

高放废物处置库新疆雅满苏和天湖预选地段 地下水同位素特征及其指示意义

郭永海,李娜娜,周志超,董建楠,张明,刘淑芬

核工业北京地质研究院,中核高放废物地质处置评价技术重点实验室,北京,100029

内容提要:高放废物地质处置是将高放废物与人类环境安全隔离的有效途径。高放废物处置库的围岩通常为低渗透的岩体,其安全性在很大程度上取决于围岩对核废物的屏障功能和作为核素迁移载体的裂隙水运动特征。因此,开展处置库场址水文地质评价工作尤为重要。新疆雅满苏和天湖预选地段是我国高放废物处置库预选地段之一。花岗岩是选定的围岩。在过去的3年里,为了认识该地段地下水的形成机制和更新能力,提供该区处置库场址筛选和评价的依据,在该区开展了区域水文地质调查和地下水样品采集。根据调查结果和样品测试数据,本文主要讨论了该地段地下水同位素特征及其水文地质意义,结果表明,地下水 $\delta^2\text{H}$ 值主要分布在10.6‰至-82.5‰之间,平均值-46.1‰; $\delta^{18}\text{O}$ 值主要分布在10.2‰至-9.8‰之间,平均值-2.06‰;地下水氡含量在<1TU~46.1TU之间。地下水 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 散点图显示,二者主要落在大气降水线的附近和下方,表明区内地下水主要源自当地现代降水的补给,并经受了强烈的蒸发作用,且深部地下水交替能力明显弱于浅部地下水。这一认识为该区处置库选址和场址评价提供了重要水文地质依据。

关键词:高放废物处置库;水文地质;同位素;地下水;雅满苏和天湖地段

高放废物深地质处置方案在世界范围内已经得到公认。安全处置高放废物的前提是必须选择合适的处置库场址。由于高放废物地质处置的特殊要求,必须对高放废物处置库的场址进行多学科、全方位(Ericsson, 1999; Fyfe, 1999)的详细调查。而场址的适宜性在很大程度上取决于其水文地质条件,因为地下水是高放废物有害核素释放和迁移的主要载体(Witherspoon et al., 2001)。

高放废物处置库的围岩一般为低渗透的岩石,如花岗岩、凝灰岩、泥岩等。在基岩地区,地下水主要赋存于裂隙中,并在其中运移。由于裂隙的空间分布难以刻画;裂隙网络的连通性很难确定;裂隙含水介质不均一性难以描述;裂隙水的流动状态难以把握等等;使得传统水文地质方法在解决低渗透裂隙介质水文地质问题时受到许多限制。而同位素技术应用示踪原理,能够有效地用于大区域地下水形成和运移过程的识别,为从宏观和微观上研究低渗透、低流速裂隙介质地下水运动提供了有效手段(Gu Weizu, 2011; Wang Hengchun, 1991; Hanshaw et al., 1965;

Pearson et al., 1967),因而,使其成为许多国家高放废物处置库选址区域水文地质研究的理想工具(IAEA, 1987; Clauer et al., 1989; Pourcelot et al., 1999)。本文主要介绍同位素方法在雅满苏和天湖地段水文地质研究中的应用,并由此探讨了该地段地下水的形成、交替和运移等水文地质问题。

新疆雅满苏和天湖地段是我国高放废物处置库场址重要预选地段之一。这里地处我国西北极干旱地区,呈现典型的荒漠戈壁地貌景观,人烟稀少;这里分布有大面积的岩浆岩,是处置库良好的候选围岩。从2012年起,立项开展了该区处置库选址的地质、水文地质等相关研究工作。本文以获取的地下水同位素数据为主要依据,结合地质、水文地质因素,探讨了该地段地下水的形成和交替等基础水文地质问题,旨在为我国高放废物处置库选址和地段性能评价提供水文地质科学依据。

1 自然地理概况

雅满苏和天湖地段位于新疆维吾尔自治区东

注:本文为国防科工局“高放废物处置库新疆预选区雅满苏和天湖地段候选场址筛选和评价研究”项目和国家自然科学基金项目(91025020)资助成果。

收稿日期:2015-06-21;改回日期:2015-08-15;责任编辑:黄敏。

作者简介:郭永海,男,1957年生,研究员,博导,主要从事核废物地质处置、水文地质学方面的研究工作。通讯地址:100029,北京市朝阳区安外小关东里10号院;电话:010-64964590;Email:guoyonghai@163.net。

部,该区处于哈密盆地边缘地带,气候干旱,蒸发强烈。多年平均降水量 22.5~30.3 mm,多集中在 7~9 月份,约占全年降水量的 80%。

本区没有常年性河流,但间歇性洪流形成的沟谷比较发育,多呈 SE—NW 向。

在地貌类型上,该区属于低山丘陵区。形成了以岛状、缓坡状、垄岗状等多种形态的低山丘陵,相对高度小于 200 m,山势平缓,山顶较平或为浑圆状,山脊呈波浪曲线状或锯齿状。其间沟谷发育,切割微弱。

兰新铁路、雅满苏铁路支线、312 国道和新建的哈密至罗布泊公路从研究区通过,交通较为便利(图 1)。

2 地质、水文地质概况

2.1 地质

研究区出露地层主要有震旦系、石炭系、二叠系、第三系和第四系。以石炭系、震旦系最为发育,地层走向总体呈近 WS 向展布。震旦系厚度为 8800~10900 m,主要岩性为石英片岩、黑云母斜长片岩、黑云母斜长片麻岩、角闪片麻岩等;石炭系厚度为 7300~16800 m,主要岩性为玄武岩、霏细岩、凝

灰岩、砂砾岩、灰岩、大理岩等;二叠系厚度为 1700~9000 m,主要岩性为玄武岩、玄武玢岩、火山角砾岩、砂砾岩、霏细岩、凝灰岩等;第三系厚度小于 600 m,主要岩性为砂砾岩、泥岩;第四系厚度一般小于 20 m,主要岩性为卵石、砂砾石、碎石和粉细砂等。

区内侵入岩极为发育,主要分布在丘陵山区,岩性可分为超基性岩、基性岩及酸性岩。

区内主导断裂主要为压性和压扭性。地表多被残积物覆盖,在地貌上多表现为较大的直线型谷地。谷地两侧地质体呈明显的不连续分布,并发育有宽几十米甚至数百米宽的动力变质带,如片理带、糜棱岩化带,断裂走向以 EW 向为主,断裂面倾角一般在 70°~90°之间,这种断裂一般具有相对阻水作用。压扭性断裂走向为 NW 向和 NE 向,在区内分布很少。

2.2 水文地质

根据地下水的赋存条件、含水层的结构特点及水动力性质,可将区内地下水划分为松散岩类孔隙地下水、碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸岩类岩溶裂隙水、基岩裂隙水 4 种主要类型。其中松散岩类孔隙地下水主要分布在北部地区及沟谷和山间洼地地区,碎屑岩类孔隙裂隙水主要分布在研究区偏北部

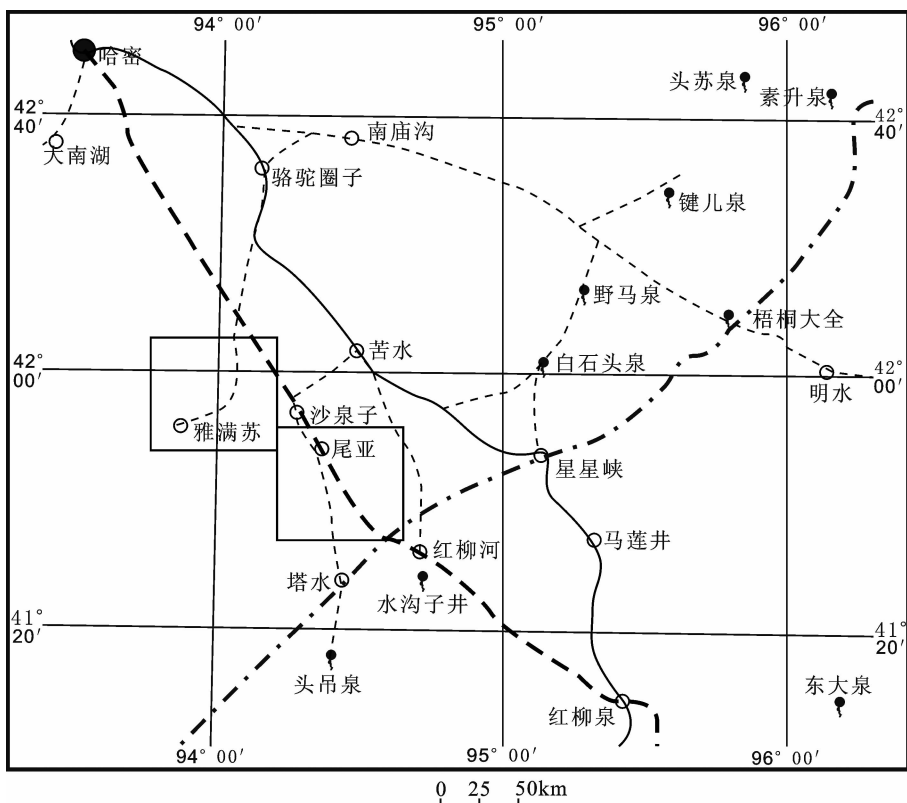


图 1 新疆雅满苏和天湖地段位置图

Fig. 1 Location of Yamansu and Tianhu area in Xinjiang Uigur municipality

及东南一带,碳酸岩类岩溶裂隙水仅在雅满苏铁矿附近地区少量分布,基岩裂隙水 主要分布在南部广大地区。

地下水主要源自当地大气降水入渗补给。由于极端干旱的气候条件,区内地下水资源是极为贫乏的。

该区总体地势是南高北低、西高东低,如天湖岩体地面标高可达 1400 m 左右,雅满苏岩体地面标高可达 950 m 左右,而北部骆驼圈子一带地面标高可达 800 m 左右,哈密市西南的大南湖一带地面标高低于 500 m。因此,地下水总体流向亦为自东南

流向西北。

地下水的排泄方式主要有侧向径流排泄、蒸发排泄和泉水排泄。其中蒸发是最主要的排泄途径。

受干旱气候影响,地下水化学方面以高矿化为主要特征,地下水矿化度一般大于 5g/L,最高可达 300g/L,水化学类型以 Na-Cl 和 Na-Cl·SO₄ 为主。

3 样品采集和测试

自 2012 年以来,先后在雅满苏和天湖地段采集地下水样 30 余组进行了氢、氧同位素测试;采集钻孔(编号 TH01)地下水¹⁴C 样品 1 组(表 1)。

表 1 新疆雅满苏一天湖水文地质调查点情况表

Table 1 General parameters of hydrogeological investigation points in Xinjiang Uigur municipality

编号	取样点位置	坐标(北纬)	坐标(东经)	地面标高(m)	埋深(m)	水位标高(m)
1	冲沟泉 1	N41°53.312'	E93°42.923'	1003	0.0	1003
2	冲沟泉 2	N41°59.572'	E93°42.916'	893	0.0	893
3	天宝矿	N41°53.078'	E93°53.386'	1081	未测出	
4	盐湖 1	N41°43.021'	E93°39.510'	1096	0.5	1095
5	盐湖 2	N41°40.677'	E93°36.639'	1125	1.5	1123
6	吐资利克	N41°40.243'	E93°41.062'	1130	1	1129
7	银矿东	N41°37.588'	E93°43.840'	1176	1	1175
8	骆驼圈子	N42°33.329'	E94°09.151'	807	未测出	
9	铁矿水井	N41°49.216'	E94°23.670'	1298	未测出	
10	二桥坑	N41°39.585'	E94°28.389'	1403	1.2	1402
11	红柳河	N41°34.031'	E94°40.592'	1499	1.5	1497
12	大口井	N41°51.234'	E94°21.095'	1210	2.0	1208
13	机挖坑	N41°41.681'	E93°41.528'	1139	1.0	1138
14	133 泉	N41°41.959'	E93°42.336'	1138	0.0	1138
15	雅北盐矿	N42°8.525'	E94°4.931'	820	1.0	819
16	选矿厂湖	N41°21.203'	E93°39.979'	1188	1.0	1187
17	86 公里	N41°41.501'	E93°50.615'	1193	0.5	1192
18	雅西湖	N41°51.732'	E93°43.140'	1037	1.0	1036
19	土堆坑	N41°40.489'	E94°25.562'	1398	1.2	1397
20	1161 坑	N41°33.469'	E94°31.088'	1455	3.5	1451
21	瑞泰矿业	N41°47.303'	E94°21.026'	1288	10.8	1277
22	雅东挖坑	N41°53.989'	E94°02.309'	1020	0.65	1019
23	雅北泉	N42°00.178'	E94°00.523'	946	0.0	946
24	雅东北坑	N41°57.798'	E94°07.258'	995	0.9	994
25	选矿厂井	N41°17.232'	E93°43.820'	1222	未测出	
26	输油路泉	N42°23.807'	E93°52.367'	638	0.0	638
27	输油管沟 1	N42°31.229'	E93°43.897'	657	3.5	653
28	输油管沟 2	N42°34.164'	E93°36.689'	614	1.0	613
29	输油管沟 3	N42°36.287'	E93°31.247'	603	1.8	601
30	南湖乡西	N42°34.053'	E93°21.383'	506	1.3	503
31	TH01	N41°38.036'	E94°26.285'	1394.3	4.70	1389.60

在取样过程中,现场测量了地下水位埋深和地面标高,测量了地下水物理化学参数如水温、电导率、溶解氧、pH 值、氧化还原电位(ORP)等。同时在北部邻区采集 3 组地表水样品,分析了氢、氧同位素组成。氢、氧同位素组成测试由核工业北京地质研究院测试中心完成,¹⁴C 样品送美国 BETA

ANALYTIC INC. 检测。

4 测试结果

4.1 氢、氧同位素测试结果

表 2 给出了样品同位素组成测试结果。可以看出,该区地下水的 δD 值分布在 10.6‰~ -82.5‰

之间,平均值为 $-46.1‰$; $\delta^{18}\text{O}$ 在 $10.2‰ \sim -9.8‰$ 之间,平均值为 $-2.06‰$; 氦在 $<1.0\text{TU} \sim 46.1\text{TU}$ 之间。3 组地表水样品氢、氧同位素组成是: δD 值分布在 $-70.8‰ \sim -74.3‰$ 之间; $\delta^{18}\text{O}$ 在 $-7.6‰ \sim -9.8‰$ 之间;氦在 $13.4\text{TU} \sim 28.80\text{TU}$ 之间。

表 2 新疆雅满苏和天湖地区地下水、地表水环境同位素分析测试结果

Table 2 Measurement result of hydrogen and oxygen isotopes of waters in Xinjiang Uigur municipality

水的类型	取样点位置	检测结果		
		$\delta(^{18}\text{O})(‰)$	$\delta(\text{D})(‰)$	氦含量/TU
泉水	冲沟泉 1	-2.1	-44.6	5.7 ± 0.5
泉水	冲沟泉 2	-5.2	-53.9	27.6 ± 0.8
矿坑水	天宝矿	-2.4	-51.6	8.8 ± 0.6
浅部地下水	盐湖 1	0.9	-34.6	15.5 ± 0.6
浅部地下水	盐湖 2	-0.1	-40.8	34.9 ± 0.9
浅部地下水	吐资利克	-6.4	-59.7	7.1 ± 0.5
浅部地下水	银矿东	-4.3	-47.7	15.1 ± 0.6
深部地下水	骆驼圈子	-9.8	-82.5	<1.0
深部地下水	铁矿水井	-8.7	-70.4	3.3 ± 0.5
浅部地下水	二桥坑	-5.4	-50.7	19.6 ± 0.7
浅部地下水	红柳河	-4.6	-45.5	37.8 ± 0.9
浅部地下水	大口井	-9.5	-68.1	18.4 ± 0.7
浅部地下水	机挖坑	-8.1	-64.4	20.2 ± 0.7
泉水	133 泉	-3.9	-44.7	18.3 ± 0.7
浅部地下水	雅北盐矿	10.2	3.2	24.1 ± 0.8
浅部地下水	选矿厂湖	9.2	10.6	44.0 ± 0.8
浅部地下水	86 公里	0.3	-31.1	40.6 ± 0.9
浅部地下水	雅西湖	7.6	5.0	46.1 ± 1.0
浅部地下水	土堆坑	-0.3	-40.4	10.6 ± 0.5
浅部地下水	1161 坑	1.0	-37.3	5.4 ± 0.4
浅部地下水	泰矿	-5.7	-61.5	5.7 ± 0.4
浅部地下水	雅东挖坑	-1.1	-49.9	6.6 ± 0.4
泉水	雅北泉	0.6	-37.8	10.0 ± 0.5
浅部地下水	雅东北坑	-1.4	-46.3	29.4 ± 0.7
深部地下水	选矿厂	-5.4	-72.2	1.8 ± 0.3
泉水	输油路泉	5.0	-38.6	11.6 ± 0.5
浅部地下水	输油管沟 1	3.9	-26.7	6.3 ± 0.3
浅部地下水	输油管沟 2	-4.6	-61.3	2.4 ± 0.3
浅部地下水	输油管沟 3	-6.3	-71.3	2.9 ± 0.3
浅部地下水	南湖乡西	-5.2	-68.1	8.8 ± 0.4

4.2 地下水 ^{14}C 年龄测试结果

在工作过程中,受时间和钻孔取样条件等因素的限制,在施工的 4 个钻孔中,仅采集到天湖 TH01 钻孔混合地下水 ^{14}C 样品,送美国 BETA ANALYTIC INC. 检测,获得了测试数据。结果表明,天湖 TH01 钻孔混合地下水 ^{14}C 年龄为 6280a。

5 讨论

在大部分地下水系统中,地下水的氢氧稳定同位素含量被认为是不变的。因此,与现代地下水补

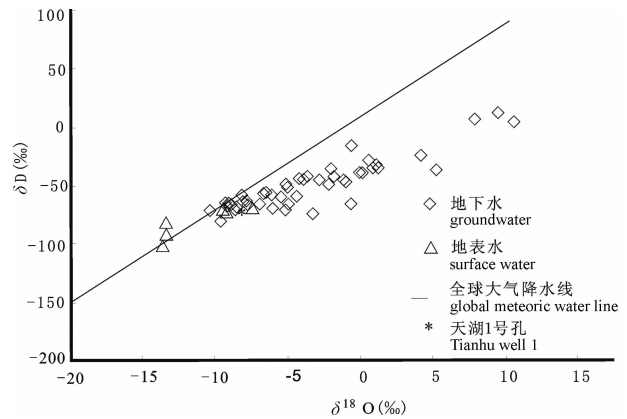


图 2 地下水、地表水 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 关系图

Fig. 2 The relationship between δD and $\delta^{18}\text{O}$ in waters in study area

给相比较,可以识别地下水的成因(Yang Yuncheng et al., 2009; IAEA, 1987; IAEA, 1981; Mook et al., 2002; Andrewset al., 1991; Kinzelbach, 2001)。大量的研究发现,一般古老的地下水所含的重同位素含量比接受近代局部补给的地下水的重同位素含量要低(Chen Jiansheng et al., 2004; Huang Tianming et al., 2007; Craig, 1953; Mook et al., 2002)。

将表 2 地下水、地表水的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 数据点绘在图上,并与全球大气降水线对比(图 2)。可以看出,该区地下水和地表水氢、氧稳定同位素组成均分布在全球雨水线的附近和右下侧。地下水偏离全球大气降水线较远,落在蒸发线附近。说明地下水起源于大气降水,且经历了强烈的蒸发浓缩作用,这从地下水的高含盐量(矿化度多高于 5 g/L)得到验证;地表水偏离全球大气降水线较少,说明地表水也经历了一定程度的蒸发浓缩作用。

数据表明,地下水 δD 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分布区间较大,这实际上反映的并不是地下水获得补给途径和补给水源的差异,而是不同地域地下水交替、更新能力以及蒸发排泄强度的差异所致。

雅满苏和天湖地段属于干旱或半干旱的气候,取样点地下水位埋深也大多较浅(表 1)。但取样点包气带岩性以及所处地下水流动系统的属性存在一定差异,如沟谷地区的包气带岩性多为中粗砂,一般处于地下水径流区。而洼地分布区包气带岩性多为粉细沙或粘土,一般处于地下水局部排泄区。如表 2 中的 12、13、28、29、30 号水样均取自较大的沟谷地区,包气带以中粗砂为主,径流条件较好,地下水 δD 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏低,受蒸发作用影响较小;而 4、5、

15、16、18号水样均取山间洼地,包气带岩性多为粉细沙或粘土,处于地下水局部排泄区,径流条件很差,地下水 δD 值和 $\delta^{18}O$ 值偏高,受蒸发作用影响强烈。

此外,取样深度较大的地下水与浅部地下水的同位素组成也存在明显差异。表2中的8、9、25号样品均取自深度100~300m深度的钻孔和矿井,为深部地下水。3个地下水样品的 δD 平均值为 -75.0% ,远低于所有地下水样品的平均值; $\delta^{18}O$ 平均值为 -7.97% ,也低于所有地下水样品的平均值;而氡平均值 $<2.03TU$,同样低于所有地下水样品的平均值。这说明较深部的地下水经受蒸发浓缩作用,远没有浅部地下水强烈,而较深部地下水氡平均值较低则说明其在地下滞留时间相对浅部地下水要长。根据地下水氡测年原理,浅部地下水氡年龄应该在数十年之内,为当地现代大气降水补给形成。而较深部地下水氡年龄相对较老,非现代大气降水补给形成。这也说明深部地下水循环交替能力明显弱于浅部地下水。

用 ^{14}C 测定地下水年龄是同位素水文学中的重要方法之一。 ^{14}C 测年是通过测定水中溶解含碳物质的 ^{14}C 年代来实现的。如果含碳物质(及其 ^{14}C)随水分子同步运移,就可以把水中含碳物质的年龄看成是地下水的年龄(Du Jianguo et al., 2004; Hoke et al., 2000; Yokoyama et al., 1999)。一般地这种方法较适用于埋藏较深的地下水。在核废物处置库选址中, ^{14}C 测年方法得到了较多的应用。如德国Asse盐矿核废物处置地下实验室地下水 ^{14}C 测试结果显示,未能测到热核试验产生的碳,地下水 ^{14}C 年龄约4000a,并认为可能含有非常年轻的地下水成分(Kreft et al., 1974);瑞典的Stripa铁矿核废物处置地下实验室330~410m深度的地下水 ^{14}C 年龄测试结果约为20000a,与地下水氡的缺失相一致(Klotz et al., 1978)。芬兰、加拿大、瑞士等国家在进行场址筛选和评价研究中,也采用了地下水 ^{14}C 测年方法(Griffault et al., 1993)。

研究区天湖TH01钻孔混合地下水 ^{14}C 年龄为6280a,说明取自钻孔的地下水在地下的滞留时间相对较长,也就说明了岩体地下水的循环交替能力相对较差。

6 结论

氢氧同位素研究结果表明,该区地下水的 δD 值分布在 10.6% ~ -82.5% 之间,平均值为 $-$

46.1% ; $\delta^{18}O$ 在 10.2% ~ -9.8% 之间,平均值为 -2.06% ;氡在 $<1.0TU$ ~ $46.1TU$ 之间。地下水氢、氧稳定同位素组成均分布在全球雨水线附近和右下侧,偏离全球大气降水线较远,说明地下水起源于大气降水,并经历了强烈的蒸发浓缩作用;较深部的地下水氡平均值 $<2.03TU$,相对浅部地下水明显偏低,这说明较深部的地下水经受蒸发浓缩作用远没有浅部地下水强烈。根据地下水氡测年,浅部地下水氡年龄应该在数十年之内,为当地现代大气降水补给形成;而较深部地下水氡年龄相对较老,非现代大气降水补给形成。这也说明深部地下水循环交替能力明显弱于浅部地下水;TH01钻孔混合地下水 ^{14}C 年龄高达6280a也佐证了这种认识。

References

- Andrews J N, Florowski T, Lehmann B E, Loosli H H. 1991. Underground production of radionuclides in the Milk River aquifer, Alberta, Canada. *Appl. Geochem.*, 6: 425~434.
- Chen J S, Wang, J Y, Zhao X. 2004. Study of Groundwater Supply of the Confined Aquifers in the Ejin Basin Based on Isotopic Methods. *Geological Review*, 50(6): 649~658 (in Chinese with English abstract). "in Chinese with English abstract".
- Craig H. 1953. The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (3): 53~92.
- Clauer N, Frape S K, Fritz B. 1989. Calcite veins of the Stripa granite (Sweden) as records of the origin of the groundwaters and their interactions with the granitic body. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 1777.
- Du Jianguo, Cheng Wanzhen, Zhang Youlian, Jie Chunlin, Guan Zhijun, Liu Wei, Bai Liping. 2004. Helium and carbon isotopic compositions of thermal springs in the earthquake zone of Sichuan, Southwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(5): 533~539.
- Ericsson L O. 1999. Geoscientific R&D for high level radioactive waste disposal in Sweden—current status and future plans. *Engineering Geology*, 52: 305~317.
- Fyfe W S. 1999. Nuclear waste isolation: an urgent international responsibility. *Engineering geology*, 52: 159~161.
- Griffault L Y, Gascoyne M, Kamini C, Kerrich R, Vandergraaf T T. 1993. Actinide and rare earth elemental characteristic of deep fracture zones in the Lac du Bonnet granite batholith, Manitoba, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 1181~1202.
- Gu W Z. 2011. *Isotope hydrology*. Science publishing house, Beijing, 239~328. "in Chinese with English abstract".
- Hanshaw B B, Back W, Rubin M. 1965. Radiocarbon determinations for estimating groundwater flow velocities in central Florida. *Science*, 148(3669): 494.
- Hoke L, Lamb S, Hilton D R, Poreda R J. 2000. Southern limit of

- mantle-derived geothermal helium emissions in Tibet; implications for lithospheric structure. *Earth and Planetary Science Letters*; (180), 297~308.
- Huang T M, Pang Z H. 2007. Groundwater Recharge in Badain Jaran Desert and Gurinai Oasis Based on Environmental Tracers. *Geoscience*, 21(4): 624~631 (in Chinese with English abstract). "in Chinese with English abstract".
- IAEA. 1981. Isotope hydrology, Technical reports series No. 210. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna.
- IAEA. 1987. Isotope techniques in water development. Proceeding of a symposium. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna.
- Kinzelbach W. 2001. The most common methods of recharge estimation. In: UNEP, A survey of methods for analysing groundwater recharge in arid and semi-arid regions; 3~14.
- Kreft A, Lenda A, Turer B, Zuber A, Czuderna K. 1974. "Determination of effective porosities by the two-well puls method", Isotope techniques in groundwater hydrology, Proceeding of a symposium, Vol. 2, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna.
- Klotz D, Morer H, Trimborn P. 1978. "Single-borehole techniques- Present status and examples of recent applications", Isotope hydrology. Proceeding of a symposium, Neuherberg, Vol. 1, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna.
- Mook W G, Zübe A, Maloszewski P, Campana M E, Harrington G A, Tezcan L, Konikow L F. 2002. Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. Vienna: International Atomic Energy Agency, 157~159.
- Mook W G, Zübe A, Maloszewski P, Campana M E, Harrington G A, Tezcan L, Konikow L F. 2002. Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. Vienna: International Atomic Energy Agency, 157~159.
- Pourcelot L, Gauthier Lafyfe F. 1999. Hydrothermal and supergene clays of Oklo natural reactors conditions of radionuclide release, migration and retention. *Chemical Geology*, 157: 155~174.
- Pearson J F, White D. 1967. Carbon 14 ages and flow rates of water in Carrizo Sand, Atascosa County, Texas. *Water Resources Research*, 3(1): 251~261.
- Wang H C, 1991. Isotope hydrogeology conspectus, Geological publishing house, Beijing, 145~167. "in Chinese with English abstract".
- Witherspoon P A, Bodvarsson GS. 2001. Geological challenges in radioactive waste isolation-Third worldwide review.
- Yang Yuncheng, Shen Zhaoli, Weng Dongguang, Hou Guangcai Zhao Zhenhong, Wang Dong, Pang Zhonghe. 2009. Oxygen and hydrogen isotopes of waters in the Ordos basin, China: implications for recharge of groundwater in the north of Cretaceous groundwater basin. *Acta Geologica Sinica*, 83(1): 103~113.
- Yokoyama T, Nakai S, Wakita H. 1999. Helium and carbon isotopic compositions of hot spring gases in the Tibetan Plateau. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (88): 99~107.

参 考 文 献

- 陈建生,汪集旻,赵霞,等,2004.用同位素方法研究额济纳盆地承压含水层地下水的补给.地质论评,50(6):649~658.
- 顾慰祖,2011,同位素水文学,北京:科学出版社,239~328.
- 黄天明,庞忠和,2007.应用环境示踪剂探讨巴丹吉林沙漠及古日乃绿洲地下水补给.现代地质,21(4):624~631.
- 王恒纯.1991.同位素水文地质概论.北京:地质出版社,145~167.

Characteristics and Implications of Groundwater Isotopes in Yamansu and Tianhu Preselected Section for China's High Level Radioactive Waste Disposal Repository

GUO Yonghai, LI Nana, ZHOU Zhichao, DONG Jiannan, ZHANG Ming, LIU Shufen

Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing, 100029

Abstract

Deep geological disposal of high-level radioactive waste is considered to be more stable and safer way to isolate high-level radioactive waste from human environment. Normally, the surrounding rock is expected to be low-permeable matrix. The safety of geological disposal depends on the screen effect of surrounding rock and flow with nuclear waste transport through complex fractured rocks. Therefore, it is very important to conduct hydrogeological assessment at potential disposal sites of interest. Yamansu and Tianhu area, the important potential area for China's high level radioactive waste repository, is located in Xinjiang Uigur municipality, northwestern China. Granite is the host rock of the repository. During last 3 years, the regional hydrogeological investigations were carried out. Based on the field investigation and sample measurement, this paper mainly studied the isotopic characteristics and its hydrogeological significance in the area. The results show that the $\delta^2\text{H}$ values of shallow groundwaters are generally from 10.6‰ to -82.5‰ with mean value of -46.1‰ and the $\delta^{18}\text{O}$ values are mostly in the range of 10.2‰ to -9.8‰ with mean value of -2.06‰. The tritium content of groundwater is from <1TU to 46.1TU. From the plot of $\delta^2\text{H}$ versus $\delta^{18}\text{O}$, it can be found that stable hydrogen and oxygen isotopic compositions of the groundwater falls on a line near or lower to that of world meteoric water line, indicating that the shallow groundwater is of modern meteoric origin and recharged by recent and local precipitation, and affected intensively by evaporation. In addition, through comparison of the isotope compositions between groundwater and surface water, it can be seen both of them are very close further indicating the groundwater is mainly recharged by recent and local precipitation. The renewal ability of deep groundwater is clearly weaker than that of shallow groundwater. This cognition provided very important hydrogeological evidences for site selection and evaluation in the area.

Key words: high level radioactive waste repository; hydrogeology; isotope; groundwater; Yamansu and Tianhu area