

铀同位素研究在两城水源 勘探中的应用¹⁾

吴爱民

(山东地矿局第三水文地质工程地质大队)

摘要 本文阐述铀同位素方法及其在水源勘探中的应用。通过铀同位素方法查清了岩溶水、孔隙水、地表水间的水力联系情况,定量评价了各水体间的混合比例,并计算了两城源地岩溶水资源。

一、前言

两城水源地位于山东省南部的微山湖畔,是国家重点建设项目——邹县发电厂之供水水源的一部分。水源地抽取隐伏灰岩岩溶水,上覆第四系地层厚度20—30m。在第四系松散层与下部奥陶系灰岩之间,形成一层厚5—10m的底砾岩,孔洞发育,对沟通第四系孔隙水与奥陶系岩溶水有重要作用。

两城水源地西临南阳湖,北接大面积隐伏的奥陶系灰岩;东、南两面是剥蚀山丘,由寒武系碳酸盐岩地层组成,构成水源地地下水补给区。地表河流白马河从水源地西侧流过,与湖水相通。勘探试验资料表明,该地段岩溶水与第四系孔隙水及白马河水之间存在密切水力联系。因此,定量查明三者之间的水力联系情况,成为两城水源地勘探的重要工作内容。我们应用了铀同位素方法。

自然界水圈中,含有微量的放射性元素——铀。水中铀同位素常呈放射性不平衡,即 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值 $\neq 1$ 。 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1$ 时,称 ^{234}U 过剩, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} < 1$ 时,称 ^{234}U 亏损。一般,地下水中的 ^{234}U 为过剩, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值可高达10以上。由于地下水的径流环境不同,其铀同位素比值亦不同。在氧化环境中,地下水的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值较低,而在还原条件下,地下水的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值较高。在氧化含水层向过渡带变化时,地下水 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值呈低峰值;而铀含量为高峰期;至还原含水层时,又变为 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值高,铀含量低的情况。这些铀同位素的地球化学特征,是用以进行地下水研究的理论依据。

¹⁾ 本文1992年7月收到,1992年10月改回。

二、两城水源地水的铀同位素特征

据湖水、河水、第四系孔隙水、第四系底部砾岩水、奥陶系岩溶水及山区寒武系岩溶水的取样化验结果(参见图1、表1),两城水源地水的铀同位素特征为:

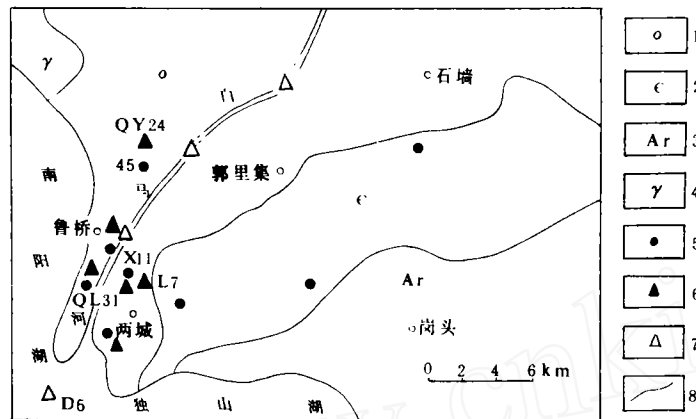


图1 铀同位素取样点分布图

1. 奥陶系灰岩; 2. 寒武系灰岩、页岩; 3. 太古界片麻岩; 4. 燕山期侵入岩; 5. 岩溶水取样点; 6. 第四系孔隙水取样点; 7. 地表河湖水取样点; 8. 地层分布界线

表1 典型水点的U同位素测定结果

取样点号	水样产状	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值	U 含量	^{234}U 过剩
D5	湖水	1.59 ± 0.02	5.05 ± 0.09	2.96
QY24	Q	3.62 ± 0.06	2.54 ± 0.06	6.63
45	O ₂	2.42 ± 0.09	0.09 ± 0.003	0.13
QL31	Q	3.36 ± 0.09	1.28 ± 0.04	3.02
L7	Q 砾岩	2.99 ± 0.08	1.09 ± 0.03	2.06
X11	O ₂	2.60 ± 0.07	0.87 ± 0.03	1.33
QL31	Q	3.10 ± 0.08	0.89 ± 0.02	1.88
L7	Q 砾岩	2.01 ± 0.03	1.06 ± 0.02	1.06
X11	O ₂	2.76 ± 0.07	1.11 ± 0.03	1.95

注: ①由中国科学院地质研究所测定。②U 含量单位 ppb。

1. 本区水的铀含量介于 0.09—5.05 $\mu\text{g}/\text{l}$, 没有超过国家规定的铀指标(小于 50 $\mu\text{g}/\text{l}$, 可供使用和饮用。

2. 不同产状水的铀同位素特征各异。地表水的铀含量较高, 为 1.40—5.05 $\mu\text{g}/\text{l}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比值较低, 为 1.66—2.03。寒武系岩溶裂隙水处在补给区, 铀含量和 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值均低, 铀含量低于 1.66 $\mu\text{g}/\text{l}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值低于 2.48。第四系孔隙水和奥陶系岩溶水的 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 值均较高, 为 2.41—4.39, 但第四系水铀含量一般大于 0.89 $\mu\text{g}/\text{l}$, 岩溶水铀含量则小于 2.02 $\mu\text{g}/\text{l}$, 二者重迭区较大。

三、水体混合关系分析基本思路与计算公式

水体混合关系, 一般通过水的 ^{234}U 过剩—U 含量关系图来分析和确定。

如果需要研究的混合水体来自二种水体的补给, 那么, 所采取样品的 ^{234}U 过剩—U 含量关系图为一 条直线。直线段的二个端点即为混合水体的二个补给水源。

如果需要研究的混合水体是来自三种水体的补给, 则所采取水样的 ^{234}U 过剩—U 含量关系图为一三角形。三角形的三个端点即为混合水体的三个补给水源。

对于二种水体的混合, 其混合比实际上就是水样组分点到二个端点的距离之比, 因此, 计算比较简单, 可据线段比例关系直线求算。三种水体的混合比计算要比前者复杂的多, 其计算公式最先由 Osmond 等人提出, 数学表达式为:

$$\frac{V_A}{V_M} = \frac{U_M - U_B}{(U_A - U_B) \left(\frac{X_C - X_B}{U_C - U_B} \right) - (X_M - X_B)}$$

式中: V ——水体混合的相对体积

U ——水的铀含量

X ——水的 ^{234}U 过剩

A、B、C——角码, 表示相应的三个组分端点

M——角码, 表示所求的混合水样

四、两城水源地水体混合比及所反映的水文地质问题

据两城水源地水的 ^{234}U 过剩—U 含量关系图(图 2), 水样组分散点构成一个三角形, 三角形的顶点组份分别是河湖水(D_5 取样点)、第四系孔隙水(Q_4 24 取样点)、奥陶系岩溶水(45 取样点)。因此, 可以确定, 两城水源地地下水存在三个补给水源, 即上游岩溶水的径流补给、上部第四系孔隙水的越流补给和地表河湖水的渗漏补给。

由于三角形顶点为三个补给水源, 故三角形内部各水样组份均是来自三个端点水源组分的混合。混合比的具体计算过程是: 首先把所求的混合组份水样记作 M 水样, 然后, 逆时针方向顺序标注各端元组份 A、B、C(参见图 2)。标注时要注意, 先求哪个端元组份对 M 水样的贡献, 就把哪个端点记作 A 组份。依次类推, 代入公式即可求得各水源的混合比。

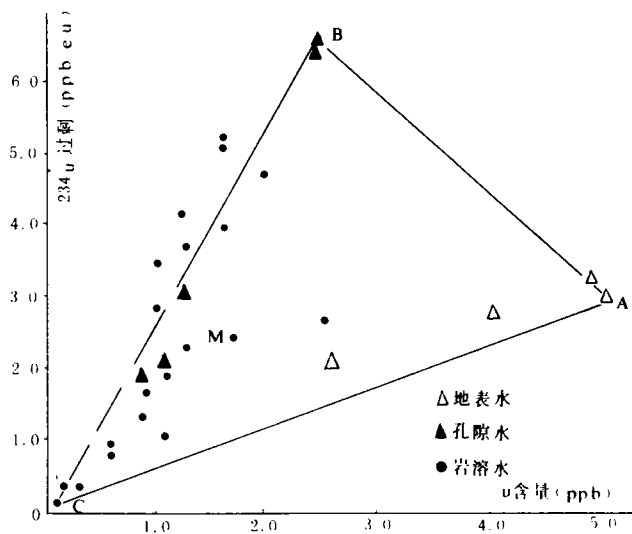
图2 ^{234}U 过剩—U 含量关系图

表2 典型井点水的混合比例

取样时间	取样点号	水样产状	混合比例 (%)		
			地表水	第四系水	岩溶水
抽水前	QL31	浅层第四系水	3	43	54
	L7	中部第四系砾岩水	7	27	66
	X11	深部岩溶水	8	16	76
抽水后	QL31	浅层第四系水	4	25	71
	L7	中部第四系砾岩水	16	7	77
	X11	深部岩溶水	9	24	67

以 X11 号孔水样(抽水后)为例,其铀同位素组份为: $U_M=1.11$, $X_M=1.95$, 据图 2、表 1, 三个端元组份已知。若求地表水(D_5 水样)对该水样的组份贡献, 则令 $U_A=5.05$, $X_A=1.95$; $U_B=2.54$, $X_B=6.63$; $U_C=0.09$, $X_C=0.13$ 。代入公式得 $\frac{V_A}{V_M} \approx 9\%$, 即地表水对 X11 水样的组份贡献是 9%。同理, 依次求得孔隙水和岩溶水对该水样的组份贡献是: 24% 和 67%。为计算方便, 可通过计算机进行数据处理。

两城水源地典型水样所受河湖水、第四系孔隙水和奥陶系岩溶水补给的混合百分比计算结果如表 2 示。勘探中, 在水源地进行了长达 46 天的大型群孔抽水试验, 此表反映了抽水前后补给水源的变化情况。

从水源地抽水前的天然状态看,自深部岩溶水、到中部砾岩水、至浅部第四系水,在垂直方向上,岩溶水比例逐渐减少,第四系水比例逐渐变大,说明岩溶水由底部向上顶托排泄的特征。

从水源地抽水后引起的岩溶水混合比例变化看,由于抽取岩溶水,使岩溶水本身的比例降低,第四系水比例升高,反映抽水过程中,岩溶水获得了上部第四系水向岩溶水的越流反补给。

对于浅层第四系孔隙水,抽水后岩溶水比例升高,第四系水比例降低,则反映出第四系含水层接受了沟渠中岩溶水的渗漏补给。

五、应用混合比资料计算岩溶水资源

铀同位素方法的应用,不仅在于查清水文地质条件,如何拓宽其应用范围,更是大家所关心的。这里用铀同位素混合比资料进行岩溶水资源计算,作为一种尝试,与其它常规方法对比验证。

1. 本区岩溶水资源的基本量是大气降水入渗补给量

$$Q_{\text{雨补}} = \alpha \cdot P \cdot A / 365$$

已知多年平均降水量 $P = 717.9 \text{ mm}$

灰岩补给区面积 $A = 246.75 \text{ km}^2$

降水入渗系数 $\alpha = 0.217$

得降水入渗补给量为:

$$Q_{\text{雨补}} = 10.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$$

2. 据水源地混合比资料,降水入渗产生的岩溶水占总量的 67%,第四系孔隙水补给量占 24%,地表河湖水补给量占 9%,于是,相应的岩溶水总量和它的各分项补给量为:

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{雨补}} / 0.67 = 157000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{四补}} = 0.24 Q_{\text{总}} = 38000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{河补}} = 0.09 Q_{\text{总}} = 14000 \text{ m}^3/\text{d}$$

即:本区岩溶水资源量为 $157000 \text{ m}^3/\text{d}$,其中,来自灰岩山区的降水入渗补给量是 $105000 \text{ m}^3/\text{d}$,来自第四系孔隙水的越流补给量是 $38000 \text{ m}^3/\text{d}$,来自地表河湖水的补给量是 $14000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

此结论与用其它方法得出的结果非常一致,充分说明该方法计算精度较高,可供类似条件的地区参考(表 3)。

表 3 资源计算对比表 (10000m³/d)

计算方法	总资源量	补给来源		
		降水渗入	第四系补给	地表水补给
本文方法	15.7	10.5	3.8	1.4
数值法	15.5	10.5	3.4	1.6
均衡法	15.5	10.5	5.0	

六、结 论

1. 受地质地貌条件控制,不同类型、不同区段的地下水,其铀同位素特征各异。对此进行研究,有助于地下水补给、径流、排泄条件的分析认识。

2. 铀同位素研究表明,两城水源地岩溶水与第四系孔隙水及地表河湖水存在密切水力联系。天然条件下,岩溶水自底部向上顶托排泄;开采条件下,岩溶水可得到上部第四系孔隙水及地表河湖水的越流反补给,其补给量可占总开采资源的30%以上。

3. 通过铀同位素研究,可以定量计算评价受三种水源补给的地下水之混合比例;同时,可根据混合比资料进行地下水资源计算,计算精度较高。

本研究得到中国科学院地质研究所赵树森研究员的大力协助和热情指导,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 张人权等,1983,同位素方法在水文地质中的应用。地质出版社。
- [2] 赵树森等,1990,太原岩溶地下水的铀同位素研究。科学出版社。
- [3] 陈铁梅等译,1991,铀放射系的不平衡及其在环境研究中的应用。海洋出版社。

APPLICATION OF URANIUM ISOTOPE STUDY IN GROUND WATER RESOURCE EXPLORATION OF THE LIANGCHENG REGION

Wu Aimin

*(The Third Hydrogeology and Engineering Geology Brigade,
Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources)*

Abstract

Uranium isotope method and its application in groundwater resource exploration are explained in this paper. The hydraulic connections between karst water, pore water and surface water are clearly confirmed, and the mixing ratios of these water bodies are quantitatively evaluated by this method. Meanwhile the karst water resource of the Liangcheng region is calculated.