

北京通州地温场特征及其影响因素

李文

LI Wen

北京市地热研究院/自然资源部浅层地热能重点实验室,北京 100012

Beijing Geothermal Research Institute/Key Laboratory of Shallow Geothermal Energy, MNR, Beijing 100012, China

摘要:在收集整理大量地热井温度资料的基础上,系统分析了北京通州地区现今地温场特征,划分了地热异常区,并进一步估算了1000~3000 m埋深处的地层温度。研究表明,研究区现今地温梯度为1.34~3.12°C/100 m,平均值为1.88°C/100 m。大地热流值分布范围为47.1~75.9 mW/m²,平均值为63.2 mW/m²,其热流状态较好。在垂向上,研究区1000 m埋深处整体温度均超30°C,2000 m时高温异常区温度超60°C,3000 m时高温异常区温度超80°C。根据深部地层温度估算,在研究区的南部及东南部具有2处高温异常区,地温场分布形态与区域内主要断裂走向基本一致,主要受区域地质构造控制,岩石性质为地温场分布的重要影响因素。

关键词:北京通州地区;现今地温场;地温梯度;地热

中图分类号:P314;TK521 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)07-1189-06

Li W. Geothermal field in Tongzhou District of Beijing and its influencing factors. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(7): 1189-1194

Abstract: Based on a large number of geothermal well temperature data, the distribution of the current geothermal field in Tongzhou District of Beijing is systematically analyzed, the geothermal anomaly area is divided, and the formation temperature at the depth of 1000~3000 m is further estimated. The results show that the current geothermal gradient ranges from 1.34°C/100 m to 3.12°C/100 m with an average of 1.88°C/100 m. Terrestrial heat flow values range from 47.1 mW/m² to 75.9 mW/m² with an average of 63.2 mW/m². Vertically, the estimated temperature in the study area is over 30°C at depth of 1000 m, the temperature of the high temperature abnormal area is over 60°C at 2000 m, and over 80°C at 3000 m. According to the estimation of deep formation temperature, there exist two high temperature anomaly areas in its south and southeast. Controlled by regional geological structure, the distribution pattern of geothermal field is basically consistent with the strike of regional main faults. In addition, the lithology is also one of the important influencing factors.

Key words: Tongzhou District of Beijing; current geothermal field; geothermal gradient; geothermal

地热资源是一种清洁可再生的新型能源,是缓解世界能源危机的新生力量,现阶段已被广泛开发和利用。而进行区域性的地温场研究,分析区域内现今热状态、热结构和热演化过程,揭示区域地热特征,了解区域深层温度分布情况,是进行地热资源评价和开发利用的重要前提。新中国成立以来,多次开展了具有针对性的地热资源勘查开发及研究,学者们已对全国区域内地热地质条件、深部地

壳结构、区域岩石类型组合等地温场分布的影响因素有了宏观的认识^[1-2],各地区针对区域性地温场特征及其影响因素的研究也取得了长足进展^[3-8]。但总结已有成果不难发现,现有地温场研究的区域尺度较大,总体研究精细程度较低,地温场分布的诸多细节不明,针对具体地区的地热资源评价和开发利用指导性不高。本文选取的研究区为北京市通州地区,是北京市城市发展整体规划的重点区

收稿日期:2020-07-27;修订日期:2021-06-17

资助项目:北京市地质矿产勘查开发院项目《北京市通州区地热资源优化开采模式研究》(编号:PXM2019_158309_000005)

作者简介:李文(1990-),男,硕士,工程师,从事水文地质、地热地质相关工作。E-mail:402128604@qq.com

域。回顾有关研究区的地热地质成果^[9-10]可以看出,该区域具有一定的地热地质研究基础,主要是针对地热井增产增灌、井间距等局部产能问题的研究,尚缺少针对区域整体的地热地质理论研究,对区域内地温场的影响因素亦把控不清,不能较好地分析区域内整体深部地热赋存情况。为填补该空白,宏观把控通州地区地热资源整体分布状况,为该区的地热资源评价和开发利用提供理论支撑,本文对研究区及周边地区相关地热数据进行搜集整理,总结已有的地热地质成果,针对北京市通州地区地温场进行精细研究,明确区域内地温场展布状态,并分析影响地温场分布的主要因素。

1 地质概况

研究区位于北京平原区的东部,大地构造位置处在华北断坳(Ⅱ级构造单元)^[11-12]内的北京迭断陷(Ⅲ级构造单元)、大兴迭隆起(Ⅲ级构造单元)和大厂新断陷(Ⅲ级构造单元)^[13]处(图1),3个三级构造单元分别以研究区北东向的南苑-通县断裂和夏垫断裂为界。根据大量研究,夏垫断裂形成于新生代,是研究区规模最大的断裂,对地层沉积、盖层厚度和储层埋藏深度控制明显。除上述断裂外,研究区还存在北东向燕郊断裂和北西向张家湾断裂、牛堡屯断裂等。研究区热储整体以碳酸盐岩热储为主,蓟县雾迷山组热储在区域内分布面积最广,另有蓟县系铁岭组热储,局部地区存在奥陶系-寒武系热储。受断裂构造控制,各构造单元内储层的埋藏差异较大,埋藏深度最浅约为470 m,最深超过3000 m。其中,南苑-通县断裂北侧,蓟县系热储层直接伏于新生界之下,埋藏深度为500~800 m;在南苑-通县断裂与夏垫断裂夹持的大兴迭隆起范围内,受多组断裂控制,热储埋藏深度为470~1900 m;靠近夏垫断裂附近,由北向南,热储层埋藏深度逐渐增大,分布在1800~3300 m范围。研究区盖层由老到新主要包括蓟县系洪水庄组页岩、青白口系板岩、第四系松散层等,不同区域盖层组合形式及厚度不同。其中,第四系沉积物分布广泛,厚度变化大,几十米到数百米不等,在大兴迭隆起内,沉积厚度较薄,最薄可至50 m左右;而在北京迭断陷和大厂新断陷内,新生界保存较完整,第四纪沉积物沉积较厚,在沉积中心处最厚可达1000 m,其成因类型主要包括冲积相、洪积相、湖积相,部分地区发

现有海相层^[14]。

2 研究区现今地温场特征

为刻画研究区现今地温场特征,本文以研究区及周边已有地热钻井的相关地热数据资料为基础,参考已公开发表的热物性、热流、地温梯度等地热参数,对比前人研究成果,重点分析研究区地温梯度和深部地层温度分布特征,并结合相应的插值处理方式,克服数据分布不均带来的编图困难。

2.1 地温梯度的分布特征

地温梯度是研究地温场的主要参数,反映了一定区域范围温度随深度的变化率。本次地温梯度的计算主要依据研究区及周边附近区域内共计28眼地热井的稳态连续温度和井底温度测量数据,其中,对于无稳态连续温度数据但有井底温度数据的地热井,使用井底温度数据进行估算。根据北京及

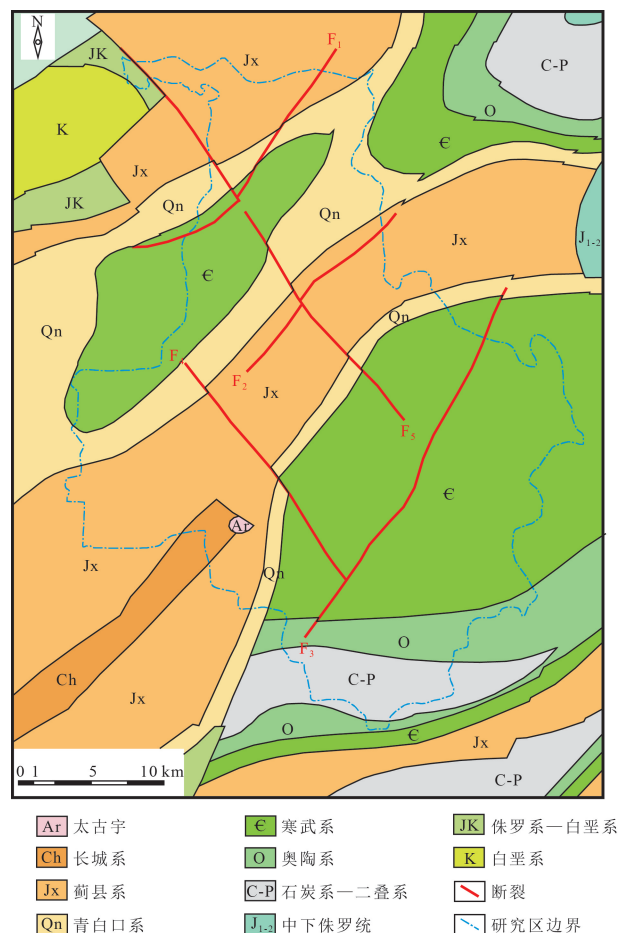


图1 研究区基岩地质构造图

Fig. 1 Geological map showing structure of the survey area
F1—南苑-通县断裂;F2—燕郊断裂;F3—夏垫断裂;
F4—牛堡屯断裂;F5—张家湾断裂

华北地区的测温资料,确定研究区范围内年恒温带的深度为10~30 m,恒温带温度为13~14℃^[1,15],为便于计算,将研究区恒温带深度确定为30 m,恒温带温度统一定为14℃,推算出各地热井的地温梯度(表1)。

经计算,研究区地温梯度分布在1.34~3.12℃/100 m范围,平均值为1.88℃/100 m;盖层段的平均地温梯度约为2.86℃/100 m。结合所收集的研究区不同深度地层岩石热导率的数据资料,岩石热导率分布在4.031~7.274 W/(m·K)范围,由此计算获得北京通州地区的大地热流值分布范围为47.1~75.9 mW/m²,平均值为63.2 mW/m²,略高于中国大陆地区平均热流值61.5 mW/m²^[16],显示研究区具有

较好的热流状态。

根据中国针对地热异常的划分规定^[17],结合北京地区实际情况和前人工作程度,以地温梯度大于2.5℃/100 m的区域划为地热异常区,2.0~2.5℃/100 m的区域划为地热前景地区,小于2.0℃/100 m的区域划为地热一般地区(图2)。其中,地热异常区分布在研究区的东部和南部,地热前景区分布在研究区的中部和东南区域,大体沿夏垫断裂带走向展布。根据研究区地热异常区域的划分,可判断研究区地温场分布的整体轮廓,地温高低区分较明显,分布范围与区域构造、断裂分布位置基本一致,反映了断裂构造对现今地温场的控制作用。

表1 地热井地温梯度计算结果

Table 1 Geothermal gradients of geothermal well

地热井序号	成井深度/m	盖层深度/m	测温井段/m	T/℃	G/(℃·100 m ⁻¹)	G'/(℃·100 m ⁻¹)
1	811	0~445	100~800	29	1.95	1.81
2	642	0~473	100~600	28	2.46	3.16
3	1827	203~589	340~1800	43	1.64	2.18
4	2500	864~1418	1000~2417	62.5	2.03	2.16
5	2679	515~1065	1500~2670	56.8	1.62	-
6	2213	583~1108	1500~2210	53.2	1.80	-
7	2203	464~1049	1100~2200	53.8	1.83	-
8	2699	277~729	300~2670	57.1	1.63	1.84
9	2509	680~1225	100~2460	53.1	1.61	2.03
10	2480	439~979	1500~2400	55.34	1.74	4.09
11	2405	470~792	100~2350	45.2	1.34	1.10
12	2400	297~677	100~2400	51.5	1.58	1.24
13	2505	490~1073	100~2500	58.2	1.79	2.61
14	2106	926.5~1005	100~2100	49.89	1.73	2.32
15	2468	302~712	100~2400	57.1	1.82	3.38
16	3203	2404~2740	50~3200	84	2.21	1.66
17	3589	2817~3180	300~3425	89.5	2.22	2.17
18	2800	570~1086	50~2800	63.5	1.79	0.78
19	3001	255~618	100~3000	62.983	1.65	1.83
20	2800	0~478	100~2800	53.98	1.44	1.82
21	2800	-	300~2800	56.74	1.54	-
22	3000	-	286~3000	58.53	1.50	-
23	2204	504~1105	50~2190	53.7	1.84	2.91
24	2106	610~980	100~2100	45.94	1.54	0.46
25	2500	592~842	100~2500	51.4	1.51	0.76
26	3600	-	50~3600	116.4	2.87	-
27	3000	-	50~3000	97.61	2.82	-
28	3332	-	50~3330	116.9	3.12	-

注: T表示井底温度; G表示地热井地温梯度; G'表示盖层段地温梯度

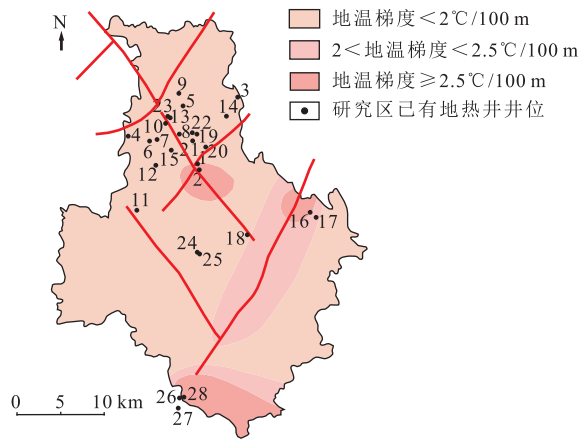


图2 通州地区地热异常分区图

Fig. 2 Division of geothermal anomalies in Tongzhou District

2.2 深部地温分布

目前北京地区整体水热型地热资源的开发利用深度普遍在 4000 m 以浅^[18],研究 4000 m 以浅不同深度的地温分布特征具有现实意义。根据所收集的研究区及周边地热井地质、地温资料,参考平均地温梯度估算法和一维稳态热传导方程^[19] 2 种深部地温估算方式,重点分析并绘制了 1000 m、2000 m 和 3000 m 深度温度等值线图(图 3~图 5)。其中,1000 m 埋深处地层温度在 30℃ 以上,存在多处较高温区,分别位于研究区的北部、东南及南部区域;2000 m 深度的地温异常区位置变化不大,高温异常区温度升高,东南及东部地区温度在 60℃ 以上;3000 m 深度时研究区南部区域地温超过 100℃,东南地区地温也达到 80℃。显然,地层温度随深度的增加而增加,说明地层埋深对现今地温场的影响作用。

通过对不同深度地层温度空间格局的观察可知,不同深度地层的温度呈现相同的分布规律,与上述地温梯度的分布趋势亦相近,且深度越大,相似程度越高。研究区相对高温区主要出现在南部及东南部区域,与区域内地热异常区及地热前景区位置相近,说明深部地温分布与地温梯度的横向差异等因素具有相关性。总结研究区现今地温场特征和空间分布趋势,研究区整体热流状态较好,深部地温垂向上随深度的增加具有增加趋势,横向分布格局与其地温梯度的分布具有较高的相似性,地温高值区域主要集中分布在研究区南部及东南部地区,总体与构造断裂关系密切。

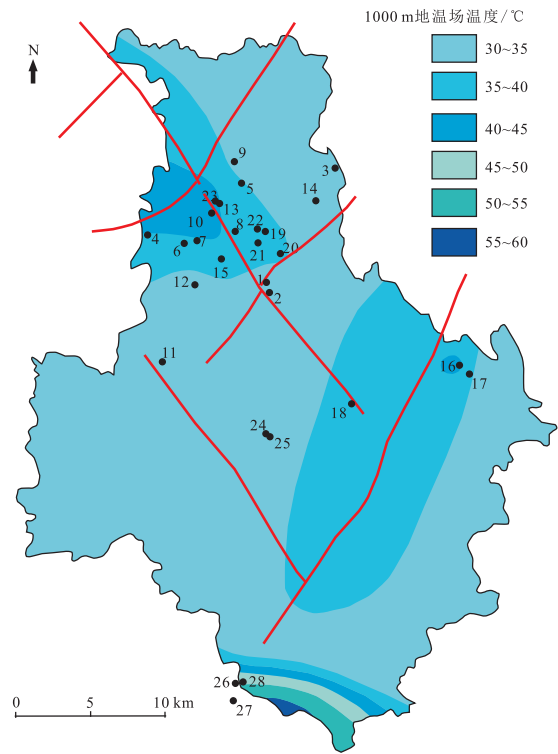


图3 通州地区 1000 m 深度温度等值线图

Fig. 3 Temperature contour at depth of 1000 m in Tongzhou District

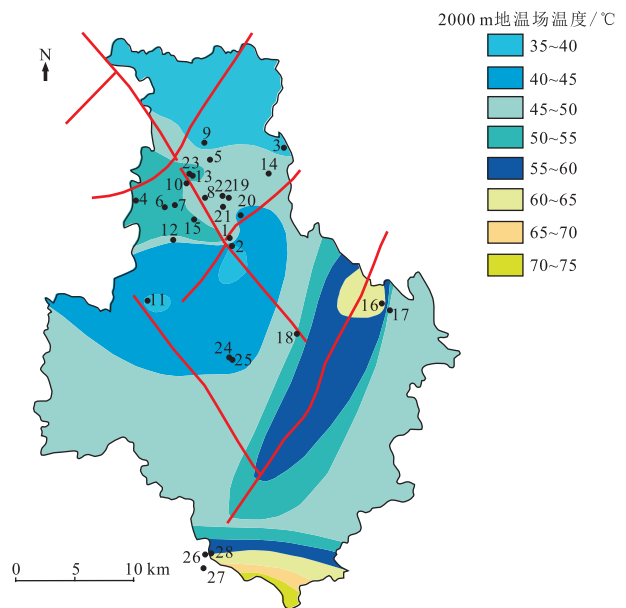


图4 通州地区 2000 m 深度温度等值线图

Fig. 4 Temperature contour at depth of 2000 m in Tongzhou District

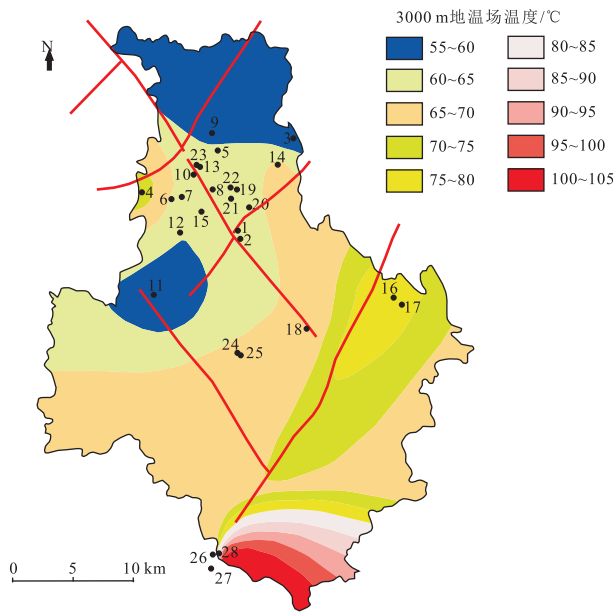


图5 通州地区 3000 m 深度温度等值线图

Fig. 5 Temperature contour map at depth of 3000 m in Tongzhou District

3 地温场影响因素

地温的产生实际是由于地球内部热能通过岩层传导和地热流体对流作用形成的,理论上影响岩层传导或地热流体对流作用的相关因素均为其控制和影响因素。中国及北京地区地温分布特征的影响因素前人已有概括^[20],其中,区域地质构造和深部地壳结构起主要控制作用,岩石的热物性、火山活动和岩浆作用、地下水活动等因素均对地温分布有不同程度的影响。结合研究区地温场分布情况及实际工作开展情况,综合分析认为,研究区地温场分布主要受区域地质构造影响,区域内水文地质条件及岩土体热物性特征也起到一定作用。

3.1 区域地质构造

区域地质构造条件是影响不同地质单元地温场分布情况的主要因素,在较大的区域范围内,新构造运动可直接改变并决定现代地温场的分布情况,其基底构造的起伏及延展方向与地温的分布通常具有较强的一致性,其中凹陷带地温较低,凸起带地温较高。北京地区主要受燕山褶皱带影响^[21],地温场水平展布大体呈近东西向分布,研究区地温场分布则主要与区域内断裂位置相关。结合图3~图5,对比研究区高温区与断裂的相对位置,可发现

地温高值区贴近夏垫断裂、南苑-通县断裂与张家湾断裂交会处,且整体展布与上述断裂展布方向具有相关性,在垂向上相同深度断裂附近地温场明显高于其他区域,结合研究区所处的地质构造条件,可初步判断研究区地层高温情况的产生是由构造控热导致的热流重新分布所致,其中夏垫断裂起到重要作用。一方面,断裂形成的巨大断距可成为深部高温地下水循环的对流通道,是导热导水的最佳途径;另一方面,断裂在形成过程中,地层沿断裂面相对错动时,地层厚度发生改变,可形成良好的保温盖层,为高温区的形成提供条件。

3.2 岩石性质

岩石地层是地热能储藏、传递、散失的重要依靠。地层岩性不同,其自身导热能力就不同,即热导率存在差别,直接影响了区域内地温场的展布形态。前人对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的增大而增大^[22],说明受外界温压条件影响,不同岩石的固结状态、结构、孔隙率等性质不同,对其自身热导率产生影响,从而影响地温场的分布。结合构造条件分析,表现为同一地层在同一构造单元内,地温梯度基本保持不变,而在不同构造位置的地温梯度有明显不同^[23],说明在地质构造的前提下,岩石性质的不同对地温场具有重要影响。而研究区深部地层岩性界线分明,高温区热储层多为蓟县系白云岩,其地质年代较老,孔隙相对发育,上覆盖层则多为青白口系灰岩和页岩,岩石地质年代较新,孔隙发育较差,具有较好的保温效果,且在高凸深凹相间分布的地质构造格局下,上述地层岩石性质的差别,使地壳内均一热流在传导过程中产生了局部的热流集中,促进区域内地温场形成相对高温区。

4 结论

本文揭示了北京通州地区地温梯度、大地热流 3000 m 以浅深层地层温度分布等现今地温场特征,主要认识如下。

(1) 研究区热流状态较好,大地热流值分布范围为 47.1~75.9 mW/m²,平均值为 63.2 mW/m²,地温梯度在 1.34~3.12°C/100 m 范围内,平均值为 1.88°C/100 m,盖层段的平均地温梯度约为 2.86°C/100 m。其中,受区域内断裂构造的影响,在研究区南部和东南部地热异常明显。

(2)研究区南部及东南部地区存在2处有意义的高温异常区,且总体分布趋势与地温梯度的空间格局基本一致。其中,在1000 m埋深处研究区整体地层温度超过30℃,在2000 m时高温异常区温度超过60℃,3000 m时高温异常区温度超过80℃。

(3)研究区现今地温场分布特点反映了区域内隆起与凹陷对地温分布的控制,且地温场整体分布与区域内断裂走向基本一致,表明断裂构造是控制区域内地温场分布的主要因素。而在地质构造作用的影响下,研究区地层岩性也直接影响了区域内地温场的整体分布。

参考文献

- [1] 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,1990,26: 80-100.
- [2] 蔺文静,刘志明,王婉丽,等.中国地热资源及其潜力评估[J].中国地质,2013,40(1): 312-321.
- [3] 卫万顺,郑桂森,栾英波.北京平原区浅层地温场特征及其影响因素研究[J].中国地质,2010,37(6): 1733-1739.
- [4] 陈晓冬,金旭,管彦武,等.长春地区地表温度日变、年变对地温测量的影响[J].地球物理学进展,2006,(3): 1008-1011.
- [5] 栾英波,郑桂森,卫万顺.北京平原区粉质粘土热导率影响因素实验研究[J].中国地质,2013,40(3): 981-988.
- [6] 于仲坤,赵洪,刁慧,等.东海陆架盆地丽水凹陷热演化模拟及现今地温场特征[J].海洋地质与第四纪地质,2020,40(2): 124-134.
- [7] 周阳,穆根胥,张卉,等.关中盆地地温场划分及其地质影响因素[J].中国地质,2017,44(5): 1017-1026.
- [8] 柏崇伟,孙志国,金洪文,等.陇东盆地地热系统地温场特征及平凉地热勘查评价[J].甘肃地质,2017,26(1): 74-80.
- [9] 李文,孔祥军,袁利娟,等.北京通州地区地热井酸化压裂增灌试验研究[J].城市地质,2019,14(4): 43-48.
- [10] 高剑,张进平,孔祥军,等.北京通州地区深部地热井间的影响分析[J].城市地质,2017,12(4): 72-75.
- [11] 蔡向民,栾英波,郭高轩,等.北京平原地区地质系统[J].城市地质,2009,4(3): 6-12.
- [12] 宾德智,刘久荣,王小玲.北京地热资源[C]//北京地热国际研讨会论文集,2002: 169-177.
- [13] 北京地质局.北京市区域地质志[M].北京:地质出版社,1991: 213-260.
- [14] 蔡向民,郭高轩,栾英波,等.北京山前平原区第四系三维结构调查方法研究[J].地质学报,2009,83(7): 1047-1057.
- [15] 陈墨香.华北地热[M].北京:科学出版社,1988: 1-100.
- [16] 姜光政,高珊,饶松,等.中国大陆地区大地热流数据汇编(第四版)[J].地球物理学报,2016,59(8): 2892-2910.
- [17] 徐世光,郭远生.地热学基础[M].北京:科技出版社,2009: 15.
- [18] 雷晓东,胡圣标,李娟,等.北京平原区西北部大地热流与深部地温分布特征[J].地球物理学报,2018,61(9): 3735-3748.
- [19] 汪集旻,胡圣标,庞忠和,等.中国大陆干热岩地热资源潜力评估[J].科技导报,2012,30(32): 25-31.
- [20] 柯柏林,林天懿,李文,等.北京西山谷积山背斜地热系统成因模式及远景区预测[J].地质通报,2019,38(8): 1378-1385.
- [21] 阎敦实,于英太.京津冀油区地热资源评价与利用[M].武汉:中国地质大学出版社,2000: 19.
- [22] 胡玉禄,胡红文,邱希青,等.华北地温场垂向变化[C]//山东省科学技术协会.地质与可持续发展——华东六省一市地学科技论坛文集.山东省科学技术协会,2003: 3.
- [23] 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,(2): 196-206.