

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2022.03.003

引用格式:韩中阳,吴沙沙,刘咏明,等. 济南市北部地热田地热资源量计算与评价[J]. 华东地质, 2022, 43(3): 276-285. (HAN Z Y, WU S S, LIU Y M, et al. Calculation and evaluation of geothermal resources in northern Jinan geothermal field[J]. East China Geology, 2022, 43(3): 276-285.)

济南市北部地热田地热资源量计算与评价

韩中阳¹, 吴沙沙², 刘咏明¹, 韩子晨², 姜彦玉¹, 戈成旺¹, 宋文静¹

(1. 山东省地矿工程集团有限公司, 山东 济南 250200;

2. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要: 为合理开发利用济南市北部地热田的地热资源, 以新近系馆陶组和古近系东营组热储层为研究对象, 根据收集的地球物理勘探、水文地质调查、钻孔数据等资料, 建立了热储概念模型, 计算了热储层的地热资源量和地热流体可采量, 评价了地热资源的开发利用。研究表明, 研究区热储类型为孔隙裂隙型热储, 地热资源丰富, 热储层中储存的地热资源量为 2.25×10^{19} J, 地热流体可采资源量为 2.05×10^5 m³/d。计算和评价成果可为该区地热资源的进一步开发、管理提供依据。

关键词: 热储层; 地热资源; 开发利用; 热储概念模型; 济南市

中图分类号: P314.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2022)03-276-10

地热资源是指贮存在地球内部的可再生热能, 作为一种可供开发利用并有着巨大发展前景的绿色新能源, 具有对环境污染小、不受地域限制可就近利用的特点, 受到了世界各国的青睐^[1-4]。依据地热资源热储赋存特征的不同, 可划分为浅层地热能、水热型和干热岩型地热资源。合理利用地热资源, 是调整优化能源结构, 提高经济增长的质量和效益, 实现可持续发展, 实行能源供应多元化的一项重要战略举措^[5-7]。据勘查资料表明, 济南市北部分布有地热资源, 但长期以来, 该区新近系馆陶组、古近系东营组热储层的地热资源量不明, 严重制约了地热产业的可持续性发展。因此, 查明馆陶组、东营组热储特征并对热储地热资源进行计算和评价, 可为科学有效地开发和利用地热资源提供基础地质资料, 为地热资源科学规划、规范管理和有效保护提供重要依据。

1 地热田形成的背景条件

研究区位于济南市北部地区, 齐河—广饶断裂以北, 在行政区划上包括济南市商河县、济阳县北

部及章丘市西北少部地区, 面积为 1 989 km²。该区南部为泰山山脉, 北部为黄河平原, 地势南高北低, 地貌较单一, 以第四系冲积平原为主, 地貌形态主要为微倾斜低平原, 其次为山前倾斜平原^[8]。

研究区属暖温带大陆性气候, 年平均气温 13.6 °C, 年平均降水量 614 mm, 70 % 以上的降水集中在 7—9 月份, 12 月至翌年 3 月较少。最冷月为 1 月, 最热月为 7 月。极端最低气温为 -16.7 °C, 极端最高气温为 42.0 °C。根据山东省水系图划分, 该区位于黄河和徒骇河 2 个水系区。

根据《山东省区域地质》^[9] 中大地构造单元的划分方案, 研究区位于华北板块(I级), 华北坳陷(II级)、济南断陷(III级)、惠民潜陷(IV级)和埕宁潜凸(IV级), 涉及宁津潜凸、惠民潜凹、临邑潜凹、王判潜凸 4 个 V 级构造单元。新生代以来区域上断裂构造运动活跃, 主要构造线方向呈 SW—NE 方向 (图 1)。

研究区地层自上往下依次为第四系, 新近系明化镇组、馆陶组, 古近系东营组、沙河街组、孔店组与中生界白垩系等, 寒武—奥陶系埋藏较深未出露。新近系馆陶组及古近系分布广泛, 并且厚度巨

* 收稿日期: 2021-10-15 修订日期: 2022-02-04 责任编辑: 叶海敏

基金项目: 济南市国土资源局“山东省济南市北部孔隙型砂岩热储地热资源储量勘查评价 (编号: JNCZ(HZJS)-GK-2015-0005)”项目资助。

第一作者简介: 韩中阳, 1989 年生, 男, 工程师, 硕士, 主要从事水文地质工作。Email: yexi1511@126.com。

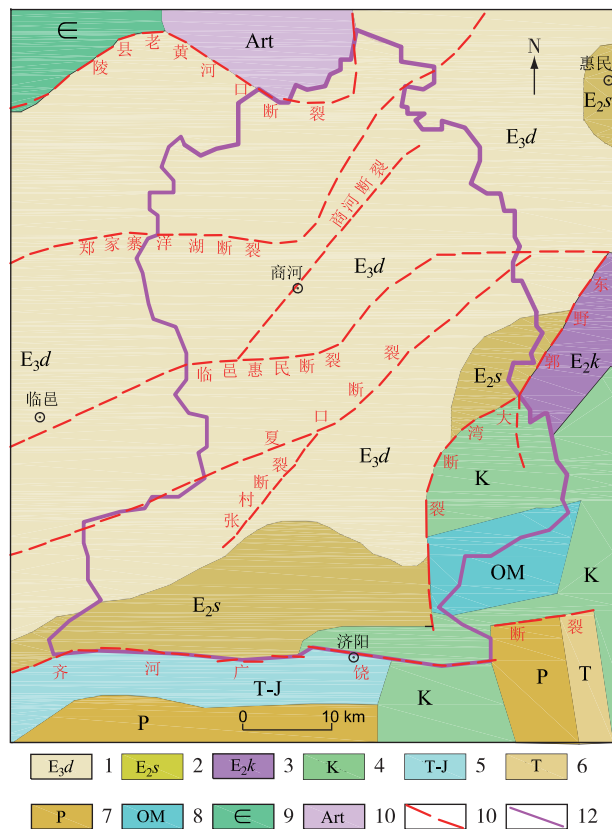


图1 研究区地质构造简图

Fig. 1 Geological tectonic map of the study area

大。新近系以杂色泥岩为主,夹砂岩及少量含砾或砾状砂岩的碎屑沉积物;其中,馆陶组岩性为灰白色砾状砂岩、细砂岩及棕红色泥岩间互沉积,明化镇组岩性以土黄、棕红色泥岩、砂质泥岩与灰白色砂岩为主。古近系岩性也以杂色泥岩为主,孔店组以棕红色、深灰色泥岩、砂质泥岩为主;沙河街组岩性以灰-深灰色泥岩为主,次为粉砂岩、细砂岩;东营组以灰绿色、灰色泥岩为主。第四系岩性以棕黄色粉砂质黏土为主,夹各种不等粒砂,主要分布于平原区,为更新世黄河冲积物。

2 地热地质条件与热储模型

2.1 地热地质条件

2.1.1 热储层

研究区的热储层主要为新近系馆陶组和古近

系东营组,具备良好的储热空间。馆陶组热储岩性主要以粉细砂岩为主,局部为细砂岩,该热储层厚度8~150 m,孔隙度约为23%~28%,自北部、东南部、西部往中部,热储层厚度逐渐增大。古近系东营组热储岩性以细砂岩为主,该热储厚度10~150 m,孔隙度约为23%~26%,自北部、东南部往中西部热储厚度逐渐增大。

2.1.2 边界条件

根据已有的地质、水文地质条件及地球物理和化学勘察资料研究分析,研究区内馆陶组和东营组热储层具有较为明确的水文地质边界。

(1)馆陶组热储层边界。北至陵县—老黄河口断裂,东至济南市界及东野郭一大湾断裂,南至马官寨断裂和齐河—广饶断裂,西至济南市界,总面积约1 752.16 km²。

(2)东营组热储层边界。北至陵县—老黄河口断裂南侧的展集以北和韩庙以西地区,东至济南市界、商河县高桥及东野郭一大湾断裂,南至曲堤镇和新市乡的南部,西至济南市界,总面积约1 393.41 km²。

2.1.3 盖层

馆陶组热储盖层为新近系明化镇组和第四系平原组,热储盖层的岩性主要为黏性土和砂性土,其密度小、厚度大、导热性能差、热阻大等特性使其成为天然良好的热储盖层;东营组热储的盖层为馆陶组、明化镇组和第四系地层。

2.1.4 通道

大气降水在南部、西部山区汇集成地表径流后,在漫长的地质年代,在水头差位能的作用下,沿断裂带或岩层的孔隙向深处运移,受热的地下水由于密度差异引起的自然对流,加上补给区水头差的驱动,使地下水得以缓慢地进行循环交替运动,将地热水在孔隙-裂隙中存储下来。

2.1.5 热源

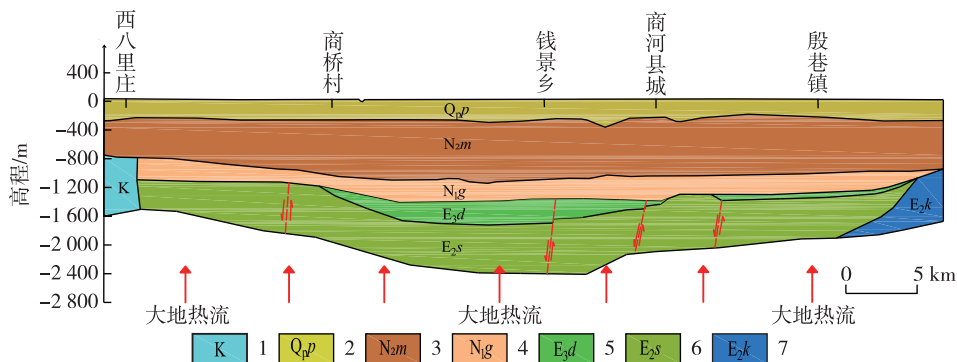
研究区的热源主要来自上地幔传导热流和地壳深部的正常传导热流。在地质历史时期,研究区内的新生代地层普遍经历了压密成岩过程,放出了巨量的热能,这些热源产生的热量在上覆巨厚的松散沉积物盖层的阻热保温作用下,在热储层中储存下来^[10]。

2.2 热储模型

根据前述地热地质条件,为便于地热资源计算,在此将研究区多断块分布的地质形态进行简

化,并建立由热储层、盖层、通道和热源组成的热储

概念模型^[11-13],如图 2 所示。



1.白垩系;2.第四系平原组;3.新近系明化镇组;4.新近系馆陶组;5.古近系东营组;6.古近系沙河街组;7.古近系孔店组

图 2 研究区热储概念模型示意图

Fig. 2 Conceptual model of geothermal reservoir in the study area

在各计算块段内,热储含水层为均质各项同性并水平展布。对于馆陶组热储,盖层为第四系和明化镇组,下部东营组及以下的正常大地传导性热流为馆陶组热储的主要热流。对于东营组热储层,盖层为第四系、新近系明化镇组和馆陶组,下部沙河街组及以下的正常大地传导性热流为东营组热储的主要热流。

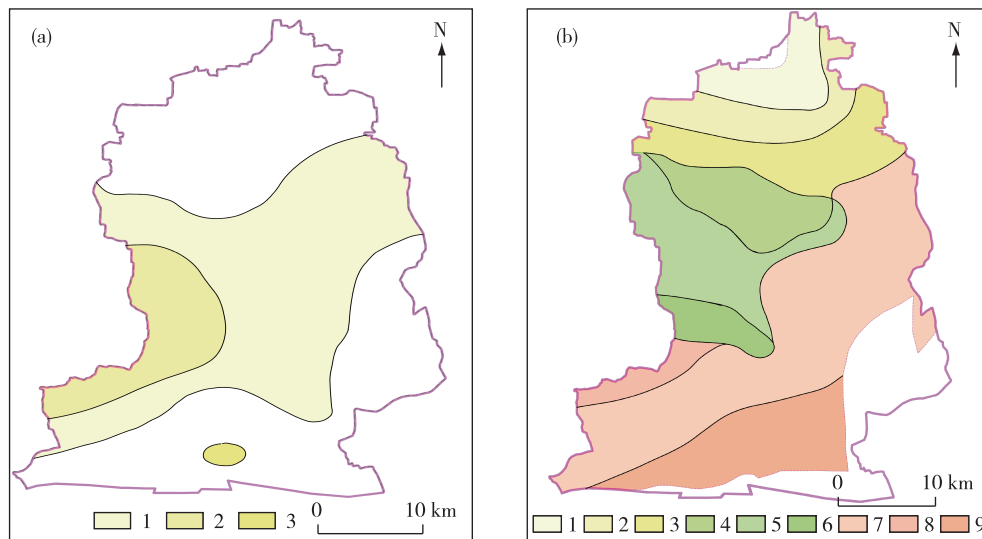
3 主要参数选择

地热资源量计算需要确定的参数主要为体积类参数和热储性质参数^[14]。体积类参数主要为热

储面积、热储层厚度和岩石孔隙度,热储性质参数主要是热储温度和岩石比热。

3.1 热储面积

划分计算区块的原则是主要依据钻孔控制程度,分为控制的资源量区(332)和推断的资源量区(333)。又根据馆陶组分区的热储砂层厚度和连续性,332 区分为 3 个亚区,333 区分为 6 个亚区,因研究区内揭穿东营组的钻孔数量较少,本文对东营组不再进行控制的资源量区(332)和推断的资源量区(333)区分。馆陶组和东营组地热资源计算分区如图 3 所示。



(a):1.333-I 区;2.333-II 区;3.333-III 区;4.332-I 区;5.332-II 区;6.332-III 区;7.333-IV 区;8.333-V 区;9.333-VI 区;(b):1. I 区;2. II 区;3. III 区

图 3 馆陶组(a)和东营组(b)地热资源计算分区图

Fig. 3 Calculation zoning of the geothermal resources in Guantao Formation (a) and Dongying Formation (b)

3.2 热储层厚度

已有地热井的计算区,根据地热井热储层厚度平均值确定热储厚度。没有地热井的计算区依照相邻地热井砂层厚度百分比与钻孔揭露地层厚度求得,或者根据砂层厚度等值线推测^[15]。各计算区块热储厚度取值见表 1。

表 1 地热田计算分区和热储层厚度统计结果
Table 1 Calculation zoning of geothermal fields and the thickness of geothermal reservoirs

热储类型	计算区块	分区面积/10 ⁶ m ²	热储层厚度/m
馆陶组	332-Ⅰ	144.87	142
	332-Ⅱ	219.90	85
	332-Ⅲ	61.95	120
	333-Ⅰ	104.84	17
	333-Ⅱ	130.58	75
	333-Ⅲ	200.30	142
	333-Ⅳ	616.21	85
	333-Ⅴ	50.34	120
	333-Ⅵ	223.17	8
	总计	1 752.16	—
东营组	Ⅰ	742.13	31
	Ⅱ	199.10	90
	Ⅲ	11.68	63
	总计	952.91	—

3.3 热储温度

有地热井的计算区,利用已有地热井温度确定

温度的平均值;无地热井的计算区,利用该区盖层地温梯度及厚度进行推算^[16],计算分区热储温度见表 2。

表 2 计算分区热储温度统计结果
Table 2 The temperatures of geothermal reservoir in different calculating zones

热储类型	计算区块	热储温度/℃	取值依据
馆陶组	332-Ⅰ	57	区内地热井温度平均值
	332-Ⅱ	57	区内地热井温度平均值
	332-Ⅲ	56	区内地热井温度平均值
	333-Ⅰ	49	盖层地温梯度及厚度推算
	333-Ⅱ	50	盖层地温梯度及厚度推算
	333-Ⅲ	57	区内地热井温度平均值
	333-Ⅳ	57	区内地热井温度平均值
	333-Ⅴ	56	区内地热井温度平均值
	333-Ⅵ	43	区内地热井温度平均值
东营组	Ⅰ	60	盖层地温梯度及厚度推算
	Ⅱ	65	
	Ⅲ	53	区内地热井温度平均值

3.4 岩石和水的物理参数

根据《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》^[16]查得岩石密度、比热;岩石孔隙度是根据本次搜集地热井产能测试资料计算及区内已有地质资料推测^[17];地热流体的相对密度、比热与地热流体所处的温度和压力有关,计算是根据《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》^[16]附录 C 表 C.2 插值求得不同计算区块地热水密度及比热(表 3)。

表 3 岩石和水的物理参数统计
Table 3 Statistics of physical parameters of rock and water

热储类型	计算区块	岩石密度/(kg·m ⁻³)	岩石比热/J·(kg·℃) ⁻¹	水的密度/(kg·m ⁻³)	水的比热/J·(kg·℃) ⁻¹	岩石孔隙度/%
馆陶组	332-Ⅰ	2 600	878	984.66	4 184.88	28
	332-Ⅱ	2 600	878	984.66	4 184.88	27
	332-Ⅲ	2 600	878	985.18	4 184.89	28
	333-Ⅰ	2 600	878	988.44	4 185.27	25
	333-Ⅱ	2 600	878	988.00	4 185.20	27
	333-Ⅲ	2 600	878	984.66	4 184.88	28
	333-Ⅳ	2 600	878	984.66	4 184.88	27
	333-Ⅴ	2 600	878	985.18	4 184.89	28
	333-Ⅵ	2 600	878	991.00	4 185.20	26
东营组	Ⅰ	2 600	878	983.10	4 185.03	23
	Ⅱ	2 600	878	980.50	4 185.20	23
	Ⅲ	2 600	878	986.62	4 185.03	26

3.5 热储层水动力参数

热储层水动力参数包括渗透系数(K)、给水度(μ)、弹

性释水系数(S)和压力传导系数(a)等,根据本次抽水试验资料及以往区域资料,确定含水层水动力参数(表 4)。

表 4 热储层水动力参数统计结果

Table 4 Statistics of hydrodynamic parameters of the geothermal reservoir

热储类型	计算区块	渗透系数/($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)	给水度	弹性释水系数/ 10^{-4}	压力传导系数/($10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)
馆陶组	332-I	1.112	0.28	2.50	1.30
	332-II	1.031	0.27	2.38	1.24
	332-III	1.496	0.28	2.50	1.30
	333-I	1.112	0.25	2.30	1.19
	333-II	1.112	0.27	2.30	1.19
	333-III	1.484	0.28	2.50	1.30
	333-IV	1.031	0.27	2.38	1.24
	333-V	1.496	0.28	2.50	1.30
	333-VI	0.725	0.26	2.30	1.19
东营组		0.940	0.24	2.00	0.984

3.6 其他参数

按照《GB11615—2010 地热资源地质勘查规范》^[17],允许开采量下开采 100 年约消耗 15%左右的地热储量,则地热采收率 K_1 值为 0.15,因区内地热井温度介于 43~65 °C,地热尾水排放温度按 30 °C 计,热储层有效利用率取 0.40,对于单个地热开采井日开采量 Q_i ,根据井产能测试资料按井流量方程计算单井的稳定产量或以抽水试验资料采用内插法确定(最大抽水降深按 20 m 计算),如表 5 所示。

表 5 其他参数统计结果

Table 5 Statistics of other parameters

热储类型	计算区块	$Q_i/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	热储层有效利用率
馆陶组	332-I	2 382	0.40
	332-II	1 581	0.40
	332-III	1 923	0.40
	333-I	300	0.40
	333-II	1 000	0.40
	333-III	2 382	0.40
	333-IV	1 581	0.40
	333-V	1 923	0.40
	333-VI	277	0.40
东营组	I	744	0.40
	II	2 160	0.40
	III	456	0.40

4 地热资源计算和评价

4.1 地热资源量计算

目前计算地热资源量的方法很多,其中热储法较为成熟且应用广泛,适用于松散岩层分布区和基岩地区的地热资源储量计算^[19-21]。本文采用热储法计算热储中储存的地热资源量,计算公式如下。

$$Q = Q_r + Q_w, \quad (1)$$

$$Q_r = Ad\rho_r c_r (1 - \phi)(t_r - t_0), \quad (2)$$

$$Q_L = Q_1 + Q_2, \quad (3)$$

$$Q_1 = A\phi d, \quad (4)$$

$$Q_2 = ASH, \quad (5)$$

$$Q_w = Q_L C_w \rho_w (t_r - t_0), \quad (6)$$

式中: Q 为热储层中储存的热量,J; Q_r 为岩石中储存的热量,J; Q_L 为热储层中储存的水量, m^3 ; Q_1 为截止到计算时刻,热储孔隙中热水的静储量, m^3 ; Q_2 为水位降低到目前取水能力极限深度时热储所释放的水量, m^3 ; Q_w 为水中储存的热量,J; A 为计算区面积, m^2 ; d 为热储厚度,m; ρ_r 为热储岩石密度, kg/m^3 ; c_r 为热储岩石比热, $\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$; ϕ 为热储岩石的孔隙度,无量纲; t_r 为热储层平均温度, $^\circ\text{C}$; t_0 为当地年平均气温,取 12.8 °C; ρ_w 为地热水密度, kg/m^3 ; S 为弹性释水系数,无量纲; H 为计算起始点以上高度,即水面算起最大取水深度,m; C_w 为水的比

热, J/kg · °C 。
经计算,热储层中储存的总热量为 $2.248\ 6 \times 10^{19}$ J,相当于 76 744.03 万 t 标准煤的产热量;其中
馆陶组热储层中储存热量为 $1.688\ 9 \times 10^{19}$ J,占比约 75%;东营组热储层中储存的热量为 $0.559\ 7 \times 10^{19}$ J,占比约 25 %(表 6)。

表 6 热储中储存的热量计算结果表
Table 6 Calculation results of heat stored in the geothermal reservoir

热储类型	分区代号	热水中储存的热量/ 10^{18} J	岩石中储存的热量/ 10^{18} J	热储层中储存的总热量/ 10^{19} J	计算起始点以上高度/ m
馆陶组	332-I	1.050 2	1.494 5	0.254 5	161
	332-II	0.920 7	1.376 8	0.229 7	162
	332-III	0.371 2	0.527 8	0.089 9	160
	333-I	0.067 4	0.110 5	0.017 8	192
	333-II	0.407 6	0.607 1	0.101 5	180
	333-III	1.451 9	2.066 2	0.351 8	163
	333-IV	2.579 9	3.857 9	0.643 8	164
	333-V	0.301 6	0.428 9	0.073 1	163
	333-VI	0.059 4	0.091 1	0.015 0	191
	总计	7.209 9	10.560 8	1.777 1	1 536
东营组	I	1.041 6	1.924 9	0.296 7	182
	II	0.890 9	1.656 7	0.254 8	152
	III	0.032 2	0.050 5	0.008 3	201.5
	总计	1.964 7	3.632 1	0.559 7	535.5

从图 4 和图 5 中可以看出,馆陶组中热水储存的热量占热储层中储存的总热量的 40.57%,岩石中储存的热量占热储层中储存的总热量的 59.43%,约是热水储存的热量的 1.46 倍。东营组中热水和岩石中储存的热量在热储层总热量的占比分别为 35.10%和 64.90%,后者约是前者的 1.9 倍。从馆陶组和东营组各计算分区储存的热量分布可以看出,岩石中储存的热量均比热水储存的热量多,其中馆陶组 333-IV 分区储存的总热量约占其总热量的 36.23%,东营组 I 分区储存的总热量约占其总热量的 52%。

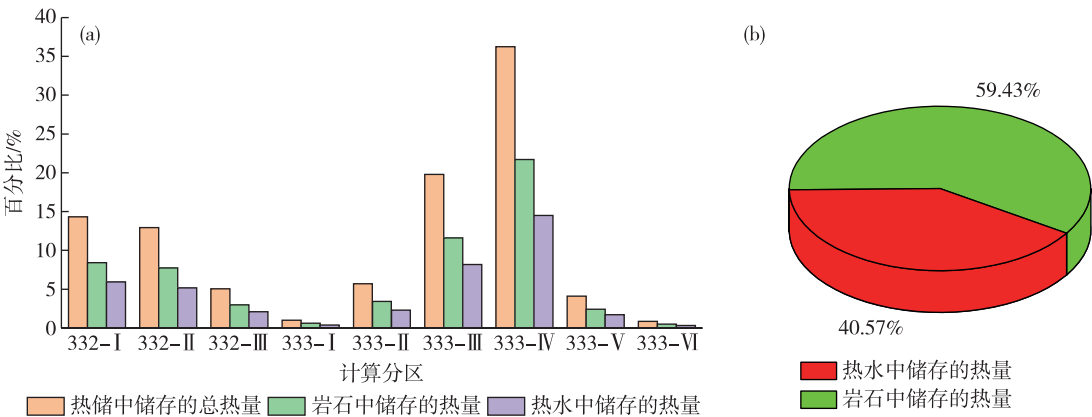


图 4 馆陶组热储层中储存热量占比柱状图(a)和占比饼状图(b)

Fig. 4 Histogram (a) and pie chart (b) of heat storage proportion in the geothermal reservoir of Guantao Formation

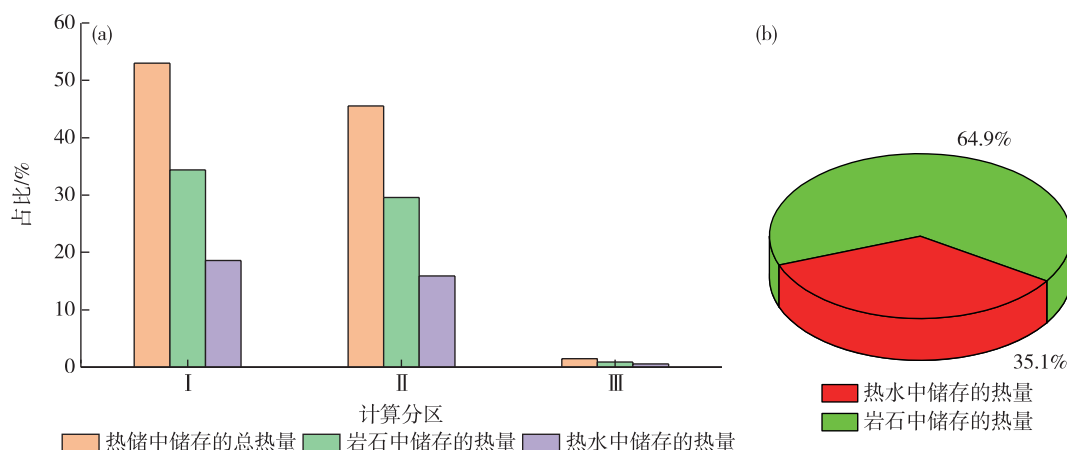


图5 东营组热储层中储存热量占比柱状图(a)和占比饼状图(b)

Fig. 5 Histogram (a) and pie chart (b) of heat storage proportion in the geothermal reservoir of Dongying Formation

4.2 地热流体可采资源量计算

(1) 单井开采 100 年所排放的总热量

$$Q_w = 36\,500 Q_i \cdot \rho_w \cdot c_w (t_w - t_0), \quad (7)$$

式中: Q_w 为单井开采 100 年排放的总热量, J; Q_i 为平均单井日开采量, m^3/d ; ρ_w 为热水平均密度, kg/m^3 ; c_w 为地热水平均热容量, $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; t_w 为地热水平均温度, $^\circ\text{C}$; t_0 为基准温度, 取当地多年平均气温, $^\circ\text{C}$ 。

经计算, 馆陶组热储单井开采 100 年所排放总热量为 $86.21 \times 10^{15} \text{ J}$, 东营组热储单井开采 100 年所排放总热量为 $25.27 \times 10^{15} \text{ J}$ 。

(2) 单位面积热储层可开采热量^[22]

$$Q_r = K_1 \cdot H \cdot C (t_r - t_0), \quad (8)$$

式中: Q_r 为单位面积热储层可开采热量, J/m^2 ; K_1 为地热采收率, 取 0.15; H 为热储层厚度, m; C 为热储层平均热容量, $\text{J}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; t_r 为热储层平均温度, $^\circ\text{C}$; t_0 为基准温度, 取当地多年平均气温, $^\circ\text{C}$ 。

经计算, 馆陶组热储层单位面积可开采储量为 $(0.10 \sim 2.63) \times 10^9 \text{ J}/\text{m}^2$, 东营组热储层单位面积可开采储量为 $(0.60 \sim 1.92) \times 10^9 \text{ J}/\text{m}^2$ 。

(3) 单井开采 100 年合理井距

$$F = F_{\text{理}} / e, \quad (9)$$

$$F_{\text{理}} = Q_w / Q_r, \quad (10)$$

$$D = 2r = 2 \cdot (F/3.14)^{\frac{1}{2}}, \quad (11)$$

式中: F 为单井开采 100 年所需热储面积, m^2 ; $F_{\text{理}}$ 为理论上单井开采 100 年所需热储面积, m^2 ; e 热储层有效利用率; Q_w 为单井开采 100 年排放总热量, J; Q_r 为单位面积热储层可开采热量, J/m^2 。

经计算可得, 馆陶组热储合理井距为 2 128~4 622 m, 东营组合理井距为 2 893~5 327 m。合理井距按区间值的最大值取值, 馆陶组热储合理井距为 4 622 m, 东营组合理井距为 5 327 m。

(4) 可布井数计算

$$N = A / F, \quad (12)$$

式中: N 为可布井数, 眼; A 为热储面积, m^2 ; F 为单井开采 100 年所需热储面积, m^2 。经计算可得, 馆陶组可布井数为 112 眼, 东营组为 42 眼。

(5) 地热流体可采资源量

$$Q_{\text{可}} = N \cdot Q_i, \quad (13)$$

式中: $Q_{\text{可}}$ 为地热资源可开采量, m^3/d ; N 为区域内能布置的井数, 眼; Q_i 为平均单井日开采量, m^3/d 。

经计算可得, 研究区地热流体可采资源量为 $205\,378 \text{ m}^3/\text{d}$, 折合标准煤 1 290.89 t/d。馆陶组地热流体可采资源量为 $163\,090 \text{ m}^3/\text{d}$; 东营组地热流体可采资源量为 $42\,288 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4.3 地热资源的开发利用评价

该地热田地热流体的温度为 $43 \sim 65 \text{ }^\circ\text{C}$, 地热井水用于取暖时, 因地热水具有强腐蚀性, 且结垢较多, 宜采用间接供暖方式满足冬季取暖需求。地热水中含有较高的锶、偏硅酸、偏硼酸、锂、溴、碘、氟等有益元素, 且水温较高, 具有一定的医疗和保健作用; 但其所含氯化物、硫酸盐、锰、镉、铜、锌等元素超标, 不宜作为生活饮用水和农业灌溉用水。

目前, 根据山东省地矿工程集团有限公司实地调查统计研究区内地热井的分布和开发利用情况, 显示研究区内全年地热开采用水量约 $390 \text{ 万 m}^3/\text{a}$,

地热开发主要用于供暖、洗浴康乐、养殖、温室种植等。其中,用于供暖的用水量约占总开采量的87.4%;用于洗浴康乐的用水量约占总开采量的6.9%;用于养殖的用水量约占总开采量的3.1%;用于温室种植的用水量约占总开采量的2.6%

另一方面,研究区现在地热资源开采使用过程中还存在着以下问题:①尾水处理不规范,如部分地热尾水直接排放至当地雨水、污水管网;②开采井布置不合理及开采过量,如地热井主要集中于商河县及开发区,地热井分布过于集中,布井间距过小且有过量开采现象;③地热流体综合利用程度较低,如地热水开采量全年分配不均,地热水资源的开采主要集中在供暖期,尚未形成梯级开发综合利用,利用率较低。

针对上述问题,建议采取以下措施:①加强管理,合理开采,及时调整开采布局,防止地热资源枯竭;②地热资源梯级利用,根据地热流体不同温度进行的逐级利用,以提高资源利用率,降低地热水的排放温度,避免热污染和环境污染;③尾水达标排放,将尾水进行降温,除垢等处理待达到污水排放标准后,才可排入相应的污水管道。

5 结论

(1)济南市北部地热资源丰富,地下热水主要赋存在新近系馆陶组及古近系东营组等的碎屑岩孔隙-裂隙中,热储类型为孔隙裂隙型热储,分布较稳定。

(2)区内热储层中储存的总地热资源量为 2.25×10^{19} J,相当于76 744.03万吨标准煤的产热量;其中,馆陶组热储层中储存的地热资源量为 1.69×10^{19} J,东营组热储中储存的地热资源量为 0.56×10^{19} J。

(3)区内地热流体可采资源量为 2.05×10^5 m³/d,折合标准煤1 290.89 t/d;其中,馆陶组地热流体可采资源量为 1.63×10^5 m³/d,东营组地热流体可采资源量为42 288 m³/d。

(4)该区应加强地热资源的梯级利用水平,合理开发利用地热资源,并加强对地热尾水的管理。

参考文献

[1] 谭现锋,刘肖,王贵玲,等.利津干热岩型地热资源调查评价关键技术研究[J].地质学报,2020,94(7):

2166-2176.

TAN X F, LIU X, WANG G L, et al. Research on the key technology for the investigation and evaluation of the hot dry rock geothermal resources in Lijin[J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(7): 2166-2176.

[2] 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.

CHEN Z, XU X Y, WANG X M. Study on geothermal resources evaluation and development and utilization in Gaotang County of Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2012, 28(7): 5-8.

[3] 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 K F. Geothermal resources in the eastern Liaocheng geothermal field of Shandong Province[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 194-202.

[4] 秦贞娜,许强平,张骁.安徽和县香泉镇地热资源地质特征及其开发利用与保护建议[J].华东地质,2021,42(1):46-54.

QIN Z N, XU Q P, ZHANG X. Geological characteristics of geothermal resources in Xiangquan Town, Hexian County, Anhui Province and its exploitation, utilization and protection[J]. East China Geology, 2021, 42(1): 46-54.

[5] 张定源,施华生,周汉民,等.地热绿色新能源与可持续发展[J].火山地质与矿产,2001,22(4):236-243.

ZHANG D Y, SHI H S, ZHOU H M, et al. Geothermal energy and sustainable development[J]. Volcanology and Mineral Resources, 2001, 22(4): 236-243.

[6] 梁月龙.济南北部地热勘探与开发综述[J].化工矿产地质,2012,34(1):61-64.

LIANG Y L. Geothermal exploration and development in the north of Jinan[J]. Geology of Chemical Minerals, 2012, 34(1): 61-64.

[7] 王明珠,万军伟,白通,等.德州市德城区砂岩热储地热资源开采对地面沉降的影响[J].华东地质,2021,42(2):202-209.

WANG M Z, WANG J W, BAI T, et al. The influence of geothermal resources exploitation of sandstone thermal reservoir on land subsidence in Decheng District, Dezhou City[J]. East China Geology, 2021, 42(2): 202-209.

[8] 孙希华.济南山丘区地貌演化与水土流失研究[J].土壤通报,2005(3):407-410.

- SUN X H. Erosion physiognomy evolution and water and soil loss in Jinan[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005(3):407-410.
- [9] 山东省第四地质矿产勘查院. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社, 2003.
- Shandong Provincial NO.4 Institute of Geological and Mineral Survey. Regional geology of Shandong Province [M]. Jinan: Shandong Cartographic Publishing House, 2003.
- [10] 赵玉祥, 李常锁, 邢立亭. 济南北部地热田的成因条件[J]. 济南大学学报:自然科学版, 2009, 23(4): 406-409.
- ZHAO Y X, LI C S, XING L T. Forming Conditions of Geothermal Field in Northern Jinan[J]. Journal University of Jinan (Science and Technology), 2009, 23(4):406-409.
- [11] 李肖兰, 杜绍伟, 张玲, 等. 山东省地热资源分布与开发利用研究[J]. 山东国土资源, 2021, 37(1): 37-43.
- LI X L, DU Z W, ZHANG L, et al. Distribution characteristics and present condition of exploitation and utilization of geothermal resources in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources, 2021, 37(1): 37-43.
- [12] 申中华, 薛磊, 韩琳, 等. 章丘地热田地热资源量计算与评价[J]. 山东国土资源, 2020, 36(4):31-37.
- SHEN Z H, XUE L, HAN L, et al. Calculation and evaluation of geothermal resources in Zhangqiu geothermal field[J]. Shandong Land and Resources, 2020, 36(4):31-37.
- [13] 徐希强, 刘善军, 王伟德, 等. 山东省地热资源及勘查开发对策[J]. 山东国土资源, 2015, 31(5):31-35.
- XU X Q, LIU S J, WANG W D, et al. Countermeasures on exploration and development of geothermal resource in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(5):31-35.
- [14] 尚宇宁, 高明志, 吴立进, 等. 济南北部地热资源区划研究[J]. 中国地质, 2012, 39(3):778-783.
- SHANG Y N, GAO M Z, WU L J, et al. Division of geothermal resources in northern Jinan[J]. Geology in China, 2012, 39(3):778-783.
- [15] 刘润川, 任战利, 叶汉青, 等. 地热资源潜力评价——以鄂尔多斯盆地部分地级市和重点层位为例[J]. 地质通报, 2021, 40(4):565-576.
- LIU R C, REN Z L, YE H Q, et al. Potential evaluation of geothermal resources-exemplifying some municipalities and key strata in Ordos Basin as a study case[J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(4):565-576.
- [16] 曾明秀. 浅析芜湖市浅层地热资源及开发利用[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(2):115-117, 120.
- ZENG M X. Analysis on shallow geothermal resources and their development and utilization in Wuhu City[J]. West-China Exploration Engineering, 2021, 33(2): 115-117, 120.
- [17] 国土资源部储量司. GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范[S].
- Reserve Department of Ministry of Land and Resources. GB/T 11615—2010 Geologic exploration standard of geothermal resources[S].
- [18] 山东省地矿工程集团有限公司. 商河县地热资源调查与评价报告[R]. 济南:山东省地矿工程集团有限公司, 2007.
- Shandong Geology and Mineral Engineering Group Co., Ltd. Investigation and evaluation report of geothermal resource in Shanghe County [R]. Jinan: Shandong Geology and Mineral Engineering Group Co., Ltd, 2007.
- [19] 刘君. 宁夏中卫市浅层地热资源评价[J]. 洁净与空调技术, 2020(4):39-42.
- LIU J. Evaluation of shallow geothermal resources in Zhongwei City, Ningxia [J]. Contamination Control and Air-Conditioning Technology, 2020(4):39-42.
- [20] 王秀雅, 孙丰博, 王占川, 等. 湖北省通山县王家庄地热资源特征及储量评价[J]. 河北地质大学学报, 2020, 43(6):45-49, 70.
- WANG X Y, SUN F B, WANG Z C, et al. Characteristics of geothermal resources geothermal resources in Wangjiazhuang, Tongshan County, Hubei Province [J]. Journal of Hebei GEO University, 2020, 43(6): 45-49, 70.
- [21] 陈迎辉. 山间盆地双层结构地热田资源计算方法探讨[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(1):96-99.
- CHEN Y H. Discussion on calculation method of geothermal field resources with double-layer structure in Intermountain Basin[J]. West-China Exploration Engineering, 2021, 33(1):96-99.
- [22] 全国矿产储量委员会办公室. 关于地热单井勘察报告审批要求的通知[S].
- Office of National Mineral Reserves Committee. Notice on the approval requirements of geothermal single well survey report[S].

Calculation and evaluation of geothermal resources in northern Jinan geothermal field

HAN Zhongyang¹, WU Shasha², LIU Yongming¹, HAN Zichen², JIANG Yanyu¹,
GE Chengwang¹, SONG Wenjing¹

(1. Shandong Provincial Geo-mineral Engineering Group Co., Ltd, Jinan 250200, Shandong, China;

2. Shandong Provincial Geo-mineral Engineering Exploration Institute, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: In order to rationally develop and utilize geothermal resources in northern Jinan City, the authors studied the Neogene Guantao Formation and Paleogene Dongying Formation, and established the conceptual model of their geothermal reservoirs based on the geophysical, hydrogeological surveys and borehole data. The exploitation of geothermal resources were evaluated according to the calculation of both geothermal resources and recoverable resources of geothermal fluid in the Guantao and Dongying Formations. The study shows that this area is rich in geothermal resource with pore and fissure geothermal reservoir, which indicates 2.25×10^{19} J of geothermal resources, and 2.05×10^5 m³/d of recoverable resources of geothermal fluid. The evaluation results would be conducive to the further development and management of geothermal resources in the area.

Key words: geothermal reservoir; geothermal resources; exploitation; conceptual model of geothermal reservoir; Jinan City

《华东地质》专题征稿通知

为了更好地发挥科技期刊的学术导向作用,及时报道地质调查及地质科技取得的新进展、新技术及新方法,服务地质科技创新,加快地质调查成果传播,《华东地质》2023 年度重点进行如下专题报道,特向各相关单位、科研团队的专家、学者及科研人员诚挚邀稿。

1. **生态地质:** 富硒土地资源、土地质量地球化学调查、水土流失、生态地质环境等。
2. **城市地质:** 城市地质环境、城市地质安全风险评估、地下空间资源安全利用与开发技术等。
3. **灾害地质:** 滑坡、泥石流、崩塌、地裂缝、地面沉降、地面塌陷、高精度地质灾害调查技术及方法等。
4. **水资源:** 水资源水环境生态监测预警及评价方法、水文地质调查关键技术、地下水资源评价、地质资源环境综合评价等。
5. **战略性矿产资源:** 战略性矿产资源时空分布规律及成因、战略性矿产资源潜力评价等。
6. **海岸带地质:** 海岸带地质灾害防治、海岸带生态保护修复、海岸带资源环境、区域第四纪地质研究、构造-沉积作用、地质环境演化等。
7. **能源地质:** 页岩气、地热能、铀矿、石油、天然气等研究成果。
8. **地质大数据专题:** 空间数据转换、云计算、数据库建设、信息化建设与服务等。

稿件要求

1. 稿件应严格按照《华东地质》格式及要求撰写,字数在 8 000 字左右(含图表)。
2. 稿件应为作者原创,不得抄袭、拼凑他人研究成果,不得一稿多投,杜绝学术不端行为。
3. 稿件应论点明确,论据充分,数据可靠,图表清晰,文字简洁;可以引用他人数据、观点作为本文的论据,但必须在文后以参考文献的形式列出;稿件内容应不涉密。
4. 登陆《华东地质》投稿网站 <http://www.hddz.cgsnjzx.cn> 注册后投稿。