

## 成果与方法

## 山东聊城西部地热田地热地质特征

马晓东, 陆荣莉, 周长祥, 李敏

(山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

**摘要:**山东省聊城西部地热田位于临清拗陷内的莘县凹陷的南部, 面积约为 1 280 km<sup>2</sup>。地热类型属低温层控砂岩孔隙型, 盖层为第四系和新近纪黄骅群明化镇组。常被利用的地热有新近纪黄骅群馆陶组和古近纪济阳群东营组 2 个热储层, 其中馆陶组热储层中地热水矿化度为 5 000 mg/L 左右, 可利用地热资源量为 2 5490 ×10<sup>18</sup> J, 热水资源静储量为 126.06 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>; 东营组热储层中地热水矿化度较高, 为 6 566.73 ~ 9 125.38 mg/L, 可利用地热资源量为 3.6600 ×10<sup>18</sup> J, 热水资源静储量为 94.339 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>。该地热田中地热水主要为大气降水在深循环过程中被地温加热而成。

**关键词:**地热田; 热储层; 馆陶组; 东营组; 聊城; 莘县

**中图分类号:** P314.1; P314.3 **文献标识码:** A

地热资源集热能与水资源为一体, 由于其温度适宜且富含多种对人体有益的矿物质, 在采暖、洗浴、工业、医疗、养殖业等领域有广泛的应用价值, 已成为继煤炭、石油之后重要的替代型能源之一; 也是继太阳能和风能之后的一种重要的绿色能源。位于山东省聊城市西部的地热田, 范围较大, 地热成矿地质条件有利, 热储层埋深适当, 水量大、水温较高, 充分开发利用该区地热资源, 对保护环境、保持经济的可持续发展及改善人民生活质量都具有重要意义。

## 1 区域地质背景

该地热田位于华北拗陷区临清拗陷内的莘县凹陷的南部, 呈 NE 向展布, 以堂邑断裂为西边界, 聊考断裂为东边界, 南至魏县断裂, 北到博平, 总面积约 1 280 km<sup>2</sup> (图 1)。其前新近纪基岩为古近纪济阳群东营组, 由东至西埋深渐厚。

### 1.1 地层

该区出露地层均为第四系, 据钻孔资料揭示, 隐伏地层由老至新有: 新太古代泰山岩群、寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系、古近系和新近系。与地热资源有关的地层主要为古近系、新近系和第四系。

#### 1.1.1 古近纪济阳群

该区古近纪济阳群由老到新为孔店组、沙河街组和东营组。孔店组下部为砂岩或含砾砂岩, 上部为泥岩夹砂岩, 含石膏, 厚约 700 m。沙河街组主要为泥岩、泥灰岩、油页岩, 夹石膏层, 底部有砂岩、砾岩, 厚约 2 100 m。东营组主要为泥岩与砂岩互层, 厚约 300 m。

#### 1.1.2 新近纪黄骅群

新近纪黄骅群下部为馆陶组, 上部为明化镇组。馆陶组主要为粘土岩与砂岩不等厚互层, 底部为灰白色块状砂岩、砂砾岩, 该组厚约 500 m。明化镇组主要为粘土岩、粉砂岩、砂砾岩互层, 厚约 800 m。

#### 1.1.3 第四纪地层

该区出露的第四纪地层有平原组和黄河组。平原组主要为粉砂质粘土、粘土质粉砂及粉细砂, 含较多钙质结核, 厚度 100 ~ 270 m。黄河组主要为粉砂质粘土、粉砂、细砂、粘土质粉砂和粘土的韵律堆积体, 其上部为耕作层, 厚约 20 m。

### 1.2 构造

该地热田所处的莘县凹陷, 为中、新生代断陷。面积约 2 400 km<sup>2</sup>, 呈 NNE 向展布, 其西侧为堂邑凸起, 东侧为阳谷凸起。凹陷内中、新生代地层最大残

收稿日期: 2006 - 12 - 31; 修订日期: 2007 - 06 - 19; 编辑: 张天祯

作者简介: 马晓东 (1972 - ), 男, 山东苍山人, 工程师, 主要从事地质矿产工作。

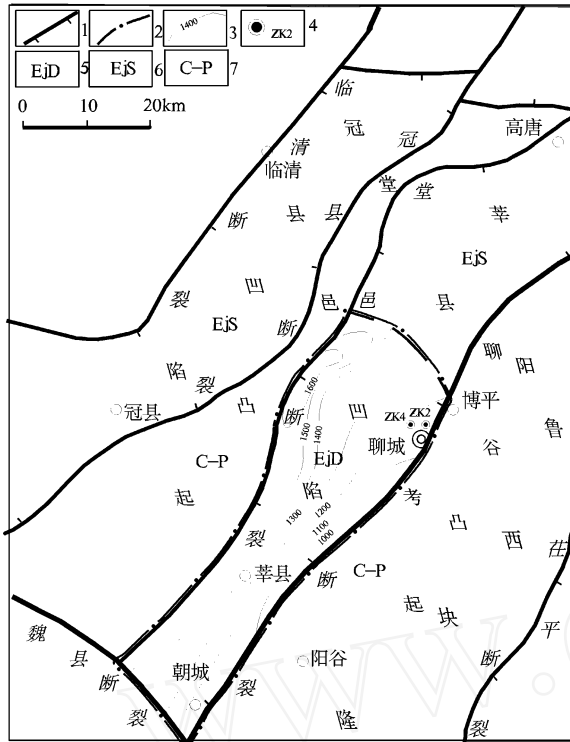


图 1 聊城市西部地热田前新近纪基岩地质图

1—断层; 2—地热田边界线; 3—新近系底界等深线; 4—钻井位置及编号; 5—古近纪济阳群东营组; 6—济阳群沙河街组; 7—石炭—二叠系

留厚度: 新近系 + 第四系为 1 600 m, 古近系为 3 500 m, 中生界为 4 000 m。

该区对中、新生代沉积特征起控制作用且与地热有密切关系的大型断裂有 2 条。聊考断裂: 为正断层, 走向 NNE, 倾向 NWW, 长度约 260 km, 断层两侧下古生界侵蚀面相对落差可达 7 000 m。堂邑断裂: 为正断层, 走向 NE, 倾向 SE, 长度约 50 km, 断层两侧下古生界侵蚀面相对落差可达 4 000 m。

## 2 地热地质条件

### 2.1 热源

该区地热类型属层状孔隙型, 热源主要来自地壳深处及上地幔的传导热。根据物探资料该区为莫霍面相对隆起区, 可从地球内部向地表传导相对较高的热流量, 有利于地下水升温。

### 2.2 盖层

该区地热盖层为第四系和新近纪黄骅群明化镇组, 前者主要由粉砂质粘土和粘土质粉砂组成, 后者主要由粘土岩、粉砂岩互层构成, 热导率低, 粘土或

粘土岩单层厚度大, 一般在 20~50 m 左右, 是良好的隔水层和不透水体, 使热能得以保存和储集。视开采层段的不同可单独也可共同构成热储层的盖层。该区第四系和新近纪明化镇组总厚度为 750~1 100 m。

### 2.3 热储层

该区常被利用的有东营组及馆陶组 2 个热储层。

#### 2.3.1 东营组热储

该热储层顶板埋深 1 100~1 600 m, 底板埋深 1 800~2 100 m, 厚度 300~600 m, 含水层单层厚度 1.0~15 m, 可采层数一般 20~35 层, 累计厚度 120~150 m。岩性以粉细砂岩为主。水温 50~70℃, 单井出水量 1 600~2 000 m<sup>3</sup>/d (降深 20 m 时)。

#### 2.3.2 馆陶组热储

此热储层顶板埋深 750~1 100 m, 底板埋深 1 000~1 600 m, 厚度 250~500 m, 含水层单层厚度 1.0~20 m, 可采层数一般为 15~25 层, 累计厚度 80~120 m。岩性以粉砂岩、细砂岩为主。水温 40~46℃, 单井出水量 1 400~1 800 m<sup>3</sup>/d (降深 20 m 时)。由于其底部常有一层厚 2~20 m 含砾粗砂岩, 含水量丰富, 在开发东营组热储时常被采用<sup>[1]</sup>。

### 2.4 传热导水通道

地热田东西两侧分别为堂邑断裂和聊考断裂, 它们形成于中生代, 具长期及多次活动的特点; 且为凸起与凹陷之分界, 是规模较大的断层。这 2 条断裂及其次级断裂长期活动, 沟通了热储层与热源的联系, 成为较好的传热导水通道。

## 3 地热田地球物理特征

### 3.1 地温梯度特征

谷庄星海家园地热井 ZK<sub>3</sub> 地温点测资料 (表 1) 及测井地温变化曲线表明: 第四系地温梯度较高, 为 1.0~7.6℃/100m, 平均为 3.50℃/100m; 新近纪明化镇组地温梯度一般为 1.0~3.4℃/100m, 平均为 2.2℃/100m; 新近纪馆陶组地温梯度一般为 1.6~3.6℃/100m, 平均为 2.5℃/100m; 古近纪东营组地温梯度一般为 1.6~5.2℃/100m, 平均为 2.9℃/100m。总体来看地层越深其地温梯度越高, 平均为 2.7℃/100m, 大于地壳的近似平均地温梯度 2.5℃/100m。

100m,表明该区存在地热异常。

表 1 聊城谷庄星海家园地热井井温点测成果

地层	井深 (m)	井温 ( )	地层	井深 (m)	井温 ( )
第四系	50	25.3	馆陶组	900	47.8
	100	29.1		950	49.6
	150	31.2		1000	50.7
	200	32.8		1050	52.0
	250	33.6		1100	52.8
	300	34.1		1150	53.8
明化镇组	350	35.5	东营组	1200	55.4
	400	36.3		1250	56.3
	450	37.3		1300	57.2
	500	38.9		1350	58.4
	550	40.0		1400	59.5
	600	40.5		1450	60.5
	650	41.3		1500	62.0
	700	42.1		1550	64.3
	750	43.2		1600	66.9
	800	44.7			
850	46.4				

3.2 重力场特征

在聊城市及附近地区布格重力异常图 (图 2) 上可以看出,高唐南—聊城以西地区形成了一条相对重力低异常带:总体呈椭圆带状沿 NE 走向展布,带宽 15 km 左右, g 值一般在  $-22 \times 10^{-5} \sim -30 \times 10^{-5} m/s^2$  之间变化,显示了该区为地层相对凹陷区,即莘县凹陷。

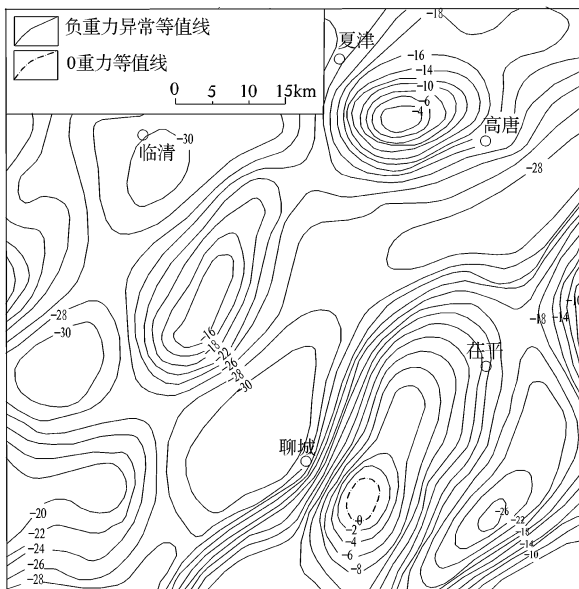


图 2 聊城市及附近地区布格重力异常图

3.3 视电阻率及自然电位特征

根据谷庄星海家园地热井 ZK<sub>2</sub> 测井曲线 (图 3),该区地层物性特征反映明显。粘土、粉砂、泥岩及粉砂岩层段 R<sub>2.5m</sub> 梯度电阻率呈低阻值反映,阻值一般为 2~20 Ω·m;细砂、中砂层段视电阻率值较高,阻值一般为 15~25 Ω·m。中粗砂层及含砾砂岩层段视电阻率值最高,一般可达 35 Ω·m。

第四纪地层以及古—新近系中的粉砂、粘土、粉砂岩与泥岩层段,自然电位一般为 -20~0 mV;新近纪和古近纪地层中的含水层段,自然电位一般为 -30~-15 mV,其视电阻率呈高阻对应;东营组中的含水层段,自然电位一般 < -20 mV,视电阻率值也相应变低,说明此段含水层中水的矿化度相对较高。

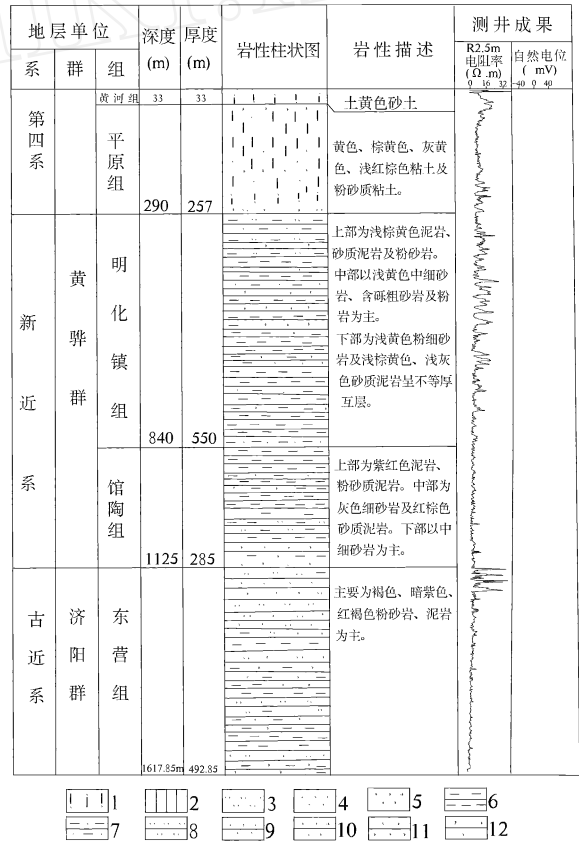


图 3 聊城市谷庄星海家园 ZK<sub>2</sub> 钻孔综合柱状图

- 1—粉砂质粘土; 2—粘土; 3—粉砂; 4—细砂; 5—粗砂; 6—泥岩;
- 7—粉砂质泥岩; 8—粉砂岩; 9—细砂岩; 10—中砂岩; 11—粗砂岩; 12—砂砾岩

4 地热田地球化学特征

### 4 1 东营组热储层地热水化学成分特征

该层地热水中主要阳离子为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 其含量分别为 1 870. 00 ~ 2 778. 00 mg/L 和 326. 10 ~ 499. 15 mg/L; 阴离子主要为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 其含量分别为 2 781. 82 ~ 4 128 mg/L 和 1 297. 34 ~ 1 539. 02 mg/L。水化学类型属 Cl - Na 型。其矿化度为 6 566. 73 ~ 9 125. 38 mg/L, 属咸水; 总碱度为 134. 34 ~ 155. 85 mg/L; pH 值为 7. 45 ~ 7. 73, 属中性水; 总硬度 (以  $\text{CaCO}_3$  计) 为 1 047. 9 ~ 1189. 95 mg/L, 属极硬水。

地热水中碘化物、偏硅酸、偏硼酸含量达到了矿水浓度, 锶含量达到了命名矿水浓度, 并含有铁、锰、锂等和放射性元素等多种对人体有益的微量元素, 对人体具有一定的医疗保健作用。该地热水中的  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  的含量很低, 不会对大气造成污染。其他有害成分含量均未超出“最高允许排放浓度”的要求, 不会对环境产生不良影响。

地热水拉申腐蚀指数均可达 55, 对金属有强腐蚀性; 对普通水泥有结晶性侵蚀, 对各类水泥无分解性侵蚀, 该地热水结垢性弱, 不易形成碳酸钙垢、硫酸钙垢、硅酸盐垢, 但可能会形成铁垢。

### 4 2 馆陶组热储层地热水化学成分特征

该层地热水中主要阳离子为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 阴离子主要为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ 。水化学类型属 Cl - Na 型水。其矿化度低于东营组地热水, 约为 5 000 g/L, 属咸水; 总碱度为 140 mg/L 左右; pH 值为 7 ~ 8, 属中性水; 总硬度 (以  $\text{CaCO}_3$  计) 为 500 mg/L 左右, 属硬水。

地热水中偏硅酸含量达到了矿水浓度, 氟含量达到了医疗价值浓度, 并含有铁、锰、锂等和放射性元素等多种对人体有益的微量元素; 地热水对金属有强腐蚀性, 对普通水泥及各类水泥性侵蚀、结垢性较东营组地热水弱。

### 4 3 地热水的年龄及成因

由于该区的地下热水属中性及氯化钠型水, 按新西兰马洪的地热流体化学类型分类法, 其化学类型属火山热源型。

法国 J. ch 丰特估算认为: “0 ~ 5 氙单位 (T U) 说明 40 年前的古水成分占优势, 5 ~ 40 氙单位表示新近的入渗水和古水之间有混合作用, > 40 氙单位表示新近入渗水占优势”。另据华北地区不同区域的雨水采样分析, 大气降水中的氙含量一般为

40 T U。该区东营组热储地热水中的氙含量为 6. 64 T U, 推测该区地热水为新近的入渗水与古水的混合水。经推算, 该区地下热水是 30 多年前形成的。

D -  $^{18}\text{O}$  图解中大致为一水平直线。此直线与大气降水线的交点接近于当地现代大气降水的氢氧同位素组成, 只有  $^{18}\text{O}$  增加的现象称为氧同位素漂移。该区东营组热储地热水中的 D 为  $-90. 67 \times 10^{-3}$ ,  $^{18}\text{O}$  为  $-9. 16 \times 10^{-3}$ , 从图 4 可看出, 氧同位素有漂移, 表明该地热水与围岩发生过交换作用, 成因主要为大气降水, 通过深循环在地温及地热气作用下被加热而形成。

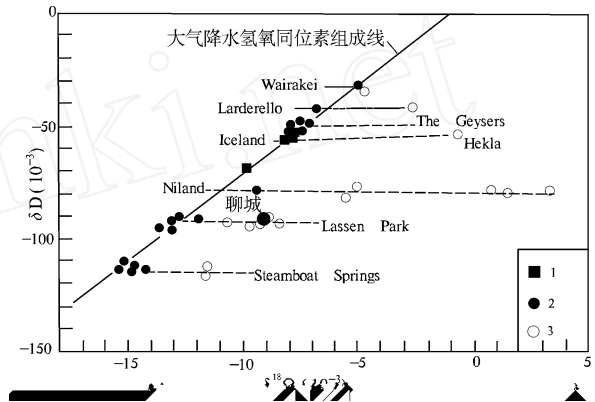


图 4 聊城地热田地热水氢氧同位素成分投影图

(据 Craig, 1983 年; 引自郑永飞等, 2000 年<sup>[21]</sup>)

1—局部大气降水或稍微加热的近地表水; 2—热泉地热水; 3—高温高压地热气 (Niland 指索尔顿海地区)

## 5 热储概念模型

该区属层控砂岩孔隙型低温地热田 (图 5), 热储层为古近纪东营组和新近纪馆陶组的砂岩层。热储层在地球内部传热作用下, 从地球深部源源不断获得热能, 使从西北方向径流补给的地下水升温, 同时控热构造堂邑断裂、聊考断裂及其次级断裂长期活动, 它们有良好的导水和导热通道, 进一步沟通了热储层与热源的联系。由于上部第四系和新近系含多层厚层粘土、粉砂、粉砂岩、泥岩, 是非常好的隔水层和保温盖层, 使热能得以保存和储集。该区地热水在热储层中由北西向南东缓慢流动。

## 6 地热资源量估算

### 6 1 地热资源量

利用“热储法”推算得出: 该地热田馆陶组热储

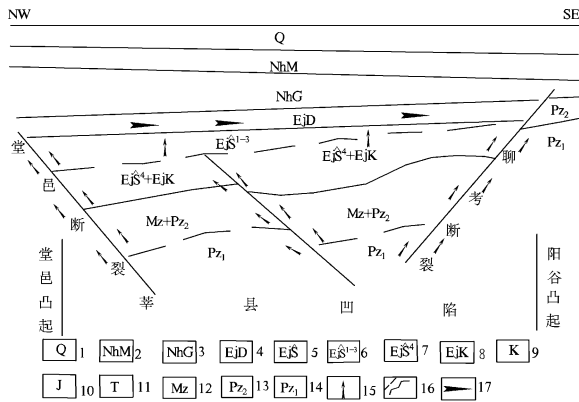


图 5 聊城地热田热储概念模型图

1—第四系；2—新近纪明化镇组；3—新近纪馆陶组；4—古近纪东营组；5—古近纪沙河街组；6—古近纪沙河街组第一至第三段；7—古近纪沙河街组四段；8—古近纪孔店组；9—白垩系；10—侏罗系；11—三叠系；12—中生界；13—上古生界；14—下古生界；15—地热传导方向；16—地层融合与不融合界线；17—地下水移动方向

层平均热容量为  $2.7659 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ ，地热资源总量为  $10.196 \times 10^{18} \text{ J}$ ，可利用地热资源量为  $2.5490 \times 10^{18} \text{ J}$ ，折合标准煤  $86.938 \times 10^6 \text{ t}$ 。东营组热储层热储层平均热容量为  $2.5834 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ ，地热资源总量为  $18.300 \times 10^{18} \text{ J}$ ，可利用地热资源量为  $3.6600 \times 10^{18} \text{ J}$ ，折合标准煤  $1.2483 \times 10^8 \text{ t}$ 。

### 6.2 热水资源静储量

热水资源静储量为热水容积储水量与热水弹性

储水量之和，经推算该地热田馆陶组热储层热水容积储水量为  $125.76 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，热水弹性储水量  $3.0493 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，热水资源静储量为  $126.06 \times 10^9 \text{ m}^3$ ；东营组热储层热水容积储水量为  $93.888 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，热水弹性储水量为  $4.5135 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，热水资源静储量为  $94.339 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

## 7 结论

(1)聊城西部地热田处于莘县凹陷的南部区内，为低温层状砂岩孔隙型地热田。

(2)该区常被利用的有馆陶组、东营组 2 个热储层，其中东营组热储层的地热水矿化度较高，可达  $6566.73 \sim 9125.38 \text{ mg/L}$ 。

(3)该区地热水温度较高，其中偏硅酸等含量达到了矿水浓度及医疗价值浓度，并含有铁、锰、锂等多种对人体有益的微量元素，可作为采暖、洗浴等用水。

(4)该区地下水是 30 多年前形成的，其主要 是大气降水通过深循环在地温及地热气作用下被加热而形成。

## 参考文献：

- [1] 沈照理. 水文地质学 [M]. 北京: 科学出版社, 1985, 723 - 803.
- [2] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2000, 152 - 153.

# Geological Characteristics of Geothermal Heat in Geothermal Field in West Part of Liao Cheng City

MA Xiao - dong, LU Rong - li, ZHOU Chang - xiang, LI Min

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Geothermal heat in west part of Liao Cheng city locates in south of Shenxian sag in Linqing depression with the square of  $1280 \text{ km}^2$ . Its geothermal heat belongs to low temperature strata sandstone crack type. Its covering is Minghuazhen formation in Quaternary and Neogene Huangye group. 2 geothermal heat reservoirs in Guantao formation of Neogene Huangye group and Dongying formation of Paleogene Jiyang group are often used. Among them, degree of mineralization of underground water in the reservoir in Guantao formation is about  $5000 \text{ mg/L}$ , useful reserve is  $2.5490 \times 10^{18} \text{ J}$  and static reserve is  $126.06 \times 10^9 \text{ m}^3$ ; while degree of mineralization in the heat reservoir of Dongying formation is  $6566.73 \sim 9125.38 \text{ mg/L}$ , useful heat reserve is  $3.6600 \times 10^{18} \text{ J}$ , and static heat reserve is  $94.339 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Geothermal heat is formed when meteoric water is heated during the period of deep circling.

**Key words:** Underground heat field; heat reservoir; Guantao formation; Dongying formation; Liao Cheng city; Shenxian county