

潮白河冲洪积扇地下水循环演化特征

郑跃军¹, 李文鹏², 王瑞久¹, 刘久荣³, 李亚明¹

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北保定 071051; 3. 北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195)

摘要:为了给潮白河冲洪积扇地区地下水资源的开发利用提供科学依据,研究了该区地下水循环的演化特征,利用同位素水化学方法,结合水文地质调查和地下水动力学特征,分析了潮白河冲洪积扇地下水的形成和演化规律。研究认为,人工开发利用对地下水循环产生了较大的影响。通过取样观测与综合分析研究,详细阐述了在潮白河现代河道以及引水渠道位置不同埋深处地下水分层特性。潮白河冲洪积扇地区地下水补给时期的划分,对北京平原区乃至整个华北平原山前地下水的开发利用具有重要的参考价值。

关键词:地下水补给; 同位素; 水化学; 地下水循环演化; 潮白河冲洪积扇

中图分类号: P641.2 **文献标志码:** A

1 研究背景

潮白河冲洪积扇位于北京平原区的东北部,其西北部、北部和东北部为山区。区内主要河流有潮白河与温榆河,密云水库和怀柔水库也位于该区的北部和西北部。区内地下水含水层从北向南,逐渐由单一砂砾石含水层过渡为多层砂砾石夹砂层。

潮白河流域北部是北京市主要地下水供水区,第八水源厂和怀柔应急水源地都分布在区内。相关部门在该区开展了大量的水文地质研究工作,为潮白河地下水的开发利用和北京城市供水做出了巨大贡献。随着科学技术的发展,特别是水资源可持续开发利用理念的不断深入,对于地下水资源补给、径流和排泄条件的研究,提出了新的要求。

本文利用同位素水化学手段,结合水文地质条件和地下水动力学特征,分析潮白河冲洪积扇地区地下水的循环演化特征。

2 样品采集

2006 年 7 月至 8 月,在该区开展了同位素水化学

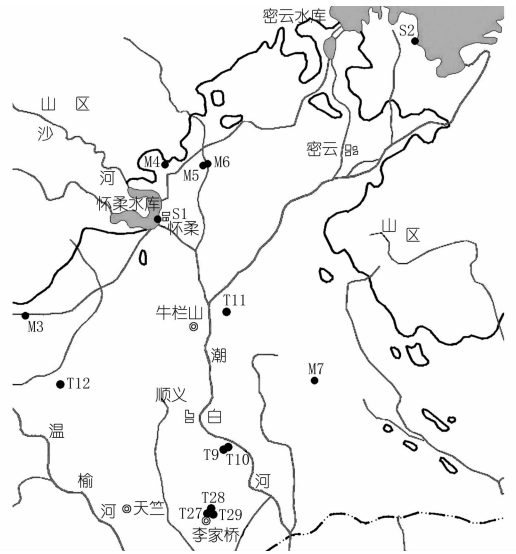


图 1 研究区样点分布示意

取样工作(图 1),共取水样 14 件,其中地表水 2 件,基岩井水 2 件,第四系松散层地下水样品 10 件。部分同位素水化学样品取自专门的水文地质观测孔(样品编号前以 T 标识),部分取自民用机井(样品编号前以 M 标识),地表水样品取自区内密云水库和怀柔水库(样

收稿日期:2012-02-27

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项“北京平原区地下水监测网管理与地下水监测关键技术研究”(200911004-4);中国荷兰合作项目“中国地下水信息中心能力建设”(02NL01GTF41WX0036)

作者简介:郑跃军,男,高级工程师,主要从事地下水监测、干旱区地下水循环演化规律研究。E-mail:zhengyj@mail.cigem.gov.cn

品编号前以 S 标识)。专门观测井在取样前都用潜水泵进行了洗井,直至用便携式测试仪测到的电导率和 TDS 达到稳定状态后再行取样,民用机井在取样前都开泵抽水 30 min 以上,确保取到的样品为含水层原状水样而不是存留在井虑水管中的死水。D、 ^{18}O 样品由中国地质科学院矿床所测试, ^3H 样品由中国地质科学院水文地质环境地质研究所测试,水化学样品由北京市水文地质大队测试。表 1 所示为样品的测试结果。

表 1 潮白河冲洪积扇同位素水化学样品测试结果

样品 编号	孔深/ m	pH 值	主要离子浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)								T/ (T.U)	$\delta\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻			
T9	25	7.64	0.36	18.5	94.2	21.9	376	16.3	34.8	0	12.5	-57	-8.0
T10	105	7.73	0.29	39.9	43.7	18.2	326	2.5	2.5	0	1.0	-68	-9.1
T11	75	7.67	1.21	8.36	41.5	14.3	201	4.5	6.8	7.16	6.3	-69	-9.3
T12	100	7.79	0.58	27.0	62.1	24.5	344	18.3	9.5	0	<1	-59	-8.6
M3	70	7.65	0.75	15.7	93.2	37.4	359	35.5	40.6	46.5	15.6	-55	-7.2
M5	70	7.82	1.99	9.44	61.1	29.2	293	12.8	35.7	6.92	13.6	-46	-5.6
M7	90	7.61	0.86	13.1	80.2	24.3	311	15.3	47.0	6.14	19.7	-60	-7.8
T27	30	7.36	1.71	56.4	154	44.0	714	45.7	40.7	0	3.4	-62	-8.3
T28	100	7.83	0.41	48.3	62.1	19.4	409	3.4	0.8	0	<1	-68	-9.2
T29	196	7.80	0.34	50.5	50.1	14.6	342	9.2	6.0	0	<1	-78	-10.7

3 测试结果及分析

3.1 样品分组

根据表 1 中含氟量的大小,可以把水样分为 2 组,第一组 T12、T28、T29 为无氟水;第二组 T9、T10、T11、M3、M5、M7、T27 为有人为活动特征加入的有氟水。 Cl^- 浓度分布范围在 2.5 ~ 45.7 mg/L 之间,大部分分布在 2.5 ~ 20 mg/L 之间。根据以前的研究结果^[1-3],显然,T27 和 M3 样品受到了严重的地面污染。

根据水化学三线图(图 2),该区样品大致可以分为 3 组:A 组样品为 T10、T28、T29;B 组样品为 T27、T12,由于 T27 样品已经明显受到地面污染,在此不再深入讨论;C 组样品为 T11、M3、M4、M5、M6、M7、T9 和 M8。上述样点在 $\text{K} + \text{Na} \sim \text{Ca} + \text{Mg}$ 关系图(图 3)上表明 T10、T28、T29、T12 存在离子交换现象^[4],用含氟量对比,显示它们的滞留时间明显要长。

3.2 稳定同位素分析

T10、T12、T28 孔深基本相同,分别为 105,100 m 和 100 m。图 4 为潮白河冲洪积扇地稳定同位素在北京平原区对比样点所在的相对位置分布图^[2]。在 $\delta\text{D}\text{‰} - \delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 关系上,T10、T28 位置基本相同,相对大气水线稍有偏离。从地理位置上看,这两个样品所在的监测井处在潮白河现代河道上,从 Cl^- 含量和含氟量推算,两孔的水样系 20 世纪 50 年代初之前和工业

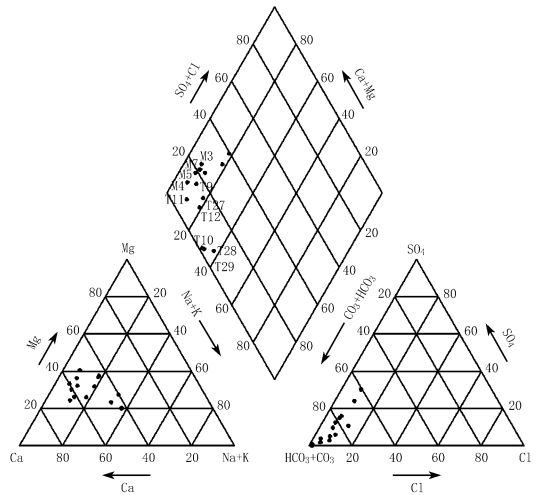


图 2 潮白河冲洪积扇水化学三线图

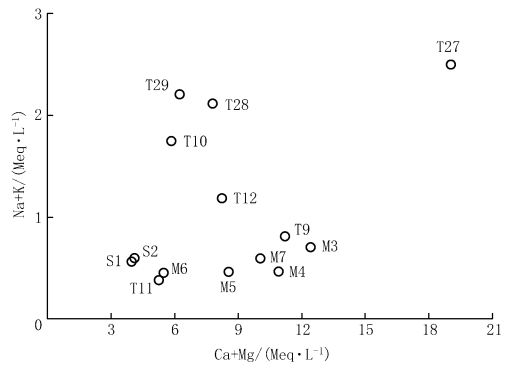


图 3 $\text{K} + \text{Na} \sim \text{Ca} + \text{Mg}$ 关系

化之前的补给。

在前期的研究中,以北京平原区地表水与基岩水样品的同位素与水化学特征,分析了山前补给域的分布范围,对于潮白河冲洪积扇,基岩水井样品 M4 和 M6,同样反映了山前补给的特征及高程效应和大陆效应。而对于 T10、T28 样品的稳定同位素特征,结合氟值的大小,其稳定同位素值代表 20 世纪 50 年代初之前,在尚未修建大量水库情况下,潮白河处于自然状态下的补给水体,再结合其所在的位置,其补给形式为河流的集中补给。

T12 位于全球大气水线上,其地理位置处在潮白河现代河道的西侧,属于河间地块。从含氟量推算,属 20 世纪 50 年代初之前的补给,当时地面没有现在的大规模引水渠系,保持着自然的河系状态。相对 M4、M6 而言,因为无蒸发效应,同位素值明显要高。所以 T12 代表了潮白河现代河道西侧河间地块的降水补给值,亦可近似代表北部平原的年均降水补给值。

4 讨论

假设 50 a 来潮白河上游不断修建水库,流入研究区的潮白河水,其稳定同位素值的可能变化趋势如下:

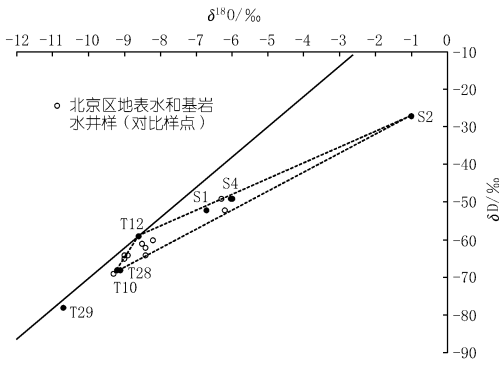


图 4 潮白河冲洪积扇 $\delta D\text{‰} - \delta^{18}O\text{‰}$ 关系图 (1)

① 第一个变化趋势是从 T10、T28 样点指向 T12, 因为在上游支流修建水利工程致使河道逐渐断流, 依靠密云水库库区当地降水的比例会不断增大, 很明显, 水库的年均补给值向 T12 值接近。② 第二个变化趋势, 在 T10、T28 样点指向 T12 的直线上, 任何点的蒸发效应都反应为向右上方偏离。

如把北部平原的地表水样 S1、S2、S4 和 T12 连成一条直线, 表示北部平原最近时期 (或最近几年) 地表水蒸发效应的上限区间, 很明显, 这个蒸发线不是 T12 样点的蒸发线。

从理论上讲, 近 50 a 以来, 随着水库的不断修建, 位于研究区潮白河现代河道上的井孔受河道放水的补给影响, 其稳定同位素值的分布应该位于 (T10、T28) - T12 - S2 为角点的三角形区域内 (图 5)。

以此为标准, 先讨论孔深 196 m 的 T29, 其稳定同位素值 $\delta^{18}O\text{‰} = 10.7\text{‰}$, $\delta D\text{‰} = -78\text{‰}$, 非常明显地低于 T28 数据, 理应属于古水——在非现代气候条件下补给的水体, 其补给形式存在二种可能性: 第一为潮白河古河道河水入渗补给; 第二为潮白河古河道一侧的河间地块降水入渗。补给期古气候和现代气候相比, 前者反映为 T29 和 T28 的差值, 后者为 T29 以 T12 之差值。从经验上判断, 后者可能性要大, 归入河间地块古降水入渗补给。

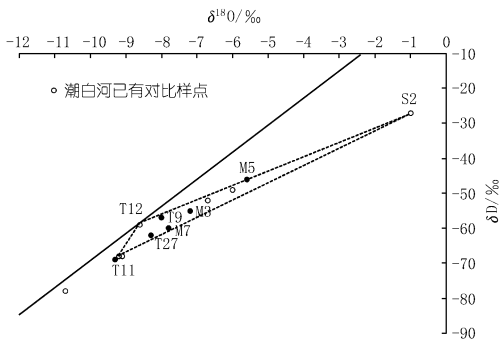


图 5 潮白河冲洪积扇 $\delta D\text{‰} - \delta^{18}O\text{‰}$ 关系图 (2)

下面讨论第二组有氡水的 6 件样品, T11 (孔深 75 m) 同 T10、T28 位置, 表明以自然状态下潮白河现在河

道的河水入渗补给为主。

余下 5 件样品 T9、T27、M3、M5 和 M7 均位于上述的三角区内 (图 5), 表明近 50 a 以来密云水库修建后的不同时期, 在潮白河现代河道及其引水渠道上受水库放水的补给 (集中补给型式)。其中 T9、T27 为专业观测孔, 孔深在 25 ~ 30 m; M3、M5、M7 为民用抽水井, 井深分别在 70、70 m 和 90 m, 这二组井孔相比, 足以说明开采井水位下降诱导地面水体 (河渠) 垂直向下入渗的深度和能力。相比之下, 观测孔 T11 (井深 75 m) 位于潮白河现代河道的中心位置, 仍未明显受到密云水库蒸发水体的影响。

5 地下水的分层性

根据 Edmunds 和 Shand. P 等的研究^[5], 把地下水的滞留时间 (Groundwater residence times) 分为 4 个年龄段: 第一类为古水 (Palaeowater), 末次冰期期间或之前补给的水; 第二类为工业化前的全新世水 (Pre-industrial Holocene water), 无任何人为活动加入的成份 (该水样可视为当地背景值或基线值); 第三类为核爆前的全新世水 (Pre-thermonuclear era Holocene water), 是无氡水; 第四类为现代水 (Modern water), 含氡、CFCs (氟利昂) 或其他主要的人为活动加入成份 (例如城镇化、工业化、以及土壤化学等方面)。

同位素水化学分析的结果可以显示潮白河地区地下水的变化情况。

(1) T29 样点处在潮白河现代河道位置, 但地下水的补给属于河间地块的就地降雨入渗, 说明在晚更新世并不处在河道之中。就 T27、T28、T29 这组观测孔的资料分析, 潮白河河道在全新世和晚更新世是有变动的。

(2) T12、T28、T10、T11 四个观测孔 (孔深在 75 ~ 100 m) 保存了全新世即 1950 年代初或以前 (尚未大规模修建水利工程包括水库和引水渠道等), 在天然状态下潮白河的补给和河间地块的就地降水补给。

(3) 自大规模修建水库和引水渠道以来, 许多生产井如 M3、M5 和 M7 (井深达到了 70 ~ 90 m), 井水位下降诱导周边地表水体入渗补给, 说明开采井在井深以上范围内可以扰动周边地下水的分层性。

(4) 现代地面污染影响、危及的深度一般达到 30 m, 就北部平原而言, 个别地点可达 50 m。

根据潮白河冲洪积扇地区的大量的研究和勘察成果^[6], 潮白河冲洪积扇从扇顶到前缘, 地下水含水层由单一的砂卵砾石含水层逐渐过渡为多层含水层系统, 而在样品所处的 200 m 范围内, 可见 3 个比较连续的含水层。同时, 多年来北京市地质环境监测总站在

该地区开展了地下水的分层监测, T27, T28, T29 三个样品所在的监测井监测水位标高时间序列曲线如图 6 所示, 从图中可以看出三层水的明显区别, T27 所代表的含水层地下水变化不明显, 而 T28 和 T29 所代表的含水层地下水动态表现出明显的年内变化趋势。上述结果与同位素水化学研究的结果完全相符合, 这三者之间彼此印证。

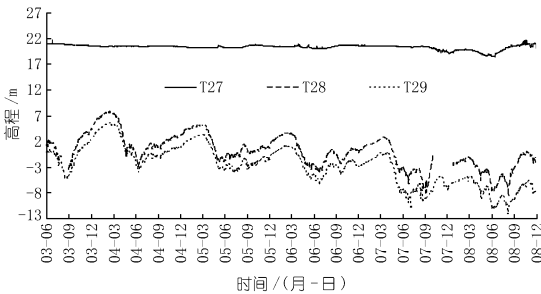


图 6 顺义李桥分层观测孔水位变化曲线

6 结论

(1) 潮白河冲洪积扇地区水样有末次冰期期间或之前补给的古水 (I 型水)、工业化前的全新世的水 (II 型水)、核爆前的全新世的无氘水 (III 型水) 和现代水 (IV 型水)。

(2) 在潮白河冲洪积扇地区, 同样深度的专业地下水观测井和开采井的同位素和水化学特征表现出了极大的差异性, 这些差异性说明了开采井水位下降诱

导地面水体 (河渠) 垂直向下入渗的深度和能力, 相比之下, 观测井较好地保持了原始的同位素水化学特征。

(3) 在潮白河现代河道以及引水渠道位置, 埋深 30 m 以内的地下水为受地面严重污染影响的现代水, 70 ~ 90 m 的地下水 (生产井水样) 为近 50 a 以来补给的水, 75 ~ 100 m 的地下水 (观测井水样) 为全新世工业化前或核爆前补给的水, 196 m 的地下水 (观测井水样) 为晚更新世古水。

(4) 潮白河冲洪积扇地区地下水类型及其补给时期的划分, 对北京平原区乃至整个华北平原山前地下水的开发利用具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] Ian D. Clark, Peter Frize, Environmental Isotopes in Hydrogeology [M]. New York: Lewis Publisher, 1997.
- [2] 郑跃军, 万利勤, 李文鹏, 等. 北京平原周边基岩水和地表水的水化学及稳定同位素[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(1): 48-50.
- [3] Appelo C A J, Postsns D. Geochemistry, groundwater and pollution (3rd Edition ed.) [M]. London: Taylor & Francis, 2005.
- [4] 郑跃军, 李文鹏, 万利勤, 等. 北京昌平地区地下水地球化学[J]. 水文地质工程地质, 2009, (4): 8-11.
- [5] Edmunds W M, Shand P. Geochemical baseline as basis for the European Groundwater Directive [M]. London: Taylor and Francis Group, ISBN 90 5809 6416. 2004: 393-397.
- [6] 王丽亚, 刘久荣, 叶超, 等. 北京市平原区地下模拟研究[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(1): 11-17.

(编辑: 赵凤超)

Groundwater circulation and evolution characteristics in alluvial fan area of Chaobai River

ZHENG Yuejun¹, LI Wenpeng², WANG Ruijiu¹, LIU Jiurong³, LI Yaming¹

(1. China Institute of Geo - environment monitoring, Beijing 100081, China; 2. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding 071051, China; 3. Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing 100195, China)

Abstract: To provide the scientific basis for development and utilization of groundwater resources in the alluvial fan area of Chaobai River, the evolution characteristics of groundwater circulation are studied, and the formation and evolution law of groundwater in this area are also analyzed by using hydro - chemical method of isotope, together with the hydro - geological survey and the dynamic characteristics of groundwater. The results show that the groundwater development and utilization (namely abstraction) has large impact on its evolution circulation. Through sampling observation and comprehensive analysis, the stratification characters of groundwater in different depths of diversion channel and modern channel of Chaobai River are described. The division of groundwater recharging period in alluvial area of Chaobai River has significance to the development and utilization of groundwater in Beijing plain area and even the whole North China Plain.

Key words: groundwater recharge; isotopic; hydro - chemistry; groundwater circulation and evolution; alluvial fan area of Chaobai River