

新疆准噶尔盆地北部天然水的同位素研究及其应用^{*}

李学礼 刘金辉 史维浚 周文斌 张为民 孙占学

(华东地质学院, 江西临川)

摘 要 在对新疆准噶尔盆地北部天然水 H、O 同位素进行系统调查中运用同位素水文地球化学基本原理对该区不同水源类型的同位素组成进行了分析研究, 确定了大气降水线方程和大气降水同位素高程效应, 并对同位素蒸发效应、纬度效应和地下水形成年龄进行了探讨。这些研究成果对于阐明该区赋存铀资源的第三系砂岩含矿含水层中地下水补给来源、补给区高程和形成年龄以及论证铀成矿规律具有重要现实意义。

关键词 同位素 砂岩型铀矿 天然水 准噶尔盆地

同位素测试作为一种先进的技术手段在地质科学的各个研究领域得到了越来越广泛的应用, 运用同位素方法来研究流体及矿床成因关系方面取得了较大的进展。例如: 应用稳定同位素理论研究热水成因^[1]和海水热液成矿作用^[2~4]及大气降水热液成矿用^[5]。在总结水同位素地球化学特征和新疆准噶尔盆地北部地质背景的基础上, 笔者在北准噶尔地区广泛系统地开展了同位素水文地球化学调查工作, 取得了一批宝贵的同位素数据。一方面对该区天然水的同位素特征有了新的认识, 确定了当地大气降水线方程和大气降水同位素高程效应, 并对同位素蒸发效应、纬度效应和地下水形成年龄进行了探讨。另一方面又将这些新认识运用于该区第三系砂岩型铀矿的找矿工作中。

砂岩型铀矿成因上属水成铀矿床, 由于它可采用能带来良好经济和社会效应的溶浸方式开采, 因而成为当今我国铀矿地质工作主攻的重点。近年来, 笔者在分析新疆准噶尔盆地地质背景的基础上, 首先运用盆地古水文地质、水文地球化学、同位素地球化学和放射性地球物理等方法对盆地铀成矿远景进行了研究, 本文就准噶尔盆地北部天然水同位素地球化学及其在找矿中的意义进行探讨。

1 自然地理和地质简况

1.1 自然地理简况

研究区位于准噶尔盆地北部, 其范围是西起德伦山, 东至青格里底山, 北延伸至阿尔泰山, 南至三个泉一带。该区为干旱-半干旱大陆性气候, 平均年降雨量 160~170 mm, (阿尔泰山区可达 200 mm), 6~8 月常有暴雨, 占年降雨量的 60%以上。年蒸发量大于 1 000 mm。地貌上, 北部为高山区(阿尔泰山区), 东部为中高山区, 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、乌伦古河两大水系, 前者发源于阿尔泰山南坡, 后者

^{*} 第一作者: 李学礼, 男, 1936 年 12 月生, 教授, 从事水文地球化学研究, 邮编: 344000

发源于阿尔泰山并最终汇入本区最大的乌伦古湖中。

1.2 地质简况

研究区基底主要为下古生代变质岩、上古生代泥盆纪浅变质岩、石炭纪浅变质岩, 沉积盖层形成于二叠纪。二叠系、三叠系为内陆盆地沉积, 侏罗系为含煤沉积, 白垩系为一套陆源碎屑岩。研究区出露最广泛的是第三系, 其岩性为砂岩、砾岩和泥岩, 自下而上有红砾山组($E_1\sim 2h$)、乌伦古河组($E_2\sim 3w$)、索索泉组(E_3-N_1)_s、可可买登组(N_1k)和独山子组(N_1d)。其中, 乌伦古河组为本区最重要的找矿目标层。

2 天然水同位素地球化学特征

2.1 不同水源类型的 H、O 同位素组成

2.1.1 自流井中的地下水 自流井水样主要取自工作区地形相对较低的两个局部排泄源附近, 即大盐池和黄花沟一带。第三系砂岩含水层大面积分布和出露, 自流井水具承压性, 为典型承压含水层, 其 δD 值为 $-74\text{‰}\sim -109\text{‰}$ (平均 -94.4‰), $\delta^{18}O$ 为 $-13.4\text{‰}\sim -15.9\text{‰}$ (平均 -14.8‰) (表 1)。水化学类型一般为 $Cl-SO_4-Na$ 型。该类型地下水是由来自离工作区较远的山区大气降水补给, 大气降水(HCO_3-SO_4-Ca 型)在补给区渗入地下后经过一个较长时间的水岩作用, 使水中 Cl^- 、 Na^+ 增高, Ca 、 HCO_3^- 降低, 最后演化成 $Cl-SO_4-Na$ 型水。因而认为自流井水属第三系含矿含水层中的地下水。

2.1.2 水井中的地下水 水井是工作区地下水露头主要类型之一, 水位埋深及井深度小, 主要为当地生活用水。从第四系厚度和井深分析, 该类地下水为第四系浅层地下水。其 H、O 同位素组成除个别值偏高或偏低外, δD 和 $\delta^{18}O$ 值分别为 $-73\text{‰}\sim -105\text{‰}$ (平均 -89.3‰) 和 $-11.7\text{‰}\sim -14.8\text{‰}$ (平均 -13.6‰), 明显重于自流井水的同位素组成。这意味着地下水补给区较近, 补给高程较低, 后面阐述的水中氦含量可以说明这一点。

2.1.3 下降泉和山沟溪水 下降泉和山沟溪水主要取自于工作区北部的阿尔泰山区, 前者主要采集其汇水面积在视野范围内的下降泉, 后者采集能目估其补给高程且径流途径短的溪水。下降泉的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值分别为 $-94\text{‰}\sim -101\text{‰}$ 和 $-14.2\text{‰}\sim -15.9\text{‰}$, 其山沟溪水相应值为 $-87\text{‰}\sim -94\text{‰}$ 和 $-13.6\text{‰}\sim -15.3\text{‰}$ 。由于径流途径短且位于气候相对潮湿的山区, 水岩或水气之间同位素交换的可能性较小, 下降泉和山沟溪水的同位素组成基本上可代表当地大气降水的同位素组成。

2.1.4 地表水 地表水取自于乌伦古河及乌伦古湖水, 河水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值分别为 $-70\text{‰}\sim -81\text{‰}$ (平均 -74.3‰) 和 $-11.1\text{‰}\sim -12.9\text{‰}$ (平均 -10.4‰), 湖水为 -62‰ 和 -4.7‰ , 明显重于自流井、水井、泉水的 H、O 同位素组成。这是由于水体暴露于地表而产生蒸发效应所致。

2.1.5 天然水中的氦含量 在对水中 H、O 稳定同位素研究的同时, 还对部分水源点水中氦含量进行了系统调查和研究。氦同位素测定结果(表 1)表明不同水源类型其氦含量具有明显差异。出露于第三系含水层(自流井)地下水氦含量为 $0.77\sim 8.9$ TU, 第四系浅层地下水一般 $10\sim 40$ TU, 地表水的氦含量一般 $35\sim 40$ TU。

2.2 大气降水线方程

大气降水线是由不同区域大气降水中 H、O 同位素组成在 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系图上的投影点拟合而成的一条直线。由于大气降水 H、O 同位素组成受众多因素的影响, 因而不同地区的

表 1 新疆准噶尔盆地北部天然水 H、O 同位素组成

Table 1 Hydrogen & oxygen isotopic composition of natural water from north Junggar basin in Xinjiang							
水源类型	样号	取样位置	矿化度/g·L ⁻¹	δD*/‰	δ ¹⁸ O*/‰	T*/TU	水化学类型
自流井	S1	大盐池	2.06	−104	−14.9	6.1±2.5	Cl ⁺ SO ₄ [−] Na
	S2	大盐池	1.45	−109	−14.9	7.9±2.5	Cl ⁺ SO ₄ [−] Na
	S9	黄花沟	1.08	−108	−15.9	3.7±2.5	SO ₄ ⁺ ClNa
	S10	黄花沟	2.52	−96	−13.8	8.9±2.4	Cl ⁺ SO ₄ [−] Na ⁺ Ca
	W1	井下农场	1.52	−74	−13.4		Cl ⁺ SO ₄ [−] Na
	W5	黄花沟	1.13	−87	−15.8	1.12±0.34	Cl ⁺ SO ₄ [−] Na
	W6	大盐池	1.57	−83	−14.8	0.77±0.40	Cl ⁺ SO ₄ [−] Na
水井	S5	引水工程井	3.32	−111	−13.7	10.4±2.5	SO ₄ ⁺ ClNa ⁺ Ca
	S6	二连洼地	0.35	−105	−15.8	5.10±2.6	SO ₄ ⁺ HCO ₃ [−] Na
	S7	二连洼地	1.57	−98	−12.6	4.0±2.6	HCO ₃ ⁺ SO ₄ [−] Na
	S21	汗德朵特		−95	−15.7		HCO ₃ ⁺ SO ₄ [−] Ca
	S26	182 团蓄场	2.99	−84	−13.7	74.5±3.5	SO ₄ ⁺ ClNa ⁺ Ca
	S27	福海劳动农场	1.62	−87	−11.7	27.1±2.9	SO ₄ ⁺ ClNa ⁺ Ca
	S28	182 团 11 连	1.51	−83	−12.9	25.3±2.9	SO ₄ [−] Na
	W7	182 团	0.46	−73	−12.3	39.32±0.74	HCO ₃ ⁺ SO ₄ [−] Ca ⁺ Na
下降泉	S4	大盐池	0.28	−121	−18.3	28.0±3.0	HCO ₃ [−] Na
	S25	大盐池	7.65	−91	−11.5		ClNa
	S12	阿尔泰山		−94	−14.6		
	S17	阿尔泰山		−97	−15.3		
	S18	阿尔泰山		−89	−15.9		
	S19	阿尔泰山		−101	−15.9		
	S20	阿尔泰山		−99	−14.8		
	S22	阿勒泰市	0.47	−101	−15.6		HCO ₃ ⁺ SO ₄ [−] Ca
	S23			−99	−14.2		
山沟溪水	S13	阿尔泰山	0.02	−94	−14.6		
	S14	阿尔泰山		−92	−13.6		
	S15	阿尔泰山		−87	−15.3		
	S16	阿尔泰山		−87	−15.4		
地表水	W8	乌伦古河	0.21	−81	−12.9	35.66±0.69	HCO ₃ [−] Ca ⁺ Na
	W9	乌伦古湖	1.86	−62	−4.7		Cl ⁺ SO ₄ [−] Na
	W10	乌伦古河	0.53	−72	−11.1	38.29±0.70	SO ₄ ⁺ ClNa ⁺ Ca
	W11	乌伦古河		−70	−12.7	42.54±0.79	

注: *、** 数据分别由原地矿部矿床地质研究所和国家地震局地质研究所测试(1997, 1998)

大气降水具有不同的 H、O 同位素组成。调查工作中, 笔者有目的地选取能够代表当地大气降水同位素组成的水源类型(下降泉、山沟溪水)的同位素组成来确定大气降水线方程。经相关分析得到准噶尔盆地北部的大气降水线方程为:

$$\delta D = 7.2 \delta^{18}O + 10.6 \quad (R = 0.95)$$

R 为相关系数。该降水线方程与 Craig 全球大气降水线方程 $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$ 和乌鲁木齐地区雨水线方程 $\delta D = 7.9 \delta^{18}O + 9.57$ (中国地质科学院水文地质工程地质研究所, 1986) 十分接近, 较好地反映了当地大气降水同位素特征。若将同位素数据投到 $\delta D - \delta^{18}O$ 关系图上可以看出该区大气降水或浅层地下水的 $\delta D - \delta^{18}O$ 关系图(图 1)。该区降水线方程的确定不仅对研究北准噶尔地区地下水形成条件, 第三系砂岩铀矿床成矿条件具有重要意义, 而且

亦丰富了我国西北地区天然水同位素研究成果。

2.2 同位素高程效应

同位素高程效应根据同位素水文地球化学基本原理和不同补给高程地下水 H、O 同位素组成的相关分析来确定。为使数据具有较好的代表性,水源点主要选自于工作区北部阿尔泰山区不同高程的下降泉和山沟溪水。分析得到的同位素高程效应方程式为:

O 同位素高程效应: $\delta^{18}\text{O} = -0.004H - 9.54 \quad (R = 0.97)$

H 同位素高程效应: $\delta\text{D} = -0.046H - 27.26 \quad (R = 0.97)$

图 2.3 分别显示了 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 与地下水补给高程的关系。可以看出, δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 与高程呈负相关,即在准噶尔盆地北部,当高程增加 100 m 时,大气降水的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别降低 4.6 ‰和 0.4 ‰,略高于青藏高原(藏东)同位素高程效应式 $\delta^{18}\text{O} = -0.0026H - 7.75 \quad (R = 0.884)^{[6]}$ 所确定的高程效应值。具有纬度愈高,高程效应值愈高的特点。显然,对于大气降水成因的地下水,即可根据其同位素组成来确定它的补给高程及补给区范围。

2.3 地表水同位素蒸发效应

准噶尔盆地属我国西北干旱地区,地表水体不可避免地要受到大量蒸发的影响,由此将引起水中同位素蒸发效应。本次工作采集了 4 个地表水样(3 个河水,1 个湖水)。乌伦古河水受盆地边缘阿尔泰山地表径流补给,穿过工作区流入乌伦古湖排泄,其同位素组成 δD 为 $-70\text{‰} \sim -81\text{‰}$ (平均 -71.3‰)、 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-11.1\text{‰} \sim -12.9\text{‰}$ (平均 -12.2‰)。乌伦古湖水的同位素组成相应值为 -62‰ 和 -4.7‰ 。与能代表大气降水同位素组成的下降泉相比,河水 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别升高 22.1 ‰和 2.5 ‰,湖水升高 34.4 ‰和 10 ‰。显然,本区地表水具有明显的同位素蒸发效应。

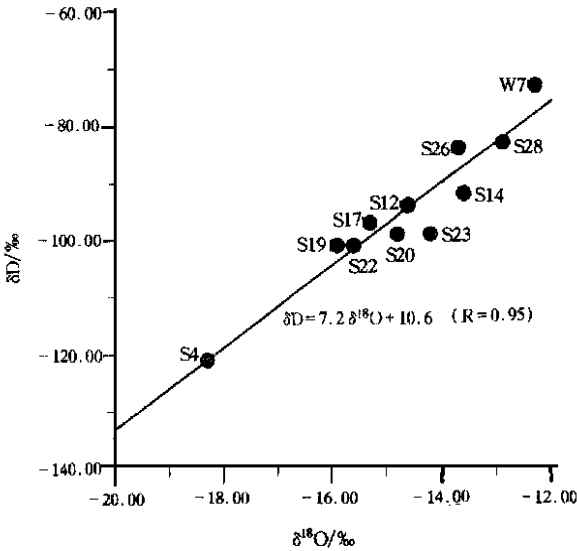


图 1 准噶尔盆地北部天然水 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 关系图

Fig. 1 The δD - $\delta^{18}\text{O}$ map of natural water in north Zhungeer basin

2.4 中国西部地区大气降水 O 同位素纬度效应

所谓纬度效应是指大气降水同位素组成随纬度的增高而减小的现象。这里笔者根据新疆北部地区同位素资料,并借鉴部分其补给高程与该区近似的贵州、四川的部分同位素数据,来近似说明中国西部(即贵州、四川到新疆北部的阿勒泰地区)大气降水 O 同位素纬度效应。由表 2 列出的大气降水 O 同位素组成和纬度值,通过计算,可以得到新疆北部的阿勒泰地区和贵州、四川部分大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值分别为 -15.0‰ 和 -9.8‰ ,其间平均纬度差为 $20^{\circ}14'$ 。由此可以近似地认为,中国西部地区大气降水 O 同位素纬度效应大致为 $0.257\text{‰}/\text{度}$,与广州到北京的纬度效应 $0.24\text{‰}/\text{度}$ (郑淑蕙,1982),基本一致。

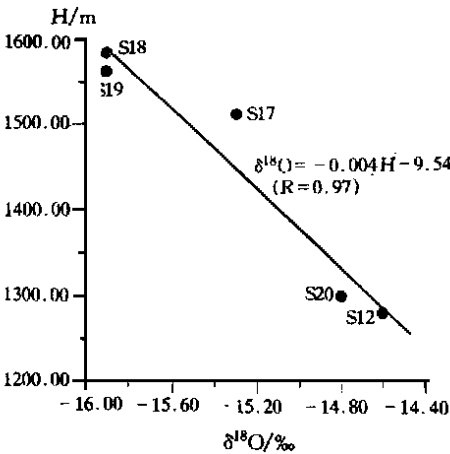


图 2 准噶尔盆地北部大气降水 O 同位素
高程效应图

Fig. 2 The oxygen isotopic altitude effect map of
meteoric water in north Zhungeer basin

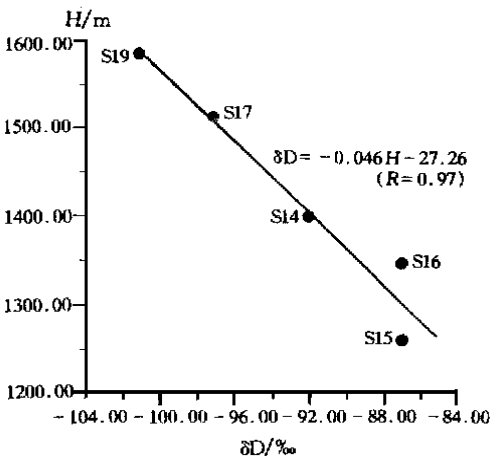


图 3 准噶尔盆地北部大气降水 H 同位素
高程效应图

Fig. 3 The hydrogen isotopic altitude effect map of
meteoric water in north Zhungeer basin

表 2 新疆北部和四川、贵州部分大气降水 O 同位素组成

Table 2 The oxygen isotopic composition of meteoric water from north Xinjiang, Sichuan & Guizhou

序号	样号	水源类型	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	取样点高程/m	取样点纬度	取样地点
1	S12	下降泉	-14.6	1180	47°48'	新疆阿尔泰山区
2	S13	山区河水	-14.6	1160	47°48'	新疆阿尔泰山区
3	S14	溪水	-13.6	1300	47°47'	新疆阿尔泰山区
4	S15	溪水	-15.3	1060	47°48'	新疆阿尔泰山区
5	S16	溪水	-15.4	1145	47°44'	新疆阿尔泰山区
6	S17	下降泉	-15.3	1350	47°43'	新疆阿尔泰山区
7	S18	下降泉	-15.9	1535	47°44'	新疆阿尔泰山区
8	S19	下降泉	-15.9	1413	47°44'	新疆阿尔泰山区
9	S20	下降泉	-14.8	1150	47°44'	新疆阿尔泰山区
10	W-58	溪水	-10.51	1070	27°19'	贵州毕节
11	W-59	溪水	-9.76	1600	27°10'	贵州大方
12	W-60	溪水	-9.55	1110	27°03'	贵州黔西
13	W-61	湖水	-8.76	1180	26°33'	贵州清镇
14	W-57	溪水	-8.36	1230	28°10'	四川叙永
15	W-02	溪水	-11.97	1300	28°57'	四川泸定

注: 序号 10-15 样品数据引自于津生等, 1980

3 同位素在寻找砂岩型铀资源中的应用

3.1 确定地下水补给来源和补给高程

准噶尔盆地水文地质条件研究表明, 准噶尔盆地北部顶山地区地下水的补给来源主要有额尔齐斯河、乌伦古河等地表水的补给和山区大气降水的补给, 前者主要补给浅部地下水(潜水), 后者则主要补给与成矿有关的砂岩承压含水层。从盆地北部天然水同位素组成来

看(表 1), 第三系含水层的 δD 、 $\delta^{18}O$ 值与阿尔泰山区下降泉和山沟溪水的 δD 、 $\delta^{18}O$ 值十分接近, 为论证该含水层水来自山区大气降水补给提供了同位素证据。再根据研究区地下水流向(由 NE 向 SW 方向流动), 有理由认为, 该区第三系含水层中地下水的补给来源主要是来自于工作区东北部的中、低山区(补给区)的大气降水, 含矿含水层区域排泄区位于工作区 WS 方向, 工作区分布有局部排泄源, 为地下水径流区。

地下水补给高程可以根据高程效应方程来确定。如果把含矿含水层地下水的 δD 、 $\delta^{18}O$ 值代入高程效应方程, 便可以得到出露于该含水层地下水(自流井)的补给高程, 其分别为 1 000~1 800 m 和 1 000~1 600 m, 即平均补给高程为 1 300~1 400 m。

3.2 确定含矿含水层地下水年龄

新疆北部顶山地区第三系含水层地下水年龄通过测定部分水源点(自流井、水井)水中氦含量来确定。氦同位素测定结果列于表 1。从表中可以看出, 不同的水源类型地下水其氦含量具有明显差别。出露于第三系含水层(自流井)地下水氦含量为 0.77~8.9TU, 表明其年龄为大于 40~50 a 的“古水”。而出露于第四系浅部地下水(井水)氦含量一般 10~25TU, 说明浅部地下水为近期补给的“新水”, 河水氦含量大于 35TU 是本区最年轻的水体。

参 考 文 献

- 1 Li Xueli et al. . The isotope analysis on the genesis of thermal water in Jiangxi, China. Proceeding of the WRI—8. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1995, 203~206.
- 2 Craig H. Isotopic composition and origin of the Red sea and Salton sea and Salton sea geothermal brines. Science, 1966, 154: 1544~1548.
- 3 Ohmoto et al. . Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusions in the Kurako deposits, Japan. Econ. Geol. , 1974, 69: 947~953.
- 4 张理刚. 湘西雪峰山隆起区钨锡金矿床稳定同位素地质学. 地质与勘探, 1985, (11).
- 5 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- 6 于津生等. 西藏东部大气降水氧同位素组成特征. 地球化学, 1980, (2): 113~121.

The Isotopic Study and Application of Natural Water in Northern Zhunggar Basin, Xinjiang

Li Xueli Liu Jinhui Shi Weijun Zhou Wenbin Zhang Weiming Sun Zhanxue
(East China College of Geology, Lichuan, Jiangxi)

Abstract On the basis of the hydrogen and oxygen isotopic investigation of natural water from Northern Junggar basin in Xinjiang, the authors analysed and studied isotopic composition of different kinds of water sources in accord with basic principles of isotopic hydrogeochemistry, and determined the meteoric water line equation and the meteoric isotopic altitude effect, and probed into the isotopic evaporation, the latitude effect and the age of underground water. The results play an important role in demonstrating the recharge source, the altitude of the recharge area, the age of underground water in the uranium-bearing Tertiary strata and the uranium met-allogenic regularity.

Key words isotope sandstone type uranium deposit natural water Junggar basin