北京昌平地区地下水地球化学

郑跃军^{1,2},李文鹏²,万利勤²,刘久荣³,王丽亚³

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境工程学院,北京 100083;

2. 中国地质环境监测院,北京 100081;3. 北京市水文地质工程地质大队,北京 100037)

摘要:利用在北京昌平地区采集的地下水样品的同位素和水化学特征,对昌平地区的地下水补给特征进行了分析。通 过对样品的分组和讨论认为:第三组样品为当地大气降水垂向入渗水体的特征;第一组样品为下覆基岩向上覆第四系含 水层的顶托补给,这股基岩水可能出自碳酸盐岩含水层;第二组样品存在几种可能的补给特征;第四组样品中3件为大 气降水垂直入渗补给,另1件为混合样品。研究表明,昌平地区第四系含水层地下水分布及其补给方式情况各异,实际 上说明了半干旱地区山前倾斜平原地区地下水分布的复杂性。

关键词:同位素;地球化学;地下水补给

中图分类号: P641.3 **文献标识码**: A

文章编号:1000-3665(2009)04-0008-04

1 研究区概况

北京平原西北部的昌平地区,位于温榆河冲洪积 扇的顶部(图1)。其西、西北和北边与山区交界,东部 与为北京城市供水的潮白河流域相连,南部与北京市 区相接。深入研究该区域地下水的补给、径流和排泄 特征^[1],不仅有利于该区域地下水资源的可持续利用, 且对于潮白河流域水资源的利用以及保证市区的水质 安全都具有重要意义。



图 1 昌平地区取样点分布图

Fig.1 Location of samples 1 —取样点及其编号;2 —山区和平原区界线;3 —河流

收稿日期: 2009-02-12; 修订日期: 2009-03-18

- 基金项目:973 项目"海河流域水循环演变机理与水资源高效 利用"(2006CB40340X);中荷合作项目"中国地下水 信息中心能力建设";华北平原地下水安全与可持 续利用(1212010734411)共同资助
- 作者简介:郑跃军(1973-),男,博士研究生,主要从事水文地质研究。

E-mail : zhengyj @mail. cigem. gov. cn

2 地下水样品和数据分析

为了深入研究北京平原区北运河水系地下水化学 和同位素特征,2006年6~9月开展了同位素水化学 取样工作,样品主要取自专业的地下水观测孔,在少数 没有观测孔的地方选用生产井取样(样品编号前用 M 标识)(图 1)。在专业观测孔中取样时,都对观测孔进 行了清洗。观测孔清洗采用了两种方法,一种为用潜 水泵抽水,时间都在 2h 以上,样品编号前用 T标识;一 种为空压机洗井,样品编号前用 E标识。共取样品 14 件,其中基岩井水1件(M11),余下 13 件均为第四系松 散层地下水(民井样品 2 件、专门监测孔样品 11 件)。 取样点位置见图 1。水化学样品由北京市地质工程勘 察院测试,D和¹⁸O 由中国地质科学院矿床所测试,T (³H)同位素由中国地质科学院水文地质环境地质研 究所测试。分析数据见表 1。

3 数据解释和讨论

通过三线图¹²¹ (图 2)分析以上样点,可以划分为 4 组:第一组包括 E11、E13、E14;第二组包括 T2、T4、T5; 第三组包括 M9、M10、M11、T34;第四组包括位于过渡 带的 T1、T3、E10、E12 样品。

3.1 第三组样品

第三组样品均为有氚水即现代水(IV 型水)^[3], G⁻浓度是 6.3~12.7mg/L,NO₃ 浓度是 8.0~36.8mg/ L,显然全都处在有氧条件下(图 3),但轻微污染。T34 样品的 G⁻浓度非常接近天然条件下的输入值,反映 出垂向入渗的补给特征。在 D-¹⁸O 关系图上^[4](图 4),这4个样点的分布位置反映出各自的高程效应,而 且 M11 和 T34 具有一定程度的蒸发效应。结合各点 的具体地理位置,再和全区基岩水井的就地入渗补 给^[5]进行对比,除了 M11 样点为山前和山区补给外, 其余 3 个样点均可归入山前补给形式^[6],它们的降水 平均入渗补给的 ¹⁸O 值为 - 9.4 ‰~ - 9.6 ‰

表1 水化学同位素数据表

Ta ble	1	Hydrochemical	and	isotop	oic	data	
--------	---	---------------	-----	--------	-----	------	--

样品	孔深						水化学成	;分(mg/L)	1					D	¹⁸ O
编号	(m)	рН	\mathbf{K}^+	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg^{2+}	HCO ₃	a -	SO_4^2	NO ₃	Fe ²⁺	H_2SiO_3	T(10)	(%)	(%)
T1	29.0	7.85	0.07	78.5	87.2	61.1	525	76.8	90.2	4.38	1.040	15.4	1.1	- 67	- 9.4
T2	150.0	8.42	1.01	94.1	5.0	0.6	171	36.2	16.6	0	0.064	0.6	1.0	- 70	- 10.0
T3	29.0	7.69	26.80	140.0	89.2	99.6	879	59.0	153.0	0.62	5.800	27.5	7.1	- 56	- 7.7
T4	107.0	7.98	4.17	105.0	35.5	10.9	342	21.5	52.3	0.74	0.730	24.0	< 1.0	- 70	- 10.1
T5	127.0	8.44	2.54	105.0	20.0	11.5	281	17.0	34.3	0.43	0.730	23.0	< 1.0	- 72	- 9.8
T34	118.0	7.85	1.10	12.2	52.1	19.4	256	6.3	15.2	8.00	0.004	26.1	5.0	- 66	- 8.9
M9	100.0	7.90	1.03	12.5	52.1	22.7	250	11.8	19.7	14.60	0.008	25.0	8.6	- 68	- 9.6
M10	80.0	7.96	1.61	5.6	57.1	25.9	236	10.4	30.8	36.80	0.004	22.0	16.0	- 65	- 9.4
M11	850.0	7.67	1.85	17.6	54.1	14.6	207	12.7	36.7	14.10	0.008	22.9	6	- 69	- 9.3
E10	30.19	8.06	1.01	75.2	33.1	38.5	207	81.1	113.0	0.22	1.320	7.0	3.7	- 68	- 8.9
E11	63.17	8.12	1.81	144.0	16.0	7.0	186	23.3	177.0	3.10	0.730	14.9	< 1.0	- 82	- 11.7
E12	98.02	7.69	2.08	52.3	48.1	19.4	266	21.4	71.5	3.64	1.350	23.9	< 1.0	- 81	- 11.0
E13	190.0	7.61	2.17	147.0	20.0	7.9	189	33.9	179.0	0.76	1.050	14	< 1.0	- 81	- 11.6
E14	195.0	7.58	1.09	144.0	17.0	7.3	177	38.0	178.0	0.91	1.100	14.4	< 1.0	- 80	- 11.3



图 2 昌平地区样点的水化学三线图

Fig. 2 Piper diagram of groundwater samples in Changping area

3.2 第一组样品

7

把相同地理位置的 E10、E12 号样品与第一组样品 一起分析。这 5 个样品取自同一位置的不同深度,但 E10 和另外 4 件样品在水化学和同位素成分上存在明 显不同:

(1) 在三线图上,(第三组样点) - E12 - (E11、E13、 E14) 近似分布在一条直线上,而 E10 明显偏离(图 2);

(2) E10 为有氚水(3.7TU),而其余4件样品均为 无氚水(<1TU);

(3) 从 CT 浓度与孔深关系分布图(图 5) 看出, E10 的 CT 浓度达到 81. 1mg/L, 明显受到地面的严重污染, 其余 4 件样品在 21~38mg/L 之间。



图 3 昌平地区地下水 Fer NO₃ 关系图

Fig. 3 Relationship between Fe and NO₃ in groundwater



图 4 昌平地区水样的 D-¹⁸O关系图

Fig. 4 Relationship between D and ¹⁸O in groundwater

(4) 从稳定同位素来看(图 4), E10 的¹⁸ O 为
 - 8.9 ‰,具有明显的蒸发效应^[6],而 E11、E12、E13 和
 E14 的¹⁸ O 值小于 - 11 ‰,更靠近大气水线。

以上差异说明 E10 样品具有明显的垂向入渗的特征,并且在 D-¹⁸ O 关系图上,和第三组样品位置靠







近,具有相似的补给特征。

· 10

下面对 E11、E13、E14 样点进行分析,该组样品和 第三组样数据对比见表 2。根据该表数据讨论如下:

(1) M9、M10、T34 的化学和同位素数据基本上可 以代表当地第四系含水层(大约 100m 深度)接受垂直 向下入渗水体的化学成分变化范围。E11(井深 63m) 和上述三井资料完全不同,同时和 E10(30m 井深)数 据也完全不同,证明 E11 样品在本区不可能来源于垂 直向下入渗的结果。

表 2 第一组样品和第三组样品数据对比

 Table 2
 Comparison of data of group 1 and group3

样点编号	E11、E13、E14	M9、M10、M11、T34
SO_4^{2-} (mg/L)	177 ~ 179	15 ~ 37
偏硅酸(mg/L)	14 ~ 14.9	22 ~ 26
Ca^{2+} (mg/L)	16 ~ 20	52 ~ 57
Na + (mg/L)	144 ~ 149	12 ~ 17
¹⁸ O	< - 11.00 ‰	- 9.4 ‰~ - 9.6 ‰

(2) E11、E13、E14 三孔井深分别为 63,190,195m, 但化学成分的组合和浓度极为相似,尤其是稳定同位 素和水温(表 3)相似,而且水温明显高于当地平均气 温(11.6),表明 63m 和 190~195m 这 2 层水,虽然深 度相差 120m 以上,但属同一补给来源。所以推断为 当地第四系含水层下面基岩水的顶托补给。

表 3 典型样品水温表

Table 3	Ground	lwater temp	erature of	the typical	samples
样品编号	E10	E11	E12	E13	E14
温度()	15.54	15.58	15.39	15.53	15.38

(3) 根据 Ca + Mg K + Na 关系(图 6), El1、El3、El4 和 M9、M10、M11、T34 之间存在离子交换现象,显然在 基岩顶托补给水体进入到第四系含水层的过程中发 生。

2

(4)根据 Fe-NO⁵ 关系图(图 3),尽管 El1、El3、 El4 样品均处于还原环境(Fe > 0.1mg/L),但 NO⁵ 浓 度仍有 0.76 ~ 3.64mg/L,进一步说明 El1、El2、El3、 El4 样品存在少量第四系含水层水体的混合。因为混 合比不同,它们稳定同位素值分布(图 4)没有集聚也 是一种证明。

(5) E11、E13、E14 三样品尽管处在还原环境,但 SO²⁻浓度仍高达 177~179mg/L,推测在离子交换之前,基岩顶托补给的水体中可能存在石膏矿物的溶解, 同时间接地反映了这股水体在地层中滞流的时间比较长。

(6) El1、El2、El3、El4 四件样品均为无氚水,当属 山前和山区补给形式,从稳定同位素值来看存在2种 可能:一为表达高程效应的全新世水,另一为表达高程 效应的晚更新世古水,目前资料尚不足以确认。



图 6 K+ Na - Ca + Mg 关系图



3.3 第二组样品

第二组的三个样品,井深分别为 150,107,127m, 考虑到地理位置,结合 T1(井深 29m)和 T3(井深 29m) 二孔一起分析,根据主要离子浓度 MIC(Major bnic Concentration,主要阳离子和阴离子浓度),C⁻和 SO₄²⁻ 浓度以及氚值的对比(表 4),讨论如下:

表4	第二组样品主要离子和氚数据对比表
----	------------------

Table 4 Comparison of major components and T

in sample of Group 2

样点编号	MIC(mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	Cl - (mg/L)	T(TU)
Tl	924.0	90.2	76.8	1.1
T2	427.0	16.6	36.2	1.0
T3	1460.0	153.0	59.0	7.1
T4、T5	499.0 ~ 576.0	52.3 ~ 34.3	21.5~17.0	< 1

(1) T1、T3 样品明显受到地面的严重污染,均属全新世现代水,T2、T4、T5 样品存在轻微污染,基本上可以划为无氚水,属全新世核爆前水。

(2) 根据三线图 (图 2) 和 K + Na-Ca + Mg 关系图

(图 4),T2 和 T4、T5 样品存在 2 种可能性:一为结晶岩 (类)含水层的化学演化,另一为离子交换。

(3) 根据稳定同位素分析,T1 位于 M9、M10、M11 分布域之中属于山前补给形式,T3 明显受到地表水体 的蒸发效应影响,归入河渠的集中补给^[7]。T2、T4 和 T5 分布位置靠近,不同于本区的山前补给分布域(T1 所在位置),相比之下,补给高程还要高些,推测存在 3 种可能性:一为山前和山区补给(顶托补给);二为山区 河流出山口后在平原的集中补给;三为和古水的混合。 到目前为止,关于 T2、T4、T5 的补给形式尚无法确认。

4 结论

(1) 第三组样品(M9、M10、M11、T34)的稳定同位素 值解读以北京平原区地表水和基岩水井作为对比标 准,证实为当地大气降水垂向入渗水体的特征。

(2) 第一组样品(El1、El3、El4) 解读以第三组样品 作为对比标准,排除样品来自当地垂向入渗补给的可 能,并从水的化学成分、稳定同位素以及温度变化,证 实为下覆基岩向上覆第四系含水层的顶托补给,这股 基岩水可能出自碳酸盐含水层。

(3) 对第二组样品(T2、T4、T5) 提出可能的三种补 给方式,但目前尚无足够的数据讨论。

(4) 第四组样品中, 埋深在 30m 左右的三件样品 (T1, T3, E10) 证实为当地垂向入渗水体的补给, 另外一 件样品(E12)为第一组样品顶托补给和原位垂向入渗 水体的混合。

(5) 昌平地区第四系含水层地下水分布及其补给 方式情况各异,实际上说明了半干旱地区山前倾斜平 原地区地下水分布的复杂性。

参考文献:

- Edmunds W M. Significance of geochemical signatures in sedimentary basin aquifer systems [M]//Proceedings 10th Water Rock Interaction. Balkema, 2001:29 - 36.
- [2] 沈照理.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社, 1986.
- [3] Edmunds W M, Shand P. Geochemical baseline as basis for the European Groundwater Directive [M]//Wanty R B, Seal R R. Proc 11th Internat Symp Water Rock Interaction, WRF11. vol 2. Balkema, 2004: 393 - 397.
- [4] Ian D Clark, Peter Fritz. Environmental isotopes in Hydrogeology [M]. New York: Lewis Publishers, 1999.
- [5] 郑跃军,万利勤,李文鹏,等.北京平原区基岩水地表 水同位素水化学及同位素分析[J].水文地质工程地 质,2009,36(1):48-50.
- [6] Craig H. Isotopic variations in meteoric waters [J]. Science, 1961,26(133): 1702 - 1703.
- [7] Scanlon B R, Keese K E, Flint Alan L, et al. Gobal synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions [J]. Hydrol Process, 2006, 20(15): 3335 - 3370.

Groundwater geochemistry in the Changping area, Beijing

ZHENG Yue-jun^{1,2}, LI Wen-peng², WAN Li-qin², LIU Jiu-rong³, WANG Li-ya³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. China Institute for Geo Environmental Monitoring, Beijing 100081, China;

3. Beijing Geo Environmental Monitoring Station, Beijing 100037, China)

Abstract: Based on stable isotopes and chemical compositions of groundwater samples collected in the Changping District of Beijing, the characteristics of groundwater recharge are analyzed. Through the discussion of groups of the samples, it is recognized that the third group of the samples are characterized by the vertical movement to the groundwater from the infiltration of precipitation; the first group of the samples are characterized by the recharge from the underlying Carbonate aquifer bedrock to the overlying Quaternary aquifer. The second group of the samples shows the local vertical infiltration. Three samples in the 4 samples of the fourth group indicate recharge from precipitation and the other one from a mixture of recharge. The results indicate that distribution of groundwater in the Quaternary aquifer in Changping and its recharge vary greatly, showing the complexity of the groundwater distribution in the slope plain of a mountain front in a semiarid area.

Key words: isotope; geochemistry; groundwater recharge

责任编辑:汪美华