

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.02.04

京津合作示范区地热资源评价与综合利用分析

赵艳婷¹, 沈健¹, 徐欣欣², 闻爽¹, 孙晓林¹, 董路飞¹

(1.天津地热勘查开发设计院,天津 300250; 2.天津泰合热力有限公司,天津 300000)

摘要:本文通过分析京津合作示范区的地质构造及地热地质条件,结合用地规划和地热资源规划,分别对该区浅层地热能、馆陶组热储、雾迷山组热储和深孔换热的开发潜力、经济性、适宜开采程度进行分析,提出了各类地热资源开发利用保护对策,以期实现资源的综合利用。分析认为区内浅层地热能资源潜力大,馆陶组和雾迷山组热储层可采资源量丰富,在研究区西北部施工深孔换热井具有较高经济性。

关键词:地热资源;浅层地热能;水热型地热资源;深孔换热;京津合作示范区

中图分类号: P314

文献标识码: A

文章编号: 2097-0188(2023)02-0024-07

近年来,在全球能源革命和“双碳”目标的推动下,“清洁、低碳、高效、多元”已成为现代能源体系建设的目标^[1-2]。地热资源具有“清洁低碳、分布广泛、资源丰富、安全稳定”的优点,开发利用受到越来越多的关注^[3],在我国能源结构转型中发挥重要作用^[4-6],成为清洁可再生能源的重要组成。我国北方地区在冬季供暖时存在巨大能源需求,推进北方地区冬季清洁供暖,是从源头上治理雾霾的关键一环^[7]。汪集暘等将地热资源按深度划分为浅层、中深层和超深层地热资源^[8]。天津地区浅层地热资源分布广^[9-10],至2021年,利用面积达到1 297万m²,中深层水热型地热资源发育^[11-14],至2021年,利用规模达到5 287万m³^[15],中深层深井换热系统也取得初步成果。三类地热资源的开发实现了资源的综合利用,弥补了能源供需在时间和空间上的不平衡,助力节能减排和环境保护^[16]。

京津合作示范区位于天津市宁河区西南部,占地面积约38 km²,拟采用地热资源作为清洁供暖热源。周边开发利用的地热资源包括浅层地热能资源和明化镇组、馆陶组、奥陶系和雾迷山组4个热储的水热型地热资源。明化镇热储受回灌困难影响,十四五规划中不再部署新的勘查工作,奥陶系埋深接近4 000 m,且水温低于雾迷山组,开发利用经济性受限,本文主要针对区内浅层地热资源中深层地热资源(馆陶组和雾迷山组)开展分析研究,对中深层深

井换热系统利用简要分析。

1 研究区概况

地质构造上,研究区处于Ⅲ级构造单元沧县隆起和黄骅拗陷的交界处,F1断裂穿过研究区西北部,断裂以东为黄骅拗陷的次级构造单元北塘凹陷,以西为沧县隆起的次级构造单元潘庄凸起^[17]。

1.1 地层特征

北塘凹陷内4 000 m以浅地层由新至老为新生界(第四系、新近系、古近系)和中生界;潘庄凸起内4 000 m以浅由新至老发育有新生界(第四系、新近系)、中生界、古生界石炭-二叠系、奥陶系、寒武系、中新元古界(青白口系景儿峪组和龙山组和蓟县系雾迷山组)^[17-18]。

1.1.1 第四系(Q)

全区普遍分布,厚度280~320 m,以北西向为轴向两侧逐渐加厚^[19]。从图1可以看出,北部第四系成因类型由西向东分别是冲海积砂质粘土、泻湖积砂质粘土和湖沼积砂质粘土,南部为湖沼积砂质粘土。岩性比较单一,主要由粘土、粉质粘土、粉砂、细砂组成^[20]。第四系地质结构自上而下划分为全新统(Q_h)、上更新统(Q_{p3})、中更新统(Q_{p2})和下更新统(Q_{p1})。

1.1.2 新近系(N)馆陶组(Ng)

馆陶组(Ng)分为上、中、下三段。上段岩性为砂岩夹泥岩、砂岩含砾,岩性较粗;中段岩性以泥岩为

收稿日期:2023-03-01

资助项目:天津市国土资源和房屋管理局项目“东丽湖地表水蓟县系雾迷山组热储回灌工程”(国土房任[2014]25号)

作者简介:赵艳婷(1988-),女,硕士,工程师,毕业于中南大学,现主要从事于水文地质(回灌)工作,E-mail:707663695@qq.com。

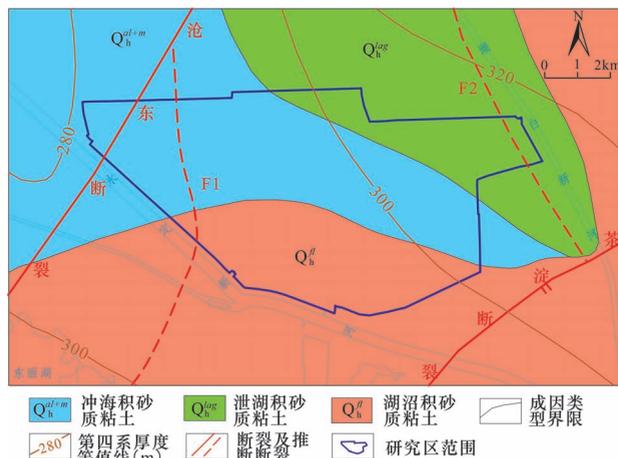


图1 第四系厚度等值线图

Fig.1 Quaternary thickness contour map

主,夹薄层砂岩;下段岩性以砂岩、砂砾岩为主,夹有薄层泥岩,形成粗-细-粗完整沉积旋回,底板埋深1 500~1 950 m^[19-20],厚度104~400 m。

1.1.3 蓟县系(Jx)

从图2和图3可以看出,蓟县系地层在F1断裂两侧埋深差异较大,断裂东侧顶板埋深大于4 000 m,断裂西侧埋藏较浅,顶板埋深为1 800~2 600 m,岩性

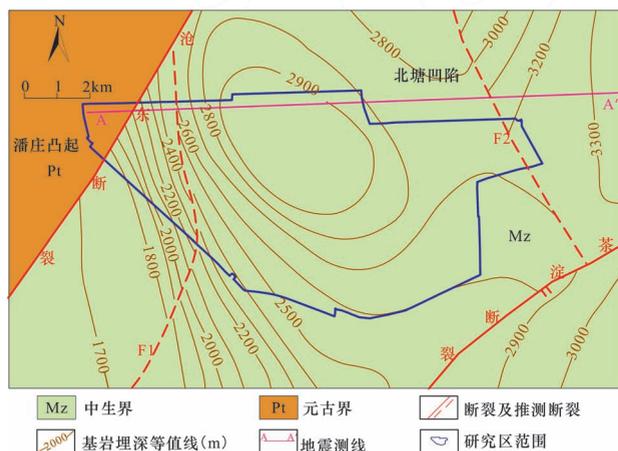


图2 研究区基岩地质图

Fig.2 Geological map of bedrock in the research area

上部以白云岩为主,中下部为厚层-巨厚层状白云岩,夹灰黑色燧石条带。岩溶、裂隙较为发育^[21-22]。

1.2 地质构造特征

发育的断裂主要有沧东断裂、茶淀断裂、F1和F2。沧东断裂由数条倾向SE、规模不等的断裂组成,总体走向NNE,断面倾向SE,倾角35~50°。茶淀断裂的走向NE,倾向SE,表现为一条正断层,断层落差北大南小。F1为张性正断层,走向NNE,倾向SEE,倾角50°左右,垂直断距达2 900 m。F2为正断层,走向NNW,倾向NE。

2 浅层地热资源评价

浅层地热能的储集、运移、开发利用受区域地质、水文地质及工程地质条件的制约^[23]。目前天津市以地埋管地源热泵系统为主要的开发利用方式^[24]。

2.1 评价方法及参数选用

由于天津市潜水位过浅(一般1~2 m),储存在包气带中的浅层地温能没有开发利用价值,因此本文计算时只考虑了浅层含水层中的地热容量。依据《浅层地热能勘查评价规范》^[25],将研究进行1 km×1 km正方形剖分,采用体积法计算研究区第四系(200 m以内)浅层地热容量。岩土体平面综合导热率值和平均体积比热容值分别取1.54 W/(m·℃)和2030 kJ/(m³·℃)^[26]。采用公式(1~3)进行计算。

$$Q_R = \sum_i Q_{Si} + \sum_i Q_{Wi} \quad (1)$$

$$Q_{Si} = \rho_{Si} C_{Si} (1 - \phi_i) M_0 d_i \quad (2)$$

$$Q_{Wi} = \rho_w C_w \phi_i M_0 d_i \quad (3)$$

式中, Q_R 为浅层地热容量,kJ/℃; Q_{Si} 为第*i*个正方形岩土体骨架的热容量,kJ/℃; Q_{Wi} 为第*i*个正方形岩土体所含水中的热容量,kJ/℃; ρ_{Si} 为第*i*个正方形岩土体密度,g/m³; C_{Si} 为第*i*个正方形岩土体骨架的比热容,kJ/(kg·℃); ϕ_i 为第*i*个正方形岩土体的孔隙

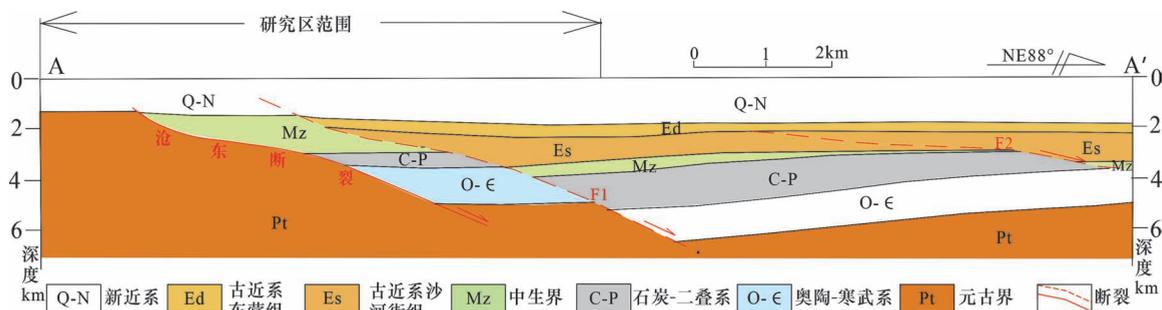


图3 剖面地质解释图

Fig.3 Sectional geological interpretation map

率,%; M_0 为正方形的面积, km^2 ; d_i 为第*i*个正方形计算厚度, m ; ρ_w 为水密度, kg/m^3 ; C_w 为水比热容, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ 。

换热功率采用公式(4)计算。根据研究区规划和浅层地热能研究成果,夏季单井延米换热量取 $54.17\text{ W}/\text{m}$,冬季取 $36.67\text{ W}/\text{m}$;每 1 km^2 有 2.51% 面积可布孔,布井间距取 5 m ,计算出每 km^2 可钻换热孔数为 $1\ 278$ 个,适宜开发利用面积约 25.14 km^2 ,共可钻换热孔数为 $32\ 153$ 个;城镇村建设用地占总面积的 13.94% ,新建绿地应不低于 30% ,另考虑部分绿化不能施工埋管,该比例参考经验值取 60% ,得出埋管土地利用系数为 2.51% 。

$$Q_q = Q_h \times n \times \tau \times 200 \quad (4)$$

式中, Q_q 为埋管地源热泵系统换热功率, kW ;

表1 浅层地热能资源潜力计算汇总表

Table 1 Calculation of resource potential of shallow geothermal resources

200 m以浅热容量/ $(\text{kJ}/^\circ\text{C})$		换热功率/ kW		换热功率/ kW 考虑衰减		可服务面积/ m^2	
浅层岩土体	浅层水体	夏季	冬季	夏季	冬季	制冷	供暖
6.57×10^{12}	7.21×10^{12}	20.90×10^4	14.15×10^4	17.77×10^4	12.03×10^4	189.40×10^4	313.39×10^4

注:考虑土地利用系数。

发利用,埋管换热器和热泵机组组成地源热泵系统,可用公式(5)、(6)计算空调末端负荷^[23]。其中, COP_1 为水源热泵机组的制冷性能系数,取 5.8 ; COP_2 为水源热泵机组的供热性能系数,取 4.3 。

$$Q_1' = Q_1 \times \left(1 + \frac{1}{COP_1}\right) \quad (5)$$

$$Q_2' = Q_2 \times \left(1 - \frac{1}{COP_2}\right) \quad (6)$$

式中, Q_1' 为夏季向土壤排放的换热功率; Q_1 为夏季空调末端能提供的总冷负荷 kW ; Q_2' 为冬季从土壤吸收的换热功率; Q_2 为冬季空调末端能提供的总热负荷, kW ; COP_1 为设计工况下水源热泵机组的制冷性能系数; COP_2 为设计工况下水源热泵机组的供热性能系数。

计算结果表明夏季能提供的建筑总冷负荷为 $15.15 \times 10^4\text{ kW}$,冬季能提供的总热负荷为 $15.67 \times 10^4\text{ kW}$ 。城市公共建筑冬季供暖负荷一般为 $50\text{ W}/\text{m}^2$,夏季制冷负荷为 $80\text{ W}/\text{m}^2$,进一步计算出冬季可供暖面积为 $313.39 \times 10^4\text{ m}^2$,夏季可制冷面积 $189.40 \times 10^4\text{ m}^2$,年可利用热能(ΣW_i)为 $2.10 \times 10^9\text{ MJ}$,折合标准煤($M = \Sigma W_i / 4.1868 / 7$)为 $7.16 \times 10^4\text{ t/a}$,减排二氧化碳($C = 2.386 M$)为 $1.71 \times 10^5\text{ t/a}$ 。

Q_h 为埋管地源热泵系统单井换热功率, kW ; n 为计算面积内可钻孔数量; τ 为土地利用系数。

2.2 热容量及换热功率计算

计算结果表明研究区内 200 m 以浅浅层地热容量为 $13.77 \times 10^{12}\text{ kJ}/^\circ\text{C}$,其中浅层岩土体的地热容量为 $6.57 \times 10^{12}\text{ kJ}/^\circ\text{C}$,浅层水体的地热容量为 $7.21 \times 10^{12}\text{ kJ}/^\circ\text{C}$,夏季换热功率为 $20.90 \times 10^4\text{ kW}$,冬季换热功率为 $14.15 \times 10^4\text{ kW}$,考虑系统长期运行换热能力衰减的问题,群孔的总换热能力=单孔换热能力 \times 换热孔数量 $\times 0.85$ 系数,研究区以埋管换热方式开发利用浅层地热能,夏季换热功率为 $17.77 \times 10^4\text{ kW}$,冬季换热功率为 $12.03 \times 10^4\text{ kW}$ (表1)。

2.3 资源潜力及效益评价

浅层地热能依靠热泵机组提取冷热量后进行开

3 水热型地热资源评价

3.1 热储层特征

研究区内发育的水热型地热资源具有较高利用价值的是馆陶组 and 蓟县系雾迷山组^[27-28]。其中馆陶组热储单井出水量为 $69 \sim 112.78\text{ m}^3/\text{h}$,出水温度为 $55 \sim 63\text{ }^\circ\text{C}$ 。蓟县系雾迷山组热储单井出水量为 $70 \sim 175\text{ m}^3/\text{h}$,井口稳定流温为 $80 \sim 102\text{ }^\circ\text{C}$ 。

3.2 温度场特征

区内地热盖层平均地温梯度为 $2.5 \sim 5.5\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ (图4)。地温场受沧东断裂影响较大,盖层平均地温梯度在沧东断裂带附近较高且变化较大,远离断裂带,梯度变化较小。

3.3 资源潜力评价

3.3.1 研究区馆陶组热储层热量计算

本次研究应用热储法对馆陶组热储层地热资源量进行计算^[29],计算公式如下:

$$Q_r = A \times H \times C \times (T_r - T_0) \quad (7)$$

$$\text{其中, } C = \rho_r \times C_r \times (1 - \Phi) + \rho_w \times C_w \times \Phi \quad (8)$$

式中, Q_r 为热储中储存的热量, J ; A 为研究面积, m^2 ; H 为热储层厚度, m ; C 为热储岩石和地热流体的平均体积比热容, $\text{J}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; T_r 为热储层温度, $^\circ\text{C}$; T_0 为基准温度, $13.5\text{ }^\circ\text{C}$; ρ_r 为热储岩石密度,

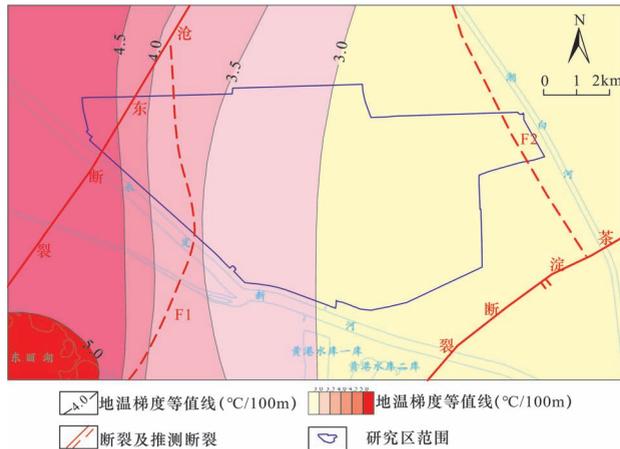


图4 研究区盖层平均地温梯度等值线图

Fig.4 Contour map of the average geothermal gradient of the caprock in the study area

kg/m³; C_r为热储岩石比热, J/kg·°C; Φ为热储岩石的孔隙度; ρ_w为地热流体密度, kg/m³; C_w为地热流体比热, J/kg·°C。

根据馆陶组热储层的空间分布形态、各项地质参数及现有的钻孔资料等因素,将热储层在平面上进行三角形剖分(图5)。计算参数见表2,结果见表3、表4。

3.3.2 研究区馆陶组热储层潜力及效益评价

馆陶组热储布井时综合考虑采、灌对井合理井距(公式9)和开采权益保护半径(公式10),认为采灌对井之间的合理井底距离应大于694 m,同层开采井之间合理井距应大于1 228 m,区内可每1.25×1.25 km布置一对地热井,共计6对馆陶组地热采灌对井,地热流体可采量为105×10⁴ m³/a,约21 093.72 kW,年开采累计可利用的热能量为3.68×10⁸ MJ,按照《地热

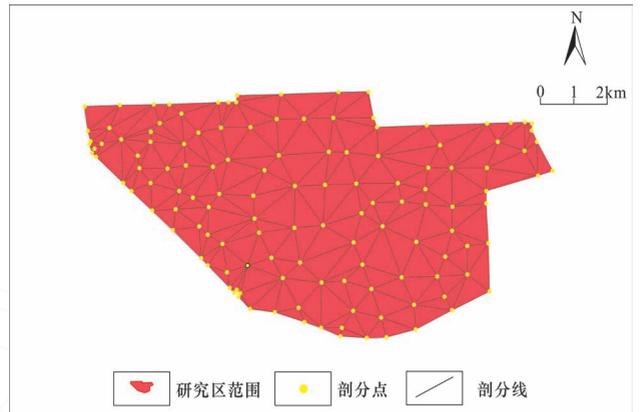


图5 水热型地热资源评价剖分图

Fig.5 Dissection map of hydrothermal geothermal resources

资源地质勘查规范》^[31]计算,折合标准煤1.25×10⁴ t,减排二氧化碳2.99×10⁴ t/a。

$$D = \left[\frac{3Q_{\text{回}}t}{\pi bn} \right]^{1/2} \quad (9)$$

式中,D为对井井底距离,m;Q_回为总回灌量,m³/a;b为热储层有效厚度,m;n为热储层孔隙度,%;t为冷热水混和锋面到达开采井的时间,按100年。

$$R_{\text{热}} = \left[\frac{tQ_{\text{采}}f}{\pi b\lambda w} \right]^{1/2} \quad (10)$$

式中,R_热为开采100年地热井权益保护半径,m;Q_采为地热井开采量,m³/a;f为流体比热/热储岩石比热的比值;λ_w为地热回率。

3.3.3 研究区雾迷山组热储层潜力及效益评价

研究区雾迷山组热储(4 000 m以浅)分布在西北部,面积较小,本文对雾迷山组热储进行潜力分析

表2 馆陶组热储参数表^[30]

Table 2 Thermal storage parameters of Guantao Formation

热储层	热储平均温度 Tr /°C	孔隙度 Φ /%	岩石密度 ρ _r /(kg/m ³)	岩石比热容 C _r /(J/kg·°C)	地热流体密度 ρ _w /(kg/m ³)	地热流体比热 C _w /(J/kg·°C)
馆陶组	66.67	34.5	2103	910	980.76	4180

表3 馆陶组资源量计算结果一览表

Table 3 Calculation results of Guantao Formation resources

热资源量类型	热储层	热资源量/(10 ¹⁸ J)	热资源量换算		
			折合标准煤/(10 ⁴ t)	折合原油/(10 ⁴ t)	折合发电量/(10 ¹¹ kW·h)
热资源总量		0.80	27.30	19.09	2.22
地热流体富集段资源量	馆陶组	0.43	14.67	10.26	1.19
可回收热资源量		0.11	3.67	2.57	0.30

注:基准温度为13.5℃。

表4 馆陶组地热流体静储量计算结果一览表

Table 4 Calculation results of geothermal fluid static reserves of Guantao Formation

热储层	弹性储量/(10 ⁸ m ³)	容积储量/(10 ⁸ m ³)	静储量/(10 ⁸ m ³)
Ng	0.02	20.31	20.33

时,综合考虑采、灌对井合理井距(公式11)及开采权益保护半径(公式10),认为采灌对井之间的合理井底距离应大于667 m,同层开采井之间合理井距应大于1 986 m,研究区内共可布置3对雾迷山组地热采灌对井,地热流体可采量为 $70 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,约18 562.55 kW,年开采累计可利用的热能量为 $3.23 \times 10^8 \text{ MJ}$,折合标准煤 $1.10 \times 10^4 \text{ t}$,减排二氧化碳为 $2.63 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。

$$D = \left[\frac{3Q_{\text{回}} \rho_w \beta_w}{\pi b \rho_a \beta_a} \right]^{1/2} \quad (11)$$

式中, $\rho_w \beta_w$ 为25℃时流体密度与比热之乘积, $\text{MJ}/\text{m}^3 \cdot \text{℃}$; $\rho_a \beta_a$ 为25℃时流体、岩石骨架的密度与比热之乘积的均值, $\text{MJ}/\text{m}^3 \cdot \text{℃}$ 。计算参数见表5。

表5 合理井距和保护半径计算参数表

Table 5 Calculation parameter table of reasonable well spacing and protection radius

热储层	$Q_{\text{回}}/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	b/m	n/%	t/a	$Q_{\text{采}}/(\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	f	λ_w	$\rho_w \beta_w$ /MJ·m ³ ·℃ ⁻¹	$\rho_a \beta_a$ /MJ·m ³ ·℃ ⁻¹
Ng	174 240	100	34.5	100	174 240	1.7	0.25		
Jxw	232 320	90		100	232 320	3	0.25	4.04	2.24

表6 深孔换热井钻遇地层情况表

Table 6 Formation table of deep hole heat exchange well drilling

地 层	底板埋深/m			平均厚度	主要岩性
	最小	最大	平均	/m	
第四系(Q)	280	290	285	285	土黄色、浅灰色粘土、粉质粘土、粉砂、细砂
新生界 (Cz)					
新近系明化镇组 (Nm)	1 450	1 470	1 460	1 175	上段以砂岩为主,夹有泥岩,下段以泥岩为主,夹有砂岩、粉砂岩
新近系馆陶组(Ng)	1 600	1 650	1 625	165	上段为砂岩夹泥岩、砂岩含砾;中段以泥岩为主,夹薄层砂岩;下段以砂岩、砂砾岩为主,夹有薄层泥岩
中新元古界 (Pt ₂ +3)					
蓟县系雾迷山组 (Jxw)		1 730		105	以灰白、灰黑色白云岩为主

高。研究区全区为地理管地源热泵开发利用适宜区,建议小型单体公共建筑优先选择以地理管地源热泵方式开发利用浅层地热资源。

5.2 水热型地热资源开发利用建议

5.2.1 馆陶组热储

考虑断层发育情况和砂体走向,馆陶组开采井与回灌井布置为北西走向,垂直北东向断裂。为安全起见,可每 $1.25 \times 1.25 \text{ km}$ 布置一对地热井,既能满足热储的影响半径要求,又可满足对井井底距离的要求;馆陶组顶板埋深1 440~1 580 m,底板埋深1 560~1 920 m,厚度118~397 m。建议采用射孔成井工艺,射孔段长度依据经验值取100 m。预测开采井的单井涌水量为60~100 m³/h,井口流体温度为53~70℃,单井回灌能力在60~70 m³/h。

4 深孔换热潜力评价

深孔换热并热储段温度越高,经济性越好。一般情况下,80~90℃就具有较好的深孔换热条件。研究区西北部地温梯度可达4.5℃/100 m,在此处施工一眼地热井,热储段温度达到80~90℃,其地层深度约为1 500~1 730 m,热储层为馆陶组或雾迷山组。地层预测见表6。

5 综合利用分析

5.1 浅层地热能开发利用方向

根据天津市浅层地热能开发利用特点,采暖面积不大于1万m²的建筑适宜采用地理管地源热泵进行供暖制冷,所需地理管换热孔数少,工程经济性

5.2.2 雾迷山组热储

雾迷山组热储布井时需综合考虑采、灌对井合理井距开采权益保护半径,为安全起见,每2.0×2.0 km布置一对地热井,既能满足热储的影响半径要求,又可满足对井井底距离的要求。根据以上要求,研究区内共可布置3对雾迷山组地热采灌对井。沧东断裂以西的西北角是蓟县系雾迷山组地热井成井有利地段,预测研究区内雾迷山组地热井单井出水量一般为80 m³/h,回灌量为80 m³/h,井口稳定流温为80℃,热储层有效厚度为90 m。

5.3 深孔换热开发利用方向

深孔换热比较理想的施工地点是研究区地温梯度值较高的西北部,较浅的井深即可达到较高的温度。井身结构采用一径到底或二开钻进工艺,成井

后,安装井内换热器。上部井段安装无规共聚中心管,下部井段安装纤维复合中心管。中心管下装分水器、聚能换热装置、TBS 支架等。

6 结论

(1)研究区适宜以地埋管地源热泵方式开发利用浅层地热能,夏季换热功率为 17.77×10^4 kW,冬季换热功率为 12.03×10^4 kW,可满足 189.40×10^4 m² 建筑夏季制冷和冬季供暖,折合标准煤 71 506 t/a。

(2)研究区馆陶组热储层地热资源总量为 0.80×10^{18} J,热流体静储量为 20.33×10^8 m³,馆陶组可开采量为 107.12×10^4 m³/a,雾迷山组可开采量为 69.70×10^4 m³/a。地热流体年开采累计可利用的热能量为 3.23×10^8 MJ,产能为 18 561.48 kW,可满足约 120.39×10^4 m² 建筑的冬季供热需求,折合标准煤 23 575.87 t。

(3)研究区全区为浅层地热开发利用适宜区,建议小规模公共建筑优先利用浅层地热资源;区内馆陶组热储在 F1 断裂以东广泛分布,埋深浅,可布设 6 对馆陶组采灌对井;雾迷山组热储分布在沧东断裂以西,埋深浅,水温高,可布置 3 对采灌对井;深孔换热井适宜在研究区西北部施工,井深约为 1 500 ~ 1 730 m,热储段温度可达 80 ~ 90 ℃。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 国家能源局综合司关于公开征求《关于促进地热能开发利用的若干意见(征求意见稿)》意见的公告 [EB/OL]. (2021-04-14) [2022-05-01]. http://www.nea.gov.cn/2021-04/14/c_139880250.htm.
- [2] 王贵玲,陆川. 碳中和目标驱动下地热资源开采利用技术进展[J]. 地质与资源, 2022, 31(3):412-425+341.
- [3] 王贵玲,张薇,梁继运,等. 中国地热资源潜力评价[J]. 地球学报, 2020, 38(4):449-459.
- [4] 汪集旻,庞忠和,孔彦龙,等. 我国地热清洁取暖产业现状与展望[J]. 科技促进发展, 2022, 16(3-4):294-298.
- [5] 自然资源部中国地质调查局,国家能源局新能源和可再生能源司,中国科学院科技战略咨询研究院. 中国地热能发展报告(2018)[M]. 北京:中国石化出版社, 2018.
- [6] 王贵玲,刘彦广,朱喜,等. 中国地热资源现状及发展趋势[J]. 地学前缘, 2017, 1-9.
- [7] 庞忠和,孔彦龙,庞菊梅,等. 雄安新区地热资源与开发利用研究[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(11):1224-1230.
- [8] 汪集旻,孔彦龙,程远志. 中国地热资源分布与开发利用[A]. 国际清洁能源产业发展报告(2019)[C]. 国际清洁能源论坛(澳门):国际清洁能源论坛(澳门)秘书处, 2019:81-88+584.
- [9] 刘东林,沈建,岳丽燕. 天津市武清区深、浅层地热开发利用分析[J]. 中国房地产, 2018(28):75-79.
- [10] 唐永香,李嫒嫒,俞初安,等. 天津滨海新区浅层地热资源评价及开发利用对策分析[J]. 地质找矿论丛, 2014, 29(04):622-627.
- [11] 刘杰,宋美钰,秦莉红,等. 天津地区雾迷山组地热资源潜力区划[J]. 地质找矿论丛, 2019, 34(02):321-325.
- [12] 杨吉龙,汪大明,牛文超,等. 天津地热资源开发利用前景及存在问题[J]. 华北地质, 2022, 45(03):1-6.
- [13] 岳冬冬,李胜涛,贾小丰,等. 天津山岭子地热田雾迷山组热储流体水化学特征[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(36):14847-14853.
- [14] 隋少强,汪新伟,周总瑛,等. 天津岩溶地热田热储特征研究[J]. 地质与资源, 2019, 28(06):590-594+569.
- [15] 殷肖肖,赵苏民,蔡芸,等. 近三十年天津市地热大规模开发热储动态特征研究[J/OL]. 地质学报, 2023:1-17.
- [16] 黄永辉,庞忠和,程远志,等. 深层含水层地下储热技术的发展现状与展望[J]. 地学前缘, 2020, 27(01):17-24.
- [17] 王继革,易志东,靳宝珍,等. 沧东断裂山岭子东段地质构造分析[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(3):189-193.
- [18] 茹洪久,刘东林,胡慧川,等. 天津地热资源评价与综合研究[J]. 中国地质调查, 2018, 5(2):25-31.
- [19] 天津地热勘查开发设计院. 天津市地热资源可持续开发潜力评价报告[R]. 2007.
- [20] 天津地热勘查开发设计院. 天津地区热储工程研究[R]. 2005.
- [21] 刘杰,宋美钰,秦莉红,等. 天津地区雾迷山组地热资源潜力区划[J]. 地质找矿论丛, 2019, 34(2):321-325.
- [22] 林澈,于彦,秦莉红,等. 天津市地热资源开发利用特征及存在问题分析[J]. 地质找矿论丛, 2016, 31(4):592-599.
- [23] 刘九龙,林黎,程万庆. 天津市地下水热源系统适宜性分区[J]. 吉林大学学报, 2012, 42(1):380-385.
- [24] 天津地热勘查开发设计院. 天津山岭子地热田浅层地温能调查报告[R]. 2015.
- [25] 中国地质调查局水文地质环境地质部,北京市地质勘察技术院,中国地质调查局浅层地温能研究与推广中心,等. DZ/T 0225-2009 浅层地热能勘查评价规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [26] 天津地热勘查开发设计院. 天津市浅层地热能资源调查报告[R]. 2010.
- [27] 天津地热勘查开发设计院. 天津市地热资源潜力评价[R]. 2020.
- [28] 天津地热勘查开发设计院. 2019年天津地热资源开发利用动态监测年报[R]. 2019.
- [29] 赵苏民,孙宝成,林黎,等. 沉积盆地型地热田勘查开发与利用[M]. 北京:地质出版社, 2013.
- [30] 天津地热勘查开发设计院. 京津合作示范区地热资源潜力和开采布局研究[R]. 2020.
- [31] 国土资源部储量司,中国矿业联合会地热开发管理专业委员会,北京市地质工程勘察院,等. GB/T 11615-2010 地热资源地质勘查规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2011.

Evaluation and comprehensive utilization analysis of geothermal resources in Beijing–Tianjin cooperation demonstration zone

ZHAO Yanting¹, SHEN Jian¹, XU Xinxin², WEN Shuang¹, SUN Xiaolin¹, DONG Lufei¹

(1. *Tianjin Geothermal Exploration and Development Design Institute, Tianjin 300250, China;*

2. *Tianjin Taihe Thermal Power Co., Ltd., Tianjin 300000, China*)

Abstract : By analyzing the geological structure and geothermal geological conditions of the Beijing-Tianjin cooperation demonstration area, combined with land use planning and geothermal resource planning, this paper analyzes the development potential, economy and suitable mining degree of shallow geothermal energy, Guantao Formation thermal reservoir, Wumishan Formation thermal reservoir and deep hole heat transfer in this area, and puts forward the development, utilization and protection countermeasures, in order to realize the comprehensive utilization of resources. The analysis shows that the shallow geothermal energy resources in the area have great potential, and the thermal reservoirs of Guantao Formation and Wumishan Formation are rich in recoverable resources. It is economical to construct deep hole heat exchange wells in the northwest.

Key words: geothermal resources; shallow geothermal energy; hydrothermal geothermal resources; deep hole heat transfer; Beijing-Tianjin cooperation demonstration zone

Three-dimensional modeling research of geothermal reservoirs on Panzhuang uplift area in Tianjin based on SKUA-GOCAD platform

LIU Jie , ZHAO Kan

(*Tianjin Geothermal Exploration and Development-Designing Institute, Tianjin 300250, China*)

Abstract: With the development of computer technology, three-dimensional modeling technology has gradually been introduced into geoscience field. SKUA-GOCAD software uses advanced algorithms combined with advanced computing techniques to achieve a three-dimensional visual representation of geological results. By collecting the boreholes' data and data of physical parameters of thermal reservoir on Panzhuang uplift area in Tianjin, this paper constructed a three-dimensional geological structure model based on the SKUA-GOCAD platform. The physical properties parameters was added to model and geothermal reservoir was integrated into the model with property modeling. Established property models of the geothermal reservoirs provides a valuable reference for the evaluation of geothermal resources in this area. At the same time, it verifies the reliability of the model which that the comparison of virtual wells and stratum contour diagrams which are generated by SKUA-GOCAD software and the original data and formation drawings is highly similar.

Key words: SKUA-GOCAD; geological modeling; property modeling; geothermal reservoirs