

# Study on Environmental Isotope of Karst Water System within Xin'an Spring Basin

Junsheng Yang

Hydrology and Water Resources Survey of Shanxi Province, Taiyuan Shanxi  
Email: YJS5533@163.com

Received: Dec. 4<sup>th</sup>, 2016; accepted: Dec. 24<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 27<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

In order to explore the transformation characteristics of the karst water system in Spring Basin with the environmental isotope tracing method which has the characteristics of fast and accurate understanding of the groundwater resources, the renewal and transformation characteristics of the karst water system in the Xin'an spring domain were studied. Taking Xin'an Spring in the domain of update transformation as example to analyze the proportion of strontium isotope and characteristics of spatial distribution in karst water, pore water and surface water in the basin, the transform relationship was explored on karst water system. By analyzing the value of tritium isotope in each discharge area of spring basin, the average age of karst groundwater was estimated and then renewability and alternation capability were analyzed. It is shown that karst water system in Xin'an Spring Basin has diversity on recharge sources, and the average age of groundwater is 107a; the renewability and alternation of the whole water resources of the spring area are frequently updating. The analysis method of environmental isotope tracing is proved to be effective in the work of exploring the water resource attributes of groundwater system.

## Keywords

Environmental Isotope, Inversion of Three Water, Karst Water System, Regeneration Age, Xin'an Spring Basin

# 辛安泉岩溶水系统特征的环境同位素研究

杨军生

山西省水文水资源勘测局, 山西 太原

作者简介: 杨军生(1967-), 男, 本科学历, 高级工程师, 主要从事水文水资源研究应用工作。

文章引用: 杨军生. 辛安泉岩溶水系统特征的环境同位素研究[J]. 水资源研究, 2016, 5(6): 620-625.  
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.56072>

Email: YJS5533@163.com

收稿日期: 2016年12月4日; 录用日期: 2016年12月24日; 发布日期: 2016年12月27日

## 摘要

为了探究泉域内的岩溶水系统的更新转化特征, 选用具有可以快速、准确地了解地下水资源的各种属性的环境同位素示踪方法对辛安泉域内的岩溶水系统的更新转化特征进行了研究。本文以辛安泉域内的岩溶水系统的更新转化为例, 通过对辛安泉域岩溶水、孔隙水、地表水中锶同位素所占比重及其空间分布特征的计算与分析, 探索了泉域岩溶水系统的转化关系。同时, 通过对各个泉域排泄区处的氡含量值的分析, 估算出岩溶地下水的平均年龄, 进而进一步研究了其更新交替的能力。研究表明: 研究域岩溶水具有多样性的补给来源, 平均地下水年龄为107a, 整个泉域水资源的更新交替也相对频繁。由以上可以证明环境同位素示踪法是探究地下水资源属性行之有效的办法。

## 关键词

环境同位素, 三水转化, 岩溶水, 更新年龄, 辛安泉域

## 1. 引言

水文地球化学的同位素特征可以很好地指示地下水的补给来源、水流动途径、“三水”转化以及各含水层之间的水力联系等水动力信息, 同时还可用以估算地下水年龄[1]。利用环境同位素示踪方法, 可以快速、准确地了解地下水资源的各种属性, 揭示地下水的再生能力的变化规律, 为水资源的合理开发利用奠定基础。锶元素和氡元素在地下水的化学研究中应用广泛, 锶元素由于其化学性质稳定、在不同岩石中的含量有明显差异等特点, 能够很好的示踪地下水形成时不同环境特征; 氡元素由于其含量只受元素衰变规律的影响, 不与岩石介质发生交换的特点, 可较好地反映现代水、古水的分布情况。本文以辛安泉域为研究区域, 通过运用锶、氡同位素的示踪特性, 研究辛安泉域岩溶地下水的演化、更新规律。

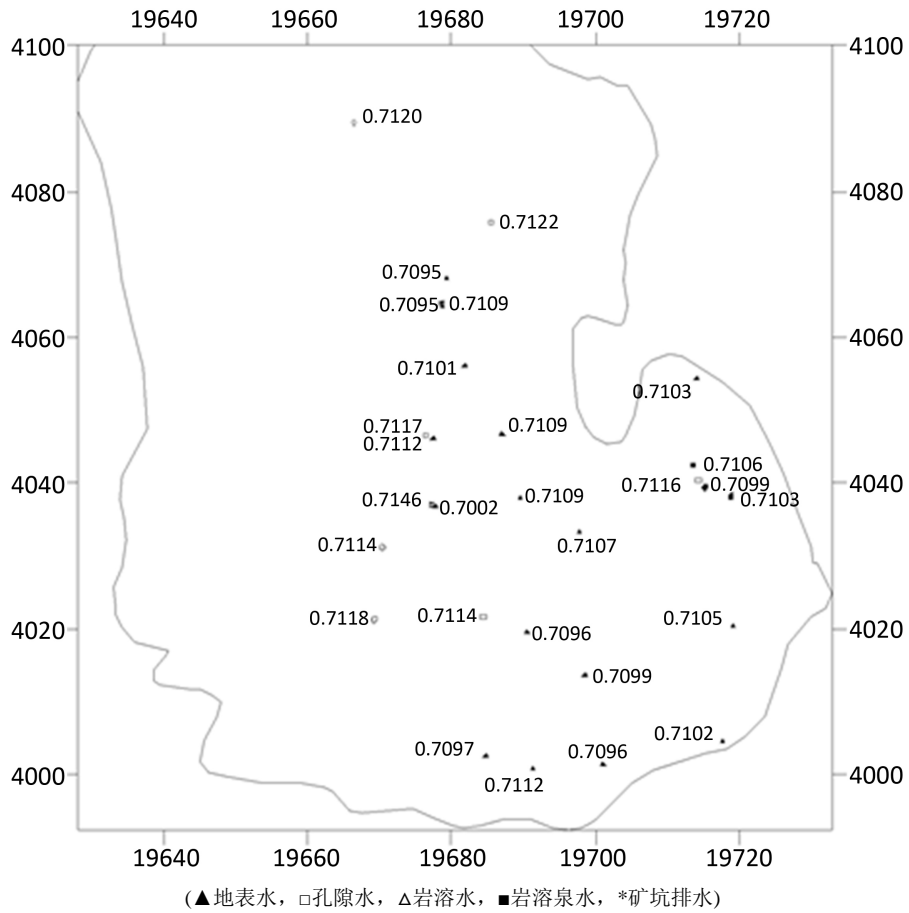
## 2. 研究区概况

辛安泉域是山西省第二岩溶大泉, 位于山西省东南部, 泉域面积 10,950 km<sup>2</sup>。属于溢流全排型泉, 溶岩地下水由北、西、南三面向东部径流, 以不同的途径向泉域排泄区汇流, 并在北耽车一带浊漳河河谷处呈泉群出露, 泉域岩溶地下水全部排泄出地表, 泉水多年平均流量 9.64 m<sup>3</sup>/s。主要分为六大含水岩组: 第四系全新统及上更新空隙含水层(0~100 m); 第四系中更新统孔隙含水岩组(3~40 m); 第四系下更新统孔隙含水岩组(0~220 m); 二叠、三叠系石炭系上统砂岩、泥岩互层的一套陆相碎屑岩裂隙含水层; 奥陶系中下统及寒武系中上统碳酸盐岩组[2]。

## 3. 样品的采集与分析

优选出 36 个锶同位素(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)作为样品, 其中水样 32 个, 岩样 4 个。锶测试结果采用 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值(图 1)。

氡含量用单位(TU)表示, 一个 TU 定义为每 1018 个氢原子中有一个氡原子。本次研究区碳酸岩覆盖区岩溶水系统可划分成四个径流带区, 各区的氡平均值各为 21 TU, 9 TU, 2 TU 和 16 TU。利用区域平均单位涌水量求出的年加权平均氡值为 18.78 TU。



**Figure 1.** The strontium isotope value ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) drift in the study area  
**图 1.** 研究区水样锶同位素值( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )漂移图

## 4. 分析与讨论

### 4.1. 岩溶地下水系统转化关系分析

为实现泉域地下水的合理开发和可持续利用, 需要深刻地认识泉域岩溶水、裂隙水与地表水之间的转化关系。本次将锶元素作为示踪元素, 跟踪溶岩水的来源。

研究域地下水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值的分布特点为: 岩溶水、孔隙水和裂隙水以及地表水,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  高值区均分布在盆地西北部地区(图 2), 最高  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值位于研究区北部, 为 0.71217, 东部岩溶水及岩溶泉水的平均  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值为 0.71049。研究区主要地表水浊漳河水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值为 0.71217~0.71155, 锶含量为 0.499~0.688, 与浅层孔隙水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值平均值 0.711617 比较接近。锶的分析结果为: 灰岩的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值基本约为 0.7089 和 0.70916, 符合水文化学的认识规律。

由以上分析可知, 泉域内普通的低  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值水的主要来源与碳酸盐相互作用, 这意味着水-岩作用是控制岩溶水中  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值的主要因素。通过将地下水点投在  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -1/Sr 关系图中进行分析。

由图 2 得, 大多的观测点都以混合线为中心, 呈现在其的左右(其中混合线为碳酸和硅酸盐的混合线), 说明研究水域的溶质很大一部分都出自上述两种盐的风化、溶解。根据观测点在混合线的上方还是下方, 可以对应的把溶岩水分成两部分。上下两部分的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值分别以碳酸盐风化端点、孔隙水和地表水为端员为起点, 逐渐下降, 最后贴近水平混合线, 由于研究域的孔隙水和地表水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  约为 0.712, 可以得出地表矿物溶解是

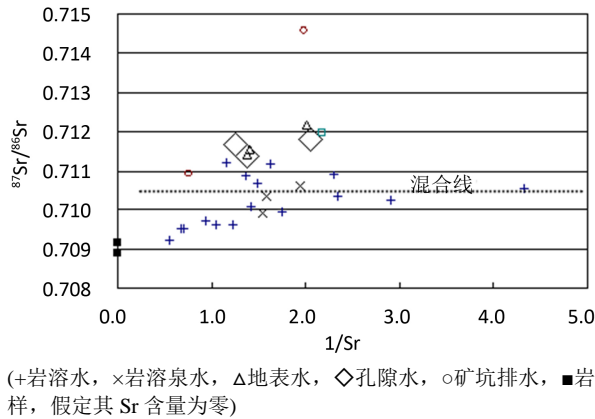


Figure 2.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Sr relationship of water sample in study area  
 图 2. 研究区水样  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Sr 关系图

该地区是其化学成分的主要来源。也可以得到，上方的溶岩水的供给主要是地表水或裂隙水(因为上方溶岩水有比较高的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )，综上可得该地区的溶岩水收到其他地区的供给，岩泉水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值比较平稳，都与混合线较近，说明泉水受到多个地区的供给，矿坑排水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值也较高，本文暂不做探究。

#### 4.2. 地下水更新性分析

地下水更新能力优劣已经成为地下水合理开发利用的重要依据，地下水资源评价的重要内容。本次利用氡元素，测定地下水形成年龄[3]，从而达到对其更新能力的分析。对研究域岩溶地下水应用全混模型进行地下水形成年龄求算，公式如下：

$$C(t) = \int_0^t C_0(t-\tau) \exp(-\lambda\tau) f(\tau) d\tau \quad (1)$$

式中： $C(t)$  为氡输出函数， $C(t-\tau)$  为氡输入函数， $f(\tau)$  为地下水年龄分配函数， $\tau$  为地下水年龄， $t$  为取样时间， $\exp(-\lambda\tau)$  为氡衰变校正因子。

对于全混模型  $f(\tau)$  为指数函数。输入函数以年为单位，并用匹配法求解。考虑 1952 年以前输入的氡在含水层中残留量已  $<1$  TU，可忽略不计，(1)式可简化为：

$$C(t) = \sum_{\tau=0}^{36} C_0(t-\tau) \exp(-\lambda\tau) l/\tau_m \exp(-\tau/\tau_m) \quad (2)$$

式中： $T_m$  为地下水平均年龄。

##### (1) 降水氡输入值

同一个地区降水年加权平均氡值与年降水量的线性正比关系，可以用来确定与该地区同纬度地区降水年加权平均氡值与时间的关系。本文收集了当地 38 年的降水资料，并对其中的氡(T)浓度进行了计算，然后选取条件相似的 Ottawa 站位参考站，分析本研究域 1953~1962 年的 T 浓度。氡恢复值见表 1。

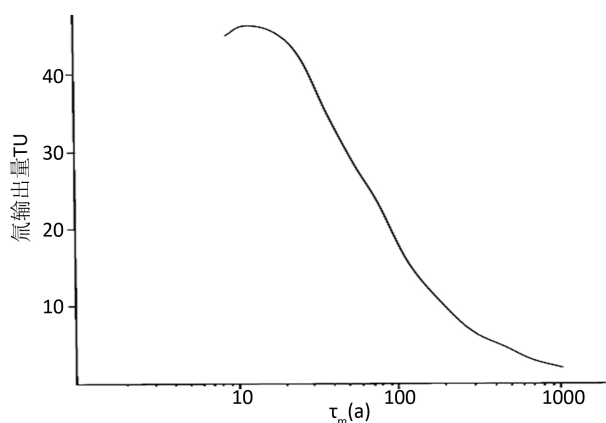
##### (2) 模型求解

将历年大气降水氡值代入(1)式并设定不同的  $\tau_m$  值便可得到对应的  $C(t)$  值，作  $\tau_m - C(t)$  曲线得全混模型的输出函数，如图 3。按各个泉水样品年加权平均氡值便可在图上得到西流泉、南流泉、实会泉的平均年龄各为 25 年，107 年和 180 年。地下水的可更新能力与地下水的形成年龄成反比[4]。新安泉域地下水的年加权平均氡含量 18.78 TU，为现代循环水。西流泉水中的氡值含量相对比较大，地下水周转时间较短，氡年龄为 25a，表明水循环条件较好，更新速度快，可恢复性强。南流泉和实会泉水中氡含量相对比较小，地下水周转时间较长，氡年龄大于 100a，表明水循环不畅，更新速度慢，可恢复性强。

**Table 1.** Recovery of tritium concentration over the years

**表 1.** 历年氚浓度恢复值

年份	氚 TU	年份	氚 TU	年份	氚 TU	年份	氚 TU
1988	37	1979	61	1970	168	1961	131
1987	38	1978	46	1969	165	1960	92
1986	54	1977	42	1968	190	1959	250
1985	47	1976	30	1967	205	1958	320
1984	50	1975	50	1966	284	1957	71
1983	43	1974	83	1965	721	1956	107
1982	41	1973	64	1964	924	1955	26
1981	68	1972	72	1963	1557	1954	164
1980	78	1971	134	1962	523	1953	17



**Figure 3.** Output of the total mixed model function

**图 3.** 全混模型输出函数

### 4.3. 结果的分析讨论

根据观测点在混合线(其中混合线为碳酸和硅酸盐的混合线)的上方还是下方,可以对应的把溶岩水分成两部分。由于研究域的孔隙水和地表水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  约为 0.712, 可以得出地表矿物溶解是该地区是其化学成分的主要来源。也可以得到, 上方的溶岩水的供给主要是地表水或裂隙水(因为上方溶岩水有比较高的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), 综上可得该地区的溶岩水由多个地区供给。

通过计算可以发现新安泉域地下水的年加权平均氚含量 18.78 TU, 为现代循环水。西流泉水中的氚值的含量大, 而且更新周期短, 说明水循环条件较好, 更新速度快, 可恢复性强。南流泉和实会泉水中氚值特征则与西流泉水中的氚值相反, 所以其水循环特性与更新、恢复特点都与西流泉水相反。

### 5. 结论

(1) 泉域内岩溶地下水的主要来源于与碳酸盐的相互作用, 水 - 岩相互作用显著。其次岩溶水与地表水、裂隙水存在水力联系, 岩溶水一定程度上接受地表水和裂隙水渗漏补给, 泉水的来源具有多样性特点。

(2) 辛安泉域岩溶地下水为现代循环水, 整个泉域水资源的更新交替相对频繁。西流泉地下水的更新能力最强, 其更新周期在 25 年左右, 处于积极交替带; 南流泉和实会泉更新能力较弱, 地下水交替缓慢, 更新周期较长。

## 参考文献 (References)

- [1] 钱雅倩, 郭吉保. 同位素在环境科学研究中的应用[J]. 资源调查与环境, 2002, 23(1): 2-10.  
QIAN Yaqian, GUO Jibao. Application of isotope on environmental science. Resources Survey & Environment, 2002, 23(1): 2-10. (in Chinese)
- [2] 王振东, 李有兴. 岩溶水系统评价——山西辛安泉岩溶水系统及水资源研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.  
WANG Zhendong, LI Youxin. Evaluation of karst water system—Research on the karst water system and water resources of Xin Anquan in Shanxi. Beijing: Hydraulic and Hydroelectric Press of China, 1996. (in Chinese)
- [3] 张樑, 王文科, 王宇航. 利用放射性同位素氚计算格尔木河流域地下水年龄[J]. 地下水, 2014, 36(2):19-21.  
ZHANG Dong, WANG Wenke and WANG Yuhang. Groundwater age in the Talimu River Basin based on tritium. Ground Water, 2014, 36(2): 19-21. (in Chinese)
- [4] 杨丽芝, 张光辉, 刘中业, 等. 鲁北平原地下水同位素年龄及可更新能力评价[J]. 地球科学, 2009, (30): 235-242.  
YANG Lizhi, ZHANG Guanghui, LIU Zhongye, et al. Isotope age of groundwater in Lubei Plain and an evaluation of its renewable capacity. Acta Geoscientica Sinica, 2009, (30): 235-242. (in Chinese)