。

2 地温数据采集与分析

2.1 地温数据采集

地温场研究首先要获得可靠准确的地温资料。本次浅层地温场研究的井温资料主要来自农田灌溉井系统测温 and 地热井系统测温。

农田灌溉井系统测温:主要集中在秋季和冬季进行,由于秋季和冬季不再灌溉农田,地下水静止能够充分反映出地层的原始温度。测温采用热敏电阻测温仪对 30~200 m 内农业灌溉井进行系统测温,测量间距为 10 m 测一次井温。

地热井系统测温:在地热井施工过程中随着泥

收稿日期:2009-11-11;改回日期:2010-04-06

基金项目:北京平原区浅层地温能资源地质勘查项目(pxm2006-000-043289)及北京市优秀人才培养资助计划(2010D002011000002)资助。

作者简介:卫万顺,男,1964年生,博士,教授级高工,主要从事城市地质调查、矿产地质、浅层地温能资源研究;E-mail:lybdkch@126.com。

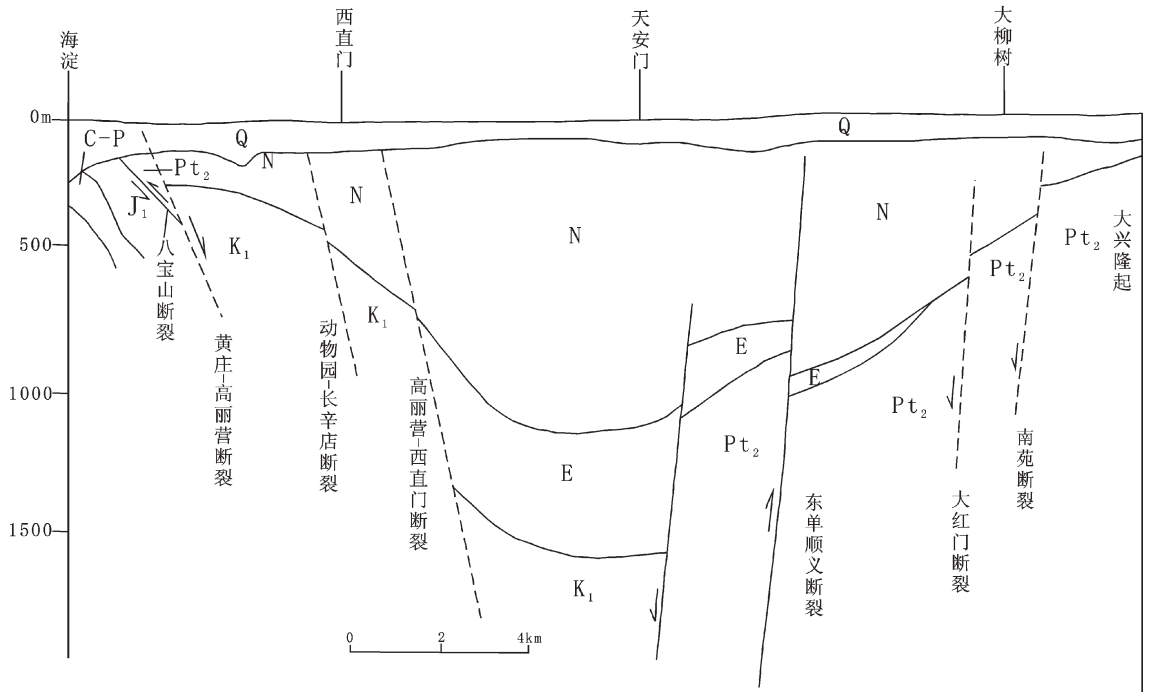


图1 北京平原区地质构造示意图^[16]

Q-第四系;N-新近系;E-古近系;K₁-下白垩统;J₁-下侏罗统;C-P-石炭二叠系;Pt₂-中元古界

Fig.1 Sketch map of geological structures in Beijing plain

Q-Quaternary; N-Neogene; E-Eogene; K₁-Lower Cretaceous; J₁-Lower Jurassic;

C-P-Carboniferous-Permian; Pt₂-Middle Proterozoic

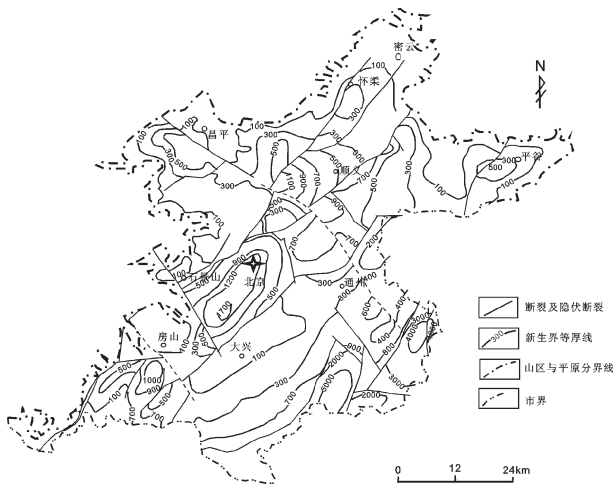


图2 北京平原区新生代等厚度图

Fig.2 Isopach map of Cenozoic sediments in Beijing plain area

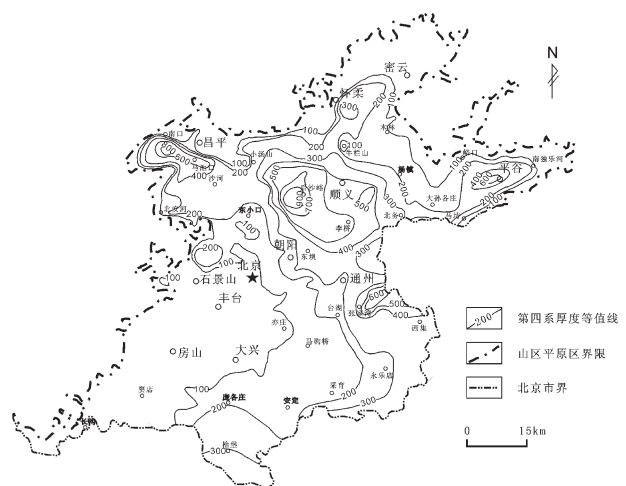


图3 北京平原区第四系等厚图

Fig.3 Isopach map of Quaternary sediments in Beijing plain

浆注入和地下水的贯通,破坏了地层原始温度,测温时需要静止7 d 恢复原始地温,所测得井温数据和地层原始温度接近,能够反映出原始地温场状况。笔者收集了北京地区60口井的系统测温资料,井温数

据与井深呈现良好的线性关系(图4)。

2.2 地温数据分析

地温梯度是温度场的主要参数,每口井地温梯度是由不同深度下所计算地温梯度值的算术平均值。

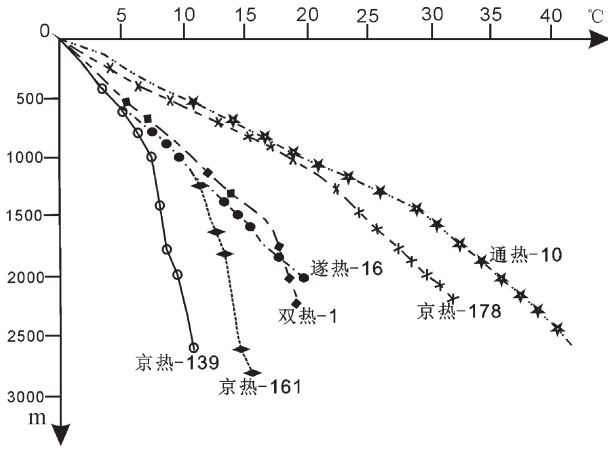


图 4 北京地区测井温度与井深关系图

Fig.4 Relationship between temperature logging and well-depth in Beijing

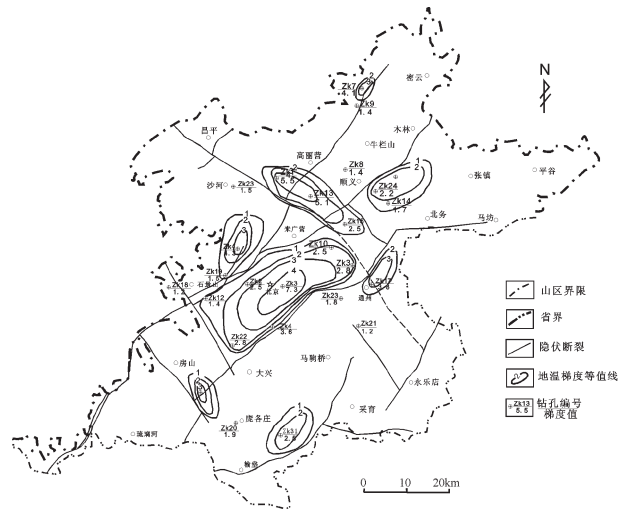


图 5 北京平原区地温梯度等值线分布图

Fig.5 Geothermal gradient contour map of Beijing plain area

地温梯度的计算公式为:

$$G=(T-T_0)/(Z-Z_0)$$

其中,G为地温梯度(°C/100 m);Z为测温点深度(m);Z₀为恒温带深度(m);T为地层测温点温度(°C);T₀为恒温带温度(°C)。

根据北京地区气象资料可知:从1841年至1980年北京年平均气温变化于10.6~12.8°C,多年平均为11.6°C。北京用友软件园原始地温场地温监测数据表明^①,在北京地区地下25 m处地温为12.5°C。参考陈墨香^[13]对华北地热的研究成果,为便于计算将恒温带深度确定为20 m,恒温带温度统一定为12°C。在已知测井平均地温梯度条件下,可按照 $T=G((Z-Z_0)+T_0)$ 来计算不同深度的温度值。

3 浅层地温场特征

3.1 地温梯度的分布特征

本文利用大量丰富的地层测温资料通过计算研究得出:北京平原区20~300 m内现今地温梯度在2.4~20.5°C/100 m,平均地温梯度为7.2°C/100 m。高于北京地区基岩地热梯度2.5~3.0°C/100 m。由于平原区发育着一系列深大断裂,为地下热流提供了良好的通道,加之基底岩石热导率高于松散层内岩土体热导率,从而使浅部地温梯度高于深部基岩的地温梯度,在垂向上,地温梯度在浅部较高,但随着深

度的增加梯度则以极其缓慢的速度逐渐减少^②。从北京平原区地温梯度等值线分布图(图5)可以看出,地温梯度等值线走向以北东和北西向带状分布,地温展布与主要隐伏活动断裂的延伸方向基本一致。

3.2 大地热流

根据呼家楼实测,北京平原区大地热流值北京城区为66.35~84.14 mW/m²;密云不老屯为37.67~42.28 mW/m²;北京平原区大地热流值约为67 mW/m²^[14],略高于全球平均值62.79 mW/m²和中国大陆地区平均热流值66 mW/m²^[15];城区高热流值与岩石圈较薄和隐伏活动断裂有关。

3.3 不同深度地温分布特征

按照上述计算公式,对各测温井计算相同深度的温度编制了50 m、100 m和基岩顶界温度等值线图(图6~8)。从中可以看出:在平面上,如建国门、北七家等地温场等值线的较高地区闭合形态分布均呈北东或北西走向,且分布在断裂附近。表明地质构造对地温的控制作用规律在浅层地温场分布亦有充分的体现,浅层地温场与深部地温场存在密切的联系,与基底形态、活动构造密切相关。北京凹陷内明显高于相邻地区,区内地下70 m处地温一般为22~30°C,位于建国门附近JR-63地热井在70 m处地温达到27.4°C,第四系底界145 m处温度达到

①北京市地质矿产勘查开发局.北京平原区浅层地温能资源地质勘查报告,2009.

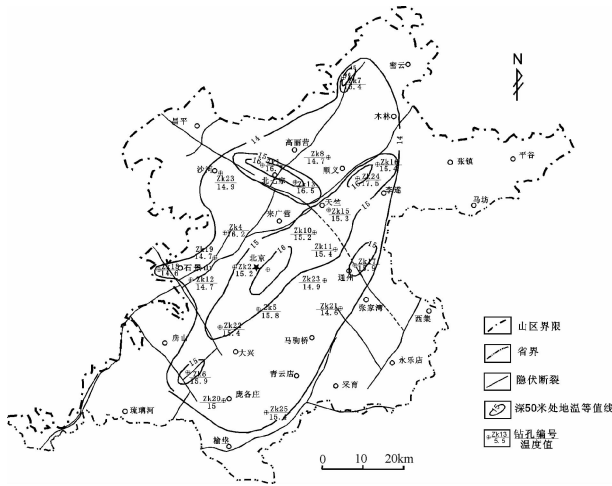


图6 北京平原区 50 m 处温度等值线图

Fig.6 Geothermal temperature contour map of Beijing plain area at the depth of 50 m

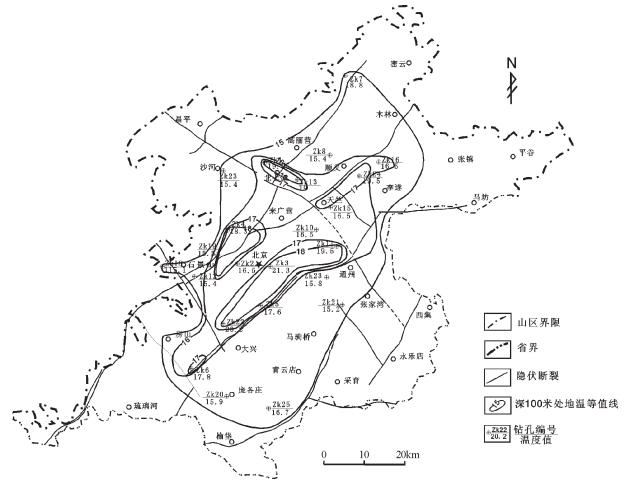


图7 北京平原区 100 m 处温度等值线图

Fig.7 Geothermal temperature contour map of Beijing plain area at the depth of 100 m

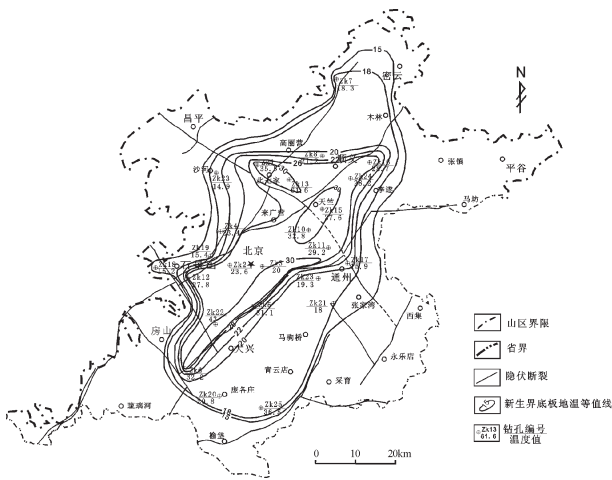


图8 北京平原区基岩顶界温度等值线图

Fig.8 Geothermal temperature contour map of Beijing plain area at the basal surface

29.2°C, 而位于南苑—通县断裂下盘大兴隆起上的 JR-178 地热井在 50 m 处温度为 14.32°C, 第四系底界 293 m 处温度为 18.95°C。

4 浅层地温场影响因素分析

浅层地温是地球深部热传导、热对流和太阳辐射共同作用的结果。北京地区浅层地温数值变化较大,但地温场整体展布呈北东和北西向。综合分析认为主要受区域地质构造、水文地质条件、岩土体岩性及结构等因素影响。

4.1 区域地质构造

一般认为区域性构造条件控制不同地质单元的地温分布,新构造运动决定了现代地温场和地壳的热状态,基底形态是地温重新分布的重要影响因素,基底起伏与地温的横向变化呈正相关关系,表现为凹陷带低地温,凸起带高地温,北京平原区浅层地温场与此有所不同。从图 5~8 可以看出,在靠近黄庄—高丽营断裂、南苑—通县断裂和南口—孙河断裂地温场较高,展布方向与活动断裂方向基本一致,具有明显相关性。断裂使基岩强烈破碎或抬升,裂隙的形成成为深部热源提供了良好的通道,从而使断裂附近地温较高,小汤山地区基岩埋深一般在 100~400 m,区内 50 m 深度地温为 16~18°C,70 m 处温度为 18~20°C,地温明显受到南口—孙河活动断裂和黄庄—高丽营活动断裂的控制。虽然北京断陷盆地内新生界厚度 1000 m 左右,最厚可达 1600 m^[6]。浅层地温场明显高于北京其他地区,主要因为在盆地内存在数条断裂(图 1)。在垂向同等深度上断裂附近地温场明显高于其他地区(图 9),在八宝山断裂带上盘的钻孔 I-75 和黄庄—高丽营断裂带上盘的钻孔 I-88 地层温度较高,70 m 处地温为 15.9°C 和 21.22°C,断裂带附近地温达到最高值,远离断裂带温度迅速降低。

4.2 水文地质条件

水的物理性质和热物理性质使其具有独特的功能,它既能搬运能量又能储存一定能量,由于构造活

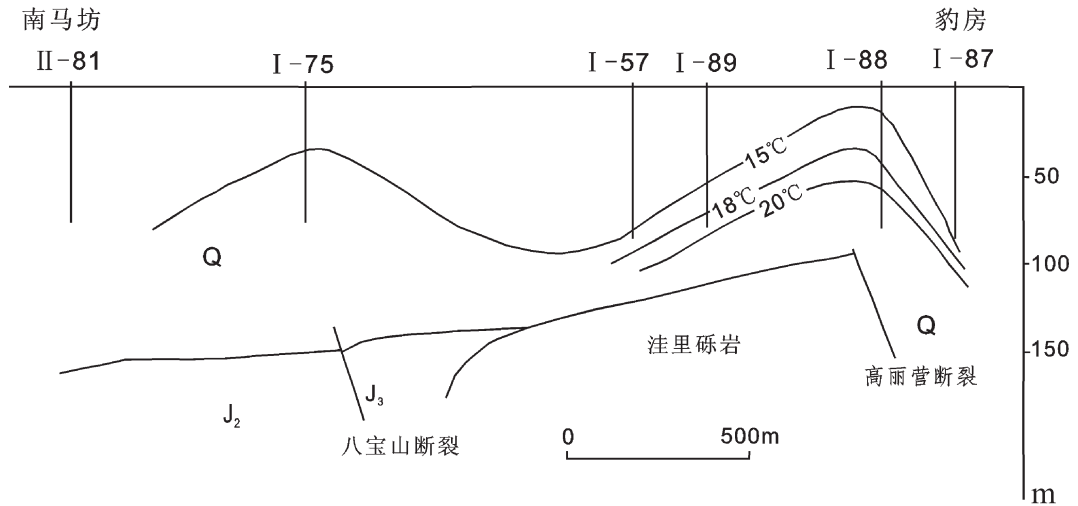


图 9 北京地区地温与断裂关系剖面示意图^①

Fig.9 Diagrammatic cross-section of the relation between geothermal temperature and faults in Beijing plain area

动形成导水节理、裂隙,使基底中具有良好的水对流通通道和比较一致的地下水化学成分,从而把热量带到地表或更远的排泄区。杨淑贞^[7]对不同含水率时孔隙岩石热导率研究,表明水的介入改变了孔隙岩和岩土体的热物理性质。北京平原地下水补给主要来自大气降水和西部北部山区,大气降水沿着盆地边缘松散地层入渗,发生径流,使流经区域的地温场,浅层地下水不仅对垂向温度有影响,而且在水平方向上影响也非常明显,由于地下水的水平径流使地温场沿水流方向发生位移,背水侧外围局部温度升高,其程度取决于区内热传导的情况、地下水的流动速度及人工开采情况。

4.3 岩性、结构

岩石地层是地壳中地温能储藏、传递、散失的物质基础。表示岩石导热能力大小的热导率是岩石地层热物理性质重要参数之一,不仅决定地温场的展布形态,而且也是浅层地温能资源量计算和开发工程计算的关键因素,以适当参数计算能够取得最大限度的经济效益和社会效益,因此得到社会关注和众多学者广泛的研究^[18-22]。胡玉禄等^[23]对华北地温场垂向变化,以及邱楠生^[24]对塔里木盆地、准葛尔盆地、柴达木盆地不同时代岩石地层热导率的研究表明,岩石地层热导率随时代变老而增加,如碎屑岩类新生代碎屑岩热导率低于中生代,这说明岩石固结程度、孔隙率对热导率的影响。在松散堆积物中能量传递的机理要比固相

岩石复杂的多,其中颗粒的大小、形状、排列方式,孔隙度,含水性质,含水率,物质成分等都是影响因素。肖琳等^[25]对粉质粘土、粉土和粉砂不同含水率的热导率的分析研究显示:不同种类岩土体的热导率因含水量和孔隙率的变化而有所区别。在天然含水率状况下,在不同地区相同岩性热导率也不相同,这与所处地质构造位置、岩土体物质成分及结构有关,同一地区岩层时代愈老、岩石密度越大,热导率越高。岩土体岩性、结构对岩土体热物理性质各向异性有较大影响,加之北京平原区岩性岩相变化迅速,可能均对地温场的形态有着重要影响。

5 结论

(1)北京平原区浅层地温场与深部温度场有着显著不同,表现在浅层地温梯度变化较大,为 $2.4\sim 20.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,平均地温梯度为 $7.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,远高于北京深部(基岩)地温梯度 $2.5\sim 3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$;大地热流值为 $66.35\sim 84.14\text{mW}/\text{m}^2$,这主要是平原区发育多条深大断裂的缘故,同时较高的热流值显示岩石圈相对较薄且存在隐伏断裂。

(2)区域地温场分布与构造线相吻合,表明构造是控制地温分布的主要因素。北京平原区浅层地温场形态分布均呈北东或北西走向,与平原区重要隐伏活动断裂走向基本一致;平原区 50m 、 100m 和基岩顶部地温分布具有高温封闭等值线走向基本一

^①北京市水文地质工程地质大队.北京市平原地区浅层地温普查报告,1983.

致的特征,表明浅层地温场与深部地温场有着密切联系。

(3)浅层地温场分布受松散层物质成分、颗粒度和密度影响显著,水体参与使地温场状态趋于复杂。

参考文献(Preferences):

- [1] 陈墨香,汪集旸,汪缙安,等.华北断陷盆地热场特征及其形成机制[J].地质学报,1990,(1):80-90.
Chen Moxiang, Wang Jiyang, Wang Ji'an, et al. The characteristics of the geothermal field and its formation mechanism in the north China down-faulted basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1990, (1):80-90(in Chinese with English abstract).
- [2] 熊亮萍,张菊明.华北平原区地温梯度与基地构造形态的关系[J].地球物理学报,1988,31(2):146-155.
Xiong Liangping, Zhang Juming. Relationship between geothermal gradient and the relief of basement rock in north China plain [J]. Acta Geophysica Sinica, 1988, 31 (2):146-155 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王均,黄尚瑶,黄歌山.中国地温分布的基本特征[M].北京:地震出版社,1990:80-100.
Wang Jun, Huang Shangyao, Huang Geshan. Basic Characteristics of Geothermal Distribution in China [M]. Beijing:Seismological Press, 1990:80-100(in Chinese).
- [4] 陈墨香,邓孝.华北平原新生界盖层地温梯度图及其简要说明[J].地质科学,1990,(3):269-277.
Chen Moxiang, Deng Xiao. The map of geothermal gradient of Cenozoic sedimentary cover in the China plain and its brief explanation [J]. Scientia Geologica Sinica, 1990, (3):269-277 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王钧,黄尚瑶,黄歌山,等.华北中、新生代沉积盆地的地温分布及地热资源[J].地质学报,1983,(3):304-315
Wang Jun, Huang Shangyao, Huang Geshan, et al. Geotemperature distribution and geothermal resources in Meso-Cenozoic of north China [J]. Acta Geologica Sinica, 1990,(3):304-315 (in Chinese with English abstract).
- [6] 林世辉,龚育龄.冀中坳陷现今地温场分布特征[J].东华理工学院学报,2005,28(4):359-364.
Lin Shihui, Gong Yuling. Distribution characteristics of geotemperature field in Jizhong depression north China [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2005, 28 (4):359-364 (in Chinese with English abstract).
- [7] 崔军平,任战利,肖晖,等.海拉尔盆地地温分布及控制因素研究[J].地质科学,2007,42(4):656-665.
Cui Junping, Ren Zhanli, Xiao Hui, et al. Study on temperature distribution and controlling factors in the hailar basin [J]. Scientia Geologica Sinica, 2007, 42 (4):656-665 (in Chinese with English abstract).
- [8] 匡耀求,黄宁生,朱照宇,等.试论大地热流对地表环境与生态演变的影响[J].中国地质,2002,29(1):86-95.
Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu, et al. Influence of the terrestrial heat flow on the evolution of the surface ecosystem and environment [J]. Geology in China, 2002, 29 (1):86-95 (in Chinese with English abstract).
- [9] 韩再生,冉伟彦,佟红兵,等.浅层地热能勘查评价[J].中国地质,2007,34(6):1115-1121.
Han Zaisheng, Ran Weiyan, Tong Hongbing, et al. Exploration and evaluation of shallow geothermal energy [J]. Geology in China, 2007, 34 (6):1115-1121(in Chinese with English abstract).
- [10] 蔡向民,栾英波,郭高轩,等.北京平原第四系的三维地质结构[J].中国地质,2009,36(5):1021-1029.
Cai Xiangmin, Luan Yingbo, Guo Gaoxuan, et al. 3D Quaternary geological structure of Beijing plain [J]. Geology in China, 2009, 36(5):1021-1029(in Chinese with English abstract).
- [11] 蔡向民,郭高轩,栾英波,等.北京山前平原区第四系三维地质结构调查方法研究[J].地质学报,2009,83(7):1047-1057.
Cai Xiangmin, Guo Gaoxuan, Luan Yingbo, et al. Quaternary geological of Beijing piedmont plain 3-d structural [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(7):1047-1057 (in Chinese with English abstract).
- [12] 鲍亦冈,刘振峰,王世发,等.北京地质百年研究[M].北京:地质出版社,2001:100-105.
Bao Yigang, Liu Zhenfeng, Wang Shifa, et al. Century Research of Beijing Geology [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2001:100-105(in Chinese).
- [13] 陈墨香.华北地热[M].北京:科学出版社,1988:1-100.
Chen Moxiang. North China Geothermal [M]. Beijing:Science Press, 1988:1-100(in Chinese).
- [14] 祖金华,吴乾蕃,廉雨方.延庆—怀来盆地及其邻区地热研究[J].地震学报,1997,19(4):442-444.
Zu Jinhua, Wu Qianfan, Lian Yufang. Geothermal research of Yanqing—Huailai basin and its adjacent areas [J]. Acta Seismologica Sinica, 1997, 19(4):442-444(in Chinese with English abstract).
- [15] 胡圣标,何丽娟,汪集旸.中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版)[J].地球物理学报,2001,44(5):611-623.
Hu Shengbiao, He Lijuan, Wang Jiyang. Completion of heat flow data in the China continental area(3rd edition) [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2001, 44(5):611-623(in Chinese with English abstract).
- [16] 北京地质局.北京市区域地质志[M].北京:地质出版社,1991:213-260.
Beijing Geology and Mineral Resources Exploration and Development Bureau. The Geological Records in Beijing Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:213-260 (in Chinese with English abstract).
- [17] 杨淑贞,张文仁,沈显杰.孔隙岩石热导率的饱水试验研究[J].岩石学报,1986,2(4):83-91.
Yang Shuzhen, Zhang Wenren, Shen Xianjie. Experimental research on the thermal conductivity of water-saturated porous rocks [J]. Acta Petrologica Sinica, 1986, 2 (4):83-91 (in Chinese with English abstract).

- [18] Salomon E L A, Kovacs W D, Kusuda T. Thermal performance of fine-grained soils [J]. *Geotech. Engrg. ASCE*, 1990, (116):359-374.
- [19] Abu-hamdeh N H. Measurement of the thermal conductivity of sandy loam and clay loam soils using single and dual probes [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, 80 (2):209-216.
- [20] Abu-hamdeh N H. Thermal properties of soils as affected by density and water content [J]. *Biosystems Engineering*, 2003, 86 (1):97-102.
- [21] 陈善雄, 陈守义. 砂土热导率的实验研究 [J]. *岩土工程学报*, 1994, 16 (5):47-53.
Chen Shanxiong, Chen Shouyi. Experimental study on thermal conductivity of sands [J]. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1994, 16 (5):47-53 (in Chinese with English abstract).
- [22] 苏天明, 刘彤, 李晓昭, 等. 南京地区土体热物理性质测试与分析 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, 25(16):1278-1283.
Su Tianming, Liu Tong, Li Xiaozhao, et al. Test and analysis of thermal properties of soil in Nanjing district [J]. *Journal of Mechanics and Engineering*, 2006, 25 (16):1278-1283 (in Chinese with English abstract).
- [23] 胡玉禄, 胡红文, 邱希青, 等. 华北地温场垂向变化 [C]//地质与可持续发展——华北六省一市地选科技论坛文集. 2003, 124-126.
Hu Yulu, Hu Hongwen, Qiu Xiqing, et al. Vertical variation of geotemperature field in North China [C]//*Geology and continuous development—Scientific and technological comment works of geonomy in six provinces and one city in eastern China*. 2003: 124-126.
- [24] 邱楠生. 中国西北部盆地岩石热导率和生热率特征 [J]. *地质科学*, 2002, 37 (2):196-206.
Qiu Nansheng. The characteristics of temperature distribution in the Junggar basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 37(2):196-206 (in Chinese with English abstract).
- [25] 肖琳, 李晓昭, 赵晓豹, 等. 含水量与孔隙率对土体热导率影响的室内试验 [J]. *解放军理工大学学报*, 2008, 9(3):241-246
Xiao Lin, Li Xiaozhao, Zhao Xiaobao, et al. Laboratory on influences of moisture content and porosity on thermal conductivity of soils [J]. *Journal of PLA University of Science and Technology*, 2008, 9(3):241-246 (in Chinese with English abstract).

Characteristics and influencing factors of the shallow geothermal field in Beijing plain area

WEI Wan-shun, ZHENG Gui-sen, LUAN Ying-bo

(*Beijing Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Beijing 100195, China*)

Abstract: Based on a large number of borehole temperature data, the authors systematically studied the distribution characteristics of the shallow geothermal field in Beijing plain area and several influencing factors. The average geothermal gradient of this area (0~300 m) is 7.2°C/100 m, higher than that of deep bedrock whose geothermal gradient ranges from 2.5 to 3.0°C/100 m. Terrestrial heat flow values range from 66.35 to 84.14 mw²/m². The relatively high level of heat flow values indicates that the lithosphere is relatively thin and hidden faults are existent. There is a close relationship between the current shallow geothermal field and the deep geothermal field in this area. The distribution of the shallow geothermal field is basically consistent with the strike of major hidden active faults in the plain area, mainly controlled by new tectonic movement. In addition, groundwater and the lithology and structure of rock and soil are also important influencing factors.

Key words: current shallow geothermal field; geothermal gradient; influencing factors; Beijing plain area

About the first author: WEI Wan-shun, male, born in 1964, doctor, senior engineer, mainly engages in the study of urban geological survey, mineral geology and shallow geothermal energy resources; E-mail: lybdkch@126.com.