

天津市中心城区及附近热储层间的水力联系

张芬娜, 贾志, 钱洪强, 靳宝珍

(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

摘要: 文章利用水文地球化学和环境同位素调查方法,对天津市中心城区附近各主要热储层间的水力联系进行了探讨。研究表明,大气降水是天津市中心城区附近各热储层的补给水源,各大断裂是沟通各热储层间水力联系的关键因素。

关键词: 中心城区热储层;环境同位素;水文地球化学;地热流体;水力联系;天津市

中图分类号: P641.3 **文献标识码:** A

0 引言

地热作为一种清洁能源,已成为实现美丽天津“一号工程”的重要组成部分。天津市中心城区及附近(以下简称“研究区”)地热资源丰富^[1],目前主要开发的有5个热储层。研究各热储层之间的水力连通程度对于天津市地热资源的评价和管理至关重要。本文揭示了天津市中心城区及附近各热储层之间,尤其是孔隙型热储层和基岩型热储层相互关系的环境同位素及水文地球化学证据。

1 研究区地热地质条件

1.1 地质构造

研究区位于Ⅱ级构造单元沧县隆起之上,区内发育有大城凸起、潘庄凸起和白塘口凹陷3个Ⅳ级构造单元。区内断裂主要有沧东断裂、海河断裂、天津断裂和白塘口西断裂^[2]等(图1)。

1.2 热储层特征

研究区内发育有新近系明化镇组(Nm)、新近系馆陶组(Ng)、奥陶系(O)、寒武系(Є)和蓟县系雾

迷山组(Jxw)等5个热储层^[3]。

(1)新近系明化镇组热储层:区内广泛分布,岩性为灰色、灰黄色粉细砂岩和棕黄色泥岩,成不等厚互层,顶板埋深276~527 m。该热储层大部分直接覆盖在不同的基岩之上,其下伏地层有馆陶组、石炭-二叠系、奥陶系、寒武系、蓟县系雾迷山组。

(2)新近系馆陶组热储层:除在隆起区的高凸起部位缺失外,其他地区均有分布,岩性为灰色、灰黄色粉细砂岩夹棕红色泥岩,底部出现砂砾岩,顶板埋深589~1 522 m。

(3)奥陶系热储层:分布在沧县隆起的东侧背斜核部,凸起的中心部位缺失,岩性以灰色、深灰色灰岩、白云质灰岩为主,夹泥质灰岩,顶板埋深882~3 104 m。

(4)寒武系热储层:在赤土一大毕庄一东郊农场一带分布,面积较小,岩性以灰白色白云岩为主。顶板埋深1 445~1 828 m。

(5)蓟县系雾迷山组热储层:区内普遍分布,岩性以厚层状白云岩为主,一般呈致密块状。沿白塘口西断裂3~5 km宽度范围内直接与上覆新近系热储层接触,是该热储层的浅埋区,顶板埋深最浅为912 m,目前尚无钻孔揭穿该地层。

收稿日期: 2014-08-28; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 国家地质大调查项目天津市基岩地质构造调查与区域地壳稳定性评价(编号:基[2012]01-001-009)资助。

作者简介: 张芬娜(1981—),女,工程师,2005年毕业于中国地质大学(北京),长期从事地热勘查研究工作。通信地址:天津河东区卫国道189号,天津地热勘查开发设计院;邮政编码:300250;E-mail:ying-ying22@163.com

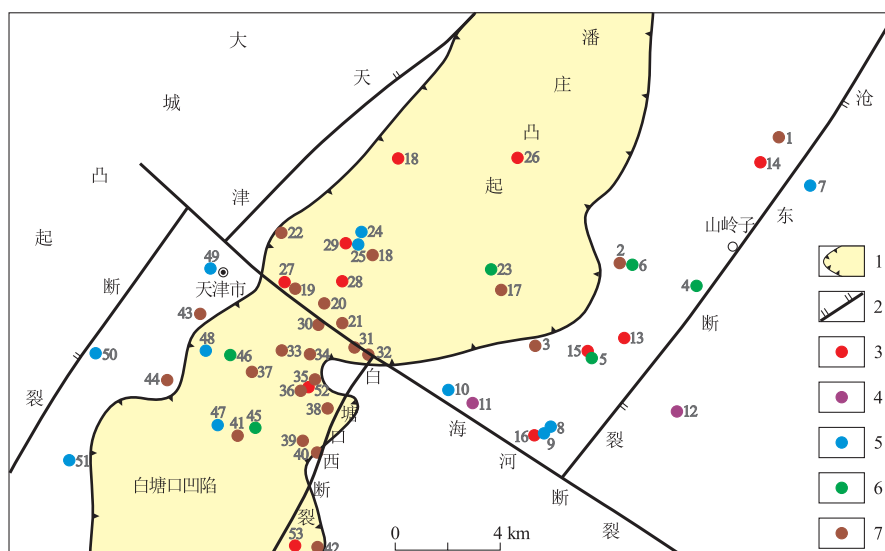


图1 研究区构造和井位的分布

Fig. 1 Geological structure and wells distribution in the studied area

1. 馆陶组缺失线; 2. 断裂; 3. 明化镇组地热井; 4. 馆陶组地热井; 5. 奥陶系地热井; 6. 寒武系地热井; 7. 雾迷山组地热井

2 取样和测试

本次共采集天津市中心城区地热流体水化学和稳定同位素($\delta(D)$ 和 $\delta(^{18}O)$)水样各53组, 取样位置见图1。地热全分析水样由国土资源部天津矿产资源监督检测中心(天津市地质矿产测试中心)测试; 稳定同位素($\delta(D)$ 和 $\delta(^{18}O)$)样品由国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心用气体同位素质谱仪测定。地热流体水化学及同位素分析结果见表1。

3 地热流体特征

热储层水化学组分受地层岩性、结构、地下水补给、径流、排泄条件等控制, 而水化学类型主要受地下水径流排泄条件制约^[4], 天津地区总体上属于地下水的径流排泄区^[5]。受区域地质构造、地层岩性、径流距离等因素的影响, 在水平方向上, 基岩裂隙型地热流体和孔隙型地热流体矿化度的变化趋势相近: 自北东向南西矿化度逐渐增大^[6], 地热流体水质类型由 $HCO_3 - Na$, $HCO_3 \cdot Cl - Na$ 型向 $Cl \cdot HCO_3 - Na$ 型、 $Cl \cdot SO_4 - Na$ 型和 $Cl \cdot SO_4 \cdot HCO_3 - Na$ 过渡, 但不同的水质类型在不同热储层的分布范围不尽相同。王兰化认为天津市平原区第Ⅲ含水

组及深层地下水未受到咸水下移的影响^[7]; 张琳怡认为天津市及周边地下水受到咸水入侵影响较小^[8]。由此推断研究区内热储层未遭到海水入侵。

(1)明化镇组热储层: 总体上自北东向南西矿化度逐渐增大, 但局部地区的水质变化较为复杂, 相邻井的水质相差可以很大, 矿化度最低值为690 mg/L, 最高值可达3 710 mg/L, 水质类型有 $HCO_3 - Na$ 型、 $HCO_3 \cdot Cl - Na$ 型、 $Cl \cdot HCO_3 - Na$ 型、 $SO_4 \cdot HCO_3 - Na$ 型、 $SO_4 - Na$ 型和 $SO_4 \cdot Cl \cdot HCO_3 - Na$ 型、 $Cl \cdot SO_4 - Na$ 型、 $SO_4 \cdot Cl - Na$ 型等多种^[9-11](图2a)。

(2)馆陶组热储层: 地热流体自北东向南西矿化度逐渐增大, 矿化度为1 569~2 205 mg/L。水化学类型由 $HCO_3 - Na$ 型、 $HCO_3 \cdot Cl - Na$ 型向 $Cl \cdot HCO_3 - Na$ 型和 $Cl \cdot SO_4 - Na$ 型过渡。其地热流体水质普遍较差, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 含量增幅较大^[9-11](图2b)。

(3)奥陶系热储层: 该热储层地热流体自北东向南西矿化度逐渐增大, 但东、西部水质差异明显。在沧东断裂带附近和沧县隆起区, 该层水质普遍较好, 水质类型为 $Cl \cdot HCO_3 - Na$ 型, 矿化度为1 700~1 800 mg/L。沿天津断裂附近矿化度较高, 最高可达4 863 mg/L, 水质类型为 $SO_4 - Na \cdot Ca$, $SO_4 \cdot Cl - Na \cdot Ca$ 型或 $SO_4 \cdot Cl - Na$ 型。在白塘口断裂带附近, 水质类型为 $Cl \cdot SO_4 - Na$ 型^[12-15](图2c)。

表 1 天津市中心城区地热流体水化学和同位素分析结果

Table 1 Chemical and isotopic composition of geothermal fluid in the central districts of Tianjin

样号	热储层	深度/m	T/℃	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	HBO ₂ ⁻	SiO ₂	TDS	δ(D)	δ(¹⁸ O)
w _B /(mg/L)															w _B /10 ⁻³	
1	Jxw	2 327	100	7.11	425.5	89	33.1	9.7	299.7	351	390.5	30.3	71.9	1 670.4	-68	-9.1
2	Jxw	2 546	91	7.04	470	66	33.1	11.6	312.2	388.2	381.4	30	69.2	1 731.7	-68	-9
3	Jxw	2 706	96.5	7.78	423.4	73.5	27.5	11.3	288.8	386.4	393.6	29	69	1 673.5	-70	-9
4	∈	1 727	96	6.86	412.5	81.2	40.1	7.9	305	372.2	405.8	30	73.5	1 698.2	-79	-9.6
5	∈	1 491	80	7.81	463.5	72	51.1	8.5	347.7	359.8	421	31.3	54.4	1 778	-76	-9.4
6	∈	1 173	86	7.7	466.2	75.7	8.6	11.8	316.5	418.3	433.2	27.36	68	1 833	-70	-9
7	O	2 920	96	7.92	427.8	82	31.3	8.8	291.6	361.6	405.8	28.93	80.5	1 689	-79	-9.5
8	O	1 937	70	7.5	462.5	61.2	41.1	9.7	281	390	485.1	28	59.5	1 790.1	-68	-9
9	O	1 300	70	7.4	475	55	44.1	7.9	269	386.4	500.4	28.5	53.5	1 791.3	-72	-8.7
10	O	2 318	73	8.06	484.4	51.9	41.1	8.5	247.8	400.6	518.7	30.12	47	1 800	-71	-8.6
11	Ng	1 300	51	7.8	520.5	29	35.1	6.7	259.4	377.5	549.2	31.7	31	1 808.4	-77	-9.6
12	Ng	1 728	61	7.34	450	31	27.1	6.7	237.7	352.7	515.6	31	40.8	1 661.6	-70	-9.5
13	Nm	694	28	8.32	386.5	1.8	10	3.6	153.7	193.2	549.2	11	20.4	1 318.4	-68	-9.4
14	Nm	1 470	77	8.2	386.5	8.1	10.2	1.3	209.3	255.2	515.6	22.03	51.5	1 471.8	-69	-9.1
15	Nm	1 322	65.5	8.44	537.5	6.8	14	2.4	257	359.8	463.8	22.9	37	1 687.3	-75	-9.4
16	Nm	1 290	38	8.2	451.9	3.6	13	1.9	250.8	315.5	436.3	24.73	33	1 506	-68	-9.5
17	Jxw	2 668	93	7.9	416.5	80	34.1	13.4	302.6	382.9	393.6	30.6	71	1 694.1	-66	-9
18	Jxw	3 403	83	8.08	473.5	79.5	35.1	14	345.8	411.2	402.7	30.8	62.5	1 824.3	-68	-9
19	Jxw	3 506	88	8.04	483.5	76	34.1	13.4	350.6	428.9	378.3	30.5	59	1 823.8	-72	-9
20	Jxw	3 165	85	7.76	480	77.5	36.1	13.4	355.4	441.4	393.6	30.8	62.5	1 859.9	-68	-9.3
21	Jxw	3 150	88	7.65	495	64	39.1	13.4	384.2	443.1	378.3	28	67	1 884.1	-64.6	-9.01
22	Jxw	2 261	69	7.97	501	76	36.1	14	363.1	469.7	384.4	32.1	60.5	1 904.8	-70	-9.3
23	∈	1 730	88	7.8	451.2	77.5	29.1	8.5	305.5	372.2	427.1	29.1	74.5	1 745.6	-65	-9.3
24	O	1 432	48	7.89	372.7	8.5	22.1	6.2	134.9	274.7	485.1	17.24	29	1 333.2	-73	-8.9
25	O	1 578	49	6.94	484.3	11.4	563.5	27.2	201.3	409.1	521.7	21.53	29.8	3 248.3	-75	-9
26	Nm	1 225	35	8.51	451.6	4.2	13.1	1.9	243.1	315.5	414.9	25.78	31.2	1 487.5	-70	-9.5
27	Nm	1 096	28	8.45	343.1	2	15.5	2.2	275.1	95.7	439.3	5.53	21.8	1 206.7	-68	-9.6
28	Nm	1 108	40	8.31	411.2	2.8	13	1.9	271.2	212.7	421	14.52	25.4	1 359.2	-73	-9.6
29	Nm	1 148	40	8.65	214.9	1.1	3.4	0.4	0.9	30.1	494.3	1.93	23.4	789.5	-70	-9.3
30	Jxw	2 610	86	7.58	487.5	71.2	42.1	12.8	331.4	439.6	405.8	32.5	64.8	1 855.2	-68	-9.4
31	Jxw	2 492	88	8.1	473.4	38.27	39.5	10.9	335.7	440.6	404.7	32	64	1 754.8	-70	-9
32	Jxw	2 003	85	7.73	483	77.5	32.1	13.4	350.6	437.8	396.6	31.9	64	1 855	-69	-9.4
33	Jxw	2 734	86	7.87	487.5	73.8	32.1	12.8	333.8	434.3	387.5	28.2	67	1 828.8	-71	-9
34	Jxw	2 480	87	7.63	456.4	67.82	33.67	14.35	282.9	399.6	378.3	28	76.04	1 810	-68	-8.7
35	Jxw	2 093	88	8.11	470.2	72.8	28	12.2	317.9	443.1	375.3	30	65.8	1 785.3	-70	-9
36	Jxw	1 684	90	7.66	475	65	37.1	10.9	345.8	436	378.3	64.5	64.5	1 812.6	-66	-9.4
37	Jxw	3 471	94	7.6	500	72.5	34.1	12.8	348.2	441.4	402.7	32.4	66	1 877.7	-65	-9.4
38	Jxw	1 684	80	7.88	487.5	73.8	36.1	12.8	336.8	432.5	393.6	28.7	64.5	1 842	-74	-8.7
39	Jxw	2 748	93	7.7	490	70	40.1	13.4	321.8	425.4	393.6	29	66.5	1 820.8	-67	-9.3
40	Jxw	1 608	95	7.26	505	78	41.1	12.2	331.4	423.6	402.7	30	64.5	1 858.5	-70	-9.1
41	Jxw	2 500	84	7.05	570	71	44.1	14	369.8	524.7	378.3	30.1	52	2 023.9	-80	-9.3
42	Jxw	3 471	94	8.13	505	70	38.1	10.9	333.8	464.4	396.6	32.3	81	1 899.8	-65	-9.4
43	Jxw	3 658	84	7.5	500	70	37.1	14	360.2	439.6	421	32.2	65	1 906.9	-65	-9.4
44	Jxw	1 629	89	7.31	545	70	46.1	12.2	374.6	517.6	372.2	32	56.5	1 994.2	-67	-9.3
45	∈	2 010	93	7.06	480	73	33.1	10.9	331.4	427.2	372.2	22	65	1 798.8	-80	-9.4
46	∈	2 120	50	7.98	778.1	40.2	443.4	90.2	1 968	776.4	207.5	21.56	37	4 340.8	-76	-9.3
47	O	2 200	51	6.95	840	47	511	79	2 137.3	868.5	186.1	22.2	20.8	4 689.7	-70	-9.7
48	O	1 516	52	7.85	710	39	511	82.1	1 873.2	829.5	222.7	29.80	26.4	4 293.9	-66	-9.1
49	O	2 010	57	7.43	719.3	35.5	358.6	74.5	1 743	622.1	250.2	20.96	34	4 689.7	-68	-9.3
50	O	2 530	62	7.24	779.6	40.9	437.6	92.8	1 972	815.2	225.8	21	37	4 401.1	-67	-9.7
51	O	2 276	63	7.33	839.9	44.6	460.1	95.3	1991	912.8	195.3	21.01	31	4 570	-69	-9.5
52	Nm	1 100	44	8.64	209.5	1.2	3	0.6	4.8	31.9	497.3	2.1	26.2	783.5	-67	-9.8
53	Nm	800	46	8.64	217.8	1.3	3	0.5	18.5	39	488.2	2.51	24.8	805.1	-63	-9.4

(4)寒武系热储层:区内该热储层地热井仅有 6 眼,主要位于沧东断裂和白塘口西断裂附近。地热流体矿化度北低南高、东低西高,矿化度为 700~1 800 mg/L。表 1 可见,水化学类型为 Cl·HCO₃

·SO₄-Na 型和 Cl·SO₄·HCO₃-Na 型,与当地的雾迷山组水质相近。

(5)蓟县系雾迷山组热储层:地热流体矿化度由北东向南西逐渐增大,矿化度为 1 709~

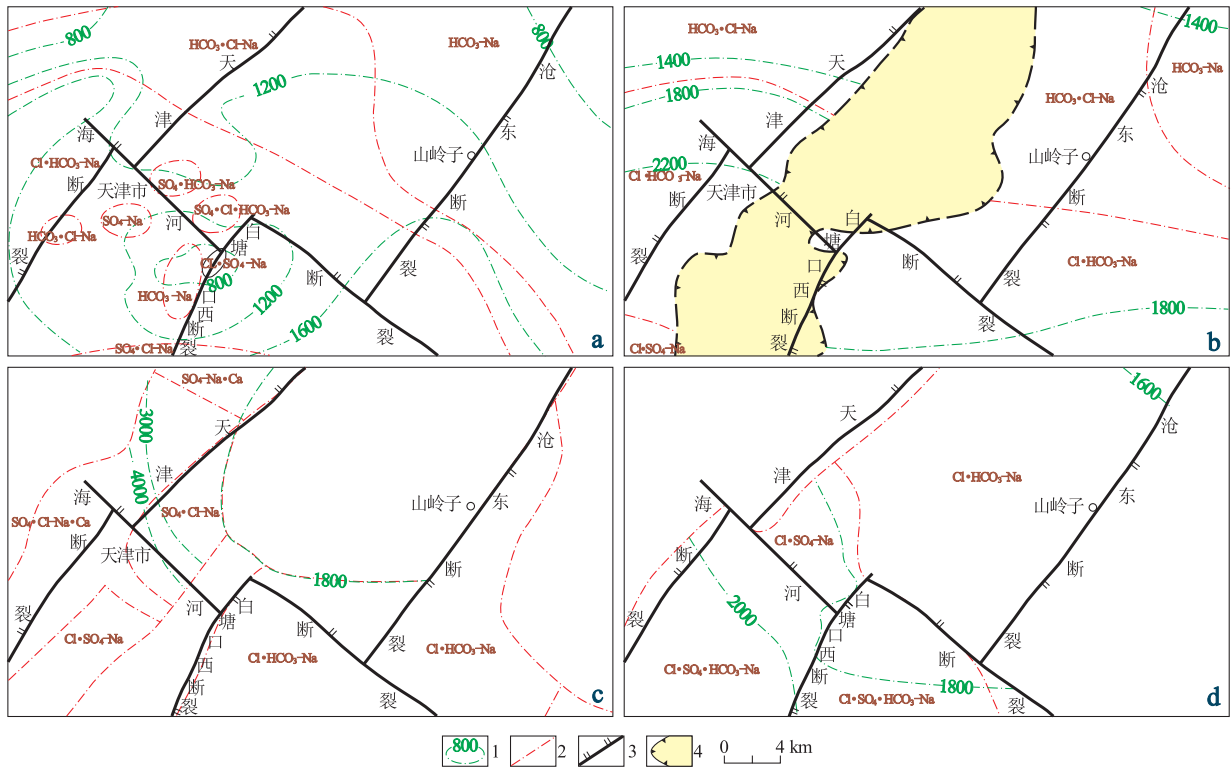


图2 热储层水化学类型分区图

Fig. 2 Hydrochemical type division of geothermal reservoirs

a. 明化镇组热储层; b. 馆陶组热储层; c. 奥陶系热储层; d. 雾迷山组热储层

1. 矿化度等值线(mg/L); 2. 水质类型分界线; 3. 断裂; 4. 馆陶组缺失线

2 280 mg/L。在海河断裂以北和沧东断裂带附近水质类型为 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型和 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型, 在海河断裂以南水化学类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型^[16-17](图 2d)。

(6) 地热流体氢氧同位素特征。对研究区内 53 眼地热井进行取样分析, 其中基岩裂隙型地热井 41 眼, 孔隙型地热井 12 眼。通过分析, 地热流体 $\delta(\text{D}_{\text{V-SMOW}}) = -81 \times 10^{-3} \sim -63 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}) = -9.6 \times 10^{-3} \sim -8.0 \times 10^{-3}$ 。根据 IAEA/WMO/GNIP 的降水同位素数据, 用线性回归求得天津地区大气降水线方程为 $\delta(\text{D}) = 7.6995 \delta(^{18}\text{O}) + 8.6974$ ^[18]。图 3a 所示, 全部取样点的地热流体分析结果均落在全球大气降水线(GMWL)和当地大气降水线(LMWL)右侧^[19], 存在着明显的 $\delta(^{18}\text{O})$ 漂移, 且由北东向南西地热流体的 $\delta(^{18}\text{O})$ 漂移值逐渐增大, 造成这一现象的原因是热水的水岩交换作用。这一现象反映了各热储层地热流体具有大气降水补给的特征, 水流方向为由北东向南西^[20]。

4 讨论

从图 4 可见, 有 2 组奥陶系水样点的 Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量明显高于其他奥陶系水样, 该奥陶系地热井位于天津断裂附近有石炭-二叠系分布的地区。推测是因上覆的石炭-二叠纪成煤期后, 在由还原环境向氧化环境变化过程中, 黄铁矿等被氧化所致。这说明石炭-二叠系与奥陶系存在着水力联系, 天津断裂有一定程度的导水作用^[21]。其他地区馆陶组、奥陶系、寒武系和雾迷山组地热流体的主要阴阳离子成分十分接近, 约 50% 的水样点达到了重合。化学成分以重碳酸根离子、氯离子和钠离子为主, 化学成分相近, 水化学类型相近, 说明馆陶组、奥陶系、寒武系和雾迷山组热储层地热流体之间存在着混合现象^[22]。

4.1 沧东断裂带

图 3b 表明了沧东断裂带各热储层地热流体和第四系冷水的 $\delta(^{18}\text{O})$ 和 $\delta(\text{D})$ 数据与天津大气降水

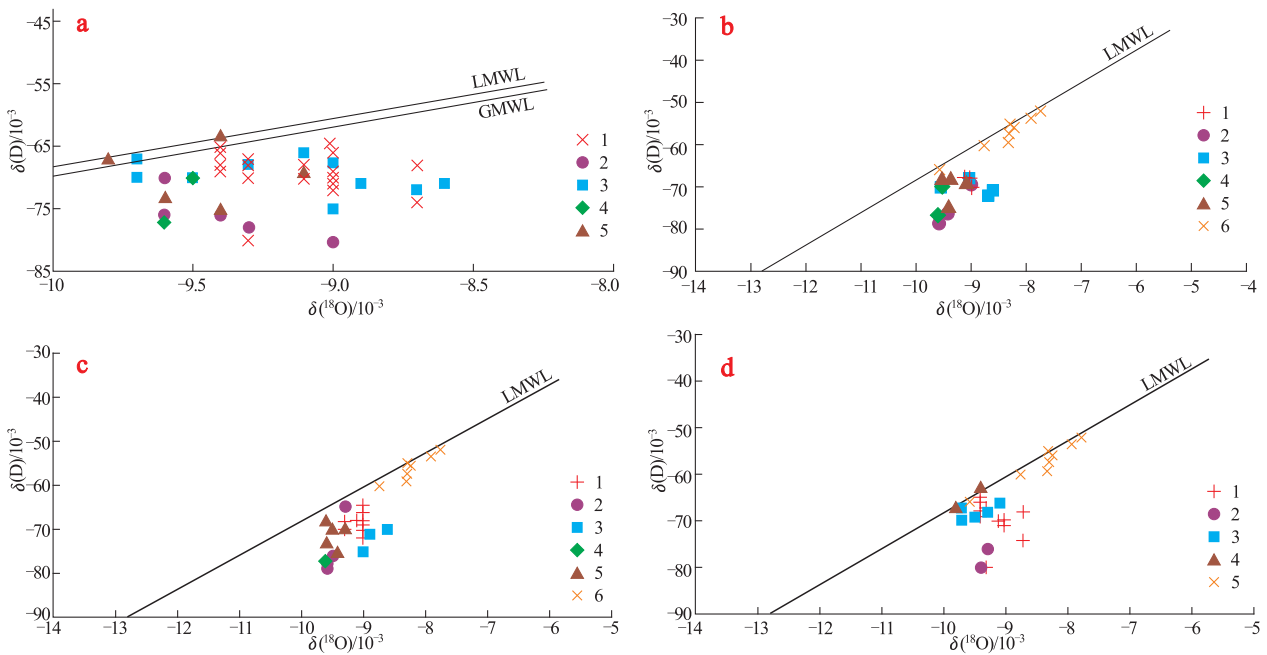
图3 热储层 $\delta(D)$ — $\delta(^{18}O)$ 关系图

Fig. 3 Map showing of geothermal reservoirs $\delta(D)$ vs $\delta(^{18}O)$ relation

a. 研究区水样氢氧同位素组成; b. 沧州断裂带热储层地热流体氢氧同位素组成;

c. 潘庄凸起区热储层地热流体氢氧同位素组成; d. 白塘口凹陷区热储层地热流体氢氧同位素组成

1. 雾迷山组地热流体; 2. 寒武系地热流体; 3. 奥陶系地热流体; 4. 馆陶组地热流体; 5. 明化镇组地热流体; 6. 第四系冷水

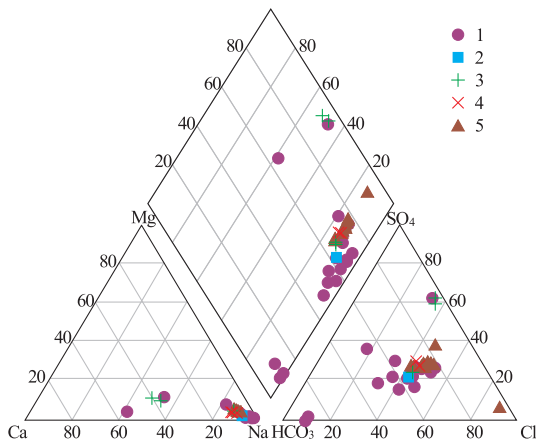


图4 各热储层地下热水 Piper 三线图

Fig. 4 Piper diagram for groundwater of different geothermal reservoirs in Tianjin

1. 明化镇组热储层; 2. 馆陶组热储层; 3. 奥陶系热储层;

4. 寒武系热储层; 5. 雾迷山组热储层

线的关系。所有的数据点都位于天津大气降水线附近,表明大气降水是沧东断裂带各地热流体明显的补给水源。但其 $\delta(D)$ 明显低于第四系冷水的 $\delta(D)$,说明其补给源不是当地大气降水,应该来自远处高地或寒冷时期的降水入渗。明化镇组地热流体的 $\delta(D)$ 更接近第四系冷水值,反映了大气降水在明

化镇组热储层的运移速度较其他热储层更快,水交替条件更好^[23]。

在沧东断裂的不同部位,各热储层地热流体的 $\delta(D)$ 和 $\delta(^{18}O)$ 均有不同程度的重合,重合部分约 50%,其水样点的主要阴阳离子成分十分接近(图 4),水化学类型相同或相近,部分水样点的化学成分重合,说明他们之间存在着密切的水力联系。反映了深部地热流体在沿沧东断裂上行中与浅层地热流体发生了混合。图 5a 可见,部分明化镇组、馆陶组、奥陶系、寒武系和雾迷山组水样点落在同一条混合线上,其 B 和 Cl 基本成线性关系(图 5b),说明了各热储层之间存在着混合。沧东断裂具有高渗透性和导水性,是各热储层地热流体优先传导的路径^[24]。

4.2 潘庄凸起区

图 3c 可见,各热储层地热流体的 $\delta(D)$ 和 $\delta(^{18}O)$ 均位于天津大气降水线附近且部分水样点重合,说明各热储层之间存在着密切的水力联系和共同的补给源。重合部分的明化镇组、馆陶组和寒武系地热井位于潘庄凸起东部靠近沧东断裂的区域。其他重合部分的地热井位于潘庄凸起馆陶组缺失区和海河断裂附近,部分明化镇组、奥陶系和雾迷山组地热流体主要阴阳离子成分变化不大,为 $Cl \cdot HCO_3 - Na$ 型,水

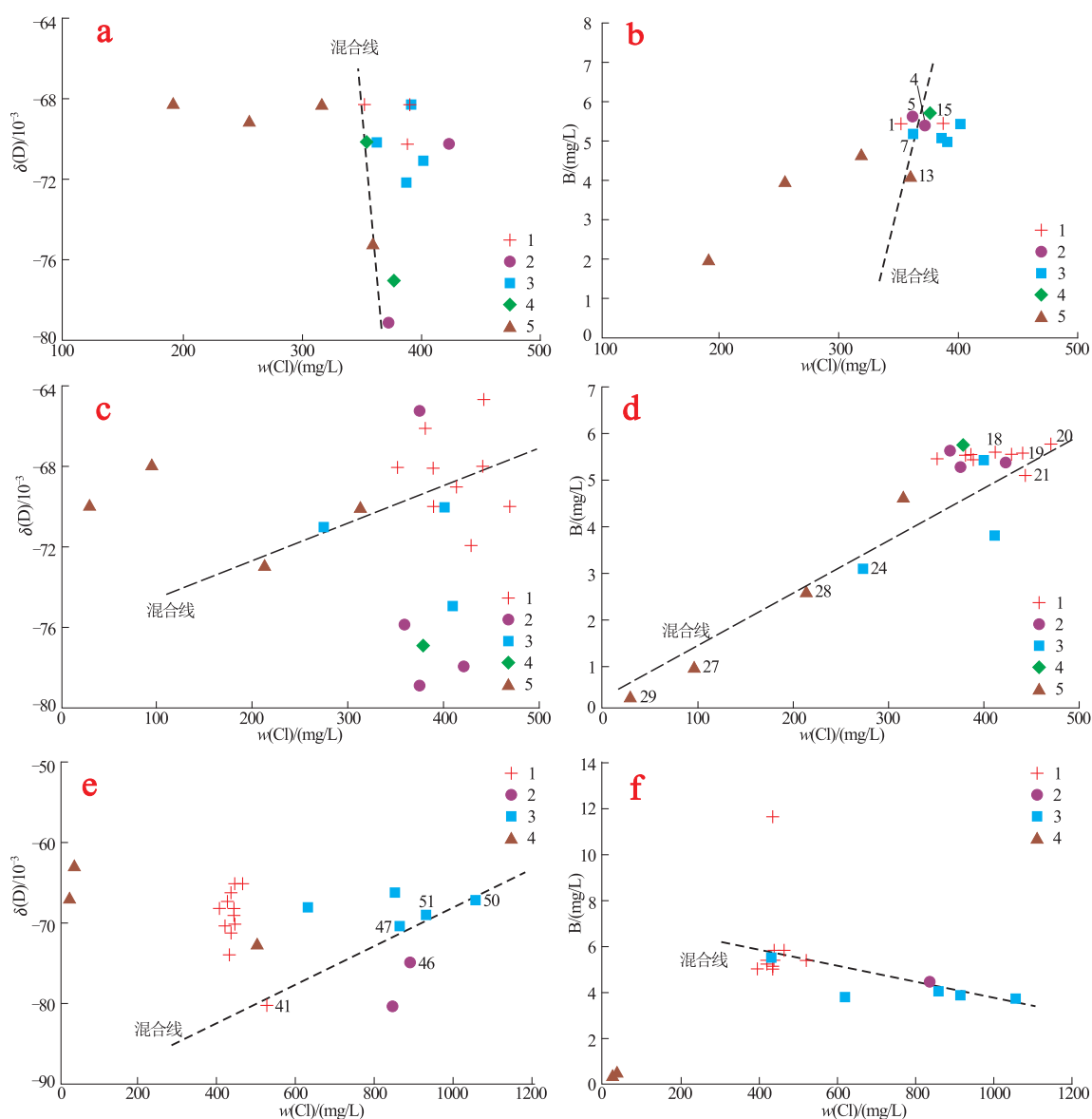


图5 不同构造单元热储层地热流体 $\delta(D)$ — $\delta(Cl)$ 和 $w(B)$ — $w(Cl)$ 图

Fig. 5 Map showing $\delta(D)$ vs $w(Cl)$ and $w(B)$ vs $w(Cl)$ geothermal offfluid in geothermal reservoirs from different tectonic units

a, b. 沧东断裂带; c, d. 潘庄凸起区; e, f. 白塘口凹陷区

1. 雾迷山组地热流体; 2. 寒武系地热流体; 3. 奥陶系地热流体; 4. 馆陶组地热流体; 5. 明化镇组地热流体

化学类型相同(图 2a, c, d)。图 5c, d 可见, 明化镇组、奥陶系和雾迷山组水样点落在一条混合线上, 相同水样点的 Cl, B 呈较好的线性关系, 说明在潘庄凸起馆陶组缺失区, 奥陶系通过“天窗”自下而上向明化镇组进行越流补给。雾迷山组地热流体在沿断裂上行中与奥陶系和明化镇组地热流体混合。海河断裂和沧东断裂是地热流体的主要径流带, 也是连通各个含水层水力联系的主要通道。

4.3 白塘口凹陷区

在白塘口凹陷区各热储层 $\delta(D)$ — $\delta(^{18}O)$ 关系

图(图 3d)中, 明化镇组、奥陶系和雾迷山组地热流体的 $\delta(D)$ 值与第四系地下冷水接近, 部分发生重合。其中明化镇组地热流体的 $\delta(D)$ 值落在天津大气降水线上, 反映了三者存在密切的水力联系和共同的补给源。在馆陶组缺失区, 奥陶系热储层通过“天窗”越流补给明化镇组地热流体, 在白塘口断裂附近雾迷山组地热流体在沿断裂上行中与大量第四系冷水和其他热储层的地热流体发生了混合。落在天津大气降水线上的明化镇组地热井位于白塘口西断裂附近, 说明白塘口西断裂是大气降水入渗补给

的主要径流带。图 5e,f 可见,奥陶系和雾迷山组水样点落在一条混合线上,相同水样点的 Cl, B 呈较好的线性关系。

综上所述,不同构造区各热储层的水力联系程度不同。沧东断裂和白塘口西断裂附近各热储层水力联系程度较好,天津断裂和海河断裂的弱导水性为各热储层的水力联系起到了一定的联通作用。雾迷山组几乎与所有热储层之间存在联系,是研究区内各热储层水力联系较畅通的含水层。证实了热储层的导水能力和富集程度,受构造条件的制约。在上覆热储盖层条件下,凡构造交汇或开启性断裂部位都可形成一定规模的带状热储并沿热流运动方向补给其他热储层。带状热储对地下热水的形成起着通道作用,如沧东断裂带出露的奥陶系和寒武系;而层状热储的主要功能为储热,如雾迷山组。

5 结论

(1)研究区内各热储层的补给来源均为大气降水,水流方向由北东向南西。

(2)研究区内各热储层之间存在水力联系,其中雾迷山组地热流体与第四系冷水和其他热储层之间联系最广泛。在不同地区明化镇组直接覆盖在不同的基岩之上,明化镇组通过“天窗”直接接受下伏基岩热储层的顶托补给。

(3)研究区的各大断裂是沟通各含水层之间水力联系的主要通道。含水层之间的连通程度取决于断裂的导水性和渗透性。区内天津断裂和海河断裂具有一定程度的导水性,沧东断裂和白塘口西断裂具有高渗透性和导水性。

参考文献:

- [1] 林黎,赵苏民,王心义. 天津地热水开发利用现状及保护对策研究[J]. 河南理工大学学报:自然科学版,2006,25(2):105-110.
- [2] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京:科学出版社,1988:3-36.
- [3] 阮传侠,林黎,于彦,等. 天津市南部平原区地热流体同位素特征[C]//地温资源与地源热泵技术应用论文集:三集. 北京:地质出版社,2009:18-23.
- [4] Giggenbach W F. Chemical techniques in geothermal exploration[M]//D Amore, E. (coordinator), Application of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP publication, Rome, 1991:119-142.
- [5] 李俊峰,靳宝珍,程万庆,等. 天津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.
- [6] 胡燕,高宝珠,靳宝珍,等. 天津地热流体水化学分布特征及形成机理[J]. 地质调查与研究,2007,30(3):213-218.
- [7] 王兰化. 天津市平原区深层淡水咸化-咸水下移问题讨论[J]. 地质调查与研究,2004,27(3):169-176.
- [8] 张琳怡. 天津滨海地区地下水咸化的水化学及锶同位素示踪研究[D]. 天津:天津师范大学,2012.
- [9] 胡燕,林黎,林建旺,等. 天津市地热资源可持续开发潜力评价报告[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2007:43-78.
- [10] 胡燕,林黎,林建旺,等. 天津市滨海新区地热资源可持续开发潜力评价报告[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2008:69-75.
- [11] 阮传侠,于彦,高宝珠,等. 天津滨海新区地热流体水化学特征分析[J]. 地下水,2010,32(1):51-53.
- [12] 陈瑞军,李媛媛,唐永香,等. 天津市区附近奥陶系地热流体形成条件和利用研究报告[R]. 天津:天津地热勘查开发设计院,2008:36-67.
- [13] 陈瑞军,李媛媛,唐永香,等. 天津附近奥陶系地热流体成因与补排分析[J]. 世界地质,2009,28(4):539-545.
- [14] 高宝珠,黎雪梅,裴瑞平,等. 天津市奥陶系热储层地热流体水化学特征及其主要影响因素[J]. 地球学报,2009,30(3):369-374.
- [15] 唐永香,刘洋,俞初安,等. 奥陶系高矿化度地热流体在天津地热开发利用中的分析[J]. 地下水,2009,31(6):167-169.
- [16] 李俊峰,靳宝珍,程万庆,等. 天津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.
- [17] Gao B Z, Li X M, Jia Z, et al. Hydrogeochemical Properties of the Tianjin (China) Geothermal Field[C]//Proceedings World Geothermal Congress WGC 2010. Bali, Indonesia: 2010.
- [18] 邓文平,余新晓,贾国栋. 华北地区大气降水稳定同位素特征与水汽来源[J]. 矿物岩石地球化学通报,2012,31(5):489-494.
- [19] Pang Z H. Isotope geochemistry of geothermal waters in northern China basin: implications on deep fluid migration[C]//Proceedings: World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan:2000.
- [20] Yang Feng-tian, Pang Zhong-he, Lin Li, et al. Hydrogeochemical and isotopic evidence for trans-formational flow in a sedimentary basin: Implications for CO₂ storage [J]. Applied Geochemistry, 2013(30):4-15.
- [21] 林建旺,陈瑞军,宗振海,等. 天津中南部地区奥陶系地热流体层控性[J]. 世界地质,2012,31(2):433-440.
- [22] 马致远,钱会,黄建勋,等. 关中盆地南部含水层间相互关系的环境同位素水文地球化学证据[J]. 地球科学与环境学报,2006,28(2):69-74.
- [23] 张百鸣,王心义,林建旺. 天津地热田地热水的同位素特征分析[J]. 西部探矿工程,2006,18(3):85-88.
- [24] 赵苏民,高宝珠,黎雪梅,等. 沧东断裂(天津段)特征及导水导热性质分析[J]. 地质调查与研究,2007,30(2):121-127.

Hydraulic connection of different geothermal reservoirs near the urban area of Tianjin city

ZHANG Fenna, JIA Zhi, QIAN Hongqiang, JIN Baozhen

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

Abstract: Hydrogeochemistry and isotopic investigation methods are used to explore hydraulic connection of different geothermal reservoirs. The results show that all geothermal reservoirs in the urban area of Tianjin is recharged from precipitation, and various big fractures play key roles in different degree for hydraulic connecting among different reservoirs.

Key Words: geothermal reservoirs in urban area of Tianjin; environmental isotopes; hydrogeochemistry; geothermal fluid; hydraulic connection