

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.06.018

奎河与沿岸地下水水化学特征及形成作用分析

佟 浩,杨凤根,李汝君

(河海大学地球科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:了解地表水与沿岸地下水的水化学特征及其形成作用,对保护地下水资源和对其合理开发利用具有十分重要的意义。在系统采集奎河河水与沿岸地下水的基础上,采用描述性统计、主要阴阳离子 Piper 三线图等方法对水样的水化学特征及其形成作用进行了分析。结果表明:①从空间角度来说,位于奎河不同断面上的沿岸地下水的水化学类型及其离子浓度特征具有各自的特点,不同断面处的奎河河水也显现出不同的特性;从时间角度来说,即使在同一断面处的奎河河水以及沿岸地下水,其丰水期和枯水期离子浓度特征也有所差异。②不同断面处影响地下水水化学类型形成的优势作用并不相同,表现为徐村断面处受溶滤作用影响较大,黄桥闸较其他两断面处受蒸发浓缩作用影响较强,石桥断面处阳离子交替吸附作用显著,临近奎河河水的地下水受混合作用影响明显,而人类活动对各个断面处的地下水都有着不同程度的影响。③奎河河水的水化学形成优势机制是蒸发浓缩作用,并且河水对河床中碳酸盐矿物的溶解也极大地影响着河水中离子组成特征的形成。同时,设闸蓄水、采引灌溉等人类活动也对奎河河水的水化学演化产生着巨大的影响。

关键词:奎河;河水;地下水;水化学特征;主要阴阳离子 Piper 三线图;水化学演化

中图分类号:P641 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)06-0109-06

Analysis on hydro-chemical characteristics and formation mechanism of Kuihe River and its coastal groundwater

TONG Hao, YANG Fenggen, LI Rujun

(School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Understanding hydro-chemical characteristics and formation mechanism of surface water and groundwater is very important for protecting and utilizing groundwater resources rationally. Based on the sample of Kuihe river water and its coastal groundwater, methods including descriptive statistics and three lines Piper diagram of major ions were used to analysis the water's hydro-chemical characteristics and forming effect. Research results show that: (1) In the term of space, the hydro-chemistry type and its concentration in Kuihe coastal groundwater from different sections has different characteristic and so it is in Kuihe water. In the term of time, Kuihe river water and its coastal groundwater in one section also have different features when it is in wet season and in dry season. (2) The advantage effects caused by groundwater hydro-chemistry types from different sections are also not the same. The groundwater's hydro-chemistry type of Xucun section is greatly influenced by leaching effect. The effect of evaporation and concentration is stronger at Huangqiaozha section than the other two sections. As to Shiqiao section, the positive ion alternately adsorption plays an important role. And human activities have more or less influence on groundwater near Kuihe River in each section. (3) The advantage mechanism formed by Kuihe river water's hydro-chemistry type is evaporation and concentration effect. Also, the dissolution of carbonate minerals in riverbed also has greatly effects on the formation of ion composition characteristics. At the same time, human activities such as setting brake to store water and irrigation also have a huge impact on the Kuihe river water chemical evolution.

Key words: Kuihe River; river water; groundwater; hydro-chemical characteristics; three lines Piper diagram of major ions; water chemical evolution

基金项目:水利部公益性科研项目(2010535212)
作者简介:佟浩(1989—),男(满族),硕士研究生,研究方向为水文地质学。E-mail:15952044350@163.com

地下水是水资源的重要组成部分,是农业灌溉、工业生产和城市供水的重要水源之一。然而随着我国经济的迅猛发展,许多不恰当的人类活动致使我国大部分地下水遭受了不同程度的污染,造成了巨大的损失。地下水水化学研究是水文地质学的重要内容之一,开展地下水水化学特征及其形成作用的研究,对保护地下水资源及其合理开发利用具有十分重要的意义。王晓曦等^[1]对滦河下游河水与沿岸地下水的水化学类型及其形成作用进行了研究;宋晓明等^[2]对利比亚 WadiBay 地区的地下水水化学特征及成因进行了研究;张乐中等^[3]对库计水源地地下水水化学特征进行了研究;还有其他许多学者^[4-15]均对不同地区的地下水水化学特征进行了深入的研究。目前,关于徐州市境内奎河河水及其沿岸地下水水化学的研究仍为空白,鉴于此,笔者在系统采集奎河河水与沿岸地下水的基础上,运用描述性统计、主要阴阳离子 Piper 三线图等方法对其水化学特征及其形成作用进行分析,旨在为进一步研究水循环机制,保护及合理开发利用地下水资源,制定环境保护措施等提供借鉴和依据。

1 研究区水文地质条件

1.1 地下水类型及其含水层特征

研究区地下水按含水介质可分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水,按埋藏类型可分为潜水、弱承压水或承压水。松散岩类孔隙水的岩性是:上部以亚砂土或粉砂为主,夹亚黏土;下部以含钙质结核亚黏土或亚黏土、黏土为主,夹砂、砾层或薄层亚砂土。碳酸盐岩类裂隙岩溶水的含水岩组主要为奥陶系贾汪组—寒武系崮山组裂隙岩溶含水层,并隐伏在松散层之下,其岩性以白云岩、灰岩或白云质灰岩等为主。

1.2 地下水补径排特征

- a. 裂隙岩溶地下水。裂隙岩溶地下水的主要补给来源是大气降水的入渗和上覆孔隙水的下渗补给,其次是地表水体的渗漏以及来自区外的侧向径流补给。
- b. 下更新统及上第三系孔隙水。天然条件下为侧向径流补给,由于含水层埋藏较深,补给源较远,因而水平径流十分缓慢。排泄途径为人工开采。
- c. 中上更新统孔隙水。由于埋藏条件和所处地貌部位等不同,区内中上更新统孔隙含水层的补径排条件差异较大。该地区中上更新统孔隙水的主要排泄途径为人工开采。
- d. 全新统孔隙水。全新统孔隙水的主要补给源为大气降水的入渗,其次为农业灌溉水回渗。

2 研究区监测断面及监测井布设

研究区位于江苏省徐州市铜山县三堡镇黄桥闸—石桥—徐村一带。本文选取黄桥闸(HQZ)、石桥(SQ)、徐村(XC)3个地方,在垂直奎河流向方向上分别设置监测断面,并在监测断面上布置地下水监测井。监测井位置距离奎河由近及远依次为10 m,20 m,50 m,100 m,200 m,500 m。监测断面及监测井布置如图1所示。

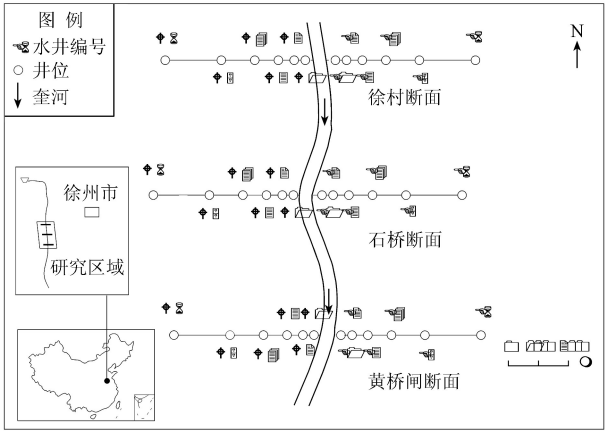


图1 监测断面及监测井布设

3 研究内容与方法

3.1 样品采集

分别于2011年2月、4月、6月、8月、10月、12月共计6个时间段,在3个不同断面的监测水井中各取1.5L地下水水样,同时采集相同量的河水水样。样品采集过程中,先用预采样品对采样瓶进行3次以上的冲洗,然后再将样品存放到聚乙烯瓶中,密封待测。

3.2 样品测试

样品水化学分析在相关实验室完成。对于采集的样品,用ICAP6300型全谱直读等离子光谱仪和ICP-Optima7300DV型全谱直读等离子体发射光谱仪检测钾、钠、钙、镁等阳离子浓度;用地质工程实验室全自动电位滴定仪检测重碳酸根离子的浓度;用离子色谱仪ICS-2000和全自动电位滴定仪检测氯离子和硫酸根离子的浓度。

3.3 数据分析

运用SPSS软件对水化学成分进行统计并作描述性分析。运用AqQA软件绘制主要阴阳离子Piper三线图,分析不同水体的化学组成特征,辨别其控制端元。最后结合研究区相关资料,揭示促使研究区不同断面处奎河河水与沿岸地下水水化学特征形成的主要影响作用。

4 结果与讨论

4.1 水化学类型及组成成分统计特征

研究区降雨主要集中在每年5—8月,故将6次采样中的2月、4月、10月、12月划分为枯水期,6月和8月划为丰水期。3个监测断面丰水期、枯水期地下水水化学成分统计特征值见表1,奎河河水水化学成分见表2。

a. 徐村断面。①枯水期时,徐村断面处地下水水化学类型主要为重碳酸-钙型(重碳酸根离子摩尔分数为25.1,钙离子摩尔分数为30.6)。枯水期时,地下水中离子的浓度整体表现为钙离子>镁离子>钠离子+钾离子,重碳酸根离子>氯离子>硫酸根离子。钙离子为优势阳离子,其浓度最大值为14.57 mol/L,最小值为9.58 mol/L。重碳酸根离子为优势阴离子,其浓度最大值为11.9 mol/L,最小值为7.6 mol/L。②丰水期时徐村断面处地下水水化学类型主要为重碳酸-钠、重碳酸-镁型(重碳酸根离子摩尔分数为25.6,钙离子摩尔分数为25.7)。丰水期时,地下水中离子浓度整体表现为镁离子>钠离子+钾离子>钙离子,重碳酸根离子>氯离子>硫酸根离子。钠离子和镁离子为优势阳离子,浓度最大值分别为6.89 mol/L和6.48 mol/L,最小值分别为1.72 mol/L和3.02 mol/L。重碳酸根离子为优势阴离子,其浓度最大值为11.57 mol/L,最小值为8.2 mol/L。

b. 石桥断面。①枯水期时,石桥断面处地下水水化学类型主要为重碳酸-钙型(重碳酸根离子摩尔分数为26.6,钙离子摩尔分数为28.7)。枯水期时地下水中离子的浓度整体表现为钙离子>镁离子

>钠离子+钾离子,重碳酸根离子>硫酸根离子≈氯离子。钙离子为优势阳离子,其浓度最大值为17.17 mol/L,最小值为7.21 mol/L。重碳酸根离子为优势阴离子,其浓度最大值为11.6 mol/L,最小值为7.2 mol/L。②丰水期时,石桥断面处地下水水化学类型主要为重碳酸-镁钠型(重碳酸根离子摩尔分数为41.3,镁离子和钠离子摩尔分数之和为31.1)。丰水期时地下水中离子的浓度整体表现为镁离子>钠离子+钾离子>钙离子,重碳酸根离子>氯离子>硫酸根离子。镁离子和钠离子为优势阳离子,其浓度最大值分别为6.79 mol/L和5.85 mol/L,最小值分别为1.78 mol/L和1.16 mol/L。重碳酸根离子为优势阴离子,其浓度最大值为13.1 mol/L,最小值为4.3 mol/L。

c. 黄桥闸断面。①枯水期时,黄桥闸断面处地下水水化学类型主要为重碳酸-钙型(重碳酸根离子摩尔分数为25.6,钙离子摩尔分数为25.7)。地下水中离子浓度整体表现为钙离子>镁离子>钠离子+钾离子,重碳酸根离子>硫酸根离子≈氯离子。钙离子为优势阳离子,其浓度最大值达到12.36 mol/L,最小值为7.49 mol/L。重碳酸根离子为优势阴离子,其浓度最大值为14.6 mol/L,最小值为4.6 mol/L。②丰水期时,黄桥闸断面处地下水水化学类型主要为重碳酸-钠型(重碳酸根离子摩尔分数为34.0,钠离子摩尔分数为25.1)。地下水中离子浓度整体表现为钠离子+钾离子>镁离子>钙离子,重碳酸根离子>氯离子>硫酸根离子。钠离子为优势阳离子,其浓度最大值达到45.05 mol/L,最小值为2.13 mol/L。重碳酸根离子为优势阴离子,其浓度最大值为26.5 mol/L,最小值为8.7 mol/L。

表1 地下水水化学成分统计特征值 mol/L

断面	时期	项目	C (Ca ²⁺)	C (Mg ²⁺)	C (K ⁺)	C (Na ⁺)	C (HCO ₃ ⁻)	C (Cl ⁻)	C (SO ₄ ²⁻)
徐村	枯水期	最小值	9.58	4.35	0.024	1.51	7.60	2.39	0.91
		最大值	14.57	11.44	0.256	5.60	11.90	7.10	5.01
		平均值	11.81	6.79	0.142	3.16	9.68	4.42	2.56
	丰水期	最小值	0.63	3.02	0.038	1.72	8.20	2.35	0.66
		最大值	2.34	6.48	0.531	6.89	11.57	7.40	3.19
		平均值	1.43	4.54	0.199	3.54	9.89	3.77	2.33
石桥	枯水期	最小值	7.21	3.87	0.003	1.59	7.20	1.62	0.91
		最大值	17.17	11.21	0.111	7.29	11.60	5.04	4.78
		平均值	11.09	8.27	0.041	3.37	9.53	3.35	3.01
	丰水期	最小值	0.52	1.78	0.058	1.16	4.30	1.79	0.48
		最大值	1.88	6.79	0.155	5.85	13.10	5.02	4.83
		平均值	0.95	4.65	0.108	2.99	10.12	3.24	2.47
黄桥闸	枯水期	最小值	7.49	3.30	0.002	1.78	4.60	2.09	1.86
		最大值	12.36	11.44	0.149	8.39	14.60	7.90	8.96
		平均值	9.91	8.22	0.044	5.80	9.88	4.81	4.88
	丰水期	最小值	0.58	3.52	0.087	2.13	8.70	1.88	0.89
		最大值	5.29	12.64	0.169	45.05	26.50	16.86	14.07
		平均值	1.80	5.73	0.111	9.92	14.66	5.61	5.27

表 2 奎河河水水化学成分

mol/L

断 面	时 期	$C(\text{Ca}^{2+})$	$C(\text{Mg}^{2+})$	$C(\text{K}^+)$	$C(\text{Na}^+)$	$C(\text{HCO}_3^-)$	$C(\text{Cl}^-)$	$C(\text{SO}_4^{2-})$
徐 村	枯水期	9.70	10.78	0.171	2.37	5.40	2.82	2.82
	丰水期	2.97	1.77	0.313	2.06	5.80	1.90	1.91
石 桥	枯水期	10.48	1.67	0.152	2.03	6.50	3.20	2.88
	丰水期	3.46	2.06	0.351	2.43	6.10	2.21	2.21
黄桥闸	枯水期	8.24	5.33	0.441	5.58	6.40	3.72	3.65
	丰水期	3.49	2.07	0.346	2.38	6.20	2.38	2.54

枯水期时,徐村断面处奎河河水的水化学类型为重碳酸-钙、镁型(其中钙离子摩尔分数为 28.5,镁离子摩尔分数为 31.7);而在石桥和黄桥闸两断面处均表现为重碳酸-钙型水(重碳酸根离子摩尔分数分别为 25.2 和 25.1,钙离子摩尔分数分别为 38.9 和 26.7)。徐村断面处的河水中阳离子浓度呈现出镁离子>钙离子>钠离子+钾离子的特征,而石桥和黄桥闸两断面处则为钙离子>钠离子+钾离子>镁离子。阴离子浓度方面,在 3 个断面处所取河水均呈现出重碳酸根离子浓度最高,硫酸根离子和氯离子浓度相仿的特征。重碳酸根离子浓度最高为 6.5 mol/L,最低为 5.4 mol/L。丰水期时,3 个断面处所取奎河河水的水化学类型颇为一致,均为重碳酸-钙镁型(其中钙离子和镁离子摩尔分数之和分别为徐村 28.3,石桥 29.3,黄桥闸 28.6;重碳酸根离子摩尔分数分别为徐村 34.7,石桥 32.4,黄桥闸 31.9),水中离子浓度整体表现为钙离子>钠离子+钾离子>镁离子,重碳酸根离子>硫酸根离子≈氯离子。优势阴阳离子分别为重碳酸根离子和钙离子,前者最高、最低浓度分别为 6.2 mol/L 和 5.8 mol/L,后者浓度最大、最小值分别为 3.49 mol/L 和 2.97 mol/L。

4.2 基于主要阴阳离子 Piper 三线图的水化学分析

通过对主要阴阳离子 Piper 三线图进行分析,

可以得知水体的主离子组成变化以及不同水体的化学组成特征,进而辨别出其控制端元。

图 2 为奎河河水及沿岸地下水的主要阴阳离子 Piper 三线图。分析图 2(a)可知:阳离子方面,枯水期时 3 个断面处地下水水样分布较为集中,离子来源较为相同,其主控阳离子为钙离子。丰水期时,徐村和石桥 2 个断面处水样水化学特征相似,离子来源颇为相同,与枯水期相比,2 个断面处镁离子和钠离子浓度增加显著,成为主控阳离子。此外丰水期黄桥闸断面处所取水样中的镁离子和钠离子浓度较枯水期也明显增加,与徐村和石桥两断面有所不同的是,钠离子浓度高于镁离子。阴离子方面,无论丰水期还是枯水期,3 个断面处所取地下水水样分布十分集中,由此可知其离子来源颇为一致。主控阴离子为重碳酸根离子,水样中所含硫酸根离子和氯离子浓度相仿。

分析图 2(b)可知:阳离子方面,除枯水期在徐村和石桥 2 个断面处所取奎河河水样外,其他各河水样分布颇为集中,由此可推断这些水样中的离子来源较为一致,其主控阳离子为钙离子。而枯水期于徐村和石桥 2 个断面处所取水样中钠离子浓度均很低,但两者钙镁离子浓度有所不同,徐村断面处河水中镁离子浓度较大,为其主控阳离子;而石桥断面处河水中浓度最大的为钙离子,其主控阳离子为钙

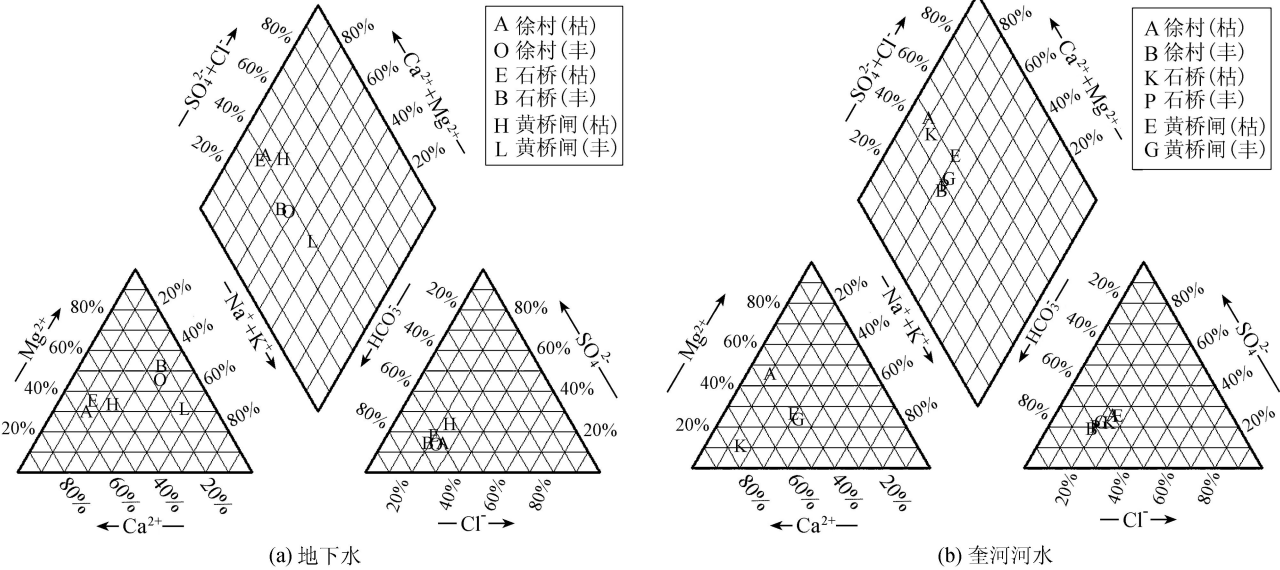


图 2 奎河河水及沿岸地下水主要阴阳离子 Piper 三线图

离子。阴离子方面,同地下水水化学特征较为相似,无论丰水期还是枯水期,河水样分布十分集中,离子来源颇为一致。主控阴离子为重碳酸根离子,河水样中所含氯离子和硫酸根离子浓度相仿。

5 水化学类型形成作用分析

5.1 溶滤作用

溶滤作用是指水溶液在向地下渗透过程中,与岩土发生相互作用,使岩土中的一部分物质转入到地下水中的过程。溶滤作用的结果是使岩土失去了一部分可溶物质,而地下水则补充了新的组分。

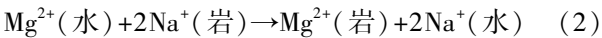
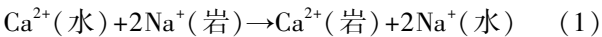
研究区 3 个断面处奎河河水及其沿岸地下水中钙离子和重碳酸根离子浓度一直很高。由研究区水文地质条件可知,该地区含水岩组中有大量碳酸盐岩,其岩性主要为白云岩、灰岩、白云质灰岩,由此推断研究区河水和地下水水化学特征的形成受碳酸盐溶解的影响较大。同时,当大气降水发生变化时(丰水期和枯水期),相应的地下水中离子组成摩尔分数也会随之发生很大改变,这种变化特征的产生与大气降水在向地下水入渗过程中发生溶滤作用,从而令入渗水将岩土中的部分物质带入到地下水中这一作用有着密切的联系,这进一步说明了该研究区河水和地下水水化学类型的形成受溶滤作用的影响很大。

5.2 蒸发浓缩作用

蒸发浓缩作用是指水体由于受蒸发影响,水分流失而盐分留存下来,从而使水溶液逐渐浓缩的过程。通常来讲,地表水与埋藏较浅的地下水受蒸发浓缩作用的影响较大。由研究区水文地质条件可知,黄桥闸断面处奎河附近的地下水主要为潜水,埋藏较浅,徐村和石桥 2 个断面处的地下水具有一定的承压性,埋藏相对较深,故黄桥闸断面处的地下水受蒸发浓缩作用的影响较大,徐村和石桥两断面处则较小。蒸发浓缩作用的影响下,水体矿化度会不断增大,易溶盐类浓度会不断升高,黄桥闸断面处氯离子的浓度较其他 2 个断面处高,进一步佐证了其受蒸发浓缩作用影响较大的事实。

5.3 阳离子交替吸附作用

岩土颗粒表面带有负电荷,可以吸附水溶液中的阳离子。在一定条件下,这些颗粒吸附地下水中的某些阳离子,而将其原来吸附的部分阳离子转化为地下水中的组分,该作用即为阳离子交替吸附作用。典型的阳离子交换反应方程式为:



综合分析 3 个断面处所取河水与地下水水样可

知,即使在溶滤作用不很强烈的枯水期,石桥和黄桥闸断面处的地下水也含有较高浓度的钠离子,究其原因,乃是土壤颗粒与地下水发生离子交换——土壤颗粒在吸附地下水中钙镁离子的同时,也将原来吸附的钠离子转移到地下水中,从而使得水体中钠离子浓度增高。

5.4 混合作用

两种不同化学成分的水相汇合,形成与原来两者化学成分均不相同的水体,这称为混合作用。研究区范围内,奎河河水与其沿岸浅层地下水有着密切的水力联系。徐村和石桥断面处,丰水期时奎河河水补给附近地下水;枯水期时地下水适量补给河水。黄桥闸断面处因农业用水的需要而设置了节制闸,抬高了河水位,使得该地区主要为河水补给地下水。河水与地下水密切的水力联系,使得研究区地下水循环十分活跃,形成了低矿化度型水。

5.5 人类活动影响

随着经济的不断发展,人类活动对地下水的影响也日益加大。本研究区内人类活动的影响主要为以下几种类型:①由于农业用水的需要,当地农民沿河设置了多道节制闸蓄水,同时大量开采地下水;②在研究区种植各种各样的农作物,如小麦、水稻、大棚蔬菜以及各种果树等;③进行污水灌溉;④排放生活污水。这些人类活动对河水和地下水水化学类型的形成产生了重要的影响,如设置节制闸蓄水会导致河水水位升高,从而改变地下水的补排条件;大量开采地下水和排放生活污水不但会改变地下水的补排条件,同时也会对溶滤、混合作用产生复杂影响,从而干涉水体水化学类型的形成;各种农作物的种植以及污水灌溉极大地改变了土壤中的离子组成,进而对溶滤作用、阳离子交替吸附作用产生重大影响。总之,人类活动对水化学演化的各个过程都产生了重大的影响。

6 结 论

a. 从空间角度来说,位于奎河不同断面上的沿岸地下水的水化学类型和其离子浓度特征具有各自特点,不同断面处的奎河河水也显现出不同的特性;从时间角度来说,即使同一断面处的奎河河水以及沿岸地下水,在丰水期和枯水期时其离子浓度特征也有所差异。

b. 不同断面处影响地下水水化学类型形成的优势作用并不相同,表现为徐村断面处受溶滤作用的影响较大,黄桥闸较其他 2 个断面受蒸发浓缩作用的影响较强,石桥断面处的阳离子交替吸附作用显著,临近奎河河水的地下水受混合作用的影响明显,而人类活动对各个断面处的地下水都有着不同程度的影响。

c. 奎河河水水化学形成的优势机制是蒸发浓缩作用,并且河水对河床中碳酸盐矿物的溶解也极大地影响着河水中离子组成特征的形成。同时,设闸蓄水、采引灌溉等人类活动也对奎河河水的水化学演化产生了巨大的影响。

参考文献:

[1] 王晓曦,王文科,王周峰,等. 滦河下游河水及沿河岸地下水水化学特征及其形成作用[J]. 水文地质工程地质,2014,41(1):4-5. (WANG Xiaoxi, WANG Wenke, WANG Zhoufeng, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of river water and groundwater along the downstream Luanhe River, Northeastern China [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014, 41 (1) : 4-5. (in Chinese))

[2] 宋晓明,高翠萍,BASHERH M,等. 利比亚 WadiBay 地区地下水水化学特征及成因分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(36):1-2. (SONG Xiaoming, GAO Cuiping, BASHERH M, et al. Analysis on the hydrochemical characteristics of groundwater and the formation reason in WadiBay area of Libya [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38 (36) : 1-2. (in Chinese))

[3] 张乐中,许田柱. 库计水源地地下水水化学特征分析[J]. 长江科学院院报,2013,30(2):2-4. (ZHANG Lezhong, XU Tianzhu. Hydrochemical characteristics of groundwater in Kuji water source area in Ordos Basin [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2013, 30 (2) : 2-4. (in Chinese))

[4] 何莉敏,魏亚妮,任翠芳. 红寺堡开发区地下水水化学特征及水质评价[J]. 安徽农业科学,2011,39(35):1-3. (HE Limin, WEI Yani, REN Cuifang. Hydro-chemical characteristics of groundwater and its quality assessment in Hongsibu development zone [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39 (35) : 1-3. (in Chinese))

[5] 高东燕,孟婧莹,吴春勇. 鄂尔多斯北区地下水水化学特征对应分析研究[J]. 人民黄河,2012,34(3):2-3. (GAO Dongyan, MENG Jingying, WU Chunyong. Application of correspondence analysis on Hydrochemical characteristics of groundwater in North Ordos [J]. Yellow River, 2012, 34 (3) : 2-3. (in Chinese))

[6] 全长水,张连胜,王瑞龙,等. 金堤河流域台前段地下水水化学特征[J]. 人民黄河,2012,34(11):2-3. (TONG Changshui, ZHANG Liansheng, WANG Ruilong, et al. Groundwater hydrochemical characteristics of Jindi River in Taiqian county [J]. Yellow River, 2012, 34 (11) : 2-3. (in Chinese))

[7] 魏晓鸥,郑秀清,顾江海. 柳林泉域岩溶地下水水化学特征及演化分析[J]. 人民黄河,2012,34(1):2-3. (WEI Xiaou, ZHENG Xiuqing, GU Jianghai. Analysis of hydrochemical characteristics and evolution of karstic groundwater in Liulin Spring catchment [J]. Yellow River, 2012, 34 (1) : 2-3. (in Chinese))

[8] 徐明,刘宏伟,钱会. 华县地下水水化学特征及水质评价[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(6):3-4. (XU Ming, LIU Hongwei, QIAN Hui. Hydro-chemical characteristics of groundwater and its quality assessment in Hua County [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9 (6) : 3-4. (in Chinese))

[9] 白媛媛,王金生,李剑,等. 第二松花江沿岸浅层地下水水化学特征及污染现状[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(2):2-3. (BAI Yuanyuan, WANG Jinsheng, LI Jian, et al. Chemical characteristics of shallow groundwater and current pollution situation along the second Songhua River [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9 (2) : 2-3. (in Chinese))

[10] 杨子林,李培月,吴健华,等. 涇源县饮用地下水水化学特征及水质评价[J]. 南水北调与水利科技,2010,8(5):2-4. (YANG Zilin, LI Peiyue, WU Jianhua, et al. Hydro-chemical characteristics of drinking groundwater and its quality assessment in Jingyuan County [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2010, 8 (5) : 2-4. (in Chinese))

[11] 李光斗. 绥化东部地区地下水水化学特征及质量评价[J]. 黑龙江水利科技,2013,41(6):2-3. (LI Guangdou. Hydrochemical characteristics of groundwater and quality assessment in eastern Suihua [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2013, 41 (6) : 2-3. (in Chinese))

[12] 唐然,温忠辉,束龙仓,等. 绥化市地下水水化学特征及水质现状评价[J]. 水资源保护,2013,29(4):4-6. (TANG Ran, WEN Zhonghui, SHU Longcang, et al. Hydro-chemical characteristics and water quality assessment of groundwater in Suihua City [J]. Water Resources Protection, 2013, 29 (4) : 4-6. (in Chinese))

[13] 苏乔,于洪军,徐兴永,等. 莱州湾沿岸地下水水化学特征分析[J]. 海洋学研究,2012,30(3):2-4. (SU Qiao, YU Hongjun, XU Xingyong, et al. The groundwater hydrochemical characteristics in eastern and southern Coasts of the Laizhou Bay [J]. Journal of Marine Sciences, 2012, 30 (3) : 2-4. (in Chinese))

[14] 谢全模,王艳芳,周治刚. 广东惠州抽水蓄能电站地下水水化学特征分析[J]. 人民长江,2013,44(增刊1):2-4. (XIE Quanmo, WANG Yanfang, ZHOU Zhigang. The groundwater hydrochemical characteristics of pumped-storage power station in Huizhou of Guangdong Province [J]. Yangtze River, 2013, 44 (Sup1) : 2-4. (in Chinese))

[15] 郭永锋,韩占涛,薛忠岐,等. 宁夏西部兴仁盆地地下水水化学特征[J]. 宁夏大学学报:自然科学版,2009,30(1):2-3. (GUO Yongfeng, HAN Zhantao, XUE Zhongqi, et al. The characteristics of groundwater quality of Xingren Basin in West of Ningxia [J]. Journal of Ningxia University: Natural Science Edition, 2009, 30 (1) : 2-3. (in Chinese))

(收稿日期:2015-01-12 编辑:彭桃英)