

水文地质

山东省惠民县八里庄地热田特征及开发利用探讨

王仕昌¹, 陈文芳², 曹亚阳¹, 边荣春¹, 邱恺毅¹

(1. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省地质科学研究所, 山东 济南 250013)

摘要:在阐述惠民县八里庄地区地热田地质条件、热储层、热储盖层特征、地温场及地热流体化学特征的基础上,对地热田流体质量、地热资源量进行了初步评价,并对地热田的合理开发利用提出了科学的单井保护半径和布设井的数量。

关键词:地热田; 开发利用; 八里庄; 山东惠民

中图分类号: P641.8; P314 **文献标识码:** B

0 引言

惠民县位于山东省北部滨州市,处在京津唐和山东半岛两大发达经济区的交会点上,属黄河三角洲腹部地区和环渤海经济开发圈。全县总面积1 357 km²,辖12镇、3个街道办事处和1个省级经济开发区,1 163个行政村,人口63万人。

惠民县八里庄地热田位于惠民县城北部,距离中心城区4 km,面积28 km²。2009年4月15日在惠民县城北中国银行院内成功打出了一眼地热井^①。该文试图通过对该地热田特征及开发利用探讨,为同类型地热田勘查提供参考。

1 地热田特征

1.1 热储特征及埋藏条件

1.1.1 热储特征

根据区域地热地质条件,山东省鲁西北平原在热储系统内依据地层时代、热储孔隙、空间分布,划分为新近纪明化镇组热储、新近纪馆陶组热储、古近纪东营组热储、古近纪沙河街组热储、古近纪孔店组热储、白垩-侏罗纪热储、二叠-石炭纪热储、奥陶-寒武纪碳酸盐岩溶-裂隙热储、新太古代泰山岩群变质岩系块状裂隙热储等9个热储层组^[1-5]。在可及深

度2 000 m范围内,具有勘探和开发意义的热储目的层组为新近纪馆陶组热储、古近纪东营组热储和寒武-奥陶纪基岩热储3个主要热储层组,特别是新近纪馆陶组热储是目前主要开采研究热储层。

八里庄地热田是鲁西北平原地热田的一部分,位于地热田的中东部,其地热资源类型为沉积盆地热传导低温热水型。第四纪松散层,明化镇组热储层富水性差,热导率低,阻热性能良好,埋藏浅,地温梯度小,构成良好的热储盖层。馆陶组热储层埋深大厚度大,是区内良好的热储层,具有重要的开采利用价值。东营组热储层埋藏深,可利用的热储层较薄,开发成本高,不易单独开发,可和馆陶组热储层一起开发利用。

1.1.2 埋藏条件

根据施工的惠热3#探采结合井所揭露地层自上而下分述如下:

(1)第四纪平原组,厚246 m。该层未采取岩心,根据区域资料,上部为土黄、褐黄色、灰黄色砂质粘土夹粉砂、粉细砂层,结构松散;下部为棕黄色、棕红色、灰绿色砂质粘土夹细砂层,结构致密,含较多钙质结核。

(2)新近纪明化镇组,厚782 m。该层未采取岩心,根据区域资料和岩屑录井资料,明化镇组以棕黄色、灰黄色泥岩和灰白、浅灰色细砂岩为主,局部夹

收稿日期:2013-09-10;修订日期:2013-11-25;编辑:陶卫卫

作者简介:王仕昌(1964—),男,山东安丘人,研究员,主要从事水工环地质工作;E-mail:sdwshch@163.com。

①山东省物化探勘查院,曹秀华等,山东省惠民县八里庄地区地热资源普查报告,2013年。

灰绿色泥岩及钙质团块。上部泥岩成岩性差,见水膨胀,易造浆;下部泥岩成岩性较好,质纯,性较脆。砂岩疏松,泥质胶结,上部以粉—细砂岩为主,下部以细—中细砂为主。

(3)新近纪馆陶组,厚190 m。根据岩屑录井资料,馆陶组以灰白、浅灰色细砂岩、粉砂岩及棕红色、灰绿色泥岩为主。上部泥岩成岩性差,易吸水造浆;砂岩以粉砂岩—细砂岩为主,主要成分石英、长石;下部泥岩成岩性好,质纯、性较脆。砂岩以细砂为主,疏松、泥质胶结。

(4)古近纪东营组,进尺222.8 m,未揭穿。根据岩屑录井资料,东营组以浅灰、灰白色细砂岩及灰绿色、棕红色泥岩为主,夹浅灰色泥质砂岩。细砂岩主要成分石英、长石,分选及磨圆度中等,泥质胶结,结构疏松。泥岩质纯,性软。泥质砂岩,浅灰色、灰白色,主要成分石英、长石,泥质胶结。

1.2 地热田地温场特征

1.2.1 地温与地温梯度

地热田的地温来源于大地热流,地热属沉积盆地热传导型。地温在平面分布上基本一致,在垂向上的变化可分为变温带、常温带和增温带。根据鲁西北平原地热地质条件和地热田气象资料,区内常温带埋藏深度一般为20 m,常温带温度取当地平均气温12.9℃。

根据区内地热探采结合井温度测井资料可知,区内地层温度随深度增加而上升,其地温梯度在明化镇组逐渐变小,但在深度800 m处出现拐点,地温梯度随深度增加而增加,平均地温梯度为3.5℃/100 m,属于正常地温梯度。

1.2.2 地球化学温标

对地热井利用地球化学温标来估算热储温度,预测地热田潜力。采用规范中的二氧化硅地热温标、钾镁地热温标、钾钠地热温标3种计算。

(1)二氧化硅地热温标

无蒸汽损失的石英温标:热水中的SiO₂是由热水溶解石英所组成,这部分热水在其达到取样点(泉口或井口)时没有沸腾,选用下式计算:

$$t = 1309 / (5.19 - \lg C_1) - 273.15$$

式中: t —热储温度(℃); C_1 —热水中溶解的H₄SiO₄形式的SiO₂含量(mg/L)。

由水质分析结果得 $C_1 = 24.75$ mg/L

$$t = 1309 / (5.19 - \lg 24.75) - 273.15 = 71.6^\circ\text{C}$$

(2)钾镁地热温标

地热井热储温度采用下式计算:

$$t = 4410 / [13.95 - \lg(C_2/C_3)] - 273.15$$

式中: t —热储温度(℃); C_2 —热水中K⁺浓度(mg/L); C_3 —热水中Mg²⁺浓度(mg/L)。

由水质分析结果得 $C_2 = 21.05$ g/L, $C_3 = 98.15$ mg/L

$$t = 4410 / [13.95 - \lg(21.05^2/98.15)] - 273.15 = 58.5^\circ\text{C}$$

(3)钾钠地热温标

根据水岩平衡和热力学推导的计算公式如下:

$$t = 1390 / [1.75 - \lg(C_2/C_4)] - 273.15$$

式中: t —热储温度(℃); C_2 —热水中K⁺浓度(mg/L); C_4 —热水中Na⁺浓度(mg/L)。

由水质分析结果得 $C_2 = 21.05$ mg/L, $C_4 = 2601$ mg/L

$$t = 1390 / [1.75 - \lg(21.05/2601)] - 273.15 = 88.7^\circ\text{C}$$

从以上计算结果可以看出钾镁地热温标58.5℃和惠热3#井出水温度57℃比较接近,说明该地热井钾镁地热温标拟合的较好。

1.3 地热田流体化学特征

1.3.1 地热流体化学组分特征

在2009年4月15日对地热井(孔深1440.8 m,成井深度1394.42 m,抽水区段1132.26~1382.93m,为新近纪馆陶组和古近纪东营组的混合水)抽水试验过程中采取了水样送交山东省环境监测总站实验室进行了水质全分析实验。根据《水质分析报告》,地热水中主要阴离子为Cl⁻,含量为5301.46 mg/L;主要阳离子为Na⁺,含量为2601.00mg/L;其他成分见表1,其地下热水水化学类型为Cl—Na型水。

1.3.2 地热流体质量评价

(1)根据《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010)理疗热矿泉水水质标准,溴、碘、锶和偏硼酸达到了有医疗价值浓度和矿水浓度,锶和偏硼酸达到了命名浓度,因此可命名为硼、锶型热矿水^[6]。

(2)依据《饮用天然矿泉水标准》(GB8537—2008),矿化度9479.15 mg/L,属于咸水,所以不宜作为矿泉水直接饮用^[7]。

表1 地热水主要化学成分

项目	含量(mg/L)	项目	含量(mg/L)
K ⁺	21.05	Cl ⁻	5301.96
Na ⁺	2601.00	SO ₄ ²⁻	835.43
Ca ²⁺	416.99	HCO ₃ ⁻	159.20
Mg ²⁺	98.15	F ⁻	0.85
NH ₄ ⁺	8.96	I ⁻	1.15
Fe ³⁺	1.65	Br ⁻	5.85
Fe ²⁺	0.91	NO ₂ ⁻	<0.004
硒	0.00004	NO ₃ ⁻	1.25
锶	18.6	HPO ₄ ²⁻	<0.03
锂	0.24	矿化度	9479.15
锰	0.62	pH	7.3
偏硅酸	31.9		

(3) 根据《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006),氯化物、硫酸盐、溶解性总固体的浓度分别为5301.96 mg/L,835.43 mg/L,9479.15 mg/L,超过规定的限制250 mg/L,250 mg/L,1000 mg/L;分别超标20倍,2倍,8倍,所以该地热水不可以作为生活饮用水水源^[8]。

(4) 根据《农业灌溉水质标准》(GB5084—2005),地热水的温度、全盐量、氯化物严重超标,因此地热水不适宜农业灌溉^[9]。

(5) 根据《渔业用水标准》(GB11607—89),地热水化学组分均未超标但水的温度较高,超过鱼类生长适宜温度,不宜直接作为渔业用水。在适当降低温度或与低温水混合后,可作为渔业用水利用,以提高冷水温度,供鱼类越冬、孵化及养殖热带鱼种等^[10]。

(6) 根据《地热资源地质勘查规范》GB/T11615—2010第9.4条,对地热流体中因含有氯根、硫酸根、游离二氧化碳和硫化氢等组分而对金属有一定的腐蚀性,可参照工业上用腐蚀系数来衡量地热流体(水)的腐蚀性。

采用相关评价方法对惠热3[#]井地热水进行腐蚀性评价,该井pH=7.3,属于碱性水,根据相关公式计算,地热水属腐蚀性热水。

(7) 根据《地热资源地质勘查规范》GB/T11615—2010第9.5条,对地热流体中所含二氧化硅、钙和铁等组分因温度变化而产生的结垢其锅垢总量为1425,属锅垢很多的地热体。

1.4 地热田地热资源量

1.4.1 主要计算参数

地热资源/储量计算的参数应尽可能通过试验

和测试取得,由于区内只施工地热井一眼,取得的参数有限,除通过试验得到的参数外采用经验值。

(1) 面积(A):该区属层状热储,周围无明显的隔水边界,其计算区面积按照勘查面积计算。 $A = 27.16 \text{ km}^2$ 。

(2) 热储厚度(d):根据钻探资料,累计厚度 $d = 90 \text{ m}$ 。

(3) 计算起始点以上高度(H):取提水设备能力最大水位降深 $H = 150 \text{ m}$ 。

(4) 热储温度(t_r):热储层温度采用惠热出口温度, $t_r = 57^\circ\text{C}$ 。

(5) 当地年平均气温(t_0): $t_0 = 12.9^\circ\text{C}$ 。

(6) 热储岩石密度(ρ_r):取鲁北地区经验值, $\rho_r = 2600 \text{ kg/m}^3$ 。

(7) 热储岩石比热(C_r):取鲁北地区经验值, $C_r = 879.23 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

(8) 热储水密度(ρ_w):取《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010)经验值, $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。

(9) 热储水比热(C_w):取《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010)经验值, $C_w = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

(10) 热储岩石孔隙度(φ):取鲁北地区经验值, $\varphi = 0.2$ 。

(11) 弹性释水系数(S):取鲁北地区经验值, $S = 8.34 \times 10^{-3}$ 。

1.4.2 地热储量计算

按《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010),采用热储法计算热储中储存的热量。

通过计算得出该地热田的地热储量为 $2.93 \times 10^{17} \text{ J}$;地热流体量为 $5.21 \times 10^8 \text{ m}^3$;地热流体可开采量为 $0.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,可利用的热能量为 $6.1 \times 10^{15} \text{ J}$ 。

2 地热田开发利用

2.1 地热单井评价

2.1.1 地热单井产量

根据地热资源地质勘查规范(GB/T11615—2010)8.3.4条计算使用的压力降低值一般不大于0.3 MPa,该次计算采用0.2 MPa,即水位下降20 m的出水量作为单井的稳定产量,根据惠热3[#]抽水试验资料求得降深 $S = 20 \text{ m}$ 时,地热井稳定产量 $Q = 1272 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.1.2 单井保护半径

根据《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010)8.4.2.2条,对盆地型地热田,可按单井允许开采量开采100年、消耗15%左右地热储量,采用下式估算地热井开采对热储的影响半径,视其为单井开采权益保护半径。

$$R = \sqrt{\frac{36500Qf}{0.15H\pi}}$$

式中: Q —地热井产量为 $1\,272\text{ m}^3/\text{d}$; f —水比热/热储岩石比热的比值,一般在3~5之间(该井田 $f = 4\,180/879.23 = 4.75$); H —热储层厚度为90 m;由此计算得到 $R = 2\,280\text{ m}$ 。

2.1.3 可布设井的数量

该地热田的面积 27.16 km^2 ,保护半径 $2\,280\text{ m}$,由此可计算出可布设井的数量约为5眼。

2.2 地热开采评价

2.2.1 地热流体产能

依据地热流体可开采量所采出的热量,按下式计算地热田的产能(热能或电能)。

$$W_t = 4.187 \cdot Q \cdot (t - t_0)$$

式中: W_t —热功率(kW); Q —地热流体可开采量(L/s),根据布井数量5眼,单井水量为 $1\,272\text{ m}^3/\text{d}$,求得可开采量 73.6 L/s ; t —地热流体温度($^{\circ}\text{C}$)取平均温度 57°C ; t_0 —当地年平均气温($^{\circ}\text{C}$)取 12.9°C ; 4.187—单位换算系数。

代入上式计算,得 $W_t = 13\,589\text{ kW} \approx 13.6\text{ MW}$ 。根据《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010)地热田规模分级为中型。

2.2.2 地热流体年开采累计可利用的热能

根据地热田产能,按下式估算年开采累计可利用的热能。

$$\sum W_t = 86.4DW_t/K$$

式中: $\sum W_t$ —开采1年可利用的热能(MJ); D —全年开采日数(按24小时换算的总日数)(天)取120天; W_t —上式计算得出的热功率值(kW); 86.4—单位换算系数; K —热效比(按燃煤锅炉的热效率0.6计算);代入上式计算得: $\sum W_t = 2.35 \times 10^8\text{ MJ} = 2.35 \times 10^{14}\text{ J}$

根据计算地热流体年可开采量所能采出的热量和热储中储存热量的比值为 $2.35 \times 10^{14}/2.93 \times 10^{17} = 1/1\,246$,根据计算地热流体年可开采量所能采出

的热量和地热流体中储存热量的比值为 $2.35 \times 10^{14}/0.96 \times 10^{17} = 1/409$,由此可见该地热田的开发潜力是巨大的。

3 结论

(1)地热田热储层为馆陶组和东营组,第四系和明化镇组为热储盖层。区内热源主要来自地壳深部及上地幔传导热流及新生代沉积层的重力压缩热。地下热水主要来自于大气降水深循环补给,其次为盆地沉积物形成时保存下来的沉积水和封存水,经过长期迁移、深部地热传导、水盐反应、围岩加热等作用形成。

(2)采用热储法计算热储中储存的总热量为 $2.93 \times 10^{17}\text{ J}$,其中岩石中储存 $1.97 \times 10^{17}\text{ J}$,水中储存 $0.96 \times 10^{17}\text{ J}$ 。

(3)依据地热流体可开采量所采出的热量,计算得出的地热田产能为 13.6 MW ,按照《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010)地热田规模分级该地热田规模为中型。根据钻探井出口水温 57°C ,按照《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010)地热田温度分级该地热田为温热水低温地热资源。

(4)区内地下热水中的溴、碘、锶和偏硼酸达到了医疗价值和矿水浓度,锶和偏硼酸还达到了命名矿水浓度,可命名为硼、锶热矿水。适宜理疗、洗浴、采暖、温室种植、水产养殖等的综合开发利用。

(5)根据地热流体单井评价,该地热田范围内可布设5眼地热井,根据计算地热流体年可开采量所能采出的热量和地热流体中储存热量的比值 $1/409$,可以看出该地热田的开发潜力是巨大的。

参考文献:

- [1] 陈振,徐显义,王学民. 山东省高唐县地热资源评价及开发利用方案探讨[J]. 山东国土资源,2012,28(7):5-8.
- [2] 王峰,牛全丽. 东营市地热资源综合开发利用分析[J]. 山东国土资源,2012,28(5):25-28.
- [3] 马晓东,彭庆吉,李济,等. 山东省聊城东部地热田水质特征及开发利用研究[J]. 山东国土资源,2011,27(7):6-9.
- [4] 陈明符,张志强. 利津县城区地热资源状况及开发前景分析[J]. 山东国土资源,2010,26(5):20-22.
- [5] 姜继国,苏东阳,陈麦朵. 黄河冲积平原地热[J]. 水文地质工程地质,2001,28(6):68-69.
- [6] GB/T11615-2010. 地热资源地质勘查规范[S].
- [7] GB8537-2008. 饮用天然矿泉水标准[S].

[8] GB5749-2006. 生活饮用水卫生标准[S].

[10] GB11607—89. 渔业用水标准[S].

[9] GB5084-2005. 农业灌溉水质标准[S].

Study on Characteristics and Exploitation of Balizhuang Geothermal Fields in Huimin County of Shandong Province

WANG Shichang¹, CHEN Wenfang², CAO Yayang¹, BIAN Rongchun¹, QIU Kaiyi¹

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Institute of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: On the basis of analyzing geological conditions, thermal reservoir, characteristics of cap rock in heat reservoir, geothermal field and geothermal fluid chemical characteristics of Balizhuang geothermal field in Huimin county, geothermal fluid quality and geothermal resources quantity have been evaluated preliminarily, and scientific protection radius of single well and the number of layout wells have been put forward in order to develop and utilize geothermal fields rationally.

Keywords: Geothermal field; development and utilization; Balizhuang; Huimin county in Shandong province