



即墨温泉地热水水质的动态变化特征

刘焱光¹, 曹秀云², 付云霞³, 吴世迎¹

(1. 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 玉门油田作业公司, 甘肃 玉门 735200; 3. 青岛地质工程勘察院, 山东 青岛 266071)

摘要:即墨温泉是一种含多种化学元素的高矿化度热水资源, 在深部地下热水沿断裂带上涌的过程中可能与浅部冷水发生不同程度的混合, 使开采获得的地热水水质也发生了相应的变化。对即墨温泉地热资源核心开采区2口开采深度不同的地热井进行了为期1个水文年的水质变化监测, 地热水水质参数上半年比下半年高, 水质参数发生急剧变化的时间相对于气候的季节性变化有2~3个月的滞后, 且氯度、矿化度和电导率的季节性变化幅度在开采深度较浅的水井中较大, 表明开采条件和区域性气候条件的变化共同控制了地热水水质变化。

关键词:温泉; 水质; 动态变化; 青岛即墨

中图分类号: P314.1 **文献标识码:** A

0 引言

即墨温泉地热水含有多种微量元素, 矿化度高 (>10g/L), 其主要来源和补给源为大气降水, 与海水无关^[1]。近年来, 温泉地区的基础建设发展迅速, 对地热资源的需求也日益增加, 在核心开采区及其周边已经形成为数众多的地热开采井群。伴随着开采量的剧增, 地热水供需矛盾、环境问题等日益突出, 区域地下水位下降幅度很大(特别是在冬季强开采期), 从而影响到地下水的入渗、径流和排泄系统, 地热水的水质、水温、化学成分、流量等指标也相应地发生变化。20世纪90年代以来, 针对即墨温泉地区的地质构造^[2]、地热地质^[3]、水文地质^[4]和温泉沉积物^[5]等开展了一些研究, 也形成了有关水质类型、成因机制、资源量等方面的认识和观点。但对温泉地热资源在“人类与环境”这一相互作用系统内的变化趋势, 对地热水水质在局部地区的气候变化和城市化进程加快的大背景下的动态变化规律还知之甚少。

该文利用即墨温泉地热资源核心区内2个开采深度不同的地热井完成的为期1年的水质变化观测

资料, 对即墨温泉地热水4种主要水质指标的年际动态变化特征进行了分析, 讨论了季节性气候、地下水水位变化以及开采深度对水质参数的影响。

1 地热地质特征

即墨温泉的露头位于即墨市温泉镇东温泉村南部, 构造上处于胶南-文威造山带及其与胶莱拗陷接合部位, 崂山花岗岩体与白垩纪地层侵入接触的NE边缘, 其附近出露的地层主要为早白垩世莱阳群和青山群的陆相凝灰质碎屑岩和火山岩。通过综合分析即墨温泉及其附近地热远景异常区的地质、水文条件, 认为其热储层为莱阳群、青山群的陆相碎屑岩及火山岩类, 保温隔热层为第四纪松散土层及莱阳群、青山群裂隙不发育的岩体, 地热运移通道为NW向的张性断裂和NE向压扭性断裂的薄弱部位^[4]。地热增温、上地幔的传导热流及放射性元素蜕变等都可能成为热量的来源, 但目前对即墨温泉的热源问题并没有一致的见解。NE向的沧口-温泉断裂和NW向断裂的相互交切, 稳定的热源和充足的水源补给以及有利的热水储层等条件共同造就了高温、高矿化度的即墨温泉地热资源, 其地热核心开采区

* 收稿日期: 2009-08-22; 修订日期: 2009-12-25; 编辑: 陶卫卫

青岛市科技发展计划项目: 即墨温泉的水体来源及其动态变化(05-1-JC-95)。

作者简介: 刘焱光(1975—), 男, 山东单县人, 高级工程师, 主要从事同位素地球化学研究工作; E-mail: yanguangliu@yahoo.com.cn。

面积约 0.2 km^2 (图 1), 最高出水水温可达 93°C , 单井最大涌水量为 $1\,019 \text{ m}^3/\text{d}$ [6]。

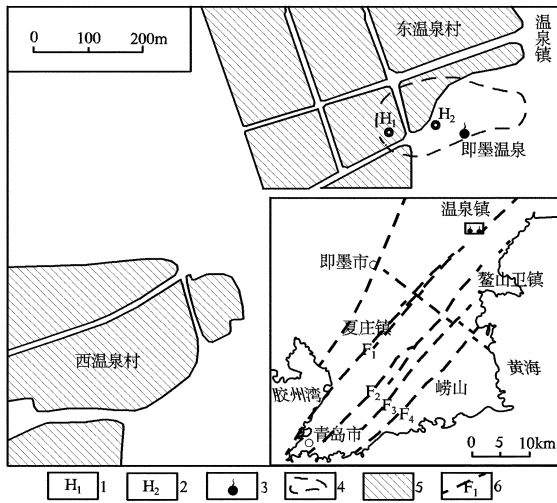


图 1 即墨温泉地热开采井位置示意图

1—温泉浴池井; 2—工疗井; 3—温泉; 4—地热资源核心开采区; 5—居民区; 6—断层及编号。F₁—沧口—温泉断裂; F₂—青岛山断裂; F₃—劈石口断裂; F₄—王哥庄断裂

温泉镇地区的地下水多属于松散岩类孔隙水, 水力性质基本属于潜水, 局部地段具有弱承压性。区内第四系孔隙水水位变化非常明显, 即随降雨而回升, 遇开采而下降。因此, 每年地下水位的低谷期处于春灌后到汛前的 6 个月, 而高峰期则处于汛后的 9—10 月份。即墨温泉溢流区内第四系较为发育, 厚度为 $10 \sim 15 \text{ m}$, 最大可达 25 m , 自下而上为全新世黑色海相淤泥、棕色泻湖相黏土, 顶部覆盖一层含柱状结核的湖泊相粉砂质沉积物 [2]。

即墨温泉地热资源远景估计为 $8.24 \times 10^{15} \text{ J}$ [4], 其地热开发方式为直接利用, 核心区目前有超过 6 口深井在持续开采, 井深 $120 \sim 245 \text{ m}$ 。所采热水主要供周围的温泉宾馆、疗养院和温泉度假村沐浴和室内采暖用, 近几年还有很多农家个体浴所进行 50 m 左右深度的浅层开采利用。地热水的强开采期一般在 11 月至翌年的 4 月, 其月均开采量为弱开采期的 3 倍。21 世纪初估算的年开采总量约为 20 万 m^3 [4], 目前这一数据要远大于此。

2 水质分析

2.1 地热开采井选择

根据即墨温泉地热开采井的分布范围、潜水泵放置深度, 选择东温泉村温泉浴池地热井

(孔深 60 m , 上部 9 m 左右的第四系松散土层用钢管固井, 9 m 以下的基岩部分未固井。潜水泵深度: 井口以下 45 m ; 以下简称温泉浴池井), 工人疗养院地热井(孔深 125 m , 成井结构与温泉浴池井类似。潜水泵深度: 井口以下 90 m ; 以下简称工疗井)进行水质动态变化监测。因工疗井采用相对封闭的开采方式, 仅对温泉浴池井进行了相对水位和水温观测, 测量工作均与水质分析样品同期进行。

2.2 水质分析样品采集

2008 年 2 月至 2009 年 2 月间, 基本按照每周一次的频率, 分别从 2 口地热井中抽取水样, 待抽出的地热水冷却后用乙稀塑料瓶装取, 采样量为 $1\,250 \text{ mL}$, 将每个水样按采样日期顺序标识并填写记录表后, 送实验室进行水质简分析。此次工作共采集水样 102 个。

2.3 水质分析方法

水质分析的测试要素主要包括 pH 值、电导率、氯度和总矿化度 4 项。pH 值利用酸度计进行测量, 分析方法和步骤按照《中华人民共和国国家标准: 水质 pH 的测定玻璃电极法》(GB6920 - 86) 来完成。电导率测量方法和步骤遵照《中华人民共和国环境保护行业标准: 电导率水质自动分析仪技术要求》(HJ/T97 - 2003) 用电导率水质自动分析仪来完成。氯度分析按照《中华人民共和国国家标准: 水质氯化物的测定硝酸银滴定法》(GB11896 - 89) 采用硝酸银滴定法完成。总矿化度的测量方法遵照《国家环境保护总局标准: 水质全盐量的测定重量法》(HJ/T 51 - 1999) 采用重量法完成。水质简分析工作在青岛科技大学环境与安全工程学院环境科学与工程实验中心完成。

3 分析与讨论

3.1 温泉地热水水质的动态变化特征

3.1.1 温泉浴池井

温泉浴池地热井位于温泉镇东温泉村南端, 为一家家庭浴池的供水井, 距离工疗井 50 余米。图 2 所示为根据观测和实验分析结果绘制的温泉浴池井水质参数的变化曲线。

(1) 相对地下水位和水温变化特征

相对地下水位和地热水温度的变化曲线呈现出两段式变化, 每年的 4 月底或 5 月初至 11 月中旬

(图2中虚线所示)为即墨温泉地热资源的弱开采期,在此期间地下水位较高,但水温较低。而在地热水强开采期的变化情况则相反。

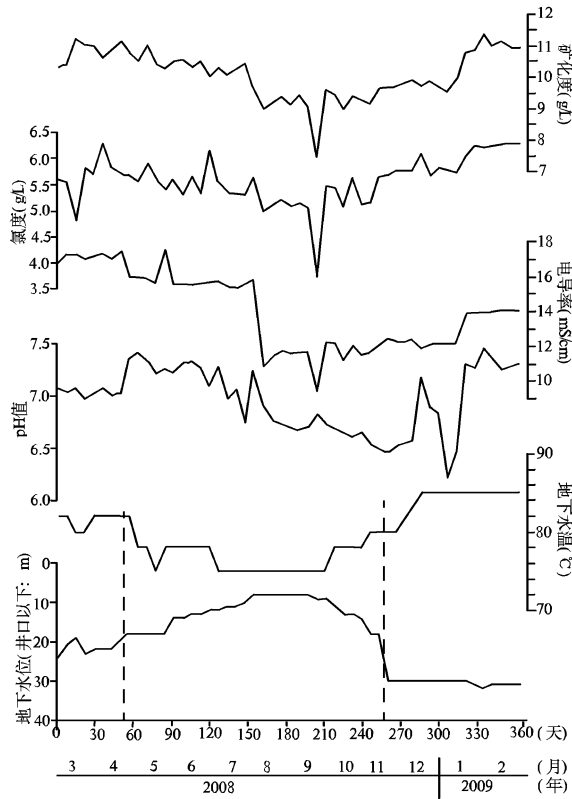


图2 温泉浴池井相对地下水位、水温和水质参数的动态变化图

从4月底开始至8月初,随着青岛地区的降水逐渐增加,区域地下水位逐渐上升,同时随着供热期的结束和温泉洗浴的减少,地热水的开采量迅速降低,在这两者的共同作用下,温泉浴池井的地下水位逐渐上升,最低时位于井口以下20 m左右,最高可达井口以下8 m的深度。同时由于地热开采量的减少,地下高温热水的上涌速度也减缓,并在浅部冷水的作用下,温泉浴池井下45 m处(水泵位置在井口以下45 m)水体的温度逐渐降低至75℃左右。八九月份的青岛最为炎热,温泉地热水的开采也处于比较低的水平,开采量比较稳定,这从温泉浴池井稳定的地下水水位和温度变化中可得到直接的反映。10月份以后,随着天气的逐渐变冷,降水逐渐减少,地热水需求逐渐增加,温泉浴池井水位逐渐下降。特别随着11月份供热期开始,地下水位急速下降至井口以下30 m左右的水平,然后几乎稳定在这一水平直至翌年的4月。同时伴随着地热水开采量的增

加,地下水温度逐渐上升,并最终稳定在85℃左右。因开采深度较深,工疗井水温的季节性变化不大,动态曲线基本平直,水温最高90℃,最低87℃,平均89℃^①。

虽然温泉浴池井不是即墨温泉的主开采井,地热水主要用于洗浴和家庭供热,但它位于地热资源的核心采区,距离几个主力开采井非常近,正是由于其开采量小,地下水水位和温度的变化才更具有区域的代表性。如图2所示,2009年该井的地下水位与2008年同期相比有5~6 m的下降,似乎表明2009年该地区地热资源的开采量与过去的一年相比又增加了很多,这是对温泉镇地区迅速发展的基础建设、宾馆酒店和房地产项目造成的地热水用量迅速增加的最直接反映。

(2) 水质变化特征

温泉浴池井地热水水质的变化虽然也呈现出两段式的变化规律,但其与地下水水位和温度的变化趋势不尽相同。地热水的各种水质参数值在上半年(1月初至7月初)都比下半年(7月初至12月底)高(图2)。5—7月,随着相对地下水位的逐渐上升,各水质参数(pH值除外)有微弱的下降趋势。水质参数的突然变化发生在7月份,分别对应了相对地下水位的最高位和地热水温度的最低值。似乎表明地热水水质参数的突然变化对区域降水量增加或地下水开采减少的响应要滞后一些。

上半年,地热水的pH值较高,一般都大于7,平均值为7.14,较高值多出现在4月底至7月初;氯度和矿化度的变化幅度不大,平均值分别为5.786 mg/L和10.56 g/L。下半年,地热水的pH值普遍较低(个别奇异点除外),一般都小于7,平均值为6.72;氯度和矿化度的变化趋势相近且逐渐上升,平均值分别为5.262 mg/L和9.41 g/L。

与其他水质参数的变化趋势不同,从2008年3月初至年底,水样的电导率呈现阶梯状下降,并于2009年年初又小幅上升。2008年的三四月份,地热水电导率平均值最高,为17.15 mS/cm,5—7月下降为15.76 mS/cm,8—12月间最低,为11.76 mS/cm,在2009年年初小幅上升至13.98 mS/cm。

① 青岛地质工程勘察院,山东省胶莱盆地地热资源普查报告,2000年。

3.1.2 工疗井的水质变化特征

工疗井位于即墨温泉地热的核心采区内,周围有青岛温泉度假村、中行疗养院、金麒麟温泉山庄等孔深超过100 m的地热开采井数口。由于其水泵位置较深,受气候变化和浅部地下水的影响较小,因此其水质变化情况比较简单。

如图3所示,工疗井的矿化度、氯度在1年中几乎没有什么变化(2个奇异点除外),一般都在11.8 g/L和6 600 mg/L左右变化;pH值在5—7月间最高,平均值为7.45,8月到12月间最低,平均值为6.64。2008年,水样的电导率呈现阶梯状下降,2009年年初又有小幅上升。2008年的三四月份,地热水电导率平均值最高,为19.3 mS/cm,5—7月下降为17.41 mS/cm,8—12月间最低,为13.64 mS/cm,在2009年年初小幅上升至14.48 mS/cm。在2008年12月4日和12月31日,东温泉村和工人疗养院各有1口新井在进行钻探施工,其井口与工疗井的距离均在20 m左右,因此在这2天出现的2个低矿化度、氯度和电导率的奇异点,推测是钻探冲洗液中的淡水影响所致。

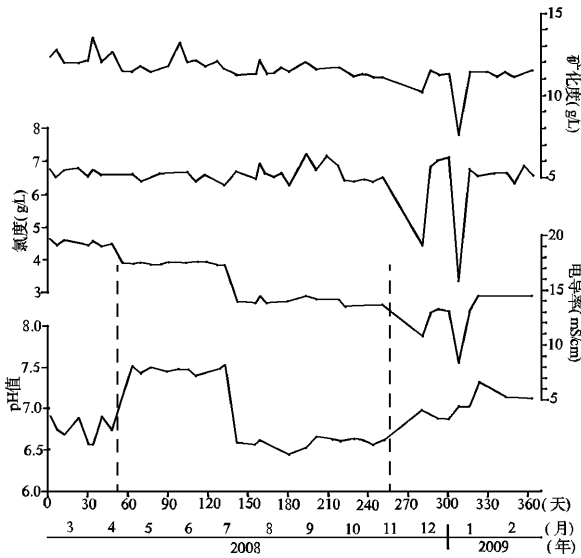


图3 工疗井水质参数的动态变化图

3.2 温泉浴池井和工疗井水质参数的对比

根据上述2个地热开采井水质参数的变化趋势分析,可以看出二者因采样位置(深度)的不同而表现出不同水质特征。选择2个最为重要的水质参数——矿化度和氯度,绘制温泉浴池井和工疗井所有水样的矿化度-氯度相关关系图(图4)。2口井

地热水的矿化度-氯度都显示出比较好的正相关(相关系数为0.7),几乎所有数据点都分布在图中所示相关曲线的两侧,反映了地热水的同源性。根据数据点在图中的分布规律,可明显地将2口井区分开来:工疗井数据点都集中分布在图中右上方,而温泉浴池井数据点则集中分布在左下方,表明工疗井地热水的氯度和矿化度整体比温泉浴池井地热水要高,可能代表了浅部地下水影响程度的不同。

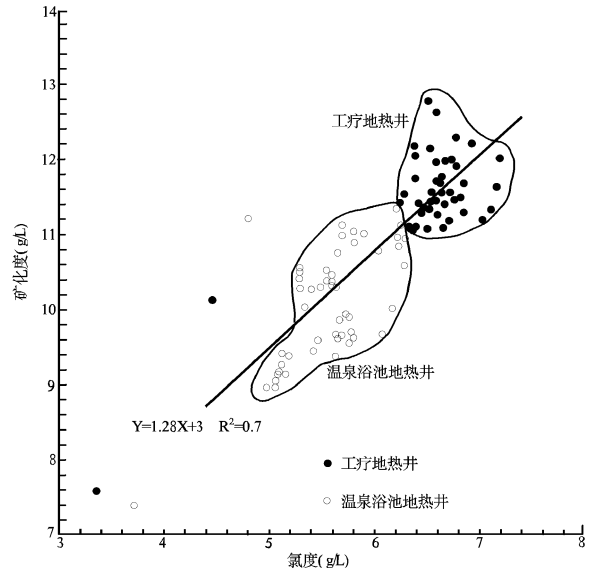


图4 温泉浴池井和工疗井的矿化度-氯度相关关系图

从图5可明显看出,除pH值外,工疗井水样的电导率、氯度和矿化度都比温泉浴池井高,年平均值分别为15.64 mS/cm,6583 mg/L和11.66 g/L。上半年(1月初至7月初)各水质参数处于高值,下半年(7月初至12月底)各水质参数处于低值;2井位水质参数之间的差值在下半年明显要大于上半年(pH值除外)。工疗井水的氯度和矿化度全年内变化很小,而温泉浴池井水样的氯度和矿化度在下半年相对降低;与其他水质参数不同,地热水的pH值在2008年4月底至6月初期间出现突然升高的异常变化。

3.3 温泉水水质的主要影响因素分析

温泉地热水的水质与地下热水含水层的埋藏条件、围岩岩性、补给条件有密切关系。即墨温泉地热水的氢氧同位素特征研究表明其水体应主要起源于大气降水, $\delta^{18}\text{O}$ 值没出现明显的氧飘移(不同季节之间的差异在 0.5×10^{-3} 左右),具有循环型地下热水的特征($\delta^{18}\text{O} - \delta\text{D}$ 数据点沿大气降水线展布, $\delta^{18}\text{O}$

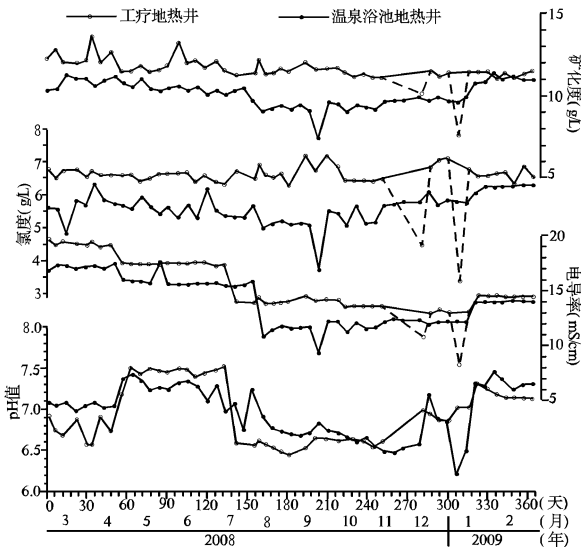


图5 温泉浴池井和工疗井地热水水质动态变化对比图

(图中虚线所连接的为扣除的工疗地热井异常水质点)

值接近或略高于当地的大气降水, δD 小于当地的大气降水^[7], 而与邻近海水关系不大^[1]。即墨温泉地热水与其周边淡水、海水以及围岩的元素组成分析结果显示:地热水比淡水富含矿物质,一些碱金属元素(Na, K等)含量比海水低, Mn, Ba, Fe, Sr等化学元素和 F^- 含量比海水高,而这些元素在岩石样品中的含量则相对较高,从而也说明地下高温地热水在岩石孔隙裂隙中循环时发生的水岩反应使地热水富含矿物质^①。

温泉浴池井和工疗井的水质变化监测表明:开采深度越深,温度越高,电导率、氯度和矿化度等与水中矿物质和离子含量密切相关的参数明显增加,水质的动态变化也比较稳定。这在一方面说明工疗井开采深度内地下热水受季节性降水和地下水开采量变化的影响较小,另一方面也可能说明在地下深处高矿化度热水沿断裂上涌至地表的过程中,与当地浅部岩层中的淡水发生混合程度随开采深度的减小而增加,从而造成电导率等水质参数的降低^[8]。

作为反演地下水矿化度的唯一参数,水溶液的电导率(或电阻率)与矿化度有密切关系。地下水矿化度是指地下水中所含盐分的总量,其中含有许多导电性离子,如: Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等,这些导电离子数目的多少反映出水中盐分的含量,同时也反映水溶液电导率的大小,即导电性好坏。可见水溶液的电导率是水纯度的一个重要指标,水的纯度越高,含盐量越低,水的电导率越小。即墨温泉不同

开采深度地热水电导率和矿化度的变化趋势不尽一致,在开采深度较浅的水井中表现出明显的上半年高下半年低的变化特征,变化幅度也较大,表明下半年温泉水的纯度较高,这可能说明下半年有较多的当地地下冷水混入地下热水。另外温泉水水质的急剧变化与地下水位和水温的变化有2~3个月的相位差(图2),可能代表了丰水期大气降水入渗补给地下水的过程以及在强开采期后高水质参数地下热水上涌并与地下冷水逐渐混合的时间。由此可见,即墨温泉地热水的水质受区域性气候变化和开采深度的影响,与深层地下热水和浅层地下冷水的混合程度密切相关。

4 结论

在即墨温泉地热资源核心区,对2个不同开采深度地热井完成了为期1年的水质参数变化观测,获得了4种主要水质参数的动态变化资料,代表了即墨温泉地热水体年际动态的变化特征。

(1)地热核心开采区地下水位的变化与季节性气候条件和开采强度密切相关,而水温的变化与开采深度有一定的关系。

(2)地热水水质参数的动态变化与开采深度也密切相关,与开采深度较深的地热井相比,开采深度较浅的地热水中各水质参数值在上半年(1月初至7月初)明显比下半年(7月初至12月底)高,氯度、矿化度和电导率的季节性变化幅度也较大。

(3)受水岩反应控制的深部高矿化度地下热水沿断裂带上升的过程中,与受季节性气候变化影响的浅层地下冷水发生不同程度的混合,也是浅部温泉地热水水质动态变化的主要驱动因素之一。

参考文献:

- [1] 刘焱光,付云霞,吴世迎.即墨温泉地热水的氢氧同位素特征及其地质意义[J].海岸工程,2009,28(2):52-60.
- [2] 栾光忠,张海平.青岛沧口-温泉断裂的空间展布及现代活动性研究[J].地震地质,2001,23(1):63-68.
- [3] 金秉福,张云吉,栾光忠.胶东温泉的地热特征[J].西安工程学院学报,2000,22(1):54-58.
- [4] 王桂玲,尹明泉,张日田.采用水化学方法对青岛北部地区资源远景的探讨[J].山东国土资源(原山东地质),2003,19

① 刘焱光,青岛市科技发展计划研究报告,即墨温泉的水体来源及其动态变化,2009年。

- (2): 46-50.
- [5] 栾光忠, 王文正, 刘东生, 等. 青岛即墨温泉喷流沉积物及其沉积模式[J]. 地球学报, 2003, 24(4): 357-360.
- [6] 栾光忠, 李桂群. 胶东温泉地质地热背景及其控泉构造[J]. 青岛海洋大学学报, 1993, 23(1): 75-58.
- [7] 王东升, 王经兰. 中国地下热水的基本类型和成因特征[J]. 第四纪研究, 1996, (2): 139-146.
- [8] 曹洪松, 逯光明, 石建, 等. 济宁市城区遥感地热异常及其地热田地质特征[J]. 山东国土资源, 2008, 24(4): 29-34.

Dynamic Change Characteristics of Geothermal Water Quality in Jimo Hot Springs

LIU Yanguang¹, CAO Xiuyun², FU Yunxia³, WU Shiyong¹

(1. Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology, Shandong Qingdao 266061, China; 2. Yumen Oil Field Work Company, Gansu Yumen 735200, China; 3. Qingdao Geo - Engineering Exploration Institute, Shandong Qingdao 266071, China)

Abstract: Jimo hot spring is one of high mineralized geothermal resources with many kinds of chemical components enriched in the geothermal water. During the period of hot water upwelling along the tectonic faults, the hot water in deep part can be mixed with cold water. The quality of exploiting hot water has a relative change. In this work, two exploited wells with different exploitation depth are observed one year arounding Jimo hot spring in order to study the dynamic changes of water quality. According to the acquired datas, the contents of water quality parameters are high during the first half year and low during the last half year. The abrupt changes of water quality parameters show 2~3 months delay in comparison with the local precipitation changes. The seasonal changes of chlorinity, conductivity and the total dissolved solid content in the exploited water are more notable in the well with deeper exploitation depth. It is indicated that both the exploitation depth and local climate have influence on the water quality of exploited water to Jimo hot springs geothermal resource.

Key words: Hot springs; underground water quality; dynamic changes; Jimo in Qingdao city