

# 山东省临清地热田地热水化学特征及热水起源研究

王奎峰<sup>1,2</sup>,李文平<sup>1</sup>,韩代成<sup>2</sup>,赵 辉<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 徐州 221116; 2. 山东省地质科学研究院, 济南 250013;  
3. 山东省第一地质矿产勘查院, 济南 250014)

**摘要:**通过近几年对临清地热田地下热水热储特征、化学成分、地热温标、热水演化及起源的勘查研究,笔者认为地下热水的形成受区内深大断裂和基底构造对地热形成的控制,地下热水成分以 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 为主,矿化度较大为咸水,PH值呈弱碱性。热水中含有丰富微量元素,热水起源主要为大气降水成因,并形成于弱还原环境。在其运移过程中,随深循环深度的增大不断从岩石中获取热量逐步加热,在断裂带附近沟通深部热源形成由赋水性强的砂层所构成的深部低温热储系统。

**关键词:**地热田;热储特征;地热水化学特征;热水起源;临清

**中图分类号:** P314.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2014)03-0230-07

地热是一种集热、矿、水于一体的宝贵的清洁矿产资源,地热能的合理开发利用对促进经济社会的可持续发展、生态环境的改善、资源的合理配置、能源结构的完善、劳动力市场的开拓、人民生活水平与质量的提高等都有十分重要的意义。而地下热水特征和演化机制的研究不仅对于热水资源的合理利用与开发具有重要的指导意义,而且可以为日后的地热资源勘查评价提供重要信息。

临清地热田蕴藏着丰富的地下热水资源,分布面积较广且易于开采,根据已有的钻探资料和勘查项目研究成果<sup>[1-3]</sup>,笔者从对临清地热田地热水的化学特征、演化特征及同位素分析等来探讨研究地热田的水化学特征和热水的起源,以期对同类地区地热资源勘查评价和开发利用起到借鉴作用。

## 1 地热田地质背景

临清地热田大致为冠县凹陷的范围,呈NE向延伸,以临清断裂为西边界,冠县断裂为东边界,北端与德州凹陷相接,总面积约1550 km<sup>2</sup>(图1)。

### 1.1 地层

本区地表被第四系覆盖,据邻近钻孔资料揭示,地层由老至新有:新太古代变质岩系、寒武系、奥陶

系、三叠系、侏罗-白垩系、古近系、新近系和第四系。与地热资源有关的地层主要为古近系、新近系和第四系。

### 1.2 地质构造特征

该地热田主体位于临清北拗陷中的冠县凹陷

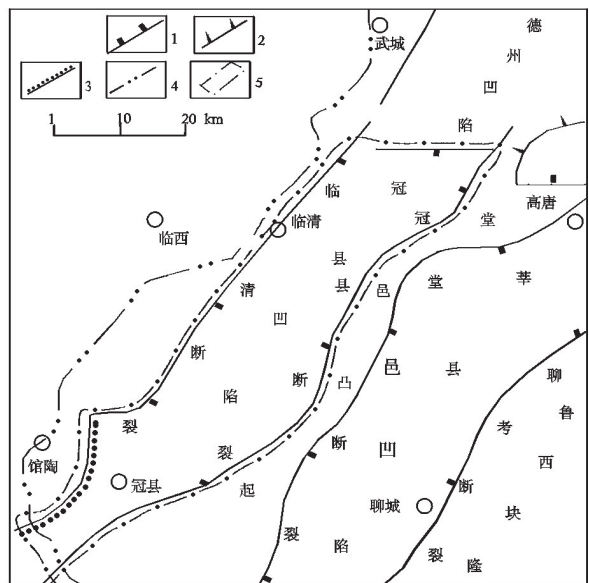


图1 临清地区构造纲要图

Fig.1 Outline map of structure in Linqing area

- 1.主干断裂; 2.次级断层; 3.构造单元分区线;
- 4.省界; 5.地热田边界;

收稿日期:2014-04-22

基金项目:山东省地质勘查专项基金:山东省临清市城区东北部地热资源普查(鲁国土资发[2003]190号)

作者简介:王奎峰(1981-),男,山东泰安人,博士研究生,高级工程师,现主要从事地质环境、地质工程方面的科研与调查评价工作, E-mail:maplewkf@126.com。

内,拗陷内发育中、新生代地层,其最大残留厚度为新近系 + 第四系 1800 m,古近系 4000 m,中生界 4000 m。为中、新生代断陷所致。地热田的西侧为馆陶凸起,东侧为堂邑凸起。

本区对中、新生代沉积特征起控制作用且与地热有密切关系的大型断裂有两条:①临清断裂:为正断层,走向NE,倾向SE,长度约72 km,下古生界侵蚀面两侧落差可达2700 m;②冠县断裂:为正断层,走向NE,倾向NW,长度约100 km,下古生界侵蚀面落差可达1800 m。

### 1.3 热储赋存特征及模型

临清地热田属于层控砂岩孔隙型热储,热储盖层为第四系、新近纪明化镇组及馆陶组顶部层段的土黄色粘土和棕黄色、浅棕色粘土岩、粉砂岩。热储层主要为新近纪馆陶组中下部浅灰、浅灰白色中粗砂岩和细砂岩。热源主要来自地球内部的传导热和临清断裂及次级断裂产生的摩擦热能和沟通上地幔岩浆热源产生的增温热流<sup>[2]</sup>。临清市处于冠县凹陷边部,临清断裂及其次级断裂长期活动,是良好的导水和导热通道,地下热水在此处易于集中,且水温较高,可达62 ~ 65℃<sup>[3]</sup>,详见热储模型图2。

## 2 样品的采集和测试

本次研究所取水样为从地热井直接抽取的地下热水,采集水样的采样器在采样前用采样点的地下热水水样冲洗数遍,采样地点位于临清城区热田的3个具有代表性的热水井(图3)。样品进行了水质的全分析及同位素组成的测试,所有水样的化学分析在国土资源部正定水文地质环境地质专业测试中心完成。

## 3 临清地热田地热水化学特征

### 3.1 地下热水化学特征

地下热水化学特征反映了地下热水同围岩之间的溶解与溶滤作用,同时体现了岩浆活动、大气降水入渗及含水层之间的补给等因素。地下热水的化学因素不只是地热环境性状与功能的表征,而且是制约地下热水中元素浓度、固-液相分配、形态和迁移转化的直接因素。从影响地下热水中元素发生和形成、形态和转化的因素看,地下热水的水温和溶解氧、主要离子组成和浓度、水的化学类型等因素是地热研究的基础<sup>[4-6]</sup>。

从本次临清地热田代表性地热井取水水样的化

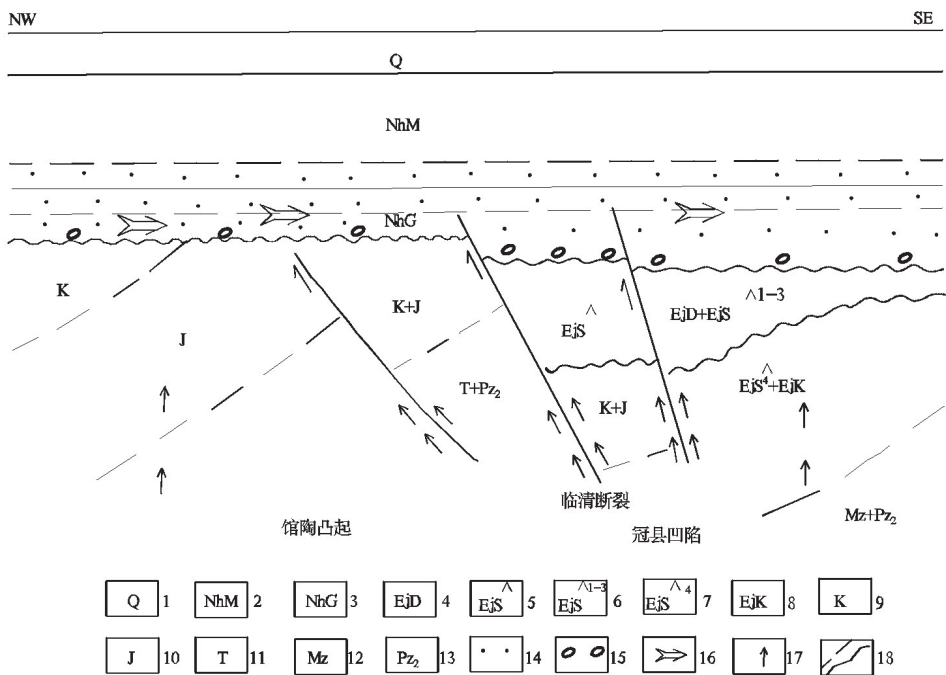


图2 热储概念模型图

Fig.2 The concept model of the geothermal reservoir

1. 第四系; 2. 新近系明化镇组; 3. 新近系馆陶组; 4. 古近系东营组; 5. 古近系沙河街组; 6. 古近系沙河街组第一至第三段; 7. 古近系沙河街组第四段; 8. 古近系孔店组; 9. 白垩系; 10. 侏罗系; 11. 三叠系; 12. 中生界; 13. 古生界; 14. 砂岩; 15. 砾岩; 16. 地下水移动方向; 17. 地热传到方向; 18. 地层整合与不整合界线

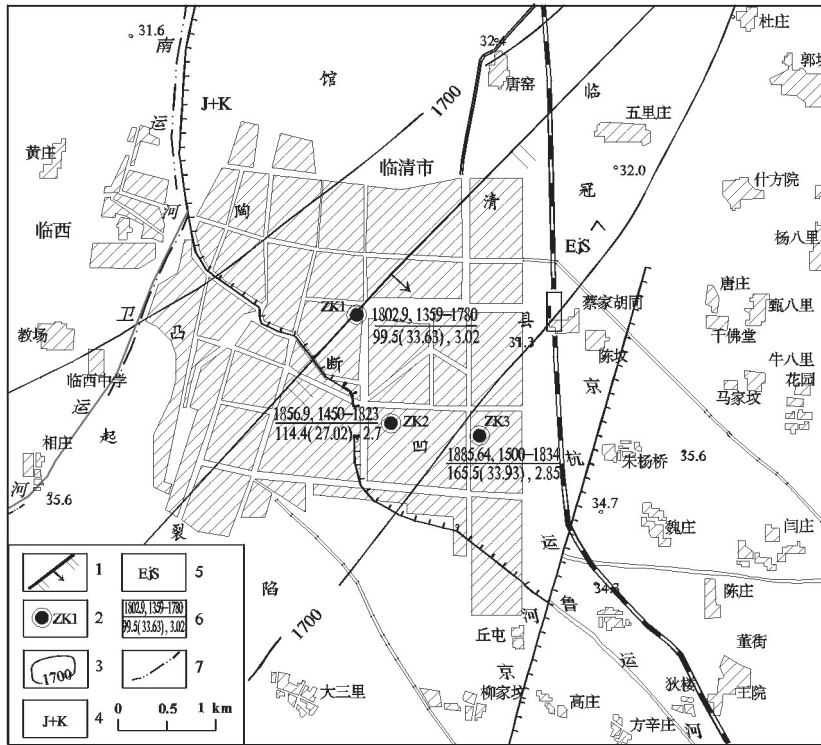


图3 临清地热田取样地热井位置图

Fig.3 Sample geothermal well location in Linqing geothermal field

1.断层及产状; 2.采样地热井位置; 3.新近系底界等深线; 4.侏罗系+白垩系; 5.古近系沙河街组; 6.井深(m),取水段深度(m)/抽水量(m<sup>3</sup>/h)(埋深值(m)), 地温梯度; 7.省界

学分析结果(表1)中可以看出,其地下热水化学具有以下特征:

(1)地下热水总矿化度(TDS)5190.28 ~ 5460.6 mg/L,为咸水,总硬度(以CaCO<sub>3</sub>计) 349.65 ~ 362.8 mg/L,属硬水,PH值为7.43 ~ 7.77,呈弱碱性。

(2)地下热水中主要阳离子为Na<sup>+</sup>和Ca<sup>2+</sup>,其含量大致为1748 ~ 1860 mg/L和114.4 ~ 119.9 mg/L;阴离子主要为Cl<sup>-</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,其含量大致为2154.6 ~ 2165 mg/L和878.4 ~ 1030.1 mg/L,按水化学类型定名原则,该区地下热水普遍属于氯化物-钠(Cl-Na)型水。

(3)地热水水化学成分较为复杂,含有丰富的微量元素及放射性元素。地热水中偏硅酸含量达到了矿水浓度,氟含量达到了有医疗价值浓度,锶含量达到了命名矿水浓度,并且含有铁、锰、锂等有益元素和放射性元素,具有较高的医疗保健价值。

(4)地下热水径流途径长,水循环缓慢,地下热水呈弱碱性。地下热水Fe<sup>2+</sup>,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,CO<sub>2</sub>的存在形式及宏量组分的组合关系反映了地下热水系统为弱还原环境<sup>[1,3]</sup>。

### 3.2 Piper图

区别水质时最常使用的方法是Piper diagram(三角形水质图解法)。该图解不仅可以用于水化学的分类,而且可以较直观地揭示阳离子交换等有关地下水演化现象。地下水自然地要受到降雨和在潜水层内留存的地表水和地质媒体间所发生的地球化学性反应的影响,同时也受人为的影响而发生变化<sup>[7-12]</sup>。通过Piper三线图的分析得知(图4),临清地热水化学特征表现为碱金属强酸型水,按水化学类型定名原则,属于Cl-Na型水。

### 3.3 用地球化学温标推测地热流体的热储温度

地球化学方法推测深部温度主要是利用地球化学温标。各种地球化学温标建立的基础是地热流体与矿物在一定温度条件下达到化学平衡,在随后地热流体温度降低时这个平衡会仍予保留。因此,可以利用地热流体重矿物成分之间的比例和相应的公式来估算热储温度,预测地热田的潜力(表2)<sup>[13-17]</sup>。

(1)K-Mg地热温标:K-Mg地热温标对于温度的变化反应非常迅速,因此可以用于估测热储的最近温度,它适用于低温地下热水<sup>[18,20]</sup>。

公式: $t=4418/[13.98-\lg(K^2/Mg)]-273.15$   
式中:t—热储层温度(°C);K—地热水中K<sup>+</sup>的浓度(mg/L);Mg—地热水中Mg<sup>2+</sup>的浓度(mg/L)。

(2)SiO<sub>2</sub>地热温标:用石英传导温标算得的温度(石英传导温度)一般高于热水井的出水温度10 ~ 20°C,它通常不作为钻探期望温度,而只说明该地热水曾经达到过的温度<sup>[13,16]</sup>。

公式: $t=1309/[5.19-\lg(SiO_2)]-273.15$   
式中:t—热储层温度(°C);SiO<sub>2</sub>—地热水中可溶性SiO<sub>2</sub>的浓度(mg/L)。

(3)Na-K地热温标:Na-K地热温标是基于水岩平衡和理论热力学的考虑,对于温度的变化反应相对缓慢,经常保存有“以前温度”的记录<sup>[19,21]</sup>。

采用公式: $t=1390/[1.75+\lg(Na/K)]-273.15$   
式中:t—热储层温度(°C);K—地热水中K<sup>+</sup>的浓

表1 临清地热田地热水样的化学分析结果表

Table 1 Chemical compositions of geothermal samples in Linqing geothermal field

项目	成分	分析结果(mg/L)			项目	分析结果(mg/L)		
		ZK1	ZK2	ZK3		ZK1	ZK2	ZK3
阴离子	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	241.1	222.7	213.9	碘化物	0.80	0.70	0.70
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.00	0.00	0.00	锌	0.035	<0.010	<0.010
	Cl <sup>-</sup>	2165	2162.51	2154.6	硒	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	960.9	878.4	1030.1	铜	<0.020	<0.020	<0.020
	F <sup>-</sup>	1.48	1.40	1.24	偏硼酸	<0.01	<0.02	<0.02
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.90	1.26	1.56	汞	<0.0001	<0.0001	<0.0001
阳离子	K <sup>+</sup>	16.10	16.30	15.97	镉	<0.005	<0.005	<0.005
	Na <sup>+</sup>	1788	1748	1860.0	偏硼酸	13.16	6.50	6.40
	Ca <sup>2+</sup>	114.4	109.40	119.9	银	<0.001	<0.001	<0.001
	Mg <sup>2+</sup>	16.11	16.68	15.40	钡	<0.050	<0.050	0.084
	Al <sup>3+</sup>	<0.02	<0.02	<0.02	铬(VI)	<0.004	<0.004	<0.004
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.20	1.10	1.20	铁	2.156	0.481	2.295
	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	45.55	45.97	46.33	铅	<0.001	<0.001	<0.001
	游离CO <sub>2</sub>	15.16	8.80	8.42	钴	<0.030	<0.030	<0.030
	总酸度	17.69	10.01	9.58	钒	<0.001	<0.001	<0.010
	总碱度	197.73	182.65	175.4	钼	0.021	0.015	0.012
	矿化度(TDS)	5352.47	5190.28	5460.6	锰	0.320	0.316	0.380
	总硬度	349.65	354.28	362.8	镍	<0.030	<0.030	<0.030
	PH值	7.50	7.43	7.77	挥发性酚	<0.0015	<0.0015	<0.0015
	锂	0.261	0.017	0.211	氰化物	<0.001	<0.001	<0.001
	锶	7.784	8.680	8.530	亚硝酸盐	<0.002	<0.002	<0.002
	溴化物	2.60	2.75	4.00	耗氧量	1.36	0.76	1.33

测试单位:国土资源部正定水文地质环境地质专业测试中心

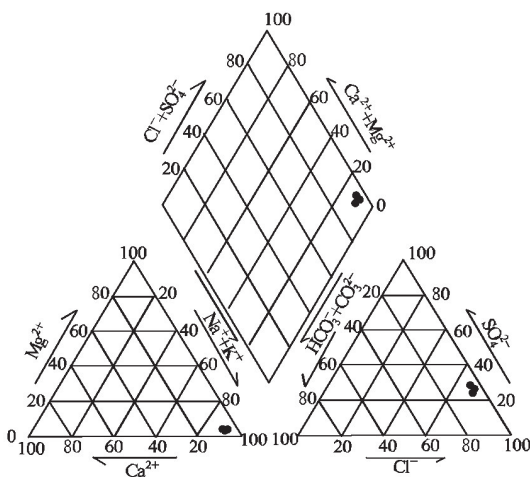


图4 临清地热水主要离子的Piper三线图  
Fig.4 Main ion piper figure of the Linqing geothermal water

度(mg/L);Na—地热水中Na<sup>+</sup>的浓度(mg/L)。

从计算结果来看,K-Na地热温标和SiO<sub>2</sub>地热温标温度均高于实测温度很多,K-Mg地热温标温度与实测温度相差不太大,在该地区有一定的借鉴适用性。

## 4 地下热水化学演化及起源分析

### 4.1 地下热水的化学演化

临清地热田地下热水是在漫长的地质历史发展过程中各种自然因素综合作用的结果,其中水文地质条件对地下热水的形成起主要作用<sup>[9]</sup>。

#### 4.1.1 地下热水的水文地球化学环境

地下热水水文地球化学特征反映了地下热水系统的水文地球化学环境。临清地热田地下热水系统含水介质为湖相沉积的碎屑沉积岩,以砂岩、砂砾岩为主。地下热水径流途径长,水循环缓慢,地下热水呈弱碱性<sup>[3]</sup>。

#### 4.1.2 地下热水形成的化学过程

临清地热田地下热水化学成分的形成和演化是含水介质的化学成分、水化学作用、沉积环境及水循环等诸多因素共同作用的结果。

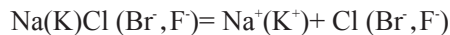
(1)易溶盐溶解作用:是地下热水化学成分形成的主要水化学作用。湖相沉积地层中含有盐岩等易

表2 地球化学温标计算结果对比表

Table 2 Temperature calculating results of the hot reservoir

样号	K <sup>+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	计算方法及结果			取水段深度 (m)	实测温 度(°C)
					K-Mg	SiO <sub>2</sub>	K-Na		
ZK1	16.10	16.11	1788	35.04	72.72	85.93	93.06	1350~1780	65
ZK2	16.30	16.68	1748	35.36	72.61	86.32	94.54	1450~1823	63.3
ZK3	15.97	15.40	1860	35.63	73.06	86.66	90.04	1500~1834	65.6

溶盐类。在热储温度作用下,盐岩等易溶盐溶解度增大,形成Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>等离子。

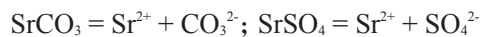


(2)溶滤作用:溶滤作用是地下热水系统化学成分形成的重要作用。地下热水与地表水及浅层淡水相比,其SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Sr<sup>2+</sup>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>等浓度增高主要是溶滤作用的结果。

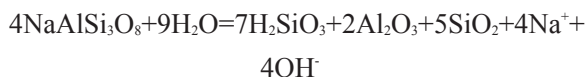
热储中膏盐含量较大,且有石膏夹层,在热储温度、压力和盐度的长期作用下,膏盐逐渐溶解,导致地热热水中Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度增大。



地下热水流动缓慢,在漫长的水岩相互作用过程中,热储含锶的碳酸盐和硫酸盐矿物充分溶解形成Sr<sup>2+</sup>。另一方面, Sr<sup>2+</sup>的浓度与SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度呈正相关关系,热水溶液SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>高, Sr<sup>2+</sup>的浓度也高。



H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>的溶解度与温度、PH值呈正相关关系。深循环的地下热水长期溶滤热储岩层,使正长石分解成为高岭土、其它碳酸盐及可溶性SiO<sub>2</sub>,在较高温度和弱碱性介质作用下形成较高浓度的H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>地下热水。



(3)沉淀作用:地下热水中CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>含量极低,这与热储层Ca盐含量低和地下热水系统产生的沉淀作用有关。含有Ca<sup>2+</sup>和CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的地下水,在径流过程中,使水溶液的其它离子浓度增大,因同离子效应和热储温度的共同作用产生CaCO<sub>3</sub>沉淀,使Ca<sup>2+</sup>浓度与SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度相差悬殊,亦使CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>消耗殆尽。

#### 4.1.3 地下热水的变质与演化

地下水的变质是指水化学成分之间相互反应引起离子组合比例变化的过程。强酸根与弱酸根的比例系数(K)和溶液的离子强度(I)定量表征了水化学成分变质程度:

$$K = \frac{\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-}{\text{HCO}_3^- + \text{HSiO}_3^-} \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n C_i Z_i^2 \quad (2)$$

式中:C<sub>i</sub>—离子体积摩尔浓度;Z<sub>i</sub>—离子的电价。

由(1)式和(2)式计算得临清地热田地下热水的K=10.91~12.34, I=0.123~0.125, 即4.0<K<60.0, 0.05<I<0.20。据别尔亚柯夫提出的水质变质程度分类方案<sup>[4]</sup>,该地下热水应属中度变质水。表明地下热水中化学成分之间发生了比较复杂的反应,包括易溶盐的溶解、难溶盐CaCO<sub>3</sub>沉淀以及水中离子与含水介质离子的交换反应等。反应的结果使地下热水中的阴离子成分逐渐由以HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>为主演化为SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及Cl<sup>-</sup>为主,而阳离子以Ca<sup>2+</sup>为主演化为以Na<sup>+</sup>为主;按Chebotarlev水化学演化分带模式,该地下热水水化学演化分带十分明显且完整,充分证明了其流程长,而且演化充分。

#### 4.2 地下热水的成因分析

临清地热田地下热水是在漫长的地质历史发展过程中各种自然因素综合作用的结果,其中水文地质条件对地下热水的形成起主要作用<sup>[8-11]</sup>。

##### 4.2.1 地下热水化学成分及水文地球化学分析

化学成分特征系数是指能够表征地下水成因类型和地下水化学成分形成和演化过程中各种化学和生物化学变化特征的化学组分之间的比例系数。临清地热田地下热水化学特征系数如下:Cl/Br=538.5~832.7, γNa/γCl=1.25~1.31, γCa/γMg=4.18~4.67, 地下热水的成因系数均大于海水的成因系数,反映了该区地下热水具有大陆溶滤水的特征。

临清地热田地下热水中含有丰富的微量元素,表明地层中有丰富的微量元素,也表明地下热水是经过漫长而复杂的地下水溶滤作用和不断的循环径流交替形成的。

##### 4.2.2 地热水的化学同位素特征

同位素在地热水研究中的应用一般是通过测定热水中稳定性同位素D、O<sup>18</sup>和放射性同位素<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C研究地下热水的成因、年龄以及补给来源等<sup>[17]</sup>。

(1) 经测试 ZK2 地热井地下热水中的  $\delta D$  为  $-49.87 \times 10^{-3}$ ,  $\delta^{18}O$  为  $-9.71 \times 10^{-3}$ , 从图 5 可看出  $\delta D$  与  $\delta^{18}O$  在克雷格标准降水直线附近, 氧同位素有漂移, 说明地下热水与围岩发生过  $\delta^{18}O$  交换作用, 由大气降水补给形成, 其主要为大气降水成因, 通过深循环在地温及地热气作用下被加热而形成的。

(2) 法国 J.ch. 丰特认为: “0~5 氟单位(T.U)说明 40 年前的古水成分占优势, 5~40 氟单位表示新近的入渗水和古水之间有混合作用。”据华北地区不同区域的雨水采样分析, 大气降水中的氟含量一般为 40 T.U, 临清地区地热水中的氟含量 ZK1 地热井水测试样为  $4.39 \pm 3.61 \sim 13.26 \pm 3.17$  T.U, ZK2 地热井水测试样为  $15.09 \pm 3.12$  T.U, 推测该区地热水为新近的入渗水与古水的混合水, 地热水的年龄大致为 10~70 a, 其中地热水中 40 年前的古水占优势, 新近入渗水的补给量较小<sup>[1,8]</sup>。

### 5 结论

临清地热田地热资源为低温地热资源, 地下水赋存于馆陶组下部砂岩和东营组上部砂岩及泥岩地层中, 属层状孔隙型热储。区内深大断裂和基底构造对地热形成起着控制作用。地下热水类型为 Cl-Na 型水, 具有大陆溶滤水的特征, 矿化度为  $5190.28 \sim 5460.6$  mg/L, 属咸水; 总硬度(以  $CaCO_3$  计)  $349.65 \sim 362.8$  mg/L, 为硬水; 呈弱碱性, 含有丰富的微量元素及放射性元素; 地热水来源主要为大气降水成因, 推测该区地热水为新近的入渗水与古水的

混合水, 地下热水形成于弱还原环境, 在运移过程中, 随深循环深度的增大不断从岩石中获取热量逐步加热, 在断裂带附近沟通深部热源形成由赋水性强的砂层等地层所构成的深部低温热储系统。

#### 参考文献:

- [1] 王奎峰, 杨德平, 宋香锁, 等. 临清市馆陶组地热水化学特征及结垢腐蚀性研究[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(1): 130-134.
- [2] 王奎峰, 母国妍, 赵群. 临清市区地热资源特征及开发探讨[J]. 地质调查与研究, 2007, 30(3): 224-229.
- [3] 王奎峰. 山东省临清市城区东北部地热普查报告[R]. 济南: 山东省地质科学研究所, 2008.
- [4] 王奎峰. 山东省聊城市东部地热田地热资源特征[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 194-202.
- [5] 程先锋, 徐世光, 张世涛. 云南省安宁温泉地热地质特征及成因模式[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(5): 124-128.
- [6] 王奎峰. 山东莘县凹陷(聊城段)地下热水化学特征及成因[J]. 岩土工程技术, 2009, 23(2): 90-94.
- [7] MA Zhi-yuan, WU Wen-di, FAN Ji-jiao, SU Yan. Environmental Isotopes Study on Geothermal Water in Guanzhong Basin, Shanxi Province[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 17(1): 45-48.
- [8] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000, 152-153.
- [9] Fournier R O. Chemical geothermal meters and mixing models for geothermal systems [J]. Geothermics, 1997, 5: 41-50.
- [10] 王奎峰. 聊城西部地热田地热资源赋存特征研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(1): 52-56.
- [11] 李惠娣, 张森琦, 白嘉启, 等. 西宁药水滩地热田水化学

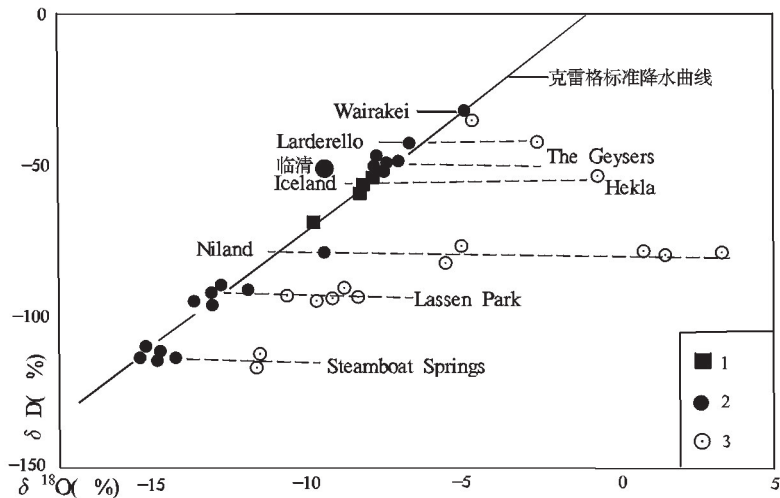


图5 临清地热水  $\delta D - \delta^{18}O$  关系曲线图

Fig.5 The projection of hydrogen and oxygen isotope composition  
1.局部大气降水或稍微加热的近地表水; 2.热泉地热水; 3.高温高压地热汽

- 特征及热水起源初探[J].地质学报,2007,81(9):1300-1303.
- [12] 李秀英,蔡洪涛,任清岭.沧州市区地热地质特征及地热资源开发探讨[J].地球学报,2000,21(2):171-176.
- [13] 颜世强,潘懋,邹祖光等.山东德州凹陷地下水地球化学特征及成因[J].中国地质,2007,34(1):150-151.
- [14] 陈墨香.华北地热[M].北京:科学出版社,1988:50-52.
- [15] 国家技术监督局.GB11615-89.地热资源地质勘查规范[S].北京:中国标准出版社,1989.
- [16] 王贵玲;刘志明;蔺文静;鄂尔多斯周缘地质构造对地热资源形成的控制作用[J].地质学报,2004,78(1):44-51.
- [17] 于媛.北京城区地热田地下水的水化学及同位素研究[D].北京:中国地质大学硕士学位论文,2006.
- [18] 王莹,周训,于媛,等.应用地热温标估算地下热储温度[J].现代地质,2007,21(4):606-612.
- [19] Arn 6 rsson, S. The quartz and Na/K geothermometers. I. New thermodynamic calibration.Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, 2000, 929-934
- [20] Giggenbach W F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. Geochim. Cosmochim. Acta,1988,(52): 2749-2765
- [21] 王泽龙.北京市小汤山地区地温场特征及地下水成因模式分析[D].北京:中国地质大学硕士学位论文,2007.

## Hydrochemistry and Origin of the Linqing Geothermal Field in ShanDong Province

WANG Kui-feng<sup>1,2</sup>, LI Wen-ping<sup>1</sup>, HAN Dai-cheng<sup>2</sup>, ZHAO Hui<sup>3</sup>

(1. School of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116, China;

2. Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan, 250013, China;

3. No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Jinan 250014, China)

**Abstract:** The authors studied the geothermal reservoir characteristics, chemical composition, geothermometer, evolution and origin of the geothermal water in the Lianqing geothermal field based on the analysis of project research results recently years. The study shows that the formation of the geothermal water is controlled by deep faults and basement structure in the area. And the main chemical composition of the geothermal water is Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, TDS is big, pH is weak alkalinescent. There are abundance microelements in the hot water. The hot water is mainly from atmosphere precipitation, formed in weak reducing environment. When the rain permeates into the underground, with the increase of the depth of the deep circulating, it can constantly get heat from the hot rock, and near the fault zone deep heat source formed with the assignment of strong water sand layer, forming the deep low temperature thermal storage system.

**Key words:** geothermal field; geothermal reservoir characteristic; geothermal hydrochemistry; origin of geothermal water; Linqing