

采灌条件下中低温热储温度场动态特征初探

曾梅香¹ 田光辉¹ 赵越波² 朱婧嫻³

(1.天津地热勘查开发设计院,天津 300250;2.天津华北地质勘探局,天津 300181;
3.天津市塘沽区环境保护局,天津 300450)

提要:中国四大直辖市之一的天津具有较高地温场背景,地热开采历史长、规模大,回灌式循环开采发展势头喜人。由连续开采多年的地热井井口稳定流温监测数据证实:各储层地热流体温度并没有因长期开采而出现明显变化;而由同一眼基岩回灌井、停灌前后不同时段进行的井温测试结果表明:以比热储温度低得多的原水进行回灌,虽然井管内同一井段不同时期井温有 0.1~0.76 °C/a 的微弱降幅,但主要取水层段在一个停灌周期内的井温则呈逐月恢复势态,数据显示停灌期间回灌井区域基岩热储温度回升迅速,并在下一个回灌期来临之前即可逐渐回复至前年同期的热储原始温度水平。

关键词:井口流温;井下连续测温;基岩岩溶裂隙热储;热传导;对流作用;天津市

中图分类号:P314.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)01-0191-07

中国北方现代工业生产重镇天津市地下蕴藏丰富的沉积盆地型中、低温地热能源,该市较大规模商业性开发利用始于 20 世纪 80 年代,目前已有不同热储层、不同成井深度的地热井 346 眼,其开采规模、直接利用技术、地热科研水平等均名列全国榜首,且在国际上也有一定影响。为缓解因规模化开采造成的热储压力下降,天津自 1982 年就开始了回灌研究,至 2008 年末已建成 53 眼回灌井。2008 年地热流体年度开采总量为 $2604 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、年回灌量为 $586 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在开采、回灌条件下,热储层的压力(水位)、水化学及温度等各场均呈现较为复杂的动态变化特点^[1]。本文以近几年地热开采井井口流温和回灌井井下连续测温数据为基础,对开采、回灌状态下的热储温度场动态特征进行简要分析,供学界同仁探讨。

1 天津热储地温场背景

华北盆地是中国地热异常区地温场研究程度最高的区域^[2]。由大量地热井井底、井口流体测温、稳

态测温以及地面地温场调查等资料表明:除西部边缘的北京—保定—石家庄诸凹陷及北部的宝坻凹褶,受天然冷水流的影响,存在两个宽 30~60 km、盖层平均地温梯度 $< 2.0 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 的显著低温带外,华北平原其他大部分地区的地温梯度值在 $2 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 以上,其中在北京的东南、天津地区、济南市以北、石家庄市以东至渤海沿岸范围内出现了地温梯度大于 $3 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 的高值区,盖层平均地温梯度 $3\sim 4 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 的面积占总地区面积的 27.6%,地温梯度大于 $4 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 的占 17.3%。深部的基岩构造形态对区域地温场起着控制性的作用,基底凸起部位往往是地热异常区主要分布区^[3]。

天津地处华北盆地东北部,宝坻—宁河断裂以北燕山台褶带的蓟宝隆褶区因为松散盖层很薄或基岩直接裸露地表,地温梯度较低;断裂以南的华北断坳区无论从平面上、还是垂向上地温场的分布特征均与华北沉积盆地一致^[4-6],盖层平均地温梯度表现为中间高、两侧低的分布特征,即沧县隆起是地温梯度的高值区,隆起区大地热流最大值可达 2.388

收稿日期:2009-06-05;改回日期:2009-08-26

基金项目:矿产资源补偿费地热项目“天津市地热资源开发利用动态监测”(国土房地热任字[2008]002号)资助。

作者简介:曾梅香,女,1965年生,教授级高级工程师,研究方向为水文地质、工程地质、热储工程及钻探;E-mail:tidryzeng@sohu.com。

HFU(99.98 mW/m²),平均为 1.672 HFU(70 mW/m²)^[9];其两侧的冀中、黄骅拗陷为地温梯度的低值区。若以 3.5 °C/100 m 为地热异常区的下限值,那么天津地区所圈定的 10 个异常区有 7 个分布在沧县隆起上,控制面积占全市地热异常区面积的 84.4%^[7]。平面上地温异常区呈低、高、低相间展布,并与地质构造的凹、凸、凹分布相一致,其分布形态总体上反映了区域构造的基本特点^[8]。由地热钻探成果显示:天津地区陆相碎屑沉积的新近系孔隙型热储层地热井井口稳定流温为 40~82 °C;海相沉积为主的岩溶裂隙孔隙型基岩热储温度为 60~102 °C,最高温度可达 113 °C。

2 开采条件下热储温度场动态特征简析

在天然状态下,热储流体的补给、径流、排泄基本维持动态平衡,其压力(水位)、水化学及温度等动态要素变化较小。而人类对地热流体的开发利用活动破坏了其原来的动平衡状态,除热储层压力变化较直观外,随着开采强度的不断增加,热储流体的温度变化也是不容忽视的。

在当前抽水设备能力及开发利用经济技术条件下,天津地区地热资源可供开发利用的热储层共有 7 个,分别为:孔隙型新近系明化镇组(Nm)和馆陶

组(Ng)热储层、古近系东营组(Ed)热储层,基岩型古生界奥陶系(O)和寒武系(ε)热储层、中元古界蓟县系雾迷山组(Jxw)热储层、长城系高于庄组(Chg)热储层。天津市地热资源开采历史较长,开采规模较大,开采层段、开采区域、开采和回灌时段也较集中,以明化镇组、馆陶组和雾迷山组为开采目的层的地热井数占全市总地热井数的 90 %以上,开采及回灌期主要集中在每年的 11 月 15 日至次年的 3 月 15 日约 120 d 的供暖期内。据《2008 年天津地热资源开发利用动态监测年报》资料可知:2008 年度这 3 个主要热储层的开采量(2451×10⁴ m³)占地热资源当年开采总量(2604×10⁴ m³)的 94 %。

图 1 是笔者从天津市众多连续开采多年的地热井内,在主要开发利用热储层中选取的几眼具有代表性的开采井,分析其多年井口稳定流温动态监测数据,整理而绘制出的相关曲线。为了较真实地反映同一眼地热井多年开采条件下,其地热流体温度的动态变化特点,尽可能地选用开采泵量完全相同、流体温度已达稳态且监测方法一致时各井不同年份同一时间段内所实测的流温数据来绘制此图件,以排除其他因素的影响。从图上各井多年较为平缓的温度曲线态势可看出:地热井的井口稳定流温与成井时的流温相差无几,基本保持稳定不变,表明地热井的流体温度并没有因长期开采而出现明显的变化。

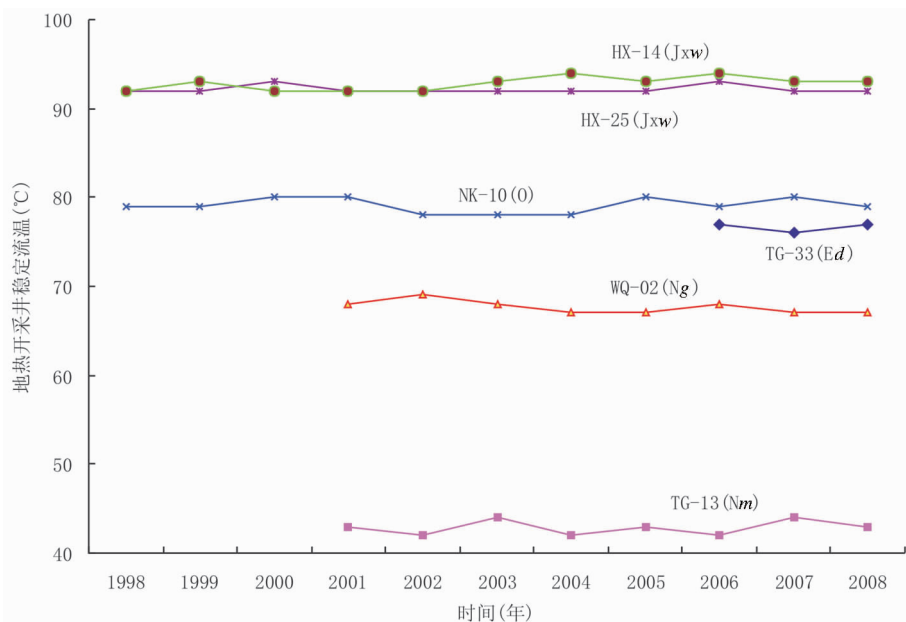


图 1 地热开采井多年稳定流温曲线

Fig.1 Steady flow temperature curves of geothermal production wells

3 地热回灌对基岩热储温度场的影响

天津是目前中国地热回灌开采规模较大的地区之一,自 1982 年开始由最初探索性回灌研究至今,各热储层回灌井已达 53 眼,采、灌井数百分比已超过 15%,回灌量逐年增加,2008 年度地热资源整体回灌率达到 22.5%,提前 2 年实现了《天津市地热资源勘查与开发利用规划》(2006—2010) 中地热回灌率 20% 的规划目标,这在自 1936 年就开始以单井形式粗放式开采地热资源、而回灌式循环开采仅有 10 余年历史的天津已实属难得。

目前天津地区除东营组和高于庄组以外的其他热储层均开凿有地热回灌井,不仅针对不同课题进行了包括真空回灌、压力回灌、示踪回灌试验等在内的各种专门性科研,且大部分回灌井均是多年连续的生产性回灌运行,回灌水源均为经过换热后只是降温了的地热原水。天津市地热回灌井主要集中在蓟县系雾迷山组、奥陶系和新近系馆陶组热储层,其中雾迷山组热储层回灌井最多达到 30 眼,近年来回灌量增加明显,由 2000 年的不足 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 增加至 2008 年的 $420 \times 10^4 \text{ m}^3$,回灌率由 2001 年度的 7% 逐年增大到 2008 年度的 34%,取得了较为明显的综合成效。

回灌对热储层地温场的影响是在进行大规模回灌的情况下首先要考虑的问题。由于地热井开采时的流体温度(即使是最大稳定流温)并不能完全真实地代表深部热储层的温度,因此为取得地热回灌对热储温度场影响方面的实测数据,近年来笔者所带领的课题组不再沿用传统的井口流温监测方法,而是针对集中开采地区、回灌历史较长且回灌连续性较好的地段,选取代表性较强的回灌井进行了多次井下稳态测温工作。虽说这项工作费用更高、工作难度更大,但能更好地消除地热流体经井筒向井口运移过程中,因受流动速度、流量大小、井壁阻力等诸多因素而产生的热损影响数据真实性。该项工作采取了对同一眼回灌井、停灌前后的不同时间段进行测试,其中 HX-25B 是课题组重点跟踪研究的一眼基岩地热回灌井。

3.1 回灌条件下储层地温梯度的动态特征

回灌井 HX-25B 位于华北准地台北缘宝坻—宁河断裂以南华北断坳区的沧县隆起上,具较高的地温场背景,其所在区域即为中国华北盆地著名的

天津市王兰庄地热田,该热田地热异常区控制面积达 534 km^2 ,盖层地温梯度最大值可达 $8.0 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,地热井流温最高可达 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上。HX-25B 井深 1658 m(斜深),成井目的层为蓟县系雾迷山组(J_{xw})热储层,取水段厚度 156 m,成井时井口流温为 $91 \text{ }^\circ\text{C}$ ^⑨。该井从 1995 年成井后就开始在供暖期连续生产性回灌(即对井中的另一眼同层地热井 HX-25 通过深井泵提取热流体由热交换器换热后,经严格的全封闭式系统直接原水回灌),年灌量为 $(20 \sim 28) \times 10^4 \text{ m}^3$,自 2006 年至今在停灌期间前后进行过多次井温测试。从其实测井温曲线(图 2)可看出:该井的 100~200 m 井段温度增加较快,200 m 上下地温梯度变化明显,400 m 至基岩顶板 1454.46 m 稳定增温;而进入基岩地层之后,下部明显有高温地热流体上涌,由于盖层与下伏地层的热导率差异大,导致热储层温度明显升高;但由测温曲线下部的明显变化分析来看,增温仅限于盖层与基岩储层的接触部位(对应井段 1425~1450 m),由于基岩裂隙热储层热导率大,流体对流强烈,径流条件较好,致使在热储层内地温梯度值明显变小。结合成井时的资料分析发现:HX-25B 成井时主要漏失层在 1546.3~1654.3 m,以测温曲线较为明显的 2006 年为例:其年度回灌量为 $23.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,回灌水源温度约为 $44 \text{ }^\circ\text{C}$,由井温曲线可看出,井深 1550 m 以下增温很小,可以推测低温回灌流体主要是进入了 1550 m 以下的储层中,并在热储层内对应井段 1575 m 处形成一个温度低值区间(实测井温数据为 $92 \text{ }^\circ\text{C}$),而该井成井时以最大流量 $101 \text{ m}^3/\text{h}$ 抽水试验的井口稳定流温为 $90.5 \text{ }^\circ\text{C}$,根据天津地区井筒效应(热损温度 $2 \sim 3 \text{ }^\circ\text{C}$)经验分析,热储层温度应在 $92.5 \sim 93.5 \text{ }^\circ\text{C}$,由此可见以 $44 \text{ }^\circ\text{C}$ 的水源温度进行回灌,热储层温度在当年即可恢复到热储原始温度,说明停灌期间回灌井区域热储层温度迅速回升。

3.2 回灌井基岩热储层段温度动态特征

表 1 是近 3 年来回灌井 HX-25B 进入基岩热储层段前后的几次测温数据,对比其连续 3 年内同一井段不同时间段的井温具体数据可知,各井段温度变化不尽相同。以每年回灌期前 9—11 月份实测井温数据为例:盖层与基岩储层的接触部位 1450 m 处井温分别为 $86.49 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $86.22 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $85.71 \text{ }^\circ\text{C}$,3 年内共降低了 $0.78 \text{ }^\circ\text{C}$;裸眼段 1525 m 处的热储温度分别为 $88.63 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $88.64 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $88.63 \text{ }^\circ\text{C}$,3 年内变化不大。而

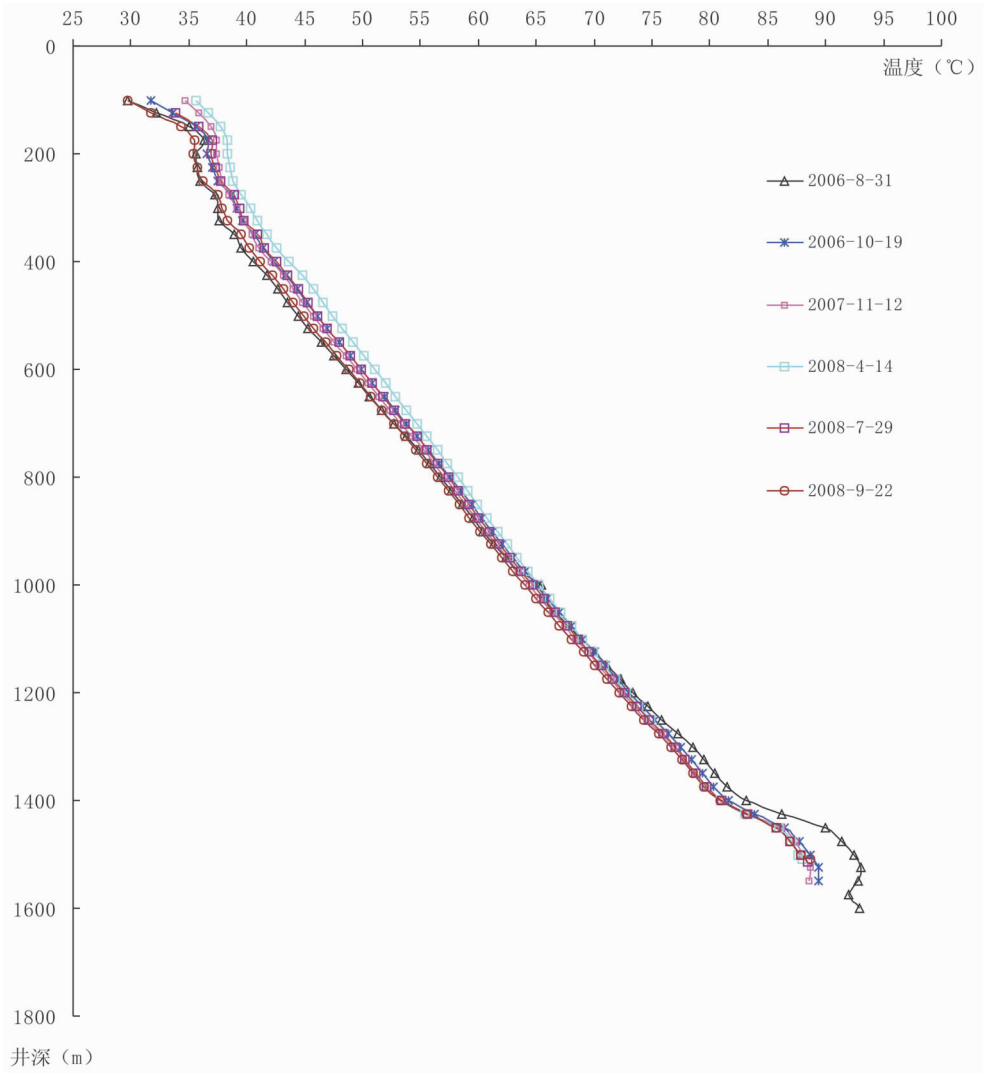


图 2 HX-25B 多年测温曲线

Fig.2 Measured temperature curves of HX-25B well

表 1 HX-25B 井基岩热储段历年实测井温数据(°C)
Table 1 Measured temperature data of bedrock geothermal reservoir of HX-25B well (°C)

井深/m		2006-10-19	2007-11-12	2008-4-14	2008-7-29	2008-9-22
1425		83.88	83.12	82.97	83.2	83.08
1450	基岩顶面	86.49	86.22	85.91	85.76	85.71
1475		87.68	87.33	86.97	86.93	86.91
1500		87.92	87.96	87.56	87.88	87.89
1525		88.63	88.64	87.96	88.45	88.63
1550	主要漏失段	89.39	88.57			

1454.46 m 正是该井下入的技术套管底部位置,说明此回灌井在井管内的流体温度有因接受低温流体回灌出现逐年微弱下降趋势,1425 m、1450 m、1475 m 井段降幅分别为 0.1~0.76 °C/a、0.27~0.51 °C/a、0.35~0.42 °C/a;但井温下降仅局限于井管内及其接触部位,而作为主要取水部位的裸眼井段(1500 m、1525 m),井温 3 年内基本未变,此应为裸眼段内高热焓的围岩源源不断地加热低温回灌流体所至。从已有数据来看,连续多年的回灌并没有引起热储温度出现较大降温现象,而且动态跟踪监测资料也能佐证这一结论:此对井中的开采井 HX-25 和附近的 HX-14 井(由以往抽水试验证实 HX-14 井与回灌井 HX-25B 有一定水力联系)多年实测井口稳定流温变化不大(图 1),可以说到目前为止回灌还没有对开采井的流体温度造成影响,但长时间大量低温流体回灌对热储温度以及开采井流体温度的影响情况如何?还有待于长期跟踪监测的数据来加以进一步研究证明。

为了更进一步了解回灌对热储温度的影响,发现地热井回灌后在停灌期间热储层温度逐渐变化的动态特征,2008 年度在 HX-25B 井内分别于 3 月份回灌结束后的 4 月份、7 月份、9 月份进行了 3 次连续测温。从 2008 年的 3 次实测数据和井温曲线可看出:尽管基岩热储层以上的井段(1475 m 以上)井温呈微弱下降,但在主要取水层段 1500 m、1525 m 处的井温则是逐渐上升的(表 1、图 3),如 1525 m 处 3

次井温数据分别为 87.96 °C、88.45 °C、88.63 °C,其中 9 月份的井温(88.63 °C)几乎已恢复到 2006 年 10 月(88.63 °C)和 2007 年 11 月(88.64 °C)的水平,如果在 2008 年回灌前的 10 月份或 11 月份再次进行测温的话,相信井温完全可以回升至前期同一数据。以此趋势可以发现,在停灌期间热储温度是呈逐月恢复态势,可以预期至次年回灌之前热储层井温就能回复至前年同期的水平。

3.3 温度场动态变化机理分析及环境影响

约 44°C 的回灌流体进入 92.5~93.5 °C 的基岩热储层内,年回灌量达 $(20\sim 28)\times 10^4 \text{ m}^3$,灌入流量与储层两者之间的热量差是巨大的,为 $(4.064\sim 5.807)\times 10^{10} \text{ kJ}$ 。如果单凭热传导平衡即高热焓围岩加热低温灌入流体,即使以最高地温梯度 8 °C/100 m 估算,仍需要巨大的热储体积(可概算得出为 $77.72\times 10^4\sim 111.1\times 10^4 \text{ m}^3$)来提供热量。而如此大的热量在较短的时间内(3 月份回灌结束后,4 月份测试数据表明热储温度即开始恢复)仅依靠热传导是不可能全部提供的,其中有一部分热量可能源自岩溶裂隙热储层的对流作用^[10-12],而这种传导与对流同时存在的形式,也正是天津市中低温地热田中基岩热储不同于对流作用很小的孔隙型热储的最典型特点^[13];但更多应是以上传到地表的热量(大地热流)减少为代价来实现的,这点可从图 2 的 HX-25B 井多年测温曲线表明井下地热资源的开发导致该区域地温梯度发生了明显变化得到佐证。

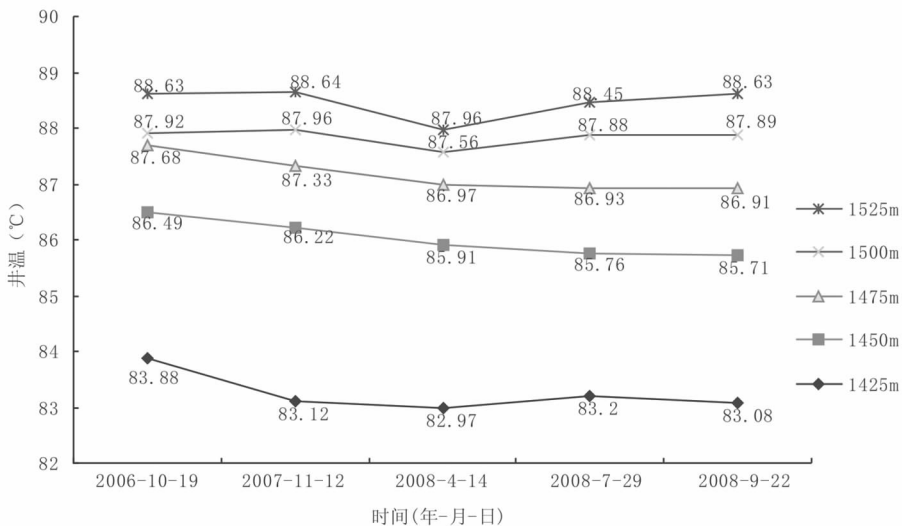


图 3 HX-25B 井基岩热储层段多年测温曲线

Fig.3 Measured temperature curves of bedrock geothermal reservoir of HX-25B well

从地下传导到地面的热流明显减少说明回灌井区域热储温度能快速恢复所需的热量,应是热传导、热对流作用及大地热流来共同提供的。大地热流的消耗则会导致热储以上区域地表生态环境发生重大变化^[14],最明显的表现是致使其上面大范围的地表植被覆盖减少,植被指数下降,直接结果是地面通过植被吸收储存太阳热能的能力下降;而夏季太阳辐射到裸露的地表则会使地面迅速升温,这可能是华北地区近年来夏季地面温度不断创出新高的一个重要原因^[15];此外回灌量仅是当年开采量的 1/4,热储资源的采灌不平衡导致储层水位逐年下降,如开采井 HX-25 静水位埋深由 2005 年的 83 m 左右以 4 m/a 下降速率降至 2009 年的 100 m 左右,地下水位的下降也将会导致地表生态环境的退化,进而关系到植被发育情况。这一系列深部热储温度场动态变化和地表生态环境变化正是由地热资源开发利用带来的复杂影响。

4 结 语

中国华北平原东北部的天津地区处在较高地温背景区域内,大地热流值高,地热异常区面积较大,热储温度较高,开采利用规模较大,地热研究程度较高。近年来地热回灌工作也得到了不断加强,珍贵的地热资源正朝着回灌开采的可循环式开发利用方向良性发展。基于多眼地热井的开采流温监测数据和典型地热井的多次井温测试结果分析:各地热井的井口稳定流温和热储温度都未出现明显降温现象,可以说无论是地热资源的开采、还是地热回灌,天津市半个多世纪的地热开发和多年地热回灌历史,至目前尚未对热储层地温场产生较大影响。当然更多、更深入的工作还有待继续进行,尤其是孔隙热储层中回灌实践及采灌前后温度场的跟踪研究,以发现和探索采、灌条件下,不同热储机理背景的孔隙型与基岩岩溶裂隙型热储层温度场动态变化的更多规律和趋势性特征。

参考文献(References):

[1] 曾梅香,田光辉,阮传侠,等. 2008 年天津地热资源开发利用动态监测年报[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2008:24-26,29-79,110-114,123-127.
Zeng Meixiang, Tian Guanghui, Ruan Chuanxia, et al. Annual Report of Geothermal Resources Development and Utilization Dynamic Monitoring in the Year 2008 in Tianjin [R]. Tianjin:

Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, 2008:24-26,29-79,110-114,123-127(in Chinese).
[2] 陈墨香,主编. 华北地热 [M]. 北京: 科学出版社,1988:24-35,40-57,85-88,104-116,200-207.
Chen Moxiang. Geotherm in North China [M]. Beijing:Science Press,1988:24-35,40-57,85-88,104-116,200-207 (in Chinese with English abstract).
[3] 胡燕,林黎,林建旺,等. 天津市地热资源可持续开发潜力评价 [R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2007:36-38,40-94.
Hu Yan, Lin Li, Lin Jianwang, et al. The Sustainable Exploitation Potential Assessment of Geothermal Resources in Tianjin [R]. Tianjin: Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, 2007:36-38,40-94(in Chinese).
[4] 陈墨香,邓孝,王钧,等. 华北平原地下水形成条件及赋存特征 [J]. 地球科学—武汉地质学院学报,1985,10(1):83-90.
Chen Moxiang, Deng Xiao, Wang Jun, et al. On the formation and accumulation of thermal water in North China Plain [J]. Earth Science—Journal of Wuhan College of Geology, 1985, 10(1):83-90 (in Chinese with English abstract).
[5] 刘国栋,史书林,王宝钧. 华北地壳内高层层及其与地壳构造活动性的关系 [J]. 中国科学,1984, B(9):839-848.
Liu Guodong, Shi Shulin, Wang Baojun. The relation of high conductivity layer and crustal tectonic change in North China [J]. Science in China,1984, B(9):839-848(in Chinese).
[6] 陈墨香,黄歌山,汪缙安,等. 渤海地温场特点的初步研究 [J]. 地质科学,1984,(4):392-401.
Chen Moxiang, Huang Geshan, Wang Ji'an, et al. A preliminary research on the geothermal characteristics in the Bohai Sea [J]. Chinese Journal of Geology, 1984, (4):392-401 (in Chinese with English abstract).
[7] Wang kun, Zhu Jialing, Liu Zhengguang. Monitoring and automatic metering of the geothermal fields in Tianjin [C]//The United Nations University Geothermal Training Programme & Presented at the Workshop for Decision Makers on Direct Heating Use of Geothermal Resources in Asia, Tianjin China, 2008:281-295.
[8] 吴铁钧,林建旺,赵维民,等. 天津地区热储工程研究 [R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2005:3-58,83-94.
Wu Tiejun, Lin Jianwang, Zhao Weimin, et al. Study on Geothermal Reservoir Engineering in Tianjin District [R]. Tianjin: Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, 2005:3-58,83-94(in Chinese).
[9] 曾梅香,阮传侠,赵越波,等. 岩溶裂隙热储层采、灌井间连通试验研究 [J]. 地质与勘探,2008,44(2):105-109.
Zeng Meixiang, Ruan Chuanxia, Zhao Yuebo, et al. Connect test between karst cranny reservoir pumping well and injection well [J]. Geology and Prospecting, 2008, 44 (2):105-109 (in Chinese with English abstract).
[10] 解政文,等. 渤海及其邻区热流值的初步分析 [J]. 地震地质,1980,2(3):57-63.

- Xie Zhengwen, et al. The preliminary analysis on heat flow value in Bohai and neighbouring area [J]. *Seismology and Geology*, 1980, 2(3):57-63 (in Chinese with English abstract).
- [11] 熊亮萍, 高维安. 隆起区和拗陷区地温场的特点[J]. *地球物理学报*, 1982, 25(5):448-456.
- Xiong Liangping, Gao Weian. The characteristic of ground temperature field in uplift and depression area [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 1982, 25(5):448-456 (in Chinese with English abstract).
- [12] 熊亮萍, 张菊明. 热流的折射和再分配的数学模拟[J]. *地质科学*, 1984, (4):445-454.
- Xiong Liangping, Zhang Juming. Mathematical simulation of refraction and redistribution of heat flow [J]. *Chinese Journal of Geology*, 1984, (4):445-454(in Chinese with English abstract).
- [13] 赵苏民, 林建旺, 程万庆, 等. 天津:天津地区地热形成机理研究[R]. 天津地热勘查开发设计院, 2003:18-22, 41-53, 62-69.
- Zhao Sumin, Lin Jianwang, Cheng Wanqing, et al. Analyses on Mechanism of Geothermal Origin in Tianjin Area [R]. Tianjin: Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, 2003:18-22, 41-53, 62-69(in Chinese with English abstract).
- [14] 匡耀求, 黄宁生, 朱照宇, 等. 试论大地热流对地表环境与生态演变的影响[J]. *中国地质*, 2002, 29(1):86-95.
- Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu, et al. Influence of the terrestrial heat flow on the evolution of the surface ecosystem and environment [J]. *Geology in China*, 2002, 29 (1):86-95 (in Chinese with English abstract).
- [15] 韩再生, 冉伟彦, 佟红兵, 等. 浅层地热能勘查评价[J]. *中国地质*, 2007, 34(6):1115-1121.
- Han Zaisheng, Ran Weiyuan, Tong Hongbing, et al. Exploration and evaluation of shallow geothermal energy [J]. *Geology in China*, 2007, 34(6):1115-1121(in Chinese with English abstract).

A tentative discussion on dynamic characteristics of the low-medium temperature geothermal reservoir field under the condition of exploitation-reinjection

ZENG Mei-xiang¹, TIAN Guang-hui¹, ZHAO Yue-bo², ZHU Jing-yuan³

(1. *Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, Tianjin 300250, China*; 2. *Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300181, China*; 3. *Tanggu Environment Protection Bureau of Tianjin, Tianjin 300450, China*)

Abstract: Tianjin, one of the four municipalities directly under the Central Government, has relatively high temperature field background. The exploitation of geothermal resources in this city has a long history and has been conducted on large scales, and the development momentum of the reinjection recycling exploitation is promising. The monitoring data on the steady flow temperatures of the continuously explored well head demonstrate that the geothermal fluid temperature of each reservoir has not changed obviously along with the long-term exploitation. The results of the same well temperature testing during the reinjection period and the non-reinjection period show that, when the lower temperature original fluid is reinjected, the temperature of different depths is dropped by 0.1~0.76 °C/a, but the temperature of the main exploitation section goes up again month by month during the non-reinjection period. The reservoir temperature of the reinjection well rises again quickly and gradually reaches the same level of the same period last year before the coming reinjection period.

Key words: well head flow temperature; underground continuous temperature test; bedrock karst fractured reservoir; heat conduction; effect of convection; Tianjin

About the first author: ZENG Mei-xiang, female, born in 1965, professor, mainly engages in hydrogeology, engineering geology, geothermal reservoir engineering and drilling work; E-mail: tjdryzeng@sohu.com.