

沧东断裂(天津段)特征及导水导热性质分析

赵苏民,高宝珠,黎雪梅,李会娟,胡燕

(天津地热勘查开发设计院,天津 300250)

摘要: 沧东断裂是华北平原区一条规模较大的隐伏断裂,经历了中、新生代两个裂陷旋回,一直为地热地质工作者所关注。人工地震表明:沧东断裂是一空间构造形态上陡下缓、走向北东、北部边界已沿至蓟运河断裂附近的大型拆离断裂。以水文地质理论为基础,对沧东断裂附近地热流体的水化学场、温度场特征的研究表明:沧东断裂在下部并不具备控制天津地热热源的构造条件,但断裂上部却具有明显的将深部高位热能以热对流形式向浅部传导的特征;在水力传导方面,除局部地段稍弱外,总体上沧东断裂带在水平和垂直方向上有较强的导水能力。

关键词: 沧东断裂;导水;导热;流体特征

中图分类号: P542⁺3, P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2007)02-0121-07

1 引言

沧东断裂是隐伏于华北平原第四系之下的一条重要张性的大断裂带,南起大名,向北经临清、德州、沧州到天津附近^[1]。有关沧东断裂的研究资料和文献比较多,《天津市区域地质志》认为沧东断裂是产生在由古生界地层组成的背斜上,属印支—燕山旋回的产物,断裂活动控制着中生界和新生界沉积,是天津地区一条重要的深大断裂^[2]。高站武等地震学者研究认为沧东断裂是发育于上地壳的上陡下缓的铲状断裂,断面于10 km深处的上地壳底部变为近水平的拆离滑脱面,断裂的主要形态、不同区段的产状和活动强度表现出鲜明的分段性,现今已不是活动断裂^[3]。在天津地区,沧东断裂(天津段)构造位置如图1所示。

地热钻井勘探及科研成果均表明^[4],沧东断裂在垂向上切穿了现开采的主要热储层,并在断裂带附近表现出较强的水热活动特征,所以通常认为它是一条重要的导水导热通道,但认识比较笼统。笔者根据近几年一些新的钻探资料和物化探成果,在分析沧东断裂构造特征的基础上,研究其导水导热规律,取得了一些新的认识。

2 沧东断裂(天津段)的基本特征

2.1 深部物理场特征

国家地震局地球物理勘探中心^[5]于1995年运

收稿日期:2007-01-26

责任编辑:刘新秒

基金项目:天津市地热资源开发潜力评价(212010511104-05)

作者简介:赵苏民(1963-),男,硕士研究生,高级工程师,从事水文学与水资源环境方面的研究工作, E-mail: tjzhsm@163.com。

用深地震宽角反射/折射探测技术得到沧东断裂北部(天津段)的地壳、上地幔结构剖面(图2),研究认为沧县隆起和黄骅坳陷地壳分上中下三层:上地壳最大岩石波速6.3 km/s,沧县隆起厚16 km,黄骅坳陷厚12 km;中地壳岩石波速6.3 ~ 6.8 km/s,厚度稳定,为8 km;下地壳岩石波速6.8 ~ 8.0 km/s之间,形态与中地壳相似,厚9 ~ 10 km左右。值得注意的是,沧县隆起和黄骅坳陷中、下地壳速度结构横向连续,但上地壳速度结构明显不同,沧东断裂正是此结构的分界。所以,沧东断裂深部构造在剖面上表现为上陡、下缓的铲状断面以极缓的倾角延伸至10 km深处,是一条发育于上地壳,断深在上地壳底部、中地壳上部,倾向在水平上延伸数10 km的大型拆离断裂,与深切地壳甚至岩石圈、地幔的郯庐断裂截然不同。

2.2 地质构造特征

沧东断裂总体走向NE,为阶梯式向东倾斜的正断层,倾角约30 ~ 45°,断距1 000 ~ 6 000 m不等,总体上具有北浅南深的特征。沧东断裂在天津地区的延伸长度约60 km,被北西向的断裂切割成数段,是沧县隆起和黄骅坳陷共有的主要边界断裂(图1)。该断裂产状变化较大,断面呈平面状或铲状。沧东断裂西侧为沧县隆起,基岩以古生界为主,顶板埋深1 000 ~ 2 000 m;东侧为黄骅坳陷中的北塘凹陷,堆积的古近系孔店组很薄,主要以沙河街

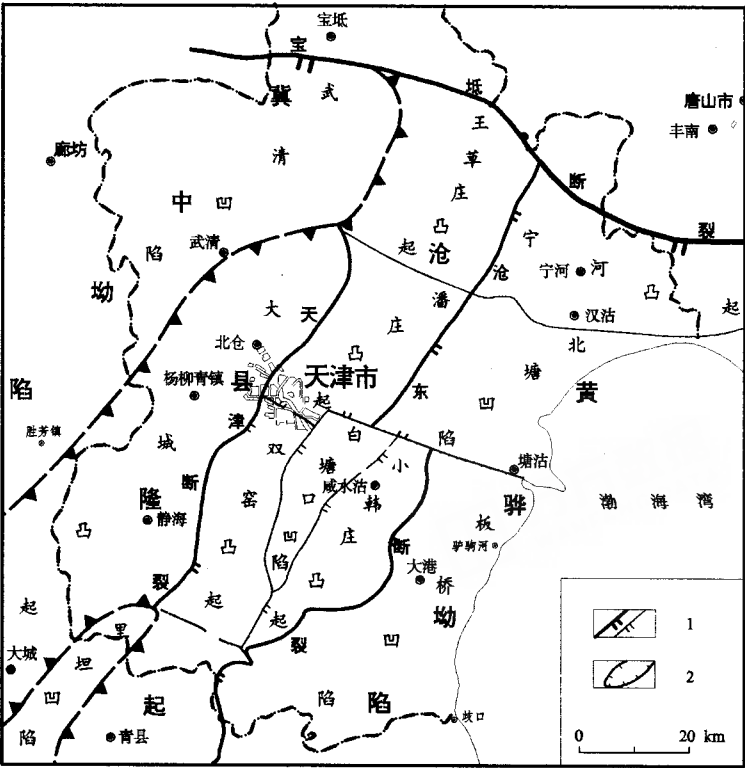


图 1 沧东断裂(天津段)构造位置图

Fig.1 Sketch of tectonic position of the Cangdong fault

1.主要断裂; 2.古近系缺失线

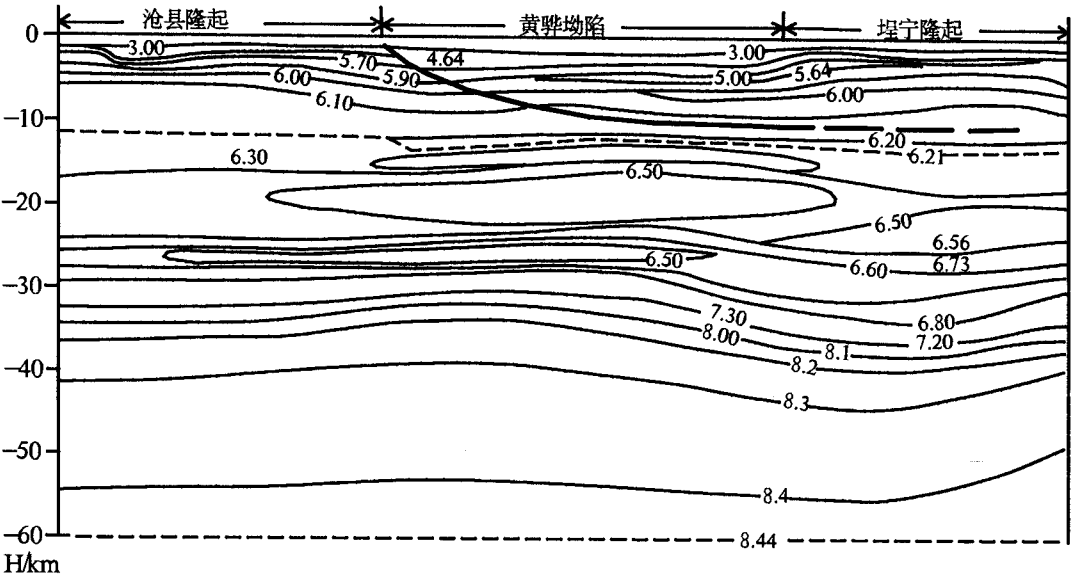


图 2 沧县隆起和黄骅坳陷地壳、上地幔速度结构剖面

(据国家地震局地球物理勘探中心 1995 年)

Fig. 2 Framework section Of upper mantle's velocity in Cangxian uplift and Huanghua depression

图中粗黑线为速度急变带,推测为沧东断裂

组和东营组为主,厚度约 3 ~ 5 km,西侧的前古生界地层与东侧的新近系地层对接(图 3)。

2.3 沧东断裂的北部边界的确定

关于沧东断裂北端界限问题,天津市地矿部门和地震部门根据沧东断裂北延伸线的东西两侧重力异常等值线及地震垂直形变等值线分布特征,认

为沧东断裂越过宁河向北延伸至蓟运河断裂(宝坻断裂东段)。《河北省北京市天津市区域地质志》对“沧州-大名深断裂亦称沧东断裂”的描述中,以推测方式表示了沧东断裂继续向北延伸至唐山的结论^[6]。就目前掌握的资料,笔者认为沧东断裂北端断至蓟运河断裂附近。原因在于蓟运河断裂南北两侧分属两个不同的构造体系,北侧所处构造单元属于燕山造山带内宝坻-唐山凹陷,为一系列 NNE 向、古生界碳酸盐岩及含煤碎屑岩强裂褶皱组成的地质建造体构成,基岩埋深在 500 ~ 700 m 以浅,背向斜构造多在蓟运河断裂附近消失,唯独车轴山向斜核部越过蓟运河,在宁河县西双庄附近才消失^[7]

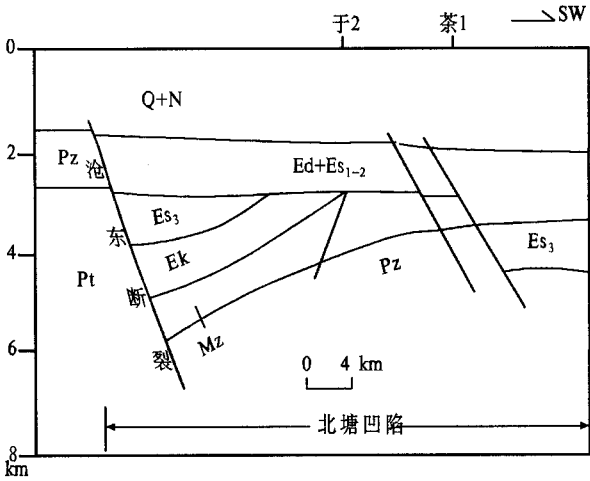


图 3 北塘凹陷 EW 向地质剖面图

Fig. 3 EW direction geological section of the Beitang concave

(图 4)。而在蓟运河断裂以南,以沧东断裂为界,断裂西侧为基岩埋深较浅的古生界潜山,东侧为巨厚的古近系堆积,属典型的华北断陷盆地的“断陷”-“拗陷”结构。

3 沧东断裂导热特征分析

研究沧东断裂的导热作用,主要从两个方面,一是看沧东断裂是否对形成地热的热源有构造控制作用,将深部高温热层上抬,为天津地热异常形成较短的导热通道;二是通过地热井揭露,地温场分布特征研究沧东断裂在地壳浅部的导热作用。

3.1 深部控热条件

研究表明^[8,9],华北断陷盆地地热热源主要为中地壳花岗岩放射性元素生成热和上地幔软流圈传导热。沧东断裂在上地壳底部即转化为近乎水平的走滑断裂(图 2),不具备将产生放射生成热的中地壳和产生深部热流的上地幔向上抬升的条件。再者,像沧东断裂这样的铲状正断裂发育有一个重要的特点,当断裂倾角随断裂两盘块体旋转(掀斜)而逐渐变小时,断裂上盘重力对断裂发展所起的作用越来越小,最后以致消失而转变成阻止断裂活动的摩擦力,因此,沧东断裂在上地壳深部不会形成较短的导热“通道”使大规模的热源物质上涌。

3.2 浅部导热作用

3.2.1 地温场水平分布特征

天津市主要地热田盖层平均地温梯度最高值

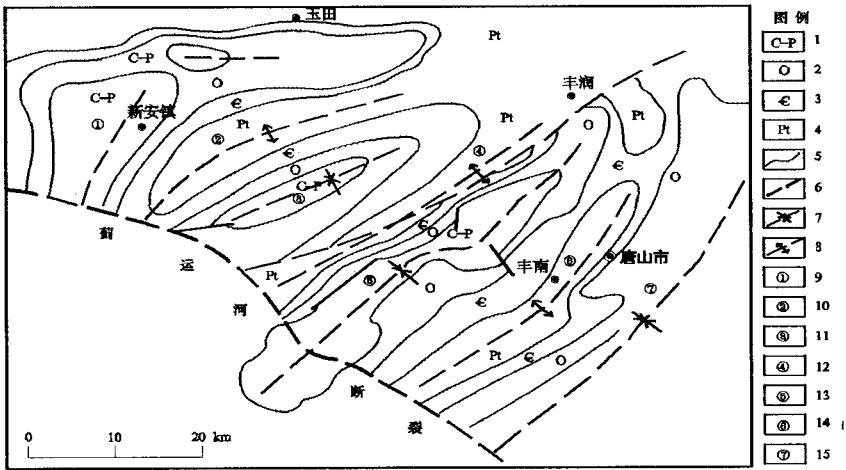


图 4 蓟运河北侧地质构造略图

Fig. 4 Tectonic sketch of the north side of the Jiyun canal

1. 石炭-二叠系未分; 2. 奥陶系; 3. 寒武系; 4. 前古生界未分; 5. 地址界限; 6. 断层; 7. 向斜轴; 8. 背斜轴; 9. 下仓向斜; 10. 桥头背斜; 11. 窝洛古向斜; 12. 丰登坞背斜; 13. 车轴山向斜; 14. 碑子院背斜; 15. 开平向斜

表 1 天津市主要地热田基本数据表
Table 1 Datasheet of the main geothermal fields in Tianjin

地热田	构造部位	基岩顶板最小埋深 (m)	基岩最高点距沧东断裂 (km)	盖层平均地温梯度最高值 (°C/100m)	代表井号
周良庄	王草庄凸起	880	32	5.5	王3
王兰庄	双窑凸起	1000	24	8	JH-01
山岭子	潘庄凸起	1200	2	8.3	SR-11
万家码头	小韩庄凸起	1000	2	8.8	增3

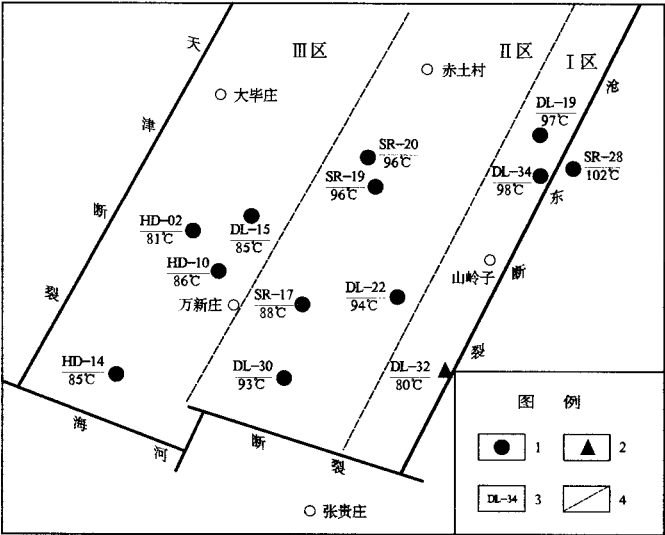


图 5 沧东断裂热对流影响温度分区图
Fig.5 Temperature distribution map affected by Cangdong fault's thermal convection

1. 雾迷山组地热井; 2. 明化镇组地热井; 3. 井号; 4. 温度分区线

如表 1 所示, 靠近沧东断裂盖层平均地温梯度最高值在 8.3℃/100 m 以上, 而远离沧东断裂的地热田, 盖层平均地温梯度值明显偏低。在山岭子地热田勘探中还发现, 靠近沧东断裂构造部位的地热井进入古生界几乎成一条陡倾的直线, 地温梯度介于 0 ~ 1℃/100 m; 远离沧东断裂, 古生界地温梯度增为 1.0 ~ 2.7℃/100 m。并且地温梯度高值区中心与基岩浅埋区并不重合, 而是明显地偏向沧东断裂。可见在断裂附近, 特别是断裂交汇地带, 热流活动强烈, 基岩热储层表现为较低的热导率、而松散盖层的地温梯度则显著增高^[10]。

3.2.2 地温场垂向分布特征

沧东断裂(天津段)主要穿过山岭子、万家码头地热田, 在目前人工钻探揭露所能及深度内, 钻遇沧东断裂和远离沧东断裂的地热井都比较多, 为分析沧东断裂周围垂向地温场分布特征提供了条件。如在山岭子地热田, SR2 井深 1 400 m, 井口水温

96℃, 相距 4.5 km 的 SR6 井在同样深度同一层中热储层温度只有 70℃。分析靠近沧东断裂带附近地热井测温曲线可知, 其基岩井段(奥陶系、寒武系、雾迷山组)垂向上地温梯度很小, 表明不同产水层连通性好, 存在着上下水热对流现象; 而松散层地温梯度则显著增大。

3.2.3 热储温度的平面分布特征

为进一步探讨沧东断裂的导热特征, 以山岭子地热田雾迷山组地热井为例进行分析。如图 5 所示, I 区距沧东断裂约 2 km, 地热井井口温度(以下同)在 97 ~ 102℃之间; II 区距沧东断裂约 2 ~ 18 km, 温度在 88 ~ 96℃之间; III 距沧东断裂约 18 km 以西, 温度在 81 ~ 86℃之间, 虽然这里有其它如基岩顶板埋深造成的影响, 但不难看出沧东断裂导热作用对雾迷山组热储层温度影响之大。除此之外, 山岭子地热田最高温度的明化镇组热水井(DL-32: 井深 1 150 m, 井温 80℃)、奥陶系热水井(DL-16: 井深 2 500 m, 井温 75℃)、寒武系热水井(DL-14: 井深 1 721 m, 井温 96℃)均出现在沧东断裂带附近。

总之, 沧东断裂深部不具备控制天津地热热源的构造条件。但浅部具有明显的导热特征。导热方式是在基岩中以水为介质, 将相对深部热储层中的高位热能通过断裂破损通道及岩体裂隙以对流为主的方式传递到浅部, 其最大效果在靠近沧东断裂的构造裂隙发育部位, 并对松散盖层的热储层有一定的影响。

4 沧东断裂带导水 特征分析

除去某些特殊的构造位置或地层缺失区, 总的来说, 天津地区所有热储层的水质变化都呈现出明显的水平方向上从北东向南西(与地下热水的迳流

表 2 各热储层在不同的构造单元内有代表性的水质类型及矿化度(mg/l)统计表

Table 2 Statistics of representative water quality from the thermal reservoirs in different tectonic units

热储层	沧县隆起			沧东断裂带（图5）			黄骅坳陷		
	最北	中部	最南	最北	中部	最南	最北	中部	最南
明化镇组	0.5	1.2~1.6	2.56	—	1.3	1.7	0.39	1	2.26
	H-Na	Cl. H-Na	S. Cl-Na	—	H. Cl-Na	Cl. H-Na	H-Na	H. Cl-Na	Cl. H-Na
馆陶组	缺失	1.8	2.2	—	1.7~1.8	—	0.53	1.7~1.9	4.35
		Cl. H-Na	Cl. H-Na		Cl. H-Na		H-Na	Cl. H-Na	Cl. H-Na
奥陶系	1	4.5~4.8	—	缺失	1.8~2.0	—	—	—	39.8
	H-Na	S. Cl-Na			Cl. H-Na				Cl-Na
寒武系	1	1.8	—	1.7~1.8	—	—	—	—	—
	H. S-Na	Cl. S. H-Na		Cl. H. S-Na					
雾迷山组	1	2	5.9	1.6	1.9	2	—	—	—
	H. S. Cl-Na	Cl. S-Na	Cl. S-Na	Cl. H-Na	Cl. H-Na	Cl. H-Na			

注：表中“缺失”表示地层缺失；“—”代表暂无热水井；水质类型各符号的意义：H = HCO₃⁻，S = SO₄⁻²

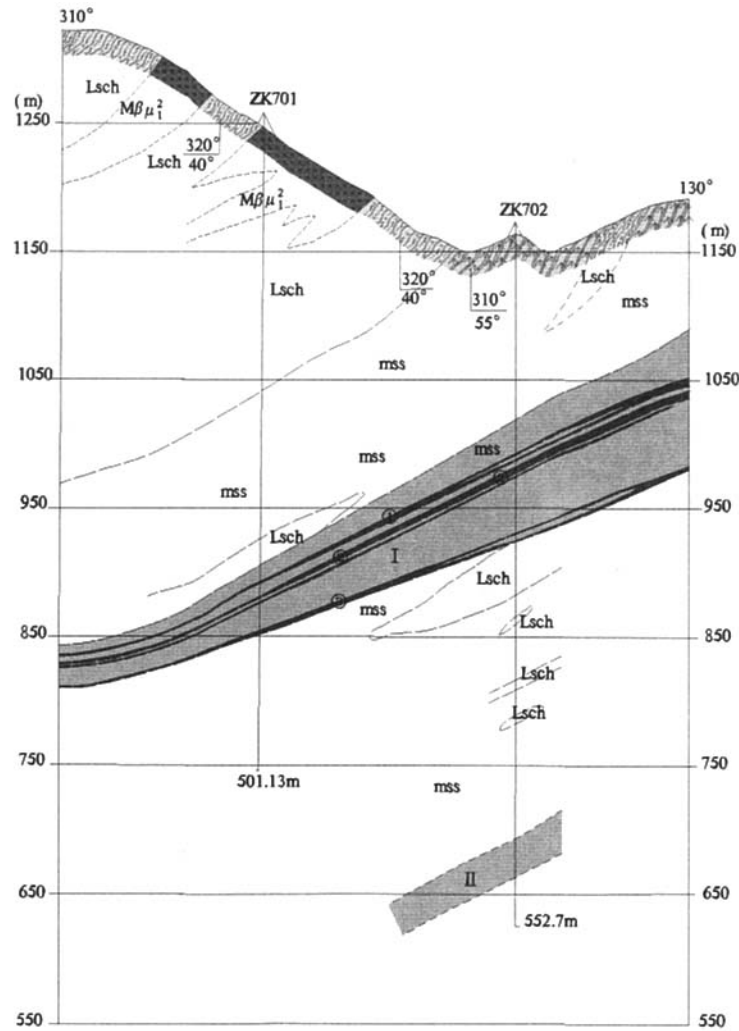


图 6 雾迷山组热流体矿化度与水质类型分布图

Fig. 6 Distribution of the TDS and water quality type from Wumishan Formation's geothermal liquid

方向基本一致),垂向上从上至下,矿化度逐渐增加的特征(表2)。以雾迷山组基岩热储层为例,从华北断坳区最北端的天津地区现有的热水井王2至最南端的唐官屯JH03,矿化度由1.0 mg/l 渐增至5.9 mg/l(图6)。但综合对比分析表2和图5所反映地热流体水化学特征可发现,在沧东断裂带附近,各基岩热储层之间有较好的联通性,表现为在水平方向上,从北部的DL19井到最南的DG43井,矿化度仅相差0.4 g/l,远小于其西侧地区;尤其在海河断裂以南,矿化度增加缓慢,在图6中表现为矿化度等值线西密东疏的不等距特征(浅灰色所示);并且其东侧的馆陶组(其埋藏深度与基岩相当)因沧东断裂顶端断入,其水质与基岩水相似,水位降幅与同年度的基岩水水位几乎等幅同步。而沧东断裂没有影响到的明化镇组地热井却完全没有该现象,¹⁴C测得年龄还远大于下部馆陶组年龄。这些现象可以说明,沧东断裂带及两盘岩体具有从NE向SW较强的迳流能力。沧东断裂带附近各基岩热储层的水质相差甚微,尤其在沧县隆起区水质普查较差的奥陶系热水在此带(浅灰色所示)附近和雾迷山组水质没有明显差异。沧东断裂带附近的水质分布特征说明,沧东断裂带无论在水平方向还是在垂直方向上都具有较强的地下热流体径流能力。

但是,根据最新的地热钻井资料,沧东断裂的导水导热作用是分区分段的。2006年10月在山岭子地热田施工SR28地热井时,钻进到1 672 m时开始漏浆,1 721 m发生严重漏浆(只进不出),1 745 m时上部地层垮塌,钻遇岩性具明显断裂带特征。事故处理后对1 672 ~ 1 745 m进行试水,水温97℃,水量55 m³/h,动水位达153.5 m,水位降深过大,未能成井。后继续钻进至蓟县系雾迷山组2 278.99 m成井,抽水试验结果水温102℃,水量133 m³/h,动水位71.35 m^[11]。两次试水段距离约有500 m,但流量相差78 m³/h,温度相差5℃,折算地温梯度为1℃/100 m,与天津地区远离沧东断裂的其它地热田内部雾迷山组增温率基本相同。可见,沧东断裂在该处虽断穿了雾迷山组热储层,但断裂带并未形成上下水力联系通道,没有导水导热对流现象发生。分

析认为沧东断裂经历了正-逆-正断层性质的变动,受不同区段、不同层位的产状、活动强度及岩性的影响,在导水导热能力上表现出局部的差异性,整条断裂不具有强烈导水导热的特征。

5 结语

沧东断裂(天津段)是一条隐伏的、控制沧县隆起与黄骅拗陷地质建造的重要、大型拆离断裂,断深在上地壳底部、中地壳上部,倾向在水平方向上延伸数10 km,其断裂北端越过宁河,与蓟运河断裂相接。沧东断裂不具备控制天津地热热源的深部构造条件,但在上地壳浅部能将下部热储层高位热能以热对流形式传递到浅部,影响范围随远离断裂带而减弱。整体上断裂带及两盘岩体具有广泛的从NE向SW较强的导水能力,但在局部有一定的差异性。

参考文献:

- [1] 黄宗理,张良弼,李鄂荣,等.地球科学大辞典(基础学科卷)[M].北京:地质出版社,2006,904.
- [2] 地质矿产部地质专报.天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1982,198-199.
- [3] 高战武,徐杰,宋长青,等.华北沧东断裂的构造特征[J].地震地质,2000.22(4),395-404.
- [4] 卢润,杜宝金,蔡冠英,等.天津市及王兰庄地热田勘探报告[R].天津:天津地热勘查开发设计院.1997.
- [5] 国家地震地质研究所.河北平原及其周围地区新构造图及说明书[M].北京:地震出版社,1985.
- [6] 河北省地质矿产局.河北省北京市天津市地质志[M].北京:地质出版社,1989.
- [7] 林黎,林建旺,杨玉新,等.天津市宁河北应急开发工程地下水资源评价[R].天津:天津地热勘查开发设计院.2004.
- [8] 陈墨香.华北地热[M].北京:科学出版社,1988.
- [9] 赵苏民,林建旺,程万庆,等.天津地区地热形成机理[R].天津:天津地热勘查开发设计院,2004.
- [10] 廖志杰,陈振霞.天津市山岭子地热田地下热水[J].北京大学学报(自然科学版),1993,29(2):224-232.
- [11] 杜槟.天津市东丽湖旅游度假区SR28地热井完井报告[R].天津:天津地热勘查开发设计院,2006.

Character and Water-temperature Conductivity of the Cangdong Fault (Tianjin Segment)

ZHAO Su-min, GAO Bao-zhu, LI Xue-mei, LI Hui-juan, HU Yan

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

Abstract: Cangong Fault is buried structure in Huabei Plain. Its tectonic evolvement went through 2 split-collapse cycles from Mesozoic to Cenozoic. Artificial earthquake study on it indicates that it is a large-scale fault with strike NE and inclination steep in upside and even in underside. And its north borderline gets to the Jiyunhe fault. The study on the hydrochemical field of geothermal liquid and temperature field around Cangong fault suggests that the underside of Congdong fault does not possess the structural conditions to control Tianjin geothermal source, but its upside has obvious character of thermal convection that can conduct the high quality heat source from the deep to the shallow part. On hydraulic conductivity, it has strong runoff ability on horizontal and vertical direction.

Keyword: Congdong fault; water conduction; temperature conduction; liquid character

《地质调查与研究》征订启事

经国家科委和新闻出版署批准, 我刊《前寒武纪研究进展》于 2003 年起更名为《地质调查与研究》。办刊宗旨: 本刊为地质科学领域中的学术性刊物, 执行党的基本路线及国家的出版政策法规, 坚持 "百花齐放, 百家争鸣" 的双百方针, 面向地质调查和研究工作, 为地质调查和研究成果提供交流载体, 推动我国地质调查和研究工作的开展, 为我国的经济建设和发展服务。主要刊登内容: 地质调查和研究中的新认识、新成果、新进展, 地区性、专业性焦点、难点问题, 新理论、新技术、新方法、新工艺的研究和引进。内容涉及基础地质、矿床地质、同位素地质年代、第四纪地质、水资源与环境、灾害地质、城市地质、农业地质、旅游地质、地球物理勘查、地球化学勘查、地质调查信息等领域, 以及国民经济和社会发展对地质工作的需求等方面的文章, 亦刊登国外相关领域的研究动态和成果。主要开设栏目: 基础地质、矿产资源、水文地质、工程地质、环境地质、技术方法等, 非常适合地质工作者、地质院校师生和有关单位的管理者阅读参考。

本刊为 80 页的季刊, 公开发行, 每期约 12 万字, 可全年订阅, 也可分期订阅。订阅办法: 1) 单位和个人均可向我刊编辑部订阅; 2) 邮局汇款, 地址: 天津市河东区大直沽八号路 4 号, 邮编: 300170; 3) 银行信汇: 天津市河东区工商行大直沽分理处, 账号 401088066213。

联系电话: 022-24023549

《地质调查与研究》编辑部