



山东省曹县城区地热资源评价

朱昶, 费若强, 宋帅良, 马腾, 张立, 李军

(山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100)

摘要:通过地球物理勘探、水文地质调查、钻孔和抽水试验,结合区域水文、气象和地质等资料,对山东省曹县城区地热地质条件、热储赋存条件有了初步认识,结合 CD1 号探采结合地热孔,对孔隙、岩溶裂隙型含水热储层及许庄复合热储层地热资源量进行了计算,对地热水资源进行了开发利用评价。

关键词:地热地质;热储层;地热水;计算评价;山东曹县

中图分类号:P314

文献标识码:A

山东省曹县城区位于华北陆块(I)鲁西隆起(II)鲁西南潜隆起区(III)菏泽-兖州潜断隆(IV)菏泽凸起(V)的南部^[1]。地层从老到新的有奥陶纪马家沟群,石炭-二叠纪月门沟群本溪组、太原组、山西组和二叠纪石盒子组,侏罗纪三台组,古近纪官庄群大汶口组、新近纪黄骅群明化镇组及第四系。区内隐伏构造发育,西部靠近聊考断裂,北部靠近常乐集断裂,曹县断裂北东向斜穿该区,单县断裂从曹县城区北部东西向穿过,这些断裂控制了区域内凸起与凹陷的边界,破坏了地壳的连续性,是该区主要的控热构造^[2]。

1 含水岩组划分

含水岩组划分为松散岩类孔隙含水岩组和碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组两类。

1.1 松散岩类孔隙含水岩组

1.1.1 浅层孔隙含水岩组(浅层淡水)

埋深一般为20~40 m。含水层岩性以粉细砂、粉砂为主,水位埋深一般为1~5 m,单井涌水量一般为500~1 000 m³/d。水化学类型多以HCO₃-Na·Mg型水或HCO₃·Cl-Na·Mg型水为主,矿化度为0.5~1.3 g/L。主要用于居民生活、生产用水。

1.1.2 中深层孔隙含水岩组(中层咸水)

顶板埋深20~40 m,底板埋深120~250 m。含

水层岩性为细砂,水位埋深一般5~10 m,具承压性,单井涌水量421.92 m³/d(降深16 m),矿化度大于2.5 g/L,水化学类型多以Cl·SO₄-Na型水为主,为微咸水。

1.1.3 深层孔隙含水岩组(深层淡水)

埋藏中深层孔隙含水岩组之下,底板埋深500~600 m。自西向东顶板埋深逐渐减小。水位埋深一般20~80 m,单井涌水量在城区以西为500~1 000 m³/d,以东为1 000~3 000 m³/d,具承压性。水化学类型以HCO₃-Na型水为主,矿化度1.0 g/L左右。主要用于城市生活和工业用水。

1.1.4 深层孔隙地热水含水岩组(咸水)

埋藏于深层孔隙含水岩组之下,热储温度一般为31.5~51.5℃,水位埋深一般8~15 m,单井涌水量为1 000~3 000 m³/d,具承压性。水化学类型以HCO₃·Cl-Na型水为主,矿化度3.0 g/L左右。

1.2 碳酸盐岩类裂隙岩溶水含水岩组

隐伏于松散层以下或埋藏于煤系地层之下,岩性为奥陶纪灰岩、白云质灰岩等。据相邻定陶县DR1地热井勘探资料,揭露奥陶系厚度198.01 m,单井涌水量1 731.84 m³/d(降深3.78 m),富水性中等。静水位埋深12.74 m,矿化度3.6 g/L,水化学类型为SO₄-Ca·Na。

* 收稿日期:2013-03-20;修订日期:2013-04-23;编辑:曹丽丽

作者简介:朱昶(1981—),男,山东微山人,工程师,主要从事水工环地质勘查、地热地质评价工作;E-mail:zhuchangh@163.com。

2 地热地质条件

该区的热源主要来自地壳深层正常的热流传导,地热水的主要补给来源为大气降水的垂直入渗经深部循环补给,其次是侧向径流补给和沉积时保留下来的封存水和沉积水^[3]。

2.1 新近纪明化镇组碎屑岩孔隙含水热储层

呈层状分布于不同的地质构造单元(图 1、图 2),主要靠自然增温热传导传递热能,位于曹城镇断块、倪集-北朱楼断块及丰楼断块内。

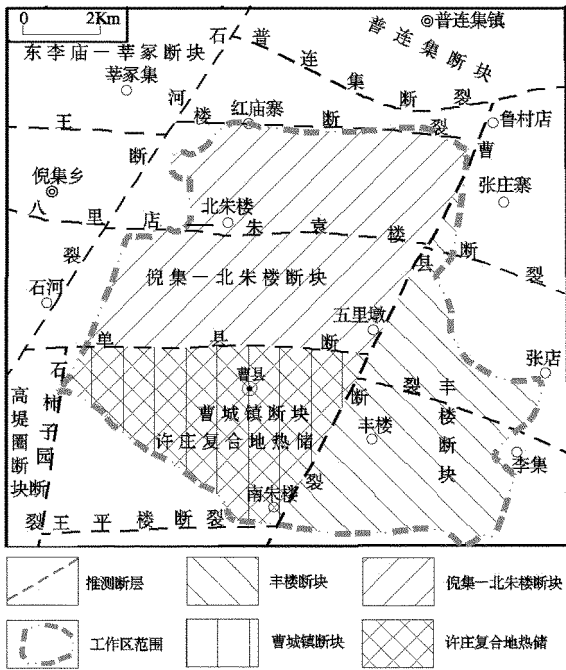


图 1 地热资源断块及复合地热储分布示意图

2.2 奥陶纪岩溶裂隙含水热储层

位于单县断裂以南、王平楼断裂以北及曹县断裂以西的褚庙店凸起向东凸出的部分,主要岩性为灰岩,厚度约 600~800 m,尤其是奥陶系顶部岩溶裂隙更为发育,是区内重要的热储集层。

2.3 复合型地热储

单县断裂以南为许庄孔隙、裂隙深部热传导方式为主体的地层,即新近系、奥陶系组成的许庄复合型地热储。

3 地热储温度的计算

3.1 新近纪明化镇组热储温度

采用 K-Mg 和 SiO₂ 两种地热温标对热储层的温度进行计算,K,Mg,SiO₂ 的含量以实测水质化验资料为依据。

3.1.1 钾镁地热温标

热储温度计算公式:

$$t = \frac{4410}{13.95 - \lg(K^2/Mg)} - 273.15^{[4,5]} \quad (1)$$

式中: t 为热储温度(°C), K 为水中钾的浓度(mg/L); Mg 为水中镁的浓度(mg/L)。

3.1.2 二氧化硅地热温标

热储温度计算公式:

$$t = \frac{1051}{4.665 - \lg SiO_2} - 273.15^{[4,5]} \quad (2)$$

式中: t 为热储温度(°C); K 为热水中溶解的 H₄SiO₄ 形式的 SiO₂ 含量(mg/L)。

经计算确定以各断块埋深 600 m 以下明化镇组热储层平均温度为各热储层的温度,即倪集-北朱楼断块、曹城镇断块及丰楼断块热储温度分别为 42.5°C, 41.5°C 和 40°C。

3.2 奥陶系热储层温度

2 000 m 以浅奥陶系热储层,根据测温及地温梯度实测曲线图查得奥陶系热储温度 65°C。

4 地热资源量计算

4.1 计算公式

该次地热资源计算采用“热储体积法”,即:

$$Q_R = C \cdot A \cdot H \cdot (t_r - t_j) \quad (3)$$

$$C = \rho_c C_c (1 - \varphi) + \rho_w \cdot C_w \cdot \varphi^{[4,5]} \quad (4)$$

式中: Q_R 为地热资源总量(J); A 为热储面积(m²); H 为热储层厚度(m); t_r 为热储层温度(°C); t_j 为基准温度(当地年均气温)(°C); C 为热储层平均比热(J/m³·°C); ρ_c 为岩石平均密度(kg/m³); C_c 为岩石平均比热(J/kg·°C); ρ_w 为热水平均密度(J/kg·m³); C_w 为热水平均比热(J/kg·°C); φ 为热储层平均孔隙度,无量纲。

4.2 计算结果

计算出各区的地热资源量,各区之和即为地热资源总量(表 1)。

4.3 可利用地热资源量计算

$$Q_{wh} = Q_R \cdot K \quad (5)$$

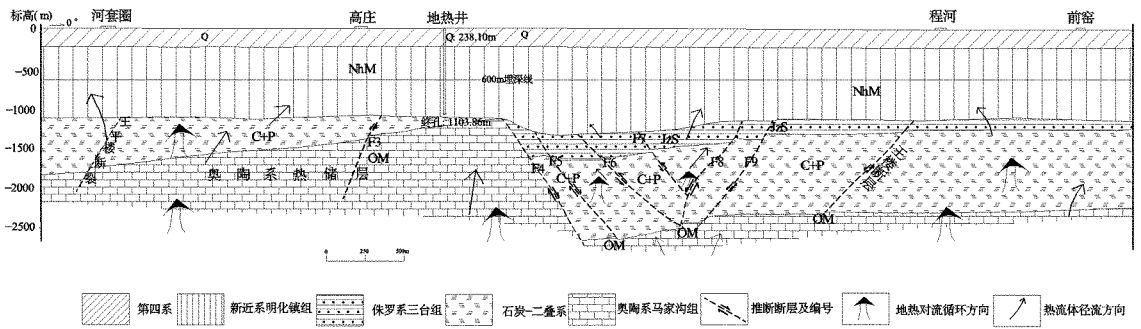


图 2 热储概念模型示意图

表 1 地热资源总量计算成果

热储层	热储层体积 (10^{10} m^3)	平均增温值 ($^{\circ}\text{C}$)	热储层平均比热 ($\text{J}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$)	地热资源总量	
				热量 (J)	折合标准煤 (t)
新近系	曹城镇断块	1.197	27	2155273	6.97×10^{17} 2.38 $\times 10^7$
	倪集-北朱楼断块	2.341	28	2155273	1.41×10^{18} 4.81 $\times 10^7$
	丰楼断块	1.082	25.5	2155273	5.95×10^{17} 2.03 $\times 10^7$
	小计	4.620			2.70×10^{18} 9.22 $\times 10^7$
奥陶系	2km 以浅	1.316	50.5	2487609	1.65×10^{18} 5.63 $\times 10^7$
合计		5.936			4.35×10^{18} 1.49 $\times 10^8$

注：每吨标准煤按热能 $2.932 \times 10^{10} \text{ J}$ 计算，电能 $9.3 \times 10^{-6} \text{ MW}$ 计算。

式中： Q_{util} 为热储层可利用地热资源量 (J)； Q_R 为热储层地热资源量 (J)； K 为采收率 (新近系取 0.25, 奥陶系热储取 0.15)。该区可利用地热资源量见表 2。

表 2 可利用地热资源总量计算成果

热储层	地热资源总量 (J)	采收率 (%)	可利用地热资源总量	
			热量 (J)	折合标准煤 (t)
新近纪明化镇组	曹城镇断块	6.97 $\times 10^{17}$	25	1.74×10^{17} 5.94 $\times 10^6$
	倪集-北朱楼断块	1.41×10^{18}	25	3.53×10^{17} 1.20 $\times 10^7$
	丰楼断块	5.95×10^{17}	25	1.49×10^{17} 5.08 $\times 10^6$
	小计	2.70×10^{18}		6.76×10^{17} 2.30 $\times 10^7$
奥陶系	1.65×10^{18}	15	2.48×10^{17}	8.46 $\times 10^6$
合计	4.35×10^{18}		9.24×10^{17}	3.15 $\times 10^7$
许庄复合型	2.35×10^{18}	25, 15	4.22×10^{17}	1.44 $\times 10^7$

5 地热流体静储资源量及热水可采资源量计算

5.1 热储层的热水静储资源量

热储层的热水静储资源量由热储层的容积资源量 ($Q_{\text{容}}$) 和弹性资源储量 ($Q_{\text{弹}}$) 两部分组成。

热水储量计算公式：

$$Q_{\text{静}} = Q_{\text{容}} + Q_{\text{弹}} = V \cdot \mu + A \cdot p \cdot \mu_e \quad (6)$$

式中： $Q_{\text{静}}$ 为热水储量 (m^3)； $Q_{\text{容}}$ 为容积储热量

(m^3)； $Q_{\text{弹}}$ 为弹性储热量 (m^3)； V 为热储层的体积 (m^3)； μ 为热储层平均给水度； A 为热储层的水平面积 (m^2)； P 为热水水头高度 (m) (热储层顶板以上水柱高度)； μ_e 为热储层平均弹性释水系数。

热水静储资源量计算公式：

$$Q_{\text{静}} = Q_{\text{容}} + Q_{\text{弹}} = Q_{\text{容}} \cdot C_w \cdot (t_r - t_o) + Q_{\text{弹}} \cdot C_w \cdot (t_r - t_o) \quad (7)$$

式中符号意义同前。

计算区热储层静储水量为 $7.75 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，热水静储资源量为 $9.54 \times 10^{17} \text{ J}$ ，折合标准煤 $3.25 \times 10^7 \text{ t}$ 。

5.2 热水可采资源量计算

5.2.1 地热井可开采量及释放热量的计算

(1) 明化镇组热储层地热井

CD1 地热井的含水层为新近纪明化镇组，仅计算明化镇组热储层地热井的可开采量及释放热量。

① 热井可开采量及释放热量的计算

根据 CD1 地热井 3 次降深抽水试验资料绘制 $Q=f(S)$ 曲线^[6,7]，查得降深 20 m 时的出水量为 $38.50 \text{ m}^3/\text{h}$ ，合 $337260 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

该井 100 a 可开采量所释放的总热量 Q_w 可按下式计算：

$$Q_w = Q_a \cdot C_w (t_w - t_o) \times 100 \quad (8)$$

式中： Q_a 为该井可开采量，为 $337260 \text{ m}^3/\text{a}$ ； C_w 为热水平均比热，取 $4157492 \text{ J}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ； t_w 为该井平均出水口温度，取 48°C ； t_o 为基准温度，取 14.5°C 。

该井 100 a 可开采地下热水所释放的总热能 Q_w 为 $4.70 \times 10^{15} \text{ J}$ ，折合标准煤 $1.60 \times 10^5 \text{ t}$ 。

② 热井开采利用热储层单位面积可开采热储量采用公式

$$Q_r = KHC_r (t_r - t_o) \quad (9)$$

式中： Q_r 为地热井开采影响区内可采热储量 (J/m^2)； K 为热储层采收率 (明化镇组热储取

0.25); H 为利用热储层厚度(取 210.00 m); C_r 为热储层平均比热(取 $2\,155\,273\text{ J/m}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$); t_r 为热储层平均温度(取 $48\text{ }^\circ\text{C}$); t_0 为恒温层温度(取 $14.5\text{ }^\circ\text{C}$)。

$$Q_r = 3.79 \times 10^9 \text{ J/m}^2$$

③ 储层可采热储存量与地热井开采 100a 排放热量保持均衡所需的地热田面积、合理开采井距及可布井数估算

热储层可采热储存量与地热井开采 100a 排放热量保持均衡所需的地热田面积 F :

$$F = Q_w / Q_r = 4.70 \times 10^{15} / 3.79 \times 10^9 = 1.24 \times 10^6 \text{ m}^2$$

按圆面积估算热水井影响半径: $R = 628.41\text{ m}$; 热水井的合理井距为 $2R = 1\,256.82\text{ m}$ 。

考虑到随着开采年限的增加,可能造成地热井间相互干扰和涌水量递减,计算可布井数时以 2 倍面积计算,面积按距曹县城区较近的许庄复合地热储面积 $23.93 \times 10^6 (\text{m}^2)$ 计。可布井数 $N = 2.393 \times 10^7 / 2.64 \times 10^6 \approx 9$ (眼)。

④ 可采资源量计算

$$Q_{\text{可}} = 9 \times 38.5 \times 24 \times 365 = 303.53 \text{ 万 m}^3/\text{a}$$

计算结果:在开采区及周边条件不变条件下,开采年限为 100 a,地下热水可开采量为 $303.53 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。

(2) 奥陶系热储层地热井

奥陶系热储层地热井可开采量为 $101 \text{ m}^3/\text{h}$, 100 a 可开采地下热水所释放的总热能 Q_w 为 $1.58 \times 10^{16} \text{ J}$,折合标准煤 $5.40 \times 10^5 \text{ t}$ 。计算热储层可采热储存量与地热井开采 100 a 排放热量保持均衡所需的地热田面积为 $4.93 \times 10^6 \text{ m}^2$,按圆面积估算热水井影响半径: $R = \sqrt{F/\pi} = 1\,253 \text{ m}$,热水井的合理井距为 $2R = 2\,506 \text{ m}$ 。

计算可布井数时以 2 倍面积计算,可布井数

$$N = 23.93 \times 106 / 9.86 \times 10^6 \approx 2(\text{眼})。$$

$$Q_{\text{可}} = 2 \times 101 \times 24 \times 365 = 176.95 \text{ 万 m}^3/\text{a}$$

在开采区及周边条件不变条件下,开采年限为 100 a,奥陶系热储层地下热水可开采量为 $176.95 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。

5.2.2 开采期末最大降深预测

为了预井距的合理性,预测开采期末的水位变化,在开采期群井常流量抽水时,若概化成梅花井群,则开采中心水位最大降深为:

$$S_{\text{max}} = \frac{nQ_i}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r^2} \quad (10)$$

式中: S_{max} 为开采区中心水位最大埋深(m); Q_i 为开采区单井涌水量(奥陶系及明化镇组热储层地热井分别为 $2\,424 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $924 \text{ m}^3/\text{d}$); T 为热储层导水系数(奥陶系及明化镇组热储层地热井分 $122.50 \text{ m}^2/\text{d}$ 和 $108.36 \text{ m}^2/\text{d}$); a 为热储层压力传导系数(奥陶系及明化镇组热储层地热井分别为 $6.07 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{d}$ 和 $5.42 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{d}$); t 为开采期限(均按 100 a 计); r 为井间距离(奥陶系及明化镇组热储层地热井分别为 $2\,506 \text{ m}$ 和 $1\,256.86 \text{ m}$); n 为布井数(奥陶系及明化镇组热储层可布井数为 2 眼和 9 眼)。

计算结果表明:若按上述方案布设井孔,明化镇组热储开采期末开采中心最大水位降深为 62.61 m ,奥陶系热储层最大降深为 28.29 m ,若明化镇组热储地热井按静水位埋深 8.10 m ,水跃值按 10 m 计,开采期末最大水位埋深为 80.70 m ;奥陶系热储地热井按静水位埋深 12.74 m ,水跃值按 6 m 计,开采期末最大水位埋深为 42.73 m 。

6 地热水资源量评价

区内新近系明化镇组和奥陶系热储层中赋存较丰富的热水资源。经初步计算:热水静储水总量 $7.75 \times 10^9 \text{ m}^3$,静储热水资源量 $9.54 \times 10^{17} \text{ J}$ 。施工的 CD1 地热井 100 a 可开采地下热水所释放的总热能 Q_w 为 $4.70 \times 10^{15} \text{ J}$,与其热能保持平衡所需的热储层面积为 $1.24 \times 10^6 \text{ m}^2$,按 2 倍面积计算许庄复合地热储可布井数为 9 眼,开采期限 100 a 可开采地热水总量为 $303.53 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。奥陶系热储层地热井 100 a 可开采地下热水所释放的总热能 Q_w 为 $1.58 \times 10^{16} \text{ J}$,折合标准煤 $5.40 \times 10^5 \text{ t}$,计算热储层可采热储存量与地热井开采 100 a 排放热量保持均衡所需的地热田面积为 $4.93 \times 10^6 \text{ m}^2$,按 2 倍面积计算许庄复合地热储可布井数为 2 眼,开采期限 100 a 地下热水可开采总量为 $176.95 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。

7 地热水的开发利用评价

7.1 地热水对金属的腐蚀评价

对地热流体腐蚀性的研究,当热水中氯离子含量超过 25% 摩尔当量时,采用拉申腐蚀指数进行评价。拉申腐蚀指数计算公式为:

$$LI = (Cl + SO_4) / ALK \quad (11)$$

式中: LI 为拉申腐蚀指数; Cl 为氯化物或卤化物浓度(mg/L); SO_4 为硫酸盐浓度(mg/L); ALK 为总碱度(mg/L); Cl, SO_4 以等当量的 $CaCO_3$ (mg/L)表示。计算本地热水的拉申腐蚀指数为 18.16(大于 10),该地热水对金属有强腐蚀性。

7.2 地热水对混凝土的侵蚀评价

地热水对混凝土的侵蚀主要为分解侵蚀和结晶侵蚀。分解侵蚀作用与水的化学成分和水泥类型有关。分解侵蚀指标为 pH_s , pH 值和游离 CO_2 。结晶性侵蚀主要是硫酸侵蚀, SO_4^{2-} 的含量是结晶性侵蚀评价指标。

分解侵蚀指数 pH_s 计算:

$pH_s = [rHCO_3^- / (0.15rHCO_3^- - 0.025)] - K_1$ (12)
式中: $rHCO_3^-$ 为水中 HCO_3^- 含量($mmol/L$); K_1 为常数(0.3~0.5)。

$[CO_2]$ 浓度计算: $[CO_2] = a[Ca^{2+}] + b + K_2$ (13)
式中: $[Ca^{2+}]$ 为水中钙离子含量(mg/L); K_2 为常数(15~20)。 a 和 b 为依据 $rHCO_3^-$ 含量和 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的总量查表。

该井地热水对普通水泥的建筑有结晶性侵蚀,而对抗硫酸盐水泥无侵蚀性;对普通和抗硫酸盐两种类型的水泥均无分解性侵蚀。

7.3 地热水结垢趋势评价

碳酸钙垢:由于该井地热水中氯离子、硫酸根离子含量较高,采用拉申腐蚀指数进行判断。经前述拉申腐蚀指数计算结果,该地热水拉申腐蚀指数为 18.16(大于 10.0),因此不形成碳酸钙垢。硫酸钙垢:地热水硫酸钙生成趋势定性估算,采用 $R.S$ 相对饱和度,计算公式为:

$$R.S = 10^{(\log ppm Ca^{2+} + \log ppm SO_4^{2-} - \log K)} \quad (14)$$

式中: K 是温度和水中总固形物含量有关的常数;当 $R.S < 1$ 时无硫酸钙垢生成;当 $R.S > 1$ 时可生成硫酸钙垢;该地热井 $[Ca^{2+}] = 107.60$ (mg/L), $[SO_4^{2-}] = 1588.66$ (mg/L), 温度 $T = 48^\circ C$, 矿化度为 3957.52(mg/L)。经计算: $R.S > 1$,故可生成硫酸盐垢^[8]。

硅酸盐垢:硅酸盐垢也是采用相对饱和度 $R.S$ 来判断^[9-11],计算公式为:

$$R.S = SiO_2(mg/L) / (2.466 \times 10^4 \times e^{-1553/T}) \quad (15)$$

式中:当 $R.S < 1$ 时无硅酸钙垢生成;当 $R.S > 1$ 时可生成硅酸钙垢;该地热井 $[SiO_2] = 21.00$ (mg/L),

$T = 48^\circ C$ 。

经计算: $R.S > 1$,故可生成硅酸钙垢。

7.4 地热井采暖供热评价

该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(换热技术)。考虑地热水的医疗洗浴价值,宜于梯级利用,设计回水温度以 $40^\circ C$ 为宜。按室内温度 $18^\circ C \pm 2^\circ C$, 室外温度为 $-7^\circ C$ 设计,地热水密度查表为 $993 kg/m^3$ 。

则供暖面积可按下式计算:

$$F = C \cdot GW(t_1 - t_2 - 2^\circ C) / 3.6q \quad (16)$$

式中: F 为可供热面积(m^2); C 为地热水的比热容($4157492 J/m^3 \cdot ^\circ C$); GW 为地热井出水量($38.50 m^3/h$); t_1 为地热井出水口温度(取 $48^\circ C$); t_2 为地热水回水温度(取 $40^\circ C$); q 为综合供热指标(取 $50000 Jm^2 \cdot h$)。经计算,该地热井供热面积可达 $5335 m^2$,每年仅供热收入可达 21 万元。每年供热按 3 个月计,供热进水和最终弃水温度分别为 $48^\circ C$ 和 $30^\circ C$ 。在每一供暖期从地下热中累计利用热量 $6.22 \times 10^{12} J$,折合标准煤约 212 t,可节约每年用于供暖的燃煤资金 25.44 万元。

8 结论

(1)该区热储层有两个,新近纪明化镇组碎屑岩孔隙含水热储层、寒武—奥陶系岩溶裂隙型含水热储层及许庄复合热储层,地热水为低温地热资源的温热水和热水。

(2)CD1 地热井的成功实施将进一步缩小城区及附近地区找热盲区,为大规模开发地热资源利用提供可靠的地质依据。

(3)为合理利用地热资源,获得更好的经济效益和社会效益,需合理有序开发,提高地热资源的利用率。

参考文献:

- [1] 孔庆友,邹国强,方宝明,等.山东省矿产资源储量报告编制指南[M].济南:山东省地图出版社,2010:274-280.
- [2] 颜世强,刘桂仪,孟庆峰,等.德州市地热资源及开发利用[J].山东国土资源,2001,17(2):48-52.
- [3] 王福花,侯欣英,孙鹏,等.山东菏泽地区地热田地质特征[J].山东国土资源,2008,24(4):44-47.
- [4] GB/T11615-2010.地热资源地质勘探规范[S].2010.
- [5] DZ40-85.地热资源评价方法[S].

- [6] 薛禹群, 朱学愚. 地下水动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1978. 134.
- [7] 供水水文地质手册编写组. 供水水文地质手册第二册水文地质计算[M]. 北京: 地质出版社, 1985. [10] 韦梅华, 田廷山, 孙燕冬, 等. 四川省康定地区地热水结垢趋势分析[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(5): 132-138.
- [8] 蔡义汉. 地热直接利用[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004. [11] 祁福利, 李永利, 张烽龙, 等. 黑龙江省大庆市黑鱼湖地区地热资源评价[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(3): 139-142.
- [9] 王奎峰, 杨德平, 宋香锁, 等. 临清市馆陶组地热水化学特征及结垢腐蚀性研究[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(1): 130-

Evaluation on Geothermal Resources and Geothermal Water Resources in Caoxian County of Shandong Province

ZHU Chang, FEI Ruoqiang, SONG Shuailiang, MA Teng, ZHANG Li, LI Jun

(Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100, China)

Abstract: Through geophysical, hydrogeological investigation and drilling and pumping tests, combining with regional hydrological, meteorological and geological data, dgeological conditions of geothermal and thermal energy storage conditions in Caoxian county have been studied primarily. Combining with investigation of CD1 and exploration of geothermal holes, reserves of karst fractured geothermal reservoir and Xuzhuang composite geothermal reservoir have been calculated, and development and utilization of geothermal water resources have been evaluated.

Key words: Geothermal geology; the pores, karst fractured reservoir; compound geothermal reservoir; geothermal water; calculation and evaluation; Caoxian county in Shandong province