

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.04.002

南水北调工程北京段地下水回灌对含水层水质影响

章丽萍¹,温晓东¹,张剑¹,曲宏斌¹,杨牧骑¹,郑凡东²

(1. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083;2. 北京市水科学技术研究院,北京 100044)

摘要:采集南水北调北京蓄调池附近地下砂样、地下水水样、丹江口水库水样,通过室内试验模拟含水层方法,分析不同比例的丹江口水库水、地下水与含水层介质混合后的水化学作用,探讨水化学成分随时间的变化规律。结果表明,模拟含水层在可溶盐溶解作用、矿物溶解-沉淀作用、微生物作用、阳离子交换吸附作用等影响下,各项水质指标都发生了变化,但均符合地下水质量Ⅰ类或Ⅱ类标准。

关键词:南水北调工程;丹江口;北京地下水;含水层水质;回灌;离子浓度

中图分类号:X37 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2014)04-0007-03

Influence of groundwater recharge on aquifer water quality in Beijing section of South-to-North Water Diversion Project

ZHANG Liping¹, WEN Xiaodong¹, ZHANG Jian¹, QU Hongbin¹, YANG Muqi¹, ZHENG Fandong²
(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;
2. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100044, China)

Abstract: In this study, underground sand specimens near the water-regulating tank in Beijing for the South-to-North Water Diversion Project, groundwater samples, and Danjiangkou Reservoir water samples were collected. Through laboratory simulation of the aquifer, the water hydro-chemical action of mixed reservoir water, groundwater, and aquifer media with different rations were analyzed, and the change in the hydro-chemical composition with time was examined. Experimental results showed that the water quality indices changed due to soluble salt dissolution, mineral dissolution-precipitation, microbiological action, and cation exchange adsorption, but the water quality met the grade I or II standards of the groundwater quality standards of China.

Key words: South-to-North Water Diversion; Danjiangkou; Beijing groundwater; aquifer water quality; recharge; ion concentration

南水北调中线工程自丹江口至北京,是解决我国北方地区水资源严重短缺,实施我国水资源优化配置的特大型基础设施项目^[1-2]。南水北调水部分补给北京的调节池,可有效补给地下水,达到涵养地下水的目的^[3]。外源水与北京本地浅层地下水的水化学性质存在一定的差异,地表水回灌地下水过程中,必将影响土壤和地下水环境,使其水化学成分发生变化^[4-5]。笔者采集北京蓄调池附近地下砂样、地下水水样、丹江口水库水样,采用室内模拟含水层

方法,分析不同比例的丹江口水库水、地下水与含水层介质混合后的水化学作用,探讨各模拟含水层水化学成分随时间的变化规律^[6]。

1 试验装置及方法

1.1 试验装置

本试验在室内模拟含水层,采用土柱实验法,取野外含水层介质分别装入有机玻璃柱中,进行浸泡,浸泡水采用北京段地下水(以下简称北京地下水)

基金项目:北京市科委项目(8102019)
作者简介:章丽萍(1977-),女,副教授,硕士生导师,主要从事水污染控制、水资源管理等研究。E-mail: haozimei77@163.com

和丹江口水库水按不同比例混合的水样。实验土柱由有机玻璃制成,共 7 个,其规格为高 70 cm,内径 40 cm,在土柱下部距离底部2 cm处前后两侧设置两个采样孔,一个采样,一个备用。实验装置如图 1 所示。



图 1 模拟含水层实验装置

1.2 水样采集及水质分析

丹江口水库采集地表水水样,北京地区浅层地下水采样点位于南水北调团城湖调蓄池以西。丹江口水库和北京团城湖调蓄池水样水质分析结果见表 1。由表 1 可见,两地水样水质较好,但还是表现出了显著的差异性。丹江口水库水样中除 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度高于北京团城湖附近地下水中质量浓度外,其余常规指标如 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等指标质量浓度均低于团城湖附近地下水中的质量浓度。

为开展水岩相互作用试验,在北京团城湖调蓄池附近采集地下砂样,其 pH 值为 7.41,可溶盐质量分数见表 2。

从土壤溶质化学过程发生的步骤和时间尺度来看,发生了砂样可溶盐分的溶解、矿物的溶滤、离子交换和吸附反应。

1.3 实验方法

将采集的含水层介质砂样分别装入 7 个有机玻璃柱中,石英砂铺垫于柱底,进行适度夯实。将丹江口水库水和北京地下水分别按纯丹江口水库水、3:1、1:1、1:2、1:5、1:9、纯北京地下水 7 个比例进行混合,并分别记为丹江口、DB3:1、DB1:1、DB1:2、DB1:5、DB1:9、北京地下水,混合后总水量均为 16L。排除气泡,达到水与岩土充分接触,以模拟含水层状态^[7-8]。

表 1 丹江口水库与北京地下水水样水质分析结果

地点	pH	$\rho(\text{NO}_2^- \text{-N}) / \rho(\text{NH}_4^+ \text{-N}) / \rho(\text{NO}_3^- \text{-N}) / \rho(\text{HCO}_3^-)$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Cl}^-)$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{SO}_4^{2-}) / \rho(\text{Na}^+) / \rho(\text{K}^+) / \rho(\text{Ca}^{2+}) / \rho(\text{Mg}^{2+}) / \rho(\text{TDS})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
丹江口水库水	8.02	0.010 0.048 1.52 136	6.3	28.2 6.13 2.88 36.55 8.60 289
北京地下水	7.69	0.004 0.120 <0.03 311	27.4	59.9 17.50 4.30 80.80 17.40 301

表 2 砂样可溶盐质量分数

可溶盐成分	K^+	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	NH_4^+
质量分数	2.50	12.00	11.30	4.10	0.034	0.02	0	0.13	4.90	0

2 试验结果与分析

2.1 同一时刻不同比例含水层各离子变化规律

将上述 7 个混合水样分别在 7 个有机玻璃柱中浸泡 20 d,从底部取样进行水质分析,分析结果见图 2。

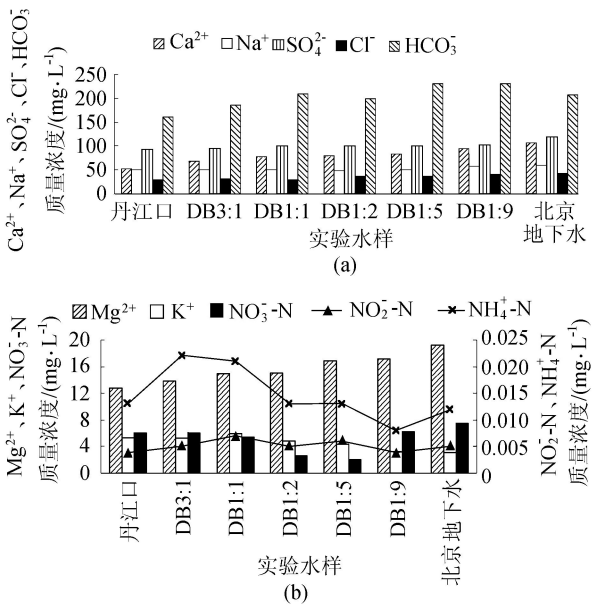


图 2 不同比例模拟含水层各离子质量浓度变化规律

由图 2 可知,各模拟含水层的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 质量浓度随地下水所占比重增大呈上升趋势,这主要是由混合作用引起的; K^+ 质量浓度大致随着地下水所占比例增大而呈降低的态势,主要是因为水中的 K^+ 被砂样吸附,且地下水占比较高时,有利于 K^+ 的吸附^[9];各含水层中的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度随着地下水占比的增加变化不明显,但随着浸泡时间的延长,各含水层之间的质量浓度差异越来越小。

2.2 浸泡时间对不同比例含水层各离子浓度影响

再将上述 7 个混合水样分别在 7 个有机玻璃柱中浸泡,在浸泡时间分别为 5、10、15、22、29、39、54 d 时,从底部取样进行水质分析,结果见图 3。

由图 3 可知, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 质量浓度在浸泡初期有明显的上升趋势,且高于两地原水质量浓度,之后的上升幅度比较平缓,趋于稳定; K^+ 质量浓度在不同

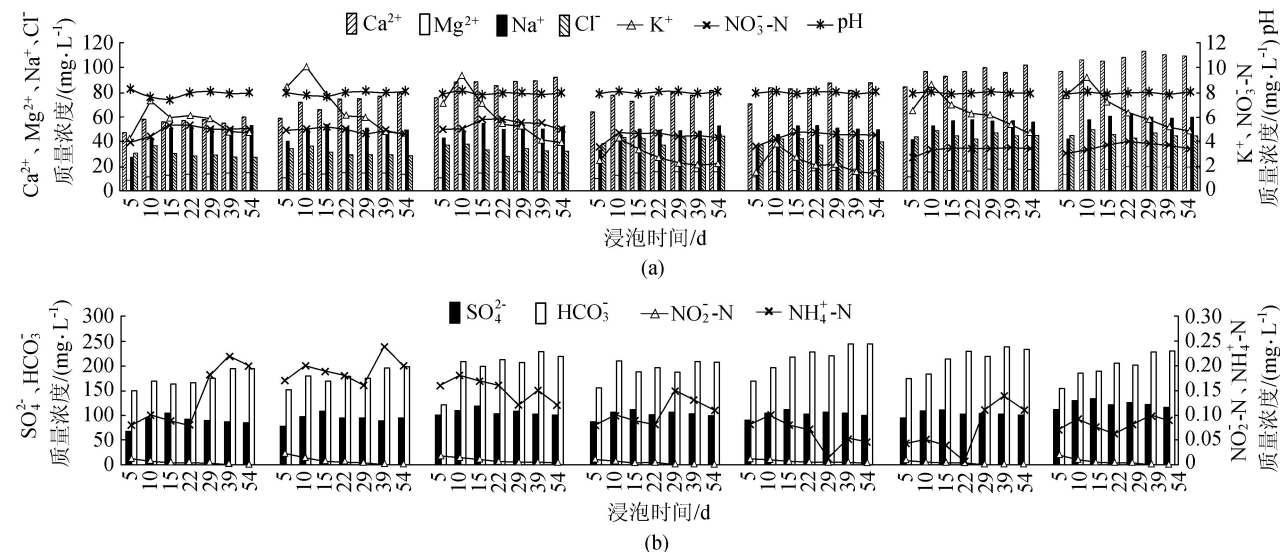


图3 浸泡时间对不同比例含水层各离子质量浓度的影响

比例混合水样中浸泡初期有显著的上升,之后逐渐降低,其变化范围在 2.5 ~ 6.0 mg/L 之间;7 组不同比例混合水样 Na^{+} 的变化趋势基本一致,在浸泡的前 10 天 Na^{+} 质量浓度升高幅度较大,在第 10 天到第 35 天缓慢降低,其变化范围在 35.0 ~ 70.0 mg/L 之间;在实验初期,影响水中 K^{+} 、 Na^{+} 离子质量浓度的主要原因是土样中的钾盐和钠盐的溶解,但随着时间的延长 K^{+} 、 Na^{+} 质量浓度均有逐渐降低的趋势,由此证明影响 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 后期质量浓度变化的主要作用是阳离子交换作用。 SO_4^{2-} 质量浓度高于两地原水,质量浓度变化范围均在 68 ~ 14 mg/L; Cl^{-} 质量浓度均高于两地原水的 Cl^{-} 质量浓度,浸泡初期升高较快,随时间延长趋于稳定,其变化范围在 20 ~ 50 mg/L 之间; HCO_3^{-} 的质量浓度总体呈上升趋势,其变化范围在 120 ~ 250 mg/L 之间;pH 值的变化较不明显,均在 7.5 ~ 8.3 之间; $\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ 质量浓度极低,且不稳定,随时间显著降低,质量浓度在 0 ~ 0.025 mg/L 之间; $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 质量浓度均在 0 ~ 0.025 mg/L 之间,并随浸泡时间增加而不断减少; $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ 质量浓度保持在 2 ~ 9 mg/L,并随时间延长而不断降低。

3 结 论

a. 丹江口水库水中大多数化学组分浓度低于北京地下水,其水质优良,各水质指标均为地表水质量 I 类或 II 类,适合作为饮用水源。

b. 室内模拟含水层试验揭示了 K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^{-} 、pH 的变化趋势,并且各离子浓度最终都趋于稳定,各离子浓度均符合地下水质量标准 I 类或 II 类指标,水质较好。

c. 各模拟含水层中,普遍存在 K^{+} 、 Na^{+} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的阳离子交换作用,并且在实验后期都趋于稳定,基本达到平衡。

参考文献:

- [1] 吴邦藩. 论南水北调中线工程[J]. 地域研究与开发, 1995, 14(3): 65-67. (WU Bangpan. Discussion the middle line of South-North Water Transfer Project [J]. Areal Research and Development, 1995, 14(3): 65-67. (in Chinese))
- [2] 李会安, 窦艳兵. 南水北调水进京后北京市地下水利用与保护[J]. 水利规划与设计, 2006(5): 19-21. (LI Huian, DOU Yanbing. Utilization and protection of ground water in Beijing after completion of South-to-North Water Transfer Project [J]. Water Resources Planning and Design, 2006(5): 19-21. (in Chinese))
- [3] 陈江, 聂振龙, 王莹. 北京市地下水资源利用现状评价[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(6): 97-114. (CHEN Jiang, NIE Zhenlong, WANG Ying. Evaluation on groundwater resource utilization status in Beijing [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(6): 97-114. (in Chinese))
- [4] 张学真. 地下水人工补给研究现状与前瞻[J]. 地下水, 2005, 27(1): 25-28. (ZHANG Xuezheng. Research situation and prospective of artificial groundwater recharge [J]. Ground Water, 2005, 27(1): 25-28. (in Chinese))
- [5] 丁元芳. 水文地球化学模拟的国内外研究现状[J]. 东北水利水电, 2011(3): 63-66. (DING Yuanfang. Research status of hydrogeochemistry simulation at home and abroad [J]. Water Resources & Hydropower of Northwest China, 2011(3): 63-66. (in Chinese))

(下转第 13 页)

生物种类等具有区域特征的要素对 DNRA 的关联机制展开深入细致的研究,如,对于咸潮入侵后水生生态系统氮通量的变化、赤潮水华等水污染危机暴发的预测等,为我国河口地区的水资源保护和生态治理提供科学依据。

参考文献:

[1] SANTORO A E. Microbial nitrogen cycling at the saltwater-freshwater interface [J]. Hydrogeology Journal, 2010,18:187-202.

[2] GALLOWAY J N, TOENSEND A R, ERISMAN J W, et al. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions [J]. Science, 2008, 320: 889-897.

[3] JETTEN M S M. The microbial nitrogen cycle [J]. Environ Microbiol, 2008, 10: 2903-2909.

[4] HERBERT R A. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems [J]. FEMS Microbiol Rev, 1999, 23: 563-590.

[5] SEITZINGER S P. Nitrogen cycle out of reach [J]. Nature, 2008, 452: 162-163.

[6] CODISPOTI L A, BRANDES J A, CHRISTENSEN J P, et al. The oceanic fixed nitrogen and nitrous oxide budgets: moving targets as we enter the anthropocene? [J]. Scientia Marina, 2001, 65 (S2): 85-105.

[7] TIEDJE J M. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium [M]. New York: John Wiley and Sons, 1988: 210-212.

[8] BURGIN A J, HAMILTON S K. Have we overemphasized the role of denitrification in aquatic ecosystems? a review of nitrate removal pathways [J]. Rev Ecol Soc Am, 2007, 5 (2): 89-96.

[9] GRUCA-ROKOSZ R, TOMASZEK J A, KOSZELNNIK P. Competitiveness of dissimilatory nitrate reduction processes in bottom sediment of Rzeszów reservoir [J]. Environ Pro Eng, 2009, 35 (2): 5-14.

[10] AN S, GARDNER W S. Dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) as a nitrogen “ link ”, versus denitrification as a “ sink ” in a shallow estuary (Laguna Madre/Baffin Bay, Texas) [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2002, 237: 41-50.

[11] GARDNER W S, MC CARTHY M J, AN S, et al. Nitrogen fixation and dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) support nitrogen dynamics in Texas estuaries [J]. Limnol Oceanogr, 2006, 51: 558-568.

[12] GARDNER W S, MC CARTHY M J. Nitrogen dynamics at the sediment-water interface in shallow, sub-tropical Florida Bay: why denitrification efficiency may decrease with increased eutrophication [J]. Biogeochemistry, 2009, 95: 185-198.

[13] MULHOLLAND P J, HELTON A M, POOLE G C, et al.

Stream denitrification across biomes and its response to anthropogenic nitrate loading [J]. Nature, 2008, 452: 202-205.

[14] 徐继荣,王友绍,殷建平,等. 珠江口入海河段 DIN 形态转化与硝化和反硝化作用 [J]. 环境科学学报, 2005, 25 (5): 686-692. (XU Jirong, WANG Youshao, YIN Jianping, et al. Transformation of dissolved inorganic nitrogen species and nitrification and denitrification processes in the nearsea section of Zhujiang river [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25 (5): 686- 692. (in Chinese))

[15] 韦宗敏,黄少斌,蒋然. 碳源对微生物硝酸盐异化还原成铵过程的影响 [J]. 工业安全与环保, 2012, 38 (9): 4-10. (WEI Zongmin, HUANG Shaobin, JIANG Ran. Effect of carbon on dissimilatory nitrate reduction to ammonium process [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2012, 38 (9): 4-10. (in Chinese))

[16] LAVERMAN A M, CANAVAN R W, SLOMP C P, et al. Potential nitrate removal in a coastal freshwater sediment (Haringvliet Lake, The Netherlands) and response to Salinization [J]. Water Res, 2007, 41: 3061-3068.

[17] GIBLIN A E, WESTON N B, BANTA G T, et al. The effects of salinity on nitrogen losses from an Oligohaline Estuarine sediment [J]. Estuaries and Coasts, 2010, 33: 1054-1068.

(收稿日期: 2013 - 09 - 05 编辑: 高渭文)

(上接第 9 页)

[6] 程会东,陈鸿汉,何江涛,等. 北京城近郊区地下水人为影响和水-岩作用指示性指标研究 [J]. 水文地质工程地质, 2007 (5): 37-42. (CHENG Huidong, CHEN Honghan, HE Jiangtao, et al. A study of indicators of anthropogenic influence and water-rock interaction in groundwater system in the urban region of Beijing [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2007 (5): 37-42. (in Chinese))

[7] 杜新强,齐素文,廖资生,等. 人工补给对含水层水质的影响 [J], 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37 (2): 293-297. (DU Xinqiang, QI Suwen, LIAO Zisheng, et al. Influence of artificial recharge on groundwater quality [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37 (2): 293-297. (in Chinese))

[8] 谢娟,姜凌,李泉. 地下水人工补给水质的研究: 以西安市回灌为例 [J]. 西安工程学院学报, 2002, 24 (4): 67-72. (XIE Juan, JIANG Ling, LI Quan. The quality of artificially recharged groundwater-taking artificially recharged groundwater in Xi ’ an as an example [J]. Journal of Xi ’ an Engineering University, 2002, 24 (4): 67-72. (in Chinese))

[9] 杜涛. 南水北调入京后北京西南地区地下水水质演变的实验模拟研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2002.

(收稿日期: 2013 - 11 - 16 编辑: 徐 娟)