

# 同位素方法在局部排泄源水文地质属性研究中的应用 ——以新疆准噶尔盆地北部顶山地区为例

张卫民<sup>1 2)</sup> 余修日<sup>2)</sup> 李金轩<sup>2)</sup>

1) 中国地质大学 湖北 武汉 430074 2) 华东理工学院 江西 抚州 344000

**摘 要** 本文在研究新疆准噶尔盆地北部地区天然水氢氧同位素水文地球化学特征的基础层上,探讨了同位素方法在顶山地区局部排泄源水文地质属性研究中的应用。氢氧同位素水文地球化学特征研究表明,盐池和二连洼地局部排泄源归属于老第三系含水层和受深大断裂控制的基底裂隙含水带共同排泄,黄花沟局部排泄源归属于老第三系含水层排泄,公安农场局部排泄源归属于老第三系含水层和第四系含水层的混合排泄。

**关键词** 氢氧同位素 局部排泄源 水文地质属性 顶山地区 准噶尔盆地

## Application of Isotope Methods to Studying Hydrogeological Attributes of Partial Discharge Sources : A Case Study of Dingshan Area , Northern Junggar Basin , Xinjiang

ZHANG Weimin YU Xiuri LI Jinxuan

1) China University of Geosciences , Wuhan , Hubei 430074 2) East China Geological Institute , Fuzhou , Jiangxi 344000

**Abstract** Based on a study of the hydrogeochemical characteristics of hydrogen and oxygen isotopes in natural water from northern Junggar basin , this paper probes into the application of isotope method to studying hydrogeological attributes of the partial discharge sources in Dingshan area. Investigation into the hydrogeochemical characteristics of hydrogen and oxygen isotopes show that the partial discharge sources of Erlian depression and Yanchi belong to the common discharge of the Palaeogene aquifer and the basement fissure water-bearing zone controlled by the deep faults , that the Huanghuagou partial discharge source belongs to the discharge of Palaeogene aquifer , and that the Gongan farm partial discharge source belongs to the mixed discharge of Palaeogene and Quaternary aquifers.

**Key words** hydrogen and oxygen isotope partial discharge source hydrogeological attribute Dingshan area Junggar basin

排泄源就是排泄地下水的地方,它有区域排泄源和局部排泄源之分。区域排泄源受区域间水盆地总体水动力条件控制,而局部排泄源受次一级水文地质单元的水动力条件控制,其含义是指地下水在区域流动过程中由于局部减压区的存在,使承压水向上排泄出地表或排泄于上部含水层中的现象(李学礼,1988)。“热源、水源、矿(铀)源三源成矿论”揭示了排泄源(减压区)在中国南方古水热系统铀成矿中具有的重要意义(李学礼,1992)。中亚地区的研究经验表明,与暴露和隐伏的局部排泄源相结合,区域排泄源决定了中央克孜尔库姆(乌兹别克

斯坦)和锡尔-达林(哈萨克斯坦)盆地层间氧化带区域边界的空间位置和形态,因此排泄源是水成铀矿床的聚矿构造(蒋岫芸译,1993)。近几年来,在中国西北部大中型盆地寻找和开发砂岩铀矿的过程中,排泄源作为有利的找矿判据受到愈来愈多的重视,而局部排泄源在砂岩型铀矿成矿过程中具有特别重要的作用。在一个地区,局部排泄源很多,但并非所有局部排泄源都与铀成矿有关,因此要研究铀成矿条件或铀成矿预测就必须研究与铀成矿有关的局部排泄源。在研究与铀成矿有关的局部排泄源过程中,研究局部排泄源的水文地质属性(即局部排泄

本文由核工业总公司资助项目:准噶尔盆地古水文地质分析及铀成矿远景预测(编号:Y5611018)资助。

改回日期 2001-12-12 责任编辑 宫月萱。

第一作者 张卫民 男,1965 年生,副教授,博士研究生,主要从事水文地球化学、溶浸工艺以及环境工程等方面科研和教学, E-mail :wmzhang

@ecgi.cn

源属于哪一级水文地质单元)至关重要,但在野外调查工作中,有些局部排泄源的水文地质属性并不直观,有时难以作出正确的判断。正确判别局部排泄源水文地质属性的方法很多,而氢氧同位素水文地球化学方法在现代热水成因(即水文地质属性)研究中得到了广泛应用(孙占学,1992;李学礼,1995;张卫民,1999)。因此,本文应用氢氧同位素水文地球化学方法来研究新疆准噶尔盆地北部顶山地区分布的盐池、黄花沟、二连洼地和公安农场4个局部排泄源的水文地质属性,以便为评价该区铀成矿条件提供依据。

1 自然地理及地质简况

新疆准噶尔盆地北部地区,其范围西起德伦山,东至青格里山,北至阿尔泰山,南至三个泉一带(图1-a)。该区为半干旱-干旱大陆气候,平均年降雨量160~170 mm(阿尔泰山地区可达200 mm),6~7月常有暴雨,占年降雨量60%以上。年蒸发量大于1000 mm。地貌上,北部为高山区(阿尔泰山地区),东部为中山区,总体上表现为北高南低、东高西低的地势。区内发育有额尔齐斯河与乌伦古河两大水系,前者发源于北东部的基岩山区,向盆地西北腹地流动,后者发源于青格里山,最后汇入福海湖。顶

山地区位于北准地区的南部,乌伦古河两侧周围的公安农场、黄花沟和盐池一带(图1-a)。

顶山地区出露最广泛的地层有老第三系乌伦古河组( $E_{2-3}$ )、新第三系( $N_1$ )和第四系( $Q$ ) (图1-b)。据钻孔揭露, $E_{2-3}$ 下部为老第三系红砾山组( $E_{1-2}$ ), $E_{1-2}$ 与上覆 $E_{2-3}$ 呈整合接触,而 $E_{2-3}$ 与上覆 $N_1$ 呈不整合接触,其中老第三系含水层为区内的找矿目标层。目标层含水层的地下水总体流向由NE向SW,其补给来源主要有额尔齐斯河与乌伦古河等地表水和东北部山区的大气降水。

2 氢氧同位素水文地球化学特征

新疆准噶尔盆地北部地区天然水氢氧同位素水文地球化学调查的水源点类型主要有下降泉、自流井、民井、供水井、山沟水、湖水和河水等,其采样点分布及氢氧同位素组成的分析结果分别见图1-b和表1。

2.1 下降泉水和山沟溪水

下降泉水和山沟溪水主要取自于工作区北部的阿尔泰山区。其中下降泉水 $\delta D$ 值为 $-89\text{‰} \sim -101\text{‰}$ (平均值为 $-95.5\text{‰}$ ), $\delta^{18}O$ 值为 $-14.6\text{‰} \sim -15.9\text{‰}$ (平均值为 $-15.4\text{‰}$ )。由于该类地下水基本上为就地补充就地排泄,受蒸发作用

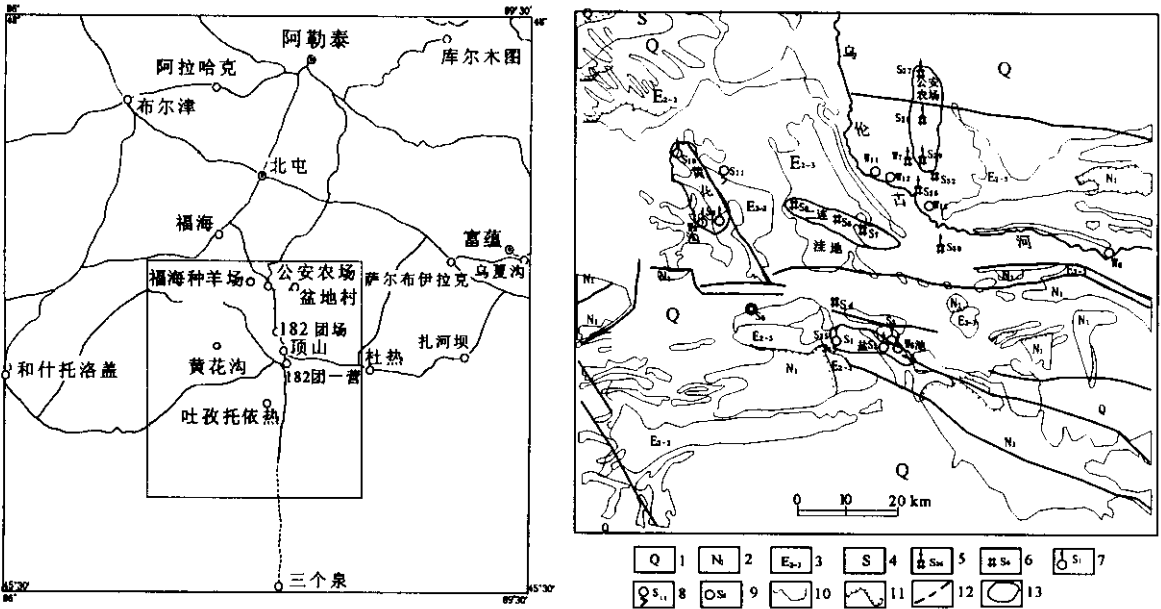


图1 顶山地区地质与水源点分布示意图

Fig.1 The schematic map of geology and water-source spot distribution in the Dingshan area

1-第四系 2-新第三系 3-老第三系 4-志留系 5-压水井 6-民井 7-自流井 8-下降泉 9-地表水点;  
10-地质界线;11-角度不整合;12-断裂;13-排泄源

1-Quaternary system 2-Neogene system 3-Palaeogene system 4-Silurian system 5-packer well;

6-well 7-artesian well 8-gravity spring 9-surface water-source spot;10-line of geological limitation;

11-angular discordance;12-fault;13-discharge source

表 1 新疆准噶尔盆地北部地区天然水氢氧同位素组成

| Table 1 Hydrogen and oxygen isotopic composition of natural water from northern Junggar basin in Xinjiang |     |            |      |                     |                                |                |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------|---------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------------|
| 水源类型                                                                                                      | 样号  | 取样位置       | 出露地层 | $\delta D/\text{‰}$ | $\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ | $T/\text{TU}$  | $TDS/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$ |
| 自流井                                                                                                       | S1  | 盐池         | 老第三系 | -104                | -14.9                          | $6.1\pm2.5$    | 2.06                               |
| 自流井                                                                                                       | S2  | 盐池         | 老第三系 | -109                | -14.9                          | $7.9\pm2.5$    | 1.45                               |
| 自流井                                                                                                       | W6  | 盐池         | 老第三系 | -87                 | -14.8                          | $0.77\pm0.40$  | 1.57                               |
| 自流井                                                                                                       | S9  | 黄花沟        | 老第三系 | -108                | -15.9                          | $3.7\pm2.5$    | 1.08                               |
| 自流井                                                                                                       | S10 | 黄花沟        | 老第三系 | -96                 | -13.8                          | $8.9\pm2.4$    | 2.52                               |
| 自流井                                                                                                       | W5  | 黄花沟        | 老第三系 | -87                 | -15.8                          | $1.12\pm0.34$  | 1.13                               |
| 供水井                                                                                                       | S5  | 黄花沟南面      | 老第三系 | -111                | -13.7                          | $10.04\pm2.5$  | 3.32                               |
| 民井                                                                                                        | S6  | 二连洼地       | 第四系  | -105                | -15.8                          | $5.1\pm2.6$    | 0.35                               |
| 民井                                                                                                        | S7  | 二连洼地       | 第四系  | -98                 | -12.6                          | $4.0\pm2.6$    | 1.57                               |
| 压水井                                                                                                       | S26 | 182 团蓄场    | 第四系  | -84                 | -13.7                          | —              | 2.99                               |
| 民井                                                                                                        | S27 | 公安农场       | 第四系  | -87                 | -11.7                          | $27.1\pm2.9$   | 1.62                               |
| 民井                                                                                                        | S4  | 盐池         | 第四系  | -121                | -18.3                          | —              | 0.28                               |
| 压水井                                                                                                       | S28 | 182 团 11 连 | 第四系  | -83                 | -12.9                          | $25.3\pm2.9$   | 1.51                               |
| 压水井                                                                                                       | W7  | 182 团团部    | 第四系  | -73                 | -12.3                          | $39.3\pm0.74$  | 0.46                               |
| 下降泉水                                                                                                      | S12 | 阿尔泰山       | —    | -94                 | -14.6                          | —              | —                                  |
| 下降泉水                                                                                                      | S16 | 阿尔泰山       | —    | -93                 | -15.4                          | —              | 0.066                              |
| 下降泉水                                                                                                      | S17 | 阿尔泰山       | —    | -97                 | -15.3                          | —              | 0.112                              |
| 下降泉水                                                                                                      | S18 | 阿尔泰山       | —    | -89                 | -15.9                          | —              | 0.075                              |
| 下降泉水                                                                                                      | S19 | 阿尔泰山       | —    | -96                 | -15.9                          | —              | 0.101                              |
| 下降泉水                                                                                                      | S20 | 阿尔泰山       | —    | -99                 | -14.8                          | —              | 0.102                              |
| 下降泉水                                                                                                      | S21 | 阿尔泰山       | —    | -95                 | -15.7                          | —              | 0.34                               |
| 下降泉水                                                                                                      | S22 | 阿勒泰市       | —    | -101                | -15.6                          | —              | 0.47                               |
| 山沟溪水                                                                                                      | S13 | 阿尔泰山       | —    | -94                 | -14.6                          | —              | 0.02                               |
| 山沟溪水                                                                                                      | S14 | 阿尔泰山       | —    | -92                 | -13.6                          | —              | 0.041                              |
| 山沟溪水                                                                                                      | S15 | 阿尔泰山       | —    | -87                 | -15.3                          | —              | 0.069                              |
| 河水                                                                                                        | W8  | 顶山乌伦古河     | —    | -81                 | -12.9                          | $35.69\pm0.69$ | 0.21                               |
| 湖水                                                                                                        | W9  | 福海湖        | —    | -62                 | -4.7                           | —              | 1.86                               |
| 河水                                                                                                        | W10 | 顶山乌伦古河     | —    | -72                 | -11.7                          | $38.29\pm0.70$ | 0.53                               |
| 河水                                                                                                        | W11 | 福海县乌伦古河    | —    | -70                 | -12.7                          | $42.54\pm0.79$ | 0.49                               |
| 湖水                                                                                                        | S25 | 盐池         | —    | -91                 | -11.5                          | $2.9\pm2.5$    | 7.65                               |

注 S、W 系列样品分别代表 1998 年和 1997 年所取样品， $\delta D$  和  $\delta^{18}\text{O}$  由地质矿产部矿床地质研究所分析，而  $T$  由国家地震局地质研究所分析。

影响较小，其氢氧同位素组成可以代表当地大气降水的氢氧同位素组成。山沟溪水  $\delta D$  值为  $-87\text{‰}\sim -94\text{‰}$ （平均值为  $-91\text{‰}$ ）， $\delta^{18}\text{O}$  值为  $-13.6\text{‰}\sim -15.3\text{‰}$ （平均值为  $-14.5\text{‰}$ ），较下降泉水的  $\delta D$  值和  $\delta^{18}\text{O}$  值高，表明山沟溪水在其流动过程中氢氧

同位素组成变重，因为山沟溪水暴露于地表有可能受到一定程度的蒸发作用影响所致。

2.2 自流井中的地下水

自流井水样主要取自于盐池和黄花沟，为老第三系砂岩含水层中揭露的地下水，其  $\delta D$  值为

-87‰~-111‰(平均值为-100.3‰), $\delta^{18}\text{O}$  值为-13.7‰~-15.9‰(平均值为-14.8‰)。这类水  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  组成与阿尔泰山区下降泉水和山沟水的  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  组成基本一致,说明该类地下水的补给区位于阿尔泰山区。

### 2.3 水井中的地下水

水井(包括压水井和民井)是工作区地下水露头的主要类型,出露于第四系地层。该类地下水通常与地表水具有水力联系且同位素组成在一定程度上受到蒸发作用的影响,其  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值分别为-73‰~-121‰(平均值为-93‰)和-11.7‰~-18.3‰(平均值为-13.9‰),明显高于自流井水的同位素组成。这类地下水  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值变化复杂,既可能是基底基岩裂隙水,也可能是盖层老第三系和第四系水或是它们的混合水。

### 2.4 河湖水

河湖水取自于乌伦古河和福海湖的水,由于暴露于地表而受到蒸发作用影响,其  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值分别为-62‰~-91‰(平均值为-75.2‰)和-4.7‰~-12.9‰(平均值为-10.7‰),明显高于区内地下水的  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值。

### 2.5 水中氡含量特征

从表1氡同位素测定结果可以看出,不同水源类型水,其氡含量具有明显差别:河水的氡含量为35.69~42.54 TU;出露于第四系浅部地下水的氡含量为4.0~39.3 TU,说明浅部地下水的补给来源复杂;出露于老第三系含水层中的地下水氡含量为0.77~10.04 TU,说明其径流途径远,循环深度大,离补给区有较远的距离,表明其年龄为大于或等于40~50 a的“古水”(王恒纯,1991)。

综上所述,该区不同水源类型的天然水,其氢氧同位素组成具有明显差别。

## 3 在局部排泄源水文地质属性研究中的应用

通过地质、水文地质及水化学特征研究表明,准噶尔盆地北部顶山地区的盐池、黄花沟、二连洼地及公安农场是隐伏的局部排泄源,但是这些局部排泄源地下水的补给是否来自同一含水层有待于进一步证实。就顶山地区而言,各排泄源的地下水露头可分3种类型的水文地质属性:①归属于第四系含水层;②归属于老第三系含水层;③归属于受深大断裂控制的基底裂隙含水带。

### 3.1 二连洼地局部排泄源

S6和S7是二连洼地的民井水,其  $\delta\text{D}$  值分别为-105‰和-98‰,与阿尔泰山区下降泉水和山沟水的  $\delta\text{D}$  值基本一致。S6的  $\delta^{18}\text{O}$  值为-15.9‰,也与阿尔泰山区下降泉和山沟水的  $\delta^{18}\text{O}$  值一致,但S7的  $\delta^{18}\text{O}$  值为-12.6‰,明显高于阿尔泰山区下降泉和山沟水的  $\delta^{18}\text{O}$  值,产生的原因有待进一步探讨。另外,S6和S7的氡含量分别为5.1 TU和4.0 TU,明显低于附近乌伦古河水和第四系浅部地下水的氡含量,说明其径流途径远,循环深度大,离补给区有较远的距离。因此,可以认为二连洼地的S6和S7两个民井的地下水不是由附近河水或大气降水补给的第四系浅部地下水,而是由盆地边缘山区大气降水补给的深部地下水。结合水化学成分特征分析,S6民井的地下水矿化度较低(为0.35 g/L),归属于受深大断裂控制的基底裂隙水,而S7民井的地下水矿化度较高(为1.57 g/L),归属于老第三系含水层水。

### 3.2 盐池局部排泄源

S1、S2和W6是盐池的自流井水,其  $\delta\text{D}$  值分别为-104‰、-109‰和-87‰,而  $\delta^{18}\text{O}$  值分别为-14.9‰、-14.9‰和-14.8‰,其  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值与阿尔泰山区下降泉和山沟水的  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值基本一致。S1、S2和W6的氡含量分别为6.1 TU、7.9 TU和0.77 TU,明显低于附近河水和第四系浅部地下水的氡含量,说明其径流途径远,循环深度大,离补给区有较远的距离。因此,可以认为盐池自流井的地下水不是由附近河水或大气降水补给的第四系浅部地下水,而是由盆地边缘山区大气降水补给的深部地下水。结合水化学成分特征分析,S1、S2和W6地下水矿化度较高(为1.45~2.06 g/L),归属于老第三系含水层水,其中W6与S1、S2的  $\delta\text{D}$  值及氡含量有明显差异,可能反映前者为老第三系下部红砾山组( $E_{1-2}$ )含水层水,而后者为老第三系上部乌伦古河组( $E_{2-3}$ )含水层水。

S4是盐池的民井水,其  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值分别为-121‰和-18.3‰,明显低于在阿尔泰山区所取的下降泉和山沟水的  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值,说明该地下水是由阿尔泰山区中更高的大气降水补给的深部地下水。结合水化学成分分析,S4民井地下水矿化度较低(为0.28 g/L),属受深大断裂控制的基底裂隙水。

S25是盐池的水,其  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值分别为-91‰和-11.5‰,氡含量为2.9 TU,矿化度为

7.65 g/L。从氡含量看,其值明显低于附近河水和第四系浅部地下水的氡含量,说明它不是由附近河水、大气降水或第四系浅部地下水在此汇聚的结果,而是深部地下水在此汇聚的结果。从矿化度看,盐池的水受到了强烈蒸发作用的影响,所以测定的  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值一定比刚出露的地下水的  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值要高。结合水化学成分特征分析,S25 盐池水归属于老第三系含水层水。

### 3.3 黄花沟局部排泄源

S9、S10 和 W5 是来自黄花沟的自流井水,其  $\delta D$  值分别为  $-108‰$ 、 $-96‰$  和  $-87‰$ ,而  $\delta^{18}O$  值分别为  $-15.9‰$ 、 $-13.8‰$  和  $-15.8‰$ ,它们的  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值与阿尔泰山区下降泉水和山沟水的  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值一致。S9、S10 和 W5 的氡含量分别为 3.7 TU、8.9 TU 和 1.12 TU,明显低于附近河水和第四系浅部地下水的氡含量,这说明它们的径流途径远,循环深度大,离补给区有较远的距离。结合水化学成分特征分析,S9、S10 和 W5 地下水矿化度较高(为 1.08~2.52 g/L),归属于老第三系含水层水,其中 W5 与 S9、S10 的  $\delta D$  值及氡含量有明显差异,可能反映前者为老第三系下部红砾山组( $E_{1-2}$ )含水层水,而后者为老第三系上部乌伦古河组( $E_{2-3}$ )含水层水,这一结论与上述的 W6 与 S1、S2 所反映的结论一致。

### 3.4 公安农场局部排泄源

S27 和 S28 是来自公安农场一带的民井水,其  $\delta D$  值分别为  $-87‰$  和  $-83‰$ ,而  $\delta^{18}O$  值分别为  $-11.7‰$  和  $-12.9‰$ ,它们的  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值与附近乌伦古河河水 W8 点相近(W8 的  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值分别为  $-81‰$  和  $-12.9‰$ )。这种现象表明,公安农场一带的地下水是由附近乌伦古河河水补给。但是 S27 和 S28 民井水的氡含量(分别为 27.1 TU 和 25.3 TU)比 W8 河水的氡含量(为 35.66 TU)要低,而 S27 和 S28 民井水的矿化度(分别为 1.62 g/L 和 1.51 g/L)比 W8 河水的矿化度(为 0.21 g/L)要高。S27 和 S28 民井水矿化度的增高可由强烈蒸发作用、水岩相互作用、老第三系与第四系地下水混合作用或以上 3 种综合作用而形成。在较短的径流途径内,由河水补给而通过水-岩相互作用形成这样高矿化度的可能性极少。如果加上强烈蒸发作用,那么形成这样高矿化度的可能性极大,但这与  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  的组成相矛盾,这一点可用 W7 水点来说明。W7 水点为民井水,其氡含量为 39.3 TU,与附近乌伦古河 W8 水点的氡含量(为 35.66 TU)相近,说

明该水点的地下水主要是由附近乌伦古河河水补给。受蒸发作用的影响,W7 水点与 W8 水点相比,矿化度只增加了 0.25 g/L,但其  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  值分别增加了 8‰ 和 0.6‰。S27 和 S28 民井水的矿化度与 W8 水点相比,分别增加了 1.41 g/L 和 1.3 g/L,但其  $\delta D$  值反而分别降低了 6‰ 和 2‰,这说明 S27 和 S28 民井水矿化度明显增高并非由强烈蒸发作用的影响而形成的。因此,S27 和 S28 民井水矿化度明显增高主要是由老第三系与第四系地下水混合作用而形成的,这说明 S27 和 S28 民井水,归属于老第三系含水层和第四系含水层的混合。

综上所述,氢氧同位素水文地球化学特征研究表明,顶山地区盐池和二连洼地局部排泄源归属于老第三系含水层和受深大断裂控制的基底裂隙含水带共同排泄,黄花沟局部排泄源归属于老第三系含水层排泄,公安农场局部排泄源归属于老第三系含水层和第四系含水层的混合排泄。

### 参考文献

- 蒋峙芸译. 1993. 地下水排泄源是形成水成铀矿床的聚矿构造. 西北铀矿地质, 19(1): 61~64.  
李学礼. 1988. 水文地球化学. 北京: 原子能出版社, 316~320.  
李学礼. 1992. 论“水源、热源、矿(铀)源”三源成矿问题. 华东地质学院学报, 15(2): 101~112.  
孙占学, 李学礼, 史维浚. 1992. 江西中低温地热水的同位素水文地球化学. 华东地质学院学报, 15(3): 243~248.  
王恒纯. 1991. 同位素水文地质概论. 北京: 地质出版社, 102~104.

### References

- Jiang Xiuyun. 1993. The groundwater discharge source is the gathering ore structure to form the hydrogenic uranium deposit. North-west Uranium Geology, 19(1): 61~64 (in Chinese).  
Li Xueli. 1988. Hydrogeochemistry. Beijing: Atomic Energy Press, 316~320 (in Chinese).  
Li Xueli. 1992. On the mineralization model of three sources-heat, water and uranium. Journal of East China Geological Institute, 15(2): 101~112 (in Chinese).  
Li Xueli. 1995. The isotope analysis on the genesis of thermal water in Jiangxi China. Proceeding of the WRI-8. A. A. Balkema, Rotterdam Brookfield 203~206.  
Sun Zhanxue, Li Xueli, Shi Weijun. 1992. Isotope hydrogeochemistry of low-mid temperature thermal water in Jiangxi Province. Journal of East China Geological Institute, 15(3): 243~248 (in Chinese).  
Wang Hengchun. 1991. Isotope hydrogeology summary. Beijing: Geological Publishing House, 102~104 (in Chinese).  
Zhang Weimin. 1999. Origin analysis of geothermal water and evaluation of geothermal reservoir temperature in the Hengjing area, South Jiangxi province, China. Geotectonica et Metallogenia, 23(2): 155~165.