

北京市永定河流域地下水的环同位素分析

王新娟^{1 2} 崔亚利¹ 邵景力¹ 谢振华²

(1. 中国地质大学(北京) 水资源与环境学院 北京市 100083 2. 北京市地质工程勘察院 北京市 100037)

提要 同位素方法作为一种较新的, 在国际、国内都被普遍采用和认可的方法, 可以解决许多水文地质问题, 如地下水年龄、地下水运动以及补给问题。该项研究是在研究区设取样点十五个进行取样, 对采集的水样进行氘、氧、氚含量分析, 并取地下水进行水化学分析。浅层孔隙水和基岩裂隙水的氚含量都在 14.99 ~ 30.56TU 之间, 深层孔隙水基本在 0.51 ~ 4.71TU 之间。对地下水氚含量进行分析, 判断地下水的形成类型及水循环情况, 对地下水氘、氧之间的关系进行分析, 从而判断地下水的补给来源等。

关键词 同位素 氘 氧 氚

Analysis of Groundwater Isotopes in Yongding river Plain of Beijing

Wang Xinjuan^{1 2} Cui Yali¹ Shao Jingli¹ Xie Zhenhua²

(1. School of Water Resources and Environment ,China University of Geosciences
2. Beijing Institute of Geological Engineering Investigation)

Abstract As a new means in hydrogeology , the isotopes have been widely applied and recognized both internationally and domestically. The measurements applied to research problems of hydrogeology such as the age , the motion and the resource of groundwater and so on. The aim of this study is to search the evolvement of groundwater of the Yongding river plain in the rural of Beijing with the analysis of isotopes content in groundwater. The sampling section is laid along the flow direction of groundwater in Yongding river pluvial and alluvial fan and sampling spots are laid along the section. The next step is to measure the deuterium , oxygen , tritium content and then calculate the age of the samplings. The rang of the content of tritium of superficial layers pore water and deep layers fracture water is both from 14.99TU to 30.56TU , that of deep layers pore water ranges between 0.51TU and 4.71TU basically. Measuring the tritium content is to judge the form mode of groundwater and the mode of water circulation and analysing the relationship between the deuterium and the oxygen is to judge the origin of groundwater.

Keywords isotopes ,deuterium ,oxygen ,tritium

1 引言

水资源是人类赖以生存和发展的最基本的物质条件。北京地处半干旱地区, 是世界上最缺水的城市之一。水资源与水环境问题已成为北京市 21 世纪可持续发展的主要制约因素。近年来, 北京市已进入建国以来最严重的枯水期, 遭遇了连续五年干

旱。因此, 开展华北平原地下水可持续利用特别是北京平原地区调查评价工作, 具有十分重要的意义。本次研究任务就属于这个工作的一部分, 以环境同位素为手段, 研究北京市郊区永定河流域地下水的时空演化规律。

2 水文地质条件简介

永定河冲洪积扇地处华北平原的西北端, 地势由西北向东南倾斜, 地面高程 100 ~ 45m, 冲洪积扇顶部地形坡度 3‰, 至南部坡度为 1‰。第四系沉积物的分布主要受永定河河道变化的影响, 在八宝山

基金项目：华北平原地下水可持续利用调查评价项目资助。
作者简介：王新娟，女，1973 年生，工程师，博士生，现从事水、工、环方面的评价工作。
收稿日期：2005 年 10 月 15 日

以北地区,第四系沉积厚度可达200m以上。含水层的补给包括大气降水、河谷潜流、山前侧向径流、河渠渗漏、灌溉回归及人工回灌等。地下水在含水层中运移,经历许多水文作用。植被吸收、蒸发、包气带消耗、人工开采等在地下水系统中均可产生不同作用。

依据含水层的岩性和结构可将研究区地下水系统划分成3个子系统:1)单层砂卵石储水区,位于莲花池—昆明湖以西,含水层渗透性能好,渗透系数300~500m/d;2)2~3层含卵石砂砾石储水区,主要位于门头村—八里庄—陶然亭—马家堡一带,渗透系数50~300m/d;3)多层中细砂及含砾砂储水区,分布在上述地区以东以南的广大地区,渗透系数30~50m/d。

3 环境同位素特征

3.1 概述

随着同位素分析技术的发展,同位素的研究与应用进展很快。通过对地下水同位素的研究,不仅可以探讨解决地下水的起源、形成、埋藏、水质、水量的变化等地下水形成理论问题,而且还可以判定地下水的补给来源、各种补给来源的比例、地下水的年龄、流向和流速等实际应用问题。

为了测定地下水同位素年龄,从门头沟麻峪至大兴凤合营水厂沿一个剖面采集地下水样品,取样点剖面与永定河成一定角度相交,基本上是沿永定河冲洪积扇地下水的流向布置了15组取样点,如图1所示。取样层位有浅层孔隙水(埋深0~40m)、深层孔隙水(埋深50~300m)及隐伏基岩水。

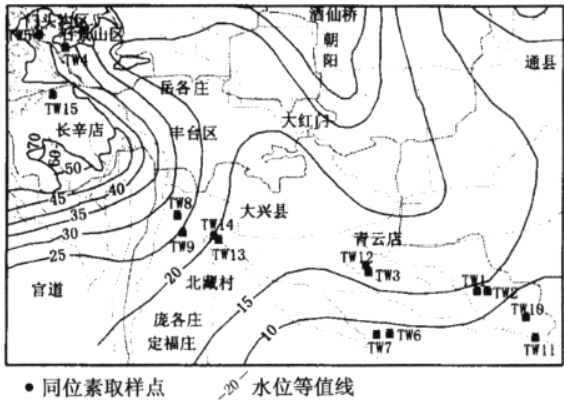


图1 同位素取样点分布

所采样品委托中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室进行测定,采用液体闪烁计数法,测定结果的校正采用树轮校正法,测试精度可达

1%~2%。水样测试结果列于表1。

表1 同位素测定结果

编号	取样地点	含水层类型	含氡量/TU	$\delta D/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$
TW5	麻峪	浅层孔隙水	15.32 ± 2.42	-55	-6.6
TW8	芦城水务站	浅层孔隙水	27.21 ± 2.59	-58	-7.3
TW13	大兴水厂	浅层孔隙水	20.8 ± 2.46	-58	-8.2
TW7	安化集团	浅层孔隙水	32.08 ± 2.55	-63	-8.5
TW12	青云店粮库	浅层孔隙水	20.8 ± 2.46	-61	-8
TW2	采育北营葡萄园	浅层孔隙水	20.96 ± 2.47	-59	-7.5
TW11	凤合营半壁店	浅层孔隙水	3.11 ± 2.32	-62	-8
TW4	广宁村	基岩裂隙水	25.26 ± 2.5	-63	-7.9
TW9	芦城水务站南	基岩裂隙水	0.51 ± 2.29	-64	-8.7
TW14	大兴义和庄	基岩裂隙水	4.71 ± 2.33	-58	-8.5
TW15	长辛店梨园村	基岩裂隙水	22.9 ± 2.48	-65	-9.2
TW6	安定镇东南	深层孔隙水	30.56 ± 2.54	-69	-9.9
TW3	青云店人民政府	深层孔隙水	14.99 ± 2.41	-64	-10.1
TW1	采育北营葡萄园	深层孔隙水	15.58 ± 2.42	-78	-10.2
TW10	凤河营水厂	深层孔隙水	18.52 ± 2.42	-70	-11.1

3.2 结果分析

区内浅层孔隙水中平均氡值为 $25.09 \pm 2.49\text{ TU}$,深层孔隙水中的氡值除凤河营水厂外均小于 5 TU ,隐伏基岩水中平均氡值为 $19.61 \pm 2.47\text{ TU}$ 。

3.2.1 地下水中氡含量在垂向上的变化规律

在冲洪积扇的中上部,浅部的松散孔隙水中的氡含量普遍高于深部的基岩裂隙水中的氡含量。例如,在芦城水务站取样点,取样深度0~20m时(TW8)³H为30.56TU,取样深度30~300m时(TW9)³H为27.21TU;在大兴取样点,取样深度20~40m时(TW13)³H为32.08TU,取样深度50~500m时(TW14)³H为20.96TU。但不论是浅部的松散孔隙水还是深部的基岩裂隙水都属于大气溶滤水,其氡含量都在5~40TU之间,属于新近入渗水与“古水”形成的混合水。在冲洪积扇的中下部,地下水都属于松散孔隙水,但浅层水与深层水之间的氡含量相差一个到两个数量级,浅层水的氡含量都在5~40TU之间,而深层水的氡含量在0~5TU之间。例如,在青云店取样点,取样深度20~40m时(TW12)³H为15.58TU,即为现代的入渗水与“古水”的混合水,取样深度80~100m时(TW3)³H为0.51TU,以“古水”为主;在安化集团取样点,取样深度20~40m时(TW7)³H为22.90TU,即为现代的入渗水与“古水”的混合水,取样深度80~305m时(TW6)³H为4.71TU,以“古水”为主;在采育取样点,TW2点,取

样深度 20~40m 时 ^3H 为 25.26TU ,即为现代的入渗水与“古水”的混合水 ,TW1 点 ,取样深度 272~284m 时 , ^3H 为 3.11TU ,以“古水”为主。如图 2 所示。

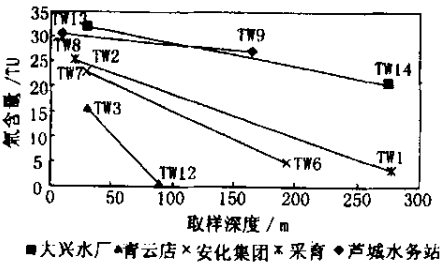


图 2 氚含量在垂向上的变化

3.2.2 地下水中氚含量在水平方向的变化规律

浅层孔隙水氚含量在水平方向的变化如图 3 所示(图中麻峪取样点位于永定河冲洪积扇上游)。氚含量在水平方向逐渐降低,但是并不严格递减,而是在总体下降的情况下在趋势线上下波动。取样剖面上整个浅层孔隙水的氚含量都在 15TU 至 35TU 之间,都属于 40a 以内由大气降水入渗形成的现代水。说明在整个冲洪积扇流域范围内大气降水与地下水之间的水力联系密切,水循环以垂直交替为主。氚含量的总体降低是因为大气降水由山前至平原逐渐减少,氚含量的波动由局部的大气降水的强度变化造成。即总的来说浅层地下水垂向交替强度由山前至平原逐渐减弱。

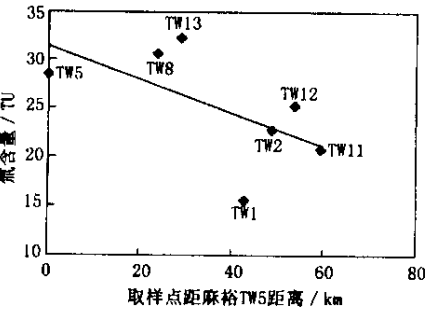


图 3 氚含量在水平方向上的变化

3.2.3 地下水水化学特征

在取样剖面上,地下水的水化学和同位素特征必然存在着一定的联系。因此,我们同时取了各点的水样进行了水质全分析。由分析结果可知:从冲洪积扇的扇顶至扇缘,地下水的矿化度应逐渐升高。具体来说,地下水的 Ca^{2+} 和 HCO^{-3} 应该逐渐降低, Na^{+} 和 Cl^{-} 应该逐渐升高。图 4 和图 5 分别是取样剖面上浅层孔隙水和深层孔隙水的 Ca^{2+} 和 Na^{+} 的含量变化图,基本反映了上述变化趋势。对于同位素,剖面上所取水样中放射性同位素含量由扇顶至

扇缘逐渐降低,地下水年龄则逐渐变老。

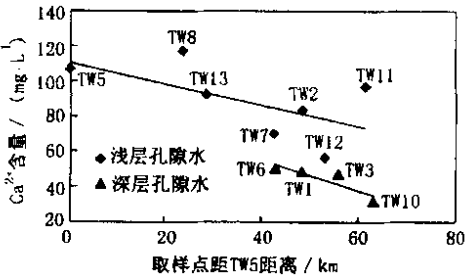


图 4 Ca^{2+} 含量变化

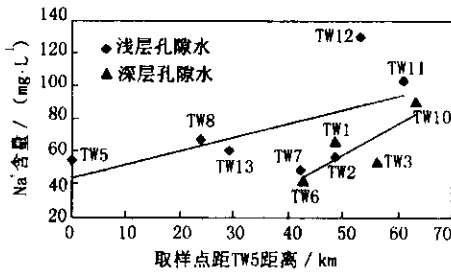


图 5 Na^{+} 含量变化

3.3 地下水年龄的活塞模型计算

北京市地质工程勘察院陈志红等人曾经通过取样分析计算,绘制出了北京地区活塞模型氚输出曲线。

3.3.1 计算原理

地下水流呈活塞式运动,同位素进入水中,根据其衰变规律,有:

$$\alpha(t) = C_0(t - \tau)e^{-\lambda\tau} = C_0(t - \tau)e^{-\frac{t}{17.9327}}$$

式中 $\alpha(t)$ 为 t 时刻氚含量; τ 为半衰期; t 为时间。

3.3.2 计算方法

我国缺乏大气降水氚值观测资料,因此,大气降水中氚值的背景值采用推算方法来恢复降水的氚值,其中有些年份(1979~1918年)降水氚值是北京地区实测资料。然后通过计算,得出相应年份的 $\alpha(t)$ 值,作为活塞模型结果,并将计算结果绘制出 1952~2000 年活塞模型输出氚值曲线(图 6)。

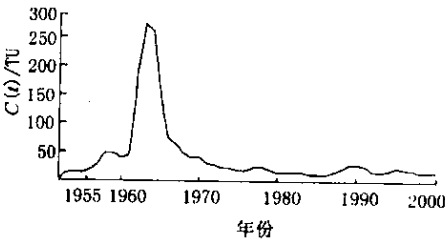


图 6 北京地区活塞模型氚输出曲线

计算结果表明 1952 年前的水,输出氚值小于 1.23TU;1952~1956 年为 1.23~20TU;1956~1959

年输出氙值为 20 ~ 50TU ;1961 ~ 1967 年输出氙值为 50 ~ 272TU ;1967 ~ 1971 年输出氙值为 30 ~ 50TU ;1975 ~ 1979 年 ,1988 ~ 1992 年 ,1995 ~ 1997 年输出氙值为 20 ~ 30TU ;1979 ~ 1988 年 ,1992 ~ 1994 年 ,1998 ~ 2000 年输出氙值为 10 ~ 20TU ,研究区内按活塞模型计算的地下水年龄一般趋势是 :浅层孔隙水中 ^3H 含量在 22.9 ~ 32.08TU 左右 ,地下水年龄约 8 ~ 16a ,深层孔隙水中除凤河营水厂外 $^3\text{H} < 5\text{TU}$,地下水多属 53a 前的水。隐伏基岩水中 ^3H 在 14.99 ~ 20.96TU ,地下水年龄约 10 ~ 16a。

3.4 氢、氧稳定同位素

我们在取氙同位素水样的同时取了氕、氧同位素水样 ,并委托中国地质科学院对样品进行了测试。测试结果见表 1。

H. Craigh 将大气降水中的 D 与 ^{18}O 的关系归纳为如下表达式 : $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ 。这就是许多文献中所称之的 H. Craigh 降水直线方程 ,并可用作图法加以表示。H. Craigh 降水直线是利用氢、氧稳定同位素来判定和解决一系列水文地质问题的原理和方法基础。图 7 就是由同位素取样分析得到的永定河冲洪积扇地下水 $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$ 关系。由图 7 可看出 ,不论是浅层孔隙水 ,基岩裂隙水还是深层孔隙水 ,其值都处于北京大气降水关系线附近。即被测定的水最初主要是来源于本地大气降水。

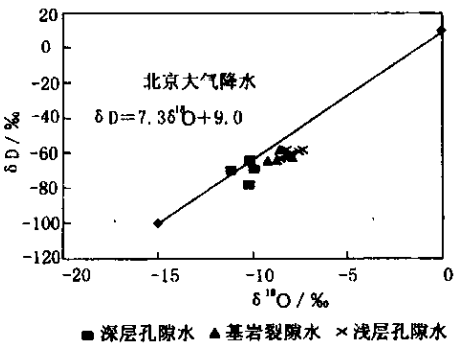


图 7 地下水 $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$ 关系

分别对浅层孔隙水、基岩裂隙水还有深层孔隙水求出其 D 和 ^{18}O 之间的相关系数为 $\rho_{\text{浅}} = 0.8382$, $\rho_{\text{基}} = 0.3489$, $\rho_{\text{深}} = 0.0839$ 。由此可看出浅层孔隙水中 D 和 ^{18}O 的相关系数较大 ,即满足较好的线性关系 ,说明浅层孔隙水以大气降水来源为主 ,即水循环

以垂向循环为主。对于基岩裂隙水和深层孔隙水其相关系数较小 ,说明其中的 D 和 ^{18}O 并不满足很好的线性相关关系 ,即其中直接来源于大气降水的水不占很大比例 ,水循环以侧向补给为主。

4 结论

1) 取样剖面垂直方向由上到下地下水中氙含量逐渐减少。在冲洪积扇的中上部 ,浅部的松散孔隙水中的氙含量普遍高于深部的基岩裂隙水中的氙含量 ,但都在 5TU 至 40TU 之间 ,都属于新近入渗水与“古水”形成的混合水。在冲洪积扇的中下部 ,地下水都属于松散孔隙水 ,但浅层水比深层水的氙含量高一到两个数量级 ,浅层水的氙含量在 5TU 至 40TU 之间 ,是新近入渗水与“古水”形成的混合水 ;深层水的氙含量在 0TU 至 5TU 之间 ,是“古水”。

2) 氙的含量在水平方向逐渐降低 ,但是并不严格递减 ,而是在总体下降的情况下在趋势线上下波动。取样剖面上整个浅层孔隙水的氙含量都在 15TU 至 35TU 之间 ,都属于 40a 以内由大气降水形成的现代水。说明在整个冲洪积扇流域范围内大气降水与地下水之间的水力联系密切 ,水循环以垂直交替为主。氙含量的总体降低是因为大气降水由山前至平原逐渐减少 ,氙含量的波动由局部的大气降水的强度变化造成的。

3) 研究区地下水中的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 关系基本处于北京现代大气降水线附近 ,地下水最初主要来源于本地大气降水。

综上所述 ,氙含量在垂向上由浅部至深部逐渐减小 ,水平方向上由山前至平原逐渐减小 ,反映出浅层地下水垂向循环程度逐渐减弱。浅层地下水以垂向交替为主 ,深层地下水和基岩裂隙水以水平径流为主。

参考文献

1 万军伟 ,刘存富 ,等 . 同位素水文学理论与实践 . 武汉 : 中国地质大学出版社 ,2003
2 王大纯 ,等 . 水文地质学基础 . 北京 : 地质出版社 ,1995 .107
3 沈照理 . 水文地球化学基础 . 北京 : 地质出版社 ,1986 .102 ~ 108