

济南北部地热资源区划研究

尚宇宁 高明志 吴立进 罗 斐 张海林

(山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要:济南北部地热资源较丰富,且多以可直接利用的中低温地热资源为主,开发潜力巨大。济南北部地热资源按地温梯度、地质构造条件及热储类型的不同,可规划为优先开发地热区、较优先开发地热区、次优先开发地热区、一般开发地热区 4 个大区。从经济型地热资源考虑,区内地热资源的综合勘查与优先开发的目的层是馆陶组热储和古生代寒武—奥陶纪碳酸盐岩热储。按先易后难、深浅结合的原则,齐—广断裂以北应以勘查开发新近纪馆陶组热水为主;齐—广断裂以南地区,可勘查开发寒武—奥陶纪灰岩热储。

关 键 词:地热资源;区划;济南北部

中图分类号:TK521⁺.33

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2012)03-0778-06

1 济南北部地热地质概述

济南北部地区属华北平原的一部分。在大地构造上以齐—广断裂为界,分属华北台坳的泰山隆起及济阳坳陷。地质构造上为中生代形成的断陷盆地。区内地层发育齐全,自老至新有太古宇变质岩系、寒武—奥陶纪碳酸盐岩系、石炭—二叠纪碎屑岩系、侏罗—白垩纪陆相碎屑岩和火山碎屑岩系、古近纪和新近纪陆相碎屑岩系以及第四纪河湖相和海相松散沉积物等。主要断裂有临邑断裂、齐—广断裂、千佛山断裂、东坞断裂等。

济南北部地热属于大地热流机制作用下形成的正常传导型为主,局部为深部循环对流型。地温梯度在水平方向上的分布受控于地质构造和基岩埋藏条件。齐—广断裂以南地区平均地温梯度为 $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,以北地区平均地温梯度为 $3.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。地温梯度在垂向上的变化受控于地层岩性、结构、构造等,含泥岩比例大的地温梯度高于含泥岩比例小的地温梯度。总的变化规律为随深度的增加地温增高。

济南北部地热资源属于中低温热水型资源。由于地质构造条件和沉积环境的差异,热储系统和热

储层组在埋藏封闭性、热流循环的对流性、渗透性、富水性、水化学及地温梯度等的差异性都较大。地热资源的勘查开发,对于缓解区内能源紧张状况、调整产业结构、培育新的经济增长点,对于贫困区脱贫致富和加快城市化进程,发展特色环保产业,促进社会经济的可持续发展具有重要的现实意义。地热作为一种应用广阔、易于开发、清洁环保的新能源,已广泛用于供暖、疗养、洗浴、养殖、农业种植、工业发电、产品加工及旅游业等方面。地热资源在开发利用过程中也存在诸如地热井水量减小、水温降低、地面沉降及热污染、尾水排放对地表水体、土壤环境影响等方面的问题。地热开发为一项系统工程,应坚持在保护中开发,在开发中保护的原则。

2 地热资源区划原则与方法

2.1 地热资源区划原则

为在当前经济技术条件下,有效地、最大限度地勘查和合理开发利用地热资源,在未来时间内能够更好地为人类经济活动服务,进行地热资源区划具有重要意义。根据区域地质以及地热形成条件和现有的开采技术水平,划分原则主要从地热资源条件和

地热资源量两方面入手,地热资源条件主要包括热储层埋深、热储温度和热储层厚度;地热资源量包括可利用地热资源量模数和地热井的涌水量。

2.2 地热资源区划方法

2.2.1 地热资源区划路线与原则

根据上述原则,主要侧重于地热资源条件,按寒武—奥陶纪热储层、新近纪馆陶组热储和古近纪东营组热储所处的地质构造条件、热储类型、地温梯度特征划分为:寒武—奥陶纪灰岩热储区、新近纪馆陶组热储区以及古近纪东营组热储区。按成热条件、开发利用条件的相对优劣,并考虑距离城市的区位优势,将济南市划分为优先开发区、较优先开发区、次优先开发区、一般开发区。

优先开发区(Ⅰ):地热资源丰富,热储层厚度和出水量大,埋藏较浅,开采技术条件优越;地热资源潜力大,有广阔的开发空间,可优先开发利用。

较优先开发区(Ⅱ):地热资源较次优先开发区丰富,分布均匀,热储层的厚度和出水量较大,埋藏适中,成热条件较优先开发区稍差,开发潜力大,可加以开发利用。

次优先开发区(Ⅲ):地热资源较丰富,分布较均匀,热储层厚度和出水量一般,埋藏较深,开采技术条件一般;地热资源现状潜力较大,作为较丰富的绿

色能源可大力提倡开发利用。
一般开发区(Ⅳ):热储层埋藏深,热储层厚度和出水量小,热储温度较高,地热资源、开采技术条件和地热资源潜力较差,可根据当地经济条件和建设水平酌情开发利用。

2.2.2 区划因子

主要侧重于地热资源的数量和质量,综合选取主要热储层埋深(U_1)、热储层厚度(U_2)、地热井涌水量(U_3)、地热资源量(U_4)、地热水温度(U_5)等 5 个因子,采用综合指数评判方法,进行地热资源区划。

①主要热储层埋深(U_1)

按热储层的埋深不同,分别赋予不同的分值,采用打分法进行计算(表 1)。

②热储层厚度(U_2)

热储层厚度反映了热储层的赋存空间条件,是影响地热资源的主要因素。区划分值确定见表 2。

③当前开采技术条件下的涌水量(U_3)

涌水量的大小直接关系着地热井的利用状况,是地热资源评价的一项重要指标。此处采用的涌水量值是单位降深涌水量。评分结果见表 3。

④地热资源量(U_4)

地热资源量是指单位面积上的可利用地热资源量,是反映地热资源的主要指标之一。区划分值确定

表 1 热储层埋深分值标准					
Table 1 Burial depth values of thermal reservoirs					
热储层埋深/m	<400	400~500	500~700	700~900	900~1100
分值	9~10	8~9	7~8	6~7	5~6
热储层埋深/m	1100~1300	1300~1500	1500~1700	1700~2000	>2000
分值	4~5	3~4	2~3	1~2	0~1

表 2 热储层厚度分值标准					
Table 2 Thickness values of thermal reservoirs					
热储层厚度/m	< 50	50~100	100~150	150~200	>200
分值	< 6	6~7	7~8	8~9	9~10

表 3 涌水量分值标准					
Table 3 Values of water inflow					
涌水量/m ³ /d	< 500	500~1000	1000~1500	1500~2000	>2000
分值	1	3	5	7	9

见表 4。

按五级标准评价,分级标准见表 8。

⑤主要热储层温度(U_5)
区划分值确定见表 5。

2.2.3 区划因子权重

根据各个区划分因子在地热区划中的贡献程度,并参考傅勒德三角形法(表 6),确定权重(表 7)。

2.3 区划方法

综合指数法

$$P_z = \sum (W_{zi} \cdot C_{zi})$$

式中: W_{zi} —区划因子权重; C_{zi} —区划因子分值。

3 地热资源区划

根据计算资源量时的分区图,将各热储层的计算分区图叠合成一张图,同一区域有多层热储的,按照原计算分区界线重新划分为若干块段,并将重新划分出的块段的各热储层可利用地热资源量进行累加,以此计算 U_d (地热资源量)。在新划分的块段上,根据以上确定的模型和区划因子,分别赋值进行计算,得到各块段的综合指数值。根据分区原则以及区划分级标

表 4 地热资源量分值标准

Table 4 Values of thermal resources

地热资源量/(10 ⁸ MJ/km ²)	< 10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	>50
分值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

表 5 主要热储层温度分值标准

Table 5 Values of temperatures for main geothermal reservoirs

温度/℃	< 35	35~40	40~45	45~50	50~55	55~60	>60
分值	4	5	6	7	8	9	10

表 6 各因子权重傅勒德三角形

Table 6 Robert Fludd-triangle of factor weight

地热资源区划因子比较重要次数							
2		1		3		0	4
U_1	【 U_5 】	U_2	【 U_5 】	U_3	【 U_5 】	U_4	【 U_5 】
【 U_1 】	U_4	【 U_2 】	U_4	【 U_3 】	U_4		
U_1	【 U_3 】	U_2	【 U_3 】				
【 U_1 】	U_2						
基准因子	比较因子	基准因子	比较因子	基准因子	比较因子	基准因子	比较因子

注:“【】”为比较重要的因子,求权结果: $U_5>U_3>U_1>U_2>U_4$ 。

表 7 地热区划因子权重

Table 7 Factor weight of geothermal division

区划因子	名称	热储层埋深/m	热储层厚度/m	涌水量/(m ³ /d)	地热资源量/(10 ⁸ MJ/km ²)	热储层温度/℃
	符号	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
权重(a)		0.18	0.12	0.27	0.08	0.35

表 8 地热资源区划分级标准

Table 8 Standard of the division of geothermal resources

区划	名称	优先开发区	较优先开发区	次优先开发区	一般开发区	远景开发区
亚区	代号	I	II	III	IV	V
综合指数(P_z)		>7.5	7.5~7	6~7	<6	

准表,将济南北部地热资源进行分区(图 1)

3.1 优先开发区

(1)优先开发区 I 1(综合指数 7.88)

优先开发区 I 1 位于济南市区北部,面积 248.02 km²。根据计算其综合指数为 7.88,该区距离区域中心城市济南市区较近,区位优势明显,为优先开发区。区内盖层地温梯度一般 3.5~4℃/100 m,其中济南岩体北侧的灰岩条带上>4℃/100 m。热储层为寒武—奥陶纪灰岩热储,热储顶板埋深<1 000 m;孔口温度 33~57℃;地热水化学类型为 Cl·SO₄-Na·Ca 型,矿化度 3~7 g/l,热水中含有对人体有益的偏硅酸、偏硼酸、锶、溴、碘、锂等微量元素,偏硅酸、偏硼酸达到了矿水浓度,具有较高的医疗价值。该区地热资源总量 5.2849×10¹² MJ (折合标准煤炭 1.8037×10⁸ t),可利用地热资源量 0.7927×10¹² MJ (折合标准煤炭 0.2705×10⁸ t);目前该区已有地热井 9 眼,开采量 21 000 m³/d,可增加地热井 7 眼。

(2)优先开发区 I 2(综合指数 7.57)

优先开发区 I 2 位于济南市东北部,热储面积约为 90.87 km²。根据计算,其综合指数值为 7.57,为优先开发区。热储层为寒武—奥陶纪灰岩,顶板埋深 600~1 100 m,地温梯度>3.5℃,推测热储温度 38~67℃。区内地下热水的热源主要来自深部的地热增温和断裂构造的传导,热水来源是由南部地下水的深循环经地热增温和控热构造的加热作用形成的,热水补给来源同样受南部山区大气降水影响,地热水与南部山区的岩溶冷水有相同的补给来源,与上覆含水层之间无水力联系。水化学类型为 SO₄·Cl-Ca·Na,矿化度为 5~7 g/l。该区地热资源总量为 2.1139×10¹² MJ(折合标准煤炭 0.7215×10⁸ t),可利用地热资源总量为 0.3171×10⁸ MJ (折合标准煤炭 0.1082×10⁸ t)。目前该区尚未有地热井,可增加地热井 7 眼。

(3)优先开发区 I 3(综合指数 7.16~7.57)

济南市地热资源优先开发区 I 3 位于商河县城及以西,面积 371.17 km²。根据计算其综合指数值为 7.16~7.57,另外考虑其该区的区位优势,将其定为优先开发区。盖层地温梯度 3.5~3.7℃/100 m。热储层为新近纪馆陶组和古近纪东营组,热储层顶板埋深 1 000~1 300 m,热源主要来自上地幔传导热流和地壳深部的正常传导热流,热储层厚度 100~110 m,岩性为浅灰色、灰白色粗砂岩、含砾砂岩和砂砾岩,孔

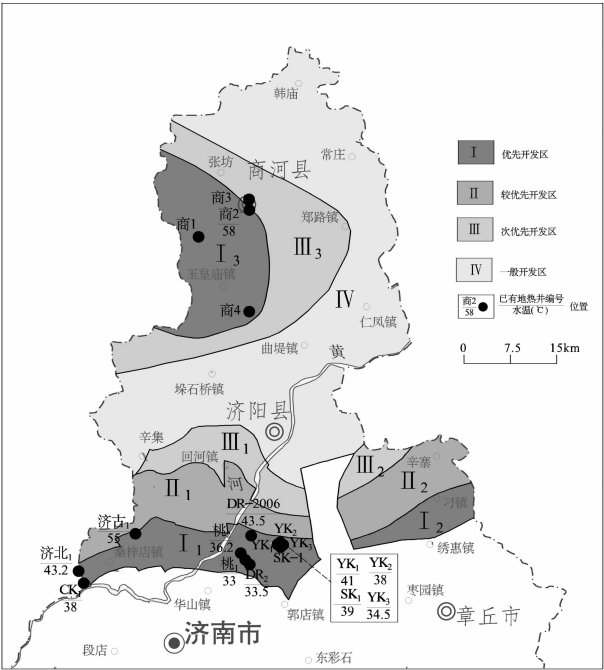


图 1 济南北部地热资源分区图
Fig.1 Regional division of geothermal resources in northern Jinan

隙度为 20%~25%,具有良好的储水空间。单位涌水量 2.52~3.34 m³/h·m,商 2 地热井自流水头高出地面 7.3 m,自流量约 500 m³/d,地热水化学类型为 Cl-Na 型,矿化度 7 802.99 mg/l。井口水温 58.0℃,为温热水型、低温地热资源。该区地热资源总量为 2.0880×10¹² MJ(折合标准煤炭 0.7126×10⁸ t),可利用地热资源量 0.5220×10¹² MJ (折合标准煤炭 0.1781×10⁸ t)。目前该区现有地热井 3 眼,若采取馆陶组热储与东营组热储混合开采方式,可增加地热井 11 眼。

3.2 较优先开发区

(1)较优先开发区 II 1(综合指数 7.18~7.30)

该区位于济南市区北部,面积为 222.46 km²。根据计算,其综合指数为 7.18~7.30,为较优先开发区。热储层为寒武—奥陶纪灰岩以及新近纪馆陶组,寒武—奥陶纪热储热储顶板埋深 1 000~1 500 m,馆陶组热储顶板埋深 300~700 m。区内平均地温梯度为 3.5~4.0℃/100 m。地热水化学类型为 SO₄·Cl-Ca·Na,地热水中含有氟、锶、硫化氢、镭、锂、偏硅酸、偏硼酸等多种对人体健康有益的微量元素,具有较高的医疗价值。但由于热水中的氟含量超标,一般不能直接用于渔业养殖,应采用混合水养殖,降低水中氟

的含量。根据已有地热井和地温梯度推算,热储平均温度为 71.1℃。采用热储法计算区内的地热资源总量为 6.7894×10^{12} MJ(折合标准煤 2.317×10^8 t),可利用地热资源量为 1.046×10^{12} MJ(折合标准煤炭 0.357×10^8 t)。目前该区尚无地热井,可增加地热井 14 眼。

(2)较优先开发区 II 2(综合指数 7.17)

该区位于济南市东北部,面积约为 170.41 km²。按计算,其综合指数值为 7.17,为较优先开发区。热储层为寒武—奥陶纪灰岩,顶板埋深 1 100~1 500 m,推测热储平均温度为 59.8℃,水化学类型从南到北由 HCO₃-Ca 型向 SO₄·Cl-Ca·Na、Cl·SO₄-Na·Ca 型变化。矿化度由小于 0.5 g/l 向 5~7 g/l 递增。地热水动态基本上与南部岩溶冷水动态一致,只是比其滞后 1~3 个月。采用热储法计算,该区地热资源总量为 4.9467×10^{12} MJ(折合标准煤炭 1.688×10^8 t),可利用地热资源量为 0.742×10^{12} MJ (折合标准煤 0.253×10^8 t)。目前该区尚未有地热井,尚可增加地热井 14 眼。

3.3 次优先开发区

(1)次优先开发区 III₁、III₂(综合指数 6.41~6.53)

该区热储层有寒武—奥陶纪灰岩和新近纪馆陶组,但以寒武—奥陶纪灰岩为主,顶板埋深 1500~2 000 m。面积约 201.96 km²。根据计算,其综合指数值为 6.41~6.53,为次优先开发区。该区平均地温梯度为 3.5~4.0℃/100 m,目前该区尚未有地热井。根据地温梯度推测该区热储层温度为 66~84℃。地热水中含有氟、锶、硫化氢、镭、锂、偏硅酸、偏硼酸等多种对人体健康有益的微量元素,具有较高的医疗价值。采用热储法计算该区地热资源总量为 6.771×10^{12} MJ(折合标准煤炭 2.311×10^8 t),可利用地热资源量为 1.041×10^{12} MJ(折合标准煤 0.355×10^8 t)。目前该区尚可增加地热井 13 眼。

(2) 次优先开发区 III₃(综合指数 6.33)

该区热储主要为新近纪馆陶组和古近纪东营组,面积 437.69 km²。根据计算,其综合指数值为 6.33,为次优先开发区。热储层岩性为砂岩、砂砾岩、砾岩,顶板埋深 900~1 400 m,推测热储平均温度 45~60℃,单井涌水量一般 30~65 m³/h(20 m 降深)。地热水化学类型为 Cl-Na 型,矿化度 5.0~7.5 g/L。采用热储法,计算该区地热资源总量为 8.156×10^{12} MJ(折合标准煤炭 2.783×10^8 t),可利用地热资源总量为 2.039×10^{12} MJ (折合标准煤炭 $0.695 \times$

10^8 t)。目前该区仅有地热井 1 眼,开采量为 2301.6 m³/d(降深 31.4 m),可增加地热井 9 眼。

3.4 一般开发区 IV(综合指数 4.54~5.86)

该区热储层为寒武—奥陶纪灰岩、新近纪馆陶组和古近纪东营组,面积约 1 242.27 km²,其中寒武—奥陶纪热储层顶板埋深 2 000~3 000 m,馆陶组热储埋深 300~1 000 m,东营组热储埋深 300~1 300 m。计算其综合指数值为 4.54~5.86,为一般开发区。该区在寒武—奥陶纪灰岩热储区有地热孔一眼,但水量微小,推测热储温度最高可达 93℃,水化学类型为 SO₄-Ca。采用热储法计算该区地热资源总量为 19.480×10^{12} MJ (折合标准煤炭 6.648×10^8 t),可利用地热资源量为 4.481×10^{12} MJ (折合标准煤 1.529×10^8 t)。可增加地热井 20 眼。

4 结 论

根据济南市的热储条件,目前经济技术条件下,具有勘探和开发意义的热储目的层为新近纪馆陶组热储、古近纪东营组热储和寒武—奥陶纪灰岩热储。济南市地热资源按地温梯度、地质构造条件及热储类型的不同,可规划为优先开发地热区、较优先开发区、次优先开发地热区、一般开发地热区 4 个大区。进一步划分为 7 个地热亚区。从经济型地热资源考虑,区内地热资源的综合勘查与优先开发的目的层是新近纪馆陶组热储和早古生代寒武—奥陶纪碳酸盐岩热储。按先易后难、深浅结合的原则,齐—广断裂以北应以勘查开发新近纪馆陶组热水为主;齐—广断裂以南地区,可勘查开发寒武—奥陶纪灰岩热储。

参考文献(References):

[1] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释[J]. 中国地质, 2004, 31(1):15-22.
Qi Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay basin and their genetic interpretation[J]. Geology in China, 2004, 31(1): 15-22(in Chinese with English abstract).
[2] 袁静. 济阳拗陷南部古近系洪水—漫湖沉积 [J]. 中国地质, 2005, 32(4):655-662.
Yuan Jing. Paleogene flooded lake sediments in the southern part of the Jiyang depression[J]. Geology in China, 2005, 32(4):655-662 (in Chinese with English abstract).
[3] 张莉, 钟大康, 朱筱敏. 惠民凹陷古近系碎屑岩储层性质主控因素简析[J]. 中国地质, 2005, 32(4):682-689.
Zhang Li, Zhong Dakang, Zhu Xiaomin. Main controlling factors of Paleogene sandstone reservoirs in the Huimin subbasin [J]. Geology in

- China, 2005, 32(4):682–689(in Chinese with English abstract).
- [4] 邱瑞照, 李廷栋, 邓晋福, 等. 中国大地构造单元新格局——从岩石圈角度的思考[J]. 中国地质, 2006, 33(2):401–410.
- Qiu Ruizhao, Li Tingdong, Deng Jinfu, et al. A new pattern of tectonic units of China considered in light of the lithosphere [J]. Geology in China, 2006, 33(2):401–410 (in Chinese with English abstract).
- [5] 李江海, 刘守偈, 侯贵廷. 华北中部古元古代末期构造–热事件性质及其构造成因模式[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1256–1266.
- Li Jianghai, Liu Shoujie, Hou Guiting. Nature of the latest Paleoproterozoic tectono–magmatic event in central North China and its tectonic genetic model [J]. Geology in China, 2006, 33(6):1256–1266(in Chinese with English abstract).
- [6] 颜世强, 潘懋, 邹祖光, 等. 山东德州凹陷地下热水地球化学特征及成因[J]. 中国地质, 2007, 34(1):149–152.
- Yan Shiqiang, Pan Mao, Zou Zuguang, et al. Geochemical characteristics and origin of geothermal water in the Dezhou hollow [J]. Geology in China, 2007, 34 (1):149–152 (in Chinese with English abstract).
- [7] 姜惠超, 肖永军. 济阳拗陷新生代古地温分析 [J]. 中国地质, 2008, 35 (2): 273–278.
- Jiang Huichao, Xiao Yongjun, Zhou Li. Analysis of Cenozoic subsurface temperatures of the Jiyang depression [J]. Geology in China, 2008, 35 (2):273–278 (in Chinese with English abstract).
- [8] 潘桂荣, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分 [J]. 中国地质, 2009, 36(1):1–28.
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 2009, 36(1):1–28(in Chinese with English abstract).
- [9] 王奎峰. 山东省聊城市东部地热田地热资源特征 [J]. 中国地质, 2009, 36(1):194–202.
- Wang Kuifeng. Geothermal resources in the eastern Liaocheng geothermal field of Shandong Province[J]. Geology in China, 2009, 36(1):194–202(in Chinese with English abstract).
- [10] 张保建, 文冬光, 沈照理, 等. 一种值得重视的地热资源概念模式——构造圈闭型地热资源[J]. 中国地质, 2009, 36(4):927–931.
- Zhang Baojian, Wen Dongguang, Shen Zhaoli, et al. An important geothermal resource conceptual model—Geothermal resource of structural trap–type [J]. Geology in China, 2009, 36 (4):927–931 (in Chinese with English abstract).
- [11] 刘春成, 戴福贵, 杨津, 等. 渤海湾盆地海域古近系—新近系地质结构和构造样式地震解释[J]. 中国地质, 2010, 37(6):1545–1558.
- Liu Chuncheng, Dai Fugui, Yang Jin, et al. Seismic interpretation of Eogene—Neogene geological structures and tectonic styles in the sea area of Bohai Gulf basin [J]. Geology in China, 2010, 37(6):1545–1558 (in Chinese with English abstract).
- [12] 胡宝清. 模糊理论基础(第2版)[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2010.
- Hu Baoqing. Basis of the Fuzzy Theory (the second edition)[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2010 (in Chinese).

Division of geothermal resources in northern Jinan

SHANG Yu–ning, GAO Ming–zhi, WU Li–jin, LUO Fei, ZHANG Hai–lin

(Shandong Provincial Geo–mineral Engineering Exploration Institute, Jinan 250014, China)

Abstract: There are abundant low and middle temperature geothermal resources in northern Jinan. According to geothermal gradients, geological–tectonic conditions and geothermal reservoir types, the geothermal resources can be divided into preferred exploitation area, relatively preferred exploitation area, somewhat preferred exploitation area, and common exploitation area. Considered from economically recoverable geothermals, the target beds for preferred development are Guantao Formation and Paleozoic Cambrian–Ordovician carbonite. Taking Qi–Guang fault as the boundary and following the principle of giving priority to the easy task and combining the shallow one with the deep one, the authors have reached the conclusion that, to the north of Qi–Guang fault, the main task should be the exploration and exploitation of Neogene Guantao Formation and, to the south of Qi–Guang fault, attention can be paid to the exploration and exploitation of Cambrian–Ordovician limestone thermal reservoirs.

Key words: geothermal resources; division; northern Jinan

About the first author: SHANG Yu–ning, male, born in 1975, engineer, mainly engages in the study of hydrogeology, environmental geology, and geothermal geology; E–mail: syn108@163.com.