

毛翔,汪新伟,郭世炎,等.高阳地热田及邻区地热资源形成机制[J].中国岩溶,2021,40(2):273-280.
DOI:10.11932/karst20210207

高阳地热田及邻区地热资源形成机制

毛翔^{1,2},汪新伟¹,郭世炎³,鲍志东⁴

(1. 中国石化集团新星石油有限责任公司新能源研究院,北京 100083; 2. 中国石化地热资源开发利用重点实验室,北京 100083; 3. 中石化绿源地热能开发有限公司,河北雄安 071800; 4. 中国石油大学(北京),地球科学学院,北京 102249)

摘要:临近雄安新区的高阳地热田处于渤海湾盆地冀中拗陷,区内发育以中元古界长城系、蓟县系及下伏的太古界为主的潜山地层,其中蓟县系雾迷山组为地热田主要热储层,地热资源丰富。以岩溶热储顶面埋深3 600 m线作为高阳地热田的边界,地热田主体位于高阳低凸起、蠡县斜坡内,并涵盖保定凹陷、饶阳凹陷的少量地区。高阳地热田位于区域岩溶顶板温度较高地区,其中高阳低凸起中北部及其西侧边界、蠡县斜坡与饶阳凹陷交界处为温度最高区域,可达120℃左右,地热田南部、中东部属蠡县斜坡区域温度低于100℃。潜山热储温度等值线整体呈椭圆形态,长轴为NNE向。蓟县系雾迷山组地热水在博野地区水化学类型为Cl-Na型,溶解性总固体约5 000 mg·L⁻¹,Cl⁻(约2 300 mg·L⁻¹)含量明显高于雄县、容城等其它地区,SO₄²⁻含量(123~133 mg·L⁻¹)高于同属冀中拗陷的雄县、容城、霸州地区,但低于天津地热田和良乡地热田,表明冀中拗陷与天津、良乡地区分属不同的地热系统。高阳地热田形成的概念模式为来自西部太行山地区的大气降水作为地下水的补给水源,太行山前断裂沟通了地表水与深部基岩地层,大气降水在基岩内经衡水断裂、安国断裂、百尺断裂、出岸断裂及不整合面向东侧渤海湾盆内运移,经断层与基岩发生热对流被加热,随着水动力条件减弱,在高阳低凸起、蠡县斜坡、深泽低凸起等区域聚集形成具有勘探开发价值的高阳地热田。

关键词:高阳地热田;地热田边界;岩溶热储;水化学

中图分类号:P314;TK521 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2021)02-0273-08 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

地热能是一种绿色低碳、可循环利用的可再生能源,与风能、太阳能等相比,地热能不受季节、气候、昼夜变化等因素干扰,可高效综合利用^[1],对改善能源结构,解决日趋严重的全球环境问题具有重要的意义^[2]。

地热资源可分为高温(>150℃)、中温(90~150℃)和低温(<90℃)3类^[3],受板块构造控制,我

国地热资源以中低温类型为主。结合我国人口分布与气候条件,当前我国中深层地热开发以华北等地区的水热型—沉积盆地型地热资源为主,主要用于地热供暖、温泉洗浴、种植养殖等。近年来,我国北方因冬季供暖导致空气污染、雾霾频发的问题十分严重,因此国家鼓励可再生能源替代燃煤作为冬季供暖热源,与之相关的政策已发布实施,地热资源的开发利用逐渐得到了各级政府和相关企业的重视。

临近雄安新区的牛驼镇地热田、容城地热田和

资助项目:中国石化科研项目“渤海湾盆地重点地区地热资源评价与开发技术政策(JP19002-1)”和“重点地区地热高效开发技术研究(J2000218035)”

第一作者简介:毛翔(1986—),男,博士,高级工程师,主要从事构造地质学、地热资源勘探与开发研究。E-mail:maoxiang.pku@163.com。

收稿日期:2020-01-20

高阳地热田,为京津冀平原区域丰富的地热资源,合理、科学地利用这些地热资源可为雄安新区提供稳定、清洁的供暖热源。目前,针对牛驼镇地热田和容城地热田的地热资源研究已经取得了比较丰富的经验^[4-14],但有关高阳地热田的研究相对较少,对于地热田的范围尚没有科学界定,难以充分指导高阳地热田的开发。为此,本文针对高阳地热田地热资源的区域构造、地层特点、地温场、地热水化学等性质开展研究与分析,结合最新的地热勘探成果,分析其成因模式,为区域地热开发提供参考。

1 地质背景

以往的研究普遍认为高阳地热田处于高阳低凸起及其邻近区域,但尚未确定具体范围^[15-18]。其在大

地构造上位于华北板块(I级)渤海湾新生代裂谷盆地(II级)^[19]冀中坳陷(III级)内(图1)。

高阳低凸起整体呈北东向展布,西侧与保定凹陷相接^[20],东侧与饶阳凹陷(蠡县斜坡)相接^[21]。潜山地层主要为中元古界长城系、蓟县系及下伏的太古界。通过地震剖面分析,控山断层为西侧的太行山山前断裂及东侧的马西断层。太行山山前断裂于孔店组沙四段沉积时期大规模活动,与此同时高阳低凸起的西翼发生旋转;而马西断层活动时间相对较晚,于沙三期强烈活动,高阳低凸起东翼开始旋转。至此,形成完整的凸起形态。随后,经过一系列次级断层的改造并最终定型。

高阳及周边地区的地层包括新生界,中生界,下古生界寒武系、奥陶系,中元古界蓟县系、长城系和太古界花岗岩、变质岩。蓟县系雾迷山组之上的古

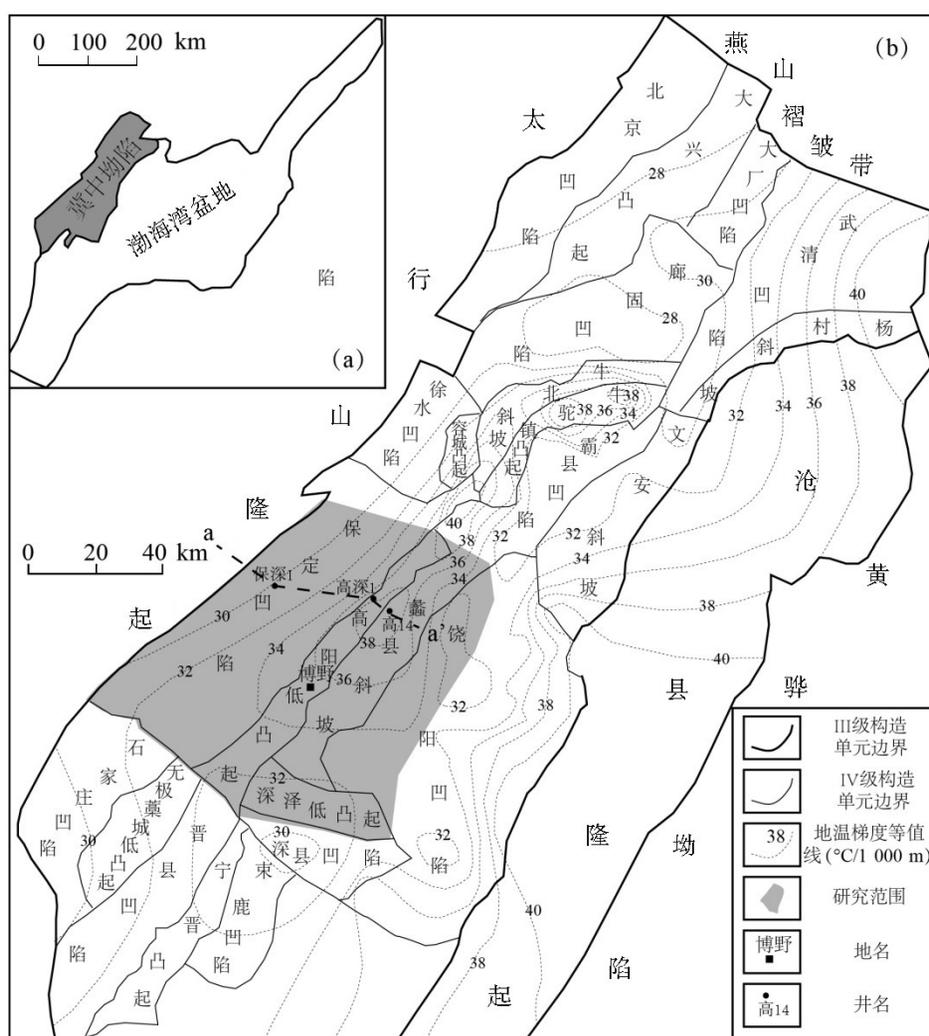


图1 (a)冀中坳陷在渤海湾盆地中位置示意图;(b)冀中坳陷构造分区及地温梯度等值线图,显示高阳地热田位置(修改自^[21])

Fig. 1 (a) Sketch showing location of Jizhong depression in Bohai Bay basin; (b) Tectonic division and geothermal gradient contours of Jizhong depression, showing the location of Gaoyang geothermal field (modified after [22])

生界和中生界地层部分被剥蚀(图2)。

新生界地层在全区皆有分布。其中第四系到新近系馆陶组不整合于古近系之上,厚度约2 000 m。古近系东营组、沙河街组和孔店组,厚度约2 000 m,最厚的地方可达3 000 m。古近系在不同区域分别与侏罗—白垩系、石炭—二叠系、寒武—奥陶系、蓟县系雾迷山组呈不整合接触:侏罗—白垩系地层在工区中部紧邻太行山山前断裂断面呈NE向展布;石炭—二叠系分布于研究区东南端;寒武—奥陶系主要分布在中东部;雾迷山组在太行山山前断裂断面以西、研究区东北部分布,其下伏地层为杨庄组、长城系在高阳范围内局部分布,厚度约3 000 m。太古界在研究区范围内局部分布,其上覆地层为长城系。

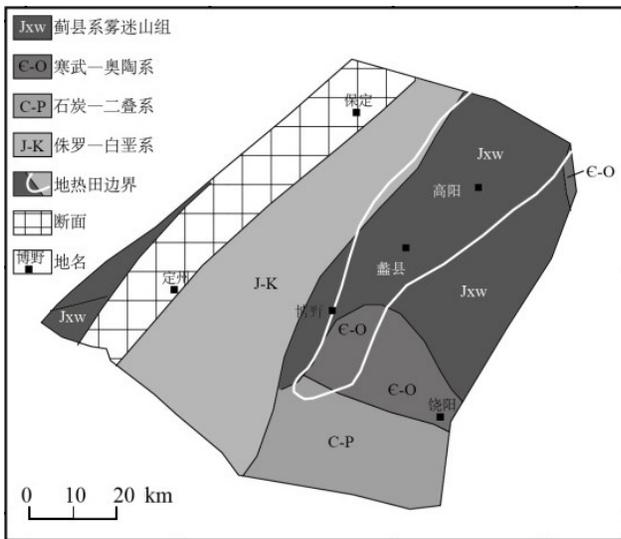


图2 高阳地热田基岩地质图(修改自^[23])

Fig. 2 Bedrock geologic map of Gaoyang geothermal field (modified after [23])

高阳低凸起及周边区域发育的主要断裂有衡水断裂、高阳断裂、安国断裂、出岸断裂以及百尺断裂。其中,高阳断裂和安国断裂呈平行走向,倾向北西,高阳断裂断至古近系底面附近,而安国断裂断至古近系中浅部。百尺断裂、出岸断裂倾向南西,百尺断裂断至雾迷山组(图4)。衡水断裂倾向北东,与安国断裂相交,止于西北方徐水—保定—石家庄断裂。

2 高阳地热田热储特征

根据《地热资源地质勘查规范(GBT11615-2010)》,地热田指“经地质勘查或研究证实,赋存有一定数量和质量并可供经济开发利用的地热资源的地区”,并未强调其地质或构造属性。在勘探实践

中,地热储层埋深是决定开发成本的最重要指标之一,因此本文以研究区域内最深的一口地热井相关数据为参考,认为岩溶热储顶面埋深3 600 m线为高阳地热田的边界,超过此深度区域由于地热开发经济性难以保证,不视为高阳地热田覆盖范围。

根据周边油气井及地热井钻遇潜山顶面埋深界定范围的高阳地热田主体位于高阳低凸起、蠡县斜坡内,并涵盖保定凹陷、饶阳凹陷的少量地区(图3),北侧和东北侧分别为牛驼镇凸起和霸县凹陷,南侧为石家庄凹陷和深县凹陷,东侧为饶阳凹陷东部。元古界雾迷山组和下古生界寒武系、奥陶系海相碳酸盐岩储层厚度大,分布广,是高阳碳酸盐岩地热田重要热储。

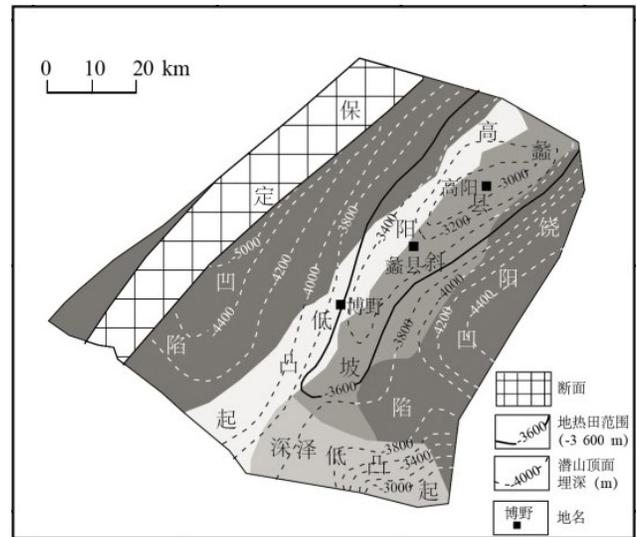


图3 研究区域潜山顶板埋深等值线

Fig. 3 Contours of top depths of buried hills in the study area

高阳地热田主要发育海相碳酸盐岩岩溶热储,由北向南依次为雾迷山组、寒武系及奥陶系,高点埋深3 000~3 300 m。

蓟县系雾迷山组、下古生界寒武系、奥陶系经历长时期剥蚀,风化淋滤作用显著,发育了大量构造缝、构造溶蚀缝、粒间溶孔、晶间溶孔、藻架孔、溶孔及溶洞,形成高孔高渗热储。蓟县系雾迷山组岩石平均孔隙度为3.5%~4.5%,渗透率范围介于0.01~1 000 mD,其中87.8%介于0.01~100 mD,平均渗透率为35~40 mD;寒武系、奥陶系岩石孔隙度平均为4%~5%,渗透率介于0.01~1 000 mD,且主要分布于0.01~100 mD之间,平均渗透率为35~45 mD。

热储现今的发育情况为有利沉积微相和岩溶作用综合的结果。岩溶相带方面,由于渗流带和潜流

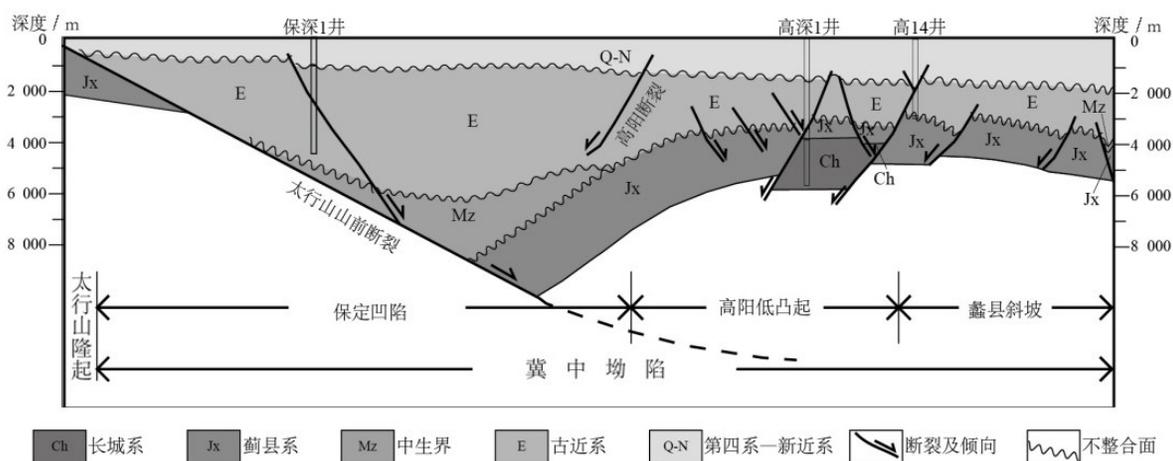


图4 高阳地区构造地质剖面图(剖面位置见图1;修改自^{[24]-[26]})

Fig. 4 Geological profile of Gaoyang area(location see Fig.1, modified after [24]-[26])

带主要发育大型溶洞,热储主要发育在渗流带和潜流带中。沉积相方面,蓟县系雾迷山组热储主要发育于潮下带上部—潮间带亚相,以藻礁滩复合体和藻席最发育;寒武系—奥陶系热储主要发育于潮坪亚相,以灰坪最为发育,云坪次之。在泥灰坪和开阔海中沉积岩石致密,岩溶流体很难在其中进行流动,热储发育较差。

高阳地热田热储厚度呈现中部厚、南北两侧薄的特点,在中部可达700 m以上,向北、向南热储厚度减小至200 m以下;热储物性呈现相似的特点,在中部博野地区孔隙度可大于5%,渗透率大于30 mD,向西北、西南、东北方向依次减小。

3 地温场与热储展布特征

利用区域地热与石油钻孔测温资料,绘制出高阳地热田潜山热储顶板温度等值线(图5)。由图可见,高阳地热田区域整体位于区域岩溶顶板温度较高地区,其中地热田西北部和东北角分属高阳低凸起中北部及其西侧边界、蠡县斜坡与饶阳凹陷交界处,为温度最高区域,可达120℃左右,地热田南部、中东部属蠡县斜坡区域温度低于100℃。潜山热储温度等值线整体呈椭圆形态,长轴为NNE向,显示NW—SE向温度变化较快,说明水源补给可能来自于西北部太行山脉。

4 地热水化学特征

蓟县系雾迷山组地热水在博野地区水化学类型为Cl—Na型(图6),与同属冀中坳陷的牛驼镇地热田

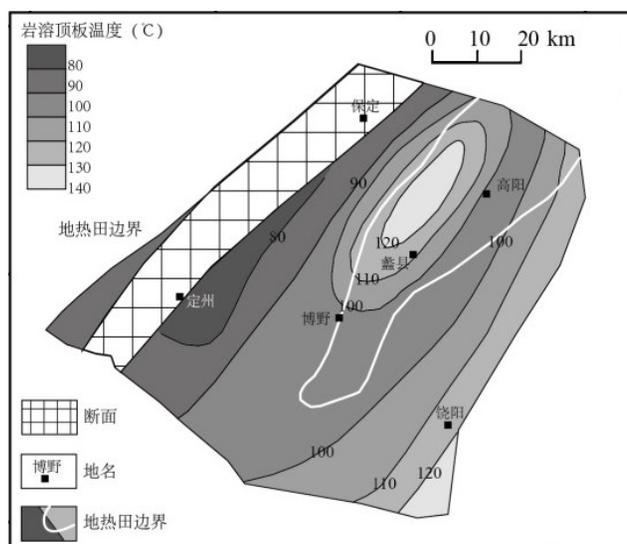


图5 高阳地热田潜山热储温度等值线

Fig. 5 Contours of temperature in geothermal reservoirs of Gaoyang geothermal field

(雄县)、容城地热田和霸州地热田相似,区别于位于沧县隆起的天津地热田($\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 型为主)^[14]和位于北京坳陷的良乡地热田($\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{-Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型为主)^[23]。博野区域的两口地热深井钻入雾迷山组储层500~600 m,其溶解性总固体约 $5\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,结合区域地热井与石油钻孔地热水分析资料(图7),高阳地热田主体热储层——雾迷山组总体矿化度为 $5\sim 6\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

与雄县、容城、霸州、良乡、天津等区域的蓟县系雾迷山组地热水综合分析,博野地区样品TDS(约 $5\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)、 Cl^- (约 $2\,300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)含量明显高于其它地区水样, SO_4^{2-} 含量($123\sim 133\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)高于同属冀中坳陷的雄县、容城、霸州地区,但低于天津地热田

和良乡地热田(表2)。基于以上现象推测,冀中拗陷不同区域蓟县系雾迷山组热储具有相似的水化学特征,与良乡、天津等地区存在显著差异,分属不同的地热系统。在冀中拗陷内,博野位于容城、雄县、霸州的南侧,具有更高的TDS和Cl⁻含量,表明水源补给可能位于北侧;而在纬度相似的容城、雄县、霸州区域,蓟县系雾迷山组热储地热水TDS和Cl⁻含量自西向东逐渐增大,显示可能在冀中拗陷北部区域存在较大比例的自西向东的水源补给。

5 成因模式

结合区域构造分析,高阳地热田热水主要通过断层与不整合面运移。地热田内发育的衡水断裂、安国断裂、高阳断裂、出岸断裂、百尺断裂均是热水运移的重要通道。与此同时,太行山山前断裂也发挥着重要的作用,因为地热田热水源于太行山脉,正是通过这条断裂,地下水经深部上地幔热量和基岩花岗岩壳中的放射性产热^[28]加热后再进行后期的运移。

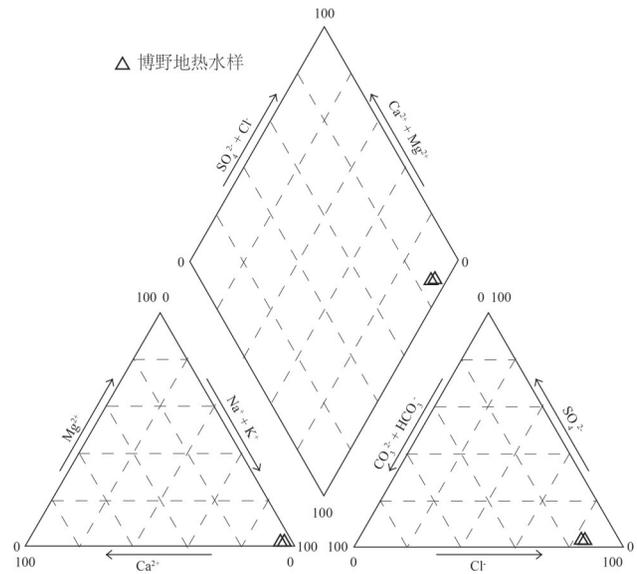


图6 热水水样Piper三线图

Fig. 6 Piper trilinear diagram of hot water samples

高阳地区新生界地层直接沉积于雾迷山组之上,与不整合有相关的风化壳作为输导层,为热水的流动提供了优势通道。

表1 高阳低凸起博野地区及周边蓟县系雾迷山组热储地热水化学组成表(单位mg·L⁻¹)

Table 1 Chemical composition of hot water in Wumishan Formation of Jixian System in Gaoyang low-uplift in Boye area and adjacent areas (unit: mg·L⁻¹)

样品号	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	TDS
博野1	46.5	17.4	1 604	144.9	613.1	2 314	98.7	5 073
博野2	66.7	17	1 565	154.3	670.5	2 251.6	90.2	4 629.7
雄县42口								
地热井平均值及中位数	46.1/47.2	26.1/26.5	908.8/912.9	62.5/62.4	599.2/632.3	1 174.2/1 137.9	9.6/8.65	2 625.0/2 631.5
容城17口								
地热井平均值及中位数	59.2/59.4	31.5/30.8	798.4/800.3	47.0/44.4	699.5/703.6	1 061.8/1 055.2	9.1/7.7	2 549.0/2 494
霸州4口地								
热井平均值及中位数	47.7/40.5	28.1/22.1	961.4/959.3	55.0/53.8	427.9/431.8	1 472.4/1 418.7	5.9/5.9	3 016.3/2 845
天津6口地								
热井平均值及中位数	37.6/35.6	12.3/12.8	479.9/484.5	76.4/72.3	389.7/391.5	435.4/427.6	338.1/344.6	1 843.3/1 863.4
良乡2口地								
热井平均值	67.2	24.3	67.3	9.9	274.0	38.8	128.0	620.0

注:博野、雄县、容城地热井数据由中国石化地热资源开发利用重点实验室测试完成,天津、良乡数据据^[14,27]。

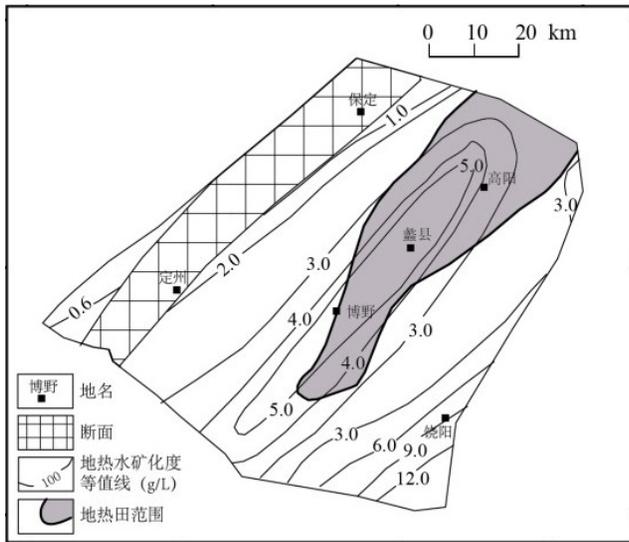


图7 高阳地热田潜山热储矿化度等值线图

Fig. 7 Contours of mineralization degrees of geothermal reservoirs in buried hills of Gaoyang geothermal field

综上,建立了高阳地热田形成的概念模式(图8)。来自西部太行山地区的大气降水作为地下水的补给水源,太行山前断裂沟通了地表水与深部基岩

地层,大气降水在基岩内经衡水断裂、安国断裂、百尺断裂、出岸断裂及不整合面向东侧渤海湾盆内运移,经断层与基岩发生热对流被加热,随着水动力条件减弱,在高阳低凸起、蠡县斜坡、深泽低凸起等区域聚集形成具有勘探开发价值的高阳地热田。

目前,高阳地热田北部紧邻的牛驼镇地热田已成功打造了国内地热开发的“雄县模式”,得到国家能源局的高度认可。近期勘探成果显示,高阳地热田内博野等地区潜山顶板温度高于雄县地区,地热勘探潜力巨大。高阳地热田范围内的博野县、高阳县、蠡县均已有不同程度的地热开发,但地热地质勘探落实程度、资源动用程度尚远低于牛驼镇地热田。2018年以来,国家对京津冀大气污染传输通道城市(即“2+26城市”)冬季清洁取暖工作日益重视,各级政府相继出台了“地热代煤”的扶持政策,并陆续对区内地热能开发进行规范、整合。随着中石化、中石油及有实力的民营地热开发企业陆续进入高阳地热田,必然会大大加速地热能的科学化开发速度,并希望实现与北部雄安新区地热资源的连片开发、科学使用。

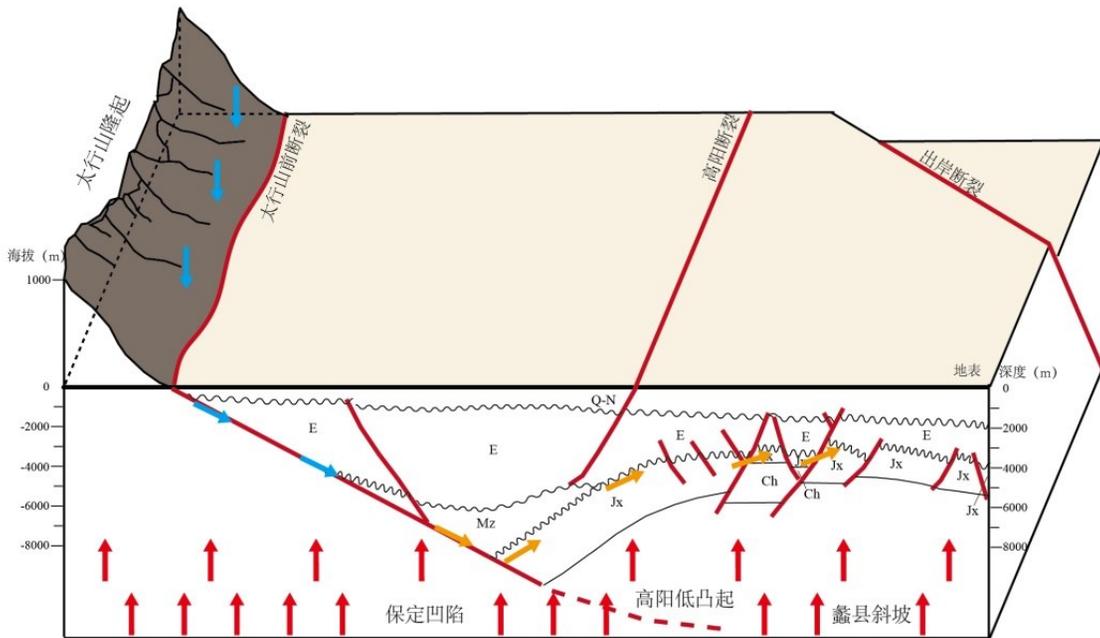


图8 高阳地热田成因模型

Fig. 8 Genetic model of Gaoyang geothermal field

6 结论

(1)高阳地热田在大地构造上位于华北板块渤海湾新生代裂谷盆地冀中拗陷内,岩溶热储顶面埋

深3 600 m线可作为高阳地热田的边界,圈定出地热田主体位于高阳低凸起、蠡县斜坡内,并涵盖保定凹陷、饶阳凹陷的部分地区。

(2)蓟县系雾迷山组是高阳地热田重要热储,主

要发育在地热田北部,热储现今的发育情况为有利沉积微相和岩溶作用综合的结果。热储厚度呈现中部厚、南北两侧薄的特点,在中部可达700 m以上,向北、向南热储厚度减小至200 m以下;热储物性呈现相似的特点,在中部博野地区孔隙度可大于5%,渗透率大于30 mD,向西北、西南、东北方向依次减小。

(3)高阳地热田西北部和东北角为温度最高区域,可达120℃左右,地热田南部、中东部区域温度低于100℃。潜山热储温度等值线整体呈椭圆形态,长轴为NNE向,显示NW—SE向温度变化较快,说明水源补给可能来自于西北部太行山脉。

(4)蓟县系雾迷山组地热水在博野地区水化学类型为Cl—Na型,与牛驼镇、容城和霸州等地热田相似,区别于天津地热田和良乡地热田。博野地区样品TDS、Cl⁻含量明显高于周边其它地区水样,SO₄²⁻含量高于同属冀中拗陷内临近地区,但低于天津和良乡地热田。表明冀中拗陷不同区域蓟县系雾迷山组热储具有相似的水化学特征,与良乡、天津分属不同的地热系统。在冀中拗陷内,由南向北、由东向西雾迷山组热储地热水TDS和Cl⁻含量逐渐降低,表明水源补给可能源于北侧和西侧。

(5)高阳地热田形成的概念模式为:来自西部太行山地区的大气降水作为地下水的补给水源,汇流于太行山前断裂区域,太行山前断裂沟通了地表水与深部基岩地层,大气降水在基岩内经衡水断裂、安国断裂、百尺断裂、出岸断裂及不整合面向东侧渤海湾盆内运移,经断层与基岩发生热对流被加热,随着水动力条件减弱,在高阳低凸起、蠡县斜坡、深泽低凸起等区域聚集形成具有勘探开发价值的高阳地热田。

参考文献

- [1] 李德威,王焰新. 干热岩地热能研究与开发的若干重大问题[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2015, 40(11): 1858-1869.
- [2] 关铎. 我国地热资源开发利用现状及对策与建议[J]. 中国矿业, 2010, 19(5): 7-9.
- [3] 闫强,于汶加,王安建,等. 全球地热资源述评[J]. 可再生能源, 2009, 27(6): 69-73.
- [4] 陈墨香,黄歌山,张文仁,等. 冀中牛驼镇凸起地温场的特点及地下热水的开发利用[J]. 地质科学, 1982, 3: 239-252.
- [5] 郭世炎,李小军. 河北保定容城凸起地热田储层属性与资源潜力[J]. 地质科学, 2013, 48(3): 922-931.
- [6] 王树芳,刘久荣,林沛,等. 岩溶热储回灌实验与示踪试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(6): 129-133.
- [7] Kong Y, Pang Z, Pang J, et al. Stable Isotopes of Deep Groundwater in the Xiongqian Geothermal Field [J]. Procedia Earth & Planetary Science, 2017, 17: 512-515.
- [8] Kong Y, Pang Z, Shao H, et al. Recent studies on hydrothermal systems in China: a review [J]. Geothermal Energy, 2014, 2(1): 19.
- [9] 李卫卫,饶松,唐晓音,等. 河北雄县地热田钻井地温测量及地温场特征[J]. 地质科学, 2014, 49(3): 850-863.
- [10] 庞菊梅,庞忠和,孔彦龙,等. 岩溶热储井间连通性的示踪研究[J]. 地质科学, 2014, 49(3): 915-923.1
- [11] 王永波,丁文萍,田月,等. 河北牛驼镇地热田高温地热水成因分析[J]. 城市地质, 2016, 11(3): 59-64.
- [12] 李弘,俞建宝,吕慧,等. 雄县地热田重磁响应及控热构造特征研究[J]. 物探与化探, 2017, 41(2): 242-248.
- [13] Pang J, Pang Z, Lv M, et al. Geochemical and isotopic characteristics of fluids in the Niutuozen geothermal field, North China [J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(1): 12.
- [14] 杨吉龙,柳富田,贾志,等. 河北牛驼镇与天津地热田水化学和氢氧同位素特征及其环境指示意义[J]. 地球学报, 2018, 39(1): 71-78.
- [15] 张国斌. 河北省地下热水资源赋存特征与开发利用展望[J]. 中国煤炭地质, 1998, 10(s): 29-31, 34.
- [16] 梁宏斌,钱铮,辛守良,等. 冀中拗陷地热资源评价及开发利用[J]. 中国石油勘探, 2010, 15(5): 63-68.
- [17] 刘伟坡,安永会,吴玺,等. 保定市高阳县地热资源开发利用现状[J]. 科技创新导报, 2013, (2): 104.
- [18] 刘现川,刘仕娟,杨凤良. 高阳县地热资源评价[J]. 煤炭技术, 2018, 37(4): 44-46.
- [19] Yang Y T, Xu T G. Hydrocarbon habitat of the offshore Bohai Basin, China [J]. Marine & Petroleum Geology, 2004, 21(6): 691-708.
- [20] 韩春元,师玉雷,刘静,等. 冀中拗陷保定凹陷油气勘探前景与突破口选择 [J]. 中国石油勘探, 2017, 22(4): 61-72.
- [21] 于长春,乔日新,张迪硕. 雄安新区航磁推断的三维基底构造特征 [J]. 物探与化探, 2017, 41(3): 385-391.
- [22] 常健,邱楠生,赵贤正,等. 渤海湾盆地冀中拗陷现今地热特征[J]. 地球物理学报, 2016, 59(3): 1003-1016.
- [23] 孙冬胜,刘池阳,杨明慧,等. 冀中拗陷中区中生代中晚期大型拆离滑覆构造的确定[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2): 126-133.
- [24] 杨明慧,刘池阳,杨斌谊. 冀中拗陷中生代构造变形的转换及油气[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(2): 113-119.
- [25] 单帅强,何登发,张煜颖. 渤海湾盆地西部保定凹陷构造—地层层序与盆地演化[J]. 地质科学, 2016, 51(2): 402-414.
- [26] 何登发,崔永谦,张煜颖,等. 渤海湾盆地冀中拗陷古潜山的构造成因类型[J]. 岩石学报, 2017, 33(4): 1338-1356.
- [27] 刘颖超,刘凯,孙颖,等. 良乡地热田地热水化学特征及同位素分析[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(5): 963-967, 994.
- [28] 陈墨香,汪集旻. 中国地热资源形成特点和潜力评估[M]. 北京:科学出版社, 1994: 1-39.

Genetic mechanism of geothermal resources in the Gaoyang geothermal field and adjacent areas

MAO Xiang^{1,2}, WANG Xinwei¹, GUO Shiyan³, Bao Zhidong⁴

(1. *New Energy Research Institute, SINOPEC Star Petroleum Co., Ltd., Beijing 100083, China*; 2. *Key Laboratory of Geothermal Exploration and Utilization, SINOPEC, Beijing 100083, China*; 3. *Sinopec Green Energy Geothermal Development CO., LTD., Xiong'an New Area, Hebei 071800, China*; 4. *College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China*)

Abstract As a green and renewable energy, geothermal energy plays an important role in solving the haze problem northern China. Gaoyang geothermal field, near the Xiong'an New Area, is rich in geothermal resources. It is located in the Jizhong depression of the Bohai Bay basin, hosts strata of Jixian System and Changcheng System of Mesoproterozoic and Paleoproterozoic, in which the Wumishan Group of Jixian System is the main strata with reservoirs. The buried depth 3,600 m of the top of karst reservoir is considered as the boundary of the thermal field. The main body of the geothermal field is located in Gaoyang sub-uplift and Lixian slope, and covers a small area of the Baoding depression and Shaoyang depression. The Gaoyang geothermal field lies in an area of the karst reservoirs top surface with high temperature, where the temperatures of the middle and northern part of Gaoyang sub-uplift, the western boundary, and the junction area of Lixian slope and Shaoyang depression reach 120 °C, while that of southern part of the geothermal field and the middle and eastern part of the Lixian slope is lower than 100 °C. Overall the temperature contours of buried hill geothermal reservoirs exhibit an elliptic shape with a long axis in NNE direction. In hydrochemistry, geothermal water of Wumishan Group of Jixian System in the Boye area is of Cl-Na type, with solubility about 5,000 mg·L⁻¹ and content of Cl⁻ (2,300 mg·L⁻¹) that is obviously higher than Xiong'an, Rong Cheng and other areas, while the solubility of SO₄²⁻ (123–133 mg·L⁻¹) is higher than Xiong'an, Rongcheng and Bazhou, and lower than the Tianjin and Liangxiang geothermal fields. This shows that the Jizhong depression belongs to a different geothermal system with the Tianjin and Liangxiang areas. The conceptual model of the Gaoyang geothermal field suggests that the atmospheric precipitation of the Taihang Mountains to the west is the supply of groundwater and the piedmont faults of the Taihang Mountains connect the surface water with reservoirs. Atmospheric precipitation flows through piedmont faults, the Hengshui fault, Anguo fault, Baichi fault, Chu'an fault and unconformities, and migrates to the Gaoyang sub-uplift, Lixian slope and Shenze sub-uplift where traps form. The fluid is heated by heat convection during the process of flowing through faults and bedrocks, forming the Gaoyang geothermal field which has a great potential of exploration and exploitation.

Key words Gaoyang geothermal field, geothermal field boundary, karst reservoirs, hydrochemistry

(编辑 张玲)