

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2019.01.020

天津市蓟县系雾迷山组地热流体地球化学特征

秦莉红, 石晓今, 于彦, 刘杰, 林激, 康楠

(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

摘要: 蓟县系雾迷山组是天津地区最重要的基岩裂隙型热储层。通过对天津市平原区不同构造单元的70组蓟县系雾迷山组地热流体样品的水化学测试, 从其化学类型、特殊组分、热储温度及地热水成因等方面进行分析研究。结果表明, 流体化学类型北部以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 为主, 往南变为 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 为主, 南部为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 为主; 地热流体中的氟、偏硅酸、偏硼酸、温度均达到了“有医疗价值浓度”或“命名矿水浓度”标准; 由于雾迷山组地热流体水-岩之间未达到离子平衡状态, $\text{K} - \text{Mg}$ 温标不适用于本地区热储温度的计算, 采用玉髓温标来预测热储温度的方法比较适用于本地区的热储。通过成因分析可知该热储属于贫溴的含岩盐地层溶滤水, 具有陆相沉积水的特征。

关键词: 雾迷山组; 水化学; 地热温标; 成因; 天津

中图分类号: P641.3 **文献标识码:** A

0 引言

天津地区地热资源丰富, 自1936年开发利用开始^[1], 已被广泛地应用于地热供暖、生活用水、温泉洗浴、水产养殖等诸多领域。蓟县系雾迷山组地热资源在天津地区分布广泛, 发育稳定, 水质普遍较好^[2], 是天津地区最重要的基岩裂隙型热储层。

埋藏在裂隙中的地热流体, 是在漫长的地质历史时期形成的, 其化学成分受岩石成分、补给来源、径流途径、温度等因素的影响而有着较大差异。通过研究地热流体的水化学特征可以揭示其来源、成因、运移储存状态、储层温度等特征, 利用水岩平衡来研究地热地质条件相关的信息。本文依据天津市平原区不同构造单元的70组蓟县系雾迷山组地热流体样品水化学测试结果, 从地热流体的化学类型、特殊组分、热储温度及地热水成因来源等方面进行综合分析, 以期今后地热流体的勘查和开发利用提供依据。

1 研究区概况及热储层特征

1.1 研究区概况

天津市地热资源主要赋存于宝坻—宁河断裂以南的平原区, 在构造上分属于冀中拗陷、沧县隆起和黄骅拗陷3个Ⅲ级构造单元, 共包括10个Ⅳ级构造单元(图1)。因赋存方式的不同而划分为孔隙型热储层和基岩裂隙型热储层^[3]。蓟县系雾迷山组是最重要的基岩裂隙型热储, 主要分布在沧县隆起区。

1.2 热储层特征

雾迷山组热储层顶板埋深一般为1 000~3 481 m, 最小值为912 m, 位于静海团泊, 目前尚未有钻孔揭穿该层, 最大揭露厚度1 278.52 m。岩性以深灰色粗晶白云岩、燧石条带状白云岩为主, 孔隙率1%~5.8%。矿化度一般为1 700~2 200 mg/L, 局部大于5 000 mg/L。渗透系数0.49~2.81 m/d, 导水系数27~318 m²/d, 裂隙率2.7%~5.8%^[4]。

收稿日期: 2017-09-11; 改回日期: 2017-10-25; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 秦莉红(1986—), 女, 水文地质工程师, 硕士, 2012年6月毕业于中国地质大学(北京)地下水科学与工程专业, 从事水文地质及地热地质方向研究工作。通信地址: 天津市河东区卫国道189号, 天津地热勘查开发设计院; 邮政编码: 300250; E-mail: qlh0208@126.com

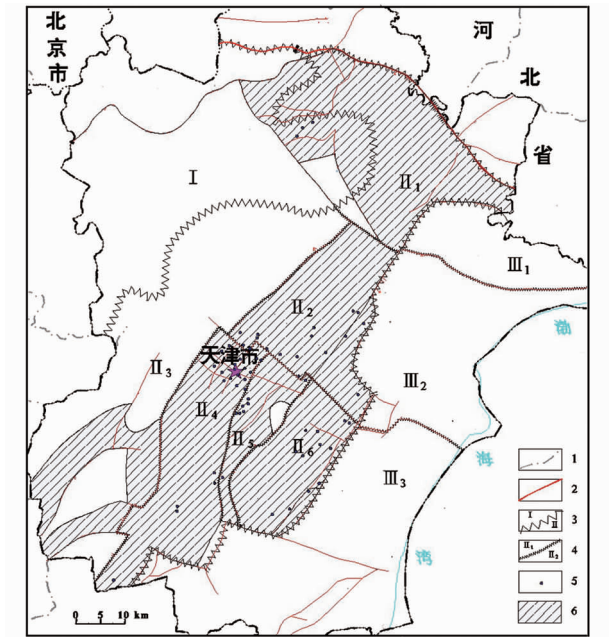


图 1 天津市构造单元及蓟县系雾迷山组分布图和取样点分布

Fig. 1 Map showing tectonic units and distribution of Wumishan Formation of Jixian System (Jxw) in Tianjin and sampling points
1. 区界; 2. 断裂; 3. Ⅲ级构造单元界线;
4. Ⅳ级构造单元界线; 5. 取样点; 6 雾迷山组分布区

2 地热流体化学特征

本次研究工作共采集天津市平原区不同构造单元的蓟县系雾迷山组地热流体样品水化学测试结果 70 组, 采样位置见图 1; 测试分析工作由天津市地质矿产测试中心完成, 测试部分结果分别如表 1、表 2 和表 3 所述。

2.1 水文地球化学特征

从表 1 不难看出, 天津市蓟县系雾迷山组地热流体温度为 65℃—105℃, pH 值为 6.94~8.52, 其溶解性总固体为 1 006~5 831 mg/L, 地热流体中主要的阴离子为 Cl^- 、 HCO_3^- , 阳离子为 Na^+ 。

从不同构造单元雾迷山组地热流体的 piper 三线图(图 2)上可以看出, 位于北部的武清凹陷, 矿化度较低, 在 1 000 mg/L 左右, 流体化学类型以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 为主; 往南的潘庄凸起区和小韩庄凸起区, 矿化度逐渐增大, 多为 1 500~2 000 mg/L, 流体化学类型以 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 为主; 在白塘口凹陷区, 矿化度为 1 500~2 000 mg/L, 流体化学类型以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 为主; 在双窑凸起区以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 为主, 矿化度一般为 1 700~2 000 mg/L。在水平方向上, 矿化度仍遵循着北低南高、东低西高的总体变化规律。

表 1 部分雾迷山组地热流体样品水化学分析结果

Table 1 Hydrochemical analysis results of geothermal fluid samples in Jxw

样号	构造单元	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	pH	矿化度	总硬度	总碱度
J01	武清凹陷	54.4	210	32.9	6.3	135	189	329.5	7.8	1048.2	108	270
J02	武清凹陷	51	192	32.9	7	106	194	335.6	7.48	1006.9	111	275
J03	潘庄凸起	69.9	432	28.9	10.8	369	305	393.6	7.92	1531	117	323
J04	潘庄凸起	67.9	470	84.4	40.7	514	355	384.4	6.94	1979.1	378	315
J05	小韩庄凸起	43.8	527	11	4.1	447	267	430.2	8.46	1815.5	44.5	363
J06	小韩庄凸起	46.3	524	27.4	6.2	436	285	503.4	7.94	1907.5	94.1	413
J07	白塘口凹陷	82.6	490	35.5	8.9	390	315	439.3	7.75	1726.1	125	360
J08	白塘口凹陷	88.8	486	34.1	10.9	468	336	390.5	8.32	1891.1	130	320
J09	双窑凸起	75	488	33.1	12.8	429	341	378.3	7.72	1821.2	135	310
J10	双窑凸起	69.9	541	44.1	15.2	528	381	390.5	7.94	2029.3	173	320

量单位: mg/L

表 2 各构造单元雾迷山组地热流体特殊组分含量

Table 2 Contents of special components of Jxw geothermal fluid of each tectonic units

构造单元	氟/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	偏硼酸/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	偏硅酸/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
白塘口凹陷	1.32~12.82	1~31.59	3.38~102.7
潘庄凸起	9.61~12.32	24.06~33.95	81.25~127.4
双窑凸起	4.7~12.4	24.43~44.84	57.2~103.35
武清凹陷	9.24~10	23.62~26.99	111.15~119.6
小韩庄凸起	6.58~18.45	24.63~33.41	55.25~104.65

表 3 各构造单元雾迷山组地热流体地热化学温标和实际出水温度

Table 3 The geothermometer and actual measured temperature of geothermal fluid of each tectonic units in Jxw

构造单元	玉髓温标/℃	钾镁温标/℃	实际出水温度/℃
白塘口凹陷	73.9~96.4	111.6~125.4	84~95
潘庄凸起	83.4~109.2	97.6~123.8	83~98.5
双窑凸起	73.4~96.8	91.9~120.3	73~93
武清凹陷	101.0~105.4	114.4~117.9	101~105
小韩庄凸起	83.4~97.5	93.3~122.8	87~100

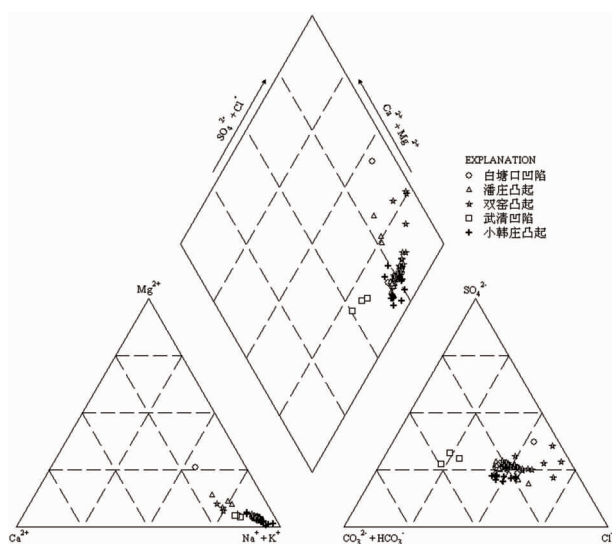


图 2 各构造单元雾迷山组地热流体 piper 图

Fig. 2 Piper diagram of Jxw geothermal fluid of each tectonic units

2.2 特殊组分

根据《理疗热矿水水质标准》(GB/T 11615—2010),天津地区蓟县雾迷山组地热流体含氟、偏硅酸、偏硼酸、温度等方面,整体上达到了“有医疗价值浓度”或“命名矿水浓度”标准,适用于温泉洗浴、理疗。其中,该热储各构造单元内的所有地热流体氟含量都达到了“有医疗价值浓度”,除白塘口凹陷内个别地热井未达到“矿水浓度”和“命名矿水浓度”外,其余地热流体都达到“矿水浓度”和“命名矿水浓度”;该热储层各构造单元内基本所有地热流体偏硅酸都达到了“有医疗价值浓度”或“矿水浓度”,除了白塘口凹陷内个别地热井未达到“命名矿水浓度”标准外,其他都达到了“命名矿水浓度”标准;该热储层各构造单元内除白塘口凹陷内个别地热井的偏硼酸未达到“有医疗价值浓度”、“矿水浓度”外,其余地热流体均达到“有医疗价值浓度”、“矿水浓度”,但是都未达到“命名矿水浓度”(见表 2)。

2.3 热储温度

(1) 热储温度的温标估算方法

热储温度是地热资源开发利用和地热研究领域的一个重要因素,常用地球化学温标来估算^[5]。目前地热温标主要有:SiO₂ 地热温标、阳离子地热温标、同位素地热温标和气体温标^[6]。本文将通过 K-Mg 温标、SiO₂ 地热温标来估算研究区雾迷山组热储温度。

K-Mg 温标,属于低温系统的温标^[7]。在水-岩系统中,K-Mg 达到平衡最为快速,对于温度的变化,反应也非常迅速。K-Mg 温标计算公式:

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{4410}{13.95 - \lg\left(\frac{C_k^2}{C_{\text{Mg}}}\right)} - 273.15$$

式中的 C_{Mg} 、 C_k 为水中镁、钾离子的质量浓度(量单位:mg/L)。

SiO₂ 地热温标,此方法的理论基础是地热流体中 SiO₂ 的含量取决于不同温度、压力下石英在水中的溶解度^[8]原理。其根据适用温度的不同,可分为:有无蒸汽散失的石英温标、无蒸汽分离或混合作用的石英温标、玉髓温标等多种方法,其中玉髓温标适合低温热储。玉髓温标计算公式:

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{1032}{4.69 - \lg C_{\text{SiO}_2}} - 273.15$$

式中的 C_{SiO_2} 为水中 SiO₂ 的质量浓度(量单位:mg/L)。

(2) 温标温度与实际温度偏差原因分析

从表 3 中可以看出,蓟县雾迷山组的实际出水温度在 73℃—105℃ 之间,大部分集中在 80℃—100℃ 之间;K-Mg 温标计算的温度为 91.9℃—125.4℃,在 110℃—120℃ 之间占到 58%,比出水温度高 10~20℃;玉髓温标计算的温度为 63.9℃—109.2℃,主要集中在 70℃—100℃ 之间,其与实际出水温度接近,说明采用玉髓温标来预测热储温度的方法比较适用于本地区的热储。

雾迷山组地热水的 Na-K-Mg 三角图解(图 3)分析表明,雾迷山组热储地热水基本都属于未成熟

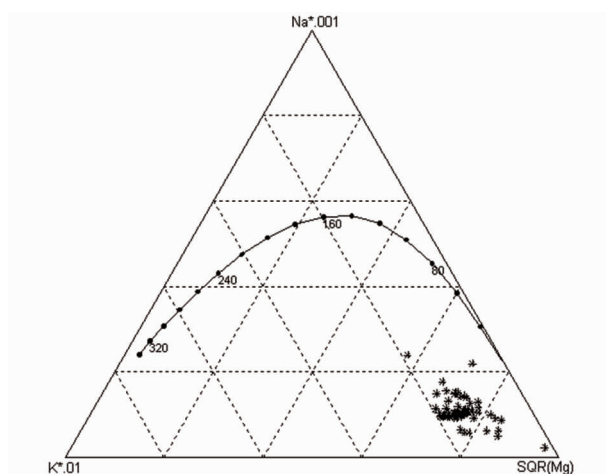


图3 雾迷山组地热流体的Na-K-Mg三角图

Fig. 3 Na-K-Mg triangle diagram of geothermal fluid in Jxw

水,水-岩之间未达到离子平衡状态。因此,K-Mg温标法不适用于本地区热储温度的计算。

2.4 地热水成因与来源

地下水的成因及来源可以用某些标志性的离子比值进行判断,表4中列出几种判断方法:

1) $w(\text{Cl})/w(\text{Br})$ 值:该比值 <300 时为残余海水,大洋水一般约为300。当其 >300 时,属于贫溴的含岩盐地层溶滤水^[9]。

2) $w(\text{Br})/w(\text{I})$ 值:正常海水的系数为1300,地热水的系数远远低于该值,具有陆相沉积水的特征。

3) $r(\text{Na})/r(\text{Cl})$ 值:标准海水和海相沉积水系的平均值为0.85,含岩盐地层溶滤水的接近于1。

蓟县系雾迷山组地热流体 $w(\text{Br})/w(\text{I})$ 系数远远小于1300,具有陆相沉积水的特征。相关同位素研究结果也表明,天津地热流体均来源于大气降水;地热流体是大气降水下渗经深循环至热储层、再经深部热源加热而形成的。

表4 部分雾迷山组地热流体样地球化学分析结果

Table 4 Geochemical analysis of some geothermal fluid samples from Jxw

构造单元	$w(\text{Cl})/w(\text{Br})$	$w(\text{Br})/w(\text{I})$	$r(\text{Na})/r(\text{Cl})$
白塘口凹陷	322~2339	1.43~20	1.02~1.26
潘庄凸起	361.6~5140	1~20	0.64~1.22
双窑凸起	312.7~5184	0.8~17.5	0.75~1.15
武清凹陷	354.7~673.5	4~6	1.56~1.80
小韩庄凸起	327.2~854.4	4.67~13.75	0.93~1.29

3 结语

(1)天津市平原区蓟县系雾迷山组地热流体在北部的武清凹陷,流体化学类型以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 为主;在往南的潘庄凸起区和小韩庄凸起区以 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 为主;在白塘口凹陷区,水化学类型以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 为主;在双窑凸起区以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 为主。在水平方向上,矿化度仍遵循着北低南高、东低西高的总体变化规律。

(2)天津地区蓟县系雾迷山组地热流体的氟、偏硅酸、偏硼酸、温度均达到了“有医疗价值浓度”或“命名矿水浓度”标准,适用于温泉洗浴、理疗。

(3)玉髓温标来预测热储温度的方法比较适用于本地区的热储。由于雾迷山组地热水基本都属于未成熟水,水-岩之间未达到离子平衡状态。所以K-Mg温标不适用于本地区热储温度的计算。

(4)从 $w(\text{Cl})/w(\text{Br})$ 、 $w(\text{Br})/w(\text{I})$ 和 $r(\text{Na})/r(\text{Cl})$ 等系数可知,蓟县系雾迷山组属于贫溴的含岩盐地层溶滤水、具有陆相沉积水的特征,均来源于大气降水。

参考文献:

- [1] 侯福志,李四光与天津地热会战[J]. 地热能,2010(6):23-25.
- [2] 李俊峰,靳宝珍,程万庆,等. 天津市蓟县系雾迷山组地热流体水化学特征研究[J]. 地质调查与研究,2008,31(4):339-345.
- [3] 于彦,刘杰,康楠,等. 地热流体水化学特征与地质构造关系的Q型聚类分析[J]. 水文地质工程地质,2013,40(3):131-135.
- [4] 林黎,高宝珠,阮传侠,等. 天津市地热资源现状调查评价与区划[R]. 天津地热勘查开发设计院,2014.
- [5] 王海波,薛晓青,邵景力,等. 内蒙古临河市地热田水化学研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2013,34(1):102-104.
- [6] 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):605-612.
- [7] 于媛. 北京城区地热田地下水热水的水化学及同位素研究[D]. 北京:中国地质大学水资源与环境学院,2006.
- [8] 徐世光,郭远生. 地热学基础[M]. 北京:科学出版社,2009:36-42.
- [9] 王卫星,孙玉东,杨永江,等. 天津市东丽湖地热对井的地质与水文地球化学特征[J]. 物探与化探,2010,34(1):44-48.
- [10] 刘颖超,刘凯,孙颖,等. 北京市地热水地球化学特征[J]. 南水北调与水利科技,2015,13(2):324-329.

Geochemical characteristics of geothermal fluid in the Wumishan Formation of Jixian System in Tianjin

QIN Lihong, SHI Xiaojin, YU Yan, LIU Jie, LIN Wei, KANG Nan

(*Tianjin Institute of Geothermal Exploration and Development Design, Tianjin 300250, China*)

Abstract: Wumishan formation of Jixian System is the most important bedrock fracture thermal reservoir in Tianjin area. 70 sets of geothermal fluid sample from different tectonic units of plain area in Tianjin city are analyzed in their water chemistry and the aspects of chemical type, special composition, temperature and genesis of geothermal fluid are studied. The result shows that in the north part the water chemistry type is dominated by $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$, $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$, southward by $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$, $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$, $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ and in the south part by $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$. Temperatures, fluorine, metasilicic acid and metaboric acid concentration of the geothermal fluid reach the medical standard mineral water standard. Because the geothermal fluid-rock reaction is not in ionic equilibrium K-MG thermometric scale is not suitable for the prediction of the local reservoir temperature. Origin of geothermal water reveals that the geothermal reservoir belongs to bromide-poor rock salt layer infiltration water type characterized by continental sedimentary water.

Key Words: Wumishan Formation of Jixian System; geochemistry; geothermometer; origin; Tianjin