

山东省聊城市东部地热田地热资源特征

王奎峰

(山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

摘要:山东省聊城东部地热田内蕴藏着丰富的地热资源,地质构造条件、热储地质条件都比较有利,是开发地热资源的有利地段。通过对已有钻探资料的分析,结合近年来的勘查项目研究成果,笔者认为聊城东部地热田属于岩溶裂隙层状传导型地热田,区域地质构造主要为聊考断裂和茌平断裂,热储层主要为奥陶纪马家沟组灰岩地层,该区的地温梯度主要受构造控制,断裂导热是形成本区地热田的一个重要因素,地下热水矿化度较小,含有多种对人体有益的矿物、元素,并且根据开发现状提出了合理的开发利用与保护政策。

关键词:地热田;地热资源;热储层;开发利用;聊城

中图分类号:TK521+.33 **文章标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)01-0194-09

地热能作为一种可再生的(如果热量提取的速度不超过补充的速度,那么地热能便是可再生的)新型清洁能源,既是现实能源,又是巨大的潜在能源。地热能的合理开发利用对促进经济社会的可持续发展、生态环境的改善、资源的合理配置、能源结构的完善、劳动力市场的开拓、人民生活水平与质量的提高等都有十分重要的意义^[1]。山东聊城东部蕴藏着丰富的地下热水资源,在华北平原具有典型性,探讨其地热资源特征,对同类地区的地热资源勘查评价和开发利用具有指导意义^[2]。

1 地质背景

聊城市东部地热田范围广大,位置大致以聊考断裂为西边界,以茌平断裂为其东边界,主体位于阳谷凸起内,呈北东向延伸,宽约 15 km,长约 70 km,总面积约 1 050 km²^①,聊城市经济开发区大部分位于此范围内。

聊城东部地热田的勘查和开发始于胜利油田在 20 世纪 70 年代实施的聊古 1 号石油钻井发现地热异常开始。目前开发利用的地热井总共有 3 眼,其中聊古 1 号井主要用于地震水化站的地震观测使用,

其余 2 眼用于房地产开发供暖和洗浴,取得了较好的社会、环境和经济效益。其具体参数及井位见表 1 及图 1。

表 1 聊城东部地热田地热井主要参数
Table 1 Data of the geothermal wells in Liaocheng eastern geothermal field

编号	井位	井深/m	水温/°C	出水量/(m ³ /h)
ZK1	军王屯聊古 1 号	2337.72	55	16.67(自溢)
ZK2	单官屯阳光花园小区	1035	62	46.39(降深 20 m)
ZK3	武楼花园小区	2400	64	62.90(降深 20 m)

1.1 地层

研究区位于聊城市城区东部,聊城地区均被第四系覆盖,地层以聊考断裂为界,东西部差异较大。西部古近系及中生代地层较发育,而东部主要发育古生代地层,古近系和中生代地层被剥蚀^[3]。据邻近钻孔资料揭示,地层由老至新为: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、新近系和第四系。与地热资源有关的地层主要为奥陶系、石炭系、新近系和第四系^[4],详见图 2 所示。

收稿日期:2008-05-13;改回日期:2008-08-26

基金项目:山东省国土资源厅(2003—2005 年度)地质勘查项目“山东省聊城市东昌府区单官屯地热普查”项目资助。

作者简介:王奎峰,男,1981 年生,硕士,工程师,目前主要从事水文地质、工程地质、环境地质、地热地质的评价工作;

E-mail:maplewkf@126.com。

①山东省地质科学实验研究院. 山东省聊城市单官屯地热单井地质报告,2006.

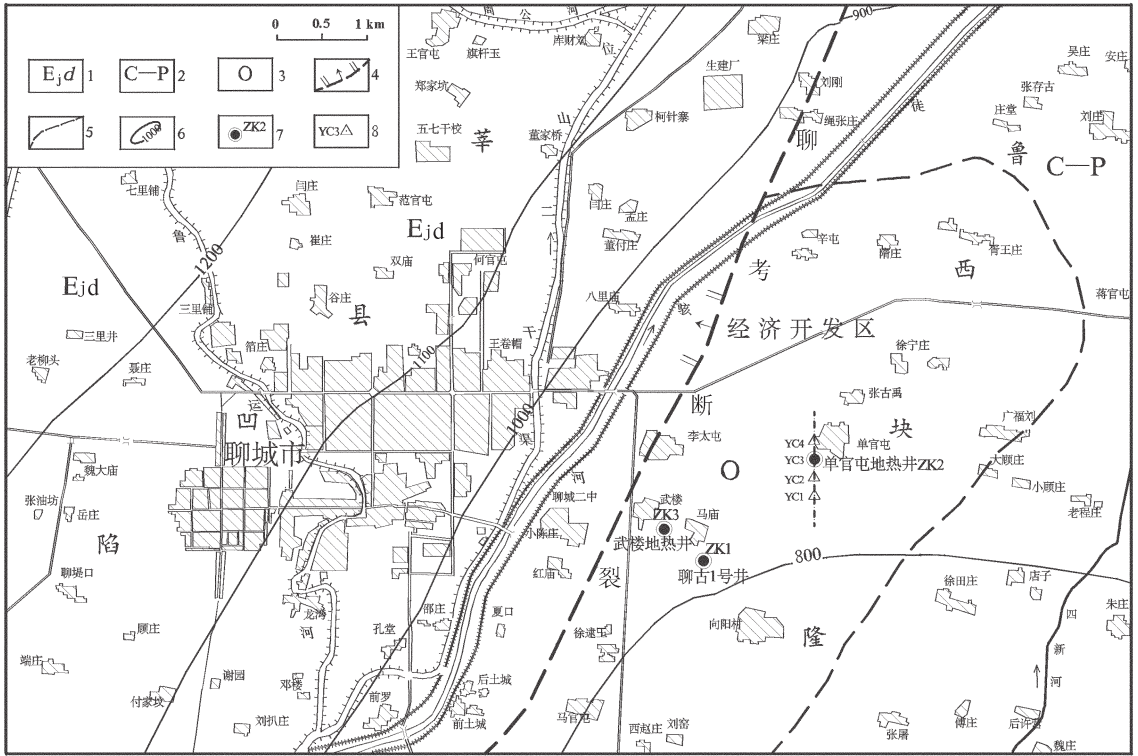


图 1 聊城地区构造分区及地热井位图

1—古近系东营组;2—石炭—二叠系;3—奥陶系;4—断层及产状;5—推测地质界线;
6—新近系底界等深线;7—地热井位置;8—大地岩性测深点及方向线

Fig.1 Tectonic division and locations of geothermal wells in Liaocheng area

1- Paleogene Dongying Formation; 2- Carboniferous-Permian; 3- Ordovician; 4- Fault and its attitude;
5- Inferred geological boundary; 6- Isodepth contour line of Neogene bottom boundary; 7- Location of geothermal well; 8- Electrotelluric lithological sounding dot and direction line

1.2 地质构造特征

研究区地热田所处的阳谷凸起,为中、新生代断凸。面积约 2 587 km²,呈 NNE 向展布,其西侧为莘县凹陷,东侧为阳谷凸起。凸起内中、新生代地层最大残留厚度:新近系+第四系为 800 m。

本区已发现、查明对中、新生代沉积起着比较明显控制作用且与地热有密切关系的大型断裂有 2 条^①:①聊考断裂:北起茌平、南至河南兰考,是临濮块陷和鲁西块隆两个构造单元的分界,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。②茌平断裂:为正断层,走向 NE,倾向 SE,长度约 60 km,断层两侧下古生界侵蚀面相对落差可达 200 m。

构造分布详见图 3 聊城地区构造纲要图^①。

聊城市处于地震强度Ⅶ度区,在 1502—1948 年,仅 5 级以上的地震就发生过 6 次,表明聊考断裂带是一个新构造活动带^⑥,故断裂构造是本区出现地热异常的主要因素。区内较大的深断裂中,绝大多数都为控热断裂,如聊考断裂和茌平断裂,活动时间长,为张性-压扭性断裂,是良好的导热断裂。因此,深入研究本区的断裂构造是研究其地热分布及其控热特征的重点所在^⑦。

2 地热田结构

奥陶系灰岩岩溶裂隙热储在垂向上视为一个含水热储岩组,呈层状。热储层为奥陶纪石灰岩,地热类型属岩溶裂隙层状传导型热储,分布面积广^⑧。其热储模型如图 4 所示。

① 山东省地质科学研究所,山东省前晚第三纪基岩地质图(1:50 万)及说明书,1982。

地层单位			深度 (m)	厚度 (m)	岩性柱状图 (1:10000)	岩性描述
系	群	组				
第四系		黄河组	25	25		褐黄色砂土
		平原组	140	115		黄褐色粉砂质粘土 夹粉细砂及粘土
新近系	黄骅群	明化镇组	800	660		土黄色、棕红色及 浅灰色粉细砂岩、 泥岩及砂质泥岩
			897	97		浅灰色砂质泥岩 及页岩夹灰岩
石炭系		马家沟组	1035	138		青灰色厚层灰岩

粉砂质粘土
 粘土
 粉砂
 泥岩
 粉砂质泥岩
 粉砂岩
 细砂岩
 页岩
 灰岩
 含水破碎带

图2 聊城单官屯地热井地层柱状剖面图

Fig. 2 Composite columnar section of Shanguantun geothermal well in Liaocheng

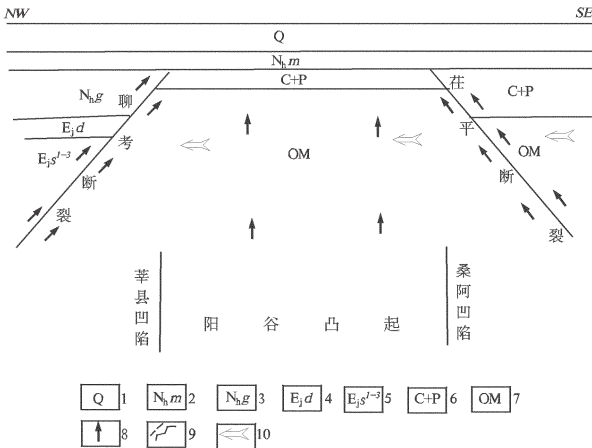


图4 热储概念模型图

1—第四系;2—新近系明化镇组;3—新近系馆陶组;
 4—古近系东营组;5—古近系沙河街组第一至第三段
 6—石炭二叠系;7—奥陶系;8—地热传导方向;
 9—地层整合与不整合界线;10—地下水移动方向

Fig.4 Concept model of the geothermal reservoir
 1—Quaternary;2— Neogene Minhuazhen Formation;
 3— Neogene Guantao Formation;4— Paleogene Dongying Formation;5— 1st-3rd Members of Paleogene Shahejie Formation;6— Carboniferous-Permian;7—Ordovician;
 8—Geothermal conductivity direction;9— Conformity and unconformity;10—Groundwater flow direction

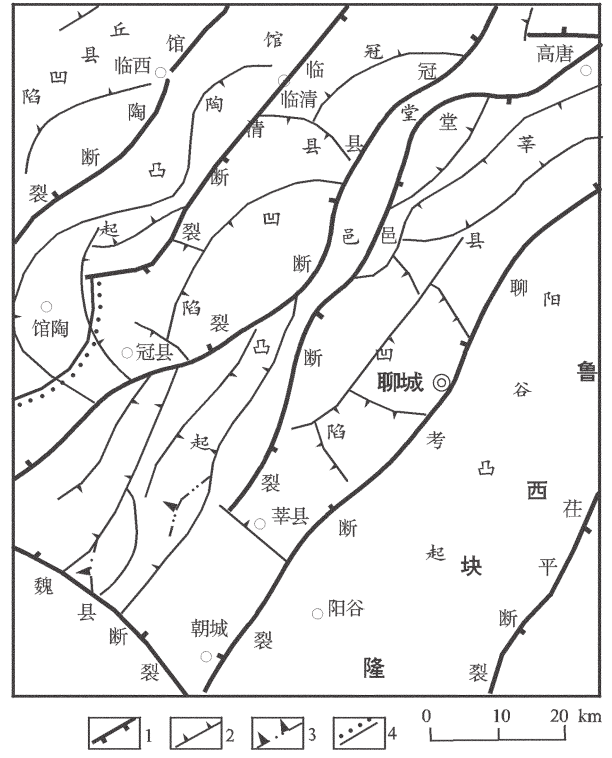


图3 聊城地区构造纲要图

1—主干断裂;2—次级断裂;3—古近系尖灭线;
 4—构造单元分区线

Fig.3 Structure outline map of Liaocheng area

1—Major fault;2—Secondary fault;3—Paleogene wedge out;
 4—Division boundary of structural unit

2.1 热源及水源

地热田的热源主要来自地壳深处的热流传导,其次是岩浆热液活动及放射性元素蜕变。根据物探资料,该地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。地热流体的补给主要来源于东南方向的平阴地区,地下水在平阴地区接受大气降水后向西北方向运动,通过深径流循环过程,形成水源。

2.2 热储盖层

本地区的热储盖层为第四系、新近纪明化镇组及石炭纪层段,主要由砂土和泥岩、粉砂岩、砂质泥岩及页岩构成,热导率低,良好的不透水盖层。

2.3 热储层

本地区的热储层主要为岩溶裂隙发育的青灰色奥陶纪马家沟组灰岩,顶板埋深一般800~1300 m,底板埋深一般1300~2000 m。热储含水层以奥陶系灰岩上部的厚层结晶次生灰岩古溶蚀发育带为

主,岩性为灰岩及豹皮状灰岩,该套地层岩石破碎,含水层发育,裂隙岩溶率为 8%~15%,是开采热储的主要目的层。

2.4 构造通道

该地热田靠近聊考大断裂,位于聊考断裂东侧。聊考断裂形成于中生代,具活动时间长的特点。该断裂延伸长,两侧落差大,为莘县凹陷与阳谷凸起之交界,是规模较大的断层,沟通了各岩系,形成地下水深循环和热对流,并且是地下水的良好储集场所及地下水运移通道。

3 地热田物理特征

3.1 地温场特征^①

该地区常温带深度在 20 m 左右,常温带值为当地平均气温 13.2℃。从聊古 1 号井孔井温曲线上可以看出该区所具有的正向构造上地温增高的特点(图 5)。①在井深 500 m 和 800 m 处的地层分别为新近纪黄骅群明化镇组 and 馆陶组,其井温分别为 53.7℃和 54℃;由地表到井深 800 m 区段的地热梯度值变化在 5.00~7.94℃/100 m,表明在古潜山的隆起顶部上覆的第四系和新近系区段的地温梯度值较大。②在井深 800~1 700 m 区段,即奥陶系地层分布的 900 m 范围内,井温差仅为 7℃,说明该井孔内奥陶纪地层区段的地温梯度值较小,仅为 0.82℃/100

m。③在井深 2 000 m 时,即进入寒武系区段内,井温为 74.2℃,地温梯度为 2.56℃/100 m。而整个钻孔内地表第四系到井深 2 200 m 处的寒武系下部层位,平均地温梯度值为 2.74℃/100 m。

从上述的聊古孔井不同地层层位间的地温梯度变化来看,奥陶系灰岩顶部覆盖的新近纪地层区段地温梯度显著增高,明显地反映出正向构造地温变化的特点。在此奥陶系局部隆起构造形成的地热异常,主要与隆起上的热流温度增高有关。由于奥陶系顶部隆起的灰岩热导率较大,而上覆新近系盖层的热导率较小,由深部上来的热流重新分配,致使在隆起上部热流密度增大。该古潜山处在聊考断裂东侧的阳谷—茌平凸起内,其西侧为莘县凹陷,在新生代地层中的局部隆起与上覆较厚的盖层,是造成地温增高的重要因素^[9]。

3.2 重力场特征

由聊城市地热田布格重力异常图(图 6)可以看出,该区重力场 Δg 值一般在 $0\sim 30\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,各重力异常总体呈椭圆状沿北东走向展布,相对重力高与重力低相间排列,其中聊城东—茌平东北方向形成了相对重力高异常带;该带总体沿 50° 走向展布, Δg 值一般在 $0\sim 18\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,反映了地层相对凸起特征,即阳谷凸起。聊城东部地热田即位于阳谷凸起内,而且该区断裂构造也十分发育,聊考断裂从本

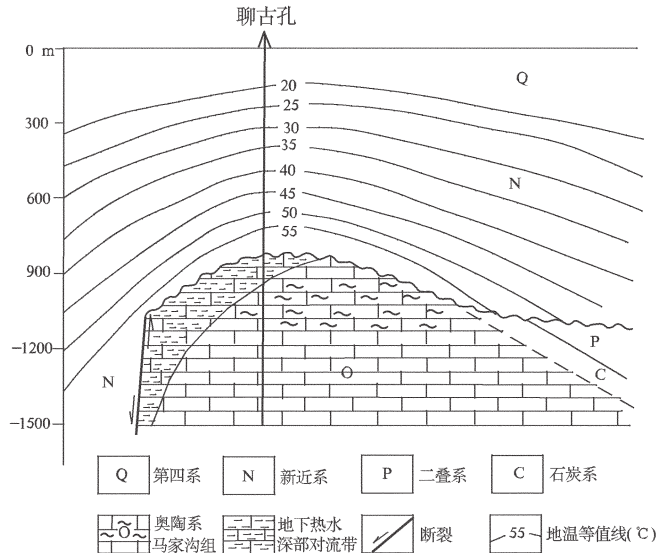
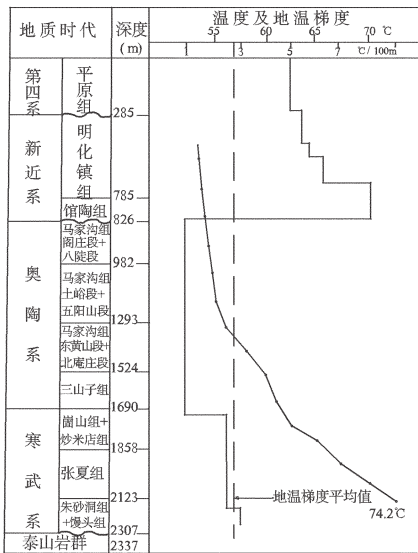


图 5 聊城东郊军王屯聊古 1 号井地层测温剖面(a)及古潜山浅部地温变化图(b)

Fig.5 Stratigraphic thermometric section of Junwangdunliaogu No. 1 geothermal well in the eastern suburb of Liaocheng (a) and geothermal variation in the shallow place of the Guqian Hil(b)

①山东省地质环境监测总站.京九沿线(山东段)地质矿产资源开发与经济发展研究,1999.

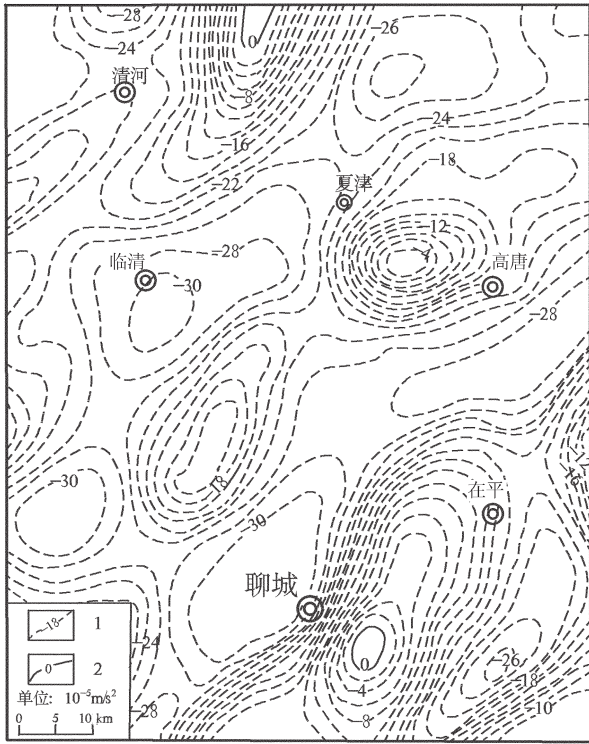


图6 聊城市地热田布格重力异常图
1—负重力异常等值线;2—0重力等值线
Fig.6 Bouger anomaly gravity map of Liaocheng geothermal field
1—Negative gravity anomaly contour line;
2—Zero gravity contour line

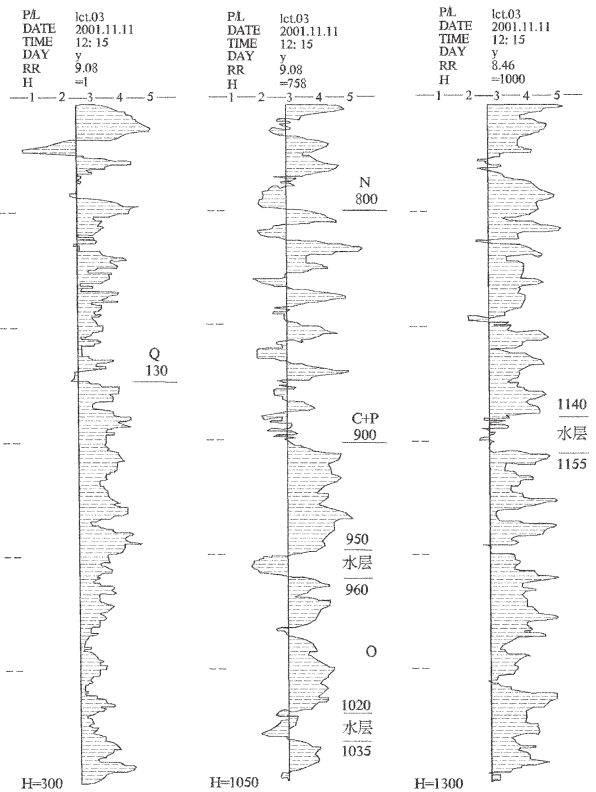


图7 聊城单官屯地热井3号测点部分岩性测深曲线
Fig.7 Lithologic sounding curve at No. 3 surveying point of Shanguantun geothermal well in Liaocheng

区穿过,堂邑断裂及东阿等断裂也在附近出现,这些断裂及其次级构造是导水、导热通道。因此,该区地热成矿地质条件优越。

3.3 大地电场岩性测深特征

由于本地区的热储层为奥陶纪地层,因此岩性测深工作主要预测 884~1550 m 的含水地层。工区为单官屯普查范围内的图腾小区,南北方向布置测线,点距 50 m,每个点探测深度 1500 m。由于该地热水矿化程度较高,奥陶纪地层的岩性以灰岩为主,使其含水破碎带地层视综合电阻率表现较低^[10]。

由本地区各地层的岩性特征及测深曲线特征(图7)可归纳如下:

- (1)第四系松散层(Q):曲线不均匀,松散的砂砾、粘土。
- (2)新近系(N):曲线较均匀,砂砾岩。
- (3)石炭二叠系(C+P):高阻层与低阻层互层,页岩、砂岩与灰岩互层。
- (4)奥陶系(O):高阻均匀为主,灰岩。

从测深断面(图8)中可以看出:

- (1)热储层灰岩(奥陶系)的顶界深度变化较大,1、2、3号3个测点为900~1100 m,而4号点处仅530 m。
- (2)石炭二叠系(C+P)地层厚度比较稳定,均为100~200 m,新近系地层(N)的厚度变化较大,4号点处约为300 m,其余测点均为600~750 m。
- (3)各测点处的奥陶系灰岩中均有少量含水破碎带。其中3号点处有5层含水破碎带。最浅处是950 m,最深处是1450 m。最厚的含水层厚度可达20 m。
- (4)该区存在一条走向北东、倾向南东的断裂,在750~1050 m处。

4 地下热水的水化学特征

地下热水化学特征反映了地下热水同围岩之间的溶解与溶滤作用,同时体现了岩浆活动、大气降水

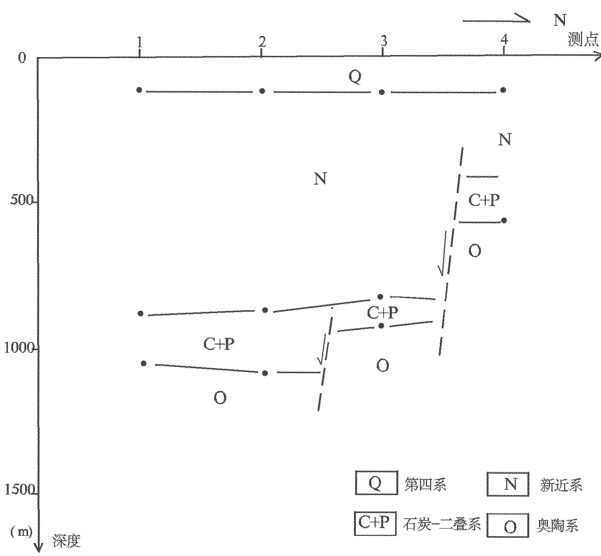


图 8 聊城单官屯地热井大地岩性测深断面图
Fig.8 Electrotelluric lithologic sounding section of Shanguantun geothermal well in Liaocheng

入渗透含水层之间的补给等因素。

大量地质资料显示,本地热田的地下热水矿化度在 5251.38~5313.94 mg/L,属半咸水;pH 值为 6.8~7.0,属中性水;总硬度(以 CaCO₃ 计)为 2376.47~2406.51 mg/L,属极硬水。地下热水中主要阳离子为

Na⁺和 Ca²⁺,其含量大致为 812.5~863.56 mg/L 和 701.1~720.67 mg/L;阴离子主要为 Cl⁻和 SO₄²⁻,其含量大致为 1640.21~1657.4 mg/L 和 1605.7~1707.43 mg/L,地热水水化学成分较为复杂,但水平方向上的水化学组分变化甚微。按水化学类型定名原则,该地热田地下热水普遍属于氯化物·硫酸盐—钠·钙(Cl·SO₄—Na·Ca)型水。

地热水中含有丰富的微量元素和其他化学成分。其中 Sr 含量为 13.9~16.64 mg/L,H₂SO₃ 含量为 33.87~46.8 mg/L,F 含量为 2.0~3.28 mg/L,Li 含量为 0.937~1.38 mg/L。Sr、F 达到国家标准命名矿水浓度标准,H₂SO₃ 与 Li 达到矿水浓度标准,属于 F·Sr 型医疗热矿水。下表 2 为聊城单官屯地热井地热水的成分含量表。

5 地下热水的化学演化及成因分析

5.1 地下热水的化学演化

聊城东部地热田地下热水化学成分的形成和演化是含水介质的化学成分、水化学作用、沉积环境及水循环等诸多因素共同作用的结果^[1]。

(1)易溶盐溶解作用:是地下热水化学成分形成的主要水化学作用。海相沉积的奥陶系石灰岩热储含有盐岩等易溶盐类。在热储温度作用下,盐岩等易

表 2 聊城单官屯地热井地热水有关成分含量表

Table 2 Contents of relevant components in Shanguantun geothermal well in Liaocheng						
离子	结果(mg/L)	项目	结果(mg/L)	项目	结果(mg/L)	
阳离子	K ⁺	57.68	可溶性总固体	5292.7	银	<0.001
	Na ⁺	834.7	偏硅酸	41.57	钡	
	Ca ²⁺	701.1	游离二氧化碳	41.38	铬	<0.004
	Mg ²⁺	154.0	锂	0.942	铁	0.046
	Al ³⁺	<0.02	锶	15.14	铅	0.003
	NH ₄ ⁺	0.50	溴化物	2.08	钴	<0.030
	总计	1748.0	碘化物	0.09	钒	<0.010
阴离子	HCO ⁻	160.4	锌	<0.010	钼	<0.001
	CO ₃ ²⁻	0.00	硒	<0.0001	锰	0.037
	Cl ⁻	1657.4	铜	<0.020	镍	<0.030
	SO ₄ ²⁻	1680.2	偏硼酸	<0.02	挥发性酚	<0.0015
	F ⁻	3.90	汞	<0.0001	氰化物	<0.001
	NO ₃ ⁻	0.66	镉	<0.005	亚硝酸盐	<0.002
	总计	3504.8	偏硼酸	8.00	耗氧量	1.22
肉眼可见度: 无色度: <5 度浑浊度: <2 度臭和味: 无	总硬度(以 CaCO ₃ 计): 2384.8mg/L 总碱度(以 CaCO ₃ 计): 131.56mg/L 总酸度(以 CaCO ₃ 计): 47.06mg/L	²²⁶ Ra: 3.35×10 ⁻³ Bq/L 总 β: 2.27Bq/L 总 α: 0.845Bq/L Rn: 8.16×10 ⁻³ Bq/L	偏磷酸 PH 值	<0.02 6.80		

注:由国土资源部水文地质环境地质专业测试中心测试。

溶盐溶解度增大,形成 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 K^+ 、 Na^+ 等离子。

(2)溶滤作用:聊城东部地热田地下热水中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Sr^{2+} 、 H_2SO_3 等浓度增高主要是溶滤作用的结果。奥陶系灰岩热储中膏盐含量较大,且有石膏夹层,在热储温度、压力和盐度的长期作用下,膏盐逐渐溶解,导致地热热水中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 浓度增大;地下热水流动缓慢,在漫长的水岩相互作用过程中,热储含铈的碳酸盐和硫酸盐矿物充分溶解形成 Sr^{2+} 。另一方面, Sr^{2+} 的浓度与 SO_4^{2-} 浓度呈正相关关系,热水溶液 SO_4^{2-} 高, Sr^{2+} 的浓度也高;深循环的地下热水长期溶滤热储岩层,使正长石分解成为高岭土、其他碳酸盐及可溶性 SiO_2 ,在较高温度和弱碱性介质作用下形成较高浓度的 H_2SO_3 地下热水。

(3)沉淀作用:地下热水中 CO_3^{2-} 含量极低,这与热储层 Ca 盐含量低和地下热水系统产生的沉淀作用有关。含有 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 的地下水,在径流过程中,使水溶液的其他离子浓度增大,因同离子效应和热储温度的共同作用产生 CaCO_3 沉淀,使 Ca^{2+} 浓度与 SO_4^{2-} 浓度相差悬殊,亦使 CO_3^{2-} 消耗殆尽。

经计算聊城东部地热田地下热水的强酸根与弱酸根的比例系数 K 值为 20.2 左右,溶液的离子强度 I 值 < 0.20 ,据水质变质程度分类方案,聊城东部地下热水应属中度变质水^[12]。表明地下热水中化学成分之间发生了比较复杂的反应,包括易溶盐的溶解、难溶盐 CaCO_3 沉淀以及水中离子与含水介质离子的交换反应等。反应的结果使地下热水中的阴离子成分逐渐由以 HCO_3^- 为主演化为以 SO_4^{2-} 和 Cl^- 为主,而阳离子以 Ca^{2+} 为主演化为以 Na^+ 为主^[13]。

5.2 地下热水的成因分析

聊城东部地热田地下热水是在漫长的地质历史发展过程中各种自然因素综合作用的结果,其中水文地质条件对地下热水的形成起主要作用。

(1)地下热水化学成分及水文地球化学分析:聊城东部地热田地下热水化学特征系数 $\gamma \text{Na}/\gamma \text{Cl}=0.835$, $\text{Ca}/\text{Sr}=46.3$, $\text{Cl}/\text{Br}=796$,地下热水的成因系数均大于海水的成因系数,说明该区地下热水主要为溶滤水^[14]。聊城东部地热田地下热水中含有丰富的微量元素,表明地层中有丰富的微量元素,也表明地下热水是经过漫长而复杂的地下水溶滤作用和不断的循环径流交替形成的。

(2)地下热水的同位素分析:该区地热水中的 δD 为 -80.67% 左右, δO^{18} 为 -9.46% 左右,从图 9

可看出 δD 与 δO^{18} 在克雷格标准降水直线附近,氧同位素有漂移,说明地下热水与围岩发生过交换作用,由大气降水补给形成,其主要为大气降水成因,通过深循环在地温及地热气作用下被加热而形成的^[15]。

(3)地下热水的年龄分析:据法国 J.ch.丰特经验公式估算认为:“0-5 氙单位(TU)说明 40 年前的古水成分占优势,5-40 氙单位表示新近入渗水和古水之间有混合作用,大于 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 40TU,该地热田地热水中的氙含量为 6.15TU 左右,偏向最小值 5TU,推测该区地热水为新近的入渗水与古水的混合水,其中地热热水中 40 年前的古水占优势,新近入渗水的补给量较小。

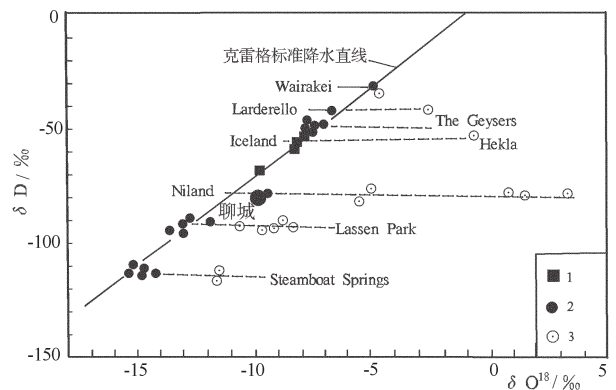


图 9 聊城东部地热田 δD - δO^{18} 关系曲线图

- 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

Fig.9 δD - δO^{18} diagram of eastern Liaocheng geothermal field

- 1— Local atmospheric precipitation or somewhat heated near-surface water; 2— Hot spring geothermal water; 3— High temperature and pressure geothermal steam

6 资源评价

6.1 地热资源量计算

采用热储法计算地热资源量为 1.218×10^{15} kJ,折合标准煤 4160×10^4 t。根据《地热资源地质勘查规范》GB11615-89 规范规定计算,可利用地热资源量为 182.7×10^{12} kJ,折合标准煤 624×10^4 t。

6.2 热水资源计算

经计算,地下热水静储量为 $8.16 \times 10^8 \text{m}^3$ 。如果单井

涌水量确定为 $1500 \text{ m}^3/\text{d}$,区内布井 8 眼。该区奥陶系碳酸盐岩溶裂隙地下热水可开采量为 $438 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

7 开发利用

(1) 遵循开发与保护并重的方针,加强地热资源开发管理。建立健全地热资源机构,出台地热资源管理办法、措施,使地热开发步入有序开发轨道。

(2) 地热资源开发利用过程中,要加强地热废水排放管理,防止水热污染环境。

(3) 为充分利用地热资源,防止资源枯竭和地面沉降等环境问题的发生,在地热资源集中开采地段,严禁混层开采现象,并开展人工回灌试验的研究工作,促进社会经济可持续发展^[16]。

(4) 建立地热监测系统,根据监测信息,指导地热资源开发利用管理。

(5) 以监测为基础,以资源和环境保护为根本,以经济为杠杆,实行梯级开发、综合利用,最大限度地开发利用地热资源。

参考文献(References):

- [1] 方保明. 山东省地热资源综合信息远景预测[D]. 长春:吉林大学, 2006.
Fang Baoming. Perspective Prognosis on Geothermal Resource in Synthetic Information in Shandong Province [D]. Changchun: Jilin University, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [2] 徐军祥, 康凤新. 山东省地热资源[J]. 中国地质, 2000, 10(2):41-42.
Xu Junxiang, Kang Fengxin. Geological resources in Shandong Province[J]. Geology in China, 2000, 10(2):41-42 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王奎峰. 聊城西部地热田地热资源赋存特征研究 [J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(1):52-56.
Wang Kuifeng. Bearing features of geothermal resources in geothermal field in west part of Liaocheng [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2008, 19 (1):52-56 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李珂凌, 宋丽红. 濮阳市地热资源特征 [J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(6):78-81.
Li Keling, Song Lihong. Characteristics of the geothermal resources in Puyang [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2004, 31(6):78-81 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王奎峰, 母国妍, 赵群. 临清市区地热资源特征及开发探讨[J]. 地质调查与研究, 2007, 30(3):224-229.
Wang Kuifeng, Mu Guoyan, Zhao Qun. A tentative discussion on the geothermal resources characteristics and exploitation in Linqing city [J]. Geological Survey and Research, 2007, 30 (3):224-229(in Chinese with English abstract).
- [6] 郭德科, 赵卫红, 李炳文. 冀鲁豫交界区地下流体模糊熵值的变化与地震的关系[J]. 地震研究, 2003, 26(1):80-83.
Guo Deke, Zhao Weihong, Li Bingwen. Relations between the earthquake and the fuzzy entropy variation for subsurface fluid in the joint area of Hebei, Shandong and Henan Province [J]. Journal of Seismological Research, 2003, 26 (1):80-83 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李秀英, 蔡洪涛, 任清岭. 沧州市区地热地质特征及地热资源开发探讨[J]. 地球学报, 2000, 21(2):171-176.
Li Xiuying, Cai Hongtao, Ren Qingling. A tentative discussion on the geothermo-geological characteristics and development of geothermal resources in Cangzhou city [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2000, 21(2):171-176 (in Chinese with English abstract).
- [8] 石维栋, 张森琦, 周金元, 等. 西宁盆地北西缘地下热水分布特征 [J]. 中国地质, 2006, 33(5):1131-1136.
Shi Weidong, Zhang Senqi, Zhou Jinyuan, et al. Distribution characteristics of geothermal water on the northwestern margin of the Xining basin[J]. Geology in China, 2006, 33(5):1131-1136 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王佟, 王莹. 陕西渭河盆地地热资源赋存特征研究 [J]. 西安科技学院学报, 2004, 24(1):83-85.
Wang Tong, Wang Ying. Bearing features of geothermal resources in Weihe basin of Shaanxi [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2004, 24(1):83-85(in Chinese with English abstract).
- [10] 杨庆锦, 王招香. YW-III 型岩性测深仪在聊城地热勘查的效果 [J]. 地质与勘探, 2004, 40(Z1):49-52.
Yang Qingjin, Wang Zhaoxiang. Effects of geothermal prospecting with YW-III electrotelluric field lithological sounding at the Liaocheng area[J]. Geology and Prospecting, 2004, 40(Z1):49-52 (in Chinese with English abstract).
- [11] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京:科学出版社, 1988:50-52.
Chen Moxiang. Huabei Geothermal [M]. Beijing:Science Press, 1988:50-52 (in Chinese with English abstract).
- [12] 陈静生. 水环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,1991:20-24.
Chen Jingsheng. Aquatic Environmental Chemistry [M]. Beijing: High Education Press, 1991:20-24 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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):150-151.
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).
- [14] 沈照理, 朱宛华, 等. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社, 1999, 87-88.
Shen Zhaoli, Zhu Wanhua, et al. Introduction to Hydrogeochemistry [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999:87-88 (in Chinese with English abstract).
- [15] 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.

Zhen Yongfei, Chen Jiangfeng. Stable Isotope Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 2000: 152–153 (in Chinese with English abstract).

[16] 王宝玉. 河南省地热资源开发利用现状及展望 [J]. 地质与勘探,

1999, 35(1): 47–48.

Wang Baoyu. Development of geothermal resources in Henan [J]. Geology and Prospecting, 1999, 35 (1): 47–48 (in Chinese with English abstract).

Geothermal resources in the eastern Liaocheng geothermal field of Shandong Province

WANG Kui-feng

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

Abstract: Geothermal resources are very rich in the geothermal field of eastern Liaocheng, Shandong Province. Geological-structural conditions and geothermal reservoirs there are relatively favorable for the exploitation of these resources. Based on drilling data and recent research results, the author considers that the Liaocheng geothermal field belongs to the karst fissure layered conductive type, with the regional geological structures being mainly composed of Liaokao fault and Chiping fault, and the hot reservoir chiefly comprised of limestone strata of Ordovician Majiagou Formation. The geothermal gradient of the area is controlled mainly by structure, the structural heat conduction is a key factor for the formation of this area, the mineralization intensity of the geothermal water is low, and the geothermal water contains some useful mineral components. Some suggestions concerning the reasonable development of geothermal resources and some policies for solving problems in current exploitation work are also put forward in this paper.

Key words: geothermal field; geothermal resource; hot reservoir; exploitation and utilization; Liaocheng

About the author: WANG Kui-feng, born in 1981, master candidate, assistant engineer, engages in the study and evaluation work of hydrogeology, engineering geology and mineral resources; E-mail: maplewkf@126.com.