

浅层地下水 ^3H - ^3He 法测年技术在石家庄市应用研究

韩庆芝 刘存富 刘 果 段光武 赵俊玲 陈 辉

中国地质大学(武汉)环境学院,湖北 武汉 430074

摘 要 ^3H - ^3He 测年法是利用母体 ^3H 衰变成子体 ^3He 这一对核素的衰减和累积原理实现的,它能够很好地取代氡法测年。根据石家庄地区地质和水文地质实际及原有研究基础,选取有代表性的井点取样、测试并计算了各井点浅层水年龄。计算结果与 1982 年的氡法测年结果对比,具有一致的变化规律,石家庄市浅层地下水年龄从北到南逐渐变大,东南部最大,滹沱河沿岸一带由于近年来黄壁庄水库每年或隔年向滹沱河放水,其浅层地下水年龄较小。总之, ^3H - ^3He 测年法在石家庄市浅层地下水测年应用中取得了比较理想的结果。

关键词 ^3H - ^3He 测年法 石家庄 地下水年龄

The Application of Shallow Groundwater ^3H - ^3He Dating Technique to Shijiazhuang City

HAN Qingzhi LIU Cunfu LIU Guo DUAN Guangwu ZHAO Junling CHEN Hui

School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074

Abstract The ^3H - ^3He dating method is based on the principle that ^3He concentration increases and ^3H concentration decreases with the continual radioactive decay of tritium. This technique can well replace the tritium method in dating. With the financial support by the National NSFC to the project "The Application of shallow groundwater ^3H - ^3He dating technique to hydrogeology", and based on the actual geological and hydrogeological conditions as well as previous studies in Shijiazhuang area, the authors collected water samples from some representative wells. The ^3H - ^3He ages of the shallow groundwater were determined through calculation of the test result. These data show a consistent changing regularity with the tritium ages dated in 1982. From north to south the ages of shallow groundwater gradually increase, with the oldest sample being in the southeast. Along the Hutuo River the ages are rather young, and this is attributed to the recharge by the rivers in recent years. The application of the ^3H - ^3He dating method to Shijiazhuang shallow groundwater proves to be very satisfactory.

Key words ^3H - ^3He dating method Shijiazhuang age of shallow groundwater

^3H - ^3He 法测年技术是利用母体 ^3H 衰变成子体 ^3He 这一对核素的衰减和累积原理测定地下水年龄。该方法能够较好地取代目前不适用的氡法测定年龄在 50 a 以内的浅层地下水年龄。2003 年,笔者根据地质和水文地质实际及原有研究基础条件,对河北石家庄地区选取有代表性的井点进行现场采样、测定和同位素测试(^3H 由中国地质科学院岩溶地质研究所分析测定,微量惰性气体由中国科学院兰州地质研究所测定)。对所取得的资料进行整理、分析和计算,对比氡法、 ^3H - ^3He 法均得到了较一致的结果。

1 石家庄市地质、水文地质概况

石家庄地区位于滹沱河冲洪积扇之顶部,主要

由砂砾石、卵石和粗砂组成,上部浅层含水层,底界埋深 45~135 m,一般含水层厚度 25~60 m。石家庄市东部主要由中粗砂、细砂组成,含水层中地下水主要由大气降水补给,北部滹沱河沿岸近年来常有黄壁庄水库库水下泄补给。

我国水文地质工作者在该区做了大量的研究工作(张宗祜 2000)。20 世纪 80 年代以来,笔者在该区也已测定氡样 40 多个, ^{18}O 和 D 样 40 多个, ^{14}C 样 4 个,并作出了氡含量等值线图和地下水氡年龄等值线图(刘存富等,1997)。石家庄市由于大量开采地下水,在市中心区域,形成了地下水降落漏斗,使东部的地下水出现局部倒流。80 年代以来,该区地下水氮污染相当严重。毕二平等(2001)对该市地下水氮污染现状进行了分析研究,笔者 2003 年用地

下水氮污染物相互关系也探讨了地下水污染的敏感性(赵俊玲等 2004)。

2 样品采集与计算方法

2.1 样品采集

为了与过去氡测年进行对比研究,针对该区已做了大量水文地质勘查工作和地下水动态观测、同位素氡等研究的特点,根据 1985 年地下水观测工作图,将各采样点尽量布在 1985 年设计的常观井上。如观测井目前已废弃,就在该井附近,与原井深度大致相当的农灌井或饮用水井中,利用现有深井泵抽取新鲜水样。

根据石家庄水文地质资料,第一含水层组的深度在 20~50 m 左右。由于该市地下水过量开采,市中心区第一含水层组已干枯。只在郊区第一含水层组能取到水样,取样深度大都在 30 m 左右,而在东南部,井深一般大于 70 m,所取样混有深层水。一般认为在石家庄地区“浅层水”泛指井深在 120 m 以上的地下水,地表下 20~60 m 属第一含水层组,60~150 m 属第二含水层组。因此那些取样深度较大的井点亦属研究范围之内。取样工具是根据中国科学院兰州地质研究所孙明良教授于 1995 年曾采用过的氦渗透系数较低的钠质玻璃设计的采样管。所有采样器腔体体积都在 100 mL 左右。两端用密封性能可靠的活塞与其连接。出口管内径大于 3 mm,外径与分析仪器之分离系统进样口连接的尺寸相匹配。取样前对每个采样器进行抽真空,检验其是否漏气,活塞加真空硅脂密封。采样器具有良好的密封性是测试结果准确可靠的保证。

2.2 计算方法

³H-³He 测年方法:计算中采用(刘恩凯,1993)所介绍的综合公式,首先计算氡成因的³He:

$${}^3\text{He}_{\text{tr}} = {}^4\text{He}_{\text{tot}} R_{\text{tot}} - ({}^4\text{He}_{\text{tot}} - {}^4\text{He}_{\text{rad}}) R_{\text{atm}} + {}^4\text{He}_{\text{eq}} R_{\text{atm}} (1 - \alpha) - {}^4\text{He}_{\text{rad}} R_{\text{rad}}$$

式中,³He_{tr}为氡成因的³He;⁴He_{tot}为水样中实测⁴He含量;⁴He_{tot}为水样中实测³He/⁴He比值;⁴He_{rad}为放射成因的⁴He;⁴He_{rad}可据下式

$${}^4\text{He}_{\text{rad}} = {}^4\text{He}_{\text{tot}} - (N_{\text{etot}} - N_{\text{eq}}) \frac{{}^4\text{He}_{\text{atm}}}{N_{\text{eatm}}} - {}^4\text{He}_{\text{eq}} \text{求取。}$$

式中,⁴He_{tot}为实测水样中的Ne含量;⁴He_{eq}为与大气呈溶解平衡的Ne的含量;⁴He_{atm}/⁴He_{eq}为大气中⁴He/^{Ne}的比值(通常认为是常数0.288);⁴He_{rad}为放射成因氦的同位素比值,通常采用平均的同位素比值(为2×10⁻⁸据Mamyrin等,1984);⁴He_{eq}为与大气平衡的水中溶解的⁴He的含量(大气成因);

R_{atm}为大气的³He/⁴He比值(为1.384×10⁻⁶据Clarke等,1976);α为氦同位素有效的溶解度系数(为0.983据Benson等,1980)。

3 测定结果分析与对比

3.1 测定及计算结果

根据不同实际情况,选择了12个采样点。现场除采取水样外,还测定了电导、水温及其他参数。因为氦在自然环境中与水平衡的溶解度是温度和盐度的函数。在计算中所用的地下水的温度应计算其古温度,再通过曲线拟合来获取。本次研究中以现场所测温度作为“地下水温度”应用于计算中。这里假定浅层地下水温度多年变化不大,简化了计算的过程,对计算结果的精度影响不大。

水样中氦、氡同位素测定由中国科学院兰州地质研究所用MG5400质谱仪完成,氡测定由中国地质科学院岩溶地质研究所完成,所用仪器为LSC-LB1低本底液闪仪。测试结果如表1。

利用 $\tau = 17.93 \ln(1 + [{}^3\text{He}]/[{}^3\text{H}])$ 等十几个公式分析计算,得到石家庄市浅层地下水的³H-³He法测年结果(表2、图1)。

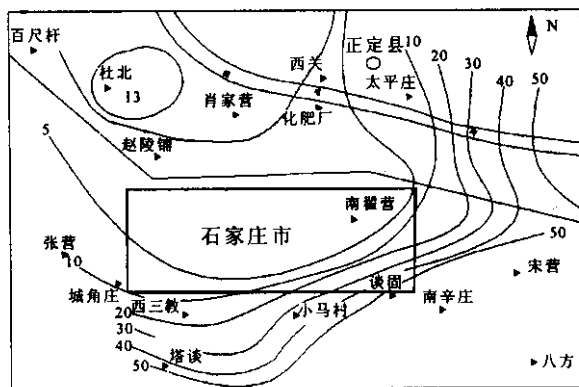


图1 石家庄市浅层地下水³H-³He 年龄等值线图

Fig.1 Isoline map of ³H-³He ages of shallow groundwater in Shijiazhuang

3.2 结果分析与对比

从图1可见,石家庄市浅层地下水(取样深度不等,在北部地区,约15~30 m,杜北大于50 m,市区和南部在20~100 m),年龄在北部为5~10 a,因杜北村取样深度在50 m左右,其年龄为13 a,东南部地区地下水年龄比较老,除塔河采样点年龄为40 a左右外,其余谈固、南辛庄、宋营和八方等地地下水年龄均大于50 a。

比较发现,³H-³He法测年结果与1982年氡法

表 1 地下水中氦、氖、氡同位素测定结果

Table 1 Testing result of He、Ne and T isotopes in groundwater

采样地点	样品的 R ($=^3\text{He}/^4\text{He}$)	R/R_a	^4He V/V	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	氡含量/TU
南辛庄	$(8.6\pm0.8)\times10^{-7}$	0.62	3.1×10^{-6}	0.27	2.20
太平庄	$(1.41\pm0.06)\times10^{-6}$	1.00	4.8×10^{-6}	0.29	7.17
赵陵铺	$(1.40\pm0.05)\times10^{-6}$	1.00	5.2×10^{-6}	0.26	9.00
八方	$(7.1\pm0.8)\times10^{-7}$	0.51	4.4×10^{-6}	0.324	小于 2
谈固	$(1.17\pm0.13)\times10^{-6}$	0.84	2.6×10^{-6}	0.285	小于 2
西关	$(1.11\pm0.06)\times10^{-6}$	0.79	4.8×10^{-6}	0.377	8.30
宋营	$(9.4\pm0.1)\times10^{-7}$	0.67	3.9×10^{-6}	0.318	小于 2
杜北	$(1.02\pm0.05)\times10^{-6}$	0.73	5.2×10^{-6}	0.33	10.71
塔谈	$(1.36\pm0.06)\times10^{-6}$	0.97	5.0×10^{-6}	0.25	小于 2
肖家营	$(1.40\pm0.09)\times10^{-6}$	1.00	3.8×10^{-6}	0.27	12.41
百尺杆	$(1.39\pm0.06)\times10^{-6}$	1.00	4.0×10^{-6}	0.25	13.06
南翟营	$(1.41\pm0.06)\times10^{-6}$	1.00	4.0×10^{-6}	0.24	11.17

表 2 地下水年龄计算结果

Table 2 Result of the ages of groundwater

采样点	南辛庄	太平庄	赵陵铺	八方	西关	宋营	杜北	塔谈	肖家营	百尺杆	南翟营	谈固
平均年龄	>50	8.4	2.1	>50	2.6	>50	13	44	7	3.2	3.6	>50

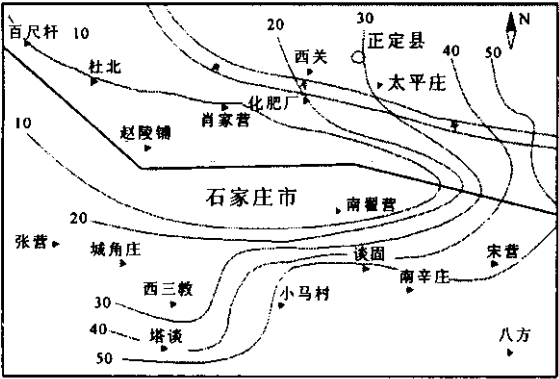


图 2 石家庄市浅层地下水³H 年龄等值线图

Fig. 2 Isoline map of ³H ages of shallow groundwater in Shijiazhuang

测年结果具有一致的变化规律(图 2),即从北至南地下水年龄逐渐变老。分析其原因可知,石家庄北部位于滹沱河现代河床带,该区地下水径流与补给条件较好,浅层地下水主要接受滹沱河补给,特别是近年来,为改善生态环境,黄壁庄水库每年或隔年向滹沱河放水,因此这一带地下水交替快,年龄较轻。而南部地区,包气带岩性以亚砂土、亚粘土为主,厚度较大,主要靠大气降水补给,补给滞后时间长,地下水交替迟缓,因而地下水年龄比北部地区的要老。³H-³He 法测年结果的分布状况,与当地水文地质条件总体状况也具有理论上的一致性。

这里需要说明几点是:

(1)为解决滹沱河下游地区用水、保护地下水

资源,近年来滹沱河上游黄壁庄水库放水量加大,致使滹沱河两岸地区(如赵陵铺、肖家营、正定等)浅层地下水水位下降后,在滹沱河来水时,很快得到恢复。因此这些地方地下水交替快,地下水年龄小。

(2)杜北井点地下水年龄相对较老,主要是因为该取样井的深度与附近井点比较偏深。

(3)12 个取样点的氡含量分布规律和 1982 年 12 月时的氡含量分布规律比较一致,但因时间相对晚了 22 a,降水也减少很多,故氡含量减少很多。

参考文献

张宗祜. 2000. 华北平原地下水环境演化. 北京:中国地质出版社.

刘存富,王佩仪,周炼. 1997. 河北平原地下水氢、氧、碳、氮同位素组成的环境意义. 地学前缘, *A*(1~2):267~274.

毕二平,李政红. 2001. 石家庄地下水氮污染分析. 水文地质与工程地质, *(2)*:31~34.

赵俊玲,段光武,韩庆之等. 2004. 浅层地下水中的氮含量与地下水污染敏感性. 安全与环境工程, *11*:32~35.

刘恩凯. 1993. 测定地下水年龄的³H/³He 法. 中国同位素水文地质学之进展(1998~1993). 天津:天津大学出版社, 144~149.

Mamyin B A, Tolstikhin I M. 1984. Helium Isotopes in nature. In Development in Geochemistry. ed. W. S. Fyfe, New York: Elsevier, *3*:315~320.

Clarke W B, Jenkins W T, Top Z. 1976. Determination of Tritium by mass Spectrometric Measurement of ³He. Inter. Jour. of APP. Radiation and Isotopes, *(27)*:515~522.

Benson B B. 1973. Noble gas concentration ratios as palaeo temperature indicators. Geochim. et Cosmochim. Acta, *37*:1391~1395.