

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.04.05

引用格式: 唐永香,程万庆,赵苏民,等.天津滨海新区深部地热资源评价及有利勘探区圈定[J].中国地质调查,2020,7(4): 37-42.

天津滨海新区深部地热资源评价及有利勘探区圈定

唐永香,程万庆,赵苏民,田光辉,李媛媛,曾梅香,李昊

(天津地热勘查开发设计院,天津 300250)

摘要:天津滨海新区地热与石油资源同盆共存。为了更合理地开发油田地区地热资源,有效降低深部地热资源的开发风险,通过对油区深部东营组的地热资源热储、地温场、沉积相和流体化学等特征进行综合分析,总结了研究区东营组热储的富集规律。在此基础上利用数值模型计算了区内东营组地热资源100 a热流体开采资源量,并进行资源开采潜力评价。以开采潜力评价分区为基础,集成分析了地热资源有利勘探区应具的富油程度、规模大小、温度高低等要素的权重,对区内东营组地热资源有利勘探区进行分区。该研究对油区内深部地热资源的勘查及降低开发风险具有指导意义。

关键词:滨海新区;东营组;资源评价;有利勘探区

中图分类号: P314

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2020)04-0037-06

0 引言

我国系统的油田地热研究始于20世纪80年代初,自90年代以来国内油气工业部门逐渐认识到沉积盆地热体制研究对油气勘探具有重要指示意义。天津滨海新区属于华北沉积盆地,地热与石油是共存于该盆地的2种资源^[1]。凭借“依托油田,发挥优势,降低能耗,并改善油区工作环境”理念^[2],近年来,华北油田、胜利油田、大庆油田、辽河油田等油田区成功地将废弃石油井改造为地热井并投入使用,取得了较好的效果,其中“雄县模式”已成为目前油田区地热供暖利用的典范^[3-4]。已有的大港油田勘探成果表明滨海新区是生油富集区,古近系东营组为研究区近几年新发现的深部地热储层^[5-6]。目前正处于开发利用初级阶段,前人尚未对研究区油田范围内东营组的地热资源进行评价,由于地热资源的储集、运移、开发利用主要受区域地质、构造、热储等条件的制约,且不同区域的资源规模和利用方式存在

较大差异。因此,通过系统分析研究区东营组地层特征、沉积特征、温度场特征及赋存规律等,并进行资源计算及潜力分区研究,可集成相关研究成果以圈定有利勘探区。该研究为滨海新区深部地热资源开发利用提供地质依据,同时也可作为其他油田区开展地热勘查、寻找新的深部热储层提供借鉴。

1 研究区地质特征

1.1 构造特征

研究区经历了前印支期地台稳定发育、印支期南北向挤压褶皱作用、燕山早期NW-SE向挤压逆冲作用、燕山中晚期断块活动、古近纪强烈断陷及新近纪拗陷等多期构造演化,形成了一系列凸凹构造格局,从北往南依次分布了宁河凸起、北塘凹陷、板桥凹陷和歧口凹陷,在一些凸起区东营组受到不同程度的剥蚀。区内发育的断裂主要包括沧东断裂、汉沽断裂、海河断裂和增福台断裂等(图1),并将研究区切割成“西断东翘”的半地堑和箕状盆地^[7-8]。

收稿日期: 2019-09-10; 修订日期: 2020-07-08。

基金项目: 天津市国土资源和房屋管理局“滨海新区深部地热资源调查评价(编号: 国土房任[2015]5号)”项目资助。

第一作者简万芳(1982-),女,硕士,高级工程师,主要从事地热资源调查评价及研究工作。Email: 120406290@qq.com。

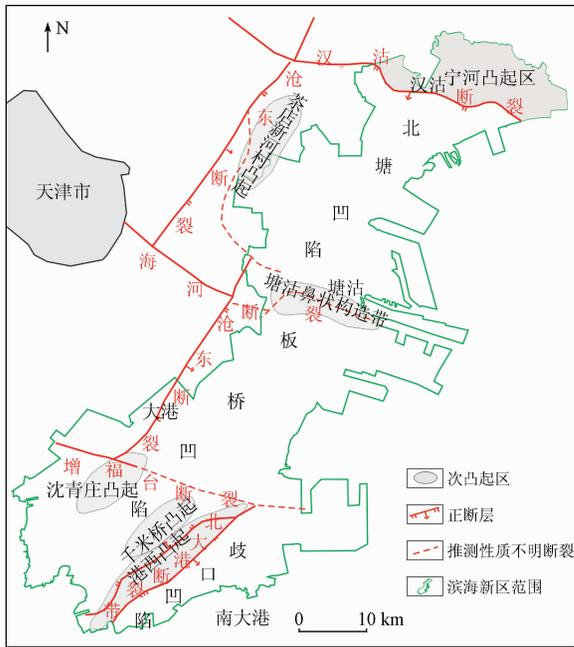


图1 研究区构造单元分区

Fig. 1 Tectonic unit partition of the study area

1.2 地层特征

研究区位于黄骅坳陷的中北部,经过一系列构造演化,形成了具有底部结晶基底和上覆沉积盖层的双层结构。区内的沉积地层除志留系—泥盆系、三叠系以外,发育较为齐全,具有分割性强、受断层控制、岩性变化大等特点^[9-10]。研究区地层由老到新主要为蓟县系、青白口系、寒武系、奥陶系、石炭系—二叠系、侏罗系、白垩系、古近系(孔店组、沙河街组和东营组)、新近系(馆

陶组和明化镇组)和第四系。其中,新近系为浅部地热储层,古近系东营组为近几年新发现的深部热储层。

1.3 沉积相特征

东营组的物源主要来自北部的燕山隆起带和西北部的沧县隆起带,其次是东南部的埕宁隆起带^[11-13]。结合前人的研究成果,本次从岩石学、测井等方面对东营组的沉积特征进行了初步分析,认为区内东营组总体为三角洲相。东营组沉积时从北往南是一个水体逐渐加深的过程。其中,东三段辫状河三角洲平原相占据主要地位,仅在板桥凹陷东部出现三角洲前缘相和歧口凹陷东南部出现滨浅湖相;东二段以滨浅湖相为主导,其次是辫状河三角洲前缘相,仅在北塘凹陷南部出现辫状河三角洲平原相;东一段滨浅湖相退出研究区,辫状河三角洲平原相重新占据主要地位,在塘沽—大港以北主要为辫状河三角洲平原相(图2)。这与区内的构造演化息息相关:东一段时期因为区域性构造强烈的抬升造成湖盆收缩、水体变浅、湖平面下降,在板桥凹陷中部形成剥蚀区;东二段时期处在构造沉降期;东三段沉积环境为辫状河三角洲平原环境。沉积环境的变化影响着热储层岩性的有效孔隙率和渗透性,从而制约着地热流体的富集和径流通道。本区的大部分区域经历三角洲沉积的形成过程^[14-15],因此区内东营组地热流体富集区主要分布在辫状河三角洲前缘的东部一带。

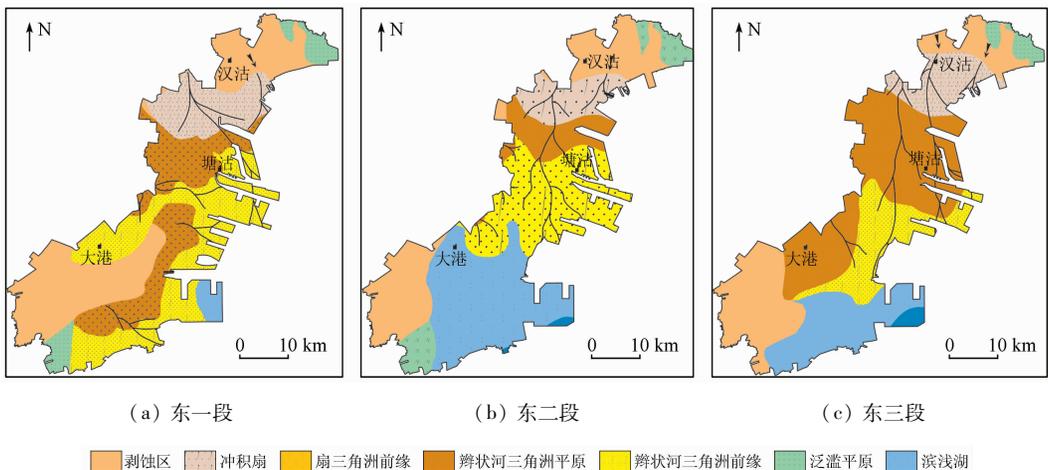


图2 研究区东营组不同亚段沉积相

Fig. 2 Sedimentary facies of different subsections of Dongying Formation in the study area

2 研究区深部地热储层特征

2.1 东营组地质特征

研究区东营组热储层分布较为广泛,仅在大港与沈青庄凸起西部、宁河凸起区缺失(图3)。据以往钻孔(地热井和石油井)资料^[16-17]统计:东营组是一套以泥岩、粉砂岩为主的陆源细碎屑沉积,含长石、石英及少量岩屑,岩屑呈棱角一次棱角状,磨圆差;砂泥比 35% ~ 38%,孔隙度 18% ~ 30%,渗透率为 $270 \times 10^{-3} \sim 900 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,导水系数 $10.39 \sim 36.28 \text{ m}^2/\text{d}$,弹性释水系数 $1.71 \times 10^{-5} \sim 6.97 \times 10^{-5}$;顶板埋深为 1 600 ~ 2 400 m,底板埋深为 1 800 ~ 3 400 m,厚度为 55 ~ 648 m,由北西向东南方向的埋深逐渐增大。

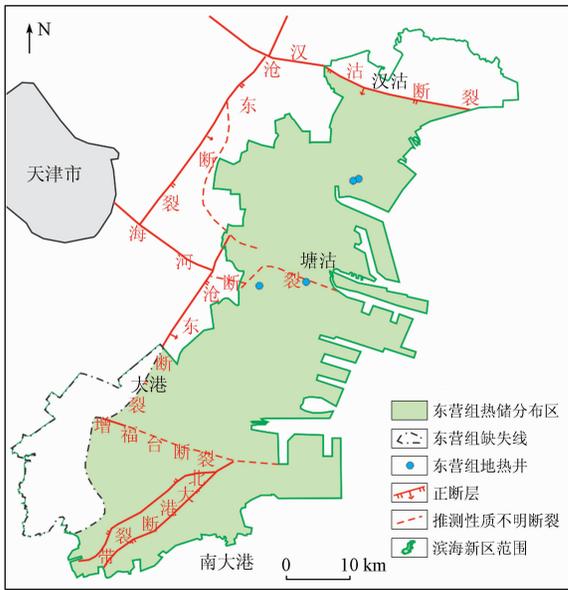


图3 滨海新区东营组热储分布

Fig.3 Geothermal reservoir of Dongying Formation in Binhai New Area

东一段在塘沽一大港以南区域岩性主要为灰白、浅灰、灰绿色砂岩、含砾砂岩与灰绿、绿灰色泥岩互层,渗透率 $300 \times 10^{-3} \sim 600 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 24% ~ 28%,沉积厚度 50 ~ 600 m;在塘沽一大港以北区域岩性主要为灰、灰绿色泥岩夹灰白色粉砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩,渗透率 $100 \times 10^{-3} \sim 300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 22% ~ 24%,沉积厚度 100 ~ 200 m。

东二段在大港及其以南区域岩性由砂岩逐渐减少,并过渡为灰、深灰色泥岩;在板桥凹陷大部分区域以灰、深灰、深灰绿色泥岩为主,夹灰绿、浅灰色薄层粉砂岩、细砂岩;在北塘凹陷北部岩性主

要为含钙质砂岩、白云质砂岩、生物灰岩、油页岩或碳质页岩薄层。总体而言,该段富水性稍差。

东三段在北塘凹陷大部分区域和板桥凹陷的西部岩性主要以岩屑质长石砂岩、长石砂岩为主,渗透率 $200 \times 10^{-3} \sim 400 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 20% ~ 25%,沉积厚度 150 ~ 200 m;板桥凹陷东部岩性主要为一套灰色、绿灰色泥岩与浅灰、灰白色砂岩互层段,渗透率 $400 \times 10^{-3} \sim 700 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 25% ~ 30%,沉积厚度为 200 m 左右;歧口凹陷岩性基本为纯泥岩,渗透率 $100 \times 10^{-3} \sim 300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度 15% ~ 20%。

2.2 地温场特征

地热开发最主要的制约因素是地温,地温越高,开发利用价值越大。研究区地温场的分布受区域构造格局的影响,地壳深部热流在向上传导过程中,由于不同岩层热导率的差异,热流在基岩面上出现再分配,并向西侧沧县隆起基岩浅埋区汇集,使得区内整体地温和地温梯度偏低,除局部地热异常外,整体地温梯度为 2.5 ~ 3.0 °C/hm(图4),表现为由西向东逐渐增加。根据盖层平均地温梯度和已有地热井稳定测温综合分析推算:区内东营组热储层地温为 65 ~ 90 °C,温度高值区基本与构造凸起区对应,温度低值区与构造凹陷区对应。

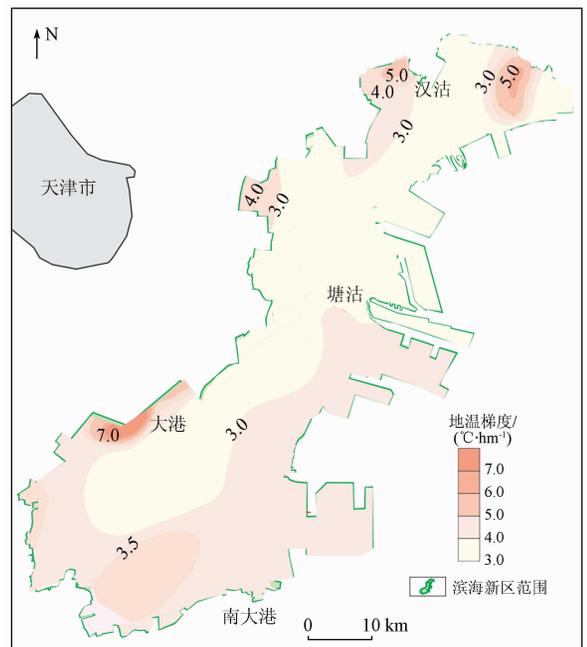


图4 研究区盖层平均地温梯度等值线

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

2.3 水化学特征

地热流体的化学组分是其与围岩的长期交换作用下所形成的。研究区内东营组地热流体矿化度为 2 000 ~ 18 000 mg/L, 自北东向南西呈逐渐增大的趋势, 与地热流体的径流方向及地层埋藏趋势一致; 在垂向上, 古近系东营组地热流体的矿化度随埋藏深度增加而升高, 大于 3 000 m 埋深处增幅减缓^[18] (图 5),

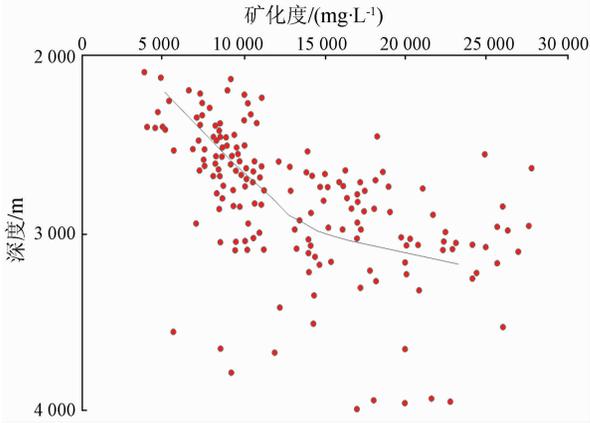


图 5 研究区古近系地热流体矿化度与埋深关系图^[18]
Fig. 5 Relationship between mineralization degree and burial depth of Paleogene geothermal fluid in the study area^[18]

超压环境中深处地热水补给循环作用较上部差。

东营组地热流体阳离子以 Na⁺ 为主, 阴离子以 Cl⁻ 及 HCO₃⁻ 为主, 水质类型大多为 Cl · HCO₃ - Na 型; 气体成分有 O₂、N₂、CH₄、CO₂ 以及微量 H₂。

3 资源计算与评价

研究区东营组地热资源分布面积约 1 940 km², 热储参数变化不大, 热储层近似为均质各向同性, 产状水平, 水流服从 Darcy 定律, 通过采用数学模型(泰斯解)计算出了地热流体可开采量, 东营组热储层年允许开采量为 216. 81 × 10⁴ m³。目前该热储年开采量为 12. 79 × 10⁴ m³, 每年可增加地热流体开采量为 204. 02 × 10⁴ m³, 以此为基础, 根据《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615—2010)^[19] 和《地热单(对)井资源评价技术规程》(DB12/T 664—2016)^[20] 相关要求, 东营组地热资源开采方式为定流量长年开采, 开采年限延续 100 a, 最大动水位埋深不超过 200 m。结合构造边界条件、热储厚度、开采现状及热储水位降深等(表 1), 对该热储资源潜力进行了评价, 将热储开发潜力分为开发弱潜力区、开发中等潜力区和开发较强潜力区 3 个区(图 6)。

表 1 研究区东营组地热开发潜力分区依据

Tab. 1 Division basis of geothermal development potential of Dongying Formation in the study area

项目开采潜力分区	热储底板埋深/m	热储厚度/m	孔隙度/%	砂泥比/%	水位年降幅/m
较强潜力区	< 2 000	> 600	> 25	> 30	< 1.0
中等潜力区	[2 000, 3 200]	[200, 600]	[15, 25]	[10, 30]	[1.0, 1.5]
弱潜力区	> 3 200	< 200	< 15	< 10	> 1.5

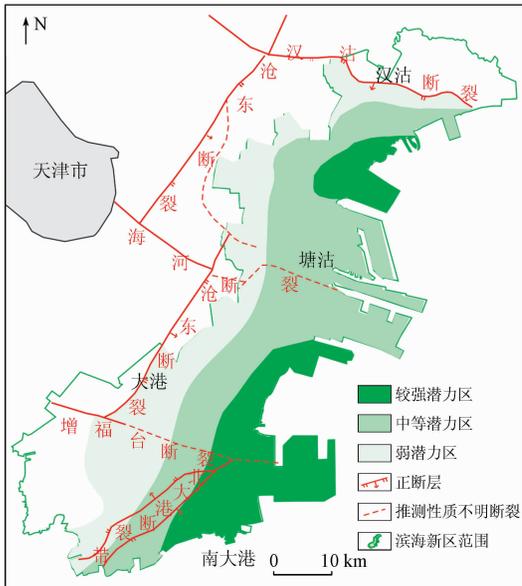


图 6 研究区东营组地热开发潜力分区
Fig. 6 Division of geothermal development potential of Dongying Formation in the study area

(1) 开发弱潜力区。位于研究区西部和北部, 该区东营组热储层厚度较薄, 而且紧临断裂和缺失线等隔水边界, 热储富水性及补给条件较差。

(2) 开发中等潜力区。主要位于研究区中部地区, 该区热储层厚度薄, 现有地热井开发历时较长, 形成了一定的水位漏斗区, 但该区热储埋深较浅, 孔隙发育较好。

(3) 开发较强潜力区。位于研究区的东北部和东南部, 该区处于北塘凹陷和板桥凹陷的凹陷中心区, 东营组热储厚度大, 热储发育较好, 富水性相对较好, 且目前尚未有效开发利用, 具有较强的开发潜力。

4 有利勘探区圈定

综合上述东营组地热资源特征研究, 认为研究

区该地热资源有利勘探区应具备以下几个方面条件: ①不是富油区或自然保护区; ②地热资源开发具有一定的潜力; ③地热资源量丰富; ④地热流体具有较高的温度。

在东营组地热资源开发潜力分区的基础上, 避开富油区或自然保护区并集成有利勘探区圈定应具备的条件的权重, 对区内东营组地热资源有利勘探区进行分区, 可分为 I 级有利勘探区、II 级有利勘探区、III 级有利勘探区和不利勘探区(图 7)。其中 I 级和 II 级有利勘探区以地热资源开发较强潜力区为基础条件, III 级有利勘探区以地热资源开发中等潜力区为基础条件, 不利勘探区以地热资源开发弱潜力区为基础条件。

(1) I 级有利勘探区。该区域东营组地热资源开采属于较强潜力区, 不是富油区或自然保护区, 热储储蓄和导水能力条件好, 地温梯度 $3.0 \sim 3.5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{hm}$, 适合东营组地热资源的勘查开发, 为 I 级有利勘探区, 主要位于南港工业北区、大港电厂东部一带, 该区域面积约 102 km^2 。

(2) II 级有利勘探区。该区域东营组地热资源开采基本属于较强潜力区, 不是富油区或自然保护区, 热储储蓄和导水能力等较好, 地温梯度多数在 $2.5 \sim 3.0 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{hm}$ 之间, 比较适合东营组地热资源

的勘查开发, 为 II 级有利勘探区, 位于南疆港区—临港工业区—大港电厂—电测站一带以及中新生态城大部分区域, 该区域面积约 211 km^2 。

(3) III 级有利勘探区。该区域东营组地热资源开采大部分区域属于中等潜力区, 不是富油区或自然保护区, 热储储蓄和导水能力等条件一般, 地温梯度多数在 $2.5 \sim 3.0 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 之间, 资源开发前景一般, 为 III 级有利勘探区, 位于汉沽城区以南、塘沽城区、临港工业区、东疆港等大部分区域, 该区域面积约 743 km^2 。

(4) 不利勘探区。该区域东营组地热资源开采基本属于弱潜力区, 同时大部分区块为富油区和自然保护区等地热限制开发区, 热储储蓄和导水能力以及资源开采补给条件差而造成开发前景差, 为不利勘探区, 位于研究区西部、北部区界附近部分地区、西南部北大港水库周边以及研究区南部, 该区域面积约 884 km^2 。

5 结论

(1) 研究区内东营组地热资源较丰富。地热流体的径流方向自北东向南西, 地层埋深总体由北西向东南逐渐增大, 构造单元上歧口凹陷埋藏相对较深, 区内地温相对较高, 储层温度达 $65 \sim 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

(2) 研究区东营组主要为三角洲相, 地热流体富集区主要分布在辫状河三角洲前缘的东部一带, 其中东三段为最有利开采层位。

(3) 滨海新区深部地热资源东营组有利勘探区可分为 I 级有利勘探区、II 级有利勘探区、III 级有利勘探区和不利勘探区 4 个区, 其中 I 级有利勘探区面积约 102 km^2 , II 级有利勘探区面积约 211 km^2 , III 级有利勘探区面积约 743 km^2 , 不利勘探区面积约 884 km^2 。

参考文献:

- [1] 汪集喙, 邱楠生, 胡圣标, 等. 中国油田地热研究的进展和发展趋势[J]. 地学前缘, 2017, 24(3): 1-12.
- [2] 雷群, 王红岩, 魏伟, 等. 油气田地热开发前景潜力分析[J]. 天然气工业, 2008, 28(12): 127-129.
- [3] 闫家泓, 王社教, 赵洋. 油区地热节能“宝藏”[J]. 中国石油石化, 2007(12): 54-55.
- [4] 卜宪标, 马伟斌, 黄远峰. 应用废弃油气井获得地热能[J]. 热能动力工程, 2011, 26(5): 621-625.
- [5] 陈爱华, 徐行, 罗贤虎, 等. 南海北康盆地热流分布特征及其

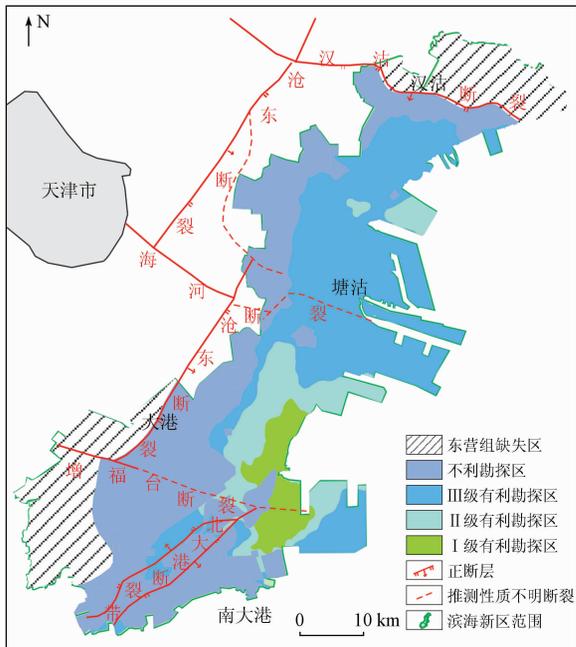


图 7 研究区东营组有利勘查开发区范围

Fig. 7 Favorable exploration and development areas of Dongying Formation in the study area

- 构造控制因素探讨[J]. 地质学报, 2017, 91(8): 1720 - 1728.
- [6] 王贵玲, 张薇, 梁继运, 等. 中国地热资源潜力评价[J]. 地球学报, 2017, 38(4): 448 - 459.
- [7] 李三忠, 索艳慧, 周立宏, 等. 华北克拉通内部的拉分盆地: 渤海湾盆地黄骅拗陷结构构造与演化[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(5): 1362 - 1379.
- [8] 李明刚, 漆家福, 杨桥, 等. 渤海湾盆地黄骅拗陷新生代结构特征及构造动力学模式[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 201 - 209.
- [9] 任建业, 廖前进, 卢刚臣, 等. 黄骅拗陷构造变形格局与演化过程分析[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(4): 461 - 472.
- [10] 漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论[J]. 地学前缘, 2003, 10(增刊1): 199 - 206.
- [11] 汤良杰, 万桂梅, 周心怀, 等. 渤海盆地新生代构造演化特征[J]. 高校地质学报, 2008, 14(2): 191 - 198.
- [12] 廖远涛, 王华, 王家豪, 等. 黄骅拗陷中区古近系东营组沉积特征及有利勘探区带预测[J]. 古地理学报, 2009, 11(5): 561 - 572.
- [13] Goodchild M F, Haining R P. GIS and spatial data analysis: converging perspectives [J]. *Papers in Regional Science*, 2004, 83(1): 363 - 385.
- [14] Liu J L, Jin B Z, Li Y Y, et al. Geothermal occurrence analysis of Dongying Formation in Tanggu area of Tianjin [J]. *Global Geology*, 2014, 17(3): 163 - 169.
- [15] 刘九龙, 魏晓鹏, 程万庆, 等. 天津滨海新区东营组地热流体富集条件及勘查开发远景区圈定[J]. 河北地质大学学报, 2019, 42(2): 20 - 25.
- [16] 陈瑞军, 杨玉新, 刘洋, 等. 板桥凹陷东营组热储研究[J]. 科技创新导报, 2007(26): 5 - 6.
- [17] 天津地热勘查开发设计院. 滨海新区深部地热资源调查评价报告[R]. 天津: 天津地热勘查开发设计院, 2015 - 2017.
- [18] 大港油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志卷四[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 1.
- [19] 中华人民共和国国土资源部. 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.
- [20] 天津市市场和质量管理委员会. DB12/T 664—2016 地热单(对)井资源评价技术规程[S]. 天津: 天津市市场和质量管理委员会, 2016.

Evaluation of deep geothermal resources and delineation of favorable exploration areas in Binhai New Area, Tianjin

TANG Yongxiang, CHENG Wanqing, ZHAO Sumin, TIAN Guanghui, LI Yuanyuan, ZENG Meixiang, LI Hao
(Tianjin Geothermal Exploration and Development Design Institute, Tianjin 300250, China)

Abstract: The geothermal resources and petroleum coexist in Binhai New Area, Tianjin. In order to exploit and reduce the exploitation risk of the geothermal resources in oil field, the authors analyzed the thermal storage, geothermal field, sedimentary facies and fluid chemistry, and summarized the enrichment mechanism of thermal reservoir in Dongying Formation. The thermal fluid exploitation resources for 100 years were calculated by the numerical model, and the exploitation potential was evaluated. Then on the basis of the exploitation potential, the factor weight of oil - rich degree, size and temperature of geothermal resources in the favorable exploration areas was analyzed. The favorable exploration areas were partitioned. This research has important significance in the exploration of deep geothermal resources and the reduction of development risk in the oil area.

Keywords: Binhai New Area; Dongying Formation; resource evaluation; favorable exploration areas

(责任编辑: 刘永权)