

高放废物处置系统地下水同位素特征

郭永海 刘淑芬 吕川河

(核工业北京地质研究院,北京,100029)

P641 A

摘要 在高放废物处置库场地特性评价中,对于深地质处置方案而言,最有可能使放射性核素进入生物圈的机制是地下水的迁移,因此,水文地质研究是场址预选和评价中的一个重要内容。本文以甘肃北山预选区旧井地段为例,根据地下水同位素数据,结合所获得的地质、水文数据和信息,分析研究了研究区基岩地下水的起源、形成、演化和循环特征。研究表明,北山预选区旧井地段,深部地下水和浅部地下水均源自大气降水的补给,弱含水、低渗透、低流速是该区的主要水文地质特征。

关键词 同位素 高放废物处置库 水文地质特征 北山

Isotope Characteristics of Groundwater in the Potential Site of a High-Level Waste Repository in China

GUO Yonghai LIU Shufen LÜ Chuanhe

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing, 100029)

Abstract Using the isotope techniques, the authors studied the origin, evolution and circulation of the groundwater in the potential site of China's high-level waste repository. The results indicate that both deep groundwater and shallow groundwater are mainly recharged by modern and local precipitation, and the deep groundwater in the site area is of meteoric origin. The shallow groundwater is mainly recharged by modern and local precipitation, and the deep groundwater originates from regional precipitation at higher elevation, or might be derived from the precipitation during the geological period of lower temperature. It is also known from the study that the deep underground is a system of very low permeability where the groundwater flow rates are very low.

Key words isotope technique groundwater high-level waste repository

高放废物地质处置的基本概念是把玻璃固化后的核废物装入容器,再将其置入地下深部的基岩洞室中,同时以膨润土缓冲回填材料和密封材料回填,即设置多重屏障以阻止放射性物质释放、迁移和返回生物圈。地下处置库场址能否最终确定,主要取决于核素在基岩中的迁移形式及迁移速率,而这种迁移将通过地下水的“载体”作用进入人类生存环境。因此,了解拟建处置库所处的水文地质环境特征非常重要,同位素方法是查清地下水的来源、滞留时间和地下水循环交替特征的一种有效手段。

1 基本水文地质条件

北山预选区旧井地段地下水资源十分贫乏,地

下水的主要补给来源为当地的大气降水。据前人资料和野外实地调查,研究区大多数单井出水量一般小于 $50 \text{ m}^3/\text{d}$,只有局部裂隙带可达到约 $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因为含水介质,即裂隙本身是不均匀的,所以地下水水量分布亦极不均匀。根据地形、地貌、岩性结构及地质构造条件,将区内地下水主要划分为:山地基岩裂隙水、沟谷洼地孔隙-裂隙水和盆地孔隙-裂隙水(图1)。

北山预选区旧井地段,地下水主要露头是井、泉、沼泽和一些钻孔。据水位数据和收集的地质资料,研究区的南部,地下水主要为自北向南流动;研究区的北部,地下水主要为SW-NE向S流动,区域地下水最终流入河西走廊(图1)。

本文由国家自然科学基金项目(4027204)、国防科技预研项目(55.6.2.3)资助。

责任编辑:宫月萱。

第一作者:郭永海,男,1957年生,博士(后),研究员,水文地质专业。

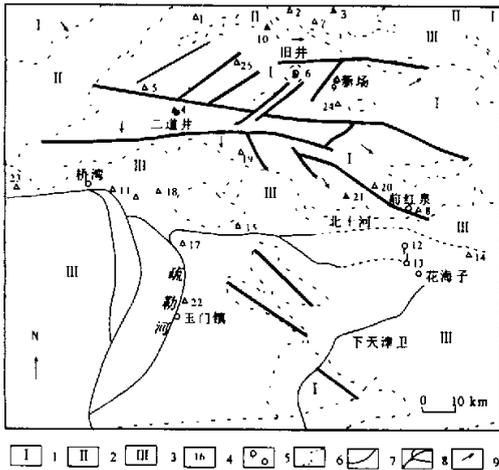


图1 北山预选区水文地质分区和取样点图

Fig. 1 Sketch map showing hydrogeology features and sampling points of the Beishan area

- 1-山地基岩裂隙水区;2-沟谷洼地孔隙-裂隙水区;3-盆地孔隙-裂隙水;
- 4-取样点;5-下降泉和上升泉;6-水文地质分区界线;
- 7-河流;8-断裂;9-地下水流向
- 1-upland rocky fissure water;2-vally and depression pore-fissure water; 3-basin pore - fissure water;4-water sampling point;
- 5-descending spring and ascending spring;6-demarkation line of hydrogeological unit;7-river;8-fault;9-groundwater flow direction

2 主要水化学特征

研究区地下水阳离子以 Na 为主,占水中阳离子毫克当量总数的 60%~80%,其次为 Ca;阴离子以 Cl 和 SO_4^{2-} 为主,Cl 占水中阴离子毫克当量总数的 30%~60%, SO_4^{2-} 一般占 20%~50%,地下水主

要有 3 种化学类型, $Cl \cdot SO_4^{2-} \cdot Na$ 、 $SO_4^{2-} \cdot Cl \cdot Na$ 及 $Cl \cdot SO_4^{2-} \cdot Na \cdot Ca$ 型(表 1)。

根据研究区 200 多个地下水样分析统计,总样品的 93% TDS 为 1~2 g/L,沿水流途径,地下水 TDS 有逐渐升高的趋势,补给区 TDS 一般为 1~2 g/L,排泄区 TDS 一般为 2~3 g/L,局部可达 80 g/L。表明,溶滤作用主要发生在地形较高的地下水补给区,蒸发浓缩作用主要发生在地形较低的排泄区。

3 同位素特征

3.1 地下水 H、O 同位素特征

几年来,在研究区采集了数十个地下水及地表水样品进行 H、O 同位素分析,主要取样点位置示于图 1。在地下水样品中,取自花三井、花二井、赤金乡、后红泉和小泉的地下水为深部地下水,其余均为地表水。分析结果表明,浅部地下水的 δD 值分布在 $-58\text{‰} \sim -70\text{‰}$ 之间, $\delta^{18}O$ 大部分在 $-6.9\text{‰} \sim -9.6\text{‰}$ 之间, 3H 含量一般大于 10 TU,只有个别样品的 3H 值小于 10 TU,与当地地表水的 3H 含量较接近,反映了浅部地下水系统的开启性和地下水循环较强的特征。深部地下水的 δD 值含量在 $-66\text{‰} \sim -74\text{‰}$ 之间, $\delta^{18}O$ 值介于 $-9\text{‰} \sim -10.5\text{‰}$ 之间。明显地反映出深部地下水 δD 和 $\delta^{18}O$ 值含量低于浅部地下水的特征。就地下水 3H 含量而言,深部地下水与浅部地下水没有明显差别。表 2 给出了部分水样的 H、O 同位素分析数据。

表 1 北山地区地下水化学成分分析结果

Table 1 The chemical measurement results of some groundwater samples in Beishan area													$mg \cdot L^{-1}$		
水样	位置	t/°C	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO_4^{2-}	HCO_3^-	F	Fe	Al	TDS	水型
1	两个井	11.0	8.0	226.2	18.2	87.0	40.0	249.9	340.0	256.3	0.5	0.04	0.03	1098	L·S·N
2	金场沟	9.0	7.39	214.0	25.0	66.2	26.9	316.9	202.7	161.1	0.2	0.06	0.06	1039	L·S·N
3	咸水井	10.1	6.76	1570.4	176.0	336.7	74.5	3289.3	148.3	161.7	2.4	0.08	0.04	5377	L·N
4	二道井	14.6	8.16	151.0	13.1	30.5	7.0	155.7	118.5	128.6	4.0	0.06	0.04	623	L·S·N
5	乌龙井	11.0	7.51	290.9	31.1	148.7	7.3	633.9	111.8	93.3	4.0	0.08	0.02	1347	L·N·C
6	新场井	12.0	7.39	188.1	20.2	59.6	14.8	205.0	128.4	290.3	0.6	0.08	0.06	918	L·H·N
7	蒙古井	11.3	7.20	490.7	45.3	141.3	28.9	957.0	150.6	149.3	2.0	0.16	0.02	1971	L·N
8	前红泉	17.0	6.95	1844.2	120.3	816.5	34.6	4193.7	229.2	363.7	0.6	1.20	0.02	7621	L·N·C
9	后红泉	11.6	7.8	1010.8	102.9	75.3	41.7	1732.9	99.6	248.8	4.8	0.04	0.06	3329	L·N
10	旧井	7.5	7.97	1000.7	107.1	368.1	50.7	2052.2	166.1	559.8	2.4	0.16	0.02	4333	L·N·C
11	金矿井	11.0	7.6	1480.6	150.2	394.5	68.3	3197.0	164.9	136.9	2.8	0.08	0.04	5602	L·N
12	大泉	15.0	8.4	215.1	14.11	41.62	36.2	173.0	239.3	302.9	0.9	0.03	0.02	1042	S·H·L·N
13	小泉	15.1	9.0	133.5	9.13	28.0	63.3	107.2	240.0	260.6	1.2	0.03	0.02	852	S·H·N·M

注:样品由中国地震局地质研究所测试。

表 2 北山地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 和 ^3H 同位素组成

Table 2 $\delta^{18}\text{O}$, δD and ^3H

isotope compositions of groundwater

水样号	水样类型	$t_{\text{水}}/^\circ\text{C}$	$t_{\text{空气}}/^\circ\text{C}$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$^3\text{H}/\text{TU}$
01	井水	11.0	26.0	-63.1	-9.70	6.61
02	下降泉	9.0	26.0	-63.0	-10.22	26.90
03	井水	10.1	28.0	-61.1	-9.64	5.52
04	上升泉	14.6	27.2	-62.3	-10.45	10.81
05	上升泉	11.0	29.3	-66.0	-9.11	2.80
06	井水	12.0	29.3	-63.1	-8.72	58.51
07	井水	11.3	29.0	-69.2	-10.50	3.80
08	井水	17.0	27.8	42.9	-7.69	50.21
09	井水	11.6	28.5	-48.1	-9.09	54.08
10	上升泉	7.5	25.0	-43.0	-7.21	6.03
11	下降泉	11.0	24.6	-64.3	-9.56	46.28
12	井水	15.0	24.3	-58.8	-9.96	18.2
13	井水	15.1	24.7	-70.9	-9.39	34.78
14	井水	15.0	28.3	-42.5	-6.95	9.23
15	井水	9.2	26.7	-61.8	-8.76	65.66
16	井水	9.0	29.4	-62.2	-8.76	66.76
17	井水	13.8	28.5	-65.5	-9.36	11.98
18	井水	19.0	28.5	-66.0	-8.19	47.04
19	井水	10.0	26.3	-53.4	-7.58	36.60
20	井水	10.3	29.7	-53.8	-7.91	35.06
21	井水	11.1	32.3	-52.4	-7.16	35.52
22	井水	10.0	33.5	-60.4	-8.98	12.39
23	井水	9.1	6.1	-63.7	-8.27	32.10
24	上升泉	12.0	35.4	-88.8	-11.55	<0.50
25	上升泉	12.3	36.6	-71.7	-9.25	<0.50
S1	河水	14.6	27.2	-66.7	-8.80	40.65
S2	水库水	16.0	28.3	-51.2	-6.90	29.02
S3	河水	15.0	29.3	-78.0	-10.47	19.11
S4	河水	15.3	29.0	-67.5	-9.02	69.29
S5	河水	16.0	27.8	-69.0	-9.43	24.23
S6	河水	15.3	32.6	-69.8	-8.40	24.00

注:样品数据:2001 年样品由中国地震局地质研究所测试。

把表 1 的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 数据点绘在图上并与全球雨水线对比(图 2),可以看出,深部地下水点基本分布于全球雨水线附近,说明其起源于大气降水的人渗补给。此外深部地下水的同位素组成主要位于全球雨水线下方,说明重同位素含量偏低。推测重同位素含量低与更新世气候变冷有关,很可能是因为其起源于更新世降水入渗补给所致。

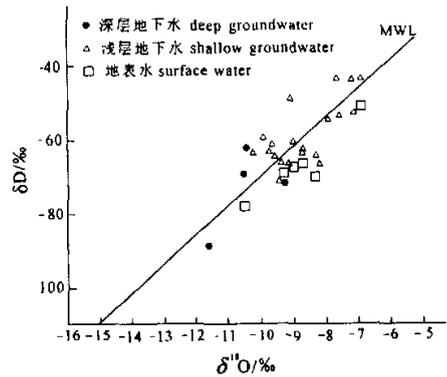


图 2 北山预选区地下水 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 含量分布图

Fig.2 δD - $\delta^{18}\text{O}$ Plot of Beishan groundwater

研究区浅部地下水同位素组成主要分布在全球雨水线的附近和右侧,表明浅部地下水起源于当地的大气降水入渗补给。全球雨水线附近的水点,多位于地下水循环交替较快的沟谷内,受蒸发浓缩作用较弱。而全球雨水线右下侧的水点,其重同位素含量相对较高,这种地下水重同位素相对富集的现象可以解释为受浅层蒸发作用所致。表明浅部地下水的循环交替能力是较强的,这点从浅部地下水 ^3H 含量较高也可以得到佐证。

3.2 研究区 C 同位素特征及其 ^{14}C 年龄

表 3 给出了部分样品的 ^{14}C 和 ^{13}C 含量以及根据 85% 现代碳法 Pearson 所计算的地下水 ^{14}C 年龄。03、15、16 号水样取自研究区浅部地下水系统,校正的 ^{14}C 年龄表明,均为较年轻的地下水;13、14、18 号水样取自研究区自流井,校正的 ^{14}C 年龄表明,均为早期补给的地下水,其中的 14 号样品年龄最老,取自花海盆地近 3 000 m 深石油勘探井,出水段在 200 m 以下,该水样 H、O 同位素含量偏低,氡含量 3.8 TU,表明该水样可能混有更新世气候寒冷时期的地下水补给。这一结果与水流模拟计算结果在时间尺度上是接近的。

表 3 地下水 ^{14}C 和 ^{13}C 含量及 ^{14}C 年龄

Table 3 Values of ^{14}C and ^{13}C in groundwater

水样号	水样类型	$^{14}\text{C}/\text{pmc}$	$^{13}\text{C}/\text{‰}$	^{14}C 年龄模型
03	潜水	84.5	-5.46	Recent
18	承压水	19.0	-7.14	3.360
14	承压水	11.6	-10.35	10,517
16	潜水	41.8	-7.98	Recent
13	承压水	13.8	-9.96	8,776
15	潜水	37.8	-8.75	Recent

注:2001 年样品数据由中国地震局地质研究所测试。

4 结论

研究区地下水的主要化学特征是矿化度高,一般为咸水或微咸水,地下水主要化学类型为: $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Na}$ 、 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl} \cdot \text{Na}$ 及 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型。

H、O 同位素和 ^{14}C 数据分析结果表明,深部地下水和浅部地下水均为大气降水入渗补给形成。 δD 的值分布在 $-54\text{‰} \sim -70\text{‰}$ 之间, $\delta^{18}\text{O}$ 的值大部分在 $-6.9\text{‰} \sim -9.6\text{‰}$ 之间, ^3H 含量一般大于 10 TU, 表明浅部地下水源自大气降水补给,为近期入渗补给的地下水,水流速度快,更新周期短;而深部地下水的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值较浅部地下水偏低,结合地质因素分析,表明深部地下水源自地质历史时期大气降水补给的地下水,形成时期较早,流速缓慢,更新周期近万年以上。初步认为,北山预选区旧井岩体,就水文地质条件而言,对建造高放废物处置库是有利的。

参考文献

- 沈照理,朱宛华,李昌静. 1996. 水文地球化学基础. 北京:地质出版社.
郭永海,刘淑芬,苏锐. 2001. 高放废物处置库甘肃北山预选区水文地质特征方法学研究. 铀矿地质, 17(3): 14~15.

References

- Fontes j Ch. 1983. Groundwater in fractured rocks on Nuclear Techniques Report Series. IAEA, Vienna.
Hengdry M j, Schwartz F W. 1990. The chemical evolution of groundwater in the ivilk River aquifer, Canada. Groundwater, 28: 253 ~ 261.
Shen Zhaoli, Zhu Wanhua, Li Changjing. 1996. The base of hydrogeochemistry. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Guo Yonghai, Liu Shufen, Su Rui. 2001. Study on the methodology of hydrogeological character in preselected site for high level waste repository in Beishan area, Uranium Geology, 17(3): 14 ~ 15 (in Chinese with English abstract).

《地球学报》特设鼓励资助的通知

《地球学报》是中国地质科学院主办的地球科学综合学术期刊,是全国中文核心期刊、美国《CA》收录期刊、中国科学引文来源期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊。在 2002 年《中国科技期刊引证报告——地球科学类》中排名第 14 名。现已成为全国地学界具有重要影响的期刊之一。

自 2001 年改版以来,蒙广大作、读者的厚爱,投稿量不断增加,出版质量和出版水平不断提高。《地球学报》对广大作、读者的大力支持表示诚挚的感谢!

为尽快地推出我国地学界一流的研究水平,使具有创新性、先进性的论文更快地面世,《地球学报》特设鼓励资助:

1. 对具有重大发现、重要研究成果、新方法的论文免收版面费。
 2. 对具有重大发现、重要研究成果的论文免收彩色图版(2 个)的版面费 2 000 元(限每期 2 版)。
- 欢迎广大从事地质科学研究、地质调查研究的科研人员和地质院校的广大师生踊跃投稿。

《地球学报》编辑部

2003. 7. 26