

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

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

高放废物的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。

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。本文通过前人资料的收集、整理, 结合野外水文地质调查、样品采集和测试, 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。

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, 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 ^{14}C 样品 1 组。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, ^{14}C 样品送美国 BETA ANALYTIC INC. 检测。

表 1 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 $10.6\text{‰} \sim -82.5\text{‰}$ 之

间, 平均值为 -46.1‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ 在 $10.2\text{‰} \sim -9.8\text{‰}$ 之间, 平均值为 -2.06‰ ; 氚在 $<1.0 \sim 46.1$ TU 之间, 平均值为 14.8 TU。3 组地表水样品氢、氧同位素组成是: δD 值分布在 $-70.8\text{‰} \sim -74.3\text{‰}$ 之间; $\delta^{18}\text{O}$ 在 $-7.6\text{‰} \sim -9.8\text{‰}$ 之间; 氚在 13.4~28.8 TU 之间。

将表 1 地下水的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 数据连同地表水的数据点绘在图上, 并与全球大气降水线对比 (图 1), 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, 实际上落在蒸发线附近, 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也可以得到验证; 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。

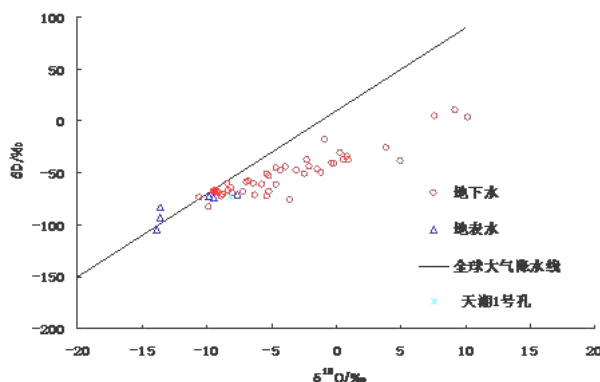


图 1 地下水、地表水 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 关系图

由表 1 的数据可以看出, 地下水 δD 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分布区间较大, 也就是说, 地下水氢氧稳定同位素组成差异较大, 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。

表 1 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

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

产生蒸发浓缩作用必须同时具备的条件是：①干旱或半干旱的气候；②低平地势控制下较浅的地下水位埋深；③有利于毛细作用的颗粒细小的松散岩土；④位于地下水流动系统的势汇—排泄区。当这些条件都具备时，蒸发浓缩作用会十分强烈，有的情况下可以形成矿化度大于 300 g/L 的地下咸

水。雅满苏和天湖地段满足干旱或半干旱的气候条件，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砂或粘土，一般处于地下水局部排泄

区。因此,取自沟谷地区与取自洼地地区的地下水同位素组成明显不同。如表 1 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 $\delta^{18}O$ 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砂或粘土,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 1 中的 8、9、25 号样品均取自深度 100 m~300 m 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<2.03 TU,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。一般地这种方法较适用于埋藏较深的地下水。

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 6280 年,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。

地下水环境同位素组成记录了水形成、交替、运移过程的信息,同位素方法是研究低渗透基岩裂隙水有效的工具。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<1.0~46.1 TU 之间,平均值为 14.8 TU;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<2.03 TU,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。